

아파트단지에서 국립환경과학원 도로교통소음 예측식('99)에 대한 통계학적 평가 및 검증

조일형 · 선우영* · 이내현^{†,**}

(주)전략 전략환경연구소 · *건국대학교 환경공학과 · ** (주)전략 환경사업부

(2006년 8월 9일 접수, 2006년 11월 27일 채택)

Assessment and Verification of Prediction Model(NIER('99)) for Road Traffic Noise in the Apartment Complex

Il-Hyung Cho · Young Sunwoo* · Nae-Hyun Lee^{†,**}

Institute of Strategy Environmental Research, Strategy Engineering Corporation

*Department of Environmental Engineering, Kon-kuk University

**Department of Environmental Division, Strategy Engineering Corporation

ABSTRACT : We have carried out highway traffic noise prediction and measurement for 10 sites with representative road shapes and structures. A road traffic noise prediction model(NIER('99)) has been developed for environmental impact assessment in Korea. With the fitted regression analysis, the distribution ratio(R^2) and Pearson correction coefficient(r) was 92.4% and 0.96 in 1st floor, 38.7% and 0.66 in 3rd floor, 42% and 0.65 in 5th floor, 7.5% and 0.27 in 7th floor, 28.4% and 0.53 in 10th floor, 35.6% and 0.60 in 13th floor, 52.7% and 0.73 in 15th floor, respectively. The measured values of the noise level except the 1st floor did not show a good agreement with the predicted noise level in the NIER('99) formula. Also, the NIER('99) formula demonstrated that the measured values weren't reasonably close to the predicted values, indicating the validity and adequacy of the predicted models with the fitted vs residual analysis in the 95% of confidence interval and 95% of predict interval. Using the equal variation on the basis of the residual vs fitted value, there was the significant difference for variation between 3rd floor and 15th floor except 1st floor. The results suggested that the NIER('99) model obtained by the results according to the apartment floor must be improved and developed on the road traffic noise.

Key Words : NIER('99) Formula, Coefficient of Determination(R^2), Pearson Correction Coefficient(r), The Fitted vs Residual Analysis

요약 : 본 연구는 국내 도시개발 및 택지개발에서 많이 사용되고 있는 국립환경과학원식('99)에 대한 평가 및 검증을 수행하였다. 국립환경과학원식(NIER('99))은 두 변수 사이의 일차적인 관계가 얼마나 강한 정도를 제시하기 위해 결정계수(R^2)와 표본 Pearson 상관계수(r)를 실측치와 예측치를 토대로 층별로 평가한 결과 1층 92.4%($r=0.96$), 3층 38.7%($r=0.66$), 5층 42%($r=0.65$), 7층 7.5%($r=0.27$), 10층 28.4%($r=0.53$), 13층 35.6%($r=0.60$), 15층 52.7%($r=0.73$) 등의 결과를 보였다. 선형 회귀를 통해 반응 변수(Y)와 예측 변수(X) 사이의 선형 관계를 조사하여 모형화하고 검증하기 위한 결과 1층을 제외한 모든 층에서 종속변수를 설명할 수 있는 기여율이 60% 이하로 회귀모형의 설명력이 상당히 떨어지는 것이 1.5 m 이상 높이에서 예측식 수립이 필요할 것으로 판단된다. 또한 등분산성을 토대로 잔차(residual) 대 적합지(fitted value)를 선택하여 예측식을 검증한 결과 1층의 경우 이상적 분포로 적합치에서 잔차들이 -2와 2 사이에 분포되어 있지만 1층을 제외한 나머지 층에 대해서는 이분산 혹은 비선형 분포로 잔차들이 -5에서 5사이에 분포되고 있는 것을 확인 할 수 있었다.

주제어 : 국립환경과학원식(NIER), 피어슨 상관계수(r), 기여율(R^2), 회귀모형, 잔차분석

1. 서 론

우리나라는 산업발달로 인해 경제성장은 이룩하였으나 인구의 도시집중과 경제발전에 따른 교통량의 급격한 증대로 인한 사회적 문제를 야기하고 있다.¹⁾ 경제협력개발기구(OECD)에서는 주요 교통수단인 도로, 철도, 항공기 등에 의해 유발되는 소음에 노출된 인구를 산정하여 회원국의 삶의 질을

평가하고 있는데, 우리나라에서는 지금까지 소음 노출인구에 관한 조사가 전무한 실정이다. 이에 국립환경연구원에서는 1차년도인 2001년에 우리나라 대도시, 중소도시, 군지역 등 75개 지점에 대해 도로교통 소음에 노출된 인구를 조사한 결과, 낮 시간(06:00~22:00)에 65 dB(A) 이상의 소음에 노출된 인구는 12.6%, 밤 시간대(22:00~06:00)에 55 dB(A) 이상의 소음에 노출된 인구는 52.7%로 나타난 것으로 보고하였다.²⁾ 이런 소음에 의한 피해의 원인 중 하나는 현재 도로변에 아파트 등 공동주택 건설시 '주택건설기준 등에 관한 규정' 제 9조(소음으로부터 보호)와 '공동주택의 소음측정기준(건설교통부고시 제 463호, '86.10.15)에 따라 1층의 실

[†] Corresponding author

E-mail: kuknhlee@empal.com

Tel: 031-386-9417

Fax: 031-386-9418

측소음도와 5 층의 예측 소음도를 합하여 평균한 소음도를 적용하여 방음대책을 세우고 있다. 하지만 도로변 5층 이상 신규아파트의 경우 5층 이하를 기준으로 설치한 방음대책으로는 6층 이상 거주 주민은 소음피해에 그대로 노출되고 있어 현실성 있는 소음측정기준의 개정이 시급히 요구된다.³⁾ 따라서 소음을 방지하기 위하여 우리나라를 비롯하여 선진국에서는 소음 규제법을 제정하여 소음저감을 위해 노력하고 있다. 그 중 일상생활에 있어 주된 소음원이 되는 도로의 신설 및 정비 시 사전 예측하고, 방지대책 수립에 활용하기 위한 도로교통소음의 예측모형^{4~6)}에 관한 연구들이 많이 수행하고 있다.

이에 최근 도로변 5층 이상의 아파트에 거주자의 소음노출로 인한 민원이 발생이 끊이지 않은 상황과 더불어 택지개발사업지구에서 주로 사용된 국립환경과학원식(NIER) 예측식이 현재까지 검증결과에 대한 평가 및 검증 논문이 하나도 없는 실정이다. 따라서 본 연구는 국립환경과학원식(NIER)에 대한 통계학적 평가 및 검증을 하여 향후 개선대책을 제시하고자 아래와 같이 통계학적 분석으로 예측식을 평가하였다.

- 실측치와 예측치에 대한 소음농도 분포 파악
- 아파트 층별 예측치에 대한 표본 상관분석
- 아파트 층별 예측치에 대한 회귀분석
- 아파트 층별 예측치에 대한 잔차분석
- 예측치에 대한 검증
- 향후 예측식 개선 방향

2. 연구방법

2.1. 현장조사

(1) 조사지점 선정

공동주택내 도로교통소음 예측을 위한 기초자료 및 검증자료 확보를 위하여 각 측정지구별 주·야간 층별 소음도 측정이 용이한 지구를 Table 1과 같이 선정하였으며, 현지답사와 도면검토를 수행하여 본 연구목적에 적합한 안양시 평촌지구, 고양시 일산지구를 조사지점으로 선정하였다.

(2) 조사내용

본 연구의 조사내용은 크게 네 가지로 구분된다. 첫 번째 아파트 층(1, 3, 5, 7, 10, 13, 15 층)별 소음도 측정, 두 번째 이격거리(5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 m)별 소음도 측정, 세 번째 형태별로 직각배치와 평행배치에 따른 소음도 측정을 조사하였다. 또한, 현장 여건 중 도로교통소음에 영향을 미치는 요인으로 아파트 배치형태, 층수, 도로 단으로부터 이격거리, 도로폭, 차선 수 등을 조사하여 제시하였다. 단 본 연구는 예측식 평가 및 검증의 객관성을 위하여 아파트 배치가 평면배치 및 장애물이 없는 지역만을 선정하여 평가하였다.

(3) 조사 및 측정

측정일시는 날씨가 맑고 바람의 영향이 적다고 판단된 날짜를 선택하여 단지 내 도로교통소음에 대한 현황을 파악하기 위해 2002년 2월부터 2002년 3월까지 주간(06:00~22:00)과 야간(22:00~06:00)으로 나누어 단지 내 도로교통소음을 1시간 연속으로 측정하였다. 이 때 공동주택 층별 높이에 따른 소음측정은 동시측정을 원칙으로 4회 반복하여 평균값을 이용하였다. 본 조사에 사용된 소음기(CR: 812A, Cirrus co. LTD, USA)는 8대를 이용하였고 차량속력 측정을 위하여 속도계(Speed Gun)(Radar type, Decatur Electronics, USA)를 이용하여 소형차, 중형차, 대형차, 오토바이로 선별한 후 소음계가 설치된 부근을 통과하는 순간의 차량 속력을 측정하였다.

또한 교통량 조사는 5층과 10층에서 계수기(koreatech, Korea)를 사용하여 측정하고, 15층에서는 측정시간 동안 교통량을 비디오로 촬영한 후 연구실에서 재분석하였다. 그 외에 풍향, 풍속, 기온의 경우 현장에서 풍향·풍속계(Korea, Model : 6210, YESTO., co, Korea), 디지털온도계(Korea, Model : KG-60TO, KAISE., co, Korea)를 사용하였다.

(4) 통계적 분석

소음 이론식을 바탕으로 기존식에 대한 예측식 검토 및 검증을 위해 SPSS 13 version for window와 Minitab 14 version for window 등 프로그램을 이용하여 Table 3과 같이 절차에 따라 수행하여 예측식을 검토하였다.

Table 1. Subject of survey site

Site	No.	Measuring Site	Distance (1)	Distance (2)	Roadway Width	No. of Lane	No. of Floor
Pyeong-Chon	N-1	Saetbyeol-hanyang APT 208	14.1	22.6	17	4	15 floors
	N-2	Saetbyeol-hanyang APT 208	-	-	17	4	All distances
	N-3	Kolon APT 709	10.0	18.0	16	5	13 floors
	N-4	Booyoung APT 311	10.6	21.6	22	7	15 floors(Right)
	N-5	Booyoung APT 709	9.6	18.1	17	5	15 floors
Ilsan	N-6	Hyundai APT 1803	28.2	43.7	31	8	10 floors(Right)
	N-7	Backsong APT 602	19.4	30.4	22	6	12 floors
	N-8	Jugong APT 1210	19.0	29.5	21	6	15 floors
	N-9	Woosung APT 105	13.3	21.3	16	4	10 floors
	N-10	Jugong APT 704	22.7	30.7	16	4	10 floors

Notes : Distance 1 : From roadway(traveled way) edge to apartment
Distance 2 : From roadway(traveled way) center to apartment

Table 3. The procedure of assessment to prediction model using statistics analysis

Procedure	Assessment method
1 step	Basic statistics analysis for actual noise data and predicted noise data
2 step	Correlation analysis
3 step	Regression analysis
4 step	Verification for prediction model

3. 결과 및 고찰

3.1. 국립환경과학원 도로교통소음 예측모델

소음의 예측은 일정 장소에서의 소음상태를 추정하는 것을 말하며 도로교통소음도를 정확하게 예측하는 것은 교통소음의 저감대책 및 분석에 있어서 우선적으로 실시해야 되는 사항이다. 도로교통소음 예측모형들의 유형은 대별하면 1) 경험적 모델, 2) 음향학적 해석모델, 3) 확률론적 모델, 4) 축소 모형실험에 의한 방법으로 나눌 수 있다. 소음예측을 활용할 수 있는 연구로는 국내의 경우 국립환경과학원식(NIER)⁷⁾과 한국도로공사⁸⁾의 소음예측모델 등이 있으며, 외국의 경우 미국 연방고속도로국의 FHWA방법,⁹⁾ 영국 수송국의 CRTN방법,¹⁰⁾ 프랑스 도로국과 육상수송국 등의 공동으로 만든 NMPB 방법,¹¹⁾ 일본음향학회의 ASJ 방법¹²⁾ 등이 있다. 이중 국내에서 환경영향평가나 택지 계획시 가장 많이 사용하고 있는 NIER('99)에 대한 도로교통소음 예측모형은 다음 Table 4와 같다. 국립환경과학원식('99)는 경험적 모델에 의한 방법으로 실제도로에서 소음레벨로 실측하고 동시에 교통조건(교통량, 주행속도, 차종구종 등), 도로조건(노면상황, 횡단형상 등), 전 파조건(음원으로부터의 거리, 지표면 상태, 기상상태 등) 가운데 소음레벨에 관계된다고 생각할 수 있는 몇 가지 요인의 물리량을 계측하여 이들 요인의 물리량과 소음레벨 사이의 관계식을 통계처리에 의해 구하여 수립한 모델식이다. Table

Table 4. The composition of NIER('99) formula

The Item	NIER('99) formula
(1) Noise Emission Level	$8.55 \cdot \log(Q \cdot V/L) + 36.3$
Traffic Quantity(Q)	Light vehicle + [10×Heavy vehicle],(vehicle/hr)
Car Speed(V)	Average vehicle speed(km/hr)
Distance (ℓ, L)	Distance to the end of road in traveling centerline + Distance to the standard 10 m position in the end of road
(2) Distance Attenuation	$14.1 \cdot \log ra$
Distance Ratio(ra)	Distance ratio until expect position located more than 10 m distant from the road end to standard 10 m distance
Simulated Center-Line	Geometrical average $[D = (D_n \times D_f)^{0.5}]$
(3) Correction Factor	C : Coefficient(Considering 0~2 value according to vehicle volume

Notes : D_n : Distance near from roadway edge
D_f : Distance fare from roadway edge

4에서 NIER('99)은 간선도로에서 10 m 이상 떨어진 지역을 대상으로 수립된 식으로 크게 교통량, 차속, 이격거리, 보정계수를 들 수 있다. 예측식을 세부적으로 소음발산레벨항, 이격거리감쇠항, 보정계수항으로 구분하였으며 NIER('99)의 예측식은 대부분 최소화승법에 의한 통계적 분석을 토대로 개발하여 수립하였다.

3.2. 실측치와 예측치 기초통계분석에 의한 비교

도로로부터 발생된 소음이 수음점(아파트 층별)에 도달하는 도로교통소음의 발산특성을 파악하고 아파트 층별 소음의 분포, 실측치와 예측치의 차이를 검토하기 위해 기초통계량에 의한 실측치와 예측치를 비교하였다.

본 연구에서 NIER('99)식을 평가하기 위해 1층부터 15층까지 측정된 값에 기초 통계치를 Table 5에 제시하였고 또한 각각 실측치와 NIER('99)에 대한 각 집단간 층별소음도를 비교하기 위해 중앙값과 사분위수를 손쉽게 파악 가능한 box plot를 Fig. 1에 제시하였다. Table 5와 Fig. 1의 결과로부터 제 3사분위수(Q₃)에서 제 1사분위수(Q₁)를 뺀 값 사분위수(IQR: interquartile range)를 실측값에 예측값을 비교한 결과 실측치와 예측치 모두 1층에서 넓은 분포특성으로 유사한 패턴을 보였다. 하지만 3층부터는 실측치에서 10층부터 15층까지 몇 개의 특이치 분포를 제외한 정규분포(normal distribution)의 양상을 보였지만 NIER('99)은 3층부터 15층까지 비정규분포로 데이터의 분포의 중심경향성이 많이 떨어지는 왜도(skewness: 데이터의 비대칭 현상) 분포를 보였다. 또한 실측치와 비교시 NIER('99)은 분포의 퍼짐정도를 나타는 산포도 특성이 훨씬 넓게 퍼져있는 것을 확인하였다.

데이터의 중심경향성 및 산포특성 이외에 표본 데이터에서 모집단 모수를 추정하기 위한 방법으로 신뢰 구간 그래프를 사용하여 실측치와 예측치를 비교 및 평가한 결과를 Fig. 2에 제시하였다. Fig. 2에서 95% 신뢰구간(CI : confidence

Table 5. Basic statistics analysis by the apartment floor

Floor	Data source	NIER('99) formula
1	Measured	N(48), M(64.85), S(3.22), Min(55.3), Max(69.5)
	Predicted	N(48), M(66.1), S(2.73), Min(58.1), Max(70.1)
3	Measured	N(40), M(68.38), S(2.20), Min(55.3), Max(72.4)
	Predicted	N(40), M(66.54), S(2.39), Min(61.7), Max(69.6)
5	Measured	N(49), M(69.26), S(2.10), Min(65.2), Max(72.8)
	Predicted	N(49), M(66.58), S(2.21), Min(61.7), Max(69.4)
7	Measured	N(40), M(68.11), S(2.6), Min(65.2), Max(73.5)
	Predicted	N(40), M(66.31), S(2.2), Min(61.7), Max(69.4)
10	Measured	N(53), M(67.36), S(2.61), Min(59.2), Max(72.3)
	Predicted	N(53), M(66.4), S(2.19), Min(61.7), Max(70.1)
13	Measured	N(27), M(66.23), S(2.97), Min(58.7), Max(73.2)
	Predicted	N(27), M(67.3), S(2.42), Min(59.7), Max(79.1)
15	Measured	N(23), M(67.10), S(2.42), Min(58.5), Max(71.3)
	Predicted	N(23), M(67.7), S(2.32), Min(59.2), Max(70.1)

Notes : N : sample, M : mean, S : std. d, Min : minimum, Max : maximum

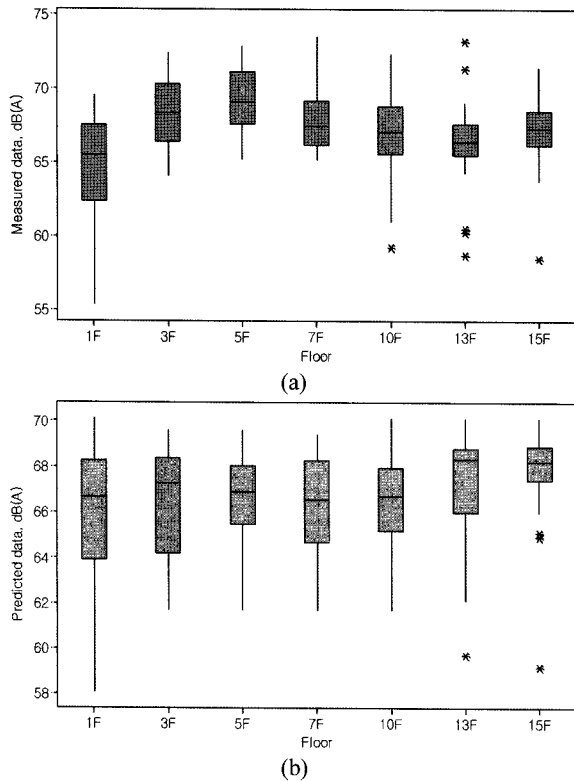


Fig. 1. The comparison of box plot. (a) measured data, (b) predicted data in NIER('99).

interval)를 적용하였고 평균, 표준편차 및 증위수에 대한 신뢰구간의 상한과 하한을 선택하여 모수를 포함하는 신뢰구간 확률을 0.95로 지정하여 실측치와 예측치를 비교하였다. 이 때 실측치의 경우 1층부터 5층까지 소음도가 증가하다가 그 이후로 감소하고 다시 13층부터 증가하는 S자형 분포를 보이고 있다. 하지만 NIER('99)은 정반대의 S자형 분포로 3층부터 10층까지 큰 차이 없이 증가하다가 10층 이후부터 큰 폭으로 증가되는 분포를 보여주고 있다. 또한 전반적으로 NIER('99)의 예측치는 실측치에 비하여 신뢰구간 95%의 평균값에 대하여 과소평가(underestimation)된 결과를 보여주고 있다.

3.3. 회귀모형에 의한 NIER('99)의 통계학적 평가

두 변수간(실측치, 예측치)의 상호 관련성, 두 변수 사이의 일차적인 관계가 얼마나 강한 정도 및 두 변수가 어떠한 방향으로 관련성을 나타내지를 분석하기 위해 식 (1)에 따라 표본 Pearson 상관 계수를 실측치와 예측치를 토대로 층별로 제시하였다.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{ik} - \bar{x}_k)(y_{ij} - \bar{y}_j)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ik} - \bar{x}_k)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_j)^2}} \quad (1)$$

특히 상관계수는 극단값(Fig. 1에서 * 표시)의 영향을 매우 크게 받아 해석의 오류를 범할 수 있어 본 연구에서는

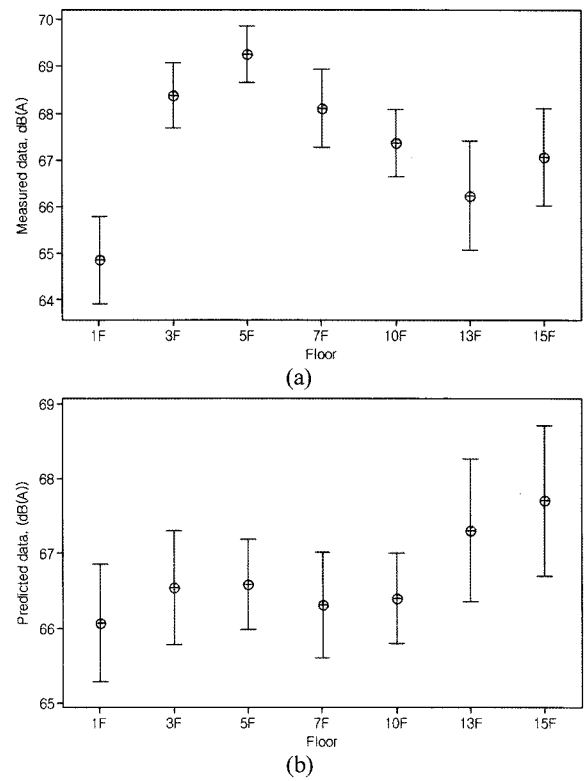


Fig. 2. The comparison of interval (a) measured data, (b) predicted data in NIER('99).

Table 6. Pearson correlation analysis in the apartment floor

Floor	Pearson r correlation
1	0.96
3	0.66
5	0.65
7	0.27
10	0.53
13	0.60
15	0.73

Fig. 1에서 나타는 특이치(이상치)를 나타냈던 데이터를 제외시켜 분석한 결과를 Table 6에 제시하였다. Table 6의 결과로부터 모든 층에서 양의 상관관계를 나타냈고 특히 1층에서 강한 양의 상관관계를 보였다. 하지만 7층 및 10층에서 매우 약한 양의 상관관계를 나타냈다.

선형 회귀를 통해 반응 변수(Y)와 예측 변수(X) 사이의 선형 관계를 조사하여 모형화하고 검증하기 위해 NIER('99)를 다음 Fig. 3의 절차에 따라 평가 및 검증하였다. 앞서 Table 6의 자료의 탐색 중 상관분석 결과를 수행하였지만 객관적인 수치에 대한 본질 규명을 위하여 회귀모형이 필요하며 다음 식 (2)의 선형 회귀식을 제시하였다.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_i + \epsilon_i \quad (2)$$

β_0, β_1 : regression coefficient

ϵ_i : error coefficient

또한 Fig. 3의 절차 중 모델의 검증차원에서 회귀식과 실제 데이터와의 차이인 잔차 제곱합이 가장 작은 회귀선을 찾을 때 사용되는 최소제곱법(method of least squares)을 식 (3)~(4)에 따라 수행하였다.

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x} \quad (4)$$

$\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1$: the estimated value of least squares to β_0, β_1

Fig. 4 및 Table 7에서 종속변수(실측치)와 반응변수(예측치)를 대상으로 층별에 따라 95% 신뢰구간(CI: confidence interval)과 95% 예측구간(PI: predict interval)을 나타내는 적합 회귀선, 결정계수(R^2 : coefficient of determination), 회귀 모형의 적합성 평가(분산분석(ANOVA - F-검정), 유의성검정(유의확률(p-value)) 등을 제시하였다.

Table 7의 결과로부터 1층에서 결정계수(R^2), 수정결정계수(adjust R^2) 및 F-검정 결과 다른 층에 비해 높은 선형 회귀식 모형을 나타내며 기여율 약 92%를 보였다. 검정통계량에서 7층을 제외한 모든 층에서 회귀계수의 유의성 검정 p-value가 유의수준(α) 0.05보다 적어 귀무가설(H_0) 기각하여 통계적으로 유의하였다. 이 때 검정통계량은 단지 회귀모형으로서 가설의 설정단계에서 의사결정 절차의 신뢰수준을 파악하는 도구로 사용되기 때문에 F-검정, 결정계수(R^2)를 이용하여 좀 더 구체적인 평가한 결과를 제시하였다.

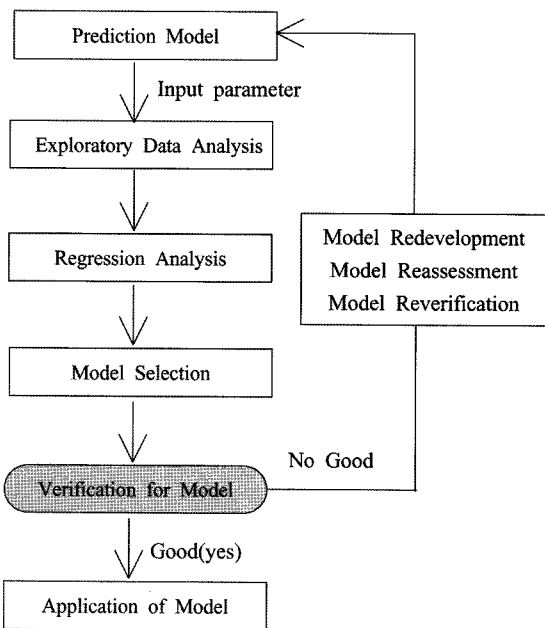


Fig. 3. The procedure of regression analysis and verification for model.

Table 7. Regression and ANOVA analysis in the apartment floor

Floor	Regression equation	^{a)} R ²	^{b)} Adjust R ²	^{c)} F	^{d)} p-value
1	y = -10.1 + 1.13x	92.4%	92.3%	562.76	0.000
3	y = 30.7 + 0.5671x	38.7%	37.1%	24.00	0.000
5	y = 26.9 + 0.636x	42.0%	40.7%	33.98	0.000
7	y = 46.7 + 0.323x	7.50%	5.1%	3.09	0.087
10	y = 25.3 + 0.634x	28.4%	26.9%	20.18	0.000
13	y = 16.9 + 0.734x	35.6%	33.1%	13.84	0.001
15	y = 15.8 + 0.757x	52.7%	50.4%	23.38	0.000

^{a)} R²: coefficient of determination

^{b)} Adjust R²: adjusted coefficient of determination

^{c)} F: mean of square(MSR/MSE) in analysis of variance(ANOVA)

^{d)} p-value: p(F ≥ 1) (test statistic)

이 때 1층을 제외한 모든 층에서 종속변수를 설명할 수 있는 기여율이 60% 이하로 회귀모형의 설명력이 상당히 떨어지는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 F-검정에서 1층은 562.76으로 다른 층에 비해 상대적으로 약 25배 차이를 보였다. 또한 Fig. 4에서 적합선 회귀선 그래프의 결과 1층은 95% 예측구간(PI: predict interval)과 95% 신뢰구간(CI: confidence interval)이 추정회귀 직선(fitted line)에 가장 근접하게 위치하고 있으나 7층의 경우 95% 예측구간(PI: predict interval)과 95% 신뢰구간(CI: confidence interval)사이에 예측값이 넓게 분포되어 있는 것을 확인 할 수 있었다.

3.4. 오차항에 대한 NIER('99)의 잔차분석에 의한 검증

비정상적인 예측값에 대한 회귀모형의 적합성 평가 중 하나인 오차항 평가(잔차분석)를 수행하기 위해 식 (5)와 같이 잔차분석(residual analysis)을 수행하였다.

$$e_i = Y_i - \hat{Y}_i \quad (5)$$

e_i : the difference between data and regression line

이는 데이터의 특이치를 식별하여 왜 비정상적인지를 이해하고 적절한 개선책을 식별하기 위한 목적으로 4가지 형태의 오차항 1) 정규성(Normality), 2) 독립성(Independence), 3) 등분산성(Equal variation), 4) 선형성(Linearity) 등으로 가정하여 검증하는데 본 연구에서 이 중 등분산성을 토대로 잔차(residual) 대 적합지(fitted value)를 선택하여 Fig. 5와 같이 수행하였다.

잔차 대 적합지 그림에서 0의 양쪽으로 잔차의 분산패턴이 일정하게 독립적으로 나타나야 이상적이라고 할 수 있다. Fig. 5로부터 1층의 경우 이상적 분포로 적합지에서 잔차들이 -2에서 2사이에 있지만 1층을 제외한 나머지 층에 대해서는 이분산 혹은 비선형 분포로 잔차들이 -5에서 5사이에 있는 것을 확인 할 수 있었다. 따라서 Fig. 5의 결과로 통해 1층을 제외한 모든 층은 이상치(특이치)를 가지는 패턴, 비정규분을 가지는 패턴 및 적합지와 잔차와의 큰 차이로 오류항이 많이 존재함에 따라 모델의 재검토 및 재개발이 필요하다고 볼 수 있다.

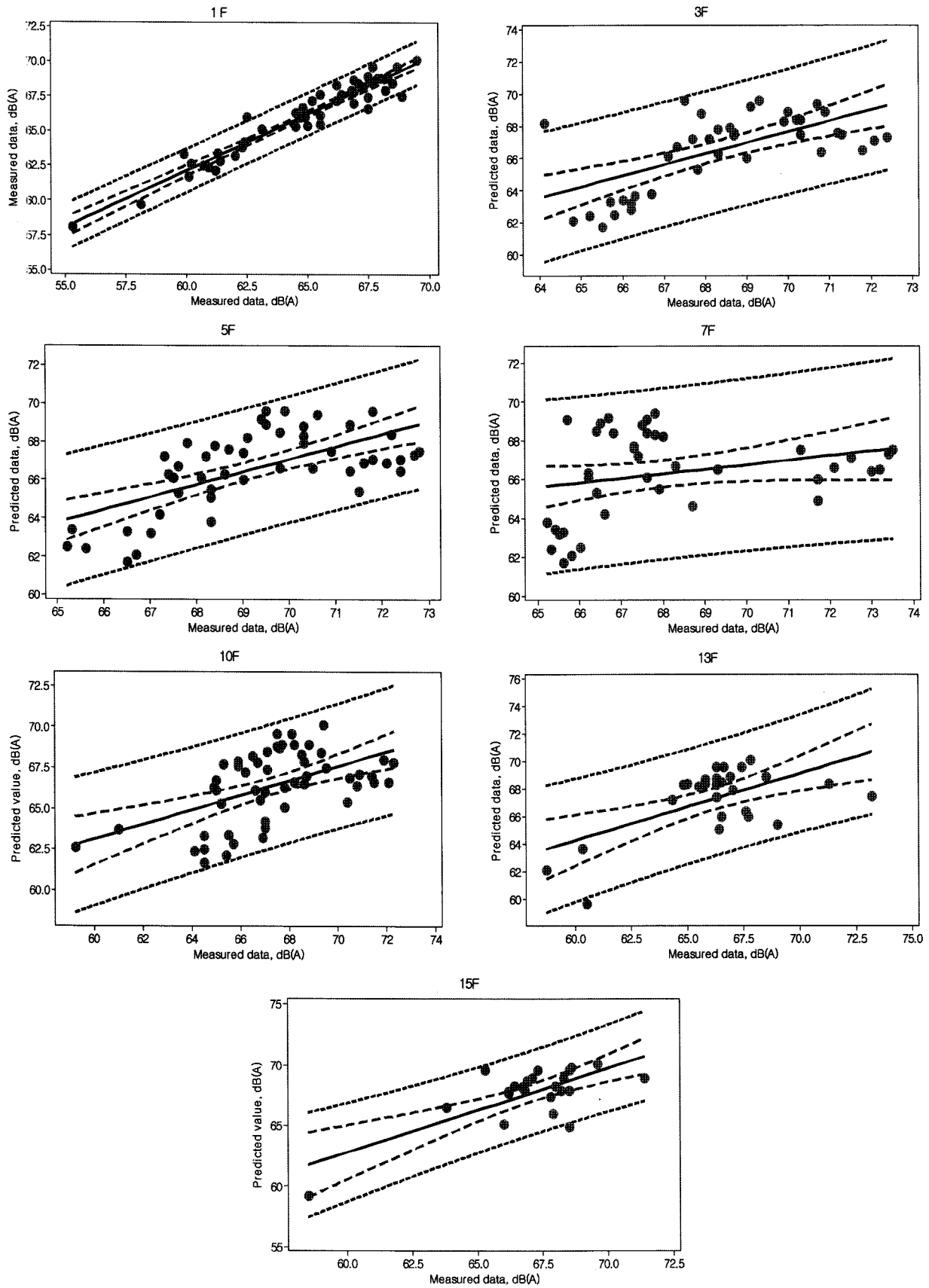


Fig. 4. The fitted line plot of the measured data and predicted data through the regression analysis in NIER('99) model(solid line: estimated(fitted) regression line, long dash line: 95%(PI: predict interval), short dash line: 95%(CI: confidence interval)).

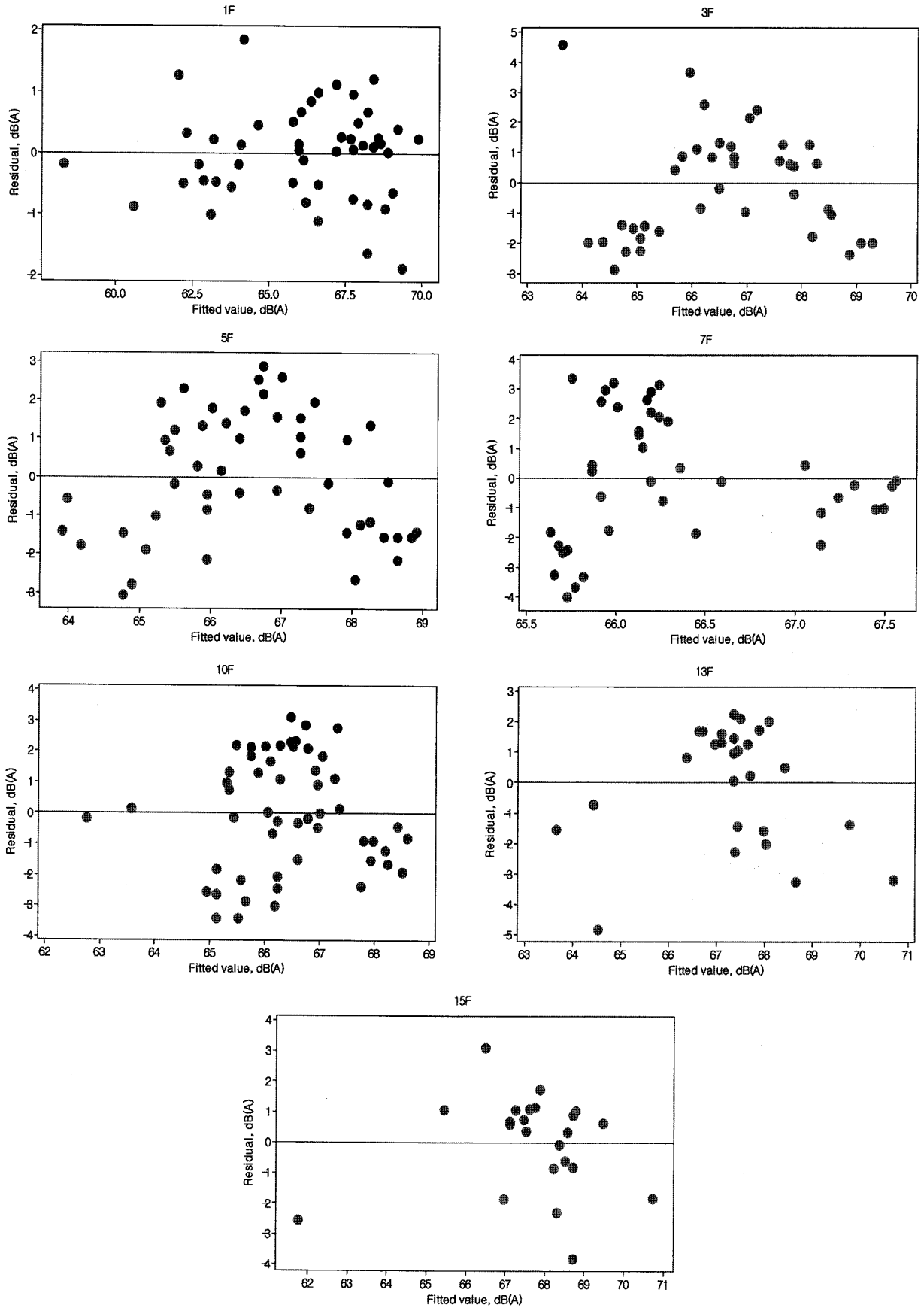


Fig. 5. The residuals plot versus the fitted values in NIER ('99) by the apartment floor.

3.5. 예측식 개발의 필요성 및 개선방향

소음공해는 일상생활 중에서 가장 빈번히 접하는 환경오염으로 도시 및 거주민의 심리적, 정신적, 신체적 피로를 가중시키고 있으며, 이러한 소음 중에서도 특히 차량의 폭발적인 증가와 신설도로의 확충에 따른 교통소음 문제가 심각한 환경문제로 대두되고 있다.

따라서 정부에서는 이러한 교통소음 문제를 사전에 방지할 수 있도록, 도로건설시 환경영향평가를 실시하도록 규정하고 있다. 또한 환경영향평가 대상사업 17개 분야 63개 단위사업 중 도로건설이 차지하는 비중이 매우 높고,¹³⁾ 사업완료 후 자동차가 도로를 주행할 때 생기는 소음으로 인해 도로 주변 주민들의 집단민원이 현재 빈번히 발생하고 있으므로 저감대책의 수립은 매우 중요하다.

도로교통소음은 이동음원으로 시간경과에 따라 속도, 차종구성, 교통량이 다양하여 소음도가 매우 불규칙하게 변하므로 도로 폭, 노면성상, 노면포장상태, 도로구배 등과 같은 도로 특성, 자동차속도, 차종구성, 화물적재량, 교통량 등과 같은 교통특성, 도로변의 건물배치, 건물의 폭, 건물높이, 가로수 식재상태 등과 같은 도로변 특성, 온도, 습도, 바람 등과 같은 기상특성, 지면의 상태에 따른 지표면특성이 각각 다른 여러 요인을 갖고 있기 때문에 도로교통소음을 일괄적으로 적용할 예측식을 찾는 것은 용이한 일이 아니다.^{14,15)} 이에 외국에서는 여러 가지 유형의 도로 교통소음 예측식을 개발함은 물론 예측식에 대한 검증 결과를 보고하고 매년 바뀌는 도로, 교통량, 소음수준 등을 측정 분석함은 물론 기존 예측식을 수정하여 발전시켜 나가고 있는 실정이다.

하지만 국내에서는 현재까지 수음점을 대상으로 1.5 m 이상 높이에서 아파트 층별로 동시에 측정하여 예측식에 대한 평가 및 검증된 논문은 거의 전무한 실정이다. 국립환경연구원 보고서 「도로교통소음(II), 2000」¹⁶⁾에 의하면 지면으로부터 1.5 m 높이에서 측정한 자료로서 경자동차의 경우 50~90 km/hr의 속도로 가속·정상 주행할 때 거리가 7.5 m에서 15 m로 2배 멀어짐에 따라 평균 4.8 dB 감소하고 32인승 버스인 경우 평균 5.5 dB(A) 감소하며, 24톤 덤프트럭의 경우 평균 7.3 dB(A) 감소하고 있어 대체로 점음원 감쇠현상을 보이고 있으므로 점음원 거리감쇠식을 적용하여 예측식을 수립하였지만 1.5 m 이상 높이에서의 거리감쇠 양상에 대한 규명을 제시하지 못하고 있다. 최근 이(2006)⁶⁾ 및 조(2006)¹⁷⁾의 연구를 결과에서 아파트단지에서 도로교통소음 예측식을 보면 지면 1.5 m 높이에서 국립환경과학원식과 마찬가지로 점음원 거리감쇠식을 적용하였지만 지면 1.5 m 높이 이상에서 도로(차도)폭에서 발생하는 음원을 일직선상의 선음원이 발생하는 모형화한 개념으로 접근하여 이격거리 감쇠 항을 적용하여 예측식을 수립한 결과 상관계수 및 기여율이 7층에서 0.97 및 89.4%, 그리고 7층을 제외한 3층~15층에서 상관계수 0.8 이상, 기여율 64% 이상의 매우 높은 신뢰성을 보여주고 있다. 현재 NIER('99) 예측한 값을 이용하여 간선도로 도로 단에서 10 m 이상 떨어진 지역에서 도로로부터 이격거리 설정, 방음벽 수립 및 층고조정 등이 이루어지고 있

는 상황이고 향후 아파트 완공 후 고층에 거주하는 주민들이 소음에 노출될 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서 평가한 결과로는 NIER('99)는 단지 지면 1.5 m에 대한 예측식에 불과함에 따라 고층까지 적용할 수 있는 지면 1.5 m(수평분포) 및 지면 1.5 m 이상(수직분포)의 수음점을 예측할 수 있는 예측식 개발이 절대적으로 필요하다.

4. 결론

급속한 도시화로 인한 도로 증가로 인하여 도로교통소음에 노출되는 인구가 증가됨에 따라 사회적 문제로 대두되고 있다. 하지만 아직까지 국내에서는 신도시 개발 혹은 택지개발시 도로교통소음에 대한 예측식으로 많이 사용되어 왔던 국립환경과학원식('99)에 대한 예측값에 대한 평가 및 검증이 전무한 상황에서 본 연구는 NIER('99)을 대상으로 평가 및 검증한 결과 다음 아래와 같다.

1) 실측치와 NIER('99)에 대한 각 층별 소음도의 분포특성을 비교한 결과 실측치는 정규분포(normal distribution)의 양상을 보였지만 NIER('99)은 3층부터 15층까지 비정규분포로 데이터의 분포의 중심경향성이 많이 떨어지는 왜도(skewness: 데이터의 비대칭 현상) 분포를 보였고 분포의 퍼짐 정도를 나타는 산포도 특성이 훨씬 넓게 퍼져있는 것을 확인하였다.

2) 데이터의 중심경향성 및 산포특성 이외에 표본 데이터에서 모집단 모수를 추정하기 위한 방법으로 신뢰 구간 그래프를 사용하여 실측치와 예측치를 비교 및 평가한 결과 실측치의 경우 1층부터 5층까지 소음농도가 증가하다가 그 이후로 감소하고 다시 13층부터 증가하는 S자형 분포를 보였지만 NIER('99)은 정반대의 S자형 분포로 3층부터 10층까지 큰 차이 없이 증가하다가 10층 이후부터 큰 폭으로 증가되는 분포를 보여주고 있다.

3) 두 변수간(실측치, 예측치)의 상호 관련성, 두 변수 사이의 일차적인 관계가 얼마나 강한 정도를 제시하기 위해 표본 Pearson 상관 계수를 실측치와 예측치를 토대로 층별로 평가한 결과 1층($r=0.96$), 3층($r=0.66$), 5층($r=0.65$), 7층($r=0.27$), 10층($r=0.53$), 13층($r=0.60$), 15층($r=0.73$) 등의 결과를 보였다.

4) 선형 회귀를 통해 반응 변수(Y)와 예측 변수(X) 사이의 선형 관계를 조사하여 모형화하고 검증하기 위한 결과 1층을 제외한 모든 층에서 종속변수를 설명할 수 있는 기여율이 60% 이하로 회귀모형의 설명력이 상당히 떨어지는 것을 확인되어 1.5 m 이상 높이에서 예측식 수립이 필요할 것으로 판단된다.

5) 등분산성을 토대로 잔차(residual) 대 적합지(fitted value)를 선택하여 예측식을 검증한 결과 1층의 경우 이상적 분포로 적합치에서 잔차들이 -2에서 2사이에 있지만 1층을 제외한 나머지 층에 대해서는 이분산 혹은 비선형 분포로 잔차들이 -5에서 5사이에 있어 회귀모형의 오차값이 높은 것을 확인 할 수 있었다.

참고문헌

1. 이내현, “공동주택내 도로교통소음 예측식 개발에 관한 연구,” 건국대학교 박사학위 논문(2004).
2. 환경부, 국립환경연구원 보도자료(2002).
3. 환경부, 중앙환경분쟁조정위원회 보도(2006).
4. 이택구, “도로교통소음의 예측모형 개발에 관한 연구,” 영남대학교 박사학위 논문(1997).
5. 조대승, 김진형, 최대묵, 오정환, 김성훈, “고속도로 교통소음 예측 - 전달감쇠 산정,” 한국소음진동공학회지, **12**(3), 236~242(2002).
6. 이내현, 선우영, 조일형, “아파트단지에서 도로교통소음 예측식 개발 및 검증,” 대한환경공학회지, **28**(10), 67~73 (2006).
7. 정일록, 도로교통 소음저감을 위한 종합대책에 관한 연구(III), 국립환경연구원(1989).
8. 한국도로공사, 고속도로 소음대책에 관한 연구(1994).
9. FHWA, Users manual: RSC highway noise prediction code: MOD-04, U.S. Department of transportation federal highway administration, FHWA-RD-77-18, Washington D.C(1977).
10. HMSO, Calculation of road traffic noise, U.K. Department of transport(1995).
11. NMPB-96, Road traffic noise - New French Calculation Method Including Meteorological Effects, CERTU(1997).
12. 일본음향학회 도로 교통소음 조사연구위원회, 도로교통소음의 예측모델: ASJ Model-1998(1999).
13. 한국환경정책평가연구원, KEI 환경정보(1999).
14. 이내현, 박영민, 선우영, “환경영향평가지 도로교통소음 예측에 관한 개선방안 연구,” 한국환경영향평가학회지, **10**(4), 297~304(2001).
15. 김하근, “건물 내외부에서의 도로교통소음 예측 및 평가에 관한 연구,” 한양대학교 박사학위 논문(1995).
16. 국립환경연구원 보고서, 도로교통소음(II)(2000).
17. 조일형, 이내현, 조중상, 고정용, 박영민, 선우영, “아파트 층별소음도에 대한 예측식 평가 및 검증에 관한 연구: 국립환경과학원(NIER)식과 전략엔지니어링(SEC)식 비교 중심으로”, 한국환경영향평가학회 춘계발표대회(2006).