

**국내 단지도로에서 도로교통소음에 대한 통계학적 특성연구  
-도로교통 소음원이 수음점에 미치는 수평·수직 음원 분포특성 중심으로-**

조 일 형·장 순 응\*·강 성 원\*\*·김 석 구\*\*\*·고 정 용\*\*\*  
성일종합기술연구소, \*경기대학교 환경공학과, \*\*건설기술연구원 첨단환경연구실, (주) 전략  
(2007년 5월 23일 접수; 2007년 9월 10일 채택)

**The Study on the Statistical Characteristics of Road  
Traffic Noise in Apartment Complex**

Il-Hyoung Cho, Soon-Woong Chang\*, Sung-Won Kang\*\*, Seog-Ku Kim\*\*\* and Jung-Young Ko

Sungil Technology & Consulting Center, Suwon, Gyeonggi, 443-717, Korea

\*Department of Environmental Engineering, Kyonggi University, 443-760, Korea

\*\*Korea Institute of Construction Technology, Gyeonggi-Do, 411-712, Korea

\*\*\*Strategy Engineering Corporation, Anyang, Gyeonggi, 431-050, Korea

(Manuscript received 23 May, 2007; accepted 10 September, 2007)

This paper represents the statistical characteristics of sources and receptors for road traffic noise in apartment complex. Also we suggested that the site-specific characteristics of vertical and horizontal distributions in the complex apartment have been derived using a different analysis for evaluating levels of  $Leq_{1h}$  by the apartment floor at a given distance from a road in terms of the flow rate, the mean speed of the traffic, and the percentage of the type vehicles in the day and night periods. As a result, the contribution orders of traffic quantity by the type of vehicles showed as followed: light vehicle>medium vehicle>heavy vehicle>motorcycle. Especially, the mixing ratio of entering the road on the heavy vehicle in the daytime was two times higher than that of in the night. The speed in all types of vehicle is in the range of 41 and 81 km/hr and noise level was not significantly different in day and night-time. The sources of road traffic noise had different variations and uncertainties using a random variable and probability distribution. The sound distribution to receptors by the apartment floor showed S curve between 1st floor and 15<sup>th</sup> floor. With the normality test, the normal distributions using Anderson-Darling Test followed 1<sup>st</sup>, 3<sup>th</sup>, 13<sup>th</sup> and 15<sup>th</sup> floor in the daytime and all floors except 7<sup>th</sup> floor in the night ( $p>0.05$ ). And also, the value of the Pearson correlation coefficient ( $r$ ) obtained in this study have significantly different at the range of floor. In conclusion, the results suggested that the distribution characteristics of levels of  $Leq_{1h}$  on the sources and receptors of road traffic noise in apartment complex must be improved and developed on the guideline of regulation of road traffic noise.

Key Words : Traffic noise, Apartment,  $Leq_{1h}$ , Normality test, Pearson correlation coefficient ( $r$ )

1. 서 론

우리나라는 산업발달로 인해 경제성장은 이룩하였으나 인구의 도시집중과 경제발전에 따른 교통량의 급격한 증대로 인한 여러 가지 환경공해로 인한

사회적 문제를 야기하고 있다. 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. 또한 소음환경기준을 일본 및 유럽 국가 등과 비교할 때, 주거지역에 따른 차이는 있으나 전반적으로 5 dB(A) 정도 완화된 수준이다. 또

Corresponding Author : Il-Hyoung Cho, Sungil Technology & Consulting Center, Suwon, Gyeonggi, Korea  
Phone: +82-031-237-8870  
E-mail: cihyoung73@hanmail.net

한, 국제표준화기구(ISO)권고안과 비교할 때 상업·공업지역은 권고안과 비슷한 수준이지만, 정온을 요하는 지역의 기준은 5-15 dB(A) 정도 완화된 수준이다<sup>1)</sup>. 서울시 보건환경연구원에서 조사된 도심 지역 및 간선도로의 도로소음측정 결과를 보면 광화문, 서울역, 동대문 및 잠실 등 일부지역에서는 연간 월평균 소음도가 환경기준을 초과하고 있으며 소음·진동 규제법에서 규정한 도로소음의 허용한도 역시 초과하는 것으로 보고하고 있다<sup>2)</sup>. 또한 원주지방환경청이 최근 춘천·원주지역의 밤 시간대 소음을 측정 한 결과 춘천은 55%, 원주는 62 %가 환경기준을 초과였으며 일반주거지역인 원주 명륜 2동과 무실동 도로변은 62~69 dB(A)로 환경기준을 넘어섰고 주거 밀집지역인 춘천 후평동 지역도 기준을 초과해 수면을 심각하게 방해하는 것으로 드러났다<sup>3)</sup>. 현재 환경보전법(시행규칙 제 7호)에서는 쾌적한 생활환경보전과 인간의 건강한 생활을 보호하기 위하여 소음환경기준을 제시하기를 도로변에 인접한 지역이 녹지지역, 일반주거지역, 준주거지역 등은 등가소음도가 주간 65 dB(A), 야간 55 dB(A), 상업지역, 준 공업지역 등은 주간 70 dB(A), 야간 60 dB(A)이고, 일반공업지역, 전용공업지역 등은 주간 75 dB(A), 야간 70 dB(A) 이하로 기준을 정하고 있다. 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 보고되었다<sup>4)</sup>. 이런 도로교통소음으로부터

소음 피해의 원인 중 하나는 현재 도로변에 아파트 등 공동주택 건설시 '주택건설기준 등에 관한 규정' 제9조(소음으로부터 보호)와 '공동주택의 소음측정 기준(건설교통부고시 제463호, '86.10.15)에 따라 1층의 실측소음도와 5층의 예측 소음도를 합하여 평균한 소음도를 적용하여 방음대책을 세우고 있어, 도로변 5층 이상 신규아파트의 경우 5층 이하를 기준으로 설치한 방음대책으로는 6층 이상 거주 주민은 소음피해에 그대로 노출되고 있어 현실성 있는 소음측정기준 개정이 시급히 요구된다<sup>5)</sup>.

기존 연구는 대부분 지면 1.5m(수평적 음압분포) 수음점을 대상으로 도로교통소음 특성을 평가하였기 때문에<sup>6,7)</sup> 소음원이 수음점에 미치는 수평 및 수직분포 음원특성에 대한 연구는 거의 전무한 실정이다. 따라서 본 연구는 단지도로에서 도로교통소음원 분포를 주·야간으로 비교하여 평가하고 아파트 층별로 소음간 어떤 특성으로 분포되어 있는지를 통계학적으로 접근하여 분석하였다. 이 결과를 토대로 향후 단지내 소음관련 도로 설계시 기초 자료로 활용될 것으로 판단된다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 조사지점

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 연구에서는 이 등<sup>8)</sup> 및 조 등<sup>9)</sup> 이 연구한 지역과 동일한 안양시 평촌지구, 고양시 일산지구를 조사지점으로 선정하였다.

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

## 2.2. 조사내용

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

## 2.3. 조사 및 측정

측정일시는 날씨가 맑고 바람의 영향이 적다고 판단된 날짜를 선택하여 단지내 도로교통소음에 대한 현황을 파악하기 위해 2002년 2월부터 2002년 6월까지 주간(06:00 ~ 22:00)과 야간(22:00 ~ 06:00)으로 나누어 단지내 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)는 8대를 이용하였고 차량속도 측정을 위하여 속도계(Speed Gun)(Radar type, Decatur Electronics, Inc)를 이용하여 소형차, 중형차, 대형차, 오토바이로 선별한 후 소음계가 설치된 부근을 통과하는 순간의 차량속도를 측정하였다. 또한 교통량 조사는 5층과 10층에서 계수기(Noise-counter, USA)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), 디지털온도계(Korea, Model : KG-60TO, KAISE., co)를 사용하였다. 또한 관련 자료에 대한 분석은 SPSS 13 version for window 와 Minitab 14 version for window 등 프로그램을 이용하였다(Fig. 1).

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 도로교통소음원 특성파악

단지내 도로교통소음 특성을 평가하기 위해 우선 차량별로 교통량, 차량속도 및 이격거리를 제시하였다(Table 2). 본 연구에서는 차종분류는 조 등<sup>10)</sup>이 제시한 일반적으로 승용차류(Light vehicle: 자가용, 택시 등), 소형화물차류(Medium vehicle: 승용차(경유사용(RV)차량, 승합차(24인승 미만), 화물차(8 ton 미만)), 대형차류(Heavy vehicle: 버스, 승합차(24인

Characteristic evaluation of sources of road traffic noise

- Comparison of  $Leq_{1hr}$  between day and night
- Comparison of  $Leq_{1hr}$  according to a distance
- Comparison of  $Leq_{1hr}$  according to the percentage of the type vehicles
- Comparison of  $Leq_{1hr}$  according to the car speed
- Comparison of  $Leq_{1hr}$  according to vehicles quantity



Characteristic of sound distributions on the effect of apartment floors (receptors)

- Probability distribution of road traffic noise on the traffic volume and vehicle speed
- A characteristic of vertical and horizontal distributions on the receptor in the complex apartment
- Assessment of normal distribution and basic statistic of noise level on the apartment floor
- Pearson correlation analysis by the apartment floor



Suggestion of improvement in apartment complex about road traffic noise

Fig. 1. The concept and approach method in the study

승 이상), 화물차(8ton 이상)지게차, 포크레인 등) 그리고 오토바이 전차종(Motorcycle) 등 4가지로 분류하여 조사하였다. 조 등<sup>6)</sup> 등은 본 연구와 동일하게 4개의 차종을 분류하여 고속도로 교통소음 예측을 위한 자동차 주행소음의 음향파워레벨을 평가하였고 강 등<sup>11)</sup> 등은 차량주행 소음 실태 파악연구에서 소음진동규제법 시행규칙 제 4조에 분류된 참고자료에 따라 소형차(Light vehicle), 승용차(Passenger vehicle), 중소형 트럭 및 화물차(Light goods vehicle), 대형차(버스) 및 대형화물차(Heavy vehicle), 그리고 오토바이(Motorcycle)로 구분하여 가속주행소음에 대하여 분석하였다. 외국의 경우 Tansatcha<sup>12)</sup> 등은 태국의 자동차 도로교통소음을 분석하기 위해 차선과 지선도로사이의 중앙선 폭, 차선폭, 차선수 등을 조사 후 차량의 형태에 따른 순간속력 및 교통량을 승용차(Automobile), 경트럭(Light truck), 중트럭(Medium truck), 대형트럭(Heavy truck), 대형트레일러(Full trailer), 경 트레일러(Semi-trailer), 버스(Bus) 및 오토바이(Motorcycle)로 구분하여 순간속력에 대한 등가소음도를 측정하여 분석하였다. Li<sup>13)</sup> 등은 중국에서 도로교통소음 예측식에 입력변수로 사용되는 인자 중 차량에 대하여 소형차(Light car), 소형화물차(Medium truck), 대형화물차(Heavy

Table 2. The basic statistic and probability distribution of road traffic noise

| Item  |       | N              | Mean  | Std. d | Min   | Max   | Percentage | Distribution |                 |
|---|-------|----------------|-------|--------|-------|-------|------------|--------------|-----------------|
| Traffic volume <sup>a)</sup><br>(number/hr) | day   | Light vehicle  | 132   | 672.4  | 264.8 | 288.0 | 1320       | 54 %         | Gamma           |
|   |       | Medium vehicle | 132   | 462.4  | 309.7 | 180.0 | 1332       | 37 %         | Weibull         |
|   |       | Heavy vehicle  | 132   | 77.09  | 41.57 | 0.00  | 192.0      | 6 %          | Maximum Extreme |
|   |       | Motorcycle     | 132   | 36.00  | 32.03 | 0.00  | 168.0      | 3 %          | Maximum Extreme |
|   | Night | Light vehicle  | 60    | 597.6  | 297.5 | 132.0 | 1200       | 65 %         | Student's t     |
|   |       | Medium vehicle | 60    | 276.8  | 203.6 | 12.00 | 720.0      | 30 %         | Maximum Extreme |
|   |       | Heavy vehicle  | 60    | 28.80  | 18.59 | 0.00  | 0.00       | 3 %          | Maximum Extreme |
|   |       | Motorcycle     | 60    | 18.81  | 18.81 | 0.00  | 0.00       | 2 %          | Student's t     |
| Vehicle speed <sup>b)</sup><br>(km/hr)      | day   | Minium         | 132   | 40.12  | 0.331 | 40.0  | 41.0       | 23 %         | Minimum Extreme |
|   |       | Mean           | 132   | 53.55  | 3.47  | 50.0  | 61.0       | 31 %         | Gamma           |
|   |       | Maximum        | 132   | 81.21  | 9.54  | 73.0  | 98.0       | 46 %         | Beta            |
|   | Night | Minium         | 60    | 40.73  | 0.70  | 40.0  | 42.0       | 23 %         | Minimum Extreme |
|   |       | Mean           | 60    | 54.93  | 4.10  | 48.0  | 60.0       | 31 %         | Student's t     |
|   |       | Maximum        | 60    | 80.60  | 7.93  | 72.0  | 95.0       | 46 %         | Beta            |
| Distance (m) <sup>c)</sup>                  |       | 132            | 23.13 | 5.30   | 18.0  | 30.7  | -          | Beta         |                 |
| Road width (m)                              |       | 132            | 17.10 | 1.92   | 16.0  | 22    | -          | Gamma        |                 |
| Road traffic lane                           |       | 132            | 4.61  | 0.70   | 4.00  | 6.00  | -          | Logistic     |                 |

Notes

<sup>a)</sup>Existing four types of vehicle (light, medium, heavy, motorcycle), Light vehicle: Passenger car, taxi, Medium vehicle: Gasoline car(RV vehicle), van(<24 persons), light truck, semi-trailer, Heavy vehicle: Bus, heavy truck, full-trailer, van(>24 persons), Motorcycle: All kinds of motorcycles

<sup>b)</sup>Sum of vehicle speeds in light vehicle + medium vehicle + heavy vehicle + motorcycle

<sup>c)</sup>From roadway(traveled way) edge to receptor

truck)으로 분류하여 차종에 따라 분석하였다.

본 연구에서 차종별에 따른 교통량을 보면 소형 승용차>중형 승용차(소형화물차류)>대형차류>오토바이 순으로 교통량 분포를 나타냈으며 대형차 혼합비율의 경우 주·야간 비교시 주간은 6%, 야간의 경우 3%로 주간에 대형차 혼합율이 2배 이상 크게 나타났다. 전 차종에 대한 차량 속도를 최소, 평균 및 최대로 구분하여 분석한 결과 주·야간 모두 41~81 km/hr 큰 차이 없이 차량이 운행되었다. 또한 자동차 소음원(교통량(Q), 차량속력(V), 이격거리, 도로폭, 차선 수 등)은 가변성이 매우 크기 때문에 사전에 정확한 값을 알 수 없는 변수로 이들 변수에 대한 확률변수(Random variable)를 확률분포(Probability distribution)로 표시하여 그 가변성 변수들의 특성을 파악하였다. 우선 교통량에서 주·야간 모두 이산형(Continuous) 확률분포를 나타냈으며 주간의 감마(소형차), 와이블(중형차), 극한값(대형차 및 오토바이) 분포 형태를 나타냈고 야간의 경우 스튜던트 t(소형차 및 오토바이), 극한값(중형차 및 대형차) 분포를 나타냈다. 이렇게 주·야간에 따라

차종별로 다르게 분포를 나타낸 것은 단지내에서 교통량이 상당히 불확실성이 매우 크다는 의미이다. 특히 주간의 경우 모든 차종이 정규분포 비교시 왼쪽으로 상당히 치우쳐 있는 형태를 띠지만 중형차의 경우 지수분포 형태를 취하고 있는 것을 확인 할 수 있다. 야간의 경우는 주로 중형차와 대형차량은 소형차와 오토바이에 비해 넓은 분포를 나타냈다. 차량 속력의 경우 주간의 경우 최소극한(최소속력), 감마(최대속력) 그리고 베타(평균속력) 분포를 나타냈으며 야간의 경우 최소속력은 주간과 동일한 분포인 최소극한, 최대속력의 경우 스튜던트 t 분포 그리고 평균속력의 경우 베타분포를 나타냈다. 차량 속력은 1차 모멘트(분포의 중심측정)를 나타내는 중심 경향성에서 상당히 벗어난 경향을 나타냈으며(Fig. 2) 평균에 대한 산포의 정도가 매우 크게 나타나 불확실성이 매우 크게 나타난 것으로 확인되었다. 즉 3차 모멘트 왜도와 4차 모멘트 첨도의 형태를 나타냈다. 추가적으로 이격거리는 베타분포, 도로 폭의 경우는 감마분포, 차선 수는 로지스틱 분포를 보여주고 있다.

국내 단지도로에서 도로교통소음에 대한 통계학적 특성연구  
 - 도로교통 소음원이 수음점에 미치는 수평·수직 음원 분포특성 중심으로 -

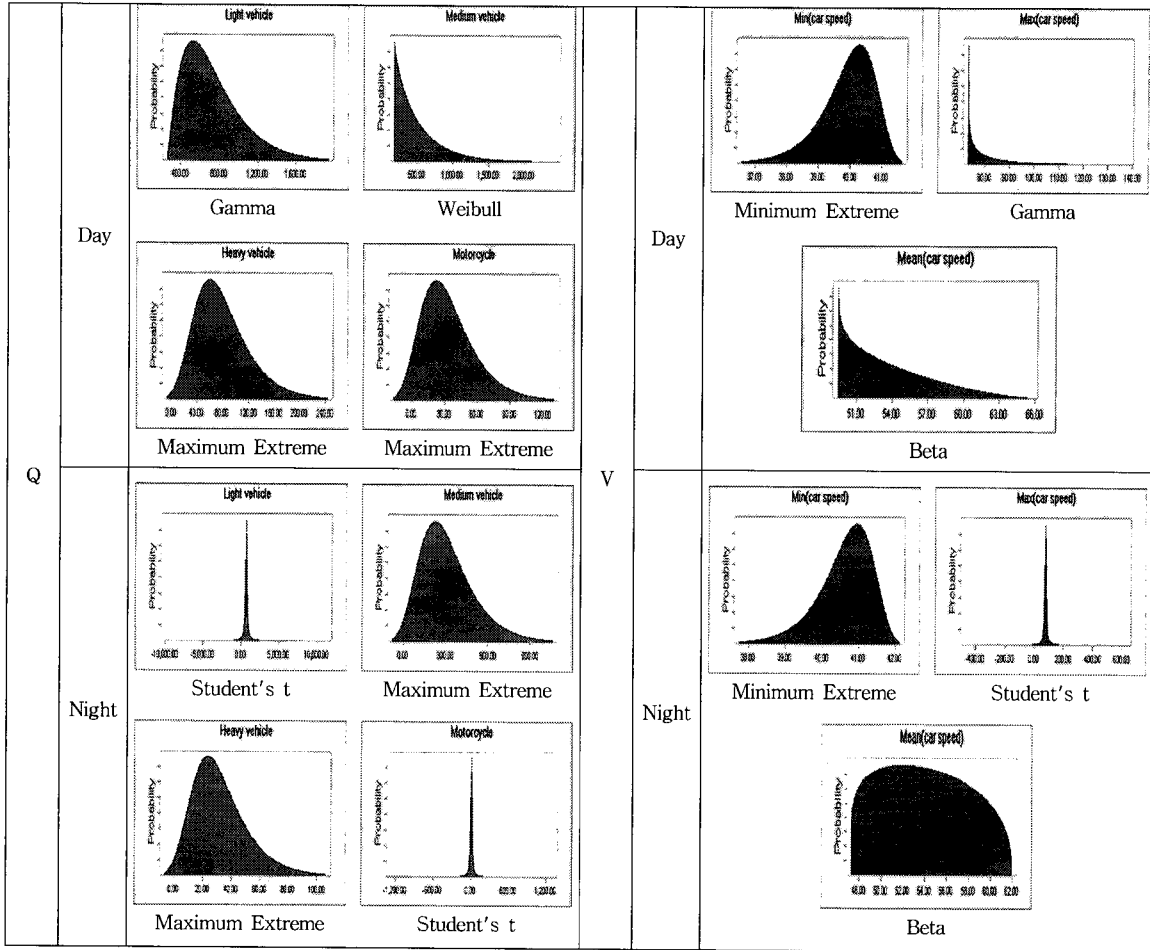


Fig 2. Probability distribution of road traffic noise on the Traffic volume and Vehicle speed (Q:number/hr, V:km/h)

실제 국내 단지도로는 자동차들이 연속적으로 진행되는 구간이 아니고 자동차 통행량도 시간에 따라 큰 변화를 주기 마련이다. 도로교통소음 발생원은 다양한 분포의 불확실성 및 변동성을 보여주었고(Table 2, Fig. 2) 특히 제 1차 모멘트(중심분포-평균, 중앙값, 최빈값), 제 3차 모멘트(비대칭성 분포-왜도) 및 제 4차 모멘트(분포의 테일 이벤트(Tail-event)-첨도) 등을 보여주고 있다.

3.2. 아파트 층별 수음점에 미치는 음원분포 특성  
 도로로부터 발생된 소음이 수음점(아파트 층별)에 도달하는 도로교통소음의 수평 및 수직 발산특성을 파악하고 아파트 층별 소음의 분포 차이를 검토하기 위해 기초 통계량에 의한 실측치를 비교하였다. 본 연구에서 주·야간 수음점(아파트)에 대한 수직 및 수평 소음 분포특성 평가하기 위해 중앙값과 사분위수를 손쉽게 파악 가능한 box plot와 데이터의 중심경향성 및 산포특성 이외에 표본 데이터

에서 모집단 모수를 추정하기 위한 방법으로 신뢰구간 그래프를 사용하여 층별 소음도를 평가한 결과를 Fig. 3에 제시하였다. 주간에 대한 층별 소음도의 경우 최대 소음도는 7층이지만 전반적인 소음도 패턴은 1층에서 증가하다가 5층에서 다시 감소하여 13층에서 다시 증가하는 이 등<sup>8)</sup> 및 조 등<sup>9)</sup> 제시한 S자형 패턴을 보여주고 있다. 야간의 경우는 1층과 유사한 패턴을 보였지만 최대 소음도는 5층과 7층 사이에 나타났고 전반적인 패턴은 주간과 유사한 결과를 나타냈다. 하지만 주간 소음도는 야간 소음도보다 신뢰구간 95%의 평균값을 제시한 신뢰구간 그래프에서 중심경향성이 더 크게 나타났고 야간 소음도는 산포특성이 7층부터 크게 나타났다. 주·야간에 따른 수음점(아파트) 층별 소음도에 대한 기초 통계량과 각 층별 소음도에 대한 평균값과 중위수를 비교를 통한 1차 모멘트(중심경향성) 특성을 나타내는 정규분포(Normal distribution)를 평가하기 위해 제시되었다(Table 3).

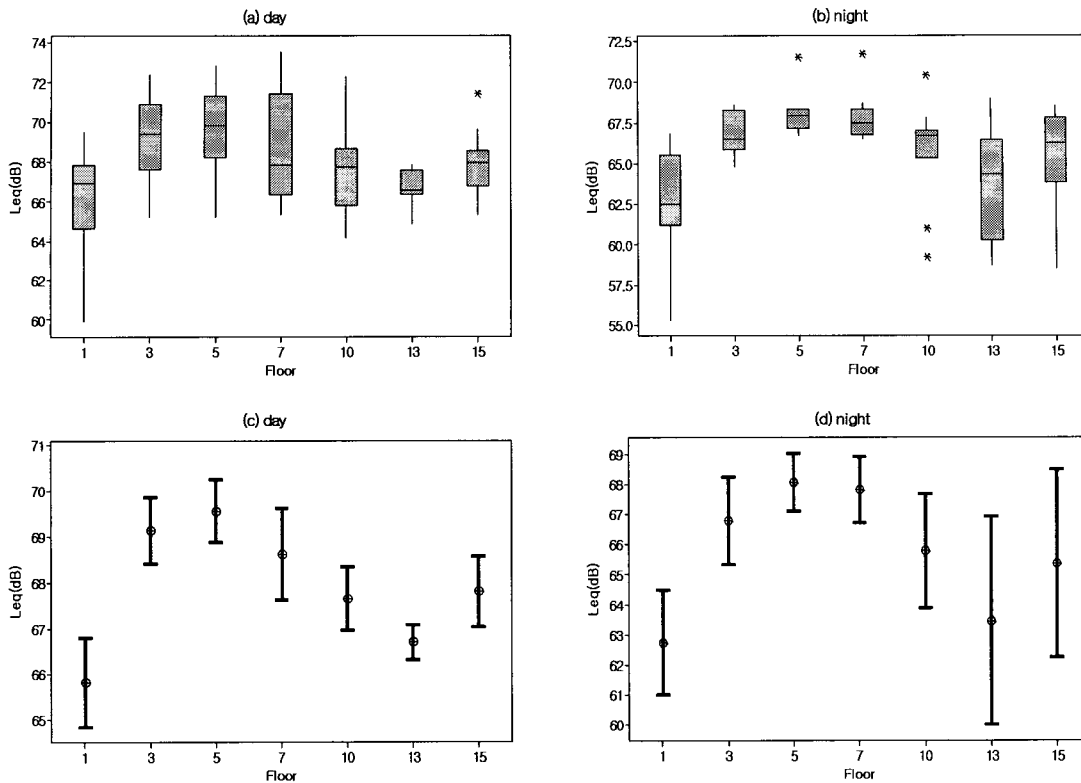


Fig 3. A characteristic of vertical and horizontal distributions on the receptor in the complex apartment.

Table 3. Assessment of normal distribution and basic statistic of noise level on the apartment floor

| Time  | Floor | N   | Mean  | std. d | Min  | Max  | Median | Standard <sup>a)</sup> | Anderson-Darling Normal Distribution |                        |                       |
|-------|-------|-----|-------|--------|------|------|--------|------------------------|--------------------------------------|------------------------|-----------------------|
|       |       |     |       |        |      |      |        |                        | Difference <sup>b)</sup>             | A-square <sup>c)</sup> | P-value <sup>d)</sup> |
| Day   | 1     | 132 | 65.82 | 2.88   | 59.9 | 69.5 | 63.1   | No                     | 2.72 (Right)                         | 0.37                   | 0.368                 |
|       | 3     | 136 | 69.14 | 2.10   | 65.2 | 72.4 | 66.5   | No                     | 2.64 (Right)                         | 0.25                   | 0.592                 |
|       | 5     | 156 | 69.57 | 2.11   | 65.2 | 72.8 | 68.0   | No                     | 1.57 (Right)                         | 0.90                   | <b>0.013</b>          |
|       | 7     | 120 | 68.63 | 2.70   | 65.3 | 73.5 | 67.5   | No                     | 1.13 (Right)                         | 0.70                   | <b>0.026</b>          |
|       | 10    | 164 | 67.66 | 2.20   | 64.1 | 72.3 | 65.8   | No                     | 1.86 (Right)                         | 0.92                   | <b>0.013</b>          |
|       | 13    | 80  | 66.70 | 0.84   | 64.8 | 67.8 | 64.7   | No                     | 2.00 (Right)                         | 0.26                   | 0.567                 |
|       | 15    | 64  | 67.81 | 1.46   | 65.3 | 71.4 | 66.5   | No                     | 1.31 (Right)                         | 0.22                   | 0.691                 |
| Night | 1     | 60  | 62.72 | 3.16   | 55.3 | 66.8 | 67.3   | No                     | 4.58 (Left)                          | 0.64                   | 0.088                 |
|       | 3     | 24  | 66.78 | 1.38   | 64.8 | 68.6 | 69.4   | No                     | 2.62 (Left)                          | 0.59                   | 0.117                 |
|       | 5     | 40  | 68.10 | 1.35   | 66.7 | 71.5 | 69.8   | No                     | 1.70 (Left)                          | 0.34                   | 0.481                 |
|       | 7     | 40  | 67.81 | 1.55   | 66.5 | 71.7 | 67.8   | No                     | 0.01 (Light)                         | 1.20                   | <b>0.005</b>          |
|       | 10    | 48  | 65.78 | 2.98   | 59.2 | 70.4 | 67.7   | No                     | 1.92 (Left)                          | 0.53                   | 0.165                 |
|       | 13    | 28  | 63.46 | 3.74   | 58.7 | 69.0 | 66.6   | No                     | 3.14 (Left)                          | 0.43                   | 0.278                 |
|       | 15    | 28  | 65.40 | 3.38   | 58.5 | 68.5 | 68.0   | No                     | 2.60 (Left)                          | 0.31                   | 0.521                 |

Notes

<sup>a)</sup> Standard: Traffic noise standard in Korea, <sup>b)</sup> Difference: Mean - Median

<sup>c)</sup> A-square: Anderson-Darling Test, <sup>d)</sup> P-value:  $p(F \geq 1)$  (test statistic)

모수 검정의 한 종류로 검정 대상인 분포를 사용하여 기각치를 계산하는 방법(경험적 누적분포함수)인 앤더슨-달링 검정(Anderson-Darling Test)을 사용한 결과 주간(1층, 3층, 13층, 15층)의 소음도는 정규분포를 따랐고( $p > 0.05$ ) 7층, 10층, 13층의 소음도는  $p$ 값이 0.05이하로 정규분포를 따르지 않는다고 추정할 수 있다. 야간의 경우 7층을 제외한 모든 층(1층, 3층, 5층, 10층, 13층, 15층)의 소음도는 유의수준( $\alpha$ )이  $p$ 값 보다 커 정규분포를 따랐다( $p > 0.05$ ). 각 층별 소음도의 데이터에 대한 분포의 큰 값과 작은 값에서 정규성으로부터 이탈을 발견하는데 특히 효과적인 앤더슨-달링 검정(Anderson-Darling Test)을 통하여 주·야간 도로교통소음원으로부터 발생하는 소음이 지면 1.5 m(1층, 수평소음)과 지면 1.5 m 이상(3층 ~ 15층, 수직소음) 수음점에 미치는 분포특성을 파악하는데 유용하다. 정규성 검정을 통하여 수음점에 미치는 층별 소음도가 중

심위치에 있는지 아니면 평균으로부터 퍼져있는지를 확인함으로써 향후 소음평가에 있어서 보다 정확한 예측이 가능하다. 주간(1층, 3층, 13층, 15층)의 소음도는 정규분포를 따랐고( $p > 0.05$ ) 7층, 10층, 13층의 소음도는  $p$ 값이 0.05이하로 정규분포를 따르지 않는다고 추정할 수 있다. 야간의 경우 7층을 제외한 모든 층(1층, 3층, 5층, 10층, 13층, 15층)의 소음도는 유의수준( $\alpha$ )이  $p$ 값 보다 커 정규분포를 따랐다( $p > 0.05$ ). 각 층별 소음도의 데이터에 대한 분포의 큰 값과 작은 값에서 정규성으로부터 이탈을 발견하는데 특히 효과적인 앤더슨-달링 검정(Anderson-Darling Test)을 통하여 주·야간 도로교통소음원으로부터 발생하는 소음이 지면 1.5 m(1층, 수평소음)과 지면 1.5 m 이상(3층 ~ 15층, 수직소음) 수음점에 미치는 분포특성을 파악하는데 유용하다. 정규성 검정을 통하여 수음점에 미치는 층별 소음도가 중

심위치에 있는지 아니면 평균으로부터 퍼져있는지를 확인함으로써 향후 소음평가에 있어서 보다 정확한 예측이 가능하다. 주간(1층, 3층, 13층, 15층)의 소음도는 정규분포를 따랐고( $p > 0.05$ ) 7층, 10층, 13층의 소음도는  $p$ 값이 0.05이하로 정규분포를 따르지 않는다고 추정할 수 있다. 야간의 경우 7층을 제외한 모든 층(1층, 3층, 5층, 10층, 13층, 15층)의 소음도는 유의수준( $\alpha$ )이  $p$ 값 보다 커 정규분포를 따랐다( $p > 0.05$ ). 각 층별 소음도의 데이터에 대한 분포의 큰 값과 작은 값에서 정규성으로부터 이탈을 발견하는데 특히 효과적인 앤더슨-달링 검정(Anderson-Darling Test)을 통하여 주·야간 도로교통소음원으로부터 발생하는 소음이 지면 1.5 m(1층, 수평소음)과 지면 1.5 m 이상(3층 ~ 15층, 수직소음) 수음점에 미치는 분포특성을 파악하는데 유용하다. 정규성 검정을 통하여 수음점에 미치는 층별 소음도가 중

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

Table 4. Pearson correlation analysis by the apartment floor

| Time  | Floor | 1F  | 3F                       | 5F                      | 7F                | 10F                     | 13F                     |
|-------|-------|---|--------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|
| Day   | 3F    | <b>0.741<sup>a)</sup></b><br>(0.000 <sup>b)</sup> ) |                          |                         |                   |                         |                         |
|       | 5F    | <b>0.536</b><br>(0.001)                             | <b>0.534</b><br>(0.001)  |                         |                   |                         |                         |
|       | 7F    | 0.477<br>(0.008)                                    | 0.394<br>(0.031)         | 0.110<br>(0.564)        |                   |                         |                         |
|       | 10F   | 0.415<br>(0.016)                                    | <b>0.562</b><br>(0.001)  | <b>0.879</b><br>(0.000) | 0.061<br>(0.749)  |                         |                         |
|       | 13F   | -0.019<br>(0.936)                                   | -0.143<br>(0.547)        | 0.244<br>(0.300)        | -0.298<br>(0.201) | -0.042<br>(0.860)       |                         |
|       | 15F   | 0.318<br>(0.230)                                    | <b>0.527</b><br>(0.036)  | 0.018<br>(0.946)        | -0.023<br>(0.932) | 0.230<br>(0.392)        | -0.367<br>(0.162)       |
| Night | 3F    | <b>-0.659</b><br>(0.154)                            |                          |                         |                   |                         |                         |
|       | 5F    | 0.479<br>(0.162)                                    | -0.103<br>(0.846)        |                         |                   |                         |                         |
|       | 7F    | <b>0.529</b><br>(0.116)                             | -0.233<br>(0.656)        | <b>0.965</b><br>(0.000) |                   |                         |                         |
|       | 10F   | <b>0.683</b><br>(0.014)                             | <b>-0.861</b><br>(0.028) | 0.280<br>(0.433)        | 0.300<br>(0.400)  |                         |                         |
|       | 13F   | <b>0.855</b><br>(0.014)                             | -0.469<br>(0.348)        | 0.467<br>(0.291)        | 0.468<br>(0.289)  | <b>0.663</b><br>(0.105) |                         |
|       | 15F   | <b>0.684</b><br>(0.090)                             | 0.072<br>(0.878)         | 0.072<br>(0.878)        | 0.221<br>(0.634)  | 0.359<br>(0.429)        | <b>0.557</b><br>(0.194) |

Notes

<sup>a)</sup> Pearson correlation coefficient, <sup>b)</sup> P-value

특히 상관계수는 극단값의 영향을 매우 크게 받아 해석의 오류를 범할 수 있어 본 연구에서는 Fig. 2에서 나타는 특이치(이상치)를 나타냈던 데이터를 제외시켜 분석한 결과를 제시하였다. 주간에서 층별 소음도가 상관관계를 분석한 결과 1층-3층( $r=0.741$ ), 1층-5층( $r=0.536$ ), 3층-5층( $r=0.534$ ), 3층-10층( $r=0.562$ ), 5층-10층( $r=0.879$ ), 3층-15층( $r=0.527$ )로 양의 상관관계를 나타냈다. 야간의 경우 1층-3층( $r=-0.659$ ), 1층-7층( $r=0.529$ ), 5층-7층( $r=0.965$ ), 1층-10층( $r=0.683$ ), 3층-10층( $r=-0.861$ ), 1층-3층( $r=0.855$ ), 10층-13층( $r=0.633$ ), 1층-15층( $r=0.684$ ), 13층-15층( $r=0.684$ ) 등으로 1층-3층, 3층-10층 등을 제외한 모든 층간 소음 가 양의 관계를 나타냈다. Table 4의 결과로부터 층별 소음간 관계가 주·야간 차이를 보인 것은 주·야간 도로교통현황이 현저히 다르고 이런 가변성 소음원이 수음점에 도달사 직접전달, 간접전달(회절, 굴절, 반사 등) 및 기온차이(주·야간) 등 여러 가지 복합적인 관계가 상호 작용된 것으로 판단된다. 특히 주간의 경우 아파트 하부 층과 상부 층간 상관관계가 뚜렷하게 보이지만 중간층과의 상관도는 현저히 떨어지는 것을 확인 할 수 있다. 하지만 야간의 경우는 전반적으로 하부 층-중간 층, 하부 층-상부 층, 중간 층- 상부 층간 소음도 연관성이 넓게 분포되고 있는 것을 확인 할 수 있었다.

### 3.3. 수음점을 고려한 도로 및 단지설계 필요성

도로교통소음은 이동음원으로 시간경과에 따라 속도, 차종구성, 교통량이 다양하여 소음도가 매우 불규칙하게 변하므로 도로폭, 노면성상, 노면포장상태, 도로구배 등과 같은 도로특성, 자동차 속도, 차종구성, 화물적재량, 교통량 등과 같은 교통특성, 도로변의 건물배치, 건물의 폭, 건물 높이, 가로수 식재상태 등과 같은 도로변 특성, 온도, 습도, 바람 등과 같은 기상특성, 지표면의 상태에 따른 지표면특성 등의 여러 요인으로 인하여 도로교통소음을 예측하기란 매우 힘들다. 이와 같은 복잡 다양성으로 인하여 국내에서 개발된 예측식은 새로운 신도시 단지 건설시 건교부에서 제시한 '공동주택의 소음측정기준(건설교통부고시 제463호, '86.10.15)등과 더불어 부정확하고 불합리한 기준으로 평가함에 따라 많은 문제점을 야기하였다.

Table 3에 제시된 결과로부터 모든 층에서 환경기준을 초과하였으며 층별 소음도도 매우 다르게 분포되었기 때문에 일률적으로 지면 1.5m의 수평적 음압분포에 대한 소음기준으로 평가한다는 것은 매우 불합리하다고 판단된다. 따라서 국내는 국외와 달리 고층으로 이루어진 아파트 단지가 많기 때문에 아파트 층별에 따른 소음기준이 마련되어야 한

다. 강 등<sup>14)</sup>은 아파트단지 교통소음측정방안에 관한 연구에서 강북 강변도로 사례에 대한 결과를 제시하였는데 단지내 평면적, 입체적으로 소음이 영향을 미치고 있음을 확인됨에 따라 공간적으로 단지 설계를 제시하였다. 조 등<sup>9)</sup>은 국내 도시개발 및 택지개발에서 많이 사용되고 있는 국립환경과학원식('99)에 대한 평가 및 검증 한 결과 1층을 제외한 모든 층에서 종속변수를 설명할 수 있는 기여율이 60 %이하로 회귀모형의 설명력이 상당히 떨어지는 것이 1.5 m 이상 높이에서 예측식 수평이 필요성을 제기하였다. 따라서 단지 지면 1.5 m에 대한 국내예측식에 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 필요하며 아파트 층별 즉 수음점까지 고려한 단지설계가 필요하다.

## 4. 결 론

본 연구는 국내 단지도로에서 도로교통소음에 대한 통계학적으로 특성을 파악하는 동시에 도로교통소음원이 수음점(아파트)에 미치는 수평·수직 음원 분포특성을 분석한 결과로 다음 아래와 같다.

1) 차종별에 따른 교통량 기여도는 소형 승용차>중형 승용차(소형화물차류)>대형차류>오토바이 순으로 나타났으며 대형차 혼합비율의 경우 주·야간 비교시 주간은 6%, 야간의 경우 3%로 주간에 대형차 혼합율이 2배 이상 크게 나타났다.

2) 전 차종에 대한 차량 속도를 최소, 평균 및 최대로 구분하여 분석한 결과 주·야간 모두 41 ~ 81 km/hr 큰 차이 없이 차량이 운행되었다.

3) 자동차 소음원 변수에 대한 확률변수(Radom variable)를 확률분포(Probability distribution)로 표시하여 그 가변성 변수들의 특성을 파악한 결과 주간의 감마(소형차), 와이블(중형차), 극한값(대형차 및 오토바이) 분포 형태를 나타냈고 야간의 경우 스투던트 t(소형차 및 오토바이), 극한값(중형차 및 대형차) 분포를 나타냈다.

4) 소음원이 수음점에 미치는 음원 분포특성을 분석한 결과 주간에 대한 층별 소음도는 1층에서 증가하다가 5층에서 다시 감소하여 13층에서 다시 증가하는 S자형 패턴을 보여주고 있다. 야간의 경우는 1층과 유사한 패턴을 보였지만 최대 소음도는 5층과 7층 사이에 나타났고 전반적인 패턴은 주간과 유사한 결과를 나타냈다.

5) 1차 모멘트(중심경향성) 특성을 나타내는 정규분포(Normal distribution)를 평가한 결과 주간의 경우 1층, 3층, 13층, 15층의 소음도는 정규분포를 따



랐고( $p>0.05$ ) 7층, 10층, 13층의 소음도는 정규분포를 따르지 않았다( $p<0.05$ ). 하지만 야간의 경우는 7층을 제외한 모든 층(1층, 3층, 5층, 10층, 13층, 15층)의 소음도는 유의수준( $\alpha$ )이  $p$ 값 보다 커 정규분포를 따랐다( $p>0.05$ ).

6) 층별 소음간 관련성을 제시하고자 상관분석을 수행한 결과 주간은 1층-3층( $r=0.741$ ), 1층-5층( $0.536$ ), 3층-5층( $r=0.534$ ), 3층-10층( $r=0.562$ ), 5층-10층( $r=0.879$ ), 3층-15층( $r=0.527$ )로 양의 상관관계를 나타냈다. 야간의 경우 1층-3층( $r=-0.659$ ), 1층-7층( $r=0.529$ ), 5층-7층( $0.965$ ), 1층-10층( $r=0.683$ ), 3층-10층( $r=-0.861$ ), 1층-3층( $r=0.855$ ), 10층-13층( $r=0.633$ ), 1층-15층( $r=0.684$ ), 13층-15층( $r=0.684$ ) 등으로 1층-3층, 3층-10층 등을 제외한 모든 층간 소음가 양의 관계를 나타냈다.

#### 참 고 문 헌

- 1) 환경부, 2002, 국립환경연구원 보도자료
- 2) 서울시, 1988, 보건환경연구원 논문집
- 3) 환경부, 2004, 원주지방환경청 보도자료
- 4) 환경부, 2002, 환경백서
- 5) 환경부, 2006, 중앙환경분쟁조정위원회 보도.
- 6) 조대승, 김진형, 최대목, 오정환, 김성훈, 2002, 고속도로 교통소음 예측 - 전달감쇠 산정, 한국소음진동공학회지, 12(3), 236~242.
- 7) 김병삼, 지창현, 최홍철, 2007, 도로 교통소음의

환경평가 단위인 24시간 등가소음레벨에 대한 적정성 검토에 관한 연구, 한국소음진동공학회, 17(3), 274-281,

- 8) 이내현, 선우영, 조일형, 2006, 아파트단지에서 도로교통소음 예측식 개발 및 검증, 대한환경공학회지, 28(10), 67-73.
- 9) 조일형, 선우영, 이내현, 2006, 아파트단지에서 국립환경과학원 도로교통소음 예측식('99)에 대한 통계학적 평가 및 검증, 대한환경공학회, 28(11), 1198~1206.
- 10) 조일형, 이내현, 조중상, 고정용, 선우영, 박영민, 2006, 학교 정온시설 앞 식물군락 조성지역에서 도로교통소음 특성에 대한 사례연구, 대한환경공학회, 12(28), 1293-1303.
- 11) 강대준, 이재원, 박준철, 2004, 자동차소음 현황과 특성, 한국소음진동공학회지, 14(12), 1249- 1254.
- 12) Tansatcha M., Pamanikabud P., Brown A. L., Affum J. K., 2005, Motorway noise modelling based on perpendicular propagation analysis of traffic noise, Applied Acoustics 66, 1135- 1150.
- 13) Li B., Tao S., Dawson R. W., Cao J., Lam K., 2002, A GIS based road traffic noise prediction model, Applied Acoustics 63, 679-691.
- 14) 강준모, 이성경, 2006, 아파트단지 교통소음측정 방안에 관한 연구, 대한토목학회지, 26(1), 1-11.