

도시 물리적 요소와 도시 환경 소음도의 관계를 연구하기 위한 공간통계분석 방법론 고찰

Spatial statistical analysis of relationship between urban components and urban environmental noise

류훈재* · 정윤식** · 박태호* · 박인권** · 장서일†

Hunjae Ryu, Yunsik Choung, Taeho Park, In Kwon Park and Seo Il Chang

1. 서 론

우리나라를 비롯한 세계 각국의 대도시 지역에서는 교통망의 확장과 고층화 된 빌딩 등의 도시 물리적 요소의 집중화로 인한 소음 노출 문제가 대두되고 있다. 특히 도로 교통은 도시 환경 소음의 주된 원인이라 도시에는 없어서는 안 될 필수 요소이다. 이러한 도로 교통으로 인해 발생하는 도시 환경 소음은 도시를 거미줄처럼 구성하고 있는 도로 교통망을 중심으로 분포하며 이는 도시의 물리적 요소(인구, 건축, 교통, 토지이용 등)의 형태와 구성에 밀접한 관련이 있다. 따라서 현대 도시 계획과 설계를 위해서는 도시 환경 소음의 공간적인 특성 파악이 중요하고 도시 계획 수립을 위한 정책 입안자들에게는 도시의 물리적 요소와 도시 환경 소음간의 관계를 이해하는 것이 필수적이라 하겠다.

최근 유럽에서는 소음 지도를 이용하여 소음과 도시 밀도, 형태 및 교통 탄력성(traffic elasticity) 사이의 통계적인 상관관계 분석 등의 연구가 진행되어 왔다. 하지만 기존의 개별적인 상관관계 연구에서는 자기 상관성 및 변수들과의 복합적인 관계를 간과하였다. 따라서 본 연구에서는 도시 요소의 공간적 특성에 주목하여 도시 물리적 요소와 도시 환경 소음도간의 관계를 공간통계모형을 통해 분석하는 방법에 관해 고찰해 보고자 한다.

2. 연구 방법

공간통계 분석 방법의 절차는 크게 3가지로 볼 수 있다. 첫 번째, 연구 대상지역을 설정하고 동일한 크기의 격자로 나눈다. 각 격자는 소음도와 도시 요소들의 정보를 갖게 된다. 두 번째 단계에서는 나누어진 각 격자의 정보들을 이용해 소음도와 도시 요소들의 공간적인 대푯값을 산정한다. 마지막으로 각 격자의 대표소음도를 종속 변수로, 도시 요소들의 공간적 대푯값을 독립 변수들로 두고 공간적 자기 상관성을 테스트하고 공간통계모형들을 사용해 최적의 모델을 추정한다.

2.1 연구 지역 격자화 및 대표소음도 산정

공간 분석을 위해 선정된 지역을 등간격으로 격자화한다. 도시의 특성과 밀집 수준에 의해 격자의 크기를 정할 수 있으며 합리적인 격자 크기의 결정이 연구 결과에 중요한 영향을 미친다. 분석 시점은 수면 방해 등의 소음 노출에 민감하고 연구 대상 변수 외의 다른 변수가 최대한 통제될 수 있는 야간(22:00~06:00)을 대상으로 한다.

GIS data를 기반으로 연구 지역의 소음지도를 제작한다. 작성된 소음 지도의 facade noise map을 이용하여 격자의 대표소음도를 산정한다.

$$L_{building,j} = \frac{\sum_i p_i L_i}{\sum_i p_i} \quad (1)$$

식 (1)의 $L_{building,j}$ 는 한 건물 어떤 층의 facade에서의 노출 인구(p_i)가 받는 facade noise(L_i)를 인구가중 평균한 소음도이다. 이것을 한 격자에 들어있는 각 건물의 소음도($L_{building,j}$)를 평균한 값이 각 격자의 대표소음도로 쓰인 식 (2)의 인구가중평균 소음도($L_{av, pop}$)이다.

† 교신저자; 정희원, 서울시립대학교 환경공학부

E-mail : schang@uos.ac.kr

Tel : (02) 6490-2865, Fax : (02) 6490-5440

* 서울시립대학교 에너지환경시스템공학과

** 서울시립대학교 도시행정학과

$$L_{av, pop} = \frac{\sum_j^{N_{building, cell}} L_{building, j}}{N_{building, cell}} \quad (2)$$

2.2 도시 물리적 요소의 공간 분석

각 격자의 도시의 물리적 요소(인구, 건축, 교통, 토지이용 등)는 GIS data를 기반으로 개별 격자에 산정한다. 먼저 인구 데이터 산정을 위해 각 격자에 포함된 건물의 종류중 주거용 건물을 파악한다. 격자의 대표 인구수(P_{cell}) 산정은 식 (3)과 같이 각 셀별 주거용 건물에 면적 및 층수를 고려해 배치한 노출 인구수(p_i)를 합산해 건물 인구수를 산정하고 각 셀 안의 건물의 인구수를 합산하여 산정한다.

$$P_{cell} = \sum_j^{N_{building, cell}} \sum_i P_{i, j} \quad (3)$$

건물 관련 데이터는 건축 밀도의 지수로 쓰이는 용적률(floor area ratio, FAR)과 건폐율(building coverage ratio, BCR)의 개념을 사용하여 FSI(floor space index)와 GSI(ground space index)를 산정한다.

$$FSI = \sum F_{building} \quad (4)$$

식 (4)에서 $\sum F_{building}$ 은 한 격자 안의 모든 건물의 바닥 면적의 합을 나타낸다. 즉 각 건물의 바닥 면적은 대지 면적에 층수를 곱한 값과 같다.

$$GSI = \sum G_{building} \quad (5)$$

식 (5)에서 $\sum G_{building}$ 은 한 격자 안의 모든 건물의 대지 면적의 합을 나타낸다.

교통 관련 데이터는 야간평균도로교통량(Q_n), 대형차량혼입율(P_h), 교통밀도(D_t), 도로면적(R_a), 도로길이(R_l)를 사용한다. 여기서 교통밀도는 식 (6)과 같이 야간전체도로교통량을 차량평균속도(V_a)로 나눈 값으로 산정한다.

$$D_t = \frac{Q_n}{V_a} \quad (6)$$

마지막으로 토지이용도 관련 데이터 산정을 위해 지역을 주거지역(L_R), 상업지역(L_B), 공업지역(L_I), 녹지지역(L_G)으로 구분하고 식 (7)과 같이 각 셀 안의 네 가지의 토지 이용 비율이 1이 되게 한다.

$$1 = L_R Ratio + L_B Ratio + L_I Ratio + L_G Ratio \quad (7)$$

2.3 공간 통계 분석

공간적으로 서로 인접한 곳에서 발생하는 현상은 영향을 미치게 되어 대부분 유사한 값을 가지는 특성이 있다. 공간 통계는 이러한 공간적 자기상관성(spatial auto correlation)을 고려하여 공간의 형성 과정에 있어 공간적인 상호작용과 공간적인 의존관계를 고려한 분석 방법이다. 공간적 자기상관이 일어나는 이유로는 공간적인 자의성과 공간요소들의 상호작용에 의해서이다. 이러한 공간적 특성을 무시하고 일반적 통계모형으로 분석을 수행할 경우 공간적 자기상관으로 인해 분석 결과가 왜곡될 가능성이 크다. 따라서 본 연구는 공간가중행렬을 생성하여 종속변수인 소음도가 공간적으로 인접한 소음도에 자기 상관이 있는지 Moran's I 검정을 통해 확인하여 보고 공간자기회귀모델(spatial autoregressive model, SAR)과 공간오류모델(spatial error model, SEM) 및 그 둘의 혼합 모델인 공간자기상관모델(spatial autocorrelation model, SAC)을 이용하여 공간적으로 설명력이 높은 추정을 하는 것이 목적이다. 공간가중행렬은 GIS를 이용하여 각 그리드의 Id를 기준으로 면에 접한 셀 및 모서리를 이웃으로 정의하여 만든다. 식 (8)과 (9)는 공간가중행렬을 사용하여 공간자기상관을 통제할 수 있는 공간통계모델인 SAC 모델을 보여준다.

$$y = \rho Wy + X\beta + u \quad (8)$$

$$u = \gamma Wu + \epsilon \quad (9)$$

여기서 y 는 종속변수인 소음도이고 X 는 독립 변수들인 도시 물리적 요소이며 u 는 공간자기상관을 갖는 오류항, ϵ 는 공간자기상관이 없고 등분산성을 갖는 전형적인 오류항이다. 또한 W 는 공간가중행렬, β 는 회귀 계수, ρ 와 γ 는 공간자기상관 계수이다. 이 ρ 와 γ 값이 클수록 이웃의 영향이 큰 것을 의미하며, 이는 바로 공간적 의존성의 척도이다.

3. 연구 적용

위 방법을 대상 지역에 적용하여 최적의 모델을 도출해 낸다. 향후 도시 유형별로 대표 모델을 구축하게 되면 새로운 도시 계획 시 비싼 공학적 모델링보다 비용 면에서 효율적인 사전평가도구로 유용하게 쓰일 것이다.