

대기오염지수와 도시공간구조 특성에 관한 연구: 서울시 토지이용과 교통자료를 바탕으로

이원도* · 원종서* · 조창현**

요약: 최근 심각한 사회문제가 되고 있는 도시환경 문제 해결을 위해, 이를 효과적으로 관리하는 방안이 활발히 연구되고 있다. 환경 지표는 환경을 정량적인 지표로 측정하는 수단으로서, 환경 정책 및 의사결정의 근거로 활용하고 있다. 이 중 대기질 지표는 대기오염 지수를 통해 공기가 얼마나 오염되어 있는지를 표준화하는 지수이다. 우리나라는 미국의 AQI를 국내 대기환경 기준으로 변환한 AEI를 개발하여 대기오염의 정도를 측정한다. 이에 본 연구는 우리나라의 대표 도시인 서울을 연구 지역으로 선정하고, 대기오염 지수와 도시공간구조 특성인 행정동별 토지이용 및 교통 자료 간의 상관성 분석을 시행하였다. 이를 위해 서울시 대기오염 자동 측정망을 통해 측정된 2007년 대기오염 측정 자료를 바탕으로 공간내삽법인 IDW에 의해 전체적인 경향면을 생성하고, 회귀분석, GWR 그리고 대기오염 물질별 시계열적 농도 변화를 분석하였다.

주요어: 대기오염, AEI, 도시공간구조, 대기오염자동측정망, 공간내삽법, IDW, GWR, GIS

1. 서론

1) 연구배경

도시의 인구 및 소득의 증가, 교통망 발달이 진행되면서 급격한 도시화가 발생되었고, 그에 따른 인구의 집적은 기존에 경험해보지 못했던 심각한 도시 문제를 야기했다(권용우 외, 2004). 우리나라의 경우, 수도권 집중 개발이 시행되어 수도권 일대의 높은 인구 밀도와 기능의 집중을 통한 거대도시화가 진행되었다. 거대도시화가 진행되면서 수도권 도시화의 공간적 범위는 계속해서 확산되었고, 도시 내부 특정

지역의 과밀과 집중화로 인한 문제가 발생하였다(임은선 외, 2006). 이러한 도시 문제 중 가장 사회적으로 시급하고 직접적인 문제는 바로 '환경'이다.

유엔환경개발회의(UNCED)는 이러한 환경 문제의 심각성을 인식하고, 이를 효과적으로 관리하기 위하여 환경 지표를 측정 수단으로서 환경 정책 및 지속 가능한 개발을 위한 의사결정의 근거로 활용하고 있다(조덕호 외, 2004). 우리나라의 경우, 90년대 수도권의 산업 활동과 자동차의 증가에 따른 미세먼지와 이산화질소, 오존 등의 2차 오염 물질의 오염도의 증가를 우려하여, 환경부가 2003년 '수도권 대기환경개선에 관한 특별법'을 제정하여 2005년 1월부터 시행

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2010-0029444)

* 경희대학교 지리학과 대학원생

** 교신저자, 경희대학교 지리학과 부교수

하고 있다(환경부 국립환경과학원, 2009).

이렇듯 환경 지표는 도시의 상태를 나타내는 사회적 지표의 하나이며, 정량적으로 환경을 평가하기 위한 도구로서 활용되고 있다. 환경 지표에는 수질, 대기질, 녹지, 인구 등 다양한 지표가 존재하며, 본 연구에선 환경 지표 중 대기질의 수준을 나타내는 대기오염 지수를 통해 도시공간구조의 특성을 살펴보고자 한다. 대기오염 지수는 공기가 얼마나 오염되어 있는지를 정량화하는 표준화된 지수로, 비전문가인 주민이 쉽게 이해할 수 있도록 하며, 대기 중 오염 물질이 부적절한 농도에 도달했을 때, 주민들이 취할 수 있는 행동 강령을 제시하는데 그 목적이 있다(USEPA, 2000). 대표적인 대기오염 지수로는 미국의 PSI(Pollutant Standard Index), AQI(Air Quality Index)가 있으며, 우리나라의 경우 국내 실정에 맞도록 미국 AQI의 산정 방법과 기준을 바탕으로 AEI(Air Environment Index)를 개발하였다(박상찬 외, 2007). 또한 환경부에서는 이러한 대기오염도 측정치를 국민이 쉽게 알 수 있도록 하고, 피해를 예방하기 위해 대기오염도에 따른 인체 위해성과 대기환경 기준을 고려한 통합 대기환경 지수(CAI, Comprehensive Air-Quality Index)를 웹사이트를 통해 공개하고 있다. 본 연구에서는 미국의 AQI지수를 국내 대기환경 기준을 바탕으로 수정한 AEI를 통해 대기오염 지수를 산정하였다.

2) 선행연구 고찰

기존연구에선 국내 대기환경 지수 설정 문제에 대한 논의가 활발히 진행되었고, GIS를 활용하여 대기오염 지수와 토지이용, 대기오염 지수의 시계열적 변화에 관련된 연구가 진행되었다. 최진무(1998)는 대기오염 배출량 추정을 위해 GIS를 활용하여 토지이용과 대기오염 물질 배출계수를 통해 대기오염 배출량을 추정하는 연구를 시행하였고, 실관측치와의 비교를 통해 추정된 결과의 정확도를 확인하였다. 특히, Brauer M., et al.(2008)와 Leem J. h., et al.(2006)

는 대기오염의 정도를 추정하는 연구에서 각각 공간내삽법인 IDW 방법과 Kriging 방법을 활용하여 대기오염의 경향면을 분석하였다.

하지만 선행연구의 대부분은 분석 단위가 거시적으로 설정되어, 도시공간의 세분화된 대기오염 측정에 한계를 지닌다. 또한, 토지이용 자료의 경우, 대부분 격자 체계(grid)를 통해 분석함으로써 실제 지역의 토지이용 현황 파악에 취약하다. 이에 본 연구에선 도시공간구조의 행정동별 토지이용 및 교통 자료를 바탕으로 대기오염 지수와 상관을 살펴보고자 한다. 이를 통해 미시적 단위에서 대기오염 지수와 두 지표간의 상호 관련성에 대해 살펴볼 수 있을 것으로 생각된다.

2. 연구개관 및 분석방법

1) 연구개관

본 연구에선 대기오염 지수 산정을 위해 우리나라의 대표적인 도시 지역인 서울시를 선정하였다. 서울시 대기오염 지수는 2007년에 수집된 서울시 대기오염 자동 측정망 자료를 바탕으로 2007년의 평균 AEI를 산출하였다. 서울에 위치한 27개의 대기오염 자동 측정망은 매일 한 시간 단위로 대기오염 항목을 측정한다(표 1, 그림 1).

AEI는 일일 대기오염 수준을 나타내는 척도로서, 미국 대기환경부(Environmental Protection Agency)에서 개발하여 이용하는 AQI를 우리나라의 대기환경 기준의 평균값으로 나누어 계산한다(백성옥외, 2006). 계산에 사용되는 대기오염 항목은 이산화황(SO₂), 일산화탄소(CO), 이산화질소(NO₂), 미세먼지(PM₁₀), 오존(O₃)의 총 5가지 항목으로 구성되어 있으며, 대기환경 기준의 평균값(표 2)을 나누어 그 값이 100을 넘어가게 되면 건강에 부정적인 영향을 미치는 것으로 판단한다(표 3). 도시공간구조의 지역별

표 1. 측정망코드 및 측정소명

측정망코드	측정소명	측정망코드	측정소명	측정망코드	측정소명
111121	정동	111171	방학동	111251	신림동
111123	효계동	111181	불광동	111261	도곡동
111131	한남동	111191	남가좌동	111262	반포동
111141	구의동	111201	마포구	111271	잠실동
111142	성수동	111212	화곡동	111273	방이동
111151	면목동	111221	구로동	111274	천호동
111152	용두동	111222	궁동	111281	시흥동
111161	길음동	111231	당산동	111291	변동

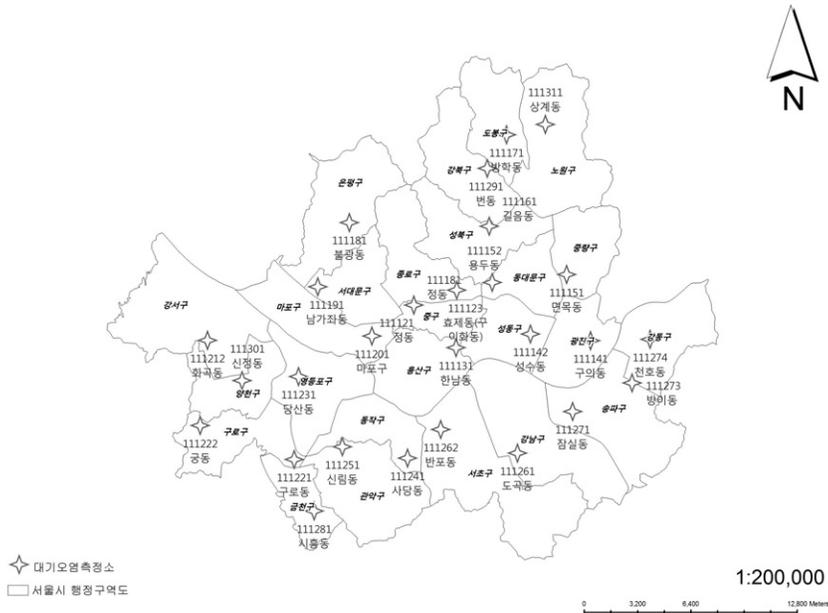


그림 1. 서울시 대기오염 자동 측정망 현황(2007)

표 2. 대기오염 항목별 국내 대기환경기준

항목	1시간 평균	8시간 평균	24시간 평균
아황산가스 SO ₂ (ppb)	150ppb 이하		50ppb 이하
일산화탄소 CO(ppm)	25ppm 이하	9ppm 이하	
이산화질소 NO ₂ (ppb)	100ppb 이하		60ppb 이하
미세먼지 PM ₁₀ (ug/m ³)			100ppb 이하
오존 O ₃ (ppb)	100ppb 이하	60ppm 이하	

표 3. AEI와 AQI의 비교

국가	지수	점수	구간	양호	보통	민감군 영향	나쁨	매우 나쁨	위험
한국	AEI	0-100	5등급	0-20	21-40	.	41-60	61-80	81-100
미국	AQI	0-500	6등급	0-50	51-100	101-150	151-200	201-300	301-500

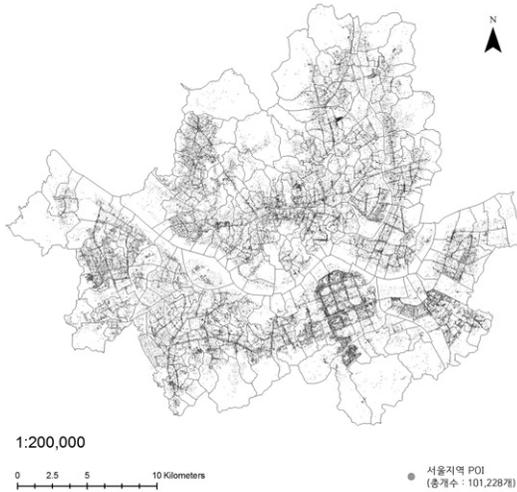


그림 2. 서울시 건물속성별 점자료(2008)

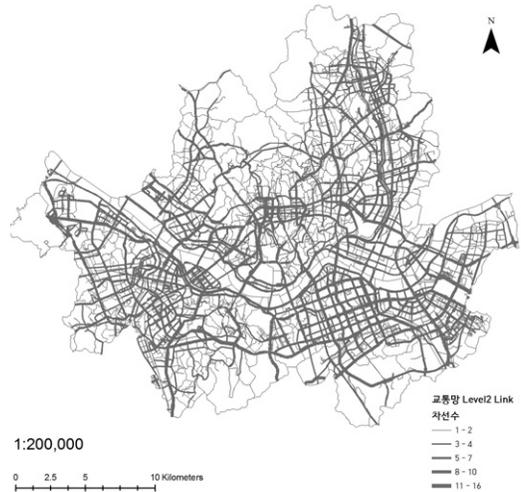


그림 3. 서울시 차선수별 도로현황(2008)

표 4. 분석자료 현황

자료명	산출방법	분석자료	평가항목
대기오염지수	IDW	대기자동측정망 측정자료(2007)	- 행정동별 AEI지수
토지이용자료	행정동별 분포현황	건물속성별 점자료(2008)	- 공공기관, 교육기관, 금융기관, 레저시설, 문화시설, 상업시설, 음식점, 주거시설
교통자료	2차선 이상 도로 길이의 합	교통주제도(2008)	- 2차선 이상 도로 길이의 합

특성을 살펴보는 자료로는 건물속성별 점자료(그림 2)를 통해 행정동별 토지이용 현황을 파악하고, 도로 현황 자료(그림 3)를 바탕으로 2차선 이상의 도로의 합을 행정동별 교통 지표로 분석한다. 최종적인 분석 자료의 현황은 표 4와 같다.

2) 분석방법

(1) AEI산정

AEI는 각 대기오염 물질에 대한 평균값을 환경 기준의 평균값으로 나누어 계산한다(표 5). 지수 산정을 위해 1시간, 8시간, 24시간 평균 AEI를 계산하여, 그 중에서 가장 높은 값이 특정일의 AEI로 산정된다.

표 5. AEI 산정방법

항목	1시간 평균 AEI	8시간 평균 AEI	24시간 평균 AEI	특정일 AEI
SO ₂ (ppb)	① [1h] highest/150ppb		⑦ [24h] highest/50ppb	max ①~⑨
CO(ppm)	② [1h] highest/25ppm	⑤ [8h] highest/9ppm		
NO ₂ (ppb)	③ [1h] highest/100ppb		⑧ [24h] highest/60ppb	
PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			⑨ [24h] highest/100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	①~⑨값 중에서 가장 높은 값
O ₃ (ppb)	④ [1h] highest/100ppb	⑥ [8h] highest/60ppb		
AEI	항목의 평균 값 중에서, 가장 높은 값이 “그 날의 1시간 평균”이 된다.	항목의 8시간 평균 집단의 값 중에서, 가장 높은 값이 “그 날의 8시간 평균”이 된다.	항목의 평균 값 중에서, 가장 높은 값이 “그 날의 평균”이 된다.	

(2) 공간내삽법

공간내삽법이란 구하고자 하는 지점의 값을 관측을 통해 얻어진 주변 지역의 관측 값으로부터 내삽 함수를 적용하여, 실측되지 않은 지점의 값을 합리적으로 추정하는 계산 방법이다. 공간내삽법은 ‘거리가 가까울수록 영향력이 높으며, 멀리 떨어질수록 영향력이 감소한다’는 거리조락의 개념을 토대로 하고 있다. 즉, 공간상에서 근접해있는 지점들일수록 멀리 떨어져있는 지점들보다 유사한 값을 갖는 강한 긍정적 자기상관성에 따라 내삽법을 통해 실측되지 않은 지점의 값을 추정하는 것이다. 공간내삽법은 주로 표본추출한 지점들의 데이터를 토대로 하여 관심 대상 전체 지역에 대한 표면을 표현하기 위해 규칙적인 그리드(grid) 데이터 구조를 구축하려는 경우에 주로 활용된다. 즉, 표본 지점을 통해 얻어진 불연속적인 데이터로부터 연속적인 표면을 표현하기 위해 내삽법을 사용하는 것이다. 이러한 공간내삽법은 표면을 보다 효과적으로 표현하기 위한 알고리즘이라고 볼 수 있으며, 대기오염 측정망의 자료는 표본추출하여 얻어진 자료이므로 관심 대상 전체 지역에 대한 대기오염 정도의 분포 및 현황을 이해하기 위해서는 연속적인 데이터 구축이 필요함에 따라 공간내삽법을 활용하여 분석을 시도하였다.

공간내삽법 중 본 연구에선 IDW(역거리 가중,

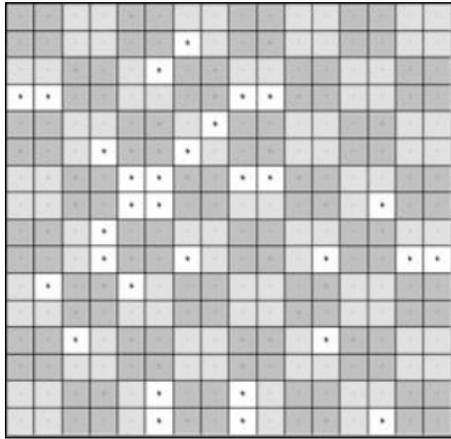
Inverse Distance Weighting) 내삽법을 사용하였다. IDW는 서로 가까이 위치한 지점들은 멀리 떨어져 있는 지점들보다 일반적으로 더 유사한 공간 특성을 갖는다는 특성에 근거하여 관측 지점과 내삽 지점 사이의 거리에 따라 가중치를 주는 방법이다. 선행 연구(Brauer M. *et al.*, 2008)에서도 IDW 내삽법을 활용한 바 있다. 가중치는 일반적으로 역거리 제곱을 사용하며, 내삽 지점 주위로 일정 기준에 따라 이웃을 설정하고, 이에 포함된 대기오염 자동 측정망을 기초로 내삽 과정을 거쳐 연속면을 작성한다. 그리고 작성된 연속면에서 일정한 간격 격자의 대기오염 값을 추정하여 연속면을 생성한다.

$$\hat{Z}(x_j) = \frac{\sum_{i=1}^n \hat{Z}(x_i) d_{ij}^{-2}}{\sum_{i=1}^n d_{ij}^{-2}}$$

x_j : 내삽지점, x_i : 관측지점, d_{ij} : 내삽지점과 관측지점 간의 거리

(3) 지리적 가중 회귀분석

지리적 가중 회귀분석(이하 GWR)은 공간적 이질성(spatial heterogeneity)을 바탕으로 지리적 종속변수와 독립변수의 관계를 정량화한다. GWR은 공간적 변수를 나타내는 근린가중치 행렬(weighted matrix,



공간패턴

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
3	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
4	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0
5	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0
6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
7	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
8	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0
9	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1
10	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0

인접 행렬 (Adjacency matrix, W)

그림 4. 공간패턴에 의한 근린 가중치 행렬

출처: Micheal J de Smith *et al.*, 2007, Geospatial Analysis, SPLINT, p.228 재구성

W)이 회귀식에 포함된다. 근린가중치 행렬은 W로 표현되고, W_{ij} 는 단위구역 i 와 j 간의 근린 정도를 나타낸다(그림 4). W를 구성하는 가장 기본적인 형태는 이진 연결성(binary connectivity)으로, 두 개의 면이 인접하면 1, 인접하지 않으면 0의 가중치를 부여하는 것이다. 본 연구에선 대기오염 지수와 토지이용 항목별 시설 수를 바탕으로 GWR을 시행하였다. GWR 모델은 공간적 의존성이 반영되지 않은 전역적인 회귀 분석에서 설명하지 못한 오차항에 대한 공간적 요소를 포함시켜 분석하므로, 국지적 공간 관계에 대한 설명력 높은 분석을 가능케 한다.

AEI 연속면을 생성하였다(그림 5). 생성된 연속면에서 AEI 값은 최소 22.14(보통)~최대 55.13(나쁨)값으로 추정되었다. 지수 값이 제일 높게 나타난 지역은 마포구 일대(대흥동, 염리동, 신수동)로, 제일 낮은 지역은 노원구 일대(상계동, 중계동)로 나타났다. 행정동별 상·하위 10개를 추출하여 토지이용별 시설 수를 살펴본 결과(그림 6), 차이가 명확하게 드러났다. 대기오염 지수가 높은 곳에서 시설 수가 훨씬 많은 것을 알 수 있었고, 특히 상업 시설 및 음식점, 주거 시설의 경우 시설 수에서 2배 이상의 격차를 보였다.

3. 도시공간구조와의 상관성 분석

1) 토지이용

(1) IDW연속면 생성

서울시 대기오염 자동 측정망 27개소에서 측정된 2007년 자료를 공간내삽법-IDW를 사용하여 연평균

(2) 회귀분석

대기오염 지수와 토지이용 간의 상관관계를 분석하기 위해 선형회귀분석을 실시하였다. 행정동별 대기오염지수는 생성된 연속면을 바탕으로 각 행정동별 중심점의 값을 추출하여 이를 종속변수로 설정하고, 각 토지이용 항목 시설 수를 독립변수로 작성된 회귀모형의 결과는 아래 표 6, 7과 같다. 회귀모형 추정 결과, 대기오염 지수와 토지이용 간 상관관계는 매우 낮음을 알 수 있다. 결정계수인 R^2 값이 0.017에

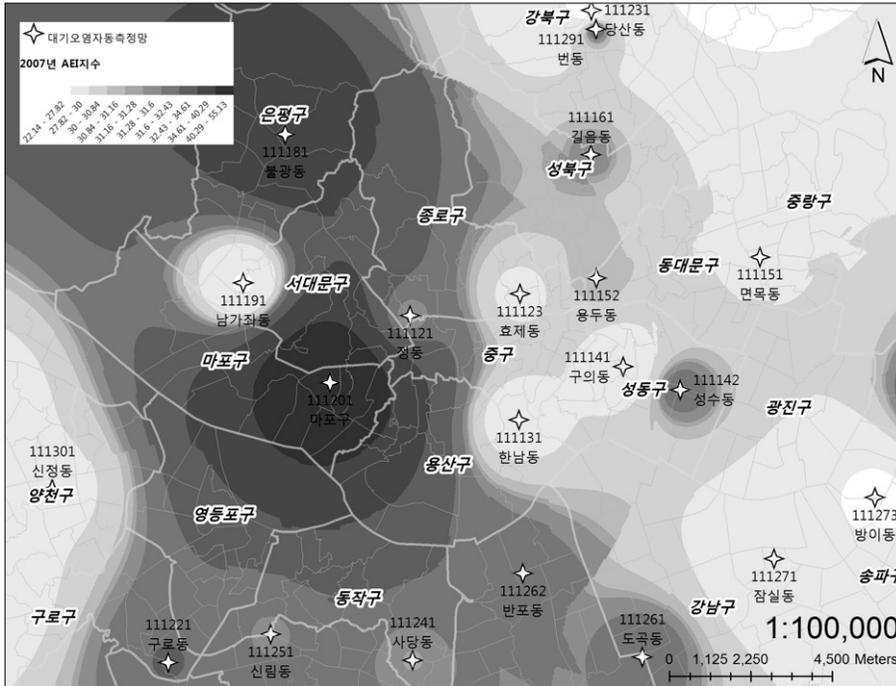


그림 5. 2007년도 AEI지수 IDW연속면

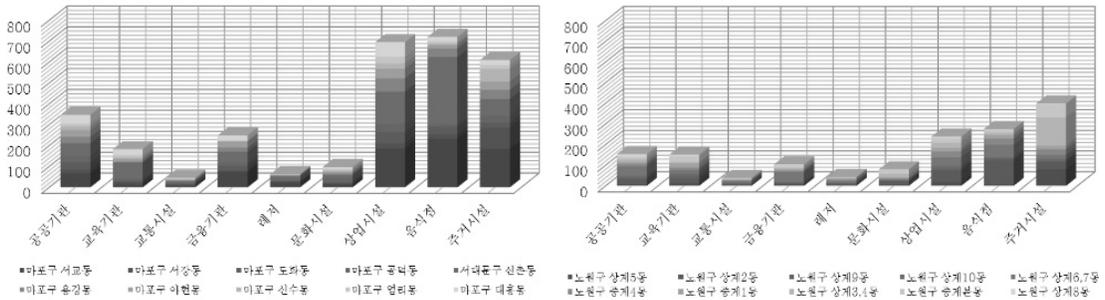


그림 6. 상·하위 10개소 토지이용별 시설 수

표 6. 회귀모형

모형	R	R제곱	수정된 R제곱	추정값의 표준오차
1	.195a	0.038	0.017	3,342998213

a. 예측값: (상수), 공공기관, 교육기관, 교통시설, 금융기관, 레저, 문화시설, 상업시설, 음식점, 주거시설

b. 종속변수: AEI_2007

표 7. 분산분석

모형요약

모형	통계량변화량					Durbin-Watson
	R 제곱변화량	F 변화량	df1	df2	유의확률F변화량	
1	0.038	1.81	9	414	0.065	0.083

b. 종속변수: AEI_2007

불과해, 약 2%의 설명력만을 지니고 있다고 해석된다. 또한 Durbin-Watson값이 0에 가까움에 따라 독립변수 간 양의 자기 상관관계가 의심되는 것으로 나타났다.

(3) GWR

전역적인 회귀분석에선 대기오염 지수와 토지이용 항목과의 상관성이 거의 없다고 측정되어, 공간적 의존성이 반영된 GWR을 실행하였다. GWR 분석의 결과가 기존 회귀분석에서 이용하는 최소자승법(OLS, Ordinary Least Squares) 추정치보다 높은 설명력을 확인하기 위해 일정한 평가 과정을 거쳐야 한다. 평가 방법으로는 모평균과의 분산의 차이를 분석하는 ANOVA 분석과 각 모델의 AIC(Akaike Information Criterion)의 값을 비교하는 방법이 있다. ANOVA의 경우, OLS와 GWR의 잔차를 비교함으로써 설명력의 차이를 확인한다. 이때, GWR 모델이 Global 모델에 비해 개선점이 없다고 귀무가설을 설정하고 F-test를 시행하면 모델이 어느 정도 개선이 되었는지 평가할 수 있다. AIC는 예측된 통계 모델의 적합도를 평가하기 위해 제안된 개념으로써, Akaike(1972)가 제안하였다. AIC값은 모집단 p 값에서 최대 가능 예측치인 L 의 값의 차를 통해 산출되며, 값의 절대량은 의미가

없으며 모집단을 어느 정도 예측하는가의 수준을 살펴보는 것으로, 값이 낮을수록 더 나은 모델이라 평가할 수 있다(정우화, 2009).

평가 결과, 본 연구에서 사용된 GWR 모델은 Global 모델보다 향상된 값을 지니는 것으로 두 가지 측면에서 확인되었다. 첫째, ANOVA 분석 결과 GWR 모델이 OLS보다 잔차의 값이 줄어든 것을 확인할 수 있었으며, F-test에서도 유의한 값을 보였다(표 8). 둘째, AIC와 R^2 를 통해 살펴본 결과 GWR 모델에 Global 모델보다 AIC값이 낮게 측정되었으며, 설명계수 R^2 가 약 0.72로서 Global 모델보다 훨씬 높은 72%의 설명력을 지닌다고 해석할 수 있다(표 9).

추정값의 공간적 차이를 살펴보기 위해 설명계수와 표준편차를 도식화하여 살펴본 결과(그림 7, 8)는 다음과 같다. 설명계수는 서울 외곽지역에서 높게(40~60%) 나타났으며, 도심 내부지역에서 낮음(5~10%) 결과를 보였다. 해석력이 높은 지역은 구로구(오류2동, 개봉3동, 수궁동 등) 일대로서 토지이용 시설 중 상업 시설의 수가 가장 높게 나타났다. 이와는 대조적으로, 해석력이 낮은 지역인 성북구(성북동), 강남구(논현1동)일대는 주거 시설의 수가 가장 많았다. 표준편차 값은 -3보다 작거나 +3보다 큰 경우 이상치(outliner)로 간주될 수 있으며, 관측치가 유의하지

표 8. ANOVA

	SS	DF	MS	F
OLS Residuals	4626.7	10.00		
GWR Improvement	3774.4	147.13	25.6536	
GWR Residuals	852.3	266.87	3.1936	8.0328

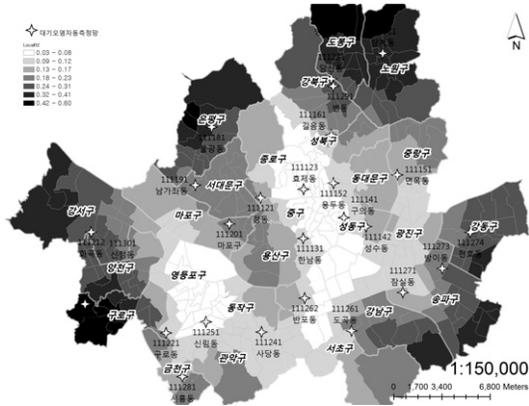


그림 7. 대기오염지수-토지이용 설명계수

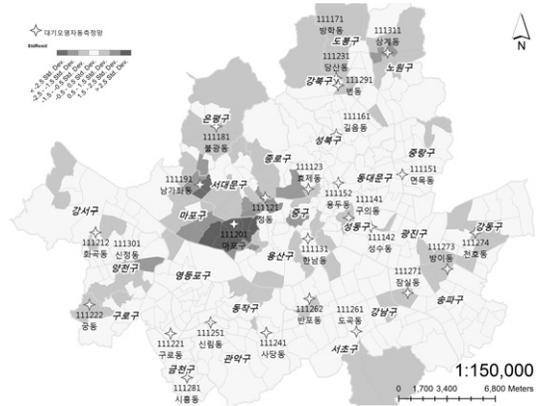


그림 8. 대기오염지수-토지이용 표준편차

표 9. Global 모델과 GWR 모델의 분석 결과

Global 모델	AIC	2239,204966
	R ²	0,014555
GWR 모델	AIC	2005,555305
	R ²	0,718018

않거나 관심을 갖고 확인할 필요가 있는 지역이다. 본 연구에서 표준편차 값이 -3보다 작거나 +3보다 큰 값에 해당되는 지역은 마포구(공덕동, 서교동)로서 그 값이 +2.5를 초과해 나타났다. 이는 해당 지역의 대기오염 지수가 다른 지역보다 매우 높거나, 일반적인 경향과는 다른 토지이용 패턴을 지니고 있는 것으로 해석될 수 있다.

2) 교통

교통과의 상관성 측정을 위해 2007년 AEI값 중 제일 높은 1월 16일을 선택하여, 대기오염 물질별 시계열적 농도 변화를 살펴보았다(그림 9). 선행 연구에서는 수도권의 대기오염이 선진국 기준으로 미세먼지 농도가 약 1.8~3.5배, 이산화질소 농도는 약 1.7배 수준으로 매우 심각하다고 경고하였고, 교통(수송 부

문)으로 인해 발생하는 직접적인 대기오염 물질을 이산화질소, 일산화탄소로 규정하였다(환경부 국립환경과학원, 2010). 실제 하루 동안의 대기오염 물질의 시계열적 농도변화를 살펴본 결과, 교통으로 야기되는 대기오염 물질의 최대값은 국내 대기환경 기준 1시간 평균값의 2배 이상을 보이는 것으로 측정되었다(표 10). 대기오염 물질 중 교통과 연관된 대기오염 물질(일산화탄소, 이산화질소, 미세먼지)은 대부분 10~12시에 가장 높고, 15~17시에 가장 낮게 나타났다. 다른 대기오염 물질은 대체적으로 14~16시에 가장 높게 나타나는 특성을 보였다. 일산화탄소 농도 변화 중 가장 특징적인 것은 마포구 대흥동이 다른 지역보다 확연히 높은 농도 값을 보이고 있다는 점이다. 이는 자동 측정망으로 인한 과대 추정이 발생하였거나, 특정 이벤트(event)로 인해 나타난 특성으로 생각된다. 또한, 대기오염 물질별 최대값이 나타난 지역의 2차선 이상의 도로 길이의 합을 살펴본 결과, 오히려 서울시 평균치(8312m)에 못 미치는 곳이 많았다. 따라서 대기오염 지수의 농도와 2차선 이상 도로 길이의 합은 서로 상관성이 없는 것으로 생각된다.

위의 분석을 바탕으로 대기오염과 교통은 다음과 같은 특성을 지닌다. 첫째, 교통으로 유발되는 대기

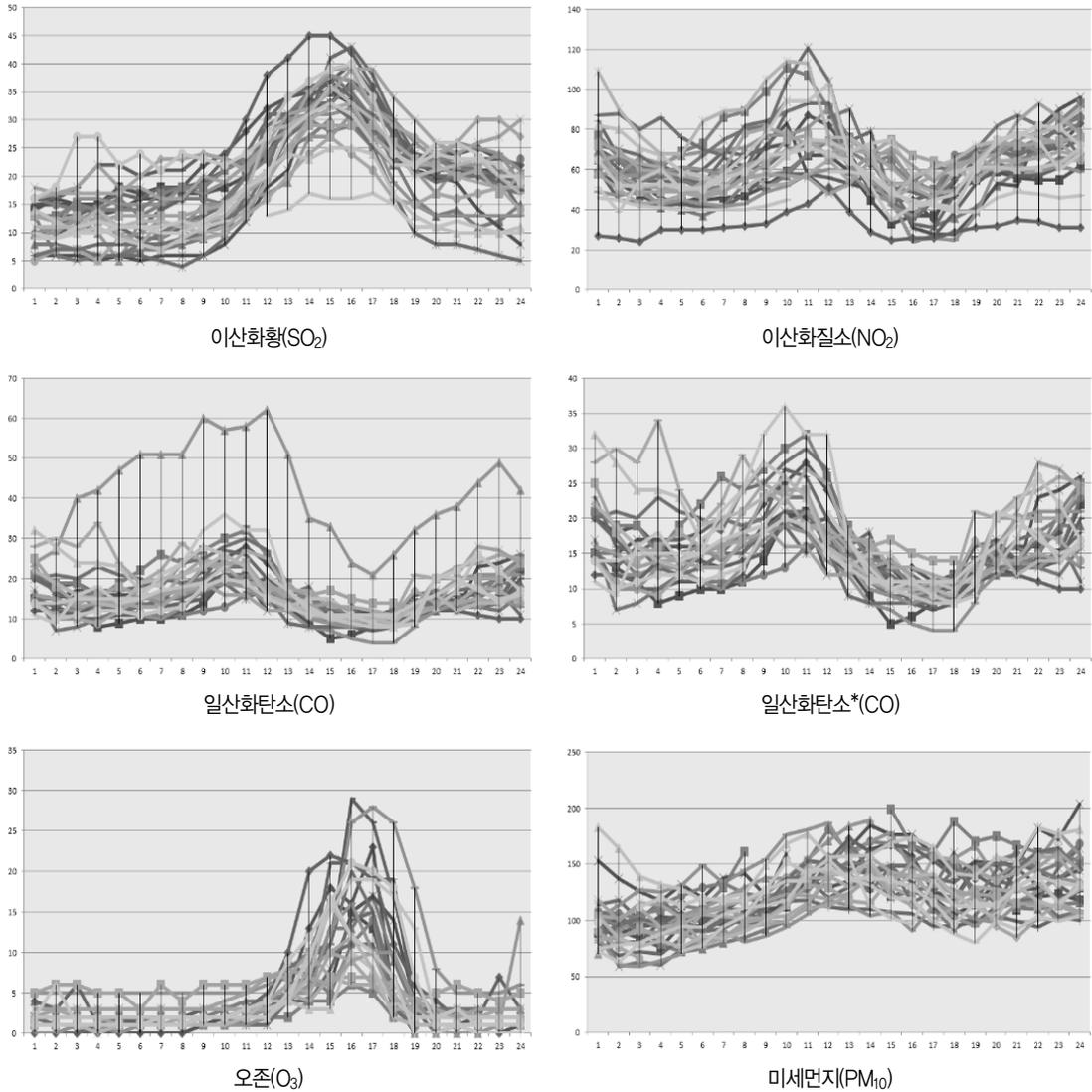


그림 9. 대기오염물질별 시계열적 농도변화(2007. 1. 16)

* 마포구 측정소 제외 한 결과

오염 물질 농도는 하루 중 10~12시에 가장 높으며, 15~17시에 가장 낮은 특성을 지닌다. 이러한 특성은 하루 중 통근·통학으로 인해 10~12시에 오염도가 높게 측정되며, 실내 활동 및 업무로 인해 15~17시에 오염도가 낮게 측정된다고 해석할 수 있다. 둘째, 지

역별 2차선 이상 도로 길이의 합과 대기오염지수와는 상관성이 없다. 따라서 향후 연구에서는 교통 지표 중 도로 밀도 및 도로 접근성 등 공간적 요소를 고려하여 대기오염 지수와와의 상관성 분석을 시행해야 할 것이다.

표 10. 대기오염농도 최대값, 측정소, 2차선 이상 도로 길이

항목	1시간 평균값	최대값	해당시간	측정소	2차선 이상 도로 길이의 합
아황산가스 SO ₂ (ppb)	150ppb 이하	45ppb	14시	111181(불광동)	4470m
일산화탄소 CO(ppm)	25ppm 이하	62ppm 36ppm*	12시 10시*	111201(마포구) 111301(신정동)*	5088m 7628m*
이산화질소 NO ₂ (ppb)	100ppb 이하	121ppb	11시	111222(궁동)	4210m
미세먼지 PM ₁₀ (ug/m ³)	100ppb 이하**	204ppb	24시, 15시	111141(구의동), 111191(남가좌동)	7571m
오존 O ₃ (ppb)	100ppb 이하	29ppb	16시	111161(길음동)	9841m

* 마포구 제외, ** 24시간 평균기준

4. 결론 및 시사점

1) 결론

본 연구에선 대기오염 지수와 도시공간구조 특성 간 상관관계 분석을 위해 토지이용 및 교통 자료를 바탕으로 분석하였다. 토지이용의 경우, 토지이용 시설과 대기오염 지수와의 전역적인 회귀분석에서는 설명력이 높게 나오지 못하였다. 하지만, GWR을 활용하여 분석한 결과 72%라는 높은 설명력을 지닌 모형을 추정할 수 있었고, 모델 평가를 통해 전역적인 회귀분석보다 향상되었음을 확인하였다. 교통 자료의 경우, AEI 지수 중 2007년에 가장 높게 나타난 1월 16일의 시계열적 대기오염 농도의 변화를 통해 대기오염 물질별 시계열적 변화를 측정할 수 있었다. 실제로, 선행 연구에서 교통으로 유발된 대기오염 물질인 이산화질소, 일산화탄소, 미세먼지의 경우 10~12시가 가장 높게 나타났고, 15~17시가 가장 낮게 측정되었다. 이러한 결과는 하루 중 통근·통학으로 인해 상대적으로 10~12시에 높게 측정되며, 실내 활동 및 업무로 인해 상대적으로 15~17시에 낮게 측정된다고 해석될 수 있다.

본 연구에서 행한 대기오염 지수와 도시공간구조

특성 간 상관성 분석의 특징은 다음과 같이 요약된다. 첫째, 도시공간구조 특성으로서 토지이용 및 교통 자료를 분석에 활용하였으며, 토지이용의 경우 행정동 단위의 건물 속성별 점자료를 바탕으로, 토지이용 시설과 대기오염 지수 간 상관성 여부를 회귀분석과 GWR을 통해 살펴볼 수 있었다. 교통 자료의 경우 2차선 이상의 도로 길이 합은 대기오염 지수와 상관성이 없음을 알 수 있었고, 교통을 통해 유발되는 대기오염 물질의 시계열적 농도 변화를 통해 실제 교통 흐름과 비슷한 특성을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 둘째, 행정동을 분석 단위로 하여 측정하고 모형을 추정하였다. 기존 연구에서는 그리드(grid) 혹은 구(區)단위로 분석 단위를 지정하여, 현상과 공간적인 요소에 관하여 국지적인 수준에서 살펴볼 수 없었다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 본 연구는 대기오염 자동 측정망 자료를 바탕으로 서울시 대기오염 지수에 대한 전체적인 경향면을 생성하였고, 이를 토지이용 시설과의 GWR을 통하여 공간적인 요소가 반영된 GWR모형을 구축할 수 있었다.

2) 시사점 및 향후 연구 방향

본 연구는 대기오염 지수와 도시공간구조 특성 간 상관관계 분석을 위해 토지이용 및 교통 자료를 활용

하였다. 그 중 토지이용은 기존의 토지이용도에서 벗어나 국지적인 지역 특성을 살펴볼 수 있는 건물 속 성별 점자료를 활용했다는 것에 의의를 지닌다. 향후, 미시적 범주의 자료는 도시공간구조의 특성을 밝히는 데 심도 있게 활용할 수 있을 것이다. 또한, 교통 자료의 경우 기존의 교통량 및 통행량에서 벗어나 도로 지표를 바탕으로 연구를 진행하였으나, 공간적 특성이 반영되지 않아 대기오염 지수와의 상관성을 찾지 못하였다. 향후, 시간대별 통행량이나 교통접근성과 같은 지표를 바탕으로 대기오염 지수와의 상관관계를 살펴보는 것이 필요할 것으로 판단된다. 또한, 최근 대기오염이 도시 거주민들에게 미치는 영향에 관한 연구가 활발히 진행되고 있는 추세이다. 본 연구에서 시행하였던 미시적 범주의 국지적 분석방법이 향후 거주민들의 대기오염에 노출되는 빈도나 영향력에 관한 연구에 하나의 사례로서 활용될 수 있을 것으로 생각한다.

참고문헌

권용우 외, 2004, 도시의 이해, 서울: 전영사.
 라영우, 2002, "GIS를 이용한 대기오염의 공간분석", 인천대학교 대학원 토목경관시스템공학과 석사학위논문.
 박상찬 · 조병렬 · 연익준 · 조중식 · 정지혜 · 이준호, 2007, "대기질 지표 및 환경용량 산정에 관한 연구 -충주시를 대상으로-", 한국도시환경학회지 7(1), pp.29-38.
 백성욱 · 이여진 · 박대권, 2006, "국내 시간별 대기환경지수 방법의 문제점과 개선 방안," 한국대기환경학회지 22(4), pp.518-528.
 이금숙, 2008, "교통흐름에 기인하는 미세먼지 노출 도시인구에 대한 시·공간적 분석," 한국경제지리학회지 11(1), pp.59-87.
 이금숙 · 민희화 · 박소현, 2009, "서울시 도로교통흐름에 대한 시·공간적 분석," 한국경제지리학회지 12(4), pp.521-539.
 임은선 · 이종열 · 김형진 · 이희연, 2006, "도시성장관리를 위한 공간구조 측정방법에 관한 연구 -외연적확산형

과 압축형 도시측정을 중심으로-", 국토연구원.
 정우화, 2009, "서울시 대중교통 이용자의 체류공간 분포에 관한 연구", 경희대학교 대학원 지리학과 석사학위논문.
 조덕호 · 배민기, 2004, "환경지표의 중요도와 성취도 평가를 통한 환경정책집행의 우선순위 설정," 대한국토·도시계획학회지 39(4), pp.129-145.
 조동명, 2006, "시간별 교통량 변화에 따른 환경오염지도 구축방안에 관한 연구", 경원대학교 산업경관대학원 공간경관공학과 석사학위논문.
 최병길 · 김기범, 2004, "GIS를 이용한 토지이용상태와 대기오염의 상관성 분석," 한국측량학회지 22(3), pp.293-301.
 최진무, 1998, "GIS를 이용한 대기오염 배출량 분포도의 정확도 향상에 관한 연구," 한국GIS학회지, 6(1), pp.65-76.
 환경부 국립환경과학원, 2005, 실시간 대기환경정보 공개시스템(<http://airkorea.go.kr>).
 환경부 국립환경과학원, 2010, 대기환경연보(2009).
 Akaike, H., 1974, A new look at the statistical model identification, *IEEE Transactions on Automatic control* 19(6), pp.716-723.
 Anselin, L., 1990, Spatial dependence and spatial structure instability in applied regression analysis, *Journal of Regional Science* 30(2), pp.185-207.
 Brauer, M., Lencar, C., Tamburic L., Koehoorn, M., Demers, P., Karr, C., 2008, *A Cohort Study of Traffic-Related Air Pollution Impacts on Birth Outcomes*, *Environmental Health Perspectives* 115(5), pp.680-686.
 Fotheringham A. S., Brunsdon, C., Charlton, M., 2002, *Geographically Weighted Regression*, John Wiley and Sons.
 Jong-Han Leem, Brian M. Kaplan, Youn K. Shim, Hana R. Pohl, Carol A. Gotway, Stevan M. Bullard, J. Felix Rogers, Melissa M. Smith, and Carolyn A. Tylenda, 2006, *Exposures to Air Pollutants during Pregnancy and Preterm Delivery*, *Environmental Health Perspectives* 114(6), pp.905-910.
 Michael John De Smith, Michael F., Goodchild, Paul

Longley, 2007, *Geospatial analysis: a comprehensive guide*, SPLINT.

USEPA (U.S. Environmental Protection Agency), 2000, *A guide to air quality and your health*, EPA-454/R-00-005.

교신: 조창현, 서울시 동대문구 회기동 1번지, 경희대학교
이과대학 동관 504호, 전화: 02-961-9264, 이메일:
bwchjoh@khu.ac.kr

Correspondence: Chang-Hyeon Joh, Room 504,
Donggwan, Bldg. College of Science, Kyung Hee
University, 1 Hoegi-dong, Dongdaemun-gu, Seoul,
130-701, Korea, Tel: +82-2-961-9264, e-mail:
bwchjoh@khu.ac.kr

최초투고일 2011년 5월 23일
최종접수일 2011년 6월 16일

A Study of Correlation between Air Environment Index and Urban Spatial Structure: Based On Land Use and Traffic Data In Seoul

Wondo Lee* · Jong Seo Won* · Chang-Hyeon Joh**

Abstract : Recently, the environmental problems become a serious social issue, there are many efforts to manage it efficiently. As one of the ways to measure the environment in quantitative index, the environmental indicators are used in decision-making process. Air Environmental Index(AEI), which is derived from the U.S. Air Quality Index(AQI), illustrates the degree of air pollution. In study as follows: to find the characteristics of administrative dongs in Seoul, correlation analysis is conducted based on the land-use patterns and daily traffic data that represent AEI and urban spatial structure of Seoul.

Keywords : Air pollution, Air Environment Index, Urban spatial structure, TMS, Spatial interpolation, IDW, GWR, GIS.

This work was supported by the National Research Foundation of Korea grant funded by the Korea government (MEST) (NRF-2010-0029444)

* Graduate student, Department of Geography, Kyung Hee University

** Associate Professor, Department of Geography, Kyung Hee University