

# 공간가중회귀 모형을 이용한 서울시 에너지 소비에 따른 이산화탄소 배출 분석

김동하 · 강기연 · 손소영<sup>†</sup>

연세대학교 공과대학 정보산업공학과

## Spatial Pattern Analysis of CO2 Emission in Seoul Metropolitan City Based on a Geographically Weighted Regression

Dong Ha Kim · Ki Yeon Kang · So Young Sohn

Department of Information and Industrial Engineering, Yonsei University

Effort to reduce energy consumptions or CO2 emissions is global trend. To follow this trend, spatial studies related to characteristics affecting energy consumptions or CO2 emissions have been conducted, but only with the focus on spatial dependence, not on spatial heterogeneity. The aim of this study is to investigate spatial heterogeneity patterns of CO2 emission based on socio-economic factors, land-use characteristics and traffic infrastructure of Seoul city. Geographically Weighted Regression (GWR) analysis was performed with 423 administrative district data in Seoul. The results suggest that population and employment densities, road density and railway length in most districts are found to have positive impact on the CO2 emissions. Residential and green area densities also have the highest positive impact on CO2 emissions in most districts of Gangnam-gu. The resulting model can be used to identify the spatial patterns of CO2 emissions at district level in Seoul. Eventually it can contribute to local energy policy and planning of metropolitan area.

**Keywords:** CO2 Emission, Energy Consumptions, Seoul Metropolitan City, Spatial Heterogeneity, Geographically Weighted Regression

### 1. 서론

1997년, 세계 각 국은 지구 온난화 방지를 목표로 온실 가스 배출을 규제하기 위해 교토의정서를 추진했으나 대부분의 선진국이 이행을 거부하면서 약 15여년 간 유명무실한 상태였다. 하지만, 2014년 10월, 전 세계 이산화탄소 배출의 40%를 차지하는 미국과 중국이 구체적인 목표를 이행하기로 함에 따라 각 국의 온실 가스 감축 압력이 더욱 강해질 것으로 예상된다. 서울특별시(이하 서울시) 또한 대한민국에서 가장 많은 에너지를 소비하는 단일 도시로서 2012년 이후 ‘원전 하나 줄이기’

라는 구체적인 목표 아래 다각도의 환경 정책을 펼치고 있다. 특히 온실 가스 중에서도 이산화탄소는 온실 효과에 기여하는 비중이 수증기 다음으로 높기 때문에 주요 정책 대상이 되어 왔다(Kiehl and Trenberth, 1997). 그렇기 때문에, 에너지 소비에서 비롯된 탄소 배출에 영향을 주는 인구사회학적 요인을 파악하는 공간 분석 연구가 활발하게 진행 진행되어왔으며, 도시와 국가 단위의 공간적 연구가 활발히 진행되고 있다(Jiang et al., 2015; Wang et al., 2014; Zhao et al., 2014). 서울시의 에너지 소비에 관련된 공간 연구 또한 이루어졌다(Kang, 2011). 에너지 소비 및 탄소 배출량은 가까운 지역끼리 공간적으로

본 연구는 ‘국토교통부 국토공간정보연구사업 국토공간정보의 빅데이터 관리, 분석 및 서비스 플랫폼 기술개발(16NSIP-B081011-03)과제’의 연구비 지원에 의해 연구되었음.

<sup>†</sup> 연락저자 : 손소영 교수, 03722 서울특별시 서대문구 신촌동 연세대학교 공과대학 정보산업공학과, Tel : 02-2123-4014, Fax : 02-364-7807, E-mail : sohns@yonsei.ac.kr

2015년 3월 23일 접수; 2015년 8월 10일 수정본 접수; 2015년 10월 27일 게재 확정.

의존적(spatial dependence)이거나 이질적인(spatial heterogeneity) 특성을 갖고 있다. 그렇기 때문에 탄소 배출에 영향을 주는 인구사회학적 요인 분석을 일반선형회귀 모형(Ordinary Least Squares, OLS)으로 진행한다면, 공간적 영향을 간과할 우려가 있고 의미 있는 결과를 도출할 수 없다. 서울시를 대상으로 한 기존 연구에서도 서울시의 에너지 소비량에 대한 공간적 의존성(Spatial dependence)을 고려한 전역적(Global) 패턴을 파악하는 공간 오차 및 시차 모형(Spatial error and lag model)을 활용하여 분석하였다(Kang, 2011).

하지만, 에너지 소비량 및 이산화탄소 배출에 대한 공간적 영향은 전역적으로 존재하기도 하며 국지적으로 존재할 수도 있다. Kang(2011)의 연구는 서울 전체를 포괄하는 에너지 소비 및 이산화탄소 배출에 영향을 주는 변수들의 영향력은 전역적 분석으로 확인 가능하지만, 국지적으로 행정 구역에 따라 달라지는 영향력은 살펴볼 수 없다. 즉, 국지적인 공간적 영향이 강하게 존재함에도 불구하고 전역적인 공간적 영향을 분석한다면, 국지적인 현상이 전역적 현상인 것으로 일반화될 우려가 있다. 따라서, 특정 지역에 나타나는 국지적인 현상을 고려할 수 있는 에너지 소비에 따른 이산화탄소 배출에 대한 공간 분석이 필요하다. 이에 대하여 공간 이론적으로 설명하면, 공간적 영향(Spatial effect)은 공간 의존성(Spatial dependence)과 공간 이질성(Spatial heterogeneity)으로 정의되는데(Anselin, 1988), 각 동별 에너지 소비 및 이산화탄소 배출 패턴은 공간적으로 균질한 패턴을 갖지 않을 수 있으며 이질적인 특징을 가질 수 있다. 즉, 공간이질성은 종속변수에 미치는 영향이 공간에 따라 동일하게 나타나지 않는 현상을 말한다(Brunsdon *et al.*, 1996). Kang(2011)은 공간 의존성(Spatial dependence)을 고려한 공간 오차 및 시차 모형을 통해 서울시 에너지 소비 공간 분석을 하였지만, 공간 이질성(Spatial heterogeneity)은 고려하지 않았다.

따라서, 본 연구는 공간 이질성을 고려할 수 있는 공간가중회귀 분석(Geographically Weighted Regression, GWR)을 통해서, 서울시 내 423개 행정동의 이산화탄소 배출량에 대한 국지적 공간 분석을 수행하는데 그 목적이 있다. 이를 위해 첫째, 에너지 소비에 따른 이산화탄소 배출량에 영향을 주는 공간적 특성 변수들을 선행 연구를 통해서 살펴보고, 둘째, 해당 변수에 따른 일반회귀 모형을 추정한다. 셋째, 공간가중회귀 분석의 적합도를 일반회귀 모형과 비교 분석한다. 마지막으로, LISA(Local indicators of Spatial Association; Anselin, 1995)를 수행함으로써 일반선형회귀 모형에 비해서 국지적 공간 상관성이 유의한 지역이 감소하는지 파악하여 공간가중회귀 모형이 일반선형회귀 모형보다 개선된 모형임을 확인한다.

에너지 소비에 따른 탄소 배출량에 영향을 주는 특성 변수에 대한 다양한 연구들은 각 지역별 사회 경제활동을 대표하는 지표로서 인구밀도, 사업체 밀도 및 소득 등 여러 변수를 활용하고 있다. 본 연구에서는 서울시의 각 행정동별 사회 경제활동을 나타내는 변수로서 인구, 사업체, 고용 밀도, 노령화 지수뿐만 아니라 각 행정동별부동산 토지 이용 특성과 교통 인

프라 특성을 고려하였다(Kang, 2011; Zhao *et al.*, 2014; Tian *et al.*, 2014). 본 연구는 이러한 변수들이 서울시의 행정동별 이산화탄소 배출량에 어떤 영향을 주는지 공간가중회귀 모형을 통해 파악하고자 한다. 개괄적인 방법론과 변수 설명이 <Figure 1>에 요약되어 있다.

다음 장에서는 기존 에너지 소비에 관련된 선행 연구를 통해 본 연구의 필요성을 강조하고, 제 3장에서는 활용할 변수를 개별적으로 설명하고 모형에 대한 이론적 배경을 살펴 본다. 제 4장에서는 연구 결과를 도출하고 제 5장에서는 본 연구의 기여점을 제시한다.

## 2. 선행연구

본 연구는 서울시 423개의 행정동별 에너지 소비에 대한 공간가중회귀 모형을 통해서 인구 및 사회경제학적 변수 등의 탄소 배출과 직접적으로 연관이 있는 에너지 소비에 대한 국지적 영향을 살펴보고자 한다. 제 2장에서는 에너지 소비 및 탄소 배출에 관한 선행연구들을 공간 특성을 고려하지 않은 연구들과 공간회귀 분석을 활용한 선행 연구들로 나누어 살펴본다.

### 2.1 일반회귀 모형 연구

일반선형회귀 모형을 활용하여 에너지 소비에 영향을 주는 유의한 변수를 파악한 기존 연구는 다음과 같다. Parajuli *et al.* (2014)는 네팔의 전반적인 에너지 소비량과 거시적 경제 지표의 관계를 보기 위해 일반선형회귀 모형을 적용하였다. 에너지 소비에 영향을 주는 설명변수로서 네팔의 전체 GDP와 농업 GDP, 무역 GDP, 산업 GDP 그리고 인구, 차량 등록 수, 화석 연료의 가격 등을 고려하였다. 저자는 종속변수를 에너지 소비 분야와 원재료에 따라 나누었는데, 에너지 소비 분야는 주거용, 산업용, 상업용, 운송용, 농업용 에너지 소비량을 고려하였고 원재료는 나무, LPG, 등유 등으로 나누었다. Tewathia(2014)는 인도의 델리의 가구별 전력 소비량과 유의한 관계가 있는 변수를 파악하기 위해 일반선형회귀 분석을 수행하였다. 종속변수로서 가구별 여름, 겨울, 평균 전력 소비량을 활용하였고 설명변수로서 가구별 소득, 전기기구 활용 시간, 가구 구성원 수 등을 활용하였다. 비슷한 연구로서 Desipri(2014)도 역시 각 개별 가구의 주거 환경에 대한 변수를 연구에 사용하였다. Tewathia(2014)에서 South Delhi에 해당 가구가 존재 여부가 나타내는 더미 변수로 설정하여 공간적인 영향을 간접적으로 살펴보았다.

### 2.2 공간회귀 모형 연구

에너지 소비에 대한 공간적 영향(Spatial effect)은 공간적 의존성(Spatial dependence) 가정하에 공간 오차 및 시차 모형(Spatial error and lag model)을 통해서 더욱 명확하게 파악될 수 있다.

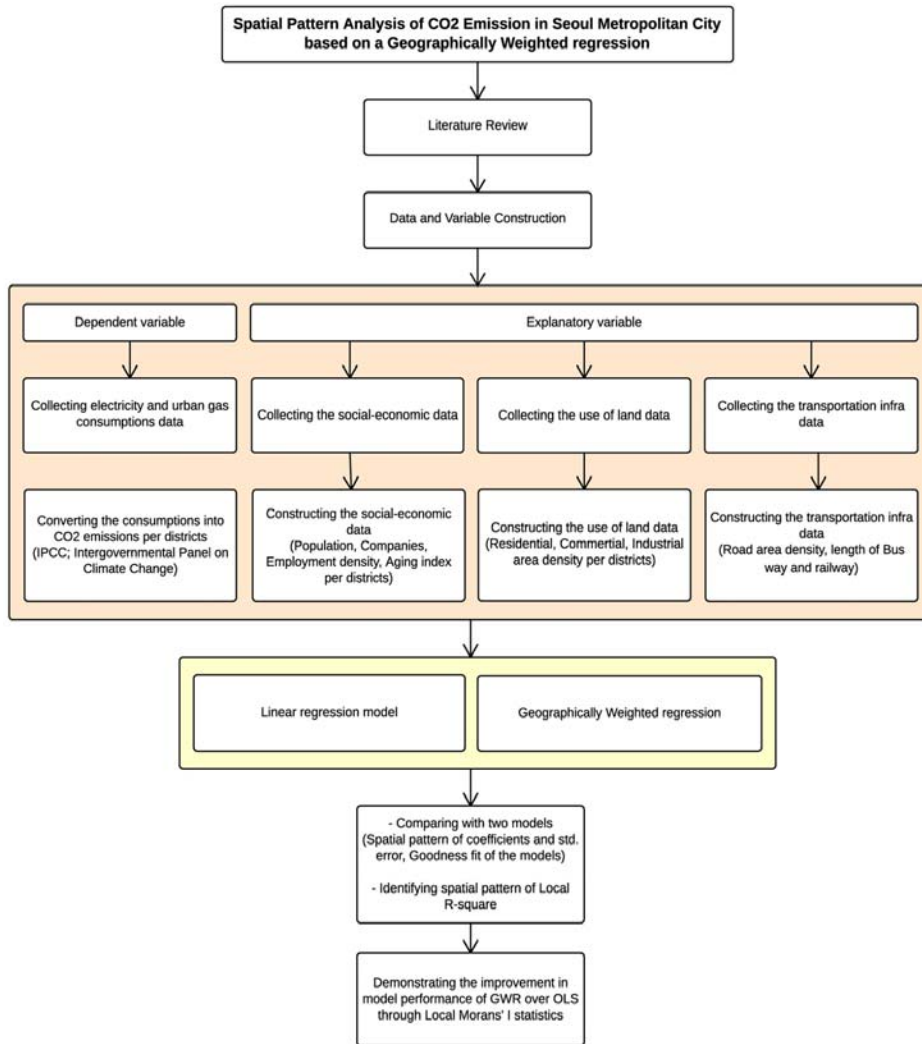


Figure 1. Framework of This Research

최근 들어 공간을 직간접적으로 고려한 데이터마이닝이 늘어나고 있다(Kim *et al.*, 2015; Choi and Sohn, 2015). 특히, 중국의 경우 전세계적으로 공간 연구가 가장 활발히 이루어지고 있으며(Lee and Sohn, 2015), 탄소 배출에 관해서도 공간 종속성을 고려한 연구가 활발하다.

Yu(2009)는 중국 최초로 에너지 소비량에 관한 연구들이 공간에 대한 고려가 없음을 지적하고, 공간회귀 분석인 공간 오차 및 시차 모형을 이용하여 연구를 진행하였다. Yu는 1988년부터 2007년까지 중국 30개의 성(Province)에 대한 에너지 소비량을 대상으로 분석을 진행하였고, 지역 GDP와 교통 인프라, 시장화 수준, 중공업비율, 에너지 소비량 중 석탄 소비량의 비율이 유의한 영향을 주는 것을 파악하였다. 그 후 에너지 소비량 및 탄소 배출량에 관련된 다양한 공간 연구가 이루어졌는데, Zhao *et al.*(2014)는 중국의 30개 성(Province)의 에너지 소비량에 대한 공간 더빈 모형(Spatial Durbin Model, SDM)을 추정하였다. 또한, 종속변수로서 각 30개의 성(Province)별 단위 GDP 당 이산화탄소 배출량을 활용하였고, 에너지 소비를 설명하는

변수로서 해당 성(Province)의 인구 밀도, 고속화 도로의 길이, 1인당 국내 총생산, 에너지 가격 등을 고려하였다. 고속화 도로의 길이가 이산화탄소 방출에 유의한 영향을 주는 것을 확인하였다. Cheng *et al.*(2014)의 탄소 배출 관련 연구에서는 일반회귀 모형, 공간 오차 및 시차 모형 그리고 공간 더빈 모형까지 제시하여 중국에 대한 탄소 배출 공간 분석을 수행하였다. Jiang *et al.*(2015)도 공간 오차 모형과 공간 시차 모형, 공간 더빈 모형을 사용하여 중국의 30개의 성(Province)의 2008년도 1인당 에너지 소비량을 종속변수로 하는 공간 연구를 하였다.

중국 다음으로 미국이나 유럽에서도 에너지 소비 및 탄소 배출에 관한 공간 분석이 많이 이루어졌다. Burnett *et al.*(2014)는 미국의 각 주(state)별 탄소배출량을 해당 주의 각 에너지별 가격과 1인당 국내 총 생산을 설명변수로 공간 오차 및 시차 모형 분석을 진행하였고, Videras(2014)는 인구 밀도, 고용 밀도, 가구당 평균 수입 등의 변수를 활용하여 공간가중회귀 분석을 통해 미국의 탄소 배출에 강한 공간 이질성을 입증하였다. Griffin (2014)는 영국 런던에 대한 가구별 탄소 배출량과 사회 경제적

변수와의 관계를 공간가중회귀 모형을 통해 분석하였다.

한국에서의 탄소 배출에 대한 공간회귀 모형 연구는 2005년과 2006년 서울시 522개 동 전력과 도시가스 소비 자료를 이용하여 그 영향요인을 분석한 Kang(2011)의 연구가 있다. 2005년과 2006년 서울시 행정동별 전력과 도시가스 소비량에 대한 데이터와 인구 및 고용 자료, 지가 자료, 건축물 자료를 결합하여 일반회귀 모형과 공간회귀 모형을 활용하였다.

하지만, 위에서 사용된 모델들은 모두 공간의 전역적인 영향만 고려한 모델들이다. 국지적으로 다른 특성변수의 영향력을 가질 수 있다는 공간적 이질성(Spatial heterogeneity)을 고려하지 못하고 있다. 국지적으로 영향력이 다르다는 의미는 지역별로 유의미한 변수가 다르거나 영향을 미치는 정도가 다를 수 있다는 것을 의미한다. 이전의 Kang(2011)의 연구에서도 마찬가지로 에너지 소비에 영향을 주는 공간적 이질성을 고려하지 않았고 공간에 따른 국지적인 영향을 반영하지 못했다. 따라서, 본 연구를 통해서 서울시 행정동별 에너지 소비 특성의 공간적 이질성을 가정하고 공간가중회귀 모형을 추정한다.

### 3. 방법론 및 변수구성

본 연구는 서론에서 언급한 바와 같이 세 단계로 구성된다. 첫째, 서울시 행정동 423개별 에너지 소비에 따른 이산화탄소 배출 환산량과 인구·사회·경제, 부동산, 교통 인프라 데이터를 구축한다. 두 번째로, 해당 변수 정제를 거쳐, 일반선형회귀 모형과 공간가중회귀 모형을 추정 및 비교하고 마지막으로 공간가중회귀 모형의 타당성을 LISA를 통해 입증한다.

#### 3.1 공간가중회귀 모형

공간가중회귀 모형은 공간상 서로 다른 위치에 존재하는 데이터들에 대하여 서로 다른 회귀 모형을 적용함으로써 공간적 이질성을 탐색하는 방법이다. 일반적으로 선형회귀 분석은 분석 대상 전체 지역에 대한 전역적인 효과를 전제로 하지만, 공간가중회귀 모형은 더 세분화된 공간적 단위의 국지적 효과를 전제로 한다. 이는 분석대상 지역 내에서 개별 관측치에 대해 회귀 분석 기준점을 선정하여 그 중심점으로부터 기준거리(Kernel bandwidth) 내에 있는 관측치들을 대상으로 회귀 분석을 실시한다. 따라서 공간가중회귀 모형을 사용하여 에너지 소비에 따른 이산화탄소 배출 모형을 추정할 경우, 각 행정동 수만큼의 회귀식이 도출된다(Brunsdon *et al.*, 1996). 아래 식은 공간가중회귀 모형을 나타낸다. 공간가중회귀 모형은 다중선형회귀 모형에 좌표를 부여하여 공간 분석이 가능하도록 해준다.

$$y_i = \sum_k \beta_k(u_i, v_i)x_{ik} + \epsilon_i \quad (1)$$

식 (1)에서  $y_i$ 는 행정동 i에서의 종속변수 값을,  $x_{ik}$ 는 행정동

i에서 k번째 설명변수를 나타낸다.  $(u_i, v_i)$ 는 행정동 i의 중심점의 좌표를 의미한다.  $\beta_k$ 는 행정동 i의 k번째 독립변수의 계수를 의미한다. 그리고  $\epsilon_i$ 는 각 행정동별 오차항을 의미한다. 일반회귀 모형과 달리 설명변수의 계수에 각 공간별 위치 좌표가 붙기 때문에 각 행정동 i의 중심점에 대하여 독립변수 별로 다른 계수를 얻게 된다. 이 때,  $\beta(u_i, v_i)$ 의 추정식은 다음과 같다.

$$\hat{\beta}(u_i, v_i) = (X^T W(u_i, v_i) X)^{-1} X^T W(u_i, v_i) Y \quad (2)$$

식 (2)에서  $W(u_i, v_i)$ 는 다음과 같다.

$$W(u_i, v_i) = \begin{pmatrix} W_{i,1} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & W_{i,2} & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & W_{i,n-1} & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & W_{i,n} \end{pmatrix} \quad (3)$$

식 (2)와 식 (3)에서  $X$ 는  $(n \times k)$  설명변수 행렬,  $Y$ 는  $(n \times 1)$  종속변수 벡터이고  $W(u_i, v_i)$ 는  $(n \times n)$  공간가중 행렬이다.  $W(u_i, v_i)$ 의 대각선의 값들은 좌표  $(u_i, v_i)$ 를 갖는 행정동 i에 대한 전체 행정동의 개수인  $(n = 423)$ 개 관측치의 지리적 가중치를 의미한다. 즉, 행정동 i와 다른 행정동 사이의 거리(가중치)가 고려되며 일반적인 공간가중 행렬과는 다른 대각 행렬 형태이다. 여기서  $W(u_i, v_i)$ 는 Kernel function으로 정의되며 다음과 같이 계산된다.

$$W_{ij} = \exp(-\gamma d_{i,j}^2) \quad (4)$$

식 (4)에서  $d_{i,j}$ 는 행정동 i의 중심점에서 행정동 j의 중심점까지의 거리를 의미한다. Kernel function은 일반적으로 Gaussian 형태를 띠며 여러 회귀점을 기준으로 일정한 거리 내의 사례에 대해 가중치를 준다.  $\gamma$ 는 추정이 필요한 값으로서 Kernel bandwidth이며  $\gamma$ 가 큰 경우 공간적 변이를 고려하지 않은 일반선형회귀 모형과 동일하게 된다.  $\gamma$ 를 추정하기 위한 방법론으로 Least square CV(Cross-Validation)와 Least AICc(Akaike Information Criterion)방법론이 있다. Least square CV 방법론은  $\gamma$ 를 변화시키면서 관측치와 추정치의 차이의 제곱합의 오목 블록 변곡점에서의  $\gamma$ 를 결정하게 된다(Li and Racine, 2004). AICc 방법론은 AIC값을 최소화하는  $\gamma$ 를 선택하는 방법이다(Hurvich *et al.*, 1998).

이처럼 공간가중회귀 모형은 전역적 영향을 세분화하여 국지적인 영향을 분석함으로써, 각 공간 혹은 지역별 서로 다른 영향을 확인할 수 있다는데 의의가 있다. 본 연구에서는 AICc 방법을 활용하여 bandwidth를 추정하였다. 그리고 추정된 bandwidth가 모든 행정동에 대하여 일정한 fixed kernel 방식으로 공간가중회귀 모형을 추정하였다. 전 분석 과정은 ArcMap 10.1을 활용하였다.

### 3.2 공간가중회귀 모형을 위한 변수 구성

#### (1) 종속변수 구성 : 이산화탄소 배출환산량

종속변수로 사용할 행정동별 이산화탄소 배출환산량을 서울시 2008년 1년 간의 전력 및 도시가스 에너지 누적 소비량으로부터 ‘IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)의 탄소 배출 산정 방법’을 이용하여 산출하였다. 서울시 에너지 기후지도 보고서(2010)는 실제 각 가구별 에너지 소비량으로부터 산출된 2007년과 2008년 각 1년간의 행정동별 누적 전력 및 도시가스 사용량 데이터를 제공하고 있다. 그 중 2008년 데이터를 본 연구에서 활용하였다. 서울시 에너지 기후 보고서는 연속적인 정기 보고서가 아니고 본 연구를 위해 취합된 데이터이기 때문에 가장 최근 정보인 2014년 데이터를 활용할 수 없었다.

IPCC는 1988년에 창설된 기후 변동, 특히 온실화에 관한 대책을 검토하고자 하는 UN 산하 각국 전문가로 구성된 조직이다. IPCC의 탄소 배출 산정 방법은 각 에너지원의 소비량을 환산하여 탄소 배출량으로 환산하는 방법이다. 미가공 상태의 석유, 석탄, LNG, 원자력, 수력 등의 에너지원에서 직접 에너지로 사용할 수 있는 1차 에너지라 하며, 일정한 변환 과정을 거쳐 다른 형태의 에너지인 전력, 도시가스, 석유 제품으로 변환된 것을 최종 에너지라 한다. 2008년 서울시의 최종 에너지원별 소비량[ktoe] 및 현황을 살펴보면, 전체 소비량 15,482[ktoe] 중에서 석유가 6,321[ktoe], 전력이 3,792[ktoe], 도시가스가 4,667[ktoe]로서 각각 41%, 24%, 30%를 차지한다(국가에너지 통계 시스템). 본 연구에서는 서울시 에너지 기후 지도 2010년 보고서에서 서울시 2008년 행정동별 전력 및 도시가스 소비량을 얻었으며, 각각 이산화탄소 배출환산량[tCO<sub>2</sub>]로 변환하고 합하여 서울시 전체 최종 에너지원별 소비량 중에서 54%를 차지하는 전력 및 도시가스 소비에 의한 이산화탄소 배출 환산량을 종속변수로 설정하였다. 전력 및 도시가스 소비량을 제외한 석유 및 신재생 에너지 등의 소비량은 행정동별 소비량으로 제공되지 않아 본 연구에서 활용하지 못하였다.

전력 및 도시가스 소비량은 아래에 소개될 개념을 활용하여 이산화탄소 배출환산량[tCO<sub>2</sub>]으로 계산하였다. 전력 및 도시가스 소비량을 tCO<sub>2</sub>로 환산하기 위해 석유환산톤[toe], tC 그리고 tCO<sub>2</sub> 개념이 필요하다. 첫째, 석유환산톤(toe; Ton of Equi-

valent; 배럴)은 국제 에너지기구(IEA)에서 정한 단위로서 에너지원별 발열량을 석유발열량으로 환산하기 위한 단위이다. 또한, 에너지 소비량이라고도 불리며 서로 다른 에너지원의 소비량의 합계를 얻기 위해 필요한 개념이다. 모든 연료에 대한 석유환산톤은 연료발열량[kcal]에서 10<sup>7</sup>[kcal]를 나누어서 구하는데, 이때 연료발열량은 에너지 열량 환산기준(국내 에너지 기준법)의 총발열량을 사용한다. 둘째, tC는 해당 소비된 연료의 toe와 각 연료별 서로 다른 탄소 배출계수를 곱하여 구한다. 이때 IPCC에서 toe는 순발열량(총발열량에서 수증기의 증발 잠열을 뺀 것)을 기준으로 적용하도록 권고하고 있다. 또한, 에너지법 시행규칙에 따라 전력 소비량에 0.23(순발열량 기준의 석유환산계수)을 곱했고, 도시가스 사용량에 0.942(순발열량 기준의 석유환산계수)를 곱하여 순발열량 기준의 석유환산톤을 구하였다. 그리고 도시가스의 탄소 배출계수는 IPCC에서 제시한 0.637를 사용하고 전력의 탄소 배출계수는 한국 전력에서 제공하는 0.4705를 활용한다. 셋째, tCO<sub>2</sub>는 온실가스 배출량으로서 대표적인 온실가스에는 이산화탄소, 메탄, 아산화질소 등이 있으나 이 중 이산화탄소가 배출되는 온실가스 중 약 71.6%를 차지하기 때문에 tCO<sub>2</sub>를 온실가스 배출량이라 부르기도 한다(IPCC, 2007). tCO<sub>2</sub>는 tC에(이산화탄소분자량(44)/탄소원자량(12))을 곱하여 구한다. 최종적으로, 전력과 도시가스 소비량의 이산화탄소 배출환산량 [tCO<sub>2</sub>]는 위 세 단계를 거쳐 구하게 된다. <Table1>에 사직동을 예로 들어 이산화탄소 배출 환산량을 구하는 과정을 명시해 놓았다.

#### (2) 설명변수 구성

**인구·사회·경제적 특성 변수** 본 연구에서 인구·사회·경제적 변수로 각 행정동 별 2012년 기준의 인구밀도, 사업체 밀도, 고용 밀도, 노령화 지수를 활용하였다. 에너지 소비량과 인구·사회·경제 변수와의 연관성에 대한 연구에서는 주로 경제 성장을 대표하는 각 지역별 GDP, 인구밀도, 고용률 등의 사회 경제 지표를 활용하였다(Glasure and Lee, 1998; Yang, 2000; Narayan and Smyth, 2005; Kankal *et al.*, 2011). 에너지 소비량에 대한 공간회귀 분석을 진행한 논문도 역시 GDP, 인구 밀도 등의 해당 지역의 사회 경제적 활동을 대표하는 지표를 활용하였다(Jiang *et al.*, 2015; Zhao *et al.*, 2014). 부가적으로, 본 연구에

**Table 1.** Converting the Energy Consumptions into tCO<sub>2</sub>(Example : Sajik-dong)

Energy consumptions	Converting the energy consumptions into tCO <sub>2</sub>	toe	tC	tCO <sub>2</sub>
		toe = (Energy consumptions) ×(Conversion coefficients)	tC = (toe)×(carbon footprint coefficients)	tCO <sub>2</sub> = tC×(44/12)
230,036.4 [MWh]	Electricity consumptions → tCO <sub>2</sub>	toe = 230,036.4×0.230 = 52908.4[toe]	tC = 52,908.4×0.4705 = 33702.6[tC]	tCO <sub>2</sub> = 33,702.6×(44/12) = 123,576.3[tCO <sub>2</sub> ]
16,490,023 [MNm <sup>2</sup> ]	Urban gas consumptions → tCO <sub>2</sub>	toe = 16,490,023×0.942 = 15,533,602[toe]	tC = 15,533,602×0.637 = 9,894,904[tC]	tCO <sub>2</sub> = 9,894,904×(44/12) = 36281316[tCO <sub>2</sub> ]

서는 노령화 지수를 변수로 구성하였는데, 이는 각 행정동의 노령화 지수가 각 행정동의 사회 경제 활성도를 나타내는 지표라 가정하고 변수로 활용하였다. 모든 인구·사회·경제적 특성 변수는 각 행정동별 면적으로 나누어 밀도 개념으로 환산하여 활용하였다.

**부동산 특성 변수** 본 연구에서는 탄소 배출의 주요 요인으로서 행정동별 토지 용도 지역의 면적이 본 연구의 부동산 변수로 고려되었다. Nam *et al.*(2010)은 에너지 소비 및 탄소 배출에 토지 면적 및 용적을 규제하는 어떤 영향을 주는지 도시 동태 모형을 통해 파악하였고, Kim *et al.*(2011)은 서울시의 도시규모, 토지이용, 건축물 그리고 지형 요인이 전력, 도시가스, 지역난방, 석유, 상수도 사용량 자료를 바탕으로 도출된 이산화탄소 배출량과 어떤 연관성이 있는지 일반선형회귀 분석을 진행하였다. Tian *et al.*(2014)은 부동산과 직접적으로 연관된 런던의 지방세(Council tax)를 설명변수로 각 행정 구역별 에너지 소비와의 연관성을 파악하고자 하였다. 국토의 계획 및 이용에 관한 법률은 국가의 토지를 경제적이고 효율적으로 활용할 수 있도록 각 토지를 용도별로 서로 중복되지 않게 결정한다. 토지 용도 지역은 법적으로 토지의 이용 및 건축물의 용도·건축물·용적률·높이 등으로 제한되며 서울시의 토지 역시 이 법의 규제를 받는다. 용도 지역은 크게 도시지역, 관리지역, 농림지역, 자연환경보전지역으로 나뉘어지며 서울시는 도시지역에 해당 된다. 본 연구에서는 도시 지역의 주거 1종(일반 및 전용), 2종(일반 및 전용), 3종, 준주거지역, 상업, 공업, 녹지지역을 변수로 활용하였다. 상업 지역, 공업 지역 그리고 녹지지역은 1종, 2종 등의 세부 지역으로 나누어 분석하지 않았는데, 그 이유는 해당 용도 지역(상업, 공업, 녹지 지역)을 전혀 포함하지 않는 행정동이 많았기 때문이다. 상업 지역을 전혀 포함하지 않는 행정동은 423개 중 183개, 공업 지역은 368개, 녹지 지역은 179개로 나타났다(<Table 2> 참조). 각 행정동별 주거용 토지 면적, 상업용 토지 면적, 공업용 토지 면적 그리고 녹지 면적은 서울시에서 제공받은 2014년 기준 데이터로서 ArcMap 10.1을 활용하여 각 행정동별 용도지역의 면적을 나누어 밀도 개념으로 환산하여 활용하였다.

**교통 인프라 변수** 본 연구에서는 탄소 배출의 주요 요인으로 행정동별 도로 면적 및 대중 교통 인프라 변수를 활용하였다. Nam *et al.*(2010)은 서울시 에너지 소비 및 탄소 배출을 크게 주택, 산업, 교통 관점에서 도시 동태 모형화하여 시스템 다이나믹스를 활용하여 분석하였다. 위에서 언급한 Kim *et al.*(2011)은 교통 요인을 탄소 배출의 주된 요인으로 간주하여 에너지 소비에 미치는 영향에 대해 회귀 분석을 하였다. Kang(2011)은 교통 인프라 관련 변수를 제외한 서울시 에너지 소비에 관한 공간회귀 분석을 수행하였고 추후 연구로서 교통 인프라와 교통 체계의 밀집이 이산화탄소 배출이나 에너지 소비에 어떤 영향을 미치는지 알아볼 필요가 있음을 언급하였다. 또한, Yu(2012)와 Zhao *et al.*(2014)은 중국의 각 지역별 도로 인프라 밀

도와 고속화도로의 길이를 각각 설명변수로 활용하여 이산화탄소 배출량에 관한 공간회귀 모형을 추정하였다. 본 연구에서 활용할 행정동별 교통 인프라 특성 변수는 도로 면적, 버스 전용 차로 길이, 지하철 선로 및 철로 길이로서 서울시에서 제공하는 2014년 기준 데이터를 이용하여 ArcMap 10.1을 통해 구하였다.

본 연구에서 활용할 모든 변수는 <Table 2>에 정리되어 있다. 종속변수는 각 행정동별 에너지 소비에 따른 이산화탄소 배출 환산량이며, 설명변수는 인구·사회·경제(인구 밀도, 사업체 밀도, 고용 밀도, 노령화 지수), 부동산(1종/2종/3종/준주거지역 토지 면적 밀도, 상업지역 토지 면적 밀도, 공업지역 토지 면적 밀도, 녹지지역 토지 면적 밀도), 교통 인프라 변수(도로 밀도, 버스 전용 차로 길이, 철도 및 지하철 선로 길이)로 구성된다.

15개의 각 변수별로 범례를 모두 표시하는 것보다는 같은 방법으로 시각화하여 <Figure 3>에 표현하였다. 행정동별 각 변수 값들은 ArcMap 10.1에서 제공하는 Jenks의 자연적 구분법(Jenks' Natural Break Optimization)을 통해서(De Smith and Goodchild, 2007) 10개의 색으로 나뉘어 <Figure 3>에 표현되었으며 붉은색에 가까울수록 해당 변수의 값은 높음을 의미하고 파란색에 가까울수록 해당 변수의 값은 낮음을 의미한다.

### 3.3 종속변수와 설명변수의 시점 차이

본 연구에서는 종속변수와 설명변수 간의 시점 차이가 있다. 또한, 설명변수 간의 시점 차이도 존재한다. 설명변수는 2012년이거나 2014년의 데이터이고, 종속변수는 서울시 에너지후지도 2010년 보고서의 각 행정동별 2008년 1년 간의 전력 및 도시가스 누적 소비량이다.

먼저, 종속변수와 설명변수 간의 시점 차이가 존재하기 때문에 2008년 종속변수 데이터의 활용 타당성을 증명할 필요가 있다. <Figure 2>에 나와 있듯이 2008년과 2012년까지 서울시 전체 전력 소비량을 살펴본 결과, 2008년 대비 2012년의 서울시 전체 전력 소비량은 약 5%가 증가하였고, 도시가스 소비량은 약 2% 증가하였다. 즉, 2008년과 2012년 이후 소비량의 차이가 크지 않다. 또한, 서울시 에너지 기후지도(2010)에서 제공하는 2007년과 2008년 행정동별 전력 및 도시가스 사용량을

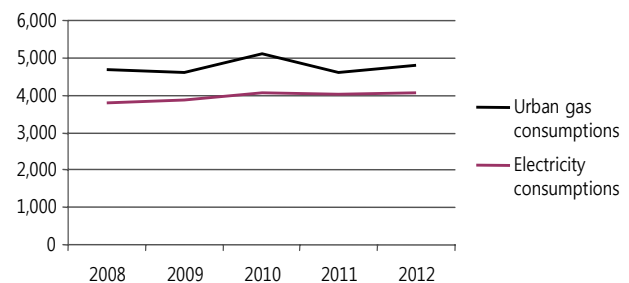


Figure 2. The Change of Electricity and Gas Consumptions for 5 Years

Table 2. Constructing the Variables

Variable		Spatial districts: 423 administrative districts(-dong) in Seoul metropolitan city			Average	Standard deviation	The highest 10 districts of values of each variable		The lowest 10 districts of values of each variable	
		Unit	Data period	Data source						
Dependent variables	CO2 Emissions(CO2_08)	CO2 (Cumulative during 2008)	2008	Climatology of Climate and Energy of Seoul-The Third Final Report (2010)	23687599.5246	18713217.08844	수서동, 상계6동, 옥산동, 강서동, 일원동, 여의동, 삼성1동, 명동, 서초3동, 종로1.2.3.4가동	신성동, 장안동, 해당동, 경동4동, 잠룡동, 신원3동, 삼각산동, 상계5동, 성원동	관악동, 잠실7동, 개포동, 진각동, 반포본동, 신정6동, 일원2동, 상계9동, 상계본동, 가양동	내곡동, 소갈동, 우이동, 팔각동, 평강동, 세곡동, 도림1동, 양재2동, 용지로동
	Socioeconomic variables	Population density(PD)	Population of each district Area of each district[ha <sup>2</sup> ]	2012	Seoul metropolitan government	2515.8180	13739.50389	신성동, 중앙동, 구로4동, 해당동, 경동4동, 잠룡동, 신원3동, 삼각산동, 상계5동, 성원동	신원3동, 중앙동, 구로4동, 해당동, 경동4동, 잠룡동, 신원3동, 삼각산동, 상계5동, 성원동	내곡동, 소갈동, 우이동, 팔각동, 평강동, 세곡동, 도림1동, 양재2동, 용지로동
Company density(CD)		The number of companies of each district Area of each district[ha <sup>2</sup> ]	2012	1862.4066		1897.51758	신원3동, 중앙동, 구로4동, 해당동, 경동4동, 잠룡동, 신원3동, 삼각산동, 상계5동, 성원동	신원3동, 중앙동, 구로4동, 해당동, 경동4동, 잠룡동, 신원3동, 삼각산동, 상계5동, 성원동	내곡동, 소갈동, 우이동, 팔각동, 평강동, 세곡동, 도림1동, 양재2동, 용지로동	
Employment density(ED)		The number of employees of each district Area of each district[ha <sup>2</sup> ]	2012	9447.9418		11172.52091	신원3동, 중앙동, 구로4동, 해당동, 경동4동, 잠룡동, 신원3동, 삼각산동, 상계5동, 성원동	신원3동, 중앙동, 구로4동, 해당동, 경동4동, 잠룡동, 신원3동, 삼각산동, 상계5동, 성원동	내곡동, 소갈동, 우이동, 팔각동, 평강동, 세곡동, 도림1동, 양재2동, 용지로동	
Ageing index(API)		Populations over 65 year Populations under 14 year[ha <sup>2</sup> ]	2012	95.9608		41.04897	신원3동, 중앙동, 구로4동, 해당동, 경동4동, 잠룡동, 신원3동, 삼각산동, 상계5동, 성원동	신원3동, 중앙동, 구로4동, 해당동, 경동4동, 잠룡동, 신원3동, 삼각산동, 상계5동, 성원동	내곡동, 소갈동, 우이동, 팔각동, 평강동, 세곡동, 도림1동, 양재2동, 용지로동	
Land uses variables	Residential Area density	Residential area density (Class 1)(LD_1)	Area of use of land of each district[ha <sup>2</sup> ] Area of each district[ha <sup>2</sup> ]	Urban planning of Seoul metropolitan government	148.5425	212.64932	정자동, 경동3동, 성북동, 필동, 대학동, 인암동, 율곡2동, 능동, 홍제1동, 가회동	정자동, 경동3동, 성북동, 필동, 대학동, 인암동, 율곡2동, 능동, 홍제1동, 가회동	구로1동, 상계6.7동, 문래동, 중계2.3동, 종로1.2.3.4동, 이원동, 금호2.3가동, 당산동, 길동2동, 중성동 외 14개의 동은 1층 주거지역 면적 밀도 '0'	
		Residential area density (Class 2)(LD_2)			353.2498	251.19817	마천1동, 압리동, 정릉4동, 신길5동, 신정동, 연남동, 신원1동, 신길동, 정자동, 필동, 대학동, 인암동, 율곡2동	마천1동, 압리동, 정릉4동, 신길5동, 신정동, 연남동, 신원1동, 신길동, 정자동, 필동, 대학동, 인암동, 율곡2동	구로1동, 문래동, 양행1동, 당산동, 황학동, 용지로동, 신정동, 평강동, 가산동, 가회동	
		Residential area density (Class 3)(LD_3)			230.7357	192.91259	강남1동, 신정동, 신길4동, 풍암동, 동촌3동, 왕십리도선동, 노량진2동, 대학1동, 중계동	강남1동, 신정동, 신길4동, 풍암동, 동촌3동, 왕십리도선동, 노량진2동, 대학1동, 중계동	구로1동, 문래동, 양행1동, 당산동, 황학동, 용지로동, 신정동, 평강동, 가산동, 가회동	
	Semi-residential area density(LD_4)	32.2203	63.36472	영등포동, 상봉2동, 철북동, 구의3동, 신림동, 이태원1동, 양동, 빈동, 보문동, 용암동	영등포동, 상봉2동, 철북동, 구의3동, 신림동, 이태원1동, 양동, 빈동, 보문동, 용암동	구로1동, 양행1동, 황학동, 용지로동, 삼정동, 평강동, 부암동, 정릉표자동, 시흥3동, 우암동 (외 152개의 동은 준주거지역 밀도 '0')				
	Commercial business area density(LC)	54.5233	142.53765	을지로동, 평화동, 황학동, 종로5.6가동, 명동, 종로1.2.3.4가동, 동인2동, 강신1동, 신당동, 피원동	을지로동, 평화동, 황학동, 종로5.6가동, 명동, 종로1.2.3.4가동, 동인2동, 강신1동, 신당동, 피원동	구로1동, 양행1동, 평강동, 부암동, 시흥3동, 우암동, 중곡3동, 수궁동, 성수2가동, 중곡4동 (외 173개의 동은 상업 업무용 토지 면적 밀도 '0')				
Industrial area density(LI)	41.0294	168.13134	가산동, 독산동, 상구2가동, 문래동, 당산동, 구로동, 양행1동, 구로3동, 시흥4동, 동원1동	가산동, 독산동, 상구2가동, 문래동, 당산동, 구로동, 양행1동, 구로3동, 시흥4동, 동원1동	평강동, 부암동, 풍암동, 중곡3동, 중곡4동, 삼정동, 경동3동, 연남동, 양반1동, 시흥5동 (외 358개의 동은 용역용 토지 면적 밀도 '0')					
Green area density(LG)	284.7033	655.28724	대학동, 경동4동, 낙성대동, 경동3동, 암사5동, 남현동, 강림동, 고덕2동, 동촌2동	대학동, 경동4동, 낙성대동, 경동3동, 암사5동, 남현동, 강림동, 고덕2동, 동촌2동	성구2가동, 당산동, 구로3동, 경5동, 신길동, 상원3동, 화양동, 양북2동, 조원동, 대림2동 (외 169개의 동은 녹지 면적 밀도 '0')					
Transportations infra. variables	Road area density(Road)	Road areas each district[ha <sup>2</sup> ] Area of each district[ha <sup>2</sup> ]	2014	Transportation management of Seoul metropolitan government	20.6375	11.42759	우이동, 신촌동, 평강동, 성북동, 종로1.2.3.4가동, 내곡동, 역삼1동, 상계3.4동, 양재1동, 도봉1동	우이동, 신촌동, 평강동, 성북동, 종로1.2.3.4가동, 내곡동, 역삼1동, 상계3.4동, 양재1동, 도봉1동	시흥2동, 금호4가동, 신원6동, 상계8동, 개포동, 정자동, 중계4동, 문래1동, 화계2동, 난양동	
	Bus-way(Bus)	The length of bus-way[m]	2014		658.7687	1102.71041	내곡동, 가양동, 양재2동, 방배2동, 종로1.2.3.4가동, 우암신동, 대림2동, 잠실2동, 양재1동, 서초2동	내곡동, 가양동, 양재2동, 방배2동, 종로1.2.3.4가동, 우암신동, 대림2동, 잠실2동, 양재1동, 서초2동	시흥2동, 금호4가동, 신원6동, 상계8동, 개포동, 정자동, 중계4동, 문래1동, 화계2동, 난양동 (외 206개의 동은 버스정류장 보유 없음)	
	Railway(Railway)	The length of rail-way[m]	2014		1169.3478	1525.68841	여의동, 한강로동, 구로동, 종로1.2.3.4가동, 남영동, 가양동, 공평동, 방화2동, 문래동, 월계3동	여의동, 한강로동, 구로동, 종로1.2.3.4가동, 남영동, 가양동, 공평동, 방화2동, 문래동, 월계3동	시흥2동, 신원6동, 상계8동, 개포동, 중계4동, 문래1동, 난양동, 중계1동, 잠실7동, 신당동 (외 117개의 동은 철로 없음)	

\* 서울시 행정동별 전력 소비량과 도시가스 소비량을 각 각 CO2로 변환하고 합하여 각 행정동별 CO2를 구하였음; 자세한 방법은 제 3.2.1절에 소개 되어 있음.

탄소 배출량으로 각 각 환산한 뒤, 2007년 대비 2008년 탄소 배출량의 각 행정동별 증감률의 평균과 중앙값을 구했다. 그 결과, 증감율의 평균은 2%, 중앙값은 0%으로 나타났다. 즉, 2007년 대비 2008년의 탄소 배출의 증감율의 대표값으로서 평균은

2%로 낮은 수준이었다. 따라서, 본 연구에서는 종속변수와 설명변수와 시점 차이가 있지만 서울시 행정동별 2008년 1년 간의 전력 및 도시가스 누적 소비량을 종속변수로 활용하였다. 부가적으로, Kang(2011), Tian *et al.*(2014) 그리고 Videras(2014)

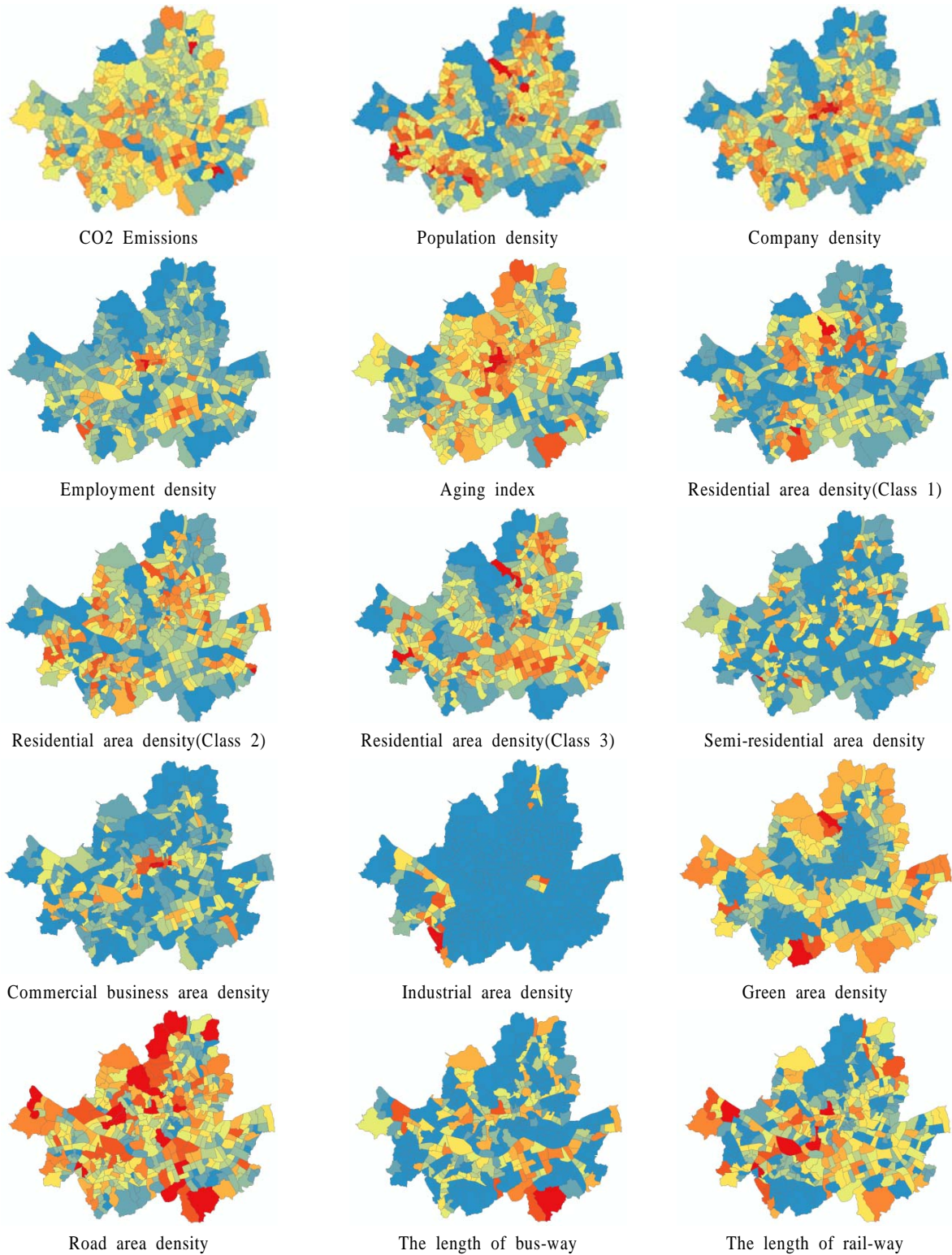


Figure 3. Spatial Patterns of Variables



의 연구에서도 에너지 소비량 종속변수와 독립변수의 시점 차이가 존재하는 제한점에도 불구하고 시점 차이가 있는 변수 데이터를 활용하여 연구가 진행되었다.

둘째, 설명변수 간의 시점 차이가 존재한다. 인구·사회·경제 특성 변수는 2012년의 행정동별 데이터이고, 부동산 토지 특성 변수와 교통 특성 변수는 2014년의 행정동별 데이터이다. 모든 인구·사회·경제특성변수의 세부 변수인 인구 밀도, 사업체 밀도, 고용 밀도, 노령화 지수의 행정동별 데이터는 서울통계로부터 얻었다. 하지만, 세부 변수 중에는 2013년과 2014년 데이터를 제공하지 않는 변수가 있었고 2012년의 데이터는 모두 제공하고 있었다. 따라서, 인구·사회·경제특성변수의 세부 변수들의 시점을 같게 하기 위해서 2012년 기준 데이터를 활용하였다. 서울시로부터 부동산 토지 특성과 교통 특성 데이터는 직접 제공 받았는데, 해당 데이터는 최신 버전으로만 관리되고 있고 매년 대표 데이터를 가지고 있지 않았으므로 연구가 진행된 2014년 데이터를 제공 받아 분석에 활용하였다.

#### 4. 분석 결과

본 연구에서는 서울시 에너지 소비에 따른 이산화탄소 배출 환산량에 대한 일반선형회귀 모형과 공간가중회귀 모형을 추정하였다. 일반선형회귀 모형의 계수치는 각 변수별로 하나의 전역적 계수치만 갖는 반면, 공간가중회귀 모형은 각 행정동 즉, 공간 단위마다 각 변수의 국지적 계수치를 갖는다. <Table 3>와 <Figure 4>을 통해서 각 행정동마다 각 변수별 계수치가 국지적으로 다양하게 분포하고 있음을 파악할 수 있다. <Table 3>는 일반선형회귀 모형의 전역적 계수치와 공간가중회귀 모형의 추정된 국지적 계수치의 최소/최대/중앙값/표준편차, 결정계수, 수정결정계수, AIC값을 정리한 것이다. <Figure 4>을 통해 모든 행정동에 대한 각각의 국지적 계수치의 공간적 분포를 보였다. 참고로 <Figure 4>에서는 음의 계수치를 갖는 행정동은 모두 흰색으로 표현하였고 양의 계수치를 갖는 행정동은 파란색에서 빨간색으로 전장에서 소개된 Jenks' Natural Break 방법으로 그 계수치의 크기를 나타냈다. 또한, <Figure 5>에 공간가중회귀 모형으로부터 추정된 계수치의 표준 잔차의 공간적 분포를 나타냈다. 해당 잔차는 <Figure 4>에 나타난 추정 계수치에 대한 신뢰도를 나타낸다. 전반적으로 도시 중심에 가까울수록 잔차가 작음을 확인할 수 있었다. 제 4.1절에서는 두 모형의 추정된 계수치를 비교하고, 두 모형의 결정계수와 AIC값을 비교함으로써 설명력을 비교한다. 전 과정은 ArcMap 10.1을 활용하였다.

##### 4.1 일반선형회귀 모형에서 유의한 변수에 대한 공간가중회귀 분석의 추정 결과 비교

탄소 배출에 영향을 주는 변수로서 일반선형회귀 모형에서 유의하게 나온 변수를 공간가중회귀 모형의 결과와 비교해 보았

다. 일반선형회귀 분석 결과에 앞서, 다중공선성(Multicollinearity)의 문제가 존재하는지 VIF(Variance Inflation Factor)를 통해 확인하였다. 모든 설명변수에서 VIF 값이 10보다 작게 도출되어 다중공선성의 문제가 없는 것으로 나타났다. 일반선형회귀 분석 결과, 서울시 에너지 소비에 따른 이산화탄소 배출에 유의한 영향을 주는 변수는 총 네 가지로 나타났으며 사업체 밀도는 음의 영향을, 고용 밀도, 도로 밀도, 철로 및 지하철 선로 길이는 각각 양의 영향을 주는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 일반선형회귀 모형의 결과 사업체 밀도가 높을수록, 고용밀도가 낮을수록 에너지 소비에 따른 탄소배출에 각각 음과 양의 영향을 주는 것으로 나타났는데, 인구 밀도, 고용 밀도, 사업체 밀도 등을 지칭하는 도시 압축성(Urban compactness)은 도시의 에너지 접근성을 증가시켜 오히려 에너지 소비를 떨어트린다는 Sovacool and Brown(2010)의 연구 결과와는 다소 차이를 보인다.

일반선형회귀 분석 결과 유의한 네 가지 변수에 대해 공간가중회귀 분석의 결과인 '양의 계수치를 갖는 행정동의 개수'와 '음의 계수치를 갖는 행정동의 개수' 값으로 비교해보면 다음과 같다. 일반선형회귀 분석 결과 사업체 밀도는 이산화탄소 배출에 음의 영향을 가지며, 이 결과와 동일하게 공간가중회귀 분석 결과 사업체 밀도가 높아질수록 이산화탄소 배출에 음의 영향(계수치)을 갖는 행정동이 404개로 양의 영향을 갖는 행정동 19개보다 훨씬 많이 나타났다. 또한, 일반선형회귀 분석 결과 이산화탄소 배출에 양의 영향을 주는 것으로 나타난 고용 밀도, 도로 밀도, 철로 및 지하철 선로 길이의 계수치 역시 공간가중회귀 분석 결과 해당 변수의 값이 높아질수록 탄소 배출에 양의 영향을 갖는 행정동의 개수가 음의 영향을 갖는 행정동의 개수보다 월등히 많은 것으로 나타났다. 다시 말해, 버스 전용차로를 제외한 교통 인프라 특성 변수는 대부분의 행정동에서 탄소 배출에 양의 영향을 주는 것으로 확인되었다.

두 회귀 모형의 설명력을 총 두 가지 기준으로 비교하였다. 회귀 모형의 설명력을 비교하는데 널리 이용되는 결정계수(R-squared)값과 Akaike(1998)의 AIC(Akaike Information Criterion) 값을 활용하였다. 일반적으로 결정계수는 높을수록 그리고 AIC는 낮을수록 추정된 모형의 해당 변수에 따른 설명력이 높음을 의미한다. 일반선형회귀 모형의 결정계수는 0.224으로 나타났으며, 공간가중회귀 모형은 0.606으로 나타났다. 수정결정계수 역시 공간가중회귀 모형이 더 높게 나타났다. 그리고 공간가중회귀 모형의 AIC가 일반선형회귀 모형보다 낮게 나타났다. 결과적으로, 공간가중회귀 모형의 설명력이 일반선형회귀 모형보다 높음을 시사한다. 최종적으로, 각 모형의 잔차를 활용한 Local Moran's I statistic을 비교함으로써 공간가중회귀 모형의 타당성을 제 4.4절에서 입증한다.

##### 4.2 일반선형회귀 분석에서 유의하지 않은 변수에 대한공간가중회귀 분석 결과

제 4.1절에서 일반선형회귀 분석에서 유의하게 나온 변수의 계수치를 공간가중회귀 분석 결과와 비교해봤다면, 제 4.2절에

Table 3. The Comparison with Two Models

Variables	OLS	GWR					
		Min.	Median	Max.	Standard deviation	The # of districts with positive coefficients	The # of districts with negative coefficients
Constant	7,542,028**	-56,891,374	5,437,378	28,940,718	15,626,099	345	78
Population density	59.04	-574.927 (내곡동)	81.9434	1,236.595 (상계1동)	154.12	297	126
Company density	-1,683.34**	-33,829.9 (상계1동)	-1,660.1	2,546.846 (방화2동)	3,979.32	19	404
Employment density	752.55***	193.6496 (발산1동)	649.894	12,477.4 (상계1동)	1,413.93	423	0
Aging index	11,171.73	-182,443 (상계6.7동)	-18,625.8	804,342.8 (거여2동)	194,726.73	149	274
Residential area density (Class 1)	1,471.81	-33,229 (상계1동)	2,246.30	67,640.88 (세곡동)	10,310.40	257	166
Residential area density (Class 2)	-2,793.18	-60,621.2 (상계1동)	-3243.5	15,006.09 (세곡동)	7,161.98	91	332
Residential area density (Class 3)	5,951.84	-80161.9 (상계1동)	1,709.43	33700.03 (세곡동)	10,216.07	244	179
Semi-residential area density	6,283.52	-99,810.4 (상계3.4동)	4,897.07	97,429.85 (장지동)	19,580.04	242	181
Commercial business area density	-14,215.25	-132235 (거여2동)	-9,917.13	18,857.71 (방화3동)	28,089.16	107	316
Industrial area density	-8,824.86	-103,653 (상계1동)	-1,2412.9	6,030.705 (수궁동)	14,257.44	28	395
Green area density	248.65	-4,835.92 (수색동)	-371.932	31,696.96 (세곡동)	5,764.32	183	240
Road area density	37,8561***	-862,983 (장지동)	518,842.9	827,981.7 (방배본동)	326,619.53	384	39
The length of bus-way	-899.95	-7,093.68 (내곡동)	-26.9623	3,589.86 (강일동)	1,717.13	207	216
The length of rail-way	2,250***	-11.3245 (방화2동)	1,600.666	12,957.23 (장지동)	2,202.15	422	1
Goodness-of-fit	R-Squared	0.224	0.606				
	Adjusted R-Squared	0.197	0.463				
	AIC	15,291.475	15188.989				

\* : 유의수준 0.1 이하, \*\* : 유의수준 0.05 이하, \*\*\* : 유의수준 0.01 이하.

서는 일반선형회귀 분석 결과로부터 유의하지 않게 나온 인구·사회·경제 특성 변수의 일부와 부동산 특성 변수에 대해 공간가중회귀 모형의 결과를 살펴 본다. <Figure 4>에서 각 변수의 계수치에 대한 행정동별 공간 분포를 시각적으로 확인할 수 있다. 앞서 설명했듯이 흰색은 계수치가 음수인 것을 뜻하고, 나머지 부분은 양수이면서 크기가 클수록 붉은 색에 가깝다.

인구·사회·경제 특성 변수 중에서 인구 밀도가 높은 행정동일수록 에너지 소비에 따른 이산화탄소 배출에 양의 영향을

주는 행정동의 수(297개)가 그렇지 않은 행정동의 수(126개)보다 많았다. 사업체 밀도와 고용 밀도는 정반대의 결과를 나타냈다. 사업체 밀도가 높은 행정동일수록 이산화탄소 배출에 양의 영향을 주는 행정동의 수가 그렇지 않은 행정동의 수보다 월등히 적은 반면, 고용 밀도가 높은 행정동일수록 탄소 배출에 양의 영향을 주는 행정동의 수가 그렇지 않은 행정동의 수보다 월등히 적었다. 다시 말해, 사업체 밀도는 대부분의 행정동에서 이산화탄소 배출에 음의 영향을 주는 것으로 나타났

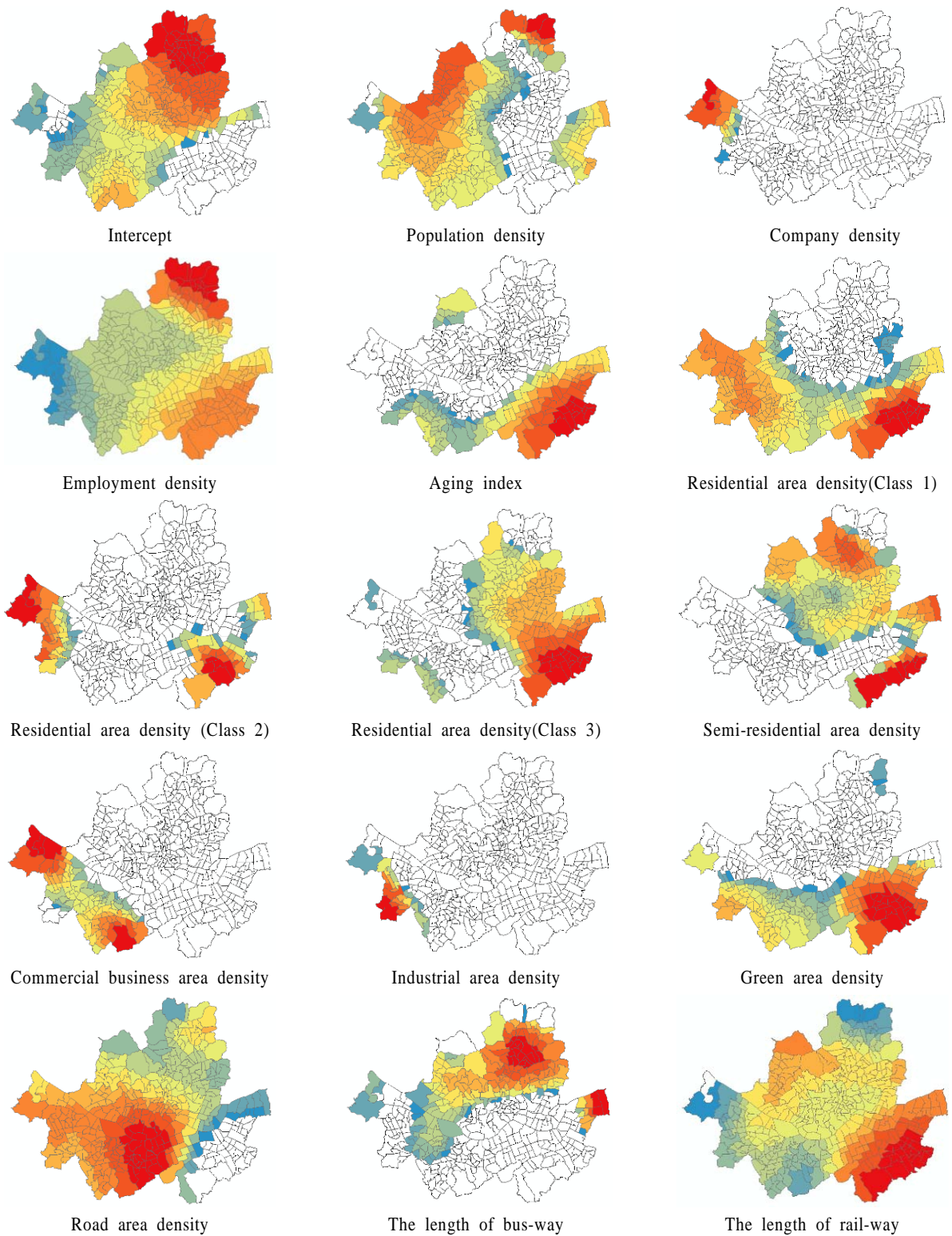


Figure 4. Spatial Patters of Coefficients of GWR Model

고 고용 밀도는 대부분의 행정동에서 양의 영향을 주는 것으로 나타났다. 또한, 노령화 지수는 강남 3구에 포함된 행정동에서 탄소 배출에 높은 양의 영향력을 나타냈다.

부동산 특성 변수 중에서 주거 지역 변수의 공간가중회귀 모

형의 행정동별 추정 계수치를 살펴 보았다. <부록 2>에서 보는 바와 같이, 1종/2종/3종/준 주거지역의 지정 목적이 모두 다르다. 1종 일반 및 전용 주거지역의 경우, 저층 단독주택 중심의 양호한 주거 환경 보호 및 조성을 목적으로 하며, 2종 일반 및

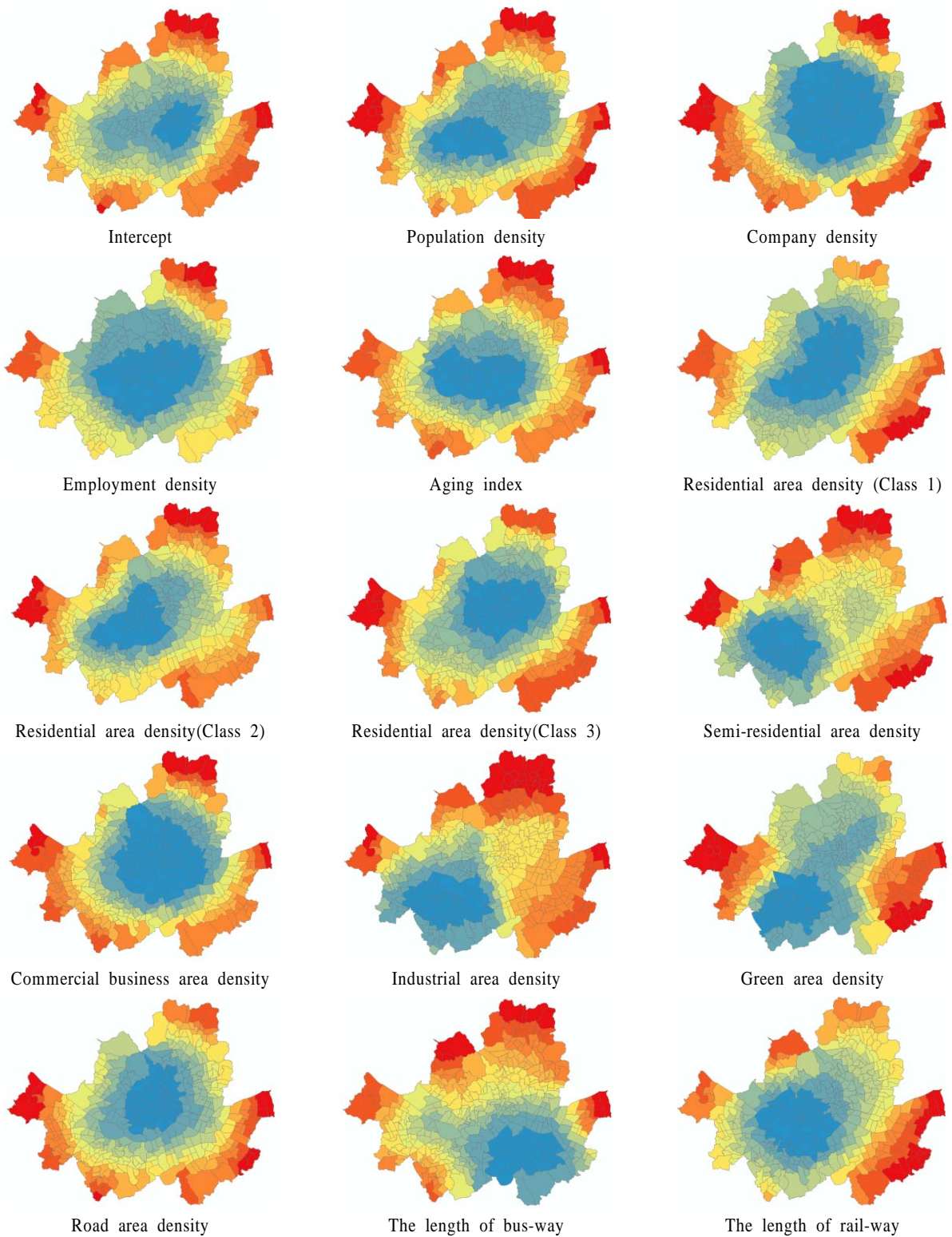


Figure 5. Spatial Patterns of Standard Errors of GWR Model

전용 주거지역의 경우, 중층 공동주택 중심의 양호한 주거 환경 보호 및 조성을 목적으로 용도 지역이 지정된다. 또한 3종 일반 주거지역의 경우, 중·고층 주택 중심의 주거 환경 조성을 목적으로 하며, 준 주거지역의 경우 상업 및 업무 기능이 보

완된 주거 환경 조성을 목적으로 용도 지역이 지정된다. 1종, 3종 및 준 주거 지역의 면적 밀도가 높은 행정동 일수록 에너지 소비에 따른 탄소배출에 양의 영향을 주는(계수치가 양수인) 행정동이 그렇지 않은(계수치가 음수인) 행정동 보다 더 많았

다. 즉, 대부분의 행정동에서 저층 단독 주택(5층에서 7층 이하) 및 중·고층 주택이 많은 1종 및 3종 주거지역의 밀도가 높고 시장과 같은 상업 시설이 포함된 준주거지역의 밀도가 높을수록 에너지 소비에 따른 탄소 배출도 많은 것으로 나타났다. 반면에, 7층 이하의 중층 공동 주택이 많은 2종 주거지역의 밀도가 높을수록 에너지 소비에 따른 탄소 배출에 음의 영향을 주는 행정동이 더욱 많은 것으로 나타났다. 1종/2종/3종/준주거지역 변수의 계수치를 <Figure 4>을 통해 전반적으로 살펴보면, 대부분 강남 3구의 주거지역 변수가 탄소 배출에 높은 양의 영향을 보임을 알 수 있다. 부가적으로, 상업, 공업, 녹지면적의 밀도가 높을수록 에너지 소비에 음의 영향을 주는 행정동의 수가 그렇지 않은 수에 비해 많은 것으로 나타났다. 하지만, 이미 제 3.2.2절에서 살펴봤지만 대부분의 행정동은 상업, 공업, 녹지면적 자체를 포함하지 않아 대부분의 행정동에서 계수치 역시 음수로 나온 것으로 예상된다.

마지막으로, 교통 인프라 변수 중에서는 도로 면적과 철로 길이가 에너지 소비에 따른 탄소 배출에 양의 영향을 주는(계수치가 양수인) 행정동이 그렇지 않은 행정동에 비해 많은 것을 공간적 분포로 확인할 수 있다.

#### 4.3 국지적 결정계수(Local R-square)의 공간적 분포

일반선형회귀 모형에서 분석 대상 공간 전체에 적용되는 한 개의 단일한 결정계수(R-squared)를 갖는 반면, 공간가중회귀 모형에서는 각 공간 단위별 결정계수인 국지적 결정계수(Local R-squared) 값이 존재한다. <Figure 6>에 나타난 국지적 결정계수 값은 0에서 1까지 분포해 있으며, 각 행정동별 설명변수들이 해당 행정동의 이산화탄소 배출량을 추정하는 설명력을 나타낸다. 전반적으로, 서울 남서쪽으로 갈수록 이산화탄소 배출량을 추정하는 공간가중회귀 모형의 높은 설명력을 보여 주는 반면,

서울 북동쪽일수록 이산화탄소 배출량을 예측하는데 본 연구에서 제안한 공간가중회귀 모형의 낮은 설명력을 보여 준다.

#### 4.4 국지적 Moran's I 검정을 이용한 공간가중회귀 모형의 타당성 검증

<Table 4>는 일반선형회귀 모형과 공간가중회귀 모형의 잔차를 이용하여 각 행정동별 국지적 Moran's I 검정을 시행하였다(Anselin, 1995). 공간가중회귀 모형의 잔차를 이용한 국지적 Moran's I 지수가 유의하게 나타난 행정동(유의 수준 0.1)의 수가 일반선형회귀 모형의 잔차를 이용하였을 때 보다 감소함을 확인함으로써 공간가중회귀 모형의 타당성을 입증할 수 있다. 또한, 국지적 Moran's I 지수의 평균값을 비교함으로써 공간가중회귀 모형의 타당성을 입증한다(Tu and Xia, 2008; Kim *et al.*, 2011; Gao and Li, 2011).

국지적 Moran's I 검정을 위해서 공간가중행렬을 구해야 한다. 그 전에 행정동 사이의 인접 관계를 결정해야 하는데 본 연구에서는 각 행정동의 중심점에서 직선 거리가 5km 안에 있는 인접 행정동을 인접 관계로 정의하고 행별 표준화된 공간가중행렬(Row-standardized spatial weight matrix)를 구하였다. 그리고 ArcMap 10.1을 통해서 일반선형회귀 모형과 공간가중회귀 모형의 잔차를 활용해 Local Moran's I 지수를 구하였다.

<Table 4>는 국지적 Moran's I 지수가 유의하게 나타나는 행정동의 개수가 일반선형회귀 모형에 비해 공간가중회귀 모형일 때 줄어든 것을 보여 준다. 일반선형회귀 모형을 추정하였을 때 총 24개의 행정동의 국지적 Moran's I 지수가 0.1 유의 수준 하에서 유의하게 나왔다. 이 중 8개의 행정동을 제외한 16개의 행정동의 국지적 Moran's I 지수가 공간가중회귀 모형의 잔차를 활용하였을 때 유의하지 않아졌고, 10개의 행정동은 추가적으로 유의하게 되었다. 전체적으로, 유의한 국지적 Moran's I 지수

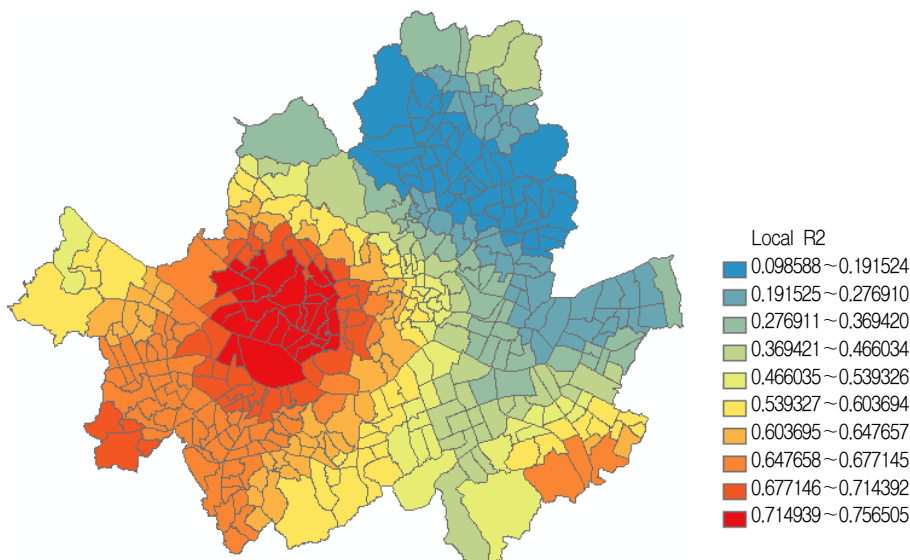


Figure 6. Local R-squared of GWR

Table 4. Local Moran's I of Two Models

Model	Average	Standard deviation	Min.	Max.	The number of districts with significant Local Moran's I statistics out of the 423 districts
OLS	0.0695	0.1308	-0.7466	1.5996	24(5.6%)
GWR	0.0630	0.2414	-3.1406	0.5492	18(4.3%)

를 갖는 행정동이 24개에서 18개로 줄어들음을 확인하였다. 즉, 공간가중회귀 모형을 추정함으로써 국지적 공간 상관성이 사라지면서 일반선형회귀 모형이 에너지 소비에 따른 이산화탄소 배출량 모형을 추정하는데 적합하지 않았음을 보여 준다. 다시 말해, 일반선형회귀 모형에 비해 본 연구에서 제안한 공간가중회귀 모형이 서울시에 대한 이산화탄소 배출을 추정하는데 있어서 더욱 적합함을 의미한다. 또한, 일반적으로 Local Moran's I 지수의 절대값이 클수록 해당 지역이 공간적 자기 상관성을 가지고 있다고 해석할 수 있으며, 0에 가까울수록 공간적 자기 상관성이 없는 완전한 임의성을 가진다고 해석할 수 있다. <Table 4>에 나타난 결과, 일반선형회귀 모형보다 공간가중회귀 모형의 국지적 Moran's I 지수의 절대값의 평균값이 작아짐을 확인하였고 이 또한 공간가중회귀 모형의 타당성을 보여 준다.

## 5. 결론

본 연구는 기존 연구에서 간과되었던 공간적 이질성을 바탕으로 에너지 소비에 따른 탄소 배출이 서울시의 423개의 행정동별 서로 다른 국지적 영향이 존재할 것이라고 가정하였다. 다양한 연구를 바탕으로 탄소 배출과 연관성이 있는 인구·사회·경제적, 부동산 특성 및 교통 인프라 특성을 구성하였고 실제 지도 기반의 데이터로 ArcMap 10.1을 이용하여 변수를 추출하였다. 그리고 서울시 탄소 배출 공간가중회귀 모형을 추정하여 국지적 수준으로 분석을 진행하였다. 일반선형회귀 모형과의 결정계수 및 AIC값 비교를 통해서 본 연구에서 제안된 모형의 높은 설명력을 보였고, 국지적 Moran's I 지수의 유의한 행정동의 개수를 비교하여 본 연구의 모형의 타당성을 입증하였다.

본 연구의 공간가중회귀 모형 추정 결과, 서울시 대부분의 행정동의 인구 및 고용 밀도는 이산화탄소 배출에 양의 영향을 주는 것으로 나타났고 사업체 밀도는 대부분의 행정동에서 음의 영향을 주는 것으로 나타났다. 부동산 특성 변수의 경우 1종/2종/3종/준 주거지역과 녹지지역을 모두 통틀어 강남 3구에 소속된 행정동들이 탄소 배출에 가장 높은 양의 영향력을 가짐을 확인하였다. 교통 인프라 변수 같은 경우, 도로 밀도가 높고 철로를 많이 포함할수록 대부분 행정동에서 탄소 배출에 높은 양의 영향을 가짐을 확인할 수 있었다. 본 연구의 결과는 도시 전반의 특성을 나타내는 인구, 사회, 경제, 부동산, 교통 특성 요인의 대도시의 탄소 배출에 대한 공간적 영향력을 국지적으로 보여줄 뿐만 아니라, 각 행정동의 특성에 따른 에너지 정책 수립의 기반이 될 수 있다.

본 연구의 한계는 다음과 같다. 첫째, 설명변수와 종속변수 데이터 간의 시간 차이가 있다는 점이다. 물론, 제 3장 제 (1)절에 소개했듯이 서울시의 매년 에너지 소비량이 크게 증감하지는 않지만, 설명변수들은 2012년부터 2014년에 수집된 데이터 기반이고 종속변수인 이산화탄소 배출 환산량은 2008년 1년간 에너지 소비량이므로 이러한 시점 차이가 모형의 결과에 영향을 주었을 것으로 예상된다. 둘째, 본 연구에서 활용된 이산화탄소 배출 환산량은 서울시의 에너지 소비에서 46%의 석유, 열에너지, 신재생에너지로 인한 소비량을 제외한 54%의 전력 및 도시가스 소비량만을 분석 대상으로 삼았기 때문에 설명력에 한계가 있을 수 있다. 마지막으로, 국지적 결정계수의 값이 서울시 남서쪽은 0.7 이상으로 높으나, 동북쪽으로 갈수록 0.1 미만으로 작은 설명력을 보인다. 이는 새로운 변수를 추가하여 설명력을 높이는 등의 방법으로 향후 연구를 통해 개선되어야 할 부분이다.

## 참고문헌

- Anselin, L. (1995), Local indicators of spatial association-LISA, *Geographical Analysis*, **27**(2), 93-115.
- Anselin, L. (1988), *Spatial econometrics : Methods and models*, Kluwer Academic, Dordrecht, Netherland.
- Brunsdon, C., Fotheringham, A. S., and Charlton, M. E. (1996), Geographically weighted regression : A method for exploring spatial non-stationarity, *Geographical Analysis*, **28**(4), 281-298.
- Burnett, J. W., Bergstrom, J. C., and Dorfman, J. H. (2013), A spatial panel data approach to estimating US state-level energy emissions, *Energy Economics*, **40**, 396-404.
- Cheng, Y., Wang, Z., Ye, X., and Wei, Y. D. (2014), Spatiotemporal dynamics of carbon intensity from energy consumption in China, *Journal of Geographical Sciences*, **24**(4), 631-650.
- Choi, H. S. and Sohn, S. Y. (2015), Influence of interests in geographical indication on the prediction of price change of agricultural product : case of apples, *Journal of Korean Institute of Industrial Engineers*, **41**(4), 359-367.
- De Smith, M. J., Goodchild, M. F., and Longley, P. (2007), *Geospatial analysis : a comprehensive guide to principles, techniques and software tools*, Troubador Publishing, Leicester, UK.
- Desipri, K., Legaki, N. Z., and Assimakopoulos, V. (2014), Determinants of domestic electricity consumption and energy behavior : A Greek case study, *The 5th International Conference on IEEE in Information, Intelligence, Systems and Applications*, IEEE, 144-149.
- Glasure, Y. U. and Lee, A. R. (1998), Cointegration, error-correction, and the relationship between GDP and energy : The case of South Korea and Singapore, *Resource and Energy Economics*, **20**(1), 17-25.

- Griffin, A. (2014), *Domestic energy consumption and social living standards : A GIS analysis within the Greater London authority area*, LUMA-GIS Thesis, Lund University, Lund, Sweden.
- Hurvich, C. M., Simonoff, J. S., and Tsai, C. L. (1998), Smoothing parameter selection in nonparametric regression using an improved Akaike information criterion, *Journal of the Royal Statistical Society : Series B (Statistical Methodology)*, **60**(2), 271-293.
- IPCC (2007), *Climate change 2007 : The physical science basis*, Cambridge University Press, 141.
- Jiang, L., Ji, M., and Bai, L. (2015), Characterizing China's energy consumption with selective economic factors and energy-resource endowment : A spatial econometric approach, *Frontiers of Earth Science*, **9**(2), 355-368.
- Kang, C. D. (2011), Analysis on energy consumption and its policy implication in Seoul with spatial econometrics : focusing on electricity and gas consumption, *Seoul Studies*, **12**(4), 1-22.
- Kiehl, J. T. and Trenberth, K. E. (1997), Earth's annual global mean energy budget, *Bulletin of the American Meteorological Society*, **78**(2), 197-208.
- Kim, I. H., Oh, K. S., and Jeong, S. H. (2011), Carbon emission model development using urban planning criteria : focusing on the case of Seoul, *Journal of Korea Spatial Information Society*, **19**(6), 12.
- Kim, Y. G., An, Q., and Kim, S. W. (2015), The research of difference between public and private section : sort by region in China, *Journal of the Korean Operations Research and Management Science Society*, **40**(1), 139-154.
- Lee, W. S. and Sohn, S. Y. (2015), Topic model analysis of research trend on spatial big data, *Journal of Korean Institute of Industrial Engineers*, **41**(1), 64-73.
- Li, Q. and Racine, J. (2004), Cross-validated local linear nonparametric regression, *Statistica Sinica*, **14**(2), 485-512.
- Nam, K. C., Lim, U., Kim, H. S., and Lee, J. S. (2010), Building carbon emission model for the change of urban spatial structure and growth management using system dynamics approach, *Journal of Korea Regional Science Association*, **26**(3), 99-114.
- Narayan, P. K. and Smyth, R. (2005), Electricity consumption, employment and real income in Australia evidence from multivariate granger causality tests, *Energy Policy*, **33**(9), 1109-1116.
- Osland, L. (2010), An application of spatial econometrics in relation to hedonic house price modeling, *Journal of Real Estate Research*, **32**(3), 289-320.
- Parajuli, R., Østergaard, P. A., Dalgaard, T., and Pokharel, G. R. (2014), Energy consumption projection of Nepal : An econometric approach, *Renewable Energy*, **63**, 432-444.
- Seoul : Seoul Metropolitan Government (2010), *Cartography of Climate and Energy of Seoul-The Third Final Report*, Seoul.
- Sovacool, B. K. and Brown, M. A. (2010), Twelve metropolitan carbon footprints : A preliminary comparative global assessment, *Energy policy*, **38**(9), 4856-4869.
- Tewathia, N. (2014), Determinants of the household electricity consumption : A case study of delhi, *International Journal of Energy Economics and Policy*, **4**(3), 337-348.
- Tian, W., Song, J., and Li, Z. (2014), Spatial regression analysis of domestic energy in urban areas, *Energy*, **76**, 629-640.
- Videras, J. (2014), Exploring spatial patterns of carbon emissions in the USA : a geographically weighted regression approach, *Population and Environment*, **36**(2), 137-154.
- Wang, S., Fang, C., Ma, H., Wang, Y., and Qin, J. (2014), Spatial differences and multi-mechanism of carbon footprint based on GWR model in provincial China, *Journal of Geographical Sciences*, **24**(4), 612-630.
- Yang, H. Y. (2000), A note on the causal relationship between energy and GDP in Taiwan, *Energy Economics*, **22**(3), 309-317.
- Yu, H. (2012), The influential factors of China's regional energy intensity and its spatial linkages : 1988 ~ 2007, *Energy Policy*, **45**, 583-593.
- Zhao, X., Burnett, J., and Fletcher, J. J. (2014), Spatial analysis of China province-level CO2 emission intensity, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **33**, 1-10.

<부록 1> 각 변수간 상관 계수

	CO2_08	PD	CD	ED	AP	LD_1	LD_2	LD_3	LD_s	LC	LI	LG	Road	Bus	Railway
CO2_08	1	-0.106*	0.004	-0.033	0.117*	0.044	-0.047	0.038	0.039	0.085	0.062	0.007	0.292***	0.1305**	0.2653***
PD		1	-0.140**	0.142**	-0.007	-0.050	0.218***	0.160***	0.116*	0.054	-0.042	-0.080	-0.100*	-0.0413	-0.0009
CD			1	-0.225***	0.010	0.008	-0.251***	-0.117*	-0.003	0.070	0.020	0.049	0.073	0.1066*	0.0642
ED				1	0.035	-0.013	0.209***	0.007	-0.014	0.000	0.081	-0.052	0.080	-0.0027	-0.0795
AP					1	0.118*	0.002	-0.281***	0.177***	0.539***	-0.054	-0.075	0.233***	0.1062*	0.2098***
LD_1						1	0.042	-0.101*	-0.005	-0.119*	-0.147**	0.177***	0.094	-0.1251**	-0.1556***
LD_2							1	-0.003	0.102*	-0.181***	-0.216***	-0.017	-0.013	-0.1908	-0.2245***
LD_3								1	0.013	-0.061	-0.188***	-0.025	-0.250***	0.0196	-0.0715
LD_s									1	0.084	0.014	-0.065	-0.022	-0.0121	0.0307
LC										1	-0.048	-0.075	0.039	0.1476**	0.2262***
LI											1	-0.046	0.074	0.0478	0.2339***
LG												1	0.082	-0.0119	-0.0183
Road													1	0.2871***	0.3389***
Bus														1	0.4079***
Railway															1

\* : 유의수준 0.1 이하, \*\* : 유의수준 0.05 이하, \*\*\* : 유의수준 0.01 이하.

<부록 2> 각 독립변수의 VIF 값

	PD	CD	ED	AP	LD_1	LD_2	LD_3	LD_S	LC	LI	LG	RO_A	BUS_	RAIL
VIF	3.685	3.823	2.494	1.906	1.258	2.672	2.130	1.199	3.504	1.707	1.069	1.347	1.301	1.578

<부록 3> 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 제 6조

도시 용도 지역의 구분		지정 목적		용적률	건폐율
주거지역	전용	제1종	단독주택 중심의 양호한 주거환경 보호	50~100%	50% 이하
		제2종	공동 주택 중심의 양호한 주거 환경 보호	100~150%	50% 이하
	일반	제1종	저층 주택 중심의 주거환경 조성	100~200%	60% 이하
		제2종	중층 주택 중심의 주거환경 조성	150~250%	60% 이하
		제3종	중·고층 주택 중심의 주거환경 조성	200~300%	50% 이하
준	주거 기능에 상업 및 업무 기능 보완	200~500%	70% 이하		
상업지역	중심상업	도심·부도심의상업·업무기능 확충	400~1,500%	90% 이하	
	일반상업	일반적인 상업 및 업무기능 담당	300~1,300%	80% 이하	
	근린상업	근린지역의 일용품 및 서비스 공급	200~900%	70% 이하	
	유통상업	도시내 및 지역간 유통기능의 증진	200~1,100%	80% 이하	
공업지역	전용공업	중화학공업 공해성 공업 등을 수용	150~300%	70% 이하	
	일반공업	환경을 저해하지 아니하는 공업의 배치	200~350%		
	준 공업	경공업 수용 및 주·상·업무기능의 보완	200~400%		
녹지지역	보전녹지	도시의자연환경·경관·산림 및 녹지공간 보전	50~80%	20% 이하	
	생산녹지	농업적 생산을 위하여 개발을 유보	50~100%		
	자연녹지	보전할 필요가 있는 지역으로 제한적 개발허용	50~100%		