

# 지역별 도시특성이 이산화탄소 배출에 미치는 영향\*

## Effects of Urban Characteristics on CO<sub>2</sub> Emission by Region

유성필\*\* · 황지욱\*\*\*

Yoo, Sung-Phil · Hwang, Jee-Wook

### Abstract

This study aims to examine how CO<sub>2</sub> Emissions are affected by the regional urban characteristics by utilizing the geographically weighted regression model(GWR) and linear regression model(OLS). Besides, it compared and analyzed the results between GWR and OLS. As a result, GWR's result has improved upon OLS's one, because it considers the spatial autocorrelation of the residual.

The result of GWR displays that the total population, the per head local taxes and the regional manufacturing ratio proves to increase CO<sub>2</sub> Emissions in the region. This is same as the result of OLS, though the effects of regional manufacturing ratio are obviously displayed the spatial heterogeneities because the sizes of locally influence are different. In comparison with the result of OLS, aged population ratio and primary industry ratio also show different influence direction in some regions of our country.

In this context, the central and local governments have to consider regional characteristics, when executing the plans and policy in connection with the reductions of CO<sub>2</sub> Emissions.

**키 워 드** ▪ 이산화탄소 배출량, 도시특성, 공간적 자기상관성, 공간적 이질성, 일반회귀모형, 지리가중 회귀모형

**Keywords** ▪ CO<sub>2</sub> Emission, Urban Characteristics, Spatial Autocorrelation, Spatial Heterogeneity, Linear Regression Model(OLS), Geographically Weighted Regression Model(GWR)

## I. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

급격한 산업화과정에서 발생한 온실가스로 인한 기후변화의 문제의식은 환경문제뿐만 아니라 정치, 사회, 경제 등 여러 분야에서 심각한 문제로 대두되었다. 따라서 각국 정부는 지구온난화 방지를 위해 1992년 리우환경회의의 기후변화협약이 체결되

면서 탄소배출권제 도입, 신재생에너지 개발 등과 같은 다각적인 노력을 기울이고, 세계를 에너지기후시대(Energy Climate Era)로 들어서게 하였다(국토연구원, 2008; 이효진, 2013).

이러한 시대적 흐름 속에서 우리나라는 2008년에 국가비전으로 '저탄소 녹색성장'을 선포하였으며, 기후변화는 국토환경, 국토공간구조, 에너지 및 자원의 이용, 교통체계, 경제·산업, 생활문화 등 각 분

\* 본 논문은 전북대학교 기후변화특성화대학원의 지원으로 이루어짐

\*\* Department. of Urban Engineering, Chonbuk National University (first author: yoosungphil@hanmail.net)

\*\*\* Department. of Urban Engineering, Chonbuk National University (corresponding author: jwhwang@jbnu.ac.kr)

야에 영향을 끼치며 다양한 분야에서 연구 및 정책 실행 등이 이루어지고 있다.

이 중 도시계획분야에서는 기후변화를 독립적인 이슈로 이해하기 보다는 1987년 세계환경개발위원회(WCED)의 브룬트란트 보고서(The Brundtland Report)에서 시작된 ‘지속가능한 개발’의 개념에서 대응해야 하는 이슈(Swart et al., 2003; Pinkse and Kolk 2012; 이상준, 2013)로서 기후변화에 대응한 도시계획체계와 평가모형개발, 도시의 취약성 평가, 도시정책 및 제도에 대한 연구가 진행되고 있다. 또한 온실가스에 의한 지구온난화의 직접적인 영향은 CO<sub>2</sub>를 배출하는 요인들이 가용되고 운용되고 있는 곳은 도시로서 CO<sub>2</sub>의 배출량과 도시의 토지이용측면의 관계에 초점을 둔 교통계획, 도시공간 구조 및 도시특성에 대한 실증분석 및 사례분석이 이루어지고 있다(허세화, 2012). 그러나 국내외 많은 연구는 주로 교통에너지 소비와 도시 공간구조의 특성에 관한 연구가 주를 이루고 있는 실정이다.

이러한 맥락에서 본 논문은 도시특성이 온실가스 배출에 어떠한 관계가 있는지, 또한 지역별로 얼마만큼 영향을 주고 있는지를 살펴보고 정책적 시사점을 도출하고자 한다.

## 2. 연구의 범위 및 방법

본 연구는 도시특성과 CO<sub>2</sub>배출량 간의 관계를 살펴보고자 국토연구원에서 구축한 지역별 온실가스 인벤토리 자료와 지역별 통계자료의 구득성을 고려하여 2005년 우리나라 전국 229개 시·군·구를 연구의 시간적·공간적 범위로 하여 다음 단계로 진행하였다.<sup>1)</sup>

첫째, 선행연구 고찰 및 문제제기 단계로서 도시특성이 온실가스 배출에 미치는 영향에 대한 선행

연구를 고찰하여 연구의 필요성을 제시한다.

둘째, 도시특성지표 선정단계로서 관련이론 및 기존 선행연구에서 중요하게 제시되고 있는 관련지표를 종합하고, 상관분석을 통해 최종지표를 선정한다.

셋째, 실증분석 단계로서 종속변수를 CO<sub>2</sub>배출량으로 독립변수는 도시특성지표로 하여 도시특성지표가 CO<sub>2</sub>배출량에 미치는 영향을 분석한다. 나아가 잔차의 분포특성을 통해 공간적 자기상관성을 살펴보고 지리가중회귀모형으로 분석하여 모형별 분석 결과를 비교·분석한다.

넷째, 지역별 도시특성이 CO<sub>2</sub>배출량에 미치는 영향은 지역별로 어떠한 특징을 나타내고 있는지를 독립변수(도시특성지표)별 회귀계수 값을 지도화하여 특징을 살펴본다.

마지막으로 본 논문을 통해 도출된 지역별 특성을 고려한 CO<sub>2</sub>의 배출량에 대한 정책적 함의를 도출한다.

## II. 연구내용

### 1. 선행연구 고찰

본 장에서는 도시특성과 CO<sub>2</sub>배출량 간의 관계를 살펴보고자하는 본 연구의 목적과 직접적인 연관을 갖는 선행연구들을 선별하여 검토하였다.

국토연구원(2008)은 지역별 온실가스 인벤토리를 구축하고 각 지역이 가지고 있는 사회, 경제, 지리적 특성은 온실가스 배출량과 관계가 있을 것이라는 가정 하에, 지역특성을 나타내는 지표들을 선정하여 CO<sub>2</sub>배출량과의 상관성을 분석하였다.

선행연구 및 지속가능한 국토관리와 연관된 지표를 고려하여 39개 지표를 6개 부문(인구, 면적, 경제, 토지이용, 건물, 교통)으로 분류하여 상관분석을

실시한 결과 총 13개 지표(인구밀도, 노인인구비중, 만인당 시가화구역 면적, 1인당 공원면적, 산림면적, 1인당 지방재정규모, 2차산업비중, 3차산업비중, 주거지역비율, 공업지역비율, 평균가구원수, 공업용건축허가면적 비율, 만인당차량등록대수)가 유의수준 1%에서 CO<sub>2</sub>배출량과 상관관계가 있는 것으로 분석하였다.

김병석(2011)은 지속가능성에 대하여 대표적으로 논의되고 있는 압축도시에 대한 실증분석을 위해 2005년 우리나라 82개 도시를 대상으로 압축도시의 토지이용 특성요인을 6개(인구밀도, 혼합토지이용, 직주비율, 시가지면적, 공원면적, 쓰레기배출량)로 도출하고, CO<sub>2</sub>배출량 간의 관계를 이종로그 다중회귀모형을 사용하여 분석하였다. 그 결과 직주비율과 공원면적을 제외한 변수들이 CO<sub>2</sub>배출에 통계적으로 유의미한 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 이 중 토지이용은 용도지역 간 혼합이 이루어질수록 CO<sub>2</sub>배출량은 감소하는 것으로 나타난 반면, 인구집중과 시가지면적의 증가는 차량을 포함한 대부분의 CO<sub>2</sub>발생원의 집중을 초래하여 대기오염, 쓰레기 등의 환경문제를 발생시키는 것으로 분석하였다. 따라서 도시의 고밀화보다 혼합토지이용을 통한 직주근접형의 도시개발과 짧은 이동거리에 대한 수요 증가가 자동차 통행수요의 증가로 이어지지 않도록 무동력 교통수단의 이용을 높일 수 있는 다양한 교통대안이 마련되어야 한다고 제안하였다. 또한 인구밀도가 과밀수준에 이르면 각종 기반시설의 용량을 초과하게 되고 환경·에너지·교통문제를 유발하므로 제반 기반시설 및 환경용량의 범위 내에서 인구밀도를 유지시키는 정책이 필요하며, 마지막으로 도시에서의 CO<sub>2</sub>의 배출은 주택과 빌딩을 비롯한 건축물의 에너지사용에도 영향을 받지만 구조적인 측면에서는 도시 내 이동방식, 도시밀도와 공간구조 등 토지이용 형태에 의하여 크게 좌우되므로 도시계획 측면에서 CO<sub>2</sub>의 저감을 위한 토지이용 방식은 앞

으로 더욱 다양한 측면에서 연구가 축적되어야 할 필요가 있다고 하였다.

김인현(2011)은 서울시를 대상으로 CO<sub>2</sub>배출량 지도를 작성하고, 도시환경의 질에 영향을 미칠 수 있는 도시형태 요소와 비교하는 과정을 수행하여, 탄소배출량이 낮은 도시계획요소를 파악하고자 하였다. 따라서 1차적으로 도시형태요소를 선정하고 상관분석을 통해 다중공선성이 의심되는 변수를 제거하였으며, 단계적 회귀모형을 통해 최적의 회귀식에서 도출된 독립변수로 통행량, 상업 및 업무지역 면적, 용적률, 건폐율, 연면적, 주거지역 면적, 교통시설지 면적 7개를 선정되었다. 그 결과 총 교통량, 상업 및 업무면적, 용적률, 건폐율이 배출량에 가장 큰 영향을 주는 것으로 나타났으며, 인구밀도와 공업, 공공용도, 공원 및 녹지의 경우 서울시 전체 면적에 비해 각각의 면적이 적기 때문에 유의수준이 낮게 나타남으로써 제외하였다.

허세화(2012)는 CO<sub>2</sub>배출량에 직접적인 영향을 미치는 산업·자동차 등의 1차원적인 배출원이 아닌 도시의 사회·경제적 특성이 어떠한 상관관계가 있으며, 도시의 여러 구성요소들 간의 복잡 미묘한 영향력을 분석하고자 하였다. 연구대상지는 도시규모별로 광역도시 6개소, 대도시 11개소, 중소도시 26개소를 대상으로 전문가 설문을 통해 도시의 구성요소들 중 CO<sub>2</sub>배출량에 미칠 예상되는 영향력의 수준을 분석하였다. 그 결과 도시의 부문별 큰 영향을 미칠 것으로 예상되는 도시의 구성요소를 인구수, 자동차 등록수, 광업 및 제조업수, 건설업, 전기 및 가스업, 운수업, 주거지역면적, 지역내 총생산, 1인당 지방세 부담액, 사업체수, 재정자립도, 공업지역면적율, 산업인구 13개 변수를 선정하였다. 그리고 다중회귀분석을 실시한 결과 광역도시 규모에서는 지역내 총생산과 공업지역면적율이 영향을 미치며, 대도시 규모에서는 공업지역면적율과 1인당 지방세 부담액이 영향을, 중소도시 규모에서는 지역

내 총생산(GRDP)과 전기 및 가스업이 영향을 미치고 있는 것으로 분석하였다.

김병석(2013)은 도시공간구조와 기타 도시특성변수들이 1인당 CO<sub>2</sub>배출에 어떠한 영향을 미치는지 분석하고자 우리나라 82개 도시를 대상으로 도시형태를 단핵-집중형도시, 다핵-집중형도시, 단핵-분산형도시, 다핵-분산형도시로 분류하였다. 그리고 2005년 통계자료와 국토연구원자료를 활용하여 도시특성을 밀도(인구밀도, 고용밀도), 토지이용(혼합토지이용, 주거비율, 시가지면적, 공동주택비율), 산업-경제(2차 산업비율, 3차 산업비율, 1인당 지방세납부액), 교통(승용차분당물, 대중교통분당물, 1인당 평균통근통행거리, 1인당 승용차등록대수), 환경(녹지비율, 1인당 폐기물 배출량, 연평균 기온), 도시형태(집중/분산, 단핵/다핵) 등을 선정하였다. 그리고 1인당 CO<sub>2</sub>배출에 어떠한 영향을 미치는지 분석하기 위해 상관분석과 다중회귀모형을 이용하여 분석하고 유형별 사례도시들에 대한 시스템다이내믹스 분석을 실시하였다. 그 결과 도시공간구조 측면에서 단핵-집중형 도시가 다른 도시형태보다 상대적으로 1인당 CO<sub>2</sub>배출량이 적으로 것으로 나타났으며, 도시특성변수 측면에서 인구밀도, 혼합토지이용, 공동주택비율, 1인당 평균통근통행거리, 녹지비율 등이 1인당 CO<sub>2</sub>배출량을 감소시키는 것으로 나타났다. 반면에 2차산업비율, 시가지면적, 1인당 승용차등록대수, 1인당 폐기물 배출량은 1인당 CO<sub>2</sub>배출량을 증가시키는 것으로 분석하였다.

권수현(2014)은 수도권(서울특별시, 인천광역시, 경기도)의 66개 시·군·구의 2002년과 2008년 CO<sub>2</sub>배출량의 변화와 도시구성요소 간의 관계를 기존의 일반회귀모형이 아닌 공간계량모형을 통해 공간적 특성을 반영하고자 하였다. 따라서 도시구성요소를 상관분석을 통해 인구, 사업체밀도, 개발제한구역 밀도, 상업·공업지역 밀도, 녹지지역 밀도, 도로연장, 1인당 차량 등록수, 하천비율 등 12개의 독립변수

를 최종적으로 선정하였다. 또한 종속변수인 CO<sub>2</sub>배출총량과 가정, 농업, 산업, 상업공공, 수송부문에 대해 공간자기 상관성을 통해 CO<sub>2</sub>배출량의 전역적(Moran's I계수), 국지적(LISA분석) 연관성을 살펴보고, 각 부문별로 일반회귀모형(OLS), 공간시차모형(SLM), 공간오차모형(SEM)으로 각각 분석하여 유의성이 높게 나타나는 모형을 사용하였다. 그 결과 인구가 모든 부문에서 영향을 미치며, 사업체 밀도, 상업 및 공업지역 밀도, 도로연장, 1인당 차량등록수가 각 부문에서 높은 영향력을 보였으며, 2002년과 2008년간의 차이를 보았을 때 정책 및 사회의 변화에 따라 CO<sub>2</sub>의 배출량에 미치는 변수들의 영향력이 변화하는 것으로 분석하였다.

손철희(2014)는 IPCC가이드라인에 따라 우리나라의 107개 지방자치단체의 CO<sub>2</sub>배출 인벤토리를 구축하여 배출량을 산정하고, 도시공간구조특성 요소들을 선정하고 군집분석과 산점도를 이용하여 도시유형을 분류하였다. 그리고 구조모형을 사용하여 CO<sub>2</sub> 배출영향 구조분석 모델을 개발하고 우리나라 107개 도시에 적용한 결과, 도시공간구조 특성변수 중 버스이용 가구 수, 인구밀도, 공동주택주거비율, 재정자립도, 고용자 수, 노인비율은 1인당 CO<sub>2</sub>배출량을 감소시키는 것으로 나타났으며, 자동차대수, 도로 총연장, 주택 수 등은 1인당 CO<sub>2</sub>배출량을 증가시키는 것으로 분석하였다.

이상으로 선행연구에서는 연구자들이 선행연구를 통해 다양한 도시특성(지역특성)지표를 선정하고, 상관분석과 다중회귀모형을 이용하여 CO<sub>2</sub>배출량에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 도시규모별, 도시구조(분산정도, 도심의 개수)별로 우리나라 도시를 유형화하고 그 특성을 살펴보고 있다. 그러나 선행연구에서 주로 이용되고 있는 일반회귀모형은 공간개념을 포함한 변수를 종속변수로 활용할 경우 종속변수가 서로 독립적이라는 것을 기본전제로 한다. 그러나 도시 공간(공간 개념)을 포함한 변수를 종

속변수로 활용할 경우 종속변수끼리 상관관계를 가지게 되는 경우(공간적 동질성 또는 의존성)와 공간이 종속변수의 결정에 미치는 영향이 균일하게 나타나지 않는 경우가 발생하게 된다(이성우 외, 2006). 따라서 권수현(2014)은 도시공간구조가 CO<sub>2</sub> 배출량에 미치는 영향을 공간적 동질성을 전제로 분석하였다. 그러나 각 부문별로 분석하는데 있어 공간시차모형(SLM), 공간오차모형(SEM), 일반회귀모형(OLS) 중 유의성이 높은 모델을 최종모델로 결정함으로써 공간적 관계를 증명하기보다는 단순히 설명력이 높은 모델을 찾고자 하였다는 한계점을 가지고 있다.

따라서 공간변수인 도시특성(독립변수)이 지역별 CO<sub>2</sub>배출량(종속변수)에 미치는 영향이 어떻게 나타나고 있는지를 지리가중회귀모형<sup>2)</sup>을 이용하여 살펴볼 필요가 있다.

## 2. 도시특성지표 선정

### 1) 도시특성 관련지표

도시특성요소를 도출하기 위해 도시공간구조와 관련된 기존연구와 앞서 살펴본 선행연구에서 중요하게 제시되고 있는 지표들을 조사하였다.

그러나 선행연구에서 CO<sub>2</sub>배출량에 통계적으로 유의미하게 영향을 미치고 있는 변수들 중 지역총생산의 경우 서울시의 시·군·구 단위로 발표가 되고 있지 않아 제외하였으며, 개발제한구역의 경우 군단위의 경우 개발제한구역이 대부분 지정되어 있지 않아 제외하였다. 그리고 교통량은 도로시설을 기준으로 조사되고 있어서 본 연구의 분석단위와 일치하기 어려워 제외하였다. 마지막으로 임야면적은 연구의 시간적 범위가 2005년으로 임야에 대한 지목 현실화<sup>3)</sup>가 이루어지기 전으로 CO<sub>2</sub>배출량에 대한 객관적인 영향력을 분석하는데 무리가 있어 제외하

였다. 그 밖에 다른 지표들은 비슷한 정보들을 통합하고 필요하다고 생각되는 지표를 추가하는 작업을 진행하였다.

그 결과 도시특성을 대표하는 지표로 크게 인구, 경제, 토지이용, 건물, 교통, 환경 6개 부문 31개 지표로 구성하였다.

표 1. 도시특성지표

Table 1. The Indicator of Urban Characteristics

부문 Section	지표명 Valuable	단위 Unit
인구 Popula- tion	총인구 Total population	인
	인구밀도 Population density	인/ha
	주간인구지수 Daytime population index	인
	고령인구비율 Aged population ratio	%
	평균 가구원수 Number of household member	인/ 가구
	1인 가구 비율 Single household ratio	%
경제 Eco- nomy	1인당 지방세 납부액 Per head local taxes	원
	재정자립도 Self-reliance ratio	%
	경제활동참가율 Activity ratio	%
	사업체 밀도 Enterprise density	개/ha
	1차산업비중 Primary industry ratio	%
	2차산업비중 Secondary industry ratio	%
	3차산업비중 Tertiary industry ratio	%
토지 이용 Land utiliza- tion	도시화율 Urbanization levels	%
	주거지역비율 Residential zone ratio	%
	상업지역비율 Commercial zone ratio	%
	공업지역비율 Manufacturing zone ratio	%

표 1. 도시특성지표(계속)  
Table 1. The Indicator of Urban Characteristics

부문 Section	지표명 Valuable	단위 Unit
토지 이용 Land utiliza- tion	녹지지역비율 Green zone ratio	%
	혼합도지이용비율 Mixed land use ratio	%
	철도면적비율 Railroad area ratio	%
	공원면적비율 Park area ratio	%
	하천면적비율 Stream area ratio	%
건물 Building	주택보급률 Housing supply ratio	%
	공동주택비율 Apartment housing ratio	%
	주거용건축허가면적비율 Residential building permit ratio	%
	상업용건축허가면적비율 Commercial building permit ratio	%
	공업용건축허가면적비율 industrial building permit ratio	%
교통 Trans- portatio n	도로율 Street ratio	%
	간선도로비율 Highway ratio	%
	1인당 차량등록대수 Number of cars per head	대/인
환경 Environ- ment	1인당 생활폐기물 배출량 Waste emissions per head	톤/년

2) 도시특성지표와 CO<sub>2</sub>배출량 상관분석

앞서 선정된 도시특성지표들은 2005인구센서스 자료와 지방자치단체 통계자료를 활용하여 자료를 구축하였다. 그리고 도시특성지표와 CO<sub>2</sub>배출량의 상관관계를 살펴보기 위해 상관분석을 실시하였다.

그 결과 표2와 같이 12개의 도시특성지표(총인구, 고령인구비율, 1인가구 비율, 1인당 지방세 납부액, 재정자립도, 경제활동참가율, 1차산업비중, 도시화율, 공업지역비율, 주택보급률, 공동주택비율,

간선도로비율)가 CO<sub>2</sub>배출량과 0.01유의수준에서 상관관계를 보이고 있다. 특히 상관계수를 볼 때, 도시의 재정자립도(0.420)와 고령인구비율(-0.412), 총인구(0.408), 공동주택비율(0.399) 순으로 CO<sub>2</sub>배출량에 영향을 미치고 있음을 추론할 수 있다. 한편 통계적으로 유의한 상관관계를 보이는 변수들 중 6개 도시특성지표(재정자립도, 공동주택비율, 도시화율, 1인가구 비율, 주택보급률, 경제활동참가율)는 CO<sub>2</sub>배출량을 제외한 다른 변수와 상관계수가 0.7이상이므로 높게 나와 일반회귀모형과 지리가중회귀모형을 통한 분석 시 공선성이 강하게 나타나 분석결과가 편기될 수 있으므로 독립변수에서 제외시켰다.) 따라서 회귀분석 시 투입될 독립변수로 6개(총인구, 고령인구비율, 1인당 지방세 납부액, 1차산업 비중, 공업지역 비율, 간선도로 비율)의 도시특성지표를 최종적으로 선정하였다.

표 2. CO<sub>2</sub>배출량과 변수별 상관관계  
Table 2. Correlations of CO<sub>2</sub> Emissions and Independent Valuable.

변 수 명 Valuable	상관계수 Correlation coefficient	독립변수 Indepe- ndent valuable
CO <sub>2</sub> Emissions	1.000	
Total population	.408**	
Population density	.088	
Daytime population index	-.021	
Aged population ratio	-.412**	
Number of household member	.072	
Single household ratio	-.321**	Except
per head local taxes	.198**	
Self-reliance ratio	.420**	Except
Activity ratio	-.201**	Except
Enterprise density	.036	
Primary industry ratio	-.243**	
Secondary industry ratio	.144*	
Tertiary industry ratio	-.134*	
Urbanization levels	.324**	Except
Residential zone ratio	-.018	
Commercial zone ratio	-.036	
Manufacturing zone ratio	.349**	

표 2. CO<sub>2</sub>배출량과 변수별 상관관계(계속)  
Table 2. Correlations of CO<sub>2</sub> Emissions and Independent Valuable.(Continued)

변수명 Valuable	상관계수 Correlation coefficient	독립변수 Independent valuable
Green zone ratio	-.101	
Mixed land use ratio	-.142*	
Railroad area ratio	.046	
Park area ratio	.063	
Stream area ratio	.053	
Housing supply ratio	-.221**	Except
Apartment housing ratio	.399**	Except
Residential building permit ratio	.111	
Commercial building permit ratio	-.011	
Industrial building permit ratio	.124	
Street ratio	.158*	
Highway ratio	-.239**	
Number of cars per head	.120	
Waste emissions per head	-.005	

\*\* 상관이 0.01 수준에서 유의함.  
Statistically Significant at 0.1 alpha level  
\* 상관이 0.05 수준에서 유의함.  
Statistically Significant at 0.1 alpha level

### 3. 도시특성과 CO<sub>2</sub>배출량 간 실증분석

#### 1) 일반회귀모형 분석결과

일반회귀분석의 추정결과 R<sup>2</sup>는 0.309으로 나타나 CO<sub>2</sub>배출량의 총분산을 30.9% 설명해주고 있다. 또한 모델의 적합도 검정결과 F통계량이 p=0.000에서 매우 유의하게 나타났으며, Durbin-Watson 통계량은 1.893으로 오차항들이 서로 독립적으로 나타나고 있다. 그 밖에 VIF(분산팽창인자)가 모든 독립변수들에서 5.0이하로 낮게 산출되어 독립변수들 사이에서 다중 공선성은 없는 것으로 나타났다.<sup>5)</sup>

CO<sub>2</sub>배출량에 영향을 가장 높게 미치는 변수는 총인구이며, 그 밖에 공업지역 비율, 1인당 지방세

납부액이 높을수록 CO<sub>2</sub>배출량이 증가 하는 것으로 나타났다. 반면에 상관관계 분석 시 CO<sub>2</sub>배출량과 부(-)의 상관관계를 보이던 고령인구 비율, 1차산업 비중, 간선도로 비율은 일반회귀분석 결과 통계적으로 유의미하게 영향을 미치지 않는 것으로 나타나고 있으므로 추후 지리가중회귀분석 시 지역적으로 회귀계수값이 어떻게 분포하고 있는지 주의 깊게 살펴볼 필요가 있다.

표 3. 일반회귀분석 결과  
Table 3. The result of OLS analysis

구분 Classification	비표준계수 B	표준계수 Beta	VIF
(상수) (Constant)	30.7345		
총인구 Total population	0.0004***	0.3194	2.074
고령인구비율 Aged population ratio	-5.3300	-0.1635	3.065
1인당 지방세납부액 per head local taxes	0.0001**	0.1781	1.092
1차산업 비중 Primary industry ratio	22.4540	0.0685	1.819
공업지역 비율 Manufacturing zone ratio	8.6591***	0.3094	1.086
간선도로 비율 Highway ratio	1.0507	0.0627	1.480
R <sup>2</sup> =0.309, F-value=16.560***, Durbin-Watson=1.893			

#### 2) 잔차의 공간적 자기상관성 검토

회귀분석의 기본가정인 잔차의 정규성 및 공간적 자기상관성 등을 살펴보기 위해 Jarque-Bera 통계량과 Moran's I값 등을 산출하였다.

Jarque-Bera 통계량은 19475.66으로 0.000유의수준에서 잔차의 분포가 정규성을 띄고 있지 않았다. 또한 그림1과 같이 Moran's I값이 0.05유의수준에서

0.0402로 산출되어 잔차가 공간적 자기상관성을 가지고 있는 것으로 나타났다. 그밖에 Koenker 통계량은 16.75로 0.05수준에서 유의미하게 나타남에 따라 독립변수들이 CO<sub>2</sub>배출량에 미치는 영향이 지역별로 다르다는 것을 알 수 있었다. 이상으로 일반회귀분석에서 회귀분석의 기본가정인 잔차의 정규성과 공간적 자기상관성의 배제가 준수되지 않고 있으므로 지리가중회귀모형을 이용하여 분석할 필요가 있다.

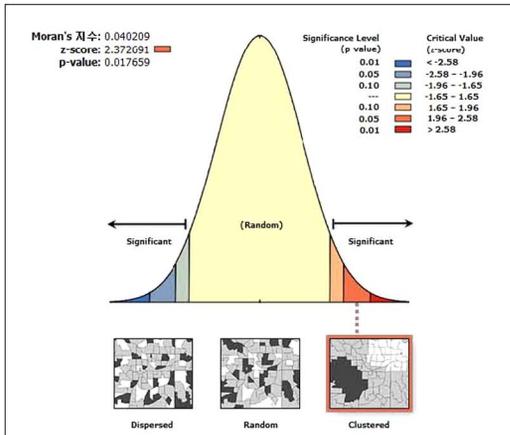


그림 1. 일반회귀분석 잔차의 Moran's I값  
Fig. 1 Moran's I Index of OLS's Residual

### 3) 지리가중회귀모형 분석결과

분석과정 및 결과는 표4와 같다. 지리가중회귀모형 설정 시 지역 간의 가중치는 적응적 커널(Adaptive kernel)방식<sup>6)</sup>을 사용하였으며, 우리나라 299개의 시·군·구에 대한 각각의 국지적 회귀식을 추정하는데 참조된 표본점의 수는 191개였다. 지리가중회귀모형의 R<sup>2</sup>값은 0.409로 일반회귀모형에 비해 CO<sub>2</sub>배출량의 총분산을 약 10% 높게 설명하고 있으며, 조정된 R<sup>2</sup>값도 일반회귀모형에 비해 높게 나타났다. 또한 모델의 적합성을 판단하는데 사용되는 AIC값은 일반회귀모형에 비해 다소 낮아져 지리가중회귀모형의 분석결과가 더 적합한 것으로 나

타났다.<sup>7)</sup> 지리가중회귀분석의 잔차에 대한 Moran's I값은 유의수준 0.05보다 크게 나타나 통계적으로 유의하지 않았다(그림2). 따라서 지리가중회귀모형이 CO<sub>2</sub>배출량의 지역 간 차이에 영향을 미치는 요인을 추출하여 잔차의 공간적 자기상관성이 개선된 것으로 나타났다.

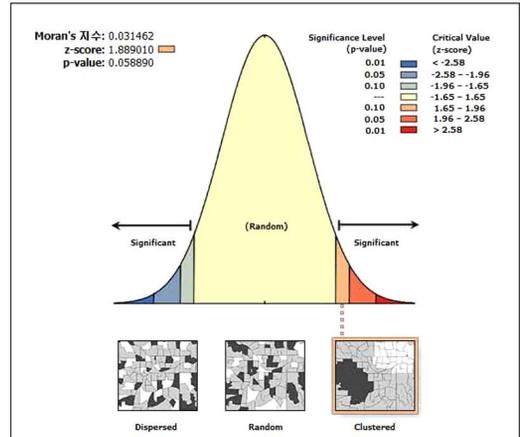


그림 2. 지리가중회귀분석 잔차의 Moran's I값  
Fig. 2 Moran's I Index of GWR's Residual

일반회귀모형에서 CO<sub>2</sub>배출량에 유의미하게 영향을 보인 총인구, 1인당 지방세납부액은 지리가중회귀모형의 분석결과에서도 전체적으로 비슷하게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 반면에 공업지역 비율은 모든 지역에서 정(+)의 효과를 보이나, 지역별 영향의 정도가 차이를 보이고 있다. 또한 앞서 일반회귀모형에서 통계적으로 유의미하게 영향을 미치지 않았던 고령인구 비율, 1차산업 비중, 간선도로 비율은 지리가중회귀모형의 분석결과 지역에 따라 정(+)효과와 부(-)효과가 구분되어 나타나고 있다. 따라서 일반회귀분석 시 전 지역에 걸쳐 동일한 방향으로 효과가 나타나지 않고 있기 때문에 해당 독립변수의 회귀계수가 통계적으로 유의미한 영향이 없는 것으로 분석되었던 것이다.

지역별 도시특성이 이산화탄소 배출에 미치는 영향

표 4. 일반회귀모형과 지리가중회귀모형의 분석결과 비교  
Table 4. Comparison between OLS's result and GWR's one

구 분 Classification	일반회귀모형 OLS	지리가중회귀모형 GWR			
		평균 Mean	최대 Max.	최소 Min.	표준편차 standard deviation
상수 Constant	30.7345	-54.4936	77.0174	-262.3763	134.1789
총인구 Total population	0.0004***	0.0005	0.0008	0.0003	0.0002
고령인구 비율 Aged population ratio	-5.3300	-2.1140	2.6904	-4.8002	2.7202
1인당 지방세납부액 per head local taxes	0.0001**	0.0001	0.0003	0.0001	0.0001
1차 산업 비중 Primary industry ratio	22.4540	18.3730	29.6265	-11.3844	8.2799
공업지역 비율 Manufacturing zone ratio	8.6591***	8.5368	17.2961	3.2462	4.9806
간선도로 비율 Highway ratio	1.0507	0.6964	1.8862	-0.0200	0.5753
Local R-squared		0.3950	0.5552	0.2584	0.0579
R-squared	0.309	0.409			
Adjusted R-Squared	0.291	0.355			
AIC	3032.54	3020.12			
Moran's I Index of Residual	0.0402*	0.0315			
Koenker statistics	16.75*	Neighbors		191	
Jarque-Bera statistic	19475.66***	Bandwidth methods		AICc	
		Kerner type		Adaptive	

4. 도시특성별 지역별 특성고찰

지리가중회귀모형의 분석결과 도시특성지표의 회귀계수 즉 영향력의 방향과 크기가 지역별로 어떻게 나타나고 있는지를 시각적으로 살펴보기 위해 R<sup>2</sup>값과 독립변수별 회귀계수를 지도화 하였다.

먼저 지역별 R<sup>2</sup>값은 그림3과 같이 경북지역 쪽으로 갈수록 설명력이 높아지고 있으나 반대로 전남지역 쪽으로 갈수록 모형의 설명력이 감소하고 있다. 가장 낮은 R<sup>2</sup>값을 보이는 지역은 전남신안군 (28.54)으로 일반회귀모형에 비해 다소 낮게 나타나고 있으나, 대부분의 지역의 R<sup>2</sup>값은 일반회귀모형에 비해 높게 나타나고 있다.

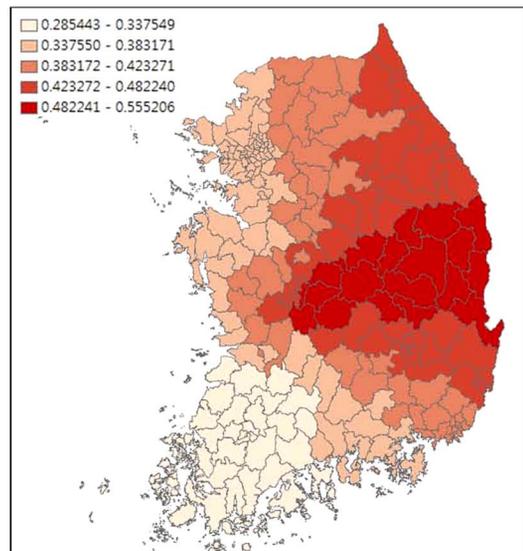


그림 3. 지역별 R<sup>2</sup>값  
Fig 3. R Square by Regional Group

독립변수 중 총인구가 CO<sub>2</sub>배출량에 미치는 효과는 그림4와 같이 전 지역에 걸쳐 정(+)<sup>적</sup> 영향을 미치고 있으나, 남부지역으로 갈수록 총인구가 미치는 영향이 상대적으로 커지고 있다. 따라서 중부나 북부지역에 비해 남부지역의 총인구가 증가할수록 다른 지역에 비해 CO<sub>2</sub>의 발생을 증가시키는 것으로 분석할 수 있으나 회귀계수의 표준편차가 작아 총인구가 CO<sub>2</sub>배출량에 미치는 영향의 공간적 차이는 크지 않았다.

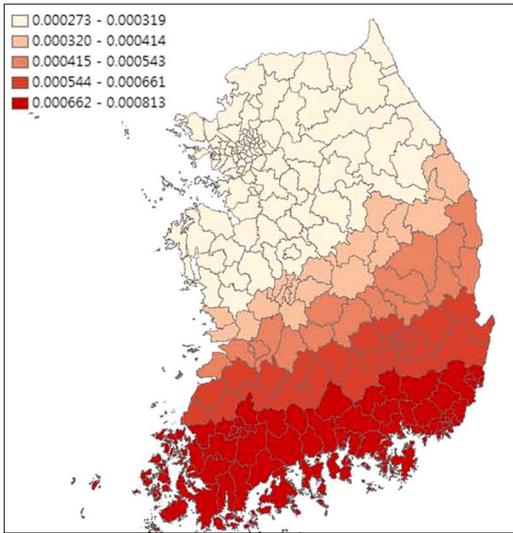


그림 4. 지역별 총인구 회귀계수 값  
Fig 4. Coefficients of Total population

고령인구는 국토연구원(2008), 허세화(2012), 손철희(2014)뿐만 아니라 본 연구의 상관분석에서 고령인구가 CO<sub>2</sub>의 발생량을 감소시킨다고 분석하였다. 반면에 지리가중회귀모형의 분석결과에서는 대체적으로 부(-)<sup>적</sup>효과를 나타나고 있으나, 남부해안지역과 주변지역에 한하여 고령인구가 CO<sub>2</sub>의 발생량에 정(+)<sup>적</sup>효과를 보이고 있어 공간적 이질성을 대표적으로 보여주고 있다. 일반적으로 고령인구는 2차 산업종사자가 적고, 승용차의 이용률이 상대적으로

낮아 CO<sub>2</sub>발생량에 대하여 부(-)<sup>적</sup>효과를 기대하기 쉽다. 따라서 다른 지역과 비교하여 정(+)<sup>적</sup>효과가 나타난 지역의 고령인구의 생활패턴이나 특성에 대한 분석이 요구된다.

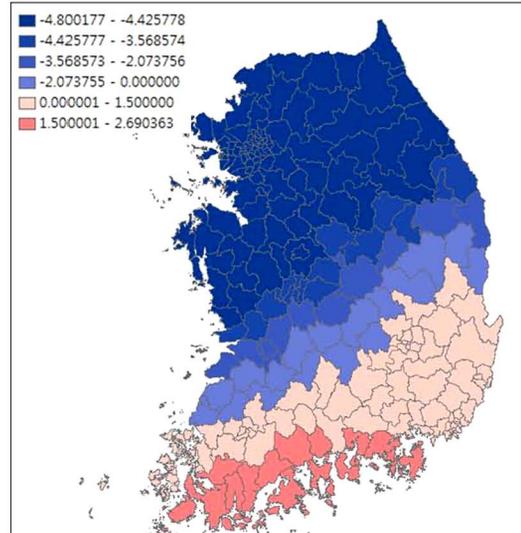


그림 5. 지역별 고령인구비율 회귀계수 값  
Fig 5. Coefficients of Aged population ratio

지역별 1인당 지방세납부액은 김병석(2013), 허세화(2012)와 동일하게 CO<sub>2</sub>발생량을 증가시키는 것으로 나타났다. 공간적 특성을 살펴보면 그림6과 같이 경남지역으로 갈수록 1인당 지방세납부액이 미치는 영향의 크기가 증가하고 있다. 그러나 회귀계수의 표준편차가 0.0001로 차이가 크게 나타나고 있지 않아 지역별 1인당 지방세납부액은 국지적으로 CO<sub>2</sub>발생량에 유사한 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

1차 산업 비중은 그림7에서 보는바와 같이 공간적 이질성을 보이고 있다. 전반적으로 1차산업의 비중이 높을수록 CO<sub>2</sub>배출량이 증가하나, 회귀계수의 표준편차가 제일 큰 것을 고려할 때, 지역 간에 미치는 영향이 뚜렷하게 나타나고 있다. 경북과 경남 일부지역에서 부(-)<sup>적</sup>효과가 나타나고 있으므로 1

차 산업 중 농업, 임업, 축산업, 기타 등 좀 더 세부적으로 분류하여 해당지역이 다른 지역과 차이를 보이는 1차 산업의 특징을 분석하고 다른 지역의 CO<sub>2</sub>저감정책과 차별화할 필요가 있다.

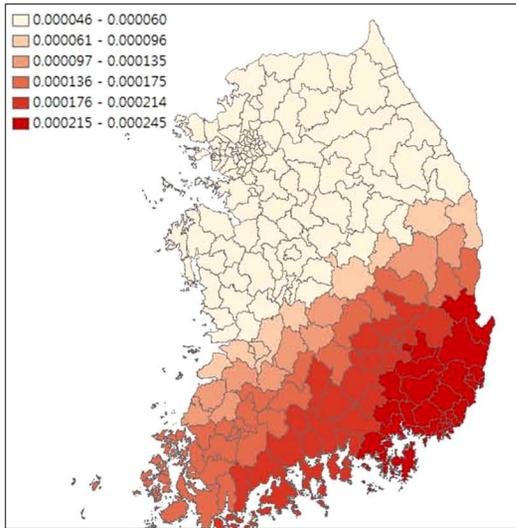


그림 6. 지역별 1인당 지방세납부액 회귀계수 값  
Fig 6. Coefficients of per head local taxes

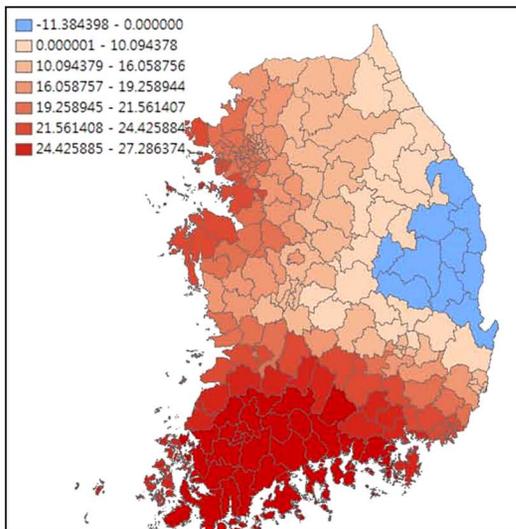


그림 7. 지역별 1차 산업 비중 회귀계수 값  
Fig 7. Coefficients of Primary industry ratio

공업지역 비율은 국토연구원(2008), 허세화(2012) 등 선행연구와 마찬가지로 전 지역에서 CO<sub>2</sub>배출량에 정(+)효과를 보이고 있다. 그러나 회귀계수의 표준편차가 4.98로 다소 높게 나타나고 있다. 이는 지역별로 공업지역에 입지해있는 공업시설의 성격에 따라서 공간적 이질성이 크게 나타나고 있는 것이다. 그림8에서 보는 바와 같이 중화학공업이 상대적으로 많이 입지하고 있는 경북·경남·전남지역에서 CO<sub>2</sub>배출량에 대한 영향이 다른 지역에 비해 크게 나타나고 있다.

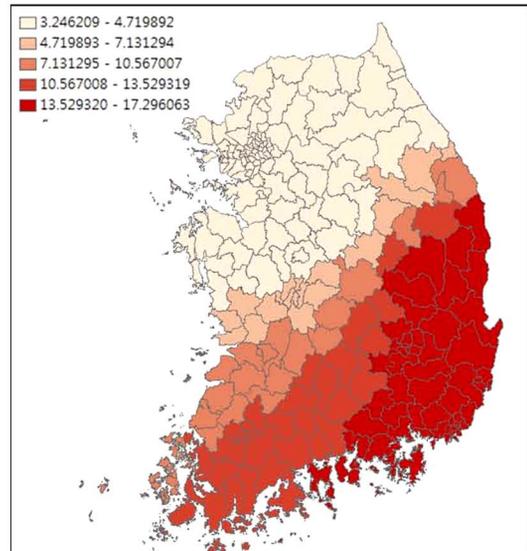


그림 8. 지역별 공업지역 비율 회귀계수 값  
Fig 8. Coefficients of Manufacturing zone ratio

간선도로 비율은 상관분석 결과를 볼 때, 도로 중 간선도로의 비율이 높을수록 CO<sub>2</sub>배출량에 대하여 전반적으로 정(+)효과가 나타나고 있다. 그러나 그림10을 보는바와 같이 부산과 김제는 부(-)효과가 나타나고 있다. 이는 수도권 지역과 경남 및 부산지역이 다른 지역에 비해 정(+)효과의 크기가 더 높게 나타나는 것으로 볼 때, 지역별로 고속도로,

일반국도에서 발생하는 교통량의 차이 때문인 것으로 판단된다.

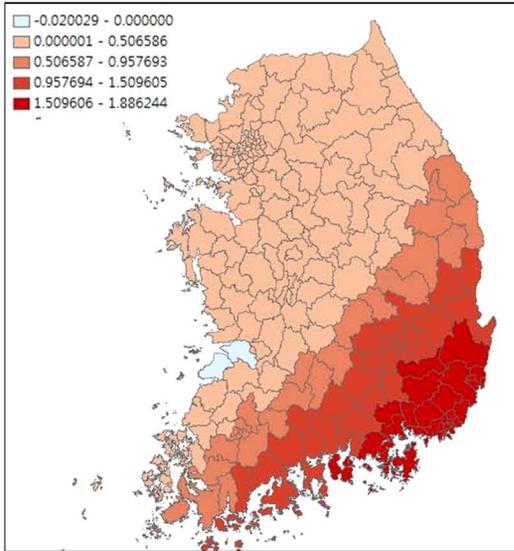


그림 9. 지역별 간선도로 비율 회귀계수 값  
Fig 9. Coefficients of Highway ratio

### III. 결론

본 연구는 도시특성이 CO<sub>2</sub>배출량에 어떠한 영향을 미치며 더 나아가 국지적으로 어떠한 특징이 나타나고 있는지를 살펴보기 위해 공간계량모형 중 지리가중회귀모형을 이용하였다.

그 결과 총인구, 지역별 1인당 지방세납부액은 지역적으로 큰 차이가 없어서 일반회귀모형의 분석결과와 유사한 결과를 보이고 있었다. 그러나 공업지역 비율의 경우 CO<sub>2</sub>배출량에 미치는 영향의 방향은 일반회귀모형의 분석결과와 동일하나 그 크기는 공간적 이질성이 크게 나타나고 있었다. 또한 고령인구비율과 1차 산업비중은 일반회귀모형의 분석결과와는 달리 일부지역에서 CO<sub>2</sub>배출량에 미치는 영향의 방향이 다르게 나타나고 있었다. 따라서 국

가 또는 지방자치단체에서 CO<sub>2</sub>배출량의 감소를 위한 국토 및 도시계획과 관련정책 등을 실행할 때 전체적으로 일관적인 방향이 아닌 지역성을 고려하여 그 지역에 맞는 계획과 정책들이 수립될 필요가 있을 것이다.

본 연구를 진행함에 있어 연구의 한계점이자 후속연구로 다음을 제시할 수 있다. 첫째, 연구의 시간적 범위와 공간적 범위로 인해 선행연구에서 유의미하게 영향을 나타냈던 도시특성지표가 제거됨에 따라 도시의 특성을 모두 고려했다고는 보기가 어렵다. 따라서 지속적으로 지역별 온실가스 인벤토리가 구축되어야하며, 또한 다양한 도시특성지표를 도출할 수 있는 통계DB가 구축되어 CO<sub>2</sub>배출량에 영향을 미치는 도시특성에 대한 시계열적 분석이 필요하겠다.

둘째, 본 연구는 지역별 도시특성이 CO<sub>2</sub>배출량에 미치는 영향을 중심으로 살펴봄에 따라 연구결과에서 나타나고 있는 지역별 독립변수의 회귀계수의 차이를 거시적 차원에서 기술하였다. 따라서 지역별로 차이를 보이는 도시특성에 대하여 미시적 원인 분석이 이루어져 지역에 맞는 정책을 제시하는 정책연구가 필요하겠다.

- 주1. 국토연구원(2008)에서 구축한 연도별·지역별 CO<sub>2</sub>배출량은 2000년, 2003년, 2005년, 2006년이며, 표1. 도시특성지표 중 주간인구지수, 고령인구비율, 도시화율 등은 2005년 이후 통계자료에서 구축이 가능하여 시간적 범위를 2005년으로 한정하였으며, 공간적 범위는 공간적으로 분리되어 있는 울릉도와 제주도를 제외하였다.
- 주2. 공간적 이질성을 중심으로 분석하는 모델은 X-Y공간확장모형, 거리공간확장모형, 지리가중회귀모형 등이 있으나, 이 중 지리가중회귀모형은 종속변수인 공간에 대한 모든 독립변수의 추정계수를 제공하고 있어서 지역적 특성과 관련한 다양한 결과물을 만들어 낼 수 있는 장점이 있다(이성우 외 3인, 2006).
- 주3. 2005년 12월 이전에 산지를 불법적으로 전용하여 5년 이상 사용 중인 토지에 한하여 한시적 임시특례에 따라 사용목적에 맞게 지목을 변경해주는 제도로써 2011년에 시행되어 임야를 국방군사시설

공공시설 및 농림어업용 시설 등으로 이용하는 경우 '불법전용 산지에 대한 임시특례'에 따라 용도에 맞게 변경시켜 주었다.

- 주4. 0.01수준에서 1인 가구비율은 고령인구비율(0.755), 재정자립도는 총인구수(0.710)와 고령인구비율(-0.757)경제활동참가율은 고령인구비율(0.760), 도시화율은 고령인구비율(-0.863), 경제활동참가율(-0.786), 주택보급률은 고령인구비율(0.711), 공동주택비율은 인구밀도 등 5개의 지표와 상관관계가 높게 나타났으며 변수들 간 공산성 문제해결과 모델의 간명도를 높이기 위해 회귀분석 시 독립변수에서 제거하였다.
- 주5. 회귀계수의 추정량에 대한 VIF(분산팽창인자) 가운데 가장 큰 값이 5~10을 넘으면 다중 공선성이 존재한다고 진단할 수 있다(이희연, 2012).
- 주6. 지리가중회귀모델은 공간적 이질성을 해결하기 위해 공간적 자료에 가중치를 부여하는 공간커널방식은 크게 고정된 커널(fixed kernel)과 적응적 커널(Adaptive kernel)방식으로 구분되며, 표본점이 불규칙하게 분포하는 경우 적응적 커널방식을 통해 가변적으로 커널을 설정하는 것이 모델의 적합도를 증가시킬 수 있다(이성우 외 3인, 2006; 이희연, 2006)
- 주7. AIC는 설정되는 회귀점으로부터 어느 정도 대역폭에 있는 표본점들을 선택할 것인가를 판정하고, 일반회귀모델에 비해 지리가중회귀모델이 보다 더 적합한가를 판정해주는 지표가 된다(이희연, 2006).

인용문헌  
References

1. 김병석, 2011, "압축도시의 토지이용 특성이 이산화탄소 배출에 미치는 영향", 「환경정책」 19(2): 101-115.  
Kim, Byung suk, 2011, "A Study on the Effects of Land Use Characteristics of Compact City on CO<sub>2</sub> Emission", *Journal of environmental policy and administration*, 19(2): 101-115.
2. 김병석, 2013, "도시공간구조의 특성이 이산화탄소 배출에 미치는 영향에 관한 연구", 중앙대학교 대학원 박사학위논문.  
Kim, Byung suk, 2013, "A study on the Effect of Urban Spatial Structure Characteristics on CO<sub>2</sub> Emission", Ph. D. Dissertation, Chungang University.
3. 김인현, 2011, "탄소배출량과 도시형태요소 관계 분석에 관한 연구 - 서울시를 사례로", 한양대학교 대학원 박사학위논문.  
Kim, In hyun, 2011, "An Analysis of the Relationship between Urban Spatial Patterns and Carbon Emission: For the Case of Seoul", Ph. D. Dissertation, Hanyang University.
4. 권수현, 2014, "도시구성요소가 기후변화에 미치는 영향 - 수도권지역의 이산화탄소 배출량을 중심으로", 홍익대학교 대학원 석사학위논문.  
Kwon, Soo Hyun, 2014, "The Effects of Urban Characteristics of Climate Change: Focused of Emission of Carbon Dioxide in Seoul Metropolitan Area", Master's Degree Dissertation, Hongik University.
5. 손철희, 2014, "도시공간구조특성이 이산화탄소배출량에 미치는 영향 구조분석 모델 개발 및 적용", 충북대학교 석사학위논문.  
Son, Cheol Hee, 2014, "Development and Application of the Impact Structure Analysis Model on CO<sub>2</sub> Emissions Affected by the Characteristics of Urban Spatial Structure", Master's Degree Dissertation, Chungbuk University.
6. 이상준, 2013, "영국의 기후변화 대응 도시개발의 특성 연구", 서울시립대학교 대학원 석사학위논문.  
Lee, Sang Jun, 2013, "A Study on the Characteristics of Urban Development corresponding to Climate Change: Focused on the Case Study of the UK Eco Town", Master's Degree Dissertation, University of Seoul.
7. 이성우·윤성도·박지영·민성희, 2006, 공간계량모형응용, 서울시: 박영사.  
Lee, Sung Woo and Yun, Seong Do and Park, Ji Young and Min, Sung Hee, 2006, *Spatial Ecomometrics Model*, Seoul: Pakyoungsa.
8. 이효진, 2013, "도시화율이 환경에 미치는 영향에 관한 연구 - 이산화탄소 배출량을 중심으로", 서울시립대학교 일반대학원 석사학위논문.  
Lee, Hyo Jin, 2013, "Impact of Urbanization on Environment: Focusing on CO<sub>2</sub>Emissions",

- Master's Degree Dissertation, University of Seoul.
9. 이희연·노승철, 2012, 고급통계분석론, 고양시: 문우사.  
Lee, Hee Yeon and No, Seung Cheol, 2012, *Advanced Statistical Analysis Theory*, Goyang: Moonwoosa
  10. 이희연·심재현, 2003, GIS 지리정보학, 파주시: 범문사.  
Lee, Hee Yeon and Sim, Jae Eon, 2003, *Geographic Information*, Paju: Bobmunsa
  11. 최영국·정진규·심우배·이문원·임은선·김명수·왕광익·서연미·박정은, 2008, 기후변화에 대응한 지속가능한 국토관리 전략(Ⅰ), 경기: 국토연구원.  
Choi, Yeong Kook and Chung, Jin Kyu and Sim, Ou Bae and Lee, Moon Woun and Im, Eun Sun and Kim, Myung Soo and Wang, Kwang ik and Seo, Yeon mi and Park, Jung Eun, 2008, *Climate Change and Sustainable Land Management Strategies in Korea*, Korea Research Institute for Human Settlements.
  12. 허세화, 2012, “도시의 사회·경제적 특성이 지구온난화에 미치는 영향분석”, 경상대학교 대학원 석사학위논문.  
Heo, Se Hwa, 2012, "A Study on the Impact of Social and Economic Characteristics to Global Warming in Urban Areas", Master's Degree Dissertation, Gyeongsang University.
  13. Jonatan Pinkse, and Ans Kolk 2012, "Addressing the climate change - sustainable development nexus: The role of multistage older partnership", *Business society*, 51(1): 176-210.
  14. Rob Swart, John Robinson, and Stewart Cohen 2003, "Climate change and sustainable development: expanding the options", *Climate Policy*, 3(1): 19-40.

Date Received	2014-12-02
Date Reviewed	2014-12-27
Date Accepted	2014-12-27
Date Revised	2014-12-30
Final Received	2014-12-31