

도시패턴과 탄소배출량의 관계 분석

An Analysis of Relationship between Carbon Emission and Urban Spatial Patterns

김인현* 오규식** 정승현***
In Hyun Kim Kyu Shik Oh Seung Hyun Jung

요약 전 지구적 기후변화인 지구온난화의 주원인으로 지목되고 있는 온실가스는 공간적으로 주로 도시에서 발생하고 있기 때문에 도시차원에서의 대책이 무엇보다 필요하다. 본 연구는 도시형태와 탄소 발생량과의 관계를 분석하여 기후변화에 대응한 탄소배출저감형 도시의 형태를 제시하는 것을 궁극적인 목표로 삼고 있다. 이를 위해, 첫째로 도시형태에 대한 이론고찰을 수행하여 도시공간의 물리적 규모, 이용현황, 활동강도와 관련된 도시형태요소를 선정하였다. 둘째, 서울시를 사례로 전력, 도시가스, 지역난방, 석유, 상수도 사용량 자료를 이용하여 이산화탄소 배출량 지도를 작성하였다. 셋째, 이산화탄소 배출량과 도시형태요소와의 관계를 분석하여 도시공간에서 에너지 사용량에 영향을 주는 도시형태를 밝혀내고, 도시계획 측면에서의 시사점을 도출하였다. 본 연구에서 도시형태 요소와 이산화탄소 배출량간의 관계를 분석한 결과는 실제 에너지 사용량에 기반하여 이산화탄소 배출량을 산정하여 활용하였다는 점에서 기존 연구가 지닌 한계를 극복하고, 사례분석을 통해 구체적이고도 결과를 도출하였다는 데 그 의미가 있다.

키워드 : 도시형태요소, 탄소배출, 기후변화, 에너지 소비

Abstract Greenhouse gas emission due to usage of fossil fuel has been known as one of the main causes of global warming. Fundamentally, greenhouse gas is a by-product of economic activity. Since majority of economic activity happens in an urban setting, a countermeasure in an urban setting is needed. Therefore, an analysis of relationship between carbon dioxide emission and urban form will be investigated for urban planning and management in the future.

The purpose of this study is to analyze the relationship between carbon dioxide emission and urban spatial patterns, and suggesting an urban form with low carbon dioxide emission. In order to achieve this, first theoretical analysis was carried out on urban spatial patterns related to physical size, usage rate, and activity level. Secondly, Seoul's data on electricity, natural gas, local heating, petroleum, and water usage and mapping a carbon dioxide emission map. Thirdly, relationship between carbon dioxide emission and urban spatial patterns are analyzed and urban spatial patterns that affects energy usage in urban setting was elucidated, and elicited implications on future directions on urban planning based on our analyses above.

Keywords : Urban Spatial Pattern, Carbon Emission, Climate Change, Energy Consumption

1. 서론

화석연료의 이용은 국지적인 대기오염과 열섬현상을 넘어 전 지구적인 지구온난화의 주원인으로 지적되고 있다. 이에 각국정부는 지구온난화 방지를 위해 탄소배출권제 도입, 신재생에너지 개발, 기후변화협약 체결 등과 같은 다각적인 노력을 기울이

고 있다. 우리나라도 정부를 중심으로 저탄소 녹색성장을 미래 국가성장의 방향으로 설정하고 저탄소 녹색성장기본법 제정, 신재생에너지 공급확대, 시장메커니즘을 통한 탄소시장 활성화 등 국가적 역량을 집중적으로 투입하고 있다.

그러나 위와 같은 온실가스 감축대책은 국가적 차원에서의 대책이며, 도시활동으로 인한 온실가스

* 한양대학교 도시공학과 박사과정 ihkim@ksic.net(주저자)

** 한양대학교 도시공학과 교수 ksoh@hanyang.ac.kr(교신저자)

*** 한양대학교 BK21사업단 박사후 연구원 hapi2@naver.com

배출의 주원인지로서 도시공간에서의 저감노력이 무엇보다 필요하다. 특히 우리나라는 2008년 기준 전체인구에 대한 도시계획구역 내 거주 인구 비율인 도시화율이 90.5%[31]에 달하는 상황을 고려하면, 도시차원에서의 온실가스 감축은 기후변화에 대한 가장 효과적인 방안이 될 수 있다.

특히, 도시계획과 설계의 결과로 나타나는 도시형태는 도시환경에 영향을 미치는 다양한 도시 내 활동 강도와 관련이 있는 것으로 알려져 있다[7, 9, 13, 23, 25, 26, 30, 32]. 관련 연구에서는 도시환경의 질이 도시형태와 상관성이 있음을 밝히고 환경의 질적 수준을 개선하기 위한 도시형태요소를 제시하고 있다. 그러나 대기질, 온도, 바람길 등에 대한 연구가 대부분이며, 기후변화의 주원인이라 할 수 있는 이산화탄소 배출량에 대한 연구는 압축도시와 같은 전체 도시형태에 초점이 맞추어져 있다.

따라서 본 연구는 전 지구적으로 진행되고 있는 탄소저감 노력에 능동적으로 대처하기 위해 도시계획과 관리의 관점에서 탄소를 저감할 수 있는 방안에 대해서 논의하고자 한다. 이를 위해서는 도시전반에 걸쳐 발생하는 에너지사용과 이산화탄소 발생간의 메커니즘을 체계적이고 정량적으로 파악할 필요가 있다. 실제 에너지사용량 자료와 도시구성요소들을 상호 분석하여 탄소배출이 낮은 유형을 찾아내어 향후 도시계획 및 관리를 위한 지침으로 활용할 수 있을 것이다.

이에 본 연구에서는 물리적인 도시공간과 형태를 구성하는 다양한 지표들 선정하고, 이를 이산화탄소 배출량과의 관계분석을 수행하고자 한다.

2. 선행 연구

2.1 저탄소 도시계획

저탄소 도시 조성과 관련된 연구사례는 온실가스 배출량 산정, 교통에너지 소비와 온실가스 배출관련 연구 등으로 구분할 수 있다.

온실가스 배출량 산정과 관련하여, [8]의 연구에서는 국가단위로 이루어지고 있는 온실가스 인벤토리 구축을 지역단위로 확대하여 전국을 대상으로 지역별 온실가스 배출량을 추계하였다. 그 결과, 절대적 배출량이 높은 서울과 같은 대도시의 경우 1인당 배출량은 오히려 낮게 나타났다. 구축된 인벤토리를 바탕으로 1인당 이산화탄소 배출량과 39개

지역특성인자 간의 상관성 분석을 수행하여 이산화탄소 저감정책에 활용하기 위한 정책방안도 제시하였다. 또한 [18]의 연구에서는 기후·에너지지도를 작성하여 도시계획적 차원에서 적용할 수 있는 방안에 대해 연구하였다. [14]의 연구에서는 도시 내 이산화탄소 배출과 흡수 메커니즘을 기반으로 산업, 수송, 가계, 폐기물 부문의 모형을 작성하고 사례 도시를 대상으로 정책시나리오별 이산화탄소 배출량과 저감율을 산정하였다.

온실가스배출의 주원인으로 알려진 화석연료 중 전력생산을 위한 석유, 가스 등의 에너지원들은 이용처와 배출지점이 다른 특징이 있으나, 교통수단의 이용은 직접적으로 온실가스를 배출하게 되는 특징이 있다. 이러한 이유로 압축도시와 교통에너지와의 관계를 중점적으로 연구한 사례[1, 2, 4, 5, 6, 10, 16, 20]가 다수를 차지하고 있다.

그 외 우리나라 대도시를 대상으로 토지이용-교통 모델의 정책방향을 제시한 연구로 [27]은 저탄소·에너지절약도시를 위한 모델개발의 필요성을 강조하였다. 특히, 관련 연구가 미진한 국내에 비해 토지이용-교통모델 개발에 대한 연구가 활발한 국외 사례를 바탕으로 토지이용-교통 모델의 시기별 발전상황과 개발된 각 모델들의 특징을 분석하였다. 또한 저탄소·에너지절약도시 구현을 위한 방안으로 국내 대도시에 적용 가능한 토지이용-교통모델의 개발과 활용을 강조하였다.

[15]의 연구에서는 시(市)급 도시를 중심으로 에너지원별 소비양태를 살펴보고, 에너지원별 소비가 각 도시의 특성과 어떠한 연관성을 지니고 있는지를 분석하여 도시 유형별로 도시, 산업, 교통, 소득 등의 특징에 부합하는 에너지정책을 제시하였다.

특히 압축도시와 같은 도시 유형을 대상으로 교통에너지와의 관계를 연구한 선행연구들은 도시 밀도와 에너지 사용의 효율성에 관한 주제를 주로 다루고 있으며 그 접근방법은 다음의 두 가지로 크게 나누어 살펴볼 수 있다. 첫째, 교통수단별 통행량, 통행거리 및 차량점유율에 따라 에너지소비량이 변화한다는 가설에 근거한 것으로, 에너지소비 감소를 위해서 압축도시형태가 유용한가에 대한 옹호 또는 반대 입장을 주장하는 연구들이다[2, 4]. 둘째, 에너지소비를 인구밀도 및 고용밀도 등의 토지이용 활동 강도와 일정한 함수관계를 맺고 있는 것으로 보고 특정 도시를 대상으로 인구, 고용 및 토지이용의

분산과 집중에 따라 에너지소비의 변화를 분석하는 접근법을 택하고 있다[1, 22].

2.2 도시형태

도시형태란 도시 내 토지이용 및 가로망 패턴, 건축물의 형태 등 인간의 활동과 밀접한 관계를 맺고 있는 요소들의 물리적 형태라고 할 수 있다[3]. 넓게는 도시의 물적·비물리적 요소의 입지와 배치 상태 및 이들의 상호작용을 나타내는 포괄적인 개념인 도시패턴, 나아가 생물학과 인문지리학적 관점에서 도시의 조직과 물리적 형태 및 외관을 정의하는 도시경관까지 확장하여 정의할 수 있다[28]. 또한 도시형태는 도시를 구성하는 기본 요소들의 조합 즉, 각종 도시적 활동의 입지 및 상호작용체계를 통해 일정하게 갖추고 있는 모양으로 정의되기도 한다[29]. 본 연구에서는 도시형태를 도시의 외형에 초점을 둔 형태학적(morphological) 접근이 아닌 도시를 구성하는 각 요소들의 공간적 구성(spatial pattern)에 초점을 둔다.

[22]의 연구에서는 도시의 형태적 특성에 관련된 변수로 도시의 내부구조를 직접적으로 설명할 수 있는 것과 그렇지 않은 것으로 구분하였는데, 전자는 도시의 공간구조적 요소로서 교통네트워크, 토지이용의 집중·분산이 되며, 후자는 총량적 요소로서 규모, 밀도 등으로 구분하였다. 토지이용의 분산과 집중에 관련된 변수로 그의 연구에서는 인구 및 고용의 공간적 불균등 정도를 나타내는 지니계수(GINI coefficient)와 인구 및 고용 중심과의 접근 정도를 나타내는 중심으로부터의 평균편차거리를 이용하였다. 한편 [28]의 연구에서는 도시형태에 영향을 미치는 요소를 물리적 요소와 인문적 요소로 구분하고, 물리적 요소를 다시 거시적 차원과 미시적 차원에서 구분하였으며, 인문적 요소는 기능 및 구조적 차원과 제도적 차원으로 구분하였다.

최근 기온상승, 풍속 및 풍향의 변화 등과 같은 이상적인 기후변화로 인해 도시와 기후 관련 연구들이 증가하고 있다. 이와 관련된 연구들을 통해 기온, 풍속, 습도 등의 기후요소에 영향을 미치는 요인으로 다양한 도시구성요소들이 언급되고 있다.

기온에 영향을 미치는 요인으로 [30]의 연구에서는 토지피복요소를, [9]는 녹지요소를, [13]의 연구에서는 하천 및 녹지요소를, 그리고 [32]는 건축면적, 도로면적, 건폐율, 용적률, 피복률 요소들을 중

점으로 살펴보았다. 그리고 바람에 영향을 미치는 요인으로 [26]은 녹지요소 중 교목식피율을, [7]은 토지이용의 형태 요소들을 중점으로 연구하였다. 또한 습도에 영향을 미치는 요인으로 [23]은 도시 지표면 요소를 중점으로 살펴보았다. 특히, [25]의 연구에서는 위의 요인들을 종합적으로 고려하여 도시열섬에 영향을 미치는 요소들을 선정하였다.

3. 분석 방법

3.1 도시형태요소의 선정

본 연구에서는 선행연구를 종합하여 도시형태 요소를 도시규모, 토지이용, 건축물, 지형 및 피복, 교통의 5가지로 크게 분류하고 표 1과 같은 도시형태 요소를 선정하였다.

표 1. 도시형태 요소의 선정

분류	도시형태 요소
도시규모(밀도)	인구밀도, 건폐율, 용적률
토지이용	주거면적, 상업·업무면적, 공업면적, 공공용도면적, 공원 및 녹지면적, 교통시설면적
건축물	연면적, 층수
지형 및 피복	표고, 경사, 하천 면적, 투수면적률, 불투수면적률
교통	자동차등록대수, 통행량

3.2 이산화탄소 배출량 지도의 작성

최근 바람길, 대기오염, 기온 등의 자연적인 요소를 도시계획과 관리에 고려하려는 노력이 다각적으로 시도되고 있다. 도시생태현황도와 같은 비오류 지도를 비롯하여 바람길 지도, 대기오염농도, 기후 지도 생태자연도 등이 제작되어 활용되고 있다[11, 12, 17, 18].

그러나 이산화탄소 배출량의 경우, 에너지 사용량 자료 구득의 어려움, 실제 에너지 생산지와 사용지역의 차이로 인해 지도화에 어려움이 있었다. 본 연구에서는 에너지 사용량 자료를 기반으로 이산화탄소 배출량 지도를 작성하였다. 이를 위해 첫째, 이산화탄소 배출량을 산정할 에너지 소비체계를 선정하였다. 기본적으로 전력, 도시가스, 석탄, 석유 등이 적용될 수 있으며, 지역 특성에 따라, 지역난방

이 포함될 수 있다. 둘째, 각 에너지 사용량에 대한 이산화탄소 배출량을 산정한다. 셋째, 각 에너지 사용에 따른 이산화탄소 배출량을 합산하여 전체 이산화탄소 배출량 지도를 완성한다.

에너지는 석유, 천연가스, 석탄, 원자력, 태양열, 수력, 지력 등의 에너지원으로 구성된 1차 에너지와 최종적으로 소비되는 전력, 도시가스, 석탄, 석유 지역난방 등으로 구분할 수 있으며, 광의의 범위에서는 상수도도 포함할 수 있다. 본 연구에서는 최근 이용비용이 매우 낮고 활용률이 점차 감소하고 있는 석탄을 제외한 전력, 가스, 석유, 상수도, 지역난방 부문의 이산화탄소 탄소배출량을 산정하고자 한다. 교통량의 경우, 차종까지 구분된 전 지역에 대한 상세한 교통량 정보가 구득된다면, 차량에 의한 이산화탄소 배출량을 산정할 수 있다. 그러나 차량에 주입되는 연료량이 이미 석유 부문(지역에 판매된 휘발유, 경유, LPG(Liquefied Petroleum Gas) 용량 등)에 포함되기 때문에 본 연구에서는 교통량에 대한 이산화탄소배출량 발생량은 산정하지 않는다.

계산하는 데는 IPCC에서 제시한 각 에너지 사용량에 대한 석유환산톤(TOE: Ton of Oil Equivalent)과 탄소배출계수(CEF: Carbon Emission Factor)를 이용할 수 있다[24]. 그러나 에너지를 생산에 사용된 연료의 비율과 효율이 다를 수 있기 때문에, 가급적 에너지 생산자의 배출계수를 이용하는 것이 정확한 방법이다. 사례 분석에서는 에너지 공급업체나 환경부에서 제시하는 배출계수를 우선적으로 이용하였다.

$$E_c = \sum (e_i \times T_i \times C_i \times c)$$

E_c : 탄소배출량

e_i : 연료*i*의 사용량

T_i : 연료*i*의 석유환산톤

C_i : 연료*i*의 탄소배출계수

c : 이산화탄소분자량/탄소원자량 (44/12)

4. 사례 분석

4.1 사례 연구 대상지 및 자료 구축

사례연구 대상지는 서울시로 선정하였다. 서울시는 국내에서 가장 높은 개발밀도를 지닌 도시로서 다양한 도시 활동과 도시유형을 지니기 때문에 본 연구의 목적에 가장 부합되는 대상지로 판단된다.

분석 자료는 500m 크기의 격자로 구축하였다. 격자 크기 500m는 서울시 내의 일반적인 블록의 한 변 길이에 해당하는 것으로 블록 내의 토지이용이 유사한 점을 감안한다면 적정크기로 판단된다.

표 2. 분석대상 에너지원

구분	이용내용
전력	석유, 석탄, 가스, 원자력, 수력, 대체에너지 등 다양한 에너지원으로부터 전력생산
도시가스	액화천연가스(LNG: Liquefied Natural Gas)를 난방과 취사용으로 공급
석유	교통수단과 난방, 취사 등 광범위한 영역에 사용되고 있음. 이중 교통수단의 연료(휘발유, 경유, LPG 등)로 사용되는 비율이 높음
지역난방	일부 지역을 대상으로 냉난방 에너지 공급
상수도	상수원으로부터 취수, 송수, 급수 등의 과정을 통해 공급

에너지 소비는 도시 내 공간에서 이루어지지만 에너지원은 해당 도시 내에서만 생산되는 것이 아니다. 또한 에너지 생산지에서 직접적으로 배출되는 이산화탄소는 에너지를 소비하는 곳까지 영향을 미치지 못할 가능성이 높다. 따라서 본 연구에서는 이산화탄소가 어디에서 배출되는지에 중점을 두는 것이 아니라, 결과적으로 이산화탄소의 배출을 늘리는 원인규명의 차원에서 접근하고자 한다.

에너지 소비량을 이용하여 이산화탄소 배출량을

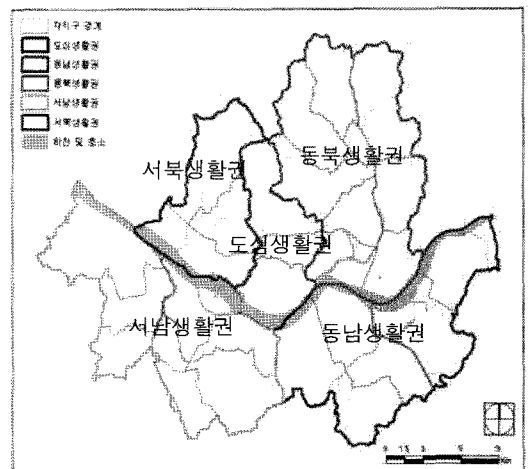


그림 1. 사례연구 대상지

표 3. 구축자료 목록

구분	변수명	단위	
도시 형태	도시규모	인구밀도	인/ha
		건폐율	%
		용적률	%
	토지이용	주거면적	m ²
		상업·업무면적	m ²
		공업면적	m ²
		공공용도면적	m ²
		공원 및 녹지면적	m ²
	건축물	연면적	m ²
		층수	층
	지형 및 피복	표고	m
		경사	도
		하천 면적	m ²
		투수면적률	%
		불투수면적률	%
교통	자동차등록대수	대	
	통행량	통행	
에너지 사용량	전력 사용량	KWh	
	도시가스 사용량	m ³	
	지역난방 사용량	Gcal	
	상수도 사용량	m ³	
	석유 사용량	kl	

도시형태 요소들은 2006년 통계자료와 2005년에 재정비된 서울시 도시생태현황도[17]를 이용하였다. 2001년 최초 구축된 뒤 2005년 재정비된 서울시 도시생태현황도는 2005년과 2006년의 토지이용변화가 크지 않다는 가정 하에 사용하였다. 도시규모의 인구밀도는 2006년 행정동별 통계자료의 동별 인구수를 바탕으로 인구밀도를 구한 뒤 이를 500m 격자 자료에 입력하였다. 건폐율의 경우 도시생태현황도의 조사단위 블록별 건폐율을 입력하였으며, 용적률은 건폐율에 평균층수를 계산하여 격자 자료에 입력하였다. 토지이용별 면적, 건축물의 층수와 연면적, 지형 및 피복의 경우, 도시생태현황도 상의 조사단위 블록별 정보를 입력하였다. 교통은 자동차 등록대수와 2006년 수도권 가구통행실태조사[21]의 통행량 자료를 입력하였다. 자동차 등록대수는 자치구별 자료를 사용하였고 통행량 자료는 구별로 하루 동안 발생하는 전체 통행량 자료를 입력하였다. 에너지 사용량의 경우, 격자에 입력되는 자료 중

전력, 도시가스, 상수도, 지역난방 자료는 서울시 기후·에너지지도[18]에서 구축된 2006년 동단위 자료를 이용하였으며, 동단위 구득이 어려운 석유 사용량은 자치구 단위로 구축하였다. 자치구 단위로 된 석유 사용량 자료를 격자단위에 입력하기 위해서는 시가화 지역을 별도로 추출한 후, 자치구의 석유 사용량을 시가화 지역에 해당하는 격자에 균등하게 입력하였다.

4.2 이산화탄소 배출량 산정

에너지 사용량 자료를 이용하여 각 격자별 탄소 배출량을 산정하였다. TOE와 이산화탄소 배출계수 등을 사용하였으며 계산된 이산화탄소 배출량은 격자단위의 자료로 지도로 작성하였다. 전력, 도시가스, 지역난방, 상수도의 경우 필지단위로 구축된 자료를 이용하였으며, 석유는 자치구 단위의 자료를 이용하여 격자자료로 구축하였다.

표 4. 이산화탄소 배출량 산정 기준

구분	적용단위	근거
전력	MWh당 0.423톤	한국전력 2006년 전력 사용량당 이산화탄소 배출량
도시 가스	석유환산톤 9550kcal/ℓ 배출계수 0.637	IPCC에서 제시한 석유환산톤 및 이산화탄소 배출계수
지역 난방	남서울, 상암: 0.2톤/1000Gcal 강남(일원, 송파): 212.4톤/1000Gcal 강서: 231.9톤/1000Gcal 노원: 226.4톤/1000Gcal	지역난방 생산 설비별 온실가스 배출량 (국토연구원, 2009)
상수도	0.587 kgCO ₂ /m ³	환경부 이산화탄소 배출계수
석유	유종별 석유환산톤과 배출계수	IPCC에서 제시한 석유환산톤 및 이산화탄소 배출계수

전력의 경우, 한국전력에서는 매년 전력생산에 투입된 에너지원에 대한 이산화탄소 배출량을 발표하고 있기 때문에 이를 이용하면 간단히 이산화탄소 배출량을 계산할 수 있다. 분석대상기간인 2006년의 경우 전력사용량(MWh)에 대한 이산화탄소 배출량은 0.423톤이다.

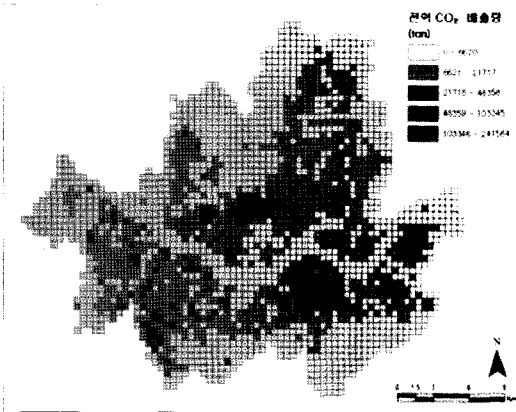


그림 2. 전력부문 이산화탄소 배출량

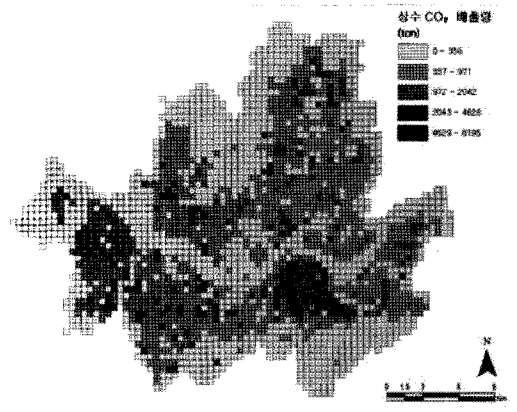


그림 3. 상수부문 이산화탄소 배출량

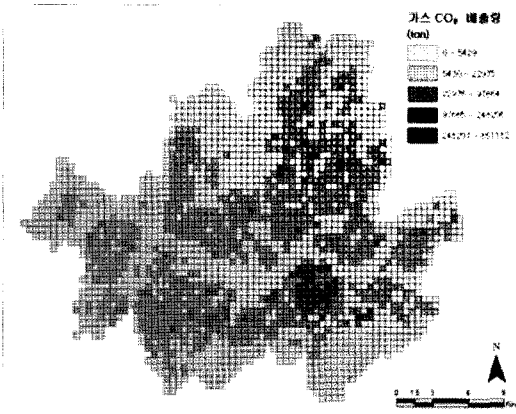


그림 4. 도시가스부문 이산화탄소 배출량

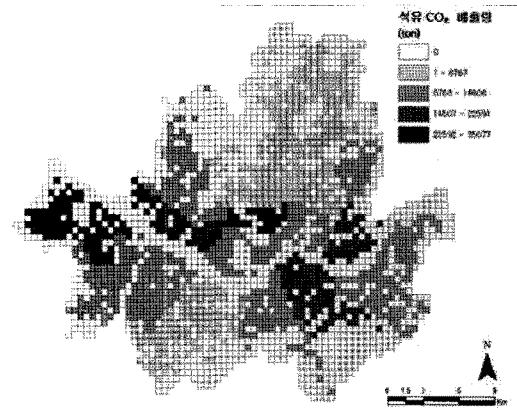


그림 5. 석유부문 이산화탄소 배출량

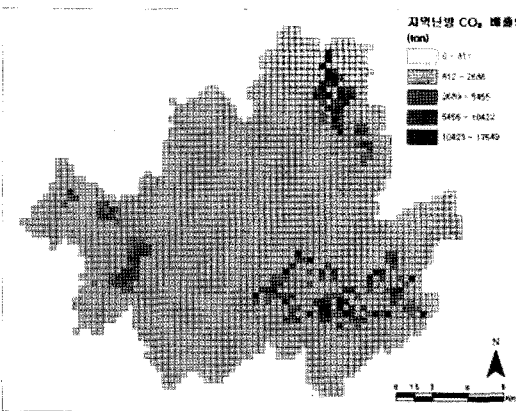


그림 6. 지역난방부문 이산화탄소 배출량

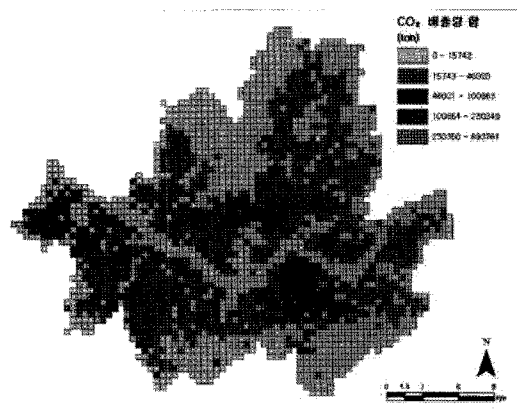


그림 7. 이산화탄소 배출량 합

도시가스 사용량에 대한 이산화탄소 배출량은 사용량에 도시가스(LNG)의 석유환산기준 순발열량인 9550kcal와 IPCC 탄소배출계수 0.637을 이용하여 계산할 수 있다.

지역난방의 경우 열원을 제공받는 곳의 생산설비에 따라 이산화탄소 배출량이 다르기 때문에 각각의 생산설비별로 배출계수를 다르게 적용하였다. 발전량이 적은 남서울과 상암의 경우 1000Gcal 당 0.2

톤으로 나타났으며, 강남의 경우 212.4톤, 강서 231.9톤, 노원은 226.4톤을 적용하였다.

상수도 이용의 경우, 취수, 송수 등의 과정에서 에너지 소비가 발생하게 된다. 상수의 경우 이산화탄소 배출계수가 0.587kgCO₂/m³이다. 이를 적용하면 각 블록별 이산화탄소 배출량을 계산할 수 있다. 격자자료의 상수도 이용량 현황에 이산화탄소 배출계수를 곱하여 이산화탄소 배출량을 산정하였다.

석유는 IPCC에서 제시한 석유환산톤 및 이산화탄소 배출계수를 유형별로 적용하여 계산하였다.

전력, 도시가스, 지역난방, 상수도, 석유 이용에 따른 이산화탄소 배출량을 합산하여 전체 이산화탄소 배출량을 산출하였다. 이산화탄소 배출량 산출결과, 전체 배출량 합에서 가장 높은 배출량을 보인 자치구는 강남구로서 가장 낮은 배출량을 보인 강북구의 10배 이상인 10,987,390톤으로 분석되었다.

강남구 이산화탄소 배출량의 50%이상을 차지하는 에너지원은 전력으로 나타났으며, 이는 상업업무시설이 밀집한 특성에 의한 것으로 판단된다. 에너지원 대부분에서 강남구가 가장 높은 배출량을 보였으나, 석유 사용에 의한 이산화탄소 배출량은 강서구가 가장 높게 나타났다. 이는 강서구에 위치한 김포공항의 항공기 연료사용에 의한 것으로 휘발유부문의 사용이 매우 높게 나타난 결과이다.

4.3 도시형태와 이산화탄소 배출량과의 상관분석

구축된 자료를 이용하여 도시형태와 탄소배출량과의 상관분석을 수행하였다. 효과적인 CO₂ 관리를 위해서는 지역규모부터 지구규모까지 CO₂ 배출량과 이에 영향을 끼치는 요소와의 관계를 명확히 파악한 후, 그에 대한 다양한 정책 수립이 뒷받침되어야 한다. 본 연구에서는 CO₂ 배출량과 도시형태요

표 5. 구별 이산화탄소 배출량

자치구	석유	전력	가스	상수도	지역난방	합
강남구	1,418,650	5,959,402	3,216,189	180,213	212,936	10,987,390
강동구	498,000	615,064	529,211	39,876	0	1,682,151
강북구	316,000	394,087	343,430	25,379	0	1,078,896
강서구	2,033,230	811,464	577,779	46,162	57,354	3,525,989
관악구	319,000	712,279	656,229	44,738	0	1,732,246
광진구	597,000	671,782	459,023	33,489	0	1,761,294
구로구	528,000	1,001,246	602,064	41,847	0	2,173,157
금천구	246,000	821,587	499,086	36,194	0	1,602,867
노원구	462,000	689,755	666,647	53,568	130,088	2,002,058
도봉구	305,000	407,836	365,875	30,552	19,486	1,128,749
동대문구	377,000	690,309	494,572	32,612	0	1,594,493
동작구	209,000	738,038	650,743	43,862	0	1,641,643
마포구	924,000	763,192	428,306	31,213	16	2,146,727
서대문구	431,000	811,750	451,835	37,909	0	1,732,494
서초구	1,022,400	1,538,642	650,316	55,415	103,057	3,369,830
성동구	398,000	801,546	460,367	34,485	0	1,694,398
성북구	463,000	944,046	1,068,159	51,640	0	2,526,845
송파구	867,000	1,001,009	537,657	55,743	122,248	2,583,657
양천구	524,000	797,465	462,332	45,510	132,738	1,962,045
영등포구	638,000	1,115,139	520,768	37,235	53	2,311,195
용산구	537,000	666,981	374,952	22,777	32	1,601,742
은평구	443,000	442,102	451,787	35,636	0	1,372,525
종로구	202,000	844,508	353,117	23,463	0	1,423,088
중구	912,000	1,090,523	352,540	22,401	0	2,377,464
중랑구	367,000	539,867	432,042	32,661	21,992	1,393,562

표 6. 이산화탄소 배출량과 도시형태요소와의 상관관계

구분	석유	전력	도시가스	지역난방	상수	배출량합	
도시규모	인구밀도	.267**	.154**	.167**	.115**	.444**	.245**
	건폐율	.430**	.373**	.180**	.051*	.460**	.401**
	용적률	.388**	.468**	.202**	.198**	.532**	.463**
토지이용	주거지	.289**	.102**	.103**	.266**	.400**	.190**
	상업업무	.303**	.502**	.149**	-.001	.288**	.421**
	공업	.032	.085**	.003	-.014	.005	.053**
	공공용도	.175**	.105**	.055**	.056**	.123**	.128**
	공원 및 녹지	-.467**	-.325**	-.175**	-.130**	-.416**	-.382**
	교통시설지	.475**	.407**	.222**	.062**	.447**	.453**
교통	통행량	.766**	.276**	.426**	.231**	.468**	.536**
	자동차 등록대수	.797**	.310**	.201**	.185**	.446**	.459**
건축	연면적	.544**	.387**	.218**	.145**	.563**	.459**
	평균층수	.255**	.323**	.131**	.296**	.418**	.320**
지형 및 피복	경사	-.341**	-.214**	-.109**	-.104**	-.232**	-.255**
	표고	-.320**	-.199**	-.110**	-.097**	-.252**	-.243**
	하천면적	-.211**	-.125**	-.069**	-.035	-.181**	-.154**
	불투포장율	.367**	.320**	.140**	.151**	.355**	.339**
	투수포장률	.096**	.027	.034	.043*	.110**	.057**

* 상관계수는 0.05수준(양쪽)에서 유의함.

** 상관계수는 0.01수준(양쪽)에서 유의함.

음영으로 표시된 것은 상관계수 0.4 이상을 의미함.

소간의 상관관계를 서울시 전체를 대상으로 우선 파악해보고, 다시 '2020 서울도시기본계획'[19]에 의한 생활권별로 나누어 분석을 실시하였다.

서울시 전체를 대상으로 500m 격자당 CO₂ 배출량과 도시형태 요소와의 상관관계를 분석한 결과는 표 6과 같다. 이용지역의 분포가 일부지역에 한정되어 있으며 상관성도 낮은 지역난방을 제외하고 각 에너지원별로 살펴보면 석유부문 배출량의 경우 건폐율, 도로면적, 교통량, 자동차 보유수, 연면적과 양(+)의 상관관계를 보이고 공원 및 녹지면적과는 음(-)의 상관관계를 보이고 있음을 알 수 있다. 건폐율의 경우, 석유를 많이 사용하는 가구의 특성이 도시가스가 공급되는 아파트보다는 난방유를 사용하는 건폐율이 높은 일반주택의 영향으로 분석되며, 연면적은 이용면적이 늘어남에 따라 연료소비도 증가하는 것에 원인을 두고 있는 것으로 볼 수 있다. 공원과 녹지부문은 석유뿐만 아니라 전체 에너지원과 음(-)의 상관관계를 보여, 공원녹지의 분포가 에너지 사용량 감소에 영향을 주는 것으로 분석되었다. 석유부문에서는 특히 교통과 관련된 변수에서

상관계수가 가장 크게 나타났다. 석유사용량에는 차량용으로 사용되는 휘발유, 경유, LPG 등이 포함되기 때문에 교통부문의 변수들이 이산화탄소 배출량과 상관관계가 높게 나타난 결과로 볼 수 있다.

전력부문에서는 용적률, 상업 및 업무면적, 도로면적에서 양(+)의 상관관계를 보였다. 전력을 주로 사용하는 지역이 상업 및 업무지역이고 해당 지역의 용적률이 일반적으로 높기 때문에 상관성이 높게 나타난 것으로 분석할 수 있다. 또한 도로면적이 상관관계가 높게 나타난 이유는 상업 및 업무지역의 특성상 넓은 도로폭을 나타내고 있기 때문인 것으로 판단된다. 도시가스 부문에서는 통행량과 높은 상관계수를 보였다. 이는 통행량이 가구의 통행발생과 관련된 변수로 통행량이 높다는 것은 난방에너지에 이용되는 도시가스를 사용하는 이용자가 높기 때문인 것으로 판단된다.

상수도부문에서는 인구밀도, 건폐율, 용적률, 주택면적, 도로면적, 통행량, 연면적, 평균층수에서 양(+)의 상관관계를 보이고 공원 및 녹지면적에서는 (-)의 상관관계를 보였다. 양의 상관관계를 보인 변

표 7. 생활권별 도시형태와 이산화탄소 배출량과의 상관관계

구분		도심	동남	동북	서남	서북
도시규모	인구밀도	.147*	.238**	.409**	.370**	.447**
토지이용	건폐율	.477**	.382**	.474**	.523**	.644**
	용적률	.680**	.473**	.470**	.555**	.647**
	주거지	0.025	.128**	.347**	.343**	.371**
	상업업무	.686**	.502**	.231**	.309**	.378**
	공업	-0.051	-0.03	.102**	.161**	0.007
	공공용도	.223**	0.044	.247**	.086*	.450**
	공원 및 녹지	-.425**	-.326**	-.513**	-.483**	-.599**
교통	교통시설지	.678**	.460**	.490**	.478**	.638**
	통행량	.501**	.523**	.501**	.542**	.682**
건축물	자동차 등록대수	.510**	.424**	.527**	.572**	.648**
	연면적	.558**	.432**	.579**	.594**	.692**
지형 및 피복	평균층수	.484**	.330**	.374**	.346**	.340**
	경사	-.416**	-.158**	-.389**	-.295**	-.393**
	표고	-.339**	-.206**	-.357**	-.278**	-.359**
	하천면적	-.239**	-.155**	-.094*	-.260**	-.208**
	불투수포장률	.451**	.329**	.352**	.384**	.517**
	투수포장률	-0.02	0.005	.148**	.196**	.168**

* 상관계수는 0.05수준(양쪽)에서 유의함.
 ** 상관계수는 0.01수준(양쪽)에서 유의함.
 음영으로 표시된 것은 상관계수 0.4 이상을 의미함.

수들은 주된 상수 사용처인 주거지역과 관련된 변수들로 구성되어 있으며 특히, 용적률과 연면적이 높은 상관관계를 보이고 있어 건물의 규모와 면적이 관련성이 큰 것을 알 수 있다.

총 이산화탄소 배출량에서는 건폐율, 용적률, 도로면적, 자동차 보유수, 연면적에서 양(+)의 상관관계를 보이는 것으로 나타났다. 또한 경사, 표고와 같은 지형요인에서는 높은 상관관계를 보이지는 않았으나, 모든 에너지원에 대해서 일괄되게 음(-)의 상관관계를 보여 경사와 표고가 높을수록 에너지 사용 및 이산화탄소 배출이 낮게 나타남을 알 수 있다. 또한 에너지 이용 측면에서 산정된 배출량 자료이기 때문에 규모, 토지이용, 건축물과 같은 인공적 요소에 의한 영향이 더 크게 나타남을 알 수 있다.

4.4 생활권별 분석

생활권을 구분하여 이산화탄소 배출량과 도시형태 요소와의 관계를 분석한 결과, 표 7과 같이 생활권별 특징으로 인해 일부 항목에서 더 높은 상관성을 보이는 것으로 나타났다. 전체 이산화탄소 배출

량은 신뢰도 99% 수준에서 대부분의 도시형태요소와 상관관계를 가지는 것으로 파악되었다. 이중 0.4 이상의 상관계수를 보이는 도시형태를 중심으로 살펴보면, 전체 생활권에서 공통적으로 용적률, 교통시설지, 통행량, 자동차등록대수, 연면적에서 양(+)의 상관관계를 나타내고 있다.

생활권별로 살펴보면, 도심생활권의 경우 건폐율, 용적률, 상업 및 업무지역, 교통시설지, 통행량, 자동차 등록대수, 연면적, 평균층수, 불투수포장률에서 양(+)의 상관성을 보이고 있음을 알 수 있다. 도심지역은 상업 및 업무면적이 타 권역에 비해 상관성이 높게 나타났다. 이는 도심권역이 타 권역에 비해 상업 및 업무시설이 집중되어 있음에 따른 결과로 볼 수 있다. 공원 및 녹지면적과 경사도는 음(-)의 상관관계를 나타냈다.

동남생활권은 용적률, 상업 및 업무면적, 도로면적, 통행량, 자동차 등록대수, 연면적에서 상대적으로 강한 양(+)의 상관관계를 보이는 것으로 나타났다. 다른 생활권에 비해 상업 및 업무면적에서 양(+)의 상관관계를 보였으나 도심보다는 낮은 결과

를 보였다. 에너지 이용별로는 상수와 석유부문에 서 상관관계가 0.4 이상으로 나온 도시형태 요소가 가장 많았다.

동북생활권의 경우 도시규모와 관련된 모든 지표와 도로면적, 통행량, 자동차 등록대수, 연면적에서 양(+)의 관계를 보이는 것으로 나타났으며 생활권 내에 도봉산, 북한산, 수락산, 불암산 등의 산지가 분포하고 있어 공원 및 녹지와 의 음(-)의 상관관계가 높게 나타났다. 에너지 이용측면에서는 석유의 경우 경사와 표고가 타생활권에 비해 높은 음(-)의 관계를, 통행량과 자동차등록대수와는 강한 양(+)의 관계를 보이는 것을 근거로 판단해보면 주변 산지의 높은 경사와 표고로 인한 교통수단 이용의 제약 또한 영향을 준 것으로 판단할 수 있다.

서남생활권 또한 건폐율, 용적률, 도로면적, 통행량, 자동차 등록대수, 연면적에서 강한 양(+)의 상관성을 보였다. 서남생활권은 타 지역에 비해 지역난방과의 상관성이 높게 나타나는데 이는 지역 내에 지역난방을 연료로 하는 아파트 단지들이 많이 분포하고 있기 때문인 것으로 판단된다.

서북생활권 역시 도시규모와 관련된 모든 지표에서 양(+)의 상관관계를 보였으며 도로면적은 타 권역에 비해 높은 양(+)의 상관관계를 보이고 있다. 타 생활권과 달리 공공용도면적과 양(+)의 상관관계가 높은 것으로 나타나 생활권 내에 위치한 대학교 및 공공용도 시설들의 영향이 큰 것으로 판단할 수 있다. 또한 공원 및 녹지면적에 의한 음(-)의 효과가 가장 큰 지역으로 나타났다. 이는 북한산, 북악산 등과 같은 양호한 산림이 서북생활권 내에 위치하고 있기 때문인 것으로 판단할 수 있다.

에너지원별로 살펴보면, 상수도 사용은 도시규모와 관련된 모든 지표와 공원 및 녹지면적, 도로면적, 연면적과 양(+)의 상관관계를 보였으며, 그 외의 에너지원의 경우 권역별 특성에 따라 양상이 다르게 나타나는 것으로 볼 수 있다. 또한 지역난방의 경우, 이용지역이 일부지역에 한정되어 있고 어떠한 지표와도 상관성을 보이지 않는 것으로 나타났다.

5. 결론

전 지구적인 문제로 대두된 기후변화는 그 주 원인이 도시지역에서 배출되는 온실가스에 있다는 점에 있어서 도시계획적 측면에서의 해결방안 마련이

무엇보다 중요하다고 할 수 있다. 이에 본 연구는 기후변화의 주된 원인을 제공하고 있는 도시공간을 대상으로 에너지 사용량을 바탕으로 한 이산화탄소 배출량과 도시형태 요소와의 관계를 분석하였다.

서울시 전체를 대상으로 도시형태 요소와 이산화탄소 배출량 분석결과, 상업·업무지역의 면적, 건폐율, 용적률, 자동차 등록대수, 도로면적, 통행량, 연면적 등이 이산화탄소 배출량과 양의 관계를 보였다. 이와는 반대로 녹지, 경사, 표고, 하천과 같은 자연적인 요소에 대해서는 음의 관계를 보였다. 이러한 결과는 서울시를 생활권별로 구분하여 분석하였을 때 지역별로 차이를 보였다. 이상을 종합하면, 본 연구는 도시공간의 활동을 통해 배출되는 이산화탄소 저감을 위해 다음과 같은 시사점을 얻을 수 있다.

첫째, 선행연구에서도 밝힌 바와 같이 도시 내 각종 환경부하의 원인과 마찬가지로 이산화탄소 배출 또한 고밀의 도시공간이 주원인임을 재확인할 수 있었으며, 이 같은 지역의 도시계획 및 설계에서는 녹지와 수변 공간의 적극적 확충을 통한 이산화탄소 배출 감소가 필요하다. 녹지와 수변공간에 대한 중요성은 본 연구 뿐 아니라 다른 연구에서도 수차례 강조된 바 있다.

둘째, 이산화탄소 배출에 있어서 교통부문의 기여도가 가장 높음을 알 수 있었다. 만약 현재의 교통수요를 물리적으로 억제하여 줄이기 어렵다면 기술적 혁신을 통해 이동수단을 친환경적 교통수단으로 바꾸는 것이 무엇보다 필요하다.

셋째, 지역별 특성에 기반을 둔 이산화탄소 저감 대책이 필요하다. 분석결과를 통해서도 나타났지만, 서울시 전체지역과 생활권별 이산화탄소 배출량과 도시형태 요소와의 상관관계가 다르게 나타났고, 토지이용측면에서도 주거와 상업업무지역이 다른 양상을 보인 점을 고려할 때, 지역특성에 맞는 이산화탄소 배출량 저감 노력이 필요함을 알 수 있다.

본 연구는 에너지 이용지점과 생산지가 일치하지 않은 점, 자료수집의 한계로 특정기간만을 분석대상으로 한 점, 교통량에 대한 정확한 고려가 미흡한 등의 한계로 연구의 완벽성을 기하지는 못하였다. 그러나 도시형태 요소와 이산화탄소 배출량간의 관계를 분석한 결과는 실제 에너지 사용량에 기반하여 이산화탄소 배출량을 산정하여 활용하였다는 점에서 일부 기존 연구가 지닌 한계를 극복하고, 사례

분석을 통해 구체적인 결과를 도출하였다는데 그 의미가 있다.

참 고 문 헌

- [1] D. Banister, 1992, "Energy Use, Transport and Settlement Pattern," in Breheny, MJ.(ed), 1992, p. 160-181, Sustainable Development and Urban Form, Pion, London.
- [2] P. Gorden and H. W. Richardson, 1989, "Gasoline Consumption and Cities: A Reply," Journal of American Planning Association, Vol. 55, No 3, pp. 342-346.
- [3] L. O. Marquez, 1999, "A Framework for Linking Urban Form and Air Quality," Environmental Modelling and Software, Vol. 14, No. 6. pp. 541-548.
- [4] P. W. G. Newman and J. R. Kenworthy, 1989, "Gasoline Consumption and Cities: A Comparison of U.S. Cities with a Global Survey," Journal of American Planning Association, Vol. 55, No. 1, pp. 24-37.
- [5] S. E. Owens, 1984, "Energy and Spatial Structure: A Rural Example," Environment and Planning B, Vol. 16, No. 10, pp. 1319-1337.
- [6] P. A. Rickaby, 1991, "Energy and Urban Development in an Archetypal English Town," Environment and Planning B, Vol. 18, No. 2, pp. 153-175.
- [7] M. K. Svensson and I. Eliasson, 2002, "Diurnal Air Temperature in Built-up Areas in Relation to Urban Planning," Landscape and Urban Planning, Vol. 61, No. 1, pp. 37-54.
- [8] 국토연구원, 2009, "기후변화에 대비한 지속가능한 국토관리 전략(1): 지역별 온실가스 인벤토리 구축 및 지역특성 분석"
- [9] 권영아, 2002, "서울의 도심 녹지가 주변 기온에 미치는 영향," 건국대학교 박사학위논문.
- [10] 김승남, 이경환, 안건혁, 2009, "압축도시 공간구조 특성이 교통에너지 소비와 대기오염 농도에 미치는 영향," 국토계획, 제44권, 제2호, pp. 231-246.
- [11] 김윤중, 이석민, 원종식, 2000, "GIS 데이터베이스를 이용한 서울시 1/5000 수문지질도 작성방안 연구," 한국GIS학회 제8권, 제1호, pp. 101-116.
- [12] 김윤중, 조용현, 김경민, 2000, "자연환경관리 GIS를 이용한 서울시 생태·자연도 작성 연구," 한국GIS학회지 제8권, 제1호, pp. 51-67.
- [13] 김재욱, 이동근, 오규식, 성현찬, 2003, "하천 및 녹지와 온도의 관계에 대한 기초적 연구," 한국환경복원녹화기술학회지, 제6권, 제3호, pp. 79-85.
- [14] 김홍배, 김재구, 2010, "도시 내 탄소발생량 산정과 저탄소도시 개발의 핵심부문에 관한 연구," 국토계획, 제45권, 제1호, pp. 35-48.
- [15] 남궁근, 최병선, 원미연, 2010 "에너지 소비특성에 따른 도시유형별 정책방향 연구," 국토계획, 제45권, 제1호, pp. 237-250.
- [16] 남기찬, 김홍석, 손민수, 2008, "인구압축도시와 교통에너지와의 관계연구: 압축지표를 활용하여," 국토계획, 제43권, 제2호, pp. 155-169.
- [17] 서울시정개발연구원, 2005, "서울 2005 도시생태 현황도," 서울특별시.
- [18] 서울시정개발연구원, 2008, "서울시 기후·에너지 지도 제작 (2차년도)," 서울특별시.
- [19] 서울특별시, 2006, "2020 서울도시기본계획," 서울특별시.
- [20] 송기욱, 남진, 2009, "압축형 도시특성요소가 교통에너지 소비에 미치는 영향에 관한 실증분석," 국토계획, 제44권, 제5호, pp. 193-206.
- [21] 수도권교통본부, 서울시정개발연구원, 인천발전연구원, 경기개발연구원, 2007, "2006 수도권 가구통행실태조사," 수도권교통본부, 서울특별시, 인천광역시, 경기도.
- [22] 안건혁, 2000, "도시형태와 에너지활용과의 관계 연구," 국토계획, 제35권, 제2호, pp. 9-18.
- [23] 엄향희, 1997, "서울의 상대습도 변화에 나타난 도시 효과," 한국기상학회지, 제33권, 제1호, pp. 127-135.
- [24] 에너지관리공단, 2009, "2009 에너지·기후변화 편람," 에너지관리공단.
- [25] 오규식, 홍제주, 2006, "도시공간 구성요소와 도시열섬현상의 관련성 연구," 도시설계, 제6권, 제1호, pp. 47-63.
- [26] 윤용환, 2001, "녹지에 의한 열섬현상의 저감효과에 관한 연구," 국토계획, 제36권, 제2호, pp. 187-196.
- [27] 이승일, 2010, "저탄소·에너지절약도시 구현을 위

한 우리나라 대도시의 토지이용-교통모델 개발방향,” 국토계획, 제45권, 제1호, pp. 265-281.

- [28] 이주형, 2001, “도시형태론,” 보성각, 서울.
- [29] 이춘희, 이주형, 2007, “21세기 새로운 도시계획 패러다임에 따른 도시형태 연구-행정중심복합도시 국제공모 작품을 중심으로,” 국토연구, 제54권, pp. 97-117.
- [30] 조용현, 신수영, 2002, “도시림의 여름 대기온도 저감효과,” 한국조경학회지, 제30권, 제4호, pp. 28-36.
- [31] 통계청, 2009, “한국의 사회지표 2008,” 통계청.
- [32] 황지옥, 김소정, 2003, “도시열섬현상의 주거 형태별 비교분석,” 국토계획, 제38권, 제7호, pp. 235-244.

논문접수 : 2010.01.17
수정일 : 2010.02.23
심사완료 : 2010.02.28



김 인 현

1995년 한양대 환경대학원 지역정보체계(GIS)학과 석사

2011년 한양대학교 대학원 공학박사
1998년~현재 (주)한국공간정보통신 대표이사

관심분야 도시계획, 저탄소 도시, 도시정보시스템



오 규 식

1991년 미국 U.C., Berkeley 대학교 환경계획학 박사

1999년~현재 Landscape & Urban Planning 편집위원

2000년~현재 한국조경학회 이사

2001년~현재 한국도시설계학회 이사

2010년~현재 한국공간정보학회 이사

1993년~현재 한양대학교 공과대학 도시공학과 교수

관심분야 도시계획, 환경계획, Ubiquitous-Eco City



정 승 현

2002년 한양대학교 도시공학과 학사

2004년 한양대학교 대학원 공학석사

2009년 한양대학교 대학원 공학박사

2009년~현재 한양대학교 BK21사업단 박사후 연구원

관심분야 도시계획, 환경계획, 도시모델