

차량 주행거리에 영향을 미치는 도시 토지이용 및 도시형태 특성에 관한 실증분석*

- 한국의 74개 중소도시를 대상으로 -

Effects of Land Use and Urban Form on Vehicle Kilometer Traveled

- Focused on the 74 Small and Medium-sized Cities in Korea -

서승연** · 김승남*** · 이경환****

Seo, Seung-Yeon · Kim, Seung-Nam · Lee, Kyung-Hwan

Abstract

The purpose of this study is to analyze land use and urban form characteristics that influence vehicle kilometer traveled (VKT). To do this, using the VKT data from the 743,312 vehicles in the 74 small and medium-sized cities, this study applied a multi-level analysis. The result shows that land use and urban form, including population density, jobs-housing balance, level of compactness and center distribution pattern, street connectivity, and existence of subway station, are closely related to the VKT. In particular, VKT is more likely to be small in compact, dense, and self-sufficient cities. Thus, compact developments can be acted as one of the most effective travel demand management strategies in small and medium-sized cities.

키 워 드 · 중소도시, 토지이용 및 도시형태, 차량 주행거리, 다수준 분석

Keywords · Small and Medium-sized Cities, Land Use and Urban Form, Vehicle Kilometer Traveled, Multi-level Analysis

I. 서 론

18세기 산업혁명 이후 전 세계는 급속한 도시화와 교외화를 경험하고 있다. 급속한 도시화와 자동차 이용의 증가는 에너지 위기와 지구 온난화 문제를 야기했으며, 교외화 과정에서 나타난 무질서한 도시의 외연적 확산(urban sprawl)은 토지 및 에너지 자원의 낭비를 더욱 촉진했다. 이에 따라 지구온난화와 기후변화에 대한

대응이 국제사회의 최우선 의제로 대두되었으며, 수송부문의 온실가스 감축을 위한 도시계획 분야의 역할에 대한 요구도 점차 증가하고 있다.¹⁾

이러한 배경 하에 도시 특성과 교통에너지 소비의 관계를 분석하고 이를 토대로 에너지 저감형 도시계획 방향을 제시하는 연구들이 진행되고 있다. 대표적으로 압축도시(compact city) 이론을 들 수 있는데, 이 이론은 고밀개발, 복합적 토지이용, 직주근접, 대중교통 이용 활성화 등의 전략을 교통에너지

* 본 논문은 2014년 대한국토·도시계획학회 춘계산학협동대회 발표논문을 수정·보완한 것임.

** 공주대학교 도시·교통공학과 석사과정(주저자: gkcl1013@kongju.ac.kr)

*** 건축도시공간연구소 부연구위원(공동저자: snkim@auri.re.kr)

**** 공주대학교 건설환경공학부 도시·교통전공 부교수(교신저자: khlee39@kongju.ac.kr)

지 소비를 저감할 수 있는 도시계획 방향으로 제시하고 있다. 그러나 압축도시 이론은 주로 서구의 저밀도 도시를 대상으로 적용되어 왔으며, 고밀화가 보편화된 국내 도시에서도 같은 의미를 갖는다고는 볼 수 없다(안건혁, 2000; 김승남 외, 2009).

또한, 기존 연구(안건혁, 2000; 심교언, 2001; 남창우·권오서, 2005; 김승남·안건혁, 2009; 김승남 외, 2009; 남궁근 외, 2010; 이상현·오규식, 2013; 김보현 외, 2013 등)들은 교통에너지를 계량화함에 있어 여러 한계를 보이고 있다. 이들 연구는 주로 주유소 유류 소비량 자료를 활용하고 있는데, 이는 통과교통에 의한 소비량을 배제할 수 없다는 근본적 한계를 지니고 있기 때문이다. 실제로 주유소 유류 소비량을 활용할 경우, 다른 지표에 비해 교통에너지 소비량이 다소 크게 산정되는 경향을 보이고 있다(엄명도 외, 2001).²⁾ 또한, 도시의 교통에너지 소비를 보다 정확히 계량화할 수 있다는 장점으로 인해 최근 차량 주행거리 자료가 활용되고 있으나(교통안전공단, 2011; 노승철·이희연, 2013), 아직까지 토지이용 및 도시형태와 개별 차량 주행거리의 관계에 대한 실증분석은 거의 이루어지지 않고 있다.

이에 본 연구는 국내 74개 중소도시를 대상으로 도시의 토지이용 및 도시형태 특성이 개별 차량 주행거리에 미치는 영향을 실증적으로 분석하고, 이를 바탕으로 교통에너지 저감을 위한 도시계획 방향을 제시하는 것을 목적으로 한다.

II. 선행연구 검토 및 연구문제 설정

1. 토지이용 및 도시형태와 교통에너지 소비의 관계

도시의 토지이용 및 도시형태 특성과 교통에너지

소비의 관계를 분석한 다양한 연구가 국내외에서 활발히 진행되고 있으며, 많은 연구들이 에너지 효율성이 높은 도시계획 모델로 압축도시(compact city)를 제시하고 있다.

관련 연구들을 살펴보면 전 세계 32개 도시를 대상으로 한 Newman and Kenworthy(1989)의 연구에서는 도심의 인구밀도가 높고 직장과의 통행거리가 짧으며, 대중교통 이용률이 높은 도시의 에너지 소비량이 적은 것으로 나타났다. Rickaby(1991)의 연구에서는 고밀 집중 형태의 도시지역과 고밀 분산 형태의 도시마을이 교통에너지 소비 저감에 효율적인 것으로 나타났다. Cervero(1989)는 직주균형 향상이 교통혼잡 완화와 에너지 효율성 제고 측면에서 효과적인 정책임을 입증하였으며, Schwanen(2002)의 연구에서는 인구밀도가 높을수록 통근시간 및 통근거리가 줄어드는 것으로 나타났다. 또한 Holden and Norland(2005)의 연구에서는 주거밀도와 교통에너지가 부의 상관관계를 가지는 것으로 나타났다.

그러나 한편으로는 고밀개발에 대한 반론도 제기되었다. Breheny(1995)는 고밀개발이 에너지 소비 감소와 큰 연관이 없다고 주장하였으며, Stead(2001)는 고밀개발보다 도시의 사회·경제적 여건이 에너지 소비와 더 높은 연관성을 가진다고 주장했다. 또한 Gordon et al.(1987)과 Anderson et al.(1996)은 지나치게 집중된 개발은 교통정체와 혼잡을 유발해 에너지 측면에서 효과적이지 못하다고 주장하였다.

관련 국내 연구를 살펴보면, 김학용(2002), 차영화·김학열(2008)의 연구에서는 인구밀도가 증가할수록 교통에너지 소비가 감소하는 것으로 나타났으며, 김민주 외(2010)의 연구에서는 토지이용 혼합도가 높을수록 대중교통 이용이 늘어나고 직주 근접도가 높을수록 차량 이동거리가 감소하여 교통에너지 소비량이 줄어드는 것으로 나타났다. 또한, 안건혁(2000)의 연구에서는 분산된 집중 개발 형태가 에너지 소비 측면에서 효율적인 것으로 나타났으며,

심교연(2001)의 연구에서도 고밀 분산된 도시에서 에너지 소비량이 줄어드는 것으로 나타났다. 또한 국내 54개 시급 도시를 대상으로 한 김승남 외(2009)의 연구에서는 다핵 집중형 도시의 교통에너지 소비량이 가장 낮게 나타났다.³⁾

도로 및 대중교통 특성과 교통에너지 소비의 관계에 대해서도 다양한 연구가 진행되었다. 우선 도로 확충을 통한 통행 효율성 개선과 대중교통 접근성 제고가 교통에너지를 줄이는 것에 효과적인 것으로 나타났다(안건혁, 2000; 서민호·김세웅, 2011). 또한 노승철·이희연(2013)의 연구에서는 대중교통 종사자수가 많을수록 자가용 주행거리가 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 전국 시·군·구를 대상으로 교통량, 내부 통행비율, 평균 통행거리 및 개발밀도의 관계를 분석한 김보현 외(2013)의 연구에서는 광역권 중심도시에서는 도로 관련 변수들이 교통에너지 소비에 영향을 미치지, 광역권 주변 도시 및 지방 소도시에는 유의미한 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

한편, 도시형태와 교통에너지 소비의 관계를 보다 명확히 파악하기 위해 도시의 공간적 특성을 계량화하기 위한 연구들이 진행되었는데, 구체적으로는 삼이성 지표, 타일 지표, 엔트로피 지표, Moran's I 지표, Greary's C 지표 등을 이용하여 도시의 압축도를 산정하고 도시형태를 유형화하는 연구들이 진행되었다(임은선 외, 2006; 남기찬 외, 2008; 이상헌·오규식, 2013; 김병석, 2013). 그 밖에 도시의 중심지 분포 패턴을 파악하기 위한 측정 지표로 중심 상업지 면적을 이용하거나 고용자 수, 고용밀도 표준화 지수 등을 이용하는 연구들도 진행되었다(심교연, 2001; 구정은, 2006; 김승남, 2008).

위에서 살펴본 도시 토지이용 및 도시형태와 교통에너지 소비의 상관관계를 분석한 선행연구들은 대부분 교통에너지 소비 정도를 나타내는 변수로

주유소 유류 소비량을 사용하고 있다. 그러나 앞에서 서술한 바와 같이 유류 소비량은 해당 지역의 주유소에서 판매된 유류 판매량을 기반으로 조사되기 때문에 통과교통에 의한 유류 소비를 배제하지 못하는 한계가 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 차량 주행거리를 활용한 연구들이 최근 들어 진행되고 있는데, 노승철·이희연(2013)의 연구에서는 가구부문의 교통부문 에너지 소비량을 나타내는 지표로 자가용 주행거리 자료를 이용하였으며, 남기찬 외(2008)의 연구에서는 인구 압축도와 교통에너지의 상관관계를 분석하기 위해 종속변수로 차량 통행거리를 이용하였다. 그러나 위 논문들은 주로 광역시·도 단위에서 분석이 이루어지고 있으며, 독립변수도 주로 소득수준과 같은 지역의 사회·경제적 특성을 나타내는 변수들을 활용하고 있어 공간 계획 측면에서 함의를 제공하기에는 한계가 있다고 판단된다.

2. 연구 문제 설정

본 연구는 국내 74개 중소도시를 대상으로 차량 주행거리 자료를 이용하여 도시의 토지이용 및 도시형태 특성과 교통에너지 소비의 상관관계를 분석하는데 목적이 있으며, 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

첫째, 도시별 교통에너지 소비 차이를 비교하기 위해 교통안전공단에서 제공하는 자동차 정기검사 자료를 활용하여 도시별 연평균 차량 주행거리 차이를 분석한다.

둘째, 도시의 토지이용 특성이 차량 주행거리에 미치는 영향을 분석한다. 앞에서 살펴본 바와 같이 지금까지 다양한 연구들을 통해 고밀개발, 직주균형, 토지이용혼합과 같은 토지이용 특성이 교통에너지 소비에 영향을 미친다는

주장이 제기되었으나, 이에 대한 반론 또한 존재한다. 이에 본 연구에서는 중소 도시의 토지이용 특성이 차량 주행거리에 어떤 영향을 미치는지 실증적으로 검증하고자 한다.

셋째, 도시형태 특성이 차량 주행거리에 미치는 영향을 분석한다. 선행연구에서는 대체로 단핵 분산형 도시보다 다핵 집중형 도시의 교통에너지 효율성이 높은 것으로 나타나고 있으나(심교연, 2001; 김승남, 2008), 대부분의 연구들이 종속변수로 주유소 연료소비량 자료를 이용하고 있어 해당 도시의 통과교통을 배제하지 못하는 문제가 있다. 이에 본 연구에서는 차량 주행거리 자료를 이용해 중소도시의 도시형태 특성이 교통에너지 소비에 어떤 영향을 미치는지 분석하고자 한다.

넷째, 도로 및 대중교통 특성이 차량 주행거리에 미치는 영향을 파악한다. 이와 관련된 선행연구들을 살펴보면 도시 유형에 따라 도로 특성이 교통에너지 소비에 미치는 영향은 상이하게 나타난다(안건혁, 2000; 김보현 외, 2013). 또한 대중교통 이용률이 높은 도시에서 교통에너지 소비가 적은 것으로 분석되었으나(서민호·김세용, 2011; 노승철·이희연, 2013), 대부분의 연구들이 수도권이라는 한정된 지역을 대상으로 진행된 연구여서 이를 국내 도시에 일반화하여 해석하기에는 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 국내 74개 중소도시를 대상으로 도로 및 대중교통 특성이 각 도시별 차량 주행거리에 어떤 영향을 미치는지 분석하고자 한다.

Ⅲ. 자료구축 및 분석방법

1. 조사 대상 및 자료 수집 방법

본 연구의 공간적 범위는 국내 74개 중소도시이다. 물론 국내 모든 도시를 대상으로 분석

을 수행하는 것이 바람직하나, 특별시와 광역시의 경우 다른 중소도시들과의 공간적 특성 차가 뚜렷할 것으로 판단되어 연구 대상에서 제외하였다. 또한 중소도시 중에서도 자료 구축이 용이하지 않은 통영시를 제외하였으며, 이를 통해 최종적으로 74개 중소도시를 공간적 범위로 설정했다.⁴⁾

차량 주행거리 자료는 2011년 1월 1일부터 2011년 12월 31일까지 자동차 정기검사 유효기간 내 교통안전공단⁵⁾의 자동차 검사소 및 출장검사장, 지정 정비 사업체에서 검사를 받은 자동차의 주행거리 자료를 이용하였으며, 최종적으로 74개 도시 743,312대의 자가용 승용차로 분석 대상을 한정하였다.⁶⁾

각 도시의 사회·경제적 특성과 토지이용, 도시형태 특성에 대한 자료는 2010년 통계청 자료를 이용하여 구축하였으며, 2010년 자료가 없는 경우에는 2010년 이전의 가장 최근 자료를 이용하였다.⁷⁾

2. 각 영역별 자료구축 방법

본 연구의 종속변수인 차량 주행거리는 교통안전공단에서 2011년에 발간한 주행거리 실태조사 보고서의 산출 방법을 기준으로 구축하였다. 우선 주행일 수 계산은 최종 자동차 정기검사 년·월·일에서 바로 전 정기검사 년·월·일을 뺀 일수로 하였으며, 최근 검사 날짜가 없는 경우에는 최초 자동차 등록일을 이용하였다.

이어서 조사된 차량 주행거리를 주행일 수로 나누어 일평균 주행거리를 도출하고 여기에 365일(연간 일수)를 곱해서 각 차량별 연평균 주행거리를 산출하였다. 또한 자료의 이상치(outlier)를 제거하기 위해 차량별 주행거리 자료 중 상하위 5%를 제거한 질사 평균을 적용하였다(교통안전공단, 2011). 차량 주행거리의 구체적인 산정식은 다음과 같다.

$$\text{주행일수} = 365 \times (y_2 - y_1) + \frac{365}{12} \times (m_2 - m_1) + (d_2 - d_1)$$

- y_2 : 최종 자동차 정기검사 년
- y_1 : 바로 전 정기검사 년(또는 최초등록년)
- m_2 : 최종 정기검사 월
- m_1 : 바로 전 정기검사 월(또는 최초등록 월)
- d_2 : 최종 정기검사 일
- d_1 : 바로 전 정기검사 일(또는 최초등록 일)

일평균주행거리 = 주행거리 ÷ 주행일수
 연평균주행거리 = 일평균주행거리 × 365

본 연구에서 사용한 독립변수의 각 영역별 측정 항목은 기존의 선행연구를 참고하여 조사 대상 차량의 기본 특성과 차량이 등록된 도시의 사회·경제적 특성, 토지이용 특성, 도시형태 특성, 도로 및 대중교통 특성으로 구분하여 구축하였다. 각 변수의 구체적인 산정 방식은 <표 1>과 같다.

먼저 1수준 변수인 차량 특성 변수로는 차량의 규모(경형, 소형, 중형, 대형)와 연료 유형(휘발유, 경유, LPG)을 적용하였다.

다음으로 도시의 사회경제적 특성을 나타내는 변수로는 소득수준과 3차산업 비율을 이용하였다. 토지이용 관련 변수로는 인구밀도, 직주균형비와 함께 도시공원 면적을 이용하였다. 도시형태 관련 변수로는 압축도 지표와 단핵 또는 다핵으로 분류한 중심지 분포 패턴 변수를 활용하였다.

이때 종합압축지표(TCI)는 각 도시의 인구수와 고용자수를 이용하여 상이성 지표, 타일 지표, 상대 엔트로피 지표, 허핀달 지표를 측정한 후 산출된 4개 지표의 표준화 값을 선형 결합하여 산정하였다.⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾ 각 지표의 구체적인 산정식은 (1)~(4)와 같다.¹¹⁾

표 1. 각 영역별 측정 항목

Table 1. Variables and Measurements

Classification		Sector	Variable	Measurements
Dependent Variable		Transportation Energy Consumption	Vehicle Kilometer Traveled (VKT)	Annual Vehicle Kilometer Traveled
Independent Variable	1st-level	Vehicle Characteristics	Size	subcompact=1, small=2, medium=3, large=4
			Fuel	diesel or LPG=0, gasoline=1
	2nd-level	Socio-economic Characteristics	Income	total property tax / total number of population (10,000won/person)
			Ratio of Tertiary Industry Workers	total number of tertiary industry workers / total workers × 100 (%)
		Land Use Characteristics	Population Density	total number of population / total area (person/km ²)
			Jobs-housing Balance	total number of companies / total number of dwellings
			Area of Park	area of park / total number of population (m ² /person)
		Urban Form Characteristics	Compact Index	Total Compactness Index (TCI)
			Center Distribution Pattern	monocentric=0, polycentric=1
		Road and Public Transportation Characteristics	Arterial Length Ratio	(total arterial length / total length) × 100 (%)
			Connectivity Index	links / nodes
			Existence of Subway Station	no subway station=0 otherwise=1

$$ID = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N |X_i - Y_i| \quad (1)$$

ID: 상이성 지표
X_i: *i*동의 면적비율
Y_i: *i*동의 인구수(고용수)비율
N: 동의수

$$T = \sum_{i=1}^N \left(\frac{a_i}{A} * \ln \frac{a_i/A}{P_i/P} \right) \quad (2)$$

T: 타일 지표
a_i: *i*동의 면적
P_i: *i*동의 인구수(고용수)
A: 시 전체 면적
P: 시 전체 인구

$$RE = \ln(N) - \sum_{i=1}^N \left(\frac{D_i}{N} \right) * \ln \left(\frac{D_i}{N} \right) \quad (3)$$

RE: 상대 엔트로피 지표
D_i: 행정동 *i*의 인구(고용) 밀도
D_i: $\sum_{i=1}^N (D_i)$
N: 행정동수

$$H = \sum_{i=1}^N \left(\frac{D_i}{N} \right)^2 \quad (4)$$

H: 인구(고용)밀도 허핀달 지표
D_i: 행정동 *i*의 인구(고용)밀도
D_i: $\sum_{i=1}^N (D_i)$
N: 행정동수

다음으로 중심지 분포 패턴은 각 도시의 행정동 별 고용밀도 표준화 값과 고용자 수 비율을 이용하여 단핵과 다핵으로 구분하였다. 우선 각 행정동의 고용밀도 표준화(Z-score)¹²⁾ 값을 산정하고 고용밀도 표준화 값이 1 이상인 지역을 고밀 중심지 후보 지역으로 판단하였다. 이어서 절대 고용자수 기준을 5,000인으로 정하고 절대 고용자수가 5,000인 보다 작은 지역은 중심지 후보에서 제외하였다(송미령, 2003; 구정은, 2006). 단, 해당 지역의 고용자가 5,000인이 되지 않더라도 도시의 전체 고용자의 5% 이상을 포함하는 경우는 중심지 후보로 포함하였다. 마지막으로 고밀 중심지 후보 지역 간의 인접성을 고려하여 도시의 중심지역이 하나일 경우

표 2. 각 변수의 기술통계량
 Table 2. Descriptive Statistics of Each Variable

Classification		Sector	Variable	MIN	MAX	Mean	SD	
Independent Variable	1st-level	Vehicle Characteristics	Size	1	4	2.90	0.82	
			Fuel	0	1	0.63	0.48	
	2nd-level	Socio-Economic Characteristics	Income	3.19	21.00	8.22	4.49	
			Ratio of Tertiary Industry Workers	31.00	77.80	55.20	10.98	
			Population Density	60.74	16378.27	1763.54	2939.25	
		Land Use Characteristics	Jobs-housing Balance	0.06	0.17	0.10	0.03	
			Area of Park	5.81	293.78	31.71	39.61	
			Compact Index	-1.58	1.35	0	0.69	
		Urban Form Characteristics	Center Distribution Pattern	0.00	1.00	0.38	0.49	
			Road and Public Traffic Characteristics	Arterial Length Ratio	2.86	73.89	44.50	13.28
				Connectivity Index	1.18	8.80	2.58	0.82
				Existence of Subway Station	0.00	1.00	0.32	0.47
Dependent Variable	Transportation Energy Consumption	VKT (Vehicle Kilometer Traveled)	897.63	34804.35	12277.56	5789.93		

1st-level Observed Value: 743,312, 2nd-level Cluster: 74

단해, 두 개 이상일 경우 다해으로 구분하였다.¹³⁾

도로 및 대중교통 관련 변수로는 간선도로 비율과 가로의 연결성, 지하철역 유무를 이용하였다. 이중 가로의 연결성은 ITS 국가교통정보센터의 도시별 표준노드링크를 이용하여 산정하였다.¹⁴⁾

각 변수의 구체적인 기술통계량은 <표 2>와 같다.

3. 분석 모형 설정

본 연구에서는 차량의 주행거리에 영향을 미치는 독립변수로 차량 특성과 도시의 토지이용 및 도시형태 특성을 동시에 고려하기 위해 다수준 분석(Multilevel Analysis)을 이용하였으며, 구체적으로는 임의절편선형모형(Random Intercept Linear Model)¹⁵⁾을 기본 모형으로 설정하고 분석을 수행하였다. 임의절편선형모형은 설명변수의 투입에 따른 분산 감소 비율을 통해 모델의 설명력 증가를 확인할 수 있는 장점이 있다(이희연·노승철, 2012). 본 연구에서는 최소 유의수준을 10%로 정하고 HLM 7 프로그램을 이용하여 분석을 수행하였다.

IV. 차량 주행거리에 영향을 미치는 요인 분석 결과

1. 도시별 차량 주행거리

교통안전공단 자동차 정기검사 자료를 토대로 도시별 연평균 주행거리를 산정한 결과는 <표 3>과 같다.

분석 결과 도시별 승용차 연평균 주행거리는 10,694km~14,570km로 나타났다. 이를 구체적으로 살펴보면 제주시, 과천시, 춘천시, 안양시, 부천시 등의 승용차 연평균 주행거리는 짧은 반면, 나주시, 광주시, 김제시, 공주시, 논산시 등의 승용차 연평균 주행거리는 긴 것으로 나타났다.

표 3. 도시별 연평균 승용차 주행거리 비교

Table 3. Annual Vehicle Kilometer Traveled by Cities

City	VKT	City	VKT
Jeju	10,694	Pyeongtaek	12,763
Gwacheon	11,005	Asan	12,788
Chuncheon	11,046	Gunsan	12,837
Anyang	11,145	Suncheon	12,869
Bucheon	11,186	Yongin	12,935
Dongducheon	11,310	Yangju	12,995
Mokpo	11,374	Samcheok	13,018
Uijeongbu	11,391	Yongsan	13,025
Gangneung	11,519	Gyeongsan	13,027
Changwon	11,588	Namwon	13,207
Cheongju	11,609	Gimcheon	13,231
Cheonan	11,772	Jeongeup	13,247
Suwon	11,832	Gyeongju	13,270
Geoje	11,845	Hanam	13,280
Gwangmyeong	11,922	Seosan	13,292
Seongnam	11,988	Icheon	13,309
Jeonju	12,016	Pocheon	13,320
Uiwang	12,030	Gwangyang	13,324
Sokcho	12,076	Hwaseong	13,430
Goyang	12,081	Miryang	13,439
Donghae	12,125	Gyeryong	13,450
Wonju	12,172	Boryeong	13,536
Guri	12,196	Yeongcheon	13,537
Ansan	12,273	Paju	13,559
Yeosu	12,307	Gimpo	13,571
Gunpo	12,332	Sacheon	13,611
Pohang	12,333	Anseong	13,625
Yeongju	12,386	Namyangju	13,626
Jinju	12,484	Mungyeong	13,688
Osan	12,484	Andong	13,770
Chungju	12,499	Sangju	13,812
Seogwipo	12,528	Taebaek	13,864
Jecheon	12,548	Nonsan	13,951
Iksan	12,686	Gongju	14,064
Siheung	12,715	Gimje	14,231
Gumi	12,736	Gwangju	14,364
Gimhae	12,736	Naju	14,570

본 연구는 이와 같이 도시별로 차량 주행거리의 차이가 나타나는 것이 일정 부분 해당 도시의 토지 이용 및 도시형태 특성의 영향을 받는다는 가설에서 출발한다. 이에 다음 절에서는 이러한 가설을 검증하기 위해 임의절편선형모형을 이용하여 도시의 토지이용과 도시형태 특성이 차량 주행거리에 미치는 영향을 실증적으로 분석한다.

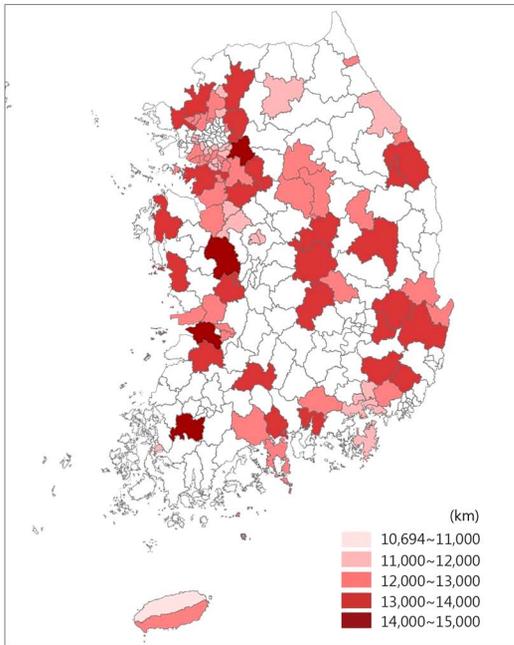


그림 1. 도시별 연평균 승용차 주행거리 비교
Fig 1. Annual Vehicle Kilometer Traveled by Cities

2. 차량 주행거리에 영향을 미치는 요인

차량 주행거리에 영향을 미치는 요인을 분석한 결과는 <표 4>와 같다.¹⁶⁾

먼저 모형 1은 아무런 설명변수를 포함하지 않고 분석한 무제약 모델이다. 이러한 모형은 계속적으로 설명변수를 포함하여 변화된 분산을 파악하기 위한 기준이 된다.

모형의 분석 결과를 살펴보면 차량 수준의 분산과 도시 수준의 분산 모두 통계적으로 유의하게 나타나는데, 이는 차량 간 그리고 도시 간 차량 주행 거리에 차이가 있음을 나타낸다.

이어서 모형 2는 차량 특성 변수를 추가하여 분석을 수행한 결과이다. 분석 결과 차량의 규모, 연료 특성이 차량 주행거리와 통계적으로 유의미한 상관관계를 갖는 것으로 나타났다.

이와 같은 결과는 규모가 큰 차량일수록 주행거리가 길며, 휘발유 차량이 경유나 LPG 차량에 비해 주행거리가 짧다는 것을 의미한다. 또한 차량 특성 분산과 도시 특성 분산이 모두 줄어드는 것으로 나타나는데, 이는 차량 특성 변수가 차량 간 차이와 도시 간 차이 모두를 어느 정도 설명하고 있음을 보여준다.

모형 3은 앞의 모형에 도시 특성 변수를 설명변수로 추가한 모형이다. <표 4>에서 보는 바와 같이 도시 특성 변수를 설명변수에 포함할 경우 차량 수준의 분산은 큰 차이를 보이지 않았으나, 도시 수준 분산은 크게 줄어드는 것으로 나타났다. 실제 차량 수준 분산은 약 8.78%가 줄어든 반면, 도시 수준 분산은 약 60.15%가 줄어든 것으로 나타나 모형 3에 포함된 도시 특성 변수들이 도시 간 차량 주행거리의 차이를 상당 부분 설명하고 있음을 알 수 있다.

구체적으로 각 변수별 분석 결과를 살펴보면 도시의 사회·경제적 특성 변수 중 소득수준은 차량 주행거리에 정(正)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 소득수준이 높은 도시에 거주하는 주민일수록 차량 이용이 더 많다는 것을 보여준다. 또한 3차 산업 비율이 높을수록 차량 주행거리가 짧아지는 것으로 나타나는데, 이와 같은 결과는 도시에 3차 산업 비율이 높을수록 타 도시로의 통행이 감소하고 자립적인 경제권을 형성함으로써 차량 주행거리가 감소하는 것으로 생각된다. 또

차량 주행거리에 영향을 미치는 도시 토지이용 및 도시형태 특성에 관한 실증분석

표 4. 차량 주행거리에 영향을 미치는 요인
Table 4. Factors Influencing Vehicle Kilometer Traveled

	Model 1		Model 2		Model 3	
	Coeff. S.E.	p-value	Coeff. S.E.	p-value	Coeff. S.E.	p-value
Vehicle Characteristics						
Size			1,244.465*** (30.231)	<0.001	1,244.589*** (30.236)	<0.001
Fuel			-2,128.418*** (48.152)	<0.001	-2,128.325*** (48.126)	<0.001
Socio-economic Characteristics						
Income					57,229*** (20.773)	0.008
Ratio of Tertiary Industry Workers					-25,994*** (8.733)	0.004
Land Use Characteristics						
Population Density					-0.064** (0.024)	0.011
Jobs-housing Balance					-16,331.159*** (3498.640)	<0.001
Area of Park					-1.683 (2.148)	0.436
Urban Form Characteristics						
Compact Index					-241.434* (121.784)	0.052
Center Distribution Pattern					-265.594** (130.279)	0.046
Road and Public Transportation Characteristics						
Arterial Length Ratio					-4.855 (5.621)	0.391
Connectivity Index					-292.636*** (71.676)	<0.001
Existence of Subway Station					-688.520*** (175.853)	<0.001
Constant Value	12,703.30*** (102.74)	<0.001	10,404.06*** (115.24)	<0.001	14,400.92*** (666.38)	<0.001
Vehicle-level Variance	32,888,806.41 (5734.88)		30,000,506.09 (5477.27)		30,000,503.47 (5477.27)	
N	743,312		743,312		743,312	
City-level Variance	781,520.84 (884.04)		727,305.57 (852.82)		311,422.70 (558.05)	
N	74		74		74	

*p<.10 **p<.05 ***p<.01, 1st-level observations : 743,312, 2nd-level clusters: 74

한, 3차 산업 비율이 높을수록 대도시권에 인접한 도시라고 볼 수 있는데, 이들 지역의 대중교통 서비스가 양적이나 질적으로 보다 우수하기 때문에 상대적으로 자가용 통행거리가 작게 나타난 것으로 판단된다.

이어서 토지이용 변수들 중에서 인구밀도와 직주 균형비는 차량 주행거리에 부의 영향을 미치는 것으로 나타난다. 이와 같은 결과는 인구밀도가 높은 도시일수록 가까운 거리에 통행을 유발하는 시설들이 많이 입지하게 되고, 이로 인해 통행 목적지 간 이동거리가 짧아져 차량 주행거리가 감소하는 것으로 해석된다. 또한 직주균형비가 높을수록 비교적 가까운 거리에 직장이 입지함으로써 통행거리가 감소하는 것으로 해석할 수 있다. 그러나 1인당 공원 면적은 기존 연구 결과(서동환 외, 2011)와는 달리 차량 주행거리와 통계적으로 유의미한 상관관계를 보이지 않았는데, 이와 같은 결과는 여가활동을 발생시키는 내적 결정 요소가 모형에 충분히 반영되지 않아 나타난 것으로 생각된다.¹⁷⁾

도시형태 특성이 차량 주행거리에 미치는 영향을 살펴보면, 압축 지표와 중심지 분포 패턴 모두 차량 주행거리에 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 이를 구체적으로 살펴보면, 도시의 압축도가 높을수록 차량 주행거리가 감소하는 것으로 나타나는데 이는 기존의 선행연구 결과(남기찬 외, 2008; 김승남 외, 2009)와도 일치하는 것으로 국내 중소도시들의 경우 고밀개발이 이루어질 경우 차량 주행거리가 줄어들고 이로 인해 교통에너지 소비가 줄어드는 것으로 생각된다. 또한 단핵 도시보다 다핵 도시에서 차량 주행거리가 짧은 것으로 나타나는데, 이와 같은 결과는 다핵 도시의 경우 단핵 도시보다 인구 및 고용 중심지의 접근성이 높기 때문에 주행거리가 감소하는 것으로 판단된다.

이어서 도로 및 대중교통 특성에 대한 분석 결과를 살펴보면 간선도로 비율은 차량 주행거리와

통계적으로 유의미한 상관관계가 나타나지 않으며, 가로의 연결성과 지하철역 유무는 차량 주행거리에 부(負)적인 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 이는 가로의 연결성이 높을수록 목적지까지 경로 선택이 다양해지고 통행거리가 짧아져 차량 주행거리가 감소한 것으로 해석된다. 또한 도시 내 지하철역이 입지해 있을 경우 대중교통 이용이 늘어나고 승용차 의존도가 낮아짐에 따라 차량의 주행거리가 줄어드는 것으로 판단된다.

V. 결론

본 연구는 국내 74개 중소도시를 대상으로 743,312대의 차량 주행거리 자료를 이용하여 각 도시의 토지이용 및 도시형태 특성과 차량 주행거리의 관계를 분석하였으며, 주요 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

먼저 도시별 승용차 연평균 주행거리를 산출한 결과 10,694~14,570km까지 차이를 보이는 것으로 나타났다.

이어서 다수준 분석을 이용하여 차량 주행거리에 영향을 미치는 요인을 분석한 결과는 다음과 같다.

첫째, 차량의 규모, 연료 특성에 따라 차량 주행거리가 차이를 보이는 것으로 나타나는데, 이와 같은 결과는 교통에너지 소비를 저감하기 위해 차량 유형별 통행특성을 고려할 필요성이 있음을 시사한다.

둘째, 도시의 사회·경제적 특성이 차량 주행거리에 미치는 영향을 분석한 결과, 3차 산업 비율이 높을수록 차량 주행거리가 감소하는 것으로 나타났다. 또한 도시의 소득수준이 높을수록 차량 주행거리가 증가하는 것으로 나타나는데, 소득수준의 증가는 승용차 이용의 접근 기회 향상을 가져와 차량 주행거리를 증가시키는 것으로 판단된다.

셋째, 토지이용 특성 중에서는 인구밀도, 직주균형비가 높을수록 차량 주행거리가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 인구밀도가 높을수록 도시기반시설이 밀집하여 입지하고 직주균형비가 높아질수록 직장에 대한 접근성이 높아짐으로써 차량 주행거리가 감소하는 것으로 볼 수 있다. 이와 같은 결과는 국내 중소도시들의 경우 직주균형, 고밀개발을 유도하는 정책이 교통에너지 소비를 줄이는데 효과적인 정책이 될 수 있음을 보여준다.

넷째, 도시형태 특성 중에서는 도시의 압축도가 높고 중심지 분포 패턴이 다핵일 경우 차량 주행거리가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 기존 선행연구 결과와도 일치하는 것으로 중소도시의 교통에너지 소비 저감을 위해서는 정책적으로 도시 공간구조를 다핵 집중형으로 재편하는 것이 고려될 수 있음을 시사한다.

다섯째, 도로 및 대중교통 특성 중에서는 가로 연결성이 높고 도시 내 지하철역이 입지해 있는 경우 차량 주행거리가 감소하는 것으로 분석되었다. 도시의 가로 연결성이 높을 경우 목적지까지의 우회도가 감소하기 때문에 차량 통행거리가 감소하며, 대중교통시설의 확충은 대중교통 부담률을 높여 승용차 이용을 감소시키는 것으로 생각된다. 이는 가로 연결성을 높이고 대중교통 친화적 도시개발을 추진할 경우 중소도시의 교통에너지 소비 저감에 긍정적인 영향을 줄 수 있음을 보여준다.

기존 연구들이 주로 주유소를 기반으로 측정된 유류 소비량 자료를 이용하여 분석을 수행함으로써 여러 한계점을 보였던 반면, 본 연구는 국내 중소도시를 대상으로 실제 차량 주행거리 자료를 구축하고 도시의 토지이용 및 도시형태가 차량 주행거리에 미치는 영향을 실증적으로 분석했다는 측면에서 의미를 가진다. 또한 본 연구의 분석 결과는 향후 교통부문 에너지 소비 저감을 위한 도시정책 수립 과정과 교통부문의 통행특성을 반영한 탄소 배

출량 산정 과정에 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

그러나 본 연구는 교통수요를 유발하는 도시기반시설과 편의시설에 대한 접근성을 모형에 고려하지 못했으며, 시계열 자료가 아닌 횡단면 자료를 이용하여 분석을 수행한 것은 연구의 한계로 지적될 수 있다. 따라서 향후 시계열 자료를 이용한 보다 종합적인 연구가 필요하다고 생각된다.¹⁸⁾

- 주1. 국토교통부(2009)에 따르면 우리나라의 교통부문 탄소 배출량은 전체 에너지 부문의 20% 정도를 차지한다.
- 주2. 엄명도 외(2001)의 연구에서 온실가스 산정 방식에 따른 탄소 배출량을 비교한 결과, 주유소 유류 소비량을 이용한 방식(T1)이 차량 주행거리를 이용한 방식(T3)보다 탄소 배출량이 높게 산정되었다.
- 주3. 도시의 토지이용과 도시형태는 여가통행에도 영향을 미치는데 도시의 자연녹지와 공원의 부족은 여가 행위를 할 수 있는 공간의 부족으로 주말의 여가통행을 유발할 수 있다(서동환 외, 2011). 또한 거주지 주변의 쇼핑 및 여가시설의 확충은 승용차를 이용한 여가통행거리를 감소시킨다(장윤정·이승일, 2010).
- 주4. 통영시의 경우 행정동별 종사자수에 대한 자료를 구축할 수 없어 분석에서 제외하였다.
- 주5. 교통안전공단에서는 교통사고 통계, 자동차 관련 교통정책 등을 위한 기초통계 자료를 제공하기 위하여 매년 자동차 주행거리 실태를 분석하고 있다. 이를 위하여 전국의 교통안전공단의 자동차 검사소 및 출장검사장, 지정 정비 사업체에서 조사기간 내 검사를 받은 차량의 정보 및 주행거리 관련 자료를 수집한다.(교통안전공단, 2011).
- 주6. 자동차 주행거리 실태조사 보고서(2011)는 자동차 용도를 관용, 자가용, 사업용으로 분류한다. 자동차별 세부 구분은 「자동차 관리법 시행규칙」을 기준으로 자동차의 종류는 승용, 승합, 화물, 특수로 분류한다. 또한 자동차의 규모는 경형, 소형, 중형, 대형으로 분류하며, 연료는 휘발유, 경유, LPG, 기타로 분류한다. 본 연구에서는 관용, 사업용 차량을 배제하고 자가용 차량만을 대상으로 분석을 수행하였으며, 그중에서도 승용차로 연구 범위를 한정하여 자료를 구축하였다.
- 주7. 도시 특성 변수를 2010년을 기준으로 측정한 이유는 자동차 정기검사가 통상 1~2년을 주기로 이루어지기 때문이다.
- 주8. 상이성 지표와 타일 지표는 불균형 수준을 측정하기 위한 지표로 0~1의 범위를 가지며, 1에 가까울수록 불균형이 심화되고 압축도가 높아진다(임은선 외, 2006; 남기찬 외, 2008). 도시의 집중 및 분산 수준은 Tsai(2005)의 상대 엔트로피 지표

와 허핀달 지표를 사용하였다. 상대엔트로피 지표는 최대 엔트로피와의 차이로 계산되며, 값이 1에 가까워질수록 압축도가 높아진다(Tsai 외, 2005; 임은선 외, 2006; 남기찬 외, 2008).

- 주9. 남기찬 외(2008)의 연구에서는 불균형 수준 측정 지표로 상이성 지표, 타일 지표를 사용하고 도시 분산도 수준으로는 상대 엔트로피 지표를 사용하였고 측정 지표 모두 행정동의 인구수를 적용하여 산출하였다. 임은선 외(2006)의 연구는 각 동의 인구수 비율만을 고려하여 타일 지표와 상대 엔트로피 지표를 산출하였다. 그러나 최근 연구에서는 인구수 외에 고용자 수를 함께 고려하여 평균한 값을 압축 지표로 이용하고 있다. 김승남 외(2009) 연구에서는 압축도 수준의 측정 지표로 인구와 고용에 대한 밀도 표준편차, 허핀달 지표, 상대 엔트로피 지표를 산출하였으며, 김병석(2013)은 도시의 집중 분산 수준을 측정하기 위하여 지니계수, 타일 지표, 상대 엔트로피 지표를 인구와 고용 각각에 대해 산정한 후, 각 지표를 평균화하였다.
- 주10. 본 연구에서는 4개의 압축 지표 산정 값의 편차를 보정하기 위해, 각 지표를 표준화 값으로 전환한 후에 평균한 값을 종합압축지표로 사용하였다.
- 주11. 지표의 산정식에 행정동의 면적이 고려되지 않는 상대 엔트로피 지표와 허핀달 지표를 사용할 경우에는 면적이 상대적으로 큰 행정동이 포함된 도시의 압축도가 과다하게 측정될 우려가 있어 본 연구에서는 인구와 고용자 수 밀도 비율을 사용하였다. 남기찬 외(2008)의 연구에서는 상대 엔트로피 지표를 산출하기 위하여 동의 인구수 비율을 사용하였으나, 이는 동별 면적의 크기에 따라 인구수에도 영향이 있을 것으로 생각된다. 이에 최근 김승남 외(2009), 김병석(2013)의 연구에서는 인구수 비율이 아닌 인구 및 고용밀도의 비율을 이용하여 상대 엔트로피 지표와 허핀달 지표를 산정하였다.

$$\text{주12. } Z\text{-score} = \frac{X_i - m}{\sigma}$$

$Z\text{-score}$: 표준화 값 X_i : i 지역의 고용밀도
 m : 평균 고용밀도 σ : 표준편차

- 주13. 본 연구에서는 GIS 프로그램을 활용하여 고밀 중심지 후보 지역이 인접하거나 두 지역의 중심거리가 1000m 이하인 경우 하나의 중심지로 정의하였다.
- 주14. 노드는 교차로, 고가도로 시종점, 도로의 시종점, 행정경계 등 차량의 속도의 변화가 발생하는 곳을 의미하며, 링크란 노드와 노드를 연결한 선으로 도로, 교량, 고가도로, 지하 도로, 터널 등을 의미한다.
- 주15. 임의절편선형모형은 무작위절편모형이라고도 불리며, 위계적 선형모형의 가장 단순한 형태의 모형으로서 오직 절편만이 무작위인 것으로 간주한다. 그러나 좀 더 일반적인 경우에는 기울기까지도 무작위인 것으로 취급하기도 한다. 이처럼 임의절편선형모형의 경우 집단 내 모형의 특징인 절편 계수만이 무작위적인 효과(random effects)를 갖

고 나머지의 회귀계수는 고정 효과(fixed effects)를 갖게 된다. 따라서 집단 내 모형의 고정 효과 회귀계수 추정치의 해석은 기존의 다중회귀분석의 해석 방법과 같다(곽현근, 2003).

- 주16. 설명 변수들의 상관관계를 분석한 결과, 인구밀도와 압축 지표의 상관관계가 0.627로 가장 높게 나타났다. 그러나 그 값이 0.7 미만의 값으로 위험한 수준의 다중공선성을 발생시키는 상관관계라고는 판단할 수 없다(이희연·노승철, 2012).
- 주17. 장윤정·이승일(2010)의 연구에서는 서울시를 대상으로 거주지의 여가 환경이 여가통행거리에 미치는 영향을 여가활동의 내적 제약요소인 연령과 소득으로 구분하여 분석하였다. 분석 결과, 전체 모형에서 쇼핑 및 복합시설의 밀도가 낮을수록 승용차를 이용한 여가통행거리가 길어지는 것으로 나타났다.
- 주18. 현재 여가통행 수요가 증가함에 따라 차량 이용패턴이 변화하고 있음을 고려할 때 시계열 데이터를 이용한 추가적인 연구가 진행될 경우 본 연구와는 또 다른 연구 결과가 도출될 가능성이 있을 것으로 생각된다.

인용문헌

References

1. 곽현근, 2003. “동네관련 사회자본의 영향요인에 관한 연구”, 『한국사회와 행정연구』 14(3): 259-285.
- Kwak, H-K., 2003. “Study on Influential Factors on Neighborhood-related Social Capital”, *Korean Society and Public Administration*, 14(3): 259-285.
2. 교통안전공단, 2011. 「2010년도 자동차 주행거리 실태분석 연구」.
- Trasportation, Safety, 2011. *A Study on Analysis of Reality of Vehicle Miles Traveled*.
3. 구정은, 2006. “도시 규모에 따른 다핵화 수준에 관한 연구”, 서울대학교 대학원 석사학위논문.
- Koo, J-E., 2006. “The Level of Multinuclearation by City Size”, M. D. Dissertation, Seoul National University.
4. 국토교통부, 2009. 「교통부문 온실가스 조사」, 고양시: 한국교통연구원.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2009. *Research of Gas Reduction of Transportation*, Goyang; The Korea Transport Institute.

5. 김민주·양지청·정창무, 2010. "토지복합이용에 따른 이산화탄소 발생량 변화에 관한 연구 - 서울시를 대상으로", 「국토계획」 45(6): 35-43.
Kim, M-J., Yang, J-C., Jung, C-M., 2010. "A Study on the Effect of Mixed Land-Use on Carbondioxide Emission - Focused on Seoul in Korea", *Journal of Korea Planners Association*, 45(6): 35-43.
6. 김병석, 2013. "도시공간구조의 특성이 이산화탄소 배출에 미치는 영향에 관한 연구", 중앙대학교 대학원 박사학위논문.
Kim, B-S, 2013. "(A)study on the effect of urban spatial structure characteristics on CO2 emission", Ph. D. Dissertation, Chungang University.
7. 김보현·장성만·이승일, 2013. "도시 유형별 교통에너지 소비에 영향을 미치는 요인 연구 - 통행패턴과 개발밀도에 따른 도시유형 구분을 기초로", 「국토계획」 48(3): 129-148.
Kim, B-H., Jang, S-M., Lee, S-I., 2013. "A Study on the Influencing Factors on Transport Energy Consumption by City Types - On the Basis of City Types Classified by Travel Pattern and Urban Density", *Journal of Korea Planners Association*, 48(3): 129-148.
8. 김승남, 2008. "압축도시 개발이 교통에너지 소비와 대기오염 농도에 미치는 영향 - 한국의 50개 중소 도시를 대상으로", 서울대학교 대학원 석사학위논문.
Kim, S-N., 2008. "The Effects of Compact City Development on Transportation Energy Consumption and Air Quality - Focusing on the Small and Medium-Sized Cities in Korea", M. D. Dissertation, Seoul National University.
9. 김승남·안건희, 2009. "주유지역 선택확률을 고려한 교통에너지 소비량 추정 및 도시공간구조의 차별적 영향분석", 「국토연구」 61: 121-140.
Kim, S-N., Ahn, K-H., 2009. "The Estimation of Transportation Energy Consumption Considering Gas Station Choice Probability and the Differential Effects of Urban Spatial Structure", *The Korea spatial Planning Review*, 61: 121-140.
10. 김승남·이경환·안건희, 2009. "압축도시 공간구조 특성이 교통에너지 소비와 대기오염 농도에 미치는 영향", 「국토계획」 44(2): 231-246.
Kim, S-N., Lee, K-H., Ahn, K-H., 2009. "The Effects of Compact City Characteristics on Transportation Energy Consumption and Air Quality", *Journal of Korea Planners Association*, 44(2): 231-246.
11. 김학용, 2002. "도시공간구조의 형태와 에너지 소비의 관계 - 도로교통 부문의 석유소비량을 중심으로", 한양대학교 대학원 석사학위논문.
Kim, H-Y., 2002. "The Relationship between Urban Form and Energy Consumption", M. D. Dissertation, Hanyang University.
12. 남기찬·김홍석·손민수, 2008. "인구압축도와 교통에너지와의 관계 연구 - 서울·인천·경기지역을 중심으로", 「국토계획」 43(2): 155-168.
Nam, K-C., Kim, H-S., Son, M-S., 2008. "A Study on the Correlation Between Compact of Population and Transport Energy - An Application of Compact Index", *Journal of Korea Planners Association*, 43(2): 155-168.
13. 남창우·권오서, 2005. "우리나라 중소도시의 교통에너지 소비특성에 관한연구", 「한국지방자치연구」 7(2): 169-186.
Nam, C-W., Gwon, O-S., 2005. "Study on the Relation Analysis between the Characteristics of Transportation Energy Consumption and Urban Forms", *Korean Association for Local Government Studies*, 7(2): 169-186.
14. 노승철·이희연, 2013. "가구 부문의 에너지 소비량에 영향을 미치는 요인 분석", 「국토계획」 48(2): 295-312.
Noh, S-C., Lee, H-Y., 2013. "An Analysis of the Factors Affecting the Energy Consumption of the Household in Korea", *Journal of Korea Planners Association*, 48(2): 295-312.
15. 서동환·장윤정·이승일, 2011. "보상메커니즘을 고려한 도시공간구조측면에서의 평일통근통행과 주

- 말여가통행 상호관계 분석 - 수도권을 대상으로”, 「국토계획」 46(7): pp.89-101.
- Seo, D-H., Jang, Y-J., Lee, S-I., 2011. "Analyzing Urban Structural Relationship between Work Trip and Weekend Leisure Trip in Consideration of Compensatory Mechanism - A Case Study for the Seoul Metropolitan Area", *Journal of Korea Planners Association*, 46(7): pp.89-101.
16. 송미령, 2003. "도시공간구조와 통근통행에 관한 연구 - 서울을 사례로", 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- Song, M-L., 2003. "Urban spatial structure and excessive commuting - A case study of Seoul", Ph. D. Dissertation, Seoul National University.
17. 심교언, 2001. "도시의 규모 및 밀도와 중심지 분포패턴패턴이 교통에너지 소비에 미치는 영향 연구", 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- Shim, G-E., 2001. "A Study on the effect of city size, density and the central place distribution pattern on the transportation energy consumption - the cases of medium and small-sized cities in Korea", Ph. D. Dissertation, Seoul National University.
18. 안건혁, 2000. "도시형태와 에너지활용과의 관계 연구", 「국토계획」 35(2): 9-17.
- Anh, K-H., 2000. "A Study on the Corelation Between Variables of Urban Form and Energy Consumption", *Journal of Korea Planners Association*, 35(2): 9-17.
19. 엄명도, 김종춘, 류정호, 유승화, 권상일, 이태우, 임철수, 김기호, 전민선, 2001. 「자동차의 온실가스 배출량 조사」, 국립환경연구원, 환경부.
- Eom, M-D., Kim, J-C., Ryu, J-H., You, S-H., Kwon, S-I., Lee, T-W., Lim, C-S., Kim, K-H., Jeon, M-S., 2001. *An Investigation of Green House Gas Emission From Automobiles*, National Institute of Environmental Research, Ministry of Environment, Global Environment Office.
20. 이상헌·오규식, 2013. "도시 공간형태와 에너지 효율 간의 관계 분석 - 서울시를 중심으로", 「국토계획」 48(2): 139-153.
- Lee, S-H., Oh, K-S., "Analyzing the Relationship between Urban Spatial form and Energy Efficiency - The Case of Seoul, Korea", *Journal of Korea Planners Association*, 48(2): 139-153.
21. 이희연·노승철, 2012. *고급통계분석론: 이론과 실습*, 파주시; 법문사.
- Lee, H-Y., Noh, S-C., 2012. *Advanced Statistical Analytics; Theory and Practice*, Paju; Bobmunsa
22. 임은선·이종열·이희연, 2006. "도시성장관리를 위한 공간구조의 확산-압축패턴 측정", 「국토연구」 51: 223-247.
- Lim, E-S., Lee, J-Y., Lee, H-Y., 2006. "Measurement of Urban Form in Urban Growth Management : Urban Sprawl versus Compactness", *The Korea spatial Planning Review*, 51: 223-247.
23. 장윤정·이승일, 2010. "거주지의 여가환경이 여가통행거리에 미치는 영향분석 - 서울시 내부통행을 중심으로", 「국토계획」 45(6): pp.85-100.
- Jang, Y-J., Lee, S-I., "An Impact Analysis of the Relationship between the Leisure Environment at People's Places of Residence in Seoul and their Leisure Travel on Weekends", *Journal of Korea Planners Association*, 45(6): pp.85-100.
24. 조남건, 2010. "육상교통분야의 온실가스 감축전략", 「국토연구」 340: 121-140.
- Jo, N-K., 2010. "The Strategies of Gas Reduction of Transportation", *he Korea spatial Planning Review*, 340: 121-140.
25. 차영화·김화열, 2008. "에너지 절약형 도시와 압축도시의 특성 비교 분석 - 국내 16개 광역시·도와 국내외 선형연구비교를 중심으로", 2008 대한민국토·도시계획학회 추계학술대회.
- Cha, Y-H., Kim, H-Y., 2008, "A Comparative Analyses on the Characteristics of 'Compact

- City' and 'Low-Energy-Consuming City'", *Proceedings of Periodical Autumn Academic Conference of Korea Planners Association*.
26. Anderson, W. P., Kanaroglou, P. S. and Miler, E. J., 1996. "Urban Form, Energy and the Environment: A Review of Issues, Evidence and Policy", *Urban Studies*, 33(1): 7-35.
27. Bickaby, P. A. · J. P., Steadman and M. Barret, 1991. "Energy and Urban Development in an Archetypal English Town", *Environment and Planning B: Planning and Design*, 18(2):153-175.
28. Cervero, R., 1989. "Jobs-Housing Balancing and Regional Mobility", *The Journal of American Planning Association*, 55(2): 136-150.
29. Gordon, P. and Richardson, H., 1997. "Are Compact Cities a Desirable Planning Goal?", *Journal of American Planning Association*, 66(1): 95-106.
30. Holden, E. and Norland, I. T., 2005. "Three Challenges for the Compact City as a Sustainable Urban Form: Household Consumption of Energy and Transport in Eight Residential Areas in the Greater Oslo Region", *Urban Studies*, 42(12): 2145-2166.
31. Breheny, M., 1995. "The Compact City and Transport Energy Consumption", *Institute of British Geographers New Series*, 20(1): 81-101.
32. Newman, P. W. and Kenworthy, J. R., 1989. "Gasoline Consumption and Cities: A Comparison of U.S. Cities with Global Survey", *Journal of the American Planning Association*, 55(1): 24-37.
33. Schwanen, T., 2002. "Urban Form and Commuting Behavior: A Cross-european Perspective", *Journal of Economic and Social Geography*, 93(1): 336-343.
34. Stead, D., 2001. "Relationships between Land Use, Socioeconomic Factors, and Travel Patterns in Britain", *Environment and Planning B: Planning and Design*, 28(4): 499-528.
35. Tsai and Yu-Hsin, 2005. "Quantifying Urban Form: Compactness versus 'Sprawl'", *Urban Studies*, 42(1): 41-161.
36. <http://stat.me.go.kr/nesis/index.jsp>
37. <http://www.its.go.kr/opCenter/history.jsp>
38. <http://www.kosis.kr>

Date Received 2014-08-31

Date Reviewed 2014-11-14

Date Accepted 2014-11-14

Date Revised 2014-11-26

Final Received 2014-11-26