

## 지속가능한 교통체계 평가지표 개발에 관한 연구\*

김주영\*\* · 이승재\*\*\*

### A Study on Evaluation Indices for Sustainable Urban Transport Systems\*

Jooyoung Kim\*\* · Seungjae Lee\*\*\*

**요약** : 지속가능한 교통체계를 구축하기 위해 교통 혼잡비용에 대한 중요성이 증가되고 있다. 이에 본 연구는 수도권을 대상으로 지속가능한 교통을 평가할 수 있는 지표 중 교통혼잡비용에 영향을 미치는 요소들에 대한 검토를 수행하였다. 교통 혼잡비용은 도로에서 발생하는 교통혼잡의 정도를 정량화 및 객관화하여 경제학적 비용으로 환산한 수치로서, 지속적으로 증가하는 교통혼잡비용을 완화시키기 위한 정책대안을 수립하는 과정에 필수적인 자료로 사용된다. 본 연구에서는 교통혼잡비용과 도시의 구조적 특성이 상관관계가 있다는 가정하에 도시의 구조적 특성에 의해 분류된 압축도시와 확산도시의 특성을 파악하고 도시특성요소를 선별하여 지속가능성 있는 교통시스템 구축을 위해 교통혼잡비용을 저감할 수 있는 지표들에 대한 판별과 영향력에 대해 분석하고자 하였다. 이를 위해 교통혼잡비용에 의한 도시유형을 분류하고 각 특성을 비교하여 상관관계를 분석하고 교통혼잡비용 영향모형을 추정하였다. 분석결과 인당 자동차등록대수의 증가 및 산업체간의 접근성이 증가할수록 차량통행 발생이 증가하여 교통혼잡비용 증가의 주요 원인으로 분석되었다. 향후 지속가능한 교통체계를 평가할 수 있는 추가적인 평가지표에 대한 분석을 통해 본 연구와 더불어 교통계획의 정책실현을 위한 기초연구가 될 것으로 판단된다.

**주제어** : 교통체계 평가지표, 교통혼잡비용, 도시특성, 압축도시, 확산도시

**ABSTRACT** : The rapidly increasing growth of Seoul Metropolitan Areas has produced some negative impacts such as environmental pollution and traffic congestion among others. In this paper, we have developed transportation evaluation indices for sustainable transportation systems. Paradoxically, in order to find sustainable indices, we look for negative factors and then discourage such factors in the urban systems. In particular, we have tried to identify negative impacts in the framework of urban structures in terms of sprawl and compact aspects. We have identified some of characteristics of urban structures in Seoul Metropolitan Areas in respects of congestion phenomena. We have analyzed if and how much some factors such as car ownership, Gini Coefficient, and accessibility measures influence congestion phenomena. We have found a relationship between those factors and congestion in the framework of urban structures as evaluation indices.

**Key Words** : transportation evaluation indices, urban structures, compact, sprawl, congestion effects

\* 이 논문은 2012년도 서울시립대학교 연구년교수 연구비에 의하여 연구되었습니다.

\*\* 서울시립대학교 박사수료(Ph. D. Student, University of Seoul)

\*\*\* 서울시립대학교 교수(Professor, University of Seoul), 교신전자(E-mail: sjlee@uos.ac.kr, Tel: 02-6490-2823)

## I. 서론

### 1. 연구 배경 및 목적

과거의 도시개발은 도시의 경제적 효율성 및 양적인 성장을 강조한 과정에서 무질서한 확산으로 인한 자원·에너지 비효율적인 도시를 양산하는 과오를 범하였다(송기욱·남진, 2008). 특히 수도권(서울, 경기, 인천)은 급격한 산업화로 인한 인구집중현상으로 대규모 도시를 이루었다. 도시의 규모가 커지면서 경제적 성과인 GRDP가 증가하는 등의 긍정적인 측면이 있는가 하면 교통 혼잡, 환경문제 등의 부정적인 측면인 사회적 문제가 동시에 발생되었다(이태경·원제무, 2011).

지속가능한 개발 및 성장에 대한 논의가 활발한 가운데 교통은 경제성장을 위한 견인차로써 역할이 강조되어져 왔다. 때문에 교통으로 인한 혼잡, 환경오염 등이 감수해야 될 불가피한 것으로 인식되었다. 그러나 교통체계의 지속가능성을 달성하기 위해서는 지속가능한 교통체계를 체계적으로 평가하여 교통계획의 정책실현을 위한 도구로써 사용될 수 있어야 한다.

지속가능한 교통정책의 기본방향은 환경적 지속성, 효율성, 형평성을 기반으로 한다. 대표적으로 교통 혼잡비용을 저감하는 것이 지속가능한 교통정책의 중요한 부분이라 할 수 있다(황기연·조진환, 2010). 교통 혼잡비용은 도로에서 발생하는 교통혼잡의 정도를 정량화 및 객관화하여 화폐가치로 측정된 수치를 경제학적 비용으로 환산한 수치로서 지속적으로 증가하는 교통혼잡을 완화시키기 위한 정책대안을 수립하는 과정에 필수적인 자료로 사용되기 때문이다(황기연·조진환, 2010).

본 연구는 현재 수도권을 대상으로 지속가능한 교통을 평가할 수 있는 지표 중 교통혼잡비용에

영향을 미치는 요소들에 대한 검토를 수행하고자 한다. 분석을 위해 교통혼잡비용과 도시의 구조적 특성이 상관관계가 있다는 가정하에 도시의 구조적 특성에 의한 분류인 압축도시와 확산도시의 특성을 파악하고 도시특성요소를 선별하여 교통시스템의 지속가능성을 위한 교통혼잡비용을 저감할 수 있는 지표들에 대한 판별과 영향력에 대해 분석하고자 한다. 나아가 향후 교통혼잡비용을 줄이기 위한 도시정책을 실현하고자 할 때 정책지표로 활용 가능한 근거를 제시하고자 한다.

### 2. 연구의 착안점

도시는 특성요소의 구분 없이 경제적 성과와 교통혼잡비용이 동시에 발생하지만 주로 이에 대한 개별적 연구만 진행되어 왔을 뿐, 도시 형태와 교통혼잡비용의 상관관계를 규명하는 연구는 상대적으로 전무한 실정이다. 따라서 본 연구는 이러한 점에 착안하여 도시 형태의 따라 교통혼잡비용이 어떠한 상관관계가 있는지 분석해보고, 향후 연구과제 및 정책을 제언해 보고자 한다.

## II. 선행연구 검토

### 1. 기본 개념 고찰

교통혼잡비용은 환경오염비용, 교통사고비용과 함께 교통수요의 증가에 따른 사회적 비용을 의미한다. 교통혼잡비용은 교통시설, 체계 등 교통난 완화를 위한 도시교통 정책자료로 대중교통 시설 확충 개선여부를 설정하거나 혼잡완화를 위한 혼잡통행료 부과, 교통유발부담금 제도, 교통혼잡특별구역 지정 등 교통수요관리 정책 수립을 위해 활용된다.

교통혼잡비용의 변화 추이를 살펴보면 2009년도 전국의 지역간 도로와 7대 도시의 도로상의 교통혼잡비용은 총 27조 7천억원으로 전년 대비 2.98% 증가하였고, GDP의 2.60% 규모에 달하는 것으로 추정되었으며, 지역간 도로보다는 7대 도시내 교통혼잡비용이 약 1.75배 정도 큰 것으로 추정되었다(한국교통연구원, 2010).

또한 2009년도 도시부 교통혼잡비용은 17.64조 원, 전체 교통혼잡비용의 63.67%를 차지하고 있으며, 전년대비 3.6% 증가하였다.

〈표 1〉 교통혼잡비용의 변화 추이

년도	교통혼잡비용 (조원)	전년대비증감률 (%)
2003	22.8	3.2
2004	23.1	1.3
2005	23.5	1.7
2006	24.6	4.6
2007	25.9	4.2
2008	26.9	5.1
2009	27.7	3

본 연구에서는 교통혼잡비용은 도시의 공간 구조적 특성에 의해 영향을 받는다는 것을 전제로 도시 공간구조에 대한 분류를 크게 압축도시(Compact City)와 확산도시(Sprawl City) 2가지로 분류하였다.

산업혁명 이후 노동자들이 자본과 일자리를 찾아 도심으로 유입되는 인구의 증가로 도시공간의 확대와 교외화(suburbanization)가 촉진되었고, 이 과정에서 확산도시(Sprawl City)의 발생이 증가하였다. 확산도시(Sprawl City)는 도시가 방향성을 가지고 자생적으로 확산된 결과로 나타난 공간구조라고 보는 관점과 거대도시 주변에서 발달한 저밀도의 주거지역으로 보기도 한다(임은선 외, 2006) 현대 도시에서는 교통의 발달에 따라 이동

성의 향상, 도심지역보다 상대적으로 지가가 낮은 교외 지역의 토지 획득 기회의 증가, 제도적 요인, 정보통신 기술 등의 발달로 확산도시(Sprawl City) 현상이 주로 나타나고 있다(신정엽·김진영, 2012). 하지만 확산도시(Sprawl City)로 인한 난개발의 문제와 무분별한 개발로 인한 녹지지역 상실의 결과로 환경오염을 유발될 수 있다는 문제가 지적되고 있다.

압축도시(Compact City)는 확산도시(Sprawl City)의 문제로 지적된 지나친 자가용 의존에 따른 교통 혼잡, 대기오염, 에너지 자원의 낭비, 도심기능의 쇠락 등의 문제를 극복하기 위한 대안으로 제시되었다. 일반적으로 압축도시는 적절한 고밀개발과 직주근접을 통한 통행거리 및 자차수요 감소, 대중교통 및 자전거 이용 촉진을 통한 에너지 절약, 환경오염 저감 등을 위해 제안된 개념이다.

## 2. 도시공간구조에 따른 교통혼잡비용 비교

압축도시(Compact City)와 확산도시(Sprawl City)에 대하여 연구자 간의 합의된 정의가 내려져 있지 않으며, 연구자의 초점의 따라 다양한 관점을 가지고 있다. 공간구조 중심의 연구자는 압축도시를 단핵·다핵을 갖는 분산된 집중형의 도시공간구조로 바라보며, 토지이용 중심의 연구자는 고밀개발, 복합용도 개발의 도시공간구조로 바라보고 있다(김승남 외, 2009).

확산도시(Sprawl City)에 관해서는 Lessinger(1962)는 저밀도개발, Harvey and Clark(1965)는 상업적 선형개발, Whyte(1958)는 분산적 개발 및 비지적 개발로 학자마다 다양한 정의를 제시하였다(Ewing, 2008).

압축도시(Compact City)는 혼합된 토지이용과

인구·개발밀도를 높이고 상업기회를 도시 중심에 집중시키며, 시가화 면적은 적게 하는 개념이다. 이는 이론적으로 공간 집약적 토지이용과 직주근접을 통해 좁아진 활동범위 내에서 대중교통 및 자전거·도보를 이용하게 하여 자동차 통행 수요를 줄이는 데 도움이 된다. 또한 경제적 성과 측면에서도 인구 및 산업의 집중을 통한 상호간 집적이익의 효과로 규모의 경제, 지역생산량 증대 등 경제적 성과가 크게 나타난다. 확산도시(Sprawl City)의 경우 상대적으로 통행거리 증가로 인한 대중교통 및 자전거·도보의 접근여건이 악화되어 자가용수요가 증대되고 이로 인한 혼잡비용은 압축도시(Compact City)보다 많게 나타난다. 교통혼잡비용은 도시의 인구증가와 경제성장에 따른 자동차 이용 증대와 밀접한 관련이 있다. 일반적으로 자동차 사용의 증대는 교통시설의 용량 초과로 발생하는 교통 혼잡비용뿐만 아니라 대기오염 및 소음에 의한 교통 환경비용, 자동차 사고에 의한 교통사고비용 그리고 불법주차로 인한 지체비용 등 외부불경제 효과의 사회적 비용을 증대시키는 것으로 알려져 있다(김경환·이창무, 2005).

교통혼잡비용의 주요원인이 되는 교통발생량을 주요 관점으로 볼 때, 이승일(2000)은 광주대도시권을 대상으로 공간구조별 시나리오(현 추세 연장형, 단핵집중형, 분산집중형, 극단적 분산집중형)를 구상하여 비교·분석한 결과, 극단적 분산집중형 구조는 비록 실현성은 낮으나, 다른 유형보다 교통발생 저감효과가 크다는 결론을 내렸다. Holz-Rau(1997)는 독일의 도시를 대상으로 도시기능에 대한 수요와 공급 비율이 동일한 일대일(1:1) 혼합적 토지이용과 적절한 규모의 도시가 연속된 다핵집중형 도시공간구조를 가질 때 교통발생을 최소화할 수 있음을 보였다.

### Ⅲ. 방법론 설정 및 자료수집

#### 1. 가설 설정

본 연구는 도시특성요소가 교통 혼잡비용발생에 미치는 영향을 검증하고자 다음과 같은 가설을 설정하였다.

첫째, 집적화 되어 있는 도시는 압축도시(Compact City)를 의미하는데 모든 요소들이 집중되어 있기 때문에 Compact하지 않는 도시와 비교하여 거리조건이 같을 경우 접근하기가 용이하므로 교통혼잡비용을 발생시키지 않는다.

둘째, 효율적인 교통 기반 시설은 주거지와 노동시장 간의 연결시간을 감소시켜 준다. 교통기반 시설이 잘 갖춰진 지역일수록 이동시간에 대한 편의 때문에 주거지와 기업체 간의 연결시간이 단축될 것이다.

셋째, 도시특성요소에 따라 교통혼잡비용에 미치는 영향은 다를 것이다. 도시특성요소와 교통혼잡비용은 상호관계가 있으며, 구체적으로 도시특성요소들은 교통혼잡비용에 영향을 미칠 것이고, 영향을 미치는 정도는 다를 것이다.

위의 가설들은 “도시특성요소의 적절한 조정(Control)을 통하여 교통 혼잡비용 저감에 기여할 수 있다”라는 가정에 기반하고 있다. 이러한 가정 아래 교통혼잡비용에 미치는 영향요인들을 밝히고 영향관계를 분석하기 위해 다음과 같은 변수를 설정하였다.

#### 2. 방법론 설정

##### 1) 분석 방법론 설정

아래의 구축된 변수들을 토대로 본 연구에 대한 실증분석을 하기 위해 다음과 같은 분석 수행

절차에 따라 연구를 진행하였다.

분석에 들어가기에 앞서 본 자료들의 기초적인 현황들을 개괄적으로 살펴보고자 기초통계량 분석을 실시하고 후에 통계프로그램인 SPSS 14.0을 사용하여 통계분석을 수행하였다. 먼저 각 변수들 간의 상호관계의 방향 및 강도파악을 위해 상관분석을 수행하고, 교통혼잡비용에 영향을 미치는 요인을 검토하기 위해 회귀분석을 수행하였다.

## 2) 분석 범위 설정

분석의 공간적 범위로는 서울시 및 수도권지역을 대상으로 하였다. 분석대상의 크기는 서울시 및 인천광역시의 경우 구단위, 경기도 지역의 경우 시단위로 설정하여 중권역 단위로 분석 대상의 크기를 설정하였다. 이는 행정구역 위계상 시도와 읍면동의 중간 분류에 속하며 기초 자치단체로서의 성격을 지니는 최소한의 기본 단위로 지역이 가지는 고유한 특성을 반영할 수 있으며 주요 통계자료의 취득이 용이하기 때문이다. 반면 이보다 상위 체계인 시·도 단위는 거시적인 차원으로 접근하기 때문에 하부적인 지역단위의 특성을 정확히 반영할 수 없고, 하위 체계인 읍면동 단위는 미시적 차원으로 접근하여 세부적인 현황을 파악하는 면에서는 유리하지만 행정구역이 자주 변경되어 전체적인 큰 틀을 다루며 관련 자료를 구득하는데 한계를 지니고 있기 때문이다.

## 3. 분석 자료 수집 및 구축

도시특성요소가 교통 혼잡비용 발생에 미치는 영향을 검증하고자 도시특성요소를 독립변수로, 교통혼잡비용을 종속변수로 선정하고 분석자료

를 수집 및 구축하였다.

본 연구에서 독립변수로 활용되는 변수는 지니계수(인구, 고용), 접근성, 밀도와 규모변수, 산업 및 경제 변수를 선정하였다.

### 1) 독립변수

#### (1) 지니계수

개별 도시들의 도시공간구조를 거시적 차원에서 측정하는 대표적인 방법으로 지니계수를 택하였다.

지니계수(Gini Coefficient)는 인구 및 고용 분포를 통해 도시공간의 집·분산정도를 측정함으로써 압축도시(Compact City)와 확산도시(Sprawl City)를 구분할 수 있다.

기존의 지니계수 산정식의 경우 실제 수많은 대상 도시를 분석하는 연구에는 적용하기 어려움이 따른다. 따라서 본 논문에서는 지니계수의 산출방법에 대해 심교언(2001), 이태경·원제무(2011)의 논문을 참조하여 인구와 고용 부분에 지니계수를 적용하였다.

지니계수를 이용하여 산출된 결과 값이 0에 가까울수록 지역의 인구 및 고용은 균등하게 분포되어 있어 확산도시의 공간구조를 의미하며, 1에 가까울수록 지역의 인구 및 고용은 불균등하게 분포되어 있어 압축도시의 공간구조를 의미한다.

지니계수의 산정식은 다음과 같다.

$$G = 1 - \frac{1}{n} \cdot \frac{1}{P} \left( \sum_{j=1}^n \cdot \sum_{i=1}^j P_i \right)$$

G=지니계수

$P_i$  = i 번째의 밀도

P=밀도의 총합

n=존의 수

여기서  $i$ 는 해당지역을 행정동단위로 나누어 인구 및 고용밀도 순위를 랭킹한 것을 의미하며,  $j$ 의 경우 각 해당지역의 행정동 수를 의미한다.

지니계수의 산출결과 인구에서는 대체적으로 신도시가 있는 지역이 불균등하게 분포되어 있었는데, 이는 신도시가 들어섬에 따라 인구유입이 한 지역으로 편중 및 분포되어 있기 때문인 것으로 판단된다.

고용부문에서는 경기도 낙후지역이 가장 불균등하게 분포되어 있는 것으로 나왔다. 이는 낙후 지역의 경우 하나의 산업에만 치중되어 이러한 결과가 나왔을 것이라고 판단된다.

## (2) 접근성

효율적인 교통기반시설이 교통혼잡비용을 줄여 줄 것이라 판단하여 시의 산업체 간의 접근거리를 변수로 설정하였다. 접근거리를 산출하기 위해서 입지상 계수인 LQ(Location Quotient Coefficient)를 이용하였다(이태경·원제무, 2011). 입지상 계수로 측정되는 산업의 지역 특화도는 산업의 상대적인 집중도를 나타내며, 산출방법은 다음과 같다(김홍배, 2005).

$$LQ_i = \frac{E_i^r / E^r}{E_i^n / E^n}$$

$E_i^r$  = 지역  $r$ 의 산업  $i$ 에 종사하는 고용자 수

$E^r$  = 지역  $r$ 의 전체 고용자 수

$E_i^n$  = 전국의 산업  $i$ 에 종사하는 고용자 수

$E^n$  = 전국의 전체 고용자수

본래 LQ는 산업의 집중도에 활용되는 것이지만 본 연구에서는 산업의 비중이 높은 곳을 시작으로 이동한다는 판단 하에 이 계수를 이용하였다. 접근거리의 산출방법에 있어서는 우선 기점을 설정해야 하는데 수치가 높은 지역을 찾아서

그 지역의 산업체가 밀집되어 있는 곳을 기점으로 설정하고 그 외 나머지 지역의 산업체가 밀집되어 있는 곳을 종점으로 하여 측정한다(이태경·원제무, 2011).

이와 같은 방법으로 2차·3차산업의 접근거리를 각각 산출하였다. 본 연구에서는 2차 산업에서는 경기도 화성시의 수치가 3.01로 가장 높게 나왔고, 3차산업에서는 서울시 강남구가 1.21로 가장 높은 수치를 보였다. 경기도 화성시의 경우 2차 산업에 해당하는 제조업 및 광공업의 종사자 수가 가장 높았고, 서울시 강남구의 경우 3차산업에 해당되는 서비스업의 비중이 높았기 때문에 이같은 결과가 나왔을 것이라 판단된다.

## (3) 밀도와 규모 변수

밀도는 제반 활동 간의 거리를 나타내는 지표로, 도시공간에 대한 물량 또는 활동량의 분포를 의미한다. 이는 도시공간차원에서 중요시 되는 인구, 고용 등 어느 요인을 중심으로 보느냐에 따라 인구밀도, 고용밀도로 구분할 수 있다.

이중 가장 기본적으로 인구밀도(Population Density)는 인구의 집중정도를 의미하며, 이는 시가화 면적(주거·상업·공업 면적의 합)에 대한 인구의 수로 측정하였다.

이와 밀접한 고용밀도(Employment Density)는 도시 공간에 관한 산업의 지분정도를 의미하며, 이는 행정구역 면적당 종사자 수 비율로 산정하였다.

## (4) 산업 및 경제

3차산업 비율은 도시의 자족성 및 독립성을 나타내는 지표이자 도시의 자족성 확보에 중요한 요소이다. 본 연구에서는 총 종사자 인구에서 3차 산업종사자가 차지하는 비율을 적용하였다(여기

서 3차산업 종사자 수는 한국 표준산업분류를 기준으로 농림수산업(1차 산업)과 광공업 및 건설업(2차 산업)등을 제외한 전 산업부문을 의미한다). 3차산업 비율이 높으면 자립적인 경제권이 형성되어 내부통행의 자족성을 높임으로써, 외부 지역으로의 교통수요 발생을 억제시킬 수 있는 것으로 해석할 수 있다.

가구당 승용차대수는 주민특성을 나타내는 지표이며, 동시에 승용차에 대한 접근기회를 나타낸다. 이는 승용차 등록대수를 인구수로 나눈 값을 사용하였으며, 교통에너지 소비에 직접적인 영향을 미치는 요소라고 판단된다. 따라서 이 수치가 높을수록 승용차 의존도가 높은 비효율적인 통행패턴이 나타날 것이라고 해석할 수 있다.

지역내총생산(GRDP)은 도시에서 교통서비스를 이용하여 생산되는 경제활동을 통하여 얻은 결과물을 대표할 수 있는 변수이다. 지역내 총생산(GRDP)은 '시·도별 GDP'라고 생각하면 쉽다. 즉, 각 시·도 내에 거주하는 각 경제 주체가 얼마만큼의 재화와 서비스를 생산했는가에 대한 지표이다.

현재 데이터베이스로 구축된 GRDP는 시·도의 GRDP만이 구축되어 있어 이것을 시·군·구 체계로 맞추기 위해 Cervero(2001)가 사용한 것과 같은 방법으로 산출하였다.

$$P_{cm} = O_{cm} / W_{cm} \quad P_{cs} = P_{cm} \times W_{cs},$$

$$E_s = \sum_c P_{cs}$$

P=생산성(Productivity)

E=경제적 성과(Economical performance)

W=총 종사자 수(Worker)

O=총 생산량(product Output)

c=산업별 종사자 수(industry Category)

s=시·군·구(district)

m=특별, 광역시 및 도(Metropolis)

## 2) 종속변수

교통혼잡비용은 도로를 주행하는 차량이 교통혼잡으로 인해 정상속도 이하로 운행함으로써 발생하는 시간가치의 손실과 차량운행비의 증가 등과 같이 추가적으로 발생하는 총체적인 손실비용을 의미한다.

교통혼잡비용의 추정은 대상구간도로의 공간적·시간적 범위, 선정방법과 다양한 가정에 의해 영향을 받기 때문에, 분석자의 범위설정과 분석방법에 따라 산출된 교통혼잡비용이 차이를 보이게 된다. 교통혼잡비용은 크게 차량운행비용과 시간가치비용으로 구분되며, 차량운행비용은 다시 고정비와 변동비로 구분된다. 고정비에는 운전자의 인건비, 차량의 감가상각비, 보험료, 각종 제세공과금 등이 포함된다. 그리고 변동비에는 연료소모비, 차량의 유지정비비, 엔진오일비, 그리고 타이어 마모비 등이 있지만, 실제로 계산하기 곤란하므로 연료소모비를 제외한 나머지 비용의 계산은 제외된다(황기연·조진환, 2010).

혼잡비용을 계산하기 위한 방법은 해당지점의 실제 교통량, 속도 등을 토대로 혼잡 기준 속도를 이용하여 주행시간 차이를 산출하고 주행시간 차이와 교통량을 이용하여 교통혼잡비용을 추정하게 된다. 이렇게 산출된 교통혼잡비용은 도시의 총 도로연장을 이용하여 도시의 총 혼잡비용을 추정하게 된다. 단 도시부 도로의 경우 혼잡기준 속도를 자동차 전용도로의 경우 75km/h, 도시부 일반도로의 경우 27km/h이 적용된다(한국교통연구원, 2010).

이렇게 산출되는 도시부 도로의 1일 교통혼잡비용은 다음과 같다.

도시부 도로의 1일 교통혼잡비용 = 차종별 구간별 교통량( $i$ ) × [차종별 유류비 $j$  × 구간거리 × (운행속도 연료소모량/km( $i$ )) - 기준속도 연료소모량/km( $i$ )) + (시간당 운행비( $i$ ) + 차종별 평균 시간 가치( $i$ ) × (운행시간( $j$ ) - 기준운행시간( $j$ ))

여기서  $i$ 는 차종을  $j$ 는 구간을 나타낸다.

본 연구에서는 현실적으로 도시부 도로의 경우 교통량, 속도 및 주행거리를 조사한다는 것이 불가능하므로 교통수요 패키지인 EMME를 활용하여 지역의 교통혼잡비용을 추정하였다.

EMME에 활용되는 자료의 경우 수도권교통본부의 기초자료를 사용하였다. 1,522개 행정동의 소준단위를 분석을 위해 서울시 및 인천광역시의 경우 구단위, 경기도 지역의 경우 시단위로 설정하여 중권역 단위로 변경하여 사용하였다. 또한 분석을 위해 사용된 O/D자료의 경우 2011년 기준의 승용차, 버스, 택시, 기타 통행량이 된다.

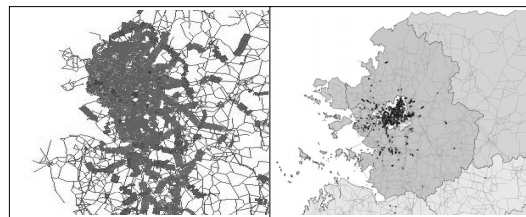
분석에 사용된 O/D자료를 통행배정한 결과 교통 혼잡비용에 영향을 미치는 V/C가 1이상인 구간은 전체 연장의 16.9%에 해당되는 것으로 나타났으며 평균통행속도 10km/h 이하인 구간은 전체의 4.2%로 분석되었다. 이러한 지역을 도식화해 보면 서울시 내부(종로구, 강남구, 영등포구), 인천시 일부, 경기지역 일부(성남시, 수원시, 부천시)를 포함한 구간으로 확인되었다.

수도권 지역에 대한 통행배정을 수행한 후 도 시내 해당 링크별로 도출된 교통량, 통행속도를 토대로 수도권의 차종별 평균시간 가치 및 도로 연장을 가지고 교통혼잡비용을 산출하였다. 이때 사용된 차종별 유류비 및 운행속도 연료소모량, 기준속도 연료소모량, 시간당 운행비와 기준 운행시간의 경우 한국교통연구원(2010)에서 제시된

값을 이용하였다.

〈표 2〉 통행배정 분석 결과

V/C	연장(km)	속도(km/h)	연장(km)
~0.25	43,255	80 이상	2,215
0.25~0.5	11,420	70~80	12,684
0.5~0.75	8,539	60~70	30,562
0.75~1.0	6,816	50~60	15,748
1.0~1.25	5,228	40~50	13,844
1.25~1.5	3,616	30~40	3,697
1.5~1.75	2,174	20~30	2,007
1.75~2.0	1,316	10~20	1,694
2.0~	1,934	0~10	1,847
합계	84,297	합계	84,297



〈그림 1〉 과혼잡링크(좌)와 저속구간(우) 분포

#### IV. 영향모형 분석 및 검증

##### 1. 기술 통계 분석

기술통계 분석결과는 〈표 3〉에 제시되어 있으며, 각 변수별로 살펴보면 다음과 같다.

혼잡비용과 GRDP의 경우 편차가 상당히 심한 것으로 분석되었다. 이는 서울 중심부와 경기 외곽지역의 도로 혼잡비용과 지역내 총생산량 차이가 심하기 때문이라고 판단된다.

혼잡비용의 경우 인천시 동구가 8,772억원으로 가장 높은 수치를 보이고 있는 것으로 분석되었으며, 경기도 연천군이 1,243억원으로 가장 낮은



수치를 보이는 지역으로 나타났다.

〈표 3〉 변수의 기술통계

변수	평균	표준 편차	최소 값	최대값
혼잡비용(억원)	4,843	1,973	1,243	8,772
지니계수(인구)	0.67	0.08	0.55	0.87
지니계수(고용)	0.69	0.06	0.56	0.86
접근성(km)	7.21	1.05	3.80	9.16
인구밀도(인/km <sup>2</sup> )	8.39	1.67	4.18	10.28
고용밀도(인/km <sup>2</sup> )	3.07	3.40	1.04	25.71
3차산업 비율(%)	73.12	15.51	31.87	93.25
가구당 승용차보유대수(대)	0.97	0.17	0.63	1.38
GRDP(억원)	8,765	1,747	6,815	11,179

## 2. 교통혼잡비용 절약적인 도시 특성

교통혼잡비용은 도시 지역마다 다른 행태를 보이며, 이는 해당 도시의 특성과 밀접한 연관이 있다. 수도권 64개 지역을 대상으로 교통혼잡비용 소비형 도시와 절약형 도시의 특성을 파악하고자 교통 혼잡비용을 기준으로 군집분석(Cluster Analysis)을 실시하였다.

비계층적 군집방법은 분류될 군집의 수(K)를 사전에 설정함으로써 군집화 대상이 다수인 경우 신속하게 처리할 수 있는 장점이 있다. 분석에서는 가장 널리 이용되는 K-평균법(K-Means)을 채택하여 분석하였다.

따라서 본 연구에서는 교통혼잡비용을 토대로 2개의 군집(교통혼잡비용 절약형, 소비형)으로 분류할 경우 각각의 도시들은 어느 군집에 속하며 이들의 특성이 어떤지 파악하고자 한다.

K-평균 군집 분석 결과 교통혼잡비용 소비형 도시인 1집단은 서울시 종로구, 강남구, 영등포구, 인천시 동구, 부평구, 경기 성남시, 수원시, 부천

시 등 31개 지역이 선정되었고, 교통 혼잡비용 절약형 도시인 2집단의 경우 서울 중구, 강동구, 인천시 중구, 경기 평택시, 과천시, 여주군, 양주시, 연천군 등 33개 지역이 선정되었다.

〈표 4〉 교통혼잡비용에 의한 도시 유형 분류

변수	사례 수 (N)	교통혼잡 비용	해당지역
교통혼잡 비용 소비형	31	6,571억원	서울시 종로구, 강남구, 영등포구, 인천시 동구, 부평구, 경기 성남시, 수원시, 부천시 등 31개 지역
교통혼잡 비용 절약형	33	3,320억원	서울 중구, 강동구, 인천시 중구, 경기 평택시, 과천시, 여주군, 양주시, 연천군 등 33개 지역

교통 혼잡비용에 의한 도시 유형별 특성 비교 결과 8개 항목에서 차이가 있으며 이는 유의수준 5%에서 통계적으로 상당한 의미가 있는 것으로 나타났다. 또한 각 항목의 평균치를 살펴본 결과, 교통혼잡비용 소비형(1집단)의 경우 절약형(2집단)에 비해 지니계수(인구 및 고용)가 상대적으로 작아 확산도시에 가깝고, 주요 산업체까지의 접근거리가 길며, 인구밀도 및 고용밀도가 낮은 것으로 분석되었다. 또한 가구당 승용차보유대수가 높고 GRDP도 상대적으로 높은 것으로 나타났다.

이와 같은 특성을 종합해 보면 교통혼잡비용 절약형 도시는 압축도시의 특성에 가까운 것을 알 수 있다. 상대적으로 지니계수가 높고 인구 및 고용밀도가 높으며, 좁은 시가화 면적에 인구와 주택, 산업 인프라 등의 다양한 도시 기능들이 집적되어 있는 특성이 있다. 또한 3차산업 비율이 높아 자립적

인 경제권이 형성되어 있어 통행거리가 길지 않음을 유추할 수 있으며, 가구당 승용차 보유대수가 적어 승용차 통행이 적다고 판단할 수 있다.

〈표 5〉 도시유형별 변수 특성 상호 비교

변수	교통혼잡 비용 소비형	교통혼 잡비용 절약형	t-value	Sig
지니계수 (인구)	0.62	0.71	0.55	0.078
지니계수 (고용)	0.67	0.72	0.56	0.001
접근성 (km)	7.52	6.87	3.80	0.040
인구밀도 (인/km <sup>2</sup> )	7.32	9.52	4.18	0.014
고용밀도 (인/km <sup>2</sup> )	2.03	4.17	1.04	0.000
3차산업 비율 (%)	66.24	80.44	31.87	0.015
가구당승용 차보유대수 (대)	1.02	0.91	0.63	0.033
GRDP (억원)	11,987	9,096	6,815	0.029

### 3. 교통 혼잡비용과 도시특성 요소간의 관계

수도권 도시의 도시특성요소와 교통혼잡비용 간의 상호관계를 분석하기 전에 변수에 대하여 상관분석(Correlation Analysis) 및 다중공선성 분석을 실시하였다. 다중회귀분석모형에서 다중공선성이 강한 변수들이 모형에 동시에 포함되는 경우에는 경제적 성과 및 경제적 비용에 영향을 미치는 변수들의 통계적 유의성, 방향성, 영향의 크기 등의 변형을 유발할 수 있기 때문이다.

상관분석 결과에서는 종속변수인 교통혼잡비용과 GRDP 및 지니계수(인구)를 제외한 설명변수들 간의 상관계수가 0.4 이상으로 나타나 상관

관계가 다소 높은 것으로 분석되었다.

〈표 6〉 교통혼잡비용과 설명변수 상관관계 분석 결과

설명변수	Pearson Correlatio	Sig
지니계수(인구)	-0.33988	0.071
지니계수(고용)	-0.42305	0.022
접근성(km)	0.47923	0.000
인구밀도(인/km <sup>2</sup> )	-0.708673	0.001
고용밀도(인/km <sup>2</sup> )	-0.676872	0.000
3차산업 비율(%)	-0.429746	0.811
가구당 승용차보유대수(대)	0.68876	0.000
GRDP(억원)	0.29995	0.006

### 4. 교통혼잡비용에 영향을 미치는 요인

#### 1) 분석 개요

앞의 분석 틀에 의거하여 도시특성요소들을 독립변수(Independent Variable)로 하고, 교통혼잡비용을 종속변수(Dependent Variable)로 하여 실제로 교통 혼잡에 어떠한 도시특성요소가 어느 정도의 영향을 미치는지 파악하고자 다중회귀분석을 수행하였다.

본 연구에서는 회귀분석의 변수 선택 방법에서 단계적으로 유의미한 변수가 선택 또는 제거되어 가면서 모형자체의 설명력을 높이는 단계적 선택(Stepwise) 방식을 채택하여 분석하였다. 왜냐하면 회귀분석에 있어 독립변수의 수가 증가하면  $R^2$ 이 커지게 되는데 이런 경우 다중공선성(Multi-Collinearity)의 문제가 발생하게 될 가능성이 높아진다. 흔히 Tolerance가 0.1 이하 또는 VIF값이 10 이상일 경우, 다중공선성의 문제가 있는 것으로 판단할 수 있다. 본 연구에서 채택한 Stepwise기법은 바로 이러한 문제와 오차를 줄여

최적화된 회귀선을 찾아내는 방법이라고 할 수 있다.

## 2) 회귀분석 결과 및 해석

분석결과 가장 설명력이 높은 인당 승용차 보유대수가 독립변수로 진입된 이후 다음으로 설명력이 높은 지니계수(고용), 주요 산업체와의 접근성 등의 순으로 추가 진입이 이루어졌다. 각 변수의 진입 및 제거기준은 p-value 0.05와 0.1로 설정하였다.

본 연구를 따라 분석한 결과  $R^2$ 가 0.57으로 비교적 높은 설명력을 보이며 이러한 결과는 유의수준 1%( $p < 0.01$ ) 보다 작은 것으로 통계적으로 상당히 의미가 있음을 보여주고 있다.

〈표 7〉 교통혼잡비용 영향모형 최종결과 요약

Model	$R$	$R^2$	수정된 $R^2$	F	Sig
6	0.75(ln)	0.57	0.53	42.819	0.000

주어진 자료에 의한 분석결과에 따르면 교통혼잡비용( $Y$ )는 독립변수( $X_1, X_2 \dots X_6$ )들과의 관계 속에서 다음과 같은 선형의 회귀방정식으로 추정된다.

$$Y = -0.406X_1 + 0.371X_2 - 0.185X_3 - 0.136X_4 - 0.033X_5 + 0.603X_6$$

여기서,

$Y$  : 교통혼잡비용

$X_1$  : 지니계수(고용)

$X_2$  : 주요 산업체와의 접근성

$X_3$  : 인구밀도

$X_4$  : 고용밀도

$X_5$  : 3차산업 비율

$X_6$  : 인당 승용차 보유 대수

〈표 8〉 교통혼잡비용 영향모형 최종결과

변수	B	Beta	t-value	Sig
지니계수(고용)	-0.406	-0.304	-2.73148	0.023
접근성(km)	0.371	0.289	-3.02461	0.003
인구밀도(인/km <sup>2</sup> )	-0.185	-0.193	3.295721	0.000
고용밀도(인/km <sup>2</sup> )	-0.136	-0.148	3.368635	0.004
3차산업비율(%)	-0.033	-0.115	3.099704	0.003
가구당 승용차보유대수(대)	0.603	0.511	-3.76778	0.000

즉 교통혼잡비용은 주요 산업체와의 접근거리가 멀어지고, 인당 승용차 보유 비율이 늘어날수록 상승하는 것으로 분석된다. 음의 관계를 보이는 독립변수는 지니계수와 인구밀도, 고용밀도, 3차산업 비율로 압축도시의 특성을 보이고 확산도시의 면모를 보일수록 교통혼잡비용은 감소하는 것으로 해석할 수 있다.

## V. 결론

### 1. 요약

본 연구에서는 분석 대상지역의 도시유형을 알아보고 도시특성요소가 교통혼잡비용과 어떠한 상관관계를 갖고 있는지에 대해서 실증분석(Empirical Stud)을 시도하였다. 실증분석을 위해서 종속변수로 교통혼잡비용을, 그리고 독립변수

로 활용되는 변수는 지니계수(인구, 고용), 접근성, 밀도와 규모변수, 산업 및 경제 변수를 선정하여 분석을 진행하였다.

서울을 비롯한 수도권지역에 대해 실증분석을 한 결과를 종합하면 다음과 같다.

첫째, 도시유형을 파악하기 위해 교통혼잡비용에 의한 도시 유형별 특성을 비교한 결과 8개 항목에서 차이가 있으며, 각 항목의 평균치를 살펴본 결과, 교통혼잡비용 소비형(1집단)의 경우 절약형(2집단)에 비해 지니계수(인구 및 고용)가 상대적으로 작아 확산도시에 가깝고, 주요 산업체까지의 접근거리가 길며, 인구밀도 및 고용밀도가 낮은 것으로 분석되었다. 또한 가구당 승용차 보유대수 및 GRDP도 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 이와 같은 특성을 종합해 보면 교통혼잡비용 절약형 도시는 압축도시의 특성에 가까운 것을 알 수 있다.

둘째, 도시특성요소와 교통혼잡비용의 상관관계를 분석한 결과, 인당 자동차등록대수가 가장 모형의 설명력이 높았으며 지니계수(고용), 주요 산업체와의 접근성 순서로 모형의 설명력이 높았다. 인구밀도, 고용밀도, 3차산업 비율의 경우 상대적으로 낮은 설명력을 나타내었다. 결과적으로 교통 혼잡을 유도하는 직접적인 원인인 가구당 승용차보유대수가 높을수록 교통혼잡비용에 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

셋째, 지니계수(고용)와 주요 산업체와의 접근성이 인당 승용차 보유 대수 다음으로 많은 영향을 미쳤는데 이는 주요 도시의 산업체간의 생산 활동을 위한 통행 및 고용자들의 출퇴근 통행이 교통 혼잡과 높은 연관성을 보인다는 것을 의미한다. 이로 인해 산업체와의 접근성과 지니계수(고용)가 높을수록 도시부 도로의 교통혼잡비용에 많은 영향을 주는 것을 알 수 있었다.

## 2. 향후 연구과제 및 정책제언

본 연구에서는 국가기관의 공신력 있는 데이터를 활용하여 실증분석을 실시하였다. 하지만 다음과 같은 한계점을 가지고 있다.

첫째, 국가기관에서 배포하는 데이터가 매우 한정적이어서 자료수집에 한계가 있었다. 이를 보완하기 위한 조사 분석이 더욱 활발히 이루어진다면 더 나은 결과를 도출할 수 있을 것이라고 판단된다.

특히, 종속변수에 해당하는 교통혼잡비용의 경우는 시간대별로 상이한 결과를 나타낸다. 출퇴근 시간대와 새벽시간대와 같이 도시부 도로의 경우 혼잡도의 차이를 분명히 나타내지만 자료로는 표현하지 못하였다는 점에서 한계점을 들어내었다.

둘째, 분석단위에서 연구의 한계점을 나타내었다. 국내 데이터는 주로 교통존(TAZ)의 분석단위로 자료를 구축한다. 그로 인해 시·군·구의 거시적인 분석밖에 할 수 없다는 한계점이 있다. 따라서 미시적인 데이터 구축을 통해 정확한 연구결과를 도출해 낼 수 있도록 국가기관의 노력이 필요할 것이다.

본 연구결과를 통하여 제시하고자 하는 사실은 단순히 압축도시가 교통혼잡비용을 줄이기 위한 답이 아니라는 것이다. 도시가 갖는 각각의 도시 특성요소를 파악하고 교통혼잡비용과의 상관관계를 찾아 결과를 도출하여 상관관계가 높은 도시특성요소를 집중적으로 개선하는 등 이러한 분석 자료가 도시 및 교통계획 정책지표로 활용되어 효율적인 정책 방향이 정립되어야 할 것이다.

향후 이와 같은 여러 연구를 통해 교통 및 도시 계획분야에서 부족한 점을 보완 수정하면 지속가능한 도시교통 정책방향 설정에 기초연구자료로

써 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- 김경환 · 이창무, 2005, “도시규모와 교통혼잡비용”, 『지역연구』, 21(3): 75~97.
- 김승남 · 이경환 · 안건혁, 2009, “압축도시 공간구조 특성이 교통에너지 소비와 대기오염 농도에 미치는 영향”, 『국토계획』, 44(2), 대한민국 · 도시계획학회지.
- 김홍배, 2005, 『도시 및 지역경제 분석론』.
- 신정엽 · 김진영, 2012, “도시스프롤에대한논의제조명과 공간분석방법론에대한도시스프롤측정연구”, 『서울法學』, 19(3): 317~354.
- 심교언, 2001, “도시의 규모 및 밀도와 중심지 분포패턴이 교통에너지 소비에 미치는 영향 연구”, 서울대학교 박사학위논문.
- 송기욱 · 남진, 2008, “ 압축형 도시특성요소가 교통에너지 소비에 미치는 영향에 관한 실증분석”, 『대한국토도시계획학회 정기학술대회 논문집』: 191~206.
- 이승일, 2000, “교통발생저감을 위한 환경친화적 도시공간구조 연구”, 『국토계획』, 35(6): 21~34.
- 이태경 · 원제무, 2011, “도시의 형태가 교통혼잡비용에 미치는 영향연구, 한국도로학회 논문집, 13(3): 147~156.
- 임은선 · 이종열 · 이희연, 2006, “도시성장관리를 위한 공간구조의 확산-압축패턴 측정”, 『국토연구』, 51: 223~247.
- 한국교통연구원, 2010, 『전국 교통혼잡비용 추정과 추이 분석』.
- 황기연 · 조진환, 2010, “교통혼잡비용 추정방법의 개선방안 연구”, 『대한교통학회지』, 28(1): 63~74.
- Cervero, R., 2001, “Efficient Urbanisation: Economic Performance and the Shape of the Metropolis,” *Urban Studies*, 38: 1651~1671.
- Ewing, R., 2008, “Characteristics, Causes, and Effects of Sprawl”, in Marzluff, J., Shulenberger, E., Endlicher, W., Alberti, M., Bradley, G., Ryan, C., Simon, U. and Zumbrunnen, C.(eds.), *Urban Ecology*, Springer, New York, 519~535.
- Harvey, Robert O. and Clark, W. A. V., 1965, “The Nature and Economics of Urban Sprawl,” *Land Economics*, 41(Feb.): 1~9.
- Holz-Rau, C., 1997, “Siedlungsstrukturen und Verkehr. Materialien für Raumentwicklung”, *Heft*, 84, Bonn: Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung.
- Lessinger, Jack, 1962, “The Case for Scatteration: Some Reflections on the National Capital Region Plan for the Year 2000,” *Journal of the American Institute of Planners*, 28(Aug.): 159~69.
- Whyte, W. H., 1958, “Urban Sprawl,” in the Editors of Fortune, *The Exploding Metropolis*, Doubleday and Company, Inc., New York, 133~156.

원 고 접 수 일 : 2013년 1월 30일  
1 차 심 사 완 료 일 : 2013년 2월 18일  
최 종 원 고 채 택 일 : 2013년 4월 16일