

# 공간 구문론을 이용한 존내 자동차 배출량 추정 모형

이규진<sup>1\*</sup> · 최기주<sup>2</sup>

<sup>1</sup>아주대학교 TOD기반 지속가능 도시교통연구센터, <sup>2</sup>아주대학교 교통시스템공학과

## Mobile Source Emissions Estimates for Intra-zonal Travel Using Space Syntax Analysis

LEE, Kyu Jin<sup>1\*</sup> · CHOI, Keechoo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>TOD-based Sustainable City Transportation Research Center, Ajou University, Gyeonggi 16499, Korea

<sup>2</sup>Department of Transportation System Engineering, Ajou University, Gyeonggi 16499, Korea

\*Corresponding author: [transjin@ajou.ac.kr](mailto:transjin@ajou.ac.kr)

### Abstract

This study aims to develop a framework to estimate mobile source emissions with the macroscopic travel demand model including enhanced estimates of intra-zonal travel emissions using Space Syntax analysis. It is acknowledged that "the land-use and transportation interaction model explains the influence of urban structure on accessibility and mobility pattern". Based upon this theory, the estimation model of intra-zonal travel emissions is presented with the models of total travel distance, total travel demand, and average travel speed of intra-zonal trips. These statistical models include several spatial indices derived from the Space Syntax analysis. It explains that urban spatial structure is a critical factor for intra-zonal travel emissions, which is lower in compact zone with smaller portion of land area, lower sprawl indicator, and more grid-type of road network. Also the suggested framework is applied in the evaluation of the effectiveness of bicycle lane project in Suwon, Korea. The estimated emissions including intra-zonal travel is as double as the results only with inter-zonal demands, which shows better performance of the suggested framework for more realistic outcomes. This framework is applicable to the estimation of mobile source emissions in nation-wide and the assessment of transportation-environment policies in regional level.

**Keywords:** interaction of urban land-use and transportation, intra-zonal emission, intra-zonal travel distance, intra-zonal trips, mobile emission, space syntax

### 초록

이 연구는 교통수요모형에 기반한 자동차 배출량 산정 시 존내 배출량이 누락되는 문제를 보완하기 위해, 교통수요모형과 결합하여 활용될 수 있는 존내 배출량 산정 모형을 정립하는데 목적이 있다. 특히 “도시-교통의 상호작용에 기인하여, 도시공간구조는 접근도에 영향을 미치고, 이는 사람들의 통행행태에 영향을 미친다.”는 이론에 근거하여, 본 연구는 도시 도로의 구조적인 특성을 정량화할 수 있는 공간 구문론(Space Syntax) 이론 등을 활용하여 존내 통행거리, 존내 통행량, 존내 평균 통행속도, 그리고 이들을 조합한 존내 배출량 추정 모형을 구축하였다.

J. Korean Soc. Transp.  
Vol. 34, No.2, pp.107-122, April 2016  
<http://dx.doi.org/10.7470/jkst.2016.34.2.107>  
pISSN : 1229-1366  
eISSN : 2234-4217

Received: 27 July 2015

Revised: 30 September 2015

Accepted: 25 February 2016

Copyright ©  
Korean Society of Transportation

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

연구 결과, 도시 공간 구조는 존내 배출 특성에도 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 특히 압축도시이고, 대지 면적이 좁고, 난개발 지수가 낮고, 격자형 도시일수록, 존내 자동차 배출량은 적게 배출되는 것으로 나타났다. 지역의 공간적 특성을 반영하여 구축된 본 연구 모형은 기존 모형에 비해 약 44-46% 높은 설명력을 보였다. 이를 수원시 자전거 도로 개선사업에 적용하여 배출 저감량을 산정한 결과, 존내 배출 저감량만 고려한 기존 결과와 비교해 약 2배 높은 배출 저감량이 산정되었다. 본 연구결과는 국가 배출량 산정에의 활용 및 다양한 교통-환경 정책의 효과 평가에도 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

**주요어:** 도시-교통 상호작용, 존내 배출량, 존내 통행거리, 존내 통행량, 자동차 배출량, 공간 구문론

## 서론

### 1. 연구배경 및 목적

지금까지 전 세계적으로 벌어진 경제성장 중심 개발로 인해 대기오염 및 지구 온난화가 가속화되고 있으며, 그로 인한 기후변화는 우리의 건강과 생태계에 상당한 위협적 영향을 미치고 있다. The Stern Review(2006)에 따르면 기후변화로 인한 경제손실은 매년 세계 GDP의 5-20%에 달하는 것으로 예측하고 있는 등 기후변화는 국제사회에서 중요한 이슈로 부각되고 있다. 기후변화를 야기 시키는 배출원을 찾고 배출 저감 목표를 명확히 설정하기 위해서는 배출원에 대한 정확한 배출량 분석은 필수적이며 중요한 요소이다. 배출원별 배출량 정도에 근거하여 정책 추진의 논거를 마련할 수 있으며, 이를 바탕으로 배출 저감 예산을 합리적으로 할당할 수 있기 때문이다.

본 연구에서 접근하고자 하는 도로이동오염원의 경우, 배출량을 추정하기 위한 기법으로는 총 배출량을 거시적으로 추정 후 하위 지역으로 배분하는 TDA(Top-Down Approach)기법, 도로망별로 배출량을 추정한 후 이를 대상 지역으로 취합하는 BUA(Bottom-Up Approach)기법이 있다. 첨단교통자료 및 교통수요모형 등을 활용한 BUA기법은 분석과정이 다소 복잡하여 시간과 비용이 많이 소요되지만, 배출량의 핵심인자인 총 통행거리 및 통행 속도에 대한 현실적인 교통특성을 반영할 수 있는 장점으로 인해 고해상도의 정확도 높은 배출량을 산정할 수 있는 것으로 평가받고 있다.

그러나 Choi et al.(2009) 등은 교통수요모형 기반의 BUA 기법도 수집 자료의 신뢰성 문제, 존내 배출량 누락 문제 등의 한계를 지적하며 그에 대한 개선의 필요성을 제언하고 있다. Crevo et al.(1994), Douglas et al.(2001), Debbie et al.(2003), Zheng et al.(2004)는 인접 존과의 통행거리에 비례하는 내부 통행거리와 평균 통행속도 등을 적용하여 존내 배출량을 추정하고 있으나, 개략적인 접근법의 한계가 존재한다. 존내 배출량의 핵심은 존내 총 주행거리의 추정에 있으며, Yu et al.(2001)은 존의 인구, 세대수, 용지별 면적과 같은 사회경제지표를 반영한 존내 통행량 추정모형을 구축한 바 있으며, Yu(2006)은 중력 모형식을 이용한 존내 통행량 추정모형을 제시하고 있으나, 존내 고유의 특성을 고려하지 못하는 한계성이 있다.

따라서 본 연구는 존내 총 주행거리를 포함하여 존내 배출량 추정 모형을 구축하여 교통수요모형 기반의 배출량 산정 결과의 신뢰성 제고를 목적으로 한다. 이때 기존에는 대부분 사회경제지표 특히 인구나 토지 면적을 이용하여 존내 배출량을 추정하고 있지만, 본 연구는 도시공간구조와 교통은 상호 유기적인 관계가 있다는 점에 착안하여 도시공간구조를 고려한 존내 배출량을 추정하고자 하며, 이를 위해 도시공간구조를 정량화할 수 있는 공간 구문론(Space Syntax)이론을 활용하였다.

본 연구에서 최종적으로 구축하고자 하는 존내 배출량 추정 모형은 교통특성을 현실적으로 반영할 수 있는 교통수요모형 기반의 배출량 산정 결과의 정확도를 향상시키는데 기여함은 물론, 그 내부모형인 존내 총 주행거리 추정 모형은 도시-교통의 상호관련성을 기반으로 구축되므로 총 주행거리를 저감하기 위한 도시-교통 요소를 규명하고, 교통수요분석의 존 세분화시 요구되는 존내 통행량 추정에도 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 연구방법

자동차 배출량은 기본적으로 교통 활동도인 주행거리, 통행량, 통행속도로 결정되기 때문에, 본 연구에서는 이 세 가지 교통 활동도를 추정하기 위한 모형을 각각 구축하며, 이를 결합한 존내 자동차 배출량 추정 모형을 정립한다. 해당 모형들을 정립하기 위해 사회경제 지표, 도시공간구조 지표, 통행특성 지표를 고려하며, 특히, 본 연구는 “내부 존의 통행거리와 통행량은 도시공간구조와 상호관련성이 있다.”를 전제하며, 이를 우선 규명하기 위해 도시공간구조 지표인 공간 구문론 지표와 난개발 지표(Sprawl Indicator) 등과 존내 통행특성 지표와의 관련성을 분석한다. 이를 통해 모형의 구조와 변수들을 결정하며, 최소자승법에 기반 한 프로그래밍을 작성하여 모형의 최적 계수를 결정한다.

본 연구에서 구축할 존내 배출량 추정 모형의 구조 및 고려하고 있는 변수들은 Figure 1과 같다.

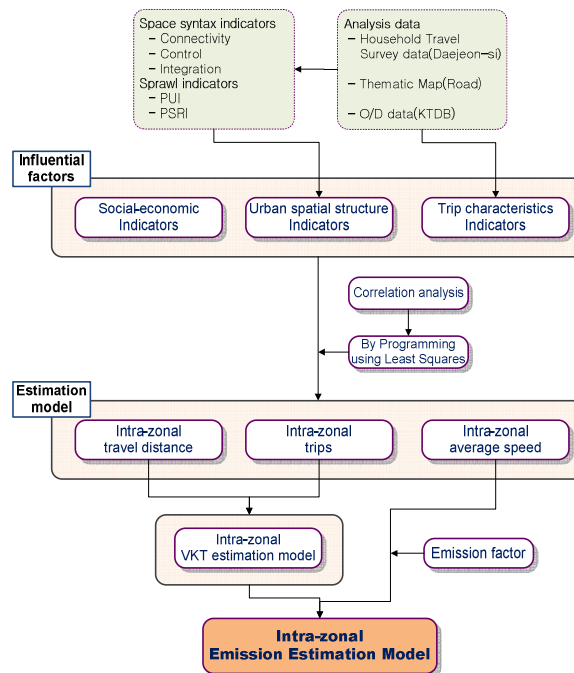


Figure 1. Conceptual structure of intra-zonal emission model

## 공간 구문론

### 1. 이론적 개념<sup>1)</sup>

공간 구문론(Space Syntax)은 공간구조를 분석하여 각 공간의 속성을 정량적으로 제시하는 이론으로 영국의 런던대학교 Hiller 교수 연구팀에 의해 개발(Hiller, 1984)되었으며, 최근 건축분야, 도시분야, 교통분야 등에서 활발히 활용되고 있는 추세이다. 건축분야의 경우 Park et al.(2009), Kwon et al.(2007), Hwang et al.(2000), Lymm et al.(2008), Kim et al.(2001) 등의 연구에서와 같이 건축공간구조를 정량화하여 평가하는데 활용되고 있으며, 도시분야의 경우 Choi et al.(2001), Lee et al.(2008), Yu(2008), Yeon et al.(2008), Hwang et al.(2007)의 연구와 같이 도시공간구조를 분석하는데 활용하고 있다. 교통분야에서도 Jeon et al.(2007)은 서울시 강남구의 대중교통 접근성을 평가하였는데 활용하였으며, Lee et al.(2005)은 서울시 강남구를 대상으로 서울시 버스 개편효과를 분석하는데 활용하였다. 그리고 Rhoo et al.(2005), Joen et al.(2004)은 최적 경로 알고

<sup>1)</sup> Jang(2008)

리즘을 개선하는데 활용하고, Kim(2008)는 공간구조와 교통사고의 상관관계를 분석하는데 활용하였다.

공간 구문론 이론은 크게 두 가지 가정에서 출발한다. 첫째, 특정 공간을 분석하기 위해서는 단순히 이웃 공간간의 관련성이나 특정한 공간간의 관계가 아니라 거시적인 관점에서 모든 공간간의 상호 관련성을 바탕으로 공간의 상호 유기적 결합을 공간분석의 전제로 한다. 둘째, 인간이 공간을 인지하고 사용하는 공간 사용 행태에 대한 이해에 분석의 기본을 두고 있다.

공간 구문론 이론은 공간구조상 중요도를 분석대상 지역의 전체 공간에서의 접근성에 의하여 계산한다. 즉, 분석대상 범위내의 모든 공간이 기점이자 종점이 되는 가정 하에 각 공간의 접근성을 분석한다. 이 접근성을 공간 구문론에서는 전체공간을 통합하여 주는 통합성 또는 공간구조상의 위계성을 의미한다. 따라서 공간 구문론 분석결과에 의한 통합성이 큰 공간은 접근성이 양호하다는 것을 의미한다.

공간 구문론은 도로망의 속성을 정량적으로 계산하게 되는데, 먼저 도로망을 연속된 공간의 집합으로 가정하고, 분석 범위내의 모든 공간을 대상으로 최소한의 최대한 긴 직선으로 구성한다. 이를 축선도(Axial Map)라 정의한다. 다음으로 각 축선은 네트워크에서 링크가 되고 축선의 교차점은 노드가 된다. 이러한 방식의 공간구조 모형은 전통적인 교통모형에서의 네트워크 속성을 계산한 후, 통계적 방법을 사용하여 분석 대상지역의 전체적 특성, 공간별 지역별 부분적인 속성, 그리고 전체지역과 부분지역간의 상호 연관성을 분석하게 된다.

지난 20년간의 많은 학술적 연구와 실무 적용 사례에 의하면 다양한 사회, 문화, 경제적 현상은 필연적으로 공간구조와 상호 연관성을 지니게 된다. Hiller(1984, 1996)는 이와 같은 상호 연관성을 공간구조가 지닌 사회적 속성이라 정의하고 공간구조가 사람들의 공간이용패턴을 규정하는 가장 기본적인 인자임을 제시하고 있다.

## 2. 분석지표의 이해

공간 구문론 이론은 그래프 이론을 바탕으로 공간을 노드와 링크의 그래프로 파악하고, 각 노드간의 연결 관계를 바탕으로 개별 노드의 특성수치를 정량화하는 이론이다. 이러한 분석은 크게 공간의 j-그래프 분석, 축선도(Axial Map)를 이용한 축선분석, 볼록 공간도(Convex Map)를 이용한 볼록 공간 분석으로 구성되는데, 이 모두는 실제 분석과정에서 노드와 링크의 그래프로 해석된다.

분석을 통해 얻을 수 있는 개별 노드의 특성을 나타내는 지표는 통합도(Integration), 통제도(Control), 연결도(Connectivity) 등이 있으며, i 공간의 통합도를 구하는 방법은 다음과 같다. 하나의 노드에서 다른 노드까지의 깊이는 이 두 노드간의 회전(꺾임)을 세는 것으로 계산될 수 있으며 두 노드간의 깊이가 클수록 위계적인 단계의 차이가 커진다. 여기서 어떤 특정한 노드로부터 모든 노드들로의 깊이를 총 깊이(Total Depth: TD)라 정의하며, Equation 1과 같이 각 단계의 깊이를 더함으로써 산출된다.

$$TD_i = \sum_{s=1}^m (s \times N_s) \tag{1}$$

여기서,  $TD_i$ : 노드 i에서의 총 깊이  
 $s$ : 노드 i로부터의 단계 수  
 $m$ : 노드 i로부터의 최대 단계 수  
 $N_s$ : 단계 s에 존재하는 노드의 개수

또한 평균 깊이(Mean depth: MD)는 Equation 2와 같이 TD를 n-1(n은 graph의 총 노드 수)로 나눈 값이다(Hiller 1996).

$$MD_i = \frac{TD_i}{n-1} \tag{2}$$

여기서,  $MD_i$ : 평균 깊이  
 $TD_i$ : 총 깊이  
 $n$ : 네트워크의 총 노드 개수

Figure 2는 동일한 개수의 노드로 구성된 네트워크의 두 가지 양 극단이 상반된 구성을 보여준다. 'A'는 1번 노드로부터 모두 인접한 노드들로만 구성된 경우이고, 'B'는 1번에서 4번 노드까지 최대 개수의 단계를 갖는 경우이다. 'A'는 완전 대칭한 경우(MD=1)이고 'B'는 완전 비 대칭한 경우(MD=n/2)라 할 수 있다.

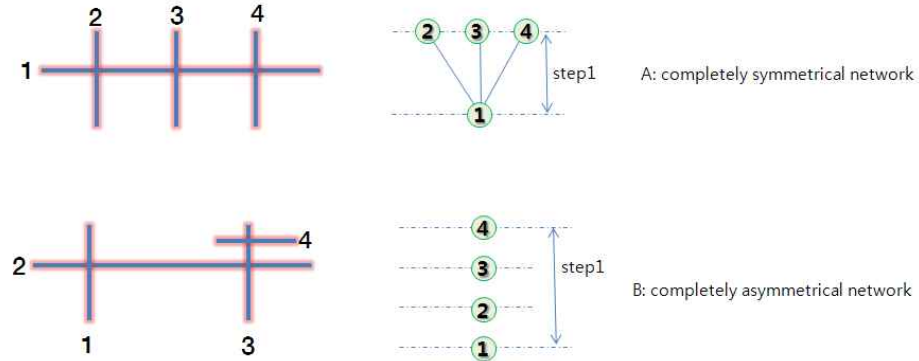


Figure 2. Comparison of depth from the two roads

따라서 특정 노드의 MD는 이 두 값 사이에 존재하며  $1 \leq MD \leq n/2$  과 같이 정규화 될 수 있다. 평균깊이는 노드의 수가 많아지면 많아질수록 커진다. 즉, n개의 노드에 가지는 최대 평균값은 n/2이다. 따라서 평균깊이는 1과 n/2값의 사이에 존재한다. 이러한 분포를 노드의 수와 관계없이 0과 1사이의 값을 가지도록 변환시키게 되는데, 이 변환된 값을 RA(상대적 비대칭)값이라 한다. 이렇게 되면 노드 수에 관계없이 모든 네트워크를 0과 1사이의 값을 갖는 RA를 이용하여 표현할 수 있어서 서로 다른 네트워크에서의 깊이의 비교가 가능해진다.

$$0 \leq RA = \frac{2(MD-1)}{n-2} \leq 1 \tag{3}$$

또한 RA값은 실제적으로 분석대상 네트워크의 총 노드 개수에 영향을 받게 된다. 이러한 영향을 배제하기 위하여 RRA(실질적 상대적 비대칭성) 개념을 도입한다. Equation 4과 같이 RRA는 이론적인 다이아몬드 형태를 가정하여 산출한 RA와 같은 개수의 공간에 대한 편차 보정치인  $D_n$ 으로 나누어서 그 값을 산출한다.

$$RRA = \frac{RA_i}{D_n} \tag{4}$$

$$D_n = \frac{6.644n \times \log(n+2) - 5.17n + 2}{(n-1)(n-2)}$$

일반적으로 RA값은 0에서 1의 값을 가지지만, 실제 분석해 보면 대부분 0에서 0.5의 값을 갖는다. 이 값이 너무 작아 변별력이 떨어지기 때문에 역수값을 취하게 되는 것이다. 역수값은 0에 가까울수록 기울기가 급경사를 이루기 때문에 0에 가까운 값들은 큰 차이를 보이게 된다. 따라서 위에서 산출되는 RRA값의 역수를 i공간의 전체 통합도(Global Integration)라고 정의하며, 이를 풀어서 표현하면 Equation 5와 같다.

$$I_i = \frac{1}{RRA_i} = \frac{D_n}{RA_i} = \frac{\frac{6.644n \times \log(n+2) - 5.17n + 2}{(n-1)(n-2)}}{\frac{2(MD_i - 1)}{(n-2)}} \tag{5}$$

$$= \frac{6.644n \times \log(n+2) - 5.17n + 2}{2 \left( \frac{\sum_{s=1}^m (s \times N_s)}{n-1} - 1 \right) (n-1)}$$

여기서,  $I_i$ : 노드  $i$ 의 전체 통합도  
 $RRA_i$ : 실질적 상대적 비대칭성  
 $D_n$ : 편차 보정치  
 $RA_i$ : 상대적 비대칭성  
 $MD_i$ : 평균 깊이  
 $n$ : 네트워크의 총 노드 개수  
 $s$ : 노드  $i$ 로부터의 단계 수  
 $N_s$ : 단계  $s$ 에서의 노드 개수  
 $m$ : 노드  $i$ 로부터의 최대 단계 수

전체 통합도는 분석대상 범위내의 축선도에 표현된 모든 축선(공간)들을 기점과 종점으로 가정했을 때, 즉 특정한 축선에서 다른 모든 축선으로의 공간 깊이를 기준으로 계산한 통합도이다. 따라서 특정 공간의 전체통합도가 크다는 것은 다른 모든 공간으로의 접근성이 크다는 것을 의미한다. 반대로 전체 통합도가 낮은 공간은 다른 모든 공간으로의 접근성이 낮음을 의미한다. 기존 연구 결과에 의하면, 전체 통합도는 토지이용패턴, 자동차 통행량, 지가, 도시 전체의 인지도, 범죄율, 상권 등 도시의 전체적인 공간구조와 관련성이 있는 현상들과 밀접한 관련이 있는 것으로 밝혀졌다.

연결도(Connectivity)는 공간의 국부적인 특성을 보여주며, 연결되는 한 축선에서 직접 연결되는 축선의 수를 나타내는 것으로 공간의 연결정도를 나타내며, 통제도(Control)는 연결도의 역수의 종합으로 나타낸다.

## 변수 선정 및 가공

본 연구에서는 존내 통행량, 존내 평균 통행거리, 존내 평균통행속도 추정모형을 구축하기 위해 대전시 76개 읍면동에 대한 사회경제 지표, 도시특성 지표, 교통특성 지표를 수집·가공하였다.

사회경제 지표에는 인구, 세대수, 용지별 면적 및 사업체수 등의 변수를 고려하였으며, 도시특성 지표에는 공간구문론의 여러 분석 지표, 도시공간구조의 지표 중 난개발(Sprawl)을 정량화할 수 있는 Ulsan Development Institute(2007)에서 제시하고 있는 PUI(인구-시가화 면적 기준의 지표)와 PRSI(인구-도로 기준의 지표)를 고려하였다. 여기서 PUI는 난개발 정도를 지수화한 것으로써, 일정기간 동안 시가화 면적 증가보다 인구증가의 속도가 늦으면( $PUI < 1$ ) 확산형(Sprawl) 개발을 의미한다. 그리고 PSRI는 인구 증가율 대비 도로 공급율로 산정되며, 난개발( $PSRI < 1$ )을 설명하는 지표이다.

교통특성 지표로는 대전시 가구통행실태 조사 자료와 KTDB의 전수화된 O/D자료를 활용하여 내부 통행량, 주행거리, 통행속도의 변수를 고려하였다.

이때, 공간 구문론의 분석 지표는 대전시의 교통 주제도에 포함된 20,440개의 도로망 자료를 지역 단위(76개 동)로 추출한 후 공간 구문론 분석 프로그램인 S\_CUBE를 활용하여 각 지역별로 가공하여 분석하였다. 존내 통행량 등 교통특성 지표는 총 112,105개의 대전시 가구통행실태 조사 자료 중 존내 통행만을 추출하였고, 상세주소를 기반으로 각 통행의 통행거리를 조사하였다. 통행속도는 가구통행실태조사 자료에서 각 통행자의 통행시간과 본 연구에서 가공한 통행거리를 활용하여 가공하였다.

각 자료에서 가공한 자료들은 모두 지역 단위(76개 동)로 집계하였으며, 본 연구에서 고려한 변수 및 그 속성들은 Table 1과 같다.

**Table 1. Designs of variables**

	Indicators	Variables	Contents	Sources	Samples
Explanatory Variables	Social-Economic Indicators	Number of population	Population, Men, Women	Statistics Yearbook	76
		Number of household	-	Statistics Yearbook	76
		Total Area	Area	Statistics Yearbook	76
		Area by site	Land, Factory, School, Road, Park, Amusement Park, etc.	Statistics Yearbook	76
		Number of businesses	-	Statistics Yearbook	76
	Urban Spatial Structure Indicators	Number of workers	-	Statistics Yearbook	76
		Area by site	Land, Factory, School, Road, Park, Amusement Park, etc.	Statistics Yearbook	76
		Sum. Connectivity	$\sum_{i=1}^k C_i$	Navigation Road Data, Space Syntax	20,440
		Sum. Control	$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k C_{ij}$	Navigation Road Data, Space Syntax	20,440
		Sum. Integration	$\sum_{i=1}^k I_i$	Navigation Road Data, Space Syntax	20,440
Trip Characteristics Indicators	Av. Connectivity	$\sum_{i=1}^k \frac{C_i}{k}$	Navigation Road Data, Space Syntax	20,440	
	Av. Control	$\frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \frac{1}{C_{ij}}}{k}$	Navigation Road Data, Space Syntax	20,440	
	Av. Integration	$\sum_{i=1}^k \frac{I_i}{k}$	Navigation Road Data, Space Syntax	20,440	
	PUI Index	$\frac{(u_n - u_0)}{u_0}$	Statistics Yearbook	76	
	PRSI Index	$\frac{(p_n - p_0)}{p_0}$	Statistics Yearbook	76	
		$\frac{(r_n - r_0)}{r_0}$			
	Dependent Variables	Trips by vehicle types	-	KTDB OD Data	76
Trips of intra-zonal by vehicle types		-	KTDB OD Data	76	
Avg. travel distance of intra-zonal		-	KNHTS	1,256	
Avg. travel speed of intra-zonal		$(\sum_{i=1}^m \frac{l_j}{t_j}) / m$	KNHTS	1,256	

note) k: Number of directly connected links, i: Intra-zonal link, I: Control, Un: Land area in 2008, U0: Land area in 2003, Pn: Population in 2008, P0: Population in 2003, Rn: Road area in 2008, R0: Road area in 2003, L: Road length, SL: Road length except expressway, C: Capacity, Ij: Travel distance of traveler j, Tj: Travel time of traveler j

## 모형의 구축 및 적용

### 1. 존내 통행거리 추정 모형

#### 1) 변수 및 요인 신뢰성 분석

존내 배출량 산정 시 존내 통행거리의 추정 방법이 중요한 이슈 중에 하나이다. 본 연구에서는 대전시 가구통행실태 조사 자료(112,105개)의 중 상세주소가 기입된 존내 통행자 자료를 기반으로 각 통행자의 존내 통행거리를 분석하였으며, 이를 기반으로 존내 통행거리 추정 모형을 정립하였다.

모형에 구성되는 변수를 결정하기 위해 다양한 사회경제 지표, 도시공간특성 지표, 통행특성 지표의 각 변수와 존내 통행거리 간의 상관성을 분석하였다. 그 결과 사회경제 지표 중에서는 총 면적, 대지용지 면적, 대지·학교용지 면적, 인구밀도, 도시공간특성 지표 중에서는 통제도 합계, 통합도 합계, 통합도 평균, PUI 지수, 통행특성 지표 중에서는 총 도로연장, 내부 도로연장, 총 도로용량, 내부 도로용량이 존내 통행거리와의 상관계수가 높은 것으로 확인되었다.

일부 해당 변수들 간에도 상관성이 존재하였으며, 타 변수와 상관성이 없으며, 존내 통행거리와의 상관성이 가장 높은 변수들은 대지·학교용지 면적, 인구밀도, 평균 통합도, PUI 지표인 것으로 나타났다. 즉, 대지·학교용지 면적이 작고, 인구밀도가 높으며, 도로가 격자형에 가까워서 통합도 지수가 높고, 난개발 지역이 아니어서 PUI 지수가 낮은 압축 도시형에 가까운 지역일수록 존내 통행거리가 짧은 것으로 분석되었다.

**Table 2.** Correlation of intra-zonal travel distance and variables

Social-Economic Indicators			Urban Spatial Structure Indicators			Trip Characteristics Indicators		
Variable	Cof.	p-value	Variable	Cof.	p-value	Variable	Cof.	p-value
Population	0.08	0.49	<u>S.Con</u>	0.36	0.001	<u>Road.Len</u>	0.50	0.00
Men	0.1	0.38	<u>S.Int</u>	0.23	0.048	<u>Road.Len (intra)</u>	0.54	0.00
Women	0.06	0.61	A.Con	-0.11	0.334	<u>Capacity</u>	0.42	0.00
household	0.12	0.29	<u>A.Int</u>	-0.41	0.00	<u>Capacity (intra)</u>	0.42	0.00
<u>Area</u>	0.5	0.00	PUI	0.27	0.02			
<u>Area of land</u>	0.57	0.00	<u>PSRI</u>	0.23	0.05			
<u>Area of school</u>	0.59	0.00						
businesses	0.19	0.10						
workers	0.14	0.24						
Population density	-0.43	0.00						

#### 2) 모형구축 및 검증

존내 통행거리와 가장 상관성이 높은 변수는 대지·학교용지 면적이기 때문에, 해당 변수를 기준으로 존내 통행거리 추정 모형의 구조를 설계하였다. 또한 존내 평균 통행거리와 대지·학교 용지 면적( $ar$ ), PUI 지표는 양의 상관성을 나타내며, 인구밀도( $d$ ), 통합도( $i$ )는 음의 상관성을 나타내고 있기 때문에 Equation 6과 같은 구조로 모형을 설계하였다. 이때, 변수들의 척도가 상이하기 때문에 이를 표준화하고 음의 값이 되지 않도록 각 변수에 3을 합산하여 모형을 구성하였다.

$$d_{iz} = w + \kappa \times \frac{ar^\alpha \times zpui^\beta}{zd^\gamma \times zi^\delta} \tag{6}$$

여기서,  $d_{iz}$ : 존내 통행거리

$ar$ : 대지·학교용지 면적

$zpui$ : 표준화된 PUI+3

$zd$ : 표준화된 인구밀도+3

$zi$ : 표준화된 통합도+3

$\kappa, w, \alpha, \beta, \gamma, \delta$ : 계수



본 연구에서는 별도의 프로그래밍을 통해, 관측된 존내 통행거리와 모형으로 추정되는 통행거리의 오차를 최소화할 수 있는 계수( $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \kappa, \omega$ )를 최소제곱법에 기반 하여 추정하였다. 그 결과  $\beta$ 가 0.8,  $\delta$ 가 0.6일 때 수정  $R^2$ 가 가장 높았으며, 이 조건에서  $\alpha$ 와  $\gamma$ 의 변화에 따른 수정  $R^2$ 의 변화는 Table 3과 같은 것으로 나타났다. 즉,  $\alpha$ 가 1이고  $\gamma$ 가 0.5일 때, 수정  $R^2$  값(0.512)이 최대가 되는 것으로 분석되었다.

Table 3.  $R^2$  according to changed  $\alpha, \gamma$

$\alpha \backslash \gamma$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
0.1	0.31	0.31	0.32	0.33	0.33	0.33	0.34	0.34	0.34	0.34
0.2	0.35	0.36	0.36	0.36	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37
0.3	0.39	0.39	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.41	0.41	0.40
0.4	0.42	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
0.5	0.45	0.45	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46
0.6	0.47	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48
0.7	0.49	0.49	0.49	0.50	0.50	0.50	0.50	0.49	0.49	0.49
0.8	0.50	0.50	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.50	0.50
0.9	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51
1	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51
2	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.35	0.35	0.35	0.35
3	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24

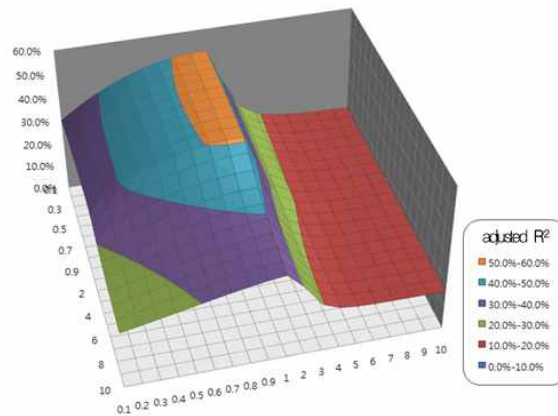


Figure 3.  $R^2$  according to changed  $\alpha, \gamma$

최대 수정결정계수를 가지는 조건인  $\alpha:1, \beta:0.8, \gamma:0.5, \delta:0.6$ 에서 표준화 잔차의 절대값을 이용한 이상치 제거를 통해 최종 정립한 모형은 Equation 7과 같으며, 해당 모형의 수정  $R^2$ 는 0.64로 나타났다. 여기서, 일반적으로 활용되고 있는 존내 면적 기반의 존내 통행거리 추정 모형( $d_{iz} = 1.154 + 0.049ar$ )의  $R^2$ 는 0.338로 추정되어, 본 연구에서 구축한 표준화 공간회귀모형 형태의 존내 통행거리 추정 모형이 기존 모형과 비교해 약 89% 높은 설명력을 보이는 것으로 나타났다.

구축된 모형을 살펴보면, 존내 통행거리는 다양한 용지 면적 중 대지·학교용지 면적이 클수록, 난개발 지역여서 PUI 지수가 높은 확산형 도시에 가까운 지역일수록 존내 통행거리가 긴 것으로 추정되었다. 그리고 인구밀도가 낮고 도로의 연결성이 낮을수록(도로 통합도가 낮을수록) 존내 통행거리가 긴 것으로 추정되었다.

$$d_{iz} = 1.1725 + 0.0391 \times \frac{ar \times zpui^{0.8}}{zd^{0.5} \times zi^{0.6}} \quad (7)$$

- 여기서,  $d_{iz}$ : 존내 평균 통행거리 (km)
- $ar$ : 대지·학교용지 면적/10만 (km<sup>2</sup>)
- $zpui$ : 표준화된 PUI+3
- $zd$ : 표준화된 인구밀도+3
- $zi$ : 표준화된 통합도+3

## 2. 존내 통행량 추정 모형

존내 통행량은 국가교통 DB센터에서도 제공하고 있으며, 인구와 면적 등의 사회경제지표 중심으로 발생량 등을 추정하고, 통행거리 기반으로 존내 통행량을 추정하고 있다. 통행의 주체는 해당 지역에 거주하는 사람이기 때문에 존내 통행량 추정에 있어 인구와 면적은 중요한 변수로 판단된다. 그러나 존내 통행거리 추정 모형의 구축에서 규명된 바와 같이, 도시공간구조와 통행행태는 유기적인 관계이기 때문에 인구수 또는 면적이 동일하더라도 도시공간구조에 따라 통행량의 차이가 발생할 수 있다. 이러한 관점에서 본 연구에서는 공간 구문론 이론을 접목한 공간회귀모형의 구조로 존내 통행량 추정 모형을 Equation 8과 같이 구상하였다. 즉, 존내 통행량 추정 모형에는 기본적으로 인구수 변수를 반영하되, 도시구조의 통합도 지수를 통해 대지·학교용지 면적을 보정해주는 변수를 적용하였다.

$$t_{iz} = \kappa + \alpha \times po + \beta \times ar \times zi^\gamma \quad (8)$$

여기서,  $t_{iz}$ : 존내 통행량 (통행)  
 $po$ : 인구수 (인)  
 $ar$ : 대지·학교용지 면적/10만 (km<sup>2</sup>)  
 $zi$ : 표준화된 통합도+3  
 $\kappa, \alpha, \beta, \gamma$ : 계수

본 모형의 계수 추정 또한 별도 프로그래밍을 통해 계수의 변화에 따른 수정  $R^2$ 를 구하였고, 가장 높은 설명력을 가지는 계수값을 도출하였다. 그 결과, 각 변수들의 계수값은 Equation 9와 같이 산출되었으며, 이때의 수정  $R^2$ 은 0.671로 나타났다.

$$t_{iz} = -1164 + 0.148po + 243.776ar \times zi^{0.2} \quad (9)$$

여기서,  $t_{iz}$ : 존내 통행량 (통행)  
 $po$ : 인구수 (인)  
 $ar$ : 대지·학교용지 면적/10만 (km<sup>2</sup>)  
 $zi$ : 표준화된 통합도+3

본 모형의 설명력은 기존에 일반적으로 적용하여 왔던 지역내 인구를 변수로 하는 모형 ( $t_{iz} = -1971.803 + 0.332 \times po$ ), 존내 면적을 변수로 하는 모형 ( $t_{iz} = 1242 + 372 \times ar$ )의  $R^2$ 인 0.46, 0.47과 비교해 약 46% 정도 높은 것으로 나타났다.

## 3. 존내 총 주행거리 추정 모형

이와 같이 정립한 존내 평균 주행거리 및 통행량 추정 모형을 조합하여 Equation 10과 같은 존내 총 주행거리 추정 모형을 구축하였다. 여기서, 총 주행거리의 단위는 차량대수(대)이기 때문에, 존내 통행량 추정 모형으로 산출된 통행수(trips)의 단위를 변환하여야 한다. 본 연구에서는 해당 내부존의 수단 부담률과 재차인원을 고려하여 통행수를 차량단위로 변환하였으며, 내부존의 수단 부담률은 조사 가능한 상위 존의 것을 적용하였다.

$$vkt_{iz} = vt_{iz} \times d_{iz}$$

$$vt_{iz} = \sum p_m \times \frac{t_{iz}}{o_m} \quad (10)$$

여기서,  $vkt_{iz}$ : 존내 총 주행거리 (대·km)  
 $vt_{iz}$ : 존내 통행량 (대)  
 $d_{iz}$ : 존내 평균 통행거리 (km)  
 $t_{iz}$ : 존내 통행량 (통행)  
 $p_m$ : 수단  $m$ 의 수단 부담률 (%)  
 $o_m$ : 수단  $m$ 의 재차인원 (인/대)  
 $\alpha, \beta$ : 계수

존내 통행거리와 통행량 추정 모형의 결합으로 산출된 존내 총 주행거리는 실제 총 주행거리와 차이가 발생하였으며, 이런 오차를 보정하기 위해 Equation 11과 같은 모형식을 정립하였다. 최종적으로 구축된 존내 총 주행거리 추정모형의 설명력(수정  $R^2$ )은 0.85로 나타났다.

$$vkt_{iz} = -211 + 1.132(vt_{iz} \times d_{iz}) \quad (11)$$

여기서,  $vkt_{iz}$ : 존내 총 주행거리 (대·km)  
 $vt_{iz}$ : 존내 통행량 (대)  
 $d_{iz}$ : 존내 평균 통행거리 (km)

Table 4. Goodness of fit for model

R	R-square	Adjusted R square	Standard Error of Estimate
.923(a)	.852	.850	2924.24449

Table 5. Results of ANOVA for model

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	3632976903	1	3632976903	424.85	.000(a)
Residual	632789233	74	8551205		
Total	4265766136	75			

Table 6. Regression model for intra-zonal travel distance

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
$\alpha$	-211.054	413.304		-.511	.611
$\beta$	1.132	.055	.923	20.612	.000

#### 4. 존내 평균 주행속도 추정 모형

존내 통행은 정차 및 일반도로의 주행비중이 존간 통행보다 많기 때문에 존내 통행속도 적용은 차별적으로 접근할 필요가 있다. 특히 존내 평균 통행속도는 존과 무관하게 모두 비슷한 수준일 것으로 예상하였으나, 실제 분석결과 존내 평균 통행거리가 증가할수록 평균 통행속도도 증가하는 패턴인 것으로 나타났다. 이는 존내 통행 특성상 통행거리가 증가하면 그만큼 가속할 수 있는 구간 길이가 확보되며, 단지 내 저속 도로보다는 일반 국도를 보다 더 이용할 수 있기 때문으로 판단된다. 이에 따라, 본 연구에서는 존내 평균 통행속도 추정 모형을 Equation 12와 같이 구축하였다.

$$v_{iz} = 3.539 + 3.074 \times d_{iz} \quad (R^2: 0.45) \quad (12)$$

여기서,  $v_{iz}$ : 존내 평균 통행속도 (km/h)  
 $d_{iz}$ : 존내 평균 통행거리 (km)

#### 5. 존내 배출량 추정 모형

본 연구에서 최종 구축한 존내 배출량 추정 모형은 Equation 13과 같으며, 존내 총 주행거리와 속도에 해당하는 배출계수의 곱으로 구성되며, 총 주행거리 추정 모형은 평균 통행거리와 통행량 추정 모형으로 구성된다. 추정식을 살펴보면, 재차인원이 적을수록, 인구가 많고 대지면적이 넓을수록, 도로 통합도 지수가 낮고, 인구밀도가 적을수록, 난개발 지역일수록 많은 존내 배출량이 발생하는 것으로 나타났다. 본 모형은 교통수요모형 기반의 자동차 배출량 산정모형과 결합하여 국가 및 지역 단위의 배출량 산정에 유용하게 활용될 수 있음은 물론, 지역 배출량을 저감하기 위한 정책 평가에도 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 즉, 본 모형에 근거할 때, 지역내 자동차 배출량을 저감하기 위해서는 도로의 연결성을 향상시키고, 난개발을 지양하며 재차인원을 높이는 정책이 효과적인 것으로 판단된다.

$$E_{iz} = vkt_{iz} \times EF(v_{iz})$$

$$vkt_{iz} = -211 + 1.132(vt_{iz} \times d_{iz}) \tag{13}$$

$$vt_{iz} = \sum p_m \times \frac{t_{iz}}{o_m}$$

$$t_{iz} = -1164.018 + 0.148 \times po$$

$$+ 243.776 \times ar \times zi^{0.2}$$

$$d_{iz} = 1.1725 + 0.0391 \times \frac{ar \times zpui^{0.8}}{zd^{0.5} \times zi^{0.6}}$$

$$v_{iz} = 3.539 + 3.074 \times d_{iz}$$

여기서,  $E_{iz}$ : 존내 배출량 (kg)

$vkt_{iz}$ : 존내 총 주행거리 (대·km)

$EF(v_{ij})$ : 존내 통행속도( $v$ )에 해당하는 배출계수(kg/대·km)

$vt_{iz}$ : 존내 통행량 (대)

$d_{iz}$ : 존내 평균 통행거리 (km)

$p_m$ : 수단( $m$ )의 수단 부담률 (%)

$o_m$ : 수단( $m$ )의 재차인원 (인/대)

$t_{iz}$ : 존내 통행량 (인)

$po$ : 인구수 (인)

$ar$ : 대지·학교용지 면적/10만 (km<sup>2</sup>)

$zpui$ : 표준화된  $pui + 3$

$zd$ : 표준화된 인구밀도+3

$zi$ : 표준화된 통합도+3

## 6. 모형의 적용

본 연구에서 구축한 존내 배출량 추정 모형을 수원시에 적용하여 수원시의 존내 배출량을 산정한 결과, Table 7과 같이 인계동의 배출량이 가장 많으며, 영통 2동, 원천동 순으로 많은 배출량을 보이고 있다. 해당 지역들은 타 지역과 비교해 인구 및 인구밀도가 높으며, 동내 대규모 공원이 존재하며 원형이 아닌 지형이기 때문에 판단된다. 즉, 사회·경제적으로 활동적인 지역일수록, 지형적 제약으로 지역내 통행이 최단거리로 직접 연결될 수 없는 지역일수록 존내 배출량이 많은 것으로 도출되었으며, 본 모형은 지역의 사회·경제적·도시 구조적 특징을 현실적으로 반영하여 존내 배출량을 산출할 수 있는 것으로 판단된다.

본 모형을 수원시 자전거 도로 개선사업에 적용하여 대기질 개선 효과를 평가하고, 그 결과를 바탕으로 시사 점을 살펴보았다. 이때, 효과 평가 대안은 Suwon(2007)에서 계획하고 있는 총 188km의 자전거 도로 정비 계획이며, 그에 따른 승용차와 버스 수요의 감소분을 추정하기 위해 존내 통행시간 감소분을 분석한 후, Lee et al.(2010)의 자전거 수단 부담률 추정 모형을 이용하여 자전거 수단 부담률 증가분을 추정하고 이를 통해 승용차와 버스의 수요 감소분을 추정하였다. 추정된 수단별 수요 감소분 자료를 이용하여 사업 전·후의 기종점 자료를 구축한 후 수도권 네트워크에 통행 배정하여 사업 전·후 링크별 통행속도 및 차종별 교통량 등을 추정하였다.

그 결과, 해당 사업에 따른 존내 온실가스 연간 시동 배출 저감은 290.5(톤/년)으로 이는 존내 온실가스 연간 시동 배출 저감량 470.0(톤/년)의 약 61.8%수준인 것으로 나타났다, 즉, 총 배출량 중 존내 배출량이 차지하는 비중은 그리 많지 않겠지만, 소규모 지역에 적용되는 교통-환경 정책의 경우에는 존내 배출 저감량이 높을 수 있으며, 본 연구와 같이 존내 배출량의 추정을 통해 유용한 결과를 도출할 수 있는 것으로 판단된다.

**Table 7. Intra-zonal emission in Suwon**

(Unit: tons/year)

Regions	CO	NOx	PM	VOC	CO <sub>2</sub>	Regions	CO	NOx	PM	VOC	CO <sub>2</sub>
Godeung	5,312	1,528	41	1,269	595,073	Yeongtong 2	31,879	9,166	242	7,619	3,563,912
Gokseon	11,817	3,497	96	2,804	1,357,116	Yeonghwa	11,008	3,176	84	2,619	1,245,818
Guun	9,421	2,832	76	2,258	1,055,589	Uman 1	11,767	3,295	84	2,824	1,291,624
Gwonsun 1	5,042	1,437	37	1,214	550,027	Uman 2	3,454	1,083	31	831	387,198
Gwonsun	24,611	13,157	488	5,939	3,243,288	Woncheon	28,243	8,528	229	6,418	3,582,191
Geumho	7,221	2,610	82	1,668	928,185	Yulcheon	13,670	3,963	106	3,250	1,552,967
Namhyang	821	245	7	199	89,507	Iui	1,940	685	20	434	262,388
Maegyeo	6,930	1,925	48	1,666	755,482	Ingje	55,066	16,231	427	12,719	6,718,053
Maesan	6,829	2,115	59	1,638	770,202	Ipbuk	8,194	2,310	60	1,972	894,336
Maetan 1	8,134	2,314	60	1,948	901,233	Jeongja 1	12,311	3,494	91	2,959	1,350,189
Maetan 2	7,487	2,090	53	1,802	814,134	Jeongja 2	8,567	2,428	63	2,057	941,563
Maetan 3	21,153	5,978	153	5,044	2,368,056	Jeongja 3	14,853	4,195	109	3,570	1,626,935
Maetan 4	6,162	1,832	50	1,488	674,742	Jowon 1	25,135	7,179	188	5,997	2,818,553
Seodun	23,453	7,117	194	5,505	2,779,883	Jowon 2	3,702	1,512	51	895	441,850
Seryu 1	5,829	1,647	43	1,406	632,510	Ji	5,266	1,897	61	1,272	609,549
Seryu 2	9,957	2,954	81	2,371	1,132,826	Taejang	20,066	5,686	146	4,777	2,257,175
Seryu 3	1,960	1,026	39	478	250,119	Pajang	12,732	3,798	102	2,940	1,559,469
Songjuk	6,894	2,025	54	1,645	777,768	Paldal	470	147	5	115	50,864
Sinan	7,788	2,168	54	1,878	841,998	Pyung	23,971	6,846	180	5,775	2,616,089
Yeonmu	13,933	7,537	280	3,284	1,951,636	Hwaseo 1	7,275	2,109	55	1,751	798,586
Yeongtong 1	22,759	6,536	173	5,444	2,538,449	Hwaseo 2	12,244	3,552	95	2,920	1,379,812



**Figure 4. Intra-zonal emission in Suwon**

또한, 본 효과 평가 대안에 따른 존내 냉간 시동 온실가스 배출 저감량은 670.8(톤/년)으로 추정되어 존내 연간 시동 배출 저감량 290.5(톤/년)의 2.3배에 달하는 것으로 분석되었다. 이는 냉간 시동 배출량의 특성상 통행거리가 짧을 경우 많은 배출량이 발생하며, 본 사업과 같이 짧은 통행의 수단전환을 유도하는 정책은 높은 수준의 존내 냉간 시동 배출 저감량이 발생하며, 본 연구 모형은 이러한 현상을 현실적으로 모사할 수 있다는 것을 확인할 수 있다.

즉, 이러한 연구결과는 국가 배출량 산정에의 활용 및 다양한 교통-환경 정책의 효과 평가에도 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

**Table 8. Emission reduction for sample scenario**

	Hot-start Emission Reduction (tons/year)			Cold-start Emission Reduction (tons/year)		
	Zone to Zone(a)	Intra-zonal (b)	b/a	Zone to Zone (a)	Intra-zonal (b)	b/a
CO	5.5	2.6	47.3%	4.5	5.9	131.1%
NOx	2.2	0.7	31.8%	0.6	0.6	100.0%
PM	0.2	0.0	0.0%	0.0	0.0	0.0%
VOC	1.5	0.6	40.0%	1.2	2.2	183.3%
CO <sub>2</sub>	470.0	290.5	61.8%	458.6	670.8	146.3%

## 결론

본 연구는 교통수요모형에 기반한 자동차 배출량 산정 시 존내 배출량이 누락되는 문제를 보완하기 위해, 교통수요모형과 결합하여 활용될 수 있는 존내 배출량 산정 모형을 정립하였다. 이때, 존내 인구와 면적만을 고려한 선행 연구와 달리 “토지이용 즉, 도시공간구조가 접근도와 같은 공간적 분포에 영향을 미치고, 이는 사람들의 공간이용패턴에 영향을 미친다.”는 Wegener(1996)의 이론적 학설을 참고하여, 도로의 연결성에 대한 구조적인 특성을 정량화할 수 있는 공간 구문론(Space Syntax) 이론을 활용하여 존내 통행거리, 존내 통행량, 존내 평균 통행속도, 그리고 이들을 조합한 존내 배출량 추정모형을 구축하였다. 연구 결과에 따르면, 실제로 도시의 공간적 구조는 존내 통행거리, 존내 통행량 등의 통행태와 상호 관련성이 있는 것으로 나타났다. 이는 단순히 교통 정책의 적용보다는 도시-교통-환경의 정책과 계획을 연계할 경우 보다 우수한 온실가스 감축 효과를 기대할 수 있음을 시사하며, 본 연구는 이러한 사실을 정량적으로 확인하였다.

존내 평균 통행거리는 대지·학교용지 면적이 좁고 압축도시이며 도로의 구조가 격자형일수록 짧아지는 것으로 분석되었다. 이러한 변수들로 구성된 표준화 공간회귀 모형 형태의 존내 평균 통행거리 추정 모형의 설명력(수정  $R^2$ )은 0.64로, 기존 면적 기반의 모형의 설명력보다 약 44% 높은 것으로 나타났다. 그리고 인구가 많고 대지·학교용지 면적이 클수록, 그리고 도로의 구조가 격자형일수록 존내 통행량이 많은 것으로 분석되었다. 이와 같이 내부존의 공간적 특성을 반영하여 구축된 공간회귀모형은 기존 모형에 비해 약 46% 높은 설명력을 보였다.

본 연구에서 구축한 존내 배출량 추정 모형을 수원시에 적용한 결과, 사회·경제적으로 활동적인 지역이고, 대규모 공원 등에 따른 지형적 제약으로 지역 내 통행이 최단거리로 직접 연결될 수 없는 지역일수록 존내 배출량이 높은 것으로 나타났다. 그리고 본 모형을 수원시 자전거 도로 개선사업(188km)에 적용한 결과, 존내 온실가스 감축량은 존간 온실가스 감축량의 61.8% 수준에 달하는 것으로 분석되었으며, 특히 존내 냉간 시동 배출량은 열간 시동 배출량의 2.3배에 달하는 것으로 분석되었다. 소규모 지역에 적용되는 교통-환경 정책의 경우에는 존내 배출량의 평가가 중요하며, 본 모형을 통해 유용한 결과를 도출할 수 있는 것으로 확인되었다. 즉, 본 연구 결과를 통해, 다양한 교통-환경 정책의 시행에 따른 대기질 개선 효과를 더욱 정확하고 합리적으로 평가할 수 있으며, 최근 다양한 교통-환경 정책이 추진되고 있다는 점을 고려할 때 본 연구의 활용도와 기여도가 높을 것으로 판단된다. 아울러 본 연구에서 구축한 존내 통행량 추정 모형은 존 세분화시 요구되는 존내 통행량 처리 방안에도 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

다만, 본 연구에서 구축한 존내 자동차 배출량 추정 모형은 대전시 대상의 자료에 기반 한 것으로서, 향후 모형의 지역 전이성을 검증할 필요가 있으며, 네비게이션 등과 같은 상세 교통DB를 활용한 존내 통행 및 배출 특성 등의 연구가 필요할 것으로 보인다.

## ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the National Research Foundation of Korea grant funded by the Korea government(MSIP) (NRF-2010-0028693).

## REFERENCES

- Choi J. P., Gu B. O. (2001), A Study on the Birth and Growth of the Commercial Facility in the Context of the Street Layout: Urban Street System Analysis Using Space Syntax Theory, J. Architectural Inst. Korea, 152, 127-136.
- Choi K. C., Lee K. J., Ahn S. C. (2009), An Improvement of Bottom Up Approach for Estimating the Mobile Emission

- Level, J. Korean Soc. Transp., 27(4), Korean Society of Transportation, 183-193.
- Crevo C. C., Virkud U. (1994), Practical Approach to Deriving Peak-Hour Estimates From 24-Hour Travel Demand Model, Transportation Research Record 1443, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 30-37.
- Hiller B. (1996), Space is the Machine, Cambridge University Press.
- Hiller B., Hanson J. (1984), The Social Logic of Space, Cambridge University Press.
- Hwang H. Y., Yoon D. W. (2007), Configurational Analysis of Cheongju Wonheung-ee Eco-park Network Plan Using Space Syntax, J. Korea Planners Association, 42(5), Korea Planning Association, 177-196.
- Hwang M. Y. (2000), A Study on the Remodeling Method of Museum Exhibition Design: Application of the Space Syntax Analysis on Seoul Municipal Museum, Master Thesis of Hongik University.
- Ito D. T., Niemeier D., Garry G. (2001), How VMT-speed Distributions Can Affect Mobile Emission Inventories, Transportation 28, Kluwer Academic Publishers, 409-425.
- Jang Y. S. (2008), Assessment of the Desirable Land Space for Streets Based on Road Supply Index in Residential Area Development, Ph. D. Dissertation of University of Seoul.
- Jeon C. M. (2004), Applying the Space Syntax Technique to the Network of Public Transportation, J. Korea Soc. Geospatial Inf. Science, 12(2), Korean Society for GeoSpatial Information System, 73-77.
- Jeon C. M. (2007), Public Transport Network Connectivity Using GIS-based Space Syntax, J. Korea Spat. Inf. Soc., 9(3), Korea Spatial Information Society, 25-33.
- Kim C. S. (2008), An Analysis of the Relationship Between Spatial Configuration and Traffic Accidents Using Space Syntax, Master Thesis of Chonbuk University.
- Kim Y. U. (2001), Application of Space Syntax in Hospital Planning and Design, J. Korea Inst. Healthc. Architecture, 7(1), Korea Institute of Healthcare Architecture, 97-83.
- Kwon H. J., Sohn T. J. (2007), A Study on the Characteristics of Spatial Structure Shown Through the Movement in the Jung-Won Yoon Min-Geol House by the Application of the Space Syntax, Branch Association for Architectural Institute of Korea, 1(1), 340-348.
- Lee B. Y., Lee S. J. (2005), Accessibility (serviceability) of Hierarchical Bus Network in Seoul, J. Korean Soc. Transp., 23(8), Korean Society of Transportation, 163-170.
- Lee K. J., Choi K. C. (2010), A Bike Mode Share Estimation Model and Analysis of the Bike Demand Factor Effects, J. Korean Soc. Transp., 28(3), Korean Society of Transportation, 145-155.
- Lee S. H., Honh S. M. (2008), Study on the Change of Spatial Configuration Using Space Syntax in Harbor Redevelopment District, J. Architectural Inst. Korea, 10(4), 157-166.
- Lymm B. M., Yoo G. C., Cho G. S. (2008), A Study on the Complex Space Analysis by Space Syntax in Public Library, J. Architectural Inst Korea, 28(1).
- Niemeier D. A., Zheng Y., Kear T. (2004), UCDrive: A New Gridded Mobile Source Emission Inventory Model, Atmospheric Environment, 38(2), Elsevier, 305-319.
- Park G. G., Lee S. H. (2009), A Study on Quantitative Analysis Method of Museum Architecture Arrangement: Focused on Space Syntax and Visibility Graph Analysis, J. Korean Inst. Inter. Des., 18(4), Korea Institute of Interior Design, 97-104.

- Ryu S. K., Lee S. J., Ahn W. Y. (2005), Development of the Multi-Path Finding Model Using Kalman Filter and Space Syntax Based on GIS, *J. Korean Soc. Transp.*, 23(7), Korean Society of Transportation, 149-158.
- Stern N. (2006), *Stern Review on the Economics of Climate Change*, Cambridge University Press.
- Suwon (2007), *The Basic and Working Design of Bicycling Facility Maintenance Business for Suwon*.
- Ulsan Development Institute (2007), *A Study on Progress Direction of Eco-friendly Urban Development*.
- Wegener M., Kunzmann K.R. (1996), *New Spatial Patterns of European Urbanisation, Urban Networks in Europe*, Paris, 7-17.
- Yeon G. H., Hwang H. Y. (2008), *Configurational Analysis of Cheongju City Street Network Using Space Syntax*, *J. Korea Planners Association*, 43(1), Korea planning Association, 26-42.
- Yu E. Y. (2008), *A Study on the Correlation Between the Change of the Urban Central Area and the Land Use by Space Syntax*, Master Thesis of University of Seoul.
- Yu Y. G. (2006), *A Study on Inner Zone Trip Estimation Method in Gravity Model*, *J. Korean Soc. Civ. Eng.*, 26(5), Korean Society of Civil Engineers, 763-769.
- Yu Y. G., Lee J. H. (2001), *A Study on Inner Trip Characteristics and Application of Network Assignment*, *J. Korean Soc. Civ. Eng.*, 21(2), Korean Society of Civil Engineers, 153-164.
- Zheng Y., Wang B., Zhang H. M., Niemeier D. (2004), *A New Gridding Method for Zonal Travel Activity and Emissions Using Bicubic Spline Interpolation*, *Transportation Research Part B*, 38, Elsevier, 751-766.