

교통인프라와 통행행태를 기반으로 한 통합적 형평성 분석: 경기도를 중심으로

빈미영^{1*} · 이원도² · 문주백¹ · 조창현²

¹ 경기개발연구원 교통연구실, ² 경희대학교 지리학과

Integrated Equity Analysis Based on Travel Behavior and Transportation Infrastructure: In Gyeonggi-Do Case

BIN, Miyoung^{1*} · LEE, Won Do², MOON, Juback¹, JOH, Chang-Hyeon²

¹ Department of Transportation Researcher, Gyeonggi Research Institute, Gyeonggi 440-290, Korea

² Department of Geography, Kyung Hee University, Seoul 130-701, Korea

Abstract

This study aims at analyzing transportation equity between geographical areas of Gyeonggi Province, by taking both the transportation infrastructure and travel behavior into account. Indicators of transportation infrastructure include the indices of road infrastructure, transit infrastructure and regional characteristics. Travel behavior concerns information from bus card data on a survey day. The hot-spot analysis conducted included spatial cluster analysis and global/local regression analyses. The analysis results identified geographical areas of four different classes of transportation equity, from the area with high level infrastructure surrounded by the areas with high level infrastructure (HH) to the area with low level surrounded by the areas with low level (LL). The area of HH type showed big numbers of passengers, trips and transfers, whereas the area of LL type shows big figures of internal trip frequency, travel time, travel distance, travel speed and transit fare. Global regression analysis showed that number of passengers, number of transfers, number of internal trips and mean travel speed are important to the level of transportation infrastructure. GWR with these four significant variables significantly improved the AICs and ANOVA results, which implies that the infrastructure is likely explained by travel characteristics differently between geographical areas in Gyeonggi Province.

본 연구는 지역간 형평성을 분석하기 위하여 교통인프라지표와 통행행태를 통합적으로 고려하였다. 교통인프라 지표로는 도로시설, 대중교통시설, 지역특수지수를 이용하였다. 통행행태는 1일자의 버스교통카드데이터를 이용하였다. 공간군집 분석과 전역적·국지적 분석을 통해 얻은 결과 분석단위를 읍·면·동으로 하였을 때 해당지역과 주변 지역의 인프라수준이 높은지역(High-High)에서 모두 낮은지역(Low-Low) 등 4개의 수준으로 구분되었다. HH type의 지역에서는 버스이용자, 통행, 환승 수가 높고, LL Type의 지역은 내부통행수, 통행시간, 통행거리, 통행속도, 요금 항목이 높게 나타났다. 전역적 회귀분석에 의해 교통인프라 수준을 통행행태 변수로 회귀한 결과, 버스이용자수(bus users), 평균환승수(mean trans), 평균내부통행수(mean inside), 평균통행속도(mean speed), 총 4개의 통행특성 변수가 유의하게 추출되었다. 이들 변수를 적용하여 국지적 회귀분석(GWR)을 수행한 결과 전역적 회귀분석에 비해 AIC와 ANOVA 결과 모두 모형의 결과를 유의하게 향상시켜, 경기도 내 통행행태 특성이 교통인프라 수준을 설명하는 데 있어 지역 간 차이가 많이 존재하는 것을 다시 한 번 확인시켜주었다.

Key Words

An Integrative Analysis, Cluster and Outliner Analysis, GWR(Geographical Weighted Regression), Transportation Equity, Transportation Infrastructure, Travel Behavior
통합적 분석, 공간군집분석, GWR, 교통형평성, 교통인프라, 통행행태

* : Corresponding Author
mybin@gri.re.kr, Phone: +82-31-250-3132, Fax: +82-31-250-3116

Received 8 March 2013, Accepted 27 May 2013

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

우리나라는 지난 수십 년간 급속한 산업화에 의해 고도의 경제성장을 이루어 왔다. 그러나 한편으로는 지역 간 인프라의 상대적 격차 및 사회적 소외의 문제가 발생하였다. 교통부문에서도 이와 같은 문제가 나타났는데, 그 원인을 보면 교통인프라 투자는 공급 위주의 논리에 따라 교통시설과 수요가 절대적으로 부족한 지역보다는 교통시설 여건이 양호한 지역에서 증가하는 과수요에 대응한 효율성의 관점에서 공급되어왔기 때문이다(The Korea Transport Institute, 2006). 이와 같이 공급자 위주의 교통인프라 투자는 지역간 교통서비스의 격차를 초래하였으며, 열악한 지역의 형평성 논란을 야기하였다.

교통인프라는 통행행태에 직접적인 영향을 미친다. 예를 들어, 특정 지역 거주자가 통행을 위해 여러 가지 조건을 고려할 때, 가까운 곳에 버스 정류장이 없다면, '버스'는 교통수단의 선택대상에서 배제된다. 이에 해당 지역에서는 승용차를 이용한 통행의 비율이 상대적으로 높게 나타날 수 있다. 또한 평균소득이 낮은 지역은 자동차 구입이 평균적으로 어렵기 때문에, 버스·지하철과 같은 대중교통인프라가 갖추어져있지 않다면, 그 지역 거주민들의 통행은 원천적으로 제한될 것이다. 이러한 제약은 단순히 이동의 불편함을 넘어, 사회의 주류로부터 배제되는 중요한 기제로 작용하기 때문에, Noh (2007)은 교통인프라 격차를 형평성의 논리에서 바라봐야 한다고 주장하였다.

교통인프라 수준이 통행행태에 직접적인 영향을 끼치는 것과 더불어, 통행행태는 다시 교통인프라 수준에 간접적인 영향(feed-back)을 끼치게 된다. 예를 들어, 교통인프라 이용자들이 겪는 통행에 따른 불편 사항의 민원이 정책에 반영될 수 있다. 또한 통행량 증가로 인한 교통체증과 같은 사회적 비용이 나타나면 정부나 대중교통 사업자 등은 교통인프라 개선의 필요성을 느끼게 되어 도로 확장, 노선 확충 등의 방안을 제시하는 반면, 통행량이 감소한 지역은 경제성의 이유로 노선이 폐지되거나 축소되기도 한다.

교통인프라의 수준과 통행행태가 상호의존성을 갖는 것과 관련, 주목해야할 점이 두 가지가 있다. 첫 번째로, 이러한 상호작용이 교통인프라 수준의 지역 간 격차를 심화시키는 악순환의 원인이 될 수 있다는 점이다. 사람

들은 교통인프라가 잘 갖추어진 지역에 거주하기를 희망하므로, 시간이 지남에 따라 그 지역을 중심으로 통행량이 증가하게 된다. 그리고 집중된 통행량은 다시 교통인프라의 확충을 유도하게 된다. 이와 반대로, 상대적으로 교통인프라가 잘 갖추어지지 않은 곳은 통행량이 줄어들게 되고, 이는 교통인프라의 축소를 야기하게 된다. 두 번째로는 교통형평성과 관련된 연구를 할 때, 인프라와 통행행태 두 가지 요소를 모두 고려하는 것이 바람직하다는 점이다. 왜냐하면, 상호 영향을 주고받는 교통인프라와 통행행태는 공급 중심의 객관적·상대적 형평성 이외에, 수요 중심의 최소서비스 수준·주관적 형평성 양자의 개념을 복합하여 분석하는 것이 필요하기 때문이다.

본 연구는 경기도 교통형평성의 지역 간 편차에 주목하여, 지역별 교통인프라 수준과 통행행태를 근거로 경기도의 교통형평성을 통합적으로 분석·평가하는 것에 목적을 둔다. 통합적인 분석을 위해, 지역별 특성, 교통인프라, 통행행태 등을 읍·면·동 스케일로 측정한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구의 시간적 범위는 2012년을 기준으로 하며, 데이터 분석에 이용된 자료는 가능한 최신자료를 이용하였다. 자료의 종류에 대한 상세 설명은 분석과 함께 제시하며, 공간적 범위는 경기도를 대상으로 한다. 기존에 수행된 많은 연구들이 정책 실현의 용이성 때문에 대부분이 중촌 단위인 시·군·구의 수준에서 형평성을 고려하고 있으나, 본 연구에서는 생활권의 단위인 읍·면·동으로 분석하였다. 동일한 시·군·구 단위의 행정구역이더라도, 읍·면·동 단위의 소지역에서 교통인프라의 격차가 나타날 수 있기 때문이다.

II. 이론적 고찰

1. 기존문헌 검토

형평은 사전적으로 '같음'이라는 의미를 내포하고 있다. 하지만 복잡한 현대 사회에서는 형평성을 단순히 '같음'의 뜻으로만 규정할 수 없다. 철학자 롤스(J. Rawls)의 『정의론』은 사회적 형평을 논할 때 '정의의 원칙'을 언급한다. 즉 모든 사람은 평등하게 가장 광범위한 기본적 자유를 누려야 한다는 것과, 다수인을 위한 소수인의 희생을 허용하지 않고 누구에게나 유리하다는 한계 내에서만 불평등이

용인될 수 있다고 말한다. 이는 사회적 불평등을 시정하기 위해 공공 서비스의 혜택이 사회적 약자에게 더 많이 돌아가도록 해야 한다는 복지와 같은 의미이다.

Korea Research Institute For Human Settlements (2011)는 형평성과 유사한 개념으로 평등, 정의, 공정을 들며 서로의 개념을 구분하지만, 실제에 적용할 때에는 형평성을 '공정하고 올바른 사회를 구성하고 유지하기 위한 도리 및 가치개념'으로 규정하여, 보다 포괄적인 개념으로 사용하였다. 자본주의 사회의 많은 경우에서는, 세금을 통한 소득 재분배 및 소외계층에게 직접적인 지원을 하는 등의 방법으로, 형평성을 실현하기 위해 정책적으로 노력하고 있다.

이러한 형평성의 개념은 교통서비스에도 적용할 수 있다. 교통서비스의 공간적 불평등은 특정 지역 혹은 특정 계층에게 교통수단 접근을 상대적으로 어렵게 하여, 거주지의 공간적 고립 문제를 야기할 수 있다. 더 나아가, 교통서비스의 공간적 불평등은 특정 개인 또는 집단이 기본적인 활동을 할 때의 제약으로 인해 사회적 배제(social exclusion) 현상으로 이어질 수 있다. Burchardt et al. (2002)은, 다른 사람들에 비해 특정 개인이나 집단이 사회에 참여하는 길이 막혀있는 상황을 사회적 배제라고 규정하였다. 다시 말해서 사회적 배제는 빈곤·실업·불평등의 개념보다 더 넓은 범위의 포괄적인 표현이라고 볼 수 있다.

또한, 교통시설과 같은 공공시설의 투자는 '효율성(efficiency)'과 더불어 비용과 이익의 사회 구성원 간 적절한 분배에 관련된 '형평성(equity)'을 동시에 고려하는 것이 바람직하다. 이에 본 연구에서는 지역 간 교통형평성을 "교통시설과 서비스 공급의 지역 간 차이에 의한 이용자의 이동에 대한 제약이, 이용자의 사회경제적 특성의 차이나 이용자가 속한 지역적 특성의 차이가 용인하는 범위 내에 있는 상태"로 정의하여 살펴보고자 한다.

여기서 제약이 용인 범위 내에 있다는 것은 다음의 두 가지 의미를 모두 포함한다. 하나는 기본적인 활동을 위한 이동은 보장되어야 한다는 것과 더불어 사회적 배제로까지 이어지게 만드는 심각한 수준의 교통 공급의 차이는 아닌 정도의 제약은 형평성의 범주 내에 들 수도 있다는 의미이다. 다른 하나는 형평성은 기계적 평등을 말하는 것이 아니라 시각으로서, 지역간 교통 공급의 차이에 의해 다른 지역과 비교한 의미에서의 이동에 대한 제약이 있더라도, 그 제약이 이용자의 사회경제적 특성과 지역적 특성 등에 따른 교통 이용 수준 차이의 범위

내에 있다면, 교통서비스 공급과 이용은 형평성의 범주 내에 수용될 수 있는 것으로 본다.

2. 형평성 분석방법론

1) 공간군집분석

공간적 자기상관성(spatial autocorrelation)이란 공간적 배열(지리적 위치)에 따라 발생하는 사회현상의 확률 또한 유사하게 나타날 수 있다는 것을 의미한다. 이러한 공간적 자기상관성에 대해 대표적인 예로, Tobler (1970)는 "모든 것은 다른 것들과 관련되어 있으나, 가까운 것은 먼 곳보다 더 관계가 깊다."라고 거리조락(distance decay)현상을 설명하였다. 이러한 공간적 자기상관성을 측정하기 위해선 공간적 근린관계를 정량화 하는 작업이 필요한데, 이때 사용되는 것이 근린가중치 행렬(spatial proximity weight matrix, W)이다. W_{ij} 는 단위 구역 i 와 j 간의 근린정도를 나타내며, 두 개의 패턴이 인접할 때 1, 인접하지 않으면 0의 가중치를 부여하는 것이 가장 기본적인 방법이다.

공간적 자기상관성의 정량적 지표는 Moran's I 와 Geary's C 지수가 주로 사용되며, 그 중 Moran's I 지표는 전역적(Global) Moran's I 와 국지적(Local) Moran's I 지수로 나뉜다(Lee, 2011)

전역적 Moran's I 는 -1에서 +1까지 산출되며, 인접한 지역이 유사한 속성 값을 보이면 양적인(positive, +1에 가까울수록)공간적 자기상관이, 이와 반대로 인접한 지역이 기댓값보다 낮거나 이질적이면, 부적인(negative, -1에 가까울수록)자기 상관이 존재한다고 판단한다. 반면, 속성 값이 공간상에 무작위적(random)하게 분포될수록 공간적 자기상관성이 존재하지 않는다(0에 가까울수록)고 판단할 수 있다(Longley et al., 2005). 국지적 Moran's I 는 지역(polygon zone) 혹은 지점(point) 각각의 공간적 자기상관성을 산출하는 것으로, 이때 한 지점의 잔차와 인접한 지점의 잔차가 유사하게 분포되어 있으면 양적인 자기상관으로, 반대의 경우에는 부적인 자기상관으로 판정한다(Kim et al., 2011).

전역적 Moran's I 값은 $\langle \sum_{i,j} W_{ij} x_i x_j \rangle / (N \sum_{i,j} W_{ij} x_i x_j)$ 과 같이 표현될 수 있다. 여기서, N 은 인접한 지역(혹은 지점) 수이며, 변수 W_{ij} 는 인접지역 i 와 j 의 근린가중치(가까운 정도)를 의미하며, S_0 는 가중치의 합을 뜻한다. Z_i 값은 속성의 평균값과 i 지역의 값의 편차를 의미한다(식1). 이에, 전역적

Moran's I는 인접지역과 속성 값을 비교하여, 편차의 합이 클수록 특정지역에 공간적으로 군집되어 있거나, 분산되어 있는 정도를 측정한다.

$$Global\ Moran's\ I \tag{1}$$

$$I = \frac{N}{S_0} \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_{ij} z_i z_j}{\sum_{i=1}^N z_i^2}$$

$$Local\ Moran's\ I \tag{2}$$

$$I_i = z_i \sum_{j=1, j \neq i}^N w_{ij} z_j$$

국지적 Moran's I 값은 <수식2>과 같이 표현된다. 여기서 W_{ij} 는 표준화(z-score)된 가중치 값이다. 이에, 국지적 Moran's I는 표준화된 가중치 값을 바탕으로, 인접한 지역의 속성 값의 편차의 합을 산출한다. 따라서 높은 값의 국지적 Moran's I의 값은 인접지역의 값과 매우 유사한 형태를 보인다고 해석될 수 있다.

이러한 공간적 자기상관성 지수는 공간적으로 군집된 형태(+1)와 분산된 형태(-1)를 찾는데 활용할 수 있으며, 본 연구에선 국지적 Moran's I 값을 바탕으로 이레값(outliner) 지역을 추출한 후, 자신의 값과 주변지역의 값을 비교하여 군집형태(cluster type)를 분류하는 공간군집분석을 시행하였다. 분석과정은 다음과 같다. 첫째, 산출된 국지적 Moran's I 값을 표준화(z-score)한 후, 정규화(95%)를 넘어가는 지역(value<-1.96 and value>1.96)을 이레값 집단으로 추출하였다. 이러한 집단은 다른 지역에 비해 기댓값보다 잔차가 매우 크거나 매우 작게 나타난 지역으로서, 해당속성이 높거나(H), 낮은(L) 집단으로 구성될 수 있다. 둘째, 추출된 지역의 유의수준(p-value)이 0.05이하인 지역을 대상으로, 표준화된 값을 자신과 인접지역을 비교하여, 4개의 군집집단(HH, HL, LH, LL)으로 분류하였다. HH의 경우, 자신의 값과 인접지역의 값이 모두 높은 지역으로, 해당특성이 높게 나타나는 hot-spot cluster로 해석될 수 있으며, 반대로 LL의 경우, 자신의 값과 인접지역의 값이 모두 낮게 나타난 cold-spot cluster로 해석될 수 있다. 본 연구에선 분석을 위해 ArcGIS 10.1, Cluster and Outliner Analysis Tool을 사용하였다.

2) 전역적·국지적 회귀분석

통계학에서 회귀분석은 한 종속변수에 대한 다른 한 개 이상의 독립변수들의 어떠한 영향을 미치는 지 확인할 수 있다. 이러한 회귀분석의 핵심적인 요소는 영향력의 방향과 강도를 각 변수별 회귀 파라미터(추정값)과 상수(절편)로 설명할 수 있다. 특히 각 변수별 추정값은 절대값이 클수록 독립변수에서 한 단위 증가할 때 종속 변수에 미치는 효과의 강도가 커진다고 설명할 수 있다. 하지만 이러한 선형 방정식에 의해 공간적 현상을 설명하는 데에는 한계가 존재한다.

이는 앞서 밝힌 거리조락의 원칙과도 상통하는 것으로, 전역적인 회귀분석의 경우 OLS(Ordinary Least Squares, 최소자승법)의 원칙에 의해 잔차를 최소화하여 회귀 파라미터와 상수가 결정된다. 하지만 공간적 현상의 경우, 지역별 인접한 여부에 따라 설명력에 차이가 존재할 수 있으며, 일반적인 경향에서 벗어나 특정지역에만 높게 나타날 수도 있으므로(cluster), 공간적 인접 여부를 고려한 회귀분석의 실시가 필요할 수도 있다.

GWR(Geographical Weighted Regression)은 앞서 설명한 공간적 인접행렬(W)을 고려한 국지적인 회귀 분석 범으로, Fortheringham et al. (2002)에 의해 체계화되었고, GWR이라는 상용프로그램이 배포되면서 다양한 주제의 공간 연구에서 분석방법으로 활용하고 있다(de Smith et al., 2006).

평가는 모평균과 분산차이를 분석하는 ANOVA분석을 통해 OLS와 GWR의 잔차를 비교하여 설명력의 차이를 확인한다. 또한, AIC(Akaike Information Criterion)의 값을 통해 비교할 수도 있다. AIC는 모집단 p값에서 최대가능예측치인 L의 값을 확인하는 형태이다. AIC값의 절대량은 의미가 없으며, 각 모델들을 비교할 때 어느 것이 적합한지를 확인하는데 목적이 있다(Jung, 2009). 본 연구에서는 ANOVA분석을 통한 OLS와 GWR의 잔차값과 AIC값을 동시에 살펴봄으로서 GWR 모델을 평가한다.

III. 교통인프라와 통행행태

1. 데이터개요와 분석준

1) 데이터개요

분석을 위한 데이터는 그 내용에 따라 교통인프라 분

석과 통행분석을 위한 데이터로 나뉜다. 인프라 지수산정은 경기개발연구원 (2010)의 교통지표를 바탕으로, 도로시설현황, 대중교통시설현황을 선정하였다. 또한, 지역별 잠재적 수요자(인구) 반영을 위해 인구요인을 추가하여, 총 3개요인, 8개의 측정 변수를 선정하였다. 이를 바탕으로, 변수들의 총평균값을 인프라 지수로 산출하였다. 도로시설현황 지수를 측정하는 변수로는 도로연장, 도로면적, 주차장면적을 포함하였다. 이 중 도로면적은 도로현황 자료가 polyline(선자료)이기 때문에 정확한 정보가 없어 차선수를 기반으로 추정하였으며, 일괄적으로 차선별 폭을 3.5m로 간주하였다. 도로시설은 KTDB의 『2011년 교통주제도』 링크(레벨2) 자료를 사용하였으며, 주차장면적은 KLIS의 『2011년 토지특성조사자료』를 재구성하였다. 둘째, 대중교통시설현황 지수를 측정하는 변수로는 버스정류장수와 지하철역수이며, 모두 51,380개소와 131개소를 각각 확인하였다. 셋째, 지역특성 지수를 측정하는 변수로 해당 지역의 인구, 주택, 사업체수를 고려하였다. 인구와 주택은 『2010년 인구총조사』, 사업체수는 『2010년 사업체조사』를 각각 사용하였다.

이상의 각 측정 변수는 해당 지역의 전체 면적 대비 측정값으로 환산하였다. 종합적인 인프라 수준을 계산하기 위해 3개 인프라 지수를 구성하는 이들 측정 변수들의 값은 표준화한 뒤 합산하였다. 표준화 합산 방법은 3개 지수의 선형결합으로 특정 지역의 종합적인 교통인프라 수준을 계산할 때 이들 측정 변수들의 표준화를 실행하였는데, 그 이유는 각 측정 변수들의 자료 표현 단위가 서로 달라 그 값들을 직접적으로 상호비교 및 선형결합하는 것이 무의미하기 때문이다.

선정된 변수들의 다중공선성을 검토하기 위하여 분산팽창계수를 산정하였다. 다중공선성의 일반적인 기

준은, 추정된 회귀식의 공선성 통계량에서 각 독립변수의 분산팽창계수(VIF)가 10 이상, 공차가 0.1 이하인 경우이며, 이 때 해당 독립변수에는 다중공선성이 존재한다고 본다. 검토 결과 다중공선성이 존재하거나 회귀계수가 유의하지 않은 변수를 제외하고 최종적으로 도로시설현황 지수의 도로연장(road length), 도로면적(road area), 주차장면적(parking area) 변수, 대중교통시설현황 지수의 지하철역수(subway)와 버스정류장(bus station)수, 지역특성의 총인구(total population) 등 6개 변수를 교통인프라 수준의 측정 변수로 선정하였다. Table 1은 이들 6개 변수들에 의한 교통인프라 수준의 회귀분석 결과를 나타낸다. 본 연구는 이상의 6개 측정 변수를 표준화하고 이들을 해당 지수 내에서 가장 합산하는 방식으로 교통인프라 수준을 계산하기로 한다.

2. 교통인프라 수준 분포

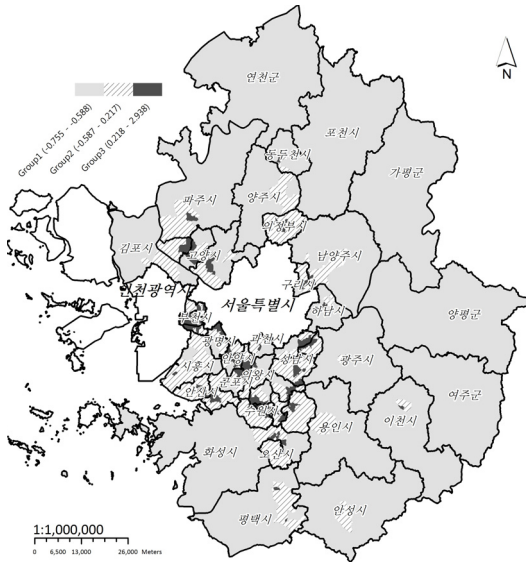
앞에서의 측정 변수 표준화 값의 단계구분에서의 마찬가지로, 합산 결과인 교통인프라 수준 값의 평균을 3개 구간으로 분류하였다. 이는 평균값을 기준으로, 인프라 수준을 상·중·하로 구분함으로써, 집단구분을 통해 지역별 분포를 명확하게 살펴보고자 함이다.

분석결과, 서울 인접지역과 경부축 방향으로 집중된 도로현황에 따라 교통인프라 수준이 높게 나타났다. 이는 도로현황 뿐 아니라 지하철과 버스도 해당 축에 많이 분포함에 따라 나타난 결과이다. 전체적으로, 경기도의 읍·면·동별 교통인프라 수준은 가장 뚜렷하게는 서울 인접지역-외곽지역의 차이를 볼 수 있으며, 또한, 경부축을 포함하는 남부에 비해 상대적으로 낮은 북부의 교통인프라 수준을 확인할 수 있다. 또한, 기존

Table 1. Coefficientsa

Variables	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
(Constant)	0.290	0.056		5.214	0.000		
Road length	-1.73E-05	0.000	-0.578	-11.773	0.000	0.456	2.194
Parking area	4.43E-06	0.000	0.070	1.97	0.049	0.875	1.143
Road area	0.115	0.051	0.077	2.258	0.024	0.945	1.059
Subway	-0.002	0.000	-0.178	-3.825	0.000	0.506	1.976
Bus station	0.000	0.000	0.157	3.128	0.002	0.438	2.284
total population	1.02E-05	0.000	0.188	4.08	0.000	0.516	1.937

a. Dependent Variable: z_infra_all (transportation-infrastructure z-score index)



*group1: < mean, group2: similar to mean, group3: > mean

Figure 1. Transportation-infrastructure index

의 교통여건의 지역적 기본 단위원 시·군·구의 행정구역 경계가 잘 지켜지지 않는 것을 그림에서 명확히 확인할 수 있다. 예를 들어, 남양주시, 양주시, 파주시, 평택, 화성 등의 중존 단위 행정구역 내에서 인프라 수준이 낮은 곳과 그렇지 않은 곳이 혼재되어 있고, 경기남부의 서울 인접지역 도시들에도 같은 시·군·구 안에 인프라 지수가 높은 읍·면·동들이 인프라 지수 중간 수준의 읍·면·동들과 혼재되어 있는 것을 잘 볼 수 있다(Figure 1).

3. 통행행태 특성

통행행태 분석을 위해 2011년 4월 27일(수요일)자 경기도 버스카드 통행데이터(EB카드)를 이용하였다. 분석결과, 서울과 인접한 지역은 평균통행수가 비교적 많은 것으로 나타났으며, 외곽지역으로 갈수록 그 수가 감소하였다(Figure 2). 서울과 인접한 지역은 서울 생활권에 속하여 다양한 목적의 활동을 수행하는 반면, 도 외곽지역은 버스를 이용한 많은 통행이 동일 지역 내로 국한된다고 볼 수 있다. 또한 장거리 통행이 필요할 때는 버스가 아닌 자가용을 이용하는 비중이 높다고 해석된다. 즉 지도에서 하얀색으로 표시되어 있는 지역은 버스

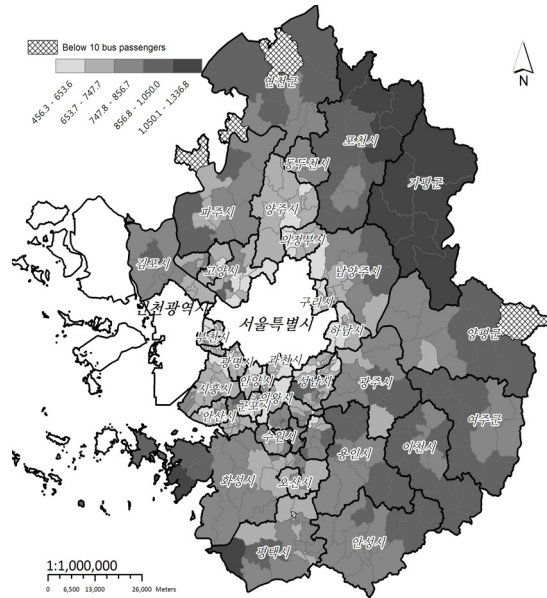


Figure 2. Average bus total fares per a trip

를 이용한 주요지역과의 연계성이 낮은 지역이라고 볼 수 있다. 통행시간을 통행횟수로 나눈 평균1통행시간은 수치가 높거나 낮다고 해서 좋거나 나쁜 것이라고 단정 지을 수 없다. 예를 들어 가평군의 경우는 평균1통행시간의 수치가 매우 높는데, 버스를 이용한 장거리 통행이 많다는 의미로, 장거리 교통수단으로 버스가 주로 이용되고 있거나 굴곡노선¹⁾ 문제를 일부 반영하는 것일 수 있다. 화성시 남부, 안성시, 여주군과 같이 낮은 수치를 기록하고 있는 지역은 대다수 주민의 생활권이 동일 지역에 머무는 비율이 높다고 볼 수 있다. 반면 서울과 인접한 지역에서 평균1통행시간이 낮게 나오는 것은 가까운 지하철과의 환승이 큰 기여를 한 것으로 판단된다. 반면, 경기도의 버스요금은 거리비례제를 채택하고 있기 때문에, 통행거리와 비용의 지역적 분포는 거의 비슷하다. 서울과 인접한 지역은 비교적 낮은 거리를 이동하고 적은 비용이 들었지만, 외곽지역으로 갈수록 더 먼 거리를 이동하며, 많은 비용을 지불하는 것으로 나타났다. 평균1통행비용은 Figure 2와 같이 하나의 통행이 여러 개의 환승환인을 포함하는 통행단들로 구성될 때 특히 낮아지는데, 서울 인접지역이 특히 낮은 것은 이 지역 통행에 환승환인 혜택이 많이 작용했다고 판단할 수 있다.

1) 하나의 노선이 정류소를 곡선으로 매우 많이 경유하면서 최종목적지까지 장시간, 장거리 통행을 하도록 만드는 노선을 일컬음.

IV. 형평성 분석 결과

1. 공간군집분석

교통인프라 수준의 공간적 집중도와 통행행태 간의 관계 분석을 위하여 읍·면·동 단위의 공간군집분석을 실행하였다(Figure 3).

교통인프라 수준의 군집형태를 살펴보면, hot-spot(HH)으로 나타난 지역은 모두 대도시-서울인접지역으로서, 부천, 안양, 성남, 고양시 일대가 포함되었으며, 해당지역은 교통인프라가 잘 갖추어진 지역으로 해석될 수 있다. 반면, cold-spot(LL)으로 나타난 지역은 서울 외곽지역으로서, 북부(연천군-포천시-남양주시 일대)와 남부(양평군-광주시-여주시-이천시-용인시-안성시 일부지역) 읍·면·동 일부 지역으로 나타났다. 해당 지역은 교통인프라 수준이 떨어지는 지역으로 해석될 수 있다.

또한, HL과 LH지역도 존재한다. HL지역은 평택시 통복동 하나로만 나타났는데, 이는 주변 지역보다 인프라 수준이 다소 높다고 해석될 수 있으며, LH지역은 자신의 값은 낮지만, 주변 지역의 값은 높은 지역으로서, 자신의 인프라 수준은 떨어지는 반면 주변 지역의 인프라 수준은 높음에 따라 거주민들의 불편 혹은 대안적 통행행태가 나타날 가능성이 높은 지역이다. 해당지역은

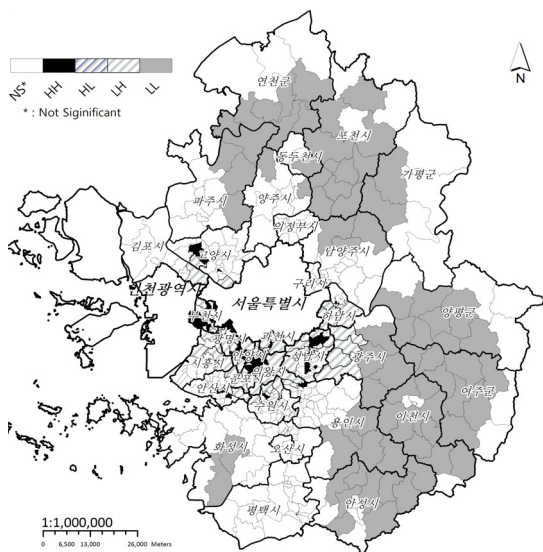


Figure 3. Cluster and Outlier analysis (called Hot-spot analysis)

광명-시흥시 일부, 과천-의왕시 일부, 성남시 일부, 하남-광주시 일부로 나타났으며, 대도시에 인접한 지역의 읍·면·동이다. 이에, 해당 지역의 인프라 수준에 대한 시급한 검토가 필요한 것으로 판단된다.

HH, LL, HL, LH 등으로 구분되는 hot-spot analysis의 정책적 함의는 다음과 같다. 읍·면·동 단위의 분석을 통해 시·군·구 규모의 지역 단위 내에서 얼마든지 주변 지역과 다른 수준의 교통인프라를 갖고 있는 소지역들이 많이 있을 수 있으며, 교통 정책 수립 및 시행에 이러한 변인을 충분히 고려할 필요가 있다. 또한 교통형평성이라 하면 일반적으로 HH와 LL 지역 간의 차이를 의미하나, 실제로 형평성은 HL이나 LH와 같이 지역 내에서 존재하는 인프라 수준의 다양한 차이를 고려해야 한다. 특히 정책적 우선순위에 있어, LH type은 우선적으로 형평성 개선을 고려해야 하는 읍·면·동 지역이다. 이는 LH가 LL과 HH와 같이 시·군·구 간 비교에 의한 형평성 격차보다 그 개선의 필요성이 일반적으로 더 시급한 동일 시·군·구 내 읍·면·동 간 격차를 의미하기 때문이다.

그룹별 통행행태 특성을 정리하면 다음과 같다. HH와 LL type에 해당되는 지역은 자신의 값-주변의 값 표준화 분포를 바탕으로, 극한값(절대값 1.96이상)에 해당된다. 또한, 그룹별 평균적인 통행특성을 살펴봄으로써, 해당지역의 통행행태 개선 및 정책제언에 필요한 기초자료로 활용될 수 있다. 분석결과, HH와 LL type별 지역의 평균통행특성의 차이가 뚜렷하게 나타났다.

HH지역과 LL지역의 통행특성을 비교하면 Table 2, 3과 같다. 특히, 이용자, 통행, 환승수의 경우 HH type이 높으며, 내부통행수, 통행시간, 통행거리, 통행속도, 모든 요금항목의 경우 LL type이 높게 나타났다. HL지역은 해당 지역개수가 적어 해석이 어려우며, LH지역은 LL지역보다 HH에 가까운 통행특성을 보인다.

2. 전역적·국지적 회귀분석 결과

전역적 회귀-단계별(stepwise)분석을 실시하여, 교통인프라지수에 영향을 미치는 변수가 버스이용자수, 버스환승수, 평균내부통행수, 평균속도로 나타났다. 이를 바탕으로 한 GWR분석에서 결정계수(R²)는 전역적 회귀모형의 33.4보다 높은 46.9로 나타났으며, 모델항상 여부를 통계적 유의수준으로 평가하는 AIC와 ANOVA 분석도 통과하였다.

Table 2. Compare trip-characteristics mean of each hot-spot type (per a trip)

Type	Numbers	trip distance per a trip (m)*	trip time per a trip (min)*	bus ride fare per a trip*	bus left fare per a trip*	bus total fare per a trip*
HH	120	6,947.47	18.30	634.1	47.7	681.8
HL	1	7,134.63	16.09	659.6	46.3	705.9
LH	52	7,067.57	18.00	632.1	44.6	676.6
LL	76	10,915.56	22.22	793.3	81.3	874.7
Total Average	249	8,184.45	19.42	682.4	57.3	739.7

Table 3. Compare trip-characteristics mean of each hot-spot type (total)

Type	Numbers	Users*	trips*	trans*	inside trips*	trip time	trip distance	trip speed*	bus ride fare*	bus left fare*	bus total are*
HH	120	2,927	2.40	0.57	0.19	44.08	16,781.91	375.77	1,504.7	118.9	1,623.5
HL	1	644	2.19	0.43	0.10	35.25	15,631.94	443.50	1,445.2	101.4	1,546.6
LH	52	2,028	2.41	0.58	0.28	43.34	17,054.19	390.80	1,502.4	109.7	1,612.1
LL	76	628	2.09	0.24	0.39	46.57	22,870.42	487.10	1,655.8	171.7	1,827.5
Total Average	249	2,028	2.31	0.47	0.27	44.65	18,692.50	413.16	1,550.1	133.0	1,683.1

*: p<0.05

Table 4. OLS and GWR estimates

Predictor variables	OLS	GWR				
		Minimum	Lower Quartile	Median	Upper Quartile	Maximum
bus users, β_1	0.000	-0.00008	0.00003	0.00005	0.00008	0.00027
mean_trans, β_2	0.850	-0.93388	0.24561	0.78738	1.48004	2.30703
mean_inside, β_3	-1.161	-4.39651	-2.96625	-1.65520	-0.99075	0.12781
mean_speed, β_4	-0.002	-0.00982	-0.00349	-0.00228	-0.00086	0.00087
intercept, β_0	0.796	-0.85404	0.16997	0.78273	1.37110	4.05439

Table 5. OLS and GWR diagnostics

Diagnostics	OLS	GWR
Residual SS	212.50	77.30
Adjusted R2	0.33	0.47
Effective parameters	5.00	112.86
AIC	1039.29	974.46

즉 AIC값은 적을수록 모델이 향상된 것으로(OLS: 1039.29, GWR: 974.46) 해석될 수 있으며, ANOVA 분석 역시 F-value(2.25)가 유의수준보다 높게 나타남에 따라, 전역적 회귀모형에 비해 GWR이 우수함을 판정할 수 있었다. Table 4,5는 이 같은 사실을 요약한다.

전역적 회귀분석은 하나의 결정계수(R^2)를 지니는 반면, GWR의 경우 지역단위 (분석대상) 위치 (geographical coordinate)를 가중치(W)로 반영하여 모형을 구성함에 따라, 각 지역별 상이한 설명계수 및 그에 따른 잔차(residual)값을 지니게 된다. 표준잔차 절대값이 클수록(값이 0에서 멀어질수록), 종속변수를 설명하는 다항식의 오차와 값이 커지게 된다. 전역적 회귀분석

의 최소자승법(OLS)을 통해 나타난 표준잔차와 GWR을 통해 나타난 표준잔차를 비교하면, GWR을 사용한 모형의 표준잔차의 값이 더 정규성을(-0.5~0.5 값) 띄게 나타났다. 이는 모델의 계수를 바탕으로 한 GWR이 더 높은 해석력을 지니고 있다는 것을 의미한다. 또한, GWR의 표준잔차 분포에선 OLS보다 극한값(-3미만, +3초과)의 분포가 적고, 정규화에 수렴하는(-0.5~+0.5) 표준잔차의 분포가 더 많이 나타났다(Figure 4).

또한, 설명계수 값의 지리적 분포를 Figure 5에서 살펴보면, 연천-포천-동두천 일부를 제외한 외곽지역의 설명계수가 대체로 높다. 설명계수가 높다는 것은, 통행행태가 인프라 수준에 많은 영향을 끼치거나, 상대적으로 높은 연관성을 지닌다고 해석될 수 있다. 반면, 서울 인접지역의 설명계수는 40% 이하로 낮은데, 일반적인 서울 외곽지역에 비해 인접지역은 통행행태만으로는 교통인프라 수준의 설명이 힘들기 때문에, 다른 사회적·지역적 특성이 더 많은 영향을 끼치는 것으로 판단할 수 있다.

V. 결론 및 시사점

공간군집분석을 통해 읍·면·동별 교통인프라 수준이 전반적으로 매우 높은 지역(HH)과 매우 낮은 지역(LL) 외에도, 주변보다 높은 지역(HL) 및 특히 주변보다 낮은 지역들(LH)이 일정한 공간적인 규칙을 갖고 분포함을 알 수 있었다. 구체적으로, HH 지역은 부천, 안양, 성남, 고양시 등 대도시-서울 인접지역, LL 지역은 북부의 연천군-포천시-남양주시 일대 및 남부의 양평군-광주시-여주시-이천시-용인시-안성시 일대 등 서울 외곽지역으로 나타났다. 그리고 HL 지역은 평택시 통복동으로 나타났으며, 교통인프라 수준에 대한 검토가 시급한 LH 지역은 광명-시흥시, 과천-의왕시, 성남시, 하남-광주시 등 대도시에 인접한 지역의 일부 읍·면·동으로 나타났다.

전역적 회귀분석에 의해 교통인프라 수준을 통행행태 변수로 회귀한 결과, 버스이용자수(bus users), 평균환승수(mean_trans), 평균내부통행수(mean_inside), 평균통행속도(mean_speed), 총 4개의 통행특성 변수를 분석에 유의한 변수로 추출하였다(Table 4 참조). 이들 변수에 의한 국지적 회귀분석(GWR)은 전역적 회귀분석에 비해 AIC와 ANOVA 결과 모두 모형의 결과를 유의하게 향상시켜, 경기도 내 통행행태 특성이 교통인프라 수준을 설명하는 데 있어 지역 간 차이가 많이 존재하는 것을 다시 한 번 확인시켜주었다. 특히 경기 북동부 지역은 인프라 수준이 통행행태 변수에 의해 설명이 잘 되는데 반해 남서부 지역으로 내려오면서 그렇지 않은 것을 보인다. 이는 북동부 지역과 달리, 남서부 지역은 교통인프라 수준이 통행행태 이외에도 많은 설명변수가 필요한 매우 복잡한 지역임을 나타낸다.

이상에서 요약한 바, 읍·면·동 단위 분석은 기존 연구의 분석 지역 단위인 시·군·구의 행정구역 경계를 따르지 않는 결과를 보여 주었다. 또한 경기도 내 남·북부의 대비보다는 서울 인접지역과 외곽지역 간의 차이가 더 뚜렷한 것을 알 수 있다. 물론 외곽지역 중 경기북부에 형평성 수준이 낮은 소지역이 많은 것은 분명한 사실이며, 이 또한 기존에 우리가 알고 있던 지역 현안에 대한 상식과 합치하는 것이다.

이상의 분석 결과로부터 아래와 같이 정책적 시사점을 제안할 수 있다. 첫째, 교통인프라 수준을 읍·면·동 기준으로 파악하여 교통 이용환경이 열악한 지역을 우선 순위로 인프라 투자를 수립할 수 있는 방안이 필요하다. 기존에는 시·군·구 단위가 교통인프라 계획과 실행의 기본단위가 되어왔으며, 시·군·구내에서의 교통형평성에 대해서는 어떤 객관적인 기준보다는 '주민의 민원'에 대응하는 정책이 추진되는 것이 대부분이라 할 수 있다. 이를 위해서는 우선적으로 동일한 시·군·구 안의 지역에 대한 정책적 우선을 형평성의 격차에 따라 추진할 수 있는 메뉴얼을 개발해야 할 것이다.

둘째, 교통형평성 측정과 해석에 있어 기존에는 공급 시설 수준 중심의 시·군·구별로 단순하게 인프라 지수를 비교했는데 실제 교통시설과 서비스를 이용하는 사용자의 입장에서 최소서비스 수준을 고려하는 형평성의 측정과 이론화가 필요하다. 본 연구에서 제시한 바와 같이 이용자의 통행범위는 읍·면·동간의 이동으로 나타난다고 볼 수 있다. 그러나 많은 연구들이 자료의 확보가 어려운 등의 한계로 인해 소준기준의 형평성의 측정과 이론화가 쉽지 않았다. 이를 위해서는 인프라지수와 측정 변수 지역특성변수들의 상세화(읍·면·동 기준)가 필요

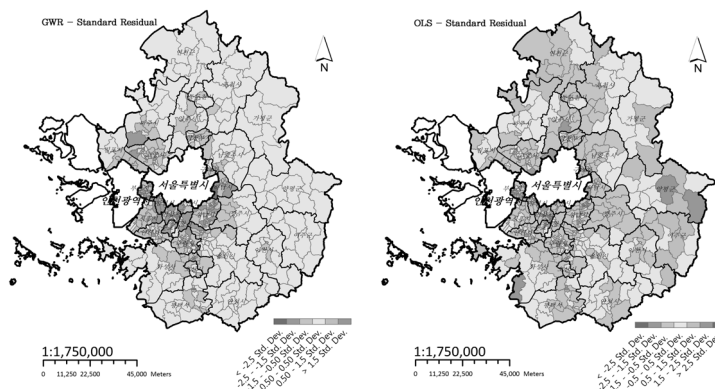


Figure 4. OLS and GWR standard residual map

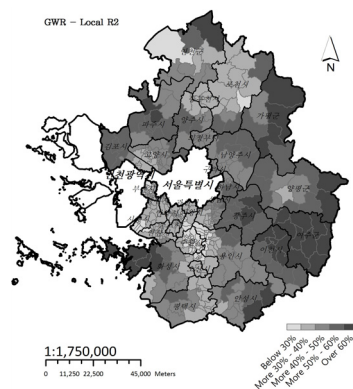


Figure 5. GWR R2 map

하고 단기적으로는 데이터형식의 표준화가 이루어져야 할 것이다.

셋째, 수요대응형 교통수단의 공급이 필요하다. 교통 인프라 수준이 낮은 읍·면·동에서 수요에 대응하여 이용할 수 있는 교통수단을 공급함으로써 이동의 불편함을 단기적으로 보완할 수 있다. 지역내 수요대응형 교통수단은 중앙이나 지방에서 공급할 수 있으나, 최근 협동조합 기본법이 시행되면서 주민이 자체적으로 버스와 택시를 운행할 수 있게 되었다. 대표적인 사례가 (주)성남시민버스 운영을 들 수가 있다. (주)성남시민버스는 성남시민이 주주가 되어 판교, 도촌지구와 신분당선까지 연계하는 마을버스노선을 신설하고 운행하고 있다. 성남시민버스의 예는 생활에 기반한 주민들의 자발적 교통존 구성이라고 볼 수 있으며, 이는 본 연구 결과(시군구가 아닌 시군구를 넘나드는 읍면동 연합의 새로운 교통존)와 매우 잘 통하는 일이다. 그래서 시민들의 이러한 수요 표현을 좀 더 학문적이고 체계적으로 그리고 효율적으로 뒷받침해 줄 수 있어야 하며, 본 연구의 결과는 그런 노력에 도움이 될 것으로 기대된다.

넷째, 위의 세 번째와 같은 맥락으로 인프라 수준별 차별화된 교통서비스 지원정책이 필요하다. 인프라가 상대적으로 떨어지는 지역의 통행행태를 살펴보면, 내부통행 비율이 높고 외부통행 비율이 낮게 나타난다. 또한, 교통수단 중 자동차 이용비율이 높다. 이러한 지역은 내부통행에 놓여준 순환형 마을버스와 같은 대중교통수단의 도입을 촉진하여, 자동차 수단비율을 줄이면서 내부통행의 대중교통수단 비율을 증진시킬 수 있다. 반대로 인프라가 상대적으로 잘 된 지역의 통행행태는 외부통행으로 서울로 출발하는 비율이 높으며, 지하철 이용비율이 높다. 이러한 지역은 통근시간에 상대적으로 교통혼잡이 잦고 대중교통서비스의 만족감이 떨어지기 쉽다. 이에, 경기도에서 시행하고 있는 출근시간용 간선급행버스나 대중교통전용제도(버스중앙차선제도)와 같이 대중교통이용자들의 비율을 유지하면서, 서비스의 질을 향상시킬 수 있는 정책이 필요할 것으로 보인다.

REFERENCES

Burchardt T., Grand J., Piachaud D. (2002), Degrees of Exclusion: Developing a Dynamic, Multidimensional Measure, Understanding Social Exclusion, Oxford University Press, Oxford.

Church A., Frost M. (1999), Transport and Social Exclusion in London: Exploring Current and Potential Indicators, *Transport Policy*, 7, pp.195-205.

Fotheringham A. S., Brunsdon C., Charlton M. (2002), *Geographically Weighted Regression: the Analysis of Spatially Varying Relationships*, John Wiley and Sons Ltd.

Gyeonggi Research Institute (2010), A Study on the Transportation Competitiveness of the Cities in Gyeonggi-Do.

Gyeonggi Research Institute (2011), A Study on Analysis Travel Patterns and Applications Using Gyeonggi-do Traffic Card Data.

Hodgson F. C., Turner J. (2003), Participation not Consumption: the Need for New Participatory Practices to Address Transport and Social Exclusion, *Transport Policy*, 10, pp.265 - 272.

Jung W. H. (2009), The Analyzing of Public Transport Mode User's Stay Space Distribution Using Geographically Weighted Regression, Master Theses, Kyung Hee University.

Kim J. H., Park I. S., Jung J. H. (2011), Trip Generation Model Based on Geographically Weighted Regression, *J. Korean Soc. Transp.*, Vol.29, No.2, Korean Society of Transportation, pp.101-109.

Korea Research Institute For Human Settlements (2002), A Study on the Assessment of Road Development Demand Considering Social Equity in Road Service Provision.

Korea Research Institute For Human Settlements (2010), The Enhancement of Linkage Between Housing and Transportation Policy: Focusing on Estimated Location and Household Trip Patterns in Seoul Metropolitan Area.

Korea Research Institute For Human Settlements (2011), The Strategies of Equity Improvement Toward Fair Society: Focusing on the Equity in Transport Policy.

Lee W. D. (2011), The Study on Measurement of Urban Spatial Structure: Analyzing Urban Compactness and

- Changes in Land Price in Seoul, Master theses, Kyung Hee University.
- Lee W. D., Na Y. G., Park S. H., Lee B. J., Joh C. H. (2012), Transportation Equity Analysis Based on the Metropolitan Household Survey, Journal of the Korean Urban Geographical Society, Vol.5, No.1, pp.1226-9492.
- Litman T. (2003), Social Inclusion as a Transport Planning Issue in Canada: Contribution to the FIA Foundation G7 comparison, Victoria Transport Policy Institute.
- Longly P. A., Goodchild M. F., Maguire D. J., Rhind D. W. (2005), Geographical Information Systems and Science, John Wiley and Sons.
- McDonagh J. (2006), Transport Policy Instruments and Transport-related Social Exclusion in Rural Republic of Ireland, Journal of Transport Geography, Vol.14, No.5, pp.355 - 356.
- Noh S. H. (2007), Impacts of Transportation on Social Exclusion, The Geographical Journal of Korea, Vol.41, No.4, pp.457-467.
- Park B. H., Yang J. M., In B. C. (2009), Relationship Between Traffic Accidents of Elderly Pedestrians and Barrier-Free Facilities in the Case of Cheongju, J. Korean Soc. Transp., Vol.27, No.2, Korean Society of Transportation, pp.189-197.
- Preston J., Raje F. (2007), Accessibility, Mobility and Transport-related Social Exclusion, Journal of Transport Geography, 15, pp.151 - 160.
- Raje F. (2003), The Impact of Transport on Social Exclusion Processes With Specific Emphasis on Road User Charging, Transport Policy, 10, pp.321-338.
- Sanchez T. W. (1998), Equity Analysis Of Personal Transportation System Benefits, Journal Of Urban Affairs, Vol.20, No.1, pp.69-86.
- Schönfelder S., Axhausen K. W. (2003), Activity Spaces: Measures of Social Exclusion?, Transport Policy, 10, pp.273 - 286.
- Smith M. D., Goodchild M., Longley P. (2006), Geospatial Analysis, Troubador Publishing Ltd.
- Son H. K. (2007) Dynamic Exploration of Spatial Patterns of House Price Volatility Using GIS and Spatial Statistics, Doctoral Dissertation, Seoul University.
- The Korea Transport Institute (2006), An Equity Analysis of the Long Term National Transportation Infrastructure Planning.
- The Korea Transport Institute (2007), A Study on Constructing the Evaluation System of Level of Service for Urban Transportation.
- The Korea Transport Institute (2010), A Study of the Factors Associated With Travel Patterns of the Elderly.
- Tobler W. R. (1970), A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region, Economic Geography, Vol.46, No.2, pp.234-240.
- Won J. M. (2006), Transportation Engineering, Parkyoungsa, Seoul.
- 알림 : 본 논문은 경기개발연구원 2012년 정책과제 연구결과를 요약·정리한 내용입니다.
- ✻ 주 작성자 : 빈미영
 ✻ 교신저자 : 빈미영
 ✻ 논문투고일 : 2013. 3. 8
 ✻ 논문심사일 : 2013. 4. 24 (1차)
 2013. 5. 27 (2차)
 ✻ 심사판정일 : 2013. 5. 27
 ✻ 반론접수기한 : 2013. 12. 31
 ✻ 3인 익명 심사필
 ✻ 1인 abstract 교정필