

## 서울시 지하철 네트워크의 접근성과 공간적 형평성

송예나\* · 이금숙\*\* · 장한울\*\*\*

### Accessibility and Spatial Equity of Subway Networks in Seoul

Yena Song\* · Keumsook Lee\*\* · Hanwool Jang\*\*\*

**요약** : 서울시 지하철은 1974년 개통되어 네트워크를 지속적으로 확대해왔다. 지하철은 최근 전체 여객 통행의 40% 정도를 담당하며 가장 자주 사용되는 교통수단으로 자리매김하였다. 따라서 지하철 접근성이 시민들의 일상생활에 미치는 영향이 매우 크다고 볼 수 있다. 하지만 지하철을 비롯한 대중교통 자원은 공간적으로 균등하게 분배되지 않아 이로 인한 혜택이 불균등하게 배분되는 경우가 일반적이다. 본 연구에서는 서울시 지하철 접근성의 공간적 분포와 형평성을 살피고자 한다. 지하철 접근성은 역 간 이동시간을 계산하여 산출하였고 형평성은 지니계수를 적용하여 수치화하였다. 그 결과 지하철 접근성은 중심부-주변부 패턴을 보이며 중심업무지구는 높게 서울시 외곽은 낮게 나타났다. 또한 지하철 네트워크는 인구 및 대중교통 의존 계층의 공간 분포보다 고용자 분포를 고려해 보았을 때 보다 공평하게 배분되어 있음을 확인하였다.

**주요어** : 지하철 네트워크, 접근성, 형평성, 지니계수, 서울

**Abstract** : In Seoul, the subway system has been in use since 1974 and is the most frequently used travel mode accounting for approximately 40% of passenger journeys in 2015. As such the subway system is widely adopted by people and therefore, can have great impacts on their everyday life. However, it is easily noted that transit resources are not distributed spatially uniform, in other words, not all parts of the city gain the same benefits from their networks. This study aims to examine the inequity of spatial distribution of subway networks based on accessibility. Accessibility of subway networks are calculated based on the time-distance between stations and then equity is measured using the Gini index. Resulted map of subway accessibility shows that the benefits are not evenly distributed in Seoul with a pattern of highly accessible core - less accessible periphery areas. Also the subway accessibility network has fairer distribution against the employees' distribution rather than the distribution of general population or possibly transit dependent groups.

**Key Words** : subway network, accessibility, equity, Gini coefficient, Seoul

---

이 논문은 2018년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2018S1A 5A8026828).

\* 전남대학교 지리학과 부교수 (Associate professor, Department of Geography, Chonnam National University, Y.Song@chonnam.ac.kr)

\*\* 성신여자대학교 지리학과 교수 (Professor, Department of Geography, Sungshin Women's University, kslee@sungshin.ac.kr)

\*\*\* KAIST 문술미래전략대학원 박사과정 (Doctoral Student, Moon Soul Graduate School of Future Strategy, Korea Advanced Institute of Science and Technology, hwjangg@kaist.ac.kr)

<http://dx.doi.org/10.23841/egsk.2019.22.4.513>

## 1. 서론

대중교통은 도시교통 시스템의 중요한 부분을 차지하고 있으며 도시의 진화에 매우 중요한 요소이다(Bettencourt *et al.*, 2007; Niedzielski and Malecki, 2012). Lakshmanan *et al.*(2016)은 발달된 대중교통 네트워크는 다양한 사회·경제·문화 활동을 가능케 하여 뉴욕과 아틀란타와 같은 대도시의 등장을 가능케 했다고 주장한다. 또 다른 측면에서 대중교통은 자동차에 대한 과도한 의존이 불러오는 부작용을 저감시킬 수 있는 수단으로 여겨진다(Wener and Evans, 2007; McIntosh *et al.*, 2014). 자동차 대신 대중교통을 이용함으로써 개인의 차원에서는 신체활동량 증진으로 인한 건강상의 이점이 있으며 환경적으로는 자동차 사용으로 인한 환경오염 감소 효과가 있다. 그리고 경제적으로는 도로 정체의 감소로 사람과 화물의 이동시간을 단축시켜주는 효과가 있다. 이에 더해 교통은 사회복지의 향상을 가져오기 때문에 사회적 자원으로 취급될 수 있어 이러한 사회적 측면을 강조한 연구가 최근에 활발히 진행되고 있다(Lucas *et al.*, 2016; Pereira *et al.*, 2017). 특히 현대 사회에서 대중교통은 사회·경제적으로 열악한 위치에 있는 사람들에게 상대적으로 저렴한 이동수단을 제공하기 때문에 이들을 지원하는 사회적 수단으로 여겨지기도 한다(Glaeser *et al.*, 2008).

이처럼 도시 내 대중교통은 개인에게 이동성을 제공하는 것에서부터 도시의 기능을 향상시키는 것까지 광범위한 부분에 영향을 주고 있다. 본 연구에서는 대중교통의 사회적 측면, 특히 형평성(equity)에 초점을 맞춰 분석을 실시하고자 한다. 교통에서의 형평성을 정의하기는 쉽지 않으며 이에 대한 이론적 논의는 여전히 진행 중이다. 일반적으로 교통 부문에서 형평성은 교통 자원에서 발생하는 혜택과 부담의 불균등한 배분과 이러한 불균등이 타당

한 지에 대한 의문과 관련되어 있다(Van Wee and Geurs, 2011). Pereira *et al.*(2017)은 윤리학에서 다루는 정의 이론 중 다섯 가지가 교통 형평성과 밀접한 관련이 있다고 보았으며, 이 중 Rawls의 평등주의(Rawls' Egalitarianism)와 Sen의 역량중심 접근법(capabilities approach)은 분배의 문제를 직접적으로 다루기 때문에 형평성에 대한 연구 시 중요하게 다루어야 한다고 주장하였다. 이에 더해 모든 사람들에게 생활에 중요한 주요 지점에 갈 수 있는 최소한의 접근성을 제공해야 한다는 충분주의(Sufficientarianism)적 관점에서 형평성을 고찰하는 시도 또한 이뤄지고 있다(Lucas *et al.*, 2016).

Litman(2017)은 형평성에 대한 교통 분야의 다양한 연구를 종합하여 실제 연구에서 사용되고 있는 형평성을 세 가지로 구분했다. 첫 번째로 수평적 형평성(horizontal equity)은 모든 사람들에게 동일한 혜택을 제공해야 한다는 것으로 개인, 혹은 집단 간의 차이는 무시된다. 따라서 대중교통에 적용될 경우 단위 지역에 거주하는 모든 사람들은 동일한 수준의 대중교통 접근성을 가진다거나 동일한 비용을 지불하고 동일한 혜택을 누리는 것이 형평성 측면에서 최고의 목표가 될 수 있다. Van Wee and Geurs(2011)은 평등(equality)의 개념을 도입했고 이 개념은 Litman의 수평적 형평성과 동일하게 해석이 가능하다. 이들은 Litman과는 달리 평등은 형평성과 다른 개념임을 명백히 하였다. 형평성의 두 번째 정의는 소득 수준과 사회적 계층을 고려한 수직적 형평성(vertical equity)이다. 그리고 마지막으로 개인의 이동성과 능력을 고려한 수직적 형평성을 들고 있다. Litman이 정의한 두 종류의 수직적 형평성은 이동성 필요도와 사회·경제적 계층에 기반해 개인을 구분하고 이들의 요구에 따라 다른 수준의 교통 자원이 배분되어야 한다는 점에서 유사하다고 볼 수 있다. 수직적 형평성에 대한 이러한 개념 정의는 윤리학에서 주장하는 필요성의 원칙에 따른 형평성의 원리와 맥을 같이 한다고 볼

수 있다(Martens, 2012; Sen, 2009).

우리나라의 교통분야의 연구에 있어 형평성을 포함한 교통의 사회적 영향에 대한 고찰과 분석은 서구 국가에 비해 여전히 미진한 수준이며, 개념 또한 명확히 정립되어 있지 않다(노시학, 2014). 노시학(1996, 2007, 2014)은 일련의 연구를 통해 교통의 사회적 측면은 형평성 문제와 맞닿아 있으며 이는 다시 사회적 배제와 연관되어 있음을 이론적으로 고찰하였다. 최근 이원도 외(2012)는 버스 정류장과 지하철 역세권을 이용하여 행정동별 대중교통 접근성을 추정하고 형평성 지수를 계산하였다. 이들은 계산한 접근성을 표준화한 뒤 그대로 형평성 지표로 사용하고 있어 대중교통 형평성 연구로서는 한계를 가지고 있다. 하지만 서울시를 사례로 대중교통 접근성을 시각화하고 형평성을 계산하는 데에 접근성 개념을 도입했다는 의의를 지닌다. 빈미영 외(2013)의 연구는 이원도 외(2012)와 달리 공간통계를 사용하였으나 형평성을 보는 시각은 동일하다. 즉, 행정구역 내에 교통 기반시설을 갖추고 있는 정도를 접근성의 유사 변수로 보고 이를 통해 형평성을 확인한다. 이 두 연구는 Litman이 언급한 세 종류의 형평성 중 수평적 형평성에 초점을 맞추고 있다. 이호준 외(2017)는 교통 취약계층의 분포와 서울시 대중교통 이동성의 분포를 비교하고 있다. 이 연구는 노인, 청소년, 저소득자들에게 대중교통 이동성이 확보되어야 함을 전제로 하고 있어 수직적 접근성 측면을 실증적으로 확인하고 있다.

본 연구에서는 대중교통의 사회적 기능에 초점을 두어 서울시 지하철 접근성의 공간적 분포와 형평성을 살피고자 한다. 지하철 접근성은 역 간 이동시간을 계산하여 산출하였고 형평성은 소득 수준 및 최근 대중교통 형평성에 관련된 연구에서 자주 사용되는 Gini계수를 적용하여 산출하였다. 네트워크를 통해 구현된 접근성을 이용하여 공간적 형평성을 수치화함으로써 본 연구는 기존에 서울 대도시권을 대상으로 대중교통 형평성을 살핀 연구와 차

별화된다. 또한 전체 인구나 함께 인구집단을 구별하여 형평성을 산출함으로써 수평적, 수직적 형평성을 동시에 살피게 된다. 이 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 연구 대상 지역으로 서울시 지하철을 선정하게 된 배경과 본 연구에 사용된 데이터 종류를 명시하였다. 3장에서는 접근성과 형평성을 정량적으로 분석하기 위해 사용된 방법론을 제시하였다. 4장에서는 서울시 지하철 접근성의 공간적 분포와 Gini 계수에 따른 지하철 노선의 접근성 및 형평성을 검증하였고 그 의미를 논하였다. 그리고 마지막으로 5장에서 본 논문의 결론을 제시한다.

## 2. 연구대상 및 데이터

본 연구는 서울시 지하철을 연구 대상으로 한다. 서울시에서 운영되는 대중교통 수단 중 지하철에 초점을 맞추는 것은 두가지 이유가 있다. 우선 지하철 건설에는 경제적으로 대규모의 투자가 수반되게 마련이고 이에 소요되는 비용은 공공에서 조달되는 경우가 대부분이다. 그리고 지하철 운용을 위해 건설된 기반시설을 다른 목적으로 전용하기가 매우 까다롭고 한번 건설된 노선을 변경하는 것 또한 거의 불가능하다. 따라서 지하철 네트워크가 가지는 영향력은 다른 대중교통 수단에 비해 오래 지속될 수밖에 없으며 보다 면밀하게 평가되어야 한다.

1974년 개통한 서울 지하철 네트워크는 길이가 30배 이상 연장된 동시에 복잡도 또한 증가하여 성숙단계의 네트워크에 도달했다(Kim and Song, 2018). 긴 역사와 함께 지속적으로 확대된 네트워크가 서울시 곳곳을 거미줄처럼 연결하고 있다. 지하철 이용객의 입장에서는 해당 교통수단을 이용해 도달할 수 있는 장소가 늘어나며 더 쉽게 이동할 수 있음을 의미한다. 반면, 서울 및 수도권 외의 지역에서 지하철 네트워크의 확장은 매우 제한적으로

이루어졌고 그 결과 지하철을 통해 이동할 수 있는 곳이 한정되어 있다(김화환 외, 2017). 이를 반영하듯 서울시는 우리나라의 다른 대도시에 비해 압도적으로 높은 수준의 대중교통 이용률을 보인다. 특히 지하철은 두번째로 비중이 높은 도시인 부산의 2배, 최저 비중을 보이는 광주외 10배 이상의 수송비중을 보인다(Kim et al., 2018).

지난 30여 년간 지하철 수송분담을 변화를 살펴보면 통행에 있어 지하철이 차지하는 비중이 꾸준히 증가해왔음을 확인할 수 있다(그림 1). 2017년 기준 서울시 전체 통행의 40%는 지하철을 통해 이루어지고 있는데 이는 80년대 초반의 수송분담율이 11% 정도에 머물렀던 것에 비하면 4배 가량 증가한 것으로 볼 수 있다. 또한 최근까지 전체 통행량이 증가하는 패턴을 보여왔음을 고려할 때 지하철을 이용한 통행의 절대 수치는 훨씬 크게 증가했음을 확인할 수 있다. 일반적으로 소득이 증가하면 대중교통에 대한 수요는 감소하고 자동차 이용이 증

가한다(Paulley et al., 2006; Santos et al., 2013). 하지만 서울시의 경우 지하철에 대한 통행의존도는 낮아지지 않고 있다. 물론 높은 지하철 이용은 고밀화된 서울 시내에서 발생하는 차량 정체로 인해 육상교통수단을 이용한 이동에 시간 소요가 커지고(박중수·이금숙, 2018) 예측가능성이 떨어지는 점도 지하철에 대한 지속적인 수요 확보에 도움을 주고 있다.

본 연구에서는 2015년 자료를 이용하여 분석을 실시한다. 지하철 네트워크 또한 2015년 기준으로 작성되었으며 총 592개의 역이 연구 지역 내에 위치해 있다. 분석에는 2015년 5월 17일에서 23일 사이의 스마트 카드 데이터가 이용된다. 그리고 통계청에서 제공하는 인구 및 산업 데이터, 그리고 국가교통데이터베이스에서 제공하는 2014년 가구통행실태조사 원자료를 분석 과정에 이용하였다.

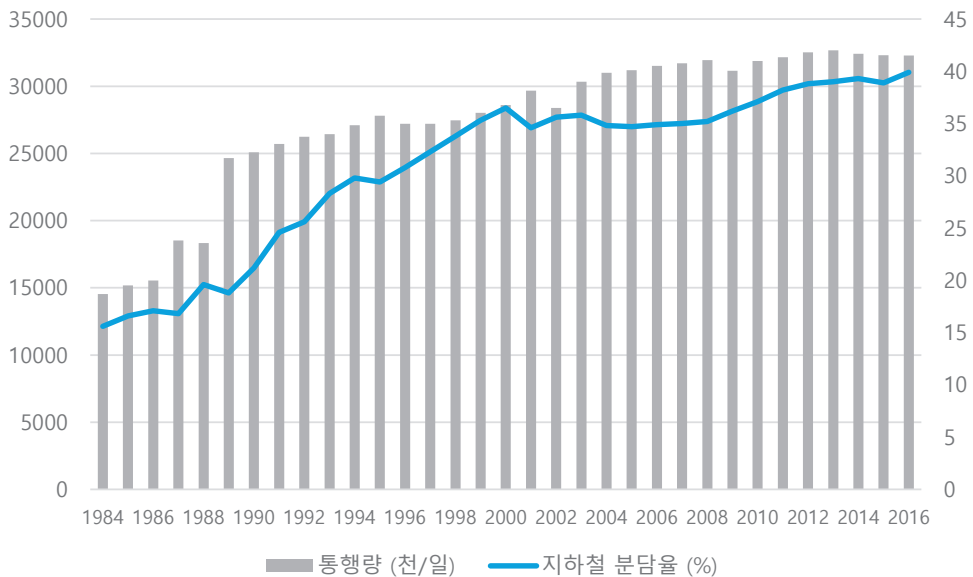


그림 1. 서울시 총 통행량 및 지하철 수송분담율  
 자료: 서울시 열린데이터광장, data.seoul.go.kr

### 3. 방법론

#### 1) 접근성

공간적 형평성을 측정하기 위해서는 먼저 지하철 네트워크를 통해 공급되는 자원(resources)이 무엇 인지를 정의해야한다. 자원은 대중교통을 통해 얻을 수 있는 혜택(benefits) 혹은 사회적 복리(social welfare)와 같은 성격을 가져야 한다(Ramjerdi, 2006). 따라서 대중교통 네트워크의 통과여부부터 노드의 상대적 지위까지 다양하게 자원을 정의할 수 있다. 본 연구에서 대중교통 네트워크가 사회적 으로 제공하는 주요 순기능은 접근성에서 나온다고 가정한다. 대중교통 네트워크가 형성되면 이용객들은 기존에는 비용, 거리, 시간 제약 등의 이유로 쉽게 갈 수 없었던 곳으로 이동할 수 있는 기회를 갖게 된다. 특히, 개인 이동수단을 갖추지 못한 경우 높지 않은 비용을 지불하고 접근가능한 장소가 많아지는 효과를 볼 수 있다(SEU, 2003; Lucas, 2006). 따라서 접근성은 교통의 긍정적 영향력을 측정하는 데에 매우 적합한 지표가 될 수 있으며 형평성과도 밀접한 관계를 맺고 있다(Martens 2012; Mavoa *et al.*, 2012).

접근성은 또한 교통, 도시계획, 지리학 분야에서 중요한 개념으로 받아들여지고 있으며 이에 대한 연구도 꾸준히 이뤄지고 있다. 지금까지 이뤄진 방대한 연구에서 접근성에 대한 통일된 정의를 찾기는 어려우나 접근성이 행위자가 원하는 곳까지 이동할 수 있는 능력과 이의 수월성(convenience)을 의미한다는 데에는 어느정도 의견이 일치되고 있다(Harris, 2001; Horner, 2004; 박종수· 이금숙, 2015). 본 연구에서는 지하철 네트워크의 접근성을 한 장소에서 다른 곳으로 이동의 수월성으로 정의하고 이를 이동시간으로 평가한다. 이 때 수월성은 이동에 소요되는 시간과 비용이 적게 들수록 더

높다고 볼 수 있다. 서울 내부의 대중교통 통행에서 금전적 비용은 크게 달라지지 않기 때문에 이동시간을 이용하여 수월성을 측정한다.

지하철 네트워크의 접근성은 역 간 이동시간을 이용해 계산되는데, 이 때 스마트카드에 기록된 실제 이동시간 데이터를 활용한다. 이동시간은 지하철을 이용하기 위해 역사에 들어가 스마트카드를 인식하여 내부로 진입한 때부터 다시 카드를 인식시키고 역사 밖으로 나가는 시각까지 걸린 시간을 의미한다. 각 역의 접근성은 아래 식 1과 같이 계산된다(이금숙 외, 2014).

$$A_i = B \sum_{j=1}^n 1/c_{ij} \quad (\text{식 1})$$

$A_i$ :  $i$  역의 시간접근성

$c_{ij}$ :  $i$  역에서  $j$  역까지의 시간거리

$B$ : 스케일 조정 상수

접근성은 지하철 역을 기준으로 계산되나 실제로 해당 역이 가지는 접근성은 주변지역에 영향을 미친다. 다르게 표현하면 접근성은 네트워크 상의 노드로 나타나지만 네트워크에 연계된 노드가 존재함으로써 발생하는 혜택은 주변지역에 미치게 된다. 이를 구체화한 개념이 역세권이다. 서울시의 경우 도시계획조례에서는 역세권을 승강장 중심점에서 반경 500m 이내로 정의하고 있다(김화환 외, 2017). 따라서 본 연구에서는 승강장에서 반경 500m를 역세권으로 설정하고 해당 역이 가진 접근성이 역세권 내에 영향력을 가진다고 간주한다.

각 역사별 접근성 값이 역세권으로 정의된 면에 적용되고 난 후에, 그 값을 다시 행정동의 값으로 전환한다. 이 과정은 네트워크의 성격으로 확인한 접근성 값이 거주, 혹은 경제 활동을 통해 지역에서 이를 이용하는 잠재적 이용자들에게 어떻게 배분되는지를 확인하기 위해 필요한 과정이다. 식 2는 역세권이 가지는 접근성 값이 행정동의 면적에 대비하여 수리적으로 반영되는 방법을 보여준다



(Currie, 2010; Song *et al.*, 2018).

$$Acc_i = \sum_{n=1}^n \left( \frac{Area_{C_n}}{Area_i} \times A_{C_n} \right) \quad (\text{식 2})$$

$Acc_i$ : 행정동  $i$ 의 접근성

$Area_i$ : 면적

$N$ : 행정동  $i$  내에 포함된 역세권 수

$C_n$ :  $n$  역사의 역세권

$A_{C_n}$ :  $n$  역사의 역세권에 해당하는 접근성 값

식 2를 이용하여 행정동으로 역세권 접근성을 반영할 때 역세권이 서로 겹치는 경우가 그림 2의 역사 1, 2처럼 존재하기도 한다. 이 때에는 통행 시간 가장 최적의 선택을 한다는 가정 하에 겹쳐진 값 중 최대값을 이용하여 해당 영역에 대한 접근성 값을 할당한다.

Newtens(2015)는 본 연구에서 사용하고 있는 배후지를 이용한 이단계 배후지 계산방식(two-step floating catchment area method)에 대해 세 가지 단점이 있다고 지적한다. 시간적으로 정적인 계산법이며 과대 추정의 가능성이 높고 수요가 공간 상에 고르게 분포한다는 가정이 현실과 맞지 않는다

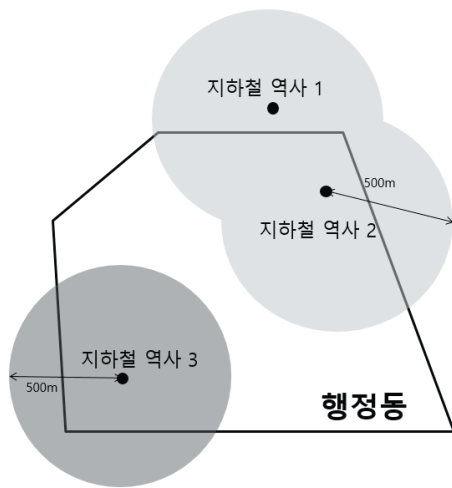


그림 2. 행정동별 접근성 산출 개념도

는 점이다. 본 연구는 접근성이 시간에 따라 동적으로 변화하는 모습을 추정하는 것에 목적을 두고 있지 않으며 네트워크 내에서의 시간거리만을 이용해 접근성을 산출하고 있기 때문에 첫번째 단점과는 거리가 있다. 또한 그림 2를 이용해 설명한 바와 같이 배후지 혹은 역세권이 서로 겹쳐지는 경우 그 중 큰 값을 취함으로써 이중집계의 위험을 피하고 있다. 하지만 공간적으로 수요가 동일하다는 가정은 본 연구도 동일하게 취하고 있다. 해당 지역에서 어느 정도가 지하철의 수혜를 보는 지를 단순히 비율로 계산하고 있기 때문에 지역 내 수요의 차이에 대한 고려는 불가능하며, 이는 본 연구의 기술적 한계로 남을 수 밖에 없다.

## 2) 형평성

특정 지역에 제공되는 대중교통 네트워크에 대한 접근성은 지역 내의 상대적 위치에 따라 달리 나타난다. 네트워크가 모든 지역에 동일한 밀도로 제공되지 않기 때문이다. 최근에는 이와 같은 교통자원의 공간적 불균등 배분에 대해 형평성의 개념을 적용하여 측정하고자 하는 시도가 많이 이뤄지고 있다. 교통에서 형평성에 대한 정의와 산출 방법에 대한 공통된 합의는 없으며 개별 연구자가 해당 연구의 맥락과 데이터 형태에 적용가능한 방식으로 분석을 실시하고 있다. 다양한 형평성 계산 방식은 그만큼 형평성에 대한 다양한 인식을 반영하고 있다. Ramjerdi(2006)은 교통 분야에 사용할 수 있는 형평성(혹은 비형평성) 지표를 정리하고 있다. 이 논문에 따르면 기초 통계로 자주 사용되는 분산에서부터 Theil의 엔트로피 지수까지 다양한 지표를 이용해 형평성을 수치화하는 것이 가능하다.

Ramjerdi가 언급한 여러가지 형평성 측정 지표 중 Gini 계수는 최근 대중교통 형평성에 관련된 실증연구에서 자주 사용되고 있다. Gini 계수는 경제학에서 자원배분의 불공평성을 측정하기

위해 Lorenz curve(Lorenz, 1905)를 이용해 구하는 지표이다. 최근의 실증연구들은 Gini 계수가 교통 자원 분배의 형평성을 측정하는 데에 유용한 지표가 될 수 있음을 증명하고 있다(Delbosc and Currie, 2011; Kaplan *et al.*, 2014; Song *et al.*, 2018). Gini 계수는 자원배분의 문제를 직접적으로 다룬다는 측면에서 교통자원의 형평성, 혹은 평등(equality)을 측정하는 데에 적절한 지표로 여겨진다. 하지만 개별 연구에서 산출된 하나의 Gini 계수의 값은 그 자체로 자원이 얼마나 공평하게 배분되었는지를 해석해내는 것이 어렵다. 특히 연구 목적에 따라 새롭게 자원과 인구가 정의되는 경우 절대적 수치를 기준으로 Gini 값의 높고 낮음을 판단하기는 사실 상 불가능하다. 하지만 동일한 기준으로 시계열 자료를 살펴거나 동일하게 정의한 자원과 인구를 대상으로 배분의 지역 간 차이를 확인할 때 유용하게 이용될 수 있다.

그림 3에서 나타나는 바와 같이 해당 구성원, 혹은 지역이 모두 동일한 비중으로 자원을 배분받게

되면 이상향의 직선 형태로 그래프가 나타나게 된다. 그러나 실제 자원배분은 이처럼 나타나지 않는 경우가 대부분이며 그 차이를 수치화한 것이 Gini 계수이다. 그림 2의 직선과 커브 사이의 넓이가 Gini 계수가 된다. 절대적 수준에서 자원이 늘어나는 것이 반드시 Gini 계수의 감소, 즉 보다 균등한 자원 배분을 의미하지 않는다. 이는 지속적으로 국가 GDP가 상승했지만 Gini 계수는 오히려 증가한 오늘날 여러 국가의 사례에서도 쉽게 찾아볼 수 있다(Piketty, 2014).

Gini 계수는 일반적으로 아래와 식과 같이 계산할 수 있다(Delbosc and Currie, 2011; Kaplan *et al.*, 2014):

$$G=1-\sum_{k=1}^k(X_k-X(k-1))(Y_k+Y(k-1)) \quad (\text{식 3})$$

$X_k$ : 인구 변수의 누계 비율

$Y_k$ : 자원(혹은 대중교통 관련) 변수의 누계 비율

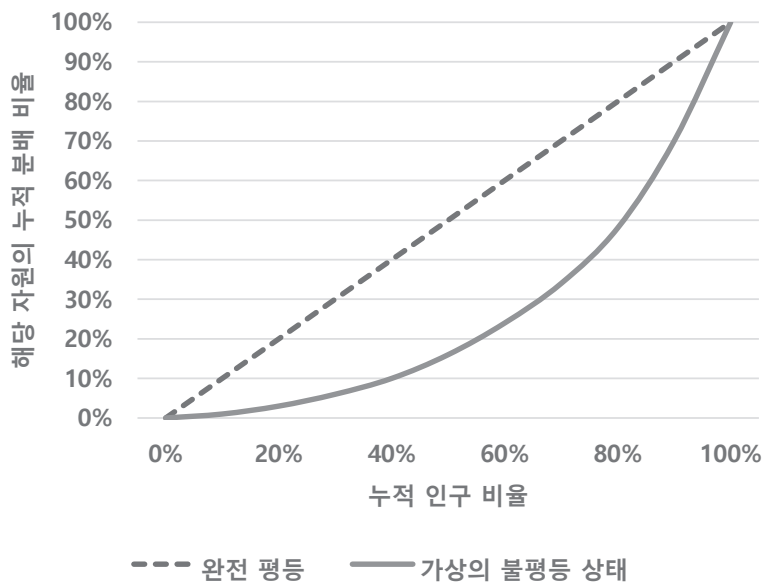


그림 3. 로렌츠 곡선

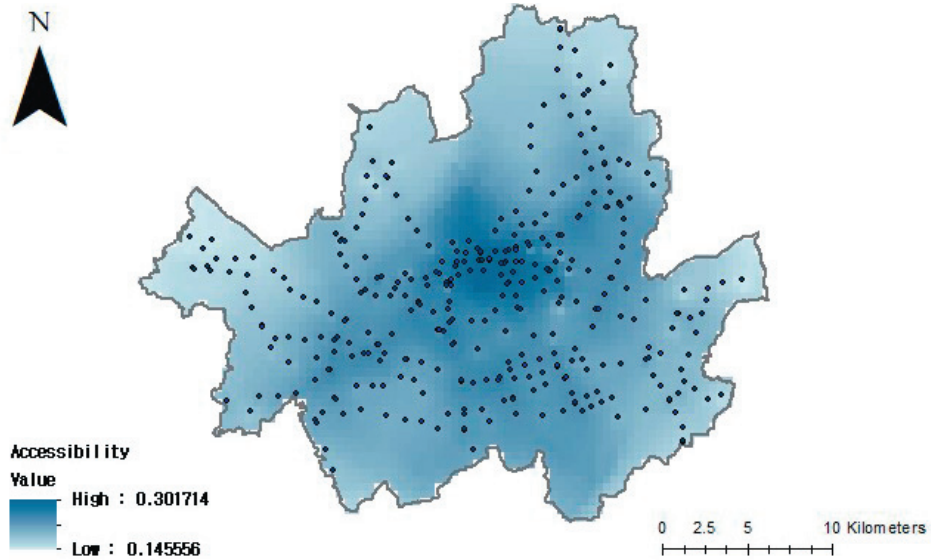


그림 4. 서울시 지하철 접근성 분포

#### 4. 분석결과

그림 4는 서울시 지하철 접근성을 보여주고 있다. 접근성은 지하철 역사별로 산출되기 때문에 점 단위로 결과값이 존재한다. 점 데이터는 거리에 반비례하여 가중치를 두고 면 데이터로 바꿔주는 역거리가중치(IDW, Inverse Distance Weight) 보간법을 이용하여 지도로 표현하였다. 그림 4에서 보여지는 공간적 패턴은 물리적 거리를 이용해 지하철 접근성을 산출한 연구에서도 유사하게 나타났다(Kim and Song, 2018). 이는 물리적 거리를 이용해 구한 접근성과 실제 이동시간을 이용해 구한 접근성이 서로 유사한 값을 가진다는 것을 의미한다.

시간거리로 산출한 접근성은 중심부의 접근성이 높게 나타나며 외곽으로 갈수록 접근성이 떨어지는 것으로 나타난다. 특히 가장 먼저 지하철이 개통된 도심지역의 경우 가장 높은 수준의 접근성을 보였으며, 영등포와 강남 일대에서 접근성이 높게 나타나고 있었다. 이는 초기 건설된 지하철을 중심으로

노선을 확대해 나간 네트워크 확장 방식으로 인한 결과로 해석할 수 있다(Song and Kim, 2015). 기존 지하철 네트워크에 추가로 노선을 연결하게 되면서 기존에 운영 중인 지하철 역을 중심으로 접근성이 높아지게 되는 것이다. 따라서 도심부에 최초로 노선이 건설되고 이를 지나는 노선이 뻗어나간 서울시의 경우 도심부에서 높은 수준의 접근성을 확인할 수 있게 된다. 또한 이러한 패턴은 세계 지하철 네트워크를 대상으로 한 연구에서 대부분의 성숙한 지하철 네트워크의 경우에 나타나는 현상으로 알려져 있다(Roth *et al.*, 2012).

대중교통의 공정한 분배를 확인하기 위해 Gini 계수를 구할 때에는 적절한 분배 대상을 정하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 잠재적 지하철 이용자들, 지하철의 이용 목적을 고려할 때 일반 시민 그리고 산업종사자, 그리고 지하철을 이용할 가능성이 높은 계층을 대상으로 분배를 확인하는 것이 필요하다고 판단하였다(Delbosc and Currie, 2011; Song *et al.*, 2018). 대중교통을 적극적으로 이용하



표 1. 수도권 자가용 자동차 등록 대수 (2015년 1월 기준)

	남성	여성	총합
10대 이하	4663 (0.07)	2464 (0.04)	7127 (0.10)
20대	88450 (1.30)	42488 (0.62)	130938 (1.92)
30대	952949 (14.01)	325251 (4.78)	1278200 (18.79)
40대	1555963 (22.87)	511198 (7.51)	2067161 (30.39)
50대	1477404 (21.72)	478671 (7.04)	1956075 (28.76)
60대	779464 (11.46)	211839 (3.11)	991303 (14.57)
70대 이상	294381 (4.33)	77298 (1.14)	371679 (5.46)
총합	5153274 (75.76)	1649209 (24.24)	6802483 (100)

자료: 국토교통부 자동차등록 현황보고

는 계층을 추정하기 위해 자동차등록 자료를 확인하였다(Song *et al.*, 2018). 자동차를 등록한 사람이 반드시 해당 자동차를 이용한다는 것을 의미하지는 않지만 자동차에 대한 유의미한 접근성을 가지기 때문에 이를 이용할 확률이 더 높다고 판단할 수 있다.

법인 및 사업자 차량을 제외한 자동차등록 자료를 연령과 성별로 구분했을 때 여성보다는 남성이 자가용을 더 많이 이용할 수 있으며 30대에서 50대 사이의 연령층에 등록자들이 집중되어 있음을 확인할 수 있다(표 1). 이를 통해 수도권에서 여성, 청년, 노년층이 상대되는 인구 집단에 비해 대중교통에 대한 접근성을 더 필요로 한다고 가정할 수 있다.

LeRoy and Sonstelie(1983)와 Glaeser *et al.* (2008)은 소득수준과 대중교통 이용에 밀접한 관련이 있다고 주장하였다. 이들은 저소득층이 대중교통에 의존적임을 실증적으로 보여주었다. 행정 단위 별 소득수준은 본 연구에서 이용한 지표를 구하는 데에 사용될 수 없기 때문에 접근성과 행정동의 소득수준<sup>1)</sup>과의 상관관계를 확인하였다. 하지만 이 둘 사이에서 통계적으로 유의미한 관계를 확인할 수는 없었다. 이는 앞에서 확인한 바와 같이 서울시 지하철 네트워크가 도심을 중심으로 높은 접근성을 보이고 있기 때문으로 설명할 수 있다. 대안으로 소

득분포와 행정동 내의 지하철 접근성 존재 유무를 살펴보면 지하철 네트워크에서 완전히 소외된 지역의 경제적 수준을 살펴볼 수 있다. 지하철이 서울시 곳곳을 광범위하게 연결하고 있으나 10%에 해당하는 42개 동은 접근성이 전혀 없는 것으로 나타나고 있다. 지하철 접근성이 0으로 산출된 곳은 행정동 내에 지하철 역사가 부재하다는 것과 동시에 주변 행정동에 위치한 역의 역세권에도 포함되지 않는다는 것을 의미한다. 지하철에 대한 접근이 전혀 불가능하다는 의미는 아니지만 제약적 이용만이 가능한 지역으로 볼 수 있다. 지하철에 대한 직접적인 접근이 가능한 곳과 불가능한 곳 사이의 월 평균 소득을 비교하면 가능한 행정동의 소득 수준이 유의미한 수준에서 더 높게 나타났다(표 2). 이러한 결과는 지하철 이용이 불편한 곳은 경제적으로 소외된 계층

표 2. 행정동의 지하철 접근성 유무와 소득수준

그룹	행정동 수	월 평균 소득 (원)	표준편차
직접 접근 불가	42	3579669	131259.8
직접 접근 가능	382	4406697	111529.5
전체	424	4324774	101998.5

t=-2.4363 (p-value=0.0152)

이 많이 거주하는 곳으로 볼 수 있음을 보여준다.

총인구와 산업종사자수, 여성, 청년, 노년 인구를 대상으로 지하철 네트워크의 공간적 형평성을 확인하였다. 각 역사의 접근성 수치에 식 2를 적용하여 행정동의 접근성 수치를 산출하였고, 이에 인구통계자료와 식 3을 다시 대입하여 Gini 계수를 구하였다. 동 단위로 산출하는 Gini 계수가 0이 되는 완전 평등 상태는 각 동의 대상 인구와 대중교통 자원으로 정의된 접근성이 동일한 비중으로 배분되었음을 의미한다. 이상적 상태로 가정한 완전 평등 상태와 현실 사이의 간극이 커질수록 Gini 값을 커지게 된다. 표 3은 인구 집단 별로 계산한 Gini 계수를 보여주고 있다.

산업종사자수의 지표는 다른 집단에 대한 결과값보다 더 낮은 수치를 보여주고 있어 서울시의 지하철 네트워크가 주거 분포보다는 산업종사자들을 대상으로 했을 때 보다 공평하게 분포하고 있음을 보여준다. 이는 Song *et al.*(2018)은 광주광역시의 버스와 지하철을 모두 이용하여 Gini 계수를 구하였는데 인구 분포에 대한 결과값이 산업종사자를 이용한 경우보다 더 낮게 나온 것과 대비되는 결과이

다. 하지만 해당 연구에서 지하철의 네트워크 확장을 적용했을 때 Gini 계수가 작아지는 폭은 산업종사자를 대상으로 한 쪽이 1.75배 컸다. 이러한 결과로 볼 때 지하철은 버스에 비해 고용이 활발한 지역을 중심으로 더 발달함을 확인할 수 있다.

대중교통에 더 의존적인 인구집단으로 활용된 여성, 청년, 노년인구의 경우 총인구 대비 Gini 계수가 작게 나와 이들에 대한 지하철 분포 형평성이 전체 인구에 대한 것보다는 작은 폭이나마 보다 공평하게 분배되었음을 확인할 수 있었다. 하지만 그 차이는 그리 크지 않아 노선 선정 시에 이들에 대한 사회적 배려가 크지 않았음을 추정할 수 있다. 조대현(2014)은 버스와 지하철의 서비스 수준과 고령일인가구 분포를 이용하여 서울시 고령일인가구 분포와 대중교통 접근성 간에 체계적 상관성은 찾아보기 힘들다고 결론지었다. 즉, 서울시 전반으로 볼 때 고령일인가구가 특별히 낮은 수준 혹은 높은 수준의 대중교통 접근성을 갖고 있지는 않다는 것이다. 해당 연구와는 연구 범위와 자료에서 차이가 있으나 노년인구를 분배대상으로 한 Gini 계수가 총인구 대비 값과 크게 다르지 않다는 점에서 유사성을 찾을 수 있다.

표 3. Gini 계수

분배 대상*	Gini 계수
총인구 (10,297,138)	0.4723
여성인구 (5,233,588)	0.4718
청년인구** (2,088,207)	0.4686
노년인구*** (1,267,563)	0.4709
청년 + 노년인구 (3,355,770)	0.4695
산업종사자수 (5,108,828)	0.3925
총인구 + 산업종사자수 (15,405,966****)	0.4459

\* 괄호 속은 해당 인구를 나타냄

\*\* 15세 이상 30세 미만<sup>2)</sup>

\*\*\* 서울 지하철의 경우 65세 이상 무료로 승차할 수 있기 때문에 노년인구는 65세 이상 인구를 집계함

\*\*\*\* 총인구와 종사자수를 합한 값으로 이중 계상을 통해 서울시 전체인구보다 더 큰 값을 나타냄

## 5. 결론

지하철 네트워크가 제공하는 자원, 혜택을 접근성으로 정의하고 이의 공간적 분포를 통해 형평성을 도출해냈다. 시간거리로 산출한 접근성은 도시 중심부에서 접근성이 높게 나타나며 외곽으로 갈수록 접근성이 떨어졌다. 특히 가장 먼저 지하철이 개통된 영등포와 강남과 같은 도시 중심부의 경우 가장 높은 수준의 접근성을 보였다. 지하철로 인한 혜택이 공간적으로 공평하게 분배되어 있는지를 살피기 위해 인구 집단에 따른 Gini 계수를 산출하였

다. 그 결과, 지하철 네트워크는 인구 및 대중교통 의존 계층의 공간 분포보다 고용자 분포를 고려해 보았을 때 보다 공평하게 배분되어 있음을 알 수 있었다.

본 연구에서 정의한 접근성은 실제 이용자들의 데이터를 바탕으로 계산되어 실현된 접근성이다. 따라서 이를 이용해 구한 형평성 또한 기존 연구에 비해 현실을 반영하고 있다고 볼 수 있다. 또한 전체 인구만이 아니라 인구 집단을 구분하여 대중교통에 보다 의존적인 계층과의 관계를 살핍으로써 수평적 형평성과 함께 수직적 형평성을 논하고 있다. 이러한 점들은 서울과 수도권을 대상으로 한 연구에서 아직까지 자주 시도되지 않은 방식의 접근으로 향후 연구 및 정책 마련에 시사점이 크다고 할 수 있다. 하지만 실제로 대중교통을 이용해 이동하는 것은 개인이라는 점을 볼 때 행정 구역 단위로 접근성과 형평성을 바라보고 있다는 점은 여전히 한계로 남는다.

주

1) 행정동의 소득수준을 파악하기 위해 가구통행실태조사의 원자료에서 피설문자는 1에서부터 6번까지 주어진 소득 구간에 대해 본인 가구의 소득 수준을 밝히도록 되어있다. 이 구간은 1) 100만원 미만 2) 100~200만원 미만 3) 200~300만원 미만 4) 300~500만원 미만 5) 500~1000만원 미만, 그리고 6) 1000만원 이상으로 주어져 있다. 개별 가구의 소득은 각 소득 구간 내에 가구 소득은 균등하게 분포한다고 가정하고 해당 범위 내에서 난수를 발생시켰다. 최대 소득 범위가 없는 6번 구간의 경우 2014년 도시가구 전체 월평균 소득인 4,365,636원을 목표 평균으로 적용하여 전체 추정치의 평균이 도시가구 월평균 소득이 되도록 6번 구간의 소득수준을 계산하였다. 하지만 6번으로 응답한 가구의 추정치는 다른 구간에 비해 정확도가 떨어질 수 있기 때문에 이를 제외하고 t-test를 진행하였고, 그 결과는 아래 표 4와 같다. 그리고 6번 구간을 제외했을 때에도 지하철이 없는 행정동의 소득이 지하철이 놓여있는 행정동과 통계적으로

유의미한 수준에서 낮은 것으로 나타났다.

표 4. 행정동의 지하철 접근성 유무와 소득수준: 그룹 6 제외의 경우

그룹	행정동 수	월 평균 소득*	표준편차
직접 접근 불가	42	2863170	74538.4
직접 접근 가능	382	3129097	37406.32
전체	424	3102755	34694.74

t=-2.3013(p-value=0.0219)

2) 청년인구를 15세에서 30세 미만으로 정의한 것은 표 1에 나타난 바와 같이 30대에 들어서면서 자동차를 구매하는 비중이 높아지기 때문에 30대 이전에 대중교통 이용 확률이 높기 때문이다. 또한 10대 초반까지의 아동, 청소년은 활동반경이 넓지 않고 대중교통 수단을 혼자, 자발적으로 이용하는 빈도가 낮기 때문에 15세를 청년의 하한선으로 정하였다. 즉, 본 논문에서는 대중교통 이동 빈도가 높을 것으로 추정되는 시기의 청년을 활동반경 및 자동차 구매 가능성을 기준으로 청년인구를 정의하였다.

참고문헌

김화환·박성필·송예나, 2017, “도시철도 네트워크와 아파트 가격의 상관관계: 국내 지방 광역시 사례연구,” 대한지리학회지 52(5), pp.595-607.

노시학, 1996, “도시교통의 사회적 영향,” 한국지역지리학회지 2(2), pp.37-47.

노시학, 2007, “교통이 사회적 배제에 미치는 영향,” 국토지리학회지 41(4), pp.457-467.

노시학, 2014, “교통의 사회적 영향에 관한 이론적 고찰: 형평성과 사회적 배제 개념을 중심으로,” 교통연구 21(4), pp.67-86.

박중수·이금숙, 2015, “교통카드 빅데이터 기반의 서울 버스 교통망 시간거리 접근성 산출,” 한국경제지리학회지 18(4), pp.539-555.

박중수·이금숙, 2018, “서울 대도시권 통합 대중 교통망에서 연도별 및 요일별 시간거리 접근도 변화,” 한국경제지리학회지 21(4), pp.335-349.

변미영·이원도·문주백·조창현, 2013, “교통인프라와 통행행태를 기반으로 한 통합적 형평성 분석: 경기도를 중심으로,” 대한교통학회지 31(4), pp.47-57.

- 이금숙·박중수·정미선, 2014, “수도권 광역철도망 확충에 따른 서울 대도시권 접근도 변화: 교통카드 빅데이터를 이용한 시간거리 산출 알고리즘 및 비고정성 교통망 접근도 산출 모형의 개발과 적용,” *한국경제지리학회지* 17(1), pp.98-113.
- 이원도·나유경·박시현·이백진·조창현, 2012, “수도권 가구통행 조사를 바탕으로 한 교통 형평성 분석,” *한국도시지리학회지* 15(1), pp.75-86.
- 이호준·하재현·이수기, 2017, “스마트카드 자료를 활용한 서울시 대중교통 서비스 형평성 분석: 취약계층 유형별 이동성을 중심으로,” *지역연구* 33(3), pp.101-113.
- 조대현, 2014, “서울의 고령일인가구 분포와 대중교통 접근성,” *한국도시지리학회지* 17(2), pp.119-136.
- Bettencourt, L. M., Lobo, J., Helbing, K., Kühnert, C. and West, G. B., 2007, “Growth, innovation, scaling, and the pace of life in cities,” *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104(17), pp.7301-7306.
- Currie, G., 2010, “Quantifying spatial gaps in public transport supply based on social needs,” *Journal of Transport Geography* 18, pp.31-41.
- Delbosc, A. and Currie, G., 2011, “Using Lorenz curves to assess public transport equity,” *Journal of Transport Geography* 19, pp.1252-1259.
- Glaeser, E., Kahn, M. E. and Rappaport, J., 2008, “Why do the poor live in cities? The role of public transportation,” *Journal of Urban Economics* 63, pp.1-24.
- Harris, B., 2001, “Accessibility: concepts and applications,” *Journal of Transportation and Statistics* 4(3), pp.15-30.
- Horner, M. W., 2004, “Spatial dimensions of urban commuting: a review of major issues and their implications for future geographic research,” *The Professional Geographer* 56, pp.160-173.
- Kaplan, S., Popoks, D., Prato, C. G. and Ceder, A., 2014, “Using connectivity for measuring equity in transit provision,” *Journal of Transport Geography* 37, pp.82-92.
- Kim, H. and Song, Y., 2018, “An integrated measure of accessibility and reliability of mass transit systems,” *Transportation* 45(4), pp.1075-1100.
- Lakshmanan, T. R., Anderson, W. P. and Song, Y., 2016, *Knowledge economy in the Megalopolis: interactions of innovations in transport, information, production and organization*, Oxford: Routledge.
- LeRoy S. and Sonstelie, J., 1983, “Paradise lost and regained: transportation innovation, income and residential location,” *Journal of Urban Economics* 13, pp.301-310.
- Litman, T., 2017, *Evaluating transportation equity: guidance for incorporating distributional impacts in transportation planning*, British Columbia: Victoria Transport Policy Institute.
- Lorenz, M. O., 1905, “Methods of measuring the concentration of wealth,” *Publications of the American Statistical Association* 9, pp.209-219.
- Lucas, K., 2006, “Providing transport for social inclusion within a framework for environmental justice in the UK,” *Transportation Research A* 40, pp.801-809.
- Lucas, K., Van Wee, B. and Maat, K., 2016, “A method to evaluate equitable accessibility: combining ethical theories and accessibility-based approaches,” *Transportation* 43(3), pp.473-490.
- Martens, K., 2012, “Justice in transport as justice in accessibility: applying Walter’s ‘Spheres of Justice’ to the transport sector,” *Transportation* 39(6), pp.1035-1053.
- Mavoa, S., Witten, K., McCreanor, T. and O’Sullivan, D., 2012, “GIS based destination accessibility via public transit and walking in Auckland, New Zealand,” *Journal of Transport Geography* 20(1), pp.15-22.
- McIntosh, J., Trubka, R., Kenworthy, J. and Newman, P., 2014, “The role of urban form and transit in city car dependence: analysis of 26 global cities from 1960 to 2000,” *Transportation Research Part D* 33, pp.95-110.
- Neutens, T., 2015, “Accessibility, equity and health care: review and research directions for transport geographers,” *Journal of Transport Geography* 43, pp.14-27.

- Niedzielski, M. A. and Malecki, E. J., 2012, "Making tracks: rail networks in world cities," *Annals of the Associations of American Geographers* 102(6), pp. 1409-1431.
- Paulley, N., Balcombe, R., Mackett, R., Titheridge, H., Preston, J., Wardman, M., Shires, J. and White, P., 2006, "The demand for public transport: the effects of fares, quality of service, income and car ownership," *Transport Policy* 13(4), pp.295-306.
- Pereira, R. H. M., Schwanen, T. and Banister, D., 2017, "Distributive justice and equity in transportation," *Transportation Review* 37(2), pp.170-191.
- Piketty, T., 2014, *Capital in the twenty-first century*, Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Ramjerdi, F., 2006, "Equity measures and their performance in transportation," *Transportation Research Record* 1983, pp.67-74.
- Roth, C., Kang, S.M., Batty, M. and Barthelemy, M., 2012, "A long-time limit for world subway networks," *Journal of the Royal Society Interface* 9(75), pp.2540-2550.
- Santos, G., Maoh, H., Potoglou, D. and Von Brunn, T., 2013, "Factors influencing modal split of commuting journeys in medium-size European cities," *Journal of Transport Geography* 30, pp.127-137.
- Sen, A., 2009, *The idea of justice*, Cambridge, MA: Harvard University Press.
- SEU, 2003, *Making the connections: final report on transport and social exclusion*, London: Social Exclusion Unit.
- Song, Y. and Kim, H., 2015, "Evolution of subway network systems, subway accessibility, and change of urban landscape: a longitudinal approach to Seoul Metropolitan Area," *International Journal of Applied Geospatial Research* 6(2), pp.53-76.
- Song, Y., Kim, H. and Lee, K., 2018, "Subway network expansion and transit equity: a case study of Gwangju metropolitan area, South Korea," *Transport Policy* 72, pp.148-158.
- Wener, R. E. and Evans, G. W., 2007, "A morning stroll, levels of physical activity in car and mass transit commuting," *Environment and Behavior* 39(1), pp.62-74.
- Van Wee, B. and Geurs, K., 2011, "Discussing equity and social exclusion in accessibility evaluations," *European Journal of Transport and Infrastructure Research* 11(4), pp.350-367.
- 교신: 송예나, 61186, 광주광역시 북구 용봉로 77 사회과학대학 지리학과, 전화: 062-530-2682, 이메일: Y.Song@chonnam.ac.kr
- Correspondence: Yena Song, 61186, Department of Geography, College of Social Sciences, 77 Yongbong-ro, Buk-gu, Gwangju, Korea, Tel: 062-530-2682, Email: Y.Song@chonnam.ac.kr
- 최초투고일 2019년 11월 13일  
수정일 2019년 12월 3일  
최종접수일 2019년 12월 9일