

서울 대도시권 통합 대중 교통망에서 연도별 및 요일별 시간거리 접근도 변화

박종수* · 이금숙**

Changes of Time-Distance Accessibility by Year and Day in the Integrated Seoul Metropolitan Public Transportation Network

Jong Soo Park* · Keumsook Lee**

요약 : 본 연구의 목적은 시간이 경과하면서 통행속도와 같은 교통환경에 나타나는 변화가 대중교통이용자의 시간 거리 접근성에 미치는 영향을 분석하는 것이다. 이를 위하여 서울대도시권 대중교통체계의 3개년(2011년, 2013년, 2015년)의 각각 1주일치 통행기록을 담은 교통카드 데이터를 활용한다. 교통카드빅데이터에는 대중교통이용자들의 통행계획에 대한 시·공간 정보가 담겨 있다. 본 연구에서는 교통카드 자료의 통행시간을 토대로 각 시점의 대중교통 체계를 구성하고 있는 지하철 역 및 버스 정류장들 사이의 링크들의 시간거리를 산출한다. 실험 결과로 얻어진 통합 교통망에서 접근도 변화는 두 가지 관점으로 요약할 수 있다. 첫째, 해가 지날수록 접근도는 떨어지는 경향이 있다. 교통망이 더 복잡해짐으로 차량의 이동 속도가 저하되기 때문이다. 둘째, 요일별 접근도 변화 분석에서 주말에 접근도가 높아지는 경향이 있다. 이것은 버스노선들 상의 버스 속도가 주말에 빨라지기 때문이다. 접근도 변화의 분석을 위해 연도별과 요일별 차량속도와 승객수를 그래프로 설명한다.

주요어 : 서울 대도시권 통합 대중 교통망, 교통카드 빅데이터, 실제 통행시간, 교통환경, 시간거리 접근도 변화

Abstract : This study analyzes the effect of the changes in traffic environments such as transportation speeds on the time-distance accessibility for the public transportation passengers. To do this, we use passenger transaction databases of the Seoul metropolitan public transportation system: one week for each of the three years (2011, 2013, and 2015). These big data contain the information about time and space on the traffic trajectories of every passenger. In this study, the time-distances of links between subway stations and bus stops of the public transportation system at each time are calculated based on the actual travel time extracted from the traffic-card transaction database. The changes in the time-distance accessibility of the integrated transportation network from the experimental results can be summarized in two aspects. First, the accessibility tends to decline as the year goes by. This is because the transportation network becomes more complicated and then the average moving speed of the vehicles is lowered. Sec-

이 논문은 2016년도 성신여자대학교 학술연구조성비 지원에 의하여 연구되었음.

* 성신여자대학교 정보시스템공학과 교수(Professor, Department of Information Systems Engineering, Sungshin Women's University, jpark@sungshin.ac.kr)

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

ond, the accessibility tends to increase on the weekend in the analysis of accessibility changes by day. This tendency is because the bus speeds on bus routes on the weekend are faster than other days. In order to analyze the accessibility changes, we illustrate graphs of the vehicle speeds and the numbers of passengers by year and day.

Key Words : the Integrated Seoul Metropolitan Public Transportation Network, T-card Big Data, real traveled time, travel environment, changes in the time-distance accessibility

1. 서론

날로 심각해지고 있는 기후변화와 대기오염문제에 직면하여 지속가능성이 강조되는 오늘날의 도시에서는 도시민의 통행수요를 신속하고 효율적으로 만족시킬 수 있는 대중교통체계의 구축에 관심이 모아지고 있다(Miller *et al.*, 2016). 우리나라 인구의 절반 정도가 거주하며 다양한 도시기능이 밀집되어 있는 수도권 지역에서도 1974년 1호선 개통을 시작으로 지속적으로 지하철 노선 및 버스노선을 확충하고 운영체계를 개선하는 등 대중교통체계 개선을 위해 많은 노력을 기울여 오고 있다(이금숙 외, 2014). 그러나 이러한 노력에도 불구하고 시민들이 체감하는 교통상황은 여전히 힘들며 일상생활과 관련된 활동장소로의 접근성도 그다지 개선되었다고 느끼지 못하는 실정이다.

본 연구의 목적은 시간이 경과하면서 교통환경이나 통행수요에 나타나는 변화가 대중교통이용자의 시간거리 접근성에 미치는 영향을 분석하는 것이다. 이를 위하여 서울대도시권 대중교통체계의 3개년(2011년, 2013년, 2015년)의 각각 1주일치 통행기록 빅데이터를 활용한다. 서울대도시권 대중교통체계는 도시 총통행량의 2/3 이상을 분담하는 수도권 교통의 중추 역할을 담당하고 있으며 교통카드 데이터베이스에는 대중교통이용자들의 통행궤적에 대한 시·공간 정보가 담겨 있다. 본 연구에서는 교통카드 자료의 실제 통행에 걸린 통행시간을 토대

로 각 시점의 대중교통체계를 구성하고 있는 지하철 역 및 버스 정류장 들 간의 시간거리를 산출하고 이를 바탕으로 시간거리 접근성을 산출하는 방법론을 제시한다.

접근성의 개념과 측정치는 연구자와 연구 목적에 따라 상당히 다양하게 채택되어 왔다. 하지만 지표 공간에서 이동성에 기반을 둔 접근성 측정에 있어 지점 간의 거리는 핵심적 요소이다(Hansen, 1959; Handy and Niemeier, 1997). 접근성 측정에 적용해 온 지점 간의 거리는 교통망의 특성과 연구목적에 따라 교통로의 물리적 거리, 경로거리, 시간거리, 비용거리 등 다양하다(Lee and Lee, 1998; 이금숙 등, 2014). 그중 도시민의 통행과 토지이용에 가장 큰 영향을 미치는 시간거리는 접근성 측정에 빈번히 사용되어 왔다(김소연·이금숙, 2006; 이금숙 등, 2010; 2014; 박중수·이금숙, 2015; 2017). 이제까지 연구에서 시간거리를 적용할 경우 주어진 교통망에서 일정한 속도로 이동한다는 가정 하에 고정된 시간거리를 적용해 왔다.

그러나 실제계의 교통환경은 고정되어 있는 것이 아니라 장소와 시점에 따라 변화한다. 주어진 교통망 상의 두 지점 사이의 실제 걸리는 시간거리는 그 시점의 통행수요에 따른 교통체증이나 운영 스케줄 등에 따라 달라질 수 있다. 이러한 요인들은 개인들의 통행이나 활동 참여 등에 심각한 제한요인으로 작용할 수 있다(Wu and Miller, 2002). 그러므로 주어진 교통망 상의 시간거리 접근성은 각 시점의 교통환경과 통행수요 등이 반영된 실제 통행에 걸린

시간거리가 반영되어 측정되어야 한다. 시점에 따라 변화하는 시간거리 접근성은 시공간적 역학관계를 효과적으로 기술할 수 있으므로 좀 더 의미있을 뿐 아니라 좀 더 현실적이고 정확한 교통 및 도시의 계획과 정책입안에 유용하게 활용될 수 있다(Li *et al.*, 2011).

최근 정보통신기술의 발달과 확산으로 개인들의 이동에 대한 시공간 정보가 축적되면서 이러한 빅 데이터들을 이용하여 이동하는 사람에 따라, 또는 이동 시점이나 장소에 따라 달라지는 시간거리를 바탕으로 하는 동적 접근성(dynamic accessibility) 개념이 소개되고 있다(Wu and Miller, 2002; Li *et al.*, 2011; Moya-Gómez and García-Palomares, 2017). 특히 교통망 상의 교통체증현상이나 목적지의 유입 등의 조건 변화로 나타나는 시간거리에 변동성이 동적 접근성에 미치는 역할을 밝히려는 연구가 시도되고 있다(Moya-Gómez and García-Palomares, 2015; 2017). 그러나 이러한 연구들은 변동성을 보이는 실제 통행에 소요된 시간거리 대신 이동하는 자동차들의 속도를 이용하거나(van Lint, 2006; 2009; Li *et al.*, 2011) 이동통신 자료와 Google Maps API에 의해 산출한 지점 간의 시간거리를 적용하고 있다(Wang and Xu, 2011; Moya-Gómez and García-Palomares, 2017).

본 연구에서는 접근성을 좀 더 실제에 가깝게 산출하기 위하여 통행자들의 실제 통행기록을 담은 교통카드데이터에서 지점간 통행에 걸린 실제 통행 시간을 바탕으로 시간거리를 산출하였다. 본 연구에서는 서울시내 버스 교통망과 수도권 지하철 교통망을 합한 통합 교통망에 있는 버스정류장 또는 지하철역의 접근도를 연도별 및 요일별로 계산한 결과를 분석하였다. 2장에서는 주어진 교통망에서 시간거리 접근도의 정의를 설명하고 노드수가 증가하거나 시간거리가 변하는 간단한 교통망에서 접근도의 특성을 분석하고 접근도의 변화를 추정할 수 있게 한다. 3장에서는 서울 시내버스 교통망과 수도

권 지하철 교통망에서 접근도를 구하는 알고리즘에 대해 설명한다. 4장에서는 2011년, 2013년, 2015년도 각 1주일 교통카드 트랜잭션 데이터베이스에서 얻어진 접근도에 대해 여러 결과를 보여주고 그 접근도의 변화를 분석한다. 5장에서는 본 논문의 연구 결과를 정리하고 결론을 맺고 추후 연구 방향을 제안한다.

2. 시간거리 접근도

서울 시내 대중교통망은 노드들과 링크들로 구성되는데, 노드는 버스노선상의 버스정류장 또는 지하철 노선상의 지하철역에 해당되고 링크는 버스노선에서 노드와 노드 사이의 연결선과 지하철 노선에서 노드와 노드 사이의 연결선을 의미한다. 인접한 버스정류장과 지하철역은 승객이 도보로 이동하는 링크로 연결하면 서울 시내버스 시스템과 수도권 지하철 시스템이 하나의 통합 교통망을 이루게 된다. 통합 교통망에서 시간거리 접근성을 계산하려면 각 링크의 가중치로 시간거리에 해당되는 값이 정의되어 있어야 한다. 본 논문에서는 각 링크의 가중치는 링크를 연결하는 두 노드 사이의 이동시간으로 한다. 시내버스 노선과 지하철 노선 상에 있는 링크의 이동시간은 교통망에서 승객들의 교통카드 트랜잭션 데이터베이스에서 계산으로 추출하고, 승객이 도보로 이동하여 연결된 링크의 가중치는 두 정거장 간에 승객들의 평균 속도로 이동한 시간으로 한다. 대중교통의 버스 노선이 조정되거나 새로운 지하철 노선 또는 버스 노선의 신설 등으로 교통망 자체가 변화할 수 있으므로 이러한 변동 교통망에도 적용할 수 있도록 접근성 계산모형으로 다음 (식 1)과 같이 노드 i 의 접근도 공식을 적용한다(박중수·이금숙, 2015; 박중수·이금숙, 2017).

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

c_{ij} 는 노드 i 에서 노드 j 로 이동한 시간을 비용으로 고려한 값을 적용한다. 버스 노선이나 지하철 노선에 따라 연결된 링크로 구성된 대중 교통망에서 최단 시간거리 알고리즘을 적용하면 모든 노드들 사이에 최단 시간거리가 계산되고, 노드들 사이의 최단 시간거리 값을 c_{ij} 의 값을 적용하여 식 (1)을 계산한다(박종수·이금숙, 2015; 박종수·이금숙, 2017). 본 논문에서 B 의 값은 1로 두어 계산한다.

한 버스 정류장이나 지하철역에 해당되는 각 노드의 접근도 A_i 는 노드들의 개수 n 이 증가하면 그 값이 커지는 특성을 갖고 있다. 대중 교통망에서 노드들의 개수 n 이 커지면 식 (1)에 의해서 한 노드의 접근도인 A_i 의 값도 커지게 된다. 두 개의 교통망의 접근도를 비교한다고 하면, 교통망에 속한 노드들의 개수가 달라서 계산 결과인 접근도의 단순 비교로는 어느 교통망의 접근도가 좋은 지를 쉽게 구별할 수 없게 된다. 이런 문제를 해결하려면 각 교통망의 평균 접근도를 계산하여 직접적으로 두 개의 교통망을 비교하게 한다. 그러므로 한 교통망의 접근도를 전체적으로 해석하기 위해 평균 접근도 A_{mean} 은 다음 (식 2)로 정의한다(박종수·이금숙, 2017).

$$A_{mean} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i \quad (\text{식 2})$$

(식 1)과 (식 2)의 접근도 결과는 그 값이 크면 접근도가 좋다는 것을 의미한다. 이 값들은 공식에 의한 개념적인 값이기 때문에 접근도의 상대적인 비교에 의해서만 그 값을 이해할 수 있다. 이런 상대적인 비교를 보완하는 방법으로 한 노드에서 모든 다른 노드들로 이동하는 시간들을 합하고 평균한 값으로 평균 이동 시간을 얻을 수 있다. 이 값은 절대적인 값으로 상대적인 접근도보다 더 쉽게 이해할 수 있다. 식 (1)에서 사용한 한 노드와 다른 노드 사이의 최단 비용 거리인 c_{ij} 를 기본으로 한 다음 (식 3)과 같이 노드 i 에서 다른 모든 노드들 사이의 평균 이동 시간 T_i 를 정의한다. 각 T_i 가 주어지면 전체 노드들의 평균 이동 시간 T_{mean} 은 (식 4)에서와 같이 정의한다(박종수·이금숙, 2017).

$$T_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1(i \neq j)}^n t_{ij}, \begin{cases} t_{ij} = c_{ij} & \text{if } c_{ij} \neq \infty \\ t_{ij} = 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (\text{식 3})$$

$$T_{mean} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i \quad (\text{식 4})$$

식 (1)과 (2)에서 정의된 접근도의 특성을 그림 1을 사용하여 설명하고자 한다. 그림 1은 교통망에서 접근도를 계산할 때 각 버스정류장이나 지하철역을

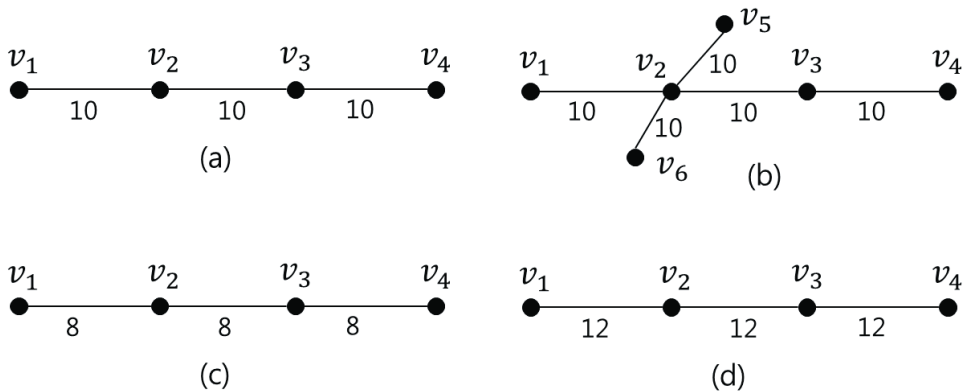


그림 1. 노드 개수와 시간 거리가 다른 단순한 교통망

노드로 나타내고 그 노드들 사이에 노선이 연결되어 있으면 링크로 표시된 그래프를 보여주고 있다. 이 그림은 교통망에서 노선이 새로 추가되거나 또는 정류장간의 시간거리가 변화할 때 접근도가 어떻게 영향을 받는지를 설명한다. 각 노드에는 노드의 번호가 표시되고 각 링크에는 노드와 노드를 연결하는 데 소요되는 시간거리를 가중치로 표시되어 있다. 그림 1(a)는 한 노선에 4 개의 정류장이 있는 경우이고, 그림 1(b)는 (a)에서 새 노선이 추가되어 2개의 정류장이 새로이 연결된 것을 나타낸다. 그림 1(c)는 그림 1(a)에서 노선에서 이동하는 버스가 속도가 더 큰 상황에서 정류장간 시간거리가 작아진 것을 나타내고, 반면에 그림 1(d)는 버스의 이동 속도가 느려져서 정류장간 시간거리가 더 커진 것을 나타내고 있다. 그림 1(a)에서 노드 1(v_1)과 노드 2(v_2) 사이에는 10이라는 시간거리가 있음을 나타낸다. 시간거리의 단위는 초나 분을 사용한다.

식 (1)에 따라 그림 1(a)에 속한 노드 1의 접근도를 계산하면, $A_1=1/10+1/20+1/30$ 과 같이 계산되어 $A_1=0.1833$ 이 된다. 식 (2) 따라 그림 1(a) 그래프의 $A_{mean}^a=0.2167$ 이 된다. 그림 1의 나머지 세 개의 교통망인 그림 1(b), (c), (d)에 대한 평균 접근도는 각각 $A_{mean}^b=0.3167$, $A_{mean}^c=0.2708$, $A_{mean}^d=0.1806$ 이 된다. 식 (1)과 (2)에 의한 접근도 계산결과는 한 교통망에서 노드들이 증가하고 연결된 링크들이 많아지면 접근도는 증가한다. 같은 교통망에서 링크의 가중치인 시간거리가 작아지면 접근도는 증가하고, 반면에 링크의 가중치인 시간거리가 커지면 접근도는 감소하는 것을 보여준다. 한 링크의 시간거리 값이 커지는 것의 의미는 실제 교통망에서 그 링크로 표시되는 버스나 지하철 노선의 버스나 지하철 전동차의 속도가 느려지는 것을 설명한다. 버스나 전동차의 속도가 빨라지면 그 링크의 가중치인 시간거리는 작아진다. 그러므로 동일한 수도권 버스나 지하철의 교통망으로 이동하는 버스나 지하철 전동차의 속도가 느려지게 되면 그 교통망의 전체적인 접근

도는 감소하게 됨을 이 식으로 표현해낼 수 있다. 본 논문의 실험 결과에서 그러한 상황을 설명한다.

3. 접근도 계산 알고리즘

접근도 계산 알고리즘은 참고 문헌(박종수·이금숙, 2017)에 나와 있는 방법을 적용하였다. 기존의 알고리즘을 각 연도별 및 요일별로 적용한다. 그 알고리즘은 대략 다음 단계들로 설명된다.

단계 1: 서울 시내버스 노선들로 이루어진 서울 시내버스 교통망에서 모든 버스정류장들에 대한 최단 시간 거리 행렬을 구하고, 이 행렬에서 식 (2)와 (4)에 의하여 각 버스 정류장의 접근도와 평균 이동시간을 구한다.

단계 2: 수도권 지하철 노선들로 구성된 수도권 지하철 교통망에서 모든 지하철역들에 대한 최단 시간 거리 행렬을 구하고, 각 지하철역의 접근도와 평균 이동 시간을 구한다.

단계 3: 일정 거리 이내의 지하철역과 버스정류장 사이에 링크를 연결하여 통합 교통망을 구성한다. 그리고 통합 교통망에서 최단 시간 거리 행렬을 구하고, 그 행렬에서 각 노드인 버스정류장이나 지하철역의 접근도와 평균 이동시간을 구한다.

단계 1에서 버스 노선 상의 버스정류장은 노드로 표현하고 연결된 두 개의 버스정류장들은 한 개의 링크로 나타낸다. 이 링크의 시간거리 값은 노선 버스의 운행 속도와 두 정류장 사이의 거리로 계산하여 정한다. 보통의 버스 노선들은 시점 버스정류장과 종점 버스정류장이 동일한 환형 노선으로 이루어져 있다. 환형 노선이 아닌 경우에 종점 버스정류장에서 일정 거리(예를 들면, 500m) 이내의 다른

버스정류장들을 찾아서 거리에 따라 도보 이동 시간으로 링크를 연결하도록 한다. 그리고 서로 다른 버스 노선이라도 인접한 버스정류장 사이에는 버스 교통망의 링크로 연결한다. 인접한 거리는 프로그램에서 120m로 설정하고 도보 이동 시간과 평균 환승 시간을 링크의 가중치로 두었다.

단계 2에서는 교통카드 데이터로부터 승객들의 승차 지하철역과 하차 지하철역을 알아내고 이동 시간과 거리를 계산하여 각 노선별로 지하철 전동차의 평균 운행속도를 계산해낸다. 지하철 노선별로 연결된 지하철역을 노드로 하고 노드 사이의 링크는 이동 시간을 가중치로 설정한다. 환승역에서 서로 다른 지하철역으로 이동하는 경우에 도보 환승 시간으로 그 링크의 가중치로 설정한다.

단계 3에서 서울 시내버스 교통망과 수도권 지하철 교통망을 연결하기 위하여 인접한 버스정류장과 지하철역 사이를 링크로 연결하여 통합 교통망을 만들었다. 지하철역에서 120m이내인 모든 버스정류장들과 시간거리 가중치로 링크를 연결하였다. 시간거리 가중치는 이동거리에 환승시간을 더하여 설정하였다. 모든 노드들 사이의 최단 시간 거리를 계산하는 방법은 Floyd 알고리즘(Floyd, 1962)을 사용하였다. 최단 거리 알고리즘을 적용하면 한 지하철역에서 120미터 이내인 여러 버스정류장들이 있더라도 가장 가까운 버스정류장이 그 지하철역과 연결되는 결과를 얻게 된다.

그리고 교통망의 특성을 비교하기 위한 그림 1에서와 같이 승객을 운송하는 차량인 버스나 지하철의 속도를 일정하게 한 실험이 필요하게 된다. 연도별 또는 요일별의 교통노선 데이터에서 버스노선과 버스정류장들의 정보를 추출하여 교통망의 노드들과 링크들을 구성하고, 각 링크의 가중치는 일정한 차량 속도와 링크의 거리에 따라 설정된다. 일정한 속도의 지하철 교통망에서도 주어진 지하철 노선들과 지하철역들의 위치에 따라 링크의 가중치도 계산되어 설정된다.

4. 접근도 결과 및 분석

서울 대중 교통망의 접근도 결과를 얻기 위해 실험에 사용된 데이터는 2011년 4월 10일(일요일)부터 1주일 수도권 교통카드 트랜잭션 데이터, 2013년 3월 4일(월요일)부터 1주일 데이터, 그리고 2015년 5월 17일(일요일)부터 1주일 데이터에 해당된다. 2011년과 2013년 교통카드 트랜잭션 데이터는 서울시내버스 승객들과 수도권 지하철 승객들의 승차와 하차를 기록한 트랜잭션 데이터베이스이고, 2015년 데이터는 서울시내버스 승객들의 트랜잭션 데이터와 수도권 지하철 승객들 중에서 서울시내 지하철역에서 승차를 한 승객들의 트랜잭션 데이터를 포함한다. 그러므로 2015년 교통카드 트랜잭션 데이터에는 서울시가 아닌 지역의 지하철역에서 승차한 승객의 트랜잭션 데이터가 포함되지 않는다. 실험은 MS 윈도우 7 운영체제와 64GB 메인 메모리가 설치된 PC에서 이루어지고, 마이크로소프트 Visual C++ 2010 프로그램 개발 환경에서 프로그램을 구현하여 실험 결과를 얻었다.

접근도 결과 분석은 먼저 차량 속도가 일정한 경우에 노드들의 증가가 접근도에 어떻게 영향을 끼치는지를 살펴보고, 다음으로 교통카드 데이터에서 추출한 일상적인 차량속도인 경우에 접근도의 변화를 분석한다. 그리고 연도별 및 요일별의 접근도 변화에 대한 분석을 하고, 마지막으로 접근도의 값이 최솟값과 최댓값을 갖는 노드들의 특성을 살펴보고 접근도 상위 5개씩의 버스정류장들과 지하철역들을 나열하여 지리적 특성을 분석한다.

1) 차량 속도가 일정한 경우 연도별 접근도의 변화

표 1은 버스나 지하철의 속도가 일정한 경우에 접근도의 변화를 보여주고 있다. 먼저 수도권 지하철

교통망에서 접근도 변화, 그리고 서울 시내버스 교통망에서 접근도 변화, 마지막으로 두 개가 합한 통합교통망에서 접근도 변화를 분석한다. 표 1에서 접근도는 식 (1)과 (2)에 의해 계산되었고, 평균이동시간은 식 (3)과 (4)에 따라 계산되고 그 단위는 초(second)이고, |V|는 교통망의 노드들의 개수를 표시한다. 지하철 노선은 버스 노선과 달리 쉽게 지하철역과 연결 링크를 변경하지 못하는 속성을 가지고 있다. 이와 반대로 버스 노선은 지하철 노선보다는 도로 상황에 따라 쉽게 변경될 수 있다.

서울 수도권 지하철의 노선과 지하철역은 기존의 노선에서 연결되어 확장되고 있어서 그림 1(b)의 접근도 변화를 실제 상황에서 설명해줄 수 있는 지를 알아볼 수 있다. 지하철 객차의 이동 평균속도가 일정할 때 3년간(2011, 2013, 2015) 지하철 노선에서의 접근도 변화를 표 1에서 보여준다. 2011년도의 지하철 노선은 1호선에서 9호선까지, 중앙선, 분당선, 경의선, 경춘선, 인천1호선, 공항철도선으로 구성된 전체 15개 노선들이다. 이 노선들의 지하철역들의 개수는 540개이다. 2013년도의 지하철 노선은 수인선이 새로 추가되었다, 수인선의 9개 지하철역들이 포함되고, 몇 개 노선의 끝 부분에서 연

장된 지하철역들이 추가되어 전체적으로 지하철역들의 개수는 575개로 증가하였다. 2015년도의 지하철 노선 개수는 변경되지 않았지만, 몇 개의 노선들에서는 중간에 지하철역들이 새로 생겼고, 분당선과 9호선은 연장되어 다른 노선과 연결되도록 중간에 지하철역들과 환승역들이 새로 추가되었다. 2015년도 지하철 노선들에서 지하철역들의 개수는 2013년도에 비해 19개가 증가된 594개가 되었다. 표 1에서 평균이동시간은 접근도에 반비례하는 특성을 가지고 있으므로 본 논문에서는 주로 접근도에 대한 분석을 하고 평균이동시간에 대한 결과 분석은 생략하고자 한다.

표 1에서 지하철 전동차의 속도가 26Km/Hr로 일정할 때 지하철 교통망의 노드들의 개수가 커짐에 따라 접근도도 증가하고 있는 것을 설명하고 있다. 그림 1(b)에서와 같이 지하철 교통망의 확장은 현재 노선들의 변동이 없는 상황에서 새로운 노선의 연결이나 지하철역들이 추가되고 있다. 2장에서 설명하였듯이 이와 같은 경우에는 노드들 사이의 시간거리가 같고 노드들이 추가되면 접근도가 증가되는 것을 예제로 보여주었고 표 1에서도 같은 결과를 얻고 있다. 그러므로 접근도를 개선하려면 노선

표 1. 차량 속도가 일정한 경우 접근도의 변화

목요일	날짜	20110414	20130307	20150521
통합교통망	접근도	4,3830	4,3383	4,4816
	평균이동시간	4583.18	4682.7	4591.68
	V	16187	16279	16562
시내버스교통망	접근도	3,3309	3,2866	3,3918
	평균이동시간	5906.25	6071.35	5960.49
	V	15647	15704	15968
	평균속도(Km/Hr)	16	16	16
지하철교통망	접근도	0,1891	0,1983	0,2044
	평균이동시간	4955.54	5001.76	4961.91
	V	540	575	594
	평균속도(Km/Hr)	26	26	26

개설과 새로운 지하철역들의 추가가 필요하다. 반면에 표 1에서 버스노선에 대한 접근도는 2013년의 값이 2011년에 비해 작아짐을 보여주는데, 이것은 동일한 버스노선들을 유지하지 못하는 상태에서 서로 다른 버스노선들로 이루어지는 버스교통망에서 단순히 노드들이 0.36% 정도 증가한다고 해서 접근도가 커지지 않음을 보여주고 있다. 2015년도의 버스노선들은 2011년도와 거의 비슷한 환경에서 버스정류장들이 2.05% 정도 늘어남으로 접근도도 증가하는 것을 보여준다. 접근도 계산 결과에서 알 수 있듯이 버스노선들의 설계에도 사전에 접근도 계산을 통해 접근도가 증가하는 방향으로 버스노선 설계가 이루어져야 대중교통을 이용하는 승객들의 편의성을 제고할 수 있다.

표 1에서 버스와 지하철의 통합교통망의 연도별 접근도는 2013년에 조금 나빠졌다가 2015년 데이터에서는 좋아지고 있다. 2013년 통합 교통망의 전체 노드들 개수에서 지하철교통망의 노드들의 개수가 차지하는 비율이 3.53%로 작아서 통합 교통망의 접근도는 버스 교통망의 접근도가 아주 크게 영향을 가지게 된다. 따라서 2013년 통합 교통망의 접근도는 2011년에 비해 작아지게 되었다. 2015년 통합 교통망은 2011년과 2013년에 비해 접근도가 좋아졌음을 표 1에서 보여주고 있다. 식 (1)과 (2)에서 정의된 접근도는 지하철교통망의 링크와 시내버스 교통망의 링크에서 단순하게 승객의 이동시간을 가중치로 갖는 것을 전제로 하고 있다. 지하철 교통망에서 한 링크에서 이동하는 승객들의 통행량을 고려하는 접근도를 상정하면 그 영향력이 실제로 더 큰 것으로 파악되고 있으므로 이에 대한 연구가 필요하다.

2) 서울 대도시권 대중교통에서 연도별 접근도의 변화

표 2는 서울 대도시권 대중교통 차량의 속도를 교

통카드 트랜잭션 데이터베이스에서 추출하여 적용하여 얻어진 접근도와 평균이동시간을 보여주고 있다. 표 2에서 서울 시내버스 시스템과 수도권 지하철 시스템을 합친 통합 교통망에서 버스 노드들의 개수는 각 연도별로 전체 노드들에서 차지하는 비율이 96.66%, 96.47%, 96.41%로 점차 작아지지만 여전히 지하철 교통망의 노드들에 비해 대다수를 점유하고 있어서 접근도 계산에서 큰 영향력을 주고 있다. 서울 시내버스 교통망에서 버스정류장들의 개수인 $|V|$ 는 점차 증가하고 있지만 버스들의 평균 속도는 점점 감소하고 있다. 접근도의 공식 (2)와 그림 1의 설명에 의하면 노드 개수 증가는 접근도에 플러스 영향을 주고 버스 속도 감소는 접근도에 마이너스 영향력을 갖고 있다. 2013년도의 버스평균 속도가 2011년에 비해 2.82% 감소하고 2015년도 속도는 2011년에 비해 5.95% 감소하였다. 노드들의 개수는 2011년에 비해 2013년도에 0.36% 증가하고 2015년도에 2.05% 증가하였다. 버스교통망에서 접근도의 변화량은 2011년에 비해 2013년도에 2.08% 감소하고 2015년도에 3.00% 감소하였다. 버스정류장들의 개수인 노드들의 개수의 증가는 미미한데 버스의 평균이동속도가 더 크게 감소함으로 접근도도 감소하게 됨을 알 수 있다. 지하철 교통망에서도 같은 분석 방법으로 비슷한 분석 결과를 얻을 수 있다. 지하철 평균 속도 감소 비율과 지하철 역들의 개수 증가 비율에 따라 지하철 교통망의 접근도는 조금 증가하였다가 작아지고 있음을 표 2에서 보여주고 있다.

대중교통인 버스와 지하철 통합 교통망에서 교통망의 노드들의 개수가 조금씩 증가하지만 승객들의 이동시키는 차량들의 평균 속도가 감소함에 따라 서울 시내 대중 교통망의 접근도는 점차적으로 감소하는 것을 표 2에서 나타내고 있다. 접근도 변화는 2011년에 비해 2013년에 2.32% 감소하고 2015년에 3.04% 감소하였다. 접근도가 점차적으로 감소함에 따라 승객들이 한 노드에서 다른 노드로 이

표 2. 차량 속도가 다른 경우의 접근도와 평균이동시간

목요일	날짜	20110414	20130307	20150521
통합교통망	접근도	4.8428	4.7304	4.6955
	평균이동시간	4012.23	4184.92	4301.89
	V	16187	16279	16562
시내버스교통망	접근도	3.7298	3.6522	3.618
	평균이동시간	5001.06	5181.58	5294.2
	V	15647	15704	15968
	평균속도(Km/Hr)	16.2735	15.8138	15.3045
지하철교통망	접근도	0.1874	0.1979	0.1895
	평균이동시간	4658.42	4711.64	5279.65
	V	540	575	594
	평균속도(Km/Hr)	26.4967	26.0122	22.9622

동하는 데 걸리는 시간들의 평균이동시간도 점차적으로 증가하고 있다.

3) 통합 교통망에서 연도별 및 요일별 접근도 변화

그림 2는 서울 시내버스 교통망과 수도권 지하철 교통망을 합한 통합 교통망에서 연도별(2011, 2013, 2015) 접근도와 요일별(월~일) 접근도를 그래프로 나타내고 있다. 이 그림에서 일반적인 경

향은 2011년에 비해 해가 갈수록 접근도가 떨어지고 있다는 것을 설명하고 있다. 그리고 주중보다 주말에 접근도가 상대적으로 좋아지고 있음을 보여 준다. 해가 갈수록 통합 교통망에서 접근도가 떨어지는 원인을 분석해보면 그림 3에서 그 원인을 알 수 있다. 그림 3은 대중교통망을 이용하는 승객들의 교통카드 트랜잭션 데이터베이스에서 승차와 하차의 정보를 이용하여 각 버스노선과 각 지하철노선의 차량 속도를 계산하여 그 결과를 그래프로 설명하고 있다. 표 2에서는 목요일의 버스와 지

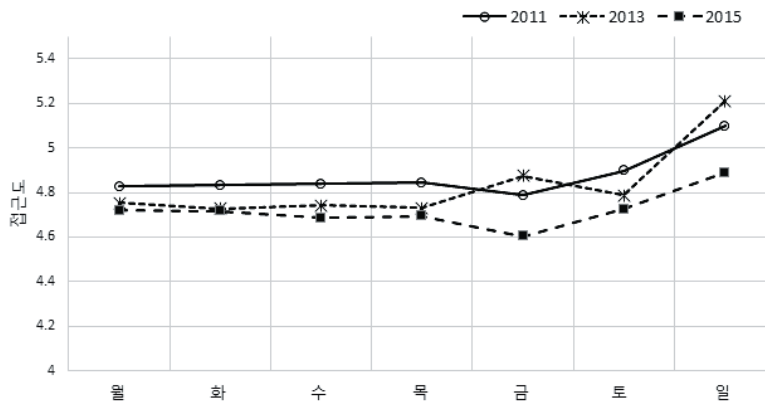


그림 2. 연도별 및 요일별 접근도

하철의 속도를 숫자로 보여주고 있고, 이 값들은 그림 3의 목요일에 6개 기호들로 표시되어 그래프를 구성하고 있다. 목요일뿐만 아니라 전체적으로 해가 갈수록 버스 속도와 지하철의 속도가 점차 감소하고 있음 보여준다. 승객들이 이용하는 대중교통의 차량들의 속도가 감소하면 통합 교통망의 노드들 간의 링크 상의 시간거리가 커지게 되어 접근도 공식 (1)과 (2)에 의해 접근도가 작아지게 된다. 더불어 분석해야 될 부분은 대중 교통망의 노드들의 개수가 증가하는 것은 공식 (1)과 (2)에 의하면 접근도가 증가하는 결과를 얻을 수 있지만, 링크의 시간거리가 더 커지게 하는 차량 속도의 감소가 공식 (1)과 (2)에 미치는 영향이 훨씬 더 큼을 알 수 있다. 그림 2에서 2013년 접근도의 요일 변화에서 금요일과 일요일의 접근도 변화 패턴이 조금 다르다. 이것은 금요일과 일요일의 서울시내 버스정류장들의 접근도가 2011년도의 접근도에 비해 각각 0.1006%, 0.0258%가 더 크게 계산되어졌고 그리고 지하철역들의 접근도는 상대적으로 각 요일에 대해 4.9573%, 5.6972%가 더 크게 나왔다. 이런 적은 버스정류장들과 지하철역들의 접근도 변화가 통합 교통망에서는 2011년에 비해 2013년에는 각각 1.8720%, 2.1927% 증가된 값으로 보여주고 있다. 2013년도의 서울시내 버스 교통망의 특성에 기인

한 것으로 판단된다.

그림 2에서 주중에 비해 주말에 해당되는 토요일과 일요일의 접근도가 상대적으로 좋은 것은 그림 3과 4에서 그 원인을 분석하는 단서를 잡을 수 있다. 그림 3에서 주말에는 지하철 속도가 주중보다 더 느려짐을 보여주는데, 이것은 주말에 지하철 운행 간격을 더 넓게 잡아서 승객들이 이용하는 지하철의 이동 속도가 평균적으로 더 느려지게 만든다. 예를 들어 2018년 11월 기준으로 3호선 수서역의 주중인 평일의 8시 근방에는 시간당 29번의 열차가 상행과 하행으로 운행되지만, 일요일이나 휴일에는 같은 시간대에 상행과 하행으로 19번만 운행하여 열차의 운행 간격이 더 늘어나게 된다(수서역, 2018). 서울 시내버스의 차량 속도는 주말인 일요일에 상대적으로 속도가 더 빨라짐을 보여주는데 이것의 원인 분석으로는 그림 4에서 승객수의 변화량이 적절하다. 그림 4에서 일요일의 버스 승객과 지하철 승객이 다른 요일에 비해 상대적으로 적다는 것을 보여준다. 이것은 서울 시내가 전체적으로 통행량이 적어진다는 것을 추정할 수 있고, 이로 인해 서울 시내버스의 속도가 빨라짐을 그림 3에서 보여주고 있다.

그림 4에는 요일별 승객수를 그래프로 보여주고 있다. 이 그래프에서 보여주는 2011년과 2013년 데

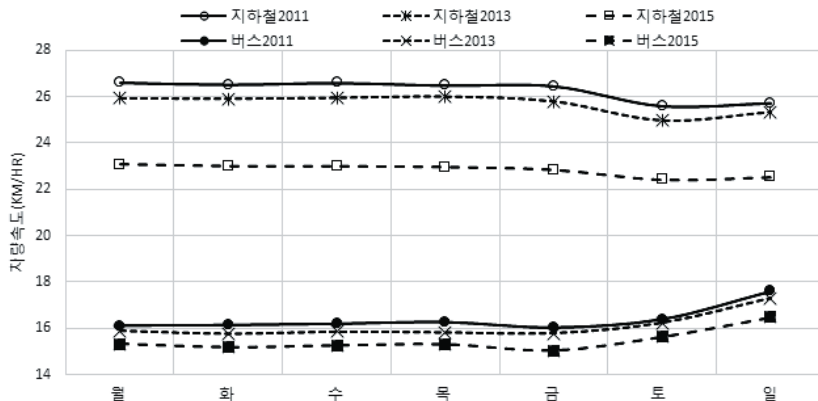


그림 3. 연도별 및 요일별 대중교통 차량 속도

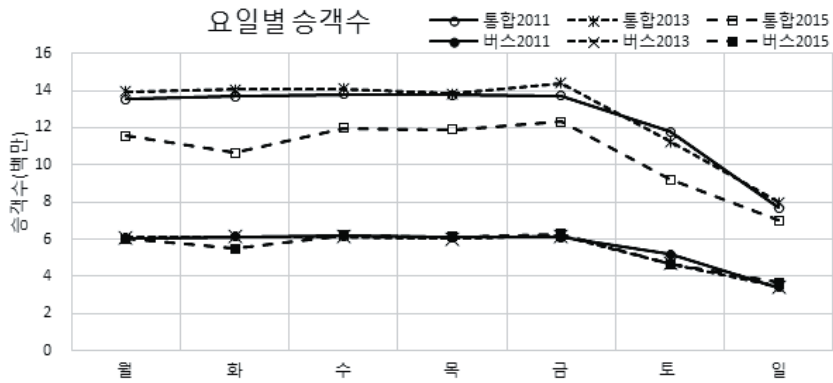


그림 4. 연도별 및 요일별 승객수(통합: 버스와 지하철)

이터는 서울시내버스의 승객들과 수도권 지하철 승객들의 교통카드 트랜잭션 데이터를 포함하고 있다. 반면에 2015년 교통 데이터에는 서울시내버스에 속한 버스정류장으로 승차를 하거나 하차한 승객들과 수도권 지하철역들 중에서 서울 시내 지하철역으로 승차를 한 승객들의 자료만 포함되어 있다. 예를 들어 충청남도에 소재한 1호선 “신창” 지하철역은 2015년 5월 21일 교통카드 트랜잭션 데이터베이스에서 104개의 트랜잭션들만 승객들이 하차한 도착역으로 포함되고 있다. 2015년 데이터는 서울 시내를 벗어난 지하철역에서 승차를 한 승객들의 자료는 포함되어 있지 않아서 2011년과 2013년에 비해 버스와 지하철로 운송된 통합 승객수는 작음을 보여준다. 그러나 2011년, 2013년, 2015년의 자료에 의하면 서울 시내버스 승객수는 거의 동일한 숫자와 요일별 변화량을 보여주고 있다.

4) 서울 대도시권 통합교통망에서 최소 접근도와 최대 접근도를 갖는 노드

서울 대도시권 통합 교통망에서 최소 또는 최대 접근도를 가지는 버스정류장이나 지하철역을 찾아내고 그 특성을 분석하고자 한다. 표 3은 표 1과 동일한 날짜에 대해 3개년도 연도별 최소 접근도와 최

대 접근도를 갖는 노드를 나타내고 있다. 각 연도에서 먼저 최소 접근도를 갖는 노드에 해당되는 것을 표시하였는데, 2011년도는 “신창” 지하철역의 접근도는 1,1051로 계산되어 최솟값을 가진다. 지하철 1호선 “신창” 지하철역의 주소는 “충청남도 아산시 신창면”이다. “신창” 역은 지하철 1호선의 남쪽 종점이면서 시점 지하철역이다. 같은 연도에서 “서울역버스환승센터” 버스정류장의 접근도는 7,4150으로 계산되어 최댓값을 가지고 있다. “서울역버스환승센터” 버스정류장은 서울역에 인접하고 있고 “서울시 중구”에 속하는 서울 중심부에 위치하고 있다. 2013년도의 계산결과도 같은 지하철역과 버스정류장에서 최소 접근도와 최대 접근도를 갖는 것으로 나타내고, 2015년도의 접근도 결과는 최솟값은 같은 지하철역이지만 최댓값은 “종로1가” 버스정류장으로 바뀌었다. “종로1가” 버스정류장도 “서울시 종로구”에 속하는 서울의 중심부에 위치하고 있다. 표 3에서 3개년도의 접근도 변화는 전체적으로 조금씩 감소하고 있음을 보여주고 있다.

표 4는 실험 데이터에서 가장 최근에 해당되는 2015년 5월 21일 목요일의 접근도 결과를 분석한 것이다. 버스정류장에서 상위 5개의 접근도를 가지는 정류장들과 지하철역에서 상위 5위 까지 접근도를 갖는 지하철역을 나열하였다. 상위 5개에 속하는

표 3. 통합 교통망에서 연도별 최소 접근도와 최대 접근도

연도	접근도	평균이동시간	경도	위도	정류장이름	정류장ID
2011	1,1051	14830,80	126,9511	36,7695	신창	1408
	7,4150	2671,24	126,9723	37,5555	서울역버스환승센터	8001938
2013	1,0983	15022,99	126,9511	36,7695	신창	1408
	7,2557	2727,67	126,9723	37,5555	서울역버스환승센터	8001938
2015	1,0078	16633,49	126,9511	36,7695	신창	1408
	7,3798	2750,83	126,9817	37,5701	종로1가	8000613

정류장들의 위치는 종로구와 중구에 속해있고 서울시내 중심부에 있는 정류장들이다. 지하철역 중에서 접근도가 상위 5위까지는 통합 교통망에서의 순위는 삼백번대 후반에 속하고 주로 서울시내 중심의 1호선, 2호선, 4호선에 속한 지하철역들이다. 표 4에서 정류장ID의 첫 숫자가 그 지하철역의 해당 호선을 나타내고 있다.

표 5는 표 4에서 서울시내 중심지역에서 대표적인 버스정류장과 지하철역에서의 접근도를 같은 요일인 목요일의 교통카드 데이터에서 계산되어진 접근도를 연도별로 나타낸 것이다. 이 표에서는 서울시내 중심지에서 버스정류장의 접근도는 2015년도에 크게 개선되었음을 보여주고 있지만, 지하철역의 접근도는 연도에 비례해서 개선되지 않음을 보

표 4. 2015년도 접근도 상위 5개씩의 버스정류장과 지하철역

순위	접근도	평균이동시간	경도	위도	정류장이름	정류장ID
1	7,3798	2750,83	126,9817	37,5701	종로1가	8000613
2	7,3602	2838,36	127,0062	37,5662	을지로6가,국립중앙의료원	9038
3	7,2655	2778,08	126,982	37,5629	롯데영프라자	72411
4	7,2582	2780,23	126,975	37,5633	서소문	8722
5	7,2110	2787,90	126,9827	37,5595	남산3호터널	73770
381	6,2577	3087,63	127,002	37,571	종로5가	154
383	6,2572	3121,45	127,008	37,5651	동대문역사문화공원	422
393	6,2482	3071,74	126,992	37,5704	종로3가	153
395	6,2472	3071,77	126,976	37,5638	시청	201
401	6,2446	3057,00	126,983	37,5702	종각	152

표 5. 서울시내 중심지역의 버스정류장과 지하철역의 접근도

정류장이름	정류장ID	20110414	20130307	20150521
종로1가	8000613	7,2712	7,1520	7,3798
을지로6가,국립중앙의료원	9038	6,9408	6,9494	7,3602
종로5가	154	6,3930	6,3564	6,2577
동대문역사문화공원	422	6,2460	6,2152	6,2572

여주고 있다. 이로 미루어 서울시내 버스노선도는 2013년에 비해 2015년에 개선되었음을 알려주고 있다.

5. 결론

본 논문에서는 서울 시내버스 교통망과 수도권 지하철 교통망을 합한 하나의 통합 교통망에서 2011년, 2013년, 2015년에 구성된 각각의 교통망에서 접근도의 변화를 연구하고 분석하였다. 교통망은 노드들과 링크들로 이루어지는데, 노드는 버스정류장이나 지하철역을 나타내고 링크는 버스노선상의 버스정류장들의 연결선과 지하철 노선상의 지하철역들의 연결선을 표시한다. 승객들이 도보로 이동하여 다른 버스나 지하철을 사용하는 경우를 나타내는 도보 링크들을 인접한 버스정류장들이나 또는 버스정류장과 지하철역사이에 연결선으로 표현하였다. 각 링크의 가중치는 노드 간에 승객들이 이동하는 시간거리로 나타내었다. 3개년에 걸친 접근도의 값은 점차 감소하는 변화를 보여주고 있다. 통합 교통망의 노드들의 개수는 증가하여 이론적으로 접근도의 값이 증가하는 것이 타당하지만 교통카드 트랜잭션 데이터베이스에서 추출한 접근도의 값은 감소하고 있었다. 접근도가 감소하는 주된 요인은 서울 시내버스 차량의 평균 속도와 수도권 지하철 전동차의 평균 속도가 해가 지남에 따라 감소하는 것으로 연구되어졌다. 교통망의 노드들이 많아지고 노선들도 많아짐에 따라 교통망의 복잡도가 커지게 되어 승객을 실어 나르는 차량들의 속도는 점차적으로 감소되고 있음을 알 수 있었다. 그러므로 시내버스 교통망의 노선 조정이나 지하철 교통망의 새로운 노드들의 추가에서 가장 중요시해야 될 점은 차량들의 속도를 유지하거나 개선할 수 있는 방안을 강구해야 교통망의 접근도가 더 좋아

질 수 있다는 것이다. 본 논문의 연구 분석의 또 다른 결과는 차량 속도 면에서 주말이 주중보다 빠르다는 것이고 그 요인은 승객들의 통행량이 상대적으로 적다는 것이다. 결과적으로 통합 교통망에서도 주중보다 주말에 접근도가 더 좋다는 것으로 분석되었다.

본 논문에서는 교통망의 접근성 계산모형으로 사용한 식 (1)에서 B의 값을 1로 설정하여 각 노드인 버스정류장이나 지하철역의 접근성을 계산하였다. 이것은 버스노선상의 링크나 지하철노선상의 링크 가중치가 그 링크에 통과하는 승객들의 숫자와 무관한 단순한 이동 시간 개념을 적용한 것이다. 그러나 버스의 통행량과 지하철의 통행량에는 큰 차이가 있다. 즉, 버스 한 대에 승차하는 승객들의 숫자와 지하철이 한 번에 실어 나르는 승객들의 숫자는 그 차이가 크다. 각 링크의 교통량의 차이를 반영하는 접근도 계산 모델 개발이 필요하다. 본 논문에서 접근도와 차량들의 이동 속도 사이에 상관관계를 보여주었지만, 차량들의 이동 속도에 영향을 주는 자동차 통행량에 대한 데이터를 수집하여 접근도, 차량들의 이동 속도, 자동차 통행량 사이의 상관관계를 파악하는 것도 중요한 연구 분야이고 서울시내 교통정책 입안 등에 필요하다.

참고문헌

- 김소연·이금숙, 2006, “시간거리 접근성 카토그램제작 및 접근성 공간구조 분석,” 한국경제지리학회지 9(2), pp.149-166.
- 박중수·이금숙, 2015, “교통카드 빅데이터 기반의 서울 버스 교통망 시간 거리 접근성 산출,” 한국경제지리학회지 18(4), pp.539-555.
- 박중수·이금숙, 2017, “서울 대도시권 대중교통체계의 통합 시간거리 접근성 산출 알고리즘 개발,” 지역연구 33(1), pp.29-41.

- 이금숙, 1998, “지하철 접근성 증가의 공간적 과급효과 산출모형 개발,” *한국경제지리학회지* 1(1), pp.137-149.
- 이금숙·김경민·송예나, 2010, “복합용도개발과 교통이 아파트가격에 미치는 영향,” *한국경제지리학회지* 13(4), pp.515-528.
- 이금숙·박종수·정미선, 2014, “수도권 광역철도망 확충에 따른 서울 대도시권 접근도 변화: 교통카드 빅데이터를 이용한 시간거리 산출 알고리즘 및 비교정성 교통망 접근도 산출 모형의 개발과 적용,” *한국경제지리학회지* 17(1), pp.98-113.
- 정미선·이금숙, 2015, “시간거리 변화에 따른 한국 도시 간 통행흐름의 구조 변화: 고속버스와 철도 이용객을 중심으로,” *대한지리학회지* 50(5), pp.527-541.
- Boisjoly, G. and El-Generdy, A., 2016, “Daily fluctuations in transit and job availability: a comparative assessment of time-sensitive accessibility measures,” *Journal of Transport Geography* 52, pp.73-81.
- Dumbliauskas, V., Grigonis, V. and Barauskas, A., 2017, “Application of Google-based data for travel time analysis: Kaunas city case study,” *PROMET-Traffic Transport* 29(6), pp.613-621.
- Farber, S., Morang, M.Z. and Widener, M. J., 2014, “Temporal variability in transit-based accessibility to supermarkets,” *Applied Geography* 53, pp.149-159.
- Farber, S. and Fu, L., 2017, “Dynamic public transit accessibility using travel time cubes: comparing the effects of infrastructure (dis) investments over time,” *Computers, Environment and Urban Systems* 62, pp.30-40.
- Floyd, R. W., 1962, “Algorithm 97: Shortest path,” *Communications of the ACM* 5, p.345.
- Fransen, K., Neutens, T., Farber, S., De Maeyer, P., Deruyter, G. and Witlox, F., 2015, “Identifying public transport gaps using time-dependent accessibility levels,” *Journal of Transport Geography* 48, pp.176-187.
- Geurs, K. T. and van Wee, B., 2004, “Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions,” *Journal of Transport Geography* 12, pp.127-140.
- Handy, S. L. and Niemeier, D. A., 1997, “Measuring accessibility: an exploration of issues and alternatives,” *Environment and Planning A* 29(7), pp.1175-1194.
- Hansen, W. G., 1959, “How Accessibility Shapes Land Use,” *Journal of the American Institute of Planners* 25(2), pp.73-76.
- Lee, K. and Lee, H.-Y., 1998, “A New Algorithm for Graph-theoretic Nodal Accessibility Measurement,” *Geographical Analysis* 30(1), pp.1-14.
- Li, Q., Zhang, T., Wang, H. and Zeng, Z., 2011, “Dynamic accessibility mapping using floating car data: a network-constrained density estimation approach,” *Journal of Transport Geography* 19(3), pp.379-393.
- Miller, P., de Barros, A. G., Kattan, L. and Wirasinghe, S. C., 2016, “Public Transportation and Sustainability: A Review,” *Journal of Civil Engineering* 20(3), pp.1076-1083.
- Møller-Jensen, L., Kofie, R.Y. and Allotey, A.N., 2012, “Measuring accessibility and congestion in Accra,” *Norsk Geografisk Tidsskrift - Norwegian Journal of Geography* 66(1), pp.52-60.
- Moniruzzamana, M., Olarub, D. and Biermann, S., 2017, “Assessing the accessibility of activity centres and their prioritisation: a case study for Perth Metropolitan Area,” *Urban, Planning and Transport Research* 5(1), pp.1-21.
- Moya-Gómez, B. and García-Palomares, J. C., 2015, “Working with the daily variation in infrastructure performance. The cases of Madrid and Barcelona,” *European Transport Research Review* 7(2), pp.1-13.
- Moya-Gómez, B. and García-Palomares, J. C., 2017, “The daily dynamic potential accessibility by car in London on Wednesdays,” *Journal of Maps* 13(1), pp.31-39.
- Páez, A., Scott, D. M. and Morency, C., 2012, “Measuring accessibility: positive and normative implementations of various accessibility indicators,” *Journal of Transport Geography* 25, pp.141-153.

- Picornell, M., Ruiz, T., Lenormand, M., Ramasco, J., Dubernet, T. and Frias-Martinez, E., 2015, "Exploring the potential of phone call data to characterize the relationship between social network and travel behavior," *Transportation* 42, pp.647-668.
- van Lint, J., 2006, "Reliable real-time framework for short-Term freeway travel time prediction," *Journal of Transportation Engineering* 132(12), pp.921-932.
- Wang, F. and Xu, Y., 2011, "Estimating O-D travel time matrix by Google Maps API: implementation, advantages, and implications," *Annals of GIS* 17(4), pp.199-209.
- Wu, Y.-H. and Miller, H. J., 2002, "Computational tools for measuring space-time accessibility within transportation network with dynamic flow," *Journal of Transportation and Statistics* 4 (2/3), pp.1-14.
- 수서역, 2018, https://map.naver.com/local/siteview.nhn?code=13479444&_ts=1543283127821.
- 교신: 이금숙, 02844, 서울특별시 성북구 보문로34다길 2, 성신여자대학교 지리학과, 전화: 02-920-7138, 이메일: kslee@sungshin.ac.kr
- Correspondence: Keumsook Lee, Department of Geography, Sungshin Women's University, 2 Bomun-ro 34dagil, Seongbuk-gu, Seoul 02844, Korea, Tel: 82-2-920-7138, E-mail: kslee@sungshin.ac.kr
- 최초투고일 2018년 12월 6일
수 정 일 2018년 12월 19일
최종접수일 2018년 12월 27일