

# 상대적 시간거리를 이용한 대중교통 접근성 분석

## An Analysis of Public Transport Accessibility using Relative Time-distance

이민혁\*, 전인우, 전철민

Minhyuck Lee, Inwoo Jeon, Chulmin Jun

서울시립대학교 공간정보공학과 박사과정 (lmhll123@uos.ac.kr)

서울시립대학교 공간정보공학과 석사과정 (yugo123@uos.ac.kr)

서울시립대학교 공간정보공학과 교수 (cmjun@uos.ac.kr)

### 요약

시간거리 접근성은 다른 모든 지역으로의 접근 용이성을 이동시간으로 측정한 지표이다. 본 연구에서는 시간거리를 이용하여 서울시의 대중교통 접근성을 분석한다. 절대적인 시간거리는 대중교통 노선의 이동성을 고려하지 못하기 때문에, 기존 연구에서는 장거리 구간이 많은 도시 외곽지역은 대중교통 접근성이 떨어지는 지역으로 분류되는 경향이 있다. 본 연구에서는 거리 대비 이동시간을 의미하는 상대적 시간거리를 이용하여 정류장 단위로 접근성을 분석한다. 약 1억 건의 all-to-all 대중교통 최단경로를 연산하였고, 최단경로는 복합 수단을 고려한 환승 및 도보이동을 포함한다.

### 1. 서론

임의의 한 지역의 시간거리 접근성은 주어진 교통망을 이용하여 다른 모든 지역에 도달하기 용이한 정도를 이동시간으로 측정한 지표를 말한다. 일반적으로 대중교통 시간거리는 차내시간과 차외시간으로 구성되며, 차외시간은 정류장으로의 접근 및 환승을 위한 도보시간과 차량에 탑승하기 위한 대기시간을 포함한다.

관련 연구들에서는 절대적인 시간거리를 바탕으로 지역별 대중교통 접근성을 분석한 바 있다[1,2]. 해당 연구들에서는 절대적인 시간거리가 큰 지역은 다른 지역으로의 이동시간이 길다는 것을 의미하기 때문에, 낮은 대중교통 접근성을 나타내는 지역으로 분류하였다. 따라서 도시 외곽지역은 도시철도 역과 같은 높은 이동성의 대중교통 노선이 존재하더라도, 다른 지역으로의 이동거리 자체가 길기 때문에 접근성이 낮

게 산출되었다.

본 연구에서는 상대적 시간거리를 이용한 대중교통 접근성 지표를 제안한다. 상대적 시간거리란, 거리 대비 이동시간을 나타낸다. 따라서 장거리 구간이라도, 해당 구간을 빠르게 운행하는 대중교통 노선이 존재한다면, 상대적 시간거리는 짧게 산출된다. 상대적 시간거리 기반 대중교통 접근성 지표는 차내시간, 차외시간 뿐만 아니라 환승으로 인한 심리적 저항감을 포함한다. 본 연구에서는 제시한 지표를 이용하여 서울시의 정류장 단위 접근성을 분석하였고, 기존 지표를 이용한 결과와 비교하였다.

### 2. 본론

#### 2.1. 시간거리 접근성

기존 시간거리 접근성은 식 (1)과 같다[3].  $A_i$ 는 지역  $i$ 의 대중교통 접근성,  $T_{ij}$ 는 지역  $i$ 에서 지역  $j$ 로의 시간거리,  $n$ 은 전체

지역 수,  $B$ 는 스케일을 조정하기 위한 상수이다. 시간거리의 역수를 총합하여 특정 지역의 대중교통 접근성을 산출하는 형태이다. 따라서 다른 지역으로의 이동시간이 짧으면 짧을수록 높은 접근성을 보이는 지역으로 분류된다.

$$A_i = B \sum_{j(i \neq j)}^n T_{ij}^{-1} \quad (1)$$

## 2.2. 상대적 시간거리 접근성

본 연구에서 제안하는 상대적 시간거리 접근성은 식 (2)와 같다.  $A_i^*$ 는 지역  $i$ 의 접근성,  $T_{ij}^*$ 는 지역  $i$ 에서 지역  $j$ 로의 상대적 시간거리이다.

$$A_i^* = - \sum_{j(i \neq j)}^n T_{ij}^* \quad (2)$$

지역  $i$ 에서 지역  $j$ 로의 시간거리  $T_{ij}$ 는 식 (3)과 같이, 총 차내시간  $T_{ij}^{In}$ , 총 도보 이동시간  $T_{ij}^{Walk}$ , 총 대기시간  $T_{ij}^{Wait}$ , 총 환승저항  $T_{ij}^P$ 의 합으로 구성된다. 환승저항은 관련 연구를 참고하여 1회당 5분을 적용하였다.

$$T_{ij} = T_{ij}^{In} + T_{ij}^{Walk} + T_{ij}^{Wait} + T_{ij}^P \quad (3)$$

상대적 시간거리  $T_{ij}^*$ 는 지역  $i$ 에서 지역  $j$ 까지의  $(i, j)$  거리와 동일한 거리 클래스에 포함되는 모든  $(o, d)$  쌍들의 평균 시간거리  $\bar{T}_{X^k}$ 에 대한,  $(i, j)$ 의 시간거리  $T_{ij}$ 의 편차이다. 즉,  $(i, j)$ 의 거리가 약 10km일 때, 10km만큼 떨어진 모든  $(o, d)$  쌍들의 평균 시간거리를 계산하고,  $(i, j)$ 의 시간거리와 평균 시간거리의 차이를 산출하는 것이다. 따라서 상대적 시간거리가 음수라는 것은 평균 대비 이동시간이 빠르다는 것을 의미한다. 식 (2)에서 볼 수 있듯이, 접근성에 음의 부호를 붙이는 이유도 여기에 있다. 부호를 바꾸어 해석이 용이성을 높이기 위함이다.

$$T_{ij}^* = T_{ij} - \bar{T}_{X^k}, (i, j) \in X^k \quad (4)$$

거리 클래스별  $(o, d)$  집합  $X^k$ 는 식 (5)

와 같이 거리 함수( $\ell$ ) 값을 반올림하여 구분한다. 거리 함수는  $(o, d)$ 의 일반 도로 네트워크 기준 최단거리를 의미하고 단위는 km이다.  $\lfloor x \rfloor$ 는  $x$ 와 같거나  $x$ 보다 크지 않은 최대 정수를 반환한다는 의미이다. 따라서  $x$ 에 0.5를 더하는 것은 반올림을 나타낸다.

$$X^k = \{(o, d) \mid \lfloor \ell(o, d) + 0.5 \rfloor = k\} \quad (5)$$

$$k \in \mathbb{Z}$$

## 2.3. 서울시 대중교통 접근성 분석

제안한 상대적 시간거리 기반 접근성 지표를 이용하여 서울시의 대중교통 접근성을 정류장 단위로 분석하였다. 도시철도 역과 버스 정류장을 포함하여 약 11,000개의 정류장 대상으로 분석을 수행하였고, 시간거리는 오전 8시 기준 대중교통 최단경로를 적용하였다.

그림 1은 기존 연구에서 제안된 시간거리 접근성(식 (1))을 정류장 단위로 가시화한 것이고, 그림 2는 본 연구에서 제시한 시간거리 접근성(식 (2))을 정류장 단위로 가시화한 것이다. 두 지표 모두 0과 1 사이로 노멀라이즈하여 나타내었다. 두 지표 간의 수치적인 비교는 불가능하지만, 경향성의 차이는 비교할 수 있다. 주요 도심 지역은 기존 지표를 이용한 결과와 본 연구 결과 모두 유사하게 나타났고, 두드러지는 차이는 외곽지역에서 발생했다.

그림 1에서 볼 수 있듯이, 기존 지표를 적용하면 도시 중심부에서 높은 접근성이 나타나고 외곽지역으로 갈수록 접근성이 낮아지는 경향이 나타난다. 서론에서 언급하였듯이, 기존 지표는 절대적 시간거리를 기반으로 하기 때문에, 도시 외곽지역은 장거리 구간이 많아 접근성이 매우 떨어지는 것으로 분석된다.

반면에 본 연구의 결과에서는, 도시 외곽 지역이라도 높은 접근성을 보이는 지역이 나타난다. 대중교통 노선의 이동성을 고려한 상대적 시간거리를 기반으로 접근성을 산출했기 때문이다. 외곽지역에서 높은 접근성을 보이는 지역들을 살펴보면, 대체로 지하철 노선이 존재하는 지역들인 것을 알

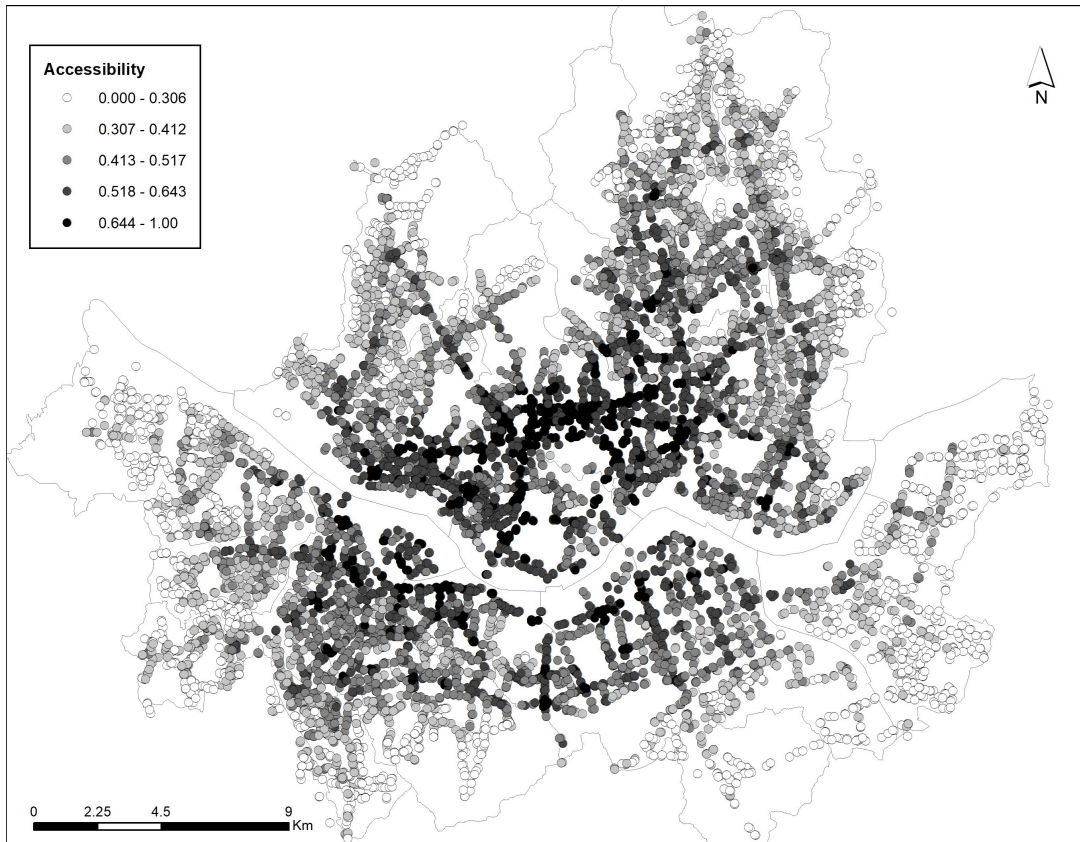


그림 1 시간거리를 이용한 정류장 단위 대중교통 접근성(식 (1))

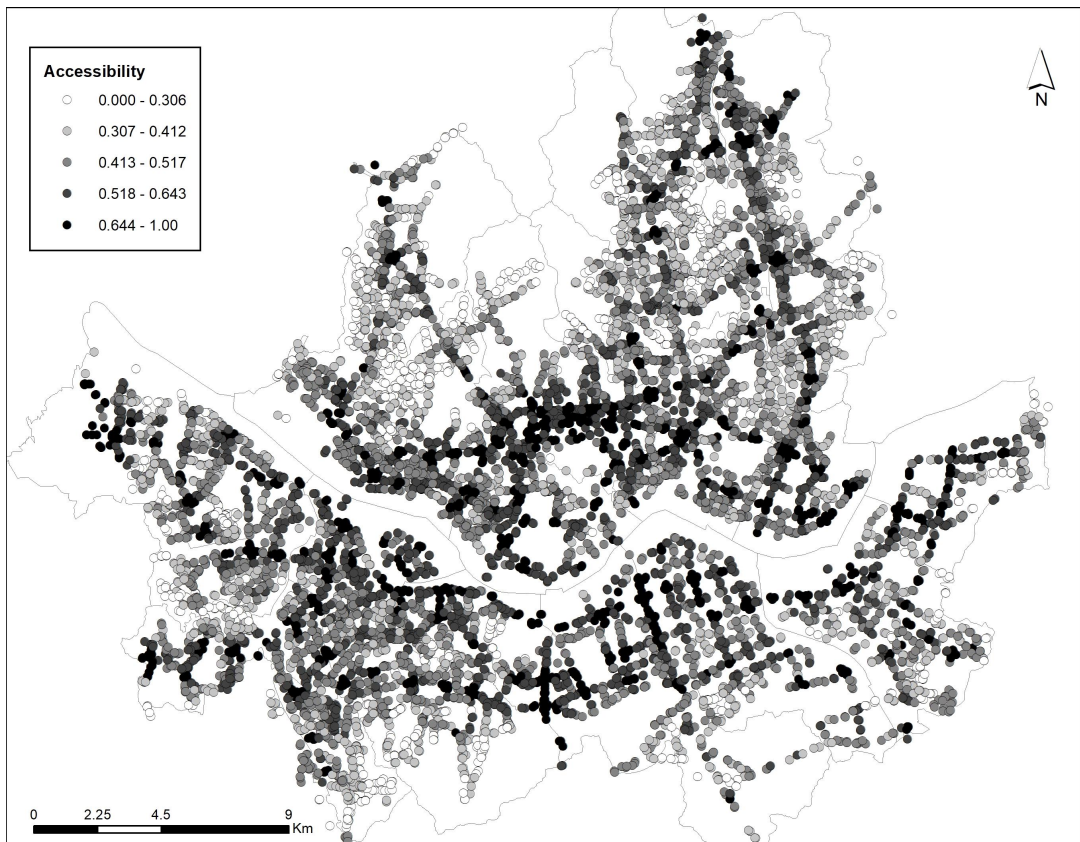


그림 2 상대적 시간거리를 이용한 정류장 단위 대중교통 접근성(식 (2))

수 있다.

기존 지표와 본 지표 모두 광희동과 소공동은 높은 접근성을 보이는 지역으로 분석되었고, 시흥동은 두 지표 모두에서 접근성이 매우 낮은 지역으로 분석되었다. 기존 결과와 가장 큰 차이를 보이는 지역들로 방화동, 고덕동, 거여동, 공항동, 강일동, 명일동 등이 나타났다. 특히 공항동은 기존 지표에서는 접근성 하위 지역으로 분류되었으나 본 연구에서는 상위 접근성 지역으로 분석되었다.

### 3. 결론

이동시간은 대중교통 이용객의 경로 선택에 가장 핵심적인 변수이기 때문에, 이동시간 기반의 접근성 분석을 통해 대중교통 서비스의 지역별 차이를 살펴보는 일은 매우 중요하다. 본 연구에서는 상대적 시간거리를 이용하여 서울시의 대중교통 접근성을 분석하였고, 이를 위해 약 1건의 정류장 단위 all-to-all 대중교통 경로를 연산하였다.

기존 지표와의 비교에서는 도시 외곽지역의 접근성 차이가 매우 두드러지게 나타났다. 이는 본 연구에서 제안하는 상대적 시간거리가 노선의 이동성을 반영하기 때문이다. 두 지표 간의 절대적인 비교는 불가능하나 수치 상 0.4 이상의 차이를 보이는 지역들이 다수 존재하였다.

상대적 시간거리에는 환승으로 인한 심리적 저항감도 시간으로 환산하여 반영되었다. 향후 연구에서는 스마트카드 데이터로부터 차내 혼잡도를 연산하고, 차내 혼잡에 따른 체감이동시간의 증가를 시간거리에 고려할 계획이다. 또한 인구, 토지이용 등의 GIS 데이터와 연계하여 분석한다면 정책적으로 활용도 높은 결과가 나타날 것으로 기대된다.

### 감사의글

이 논문은 2019년도 정부(경찰청)의 재원으로 도로교통공단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.Police-L-00002-01-201, 자율주행차의 도로주행을 위한 운행체계 및 교통인프라 연구개발)

### 참고문헌

- [1] Park, J. S. and Lee, K., 2015, Time-distance Accessibility Computation of Seoul Bus System based on the T-card Transaction Big Databases, Journal of the Economic Geographical Society of Korea, Vol. 18, No. 4, pp. 539-555.
- [2] Park, J. S. and Lee, K., 2017, Development of Integrated Accessibility Measurement Algorithm for the Seoul Metropolitan Public Transportation System, Journal of the Korean Regional Science Association, Vol. 33, No. 1, pp. 29-41.
- [3] Lee, K., Park, J. S. and Jeong, M. S., 2014, Accessibility Changes in the Metropolitan Seoul Subway System: Time-distance Algorithms based on the T-card Big Data and an Accessibility Measurement Model for Un-fixed Transportation Networks. Journal of the Economic Geographical Society of Korea, Vol. 17, No. 1, pp. 98-113.