

정류장 단위의 미시적 대중교통 접근성 분석

－ KTX 서울역 사례연구

Micro-scale Public Transport Accessibility by Stations - KTX Seoul Station Case Study

최승우* · 전철민** · 조성길***

Choi, Seung U · Jun, Chul Min · Cho, Seong Kil

要 旨

지속가능한 성장을 위한 친환경 교통체계 구축의 필요성이 증대되면서 대중교통 접근성은 교통체계 설계에 중요한 요소로 고려되고 있다. 대중교통 접근성을 분석할 때 실질적인 이동경로를 반영하기 위해 최단거리 알고리즘을 활용할 수 있으며, 한 지점에서 네트워크상의 다른 모든 지점에 대하여 얻은 최단거리 및 시간을 이용해 정류장 단위의 세밀한 접근성을 도출할 수 있다. 본 연구는 접근성 계산을 위해 환승횟수에 따른 페널티와 다수 노선들의 대기시간을 반영하여 개선한 최단거리 알고리즘을 이용하였다. KTX 서울역을 대상으로 다층 네트워크로 구현한 서울시 지하철·버스 네트워크에 알고리즘을 적용하여 KTX 서울역의 대중교통 접근성을 정류장 단위로 확인하였다.

핵심용어 : 대중교통, 접근성, 최단거리 알고리즘, 환승 페널티, 다층 네트워크, KTX

Abstract

As the need of eco-friendly transportation systems for sustainable development increases, public transport accessibility has been considered as an important element of transportation system design. When analyzing the accessibility, shortest path algorithms can be utilized to reflect the actual movement and we can obtain high resolution accessibility for all other stations on the network with shortest distance and time. This study used the algorithm improved by reflecting the penalty of number of transfers and waiting time of overlapped routes to get the accessibility. KTX Seoul Station is a target place and this algorithm is applied to multi-layer subway·bus network of Seoul to calculate the accessibility, therefore this study presented the accessibility of KTX Seoul station by stations.

Keywords : Public Transport, Accessibility, Shortest Path Algorithm, Transfer Penalty, Multi-layer Network, KTX

1. 서론

도시 환경오염 및 교통체증으로 인한 도시 문제가 심각해지면서, 지속가능한 성장을 위한

녹색 교통체계 구축의 필요성이 증대되고 있다. 정부 및 지자체에서는 『국가기간교통망계획』(2011) 및 『서울특별시 10개년 도시철도 기본 계획에 대한 종합발전방안』(2014) 등을 통해

* 정회원 · 서울시립대학교 공간정보공학과 석사과정(Member, Master Student, Dept. of Geoinformatics, University of Seoul, ellun7@gmail.com)

** 교신저자 · 정회원 · 서울시립대학교 공간정보공학과 교수(Corresponding author, Member, Professor, Dept. of Geoinformatics, University of Seoul, cmjun@uos.ac.kr)

*** 서울시립대학교 공간정보공학과 교수(Professor, Dept. of Geoinformatics, University of Seoul, skcho@uos.ac.kr)

대중교통을 중심으로 상호간 긴밀하게 연계된 교통정책을 추진하고 있다. 대중교통 체계 계획 시 지역 간 거리 및 시간 등 지리적 요소를 포함하고 있는 대중교통 접근성은 중요하게 고려되는 요소이며, 특히 도시철도 접근성은 교통환경 개선에 큰 효과를 주어 도시개발을 촉진하고 부동산 가격에 큰 영향을 주는 효과가 있다(Choi et al., 2009; Sung, 2011). 따라서 대중교통 접근성은 도시 공간 구조의 특성을 파악하는데 유용한 지표로 활용되고 있다.

대중교통 접근성을 분석할 때 실제 이동경로를 반영하기 위해 최단거리 알고리즘을 활용할 수 있다. 최단거리 알고리즘을 활용할 경우 한 지점을 기준으로 네트워크상의 다른 모든 지점에 대한 최단거리 및 시간을 얻을 수 있는 특성이 있기 때문에 정류장 단위의 세밀한 접근성을 도출할 수 있다(Lei and Church, 2010). 또한 정류장 단위로 산출된 이동시간들을 통해 같은 시간 내에 도달할 수 있는 지리적 분포를 등시간선으로 지도상에 표현할 수 있어 대중교통 접근성을 직관적으로 파악할 수 있다(O'Sullivan et al., 2000).

최근 데이터 수집·처리 기술의 발달로 교통카드 데이터 등을 활용한 미시적 분석이 활발해지고 있어, 기존의 행정구역 단위 분석보다 세밀한 단위에서 대중교통 분석이 필요하다고 할 수 있다. 본 연구는 대중교통 체계를 미시적인 단위로 분석하기 위해 최단거리 알고리즘을 이용하여 대중교통 접근성을 정류장 단위로 분석하였다. 최단거리 알고리즘으로 다익스트라 알고리즘을 활용하였으며, 기존 연구에서 고려하지 않은 환승횟수에 대한 부담을 반영하고 이동경로를 운행하는 노선들을 탐색하여 평균 대기시간을 계산하는 방법을 고려하여 접근성을 산출하였다. 서울시를 사례지역으로 타 대중교통수단과 연계의 필요성이 높은 고속철도 역을 분석 대상으로 하여 KTX 서울역의 대중교통 접근성을 알고리즘을 활용해 정류장 단위로 분석하였다. 시간 단위로 도출된 접근성 결과를 지도상에 시각적으로 표현하고 Hotspot 분석을 통해 KTX 접근성 취약지역을 확인하였다.

2. 선행연구

2.1 GIS기반 대중교통 접근성

대중교통에서 접근성은 대중교통 시설까지 얼마나 접근이 용이한가의 관점, 대중교통을 이용하여 다른 지역으로 이동하기 얼마나 편리한가의 관점, 그리고 다른 지역으로 특정한 서비스·활동과 같은 기회가 얼마나 많은가의 관점으로 다양하게 정의할 수 있다(Lei and Church, 2010; Mavoa et al., 2012). GIS분야에서는 한 지점에서 다른 지점으로의 이동과 같은 시공간적 측면을 중심으로 대중교통 접근성을 분석하고 있다. 대중교통 접근성은 일반적으로 이동시간을 기준으로 측정할 수 있으며, 대중교통 이동시간은 차내시간(T_{journey})뿐만 아니라 대기시간(T_{wait}), 도보시간(T_{walk})과 같은 차외시간이 추가된다(Benenson et al., 2011; Djurhuus et al., 2016). 그러나 실제로 최단시간만이 대중교통 이동경로를 결정하는 고려사항은 아니며, 환승시 교통요금이 증가하는 금전적 부담 및 불편함 등 환승 패널티(T_{penalty}) 요소도 실제 승객의 경로 선택에 영향을 미칠 수 있다(Park and Oh, 2001; Yang and Hang, 2015)(식 1).

$$T = T_{\text{journey}} + T_{\text{walk}} + T_{\text{wait}} + T_{\text{penalty}} \quad (1)$$

따라서 대중교통 최단거리 알고리즘을 구현하기 위해 차내시간 외에 차외시간을 고려한 방법론이 제안되었으며(Peng, 1997; O'Sullivan et al., 2000), 이후 연구에서 알고리즘 적용 시 차내시간과 차외시간을 계산하기 위해 다음과 같은 점을 고려하였다.

대기시간 및 정류장 간 링크 단위의 이동시간을 계산하는 방법으로 단일한 값을 이용한 방법과 실제 노선의 정류장 별 도착시간이 입력된 타임 테이블을 활용하는 방법이 있다. 단일한 값을 이용하는 방법은 통계자료를 이용해 평균적인 값을 주로 사용한다. 대기시간의 경우 일반적인 방법인 배차간격의 절반(O'Sullivan et al., 2000)으로 하거나, 모든 노선에 대해 단일한 값(Mavoa et al., 2012; Farber et al., 2014)으로

설정하였다. 이동시간은 교통수단의 평균적인 속도로 이동시간을 구하거나(O'Sullivan et al, 2000), 각 노선의 평균적인 운행 스케줄을 통해 링크 간 이동시간을 활용했다(Salonen and Toivonen, 2013). 반면 Lei and Church(2010)는 평균값을 이용하는 것은 실제 승객 이동시간을 도출하는 데 부적절하다고 지적하고, 정류장 단위로 실제 버스 도착시간 테이블을 활용하여 대중교통 대기시간 및 환승시간을 계산하였다(Lei and Church, 2010; Salonen and Toivonen, 2013; Djurhuus et al., 2016). 실제 타임 테이블을 이용하여 시간을 산출할 경우 실제 이동시간에 가깝게 반영할 수 있고 세밀한 시간 단위에서 통근·비 통근 시간대를 구별하여 분석할 수 있는 장점이 있지만, 특정 시간대에 따라 이동 경로가 달라질 수 있어 시간에 따라 결과가 다르게 나타나고 버스의 경우 대도시에서는 교통 체증으로 실제 타임 테이블과 일치하지 않는 한계점도 존재한다.

도보이동 시 대중교통을 이용범위를 설정하는 방법은 Voronoi Polygon을 이용해 각 지점에서 가장 가까운 정류장을 선택하도록 하는 방법이 있으나(O'Sullivan et al, 2000), 실제 승객은 경로와 무관하게 가장 가까운 정류장만 이용하는 것은 비현실적이므로 일반적으로 도보이동 권역 버퍼를 설정하여 접근 가능한 정류장을 탐색하는 방법을 활용한 경우가 많다. 도보이동 범위는 연구마다 400m, 1km 등 차이가 있으며(Benenson et al., 2011; Mavoa et al., 2012), Djurhuus et al.(2016)은 도보와 더불어 자전거 이동을 가정하여 도보이동 범위를 1km, 자전거 이동 범위를 3km로 설정하였다.

2.2 고속철도 접근성 분석 사례

2004년 KTX 경부선이 개통된 이후 이용객은 2004년 7.2만명에서 2013년 14.9만명으로 2배 이상 증가하여 장거리 이동에서 승용차를 빠르게 대체하고 있는 성과를 거두었으나, 설계상의 문제 또는 지역이기주의 등으로 인해 신설 고속철도 역이 기존 시가지와 지나치게 이격되어 있는 문제가 있다. KTX경제권 특성화 개발 연구

(Choi et al., 2015)에서는 기존 KTX역이 대중교통 연계성이 부족하여 교통거점으로서의 역할을 제대로 수행하지 못한다고 지적하고 있으며, 이를 해결하기 위해 KTX역 주변 개발 및 KTX 광역 역세권 설정을 통한 연계교통 확충의 필요성을 언급했다. KTX 접근성에 대하여 Kim and Kim(2007)과 Kim et al.(2013)은 각각 동대구역 및 KTX 수서역을 대상으로 시·군·구 단위 또는 행정동 단위로 접근성을 분석하였다. 이와 같이 기존 연구에서 다루는 접근성은 주로 도로 네트워크를 기반으로 시군구 단위 등 먼 단위로 접근성을 산출했다는 공통점을 가지고 있으며, 대중교통을 이용한 정류장 단위의 점 단위 접근성은 산출하지 못한 한계점을 본 연구에서 보완할 수 있다.

3. 연구방법

3.1 대중교통 네트워크 구축

대중교통 네트워크는 도로 네트워크와 달리 같은 구간을 이동하는 다수의 노선이 존재하는 특징을 가지고 있다. 이 특징은 버스뿐만 아니라 급행·완행으로 운행계통이 분리된 경우와 같이 지하철에서도 존재하고 있다. 대중교통 네트워크를 표현하는 방법으로 동일한 정류장을 통과하는 노선이 여러 개 존재할 때 노드를 각 노선마다 분리하여 데이터를 구축한 연구 사례가 있으며(Benenson et al., 2010; Djurhuus et al., 2016), 본 연구에서는 이 방법을 일반화한 개념인 다층 네트워크를 활용하였다. 다층 네트워크는 동일한 성질을 가진 네트워크가 하나의 레이어로 구성되며 각 레이어로 분리된 네트워크를 레이어 간 링크를 통해 유기적으로 연결된 구조를 갖는다(Boccaletti et al., 2014; Kivelä et al., 2014). 대중교통 네트워크에서는 각각의 노선을 하나의 레이어로, 각 정류장에서 도보로 이동 가능한 노드들을 레이어 간 연결로 나타낼 수 있어 다층 네트워크로 구현하기 적합하다.

대중교통 네트워크에서 링크의 성질에 따라 노선이 이동하는 링크를 '노선링크', 도보로 이동할 수 있는 링크를 '도보링크'라고 정의하였다

(Figure 1). 대중교통 다층 네트워크를 생성하기 위해서는 기존의 DB에 저장된 대중교통 네트워크를 참조한다. 다층 네트워크에서는 노선 수만큼 중복된 노드와 링크가 생성되므로 다층 네트워크에서 이들을 구별하기 위해 새로운 식별자(ID_ML)를 부여하고, 기존 네트워크의 ID를 통해 원래 같은 노드인지 판별할 수 있다(Figure 2).

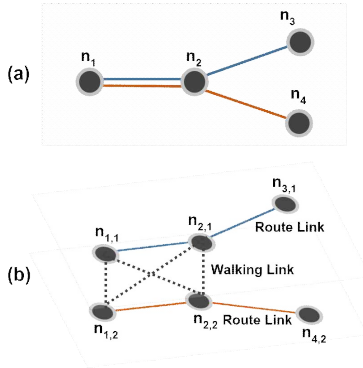


Figure 1. (a) Projected network, (b) multi-layer Network

3.2 환승횟수 페널티 계산

이동비용 계산 시 차내시간, 대기시간, 도보시간은 시간 단위로 측정되나, 그 밖의 환승 페널티($T_{penalty}$)는 금전적·심리적인 요소이기 때문에 그대로 이동비용에 더하기 어렵다. 이와 관련하여 환승과 관련한 변수를 시간으로 환산하기 위한 연구가 진행되었고 로짓모형을 통해 환승 변수에 대한 영향력을 시간단위로 측정하였다(Lee et al., 2003; Yang and Son, 2000). 서울시 대중교통의 경우 수도권 통합 요금제로 환승에 따른 금전적 추가부담이 없기 때문에 본 연구에서는 환승 페널티 중 금전적 부담은 제외하고 환승횟수를 이동비용 계산식에 포함하였다.

Node	ID	...	Node	ID	ID_ML	...
n1	1		n1,1	1	1	
n2	2		n1,2	1	2	
n3	3		n2,1	2	3	
n4	4		n2,2	2	4	
			n3,1	3	5	
			n4,2	4	6	

Link	ID	From Node	End Node	..
L1	1	n1	n2	
L2	2	n2	n3	
L3	3	n2	n4	

Link	ID	ID_ML	From Node	End Node	Type	...
L1	1	1	n1,1	n2,1	Route	
L2	1	2	n1,2	n2,2	Route	
L3	2	3	n2,1	n3,1	Route	
L4	3	4	n2,2	n4,2	Route	
L5	-	5	n1,1	n2,1	Walking	
L6	-	6	n2,1	n2,2	Walking	
...	

이동시간을 기준으로 최단경로를 산출할 경우 실제 승객의 이동패턴에 비해 과도하게 환승횟수가 많은 경로로 이동할 수 있다. 그러나 실제로 승객은 환승횟수가 증가할수록 심리적 부담이 작용하여 실제 이동경로 선택에 큰 영향을 줄 수 있으므로(Park and Oh, 2001), 환승횟수 증가에 따른 부담감을 시간으로 환산한 양을 알고리즘에 적용하였다.

환승횟수 페널티를 계산하기 위해 노드별 환승횟수(T) 배열을 생성하고, 환승횟수는 최초에 정류장으로 이동하기 위한 도보링크 및 마지막으로 목적지로 이동하기 위한 도보링크를 제외하고 그 밖의 경우에 도보링크로 이동 시 환승횟수를 하나씩 더하여 저장한다. Figure 3에서는 환승횟수를 저장하는 과정을 나타내고 있으며, 최초에 대중교통을 이용하기 위해 이동한 ($n_{1,1} \rightarrow n_{2,2}$) 경로는 도보링크로 이동하였지만 환승횟수를 증가시키지 않는다. 그러나 ($n_{4,2} \rightarrow n_{3,1}$) 경로로 이동할 때는 다음 노선으로 환승하였으므로 환승횟수를 1 증가시킨다.

3.3 경유 노선 및 노선 대기시간

대중교통은 같은 경로를 이동하는 다수의 노선이 존재할 수 있기 때문에 최단경로는 하나의 노선만이 저장되나 실제로는 최단경로를 이동하

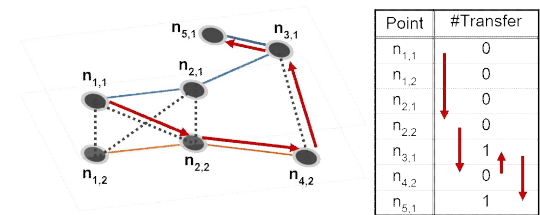


Figure 3. Calculate number of transfers

면서 중복되는 노선 또한 최단경로에 해당된다고 할 수 있다. 따라서 최단경로와 중복되는 링크를 탐색하여 경유 노선과 대기시간을 계산할 수 있다. 하나의 경로를 이동하는 다수 노선이 존재할 경우 승객은 여러 개 노선 중 하나를 이용할 수 있으므로 대기 시간은 개별 노선의 대기시간보다 단축되는 효과가 있다. ($u \rightarrow v$) 경로로 이동할 때 각 노선의 대기시간이 waitTime인 노선집합(routes[v])에 대한 평균 대기시간(Interval Mean, IM) 계산 함수(IM(routes))는 (식 2)와 같이 정의할 수 있다.

$$IM(routes) = \frac{1}{\sum_{routes[v]} \frac{1}{waitTime}} \quad (2)$$

평균 대기시간을 구하기 위하여 경로가 갱신될 때 경유노선(routes[v])을 저장한다. ($u \rightarrow v$) 경로를 통해 저장되는 경유노선은 노선링크로 이동할 경우 현재 노드까지 이동하는 데 이용 가능한 노선집합 routes[u] 중에서 다음 노드로 이동할 수 있는 노선들을 routes[v]에 저장한다. 이때 $I[v]$ 는 routes[v]의 평균 대기시간인 $IM(route[v])$ 가 된다. 도보링크로 이동할 경우 환승하기 이전, 노선링크를 통해 이동한 경로의 대기시간을 이동시간($d[v]$)에 더하고 환승한 노선 r의 노드 v에서 다음노드(next(v,r))를 잇는 링크($v \rightarrow next(v,r)$)와 동일한 경로를 운행하는 노선집합을 입력한다. 만약 환승한 노드가 해당 노선의 가장 마지막 노드라면 더 이상 진행할 노선링크가 없으므로 공집합을 입력한다(식 3).

$$\begin{aligned} & \text{if } (u \rightarrow v) \text{ is routeLink} \\ & \quad routes[v] \leftarrow routes[u] \cap routes(u \rightarrow v) \\ & \text{else} \\ & \quad \text{if } next(v,r) \text{ is not null} \\ & \quad \quad routes[v] \leftarrow routes(v \rightarrow next(v,r)) \\ & \quad \text{else} \\ & \quad \quad routes[v] \leftarrow \emptyset \end{aligned} \quad (3)$$

Fig. 4는 노선 R_1 , R_2 , R_3 의 평균 대기시간이 각각 60s일 때 평균 대기시간을 계산한 결과를 나타낸다. ($n_1 \rightarrow n_2$)경로로 이동하는 링크는 ($n_{1,1} \rightarrow n_{2,1}$), ($n_{1,2} \rightarrow n_{2,2}$) 두 개의 노선이 존재하므로 $I[n_{2,1}]$ 는 두 노선의 평균 대기시간은 60s로 입력

된다. 그러나 ($n_{2,1} \rightarrow n_{3,1}$) 경로로 이동할 때는 운행하는 노선이 R_1 만 존재하므로 $I[n_{3,1}]$ 은 120s로 입력된다. ($n_{3,1} \rightarrow n_{3,3}$) 경로로 환승할 때는 기존의 $I[n_{3,1}]=120$ 은 $d[n_{3,3}]$ 에 합산되고 $I[n_{3,3}]$ 은 다음 환승할 노선의 대기시간인 120s로 저장된다.

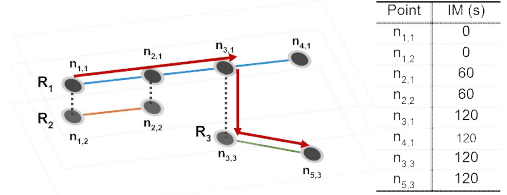


Figure 4. Calculating interval mean

이상의 환승횟수 페널티와 대기시간을 반영한 갱신 조건 및 저장되는 값은 Table 1, Table 2와 같다. 이동비용 계산 시, 노드 v에서 이동비용은 이동시간($D[v]$), 대기시간($I[v]$), 환승횟수 페널티($T[v] \times P$)를 모두 더한 값이 된다. 새로 갱신을 시도하는 ($u \rightarrow v$)경로에서의 이동비용은 거리($D[u]$), 환승횟수 페널티($T[u] \times P$), 링크의 이동시간 w가 공통적으로 해당되고, 노선링크는 ($u \rightarrow v$) 경로의 평균 대기시간($IM(routes(u \rightarrow v))$)이 추가된다. 반면 도보링크는 다음 노선으로 환승하기 위한 대기시간 및 환승횟수 페널티가 반영되어야 하기 때문에 환승횟수가 1 추가되고, 기존의 대기시간 $I[u]$ 가 이동비용에 합산되며 다음에 환승할 노선의 평균 대기시간($IM(routes(v \rightarrow next(v,r)))$)이 더해진다.

Table 1. Cost update conditions

Compare	$D[v] + I[v] + T[v] \times P$
Route Link	$> D[u] + IM(routes(u \rightarrow v)) + w + T[u] \times P$
Walking Link	$> D[u] + I[u] + IM(routes(u \rightarrow v)) + w + (T[u] + 1) \times P$

Table 2. Cost update formulae

Link Type	Updated Value
Route Link	$D[v] = D[u] + w$ $I[v] = IM(routes(u \rightarrow v))$ $T[v] = T[u]$

4. 데이터 구축 및 결과 분석

4.1 서울시 대중교통 네트워크 구축

네트워크 구축 대상은 수도권 도시철도 및 서울시 버스 노선을 대상으로 하였으며, 2011년 10월 19일 서울시 교통카드 데이터를 활용하여 612개 노선, 13,584개 역·정류장 규모의 대중교통 네트워크를 구축하였다(Fig. 5). 알고리즘 적용을 위한 변수를 다음과 같이 설정하였다. 환승횟수 페널티는 Yang et al.(2000), Lee et al.(2003)의 연구 결과를 참고하여 600초(10분)으로 설정하였다. 도보링크는 『역세권의 개발 및 이용에 관한 법률』 및 Kim et al.(2001)의 연구에 따라 지하철↔버스는 반경 500m, 버스↔버스는 반경 400m로 설정하였고, 지하철↔지하철은 추가적으로 환승통로 링크를 생성하였다.

노선링크의 이동시간은 지하철의 경우 지하철 공사에서 제공하는 표준 역간 이동시간을 참고하였고, 버스의 경우 GoogleMap API의 길찾기 서비스로 이동시간을 산출하였다. 도보링크 이동시간은 기본적으로 링크의 직선거리 / 성인 평균 보행 속도(4km/시)로 계산하고 지하철↔버스 및 지하철↔지하철 환승링크는 지하철↔버스, 지하철↔지하철 환승링크는 수직이동이 발생하기 때문에 이를 반영하기 위하여 『수도권 환승여건 실태조사』를 참고하여 평면거리에 역별 수직이동 시간을 더한 결과를 활용하였다. 서울시의 경우 교통체증이 심하고 배차간격이 비교적 짧은 특성이 있기 때문에 승객들이 특별히 미리 도착 시간표를 참고하지 않고 정류장에 무작위로 도착함을 가정하여 노선별 평균 대

기시간을 배차간격의 절반으로 설정하였다. 평균 대기시간은 교통카드 데이터의 버스 차고지 출발시각을 이용해 노선별 첫차·막차 시간과 버스 운행 횟수를 이용하여 평균적인 배차간격을 구하고 그 절반을 대기시간으로 산정하였다. 위의 네트워크 속성 입력에 대한 사항을 Table 3에 요약하였다.

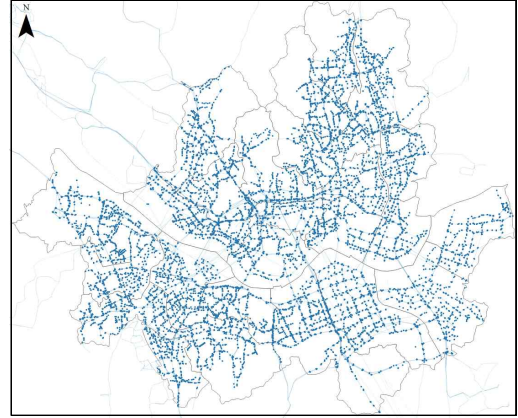


Figure 5. Public transport network of Seoul

4.2 KTX 역 접근성 분석

지도상에 위치한 KTX 서울역 역사의 중심점을 포인트 데이터로 네트워크에 추가하여 알고리즘을 적용하였다. 접근성은 차내시간에 도보시간, 대기시간, 환승횟수(#t)×환승횟수 페널티를 더하여 계산하였다(식 4).

$$T = T_{\text{journey}} + T_{\text{walk}} + T_{\text{wait}} + (\#t \times T_{\text{penalty}}) \quad (4)$$

Table 3. Network configuration parameters and values

Parameters	Values
Number of Transfer Penalty	600 sec. (10 min.)
Distance of Walking Link	Subway↔Subway·Bus : 500m, Bus↔Bus : 400m added Subway↔Subway Transfer Way
Route Link Time	Using Google Map API

정류장 단위로 도출한 서울역의 이동시간, 환승횟수, 접근성을 평균한 결과, KTX 서울역의 평균적인 접근성은 50.64분으로 나타났다(Table 4). Fig. 7은 서울역의 접근성과 최단경로로 이동할 때 환승횟수를 등시간선으로 시각화하여 나타내고 있고, Fig. 6은 접근성을 등 단위로 집계한 결과를 나타낸다. 정류장은 도로와 인접하여 분포하기 때문에 Fig. 7과 같이 지하철 및 버스가 운행하는 노선을 따라 접근성이 변화하는 특징이 있다. 행정구역으로 나타내는 경우 하나의 도로를 사이에 둔 두 행정동의 접근성이

Table 4. Summary of Seoul station accessibility

Avg.	Time(m)	Transfer	Accessibility(m)
Seoul	43.83	0.68	50.64

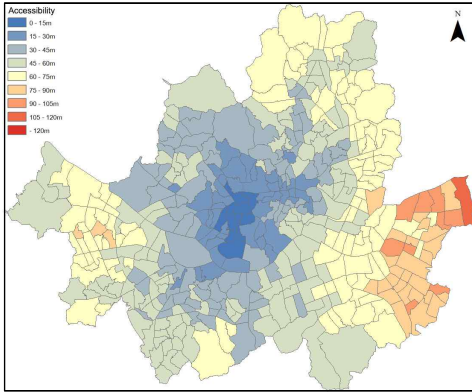


Figure 6. Accessibility of Seoul st. by district

다르게 나타나는 등 대중교통의 특성을 세밀하게 나타내기 어려우며, 최단거리 알고리즘을 활용한 결과가 실제 대중교통 체계를 더 잘 보여주고 있다고 할 수 있다.

Fig. 7을 통해 중심부에 위치한 서울역의 특성으로 서울 중심부와 가까울수록 접근성이 양호하였으나, 서울 동남부 지역은 다른 지역에 비해 환승횟수가 많고 접근성이 낮음을 알 수 있다. KTX 접근성이 낮은 주요 지역들을 식별하기 위해 Getis-Ord Gi* Hotspot 분석을 수행하였으며(Fig 8), 주로 서울 동부에 Hotspot이 분포하였다. 특히 송파구와 강동구의 많은 정류장들이 강한 Hotspot으로 나타나 KTX 접근성이 낮은 주요 지역인 것으로 나타났다.

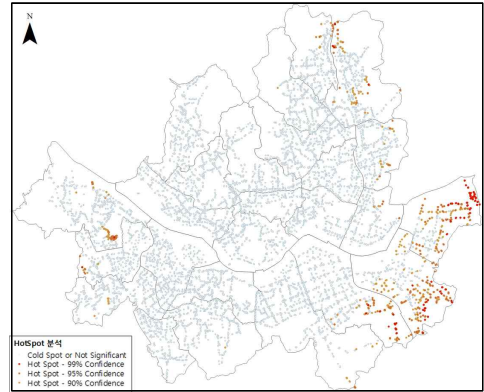
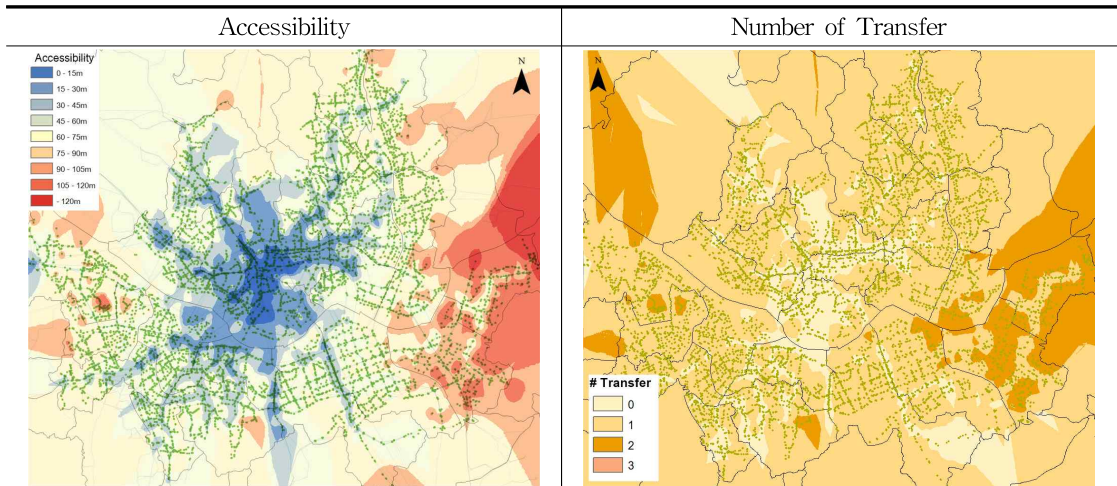


Figure 8. Hotspot analysis of Seoul st. accessibility



서울역 및 서울역 인근의 지하철·버스 노선 분포는 Fig. 9의 주황색 선과 같다. 서울역을 직접 통과하는 노선 주변지역은 접근성이 상대적으로 높게 나타나고 노선 주변에서 멀어질수록 낮게 나타나는 경향이 있다. 특히 서울역을 통과하는 지하철 1·4호선 및 경의선 연선은 구로구와 노원역 일대와 같이 서울역과 상대적으로 먼 거리임에도 접근성이 양호한 것으로 나타났다. 반면 광진·송파·강동구는 직통 노선이 미비하여 거리대비 접근성이 낮음을 알 수 있다. 이를 통해 KTX역에 대한 대중교통 접근성을 향상시키기 위해서 서울역을 지나는 직통 노선이 신설되거나 서울 동남권역에 새로운 KTX 정차역이 필요함을 알 수 있다.

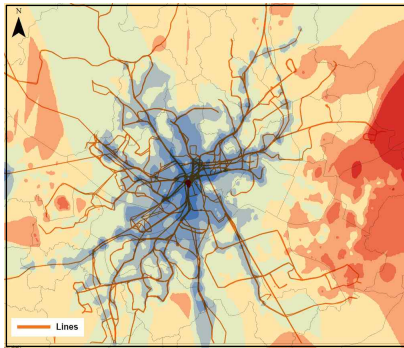


Figure 9. Subway&bus lines near Seoul st.

5. 결론

본 연구에서는 최단거리 알고리즘 기반 정류장 단위의 대중교통 접근성을 분석 및 시각화하였고, 환승횟수 페널티와 평균 대기시간 계산을 알고리즘에 추가하여 기존의 최단거리 알고리즘을 보완하였다. 서울시 지하철·버스 네트워크에 대하여 KTX 서울역의 대중교통 접근성을 도출하였으며 다른 지역보다 서울 동남권의 접근성이 낮은 것으로 나타났다. 향후 동남권 지역에 KTX 수서역이 개통될 예정이고 서울시와 경기도에서 KTX 삼성역 연장을 요구하고 있어, 최단거리 알고리즘을 활용한 접근성 분석을 통해 수도권 KTX 접근성의 변화를 정류장 단위의 미시적인 관점에서 분석할 수 있으며 KTX 뿐

만 아니라 버스 및 지하철 노선 신설 시 접근성 변화를 분석하는 데에도 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

본 연구에서는 실제 노선의 운행 타임 테이블을 활용하는 대신 평균적인 배차간격을 활용하였으나 지하철의 경우 운행시각이 규칙적이므로 실제 타임 테이블을 활용하여 시간대에 따라 다르게 접근성을 도출할 수 있을 것으로 예상된다. 또한 인천·경기도 버스 노선을 추가하여 향후 연구에서 수도권 전체에 대한 대중교통 접근성을 분석할 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 2014년 정부(국토교통부)의 재원으로 공간정보 융복합 핵심인재 양성사업(2014-04-10)의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

1. Benenson, I., Martens, K., Rofé, Y. and Kwartler, A., 2011, Public transport versus private car GIS-based estimation of accessibility applied to the Tel Aviv metropolitan area, *The Annals of Regional Science*, Vol. 47, No. 3, pp. 499-515.
2. Boccaletti, S. et al., 2014, The structure and dynamics of multilayer networks, *Physics Reports*, Vol. 544, No. 1, pp. 1-122.
3. Choi, C. U., Son, J. W. and Lee, C. H., 2009, Land value analysis using GIS in Haeundae gu of Busan, *Journal of the Korean Society for Geo-spatial Information System*, Vol. 17, No. 2, pp. 3-9.
4. Choi, J. S. et al., 2015, Specialized development of KTX economic areas, current status and challenges, *Urban Information Service*, No. 398, pp. 3-27.
5. Djurhuus, S., Hansen, H. S., Aadahl, M. and Glümer, C., 2016, Building a multimodal network and determining individual accessi

- bility by public transportation, *Environment and Planning B*, Vol. 43, pp. 210–227.
6. Farber, S., Morang, M. Z. and Widener, M. J., 2014, Temporal variability in transit-based accessibility to supermarkets, *Applied Geography*, Vol. 53, pp. 149–159.
 7. Kim, D. Y. et al., 2013, Analysis of changes in accessibility due to the opening of the Su-seo station, *Spring Conference of the Korean Society for Railway*, Korean Society for Railway, pp. 1660–1665.
 8. Kim, K. S. and Kim, S. H., 2007, A study on the access travel area of the KTX Dong-Daegu station, *Seoul Studies*, Vol. 8, No. 2, pp. 133–144.
 9. Kim, S. H., Lee, C. M. and Ahn, K. H., 2001, The influence of walking distance to a transit stop on modal choice, *Journal of the Korea Planning Association*, Vol. 36, No. 7, pp. 297–307.
 10. Kivelä, M. et al., Multilayer networks, 2014, *Journal of Complex Networks* Vol. 2, No. 3, pp. 203–271.
 11. Lee, G. J., Park, C. H. and Jeon, G. S., 2003, Estimating transfer penalties considering transfer condition (A case of subway in Seoul), *Proc. of the KOR-KST Conference*, Korean Society of Transportation, Vol. 44, pp. 1–6.
 12. Lei, T. L. and Church, R., 2010, Mapping transit-based access: integrating GIS, routes and schedules, *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 24, No. 2, pp. 283–304.
 13. 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*, Vol. 20, No. 1, pp. 15–22.
 14. Metropolitan Transportation Authority, 2015, Joint business of up-to-date of Seoul metropolitan passenger O/D traffic in 2014.
 15. O'Sullivan, D., Morrison, A. and Shearer, A., 2000, Using desktop GIS for the investigation of accessibility by public transport: an isochrone approach, *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 14, No. 1, pp. 85–104.
 16. Park, B. H. and Oh, S. J., 2001, Effects of transfer penalty in the public transit assignment, *Social Science Studies*, Vol. 17, No. 2, pp. 65–92.
 17. Peng, Z., 1997, A methodology for design of a GIS-based automatic transit traveler information system, *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 21, No. 5, pp. 359–372.
 18. Salonen, M. and Toivonen, T., 2013, Modelling travel time in urban networks: comparable measures for private car and public transport, *Journal of Transport Geography*, Vol. 31, pp. 143–153.
 19. Sung, H., 2011, A study on estimating the potential impacts of transit-oriented development on housing price, *Journal of the KRSA*, Vol. 27, No. 2, pp. 63–76.
 20. The Korea Transport Institute, 2014, KTX opening 10 years, what would be different.
 21. Yang, C. H. and Son, U. Y., 2000, Estimation of transfer related values of Seoul subway users using stated preference and revealed preference analyses, *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 18, No. 4, pp. 19–30.
 22. Yang, S. and Hang, F. L., 2015, GIS-based analysis of public transit accessibility: definition and display, *CICTP 2015, Chinese Overseas Transportation Association*, pp. 1213–1224.