

철도수단이 내재된 통행사슬의 환승저항 추정방안

- 수도권 교통카드자료를 활용하여 -

이미영* · 손지연**

Lee, Mee young*, Sohn, Jhieon**

Transfer Impedence of Trip Chain with a Railway Mode Embedded - Using Seoul Metropolitan Transportation Card Data -

ABSTRACT

This research uses public transportation card data to analyze the inter-regional transfer times, transfer frequencies, and transfer resistance that passengers experience during transit amongst the metropolitan public transportation modes. Currently, mode transfers between bus and rail are recorded up to five times during one transit movement by Trip Chain, facilitating greater comprehension of intermodal movements. However, lack of information on what arises during these transfers poses a problem in that it leads to an underestimation of transfer resistances on the Trip Chain. As such, a path choice model that reflects passenger movements during transit activities is created, which attains explanatory power on transfer resistance through its inclusion of transfer times and frequencies. The methodology adopted in this research is to first conceptualize the idea of metropolitan public transportation transfer, and in the case that mode transfers include the city-rail, to newly conceptualize the idea of transfer resistance using transportation card data. Also, the city-rail path choice model within the Trip Chain is constructed, with transfer time and frequency used to reevaluate transfer resistance. Further, in order to align bus and city-rail station administrative level small-zone coordinates to state and regional level mid-zone coordinates, the big node method is utilized. Finally, case studies on trip chains using at least one transfer onto the city-rail is used to determine the validity of the results obtained.

Key words : Transportation card, Trip chain data, Urban railway, Transfer impedence, Big node

초 록

본 연구는 대중교통카드자료를 이용해서 수도권 지역간 대중교통통행에서 승객들이 겪는 환승시간, 환승회수의 환승저항을 분석한다. 현재 교통카드자료는 버스와 철도를 이용하는 수단통행을 5회까지 Trip Chain으로 기록하여 수단간 환승과 관련된 정보는 쉽게 파악된다. 그러나 수도권 교통카드는 도시철도의 통행에서 발생하는 환승역 정보를 포함하고 있지않아 Trip Chain에서 승객이 경험하는 환승저항이 저평가되는 문제가 존재한다. 따라서 철도통행에 대하여 승객행태를 반영하는 경로선택모형을 구축하여 환승시간과 환승회수를 반영하면 온전한 환승저항의 설 명력을 갖게된다. 연구방법으로서, 우선 수도권 대중교통환승에 대한 개념을 정립하여 도시철도가 포함되는 수단이용의 경우 교통카드자료의 환 승저항 개념을 새롭게 정립한다. 또한 Trip Chain내에 철도의 경로선택모형을 구축하여 환승시간 및 환승회수를 대상으로 통행저항을 재평가하 여 설정한다. 그리고 버스 및 도시철도 정류장 좌표를 행정동단위의 소존 및 시군구 단위의 중존으로 일치시키기 위해서 빅노드를 운영하는 방법 을 채택한다. 마지막으로 수도권의 지역간 통행에서 철도수단이 한번 포함된 통행사슬에 대한 사례연구를 통하여 결과의 타당성을 논의한다.

검색어 : 대중교통카드, 버스-철도, 통행사슬자료, 환승저항, 빅노드

* 정희원 · 교신저자 · 국토연구원 책임연구원 (Corresponding Author · Korea Research Institute for Human Settlements · mylee@krihs.re.kr)

** 정희원 · 인천발전연구원 연구위원 (Incheon Development Institute · sohn21@idi.re.kr)

Received October 24, 2016/ revised November 7, 2016/ accepted November 14, 2016

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

수도권의 대중교통요금은 통합거리비례제도와 환승할인제도가 혼합되어 부과된다. 철도가 포함되는 통행은 10km내 기본구간에 기본운임을 부과하고, 이후 5km 단위로 추가운임을 부과하며, 환승요금은 별도로 부과되지 않는다. 버스수단 만 이용하는 승객에 대해서는 서울, 경기, 인천의 부과방식에 차이가 있다. 무료환승은 오후 늦게를 제외하고 30분 내에 타 수단으로 갈아타면 4회까지 가능하다. 따라서 수단은 5회까지 이용된다. 신분당선처럼 민자철도노선이 요금제도에 진입하기 전에는 철도수단은 1회만 허용되었다. 현재는 버스와 철도를 포함해서 5회까지 가능하다. 수도권 대중교통이용 기록은 카드요금을 통합정산하는 (주)한국스마트카드(KSCC)에서 집계되고 있다.

교통카드에서 생성되는 승객의 연결통행수단정보는 교통분야에서 중요하다. 통행자가 실제 이동하는 흐름을 파악하여 대중교통노선계획과 같은 정책의 기본자료로서 활용이 가능하다. 수도권의 전체 대중교통이용인구의 흐름을 파악하여 수도권 경제 및 지역계획에 적용할 수 있다. 인구센서스 및 가구통행실태조사와 같은 통계적 신뢰도 제고가 필요한 분야에 검증자료로서 이용도 가능하다. 지리정보시스템(GIS)과 같이 시각화된 기법과 통계 및 최적화 분석기법이 통합되면서 대중교통카드를 시공간적으로 해석하는 방안도 적용될 수 있다.

그러나 최근까지 대중교통카드자료는 개별통행을 위주로 연구가 진행되었으며 연계통행을 대상으로 진행된 사례는 적다. 개별통행자료를 통해서 출발 및 도착 정류장에서 카드태그시간을 통해 차량의 혼잡도, 통행시간, 정체구간, 승하차 이용패턴이 용이하게 파악된다. 반면 연계통행은 최초 출발역에서 최종 도착역까지 수단 이용에 대한 세부적인 흐름의 파악이 필요하다. 버스와 버스의 연결은 버스내부에서 카드태그가 발생하기 때문에 카드자료로 쉽게 파악된다(Fig. 1).

한편 철도수단이 포함되면 카드정보로는 차량과 이용경로 정보

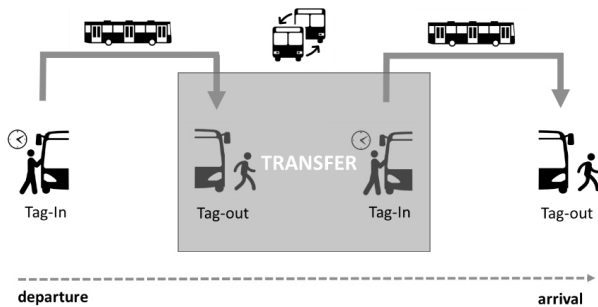


Fig. 1. Transfer between Buses (Shon, 2015)

의 파악이 어렵다. 이 문제는 도시철도역사의 개찰구에서 카드태그가 이루어져 복수의 노선이 운행되는 역사에서 어떤 노선을 이용했는지에 대한 정보가 없어서 발생한다. 또한 출발역과 도착역 사이에서 승객이 이용한 환승역에 대한 정보가 교통카드자료에는 기록되지 않기 때문이기도 하다(Fig. 2). 따라서 철도수단을 포함하는 통행사슬은 철도네트워크에서 진행되고 있는 환승시간 및 회수의 정보가 계산되면 온전하게 분석자료로서 완성된다고 볼 수 있다.

교통카드를 이용해서 도시철도내부의 내부통행을 추정하는 연구로서, Shin et al. (2010)은 수도권 도시철도운영기관의 운임수입정산을 위해서 정적 도시철도경로선택모형을 적용하여 구축하였다. Shon (2015)은 도시철도 개찰구 출발시간을 중심으로 유사경로 기반의 동적통행배정모형을 구축하여 5분과 15분 단위의 시간중속적 통행흐름을 파악하였다. Lee and Choi (2015)는 지하철 플랫폼의 혼잡을 추정하기 위하여 개찰구에서 교통카드태그정보를 이용하는 알고리즘을 제시하였다. Kim et al. (2015)은 메트로 9호선을 대상으로 교통카드의 군집태그현상을 파악하여 탑승한 열차를 파악하는 통계적 기법을 제안하였다. Lee et al. (2016)은 수도권 도시철도환승자료인 환승회수, 환승시간을 파악하기 위하여 승객이 최단시간의 통행경로를 선정한다는 가정의 선형목적식을 기준으로 전량배정방안을 제안하였다. 사례연구로서 66개 시군구단위의 중준단위 통행과 서울-경기-인천의 대준단위 통행에 대한 평균환승회수 및 환승시간을 도출하였다.

위의 연구에서 공통적인 연구범위는 도시철도역사에 한정한다는 것이며, Lee et al. (2016)가 제시한 Fig. 3과 같이 3개의 통행사슬에서 철도(S)의 통행을 개별적으로 분리하여 4개의 철도통행자료

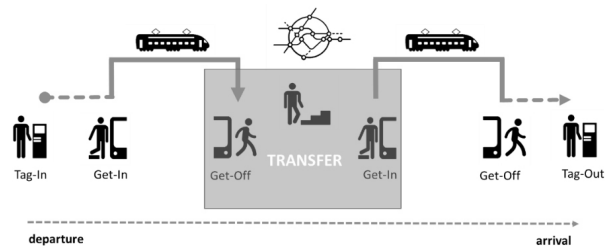


Fig. 2. Transfer between Urban Railways (Shon, 2015)

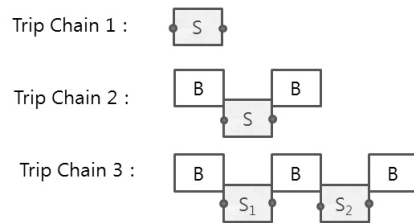


Fig. 3. Extraction of Urban Railway Trips in Three Trip Chain Data (Lee et al., 2016) (B: Bus, S: Urban Railways)

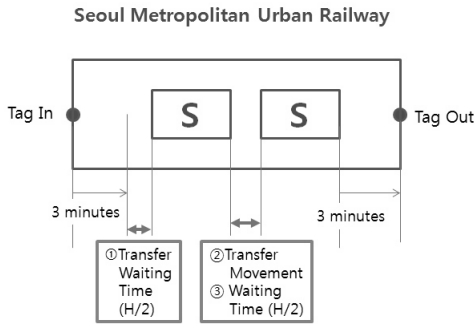


Fig. 4. Transfer Impedence of Trip Chain S

를 대상으로 적용한 개념과 일치한다. Lee et al. (2016)은 철도통행을 대상으로만의 환승자료 추정방안으로서 Fig. 4와 같이 초승열차를 기다리는 시간(①)과 노선간의 환승이 발생하는 경우 이동 및 대기시간(②, ③)을 환승시간으로 표현하였으며 이때 환승회수는 1회이다. 따라서 진입개찰구에서 초승열차 플랫폼과 최종하차후 진출태그까지의 6분은 환승시간에 적용되지 않아 버스와 철도의 환승이 포함되는 경우 환승시간에 대한 추가적인 반영이 필요한 것으로 나타났다.

본 연구는 교통카드에 존재하는 통행사슬에 철도수단이 포함되면 경로선택모형을 통해 환승저항을 추정하는 방안을 검토한다. 이를 위해 수도권 도시철도의 환승저항을 버스수단과 통합되어 산정하는 개념을 제안한다. 또한 도시철도의 환승저항과 관련된 정보를 도출하기 위하여 승객통행경로모형을 적용한다. 그리고 수도권 도시철도가 포함된 지역간 통행사슬을 대상으로 사례연구를 시행한다. 이 과정에서 승하차 정류장 위치정보를 이용하여 최초출발역과 최종도착역의 행정동 및 시군구 단위의 지역간 이동 패턴에 대한 시사점을 도출하기 위하여 노선간 환승역으로 기능을 하는 도시철도역사를 빅노드개념으로 적용하는 방안을 강구한다.

1.2 연구범위 및 방법

수도권 교통카드의 도시철도수단기록에는 환승정보가 포함되지 않기 때문에 도시철도의 환승에 대한 저항이 과소추정의 사유로서 적용된다. 따라서 철도의 진출입 개찰구 자료를 토대로 이용경로를 추정하고 승객의 환승시간과 환승회수에 대한 정보를 추출하여 전체 통행에 대한 환승저항자료로서 보완하는 것이다. 연구범위는 1일 교통카드자료로 한정하며 1회의 도시철도수단만을 포함하는 통행으로 한정한다. 2회이상의 철도통행은 지역간의 통행특성을 나타내기 보다는 30분내에 업무를 마치고 긴급하게 통행하려는 속성이 강하다고 판단하여 제외하였다.

철도수단을 중심으로 환승저항을 판단하는 유형은 Fig. 5와 같이 4가지로 구분이 가능하다. 유형①은 도시철도만의 통행으로

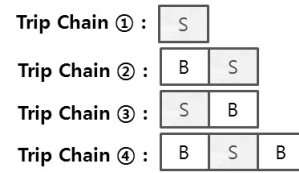


Fig. 5. Trip Chain Data with One Railway Mode

Table 1. Trip Chain Types and Cases in One Day Transportation Card Data (Monday, Oct.13, 2014)

| No. | Division | Total Number (case) | Trip Chain Types |
|-------|----------|---------------------|------------------|
| 1 | S | 4,894,703 | ① |
| 2 | SB | 1,086,992 | ② |
| 3 | BS | 1,164,090 | ③ |
| 4 | BSB | 299,130 | ④ |
| 5 | SBB | 49,684 | ③ |
| 6 | BSBB | 12,500 | ④ |
| 7 | BBS | 43,682 | ② |
| 8 | BBBS | 11,097 | ④ |
| 9 | BBBSB | 1,297 | ④ |
| 10 | SBBB | 5,079 | ③ |
| 11 | BSBBB | 1,848 | ④ |
| 12 | SBBBB | 1,097 | ③ |
| 13 | BBBS | 3,789 | ② |
| 14 | BBSBB | 929 | ④ |
| 15 | BBBBS | 786 | ② |
| Total | | 7,576,703 | - |

환승저항은 Fig. 4와 같다. 유형②는 철도수단이 최종통행으로 나타나며 버스의 하차에서 철도역의 개찰구를 태그하고 이동하는 시간(3분)이 환승저항에 포함된다. 유형③은 철도수단이 최초로 나타나며 철도하차후 철도역 개찰구까지 태그시간(3분)과 버스승차까지 시간이 포함된다. 유형④는 ②의 버스하차 및 철도승차와 ③의 철도하차 및 버스승차의 환승저항이 함께 적용되는 형태이다. 본 연구에서 적용하는 교통카드자료는 2014년 10월 13일 월요일 자료를 대상으로 하며 Fig. 4에 나타나는 4가지 유형이 Table 1과 같이 15개 형태의 총 7,576,703개 통행사슬이 구축되었다. 이 통행사슬자료는 철도역사 진입인출개찰구 정보 및 태그시간 및 버스승하차 태그정보 및 시간이 존재하는 모든 통행사슬자료를 포함하여 구축된 것이다.

최종적으로 Table 1의 통행사슬이 지역간의 대중교통통행으로 설명하기 위해서 버스정류장 및 도시철도역사의 개찰구의 위치좌표를 통해서 최초출발정류장과 최종도착정류장을 행정동 및 시군구로 나타내어 지역간 O/D로 구성된 환승저항자료를 구축한다.

2. 통행사슬에서 도시철도 환승저항추정모형

2.1 도시철도 환승저항 개념

본 연구에서 도시철도가 내재되어 나타나는 환승시간 및 환승회수는 Fig. 5와 같이 총 4개 유형으로 나타난다. 이중 도시철도의 단일수단만 포함되는 통행사슬(S) 유형은 Fig. 4와 같이 환승저항은 초승열차의 차두간격을 고려한 대기시간(①)과 열차를 기다리기 위한 환승이동(②) 및 환승열차의 차두간격(H)을 고려한 대기시간(③)을 반영하며 열차를 기다린 회수를 반영한다.

버스에서 하차하여 도시철도에서 통행이 완료되면 통행사슬(BS)유형은 Fig. 6과 같이 환승시간은 버스하차 태그후 도시철도역사 진입태그시간(①)과 초승열차탑승을 위한 이동시간인 3분(②)을 포함하고 통행사슬 유형(S)까지 고려한다(③+④+⑤). 환승회수는 버스-철도환승과 도시철도내부환승을 포함한다.

도시철도역사 진입과 진출후 버스를 탑승하는 통행사슬(SB) 유형은 통행사슬 유형(S)의 반영(①+②+③)과 함께 진출태그까지 이동시간 3분(④)과 환승버스의 탑승태그까지 시간(⑤)을 포함하며, 환승회수는 철도-버스환승과 도시철도내부환승을 포함한다.

버스하차후 도시철도역사 진입과 진출후 버스를 탑승하는 통행사슬(BSB) 유형은 Fig. 8과 같이 버스하차태그와 철도역사 진입태그시간(①)과 3분의 철도역사 플랫폼 이동시간(②)과 초승열차대

기시간(③), 환승열차탑승을 위한 이동(④) 및 차두간격(⑤), 최종 열차하차후 3분(⑥)철도역사 진출태그후 버스진입태그시간(⑦)까지 환승시간에 포함되며, 2회의 버스-철도, 철도-버스 환승과 함께 도시철도환승회수를 포함한다.

2.2 도시철도 환승저항 추정모형

도시철도의 환승저항은 탑승역에서 하차역까지 최소통행시간경로를 선택하는 가정으로 구축되었다. Fig. 9와 같이 통행사슬유형(BSB)에서 도시철도의 통행에 대하여 나타나지 않는 부분은 철도역사에 진입태그인 출발역(r)부터 진출태그인 도착역(s)까지 이다. 따라서 r과 s를 연결하는 최소통행시간경로를 파악하여 개별통행에 대한 환승시간 및 환승회수자료의 구축이 가능하다. Eq. (1)은 승객이 경험하는 r-s간의 통행시간(T^{rs})을 나타낸 것으로 3분의 최초열차이동시간(A_r), 초승열차대기시간(W_r), 차내이동시간(V_b)과 환승이동(TM_{ab}) 및 환승차량대기(TW_b)와 함께 하차역 태그이동시간(E_s)으로 나타난다. 여기서 a,b는 각각 출발역노드와 도착역노드로 이루어진 인접된 노선-링크를 나타낸다.

$$T^{rs} = A_r + W_r + \sum_b V_b + \sum_a \sum_b [TM_{ab} + TW_b] + E_s \quad (1)$$

Eq. (2)는 Eq. (1)과 Fig. 9에서 r-s간의 통행시간(T^{rs})에서 환승시간($TranT^{rs}$)을 의미한다.

$$TranT^{rs} = A_r + W_r + \sum_a \sum_b [TM_{ab} + TW_b] \cdot \delta_{ab}^{rs} + E_s \quad (2)$$

여기서, δ_{ab}^{rs} : 인접노선-링크 ab가 최적경로에 포함되면 1, 아니면 0

개별승객들이 Eq. (1)과 같이 최소의 통행시간경로를 선택하며 철도의 혼잡에 대한 고려가 없다고 가정하면 다음과 같은 선형목적 함수 Eq. (3)을 구축할 수 있다. 최초열차이동시간(A_r)과 하차열차태그이동시간(E_s)은 상수이므로 최적경로선택과정에서 고려된다.

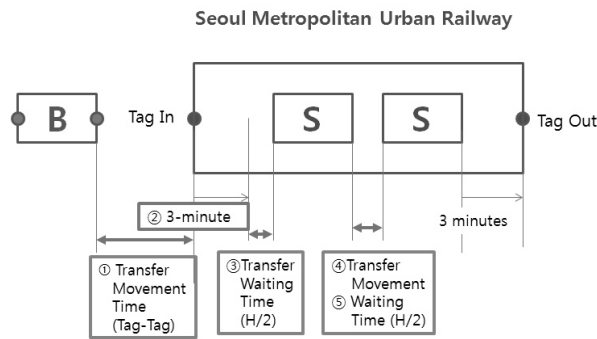


Fig. 6. Transfer Impedance of Trip Chain BS

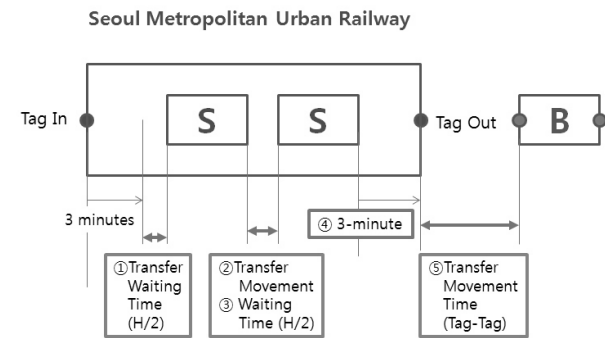


Fig. 7. Transfer Impedance of Trip Chain SB

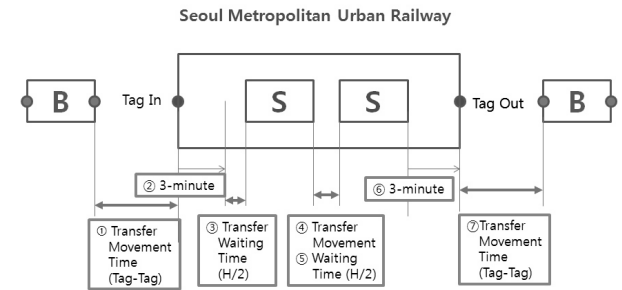


Fig. 8. Transfer Impedance of Trip Chain BSB

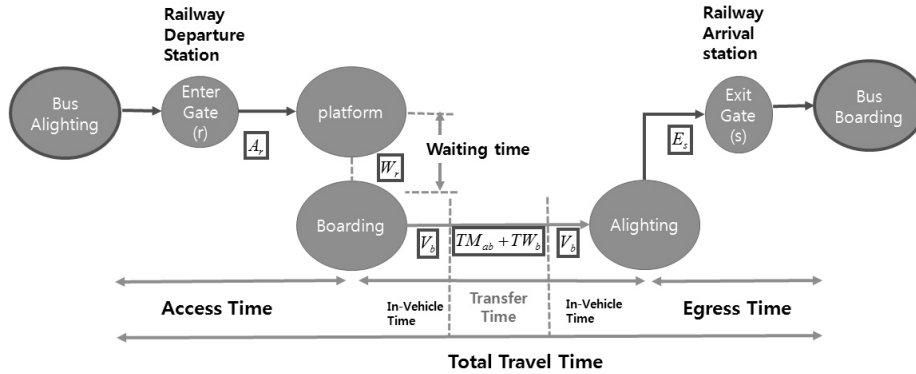


Fig. 9. Travel Time of Trip Chian BSB (Lee et al., 2016)

$$\min Z(X) = \sum_a \sum_b [TM_{ab} + TW_b + V_b] \cdot x_{ab} \quad (3)$$

여기서, x_{ab} : 노선-링크 a에서 b로 환승인원(人)

Eq. (3)은 r-s의 수요에 대하여 전량배정(All or Nothing Assignment)방식으로서 Eq. (4)를 이용하여 인접링크의 확장없이 환승패널티를 고려하여 최적경로를 선택하는 알고리즘을 통하여 단일경로를 산출하고 개별승객이 겪은 통행사슬에서 철도의 환승 저항을 계산한다.

$$\pi^{rb} = \min(\pi^{ra} + TM_{ab} + TW_b + V_b, \pi^{rb}), b \in \Gamma_a^+ \quad (4)$$

여기서, Γ_a^+ : 노선-링크 a의 도착노드가 시작노드인 노선-링크집합

2.3 도시철도역사 빅노드 적용방안

본 연구에서 통행사슬은 철도의 통행을 내재한 복수의 통행에 대한 고려가 필요하다. 버스탑승 및 하차역의 경우 역의 위치를 표현하는 (x,y)좌표와 행정동 구역정보가 존재하면 버스차량안에서 태그가 발생하므로 태그기록과 버스정류장은 일치한다. 그러나 철도역사의 경우 현재 수도권에서 60여개의 환승이 가능한 역사가 운영되고 있는데 복수의 노선을 접근하는 개찰구 태그를 고려하는 것이 필요하다. 아래의 고속버스터미널을 예로 들면 0329는 서울메트로 3호선, 2736은 서울도시철도공사 7호선, 4123은 서울메트로 9호선에서 각각 운영하는 개찰구이다. 이러한 복수의 개찰구를 고려하는 방안으로서 본 연구는 빅노드(Big Node)라는 맵핑개념을 도입하여 하나의 이름처럼 노드를 부여하는 방안으로 처리한다. Fig. 10은 0329, 2736, 4123의 개찰구에서 태그하면 고속버스터미널의 빅노드 N으로 재부여되어 수행된다.

빅노드로 구성된 2개의 환승역을 연결하면 Fig. 11과 같이 출발

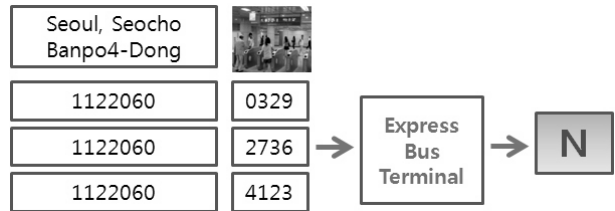


Fig. 10. Big Node N Representing Three Card Tagings at the Express Bus Terminal Station

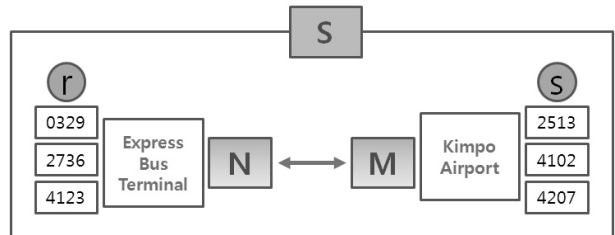


Fig. 11. Trip Chain S : Connection Between Big Nodes N and M Connecting Two Railway Stations

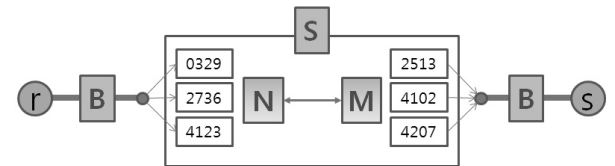


Fig. 12. Trip Chain BSB and Big Nodes N & M

역의 행정동과 도착역의 행정동을 연결하는 소준단위의 통행에 대한 설명이 가능하며, 여기서는 고속버스터미널의 N과 김포공항 M의 연결정보가 모두 포함된다.

Fig. 12는 단일의 도시철도통행에 대한 2개의 빅노드 구축을 설명한 것이다. 버스-철도-버스의 통행사슬유형(BSB)에 대하여 출발지(r)에서 버스의 단일노드와 철도의 빅노드(N)와 빅노드(M), 버스의 단일노드를 통해서 도착지(s)로의 상황을 나타내고 있다.

3. 사례연구

3.1 자료

교통카드자료는 1장 2절의 Table 1에의 2014년 10월 13일 월요일 통행사슬자료인 7,576,703 건을 대상으로 총15개 수단연결에서 4개의 철도통행포함유형으로 구분하였다.

도시철도가 포함되는 통행자료의 경우 Eqs. (1)~(4)에 걸쳐서 최적통행시간모형을 구동시키기 위한 철도입력자료는 Table 2의 링크-수단과 통행시간과 관련된 자료, Table 3의 역노드자료는 버스역과 철도역을 포함하는 형태로 구축되었으며, Table 4의 환승자료는 환승역을 중심으로 2개의 회전통행에 대한 방향별 시간을 구축하였다. 철도네트워크 입력자료는 수도권통합요금제에 진입한 용인경전철까지 포함된 네트워크로서 역간 통행시간정보를 담은 1162개 링크, 역사게이트ID 601개 노드, 환승은 712개로 구성된다. 이때 생성된 빅노드는 513개이다. 도시철도 환승역에서 노선별 차두간격은 침두시 30%, 비침두시 70%를 반영하여 적용하였다. 이는 전일 대중교통카드자료를 대상으로 모형을 구축하였기 때문에 교통카드에서 나타나는 통행현상을 적절하게 반영하기 위하여 평균화한 값이다.

Table 2. Railway Link Data

| Departure | Arrival | Trip Time (min.) |
|------------|------------|------------------|
| Seoul Sta. | Namyong | 3 |
| Namyong | Yongsan | 2.5 |
| Yongsan | Noryangjin | 3.5 |
| Noryangjin | Daebang | 2.5 |

Table 3. Station Data

| Station ID | Station Name | Location Code (City, Gu, Dong) | Station Type |
|------------|------------------|--------------------------------|-----------------|
| 0072992 | Youngsan Station | 1103073 | Bus Station |
| 0072314 | Warrior House | 1103073 | Bus Station |
| 0008523 | Yongmun Market | 1103072 | Bus Station |
| 0076116 | Namsan Library | 1103051 | Bus Station |
| 0150 | Seoul Station | 1103053 | Railway Station |
| 0151 | City Hall | 1102055 | Railway Station |
| 0152 | Jonggak | 1101061 | Railway Station |
| 0153 | Jongno 3-ga | 1101061 | Railway Station |

Table 4. Railway Transfer Data Data

| From | Transfer | To | Time (min.) |
|-------|--------------|---------|-------------|
| Suseo | Garak Market | Munjung | 2.3 |
| Suseo | Garak Market | Songpa | 1.8 |

3.2 모형적합성

Lee et al. (2016)은 도시철도 통행만을 대상으로 시군구 중존별 통행시간과 모형통행시간을 동일하게 구축한 모형을 수행하였다. 따라서 본 모형의 적합성은 도시철도부분만 모형이 수행되므로 동일한 모형의 정확성을 갖는다. Fig. 13은 수요가 100 이상인 OD쌍 2270개에 대한 선형회귀식을 도출하였으며 98.4%의 설명력을 갖는 것으로 파악되었다.

3.3 서울-경기인천 결과분석

Table 5는 서울-경기인천에 대한 종합결과를 요약한 것을 보여준다. 총 7,576,703(건)에서 7,497,328(건)의 최초출발지와 최종목적지가 수도권 지역에 포함되고 있다. 평균통행시간은 41.40(분)이며 이중 도시철도는 33.13(분)으로 총 통행시간의 80.2(%)를 담당하는 것으로 나타났다. 카드상에 나타나는 평균환승시간은 2.38(분)이나 도시철도의 환승시간 5.37(분)이 저평가 되고 있다. 버스와 도시철도 환승시간은 전체통행시간의 18.7(%)를 차지하고 있으며, 도시철도의 환승시간은 16.2(%)로 나타나 도시철도의 환승저항이 크게 작용하고 있음을 알 수 있다. 또한 교통카드자료에서 나타나는 환승회수는 평균 0.42(번)이나 도시철도 내부통행에서 0.54(번)으로 나타나 도시철도의 환승회수가 더 크게 계산되었다.

Table 6는 서울-경기인천의 지역간 여행(통행사슬)에 대한 OD표를 구축하여 요약한 것을 보여준다.

- 서울-서울은 4,439,784(여행-건)으로 도시철도 평균환승시간은 4.76(분) 환승회수는 0.52(번)으로 나타났으며, 서울-인천은 149,674(여행-건)으로 각각 6.35(분), 0.84(번), 서울-경기는 827,598(여행-건)으로 각각 6.25(분), 0.72(번)으로 나타났다.
- 인천-서울은 162,066(여행-건)으로 도시철도 평균환승시간은 6.65(분) 환승회수는 0.89(번)으로 나타났으며, 인천-인천은 237,116(여행-건)으로 각각 5.08(분), 0.17(번), 인천-경기는

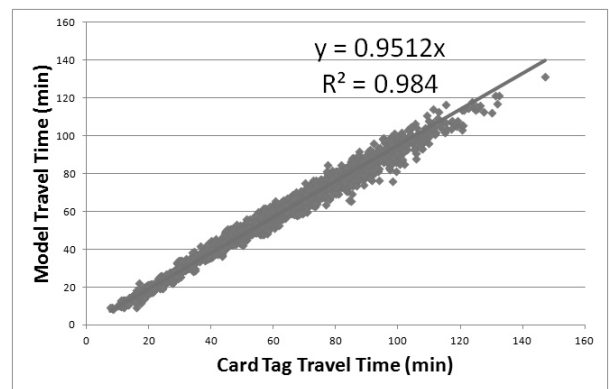


Fig. 13. Regression of Card and Model Travel Time with Demand Over 100 (Lee et al, 2016)

Table 5. Summary of Result of Seoul-Gyeonggi-Incheon

| Division | | Value | | Remarks |
|--|-----|-----------|----------|----------------------------------|
| Total Trip Chain (case) | | 7,497,328 | | - |
| Average Travel Time (min) | | 41.40 (A) | | - |
| Average Railway Travel Time (min) | | 33.13 (B) | | A/B*100=80.2(%) |
| Average Card Transfer Time (min) | Sum | 2.38 | 7.75 (C) | C/A*100=18.7(%) D/B*100=16.2% |
| Average Railway Transfer Time(min) | | 5.37 (D) | | |
| Average Number of Card Transfer (no.) | Sum | 0.42 | 0.96 (E) | F/E*100=56.3(%) |
| Average Number of Railway Transfer (no.) | | 0.54(F) | | |

Table 6. Result of Seoul-Gyeonggi-Incheon's Regional Travel

| O | D | | Seoul | | Incheon | | Gyeonggi | |
|----------|---------------|-----|-----------|------|---------|-------|----------|-------|
| Seoul | Demand | | 4,439,784 | | 149,674 | | 827,598 | |
| | TripChain_ATT | | 33.34 | | 68.37 | | 60.37 | |
| | Rail_ATT | | 28.22 | | 55.80 | | 45.12 | |
| | Card_TTime | Sum | 1.77 | 6.53 | 3.70 | 10.05 | 4.00 | 10.25 |
| | Rail_TTime | | 4.76 | | 6.35 | | 6.25 | |
| | Card_TTNo | Sum | 0.32 | 0.84 | 0.53 | 1.37 | 0.58 | 1.30 |
| | Rail_TTNo | | 0.52 | | 0.84 | | 0.72 | |
| Incheon | Demand | | 162,066 | | 237,116 | | 80,281 | |
| | TripChain_ATT | | 67.74 | | 28.93 | | 51.23 | |
| | Rail_ATT | | 56.01 | | 22.09 | | 39.41 | |
| | Card_TTime | Sum | 2.42 | 9.07 | 2.44 | 7.52 | 3.81 | 10.45 |
| | Rail_TTime | | 6.65 | | 5.08 | | 6.64 | |
| | Card_TTNo | Sum | 0.54 | 1.42 | 0.41 | 0.58 | 0.66 | 1.25 |
| | Rail_TTNo | | 0.89 | | 0.17 | | 0.59 | |
| Gyeonggi | Demand | | 869,515 | | 79,203 | | 652,091 | |
| | TripChain_ATT | | 59.05 | | 51.27 | | 38.08 | |
| | Rail_ATT | | 44.76 | | 39.16 | | 24.47 | |
| | Card_TTime | Sum | 2.84 | 9.73 | 3.91 | 10.29 | 3.51 | 8.77 |
| | Rail_TTime | | 6.88 | | 6.38 | | 5.62 | |
| | Card_TTNo | Sum | 0.60 | 1.33 | 0.64 | 1.23 | 0.52 | 0.75 |
| | Rail_TTNo | | 0.73 | | 0.59 | | 0.23 | |

TripChain_ATT : Average Travel Time(min) of Card Trip Chain

Rail_ATT : Average Travel Time(min) of Railway Model

Card_TTime: Transfer Time(min) of Card Trip Chain

Rail_TTime: Transfer Time(min) of Railway Model

Card_TTNo: Number of Transfer of Card Trip Chain

Rail_TTNo: Number of Transfer of Railway Model

- 80,281(여행-건)으로 각각 6.64(분), 0.59(건)으로 나타났다.
- 경기-서울은 869,515(여행-건)으로 도시철도 평균환승시간은 6.88(분) 환승회수는 0.73(번)으로 나타났으며, 경기-인천은 79,203(여행-건)으로 각각 6.38(분), 0.59(번), 경기-경기는 652,091(여행-건)으로 각각 5.62(분), 0.23(건)으로 나타났다.

- 9개 OD쌍 모두에서 철도통행환승시간은 카드환승시간보다 높게 도출되어 도시철도에서 나타나는 환승시간에 대한 실제적인 고찰을 토대로 대중교통노선계획을 효과적으로 추진하는 자료로 활용하는 방안이 필요함을 알 수 있다.
- 또한 인천-인천과 경기-경기는 카드환승회수가 철도환승회수

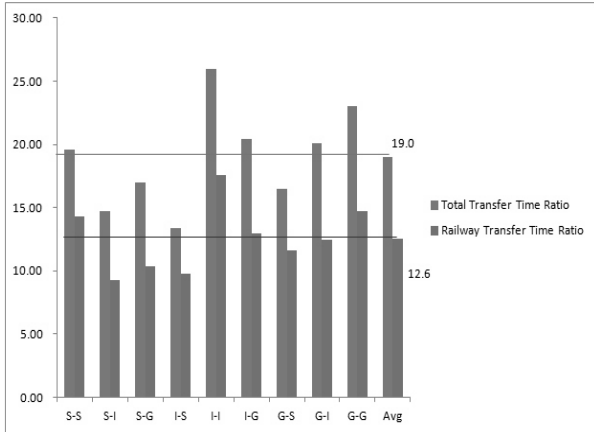


Fig. 14. Total and Railway Transfer Time to Travel Travel Time Ratio

를 초과하는 것으로 파악되고 있으며 수단의 갈아타기가 도시 철도의 운행보다 높게 도출되어 도시철도직결 및 간선통행을 위한 고려가 요구된다.

- Fig. 14는 Table 6에서 나타나는 전체통행시간에 대하여 전체 환승시간은 19.0(%), 도시철도는 12.6(%)를 차지하고 있어, 버스서비스의 환승시간은 약 6.4(%)로 나타나고 있음을 보여준다.

3.4 사군구 중존 분석결과

수도권은 사군구 중존은 66개로 운영되고 있으며 중존분석결과 수도권 지역의 전체 OD쌍은 3,988개로 나타났다. 개별 OD쌍은 수요(Demand)와 카드에서 나타나는 카드통행시간(Card TT), 카드환승시간(Card TrT), 카드환승회수(Card TrN)와 함께 모형으로 추정된 철도통행시간(Rail TT), 철도환승시간(Rail TrT), 철도환승회수(Rail TrN)의 결과를 포함하고 있다. 따라서 전체 OD쌍은 수도권 버스-철도의 대중교통운행특성을 진단하는 중요한 자료로서 활용이 가능하다. 본 장에서는 사례를 보여주는 측면에서 간단한 결과분석으로 대신하고자 한다.

- Table 7은 수요가 최대인 상위 3개 OD쌍의 결과를 보여주고 있으며, 성남시-성남시가 최대의 대중교통여행이 발생하고 있음을 보여주며, 강남구-강남구, 서초구-강남구의 순위로 나타난다.
- Table 8은 카드통행시간과 철도통행시간의 차이가 최대인 상위 3개 OD쌍의 결과를 보여주고 있으며, 강남구-포천시, 중랑구-포천시, 포천시-강북구의 순위로 나타나고 있다.
- Table 9은 도시철도의 환승시간이 가장 적은 상위 3개 OD쌍의 결과를 보여주고 있으며, 화성시-강남구, 강남구-연수구, 김포

Table 7. Frist Three OD Pairs with Largest Demand

| Origin | Destin | Demand | Card TT (min) | Rail TT (min) | Card TrT (min) | Rail TrT (min) | Remarks |
|----------|----------|--------|---------------|---------------|----------------|----------------|---------|
| Seongnam | Seongnam | 75,357 | 18.58 | 15.42 | 1.56 | 4.40 | |
| Gangnam | Gangnam | 64,189 | 16.45 | 15.04 | 0.98 | 3.72 | |
| Seocho | Gangnam | 47,543 | 17.51 | 15.74 | 1.08 | 3.80 | |

Table 8. First Three OD Pairs with Largest Difference Between Card and Railway Travel Time

| Origin | Destin | Demand | Card TT (min) ① | Rail TT (min) ② | Card TrT (min) | Rail TrT (min) | Diff. of ①-② |
|----------|---------|--------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|--------------|
| Gangnam | Pochone | 121 | 123.74 | 42.77 | 15.05 | 7.35 | 80.97 |
| Jungnang | Pochone | 118 | 103.16 | 24.29 | 13.61 | 7.33 | 78.87 |
| Pochone | Gangbuk | 132 | 99.98 | 21.27 | 12.13 | 7.41 | 78.71 |

Table 9. First Three OD Pairs with Smallest Railway Transfer Time

| Origin | Destin | Demand | Card TT (min) | Rail TT (min) | Card TrT (min) | Rail TrT (min) | Remarks |
|----------|---------|--------|---------------|---------------|----------------|----------------|---------|
| Hwaseong | Gangnam | 1,650 | 13.71 | 9.07 | 2.17 | 1.96 | |
| Gangnam | Yeonsu | 2,128 | 17.06 | 14.20 | 0.22 | 2.05 | |
| Kimpo | Jung | 314 | 17.08 | 11.75 | 0.99 | 2.45 | |

Table 10. Frist Three OD Pairs with Largest Railway Transfer Time

| Origin | Destin | Demand | Card TT (min) | Rail TT (min) | Card TrT (min) | Rail TrT (min) | Remarks |
|--------|---------|--------|---------------|---------------|----------------|----------------|---------|
| Goyang | Gyeyang | 158 | 70.75 | 55.77 | 3.12 | 17.76 | |
| Goyang | Yeonsu | 176 | 105.7 | 83.50 | 5.10 | 15.56 | |
| Paju | Gangseo | 421 | 83.74 | 58.22 | 5.84 | 15.24 | |

사·중구의 순위로 나타나고 있다.

- Table 10은 도시철도의 환승시간이 최대인 상위 3개 OD쌍의 결과로서, 고양사·계양구, 고양사·연수구, 파주사·강서구의 순위로 나타난다.

4. 결론

4.1 결론

수도권 대중교통카드를 개별승객이 이용한 통행을 5번까지 기록하여 통행수단과 함께 환승에 대한 정보를 보유하고 있어 대중교통 정책추진을 위한 활용성이 매우 높다. 최근 버스정류장 및 도시철도역사의 위치좌표가 생성되고 있어 시공간적 및 시각적 통찰을 지원하여 다양한 분석기법을 적용하는 방안에 대한 논의가 필요한 시점이다. 그러나 대중교통카드자료가 완성되기 위해서는 도시철도의 환승연계에 대한 추가적인 설명이 필요하며, 환승지점에 교통카드태그가 이루어지지 않는 측면을 고려하면 철도통행의 설명은 경로선택모형을 구축하는 방안에서 추진되고 있다.

본 연구는 수도권 지역간을 연결하면서 도시철도를 1회 포함하는 7,576,703건의 통행시슬자료-최대 5번까지 연계통행-를 이용하여 지역간의 통행시간, 환승시간, 환승회수에 대한 분석을 하고 이를 통해 실제 여행자가 겪는 환승지항을 추정하였다. 4개의 도시철도 이용유형을 분석하여 도시철도에서 나타나는 환승시간과 환승회수를 추정하는 선형목적함수를 갖는 최적통행시간모형을 구축하여 분석하였다. 66개 수도권 사군구 중촌 및 서울, 경기, 인천의 대촌에 대한 지역간 여행분석을 통하여 버스-철도의 통합대중교통 체계에 대한 간단한 시사점을 도출하였다. 서울, 인천, 경기의 9개 OD쌍의 종합결과와 함께 3,988개의 사군구 OD쌍이 제시하는 지역간 통행의 특성을 통하여 수도권 대중교통노선계획과 같은 수도권 통행의 이동성 향상에 활용할 수 있는 방안을 제시하였다.

4.2 향후연구

본 연구에서 적용한 도시철도 환승지항에 대한 견해를 일반적으로 적용하기에는 한계가 존재하며 이에 대한 추가적인 논의가 활발하게 전개될 필요가 있다. 특히 진입게이트 태그부터 초승열차 플랫폼의 3분의 접근시간과 최종열차하차후 태그까지 3분의 적용

에 대해서는 도시철도역사의 내부 보행로와 밀접한 관련이 있어 개별도시철도역사의 입체보행네트워크에 대한 적용방안이 필요하다. 특히 승객구분에 대한 자료를 세밀하게 분석하여 계단, 에스컬레이터 등 보행시설을 이용하는 이용자에 따른 보행시간을 파악하는 방안이 필요하다. 본 연구는 또한 1일 카드자료를 통합하여 적용하였는데 카드정보에는 태그시간이 파악되므로 경로를 추적하는 과정에서 환승통로에서 발생하는 보행의 동적흐름 파악에 적용된다. 따라서 도시철도역사의 시설을 개선하고 보완하는 자료로 활용되는 방안으로 적용이 요구된다.

References

- Kim, K., Oh, S., Hong, S. and Ko, S. (2015). "Tracing a logical path of passengers: A Case Study of Seoul Metro Line 9." *Journal of the Korean Society of Railway*, Vol. 18, No. 6, pp. 586-595.
- Kim, S. (2012). "Travel characteristics and behavior of transit card users." *The Seoul Institute*, 2012-BR-07.
- Kim, S., Ko, J. and Lee, S. (2013). Evaluation of the Quality of Public Transport Commuting in Seoul, *The Seoul Institute*, 2013-PR-33.
- Lee, H. and Choi, J. K. (2015). "Development of an algorithm for estimating subway platform congestion using public transportation card data." *Journal of the Korean Society of Railway*, Vol. 18, No. 3, pp. 270-277.
- Lee, M. (2015). "Analysis of transit passenger movement within seoul-gyeonggi-incheon area using transportation card data." *KRIHS Policy Brief, No. 536, Korea Research Institute of Human Settlements*.
- Lee, M., Shon, J. and Cho, C. (2016). "Constructing transfer data in seoul metropolitan urban railway using transportation card." *Journal of the Korea Institute of Intelligent Transportation Systems*, Vol. 15, No. 4, pp. 33-43.
- Park, M., Eom, J. and Heo, T. (2015). "The spatial correlation of mode choice behavior based on smart card transit data in Seoul." *The Korean Journal of Applied Statistics*, Vol. 26, No. 4, pp. 623-634.
- Shin, S., Lee, C. and Kim, C. (2010). "Allocatin revenues to metropolitan reilroad operators using public transportation card data." *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 28, No. 2, pp. 93-102.
- Sohn, J. (2015). "Dynamic passenger-trip assignment model of urban railway using seoul-incheon-gyeonggi's transportation card." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 36, No. 1, pp. 105-114.