

수도권 도시철도 역사환승량 추정방안 - 교통카드자료를 활용하여 -

이미영*

Lee, Mee-Young*

Estimating Station Transfer Trips of Seoul Metropolitan Urban Railway Stations - Using Transportation Card Data -

ABSTRACT

Transfer types at the Seoul Metropolitan Urban Railway Stations can be classified into transfer between lines and station transfer. Station transfer is defined as occurring when either 1) the operating line that operates the tag-in card-reader and that operating the first train boarded by the passenger are different; or 2) the line operating the final alighted train and that operating the tag-out card-reader are different. In existing research, transportation card data is used to estimate transfer volume between lines, but excludes station transfer volume which leads to underestimation of volume through transfer passages. This research applies transportation card data to a method for station transfer volume estimation. To achieve this, the passenger path choice model is made appropriate for station transfer estimation using a modified big-node based network construction and data structure method. Case study analysis is performed using about 8 million daily data inputs from the metropolitan urban railway.

Key words : Big-Node based network, Station transfer, Seoul metropolitan urban railway stations, Transfer between lines, Transportation card data

초 록

수도권 도시철도의 환승통행은 '노선간환승'과 '역사환승'으로 구분된다. 역사환승은 1) 교통카드 Tag-In 단말기 운영노선과 초승열차 운영노선이 다른 경우와 2) 최종 하차열차 운영노선과 교통카드 Tag-Out 단말기 운영노선이 다른 경우에 발생한다. 기존연구에서 주로 교통카드자료를 이용한 환승량 추정은 '노선간 환승량'을 의미하며 '역사환승량'은 제외되어 환승통로를 이용하는 보행에 대한 과소추정의 원인이 되었다. 본 연구는 수도권 대중교통카드자료를 이용해서 역사환승량을 추정하는 방안을 제시한다. 이를 위해 승객의 경로선택모형에 역사환승량 산정에 적합하도록 변형된 Big-Node 기반 네트워크 구축기법과 자료구조 방법론을 제시한다. 1일 약 800만 건의 수도권 도시철도 이용카드자료를 대상으로 사례분석을 시행한다.

검색어 : Big-Node 기반 네트워크, 역사환승, 수도권 도시철도역사, 노선간환승, 대중교통카드자료

1. 서론

2017년 현재 수도권 도시철도 역사는 577개이며 이중 80개 정도가 2개 이상의 서로 다른 노선에서 환승통행이 발생하는 환승역으로 운행되고 있다. 수도권 도시철도 환승역에서 승객의 환승이동이 많다는 것은 도시철도 네트워크에서의 운영효율성과 노선간의 연계성이 상대적으로 중요한 역할을 하고 있음을 나타낸다. 따라서 환승통행에 대한 정확한 추정은 도시철도 인프라에 대한 효과적 투자뿐만 아니라 지표로서의 활용측면에서 상세한 검토가 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 수도권 환승역 실증사례로 2개 노선이 교차하는

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

Received January 12, 2018/ revised February 8, 2018/ accepted August 8, 2018

‘강남(2호선, 신분당선)’, 3개 노선이 교차하는 ‘고속터미널(3호선, 7호선, 서울메트로9호선)’, 4개 노선이 교차하는 ‘공덕(6호선, 경의중앙선, 5호선, 공항철도)’을 살펴본다.

수도권 도시철도의 환승은 ‘노선내환승’과 ‘노선간환승’으로 대별된다. 노선내환승은 동일노선에서 운영되는 두 열차 간 환승으로 나타난다. 노선내환승은 1호선 ‘병점’, 2호선 ‘성수’, ‘신도림’, 5호선 ‘강동’으로 제한된 역사공간에서 이루어진다. 노선내환승은 주로 ‘하차-대기-승차’의 순서로 나타나며 하차와 승차가 인접되어 환승이 간편하며 열차간 연계를 위한 특정 역사에서만 운행이 가능하다. 따라서 현재 수도권 도시철도 환승의 대부분은 ‘노선간환승’이다. 노선간환승은 서로 다른 두 노선의 열차를 이용함에 있어 ‘하차-이동-대기-승차’의 과정을 거친다. 노선간환승은 승객이 이동하는 출발역과 도착역이 아닌 중간 환승역에서 이루어지며, 이때 환승이동은 대부분 환승통로를 따라서 이루어진다. Fig. 1은 노선간환승이 나타나는 보편적 사례이다. 출발역(r)은 ‘방배’, 도착역(s)는 ‘판교’이며 ‘2호선’과 ‘신분당선’을 연계이용하는 경로로서 ‘강남’역에서 환승(a)과 환승통로정보(b)를 보여주고 있다.

환승통로를 이용하는 환승량의 산정방법은 노선간환승과 함께 ‘역사환승’의 반영이 추가적으로 필요하다. 역사환승은 이용한 역사와 탑승한 열차의 운영기관이 다른 2개의 경우가 나타난다. 노선

간환승이 경로의 중간환승역에서 발생하는 반면에 역사환승은 출발역과 도착역이 환승지점에 해당되어 ‘출발환승’과 ‘도착환승’의 2가지로 구분된다. 즉 역사에서 교통카드를 Tag하는 단말기 운영노선과 열차운영노선 검토를 통해 확인이 가능하다. 출발환승은 출발역이 환승역인 경우로 출발역의 단말기 운영노선과 초승열차 운영노선이 다르게 나타난다. 도착환승은 도착역이 환승역이고 최종하차열차 운영노선과 도착역 단말기 운영노선이 다르다. 교통카드 이용기준으로 보면, 역사환승은 Tag-In 단말기 운영노선과 초승열차 운영노선이 다른 출발환승과 최종하차열차 운영노선과 Tag-Out 단말기 운영노선이 다른 도착환승으로 구분된다. Fig. 2는 서울교통공사가 운영기관인 2호선과 3호선의 역사환승을 한국스마트카드사(KSCC)의 교통카드 단말기 번호를 통해서 보여주고 있다. ‘교대’ 2호선의 단말기 ‘0223’을 Tag-In하고 3호선 열차를 타는 경우는 ‘교대’ 출발환승, 2호선 열차에서 하차하고 3호선 단말기 ‘0330’을 Tag-Out하면 ‘교대’ 도착환승으로 나타나며(a), 역사환승은 2호선과 3호선을 연결하는 환승시설-통로, 계단, 엘리베이터, 에스컬레이터-을 통해서 이동한다(b). 교통카드자료는 단말기 번호를 통해서 출발역과 도착역의 시간을 나타내므로 역사환승이 발생하는 상황에서 승객이 선택한 초승열차노선과 최종하차한 열차노선의 정보는 노선환승에서 적용되는 동일한 경로선택모형을 통해



(a)



(b-1) Passage to Line 2



(b-2) Passage to Shinbundangline

Fig. 1. Transfer at Gangnam Station between Bangbae and Pangyo Station (a) and Exclusive Transfer Passages (b)

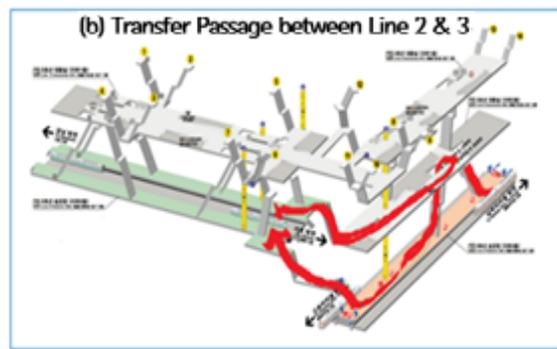
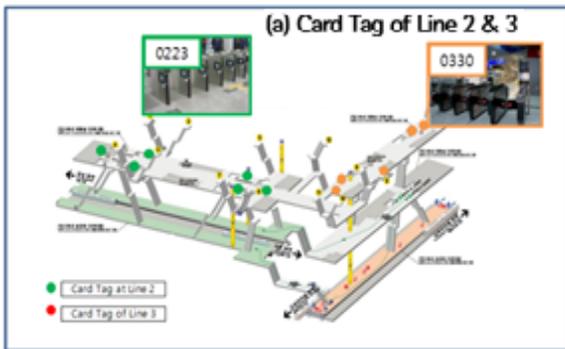


Fig. 2. Station Transfer between Line 2 and 3 at Seoul National University of Education



Fig. 3. Passenger's Crowd Movement through Transfer Passages at Sindolim Station

추론이 가능하다.

최근 수도권 교통카드를 이용해서 도시철도의 통행을 파악하는 연구의 대부분은 노선간환승에 한정되어 있으며 역사환승에 대한 방법론을 다루고 있지않다. 따라서 수도권 도시철도의 환승통행을 진단하는 과정에서 저평가될 소지가 존재한다. 특히 제한된 공간에 많은 승객이 집중하는 환승역사는 열차지연문제 뿐만 아니라 재난에 대한 경각심을 고취하는 측면에서 역사환승을 정확하게 파악하는 방안의 정립이 필요하다. Fig. 3은 '신도림'역에서 환승승객의 유입으로 환승통로가 매우 혼잡해지고 이는 열차출발 지연이나 재난 등에 매우 취약한 상황임을 보여주고 있다.

본 연구는 역사에서의 직접환승을 추정하는 방법론을 제안한다. 우선 승객의 기종점간의 경로선택과정에서 역사환승이 반영되는 특성을 파악한다. 이를 위해 기존의 노선환승을 추정하기 위해 제시되었던 교통카드기반의 Big-Node 네트워크로 변형하는 방안을 제안한다. 노선환승은 노선-노선의 연산과정이 기존의 Big-Node 네트워크 개념으로 자연스럽게 적용되나, 역사환승은 역-노선, 노선-역의 새로운 Big-Node 네트워크 표현방식을 필요로 한다. 또한 이렇게 변형된 네트워크 기법이 일일 약 800만건의 수도권 도시철도 행태추정을 위한 컴퓨터 연산에 적합하도록 Big Data기반의 컴퓨터 자료구조의 구축방안을 강구한다.

2. 기존연구: 수도권 교통카드자료를 활용한 노선환승량 추정방안

현재 수도권 교통카드의 도시철도 이용률은 선/후불카드, 일회권, 정기권을 합쳐서 100%이다. 따라서 교통카드를 이용하여 승객의 환승/이동경로를 파악하게 되면 운영자료의 효과적인 구축뿐만 아니라 현안에 응용이 가능하다. 예를 들면, Shin(2013)의 도시철도 연락운임 정산문제에 이용된 경우가 있다. 또한 MTA(2016)의

기종점 현행화사업 정확도 향상에 이용되었는데, Kim(2014)의 Daum 제공사료를 활용하였다. Lee(2015)와 같이 도시철도-버스 연계통행(Trip Chain)과 정류장 공간좌표를 함께 활용하여 수도권 통행인구이동분석에 적용한 경우도 있다.

수도권 교통카드자료를 도시철도 노선간 환승량 추정에 적용한 최초연구는 Lee and Shon(2016)이다. 이 연구에서 Big-Node기반의 철도역사 네트워크 구축기법이 적용된 승객의 경로선택을 통한 통행배정모형을 제안했다. Lee and Shon(2016)이 계산에 적용한 노선간환승은 서로 다른 3개 역사(역-역-역)의 연결을 의미하며 3개 역사의 역명이 서로 다른 경우에 해당한다. 역사자체의 환승은 1개 역사(역) 내에서 나타나는 환승을 의미하며 개념적으로 Lee and Shon(2016)의 연구방법론과는 차이가 크다고 할 수 있다. 본 장에서는 Lee and Shon(2016)이 제안한 모형과 네트워크 구축기법을 소개하고 본 연구에서 적용하는 접근방법을 제시하여 새로운 컴퓨터 자료구조 측면에서 먼저 의미를 검토한다.

2.1 노선간 환승량 추정모형(Lee and Shon, 2016)

KSCC에서 관리하는 도시철도 교통카드자료 정보는 출발역의 Tag-In과 도착역의 Tag-Out 단말기 번호를 포함하고 있어 승객이 이용한 환승을 포함한 경로정보는 경로선택모형을 통해서 추정된다. 경로선택모형의 기본가정은 '승객은 최소일반화비용의 경로를 선택한다'는 가정을 내포하고 있다. 시간으로 환산된 일반화비용은 Eq. (1)과 같으며, Tag-In(r), Tag-Out(s)의 경로에서 승객이 경험하는 차내시간, 환승시간, 환승계수를 포함하고 있다. 일반화비용(T^{rs})에 포함되는 항목은 Tag-In(r)에서 플랫폼접근시간(A_r), 열차대기시간(W_r), 열차통행시간(C_b), 환승이동시간(TM_{ab}), 환승역 열차대기시간(TW_b), 하차후 Tag-Out(s) 이동시간(E_s)으로 구성되어 있다. 환승회수 증가에 따른 회피경향을 반영하는 환승계수(α_{ab}^r)는 비가산성 경로비용(Nonadditive Path Cost)을 유발한다 (Gabriel and Bernstein, 1997; Lee, 2017; Shin et al., 2016).

$$T^{rs} = A_r + W_r + \sum_b C_b + \sum_a \sum_b \alpha_{ab}^r \cdot (TM_{ab} + TW_b) + E_s \quad (1)$$

여기서, r, s : 출발지, 도착지; a, b : 링크

ab : a-b로 회전으로서 수단환승을 포함

α_{ab}^r : r에서 회전a-b까지 적용되는 환승계수

A_r : 진입역사(r) 접근시간상수(분)

W_r : 초승열차 대기시간(분)

E_s : 진출역사(s) 이탈시간상수(분)

C_b : 링크(노선) b의 통행시간(분)

Eq. (1)에서 환승비용(TT^{rs})은 Eq. (2)와 같이 환승하면서 발생하는 이동(TM_{ab}) 및 대기시간(TW_b)을 합한 개념이며 초승열차 대기시간(W_r)을 환승시간에 포함한다.

$$TT^{rs} = W_r + \sum_a \sum_b \alpha_{ab}^r \cdot (TM_{ab} + TW_b) \cdot \delta_{ab}^{rs} \quad (2)$$

여기서, δ_{ab}^{rs} : r-s의 연결에서 ab가 최적경로 포함이면 1, 아니면 0

Eq. (3)은 Eq. (1)의 일반화비용에 대하여 최소의 경로를 선택하는 의미를 내포하고 있다. Eq. (3)의 목적함수 및 제약조건은 선형계획법(Linear Programming)의 형태로서 승객의 경로선택에 있어서 혼잡은 고려하지 않았다. 해법으로서 r-s간 M개의 유사한 비용경로를 파악하여 1/M의 확률로 배정하는 확률적 수요배정방안을 채택하고 있다(Lee, 2017).

$$\begin{aligned} \min & \sum_a \sum_b \{ \alpha_{ab}^r \cdot (TM_{ab} + TW_b) + C_b \} \cdot x_{ab} & (3) \\ \text{s.t.} & \sum_m f_m^{rs} = d^{rs} \quad \forall r, s \\ & f_m^{rs} \geq 0 \quad \forall r, s, m \\ & x_{ab} = \sum_r \sum_s \sum_m f_m^{rs} \cdot \delta_{m,ab}^{rs} \quad \forall ab \end{aligned}$$

여기서, x_{ab} : ab 방향통행량(人),
 d^{rs} : r-s 간 통행수요(人),
 f_m^{rs} : r-s간 경로m을 통행하는 교통량,
 $\delta_{m,ab}^{rs}$: r-s간 경로m이 환승ab를 통과하면 1, 아니면 0

2.2 Big Node 기반 네트워크 구축기법(Lee and Shon, 2016)

KSCC에서 수도권 도시철도의 개별 노선에서 운영되는 단말기는 4자리의 번호를 부여해서 관리하고 있다. Table 1은 2017년 현재 각 도시철도 기관별로 운영하고 있는 노선에 할당된 번호(Code)이다. Table 1의 다섯번째 줄은 메트로 9호선에 포함된 역으로 '41XX'로 앞의 두 자리는 '41'을 공유한다는 의미로서 '당산'과 '노량진'은 각각 '4113'과 '4117'이다. 여기서 당산이 단일 노선으로 운영되던 노드번호는 하나가 부여된다고 볼 수 있으나, '서울메트로'에서 운영하는 2호선 '당산'이 존재하며 번호는 '0237'이다. 따라서 9호선 '당산'과 2호선 '당산'을 대표하는 단일의 노드체계가 요구됨에 따라 부여된 대표번호가 Big Node이다. 따라서 Big Node는 복수의 노선이 공유하는 역명을 대표하는 번호이다.

Fig. 4는 '서울역'과 '강남'의 Big Node를 각각 'N'과 'M'으로

Table 1. Station Codes Representing Lines operated by Railway Organizations (As of, 2017Year)

Station Code	Number of Lines	Organizations
01XX - 04XX	4	Seoul Metro
10XX - 19XX	7	KORAIL
25XX - 28XX	4	Seoul Metropolitan Rapid Transit
31XX - 32XX	1	Incheon Transit Corporation
41XX	1	Metro 9
42XX	1	Airport Express
43XX	1	Shinbundang/Shinbundang2 Line
45XX	1	Everline
46XX	1	U-Line

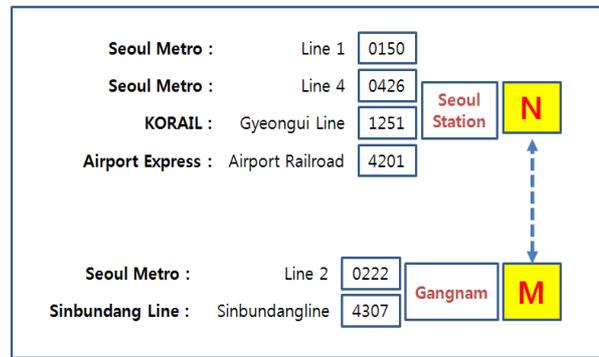


Fig. 4. Big Node N for 'Seoul Station' and M for 'Gangnam' based on Station Name

할당한 것을 보여주고 있다. '서울역'은 1호선, 4호선, 경의선, 공항철도의 '서울역'을 대표하는 N, '강남'은 2호선, 신분당선의 '강남'을 대표하는 M이다. 이처럼 Big Node를 통해 환승역을 포함하는 모든 역이 하나의 노드로 처리되기 때문에 특정노선을 Tag-In/Out 해도 역명으로 연결이 가능하다.

2.3 노선환승량 추정을 위한 자료구조의 의미

역명으로 구축된 Big Node는 개념적으로 경로의 중간단계에서 발생하는 '노선간환승량' 산정에만 한정된다. Eq. (3)의 해법으로서 교차지점에서 네트워크의 확장이 요구되지 않는 Lee(2004)가 제안한 링크기반 최적경로탐색은 Eq. (4)와 같으며 (4-1)은 출발지(r)의 유출링크, (4-2)는 도착지(s)의 유입링크를 나타낸다. Eq. (4)는 환승(ab)에 한정되어 나타나며, r 또는 s에 인접된 링크의 경우 제약조건으로서 별도의 연산이 필요함을 보여준다.

$$\pi^{rb} = \min(\pi^{ra} + \alpha_{ab}^r \cdot (TM_{ab} + TW_b) + C_b, \pi^{rb}) \quad \forall ab \quad (4)$$

$$\text{s.t. } \pi^{rb} = A_r + W_r + C_b \quad \forall b \in \Gamma_r^+ \quad (4-1)$$

$$\pi^{rb} = \min(\pi^{rb} + E_s) \quad \forall b \in \Gamma_s^- \quad (4-2)$$

여기서, π^{rb} : r에서 링크 b의 도착노드까지의 최적일반화

Γ_r^+ : r이 출발노드인 링크집합

Γ_s^- : s가 도착노드인 링크집합

Fig. 5는 Fig. 4의 노선간환승량 추정을 ‘서울역강남간의 경로 선택과정을 통해 나타낸 것으로 C++기반의 자료구조를 활용하였

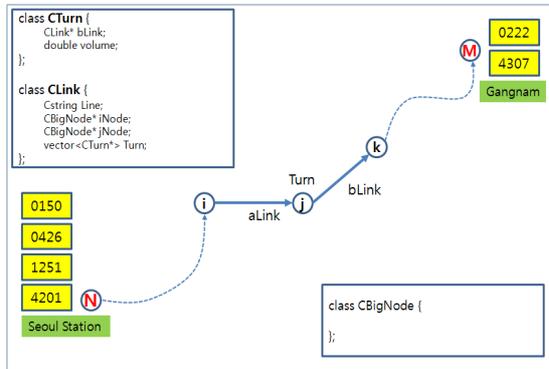


Fig. 5. Data Structure of Big Node Limited to Interline Transfer Volume Estimation

다. 우선 출발지 N과 도착지 M은 Big Node로 구축되었다. 환승을 포함하는 인접링크 aLink와 bLink가 경로선택과정에 탐색된다. 이때 aLink에서 bLink 탐색이 진행되는 과정은 회전을 나타내는 CTurn 클래스로 aLink에 포함되어 있고 환승대상이 되는 bLink는 CTurn에 포함된다. 따라서 aLink의 노선(Line)과 bLink의 노선(Line)의 관계를 통해서 환승을 판단하게 된다.

이러한 과정에서 Big Node N, M에서 발생하는 환승은 포함되어 있지 않음을 알 수 있다. 이는 곧 N에 포함된 0150, 0426, 1251, 4201의 Tag-In 정보와 M의 0222, 4307의 Tag-Out 정보를 이용하지 않음을 보여주고 있다. 따라서 출발역과 도착역 자체에서 나타나는 환승량을 추정하기 위해서는 Big Node에 환승을 판정하는 멤버함수를 포함할 필요성이 요구됨을 의미한다.

3. 교통카드자료를 활용한 역사환승량 추정기법 제안

Eq. (4)와 Fig. 5를 통한 기존 연구 및 방법론은 노선간환승량에 한정된 수식과 자료구조이며 출발역과 도착역에서 발생하는 자체 출발/도착환승을 산정하는 방안은 고려되고 있지 않음을 설명하였다. 따라서 역사자체 환승량을 산정하기 위한 교통카드 Tag-In/Out 정보와 열차노선의 선택을 구별하는 과정이 요구된다. 역사환승은

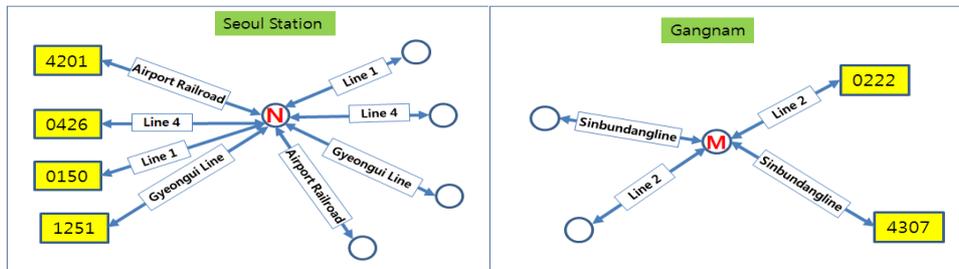


Fig. 6. Network Expansion by Introducing Dummy Links between Card Readers and Big Node

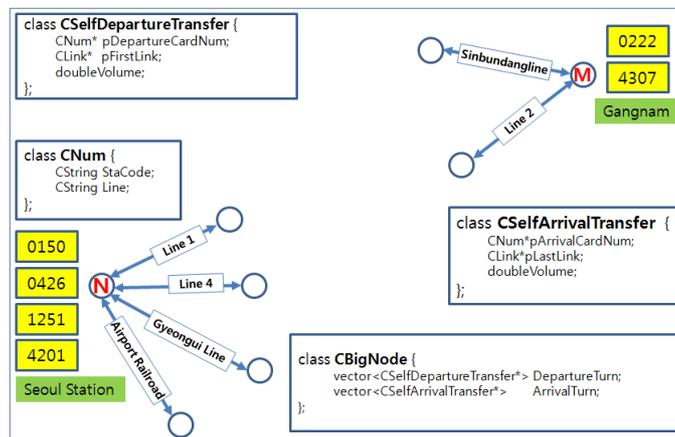


Fig. 7. Data Structure of Big Node Embracing Self-Transfer Volume Estimation

단말기번호와 이용한 열차노선이 다른 경우로 가장 간단하게 생각할 수 있는 방안은 단말기번호를 노드로 선정하고 Big Node와 터미링크를 통하여 연결하는 방안이다. 이는 Eq. (5)와 같이 Eq. (4)에서 출발 및 도착제약조건을 제거하는 방안으로서 Fig. 6과 같이 표현된다. 그러나 이 경우는 Lee(2004)의 링크기반최적경로의 도입취지인 네트워크 확장방지를 통한 해법알고리즘 구현과 Big Node의 도입목적과도 일치되지 않는다. 또한 기존 연구에서 M-유사경로 구축을 통한 확률적 통행배정의 경우 2차 네트워크 확장이 발생하므로(Lee, 2017), 이 제안은 효과성 측면에서 다른 검토대안이 필요할 것으로 판단된다. 본 연구는 Eq. (4)를 기반으로 구성된 자료구조에 Big Node에 대한 역사환승량 계산이 가능하도록 추가보완된 자료구조(Figs. 6 and 7)를 제안하고자 한다.

3.1 Big Node 기반 역사환승량 자료구조 설명

CBigNode는 BigNode기반의 역사이름을 명칭화하는 class로서 노드를 의미한다. 도시철도 네트워크에서 구성모듈인 CBigNode-CBigNode는 노선-링크를 의미하고 CBigNode-CBigNode-CBigNode는 노선-노선 또는 링크-링크의 방향을 나타낸다. 이는 CLink 또는 CTurn으로 표시하며 기존의 열차노선 통행량과 노선간환승 통행량을 추정하는 class이다. CBigNode기반의 역사환승량을 추정하기 위해서는 CBigNode에서 나타나는 환승에 대한 처리가 요구된다.

Fig. 7는 Big Node내에 역사환승량을 계산하는 자료구조를 제안한 것으로 3개의 class - 1) CNum, 2) CSelfDeparture Transfer, 3) CSelfArrivalTransfer - 를 새롭게 투입하고 CBigNode에 출발환승, 도착환승의 산정이 가능하도록 구조에 추가하는 방식이다.

CNum은 CBigNode에 속한 단말기번호정보를 의미한다. CSelfDepartureTransfer은 CNum의 운영노선(pDepartureCardNum)과 CLink의 초승노선(pFirstLink)의 출발환승량을 산정하는 모듈이 포함된다. CSelfArrivalTransfer은 CNum의 운영노선(pArrivalCardNum)과 Clink의 최종하차노선(pLastLink)의 도착환승량을 비교산정하는 모듈이 포함된다. 최종적으로 CBigNode는 CSelfDepartureTransfer와 CSelfArrivalTransfer를 포함하는 Big Node에서 발생하는 출발환승량과 도착환승량을 모두 포함하게 된다.

3.2 역사환승량 추정을 위한 확률적 통행배정 방안

역사자체의 환승량 추정을 위한 통행배정은 Lee(2017)의 ‘진입 링크기반경로사제기법’을 적용하는 방안을 추진한다. 모든 출발역 단말기(r)와 도착역 단말기(s)의 수요(q^{rs})에 대해 M개의 유사경로를 탐색하여 1/M의 확률배정방안을 적용한다. 목적함수에 계단형 환승계수(Stepwise Transfer Coefficient: STC)를 포함하여 비가

산성에 대한 우선적 처리가 요구된다. ‘경로가능집합’에 포함되는 K개 경로를 구축하여 M개의 유사경로를 확정한다. M개의 개별경로에 대하여 수요(q^{rs}/M)를 대상으로 단말기 운영노선과 열차운영노선이 다른 경우에 대하여 Fig. 7에서 제안한 자료구조를 적용하여 역사환승량을 산정한다.

4. 사례연구

2016년 10월 17일 월요일 수도권 교통카드정보를 대상으로 사례연구를 시행한다. 자료는 선후불카드, 일회권, 정기권 자료를 활용하였으며 각각 8,045,169통행, 141,984통행, 209,827통행이

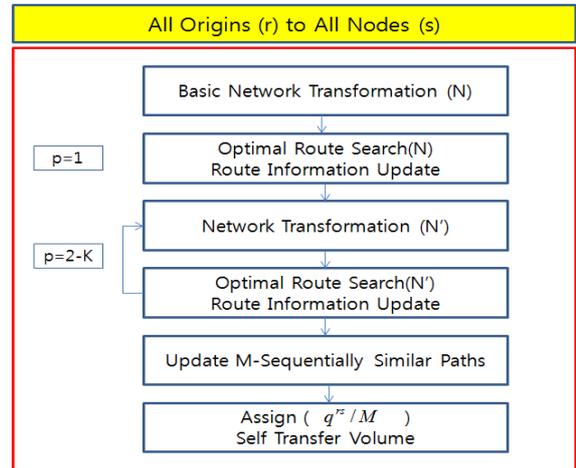


Fig. 8. Assignment of Self-Transfer Volumes to M-Sequential Paths

Table 2. Link Input Data

Departure Station	Arrival Station	Travel Time (min.)
Seoul Station	Namyong	3
Namyong	Yongsan	2.5
Yongsan	Noryangjin	3.5
Noryangjin	Daebang	2.5

Table 3. Node Input Data

Terminal ID	Station Name	Location Code (City, Gu, Dong)
0150	Seoul Station	1103053
0151	City Hall	1102055
0152	Jonggak	1101061
0153	Jongno3-ga	1101061

Table 4. Transfer Input Data

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

대상이다. 기종점 단말기 번호를 대상으로 일OD를 구축하고 Fig. 8에 따라 확률적 통행배정을 시행한다. 시행결과는 ‘서울역’과 ‘강남’을 중심으로 분석한다.

4.1 분석자료

입력자료는 Table 1과 같이 의정부경전철(U-Line)을 포함한 10개 운영기관이 참여하고 있는 네트워크로서 급행링크포함 1,366

링크, 단말기 674개, 급행환승포함 93개 이며 최종적으로 나타난 Big Node는 577개로 구축되었다. Tables 2-4는 링크, 노드, 환승 데이터를 사례로 나타내고 있으며 첨두시를 기준으로 구축되었다.

4.2 사례결과 분석

Tables 5 and 6은 ‘서울역’의 출발환승과 도착환승을 각각 나타내고 있다. Table 5의 출발환승을 보면 1호선을 Tag-In(0150)

Table 5. Departure Transfer at Seoul Station

Terminal Tag-In		First Alight	Station-Station	Volume
Terminal ID	Line Name	Line Name		
0150	Line 1	Gyeongui Line	Seoul Station-Sinchon(Gyeongui Line)	154.5
0150	Line 1	Line 4	Seoul Station-Sookmyung University	8411.0
0150	Line 1	Airport Railroad	Seoul Station-Gongdeok	3502.5
0150	Line 1	Line 4	Seoul Station-Hoehyeon	17676.0
0426	Line 4	Line 1	Seoul Station-Namyong	430.5
0426	Line 4	Gyeongui Line	Seoul Station-Sinchon(Gyeongui Line)	128.0
0426	Line 4	Line 1	Seoul Station-City Hall	456.5
0426	Line 4	Airport Railroad	Seoul Station-Gongdeok	1962.0
1251	Gyeongui Line	Line 1	Seoul Station-Namyong	4.5
1251	Gyeongui Line	Line 1	Seoul Station-City Hall	22.0
1251	Gyeongui Line	Line 4	Seoul Station-Sookmyung University	1.5
1251	Gyeongui Line	Airport Railroad	Seoul Station-Gongdeok	81.5
1251	Gyeongui Line	Line 4	Seoul Station- Hoehyeon	6.5
4201	Airport Railroad	Gyeongbu Line	Seoul Station- Sinchon(Gyeongui Line)	384.0
4201	Airport Railroad	Line1	Seoul Station-Namyong	350.0
4201	Airport Railroad	Line 1	Seoul Station-City Hall	516.0
4201	Airport Railroad	Line 4	Seoul Station-Sookmyung University	411.0
4201	Airport Railroad	Line 4	Seoul Station-Heohyeon	912.5

Table 6. Arrival Transfer at Seoul Station

Terminal Tag-In		Last Alight	Station-Station	Volume
Terminal ID	Line Name	Line Name		
0150	Line 1	Gyeongui Line	Sinchon(Gyeongui Line)-Seoul Station	486.5
0150	Line 1	Line 4	Sookmyung University-Seoul Station	5899.0
0150	Line 1	Airport Railroad	Gongdeok-Seoul Station	3316.5
0150	Line 1	Line 4	Hoehyeon-Seoul Station	12819.0
0426	Line 4	Line 1	Namyong-Seoul Station	586.0
0426	Line 4	Gyeongui Line	Sinchon(Gyeongui Line) -Seoul Station	262.0
0426	Line 4	Line 1	City Hall-Seoul Station	842.5
0426	Line 4	Airport Railroad	Gongdeok-Seoul Station	2101.0
1251	Gyeongui Line	Line 1	Namyong-Seoul Station	1.0
1251	Gyeongui Line	Line 1	City Hall-Seoul Station	10.0
1251	Gyeongui Line	Line 4	Sookmyung University-Seoul Station	1.0
1251	Gyeongui Line	Airport Railroad	Gongdeok-Seoul Station	103.0
1251	Gyeongui Line	Line 4	Hoehyeon-Seoul Station	11.0
4201	Airport Railroad	Gyeongbu Line	Sinchon(Gyeongui Line) -Seoul Station	467.0
4201	Airport Railroad	Line1	Namyong-Seoul Station	300.5
4201	Airport Railroad	Line 1	City Hall-Seoul Station	293.5
4201	Airport Railroad	Line 4	Sookmyung University-Seoul Station	309.0
4201	Airport Railroad	Line 4	Heohyeon-Seoul Station	638.5

Table 7. Departure Transfer at Gangnam

Terminal Tag-In		First Alight	Station-Station	Volume
Terminal ID	Line Name	Line Name		
0222	Line 2	Shinbundang Line	Gangnam-Yangjae	4091.5
4307	Shinbundang Line	Line 2	Gangnam-National University of Education	591.0
4307	Shinbundang Line	Line 2	Gangnam-Yeoksam	398.5

Table 8. Arrival Transfer at Gangnam

Terminal Tag-In		Last Alight	Station-Station	Volume
Terminal ID	Line Name	Line Name		
0222	Shinbundang Line	Line 2	Yangjae-Gangnam	1481.5
4307	Line 2	Shinbundang Line	National University of Education-Gangnam	872.0
4307	Line 2	Shinbundang Line	Yeoksam-Gangnam	1308.5

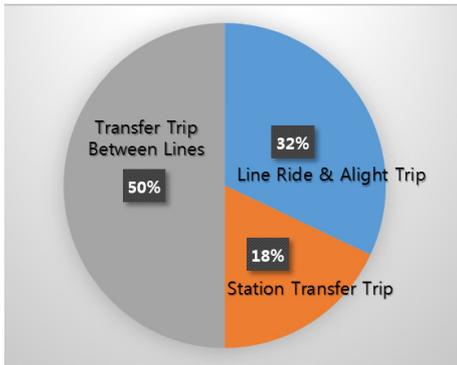


Fig. 9. Trip Occupancy Ratio of 'Seoul Station'

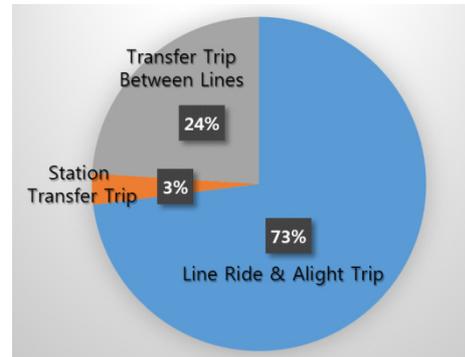


Fig. 10. Trip Occupancy Ratio of 'Gang Nam'

하고 4호선의 서울역-회현 방향으로 초승이 17676.0(trip)으로 가장 많이 나타나고 있다. Table 6는 도착환승으로서 출발환승과는 대칭적인 통행을 보여주며 회현-서울역 방향에서 하차하여 1호선으로 Tag-Out(0150)하는 경우가 12819.0(trip)으로 가장 많았다. 서울역의 출발 및 도착환승에서 경의선의 영향력이 가장 적은 것으로 파악된다.

Tables 7 and 8은 '강남'의 출발환승과 도착환승을 각각 나타내고 있다. Table 7의 출발환승을 보면 2호선을 Tag-In(0222)하고 신분당선으로 초승한 통행이 4091.5(trip)이며 단방향으로 강남이 신분당선의 종점임을 암시하고 있다. Table 8은 도착환승으로서 2호선을 하차하여 신분당선으로 Tag-Out(4307)한 2180.5(872+1308.5trip)은 출발환승과 비교할 때 강남에서 신분당선으로 나가는 통행이 잦음을 나타낸다.

Tables 9 and 10은 '서울역'과 '강남역'에서 발생하는 3가지 통행인 노선간환승, 노선승하차, 역사환승에서 역사환승인 출발/도착환승의 비율을 보여주고 있다. '서울역'과 '강남'의 역사환승비율은 각각 18%, 3%로서 서울역의 역사환승비율이 강남에 비하여 매우 높게 나타나고 있다. '서울역'은 4개 노선이 교차하고 '강남'은

2개 노선이 교차하는 상황에서 이는 예상되는 결과라고 판단되나, '서울역'은 상대적으로 중간경유지, '강남'은 목적지 통행의 특성이 강한 것으로 예측되는 자료로서 활용이 가능하다.

5. 결론

수도권 교통카드자료를 활용한 승객의 환승행태의 파악은 효율적인 열차운행과 함께 승객의 안전을 확보하는 기초자료로서 의미가 있다. 현재 수도권 도시철도 운행구간의 100%의 교통카드사용률을 감안하면 수도권 전체 역사에서 승객의 실시간 움직임을 Big Data 측면에서 관찰하는 것이 가능하다. 특히 승객의 집중과 분산이 많이 발생하는 환승역에서 나타나는 환승동선의 파악은 도시철도 인프라 및 전략/운영계획을 수립하는데 매우 중요하다. 본 연구는 수도권 도시철도의 환승량 추정은 환승역사의 노선간환승에 한정되어 있음을 지적하고, 역사환승개념과 역사에서의 환승량을 산정하는 자료구조 방안을 제안했다. 기존에 제안된 도시철도 승객의 경로선택모형은 노선간환승량 추정에 적합하며 역사환승을 포괄하지 못하는 한계점을 보완하였다.

서울역과 강남의 사례연구는 철도역사 단말기의 Tag-In/Out과 열차노선이용과 관련한 특성을 파악하여 환승역사중심(Big Node)의 관점에서 연산이 가능한 것으로 평가되었다. 역사환승량과 노선간환승량의 관계를 파악하면 환승역사에서 나타나는 역사이용에 대한 개선사항을 제시할 수 있다. 특히 역사환승량의 규모가 크지는 않지만 승객의 개별적 이동과익이 용이하다는 점은 Big Data 자료 활용의 특성을 확인하는 기회가 되었다.

References

- Gabriel, S. and Bernstein, D. (1997). "The traffic equilibrium problem with nonadditive path costs." *Transportation Science*, Vol. 20, No. 5, pp. 337-348.
- Kim, S. (2014). "Improvements in methods of transfer passenger flow prediction between subway lines." *The Seoul Institute*, 2014-BR-07 (in Korean).
- Lee, M. Y. (2004). *Transportation network models and algorithms considering directional delay and prohibitions for intersection movement*. Ph.D. Thesis, University of Wisconsin at Madison.
- Lee, M. Y. (2015). "Analysis of transit passenger movement within seoul—gyeonggi—incheon area using transportation card data." *Korea Research Institute for Human Settlements*, 2015-06 (in Korean).
- Lee, M. Y. (2017). "Transportation card based optimal m-similar paths searching for estimating passengers' route choice in seoul metropolitan railway network." *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 16, No. 2, pp. 1-12 (in Korean).
- Lee, M. Y. and Sohn, J. E. (2016). "Estimating transfer trips in seoul metropolitan urban railway network (using transportation card data)." *Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, Vol. 15, pp. 36-46 (in Korean).
- Metropolitan Transportation Authority (MTA) (2016). "Joint project for the analysis of seoul metropolitan passenger origin and destination trip (OD) in 2015 year."
- Shin, S. (2013). Research for Allocation of Connected Fare and Construction of Daily Revenue Allocation System for the Seoul Metropolitan Intercity / Urban Railway Organization, The Seoul Institute.
- Shin, S. I., Baek, N. C. and Nam, D. H. (2016). "A heuristic optimal path search considering cumulative transfer functions." *Journal of The Korea Institute of Intelligent Transportation Systems*, Vol. 15, No. 3, pp. 60-67 (in Korean).