

# 교통카드기반 수도권 도시철도 환승자료 구축방안

## Constructing Transfer Data in Seoul Metropolitan Urban Railway Using Transportation Card

이 미 영\*

(Mee Young Lee)

(Korean Research Institute for Human Settlements)

손 지 언\*\*

(Jhieon Sohn)

(Incheon Development Institute)

조 종 석\*\*\*

(Chong Suk Cho)

(Korea Transport Institute)

### 요 약

수도권 통합대중교통요금제를 위해 생성되고 있는 교통카드자료는 수도권 도시철도의 환승시간 및 횡수정보를 제공하지 못하고 있다. 도시철도에는 환승게이트가 설치되어 있지 않아 노선간의 환승정보는 설문조사나 목측을 통한 거시적 추정으로 진행된다. 따라서 교통카드자료를 토대로 계산되는 수도권 대중교통의 환승시간 및 횡수는 과소평가되는 문제점을 내포한다. 환승자료의 정확한 추정을 위해서는 교통카드 태그가 이루어지는 진입 및 진출 게이트 사이에서 발생하는 통행경로에 대한 설명이 필요하다.

본 연구는 교통카드 단말기 태그자료를 기반으로 환승현황을 파악하기 위한 통행경로모형을 구축하고 수도권에서 발생하는 환승정보를 도출한다. 이를 위해 단말기 운영체제와 도시철도의 네트워크 특성을 일치시키기 위한 빅노드 개념을 도입한다. 또한 수도권 도시철도의 효과적 네트워크 구동을 위해 링크표지개념을 도입한다. 교통카드단말기의 행정구역정보를 토대로 시군구의 중존, 서울-경기-인천의 대존에서 발생하는 환승시간과 횡수를 도출한다. 2014년 일일 대중교통카드자료를 이용하여 전수화된 환승특성데이터를 구축하고 수도권 도시철도의 환승저항에 대한 통합적인 자료로서 활용가능성을 제시한다.

핵심어 : 교통카드, 빅노드, 수도권도시철도, 환승자료, 링크표지

### ABSTRACT

Public transportation card data, which is collected for purposes of the Integrated Public Transportation Fare System, provides neither transfer time nor transfer frequency occurring on the metropolitan city-rail (MCR). And because there are no transfer toll gates installed on the MCR, data on transfers between lines are estimated through means such as elicitation using survey questionnaire, or otherwise through macroscopic observations, which poses the risk of transfer time and frequencies being underestimated. For the accurate estimation thereof, an explanation of the transit path that arises between the Entry-and Exit-Gates must be provided.

The purpose of this research is twofold : 1) to build a transit path model to reflect the current state of transfer movements on the basis of transportation card reader data, and 2) to deduce information on transfers occurring in the greater metropolis. To achieve these aims, the idea of Big Nodes is introduced in the model to align transportation card reader operation system characteristics with those of the MCR network. The link-label method is applied in the model as well to make certain that the MCR network runs in an effective manner. Administrative information obtained by the transportation card reader is used to derive transfer time and frequency both in the city's mid-zones, and in the Seoul-Gyeonggi-Incheon district's large-zones. Public transportation card data from a single specific day in year 2014 is employed in the building of the quantified transfer specific data. Extended usage thereof as providing comprehensive data of transfer resistance on the MCR is also examined.

Key words : Transportation Card, Big Node, Seoul-Gyeonggi-Incheon Urban Railway, Transfer Data, Link Label

\* 주저자 및 교신저자 : 국토연구원 국토계획·지역연구본부 책임연구원

\*\* 공저자 : 인천발전연구원 교통물류연구실 연구위원

\*\*\* 공저자 : 한국교통연구원 국가교통DB센터 부연구위원

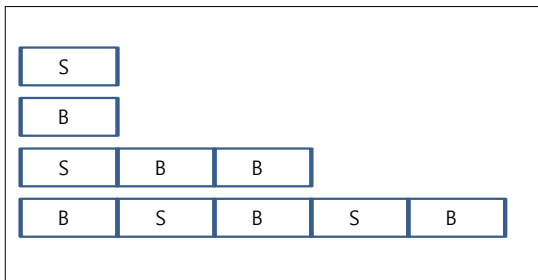
† Corresponding author : Mee Young Lee(Korean Research Institute for Human Settlements), E-mail mylee@krihs.re.kr

‡ Received 2 August 2016 ; reviewed 17 August 2016 ; Accepted 22 August 2016

## 1. 서론

대중교통정책에 있어서 교통수단 간의 환승에 대한 정확한 분석은 대중교통노선정책과 인프라 투자에 중요한 판단근거가 된다. 대중교통 이용승객의 경우 차내통행시간과 함께 차외통행시간으로 분류되는 환승을 위한 이동과 노력, 대기시간 등에 민감하게 반응하여 대중교통이용에 영향을 미치는 요인으로 작용한다. 승객들이 경험하는 환승과 관련한 저항요인을 판단하여 대중교통개선을 위한 근거로 활용하는 것이 필요하다.

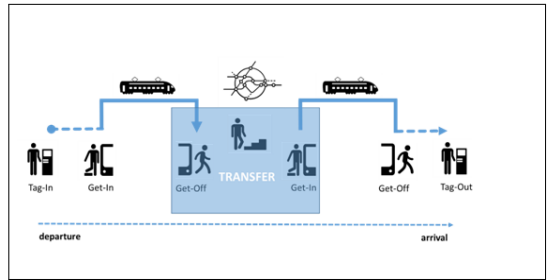
수도권 통합거리비례요금제와 환승할인요금제를 운영하기 위해서 통합적으로 수도권에 도입된 교통카드는 승객이 이용한 버스와 도시철도 복합수단정보를 순차적으로 5회까지 기록하여 수단 간에 발생하는 환승에 대한 전체적인 파악이 용이하다. <Fig. 1>은 교통카드 이용자료에 대한 간단한 사례로서 S(도시철도), B(버스)는 단일수단 이용으로 환승횟수 0, 복합수단 이용으로서 SBB는 2회, BSBSB는 4회 환승을 보여주고 있다. 이러한 정보는 수단간 환승소요시간까지 쉽게 계산이 가능하여 환승에서 나타나는 실질적인 저항감을 분석하는 효과적인 자료이다.



<Fig. 1> Consecutive Use of Transportation Modes Recorded in Transportation Card, B : Bus, S : Railway

그러나 교통카드는 수도권 도시철도 내부에서 발생하는 노선 간 환승정보를 제공하지 못하므로 환승저항이 과소평가되는 문제가 존재한다. 현재 운영되고 있는 수도권 도시철도에서 민자운송기관을 제외한 4개 철도운영기관-KORAIL, 서울Metro,

서울시 도시철도공사, 인천교통공사-에 환승게이트가 설치되어 있지 않아 환승이 어디에서 어떻게 발생하는 지에 대한 파악이 어렵다[1]. 따라서 S, SBB, BSBSB 같이 철도수단이 포함되는 통행은 환승시간 및 횟수와 같은 환승자료를 별도로 산출해서 반영하는 필요성이 요구된다[2].



<Fig. 2> Transfer of Urban Railway in Seoul Metropolitan Area without Card Tag Information(Sohn, 2015) [1]

본 연구는 수도권 도시철도의 환승시간, 환승횟수의 자료를 도출하는 모형을 구축한다. 이를 위해 한국스마트카드(KSCC)의 단말기 번호와 수도권 도시철도 특성을 고려하여 빅노드(Big Node)와 링크표지(Link Label)를 이용한 네트워크 구축방안을 제시한다. 또한 승객이 환승이동 및 대기를 포함한 최소통행시간의 경로를 선택한다는 가정을 도입한다. 또한 단말기 위치자료를 토대로 시군구의 중존체계, 서울-경기-인천의 대존체계에서 발생하는 환승시간과 횟수자료를 도출한다.

본 연구는 다음과 같이 진행된다. 우선 II장에서 수도권 대중교통카드를 이용하여 진행된 기존 연구를 고찰하고 연구의 진행에서 중요한 개념인 도시철도 네트워크의 매칭방법과 효과적인 네트워크 구축방안을 설명한다. III장에서 수도권 도시철도 환승특성분석을 위한 모형을 제안한다. IV장에서는 수도권 도시철도의 네트워크 자료를 구축하고 1일 교통카드자료를 토대로 시·군·구 단위의 중존 및 서울, 경기, 인천 단위의 대존의 환승자료 특성에 대하여 전수화 분석을 시행한다. V장에서는 연구의 결론을 도출하고 구축된 모형 및 자료의 활용방안에 대하여 논의한다.

## II. 대중교통카드와 도시철도 네트워크

본 장에서는 수도권 대중교통카드자료를 활용하여 진행되었던 기존 연구를 고찰하고, 정류장기반 모형이 효과적으로 구축되기 위한 네트워크 구축방법을 논의한다.

특히 이 장에서는 단말기가 동단위의 소존과 일반노드를 동일하게 인식되도록 노드체계를 구성하는 방법을 논의한다. 그리고 수도권 도시철도의 환승역을 네트워크의 확장 없이 구축하도록 수리적 모형에 포함시키기 위해 링크표지(Link Label)를 도입하는 방안을 제안한다.

### 1) 수도권 대중교통카드기반 기존연구

2004년 서울을 중심으로 대중교통체계개편에 의해 탄생된 대중교통카드시스템은 2007년 경기도, 2009년 인천과 수도권 통합요금체계 공동합의가 완성되면서 현재의 카드시스템으로 운영되고 있다. 교통카드는 일일 약 2000만 건의 통행자료-1500만 건의 여행(Trip Chain, Travel)자료를 생성하고 있어 수도권 대중교통이용에 대한 연구로서 최근까지 활발하게 연구되고 있다.

Kim(2007)은 교통카드자료의 오류와 결측부분을 발견하고 보정하는 방안을 강구하였으며, 서울시 카드자료를 기반으로 기종점(OD) 통행을 구축하고 활용하는 방안을 제시하였다[3]. Shin(2011a)은 버스와 철도로 구성된 통합대중교통망을 구축하기 위하여 교통카드 좌표를 이용하여 네트워크를 자동적으로 생성하는 방안을 제시하였다[4]. Shin(2011b)은 도시철도의 혼잡도를 계산하기 위하여 동적으로 열차에 승객을 배정하는 모형을 구축하였다[5]. Choi et al.(2011)은 스마트카드 데이터를 활용하여 정류장의 재차인원(load factor), 승객 승하차 인원인에 따른 정차시간(dwell time), 통행시간과 거리 산출에 의한 속도(speed) 등 정량적인 항목으로 대중교통 서비스를 추정하였다[6]. Bin et al.(2012)은 교통카드 데이터를 이용하여 대중교통 이용과 관련하여 통행패턴을 분석하였으며 교통정책에 활용할 수 있는 방안을 제시하였다[7]. Kim(2012)은 교통카드자료와 연계할 수 있는 사회경제자료와 교통서비스 공급

자료를 분석하고 카드이용자의 정보를 추가적으로 분석하여 교통카드자료의 활용성을 제고하였다[8]. Kim and Shon(2014)은 인천시의 교통복지를 제고하기 위하여 도시철도의 혼잡도를 개선하는 방안을 제시하였다[9]. Jeon et al.(2014)은 교통카드 데이터에서 획득한 승객 탑승정보를 바탕으로 버스승객들의 대기시간을 최소화하도록 배차간격을 조절하는 알고리즘을 제안하였다[10]. Kim and Lee(2015)는 교통카드자료를 이용하여 인천시 침두시 도시철도가 지체되는 현상을 파악하였다[11]. Han et al.(2015)는 대중교통카드자료를 이용하여 출퇴근 침두시 서울시의 주요 역세권 영향권을 수도권을 대상으로 분석하였다[12]. Lee(2015)는 수도권의 대중교통통행인구의 특성을 교통카드자료와 정류장 위치자료를 이용하여 분석하였다[2]. Shon(2015)은 교통카드자료에서 도시철도의 역사 승하차 태그시간을 토대로 시간 종속적으로 승객을 도시철도 노선에 배정하는 모형을 제시하였다[1].

본 연구는 도시철도역사에 존재하는 개찰구의 위치좌표를 토대로 통행의 기종점을 포착하는 기법을 통하여 기종점 통행수요를 구축하는 방안을 제시하였으며, 기종점 수요를 도시철도네트워크에 최소시간의 행태로 통행한다는 가정 하에 환승시간과 환승횟수를 도출하는 것을 목적으로 한다. 따라서 교통카드자료를 이용하여 수도권차원의 환승자료를 구축하는 최초의 시도라고 볼 수 있다.

### 2) 역ID와 노드매칭

교통카드기반의 분석모형을 구축하기 위해서는 교통카드자료를 통합하여 지원하고 있는 한국스마트카드(KSCC) 및 EB카드의 자료구축체계에 대한 이해와 연동이 필요하다. <Table. 1>과 <Fig. 3>은 ‘서울역(Seoul Station)’에서 서울메트로(Seoul Metro) 1호선과 4호선, 한국철도공사(KORAIL), 코레일공항철도(AREX)에서 관리하는 진출입게이트가 노선별로 다르게 위치하고 있는 것을 확인할 수 있다. 따라서 승객의 통행을 모형화하는 과정에서 노드 및 링크를 통한 네트워크를 구축하는 데 이에 대한 반영이 필요하다.

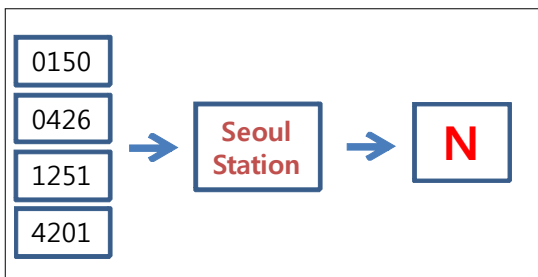
<Table 1> "Seoul Station" ID Operated by Four Different Ticket Gates

Station ID.	Line Name	Organization
0150	Line 2	Seoul Metro
0426	Line 4	Seoul Metro
1001	Gyeongui Line	KORAIL
4201	Airport Railroad	AREX



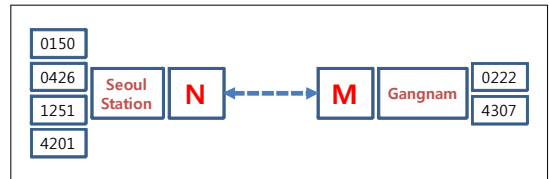
<Fig. 3> Four Different Gates near 'Seoul Station' (Shin, 2011)

본 연구에서 적용한 방법은 역명을 기준으로 빅노드(Big Node)를 구성하는 방안이다. <Fig. 4>와 같이 '서울역'의 4개 출입구에 대한 교통카드번호를 모형에서는 '서울역' 명으로 통일하고 다시 빅노드 'N'으로 번호를 부여한다. Shin(2011a)은 이 방법을 적용하여 서울시 버스-철도 통합대중교통네트워크를 구축에 적용하였다[3]. Cheon(2010)은 빅노드의 환승영향권까지 고려하여 대중교통 통합네트워크를 구축하는 방안을 제안하였다[4].



<Fig. 4> Station Name Matching Using Big Node

<Fig. 5>는 '서울역'과 '강남'을 통행하는 상황을 '서울역'은 빅노드 N, '강남'은 M으로 나타낸 것이다. 여기서 M은 0222(서울Metro 2호선)과 4307(신분당선)의 게이트 태그를 나타낸다. 따라서 8개의 통행조합을 N과 M으로 표시가 가능하다. 이러한 방법으로 수도권 도시철도역사 전 구간에 빅노드를 대입하면 모든 역사내의 게이트 태그기 간에 발생하는 통행에 대하여 설명이 가능하게 된다.



<Fig. 5> Big Node N, M between Seoul Station and Gangnam

<Table 2>는 '서울역'의 게이트별로 구축된 동코드(소존)와 구코드(중존)을 나타낸 것으로 0150, 0426, 4201은 용산구 남영동, 1001은 중구 회현동에 위치하고 있어 정류장별로 소존과 중존에서 서로 다르게 구분되는 것을 보여준다.

<Table 2> "Seoul Station" ID Operated by Four Different Ticket Gates

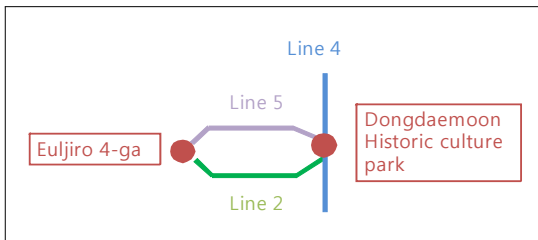
Station ID	Dong Code	Dong Name	Gu Code
0150	1103053	Namyong-dong	1103
0426	1103053	Namyong-dong	1103
1001	1102054	Hoehyeon-dong	1102
4201	1103053	Namyong-dong	1103

### 3) 링크표지기반 네트워크 구축

Lee(2004)는 경로탐색알고리즘에서 링크표지(Link Label)를 적용하게 되면 노드표지 알고리즘과 비교하여, 교차점에서 방향별 통행을 표현하기 위해서 네트워크의 확장이 필요하지 않는 장점이 존재함을 보여주었다[14]. 본 연구에서도 빅노드로 구축된 수도권 도시철도 네트워크에 대하여 링크표지기반의 알고리즘을 적용하는 방안으로서 네트워크

의 확장 없이 네트워크를 구축한다.

이외에도 수도권 도시철도는 링크표지기반으로 구축해야하는 당위성이 존재한다. <Fig. 6>는 ‘을지로4가’와 ‘동대문역사문화공원’ 사이에 5호선과 2호선이 2개의 출발, 도착노드에 동일하게 연결된 복사링크(Duplicate Link)가 나타나고 있음을 보여주고 있다. 복사링크가 존재하는 경우 노드기반의 알고리즘을 수행하기 위해서는 네트워크의 확장이 필수적이거나, 링크기반 알고리즘은 확장 없이 가능하다[15].



<Fig. 6> Duplicate Link shown in Seoul Metropolitan Urban Railway

### III. 정류장기반 환승자료 구축모형

본 장에서는 정류장기반의 경로선택모형을 구축하는 방안을 논의한다. 모형은 환승시간을 포함하여 최소의 통행시간경로를 선택한다고 가정한다. 차량의 혼잡을 고려하지 않는 선형목적함수를 도입하여 구축한다. 우선 환승을 포함한 통행시간 개념을 정의하고, 이를 바탕으로 개별승객이 최적의 경로를 선택하는 모형을 제안한다.

#### 1) 환승시간을 포함한 통행시간

교통카드의 승객 통행시간은 진입-태그 시간에서 진출-태그 시간까지의 차이를 의미한다. 모형의 정확도는 모형의 추정시간과 교통카드 통행시간의 일치 정도로 판단이 가능하다. 따라서 모형의 통행시간은 교통카드와 동일하게 진입-태그에서 진출-태그까지 소요된 시간으로 정의한다.

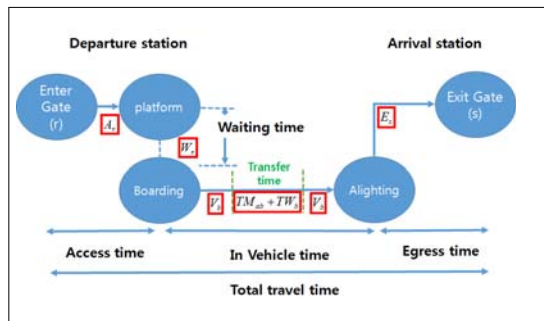
<Fig. 7>은 철도역 진입-게이트에서 태그하고 진출-게이트에서 태그할 때까지의 환승시간이 포함된 여행시간을 나타내고 있다[1]. 통행시간(T)에

포함되는 항목은 진입-게이트(r)에서 플랫폼접근시간( $A_r$ ), 열차대기시간( $W_r$ ), 열차통행시간( $V_b$ ), 환승이동시간( $TM_{ab}$ ), 환승역 열차대기시간( $TW_b$ ), 하차후 진출-게이트(s) 접근시간( $E_s$ )으로 구성되어 있다. 식(1)은 최대환승횟수를 포함한 통행시간을 나타내고 있다.

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

여기서,  $a, b$  : 링크

$ab$  : 링크a에서 링크b로 환승



<Fig. 7> Travel Time Between Entry and Exit Gates (Sohn, 2015), Revision of [1]

본 연구에서 적용한 환승시간( $TT^{rs}$ )은 초기 열차대기시간과 환승하면서 발생하는 이동 및 대기시간을 합한 개념이다. 초기대기시간을 환승시간에 포함한 이유는 열차를 탑승하기 위해서 보행의 플랫폼 접근시간( $A_r$ )으로 최초의 통행이라고 가정하면 열차를 타기위해서 기다리는 시간은 환승으로 포함하는 것이 타당하다고 생각하기 때문이다. 만일 통행이 B(버스)에서 S(철도)로 구성되면 버스에서 Tag 후 하차한 시간부터  $A_r$  및  $W_r$ 도 환승시간에 포함되며 환승시간은 상당히 증가될 수 있다.

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

여기서,  $\delta_{ab}^{rs}$  : ab 최적경로이면 1, 아니면 0

#### 2) 최적통행시간 선택모형

식(1)을 기반으로 승객이 통행시간을 최소화하는 경로를 선택하는 링크표지기반의 선형목적함수는

식(3)와 같다.

$$\min \sum_a \sum_b (TM_{ab} + TW_b + V_b) \cdot X_{ab} \quad \dots\dots\dots (3)$$

여기서,  $X_{ab}$  : 링크a에서 b로 환승수요(인)  
 $TM_{ab}$  : 링크a에서 b로 이동시간(분)  
 $TW_b$  : 링크b의 열차대기시간(분)  
 $V_b$  : 링크b의 차내시간(분)

식(3)의 해를 구하기 위해서는 최적경로선택을 위한 알고리즘이 요구되며, 식(4)과 같이 링크표지에 근거한 최적경로탐색방법을 수행한다.

$$\pi'_b = \min(\pi'_a + TM_{ab} + TW_b + V_b, \pi'_b) \quad \dots\dots\dots (4)$$

여기서,  $\pi'_b$  : r에서 b의 도착노드까지 최적경로비용

#### IV. 수도권 도시철도 환승통행 분석

본 장에서는 III장에서 제안된 모형을 이용하여 교통카드 1일 자료를 토대로 수도권 도시철도의 환승통행을 분석한다. 우선 자료구축과정을 설명하고, 모형에 의해 도출된 통행시간과 실제 카드태그시간을 이용하여 선형회귀식(Linear Regression)을 통해 일치성 여부를 판단한다. 마지막으로 수도권 시군구의 중존단위 및 서울, 인천, 경기 대존단위의 결과를 토대로 환승특성자료에 대하여 논의한다.

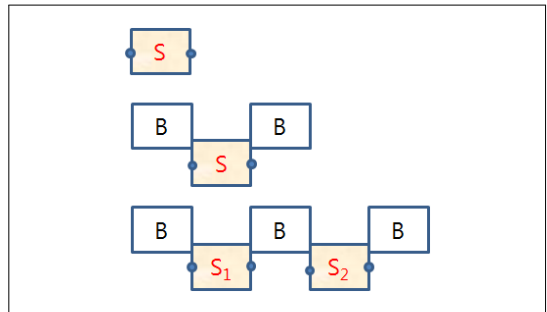
##### 1) 자료구축

교통카드자료는 2014년 10월 13일(월) 자료를 대상으로 도시철도통행을 분리한다. Lee(2015)는 수도권 인구가동을 동일한 자료를 이용하여 분석하였으며 1일 약 8백 만 건의 철도통행의 전수자료는 철도통행의 경향에 대한 충분한 설명력을 보유하고 있다고 판단된다[2].

<Fig. 8>은 S, BSB, BSBSB의 3개 연계통행(Trip Chain, Travel)을 대상으로 철도통행(S)를 분리하는 사례를 보여준다. 철도통행이 한 번 나타나는 S와 BSB는 S통행이 개별로 나타나며, BSBSB의 5회 수단이용으로 이루어진 여행에서 철도를 이용한 2개의 통행을 S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>로 나타난다. 따라서 <Fig. 8>에서

포함된 S통행은 총 4개이다.

2014년 10월 13일 교통카드는 총 15,325,487개의 연계통행(Trip Chain, Travel)을 포함하고 있으며 이중 출발역과 도착역 진입게이트-태그시간, 진출게이트-태그시간 자료가 완전한 철도통행(S)는 총 7,852,523개로 나타나 이를 대상으로 분석을 시행하였다.



<Fig. 8> Separation of Railway Trips from Three Travels

입력자료는 최종적으로 수도권통합요금제에 진입한 용인경전철까지 포함된 네트워크로서 역간 통행 시간정보를 담은 1162개 링크, 역사게이트ID 601개 노드, 환승은 712개로 구성된다. 이때 생성된 빅노드는 513개이다. <Table 3-5>는 링크, 노드, 환승데이터를 요약하여 나타낸 것이다.

환승역에서 노선별 차두간격은 침두시 30%, 비침두시 70%를 반영하여 적용하였다. 이렇게 반영한 이유는 전일 대중교통카드자료를 대상으로 모형을 구축하였기 때문에 교통카드에서 나타나는 통행현상을 적절하게 반영하기 위하여 평균화한 값이다. 대중교통카드자료를 이용한 수도권 철도운송기관 연락운임정산에도 이러한 논리를 적용한 사례가 있다.

최근 통합요금제에 진입한 경전철과 관련된 자료는 직접 구축하였다.

진입게이트에서 접근하는 시간과 열차 하차 후 진출게이트까지의 시간은 각각 3분으로 입력하였다. 일반적으로 승객의 연령, 보행시설의 효과, 개찰구에서 플랫폼까지의 거리에 따라 이 값은 역사별로 차이를 보일 것으로 생각된다. 그러나 3분은 모형과 실제통행시간의 선형관계를 설명하는 효과

적 수치인 것으로 파악되었다<Fig. 10>. 향후 관련 되어 연구가 필요할 것으로 판단된다.

<Table 3> Link Input Data

Departure	Arrival	Time(min.)
Seoul Sta.	Namyung	3
Namyung	Yongsan	2.5
Yongsan	Noryangjin	3.5
Noryangjin	Daebang	2.5

<Table 4> Node Input Data

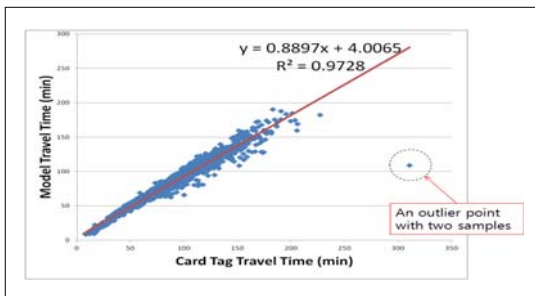
Gate-Tag-ID	Station Name	Location Code (City, Gu, Dong)
0150	Seoul Station	1103053
0151	City Hall	1102055
0152	Jonggak	1101061
0153	Jongno 3-ga	1101061

<Table 5> Transfer Input Data

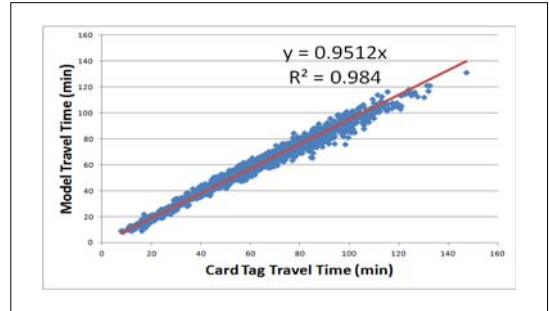
From	Transfer	To	Time(min.)
Suseo	Garak Market	Munjung	2.3
Suseo	Garak Market	Songpa	1.8

2) 결과분석

현재 채택하고 있는 수도권 시군구 중순 66개에 대하여 카드의 통행시간과 최적시간경로선택모형에서 도출된 통행시간을 비교한 것으로 <Fig. 9>의 선형회귀식은 총 3110개의 OD로 생성된 지역 간 통행에 대하여 97.3%의 설명력을 갖는 것으로 파악된다. <Fig. 10>은 샘플사이즈가 적고 값이 튀는 이상치(Outlier)를 제거하여 확률적 설명도를 높이기 위하여 수요가 100 이상인 OD쌍 2270개에 대한 선형회귀식을 도출하였으며 98.4%의 설명력을 갖는 것으로 파악되었다.



<Fig. 9> Comparison of Travel Time between Transportation Card and Model



<Fig. 10> Comparison of Travel Time between Transportation Card and Model with Travel Demand Over Than 100

위의 결과는 수도권 시군구로 구성된 66개 중순에 대하여 기종점 연결현황을 구축한 것이다. 이들 지역통행에 대해서 각각 최대수요, 최대환승시간, 최대환승횟수의 지표에 대하여 상위 3개 지역에 대한 분석결과를 살펴보면 다음과 같다.

- 도시철도 최대수요는 성남시 내부구간으로 92,003통행으로 나타났으며 평균 환승횟수는 0.14회, 환승시간은 3.65분이다.
- 환승시간이 가장 많이 소요되는 지역은 경기도 파주시에서 인천시 연수구와 남동구로의 통행이며 각각 20.62분, 환승횟수는 각각 2.06회, 2.07회로 나타났다.
- 환승횟수가 가장 많았던 지역은 경기도 양주시에서 용인시로의 통행이며 4.09회로 나타났다.

<Table 6> Primary Analysis Result

Departure	Arrival	# of Travel	Transfer Time (min.)	# of Transfer
<b>Largest Number of Travels (Demand)</b>				
Seongnam-si	Seongnam-si	92003	3.65	0.14
Gangnam-gu	Gangnam-gu	78465	3.21	0.27
Gangnam-gu	Seocho-gu	54394	3.16	0.24
<b>Longest Transfer Time</b>				
Paju	Yeonsu-gu	31	20.62	2.06
Paju	Namdong-gu	15	20.62	2.07
Goyang-si	Yeonsu-gu	95	20.46	2.39
<b>Largest Number of Transfers</b>				
yangju-si	yongin-si	22	10.29	4.09
yongin-si	yangju-si	15	10.79	4.07
yongin-si	Dongducheon-si	23	10.76	4.04

3) 종합결과

수도권 전체의 66개 중존에 대하여 통행결과를 평균하면 수도권 도시철도 전체통행은 평균 33분 정도의 통행시간이 소요된다. 이때 환승시간은 4.16분이고, 0.54회의 환승을 하는 것으로 파악된다.

<Table 7> Comprehensive Result

Average Travel Time(min)		Average Transfer Time(min)	# of Average Transfer
Card	Model	Model	
33.81	33.15	4.16	0.54

66개 중존의 지역 간 통행을 서울시, 인천시, 경기도의 내부 및 외부통행으로 대존화하여 요약하면 다음과 같다.

- 서울시 내부통행의 평균통행시간은 28분 정도이며 환승시간은 3.79분, 0.5회 환승하는 것으로 나타났다. 서울시에서 인천시 통행의 평균통행시간은 58분 정도이며 환승시간은 4.89분, 0.85회 환승하는 것으로 나타났다. 서울시에서 경기도로의 통행의 평균통행시간은 50분 정도이며 환승시간은 4.88분 0.80회 환승하는 것으로 나타났다.
- 인천시에서 서울시 통행의 평균통행시간은 58분정도이며 환승시간은 5.17분, 0.90회 환승하는 것으로 나타났다. 인천시 내부통행의 평균통행시간은 22분 정도이며 환승시간은 3.89분, 0.17회 환승하는 것으로 나타났다. 인천시에서 경기도 통행의 평균통행시간은 38분 정도이며 환승시간은 4.81분, 0.6회 환승하는 것으로 나타났다.
- 경기도에서 서울시 통행의 평균통행시간은 48-50분 정도이며 환승시간은 5.57분, 0.81회 환승하는 것으로 나타났다. 경기도에서 인천시 통행의 평균통행시간은 37-39분 정도이며 환승시간은 4.55분, 0.59회 환승하는 것으로 나타났다. 경기도 내부통행의 평균통행시간은 27분 정도이며 환승시간은 4.10분, 0.21회 환승하는 것으로 나타났다.

<Table 8> Result Summary(Large Zone Based)

O	D	Seoul	Incheon	Gyeonggi
		Demand	4,930,034	152,201
Seoul	C_ATT	28.50	58.28	50.77
	M_ATT	28.01	57.59	49.11
	ATTime	3.79	4.89	4.88
	ATNo	0.50	0.85	0.80
	Demand	163,815	251,235	80,454
Incheon	C_ATT	58.48	22.34	38.00
	M_ATT	57.49	22.24	39.42
	ATTime	5.17	3.89	4.81
	ATNo	0.90	0.17	0.60
	Demand	767,630	79,925	688,412
Gyeonggi	C_ATT	50.20	37.69	27.26
	M_ATT	48.69	39.08	26.88
	ATTime	5.57	4.55	4.10
	ATNo	0.81	0.59	0.21

- C\_ATT : Card Average Travel Time(min)
- M\_ATT : Model Average Travel Time(min)
- ATTime : Average Transfer Time(min)
- ATNo : Number of Average Transfer

- <Table 8>의 결과로 볼 때 다소 비대칭적인 결과가 도출됨을 보여주고 있다(서울 → 인천, 인천 → 서울). 지역에서 접근하는 방향별로 최적 경로가 다르게 나타남을 의미하며 이는 열차의 배차간격의 적용을 받는 수요의 규모가 다르거나 시설의 방향별 접근시간이 달라서 생기는 현상으로 파악된다.

4) 기존 결과와의 비교

본 연구는 서울, 경기, 인천의 내부존과 존간의 환승계수와 같은 자료값을 구축하는데 활용될 수 있을 것으로 파악된다. 수도권교통본부(2016)에서 발표한 “2015년 수도권 여객 기종점통행량 (O/D) 현황화 공동사업 (이하 현황화사업)”[16]에서 연도별 제시한 지하철 환승계수를 보면 2014년 “서울-서울”은 0.641로서 본 연구에서 제시하는 0.50보다 다소 높음을 알 수 있다. 또한 수도권교통본부는 수도권 전체의 환승계수를 0.621로 제시하고 있으나 본 연구는 0.54회를 나타내고 있어 다소 높음을 알 수 있다.



## V. 결론

수도권 도시철도는 환승게이트가 설치되지 않은 구간이 존재하여 승객의 환승시간 및 환승횟수와 같은 정보가 교통카드에 기록되지 못한다. 도시철도 환승자료 구축은 수도권 통합대중교통체계의 분석이 완성된다는 측면에서 필요성이 요구된다.

본 연구는 교통카드에서 나타난 철도역사 게이트-진출입 태그기록을 토대로 승객의 도시철도 네트워크 경로선택모형을 구축하여 도시철도 환승자료를 도출하는 방안을 제안하였다. 이를 위해 빅노드 개념을 도입하여 환승역에 존재하는 복수의 태그번호를 단일화하는 방법에 적용하였다. 또한 링크표지기반의 경로탐색알고리즘을 도입하여 수도권 도시철도에 적합한 네트워크 구축방안을 시도했다. 그리고 승객은 환승이동 및 대기를 포함하여 최소통행시간경로를 선택한다고 가정하여 모형에 반영하였다. 게이트별 위치정보를 이용하여 행정동, 시군구, 서울-경기-인천의 소존, 중존, 대존 단위별로 환승특성을 도출하기 용이하도록 하였다.

2014년 일일 교통카드 이용자료를 토대로 사례 분석을 시행하였다. 실제통행시간과 모형통행시간을 토대로 모형의 타당성을 검증하였다. 66개 중존, 서울-경기-인천의 환승통행에 대한 자료를 도출하였다. 수도권에서 도시철도통행의 평균환승시간은 4.16분, 환승횟수는 0.54회로 도출되었다. 수도권 교통본부는 환승계수를 0.621로 제시하고 있으나 본 연구에서 구축한 모형을 통해 보다 적은 값이 도출되었다. 따라서 도시철도 환승통행의 변화에 따른 수도권의 수단 및 목적통행의 수단분담율의 변화에 대한 새로운 추정기법이 필요할 것으로 판단된다.

본 연구는 다음과 같은 한계가 존재한다. 우선 본 연구의 결론에 대한 구체적인 검증작업이 필요하다. 환승자료 구축에 대한 방법론적인 제시였으며 결론에 대한 확신을 추구하기에는 도시철도네트워크, 정류장의 행정동 위치, 환승자료 등에 대한 종합적인 검증이 요구된다. 또한 환승에 대한 적절한 개념정의가 선행될 필요가 있다. 진입-게이트

에서 초승열차를 탑승하기까지 이동하는 시간은 환승에서 제외하였는데 환승에 대한 과소추정의 사유로 작용할 수 있다. 특히 버스와 철도의 환승이 고려되는 경우 환승시간은 버스-철도태그와 함께 환승을 위해 이동시간-여기서는 3분-까지 포함하면 평균환승시간에 대한 저항도는 상당히 증가될 것으로 판단된다. 마지막으로 게이트에서 초승탑승하고 하차한 이후 진출게이트 태그까지 정확한 도시철도의 특성을 반영한 네트워크 구축이 필요하다.

그럼에도 본 연구가 함축하는 정책적인 의미는 수요예측에 대한 정확성을 향상시키는 목적으로 활용이 가능하다는 것이다. 현행 수도권 지하철 환승계수는 수도권의 통합대중교통체계에서 버스 및 철도의 인프라를 효과적으로 판단하여 투자의 적정성을 파악하는 중요한 지표이다. 예비타당성 조사, 수도권 대중교통의 수단분담율과 같이 현행 도시철도 수요예측과정에서 나타나는 지표들과의 비교를 통해 정확성의 제고가 요구되는 분야에서 본 연구가 기여될 것으로 판단된다.

## REFERENCES

- [1] 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.
- [2] Lee M.(2015), "Analysis of Transit Passenger Movement within Seoul-Gyeonggi-Incheon Area using Transportation Card Data," *Korea Research institute of human settlements*.
- [3] Kim S.(2007), "The Estimation and Application of Origin-Destination Tables by Using Smart Card Data," *Seoul Development Institute*, 2007-R-11.
- [4] Shin S.(2011a), "Constructing an Optimal Integrated Public Transit Network," *Seoul Development Institute*, 2011-PR-59.
- [5] Shin S.(2011b), "Congestion Index of Urban Rail Transit Using Public Transportation Card

- Data,” *Seoul Development Institute, Working Paper*, 2011–BR–04.
- [6] Choi M., Eom J., Lee J. and Park J.(2011), “Evaluation of Transit Services based on Transit Smart Card Data,” *The Korean Society for Railway*, Spring Conference 2011, pp.1811–1825.
- [7] Bin M., Moon J. and Cho C.(2012), “A Study on Travel Pattern Analysis and Political Application using Transportation Card Data : In Gyeonggi–Do,” *Journal of the Economic Geographical Society of Korea*, vol. 15, no. 4, pp.615–627.
- [8] Kim S.(2012), “Travel characteristics and behavior of transit card users,” *The Seoul Institute*, 2012–BR–07.
- [9] Kim J. and Shon J.(2014), “The Congestion Index of Urban Rail for the Transportation Welfare in Incheon,” *Incheon Development Institute*, 2014–20.
- [10] Jeon S., Lee J. and Jun C.(2014), “Development of an Algorithm for Minimization of Passengers’ Waiting Time Using Smart Card Data,” *Journal of Korea Spatial Information Society*, vol. 22, no. 5, pp.65–75.
- [11] Kim J. and Lee M.(2015), “Analysis of the Peak Hour Delay of Urban Rail in Incheon,” *The Korean Society for Railway*, Spring Conference 2015, pp.310–314.
- [12] Han S., Kang H. and Lee M.(2015), “Residential Distribution of Public Transport Commuter by Smart Card through the Use of the Major Subway Influence Area–Focus on Metropolitan,” *Journal of Korea Planning Association*, vol. 50, no. 4, pp.103–117.
- [13] Cheon S.(2010), “Development of A Smart Card Data–Based Stochastic Transit Assignment Model on Integrated Public Transportation Networks,” *Ph.D. thesis, Graduate school of Environmental Study, Seoul National University*.
- [14] Lee M.(2004), “Transportation Network Models and Algorithms Considering Directional Delay and Prohibitions for Intersection Movement,” *Ph.D. Thesis, University of Wisconsin at Madison*.
- [15] Lee M., Kim H., Park D. and Shin S.(2008), “A Link–Based Label Correcting Multi–Objective Shortest Paths Algorithm in Multi–Modal Transit Networks,” *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 26, no. 1, pp.127–135.
- [16] Metropolitan Transportation Authority(2016), “Joint Project for the Analysis of Seoul Metropolitan Passenger Origin and Destination Trip(OD) in 2015 Year”.

저자소개



이 미 영(Lee, Mee young)  
2004년 University of Wisconsin - Madison 토목환경공학과 교통공학박사  
2006년 8월~현재 : 국토연구원 국토계획·지역연구본부 책임연구원  
e-mail : mylee@krihs.re.kr



손 지 언(Sohn, Jhieon)  
2011년 서울시립대학교 교통공학과 교통공학박사  
2012년 5월~현재 : 인천발전연구원 교통물류연구실 연구위원  
e-mail : sohn21@idi.re.kr



조 중 석(Cho, Chong suk)  
2007년 서울대학교 환경대학원 도시계획학박사  
2007년 8월~현재 : 한국교통연구원 국가교통DB사업단 부연구위원  
e-mail : cscho@koti.re.kr