

수도권 도시철도 환승통행량 추정방안 (교통카드자료를 이용하여)

Estimating Transfer Trips in Seoul Metropolitan Urban Railway (Using Transportation Card)

이 미 영*

(Mee Young Lee)

(Korea Research Institute for Human Settlements)

손 지 언**

(Jhioon Sohn)

(Incheon Development Institute)

요 약

수도권 도시철도 환승역에서 노선 간에 이동하는 환승통행량을 추정하기 위한 별도의 교통카드 단말기가 존재하지 않는다. 본 연구는 환승역을 이동하는 승객의 통행이동을 추정하는 모형을 제안하여 환승통행의 특성을 파악하는 방안을 구축한다. 모형의 가정은 승객은 일반화비용을 최소화 하는 통행경로를 선정하는 행태를 통하여 환승역을 경유하도록 구축되었다. 또한 수도권 도시철도의 특성을 반영하는 두 가지 방안을 강구하였다. 이는 도시철도의 경우 출발역과 도착역을 연결하는 유사한 경로가 존재하며 승객은 환승회수가 증가하면서 추가적인 통행비용으로 인식한다는 것이다. 이를 위해 유사한 경로를 탐색하는 방안인 M-유사경로탐색기법을 적용하였으며 계단형 환승계수를 도입하는 방안을 강구하였다. 수도권 도시철도의 2가지 사례를 통하여 환승통행량을 분석하는 방안을 제시하였다. 신도림역 20개 방향별 통행현상을 재현하였다. 수도권 도시철도 33개 환승역사를 대상으로 방향별 통행총량(A), 노선간 환승총량(B), B/A에 대한 비율을 파악하여 통행기능을 파악하였다.

핵심어 : 교통카드, 수도권 도시철도, 환승통행, 계단형 환승계수, M-유사경로

ABSTRACT

Separate transportation card readers that record the amount of transfer volume occurring during movement in-between lines within the metropolitan railway transfer stations do not exist. This research proposes a model to estimate passenger transit movements in transfer stations that adequately reproduces characteristics arising during a transfer trip. The model used in this study assumes that passengers adopt transfer behaviors that minimize their generalized costs during transfer trips. Further, two measures are sought in order to reflect attributes of the metropolitan railway. The first is that similar paths connect origin and destination stations. For this, the M-Similar Paths method is applied to the model to identify the similar paths that arise. The second is that passengers perceive increasing number of transfers as additional transfer costs, which is reflected by means of the Stepwise Transfer Coefficient. Two case studies of metropolitan railway are used to propose measures for analysis of transfer trips. Twenty directional transit phenomena are reproduced for Sindorim railway station. Aggregate directional transit(A), aggregate inter-line transit(B), and B/A are calculated on a percentage basis for 33 metropolitan railway transfer stations, and using this, the functional role of transfers is explored.

Key words : Transportation Card, Seoul Metropolitan Railway, Transfer Trip, Stepwise Transfer Coefficient, M-Similar Paths

† 본 논문은 2016년 추계학술대회에 발표되었던 논문을 수정·보완하여 작성하였습니다.

* 저자 및 교신저자 : 국토연구원 국토계획·지역연구본부 책임연구원

** 공저자 : 인천발전연구원 교통물류연구실 연구위원

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

† Received 15 December 2016; reviewed 22 December 2016; Accepted 25 December 2016

I. 서론

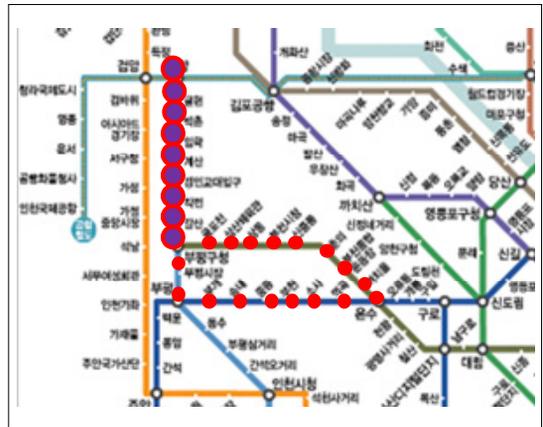
2016년 9월 현재 수도권 통합요금제에 적용되고 있는 도시철도역은 85개의 환승역 중복을 제외하고 총 576개이다. 2016년 10월 개통된 경강선(판교-파주) 등 신규노선의 등록과 제2신분당선 등 기존노선 확장으로 수도권 도시철도역사는 계속 증가할 전망이다. 1일 약 800만 건의 통행데이터가 생성되는 수도권 교통카드의 선/후불카드 96-97% 정기권 및 일회권 약 3-4%로 도시철도에서 100% 이용률을 확보하고 있다. 교통카드자료는 수도권 전체 철도역에서 나타나는 승객행태를 파악하는 모집단 자료로서 손색이 없다. 전체 도시철도 이용승객의 출발-도착역 게이트 카드 태그정보를 토대로 이동경로를 파악하면 분석자료가 완성된다.

현재 수도권 도시철도의 환승통로에는 공항철도와 같은 민자기관을 제외하고 환승게이트를 운영하지 않다. 따라서 도시철도 네트워크에서 승객의 이동경로를 정확하게 파악하는 것은 매우 어려운 문제이다. 이러한 이유로 열차혼잡도 및 환승역 승객이동과 같이 승객이동에 대한 분석이 요구되는 지표들은 목측조사에 의존하고 있는 실정이다. 교통카드자료를 대상으로 개별승객들이 경유한 환승역을 파악하면 다양한 조사/분석시스템으로 활용이 가능하다.

본 연구는 교통카드자료를 통해 도시철도 승객이 경유하는 환승역의 통행을 판단하는 모형을 구축한다. 모형은 **“승객은 출발역에서 도착역까지 최소일반화비용의 경로를 선정한다”**는 가정을 기반으로 한다. 최소일반화비용은 차내통행시간, 환승시간, 열차대기시간 등의 합으로 계산되며 수도권 도시철도의 특성에서 나타나는 다음의 2가지 관심사항을 모형에서 반영한다.

첫 번째는 출발역-도착역 간의 경로에는 최소일반화비용 경로와 유사한 통행경로가 존재하여 이에 대한 반영이 필요하다는 것이다. <Fig.1>은 인천1호선과 공항철도가 만나는 계양(Gyeyang)역과 7호선과 1호선의 환승역인 온수(Onsu)역에서 2개의 유사경로를 나타내고 있다. 부평구청역과 부평역의 두

지점 환승을 통해서 도착하는 역의 수는 동일하다. 따라서 최소일반화비용경로를 하나의 경로만으로 선정하는 것은 편향된 결과를 도출하게 된다. 계양역과 부평구청역 사이에 존재하는 굴현, 박촌, 입학, 계산, 경인교대입구, 작전, 갈산역과 온수역 사이에는 이러한 문제가 동일하게 적용되기 때문에 편향된 결과는 누적되어 나타나게 된다. 본 연구는 출발-도착역의 최소일반화비용경로와 M개의 유사경로를 탐색하여 1/M의 확률로서 배정하는 복수경로배정기법을 구축한다.



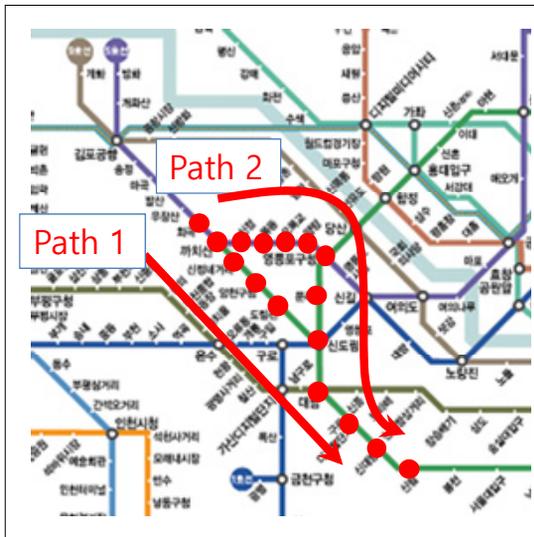
<Fig. 1> Two Similar Paths Between Gyeyang and Onsu Railway Stations

두 번째는 승객은 환승회수가 많아지면 추가적인 비용으로 인식하는 현상을 반영하는 것이다. 대중교통수단 선택에서 일반적으로 차내통행시간보다 차외통행시간에 민감하게 반응한다. 이러한 행태는 통행시간이 더욱 소요되어도 환승회수를 줄이는 경로를 선택하는 경향으로 설명이 된다. <Fig. 2>는 화곡(Hwagok)역과 신림(Silim)역의 두 유사경로를 나타낸 것이다. 경로선정사유를 외관상의 통행시간으로 평가하면 Path1은 10개의 통과역으로 Path2의 13개에 비하여 유리하나 Path1은 환승횟수가 2번이고 Path2는 1번이다. 따라서 Path1의 2번 환승과 10개역과 Path2의 1번 환승과 13개역은 유사경로 특성으로 평가될 수 있다. 실제 승객의 주관적 환승영향을 반영하면 2개 경로는 유사경로로 추정

된다.

- ◆ Path1 : 38.50 (분-비용) 10 (역) 2 (환승)
- ◆ Path2 : 38.62 (분-비용) 13 (역) 1 (환승)

본 연구는 환승계수(Transfer Coefficient)를 적용하여 환승의 추가에 따른 비용증가분을 반영하는 방안을 적용한다. 기존 연구에서 경로비용에 환승계수가 포함되면 비가산성(Non Additive Cost)화 되는 현상을 파악하고 경험적 최적경로탐색기법이 제안되었다[1]. 본 연구는 유입링크기반 전체경로탐색기법[1]을 적용하여 M개의 순차적 유사경로를 구축하고 수도권 도시철도 네트워크에 적용하는 방안을 제안한다.



<Fig. 2> Two Similar Paths Which Have Different Number of Transfers and Stations Between Hwagok and Sillim Railway Stations

연구의 진행은 다음과 같다. II장은 수도권 도시철도의 환승을 직접환승과 소프트환승으로 설명하고 환승게이트를 운영하고 있는 민자철도의 진입 전후에 따른 교통카드정보의 변화를 파악한다. III장은 모형식을 도출하고 3가지 모형의 반영사항- 1) M유사경로 최적해 구축, 2) 환승계수 반영, 3) 자체 환승반영 방안-을 논의한다. IV장은 수도권 도시철도의 2014년 10월 13일 교통카드자료를 대상으로

결과를 도출하며 모형의 결과를 분석한다. V장은 연구결과 및 향후과제에 대하여 논의한다.

II. 수도권 도시철도 환승유형과 통합요금체계 카드정보

1. 직접환승과 소프트환승

수도권 도시철도에서 노선간에 환승하는 방법은 환승통로를 이용하는 직접환승(Direct Transfer)과 환승통로를 이용하지 않는 소프트환승(Soft Transfer)으로 구성된다. 현행 수도권 통합요금체계에서 직접환승방식에는 철도이용을 연속적으로 2회 이용이 불허된다. 그러나 소프트환승은 일반개찰구에서 카드를 태그하고 30분 이내에 타 노선의 타는 곳에 카드를 태그하면 환승으로 인정하고 환승횟수를 1회 차감한다. 소프트환승은 신규노선 개통 또는 환승역의 환승통로가 구축되지 않아 나타나는 환승불편을 해소하기 위해 한시적으로 환승을 허용하는 제도이다. 1호선 노랑진역과 9호선 노랑진역은 향후에 노랑진 민자역사가 들어설 계획으로 환승통로가 없어 일반적인 환승이 어려워 소프트환승 개념이 도입되었다. 현재 수도권의 도시철도 구간에서 이 소프트환승을 시행하는 역은 환승통로가 개찰구 밖으로 나와야 하는 1, 9호선 노랑진역, 그리고 경의선 1,4호선 서울역 구간에서 운영되고 있다. <Fig. 3>는 노랑진의 1호선과 9호선의 소프트환승을 유도하는 상황을 보여주고 있다.



<Fig. 3> Soft Transfer between Line 1 and Line 9 of Noryangjin Station

2. 통합요금체계 환승유형과 교통카드정보

수도권 통합요금체계에서 5번의 버스(B)-철도(S) 복합수단의 이용이 허용되며 4회까지 환승요금이 할인된다. <Table 1>은 2014년 10월 13일 교통카드 이용에 따른 총 57개 연계통행(Trip Chain, Travel) 유형 중 10개의 환승유형과 횟수를 보여준다. 현행 요금체계에서 버스간 환승예로서 BBB는 2번 환승이나 BBBB와 같이 최대 4회까지 가능하다. 버스-철도의 환승은 철도의 직접환승인 경우 BSBBS와 같이 SS의 연속기록이 나타나지 않는다. SS가 포함되는 환승은 노량진 또는 서울역에서 환승이 이루어지는 소프트환승을 포함한 것이다. <Table 1>에서 소프트환승은 SS, BBBSS, SSSB, BBSS, SSSS에 나타나고 있다. 전술하였듯이 환승이 허용되나 환승횟수는 차감되는 형태로 교통카드에 기록되고 있다.

<Table 1> Selected Transfer Types and Number of Travel of One Day's Transportation Use Data

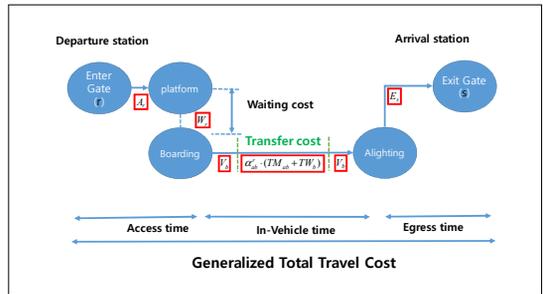
Content	Transfer Type	# of Travel
Mode Use Sequence	S	4960481
	B	5669042
	SB	1188610
	BBB	235075
	BSBBS	1491
	SS	31116
	BBBSS	26
	SSSB	20
	BBSS	210
	SSSS	1
	-----	-----
Total	57 Types	15472895

III. 수도권 도시철도 환승통행량 추정모형 및 해법

1. 모형

승객이 경험한 출발역-도착역 일반화비용은 <Fig. 4>로 설명된다. <Fig. 4>는 진입-진출태그 사이에서 차내시간, 환승시간, 환승계수가 포함된 여

행비용을 나타내고 있다. 여행비용(T)에 포함되는 항목은 진입태그(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. 특히 환승에 따른 주관적인 감정을 비용화하기 위하여 환승에 소요되는 이동 및 대기시간인 ($TM_{ab} + TW_b$)를 출발지부터 인식하도록 환승계수를 도입하는 방안을 시도하여 $\alpha_{ab}^r \cdot (TM_{ab} + TW_b)$ 로 구축되었다. 식(1)은 환승계수를 반영하여 일반화비용으로 산정된 통행비용을 나타내고 있다. <Fig. 5>의 α_{ab}^r 는 누적환승횟수의 형태로서 환승계수를 계단형(Stepwise)형태로 나타낸 것이다.

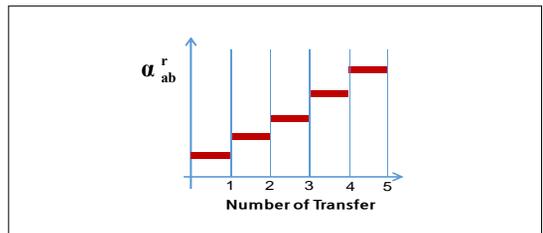


<Fig. 4> Travel Cost Between Entry and Exit Gates (Sohn, 2015), Revision of (3)

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

여기서

a, b : 링크, ab : 회전 a - b 로 수단환승 포함
 α_{ab}^r : r에서 회전a-b까지 환승계수



<Fig. 5> Stepwise Transfer Parameter

본 연구에서 적용한 환승비용(TT^s)은 초기 열차 대기시간과 환승하면서 발생하는 이동 및 대기시간을 합한 개념이다. 초승열차 대기시간을 환승비용에 포함한 이유는 플랫폼점근시간(A_r)을 최초통행으로 가정하면 열차대기시간은 환승으로 고려된다.

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

(2)

여기서

$\delta_{ab}^{r,s}$: ab 최적경로 포함이면 1, 아니면 0

식(1)을 기반으로 승객이 일반화비용을 최소화하는 경로를 선택하는 선형목적함수는 식(3)과 같다.

$$\min Z(X) = \sum_a \sum_b \{ \alpha_{ab}^r (TM_{ab} + TW_b) + V_b \} x_{ab} \quad (3)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_m f_m^{r,s} = q^{r,s} \quad \forall r, s$$

$$f_m^{r,s} \geq 0 \quad \forall r, s, m$$

$$x_{ab} = \sum_r \sum_s \sum_m f_m^{r,s} \cdot \delta_{m,ab}^{r,s} \quad \forall ab$$

$$x_a = \sum_r \sum_s \sum_m f_m^{r,s} \cdot \delta_{m,a}^{r,s} \quad \forall a$$

여기서

X : 회전통행량 벡터 $\{---, x_{ab}, ---\}$

x_{ab} : 링크a에서 b로 환승통행량(人)

x_a : 링크a 통행량(人)

$q^{r,s}$: r 태그역 - s 태그역 수요

$f_m^{r,s}$: r-s간 경로m을 통행하는 교통량

$\delta_{m,ab}^{r,s}$: r-s간 경로m이 환승ab 통과 1, 아니면 0

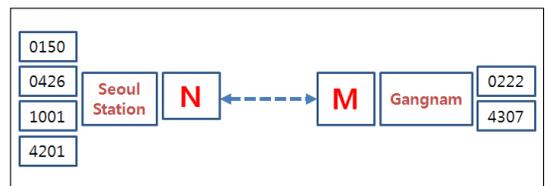
$\delta_{m,a}^{r,s}$: r-s간 경로m이 링크a 통과 1, 아니면 0

2. 빅노드기반 도시철도 네트워크 구축

환승은 서로 다른 노선 간의 갈아타기이다. 따라서 환승역에는 2개 이상의 도시철도노선이 교차되며 소프트웨어환승을 제외하고 전용환승통로가 이용된다. 강남역은 2호선과 신분당선의 환승이 발생하며 환승전용통로를 이용하여 환승이 이루어진다. 이러한 측면에서 환승은 노선간 환승과 자체역 환승으로 구분된다. 노선간 환승은 승객이 경로를 선택하

는 과정에서 열차하차, 환승이동, 환승대기, 열차탑승으로 나타난다. 자체역 환승은 최초 교통카드를 진입태그한 노선과 탑승열차의 운영노선이 다른 경우에 발생한다. 3호선 교대역에서 진입카드태그하고 2호선 열차를 탑승하는 경우 환승통로를 따라 이동하게 되므로 자체역 환승이 된다. 반대로 3호선 열차에서 하차하여 2호선 역사 진출카드태그의 경우도 자체역 환승으로 분류된다. 따라서 노선간 환승과 자체역 환승을 모두 판단하기 위해서는 진입 및 진출단말기의 운영노선의 정보를 도시철도네트워크에 기록하는 방안이 요구된다. 교통카드단말기는 출발역 또는 도착역이 환승역이면 환승통로를 이용하는 승객의 노선간 환승과 자체역 환승 모두로 나타나기 때문에 두 환승수요를 합산하는 과정의 수행이 필요하다. 이를 위해서는 기존에 카드태그기록을 맵핑하는 빅노드(Big Node) 개념[2]에서 카드태그기관과 초승기관을 분리하는 작업이 요구된다.

<Fig. 6>은 서울역과 강남역에 대하여 역명을 중심으로 기존의 빅노드 N, M으로 복수의 노선을 맵핑하는 상황을 보여준다. 서울역과 강남역을 노선의 구분없이 N과 M으로 대입하면 카드태그정보는 삭제되고 N과 M의 빅노드를 대상으로 경로를 탐색하게 되며, 이 경우는 노선 간에 발생하는 환승통행량이 계산된다[2].



<Fig. 6> Big Node N, M between Seoul Station and Gangnam Based on Station Name [2]

<Table 2>는 2014년 10월 8개 운송기관이 참여하고 있는 수도권 도시철도역사 교통카드 단말기에서 나타나는 운영기관과 노선별 구분을 보여주고 있다. 교통카드 단말기의 코드는 4개 자리로 구분된다. 이중 첫 번째 자리는 운영기관을 두 번째 자리

는 기관에서 운영하는 노선을 나타낸다. 마지막 두 자리(XX)는 노선에 포함된 역명을 순서대로 나타낸다. 예를 들면 <Table 2>의 첫 번째 줄의 (01XX - 04XX)에서 0은 서울메트로, 1은 1호선이다. 따라서 (01XX - 04XX)는 서울메트로 1호선부터 4호선을 의미한다.

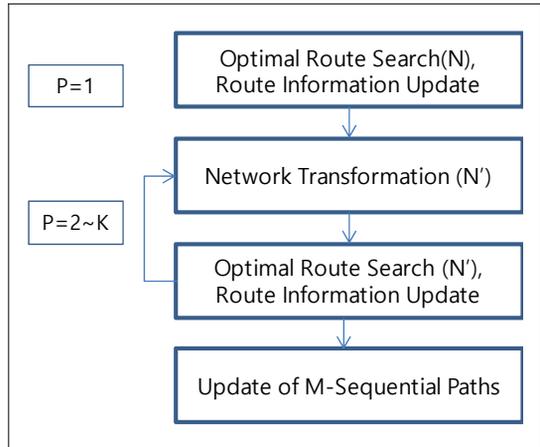
<Table 2> Selected Transfer Types and Number of Travel of One Day's Transportation Use Data

Station Code	# of Line	Organization
01XX - 04XX	4	Seoul Metro
10XX - 19XX	7	KORAIL
25XX - 28XX	4	Seoul Metropolitan Rapid Transit
31XX	1	Incheon Transit Corporation
41XX	1	Metro 9
42XX	1	Airport Express
43XX	1	Sinbundang Line
45XX	1	Everline

3. 환승계수를 고려한 M-유사경로기반 확률적 배정방안

환승계수는 환승의 누적으로 인해 불편감을 경로비용에 반영하는 방안으로 누적환승합수로 알려져 있다[1]. 환승계수가 포함된 최적경로탐색은 기존의 경로선택알고리즘으로 동적계획법의 최적조건[4]이 성립되지 않을 가능성이 존재하는 비가산성 비용을 포함하여[5] 경험적으로 최적경로를 탐색하는 방안이 제안되었다[1]. 이에 대한 대안으로서 Shin et al(2016)은 유입링크기반 전체삭제기법[6]을 적용하여 K개 경로로 구성된 가능경로집합을 구성하고 최적경로를 선정하는 경험적 방안을 구축하였다[1]. 본 연구는 M개의 유사경로를 탐색하기 위하여 K가능경로집합에 대하여 경로비용순서를 재조합하기 위해서 <Fig. 7>과 같이 수행과정을 확장한다. <Fig. 7>은 K개의 가능경로집합을 구축하기 위하여 K번의 경로탐색과 K번의 네트워크변형

을 추구하며, 최종적으로 M개의 최상위 경로순서를 정렬하여 결정하는 과정을 나타낸다. 이 경우 최종적으로 K개의 경로개수와 M개의 상위개수를 구하는 문제가 발생한다. 본 연구는 충분한 K를 통하여 M개의 경로를 모두 파악하는 과정을 간략하게 설명한다.

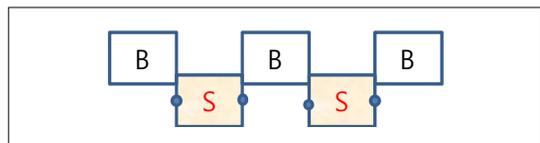


<Fig. 7> Revised In-Coming Link Based Entire Path Deletion (1)

IV. 수도권 도시철도 환승통행량 분석

1. 환승유형 구분

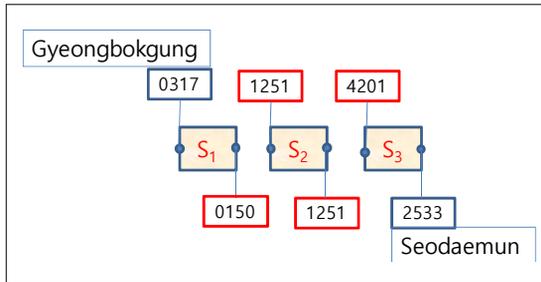
교통카드자료는 2014년 10월 13일(월) 자료를 대상으로 도시철도가 포함된 연계통행을 구축하여 환승의 특성을 파악한다. 직접환승은 <Fig. 8>과 같이 철도(S)통행이 한번 발생하여 출발-도착태그와 초승 및 최종하차의 관계를 파악하면 환승이동특성이 파악되며 BSBSB 여행에서 개별 S는 직접환승을 나타내고 있다.



<Fig. 8> Separation of Railway Trips for Direct Transfer Case

소프트환승의 특성을 파악하기 위해 SS, SSS, SSSS, SSSSS로 나타나는 카드정보의 형태를 살펴보는 것이 필요하다. <Fig. 9>는 SSS의 여행을 포착한 것으로 0150, 1251, 4201은 서울역을 나타내며 0317은 3호선 경복궁역, 2533은 5호선 서대문역으로 환승통로는 S₁, S₃에서 나타나고 S₂는 서울역 중간경유만 외곽에서 나타나므로 S₁, S₃을 개별통행으로 처리하는 것이 타당하다.

따라서 SS는 두 분리된 통행으로 환승역을 각각 판단하는 알고리즘을 수행하며, SSS, SSSS, SSSSS는 첫 번째와 마지막 통행만을 대상으로 <Fig. 9> S₁은 경복궁-서울역, S₃는 서울역-서대문역으로 구분하여 알고리즘을 수행한다.



<Fig. 9> Soft Transfer Case

2. 분석자료

2014년 10월 13일 교통카드는 총 15,325,487개의 연계통행(Trip Chain, Travel)을 포함하고 있으며 이 중 출발역과 도착역 진입게이트-태그시간, 진출게이트-태그시간 자료로 구성된 철도통행(S)은 총 7,852,523개로 나타나 이를 대상으로 분석을 시행하였다. 입력자료는 최종적으로 수도권 통합요금제에 진입한 용인경전철까지 포함된 네트워크로서 역간 통행시간정보를 담은 1162개 링크, 역사게이트ID 601개 노드, 환승은 712개로 빅노드는 513개로 <Fig. 10>과 같다.

<Table 3-5>는 링크, 노드, 환승데이터를 요약하여 나타낸 것이다. 환승역에서 노선별 차두간격은 첨두시 30%, 비첨두시 70%를 반영하여 적용하였다. 진입게이트에서 접근하는 시간과 열차 하차 후 진

출게이트까지의 시간은 각각 3분으로 입력하였다. 일반적으로 승객의 연령, 보행시설의 효과, 개찰구에서 플랫폼까지의 거리에 따라 이 값은 역사별로 차이를 보일 것으로 생각된다. 모형을 구현하는 과정에서 3분은 모형과 실제통행시간의 선형관계를 설명하는 효과적 수치인 것으로 검증되었다.



<Fig. 10> Seoul Metropolitan Railway Lines Map

<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

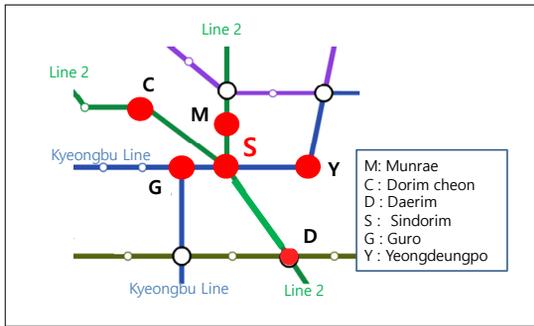
<Table 5> Transfer Input Data

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

3. 사례분석: 신도림역 환승통행

환승역의 노선간 환승통행의 특성을 분석하기 위하여 1)방향별 통행총량과 2)노선간 환승총량을 산정하여 환승에 대한 수도권 도시철도의 윤곽을 파악한다. 환승역에서 방향별 통행총량은 환승역을 기준으로 방향별로 발생한 환승통행은 전부 합산한 결과이다. 따라서 동일노선의 통행량과 노선간 환승량을 모두 포함한 결과이다. 방향별 통행총량이 많다는 것은 환승역을 중심으로 통행이 가장 활발하게 발생하고 있다는 의미를 포함한다. 방향별 통행총량과 노선간 환승총량을 이해하기 위해서는 별도의 설명이 요구된다.

<Fig. 11>은 경부선과 2호선의 환승역인 신도림역을 중심으로 인접한 5개의 역과의 통행을 보여주고 있다. 우선 신도림을 중심으로 역을 이동하기 위해서 열차하차가 발생하면 환승으로 간주한다. 따라서 2호선과 5호선은 하차를 통해 승차가 가능하므로 노선간 환승이다. 또한 신도림에서 연결된 도림천, 대림, 문래역은 2호선에서 운영되고 있으나 열차를 하차하여 이동 및 승차의 개념이 포함되기 때문에 노선간 환승(A)으로 구분한다. 반면 하차가 필요하지 않은 동일노선 이동(B)은 환승으로 구분되지 않는다.



<Fig. 11> Directional Movement Center to Sindolim Station

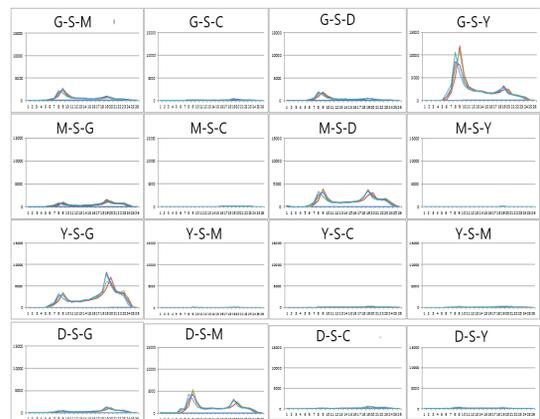
따라서 <Table 6>의 방향별 통행총량은 A+B이며 노선간 환승총량은 A로 나타난다. 환승역의 특성을 설명하기 위해서 다른 환승역에 비해서 상대적으로 A+B가 많다는 것은 환승역이 통행의 중심에 위치한다는 지표특성을 설명한다. 반면 B가 상대적으로 많다는 의미는 노선간 환승에 있어서 중심적인 역할을

수행한다는 것이다. 또한 A/C가 높다는 것은 환승을 통한 통과통행의 역할이 크다는 것을 의미한다.

<Table 6> Directional Trips Center to Sindolim Station

Directional Movement Center to Sindolim Sta.	# of Trips	Directional Movement Type
G-S-M	47,501	16 Transfer Trips Between Lines (A)
G-S-D	34,521	
G-S-C	9,111	
M-S-Y	1,950	
M-S-G	38,764	
M-S-C	3,511	
Y-S-M	2,267	
Y-S-D	9,440	
Y-S-C	4,857	
D-S-G	31,836	
D-S-Y	8,775	
D-S-C	13,478	
C-S-G	8,824	
C-S-M	3,666	
C-S-Y	4,666	
C-S-D	13,728	
G-S-Y	196,281	4 Same Line Movements (B)
Y-S-G	195,819	
M-S-D	115,284	
D-S-M	116,360	
Total	860,646	C=A+B

<Fig 12>는 16개 일일 노선간 환승통행량을 15분 단위로 재현한 결과로서 오전·오후피크가 나타나는 역은 구로(G)-신도림(S)-영등포(Y)와 문래(M)-신도림(S)-대림(D)의 양방향 4개의 노선간 환승통행으로 나타나고 있다.



<Fig. 12> Dynamic Transfer Trips Center to Sindolim Station at 15 minute interval

4. 수도권 도시철도 환승역 분석

환승역의 노선간 환승통행의 특성을 분석하기 위하여 1)방향별 통행총량과 2)노선간 환승총량을 산정하여 환승에 대한 수도권 도시철도의 윤곽을 파악한다. 환승역에서 방향별 통행총량은 환승역을 기준으로 방향별로 발생한 통행은 전부 합산한 결과이다.

<Table 7>은 노선간 환승총량(A)의 순위로 서울역부터 강남역까지 33개역의 결과를 도출한 것이다. B는 방향별 통행총량에 대한 노선간 환승총량의 비율을 나타낸 결과이다. 서울역이 가장 A가 높게 나타났고 강남역이 33순위로 도출되었다. 서울역, 남태령, 지축은 운영기관의 관리가 달라 노선간 환승으로 계산되는 현상이 나타난다.

<Table 7> Order of Number of Transfer Trips

Station Name	# of Transfer Trips Between Line (A)	Percentage of (A) to Total Directional Trips (%) (B)
Seoul Station	554,316	77.23
Guro	390,943	65.13
Dongdaemun H.S. Park	272,247	30.36
Namtaeryeong	238,008	100.00
Geumjeong	214,667	59.91
Sindorim	202,516	23.53
Cheongyangni	194,902	68.29
Express Bus Terminal	163,834	26.11
Sadang	152,847	22.52
Chungmuro	148,385	23.68
Goydae	139,688	17.53
Jongro 3-ga	134,101	19.17
Wangsimni	134,027	21.51
Noryangjin	110,612	21.57
Jichuk	109,802	100.00
Gunja	105,903	21.89
Jamsil	105,796	31.37
Bupyeong	86,812	27.03
Hapjeong	83,653	21.66
City Hall	70,404	12.28
Changdong	70,380	25.59
Gonddeok	69,609	15.89
Konkuk University	69,029	14.20
Euljiro 3-ga	69,024	13.13
Seolleung	68,436	15.53
Yeongdeungpo-gu Office	68,133	13.32
Daerim	67,984	13.27
Cheonho	67,015	27.99
Kimpo Airport	65,665	37.31
Chongshin University	65,663	13.81
Onsu	64,772	13.74
Gasan Digital Complex	58,390	14.65
Gangnam	56,457	13.37

다음으로 구로역이 A가 두 번째로 나타나고 있으며 방향별 통행총량 대비 A가 65.13%에 달하고 있어 환승역의 기능이 강한 역으로 분류된다. 반면 33번째인 강남역은 승하차 인원이 매우 높은 역으로 알려져 있으나 13.37%로 노선간 환승이 낮게 나타나고 있어 목적지 성향이 강한 현상을 보이고 있다.

<Table 8>은 방향별 통행총량(C) 대비 노선간 환승총량(D)의 비율이 높은 순위로 33개역을 나타낸 것이다.

<Table 8> Order of Percentage of Transfer Trips

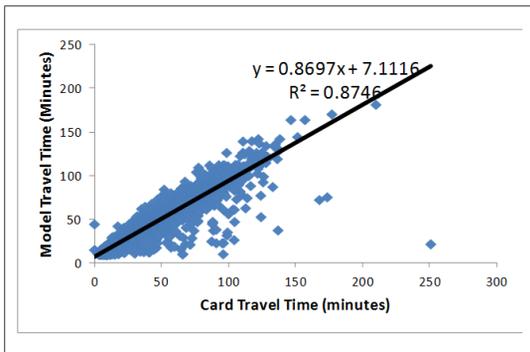
Station Name	# of Total Directional Transfer Trips(C)	# of Transfer Trips Between Lines(D)	D/C*100 (%)
Namtaeryeong	238,008	238,008	100.00
Oido Island	23,915	23,915	100.00
Jichuk	109,802	109,802	100.00
Seoul Station	717,715	554,316	77.23
Cheongyangni	285,415	194,902	68.29
Guro	600,227	390,943	65.13
Geumjeong	358,346	214,667	59.91
Ogemu	64,873	34,022	52.44
Cheonan	15,980	8,029	50.24
Gyeyang	107,698	52,670	48.91
Kimpo Airport	176,008	65,665	37.31
Jeongja	163,206	54,102	33.15
Jamsil	337,281	105,796	31.37
Dongdaemun H.S. Park	896,686	272,247	30.36
Cheonho	239,388	67,015	27.99
Bupyeong	321,163	86,812	27.03
Woninjae	100,062	26,202	26.19
Express Bus Terminal	627,553	163,834	26.11
Suwon	117,194	30,548	26.07
Changdong	275,022	70,380	25.59
Chungmuro	626,737	148,385	23.68
Sindorim	860,646	202,516	23.53
Sadang	678,744	152,847	22.52
Gunja	483,855	105,903	21.89
Hapjeong	386,187	83,653	21.66
Noryangjin	512,844	110,612	21.57
Dobongsan Mountain	157,467	33,907	21.53
Wangsimni	622,967	134,027	21.51
Taereung	245,125	50,944	20.78
Kkachisan	122,990	25,024	20.35
Moran	139,472	27,906	20.01
Bupyeong-gu	129,434	25,510	19.71
Jongro 3-ga	699,657	134,101	19.17

청량리역은 68.29%로 환승비율이 매우 높은 역으로 나타났다. 동대문역사공원의 경우 방향별 통행총량은 896,686으로 가장 높게 나타나고 있어 통행의 중심기

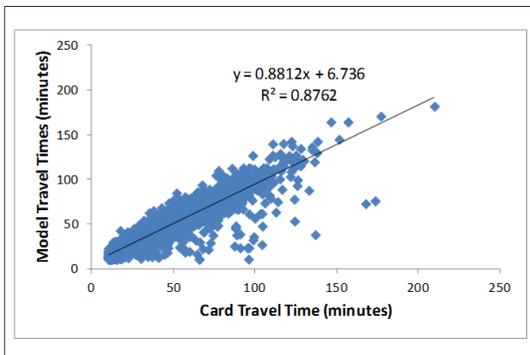
능을 수행하고 있으며 노선간 환승량은 272,247로 구로역 다음으로 높게 나타나고 있다. 동대문역사공원의 노선간 환승총량 비율은 30.36%로 총통행에 비하여 높지 않은 것을 알 수 있다.

5. 모형 통행시간 검증

환승통행량 추정모형의 통행시간 검증을 위하여 교통카드를 이용한 통행시간과 모형을 통해 도출된 M 통행시간에서 M=1인 통행시간을 선형회귀식으로 분석한 것이다. 도시철도이용 교통카드에 대한 총 7,367개의 비교자료를 토대로 <Fig. 13>은 87.5%의 설명력을 갖는 것으로 나타났다. 10분 이하의 교통카드 통행시간자료는 본 모형과의 편차가 크게 나타나므로 1개 이상치와 함께 제외하면 총 6,913개의 자료에 대하여 선형회귀식은 87.6%의 설명력을 보이는 것으로 나타났다.



<Fig. 13> Comparison of Model and Card Travel Time with Outliers



<Fig. 14> Comparison of Model and Card Travel Time without Outliers

V. 결 론

수도권 도시철도의 환승역에 교통카드 단말기가 존재하지 않는 구간이 있어 승객의 정확한 행태를 알기 어렵다. 따라서 환승역에서 발생하는 노선간 환승통행량을 정확하게 산정하기가 곤란하다.

본 연구는 수도권 도시철도의 환승승객 이동에 대한 정확한 판단을 위하여 출발역과 도착역 간에 승객통행행태는 1) 환승횟수에 대하여 부담감을 느끼며, 2) 유사한 통행경로가 나타나는 현상에 반응하도록 환승통행량 추정모형을 구축하였다.

2014년 10월 일일 교통카드자료를 대상으로 수도권 도시철도에 적용하여 신도립역의 방향별 환승통행특성을 파악하였다. 또한 수도권 도시철도 전체 환승역을 대상으로 시사점을 도출하였다. 모형의 구축을 통하여 환승통행의 타당성을 설명하는데 설명력을 증가시키는 방안으로 활용이 가능함을 보여주었다.

그러나 본 연구는 다음과 같은 한계를 갖는다. 우선 모든 개별승객의 통행이 계단형환승계수에 적합하게 움직인다고 표현하기는 어렵다는 것이다. 이러한 가능성은 매우 확률적이라 본 연구에서는 경향성과 특징의 반영이 수도권 전체에서 발생하는 것은 매우 공학적이고 면밀한 판단이 필요하다는 것이다. 이는 향후 연구를 통하여 더욱 세련되게 이론화하고 실제에서 구현되는 기반을 구축하는 것이 요구된다. 또한 환승계수는 승객의 문제뿐만 아니라 트럭, 열차, 해운, 항공화물의 움직임을 표현하는 적절한 방법론이 될 수 있다. 화물의 종류에 따라서 환적의 증가는 화물가치를 감소시키는 주요 원인이 될 수 있는 만큼, 이에 대한 향후 연구가 필요하다.

REFERENCES

[1] Shin S., Baek N. and Nam D.(2016), "A Heuristic Optimal Path Search Considering Cumulative Transfer Functions," *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 15, pp.60-67.

- [2] Lee M., Sohn J. and Cho C.(2016), "Constructing Transfer Data in Seoul Metropolitan Urban Railway Using Transportation Card," *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 15, pp.33-43.
- [3] 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.
- [4] Bellman R.(1957), "Dynamic Programming," *Princeton University Press*, Princeton, New Jersey.
- [5] Gabriel S. and Bernstein D.(1997), "The Traffic Equilibrium Problem with Nonadditive Path Costs," *Transportation Science*, vol. 20, no. 5, pp.337-348.
- [6] Azevedo J. A., Costa M. E. O. S., Madeira J. J. E. R. S. and Martins E. Q. V.(1993), "An Algorithm from the Ranking of Shortest Paths," *European Journal of Operational Research*, vol. 69, pp.97-106.

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