

교통카드 Tag 제약을 반영한 통행자 경로선택에 대한 합리성 평가 연구 : 수도권 지하철 네트워크를 중심으로

Rationality of Passengers' Route Choice Considering Smart Card Tag Constraints : Focused on Seoul Metropolitan Subway Network

이 미 영* · 남 두 희** · 심 대 영***

* 주저자 : 국민경제자문회의 지원단 연구관

** 공저자 : 한성대학교 사회과학부 교수

*** 교신저자 : 카톨릭관동대학교 건축학과 교수

Mee Young Lee* · Doohee Nam** · Dae Young Shim***

* National Economic Advisory Council

** School of Social Science, Hansung University

*** Catholic Kwandong University

† Corresponding author: Dae Young Shim, sdying@cku.ac.kr

Vol.19 No.6(2020)

December, 2020

pp.14~25

pISSN 1738-0774

eISSN 2384-1729

[https://doi.org/10.12815/kits.](https://doi.org/10.12815/kits.2020.19.6.14)

2020.19.6.14

Received 17 November 2020

Revised 2 December 2020

Accepted 6 December 2020

© 2020. The Korea Institute of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

요 약

본 연구는 교통카드자료 이용하여 수도권 지하철을 통행하는 승객의 경로선택의 합리성에 대한 평가를 시행하는 방법론을 제안한다. 사용자 경로선택의 합리성은 최적의 경로를 선택한다는 기본원리로서 확정성과 유사성으로 구분한다. 확정성은 승객이 선택한 경로는 시스템적 최적경로와 일치하는 정도이다. 유사성은 시스템적 최적경로와 유사하게 파악되는 정도이다. 합리성을 판단하는 기법으로 K경로탐색기법을 이용하여 경로를 열거하는 방법을 구축하였다. 유사성 내에서 확정성을 파악하기 위하여 민자운영기관의 환승단말기 Tag 정보를 활용하였다. 따라서 유사성에서 승객이 선택한 최적경로는 Tag를 경유한 경로와 동일하다는 개념을 적용하였다. 연구결과 최적경로(K=1)로 나타나는 확정성은 90.4%, K=(2-10)으로 나타나는 유사성은 7.9%로서 총 98.3%의 수도권 지하철 통행이 합리적으로 설명된다고 평가하였다. 비합리적 통행 1.7%는 사용자 다양성을 고려하여 나타나는 설명되지 않는 에러항으로 평가된다고 파악하였다.

핵심어 : 합리적 경로선택, 확정성, 유사성, 교통카드, 환승 Tag 제약

ABSTRACT

This research proposes a methodology to evaluate the rationality of passengers' route choice who make trips within Seoul metropolitan subway based on smart card data. The rationality of user route choice is divided into the degree of determinacy and similarity concepts as basic principle. Determinacy is the degree to which the route selected by the passenger is identical to the system optimal path. Similarity indicates the degree to which the route is similar to the system optimal path. The K-path search method is used for path enumeration, which allows for measurement of determinacy. To assess determinacy within similarity, transfer tag data of private operators is used. Consequently, the concept of similarity applied to the model is such that the passenger's path choice

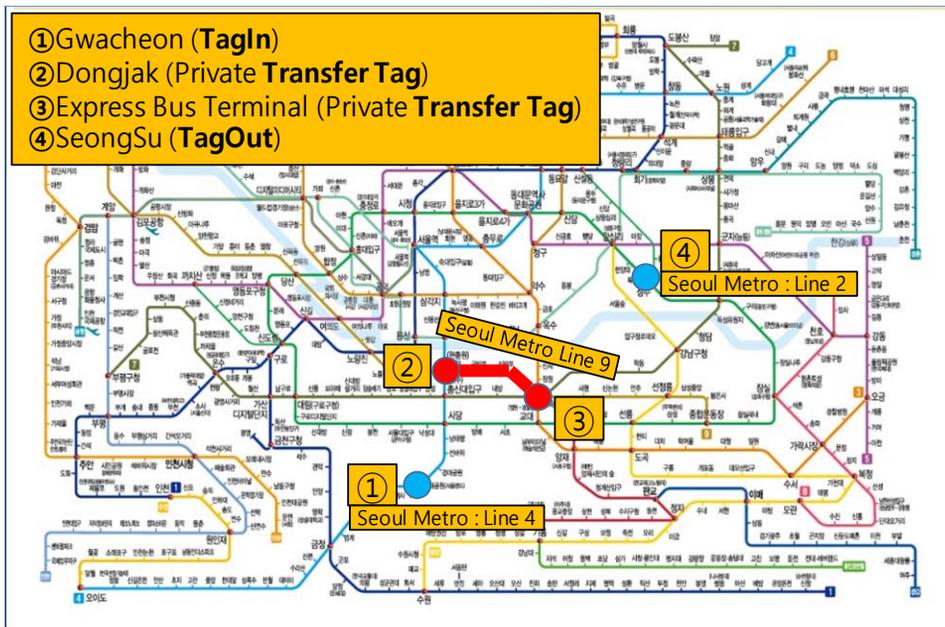
is identical to the path taken using the tag reader. Results show that the determinacy of appearance of the shortest path ($K=1$) is 90.4%, while the similarity of appearance as $K=(2-10)$ is 7.9%, summing to 98.3%. This indicates that trips on the metropolitan subway network are being rationally explained. 1.7% of irrational trips are attributed to the unexplainable error term that occurs due to the diversity of passengers.

Key words : Rational Route Choice, Degree of Determinacy, Degree of Similarity, Smart Card, Transfer Tag Constraint

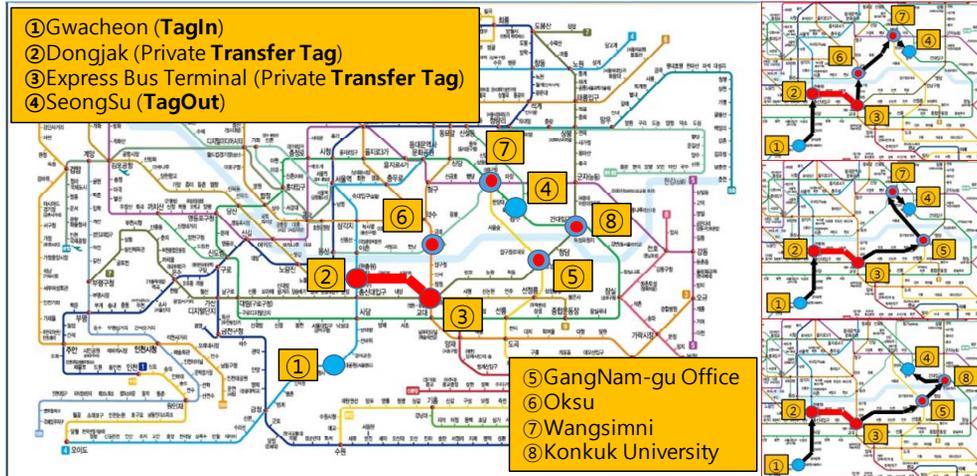
I. 서 론

수도권지하철에서 개별승객이 이용한 경로를 정확하게 파악하기 위해서는 교통카드에 [출발역]→[환승역]→[도착역]을 연결하는 Tag기록을 필요로 한다. 수도권 통합요금체계에서 수입보전을 위해 환승단말기가 설치된 민자기관은 승객의 환승Tag정보를 생성하고 있다. 그러나 민자 이전 운영을 시작한 기존 3개공사기관(서울메트로, 인천교통공사, KORAIL)은 승객의 환승Tag정보가 존재하지 않는다. 이처럼 공사와 민자기관의 환승Tag정보에 대한 현재의 불일치 상황으로 인하여 승객의 경로선택에 대한 파악을 어렵게 만들었다.

<Fig. 1>의 예로서 Tag정보가 존재하는 ①②③④에서 ①은 서울교통공사 4호선 과천 TagIn ④는 서울교통공사 2호선 성수 TagOut, 서울메트로9호선의 ②동작과 ③고속터미널은 환승Tag정보를 나타낸다. ①에서 ④까지의 최적경로탐색문제는 ②③과 서울메트로9호선 환승Tag제약을 만족하면서 ④까지의 최소비용경로를 추정하는 것이다. 여기서 ①에서 ②까지는 부분적으로 최적경로가 명확하다. 그러나 ③과 ④ 공사구간경로는 <Fig. 2>와 같이 환승역⑤⑥⑦⑧의 통과를 반영하여 잠정적으로 약 3가지 경로대안- 1) ①②③⑥⑦④, 2) ①②③⑤⑦④, 3) ①②③⑤⑧④-에 대한 평가가 최소한으로 요구됨을 나타내고 있다.



<Fig. 1> Station Pass Sequence between ①Gwacheon and ④Seong Su



<Fig. 2> Three Optimal Route Alternatives between ①Gwacheon and ④Seong Su

Lee(2018)는 민자Tag정보의 제약조건을 고려한 최초로 최적경로탐색문제를 인식하고 순차적 부분최적경로를 연결하는 방법을 제안하였다. Lee(2018)가 제안한 방법은 모든 사용자- 합리적이든 비합리적이든 관계없이 - 의 [출발역]→[환승Tag정보]→[도착역]을 연결하는 최적경로를 탐색한다. 따라서 <Fig. 2>에서 볼 때, ①②→②③→③④의 순차적으로 경로탐색이 구축되며 ②③을 반드시 통과하도록 설계되었다. 한편 Lee(2018)가 제안한 기법은 ②③ Tag제약이 만족하는 경로를 탐색하지 사용자가 합리적 또는 비합리적인지에 대한 적절한 평가를 내리지 못한다. 비합리적 통행이란 ①부터 ④를 연결하는 경로는 ②③ Tag정보를 생성하기 매우 곤란한 또는 불가능한 통행을 의미하며, 한편으로 합리적 통행은 ②③ Tag정보 생성이 명확 또는 설명이 가능한 통행을 의미한다. 이러한 한계는 네트워크에 대한 사용자의 경로의 실제이용 또는 네트워크 인식에 대한 평가를 제한하는 문제가 발생하는 원인이 된다.

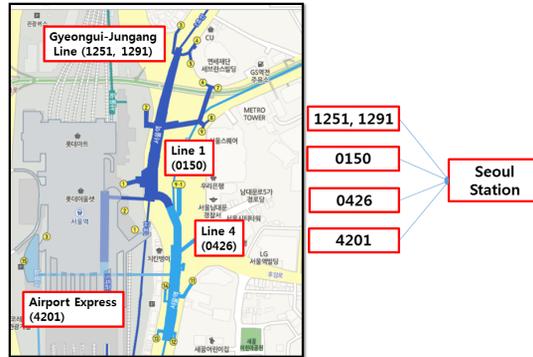
본 연구는 환승 Tag 제약이 존재하는 사용자가 선택한 경로가 어느 정도 합리적인가에 대한 평가가 가능하도록 경로선택기법을 제안한다. 본 연구가 제안하는 기법은 1-K개의 경로를 열거하면서 환승 Tag를 통과하는 최초의 경로를 사용자가 선택한 최적경로로서 선정하는 것이다. <Fig. 2> 사례로 보면 ①부터 ④까지 K 경로를 탐색하고 ②③을 통과하는 경로가 나타나면 이 경로가 최적경로가 된다. 보다 세부적으로, ①부터 ④까지 K=2에서 ②③을 모두 통과하면 이를 합리적 최적경로로 평가하고, K=10 등에서도 ②③을 만족하지 못하면 비합리적 경로로 평가하는 방안이다. 제안된 기법을 수도권 지하철에 적용하여 수도권 지하철에서 어느 수준의 합리적 통행이 나타나는지에 대한 평가가 가능할 것으로 판단되며 사례연구를 통하여 결과를 설명하고 평가방안에 대하여 논의한다.

II. 이론적 배경

1. 교통카드기반 지하철 네트워크

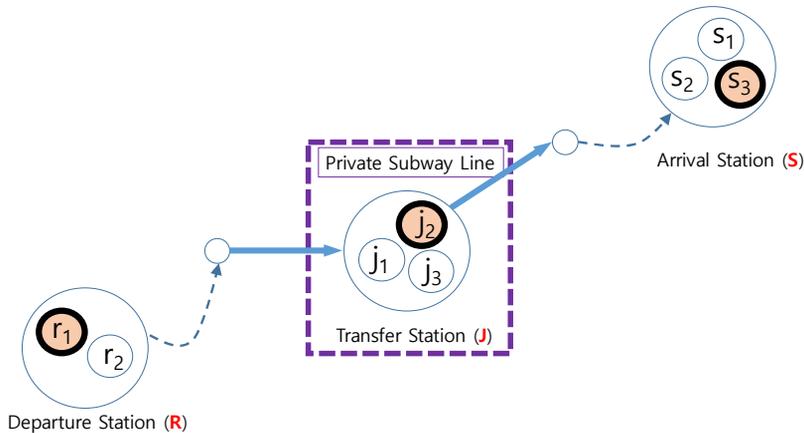
수도권 지하철 교통카드자료는 진출입역사ID를 기록한다. 지하철역사ID는 요금단말기가 운영되는 노선ID이다. 따라서 환승역사는 노선수 만큼 ID가 존재한다. Lee(2018)는 <Fig. 3>와 같이 서울역 4개 노선ID-1호선

0150, 4호선 0426, 경의선 1251, 공항철도 4201-를 포함하는 서울역명을 빅노드(Big Node)로 변환하는 네트워크기법을 제안하였다.



<Fig. 3> Four Railway Lines and Terminal IDs of Seoul Station (Lee, 2018)

<Fig. 4>는 빅노드로 구성된 수도권 지하철 네트워크에서 경로탐색과정을 도식화한 것이다. 출발역(R)은 2개 노선ID (r_1, r_2), 환승역(J)은 3개 노선ID (j_1, j_2, j_3), 도착역(S)은 3개 노선ID(s_1, s_2, s_3)로 구성된 빅노드이다. 이때 승객이 출발역단말기ID [r_1], 환승역단말기ID [j_2], 도착역단말기ID [s_3]를 각각 Tag함을 의미한다. 최적경로탐색문제는 $R[r_1] \rightarrow J[j_2] \rightarrow S[s_3]$ 를 만족하는 최소비용의 경로를 선정하는 것이다.



<Fig. 4> Passenger Trip in Subway Station Network (Lee, 2018)

2. 민자 Tag 정보를 포함하는 유형

수도권 교통카드에서 생성되는 지하철 민자 Tag 정보를 포함하는 여행을 모두 나타내면 <Table 1>의 유형 [2-8]로 7개 사례가 있다. 각 여행은 2개의 민자Tag(■)와 1-2개의 공사Tag(□)를 포함된다. [사례2]의 ㉠㉠은 출발역(R)에서 출발보행환승을 [사례5]의 ㉠㉡는 도착역(S)에서 도착보행환승을 나타낸다.

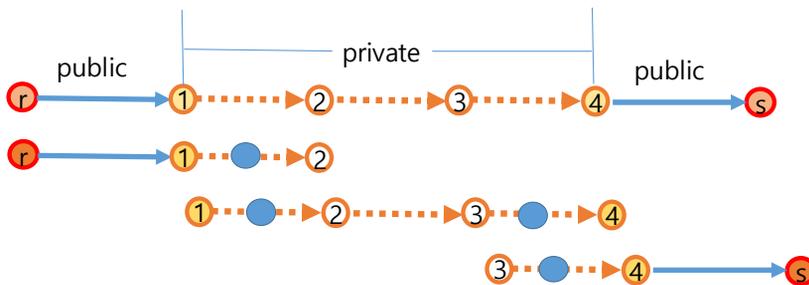
<Table 1> Subway Trip Types Considering Private Lines(Lee, 2018)

Types	Subway Trip Types with Private Line	Private Line Check (Public □, Private ■)
1		□□
2		□■■□
3		□■■■
4		□■■■□
5		□■■■□
6		■■■□
7		■■■□
8		□■■■
9		■■■
10		■■■■

● — : Private Operated Card Terminal ID and Private Line
 ○ — : Public Operated Card Terminal ID and Public Line

3. 연계통행(Trip Chain)의 순차적 최적경로탐색

<Table 1>의 최적경로탐색은 연계통행(Trip Chain), 즉 여행(Travel)개념을 적용해서 순차적으로 최적경로를 탐색하는 일반적인 기법으로 네트워크 변형을 통해서 가능하다. Lee(2018)가 제안한 기법도 네트워크 변형이라는 측면에서 유사하다고 볼 수 있다. <Fig. 5>는 교통카드자료가 공사Tag (r,s), 민자Tag ①②가 존재하며 ①②를 연결하는 민자노선은 ①→②→③→④로 이루어져 있다고 가정하면 출발역 (r), 도착역 (s)에서 민자 Tag ①과 ②를 경유하는 문제이다. 이의 최적조건을 만족하는 순차적 최적경로탐색은 민자노선의 최초 진입 구간(①→②)에 가상노드(●)와 민자노선의 최종 진출구간(③→④)에 가상노드(●)를 연결한다. 다음으로 (r)부터 ①→②(●)까지 최적경로를 탐색하고, ①→②(●)부터 ③→④(●)까지 최적경로를 탐색하여 연결하면 (r)부터 ③→④(●)까지의 최적경로이면서 ①→②의 통과제약을 만족하게 된다. 마지막으로 ③→④(●)부터 (s)까지 최적경로를 탐색하여 최적경로를 연결하면 (r)부터 (s)까지 최적경로이면서 ①→②와 ③→④를 연결하는 최적경로가 생성되게 된다.



<Fig. 5> Network with Station and Line Transfer Penalties and Link Costs

Ⅲ. 환승 Tag 제약을 고려한 합리적 여행경로 탐색

1. 수도권 지하철 네트워크와 합리적 및 비합리적 통행

합리적 통행은 Wardrop(1952)의 “사용자는 최적비용경로를 선택한다”는 경제학적 비용최소화에 근거한다. 교통네트워크이론에서 합리적 통행은 확정이론(Deterministic; Beckmann et al., 1956; LeBlanc et al., 1975; Dafermos, 1980; Dafermos, 1982; Fisk and Nguyen, 1982; Florian and Spicess, 1982)과 확률이론(Stochastic; Dial, 1971; Sheffi and Daganzo, 1980; Sheffi and Powell, 1982; Sheffi, 1985)으로 구분된다. 확정이론은 사용자는 교통비용에 대한 모든 네트워크 상황을 파악하며, 확률이론은 개인이 인지(확률적)하여 판단한다는 개념으로 정의된다. 한편 수도권 지하철의 승객통행은 합리적 통행뿐만 아니라 비합리적 통행이 동시에 존재한다. 승객이 최소통행비용경로를 선택하려는 합리성으로 설명되는 통행과는 달리 합리적이 아닌 통행이 포함되어 있다. 수도권 지하철의 비합리적 통행은 사용자가 교통카드 사용자 유형<Table 2> 또는 여행목적에 따라 최소통행비용에 대한 기준이 다르게 적용될 수 있다.

<Table 2> User Types

User Code	User Type	User Code	User Type
01	Adult	06	Senior(citizen)
02	Children	07	Disabled Person
03	Middle & High School Student	08	Men of national merit
04	Youth/Teenager	09	Public charge
05	University Student	10	Welfare card

2. 환승 Tag 제약을 고려한 합리적 여행경로탐색 기법

본 연구는 Lee(2018)이 수도권 지하철 네트워크에서 적용되는 최적경로탐색알고리즘으로서 식(1)을 기반으로 한다. 식(1)은 모든 링크표지(Link Label; Kirby and Potts, 1969; Lee, 2004)까지 최소비용을 결정한다. 식(2)는 순차적으로 k가 증가하면서 민자Tag정보를 만족하는 경로가 최적경로로서 선정된다.

$$\pi_k^{r^b} = \min \left(\pi_k^{r^a} + T_{ab} + \frac{H_b}{2} + c_b, \pi_k^{r^b} \mid b \in \Gamma_a^+ \right) \dots\dots\dots \text{식(1)}$$

여기서 $\pi_k^{r^b}$ 는 출발역 r의 링크 b의 도착지점까지 최소시간(비용) ;
 T_{ab} 는 링크 a에서 링크 b의 환승이동시간 ;
 H_b 는 링크 b의 열차배차간격; c_b 는 링크(b) 차내통행시간;
 Γ_a^+ 는 링크a에서 유출링크집합;

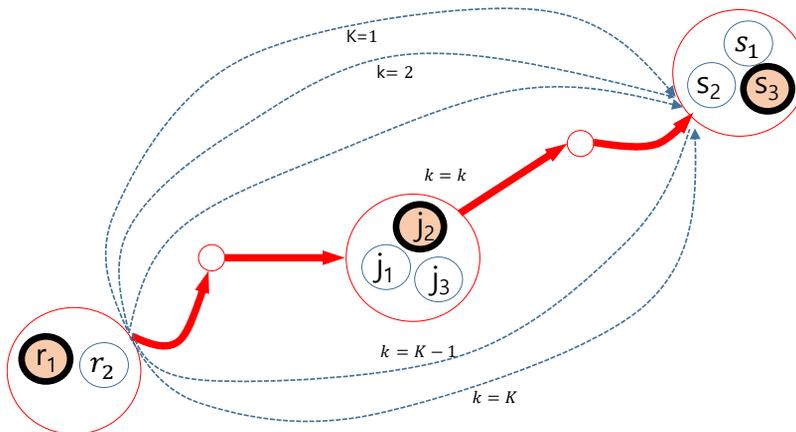
$$\pi_k^{r^s} = \min \left(\pi_k^{r^b} \mid b \in \Gamma_s^- \right) \dots\dots\dots \text{식(2)}$$

s.t. $T_k^{rs} \in \Delta^{rs}$

여기서 $\pi_k^{r^s}$ 는 r-s간 k번째 경로의 최소시간(비용) ;
 $\pi_k^{r^b}$ 는 r에서 링크b까지 최소시간(비용) ;

Γ_s^- 노드s가 도착노드인 링크집합 ;
 T_k^{rs} 는 r-s간 k번째 경로의 민자Tag 생성기록 ;
 Δ^{rs} 는 r-s간 민자Tag정보 ;

식(1)과 식(2)에 대한 해법으로 출발역(R)에서 도착역(S)까지 K경로탐색알고리즘(Azevedo et al., 1993; Shin, 2004; Lee, 2017; Lee, 2018)은 경로를 순차적으로 나열하면서 민자환승Tag경유조건을 만족하는지 확인한다. 이때 민자환승Tag를 모두 통과하는 조건을 만족하는 경로를 승객이 여행한 최적경로로 선정한다. <Fig. 6>은 K경로탐색기법을 적용하여 (k=1-K) 경로를 열거하면서 k번째 경로에서 민자환승Tag를 경유하는 제약조건을 만족하기 때문에 이 경로를 사용자가 사용한 최적경로로서 선정하는 개념을 나타내고 있다.



<Fig. 6> Optimal Route Choice Using K Route Search Algorithm

본 연구에서 제안하는 방법론은 수도권 지하철을 이용하는 승객의 합리적 통행 여부를 평가하기 위한 측면에서 2가지 특징이 존재한다. 첫 번째는 사용자의 합리성에 있어서 ‘**경로확정성**’을 평가하는 것이다. 사용자는 수도권 지하철에서 통행시간(비용)에 영향요인-배차간격, 환승시간, 환승거리-에 대한 정확한 판단을 하지 못한다. 따라서 사용자는 운영기관의 열차운행에 의해서 나타나는 **시스템적 최적비용**에 대하여 모호하며 따라서 확률적이다. 그러나 수도권 지하철을 개별 역간으로 파악하면 시스템적 최소통행경로와 확률적 최소통행경로가 일치하는 경우가 상당부분 존재한다. 본 연구는 이러한 개념을 **최적경로선택의 확정성**으로 정의한다. 최적경로선택의 확정성이란 통행OD를 연결하는 최적경로(k=1)은 환승역에서 민자환승Tag를 반드시 경유하게 된다. 두 번째는 사용자의 합리성을 근거로 최적경로와 유사한 경로는 확률적으로 최적비용으로 평가하는 방안이다. 즉 k=1에서 최적경로가 결정되지 않으면 사용자는 인지적으로 최적경로와 통행시간인지가 유사한 경로를 선택한다. 따라서 k=1과 통행비용에서 유사성이 높으면 사용자가 선택한 최적경로로서 평가하는 것이 가능하며 이를 경로유사성으로도 평가가 가능하다. 따라서 **경로유사성**이란 최적경로(k=1)와 비용측면에서 유사한 경로도 경로확정성으로 평가된다.

결론적으로 이 연구는 합리적 통행을 K경로탐색에 의해서 확정성과 유사성에 근거하여 판단이 가능한 최적경로를 선택하는 상황을 의미한다. 본 연구는 정확하게 K의 상한을 결정하기 보다는 K를 점진적으로 증가시키면서 통행의 설명정도를 파악하는 수준을 평가한다. 따라서 상당한 수준의 K(예를 들면, 100)에서 환승Tag를 경유하지 못하면 이는 비합리적 통행으로 정의한다.

IV. 사례연구

1. 개요

수도권 지하철의 일일 교통카드를 이용한 승객통행을 우선 확정통행과 확률통행으로 분류한다. 다음으로 민자Tag정보가 존재하는 확률통행을 대상으로 최적통행경로와 매칭되는 통행의 비율을 추정한다. 여기서 최적통행비용경로는 K경로선택알고리즘을 통해서 탐색된 최적경로($k=1$ 의 경로)를 의미하며 지하철 노선별 열차배차간격, 승객보행이동, 열차운행속도를 반영했다는 측면에서 **시스템적 최적경로**를 의미한다. 따라서 사용자의 인지적 선택에 의한 경로추정이 운송기관이 운영하는 노선의 통합적 체계로 운영되는 지하철 네트워크에서 추론되는 일치성이 높을수록 승객의 통행행태를 적절하게 반영하고 있다는 결론을 유추할 수 있다.

본 연구는 확정통행과 확률통행에서 $k=1$ 인 최적경로통행을 수도권 지하철 사용자들이 최적경로로 선택하는 비율로 선정한다. 수도권 지하철 네트워크자료는 <Table 3-5>와 같이 노드자료, 링크자료, 환승자료로서 입력되었다.

<Table 3> Node Input Data

Terminal ID	Station Name	Subway Line
0152	Jonggak	Line 1
1846	Suwon	Bundang Line

<Table 4> Link Input Data

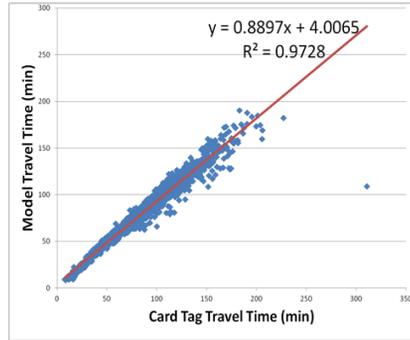
Departure Station	Arrival Station	Travel Time (min.)	Subway Line
Noryangjin	Daebang	2.5	Kyungbu Line
City Hall	Euljiro 1 ga	2.0	Line 2

<Table 5> Transfer Input Data

From Station	Transfer Station	To Station	Transfer Time (min.)	From Line	To Line
Yangjae	Gangnam	Yeoksam	3.5	Sinbundang Line	Line 2
Songpa	Garak Market	Suseo	1.8	Line 8	Line 3

2. 경로탐색의 신뢰성

최적경로선택에 대한 모형의 정확도를 파악하기 위하여 실제통행시간과 모형통행시간을 비교하면 R2값은 0.9728로 높게 관측되었다.<Fig. 7>



<Fig. 7> Comparison of Trip Time between Algorithm and Observed Data

2. 결과분석

2017년 10월 18일 수요일 교통카드자료에서 추출된 지하철 8,369,401 (OD 통행)에 대하여 유사경로를 추정하였다. 유사경로란 최소비용경로와 경로비용의 차이가 크지 않은 경로를 의미한다. 예를 들면 최소비용경로의 30분의 10%를 유사경로로서 30.0(분)-33.0(분)까지 유사경로에 포함된다. 따라서 유사경로가 하나만 존재하는 경우는 최소비용경로와 2번째 경로의 통행시간 차이가 크게 발생함을 의미한다..

<Table 6>의 수도권 지하철에서 단일경로가 나타나는 통행건수는 4,485,731(건)으로 전체통행의 53.6(%), 복수경로는 3,883,670(건) 46.4(%)를 차지하는 것으로 나타난다.

<Table 6> Result of Similar Route Search

Route Type	No. of Trip	Ratio(%)
Single Route	4,485,731	53.6(%)
Multiple Route	3,883,670	46.4(%)
Total	8,369,401	100.0(%)

복수유사경로가 나타나는 상황에서 실제로 승객이 첫 번째 (k=1) 경로를 선택하면 시스템적 최적통행과 일치한다. 이를 위해 민자Tag정보가 존재하는 203,821(건)의 통행에 대하여 K경로탐색을 시행하였다. 여기서 K=10에 대한 시행결과는 <Table 7>과 같으며, 최적경로와 시스템적 최적경로가 동일한 경우는 79.39(%)의 161,820(건)으로 나타났다. 최적경로와 유사하게 생각할 가능성이 있는 상황은 17.05(%)의 34,746(건)으로 도출되어 경로가 Tag조건을 만족하는 합리적 평가가 가능한 경로는 96.44(%)의 196,566(건)으로 도출되었다.

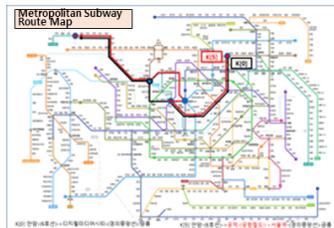
<Table 7> Similar Route Search with Private Tag Constraint

K Route Search	K=10		
	Number of Trip	Ratio (%)	Ratio (%)
k=[1]	161,820	79.39	96.44
k=[2-10]	34,746	17.05	
No Detection	7,255	3.56	3.56
Total	203,821	100.00	100.00

<Fig. 8>은 민자Tag경유조건이 k=1경로에서 만족하는 3개의 사례와 <Fig. 9>는 k=6경로에서 만족하는 1개 사례를 각각 보여주고 있다.



<Fig. 8> Optimally Matched Reasonable Route Choice Examples (K=1)



<Fig. 9> Similarly Matched Reasonable Route Choice Example (K=6)

<Table 6>와 <Table 7>을 종합하여 수도권 지하철 경로선택의 합리성은 90.4(%)의 시스템적 최적경로과 승객의 경로선택이 일치하는 상황인 확정성과 7.9(%)의 최적경로에 대한 인지성(확률성)이 나타나고 있다. 따라서 총 경로선택의 합리성은 최대 98.3(%)로 나타나며, K=10의 상황에서도 설명되지 않는 비합리성은 1.7(%)로 산정된다.<Table 8>

<Table 8> Route Choice Rationality

Rationality	Optimality	No. of Trip	Ratio(%)	Ratio(%)
Reasonable (Tag Matched)	K=1	7,568,977	90.4	98.3
	K>1	662,166	7.9	
Unreasonable (Tag Not Matched)	-	138,258	1.7	1.7
Total		8,369,401	100.00	100.0

V. 결 론

수도권 지하철은 2019년 현재 721개 역사, 103개의 환승역, 10개 운송기관으로 운영되고 있으며 일일 약 850만(통행)이 발생하고 있다. 전체 통행의 약 50%가 환승하고 있는 것으로 파악되고 있으나 승객이 실제로 이용한 통행경로는 설명되지 않고 있다. 이는 민자운영기관은 환승단말기를 운영하고 있으나 먼저 운영을 시작한 3개 공사기관(서울메트로, 인천지하철공사, KORAIL)에는 환승단말기가 미설치되어 발생하는 문제이다.

본 연구는 수도권 지하철 통행객의 경로선택이 어느 정도의 합리성으로 결정되는가에 대한 방법론을 구축하는 것이다. 경로의 합리성 가정은 1) 출발역과 도착역 간 단일경로만 존재하는 확정성과, 2) 출발역과 도착역 간 $K=10$ 까지 유사경로로 설명되는 확률적 인지성의 두 가지로 구분하였다. 유사경로에서 승객의 통행경로를 파악하기 위하여 민자기관의 환승단말기Tag정보를 K 경로탐색의 제약조건으로 설정하는 기법을 제시하였다. 본 연구의 결과는 수도권 지하철에서 $K=1$ 로 나타나는 확정성은 90.4%, $K=2-10$ 으로 나타나는 확률성은 7.9%로서 합리성은 98.3%이며 비합리적 통행은 1.7%으로 나타났다.

본 연구는 수도권 교통카드자료를 기반으로 사용자의 경로선택에 대한 합리성을 판단하는 방법을 검토하였다. 그러나 두 가지 측면에서 추가적인 논의가 필요하다. 1) 우선 연구의 합리성을 확정성과 유사성이라는 측면에서 분류하였으나 이론적인 토대가 부족하다는 것이다. 경로선택의 합리성은 기존의 연구에서는 확정성과 확률성의 2가지로 구분하고 있다. 반면 본 연구는 합리성을 비합리성에 대치되는 개념으로 파악하고 있다. 기존의 사례에서 나타나듯이 비합리성에 대한 다양한 개념적 정의를 설명하고 있어 이에 대한 규명적 시도가 필요하다. 2) 또한 연구의 결과가 일반적이기 보다는 수도권 지하철 사용자에게 한정되었다는 측면이다. 지하철의 운영에 따라 시스템적 최적경로에 영향을 미치는 요인은 매우 다양하다. 특히 시간대별, 요일별, 침투/비침투, 긴급상황 등의 영향요인을 모두 고려하기에는 한계점으로 작용한다. 따라서 완전정보의 가정하에서 경로선택을 하는 사용자의 최적경로와는 시스템적 최적경로를 직접 비교는 다소 무리가 있다고 판단된다.

REFERENCES

- 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.
- Beckmann M. J., McGuire C. B. and Winstern C. B.(1956), *Studies int the Economics of Transportation*, Yale University Press, New Haven, Conn.
- Dafermos S.(1980), “Traffic Equilibrium and Variational Inequalities,” *Transportation Science*, vol. 14, no. 1, pp.42-54.
- Dafermos S.(1982), “Relaxation Algorithm for the General Asymmetric Traffic Equilibrium Problem,” *Transportation Science*, vol. 16, no. 2, pp.231-240.
- Dial R. B.(1971), “A Probabilistic Multipath Traffic Assignment Algorithm which Obviates Path Enumeration,” *Transportation Research*, vol. 5, pp.83-111.
- Fisk C. S. and Nguyen S.(1982), “Solution Algorithm for network Equilibrium Models with Asymmetric User Costs,” *Transportation Science*, vol. 16, no. 3, pp.361-381.
- Florian M. and Spicess H.(1982), “The Convergence of Diagonalization Algorithm for Asymmetric Network Equilibrium Problems,” *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 16, no. 6, pp.477-483.
- Kirby R. F. and Potts R. B.(1969), “The Minimum Route Problem for Networks with Turn Penalties and Prohibitions,” *Transportation Research*, vol. 3, no. 3, pp.397-408.
- LeBlanc L. J., Morlock E. K. and Pierskalla W.(1975), “An Efficient Approach to Solving the Road Network Equilibrium Traffic Assignment Problem,” *Transportation Research*, vol. 9, no. 5,

pp.309-318.

- Lee M.(2004), *Transportation Network Models and Algorithms Considering Directional Delay and Prohibitions for Intersection Movement*, Ph.D. Thesis, University of Wisconsin at Madison.
- Lee M.(2017), "Transportation Card Based Optimal M-Similar Paths Searching for Estimating Passengers' Route Choice in Seoul Metropolitan Railway Network," *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 16, no. 2, pp.1-12.
- Lee M.(2018), "Optimal Path Finding Considering Smart Card Terminal ID Chain OD-Focused on Seoul Metropolitan Railway Network-," *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 17, no. 6, pp.40-53.
- Sheffi Y. and Daganzo C. F.(1980), "Computation of Equilibrium over Transportation Networks: The Case of Disaggregate Demand Models," *Transportation Science*, vol. 14, no. 2, pp.155-173.
- Sheffi Y. and Powell W. B.(1982), "An Algorithm for the Equilibrium Assignment Problem with Random Link Times," *Networks*, vol. 12, no. 2, pp.191-207.
- Sheffi Y.(1985), *Urban Transportation Networks*, MIT Express.
- Shin S.(2004), "Finding the First K Loopless Paths in A Transportation Network," *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 22, no. 6, pp.121-131.
- Wardrop J. G.(1952), "Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research," *Proceedings of the Institute of Civil Engineers Part II*, vol. 1, pp.325-378.