

교통카드 데이터를 이용한 수도권 광역급행철도 환승행태에 관한 연구

An Investigation of Rider Behavior to Transfer Seoul Metropolitan Transit Using Public Transport Card Data

정근기* · 이동민** · 김선훈***

* 주저자 : 서울시립대학교 교통공학과 박사과정
 ** 교신저자 : 서울시립대학교 교통공학과&스마트시티학과 교수
 *** 공저자 : 서울시립대학교 도시과학연구원 연구원

Gun ki Jung* · Dong min Lee** · Sun hoon Kim***

* Dept. of Transportation Eng., Univ. of Seoul
 ** Corresponding author: Dept. of Transportation Eng. & Smart City., Univ. of Seoul
 *** Co-author: Researcher of Transportation Eng., Univ. of Seoul

† Corresponding author : Dong min Lee, dmlee@uos.ac.kr

Vol. 21 No.6(2022)
 December, 2022
 pp.146~164

pISSN 1738-0774
 eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2022.21.6.146>

Received 11 October 2022
 Revised 1 November 2022
 Accepted 16 November 2022

© 2022. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

요약

최근 정부에서는 수도권 주요거점을 30분대에 연결하기 위해 광역급행철도 건설을 추진하고 있으며, 광역급행철도의 정거장은 대부분 기존 노선과 환승역으로 연결되어 환승에 대한 중요성이 증가하고 있다. 환승저항이 경로선택에 미치는 영향에 관한 많은 연구가 이루어져 왔으나, 대부분 일반 지하철을 대상으로 하여 광역급행철도의 환승행태에 관한 연구는 전무한 실정이다. 이에 본 연구에서는 수도권의 대표적 급행노선인 신분당선을 대상으로 환승행태 분석을 수행하였다. 통행량 집중도와 요금지불 유무에 따른 환승행태 분석을 위해 요일, 시간대, 이용자 특성에 따라 데이터를 구분하여 경로선택모형을 구축하였다. 분석 결과, 광역급행철도 이용자는 환승이동시간에 비해 환승대기시간에 큰 저항을 가지며, 특히 첨두시간대에는 환승대기시간의 차내시간 한계대체율(EIVM)은 3.51배로 나타났다. 본 연구에서 광역급행철도 환승 1회당 EIVM은 2.6분으로 분석되었으며, 일반 지하철을 대상으로 한 선행연구의 결과에 비해 현저히 낮은 값이다. 이는 일반지하철과 광역급행철도의 환승저항에 차이가 존재하며, 지하철 교통수요 예측 시 일반지하철과 광역급행철도 환승패널티를 차등 적용할 필요성이 있음을 시사한다.

핵심어 : 환승저항, 경로선택, 수도권 급행철도, 교통카드데이터, EIVM(Equivalent In-vehicle Minutes)

ABSTRACT

Recently, the Korean government promoted the construction of metropolitan express subway to connect major transportation hub in the metropolitan area within 30 minutes. Most stations of the metropolitan express subway are connected to existing subway stations, so the importance of transfer increased. Although many studies have been conducted on the effect of transfer penalty on route choice, there are few studies on the transfer behavior of the metropolitan express subway. Therefore, in this study, a transfer behavior analysis was conducted on the Shinbundang Line, a representative

metropolitan express subway. To analyze the transfer behavior according to the degree of traffic congestion and the presence of fare payment, route choice models were made using transport card data divided according to week, time, and user characteristics. As a result of the analysis, users of the metropolitan express subway had greater disutility to the transfer waiting time compared to the transfer moving time. Furthermore, especially during the peak time, EIVM(Equivalent in-vehicle minutes) of the transfer waiting time was 3.51. In this study, EIVM for metropolitan express subway users were analyzed to be 2.6 minutes, which is significantly lower than the results of previous studies on subways. This suggests that there is a difference in the transfer penalty between subways and metropolitan express subway, and that it is necessary to apply the transfer penalty between subways and express subway differently when forecasting subway traffic demand.

Key words : Transfer Penalty, Route choice, Metropolitan express subway, Transport card data, EIVM(Equivalent In-vehicle Minutes)

I. 서 론

지하철 이용자는 목적지까지의 경로 선택 시 대기시간, 이동시간, 보행회피 등으로 타 경로에 비해 통행시간이 조금 더 소요되더라도 가급적 환승횟수가 적은 경로를 선택한다. 이러한 환승의 불편함은 수단선택 또는 경로선택에 중요한 영향을 미치며, 지하철 교통수요 예측시 이러한 통행행태 반영이 필요하다. 최근 정부에서는 수도권 주요거점을 30분대에 연결하기 위해 수도권 광역급행철도건설을 추진하고 있으며, 해당노선들의 거의 모든 정거장은 기존 노선과 환승역으로 이루어져 지하철간 환승의 중요성은 점차 증대되고 있다. 또한, 도시철도 이용자들의 환승행태를 기반으로 한 도시철도 네트워크 계획 및 운영방안 검토의 필요성이 더욱 증가하고 있다.

기존 국내연구는 대부분 서울지하철 선호도조사(Stated Preference, SP) 또는 교통카드 데이터를 이용하여 환승 저항 값을 도출하였으나, 앞으로 계속해서 증가되는 급행도시철도 환승 및 이용행태에 대해 수행된 연구는 전무한 실정이다. 본 연구에서는 현재 수도권에서 대표적 급행노선으로 운영중인 신분당선과 대체경로에 대한 경로선택 결과를 교통카드데이터에서 추출하고, 해당 데이터를 기반으로 통행량 집중 정도와 이용자 특성에 따른 환승저항 및 이용행태를 분석함으로써 향후 급행철도 교통수요예측 신뢰성 제고에 기여하고자 한다.

II. 기존문헌 검토

1. 관련 연구사례 검토

수도권도시철도 환승저항이 경로선택에 어떠한 영향을 미치는지를 분석하기 위하여 국내외에서 수행된 연구사례를 검토하여 본 연구방법 정립에 활용하였다.

Yang and Son(2000)는 서울시 지하철 이용자를 대상으로 선호의식(SP) 및 현시선호(Revealed Preference, RP) 조사자료를 기초로 경로선택모형을 구축하였으며, 선택모형의 설명변수로 차내시간, 환승시간, 환승횟수, 에스컬레이터 유무를 설정하고, 각 변수의 한계대체율을 이용하여 환승관련 변수의 가치를 추정하였다. SP조사 기반의 환승관련 변수 가중치 추정결과는 환승시간이 차내시간대비 1.7배, 환승1회는 차내시간 10.22분, 에스컬레이터가 있을 경우 차내시간 -2.0분으로 분석되었고, RP조사 기반의 환승관련 변수 가중치 추정

결과는 환승시간의 EIVM(Equivalent In-vehicle Minutes)이 1.03, 환승 1회의 EIVM은 15.48, 에스컬레이터가 있을 경우에는 차내시간 -4.34분으로 분석되었다.

Hwang et al.(2006)은 교통카드 데이터에서 동일한 기종점을 가지는 대중교통 이용자 정보를 추출한 후 경로선택모형을 구축하였고, 설명변수로는 차내시간, 환승시간, 통행비용을 설정하였다. 각 변수의 통행가치 추정결과는 차내시간 2,780원/시, 환승시간 1,290원/시로 환승시간의 가치가 차내시간 가치 보다 높은 기존의 연구와 상반된 결과를 도출하였고, 서울시 대중교통 노선체계·운영체계·요금체계·이용자 의식구조의 변화를 연구결과의 근거로 제시하였다.

Kim et al.(2017)은 수도권 거주자 1,000명을 대상으로 SP조사를 실시하여 업무통행, 통근통행, 비업무통행의 목적별로 승용차와 대중교통수단의 시간가치를 추정하였다. 통행시간가치는 선택모형 설명변수간 한계대체율을 통해 추정하였고, 대중교통의 시간가치는 업무통행 5,016원/시, 통근통행 4,145원/시, 비업무통행 2,638원/시로 도출되었다. 대중교통의 경우 대안특성변수를 차내시간과 차외시간으로 구분하였으며, 차내시간대비 차외시간의 한계대체율은 업무통행 1.64배, 통근통행 1.52배, 비업무통행 1.99배로 비업무통행의 차외시간 한계대체율이 업무 및 통근통행에 비해 높은 것으로 추정되었다.

Kim et al.(2010)는 수도권 및 광역시에 이용수요가 많고, 연계교통수단이 다수인 도시철도역을 대상으로 환승수단 및 환승패스 선택모형을 구축하였으며, 그 결과 외부보행거리 100m의 증가는 통행시간 2분의 증가와 같으며, 환승센터 내 내부보행거리 100m의 증가는 통행시간 3분, 계단 100개의 증가는 통행시간 4분, 에스컬레이터 1대 설치하는 통행시간 1분 감소와 같다는 결론을 도출하였다.

Yoon(2000)은 서울시 내 대중교통 이용자를 대상으로 면접조사를 실시하여 가정기반 업무통행 목적을 가지는 유효표본 628개를 산출하였고, 이를 기준으로 차내시간, 차외시간(접근시간+대기시간), 환승시간, 통행요금을 설명변수로 하는 선택모형을 구축하였다. 정산된 계수를 가지고 환승페널티와 차외시간의 가중치를 산정한 결과, 환승시간의 EIVM은 5.81, 차외시간의 EIVM은 1.54로 도출되었다.

Guo and Wilson(2011)는 영국 런던의 지하철역을 대상으로 환승저항을 분석하였다. 흥미로운 점은 환승역 전체의 환승저항 외에도 환승역별로 환승행태를 분석하였고, 저항정도는 역별로 불균등하게 분포하고 있음을 제시하였다. 경로선택모형으로는 다항로짓모형을 적용하였으며, 환승1회의 EIVM 평균적으로 4.9로 분석되었다.

Garcia-Martinez et al.(2018)은 스페인 마드리드의 출퇴근 대중교통 이용자의 환승저항에 관한 연구를 수행하였다. 환승자체가 가지는 비효용, 즉 환승이 통행에 미치는 불편함을 pure transfer penalty로 규정하고, 그 가치를 산정하였다. 기초자료는 RP자료와 SP자료를 조합하여 구축하였는데, 통행특성 및 기종점 통행량은 RP자료를 활용하고, 경로선택은 SP조사 자료를 이용하였다. 경로선택모형으로는 다른 연구와 마찬가지로 로짓모형을 활용하였고, 설명변수로는 교통수단, 차내시간, 도보시간, 대기시간, 계단, 이용정보, 혼잡도 등을 고려하였으나, 대중교통 이용자의 73%의 요금이 동일하여 요금은 변수로 고려하지 않았다. 특이한 점은 pure transfer penalty를 환승 1회 모형과 환승 2회 모형의 효용함수 각각에 상수항으로 설정하여 EIVM를 추정하였다. 연구결과, 여성이 남성에 비해 환승 walking time을 1.27배 높게 인지하고, 환승 1회 pure transfer penalty EIVM은 15.245, 환승 2회 pure transfer penalty EIVM은 17.661로 산정되었다.

환승저항에 관한 연구는 대부분 SP조사에 기반하여 경로선택모형을 추정하고, 설명변수간 한계대체율을 이용하여 환승관련 변수의 차내시간 대비 가중치를 산출하였으나, 급행철도가 아닌 일반철도를 대상으로 하였으며, 침두-비침두, 평일-주말 등 통행량 집중정도에 따른 환승저항, 일반-무임 등 이용자 구분에 따른 환승페널티를 추정할 사례는 거의 없었음을 확인할 수 있었다.

2. 경로선택모형

교통수단 이용자들의 수단 혹은 경로선택에 관한 해석을 위해 소비자 수요이론에 근거한 개별행태모형 (disaggregate behavioral model)이 주로 적용되었다(Yang and Son, 2000). 개별행태모형은 교통체계(통행수단, 통행경로) 및 이용자 특성을 고려하여 통행자가 어떤 수단과 경로를 선택하는지에 대한 확률을 구하는 것이다. 여기서 교통체계적 특성에는 시간, 비용 등의 변수가 포함되며, 이용자 특성에는 이용자와 그 가족의 사회·경제적인 특성이 반영된다(Watson, 1974).

개별행태모형을 구축하기 위해 로짓모형을 활용한 분석방법이 주로 활용된다. 로짓모형은 효용함수에 포함되는 설명변수가 단위에 제약받지 않고 사용될 수 있으며, 본 연구의 경로선택과 같이 어떠한 요인이 개인의 선택 행태에 미치는 영향을 분석하는 데에 주로 활용된다. 여기서 각 개인은 자신의 효용을 극대화하기 위한 최선의 대안을 선택한다고 가정한다.

$$P_{in} = \frac{\exp(V_i)}{\sum_{j=1}^J \exp(V_j)}, \quad V_i = \beta_1 Z_{1i} + \beta_2 Z_{2i} + \dots + \beta_k Z_{ki}$$

P_{in} : 개인 n 이 경로 i 를 선택하는 확률

V_i : 경로 i 의 효용함수

Z_{ik} : 경로 i 에 대한 k 항목의 설명변수

β_k : k 항목 변수의 계수

본 연구에서는 수도권 지하철 이용자들의 대중교통카드 이용실적을 기초로 수도권급행철도 환승관련 변수를 추정하는 것으로 개별 통행자들의 선택행태를 파악하고 경로선택모형을 개발하여 지하철 이용객의 환승행태를 분석하고자 한다.

Ⅲ. 연구방법론

1. 자료수집

수도권 대중교통카드 Trip-chain 데이터에는 이용자의 출발정거장, 도착정거장, 이용교통수단, 승차시간, 하차시간, 총 통행거리, 총이용시간, 요금 등 통행관련 자료와 일반, 어린이, 청소년, 무임 등 이용자관련 정보 등이 내재되어 있다. 지하철 이용자의 경우 출발역과 도착역에 대한 정보는 포함되어 있으나, 기종점에 따라 도시철도망 내에 여러 이용경로가 존재할 수 있고 환승 시 별도 태그가 이루어지지 않으므로 정확한 경로정보는 제공되지 않는다. 다만, 민자철도의 경우 환승이용자의 운임수입 정산을 위한 별도 게이트가 설치되어 있어, 민자철도와 재정철도 이용경로가 각각 존재하는 경우에는 어떤 노선을 이용하였는지 구분은 가능하다.

본 연구에서는 2019.10.21.(월)~2019.10.27.(일) 수도권 교통카드 이용실적 자료를 활용(2019.10.23.(수) 자료는 전체 이용실적이 집계되지 않아 기초자료에서 제외)하였으며, 통행량 집중정도에 따른 환승행태, 이용자에 따른 환승행태를 도출하기 위해, 평일-주말, 침두-비침두 시간대, 일반-무임 이용자별로 구분하여 기초자료를 구축하였다.

<Table 1> Number of traffic card data usage per day

Date	Day of the week	Number of use cases (persons/day)	Average # of use cases (persons/day)
2019.10.21	Mon	15,240,423	15,738,018
2019.10.22	Tue	15,530,293	
2019.10.24	Wed	15,616,536	
2019.10.25	Thu	16,649,680	
2019.10.26	Sat	13,133,704	11,448,572
2019.10.27	Sun	9,763,439	

* Data for Wed. Oct. 23th, 2019 is excluded from basic data set because it is not fully complete

2. 분석대상 선정

앞서 언급한 바와 같이 수도권 도시철도 운영사업자는 서울교통공사(1~8호선), 인천교통공사, 코레일 등의 재정노선 운영자와 신분당선, 9호선, 우이신설선, 에버라인, 의정부경전철 등과 같은 민간운영사로 구성된다. 이중 재정에서 운영되는 노선 간 환승은 별도 게이트가 설치되어 있지 않아 환승여부 및 정확한 환승경로는 알 수가 없다. 2019년 현재 수도권에 운영중인 급행철도는 신분당선, 인천공항철도, 지하철9호선 등이 있으며, 표정속도는 각각 50.7km/h, 58.0km/h, 39.6km/h이다. 지하철9호선은 급행과 일반열차를 병행하여 운영중에 있으나, 교통카드데이터에서 급행과 완행이용자 구분이 되지 않고, 인천공항철도는 서울도심과 인천국제공항을 연계하는 유일한 노선으로 대체경로가 존재하지 않는다.

본 연구에서는 수도권 도시철도 중 경합관계가 가장 명확하고, 통행경로 파악이 가능한 신분당선과 분당선 이용자 중 기종점이 동일한 자료를 분석대상으로 하였다. 신분당선과 분당선은 분당지역과 서울 강남지역을 연계하는 대표적 노선이다. 이 중 신분당선은 급행기능이 있고, 요금이 상대적으로 비싸기 때문에 통행요금이 경로선택에 미치는 영향을 고려할 수 있는 장점이 있다. 즉, 이용자는 요금이 비싸더라도 통행시간이 적게 소요되는 신분당선과 통행시간이 다소 많이 걸리더라도 요금이 저렴한 분당선 중에 이용경로를 선택할 수 있다.

<Table 2> Comparison of two subway lines studied

	Bundang Line	Sinbundang Line	
Length	52.9km	31.3km	
# of stations	36	13	
Average distance between stations	1.56km	2.85km	
Scheduled Speed	36.9km/h	50.7km/h	
Fare (Under 10km)	1,250won	2,350won	
Travel Time	Jeongja-Seolleung : 35min	Jeongja-Gangnam : 17min	

3. 분석 데이터 구축

수도권 교통카드데이터에서 신분당선과 분당선을 이용한 통행 중 동일한 기종점을 가지는 데이터 정보를 추출하였다. 환승저항을 열차 또는 정거장 혼잡정도에 따라 분석하기 위해 평일-주말, 평일의 첨두시간대-비첨두시간대로 구분하고, 이용자 특성에 따른 환승저항을 분석하기 위해 요금을 지불하는 일반이용자와 무임이용자로 구분하여 분석데이터를 구축하였다. 시간대별 분류시에는 출퇴근 시간대에 통행량이 집중되는 평일을 기준으로 첨두시간대는 출근시간대인 07~09시, 퇴근시간대인 17~19시, 4시간을 첨두시간대로 하고, 나머지 시간대는 비첨두 시간대로 구분하였다.

<Table 3> Classification of Data to Analyze

	Data classification	Analysis contents
Time	<ul style="list-style-type: none"> • Peak time : 4hours(07~09, 17~19) • Non-peak time : All time except peak hours 	<ul style="list-style-type: none"> • Transfer behavioral analysis by congestion in trains or platforms
Day	<ul style="list-style-type: none"> • Weekday, Weekend 	
User characteristic	<ul style="list-style-type: none"> • General user, free rider 	<ul style="list-style-type: none"> • Gradually increasing proportion of the free riders • Analysis of the differences in transfer impedance between general users and free riders

<Table 4> Steps to Build Analysis Data

	Contents	Note
STEP 1	<ul style="list-style-type: none"> • Classifying data by category 	<ul style="list-style-type: none"> • Time/Day/User characteristic
STEP 2	<ul style="list-style-type: none"> • Extracting data of Shinbundang Line users 	-
STEP 3	<ul style="list-style-type: none"> • Extracting the same OD as the Step 2 OD among non-users of the Shinbundang Line 	-
STEP 4	<ul style="list-style-type: none"> • Removal of data that does not overlap with Step 3 data among data from Step 2 	-
STEP 5	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminating free rider data from weekday-weekend and peak-nonpeak data on Step 4 	<ul style="list-style-type: none"> • There is a distortion caused by fare variable in route choice model because free riders would choose the shortest route regardless of the fare

무임이용자를 제외했을 때 평일의 최단경로와 차선경로의 동일 기종점수는 총 1,884개이며, 최단경로 이용통행량은 17,997인, 평균통행시간은 60.9분, 평균요금은 2,748원, 차선경로 이용통행량은 19,018인, 평균통행시간 72.2분, 평균요금 1,734원으로 나타났다. 최단경로 이용자는 약 48.6%이며, 평균통행시간은 차선경로에 비해 11.3분이 빠르고, 평균요금은 1,014원이 높은 것으로 분석되었다(<Table 5>). 통행량이 적은 주말에는 동일 기종점수 1,264개, 최단경로이용비율 49.6%이며, 최단경로이용자는 평균통행시간이 11.1분 빠르고, 평균요금은 1,047원이 많게 소요되었다(<Table 6>). 주말 및 평일 이용자의 최단경로 이용 비중은 유사하지만, 주말이용자의 평균통행시간은 평일에 비해 약 10분 가량이 많이 소요되는 것으로 나타났다.

<Table 5> Analysis data of Weekday

No.	Origin	Destination	Sinbundang(Shortest path*)			Bundang(Alternative path)		
			Travel Time** (min)	Number of users	Fare (Won)	Travel Time (min)	Number of users	Fare (Won)
1	Yongsan	Samdong	82.0	1	2,750	89.0	1	1,750
2	Yongsan	GyeonggiGwangju	83.0	2	2,850	105.0	1	1,850
3	Yongsan	Ori	74.0	1	2,750	91.0	2	1,750
4	Yongsan	Jukjeon	69.0	5	2,750	86.9	20	1,750
5	Noryangjin	GyeonggiGwangju	64.0	8	2,850	85.6	7	1,850
6	Noryangjin	Sindundoyechon	95.0	1	3,150	102.0	1	2,150
7	Noryangjin	Bubal	93.6	7	3,450	100.3	4	2,450
8	Noryangjin	Sunae	56.0	2	2,650	64.0	10	1,650
9	Noryangjin	Ori	57.9	5	2,650	69.8	6	1,650
10	Noryangjin	Bojeong	66.0	1	2,750	73.0	4	1,750
11	Noryangjin	Jukjeon	64.0	5	2,750	72.8	9	1,750
12	Noryangjin	Singal	76.6	5	2,850	84.1	11	1,850
13	Noryangjin	Giheung	64.0	5	2,850	90.1	10	1,850
:	:	:	:	:	:	:	:	:
1882	Jeongneung	Gonjam	92.0	1	3,150	115.0	1	2,150
1883	Janggi	Ori	114.0	1	3,350	127.0	1	2,350
1884	Unyang	Ori	119.0	1	3,350	125.0	1	2,350
Average(Sum)			60.9	(17,997)	2,748	72.2	(19,018)	1,734

* From the extracted data, users of the Shinbundang Line take less travel time than users of the Bundang Line, so it is named as “the shortest path”, and the path that users of the Bundang Line take is defined as “the alternative path”

**The travel time is the time from the tag time of the boarding station to the tag time of the destination station, and the access/egress time is excluded

<Table 6> Analysis data of Weekend

No.	Origin	Destination	Sinbundang(Shortest path)			Bundang(Alternative path)		
			Travel Time (min)	Number of users	Fare (Won)	Travel Time (min)	Number of users	Fare (Won)
1	Noryangjin	GyeonggiGwangju	76.2	7	2,850	85.5	2	1,850
2	Noryangjin	Ori	60.1	4	2,650	81.9	6	1,650
3	Noryangjin	Giheung	84.0	1	2,850	99.3	4	1,850
4	Noryangjin	Kangnam Univ.	83.0	1	2,850	105.0	2	1,850
5	Yeongdeungpo	GyeonggiGwangju	87.5	4	2,850	125.0	1	1,850
6	Yeongdeungpo	Chowol	93.0	1	2,950	110.0	2	1,950
7	Yeongdeungpo	Icheon	92.0	1	3,350	102.0	1	2,350
8	Yeongdeungpo	Seohyeon	73.0	1	2,650	78.1	10	1,650
9	Yeongdeungpo	Jukjeon	87.0	2	2,750	95.7	8	1,750
10	Yeongdeungpo	Singal	94.0	1	2,850	121.0	2	1,850
11	Hoegi	Jeondae·Everland	118.0	1	3,250	129.8	8	2,250
12	Sangbong	Yeouju	112.0	1	3,650	124.3	3	2,650
13	Haengsin	Jeondae·Everland	149.5	2	3,550	162.0	2	2,550
:	:	:	:	:	:	:	:	:
1262	Jeondae·Everland	Myeong-dong	138.7	7	3,250	174.0	2	2,250
1263	Jeondae·Everland	Hoehyeon	125.0	2	3,250	145.5	2	2,250
1264	Jeondae·Everland	Yatap	115.0	1	3,050	130.0	1	2,050
Average(Sum)			70.8	(6,021)	2,841	81.9	(6,094)	1,794

<Table 7> Analysis data of Peek hours

No.	Origin	Destination	Sinbundang(Shortest path)			Bundang(Alternative path)		
			Travel Time (min)	Number of users	Fare (Won)	Travel Time (min)	Number of users	Fare (Won)
1	Seoul	Imae	61.0	1	2,650	69.0	2	1,650
2	Seoul	Seohyeon	67.6	5	2,650	72.8	6	1,650
3	Seoul	Sunae	67.0	5	2,750	76.5	3	1,750
4	Seoul	Jukjeon	81.3	7	2,750	88.0	2	1,750
5	Seoul	Guseong	81.5	2	2,850	104.0	2	1,850
6	Seoul	Singal	85.2	4	2,850	103.0	2	1,850
7	Seoul	Giheung	87.0	1	2,950	102.5	3	1,950
8	City Hall	Ori	68.5	2	2,750	77.7	15	1,750
9	City Hall	Bojeong	73.5	2	2,850	82.0	3	1,850
10	City Hall	Guseong	78.0	2	2,850	105.0	2	1,850
11	Jonggak	Ori	71.3	3	2,750	84.0	2	1,750
12	Jonggak	Bojeong	79.0	1	2,850	98.0	1	1,850
13	Jonggak	Jukjeon	73.0	3	2,850	94.0	2	1,850
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
1162	Jeondae·Everland	Hongik Univ	137.5	17	3,350	160.4	22	2,350
1163	Jeondae·Everland	Myeong-dong	129.3	9	3,250	136.4	13	2,250
1164	Janggi	Ori	114.0	1	3,350	127.0	1	2,350
Average(Sum)			59.9	(8,555)	2,736	71.2	(8,911)	1,731

<Table 8> Analysis data of Non-Peek hours

No.	Origin	Destination	Sinbundang(Shortest path)			Bundang(Alternative path)		
			Travel Time (min)	Number of users	Fare (Won)	Travel Time (min)	Number of users	Fare (Won)
1	Seoul	GyeonggiGwangju	75.0	1	2,850	98.0	1	1,850
2	Seoul	Chowol	82.8	7	2,950	89.0	1	1,950
3	Seoul	Bubal	97.0	1	3,450	122.0	1	2,450
4	Seoul	Ori	77.4	8	2,750	83.0	3	1,750
5	Seoul	Bojeong	71.0	1	2,850	112.0	1	1,850
6	Seoul	Jukjeon	78.1	10	2,750	95.6	6	1,750
7	Seoul	Guseong	79.0	1	2,850	116.0	2	1,850
8	Seoul	Sanggal	87.0	1	2,950	112.8	4	1,950
9	City Hall	GyeonggiGwangju	81.5	4	2,950	100.9	7	1,950
10	City Hall	Bojeong	75.0	1	2,850	85.9	5	1,850
11	Jonggak	Gonjiam	88.0	2	3,150	231.0	2	2,150
12	Jonggak	Sindundoyechon	96.0	3	3,250	112.0	1	2,250
13	Jonggak	Icheon	108.0	1	3,350	129.0	1	2,350
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
1767	Jeondae·Everland	Taereung	134.0	1	3,350	141.0	1	2,350
1768	Jeondae·Everland	Gongneung	137.0	1	3,350	145.0	2	2,350
1769	Jeongneung	Gonjiam	92.0	1	3,150	115.0	1	2,150
Average(Sum)			65.7	(13,782)	2,785	78.4	(13,993)	1,785

첨두시 동일기종점수는 1,264개이며, 최단경로 이용자는 8,555인, 차선경로 이용자 8,911인으로 분석되었다. 첨두시 최단경로 이용자의 평균통행시간은 59.9분으로 차선경로 이용자에 비해 11.3분이 적게 소요되었으나, 요금은 평균적으로 1,004원을 많이 지불하는 것으로 나타났다(<Table 7>).

비첨두시간대에는 동일기종점수 1,769개, 최단경로 이용자 13,782인, 차선경로 이용자 13,993인이며, 최단경로 이용자는 차선경로 이용자에 비해 평균통행시간은 11.1분이 적고, 평균요금은 1,047원 높은 것으로 분석되었다(<Table 8>). 첨두시와 비첨두시 최단경로 이용비율은 매우 유사하나, 비첨두시의 평균통행시간이 첨두시에 비해 6분 가량이 길고, 요금 또한 약 50원이 높은 것으로 나타났다.

<Table 9> Analysis data of General users

No.	Origin	Destination	Sinbundang(Shortest path)			Bundang(Alternative path)		
			Travel Time (min)	Number of users	Fare (Won)	Travel Time (min)	Number of users	Fare (Won)
1	Seoul	GyeonggiGwangju	77.0	2	2,850	98.0	1	1,850
2	Seoul	Bubal	97.0	1	3,450	122.0	1	2,450
3	Seoul	Sunae	68.1	11	2,750	74.8	8	1,750
4	Seoul	Ori	74.4	11	2,750	83.0	3	1,750
5	Seoul	Jukjeon	80.2	17	2,750	93.1	8	1,750
6	Seoul	Guseong	81.5	2	2,850	110.0	4	1,850
7	Seoul	Giheung	87.0	1	2,950	117.7	5	1,950
8	Seoul	Sanggal	87.0	1	2,950	100.6	6	1,950
9	City Hall	GyeonggiGwangju	81.5	4	2,950	96.2	4	1,950
10	City Hall	Yeoju	116.0	1	3,750	148.0	1	2,750
11	City Hall	Ori	70.8	5	2,750	76.0	29	1,750
12	City Hall	Bojeong	74.3	3	2,850	83.9	8	1,850
13	City Hall	Guseong	82.2	4	2,850	96.9	14	1,850
:	:	:	:	:	:	:	:	:
2258	Sincheon	Yatap	115.0	1	3,050	130.0	1	2,050
2259	Janggi	Ori	114.0	1	3,350	127.0	1	2,350
2260	Unyang	Ori	119.0	1	3,350	125.0	1	2,350
Average(Sum)			64.1	(23,727)	2,773	76.1	(22,763)	1,759

요금을 지불하는 일반이용자의 동일 기종점수는 2,260개이며, 최단경로 이용자 23,727인, 차선경로 이용자 22,763인으로 최단경로 이용비중(51.0%)이 차선경로보다 높게 나타났다(<Table 9>). 일반이용자의 최단경로 평균통행시간은 64.1분으로 차선경로보다 12.0분이 적게 소요되며, 평균요금은 2,773원으로 차선경로보다 1,014원이 높은 것으로 나타났다(<Table 10>).

무임이용자의 최단경로 이용자는 10,602인(이용비중 58.3%) 으로 다른 분류기준과는 다르게 최단경로 선택비율이 매우 높게 나타났다. 이는 최단경로와 차선경로 요금차이가 없을 경우, 이용자는 통행시간이 적게 소요되는 최단경로를 선호하는 상식적 선택결과에 기인한 것으로 판단된다.

<Table 10> Analysis data of Free rider

No.	Origin	Destination	Sinbundang(Shortest path)		Bundang(Alternative path)	
			Travel Time (min)	Number of users	Travel Time (min)	Number of users
1	Seoul	Chowol	81.9	7	95.0	4
2	Seoul	Yeoju	123.0	1	141.5	2
3	Seoul	Sunae	71.5	5	96.0	1
4	Seoul	Ori	73.5	2	80.8	3
5	Seoul	Jukjeon	76.3	5	107.0	1
6	Seoul	Guseong	75.0	1	97.0	1
7	Seoul	Singal	85.0	1	97.0	2
8	Seoul	Giheung	96.0	2	135.0	1
9	Seoul	Sanggal	95.5	2	102.5	2
10	City Hall	Icheon	98.0	1	113.0	1
11	City Hall	Yeoju	138.7	8	148.0	1
12	City Hall	Ori	73.4	13	78.7	19
13	City Hall	Sanggal	92.0	8	99.7	20
:	:	:	:	:	:	:
1767	Bukhansan Ui	Ori	100.0	2	110.3	5
1768	Bukhansan Ui	Jukjeon	111.0	1	117.0	1
1769	Siheung Daeya	Yatap	112.0	1	130.0	1
Average(Sum)			67.4	(10,602)	83.8	(7,588)

평일에 경우 무임이용자 포함시 동일기종점수는 2,540개, 동일기종점 통행량 51,989통행 이었으나, 무임이용자를 제외하면 동일기종점수는 25.8%감소, 동일 기종점 통행량은 28.8%가 감소하였다(<Table 11>). 주말, 첨두/비첨두 또한 무임이용자 제외시 동일기종점수와 동일 기종점 통행량이 평일과 유사한 비중으로 감소하였는데 이는 일반이용자의 최단/차선경로 경로선택과 무임이용자의 경로선택 차이에서 기인한 것으로 판단된다.

본 연구에서의 경로선택모형은 무임이용자로 인한 요금변수 파라미터 왜곡 방지를 위해 무임승차자 제외 데이터를 기준으로 구축하기로 한다.

<Table 11> Number of analysis data

Category	Classification criteria	Including free rider			Excluding free rider		
		Number of the same OD	Trips of the Same OD		Number of the same OD	Trips of the Same OD	
			Sinbundang (Shortest path*)	Bundang (Alternative path)		Sinbundang (Shortest path*)	Bundang (Alternative path)
Day	Weekday	2,540	27,511	24,478	1,884	17,997	19,018
	Weekend	1,806	9,595	8,516	1,264	6,021	6,094
Time	Peak hours	1,499	11,585	11,117	1,164	8,555	8,911
	Non-peak	2,376	23,342	20,277	1,769	13,782	13,993
User characteristic	General users	2,260	23,727	22,763	Same as left data		
	Free rider	1,480	10,602	7,588			

IV. 연구결과

1. 최단·차선경로 추정을 위한 모형구축

교통카드 데이터를 통해 최단경로(신분당선: Sinbundang Line)와 차선경로(분당선: Bundang Line)의 기종점, 신분당선 이용유무는 알 수 있으나 정확한 통행경로를 알 수 없기 때문에 선택모형 구축에 필요한 차내시간, 환승이동시간, 환승대기시간, 환승횟수, 요금 등은 수요예측모형을 통해 산출하였다.

국가교통DB는 행정동이 하나의 소존이 되지만, 본 연구에서는 지하철역을 소존으로 설정하여, 분석년도(2019년)에 존재한 수도권 지하철역 605개의 교통존 체계를 가지는 네트워크를 구축하였다. 모형을 통해 정확한 선택모형의 설명변수값을 도출하기 위해선, 배차간격, 표정속도 등 정확한 열차정보 입력이 필요하며, 본 연구에서는 수도권 철도운영사의 열차운행 정보를 이용해 Line-data를 입력·구축 하였다.

<Table 12> Traffic zone

Routes	Station	# of Zone	Routes	Station	# of Zone
Kyungwon line	Soyosan	1	∴	∴	∴
Kyungwon line	Dongducheon	2	Bundang line	Appujeongrodeo	595
Kyungwon line	Bosan	3	Bundang line	Seoul-forest	596
Kyungwon line	Dongducheonjungang	4	Sinbundang line	Gwanggyo	597
Kyungwon line	Jihaeng	5	Sinbundang line	GwanggyoJungang	598
Kyungwon line	Deokjeong	6	Sinbundang line	Sanghyeon	599
Kyungwon line	Deokgye	7	Sinbundang line	Seongbok	600
Kyungwon line	Yangju	8	Sinbundang line	Suji-gu office	601
Kyungwon line	Nogyang	9	Sinbundang line	Dongcheon	602
Kyungwon line	Ganeung	10	Sinbundang line	Pangyo	603
Kyungwon line	Uijeongbu	11	Sinbundang line	Cheonggyesan	604
∴	∴	∴	Sinbundang line	Yangjae Citizen's Forest	605

<Table 13> Headway by route

Route	Direction	Origin	Destination	Headway(min)	
				Peak	Non-peak
Line 2	Ascending	Sungsu	Sindorim	60	45
		Sungsu	Sungsu	3.58	6.04
		Sindorim	Sungsu	18.46	81.82
	Descending	Sungsu	Sindorim	30	81.82
		Sungsu	Sungsu	3.38	5.92
		Sindorim	Sungsu	999*	50
Line 3	Ascending	Ogeum	Suseo	5.1	7.0
		Suseo	Gupabal	4.3	6.4
		Gupabal	Daehwa	7.4	9.5
	Descending	Daehwa	Gupabal	7.2	9.5
		Gupabal	Suseo	4.0	6.5
		Suseo	Ogeum	4.9	7.5
∴	∴	∴	∴	∴	∴

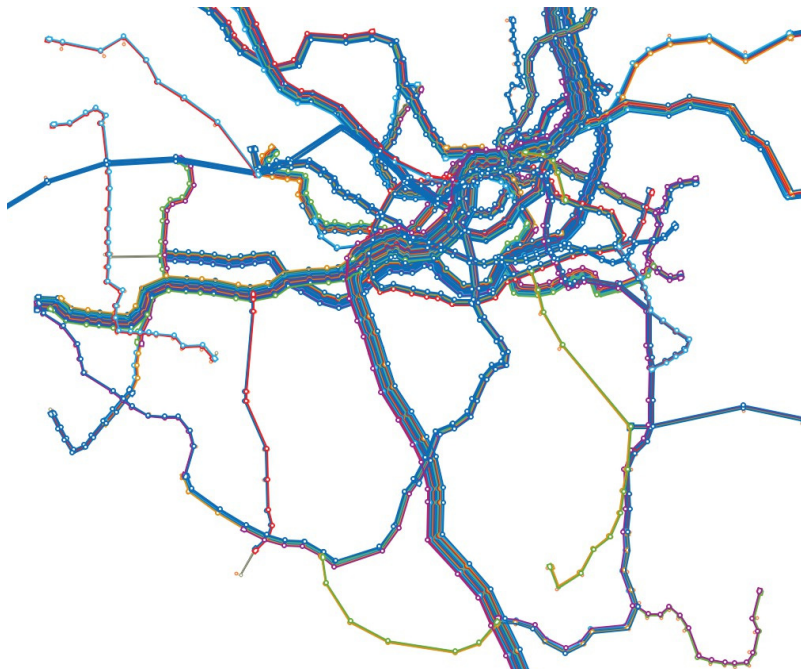
* Headway is 999 minutes when the line is scheduled to run once per day

환승이동시간의 정확한 모형 도출을 위해 각 환승역의 노선간 환승 link 거리는 「연락운임정산 연구용역, ITS학회, 2019」(The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, 2019)에서 전수조사된 평면환승거리로 입력하였으며, 통행배정을 위한 역간O/D는 교통카드 데이터를 기초로 구축하였다.

<Table 14> Transfer distance and time by transfer station

Transfer station	Transfer Line			Average walking time for transfer(min)*	Transfer distance(m)**
Garak Market	3 rd Line	↔	8 th Line	3.7	219
Gasan Digital Complex	1 st Line	↔	7 th Line	3.4	203
Gangnam	2 nd Line	↔	Sinbundang	3.7	220
Gangnamgu Office	7 th Line	↔	Bundang	2.3	139
Gunkuk Univ	2 nd Line	↔	7 th Line	4.0	238
Geomam	Airport Express	↔	Incheon 2 nd Line	5.6	334
Kwangwoon Univ.	1 st Line	↔	Kyungchun Line	1.0	59
Seoul Nat'l Univ. of Education	2 nd Line	↔	3 rd Line	3.6	214
Gunja	5 th Line	↔	7 th Line	3.2	189
Geumjeong	1 st Line	↔	4 th Line	0.9	53
Giheung	Bundang Line	↔	Ever Line	2.8	166
⋮	⋮		⋮	⋮	⋮

* The average walking time includes the whole travel time using elevators, escalators, stairs, and moving walks.
 ** When calculating the transfer distance, the walking speed is applied as 1.0m/s



<Fig. 1> Network for estimating path

구축된 수요예측모형을 통해 최단경로와 차선경로의 차내거리, 요금, 차내시간, 환승이동시간, 환승대기시간, 평균 환승횟수 등을 산출하였으며, 경로선택모형 구축 시 설명변수 자료로 활용하였다. 무임이용자 미포함시 평일 최단경로는 <Table 16>에서 보는 바와 같이 차선경로에 비해 차내시간은 평균 16.9분이 적으나, 요금은 943원, 환승횟수 1.2회, 환승이동시간 3.5분, 환승대기시간 4.3분, 총 환승시간 8.0분이 많이 소요되는 것으로 나타났으며, 요일별, 시간대별, 이용자별 데이터 기초통계량은 <Table 15>와 <Table 16>와 같다.

<Table 15> Basic Statistics_including free riders

Category		Path	Average					
			Invehicle time(min)	Fare (won)	Number of Transfers	Transfer walking time(min)	Transfer waiting time(min)	Total transfer time(min)
Day	Weekday	Shortest path	42.0	2,787	2.3	6.1	8.8	14.9
		Alternative path	59.8	1,857	1.2	2.8	4.6	7.5
	Weekend	Shortest path	47.2	2,871	2.3	6.2	10.1	16.2
		Alternative path	63.6	1,917	1.4	3.2	6.0	9.2
Time	Peak hours	Shortest path	41.2	2,773	2.2	6.2	6.5	12.7
		Alternative path	58.4	1,841	1.0	2.6	3.0	5.6
	Non-peak	Shortest path	43.4	2,811	2.3	6.1	9.9	16.0
		Alternative path	61.8	1,888	1.3	3.1	5.8	8.8
User characteristic	Fare paying users	Shortest path	42.4	2,796	2.3	6.1	8.7	14.8
		Alternative path	59.9	1,857	1.2	2.8	4.6	7.3
	Free riders	Shortest path	43.1	2,792	2.3	6.1	9.8	15.9
		Alternative path	62.2	1,894	1.3	3.2	5.7	8.9

<Table 16> Basic Statistics_excluding free riders

Category		Path	Average					
			Invehicle time(min)	Fare (won)	Number of Transfers	Transfer walking time(min)	Transfer waiting time(min)	Total transfer time(min)
Day	Weekday	Shortest path	40.8	2,770	2.3	6.1	8.6	14.8
		Alternative path	57.7	1,827	1.1	2.6	4.3	6.8
	Weekend	Shortest path	46.7	2,874	2.3	6.1	10.0	16.1
		Alternative path	62.0	1,899	1.3	3.0	5.7	8.7
Time	Peak hours	Shortest path	40.2	2,757	2.2	6.2	6.4	12.5
		Alternative path	56.9	1,822	1.0	2.4	2.8	5.3
	Non-peak	Shortest path	42.9	2,811	2.3	6.1	9.9	15.9
		Alternative path	60.4	1,870	1.3	2.9	5.5	8.4
User characteristic	Fare paying users	Shortest path	42.4	2,796	2.3	6.1	8.7	14.8
		Alternative path	59.9	1,857	1.2	2.8	4.6	7.3
	Free riders	Shortest path	43.1	2,792	2.3	6.1	9.8	15.9
		Alternative path	62.2	1,894	1.3	3.2	5.7	8.9

2. 경로선택모형 구축

1) 변수설정

지하철 통행경로 선택은 차내시간, 환승시간, 환승횟수, 통행요금 등의 정량적 요소 외에도 편안함, 안락함, 열차 및 정거장 혼잡 등 정량화하기 어려운 여러 요인에 의해 결정된다. 본 연구에서는 정량화가 가능한 차내시간, 통행요금, 환승횟수, 환승이동시간, 환승대기시간 등을 경로선택모형에서 독립변수로 설정하였고, 교통카드데이터에서 추출한 최단경로 및 차선행로 이용여부를 종속변수로 설정하였으며, 각 변수별 세부 내용은 <Table 11>과 같다.

전술한 바와 같이 경로선택모형은 요일별 · 시간대별 · 이용자별로 각각 구축하여 통행량 집중정도 및 요금 지불여부가 경로선택에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 첫 번째 모델은 광역급행철도 이용자가 환승 관련 요인들 중 어떤 요인이 환승저항에 크게 영향을 미치는가를 파악하기 위하여 환승관련변수를 환승횟수, 환승이동시간, 환승대기시간로 구분하여 독립변수로 설정하였고, 두 번째 모델은 환승시간과 환승횟수가 광역급행철도 환승에 각각 어떠한 영향을 미치는지 파악하기 위한 변수설정이다.

$$V_i = \alpha_1 T_{1i} + \alpha_2 T_{2i} + \beta C_i + c$$

여기서, V_i : i 대안의 효용 $\alpha_1, \alpha_2, \beta$: parameter T_{1i} : i 대안의 차내시간

T_{2i} : i 대안의 환승시간 C_i : i 대안의 요금 c : i 대안의 상수

<Table 17> Logistic regression model variables

Variable		Variable description	Variable Unit
Dependent variable	Whether to take the shortest route or not	• Whether to users take the shortest route or not (the shortest path : 1 / Use the alternative path: 0)	-
Independent variable (Model I)	In-vehicle time	• In-vehicle time for each route	Min
	Fare*	• Fare for each route	Won
	Number of transfer	• Number of transfer for each route	times
	Transfer walking time	• Transfer moving time for each route	Min
	Transfer waiting time	• Transfer waiting time for each route	Min
Independent variable (Model II)	In-vehicle time	• In-vehicle time for each route	Min
	Fare	• Fare for each route	Won
	Number of transfer	• Number of transfer for each route	times
	Total transfer time	• Total transfer time for each route	Min

* Fare is excluded from a model built as classifying type of users due to free riders

* Fare variable are excluded in free-rider model because free riders do not pay subway fares

2) 경로선택모형 구축결과

경로선택모형은 무임이용자를 제외한 데이터를 기준으로 구축하였으나, <Table 18>의 모형 I 에서 비첨두 시 · 평일 · 일반이용자의 요금변수가 유의하지 않은 것으로 나타났고, <Table 19>의 모형 II에서는 비첨두 · 평일의 요금변수가 유의하지 않은 것으로 분석되었다.

<Table 18> Estimated parameter of Model I

Category		Regression coefficient(t-value)						Log likelihood		Likelihood ratio ($\bar{\rho}^2$)	Number of data
		Constant	In-vehicle time(min)	Fare (won)	Number of Transfers	Transfer walking time(min)	Transfer waiting time(min)	β	0		
Day	Weekday	-0.5225 (-1.11)	-0.1272 (-21.45)***	-0.0001 (-0.19)	-0.2685 (-1.39)	-0.1530 (-8.14)***	-0.1801 (-3.71)***	-7,478.0	-8,397.3	0.89	37,015
	Weekend	-0.1638 (-0.56)	-0.1501 (-38.61)***	-0.0006 (-2.24)*	-0.2401 (-2.62)**	-0.0596 (-5.53)***	-0.3443 (-13.99)***	-21,892.6	-25,642.8	0.85	12,115
Time	Peak hours	0.3719 (0.88)	-0.1630 (-29.20)***	-0.0016 (-4.18)***	0.1175 (6.06)***	-0.0651 (-4.02)***	-0.6199 (-25.15)***	-10,254.0	-12,102.9	0.85	17,466
	Non-peak	-0.7056 (-2.19)*	-0.1343 (-32.13)***	0.0000 (0.14)	-0.1185 (-0.89)	-0.0941 (-7.78)***	-0.2807 (-8.61)***	-17,072.4	-19,251.4	0.89	27,775
User characteristic	Fare paying users	-0.2359 (-0.93)	-0.1399 (-41.80)***	-0.0004 (-1.69)	-0.3800 (-4.61)***	-0.0803 (-8.47)***	-0.2674 (-12.03)***	-28,126.0	-32,214.4	0.87	46,490
	Free riders	-0.5296 (-8.94)***	-0.1157 (-34.56)***	-	-1.1189 (-8.74)***	0.0391 (2.91)**	-0.0123 (-0.41)	-11,376.0	-12,357.5	0.92	18,190

* p-value < 0.05, ** p-value < 0.001, *** p-value < 0.0001

<Table 19> Estimated parameter of Model II

Category		Regression coefficient(t-value)					Log likelihood		Likelihood ratio ($\bar{\rho}^2$)	Number of data
		Constant	In-vehicle time(min)	Fare (won)	Number of Transfers	Total transfer time(min)	β	0		
Day	Weekday	-0.5202 (-1.11)	-0.1272 (-21.44)***	-0.0001 (-0.20)	-0.3396 (-2.77)**	-0.1582 (-10.27)***	-7,478.1	-8,397.3	0.89	37,015
	Weekend	-0.1684 (-0.58)	-0.1502 (-38.57)***	-0.0007 (-2.48)*	-0.8947 (-13.27)***	-0.1110 (-11.65)***	-21,945.3	-25,642.8	0.86	12,115
Time	Peak hours	1.3324 (3.19)**	-0.1564 (-28.21)***	-0.0021 (-5.36)***	-0.0217 (-1.30)	-0.2774 (-31.63)***	-10,373.4	-12,102.9	0.86	17,466
	Non-peak	-0.6390 (-1.99)*	-0.1342 (-32.08)***	-0.0000 (-0.15)	-0.6426 (-7.79)***	-0.1257 (-12.16)***	-17,084.9	-19,251.4	0.89	27,775
User characteristic	Fare paying users	-0.1679 (-0.66)	-0.1390 (-41.55)***	-0.0005 (-2.11)*	-0.8102 (-13.63)***	-0.1145 (-13.87)***	-28,153.0	-32,214.4	0.87	46,490
	Free riders	-0.5421 (-9.24)***	-0.1161 (-34.75)***	-	-1.2574 (-13.96)***	0.0297 (2.50)*	-11,377.1	-12,357.5	0.92	18,190

* p-value < 0.05, ** p-value < 0.001, *** p-value < 0.0001

요금변수가 독립변수로 유의하지 않은 것으로 분석됨에 따라, 요금변수 제외 후 각 변수의 파라미터를 재 추정하였다. <Table 20>의 모형 I 분석을 통한 광역급행철도 이용특성을 살펴보면, 이용자는 환승시 환승이동시간 보다 환승대기시간에 큰 거부감을 갖는 것으로 나타났다. 환승대기시간의 EIVM은 1.41~3.51 인 반면, 환승이동시간의 EIVM은 0.34~1.20 으로 환승대기시간 EIVM이 환승이동시간에 비해 평균적으로 약 4.7배 높다. 이는 이용자가 환승을 위해 이동하는 시간에 비해 열차탑승을 위한 대기시간에 느끼는 저항정도가 많이 높은 것으로 해석할 수 있다.

<Table 20> Estimated parameter of Model I after excluding fare variable

Category		Regression coefficient(t-value)					Log likelihood		Likelihood ratio ($\bar{\rho}^2$)	Number of data
		Constant	In-vehicle time(min)	Number of Transfers	Transfer moving time(min)	Transfer waiting time(min)	β	0		
Day	Weekday	-0.6083 (-9.38)***	-0.1280 (-31.27)***	-0.2672 (-1.39)	-0.1532 (-8.16)***	-0.1805 (-3.73)***	-7,478.0	-8,397.3	0.89	37,015
	Weekend	-0.8072 (-17.02)***	-0.1562 (-56.32)***	-0.2274 (-2.48)*	-0.0618 (-5.76)***	-0.3481 (-14.17)***	-21,895.1	-25,642.8	0.85	12,115
Time	Peak hours	-1.3580 (-13.61)***	-0.1783 (-41.70)***	0.1150 (5.93)***	-0.0605 (-3.74)***	-0.6263 (-25.47)***	-10,262.7	-12,102.9	0.85	17,466
	Non-peak	-0.6606 (-13.70)***	-0.1339 (-45.67)***	-0.1198 (-0.91)	-0.0941 (-7.78)***	-0.2803 (-8.63)***	-17,072.4	-19,251.4	0.89	27,775
User characteristic	Fare paying users	-0.6593 (-16.37)***	-0.1439 (-60.01)***	-0.3649 (-4.45)***	-0.0817 (-8.66)***	-0.2713 (-12.26)***	-28,127.4	-32,214.4	0.87	46,490
	Free riders	-0.5296 (-8.94)***	-0.1157 (-34.56)***	-1.1189 (-8.74)***	0.0391 (2.91)**	-0.0123 (-0.41)	-11,376.0	-12,357.5	0.92	18,190

* p-value < 0.05, ** p-value < 0.001, *** p-value <0.0001

모형 I 에서 평일 · 비침두의 환승횟수가 독립변수로서 유의성이 가지지 못함에 따라, <Table 21>의 모형 II 에선 환승이동시간과 대기시간을 환승시간으로 통합하여 파라미터를 추정하였다. 무임이용자의 환승시간 파라미터의 부호는 양의 값으로 추정되어 변수로서 적합하지 않은 것으로 나타났으며, 나머지 경우에는 모든 변수가 유의한 것으로 도출되었다. 모형 II 분석에서의 시사점은 광역급행철도 이용자는 배차간격이 평일 보다 상대적으로 긴 주말 · 비침두시에 환승횟수에 훨씬 민감하다는 점이다. 평일 환승횟수의 EIVM은 2.65이지만 주말은 5.63, 비침두시의 EIVM은 4.77로 나타났다. 이는 열차의 배차간격이 증가할수록 광역급행철도 이용자는 환승횟수가 적은 경로를 선택하는 비중이 더 높아짐을 의미한다.

<Table 21> Estimated parameter of Model II after excluding fare variable

Category		Regression coefficient(t-value)				Log likelihood		Likelihood ratio ($\bar{\rho}^2$)	Number of data
		Constant	In-vehicle time(min)	Number of Transfers	Total transfer time(min)	β	0		
Day	Weekday	-0.6116 (-9.48)***	-0.1280 (-31.30)***	-0.3390 (-2.77)**	-0.1584 (-10.32)***	-7,478.1	-8,397.3	0.89	37,015
	Weekend	-0.8825 (-18.75)***	-0.1570 (-56.41)***	-0.8846 (-13.15)***	-0.1137 (-12.01)***	21,948.3	-25,642.8	0.86	12,115
Time	Peak hours	-0.8544 (-9.10)***	-0.1758 (-41.28)***	-0.0283 (-1.70)	-0.2771 (-31.64)***	-10,387.8	-12,102.9	0.86	17,466
	Non-peak	-0.6873 (-14.32)***	-0.1346 (-45.88)***	-0.6421 (-7.79)***	-0.1258 (-12.22)***	-17,084.9	-19,251.4	0.89	27,775
User characteristic	Fare paying users	-0.6954 (-17.34)***	-0.1440 (-59.97)***	-0.7987 (-13.49)***	-0.1168 (-14.27)***	-28,155.2	-32,214.4	0.87	46,490
	Free riders	-0.5421 (-9.24)***	-0.1161 (-34.75)***	-1.2574 (-13.96)***	0.0297 (2.50)*	-11,377.1	-12,357.5	0.92	18,190

* p-value < 0.05, ** p-value < 0.001, *** p-value <0.0001

3. 종합 및 시사점

수도권에 광역급행철도가 점차 증가되는 점을 감안하여 본 연구에서는 현재 운영중인 신분당선 사례를 기초로 도시부 급행철도 환승행태에 관한 연구를 수행하였다. 수도권 도시철도 중 경합관계가 가장 명확하고, 통행경로 파악이 가능하며, 급행기능이 부여된 신분당선과 표정속도가 상대적으로 느린 분당선 이용자 중 기중점이 중복되는 통행에 대해 경로선택모형을 추정하였다.

이용행태 분석결과, 신분당선(최단경로) 이용자는 분당선(차선경로)이용자에 비해 평일 기준, 차내시간은 16.9분이 적게 소요되는 반면, 요금은 943원이 높고, 환승횟수는 1.2회, 환승시간은 8.0분이 더 소요되지만 전체이용자중 48.6%가 신분당선 이용경로를 선택하였다.

신분당선과 분당선 중 어떤 경로를 선택하였는지는 교통카드 데이터에서 추출하였으며, 경로선택모형의 독립변수로 설정된 차내시간, 요금, 환승횟수, 환승시간 등은 EMME/4 수요예측프로그램을 활용하여 산정하였다. 정거장 및 열차 통행량 집중도에 따른 급행철도 환승행태 변화, 요금지불여부에 따른 환승행태 변화를 분석하기 위해 경로선택모형은 평일-주말, 침두-비침두, 일반이용자-무임이용자로 구분하여 추정하였다.

로지스틱 회귀분석을 통해 각 독립변수 유의성을 검토하였고, 그 결과 요금은 독립변수로 유의성이 낮은 것으로 나타나 최종경로선택모형 추정 시에 요금변수는 제외하였다.

<Table 22> Comparison of Estimated parameter for transfer-related variables

	Trip purpose	In-vehicle time	Total transfer time		Number of transfer	
			Parameter	EIVM	Parameter	EIVM
Yang(2000)	Gross	-0.184	-0.313	1.70	-1.881	10.2
Cho(1999)		-0.020	-0.035	1.75	-0.268	13.2
Kim(1999)		-0.254			-3.270	12.9
CentralTransportation Planning(1997)		-0.043	-0.099	2.30	-0.315	7.3
Son(2006)		-0.155	-0.211	1.36	-	-
Yoon(2000)		Home-based work	-0.011	-0.066	5.81	-
Kim(2017)	Business	-0.043	-0.082	1.92	-	-
	Commute	-0.027	-0.032	1.16	-	-
	Non-business	-0.018	-0.045	2.50	-	-
This Study	Gross	-0.128	-0.158	1.24	-0.339	2.6

모형추정 결과는 <Table 22>와 같으며, 광역급행철도 이용자는 환승이동시간에 비해 환승대기시간에 큰 저항을 갖는 것으로 나타났다. 특히 제약된 시간 내에 통행을 완료해야 하는 침두시간대에는 환승대기시간의 EIVM은 3.51로 비침두시간대 2.09보다 높게 도출되었다. 다른 한가지 시사점은 열차배차간격이 증가할수록 광역급행철도 이용자가 환승횟수에 느끼는 거부감은 기하급수적으로 증가한다는 점이다. 평일 환승횟수의 EIVM은 2.65인 반면 주말의 EIVM은 5.63으로 평일에 비해 2배 이상 높게 나타났다.

마지막으로 본 연구에서 도출된 광역급행철도 이용자의 환승저항과 선행연구에서 평일을 기준으로 도출된 일반 지하철 이용자의 환승저항을 비교해보았다. 본 연구의 환승시간과 환승횟수 EIVM은 기존 선행연구에 비해 다소 낮게 나타났으며, 특히 환승횟수는 선행연구들과 큰 차이를 보였다.

일반지하철을 대상으로 한 선행연구의 환승1회당 가치는 7.3~13.2분의 차내시간과 동일한 것으로 분석결

과가 도출되었으나, 본 연구에서 광역급행철도를 대상으로 한 환승 1회당 가치는 2.6분에 불과한 것으로 나타났다. 이는 경로 간 통행시간 차이가 크지 않은 일반지하철 경로선택에서 느끼는 환승저항과 통행시간이 큰 폭으로 절감되는 광역급행철도의 환승저항의 차이가 존재하며, 지하철 교통수요 예측 시 일반지하철과 광역급행철도 환승패널티에 대해 차등적으로 적용할 필요성이 있음을 시사한다.

V. 결론 및 향후과제

최근 정부는 세계적 수준의 급행 광역교통망 구축을 정책 목표로 제시하고, GTX노선 등 광역급행철도를 확충해 나가고 있다. 광역급행철도는 기존의 일반지하철과 달리 표정속도가 매우 높고 주요 거점만을 연계하는 노선이므로 일반지하철의 환승저항과는 차이가 있을 것으로 예상하여 본 연구를 수행하였다.

신분당선을 사례노선으로 하여 광역급행철도 이용자의 환승행태를 분석한 결과, 일반 지하철 경로선택에서 이용자가 체감하는 환승저항과 급행철도 환승저항 간에는 큰 차이가 있고, 광역급행철도 교통수요 예측 시 이러한 환승행태가 모형에 반영될 필요성이 있음을 연구결과로 제시하였다.

수도권 내 급행기능이 있는 철도노선은 신분당선외에 공항철도선과 지하철9호선이 있으나, 공항철도는 대체경로가 없는 공항접근 유일 노선이고, 지하철9호선은 완행과 급행이 혼재되어 있으나 완·급행 이용자의 교통카드데이터 구별이 되지 않아 본 연구대상으로 적합하지 않았다. 현재 운영중인 급행철도가 많지 않고, 연구목적에 부합하는 데이터 수집에 한계가 있어 신분당선만을 대상으로 급행철도 환승행태를 분석하였으나, 신분당선의 표정속도를 크게 상회하는 GTX수준의 급행철도는 본 연구에서 제시한 환승행태와 다른 결과를 보일 수도 있다. 따라서, 현재 건설중인 신안산선, GTX-A 등 광역급행철도가 확충되면 더 많은 사례분석을 수행하여 본 연구결과와 유사한 결과가 도출되는 지 분석할 필요가 있다.

또한, 교통카드데이터에서 민자철도 환승통행량은 집계 가능하므로 본 연구에서 도출된 급행철도 환승시간 가중치를 모형에 반영하였을 때의 환승배정통행량과 선행연구에서 도출된 환승시간 가중치를 모형에 반영했을 때 환승배정통행량을 실제 관측치와 비교하여 오차율이 어떻게 변하는지 검증할 필요가 있다.

REFERENCES

- Garcia-Martinez, A., Cascajola, R., Jara-Diaz, S. R., Chowdhury, S. and Monzon, A.(2018), "Transfer penalties in multimodal public transport networks", *Transportation Research Part A*, vol. 114, pp.52-66.
- Guo, Z. and Wilson, N. H. M.(2011), "Assessing the cost of transfer inconvenience in public transport system: A case study of the London Underground", *Transportation Research Part A*, vol. 45, pp.91-104.
- Hwang, B. H., Rho, J. H. and Park, Y. O.(2006), "A study on the transfer time value estimation of transit riders in Seoul using smart card data", *The 82nd Conference of Korean Society of Transportation*, pp.361-369.
- Kim, H. B. and Choi, J. H.(2010), "Modeling of transfer impedance of urban rail station", *Journal of The Korean Society of Civil Engineering*, vol. 30, no. 1, pp.11-15.

- Kim, K. H., Lee, J. H. and Yun, I. S.(2017), “Calculation of travel time values in Seoul metropolitan area considering unique travel patterns”, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 35, no. 6, pp.481-498.
- The Korea Institute of Intelligent Transport Systems(2019), *Research on a method of connected railway revenue allocation and daily revenue allocation*.
- Watson, P. L.(1974), *The value of Time: Behavioral Models of Modal Choice*, Lexington Books, London.
- Yang, C. H. and Son, E. Y.(2000), “Estimation of transfer related value of Seoul subway users using stated preference and revealed preference analyses”, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 18, no. 4, pp.19-30.
- Yoon, H. R.(2000), “A Transit Trip Assignment Model under Capacity Restraint”, *The 39th Conference of Korean Society of Transportation*, pp.3-29.