

대중교통 경로탐색을 이용한 교통정책 활용 연구

- 서울시 도시철도 4호선 7호선을 중심으로 -

이진학*.김승준**.김영범***.김도경****

A Study on Application of the Public Transit Way-Finding into Transportation Policy

Jinhak Lee*.Seungjun Kim**.Youngbeom Kim***.Dogyeong Kim****

요약 : 대중교통 경로탐색은 출발지에서 목적지까지의 최적 이용수단과 통행 경로를 제공해주고 이용자는 제공받은 정보를 바탕으로 이동한다. 이는 범용적으로 사용되고 있는 교통수요 예측방법인 4단계 교통수요추정 모형과 비교해보면 '수단선택'과 '통행배정'을 대체하는 것이다. 이 연구는 서울시 교통정보시스템(TOPIS) '대중교통 경로탐색'의 최적 추천경로 정보와 교통카드 1일 1,500만 건의 출·도착 정보(X, Y)를 활용하여 새로운 대중교통서비스 제공에 따른 이용자 행태변화를 살펴보았다. 현실을 잘 모사할 수 있도록 정산 과정(운행속도, 환승 시간 페널티, 정류장 페널티)을 수행하여 도시철도 1~9호선 노선별로 10% 이내로 수렴하도록 하였다. 이를 바탕으로 가상의 서울시 도시철도 급행화 노선(4·7호선)을 TOPIS 전자지도에 구현 후 이용수요 변화와 통행시간 변화를 살펴보았다. 연구 결과, 급행열차의 이용수요는 30만 명, 1명당 6분의 통행시간이 절감되는 것으로 분석되었다. 이 연구는 실제 통행을 정확히 모사할 수 있는 모형을 구축하고 개별통행 자료를 활용하여, 교통여건 변화에 따른 이용자행태변화를 더 현실적으로 예측할 것으로 기대된다.

주제어 : 대중교통 경로탐색, TOPIS API, 교통카드

ABSTRACT : Public Transit Way-Finding(PTWF) provides the best modes and routes of transport from the origin to the destination, and users move based on the information provided. This can be interpreted as replacing the 'Modal Split' and 'Trip Assignment' compared to the currently used Four-Steps Travel Model. This study examined the changes in user behavior according to the supply of new public transportation services by using the optimal modes and routes information of 'Public Transit Way-Finding' at TOPIS(Transport Operation & Information Service) and Smart card data(15 million per day) that have origin-destination information(X,Y). The calibration process (operating speed, transit time penalty, bus penalty) was performed to accurately simulate reality to converge within 10% for each line of Subway Lines 1~9. Based on this process, we examined changes in demands and travel time after implementing the virtual Seoul Metropolitan Rapid Transit Line (Line 4 and 7) on the TOPIS API. As a result, it analyzed that the demand for rapid Transit Line was reduced by about 300,000 users and 6 minutes per persons which is a travel time saving effect. This study is expected to build the model that can accurately simulate actual traffic conditions and utilize individual traffic data to more realistically predict changes in user behavior according to changes in traffic conditions.

KeyWords : Public Transit Way-Finding(PTWF), TOPIS API, Smart card

* 서울시립대학교 교통공학과 박사과정 (Dept. of Transportation Engineering University of Seoul)
교신저자(E-Mail : dakos514@si.re.kr, 02-2149-1391)

** 서울연구원 교통시스템 연구실 연구위원 (Research Fellow, The Seoul Institute)

*** 서울연구원 교통시스템 연구실 연구원 (Researcher, The Seoul Institute)

**** 서울시립대학교 교통공학과 교수 (Professor, Dept. of Transportation Engineering University of Seoul)

I. 서론

도로, 철도 등 교통기반시설(SOC)를 계획할 때 장래 30년(또는 40년) 동안 발생하는 교통수요를 정확히 파악하는 것은 매우 어려운 일이다. 특히, 철도사업의 경우 대규모 예산이 투입되기 때문에 과다 추정된 교통수요는 사업실패의 직접적인 원인이 되고 이는 추가적인 비용을 유발하여 중앙정부나 지자체의 재정악화로 이어진다. 전통적인 교통수요예측 방법론은 관련 계획의 불확실성, 교통 DB의 신뢰성 부족, 모델의 정밀도 부족 등으로 인하여 예측된 교통수요에 대한 적정성 논란이 계속되고(김훈·김연규, 2013) 있다. 또한, 교통수요 예측 시 접근성 개선 등에 의해 유발되는 교통수요를 고려하지 못하는 한계점(전용현 외, 2017)도 지적받고 있다. 이와 같은 한계점을 인식하고 교통수요예측의 정확도를 향상시키기 위한 다양한 시도가 이루어지고 있다. 대부분의 노력은 국가교통 DB의 속도 및 교통량 관련변수를 조정하는 것에 국한되어 근본적인 해결방안이 요구되고(장수은 외, 2013) 있다.

승용차와 달리 대중교통 통행은 교통카드에 관련정보가 기록되고 있다. 서울시의 경우, 대중교통 이용자 중 약 99% 이상이 교통카드를 사용하여 일 900만 건, 수도권까지 범위를 확대하면 일 1,500만 건이 수집되고 있다. 교통카드 자료는 버스이용자 특성 및 수요예측 방법 개발(Feng Sun et al. 2018), 대중교통의 잠재적인 서비스 개선량 산출(양현재 외, 2018) 등 대중교통분야에 활용되고 있다. 특히 철도는 열차스케줄링을 접목하여 최적 경로 추정(Wei Zhu et al., 2017), 시공간적 이용자 특성을 고려한 최적경로 파악(Wei Li et al.,

2019), 머신러닝을 활용한 지하철 탑승자 예측(Chuan Ding et al., 2016) 연구에 사용되었다. 앞선 대부분의 연구가 완료된 통행사슬에 대하여 시공간적 특성을 분석하거나 변수간 관계를 규명하는데 중점을 두고 있다. 이러한 제한된 활용을 넘어 대중교통 서비스 변화에 따른 이용자의 반응을 살펴볼 수 있다면, 대중교통시설계획 또는 운영 개선에 매우 유용할 것이다. 다만 이를 위해서는 서비스 변화에 따른 이용자 행태변화를 신뢰성 있게 모사할 수 있는 방법론이 동반되어야 한다.

최근 많은 대중교통 이용자가 네이버, 카카오 등 인터넷포털의 '길 찾기' 서비스를 이용하고 있다. 이 과정에서 통행발생과 통행분포, 즉 출발지와 도착지는 이용자에 따라 사전에 결정되며, '길 찾기' 서비스는 수단선택과 통행배정을 대체하게 된다. 따라서 대중교통 이용자의 출발지와 도착지를 모두 기록하고 있는 교통카드자료와 '길 찾기' 서비스를 함께 활용할 수 있다면, 새로운 대중교통 서비스에 대한 이용자의 행태변화와 교통체계에 미치는 효과를 정확히 산정할 수 있을 것이다.

이 연구에서는 새로운 대중교통 서비스로 도시철도 급행화를 선택하였다. 이미 알려진 바와 같이, 도시철도 9호선의 급행열차는 높은 효율으로 이용자가 집중되고 있어, 기존선 개선대안으로 가장 선호되는 서비스이다. 분석에서는 서울시 교통정보시스템(TOPIS)에서 제공하는 '대중교통 경로 탐색' 알고리즘을 활용하였으며, 그 대상은 수도권 전체 대중교통 이용자로 하였다. 즉 서울 도시철도에 새로운 급행서비스가 제공되면 이용자의 선택이 어떻게 바뀌고 얼마나 효과가 발생하는지 알아 보았다.

〈그림 1〉 연구의 흐름

연구의 개요	<ul style="list-style-type: none"> 연구의 배경 및 목적 선행연구 검토
연구의 방법론	<ul style="list-style-type: none"> 교통카드 출·도착지 변환 대중교통 경로탐색 알고리즘 정산 알고리즘 정산 결과
정책적 활용방안	<ul style="list-style-type: none"> DB에 가상의 급행노선 구축 도시철도 급행열차 도입 효과
결론	<ul style="list-style-type: none"> 결론

II. 연구의 방법론

이 연구는 전통적인 교통수요예측에 활용되는 국가교통 DB의 O/D 및 Network를 대신하여, 교통카드자료와 TOPIS에서 제공되는 '대중교통 경로탐색' 시스템을 사용하였다. 즉 교통수요 예측과정에서 사용되는 존 단위 O/D 군집통행과 4단계 모형이 아닌 개별통행자의 행태를 기반으로 수단 선택과 통행배정이 이루어진다는 점에서 기존 방법론과 차별성을 가진다. 분석과정은 다음과 같다.

① 현실을 대표하기 위하여 정류장·도시철도역 기준의 교통카드 출·도착지를 사무실·집 등으로 변환하였다. ② TOPIS에서 제공하고 있는 경로탐색 알고리즘의 내부변수를 조정하여 실제통행과 알고리즘 결과의 오차를 보정하였다. ③ TOPIS Network 전자지도에 가상의 새로운 노선(급행노선)을 구축하고, 실제통행(교통카드) 대비 어떻게 변화하는지를 미시적으로 살펴보았다.

〈표 1〉 수요추정을 위한 방법론 및 활용자료 비교

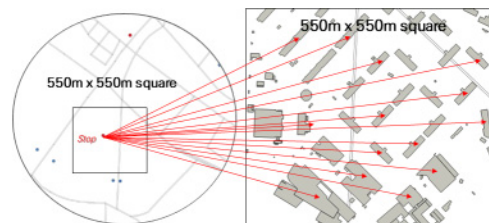
기존(국가교통 DB)		이 연구
여객 기종점 통행량 (집계구 단위)	→	Smart card data (정류장/역 단위)
Network	→	TOPIS Network
Traffic Assignment	→	TOPIS Algorithm

1. 교통카드의 출·도착지 변환

교통카드에 기록된 출·도착지는 정류장·도시철도역 기준이다. 실제통행이 이루어지는 사무실·집 등과는 차이가 있어, 대중교통수단으로의 접근시간은 알 수 없다. 그러나 대중교통 이용자는 정류장·도시철도역까지의 접근시간이 수단선택 시 큰 고려요소이다.

출·도착지의 주변에 이용 가능한 새로운 서비스가 제공된다면, 이용자는 효용에 따라 도보·마을버스 등 접근수단을 선택하고 서비스를 이용할 것이다. 이러한 행태변화가 이루어지기 위해서는 교통카드의 출·도착지를 현실과 유사토록 보정하는 과정이 필요하다. 이 연구에서는 지하철역과 버스정류장에서 도보 10분 내 접근 가능한 거리인 550m를 기준으로, 주변 건축물의 연면적과 용도를 반영하여 새로운 출·도착지를 구축하였다. 즉 지점(point)기반 출·도착지를 550m×550m 공간(area)에 분포하는 출·도착지로 변환하였다. 변환된 출·도착지는 '대중교통 경로탐색'에 적용하기 위하여 GIS의 좌표(x, y)로 표현하였다.

〈그림 2〉 교통카드 출·도착지 변환 개념도



2. 대중교통 경로탐색 알고리즘 정산

대중교통 경로탐색 알고리즘 보정은 ① 실제 통행인 교통카드와 변환된 출·도착지를 TOPIS의 대중교통경로 탐색한 결과와 비교하여 알고리즘의 적정성을 검토하는 과정과 ② 그 결과를 바탕으로 실제통행을 더 정확히 모사하기 위해 내부변수를 조정하는 정산과정으로 이루어졌다.

1) TOPIS 경로탐색 알고리즘의 적정성 검토

변환된 출·도착 자료를 TOPIS 경로탐색에 입력하여 얻은 결과와 교통카드정보를 비교하였다. 이는 현재 TOPIS의 대중교통 경로탐색 알고리즘이 얼마나 실제 이용자의 수단선택을 모사할 수 있는지를 사전에 알아보기 위함이다. 모사능력은 ① 교통카드에 기록된 수단과 TOPIS 경로탐색의 추천수단 비교, ② TOPIS 경로탐색 결과와 실제통행 시간의 차이를 통해 살펴보았다.

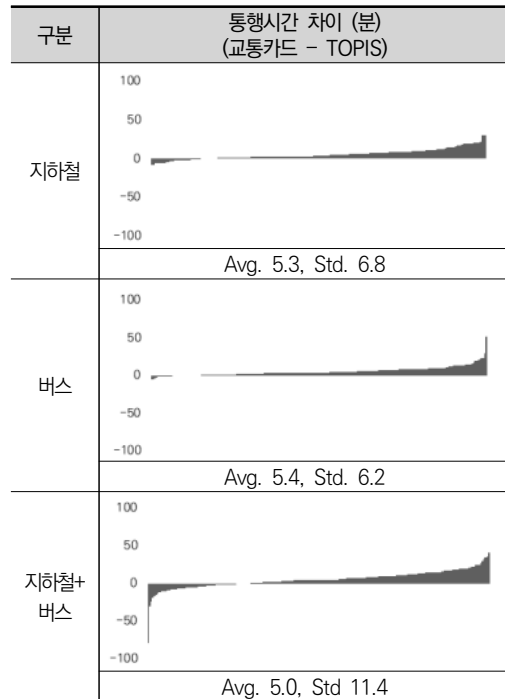
먼저 수단선택은 교통카드에서 버스, 지하철, 버스+지하철, 각각 무작위로 추출한 400 통행을 대상으로 하였다. 실제 버스통행이 TOPIS 경로탐색에서 최적수단(최단시간기준)으로 추천되면 ‘일치’하는 것으로 판단하였다. 마찬가지로 지하철과 버스+지하철도 동일한 수단이 추천되는지를 살펴 보았다. <표 2>에서 알 수 있듯이 전체통행의 일치율은 81%로, 추천된 5통행 중 4통행이 실제통행과 일치하는 것으로 분석되었다. 수단별로 살펴보면 지하철은 85%, 버스는 89%로 일치율이 높았지만, 환승이 포함된 복합수단(버스+지하철)은 69%로 모사능력이 떨어졌다.

<표 2> 교통카드와 TOPIS 대중교통 경로탐색 추천수단 비교

교통카드 TOPIS		지하철	버스	지하철+버스	전체
샘플 통행수		400	400	400	1,200
동일수단 추천		340	355	277	972
타수 단 추천	지하철	-	13	79	92
	버스	14	-	44	58
	지하철+버스	46	32	-	78
일치율		85%	89%	69%	81%

다음으로 TOPIS 경로탐색 결과와 실제통행시간의 차이를 검토하였다. 이는 알고리즘의 기본변수 설정에 따라 동일한 수단이 선택되더라도, TOPIS 결과가 현실과는 다를 수 있기 때문이다. <표 3>은 1,450건의 교통카드정보와 TOPIS 경로탐색 결과의 차이를 보여준다. 수단별 분석결과, TOPIS의 통행시간은 교통카드보다 평균 5~6분 더 적게 소요하는 것으로 나타나, 이와 관련된 내부변수를 보정하였다.

<표 3> 교통카드와 TOPIS 통행시간 비교



2) 알고리즘 내부변수 조정

TOPIS의 대중교통 경로탐색 알고리즘의 내부 변수는 운행속도, 환승시간페널티, 정류장페널티로 구분할 수 있다. 각 부분별 내부변수는 앞 절에서 파악한 적합성 검토결과를 바탕으로 보정하였다.

변수보정은 두 수단 모두 통행시간을 5~6분 증가시켜 실제수단의 특성을 보다 정확히 모사할 수 있도록 하였다. 좀 더 자세히 소개하면 통행시간차이(5~6분)는 버스정류장-지하철역에서 승하차페널티 3분을 적용하여 통행시간이 전체적으로 증가하도록 보정하였다. 지하철의 운행속도는 서울 도시철도 1~9호선의 표정속도를 참고하여 30km/h에서 32km/h로 상향하고, 역별 페널티와 노선페널티를 조정해 실제통행량과 맞추었다. 버스의 불확실한 대기시간 및 긴 배차간격을 고려하여, 버스가 후행수단(지하철+버스, 버스+버스)이면 4분에서 7분으로 페널티를 3분 상향하였고, 선행수단(버스+지하철)면 2분에서 3분으로 소폭 조정하였다.¹⁾

3) 알고리즘 정산결과

정산된 알고리즘이 교통카드를 얼마나 정확히 모사할 수 있는지를 살펴보기 위해, 정산 전·후 도시철도 1~9호선의 통행량과 TOPIS 경로탐색결과를 비교하였다. 정산 전 TOPIS 경로탐색에서 추천된 도시철도 통행량은 교통카드와 24%의 차이를 보였다. 이 중 7호선을 제외하고 1호선과 8호선은 36%, 46%로 그 격차가 상당하였고, 특히 수송수요가 가장 큰 2, 3, 4호선도 24~28%의 차이를 보여 실제통행과 상당한 격차를 보였다. 이에 <표 5>에서 제시한 바와 같이 TOPIS 내부변수인 수단별 속도, 수단간 환승, 역별 환승을 보정하여 전체 통행량의 차이를 2%로 낮추었다. 14%로 다소 높은 차이를 보인 6호선을 제외하고, 모든 노선에서 10% 이내로 수렴하는 결과를 얻었다. 결과를 통해 TOPIS 경로탐색 알고리즘이 새로운 대중교통 서비스를 분석하기에 충분한 수준으로 정산되었다고 판단된다.

〈표 4〉 TOPIS 알고리즘 변수 정산

구분	속성	정산 전	정산 후
속도	Car	20km/h	20km/h
	Walking	3km/h	3km/h
	Bus	18km/h	18km/h
	Subway	30km/h	32km/h
수단간 환승	Bus ↔ bus	4분	7분
	Bus → subway	2분	3분
	Subway → bus	4분	7분
	Subway ↔ subway	2분	2분
역별 환승	Basic	0	-450~1,000
	Transfer	0	0
	Same mode	0	-1,000~0
	Other mode	0	0

III. 정책적 활용방안

이용행태를 정확히 모사할 수 있는 대중교통 경로탐색 알고리즘은 다양한 대중교통관련 시나리오 평가에 활용될 수 있다. 이 연구에서는 높은 호응을 받고 있는 9호선 급행서비스를 참고하여 도시철도 4호선과 7호선에서 급행열차를 운행하는 것을 시나리오로 설정하였다. 4호선과 7호선은 수송수요가 크고 노선연장이 길어, 급행서비스 도입 시 큰 효과가 예상되기 때문이다. 운영 중인 도시철도

1) 수도권 대중교통 환승시간조사(국토부)에 따르면, 버스가 후행수단인 경우 지하철보다 3~4분 환승시간이 더 소요되는 것으로 나타났다.

〈표 5〉 TOPIS 알고리즘 정산 전·후 비교

호선	교통 카드 (a)	정산 전		정산 후	
		TOPIS (b)	차이 $ (b-a)/a $	TOPIS (c)	차이 $ (c-a)/a $
1	1,982,568	1,272,020	35.8%	2,050,761	3.4%
2	2,361,926	1,726,056	26.9%	2,517,706	6.6%
3	1,113,308	847,575	23.9%	1,004,852	9.7%
4	1,410,017	1,012,658	28.2%	1,360,110	3.5%
5	990,717	825,911	16.6%	900,512	9.1%
6	620,843	512,952	17.4%	532,813	14.2%
7	1,156,056	1,148,966	0.6%	1,090,120	5.7%
8	303,581	164,286	45.9%	327,281	7.8%
9	497,767	449,438	9.7%	478,537	3.9%
전체	10,436,783	7,959,863	23.7%	10,262,692	1.7%

에 급행서비스를 도입하기 위해서는 skip-stop과 같이 기존 운행체계를 파격적으로 변화시키거나 막대한 시간과 비용을 투자하여 대피선을 건설해야 한다. 두 경우 모두 상당한 위험과 예산이 필요하여, 서비스 도입효과를 면밀히 검증하는 과정이 반드시 필요하다.

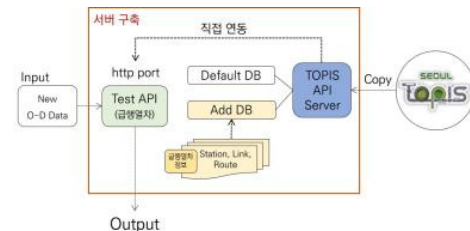
1. DB에 가상의 급행노선 구축

TOPIS 대중교통 DB는 현재 서울시 교통정보 센터 홈페이지에서 서비스되고 있는 전자지도로, 일반시민이 대중교통과 승용차 경로탐색 시 접근할 수 있다. 이 연구에서는 기존 대중교통 DB를 온라인 상태로 유지한 채, 서울시와 서버관리기관의 협조하에 대중교통 DB를 백업하고 가상노선을 신규로 입력하였다. 노선구축을 위한 정보 목록은 아래의 〈표 6〉과 같이 급행 노선(link, route, route link)과 급행역(route station, station)에 대한 5개 정보로 이루어져 있다.

〈표 6〉 급행노선 구축을 위한 지하철 속성정보 목록

구분	속성 정보
Link	SUB_LINK_ID, ST_STATION_ID, ED_STATION_ID, MAP_DIST, TRAVEL_TM, SUB_LINK_TYPE_CD, TRNS_LINE_NM
Route	ROUTE_ID, ROUTE_NM, LINE_NM, ROUTE_DIR, ST_STATION_ID, ED_STATION_ID, STATION_CNT, ROUTE_DIST, UPDATE_DATE, PAIR_ROUTE_ID, BMS_ROUTE_ID, BMS_TRAIN_LINE, STN_SPEED, INTERVAL
Route link	ROUTE_ID, SUB_LINK_ID, LINK_SEQ
Route station	ROUTE_ID, STATION_ID, STATION_SEQ, TRANSFER_YN
Station	STATION_ID, STATION_NM, TRANSFER_CNT, X, Y, GRS80TM_X, GRS80TM_Y, PENALTY1, PENALTY2, PENALTY3, PENALTY4

〈그림 3〉 TOPIS 가상 서버 구축



급행열차 운영대안을 분석하기 위하여 TOPIS 대중교통 DB에 4호선과 7호선의 주요역만 정차하는 급행노선을 새롭게 구축하였다. 급행역 선정에는 타 노선과의 환승, 역별 승하차수요, 역간거리를 고려하였다. 기존의 환승역은 모두 급행역으로 선정하였고, 빈번한 정차를 방지하기 위해 최소 2.7km이상의 역간거리를 적용하여 급행역과 일반역의 비율을 9호선과 유사한 수준인 40%로 하였다. 역간거리를 고려한 급행열차의 표정속도는 4호선은 49km/h, 7호선은 48km/h를 적용하였다.

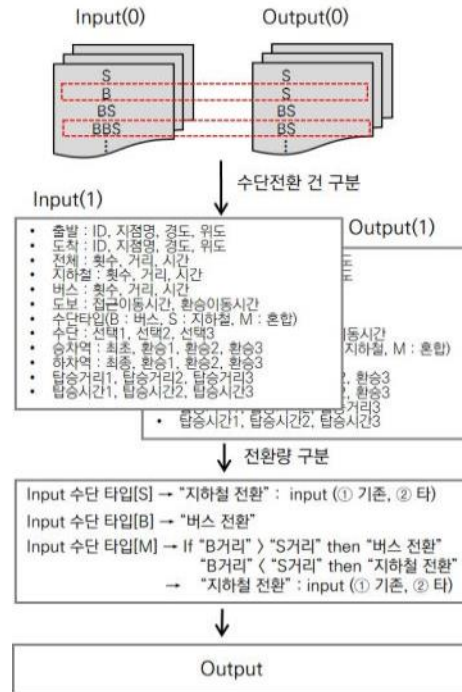
〈표 7〉 급행노선 시나리오 구축을 위한 급행역 선정

구분	전체		급행 열차	
	전체 역	역 간 거리	급행 역	역 간 거리
4호선	48개	1.5km	20개 (42%)	3.7km
7호선	51개	1.1km	19개 (37%)	2.7km
9호선	30개	1.1km	12개 (40%)	2.7km

2. 도시철도 급행열차 도입효과

도시철도 4호선과 7호선에서 급행열차를 운행할 때, 예상되는 대중교통 이용자의 행태변화를 살펴해보았다. 버스와 도시철도를 이용하는 서울시 관련통행(서울시 내부통행과 광역통행) 1,500만 건의 출·도착지를 정산된 알고리즘에 입력하여 배정 결과를 집계하였다. 급행화의 효과로 1) 4호선과 7호선의 이용수요 변화, 2) 이용자의 통행시간 변화를 검토하였다.

〈그림 4〉 결과 도출을 위한 분석 과정



1) 이용수요 변화

급행열차 운행으로 4호선의 총이용수요는 115%(20만 명 증가), 7호선은 142%(45만 명 증가)로 증가하였다. 4호선 급행열차는 기존 4호선 이용자가 열차선택을 변경하는 비율이 높았고, 7호선은 타 도시철도에서 경로를 바꾸거나 버스에서 수단을 전환하는 통행이 상대적으로 많았다. 급행화의 효과를 더 정확히 산정하기 위해서는 승용차로부터의 전환량도 포함되어야 한다. 제시한 방법론을 통해 승용차 전환량을 직접 추정하기는 어렵지만 최근의 연구결과(도시철도 건설 시 수단 전환량의 70~80%는 버스, 20~30%는 승용차)²⁾를 바탕으로

2) 제2차 서울특별시 10개년 도시철도망 구축계획(안)(서울시 내부자료)에 따르면 도시철도 건설 시 수단 전환량의 70~80%는 버스, 20~30%는 승용차로 나타났다.

〈표 8〉 급행서비스 도입에 따른 노선별 수요변화 및 전환량

구분	Do-Nothing 이용수요	DO 이용수요*			기존노선 이용자	타수단		환승량
		전체	일반열차	급행열차		지하철	버스	
4호선	1,360,110	1,560,006	840,821	719,185	⇒ 236,664	⇒ 39,433	⇒ 60,534	⇒ 382,554
7호선	1,090,120	1,543,542	676,114		⇒ 228,279	⇒ 112,094	⇒ 83,673	⇒ 443,382

* 이용수요는 환승량과 직승량의 합계를 의미

대략적인 추정이 가능하다. 4호선에서는 승용차 전환량 2만 명, 7호선에서는 승용차 전환량 3만 명이 발생할 것으로 기대된다. 즉 타 수단으로부터 총전환량이 8~11만 명으로 서울에 경전철 2개를 신설하는 효과와 유사한 수준으로 전망된다.

2) 통행시간 변화

급행서비스 도입 전후 기존 대중교통 이용자의 통행시간 변화를 살펴보았다. 기존 4호선 또는 7호선을 이용했던 통행, 타 도시철도에서 전환된 통행, 그리고 버스를 이용했던 통행으로 구분하였으며, 버스+지하철 복합수단을 이용했던 경우 통행 거리가 긴 수단을 주수단하여 구분하였다.

4호선 급행열차 이용자는 평균 6.5분, 7호선은 평균 5.8분의 통행시간이 감소하였다. 대중교통 이용자의 통행시간이 평균 25분인 것을 고려하면, 통행시간이 이전보다 1/4 감소하는 것이다. 이를 경제적 가치로 환산 시 급행열차 운행으로 발생하는 편익이 연간 800~1,000억 원에 달하는 것으로 추정되었다. 더욱이 승용차 이용을 포기하고 급행열차를 이용함으로써 예상되는 도로·사고 편익 및 환경편익을 고려한다면 급행화의 효과는 더 커질 것으로 예상된다.

통행시간변화를 좀 더 세부적으로 살펴보면 4호선은 기존 이용자(7.8분)의 절감효과가 크고, 타 지하철 이용자(1.2분)는 크지 않았다. 반면, 7호선은 두 경우 모두 유사한 수준이었지만, 버스이용자의

통행시간이 10분이나 감소하는 것으로 분석되었다.

〈표 9〉 급행서비스 도입 시 통행시간 변화

구분	기존수단	이용자 수 (명)	인당 효과 (분)
4 호선 급행	기존노선	236,664	-7.8
	타 노선	39,433	-1.2
	지하철	276,097	-6.8
	버스	60,534	-5.2
7 호선 급행	기존노선	228,279	-4.9
	타 노선	112,094	-4.5
	지하철	340,373	-4.8
	버스	83,673	-9.7

IV. 결론

이 연구에서는 최소 통행단위인 비집계형자료(교통카드)의 출·도착지 정보와 TOPIS 대중교통 경로탐색 알고리즘을 활용하여, 신규서비스(도시철도 급행화) 도입 시 예상되는 이용수요와 통행시간 변화를 살펴보았다. 다만, 공간적 범위가 서울을 포함한 수도권으로 광범위하고 도시철도를 대상으로 한정하였기에, 버스수단에 대한 정산은 수행되지 못 했다. 또한 현재의 대중교통 이용패턴을 바탕으로 하고 있어 개발계획 변화 등으로 인한 장래 변화를 추정하는데 한계가 있다. 그러나 수도권의 교통체계는 어느 정도 안정화된 상태에 진입하였기

때문에, 현재통행을 정확히 모사할 수 있는 모형을 구축하고 변화를 분석하는 것만으로도 장래 변화를 이해하고 그 크기를 가늠할 수 있을 것이다.

이 연구의 기여요소는 ① 새로운 방법론 시도, ② 개별통행자료 활용, ③ 폭넓은 적용분야, 세 가지 측면에서 이루어졌다. 첫째, 기존 방법론과 달리 합리적으로 평가받고 범용적으로 사용되는 ‘대중교통 길 찾기 알고리즘’을 활용하였다. 전문적 지식과 판단, 다양한 가정에 바탕을 둔 전통적 모형을 대신하여 실제통행을 분석하여 교통수단을 선택하고 통행을 배정하였다. 둘째, 실제 개인의 통행기록 자료를 활용하여 교통여건에 따른 변화를 살펴보았다. 입력 값뿐 아니라 결과 값도 통행 단위로 생성되어, 수단선택, 지불비용, 통행거리, 지역분포 등 다양한 관점에서 분석이 가능하다. 마지막으로 도시철도 및 버스와 관련된 광범위한 분야에 활용될 수 있다. 도시철도 신설과 같은 대규모 시설투자뿐 아니라 버스노선 조정, 급행 정차역 선정, 운영계획의 영향 등 미시적인 분석에서도 적용될 수 있다.

다만, 좀 더 정확한 실제통행을 모사하기 위해서는 현재 수정이 불가능한 경로탐색 알고리즘을 수정·변경이 가능하도록 오픈소스 형태로 바꿀 필요가 있다. 또한 서울 대중교통의 한축을 담당하는 버스의 경우 6,000개 이상의 정류장 이용수요와 특성을 정산하는 데 한계가 있어, 이에 대한 추가적인 연구방법론 개발이 필요하다.

참고문헌

- 김강수, 2011, “도시철도 교통량 수요 과다 추정 문제와 개선방안”, 「KDI 정책포럼」 제235호.
- 김승준, 2018, “서울 철도 급행화, 시내외 ‘원원전략’ 잠재 수요 크고 경전철 2~3개 신설효과”, 서울연구원.
- 김시곤, 2011, “수요검증과 민간투자사업의 성공을 위한 세 가지 방안”, 한국교통연구원.
- 김훈 외 1인, 2013, “도시철도 사업 적정성 검증 및 사후관리 방안에 관한 연구”, 한국교통연구원.
- 김희경, 2016, “국가 교통수요 예측의 기반을 마련하다: 다양한 교통수요분석을 통해 교통수요 예측결과의 신뢰성 향상시켜”, 한국교통연구원.
- 박민철 외 2인, 2010, “기종점 통행수요 추정의 단계별 검증방안 개선 연구”, 「교통연구」, 17(1).
- 양현재 외 2인, 2018, “시간거리 접근성과 교통카드 기반 통행량을 이용한 OD별 잠재적 대중교통 서비스 개선허 분석”, 「한국지리정보학회지」, 21(2).
- 윤서연 외 4인, 2015, “지역 간 교통수요 예측의 신뢰성 제고를 위한 빅데이터 활용방안 연구”, 국토연구원.
- 이민혁 외 2인, 2017, “개선된 DBSCAN 알고리즘을 이용한 대중교통 정류장 군집화 기법”, 「한국지형공간정보학회지」, 25(4).
- 이찬휘 외 1인, 2014, “도시철도역별 이용수요의 영향요인에 관한 연구”, 「대한교통학회지」, 21(2).
- 장수은 외 2인, 2013, “교통수요분석 기초자료와 통행수요 예측 오차의 상관관계 및 원인 분석”, 「환경논총」, 52(9).
- 전용현 외 2인, 2017, “접근성 변수를 반영한 통행발생 및 통행분포모형 개발”, 「한국산학기술학회논문지」, 18(6).
- Bent Flyvbjerg, Mette K. Skamris Holm, and Søren L. Buhl, 2006, “Inaccuracy in Traffic Forecasts”, *A Transnational Transdisciplinary Journal*, 26(1).
- Chuan Ding, Donggen Wang, Xiaolei Ma, Haiying Li,

- 2016, "A Smart Path Recommendation Method for Metro Systems With Passenger Preferences", MDPI.
- Feng Sun, Wenheng Su, Weixuan Liu, Hui Cao, Dong Guo, and Ye Zhu, 2018, "Analysis of Bus Trip Characteristics and Demand Forecasting Based on NARX Neural Network Model", *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 18.
- Hasik Lee, Ho-Chul Park, Seung-Young Kho, and Dong-Kyu Kim, 2018, "ANALYSIS OF TRANSIT COMPETITIVENESS COMPARED TO AUTOS USING SMART CARD DATA IN SEOUL", Seoul National University.
- Hyunjun Hwang, Shin-Hyung Cho, Seung-Young Kho, Dong-Kyu Kim, and Corresponding Author, 2018, "DEVELOPMENT OF A COVERAGE AREA INDEX FOR A TRANSIT CENTER USING SMART CARD DATA", Seoul National University.
- Mei-Quan Xie, Xia-Miao Li, Wen-Liang Zhou, and Yan-Bing Fu, 2014, "Forecasting the Short-Term Passenger Flow on High-Speed Railway with Neural Networks", *Computational Intelligence and Neuroscience*.
- Sungjin Cho, Won Do Lee, Jeong-Hwan Hwang, Bruno Kochan, Luk Knapen, Tom Bellemans, Keechoo Choi, and Chang-Hyun Joh, 2015, "Validation of Activity-Based Travel Demand Model using Smart-Card Data in Seoul", South Korea, *Procedia Computer Science*, 52.
- Wei Li, Qin Luo, and Qing Cai, 2020, "A Smart Path Recommendation Method for Metro Systems With Passenger Preferences", *IEEE*.
- Wei Zhu, Wei Wang, and Zhaodong Huang, 2017, "Estimating Train Choices of Rail Transit Passengers with Real Timetable and Automatic Fare Collection Data", *Journal of Advanced Transportation*, 12.
- http://www.molit.go.kr/USR/NEWS/m_71/dtl.jsp?id=155704805 (국토교통부 종합교통정책과)
- <http://topis.seoul.go.kr/>, (서울특별시 교통정보센터)

원 고 접 수 일 : 2020년 4월 22일

1 차 심 사 완 료 일 : 2020년 5월 19일

최 종 원 고 채 택 일 : 2020년 5월 28일