

COVID-19 확산에 따른 사회적 거리두기 동안 나타나는 서울시 지하철 통행 변화와 역 배후지역의 지리적 특성

이금숙* · 박소현** · 함유희***

Changes in Subway Traffic in Seoul during Social Distancing due to the Spread of COVID-19 and Geographic Characteristics of the Area Behind the Station

Keumsook Lee* · Sohyun Park** · Yuhee Ham***

요약: 본 연구는 서울지역 COVID-19 확진자의 증가와 지하철 통행의 감소 변화에서 나타나는 특징을 파악하고, 이들 간의 상관관계에 근거하여 추출한 주성분을 바탕으로 지하철역을 군집 분류하고 군집별 특성을 분석하였다. 특히 COVID-19 확산 이전인 2019년부터 사회적 거리두기가 지속된 2020년까지 서울 지하철역별 시간대별, 주별, 월별 지하철 통행의 변화 패턴을 살펴보고, 통행 증가형과 감소형 역으로 구분한 후 감소형 중 상위 10분위에 해당하는 역, 하위 10분위에 해당하는 역의 인구 및 토지이용 특성을 파악하였다. 분석 결과, COVID-19 확산과 지하철 통행은 서로 부(-)의 상관관계를 나타냈고, 지하철 통행과 역 배후지 토지이용 특성에 따라 서울 지하철체계를 구성하는 역들은 6개 유형으로 군집화되었다. 통행 감소 상위 10분위에 속하는 역은 낮 시간대 선택 통행의 분포가 높고, 역 배후지는 상업용 및 문화, 교육과 사회활동 관련 토지이용이 상대적으로 높아 향후 전염병 종료에 따른 지역 회복성도 매우 탄력적으로 반응할 것으로 전망된다.

주요어: COVID-19, 사회적 거리두기, 지하철 통행 변화, 군집분석, 지리적 특성

Abstract: This study identifies the characteristics of changes in the subway passengers and the number of COVID-19 confirmed cases in Seoul. We classify subway stations by applying the principal components extracted based on the correlation between them, and analyzed the passenger traffics and geographical characteristics of each cluster. We extract the “top decile” and “lowest decile” stations among the subway stations that the number of subway passengers have decreased in 2020 compared to 2019, and then examine the population and land use characteristics of station areas both station groups. As the result of cluster analysis according to principal component scores, we obtain 6 cluster types. Subway stations belong to the top deciles which have shown the larger decrease in the passenger traffics tend to more sensitive to

* 성신여자대학교 지리학과 교수 (Professor, Department of Geography, Sungshin Women's University, klee@sungshin.ac.kr)

** 성신여자대학교 인문과학연구소 학술연구교수 (Research Professor, Humanities Institute, Sungshin Women's University, shpark8009@gmail.com)

*** 성신여자대학교 지리학과 대학원생 (Graduate Student, Department of Geography, Sungshin Women's University, huh204@naver.com)

COVID-19 shocks. Stations belonging to the top tenth percentile of reduced traffic have a high distribution of daytime traffic, and the hinterland of the station has relatively high land use related to commercial and cultural, religious, and social activities. Therefore, it is expected that the regional resilience around subway stations will also show differences in degree by type.

Key Words : COVID-19, social distancing, subway passenger traffic changes, cluster analysis, geographic characteristics of station areas

1. 서론

인구 규모 2천 5백만 명이 넘는 서울 대도시권에서는 매일 방대한 규모의 통행 흐름이 생성되고 있다. 지하철은 서울에서 발생하는 총통행량의 40% 이상을 분담하고 있는 가장 주요한 교통수단¹⁾으로 서울시민의 삶과 밀접하게 연결되어 있다. 다양한 일상을 사는 많은 사람이 그들의 일상을 구성하는 활동이 위치한 지점으로 공간 이동하며 만들어내는 도시통행의 흐름은 도시의 다양한 요소들이 상호작용하면서 이루어내는 역동적이고 복잡한 현상이다(Ewing and Cervero, 2001; Show and Xin, 2003). 서울 지하철 통행 흐름은 일차적으로 서울 시민의 일상적 삶의 구성내용과 그와 관련된 장소인 거주지 및 직장, 교육기관, 상업 시설, 문화 및 위락 시설 등 도시 토지이용을 구성하는 시설들의 공간적 분포와 이들 간 이동을 가능케 하는 교통망 등의 건조환경(built environment)의 영향을 받는다(이금숙 · 김호성, 2018). 또한, 도시민의 통행수단 선택과 이동행태에 영향을 미치는 교통정책 및 제도와 함께 요일 및 계절, 날씨, 집회 및 사건·사고, 그리고 예기치 않은 감염병 창궐 등 통행 발생 시점의 생활환경(living environment)에 따라 변동성을 보인다(성현곤, 2016; 이금숙 외, 2017; Kim *et al.*, 2017).

2019년 말 발생한 신종감염병 COVID-19는 약물적인 치료제가 아직 개발되지 않은 상태에서 빠르게 대확산되는 양상을 보였다. COVID-19는 이제까지 창궐했던 다른 감염병과 비교할 수 없을 정도로 세계 경제에 미치

는 영향이 막대하며 사람들의 일상생활에도 많은 영향력을 미치고 있다(Baum and Hai., 2020; Gursory and Chi, 2020). 치료제와 백신 개발이 미진한 지난 1년여의 기간 동안 감염확산을 통제하기 위해 사람들의 접촉과 이동을 제한하는 사회적 거리두기 정책을 도입하고 있다. 사회적 거리두기의 일환으로 국가와 도시마다 다소 차이는 있지만, 여행 제한, 재택근무, 학교 및 직장 폐쇄, 격리, 통금, 특정 업종 운영 제한과 같은 조치가 취해지면서 사람들의 이동이 크게 줄어들었다(Gössling *et al.*, 2020). 이러한 사회적 거리두기의 일환으로 업무, 강의, 거래 등 일상생활의 상당 부분이 온라인을 통하여 비대면으로 이루어지게 되면서 사람들의 삶의 양식에 많은 변화가 나타나고 있다. 특히, 전자상거래의 증가와 같은 소비행태 변화와 재택근무와 온라인-비대면 수업 등으로 사람들의 통행행태에 많은 변화가 나타나고 있다. 감염에 대한 공포는 일상생활의 위축을 가져온다(성현곤 · 광명신, 2016) 특히 접촉에 의한 호흡기 감염에 대한 공포는 대중교통의 이용을 꺼리게 하여 통행량을 감소시킨다. 전반적으로 통행량이 줄어들게 되었으며, 불특정 다수와의 대면접촉이 일어나는 대중교통 이용은 보다 큰 폭으로 감소한 것으로 여러 나라에서 확인되고 있다(Zhu *et al.*, 2021).

우리나라는 2020년 초부터 COVID-19 확산 상황에 따라 사람들의 이동과 업종별 영업 제한을 하는 사회적 거리두기 정책을 도입하고 있다. 지역별 확산 상황에 따라 몇 차례 사회적 거리두기 단계가 조정되었고 그에 따라 사람들의 이동과 업종별 영업 제한 정책도 차별화되고 있다. 지난 1년 반 이상 사회적 거리두기 정책이 지속되는

동안 지하철 이용에 의한 COVID-19의 확산 사례 보고가 거의 없는 상황이지만 시간이 경과하며 지하철역 주변의 토지이용과 인구 및 산업 및 직업구성에 따라 대중교통 이용 통행에 나타나는 변화에도 차이가 나타날 것으로 예상된다. 그러나 지금까지는 COVID-19 확산의 초기 단계의 자료를 사용한 연구들이 발표되고 있는 단계여서 잠재적 영향력을 기능하고자 하는 시도 혹은 연구 방향에 대한 제언들이 주를 이룰 뿐이다(Alonso *et al.*, 2020; Baum and Hai, 2020; Gössling *et al.*, 2020; Gursory and Chi, 2020; Bhaduri *et al.*, 2020; Shokouhyar *et al.*, 2021). 국내뿐만 아니라 국외에서도 아직 이를 실증하는 연구는 보고되지 않고 있다.

앞서 2015년 중동호흡기증후군(MERS)이 우리나라에서 창궐했던 당시 대중교통 이용빈도 감소에 상당한 영향을 미쳤고 필수적인 통행인 통근통행이 주로 발생하는 침투 시간대보다 비 침투시간대에서의 대중교통 이용이 더 감소함을 확인한 바 있다(성현곤, 2016). 또한, 사람들이 방문을 회피하는 지역 속성과의 관계(Kim *et al.*, 2017)를 분석한 결과 지가가 높은 지역 주민들의 경우 더 큰 감소세를 보이고 주요병원이나 지역 간 대중교통 터미널 등 MERS 창궐의 Hotspot의 경우 전반적으로 통행량은 감소하였지만, 아침 침투 시간에는 별로 영향을 미치지 않았음을 확인하였다. 성현곤·박명신(2016)의 경우도 도시의 물리적 형태의 계획요인과의 관계에서 인구의 집중을 유발하는 시설물과 보행 활동이 활발하게 일어나는 물리적 도시형태일수록 대중교통 이용 회피가 크다고 보고 MERS 발생에 따라 대중교통 이용에 나타나는 변화를 분석한 바 있다. 그러나 MERS의 경우 확산이 국지적이었고 창궐하기 시작하여 종식되기까지 기간도 상대적으로 짧아 물리적 도시형태 및 인구구성에 따라 대중교통 이용 통행에 나타나는 변화를 파악하기에는 한계가 있었다. 이번 COVID-19의 경우 사회적 거리두기 정책의 단계에 따라 영업 제한이나 등교 제한 등에 차이가 있으며 직종에 따라 재택근무 가능 여부에 차이가 있으므로 역 주변 배후지역의 업종구성 등 토지이용 상태와 인구 및 산업활동의 구성에 따른 차이가 예상

되며 그 변화 폭에도 차이가 있을 것으로 예상된다.

이 연구의 목적은 접촉성 감염병 COVID-19의 확산으로 사회적 거리두기가 지속하는 동안 서울시민의 대표적인 통행수단인 지하철 통행에서 나타나는 변화 특성을 파악하는 것이다. 특히 감염병 확산과 지하철 통행의 상관관계를 파악하고, 지하철 통행 변화와 지하철역 배후지역의 인구 및 토지이용과의 상관관계를 토대로 군집 분류하여 군집별 역 특성을 살펴본다. 특히 지하철 통행 변화는 2019년 대비 2020년 통행이 증가한 역과 감소한 역으로 구분하고, 감소한 역 중 상위 10분위에 해당하는 역, 하위 10분위에 해당하는 역을 추출하여 이들 역을 중심으로 서울에서 COVID-19 확진자가 발생한 이후 지하철 통행의 변화를 파악하고, 역 배후지의 지역적 특성을 살펴본다. 이를 위하여 COVID-19 확산 이전과 이후 사회적 거리두기가 지속하는 1년 반 기간 동안 COVID-19 일별 확진자 수를 토대로 주별, 월별 확진자 수를 구축하고, 지하철역 일별, 시간대별 승하차 인원을 토대로 주별, 월별 승하차 통행자 수를 구축한다. 또한, 지하철이 소재한 역 배후지 행정동의 건축물데이터와 인구 및 산업활동 속성 자료를 활용한다.

2. 기존연구 검토

한 도시의 통행 흐름은 그 도시에서 생활하는 도시민들의 생활패턴과 통행형태 등의 삶의 양식과 함께 그 도시의 생생한 삶의 리듬을 대변한다(Schönfelder and Axhausen, 2010). 도시민들은 그들의 일상생활을 영위하기 위하여 거주지와 일자리를 오가는 통근처럼 시공간적 반복성을 보이는 통행뿐만 아니라, 쇼핑, 공공업무, 사회활동, 그리고 여가 및 문화 활동 등을 위하여 각기 다른 시점에 그들이 위치한 지점으로 이동하는 다양한 목적의 통행을 한다(Badoe and Miller, 2000). 그러므로 도시통행 흐름의 시공간적 분포양상은 도시민의 다양한 통행목적에 부합하는 시설들의 공간적 분포와 관련된

토지이용과 통행 흐름을 가능케 하는 교통망의 분포 및 교통체계 등과 직결되어 있다. 좀 더 효율적이고 합리적인 도시 토지이용 및 교통계획을 수립하기 위해서는 이에 대한 분석이 필수적이므로 도시통행 흐름은 도시의 공간적 측면을 연구하는 지리학을 비롯하여 도시를 연구하는 다양한 분야에서 관심을 가지고 연구해 오는 주제이다.

정보기술의 발달로 도시민의 활동공간과 이동행태에 대한 시공간 정보를 담은 다양한 빅데이터가 생성되고 축적되면서 과거 자료의 한계 때문에 시도할 수 없었던 도시공간에 대한 다양한 시공간적 분석의 가능성이 확대되고 있다(Chen and McKnight, 2007; Liu *et al.*, 2009; Ahas *et al.*, 2010; Roth *et al.*, 2011; Lee *et al.*, 2012; Doyle *et al.*, 2014; Feng *et al.*, 2016). 특히 서울의 경우 전체 도시통행의 2/3를 담당하고 있는 대중교통체계에 일찍이 2004년 7월 1일부터 스마트카드가 도입되어 개개 통행에 대한 시공간 정보가 담긴 통행 기록이 매일매일 생성되어 축적된 대용량 데이터베이스가 있어 도시통행 흐름의 시공간적 분포의 변화 특성에 관한 연구가 가능하게 되었다(이금숙, 외 2007, 2014; 김호성, 외, 2010; 박종수 · 이금숙, 2010, 2011, 2012; Goh *et al.*, 2012; Lee *et al.*, 2008, 2010, 2011, 2012; 이금숙 외, 2017; 이금숙 · 김호성, 2018).

이제까지의 연구는 시간상으로는 주중과 주말 등, 공간적으로는 교통망으로 주어지는 접근성 및 역세권의 토지이용 구성에 따른 통행 흐름의 변화 특성을 밝히는 데 집중되었다. 감염병에 따른 통행 흐름의 변화에 관한 연구로는 2015년 메르스 창궐 때 지하철 일별 (비)침투 시간대별 이용 증감에 미친 변화를 분석한 성현곤(2016)과 이후 COVID-19가 메르스 창궐 때 보다 지하철 이용 감소 폭이 더 큼을 확인한 연구(안시후 외, 2020) 등을 들 수 있다. 또한, 홍유정 · 한채연(2020)은 COVID-19 확산 이후 지하철 이용 변화에 대하여 역별 유형화를 시도하였다. 주중, 주말, 시간대별로 구분하여 분석한 점에서 의미가 있으나, 분석에 사용한 승하차 인원 데이터의 시간적 범위의 사회적 거리두기 기간이 한 달여 기간에 불과해 현재 장기화된 COVID-19의 확진자 증감 추세를

비롯해 그동안의 사회적 거리두기 강화, 완화 등 단계적 변화에 따른 지하철 이용 수요의 증감 등 전체적인 지하철 통행의 변화를 포함하는 유형화라고 보기에는 다소 한계가 있다. 또한, 이들 연구 모두 전염병 확산과 이에 따른 지하철 통행에 미친 증감 변화에 주목하였을 뿐, 통행 증감과 지하철역 소재지 주변의 토지이용 특성과의 관계까지는 밝히지 못했다. 결과적으로 COVID-19 등 전염병의 발발, 확산과 지하철 통행의 변화를 분석한 연구는 소수 존재하나, 지하철역 배후지역의 토지이용 특성과의 관계까지 구체적으로 살펴본 분석은 아직 미흡한 상황이다.

3. COVID-19 확산과 지하철 통행의 관계

1) COVID-19 확산

COVID-19의 확산 초기인 2020년 1월 전 세계적으로 수백여 명에 불과했던 감염 확진 수가 12월 말이 되자 8,400만 명에 육박하고 180만 명 이상이 이 질환으로 사망한 것으로 보고되었다(Worldometer, 2021). 이러한 빠른 확산은 사람 간 바이러스의 전파력이 매우 높고 증상이 발생하기 전에 감염이 시작되는 특성과 함께 다양한 변이가 일어나기 때문으로 파악된다(Lai *et al.*, 2020). 우리나라는 2020년 1월 20일 첫 COVID-19 확진자가 확인된 이후 전국적으로 전파 확산하여 2020년 말까지 6만 명 이상이 COVID-19에 양성반응을 보인 것으로 보고되었다. 백신 접종이 진행되고 있는 2021년 현재에도 다양한 변이의 유입과 함께 일 평균 6~7백 명 대의 확진자가 나오며 재확산의 조짐을 보인다²⁾.

서울시에서도 코로나19(COVID-19) 발생 동향 웹사이트를 구축해 일별 COVID-19 확진자 수를 제공하고 있다. 본 연구에서는 일별 제공되는 확진자 수를 토대로 주별, 일별로 집계 재구성한 데이터를 사용하였다. 주별

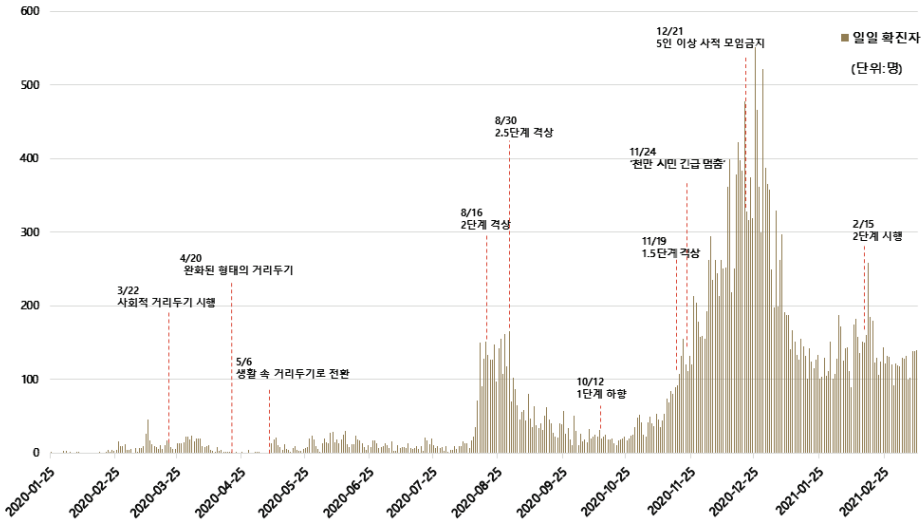


그림 1. 서울시 일별 COVID-19 확진자 증감 추이
 자료: 서울시 코로나19 발생 동향

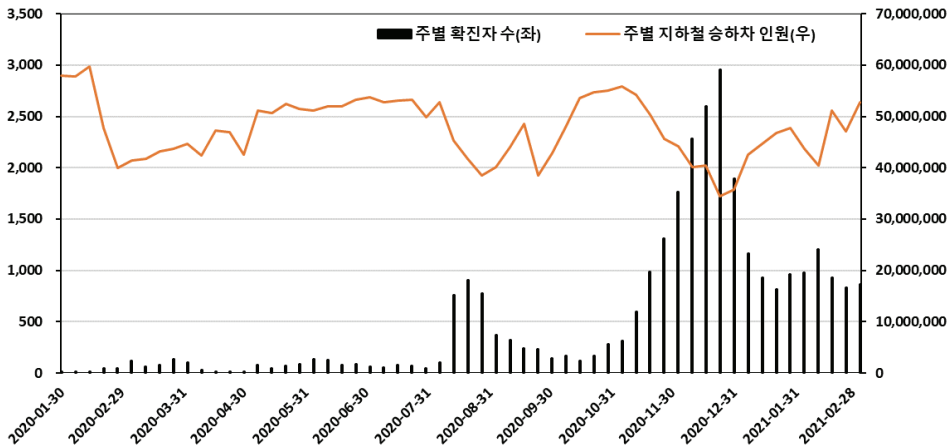


그림 2. 서울시 주별 COVID-19 확진과 지하철 통행 추이
 자료: 서울시 코로나19 발생 동향, 서울교통공사

데이터의 경우 금요일부터 목요일까지를 1주로 놓고 집계하였다. 그림 1에서 알 수 있듯이, 서울지역에서 확인된 일별 COVID-19 신규 및 누적 확진자는 2020년 3월에 증가 조짐을 보이기 시작한 후 8월 중순에 한 차례 급증하였고 11월 들어서며 지속해서 증가하는 양상을 나타내고 있다.

2020년 2월과 3월에 발생한 대구지역의 집단감염 당

시 서울은 COVID-19가 확산하는 양상을 보이지 않았다. 5월 초(19주차) 들어 서울과 수도권을 중심으로 한 집단감염이 발생했지만, 당시 서울의 일별 확진자 수는 100명을 넘지 않은 상태였다. 그러나 8월 중순(33~34주차)에 확진자가 큰 폭으로 증가하면서 하루 100명 이상의 확진자가 나왔고 그 이후 다소 증감을 나타내며 2021년 5월 초 하루 200명 이상의 확진자가 발생하고 있다.

지하철 통행자의 증감 변화는 COVID-19 확진자 증가 양상과 시기적으로 유사한 반응을 보인다(그림 2). 서울지역 지하철 승하차 인원은 지하철역별 일별 시간대별로 데이터가 제공되는데, 그림 2는 COVID-19 확진자 수와의 비교를 위하여 마찬가지로 주별로 집계하여 재구성한 것으로, 1주의 범위도 금요일부터 목요일까지다. 지하철 통행자 수는 확진자 수에 영향을 받으며 전반적으로 COVID-19 발발 이후 큰 폭으로 감소하였다. 특히 2020년 11월 마지막 주 확진자는 1,000명대를 넘어섰고, 12월 마지막 주 기준 2,707명으로 2020년 최고치를 기록했을 때 주별 지하철 통행 인원도 가장 큰 폭으로 감소한 것을 확인할 수 있다.

2) COVID-19 확산과 지하철 통행의 상관관계

COVID-19 확진자와 지하철 통행 인원의 현황 및 추이를 토대로 이들 간의 연관성을 분석하였다. 다음 표 1은 2019년 대비 2020년 서울지역 월별 COVID-19 확진자 증감률 변화와 월별 지하철 통행자 증감률 변화에 대한 각각의 최소값, 최대값, 평균값과 표준편차를 나타내고, 표 2는 확진자 증감 변화와 지하철 통행자 증감 변화 간의 상관관계 분석 결과를 나타낸다. 2019년 대비 2020년 월별 서울지역 확진자 증감률과 연 대비 월별 지하철 통행 승차, 하차, 승하차 인원의 증감률 및 오전 8시 이전, 8시~11시, 11시~17시, 17시~20시, 20시 이후의

표 1. 기초통계량

(단위: %)

		최소값	최대값	평균	표준편차
COVID-19 확진자 증감		-51.882	1,850	311.588	562.176
총 통행 증감	승차	-18.296	14.984	-2.807	12.573
	하차	-18.446	15.226	-2.823	12.638
	승하차	-18.371	15.105	-2.815	12.605
시간 구간별 승하차 통행 증감	8시 이전	-16.748	14.198	-0.990	8.941
	8시~11시	-16.227	10.508	-1.685	9.719
	11시~17시	-26.045	21.301	-2.928	16.448
	17시~20시	-18.297	13.009	-2.559	11.546
	20시 이후	-29.652	24.980	-4.743	16.896

표 2. COVID-19 확진과 지하철 통행 변화의 상관관계 분석 결과

	확진자 증감	총 통행 증감			시간 구간별 승하차 통행 증감				
		승차	하차	승하차	8시 이전	8시~11시	11시~17시	17시~20시	20시 이후
확진자 증감	1	-.637**	-.635**	-.636**	-.461	-.538*	-.680**	-.611**	-.531*
승차	-.637**	1	1.000***	1.000***	.816***	.937***	.958***	.989***	.975***
하차	-.635**	1.000***	1	1.000***	.816***	.937***	.957***	.989***	.976***
승하차	-.636**	1.000***	1.000***	1	.816***	.937***	.958***	.989***	.976***
8시 이전	-.461	.816***	.816***	.816***	1	.958***	.631**	.879***	.754***
8시~11시	-.538	.937***	.937***	.937***	.958***	1	.807***	.967***	.883***
11시~17시	-.680**	.958***	.957***	.958**	.631**	.807***	1	.907***	.935***
17시~20시	-.611**	.989***	.989***	.989***	.879***	.967***	.907***	1	.964***
20시 이후	-.531*	.975***	.976***	.976***	.754***	.883***	.935***	.964***	1

주) ***($p < 0.01$), **($p < 0.05$), *($p < 0.1$)

시간대별 승하차 인원 증감률 변수 간의 상관관계는 모두 음(-)의 방향성을 보이며 높은 연관 관계를 나타냈다. 모든 상관계수는 0.1 유의수준 아래에서 유의한 것으로 나타났다. 서울지역에 COVID-19 확진자가 증가할수록 지하철 통행자 수는 감소하는 부(-)의 관계로, 특히 확진자 증감률과 오전 11시에서 오후 17시 사이의 지하철 승하차 인원 증감률 간의 상관계수는 $-.680(p < .05)$ 로 변수 중 가장 높은 부(-)의 상관관계를 나타냈다. 이 시간대는 통근, 통학 목적의 필수 통행이 아닌 여가, 쇼핑 목적의 선택 통행이 많이 이뤄지는 시간대라는 특징이 있다.

4. 지하철 통행 변화와 지하철역 토지이용 특성

서울지역 COVID-19 확진자의 증가와 지하철 통행 인원의 감소는 서로 높은 상관관계를 나타냈다. 이를 토대로 지하철 통행의 감소 폭이 가장 큰 역 집단과 가장 낮은 역 집단을 추출하여 통행 증감의 변화를 살펴보고 이들 집단별 지하철역 소재지 주변의 토지이용 특성을 살펴보았다.

서울교통공사가 관리하는 9개 지하철 노선으로 구성된 서울 지하철 체계에 속하는 역은 242개로, 이들 역은 169개 행정동에 위치한다. 지난 1년간 지하철역별 시간대별 통행에 나타나는 변화를 살펴보기 위하여 COVID-19 발생 직전인 2019년과 발발하여 창궐한 2020년, 지난 1년간의 서울지역 연결 242개 지하철역

통행 증감 변화를 백분위로 구분해 변화를 상위 10분위, 변화율 하위 10분위, 그리고 상위 10분위 중 지하철 통행이 증가한 역까지 총 3개의 집단을 추출하였다(표 3).

이들 집단별 지하철 통행의 변화에서 발견되는 특징은 서울시의 모든 건축물에 대한 상세한 정보를 담고 있는 건축물데이터와 거주인구와 산업활동 자료 등 지하철역이 위치하는 배후 행정동의 지역적 특성과의 관계를 통해 해석하였다. 또한, 지하철 통행과 지하철역 배후 토지이용 특성을 나타내는 여러 변수 간의 상호관계를 간추린 주요 요인 역을 군집화하여 분류된 군집별 역의 특징을 살펴보았다. 아울러, COVID-19 발생 만 1년인 2021년 1월부터 가장 최근의 4월까지 통행 감소형 상·하위 10분위 역의 지하철 통행의 변화도 전망하였다.

분석에 사용한 인구 자료는 서울 공공데이터에서 제공하는 이차자료와 통계청에서 제공하는 마이크로데이터를 사용하였고, 국가공간정보포털에서 국토교통부가 생산한 건축물 용도별 연면적 데이터를 받아 재정리하여 사용하였다.

1) 지하철 통행 변화

COVID-19 확산에도 지하철 통행이 증가한 역이 있다. 마곡, 상일동, 지축 총 3개 역으로 고양시의 지축역은 2019년 대비 2020년에 무려 80.22% 급증하였고, 그 뒤로 상일동역 3.49%, 마곡역이 0.7% 증가하였다(표 4). 이들 역은 역 주변에 택지지구 개발로 대단위 주거단지가 밀집하면서 지하철 이용자가 급증하였다. 주거 기능뿐만 아니라 업무, 관공서 등 지식산업단지로 조성된

표 3. 지하철 통행 증감 상·하위 역

통행 변화(%)		지하철 역명
증가형(+)		마곡, 상일동, 지축
감소형(-)	상위 10분위 (-36.66 ~ -58.21)	강변, 경복궁, 고속터미널, 동대문역사문화공원, 동대입구, 명동, 서울역, 신촌, 안국, 안암, 어린이대공원, 여의나루, 올림픽공원, 월드컵경기장 을지로입구 이대, 이촌, 이태원, 종합운동장, 학여울, 한양대, 혜화, 홍대입구, 회현
	하위 10분위 (-17.77 ~ -9.33)	가산디지털단지, 강남구청, 녹번, 논현, 도림천, 돌곶이, 뚝섬, 마천, 문래, 문정, 미아사거리, 사가정, 산성, 성수, 신길, 신정, 양평, 영등포구청, 천왕, 춘의, 학동

마곡지구의 마곡역은 야간 이용 통행을 제외한 주간 이용 통행에서 증가세가 두드러졌고, 상일동역은 오후 시간대 이용 통행에서 증가세를 나타냈다. 지축역은 모든 시간 구간에서 통행이 급증하였다.

3개 역을 제외한 나머지 239개 역은 모두 2019년 대비 2020년 지하철 통행자 수와 통행자 증감률에서 모두 감소한 것으로 나타났다. 변화율 평균은 -25.41%로 평균치 미만으로 감소한 역은 102개이고 평균치 이상으로 감소한 역은 137개로 집계된다. 지난 1년간 지하철 통행자 감소 수치 폭이 가장 큰 역은 홍대입구, 잠실, 고속터미널 등의 순으로 나타났다. 서울의 대표 유희 지역인 홍대입구역을 포함하여 주요 환승역이면서 주거, 업무, 상업의 기능이 집중한 역인 잠실, 고속터미널, 강남은 1년 동안 무려 2천만 명 이상의 승하차 인원이 감소한 것으로 나타났다.

지하철 통행자 감소를 변화 폭이 가장 큰 상위 10분위 (-36.66%~ -58.21%)까지 해당하는 역은 총 24개로(표 5),

이들 역의 전체 통행자 수는 1년간 평균 42.7% 감소한 것으로 나타나 전체 평균보다 약 17.28%p 더 급감한 것으로 산출된다. 구체적으로 2019년 대비 2020년 지하철 통행 인원 감소율 변화 폭이 가장 큰 역은 명동(-58.21%), 종합운동장(-54.38%), 이대(-49.12%) 등의 순으로 나타났다. COVID-19로 외국인 관광객 입국자 수가 줄고, 각종 실내외 스포츠 경기 개최가 중단되었으며, 대학에선 온라인을 통한 비대면 수업이 전면적으로 실시되면서 이들 상위 10분위에 속하는 역을 중심으로 지하철 통행이 감소한 것으로 보인다. 시간 구간별로 살펴보면 11시에서 17시까지(-48.06%), 그리고 20시 이후(-49.23%)의 통행은 거의 절반가량 감소한 것으로 나타나 이들 역 주변 지역으로의 주·야간 활동 모두 급격히 감소했음을 알 수 있다. 상위 10분위에 해당하는 역의 COVID-19 발발 직전 연도인 2019년 승하차 인원은 24개 역 총 539,123,542명으로 2018년(540,312,905명),

표 4. 시간 구간별 지하철 통행 변화: 증가형 (단위: %)

	8시 이전	8시~11시	11시~17시	17시~20시	20시 이후	전체
마곡	-21.17	10.71	8.92	5.27	-16.33	0.70
상일동	-0.68	3.05	-0.31	9.56	6.71	3.49
지축	86.56	73.44	55.94	92.61	123.98	80.22

표 5. 시간 구간별 지하철 통행 변화: 감소형(상위 10분위) (단위: %)

	8시 이전	8시~11시	11시~17시	17시~20시	20시 이후	전체
명동	-33.02	-44.77	-62.40	-55.51	-70.13	-58.21
종합운동장	-38.10	-41.32	-58.69	-54.05	-65.34	-54.38
이대	-25.57	-45.84	-54.81	-46.30	-50.86	-49.12
상위 10분위	-24.08	-36.20	-48.06	-38.91	-49.23	-42.70
서울 전체	-16.72	-22.47	-29.54	-21.13	-32.62	-25.41

표 6. 시간 구간별 지하철 통행 변화: 감소형(하위 10분위) (단위: %)

	8시 이전	8시~11시	11시~17시	17시~20시	20시 이후	전체
미아사거리	2.04	-5.82	-15.06	-4.28	-17.09	-9.33
성수	-10.05	-8.38	-16.59	-6.70	-18.58	-11.34
양평	-10.01	-9.88	-17.60	-5.72	-25.88	-12.77
하위 10분위	-10.20	-12.41	-20.14	-9.98	-23.50	-15.15
서울 전체	-16.72	-22.47	-29.54	-21.13	-32.62	-25.41

2017년(540,756,295명) 모두 큰 변동이 없다가 2019년 대비 2020년에 무려 40% 이상 감소(314,039,124명)한 것이다.

지하철 통행 감소율 폭이 가장 낮은 하위 10분위 (-17.77%~-9.33%)에 해당하는 역은 총 21개로(표 6), 이들 역의 전체 통행량은 1년간 평균 15.15% 감소한 것으로 나타나 전체 평균보다는 약 10.26%p 덜 감소한 것으로 산출된다. 구체적으로 2019년 대비 2020년 지하철 통행 감소율 변화 폭이 가장 작은 역은 미아사거리 (-9.33%), 성수(-11.34%), 양평(-12.77%) 등의 순으로 나타났다. 시간 구간별로 살펴보면 17시에서 20시 사이(-9.98%)와 8시 이전(-10.20%)이 가장 소폭의 감소율을 나타내 이들 역 주변으로 통근 목적의 통행 분포가 상대적으로 높은 것으로 보인다. 가장 큰 감소율 폭을 나타낸 시간 구간은 20시 이후로 23.5%가 감소하였다. 마찬가지로 하위 10분위에 해당하는 역의 2019년 승차차 인원은 21개 역 총 242,957,163명으로 2018년(235,112,873명), 2017년(231,673,364명)에도 전반적으로 큰 변동 추세가 없었으나, COVID-19 발발 이후 약 15%(207,430,743명)가량 감소하였다.

2) 지하철 통행 감소형 역의 토지이용 특성

지하철 통행 감소 상·하위 10분위에 해당하는 역의

배후지역인 행정동에 대하여 2019년 기준 인구 및 토지이용의 분포 특성을 살펴보았다. 먼저 인구 특성으로 행정동별 면적 대비 주민등록상 인구분포와 20~30대 연령층의 인구구성비율, 산업활동의 분포를 볼 수 있는 사업체 밀도에 그 규모를 알 수 있는 종사자 밀도와 종사자 규모가 300인 이상인 사업체 수, 그리고 주민등록상의 인구 대비 종사자의 밀집도를 산출하였다(표 7).

지하철 통행 감소율 상위 10분위에 해당하는 역이 소재하는 행정동은 하위 10분위에 해당하는 역이 소재하는 행정동보다 거주하고 있는 주민등록상의 인구의 밀집도는 낮고, 사업체가 많이 밀집해 있으며, 사업체의 규모가 상대적으로 큰 편으로 거주인구와 대비할 때 종사자의 밀집도가 더 높은 특성을 보인다. 그러나 서울 전체 평균과 대조할 경우 지하철 통행 감소 하위 10분위 지역도 면적 대비 인구와 사업체, 종사자 모두에서 밀집도가 높은 것으로 나타났다. 또한, 두 집단 모두 지역 인구에서 20, 30대 젊은 연령층이 차지하는 분포율은 서울 평균(30.49%)보다 높았다.

거주인구 보다 유동인구의 분포가 높은 특징을 보이는 두 집단의 지하철 통행 감소 폭의 차이는 이들 지역의 토지이용 특성을 통해 찾아볼 수 있다. 표 8의 행정동별 건축물 용도별³⁾ 연면적 구성비율을 보면 지하철 통행 감소 상위 10분위에 해당하는 지역의 경우 전체 건물 면적 중 상업용에 해당하는 건물의 면적이 42.22%를

표 7. 지하철 통행 감소형 상·하위 10분위 역의 인구 특성 (단위: 명/km², %, 개)

	인구밀도	20~30대 인구	사업체 밀도	종사자 밀도	사업체 수 (종사자 300인 이상)	인구 대비 종사자 밀도
상위 10분위	16,972	33.03	3,122	22,629	13	322
하위 10분위	20,427	33.61	2,475	18,194	8	126
서울 전체	16,376	30.49	1,361	8,636	4	52

표 8. 지하철 통행 감소형 상·하위 10분위 역의 토지이용 특성 (단위: %)

	주거용	상업용	공업용	문교사회용
상위 10분위	47.2	42.22	0.1	10.18
하위 10분위	50.11	30.8	10.7	7.2

주) 행정동별 비어있는 용도를 제외한 건축물 용도별 총면적에서의 구성비율을 나타냄

차지하고, 문화 및 종교, 사회활동 용도의 건물이 차지하는 면적도 10.18%에 달하는 것을 알 수 있다. 반대로 지하철 통행 감소 하위 10분위에 해당하는 지역은 상대적으로 상위 10분위 지역보다 주거용과 공업용 건물이 차지하는 면적의 분포율이 더 높고, 상업용과 비경제활동과 관련되는 용도의 건물이 차지하는 면적은 상대적으로 더 낮은 비중을 차지하고 있다.

COVID-19 확산에 따른 사회적 거리두기 및 수도권 5인 이상 집합 금지로 필수 통행이 아닌 11시~17시, 20시 이후의 여가, 쇼핑 및 사회문화 활동 등 외부활동과 관련되는 선택 통행이 줄어들어 따라 이러한 활동과 관련되는 토지이용의 특성이 높은 상위 10분위에 해당하는 역 배후지역으로의 지하철 통행도 급감한 것으로 보인다. 지하철 통행 감소 하위 10분위 지역의 경우 공장 분포도가 상대적으로 높았고, 이는 비대면 재택근무가 다소 어

려운 직무 특성상 오전 첨두시간대 통행 감소 폭도 상대적으로 작았던 것으로 판단된다.

3) 지하철 통행 변화와 지하철역 토지이용 특성의 관계

구체적으로 지하철 통행과 지하철역 배후지 토지이용 특성을 나타내는 여러 변수 간의 상호관계를 주요 요인으로 간추려 살펴보고자 탐색적 요인분석(factor analysis)을 진행하였다. 그리고 측정된 요인 점수를 군집 분석에 변수로 투입하여 유클리디안 거리(euclidean distance)를 기준으로 군집화하여 분류된 군집별 특징을 살펴보았다.

먼저, 모든 투입변수에 대하여 구성 요인을 추출하기 위해 주성분 분석(principle component analysis)을 하

표 9. 지하철 통행 변화와 토지이용 특성의 요인분석 결과

요인	변수명	요인적재치	공통성	고유치	분산설명력(%)
제1요인	5시~8시 승하차 인원 증감(%)	0.95	0.97	5.71	33.61
	11~5시 승하차 인원 증감(%)	0.95	0.95		
	8~11시 승하차 인원 증감(%)	0.95	0.94		
	8시 이후 승하차 인원 증감(%)	0.94	0.94		
	8시 이전 승하차 인원 증감(%)	0.89	0.83		
제2요인	지식기반서비스업(개)	0.86	0.91	2.56	15.04
	숙박 및 음식점업(개)	0.75	0.78		
	상업용 면적(%)	0.70	0.86		
제3요인	사업체 밀도(개/km ²)	0.97	0.76	1.94	11.41
	종사자 밀도(명/km ²)	0.79	0.94		
	종사자 300인 이상 사업체(개)	0.74	0.75		
제4요인	문교사회용 면적 (%)	0.85	0.78	1.72	10.10
	주거용 면적(%)	0.81	0.74		
제5요인	도매 및 소매업(개)	0.85	0.82	1.11	6.54
	제조업(개)	0.75	0.80		
제6요인	공업용 면적(%)	0.81	0.74	1.00	15.89
	총 승하차 인원 증감(%)	0.50	0.53		

Kaiser-Meyer-Olkin 측도: .695

Bartlett의 구형성 검정(χ^2) = 3682.133(p<.01)

주) 지식기반서비스업: 전문 과학 및 기술 서비스업, 정보통신업, 보건업 및 사회복지 서비스업
 자료: 서울교통공사(지하철역 승하차 인원, 2019, 2020), 통계청 국가통계포털(사업체 조사, 2019), 국토교통부, 국가공간정보포털(건축물 용도별 연면적, 2020)

였고, 각 변수와 요인 간의 상관관계를 나타내는 요인 적재치는 직교회전방식(varimax)을 채택하여 단순화하였다. 요인분석에 투입되는 최종 변수 추출은 요인 적재치 0.4 이상, 요인의 표준화된 분산을 나타내는 고유치(eigen value) 1.0 이상인 값의 변수만 추출하였다. 요인 분석의 결과는 표 9와 같다. 설명된 총 분산은 82.60%로, 서울 지하철 통행 특성을 나타내는 변수와 지하철역 토지 이용 특성을 나타내는 변수는 총 6개의 주요 요인으로 구분되었다. 요인들 간의 편상관을 나타내는 KMO 값도 0.695로 변수 선정이 적합한 것으로 평가되었고, Bartlett 값도 $p < .01$ 로 투입된 변수들의 공통 요인이 존재하여 요인분석의 진행이 적합한 것으로 나타났다.

요인분석을 통해 지하철 통행 특성과 지하철역 토지이

용 특성에 대하여 6가지로 요인을 구분하고, 이를 토대로 K-평균 군집분석(K-means cluster analysis)을 실시하여 6개 세부 집단으로 분류하였다. K-평균 군집분석에서 최대 10번의 반복계산 수로 지정한 계산 결과를 토대로 군집화한 것으로, 최종 군집은 분산분석 결과 군집별 요인의 유의수준을 모두 만족하는 군집 수인 6개로 결정하였다. 군집분석의 결과는 표 10과 같다. 데이터 구축에서 일부 표본을 제거한 서울 지하철역 222개 역 중 결측치 6개를 제외한 총 216개 역의 지하철 통행과 역 배후지의 토지이용 특성에 대한 군집화 결과로 군집 1은 173개 역, 군집 2는 5개 역, 군집 3은 21개 역, 군집 4는 7개 역, 군집 5는 9개 역, 군집 6은 1개 역으로 구성되었다.

군집 1의 요인점수의 군집 평균치는 지하철 통행 특성

표 10. 지하철 통행 변화와 토지이용 특성의 군집분석 결과

	군집 분류						F값 (p-value)
	군집1	군집2	군집3	군집4	군집5	군집6	
제1요인	0.30	-0.29	-2.29	-0.23	-0.11	0.44	59.67(.00)
제2요인	-0.11	4.64	-0.02	0.28	-0.94	3.10	61.65(.00)
제3요인	-0.16	1.20	-0.27	-0.35	3.50	-0.87	58.86(.00)
제4요인	-0.05	1.01	0.20	0.61	-0.37	-1.70	2.72(.00)
제5요인	-0.19	-0.80	-0.10	4.06	0.89	2.71	77.57(.00)
제6요인	-0.03	-0.51	0.08	-1.14	0.46	9.75	42.17(.00)

군집1(173개): 가락시장, 경찰병원, 북정, 석촌, 송파, 마곡, 발산, 대청, 거여, 고덕, 상일동, 공덕, 애오개, 공릉, 태릉입구, 화랑대, 송정, 광나루, 동대문역사문화공원, 남구로, 구산, 구의, 신금호, 금호, 강동, 길동, 길음, 숙대입구, 녹번, 역촌, 논현, 학동, 군자, 아차산, 영등포구청, 영등포시장, 당산, 송실대입구, 신대방삼거리, 학여울, 대치, 광흥창, 대흥, 이대, 도곡, 매봉, 도봉산, 마포, 성신여대입구, 마장, 마천, 망월, 면목, 사가정, 용마산, 굽은다리, 목동, 오목교, 먹골, 문래, 문정, 미아, 미아사거리, 내방, 남태령, 방배, 방이, 올림픽공원, 몽촌토성, 개화산, 방화, 김포공항, 보문, 독바위, 불광, 남성, 이수, 동작, 경복궁, 광화문, 한성대입구, 강남구청, 선릉, 안국, 마들, 수락산, 당고개, 상계, 상도, 장승배기, 상봉, 상수, 돌곶이, 강동구청, 둔촌동, 천호, 마포구청, 월드컵경기장, 독섬, 성수, 온수, 수서, 수유, 동묘앞, 신평, 봉화산, 신대방, 보라매, 도림천, 신도림, 새절, 신사, 압구정, 신정, 신정네거리, 양천구청, 아현, 안암, 암사, 양재, 양평, 응암, 신길, 여의도, 개롱, 오금, 천왕, 옥수, 상왕십리, 녹사평, 신설동, 석계, 상월곡, 이태원, 일원, 독섬유원지, 잠실나루, 잠실새내, 종합운동장, 반포, 잠원, 장한평, 장지, 동대입구, 청량리, 제기동, 중계, 어린이대공원, 중곡, 중화, 디지털미디어시티, 중산, 구파발, 쌍문, 창동, 창신, 독립문, 청담, 봉천, 충정로, 충무로, 하계, 삼각지, 신용산, 이촌, 한강진, 왕십리, 한양대, 행당, 낙성대, 홍제, 무악재, 까치산, 우장산, 화곡, 효창공원앞

군집2(5개): 남부터미널, 서초, 여의나루, 강남, 역삼

군집3(21개): 구로디지털단지, 강변, 신촌, 명동, 시청, 을지로입구, 고속터미널, 연신내, 사당, 삼성, 노원, 합정, 홍대입구, 신림, 교대, 신도림, 잠실, 서울대입구, 혜화, 건대입구, 서울역

군집4(7개): 동대문역사문화공원, 버티고개, 약수, 청구, 종각, 종로3가, 회현

군집5(9개): 발산, 서대문, 대림, 명일, 신당, 을지로4가, 동대문, 종로5가, 고려대

군집6(1개): 가산디지털단지

을 나타내는 서울 지하철 승하차 인원 시간 구간별 증감률인 제1요인에서 가장 높은 평균값을 나타냈다. 2019년 대비 2020년 지하철 통행이 감소한 서울지역 지하철역 대다수가 군집 1에 포함되었다. 군집 2에 속하는 역은 남부터미널, 서초, 여의나루, 강남, 역삼의 5개 역으로 이들 역은 지식기반서비스업과 숙박 및 음식점업의 분포 특성과 토지이용도 중 상업용 토지이용률이 높은 제2요인에서 가장 높은 평균값을 나타냈다. 군집 3은 문화, 종교, 사회활동 등과 관련된 토지이용과 주거용 토지이용률이 높은 특성을 갖는 제4요인에서 가장 높은 평균값을 나타냈고, 이들 군집에 속하는 역은 총 21개 역으로 구로디지털단지, 강변, 신촌, 명동, 시청, 을지로입구, 고숙터미널, 연신내, 사당, 삼성, 노원, 합정, 홍대입구, 신림, 교대, 신도림, 잠실, 서울대입구, 혜화, 건대입구, 서울역이 이에 분류되었다. 군집 3의 경우 앞서 추출한 지하철 통행 감소형 상위 10분위에 속하는 대학가와 유흥가와 관련되는 건축물 용도인 주거용과 문화, 종교, 교육, 사회활동과 관련되는 토지이용률이 높은 곳에 소재한 역의 분포가 많은 특징을 나타냈다. 군집 4는 산업 분류 중 도매 및 소매업과 제조업의 분포 특성을 갖는 제5요인에서 군집 평균값이 가장 두드러졌고, 이에 속하는 역은 동대문역사문화공원, 버티고개, 약수, 청구, 종각, 종로3가, 회현으로 총 7개 역이 이 군집으로 묶였다. 군집5는 사업체와 종사자 밀도, 종사자가 300인 이상인 사업체 분포를 나타내는 제3요인의 특성을 가지며 서울지역 총 9개 역인 발산, 서대문, 대림, 명일, 신당, 을지로4가, 동대문, 종로5가, 고려대가 이에 분류되었다. 마지막으로 군집 6은 토지이용도 중 공업용 토지이용과 2019년 대비 2020년 전체 승하차 인원 증감률과 연관되는 제6요인에서 가장 높은 군집 평균값을 나타냈다. 군집 6의 가산디지털단지 역의 경우 앞서 추출한 지하철 통행 감소형 하위 10분위에 속하는 역으로 제6요인의 특성대로 토지이용 중 상대적으로 공업용 건축물 분포율이 높고 COVID-19 이후 지하철 통행 승하차 인원의 감소율 폭이 상대적으로 낮은 특징을 들 수 있다.

이상으로 요인별 지하철역 및 역 배후지의 토지이용

특성에 따른 군집 분류된 특징에 따라 군집 1은 COVID-19 확산에 따른 서울지역 지하철 통행에서 시간 구간별 증감 변화를 나타낸 대다수 역으로 '지하철 통행 변화 역'으로 명명해 볼 수 있고, 군집 2는 '지식기반서비스업 및 상업시설 중심 분포지역에 소재한 역,' 군집 3은 '주거지 및 대학가에 소재한 역,' 군집 4는 '판매제조업 분포 지역에 소재한 역,' 군집 5는 '대형사업체 분포 지역에 소재한 역,' 군집 6은 '산업단지 역'으로 명명해 볼 수 있다.

4) 지하철 통행 변화 전망

그림 3은 2019년부터 2020년, 그리고 COVID-19 발생 만 1년이 되는 2021년 1월부터 가장 최근 4월까지 서울지역 월별 지하철 통행의 증감 및 증감률 변화를 나타낸다. 전체 서울 지하철 통행 인원의 증감 변화를 기준으로 살펴보면, COVID-19 발생 직전 연도인 2019년에는 전반적으로 모든 집단의 통행 증감률 변동 폭의 패턴에서 유사한 양상을 나타낸다. 그러나 2020년 COVID-19가 발발, 확산하면서 통행량 감소 변동 폭이 급격히 커져 통행 감소형 상위 10분위로 묶인 역 집단은 전체 지하철역 통행량 감소세보다 변동 폭이 매우 큰 것을 확인할 수 있다. 2020년 2월부터 6월, 7월부터 9월 사이 지하철 통행 인원이 잠시 증가했을 때 증가세 폭도 더 큰 것으로 나타났다. 전반적으로 이 집단에 속하는 역 소재지는 낮 시간대 선택 통행의 분포가 높은 곳이며, 이들 역 배후지역의 토지 이용도 선택 통행을 발생시키는 상업용 및 문화, 종교, 사회활동과 관련되는 건축물 분포가 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 따라서 향후 전염병 종료에 따른 이들 역 배후지역 회복 정도도 매우 탄력적으로 반응할 것으로 전망된다. 한편, COVID-19가 장기화하고 본격적으로 백신 접종이 시작된 2021년 4월 시점까지는 2020년과 달리 상위 10분위 역과 하위 10분위 역 모두 증감률 변화 폭이 COVID-19 발발 이전인 2019년과 유사하게 전체 지하철역 통행자 증감률 변화 폭과 유사한 패턴을 띠는 것으로 나타나고 있다.

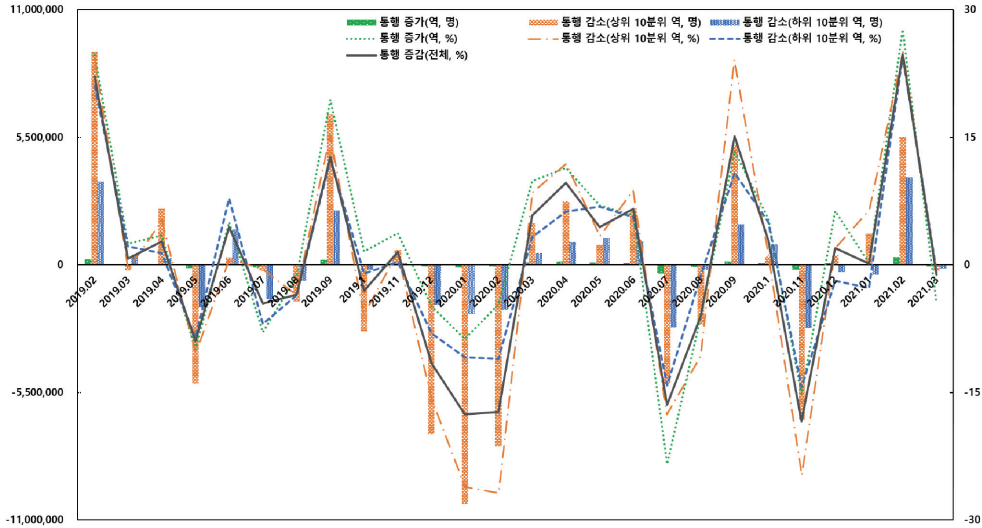


그림 3. 서울시 월별 지하철 통행 변화(2019.01~2021.04)

자료: 서울교통공사

5. 결론

본 연구는 COVID-19의 확산으로 사회적 거리두기가 지속된 지난 1년 동안 서울시민의 대표적인 통행수단인 지하철 통행에 나타나는 변화 추이를 파악하고, 지하철 통행과 지하철역 배후지의 지역적 속성과의 관계를 해석하였다. 2019년 대비 2020년 서울지역 지하철역 승하차 인원 변화율을 토대로 지하철 통행이 증가한 역과 감소한 역으로 구분하고, 감소한 역 중 상위 10분위에 해당하는 역, 하위 10분위에 해당하는 역을 추출하여 이들 역을 중심으로 COVID-19 확진자가 발생한 이후 지하철 통행의 시간 구간별 변화를 분석하고, 지하철역 배후지의 인구 및 토지이용 특성과의 관계를 파악하였다. 또한, 서울 지역 전체 지하철역을 대상으로 지하철 통행과 역 배후지 토지이용 특성을 나타내는 변수 간의 상관관계를 간추려 측정된 주요 요인 점수를 기준으로 역을 군집화하여 분류된 군집별 역의 특징을 살펴보았다.

분석 결과, COVID-19 확진과 지하철 통행은 서로 부(-)의 상관관계를 나타냈고, 통행 감소에서도 감소 폭

이 큰 상위 10분위에 해당하는 역이 소재하는 지역, 감소 폭이 낮은 하위 10분위에 해당하는 역이 소재하는 이는 지역의 인구 및 산업활동 등 토지이용 특성에 있어 차이가 나타남을 확인하였다. COVID-19 확산에도 지하철 통행이 증가한 역은 모두 서울 외곽의 대단위 주택단지 조성된 곳에 소재한 역으로 거주민 입주로 인한 통행 발생으로 이들 역은 시간 구간별, 월별, 연간 통행량에서 모두 증가세를 나타냈다. 1년 동안 지하철 통행 감소 폭이 가장 큰 상위 10분위 역은 대체로 서울의 주요 환승 기능을 담당하는 결정지로 역의 위치는 강북의 도심 일대와 대학가, 유흥가 등으로 상업용 및 문화, 종교, 교육, 사회 문화 활동과 관련되는 용도의 건물 분포가 상대적으로 많아 낮 시간대 유동인구의 흐름이 많은 특성을 나타냈으나, 사회적 거리두기 및 수도권 5인 이상 집합 금지 정책으로 낮 시간대를 비롯해 20시 이후 지하철 통행이 급감하였다. 지하철 통행 감소 폭이 가장 낮았던 하위 10분위 역의 위치는 한강 이남의 구로 영등포 등 서남부 지역의 산업단지 일대, 서울 외곽의 대단위 아파트단지가 밀집된 지역 등으로 상대적으로 공장 분포도가 높은 특성을 나타냈고, 비대면 재택근무의 어려움이 있는 직무의 특

성상 통근 목적의 필수 통행 발생과 분포가 높은 특징도 나타났다. 또한, COVID-19 창궐로 지하철 통행 감소 변동 폭이 가장 크고 작았던 이들 두 집단은 2021년 들어 COVID-19 발발 직전인 2019년 서울 전체 지하철 통행의 월별 변화추세와 유사한 통행패턴을 보이고 있다. 특히 상위 10분위 감소형에 속하는 역 소재지는 낮 시간대 선택 통행의 분포가 높은 곳으로, 이들 역 배후지의 토지 이용은 선택 통행을 발생시키는 상업용 및 문화, 종교, 교육, 사회활동과 관련되는 건축물 분포가 상대적으로 높기 때문에 향후 전염병 종료에 따른 지역 회복성도 매우 탄력적으로 반응할 것으로 전망된다.

지하철 통행과 역 배후지 토지이용 특성을 나타내는 변수 간의 상호관계는 총 6개의 요인으로 구분되었고, 이를 토대로 K-평균 군집분석을 통해 총 6개의 세부 군집으로 분류하였다. 군집화된 역 유형은 서울지역 시간 구간별 지하철 통행 변화를 보인 대다수의 '지하철 통행 변화 역' 집단과 '지식기반서비스업 및 상업 시설 중심 분포지역에 소재한 역,' '주거지 및 대학가에 소재한 역,' '판매제조업 분포 지역에 소재한 역,' '대형사업체 분포 지역에 소재한 역,' '산업단지 역'으로 명명하였다.

현재 COVID-19의 장기화로 2021년에는 1월부터 4월 시점까지 2020년과 달리 상·하위 10분위 역 모두 지하철 월별 통행 추세가 다시 COVID-19 창궐 이전인 2019년 전체 지하철역 통행 변화와 유사한 패턴을 띠는 것으로 관측되고 있다. 물론 장기적으로 이 추세가 다시 어떻게 변화하게 될지 아직 판단하기 어렵지만, 좀 더 시계열 구간이 구축되어 이들 집단별 역이 소재한 지역의 회복력의 정도를 파악해 보는 것도 의미 있을 것으로 보이며 이는 추후 연구로 남겨 둔다.

주

- 1) 교통분담률은 사람들이 통행할 때 하루 중 이용하는 교통수단의 분포를 비율로 나타낸 것으로 버스, 지하철·철도, 택시, 기타 차량 등을 이용하여 통행하는 총통행량에서 수단별 분담률을 산출함(도보 및 자전거는 미포함). 2019년 서울시

1일 평균 총통행량(평일 기준)은 3천 2백 16만 건이고 이중 지하철 분담률은 41.6%이다(서울시, <https://news.seoul.go.kr/traffic/archives/289>).

- 2) 2021년 5월 6일 (0시 기준) 현재 국내 누적 확진자 수는 125,519명(국내 발생 117,055명, 해외유입 8,464명), 사망자 수는 1,851명이다(질병 관리청, 코로나19 국내 발생 및 예방 집중 현황).
- 3) 건축물 용도에서 주거용은 단독주택(단독, 다중, 다가구주택 등), 공동주택(아파트, 연립, 다세대주택 등)을 나타내고, 상업용은 근린생활, 판매시설, 운수시설, 업무시설, 숙박시설, 위험물 저장 및 처리 시설, 자동차 관련 시설을 포함한다. 공업용은 공장을, 문교사회용은 문화 및 집회시설, 종교시설, 의료시설, 교육연구시설, 노유자시설, 수련시설, 운동시설, 묘지관련시설, 관광휴게시설 등을 포함한다.

참고문헌

- 김호성·박종수·이금숙, 2010, “서울 수도권 지하철 교통망 승객 흐름의 시각화,” 한국콘텐츠학회논문지 10(4), pp.397-405.
- 박종수·이금숙, 2010, “서울 수도권 지하철 교통망에서 승객흐름의 분석,” 정보과학회지: 컴퓨팅의 실제 및 레터, 지리정보시스템 분야 16(3), pp.316-323.
- 박종수·김호성·이금숙, 2010, “교통카드 트랜잭션 데이터 베이스에서 지하철 탑승 패턴 분류,” 한국콘텐츠학회논문지 10(12), pp.91-100.
- 박종수·이금숙, 2012, “그래프 분할을 이용한 서울 수도권 지하철역들의 분류,” 한국경제지리학회지 15(3), pp.343-357.
- 박종수·이금숙, 2017, “서울 대도시권 대중교통체계의 통합 시간거리 접근성 산출 알고리즘 개발,” 지역연구 33(1), pp.29-41.
- 박종수·이금숙, 2018, “서울 대도시권 통합 대중 교통망에서 연도별 및 요일별 시간거리 접근도 변화,” 한국경제지리학회지 21(4), pp.335-349.
- 성현곤, 2016, “메르스 발발과 확산이 대중교통 이용에 미친 영향,” 국토계획 51(3), pp.5-18.
- 성현곤·곽명신, 2016, 중동호흡기 증후군 감염 공포에 따른 물리적 도시형태가 도시철도 이용에 미친 매개 효과 분석: 서울시 역세권을 중심으로, “국토계획 51(7), pp.165-180.

- 안시후·조남훈·황석형·김응희·김수환·김민경, 2020, 지하철 이용객 수를 이용한 COVID-19 확산에 대한 시민들의 대응 분석 및 MERS-CoV 기간과의 비교, 한국컴퓨터종합학술대회 논문집.
- 이금숙·홍지연·민희화·박종수, 2007, “수도권 지하철망 상 통행흐름의 위상학적 구조와 토지이용의 관계,” 한국경제지리학회지 10(4), pp.427-443.
- 이금숙·김호성·박종수, 2017, “서울 대도시권 지하철 통행 흐름의 요일 간 변이성 분석: 동적 시각화 방법을 토대로,” 한국경제지리학회지 20(2), pp.158-172.
- 이금숙·김호성, 2018, “교통과 토지이용 정보를 결합한 서울 인구분포의 시공간적 분석: 4차원 시각화 방법을 토대로,” 한국경제지리학회지 21(1), pp.20-33.
- 이금숙·박종수·정미선, 2014, “수도권 광역철도망 확충에 따른 서울 대도시권 접근도 변화: 교통카드 빅데이터를 이용한 시간거리 산출 알고리즘 및 비교정성 교통망 접근도 산출 모형의 개발과 적용,” 한국경제지리학회지 17(1), pp.98-113.
- 홍유정·한채연, 2020, 코로나19 확산 이후 서울시 지하철 이용 변화분석, 제8회 서울연구논문 공모전 발표 논문.
- 서울시, <https://news.seoul.go.kr/traffic/archives/289>
- 질병관리청, 코로나19 국내발생및예방접종현황 http://www.kdca.go.kr/board/board.es?mid=a2050101000&bid=0015&act=view&list_no=713226 (최종열람일: 2021년 5월 29일).
- 서울시 코로나19(OCVID-19) 일별 확진자 수 현황, <https://www.seoul.go.kr/coronaV/coronaStatus.do> (최종열람일: 2021년 5월 17일).
- 서울교통공사_역주소현황(행정동기준), (최종열람일: 2020년 11월 9일).
- 서울열린데이터광장, seoul.go.kr (최종열람일: 2020년 3월 25일).
- Ahas, R., Aasa, A., Silm, S. and Tiru, M., 2010, “Daily rhythms of suburban commuter movements in the Tallinn metropolitan area: Case study with mobile positioning data,” *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 18(1), pp.45-54.
- Alonso, A. D., Kok, S. K., Bressan, A., O’shea, M., Sakellarios, N., Koresis, A., Solis, M. A. B., Santoni, L. J., 2020, COVID-19, aftermath, impacts, and hospitality firms: An international perspective. *International Journal of Hospitality Management* 91, 102654.
- Baker, S., Scharstein, D., Lewis, J. P., Roth, S., Black, M. J. and Szeliski, R., 2011, “A Database and Evaluation Methodology for Optical Flow,” *Int. J. Comput. Vis.*, 92(1), pp.1-31.
- Badoe, D. A. and Miller, E. J., 2000, “Transportation-land-use interaction: empirical findings in North America, and their implications for modeling,” *Transportation Research Part D. Transport & Environment*, pp.235-263.
- Baum, T. and Hai, N. T. T., 2020, “Hospitality, tourism, human rights and the impact of COVID-19,” *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, 32(7), pp.2397-2407.
- Bhaduri, E. et al., 2020, “Modelling the effects of COVID-19 on travel mode choice behaviour in India,” *Transportation Research Interdisciplinary Perspective* 8, 100273.
- Ewing, R. and Cervero, R., 2001, “Travel and the built environment: a synthesis,” *Transportation Research Record* 1780, pp.87-114.
- Doyle, J., Hung, P., Farrell, R. and McLoone, S., 2014, “Population mobility dynamics estimated from mobile telephony data,” *Journal of Urban Technology* 21(2), pp.109-132.
- Feng, J., Li, X., Mao, Q. and Bai, Y., 2016, “Weighted complex network analysis of the different patterns of Metro traffic flows on weekday and weekend,” *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 9865230.
- Goh, S., Lee, K., Park, J. S. and Choi, M. Y., 2012, “Modification of the gravity model and application to the metropolitan Seoul subway system,” *Physical Review E* 86, 026102.
- Gössling, S., Scott, D. and Hall, C. M., 2020, “Pandemics, tourism and global change: A rapid assessment of COVID-19,” *Journal of Sustainable Tourism* 29(1), pp.1-20.

- Gursoy, D. and Chi, C. G., 2020, "Effects of COVID-19 pandemic on hospitality industry: review of the current situations and a research agenda," *Journal of Hospitality Marketing and Management* 29, pp.527-529.
- Kim, C., Cheon, S. H., Choi, K. and Joh, C. H. and Lee, H. J., 2017, "Exposure to fear: An analysis of behavioral change under MERS spread in Seoul," *KSCE Journal of Civil Engineering* 21(7), pp.2888-2895.
- Lai, C. C., Shih, T. P., Ko, W. C., Tang, H. J. and Hsueh, P. R., 2020, "Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) and corona virus disease-2019 (COVID-19): the epidemic and the challenges," *International Journal of Antimicrobial Agents* 55, 105924.
- Lee, K., Jung, W. S., Park, J. S. and Choi, M. Y., 2008, "Statistical analysis of the metropolitan Seoul Subway System: Network structure and passenger flows," *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications* 387, pp.6231-6234.
- Lee, K., Park, J. S., Choi, H., Choi, M. Y., and Jung, W. S., 2010, "Sleepless in Seoul: 'The ant and the metrohopper'," *Journal of the Korean Physical Society* 57(4), pp.823-825.
- Lee, K., Song, Y., Park, J. S. and Anderson, W. P., 2012, "Relationship between Diurnal Patterns of Transit Ridership and Land Use in the Metropolitan Seoul Area," *Journal of the Economic Geographical Society of Korea* 15(1), pp.26-41.
- Lee, K., Goh, S., Park, J. S., Jung, W. S. and Choi, M. Y., 2011, "Master equation approach to the intra-urban passenger flow and application to the Metropolitan Seoul Subway system," *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical* 44, 115007.
- Liu, L., Hou, A., Biderman, A., Ratti, C. and Chen, J., 2009, "Understanding individual and collective mobility patterns from smart card records: A case study in Shenzhen," in *Intelligent Transportation Systems*, 12th International IEEE Conference, pp.1-6.
- Shokouhyar, S. et al., 2021, "Shared mobility in post-COVID era: New challenges and opportunities," *Sustainable Cities and Society* 67, 102714(2021).
- Show, S. L. and Xin, X., 2003, "Integrated land use and transportation interaction: a temporal GIS exploratory data analysis approach," *Journal of Transport Geography* 11(2), pp.103-115.
- Zhu, R., Anselin, L., Batty, M., Kwan, M.-P., Chen, M., Luo, W., Cheng, T., Limm, C. K., Santi, P., Cheng C., Gu, Q., Wong M. S., Zhang, K., Lu, G. and Ratti, C., 2021, "The effects of different travel modes on COVID-19 transmission in global cities," *Research Square Preprint*.
- 교신: 이금숙, 서울특별시 성북구 보문로 34다길 2, 성신여자대학교 지리학과, 이메일: kslee@sungshin.ac.kr
- Correspondence: Keumsook Lee, Department of Geography, Sungshin Women's University, 2 Bomunro 34da-gil, Seongbuk-gu, Seoul, Korea, Email: kslee@sungshin.ac.kr
- 최초투고일 2021년 05월 31일
수정일 2021년 06월 18일
최종접수일 2021년 06월 25일