

코로나19(COVID-19)로 인한 지하철과 공유자전거 통행량 변화의 상관성 연구

The Analysis Correlation Subway and Bike Sharing Ridership before and during COVID-19 Pandemic in Seoul

이 상 준* · 신 성 일** · 남 두 희*** · 김 지 호**** · 박 준 태*****

* 주저자 : 서울연구원 교통시스템연구실 연구원
 ** 공저자 : 서울연구원 교통시스템연구실 연구위원
 *** 공저자 : 한성대학교 사회과학부 교수
 **** 공저자 : 서울연구원 교통시스템연구실 연구원
 ***** 교신저자 : 한국교통대학교 교통대학원 연구교수

Sangjun Lee* · Seongil Shin** · Doohee Nam*** · Jiho Kim**** ·
Juntae Park*****

* Dept. of Transportation Systems Research, The Seoul Institute
 ** Dept. of Transportation Systems Research, The Seoul Institute
 *** School. of Social Science, Univ. of Hansung
 **** Dept. of Transportation Systems Research, The Seoul Institute
 ***** Graduate School. of Transportation Systems Engineering, Univ. of Transportation Korea

† Corresponding author : Juntae Park, pj724@naver.com

Vol.20 No.6(2021)

December, 2021
pp.14~25

pISSN 1738-0774
 eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2021.20.6.14>

Received 1 October 2021
 Revised 28 October 2021
 Accepted 18 November 2021

© 2021. The Korea Institute of
 Intelligent Transport Systems. All
 rights reserved.

요 약

코로나19 확산과 함께 정부 정책인 사회적 거리두기에 따라 지하철 및 버스 통행량은 감소하는 반면 공유자전거 및 개인형 교통수단 통행량은 증가하는 추세이다. 이 같은 현상에 대한 객관적인 해석과 특성을 파악하고 지하철과 공유자전거 통행량의 상관관계를 통계적으로 입증하는 연구가 필요하다. 본 연구에서는 코로나19 확진자수와 지하철과 공유자전거 통행량의 대체비율간 상관관계를 살펴보았으며, 통계적 유의성은 크지 않은 것으로 분석되었다. 그러나 2020년 9월~12월의 서울시 코로나19 확진자수가 급격하게 증가하기 시작한 기간에는 서울시 코로나19 확진자수와 대체비율간 상관성을 보이는 것으로 나타났다. 이는 코로나19 확진자수가 일정규모 이상 증가하면 공유자전거가 지하철의 대체교통수단으로서 역할이 확대됨을 의미한다. 또한 코로나 19에 대응 가능한 교통수단 운영 및 정책 수립의 방향성 제시가 가능할 것으로 기대된다.

핵심어 : 코로나19, 공유자전거, 공공자전거, 지하철, 상관분석

ABSTRACT

With the spread of COVID-19 and the government policy of social distancing, the demand for subways and buses is decreasing, whereas the demand for public bicycles and personal transportation is increasing. Hence, research is needed to understand the characteristics of this phenomenon and to prove the statistical reliability of the correlation between the subway and shared bicycle demands. In this study, the correlation between the number of confirmed COVID-19 cases and the replacement rate of subway and public bicycle demands was examined, but the statistical significance was not

significant. However, during the period of September to December 2020, in which the number of confirmed COVID-19 cases in Seoul started to increase rapidly, there was a correlation between the number of confirmed COVID-19 cases and the replacement ratio. If the number of confirmed COVID-19 cases increases by more than a certain number, public bicycles are expected to play a significant role as alternates to the subways. It is expected that the role of public bicycles will increase, and that it is possible to suggest the direction of transportation operation and policy establishment for the continuation of COVID-19 countermeasures in field demonstration after elementary technology development. It is also expected that this study will suggest a direction for future development and policymaking.

Key words : COVID-19, Bike sharing, Public bicycle, Subway, Correlation coefficient

I. 서 론

코로나19 확산으로 인해 전세계는 재앙적 수준으로 피해를 보고 있다. 현재 우리나라는 1일 확진자가 최대 3,244명을 기록했고, 누적확진자 260,000명 이상 발생되고 있는 실정이다. 최근 변이 바이러스로 인한 확산이 거세고 백신접종자 돌과 감염사례가 크게 증가하는 가운데 우리나라뿐만 아니라 전세계가 방역과 대응에 크게 고심하고 있다.

현재 가장 대표적인 방역사례는 사회적 거리두기 정책이라 할 수 있다. 사회적 거리두기는 시민의 통행 제약이 따르기 때문에 통행 패턴과 횟수에 영향을 받을 수 밖에 없다. 특히 대도시의 경우 대중교통 통행량 변화가 예상된다. 특정 교통수단을 분류하여 검토해보면 코로나19 이후 지하철과 버스 통행량은 감소하고 공유자전거와 개인형 교통수단(PM) 통행량은 증가하는 추세이다(Cho et al. 2020; Hong et al. 2021). 세부적으로 우리나라의 경우 버스, 지하철과 같은 대중교통수단이 2019년 3월 대비 47.0%, 42.7% 감소한 것으로 나타났다(MOLIT, 2021). 반면 따릉이 공공자전거의 경우 69.5% 증가한 것으로 나타났다. 이 같은 현상은 사회적 거리두기가 가능한 교통수단을 선호하는 데 기인한다. 시민들은 승객당 확보공간이 협소한 지하철 이용을 자제하는 반면 공유자전거나 개인형교통수단을 활용하고자 한다(Weinert et al. 2007; Wang, 2014; Simha, 2016). 이는 코로나19와 같은 외생변수로 인해 감소된 수요를 대체교통수단으로 보완하는 정책이 그 어느 때보다 중요함을 시사한다. 그러므로 코로나19로 이후 대중교통 통행량이 변화된 특성을 파악하는 연구가 필요한 것이다.

본 연구는 코로나 출현 전후 지하철과 공유자전거 통행량의 상관성을 확인하기 위해 다음과 같은 분석 절차를 밟는다. 첫째, 코로나 출현 전후 지하철과 공유자전거 통행량 변화를 분석하고자 한다. 둘째, 두 교통수단간 상관성을 확인하고자 한다. 코로나19 대리변수로 볼 수 있는 코로나19 확진자수의 시간적 변동과 지하철 및 공공자전거의 이용수요 변동의 시계열적 특성을 분석하며, 지하철 통행량에 감소에 대한 공공자전거 통행량 증가의 기초적 비율 변화에 대한 시계적 상관성을 살펴보기로 한다. 셋째, 두 교통수단간 상호관계가 확인되면 대체효과를 입증하고자 한다. 이 과정에서 도출되는 분석결과는 향후 팬데믹(Pandemic) 발생을 대비하기 위한 대중교통 계획 및 정책 수립에 객관적인 근거로 활용될 것으로 기대된다.

II. 선행연구 고찰

코로나19 이후 우리나라 도로교통 수요변화를 분석한 Lim(2020)은 평균 일교통량이 전년 동기 대비 3.3%

감소하였으며, 주중보다 주말에 더 크게 감소한 것으로 분석하였다. 또한 지방부 도로 3.2% 감소, 관광부 도로 0.7% 감소한 것에 비해 도시부 도로는 4.6%로 더 크게 감소하였다. 뉴욕 및 시애틀 내 도로교통량과 대중교통 수요에 대해 분석한 Gao et al.(2020) 연구에서는 두 도시 모두 도로교통량 및 대중교통 통행량이 현저하게 감소하였으며, 회복단계에 들어선 시애틀의 경우는 교통량이 조금씩 회복하였다. 이는 대중교통에 비해 개인 교통수단을 더 선호함을 알 수 있었다.

대중교통 수요변화를 분석한 MOLIT(2021)는 코로나19 이후 교통카드 빅데이터 분석결과, 대중교통 이용객이 27% 감소하였으며, 1차 대유행, 사회적 거리두기 시행 등의 사건이 발생한 시점에 대중교통 수요가 크게 감소되었다가 서서히 회복되는 것을 파악하였다. Park(2020)은 교통카드자료를 이용하여 지하철 수요를 산정하였고, 군집분석을 활용해 4가지의 특성으로 지하철역을 구분하였다. 그리고 사회적 거리두기 정책에 따른 시민의 행동패턴이 어떻게 변화되는지를 정량적으로 분석하였다. 공통적으로 지하철 이용객은 감소하였고, 통근 목적에 비해 여가 목적 특성이 강한 역의 이용객 감소가 더 두드러졌다. 또한 대중에게 널리 알려진 코로나19가 발생하면 사회적 거리두기 준수하려는 경향이 커, 시간이 경과될 수록 그 수준이 서서히 감소하였다. Zhang et al.(2021)은 교통카드자료를 활용하여 코로나19 이후 홍콩 대중교통 이용객을 요일별, 연령별, 통행 목적별로 구분하여 분석하였으며, 감소를 차이는 있었지만 모든 수단의 이용객은 전부 감소하였다.

코로나19 이후 사회적 거리두기 영향으로 인해 대중교통 수요변화에 관한 연구와 더불어 공유교통수단 수요변화를 파악하는 연구가 진행되고 있다. Cho et al.(2020)는 서울시 내의 도로 및 대중교통 이용 수요가 감소하였으나 따릉이, 나눔카 등의 공유교통 이용수요는 감소된 경향이 없다고 제시하였다. Teixeira and Lopes(2020)는 뉴욕시 내의 지하철 및 공유자전거의 이용객 변화를 파악하였으며, 회귀분석을 통해 둘 사이의 상관관계를 입증하였다. COVID-19 이후 뉴욕의 지하철 이용객과 공유자전거 BSS(Bike Share Systems) 이용객 모두 감소하였으나 지하철에 비해 공유자전거의 감소율이 더 낮으며, 코로나19 영향에 보다 탄력적으로 대응할 수 있어 대체교통수단의 가능성을 제시하였다.

현재까지 진행된 코로나19 이후 대중교통 이용객의 통행태 및 교통수요 변화에 관한 선행연구를 살펴보면 대부분 교통량, 대중교통 이용률 등의 수치를 분석하여 사회적 거리두기에 따라 시민들의 교통수단 이용률 자체가 감소하였음을 보여준다. 그러나 선행연구는 1~3개월 단기간 시계열 자료를 분석한 결과이므로 보다 정확한 추세 파악이 필요하며, 통계적 신뢰성이 낮은 한계점이 존재한다. 그리고 코로나19로 인해 공유자전거가 지하철의 대체수단이 가능하지에 대한 객관적인 국내연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 장기간 시계열 자료를 활용하여 코로나19와 지하철 및 공유자전거 통행량의 상관관계를 분석하고자 한다. 대표적인 시계열 분석모형을 통해 코로나19가 지하철과 공유자전거 수요변화에 영향을 미쳤는지를 분석하며, 공유자전거가 지하철의 대체수단으로서 역할이 가능한지 그 여부를 확인한다.

<Table 1> Comparison of Studies on Changes in Traffic Demand before and during COVID-19

Studies	Duration	Spatial Extent	Demand Changes
Gao et al.(2020)	February-April 2020	New York and Seattle	- Subway ridership in New York : -91% - Traffic volume in New York : -68% - Traffic volume in Seattle : -79%
Lim(2020)	January - May 2019 January - May 2020	Korea	- Traffic volume : -3.3% • Local road : -3.2% • Tourism road : -0.7% • Urban road : -4.6%

Studies	Duration	Spatial Extent	Demand Changes
Park(2020)	January - March 2020	Seoul	- Subway ridership : -40.6% • Stations of work purpose ridership : -36.2% • Stations of leisure purpose ridership : -51.6%
Teixeira and Lopes(2020)	2nd week - 5th week March 2020	New York	- Bike sharing ridership : -71% - Subway ridership : -90%
Cho et al.(2020)	September 5, 2019 - May 18, 2020	Seoul and Sejong	- Traffic volume : 35.1% - Subway ridership : -35.1% - Bus ridership : -27.5% - Car sharing drivers : 23.3% - Bike sharing ridership : 29.5%
MOLIT(2021)	January 2019 - December 2020	Korea	- Public transportation ridership : -27% - Public transportation ridership(weekend) : -36.1%
Zhang et al.(2021)	January - March 2020	Hong Kong	- Subway ridership • Weekday : -43% • Adult : -42% • Saturday : -49% • Children : -86% • Sunday : -59% • Senior : -48%

Ⅲ. 자료 구축 및 통행 특성 분석

1. 자료 구축 및 기초통계 분석

분석모형에서 활용될 자료는 서울시 1~8호선 지하철 이용자수와 공유자전거 이용자수 그리고 코로나19 확진자수 자료이다. 또한 대중교통 수요에 영향을 미칠 것으로 판단되는 온도(°C) 및 강수량(mm) 자료를 수집하였다(Shin and Choi, 2014). 분석기간은 코로나19 확진자수가 급격하게 발생한 2020년 3~12월 중심으로 2019년도 동일기간으로 설정하였다. 분석결과의 일관성을 확보하기 위해 분석자료는 동일기간 내 일별 단위로 구축하였다. 특히 2020년에는 윤년이 포함되어 이를 감안하기 위해 분석기간 내 동일한 요일로 통일했다.

수집된 변수와 기초통계 분석결과는 <Table 2>와 같다. 1일 평균 이용자수는 2019년 지하철이 4,895,310명, 공유자전거가 59,336명으로 코로나19가 전국적으로 확산되기 시작한 2020년 지하철 3,380,882명, 공유자전거 72,381명으로 산정되었다. 2019년 대비 2020년 지하철 이용자수는 31% 감소한 반면 공유자전거 이용자수는 22% 증가한 것으로 분석되었다. 코로나 확진자수는 전국 기준 최대 1,240명, 최소 2명이며, 서울 기준은 최대 588명, 최소 0명으로 나타났다.

<Table 2> Descriptive statistics of the Variable before and during COVID-19

Variable		Duration	Mean	Std. Deviation	Maximum	Minimum
Subway ridership		2019. 3. 4. ~ 2019. 12. 31.	4,895,310	991,983	6,040,357	1,961,811
		2020. 3. 2. ~ 2020. 12. 29.	3,380,882	1,002,804	4,628,523	1,023,109
Bike sharing ridership		2019. 3. 4. ~ 2019. 12. 31.	59,336	24,121	95,859	9,680
		2020. 3. 2. ~ 2020. 12. 29.	72,381	28,080	118,921	3,144
COVID-19 confirmed cases	Seoul	2020. 3. 2. ~ 2020. 12. 29.	63	104	588	0
	Korea	2020. 3. 2. ~ 2020. 12. 29.	189	263	1,240	2

Variable	Duration	Mean	Std. Deviation	Maximum	Minimum
Daily average temperature(°C), DAT	2020. 3. 2. ~ 2020. 12. 29.	16.2	8.9	31.6	-7.9
Daily precipitation(mm), DP	2020. 3. 2. ~ 2020. 12. 29.	5.0	15.7	103.1	0
Subway ridership change	2019. 3. 4. ~ 2020. 12. 31.	-1,514,428	1,588,725	1,788,608	-4,818,609
Bike sharing ridership change	2019. 3. 4. ~ 2020. 12. 31.	13,045	27,208	88,885	-78,766

source : Korea Meteorological Administration, <https://data.kma.go.kr>
 Seoul Open Data Portal, <http://data.seoul.go.kr>
 Statics Korea, <https://kosis.kr>

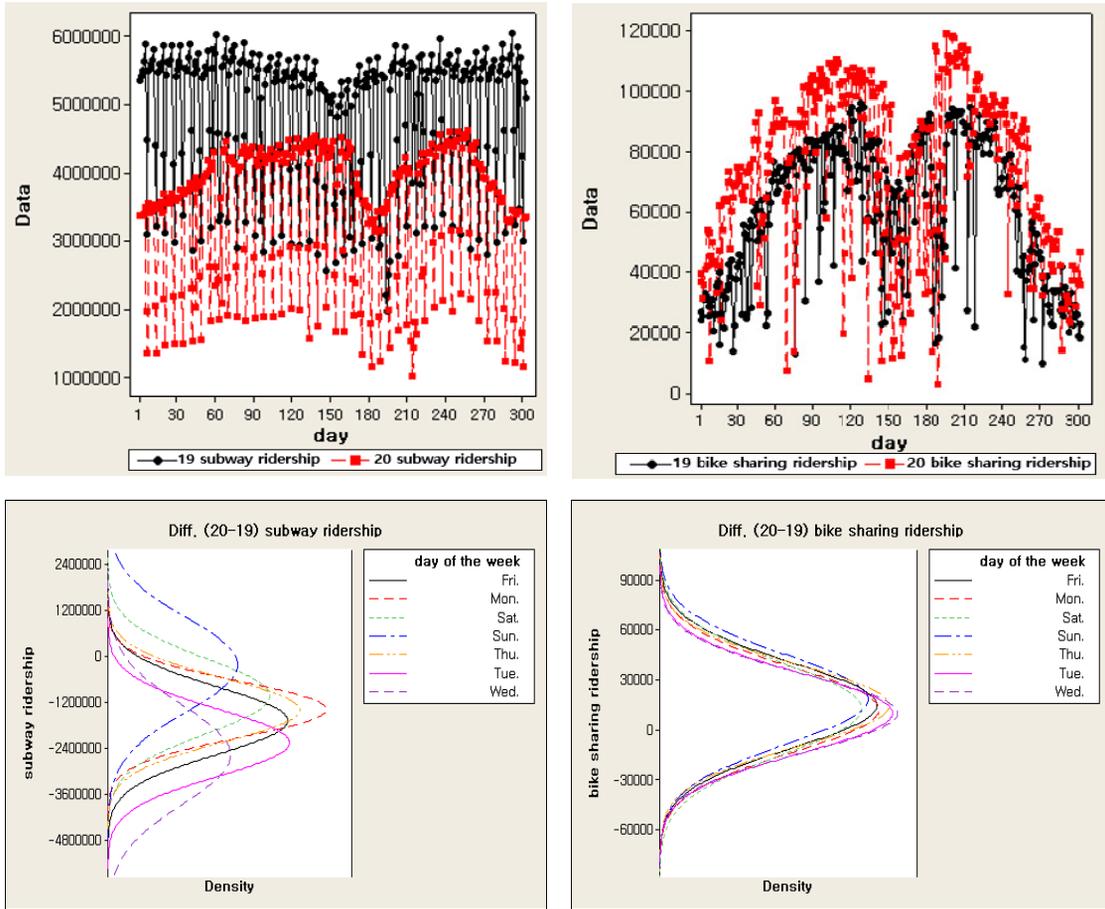
2. 통행 특성 분석

2019년과 2020년 지하철 이용자수를 요일별로 비교해 보면 일요일이 44.0%로 최대 감소하였으며, 다음으로 토요일이 41.5%로 감소된 것으로 분석되었다. 평일인 월요일~목요일은 26~28% 수준 감소하였으며, 금요일의 경우 30.2%로 감소하였다. 주말에 지하철 이용자가 급감한 이유는 오락, 레저, 친목 등 선택통행(discretionary trip)을 자제했기 때문인 것으로 사료된다. 반면 평일은 출퇴근, 등하교와 같은 필수통행(compulsory trip) 때문에 주말에 비해 상대적으로 감소 폭이 작은 것으로 판단된다.

공유자전거 이용자수 차이는 2019년과 2020년 요일별로 비교시 일요일이 26.7%로 가장 크게 증가하였으며, 토요일은 23.0%로 증가하였다. 평일은 14~29% 수준으로 증가한 것으로 분석되었다. 공유자전거 이용자는 주말의 경우 선택통행 증가된 것으로 확인되며, 상대적으로 주말 대비 평일 이용자의 증가 폭이 작으므로 나타났다.

<Table 3> Differences in Weekly Ridership before and during Covid-19

Category	Subway				Bike Sharing			
	Ridership 19	Ridership 20	Change		Ridership 19	Ridership 20	Change	
			(Ridership)	(%)			(Ridership)	(%)
Mon	5,292,129	3,873,071	-1,419,058	-26.8	61,154	69,896	8,743	14.3
Tue	5,474,987	3,927,516	-1,547,471	-28.3	63,659	75,135	11,476	18.0
Wed	5,382,834	3,914,598	-1,468,236	-27.3	59,558	71,294	11,736	19.7
Thu	5,294,852	3,884,409	-1,410,443	-26.6	58,691	75,776	17,085	29.1
Fri	5,616,792	3,922,984	-1,693,808	-30.2	62,041	77,398	15,357	24.8
Sat	4,253,802	2,487,533	-1,766,269	-41.5	59,403	73,078	13,675	23.0
Sun	3,024,320	1,693,769	-1,330,551	-44.0	53,249	67,472	14,223	26.7

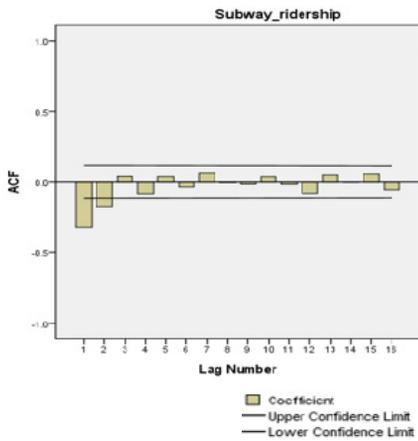


<Fig. 1> Differences in Weekly Subway Ridership(19 vs 20)

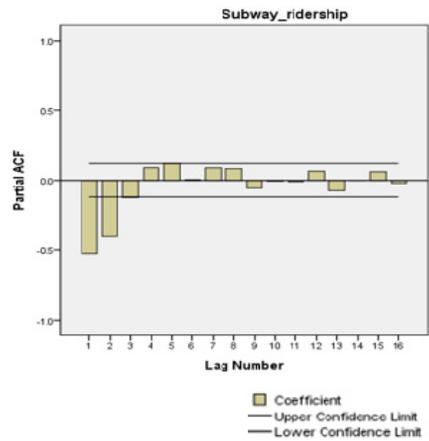
<Fig. 2> Differences in Weekly Bike Sharing Ridership(19 vs 20)

ARIMA(Autoregressive integrated moving average)모형은 AR(Autocorrelation)과 MA(Moving Average) 모형을 합친 형태로 AR은 자기상관성을 시계열 모형으로 구성하여 과거 관측값으로 미래값을 예측하는 모형이다. MA모형은 예측 오차를 이용하여 미래값을 예측하는 모형으로 ARIMA(p,d,q)로 표현한다. 시계열데이터가 추세나 계절성을 갖는 경우 정상성을 갖기 위해 로그변환 또는 차분(differencing, $y_t - y_{t-1}$) 후 시계열 분석을 수행한다. p는 자기회귀 부분의 차수, d는 차분 회수, q는 이동평균 부분의 차수이다.

ACF(Autocorrelation Function)는 시차에 따른 자기상관을 의미하며 시차가 커질수록 ACF는 0에 가까워진다. PACF(Partial Autocorrelation Function)는 편자기함로서 시차가 다른 두 시계열 데이터간의 순수한 상호 연관성을 보여주는 함수이다. 통행량 차이(20-19)에 대한 시계열적 특성을 살펴보면 지하철의 경우, ACF(autocorrelation) 함수는 시차1, 시차2에서 음의 상관을 보이며, 편자기(Partial autocorrelation)함수는 2시차 이후 지속적으로 감소하는 것으로 분석되었다. 또한 공유자전거의 경우도 유사한 패턴으로 보이는 것으로 나타났다.

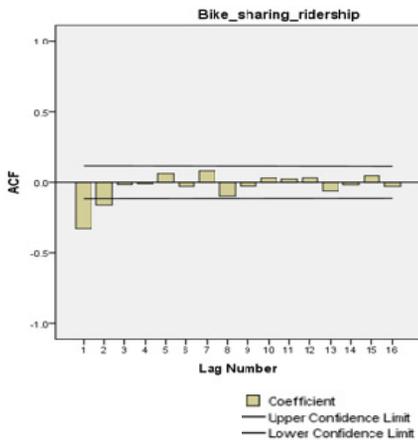


(a) ACF of Subway Ridership(20-19)

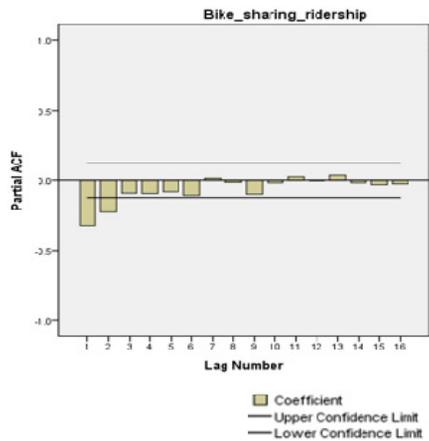


(b) PACF of Subway Ridership(20-19)

<Fig. 3> Time Series Characteristic of Subway Ridership(20-19)



(a) ACF of Bike Sharing Ridership(20-19)



(b) PACF of Bike Sharing Ridership(20-19)

<Fig. 4> Time Series Characteristic of Bike Sharing Ridership(20-19)

즉, 전기 1~2시차 단위 영향을 받는 것으로 판단되며, ACF가 지수적으로 감소하는 과동곡선 특성을 보여 이전 시점값의 영향을 반영하는 AR(p)를 고려해야 할 것으로 판단된다. 동시에 1~2시차에서 점차적으로 감소함(절단)에 따라 오차 영향을 반영하는 MA(q)를 고려해야 할 것으로 판단된다.

IV. 분석 방법론

본 연구에서는 코로나19 확산에 따른 도시철도 및 공유자전거 이용자수의 변화를 살펴보기 위해 시계열 회귀분석(Time Series Regression)을 활용하였다. 2020년 3월 코로나19 확산과 함께 도시철도 이용자는 2019년에 비해 큰 폭으로 감소하였으며, 대표적 개인형 이동수단인 공유자전거의 이용량은 증가하였다. 따라서

시간에 따라 관측된 자료로 확률과정(Stochastic Process)를 살펴볼 필요가 있으며, 코로나19 확산의 대리변수라 할 수 있는 코로나19 확진자수, 교통시설 이용에 영향을 미칠 것으로 판단되는 온도(°C) 및 강수량(mm) 자료를 영향변수로 분석하였다(Shin and Choi, 2014). 본 연구에서는 시차변수 분석을 위해 ARIMA (auto-regressive integrated moving average) 모형을 활용하였으며, 오차항(ϵ_t)의 자기상관성을 고려하여 시계열 회귀분석 모형을 개발하고 모형 해석을 진행하였다. 코로나19 확산과 교통수단 통행량이 시간에 따라 함께 변동할 것으로 판단되기 때문에 확률 변수 선형 결합의 시간을 고려하는 ARIMA 모형이 적절하다고 판단된다(Lee and Gwon, 2011; Suh et al., 2017).

다음으로 식(1)과 같이 2019년 대비 2020년 지하철 이용수요 변동량과 공유자전거 이용수요 변동량의 비율 변화를 검토한다. 기초통계에서 검토한 바와 같이 대표적 대중교통시설인 지하철 이용수요 변동량은 전년도인 2019년에 비해 2020년 코로나19 확산기간 동안 감소하는 경향을 보였다. 반대로 대표적 개인형 교통수단인 공유자전거 이용수요는 증가하였다. 그러므로 대중교통시설 대비 개인교통시설의 이용자수 변동과 급락을 검토하려면 각 수단별 이용수요 변동량을 분석해야한다. 이는 코로나19 장기화와 관련한 교통정책 방향 설정시 활용할 수 있는 지표가 될 수 있을 것으로 사료된다. 그러므로 본 연구에서는 지하철과 공유자전거 통행량 변동비율(%)을 기준으로 코로나19 확진자수와와의 상관분석을 실시하기로 한다.

$$\text{통행량 변동 규모비}(\%) = \frac{\text{공유자전거 이용수요 변동량}}{\text{지하철 이용수요 변동량}} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

V. 분석 결과

지하철 모형과 공유자전거 모형 모두 1년 이하 자료 수집의 한계로 비계절성 모형으로 분석하였으며, 이용수요의 차이 값을 종속변수로 활용하는 바 음수의 영향을 고려하여 로그변환하지 않은 원자료로 분석하였다. 또한 차분이 증가할수록 노이즈를 경향으로 인식하기 때문에 1차 차분(d=1)으로 한정하였으며 1차 차분 후 불규칙한 시계열 데이터가 보다 안정화 되었다.

지하철 모형의 경우 반복계산을 통해 1차분한 ARIMA(1,1,1) 모형이 적합한 것으로 분석되었으며, 공유자전거 모형의 경우도 1차분한 ARIMA(1,1,2)모형이 적합한 것으로 분석되었다. 이는 p, d, q의 차수를 변경해 가며 Ljung-Box Q에 의해 잔차의 독립 여부를 확인한 후 모형의 적합도가 우수한 모형 선택을 의미한다. 즉, 관측치의 독립성 여부를 검토하는 Ljung-Box Q의 값이 지하철 모형의 경우 7.710 (p>0.05)으로 모형이 적합하며, 정확도에 대해 백분율로 나타내는 MAPE(Mean Absolute Percentage Error)는 9.25% 오차를 보여 비교적 우수한 예측이라 할 수 있다. 공유자전거 모형의 경우도 Ljung-Box Q의 값 11.925 (p>0.05), MAPE는 16.323로 분석되었다.

<Table 4> Subway Model Statistics

Stationary R ²	Ljung-Box Q			MAPE
	Statistics	DF	Sig.	
0.815	7.710	13	0.862	9.250

<Table 5> Bike Sharing Model Statistics

Stationary R ²	Ljung-Box Q			MAPE
	Statistics	DF	Sig.	
0.779	11.925	16	0.749	16.323

2019년과 2020년 지하철 이용수요 차이 Y_t 시점값은 $r_1 = 0.312$ (=AR(1)) 자기상관을 보이며, 오차항의 경우 1시차까지(MA(1)) 영향(0.997)을 받는 것으로 나타났다. 시계열적 영향 외 독립변수인 온도(°C) 및 강수량(mm)은 지하철 이용자수 변화에 영향을 주지 않는 것으로 분석되었다. 이는 지하철의 경우 출·퇴근 및 일상 생활의 대표적 교통수단으로 기상환경 등 외부요인에 대한 수요변동 영향이 적기 때문인 것으로 판단된다. 반면 서울시 코로나19 확진자수 증가(당일, 동시시차)는 지하철 이용자수 차이(2019년과 2020년 동시점 이용수요 차이)를 크게 하는 영향을 주는 것으로 나타났다. 뉴스, 언론보도 등을 통해 제시되는 당일 서울시 코로나19 확진자수가 지하철 수요에 대한 감소 영향을 주는 것으로 판단된다. 반면 수도권 및 전국 코로나19 확진자수는 유의하지 않은 것으로 나타나 공간적 영향으로 판단된다.

공유자전거의 경우 $r_1 = 0.296$ (=AR(1)), 오차의 경우 2시차인 MA1(1.449), MA2(0.936)으로 분석되었다. 서울시 코로나19 확진자수의 증가는 공유자전거 이용수요를 증가시키고, 당일 강수량(mm)은 공유자전거 이용을 감소시키는 영향관계로 분석되었다. 여기서, 서울시 COVID-19 확진자수의 증가가 지하철의 경우 이용수요를 감소시키는 영향을 미치는 것과 반대로 공유자전거는 수요를 증가시키는 영향으로 나타났다. 코로나19 때문에 이용자는 위험부담이 높은 복합시설보다 개인형 교통수단을 선호한다고 사료된다. 온도(°C)의 경우 공유자전거 이용수요 변화에 유의하지 않은 것으로 분석되었으며, 공유자전거 이용 특성상 단거리 통행이 많기 때문에 크게 영향을 주지 못하는 것으로 해석된다.

<Table 6> Subway Model Parameters

Variable	Parameter	Coef.	Std. Error	t	Sig.
Differences ridership	Constant	-5798.137	2472.561	-2.345	0.020
	AR Lag 1	0.312	0.060	5.165	0.000
	MA Lag 1	0.997	0.086	11.548	0.000
DAT	Lag 0	-59.528	648.860	-0.092	0.927
DP	Lag 0	-764.514	571.157	-1.339	0.182
Seoul_COVID19_Infected Persons	Lag 0	-2,039.972	913.051	-2.234	0.026
Metropolitan Area_COVID19_Infected Persons	Lag 0	-900.429	516.529	-1.743	0.082
Korea_COVID19_Infected Persons	Lag 0	-79.192	119.617	-0.662	0.508

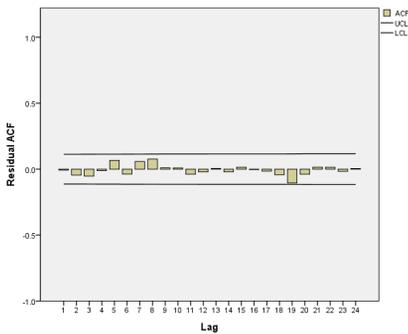
note : Differencing=1

<Table 7> Bike Sharing Model Parameters

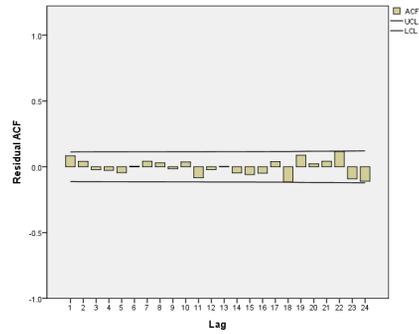
구분	Parameter	Coef.	Std. Error	t	Sig.	
Differences ridership	Constant	-1071.763	436.235	-2.457	0.015	
	AR Lag 1	0.296	0.058	5.102	0.000	
	MA	Lag 1	1.449	0.269	5.391	0.000
		Lag 2	0.936	0.045	20.830	0.000
DAT	Lag 0	40.354	25.454	1.585	0.114	
DP	Lag 0	-53.009	24.935	-2.126	0.034	
Seoul_COVID19_Infected Persons	Lag 0	29.529	14.421	2.048	0.041	
Metropolitan Area_COVID19_Infected Persons	Lag 0	8.354	19.027	.439	0.661	

note : Differencing=1

지하철 및 공유자전거 모형 모두 잔차자기상관함수는 신뢰구간 내에 있는 것으로 나타나 백색잡음으로 독립적이라 판단할 수 있다. 자기상관함수의 Ljung-Box 통계량 p값이 95% 신뢰수준에서 유의하지 않았으며, 잔차의 정규성에 대한 Kolmogorov-Smirnov 검정통계량이 지하철과 공유자전거 모형 모두 유의수준 5% 보다 커 정규성을 따른다고 할 수 있다. 또한 관측값과 적합값의 차이인 잔차시차도표(RACF)를 살펴보면 잔차 분산이 고르게 유지되는 것으로 판단된다.



<Fig. 5> RACF of Subway Model



<Fig. 6> RACF of Bike Sharing Model

<Table 8> Normality Test of Residual(K-S test)

Subway			Bike sharing		
Kolmogorov -Smirnova	df	Sig.	Kolmogorov -Smirnova	df	Sig.
0.08	302	0.906	0.19	302	0.363

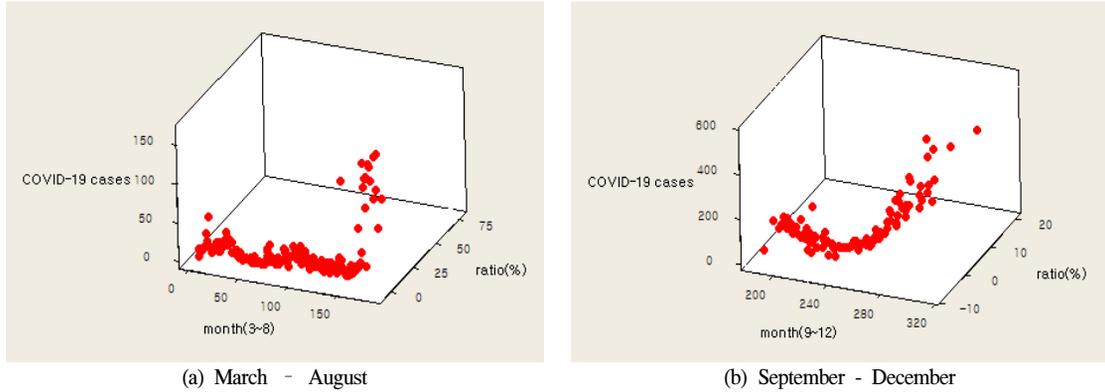
코로나19 지속과 관련한 시계열적 특성으로 서울시 코로나19 확진자 증가는 지하철 이용수요에는 감소영향을, 공유자전거 이용수요에는 증가영향을 주는 것으로 분석되었다. 지하철 이용수요 감소에 대한 공유자전거 이용수요 증가 비율을 간접적 대체효과라 하였을 때 서울시 코로나19 확진자수가 처음 100명을 넘어선 2020년 8월부터는 감염자수(8.15광복절 150명 기록)가 증가함에 따라 공유자전거 의존도가 높아지는 대체 경향을 살펴볼 수 있다.

그러나 코로나19 확진자수와 대체비율간 상관관계는 유의하지 않은 것으로 나타났다($p>0.05$). 이는 지하철 이용수요 감소에 대한 보행, 개인형 교통수단 이용 등 타 교통수단으로 전환 영향, 통행량 전반의 감소 영향 및 외부 요인을 고려해야 할 것으로 사료된다. 단, 2020년 9월~12월(4개월) 서울시 코로나19 확진자수가 급격하게 증가하기 시작한 기간에는 코로나19 확진자수와 대체비율간 상관성($p<0.1$)을 보이는 것으로 나타나 일정규모 이상의 코로나19 확진자수의 증가가 교통수단 이용수요 대체 변동에 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다.

<Table 9> Correlation of Scale Ratio of Covid-19 Confirmed Cases to Changes in Ridership

Duration	COVID-19 Confirmed Cases in Seoul		COVID-19 Confirmed Cases in Metropolitan	
	Coef.	Sig.	Coef.	Sig.
March ~ August	-0.074	0.367	-0.077	0.348
September ~ December	0.164*	0.082	0.108	0.252

* $p<0.1$, ** $p<0.05$



<Fig. 7> Ratio of Covid-19 Confirmed Cases in Seoul to Changes in Ridership

VI. 결론 및 향후 과제

본 연구는 본격적으로 코로나19가 확대된 2020년 3월을 기점으로 2019년 대비 서울시 지하철과 공유자전거 통행량의 변화를 살펴보았다. 지하철 통행량은 감소하였으나, 공유자전거 통행량은 증가함을 파악할 수 있었다. 요일별로 비교해 보면 지하철 통행량은 평일보다 주말 감소 폭이 더 크며, 공유자전거 통행량은 주말이 평일보다 증가 폭이 큰 것으로 분석되었다. 이는 대중교통 이용객이 선택통행에 있어서 지하철보다는 공유자전거를 더 적극적으로 활용한다는 방증이기도 하다. 따라서 이 같은 특성을 객관적으로 입증하기 위해 코로나19 확대 현상의 대리변수로 볼 수 있는 코로나19 확진자수 규모를 활용하여 시계열적 특성을 도출하였다.

코로나19 확진자수는 지하철과 공유자전거 통행량의 상관관계를 입증하였으며, 코로나19 확진자수가 일정규모 이상 증가하면 공유자전거가 지하철의 대체교통수단의 가능성을 확인할 수 있었다. 다시 말해, 지하철 통행량 감소에 대한 공유자전거 통행량 증가로 이어지는 대체효과가 나타나고 있는 것으로 판단된다. 이는 코로나19 지속에 대한 교통수단 운영 및 정책 수립의 방향성을 제시할 수 있으며, 대중교통 대응체계의 맹점을 보완할 수 있을 것으로 기대된다.

그러나 명확한 규명을 위해서는 버스, 택시 등 타 교통수단 분담 변화를 반영한 종합 분석이 필요하다. 다만 모든 수단의 통계자료를 수집하기에는 현실적인 어려움이 따르고 두 개 수단만의 상관성 분석의 적합성에 관해 추가 논의와 검증이 필요하다. 더불어 코로나19 확대에 따른 대응조치 특성을 반영한 연구가 뒷받침되어야 한다. 지난 2년 동안 정부는 코로나19 확산 방지를 위해 단계적 거리두기 시행(모임 인원, 음식점 영업시간 제한 등) 및 대응 지침에 따른 현장 통제를 시행하였다. 이러한 외부요인은 교통수단 이용수요에 직·간접적 영향을 미칠 수 있는 요인으로 향후 연구에서 고려해야 할 것이다. 그리고 코로나19 장기화에 따른 ‘위드 코로나’ 현상 또한 영향을 줄 수 있는 것으로 교통수단 이용자의 인식 또한 향후 연구에서 다루어야 할 중요한 요인으로 판단된다.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was supported by a grant (21TLRP-B148684-04) from Transportation & Logistics Research Program (TLRP) funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government.

REFERENCES

- Chei D. H., Lee C. H., Lee S. Y. and Baek J. W.(2014), “Correlation Analysis Between Railroad and Incheon Int'l Airport Passengers,” *Proceedings of Korean Society for Railway*, pp.496–501.
- Cho H. R., Yun S. B. and Jeong Y. J.(2020), “Seoul Transportation Changes and Strategies After COVID-19,” *Korean Society of Transportation*, vol. 17, no. 3, pp.46–51.
- Gao J., Wang J., Bian Z., Bernardes S. D., Chen Y., Bhattacharyya A., Thambiran S. S. M., Ozbay K., Iyer S. and Ban X. J.(2020), “The Effects of the COVID-19 Pandemic on Transportation Systems in New York City and Seattle, USA,” *Connected Cities with Smart Transportation*, White Paper Issue2.
- Hong J. Y., Han E. R., Choi C. H., Lee M. S. and Park D. J.(2021), “Estimation of Shared Bicycle Demand Using the SARIMAX Model: Focusing on the COVID-19 Impact Seoul,” *The Korea Institute Of Intelligent Transport Systems*, vol. 20, no. 1, pp.10–21.
- Kim S. H., Baek S. K. and Han D. H.(2010), “Relationship Between Expressway Traffic Volume and Economic Growth Rate,” *Transportation Technology and Policy*, vol. 7, no. 4, pp.75–79.
- Korea Meteorological Administration, <https://data.kma.go.kr>
- Lee J. M. and Gwon Y. J.(2011), “A Study on Dynamic Change of Transportation Demand Using Seasonal ARIMA Model,” *Korean Society of Transportation*, vol. 29, no. 5, pp.139–155.
- Lim S. H.(2020), “An Analysis of Change in Traffic Demand with Coronavirus Disease 2019,” *The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 19, no. 5, pp.106–118.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2021), “COVID-19 data and big data Analysis,” *Transportation Technology and Policy*, vol. 18, no. 2, pp.93–96.
- Park J.(2020), “Changes in Subway Ridership in Response to COVID-19 in Seoul, South Korea: Implications for Social Distancing,” *Cureus*, vol. 12, no. 4, pp.1–11.
- Seoul Open Data Portal, <http://data.seoul.go.kr>
- Shin K. W. and Choi K. C.(2014), “Analyzing the Relationship Between Precipitation and Transit Ridership Through a Seemingly Unrelated Regression Model,” *Korean Society of Transportation*, vol. 32, no. 2, pp.83–92.
- Simha P.(2016), “Disruptive innovation on two wheels: Chinese urban transportation and electrification of the humble bike,” *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, vol. 44, no. 4, pp.222–227.
- Statics Korea, https://kosis.kr/covid/covid_index.do
- Suh B. H., Yang T. W. and Ha H. K.(2017), “Application of SARIMA Model in Air Cargo Demand Forecasting: Focussing on Incheon–North America Routes,” *Korean Society of Transportation*, vol. 35, no. 2, pp.143–159.
- Teixeria J. F. and Lopes M.(2020), “The link between bike sharing and subway use during the COVID-19 pandemic: The case-study of New York’s Citi Bike,” *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, vol. 6, 100166.
- Wang K. Y.(2014), “How change of public transportation usage reveals fear of the SARS virus in a city,” *PLOS ONE*, vol. 9, no. 3, e89405.
- Weinert J., Ma C. and Cherry C.(2007), “The transition to electric bikes in China: History and key reasons for rapid growth,” *Transportation*, vol. 34, no. 3, pp.301–318.
- Zhang N., Jia W., Wang P., Dung C. H., Zhao P. and Leung K.(2021), “Changes in local travel behaviour before and during the COVID-19 pandemic in Hong Kong,” *Cities*, vol. 112, 103139.