

COVID-19 전후 도시철도 승차인원 시계열 군집분석을 통한 역세권 군집별 대응방안 고찰

리청시* · 정헌영**

Li, Cheng Xi*, Jung, Hun Young**

A Study on the Response Plan by Station Area Cluster through Time Series Analysis of Urban Rail Riders Before and After COVID-19

ABSTRACT

Due to the spread of COVID-19, the use of public transportation such as urban railroads has changed significantly since the beginning of 2020. Therefore, in this study, daily time series data for each urban railway station were collected for three years before COVID-19 and after the spread of COVID-19, and the similarity of time series analysis was evaluated through DTW (Dynamic Time Warping) distance method to derive regression centers for each cluster, and the effect of various external events such as COVID-19 on changes in the number of users was diagnosed as a time series impact detection function. In addition, the characteristics of use by cluster of urban railway stations were analyzed, and the change in passenger volume due to external shocks was identified. The purpose was to review measures for the maintenance and recovery of usage in the event of re-proliferation of COVID-19.

Keywords : Time Series Cluster Analysis, Station area, COVID-19, Urban rail

초록

COVID-19 (Coronavirus disease 2019) 확산으로 2020년 초부터 도시철도 등 대중교통수단의 이용량이 크게 변동하였다. 이에 본 연구에서는 COVID-19 이전과 COVID-19 확산 이후, 3년 동안 도시철도 역별 일별 시계열 자료를 수집하여 DTW (Dynamic Time Warping) 거리법을 통해 시계열 군집분석 유사도를 평가하여 군집 별 회귀 중앙치를 도출하고, COVID-19 등 여러 외부 사건이 이용객 수의 변동에 미치는 영향을 시계열 충격 탐지 함수(Outlier Detection)로 진단하였다. 또한 도시철도 역의 군집 별 이용 특성을 분석하고 또한 외부 충격에 따른 승객량의 변동을 파악하였다. 향후 COVID-19 재확산 시 이용량의 유지와 회복에 대한 방안을 검토하는 데 목적을 두었다.

검색어 : 시계열 군집분석, 역세권, COVID-19, 도시철도

* 부산대학교 도시공학과 석사과정 (Pusan National University · chongsi@pusan.ac.kr)

** 종신회원 · 교신전자 · 부산대학교 도시공학과 교수 (Corresponding Author · Pusan National University · huyjung@pusan.ac.kr)

Received December 29, 2022/ revised January 27, 2023/ accepted February 2, 2023

1. 서론

COVID-19(Coronavirus disease 2019)는 2020년 초부터 세계적 확산으로 국민 생활 전반에 충격이 가해지면서 대중교통수단 이용에 영향을 미쳤다. 확진자 수의 급증, 사회적 거리 두기 정책의 시행 등 외부 변화로 시민들은 대중교통을 이용하는 것에 대해 경계심을 갖게 되어 외출 활동량을 크게 줄였다. 부산교통공사에서 발표한 통계 결과에 의하면 2021년 부산시 도시철도 월평균 이용객 수가 2020년 동기 대비 2.6% 정도 감소하였으며 2019년 대비 26.3% 정도 감소하였다. 전 세계 주요 대도시와 마찬가지로 2020년은 COVID-19 확산의 주요 시점으로 부산시 대중교통 이용에 치명적인 영향을 주었다.

부산시 도시철도의 역별 승차량 통계 결과 지난 3년 동안 역별 승차량 증감 및 이용 회복세에 뚜렷한 차이가 있다. 하루평균 승차량만 보면 부산도시철도 이용승객량이 가장 많은 서면역은 2019년의 68,479명에서 2021년의 45,702명으로 33.29% 정도 감소하고 이용승객량이 가장 적은 금사역은 2019년의 1,985명에서 2021년의 1,603명으로 19.24% 정도 감소한 것으로 나타났다.

질병 관리청 발표한 통계 결과 2021년 후반기에 들어와 백신 면역체계를 구축, 완화에 따라 도시철도 승차량이 2021년의 하반기 하루평균 6,658명 수준에서 2022년 상반기의 7,406명 수준으로 점차 회복세를 보이기 시작하고 있다. 따라서 이와 같은 상황에서 향후 COVID-19와 같은 팬데믹이 도시에서 재발할 경우, 대중교통의 이용량이 급격히 감소하는 것을 예방할 방안에 대해서 검토할 필요가 있으며, COVID-19 회복 시에도 도시철도가 시민들에게 제대로 기능을 다 할 수 있도록 방안을 검토할 필요가 있다.

이에 본 연구는 대중교통 승객 이용량의 유지를 위한 운영대책과 전염병 회복 시의 대응책을 검토해 향후 COVID-19 재발 시 역세권 특성에 맞는 대책을 위한 기초자료를 제공하는 데 목적을 두고 있다.

2. 선행연구 및 분석 방법

2.1 선행연구 고찰

도시철도 승차량은 시계열 주기적으로 변화하고 역세권의 여러 객관적인 조건에 의해 승차량이 달라진다. 이처럼 특정 역을 대상으로 팬데믹에 대한 대책을 구축하기 위해서는 군집분석을 통한 그룹핑이 필요하다고 판단된다. 시계열 군집분석에서 가장 중요한 것은 표본의 특성에 맞는 유사도 척도 모형을 선택하는 것이기 때문에, 이를 중심으로 선행연구를 살펴보았다.

Hwang et al.(2021)는 효율적인 도로 운영을 도모하고자

DTW(Dynamic Time Warping) 동적 타임 워핑 모형을 이용해 교통량과 속도 시계열 군집분석을 하고 최적 신호 운영 시나리오를 제안하였다.

Kim(2022)는 신규 공영주차장의 실시간 주차 가능 면수 시계열 자료를 활용하여 관측치의 유사도를 측정하는 데 DTW, soft-DTW를 사용하여 모형 비교 분석을 수행하였다.

시계열 이상치 분석(Time Series Outlier Detection)은 COVID-19와 같은 외부사건이 시계열에 미칠 영향을 세분화하는데 많이 이용된 기법이다. 교통공학에서 대표적인 선행연구로 Lee and Yoon(2017)는 경부선 주요 도시의 철도 승객수가 외부사건의 발생으로 인해 나타난 이상치를 구간별 진단하고 영향 유형을 세분화한 결과가 매우 직관적이고 분명하였다.

이처럼 대다수 대중교통에 대한 시계열 분석은 주로 새로운 노선 개통 개입 분석 또는 경유지가 유사한 두 노선 간의 충격 분석에 중점을 두었다. 하지만 승차량 시계열 자료를 군집화하고 이용 특성과 외부 개입에 따른 분석이 상대적으로 많지 않다.

특히 연구대상 지역이 거의 수도권 지역 위주이고 본 연구와 같이 부산시를 대상으로 하는 동남권 지역에 진행된 연구는 거의 없다. 본 연구는 수도권을 제외한 광범위한 중소도시에 참고할 가치가 있으며, 향후 COVID-19와 같은 팬데믹의 발생 시에 대응하고 국가균형발전을 위해서도 의미있다고 판단된다.

2.2 분석 방법

본 연구는 군집분석을 통해 도시철도 일별 승차인원량(또는 수) 시계열의 특징에 따라 역세권을 그룹핑하고 코로나가 미친 충격적 영향을 판별하고자 이상치를 분석하였다. 역세권 군집 유형을 정의하는 데 역세권 토지이용 실적을 활용하였다. 본 연구에 사용된 역세권 범위는 대부분 선행연구와 같이 도시철도역 중심의 반경 500 m 이내로 제한하였다).

군집분석은 모든 개체 간의 유사도를 평가하고 분류하는 분석이다. 본 연구에는 시계열 자료의 특성을 고려하여 DTW를 유사도 측정법으로 정하였다. DTW는 두 시계열 간 유사도 거리를 최소화하는 동적 방식으로 개체 간 최단 거리로 이동하고 누적된 거리를 합산해 개체의 최솟값을 가진 집단으로 분류한다.

$$d_{DTW}(C_T, Q_T) = \min_{\gamma \in M} \left(\sum_{i=1,2,\dots,m}^T C_{ai} - Q_{bi} \right) \quad (1)$$

Eq. (1)에서 길이는 각각 m, n인 C와 Q 두 개의 시계열이 있다고 가정하며 M은 두 시계열에 대한 크기 T*T인 거리 행렬을 의미하며 r은 매칭을 의미한다. DTW 기법에서 3가지 조건이 있는

1) 서울시 도시계획조례 시행규칙(제16조의2) 역세권을“역의 중심으로부터 반경 500 m이내의 지역”으로 정의한다.

데 먼저 경제적 조건으로 행렬 $M(1, 1)$ 에서 시작하고 $M(T, T)$ 에서 종료해야 하며 연속성 조건으로 근접하는 셀 중에서 최소 하나로 통해 경로를 연결해야 한다. 마지막 단조성 조건으로 행렬 위치에서 경로를 이동하는 데 양의 방향으로만 이동한다.

코로나가 도시철도 승차량에 미친 영향을 검출하기 위해 시계열 이상치 분석 검진 함수를 이용하고자 한다. 이론으로 외부 충격이 된 사건은 매번 발생 시점에서부터 영향이 일어나 개입 ARIMA 분석을 수행할 수 있다. 이는 개입사건에 대하여 시계열에 미치는 영향 및 영향정도를 알 수 있으며, 분석 기간 동안의 발생한 개입사건에 대한 영향성을 모형에 포함하여 미래 수요를 예측하는 방법이다 (Kim and Kim, 2011). 개입 ARIMA의 분석 방법은 개입이 일어난 시점과 그 영향의 형태가 지시개입인지 계단개입인지에 대한 가정을 해야 하는 단점이 있다(Lee and Yoon, 2017). 이런 단점을

보완하기 위해 본 연구에서는 오픈소프트웨어인 R을 활용하여 시계열 이상치분석하고자 한다.

외부 사건의 충격 때문에 구조변화를 포함하는 시계열은 충격 시점 이후의 데이터를 관측해서 모형을 구축한다. 시계열 이상치 분석에서 복잡한 여러 사건으로 인해 시계열에 미치는 영향의 형태를 몇가지('TC', 'AO', 'LS', 'IO', 'SLS')로 가정하였다²⁾.

Fig. 1과 같이 'AO' 유형은 시점 T의 관측값만이 변화하는 단순한 이상치 형태다. 'IO'는 사건 시점 T 뿐만 아니라 그 이후에도 계속 영향을 주는 점진적인 형태다. 'TC'는 T+b 시점에서 변동이 계속 일어나고 점진적으로 감소하여 원래의 평균값으로 점점 수렴하는 형태다. 'LS'는 평균값의 급격한 변동을 나타내는 형태이고 'SLS'는 급격한 변동에서 계절적인 추세를 나타내는 형태이다³⁾.

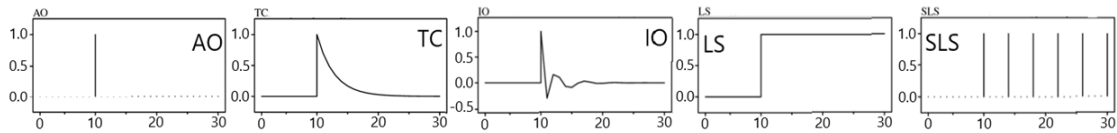


Fig. 1. Time Series Intervention Outliers Type

Table 1. Data Collection

	Data name	Statistical Period	Source of data
Cluster Analysis	Statistics on the number of passengers using Busan Metro by station by day	2019.1.1~2021.12.31. [1,096 days]	Busan Transportation Corporation
	Statistics on Land Use in Busan (GIS)	2021 Statistical Data	Korea Big Data Homepage
Outlier Analysis	Statistics on the number of new confirmed cases per day of COVID-19	2019.1.1~2021.12.31. [1,096 days]	Korea Centers for Disease Control and Prevention

Table 2. Station Influence Area Belonging to Time Series Cluster Analysis

	Cluster specimen Station	n
Cluster 1	Dadaepo Beach, Jagalchi Market, Nampo, Busan Station, Haeundae, Centum City, Sasang, Nopo, Seomyeon, Gupo, Sports Park	11
Cluster 2	Dadaepo Port, Sickle, Beomil, Bujeon, Dongnae, Myeongryun, Hot Spring, Hadan, Dangri, Goejeong, Daeti, Yeonsan, Pusan National University, Jangjeon, Dusil, Namsan, Beomeosa, Motgol, Munhyeon, Buam, Gaya, Deokcheon, Hwamyong, Sajik Stadium, and Banyeo	26
Cluster 3	Naengjeong, Gwangan, Hopo, Jeungsan, Gochon, Witbansong, Mandeok, Dongui Uni	8
Cluster 4	Sinjangrim, Jangrim, Dongmae, Sinpyeong, Saha, Seo Daeshin, Dongdaeshin, Saturn, Jungang, Choryang, Busanjin, Jwacheon, Beommaegol, Yangjeong, City Hall, Daegyo, Guseo, Jangsan, Jungdong, Dongback, BEXCO, Minrak, Geumryonsan, Namcheon, Bukyeongdae, Busan Bank, Jeonpo, Gaegeum, Jurye, Gamjeon, Deokpo, Modeok, Mora, Gunam, Gumyeong, Sujeong, Yuli, Dongwon, Geumgok Mangmi, Baesan, Mulmangol, Geoje, Sajik, Minam, Namsanjeong, Sookdeung, Gangseo-gu Office, Daejeo, Suan, Nakmin, Chungryeolsa, Myeongjang, Geumsa, Seokdae, Anpyeong	60

2) 이지선, 2017, 시계열 이상치 탐지 기법을 활용한 경부선 주요 도시철도 승객수의 이상치 탐색 연구

3) Javier López-de-Lacalle, 2016, tsoutliers R Package for Detection of Outliers in Time Series

3. 자료수집 및 분석 결과

본 연구 자료의 수집은 Table 1 내용과 같이 시계열 군집분석에는 부산교통공사 공개된 데이터와 한국 빅데이터 홈페이지에서 공개한 GIS 자료를 수집 이용하였고, 시계열 이상치 분석에는

질병청에서 공개한 코로나 일별 확진자 자료를 수집 이용하였다.

시계열 군집분석에서 군집 수(k)를 결정하는 데 DTW 거리, 유클리드 거리, ACF(Autocorrelation Function) 거리, PACF(Partial Autocorrelation Function) 거리를 고려하였고 결과 모두 4개를 최적 군집 수를 선택하였다. Fig. 2와 같이 DTW 최종

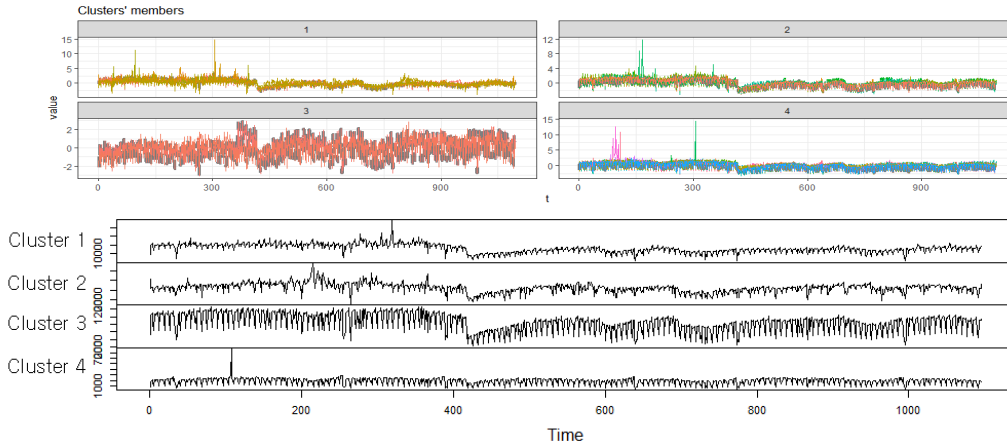


Fig. 2. Results of Annual Time Series Cluster Analysis by Cluster

Table 3. The Characteristics of the Cluster in the Variation of the Number of Users

Cluster	Year	n	Average number of passengers				Maximum number of passengers			Average reduction rate		
			One day	Week day	week end	Holiday	Week day	week end	Holiday	Weekday	week end	Holiday
1	2019	11	18,342	18,081	17,626	16,516	31,306	34,977	24,829	(As of 2019) 100 %		
	2020		11,949	6,407	17,220	7,662	40,978	31,955	31,062	-65	-2	-53.6
	2021		13,639	14,813	16,872	10,851	55,001	51,937	55,200	-18.1	-4.2	-34.3
ANOVA F value			2704 ***	491.73 ***	308.12 ***	366.14 ***	972.71 ***	879.42 ***	1309.7 ***			
2	2019	26	13,607	13,975	11,310	9,757	23,276	19,763	22,659	(As of 2019) 100 %		
	2020		7,476	11,417	8,287	3,730	38,596	29,603	10,920	-18.3	-26.7	-61.8
	2021		7,654	7,652	4,489	5,095	20,407	15,067	19,706	-45.2	-60.3	-47.8
ANOVA F value			2849.15 ***	2596.98 ***	2790.64 ***	2580.31 ***	798.45 ***	605.68 ***	498.57 ***			
3	2019	8	5,942	5,845	4,572	5,168	21,513	21,239	19,344	(As of 2019) 100 %		
	2020		10,543	10,264	11,734	6,727	25,675	26,077	12,089	77	61.8	32.3
	2021		4,193	4,073	4,285	1,915	4,733	3,448	3,983	-30.1	-6.2	-8.4
ANOVA F value			2678.11 ***	2603.33 ***	3445.83 ***	2004.65 ***	905.21 ***	972.96 ***	627.43 ***			
4	2019	60	6,879	7,112	4,846	4,751	33,561	24,914	13,026	(As of 2019) 100 %		
	2020		4,742	4,265	2,365	2,191	18,577	15,507	7,220	-40.1	-51.2	-53.8
	2021		4,945	5,663	3,121	2,787	28,684	19,862	19,460	-20.3	-35.6	-58.6
ANOVA F value			963.11 ***	1162.34 ***	1038.29 ***	1093.73 ***	924.01 ***	3848.4 ***	899.91 ***			

ANOVA F value Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

군집 결과 4개 그룹으로 나누었다. 역세권 표본 객체에 대해서는 소속 군집의 중앙값과 상관계수 평균 유사도에서 $between_SS / total_SS$ 94.6%를 얻었다.

Table 2 내용은 군집 별 소속된 역세권이었고 Fig. 2는 각 군집 회귀 중앙치 결과다.

Table 3은 시계열의 각 시점에 대한 데이터 정리한 것이다. 군집별로 지난 3년간 평균 이용객 수와 최대 이용객 수의 평균 증감률에서 주중, 주말, 연휴 기간에 차이를 보였다. Table 4는

각 군집의 역세권 대중교통 여건에 따른 11가지 변수를 정리한 것으로, 도시철도 운영변수 중 환승시간과 환승거리 변수는 버스정류장과 도시철도역 간 환승 상황을 가리킨다. 결과로 버스 운영과 도시철도 운영뿐만 아니라 학교 분포 밀도, 인구밀도, 상가 밀도, 교차로 밀도 등에서 군집 별로 차이를 보였다.

Table 5는 각 군집의 역세권 토지이용 현황에 설정된 9가지 변수를 정리한 것이다. 군집 1은 상업 용지(67.61%), 군집 2는 단독주택(41.56%)과 상업 용지(29.59%)에 집중되어 있으며, 군집

Table 4. Variables according to Public Transportation Conditions by Cluster

	Variables for Bus Operations				Variables for Urban rail Operations			Density variable			
	Trunk bus	Branch bus	Express bus	Bus stop	Exit	Transfer time	Transfer distance	School	Population	Commercial	Road
Cluster 1	14.61	2.62	2.22	23.44	7.82	147.84	122.03	1.91	11920	342	87.4
Cluster 2	10.32	2.54	1.68	23.21	6.83	144.65	151.61	2.43	17112	148	52.7
Cluster 3	6.57	3.71	0.29	16.43	4.71	114.66	84.66	0.86	5892	16	48.2
Cluster 4	9.48	1.67	1.21	22.12	6.39	139.09	112.57	2.33	9497	85	37.9

Table 5. Results of Land Use Characteristics in the Station Area by Cluster

	Commercial area (%)			Residential area (%)					Park area (%)	Industrial area (%)	Road area (%)
	All	Commercial	Business	All	High density	Low density	Life	Culture			
Cluster 1	67.61	60.41	7.21	22.07	10.05	11.64	0.29	0.09	1.31	0.53	8.48
Cluster 2	29.59	26.36	3.23	59.28	16.83	41.56	0.58	0.31	1.62	0.88	8.63
Cluster 3	1.46	1.29	0.17	40.81	18.93	18.85	1.21	1.82	48.04	0.36	9.33
Cluster 4	14.71	14.62	0.09	53.75	21.71	26.31	3.28	2.45	15.54	8.32	7.68

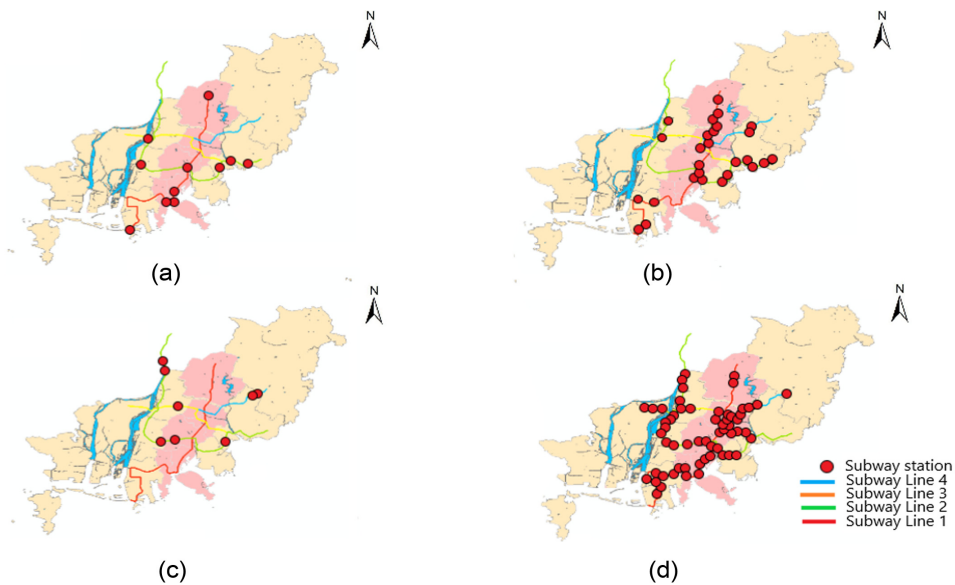


Fig. 3. Distribution of Cluster Space Locations: (a) Cluster 1, (b) Cluster 2, (c) Cluster 3, (d) Cluster 4

3은 녹지 공간(48.04%)과 주택(40.81%)이 비교적 두드러지며, 군집 4는 공업(8.32%)과 공동주택(21.71%)에 집중된 것으로 차이를 보였다.

Fig. 3은 연도별 역세권 분류의 공간적 위치 분포를 나타낸다. 군집 1은 대부분 상업지역에 위치하고, 군집 2는 대부분 교통지점에 위치하며, 군집 3은 전부 교외 산림공원에 분포하고, 군집 4는

군집 1,2,3을 제외한 역이 분류된 군집으로 제조업,유통업,그리고 도심 환승역 사이의 근린생활이 중심이 되는 역이 대부분으로 알 수 있다.

이상과 같이 각 군집의 특성을 이용하여 군집 1을 상업/업무 중심역세권, 군집 2를 저밀도 주거상가 역세권, 군집 3을 외곽/여가 녹지역세권, 군집 4를 제조유통업/근린생활 역세권으로 정의

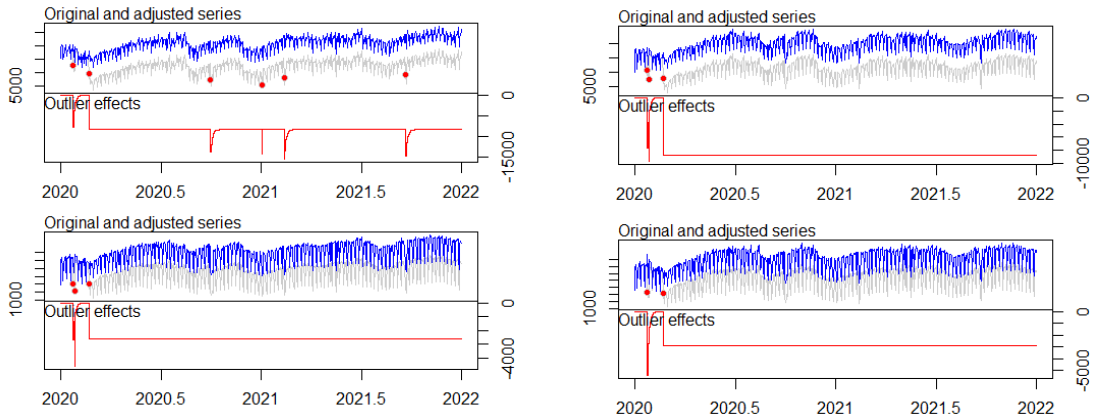


Fig. 4. Types and Perspectives of External Shocks by Cluster

Table 6. Types and Perspectives of External Shocks by Cluster

		Time	Type	Characteristic	Period	Coefficients	Tstat	Remark
Cluster 1	1	20.01.24	TC	Gradual convergence	17days	-7726	-6.148%	the first confirmed case of COVID-19
	2	20.02.24	LS	Sharp change	1 year	-8346	-9.102%	Crisis alert is the best 'serious'
	3	20.09.30	TC	Gradual convergence	11days	-5331	-4.303%	The first day of the Chuseok holiday
	4	21.01.02	AO	Single change	1day	-5844	-4.434%	first day of the New Year's holiday
	5	21.02.12	TC	Gradual convergence	3days	-7256	-5.846%	The first day of the Lunar New Year
	6	21.09.30	TC	Gradual convergence	5days	-6477	-5.204%	The first day of the Chuseok holiday
log likelihood=-6385.64 AICc=12795.71								
Cluster 2	1	20.01.24	TC	Gradual convergence	12days	-7275	-7.426%	the first confirmed case of COVID-19
	2	20.01.27	AO	Single change	1day	-3424	-6.231%	The first day of the Lunar New Year
	3	20.02.24	LS	Sharp change	1 year	-2777	-5.213%	Crisis alert is the best 'serious'
log likelihood=-6026.34 AICc=12143.24								
Cluster 3	1	20.01.24	TC	Gradual convergence	24days	-2679	-4.227%	the first confirmed case of COVID-19
	2	20.01.27	AO	Single change	1day	-3704	-5.664%	The first day of the Lunar New Year
	3	20.02.24	LS	Sharp change	more than 1 year	-2606	-7.223%	Crisis alert is the best 'serious'
log likelihood=-6006.29 AICc=12034.95								
Cluster 4	1	20.01.24	TC	Gradual convergence	16days	-5453	-6.238%	the first confirmed case of COVID-19
	2	20.02.24	LS	Sharp change	1 year	-2873	-5.955%	Crisis alert is the best 'serious'
log likelihood=-6146.13 AICc=12308.26								

하였다.

본 연구에는 COVID-19가 승차량 변동에 미친 외부 영향을 도출하기 위해 시계열 이상치 분석을 수행한 바 Fig. 4, Table 6 내용과 같이 군집 별 결과를 정리하였다.

군집 1인 상업/업무 중심역세권의 경우 다른 군집보다 충격 횟수와 충격 유형이 가장 많은 것으로 나타났다. 총 6번의 충격이 발생하였는데 이 중 2020년의 충격은 1월 24일부터 17일동안 지속된 TC 유형 충격, 2월 24일부터 1년 이상 지속된 TC 유형 충격, 9월 30일부터 11일동안 지속된 TC 유형 충격 등 이용객수 감소율은 각각 -6.148%, -9.102%, -4.303%였다. 2021년에는 1월 2일 하루만 지속하였던 AO 유형 충격, 2월 12일부터 3일동안 지속된 TC 유형 충격, 9월 30일 5일동안 지속된 TC 유형 충격 이용객수 감소율의 영향은 각각 -4.434%, -5.846%, -5.204%였다.

군집 2와 군집 3의 경우 충격날짜와 유형이 비슷한 것으로 나타났지만 2020년에 총 3번의 충격 중 1월 24일부터 지속된 TC 유형 충격이 군집 2에 12일 동안 유지하게 되었으나 군집 3에 24일 동안 유지하게 되었고 각각 -7.426%, -4.227% 정도의 감소율로 보인다. 1월 27일부터 나타난 AO 유형 충격이 두 군집에 하루만 유지가 되었고 각각 -6.231%, -5.664% 정도의 감소율을 보인다. 2월 24일부터 1년이상 지속된 LS 유형 충격이 두 군집에 각각 -5.213%, -7.223% 정도의 감소율로 보인다.

마지막 군집 4에 대해서는 충격이 2번만 나타났는데 2020년 1월 24일부터 16일동안 지속하게 된 TC 유형 충격은 -6.238% 정도의 감소율을 보였으며, 같은 해 2월 24일부터 1년이상 지속하게 된 LS 유형 충격이 -5.955% 정도의 감소율로 보인다.

전체 군집의 감소율로 충격 원인을 분석하면 정부가 발표한 ‘위기 심각 경보’가 상업중심 역세권(군집 1)에 가장 큰 충격을 준 원인(-9.102%) ‘COVID-19 첫 확진자의 발생’가 저밀도 주거상가 역세권(군집 2)에 가장 큰 충격을 준 원인(-7.426%)으로 나타났다.

충격 횟수로 충격 원인을 분석하면 ‘연휴’는 군집 2에 1차 충격 (-6.231%) 정도 가해지지만 군집 1에는 4차 충격이 가해져 다른 군집보다 군집 1이 연휴 근무제의 영향을 더 많이 받는 것으로 나타났다.

충격 유지 기간으로 충격 원인을 분석하면 모든 군집에 거의 같은 유지 기간이 된 ‘위기 심각 경보’를 제외하면 ‘COVID-19 첫 확진자의 발생’이 점차 수렴되는 특징을 가진 충격 유형으로 모든 군집에 뚜렷한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

4. 역세권 특성별 대응방안 고찰

본 연구에서 이용한 변수는 주로 역세권의 토지의 용도 및 교통

조건 환경에 중점을 두고 있다. 결과적으로 각 군집별 가장 두드러진 차이는 주로 COVID-19 초기의 이용량 급감률, COVID-19 사태 중 ‘거리두기’ 정책의 민감도(이용량 증감률), With COVID-19 사태의 이용량의 회복 주기 및 역세권 교통이용 환경 조건에 따라 나타났다.

향후 COVID-19와 같은 질병의 재확산 시 대중교통 이용량의 유지나 회복의 대응책으로 본 연구 결과에 나타난 각 군집의 교통이용 특성을 바탕으로 앞서 변수의 효과적인 조절을 시행한다면 전반적인 대중교통 시스템에 대한 운송 효율과 이용 시민 편의성 향상에 기여할 수 있을 것이다.

먼저 군집 1과 군집 4에 대한 대책으로 역세권 인근 지역공간의 활용을 제검토 할 필요가 있다. 군집 1(상업 역세권)의 승차량은 COVID-19 사태 동안 대폭 감소하는 반면 군집 3(녹지/공원 역세권)에서 대폭 증가하였다. 이같은 변화의 이유는 상권에서 활동하던 시민들이 바이러스에 대한 기피 심리와 비교적 ‘거리 두기’ 제한이 없는 야외공간의 활동을 추구함에 따라 야외 녹지역세권 쪽으로 이동을 선택하게 된 것으로 판단된다.

이에 따라 도시철도 역 인근에 시내 만남의 광장 같은 복합적 다층공간을 재개발해 카페와 소상공상가, 시내광장을 융합해 전통 상권의 유동인구를 자극하고 지하공간과 지상공간을 연결해 시민들이 잠시 머무는 기점을 조성하여 시민들의 기피심리를 해소하고 역세권 경제를 회복시키는 데 기여할 것으로 판단된다. 한편 군집 4(제조 유통업/근린 역세권)의 승차량은 COVID-19 사태 동안 큰 폭의 급감을 보이지 않았으며 위드 COVID-19 단계에서도 큰 폭의 성장 회복은 나타나지 않았다. 이 같은 상황은 제조업/유통업 등 공업 중심역세권에서 활동하는 시민들의 통근과 같은 필수통행이 위주이며 COVID-19의 충격으로 직장 일자리가 줄어든 경우에는 위드 COVID-19에서도 단기간에 승차 회복이 쉽지 않기 때문이다.

이와 같은 ‘With COVID-19’ 시기에도 승차량이 정체된 역세권에 대해서는 역세권 인근 지역의 상업활동 촉진을 도모하는 전략으로 대중교통 거점 위주의 소형 생활권을 정비함으로써 경기 회복을 촉진하고 지역 활성화에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

군집 2(저밀도 주거상가 역세권)는 인구밀도가 높은 주택분포를 기반으로 대중교통 이용이 출퇴근 영향을 많이 받는다. 대부분 지역은 BRT(Bus Rapid Transit)가 통과하는 지역으로 시민들이 BRT 이용은 지선, 간선에 비해 의존하는 경향이 있다. 특히 피크시간대 간선 운송량이 증가하여 차내 혼잡도가 높았으며, 타 노선 적용률이 낮아 운송효율이 낮았다. 군집 3(외곽 여가 녹지 역세권)은 위치상 외곽에 분포해 거주 인구밀도가 낮지만, COVID-19 확산 시기에 레저활동을 추구하는 승차량이 집중돼 있어 지선 노선이 부족하고 또한 버스-도시철도 간의 환승에 소요 시간이

길어 운송효율이 낮았다.

이에 따라 군집 2와 군집 3에 대해 향후 COVID-19 재확산 시 대중교통 시스템의 운영 조절이 필요할 것으로 전망된다. 군집 2의 경우 평일 내에 간선노선의 운행 빈도를 증가시켜 혼잡도를 줄이는 한편, 지선 노선의 운영구간 노선을 변경·개정하여 간선노선과의 환승 기회를 증가시켜 지선 노선의 수송효율을 높일 필요가 있다. 군집 3의 경우 주말이나 연휴 동안 지선 버스 노선의 운행 빈도를 높이고 공원/녹지 공간과 역세권 간 순환적 운영 수송력을 늘려야 한다. 주요 이동 경로를 따라가면서 혼잡도를 최소화하고, 공원/녹지 입구에 단기간 집중되는 이용객에 대비한 수송계획을 마련해야 한다.

5. 결론

본 연구는 지난 3년간 부산시 도시철도의 일별 이용승객수 실적 시계열 자료를 대상으로 군집분석과 시계열 이상치 분석을 통해 역세권의 군집 별 특성을 구분하고 향후 코로나와 같은 전염병이 재확산하였을 때 개선방안을 고찰하였다.

본 연구의 결론은 다음과 같이 정리할 수 있다.

첫째, 전체 역세권에 대해 DTW 기법을 통해 4개의 군집으로 구분하였으며 확실한 특성과 차이가 도출되었다. COVID-19 사태 전후 2019년과 2020년 사이에 모든 객체에서 시계열 변동이 발생하였는데, 이는 COVID-19의 충격이 주요 원인으로 판단된다.

둘째, 군집분석 결과를 바탕으로 역세권의 토지용도 결과를 반영하여 군집 별로 역세권 특성에 따라 정의했으며 외부 충격 효과를 진단하였다. COVID-19 사태에서 군집 별로 ‘충격 횟수’, ‘충격 유지 기간’, ‘이용량 감소율’ 등 다양한 측면에서 차이를 보였다. 이용량에서 군집 1(상업 업무 중심역세권)은 가장 급감하였고 군집 4(산업/공업 중심역세권)는 상대적 작은 감소 영향으로 나타났다.

셋째, ‘With COVID-19’에 들어가면서 장래의 상황을 예상했다. COVID-19가 교통에 미치는 영향이 점점 감소해졌다고 가정하였을 때 앞으로 군집 1의 이용량 규모는 지속해서 증가할 것이며 모든 역세권에서 상업 연면적이 클수록 사회 경기에 뚜렷한 영향력이 나타날 것으로 판단된다. 하지만 COVID-19가 재발하여 대중교통 이용에 다시 큰 영향을 미치게 되면 본 연구가 제시한 역세권 특성별 개선안은 COVID-19 대책에 기여할 것으로 기대된다.

본 연구는 외부여건에 중점을 두고 대응방안을 정리하였다는 점에 한계가 있으나 후속 보완연구로서 일반 시민 개인의 이용의향에 대한 추가적인 분석을 통해 더욱 설득력 있는 대책 수립이

가능할 것으로 전망한다.

감사의 글

이 논문은 국토교통부의 스마트시티 혁신 인재 육성사업으로 지원되었습니다.

References

- Cho, H. W. (2022). “Examining the characteristics of floating population distribution in the urbanized area of daegu metropolitan city before and after COVID-19: An application of hotspot analysis.” *Journal of Korea Planning Association*, Vol. 57, No. 2, pp. 5-17. (in Korean). DOI: 10.17208/jkpa.2022.04.57.2.5.
- Hwang, J. Y., Park, M. J., Kim, Y. H. and Kang, W. J. (2021). “Optimize TOD time-division with dynamic time warping distance-based non-hierarchical cluster analysis.” *The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, Vol. 20 No. 5, pp. 113-129. DOI: 10.12815/kits.2021.20.5.113.
- Javier, L. d. L. (2016). “Tsoutliers R package for detection of outliers in time series.” Published, Computer Science, Geology, p. 10806632.
- Kim, D. K. (2022). “Time series cluster analysis using data from public parking lot in Seoul.” *Korea Industrial Engineering Association*, pp. 3324-3329.
- Kim, S. M. and Jung, H. Y. (2022). “Influence of COVID-19 on Public transportation mode change and countermeasures.” *KSCSE Journal of Civil and Environmental Engineering Research*, Vol. 42, No. 3, pp. 379-389. DOI: <https://doi.org/10.12652/Ksce.2022.42.3> (in Korean).
- Lee, J. S. and Yoon, Y. J. (2017). “A study on the outliers detection in the number of railway passengers for the gyeongbu line from seoul to major cities using a time series outlier detection technique.” *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 35, No. 6, pp. 469-480. DOI: 10.7470/jkst.2017.35.6.469 (in Korean).
- Lee, J. W., Go, J. Y., Jeon, S. W. and Jun, C. M. (2015). “A study of land use characteristics by types of subway station areas in seoul analyzing patterns of transit ridership.” *KSPR*, Vol. 84, No. 3, pp. 35-53. DOI: <http://dx.doi.org/10.15793/kspr.2015.84..00> (in Korean).
- Yang, J., Ning, C., Deb, C., Zhang, F., Cheong, D., Lee, S. E., Sekhar, C. and Wai Tham, K. (2017). “k-shape clustering algorithm for building energy usage patterns analysis and forecasting model accuracy improvement.” *Energy and Buildings*, Vol. 146, No. 1, pp. 27-37. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.071>.