

2020 서울연구논문공모전

코로나 19 확산 이후 서울시 지하철 이용 변화분석: 수요 감소패턴 유형화를 중심으로

홍유정*, 한채연**

*: 연세대학교 도시공학과 석사과정, dbwjd0570@yonsei.ac.kr

**: 연세대학교 컴퓨터공학과, bravoyourlif@yonsei.ac.kr

01 연구 배경 및 목적

02 연구 방법

2.1 연구 설계

2.2 분석 데이터 및 방법

03 분석 결과 및 고찰

3.1 서울시 지하철 수요변화분석

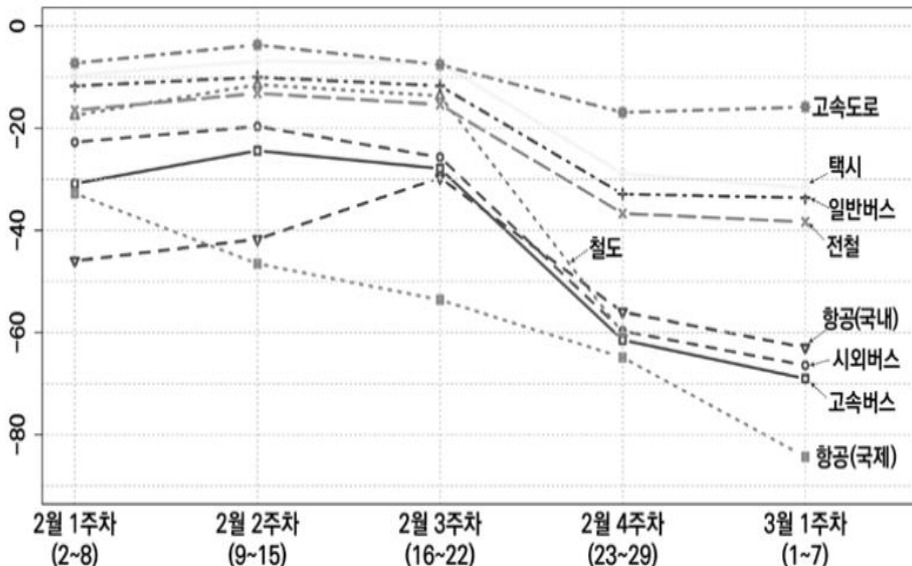
3.2 수요 감소패턴 분석

04 요약 및 결론

05 정책적 제언

01. 연구 배경 및 목적

- 코로나 19가 2020년 1월 말 국내로 확산 → 직간접적 접촉이 불가피하거나 밀폐된 공간에 대한 위험인식 증가에 따라 **수도권 대중교통 이용수요 급감**(김채만 & 한아름, 2020)
 - 전국 기준, 1월 3주차 대비 2월 1주차 17% → 3월 1주차 38% 대폭 감소(한국교통연구원, 2020)
- 3월 중 대규모 집단 감염과 지역확산이 잇따라 발생하면서 **사회적 거리두기 단계를 격상시켜 코로나 19 확산에 대응**
- 서울시 내 전반적으로 관찰되는 지하철 수요감소는, 수요 패턴의 변화가 역 주변의 물리적 토지이용과 깊이 연관되어(이정우 외, 2015) 있는 점을 고려한다면, **감소한 정도와 시간은 지하철역의 주된 통행목적이나 위치한 지역의 특성에 따라 다르게 나타날 수 있음**
- 대중교통 측면에서 코로나 19 발발의 경제적 및 사회적 영향은 **교통 서비스 성과 감소**를 넘어 **재정적인 생존 가능성, 사회적 형평성, 지속 가능한 이동성 위협**으로 확장(Oded Cats, 2020)



[1월 3주차 대비 주별 일평균 수송실적 변화량
(출처: 한국교통연구원, 2020)]

[사회적 거리두기 홍보자료 (출처: 질병관리본부)]

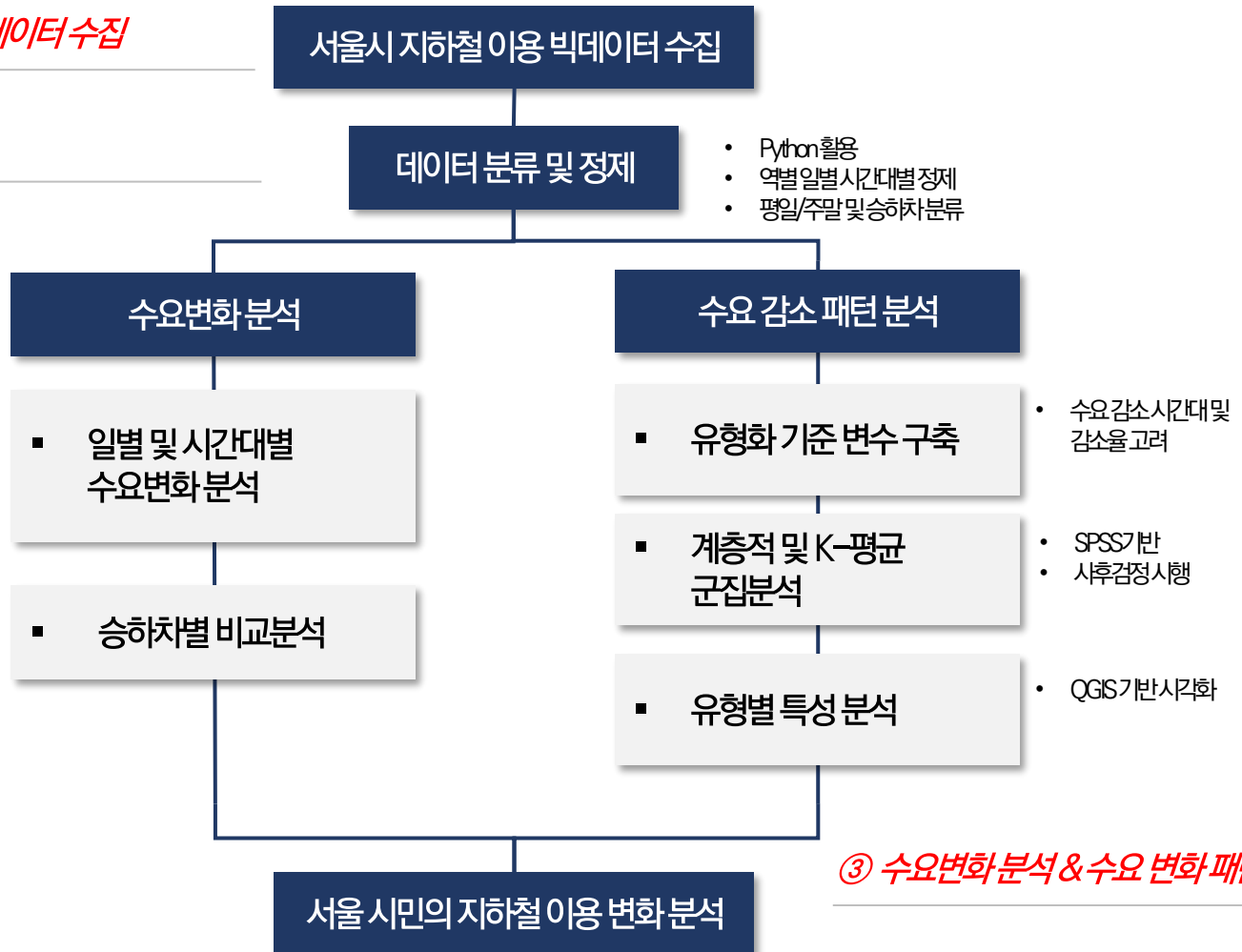
- 코로나 19 확산과 대중교통 이용수요 감소
- 대중교통 측면의 서울 시민 코로나 19 대응양상 파악 및 예측 필요
- 재난 관리 및 수익보전 측면에서 대중교통 이용 변화 양상에 대한 구체적인 파악 필요

- 코로나 영향으로 인한 서울시 지하철 통행 수요량의 일별 및 시간대별 변화 분석
- 수요 감소 시간대 및 감소율을 기준으로 서울시 지하철의 대표적인 감소패턴 유형 분석

2.1 연구 설계

① 서울시 지하철 이용 빅데이터 수집

② 데이터 분류 및 정제



③ 수요 변화 분석 & 수요 변화 패턴 분석

④ 서울 시민의 지하철 이용 변화 분석

2.2 분석 데이터

- 서울시 지하철 역별 일별 시간대별 승하차 인원 데이터** (출처: 서울 열린데이터광장)
 - 분석 대상: 서울시 1-8호선 242개 역(서울교통공사)
 - 시간적 범위: 2019년 및 2020년 **3월 22일-5월 5일** (사회적 거리두기 기간, 총 44일)
 - 분석 시간대: 6시 이전, 6-7시, 7-8시, ..., 23-24시 총 19개 시간대 (서울시 지하철 열차운행 평일 심야시간대 1시간 단축 운행 시행 (2020. 04-))

데이터 정제

- **평일과 주말**로 분류 (공휴일은 주말로 간주)
- **승차 및 하차**로 구분하여 정제

	평일	주말
2019년	31	14
2020년	29	16 (4/15 국회의원선거, 4/30 부처님 오신날, 5/5 어린이날)

→ **연도별 주말과 평일의 44일간 시간대별 승차, 하차, 전체 인원수 각각의 평균값으로 분석 진행**

[데이터 샘플 - 242개역 전체 평균 이용자 수]

시간	6시 이전	6시	7시	8시	9시	10시	11시	12시	13시	14시	15시	16시	17시	18시	19시	20시	21시	22시	23시
2019	329.6424	907.1238	2339.078	4061.122	2685.701	1881.002	1816.44	1930.239	2094.742	2050.208	2188.729	2461.445	2975.952	4103.351	2919.688	1998.608	1878.628	1677.67	935.4529
2020	254.0135	661.2057	1595.88	2753.085	1810.721	1097.901	1012.128	1078.176	1189.66	1205.885	1285.975	1436.744	1946.102	2819.861	1905.632	1243.217	1093.659	931.3734	502.4004
2019평일	360.3251	1058.752	3061.81	5335.79	3172.149	1975.91	1812.174	1848.858	2000.949	1963.229	2154.432	2484.878	3205.873	4944.64	3421.191	2172.045	2030.474	1840.368	1016.407
2019주말	261.7022	571.3766	738.7429	1238.643	1608.565	1670.849	1825.888	2110.439	2302.425	2242.805	2264.672	2409.558	2466.841	2240.498	1809.218	1614.571	1542.397	1317.411	756.1972
2020평일	294.2957	825.1951	2232.549	3877.884	2307.859	1228.147	1071.909	1092.784	1208.922	1229.22	1346.856	1544.216	2308.194	3722.353	2424.257	1435.579	1230.925	1054.054	560.8283
2020주말	181.0021	363.9749	441.9189	714.3869	909.6578	861.829	903.7751	1051.699	1154.748	1163.589	1175.628	1241.95	1289.811	1184.095	965.6227	894.5599	844.8626	709.0152	396.4997
2019평일_승차	286.1124	618.8552	1874.761	2273.905	1306.912	884.596	865.8955	925.7894	989.6881	992.7001	1126.118	1338.814	1763.021	2726.191	1496.599	1094.024	1088.616	918.6997	429.6286
2019평일_하차	74.21274	439.8963	1187.049	3061.884	1865.237	1091.314	946.2785	923.0685	1011.261	970.5287	1028.314	1146.064	1442.852	2218.449	1924.592	1078.021	941.8583	921.6684	586.7785
2019주말_승차	212.0192	285.0782	406.9628	654.9194	799.5195	820.2462	890.9442	1053.417	1125.365	1101.537	1150.831	1238.287	1241.158	1084.215	895.157	845.1284	796.0201	655.2887	283.2993
2019주말_하차	49.683	286.2984	331.7801	583.724	809.0457	850.6027	934.9436	1057.022	1177.06	1141.268	1113.841	1171.271	1225.683	1156.282	914.0608	769.4424	746.3769	662.1222	472.8979

⋮

2.2 분석 방법 - 유형화 기준 변수 구축

- 지하철 통행 패턴을 파악하기 위해 이용 시간을 오전/오후 또는 오전/낮/저녁 시간대로 분류하여 분석하고 있음 (이금숙 외, 2012; 이정우 외, 2015)
 - 오전, 낮, 저녁 시간대 중에서도 **평일 오전 7시-9시, 평일 저녁 6시-8시, 주말 오후 1시-3시** 시간대의 통행량 데이터가 평일과 주말의 이용패턴 차이를 유의하게 함 (김미경 외, 2017)
- 19개 시간대 데이터 중 **첨두시간대 데이터를 추출하여 활용**

[군집분석을 위한 케이스 설명 기준 변수 (=유형화 기준 변수)]

구분	변수명	
평일 감소율	평일 오전 감소율	① 평일 오전 승하차 인원 감소율
		② 평일 오전 승차 인원 감소율
		③ 평일 오전 하차 인원 감소율
	평일 저녁 감소율	④ 평일 오전 승하차 인원 감소율
		⑤ 평일 저녁 승차 인원 감소율
		⑥ 평일 저녁 하차 인원 감소율
주말 감소율	주말 오후 감소율	⑦ 주말 오후 승하차 인원 감소율
		⑧ 주말 오후 승차 인원 감소율
		⑨ 주말 오후 하차 인원 감소율

감소율 = 2019년 대비 2020년 감소한 비율

2.2 분석 방법 - 군집분석

① 계층적 군집분석 (Hierarchical clustering)

- Ward 연결법을 활용한 계층적 군집분석: 집단 내의 분산과 집단 간의 분산비율을 최대화하는 군집을 구성하는 방법으로 가장 명확한 군집 개수가 도출됨 (Ward, 1963)
- 군집 개수 선정 → 덴드로그램 그림을 통해 **4개의 그룹으로 군집이 구성된 것을 확인**

② K-평균 군집분석 (K-means clustering)

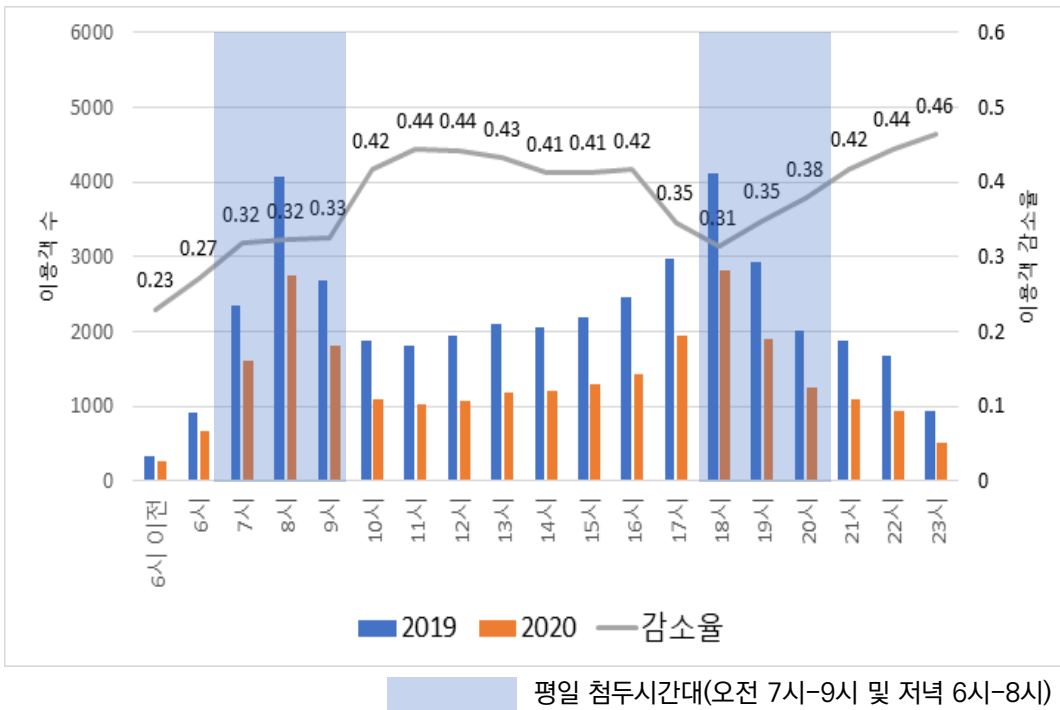
- K-평균 군집분석: 선택한 군집 수만큼 중심 값을 지정하여, 개체와 군집 중심점 간 오차제곱합이 최소가 되도록 각 개체를 가까운 중심값에 할당하는 방법 (Kanungo et al., 1997)
- **군집의 특성이 가장 잘 파악되는 4개의 군집으로 분류됨** (4개의 이상치 제외 -마곡역, 장암역, 상일동역, 지축역)

③ 일원 배치 분산 분석 (one-way ANOVA)

- **케이스 설명 기준변수 별 4개의 군집이 통계적 유의한 차이가 있음을 검증함**
- 정확한 차이 판별을 위해 추가적으로 Games-Howell 검정 시행 → 총 54개 (9개 변수 x 집단 간 검정 6회)의 검정 결과 9개를 제외한 45개의 결과에서 유의수준 0.1에서 통계적인 차이 확인

03. 분석 결과

3.1 서울시 지하철 수요변화-(1)시간대별 수요변화분석



[2019년 대비 2020년 승하차 인원수 변화]

- **공통적으로 모든 시간대에서 지하철 이용객 수가 감소한 것으로 분석됨**

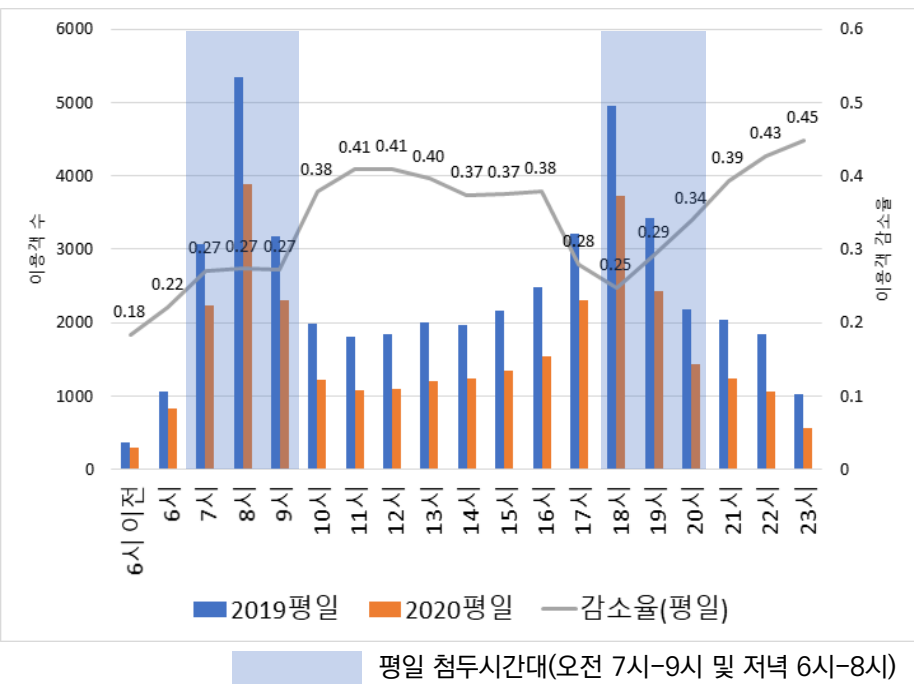
 - 일 평균 승하차 인원 : 37.6% 감소
 - 이른 오전(오전 6시 이전) 시간대의 감소율이 가장 낮으며 늦은 밤(오후 11시 이후) 시간대의 감소율이 가장 높음

- **평일 침두시간대에서 감소율이 30%대로 비교적 낮음**

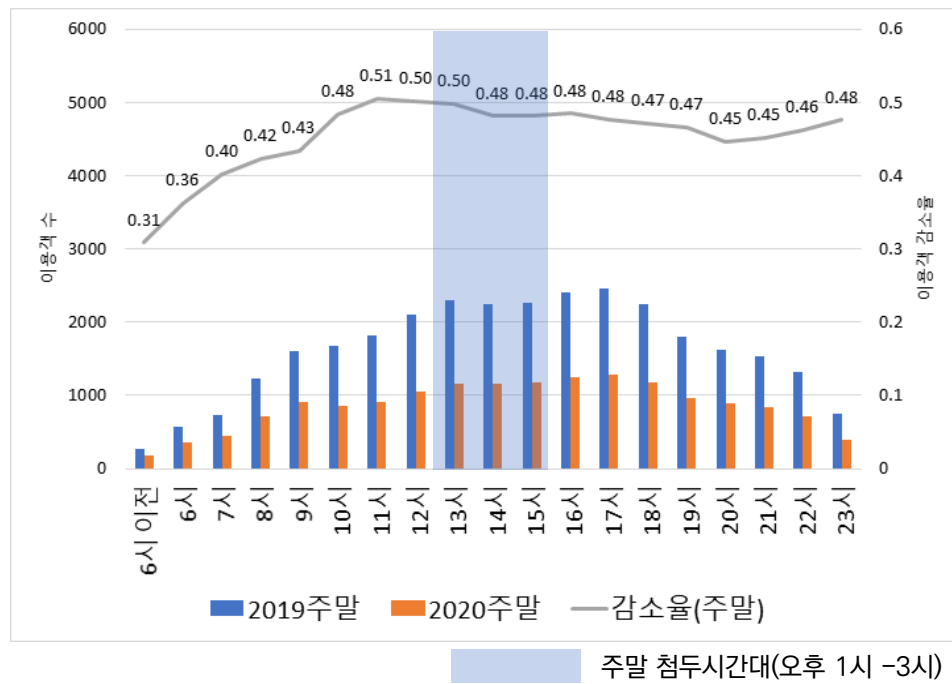
 - 출퇴근 목적 등의 필수적인 통행이 비교적 자율적인 목적의 통행보다 사회적 거리두기 영향을 적게 받음
 - 코로나 19 전후로 침두시간대의 변화가 없음
 - 재택 및 유연근무의 확산과 온라인 개학 등 코로나 감염 예방 조치가 실제로 감염 위험을 높이는 지하철 혼잡도를 완화시키는 측면에서 효과를 보이지 못하는 것으로 해석됨

03. 분석 결과

3.1 서울시 지하철 수요변화 - (2) 평일/주말 수요변화 비교분석



[2019년 대비 2020년 승하차 인원수 변화(평일)]



[2019년 대비 2020년 승하차 인원수 변화(주말)]

- 전반적으로, 평일 승하차 인원 감소율은 32.4%, 주말 승하차 인원 감소율은 46.9%로 주말 감소율이 약 15% 높은 것으로 분석됨
- 모든 시간대에서 평일보다 주말 승하차 인원 감소율이 더 높으며, 코로나 19 확산 이후에도 평일 지하철 수요가 주말에 비해 더 높게 유지되고 있음
- 평일의 경우, 다른 시간대에 비해 **첨두시간을 포함하는 두 시간대 (10시 이전, 17시-21시 이전)의 감소율이 18-34%로 낮음**
- 주말의 경우, 주말 **첨두시간대의 승하차 인원 감소율이 다른 시간대에 비해 낮은 경향은 없음**

03. 분석 결과

3.2 수요 감소 패턴 분석

- 군집별 케이스 설명 기준변수의 최대와 최소값을 중심으로 4가지 대표적인 수요 감소 패턴이 도출됨

유형 1 → 평일 오전 승하차 인원 감소율이 가장 높은 역 / 유형 2 → 평일 오전 승하차 인원 감소율이 가장 낮은 역

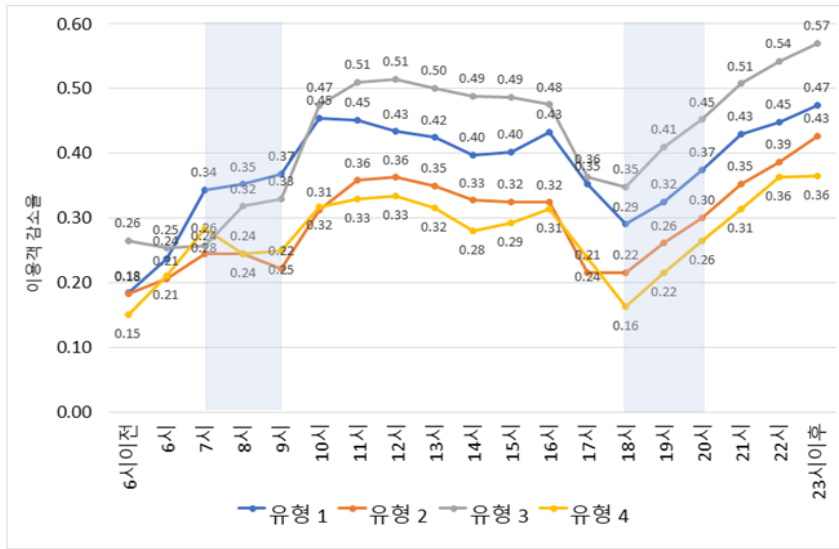
유형 3 → 주말 오후 및 평일 저녁 승하차 인원 감소율이 가장 높은 역 / 유형 4 → 주말 오후 및 평일 저녁 승하차 인원 감소율이 가장 낮은 역

[군집분석 결과 - 군집의 유형화 기준변수별 평균값(최종 군집중심)]

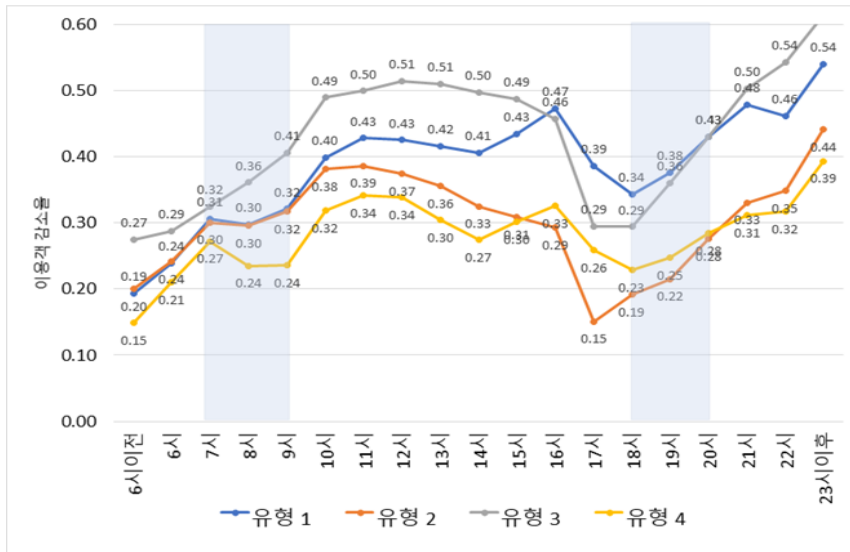
구분(단위 : 평균 감소율)	1	2	3	4	ANOVA (F value)
	(N=41)	(N=86)	(N=36)	(N=75)	
① 평일 오전 승하차 인원 감소율	.363	.255	.322	.267	41.190***
② 평일 오전 승차 인원 감소율	.320	.308	.376	.255	39.111***
③ 평일 오전 하차 인원 감소율	.450	.219	.314	.311	59.446***
④ 평일 저녁 승하차 인원 감소율	.341	.274	.429	.231	122.954***
⑤ 평일 저녁 승차 인원 감소율	.405	.257	.403	.275	66.985***
⑥ 평일 저녁 하차 인원 감소율	.311	.310	.494	.219	129.481***
⑦ 주말 오후 승하차 인원 감소율	.474	.452	.633	.357	175.646***
⑧ 주말 오후 승차 인원 감소율	.478	.460	.637	.369	155.459***
⑨ 주말 오후 하차 인원 감소율	.466	.445	.628	.347	131.409***

*p<0.1, **p<0.05, ***p<0.01

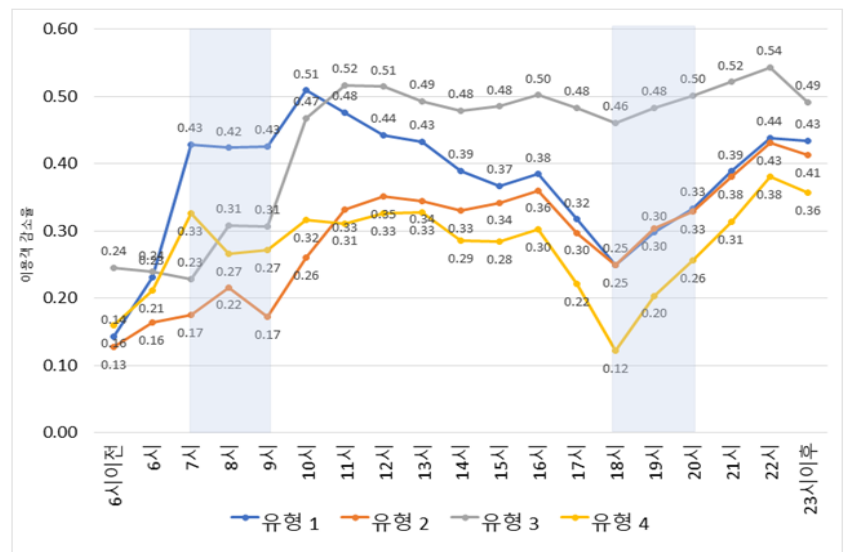
3.2 수요 감소 패턴 분석- 유형별 평일 이용객 감소율 그래프 예시 (승하차, 승차, 하차)



[2019년 대비 2020년 승하차 인원 감소율(평일)]

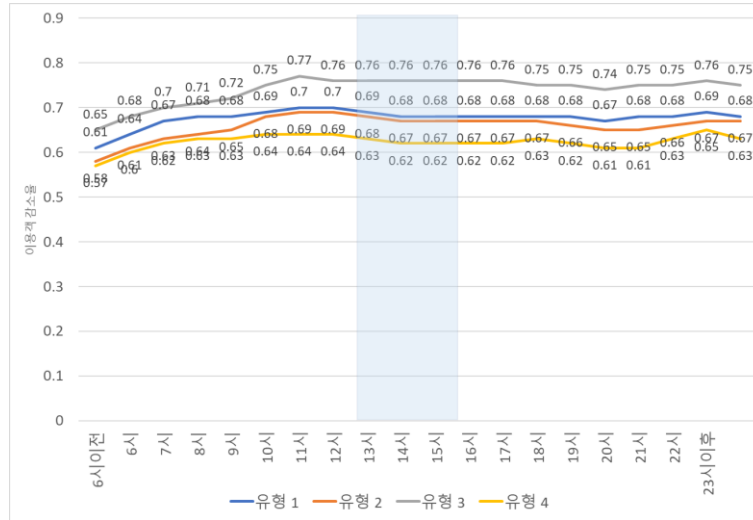


[2019년 대비 2020년 승차 인원 감소율(평일)]

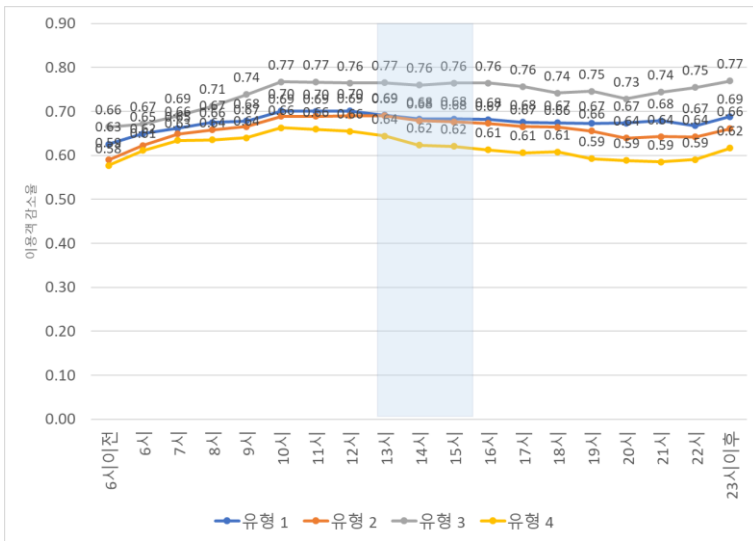


[2019년 대비 2020년 하차 인원 감소율(평일)]

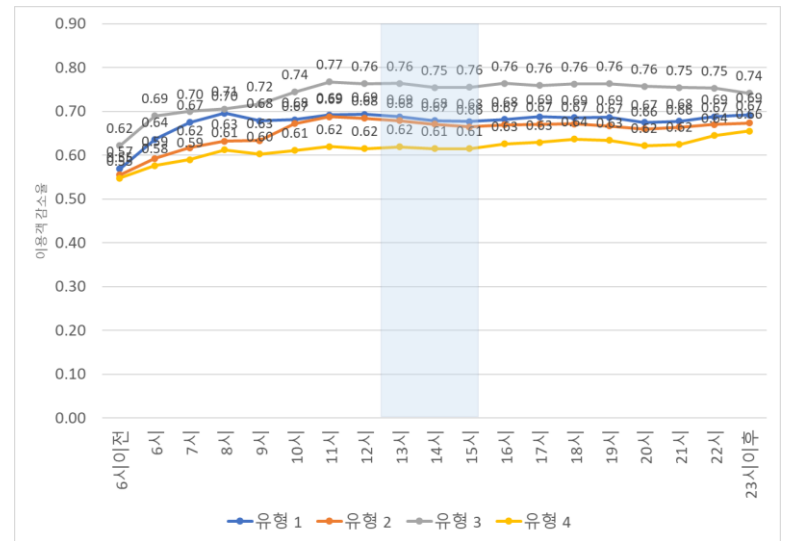
3.2 수요 감소 패턴 분석- 유형별 주말 이용객 감소율 그래프 예시 (승하차, 승차, 하차)



[2019년 대비 2020년 승하차 인원 감소율(주말)]

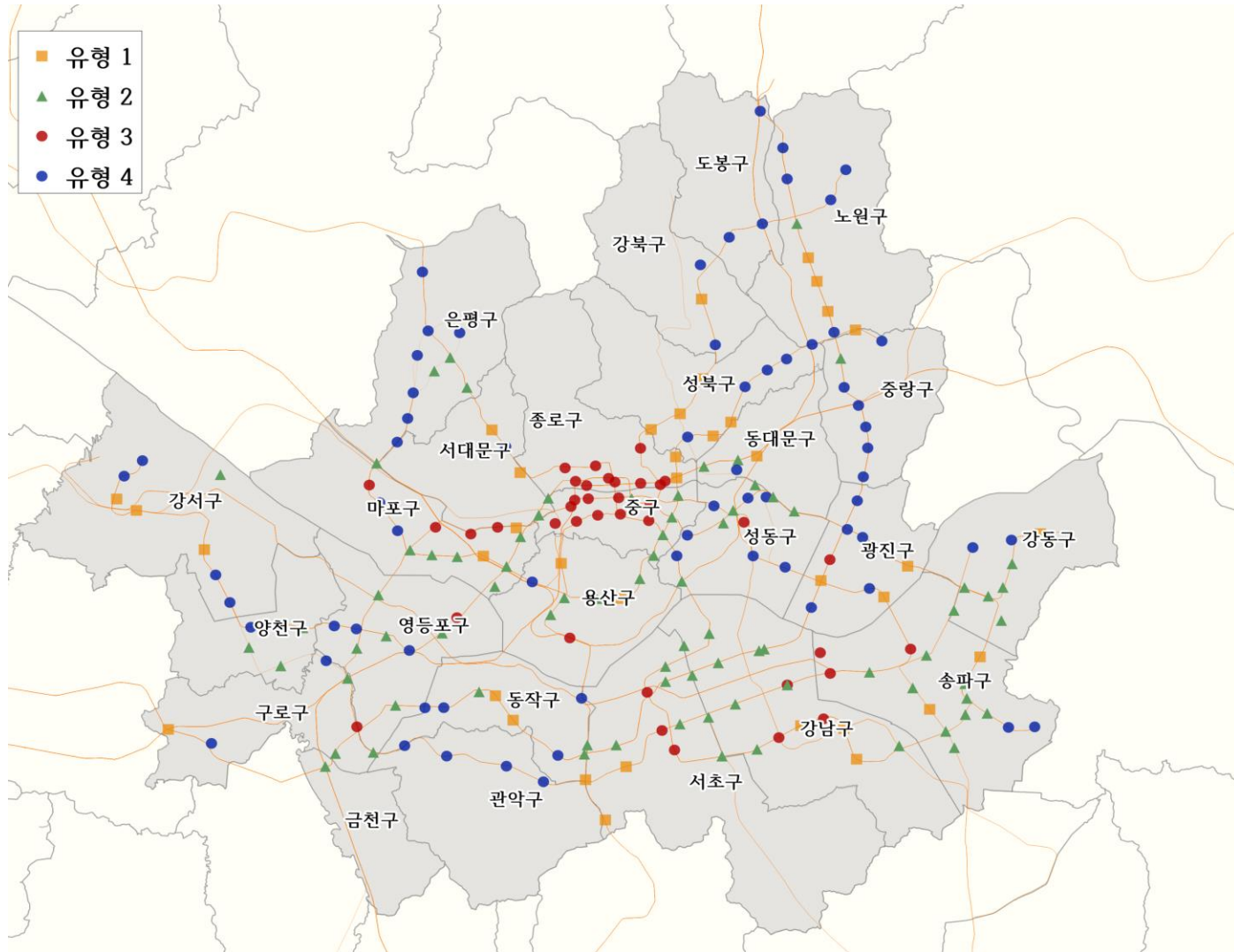


[2019년 대비 2020년 승하차 인원 감소율(주말)]



[2019년 대비 2020년 승하차 인원 감소율(주말)]

3.2 수요 감소 패턴 분석 - 지하철역 군집분석 결과 시각화



3.2 수요 감소 패턴 분석-유형1



군집	역사명
1 (N=41)	건대입구, 고려대(종암), 길음, 공릉(서울과학기술대), 대흥(서강대앞), 광나루(장신대), 미아(서울사이버대학), 성신여대입구(돈암), 숙대입구(갈월), 송실대입구(살피재), 안암(고대병원앞), 온수(성공회대입구), 올림픽공원(한국체대), 한성대입구(삼선교), 화랑대(서울여대입구), 강변(동서울터미널), 김포공항, 청량리(서울시립대입구) 외

- 유형 1 (평일 오전 승하차 인원 감소율이 가장 높은 역)은 평일 오전 승하차 인원 감소율, 평일 오전 하차 인원 감소율, 평일 저녁 승차 인원 감소율이 가장 높음
- **대학가에 위치한 역**은 대부분 유형 1 해당 ex) 건대입구, 고려대, 길음, 대흥(서강대앞) 역 등
→ 온라인 강의가 시행되면서 통학 목적의 통행 수요가 줄어들어 이러한 감소패턴이 나타나는 것으로 해석됨
- **광역교통시설과 인접한 역**도 유형 1에 해당 ex) 강변(동서울터미널), 김포공항, 청량리 등
→ 다른 지역으로의 이동을 목적으로 하는 통행량이 높은 지하철역은 다른 유형에 속한 역들에 비해 평일 오전 시간대 지하철 이용에 대한 사회적 거리 두기의 영향이 크게 나타남

3.2 수요 감소 패턴 분석-유형2



군집	역사명
2 (N=86)	가산디지털단지, 강남, 강남구청, 강동구청, 경찰병원, 공덕, 교대(법원, 검찰청), 구로디지털단지, 굽은다리(강동구민회관앞), 녹사평(용산구청), 논현, 당산, 디지털미디어시티, 목동, 몽촌토성(평화의원), 상수, 서대문, 석촌, 선릉, 수서, 신답, 신당, 신도림, 신사, 신설동, 신용산, 신정네거리, 신중동, 신풍, 신흥, 압구정, 애오개, 약수, 양재(서초구청), 양천구청, 여의도, 역삼, 왕십리(성동구청), 을지로4가, 충정로(경기대입구), 학동, 한강진, 합정, 행당 외

- 유형2(평일 오전 승하차 인원 감소율이 가장 낮은 역)은 평일 오전 승하차 인원 감소율, 평일 오전 하차 인원과 저녁 승차 인원 감소율이 가장 낮음(유형 1과 반대)
 - **업무시설이 밀집한 역**이 해당됨 ex) 강남, 가산디지털단지, 구로디지털단지, 여의도, 역삼 등
 - **공공업무시설이 인접한 역**을 포함하고 있음 ex) 강동구청, 교대(법원, 검찰청), 녹사평(용산구청), 양재(서초구청), 왕십리(성동구청) 등
- 다른 유형의 역과 비교하여 통근 통행량이 높은 비율을 차지하여 이러한 패턴이 나타나는 것으로 해석됨

3.2 수요 감소 패턴 분석-유형3



군집	역사명
3 (N=36)	경복궁(정부서울청사), 고속터미널, 광화문(세종문화회관), 남부터미널(예술의 전당), 대림(구로구청), 도곡, 동대문, 동대문역사문화공원, 동대입구, 명동, 부천종합운동장, 삼성(무역센터), 서울역, 서초, 시청, 신촌, 안국, 어린이대공원(세종대), 여의나루, 월드컵경기장(성산), 을지로3가, 을지로입구, 이대, 이촌(국립중앙박물관), 잠실(송파구청), 잠실나루, 종각, 종로3가, 종로5가, 종합운동장, 충무로, 학여울, 한양대, 혜화, 홍대입구, 회현(남대문시장)

- 유형3(주말 오후 및 평일 저녁 승하차 인원 감소율이 가장 높은 역)은 주말 오후 승하차, 승차 및 하차 인원 감소율, 평일 저녁 승하차 및 하차 인원 감소율, 평일 오전 승차 인원 감소율이 가장 높음
 - **중구에 가장 밀집**되어 있으며, 이외 마포, 서초, 강남, 송파, 마포구에 집중적으로 분포
 - 여가목적의 통행량이 높은 역 포함 ex) 광화문(세종문화회관), 남부터미널(예술의 전당), 동대문역사문화공원, 이촌(국립중앙박물관) 등 **문화시설이 위치한** 역 or 명동, 신촌, 혜화, 홍대입구 등 공연, 전시, 연극, 쇼핑 등 **서울의 문화중심지**로 알려진 곳 or 부천종합운동장, 종합운동장, 월드컵경기장(성산) 등 **스포츠 경기 관람을 목적으로 이용**하는 역
- 밀집된 곳에서의 문화 여가 생활이 자제되어 주말 승하차 인원과 평일 저녁 승하차 인원 감소가 많은 것으로 해석됨

3.2 수요 감소 패턴 분석-유형4



군집	역사명
4 (N=75)	구의(광진구청), 구파발, 군자(능동), 굴포천, 금호, 까치산, 까치울, 낙성대, 남성, 남한산성입구(성남법원.검찰청), 마포구청, 부천시청, 부평구청, 서울대입구(관악구청), 석계, 성수, 수락산, 수유(강북구청), 신금호, 신길, 신대방, 신대방삼거리, 신림, 신정(은행정), 쌍문, 아차산(어린이대공원후문), 암사, 양평, 연신내, 영등포구청, 용답, 용두(동대문구청), 외

- 유형4(주말 오후 및 평일 저녁 승하차인원 감소율이 가장 낮은 역)은 주말 오후 승하차, 승차 및 하차인원 감소율, 평일 저녁 승하차 및 하차인원 감소율, 평일 오전 승차인원 감소율이 가장 낮음 (유형3과 반대)
 - **공공업무를 보는 지역**에 위치한 지하철역을 포함 (유형2와 유사)
ex) 구의(광진구청), 남한산성입구(성남법원, 검찰청), 마포구청, 부천시청, 부평구청, 서울대입구(관악구청), 수유(강북구청) 등
 - 전체유형중 **통행수요량이 가장 적음**
- 절대적인 승객수가 적음과 동시에 코로나 19로 인해 영향을 받는 통행목적이나 활동들이 다른 유형의 역들보다 적게 발생

04. 요약 및 결론

통학 및 통근 등의 필수적인 통행목적의 서울시 지하철 이용은 자율적인 통행목적의 이용보다 사회적 거리두기로 인한 수요 감소 영향이 적음

- 2019년 대비 2020년의 사회적 거리두기 기간동안 서울시 지하철역(1-8호선)의 일 평균 승하차 인원은 약 37.6% 감소하였고, 평일에 (32.4%)에 비해 주말(46.9%) 감소율이 높게 나타남
- 모든 시간대에서 19년 대비 20년 지하철 수요 감소현상이 나타났으며, 주말 첨두시간(오후 1시-3시)의 감소율은 다른 시간대와 유사하게 나타난 반면, 평일 첨두시간대(오전 7시-9시, 저녁 6시-8시)의 감소율은 다른 시간대에 비해 낮은 경향이 있음

수요 감소시간대와 감소율을 기반으로 서울시 지하철역은 4가지 대표적인 감소패턴으로 유형화됨

- 유형 1. **평일 오전 승하차 인원 감소율이 가장 높은 역** → 대학가 주변이거나 광역교통시설 주변의 지하철역이 주로 해당함
- 유형 2. **평일 오전 승하차 인원 감소율이 가장 낮은 역** → 주로 업무 시설이 집중된 지역에 위치하거나 통근 통행량이 높은 비율을 차지하는 지하철역이 해당함
- 유형 3. **주말 오후 및 평일 저녁 승하차 인원 감소율이 가장 높은 역** → 문화시설이 집중된 지역 주변에 위치하는 경우가 많으며 특히 중구에 집중되어 있음
- 유형 4. **주말 오후 및 평일 저녁 승하차 인원 감소율이 가장 낮은 역** → 다른 유형에 비해 절대적인 승객수가 적으며 코로나로 인한 통행량의 영향이 가장 적은 역으로 볼 수 있음

05. 정책적 제언

- 유형 1과 유형 3은 2019년 대비 이용객 감소율이 높은 역으로, 해당 역을 포함한 역세권을 중심으로 주변 지역경제 또한 위축되었을 가능성이 있음
→ 서울시 코로나 대응 경제지원책 마련에 있어서 유형 1과 유형 3에 해당하는 역이 밀집된 지역을 우선적으로 고려할 필요가 있음
- 유형 2는 (유형 4와 함께 2019년 대비 이용객 감소율이 비교적 낮은 역으로) 절대적인 이용객 수는 많은 편인 반면, 평일 이용객 감소율이 가장 낮은 역으로 필수적 통행목적의 이용객이 높은 비율을 차지하는 경향을 보임
→ 코로나 19와 같은 감염병 발생 시 해당 역들을 중점적으로 방역 조치를 강화할 필요가 있음
- 코로나 19 전후로 통근 및 통행 등 필수적 통행목적의 이용으로 초래되는 침두시간대 즉, 지하철 혼잡시간대는 변하지 않았음
→ 대중교통 혼잡도를 분산시킬 수 있도록 감소패턴 유형을 고려하여 재택 및 유연근무의 확산 등의 혼잡도 완화정책을 지역 특정적으로 시행할 수 있음
→ 더욱 심각한 감염병이 확산되거나 코로나19 대응을 더욱 강화해야할 경우, 유형 2에 해당하는 역 이용객을 유형 1 또는 3의 역으로 분산시키는 등의 조치가 수반될 수 있음

“효율적이고 효과적인 코로나 위기 대응과 서울시 지하철이 시민을 위한 지속가능한 이동수단의 역할을 하고 안전한 교통 이용 환경이 조성되기 위해서는 전반적인 코로나 19의 영향 파악뿐만 아니라
지하철역별 특성을 고려하여 재난관리 및 교통 정책을 적용하고 해결방안을 강구하는 것이 필요함”

- 김채만, & 한아름. (2020). 코로나 19 이후 교통정책은 효율성에서 안전성으로. 이슈 & 진단, 1-26.
- 이금숙, 송예나, & 박종수. (2012). Relationship between diurnal patterns of transit ridership and land use in the metropolitan Seoul area. 한국경제지리학회지, 15(1), 26-41.
- 이정우, 고주연, 전상우, & 전철민. (2015). 대중교통 승하차 수요분석을 통한 서울시 역세권 유형화 및 토지이용 특성 연구. 국토연구, 35-53.
- 장동익, 임서현, & 성낙문. (2020). 코로나 19의 육상교통부문 영향분석 및 대응방향. 월간교통, 6-16.
- 조광현, & 박희창. (2005). 사회지표조사 자료의 K-평균 군집분석. Journal of The Korean Data Analysis Society, 7(2), 465-476.
- Kanungo, T., Mount, D. M., Netanyahu, N. S., Piatko, C. D., Silverman, R., & Wu, A. Y. (2002). An efficient k-means clustering algorithm: Analysis and implementation. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 24(7), 881-892.
- Kim, M. K., Kim, S. P., Heo, J., & Sohn, H. G. (2017). Ridership patterns at subway stations of Seoul capital area and characteristics of station influence area. KSCE Journal of Civil Engineering, 21(3), 964-975.
- Lee, S., & Lee, D. K. (2018). What is the proper way to apply the multiple comparison test?. Korean journal of anesthesiology, 71(5), 353.
- Park, J. (2020). Changes in subway ridership in response to COVID-19 in Seoul, South Korea: Implications for social distancing. Cureus, 12(4).
- Tirachini, A., & Cats, O. (2020). COVID-19 and Public Transportation: Current Assessment, Prospects, and Research Needs. Journal of Public Transportation, 22(1), 1.
- Ward Jr, J. H. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. Journal of the American statistical association, 58(301), 236-244.
<https://data.seoul.go.kr/dataList/OA-12921/F/1/datasetView.do>(서울 열린데이터 광장, 서울시
- 호선별 역별 일별 시간대별 승하차 인원 데이터) <http://kosis.kr/search/search.do>(통계청, 집계구별 인구통계)

감사합니다.