

# 초미세먼지 농도와 지하철 이용량의 관계분석과 미세먼지 대응정책의 실효성 평가\*

## Analysis on the Relationship between the Fine Dust Concentration and Subway Ridership for the Evaluation of Fine Dust Response Policies

기동환\*\*·이수기\*\*\*

Ki, Donghwan · Lee, Sugie

### Abstract

Recently, as the attention of fine dust (PM2.5) has increased, and the intensity of it is getting worse, government-led transportation policies such as free public transportation have been implemented to reduce PM2.5. Despite the efforts and massive budget, however, the public transportation policy to reduce PM2.5 has not been fully validated. This study examines the impact of PM2.5 on the transportation mode choice focusing on subway ridership and evaluates the effectiveness of public transportation promoting policy. This study uses daily PM2.5 data and subway ridership data from 2015 to 2019 in Seoul, Korea. As a result, this study found that subway ridership decreased as PM2.5 increased. Considering that walking is involved in taking the subway, and direct exposure to PM2.5 is high during walking, individuals seemed to choose alternative modes to minimize exposure. This tendency had become stronger as awareness of PM2.5 had increased in recent years. Next, this study indicated that individuals responded to PM2.5 only when they perceived it was serious. Lastly, the free public transportation promoting policy, as one of the policies related to the PM2.5 reduction measures, was not much effective. The results of this study should be considered for future transportation policies to cope with the PM2.5 problem.

**키워드** 초미세먼지(PM2.5), 대중교통 이용량, 지하철 이용량, 미세먼지 대응정책

**Keywords** Fine Dust (PM2.5), Transportation Ridership, Subway Ridership, Fine Dust Response Policy

## 1. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

초미세먼지는 대기 중에 존재하는 입자가 작은 먼지로 지름이 10 $\mu$ m 이하인 미세먼지(PM10)와 2.5 $\mu$ m 이하인 초미세먼지(PM2.5)로 구분할 수 있다. 초미세먼지는 인체에 침투될 경우 천

식, 만성기관지염 등의 호흡기 질환과 부정맥, 심근경색 등의 심혈관계 질환까지도 유발하는 것으로 보고되고 있다(명준표, 2016). 이러한 초미세먼지의 심각성에 따라 2013년 세계보건기구(World Health Organization, WHO) 산하의 국제암연구소(International Agency for Research on Cancer, IARC)는 초미세먼지를 1군 발암물질로 지정하는 등(김준범, 2017), 세계적으로 초미세먼지 위험성에 대한 경각심이 높아지고 있다.

\* 이 논문은 2019년 4월 대한국토·도시계획학회 춘계학술대회에서 우수 논문상을 수상한 논문을 수정·보완 한 것임

\*\* Master's student, Dept. of Urban Planning & Engineering, Hanyang University (orient1477@naver.com)

\*\*\* Professor, Dept. of Urban Planning & Engineering, Hanyang University (corresponding author: sugielee@hanyang.ac.kr)

우리나라 초미세먼지 현황의 경우, 평균 초미세먼지 농도가 세계 보건기구 권장 기준 3배에 달하며, OECD 35개국 중에서 두 번째로 대기오염이 높은 실정이다(정종철·이상훈, 2018). 그러나 초미세먼지 오염도는 2006년 이후 개선 정체의 경향을 보이고 있으며(강광규·이성원, 2018), 초미세먼지 농도가 대기환경 기준을 초과하는 날이 점차 증가하고 있는 추세이다.

이와 같은 초미세먼지 심각성으로 최근 정부는 이에 대응하기 위해 미세먼지 비상저감 조치, 미세먼지 특별법 제정 등을 통해 초미세먼지 저감을 위한 노력을 다각도로 펼치고 있다. 구체적으로 초미세먼지 배출원의 상당부분이 이동오염원, 즉 차량으로부터 발생하는 점에 기인하여 초미세먼지가 높은 날 미세먼지 비상저감 조치 발령 등을 통해 대중교통 활성화 정책을 시행하고 있다. 특히 서울시의 경우 대중교통 활성화를 위해 2018년 1월 15, 17, 18일 3회에 걸쳐 출퇴근 시간에 대중교통 무료 정책을 시행한 바 있다. 그러나 대중교통 무료 정책의 경우, 1회 시행에 50억이라는 막대한 예산이 투입됨에도 불구하고, 정책에 대한 실효성이 제대로 검증되지 않은 상황이다.

이러한 정부의 노력에도 불구하고, 초미세먼지 농도가 개인의 수단 전환에 영향을 미칠 가능성이 존재할 수 있다. 구체적으로, 개인이 초미세먼지에 대한 심각성을 인식함에 따라, 초미세먼지에 대한 노출을 최소화할 수단을 선택할 것으로 예상된다. 대중교통의 경우, 이를 이용하기 위해서는 보행이 수반되어야 하며, 차량 대기시간 등 외부에 노출되는 시간이 승용차에 비해 상대적으로 길다는 특성이 있다. 이는 개인에게 초미세먼지에 대한 노출 정도가 대중교통이 승용차보다 높다고 인식될 수 있다. 실제로 위와 관련하여 일부 연구에서는 수단별 미세먼지, 초미세먼지를 포함한 대기오염물질의 노출 정도를 분석하였다(Apparicio et al., 2018; Chaney et al., 2017; Hong, 2019). 각 연구의 분석결과로 자전거, 보행, 창문이 열린 승용차, 버스, 경전철, 창문이 닫힌 승용차(Chaney et al., 2017), 창문이 열린 승용차, 경전철, 창문이 닫힌 승용차(Hong, 2019), 버스, 지하철, 승용차(Apparicio et al., 2018) 순으로 미세먼지 혹은 초미세먼지 노출 및 흡입 정도는 높다고 보고되고 있다. 위와 같이 선행연구에서 밝혀진 객관적인 초미세먼지 노출 정도와 개인이 주관적으로 인식하는 노출 정도로 인해 초미세먼지가 높은 날 개인은 이에 대한 노출을 최소화하기 위해 대중교통보다는 승용차를 선택할 가능성이 있다고 볼 수 있다.

따라서 본 연구의 목적은 위와 같은 가설을 검증하기 위해 초미세먼지 농도<sup>1)</sup>가 지하철 이용량에 미치는 영향을 분석하고자 한다. 구체적으로 본 연구에서는 통근 및 통학 목적의 통행이 주로 발생하는 오전 침투 시간에 집중하여 초미세먼지로 인한 수단 전환 측면을 보고자 한다. 부가적으로 본 연구에서는 초미세먼지 저감을 위한 대중교통 활성화 정책에 해당하는 미세먼지 비상저감 조치, 대중교통 무료 정책의 실효성을 평가하고자 한다.

## II. 선행연구 고찰

### 1. 대중교통 이용 수요와 관련한 요인

대중교통 이용 수요에 영향을 미치는 요인은 크게 외적인 요인과 내적인 요인으로 분류할 수 있다(Taylor and Fink, 2003). 외적인 요인은 인구·사회·경제학적 요인으로, 인구 및 고용 규모, 자동차 등록대수, 소득 수준, 휘발유 가격 등이 해당된다. 내적인 요인은 대중교통의 자체 속성에 해당하는 것으로, 대중교통 서비스 질에 해당하는 운용패턴, 수송능력, 대중교통 운임 등이 해당한다.

이를 실증한 연구로 성현근(2017) 연구에서는 서울을 대상으로 2011년 1월부터 2016년 10월까지 지하철, 버스 이용 수요에 영향을 미치는 요인을 분석하였다. 분석결과, 인구수의 증가는 지하철, 버스 모두에 장기적으로는 이용 수요에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 고용 규모라 볼 수 있는 경제활동 참여 비율 또한 대중교통 이용 수요에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 해당 연구에서는 대중교통 및 승용차의 통행비용, 즉 대중교통 요금과 휘발유 가격이 대중교통 이용 수요에 영향을 미친다는 점을 참고하여 수단별 교통비용의 비가 대중교통 이용 수요에 영향을 미치는 것을 실증하였다.

일부 연구에서는 휘발유 가격에 초점을 맞춰 통행비용이 대중교통 이용량에 미치는 영향을 분석하였다. 이광섭 외(2014) 연구는 휘발유 가격이 대중교통 수요에 미치는 영향력을 수단별(버스, 도시철도) 및 광역권별로 세분화하여 분석하였다. 분석결과, 휘발유 가격에 대한 민감도는 버스보다 도시철도가 높게 나타났으며, 지역별로는 상대적으로 비수도권 지역이 수도권보다 유가에 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. 이에 대한 이유로 수도권 지역의 경우 상대적으로 대중교통 분담률이 높아, 대중교통 이용이 생활화 되어 휘발유 가격에 덜 민감하게 반응하는 것이라 저자는 설명하고 있다.

해외 연구로 Lane(2010)는 2002년부터 2008년 4월까지 미국의 9개 도시를 대상으로 휘발유 가격이 대중교통 이용량에 미치는 영향을 분석하였다. 분석결과, 유류 가격의 변화가 대중교통 이용량에 미치는 영향력은 작지만 양(+)의 방향으로 유의한 것으로 나타났다. 그러나 저자는 유류 가격이 상승하게 되면, 대중교통 운영비용이 증가하게 되어 비효율적인 노선을 감축하는 등의 조치를 취하게 되어 오히려 부정적인 효과를 낼 수 있다고 언급하고 있다. 따라서 대중교통 운영 업체가 유류 가격 변동에 적절히 대응하는 것이 대중교통 이용자 증가에 중요한 요소라고 주장하고 있다. 이외에도 다양한 연구에서 휘발유 가격 및 대중교통 요금에 대중교통 이용 수요에 영향을 미치는 주요한 원인이라고 보고하고 있다(Chao et al., 2015; Milioti and Karlaftis, 2014; Welch et al., 2005).

대중교통 이용 수요에 영향을 미치는 요인에 관한 연구 중 일부

는 날씨에 초점을 맞춰 진행되었다. 신강원·최기주(2014) 연구에서는 부산시를 대상으로 강수량이 대중교통 이용량에 미치는 영향을 분석하였다. 분석결과, 강수량이 대중교통 이용 수요에 음(-)의 영향을 미치나, 수단별로 그 영향 범위는 다르게 나타났다. 구체적으로, 버스의 경우 일일 강수량이 10mm 이상일 때, 지하철의 경우 일일 강수량이 25mm 이상일 때부터 이용량이 감소하는 경향을 보여 지하철의 경우 강수량으로 인한 탑승객의 변화가 상대적으로 둔감한 것으로 나타났다. 이정훈·정현영(2018) 연구에서는 서울시를 대상으로 분위 회귀분석 방법론을 활용하여 기상조건이 대중교통 수단별 통행량에 미치는 영향을 분석하였다. 분석결과, 평일 지하철 이용량에 온도와 습도는 양(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났고, 강수량은 음(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Singhal et al.(2014)은 뉴욕시를 대상으로 분석한 결과, 강수량, 강설량, 풍속의 경우 지하철 이용량에 음(-)의 방향으로 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한, 특기할만한 점은 날씨로 인한 지하철 이용량 감소 효과가 역별로 차이가 있는 것으로 나타났다. 구체적으로, 지하철역이 실외 혹은 지하에 위치하는지, 버스 수단과 연계되어 있는지에 따라서 날씨의 영향정도가 다른 것으로 나타났다.

## 2. 대기오염이 통행 행태에 미치는 영향

Welch et al.(2005)는 미국 시카고를 대상으로 오존이 지하철 이용량에 미치는 영향을 분석하였다. 연구 대상지인 시카고의 경우, 오존 농도가 높은 날 주정부가 오존 대응 조치(Ozone Action Day, OAD)를 시행하고 있다. 해당 조치가 발령되면 미디어를 통해 시민들에게 외부 활동 자제, 오존 생성을 유발하는 승용차 탑승 억제와 대중교통 장려를 권고하고 있어, 미세먼지 비상저감 조치와 유사한 성격이라고 볼 수 있다. 분석결과, 오존 대응 조치가 시행된 경우 시간대별로 차이는 존재하지만 지하철 이용량이 증가하는 것으로 나타났다. 저자는 이를 통해 오존 대응 조치가 홍보의 부족 및 대중교통 보조금 부재 등의 정책적 한계점을 지니고 있지만, 개인의 친환경적인 교통 행태를 독려하여 지하철 이용량을 증가시키는 효과가 있다고 언급하고 있다.

Henry and Gordon(2003) 연구에서는 설문조사를 활용하여 정부에서 실시하는 대기질 알림 시스템이 개인의 통행행태에 미치는 영향을 분석하였다. 분석결과, 대기질 알림 시스템이 발령되는 날씨의 경우 개인은 통행 자체를 줄이거나, 통행을 하더라도 통행거리를 줄이는 결과를 보였다. 또한 개인 특성에 따라 대기질을 인식하는 정도나, 대기질 알림 시스템에 의해 변하는 통행행태의 민감도 차이가 존재하였다. 구체적으로, 소득이 높고 통행거리가 길수록 알림 시스템에 대한 인식이 높은 것으로 나타났으며, 공공기관에 종사하는 개인이 사기업에 종사하는 개인보다

알림 시스템으로 인한 통행행태 변화가 더 큰 것으로 나타났다.

위와 같은 연구의 결과는 대기질 및 대기질과 관련된 알림 시스템이 개인의 통행행태에 영향을 미칠 수 있음을 시사한다. 또한 대기질이 단순히 좋거나 나쁜 것과는 별개로 대기질 경보 등의 알림 시스템이 개인의 경각심 및 인식에 영향을 미침으로써, 통행행태에 부가적인 영향을 미칠 수 있다고도 예상해 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서 보고자 하는 초미세먼지 또한 단순히 초미세먼지 농도의 영향뿐만 아니라 미세먼지 비상저감 조치와 같이 개인에게 경각심을 심어주는 알림 시스템이 개인의 통행행태에 부가적인 영향을 미칠 수 있다고 예상하였다.

## 3. 초미세먼지와 대중교통 정책

미세먼지 비상저감 조치는 초미세먼지가 고농도로 예측될 시 5등급 차량 운행 제한, 자율적 차량 2부제, 대기오염물질 배출 시설 가동 중지, 행정·공공기관 주차장 폐쇄 등을 통해 초미세먼지를 단기간에 줄이고자 하는 조치이다. 또한 해당 조치가 발령될 시 개인에게 문자 전송을 통해 이에 대한 정책 홍보를 실시하고 있다. 해당 조치의 경우 전술한바와 같이 초미세먼지의 상당 부분이 승용차 등으로 인한 이동 오염원이 차지한다는 사실을 참고하여 승용차에서 대중교통으로의 수단을 전환시키기 위한 조치라 볼 수 있다.

서울시는 시민 참여형 차량 2부제 참여를 독려하기 위해 대중교통 무료 정책을 2018년 1월 15, 17, 18일 총 3회 실시한 바 있다. 서울시는 정책 시행 이후 출근시간(첫차~오전 9시) 지하철 이용량이 전주 대비 15, 17, 18일 각각 2.1, 4.4, 4.8% 증가하였으며, 버스 이용량의 경우 각각 0.05, 3.2, 5.9% 증가하였다고 보고하고 있다(서울특별시, 2018). 그러나 김혜원·이정욱(2019)은 해당 정책의 경우 하루 50억이라는 막대한 예산이 소요되며, 정책의 효과라 볼 수 있는 대중교통 이용량 및 교통량의 변화가 미미하여 성공적인 정책이라 보기 힘들다고 주장하고 있다. 또한 저자는 이에 대한 원인을 광역교통망이 형성된 수도권이지만 정책이 서울시에만 적용된 점, 충분한 홍보가 이루어지지 못하고 급하게 정책이 진행된 점 등의 문제를 지적하고 있다. 강진동(2018)의 보고서에서는 일부 전문가나 언론을 인용하여 대중교통 무료 정책이 승용차 이용자가 대중교통으로의 수단전환을 만들어 내는 것이 아니라, 기존에 대중교통을 이용할 수밖에 없는 사람들에 대해서 요금을 면제해주는 것에 불과하다고 언급하고 있다.

## 4. 연구의 차별성

선행연구 고찰결과, 선행연구의 한계점과 이에 따른 본 연구의 차별성은 다음과 같다. 첫째, 대중교통 이용 수요와 관련한 연구 고찰 결과, 대중교통 이용량에 영향을 미치는 요인은 매우 다양하

며 연구 또한 다수 이루어진 것을 확인할 수 있다. 그러나 대기오염이 대중교통 이용량에 미치는 영향에 관한 연구에서 시사하듯, 최근 우리나라에서 사회적으로 심각한 문제가 되고 있는 초미세먼지 농도가 지하철 이용량에 영향을 미칠 수 있는 가능성이 존재한다. 그러나 초미세먼지와 대중교통 이용량에 관한 실증 연구는 미흡하다 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 서울시를 대상으로 초미세먼지 농도가 지하철 이용량에 미치는 영향을 분석하였다.

둘째, 초미세먼지에 대응하기 위한 정책과 대중교통 이용량에 관한 서울시 보고서는 교통량의 변화 및 대중교통 이용량의 변화에 초점을 맞추어 정책의 실효성을 평가하였다. 하지만 초미세먼지 농도로 인한 통행 형태 변화는 통행량 감소, 수단전환 두 가지 효과가 있을 수 있으며, 기존 보고서에서 검토하고 있는 교통량 및 대중교통 이용량 변화는 이 두 효과를 구분하지 못한다는 한계점이 존재한다. 또한 기존 보고서에서는 대중교통 이용량을 전주와 단순 비교를 실시하여, 대중교통 이용량 변화가 정책으로 인한 효과인지 혹은 다른 요인으로 인한 결과인지 구별하지 못한다는 한계점이 존재한다. 따라서 본 연구에서는 초미세먼지로 인한 효과 중 통행량 감소를 최대한 배제하고 수단전환 효과에 초점을 맞추기 위해 필수적으로 이루어지는 통근 및 통학 목적의 통행이 주로 발생하는 시간대를 선정하여, 초미세먼지가 수단전환에 미치는 영향을 집중해서 보고자 하였다.

### III. 분석의 틀

#### 1. 연구의 범위

본 연구의 공간적 범위는 서울특별시이다. 초미세먼지 농도가 지하철 이용에 미치는 영향을 분석하기 위하여 본 연구에서는 서울시 지하철 승하차 자료와 초미세먼지 농도 자료를 활용하였다. 초미세먼지 농도 자료의 경우 2015년부터 현재까지 에어코리아(AirKorea)에서 제공이 되는 관계로, 데이터 구득의 용이성을 위해 연구의 시간적 범위를 2015년 1월부터 2019년 2월까지로 설정하였다.<sup>2)</sup>

본 연구에서는 초미세먼지로 인한 수단전환 측면에 집중하기 위해 초미세먼지로 인한 통행량 감소가 적을 것으로 판단 되는 시간대를 선정하였다. 이를 위해 본 연구에서는 통행목적이 기재된 2016년 가구통행 실태조사 자료를 활용하여 수단선택을 할 수 있는 가정기반 통행 중 필수적으로 이루어지는 통근 및 통학 목적 통행의 발생 비율을 시간대별로 분석하였다(그림 1 참조). 분석결과, 오전 7시~7시 59분, 8시~8시 59분 사이에 출발하는 통행 중 통근 및 통학 목적의 통행이 전체 발생 통행 중 96.5, 93.8%를 차지하는 것으로 나타났고, 이는 해당 시간대에 발생하는 통행의 대부분은 필수적으로 이루어져야하는 통행이라 볼 수 있다. 또한 본 연구가 활용한 지하철 승하차 자료 분석결과, 오전 7, 8시에 승

차인원이 많은 것으로 나타났다(그림 2 참조).

두 분석결과를 종합해보면 오전 7~8시의 경우 발생하는 통행 중 통근 및 통학목적 통행의 비율이 높으며, 그 양 또한 많은 것으로 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 통행량 감소 측면이 아닌 수단전환에 초점을 맞추기 위해 시간적 범위를 2015년 1월부터 2019년 2월 중 오전 7~8시<sup>3)</sup>로 설정하였다. 즉, 본 연구의 시간적 범위 내 지하철 이용량 변화는 통행량 감소로 인한 것이 아닌 개인의 수단전환으로 인한 이용량 변화로 보았다.

#### 2. 활용자료

본 연구가 주로 활용한 자료는 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 첫 번째는 스마트카드 데이터를 집계한 서울시 지하철 일별, 시간별 승하차 인원 자료이며, 해당 자료에는 일별, 시간별, 역별로 지하철 승하차 인원 정보가 포함되어 있다. 1호선에서 8호선에 포함되는 역들에 대한 승하차 정보만 포함되어 있으며, 데이터 가공 결과 본 연구의 공간적 범위인 서울에 위치하지 않은 역들이 포함되어 있는 것을 확인하였다. 따라서 본 연구에서는 서울에 위치하지 않은 역들을 제외하였고, 최종적으로 225개 역을 대상으로 분석을 진행하였다.<sup>4)</sup> 본 연구에서는 해당 데이터를 활용하여 승차인원만을 추출하였으며, 연구의 시간적 범위에 해당하는

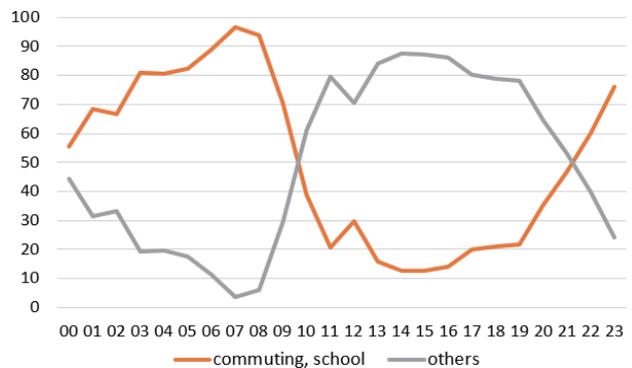


그림 1. 시간대별 통근 및 통학 통행, 기타 통행 비율  
Figure 1. Commuting and school trip percentage by time

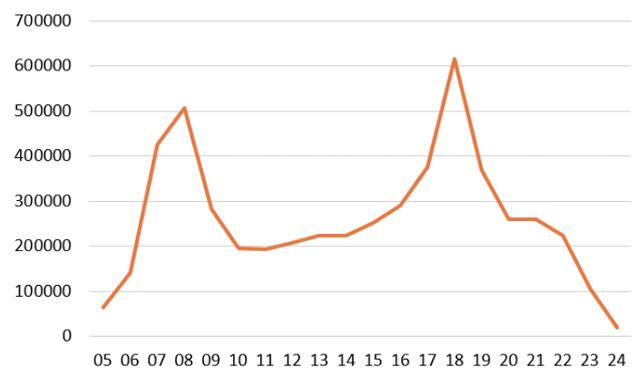


그림 2. 시간대별 지하철 승차 인원  
Figure 2. Number of passengers on the subway by time

오전 7~8시 승차인원만을 집계하여 일별 지하철 이용 승객을 산출하였다.

두 번째는 에어코리아(AirKorea)에서 제공하는 초미세먼지 농도 데이터로, 2001년부터 현 시점까지 서울시에 위치한 39개 측정소에서 초미세먼지를 포함한 6종의 대기오염 물질을 측정하여 측정소별, 일별, 시간별 측정값을 제공하고 있다(그림 3 참조). 이중 초미세먼지의 경우, 2015년부터 측정이 이루어진 관계로 2015년부터 데이터가 제공되고 있다. 본 연구에서는 해당 자료를 활용하여 일별 오전 7~8시 서울시에 위치한 측정소 농도 평균을 산출하였다.

### 3. 변수선정

본 연구에서 활용한 분석단위는 일별로, 통근 및 통학 통행이 주로 발생하는 오전 7~8시를 대상으로 하였다. 이에 따라 본 연구에서 활용한 변수들 또한 해당 시점의 값들로 산출하였다. 구체적으로 종속변수의 경우 일별로 오전 7, 8시에 지하철 승차 인원을 합계하여 사용하였다.

특기할만한 점으로 본 연구는 연구의 시간적 범위를 2015~2019년 2월에 해당하는 1,520일 중 다음과 같은 3가지 기준에 해당하는 날을 분석 대상에서 제외하였다. 첫째, 본 연구에서는 통행량 감소가 아닌 수단전환에 초점을 맞추기 위해 통근 및 통학 목적의 통행이 주로 발생하는 오전 7~8시를 연구의 시간적 범위로 설정하였다. 그러나 주말에는 필수통행에 해당하는 통근 및 통학 목적의 통행이 발생하지 않는 점을 고려하여, 주말을 제외한 평일만을 분석대상으로 설정하였다.

둘째, 본 연구에서는 위와 같은 이유로 지하철을 비롯한 대중교통 이용량에 영향을 미칠 수 있는 명절 등의 공휴일과 연초, 연말을 분석대상에서 제외하였다. 연초, 연말의 경우 1월 첫 주, 12월 마지막 주로 설정하였고 해당 기간에는 장기간 휴가 등으로 인

해 대중교통 이용이 감소할 수 있을 것으로 판단하여 제외하였다. 추가적으로 공휴일 전후 1일 또한 샌드위치 휴가 등으로 대중교통 이용이 감소할 가능성이 존재한다(성현곤, 2016). 따라서 본 연구에서는 공휴일, 공휴일 전후 1일, 연초·연말을 분석 대상에서 제외하였다.

셋째, 날씨 요인과 대중교통 이용 수요와 관련한 선행연구 고찰 결과, 강수량이 지하철 이용에 음(-) 영향을 미치는 것으로 나타났다. 신강원·최기주(2014) 연구에 따르면, 일일 강수량이 10mm 이상일 때 대중교통 이용량에 유의미한 감소가 나타났다. 따라서 본 연구에서는 일일 강수량이 10mm 이상인 날들을 제외하였다. 부가적으로, 본 연구가 활용한 지하철 승차 자료의 경우 2017년 8~12월에 데이터가 누락된 관계로 해당 기간을 분석에 포함시키지 못하였다. 위와 같은 3가지 기준을 통해 본 연구에서는 최종적으로 767일을 분석 대상으로 삼았다.

본 연구가 활용한 변수는 <표 1>과 같다. 독립변수는 크게 본 연구의 중점 변수인 초미세먼지 특성과 선행연구에서 대중교통 이용 수요에 영향을 미친다고 보고된 인구·사회·경제 특성, 날씨 특성, 터미 변수로 구성되어 있다. 우선 초미세먼지 특성 변수의 경우, 오전 침투시간(7~8시) 평균 PM2.5 농도, 활동시간 내 PM2.5 평균 농도, 연도×PM2.5 농도(상호작용 항)으로 구성하였다. PM2.5 농도의 경우, 해당 시간(7~8시)의 평균 PM2.5 농도로 설정하였다. 활동시간 내 PM2.5 농도의 경우, 통행이 시작되는 시점인 오전 7~8시 PM2.5 농도뿐만 아니라, 통행 후 집으로 귀가하기까지 시간동안의 평균 PM2.5 농도 또한 수단 선택에 영향을 미칠 것으로 예상하여 변수로 추가하였다. 예를 들어 개인이 출근을 하는 시간에는 PM2.5 농도가 높지 않지만, 활동시간 내에 PM2.5 농도가 높다고 예측될 시, 이에 대한 노출을 최소화하기 위해 수단 선택을 달리 할 수 있다. 본 연구에서는 활동시간을 오전 침투시간인 오전 7시부터 귀가 목적의 통행이 이루어지는 오후 침투시간인 오후 6시로 설정하여(그림 2 참조), 해당 시간 내 평균 PM2.5 농도로 활동시간 PM2.5 변수를 설정하였다.

또한, 연도×PM2.5 농도로 구성된 상호작용 항의 경우, 최근 들어 초미세먼지에 대한 심각성이 증가되고 있는 점을 고려하였을 때, 시간 흐름에 따라 초미세먼지 농도에 대한 지하철 이용 민감도가 다를 것으로 예상하여 변수로 추가하였다.

인구·사회·경제 특성 변수의 경우, 선행연구에서 대중교통 수요에 영향을 미치는 요인이라 보고된 인구, 경제활동 인구, 자동차 등록대수, 수단별 통행비용으로 구성하였다. 수단별 통행비용을 제외한 다른 변수들의 경우 본 연구의 분석단위인 일별로 데이터가 제공되지 않고 월별로 제공되기 때문에 월별로 변수를 구축하였다. 특기할만한 점으로 선행연구를 통해 대중교통 이용 수요에 영향을 미치는 변수로 보고된 수단별 통행비용 변수의 경우, 성현곤(2017) 연구에서 참고하여 '취발용 1L의 가격/지하철 승차요금'으로 산출하였다(그림 4 참조). 이를 통해 경합하는 두 수단

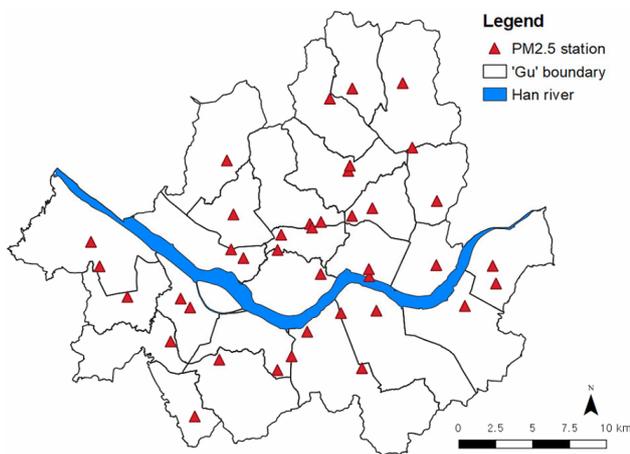


그림 3. 초미세먼지 측정소 위치

Figure 3. Location of fine dust (PM2.5) monitoring station

표 1. 변수 설명 Table 1. Description of variables

Variable	Description (unit)	Source
오전 첨두시간 지하철 승차 인원 A.M. peak time subway ridership	7~8시 지하철 승차인원 (명) Subway ridership at A.M. peak time	서울 열린데이터 광장 (Seoul Open Data)
초미세먼지 특성 Characteristics of Fine Dust	오전 첨두시간 PM2.5 농도 A.M. peak time PM2.5 concentration	7~8시 평균 PM2.5 농도 (µg/m <sup>3</sup> ) Concentration of PM2.5 at A.M. peak time
	활동시간 PM2.5 농도 Activity time PM2.5 concentration	활동시간(7~18시) 내 평균 PM2.5 농도 µg/m <sup>3</sup> ) Concentration of PM2.5 at activity time (7 a.m.~6 p.m.)
	연도×PM2.5 농도 Year×PM2.5 concentration	연도×PM2.5 농도 (년·µg/m <sup>3</sup> ) (준거 : 2019년) year×PM2.5 concentration (ref.: 2019y)
인구·사회·경제 특성 Characteristics of Demographic Socio-economic	인구 Population	월별 인구 (명) Number of population
	경제활동 인구 Economically active population	월별 경제활동 인구 (명) Number of economically active population
	자동차 등록 대수 Vehicle registration	월별 자동차 등록 대수 (대) Number of vehicle registration
	수단별 통행비용 Ratio of travel cost by mode	휘발유 1L 가격/지하철 승차 카드 요금 Gasoline price/subway fare
날씨 특성 Characteristics of Weather	가시거리 Visibility	해당 시각 가시거리 (10m) Distance of the visibility
	기온 Temperature	해당 시각 날씨 특성(°C, m/s, %, cm) Characteristics of weather
	기온 <sup>2</sup> Temperature <sup>2</sup>	
	풍속 Wind speed	
	습도 Humidity	
적설량 Snowfall		
더미 변수 Dummy	요일 더미 Day of week dummy	월: 0 (준거); 화: 1; 수: 2; 목: 3; 금: 4 Mon.: 0 (ref.); Tue.: 1; Wed.: 2; Thu.: 3; Fri.: 4
	방학기간 더미 Vacation period dummy	방학기간(1, 2, 7, 8월): 1 Vacation period (Jan., Feb., Jul., Aug.): 1
	휴가기간 더미 Summer holiday period dummy	휴가기간(7월 24일~8월 14일): 1 Summer holiday period (24 July~14 August): 1

이라 할 수 있는 승용차, 지하철의 통행 비용의 비를 산출함으로써 수단별 통행 비용의 비가 지하철 이용량에 미치는 영향을 보고자 하였다. 지하철 승차 가격의 경우 본 연구의 시간적 범위 내 2015년 6월 22일 카드 요금 기준 1,050원에서 1,250원으로 1회 인상되어 이를 반영하였다. 휘발유 가격의 경우 한국석유공사가 운영하는 주유소 유류 가격 사이트인 오피넷(Opinet)을 통해 일별 서울시 평균 휘발유 가격을 구득하여 변수로 활용하였다.

날씨 특성의 경우 가시거리, 기온, 기온 제곱 항, 풍속, 습도, 적설량으로 변수를 구성하였다. 특기할만한 점으로 가시거리의 경우 개인이 대기 질, 특히 초미세먼지를 인식하는 하나의 지표로서 변수화 하였다. 구체적으로, 개인은 초미세먼지의 객관적인



그림 4. 수단별 통행비용 Figure 4. Travel cost by mode

농도 수치에 영향을 받을 뿐 아니라, 초미세먼지에 대한 인지정도 역시 개인의 수단전환에 영향을 미칠 것으로 예상되는데, 가시거리가 개인이 초미세먼지 농도를 인식하는 하나의 지표가 될 수 있다. 즉, 가시거리가 좋지 않은 날 개인은 초미세먼지를 비롯한 대기 질이 좋지 않다고 인식할 것이며, 이는 개인의 수단선택에 영향을 줄 수 있다. 이 외에도 일별 대중교통 수요에 영향을 미칠 수 있는 기온, 풍속, 습도, 적설량의 변수를 일별 7~8시 기준으로 산출하여 활용하였다.

## IV. 분석 결과

### 1. 기초분석

본 연구의 종속변수인 일별 오전 7~8시 지하철 승객인원은 아래 <그림 5>와 같다. 연도별로 조금씩의 차이는 존재하나, 전반적으로 일정한 패턴을 보이는 것을 확인할 수 있다. 해당 패턴에는 크게 요일별, 계절별 패턴이 존재하는 것으로 판단된다. 이를 좀 더 뚜렷하게 보기 위해 월별 및 요일별 평균 승차인원을 분석하였고, 이는 <그림 6, 7>과 같다. <그림 6>의 경우, 오전 침투 시간 일별 지하철 평균 승차인원을 나타낸 것으로, 계절별로 승차인원 차이가 있는 것을 확인할 수 있다. 구체적으로 봄과 가을이 여름과 겨울에 비해 승차인원이 많은 것으로 나타났다. 이는 기온을 비롯한 날씨 특성이 반영된 현상으로 보이는데, 기온이 일정 수준보다 높거나 낮을 시 지하철 이용량이 감소할 수 있으므로 의미한다. 이러한 현상을 반영하기 위해 본 연구에서는 기온 변수뿐만 아니라 기온 변수의 제곱 항을 변수로 추가하였다(표 1 참조).

이외에도 여름, 겨울의 경우 방학이 포함되는 계절로 본 연구가 통근 및 통학 통행이 주로 발생하는 시간대를 선정한 만큼 방학으로 인한 통학량의 감소가 반영될 수 있다. 추가적으로 <그림 5>를 통해 7월 말~8월 중 기간에 지하철 승차인원이 급격하게 감소되는 것을 확인할 수 있다. 이는 7월 말부터 8월 중순까지 직

장인들의 여름휴가가 집중되는 기간임을 고려하였을 때, 통근 통행량의 감소로 지하철 이용량이 감소된 것으로 판단할 수 있다. 직장인들을 대상으로 한 설문조사에 따르면 여름휴가 기간이 8월 초(38.4%), 7월 말(21.6%), 8월 중순(18.4%)로 나타나, 7월 말부터 8월 중순까지를 주 휴가기간으로 볼 수 있다(머니투데이, 2018년 7월 13일 보도). 따라서 본 연구에서는 방학과 직장인들의 휴가기간으로 지하철 이용량이 감소될 수 있다는 것을 통제해주기 위해

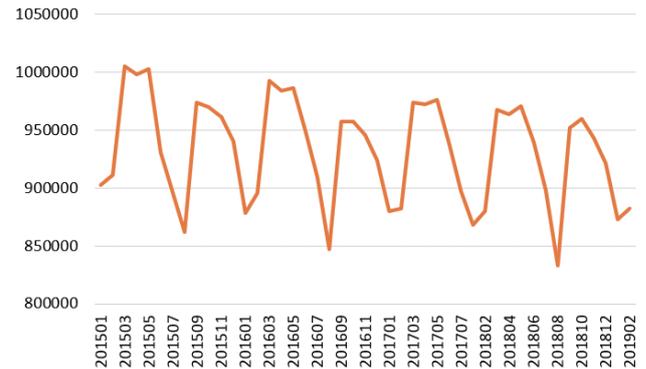


그림 6. 월별 지하철 승차인원

Figure 6. Average number of subway ridership per month

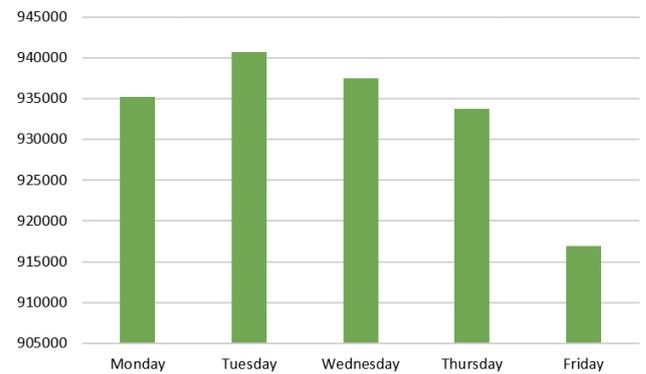


그림 7. 요일별 지하철 승차인원

Figure 7. Average number of subway ridership per day of the week

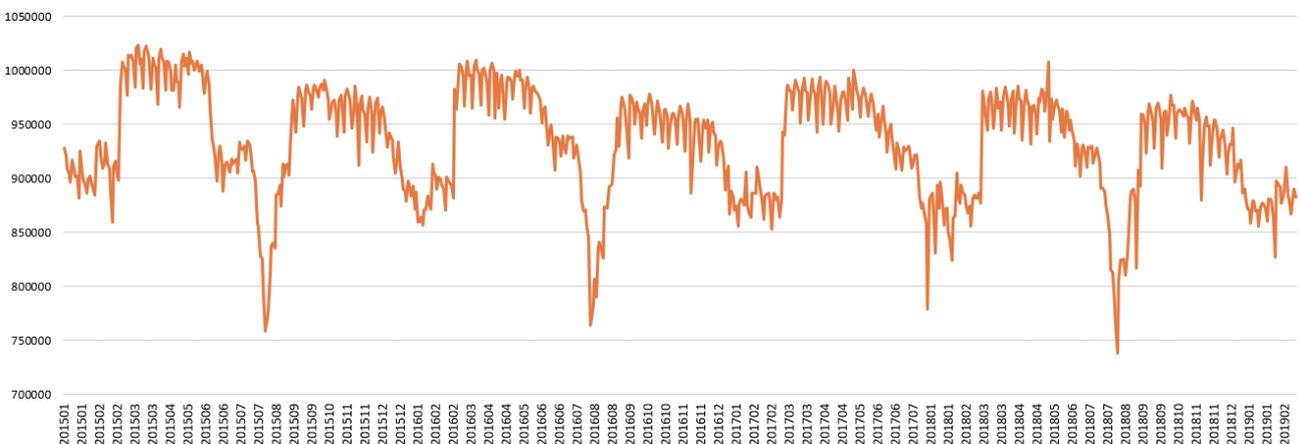


그림 5. 일별 지하철 승차인원

Figure 5. Subway ridership per day

방학기간 더미, 휴가기간 더미 변수를 활용하였다(표 1 참조).

또한 <그림 6>을 참고하면, 시간이 지남에 따라 지속적으로 지하철 이용량이 감소하는 것으로 보인다. 이는 선행연구에서 대중교통 이용량에 영향을 미치는 인구·사회·경제 특성이 변함으로써 나타나는 결과로 판단된다. 구체적으로 시간이 흐름에 따라 자동차 통행비용의 감소, 인구 감소, 차량등록 대수의 증가 등이 이러한 영향을 미친 것으로 보인다(그림 4, 그림 8 참조).

<그림 7>은 본 연구의 시간적 범위 내 요일별 지하철 평균 승차인원을 나타낸 것으로, 평일 내에서도 요일별로 조금씩 승차인원 차이가 있는 것으로 확인되었다. 특히 금요일의 경우 다른 평일보다 인원이 다소 낮은 것으로 나타났는데, 이는 최근 주 52시간 근무제 및 유연 출퇴근제를 채택하면서 근무시간이 줄어들어 따라 금요일에 출근을 하지 않는 회사가 증가하는 것과 관련이 있을 수 있다(전자신문, 2018년 7월 16일 보도). 또한 금요일의 경우, 주말과 연결되는 평일로 퇴근 후 귀가가 아닌 여가활동이 수반될 수 있다는 가능성이 있으며, 이는 출근 시 수단선택에 영향을 줄 수 있다. 따라서 본 연구에서는 요일별 지하철 이용량 차이를 반영하기 위해 요일별 더미 변수를 활용하여 변수로 추가하였다(표 1 참조).

## 2. 기초통계 분석

본 연구에서 사용한 변수의 기초통계량은 <표 2>와 같다. 다중공선성 진단결과 인구, 경제활동 인구, 연도×PM2.5 농도 변수들 사이의 다중공선성이 검출되었다(VIF > 10). 본 연구에서는 이를 해결하기 위해 인구 변수를 최종 분석 모형에서 제외하였다. 인구 변수를 제외한 이유는, 본 연구의 시간적 범위가 통근 및 통학 목적의 통행이 발생하는 시간대를 선정한 만큼, 인구보다는 경제활동 인구가 지하철 이용량과 더 밀접한 관련이 있을 것으로 판단하였기 때문이다.

종속변수인 오전 7~8시 지하철 승차인원은 평균 932,873명으로

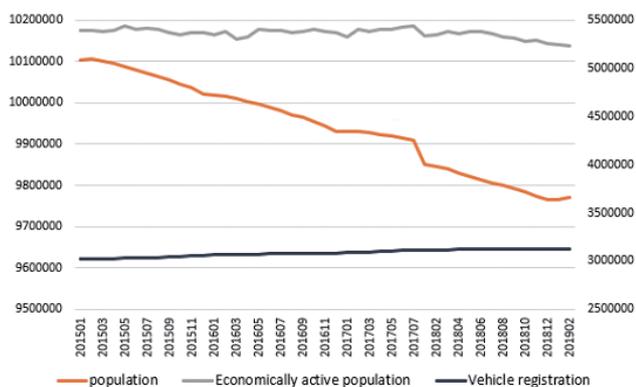


그림 8. 월별 인구, 경제활동 인구, 자동차 등록대수

Figure 8. Population, Economic activity population, vehicle per month

나타났다. 최소는 2018년 8월 3일 약 74만 명, 최대는 2015년 3월 17일 약 102만 명으로 일별로 지하철 승차인원의 차이가 존재하는 것으로 나타났다. PM2.5 농도의 경우 평균적으로 25.63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타나 경계단계 기준<sup>3)</sup>으로는 ‘보통’ 수준이나, 최댓값이 127.40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 ‘매우 나쁨’ 수준까지 있는 것으로 나타났다. 마지막으로 가시거리 변수는 최댓값, 최솟값이 각각 800m, 27,500m로 일별로 차이가 큰 것으로 나타났다.

## 3. 초미세먼지와 지하철 이용량간의 관계

본 연구에서 실시한 회귀분석 모형의 결과는 <표 3>과 같다. 본 연구의 중점 변수인 초미세먼지 특성 변수의 경우 대부분의 변수가 지하철 승차 인원과 유의한 관계로 나타났다. 오전 7~8시 평균 PM2.5 농도의 경우, 종속변수와 음(-)의 관계를 가지는 것으로 나타나 초미세먼지 농도가 증가할수록 지하철 이용량이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 본 연구의 가설인 대중교통의 경우 차외시간의 존재로 초미세먼지 노출정도가 승용차에 비해 길다는 특성이 있으며, 이러한 초미세먼지 노출을 최소화하기 위해 개인이 지하철 이용 대신 승용차를 선택하는 것으로 보인다.

또한, 본 연구에서는 초미세먼지에 부정적으로 반응하는 민감도가 초미세먼지 농도에 따라 다를 것으로 예상하였다. 즉, 초미세먼지가 개인에게 부정적으로 인식되지 않는 수준에서는 초미세먼지 농도가 증가하여도 이에 반응하지 않지만, 개인이 초미세먼지를 부정적으로 인식하는 지점부터는 농도가 증가할수록 부정적으로 반응할 수 있다. 이를 확인하기 위해 본 연구에서는 초미세먼지 경계 단계 기준으로 표본을 나누어 각 단계별 오전 침투 시간 PM2.5 변수의 회귀계수 값을 비교하였다(표 4 참조). 특기할만한 점으로, 각 단계를 나누는 과정에서 초미세먼지 경계 단계가 ‘매우 나쁨’인 수준에 해당하는 표본이 15개 밖에 존재하지 않아 회귀분석을 실시하기에 표본수가 부족하다고 판단하여, 나쁨과 매우 나쁨 수준을 하나의 그룹으로 묶고 분석을 진행하였다. 분석결과, 경계 단계가 ‘ 좋음’, ‘보통’ 수준에는 초미세먼지 농도가 유의하지 않게 나타나, 두 단계에서는 초미세먼지 농도가 증가하여도 개인이 이에 반응하지 않는 것으로 해석할 수 있다. 그러나 ‘나쁨’ 단계 이후부터는 개인이 초미세먼지를 부정적으로 인식하게 되며, 초미세먼지 농도가 증가할수록 지하철에서 승용차로의 수단전환이 이루어진다고 볼 수 있다.

활동시간 평균 PM2.5 농도의 경우, 지하철 이용량과 유의하지 않은 것으로 나타났다. 이는 활동시간 중 특정시간의 초미세먼지 농도가 높을 경우 개인의 수단선택에 영향을 줄 수 있으나, 활동시간이라는 긴 시간 동안의 농도 평균화를 통해 이와 같은 현상을 명확하게 파악할 수 없기 때문으로 보인다. 예를 들어, 활동시간 내 2시간 동안의 PM2.5 농도가 높다고 예측되었으나, 이후 시간에 농도가 낮아질 시에는 해당 변수값이 낮게 산출되어 위와 같은

표 2. 변수의 기초통계량 Table 2. Descriptive statistics for variables

Variable	Obs	Mean	Std. dev.	Min	Max	VIF		
오전 첨두시간 지하철 승차 인원 A.M. peak time subway ridership	767	932,873	50,598	738,128	1,023,580	-		
초미세먼지 특성 Characteristics of Fine Dust	오전 첨두시간 PM2.5 농도 A.M. peak time PM2.5 concentration	767	25.63	16.27	2.45	127.40	3.65	
	활동시간 PM2.5 농도 Active time PM2.5 concentration	767	26.31	13.96	3.17	124.48	3.19	
	연도×PM2.5 농도 Year×PM2.5 concentration	Y2015	767	6.29	12.23	0.00	68.22	5.34
		Y2016	767	6.69	13.21	0.00	73.26	3.68
		Y2017	767	4.29	11.32	0.00	97.65	3.02
		Y2018	767	6.07	13.24	0.00	87.52	3.19
Y2019		767	1.55	9.08	0.00	127.40	-	
인구·사회·경제 특성 Characteristics of Demographic Socio-economic	경제활동 인구 Economically active population	767	5,365,780	47,011	5,236,000	5,444,000	2.29	
	자동차 등록 대수 Vehicle registration	767	3,082,448	34,613	3,021,688	3,128,420	4.83	
	수단별 통행비용 Ratio of travel cost by mode	767	1.30	0.11	1.13	1.59	1.96	
날씨 특성 Characteristics of Weather	가시거리 Visibility	767	1,374.69	616.18	80.00	2,750.00	2.28	
	기온 Temperature	767	9.39	11.40	-16.30	31.30	8.15	
	기온 <sup>2</sup> Temperature <sup>2</sup>	767	218.19	237.99	0.00	979.69	8.84	
	풍속 Wind speed	767	1.79	1.02	0.25	6.35	1.27	
	습도 Humidity	767	66.37	15.52	17.00	100.00	1.92	
	적설량 Snowfall	767	0.19	1.08	0.00	15.10	1.11	
더미 변수 Dummy	요일 더미 Day of week dummy	Mon. 151(19.69%)					-	
		Tue. 152(19.82%)					1.62	
		Wed. 157(20.47%)	-	-	-		1.63	
		Thu. 156(20.34%)					1.64	
		Fri. 151(19.69%)					1.65	
	방학기간 더미 Vacation period dummy	767	0.38	0.48	0.00	1.00	2.13	
	휴가기간 더미 Summer holiday period dummy	767	0.06	0.24	0.00	1.00	1.53	

현상을 명확하게 규명하지 못할 수 있다. 또는 수단선택을 할 때 개인이 받아들이는 활동시간 PM2.5 농도의 경우 당시에는 예측 값이나, 본 연구가 활용한 활동시간 PM2.5 농도의 경우 실측값으로 이 둘 사이의 차이 때문으로도 추측해 볼 수 있다.

마지막으로 연도와 PM2.5 농도간의 상호작용 항을 통해 2019년을 기준으로 2016, 2017년은 PM2.5 농도의 음(-)의 영향력이

감소한다고 할 수 있다. 즉, 2016, 2017년에는 2019년에 비해 PM2.5에 덜 민감하게 반응한다 할 수 있다. 이에 대한 이유로 최근 초미세먼지에 대한 경각심이 증가된 점을 감안하였을 때, 시간이 흐를수록 개인이 수단을 선택할 시 초미세먼지 농도에 민감하게 반응하는 것으로 해석할 수 있다.

선행연구를 통해 대중교통 이용량에 영향을 미친다고 보고 되

표 3. 다중 회귀분석 Table 3. Multiple regression model

Variable		Coef.	Beta	Std. Err	t	
초미세먼지 특성 Characteristics of Fine Dust	오전 첨두시간 PM2.5 농도 A.M. peak time PM2.5 concentration	-280.20 **	-0.092	117.80	-2.38	
	활동시간 PM2.5 농도 Active time PM2.5 concentration	-129.70	-0.037	92.90	-1.40	
	Y2015	97.85	0.025	145.80	0.67	
	연도×PM2.5 농도 Yea×PM2.5 concentration (ref.: Y2019)	Y2016	218.70 *	0.060	117.50	1.86
	Y2017	245.80 **	0.056	124.40	1.98	
Y2018	-5.36	-0.002	105.50	-0.05		
인구·사회· 경제 특성 Characteristics of Demographic Socio-economic	경제활동 인구 Economically active population	0.05 **	0.047	0.02	2.02	
	자동차 등록 대수 Vehicle registration	-0.14 ***	-0.100	0.05	-3.10	
	수단별 통행비용 Ratio of travel cost by mode	36570.00 ***	0.080	9606.00	3.81	
날씨 특성 Characteristics of Weather	가시거리 Visibility	3.51 *	0.044	1.81	1.94	
	기온 Temperature	2441.00 ***	0.564	188.50	12.95	
	기온 <sup>2</sup> Temperature <sup>2</sup>	-108.40 ***	-0.523	9.36	-11.58	
	풍속 Wind speed	-1043.00	-0.021	828.70	-1.26	
	습도 Humidity	-135.30 **	-0.043	66.70	-2.03	
	적설량 Snowfall	6713.00 ***	0.053	2013.00	3.33	
더미 변수 Dummy	요일 더미 Day of week dummy (ref.: Monday)	Tue.	4746.00 **	0.135	2381.00	1.99
		Wed.	77.44	0.001	2364.00	0.03
		Thu.	-3121.00	-0.015	2369.00	-1.32
		Fri.	-22360.00 ***	-7.378	2396.00	-9.33
	방학기간 더미 (1: Vacation) Vacation period dummy	-49520.00 ***	-14.019	2269.00	-21.82	
	휴가기간 더미 (1: Holiday) Summer holiday period dummy	-65570.00 ***	-16.801	3942.00	-16.63	
Intercept		1104000.00 ***		227300.00	4.86	
Obs.				767		
R-squared (Adjusted R-squared)				0.829(0.824)		

p<0.01\*\*\*; p<0.05\*\*; p<0.1\*

표 4. 경계단계별 초미세먼지 민감도 Table 4. Sensitivity of fine dust by concentration class

Class	Criterion	Coef.	Beta	Std. Err	t	Obs.
좋음 Good	0~15µg/m <sup>3</sup>	2641.00	0.200	1934.00	1.37	193
보통 Normal	15~35µg/m <sup>3</sup>	705.30	0.078	443.60	1.59	423
나쁨 / 매우 나쁨 Bad / Very bad	35~75 / 75~µg/m <sup>3</sup>	-419.10 **	-0.129	172.90	-2.42	151

p<0.01\*\*\*; p<0.05\*\*; p<0.1\*

었으며, 본 연구에서는 통제변수 성격인 인구·사회·경제 특성 변수에서는 경제활동 인구, 차량등록 대수, 수단별 통행비용이 지하철 승차 인원과 유의한 관계로 나타났다. 경제활동 인구 변수의 경우, 본 연구의 시간적 범위가 오전 첨두 시간, 즉 통근 및 통학 목적의 통행이 주로 이루어지는 시간대임을 감안하였을 때, 합리적인 결과라고 볼 수 있다. 또한 자동차 등록 대수가 증가할수록, 개인의 승용차 소유가 증가하는 것으로 볼 수 있고, 이는 수단선택 시 승용차 이용 경향이 커지기 때문에 지하철 이용량이 감소하는 것으로 판단된다. 수단별 통행비용은 '휘발유 1L 가격/지하철 이용 요금'으로 산출한 변수로 지하철 이용 요금 대비 휘발유 가격이 증가할수록, 승용차 통행 비용에 대한 부담으로 지하철 승차인원이 증가하는 것으로 해석할 수 있다.

날씨 특성의 경우, 가시거리, 기온, 기온 제곱 항, 습도, 적설량 변수가 유의한 것으로 나타났다. 가시거리 변수의 경우 개인이 초미세먼지를 인식하는 하나의 지표로, 초미세먼지의 객관적 농도 수치 뿐만 아니라 초미세먼지에 대한 개인의 인지 또한 중요할 것으로 예상하여 추가하였다. 가시거리 변수는 지하철 이용량과 양(+)의 관계를 가지는 것으로 나타나, 가시거리가 좋지 않은 날의 경우, 개인은 초미세먼지를 비롯한 대기 질이 좋지 않다고 인식할 것이며, 이는 개인이 지하철에서 승용차로의 수단전환이 이루어지는 것으로 볼 수 있다.

기온과 기온 제곱항의 경우, 각각 양(+), 음(-)의 부호로 나타나 기초분석에서 가정한 바와 같이 기온이 너무 낮거나 높을 경우 개인이 지하철과 같은 공공 공간 및 외부활동에 대한 불쾌감으로 지하철이 아닌 다른 수단을 이용하는 것으로 해석할 수 있다. 적설량 변수 또한 지하철 이용량과 양(+)의 관계를 가지는 것으로 나타났다. 이는 적설량이 많은 경우, 승용차 운행의 불편함이 증가하며, 도로 혼잡과 같은 문제에서 자유로운 지하철을 선택하는 것으로 해석할 수 있다. 풍속의 경우 강풍 등이 발생하는 경우 대중교통 이용량에 영향을 미칠 수 있다고 예상하여 변수로 추가하였다. 그러나 본 연구의 시간적 범위 내 풍속의 최댓값이 6.35m/s로 강풍 주의보 발령 기준이 순간 풍속 20m/s인 점을 감안하였을 때(기상청), 미미하다고 볼 수 있다. 즉, 풍속이 강한 시점이 존재하지 않기 때문에, 지하철 이용량에 유의한 영향을 미치지 않는다고 해석할 수 있다.

요일 더미 변수를 통해 화요일, 월요일, 금요일 순으로 지하철 이용이 많은 것으로 나타났는데, 이는 기초분석에서 실시한 요일별 지하철 승차 인원 결과와 일치하는 것으로 볼 수 있다(그림 7 참조). 방학기간과 휴가기간 또한 평소보다 지하철 이용량이 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 해당 기간에는 통근 및 통학 목적의 통행이 감소하여 지하철 이용량이 감소하는 것으로 해석할 수 있다.

본 연구의 종속변수인 지하철 승차 인원(Y)과 PM2.5 농도와와의 관계는 <그림 9>와 같다. 그러나 이는 지하철 승차 인원(인원)에 영향을 미치는 인구·사회·경제 특성, 날씨 특성 등이 통제되지 않았기 때

문에 PM2.5 농도와와의 관계를 보기에는 한계가 있다고 볼 수 있다. PM2.5 농도와 지하철 이용량과의 관계를 명확히 하기 위해서 본 연구에서는 인구·사회·경제 특성, 날씨 특성 등이 통제된 지하철 이용량(Y\*)을 산출하였다. 구체적으로 최종 모형(식 1)에서 유의하게 ( $p < 0.1$ ) 나온 변수들만을 대상으로 산출된 회귀계수와 일별 통제변수 속성 값들을 곱하여 실제 Y 값에서 차감해주었다(식 2 참고).

이후 통제된 지하철 이용량(Y\*)을 이용하여 PM2.5 농도와와의 관계를 나타낸 결과는 <그림 10>과 같다. 전술한바와 같이 PM2.5 농도가 증가할수록 지하철 이용량은 감소하는 것으로 나타났다. 구체적으로, 본 연구에서는 경계단계별 초미세먼지에 반응하는 민감도가 다를 것으로 예상하여 실시한 경계단계별 초미세먼지 회귀분석을 통해 초미세먼지가 ' 좋음', '보통' 수준일 때는, 초미세먼지 농도에 반응하지 않으나, '나쁨' 수준에 이르게 되면 농도가 증가하게 될수록 지하철 이용량이 감소하는 것으로 나타났다. 즉 이를 종합해보면, 개인의 수단선택은 초미세먼지 농도에 반응하지만, 초미세먼지 농도가 개인에게 부정적으로 인식되는 시점에서부터 반응하는 것으로 판단할 수 있다.

$$Y = a_1 * \text{오전첨두 } PM_{2.5} + a_2 * \text{활동시간 } PM_{2.5} + a_3 * \text{year} * PM_{2.5} + a_k * \text{통제변수}_k + c \quad (1)$$

$$Y^* = Y - (a_k * \text{통제변수}_k) = a_1 * \text{오전첨두 } PM_{2.5} + a_2 * \text{활동시간 } PM_{2.5} + a_3 * \text{year} * PM_{2.5} + c \quad (2)$$

Y: 지하철 승차인원(실제값)

Y\*: 지하철 승차인원(통제된 Y)

a<sub>k</sub>: 회귀계수, c: 상수

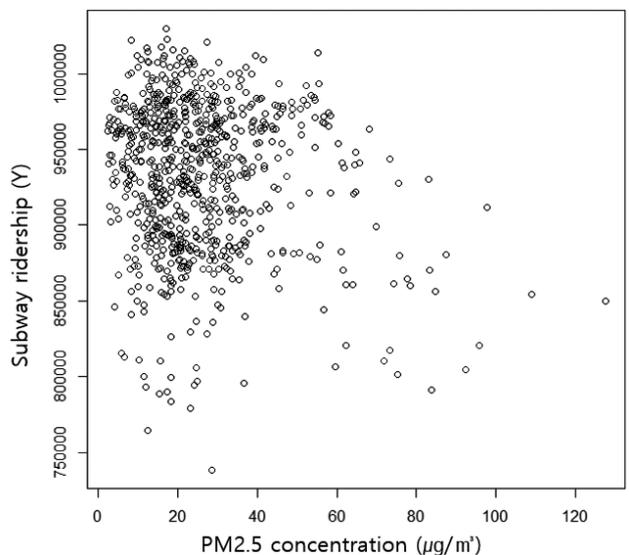
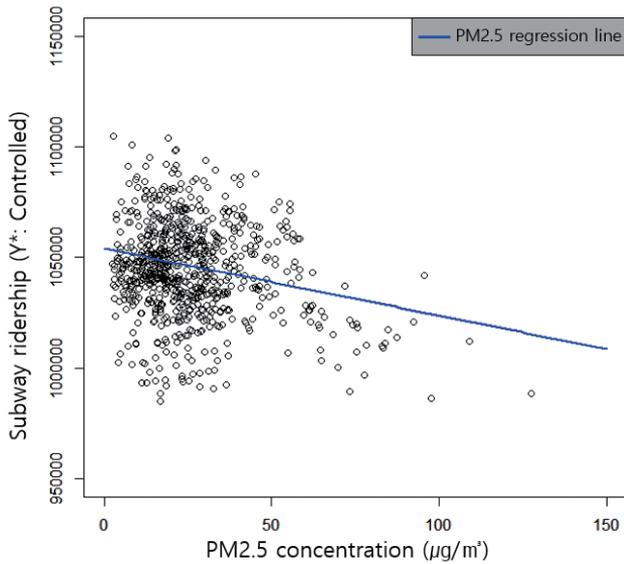


그림 9. PM2.5 농도와 지하철 이용량 사이의 관계  
Figure 9. Relation between PM2.5 concentration and subway ridership (Y)



**그림 10.** PM2.5 농도와 통제된 지하철 이용량 사이의 관계  
**Figure 10.** Relation between PM2.5 concentration and controlled subway ridership (Y\*)

**4. 초미세먼지 대응정책의 실효성 평가**

추가적으로 본 연구의 목적 중 하나인 초미세먼지에 대응하기 위한 정책들의 실효성을 평가하기 위해 대표적인 초미세먼지 대응 정책이라 볼 수 있는 미세먼지 비상저감 조치, 대중교통 무료 운행 정책 2가지를 평가 대상으로 선정하였다.

우선 대중교통 무료 정책의 경우, 자율적으로 시행되는 시민 참여형 2부제를 독려하기 위해 서울시만을 대상으로 출근시간(첫 차~오전 9시), 귀가 시간(18~21시)에 대중교통을 전면 무료화한 정책으로 총 3일간 시행되었다(표 5 참조). 미세먼지 비상저감 조치의 경우, 수도권(서울, 인천, 경기)에서 2개 시·도 이상 다음과 같은 기준을 충족할 경우 발령이 된다. ① 당일 0~16시 PM2.5 평균 농도가 50µg/m³ 초과, 다음날 24시간 평균 농도가 50µg/m³ 초과 예측, ② 당일 0~16시 사이 경보권역 중 한 곳 이상 PM2.5 주의보 또는 경보 발령, 다음날 24시간 평균 농도가 50µg/m³ 초과 예측, ③ 다음날 PM2.5 24시간 평균 농도 75µg/m³ 초과 예측. 즉, 미세먼지 비상저감 조치의 경우, 당일 혹은 다음날 초미세먼지가 농도가 높거나, 높을 것으로 예상될 시 초미세먼지 단기적 감소를 위해 특정 차량 운행 제한, 행정·공공기관 주차장 전면 폐쇄, 대기오염 물질 배출 시설 가동률 조정 등의 내용을 담고 있으며, 정책이 시행된 날짜는 <표 5>와 같다. 미세먼지 비상저감 조치의 경우 2017년 12월 30일 첫 번째 발령으로 2019년 2월까지 발령일이 총 15일이지만, 본 연구의 시간적 범위와 맞지 않는 날짜와 대중교통 무료 정책 시행 날짜를 제외하여 연구의 시간적 범위 내 총 8일이 시행되었다.

두 가지 정책을 평가하는데 있어, 본 연구의 최종분석인 회귀 분석에서 해당 정책이 시행된 날을 변수화 하여 통계 값을 보는 것이 적절하나, 두 정책의 시행날짜가 각각 3일, 8일인 관계로 전체 표본 767에 비해 매우 적어 위와 같은 방법을 활용하지 않았

**표 5.** 미세먼지 대응정책의 시행 날짜 및 효과 **Table 5.** Date and effect of implementation of fine dust response

Date	Actual value	Predicted value	Actual value / Predicted value*100	Note
30 Dec. 2017		-		주말로 인한 제외 Exclude due to weekend
15 Jan. 2018	893,707	899,840.0	99.32	
17 Jan. 2018	896,546	880,137.0	101.86	대중교통 무료 정책 시행 Free public transportation policy
18 Jan. 2018	879,598	882,964.4	99.62	
26 Mar. 2018	975,427	967,870.4	100.78	
27 Mar. 2018	984,119	969,600.3	101.50	미세먼지 비상저감 조치 시행 Emergency reduction measure for fine dust
7 Nov. 2018	962,072	945,547.2	101.75	
13 Jan. 2019		-		주말로 인한 제외 Exclude due to weekend
14 Jan. 2019	879,164	859,048.0	102.34	
15 Jan. 2019	879,037	863,666.7	101.78	
20 Feb. 2019	884,091	888,492.5	99.50	미세먼지 비상저감 조치 시행 Emergency reduction measure for fine dust
21 Feb. 2019	880,595	856,982.0	102.76	
22 Feb. 2019	866,612	843,367.4	102.76	
23 Feb. 2019		-		주말 및 공휴일 전날로 인한 제외 Exclude due to weekend and day before the national holiday
28 Feb. 2019		-		

출처: 정책시행 날짜는 에어코리아(AirKorea)에서 구득하였음. Source: Policy implementation date was obtained from AirKorea.

다. 따라서 본 연구에서는 두 정책이 시행된 날을 대상으로 회귀식을 통해 산출된 지하철 이용자 예측 값과 실제 값을 비교하였다. 즉, 정책이 시행된 날 예측 값과 실제 값의 차이가 존재한다면, 이를 정책의 효과라고 볼 수 있다고 판단하였다.

이와 같은 방법으로 산출된 결과는 <표 5>와 같다. 우선 대중교통 무료 정책 시행일의 경우, 예측 값과 실제 값 사이의 차이가 미미한 것으로 나타났다. 또한 시행 둘째 날의 경우(2018년 1월 17일)는 예측 값보다 실제 값이 더 높은 것으로 나타났으나, 나머지 두 날의 경우는 예측 값이 더 높은 것으로 나타났다. 이는 대중교통 무료 정책의 효과가 미미하다고 볼 수 있는 결과로, 단순히 대중교통 요금을 단계적으로 무료화 하는 것이 대중교통으로의 유인책이 되기 어렵다는 것을 의미한다.

이는 '미세먼지 대중교통 무료 시행효과 모니터링 자료'의 결과가 지하철 이용량이 2.1, 4.4, 4.8% 증가하였다고 보고한 점에서 일치하지 않는 결과라 볼 수 있다. 이에 대한 이유로, 해당 보고서는 지하철 이용량을 전 주와의 단순 비교를 실시하여 지하철 이용량에 영향을 미치는 다른 요인을 통제하지 못하였다는 차이가 존재한다. 또한, 해당 보고서는 대중교통 무료가 시행된 첫차부터 오전 9시까지를 대상으로 증가량을 분석하였다는 점에서 본 연구의 시간적 범위의 차이로 인해 일치하지 않는 결과를 나타낸 것으로 보인다.

미세먼지 비상저감 조치의 경우, 2019년 2월 20일 하루를 제외한 모든 날에 대해 실제 값이 예측값보다 높은 것으로 나타났다. 이는 미세먼지 비상저감 조치 정책의 효과가 크진 않으나, 긍정적인 결과를 나타내고 있다는 것을 의미한다. 미세먼지 비상저감 조치의 경우, 교통부문에서 승용차 마일리지 지급 등의 유인책뿐만 아니라 배출가스 5등급 차량 운행제한, 공공기관 주차장 전면 폐쇄 등의 강제성을 띠는 제한 조치 또한 시행하고 있다. 즉, 이러한 조치는 특정 승용차의 운행 제한 및 주차장 폐쇄로 인한 승용차 이용의 불편 증대를 통해 지하철 이용을 조금 증가시킨 것으로 판단된다.

## V. 결론

본 연구에서는 초미세먼지 농도가 지하철 이용량에 미치는 영향을 수단전환에 초점을 맞춰 분석하였다. 또한 부가적으로 초미세먼지 저감을 위한 대중교통 활성화 정책의 실효성을 평가하였다. 이를 위해 2015년부터 2019년까지 서울시 지하철 이용량 자료와 초미세먼지 농도 자료를 구득하여 일별 데이터로 구축하였고, 다중 회귀분석을 실시하였다. 본 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

첫째, 초미세먼지 농도가 증가할수록 지하철 이용량이 감소하는 것으로 나타났다. 구체적으로 경제단계별 회귀분석을 통해 초미세먼지가 ' 좋음', '보통' 단계일 때는 농도에 반응하지 않지만, '나쁨' 이상의 단계일 때부터 농도가 증가할수록 지하철 이용량이

감소하는 것으로 나타났다. 본 연구의 시간적 범위가 필수 통행이 주로 발생하는 오전 첨두 시간임을 감안하였을 때, 이는 초미세먼지로 인한 통행량 감소 측면보다 개인이 초미세먼지에 대한 노출을 최소화하기 위해 수단을 전환하는 것으로 판단된다. 전술한바와 같이 지하철의 경우 출발지에서 역까지의 보행거리(first mile), 역에서 도착지까지의 보행거리(last mile) 등으로 인해 초미세먼지에 직접적으로 노출될 수밖에 없다는 특성을 지니며, 이러한 특성으로 초미세먼지가 높은 날 개인이 지하철 보다는 승용차를 이용하게 되는 것으로 볼 수 있다. 이는 정부 차원에서 초미세먼지 저감을 위해 대중교통을 이용하지는 등의 홍보를 진행하고 있지만, 이러한 캠페인의 효과 보다는 개인의 노출 저감이 우선시 되어, 수단 선택에 반영되는 것으로 볼 수 있다. 따라서 정부 차원에서 대중교통 활성화 정책의 효과 극대화를 위해선 개인의 인식 전환 및 친환경 인식 제고를 위한 정책이 적극적으로 시행될 필요가 있다.

둘째, 연도 변수와 초미세먼지 농도간의 상호작용 항을 통해 최근으로 갈수록 초미세먼지가 지하철 이용량을 감소시키는 경향이 커짐을 확인하였다. 이는 최근 들어 초미세먼지에 대한 경각심이 높아진 것을 반영한다고 할 수 있다. 즉, 과거에는 초미세먼지에 대한 경각심이 상대적으로 부족하였기 때문에 지하철 이용량 감소에 큰 영향을 받지 않았지만, 최근 초미세먼지에 대한 부정적 인식이 증가됨에 따라 지하철에서 승용차로의 수단전환 양상이 커진 것으로 볼 수 있다.

셋째, 가시거리 변수의 경우 개인이 초미세먼지를 비롯한 대기 오염을 인식하는 하나의 지표로 지하철 이용량에 양(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 개인이 통행 수단을 결정할 시 단순히 초미세먼지 수치를 확인하기도 하지만, 가시거리를 통해 대기 질을 인식하여 통행 수단을 결정한다고 볼 수 있다. 즉, 초미세먼지의 경우 객관적인 농도 수치뿐만 아니라, 개인이 초미세먼지의 농도를 주관적으로 인식하는 수준 또한 중요한 것임을 의미한다.

넷째, 초미세먼지 저감 대책과 관련한 정책 중 대표적인 정책이라 할 수 있는 대중교통 무료 정책 경우, 그 효과가 미미한 것으로 나타났다. 이는 단순히 며칠 동안만 이루어지는 일시적인 대중교통 무료 정책만으로는 초미세먼지로 인해 발생하는 개인의 수단전환을 상쇄시킬 만큼 효과가 크지 않다고 볼 수 있다. 김혜원·이정욱(2019) 연구에서는 대중교통 무료 정책의 경우, 막대한 예산이 들어감에도 급속하게 정책이 진행된 관계로 홍보가 충분히 이루어지지 못해 시민들에 대한 참여 독려가 부족한 점을 문제점으로 지적하고 있다. 따라서 향후 초미세먼지에 대응하기 위한 정책을 수립하는데 있어 충분한 정책 홍보 과정을 통해 시민들의 참여를 이끌어 낼 필요가 있다. 이와 반대로, 미세먼지 비상저감 조치의 경우, 효과가 크진 않으나 하루를 제외한 모든 날을 대상으로 지하철 이용량이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 미세먼지 비상저감 조치의 경우, 유인책뿐만 아니라 강제성을 띠는 특정

승용차 운행 제한, 행정기관 주차장 폐쇄 등을 시행하는 만큼 지하철을 비롯한 대중교통 선택을 강제하는 효과를 만들어 낸 것으로 보인다. 또한, 미세먼지 비상저감 조치가 발효되게 되면 개인에게 문자 발송을 통해 정책의 시행을 홍보하고 대중교통 이용을 독려하게 되는데, 이러한 지속적인 홍보 효과도 있을 것으로 추측해 볼 수 있다. 따라서 초미세먼지 저감을 위한 교통 정책을 수립하는데 있어, 대중교통 유인책뿐만 아니라 승용차 이용을 억제하는 정책과 이에 대한 홍보 방안이 적극 강구될 필요가 있다고 판단된다.

본 연구는 최근 사회적으로 심각한 문제가 되고 있는 초미세먼지 농도와 지하철 이용량간의 관계를 살펴보고, 이에 대한 시사점을 도출하였다. 그러나 본 연구에서는 다음과 같은 몇 가지 한계점을 지닌다. 첫째, 본 연구에서는 일별·시간별 버스 승하차 자료의 부재로 대중교통의 상당부분을 차지하는 버스를 대상으로 연구를 진행하지 못하였다. 본 연구의 결과에서 초미세먼지 농도가 높은 날 지하철 이용량이 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 지하철 수단을 선택하지 않은 인원이 승용차 수단으로 전환된 것이 아니라, 버스 수단으로 전환될 가능성이 있다. 따라서 개인이 초미세먼지 노출 최소화를 위한 수단전환을 명확하게 보기 위해선, 일별·시간별 버스 승하차 자료가 제공이 된다면, 이를 추가적으로 구득하여 분석에 활용할 필요가 있다.

둘째, 본 연구에서는 초미세먼지로 인해 발생할 수 있는 통행행태 변화 중 수단전환 측면에 초점을 맞추기 위해 필수통행이라 할 수 있는 통근 및 통학 목적 통행이 주로 발생하는 시간대를 선정하여 분석하였다. 그러나 본 연구가 활용한 자료는 통행 목적을 구별할 수 없는 자료의 한계로 지하철 이용량의 감소가 온전히 수단전환으로 인한 결과라고는 단언하기 어렵다. 따라서 이에 대해 해석상 주의가 필요하며, 향후 통행목적을 구별할 수 있는 시계열 자료가 구득가능하게 된다면 초미세먼지로 인한 수단전환 효과를 보다 상세하게 분석할 필요가 있을 것으로 판단된다.

셋째, 본 연구에서는 초미세먼지 저감에 관한 정책인 대중교통 무료 정책과, 비상저감 조치를 평가하는데 있어 시행된 날짜가 적은 관계로 최종 분석에 이를 변수로 포함시키지 못하였다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 해당 날짜를 대상으로 초미세먼지 농도의 예측 값과 실제 값을 비교하여 정책의 실효성을 평가하였다. 그러나 향후 미세먼지 저감 정책이 시행될 날짜가 추가적으로 축적된다면, 이를 최종 분석에 변수로 포함시켜, 정책의 명확한 효과를 살펴볼 필요가 있다고 생각된다.

넷째, 본 연구는 시계열 자료로 볼 수 있는 일별 지하철 승하차 자료를 활용하였지만, 시계열 분석 방법론이 아닌 다중 회귀분석을 적용하여 분석을 진행하였다. 따라서 향후 연구로 시계열 자료에 적합한 시계열 분석 방법론을 적용하여 연구를 진행할 필요가 있을 것으로 보여진다.

- 주1. 본 연구가 미세먼지(PM10)가 아닌 초미세먼지(PM2.5)만을 대상으로 지하철 이용량을 분석한 이유는, 미세먼지 비상저감 조치의 발령 기준이 초미세먼지를 기준으로 발령이 되기 때문임. 또한, 초미세먼지의 부정적 효과가 미세먼지보다 더 심각하게 다루어지는 점을 감안하여 초미세먼지를 대상으로 연구를 진행하였음.
- 주2. 본 연구의 시간적 범위는 2015년~2019년 2월로 총 50개월이나, 지하철 승하차 자료가 2017년 8~12월에 해당하는 기간의 데이터가 누락된 관계로 해당 기간을 제외한 45개월을 분석 대상으로 삼았음.
- 주3. 본 연구가 활용한 지하철 승하차 인원의 경우 시간별로 승하차 인원을 집계하여 제공하고 있음. 즉 7~7시 59분에 승차하는 인원을 오전 7시 승차 인원으로 집계하는 형식임. 따라서 2016년 가구통행 실태조사 분석을 실시할 때 지하철 승하차 인원 데이터와 구조를 맞추기 위해, 오전 7~7시 59분 내에 발생하는 통행을 오전 7시에 발생하는 통행으로 설정하였음. 이러한 이유로 본 연구의 시간적 범위는 오전 7~8시 59분으로 볼 수 있으나 편의상 본문에는 오전 7~8시로 기재하였음.
- 주4. 서울시에 위치하지 않아 본 연구에서 제외한 지하철 역은 다음과 같음. 광명사거리역, 굴포천역, 까치울역, 남한산성입구역, 단대오거리역, 모란역, 부천시청역, 부천종합운동장역, 부평구청역, 산성역, 삼산체육관역, 수진역, 신중동역, 신흥역, 장암역, 지축역, 철산역, 종의역. (18개)
- 주5. PM2.5 농도의 예보 등급은 0~15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 은 '좋음', 15~35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 은 '보통', 35~75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 은 '나쁨', 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상의 경우 '매우 나쁨' 으로 분류됨(에어코리아 홈페이지).

## 인용문헌 References

1. 강광규·이성원, 2018, “새정부 초미세먼지 저감 정책 방향”, 『월간교통』, 240: 17-22.  
Kang, G.G. and Lee, S.W., 2017. “The New Government’s Policy Directions for Reducing Micro Dust”, *Monthly KOTI Magazine on Transport*, 240: 17-22.
2. 강진동, 2018, “서울시 대기질 개선 과제 추진: 대중교통요금 무료정책”, 『월간교통』, 240: 12-16.  
Kang, J.D., 2018. “Implementation of Seoul Air Quality Improvement Program: Free Public Transportation Fares Policy”, *Monthly KOTI Magazine on Transport*, 240: 12-16.
3. 김준범, 2017, “국내 산업 및 시도별 대기오염물질 배출량자료를 이용한 초미세먼지 형성 가능성 및 인체 호흡기 영향 평가추정”, 『대한환경공학회지』, 39(4): 220-228.  
Kim, J.B., 2017. “Assessment and Estimation of Particulate Matter Formation Potential and Respiratory Effects from Air Emission Matters in Industrial Sectors and Cities/Regions”, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 39(4): 220-228.
4. 김혜원·이정옥, 2019, “초미세먼지 저감을 위한 서울시의 대중교통 무료 운행 정책은 왜 실패했는가?”, 『지방정부연구』, 22(4): 99-125.  
Kim, H.W. and Lee, J.W., 2019. “Why Did Seoul’s Free Public Transportation Program for Reducing Fine Particulate Matter Fail?: A Political Management Perspective”, *The Korean Journal of Local Government Studies*, 22(4): 99-125.
5. 고문순, 2018, 7.13, “휴넷, 직장인 1106명 대상 설문조사… ‘여름 휴가 4.3일 동안 59만 6천원 쓴다’”, 머니투데이.

- Ko, M.S., 2018, July 13. "HUNET, 1106 Office Workers Survey. Spend 596,000 Won for 4.3 Days of Summer Vacation", Moneytoday.
6. 김시소, 2018.7.16. "금요일 회사문 닫고 출근도 알아서...계임사 '근무도 창의적으로'", 전자신문.  
Kim, S.S., 2018, July 16. "Close the Office on Friday and Game Company Work Creatively", Enews.
7. 명준표, 2016. "미세먼지와 건강장애", 「대한내과학회지」, 91(2): 106-113.  
Myong, J.P., 2016. "Health Effects of Particulate Matter", *Korean Journal of Medicine*, 91(2): 106-113.
8. 서울특별시, 2018. "미세먼지 대중교통 무료 시행효과 모니터링 결과", 서울.  
Seoul Metropolitan Government, 2018. "Results of Monitoring the Impact of Free Public Transportation Policy", Seoul.
9. 성현곤, 2016. "메르스의 발발과 확산이 대중교통 이용에 미친 영향", 「국토계획」, 51(3): 163-179.  
Sung, H.G., 2016. "Impacts of the Outbreak and Proliferation of the Middle East Respiratory Syndrome on Rail Transit Ridership in the Seoul Metropolitan City", *Journal of Korea Planning Association*, 51(3): 163-179.
10. 성현곤, 2017. "서울시 대중교통 수단별 월별 이용수요의 변동에 영향을 미치는 요인분석", 「국토계획」, 52(2): 81-97.  
Sung, H.G., 2017. "Exploring Impact Factors on the Variation of Monthly Transit Ridership by Its Mode in Seoul", *Journal of Korea Planning Association*, 52(2): 81-97.
11. 신강원·최기주, 2014. "SUR 모형을 이용한 강수량과 대중교통 승객 수간 관계 분석", 「대한교통학회지」, 32(2): 83-92.  
Shin, K.W. and Choi, K.C., 2014. "Analyzing the Relationship between Precipitation and Transit Ridership Through a Seemingly Unrelated Regression Model", *Journal of Korean Society of Transportation*, 32(2): 83-92.
12. 이광섭·엄진기·문대섭·양근울·이준, 2014. "시계열 및 회귀분석을 활용한 휘발유가격의 광역권별·수단별 대중교통수요 영향력 비교분석", 「대한교통학회지」, 32(1): 13-26.  
Lee, K.S., Eom, J.K., Moon, D.S., Yang, K.Y., and Lee, J., 2014. "An Impact of Gas Prices on Transit Demand Using a Time-series Analysis and a Regression Analysis", *Journal of Korean Society of Transportation*, 32(1): 13-26.
13. 이정훈·정현영, 2018. "분위 회귀를 활용한 기상조건이 대중교통 수단별 통행량에 미치는 영향에 대한 연구", 「국토계획」, 53(4): 95-106.  
Lee, J.H. and Jung, H.Y., 2018. "The Impact of Weather Conditions on Transit Ridership Using Quantile Regression Analysis", *Journal of Korea Planning Association*, 53(4): 95-106.
14. 정종철·이상훈, 2018. "서울시 토지이용과 교통량에 따른 미세먼지의 공간분포", 「지적과 국토정보」, 48(1): 123-138.  
Jeong, J.H. and Lee, S.H., 2018. "Spatial Distribution of Particulate Matters in Comparison with Land-use and Traffic Volume in Seoul, Republic of Korea", *Journal of Cadastre & Land Informatix*, 48(1): 123-138.
15. Apparicio, P., Gelb, J., Carrier, M., Mathieu, M.È., and Kingham, S., 2018. "Exposure to Noise and Air Pollution by Mode of Transportation During Rush Hours in Montreal", *Journal of Transport Geography*, 70: 182-192.
16. Chaney, R.A., Sloan, C.D., Cooper, V.C., Robinson, D. R., Hendrickson, N.R., McCord, T.A., and Johnston, J.D., 2017. "Personal Exposure to Fine Particulate Air Pollution while Commuting: An Examination of Six Transport Modes on an Urban Arterial Roadway", *PLOS ONE*, 12(11): e0188053.
17. Chao, M.C., Huang, W.H., and Jou, R.C., 2015. "The Asymmetric Effects of Gasoline Prices on Public Transportation Use in Taiwan", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 41: 75-87.
18. Henry, G.T. and Gordon, C.S., 2003. "Driving Less for Better Air: Impacts of a Public Information Campaign", *Journal of Policy Analysis and Management*, 22(1): 45-63.
19. Hong, A., 2019. "Effect of Mode Shift from Car to Light Rail on Personal Exposure: A Controlled Experiment", *Atmospheric Environment*, 196: 53-65.
20. Lane, B.W., 2010. "The Relationship between Recent Gasoline Price Fluctuations and Transit Ridership in Major US Cities", *Journal of Transport Geography*, 18(2): 214-225.
21. Milioti, C.P. and Karlaftis, M.G. 2014. "Estimating Multimodal Public Transport Mode Shares in Athens, Greece", *Journal of Transport Geography*, 34: 88-95.
22. Singhal, A., Kamga, C., and Yazici, A., 2014. "Impact of Weather on Urban Transit Ridership", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 69: 379-391.
23. Taylor, B.D. and Fink, C.N., 2003. "The Factors Influencing Transit Ridership: A Review and Analysis of the Ridership Literature", California: University of California Transportation Center.
24. Welch, E., Gu, X., and Kramer, L., 2005. "The Effects of Ozone Action Day Public Advisories on Train Ridership in Chicago", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 10(6): 445-458.
25. 에어코리아, 2019.2.21 읽음. www.airkorea.or.kr  
AIRKOREA, Accessed February 21, 2019. www.airkorea.or.kr

Date Received 2019-04-09  
Date Reviewed 2019-05-27  
Date Accepted 2019-05-27  
Date Revised 2019-08-01  
Final Received 2019-08-01