

미세먼지가 도시민의 활동에 미치는 영향 - 서울시 종로구를 대상으로 -

문형주* · 송재민**

The Impacts of Particulate Matter on Urban Activities in Jongno-Gu, Seoul

Hyeong-joo, Moon* · Jaemin, Song**

국문요약 미세먼지는 인간의 수명을 단축시키고 각종 암을 유발하는 대기오염 물질이다. 따라서 도시민은 미세먼지 농도에 따라 도시활동을 조정할 수 있다. 미세먼지가 도시민의 활동에 미치는 영향은 미세먼지의 지속 기간, 미세먼지 경보 여부에 따라 달라질 수 있다. 또한 도시활동의 유형과 장소, 도시민의 미세먼지 취약 정도에 따라 회피 행동의 수준이 다르게 나타날 수 있다. 이처럼 다양한 요인들에 따라 도시민의 미세먼지 대응 방식이 다르게 나타날 수 있음에도, 이에 관한 연구적 증거는 매우 미흡한 상황이다. 따라서 본 연구에서는 서울시 도심 중 하나인 종로구를 대상으로 미세먼지가 도시민의 활동에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 위해 SKT의 휴대전화신호 자료와 토지이용 자료를 연계하여 도시활동 유형·연령별 일 단위 활동인구 수를 추출하고, 미세먼지 농도, 미세먼지 지속 일 수, 미세먼지 경보 여부의 영향을 분석하였다. 분석 결과, 미세먼지에 대한 회피행동이 도시활동의 유형, 활동장소의 물리적 특성(실내·야외), 미세먼지 지속 기간, 미세먼지 경보 여부, 도시민의 연령에 따라 다른 것으로 나타났다. 본 연구의 결과는 미세먼지가 도시민의 활동에 미치는 영향을 다각적으로 제공하여, 공공의 미세먼지 저감 및 적응 정책 수립을 위한 기초자료로 활용될 수 있다.

주제어 미세먼지, 도시활동, 회피행동, 대기오염 경보, 대기오염 적응

Abstract: Particulate matter(PM) is one of the leading causes of lung cancer. Recognizing its considerable risk to human health, people change their behaviors when a concentration level of PM is high. The impact of particulate matter on urban activities may vary depending on the lasting days of PM and PM matter alerts. In addition, the level of averting behavior may vary depending on the types and physical characteristics of urban activities and the degree of vulnerability to PM among people. Although the way people respond to PM may vary depending on these various factors, previous research evidence on this is very insufficient. Therefore, this study multilaterally analyzed the impact of PM on the urban activities in Jongno-gu, one of the CBD areas of Seoul. For this, we linked SKT's mobile phone signal data to land use

* (주)동명기술공단종합건축사사무소 도시사업본부 사원

** 서울대학교 환경대학원 부교수

data to extract the daily number of active people by urban activity types and ages. According to multiple regression analysis, the averting behavior varies depending on the type of urban activity, the physical characteristics of the place of activity (inside and outdoor), the lasting days of PM, PM alerts and the age of people. The results of this study can be used as basic data to policy makers who establish policies for adapting to air pollution policies by providing various effects of PM on the urban activities.

Key Words: Particulate Matter, Urban Activity, Averting Behavior, Air Pollution Alerts System, Adapting to Air Pollution

1. 연구의 배경과 목적

미세먼지(Particulate Matter, PM₁₀·PM_{2.5})는 인체의 일차 방어막인 피부와 눈, 코 또는 인후 점막에 직접 접촉하여 염증반응을 유발하고, 호흡기 내로 침투하여 인체에 흡수되어 인간의 수명을 단축시킨다(KCDC·KMA, 2018). 국내 미세먼지 농도는 2001년 이후 전반적으로 감소하고 있으나 고농도 미세먼지 발생 빈도는 점차 증가하고 있는 추세로, 국민들의 미세먼지에 위험 인식과 불안이 높아지고 있다(정해식 외, 2018). 또한 2013년에 세계보건기구(WHO) 산하의 국제암연구소(IARC)가 미세먼지를 1급 발암물질로 지정하면서, 국민들의 미세먼지에 대한 관심이 증가하게 되었다(여민주·김용표, 2019). 따라서 미세먼지가 심각할 때 도시민이 야외 신체활동을 제한하는 등의 회피행동을 보이는 것으로 보고되고 있다(현대경제연구원, 2019). 미세먼지로 인한 도시민의 신체활동 감소는 도시민의 비만을, 심혈관질환 발병을 증가와 같은 보편적인 건강악화로 이어질 수 있다(장평린·최막중, 2018). 즉, 미세먼지는 도시민의 신체에 접촉하여 직접적으로 도시민의 건강을 악화시킬 뿐만 아니라, 도시민의 신체활동을 감소시켜 간접적인 건강피해를 유발한다. 미세먼지를 포함한 대기오염이 도시에 미치는 영향은 비단 건강 뿐 아니라 경제에 대한 영향 또한 큰 것으로 나타나고 있다. 고농도 미세먼지로 인해 도시민의 외출 감소 등 회피행동이 나타나고, 이는 도시민 간의 상호작용 및 소비 감소로 이어져 도시의 전반적인 활력이 위축될 수 있다(Yan et al., 2019). 또한,

주거 선택에 있어서도 대기오염이 중요한 역할을 하는 것으로 나타났다(김희애·전명진, 2014). 따라서 미세먼지에 대한 도시민의 회피행동을 면밀히 이해하는 것은, 미세먼지가 도시의 경제·활력에 미치는 부정적인 사회경제적 파급효과를 파악하고 이에 대한 대응책을 수립하는 데에 도움을 줄 수 있다.

이와 같은 이유로 미세먼지 등 대기오염과 도시활동 간의 관계를 규명한 연구가 일부 수행되었으나, 그 연구적 증거는 여전히 부족하다. 특히 국내 연구에서는 세부적인 공간단위를 가진 도시활동 관련 자료의 구득이 어려워, 도시의 수준에서 미세먼지와 도시활동 간의 관계를 분석하지 못하고 있다(서미숙, 2015). 같은 이유로, 노동, 소비, 여가 등 도시활동 유형에 따른 미세먼지 영향 차이에 대한 연구 역시 매우 미흡한 형편이다. 이와 함께, 미세먼지 예·경보 제도가 시민들의 행동변화에 미치는 영향에 대한 실증 분석도 시급하다. 2015년 이후 전국적으로 미세먼지 경보 제도가 도입됨에 따라 도시민이 메스미디어나 문자메시지 등을 통해 미세먼지에 대한 정보를 쉽고 빠르게 접할 수 있게 되었다(홍제우 외, 2019). 미세먼지 경보는 고농도 미세먼지 에피소드 발생 시 이를 도시민에게 전파하여 전체 도시민, 특히 미세먼지 취약계층인 노인, 어린이, 호흡기 관련 기저질환자가 야외 활동을 제한하고, 외출 시 마스크를 착용하는 것과 같은 대응행동을 강화시키는 것을 목적으로 하는 제도이다. 도시민이 미세먼지 수준을 잘 인지하고 있을수록 미세먼지에 대한 도시민의 대응행동이 크게 나타난다는 점에서(엄영숙·오형나, 2019), 미세먼지 예·경보가 도시민의 회

피행동을 강화할 것이라 예상되나, 이와 관련된 국내의 경험적 증거는 여전히 미흡하다.

이와 같은 배경에서 본 연구에서는 서울시 종로구를 대상으로 미세먼지가 도시민의 활동에 미치는 영향을 다각적으로 분석하였다. 구체적으로 미세먼지 수준에 따른 도시활동 유형별 활동인구 변화에 미치는 영향, 활동장소의 물리적 특성(미세먼지 위험 정도)에 따른 미세먼지 영향 차이, 미세먼지 지속기간에 따른 도시민의 적응패턴의 존재 유무, 미세먼지 경보에 따른 도시민의 회피행동 수준을 분석하였다. 본 연구에서는 선행연구의 한계를 극복하기 위해 미시적인 공간단위로 집계되는 휴대전화신호 자료를 분석에 활용하였다.

2. 선행연구 검토

1) 미세먼지에 의한 도시활동의 위축

미세먼지는 호흡기·심혈관 질환, 폐암, 천식의 발병률을 높이고 태아의 저체중·조산을 초래하는 등 도시민의 신체건강을 악화시킨다(Pope and Dokery, 2006; 질병관리본부·대한의사협회, 2019). 또한 도시민의 심리 및 정신 건강에도 부정적인 영향을 미쳐 자살률을 높이는 등(Kim et al., 2015), 미세먼지는 도시민의 전반적인 삶의 질을 떨어뜨리는 것으로 알려져 있다(김단야·김은애, 2018). 미세먼지의 건강위험에 관한 정보는 대중매체를 통하여 빠르게 확산되고 있으며(홍계우 외, 2019), 도시민은 미세먼지에 의한 건강피해 우려하여, 야외활동을 제한하는 등 활동패턴을 변화한다(Yan et al., 2019).

미세먼지에 따른 일상생활의 변화는 주로 여가·노동·소비 등 각종 도시활동이 감소하는 양상을 야기하는 것으로 알려져 있다. 도시민이 미세먼지와외의 접촉을 최소화하기 위하여 주거활동을 늘리고 외출을 줄이는 등 행태 변화가 일어나는데(서미숙, 2015), 이는 대기오염 물질에 대한 도시민의 회피행동으로 설명된다(Gerking and Stanley, 1986; Bresnahan et al., 1997; Yan et al., 2019). 이와 같은 회피행동은 각종 도시활

동을 위축시키는 한편, 간접적으로는 도시민의 외출을 감소시켜 도시민의 건강을 악화시키고(최막중·장평린, 2018), 도시의 경제와 활력을 위축시키는 등 각종 사회경제적 파급효과로 이어질 우려가 있다(Yan et al., 2019).

미세먼지 및 대기오염이 심각해짐에 따라, 미세먼지를 포함한 대기오염이 도시민의 활동에 미치는 영향에 대한 연구가 늘어나는 추세이다. 특히, 미세먼지가 여가, 노동 및 소비 등 목적 활동에 따라 미치는 영향은 상이한 것으로 나타났다. 우선, 여가의 경우 미세먼지 등 대기오염이 심각할 때 도시민은 특히 대기오염 물질과의 접촉과 직결되는 야외 활동을 취소하거나 조정하는 것으로 나타났다(Neidell, 2009). 장평린·최막중(2018)은 국내 생활시간조사 자료를 이용하여 미세먼지 농도가 도시민의 산책, 조깅, 사이클, 등산 등 야외 여가활동 시간을 감소시키는 것을 확인하였다. Keiser et al.(2018), Noonan(2014)은 대기오염과 공원 방문객 간의 관계를 분석하여, 대기오염이 심각할 때 도시민의 공원 방문이 감소하는 것을 확인하였다. 이와 함께, 도시의 공간 구조가 대기질에 미치는 영향에 대한 연구(서원석·김리영, 2013)도 증가하고 있다.

한편, 미세먼지는 노동활동을 위축시키기도 하는데, 대기오염이 도시민의 노동시간과 노동공급, 노동생산성에 부정적인 영향을 미치는 것을 확인하였다. 서미숙(2015)은 국가 생활시간조사 자료를 활용하여 미세먼지 농도가 경제활동(노동) 시간에 미치는 영향을 분석하였는데, 분석결과 미세먼지 농도가 취업여성의 노동시간에 부정적인 영향을 미치는 것을 발견하였다. Hausmann et al.(1984)은 대기오염이 심각할 때 노동자의 건강이 악화되어 병가 일수가 증가함을 확인하였으며, 이를 통해 대기오염이 지역의 노동공급에 손실을 초래할 수 있다고 주장하였다. Chang et al.(2019)은 스모그 현상이 심할 때 콜센터 직원의 통화 처리 건수가 줄어드는 것을 발견하였으며, 대기오염이 인지기반 노동자들의 노동 생산성에 부정적인 영향을 미친다고 주장하였다. 유사하게, Zibin and Neidell(2012)은 오존의 농도가 농업종사자의 노동의지와 노동시간에는 영향을 미치지 않지만, 농업종사자

의 노동생산성을 낮추는 것을 확인하였다. 한편, Yan et al.(2019)의 연구에서는 노동활동의 위축 정도가 다른 도시활동에 비해 적은 것이 발견되었는데, 연구자는 이와 같은 현상이 다른 도시활동에 비하여 노동활동의 낮은 조정가능성에 기인한다고 주장하였다.

미세먼지가 도시민의 소비활동에 미치는 영향과 관련된 연구로서 Kang et al.(2019)는 국내 대형유통매장의 월간 매출액 자료를 이용하여 미세먼지 농도가 판매점의 매출액에 부정적인 영향을 미치는 것을 분석하였다. 미세먼지는 도시민의 외식수요를 감소시키기도 하는데, 농촌진흥청 보도자료(2019)에 의하면 미세먼지 농도가 높을 때 도시민의 외식수요가 감소하고 집밥 수요가 증가하는 것으로 나타났으며, Zheng et al.(2016) 역시 미세먼지 농도가 높을 때 외식 빈도가 낮아지고 배달음식 주문의 빈도가 높아지는 것을 확인하였다. 한편 BC카드 보도자료(2019)에 의하면 미세먼지 농도가 보통인 날보다 나쁨이나 매우 나쁨인 날에 일 평균 카드 매출액이 높아지는 것으로 나타났다. 특히 여성과 젊은 연령대의 일 평균 매출액이 증가하고 미세먼지에 보다 취약한 60대 이상 고령층의 매출액은 감소하는 것으로 나타났다.

2) 미세먼지에 의한 도시민의 활동장소 변화

미세먼지 등 대기오염이 심각할 때 도시민은 각종 도시활동을 자제하기도 하지만, 때로는 기존에 계획한 도시활동을 실내 공간에서 수행할 수 있다(Zheng et al., 2016). 이는 야외공간에 비하여 실내공간에서 미세먼지와 접촉을 최소화할 수 있기 때문이다.

Jiu and Zhang(2016)은 중국 난징시 주민을 대상으로 한 설문조사 자료를 통해, 스모그 현상이 심각할 때 도시민의 실내 상업시설 이용이 증가함을 밝혔다. 유사하게 BC카드 보도자료(2019)는 미세먼지 등급이 보통일 때보다 나쁨이나 매우나쁨일 때 복합쇼핑몰, 대형마트, 키즈카페 등 실내 쇼핑시설의 매출액이 증가하는 것을 분석하였다. 농촌진흥청 보도자료(2019) 역시 도시민이 미세먼지 발생 시 농수산물 구매처로서 전통시장 방문보다는 대형쇼핑몰, 온라인쇼핑몰 방문

을 선호하는 것으로 나타났다. 위의 연구 및 분석결과들은 미세먼지 농도의 영향이 활동이 이루어지는 공간의 물리적 특성에 따라 상이할 수 있음을 시사하고 있다.

한편 이와 같은 영향은 교통수단 선택에도 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 기동환·이수기(2019)는 서울시 오전 첨두시간 지하철역별 탑승량 자료를 사용하여, 미세먼지 농도와 지하철 탑승량 간의 관계를 분석하였다. 분석결과, 미세먼지 농도가 높을 때 오전 첨두시간 서울시 지하철탑승량이 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같은 현상은 지하철 이용의 특성상 출발지에서 역까지의 보행거리(first mile)와 역에서 도착지까지의 보행거리(last mile)에서 미세먼지와 접촉이 불가피하기 때문에, 미세먼지 농도가 높을 때 지하철 이용량이 감소하는 것으로 설명하고 있다.

3) 미세먼지 지속기간 및 경보에 따른 도시민의 대응행동 변화

미세먼지 등 대기오염 문제가 고질적으로 지속될 때, 도시민은 대기오염에 대한 회피행동을 줄이는 적응패턴을 보이기도 한다(Kang et al., 2019). 이는 도시민이 미세먼지에 대한 회피행동으로 도시활동을 일시적으로 취소 또는 조정하나, 미세먼지가 지속될 경우 기존의 활동패턴으로 돌아갈 수 있음을 의미한다.

Zibin and Neidell(2009)은 야외 여가시설 이용시간 자료를 활용하여, 오존경보가 야외 여가시설 이용시간에 미치는 영향을 분석하였다. 분석결과, 도시민은 오존 농도가 권고기준보다 높을 때 야외 여가시설 이용을 크게 줄이지만, 고농도 오존 에피소드가 수일간 지속될 때, 야외 여가시설 이용시간의 감소가 크게 나타나지 않았다. 마찬가지로, Kang et al.(2019)은 미세먼지 농도가 대형유통매장의 월간 매출액에 부정적인 영향을 미치나, 전달의 미세먼지 고농도 에피소드 일수가 높으면, 해당 달의 미세먼지 농도가 대형유통매장 매출액에 미치는 부정적인 영향이 작아짐을 확인하였다.

한편, 대기오염 경보는 대기오염에 대한 도시민의

인지수준을 높이고(기동환·이수기, 2019), 미세먼지에 대한 개인의 주관적 위험인지 수준이 높을수록 도시민의 회피행동이 크게 나타난다는 점에서(엄영숙·오형나, 2019), 미세먼지 등 대기오염 경보는 도시민의 회피행동을 강화시킬 수 있다. 대기오염 정보 시스템이 보다 일찍이 도입되고 공원 등 야외 여가시설 이용 통계가 구축되어 있는 미국을 중심으로 대기오염 정보 영향에 관한 연구가 소수 진행되었다.

Neidell(2009)은 동물원, 공원 등 야외 활동과 관련 있는 장소의 방문량이 오존경보 날짜에 감소하며, 특히 어린이와 고령자의 공원방문이 감소하는 것을 확인하였다. Sexton(2012)은 미국의 시간이용조사 자료를 이용하여 대기질이 권고기준을 초과하여 대기오염 경보가 발령되면, 도시민의 야외 여가활동 시간이 감소하고, 특히 노인의 야외 여가활동 시간이 절반 이상 감소하는 것을 확인하였다. 마찬가지로 Noonan(2014)은 스모그 경보가 있을 때, 노인과 일반 운동자가 공원 이용을 줄이는 것을 확인하였다. 한편 국내의 경우 대기오염 정보 제도가 비교적 최근에 도입되어 이와 관련된 실증 연구는 매우 부족한 형편이다.

4) 소결 및 연구의 차별성

선행연구에 의하면, 미세먼지와 같은 대기오염이 도시민의 활동을 위축시키는 것을 알 수 있다. 또한 그 양상이 도시활동 유형별로 다르게 나타나는 것으로 보고된다. 그러나, 국내의 연구에서는 다양한 활동 목적에 따른 미세먼지의 영향에 대한 통합적 연구가 매우 미흡하다. 또한, 미세먼지 농도가 심할 때 도시민이 도시활동 장소를 야외에서 실내로 전환할 것으로 예상된다. 그럼에도, 이와 관련된 실증적 증거는 여전히 미흡하다. 또한 대기오염에 대한 회피행동이 대기오염 경보에 의해 강화되고, 미세먼지가 지속될수록 미세먼지에 대한 회피행동이 감소하는 것으로 나타난다. 그러나, 이를 규명한 국내의 연구들은 매우 미흡한 형편이다.

이와 같은 배경에서 본 연구는 기존의 연구결과와 다음과 같이 차별된다. 첫째, 미세먼지가 소비활동, 노

동활동, 야외 여가활동 등 각종 도시활동에 미치는 영향을 종합적으로 분석한다. 둘째, 소비활동 공간을 실내와 야외로 구분하여, 미세먼지가 실내 소비활동과 야외 소비활동에 미치는 영향의 차이가 존재하는지 분석한다. 셋째, 미세먼지 지속 정도에 따른 도시민의 대기오염 적응패턴이 나타나는지를 분석한다. 넷째, 미세먼지 예·경보 시스템이 미세먼지 취약계층 등 도시민의 회피행동을 강화시키는 효과를 갖는지 여부를 확인한다.

3. 분석의 틀

1) 연구의 범위

본 연구의 주요한 분석목표는 미세먼지가 도시민의 노동·소비·야외여가 활동에 미치는 영향을 도시의 수준에서 규명하는 것이기 때문에, 도시민의 노동, 소비, 야외여가 활동이 활발히 일어나는 도시를 공간적 범위로 설정할 필요가 있다. 따라서, 본 연구에서는 노동, 여가, 소비활동, 그 중에서도 실내 소비활동과 야외 소비활동이 모두 풍부하게 이루어지는 서울시의 3도심 중 하나인 종로구를 대상지역으로 선정하여 연구를 수행하였다.

종로구는 서울시의 중심에 위치하며 서울시의 도심 권역에 해당하는데(서울특별시, 2014), 2015년 기준 종로구의 행정구역 면적은 약 인구는 약 23,92km²이며, 거주인구 수는 약 16만 명이다. 종로구는 풍부한 역사 문화자원 뿐만 아니라 도심 속 자연환경과 인문사회 자원 등이 풍부한 서울을 대표하는 도심지로(종로구, 2019), 종로구에는 광화문 광장과 충무로역 일대에 업무시설과 주요 관공서가 집중되어 있어 노동활동이 활발히 이루어지는 중심업무지구로 기능하고 있을 뿐만 아니라(서울특별시, 2014), 종각, 익선동, 대학로를 중심으로 일반적인 실내 상업시설이 위치해 있다. 또한 광장시장, 동문시장, 통인시장 등 7개의 전통시장이 위치해 있으며, 낙산공원, 창경궁 등 도시민이 야외 여가활동을 수행하는 도시공원 역시 충분히 분포해있다.

〈표 1〉 변수 설명

변수		설명 (단위)	출처	
도시활동	도시활동 유형별 활동인구 수	일별 도시활동 유형별 SKT 스마트셀 활동인구 수	서울시 빅데이터 캠퍼스	
미세먼지	초미세먼지 농도	종로구 일별 초미세먼지 평균 농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	에어코리아 홈페이지	
	고농도 $\text{PM}_{2.5}$ 지속일수	초미세먼지 농도 '나쁨' 이상 지속일 수		
	$\text{PM}_{2.5}$ 경보 (Dummy)	초미세먼지 경보 일: 1		
날씨	가시거리	일별 종로구 평균 가시거리 (단위: 10m)	기상기후 정보포털	
	기온	일별 종로구 평균 기온 ($^{\circ}\text{C}$)		
	기온 ²	일별 종로구 평균 기온 ² ($^{\circ}\text{C}$) (연평균 기온으로 평균중심화한 기온 값의 제곱)		
	강수량	일별 종로구 평균 강수량 (mm)		
	습도	일별 종로구 평균 습도 (mm)		
요일 및 계절	요일 (Dummy)	평일: 0, 주말 및 공휴일: 1	-	
	계절	여름 (Dummy)		여름: 6~8월
		가을 (Dummy)		가을: 9~11월

따라서 본 연구에서 분석하고자 하는 노동, 여가, 소비 활동을 모두 분석하기에 적합한 연구 대상지이다.

2) 분석자료 및 변수선정

본 연구의 주된 인과관계를 구성하는 변수는 미세먼지 관련 변수와 도시활동 변수이다. 본 연구에서는 국내 이동통신사 SKT가 제공하는 서울시 50m×50m 셀 단위 유동인구 자료(이하 스마트셀 데이터라 칭함)를 활용하여 도시활동을 분석하였다. 스마트셀 데이터는 휴대폰신호를 통해 해당 셀의 시간별, 유입지별, 성별, 연령별 유동인구를 제공하고 있으며(국토연구원, 2014), 서울시 빅데이터 캠퍼스에 방문하여 자료를 가공·이용할 수 있다. 시간적 범위는 2015년 8월~2016년 7월로 설정하였는데, 유동인구 모수추정 방법이 달라 이상치가 크게 나타나는 2016년 3~5월의 경우 분석에서 제외하고 분석하였다¹⁾. 일반적으로 미세먼지 취약계층은 영·유아, 어린이, 임산부, 노인, 호흡기·심혈관계 질환자가 해당되는데(서울특별시, 2017), 본 연구에서는 스마트셀 데이터의 연령구분에 따라 만 0~14세 어린이 및 만 65세 이상의 노령층을 미세먼지 취약계층으로 조작적으로 정의하였다.

독립변수에 해당하는 미세먼지 관련 변수 자료는 에어코리아 홈페이지에서 본 연구의 시간적 범위에 해당하는 자료를 활용하였다. 미세먼지 농도가 높을수록 도시민의 각종 도시활동이 위축될 수 있다는 선행연구 결과를 고려하여, 초미세먼지 농도를 분석에 활용하였다. 미세먼지 농도가 아닌 초미세먼지 농도를 사용한 것은 두 변수 간의 다중공선성을 방지하기 위함이다. 독립변수 간 상관분석 결과 미세먼지와 초미세먼지 농도의 상관계수는 0.92로 매우 크게 나타났으며, 분석 기간 중 농도문제가 더욱 심각했던 초미세먼지 농도를 분석에 활용하였다. 초미세먼지에 대한 도시민의 적응 패턴을 확인하기 위하여 고농도 초미세먼지 지속일 수 변수를 분석에 활용하였다. 고농도 초미세먼지 지속일 수 변수는, 초미세먼지 일 평균 농도가 '나쁨' 이상($36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상)인 날(여민주, 2019)의 지속일 수로 구축하였다. 마지막으로, 초미세먼지 농도가 대기오염 경보 제도가 도시민의 미세먼지 인식을 높여 도시민의 회피행동을 강화시킬 수 있다는 점에서(Noonan, 2014; Sexton, 2012), 초미세먼지 주의보 및 경보(이하 '초미세먼지 경보'라 칭함) 발령 여부를 변수로 활용하였다.

미세먼지와 도시활동의 인과관계를 분석하기 위하여 미세먼지 외에 도시활동에 영향을 미칠 수 있는 통

제변수들을 선행연구를 바탕으로 선정하였다. 우선, 일반적인 날씨 특성과 관련된 변수들로서 일별 기온 및 강우량(장평린·최막중, 2018; 서미숙, 2015), 습도(기동환·이수기, 2019; 서미숙, 2015)를 활용하였다. 도시민이 시야를 통해 미세먼지 농도를 가늠할 가능성이 있어(현대경제연구원, 2019), 가시거리(시정거리) 역시 변수로 활용하였다(기동환·이수기, 2019). 날씨 특성과 관련된 변수로는 주말 또는 공휴일 여부를 변수로 활용하였다(Yan et al., 2019; 기동환·이수기, 2019). 이는 평일, 주말, 공휴일에 따라 도시활동이 다르게 나타날 수 있기 때문이다. 또한 폭염과 한파가 도시민의 야외활동을 감소시킬 수 있다는 점에서(Baranowski et al., 1993), 기온의 제공 값을 평균중심화 하여 변수로 활용하였다(기동환·이수기, 2019). 이때 기온에 제곱을 취한 이유는 혹한, 폭염에 해당하는 양극단의 기온특성을 포착하기 위함이다.

3) 분석방법

(1) 도시활동 유형별 스마트셀 추출

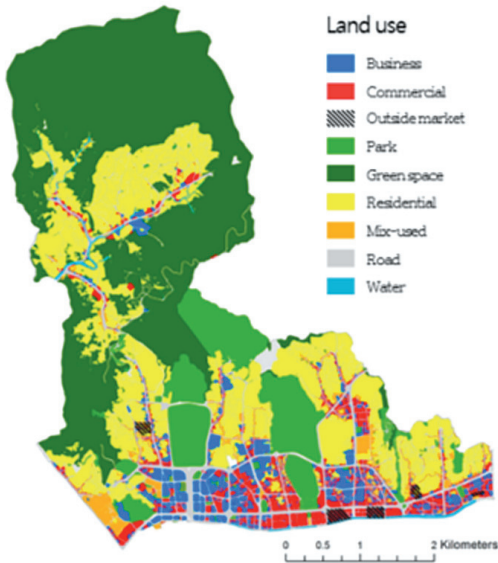
스마트셀 데이터는 도시민의 이동과 생활패턴을 파악하는데 유용한 자료이며 실시간 업데이트가 가능하다는 장점을 가지고 있다(국토연구원, 2014; 국토연구원, 2015). 스마트셀 데이터와 같이 시공간정보가 포함된 빅데이터는 도시민의 활동 목적을 제공하지 못한다는 한계가 있으나(Widhalm et al., 2015; Guo et al., 2019), 다른 공간정보와 연계하여 활용될 경우 다양한 공간 위계에서 활동 목적별 활동인구의 추정이 가능하다는 장점이 있다(Batty, 2013). 특히 본 연구에서 활용하는 셀 단위 휴대전화 신호 자료들은 토지이용 용도, 세부시설 등 미시적인 공간자료와 접목될 때 해당 토지의 활동인구를 파악하는데 용이하다고 알려져 있다(Meersman et al., 2016; 국토연구원, 2014).

토지이용이란 인간의 제반활동에 의해 지표상에 나타난 결과이자 인간이 토지를 이용하는 활동을 의미한다(이양재·고준환, 1996). 따라서 다수의 연구에서 휴대전화 신호에 의해 토지 평면 단위로 집계되는 활동인구 자료를 토지이용 자료와 접목하여 분석하였다.

본 연구에서는 토지이용 용도와 도시활동 연계를 위하여, 업무, 상업, 주거, 공원 등의 토지이용 용도를 반영하여 도시활동을 노동활동(업무용 토지이용), 소비활동(상업용 토지이용), 야외 여가활동(공원 토지이용)으로 구분하였다. 이와 같은 토지이용과 도시활동 연계는 다양한 선행연구에서도 이루어진 바 있다. 국토연구원(2014)은 스마트셀 자료를 토지이용 자료와 연계하여 전철역 주변(강남역 일대), 놀이시설(에버랜드), 병원(분당서울대병원), 도시공원(서울대공원)의 활동인구를 분석한 바 있다. 장진영 외(2015), 박성경(2018)은 토지이용 유형별 유동인구 분포특성을 분석하였으며, 정재훈·남진(2019)은 토지이용의 용도를 법적으로 규정하고 있는 용도지역 자료를 활용하여 서울시 행정동을 유형화하고, 행정동 유형별 활동인구 특성을 분석하였다. Ríos and Muñoz(2017), Toole et al.(2012)은 휴대전화 신호자료를 통해 도시활동을 유형별로 식별하고 이를 토지이용 용도와 비교함으로써, 휴대전화 신호자료와 토지이용 자료간의 밀접한 연관성을 확인하였다. 마지막으로 구글(Google)이 발간하는 'COVID-19 공동체 이동 보고서'(COVID-19 Community Mobility Report)는 안드로이드 모바일 기기 및 구글지도 이용자의 위치 데이터와 시설유형 공간자료를 결합하여, 도시활동 유형을 소매·여가, 식료품·약국, 대중교통, 직장, 주거지, 공원로 구분하고 도시활동 유형별 활동인구 변화를 추정하고 있다(Google, 2020).

본 연구에서도 도시의 활동 목표별 활동차이 분석을 위해, 토지이용자료와 스마트셀 공간자료를 접목하여 해당 지역의 도시활동을 규정하고자 하였다. 이를 위해 각 스마트셀의 토지이용 용도별 면적비율을 계산하고, 표 2에서 보이는 바와 같이, 업무용 토지이용과 상업용 토지이용이 90% 이상인 셀을 각각 업무활동, 실내 소비활동 셀로 규정하였다. 이는 도로 등 건조환경에 따라 셀의 전부가 업무용, 상업용 토지인 경우가 매우 낮았기 때문이다²⁾. 야외소비, 야외여가 활동은 도시공원과 전통시장 구역계 자료에 근거하여 구역계의 내부에 온전히 포함된 셀로 간주하였다.

위와 같은 추정방식은 도시활동 유형별 셀의 모든



〈그림 1〉 종로구 토지이용 현황

〈표 2〉 도시활동 유형별 셀 구분 기준

도시활동 유형별 셀		토지이용 용도
노동활동 셀		업무용 90% 이상
소비	실내 소비활동 셀	상업용 90% 이상
	야외 소비활동 셀	전통시장 100%
야외 여가활동 셀		공원용 100%

유동인구가 해당 활동 목적을 갖는다고 가정하고 있으나, 실제로는 통과 인구, 다른 목적의 인구도 포함될 수 있다는 한계가 있다. 본 연구에서는 해당 활동 목적의 도시활동이 우세를 보이는 지역의 총 유동인구수를 부분적으로 검증하기 위하여, 도시활동 유형별 활동인구의 연령별 비중과 평일, 주말 간 활동인구 수 차이를 확인하였다. 또한 도시활동의 혼합이 일부 존재하더라도, 동일한 공간 단위의 활동인구 자료를 274일 치 활동인구 자료를 분석에 활용하였다는 점에서 해당 용도의 활동인구 영향요인을 분석하는데 어려움이 없다고 판단된다.

(2) 분석모형

$$\begin{aligned}
 \ln y_t^{Activity_Age} = & \beta_0 + \beta_1 X_t^{PM2.5} + \beta_2 Days^{HighPM2.5Losing} \\
 & + \beta_3 X_t^{Alerto} + \beta_4 X_t^{Viability} + \beta_5 X_t^{Temp} \\
 & + \beta_6 X_t^{Temp^2} + \beta_7 X_t^{Rain} + \beta_8 X_t^{Day} \\
 & + \beta_9 X_t^{Season} + u
 \end{aligned}
 \tag{식 1}$$

본 연구의 분석모형은 〈식 1〉과 같다. 종속변수인 $\ln y_t^{Activity_Age}$ 는 t일의 도시활동 유형별 셀의 전체연령 및 미세먼지 취약연령의 자연로그를 취한 활동인구 수이다. 종속변수의 정규성을 확보하고 분석결과와의 비교분석을 용이하게 하기 위하여 자연로그를 취하였다. 본 연구의 주요 관심 독립변수는 $X_t^{PM2.5}$ 로 t일의 초미세먼지 농도($\mu g/m^3$)이다. 본 연구에서는 미세먼지의 지속이 회피행동에 미치는 영향을 알아보기 위해 $Days^{High PM2.5Losing}$ 변수를 분석에 활용하였다. 초미세먼지 농도가 좋음, 보통인 날이나 하루만 나쁨 이상인 날을 0, 초미세먼지 농도가 나쁨 이상인 날이 2일 이상 지속된 날은 지속일 수에서 1을 뺀 값으로 입력하였다. 예를 들어 고농도 초미세먼지가 4일 지속된 날의 값은 3이 된다. 만약 계수가 양의 값을 보인다면 과거(t-1)의 초미세먼지 농도가, 현재(t)의 초미세먼지 농도가 도시활동량에 미치는 부정적인 영향을 감소시킬 수 있음을 시사한다(Kang et al., 2019). X_t^{Alerto} 은 t일의 초미세먼지 주의보 및 경보 여부이며, 주의보나 경보가 발령된 날을 1로 부여하였다.

통제변수로는 $X_t^{Viability}$ 는 t일의 평균 가시거리(m)(현대경제연구원, 2019), X_t^{Temp} 은 t일의 평균 기온 변수(기동환·이수기, 2019), 계절, 요일 별 영향 통제를 위한 터미변수(최막중·장평린, 2018)를 추가하였다. 이 외에 인구, 사회, 경제적 요인들이 유동인구에 영향을 미칠 수 있으나, 본 연구의 경우 각 도시활동 유형을 분석 단위로 하고 일 단위의 시계열 자료가 필요하기 때문에, 각 셀 단위의 영향 요인들에 대한 본 모형에 포함되지 않았다.

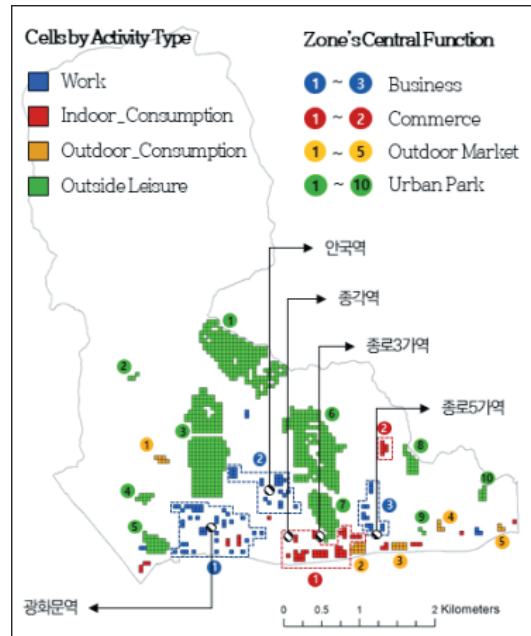
4. 분석결과

1) 기초분석

(1) 도시활동 유형별 스마트셀 추출

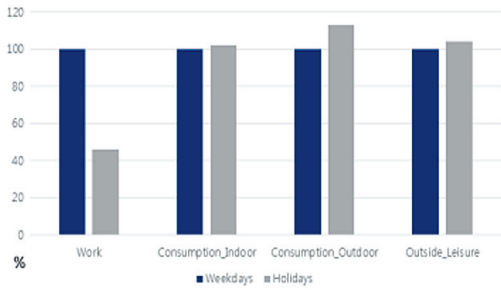
서울시 종로구 내 단일토지이용으로 추출된 노동, 소비, 여가와 관련된 대표적 도시활동 공간은 <그림 2>와 같다. 58개의 노동활동 셀은 광화문역, 종각역, 종로5가역 인근에 분포하고 있으며, 54개의 실내 소비활동 셀은 종각역 동측의 젊음의 거리와 익선동, 혜화역 대학로 인근에 분포하였다. 25개의 야외 소비활동 셀은 광장시장, 동문시장, 통인시장 등 5개 전통시장 내부에 해당되고, 마지막으로 354개의 야외 여가활동 셀은 삼청공원, 낙산공원, 경복궁, 창덕궁, 종묘 등 12개 도시공원의 내부에 분포하였다. 물론 본 연구 분석 대상이 된 지역 이외에 다른 지역에서도 노동, 여가, 소비 활동이 이루어지겠지만, 본 연구에서는 유동인구 데이터를 목적별로 구분하기 위하여 단일토지이용 비율이 90% 이상이 되는 지역만을 대상으로 하여, 다양한 토지이용이 복합화된 지역의 경우 본 연구 분석에서는 배제되었다.

<그림 2>는 도시활동 유형별 스마트셀 추출 결과이다. 노동활동, 소비활동 셀들은 각각 3개, 2개 지역을 중심으로 분포하였으며, 야외 소비활동, 야외 여가활동 셀들은 각각 5개의 전통시장과 10개의 도시공원 내부에 분포하였다. <그림 2>의 남색 ① 지역은 광화문역 인근 지역으로, 경제 노동활동 셀이 중심으로 분포한 1번 지역은 광화문역 일대로, 외교부, 정부서울청사, 주한미국대사관, 서울지방경찰청과 같은 공공업무청사와 KT, SK, 교보, SC제일은행, GS건설, 아시아나항공 등 민간기업 본사가 입지하여 있다. 해당 지역에는 일부 실내 소비활동 셀이 분포하였는데, 주변 업무지를 배후로 하는 저층 상업시설에 해당하며 주로 음식서비스업이 분포하였다. 남색 ② 지역은 안국역 북측 지역으로 헌법재판소, 종로 경찰서, 포르투갈·일본 대사관 등 공공업무청사와 현대건설 사옥 등 각종 업무용 건축물들이 입지하여 있다. 남색 ③ 지역은 종로5가역 북측 지역으로 서울보증보험, 현대그룹 본사,



<그림 2> 도시활동 유형별 분석지역 추출 결과

KT 혜화지사, 보령제약 본사 등 업무용 건축물이 입지하여 있다. <그림 2>의 빨간색 ① 지역은 음식서비스업이 집중되어 있는 종각역 동측의 젊음의 거리와 귀금속 소매점이 집중되어 있는 종로3가역 인근 종로 귀금속 거리가 입지하여 있다. 빨간색 ② 지역은 혜화역 대학로 카페거리로, 음식서비스업과 소극장과 같은 실내 상업시설이 주로 입지해 있다. <그림 2>의 주황색 ①, ②, ③, ④, ⑤ 지역은 각각 통인시장, 광장시장, 동대문시장, 창신골목시장이다. 이 시장들에는 주로 식자재 가게나 음식서비스업이 주를 이루고 식자재, 잡화, 문구, 그릇 등 생활물품 소매업이 집중하여 있다. 위의 전통시장은 야외에서 물품, 음식을 판매하는 등 미세먼지에 취약한 물리적 환경을 가지고 있다. <그림 2>의 녹색 ①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑦, ⑧, ⑨, ⑩은 각각 삼청공원, 청운공원, 경복궁, 사직공원, 경희궁공원, 창덕궁, 종묘, 낙산공원, 흥인지문공원, 송인공원에 해당한다. 삼청공원, 사직공원, 종묘, 청운공원, 낙산공원, 흥인지문공원, 송인공원은 종일 무료로 개방하는 도시근린공원이라 볼 수 있고, 경복궁, 창덕궁은 오전 9시부터 오후 5~6시까지 1,500~3,000원의 입장료를

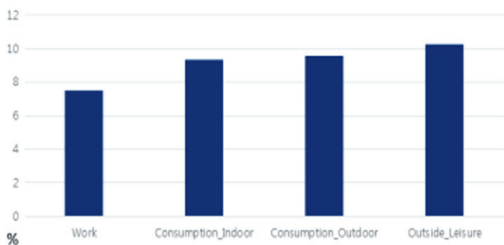


〈그림 3〉 도시활동 유형별 평일대비 주말 및 공휴일 활동인구 비율

내고 이용하는 공원이며 서울시의 유명 관광지이기도 하다.

도시활동 유형별 평일과 공휴일 간 활동인구수와 활동인구의 연령구조의 차이(그림 3)는 도시활동 유형별 지역 선정 결과의 신뢰성을 보여준다. 먼저 도시활동 유형별로 평일 대비 공휴일의 활동인구 비율이 다르게 나타났다. 노동활동 지역의 경우 휴일 활동인구는 평일 활동인구의 46% 수준으로 나타난 반면, 실내 소비활동(102%), 야외 소비활동(113%), 야외 여가활동(104) 지역의 경우 주말 활동인구가 평일보다 높게 나타났다. 이는 도시민이 자유롭게 사용할 수 있는 시간이 많은 주말이나 공휴일에 쇼핑, 신체활동 등의 여가활동이 증가하는 것이 반영된 것으로 볼 수 있다(서울특별시, 2017; 문화체육관광부, 2019).

도시활동 유형별 활동인구의 연령구조(그림 4) 역시 도시활동 유형별 활동인구의 특징을 보여주고 있다. 전체 활동인구 대비 미세먼지 취약연령(어린이, 노인)의 활동인구 비율은 노동활동지역이 7.51%로 가장 작게 나타났고, 실내 소비활동, 야외 소비활동지역은 각



〈그림 4〉 도시활동 유형별 전체연령 대비 미세먼지 취약계층 활동인구 비율

각 9.35%, 9.57%, 야외 여가활동지역이 10.25%로 가장 높게 나타났다. 한편, 야외 여가활동 셀의 미세먼지 취약연령 활동인구 비율이 10%로 다른 도시활동 유형 지역에 비해 높게 나타나는데, 이는 어린이나 노인이 다른 연령층에 비하여 여가활동 장소로 공원을 이용하는 비율이 높은 것이 반영된 결과로 볼 수 있다(노인이·김선자, 2009).

(2) 기초통계 분석

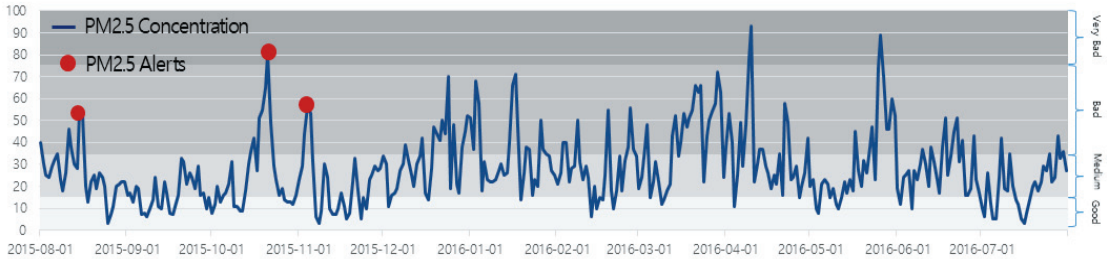
도시활동 유형별 1개 셀(2,500㎡)의 평균 활동인구 수는 실내 소비활동(858명), 노동활동(768명), 야외 소비활동(496명), 야외 여가활동 셀(77명) 순으로 나타났다. 이때 ‘도시활동 유형별 활동인구수’는 하루 중 해당 셀에 분포하는 평균 인구 수를 의미한다. 셀의 90% 이상이 상업, 업무용 토지이용 용도로 구성되어 있는 노동, 소비활동 셀의 경우 상업지역에 해당하여 용적률이 높아 활동인구 밀도가 높게 식별된 것으로 추정되며, 비교적 낮은 밀도의 상업지에 위치한 전통시장 구역에 해당하는 야외 여가활동 셀의 경우 실내 소비활동 셀에 비하여 활동인구 밀도가 낮은 것으로 볼 수 있다. 분석기간의 초미세먼지의 평균농도는 25.76μg/㎡으로, ‘보통’ 수준에 해당하였으며 274일 중 약 4분의 1에 해당하는 57일은 초미세먼지 농도 수준이 ‘나쁨’ 또는 ‘매우 나쁨’으로 대기환경기준을 초과하였다³⁾.

〈그림 5〉와 같이, 분석대상 기간의 초미세먼지 주의보 및 경보는 각각 2015년 8월, 10월, 11월에 1회씩 총 3회 발령되었는데, 분석에서 제외된 2016년 3~5월 외에도 2015년 12월 후순부터 2016년 1월 중순까지 초미세먼지 경보가 발생한 날보다 초미세먼지 농도가 더 높았음에도 경보가 발령되지 않은 날이 발견된다. 또한 분석기간의 초미세먼지 경보는 「대기환경보전법 시행규칙」〈별표7〉에 의해 초미세먼지의 24시간 평균 농도가 65μg/㎡ 이상인 때 또는 120μg/㎡ 이상으로 2시간 이상 지속될 때 발령되는데, 초미세먼지 최종확정자료⁴⁾에 의하면 10월에 발령된 초미세먼지 경보만 경보기준을 충족하였다. 고농도 초미세먼지 지속일 수는 2015년 12월 29일부터, 2016년 1월 4일까지 최대

〈표 3〉 변수의 기술통계량

변수		MEAN	STD	MIN	MEDIAN	MAX	
도시 활동량	노동활동	전체연령	768.35	268.98	145.83	877.93	1,211.65
		취약계층	57.68	16.43	12.59	60.46	90.28
	실내 소비활동	전체연령	858.01	205.14	86.02	850.22	1,528.19
		취약계층	82.16	19.07	9.17	79.52	139.7
	야외 소비활동	전체연령	496.11	112.29	162.68	482.6	923.2
		취약계층	46.4	12.11	16.72	43	95.44
	야외 여가활동	전체연령	76.99	18.08	30.32	75.23	137.45
		취약계층	7.89	2.02	1.65	7.6	14.04
초미세먼지	초미세먼지 농도	25.76	14.06	3	23	81	
	고농도 PM _{2.5} 지속일수	0.19	0.67	0.00	0	6	
	PM _{2.5} 경보 (Dummy)	0.01	0.1	0	0	1	
날씨	가시거리	154.74	42.98	31.88	167.29	232.08	
	기온	13.54	11.73	-14.4	17	29.3	
	기온 ²	119.17	138.31	0	76.31	831.68	
	강수량	2.83	11.12	0	0	108.5	
	습도	62.31	13.51	29.3	63.9	97.3	
요일 및 계절	요일 (Dummy)		0.32	0.47	0	0	1
	계절	여름 (Dummy)	0.34	0.47	0	0	1
		가을 (Dummy)	0.33	0.47	0	0	1

주) 도시활동 유형별, 연령별 활동인구수는 스마트셀 1개(50m×50m)의 평균 활동인구수로 셀별 활동인구 밀도로 볼 수 있음



〈그림 5〉 분석기간 초미세먼지 농도 및 경보 발령 현황⁵⁾

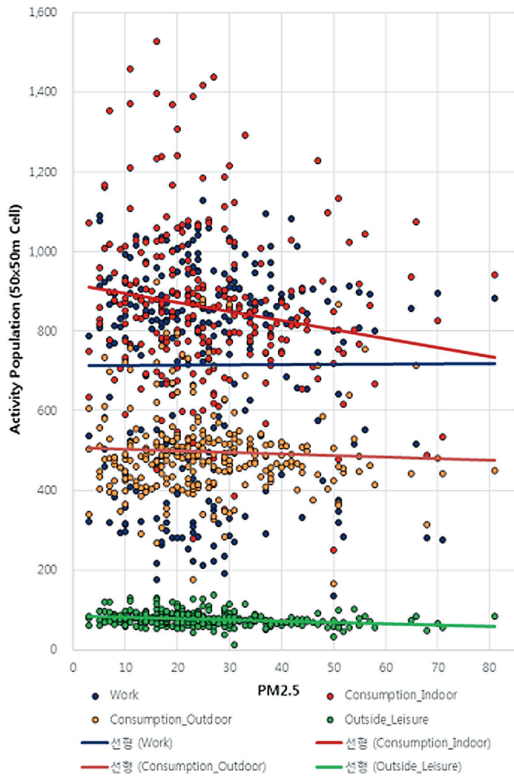
7일 지속되었다.

〈그림 6〉은 초미세먼지 농도와 도시활동량 간의 관계를 보여주는 산포도로, X축은 초미세먼지 농도이고, Y축은 도시활동 유형별 활동인구 수이다. 녹색, 빨간색, 남색, 노란색 선은 도시활동 유형별 초미세먼지와 활동인구 간의 선형회귀선이다. 〈그림 6〉은 도시활동 유형별 회귀선은 노동활동을 제외한 실내 소비, 야외 소비, 야외 여가활동이 모두 초미세먼지 농도와 부(-)의 관계에 놓여있다. 한편, 실내 소비활동의 경우 다른

도시활동에 비하여 초미세먼지 농도와 가장 강한 부의 관계를 보이는데, 이는 다른 통제변수들을 고려하지 않은 추세선으로 추후 다중회귀분석 모형으로 미세먼지와 활동유형별 도시활동량 간의 관계를 면밀히 파악할 필요가 있다.

2) 회귀분석 결과

8개 모형에 대한 회귀분석 결과 도시활동 유형·연



〈그림 6〉 초미세먼지 농도(X)와 도시활동량(Y) 간의 관계

령별로 모형의 설명력이 다르게 나타났다. 도시활동 유형별 모형의 설명력은 야외 여가활동, 야외 소비활동, 실내 소비활동, 노동활동 순으로 높게 나타났는데, 이는 도시활동 유형별로 설명변수 영향 정도가 다르게 나타남을 시사한다. 이는 야외 활동과 밀접한 성격을 갖는 도시활동일수록 미세먼지, 날씨, 계절, 요일 특성의 영향을 크게 받음을 입증하고 있다. 또한, 모든 도시활동 유형에 있어 전체 연령보다 취약계층에 대한 모형의 설명력이 더욱 높게 나타났다. 다중공선성을 진단하기 위하여 분산팽창지수(VIF)를 산출한 결과, 모든 설명변수에 대한 VIF값이 10 미만으로 나타나 다중공선성에 위배되지 않음을 확인하였다.

(1) 도시활동 유형·연령별 미세먼지 영향 차이

도시활동 유형별로 미세먼지 관련 변수의 영향이 다르게 나타나는데, 미세먼지 관련 변수는 도시민의 노동활동, 실내 소비활동에는 통계적으로 유의한 영향을 미치지 않으나, 야외 소비활동, 야외 여가활동에 통계적으로 유의한 부(-) 영향을 미치는 것으로 나타났다.

〈표 4〉 회귀분석 결과

구분		도시활동량								VIF
		노동활동		소비활동				야외여가활동		
		전체연령	취약계층	실내		야외		전체연령	취약계층	
				β	β	β	β			
미세먼지	초미세먼지 농도	-0.001	-0.001	-0.002	-0.003	-0.004*	-0.005**	-0.004*	-0.006***	3.58
	고농도 초미세먼지 지속일수	-0.003	-0.002	-0.002	-0.003	-0.001*	-0.005***	-0.003*	-0.008***	1.58
	초미세먼지 경보	-0.073	-0.096	0.092	0.167	-4E-05	-0.243*	-0.284**	-0.414***	1.12
날씨	가시거리	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	5.24
	기온	0.003	0.006*	0.006	0.005*	0.001	0.002	0.008***	0.010***	5.19
	기온 ²	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001***	-0.001***	-0.001	-0.001*	1.82
	강수량	-0.001	-1E-05	-1E-05	-0.001**	-0.002*	-0.002	-0.005***	-0.005***	1.31
	습도	-0.002	-0.002	-0.002	-0.004	-0.003*	-0.005***	-0.002	-0.003*	3.38
요일 & 계절	요일	-0.822***	-0.567***	-0.048	0.013	0.041	0.11***	0.007	0.104***	1.01
	여름	-0.024	-0.087*	0.152***	0.039	-0.208***	-0.298***	0.046	0.012	3.53
	가을	-0.02	-0.074	0.063	-0.041	-0.125	-0.219***	0.019	-0.009	8.24
Adj. R ²		0.099	0.131	0.147	0.189	0.223	0.341	0.367	0.401	-

주) p<0.01: ***, p<0.05: **, p<0.10: *

또한 미세먼지 관련 변수의 계수를 살펴보면, 전체 도시민보다 미세먼지 취약계층에 더욱 민감히 반응하는 것을 확인할 수 있다.

초미세먼지 농도가 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때 전체 연령의 야외 소비활동은 4%, 취약계층의 야외 소비활동은 5%, 전체 연령의 야외 여가활동은 4%, 취약계층의 야외 여가활동은 6% 감소한다. 또한 고농도 초미세먼지가 지속일 수가 하루 증가할 때 전체 연령의 야외 소비활동이 0.1%, 취약계층의 야외 소비활동이 0.5%, 전체 연령의 야외 여가활동이 0.3%, 취약계층의 야외 여가활동이 0.8% 감소한다. 초미세먼지 경보가 있을 때 전체 연령의 야외 소비활동은 감소하지 않으나 취약계층의 야외 소비활동은 24%, 전체 연령의 야외 여가활동은 28%, 취약계층의 야외 여가활동은 41% 감소한다.

(2) 미세먼지에 대한 도시민의 적응패턴 존재 유무

고농도 초미세먼지 지속일 수가 도시민의 야외 소비활동, 야외 여가활동에 부(-)의 영향을 미친다는 것은, 고농도 미세먼지 에피소드 지속에 따른 도시민의 적응패턴이 나타나지 않았으며, 오히려 초미세먼지가 장기화될 때 도시민의 회피행동이 강화됨을 의미한다. 한편 고농도 초미세먼지 지속일수 변수의 실질적 영향력은 다른 미세먼지 관련 변수보다는 비교적 작은 것으로 나타났다.

(3) 활동장소별 미세먼지 영향 차이

본 연구에서는 미세먼지에 따른 도시민의 활동장소 변화 여부를 분석하기 위하여, 상업용 토지이용을 가진 셀과 전통시장 구역계에 해당하는 셀의 유동인구를 각각 실내 소비활동량과 야외 소비활동량으로 간주하여 분석을 실시했다. 분석결과 초미세먼지 농도 변수와 초미세먼지 경보 변수는 실내 소비활동을 감소시키지 않으나, 야외 소비활동을 감소시키는 것으로 나타났다. 이는 같은 성격의 도시활동일지라도 해당 도시활동을 수행하는 장소의 물리적 특징에 따라 미세먼지의 영향요인이 다르게 나타나며, 미세먼지와 접촉위험이 큰 야외 활동의 감소 효과가 뚜렷함을 의미한다.

(4) 통제변수 영향

날씨와 관련된 변수 중 가시거리를 제외한 기온, 기온², 강우량, 습도 변수가 도시활동에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 기온이 상승함에 따라 야외 여가활동이 증가하는 것으로 나타났다(이용관, 2012; 강정희, 2015). 그러나 기온² 변수는 전체 및 취약계층의 야외 소비활동, 취약계층의 야외 여가활동을 위축시키는 것으로 분석되었다. 이는 폭염, 한파와 같은 이상기후 현상 역시 미세먼지와 같이 도시민의 외부활동을 감소시키는 영향이 있음을 의미한다. 강우량과 습도는 노동을 제외한 도시활동을 감소시키는 것으로 나타났으며, 계절 변수의 경우 도시활동 유형에 따라 영향이 다르게 나타나는 등 일관되지 않은 결과를 보이고 있다.

5. 결론

본 연구에서는 미세먼지가 도시민의 활동에 미치는 영향을 도시활동 유형별, 연령별로 살펴보았다. 이를 위해 서울시 종로구를 대상으로 2015년 8월 1일부터 2016년 7월 31일까지의 스마트셀 데이터와 토지이용 자료를 활용하여 도시활동 유형별 지역을 도출하고, 다중회귀분석을 수행하였다.

본 연구의 주요 분석 결과별 시사점은 다음과 같다. 첫째, 도시활동 유형별 미세먼지 영향 차이가 상이하게 나타났으며, 그 중에서 노동활동은 미세먼지의 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 이는 본 분석 대상지가 실내 오피스 노동환경을 대상으로 하기 때문에 미세먼지의 영향이 크지 않게 나타나는 것으로 이해될 수 있다. 하지만, 실외 노동활동의 경우에는 본 연구 결과와는 다른 연구 결과가 도출될 수도 있어 추후 관련하여 심도깊은 연구가 필요하다.

둘째, 전통시장의 경우 미세먼지 농도로 인해 유동인구가 감소된 것이 확인되었다. 이는 미세먼지에 취약한 옥외 공간의 경우 미세먼지 고농도 에피소드 시 이용 인구가 감소하고 이는 경제적 영향으로 이어질 수 있음을 시사한다. 한편, 실내 소비활동의 경우, 미세먼지 농도가 해당 도시 활동에 통계적으로 유의한

영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

셋째, 초미세먼지 지속에 따른 도시민의 적응패턴이 발견되지 않았으며, 오히려 초미세먼지가 지속될수록 도시민의 회피행동이 강화되는 것이 확인되었는데, 이는 기존의 선행연구(Zibin and Neidell, 2009; Kang et al., 2019)와 반대되는 결과이다. 이와 같은 결과는 초미세먼지에 대한 도시민의 대응 강화에 다른 요인이 영향을 미칠 수 있음을 시사한다. 예를 들어, 초미세먼지가 지속될수록 초미세먼지에 대한 인식이 높아져 회피행동이 강화된 것일 수 있다. 실제로, 고농도 미세먼지가 수일 연속으로 지속되거나 미세먼지 문제가 심각한 시기일 때 미세먼지 관련 언론 보도가 증가하는 것으로 알려져 있다(이준용·김성희, 2018).

넷째, 미세먼지에 대한 회피행동이 취약계층에게 더욱 크게 나타남이 확인되었다. 이는 어린이와 노인 등 미세먼지 취약계층이 미세먼지에 더욱 민감히 반응한다는 객관적 증거로, 미세먼지에 의한 야외활동의 제약이 취약계층에게 더욱 크다는 것을 의미한다(장평린·최막중, 2018). 어린이나 노인의 경우 여가스포츠 활동 시 시설이용과 접근이 편리하며 저렴한 비용으로 이용이 가능한 도시공원 등 야외시설을 이용하는 비용이 높기 때문에(노은이·김선자, 2009), 미세먼지로 인해 공원이용을 제약받을 경우 신체활동이 더욱 크게 감소하여 건강피해가 더욱 심각할 수 있다. 따라서 향후, 미세먼지 농도의 영향을 저감할 수 있는 공간 설계 및 이용, 기술 적용 등에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

본 연구에서는 휴대전화 신호와 토지이용자료를 접목하여, 미세먼지와 도시활동 간의 관계를 다각적으로 탐색하였다는 점에서 차별성과 의의가 있다. 한편으로, 본 연구에는 아래와 같은 한계점이 존재한다. 첫째, 본 연구는 토지이용을 유동인구의 활동 목적으로 가정하여, 해당 활동 목적이 아닌 통행자나 타 활동자 역시 집계된다는 한계가 있다. 둘째, 본 연구는 자료 구득 및 가공의 한계로 다양한 도시 활동이 대표적으로 이루어지는 공간으로 서울의 도심인 서울시 종로구를 연구 대상으로 하여 연구를 진행하였다. 따라서, 종로구 고유의 특성이 본 분석의 결과에 영향을 미칠 수

있음을 간과할 수 없다. 향후 후속 연구에서는 다양한 지역 특성을 포괄하는 보다 넓은 범위를 대상으로 심도 있는 연구를 진행할 필요가 있다.

주

- 1) SKT 스마트셀 유동인구 자료는 SKT 통신횟수(통화, 문자 등) 자료를 50m×50m 단위로 일단위 집계한 성별, 연령별, 시간대별, 요일별 유동인구 모수 추정자료이며, 본 연구를 수행하는 과정에서 3~5월 유동인구 자료의 이상치가 발견되어 서울시 빅데이터 캠퍼스에서 해당 자료의 제공을 중단하였음
- 2) 국토연구원(2014)의 연구에서 적용한 기준과 같이, 셀의 특정 토지이용면적이 셀 면적의 90% 이상인 셀을 특정 도시활동이 집중적으로 이루어지는 지역이라 가정하였음.
- 3) 초미세먼지 농도 등급은 ' 좋음(0~15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)', '보통(16~35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)', '나쁨(36~75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)', '매우 나쁨(76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상)'으로 구분된다.
- 4) 대기오염물질 농도의 최종확정자료는 국립환경과학원이 수도권대기환경청, 한국환경공단이 관할하는 실시간측정자료의 오차를 최소화하여 2달 후에 공개한다.
- 5) 본 연구에서는 각주1에서 명시된 바와 같이 2016년 3~5월의 데이터는 인구 데이터의 기술적 문제로 제외하고 분석하였다.

참고문헌

- 강정희, 2015. “날씨에 따른 생활시간 평균 분석: 여가활동시간을 중심으로”. 통계개발원 연구보고서.
- 국토연구원, 2014. “스마트 셀 기반 활동인구의 공간정책 활용방안”. 국토연구원 연구보고서.
- 기동환·이수기, 2019. “초미세먼지 농도와 지하철 이용량의 관계분석과 미세먼지 대응정책의 실효성 평가”. 「국토계획」, 54(4), pp.79-93.
- 김단야·진은애, 2018. “미세먼지가 서울시민의 행복에 미치는 영향과 가치”. 「국토계획」, 53(4), pp.205-219.
- 김희재·전명진, 2014. “대기오염수준이 수도권 아파트 전세 가격에 미치는 효과에 관한 연구”. 「지역연구」, 30(2), pp.27-48.
- 노은이·김선자, 2009. “서울시 노인 여가스포츠 활성화 방안”. 「서울도시연구」, 10(3), pp.53-68.
- 농촌진흥청, 2019. “농진청, 미세먼지 농도 증가 시 농식품 구매 변화 분석: 대형마트·온라인거래 선호, 외식은 줄고 집밥은 늘다”. 농촌진흥청.
- 문화체육관광부, 2019. “2019 국민 여가활동 조사 보고서”.

- 문화체육관광부 정책보고서.
- 박성경, 2018. “주거·공업 혼재지역의 성격 변화에 따른 성수동 유동인구 특성 분석”. 서울대학교 대학원 박사학위 논문.
- BC카드, 2019. “미세먼지 나빠지자, 실내 카드사용 늘어났다”. 비씨카드 보도자료.
- 서미숙, 2015. “미세먼지 농도가 경제활동시간에 미치는 영향”, 「여성경제연구」, 12(1), 75-100.
- 서울특별시, 2014. “2030 서울생활권계획: 종로구 지역생활권 계획”. 서울특별시.
- 서원석·김리영, 2013. “도시공간구조 유형과 환경요소의 관계에 대한 실증연구”. 「지역연구」, 29(4), pp.3-19.
- 여민주·김용표, 2019. “우리나라 미세먼지 농도 추이와 고농도 발생 현황”, 「한국대기환경학회지」, 35(2), pp.249-264.
- 염영숙·오형나, 2019. “미세먼지 건강위험과 회피행동: 야외여가활동수요 감소를 사례로”. 「한국경제연구」, 67(2), pp.39-70.
- 이양재·고준환, 1996. “서울시 토지이용 정보체계 구축방안 연구”. 서울시정개발연구원.
- 이용관, 2012. “날씨가 시간사용에 미치는 영향에 관한 연구: 1999년, 2004년, 2009년 한국 생활시간조사를 활용해서”. 「경제학연구」, 60(4), pp.75-100.
- 이준영·김성희, 2018. “미세먼지 재해 보도의 프레임 분석: 구조적 주제모형(Structural Topic Modiling)의 적용”. 「한국언론학보」, 62(4), pp.125-158.
- 장진영·최성택·이향숙·김수재·추상호, 2015. 토지이용유형별 보행량 영향 요인 비교 분석-서울시 유동인구 조사자료를 바탕으로. 한국 ITS 학회 논문집, 14(2), pp.39-53.
- 장평린·최막중, 2018. “미세먼지가 옥외 여가활동에 미치는 영향”, 「국토계획」, 53(3), 133-143.
- 정재훈·남진, 2019. “위치기반 빅데이터를 활용한 서울시 활동인구 유형 및 유형별 지역 특성 분석”. 「국토계획」, 54(3), pp.75-90.
- 정해식·강신욱·김동진·김성아, 2018. “삶의 질 개선을 위한 정책과제 개발IV”, 한국보건사회연구원.
- 종로구, 2019. “종로 관광 마스터플랜 수립 연구보고서”. 종로구.
- 질병관리본부(KCDC)·대한의사협회(KMA), 2018. “미세먼지의 건강영향과 환자지도”, 질병관리본부 홍보지.
- 현대경제연구원, 2019. “미세먼지에 대한 국민인식 조사”. 현대경제주평.
- 홍제우·홍진규·김정환, 2019. “조건부 가치 설문조사를 통한 대기 오염에 대한 서울 시민의 의식 변화 조사”, 「한국기상학회 대기」, 29(4), pp.355-365.
- Baranowski, T., Thompson, W.O., Durant, R.H., Baranowski, J., and Puhl, J., 1993. “Observations on physical activity in physical locations: Ager gender, ethnicity, and month effects”. 「Research quarterly for exercise and sport」, 64(2), pp.127-133.
- Batty, M., 2013. “Big data, smart cities and city planning”. 「Dialogues in human geography」, 3(3), pp.274-279.
- Bresnahan, B.W., Dickie, M., Gerking, S., 1997, “Averting behavior and urban air pollution”. 「Land Economics」, 73(3), pp.340-357.
- Gerking, S. and Stanley L., 1986. “An Economic Analysis Of Air Pollution and Health: the Case of ST. LOUIS”, 「The Review of Economics and Statistics」 68(1), pp.115-121.
- Google, 2020, May 1. “COVID-19 Community Mobility Reports” Google Homepage(<https://www.google.com/covid19/mobility/>)
- Guo, S., Yang, G., Pei, T., Ma, T., Song, C., Shu, H. and Du, Y., 2019. “Analysis of factors affecting urban park service area in Beijing: Perspectives from multi-source geographic data”, 「Landscape & Urban Planning」, 181, pp.103-117.
- Hausman, J.A., Ostro, B.D., and Wise, D.A., 1984. “Air pollution and lost work”. 「National Bureau of Economic Research」.
- Jiu, J., Zhang M., 2016. “Daily Consumption Activities of Different Classes Impacted by Smog and Their Constraint”. 「Tropical Geography」 36(2), pp.181-188.
- Kang H.J., Suh, H.D. and Yu, J.M., 2019. “Does Air Pollution Affect Consumption Behavior? Evidence from Korean Retail Sales”. 「Asian Economic Journal」 33(3), pp.235-251.
- Keiser, D., Lade, G. and Rudik, I., 2018. “Air pollution

- and visitation at US national parks”. 『Science advances』, 4(7). DOI: 10.1126/sciadv.aat1613
- Kim Y.D., Myung, W.J., Won, H.H., Shim, S.H., Jeon, H.J., Choi, J.B., Carroll, B.J. and Kim, D.K., 2015. “Association between Air Pollution and Suicide in South Korea: A Nationwide Study”, 『PLoS ONE』 10(2) DOI:10.1371/journal.pone.011792
- Meersman, F., Seynaeve, G., Debusschere, M., Lusyne, P., Dewitte, P., Baeyens, Y. and Noonan, D.S., 2014, “Smoggy Alerts on with a Chance of Altruism: The Effects of Ozon Outdoor Recreation and Driving in Atlanta”. 『Policy Studies Journal』, 42(1), pp.122-145.
- Noonan, D.S., 2014, “Smoggy Alerts on with a Chance of Altruism: The Effects of Ozon Outdoor Recreation and Driving in Atlanta”. 『Policy Studies Journal』, 42(1), pp.122-145.
- Pope C.A. and Dokery, D.W., 2006. “Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect”, 『Journal of the air & waste management association』 56(6), pp.709-742.
- Ríos, S.A. and Muñoz, R., 2017, “Land Use detection with cell phone data using topic models: Case Santiago, Chile. Computers”, 『Environment and Urban Systems』, 61, pp.39-48.
- Sexton, A.L., 2012. “Responses to Air Quality Alerts: Do Americans Spend Less Time Outdoors?”. Ph. D. Dissertation, University of Minnesota.
- Tom Y. Chang, Joshua Graff Zivin, Tal Gross, and Matthew Neidell, 2019. “The Effect of Pollution on Worker Productivity: Evidence from Call Center Workers in China”. 『American Economic Journal: Applied Economics』 11(1), pp.151-172.
- Toole, J.L., Ulm, M., González, M.C., and Bauer, D., 2012. “Inferring land use from mobile phone activity”. In Proceedings of the ACM SIGKDD international workshop on urban computing
- Widhalm, P., Nitsche, N. and Brändie, 2012. “Transport mode detection with realistic smartphone sensor data Proceedings of the 21st International Conference on Pattern Recognition”, Proceedings of the 21st International Conference on Pattern Recognition (ICPR2012), pp.573-576.
- Yan, L., Duarte, F., Wang, D., Zheng, S. and Ratti, C., “Exploring the effect of air pollution on social activity in China using geotagged social media check-in data”, 『Cities』 91, pp.116-125.
- Zheng, S., Zhang, X., Song, Z. and Sun, C., 2016. “Influence of Air Pollution on Urban Residents’s Outdoor Activity: Empirical Study Based on Dining-out Data from the Dianping Webside”, 『Journal of Tshinhua University』 (Science and Technology), 51(1), pp.89-96.
- Zivin, J. and Neidell, M., 2009 “Days of Haze: Environmental Information Disclosure and Intertemporal Avoidance Behavior.” 『Journal of Environmental Economics and Management』, 58, pp.119-128.
- Zivin, J.G., and Neidell, M., 2012. “The impact of pollution on worker productivity”. 『American Economic Review』, 102(7), pp.3652-3673.

계재신청 2021.02.24.

심사일자 2021.03.04.

계재확정 2021.03.20.

주저자: 문형주, 교신저자: 송재민