

서울시 초미세먼지(PM2.5)농도 분석과 대책 연구

발표자: 오장욱

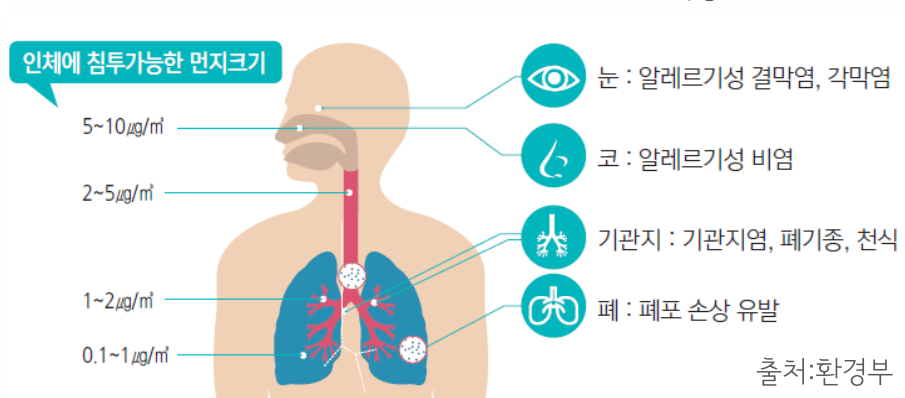
목 차

- ▶ 연구개요
- ▶ 주요 연구목적
- ▶ 연구자료
- ▶ 연구방법
- ▶ 주요 연구결과
- ▶ 결론 및 시사점

연구개요

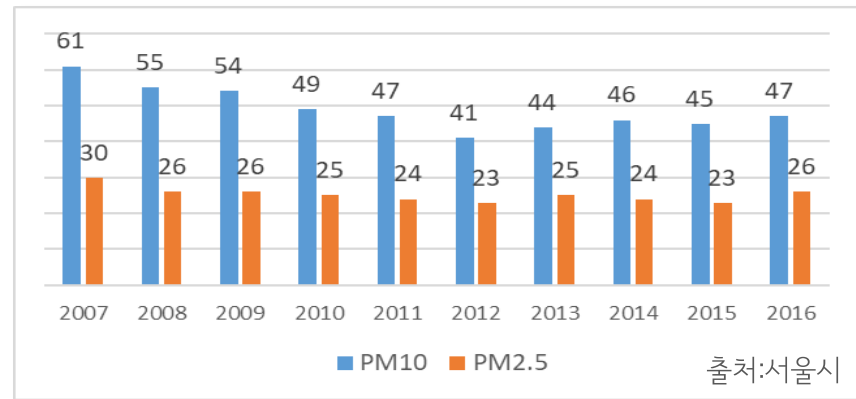
▶ 미세먼지(PM10, PM2.5)의 영향

* μg =마이크로그램



▶ 서울시 미세먼지 농도 변화

단위: $\mu g/m^3$



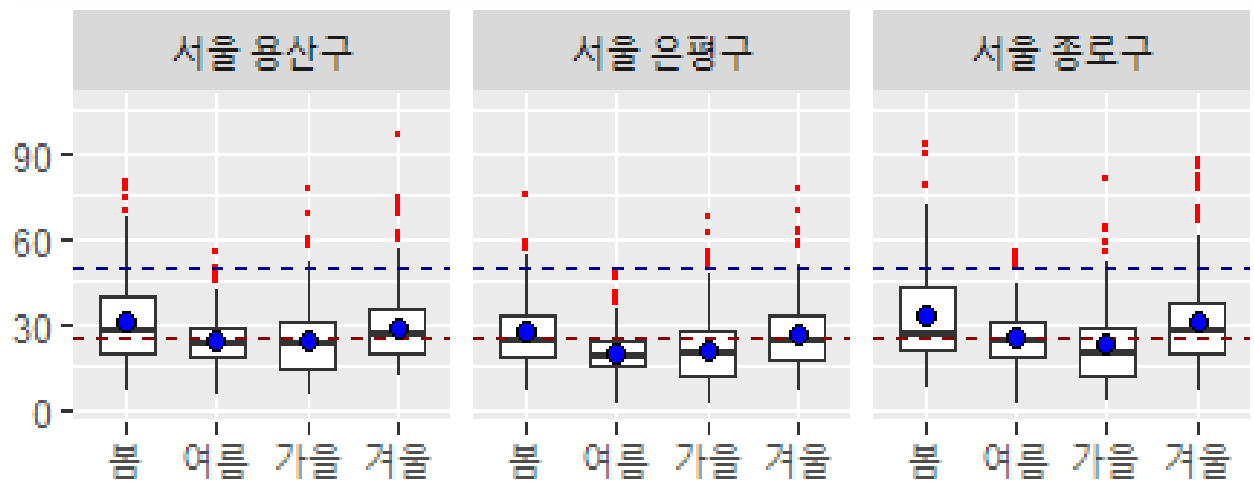
- 미세먼지는 WHO가 지정한 1급 발암물질로써, 미세먼지 입자가 작을수록 인체에 더욱 치명적인 영향을 미침
- 서울시의 PM2.5는 2012년 이후로 개선이 정체
- PM2.5는 2차 생성으로 인한 발생이 매우 큰 물질로써 다른 대기오염물질이나 기상조건 등의 영향이 큼
- 따라서 서울시의 초미세먼지를 개선하기 위해서 대기오염물질 및 기상조건 등을 고려한 종합적인 분석 시행
- 또한, 고농도 장기간 지속을 고려한 PM2.5의 연구의 부재로 이에 대한 연구 진행

주요 연구목적

▶ 극단치분석을 통한 계절별 PM2.5 재현수준 분석과 서울시 초미세먼지 개선

→ 왜 초미세먼지 개선에 극단치이론이 필요한가

- 아래 그림처럼 기준을 초과하는 최대값이나 outlier가 상당히 관찰됨 (외에 타 지역도 유사함)
- 이러한 고농도의 PM2.5를 분석하기 위해서는 최대치 및 Outlier를 잘 설명할 수 있는 극단치이론이 적합함
- 분석결과를 이용하여 고농도 PM2.5의 개선으로 서울시PM2.5의 평균을 낮추는 효과를 기대



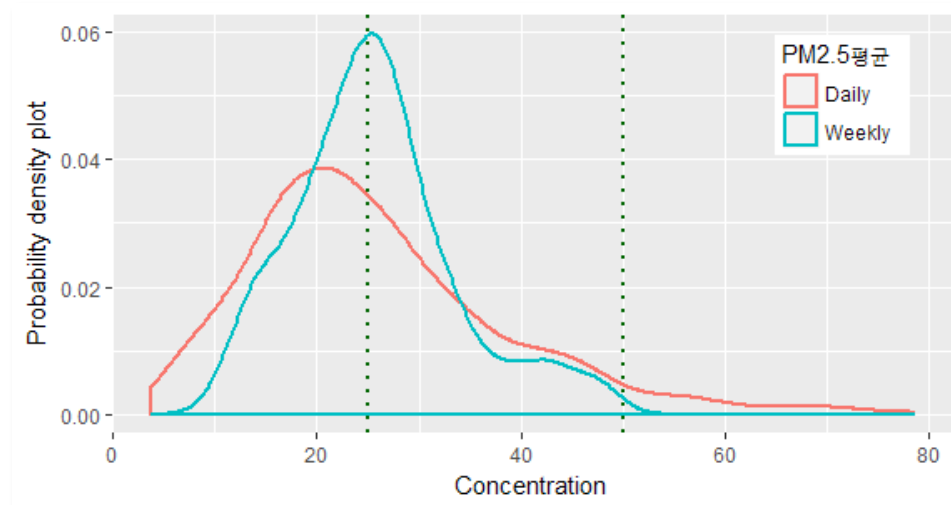
<계절별 초미세먼지 농도 Boxplot>

주요 연구목적

▶ 극단치분석을 통한 계절별 PM2.5 재현수준 분석과 서울시 초미세먼지 개선

→ 일일 평균 초미세먼지 Vs. 주간 평균 초미세먼지

- 주간 평균 데이터를 활용함으로써 PM2.5가 고농도로 장기간 지속되는 것을 반영할 수 있음
- 주간 평균의 경우, 꼬리부분(농도 $40\mu g/m^3$ 부근)에서 매우 급격한 움직임을 보임
- 이는 $40\mu g/m^3$ 이상의 고농도 PM2.5가 지속적으로 유지되는 현상이 발생한다고 볼 수 있음



<일일 평균 및 주간 평균 PM2.5의 밀도그림>

→ PM2.5의 재현수준 결과 및 다른 요인과의 종합적인 해석 진행

주요 연구목적

▶ 녹지(공원) 면적에 따른 초미세먼지 저감 효과 확인

- PM2.5 발생은 여러 대기오염물질 및 기상조건에 크게 영향을 받음
- 녹지(공원)는 복합적인 PM2.5 발생원인을 개선할 수 있는 수단이라 판단
- 따라서 녹지(공원) 규모에 따른 초미세먼지 저감 효과 분석을 진행



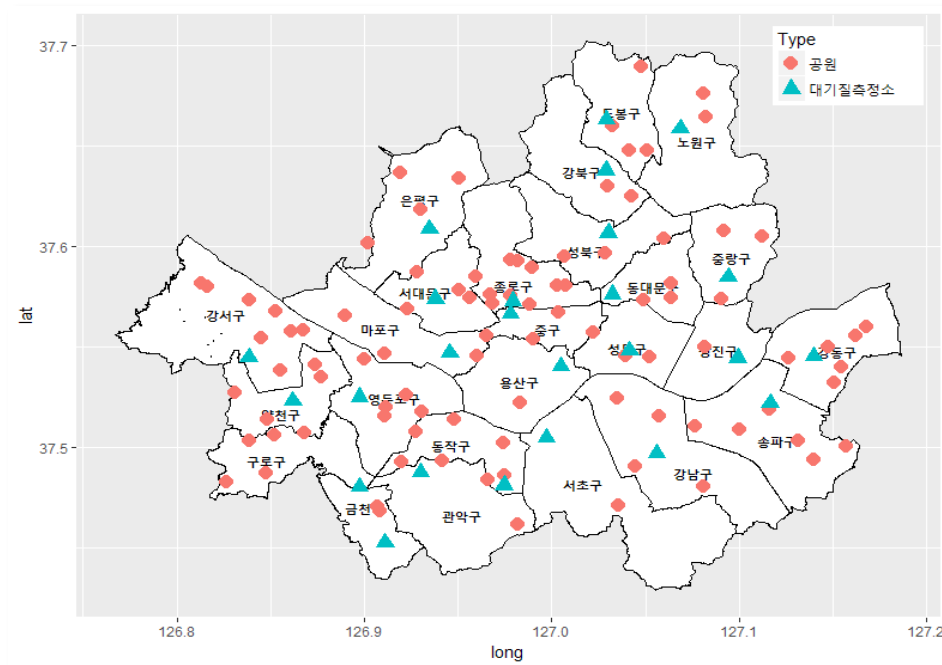
▶ 연구 제한사항

- 본 연구에서는 풍향 및 교통량, 유동인구, 기타 배출원 등의 변수를 반영하지 않았음
- 서울시는 교통량 등에 의한 대기오염물질의 배출량이 많음으로 추후에 이러한 변수들을 포함하는 분석 필요

연구자료

▶ 대기오염 및 기상 데이터

- 서울시의 25개 대기질측정소로부터 시간 단위로 측정된 대기오염자료 활용 (2015.01~2017.03)
(2017년 1분기는 미확정자료)
- 서울시의 25개 AWS로부터 시간 단위로 측정된 기상데이터 활용 (2015.01~2016.12)



<서울시의 주요 공원 및 대기질측정소 위치>

▶ 서울시 공원 데이터

- “서울시 공원통계(서울특별시 푸른도시국 공원녹지정책과)” 및 “서울의 산과 공원(푸른도시국)”의 공개자료 활용

<서울시 행정구역별 공원면적 (2015) >

(단위: m^2)

지역	종로	중구	용산	성동	광진	동대문	중랑	성북	강북	도봉	노원	은평	서대문
면적	11,575	3,133	1,797	3,067	3,396	1,281	5,233	8,393	14,338	10,070	14,163	14,024	5,136
지역	마포	양천	강서	구로	금천	영등포	동작	관악	서초	강남	송파	강동	-
면적	4,404	2,906	4,329	3,156	2,221	3,066	4,595	10,976	15,875	6,422	4,254	3,383	

연구방법

▶ 극단치이론

- 위험을 통계적으로 정확하게 측정하기 위해서는 위험요인(risk factor)의 극단치(extremes)들과 이들이 모여 있는 분포의 꼬리영역에 대해서 관심의 초점 필요하기에 극단치이론 이용

→ 일반화 극단치(GEV) 분포

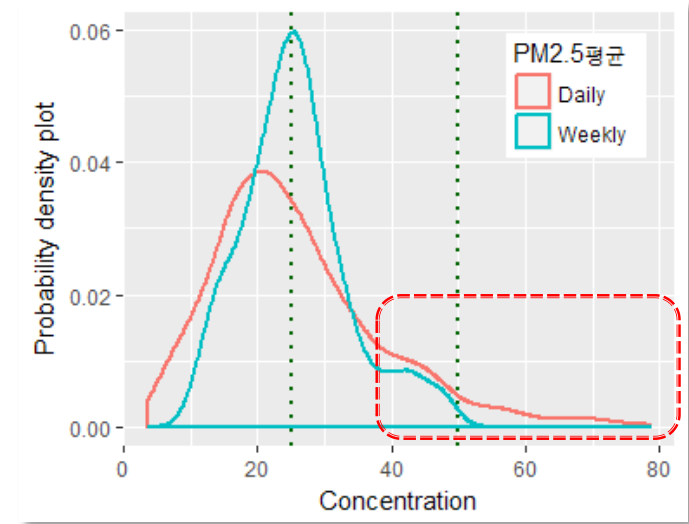
$$F(x) = \begin{cases} \exp\{-[1 + \xi(\frac{x - \mu}{\sigma})]_+^{-1/\xi}\}, & 1 + \xi(\frac{x - \mu}{\sigma}) < 0 \\ \exp[-\exp(\frac{x - \mu}{\sigma})], & \xi = 0 \end{cases}$$

(위치모수(scale): μ , 척도모수(location): σ , 형상모수(shape): ξ)

→ 재현수준(Return Level)

- 극단 사건의 분석에 있어서, **언제 그 사건이 발생하는지(Return Period)**와 **그 사건 얼마나 크게 나타나는지(Return Level)**가 매우 중요. 데이터의 주기(daily, weekly 등)에 따라 p값을 변경함으로써 일정 주기의 재현 수준을 계산할 수 있음

$$x_p = \mu - \frac{\sigma}{\xi} [1 - \{-\log(1 - p)\}^{-\xi}]$$



<서울시 일일 평균 및 주간 평균 PM2.5의 밀도그림>

주요 연구결과

▶ 초미세먼지(PM2.5)와 기상조건과의 상관관계

계절	구분	PM25	평균기온	최저기온	최고기온	일강수량	최대순간풍속	평균풍속
전체	PM25	1	-0.09	-0.1	-0.07	-0.17	-0.17	-0.17

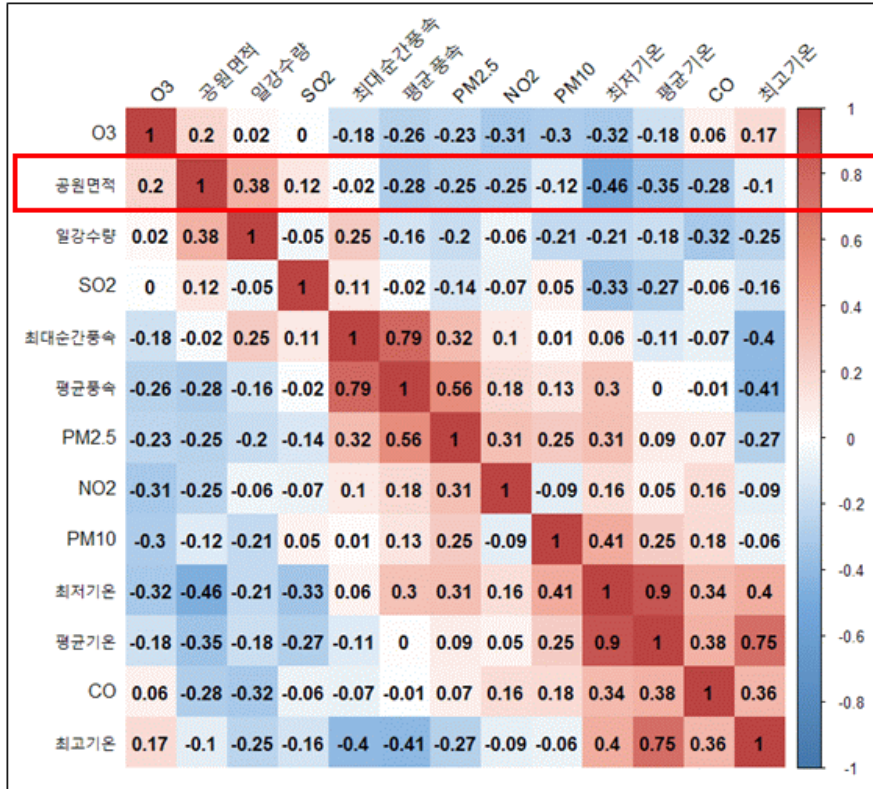
▶ 초미세먼지(PM2.5)와 기상조건과의 상관관계 (계절별)

계절	구분	PM25	평균기온	최저기온	최고기온	일강수량	최대순간풍속	평균풍속
봄	PM25	1	0.079	0.082	0.093	-0.218	-0.207	-0.208
여름	PM25	1	0.299	0.228	0.35	-0.175	-0.091	-0.155
가을	PM25	1	-0.074	-0.085	-0.047	-0.224	-0.301	-0.262
겨울	PM25	1	0.212	0.2	0.205	-0.097	-0.181	-0.149

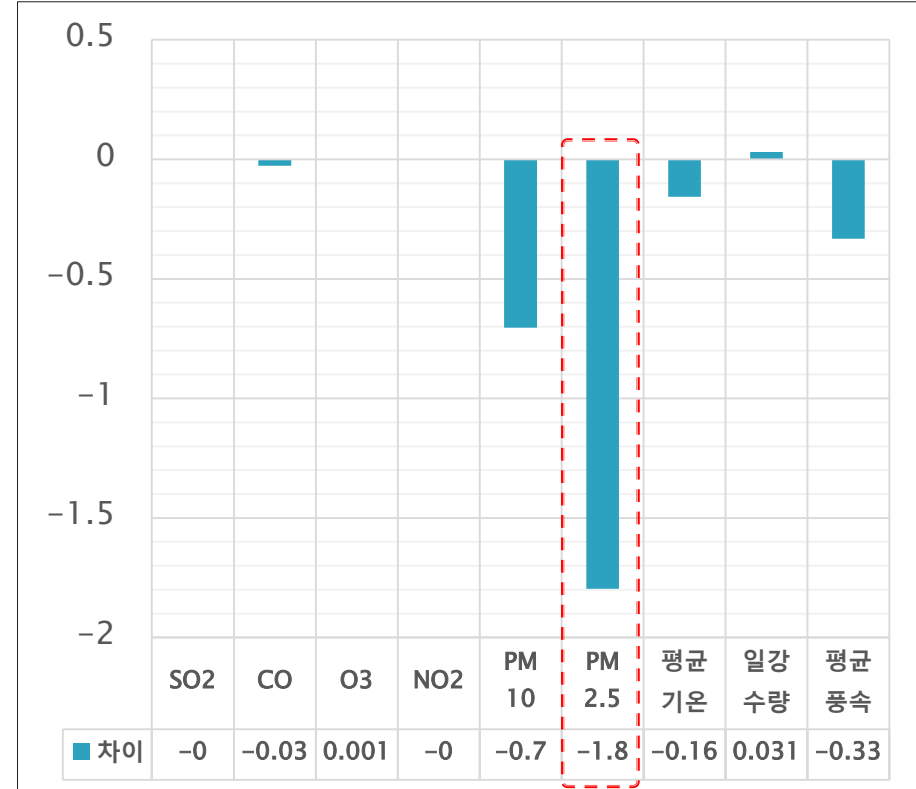
- 전체 기간으로 상관관계를 분석 할 때보다 계절별로 분석을 할 경우에 상관관계가 더 뚜렷하게 나타남

주요 연구결과

▶ 녹지(공원)면적과 대기오염물질 및 기상조건의 상관관계



▶ 공원에 인접한 측정소와 인접하지 않은 측정소의 차이

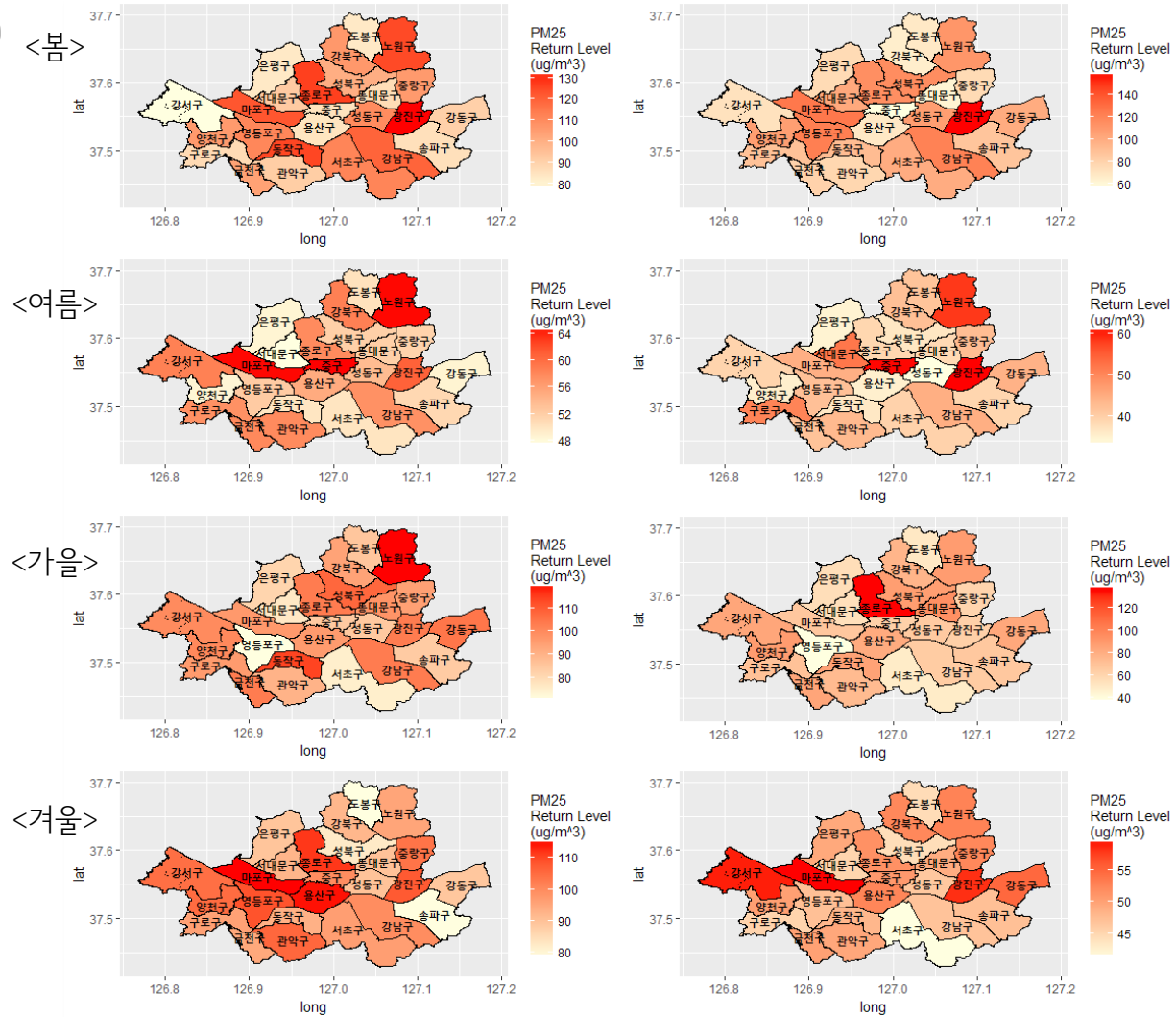


- 녹지(공원) 면적이 증가함에 따라 기온이 강한 음의 상관관계를 보이며, 풍속, PM10, PM2.5, CO, NO2 등이 음의 상관관계를 보임. 또한, PM10(-0.12)보다 PM2.5(-0.25)가 음의 상관관계가 더 크게 나타남
- 특히, 공원에 인접한 측정소의 경우 PM2.5가 약 $1.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도 저감
- 대기오염물질 및 기상상태에 종합적으로 긍정적인 영향을 미침으로써 PM2.5 저감에 효과적인 수단임을 확인 가능

주요 연구결과

▶ 서울시 계절별 1년 주기(Period) 재현수준 지도

- 전반적으로 도봉, 은평구는 비교적 낮은 수준의 PM2.5를 보이고, 마포, 종로, 광진구가 높은 수준을 보임
- 일일 데이터보다 주간 데이터를 활용한 재현수준에서 PM2.5의 농도가 떨어지는 추세이나 반전되는 지역을 확인가능 (광진, 서대문, 종로 등등)
- 해당 지역은 고농도 장기간 PM2.5에 취약한 지역으로 관리가 필요

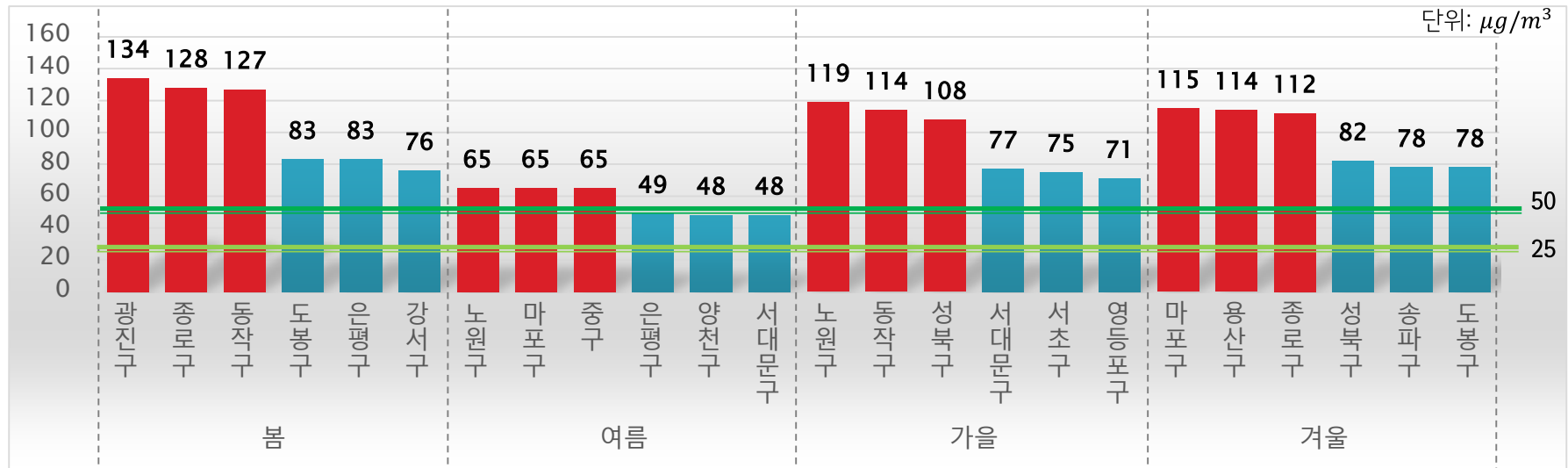


<일일 평균의 PM2.5 재현수준>

<주간 평균의 PM2.5 재현수준>

주요 연구결과

▶ 계절별 1년 주기의 PM2.5 재현수준이 가장 높은 세 지역과 낮은 세 지역 (일일 평균 PM2.5 데이터)



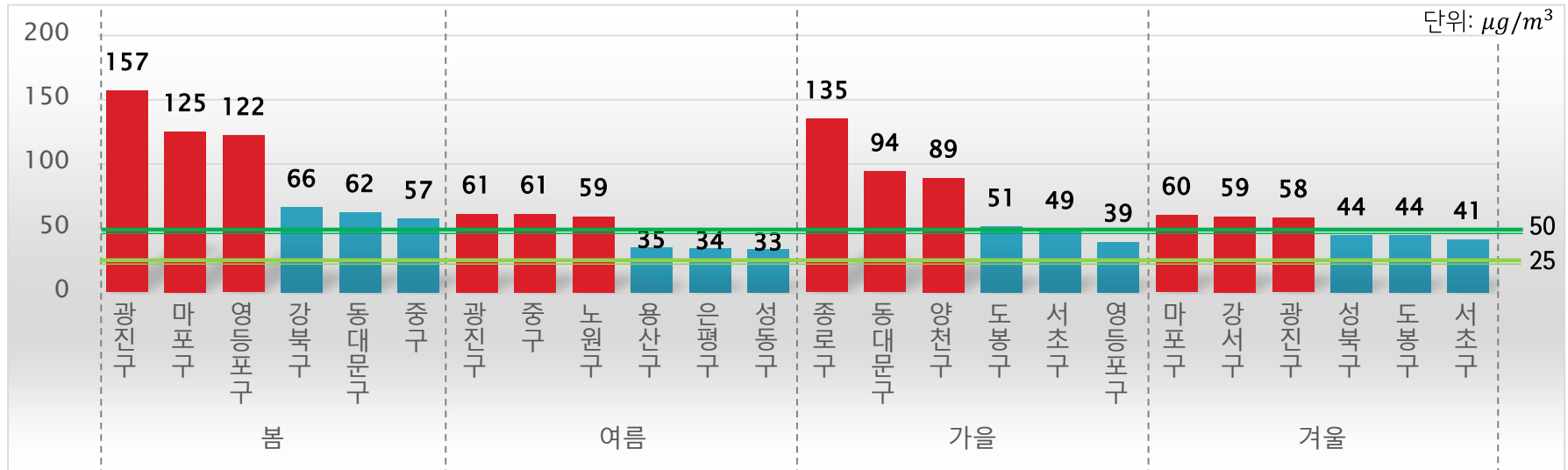
▶ 모든 계절에서 PM2.5의 1년 주기 재현수준은 WHO의 일기준치보다 상당히 높게 나타남

➔ 기준을 초과하는 고농도의 PM2.5가 매 계절마다 발생

- 동작, 마포, 종로, 노원구 등은 여러 계절에서 PM2.5가 취약한 지역
- 광진구는 매 봄마다 $134\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 PM2.5가 발생할 수 있음
- 노원, 마포, 중구는 매 여름에 $65\mu\text{g}/\text{m}^3$, 매 가을에 노원구는 $119\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 고농도 PM2.5가 발생할 수 있음
- 겨울철 마포구는 매 겨울 $115\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 PM2.5가 발생 가능
- 도봉, 은평, 서대문구의 PM2.5는 여러 계절에서 낮은 수준
- 성북구는 가을에는 PM2.5가 상당히 높은 지역이지만, 겨울에는 매우 낮은 지역($78\mu\text{g}/\text{m}^3$)으로 나타남
- 매년 봄에는 강서($76\mu\text{g}/\text{m}^3$), 여름에는 서대문($48\mu\text{g}/\text{m}^3$), 가을에는 영등포($71\mu\text{g}/\text{m}^3$), 겨울에는 송파와 도봉($78\mu\text{g}/\text{m}^3$)이 가장 PM2.5 수준이 낮음

주요 연구결과

▶ 고농도 장기간 PM2.5 노출에 취약한 계절 및 지역 (1년 주기 재현수준)



▶ 매 계절마다 서울 전지역에서 WHO의 일기준치보다 높은 고농도 장기간 PM2.5가 발생하고 있음

- 봄철에 고농도 장기간 PM2.5가 가장 수준이 높게 발생함. 겨울철의 고농도 장기간 PM2.5는 매우 낮은 수준
- 광진구가 대부분 계절에서 고농도 장기간 PM2.5에 취약한 지역이며, 마포구도 봄과 겨울에 고농도 장기간의 PM2.5가 발생하는 지역
- 양천과 강서구는 겨울의 경우 일일 평균으로만 볼 때 가을과 겨울에는 비교적 청정한 지역이지만, 장기간 지속되는 것을 고려하면 봄과 여름에 리스크가 다소 있음

주요 연구결과

▶ 고농도 장기간 PM2.5 노출에 취약한 지역의 특성

*회색 배경: 고농도 장기간 PM2.5가 나타나는 계절

지역	봄	여름	가을	겨울	요약
광진구	<ul style="list-style-type: none"> 평균기온:하 평균풍속:하 공원면적:하 	<ul style="list-style-type: none"> NO2:최하 평균기온:하 공원면적:하 	<ul style="list-style-type: none"> 공원면적:하 	<ul style="list-style-type: none"> PM10:하 평균기온:하 평균풍속:하 공원면적:하 	<ul style="list-style-type: none"> 풍속과 평균기온이 대체적으로 낮은 수준 공원면적이 타지역보다 낮은 수준
	<ul style="list-style-type: none"> SO2:상 	<ul style="list-style-type: none"> - 	<ul style="list-style-type: none"> SO2:상 	<ul style="list-style-type: none"> SO2:상 NO2:상 	
양천구	<ul style="list-style-type: none"> SO2:하 NO2:하 평균기온:하 공원면적:최하 	<ul style="list-style-type: none"> SO2:하 평균기온:최하 공원면적:최하 	<ul style="list-style-type: none"> NO2:최하 PM10:하 평균기온:최하 공원면적:최하 	<ul style="list-style-type: none"> PM10:하 평균기온:하 공원면적:최하 	<ul style="list-style-type: none"> 가을철에 NO2와 평균기온이 최하수준이며 PM10의 수준도 나쁨 여름-겨울에는 PM2.5농도가 다른 지역보다 낮음 공원면적도 다른 지역보다 매우 낮음
	<ul style="list-style-type: none"> PM10:상 	<ul style="list-style-type: none"> - 	<ul style="list-style-type: none"> SO2:상 평균풍속:상 	<ul style="list-style-type: none"> 평균풍속:상 	
노원구	<ul style="list-style-type: none"> SO2:하 	<ul style="list-style-type: none"> SO2:최하 	<ul style="list-style-type: none"> SO2:최하 	<ul style="list-style-type: none"> SO2:최하 	<ul style="list-style-type: none"> 다른 대기오염물질 및 기상조건보다 SO2가 고농도 장기간 PM2.5노출에 영향을 크게 끼치는 것으로 유추할 수 있음 다른 지역보다 SO2가 높은 원인의 진단이 필요
	<ul style="list-style-type: none"> NO2:상 PM10:상 평균기온:상 평균풍속:상 공원면적:상 	<ul style="list-style-type: none"> NO2:상 PM10:상 평균기온:상 평균풍속:상 공원면적:상 	<ul style="list-style-type: none"> NO2:상 PM10:상 평균기온:상 평균풍속:상 공원면적:상 	<ul style="list-style-type: none"> 평균기온:상 평균풍속:상 공원면적:상 	
종로구	<ul style="list-style-type: none"> 평균풍속:최하 	<ul style="list-style-type: none"> SO2:최하 PM10:하 평균풍속:최하 	<ul style="list-style-type: none"> SO2:하 평균풍속:최하 	<ul style="list-style-type: none"> 평균풍속:최하 	<ul style="list-style-type: none"> 가을에 PM2.5수준이 최저수준이고 봄-가을에도 나쁜편. 모든 계절에서 평균풍속이 최하로 나타나는 것이 주된 요인으로 보임 여름-가을에 SO2의 관리가 필요한 지역
	<ul style="list-style-type: none"> 평균기온:상 공원면적:상 	<ul style="list-style-type: none"> 평균기온:상 공원면적:상 	<ul style="list-style-type: none"> PM10:상 평균기온:상 공원면적:상 	<ul style="list-style-type: none"> SO2:상 평균기온:상 공원면적:상 	

결론 및 시사점

- ▶ 서울 지역의 PM2.5를 GEV분포를 통해 계절별로 모델링하여 1년 주기 재현수준 지도 생성
 - 서울 지역 PM2.5의 1년 주기 리스크는 모든 계절에서 아직 높은 수준
 - 그 중 광진구, 동작구, 종로구, 노원구 등의 지역에서 타지역보다 높은 고농도 PM2.5가 발생할 수 있음
 - 도봉, 은평 등은 북한산과 인접한 지역과 서대문구 등은 비교적 낮은 PM2.5수준을 보임
- ▶ 주간 평균 데이터를 이용한 PM2.5 모델링으로, 고농도 장기간 발생에 취약한 지역을 확인
 - 광진, 종로, 마포, 양천, 노원구 등의 지역은 타지역보다 고농도 장기간 PM2.5 발생에 취약함
 - PM2.5의 고농도 장기간 노출은 인체에 더욱 치명적인 영향을 끼칠 수 있으므로, 관리가 우선시되는 지역
- ▶ 모델링된 지역별로 SO₂, NO₂, 풍속, 기온, 공원면적 수준 등의 특성을 함께 분석하여 대책마련에 근거자료로 활용할 수 있도록 함
- ▶ 서울시의 고농도 PM2.5의 개선을 통한 전체적인 PM2.5의 평균을 낮추는 것을 기대

결론 및 시사점

- ▶ 녹지(공원)조성 면적이 PM2.5 저감에 유의한 영향을 미침
 - 녹지 규모에 따라 PM2.5를 비롯한 대기오염물질 및 기상조건 개선에 긍정적인 영향
 - OECD수준의 녹지 조성은 PM2.5 개선에 효과적인 수단이 될 것임
 - 그러나, 노원이나 종로 지역처럼 SO2, 풍속 등의 조건이 매우 열악한 지역은 녹지 면적이 비교적 높더라도 고농도 장기간의 PM2.5가 나타남
 - 따라서 이러한 지역에서 PM2.5저감 효과를 보기 위해서는, 다른 지역의 녹지기준보다도 더욱 녹지를 넓게 형성할 필요가 있다고 사료됨

감사합니다.