

서울시 초미세먼지(PM2.5)농도 분석과 대책 연구

발표자: 오장욱

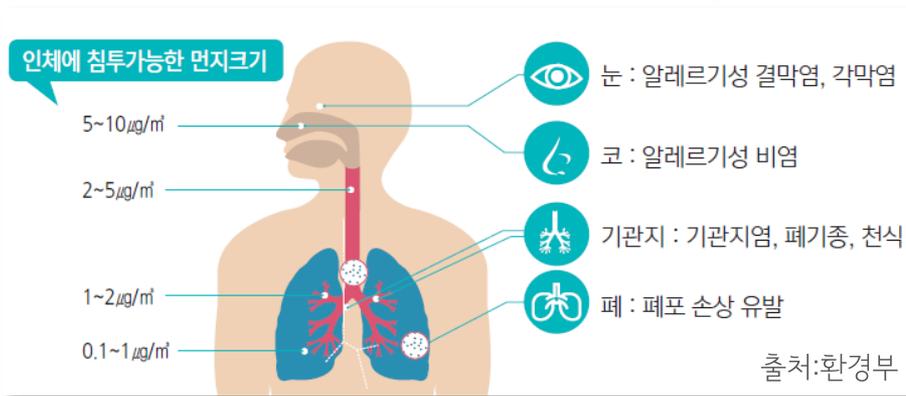
목 차

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

연구개요

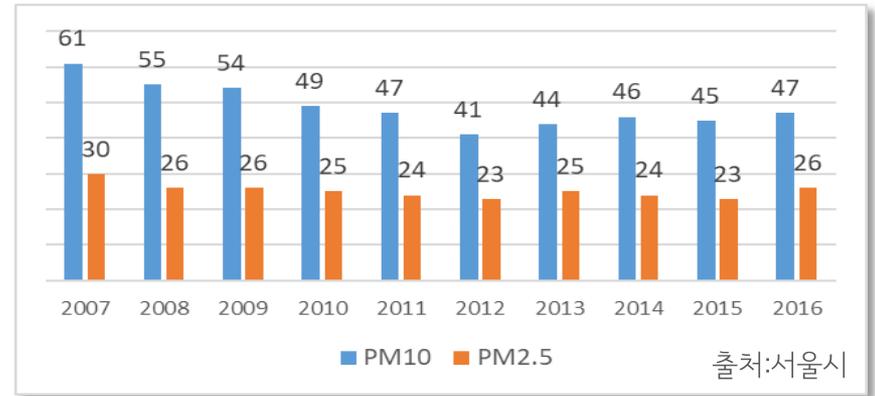
▶ 미세먼지(PM10, PM2.5)의 영향

* μg =마이크로그램



▶ 서울시 미세먼지 농도 변화

단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$



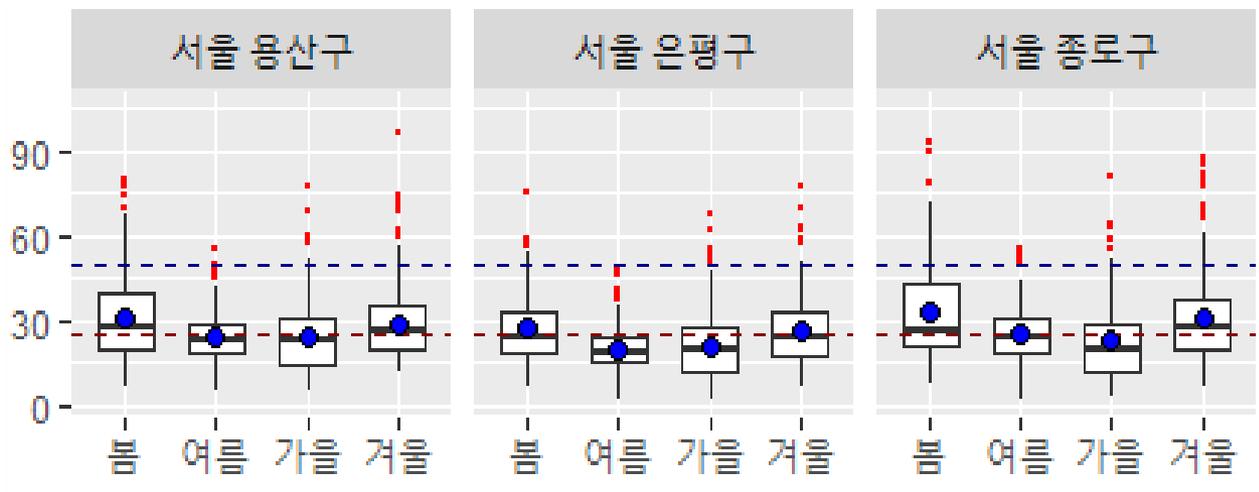
- 미세먼지는 WHO가 지정한 1급 발암물질로서, 미세먼지 입자가 작을수록 인체에 더욱 치명적인 영향을 미침
- 서울시의 PM2.5는 2012년 이후로 개선이 정체
- PM2.5는 2차 생성으로 인한 발생이 매우 큰 물질로서 다른 대기오염물질이나 기상조건 등의 영향이 큼
- 따라서 서울시의 초미세먼지를 개선하기 위해서 대기오염물질 및 기상조건 등을 고려한 종합적인 분석 시행
- 또한, 고농도 장기간 지속을 고려한 PM2.5의 연구의 부재로 이에 대한 연구 진행

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



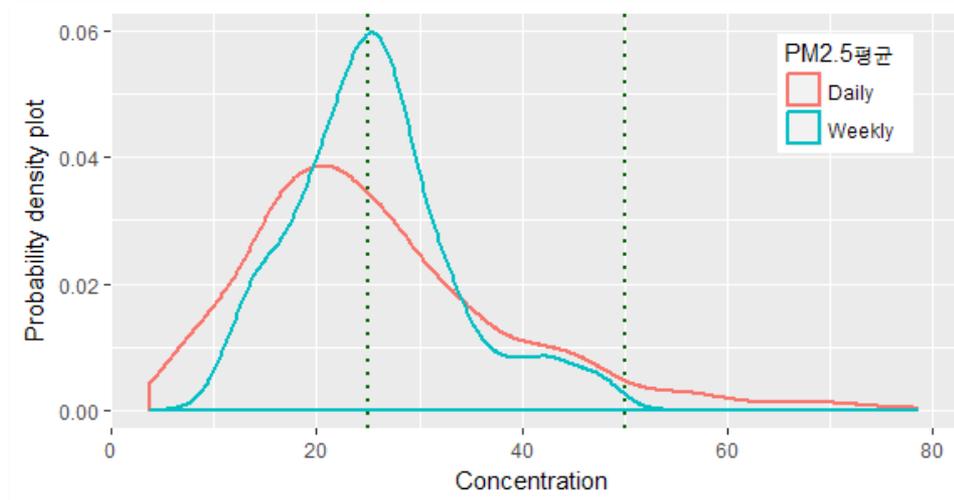
<계절별 초미세먼지 농도 Boxplot>

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 $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ 부근)에서 매우 급격한 움직임을 보임
- 이는 $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 많으므로 추후에 이러한 변수들을 포함하는 분석 필요

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

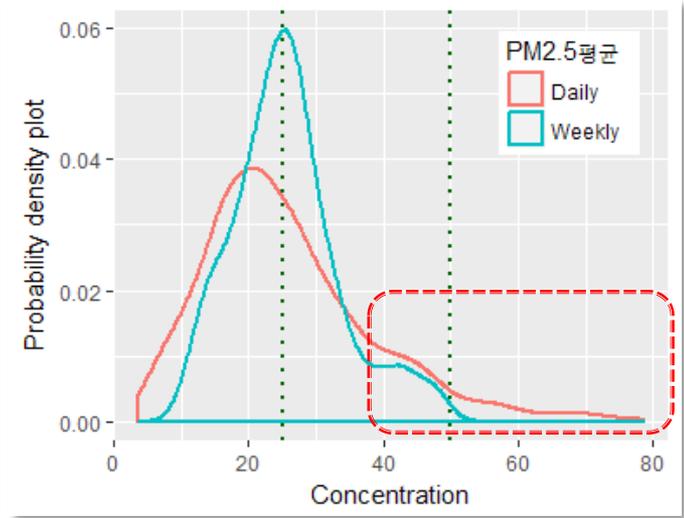
$$F(x) = \begin{cases} \exp\{-[1 + \xi(\frac{x - \mu}{\sigma})]_+^{-1/\xi}\}, & 1 + \xi(\frac{x - \mu}{\sigma}) < 0 \\ \exp[-\exp(\frac{x - \mu}{\sigma})], & \xi = 0 \end{cases}$$

(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 |

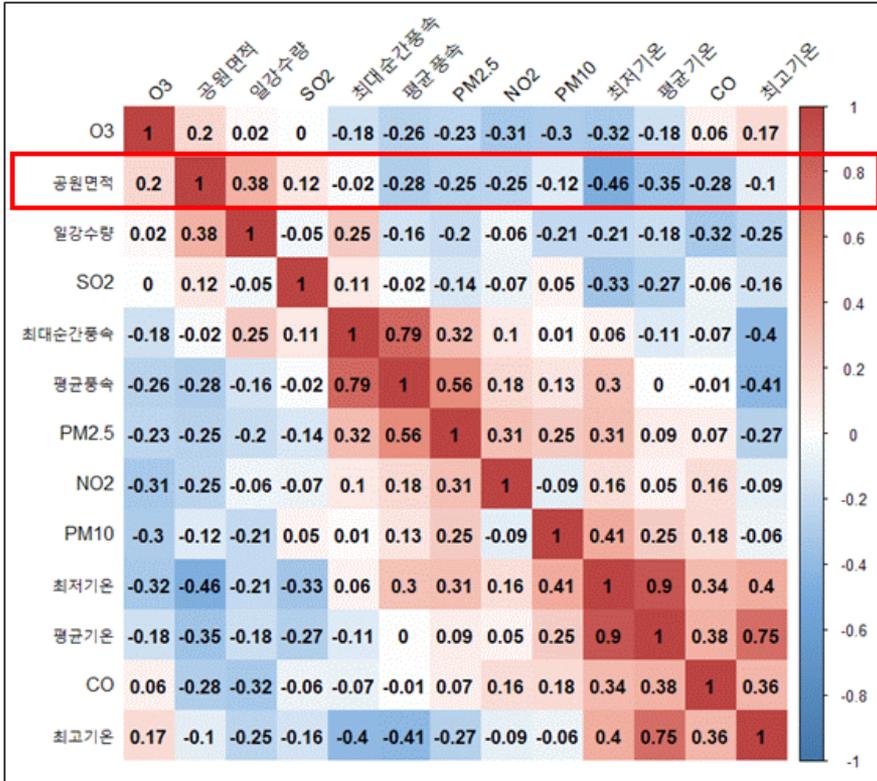
▶ 초미세먼지(PM2.5)와 기상조건과의 상관관계 (계절별)

| 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 |

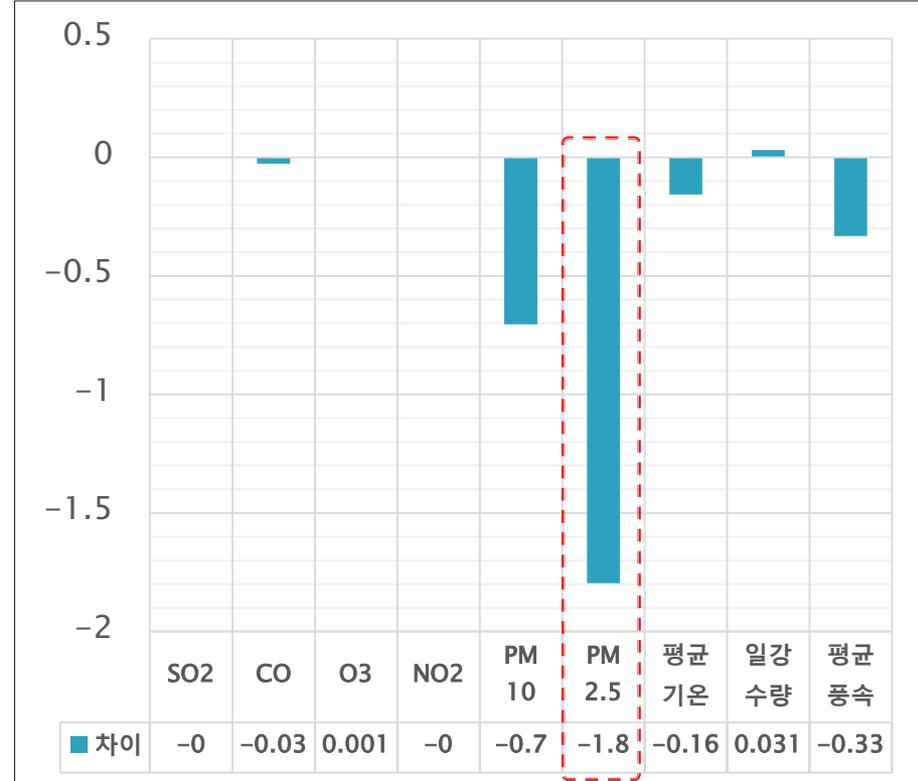
- 전체 기간으로 상관관계를 분석 할 때보다 계절별로 분석을 할 경우에 상관관계가 더 뚜렷하게 나타남

주요 연구결과

녹지(공원)면적과 대기오염물질 및 기상조건의 상관관계



공원에 인접한 측정소와 인접하지 않은 측정소의 차이

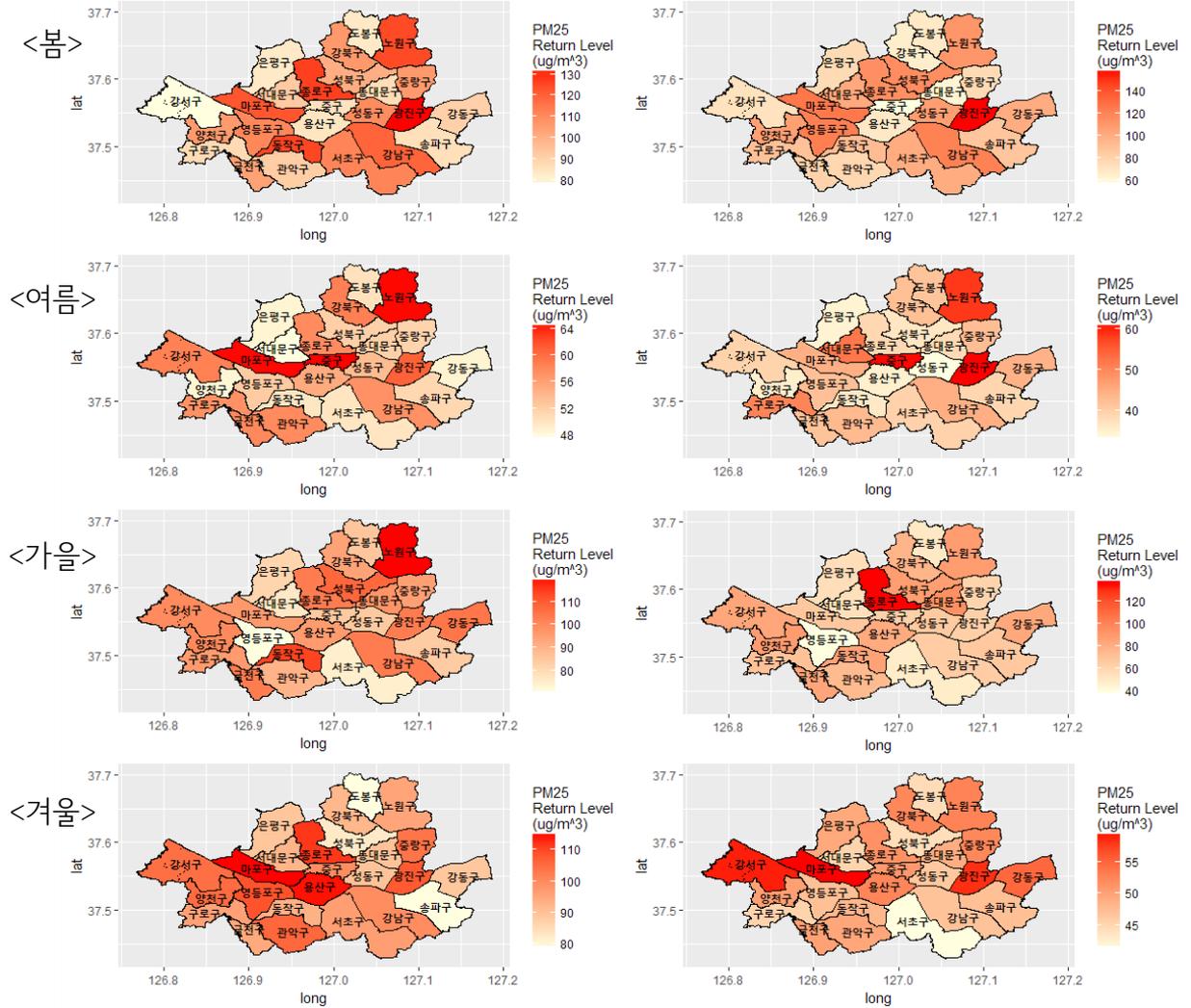


- 녹지(공원) 면적이 증가함에 따라 기온이 강한 음의 상관관계를 보이며, 풍속, PM10, PM2.5, CO, NO2 등이 음의 상관관계를 보임. 또한, PM10(-0.12)보다 PM2.5(-0.25)가 음의 상관관계가 더 크게 나타남
- 특히, 공원에 인접한 측정소의 경우 PM2.5가 약 $1.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도 저감
- 대기오염물질 및 기상상태에 종합적으로 긍정적인 영향을 미침으로써 PM2.5 저감에 효과적인 수단임을 확인 가능

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

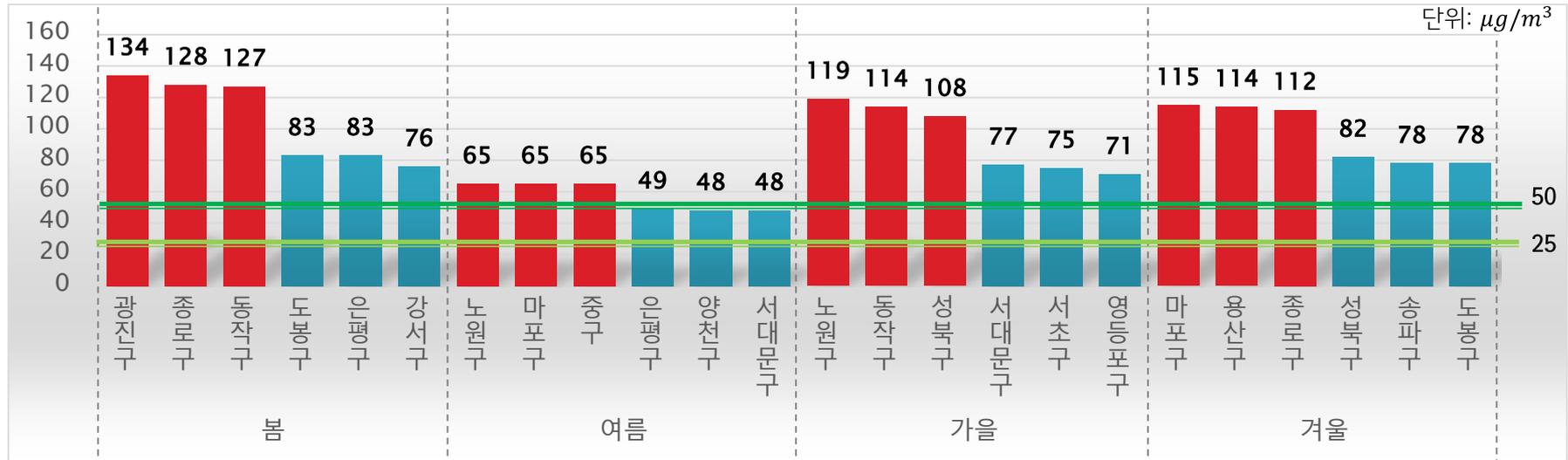


<일일 평균의 PM2.5 재현수준>

<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)



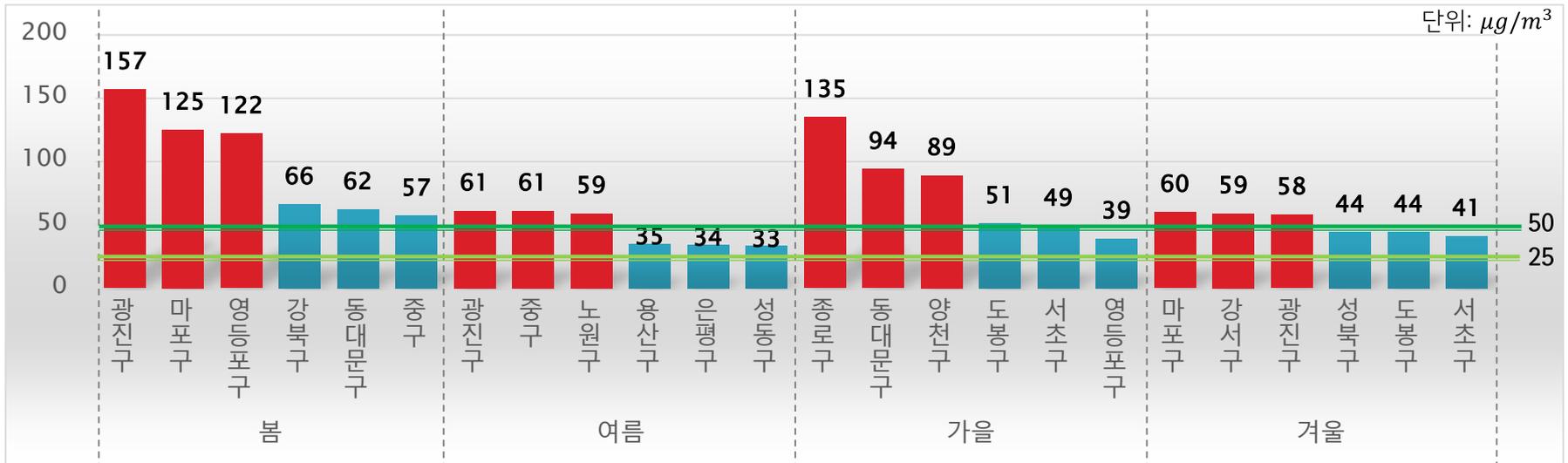
▶ 모든 계절에서 PM2.5의 1년 주기 재현수준은 WHO의 일기준치보다 상당히 높게 나타남

➔ 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 지속 되는 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.