

Research Paper

미세먼지(PM₁₀) 추세를 고려한 환경계획 적용 방향 제안*

윤은주
국토연구원

Application of Environmental Planning Considering the Trend of PM₁₀ in Ambient Air*

Eun Joo Yoon

Korea Research Institute for Human Settlements

요약: 대기 중의 미세먼지(PM₁₀) 농도가 꾸준히 저감되어 왔음에도, 미세먼지관리에 대한 대국민 인식은 악화되었다. 그 이유에는 첫째, 여전히 WHO기준을 상회하는 미세먼지 연평균 농도, 둘째, 환경기준(150 mg/m³) 초과일수의 증가, 셋째, 체계적으로 지역 특성을 고려한 환경계획 수립 미비 등이 있으며, 이러한 현안을 보완하는 것이 시급하다. 특히, 국내 미세먼지의 관리는 배출원 저감에만 집중되어 있기 때문에, 지역별 미세먼지의 발생원인과 현상을 분석하고 차별성, 시급성, 적용 가능성 등을 복합적으로 고려하여 실효성 있는 환경계획을 수립하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 2010년 이후 10년간 전국 69개 도시의 미세먼지의 농도변화 추세와 현재 수준을 고려하여 4가지 유형으로 분류하고, 각 유형별 미세먼지의 관리방향을 제시하였다. 특히 과거 10년 동안 미세먼지 개선정도가 미비하였던 관리유형 Ⅲ(중부 내륙지역에 분포)과 Ⅳ(대도시, 남해·동해에 인접)를 중심으로 그린인프라 확충, 바람길 및 적응대책(노출의 제한) 도입 등의 보완 조치가 우선 필요함을 제안하였다. 본 연구에서는 미세먼지 발생 원인을 함께 고려하지 못하였지만, 과거의 경향에 기초하고 현재의 여건을 고려한 중·장기적 미세먼지 환경관리계획을 수립하는데 필요한 통계적 기법 제시와 방향을 제안하였다는 의의가 있다.

주요어: 미세먼지, K-means 클러스터링, 공간자기상관성, 선형회귀, 그린인프라

Abstract: Even though PM₁₀ in ambient air has been steadily reduced, the perception of it has been deteriorated. For that reason, first, it can still be mentioned the annual average concentration of PM₁₀ exceeding WHO standards, second, an increase in the number of high concentration days of PM₁₀, and third, lack of consideration for differences in causes and phenomena of PM₁₀ by regions. Therefore, this study was aimed to suggest management types for PM₁₀ in ambient air by clustering 69 cities based on the trends and current levels of PM₁₀. In addition, we proposed complementary

* 본 연구는 국토연구원에서 2020년 6월 발간한 워킹페이퍼(working paper) “미세먼지 농도변화 추이를 고려한 지역 유형별 관리 방안”의 연구결과를 재정리 및 보완하여 투고되었습니다. 또한 국토연구원 2020년 기본과제인 “국토공간 유형별 미세먼지 저감방안 연구”의 사전 연구로서, 해당 과제의 예산 지원을 받았습니다.

measures such as the green infrastructure, ventilation corridors and adaptation measures (limit of exposure) for type III (distribution in the central inner region) and IV (metropolitan city, south-east coast region) where improvement of PM₁₀ was insufficient. Although this study did not consider the cause of PM₁₀ together, there is a significance that the scientific basis for responding to the near future is conducted based on past trends of PM₁₀.

Keywords : Particulate Matters, K-means clustering, Spatial autocorrelation, linear regression, Green Infrastructure

I. 서론

미세먼지는 1군 발암물질로서(IRAC 2013) 신체적, 정신적 건강뿐만 아니라 경제에도 부정적 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 전세계 24개국, 652개 도시에서 단기간의 미세먼지 농도가 사망자 수에 영향을 미치고 있음이 밝혀졌으며, 이것은 미세먼지가 ‘좋은’일 때에도 유효하다(KBS 2019). 또한 미세먼지는 우울감, 삶의 질 악화 등 정신적 건강과 관광산업에도 부정적 영향을 미칠 수 있다(Kim & Han 2019). 국내 대기 중 연평균 미세먼지(PM₁₀)의 농도는 2010년 51.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 최근 41.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 꾸준히 개선되어왔음에도 불구하고 미세먼지관리에 대한 대국민 인식은 개선되지 않고 오히려 악화되었다. 미세먼지의 농도는 여전히 WHO기준의 두 배 수준이고, 최근 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 고농도 일수가 증가하였으며(Hyundai Research Institute 2019; Statistics Korea 2018; Korean Statistical Information Service 2020), 미세먼지 관련 뉴스 증가로 인한 위험인식의 확산과 공공기관 제공 정보에 대한 신뢰도 저하(Kim et al. 2020; Choi & Kim 2016), 지역에 따라 다르게 나타나는 미세먼지 원인과 현상에 대한 충분치 않은 고려 때문이다(Sung 2020).

국가 수준에서의 미세먼지 관련 대기환경은 전반적으로 개선되었으나 지역 수준에서의 변화양상은 다르게 나타난다. 같은 수도권이라든가 인천과 서울·경기의 변화 추세가 다르고, 남쪽 지방은 미세먼지가 상대적으로 급감 현상이 나타났다(Yeo & Kim 2019). 이와 같이, 지역별로 다른 미세먼지 추세는 현재 유사한 수준이라든가 미래에는 달라질 가능성, 기존 미

세먼지 대책의 실효성, 추가 보완적 조치에의 필요성 등을 판단하는 기준이 될 수 있다.

그러나 미세먼지 관련 정책과 학술연구에서는 이에 대한 고려가 미흡하였다. 최근 정부는 미세먼지 관리 종합대책(2017), 미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법(2018), 비상·상시 미세먼지 관리 강화대책(2018) 등을 잇달아 발표하며 미세먼지 저감대책을 추진하고 있으나 대부분 직접적 배출원 저감에 집중되어 있다. 반면, 학술연구는 미세먼지 발생원인 분석(Kim et al. 2018; Lim et al. 2017; Park et al. 2017)과 건강에 미치는 영향(Kim et al. 2018b; 2018c; 2018d; 2017), 미세먼지 위험 인식 및 인지에 관한 연구(Choi & Kim 2016; Kim et al. 2015; Kim & Han 2019)가 주로 진행되어 왔다. 일부 연구에서 미세먼지 발생의 공간적 특성 또는 변화 경향을 분석하였으나(Sung 2020; Yeo & Kim 2019), 미세먼지 관리와는 구체적으로 연계되지 않았다는 한계가 있다.

따라서 본 연구에서는 도시별 미세먼지 변화 추세와 최근의 미세먼지 수준 고려하여 군집화하고, 이에 기초하여 관리유형 및 관리 방향을 제안하였다. 본 연구의 결과는 지역맞춤형 미세먼지 저감계획의 수립, 더 나아가 미세먼지에의 적응대책 등을 수립하는데 기초자료로 활용하는 것이 가능할 것으로 사료된다.

II. 연구방법

1. 연구 범위와 연구의 흐름

초미세먼지(PM_{2.5})는 미세먼지(PM₁₀)보다 건강에 대한 위해성이 더 크다고 알려져 있으나, 2015년 이

후부터 대기측정망이 운영됨에 따라 추세분석에 한계가 있었다. 본 연구에서는 공공데이터 ‘미세먼지 월별 도시별 대기오염도’¹⁾의 자료 중에 미세먼지 농도에 한정하여 2010년 1월부터 2019년 6월까지 월평균 자료를 이용하였다. 해당 기간에 월평균 값을 사용할 수 없는 도시를 제외하여 최종 69개 도시를 선정하였으며, 비정기적으로 고장, 교정검사 등으로 월평균 값이 누락된 경우는 도시별 평균값으로 대체하였다.

연구절차는 첫째, 69개 도시에 대해 과거 10년간의 미세먼지 변화추세를 분석하였고, 둘째, 변화추세가 지속된다는 가정 하에 2025년의 미세먼지 수준을 추정하고, 셋째, 미세먼지 변화추세 및 현재 수준을 고려하여 미세먼지 관리 유형분석 순으로 진행하였다 (Figure 1).

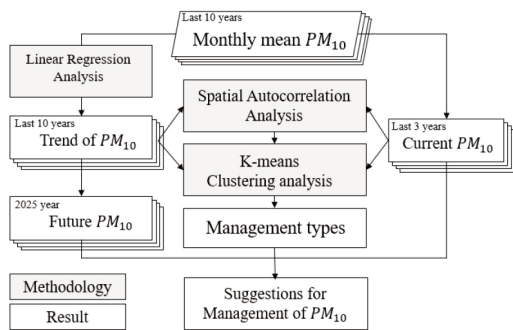


Figure 1. Research flow.

2. 미세먼지 변화추세 분석

미세먼지 변화 추세를 분석하기 위해 선형회귀분석을 적용하였다. 선형회귀모델의 회귀계수 부호와 크기를 이용하면 계절적 변동성에도 불구하고 개략적인 증감 추세를 추출하는 것이 가능하다(Yeo & Kim, 2019; Chu et al. 2019; Pang et al. 2017; Du et al. 2015). 이에 따라 연구의 공간적 범위인 69개 도시별로 시간(월, 연)을 독립변수 X_i , 미세먼지 농도를 종속변수 Y_i 로 하는 선형회귀모델식을 사용하였다(수식 1).

$$Y_i = \alpha + \beta X_i + \epsilon_i; i = 1, 2, \dots, n; \quad (1)$$

현재 미세먼지 수준은 도시별 최근 3년(2017년 7월 ~2019년 6월) 평균값을 이용하였다. 장기적 증감 추

세에도 불구하고 연도별 변동성이 어느 정도 존재하기 때문에 단일 연도를 적용함으로써 발생하는 오류를 제거하고자 하였다. 다음으로 도시별 변화추세가 향후 5년간 지속된다는 가정 하에, 2025년 미세먼지 수준을 추정하였다. 도시별 선형회귀모델의 독립변수에 2025년 1월을 나타내는 값을 적용했을 때의 종속변수 값(미세먼지 추정치)을 이용하였다. 선형회귀모델에서는 계절적 변동성을 모의하지 못하므로 절대적 기준이 아닌 국내 도시 간 상대적 순위에 한정하여 해석하기 위해, 각 시기별(현재, 2025년) 도시를 상대적 ‘ 좋음’, ‘보통’, ‘나쁨’의 3분위로 구분하여 비교하였다. 이상의 통계 분석은 SPSS Statistics 26을, 시각적 표출을 위한 가공은 ArcMap 10.7.1을 이용하였다.

3. 미세먼지 관리 유형 구분

미세먼지 관리를 위한 유형 구분의 사전단계로서, 미세먼지 변화추세 및 현재 수준에 Global Moran’s Index를 적용하여 공간자기상관성(spatial autocorrelation)을 분석하였다. 해당 지수 값이 양수이면서 1에 가까울수록 유사한 특성의 도시가 지리적으로도 밀집하여 분포함을 나타낸다.

다음으로는 k-means 클러스터 분석을 이용하여 69개 도시를 미세먼지의 변화추세와 현재 수준을 기준으로 군집화 하였다. k-means 클러스터 분석은 상대적 구분에 효과적인 비계층적 군집방법으로 알려져 있으며(Janssens et al. 2008; Kwon et al. 2018), 3, 4, 5개 군집으로 구분한 다음 해석의 용이성과 클러스터 내 이격거리를 비교하여 4개 군집을 선택하였다. 분석된 4개 군집은 미세먼지 ‘변화추세’와 ‘현재 수준’의 축으로 형성된 4사분면에 배치하였으며, 가장 긍정적인 사분면(빠르게 감소, 현재 낮은 수준)을 기준으로 반시계 방향으로 유형 I, II, III, IV를 명명하였다. 관리 유형 분류를 위하여 공간분

1) 한국환경공단이 전국 대기질자동측정망에서 수집, 유효성 확인, 1차 확정하고 국립환경과학원이 최종 확정하여 환경부가 ‘대기오염도 현황’을 온/오프라인으로 공개하고 있다. 본 연구자료는 통계청의 국가통계포털(KOSIS, <http://kosis.kr/>)에서 제공하는 공공데이터를 사용하였다.

석 소프트웨어 GeoDa (geodacenter.github.io)를 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 미세먼지 농도 변화추세 분석

국내 69개 도시별 미세먼지의 변화추세를 분석한 결과, 전국수준에서의 미세먼지 연평균 농도는 지속적으로 감소했음에도 불구하고, 지역수준에서는 도시별 감소추세의 차이가 나타났다. 예를 들어 2010년 포천시는 천안시보다 미세먼지 수준이 약 1.5~2배 높았으나, 이후 크게 감소하여 현재에는 유사한 수준

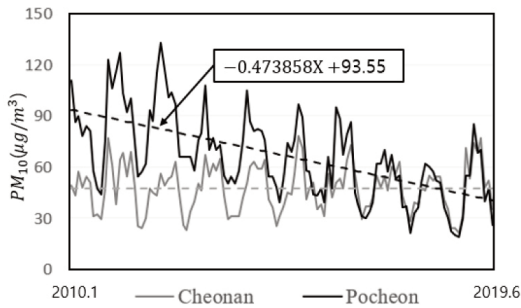


Figure 2. Comparing PM₁₀ concentration trends of Cheonan-si and Pocheon-si.

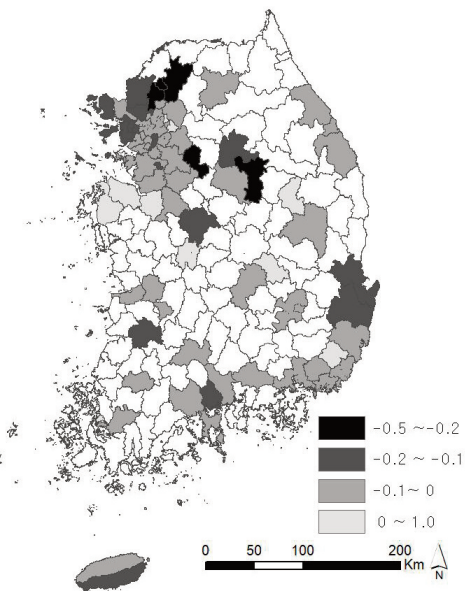


Figure 3. PM₁₀ concentration (β) of 69 cities.

을 보이고 있다(Figure 2). 경기도 양주시, 동두천시, 포천시, 이천시의 미세먼지 수준이 크게 급감하였으나 그 외 54개 도시에서는 미세먼지 감소폭이 크지 않았고, 충청남도 서산시, 아산시, 당진시 등의 11개 도시²⁾는 악화되었다(Figure 3).

도시별로 도출된 회귀식을 이용하여 2025년 미세먼지 수준을 추정한 결과, 26개 도시에서 상대적 순위의 변동³⁾이 있는 것으로 나타났다. 과거 10년의 추세가 지속된다면, 2025년 이후에는 60개 도시의 미세먼지 연평균 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로, 이 중 9개의 도시는 연평균 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 개선될 가능성이 있다. 다만, 실제 월별 수치는 선형회귀식 값을 중심으로 계절적 변동이 나타날 것으로 예상되는 바, 절대적 측면에서의 해석은 제한될 필요가 있다.

2. 미세먼지 관리 유형과 관리방향

1) 미세먼지 관리유형

미세먼지 변화추세 및 현재 수준에 대해 Global Moran's Index 값이 0.330과 0.604로 나타나 공간 자기상관성이 존재하는 것으로 나타났다. 특히, 미세먼지 변화추세보다는 현재 수준의 공간적 분포가 더 균집화 되어 있었다.

다음으로 K-means 클러스터 분석을 이용하여 69개 도시를 A, B, C, D의 4개 군집으로 구분하였을 때 클러스터 내 거리합이 42.12로 클러스터 간 거리합(93.89) 보다 적어 적절히 군집된 것으로 판단되었다. 클러스터별 특성을 각 중심점 기초하여 다음과 같이 해석하였다(Table 1).

Table 1. Values of centered points by clusters

Cluster	Trend (β)	Current level (2016-2019)
A	-0.06	38.57
B	-0.01	49.81
C	-0.11	46.43
D	-0.30	49.17

- 2) 천안시, 구리시, 아산시, 구미시, 영주시, 대전시, 하남시, 목포시, 양산시, 당진시.
- 3) 창원시, 대전시, 천안시, 구미시, 양산시는 '보통'에서 '나쁨'으로, 강릉시, 영암시, 광주광역시, 서산시, 진주시, 목포시는 ' 좋음'에서 '보통'으로 악화될 가능성 있음(상대적 순위).

- A: 약간 개선되었으며 현재 낮은 수준임
- B: 개선 정도가 미비하여 현재 높은 수준임
- C: 다소 개선되었으나 현재 높은 수준임
- D: 크게 개선되었으나 현재 높은 수준임

클러스터 A, B, C, D를 미세먼지 관리 관점에서 미세먼지 변화추세(크게 개선된, 개선이 미비한)와 현재 수준(높은, 낮은)의 축으로 구성된 사분면에 배치하였다(Figure 4). 미세먼지 현재 수준을 기준으로 유형 I과 IV는 긍정적 유형으로, 유형 II와 III은 부정적 유형으로 구분될 수 있으며, 여기에 변화추세를 포함한다면 우선 관리 순위는 '유형 III → 유형 II(C→D) → 유형 IV(A) → 유형 I'이 될 수 있다.

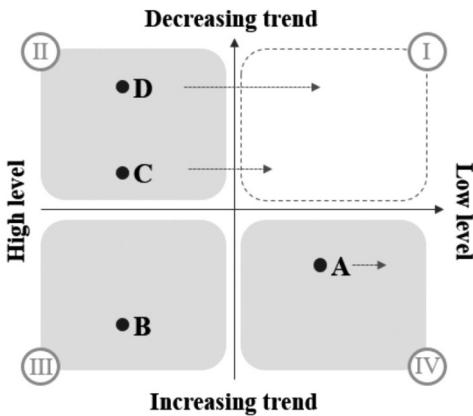


Figure 4. Management types of PM₁₀ (arrow size indicates possibility of moving).

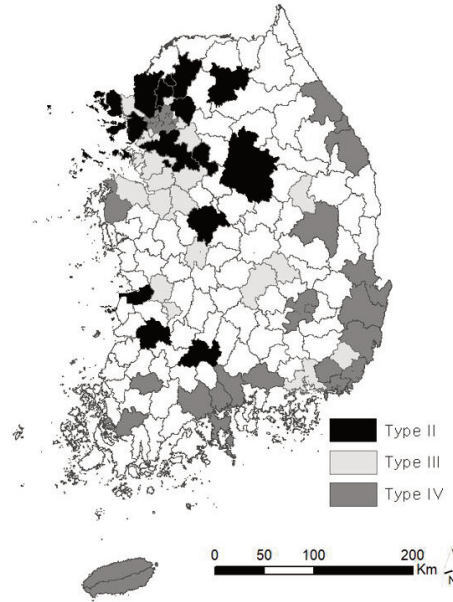


Figure 5. Management types of 69 cities.

유형 II에는 25개의 도시가, 유형 III과 유형 IV에는 각각 22개의 도시가 분류되었으며(Table 2), 각 유형별 특성은 다음과 같다. 개별 클러스터에 대한 해석과는 달리, 관리 유형에서는 미래에 대한 선제적 대응의 관점에서 그 특성을 서술하였다.

- 유형 I : 가장 긍정적인 유형으로 현재 69개 도시 중 여기에 해당하는 도시는 없다.
- 유형 II : 주로 수도권과 일부 내륙지역에 분포

Table 2. Management types of 69 cities

Type	Cities
I	-
II	C Incheon(인천시), Suwon(수원시), Seongnam(성남시), Bucheon(부천시), Ansan(안산시), Goyang(고양시), Gwacheon(과천시), Namyangju(남양주시), Osan(오산시), Gunpo(군포시), Uiwang(의왕시), Yongin(용인시), Paju(파주시), Chuncheon(춘천시), Wonju(원주시), Cheongju(청주시), Chungju(충주시), Checheon(제천시), Gunsan(군산시), Zhengzhou(정읍시), Namwon(남원시)
	D Dongducheon(동두천시), Icheon(이천시), Yangju(양주시), Pocheon(포천시)
III	B Daejeon(대전시), Uijeongbu(의정부시), Anyang(안양시), Gwangmyeong(광명시), Pyeongtaek(평택시), Guri(구리시), Siheung(시흥시), Hanam(하남시), Anseong(안성시), Gimpo(김포시), Hwaseong(화성시), Gwangju(경기광주시), Cheonan(천안시), Asan(아산시), Dangjin(당진시), Jeonju(전주시), Iksan(익산시), Gimcheon(김천시), Gumi(구미시), Yeongju(영주시), Changwon(창원시), Yangsan(양산시)
IV	A Seoul(서울시), Busan(부산시), Daegu(대구시), Gwangju(광주광역시), Ulsan(울산시), Gangneung(강릉시), Donghae(동해시), Samcheok(삼척시), Seosan(서산시), Mokpo(목포시), Yeosu(여수시), Suncheon(순천시), Gwangyang(광양시), Yeongam(영암군), Pohang(포항시), Gyeongju(경주시), Andong(안동시), Jinju(진주시), Gimhae(김해시), Hadong(하동군), Jeju(제주시), Seogwipo(서귀포시)

하며, 현재 미세먼지 수준은 나쁘지만 개선의 가능성이 크기 때문에 잠재적으로는 유형 I로 변화할 수 있다.

- 유형 III: 주로 경기남부와 충남 지역에, 그 외 내륙지역에 산재되어 분포하며, 현재 미세먼지 수준이 나쁜 편이고 추가 개선의 가능성도 낮다.
- 유형 IV: 주로 광역시와 남해 및 동해를 따라 분포하며, 다른 도시보다 미세먼지 수준이 낮은 편이나 추가 개선의 정도는 낮다(Figure 5).

2) 미세먼지 관리방향

국내 미세먼지 저감 정책은 직접적 배출량 감축에 중점을 두었으나, 국외 사례와 미세먼지 관리유형을 종합적으로 고려하였을 때 미세먼지 발생 억제 외에도 발생 후 관리에 해당하는 저감대책, 적응대책 등을 보완적으로 적용할 수 있다. 본 연구에서는 우선 미세먼지 관리에 적용할 수 있는 환경계획으로서 첫째, 미세먼지 배출원 관리에 필요한 환경계획(사전관리, 기존대책), 둘째, 미세먼지 제거에 필요한 환경계획(사후관리)⁴⁾, 셋째, 미세먼지 적응 관련 환경계획(사후관리, 노출의 최소화, 정보제공)⁵⁾으로 구분하였다. 다음으로는 분석된 관리유형 특성에 따라 적합한 환경계획 방향을 발굴하였으며, 일부 구체적 방안을 대입하여 제시하였다. 그동안의 미세먼지 개선정도에 따라 기존 배출원 관리 중심의 환경계획 유지 여부를 결정하고, 미래의 변화양상을 고려하여 기(起) 발생한 미세먼지를 저감하는 환경계획의 단기적·장기적 방향을 제안하였다. 예를 들어, 가까운 미래에 개선될 여지가 크다면 저비용의 단기적 조치를 현재에 집중하는 것이 적합하며, 반대의 경우에는 장기적인 접근방법 역시 중점적으로 고려해야 할 것이다. 그 외에도, 각 관리유형으로 구분된 도시의 특성과 현재 미세먼지 수준 등을 복합적으로 고려함으로써, 미세먼지에서의 적응 등을 위한 환경계획의 필요성 등을 함께 제안하였다.

관리유형별 관리방향 제시와 관련하여, 첫째, 가장 긍정적 유형 I은 현재 작동하고 있는 미세먼지 배출원 관리 중심의 환경계획 방향을 유지할 수 있다.

둘째, 유형 II는 긍정적으로 변화할 가능성이 가장 높으므로 기존의 배출원 관리 중심의 환경계획 방향

을 유지할 수 있다. 그러나 아직은 미세먼지 수준이 '나쁨' 이므로, 발생한 미세먼지를 제거하기 위한 단기적 환경계획 방안을 도입해야 한다(도입과 중단에 설치비용이 적게 드는). 장기적인 환경계획 방안을 도입하고자 한다면 그린인프라 처럼 미세먼지 문제가 해결된 이후에도 복합적 편익을 기대할 수 있는 방안을 중심으로 구성한다.

셋째, 유형 III은 현재의 미세먼지 수준과 개선 가능성을 고려했을 때, 기존의 미세먼지 배출원 관리 중심의 환경계획 방향을 비판적으로 검토하고, 발생한 미세먼지를 제거하는 환경계획 방안을 장 단계적으로 보완하는 것이 시급하다. 더욱이 '나쁨' 수준의 미세먼지가 장기간 지속될 수 있으므로, 미세먼지 집중관리지역과 미세먼지 쉼터를 도입하는 등 적응적 환경계획 역시 함께 고려해야 한다. 또한, 고해상도의 미세먼지 측정망을 구축하여 정보를 제공함으로써 개인의 대응력을 개선하고 미세먼지 발생 현상을 이해하기 위한 데이터를 축적할 필요가 있다. 장기적인 환경계획 방

	Existing Management	Supplementary Management		
		Term	Removal	Adaptation
I				
II		Short		
III	 Insufficient	Short Long		
IV		Long		

Figure 6. PM₁₀ management directions.

4) 미세먼지 발생 후 저감대책은 생태적(그린인프라 및 저영향개발 기반 흡수·흡착), 화학적(CMA, 광촉매 기반 흡착·분해), 물리적(스모그프리타워, 바람길 기반 집진·배출) 기법으로 구분할 수 있다(Park et al. 2019).

5) 적응대책 역시 발생 후 관리대책에 해당하나, 미세먼지를 저감하기보다는 미세먼지에서의 노출을 최소화하거나(미세먼지 쉼터, 실내 공기질 관리 등), 고해상도의 미세먼지 정보를 실시간 제공하여 개인별 적절한 대응을 유도하는 것을 들 수 있다(Kim et al. 2018a).

안으로는 도시 구조적으로 바람길을 조성하여 미세먼지를 신속하게 배출하는 방안도 고려해야 한다.

넷째, 유형 IV는 현재 미세먼지 수준은 낮은 편이나 추가 개선의 여지는 적다는 점, 서울, 부산과 같은 개발밀도가 높고 규모가 큰 광역시가 포함된다든 점 등을 고려하여 기존의 배출원 관리 중심의 환경계획 외에도 장기적 방안을 중점적으로 보완할 필요가 있다. 대도시를 중심으로 벽면녹화, 옥상녹화처럼 구조적 변경 없이 적용 가능한 대책을 순차적으로 도입할 수 있다. 또한 인구의 상당수가 거주하는 지역인 만큼, 미세먼지 측정망 및 정보제공 시스템 구축 시 적용 부문의 높은 효용성이 예상된다(Figure 6).

IV. 결론 및 제언

국민이 체감하는 미세먼지는 발생 현상과 관련 깊고, 미세먼지 발생원인과 현상 간 메커니즘이 정확히 밝혀지지 않은 상황에서 기존의 대책은 원인(배출원 감축)에만 집중되어 왔다. 반면 본 연구는 미세먼지 관리의 관점에서 현상을 중점적으로 다루었기 때문에 기여하는 바가 클 것으로 기대된다. 특히, 본 연구는 도시별 미세먼지 발생 현상과 관리유형을 연계함으로써 지역 맞춤형 미세먼지 관리의 단초를 제공하였다. 연구에서 제안된 유형별 미세먼지 관리방향은 기존의 미세먼지 대책의 효과를 비판적으로 검토하고 향후 미세먼지 문제에 대한 선제적 대응에 활용될 수 있을 것이다. 그러나 국내에서 가장 큰 환경 이슈 중 하나인 미세먼지에 원인에 대한 근본적 해결은 다루고 있지 않으므로 향후 연구에서는 이를 통합적으로 고려한 추가 연구가 필요하다. 또한, 본 연구에서는 관측 자료의 미비로 다루지 못하였으나, 미세먼지(PM₁₀)에 비해 건강 위해성이 더 크고, 발생 메커니즘이 다른 것으로 알려진 초미세먼지(PM_{2.5})에 대한 추가 연구 역시 시급히 요구된다.

References

Chu H, Venevsky S, Wu C, Wang M. 2019. NDVI-based vegetation dynamics and its

response to climate changes at Amur-Heilongjiang River Basin from 1982 to 2015. *Science of the Total Environment* 650: 2051-2062.

Choi C, Kim C. 2016. Path dependency and social amplification of risk in particulate matter air pollution management and its implications. *Journal of the Korean regional development association* 28(5): 89-108. [Korean Literature]

Du J, Shu J, Yin J, Yuan X, Jiaerheng A, Xiong S, He P, Liu W. 2015. Analysis on spatio-temporal trends and drivers in vegetation growth during recent decades in Xinjiang, China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 38: 216-228.

Hyundai Research Institute. 2019. Perception survey of particulate matters. [Korean Literature]

International Agency for Research on Cancer (IARC). 2013. IARC: Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths. Press release.

Janssens W, De Pelsmacker P, Wijnjen K, Van Kenhove P. 2008. *Marketing research with SPSS*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

KBS News. 2019. Is it only fussy when the fine dust is 'bad'?.. there is no 'good' fine dust in the world. November 11. <http://news.kbs.co.kr/news/view.do?ncd=4321057&ref=A>. (Search March 10, 2020). [Korean Literature]

Kim B, Yoon EJ, Kim S, Lee DK. 2020. The effects of risk perceptions related to particulate matter on outdoor activity satisfaction in South Korea. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17: 1613.

Kim JS, Han SH. 2019. The effect of values of nature-based outdoor recreation on environmental policy support through

- particulate matter risk perception and ascription of responsibility: An application of VBN. *International Journal of Tourism and Hospitality Research* 33(3): 5-20. [Korean Literature]
- Kim JG, Kyung DS, Lee SH. 2018a. Methods for making PM free city and case study. DaeJeon: LH Land and Housing Institute. [Korean Literature]
- Kim JY, Kim H, Jung K. 2018b. Association between hourly differences of particulate matters concentration and emergency department visits in Seoul. *Public Health Affairs* 2(1): 57-71. [Korean Literature]
- Kim JY, Kim H, Kweon J. 2018c. Association between hourly differences of Particulate matters concentration and Emergency department visits in Seoul. *Public Health Aff.* 2(1): 57-71.
- Kim TY, Kim H, Yi SM, Cheong JP, Heo J. 2018d. Short-term Effects of Ambient PM_{2.5} and PM_{2.5-10} on Mortality in Major Cities of Korea. *Aerosol and Air Quality Research* 18: 1853-1862.
- Kim OJ, Kim SY, Kim H. 2017. Association between Long-Term Exposure to Particulate Matter Air Pollution and Mortality in a South Korean National Cohort: Comparison across Different Exposure Assessment Approaches. *Int J Environ Res Public Health* 14(10).
- Kim Y, Lee H, Jang Y, Lee H. 2015. How does media construct particulate matter risks?: A news frame and source analysis on particulate matter risks. *Korean Journal of Journalism & Communication Studies* 59(2): 121-154. [Korean Literature]
- Korean Statistical Information Service. 2020. Air pollution stats: particulate matters (PM₁₀) monthly air pollution by city. <http://kosis.kr/index/index.do>. (Search March 5, 2020). [Korean Literature]
- Kwon E, Ahn S, Lee DK, Yoon EJ, Sung SY, Lee K. 2018. Spatial typification based on heat balance for improving thermal environment in Seoul. *Journal of Korea Planning Association* 53(7): 109-126. [Korean Literature]
- Lee S, Yu S, Lee D, Song H, Kim B, Yun D, Kim S. 2015. Assessment for the level of awareness among Korean adults on the characteristics and health risks of PM_{2.5}. *Journal of the Korean Society of Living Environmental System* 22(3): 398-406. [Korean Literature]
- Lim SY, Cho JH. 2017. Comparison of fine dust trends by country and region and policy implications. Sejong: Korea Institute for Industrial Economics and Trade. [Korean Literature]
- Pang G, Wang X, Yang M. 2017. Using the NDVI to identify variations in, and responses of, vegetation to climate change on the Tibetan Plateau from 1982 to 2012. *Quaternary International* 444: 87-96.
- Park JS, Sung S, Yoon EJ. 2020. Can we reduce the city's enemy(敵) Particular matters?. Sejong: Korean Research Institute for Human Settlements(KRIHS) Land Issue Report 11. [Korean Literature]
- Park S, Shin H. 2017. Analysis of the factors influencing PM_{2.5} in Korea: Focusing on seasonal factors. *Journal of Environmental Policy and Administration* 25(1): 227-248. [Korean Literature]
- Sung S. 2020. Environmental planning countermeasures considering spatial distribution and potential factors of particulate matters concentration.

- Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology 23(1): 89-96. [Korean Literature]
- Statistics Korea. 2018. 2018 Social survey results. [Korean Literature]
- Statistics Korea. 2019. Statistical information report on air pollution status. [Korean Literature]
- Yeo MJ, Kim YP. 2019. Trends of the PM₁₀ concentrations and high PM₁₀ concentration cases in Korea. Journal of Korean Society for Atmospheric Environment 35(2): 249-264. [Korean Literature]