

# 도로변 공원의 공간조성유형에 따른 초미세먼지 분포 특성<sup>†</sup>

- 부산시 송상현광장을 사례로 -

안로사\* · 홍석환\*\*

\*부산대학교 대학원 조경학과 석사 · \*\*부산대학교 조경학과 교수

## Characteristics of Particulate Matter 2.5 by Type of Space of Urban Park - Focusing on the Songsanghyeon Plaza in Busan -

Ahn, Rosa\* · Hong, Sukhwan\*\*

\*Graduate Student, Dept. of Landscape Architecture, Pusan National University

\*\*Professor, Dept. of Landscape Architecture, Pusan National University

### ABSTRACT

Roadside pollution has been identified as the main cause of  $PM_{2.5}$  in urban areas. Green infrastructure has been understood to mitigate air pollution from roadside traffic effectively, but complication depend on environmental variables. This study aimed to investigate the characteristic of  $PM_{2.5}$  by the type of space in an urban park located in Songsanghyeon Plaza, surrounded by a 12-lane road on all sides. Type of space was typically classified as roadside square (A), sunken square (B), a mix of trees and hedges/shrubs (C), trees only (D), and grass square (E) according to the land-use type and layers of trees.  $PM_{2.5}$  was measured for nine days, three days for three different Air Quality Forecasts-Good level ( $0\sim15\mu g/m^3$ ), Moderate level ( $16\sim35\mu g/m^3$ ), and Unhealthy level ( $36\sim75\mu g/m^3$ ). The analysis result was as follows. At good levels, there was statistical significance in the order of D, E < B, C < A. In the case of moderate levels and unhealthy levels, D and E were statistically lower than other land-use types. The characteristic of  $PM_{2.5}$  in the urban park by type of space was affected by atmospheric flow into the road. The relatively high concentration of A and C was located near the roads. Although B was far away from the road, the reason for the high concentration of  $PM_{2.5}$  was that no structures blocked the air pollution. Thanks to the type of space C, filtering the air pollution from the roads, the concentration of  $PM_{2.5}$  in D and E was relatively low.

*Key Words: Roadside Pollution, Green Infrastructure, Layers of Trees, Atmospheric Flow*

<sup>†</sup> 이 논문은 한국연구재단에서 지원하는 연구비(NO. 2019R1F1A1053911)에 의하여 연구되었으며, 안로사의 석사학위 논문을 수정·보완하여 작성되었음.

**Corresponding author:** Sukhwan Hong, Professor, Dept. of Landscape Architecture, Pusan National University, Miryang 50463, Korea, Tel.: +82-10-2601-3645, E-mail: hong@pusan.ac.kr

## 국문초록

본 연구는 도심 내 주요 초미세먼지( $PM_{2.5}$ ) 발생원인 도로 인근에 조성된 도시공원을 대상으로 도시공원 내부 공간조성유형에 따라  $PM_{2.5}$ 의 농도변화를 분석하여 특성을 살펴보고자 하였다. 연구대상지는 부산시 진구 도심 내 12차선의 도로 중심부에 광장형 공원형태로 조성된 송상현광장으로 선정하였으며, 공원의 공간조성유형은 토지피복유형과 식생구조에 따라 도로변 광장(A), 선큰광장(B), 도로 경계부 다층식재지(C), 교목 하부(D), 잔디광장(E)으로 총 5가지로 구분하였다.  $PM_{2.5}$ 는 초미세먼지 등급별 국가예보에 따라 좋음일, 보통일, 나쁨일 3일씩 총 9회 측정된 결과를 바탕으로 평균비교 분석을 수행하였다.  $PM_{2.5}$  좋음일 기준으로 송상현광장 내 공간조성유형별 농도는  $D, E < B, C < A$  순으로 통계적 유의성이 있었다.  $PM_{2.5}$  보통일과 나쁨일 기준은  $D, E < A, B, C$  순으로 유의하였다. 공간조성유형별 송상현광장 내  $PM_{2.5}$  농도 특성은 인근 차도로부터 확산되는  $PM_{2.5}$ 의 대기의 흐름의 영향이 큰 것으로 판단되었다. 차도와 15m 거리에 위치해 있는 A와 C의 경우  $PM_{2.5}$  농도가 높았으나, B는 도로로부터 40m 거리에 떨어져 있는  $PM_{2.5}$  농도가 높았다. 이는 B는 외벽구조로 둘러싸여 공간 내부의 공기순환이 느려 상대적으로 대기가 확산되지 못하는 것으로 판단되었다. D와 E의 경우 C의 공간조성유형을 통해 대기의 흐름이 차단된 후 공원 내부에서 대기의 흐름이 원활한 구조여서  $PM_{2.5}$  농도가 상대적으로 낮은 것으로 판단하였다.

주제어: 토지피복유형, 식생구조, 선큰광장, 대기흐름

## 1. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

도심 거주인구가 급격히 늘어나면서, 도시 인구과밀에 따른 환경문제가 심각해지고 있는 실정이다. 국내에서는 2017년을 기준으로 수도권과 대도시에서 거주하는 인구비율이 91.8%에 달하는데(The Government of the Republic of Korea, 2019), 특히 도시민의 호흡기 질환 및 사망률 증가의 주요 원인으로 대기 중 미세먼지(PM, particulate matter)가 거론되면서 심각한 사회재난으로 인식되고 있다(Keeler *et al.*, 2005; Curtis *et al.*, 2006; Evans *et al.*, 2013). 이에 정부에서는 「미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법」을 제정·시행하여 국내 미세먼지를 저감하기 위한 대응체계를 마련하고 여러 정책을 추진하고 있다. 이러한 영향으로 국내 미세먼지 연평균 오염수준은 점진적으로 낮아지고 있는 상황이나, 국민들이 체감하는 국내 미세먼지 상황은 악화되고 있다고 나타내었고(National Assembly Budget Office, 2019), 오히려 국민은 미세먼지로 인해 일상생활에 불편함을 느끼고 있으며 국민불안감이 증가되고 있는 실정이다(Lee and Kim, 2017; Seo and Jo, 2017; Kim, 2020). 이는 정부의 미세먼지 관련 정책이 미세먼지발생원을 제한하는 방향으로 대부분 수행되고 있어, 시민들이 체감할 수 있는 도심 내에서 대기 중에 배출된 미세먼지에 대한 사후관리의 미흡 또한 큰 요인으로 판단되었다. 따라서 도심 내 미세먼지의 잠재영향 요인을 파악하여 그린인프라를 구축한 환경계획적 방안 마련(Sung, 2019)과 관련 정책의 적극적 추진을 통한 시민 인식 개

선 또한 필요하다.

도시 생활권에서 시민활동에 직접적으로 영향을 미치는 주요 미세먼지 중 하나는 도로교통에 의한 미세먼지이다. 도로발생미세먼지는 차량연료연소과정에서 생성되는 배기관 배출입자와 차량주행과정에서 발생하는 입자로 구분할 수 있으며, 차량주행과정에서는 타이어, 브레이크, 도로표면 마모입자와 도로표면에서 재비산된 입자상 물질을 포함하며 차량의 주행으로 인해 쉽게 인근 지역으로 확산이 되는 특성이 있다(Han, 2012). 특히 다른 환경에서 발생하는 미세먼지와 다르게 도로발생미세먼지에는 Pb, Cu, Cd, Zn 등 중금속을 포함하는 2차 생성물질인 초미세먼지( $PM_{2.5}$ )의 비중이 높으며 인체의 호흡기로 흡입될 경우 여러기전으로 통해 호흡기질환과 및 심전질환을 야기한다(Donaldson and MacNee, 2001; Lee *et al.*, 2012; Park *et al.*, 2012). 특히  $PM_{2.5}$ 는 국제암연구소(IARC, International Agency for Reaserch on Cancer)에서 디젤엔진 자동차에서 배출되는 물질과 함께 1군 발암물질로 지정되어 인체에 미치는 끼치는 유해성이 상대적으로 크기 때문에 도심에서 도로변  $PM_{2.5}$ 의 분포패턴 연구는 시민 건강측면에서 매우 중요한 과제라고 할 수 있다.

도심 내 미세먼지를 저감하는데 여러 선행연구에서 녹지가 효과가 있는 것으로 밝혀지면서(Janhäll, 2015; Abhijith *et al.*, 2017; Han *et al.*, 2020), 국내에서는 녹지를 조성하여 미세먼지를 저감하는 정책적 방안들이 최근 실천으로 이어지고 있다. 특히 National Institute of Forest Science(2019)에서는 1ha의 숲이 연간 168kg 정도의 대기오염물질을 흡수할 수 있다고 주장하였으며, 이를 토대로 여러 지자체에서는 대기오염물질 및



미세먼지를 저감하기 위해서 '미세먼지 저감숲'을 조성하는 정책을 실시하고 있다. 하지만 도심 내 대규모의 숲을 조성하고 확장하기에는 도시구조적으로 한계가 있으며, 국립산림과학원에서 제시한 1ha당 168kg/년 기준을 적용하여 2017년 서울시 대기오염물질 배출량 대비 도시공원의 녹지가 흡수하는 대기오염물질량을 산정한 결과, 녹지에서의 대기오염물질저감률은  $PM_{2.5}$ 를 기준으로 0.02%에 불과한 것으로 확인되어 녹지조성을 통한 미세먼지 저감은 매우 미미한 것으로 판단되었다(Kim, 2021). 녹지가 미세먼지를 저감하는데 효과가 있다고 규명된 연구들은 주로 환경요인이 통제된 실험환경에서 수행되었으며, 실질적으로 도시 그린인프라가 미세먼지를 저감하는 효과를 규명하기 위해서 실제 현장을 대상으로 측정하여 연구할 필요성이 있다고 판단하였다. 또한 도시 내에 부분별하게 녹지를 확장하기보다, 기존에 조성되어 있는 그린인프라를 대상으로 실질적으로 미세먼지를 저감하는 효과가 있는지 규명할 필요가 있었다. 아울러 녹지면적 총량의 저감효과보다도 도시환경에서 생활하고 있는 도시민에게 미세먼지의 영향이 최소화 될 수 있도록, 도시민이 이용하는 공간을 대상으로 미세먼지 분포 특성을 확인하고 도시민에게 어떠한 영향을 미치는지 고민해야 할 필요가 있다.

여러 선행연구에서는 도심의 주요 그린인프라인 가로녹지와 도시공원을 대상으로 미세먼지를 저감하는 효과가 있는지 규명하였다. 가로녹지와 인근 지역을 대상으로 실측한 대부분의 연구에서는 가로녹지에 식재된 식재구조를 변수로 설정하여 녹량, 식생밀도, 높이에 따라서 저감율이 다른 것을 확인하였다. 도시공원을 대상으로는 Brimblecombe and Xing(2019)의 연구에서 시뮬레이션 기법으로 도시 전체의 대기 흐름관계에서 미세먼지 저감효과를 규명하였다. 도시 전체의 대기흐름관계에서는 도시공원이 미세먼지를 저감하는데 효과가 미미한 것으로 판단되었다. 도시공원 내에서 실측하여 미세먼지 저감효과를 규명한 연구도 있는데, Koo(2019)는 공원의 중앙부와 공원의 입구에서 미세먼지를 측정하여 비교한 결과  $PM_{2.5}$ 가 17.65% 낮은 것을 확인하였다. 하지만 공원 내부는 단순히 녹지만으로 구성되어 있는게 아니라, 다양한 형태의 식재구조 및 바닥포장 등 공간조성유형으로 이루어져있기 때문에 세부유형으로 구분하여 초미세먼지의 분포특성을 확인할 필요가 있다.

선행연구에서는 실제 도시민이 활동하는 공간을 대상으로 미세먼지 농도 특성을 규명한 연구가 부족하였으며, 실질적으로 도시환경 개선 측면에서 도시공원을 대상으로 연구의 규모를 넓혀 시민들의 활동영역에 어떠한 영향을 미치는지 확인할 필요가 있었다. 따라서, 이러한 선행연구를 바탕으로 본 연구에서도 초미세먼지의 분포 특성을 파악할 때 식재구조에 따라 공간조성유형을 구분하여 초미세먼지의 농도를 측정하는 것으로 실험을 설계하였다. 또한, 현장에서 실측하는 연구의 경우 외부

환경적요인을 배제할 수 없기 때문에 대상지 선정 시 최대한 초미세먼지의 영향권 인근의 도시공원을 선정하여 연구를 수행하였다. 본 연구에서는  $PM_{2.5}$ 의 발생원인 도로변 인근에 조성된 도시공원을 대상으로 공원 내 공간조성유형에 따라  $PM_{2.5}$ 의 농도 분포 변화와 관련성이 있는지 규명하고자 하였다.

## 2. 선행연구 고찰

도심의 주요 미세먼지배출원인 도로 인근을 대상으로 녹지와 미세먼지 분포특성을 검증한 연구는 다음과 같다. 완충녹지의 구조, 녹량, 식재유형을 구분하여 도로 인근, 보도, 녹지, 주거지에서  $PM_{2.5}$ 를 측정하여 농도차이를 비교한 연구에서는 녹량이 높을수록  $PM_{2.5}$  저감률이 높았으며, 식재구조에 따른 녹피율과 녹지용적계수의 영향과 관목의 녹피율 농도차이를 주요 요인으로 파악하였다(Hwang *et al.*, 2018). 이와 비슷한 연구로 Kumar and Abhijith(2019)는 도로변의 완충녹지를 관목, 교목, 다층식재지로 구분하여 미세먼지를 포함한 대기오염물질의 저감정도를 비교하기 위해 완충녹지의 전·후면을 현장측정 하였을 때 관목에서 모든 대기오염물질의 저감율이 가장 높은 것을 확인하였으며 식생밀도와 높이에 따라 저감율에 유의미한 영향을 주는 것으로 판단하였다.

하지만, 앞선 선행연구결과와 대조적으로 완충녹지를 조성하지 않는 것이 대기 중 미세먼지를 저감하는데 효과적이라는 결론을 내린 연구결과도 있었다. Hong *et al.*(2018)은 완충녹지 조성유무에 따라 도로변 일대 완충녹지, 보도, 오픈스페이스의 미세먼지농도를 현장 측정한 연구에서 완충녹지조성지역이 미조성지역에 비해  $PM_{10}$ 과  $PM_{2.5}$ 의 농도가 더 높은 것으로 확인하였는데, 이는 완충녹지가 도로에서 유입된 대기오염물질의 대기흐름을 차단하여 다른 지역으로 확산되지 못하고 인근지역 내에 계속 체류하여 농도가 높은 것으로 주장하였다. 미세먼지농도는 지역, 배출요인과 외부 인위적 영향, 기상조건에 따라 다르게 나타나기 때문에(Yeo and Kim, 2020), 상반된 결과의 선행연구는 지역에 따른 특성과 기상요인, 외부 영향을 고려할 필요가 있다는 점을 시사하는 것으로 고찰되었다. 따라서 연구대상지에서 미세먼지를 현장 실측할 경우 대상지마다 상이한 결과를 나타낼 가능성이 있기 때문에 다양한 지역과 변수를 설정하여 지역에 따른 미세먼지 변동특성을 파악하여 다양한 정보를 수집·구축하는 것이 선행되어야 할 것으로 판단되었다. 또한, 앞서 수행된 선행연구들은 도로와 도보의 경계사이의 완충녹지를 대상으로 수행된 연구로서, 입경이 작은  $PM_{2.5}$ 처럼 인근 지역으로 쉽게 확산되는 특성을 고려하여 연구규모의 범위를 넓혀 시민들의 생활권 영역까지 어떠한 영향을 미치는지에 관해서는 긍정적인 답을 얻기가 어려운 측면이 있어 관련 연구의 필요성이 도시환경 개선 측면에서 필요한 것

로 판단되었다.

기상요인과 미세먼지의 상관성을 밝힌 연구에서는 부산을 대상으로 기온과 운량과 미세먼지농도는 양의 상관관계가 있었으며, 풍속과 상대습도와는 음의 상관관계가 있는 것으로 분석되었다(Jeon and Hwang, 2010). 미기후와 관련하여 미세먼지 변화요인으로 풍속과 통계적 관련성이 높은 이유는 풍속이 높을수록 대기의 순환에 의해 먼지의 확산이 잘되기 때문이라고 다수의 연구에서 주장하였다(Chae, 2009; Park, 2017; Choi *et al.*, 2019). 이는 본 연구에서 부산시 진구에서 수행된 본 연구의 PM<sub>2.5</sub>수치를 설명해줄 수 있는 기상요인이 되는 것으로 고찰되었다.

완충녹지보다 범위가 넓은 도심 내 시민들이 주로 이용하는 그린인프라인 도시공원과 미세먼지의 관계성을 규명한 연구로 Brimblecombe and Xing(2019)은 여러 선행연구결과에서 도출된 실측데이터를 시뮬레이션기법을 사용하여 도시 전체의 대기오염물질의 침강·확산의 관점에서 분석한 바 있다. 연구결과, 도시공원과 같은 식재지역에서는 미식재지역보다 미세먼지의 확산을 차단하고 침강시키는 역할을 한다고 주장하였다. 하지만 도시 전체의 대기질을 개선하는데 도시공원이 대기오염물질을 저감하는 효율은 적은 것으로 주장하였다. 이는 녹지로 이루어진 도시공원이 도로와 도시공원의 접경지에서 대기흐름의 방향을 바꾸는 역할을 하는 것으로 밝혀져 그린인프라 시설은 도시 환경 내에서 토지피복패턴이 달라 대기흐름에도 영향을 주는 것으로 판단되었다. 이러한 결과는 실측데이터를 기반으로 시뮬레이션분석을 한 연구로 실제로 도로 주변부에 조성되어 있는 도시공원을 대상으로 실측을 통해 검증할 필요성이 있었다. 도시공원을 대상으로 미세먼지를 실측하여 수행한 연구로는 Koo(2019)가 대구의 도시근린공원을 대상으로 공원입구와 공원 내부를 3일 동안 연속측정하여 미세먼지저감율과 공간차폐율의 상관성에 대해 분석하였으며, PM<sub>2.5</sub>의 경우 공원입구에 비해 중심부에서 저감율 17.65%인 것으로 확인되었다. 하지만 공원 내에는 다양한 수목 구조와 토지피복으로 구성되어 있어 세부적으로 공원 중심부를 구분하여 실제로 공원이용객들에게 미치는 영향을 파악할 필요가 있었다.

선행연구에서는 변수에 따라 녹지가 미세먼지 분포특성에 영향을 준다는 것을 증명하고 있었다. 또한, 공간의 범위에 따라 가로녹지, 도시공원, 도시 전체 대기에 따라서 미세먼지 분포도 다르게 나타나는 것으로 확인되었다. 미세먼지의 분포 특성은 단일 변수에 의한 요인이 아니라 녹지, 기상조건, 차량 및 보행자와 같이 외부 요인에 따라 결과가 달랐다. 하지만 실제 도시민들이 이용하는 공간에서 미세먼지의 농도 분포가 어떠한지 규명한 연구는 거의 찾아볼 수 없었다. 따라서 본 연구에서는 송상현광장을 사례로 공원 내 공간구성유형별로 미세먼지 분포특성을 밝혀 이용객에게 미세먼지의 영향이 최소화되는 관점에서 살펴보고자 하였다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상지

연구대상지는 부산 도심 중앙부 진구에 조성된 도시공원인 송상현광장으로 선정하였다. 부산시 차량교통량(City of Busan, 2021)에 따르면 2019년 부산 전체 차량교통량 936,954대 중 46%인 432,582대가 진구 도시에 있는 것을 확인할 수 있었다. 송상현광장은 부산 진구 중앙부의 차량 교통량이 높은 송공삼거리와 삼전교차로 사이에 조성되어있으며, 12차선의 도로로 공원의 사면이 둘러싸여 있어 동측은 전포대로, 서측은 중앙대로, 남측은 시민공원로가 위치하고 있다(Figure 1 참조). 사면이 도로로 위요된 송상현광장의 구조는 도로를 지나는 차량으

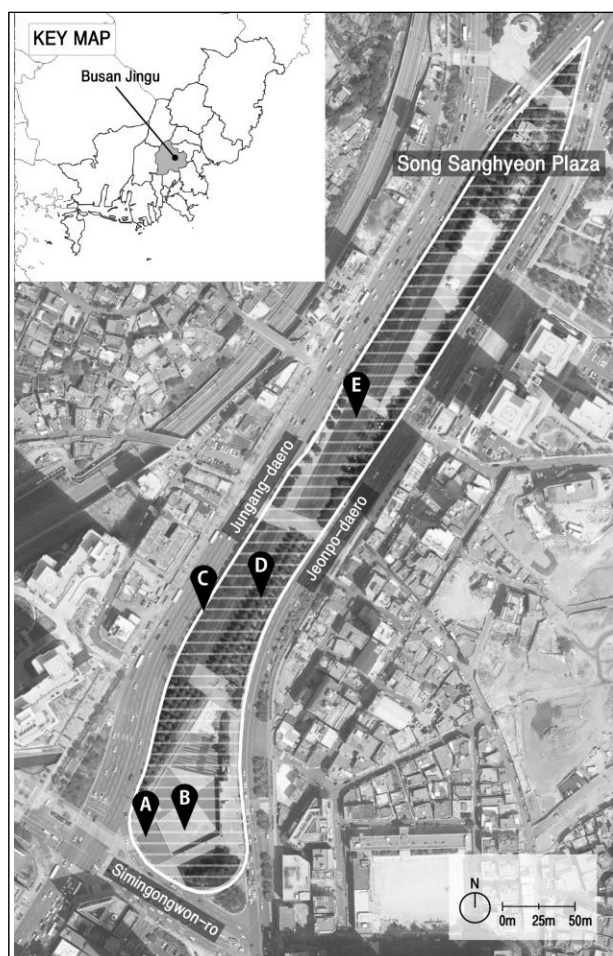


Figure 1. Site map and survey plot of Songsanghyeon Plaza, Busan Jingu

Legend: A: Roadside square.  
B: Sunken square.  
C: A mix of trees and hedges/shrubs.  
D: Trees only.  
E: Grass square.

로부터 발생하는  $PM_{2.5}$ 의 영향권이 다른 도시공원보다 높은 지역으로서, 도로에서 발생하는  $PM_{2.5}$  영향권으로부터 도시공원의  $PM_{2.5}$  분포를 파악하는데 적합한 지역으로 판단되어 본 연구의 대상지로 선정하였다.

## 2. 송상현광장 공간조성유형 구분 및 측정지점 선정

송상현광장의 가로는 폭 45m~78m이며 도로를 따라 700m 길이의 선형으로 조성된 도로로 고립된 광장형 공원이다. 송상현광장의 공간유형은 테마를 기준으로 문화마당, 부산마당, 역사마당 3가지로 구분되어 있으나(<http://www.songsanghyeon.com/>), 본 연구에서는 도시공원 내 환경요인에 따른  $PM_{2.5}$  농도분포를 파악하고자 송상현광장의 공간조성유형을 토지피복 유형과 식재유형으로 재구분하였다.

도시공원 조성시 바닥포장을 자연소재로 사용하게 될 경우 인공소재를 사용한 공간과 국지적으로 다른 환경 조건을 생성하게 되는데, 대리석 포장 및 데크포장으로 바닥마감을 할 때보다 잔디식재로 포장을 한 경우 토양과 식물에 의해 미기후상으로 습도와 온도 차이가 발생하게 된다(Park *et al.*, 2016). 따라서 송상현광장의 토지피복유형도 대범주로 자연소재와 인공소재로 구분하여 파악하고자 하였다. 또한, 송상현광장에서는 주변보다 5.5m 정도 낮게 지면을 조성하고 인공소재인 대리석으로 바닥포장한 선큰형 광장 공간이 있어 지면의 높이 및 수평적으로 위요된 공간조성유형도 구분하여 살펴보았다.

송상현광장 내 식재 형태는 수목구조에 따라 초지식재, 교목식재, 교·관목 혼합식재형태 3가지로 구분할 수 있었다. 초지식재의 경우 오픈스페이스 형태로 잔디포장만 이뤄진 형태이다. 교목식재의 경우 이용객 산책로를 따라 잔디포장으로 이뤄진 선형공간에 낙엽집엽교목인 메타세콰이어가 2주씩 열식된 형태이다. 교·관목 혼합식재의 경우 왕벚나무와 같은 낙엽활엽교목과 높이 1.2m 정도의 관목과 잔디포장으로 이뤄진 형태이다.

이를 종합하여 송상현광장의 공간을 총 5가지 유형으로 구분하여  $PM_{2.5}$  측정지점을 선정하였다(Table 1, Figure 1 참조). A는 송상현광장 남측 공원 진입로 광장에 해당하는 곳으로 인

근 도로로부터 15m거리이며 콘크리트 바닥 포장에 미식재 지역을 대표하는 지점이다. B는 A와 같이 콘크리트 바닥포장과 미식재지역이지만 도로로부터 40m 거리의 지점에 있으며 지반의 높이가 주변 지역보다 5.5m 낮은 선큰광장 공간을 대표하는 지점이다. C는 공원과 도로의 경계부의 지점으로서 도로로부터 3m 거리이며, 초지는 잔디로 식재되어 있고 1.2m 정도의 철쭉 등 관목과 교목이 혼합식재되어 있는 다층식재구조를 대표하는 지점이다. D와 E는 도로로부터 15m 거리 지점으로, D는 메타세콰이어 2주가 선형으로 열식되어 있는 공간을 대표하는 지점이고, E는 공원 내부 교·관목식재가 되어 있지 않고 바닥에 잔디포장으로 오픈광장형태의 공간의 대표지점을 선정하였다. 세부 공간조성유형에 대한 모식도 및 실측지점에 대한 현장사진은 Figure 2에 나타내었다.

## 3. 초미세먼지 측정 및 측정값 전처리

초미세먼지 측정은 송상현광장 내 공간조성유형별로 대표지점에 1개씩 총 5대를 동시에 설치하였다. 공원 내 이용객에게  $PM_{2.5}$  농도가 미치는 영향을 파악하기 위해서 Hong *et al.*(2018)에서 제시한 사람의 평균 호흡기 높이인 1.5m로 미세먼지 측정기 높이를 일정하게 조정하여 설치하였다.

미세먼지 측정기는 Met-One사의 Aerocet-831로서 환경부 승인 미세먼지 농도 측정기기를 사용하였다(National Institute of Environmental Research, 2018). 기계 측정값의 신뢰성을 높이기 위해서 현장측정실험하기 전 표준조건 25°C, 상대습도 30% 아래 모든 기계에서 교정(calibration) 과정을 진행하였다. 또한, 현장 측정은 매회 동일한 환경조건 아래 측정할 수 없는 한계가 있기 때문에 교정 후 기계의 최초 성능을 벗어나 이상값을 나타내는 것을 방지하기 위해서 각 대표지점에 기기를 설치하기 전 모든 기기를 동일한 지점에서 동시에 측정하여 오차범위 값을 검토하여 오차범위를 벗어나는지 확인 후 최종적으로 사용하였다.

$PM_{2.5}$ 의 측정은 국내  $PM_{2.5}$  농도 예보등급을 기준으로 0~15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 좋음일, 16~35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 보통일, 36~75  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 나쁨일, 76~150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 매우나쁨일, 151~350  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 심각일, 351~500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 매우심각일, 501~1000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 1001~1500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 1501~2000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 2001~3000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 3001~4000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 4001~5000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 5001~6000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 6001~7000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 7001~8000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 8001~9000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 9001~10000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 10001~15000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 15001~20000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 20001~30000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 30001~40000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 40001~50000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 50001~60000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 60001~70000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 70001~80000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 80001~90000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 90001~100000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 100001~150000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 150001~200000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 200001~300000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 300001~400000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 400001~500000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 500001~600000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 600001~700000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 700001~800000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 800001~900000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 900001~1000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 1000001~1500000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 1500001~2000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 2000001~3000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 3000001~4000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 4000001~5000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 5000001~6000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 6000001~7000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 7000001~8000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 8000001~9000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 9000001~10000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 10000001~15000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 15000001~20000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 20000001~30000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 30000001~40000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 40000001~50000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 50000001~60000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 60000001~70000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 70000001~80000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 80000001~90000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 90000001~100000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 100000001~150000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 150000001~200000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 200000001~300000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 300000001~400000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 400000001~500000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 500000001~600000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 600000001~700000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 700000001~800000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 800000001~900000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 900000001~1000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 1000000001~1500000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 1500000001~2000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 2000000001~3000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 3000000001~4000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 4000000001~5000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 5000000001~6000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 6000000001~7000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 7000000001~8000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 8000000001~9000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 9000000001~10000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 10000000001~15000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 15000000001~20000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 20000000001~30000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 30000000001~40000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 40000000001~50000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 50000000001~60000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 60000000001~70000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 70000000001~80000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 80000000001~90000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 90000000001~100000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 100000000001~150000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 150000000001~200000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 200000000001~300000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 300000000001~400000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 400000000001~500000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 500000000001~600000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 600000000001~700000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 700000000001~800000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 800000000001~900000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 900000000001~1000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 1000000000001~1500000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 1500000000001~2000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 2000000000001~3000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 3000000000001~4000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 4000000000001~5000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 5000000000001~6000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 6000000000001~7000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 7000000000001~8000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 8000000000001~9000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 9000000000001~10000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 10000000000001~15000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 15000000000001~20000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 20000000000001~30000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 30000000000001~40000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 40000000000001~50000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 50000000000001~60000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 60000000000001~70000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 70000000000001~80000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 80000000000001~90000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 90000000000001~100000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 100000000000001~150000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 150000000000001~200000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 200000000000001~300000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 300000000000001~400000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 400000000000001~500000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 500000000000001~600000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 600000000000001~700000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 700000000000001~800000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 800000000000001~900000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 900000000000001~1000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 1000000000000001~1500000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 1500000000000001~2000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 2000000000000001~3000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 3000000000000001~4000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 4000000000000001~5000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 5000000000000001~6000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 6000000000000001~7000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 7000000000000001~8000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 8000000000000001~9000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 9000000000000001~10000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 10000000000000001~15000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 15000000000000001~20000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 20000000000000001~30000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 30000000000000001~40000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 40000000000000001~50000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 50000000000000001~60000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 60000000000000001~70000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 70000000000000001~80000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 80000000000000001~90000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 90000000000000001~100000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 100000000000000001~150000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 150000000000000001~200000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 200000000000000001~300000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 300000000000000001~400000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 400000000000000001~500000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 500000000000000001~600000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 600000000000000001~700000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 700000000000000001~800000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 800000000000000001~900000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 900000000000000001~1000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 1000000000000000001~1500000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 1500000000000000001~2000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 2000000000000000001~3000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 3000000000000000001~4000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 4000000000000000001~5000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 5000000000000000001~6000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 6000000000000000001~7000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 7000000000000000001~8000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 8000000000000000001~9000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 9000000000000000001~10000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 10000000000000000001~15000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 15000000000000000001~20000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 20000000000000000001~30000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 30000000000000000001~40000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 40000000000000000001~50000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 50000000000000000001~60000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 60000000000000000001~70000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 70000000000000000001~80000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 80000000000000000001~90000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 90000000000000000001~100000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 100000000000000000001~150000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 150000000000000000001~200000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 200000000000000000001~300000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 300000000000000000001~400000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 400000000000000000001~500000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 500000000000000000001~600000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 600000000000000000001~700000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 700000000000000000001~800000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 800000000000000000001~900000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 900000000000000000001~1000000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 1000000000000000000001~1500000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 1500000000000000000001~2000000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 2000000000000000000001~3000000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 3000000000000000000001~4000000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 4000000000000000000001~5000000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 5000000000000000000001~6000000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 6000000000000000000001~7000000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 7000000000000000000001~8000000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 8000000000000000000001~9000000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 9000000000000000000001~10000000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 10000000000000000000001~15000000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 15000000000000000000001~20000000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 20000000000000000000001~30000000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 30000000000000000000001~40000000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 40000000000000000000001~50000000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 50000000000000000000001~60000000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 60000000000000000000001~70000000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 70000000000000000000001~80000000000000000000000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 경우 최악일, 800000000000

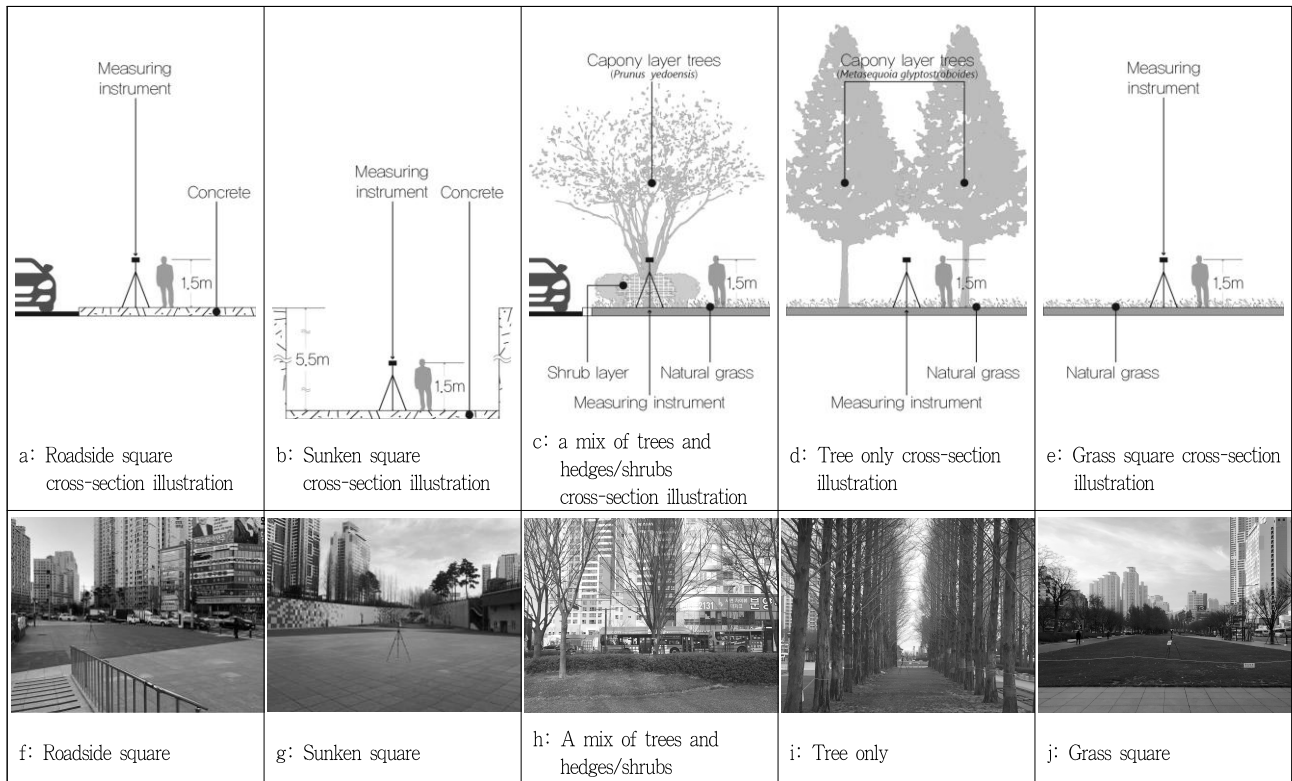


Figure 2. Type of space cross-section illustration and installation points image in Songsanghyeon Plaza(2021.02.28.)

/m<sup>3</sup>일 경우 나뭇잎으로 구분하여 PM<sub>2.5</sub> 농도등급에 따라 각 3일 씩 총 9일 측정하였다. 1일 측정은 오전 8시부터 12시까지 1시간 간격으로 총 4번 측정한 결과를 바탕으로 분석하였다. 야외 특정지점에서 측정하는 미세먼지의 수치는 풍속 및 풍향과 같은 자연적 영향과 자동차 통행 및 보행자에 의한 외부요인에 의해 가변하기 쉽기 때문에(Koo, 2019) 측정지점에서 1회 측정에 그치지 않고 30초 간격으로 1시간 동안 40회를 연속적으로 측정하였다.

현장에서 측정한 값을 통계분석하기 전 전처리 과정을 거쳤다. 현장에서 연속적으로 PM<sub>2.5</sub>를 측정하더라도 외부에서 발생하는 복잡한 변수는 제어할 수 없기 때문에 측정농도범위로부터 벗어난 이상치가 발생할 수 있다. 측정값 범위 중 이상치를 포함하여 통계분석을 할 경우, 결과 해석에 오류가 발생할 수 있기 때문에 측정값에 대한 전처리를 수행하였다. 1시간 간격으로 측정한 값은 40개이나, 조사자가 특정지점에 측정기를 설치하고 해체하는 과정 중에 조사자에 의해 발생할 수 있는 이상치를 제거하기 위해서 측정기 설치 직후 초기시간 값과 기기 해체의 시간인 최종 시간값을 제거하였다(Hong *et al.*, 2018). 또한, IBM® SPSS Statistics에서 상자도표를 생성하여 전체 측정값 집합의 사분위범위에서 3배 이상의 범주에 속하는 극단이상치값을 제거하였다. 최종적으로 통계분석에 사용된 값은 1시간 간격으로 측정하여 구득한 40개의 연속 측정값 중 전처리과

정을 거쳐 제외된 후 나머지 측정값에 대해서 통계분석을 실시하였다.

#### 4. 기상관측망 세부측정자료와 송상현광장 내 PM<sub>2.5</sub> 농도 비교

송상현광장에서 측정한 PM<sub>2.5</sub> 농도값과 기상청 에어코리아에서 제공하는 지역별 미세먼지 세부측정자료를 비교 분석하였다. 또한, 연구대상지의 PM<sub>2.5</sub>를 측정한 시간의 기상을 확인하기 위해서 기상청 지역별상세관측자료(AWS) 중 부산진구 부산진(938)에 위치한 방재기상관측망 정보를 구득하여 확인하였다.

연구대상지는 부산시 진구 내에 위치하고 있으며 동일한 지역 내에 미세먼지 국가 측정기계가 설치된 지점은 진구 개금동 대기오염망과 진구 전포동 대기오염망 2곳이 있었으나, 연구수행 시점에 개금동 대기오염측정망 인근에서 장기간동안 전철공사가 진행 중에 있어 미세먼지 측정값에 영향을 미칠 가능성이 있으므로 본 연구에서는 진구 전포동 대기오염측정망에서 구득한 세부측정자료를 비교하였다.

부산 진구 전포동에 설치되어 있는 도시대기측정소는 부산진구 전포대로 209번길 26 놀이마루 운동장 남쪽에 위치하고 있어, 송상현광장의 남쪽 공원입구를 기준으로 950m 반경 내

에 위치하고 있다. 부산 전포동 도시대기측정망은 Met-one사의 측정기기로서 지상 2m 높이의 파이프관에서 대기를 1시간 동안 흡입하여 미세먼지를 입자별로 중량분석을 통해 측정하고 있다(<https://metone.com/products/>). 하지만 본 연구대상지에서 사용된 미세먼지 측정기기는 광산란법을 통해 미세먼지 입자를 측정하기 때문에, 에어코리아의 도시대기측정망의 대기 중 미세먼지를 측정하는 방식과 본 연구에서 사용된 기기의 미세먼지 측정방식이 서로 상이하여 절대적인 수치를 비교하기는 어렵다. 따라서 에어코리아 세부측정자료와 송상현광장의 수치값에 대한 경향을 파악하는 목적으로만 비교를 하였다. 전포동의 측정값과 연구대상지에서 측정한 PM<sub>2.5</sub> 농도의 비교는 PM<sub>2.5</sub> 예보등급에 따라 1일 측정값을 30분 단위로 평균을 구하여 시계열 분석 그래프로 나타내어 전체적인 경향을 파악하여 패턴의 일관성을 확인하였다.

## 5. 송상현광장 내 공간조성유형 간 PM<sub>2.5</sub> 농도차이 분석

송상현광장 내 공간조성유형별로 측정한 PM<sub>2.5</sub> 농도를 비교 분석하기 위해서 일원배치분산분석(ANOVA)을 수행하였다. ANOVA는 2개 이상의 집단의 평균이 서로 같다는 귀무가설을 통계적으로 추론하여 평균의 차이를 구하는 방법으로, 평균 전처리과정을 거친 후 초미세먼지 예보등급별로 3일 측정값을 종합하여 평균한 값을 사용하였다. 본 연구에서는 ANOVA를 통해 5개의 공간조성유형 집단 간 평균값의 차이가 유의하다고 나타날 경우, 5개 중 어떠한 유형에서 세부적으로 차이를 가지는지 확인하기 위해 Scheffe 사후검정을 실시하였다. Scheffe 사후검정은 집단 간 데이터의 개수가 일정하지 않을 때 사용하

Table 2. National weather announcement and PM<sub>2.5</sub> data in Busan, Jingu

Classification		Temp.(℃)	Wind speed(m/s)	Humidity(%)
Good level (0~15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	2020-12-15	-3.7	2.7	30.3
	2021-02-23	7.4	2.5	19.0
	2021-02-28	8.4	2.2	68.3
Moderate level (16~35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	2021-01-16	5.2	2.6	36.0
	2021-02-19	-0.2	4.6	42.3
	2021-02-22	14.9	2.4	71.5
Unhealthy level (36~75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	2020-12-29	6.5	1.3	78.3
	2021-01-14	6.0	1.9	62.5
	2021-02-21	13.8	3.3	56.3

는 검증 방법으로서, 본 연구에서는 데이터 전처리 과정 중 집단 간 데이터의 수가 동일하지 않아 scheffe 사후검증을 실시하여 5개의 공간조성유형을 유의한 그룹으로 구분하였다.

## III. 연구결과 및 고찰

### 1. 에어코리아 PM<sub>2.5</sub> 농도와 측정 PM<sub>2.5</sub> 농도 비교

현장측정은 미세먼지 예보등급 좋음일, 보통일, 나쁨일의 3일씩 08:00부터 12:00까지 수행하였으며, 측정일의 측정시간 동안 기상청에서 확인한 AWS 기후현황은 Table 2와 같다.

3일 현장측정 시간동안 지역별 미세먼지 국가측정망에서 측정된 PM<sub>2.5</sub> 자료와 송상현광장 내 공간조성유형별로 측정한

Table 3. Particulate matter data by Jingu and Songsanghyeon Plaza

Classification		Jingu Junpodong PM <sub>2.5</sub> data Mean ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Songsanghyeon Plaza PM <sub>2.5</sub> data( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )														
			A			B			C			D			E		
			Ave	Min	Max	Ave	Min	Max	Ave	Min	Max	Ave	Min	Max	Ave	Min	Max
Good level (0~15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	2020-12-15	11.8	7.3	4.9	13.6	7.1	4.9	12.1	6.3	4.6	9.6	5.7	3.7	9.2	6.0	4.2	8.7
	2021-02-23	11.5	7.1	3.9	10.3	6.6	3.6	9.5	6.7	3.5	11.8	5.9	3.1	9.0	5.6	3.3	7.9
	2021-02-28	10.8	10.8	8.4	13.1	10.7	9.2	12.2	11.2	9.0	14.9	9.5	8.1	11.2	8.6	6.9	10.4
Moderate level (16~35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	2021-01-16	31.7	36.9	21.7	50.1	36.3	21.8	47.1	37.4	21.7	47.8	32.7	19.1	49.7	29.6	17.1	38.9
	2021-02-19	20.5	12.4	7.4	16.9	12.3	7.5	16.0	12.8	7.4	18.8	11.0	6.8	16.6	11.1	6.5	14.7
	2021-02-22	18.5	27.5	21.0	35.5	27.7	20.4	35.6	27.9	21.2	34.2	24.6	17.6	32.9	25.3	18.7	33.4
Unhealthy level (36~75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	2020-12-29	32.5	32.9	25.2	43.4	32.6	24.7	53.7	32.7	23.8	46.8	29.4	21.7	42.8	30.9	20.6	50.0
	2021-01-14	46.8	42.8	29.9	52.8	42.6	29.3	56.1	42.7	29.3	55.6	39.3	27.7	57.4	38.6	23.6	58.3
	2021-02-21	39.3	27.3	19.0	40.0	26.6	17.9	40.4	27.1	18.8	40.5	23.8	16.6	34.4	24.3	16.1	37.4

※ A: Roadside square, B: Sunken square, C: A mix of trees and hedges/shrubs, D: Trees only, E: Grass square.

PM<sub>2.5</sub> 농도의 평균값, 최소값, 최대값은 Table 3과 같다. 두 자료를 비교해보면 국가측정망 대기자료와 본 연구에서 측정한 자료의 수치가 9일 중 2020년 12월 29일과 2021년 2월 28일 2일의 경우 평균수치 차이가 -0.4~3.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  정도로 비슷하였으나 2일 측정날을 제외하고는 수치가 다소 차이가 있었다. 특히, 미세먼지 예보등급 나쁨날 2021년 2월 21일에는 대기측정망 자료가 송상현광장 내에서 측정된 평균 수치와 차이 범위가 12.0~15.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 더 높게 나타나는 경우도 있었다.

이는 본 연구자료에 사용된 국가측정망 측정장소는 시가지 내 변화가 중심가에 위치하여 있으며 연구대상지는 도로 인근 광장형 공원인 송상현광장과는 다르기 때문에 미세먼지농도 차이가 다소 높게 나타나는 것으로 판단되었다. 또한, 국가측정망 측정기기는 중량농도분석법이며 송상현광장에서 사용된 기기는 광산란방식의 측정방법이 다르기 때문에 절대적 수치가 다르게 나타난 것으로 판단된다. 하지만 전포동 대기측정망을 비교하는데는 연구대상지 인근 지역의 국가측정망 PM<sub>2.5</sub> 자료와 비교를 통해 지역 내 전체적인 PM<sub>2.5</sub> 농도 경향을 비교 검토하는데 의의가 있는 것으로 판단된다.

전포동 대기측정망 자료와 송상현광장에서 측정한 공간조성 유형별 PM<sub>2.5</sub> 농도의 측정 시간대별 전체 경향을 파악하기 위해 미세먼지 예보등급별 측정 일자에 따라 30분 간격으로 시계열 변화 그래프를 나타내었다(Figure 3 참조).

시계열 변화는 측정일별로 서로 다른 경향을 나타내었다. 전포동 대기측정망 자료와 송상현광장에서 측정한 PM<sub>2.5</sub> 농도 경향을 비교해보았을 때, 전체 측정일 9일 중 3일 2021년 2월 19일, 21일, 28일의 PM<sub>2.5</sub> 농도 경향이 시간이 지날수록 감소하는 추세로 일치하였다. 그러나 그 외 6일의 PM<sub>2.5</sub> 농도는 전포동 대기 측정망 자료와 송상현광장과는 농도 추세가 상반되거나 일치하지 않는 것을 확인할 수 있었다. 전포동 대기 측정망은 연구대상지에서 반경 1km 내에 위치하고 있지만 도로 인근에 조성된 도시공원 내 송상현광장과 다른 토지피복형태이며, 주변이 여러 건물에 의해 둘러싸여 있으며, 차량 및 보행자 등 외부 요인에 의한 영향 또한 배제할 수 없어 경향이 일치하지 않는 것으로 판단된다.

송상현광장의 시계열 변화의 추세를 살펴보면 전체 9일 중 2021년 1월 16일과 2월 23일을 제외하고 7일 모두 시간의 변화에 따라 PM<sub>2.5</sub> 농도는 감소하는 추세로 확인되었다. 미세먼지의 농도는 기후요인, 차량 등 외부요인에 따라 변화양상을 보이는데, City of Busan(2020)의 부산광역시 차량교통량 조사결과에 따르면 송상현광장 북측 송공삼거리의 차량통행량은 평일 오전 8시부터 9시 출근시간대에 가장 많은 것을 확인할 수 있어 본 연구결과에서도 출근시간대 차량교통량의 변화로 PM<sub>2.5</sub>의 농도 추세가 8시경에 높았다가 시간이 지날수록 낮아지는 것으로 추측하였다. Jeon(2015)에 의하면 부산시를 대상

으로 미세먼지의 농도변화는 차량에 의해 주중과 주말의 농도 차이가 다르게 나타나는데, 송상현광장의 경우 부산시 중심 번화가에 위치해 있어 주말 오후에 차량의 교통량이 증가하여 2021년 1월 16일의 PM<sub>2.5</sub> 농도가 시간이 지날수록 증가하는 추세인 것으로 판단할 수 있다.

또한, 공간조성유형별 시계열 변화의 추세는 전체적으로 도로변광장(A)과 도로경계 혼합식재지(C)에서 가장 높았으며, 교목하부(D)와 잔디광장(E)에서 가장 낮은 PM<sub>2.5</sub> 농도 변화 경향을 보였다.

## 2. PM<sub>2.5</sub> 농도와 공간조성유형별 관계분석

### 1) 미세먼지 예보 좋음일 기준

미세먼지 예보등급 좋음일 기준으로 공간조성유형 간에 3일 동안 측정한 전체 PM<sub>2.5</sub> 농도의 평균값이 차이가 있는지 확인하기 위해서 ANOVA를 실시한 결과, F는 53.606, p는 0.000으로 유의수준 0.01을 기준으로 통계적으로 유의하였다(Table 4 참조).

Scheffe의 사후검정결과, 공간조성유형별 PM<sub>2.5</sub> 평균 측정값은 교목하부(D), 잔디광장(E) < 도로변광장(A), 선큰광장(B), 도로경계 혼합식재지(C)로 통계적으로 유의하게 구분되었다. 예보등급 좋음일 3일 동안 D, E의 평균은 각 7.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 6.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며 A, B, C의 평균은 각 8.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 8.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 8.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 1.1~1.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도 유의미한 평균 차이가 있는 것을 확인하였다. D, E와 A, B, C 각 그룹 간의 평균값은 서로 통계적 유의성이 나타나지 않았다.

A, B, C의 평균이 D, E보다 높은 이유는 A와 C의 경우 측정지점이 인접도로로부터 접하여 있는 지역으로 자동차에 의한 PM<sub>2.5</sub> 발생요인이 많아 다른 공간조성유형보다 통계적으로 유의하게 PM<sub>2.5</sub> 농도가 높은 것으로 판단된다. B의 경우 도로로부터 거리가 40m 떨어져 있는 지점이지만 도로로부터 15m 거리인 D, E보다 평균이 높은 이유는 선큰광장으로서 공간조성유형상 수직적으로 공간이 위요된 구조에서 대기가 장시간 머무르면서 나타나는 미기후에 의한 영향으로 파악된다. 선큰광장은 분지지역의 공간구조와 비슷한 형태로 공간을 둘러싸여 장벽을 이루게 되어 내부의 풍속이 낮아지면서 대기흐름 순환이 느려지는 것으로 판단된다. 본 연구에서 선큰광장 주변부의 공간조성유형은 도로변광장이었으며 도로변 대기오염물질이 대기흐름을 타고 선큰광장 아래로 확산된 후 대기순환이 원활하지 못해 도로변광장과 같은 그룹의 PM<sub>2.5</sub> 평균을 나타내는 것으로 판단된다. D와 E지점의 PM<sub>2.5</sub> 농도는 도로의 대기오염물질이 도로와 공원의 경계부에 조성된 다층식재지 구조를 가진 공간조성유형 C를 통하여 공원 내부로 유입되기 때문에 녹지의 미세먼지 저감율 효과를 통해(Hwang *et al.*, 2018) 통계적으로 낮은 그룹으로 구분되었다고 판단된다.

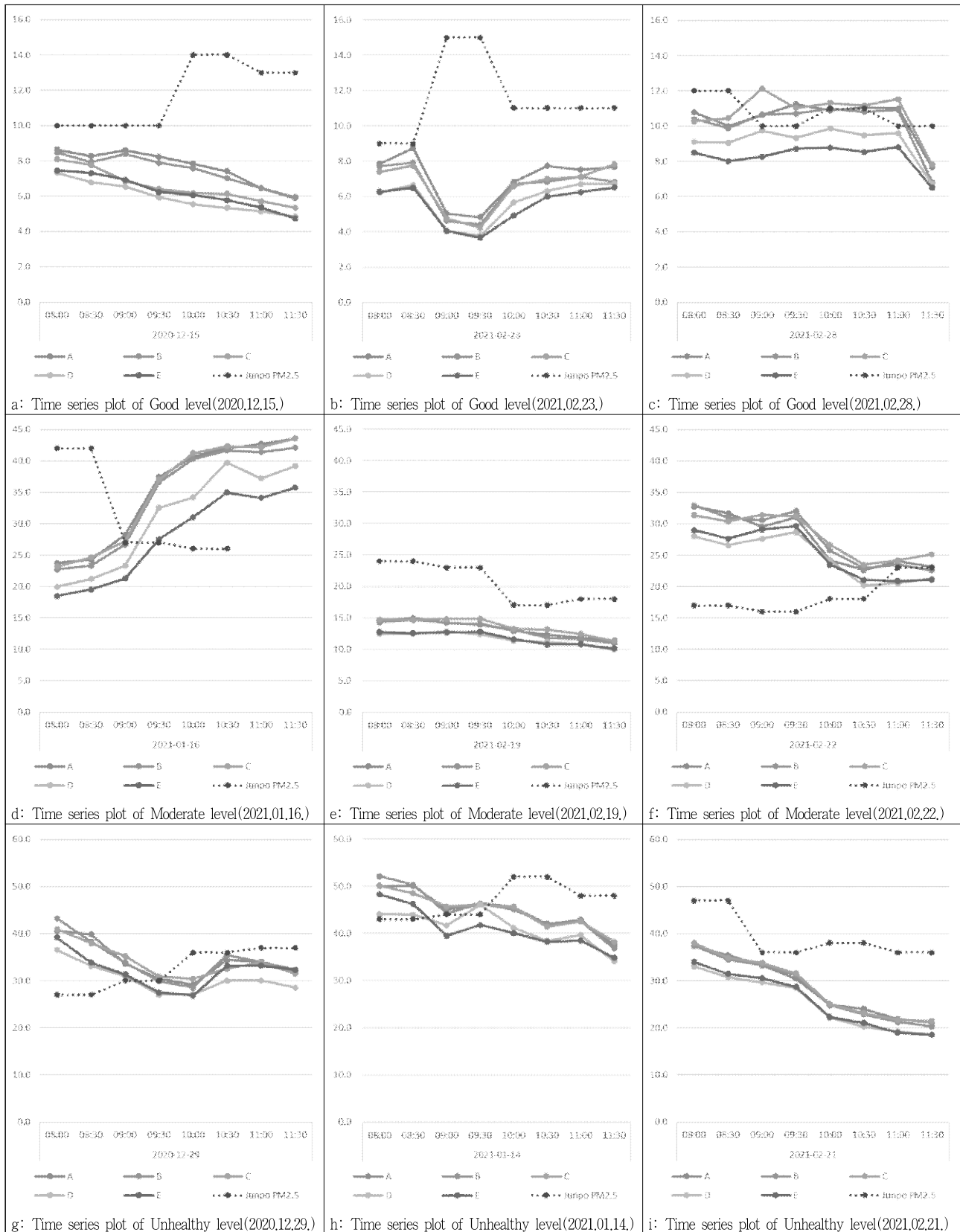


Figure 3. Time series plot in three different PM<sub>2.5</sub> levels

※ A: Roadside square, B: Sunken square, C: A mix of trees and hedges/shrubs, D: Trees only, E: Grass square.

Table 4. Testing differences between PM<sub>2.5</sub> and space types group means in good level

Classification		PM <sub>2.5</sub>				
		N.	ave.	Std. deviation	F	p
Space type	A	394	8.5	2.1	53.606	0.000***
	B	389	8.2	2.1		
	C	385	8.1	2.5		
	D	378	7.0	2.0		
	E	400	6.8	1.6		

\*p&lt;.05, \*\*p&lt;.01, \*\*\*p&lt;.001.

Legend: A: Roadside square, B: Sunken square,

C: A mix of trees and hedges/shrubs, D: Trees only, E: Grass square.

## 2) 미세먼지 예보 보통일 기준

미세먼지 예보등급 보통일을 기준으로 3일 동안 측정된 값이 공간조성유형별로 PM<sub>2.5</sub> 농도의 평균값이 차이가 있는지 확인하기 위해서 ANOVA를 실시한 결과, F는 12.042 p는 0.000으로 유의수준 0.01을 기준으로 통계적으로 유의하였다(Table 5 참조).

Scheffe의 사후검정결과, 공간조성유형별 PM<sub>2.5</sub> 평균 측정값은 잔디광장(E) < 도로변광장(A), 선큰광장(B), 다층식재지(C)로 통계적으로 유의하게 구분되었으며, 교목하부(D) < 도로변광장(A). 예보등급 보통일 3일 동안 A, B, C의 평균은 각 25.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 25.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 25.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며 각 그룹 사이의 평균값은 서로 통계적으로 유의하지 않았다. E의 평균은 21.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며 A, B, C의 평균보다 4.0~3.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  정도 통계적으로 유의하게 낮았다. D의 평균은 22.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 A의 평균과 2.7 $\mu\text{g}$

Table 5. Testing differences between PM<sub>2.5</sub> and space types group means in moderate level

Classification		PM <sub>2.5</sub>				
		N.	ave.	Std. deviation	F	p
Space type	A	382	25.6	10.7	12.042	0.000***
	B	384	25.1	10.6		
	C	361	25.5	10.5		
	D	358	22.9	9.7		
	E	382	21.6	8.6		

\*p&lt;.05, \*\*p&lt;.01, \*\*\*p&lt;.001.

Legend: A: Roadside square, B: Sunken square, C: A mix of trees and hedges/shrubs, D: Trees only, E: Grass square.

/m<sup>3</sup>로 유의하게 차이가 있었으며 나머지 공간조성유형의 평균과는 통계적 유의성이 나타나지 않았다.

## 3) 미세먼지 예보 나쁨일 기준

미세먼지 예보등급 나쁨일을 기준으로 3일 동안 측정된 값이 공간조성유형별로 PM<sub>2.5</sub> 농도의 평균값이 차이가 있는지 확인하기 위해서 ANOVA를 실시한 결과, F는 18.894, p는 0.000으로 유의수준 0.01을 기준으로 통계적으로 유의하였다(Table 6 참조).

Scheffe의 사후검정결과 공간조성유형별 PM<sub>2.5</sub> 평균 측정값은 교목하부(D), 잔디광장(E) < 도로변광장(A), 선큰광장(B), 도로경계 혼합식재지(C)로 미세먼지 예보 좋음일과 동일한 그룹으로 통계적으로 유의하게 구분되었다. 예보등급 나쁨일 3일 동안 D, E의 평균은 각 32.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 33.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며 A의 평균은 36.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , B와 C의 평균은 35.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 평균차이는 2.9~3.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  정도 유의미하게 나타났다. D, E와 A, B, C의 각 그룹 간의 평균값은 서로 통계적 유의성을 나타내지는 않았다. 미세먼지 예보 나쁨일의 경우 좋음일보다 평균차이의 폭이 더 높은 것을 확인할 수 있었다.

## 4) 종합

미세먼지 예보등급을 기준으로 측정값에 대해서 평균비교를 한 결과 좋음일, 보통일, 나쁨일의 측정값에서 공간조성유형별로 모두 통계적 유의성을 확인할 수 있었다. 사후검정결과와 좋음일과 나쁨일의 경우 D, E < A, B, C 순이었으며 보통일의 경우 공간유형 E < A, B, C 또는 D < A 순으로 통계적으로 유의하였다.

이는 도로의 PM<sub>2.5</sub> 농도영향권에 조성된 도시공원 내 공간조성유형에 따른 PM<sub>2.5</sub> 농도 분포는 공원 외곽지역의 도로변

Table 6. Testing differences between PM<sub>2.5</sub> and Space types group means in unhealthy level

Classification		PM <sub>2.5</sub>				
		N.	ave.	Std. deviation	F	p
Space type	A	404	36.0	8.2	18.894	0.000***
	B	392	35.9	8.8		
	C	386	35.9	8.2		
	D	394	32.4	668.0		
	E	389	33.0	7.9		

\*p&lt;.05, \*\*p&lt;.01, \*\*\*p&lt;.001.

Legend: A: Roadside square, B: Sunken square, C: A mix of trees and hedges/shrubs, D: Trees only, E: Grass square.



광장과 도로와 접하여 있는 교·관목 혼합식재지역보다 공원 내부에 대기의 흐름이 원활한 잔디광장 지역 및 교목으로 이뤄진 산책로가 상대적으로  $PM_{2.5}$ 의 영향이 적은 것으로 판단되었다. 이는 잔디광장과 교목으로만 조성된 산책로의 경우 사람의 호흡기 높이에서 대기의 흐름을 차단하지 않은 개방된 형태의 구조로서 초미세먼지가 외부로부터 유입되었다하더라도 대기 흐름이 원활하여 빠르게 외부로 확산될 수 있기 때문에 상대적으로 농도가 낮은 것이라고 판단되었다. 그러나 공간조성유형 B 선큰광장과 같이 공원 내부지역이더라도  $PM_{2.5}$  농도가 높은 이유는 도로로부터 차단구조물이 없이 개방된 경우 외부의  $PM_{2.5}$  농도 확산된 후 다른 지표면보다 낮은 지반인 공간에서 공기가 체류하는 시간이 길어지기 때문으로 판단된다. 따라서 선큰광장은 도로변 주변에 조성되는 도시공원에서는 지양해야 할 공간조성유형으로 판단되었다.

따라서 도심의 주요 초미세먼지 배출원인 도로 인근에 도시공원을 조성할 경우 대기의 흐름을 조절하기 위한 방안이 심도 있게 고려되어야 할 것으로 판단된다. 도로와 접하는 경계부 지역에는 교·관목으로 혼합식재를 조성하여 외부로부터 공원 내부로 유입되는  $PM_{2.5}$ 를 차단하고, 공원 내부 이용객의 주요 활동지역에는 교목식재 및 잔디식재와 같이 개방된 형태로 조성하여 유입된  $PM_{2.5}$ 를 확산할 수 있는 방향으로 조성한다면 초미세먼지 영향권 내에서 최소한으로 영향을 미치는 것을 기대할 수 있을 것이다.

#### IV. 결론 및 제언

본 연구는 도로의 중심부에 조성된 도시공원을 대상으로 도로에서 발생한  $PM_{2.5}$ 가 공원 내부로 이동하면서 공원이  $PM_{2.5}$  농도를 저감하는지 검토하고, 세부적으로 공원이용객에게는 어떠한 영향을 미치는지 파악하기 위해 공원 내 공간을 조성유형별로 구분하여  $PM_{2.5}$  농도 특성을 분석하여 공원 내  $PM_{2.5}$  영향이 최소화되는 공간조성유형을 현장에서 실측한 구체적 수치로 설명하고자 하였다.

사면이 12차선 도로로 위요되어 조성된 부산 진구 송상현광장을 대상으로 공원 내부 공간을 토지피복유형 및 식재유형을 기준으로 공간조성유형을 A(도로변광장), B(선큰광장), C(도로경계 혼합식재지), D(교목 하부), E(잔디광장)로 총 5개 유형으로 재구분하였다. 대표 공간조성유형별 측정지점을 1개씩 선정하여  $PM_{2.5}$  예보등급 좋음일, 보통일, 나쁨일에 따라 3일씩 총 9일 동안 현장 측정값을 바탕으로 통계분석을 실시하여 공원 내 공간조성유형에 따른  $PM_{2.5}$ 의 농도변화를 비교하여 특성을 도출하였다. 도시공원의 공원 내 공간조성유형에 따른  $PM_{2.5}$ 의 분포 특성은 아래와 같다.

첫째, 에어코리아 미세먼지 자료와 송상현광장에서  $PM_{2.5}$  농

도를 시간에 따른 시계열 변화로 살펴보았을 때 전체 9일 중 3일에서  $PM_{2.5}$  농도가 감소하는 추세로 일치하였으며, 나머지 6일은 추세가 상반되거나 일치하지 않았다. 이는 에어코리아 도시대기측정소와 송상현광장의 측정기기가 다르고 지역적, 미기후적, 주변건물의 영향을 받는 것으로 파악되었다. 향후 보다 다양한 장소 및 유형에서의 실측 연구 축적이 필요한 것으로 판단된다.

둘째, 시계열 변화에 따라 송상현광장 내 공간조성유형별로 A(도로변광장)와 C(도로경계 혼합식재지)가 D(교목 하부)와 E(잔디광장)보다 낮았다. 이는 A와 C가 도로경계부에 위치해 있어 도로로부터 차량의 영향을 받는 것으로 파악되었다.

셋째, 미세먼지 예보등급에 따른 공간조성유형별 평균차이를 통계적으로 비교해 본 결과, 예보등급 좋음일과 나쁨일의 경우 D(교목 하부), E(잔디광장) < A(도로변광장), B(선큰광장), C(도로경계 혼합식재지) 순으로 구분되었다. 보통일의 경우 E < A, B, C와 D < A로 구분되었다. A, C보다 공원 내부에 위치한 B에서도 상대적으로 D, E보다  $PM_{2.5}$  농도가 높게 나타난 원인은 선큰광장의 공간조성구조상 분지지역과 동일한 형태로 공간 내부에서 대기순환이 느려져, 외부로부터 일부 유입된  $PM_{2.5}$  농도가 빠르게 확산되지 못하는 상황으로 판단되었다.

본 연구에서는 도로 인근 송상현광장을 대상으로 공원 내부의 대표 공간유형에서 현장실측을 통해  $PM_{2.5}$  농도 변화차이를 비교할 수 있었다. 연구대상지 내 주요지점에  $PM_{2.5}$ 를 현장실측을 하여 데이터의 결과를 대기의 흐름과 관계를 지어 유추할 수 있었으나, 본 연구의 한계로서 미세먼지의 분포는 풍속과 같은 기후요인, 자동차통행량, 보행자와 같은 현장에서 복잡하고 다양한 변수를 고려하기 어렵다는 점을 들 수 있다. 특히 기후요인 중 풍속에 대한 영향을 많이 받기 때문에, 공간조성유형별로 풍속에 대한 변수를 동시에 측정하여 대기의 흐름을 명확히 파악할 필요가 있었다. 하지만 자연현상에 관한 대기흐름은 실측연구로는 한계가 뚜렷하여 향후 현장 자료를 기반이 된 대기 이동 시뮬레이션에 대한 연구로 확장되어야 할 것이다. 또한, 공원이나 광장 등 도시 그린인프라라는 한번 조성하면 재조성이 쉽지 않음으로 추후 다양한 계절적 측정값을 구축하여 도로변 도시공원에 대한 초미세먼지 저감효과의 계절적 규명을 통해 도시 쾌적성을 극대화하는 방안의 제시가 필요한 것으로 판단된다.

#### References

1. Abhijith, K. V., P. Kumar, J. Gallagher, A. McNabola, R. Baldauf, F. Pilla, B. Broderick, S. Di Sabatino and B. Pulvirenti(2017) Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments-A review. *Atmospheric Environment* 162: 71-86.
2. Brimblecombe, P. and Y. Xing(2019) Role of vegetation in deposition and dispersion of air pollution in urban parks. *Atmospheric Environment*

- 201: 73-83.
3. Chae, H. J.(2009) Effect on the  $PM_{10}$  concentration by wind velocity and wind direction. *Journal of Environmental and Sanitary Engineering* 24(3): 28-45.
  4. Choi, T. Y., D. I. Kang and J. G. Cha(2019) An analysis of the correlation between seoul's monthly particulate matter concentrations and surrounding land cover categories. *Korean Society of Environmental Impact Assessment* 28(6): 568-579.
  5. City of Busan(2020) Results of the 2019 Busan Metropolitan City Traffic Survey (I) Vehicle Traffic Survey. (in Korean).
  6. Curtis, L., W. Rea, P. Smith-Willis, E. Fenyses and Y. Panc(2006) Adverse health effects of outdoor air pollutants. *Environment International* 32(6): 815-830.
  7. Donaldson, K. and W. MacNee(2001) Potential mechanism of adverse pulmonary and cardiovascular effects of particulate air pollution( $PM_{10}$ ). *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 203(5-6): 411-415.
  8. Evans, J., A. Donkelaar, R. V. Martin, R. Burnett, D. G. Rainham, N. J. Brikkett, and D. Krewski(2013) Estimates of global mortality attributable to particulate air pollution using satellite imagery. *Environmental Research* 120: 33-42.
  9. Han S. H.(2012) A Study on the Emissions and Chemical Characteristic of Resuspended Dust from Paved Roads in Urban Areas, Ph.D. Thesis, Inha University Graduate School, Korea.
  10. Han, D., H. Shen, W. Duan and L. Chen(2020) A review on particulate matter removal capacity by urban forests at different scales. *Urban Forestry and Urban Greening*. 48, 126565.
  11. Hwang, K. I., B. H. Han, J. I. Kwark and S. C. Park(2018) A study on decreasing effects of ultra-fine particles ( $pm_{2.5}$ ) by structures in a roadside buffer green - a buffer green in Songpa-gu, Seoul -. *Korean Institute of Landscape Architecture* 46(4):61-75.
  12. Hong, S. H., R. Y. Kang, M. Y. An, J. S. Kim, and E. S. Jung(2018) Study on the impact of roadside forests on particulate matter between road and public openspace in front of building site -Case of openspace of busan city hall in Korea-. *Korean Journal of Environment and Ecology* 32(3): 323-331.
  13. Janhall, S.(2015) Review on urban vegetation and particle air pollution, deposition and dispersion. *Atmos. Environ.* 105: 130-137.
  14. Jeon, B. L. and Y. S. Hwang(2010) Chemical properties of the metallic elements and the mass concentration of  $PM_{10}$  and  $PM_{2.5}$  observed in Busan, Korea in springtime of 2006-2008. *Journal of Korean Earth Science Society* 31(3): 214-245.
  15. Jeon, B. L.(2015). Characteristics of the springtime weekday/weekend on mass and metallic elements concentrations of  $PM_{10}$  and  $PM_{2.5}$  in Busan. *Journal of Environmental Science International* 24(6): 777-784.
  16. Keeler, G. J., M. Morishita and L. H. Young(2005) Characterization of complex mixtures in urban atmospheres for inhalation exposure studies. *Experimental and Toxicologic Pathology* 57(1): 19-29.
  17. Kim, B.(2020) Risk Perception and Satisfaction in Outdoor Activities Related to Particulate Matter : Focused on Bikers. Ph.D. Thesis, Graduate School of Environmental Studies, Korea.
  18. Kim, I. (2021). Analysis of the effect of reducing air pollution in parks created in cities, domestic and international IP analysis reports. Ministry of Environment, Korea Environmental Industry and Technology Institute. (in Korean)
  19. Koo, M. A.(2019) The relationship between particular matter reduction and space shielding rate in urban neighborhood park. *Korean Institute of Landscape Architecture* 47(6): 66-77.
  20. Kumar, P. and K. V. Abhijith(2019) Field investigations for evaluating green infrastructure effects on air quality in open-road conditions. *Atmospheric Environment* 201: 132-147.
  21. Lee, H. Y. and N. J. Kim(2017) The impact of fine particular matter risk perception on the outdoor behavior of recreationists: An application of the extended theory of planned behavior. *The Tourism Sciences Society of Korea* 41(7): 22-44.
  22. Lee, Y. K., H. S. Lim, S. M. Hong, C. H. Oh, K. J. Lee and J. S. Lee(2012) Regional characteristics of particle size distribution of  $PM_{10}$ . *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment* 28(6): 666-674.
  23. National Assembly Budget Office(2019). Analysis of Fine Dust Response Projects.(in Korean)
  24. National Institute of Environmental Research(2018). Ultra Fine Dust Measuring Device Guide Book. Ministry of Environment. (in Korean)
  25. National Institute of Forest Science(2019). Urban Forest Guidelines for the Creation and Management of New Projects(reduction of fine dust) in 2019. Korea Forest Service.(in Korean)
  26. Park, C. S. (2017). Variations of  $PM_{10}$  concentration in Seoul during 2015 and relationships to weather condition. *Journal of the Association of Korean Photo-Geographers* 27(2): 47-64.
  27. Park, G. H., J. W. Jeong and J. G. Cho(2012) Evaluation of pollution characteristics and chemical composition of  $PM_{2.5}$  in the ambient air of Busan(III). *The Annual Report of Busan Metropolitan city Institute of Health & Environment* 22(1): 142-159.
  28. Park, S. A., H. Y. Kong, S. H. Kim, S. Park and Y. K. Shin(2016) Characteristics of thermal variations with the different land covers in an urban area. *Ecology and Resilient Infrastructure* 3(1): 46-53.
  29. Seo, M. and H. C. Cho(2017) The effect of  $PM_{10}$  and  $PM_{2.5}$  on life satisfaction:Focusing on WTP. *Environmental and Resource Economics Review* 26(3): 417-449.
  30. Sung, S. Y.(2019) Environmental planning countermeasures considering spatial distribution and potential factors of particulate matters concentration. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology* 23(1): 89-96.
  31. The Government of the Republic of Korea(2019) The 5th Comprehensive National Land Plan, (2020-2040). Cooperation with related ministries. (in Korean)
  32. Yeo, M. J. and Y. P. Kim(2020) Trends of the  $PM_{10}$  concentrations and high  $PM_{10}$  concentration cases in Korea. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment* 35(2): 249-264.

---

Received : 8 November, 2021

Revised : 23 November, 2021 (1st)

6 December, 2021 (2nd)

Accepted : 6 December, 2021

3인익명 심사필