

도시근린공원 미세먼지(PM)저감과 공간차폐율과의 관계

- 대구광역시 수성구 근린공원을 중심으로 -

구민아

영남대학교 조경학과 겸임교수

The Relationship between Particulate Matter Reduction and Space Shielding Rate in Urban Neighborhood Park

Koo, Min-Ah

Adjunct Professor, Dept. of Landscape Architecture, Yeung-Nam University

ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze how much particulate matter at the center of the urban park is reduced compared to the entrance of the park, where the particulate matter problem is serious. It also endeavored to analyze the relationship between the space closure rate and particulate matter reduction rate in the center of the park through the collection and analysis of experimental data. Seven flat land type urban neighborhood parks in Suseong-gu, Daegu were measured at the same place for three days. The research results are as follows. First, the center of the urban neighborhood park had an average temperature 1.05°C lower than at the entrance and an average humidity of 2.57% higher. Second, the rate of fine dust reduction was PM1- 17.09%, PM2.5- 17.65%, PM10- 14.99%. As for the reduction rate of particulate matter, the smaller the size of the park, the greater the reduction rate. In addition, the reduction rate at the center of the park was lower on days when particulate matter concentration based on the weather reports was low. The higher the concentration at the park entrance, the higher the reduction rate was. Third, a higher the rate of space closures at the center of the park resulted in a higher effect of particulate matter reduction. Noting this, the relationship between particulate matter reduction and the space closure rate in urban neighborhood parks was clearly shown. We hope to be the basis for more extensive experimental data collection.

Key Words: Particulate Matter Reduction Forest, Fine Particulate Matter, Temperature Reduction, Humidity Control, Regression Analysis

국문초록

본 연구는 미세먼지 문제가 심각한 도심에서 도시근린공원의 중심이 입구에 비해 어느 정도 저감된 공간인지 분석해 보는데 목적이 있다. 또한 공원중앙의 공간 차폐율과 미세먼지 저감율과의 상관관계를 실험을 통해 도출해 내고자 하였다. 대구시 수성구 평지형 도시근린공원 7개를 대상으로 3일동안 같은 장소에서 측정하였다. 연구결과, 첫째, 도시근린공원 중심은 입구보다 온도는 평균

Corresponding author: Min-Ah Koo, Adjunct Professor, Dept. of Landscape Architecture, YeungNam University, KungSan 38541, Korea, Tel.: +82-53-810-2970, E-mail: koominah@ynu.ac.kr

1.05°C 낮고, 습도는 평균 2.57% 높았다. 둘째, 미세먼지 감소율은 PM1 17.09%, PM2.5 17.65%, PM10 14.99%의 저감율로 초미세먼지가 더 높은 것으로 분석되었으며, 공원의 규모가 작을수록 저감효과가 더 높았다. 또한 기상청 발표 미세먼지 농도가 높은날일수록 공원중앙에서의 저감율은 낮았으며, 공원입구의 농도가 높을수록 저감율은 높았다. 셋째, 공원중심에서 공간차폐율이 높을수록 미세먼지 저감효과가 높은 것으로 파악되었다. 도시근린공원의 미세먼지 저감정도와 공간차폐율과의 상관관계를 파악할 수 있었으며, 더 확대된 실험데이터들의 기초가 되기를 기대한다.

주제어: 미세먼지 저감숲, 초미세먼지, 온도저감, 습도조절, 회귀분석

1. 서론

1. 연구의 목적

최근 대기오염 중 미세먼지의 심각성이 대두되고 있으며, 미세먼지 때문에 발생하는 인체 피해와 환경문제 등에 많은 관심이 집중되고 있다. 미세먼지는 직경에 따라 PM10, PM2.5 등으로 구분하며, PM10은 1,000분의 10mm보다 작은 먼지이며, PM2.5는 1,000분의 2.5mm보다 작은 먼지로, 머리카락 직경의 1/20~1/30 크기보다 작은 입자이다. 매우 미세하기 때문에 호흡기 질환을 발생시키며, 지속적인 흡입은 심각한 질환에까지 도달하기도 한다. 미세먼지는 황사 등의 영향을 받는 봄철에 가장 높은 농도 수준을 보였으며, 강수가 집중되는 하계에 감소하는 경향을 보였다. 또한 도로변 대기측정이 자동차에 의해 도시 대기측정보다 높은 것으로 나타났다(National Institute Of Environmental Research, 2017). 환경부는 미세먼지 예보제를 통해 미세먼지 예보등급을 발표하고 있으나, WHO기준보다 낮아 WHO기준, 우리나라 기준보다 매우 낮은 미국 환경보호국 기준을 같이 발표 비교하고 있다.

미세먼지 저감방법으로 최근 도시숲의 기능이 매우 중요하게 대두되었다. 산림청, 국립산림과학원, 국립환경과학원, 각 지자체 등에서 도시 미세먼지 저감방법의 도시숲과 도시림, 그린인프라 방안에 대한 연구가 이루어지고 있다. 산림청 도시숲의 유형별 조성, 관리 매뉴얼 연구(Korea Forest Service, 2014)에서는 녹색쌈지숲조성, 생활환경숲조성, 산림공원, 학교숲, 가로수, 도시숲 등의 주제로 조성방안을 제시하였다. 서울연구원 그린인프라의 미세먼지 저감효과분석과 확대 방안(Seoul Institute, 2018)에서는 국내정책, 해외정책사례를 바탕으로 그린인프라의 미세먼지 저감효능분석을 수종연구, 네트워크연구 등의 분야로 제시하였다. 그 외 수원시 미세먼지 저감 도시숲 조성 매뉴얼(Suwon City, 2019)에서는 도시숲 조성기법, 미세먼지저감 도시숲 유형별 매뉴얼을 제시하여 공원 조성시 다층구조의 밀식 형태로 필터 역할을 할 수 있도록 권장하고 있다. 하지만 현재 밀식실현에 의한 미세먼지 저감 실험 데이터가 다양하게 구축되어 있지 않으며, 기존에 조성되어 있는 근린공원은 어느 정도의 미세먼지 저감능력이 있는지 등에 대해 충분한

데이터 연구들이 미비한 실정이다.

선행연구들은 도시숲은 미세먼지 저감효과가 있으며, 국립산림과학원 연구(National Institute of Forest Science, 2018)에서는 숲의 미세먼지 농도변화가 PM2.5에서는 40.9%, PM2.5에서는 25.6% 저장한다는 구체적 데이터를 제시하기도 하였다. 이는 홍릉숲과 도심에서 농도를 비교하여 분석한 것으로 숲의 역할을 강조하고 있다. 하지만, 대부분 연구는 서울을 중심으로 한 것으로 다양한 장소에 대한 실험연구가 없었으며, 그린벨트, 주변 숲 등을 대상으로 하고 있는 것이 많았다. 또한 근린공원은 주변이 고층건물로 둘러싸여 있는 곳으로 그린벨트, 도시주변 숲과 다른 지리적 특성을 가지고 있으며, 실제로 미세먼지는 도시민들에게 가장 민감한 것이기 때문에 도시 내 가장 근접한 도시 근린공원이 미세먼지 저감에 어느 정도 기능을 하는지, 근린공원 내부가 차폐에 의해 미세먼지 피난처의 역할을 할 수 있는지가 중요하며, 그에 관한 연구는 없는 실정이었다. 따라서 본 연구의 목적은 도시 내 근린공원 중심이 입구에 비해 미세먼지가 어느 정도 저감된 공간인지 분석해 내고, 저감율과 미세먼지 농도, 공원의 규모의 상관관계를 파악해 내고, 더 나아가 공원 중앙이 주변 식재, 건물 등에 의해 얼마나 차폐가 되어 있는가에 대한 차폐율과의 상관관계를 구체적인 데이터로 설명하는데 있다.

앞으로 미세먼지 저감숲 매뉴얼이 발전하고 실현된 후에 지금보다 얼마나 더 저감율이 높아졌는가를 판단할 수 있는 연구에까지 발전될 수 있도록 기대하며, 미세먼지 데이터는 자연현상에 관한 것으로 매우 많은 주변 변수들의 영향을 받기 때문에 다양한 장소에서 유사한 분석 데이터가 매우 많이 수집이 되어서 신뢰를 얻을 수 있도록 본 연구는 기초 데이터 확보로서의 기여도 기대한다.

2. 선행연구 고찰

1) 미세먼지 저감에 관한 선행연구

미세먼지 현황과 저감에 관한 연구는 2010년 이후 본격화되었으며, 최근 녹지계획, 숲조성, 수목식재기법 등에 관한 연구들이 많이 나오고 있다. 그 중 본 연구와 관련성이 깊은 연구로서 서울시 미세먼지 농도변화와 기상조건과의 관련성 연구(Park,

2017)에서 미세먼지 농도는 기온, 풍속, 강수량보다는 풍향과 통계적 관련성이 높으며, 토지피복, 차량통행, 산업활동과 같은 인위적 요인에 의해 많은 영향을 받는 것으로 파악되었다. 이는 본 연구의 공원입구의 미세먼지 수치의 변수들을 설명해 주는 것으로 고찰되었다.

그리고, 미세먼지 저감녹지 연구인 서울시 토지피복에 따른 미세먼지 농도차이 분석(Choi *et al.*, 2018)에서 PM2.5에서 PM10보다 산림지역이 미세먼지 저감이 더 높으며, 저농도일 때 토지피복의 영향을 더 많이 받고, 고농도일 때는 영향을 적게 받으며, 기상조건 등의 영향을 더 많이 받는다고 하였다. 이는 산림과학원 연구인 홍릉숲과 도시를 비교한 연구와 초미세먼지일 때 저감효과가 더 큰 것이 유사한 결론이었으며, 본 연구에서 또한 PM지수에 따라 저감정도를 분석해 증명해 볼 수 있는 선행연구결과로 판단되었다. 또한 도로변 완충녹지의 식재구조에 따른 초미세먼지(PM2.5)농도 저감효과 연구(Hwang *et al.*, 2018)에서는 교목과 관목 전체 녹량이 높은 곳이 저감효과가 크며, 교목의 열수와 관목의 층위구조가 PM2.5 농도 저감에 중요한 영향을 주는 것을 파악해 내었다.

해외사례연구로 미세먼지가 심각한 중국 베이징시를 대상으로 녹화계획을 선별, 분석하고 효과적인 녹지계획방안을 제시하거나(Xu and Kim, 2017), 수목별 초미세먼지의 흡착, 차단 기능 수준 검토 결과, 호호림, 활엽수, 침엽수, 관목류, 초본류 순으로 효과가 있다고 하였다(Xinxiao, 2018). 미국 10개 도시 수목의 초미세먼지 저감량 분석에서 수목에 의해 제거되는 미세먼지 총량은 시러큐스의 4.7톤에서 애틀랜타 64.5톤까지 나타난다고 하였다(Nowak *et al.*, 2013).

그 외 수목에 의한 초미세먼지 저감 효과와 경제적 편익 분석연구(Shin and Lim, 2018)에서는 PM2.5 흡착량과 제거량이 어린 수종의 경우 참나무가, 오래된 수종에서는 잣나무가 가장 큰 것으로 나타났으며, 건강 편익은 총 1억 1,872만 원에 이르는 것으로 추정되었다. 이는 미세먼지 저감 능력의 경제적 가치의 정량적 산출로 녹지정책의 합당화를 주장하였다. 또한 실내녹화 방법에 의한 미세먼지 농도영향(Kwon and Park, 2017)과 입면녹화용 덩굴식물 미세먼지 저감능력(Jung *et al.*, 2018) 등 실내 연구에까지 확장되고 있다.

선행연구들은 대부분 녹지가 미세먼지 저감효과가 있음을 증명하고 있었다. 하지만 미세먼지 연구가 오래 되지 않아 특정지역이나 도시외곽숲 등에 국한되어 많은 장소의 실험데이터가 부족하기도 하였으며, 미세먼지 저감숲 조성 후의 효과를 다양한 관점에서 분석한 연구는 없었다. 또한 미세먼지 저감은 매우 많은 변수들과 관계있는 것으로 바람, 기상조건, 토지이용, 식재패턴, 차폐, 주변건물, 지리적 조건 등 많은 조건들에 대한 다양한 각도의 연구들이 부족한 실정이었다. 특히 본 연구와 관련된 차폐와 미세먼지 저감에 대한 연구는 찾아 볼 수 없었다. 따라서 앞으로의 미세먼지 녹지정책을 위한 기초 자료

로서 본 연구의 데이터가 다양한 지역과 관점에서의 자료로 활용될 수 있음을 고찰하였다.

2) 공간차폐율 산출에 관한 선행연구

공간의 위요와 차폐도 산출에 관한 연구는 대표적으로 Lynch의 도시광장 수평거리(D):건물높이(H)의 비례를 들 수 있다. 위요감의 최저치를 3:1, 위요감의 임계치를 2:1, 1:1이 되면 밀실에 들어온 것 같은 폐쇄감이 든다고 하였으며(Lynch, 1975). 양각으로 환산하여 1:1은 45도, 2:1은 27도, 3:1은 18도에 해당하는 것이다. 이는 선행연구(Koo, 2016a)에서 AutoCAD로 구현한 결과, 1:1에서는 천공률 0%, 2:1에서는 25.17%, 3:1에서는 53.88%, 4:1에서는 69.49%의 천공률이 산정되었다. 주어진 양각과 비례를 그대로 재현하여 하늘이 어느정도 보이는가의 연구로 확장한 것으로 차폐율을 산정하는 수치로 사용하였다.

또한, 도시 내 조망보호를 위한 경관관리방안 연구(Yang, 2002)에서 하늘의 시각량을 산출하여 조망의 차폐를 설명하기도 하였으며, 주요 조망점에서 산림경관의 조망을 위한 건축물 고도평가를 시뮬레이션한 연구(Gyeonggi Research Institute, 1998)에서도 차폐율과 하늘의 시각량을 산정하기도 하였다.

따라서, 본 연구에서 공간차폐율 산정을 위해 선행연구를 기반으로 하였다. 선행연구들은 정지된 한 장면에서의 분석에 그치고 있지만, 이를 더 확대하고 미세먼지 저감정도를 파악하기 위해서는 360도 동영상을 촬영하여 프레임을 중복되지 않게 나누어 각 프레임들의 차폐율을 천공율의 역수로 산출하여 활용하도록 하였다.

II. 연구방법과 대상지

1. 연구방법

본 연구는 도시 내 평지형 근린공원 중심의 미세먼지 저감정도 분석과 차폐율과의 상관관계를 분석하는 것으로 다음의 진행과정으로 연구되었다.

1) 연구 대상지 근린공원 미세먼지 측정

특정 지점의 미세먼지 수치는 풍속, 풍향, 자동차통행횟수 등 자연적 영향과 주변환경에 의해 순간적으로 가변하기 때문에 최대한 신뢰성을 확보하기 위해 한번 측정시 항상 지정된 지점에서 5분 단위로 3회씩 측정하여 평균을 낸 값을 사용하였다. 측정일은 기상청 발표 미세먼지 농도가 나쁨 이상 단계의 발표가 된 봄철 2019년 5월 14일, 5월 16일, 5월 24일 3일에 걸쳐 진행되었다.

측정지점은 근린공원 입구와 근린공원 중심지점으로 두 곳

을 선정하여 3일동안 항상 같은 지점에서 측정하였다. 공원중심지점은 공원구역 내 거리상 중심이며, 수목이 식재된 녹지대로 선정하였다. 측정항목은 PM1, PM2.5, PM10, 온도, 습도 5개 항목이며, 측정높이는 지면에서 성인얼굴높이 160cm이다.

측정도구로는 레이저 산란 활성흡입 방식의 미세먼지 측정기를 사용하였으며, PM10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 초미세먼지까지 3가지 모두를 측정하였다. 센서의 유효범위는 0~500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 최대범위 10,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 입자측정범위 0.3~100 μg , 입자해상도 0.1/L, 정밀도는 $\pm 100\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0~1,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), $\pm 10\%$ (100~5,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)이다.

2) 미세먼지 저감정도 분석

먼저 근린공원 주진입로 입구에서 측정된 수치와 기상청 발표자료를 비교 분석하였다. 다음으로 7개 근린공원의 주진입로 입구와 공원중심에서 측정된 수치를 비교하여 미세먼지 저감도와 온도, 습도 차이를 추출하였다. 그리고 기상청발표 수치와 공원입구 미세먼지 농도에 따른 저감율과의 상관관계와 근린공원의 면적에 대한 미세먼지 저감과의 상관관계를 회귀분석하였다.

3) 공간차폐율 측정

공원 중앙이 주변 식재나 건물에 의해 얼마나 위요되고 차폐되었는가에 따라 미세먼지 저감과 상관관계가 있는지를 분석하기 위해 미세먼지를 측정된 공원중앙지점에서 동일하게 측정하였다.

공간차폐율은 공원중심부 녹지대 내에서 360도 주변을 동영상으로 촬영한 다음 각 장면들이 중첩되지 않도록 장면을 잘라 10~12개의 프레임을 만든 뒤 녹지, 건물, 시설물 등 모든 요소의 % 또는 하늘이 보이는 공간의 %를 측정하여 차폐율로 환산하였다. 이때 저자가 선행논문(Koo, 2016b)에서 개발한 CRVP Koo 프로그램을 사용하였으며, 사진의 픽셀을 모두 추출하여 엑셀로 수치화하였다.

또한 신뢰도 확보를 위해 포토샵에서 수작업으로 추출한 하늘로의 개방%와 비교하여 사용하였다.

4) 미세먼지 저감도와 공간차폐율과의 회귀분석

분석된 미세먼지 저감율에 대한 분석과 더불어 공간차폐율과 상관관계를 분석하기 위해 Excel, SPSS를 사용하여 회귀분석하였다.

2. 연구 대상지

연구 대상지는 대구시 수성구청 발표에 의거 수성구에 위치한 도시 근린공원 12곳 중 미조성 3곳과 산지형 공원 2곳을 제외한 평지형 도시근린공원 7곳을 Figure 1과 같이 선정하였다.



Figure 1. Site map of urban neighborhood park, Daegu, SusungGu

산지형은 자연구릉지 도시숲의 형태임으로 평지형 미세먼지 저감과 다른 지리적 특성이 있어 제외하였다. 평지형 근린공원 7곳은 주변이 아파트, 주택, 상가 등 건물에 둘러싸여진 곳으로 도시 미세먼지가 중심에서 얼마나 저감되었는가를 연구하는데 적합한 장소로 파악되었다.

연구 편의를 위해 Figure 1에 적힌 공원번호를 모든 데이터에서 사용하였으며, 공원면적은 최소 4,960m²에서 최대 45,120m²까지 7개 공원 평균면적은 14,153m²이었다.

III. 근린공원 미세먼지와 차폐율 분석

1. 기상청 발표 자료와 측정자료의 비교

도시 내 평지형 근린공원 7곳을 대상으로 근린공원 입구와 중심에서 측정하였으며, 기상청 발표 자료와 근린공원 입구에서 측정된 자료를 비교 분석하였다. 미세먼지뿐 아니라, 기상학의 일반적 상황인 온도, 습도까지 측정하여 비교하였다. 기상청 발표 미세먼지 나쁨단계 이상의 날 3일의 각 근린공원이 속한 지역의 기상청 발표 미세먼지 수치와 온도, 습도는 Table 1과 같으며, 공원입구와 중앙에서 측정된 수치는 Table 5와 같다.

기상청 발표 데이터는 PM2.5와 PM10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 수치만 발표하고 있으나, 측정은 초미세먼지 PM1까지 측정하였다.

두 자료를 비교해 보면 온도, 습도, PM2.5, PM10 모든 수치가 많이 달랐다. 일차적인 원인으로 기상청에서 측정하는 장소와 근린공원과는 다르며, 장소적 특징, 기후영향 등 매우 많은 변수가 작용하기 때문인 것으로 판단된다.

온도는 기상청발표보다 근린공원입구에서 1~6 $^{\circ}\text{C}$ 가량 더 낮아 평균 2.57 $^{\circ}\text{C}$ 낮게 측정되었다. 이는 두 측정장소가 다르기도 하며, 미기후적인 요인이 많이 작용하는 것으로 판단된다.

중요한 것은 근린공원 입구와 중앙의 온도차이로 근린공원 중앙이 입구보다 1~2 $^{\circ}\text{C}$ 정도 낮으며, 평균 1.05 $^{\circ}\text{C}$ 낮은 것으로 분석되었다. 이는 근린공원 내부의 녹지로 인해 온도 저감효과

Table 1. National weather announcement and particulate matter data by urban neighborhood park

National Weather Service Announcement												
Date	2019-05-14				2019-05-16				2019-05-24			
Park No.	PM2.5 (µg/m³)	PM10 (µg/m³)	Temp. (°C)	Humidity (%)	PM2.5 (µg/m³)	PM10 (µg/m³)	Temp. (°C)	Humidity (%)	PM2.5 (µg/m³)	PM10 (µg/m³)	Temp. (°C)	Humidity (%)
1	24	53	27	30	34	55	29	34	36	74	33	22
2	28	56	28	28	34	45	30	30	36	74	32	23
3	24	53	26	32	34	55	29	34	34	75	32	23
4	28	60	28	29	32	61	30	30	34	75	32	24
5	24	60	26	29	38	69	28	31	29	72	30	21
6	23	60	27	28	37	48	29	30	34	75	33	20
7	24	60	25	31	38	69	28	31	29	72	30	25
Ave.	25.00	57.43	26.71	29.57	35.29	57.43	29.00	31.43	33.14	73.86	31.71	22.57
Std.	2.08	3.36	1.11	1.51	2.36	9.45	0.82	1.81	2.97	1.35	1.25	1.72

가 있는 것으로 판단된다.

습도는 기상청 발표보다 근린공원 입구가 1~15%까지 높았으며, 평균 6.62% 높은 것으로 분석되었다. 이 또한 기상청 측정장소와 근린공원 입구가 장소적, 미기후적인 특징 등 많은 변수에 의해 달라지는 것으로 파악된다. 마찬가지로 중요한 점은 근린공원 입구와 근린공원 중앙의 습도 차이로 근린공원 중앙이 입구에 비해서 1~6% 정도 높은 것으로 측정되었으며, 평균 2.57% 높은 것으로 분석되었다. 이 또한 근린공원 내 수목에 의한 영향으로 파악된다(Table 2 참조).

도시숲의 기후완화 기능으로 산림청에서는 여름 한낮의 평균기온을 3~7°C 완화시키고, 습도는 9~23% 상승시키는 등 친자연적인 기후조절 기능으로 인간에게 쾌적한 생활환경을 제공한다고 하였다(<https://www.forest.go.kr/newkfsweb> Korea Forest Service Home Page). 이는 본 연구와 구체적 수치는 차

이가 있지만 온도가 낮아지고 습도가 높아지는 같은 결론이 추출되어 신뢰성을 확보할 수 있었다.

각 공원별 미세먼지 측정값 또한 기상청 발표와 다르게 분석되었다. Table 3과 같이 기상청 발표와 공원입구에서의 미세먼지 값은 PM2.5에서는 공원입구가 기상청 발표보다 훨씬 더 높았으며, PM10은 기상청 발표보다 공원입구가 더 낮았다. PM2.5의 차이는 최소 19.67µg/m³에서 최대 27.67µg/m³ 이었으며 PM10에서는 최소 1.33µg/m³, 최대 19.33µg/m³ 차이가 있었다. 3일 동안 측정된 값의 전체 평균이 PM2.5는 기상청 발표보다 23.33µg/m³ 더 높았으며, PM10은 평균 6.95µg/m³ 더 낮게 측정되었다. 기상청에서 측정하는 장소와 공원의 위치가 달라 매우 다른 변수들이 작용하기도 하며, 기상청에서는 3시간마다 발표를 하고 있어 그 차이가 나기도 하는 것으로 파악되었다. 하지만 초미세먼지 2.5만 더 높은 것은 도시의 특성상 근린공

Table 2. Difference of national weather announcement and measured value

Difference of Temperature and humidity																
Date	2019-05-14				2019-05-16				2019-05-24				Total Average			
	Temp. (°C)		Humidity (%)		Temp. (°C)		Humidity (%)		Temp. (°C)		Humidity (%)		Temp. (°C)		Humidity (%)	
Park No.	A-E	E-C	A-E	E-C	A-E	E-C	A-E	E-C	A-E	E-C	A-E	E-C	A-E	E-C	A-E	E-C
1	2	1	3	2	5	1	6	2	2	1	3	1	3.00	1.00	4.00	1.67
2	2	1	-1	3	3	2	7	4	2	2	4	3	2.33	1.67	3.33	3.33
3	1	1	6	4	4	1	8	0	2	0	4	1	2.33	0.67	6.00	1.67
4	1	1	8	6	6	0	15	0	2	1	5	2	3.00	0.67	9.33	2.67
5	1	1	8	6	3	1	7	2	1	1	7	3	1.67	1.00	7.33	3.67
6	3	1	8	6	4	1	11	2	3	2	9	3	3.33	1.33	9.33	3.67
7	2	1	8	1	3	1	7	2	2	1	6	1	2.33	1.00	7.00	1.33
Ave.	1.71	1.00	5.71	4.00	4.00	1.00	8.71	1.71	2.00	1.14	5.43	2.00	2.57	1.05	6.62	2.57
Std.	0.76	0.00	3.50	2.08	1.15	0.58	3.20	1.38	0.58	0.69	2.07	1.00	0.83	0.42	2.92	1.49

A: National weather announcement, E: Entrance of urban neighborhood park, C: Center of urban neighborhood park.

Table 3. Difference of National weather announcement and measured value of PM

($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Park No.	Difference of announcement and measured value																			
	2019-05-14						2019-05-16						2019-05-24						Total Average	
	PM2.5			PM10			PM2.5			PM10			PM2.5			PM10			PM2.5	PM10
	A	E	A-E	A	E	A-E	A	E	A-E	A	E	A-E	A	E	A-E	A	E	A-E	A-E	A-E
1	24	97	73	53	98	45	34	48	14	55	45	-10	36	42	6	74	43	-31	31.00	1.33
2	28	71	43	56	71	15	34	43	9	45	43	-2	36	43	7	74	50	-24	19.67	-3.67
3	24	74	50	53	78	25	34	49	15	55	45	-10	34	45	11	75	47	-28	25.33	-4.33
4	28	65	37	60	65	5	32	58	26	61	57	-4	34	54	20	75	46	-29	27.67	-9.33
5	24	51	27	60	54	-6	38	55	17	69	60	-9	29	40	11	72	40	-32	18.33	-15.67
6	23	74	51	60	84	24	37	57	20	48	62	14	34	43	9	75	44	-31	26.67	2.33
7	24	42	18	60	47	-13	38	53	15	69	55	-14	29	40	11	72	41	-31	14.67	-19.33
Ave.	25.00	67.71	42.71	57.43	71.00	13.57	35.29	51.86	16.57	57.43	52.43	-5.00	33.14	43.86	10.71	73.86	44.43	-29.43	23.33	-6.95
Std.	2.08	17.77	17.93	3.36	17.55	19.97	2.36	5.43	5.32	9.45	7.91	9.29	2.97	4.81	4.57	1.35	3.51	2.76	9.27	10.67

A : National weather announcement, E : Entrance of urban neighborhood park.

원의 입구는 자동차, 사람 등 초미세먼지 발생요인이 많기 때 문인 것으로 추정된다.

2. 근린공원의 미세먼지 저감율 분석

1) 공원중앙의 미세먼지 저감율 분석

각 공원별 미세먼지 측정값과 감소율은 Table 4와 같다. 2019-05-14일 측정에서는 근린공원 입구와 중심의 차이에서 7개 대상지 평균 PM1에서는 8.71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 감소하여 21.18%, PM2.5에서는 16.71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 감소하여 25.04%를 나타냈으며, PM10에서는 4.71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 감소하여 21.88%로 나타났다. PM2.5의 감소율이 가장 컸으며, PM1, PM10에서도 유사한 감소율을 보였다. 표준편차는 PM1은 8.44, PM2.5는 10.70, PM10은 10.13으로 나타났다. 감소율의 최소값은 3번 공원 PM2.5에서 10.81%이며, 최대값은 7번 공원 PM10에서 40.43%를 보였다.

2019-05-16일 측정에서는 근린공원 입구와 중심이 차이에서 7개 대상지 평균 PM1에서는 4.33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 감소하여 12.56%, PM2.5에서는 5.86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 감소하여 11.22%, PM10에서는 4.71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 감소하여 9.09% 감소하였다. PM1의 감소율이 가장 큰 것으로 분석되었다. 표준편차는 PM1은 7.46, PM2.5는 6.36, PM10은 1.97으로 나타났다. 감소율의 최소값은 7번 공원 PM2.5에서 1.89%이며, 최대값은 1번 공원 PM1에서 22.86%를 보였다.

2019-05-24일 측정에서는 근린공원 입구와 중심이 차이에서 7개 대상지 평균 PM1에서는 6.14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 감소하여 17.53%, PM2.5에서는 7.71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 감소하여 17.58%, PM10에서는 6.291 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 감소하여 14.01% 감소하였다. PM2.5의 감소율이 가장 컸으나, PM1과 유사하였다. 표준편차는 PM1은 8.37, PM2.5는 9.16, PM10은 8.30으로 나타났다. 감소율의 최소값은 1번 공원 PM2.5에서 4.76%이며, 최대값은 4번 공원 PM2.5에서 33.57%를 보

였다.

3일 측정된 7개의 근린공원에서의 미세먼지 감소율을 모두 평균하여 볼 때 Figure 2와 같으며, 7개 공원의 전체 평균값은 PM1 17.09%, PM2.5 17.65%, PM10 14.99%로 감소율을 보였다. PM1과 PM2.5가 입자가 작아 공원입구의 자동차, 보행 등에서 발생하는 미세먼지가 많음을 알 수 있으며, 공원의 중앙에서 PM10에 비해 많이 감소하는 것을 알 수 있었다.

이는 국립산림과학원 연구(National Institute of Forest Science, 2018)에서 도시숲의 미세먼지 농도변화가 PM2.5에서는 40.9%, PM10에서는 25.6% 저장한다는 연구결과와 미루어보아 구체적인 수치는 다르지만, PM2.5에서 더 효과적인 것은 유사한 결론이라 할 수 있다.

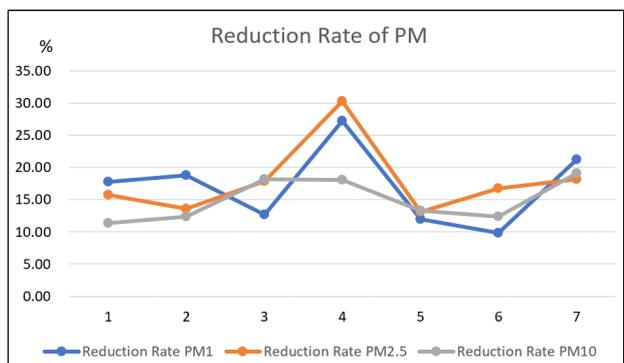


Figure 2. Reduction rate of PM

2) 미세먼지 농도에 따른 저감율과의 상관관계

3일 측정된 평균값에 대하여 미세먼지 농도가 심할수록 공원 중앙의 감소율에 영향이 있는 것인가를 파악하기 위해 기상청 발표 수치와 미세먼지 감소율과 비교하고, 공원입구의 평균수

Table 4. Weather and particulate matter measured value and reduction rate

2019-05-14 Measured value																		
Park No.	Park entrance					Park center					Difference value							
	PM1	PM2.5	PM10	Temp.	Humidity	PM1	PM2.5	PM10	Temp.	Humidity	PM1		PM2.5		PM10		Temp.	Humidity
	µg/m ³			℃	%	µg/m ³			℃	%	µg/m ³	%	µg/m ³	%	µg/m ³	%	℃	%
1	60	97	98	25	33	49	66	78	24	35	11	18.33	31	31.96	20	20.41	1	2
2	47	71	71	26	27	34	59	60	25	30	13	27.66	12	16.90	11	15.49	1	3
3	44	74	78	25	38	36	66	69	24	42	8	18.18	8	10.81	9	11.54	1	4
4	35	65	65	27	37	26	41	45	26	43	9	25.71	24	36.92	20	30.77	1	6
5	33	51	54	25	37	29	42	45	24	43	4	12.12	9	17.65	9	16.67	1	6
6	51	74	84	24	36	45	57	69	23	42	6	11.76	17	22.97	15	17.86	1	6
7	29	42	47	23	39	19	26	28	22	40	10	34.48	16	38.10	19	40.43	1	1
Ave.	42.71	67.71	71.00	25.00	35.29	34.00	51.00	56.29	24.00	39.29	8.71	21.18	16.71	25.04	14.71	21.88	1.00	4.00
Std.	11.03	17.77	17.55	1.29	4.11	10.52	15.03	17.62	1.29	4.96	3.04	8.44	8.32	10.70	5.06	10.13	0.00	2.08
2019-05-16 Measured value																		
Park No.	Park entrance					Park center					Difference value							
	PM1	PM2.5	PM10	Temp.	Humidity	PM1	PM2.5	PM10	Temp.	Humidity	PM1		PM2.5		PM10		Temp.	Humidity
	µg/m ³			℃	%	µg/m ³			℃	%	µg/m ³	%	µg/m ³	%	µg/m ³	%	℃	%
1	35	48	45	24	40	27	43	42	23	42	8	22.86	5	10.42	3	6.67	1	2
2	27	43	43	27	37	24	39	38	25	41	3	11.11	4	9.30	5	11.63	2	4
3	30	49	45	25	42	28	40	40	24	42	2	6.67	9	18.37	5	11.11	1	0
4	40	58	57	24	45	31	46	51	24	45	9	22.50	12	20.69	6	10.53	0	0
5	38	55	60	25	38	33	50	55	24	40	5	13.16	5	9.09	5	8.33	1	2
6	34	57	62	25	41	32	52	57	24	43	2	5.88	5	8.77	5	8.06	1	2
7	35	53	55	25	38	33	52	51	24	40	2	5.71	1	1.89	4	7.27	1	2
Ave.	34.14	51.86	52.43	25.00	40.14	29.71	46.00	47.71	24.00	41.86	4.43	12.56	5.86	11.22	4.71	9.09	1.00	1.71
Std.	4.45	5.43	7.91	1.00	2.79	3.45	5.51	7.61	0.58	1.77	2.99	7.46	3.58	6.36	0.95	1.97	0.58	1.38
2019-05-24 Measured value																		
Park No.	Park entrance					Park center					Difference value							
	PM1	PM2.5	PM10	Temp.	Humidity	PM1	PM2.5	PM10	Temp.	Humidity	PM1		PM2.5		PM10		Temp.	Humidity
	µg/m ³			℃	%	µg/m ³			℃	%	µg/m ³	%	µg/m ³	%	µg/m ³	%	℃	%
1	33	42	43	31	25	29	40	40	30	26	4	12.12	2	4.76	3	6.98	1	1
2	33	43	50	30	27	27	38	45	28	30	6	17.65	5	14.71	5	10.00	2	3
3	30	45	47	30	27	26	34	32	30	28	4	13.33	11	24.44	15	31.91	0	1
4	38	54	46	30	29	24	36	40	29	31	14	33.57	18	33.33	6	13.04	1	2
5	28	40	40	29	28	25	35	34	28	31	3	10.71	5	12.50	6	15.00	1	3
6	27	43	44	30	29	23	35	39	28	32	4	11.76	8	18.60	5	11.36	2	3
7	32	40	41	28	31	24	35	37	27	32	8	23.53	5	14.71	4	9.76	1	1
Ave.	31.57	43.86	44.43	29.71	28.00	25.43	36.14	38.14	28.57	30.00	6.14	17.53	7.71	17.58	6.29	14.01	1.14	2.00
Std.	3.69	4.81	3.51	0.95	1.91	2.07	2.12	4.30	1.13	2.24	3.85	8.37	5.35	9.16	3.99	8.30	0.69	1.00

치와 공원중앙의 감소율을 각각 회귀분석한 결과는 Figure 3과 같았다. 기상청 발표수치가 높을수록 공원입구와 중앙의 차이에 따른 감소율은 오히려 낮았으며, 공원입구의 수치가 높을수록 공원중앙에서의 감소율은 높았다. 이는 3일 측정평균치를 비교한 것으로 모든 경우에 반드시 그렇다고 단정할 수는 없다. 하지만, 기상청 발표 수치가 높은 날일수록 공원중앙의 미세먼

지가 감소하는 정도는 미비하였으며, 공원입구에서 발생하는 미세먼지 농도는 높을수록 공원경계의 완충녹지와 공간적 차폐로 인해 감소율이 높은 것으로 파악되었다. 즉, 도시 전체를 뒤덮는 미세먼지가 도시공원 중심에서 무한히 감소된 것은 아니며, 공원입구의 지역적 발생요인은 차단시키는 것으로 파악된다.

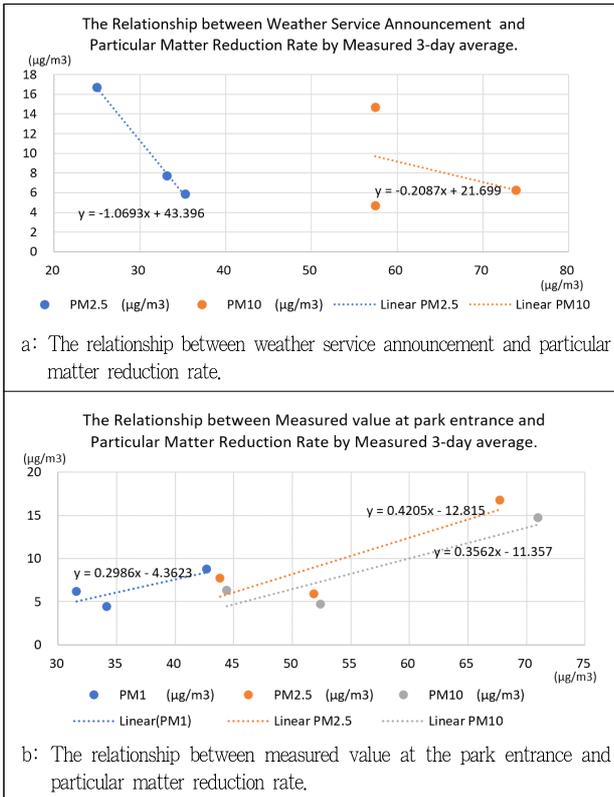


Figure 3. The degree of particulate matter reduction according to the concentration of particulate matter

3) 공원면적에 대한 미세먼지 저감율과의 상관관계

3일 측정된 근린공원 내 미세먼지 저감율과 근린공원 면적과의 상관관계를 위해 회귀분석을 실시하였다. 그 결과, 반비례의 관계를 나타내었다. 즉, 공원면적이 클수록 미세먼지 저감정도는 낮은 것으로 파악되었다. 공원중심의 측정지점이 공원경계의 거리상 중간지점으로 공원면적은 공원입구와 중앙지점까지의 측정거리와 관계가 있다. PM1은 다중상관계수 0.65, 결정계수 0.42로 42%의 설명력으로 65% 정도 상관관계가 있었다. PM2.5는 다중상관계수 0.23, 결정계수 0.05로 분석되었으며,

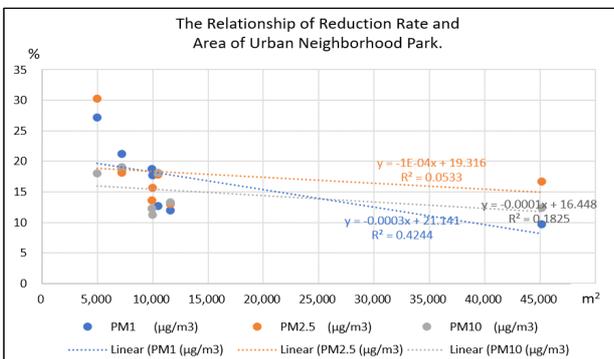


Figure 4. Relationship of PM reduction rate and area of urban neighborhood park

PM10은 다중상관계수 0.43, 결정계수 0.18로 상관관계를 보였으며, 회귀분석 그래프와 식은 다음 Figure 4와 같다. 자연현상에 관한 것임에도 불구하고, 회귀분석의 상관계수가 PM1에서는 특히 높아 신뢰성이 있으며, 공원규모가 작을수록 감소효과가 큰 것으로 분석되었다. 본 대상지 7개 중 6개가 공원규모 5,000~10,000m² 로 미세먼지 감소율이 12~27%에 집중되어 있어 저감율이 높은 것으로 파악되었다.

이와 같이 공원의 면적이 작을수록 공원입구와 중심간의 미세먼지 저감율이 높아지는 것은 작은 공원일수록 수목에 의한 녹지율이 높기 때문이며, 공원입구의 자체발생 미세먼지가 많기 때문인 것으로 파악된다. 면적이 큰 근린공원의 경우 운동장, 잔디광장 등이 넓어 수목에 의한 녹지율이 면적 대비 높지 않아 측정장소의 차폐율이 낮아지기 때문인 것으로 추정된다.

3. 공간 차폐율 분석

공간 차폐율은 근린공원 중심에서 360도로 동영상을 촬영하여 중복되지 않도록 프레임을 나누어 각 프레임에서 하늘이 보이는 정도를 개방율로 산출하고, 나머지를 차폐율로 산출하였다(Figure 5 참조). 선행논문에서 발표한 CRVP KOO 프로그램으로 분석하였으며, 포토샵에서 각 프레임마다 픽셀을 추출한 방식과 비교했을 때 거의 유사하였다.

차폐는 수목뿐 아니라, 지면, 주변건물, 시설물 모두 포함되

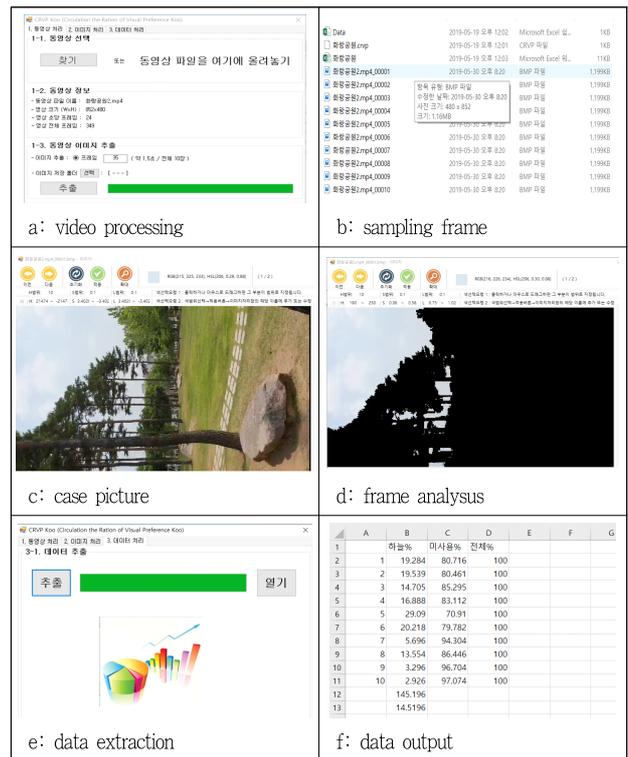


Figure 5. Shielding rate analysis by Koo CRVP

는 것으로 공원 중심지점이 얼마나 둘러싸여져 있는가를 판단 하였다. 모든 프레임의 하늘부분을 제외한 나머지 %들을 평균 하여 다음 Table 5와 같이 산출한 다음, 공원 입구와 중심간의 미세먼지 저감율 정도와 비교 분석하였다.

공간 차폐율은 대부분 매우 폐쇄적이었으나, 면적이 큰 공원 에서 조금 낮게 추출되었다. 5번 공원에서 99.66%로 가장 높았 으며, 6번 공원 85.48%로 가장 낮았고, 평균 95.84%를 보였다.

4. 공간 차폐율과 미세먼지 저감율과의 회귀분석

분석된 공간차폐율과 미세먼지 저감율간의 회귀분석을 실시 하였다. Table 5과 같은 데이터가 추출되었으며, 공원 입구와 중앙간의 미세먼지 저감율과 차폐율간의 상관관계를 회귀분석 한 결과 Figure 6과 같이 모두 정비례 관계로 분석되었다. 즉, 공간 차폐율이 높을수록 미세먼지 저감율 또한 높은 것으로 분

Table 5. Shielding rate and particular matter reduction rate by measured date

(%)

Park Num.	Space Shielding Rate	2019-05-14 Reduction Rate			2019-05-16 Reduction Rate			2019-05-24 Reduction Rate			Total Average Reduction Rate		
		PM1	PM2.5	PM10	PM1	PM2.5	PM10	PM1	PM2.5	PM10	PM1	PM2.5	PM10
1	97.37	18.33	31.96	20.41	22.86	10.42	6.67	12.12	4.76	6.98	17.77	15.71	11.35
2	92.49	27.66	16.9	15.49	11.11	9.30	11.63	17.65	14.71	10.00	18.81	13.64	12.37
3	98.91	18.18	10.81	11.54	6.67	18.37	11.11	13.33	24.44	31.91	12.73	17.87	18.19
4	98.95	25.71	36.92	30.77	22.50	20.69	10.53	33.57	33.33	13.04	27.26	30.31	18.11
5	99.66	12.12	17.65	16.67	13.16	9.09	8.33	10.71	12.50	15.00	12.00	13.08	13.33
6	85.48	11.77	22.97	17.86	5.88	8.77	8.06	11.76	18.60	11.36	9.80	16.78	12.43
7	98.02	34.48	38.1	40.43	5.71	1.89	7.27	23.53	14.71	9.76	21.24	18.23	19.15
Ave.	95.84	21.18	25.04	21.88	12.56	11.22	9.09	17.53	17.58	14.01	17.09	17.95	14.99
Std.	5.15	8.44	10.70	10.13	7.46	6.36	1.97	8.37	9.16	8.30	6.08	5.80	3.33

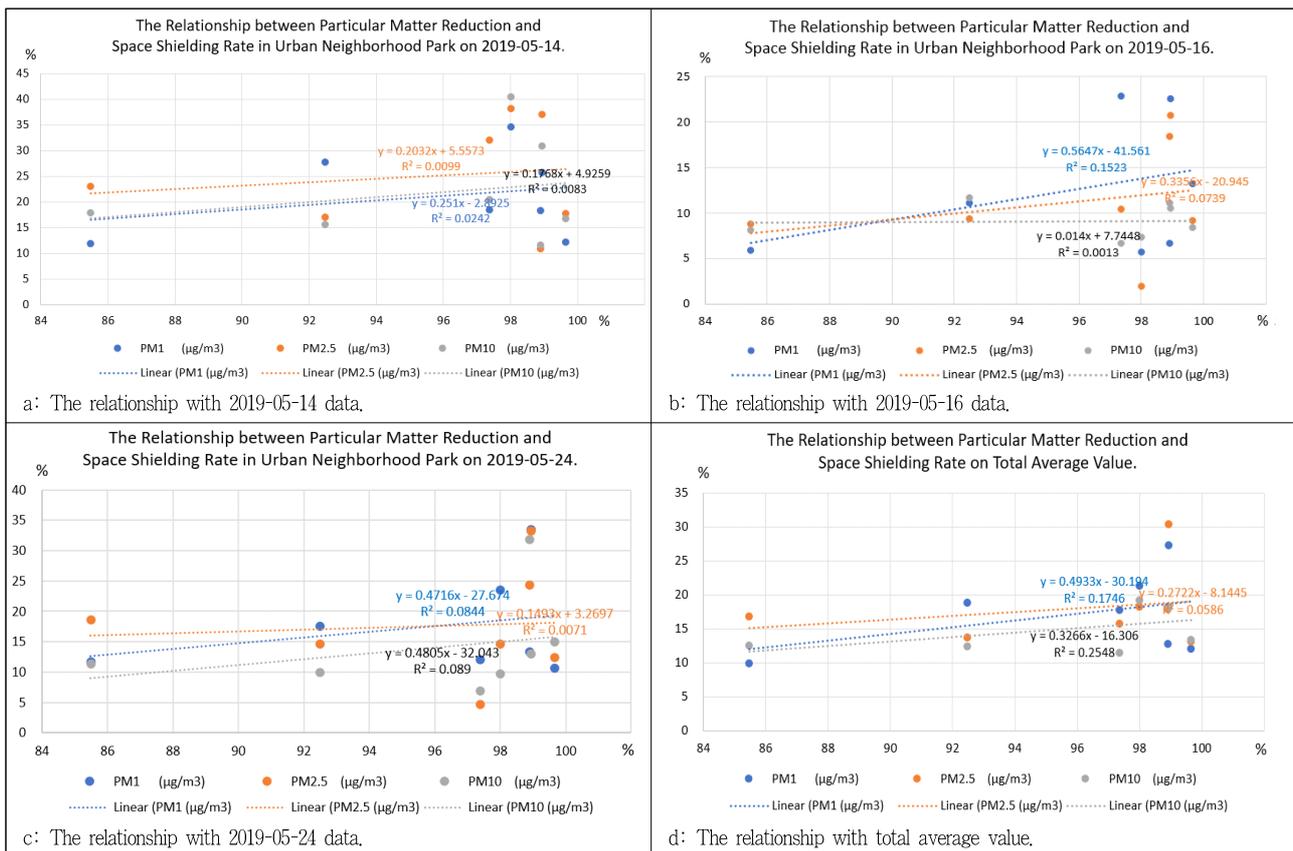


Figure 6. Relationship of space shielding rate and particular matter reduction rate

석되어 도시근린공원 중앙이 미세먼지 피신처로서의 역할을 하고 있는 것으로 파악되었다.

본 회귀분석은 결정계수(R^2)가 매우 낮아 설명력이 낮은 것으로 보이나, 본 연구대상은 자연현상에 관한 것이기 때문에 인과관계 정도를 파악해 보는 것으로 어느 정도 설명력이 있다고 판단하였다. 3일 모두 정비례의 관계로 차폐율이 높을수록 미세먼지 저감율이 높았다. 어떤 데이터도 반비례의 관계로 추출되지 않았으며, 모두 정비례인 것으로 보아 어느 정도 관계가 있음을 파악해 볼 수 있다. 3일 전체 평균수치에서 볼 때 PM1은 $y=0.4933x-30.194$ ($R^2=0.1746$), PM2.5는 $y=0.2722x-8.1445$ ($R^2=0.0586$), PM10은 $y=0.3266x-16.306$ ($R^2=0.2548$)으로 PM1의 회귀기울기가 0.4933으로 가장 컸으며, 다음으로 PM10 0.3266, PM2.5 0.2722로 분석되었다. 즉, PM1에서 가장 상관관계가 높은 것으로 파악되었다. 이는 자동차매연에서 주로 많이 발생하여 공원입구의 도로, 주차장에서 PM1의 수치가 매우 높고, 공원 중심까지 전해지지 않는 것으로 파악된다. 반면에 PM2.5는 공간 차폐율과의 관계에서 PM1, PM10에 비해 가장 관계가 낮은 것으로 분석되었다. 하지만, 이는 사회현상이 아니라, 기후, 지형, 바람, 자동차 통행횟수, 주변건물 등 매우 많은 변수들을 가지고 있는 자연현상에 관한 것이기 때문에 구체적인 수치보다 관계성을 중심으로 파악해야 하며, 앞으로 다른 장소의 측정 데이터와도 비교하여 신뢰성을 더 확보해야 할 것이다.

IV. 결론과 제언

본 연구는 특히 대도시 미세먼지 문제가 심각한 현재에 도시림의 역할이 매우 중요하게 대두되고 있어 도시민에게 가장 근접한 곳에 있는 도시 근린공원의 중심이 입구에 비해 얼마나 저감되는지 분석하고, 저감율과 미세먼지 농도, 공원의 규모의 상관관계를 파악해 내고, 더 나아가 공원 중앙이 주변 식재, 건물 등에 의해 얼마나 차폐가 되어 있는가에 대한 차폐율과의 상관관계를 구체적인 데이터로 설명하고자 하였다.

대구시 수성구 평지형 근린공원 7개를 대상으로 미세먼지 농도가 나뉠단계 이상으로 발표된 날 3일 동안 도시근린공원 입구와 중앙 항상 같은 지점에서 기온, 습도, 미세먼지 농도(PM1, PM2.5, PM10)를 측정하였다. 공간 차폐율은 공원중앙에서 360도로 동영상을 촬영하여 각 프레임에 겹치지 않게 나누어 각 프레임에서 하늘로 개방된 %를 제외한 나머지를 차폐도로 산출하였다. 산출된 미세먼지 저감정도의 특징과 공간차폐율과의 관계는 다음과 같다.

첫째, 온도와 습도에서 기상청 발표보다 근린공원 입구에서 온도는 더 낮게, 습도는 더 높게 측정되었다. 전체 평균 온도는 2.57°C 낮았으며, 습도는 평균 6.62% 높게 측정되었다. 이는 기상청 측정장소와 근린공원이 다르므로 지역적, 미기후적, 주변

건물 등의 영향을 받는 것으로 파악되었다. 또한 공원의 입구와 중앙의 온도, 습도를 비교해 본 결과, 입구보다 중앙이 온도는 평균 1.05°C 낮았으며, 습도는 평균 2.57% 높은 것으로 분석되었다. 이는 기존연구와 유사하였으며, 공원의 녹지대와 수목의 온도저감효과, 습도조절능력에 의한 것으로 파악되었다.

둘째, 미세먼지 측정에서 기상청 발표 수치와 실제 근린공원 입구 수치의 차이에서 PM2.5는 기상청 자료보다 $23.33\mu\text{g}/\text{m}^3$ 더 높았으며, PM10은 평균 $6.95\mu\text{g}/\text{m}^3$ 더 낮게 측정되었다. 이는 도시의 특성상 근린공원 입구의 자동차 통행, 보행 등 초미세먼지를 발생하는 요인이 많아서인 것으로 추정된다.

셋째, 공원입구와 공원중심의 미세먼지 감소율은 PM2.5, PM1, PM10순으로 나타났다. PM1 17.09%, PM2.5 17.65%, PM10 14.99%로 감소율로 초미세먼지의 저감율이 더 높은 것으로 분석되었다.

넷째, 기상청 발표기준 미세먼지 농도가 높은 날일수록 공원 입구와 중앙의 차이에 따른 저감율은 낮았으며, 공원입구의 농도가 높을수록 공원중앙의 저감율이 높았다.

다섯째, 공원의 규모와 미세먼지 저감율과의 관계에서 공원의 규모가 클수록 미세먼지 저감율이 낮은 반비례의 관계를 보였으며, 특히 PM1에서 신뢰성을 보였다.

여섯째, 공원중앙지점의 공간 차폐율과 미세먼지 저감율과의 상관관계에서 차폐율이 높을수록 미세먼지 저감율이 높은 것으로 분석되었다. 또한 PM1, PM10, PM2.5의 순으로 상관관계가 있었으나, 자연현상에 관한 것으로 회귀식의 상관관계가 큰 것은 아니었다.

본 연구에서 평지형 도시근린공원 중앙이 입구에 비해 어느 정도 낮은 공간인지 특성을 파악해 볼 수 있었으며, 공간 차폐율과의 상관관계도 추출해 낼 수 있었다. 하지만, 본 연구의 한계는 자연현상에 관한 것으로 회귀분석의 상관계수가 낮고, 대구시 수성구 7개 평지형 근린공원에 국한된 것으로 다양한 분석장소, 미세먼지 종류 및 농도, 공원형태, 식재패턴, 바람과 같은 기상조건들 등 다양한 변수를 모두 포함하고 있지 않다는 것이다. 따라서 앞으로 많은 변수들을 고려한 분석과 다양한 장소에서의 데이터 구축에 대한 연구로 확장되어야 할 것이며, 본 연구는 미세먼지 저감률 조성을 위한 기초 자료로서와 방안으로 활용되기를 기대한다.

References

1. Choi, T. Y., H. G. Moon, D. I. Kang and J. G. Cha(2018) Analysis of the concentration differences of PM10 and PM2.5 according to Land cover of Seoul. Journal of Academic Contest in the Korean Environmental Ecological Society 28(2): 107-108.
2. Gyeonggi Research Institute(1998) A study on the improvement strategy of townscapes. A Basic Study on the Gyeonggi Research Institute 98(22): 3-6.

3. Hwang, K. I., N. H. Han, J. I. Kwark and S. C. Park(2018) A study on decreasing effects of ultra-fine particles (PM2.5) by structures in a roadside buffer green -A buffer green in Songpa-gu, Seoul -. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture 46(4): 61-75.
4. Jung N. R., K. J. Kim, Y. J. Jung and S. Charlotte(2018) The ability to reduce fine dust in surface-green vines. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture in Autumn Academic Contest, pp. 154-155.
5. Koo, M. A.(2016a) A Study on the Animation Model of Landscape Experience and the Analysis Method of Visual Landscape Sequences, Ph.D. Thesis Yeungnam University, pp. 14-80.
6. Koo, M. A.(2016b) A study on the analysis technique of sequence landscaping through the application and development of visual amount calculation program of landscapes, Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture 44(5): 12-25.
7. Kwon, K. J. and B. J. Park(2017) Effects of indoor greening method on temperature, relative humidity and particulate matter concentration. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture 45(4): 1-10.
8. Korea Forest Service(2014) A Study on the Formation and Management Manual of Urban Forest Types, Policy Research Service Results Report, pp. 3-150.
9. Lynch, K.(1975) Site Planning. Cambridge Mass: MIT, pp. 192-194.
10. National Institute of Environmental Research(2017) Air Environment Yearbook, pp. 15-300.
11. National Institute of Forest Science(2018) A Study on the Green Infrastructure of the Urban Forest in response to Particular Matter, Discussion on Green Infrastructure for the Response of Particular Matter, pp. 60-120.
12. Nowak, D. J., S. Hirabayashi, A. Bodline and R. Hoehn(2013) Modeled PM2.5 removal by trees in ten US cities and associated health effects, Environmental Pollution 178, pp. 395-402.
13. Park, C. S.(2017) Variations of PM10 concentration in Seoul during 2015 and relationships to weather condition, Journal of the Korean Photographic Society 27(2): 47-64.
14. Seoul Institute(2018) Evaluation on the Reduction Effect of Particulate Matter through Green Infrastructure and Its Expansion Plans, pp. 5-80.
15. Shin, S. M. and S. S. Lim(2018) Analysis of superfine dust reduction effect and economic benefit by tree, Journal of the Korea Environmental Economics Association's Summer Academic Contest, pp. 489-509.
16. Suwon City(2019) A Manual for Creating Urban Forests for Reducing Fine dust, Suwon City, The Green Landscape Department of the Park Green Project Establishment, pp. 2-45.
17. Xinxiao Y.(2018) Regulation on PM2.5 and other Atmospheric Particulate Matter by Forests, Korea-China Symposium.
18. Xu, X. R. and J. O. Kim(2017) Planting design strategies and green space planning to mitigate respirable particulate matters - Case studies in Beijing, China -. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture 45(6): 40-49.
19. Yang, B. E.(2002) Landscape management mechanism to protect scenic view in tile city in the case of woo my on mountain in Seoul, Journal of Environmental Debate at the Graduate School of Environmental Studies at Seoul National University 40: 149-169.
20. <https://www.forest.go.kr/newkfsweb> Korea Forest Service Home Page.

Received : 04 November, 2019

Revised : 27 November, 2019 (1st)

06 December, 2019 (2nd)

Accepted : 06 December, 2019

3인익명 심사필