

도로변 완충녹지의 식재구조에 따른 초미세먼지(PM_{2.5})농도 저감효과 연구[†] - 서울 송파구 완충녹지를 대상으로 -

황광일* · 한봉호** ·곽정인*** · 박석철****

*서울시립대학교 대학원 조경학과 · **서울시립대학교 조경학과 · *** (재)환경생태연구재단 · ****서울시립대학교 도시과학연구원

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 -

Hwang, Kwang-Il* · Han, Bong-Ho** · Kwark, Jeong-In*** · Park, Seok-Cheol****

*Dept. of Landscape Architecture, Graduate School, University of Seoul

**Dept. of Landscape Architecture, University of Seoul

***Environment Ecosystem Research Foundation

****Institute of Urban Science, University of Seoul

ABSTRACT

This study aims to verify the effect of green buffers, built as urban planning facilities on the reduction of ultra-fine particulate(PM_{2.5}) and analyze changes in ultra-fine particles by structure, green volume and planting types of wayside green buffers, thus drawing the factors that can be used when green buffers are built to reduce ultra-fine particulate based on the results. This study selected Songpa-gu, and investigated 16 sites on 5 green buffers adjacent to two of Songpa-gu's main roads, 'Yangjaedaero' and 'Songpadaero'. This study divided all the green spaces into three different types-slope type, plain type and mounding type, and analyzed the mean green volume. As a result of measuring the concentration of PM_{2.5}, this study found that it was 55.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ on average in winter, which was a harmful level according to the integrated environmental index provided by Seoul City, saying that levels above 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ may have a harmful effect on sensitive groups of people. Particularly, the concentration of PM_{2.5} was 38.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ on average in spring, which exceeded the mean concentration of PM_{2.5} in Seoul City in 2015. The mean concentrations of PM_{2.5} in every investigation spot were 46.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for sidewalks, 45.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for green spaces and 42.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for residential areas, all of which were lower than 53.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for roads, regardless of the season. The concentration of PM_{2.5} for residential areas was the lowest. In the stage of confirming the effect of green buffers, this study analyzed the correlation between the green volume of vegetation and the fluctuated rate of ultra-fine particles. As a result, it was found that the green coverage rate of trees and shrubs was related to

[†]: 이 논문은 2016년도 서울시립대학교 교내학술연구비에 의하여 지원되었음.

Corresponding author: Bong-Ho Han, Dept. of Landscape Architecture, University of Seoul, Seoul 02504, Korea, Tel.: +82-2-6490-5521, E-mail: hanho87@uos.ac.kr

the crown volume in every investigation spot but were mutually and complexly affected by each other. Therefore, this study judged that the greater the number of layers of shrubs that are made, the more effective it is in reducing the concentration of $PM_{2.5}$. As for seasonal characteristics, this study analyzed the correlation between the concentration of $PM_{2.5}$ for residential areas in winter and the green coverage rate of each green space type. As a result, this study found that there was a negative correlation showing that the higher the shrub green coverage rate is, the lower the concentration value becomes in all the slope-type, plain-type and mounding-type green spaces. This study confirmed that the number of tree rows and the number of shrub layers have negative correlations with the fluctuated concentration rate of $PM_{2.5}$. Especially, it was judged that the shrub green volume has greater effect than any other factor, and each green space type shows a negative correlation with the shrub coverage rate in winter.

Key Words: Fluctuated Concentration Rate, Green Coverage Rate, Green Volume Coefficient, Tree Structure, Shrub Structure

국문초록

본 연구의 목적은 도시계획시설로 조성되는 완충녹지가 $PM_{2.5}$ (초미세먼지) 저감에 효과가 있는지를 규명하고, 도로변 완충녹지의 구조, 녹량(녹지용적), 식재유형에 따른 초미세먼지 변화량을 분석하여 초미세먼지 저감을 위한 완충녹지 조성 시 활용할 수 있는 요소들을 도출하는 것이었다. 연구대상지는 송파구를 선정하였고, 양재대로, 송파대로에 인접한 5개의 완충녹지에서 16개 조사구를 선정해 현장조사를 실시하였다. $PM_{2.5}$ 농도 측정결과, 조사구별 평균농도는 계절 상관없이 보도 $46.6\mu g/m^3$, 녹지 $45.5\mu g/m^3$, 주거지 $42.9\mu g/m^3$ 로 모두 도로($53.2\mu g/m^3$)보다 낮았으며, 주거지 농도 값이 가장 낮았다. 완충녹지의 농도 저감효과 확인을 위해 완충녹지의 녹량과 초미세먼지 상대비율간의 상관관계 분석결과, 교목과 관목 전체 녹량이 높은 그룹의 상대비율이 낮은 것으로 확인되어 완충녹지 녹량의 영향력을 증명했으며, 관목 부족형이 교목 부족형보다 농도상대비율이 더 높은 것으로 확인되어 관목의 영향이 더 큰 것으로 판단되었다. 교목과 관목의 식재구조에 따른 녹피율과 녹지용적계수가 복합적으로 $PM_{2.5}$ 농도 저감에 영향을 미치고 있었으며, 교목의 열수와 관목의 층위구조가 $PM_{2.5}$ 농도 저감에 중요한 영향요인으로 판단되었다. 특히, 초미세먼지 농도가 높은 겨울철 완충녹지의 $PM_{2.5}$ 농도저감 특성 분석결과, 관목의 녹피율이 중요한 요인이었다.

주제어: 상대비율, 녹피율, 녹지용적계수, 교목구조, 관목구조

1. 서론

도시 인구 집중에 따른 과도한 에너지 사용과 1990년대 이후 급격히 증가하고 있는 자동차로 인한 대기오염은 도시문제 중 하나이다. 서울의 대기오염 수준은 경제개발협력기구(OECD) 회원국 가운데 최악인 것으로 알려져 있으며, 서울시 대기오염의 85%가 자동차 배출가스에 의한 것으로 나타났다(Kim, 2003). 최근 대기오염으로 인한 건강 위해성 논의와 함께 세계보건기구(WHO)는 경유자동차에서 배출되는 초미세먼지($PM_{2.5}$)를 1급 발암물질로 지정하고 있다. 초미세먼지($PM_{2.5}$)는 미세먼지(PM_{10})에 비해 심폐혈관질환, 호흡기질환의 이환율 및 사망률과 관련성이 높을 뿐만 아니라, 중요한 위험요인 중 하나로 인식되고 있다. 2013년 초미세먼지 관련 언론보도 내용이 100여건에 불과했던 것에 비해 2014년 방송 및 신문매체 등 각종

언론매체의 보도내용을 보면 겨울철에만 월 600여건에 달하는 것을 확인할 수 있었다(Kim *et al.*, 2014). 이러한 대기오염물질을 개선하기 위한 방법으로 오염물질 발생량을 줄이기 위한 지자체의 정책이나 배출가스 처리를 위한 기계장치, 발생원 분산 등 다양한 대안이 제시되고 있으나, 이미 대기 중으로 배출된 오염원을 제어할 수 없는 예방책에 불과하였다. 이에, 광합성 과정에서 잎의 기공을 통해 온실가스인 CO_2 를 비롯한 SO_2 , NO_2 등 가스상 물질을 흡수하여 대기오염 농도를 낮추는 도시 내 수목의 중요성은 더욱 증대되고 있다(Jo and Ahn, 2001). 도심 녹지 필요성은 부각되고 있으나, 지가상승으로 인한 토지매입, 토지수급 문제 등으로 어려운 실정이다. 도시 내 완충녹지의 기능적 향상은 추가 녹지 확보 없이 초미세먼지 해결에 접근할 수 있는 효과적인 수단이라 할 수 있다. 따라서 초미세먼지 발생원인 도로변에서 완충녹지가 초미세먼지 농도 저

감에 효과가 있음을 규명하는 것은 도시 환경문제 해결을 위해 중요한 내용이다. 본 연구는 도로변에서 발생하는 초미세먼지(PM_{2.5}) 농도를 정량적으로 측정하여 완충녹지의 녹량과 식재구조가 초미세먼지 농도 저감에 효과가 있는지를 규명하였다. 초미세먼지에 관해 완충녹지의 녹량이 미치는 영향과 교목과 관목의 식재구조와의 상관관계를 밝히고 특히, 관목의 중요성을 강조하여 향후 도시 내 초미세먼지 저감을 위한 방법으로 완충녹지를 활용하는 것이 가능할 것으로 판단되었다.

II. 선행 연구

초미세먼지(PM_{2.5})는 머리카락 직경에 비해 20분의 1보다 더 작은 매우 미세한 입자로 호흡을 통해 코나 기관지 등에 걸러지지 않고 폐포 깊숙이 도달하여 인체에 호흡기질환, 기관지염, 암 발병, 어린이들의 폐 성장 약화, 천식 증상 악화, 조기 사망의 요인, 신생아들의 지체중증, 심장질환과 심장마비 등의 가능성을 높이는 것으로 밝혀진 바 있다(Kong *et al.*, 2012). 일반적으로 지름이 2.5 μ m보다 큰 먼지는 황사나 공사장에서 날리는 흙먼지, 자동차 브레이크 마모 먼지 등의 기계적인 기작에 의해 생긴다고 알려져 있다. 이들은 모두 1차 대기오염물질이다. 지름이 2.5 μ m보다 작은 먼지는 일반적으로 화학반응에 의해 생긴다고 알려져 있다(Seinfeld and Pandis, 2016). 경유자동차 엔진 연소에서 생기는 검댕(1차 대기오염물질)이나 대기에서 기체상 황산화물이 반응해서 생기는 황산염 입자(2차 대기오염물질)가 대표적인 예이다(Kim, 2017). 국내의 경우, 환경부가 1995년 1월부터 10 μ m 이하의 미세먼지(PM₁₀)를 새로운 대기오염물질로 규제하였으며, 2015년 1월부터 2.5 μ m 이하의 초미세먼지(PM_{2.5})에 대한 규제를 시행하였다(환경정책기본법시행령 [별표]환경기준 제2조 관련). 서울시는 국가와 동일한 기준으로 PM_{2.5}를 24시간 기준으로 35 μ g/m³, 1년 기준으로 15 μ g/m³를 권고하고 있다. WHO는 PM_{2.5}를 24시간 기준으로 25 μ g/m³, 1년 기준으로 10 μ g/m³를 권고하고 있다.

의학계에서는 초미세먼지 증가로 인한 전체사망률과 심혈관계, 호흡기계 사망률 증가, 65세 이상의 사망률 증가와의 관계성 등 건강위해성 관련 연구가 주를 이루었다(Kong *et al.*, 2012). 공학계에서는 초미세먼지의 물리, 화학적 특성 및 농도 변화에 대한 경향 연구 등으로 환경공학적 관점의 통계연구가 주를 이루고, 공간적으로는 실내 연구에 국한되어 왔다(Kim and Kim, 2008). 초미세먼지가 실생활에서 얼마나 흡입되는지를 평가하는 노출량 평가는 연구가 활발하지 않아 구체적인 결과가 보고되지 않았다(MSIP, 2016). 또한, 우리나라를 포함한 동북아시아지역의 대기오염은 유럽이나 미국에서 겪지 않은 석탄과 생물성 연소와 함께 자동차 등에서의 연소, 그리고

토양 성분의 영향이 겹쳐, 유럽이나 미국에서 이해한 대기 특성만으로는 연구 한계가 있는 실정이다(Hallquist *et al.*, 2016). 국내에서도 외국의 기술을 도입하여 정량·정성 분석이 이루어진 초미세먼지 유기성분에 대해 분석 연구를 수행하고 있으나 시작 단계이다(Choi *et al.*, 2016; Hwang *et al.*, 2014; Lee *et al.*, 2009). 사례지역 관련 연구로 서울지역 미세먼지의 계절별 특성은 겨울철 에너지 사용량의 증가와 관계가 있고, 여름에는 혼합도가 높아 대기 확산력이 강할 뿐만 아니라, 강우빈도가 늦여름에 편중됨으로 인해 오염된 공기를 세정하는 효과가 있다(Kim and Kim, 2008). 부산지역의 겨울철 고농도 미세먼지는 평상시 보다 높은 기온, 일사량, 일조시간, 낮은 상대습도와 운량일 때 발생하는 것을 확인했다(Jeon, 2012).

녹지의 환경조절 기능 관련 선행연구를 살펴보면 온도저감(Jo *et al.* 2003), 이산화탄소 흡수율(Park and Kang, 2009), 소음감소(Park and Kim, 1995), 먼지저감효과 등에 관한 연구가 진행되었으며, 수목의 규격, 수종, 밀도, 피도와 관련이 있음을 도출하였다. 대부분 대기오염물질의 저감효과 증명과 녹지의 기능성 검증이 주를 이루고 있었으며, 이와 관계된 영향요소 도출이나 영향요소와의 상관관계 분석, 이에 따른 구체적인 조성기법 등을 제안하는 경우는 다소 부족했다. 대기 중에 떠다니는 먼지는 지표면으로 떨어져 나가거나 비가 내려 씻겨나갈 때까지 나뭇잎, 줄기, 가지에 흡착되어 주변의 공기를 정화시킨다. 숲속의 먼지농도와 타 지역의 먼지농도를 비교해 볼 때 공장지대의 먼지농도는 숲에 비해 250~1,000배, 대도시의 먼지농도는 50~200배에 달한다(Yang and Kim, 2007). 1년 동안 도시 숲에서 측정된 결과, 기후와 상관없이 산림에 의한 미세먼지 농도 값 38.5%, 이산화질소 농도 값 62.4%의 저감효과가 있었다(Kim and Kim, 2008). 완충녹지에 관한 선행연구는 주로 완충녹지 조성 기법 및 개선 방안 연구(Lee *et al.*, 2008), 녹화공간의 배식기법과 식재간격에 관한 연구(Hong *et al.* 2012; Kim *et al.*, 2015) 등으로 요약할 수 있다. 가로변 녹지에 의한 미세먼지 차단 효과는 현장 측정의 어려움으로 인해 주로 모델링을 이용한 분석(Gromke *et al.*, 2016; Hagler *et al.*, 2011)이 진행되었다. 최근 국내 미세먼지 현장측정을 통한 연구로 Hong *et al.*(2018)은 넓은 오픈스페이스를 확보하고 있는 도심 도로변 지역의 경우에는 가로녹지가 오히려 바람에 의한 확산을 억제하여 차량이동에 따른 부유 미세먼지를 녹지 내부에 가두어 보도를 포함한 오픈스페이스의 미세먼지 농도를 높이는 것으로 확인되었다. 이상 현재까지 완충녹지와 관련해 진행된 연구는 현행법상 부족한 완충녹지의 식재밀도 규정과 그로 인한 조성 현황의 문제점을 지적하고, 완충녹지 내에서의 식재기법 개선과 외부 녹지체계와의 연계를 강조하고 있다. 따라서 완충녹지 자체의 구조와 식생 분석을 통한 개선방안에 관한 연구로 초미세먼지 저감에 관한 연구는 매우 부족한 실정이다

었다.

III. 연구 방법

1. 연구대상지 선정

연구대상지는 서울 시내에서 $PM_{2.5}$ 의 평균배출량과 차량등록대수가 높으며, 자동차배출원에 의한 배출비중이 높은 송파구를 선정하였다. 수서 IC에서 올림픽공원까지 송파구를 횡단하는 양재대로에 3개소, 잠실대교를 건너 북정역까지 송파구

를 남북으로 종단하는 송파대로에 2개소를 대상지로 선정하였다. 조사구는 사면형, 평지형, 마운딩형으로 구분하였다. 사면형 녹지는 총 10개의 조사구로 20m 길이에 전체 폭원은 17.0~19.5m까지 6가지로 구분되고, 14~34°까지 다양한 경사면을 이루고 있었다. 평지형 녹지는 총 3개의 조사구로 20m 길이에 전체 폭원은 12.0m, 14.5m, 15.5m 3가지로 구분되었고, 아파트단지 담장보다 1.5m 낮게 구성되어 있었다. 마운딩형 녹지는 총 3개의 조사구로 20m 길이에 전체 폭원은 28.5m로 4.4~6.4m까지의 높이차로 도로변과 단지변이 서로 다른 경사로 이루어져 있었다(Table 1, Figure 1 참조).

Table 1. Summary of plots of buffer green in the Songpa-gu, Seoul

Classification		Width(m)				Height(m)	Slope(%)	Elements
Plot no.	Types	Total	Trench planting	Pave	Green			
1	Yangjaedaero 01	18.5	2.5	6.0	10	4.4	32°	Walking tracks (soil pavement)
2	Yangjaedaero 02	19.5			11			Walking tracks (soil pavement)
3	Yangjaedaero 03	18.0			9			Walking tracks, electric installation
4	Yangjaedaero 04	19.0	2	4.0	13	5.8	28°	Walking tracks
5	Yangjaedaero 05	17.0		5.0	10	4	24°	Walking tracks
6	Yangjaedaero 06	17.5		6.0	9.5	1.8	14°	Walking tracks
7	Yangjaedaero 07	17.5		4.5	11	3.2	34°	-
8	Yangjaedaero 08	17.0			10.5	1.8	-	-
9	Yangjaedaero 09	17.0	-	6.0	11	2	-	Side road
10	Yangjaedaero 10	17.0	2	5.0	10	1.8	-	Side road
11	Spngpadaero 01	12.0	1.5	3.0	7.5	-	-	-
12	Spngpadaero 02	14.5	2	3.5	9		-	-
13	Spngpadaero 03	15.5	2	2.0	11.5		-	-
14	Spngpadaero 04	28.5	1.5	3.5	23.5	4.4	25°/20°	-
15	Spngpadaero 05					6.4	31°/32°	-
16	Spngpadaero 06					6	37°/27°	-

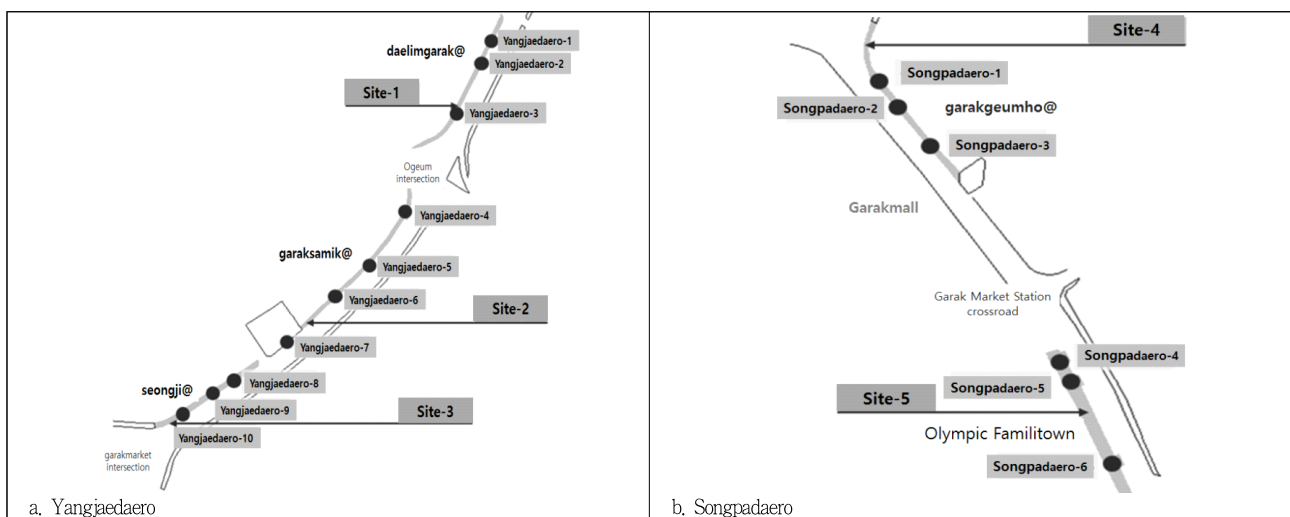


Figure 1. Location of survey site of buffer green in the Songpa-gu, Seoul

2. 조사 분석 방법

1) 완충녹지 식재구조

송파구 완충녹지 식재구조는 가로현황과 식재현황으로 구분하여 조사하였다. 가로현황은 보도폭을 측정하고, 주변 토지이용 현황, 녹지의 단면을 분석하기 위해 높이와 기울기를 조사하였다. 식재현황은 교목, 아교목, 관목별 수종을 조사하여 조사구내 위치를 표시하고, 수고와 지하고, 수관폭과 흉고직경을 측정하였다. 식재유형은 교목의 구조를 1열, 2열, 3열로 구분하고, 관목의 구조를 단층, 복층, 다층으로 구분해 분석하였다.

식재밀도는 일정면적당 식재본수를 의미하는 생육환경을 보여주는 지표로 조사구내 식생조사를 바탕으로 교목과 관목으로 나누고, 교목은 실 조사 수량, 관목은 16주/m²를 기준으로 계산하였다. 녹피율은 녹의 2차원적인 면적을 나타내는 지표로 각 조사구의 층위별로 목본수종의 수관투영면적을 합산하여 백분율로 나타내며, 층위 간 또는 수종 간 중복되는 수관투영면적은 고려하지 않았다. 수관용적은 수관폭, 수고, 지하고 측정값과 수목의 형태(구형, 원추형, 기둥형)에 따른 체적 계산공식을 적용하였다. 녹지용적계수(GVZ)는 녹의 3차원적 용적을 나타내는 지표로서 단위면적당 수관용적의 합계를 나타낸 것으로 녹지의 용적에 따라 농도 값에 미치는 영향을 파악하고자 녹지의 풍부함을 정량적 자료로 산출하는 녹지용적계수를 분석하였다.

2) 초미세먼지 농도 측정

서울시는 2014년부터 서울시 대기환경정보에서 초미세먼지를 측정하고 있으며, 2014년 기준 1~5월까지 서울시와 송파구 농도가 서울시 대기환경기준인 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하는 것을 확인하였으며, 2014년은 8~10월, 2015년은 4~7월, 9월을 제외하고 모두 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 가 넘는 것을 확인하였다. 현장조사 당일 대기환경정보에 의한 송파구 초미세먼지와 해당조사구의 실측 농도 값 평균은 표준측정 장비와 휴대용 장비는 측정방법이 달라 절대적 수치비교가 어려워 보정계수를 이용해 비교하였고, 휴대용 장비로 실시간 측정된 농도 값의 신뢰성을 알아보았다. 실 측정값의 평균에 보정계수인 0.42를 적용했을 때 당일 서울시 측정값과 유사하게 나타나는 것을 확인할 수 있었으며, 겨울철 보정값의 평균은 25.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 2015년 송파구 1월 현장측정 평균값인 27.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 유사하며, 봄철 보정값의 평균은 16.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 2015년 송파구 5월 현장측정 평균값인 19.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 유사하여 실측한 농도 값의 적정성을 확인할 수 있었다. 본 연구에서는 기상관련 AWS 자료 분석과 서울시 대기환경정보에서 구축한 선행측정 결과를 바탕으로 겨울(2016년 1월 14일)과 봄(2016년 5월 12일) 2회에 걸쳐 대상지의 PM_{2.5} 농도를 측정 한 값으로 연구를 진행하였다. 일

반적으로 미세먼지량은 1일 측정 자료의 평균값을 사용하게 되는데, 본 연구는 거시적 관점에서 다루는 다른 지역과의 평균적인 오염농도 비교가 아닌 미시적 관점에서 완충녹지에 의한 농도변화를 살펴보기 위한 것으로 실시간 자동측정법을 기준으로 상호간 증감비율을 비교하였다. 초미세먼지 측정 장비는 EDC(Environmental Devices Corporation)사의 실시간 자동측정 장치인 AA-3500 에어로졸 모니터를 사용해 측정하였다. 선행의 완충녹지마다 폭 20m의 조사구를 선정해 도로에서 완충녹지 끝까지를 횡단하는 방식으로 도로(a), 보도(b), 녹지(c), 주거지(d-녹지가 없는 지역) 4지점으로 구분해 각 지점마다 가슴높이에서 4초간 8회씩 측정하였다(Figure 2 참조).

3) 식재구조와 초미세먼지 관계 분석

조사구의 식생구조 분석을 통해 녹지유형별 조사구의 녹피율, 녹지용적, 녹지용적계수를 분석하였다. 조사구별 농도의 경향성 분석을 위해 겨울과 봄, 전체로 나누어 도로, 보도, 녹지, 주거지의 평균값과 측정지별 농도 상대비율을 비교해 계절별 특성을 분석하였다. 도로 농도 대비 녹지와 주거지 농도와의 상호 간 평균차이가 있는지를 검정하기 위해 겨울과 봄, 16개 조사구마다 8회 반복한 각 256개의 농도 값으로 독립표본 T검정을 실시하였다. 초미세먼지 농도 증감과 관련된 영향요소 도출을 위해 녹피율, 녹지용적계수 등 정량변수와 교목구조, 관목구조 등 명목변수를 기준으로 SPSS 21.0 프로그램을 사용해 상관관계 분석을 실시하였고, 이를 통해 도출된 녹량과의 관계 분석을 위해 R 프로그램의 Gaussian Mixture 기법을 이용해 녹량 특성별로 조사구를 유형화하였다. 식재구조와 주거지농도 상대비율 간의 관계분석을 위해 교목구조를 교목 1열, 교목 2열, 교목 3열로 구분하였고, 관목구조는 지피, 관목, 대관목을 구분해 단층, 복층, 다층으로 구분하여 일원배치분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였다. 계절별 특성파악을 위해 겨울과 봄의 농도 값 평균치를 별도로 비교하고, 계절별 상관관계분석에 따른 영향요소별 특징을 녹량과 연계해 분석하였다. 또한, 겨울철 농도 값을 기준으로 녹지유형별 관목 녹피율과의 관계를 파악하기 위해 일원배치분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였다(Table 2 참조).

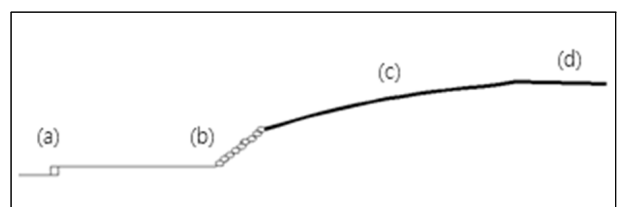


Figure 2. Measuring position of the ultra-fine particles(PM_{2.5})

Legend: (a) Road (b) Pedestrian path (c) Buffer green (d) Residential area

Table 2. Analysis method and variables

Classification	Variable item	Analysis method
Quantitative variable	Green rate, green volume coefficient ↔ Concentration fluctuated concentration rate	Correlation analysis
Nominal variable	Plot type by the characteristics of the amount of rust	Gaussian mixture technique
	Tree structure, shrub structure	One-way ANOVA

IV. 결과 및 고찰

1. 완충녹지 식재구조

녹지유형별 평균 녹량을 비교해 보면 교목 녹피율은 평균 53.2%로 마운딩형 녹지가 70.6%로 가장 높았고, 관목 녹피율은 평균 11.1%로, 평지형 녹지가 18.7%로 가장 높았다. 녹지용적은 평균 1,294.0m³로 교목은 마운딩형 녹지가 3,030.4m³로 가장 많았고, 관목은 평균 24.5m³로, 평지형 녹지가 32.9m³로 가장 많았다. 녹지용적계수는 평균 3.10m³/m²로 마운딩형 녹지가 5.35m³/m²로 가장 높았고, 관목은 평균 0.15m³/m²로 마운딩형 녹지가 0.48m³/m²로 가장 높았다. 녹지유형별 녹량은 교목은 마운딩형 녹지가 많았으며, 관목은 평지형 녹지가 많은 것을 확인할 수 있었다. 현황 결과, 조사구 16개소 중 녹지유형별로

사면형, 평지형, 마운딩형의 모든 유형이 배치되어 있었으며, 마운딩형 녹지에서 1열 식재 구조가 없는 것을 제외하면 식재 구조 유형도 모든 대상지에 고루 분포되어 다양한 분석이 가능하였다. 전체적으로 조사구내 녹피율 비중은 교목이 많았으며, 교목이 많이 식재된 조사구는 상대적으로 관목이 적게 식재되고, 반대로 교목이 적을 경우 관목이 상대적으로 많이 식재된 경향을 보였다. 이는 교목이 적을 경우 피복율 증대를 위해 상대적으로 관목의 식재가 높았던 것으로 추정되며, 녹지유형별 녹량은 마운딩형이 교목과 관목 모두 많았고, 사면형은 교목 녹량이, 평지형은 관목 녹량이 많은 것으로 확인되어 초미세먼지 농도 증감과의 영향을 살펴볼 필요가 있었다(Table 3 참조).

2. 초미세먼지 농도

Table 3. Status of planting types of buffer green in the Songpa-gu, Seoul

Classification	Planing type	Plot	Ratio of green(%)		Green volume(m ³)		Green volume coefficient(m ³ /m ²)		
			Trees	Shrubs	Trees	Shrubs	Trees	Shrubs	whole
Plain-type	One-rows panting	Songpadaero 01	48.1	8.5	257.9	9.8	1.07	0.04	-
	Two-rows planting	Songpadaero 03	36.2	25.3	298.5	51.6	0.96	0.17	
	Three-rows planting	Songpadaero 02	56.7	22.3	606.2	37.2	2.09	0.13	
	Mean		47.0	18.7	387.5	32.9	1.37	0.11	
Slope-type	One-rows panting	Yangjaedaero 03	43.2	9.8	788.3	22.1	2.19	0.06	-
		Yangjaedaero 05	51.1	16.6	410.5	26.5	1.21	0.08	
		Yangjaedaero 07	26.0	12.0	484.9	77.5	1.39	0.22	
		Mean	40.1	12.8	561.23	42.03	1.60	0.12	
	Two-rows planting	Yangjaedaero 01	77.9	5.6	1,635.7	7.6	4.42	0.02	
		Yangjaedaero 02	48.5	10.6	1,077.3	19.8	2.76	0.05	
		Yangjaedaero 06	68.0	7.4	1,341.2	7.9	3.83	0.02	
		Yangjaedaero 08	47.1	12.9	1,826.1	23.0	5.37	0.07	
		Yangjaedaero 09	26.8	11.8	604.0	22.0	1.78	0.06	
		Yangjaedaero 10	73.2	5.0	1,678.1	6.7	4.94	0.02	
		Mean	56.9	8.9	1,360.40	14.50	3.85	0.04	
	Three-rows planting	Yangjaedaero 04	36.0	13.1	604.3	34.4	1.59	0.09	
	Mean		49.8	10.5	1,045.04	24.75	2.95	0.07	
Mounding-type	Two-rows planting	Songpadaero 05	73.9	5.8	4,050.8	15.3	7.11	0.03	-
		Songpadaero 06	74.3	2.3	3,934.1	6.6	6.91	0.01	
		Mean	74.1	4.1	3,992.5	11.0	7.01	0.02	
	Three-rows planting	Songpadaero 04	63.6	8.4	1,106.3	23.6	2.04	1.39	
	Mean		70.6	5.5	3,030.4	15.2	5.35	0.48	

겨울철 조사는 2016년 1월 14일 차량통행이 가장 많은 출근 시간대인 07:30부터 농도 측정을 시작했으며, 당일 기상은 기온 $-8 \sim -1^{\circ}\text{C}$, 습도 24~49%, 풍속은 1~2m/s로 오전과 오후의 변화가 있었다. 겨울철의 평균 농도는 $55.5\mu\text{g}/\text{m}^3$, 평균 농도의 최저값은 $28.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 송파대로 04, 최고값은 $88.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 양재대로 09에서 확인되었다. 최저 농도 값은 $17.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 송파대로 04의 녹지대에서 측정되었으며, 최고 농도 값은 $114\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 양재대로 09 도로변에서 측정되었다. 봄철 조사는 2016년 5월 12일 08:00부터 농도 측정을 시작했으며, 당일 기상은 기온 $12 \sim 22^{\circ}\text{C}$, 습도 45~60%, 풍속은 1~4m/s로 바람의 변화가 심해 풍속이 적을 때를 기준으로 측정했으며, 겨울철 대비 풍속의 변화가 심하였다. 봄철 평균 농도는 $38.6\mu\text{g}/\text{m}^3$, 평균농도의 최저값은 $24.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 송파대로 04, 최고값은 $57.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 송파대로 03에서 확인되었다. 최저 농도 값은 $18\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 양재대로 03의 주거지, 송파대로 04의 녹지, 송파대로 05의 녹지와 주거지에서 측정되었으며, 최고 농도 값은 $84\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 송파대로 03의 도로변에서 측정되었다. 겨울과 봄 2회에 걸쳐 측정한 전체 농도 값의 평균농도와 계절별 농도 값을 비교해 보면 최저로 측정되는 조사구는 송파대로 04로 동일하나, 최고측정값은 전체농도와 계절별 농도가 상이한 것을 확인할 수 있었다. 양재대로 08과 09는 계절별 농도 차이가 가장 심했으며, 양재대로 04, 송파대로 03, 06은 봄이 겨울보다 높게 측정되어 녹량과의 관계나 조사구별 환경적 특성을 분석해 볼 필요가 있었다. 계절별 평균농도는 봄철 평균농도가 $38.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 겨울철 평균농도 $55.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 좀 더 낮은 값이 측정되는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 선행연구(Kim and Kim, 2008)와 일치하는 결과였다(Table 4 참조).

조사구별 도로, 보도, 녹지, 주거지로 구분해 측정지점별 상대적 농도 변화를 확인하기 위해 전체 농도 값과 계절별 농도 값을 나누어 표로 정리하였다. 전체 농도를 기준으로 분석한 결과는 도로 지점의 농도보다 모든 지점이 낮아지는 경향을 보였으며, 발생지점인 도로에서부터 거리상 순서인 보도 > 녹지 > 주거지 순으로 낮아지는 경향을 확인할 수 있었다. 겨울철 평균 농도는 도로의 농도 값보다 녹지 > 보도 > 주거지 순으로 전체 비교되는 상이하게 녹지의 농도가 보도의 농도보다 상대적으로 높은 것을 확인할 수 있었으나, 봄철 평균 농도는 도로의 농도 값보다 보도 > 녹지 > 주거지 순으로 녹지의 농도가 다시 보도의 농도보다 낮게 나와, 전체 농도 값의 분석치와

동일한 결과가 나오는 것을 확인할 수 있었다. 이는 봄철 교목의 잎이 나면서 직접적인 영향을 받는 녹지부분의 농도 값에 영향을 준 것으로 추측할 수 있었으며, 이 또한 그 영향관계를 분석할 필요가 있었다(Figure 3 참조).

본 연구에서는 측정지점별, 시기별, 환경별 측정순간에 따라 변화가 심한 농도 값의 수치적 비교보다는 상대적 상대비율을 분석하여 완충녹지로 인한 증감효과를 비교했으며, 통계적 유의성이 확인된 주거지 농도 값을 기준으로 녹지유형별 상대비율의 평균치를 비교하고, 폭원과의 관계성도 분석하였다(Table 5 참조). 겨울철 주거지의 평균 상대비율은 91.1%로 녹지의 평균 상대비율은 93.1%보다 더 낮았고, 조사구 중 녹지부분에서 가장 감소율이 낮은 조사구는 송파대로 04였으며, 주거지 중 가장 상대비율이 낮은 조사구는 양재대로 04이었다. 녹지유형별 주거지 농도 상대비율의 평균치를 분석해 보면 사면형 > 평지형 > 마운딩형 순으로 상대비율이 낮았으며, 폭원별 평균치

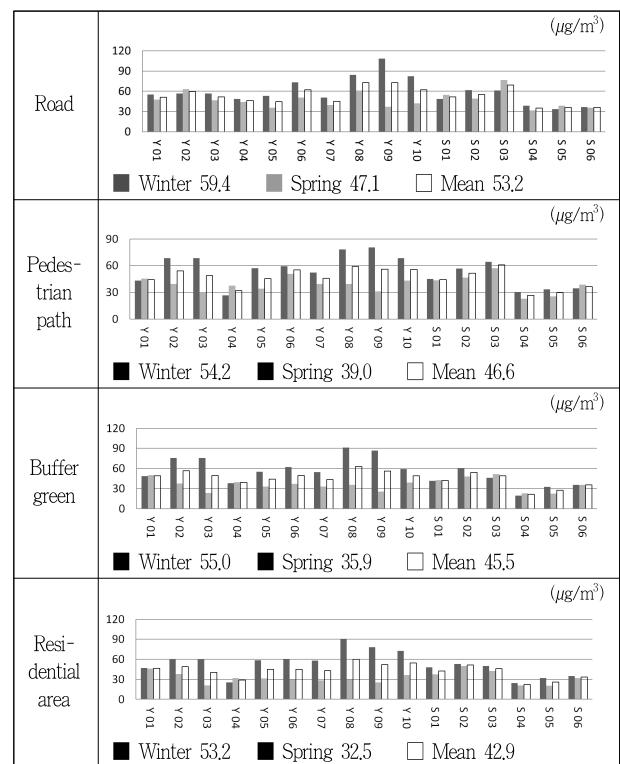


Figure 3. Average concentration by season of ultra-fine particles (PM_{2.5}) of buffer green in the Songpa-gu, Seoul

Table 4. Result of ultra-fine particles(PM_{2.5}) of buffer green in the Songpa-gu, Seoul

Classification	Mean($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Yangjaedaero										Songpadaero					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6
Whole	47.0	47.7	54.9	47.7	36.5	44.7	52.8	44.4	63.8	59.0	55.4	45.1	53.1	56.2	26.4	29.8	35.4
Winter	55.5	48.3	65.3	65.2	34.7	55.8	63.8	53.8	86.1	88.4	70.7	45.7	57.8	55.4	28.3	32.9	35.3
Spring	38.6	47.1	44.6	30.1	38.3	33.6	41.9	35.0	41.4	29.7	40.1	44.4	48.4	57.0	24.5	26.7	35.4

Table 5. Fluctuated concentration rate of the ultra-fine particles(winter) of buffer green in the Songpa-gu, Seoul

Plot			Fluctuated concentration rate of road(%)					
No.	Type	Width(m)	Pedestrian path		Tree		Residential area	
			Winter	Spring	Winter	Spring	Winter	Spring
Yangjaedaero 01	Slope-type	18.5	78.4	95.5	87.7	105.0	85.5	96.3
Yangjaedaero 02		19.5	120.7	62.9	132.7	59.7	105.7	60.5
Yangjaedaero 03		18.0	120.7	62.8	132.7	50.3	105.3	44.7
Yangjaedaero 04		19.0	54.5	85.8	78.0	90.0	51.4	73.2
Yangjaedaero 05		17.0	107.0	95.1	102.8	92.7	127.0	87.8
Yangjaedaero 06		17.5	81.1	100.2	84.8	72.4	82.3	57.6
Yangjaedaero 07			103.7	98.7	107.7	82.7	114.4	71.1
Yangjaedaero 08		17.0	93.0	64.8	108.2	58.1	107.7	48.3
Yangjaedaero 09			74.4	84.7	79.8	68.5	72.2	68.5
Yangjaedaero 10			83.0	102.7	71.5	92.9	88.0	86.6
Slope-type total			91.6	85.3	98.6	77.2	93.9	69.5
Songpadaero 01	Plain-type	12.0	92.5	79.6	85.1	77.3	98.5	68.2
Songpadaero 02		14.5	92.3	94.9	98.2	97.5	85.8	102.0
Songpadaero 03		15.5	105.3	74.2	75.3	66.7	81.2	55.2
Plain-type total			96.7	82.9	86.2	80.5	88.5	75.1
Songpadaero 04	Mounding-type	28.5	78.7	72.3	50.3	72.3	62.6	65.6
Songpadaero 05			98.9	66.6	96.7	58.1	94.1	52.3
Songpadaero 06			94.5	108.4	97.6	99.3	96.6	89.8
Mounding-type total			90.7	82.4	81.5	76.6	84.4	69.2
Whole average			92.4	84.3	93.1	77.7	91.1	70.5

를 분석해 보면 19m > 15.5m > 28.5m 순으로 폭원과 상관없이 불규칙적인 상대비율을 확인할 수 있었다. 봄철 주거지의 평균 상대비율은 70.5%로 녹지의 평균 상대비율 77.7%보다 더 낮았고, 조사구 중 녹지부분에서 가장 감소율이 낮은 조사구는 양재대로 03이었으며, 주거지 중 가장 상대비율이 낮은 조사구 또한 양재대로 03이었다. 녹지유형별 주거지 농도 상대비율의 평균치를 분석해 보면 유사한 차이로 평지형 > 사면형 > 마운딩형 순으로 겨울철과는 다른 결과를 보였다. 폭원별 평균치를 분석해 보면 18m > 19.5m > 15.5m 순으로 폭원과 상관없이 불규칙적인 상대비율을 확인할 수 있었다.

3. 초미세먼지 농도상대비율과 영향요인간 관계분석

1) 초미세먼지 농도 기준

전체, 겨울, 봄으로 나누어 분석한 조사구별 농도 값이 통계적 유의성을 갖는지를 확인하기 위해 녹지의 영향을 받지 않는 보도 값을 제외한 도로, 녹지, 주거지에서 측정된 각각의 농도 값을 *T*-test 분석으로 검정해 초미세먼지 발생지점인 도로의 농도 값과 유의한 차이가 있는 측정지점을 확인하였다. 표본수는 겨울과 봄 측정값 각 256개로 도로변 평균농도는 53.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,

녹지 평균농도는 45.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 주거지 평균농도는 42.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 도로와 녹지는 7.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 주거지와는 10.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 차이가 있었으나, 환경변수에 따라 조사구별 차이 값은 변화가 있었다(Table 6 참조). 도로와의 등분산 검정결과, 녹지는 유의확률 0.299, 주거지는 0.147로 등분산이 가정되었으며, 전체 농도 값의 도로와 녹지, 주거지 각각의 평균 농도 값은 통계적으로 유의한 값으로 인정되었다(Table 7 참조).

겨울철 도로와의 등분산 검정결과, 녹지는 유의확률 0.475, 주

Table 6. Group statistics

Classification	No	Season	Mean ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Std. error mean	Std. deviation
Road	128	Winter	59.4	1.71384	19.38991
		Spring	47.1	1.08982	12.32986
	256	Whole	53.2	1.08374	17.33991
Green	128	Winter	55.0	1.73719	19.65404
		Spring	35.9	0.82120	9.29085
	256	Whole	45.5	1.13011	18.08173
Residential area	128	Winter	53.2	1.60017	18.10391
		Spring	32.5	0.78745	8.90896
	256	Whole	42.9	1.10189	17.63023

Table 7. Independent samples test

Classification		Levene's statistic		t-test for equality of means				
		F	Sig.	t	af	Sig(2-tailed)	Mean difference	Std. error difference
Green	Equal variances assumed	1,079	0,299	4,950	510	0,000	7,75000	1,56577
	Equal variances not assumed			4,950	509,108	0,000	7,75000	1,56577
Residential area	Equal variances assumed	2,112	0,147	6,726	510	0,000	10,39453	1,54553
	Equal variances not assumed			6,726	509,859	0,000	10,39453	1,54553

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

거지는 유의확률 0.702로 두 집단의 등분산이 가정되었으며, 이에 반해 봄철 도로와의 등분산 검정결과, 녹지는 유의확률 0.004, 주거지는 유의확률 0.001로 두 집단의 등분산이 가정되지 않아 봄철 녹지와 주거지의 농도 값은 분산이 동일하지 않은 표본으로 분석되었다. T-test 분석결과, 겨울철 도로와 녹지와의 유의확률 0.077로 유의성이 인정되지 않았으며, 주거지와 유의확률은 0.009로 0.01보다 작으므로 겨울철 도로와 주거지의 평균은 통계적 차이가 있는 유의한 값으로 인정되었다. 따라서 겨울과 봄철 녹지, 주거지 농도 값과 도로와의 독립표본 분석결과, 통계적으로 차이가 없는 표본으로 겨울철 주거지 농도 값만이 통계적 유의성을 인정받았으므로 계절별 영향요소 및 관계분석 필요시 겨울철 주거지 농도 값을 기준으로 삼았다 (Table 8 참조). 겨울철은 식재환경으로 인한 영향이 적은 계절로 수목의 영향을 직접적으로 받는 녹지에서 좀 더 불규칙적인 값이 많이 측정된 것으로 판단되며, 봄철의 농도 값은 수목의 잎이 나면서부터 초미세먼지의 차단효과가 증대되어 녹지를 지나 측정된 녹지와 주거지의 농도 값이 불규칙적이 되면서 일정한 분산분포의 농도 값이 측정되지 않은 것으로 판단되었다. 따라서 봄철의 녹지와 주거지, 겨울철의 녹지 평균값은 통계상 도로의 평균값과 서로 다른 표본으로 볼 수 없었다. 겨울철 주거지 농도와 전체 데이터를 기준으로 분석한 녹지와 주거지 농도는 통계적으로 서로 다른 표본으로 인정되어 통계상 비교 의미가 있음을 확인할 수 있었다.

2) 녹량과 농도 상대비율 간 관계분석

전체, 겨울, 봄의 녹지와 주거지 상대비율을 기준으로 조사구별 교목 녹피율, 교목녹지용적계수, 관목 녹피율, 관목 녹지용적계수와 각각의 합계로 구분해 조사구의 녹량을 정량변수로 삼아 상관관계를 분석하였다 (Table 9 참조). 전체의 상대비율을 기준으로 조사한 결과, 녹지 상대비율은 특별한 상관관계가 나타나지 않았으며, 주거지 상대비율은 교목 녹피율과 상관계수 0.131, 유의확률 0.037, 녹피율 상관계수 0.142, 유의확률 0.023로 95% 신뢰수준의 양의 상관관계가 있었다. 계절별 특징으로 겨울의 경우, 녹지 상대비율이 교목 녹피율과 상관계수 -0.190, 유의확률 0.032, 녹피율은 상관계수 -0.211, 유의확률 0.017로 95% 신뢰수준의 음의 상관관계가 있었으며, 주거지 상대비율과는 통계적 신뢰수준의 상관관계가 있는 항목은 없었다. 봄의 경우, 녹지 상대비율과 주거지 상대비율 모두 교목 녹피율과 상관계수 0.322, 유의확률 0.000으로 99% 신뢰수준의 양의 상관관계가 있었으며, 녹피율은 녹지상대비율 상관계수 0.348, 주거지상대비율 상관계수 0.373으로 둘 다 유의확률 0.000으로 99% 신뢰수준의 양의 상관관계를 확인했다. 겨울과 봄의 결과를 통해 계절별 차이가 있음을 확인할 수 있었으나, 봄의 경우 통계적 유의성이 인정되지 않은 데이터기에 고려하지 않았다. 겨울은 관목, 봄은 교목의 영향이 있는 것으로 확인되고 있으며, 관목의 녹량은 많을수록 저감효과가 증가하는데 비해 교목의 녹량은 일부의 경우 저감효과가 줄어드는 것으로 보아 수

Table 8. Test for independence in ultra-fine particles of green and residential area(winter, spring)

Classification			Levene's statistic		t-test for equality of means				
			F	Sig.	t	af	Sig(2-tailed)	Mean difference	Std. error difference
Winter	Green	Equal variances assumed	0,512	0,475	1,774	254	0,077	4,328	2,440
		Equal variances not assumed			1,774	253,954	0,077	4,328	2,440
	Residential area	Equal variances assumed	0,147	0,702	2,622	254	0,009	6,148	2,345
		Equal variances not assumed			2,622	252,813	0,009	6,148	2,345
Spring	Green	Equal variances assumed	8,673	0,004	8,187	254	0,000	11,17188	1,36458
		Equal variances not assumed			8,187	236,060	0,000	11,17188	1,36458
	Residential area	Equal variances assumed	10,851	0,001	10,889	254	0,000	14,64063	1,34453
		Equal variances not assumed			10,889	231,205	0,000	14,64063	1,34453

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

Table 9. Correlation analysis green quantity in buffer green

Classification			Trees ratio of green	Trees volume coefficient	Shrubs ratio of green	Shrubs volume coefficient	Ratio of green	Green volume coefficient	Green volume
Whole	Green fluctuated concentration rate	Pearson correlation coefficient	0.041	0.058	-0.018	0.050	0.041	0.061	0.034
		Sig. (2-tailed)	0.517	0.351	0.780	0.426	0.514	0.331	0.587
		N	256	256	256	256	256	256	256
	Residential area fluctuated concentration rate	Pearson correlation coefficient	0.131*	0.073	-0.029	0.047	0.142*	0.076	0.046
		Sig. (2-tailed)	0.037	0.242	0.650	0.458	0.023	0.224	0.459
		N	256	256	256	256	256	256	256
Winter	Green fluctuated concentration rate	Pearson correlation coefficient	-0.190*	0.080	0.030	0.119	-0.211*	0.085	0.047
		Sig. (2-tailed)	0.032	0.368	0.736	0.181	0.017	0.341	0.597
		N	128	128	128	128	128	128	128
	Residential area fluctuated concentration rate	Pearson correlation coefficient	-0.031	0.149	-0.049	0.146	-0.058	0.156	0.102
		Sig. (2-tailed)	0.726	0.093	0.579	0.099	0.516	0.079	0.253
		N	128	128	128	128	128	128	128
Spring	Green fluctuated concentration rate	Pearson correlation coefficient	0.322**	0.042	-0.077	-0.026	0.348**	0.042	0.024
		Sig. (2-tailed)	0.000	0.639	0.386	0.772	0.000	0.636	0.788
		N	128	128	128	128	128	128	128
	Residential area fluctuated concentration rate	Pearson correlation coefficient	0.322**	0.019	-0.016	-0.040	0.373**	0.019	0.005
		Sig. (2-tailed)	0.000	0.829	0.861	0.657	0.000	0.834	0.957
		N	128	128	128	128	128	128	128

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

목 자체의 흡수나 흡착에 의한 효과로 보긴 어려웠다. 초미세 먼지의 계절별 농도 차이가 대기 확산력에 따른 결과(Kim and Kim, 2008)임을 고려할 때 관목은 다층식재로 확산을 유도하고, 교목의 밀식은 수관 중첩으로 인해 일부 확산이 방해될 수 있다는 점에서 수목의 차단효과에 의한 결과로 판단되었다.

상관관계 분석을 통해 농도 상대비율과 관계가 있는 요소는 다양한 녹량 요소들로 상호간의 복합적인 관계에 의한 것으로 확인되었다. 이에 녹량과 관계가 있는 면적기준의 녹피율과 체적기준의 녹지용적계수를 통해 유사한 특성을 가진 조사구 별로 유형화하였다. 대상지 그룹화 방법은 통계프로그램인 R을 사용한 Gaussian Mixture 모델기법으로 교목 녹피율과 관목 녹피율, 교목 녹지용적계수와 관목 녹지용적계수 4개의 항목을 기준으로 유사한 조사구를 분류하였다. 기준수치별로 분포된 농도 비율을 분석해 주요 범위에서 이질적으로 벗어나

는 값이 어느 정도인지 성격을 분류하였다(Table 10 참조). 교목 녹피율의 경우, 2개의 포물선이 만들어져 다른 특성을 가진 2개의 그룹으로 나눌 수 있었으며, 관목 녹지용적계수의 경우 큰 차이가 없는 3개의 이질적인 데이터를 확인할 수 있었다. 이러한 분석과정을 거쳐 통계프로그램 R은 녹량별 특성이 유사한 조사구를 그룹화시켜 5개의 그룹으로 분류하였다.

그룹별로 녹량 특성을 살펴보면 1그룹은 관목의 녹량이 적은 만큼 유사한 수준으로 교목 녹량이 많은 조사구로 “녹량 균형형” 그룹이다. 2그룹은 관목 녹지용적계수, 관목 녹피율, 교목 녹지용적계수, 교목 녹피율이 모두 낮아 전체 녹량이 상대적으로 부족한 “녹량 부족형” 그룹이다. 3그룹은 교목 녹피율이 크게 낮아 교목녹량이 부족한 것에 비해 가장 높은 관목 녹지용적계수를 가지고, 관목녹량이 넓게 분포하고 있는 “관목 풍부형” 그룹이다. 4그룹은 관목 녹량이 많은데 비해 교목의 녹

Table 10. Grouping plot green quantity in buffer green

Classification	Trees green quantity	Shrubs green quantity	Plot	Classification by gaussian mixture
1 Group	Top rating	Subclass	4	Yangjaedaero 01, Yangjaedaero 06, Yangjaedaero 10, Songpadaero 04
2 Group	Subclass	Subclass	5	Yangjaedaero 02, Yangjaedaero 03, Yangjaedaero 05, Yangjaedaero 08, Songpadaero 01
3 Group	Lowest rank	Top ranking	3	Yangjaedaero 04, Yangjaedaero 07, Yangjaedaero 09
4 Group	Subclass	Top rating	2	Songpadaero 02, Songpadaero 03
5 Group	Top ranking	Lowest rank	2	Songpadaero 05, Songpadaero 06

량이 다소 부족한 “교목 부족형” 그룹이다. 5그룹은 교목의 녹량은 많은 편이나 관목의 녹량이 그룹별 평균치 이상으로 가장 부족한 “관목 부족형” 그룹이다(Table 11 참조). 녹량 특성별 농도 상대비율에 따른 분산의 동질성을 검정하였다. 검정 결과, 유의확률 $p=0.000$ 으로 분산이 같다는 귀무가설을 기각되었다. 따라서 그룹별 농도 상대비율은 그룹별로 분산의 범위가 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 녹량 특성별 농도 상대비율에 따른 분산분석 결과, 유의확률 $p=0.163$ 으로 유의성이 인정되지 않았다(Table 12 참조). 이는 그룹별로 농도 상대비율의 평균에 차이가 없다는 귀무가설이 기각되지 않아, 그룹별 농도 상대비율은 그룹별로 평균의 차이가 없다는 것이나, 통계적 신뢰수준을 낮추면 80% 수준의 유의성은 인정되었다는 뜻이기도 하다.

Figure 4는 녹량 특성별 그룹에 따른 농도 상대비율의 평균 값 비교 그래프이다. 녹량 특성별로 평균 상대비율이 75.27%인 관목 풍부형 그룹이 가장 낮은 값으로 78.55%인 녹량 균형형 그룹, 81.37%인 교목 부족형 그룹, 83.62%인 관목 부족형 그룹,

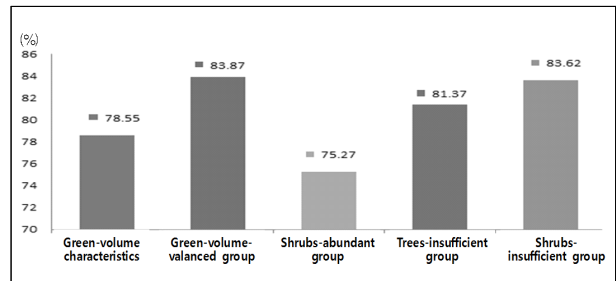


Figure 4. Comparison graph of average value of concentration fluctuated concentration rate

83.87%인 녹량 부족형 그룹 순이었으며, 전체적으로 녹량이 부족했던 녹량 부족형 그룹의 평균 상대비율이 가장 높은 것으로 나타나 다른 그룹에 비해 상대적으로 저감효과가 적은 그룹임을 확인할 수 있었다.

농도 상대비율은 초미세먼지의 대기확산 성질에 의해 완충 녹지 내 초미세먼지를 확산시켜 일정 지역의 정체된 양을 조절하는 것으로, 이는 수목의 배치방법과 녹지의 물리적 구조, 식재의 녹량 및 구조와 상호 복합적인 관계에 의해 영향을 미칠 것으로 추측되어졌다. 이에 수목을 어떻게 배치했는지와 조사구의 물리적 구조와도 영향이 있을 수 있으며, 관목은 다층구조의 배치방법으로 초미세먼지를 대기로 확산 유도하며, 교목은 조사구내에 분산 배치하여 여러 겹으로 초미세먼지를 차단하여 농도 상대비율을 낮출 수 있을 것으로 추측되어졌다.

3) 식재구조와 농도 상대 비율 간 관계분석

겨울과 봄의 전체 상대비율을 기준으로 조사구의 식재구조(높이, 폭)를 교목구조와 관목구조로 구분해 명목변수로서의 상관관계를 분석하였다(Table 13 참조). 그 결과, 주거지 상대비율은 교목구조와 관목구조와 음의 상관관계에, 녹지 상대비율은 녹지폭원과 음의 상관관계에 있는 것을 확인할 수 있었다. 주거지 및 녹지 상대비율은 교목구조(1열, 2열, 3열)와 관목구조(단층, 복층, 다층)의 음의 상관관계 즉, 교목구조의 열이 많은 곳, 관목구조의 층이 많은 곳에서 주거지와 녹지의 상대비율이 더 낮았다. 녹지폭원 또한 상대비율에 영향을 미치고 있으며, 녹지폭원이 넓은 곳에서 상대비율이 더 낮은 것을 확인할 수 있었다. 이는 녹지폭원이 넓을수록 교목과 관목의 식재량이 많아져 대상지내의 녹량이 증대하기 때문에 생기는 영향이라 판단되었다.

Table 12. Statistical analysis for fluctuated concentration rate of the green quantity characteristic

a. Group statistics

Classification	Number of samples(N)	Mean (%)	Std. deviation	Std. error	Min (%)	Max (%)
Green-volume characteristics	64	78.545	14.6078	1.8260	46.3	102.2
Green-volume-valanced group	80	83.874	25.5432	2.8558	35.6	124.4
Shrubs-abundant group	48	75.273	20.2215	2.9187	45.1	132.0
Trees-insufficient group	32	81.372	18.1212	3.2034	48.1	116.3
Shrubs-insufficient group	32	83.619	19.9203	3.5214	46.7	118.5
Total	256	80.584	20.7211	1.2951	35.6	132.0

b. Levene's test for equality of variances

Levene's statistics	df1	df2	Sig.
9.491	4	251	0.000

c. Analysis of variance(ANOVA)

Classification	Sum of squares	df	Mean sum squares	F	Sig.
Between groups	2,800.336	4	700.084	1.647	0.163
Within groups	106,687.242	251	425.049	-	-
Total	109,487.578	255	-	-	-

Table 11. Group of green quantity in buffer green

Classification	Green-volume characteristics	Green-volume-valanced group	Shrubs-abundant group	Trees-insufficient group	Shrubs-insufficient group
Shrub_factor	-0.8504356	-0.14341046	0.3714698	1.3786250	-0.8923309
Shrub_grate	-0.7652786	-0.08449905	0.1535799	2.1282590	-1.1772378
Arbor_factor	0.5123597	-0.45691601	-0.7568268	-0.7887814	1.9526057
Arbor_grate	1.0463696	-0.30367921	-1.5820633	-0.4009653	1.2534416

Table 13. Correlation analysis plant structure in buffer green

Classification			Width	Green width	Height	Shrubs structure type	Trees structure type
Whole	Residential area fluctuated concentration rate	Pearson correlation coefficient	-0.100	-0.120	-0.033	-0.240**	-0.153*
		Positive probability(both sides)	0.111	0.056	0.597	0.000	0.014
		N	256	256	256	256	256
	Green fluctuated concentration rate	Pearson correlation coefficient	-0.095	-0.153*	0.100	-0.107	-0.095
		Positive probability(both sides)	0.130	0.014	0.111	0.088	0.130
		N	256	256	256	256	256
Winter	Residential area fluctuated concentration rate	Pearson correlation coefficient	-0.171	-0.234**	-0.052	-0.242**	-0.613**
		Positive probability(both sides)	0.054	0.008	0.557	0.006	0.000
		N	128	128	128	128	128
	Green fluctuated concentration rate	Pearson correlation coefficient	-0.146	-0.279**	0.179*	-0.117	-0.436**
		Positive probability(both sides)	0.101	0.001	0.043	0.189	0.000
		N	128	128	128	128	128
Spring	Residential area fluctuated concentration rate	Pearson correlation coefficient	-0.057	-0.040	-0.023	-0.301**	0.254**
		Positive probability(both sides)	0.523	0.655	0.794	0.001	0.004
		N	128	128	128	128	128
	Green fluctuated concentration rate	Pearson correlation coefficient	-0.049	-0.028	0.022	-0.112	0.298**
		Positive probability(both sides)	0.580	0.755	0.810	0.207	0.001
		N	128	128	128	128	128

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

평균 상대비율은 교목 1열 구조가 84.77%로 가장 높게 나타났으며, 이는 농도효과가 가장 낮은 것을 의미한다. 교목 3열 구조가 75.02%로 가장 낮게 나타났으므로 농도 저감효과가 가장 높은 것으로 해석할 수 있다. 교목 배치 시 집중식재보다 분산 식재하는 것이 녹지 내에 바람통로를 확보해 초미세먼지가 대기 중으로 확산하는 것을 돕게 되어 농도가 낮아지는 것으로 추정할 수 있었다.

표준편차결과, 관목 다층구조의 분산범위가 다른 집단에 비해 다소 넓은 것을 확인할 수 있었다. 교목구조별 농도 상대비율에 따른 분산의 동질성을 검정하였다. 검정 결과, 유의확률 $p=0.002$ 로서 분산이 같다는 귀무가설을 기각한다. 따라서 교목구조별 농도 상대비율은 그룹별로 분산은 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 교목구조별 농도 상대비율에 따른 분산분석 결과를 나타낸 것이다. 이는 교목구조 유형별로 농도 상대비율에 차이가 없다는 귀무가설이 기각되어 교목구조 유형에 따른 농도 상대비율의 차이가 인정되었음을 확인할 수 있었다 (Table 14 참조).

관목구조별 농도 상대비율에 따른 분산의 동질성을 검정하였다. 검정 결과, 유의확률 $p=0.107$ 로 분산이 같다는 귀무가설을 기각하지 못했다. 따라서 관목구조 유형별 농도 상대비율은 그룹별 분산의 동질성을 확인할 수 있었다. 관목구조별 농도 상대비율에 따른 분산분석 결과로 신뢰수준 99% 수준에서 유의성이 인정되었다. 이는 관목구조 유형별로 농도 상대비율에 차이가 없다는 귀무가설이 기각되어 관목구조 유형별 농도 상

대비율은 그룹별 차이가 인정되었다. 평균 상대비율은 관목 단층구조가 88.79%로 가장 높게 나타났으며, 관목 다층구조가 81.16%로 가장 낮게 나타났으므로 농도 저감효과가 가장 높은 것으로 해석할 수 있다. 전체적인 경향으로 관목구조가 다층구조일수록 상대비율이 높아짐을 알 수 있었다. 관목층의 증가는 정체된 초미세먼지에 대한 필터역할을 함으로써 먼지농도의 상대비율을 높이는 것으로 판단되었다(Table 15 참조).

Table 14. Statistical analysis for fluctuated concentration rate of trees structure type

a. Group statistics

Classification	Number of samples(N)	Mean (%)	Std. deviation	Std. error	Min (%)	Max (%)
Trees 1 column	80	84.774	23.8102	2.6621	35.6	132.0
Trees 2 column	144	79.493	19.4614	1.6218	44.3	124.4
Trees 3 column	32	75.022	16.0382	2.8352	45.1	100.0
Total/mean	256	80.584	20.7211	1.2951	35.6	132.0

b. Levene's test for equality of variances

Levene's statistics	df1	df2	Significance probability
6.211	2	253	0.002

c. Analysis of variance(ANOVA)

Classification	Sum of squares	df	Mean squares	F	positive probability
Between groups	2,565,695	2	1,282,847	3.035	0.050
Within groups	106,921,883	253	422,616	-	-
Total	109,487,578	255	-	-	-

Table 15. Statistical analysis for fluctuated concentration rate of shrub structure type

a. Group statistics(winter)

Classification	Number of samples(N)	Mean value(%)	Std. deviation (%)	Std. error (%)	Min (%)	Max (%)
Single layer	32	88.788	19.4664	3.4412	49.2	116.7
Double layer	192	81.160	19.4769	1.4056	44.3	132.0
Multi layer	32	68.925	24.5723	4.3438	35.6	116.7
Total/mean	256	80.584	20.7211	1.2951	35.6	132.0

b. Levene's test for equality of variances(winter)

Levene's statistics	df1	df2	Sig.
2.258	2	253	0.107

c. Analysis of variance(ANOVA)(winter)

Classification	Sum of squares	df	Mean squares	F	Sig.
Between groups	6,567.143	2	3,283.572	8.072	0.000
Within groups	102,920.434	253	406.800		
Total	109,487.578	255			

4) 겨울철 농도 상대비율 특성 분석

도로와 녹지, 주거지의 농도 값 T-test 분석 결과, 계절별 수치 중에서는 겨울철 주거지 농도 값만이 유의한 결과로 나타났다. 계절별 특성을 살펴보기 위해 겨울철 주거지 상대비율을 기준으로 겨울철에만 나타나는 초미세먼지 농도증감의 특징을 분석했다. 상관관계 분석 시 겨울철 관목 녹피울과 음의 상관관계를 보이고 있으며, 잎이 없는 계절적 특성으로 관목에 의한 영향이 크게 나타나고 있으므로 겨울철 관목 녹피울과의 좀 더 정확한 관계 파악을 위해 녹지의 구조적 특성을 Classification해 세분화하고, 녹지유형별로 나타나는 관목 녹피울과의 특성을 살펴보았다. 녹지유형을 사면형, 평지형, 마운딩형으로 구분하고, 겨울철 주거지 농도 값을 기준으로 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)을 실시하여 녹지유형 구분이 통계적 의미가 있는지를 확인하였다(Table 16 참조). 평균값은 사면형 > 평지형 > 마운딩형 순으로 상대비율이 높은 유형과 동일해 평균값이 높은 녹지가 상대비율도 높게 나타남을 확인하였다. 녹지유형별 주거지 농도 값에 따른 분산의 동질성을 검정하였다. 검정 결과는 유의확률 $p=0.000$ 으로서 분산이 같다는 귀무가설을 기각한다. 따라서 녹지유형과 주거지 농도 값과의 분석결과, 신뢰도 99% 수준에서 통계적 유의성이 인정되었다. 녹지유형별 주거지 농도 값에 따른 분산분석 결과를 나타낸 것이다. 이는 녹지유형별 주거지 농도 값의 차이가 있다는 귀무가설이 기각되어 유의성이 인정되었음을 알 수 있었다. 위의 내용을 종합해 보면 녹지구조별 관목 녹피울로 인한 초미세먼지 농도 저감효과에 대한 겨울철 특성을 살펴보기 위해 세 가지 유형을 구분한 것은 적절한 것으로 판단되었다.

겨울철 상대비율 특성 분석 시 통계적 유의성 증대를 위해 저감효과가 있는 대상지만으로 녹지유형별 관목의 녹량과 상

Table 16. Statistical analysis for fluctuated concentration rate of winter residence(Winter)

a. Group statistics(winter)

Classification	Number of samples(N)	Mean($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Min($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Max($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Slope-type	80	61.0125	23.00	97.00
Plain-type	24	50.1250	45.00	56.00
Mounding-type	24	30.3750	23.00	36.00
Total/mean	128	47.1708	30.33	63.00

b. Levene's test for equality of variances(winter)

Levene's statistics	df1	df2	Sig.
13.276	2	125	0.000

c. Analysis of variance(ANOVA)(winter)

Classification	Sum of squares	df	Mean squares	F	Sig.
Between groups	17,613.192	2	8,806.596	45.846	0.000
Within groups	24,011.238	125	192.090		
Total	41,624.430	127			

대비율의 상관관계를 분석하였다. 저감효과가 있는 대상지는 사면형 녹지 조사구 5개(양재대로 01, 04, 06, 09, 10), 평지형 녹지 조사구 3개(송파대로 01, 02, 03), 마운딩형 녹지 조사구(송파대로 04, 05, 06) 3개 였으며, 총 표본수는 사면형 녹지는 40개, 평지형과 마운딩형 녹지는 각각 24개를 기준으로 관목 녹피울과의 상관관계를 분석하였다. 관목 녹피울별 주거지 상대비율과의 관계 분석에서는 녹지유형을 사면형, 평지형, 마운딩형으로 구분해 일원배치분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였다(Table 17 참조).

관목 녹피울에 따른 농도 상대비율의 분산분석 결과, 사면형 녹지, 평지형 녹지, 마운딩형 녹지 모두 관목 녹피울에 따른 농도 상대비율의 통계적 유의성이 99% 수준에서 인정되었다(Table 18 참조). 사면형 녹지, 평지형 녹지, 마운딩형 녹지 모두 관목 녹피울이 높을수록 주거지 농도 값이 낮아지는 음의 상관관계가 성립됨을 확인할 수 있었다. 종합적으로 농도 상대비율과 녹량의 관계는 교목과 관목 녹량의 복합적인 관계에 영향이 있으나, 잎이 없는 겨울철에는 관목 녹량의 영향이 큰 것으로 판단되어지며, 녹지유형별 관목 녹피울과의 관계는 음의 상관관계가 있었다.

V. 결론

본 연구는 도로에서 발생한 PM_{2.5}(초미세먼지)가 보도, 녹지, 주거지로 이동하면서 농도의 변화를 확인하고, 완충녹지 조성 시 활용할 수 있는 영향요소 도출과 그 효과검증을 목적으로 수행하였다. 겨울과 봄의 초미세먼지 측정값을 기준으로 분석한 결과, 도로 대비 보도, 녹지, 주거지 모두 저감이 일어났으며, 그 중에서 완충녹지를 통과한 후의 주거지 농도 값이 가장

Table 17. Group Statistics for fluctuated concentration rate of shrub covering rate in buffer green(winter)

Classification	Shrubs ratio of green(%)	Number of samples(N)	Mean(%)	Std. deviation(%)	Std. error(%)	Min(%)	Max(%)
Slope-type	5.0	8	88.213	3.5926	1.2702	80.6	92.6
	5.6	8	85.700	5.5577	1.9650	79.7	97.8
	7.4	8	82.238	1.5203	0.5375	80.8	85.1
	11.8	8	72.288	2.7441	0.9702	68.8	77.2
	13.1	8	51.700	5.5918	1.9770	45.1	60.5
	Total/mean	40	76.027	3.8013	1.3439	71.0	82.6
Plain-type	8.5	8	98.763	5.4636	1.9317	87.5	104.3
	22.3	8	86.075	4.5594	1.6120	81.3	92.7
	25.3	8	81.425	3.8788	1.3714	73.6	86.2
	Total/mean	24	88.754	4.6339	1.6383	80.8	94.4
Mounding-type	2.3	8	96.613	3.1425	1.1111	91.9	100.0
	5.8	8	94.175	5.4255	1.9182	85.3	103.1
	8.4	8	62.863	6.0264	2.1306	56.1	71.4
	Total/mean	24	84.550	4.8648	1.7199	77.7	91.5

Table 18. The application of analysis of variance for fluctuated concentration rate of shrub covering rate in buffer green(winter)

Classification		Sum of squares	df	Mean square	Value	Sig.
Slope-type	Between groups	7,091,284	4	1,772,821	104.400	0.000
	Within groups	594,336	35	16,981		
	Total	7,685,620	39			
Plain-type	Between groups	1,288,491	2	644,245	29.425	0.000
	Within groups	459,789	21	21,895		
	Total	1,748,280	23			
Mounding-type	Between groups	5,667,937	2	2,833,969	112.416	0.000
	Within groups	529,402	21	25,210		
	Total	6,197,340	23			

많이 저감되었다. 초미세먼지 계절별 농도의 특징은 봄이 겨울보다 낮게 측정되었으며, 위치별로 겨울은 녹지, 보도, 주거지 순으로 낮아졌고, 봄은 보도, 녹지, 주거지 순으로 낮아졌다. 녹지 유형별 초미세먼지 농도의 특징은 평지형 녹지가 관목 녹량이 많아 잎이 없는 겨울철에 저감효과가 높았고, 사면형 녹지는 교목 녹량이 많아 수목의 잎이 나는 봄철에 초미세먼지 저감효과가 커져 농도가 더 낮아진 것으로 판단되었다. 초미세먼지 저감에 영향이 있는 정량적 요소로 녹피율, 녹지용적, 녹지용적계수가 있으며, 상호 복합적으로 연계되어 녹량별 특성에 따라 조사구를 5개의 그룹으로 구분하였다. 분석결과, 관목 풍부형, 녹량 균형형, 교목 부족형, 관목 부족형, 녹량 부족형 순으로 초미세먼지농도 저감효과가 낮았다. 교목과 관목의 녹피율, 녹지용적계수 등 녹량이 높은 그룹이 낮은 그룹보다 저감효과가 좋았으며, 초미세먼지농도 저감에 교목보다 관목의 영향이 더 큰 것으로 분석되었다. 계절별 특성으로 겨울철 주거지 값과 녹지유형별 관목 녹피율과의 관계를 분석한 결과, 3가지 녹지유형 모두 관목 녹피율이 높은 것이 저감효과가 높은

것을 확인하였다. 식재구조별 상대비율을 분석에서는 교목 1월, 2월, 3월 순으로 도로 농도 대비 초미세먼지농도 저감효과가 높았다. 관목의 경우, 단층, 복층, 다층 순으로 초미세먼지의 농도가 낮아져 다층의 관목구조를 만드는 것이 초미세먼지 농도 저감에 효과적인 것으로 확인되었다. 본 연구를 통해 초미세먼지의 저감에 녹량이 효과가 있음을 증명하였고, 완충녹지의 필요성도 강조하였다. 향후 완충녹지 조성 시 교목을 분산 배치하도록 유도하고, 상대적으로 공사비가 경제적인 관목의 식재비율을 올려 녹피율을 높이고, 수종 선정 시 수관용적이 큰 나무를 선정해 식재 시 다층구조를 만들어 녹량을 확보한다면 도시의 환경문제인 PM_{2.5}의 해결을 위해 완충녹지가 효과적인 수단일 수 있을 것이다.

본 연구는 현장에서 진행하여 제어되어야 할 환경변수의 통제에 한계가 있었다. 또한, 겨울과 봄의 두 계절의 데이터만으로 분석한 결과로 모든 계절별 특성을 대표하기에는 부족하였다. 따라서 앞으로 좀 더 정확한 연구결과를 위해 사계절 반복 측정과 그 데이터를 바탕으로 경향과 상대비율을 분석하는

추가적인 연구가 필요하며, 상록과 낙엽별 효과, 수종별 효과, 발생원으로부터의 이격거리에 대한 효과 등 변수들의 복합적인 영향력에 대한 폭 넓은 관점에서의 다양한 분석이 필요할 것이다.

References

- Choi, N. R., S. P. Lee, J. Y. Lee, C. H. Jung and Y. P. Kim(2016) Speciation and source identification of organic compounds in PM₁₀ over Seoul, South Korea, *Chemosphere* 144, 1589-1596.
- Gromke, C., N. Jamarkattel and B. Ruck(2016) Influence of roadside hedgerows on air quality in urban street canyons, *Atmospheric Environment* 139: 75-86.
- Hagler, G. S. W., W. Tang, M. J. Freeman, D. K. Heist, S. G. Perry and A. F. Vette(2011) Model evaluation of roadside barrier impact on near-road air pollution, *Atmospheric Environment* 45(15): 2522-2530.
- Hallquist, M., J. Munthe, M. Hu, T. Wang, C. K. Chan, J. Gao, J. Boman, S. Guo, Å. M. Hallquist, J. Mellqvist, J. Moldanova, R. K. Pathak, J. B. C. Pettersson, H. Pleijel, D. Simpson and M. Thynell (2016) Photochemical smog in China: Scientific challenges and implications for air quality policies, *National Science Review* 3(4): 401-403.
- 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.
- Hong, S. H., S. J. Yang, S. H. Choi, J. B. Baek and S. D. Lee(2012) Growing characteristics of shrub in the planting strip of street, Busan city, Korea, *Korean Journal of Environment and Ecology* 26(2): 257-263.
- Hwang, E. J., J. Y. Lee and Y. P. Kim (2014) An internal thermal desorption-gas chromatography/mass spectrometry method for analysis of non-polar organic compounds in ambient aerosol samples, *Journal of the Korean Society for Environmental Analysis* 17(1): 54-61.
- Jeon, B. I.(2012) Meteorological characteristics of the wintertime high PM₁₀ concentration episodes in Busan, *Journal of the Korean Environment Science Society* 21(7): 815-824.
- Jo, H. K. and T. W. Ahn(2001) Role of atmospheric purification by trees in urban ecosystem: In the case of Yongin, *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 29(3): 38-45.
- Jo, H. K., Y. H. Cho and T. W. Ahn(2003) Effects of urban green-space on improving atmospheric environment: Focusing on Jung-gu in Seoul, *Environmental Research* 20: 114-121.
- Kim, J. H., D. K. Oh and Y. H. Yoon(2015) Evaluation of noise decreasing effects by structures in roadside buffer green, *Journal of Environmental Science International* 24(5): 647-655.
- Kim, S. D. and C. H. Kim(2008) The physico-chemical character of aerosol particle in Seoul metropolitan area, *Seoul City Research* 9(3): 29-33.
- Kim, T. S.(2003) The Effect of Green Buffers in Urban Residential Areas for Reducing Air Pollution, Master's Thesis, Hanyang University, Korea, pp. 76.
- Kim, W. S., J. S. Kim, J. H. Hong and J. J. Lee(2014) A Study on Establish PM_{2.5} Advisory Criteria with Emission Source Management System in Seoul, The Seoul Institute, pp. 183.
- Kim, Y. P.(2017) Research and policy directions against ambient fine particles, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 33(3): 191-204.
- Kong, S. Y., H. J. Bae, D. O. Yun, S. P. Hong and H. Y. Park(2012) A Study on the Health Impact and Management Policy of PM_{2.5} in Korea I, Korea Environment Institute, pp. 191.
- Lee, J. Y., D. A. Lane, J. B. Huh, S. M. Yi and Y. P. Kim (2009) Analysis of organic compounds in ambient PM_{2.5} over Seoul using thermal desorption-comprehensive two dimensional gas chromatography-time of flight mass spectrometry (TD-GC×GCTOFMS), *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment* 25(5): 420-431.
- Lee, K. J., B. H. Han, H. A. Park and J. W. Choi(2008) Planting plan for improvement of buffer green space function in the vicinity of railroad in seashore reclaimed land: A case study of buffer green space, Ansan city, *Korean Journal of Environment and Ecology* 22(6): 691-706.
- MSIP(Ministry of Science, ICT and Future Planning)(2016) R&D Strategy Against Particulate Matters Pollution, Report Number 2016R2A1A1928779.
- Park, E. J. and K. I. Kang(2009) Quantification of CO₂ Uptake by Urban Trees and Greenspace Management for C Sequestration, Gyeonggi Research Institute, pp. 158.
- Park, D. G. and Y. S. Kim(1995) Noise attenuation by vegetation, *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 23(2): 205-211.
- Seinfeld, J. H. and S. H. Pandis(2016) Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change, third edition, John Wiley & Sons Inc, Hoboken, New Jersey, USA.
- Yang, K. C. and J. K. Kim(2007) The role of trees on road contaminants, *Journal of the Korean Society of Road Engineers* 9(2): 37-40.

Received : 23 May, 2018

Revised : 16 June, 2018 (1st)

27 August, 2018 (2nd)

Accepted : 27 August, 2018

3인익명 심사필