

ORIGINAL ARTICLE

지표대기 미세먼지 정화를 위한 식물체 음이온 발생량 분석 및 음이온의 미세먼지 기대정화지수 평가

오득균* · 주진희¹⁾

건국대학교 녹색환경시스템전공, ¹⁾건국대학교 녹색기술융합학과

Evaluation on the Expected Purification Efficiency of Air Ion and Analysis on the Generated Amount of Negative Air Ions by Plants for the Purification of Particulate Matter in Air

Deuk-Kyun Oh*, Jin-Hee Ju¹⁾

Department of Green Environment System, Konkuk University, Chungju 27478, Korea

¹⁾Department of Green Technology Convergence, College of Science and Technology, Konkuk University, Chungju 27478, Korea

Abstract

This study analyzes the effect of negative air ions on the concentration of airborne particulate matter and evaluates the expected purification efficiency of open spaces for particulate matter by investigating the amount of negative air ions generated by plants. This study establishes a negative air ion generation treatment environment, plant environment, and control environment to measure the purification efficiency of particulate matter under the conditions of each, analyzing the expected purification efficiency by designing a particulate matter purification model. Results show that the amount of generated negative air ion according to environment was negative air ion generation treatment environment > plant environment > control environment; this order also applies to the particulate matter purification efficiency. Moreover, it took 65 min for the negative ion generation treatment environment, 90 min for the plant environment, and 240 min for the control environment to reach the standard expected purification efficiency of particulate matter concentration of 960 mg/m³ for PM₁₀. For PM_{2.5}, with the designated maximum concentration of 700 mg/m³, it took 60 min for the negative ion generation treatment environment, 80 min for the plant environment, and more than 240 min for the control environment. Based on these results, the expected purification efficiency compared to the control environment was quadrupled in the negative ion generation treatment environment and tripled in the plant environment on average.

Key words : Heat island, PM₁₀, PM_{2.5}, Air apocalypse, Particulate matter, Fine dust

Received 24 March, 2020; Revised 15 May, 2020;

Accepted 20 May, 2020

*Corresponding author: Deuk-Kyun Oh, Department of Green Environment System, College of Science Technology, Konkuk University, Chungju 27478, Korea
Phone: +82-43-840-4898
E-mail: nice10214@kku.ac.kr

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

근래에 들어 미세먼지는 2013년 세계보건기구(WHO) 산하 국제암연구소(IARC)에 의해 ‘1군 발암물질’로 지정된 물질로 우리나라 대기환경에 큰 영향을 미치고 있으며, 2018년 한해 미세먼지로 인한 경제적 피해는 약 4조원에 이르는 것으로 보고(Hyundai Research Institute, 2019)되고 있다.

우리나라는 이러한 미세먼지에 대한 대응으로 미세먼지 경보 발령, 미세먼지 대처 매뉴얼 배포, 미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법 제정 등 다양한 대응책(Ministry of Environment, 2017)을 제시하고 있지만 학교 휴업, 실외활동 자제 권고 등 인간의 옥외활동에 대한 제한적 대응책일 뿐, 실질적으로 국내에서 발생하는 미세먼지를 원천적으로 저감하는 대책은 미흡한 실정이다. 일부 ‘노후경유차 운행제한’, ‘노후 석탄화력발전소 조기폐쇄’, ‘대기오염물질 배출시설 가동시간 조정’을 실시하고 있지만 이러한 제도는 국내에 미세먼지 발생원에 대한 대책일 뿐 국외에서 유입되는 미세먼지에 대응하기엔 부족한 것이 현실이다(National Assembly Budget Office, 2019).

이러한 배경에 전통적이고 확실한 대응책인 녹지의 대기정화효과가 재조명 받고 있는 상황이다. 녹지의 대기정화 효과는 대표적 3가지 요인으로 구분 지을 수 있다. 첫 번째 요인은 가스(Gas)상 대기오염물질 흡수로 인한 대기정화, 두 번째, 잎 등 식물체의 입자성 오염물질(Aerosol) 흡착을 통한 대기정화, 세 번째, 광합성 작용을 통한 부산물 방출(수증기, 공기 이온화, 피톤치드 등)을 통한 대기정화이다. 녹지는 이렇게 다양한 방법으로 대기를 정화하는데 이중 지속적인 관심을 받고 있는 것이 바로 공기 이온화이다.

공기 이온화란 대기 중 구성 물질이 태양의 자외선, 지전장, 코로나 방전효과, 방사성 물질, 식물의 광합성 등 다양한 원인으로 인하여 전자를 잃거나 얻는 산화환원(Oxidation-Reduction)작용이 나타나는 현상을 말한다(Jin, 2005). 공기 이온화는 일찍이 1960년대부터 그 특성 연구가 시작되어 현재까지 지속되고 있다.

선행연구 고찰을 통한 공기 이온화의 효과는 크게 두 가지로 구분되어 있는데, 첫 번째는 인체에 미치는 직접적인 효과이다. 인체에 미치는 직접적인 효과는 음이온

화 된 공기를 인간이 직접적으로 흡입했을 때 나타나는 효과를 이야기하는데, 대표적으로 부교감 신경을 자극하여 안정된 반응을 유도하고 심신에 안정을 주는 효과로 요약할 수 있다(Ji, 2003; Kim et al, 2005; Park et al., 2014). 이러한 효과는 연구자에 따라 상반된 결과들로 인해 학계에서 현재까지 많은 진위 논란이 있다(Kim, 2018). 이러한 논란에 정점으로 작용한 것이 바로 ‘2018년 음이온 침대 사태’이다. 음이온이 인체에 긍정적인 영향을 미친다는 맹신으로 음이온 발생을 위해 방사능 물질인 라듐(Radium)이 함유된 모나자이트(Monazite)를 침대 원료로 사용하여 사회적 논란이 된 사례이다.

공기의 이온화의 효과 두 번째는 전기적 인력(Attractive force)에 의한 공기정화 효과이다. 공기 중 미세입자, 초미세먼지나 부유미생물은 양전하를 띄며 서로를 밀어내는 척력(Repulsive force)으로 공기 중 분포하게 되는데, 공기 중 음이온이 이러한 물질들을 중성화 하고 전기적으로 안정하게 하여 바다에 침전시켜 공기를 정화한다(R.D.A., 2008). 음이온의 미세먼지와 공기정화 효과에 대한 연구는 지속적으로 수행되어 비교적 일관된 결과들이 보고되고 있다(Lee, 2003, 2004; Lee and Yoon, 2003; Zeng et al., 2007; Zhang et al., 2008). 이러한 음이온의 공기정화 효과는 현재 우리나라의 가장 큰 대기환경문제인 미세먼지에 대한 대응책으로 활용 될 수 있을 것이다.

현재 인위적으로 음이온을 발생시키기 위한 대표적인 방법은 코로나 방전효과에 의한 방법과 희토류를 사용한 방식으로 크게 두 가지이다. 이러한 방식들은 오존 및 방사선물질의 생성시킬 수 있다는 점에서 큰 문제점으로 인식되고 있다(Kim, 2018). 반면, 식물의 광합성으로 발생하는 음이온은 유해물질을 발생시킬 가능성이 낮기 때문에, 미세먼지 정화에 대한 메커니즘에 대한 이해와 평가가 이루어진다면, 현재 우리가 겪고 있는 미세먼지 등 대기환경문제 개선에 활용될 수 있을 것이다. 또한, 이러한 방법은 기존의 식물 및 녹지가 가진 효용을 포함하여 활용될 수 있기 때문에 더욱 친척적이고 발전적인 미세먼지 대응 방법이라 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 음이온의 효과에 대한 재평가와 우리나라의 대기환경 개선계획에 대한 기초자료의 제공을 목적으로 첫째, 식물에서 발생하는 음이온 발생량을 분석하고, 둘째, 음이온과 미세먼지의 관계를 규명하여,

셋째, 음이온과 식물의 미세먼지 정화 효율을 평가할 수 행하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료 및 실험구 조성

본 연구의 실험구는 미세먼지, 기온, 상대습도 등 외부 요인에 대한 적절한 통제와 미세먼지 등 주요 변수의 미세한 관측을 위하여 실내 실험실에서 수행되었다. 실험 수행은 실험실 내부에 소형 챔버(Vol.: 2.04 m³; 1.43 m × 0.73 m × 1.95 m) 3동을 별도로 설치하여 실험구간 영향을 최소화 하였으며, 모든 실험은 동시에 진행하였다. 실험구는 대조구(Control; 이하 Type C), 음이온의 미세먼지 정화 효과를 검증하기 위한 음이온발생기 처리구(Negative air ion generator; 이하 Type N.I), 식물의 음이온 발생량과 미세먼지 정화 효과를 검증하기 위한 식물 배치구(Plants; 이하 Type P) 등 크게 3가지로 설정하였다. Type N.I의 음이온 발생기는 BN-105 (BlueN; Korea)을 활용하였으며, Type P의 경우 미세먼지는 계절에 관계없이 지속적으로 발생하여 영향을 미치기 때문에 연중 광합성 작용을 통한 음이온 발생을 가정할 수 있는 상록수인 향나무(*Juniperus chinensis*)를 소형온실 용적비 30 %로 비치하였다.

모든 실험구 내부 환경은 기온과 음이온 발생량은 상관관계에 있다는 선행연구(Kim et al., 2015; Kim et al., 2019)를 참고하여 25±0.5℃로 일정하게 통제하였다. 또한 음이온 발생은 식물의 광합성 작용과 상관이 있다는 보고(Park, 1998, Lee, 2003)를 바탕으로 실험실에 유입되는 모든 광(인공, 자연)을 차단하여 암실환경을 조성하였다. 또한 측정 시 식물 배치구의 광합성 작용을 적절히 통제하기 위해 모든 실험구에 별도의 인공광원(LED,

12W)을 설치하여 1,300 Lux로 일정하게 유지 하였다. 또한 비치된 식물은 실내 환경 적응을 위하여 1개월간 순화과정을 거친 후 실험에 활용하였다(Table 1).

2.2. 조사·분석 방법

실험은 음이온 발생량 측정단계 및 미세먼지정화 효율 평가단계 등 총 2단계에 걸쳐 수행되었으며, 음이온 발생량 측정은 흡입식 음이온 측정기(Com-3600Pro, Nico, Japan)을 활용하여 각 유형별 30분 동안 실시간 측정을 6회 반복 진행하였다. 이후 실험구별 미세먼지 정화능력 평가를 위하여 오염물질을 투입하고 최고오염도와 시간변화에 따른 정화도를 측정 분석하였다.

본 연구에서 미세먼지 오염원은 선행연구(Lee, 2004)를 참고하여 일반결련으로 설정하였으며, 본 실험을 위해 고안된 튜브를 통하여 결련의 직접연기를 60 cc 채취하고 실험구에 주입 후, 미세먼지 최고농도와 그 변화를 모두 관측하였다. 오염물질 측정은 광산란법 미세먼지측정기 Air Quality Monitor M2000 (Temtop, China)을 활용하였으며, 미세먼지(PM 2.5, 10)를 3분 간격으로 측정 하였다. 측정은 3동의 실험구 중 2동이 국내 환경기준 [보통] 이하가 되는 시점(PM 10; 80 µg/m³ 이하, PM 2.5; 35 µg/m³ 이하)에 종료하였으며, 총 6회 반복수행 하였다.

또한 2018년 논란이 되었던 라돈침대 사태로 형성된 라돈과 음이온의 관계 논란의 진위를 파악하기 위하여 충주시 환경정책과에서 간이라돈측정기(AIRTHINGS, CORENTIUM, Norway)를 협조 받아 각 실험구별 6회 반복측정을 통하여 음이온과 라돈의 관계를 개략적으로 파악하였다. 한편 모든 측정기는 측정 정밀도를 확보하기 위하여 바닥표면으로부터 1.2 m 이격 시켜 측정하였다.

Table 1. Experimental composition method of particulate matter purification efficiency

Division	Chamber standards (m)	Tmep. (°C)	Illumination (Lux)	Protocol	Remarks
Type C	(L) 1.43	25±0.5	1,300	Control	-
Type P	(W) 0.73 (H) 1.95			Plants (<i>Juniperus chinensis</i>)	30% of vol.
Type N.I	(Vol.) 2.04 m ³			Negative air ion generator	1ea (Max 2 million)

이후 측정된 자료는 각 유형별 음이온 발생량 및 미세 먼지 농도 차이의 통계적인 비교를 위하여 일원배치 분산분석(ANOVA)을 실시하고 통계적으로 유의한 것으로 나타난 결과에 한하여 사후검정(Duncan's multiple range test, Dunnett T3)을 적용하였으며, 표본 수가 중심 극한정리를 만족하지 못할 경우 비모수 검정으로 Kruskal-Wallis test를 실시하고 사후검정으로 Mann-Whitney test를 활용하였다. 최종적으로 각 실험구별 미세먼지 정화효율을 분석하고 평가하기 위하여 곡선추정 회귀분석을 실시하였다(SPAW 18, IBM, U.S.A.). 한편, 모든 통계분석은 자연과학연구에서 통상적으로 인정되는 유의확률 5%를 적용하였다.

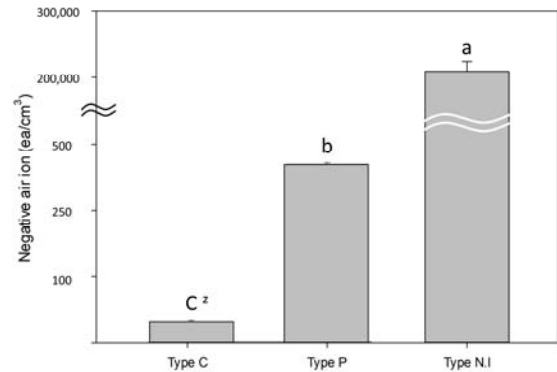
3. 결과 및 고찰

3.1. 음이온 발생원 차이에 따른 실험구별 음이온 발생량

각 실험구별 평균 음이온 발생량은 Type N.I (204,133 ea/cm³) > Type P(420 ea/cm³) > Type C (46 ea/cm³)의 순인 것으로 나타났다. 음이온 발생량을 살펴 보면 무처리구에 비하여 음이온 발생기 처리구에서 약 4,438배, 식물 배치구에서 약 9배 많은 것으로 나타났다(Fig. 1).

실험구별 음이온 발생 특성을 살펴보면, Type N.I의 경우 생산업체 보증발생량 2,000,000 ea/cm³에 비하여 1/10수준인 것으로 측정되었으나, 타 실험구에 비하여 월등히 높은 수치를 나타내었다. Wu et al.(2004)의 보고에 따르면 기온과 상대습도의 차이에 따라 상이하지만, 공기 중 음이온은 전기적으로 불안정하여 대기 중 구성 물질과 빠르게 반응하려는 특징이 있어 일반적인 상황에서 확산 거리는 1 m 내외인 것으로 보고되었다. 이에 음이온 발생기와 측정기 사이의 유격에 의하여 음이온이 빠르게 소실되었기 때문인 것으로 판단된다. 식물처리구의 음이온 발생량의 경우 평균 420 ea/cm³인 것으로 측정되었는데, 실내의 Cam식물 및 C3식물에서 음이온 발생량을 측정 분석한 연구(Kim et al., 2012)에서 보고된 실내 환경에서 식물의 음이온 발생량 300~735 ea/cm³에 부합하는 수치인 것으로 나타났다. 이에 따라 식물(향나무, 용적 30%)에 의해 발생하는 음이온의 양은 평균 374 ea/cm³인 것으로 추정할 수 있었다. 각 실험구별 음이온 발생량의 차이를 일원배치 분산분석을 실시하여 통

계적으로 검증을 실시한 결과, 모든 유형에서 통계적인 유의성이 있는 것으로 분석되었으며(Welch's Statistic=3241.683, p<0.001), Dunnett T3사후검정에 따라 음이온 발생량은 Type N.I > Type P > Type C의 순인 것으로 판단되었다(p<0.001).



^z: Values of each bar followed by the same letter indicate no significant difference according to Dunnett T3 test

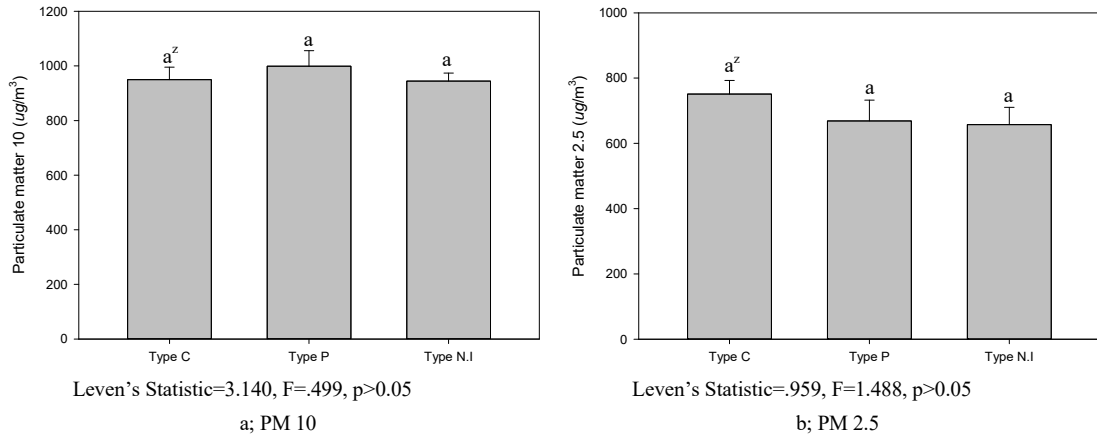
Leven's Statistic : 109.037(p<0.001), Welch's Statistic : 3241.683 (p<0.001), Dunnett T3(n=2,700)

Fig. 1. Negative air ion generation by experiment type.

3.2. 음이온의 미세먼지 정화 특성

3.2.1. 최고 미세먼지 농도

오염원 투입 직후 각 실험구별 미세먼지의 최고 농도를 살펴본 결과, PM₁₀의 경우 Type P(999 µg/m³) > Type C(949 µg/m³) > Type N.I (944 µg/m³)으로 분석되어 식물 배치구에서 가장 높은 것으로 나타났다. 각 유형별 미세먼지 최고 농도를 통계적으로 분석하기 위하여 일원배치 분산분석을 실시한 결과 통계적인 유의성은 없는 것으로 분석되었다(Leven's statistic=3.140, F=.499, p>0.05). PM_{2.5}의 경우 Type C(750 µg/m³) > Type P(668 µg/m³) > Type N.I (657 µg/m³)의 순으로 나타났으며, 최고와 최저 수치 차이는 평균 93 µg/m³으로 분석되었다. 하지만 일원배치 분산분석 결과, 유형 간 통계적 유의성은 없는 것으로 분석되었다(Leven's statistic=.959, F=1.488, p>0.05). 이에 따라 각 실험구별 주입된 미세먼지의 농도는 차이가 없는 것으로 판단되었다(Fig. 2).



^z: Values of each bar followed by the same letter indicate no significant difference according to Duncan's test

Fig. 2. Particulate matter density as on experiment type(n=6).

3.2.2. 미세먼지 정화 모형 및 기대정화지수

3.2.2.1. PM₁₀ 정화 모형

실험구별 시간 변화에 따른 PM₁₀ 정화 효율 분석 결과, 모두 통계적인 유의성이 있는 것으로 분석되었으며, 설명력은 80% 이상인 것으로 나타나(p<0.05, R² : upper 0.8) 제시되는 모형들은 신뢰할 수 있는 결과인 것으로 판단되었다. PM₁₀ 정화 효율을 살펴보면 Type N.I > Type P > Type C의 순으로 높은 것으로 분석되었다. 각각 실험구별 PM₁₀ 정화 모형을 살펴보면, Type C는 시간변화에 따른 농도 변화에 가장 큰 영향을 미치는 1차항의 계수가 -11.425인 것으로 분석되었으며, 이러한 수치는 Type P(-39.641)와 Type N.I(-41.748)에 비하여 각 29%, 27% 수준인 것으로 나타났다. 즉, 미세먼지 투입 초기 정화능력은 음이온 발생기 처리구 및 식물 처리구가 대조구에 비하여 약 4배 더 높은 것으로 판단된다. Type P와 Type N.I를 비교할 경우 미세먼지 투입 중·후기 PM₁₀ 농도 정화량에 영향을 미치는 2차항, 3차항의 계수가 Type N.I에서 더 근소한 수치로 더 높은 것

으로 분석되어, 실험시간 전체에 대하여 Type N.I의 미세먼지 농도가 가장 빨리 줄어드는 것으로 나타났다 (Table 2).

곡선추정 회귀분석을 통해 구축된 미세먼지정화 모형을 우리나라 미세먼지(PM₁₀) 예보기준(Ministry of Environment, 2018)과 비교하여 각 실험구별 미세먼지 기대정화시간을 분석하였다. 최고 농도 960 µg/m³을 기준으로 Type C의 [매우 나쁨(150 µg/m³ 이상)]에서 각 하위단계로 변화의 미세먼지 기대정화시간은 [나쁨(81~150 µg/m³)]까지 160분, [보통(31~80 µg/m³)]까지 220분, [좋음(30 µg/m³ 이하)]까지 240분 이상인 것으로 나타났으며, Type P의 경우, [나쁨]까지 60분, [보통]까지 75분, [좋음]까지 90분인 것으로 분석되었다. 마지막으로 Type N.I의 경우, [나쁨]까지 45분, [보통]까지 55분, [좋음]까지 65분인 것으로 분석되었다(Fig. 3). 상기 결과를 종합하여, 미세먼지 기대정화시간은 Type N.I > Type P > Type C의 순으로 좋은 판단되었다(Fig. 3).

Table 2. Expectation purification efficiency model of PM₁₀ as on experiment type

Division	R ² adj	F	Model
Type C	.884	811.184***	y = -11.425x + 0.060x ² - 0.0001x ³ + 922.923
Type P	.884	414.057***	y = -39.641x + 0.534x ² - 0.002x ³ + 1080.460
Type N.I	.849	273.683***	y = -41.748x + 0.601x ² - 0.003x ³ + 919.435

* : (p<0.05), ** : (p<0.01), ***: (p<0.001), y=PM 10 (µg/m³), x=Time(minute), n=480

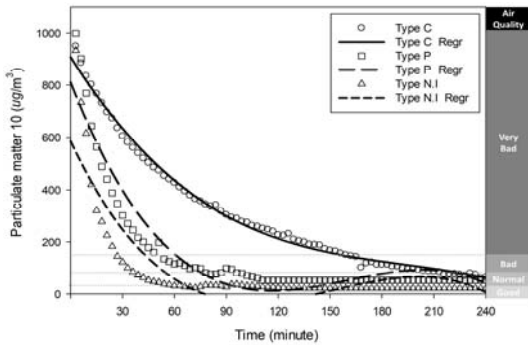


Fig. 3. Expectation purification efficiency of PM₁₀ as on experiment type by the time change(n=480).

3.2.2.2. PM_{2.5} 정화 모형

실험구별 시간 변화에 따른 PM_{2.5} 정화 모형 분석 결과, 모두 통계적인 유의성이 있는 것으로 분석되었으며, 설명력은 80% 이상인 것으로 나타나(p<0.05, R² : upper 0.8) 제시되는 모형은 신뢰할 수 있는 결과인 것으로 판단되었다. PM_{2.5} 정화 효율을 살펴보면 Type N.I > Type P > Type C의 순으로 높은 것으로 분석되었다. 각각 실험구별 PM_{2.5} 정화 모형을 살펴보면, Type C는 시간변화에 따른 농도 변화에 가장 큰 영향을 미치는 1차항의 계수가 -8.355인 것으로 분석되었으며, 이러한 수치는 Type P(-26.153)와 Type N.I(-28.971)에 비하여 각 32%, 29% 수준인 것으로 나타났다. 즉, 초미세먼지 투입 초기 정화능력은 음이온 발생기 처리구 및 식물 처리구가 대조구에 비하여 약 3배 이상 더 좋은 것으로 판단된다. Type P와 Type N.I를 비교할 경우 미세먼지 투입 중·후기 PM₁₀ 농도 정화량에 영향을 미치는 2차항, 3차항의 계수가 Type N.I에서 더 근소한 수치로 더 높은 것으로 분석되어, 실험시간 전체에 대하여 Type N.I에서 미세먼지 농도가 빠르게 가장 감소하는 것으로 나타났다 (Table 3).

초미세먼지정화 모형과 우리나라 초미세먼지(PM_{2.5})

예보 기준(Ministry of Environment, 2018)의 비교를 통한 초미세먼지 기대정화시간을 분석한 결과, 최고 농도 700 µg/m³을 기준으로 Type C는 [매우 나쁨(76 µg/m³ 이상)]에서 하위단계로 정화되는데 소요되는 시간은 [나쁨(35~75 µg/m³)]까지 140분, [보통(15~35 µg/m³)]까지 200분, [좋음(15 µg/m³ 이하)]까지 240분 이상인 것으로 분석되었다. Type P의 미세먼지 기대정화시간은 [나쁨]까지 60분, [보통]까지 70분, [좋음]까지 80분인 것으로 나타났으며, Type N.I의 경우, [나쁨]까지 40분, [보통]까지 50분, [좋음]까지 60분인 것으로 분석되었다(Fig. 4). 상기 결과를 종합하여, 미세먼지 기대정화시간은 Type N.I > Type P > Type C의 순인 것으로 판단되었다(Fig. 4).

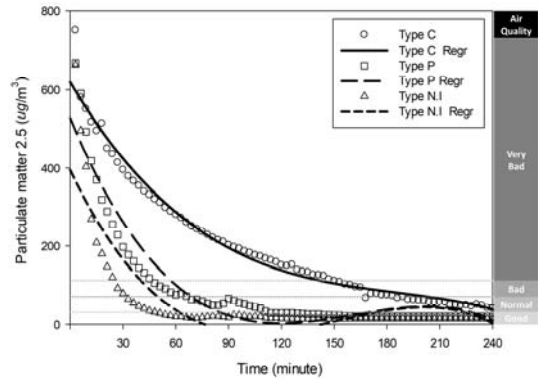


Fig. 4. Expectation purification efficiency of PM_{2.5} as on experiment type by the time change(n=480).

3.2.2.3. 기대정화지수

앞서 구축된 미세먼지와 초미세먼지 정화 모형을 토대로 기대정화시간을 직관적으로 비교하기 위하여 아래의 수식을 통해 기대정화지수를 계산하였다(EP. 1). 그 결과, PM₁₀의 기대정화지수는 Type C : 1, Type P : 2.9, Type N.I : 4.9인 것으로 나타났으며, PM_{2.5}의 경우

Table 3. Expectation purification efficiency model of PM_{2.5} as on experiment type

Division	R ² adj	F(p)	Model
Type C	.866	685.517***	y = -8.355x + 0.047x ² - 0.0001x ³ + 632.983
Type P	.880	396.329***	y = -26.153x + 0.354x ² - 0.002x ³ + 710.072
Type N.I	.821	222.981***	y = -28.971x + 0.422x ² - 0.002x ³ + 628.007

* : (p<0.05), ** : (p<0.01), *** : (p<0.001), y=PM 2.5 (µg/m³), x=Time (minute), n=480

Type C : 1, Type P : 2.9, Type N.I : 4인 것으로 분석되었다. 식물 배치구의 경우 미세먼지 입경 크기의 차이에 따라 기대정화지수는 크게 차이 나지 않았으나, 음이온 발생기 처리구는 상대적으로 큰 편차를 나타내는 것으로 나타났다(Table 4).

상기 결과들을 통하여 미세먼지 정화에 음이온 발생기 처리구가 가장 효율적인 것을 알 수 있었으며, 식물 처리구 또한 대조구에 비하여 월등한 정화효율을 나타내었다. 이러한 결과는 께련의 직접연기 속에 포함된 미세한 분자들이 실험구 환경 내에 있는 음이온과 반응하여 빠르게 바닥으로 가라앉게 되었기 때문인 것으로 판단되었다(R.D.A., 2008). 하지만 식물 처리구의 경우, 음이온 발생기 처리구에 비하여 음이온 발생량은 현저하게 낮는데 비해, 정화 효율을 크게 차이 나지 않는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 식물의 광합성의 결과로 발생하는 음이온의 영향도 있지만, 실험구 내에 비치된 식물의 용적만큼 실험실 내부의 표면적이 타 실험구에 비하여 크게 증가하게 되어 미세먼지 등 입자상 오염물질들이 흡착될 수 있는 기회가 증가하였기 때문인 것으로 예상되었다. 또한 식물의 호흡 및 증산작용의 영향 또한 배제할 수 없었다(Park et al., 1998).

EP. 1) E.P.E.I.=T.G.P C / T.G.P (C or P or N.I)

E.P.E.I. = Expectation purification efficiency index

T.G.P = Time for purification to good index of particulate matter

C = Non protocol

P = Plants

N.I = Negative air ion

3.3. 음이온 발생량과 라돈의 관계

음이온 발생량과 방사성 가스인 라돈의 발생량의 수치를 비교할 경우, Type N.I(32.00 Bq/m³) > Type C(22.00 Bq/m³) > Type P(17.16 Bq/m³)의 순으로 음이온 발생기 처리구에서 가장 높은 수치로 나타났다(Table 5). 하지만 그 값은 국내 ‘실내 공기 질 관리법 시행규칙’에 따른 다중이용시설 라돈 권고 기준 148 Bq/m³ 이하인 것으로 나타났다. 유형별 라돈 발생량의 통계적인 차이를 살펴보기 위해 Kruskal-Wallis test를 실시하고 사후검정으로 Mann-Whitney test를 적용하였다. 그 결과, Type P에서 다른 유형과 통계적으로 유의하게 낮은 것으로 분석되었다(p<0.05). 하지만, Type N.I와 Type C는 통계적인 차이를 나타내지 않았다(p>0.05).

이상의 결과를 미루어보아 모든 실험구 유형에서 국내 기준치보다 낮은 라돈이 검출되었으며, 식물 처리구를 제외한 다른 유형에서는 통계적인 차이가 없는 것으로 나타나 음이온 발생량과 라돈의 관계는 크게 없는 것으로 판단되었다. 또한 동일한 환경에 식물 처리구에서 라돈 수치가 통계적으로 낮았다는 괄목할만한 결과를 얻을 수 있었다. 하지만, 이러한 결과를 일반화하기에 표본의 수가 충분하지 못하고, 라돈 측정에 있어 간이측정기를

Table 4. Expectation purification efficiency index of particulate matter by experiment type

Division	Expectation purification efficiency index		purification rank	
	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM _{2.5}
Type C	1	1	1	1
Type P	2.9	2.9	2	2
Type N.I	4.9	4	3	3

Table 5. Radon generation by experiment type, and compare means

Division	Type C	Type P	Type N.I
Radon(Bq/m ³)	22.00±2.27 a ^z	17.16±1.01 b	32.00±1.74 a

^z; Values of each means followed by the same letter indicate no significant difference according to Mann-Whitney test Kruskal-Wallis's χ^2 : 11.005(p<0.05), n=6, Mann-Whitney's Z : Type N.I-Type P; -2.887(p>0.05), Type N.I-Type C; -2.326(p<0.05), Type P-Type C; -1.687(p<0.05),

사용하였다는 점에서 한계가 있는 것으로 보여, 측정기기의 보안을 통한 추가적인 데이터의 확장과 심도있는 고찰이 필요할 것으로 판단되었다.

4. 결론

본 연구는 공기 이온이 대기 중 미세먼지 농도 변화에 미치는 영향을 분석하고 식물체에서 발생하는 음이온 발생량을 분석하여 녹지가 가지는 미세먼지 기대정화효율을 평가하기 위해 수행되었다. 이에 음이온 발생기 처리구, 식물 배치구, 대조구 등 3가지 유형을 조성하여 각 실험구별 미세먼지 정화 효율을 측정하고 미세먼지 정화 모델을 구축하여 기대정화지수를 분석하였다.

그 결과를 요약하면, 음이온 발생량은 음이온 발생기 처리구 > 식물 배치구 > 대조구의 순이었으며, 미세먼지 정화 효율 또한 동일한 경향인 것으로 나타났다. 환경부 기준에 따른 미세먼지 기대정화효율은 PM₁₀의 경우 최고 농도 960 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 기준으로 음이온 발생기 처리구는 65분에 불과하였으며, 식물 배치구는 90분, 대조구는 240분 이상으로 분석되었다. PM_{2.5}의 경우 최고 농도 700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 기준으로 음이온 발생기 처리구는 60분, 식물 배치구는 80분, 대조구는 240분 이상인 것으로 나타났다. 이에 따른 평균 미세먼지 기대정화지수는 대조구: 1, 음이온 발생기 처리구의 경우 4.45, 식물 배치구는 2.9인 것으로 분석되었다.

이에 따라 공기 중 음이온은 대기 중 미세먼지 정화에 효과가 있는 것으로 판단되었으며, 고농도의 음이온 환경에서는 식물의 정화 능력보다 더 높은 것으로 나타났다. 이러한 실험의 결과는 음이온의 전기적 특성에 의한 결과인 것으로 예상되었다. 또한 식물 처리구의 경우, 음이온발생을 확인할 수 있었으며, 뚜렷한 공기정화 효과를 나타내었다. 이러한 공기정화 효과는 광합성작용에 의한 음이온 발생도 미세먼지 정화에 영향을 미쳤겠지만, 식물체에 의한 실험구내 표면적 증가 및 생리작용에 의한 흡착, 흡수작용 또한 많은 영향을 미쳤을 것으로 예상된다. 이상의 결과를 종합하여 녹지 내 공기 이온 발생량을 증가 시킬 수 있는 식재방법 및 녹지관리방법이 도입 된다면, 기존의 식물이 가진 효용과 공기 이온에 의한 정화효과를 모두 포함하여 미세먼지를 저감할 수 있는 방안으로 활용될 수 있을 것으로 사료되었다.

이러한 결론을 바탕으로 향후, 식물 배치용적을 각기 상이하게 하여 통제된 실험실 내부 표면적 증가가 미세먼지 농도 변화에 미치는 영향을 우선적으로 규명해야 할 것이다. 또한, 식물체의 식물 생리 작용을 측정·분석할 수 있는 방법론을 도입하여, 식물의 생리작용과 미세먼지 정화의 관계에 대한 연구가 진행되어야 식물에서 발생하는 음이온이 미세먼지 정화에 미치는 영향을 정확하게 분석할 수 있을 것으로 판단되었다. 마지막으로 아직까지 단순 저감량, 농도변화 등의 비교만 이루어지고 있는 상황에 미세먼지 정화 효율의 지수화를 통한 비교는 정화요인별 정화능력 평가에 효율성을 도모할 수 있을 것으로 사료된다. 이에 향후 다양한 미세먼지 정화원을 확보하여 데이터 축적을 통해 지수를 보완하고, 그 활용에 대한 논의가 필요하다.

감사의 글

이 논문은 과학기술정보통신부의 이공분야기초연구사업(과제번호 : 2017R1C1B5076963)에 의하여 연구되었음

REFERENCE

- Hyundai Research Institute, 2019, Public perception survey on fine dust, Weekly Economic Review, 833, 19-10, Seoul, Korea.
- Ji, C. K., 2003, Effect of anion: Living books.
- Jin, S. U., 2005, Anion and Well-being, Seoul of Korea, Human of Earth.
- Kim, H. S., 2018, Yonhapnews, <https://www.yna.co.kr/view/AKR20180525110400502>.
- Kim, J. H., Lee, S. H., Yoon, Y. H., 2019, evaluation of air ion according to the type of ridge in urban park -focused on Tangeumdae park in Chung, J. Eco. Env., 33(5), 587-595.
- Kim, J. H., Oh, D. K., Yoon, Y. H., 2015, Comparative analysis of negative air ion generation according to vegetation type of green space in summer : targeting to the Yangjae Citizen's Forest in Seochogu, Seoul, Urban Design, 16(6), 1598-0650.
- Kim, K. J., Yoo, E. H., Seo, H. W., Ho, S. Y., Lee, J. A., Jung, H. H., 2012, Air anions emission in Cam and C₃ plants affected by light intensity, J. Korean Soc. People Plants

- Environ., 15(4) 281-285.
- Kim, W. G., Kim, S. S., You, S. H., Kil, I. H., Kwon, S. H., Lee, K. N., 2005, A Study of influences caused by far infrared and anion on human body, Kor. J. Ori. Prev. med. Soc., 9(2), 93-106.
- Lee, J. H., 2003, The effect of improving indoor air quality used anion by in door plants, J. Kor. Inst. Interior Landscape Archi., 5(1). 89-98.
- Lee, J. H., 2004, A Study of generation by indoor plants, J. Kor. Inst. Interior Landscape Archi., 6(2), 53-66.
- Lee, J. H., Yoon, P. S., 2003, A Study on efficiency and mechanism of removing indoor pollutants used anion generated by indoor plants, J. People Plants and Environment, 6(4), 81-92.
- Ministry of Environment, 2017, High level fine dust concentration manual for socially vulnerable class, Atmospheric environment policy office, Sejong, Korea.
- Ministry of Environment, 2018, Q&A of fine dust that people want to know, No. 93530, National Institute of Environmental Science, Incheon, Korea.
- National Assembly Budget Office, 2019, Analysis of fine dust response project, Government report (31-9700487-001733-01), National Assembly Budget Office, Seoul, Korea.
- Park, H. S., Shin, C. S., Yeoun, P. S., Kim, J. Y., 2014, A Comparative study on the stress recovery effect of forest therapy, J. Kor. Inst. Forest Recreation, 18(1), 13-24.
- Park, S. H., Lee, Y. B., Bea, G. Y., Kondo, M., 1998, Anion evolution in plants and its involved factors, Horti. Environ. BioTech., 39(1), 115-118. BioTech. 39(1), 115-118.
- R.D.A., 2008, Technology transfer workshop of air purification method using gardening plant, Horticultural Research Institute, Suwon.
- Wu, C. C., Lee, G. W. M., Yang, S., Yu, K. P., Lou, C. L., 2006, Influence of air humidity and the distance from the source on negative air ion concentration in indoor air, Sci. Total Environ., 370(1), 245-253.
- Zeng, S. C., Su, Z. Y., Chen, B. G., 2007, Air Negative Ion Concentrations and Their Affecting Factors in Greenbelts of Guangzhou, J. ecology., 26(7), 1049-1053.
- Zhang, Z., Yu, Y., Zhang, M., Du, Q., Chen, J., Mao, F., 2008, Negative air ion concentration and environmental factors for Mount Tianmu of Zhejiang Province. J. Zhejiang A&F Univ., 25(4), 481-485.
-
- Assistant Professor. Deuk-Kyun Oh
Department of Green Environment System, Konkuk University
nice10214@kku.ac.kr
 - Professor. Jin-Hee Ju
Department of Green Technology Convergence, College of Science and Technology, Konkuk University
jjhkko@kku.ac.kr