

ORIGINAL ARTICLE

계곡·사면부의 식생유형에 따른 공기이온 평가 - 충주시 탄금대 공원을 대상으로 -

윤용한·이상훈¹⁾·김정호*

건국대학교 친환경과학부 녹색환경시스템전공, ¹⁾건국대학교 녹색기술융합학과

Evaluation of Air Ion According to Vegetation Types in Valleys and Slopes - Focused on Tangeumdae Park in Chungju -

Young-Han Yoon, Sang-Hoon Lee¹⁾, Jeong-Ho Kim*

Department of Green Environment System Convergence, College of Science Technology, Konkuk University, Chungju 27478, Korea.

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

Abstract

The purpose of this study was to provide basic health care data for the climate aspects of park re-cultivation by evaluating air ions according to the type of vegetation in the valley and upper slopes of the mountain park. Simple negative or positive air ions were expected to show the same tendencies, so they were analyzed in terms of correcting the air ion index. By analyzing the air ions according to the topography, it was found that valley > slope in terms of the air ion index. When analyzing air ions according to tree species, we found that evergreen conifers in the valley > the deciduous broad-leaved trees in the valley > the evergreen conifers in the slope = the deciduous broad-leaved trees in the slope. For DBH(Diameter at breast height), the valley large pole > slope large pole > slope medium hard wood, while crown density was analyzed as valley dense > slope dense > valley proper > slope proper. Layered structure analysis showed that the multi-layer structure of the valley > multi-layer structure of the slope = the single-layer structure of the valley > the single-layer structure of the slope. The correlation coefficient was determined according to vegetation type and air ion index in the order of DBH > crown density > layer structure > geomorphic structure. In this study, limits exist except for ridge line, valley, and slopes in urban mountain parks. Therefore, analysis should be made considering both topographical structure and various vegetation types in future studies of air ions.

Key words : Air ion index, Geomorphic structure, Species, Positive air ion, Negative air ion

1. 서론

현대의 도시는 성장위주의 경제개발로 인하여 자연생

태계의 훼손, 도시열섬현상, 도시기후의 변화, 지표면 온도 상승, 대기질악화 등의 인간의 생활환경에 변화를 초래하고 있다(Yoon and Song, 1998; Kim et al., 2004).

Received 18 March, 2020; Revised 8 April, 2020;

Accepted 8 April, 2020

*Corresponding author: Jeong-Ho Kim, Department of Green Environment System Convergence, Konkuk University, Chungju 27478, Korea

Phone : +82-43-840-3541

E-mail : hoyal209@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.

이에 자연생태계의 보전, 쾌적한 도시환경의 확보, 각종 오염물질을 완화시킬 수 있는 녹지의 중요성이 증대되고 있다(Kim et al., 2015a).

녹지는 열린 외부공간으로서 도시경관 향상, 생물종 다양성 증진의 역할을 수행할 뿐만 아니라 공업지에서의 대기오염물질저감 및 소음완화, 미기후 조절 등 다양한 공익적 기능성까지 강조되고 있다(Lee, 2005). 특히 녹지의 다양한 효과 중 수목은 광합성을 통하여 대기 CO₂를 흡수·저장할 뿐만 아니라, SO₂, NO₂ 등의 오염물질을 흡수·흡착하는 요인으로 작용할뿐 아니라, 광합성 과정에서 발생하는 음이온은 대기오염물질 저감의 중요한 요인으로 작용한다(Lee and Yoon, 2003; Jin, 2005). 또한, 도시민의 자연접촉과 자연환경에서의 활동으로 정신적 안정을 찾고 질병을 예방 및 치유하는 역할을 하고 있다(Nam, 2013). 녹지에서 발생하는 건강인자에 대한 연구로 주요 치유인자인 피톤치드와 음이온 발생에 대한 연구가 진행되고 있으며, 피톤치드는 식물이 병원균, 해충, 곰팡이에 저항하기 위해 분비하는 물질로 테르펜으로 구성되어 있으며(Kim et al., 2008), 음이온의 경우 공기정화 효과와 인체의 자율신경계를 조절하는 기능을 수행한다(Krueger and Reed, 2006). 공기이온이란, 공기 중의 원자, 분자 등이 전기적 성질에 따라 전자를 잃는 상태로 양의 전기를 띠고 있는 양(+)이온과 전자를 얻는 형태인 음(-)이온으로 대전된 상태를 말한다(Yamasita and Fenn, 1984; Chee, 2009; Ham et al., 2011). 대기의 이온화 요인으로는 태양의 자외선에 의한 공기분자 파괴, 지중방사성물질의 붕괴, 대기와 지표사이의 전위차, 태양의 원적외선, 레나드효과(물파쇄방식), 기온과 기압차 등 다양한 원인으로 발생한다(Jin, 2005; Chee, 2009). 특히 음이온에 대한 연구는 1960년대 이후로 지속적으로 진행되어 왔으며, 선행연구로 밝혀진 공기이온의 효과로 양(+)이온의 경우 인체 조직의 세포를 산화시키고, 교감신경을 자극하여 내분비계의 면역, 체액의 순환작용 등을 악화시켜 신체의 노화를 촉진시킨다(Chee, 2009). 반면 음(-)이온의 경우 부교감신경을 자극하여 몸을 안정된 반응으로 유도시키며, 또한 전기적 특성에 의한 각종 오염물질 등을 중화 침전시켜 공기정화 효과도 있는 것으로 보고되고 있다(Hwang, 1998).

공기이온에 대한 선행연구로 일반적인 숲속에서는 음이온 발생량이 2,000 ea/cm³(Um and Kim, 2010) 정도

이며, 국립공원 지형구조에 따른 음이온 발생량은 평균 700~1,700 ea/cm³ 정도 발생하며, 능선부보다 계곡부에서 음이온 발생량이 많은 것으로 보고되었으며(Kim et al., 2018b), 경주 남산 소나무림을 대상으로 해발고도가 증가할수록 음이온 발생이 증가하는 것으로 확인되었다(Kim et al., 2018a). 도심지 내 도시공원에서 600~800 ea/cm³(Oh, 2014)로 나타났으며, 일반적으로 도심지에 분포하는 음이온은 150~450 ea/cm³로 확인되었다(Chee, 2009). 도심지 대규모 공원에서 진행된 연구로는 도심지 대규모 공원인 서울숲에서 진행된 녹지구조가 음이온에 미치는 영향 연구에서 낙엽활엽수 식재유형 > 상록침엽수 식재유형 > 혼효 식재유형 > 초본 식재유형의 순으로 보고하였으며(Kim et al., 2015a), 평지형 공원인 양재 시민의 숲에서 식재 유형에 따른 음이온 발생량은 상록침엽수식재유형 > 낙엽활엽수식재유형 > 나지 및 시설지의 순이었다(Kim et al., 2015b). 국립산림과학원에서 진행된 연구에서 활엽수림보다 침엽수림에서 음이온 발생이 많은 것으로 보고하였으며(Jeon and Jo, 2009), 학교 숲을 대상으로 식생의 층위구조에 따라 단층 > 다층 > 잔디 > 나지의 순으로 발생한다고 보고하였다(Park, 2017). 선행연구 중 Jeon(2016)의 연구에서 도시공원 내 환경조건에 따른 음이온 발생량에 대해 일부 진행되었으나, 공기이온 중 음이온만을 비교한 연구로 대기 중의 공기이온을 규명하기에는 한계가 있었다.

이에 본 연구는 산지형공원 내 사면부와 계곡부를 대상으로 식생구조, 수중에 따른 양이온 발생량과 음이온 발생량을 고려한 이온지수를 규명하고자 하였으며, 이를 활용하여 향후 공원 재조성 시 기후적 측면의 건강관리 기초자료로 제공하고자 하였다.

2. 연구대상지 및 연구방법

2.1. 연구대상지

본 연구는 계곡·사면부의 식생유형에 따른 공기이온 특성을 규명하기 위한 연구로서, 첫째, 동일한 속성의 피복이 75%에 이르는 곳, 둘째, 식생의 유형이 다양한 곳, 셋째, 해발고가 유사한 지역을 선정하고자 하였다. 이에 상기 세 가지 조건을 만족하는 곳으로 충청북도 충주시 탄금대 공원으로 선정하였다. 탄금대 공원은 도심지에서 접근성이 용이하며, 역사와 문화가 공존하는 곳으로 30만

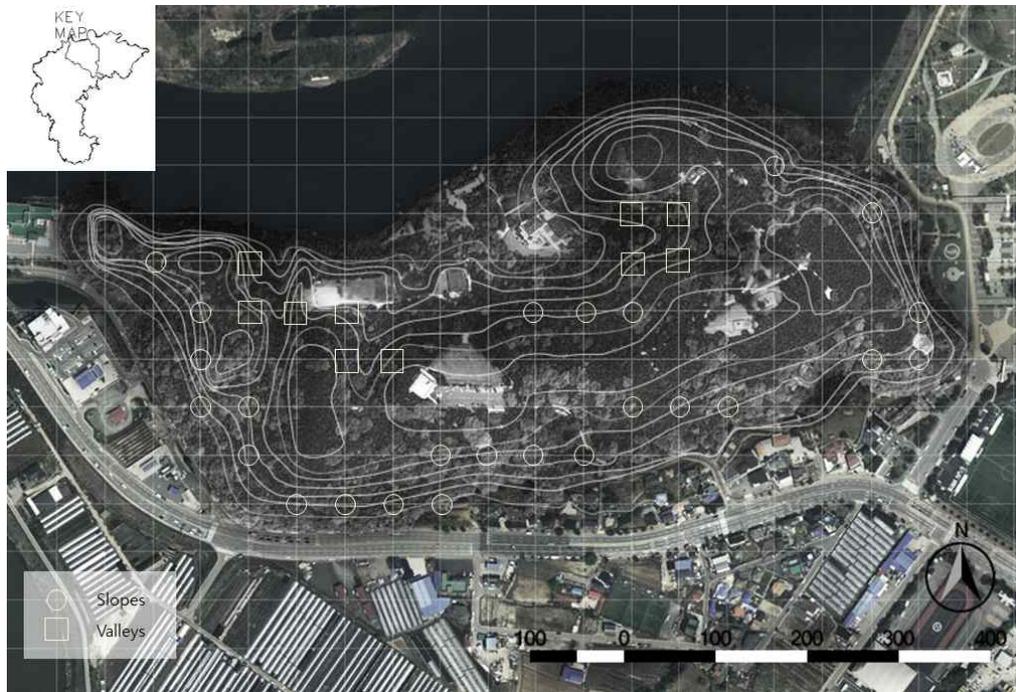


Fig. 1. Study area.

3,300 m²의 비교적 면적이 큰 공원이다. 산책로가 잘 정비되어 있으며, 녹음이 풍부하여 시민들이 많이 이용하는 곳으로 대상지를 선정하였다. 측정지점 선정의 경우 선행연구에서 Um and Kim(2009)은 공기이온 중 음이온 발생량은 입상과 숲 환경인자에 따라 차이가 있다고 보고하였으며, Kim et al.(2015b)은 식생유형에 따라 차이가 있다고 보고하였으며, Kim et al.(2018b)은 지형구조에 따라 차이가 있다고 보고하였다. 산지형 공원인 탄금대 공원은 능선부 내 조경수식재지 및 산책로 조성으로 과도한 이용이 이루어지고 있으므로, 자연성이 남아 있는 계곡·사면부를 대상으로 진행하였다. 또한, 측정자의 주관성을 배제하기 위해 50 m × 50 m 격자그리드를 형성하여 총 35지점을 도출하여, 지형구조를 파악하고 식생유형을 조사한 뒤 측정지점의 기상요소와 공기이온을 측정하였다(Fig. 1).

2.2. 연구방법

2.2.1. 식생유형구분

식생유형의 경우 조사지점을 우점하고 있는 수종에

따라 낙엽활엽수, 상록침엽수로 2개의 유형으로 구분하였으며, 조사결과를 토대로 나타난 흉고직경을 대경목 (large pole, 30 cm 이상), 중경목 (medium hard wood, 18~28 cm)으로 2개의 유형으로 구분하였다. 울폐도의 경우 밀(dense, 70%이상), 적(proper, 40~70%)으로 2개의 유형으로 구분하였으며, 식생의 층위구조에 따라 다층구조(multi-layer), 단층구조(single-layer)로 2개의 유형으로 구분하였다.

2.2.2. 공기이온측정방법

공기이온 측정은 COM-3600F (Nico, Japan) 장비 2대를 이용하여 각각 양이온 발생량과 음이온 발생량을 대기과 지표사이의 전위차 영향을 최소화하기(Kim et al., 2018b) 위해 지면에서 1.5 m 높이에서 이동측정하였다. 선행연구(Jo, 2010) 고찰을 통하여 이동 시 비닐팩으로 측정기를 감싸 대기 중 환경에 노출시키지 않았으며, 대기 중 공기이온의 특성상 빠르게 소멸되고 확산 범위가 좁기 때문에 측정데이터의 객관성을 확보하기 위해 측정지점에서 1분 간격으로 3반복 측정하였다. Shin et al.(2012)의 보고에 의하면 산림에서 공기이온 중 음이온

Table 1. A Study on the characteristics of type in the research target area

Division	Height (m)	DBH (cm)	Crown density (%)	Layer structure
Averages	16.21±2.79	29.18±4.23	71.43±7.89	Multi-layer (85.71%)
Maximum	22	36	80	Single-layer
Minimum	8	19	60	(14.29%)

발생량은 주간에 더 많이 발생한다고 하였으며, Yoon et al.(2012)은 수목의 광합성과 음이온 발생량은 상관관계가 있다는 연구 결과 등을 고찰하여 측정시간은 10:00부터 15:00까지 약 5시간 동안 실시하였다. 단순 음이온발생량 또는 양이온 발생량은 동일한 경향을 나타낼 것으로 예상되므로 이를 보정하기 위하여 이온지수(Air Ion Index)(Jin, 2005)로 환산하여 분석을 실시하였다(Formula 1). 이온지수는 대기 중 음이온과 양이온의 비율을 표현하는 것으로서 숫자가 클수록 음이온이 양이온에 비해 발생량이 더 많은 것을 의미하며, 숫자가 작을수록 양이온이 더 많은 것을 의미한다.

$$\text{Air ion index} = \frac{\text{Negative air ion}}{\text{Positive air ion}}$$

Formula 1. Air ion index calculation formula

2.2.3. 기상요소측정방법

기상요소의 경우 공기이온 중 음이온 농도에 영향을 미치는 요소인 기온, 상대습도, 풍속을 측정하였으며, 기상요소와 공기이온간의 비교를 위해 동시에 진행하였으며, 열선형 풍속계(TSI-9545)를 이용하여 1분 간격으로 3반복 측정하였다. 측정기간은 Lee(2019)의 선행연구에서 기기의 정확도와 반응속도를 고려하여 2018년 5월 예비조사를 거친 뒤 2018년 8월 한달간 실시하였다. 현장실측조사 특성상 측정일은 강우, 측정기기의 훼손이 우려되는 날은 제외하였다.

2.2.4. 통계분석

연구대상지의 기상요소와 지형구조, 수종, 흉고직경, 울폐도, 층위구조와 공기이온의 관계를 분석하기 위해 SPSS Statistics 25.0 프로그램을 이용하여 수종, 흉고직경, 울폐도, 층위구조에 따른 일원배치분산분석을 실시하여 사후분석으로 던컨의 다중검정을 이용하였으며, 항목별 관련성을 파악하기 위해 상관성 분석을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 식생유형특성

탄금대 공원의 계곡 사면부 식생유형 특성을 조사한 결과는 Table 1과 같다. 50 m × 50 m 격자그리드를 형성하여 지형구조를 고려하여 총 35개 측정지점을 선정하였으며, 초지 3지점, 나지 4지점을 제외한 28지점을 대상으로 분석을 실시하였다. 측정지점의 식생은 상록침엽수, 낙엽활엽수로 구분하였다. 평균 수고는 16.21±2.79 cm, 흉고직경은 약 29.18±4.23 cm인 것으로 분석되어 선행연구에서 월악산국립공원을 대상으로 이온지수를 측정한 연구(Kim et al., 2018b)에 비해 자연성은 다소 낮았지만, 도심 내 공원인 서울숲을 대상으로 공기이온 중 음이온을 측정한 연구(Kim et al., 2015a)와 양재 시민의 숲을 대상으로 음이온을 측정한 연구(Kim et al., 2015b)에 비해 녹지의 질적인 측면에서 선행연구보다 양호한 환경으로 판단되었다. 측정지점의 수종은 상록침엽수 12지점, 낙엽활엽수 16지점으로 조사되었으며, 흉고직경의 경우 19~36 cm로 중경목 9지점, 대경목 19지점으로 나타났다. 울폐도의 경우 밀 7지점, 적 21지점이었으며, 층위구종의 경우 단층구조 4지점, 다층구조 24지점으로 나타났다.

3.2. 지형구조에 따른 공기이온 평가

3.2.1. 주요측정항목 기술통계

계곡 사면부 내 식생유형에 따른 공기이온 평가를 위해 기상요소와 공기이온을 측정하였다. 기상요소의 경우 기온, 상대습도, 풍속을 측정하였으며, 공기이온의 경우 양이온, 음이온을 측정하여 이온지수로 환산한 뒤 분석하였다. 분석결과에 대한 일반적 특성을 파악하기 위하여 기술통계를 실시하였다(Table 2).

본 연구대상지 내 기상의 경우 기온은 평균 약 30.49°C, 최고기온 36.22°C, 최저기온 28.21°C로 측정되었으며,

Table 2. Technical statistics for major measurement items

Division	M ^z	SD	Maximum	Minimum	Skewness	Kurtosis
Temperature	30.4912	1.68558	36.22	28.21	1.217	1.402
Relative humidity	63.6355	5.95776	73.95	46.15	-.753	.168
Wind speed	.6658	.76204	4.88	.03	2.412	6.662
Positive air ion	615.9055	41.65902	702.54	509.56	-.447	-.640
Negative air ion	729.0303	61.57838	867.25	599.05	.182	-.508
Air ion index	1.1872	.10788	1.44	.93	-.194	-.483

^z: M, mean; SD, standard deviation

표준편차는 1.69, 왜도 1.217, 첨도 1.402로 분석되었으며, 상대습도는 평균 약 63.64%, 최고상대습도 73.95%, 최소상대습도 46.15%로 측정되었으며, 그에 따른 표준편차는 5.96, 왜도 -.753, 첨도 .168로 분석되었다. 풍속의 경우 평균 약 0.67 m/s, 최고풍속 4.88 m/s, 최소풍속 .03 m/s로 측정되었으며, 표준편차는 .76, 왜도 2.412, 첨도 6.662로 분석되었다. 기상요소의 경우 모두 왜도와 첨도에서 절대값 3과 10미만으로 나타나 측정데이터가 정규분포하는 것으로 분석되었다.

공기이온 중 양이온의 경우 평균 약 615.91 ea/cm³, 최고 발생량 702.54 ea/cm³, 최소 발생량 509.56 ea/cm³로 측정되었으며, 표준편차 41.66, 왜도 -.447, 첨도 -.640으로 분석되었으며, 음이온은 평균 약 729.03 ea/cm³, 최고 발생량 867.25 ea/cm³, 최소 발생량 599.05 ea/cm³로 측정되었으며, 그에 따른 표준편차는 61.58, 왜도 .182, 첨도 -.508로 분석되었다. 일반적인 도심지에 분포하는 음이온 발생량 150~450 ea/cm³(Chee, 2009)보다 많았으며, 인간의 건강에 유익한 수준인 700 ea/cm³(Park et al., 2006)와 유사한 수준으로 발생하였다. 양이온 발생량과 음이온 발생량을 이용하여 이온지수로 분석한 결과 평균 약 1.19, 최고 1.44, 최소 0.93으로 분석되었으며, 그에 따른 표준편차 .11, 왜도 -.194, 첨도 -.483으로 분석되었다. 공기이온의 경우 모두 왜도와 첨도에서 절대값 3과 10미만으로 정규분포하는 것으로 분석되었다.

3.2.2. 지형구조에 따른 공기이온 평가

지형구조에 따른 공기이온 평가를 위해 계곡·사면부를 대상으로 기상요소와 공기이온을 측정하였다. 지형구조에 따른 이온지수 비교 연구에서 계곡부 > 능선부와

보고(Kim et al., 2018b)하였지만, 이는 자연성이 좋은 국립공원에서 동일한 수종을 대상으로 진행하였기에도 심 산지형 공원의 지형구조에 따른 공기이온을 평가하기에는 무리가 있는 것으로 판단되어, 본 연구에서는 계곡부와 사면부를 대상으로 실시하였다.

지형구조에 따른 기상 요소의 경우 기온은 계곡부 30.16±1.39℃, 사면부 30.61±1.77℃였으며, 상대습도는 계곡부 64.71±5.20%, 사면부 63.26±6.17%, 풍속은 계곡부 0.69±0.76 m/s, 사면부 0.66±0.76 m/s로 측정되었다.

공기이온의 경우 양이온은 사면부(616.41 ea/cm³) > 계곡부(614.45 ea/cm³)로 사면부에서 약 1.96 ea/cm³ 많이 발생하였으며, 음이온의 경우 계곡부(746.56 ea/cm³) > 사면부(722.93 ea/cm³)로 계곡부에서 약 23.63 ea/cm³ 많이 발생한 것으로 분석되었다. 이는 계곡부에서 물방울이 분열 파쇄가 상반되어, 미세한 물방울로부터 전자가 공기 중에 방출되어 주위 공기중의 산소분자에 부착되어 음이온을 생성하지만, 물방울 자체는 양이온이 되는 것으로 사료되었다(Chee, 2009). 이온지수로 분석한 결과 계곡부(1.21) > 사면부(1.18)로 계곡부에서 약 0.04 높은 것으로 분석되었다.

3.3. 식생유형에 따른 공기이온평가

3.3.1. 수종에 따른 공기이온 평가

계곡·사면부 내 수종에 따른 공기이온 평가를 위해 기상요소와 공기이온을 측정하였다. 수종에 따른 음이온 발생량 비교 연구에서 상록침엽수 > 낙엽활엽수 > 나지로 보고(Kim et al., 2015b)하였지만, 이는 평지형 공원인 서울숲을 대상으로 진행하였기에 산지형공원의 공기이온을 평가하기에는 무리가 있는 것으로 판단되어, 본 연구에서는 계곡부와 사면부 내 식생을 상록침엽수와

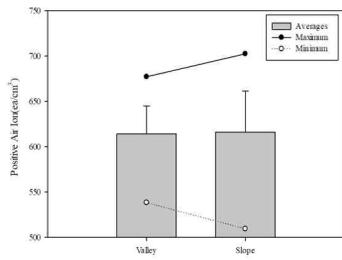


Fig. 2. Positive air ion characteristics according to geomorphic structure.

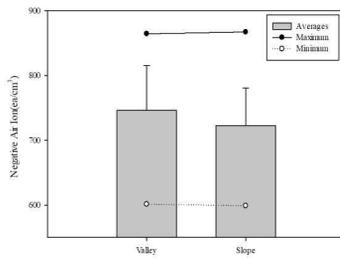


Fig. 3. Negative air ion characteristics according to geomorphic structure.

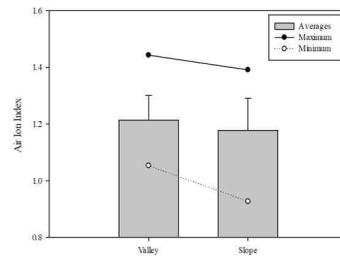


Fig. 4. Air ion Index characteristics according to geomorphic structure.

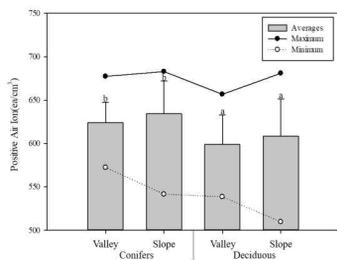


Fig. 5. Positive air ion characteristics according to species.

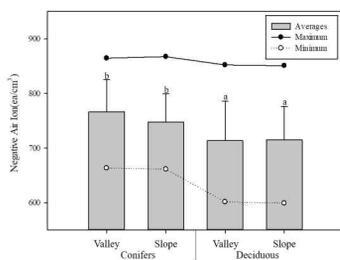


Fig. 6. Negative air ion characteristics according to species.

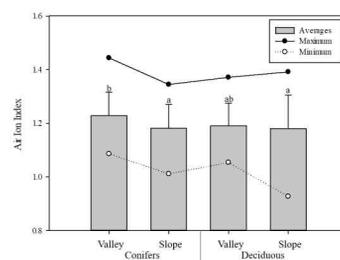


Fig. 7. Air ion Index characteristics according to species.

낙엽활엽수로 구분하여 측정하였으며, 차이를 검정하기 위해 일원배치분산분석을 실시하고 사후분석으로 Duncan's multiple range test를 실시하였다.

수중에 따른 기상의 경우 기온은 계곡부 상록침엽수 29.57±1.05℃, 사면부 상록침엽수 29.74±1.08℃, 계곡부 낙엽활엽수 31.13±1.36℃, 사면부 낙엽활엽수 30.79±1.72℃였으며, 상대습도는 계곡부 상록침엽수 67.01±4.01%, 사면부 상록침엽수 66.93±3.91%, 계곡부 낙엽활엽수 60.86±4.69%, 사면부 낙엽활엽수 62.43±5.80%, 풍속은 계곡부 상록침엽수 0.61±0.75 m/s, 사면부 상록침엽수 0.60±0.57 m/s, 계곡부 낙엽활엽수 0.82±0.78 m/s, 사면부 낙엽활엽수 0.59±0.71 m/s로 측정되었다.

공기이온의 경우 양이온은 사면부 상록침엽수(634.30 ea/cm³) > 계곡부 상록침엽수(623.88 ea/cm³) > 사면부 낙엽활엽수(608.37 ea/cm³) > 계곡부 낙엽활엽수(598.73 ea/cm³)으로 낙엽활엽수에 비해 상록침엽수에서 많이 발생하였으며, 통계적(p<0.05)으로 유의한 것으로 분석되었다. 음이온의 경우 계곡부 상록침엽수

(766.31 ea/cm³) > 사면부 상록침엽수(747.52 ea/cm³) > 사면부 낙엽활엽수(714.72 ea/cm³) > 계곡부 낙엽활엽수(713.64 ea/cm³)로 낙엽활엽수에 비해 상록침엽수에서 많이 발생하였으며, 통계적(p<0.05)으로 유의한 것으로 분석되었다. 선행연구(Kim et al., 2015b)에서 상록침엽수 > 낙엽활엽수로 보고한 연구와 유사한 경향을 보였다. 이온지수의 경우 계곡부 상록침엽수(1.23) > 계곡부 낙엽활엽수(1.19) > 사면부 상록침엽수(1.18) > 사면부 낙엽활엽수(1.18)로 낙엽활엽수에 비해 상록침엽수에서 많이 발생하였으며, 통계적(p<0.05)으로 유의한 것으로 분석되었다. 이온지수의 경우 같은 수종이라도 사면부보다 계곡부에서 많이 발생하였으며, 이는 계곡부에서 공기이온의 발생이 원활히 이루어진 것으로 판단되었다. 공기이온 분석결과 수종간의 평균차이가 있었으며, 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다.

3.3.2. 흉고직경에 따른 공기이온 평가

계곡·사면부 내 식생의 흉고직경에 따른 공기이온 평가를 위해 기상요소와 공기이온을 측정하였다. 선행연구

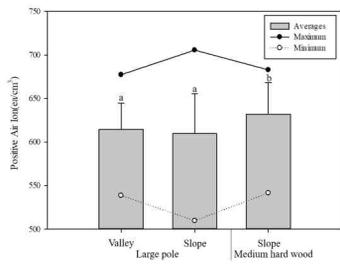


Fig. 8. Positive air ion characteristics according to diameter at breast height.

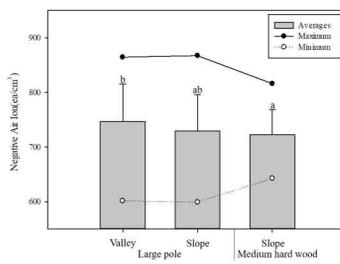


Fig. 9. Negative air ion characteristics according to diameter at breast height.

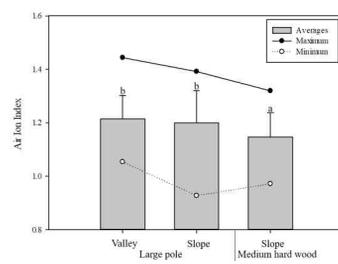


Fig. 10. Air ion Index characteristics according to diameter at breast height.

에서 흉고직경에 따른 음이온 발생량은 부의 상관으로 보고하였다(Kim et al., 2015b). 이는 평지형 공원 내 식생의 흉고직경을 비교한 연구로 산지형 공원의 계곡·사면부 내 식생의 흉고직경에 따른 공기이온을 평가하기에는 무리가 있는 것으로 판단되어, 본 연구에서는 계곡부와 사면부 내 식생의 흉고직경에 따라 대경목(DBH 30 cm 이상), 중경목(DBH 18~28 cm)로 구분한 뒤 측정하였으며, 차이를 검정하기 위해 일원배치분산분석을 실시하고 사후분석으로 Duncan's multiple range test를 실시하였다.

흉고직경에 따른 기상의 경우 기온은 계곡부 대경목 30.16±1.39℃, 사면부 대경목 30.50±1.84℃, 사면부 중경목 30.23±1.13℃였으며, 상대습도는 계곡부 대경목 64.71±5.20%, 사면부 대경목 63.98±6.30%, 사면부 중경목 64.39±4.36%, 풍속은 계곡부 대경목 0.69±0.76 m/s, 사면부 대경목 0.65±0.77 m/s, 사면부 중경목 0.52±0.46 m/s로 측정되었다.

공기이온의 경우 양이온은 사면부 중경목(631.93 ea/cm³) > 계곡부 대경목(614.45 ea/cm³) > 사면부 대경목(610.00 ea/cm³)의 순이었으며, 같은 지형구조일지라도 중경목에서 약 21.93 ea/cm³ 많이 발생한 것으로 분석되었다. 음이온의 경우 계곡부 대경목(746.56 ea/cm³) > 사면부 대경목(729.24 ea/cm³) > 사면부 중경목(722.29 ea/cm³)의 순으로 분석되었으며, 사면부보다 계곡부에서 17.32 ea/cm³ 많이 발생한 것으로 분석되었다. 평지형 공원을 대상으로 진행된 선행연구(Kim et al., 2015b)에서 흉고직경과 음이온 발생량은 부의 상관으로 흉고직경이 크면 단위면적당 수목의 양이 줄어들어 음이온 발생량이 감소하는 것으로 보고하였지만, 본 연구에서는

대경목에서 더 많이 발생하였으며, 이는 지형구조, 층위 구조, 수중에 따라 차이가 발생하는 것으로 분석되었다. 이온지수의 경우 계곡부 대경목(1.21) > 사면부 대경목(1.20) > 사면부 중경목(1.15)으로 흉고직경이 클수록 이온지수가 높았으며, 사면부보다 계곡부에서 높은 것으로 분석되었다. 공기이온의 경우 유형간의 평균차이가 발생하였으며, 통계적(p<0.05)으로 유의한 수준이었다. 추후 산지형공원과 평지형공원의 흉고직경 차이에 따른 공기이온 비교 연구가 이루어져야 할 것으로 판단되었다.

3.3.3. 울폐도에 따른 공기이온평가

계곡·사면부 내 울폐도에 따른 공기이온 평가를 위해 기상요소와 공기이온을 측정하였다. 울폐도 구분의 경우 밀(울폐도 70% 이상), 적(울폐도 40~70%)으로 구분한 뒤 측정하였으며, 차이를 검정하기 위해 일원배치분산분석을 실시하고 사후분석으로 Duncan's multiple range test를 실시하였다.

울폐도 따른 기상의 경우 기온은 계곡부 밀 30.34±1.38℃, 사면부 밀 30.62±1.73℃, 계곡부 적 28.88±0.57℃, 사면부 적 29.79±0.85℃였으며, 상대습도는 계곡부 밀 63.93±5.10%, 사면부 밀 63.28±5.90%, 계곡부 적 70.14±0.59%, 사면부 적 66.35±3.77%, 풍속은 계곡부 밀 0.63±0.72 m/s, 사면부 밀 0.62±0.71 m/s, 계곡부 적 1.08±0.96 m/s, 사면부 적 0.53±0.51 m/s로 측정되었다.

공기이온의 경우 양이온은 계곡부 적(647.40 ea/cm³) > 사면부 적(642.61 ea/cm³) > 사면부 밀(610.12 ea/cm³) > 계곡부 밀(609.74 ea/cm³)로 울폐도가 적일수록 많이 발생하였다. 음이온은 계곡부 적(762.69 ea/cm³) > 계곡부

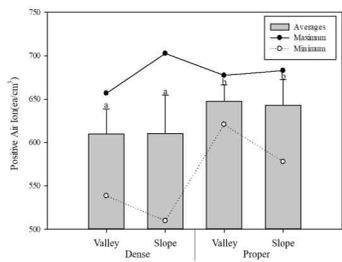


Fig. 11. Positive air ion characteristics according to crown density.

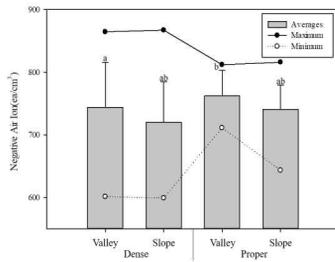


Fig. 12. Negative air ion characteristics according to crown density.

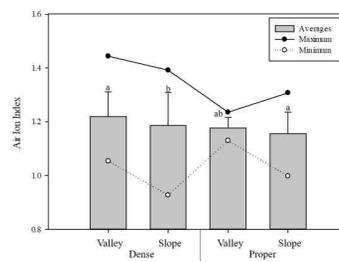


Fig. 13. Air ion index characteristics according to crown density.

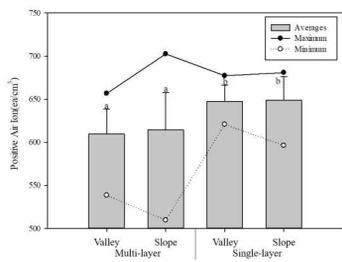


Fig. 14. Positive air ion characteristics according to layer structure.

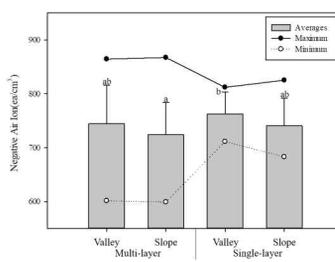


Fig. 15. Negative air ion characteristics according to layer structure.

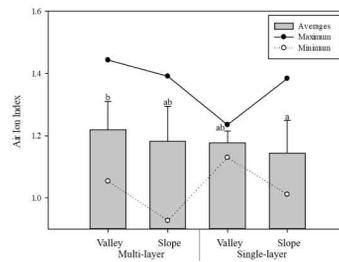


Fig. 16. Air ion index characteristics according to layer structure.

밀(744.26 ea/cm³) > 사면부 적(740.94 ea/cm³) > 사면부 밀(720.40 ea/cm³)으로 사면부보다 계곡부에서, 울폐도가 적일수록 많이 발생하였다. 이온지수로 분석한 결과 계곡부 밀(1.22) > 사면부 밀(1.19) > 계곡부 적(1.18) > 사면부 적(1.16)으로 사면부에 비해 계곡부에서 많이 발생하였으며, 울폐도가 밀할수록 많이 발생하는 것으로 분석되었다. 이는 울폐도가 적일수록 양이온 발생량과 음이온 발생량이 같이 많아져 이온지수는 작아지는 것으로 분석되었다. 공기이온의 경우 유형간의 평균차이가 발생하였으며, 통계적(p<0.05)으로 유의한 수준이었다.

3.3.4. 층위구조에 따른 공기이온평가

계곡·사면부 내 식생의 층위구조에 따른 공기이온 평가를 위해 기상요소와 공기이온을 측정하였다. 학교숲을 대상으로 진행된 선행연구(Park, 2017)에서 층위구조에 따른 기상요소(기온, 상대습도, 풍속)는 차이가 없으며, 음이온 발생량은 차이가 있다라고 보고하였다. 이에 본

연구에서는 식생조사결과를 토대로 다층구조, 단층구조 두 유형으로 구분하여 계곡부·사면부 내 공기이온을 측정하였으며, 차이를 검증하기 위해 일원배치분산분석을 실시하고 사후분석으로 Duncan's multiple range test를 실시하였다.

층위구조에 따른 기상의 경우 기온은 계곡부 다층구조 30.34±1.38℃, 사면부 다층구조 30.51±1.63℃, 계곡부 단층구조 28.88±0.57℃, 사면부 단층구조 29.62±0.87℃였으며, 상대습도는 계곡부 다층구조 63.93±5.10%, 사면부 다층구조 63.59±5.65%, 계곡부 단층구조 70.14±0.59%, 사면부 단층구조 67.55±3.26%, 풍속은 계곡부 다층구조 0.63±0.72 ㎍, 사면부 다층구조 0.63±0.70 ㎍, 계곡부 단층구조 1.08±0.96 ㎍, 사면부 단층구조 0.39±0.20 ㎍로 측정되었다.

공기이온의 경우 양이온은 사면부 단층구조(649.02 ea/cm³) > 계곡부 단층구조(647.40 ea/cm³) > 사면부 다

Table 3. Analysis of air ion correlation

Division	Geomorphic structure	Species	DBH	Crown density	Structure	Temperature	Relative humidity	Wind speed	Positive air ion	Negative air ion
Species	.251**									
DBH	.435**	-.177**								
Crown density	.183**	-.333**	.662**							
Structure	.032	-.265**	.156**	.471**						
Temperature	-.079	-.380**	.051	.257**	.242**					
Relative humidity	.057	.434**	-.022	-.282**	-.296**	-.912**				
Wind speed	.062	-.015	.096	.008	.032	.504**	-.388**			
Positive air ion	-.034	.292**	-.266**	-.389**	-.330**	-.113	.271**	.160**		
Negative air ion	.145*	.319**	.106	-.110	-.091	-.358**	.531**	.066	.284**	
Air ion index	.142*	.086	.282**	.170**	.144*	-.246**	.301**	-.050	-.438**	.735**

*: p < 0.05, **: p < 0.01

층구조(614.47 ea/cm³) > 계곡부 다층구조(609.74 ea/cm³)로 다층구조보다 단층구조일수록, 계곡부보다 사면부일수록 양이온 발생량이 많았다. 음이온은 계곡부 단층구조(762.69 ea/cm³) > 계곡부 다층구조(744.26 ea/cm³) > 사면부 단층구조(740.53 ea/cm³) > 사면부 다층구조(723.89 ea/cm³)로 학교숲을 대상으로 진행된 연구(Park, 2017)와 유사한 경향을 보였으며, 다층구조보다 단층구조일수록, 사면부보다 계곡부일수록 음이온 발생량이 많았다. 다층구조보다 단층구조일수록 공기이온 발생이 많았던 것은 단층구조에서 공기의 흐름이 원활히 이루어짐에 따라 수목의 증산작용과 광합성량이 다층구조보다 상대적으로 많았기 때문으로 사료되었다. 이온지수는 계곡부 다층구조(1.22) > 사면부 다층구조(1.18) = 계곡부 단층구조(1.18) > 사면부 단층구조(1.14)로 단층구조에 비해 다층구조에서 많은 것으로 분석되었으며, 통계적(p < 0.05)으로 유의한 것으로 분석되었다. 추후 동일한 수종, 흉고직경에 따른 층위구조가 연구가 이루어져야 할 것으로 판단되었다.

3.4. 지형구조와 식생유형 상관관계 분석

산지형 공원 내 계곡·사면부를 대상으로 공기이온 평가를 위해 상관성분석을 실시하였다. 가변수 설정의 경우 지형구조는 1 = 사면부, 2 = 계곡부로 설정하였으며, 수종은 1 = 낙엽활엽수, 2 = 상록침엽수, 흉고직경의 경우 1 = 중경목, 2 = 대경목으로 설정하였다. 울폐도는 1 = 적, 2 = 밀, 층위구조의 경우 1 = 단층구조, 2 = 다층구

조로 설정하여 상관성 분석을 실시하였다(Table 3).

공기이온 중 양이온 발생량과 정의 상관인 것은 수종(.292**), 풍속(.160**), 음이온(.284**)으로 분석되었으며, 부의 상관인 것은 흉고직경(-.266**), 울폐도(-.389**), 층위구조(-.330**), 이온지수(-.438**)로 분석되었다. 양이온 발생량 분석 결과 상록침엽수, 중경목, 적, 단층구조일수록 양이온 발생량이 높았으며, 낙엽활엽수, 대경목, 밀, 다층구조일수록 양이온 발생량이 낮은 것으로 분석되었다.

음이온 발생량의 경우 정의 상관인 것은 지형구조(.145*), 수종(.319**), 상대습도(.531**), 양이온(.284**), 이온지수(.735**)로 분석되었으며, 부의 상관인 것은 기온(-.358**)로 분석되었다. 계곡부, 상록침엽수일수록 음이온 발생량이 높았으며, 기온이 높을수록 음이온 발생량은 낮은 것으로 분석되었다. 이는 이동측정을 진행함에 따라 음이온 발생량과 기온은 부의 상관, 상대습도는 정의 상관으로 나타나는 것으로 판단되었다(Kim et al., 2012; Yoon et al., 2012; Kim et al., 2018a). 또한 선행 연구(Kim et al., 2018b)에서 동일한 수종을 대상으로 지형구조에 따른 비교 연구가 진행되었지만, 추후 동일한 지형구조를 대상으로 수종에 따른 비교·분석 연구가 이루어져야 될 것으로 판단되었다.

이온지수로 분석한 결과 정의 상관인 것은 지형구조(.142*), 흉고직경(.282**), 울폐도(.170**), 층위구조(.144*), 상대습도(.301**), 음이온(.735**)로 분석되었으며,

부의 상관인 것은 기온(-.246**), 양이온(-.438**)로 분석되었다. 상관계수를 통해 식생유형 중 흉고직경 > 울폐도 > 층위구조 > 지형구조의 순으로 영향이 있는 것으로 판단되었다.

4. 결론

본 연구는 산지형공원 내 계곡부와 사면부를 대상으로 식생의 유형에 따른 공기이온을 평가함으로써 공원 재조성시 기후적 측면의 건강관리 기초자료로 제공하고자 하였다.

공기이온은 양이온과 음이온을 측정된 뒤 이를 이온지수로 분석하여 평가하였으며, 기상요소 측정을 동시에 진행하였으며, 식생은 수종, 흉고직경, 울폐도, 층위구조로 구분하여 조사하였다.

지형구조에 따른 이온지수는 계곡부 > 사면부였으며, 수종에 따른 비교 결과, 계곡부 상록침엽수 > 계곡부 낙엽활엽수 > 사면부 상록침엽수 = 사면부 낙엽활엽수로 낙엽활엽수보다 상록침엽수에서 높았으며, 사면부 상록침엽수보다 계곡부 낙엽활엽수에서 높은 것을 통해 지형구조의 영향이 더 큰 것으로 판단되었다. 흉고직경의 경우 계곡부 대경목 > 사면부 대경목 > 사면부 중경목으로 중경목보다 대경목에서 높았으며, 조사지점 내 계곡부 중경목 부재에 따라 차이를 비교하기에는 다소 무리가 있어 추후 다양한 대상지를 통한 비교 연구가 진행되어야 할 것으로 판단되었다. 울폐도에 따른 비교 결과, 계곡부 밀 > 사면부 밀 > 계곡부 적 > 사면부 적으로 적보다 밀에서 높았으며, 사면부보다 계곡부에서 더 높은 것을 통해 지형구조의 영향보다 울폐도의 영향이 더 큰 것으로 판단되었다. 층위구조의 경우 계곡부 다층구조 > 사면부 다층구조 = 계곡부 단층구조 > 사면부 단층구조로 단층구조보다 다층구조에서 높았으며, 사면부보다 계곡부에서 더 높은 것으로 분석되었다. 추후 4지점의 고정측정을 통한 비교 연구가 진행되어야 할 것으로 판단되었다.

지형구조와 식생유형 상관성 분석결과 이온지수는 지형구조, 흉고직경, 울폐도, 층위구조, 상대습도, 음이온과 정적 상관으로 분석되었으며, 기온, 양이온과는 부의 상관으로 분석되었다. 상관계수를 통해 공기이온은 흉고직경 > 울폐도 > 층위구조 > 지형구조의 순으로 영향이 있

는 것으로 분석되었다.

본 연구에서는 도심 산지형 공원의 계곡·사면부를 대상으로 능선부를 제외한 한계점이 존재한다. 이에 향후 공기이온에 대한 연구에서 지형구조, 다양한 식생유형을 모두 고려한 분석이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2018년도 건국대학교 KU학술연구비 지원에 의한 논문임.

REFERENCES

- Chee, C. K., 2009, Anionic effect, 2nd ed., Living Books, Korea, 1-183.
- Ham, K. J., Park, K. Y., Kim, M. S., Song, J. M., Lee, S. S., Ok, Y. S., 2011, Research of Monoterpenes Content in the Atmosphere of Forest, KJSSF., 44(6), 1126-1231.
- Jeon, J. Y., 2016, A Study on Negative Ions Generation According to the Environmental Conditions in the Urban Park : Focus on Wolmyeong Park in Gunsan City, Ph. M. Dissertation. Wonkwang University, Iksan, Korea.
- Jeon, K. S., Jo, Y. B., 2009, A Study on the Negative Ions Contents in Forests, J. of KIFR, 15-17.
- Jin, S. Y., 2005, Anion and well-being, 1st ed., The people of the land, Korea, 1-285.
- Jo, Y. B., 2010, A Study on the Development of Suitable Locations Evaluation Model and Therapy Type to Therapeutic Forests, Ph. D. Dissertation. Wonkwang University, Iksan, Korea.
- Kim, J. H., Oh, D. K., Choi, W. J., Yoon, Y. H., 2017, Air Ion Distribution of Traffic Volume in Urban Area -Wiryeseong main road, in Songpa-gu, Seoul-, JKsUE, 17(2), 137-144.
- Kim, J. H., Oh, D. K., Yoon, Y. H., 2015a, 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), 19-33.
- Kim, J. H., Oh, D. K., Yoon, Y. H., 2015b, Effect of Green Space Type in Urban Park on Anions Distribution, Urban Design, 16(1), 17-34.
- Kim, J. H., Lee, S. H., Kim, W. T., Yoon, Y. H., 2018b, Characteristics Regarding Ion Index by Geomorphic

- Structure -About *Larix kaempferi* of Wolaksan National Park, Kor. J. Env. Eco, 32(5), 486-496.
- Kim, J. H., Yoon, J. H., Lee, S. H., Choi, W. J., Yoon, Y. H., 2018a, Negative Ion Generation Index according to Altitude in the Autumn of Pine Forest in Gyeongju Namsan, Kor. J. Env. Eco, 32(4), 413-424.
- Kim, S. K., Shin, W. S., Kim, M. K., Yeoun, P. S., Park, J. H., Yoo, R. H., 2008, The effects of negative ions on stress responses and cognitive functions. Jour, Korean For. Soc, 97(4), 423-430.
- Krueger, A. P., Reedm E. J., 2006, Biological impact of small air ions, Science, 193(4259), 1209-1213.
- 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 Environ, 6(4), 81-92.
- Lee, S. H., 2019, Assessment of Air Ion based on Valley Microclimate: Focused on Mansu Valley in Woraksan National Park, Ph. M. Dissertation, Konkuk University, Chungju, Korea.
- Nam, H. I., 2013, A Study on anion concentration in relation to forest type, topography and altitude, Ph. M. Dissertation, Sang Ji University, Wonju, Koera.
- Oh, D. K., 2014, Effect of Negative Air Ions Distribution Impact by Form of Land Cover in Urban Park, Ph. M. Dissertation, Konkuk University, Chungju, Korea.
- Park, B. J., Hideki Hirano., Takahide Kagawa., Yoshifumi Miyazaki., 2006, Physiological Effects of Sinrin -yoku(2), Jour Korean For. Soc, 2006, 554-556.
- Park, Y. K., 2017, A Technique for Eco-friendly School Forest Construction through Evaluation of Generation Amount of Negative Air Ion, Ph. D. Dissertation, Konkuk University, Chungju, Korea.
- Shin, W. S., Yeoun, P. S., Kim, K. H., Lee, J. H., 2012, Amount of a Negative ions by Forest Climates, J. of KIFR 16(4), 125-131.
- Um, T. W., Kim, G. T., 2010, Correlations Between Concentrations of Negative Ions and Forest Type, and Site Factors at National Forests in Yangyang-gun, Kor. J. Env. Eco, 24(5), 539-546.
- Yamashita, M., Fenn, J. B., 1984, Negative ion production with the electrospray ion source, Physical Chemistry, 88(20), 4671-4675.
- Yoon, Y. H., Kim, E. I., Song, T. G., 1998, Effect of open space on the temperature drop -on Syakujii park of Tokyo in Japan-, Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture, 26(2), 259-268.
- Yoon, Y. H., Oh, D. K., Kim, J. H., 2012, An Analysis of Anions Distribution and Correlation by Biotope Types in Summer for Pleasant Urban Environment, Urban Design, 13(1), 51-62.

-
- Professor. Young-Han Yoon
Department of Green Environment System Convergence,
College of Science Technology, Konkuk University
yonghan7204@kku.ac.kr
 - Undergraduate. Sang-Hoon Lee
Department of Green Technology Convergence, College of
Science Technology, Konkuk University
sky565600@naver.com
 - Professor. Jeong-Ho Kim
Department of Green Environment System Convergence,
College of Science Technology, Konkuk University
hoya1209@kku.ac.kr