

도심 산지형 공원 능선부 식생유형에 따른 공기이온 평가¹

- 충주시 탄금대 공원을 대상으로 -

김정호² · 이상훈^{3*} · 윤용한⁴

Evaluation of Air Ion According to the Type of Ridge in Urban Park¹

-Focused on Tangeumdae Park in ChungJu-

Jeong Ho Kim², Sang Hoon Lee^{3*}, Yong Han Yoon⁴

요약

도심 산지형 공원 내 식생유형별 요인이 공기이온에 미치는 영향력을 파악하고자 충주시 탄금대 공원을 대상으로 수행하였다. 측정지점은 능선부 내 수종, 흉고직경, 울폐도, 층위구조에 따라 설정하였으며, 기상요소와 공기이온을 측정하였다. 공기이온 측정결과, 양이온 발생량은 평균 $610.90 \pm 50.27 \text{ea/cm}^3$, 음이온 발생량은 평균 $723.58 \pm 64.25 \text{ea/cm}^3$, 이온지수는 1.19 ± 0.10 이었다. 식생유형에 따른 분석결과는 다음과 같다. 첫째, 공기이온은 수종, 흉고직경, 층위구조에 따라 차이가 발생하였으며, 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다. 둘째, 이온지수와 식생유형과의 관계에서 수종, 흉고직경, 울폐도, 층위구조 모두에서 정의 상관관계로 분석되었으며, 양이온의 경우 수종, 흉고직경, 울폐도와 부의 상관관계, 음이온의 경우 수종, 흉고직경, 울폐도, 층위구조에서 정의 상관관계로 분석되었다. 셋째, 능선부 내 이온지수의 영향요인은 기상요인과 식생유형을 비교한 결과 식생유형의 상관계수가 더 높았으며, 세부적으로는 수종 > 층위구조 > 울폐도 > 흉고직경의 순이었다. 본 연구에서는 능선부를 대상으로 공기이온을 평가한 한계점이 존재한다. 이에 향후 공기이온에 대한 연구에서 지형구조, 식생유형을 모두 고려한 분석이 이루어져야할 것이며, 계절에 따른 변화-비교연구가 필요할 것으로 판단되었다.

주요어 : 이온지수, 음이온, 수종, 울폐도, 층위구조

ABSTRACT

This study analyzed the influence of the environmental factor of each vegetation type in an urban, mountainous park (Tangeumdae Park in Chungju) on air ion. The measuring points were divided according to the tree species, diameter at breast height, crown density, and layered structure, and the meteorological factors and the air ion were measured. The results of the measurement showed the average generation of positive ions of $610.90 \pm 50.27 \text{ea/cm}^3$, the average generation of negative ions of $723.58 \pm 64.25 \text{ea/cm}^3$, and the air ion index of 1.19 ± 0.10 . The results of the analysis, according to the vegetation type, are as follows. Firstly, the air ion varied

1 접수 2019년 8월 1일, 수정 (1차: 2019년 10월 15일), 게재확정 2019년 10월 15일

Received 1 August 2019; Revised (1st: 15 October 2019); Accepted 15 October 2019

2 건국대학교 녹색환경시스템전공 부교수 Department of Green Environment System, KonKuk Univ., 268, Chungwon-daero, Chungju-si, Chungcheongbuk-do, 274-78, Republic of Korea

3 건국대학교 대학원 녹색기술융합학과 박사과정 Department of Green Technology Convergence, Graduate School, KonKuk Univ., 268, Chungwon-daero, Chungju-si, Chungcheongbuk-do, 274-78, Republic of Korea

4 건국대학교 녹색환경시스템전공 교수 Department of Green Environment System, KonKuk Univ., 268, Chungwon-daero, Chungju-si, Chungcheongbuk-do, 274-78, Republic of Korea

* 교신저자 Corresponding author: sky565600@kku.ac.kr

according to the species, the chest diameter at breast height, and the layered structure, and was analyzed to be statistically significant. Secondly, the air ion and the vegetation type showed a positive correlation with the species, diameter at breast height, crown density, and layered structure. The cation showed a negative correlation with the species, diameter at breast height, and the crown density, and the anion showed a positive correlation with the species, the diameter at breast height, crown density, and layered structure. Thirdly, the ion index in ridges had a higher correlation with the vegetation type than the meteorological factors. In detail, the correlation was higher in the species > layered structure > crown density > diameter at breast height. This study had the limitation of evaluating air ions in the ridge. Therefore, future studies on air ion should consider both terrain structure and vegetation type and analyze the seasonal changes and comparison.

KEY WORDS: AIR ION INDEX, NEGATIVE, SPECIES, CROWN DENSITY, LAYERED STRUCTURE

서론

성장위주의 경제개발로 인한 도시화 및 집중화는 자연생태계의 훼손, 도시기후의 변화, 지표면 온도 상승, 대기오염문제 등을 유발시키고 있어 문제가 되고 있다. 이에 자연생태계의 보전, 쾌적한 도시환경의 확보, 각종 환경위해성을 완화시킬 수 있는 녹지의 중요성이 증대되고 있다(Kim *et al.*, 2015a).

녹지는 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 작용하여, 광합성 과정에서 발생하는 음이온은 대기오염물질 저감의 중요한 요인으로 작용한다(Jin, 2005; Lee and Yoon, 2003). 또한 녹지에서 발생하는 건강인자에 대한 연구로 주요 치유인자인 피톤치드와 음이온의 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(Chee, 2009; Yamasita and Fenn, 1984, Ham *et al.*, 2011). 대기의 이온화 요인으로는 태양의 자외선에 의한 공기분자 파괴, 지중방사성물질의 붕괴, 대기와 지표사이의 전위차, 태양의 원적외선, 레나드효과(물과쇠방식), 기온과 기압차 등 다양한 원인으로 발생한다(Jin, 2005; Chee, 2009).

선행연구로 밝혀진 공기이온의 효과로 양(+)이온의 경우 인체 조직의 세포를 산화시키고, 교감신경을 자극하여 내분비계의 면역, 체액의 순환작용 등을 악화시켜 신체의 노화를 촉진시

킨다(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).

공기이온 중 음이온 발생량의 경우 일반적인 숲속에서는 2,000개/cm³(Um and Kim, 2010), 국립공원 지형구조에 따른 음이온 발생량은 평균 700~1,700개/cm³ 정도 발생한다고 보고 되었으며(Kim *et al.*, 2018b), 도심지 내 도시공원에서 600~800개/cm³(Oh, 2014)로 나타났으며, 식재 층위구조에 따라 단층 > 다층 > 잔디 > 나지의 순으로 발생한다고 보고하였다(Park, 2017). 일반적으로 도심지에 분포하는 음이온은 150~450개/cm³로 확인되었다(Chee, 2009). 도심지 대규모 공원에서 진행된 연구로는 도심지 대규모 공원인 서울숲에서 진행된 녹지구조가 음이온에 미치는 영향 연구에서 낙엽활엽수식재유형 > 상록침엽수식재유형 > 혼효 식재유형 > 초본 식재유형의 순으로 보고하였으며(Kim *et al.*, 2015b), 양재 시민의 숲에서 진행된 공원 녹지의 식재 유형에 따른 음이온 발생량 연구에서 상록침엽수식재유형 > 낙엽활엽수식재유형 > 나지 및 시설지의 순이었다(Kim *et al.*, 2015a).

20세기초 대기중의 공기이온은 양이온과 음이온의 비율이 1:1.2였으나, 현재의 대기 상태는 양이온과 음이온의 비율이 1.2:1로, 한세기 사이에 이온 밸런스가 역전되었으며(Ji, 2009), 자연상태와 가까운 환경에서는 공기 중의 양이온과 음이온의 비율이 1:1.2 정도이며, 이에 비해 도시지역이나 오염지역 등은 1.2~1.5:1로 양이온의 비율이 더 높은 것으로 알려져 있다.

공기이온에 대한 선행연구로 기후에 따른 연구(Shin *et al.*, 2012; Lee, 2019), 지형구조에 따른 연구(Kim *et al.*, 2018a; Kim *et al.*, 2018b; Nam, 2013; Kim *et al.*, 2014), 식생에 따른 연구(Um and Kim, 2010, Oh, 2017; Jeon and Cho, 2009; Kim *et al.*, 2015a; Yoon *et al.*, 2012) 등이 진행되었다. 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 산지형 공원 내 능선부를 대상으로 식생구조, 수종에 따른 양이온 발생량과 음이온 발생량을 고려한 이온지수를 규명하고자 하였으며, 이를 활용하여 향후 공원 재조성 시 기후적 측면의 건강관리 기초자료로 제공하고자 하였다.

연구방법

1. 연구대상지

본 연구는 산지형 공원의 식생구조 및 유형별 공기이온 특성을 규명하기 위한 연구로서, 첫째, 동일한 속성의 피복이 75%에 이르는 곳, 둘째, 식생의 유형이 다양한 곳, 셋째, 지형구조가 유사한 지역을 선정하고자 하였다. 이에 상기 세가지 조건을 만족하는 곳으로 충청북도 충주시 탄금대 공원으로 선정하였다. 탄금대 공원은 도심지에서 접근성이 용이하며, 역사와 문화가 공존하는 곳으로 30만 3,300㎡의 비교적 면적이 큰 공원이다. 산책로가 잘 정비되어 있으며, 녹음이 풍부하여 시민들이 많이 이용하는 곳으로 대상지를 선정하였다. 측정지점 선정의 경우 공기이온 중 음이온 발생량은 임상과 숲 환경인자에 따라

차이가 있으며(Um and Kim, 2010), 식재유형에 따라 차이가 있다고 보고하였다(Kim *et al*, 2015a). 이에 본 연구에서는 식생유형을 파악하여 측정지점의 측정자의 주관성을 배제하기 위해 50m x 50m 격자그리드를 형성하여 능선부 지점을 대상으로 조사를 실시하였다.

2. 조사분석

식생유형의 경우 조사지점을 우점하고 있는 수종에 따라 소나무, 갈참나무, 굴참나무, 신갈나무, 밤나무, 아까시나무로 6개의 유형으로 구분하였으며, 흉고직경에 따라 대경목(Large pole, 30cm 이상), 중경목(Medium hard wood, 18~28cm), 소경목(Small wood, 6~16cm)으로 3개의 유형으로 구분하였다. 울폐도의 경우 밀(Dense, 70%이상), 적(Proper, 40~70%), 소(Sparse, 40%이하)로 3개의 유형으로 구분하였으며, 식생의 층위구조에 따라 다층구조(Multi-layer), 단층구조(Single-layer)로 2개의 유형으로 구분하였다.

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 1.5m 높이에서 이동측정하였다. 이동시에는 Jo(2010)의 선행연구를 고찰하여 비닐 팩으로 측정기를 감싸 대기 중 환경

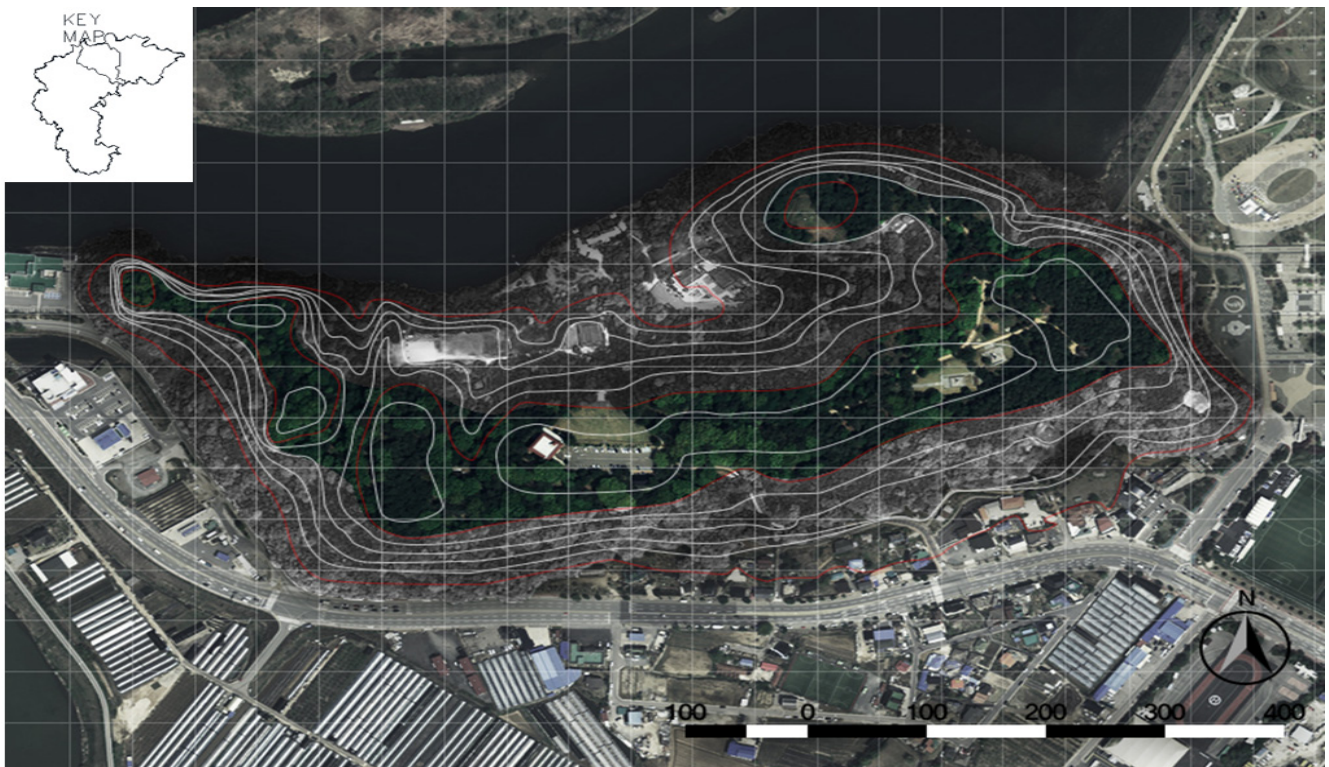


Figure 1. Study area.

에 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 발생량은 주간에 더 많이 발생한다고 하였으며, Yoon *et al.*(2012)은 수목의 광합성과 음이온 발생량은 상관관계가 있다는 연구 결과 등을 고찰하여 측정시간은 10:00부터 15:00 까지 약 5시간 동안 실시하였다.

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.

측정시간은 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.

연구대상지의 기상요소와 수종, 흉고직경, 울폐도, 층위구조와 공기이온의 관계를 분석하기 위해 SPSS Statistics 25.0 프로그램을 이용하여 수종, 울폐도의 경우 일원배치분산분석을 실시하여 사후분석으로 던컨의 다중검정을 이용하였으며, 흉고직경, 층위구조의 경우 독립표본 T검정을 이용하여 집단간의 차이를 분석하였다. 항목별 관련성을 파악하기 위해 상관성 분석을 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 연구대상지 특성

1) 식생유형 특성

탄금대 공원의 식생유형 특성을 조사한 결과는 Table 1과 같다. 전체 현존식생유형을 고려하여 총 45개 측정지점을 선정하였으며, 초지 1지점, 나지 3지점을 제외한 41지점을 대상으로 분석을 실시하였다. 측정지점의 수종은 소나무, 갈참나무, 굴참나무, 신갈나무, 밤나무, 아까시나무로 구분하였다. 평균 흉고직경의 경우 28.48 ± 5.52 cm, 수고는 17.5 ± 1.74 m인 것

로 분석되어 선행연구에서 서울 숲을 대상으로 공기이온 중 음이온을 측정한 연구(Kim *et al.*, 2015b)와 양재 시민의 숲을 대상으로 음이온을 측정한 연구(Kim *et al.*, 2015a)에 비해 녹지의 질적인 측면에서 선행연구보다 양호한 환경으로 판단되었다. 측정지점의 수종으로는 소나무, 리기다소나무, 굴참나무, 갈참나무, 상수리나무, 신갈나무, 밤나무, 아까시나무 등으로 조사되었다. 흉고직경의 경우 18~46cm로 중경목 22지점, 대경목 19지점으로 나타났다. 울폐도의 경우 소 4지점, 적 14지점, 밀 23지점으로 나타났다. 층위구조의 경우 단층구조 11지점, 다층구조 30지점 등 이었다.

2) 주요 측정항목 기술통계량

능선부 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).

연구대상지 내 기온은 평균 30.56℃, 최고기온 35.83℃, 최저기온 28.02℃로 측정되었으며, 그에 따른 표준편차는 1.76, 왜도 0.91, 첨도 .134로 분석되었으며, 상대습도는 평균 63.12%, 최고 76.24%, 최소 46.15%로 표준편차는 6.05, 왜도 -0.199, 첨도 -0.468로 분석되었다. 풍속의 경우 평균 0.53%, 최고 2.79%, 최소 0.03%로 측정되었으며, 표준편차 0.50, 왜도 1.92, 첨도 3.79로 분석되었다. 기상요소의 경우 측정항목인 기온, 상대습도, 풍속 모두 왜도와 첨도에서 절대 값 3과 10미만으로 나타나 데이터가 정규분포하는 것으로 분석되었다.

공기이온 중 양이온의 경우 평균 $610.90ea/cm^3$, 최고 $742.28ea/cm^3$, 최소 $457.55ea/cm^3$ 로 측정되었으며, 그에 따른 표준편차는 50.27, 왜도 -0.291, 첨도 -0.21로 분석되었다. 도심지 가로공간에 분포하는 양이온 분포량 약 $500ea/cm^3$ (Kim *et al.*, 2017)보다 약 $100ea/cm^3$ 더 많은 것으로 분석되었으며, 이는 대기중 공기입자의 파쇄가 원활히 이루어진 것으로 사료되었다. 공기이온 중 음이온의 경우 평균 $723.58ea/cm^3$, 최고 $892.04ea/cm^3$, 최소 $565.05ea/cm^3$, 표준편차 64.25, 왜도 0.08, 첨도 -0.33으로 분석되었으며, 일반적인 도심지에 분포하는 음이온 분포량 $150\sim 450ea/cm^3$ (Chee, 2009) 보다는 약 $300ea/cm^3$ 많았으며, 인간의 건강에 유익한 수준인 $700ea/cm^3$ (Park *et al.*, 2006)과 유사한 것으로 분석되었다. 양이

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

Divison	Height(m)	DBH(cm)	Crown density(%)	Layer structure
Averages	17.50 ± 1.74	28.48 ± 5.52	70	Multi-layer
Maximum	22.00	46.00	90	(73.17%)
Minimum	14.00	18.00	40	Single-layer
Mode	18.00	32.00	80	(26.83%)

Table 2. Technical statistics for major measurement items

Division	M ^z	SD	Maximum	Minimum	Skewness	Kurtosis
Temperature	30.5607	1.75824	35.83	28.02	.907	.134
Relative humidity	63.1235	6.05332	76.24	46.15	-.199	-.468
Wind speed	0.5348	0.50437	2.79	0.03	1.922	3.794
Positive air ion	610.9026	50.26934	742.28	457.55	-.291	-.207
Negative air ion	723.5784	64.25081	892.04	565.05	.078	-.327
Air ion index	1.1884	0.10414	1.57	.88	.083	.689

^z : M, mean; SD, standard Deviation

온과 음이온을 이용하여 이온지수로 분석한 결과 평균 1.19, 최고 1.57, 최소 0.88였으며, 표준편차 0.10 왜도 0.08, 첨도 0.69로 분석되었다. 국립공원 내 일본잎갈나무림을 대상으로 진행된 연구(Kim *et al*, 2018b)와 유사한 수준이었다. 공기이온 측정항목인 양이온, 음이온, 이온지수의 경우 정규성의 가정을 충족하는 것으로 나타났다.

2. 식생유형에 따른 공기이온 평가

1) 수종별 공기이온 평가

능선부 내 수종에 따른 공기이온 평가를 위해 기상요소와

공기이온을 측정하였다. 선행연구에서 수종에 따른 공기이온 중 음이온 발생량의 경우 상록침엽수 > 낙엽활엽수 > 나지로 보고하였다(Kim *et al*, 2015b). 이는 도심지 내 대규모공원에서 진행된 연구로 수종간의 공기이온을 비교하기에는 무리가 있는 것으로 판단되어, 이에 본 연구에서는 대상지의 현존식생에 따라 소나무, 갈참나무, 굴참나무, 신갈나무, 밤나무, 아까시나무로 구분한 뒤 양이온 발생량과 음이온 발생량을 측정하였다. 이를 이온지수로 분석하여, 수종에 따른 차이를 검정하기 위해 일원배치분산분석을 실시하고 사후분석으로 Duncan's multiple range test를 실시하였다(Table 3).

수종에 따른 기상의 경우 기온은 소나무 30.46±1.73℃, 갈참

Table 3. Air ion characteristics according to species type by Duncan's multiple range test

Division	M ^y	SD	F	p
Positive Air Ion	<i>Pinus densiflora</i>	601.4836b	6.657	.000
	<i>Quercus aliena</i>	605.9271bc		
	<i>Quercus variabilis</i>	568.0705a		
	<i>Quercus mongolica</i>	626.8947c		
	<i>Castanea crenata</i>	629.5784c		
	<i>Robinia pseudoacacia</i>	614.2510bc		
Negative Air Ion	<i>Pinus densiflora</i>	735.8956cd	4.067	.001
	<i>Quercus aliena</i>	722.3158bc		
	<i>Quercus variabilis</i>	703.9535ab		
	<i>Quercus mongolica</i>	754.1305d		
	<i>Castanea crenata</i>	724.6394bcd		
	<i>Robinia pseudoacacia</i>	690.0490a		
Air Ion Index	<i>Pinus densiflora</i>	1.2263c	8.414	.000
	<i>Quercus aliena</i>	1.1954bc		
	<i>Quercus variabilis</i>	1.2381c		
	<i>Quercus mongolica</i>	1.2045c		
	<i>Castanea crenata</i>	1.1559ab		
	<i>Robinia pseudoacacia</i>	1.1245a		

^z : Means followed by different letters indicate significant differences using Duncan's multiple range test at 5% level.

^y : M, mean; SD, standard Deviation

나무 30.26±1.72℃, 굴참나무 31.05±1.04℃, 신갈나무 29.48±0.76℃, 밤나무 29.73±0.76℃, 아까시나무 31.44±1.58℃이었으며, 상대습도는 소나무 63.67±6.56%, 갈참나무 64.67±6.38%, 굴참나무 59.50±2.35%, 신갈나무 64.51±2.34%, 밤나무 65.61±2.56%, 아까시나무 60.98±3.51%, 풍속은 소나무 0.54±0.52㎧, 갈참나무 0.38±0.38㎧, 굴참나무 0.66±0.62㎧, 신갈나무 0.56±0.62㎧, 밤나무 0.50±0.38㎧, 아까시나무 0.48±0.29㎧로 측정되었다.

공기이온의 경우 양이온은 밤나무(629.58ea/cm³) > 신갈나무(626.89ea/cm³) > 아까시나무(614.25ea/cm³) > 갈참나무(605.93ea/cm³) > 소나무(601.48ea/cm³) > 굴참나무(568.07ea/cm³)의 순이었으며, 일원배치 분산분석결과 F값 6.657(p<.05)으로 분석되었다. 음이온의 경우 신갈나무(754.13ea/cm³) > 소나무(735.90ea/cm³) > 밤나무(724.64ea/cm³) > 갈참나무(722.31ea/cm³) > 굴참나무(703.95ea/cm³) > 아까시나무(690.05ea/cm³)의 순이었으며, 일원배치 분산분석결과 F값 4.067(p<.05)으로 분석되었다. 기존 선행연구에서 상록침엽수 > 낙엽활엽수로 보고하였지만, 본 연구에서는 상록침엽수인 소나무보다 낙엽활엽수인 신갈나무에서 음이온이 더 많이 발생하였으며, 이는 수종을 세분화하여 분석한 결과로 추후 고정측정을 통해 수종간의 비교 분석연구가 이루어져야 할 것으로 판단되었다. 이온지수의 경우 굴참나무(1.24) > 소나무(1.23) > 신갈나무(1.20) > 갈참나무(1.20) > 밤나무(1.16) > 아까시나무(1.12)의 순이었으며, 일원배치 분산분석결과 F값 8.414(p<.05)로 분석되었다. 공기이온 분석결과, 수종간의 평균차이가 있었으며, 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다.

2) 흉고직경에 따른 공기이온 평가

능선부 내 흉고직경에 따른 공기이온 평가를 위해 기상요소와 공기이온을 측정하였으며, 흉고직경의 경우 대경목(30cm 이상), 중경목(18~28cm), 소경목(18cm 이하)로 구분한 뒤 양이온 발생량과 음이온 발생량을 측정하였다. 선행연구에서 흉고직경에 따른 공기이온 중 음이온 발생량의 경우 부의 상관으로 보고하였다(Kim *et al*, 2015b). 이는 도십지 내 대규모공원에

서 진행된 연구로 단순 음이온 발생량만을 비교하여 공기이온을 평가하기에는 다소 무리가 있는 것으로 판단되어, 이에 본 연구에서는 흉고직경에 따라 대경목, 중경목, 소경목으로 구분한 뒤 양이온 발생량과 음이온 발생량을 측정하였으며, 측정된 데이터를 이용하여 이온지수로 분석하였다. 측정지점 조사 결과 중경목, 대경목으로 두 유형으로 구분되었으며, 이에 흉고직경에 따른 차이를 검정하기 위해 독립표본 T검정을 이용하여 분석하였다(Table 4).

흉고직경에 따른 기상 요소의 경우 기온은 대경목 29.99±1.52℃, 중경목 30.68±1.59℃였으며, 상대습도는 대경목 65.31±5.82%, 중경목 62.25±5.16%, 풍속은 대경목 0.44±0.42㎧, 중경목 0.57±0.51㎧로 측정되었다.

공기이온의 경우 양이온은 대경목(616.02ea/cm³) > 중경목(597.56ea/cm³)로 대경목에서 약 18.46ea/cm³ 많이 발생하였으며, 음이온의 경우 대경목(740.35ea/cm³) > 중경목(716.28ea/cm³)로 대경목에서 약 24.07ea/cm³ 많이 발생한 것으로 분석되었다. 선행연구(Kim *et al*, 2015b)에서 흉고직경이 크면 단위면적당 수목의 양이 줄어 음이온 발생량이 감소하는 것으로 보고하였지만, 본 연구에서는 대경목에서 더 많이 발생하였으며, 이는 흉고직경이 크더라도 수종, 층위구조에 따라 차이가 발생하는 것으로 사료되었다. 이에 이온지수로 환산하여 분석한 결과 대경목(1.21) > 중경목(1.20)으로 대경목에서 약 0.01 높은 것으로 분석되었다. 공기이온의 경우 유형간의 평균차이가 발생하였으며, 통계적(p<.05)으로 유의한 수준이었다. 그러나 이온지수의 경우 통계적으로 유의하지 않은 것으로 분석되었다. 추후 동일한 수종, 층위구조를 고려한 연구가 이루어져야 할 것으로 판단되었다.

3) 울폐도에 따른 공기이온 평가

능선부 내 울폐도에 따른 공기이온 평가를 위해 기상요소와 공기이온을 측정하였다. 울폐도 구분의 경우 밀(70%이상), 적(40~70%), 소(40% 이하)로 구분한 뒤 양이온 발생량과 음이온 발생량을 측정하였으며, 이를 이온지수로 분석하였다. 울폐도에 따른 차이를 검정하기 위해 일원배치분산분석을 실시하고

Table 4. Air ion characteristics according to diameter at breast height type by T-Test

	Division	M ^z	SD	t	p
Positive Air Ion	Large pole	616.0179	51.96498	3.778	.000
	Medium hard wood	597.5629	46.06588		
Negative Air Ion	Large pole	740.3493	66.52971	3.845	.000
	Medium hard wood	716.2798	60.20432		
Air Ion Index	Large pole	1.2056	.10263	4.448	.654
	Medium hard wood	1.2014	.08998		

^z : M, mean; SD, standard Deviation

사후분석으로 Duncan's multiple range test를 실시하였다 (Table 5).

울폐도별 기상의 경우 기온은 밀 30.37±1.48℃, 적 30.25±1.77℃, 소 29.49±0.49℃였으며, 상대습도는 밀 63.32±4.96%, 적 64.78±6.88%, 소 65.48±0.65%, 풍속은 밀 0.49±0.42㎧, 적 0.53±0.54㎧, 소 0.33±0.21㎧로 측정되었다.

공기이온의 경우 양이온은 소(665.63ea/cm³) > 적(609.28ea/cm³) > 밀(605.38ea/cm³)의 순이었으며, 일원배치 분산분석결과 F값 7.296(p<.05)로 분석되었다. 음이온의 경우 적(742.21ea/cm³) > 소(724.51ea/cm³) > 밀(721.64ea/cm³)의 순이었으며, 일원배치 분산분석결과 F값 4.846(p<.05)로 분석되었다. 이온지수의 경우 적(1.22) > 밀(1.20) > 소(1.10)의 순이었으며, 일원배치 분산분석결과 F값 8.940(p<.05)로 분석되었다. 이는 울폐도가 밀할수록 수목의 증산량과 광합성이 저하되어 나온 것으로 사료되었으며, 소할수록 수목의 증산량과 광합성이 상대적으로 적어 나온 것으로 사료되었다. 공기이온 중 양이온과 이온지수의 경우 울폐도에 따라 차이가 있는 것으로 분석되었으며, 통계적으로 유의한 수준이었다. 그러나 음이온의 경우 통계적

(p<0.05)으로 유의하지 않은 것으로 분석되었다. 이는 울폐도가 같더라도 수종에 따라 차이가 발생한 것으로 판단되며, 추후 동일한 수종의 울폐도 차이에 따른 연구가 이루어져야 할 것으로 판단되었다.

4) 층위구조에 따른 공기이온 평가

능선부 내 식생의 층위구조에 따른 공기이온 평가를 위해 기상요소와 공기이온을 측정하였다. 학교숲을 대상으로 진행된 연구에서 층위구조에 따른 기온, 상대습도, 풍속은 차이가 없으며, 음이온 발생 차이가 있다고 보고하였다(Park, 2017). 측정지점 조사결과 다층구조, 단층구조 두 유형으로 구분되었으며, 이에 층위구조에 따른 차이를 검정하기 위해 독립표본 T검정을 이용하여 분석하였다(Table 6).

층위구조별 기상의 경우 기온은 다층구조 30.43±1.55℃, 단층구조 29.97±1.65℃였으며, 상대습도는 다층구조 63.14±5.41%, 단층구조 65.95±6.09%, 풍속은 다층구조 0.54±0.51㎧, 단층구조 0.40±0.29㎧로 측정되었다.

공기이온의 경우 양이온은 단층구조(617.08ea/cm³) > 다층

Table 5. Air ion characteristics according to crown density type by Duncan's multiple range test

Division		M ^y	SD	F	p
Positive Air Ion	Dense	665.6250b	48.22699	7.296	.001
	Proper	609.2794a	51.33959		
	Sparse	605.3806a	42.47801		
Negative Air Ion	Dense	724.5080a	56.46112	4.846	.008
	Proper	742.2053a	73.01344		
	Sparse	721.6438a	97.65798		
Air Ion Index	Dense	1.1952a	.08437	8.940	.000
	Proper	1.2207b	.10328		
	Sparse	1.1007b	.21591		

^z : Means followed by different letters indicate significant differences using Duncan's multiple range test at 5% level.

^y : M, mean; SD, standard Deviation

Table 6. Air ion characteristics according to layer structure type by T-Test

Division		M ^z	SD	t	p
Positive Air Ion	Multi-layer	603.9412	51.60526	-2.529	.012
	Single-layer	617.0776	44.62019		
Negative Air Ion	Multi-layer	723.3259	63.58341	-3.024	.003
	Single-layer	745.5024	65.39312		
Air Ion Index	Multi-layer	1.2016	.10002	-.755	.451
	Single-layer	1.2093	.08795		

^z : M, mean; SD, standard Deviation

구조(604.94ea/cm³)로 단층구조에서 약 12.14ea/cm³ 높은 것으로 분석되었으며, 음이온의 경우 단층구조(745.50ea/cm³) > 다층구조(723.33ea/cm³)로 단층구조에서 약 22.17ea/cm³ 높은 것으로 분석되었다. 이는 단층구조에서 공기의 흐름이 원활히 이루어짐에 따라 수목의 증산작용과 광합성량이 상대적으로 많았기 때문으로 판단되었다. 이온지수는 단층(1.21) > 다층(1.20)으로 단층구조에서 약 0.01 높은 것으로 분석되었다. 공기의 흐름이 원활히 이루어짐에 따라 공기분자의 파쇄가 진행되어 단층구조에서 더 높은 것으로 사료되었다. 공기이온의 경우 층위구조에 따라 평균차이가 발생하였으며, 통계적(p<0.05)으로 유의한 것으로 분석되었다. 그러나 이온지수의 경우 통계적(p<0.05)으로 유의하지 않은 것으로 분석되었다. 추후 동일한 층위구조에서 수중, 흉고직경의 차이에 따른 비교 연구가 이루어져야 할 것으로 판단되었다.

3. 공기이온 상관분석

산지형 공원 내 능선부를 대상으로 공기이온 평가를 위해 상관분석을 실시하였다. 가변수 설정의 경우 수종은 1 = 나지, 2 = 초지, 3 = 활엽수, 4 = 침엽수로 설정하였으며, 흉고직경의 경우 1 = 소경목, 2 = 중경목, 3 = 대경목으로 설정하였다. 울폐도의 경우 소 = 1, 적 = 2, 밀 = 3, 층위구조의 경우 1 = 다층구조, 2 = 단층구조로 설정하여 상관성 분석을 실시하였다.

공기이온 중 양이온 발생량과 정의 상관인 것은 상대습도(.190**), 음이온(.473**)으로 분석되었으며, 부의 상관인 것은 수중(-.193**), 흉고직경(-.254**), 울폐도(-.213**), 이온지수(-.468**)로 분석되었다. 능선부 내 양이온 발생량 상관성 분석 결과 상관계수를 통해 흉고직경 > 울폐도 > 수종의 순으로 영향이 있는 것으로 판단되었으며, 상대습도가 높고 나지일수록

양이온 발생량이 증가하며, 상대습도가 낮고, 침엽수, 대경목, 울폐도가 밀할수록 양이온 발생량이 낮은 것으로 분석되었다.

음이온 발생량의 경우 정의 상관으로 분석된 것은 수중(.259**), 흉고직경(.102*), 울폐도(.167**), 층위구조(.291**), 상대습도(.460**), 양이온(.473**), 이온지수(.553**)로 분석되었다. 부의 상관으로 분석된 것은 기온(-.227**)로 분석되었다. 이동측정을 진행함에 따라 기상요소 중 상대습도와는 정의 상관, 기온과 부의 상관인 것으로 나타나는 것으로 판단되었다 (Kim et al, 2018a). 또한 상관성 분석결과 상관계수를 통해 층위구조 > 수중 > 울폐도 > 흉고직경의 순으로 영향이 있는 것으로 판단되었다. 상대습도가 높고, 단층구조, 침엽수, 대경목일수록 음이온 발생량이 증가하는 것으로 분석되었으며, 기온이 증가함에 따라 음이온 발생량이 감소하는 것으로 분석되었다. 이는 이동측정에 의한 것으로 사료되며, 추후 고정측정을 통한 비교·분석 연구가 이루어져야 될 것으로 판단되었다.

양이온 발생량과 음이온 발생량을 이용하여 이온지수로 환산하여 분석한 결과 정의 상관인 것은 수중(.427**), 흉고직경(.324**), 울폐도(.347**), 층위구조(.353**), 상대습도(.285*), 음이온(.553**)로 분석되었으며, 부의 상관으로 분석된 것은 기온(-.225**), 양이온(-.468**)로 분석되었다. 상관계수를 통해 수중 > 층위구조 > 울폐도 > 흉고직경의 순으로 영향이 있는 것으로 판단되었다. 또한 상관성 분석 결과 산지형 공원 내 능선부 이온지수를 높이기 위한 방안으로 층위구조의 경우 나지모단 단층으로 조성하는 것이 좋으며, 식생의 경우 활엽수보다는 침엽수로 조성하며, 소경목보다는 대경목으로, 울폐도를 높이는 것이 좋은 것으로 분석되었다. 추후 고정측정을 통한 비교·분석 연구가 이루어져야 될 것으로 판단되었다.

Table 7. Analysis of Air-Ion Correlation

Division	Species	DBH	Crown density	Structure	Temperature	Relative humidity	Wind speed	Positive Air Ion	Negative Air Ion
DBH	.550**								
Crown density	.534**	.787**							
Structure	.879**	.572**	.579**						
Temperature	-.316**	-.231**	-.361**	-.406**					
Relative humidity	.291**	.148**	.276**	.403**	-.886**				
Wind speed	-.127**	-.102*	-.202**	-.248**	.569**	-.496**			
Positive Air Ion	-.193**	-.254**	-.213**	-.087	-.006	.190**	.004		
Negative Air Ion	.259**	.102*	.167**	.291**	-.227**	.460**	-.057	.473**	
Air Ion Index	.427**	.324**	.347**	.353**	-.225**	.285**	-.060	-.468**	.553**

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

REFERENCES

- Chee, C.K.(2009) Anionic effect(2nd ed.). Living Books, 183pp. (in Korean)
- Ham, K.J., K.Y. Park, M.S. Kim, J.M. Song, S.S. Lee and Y.S. Ok(2011) Research of Monoterpenes Content in the Atmosphere of Forest. *KJSSF* 44(6): 1126-1231. (in Korean with English abstract)
- 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, Univ. of Wonkwang, Korea. (in Korean with English abstract)
- Jeon, K.S. and Y.B. Cho(2009) A Study on the Negative Ions Contents in Forests. *J. of KIFR* 15-17. (in Korean)
- Jun, S.Y.(2005) Anion and well-being(1st ed.). The people of the land, 285pp. (in Korean)
- Jo, Y.B.(2010) A Study on the Development of Suitable Locations Evaluation Model and Therapy Type to Therapeutic Forests. Ph. D. Dissertation, Univ. of Wonkwang, Korea. (in Korean with English abstract)
- Kim, I.S., D.A. Lee, S.I. Park, H. Ha and S.I. Yang(2014) Distribution of Anions in Valley Area. *J. Kor. Soc. Environ. Eng.* 36(4): 246-250. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.H., D.K. Oh and Y.H. Yoon(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. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.H., D.K. Oh and Y.H. Yoon(2015b) Effect of Green Space Type in Urban Park on Anions Distribution. *Urban Design* 16(1): 17-34. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.H., D.K. Oh, W.J. Choi and Y.H. Yoon(2017) Air Ion Distribution of Traffic Volume in Urban Area: Wiryeseong main road, in Songpa-gu, Seoul. *JKSUE* 17(2): 137-144. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.H., J.H. Yoon, S.H. Lee, W.J. Choi and Y.H. Yoon(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. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.H., S.H. Lee, W.T. Kim and Y.H. Yoon(2018b) Characteristics Regarding Ion Index by Geomorphic Structure -About *Larix kaempferi* of Wolaksan National Park. *Kor. J. Env. Eco* 32(5): 486-496. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.K., W.S. Shin, M.K. Kim, P.S. Yeoun, J.H. Park and R.H. Yoo(2008) The effects of negative ions on stress responses and cognitive functions. *Jour. Korean For. Soc* 97(4): 423-430. (in Korean with English abstract)
- Krueger, A.P. and E.J. Reed(2006) Biological impact of small air ions. *Science*. 193(4259): 1209-1213. (in English)
- Lee, J.H. and P.S. Yoon(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. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.H.(2019) Assessment of Air Ion based on Valley Microclimate: Focused on Mansu Valley in Woraksan National Park. Ph. M. Dissertation, Univ. of Konkuk, Korea. (in Korean with English abstract)
- Nam, H.I.(2013) A study on anion concentration in relation to forest type, topography and altitude. Ph. M. Dissertation, Univ. of Sang Ji, Koera. (in Korean with English abstract)
- Oh, D.K.(2014) Effect of Negative Air Ions Distribution Impact by Form of Land Cover in Urban Park. Ph. M. Dissertation, Univ. of Konkuk, Korea. (in Korean with English abstract)
- Oh, D.K.(2017) Analysis of Relationship between Meteorological Change and Negative Air Ion Occurrence Quantity Depending on the Type of Green Spaces. Ph. D. Dissertation, Univ. of Konkuk, Korea. (in Korean with English abstract)
- Park, B.J., H. Hirano, T. Kagawa and Y. Miyazaki(2006) Physiological Effects of Sinrin-yoku(2). *Jour Korean For. Soc.* 2006: 554-556. (in Korean)
- Park, Y.K.(2017) A Technique for Eco-friendly School Forest Construction through Evaluation of Generation Amount of Negative Air Ion. Ph. D. Dissertation, Univ. of Konkuk, Korea. (in Korean with English abstract)
- Rural Development Administration(2008) A Study on the Technological Transfer of the Test Method for Air Purification in Horticultural Plants, Res. Korea, 99pp. (in Korean)
- Shin, W.S., P.S. Yeoun, K.H. Kim and J.H. Lee(2012) Amount of a Negative ions by Forest Climates. *J. of KIFR* 16(4): 125-131. (in Korean with English abstract)
- Um, T.W. and G.T. Kim(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. (in Korean with English abstract)
- Yamashita, M. and F.B. Fenn(1984) Negative ion production with the electrospray ion source. *Physical Chemistry* 88(20): 4671-4675. (in English)
- Yoon, Y.H., D.K. Oh and J.H. Kim(2012) An Analysis of Anions Distribution and Correlation by Biotope Types in Summer for Pleasant Urban Environment. *Urban Design* 13(1): 51-62. (in Korean with English abstract)