

# 학교 숲 식재구조에 따른 음이온 발생량 비교 분석

김정호\* · 오득균\*\* · 박용관\*\* · 윤용한\*

\*건국대학교 녹색기술융합학과 · \*\*건국대학교 대학원 생명자원환경과학과

## A Comparative Analysis of Negative Air Ions according to the Planting Structure at School Forests

Kim, Jeong-Ho\* · Oh, Deuk-Kyun\*\* · Park, Yong-Gwan\*\* · Yoon, Yong-Han\*

\*Dept. of Green Technology Convergence, Konkuk University

\*\*Dept. of Life Resources and Environmental Sciences, Graduate School of Konkuk University

### ABSTRACT

In this study, negative air ions, which can increase comfort and positively influence human health, was set as an evaluative factor for school forests. The characteristics, location and microclimate of school forests were examined to determine an effective school forest model for maximum negative air ion generation. It also aimed to provide basic data for the development of urban green fields. The negative air ion concentrations were different according to the green types. The order from the highest to the lowest was: single-layer structure( $934\text{ea}/\text{cm}^3$ ) > multi-layer structure( $794\text{ea}/\text{cm}^3$ ) > grass( $553\text{ea}/\text{cm}^3$ ) > bare ground( $529\text{ea}/\text{cm}^3$ ). As for the correlation with microclimate, negative air ion concentration was negatively correlated with temperature. The negative air ion concentration was significantly different according to planting type. The negative air ion concentration was higher at single-layer structure sites than at multi-layer structure sites, which appears to indicate that the temperature is higher when the vegetation structure was single-layer compared to multi-layer. Wind speed was higher at the single-layer planted site than at the multi-layer planted site. The vegetation wind shielding effect was lower at single-layer planted sites than at multi-layer planted sites. The single-layer planted site provided more favorable conditions for the generation and dispersion of negative air ions.

*Key Words: Urban Green, Single-layer Structure, Microclimate, Air Temperature*

### 국문초록

본 연구는 쾌적성을 증진시킬 수 있고, 인간의 건강에 긍정적인 영향을 미칠 수 있는 음이온을 평가인자로 설정하고, 학교별 녹지특성 및 배치, 기상요소를 구분하여 음이온 발생에 효과적인 학교숲 조성모형을 제시하고, 더 나아가 도시녹지 조성에 대한 기초자료로 제공하고자 하였다.

연구결과, 음이온의 경우 식재구조에 따라 차이가 있으며, 단층구조( $934\text{ea}/\text{cm}^3$ ) > 다층구조( $794\text{ea}/\text{cm}^3$ ) > 잔디( $553\text{ea}/\text{cm}^3$ ) > 나지( $529\text{ea}/\text{cm}^3$ )의 순으로 분석되었다. 또한 기상요소와의 상관성의 경우, 기온과 부의 상관관계인 것으로 분석되었

---

**Corresponding author:** Yong-Han Yoon, Dept. of Green Technology Convergence, Konkuk University, Chungju 380-701, Korea, Tel.: +82-43-840-3538, Fax: +82-43-3536, E-mail: yonghan7204@kku.ac.kr

다. 분산분석 및 사후분석 결과, 식재구조의 차이에 따른 음이온발생량은 통계적으로 차이가 있는 것으로 분석되었다. 녹지구조에 따른 음이온농도의 차이는 다층구조보다 단층구조에서 더 높은 것으로 분석되었다. 이는 다층구조에서 단층구조보다 기온이 더 높게 측정되었는데, 선행연구 고찰결과, 음이온 발생원에서 일정거리 이내에서는 기온이 높을수록 음이온 농도가 낮아지기 때문인 것으로 사료되었다. 또한 풍속이 다층구조 식재구조보다 단층구조 식재구조에서 더 높게 측정되었는데, 음이온의 확산에 있어 단층구조 식재구조가 다층구조 식재구조에 비하여 수목에 의한 바람의 차폐가 상대적으로 덜 이루어져 음이온의 발생과 확산이 더 유리할 것으로 사료되었다.

주요어: 도시녹지, 단층구조, 기상요소, 기온

## 1. 서론

인간은 건축물 등의 인위적 도시환경에 의해 자연친화적 삶을 지속하기가 어려워지면서 신체적, 정신적, 심리적으로 복잡하고 다양한 질병에 노출되어 있다. 최근 도시화로 인한 불투수포장면적의 증가는 지표면 온도의 상승, 상대습도의 감소, 건축물에 의한 풍속의 감소, 대기오염물질의 배출 증가 등으로 인한 도시환경 문제가 심각해지고 있다. 이러한 도시문제에 따라 도시민 삶의 질을 향상시키는데 도시녹지가 기여하는 바는 증대되고 있다. 가속화 되는 도시환경의 변화는 도시녹지에 새로운 역할을 요청하고 있으며, 도시정책에서 새로운 의제가 되고 있다. 이에 따라 많은 세계 도시들이 좋은 도시녹지 체계를 구축하고자 서로 경쟁하고 있는 실정이다(Hamik, 2010; Chae *et al.*, 2014).

도심 내 공원 및 산림 등의 녹지는 인간의 심리적, 정신적, 그리고 육체적 건강에 많은 영향을 준다고 보고되고 있다. 특히 도심지의 녹지는 다양한 역할을 수행하는데, 도시녹지의 수목은 광합성을 통한 생장과정에서 대기 CO<sub>2</sub>를 흡수 저장할 뿐만 아니라, 태양복사를 차단 또는 흡수하여 인공구조물의 열축적 및 방출을 감소시키고, 녹지의 증발산은 현열을 잠열로 바꾸어 대기온도를 낮추는 기능을 통해 도시열섬 현상을 완화한다(Jo *et al.*, 2003; Mc Pherson, 1998; Scott *et al.*, 1998). 뿐만 아니라 녹지는 인간의 건강에 긍정적인 영향을 미치는 다양한 물질을 생성하는데, 일찍이 많은 학자들에게 관심을 받고 있는 것이 공기 중 음이온이다. 이온이란 공기 중 원자 또는 부유미립자가 전기적 성질을 띠는 것으로 운동도에 따라 대·소립자로 구분할 수 있으며, 소립자중 양전하를 띠는 것을 양이온, 음전하를 띠는 것을 음이온이라고 한다. 음이온의 종류로는 물분자가 자외선, 식물의 광합성 등 다양한 원인에 의해 H<sup>+</sup>와 OH<sup>-</sup>로 분해되고, OH<sup>-</sup>에 물분자가 결합된 OH<sup>-</sup>(H<sub>2</sub>O)<sub>n</sub>의 형태와, 대기분자 중 분해된 전자가 산소분자에 결합된 O<sub>2</sub><sup>-</sup>(H<sub>2</sub>O)<sub>n</sub>의 형태로 인간에게 흡입된다. 음이온이 인체의 생리작용에 미치는 영향은 신체 내 세균 및 박테리아의 억제, 심박동수 감소, 체온조절기능 향상, 땀 배출 증가 등 인체의 생리적 조절작용에 긍정적인 영향을 미치며, 부교감신경계를 자극하여 안정된

반응을 유도하고, 혈압, 맥박, 호흡, 뇌파를 안정화 시킨다고 알려져 있다(Krueger and Reed, 1976; Yamanoi, 1998; Yanagio, 1984; Inbar *et al.*, 1982). 음이온의 발생에는 자외선에 의한 공기 분자 파괴, 땅속에 섞여있는 방사능 물질의 붕괴, 대기와 지표 간 전위차, 기온과 기압차, 레나드 효과, 식물의 광합성 작용 등 다양한 원인에 의하여 생성된다(Jin, 2005). 그 중 식물이 식재되어 있는 녹지와 숲 등에서 발생하는 음이온을 마시면 세포의 신진대사를 촉진하고, 활력을 증진시키며, 피를 맑게 하고, 신경안정과 피로회복, 식욕증진의 효과가 있으며, 인간의 건강을 최소한으로 유지하기 위해서는 400~1,000ea/cm<sup>3</sup>의 음이온이 있는 것이 바람직하다고 보고된 바(Karjalainen *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2008; Ji, 2003; Yataikai, 1993) 도시에서의 녹지의 중요성과 필요성은 날이 증가하고 있다.

도시녹지의 중요성이 증가함에 따라, 법에서는 도시공원을 도시계획시설로 정의하고, 1인당 공급면적을 규정하고 있다. 하지만 공원조성 업무를 담당하고 있는 지방자치단체는 높은 지가와 제원 부족으로 인해 도시공원 조성에 어려움을 겪고 있다. 이러한 상황에 근래에 들어 공원조성의 새로운 대안처로 주목 받고 있는 것이 바로 학교숲이다. 도시녹지 확대 측면에서 도시 곳곳에 위치한 학교는 적당한 거리에 적당한 면적을 오랫동안 유지할 수 있기 때문에, 일단 학교에 숲이 조성되면 다양한 징검다리 역할(stopping stone effect)을 통해 도시에 많은 면적의 녹지가 조성되는 효과(Byeon *et al.*, 2008)로 그 중요성이 인식되고 있다. 이러한 배경에 많은 국가나 지역사회의 사회단체가 학교와의 연계를 통해 학교숲 조성을 하고 있는 실정이다. 뿐만 아니라 최근에는 각국의 사회단체와 연계한 학교들이 국제학교 옥외환경의 날(International School Grounds Day: ISGD)을 통하여 국제적인 연계도 도모하고 있다(Kim, 1998). 사회단체가 학교숲 조성을 주도하고 있는 대표적인 사례로서, 영국에서는 LTL(Learning Through Landscape)이 있으며, 미국 미네소타주에서는 1991년부터 세인트 올라프 대학(St. Olaf College)과 지역 내 학교간의 협력프로젝트인 학교자연지역 프로젝트(School Nature Area Project: SNAP)와 미국 국립야생동물협회(National Wildlife Federation: NWF)가 주도하는 학교옥외 환경 내 야생동물서식처 조성(schoolyard habitats)을 위한 프로

그림, 그리고 캐나다의 에버그린재단(The Evergreen Foundation)이 주도하는 학교육외환경 자연화 프로그램, 유럽환경교육재단(Foundation for Environmental Education in Europe: FEEE)이 1994년에 시작하여 현재 유럽의 19개 국가에서 도입·실시되고 있는 에코스쿨 프로그램(Ahn, 1998; Choi and Noh, 2000) 등이 있다. 아시아의 일본의 경우, 주로 관 주도의 사업이 활성화 되어 있는데, 일본의 환경을 고려한 학교시설 추진사업과 공립학교 시설정비의 녹화국고보조사업 등이 학교육외환경 개선사업의 대표적인 사례들이다(Byeon *et al.*, 2008). 이렇게 근래에 들어 학교숲의 중요성이 부각되며, 학교숲·녹지에서 교육적 개념과 기본특성을 찾는 연구(Knight, 2011; Maynard, 2007; Waite *et al.* 2006), 학교숲이 학생들의 정서에 미치는 영향에 관한 연구(O' Brien and Richard, 2007; Roe and Aspinall, 2011; Son and Ha., 2013; Korea Forest Research Institute, 2003)와 학교숲 평가 및 이용실태에 대한 연구(Yoon *et al.*, 2008; Byeon *et al.*, 2008; Lee *et al.*, 2009)가 다수 이루어진 상황이다. 그러나 학교숲의 구성에 있어 그 기준이 될 수 있는 연구는 상대적으로 부족하였다.

이에 본 연구는 인간의 건강에 긍정적인 영향을 미칠 수 있는 음이온을 평가인자로 설정하고, 학교별 식재구조를 구분하여 기상요소와 음이온 발생량을 측정 및 분석한 뒤, 음이온 발생에 효과적인 학교숲 조성모델과 더 나아가 도시녹지 조성에 대한 기초자료로 제공하고자 하였다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구대상지

연구대상지는 대한민국 충청북도 충주시에 위치하고, 생명의 숲에서 학교숲을 조성한 학교 중 5개교를 대상으로 실시하였으며, 학교명의 경우, 일부 학교의 요청으로 인하여 영문 이니셜로 표기하였다(Figure 1 참조). 측정 시기는 2014년 중 식물의 광합성이 가장 활발한 시기인 8월 24일부터 29일까지 약 6일간 실시하였으며, 측정일 차이에 의한 오차를 최소화하기 위해 연구자의 주관에 배제한 완전 임의적인 순서에 따라 진행하였다. 또한 현장조사 특성상 연구목적에 부합하지 않는 날은 제외하였다.

### 2. 조사분석방법

#### 1) 녹지 식재구조

학교 특성의 경우 위성지도를 활용하여 각 학교별 토지피복 유형을 구분하고, 면적을 계산하였다. 또한, 학교숲 조성유형에

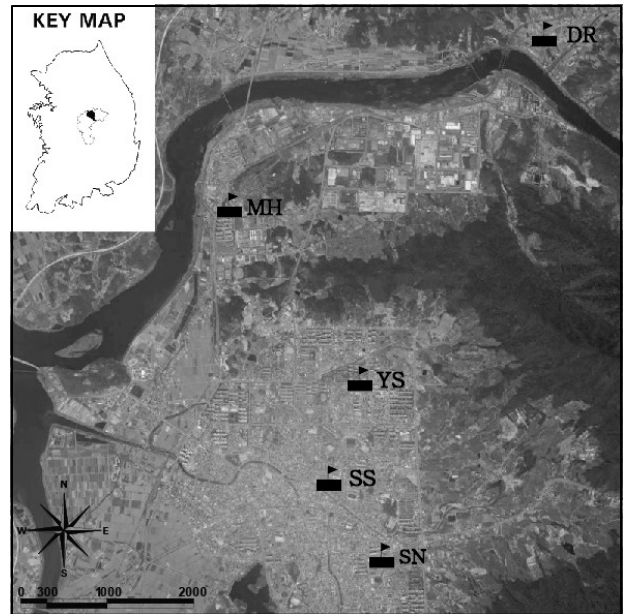


Figure 1. Study area

따른 식재구조 및 녹량을 파악하기 위하여, 방형구법(Quadrats method)을 이용하여 조사구 10개소를 설정한 후, 조사구 내에 식재되어 있는 수목을 교목·아교목층, 관목층으로 구분하여 수고 및 흉고직경을 조사하였다. 이후 녹지의 풍부함을 비교하기 위한 정량적 자료인 수목의 울폐도와 수관용적을 나타내는 녹지용적계수(Pohl *et al.*, 1984)를 분석하였다. 또한 측정지점에 있어 식재수종에 따른 음이온발생량의 차이를 최소화하기 위하여 측정지점은 상록침엽수와 낙엽활엽수가 혼식된 혼효식재유형을 대상으로 측정을 실시하였으며, 층위구조의 경우 교목과 관목이 식재되어 있는 지점을 다층구조로 교목만 식재되어 있는 지점을 단층구조로 구분하여 연구를 진행하였다.

#### 2) 기상요소 및 음이온 측정방법

음이온측정의 경우, COM-3600(NICO, Japan)를 활용하였으며, 방형구의 중심부근에서 측정하였다. 음이온은 측정시간대에 따라 공기 중 음이온 수가 실시간으로 변화하기 때문에, 측정 시간대와 측정방법이 주요 변수가 된다. 이에 대기 중 음이온 농도가 가장 높은 시간인 12~14시 사이에 측정하였으며, 지전장(地電場)의 영향(Jin, 2005)을 최소화하기 위하여 삼각대를 이용하여 지상으로부터 1.2m 위치에 설치하였다. 음이온 측정 시 음이온값은 초 단위로 수치가 변화하므로 측정 시 연구자의 주관을 최소화하기 위하여 노트북에 음이온 측정기를 연결하여 측정기점에서 10분 동안 대기에 노출시켜 음이온 변화값을 자동으로 기록하였다. 음이온측정 시 측정간격은 4초당 1개의 데이터가 자동으로 기록되며, 한 지점당 총 150개의 음이온 데이터를 구득하여 평균값을 활용하였다. 또한 측정된 음

이온과 기상과의 상관성을 분석하기 위하여 기온, 상대습도, 표면온도, 광도, 풍향, 풍속을 음이온측정지점과 동일한 지점에서 측정하였다. 또한 기상요소 측정 시 기온, 상대습도, 표면온도, 광도의 경우 10분간 측정지점의 대기에 노출시켜 기록하여 이동에 의한 오차를 최소화 하였으며, 풍향, 풍속의 경우 10분간 평균풍속을 기록하였다.

3) 통계분석

측정된 값은 각 학교 유형 당 2회 반복측정 하였으며, 총 34개의 데이터 중 연구 목적에 부합하지 않는 데이터 4개(나지)를 제외하고, 통계분석에 활용하였다. 음이온 발생은 다양한 요인이 작용하지만, 옥외 공간에서 음이온 발생에 큰 영향을 미치는 것이 녹지특성과 기상요소로 보고된바(Shin *et al.*, 2012), 식재구조에 따라 측정된 음이온 측정값과 기상요소와 녹지특성간의 상관성을 분석하고, 학교숲 식재구조 및 학교의 차이에 있어 음이온 분포의 차이를 파악하기 위하여 독립변수를 식재구조, 기상요소로 설정하였으며, 그에 따른 음이온 발생량을 종속변수로 설정하였다(Table 1 참조). 이후, Spss 18을 활용하여 상관분석을 실시하여 상관성을 분석하였으며, 식재구조 간의 음이온 차이를 규명하기 위해 분산분석을 실시하고, 사후검정으로 Turkey test를 실시하였다. 이후, 차이가 유의한 유형간의 통계적인 차이를 분석하기 위하여 독립표본 T 검정을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 학교별 토지피복 및 녹지특성

1) 학교별 토지피복 특성

학교별 토지피복특성 분석결과(Table 2 참조), M.H.학교의 경우 전체면적 37,522m<sup>2</sup> 중 약 44.06%로 넓게 분포하고 있었다. 그 중 다층구조가 32.38%로 조성되어 있었으며, 단층구조 6.8%, 잔디 4.88%의 순으로 분석되었다. D.R.학교의 경우, 전

Table 2. Land cover and openspace characteristic by school case

Index School name	Area (m <sup>2</sup> )	Layer type(%)				
		Multi	Singe	Lawn	Open ground	Total
M.H.	37,552	32.38	6.80	4.88	55.94	100
D.R.	14,890	7.13	7.06	-	85.81	100
Y.S.	11,351	4.72	7.21	-	88.07	100
S.N.	19,977	7.06	4.00	-	88.94	100
S.S.	8,954	4.40	5.47	12.64	77.49	100

체면적 14,890m<sup>2</sup>이었으며, 녹지면적의 경우 14.19%로 M.H.학교에 비하여 비교적 적게 분포하고 있었다. 또한 다층구조와 단층구조의 식재구조가 유사한 비율로 식재되어 있었으며, 잔디식재구조의 경우 존재하지 않았다. Y.S.학교의 경우 전체면적 11,351m<sup>2</sup> 중 약 11.93%가 녹지인 것으로 분석되었다. S.N.학교의 경우 전체면적 19,977m<sup>2</sup> 중 다층구조가 7.06%를 차지하고 있었으며, 일부 단층구조 식재구조가 분포하고 있었다. S.S.학교의 경우, 전체면적이 8,954m<sup>2</sup> 중 잔디 식재구조가 12.64%로 가장 넓게 분포하고 있었으며, 단층구조 다층구조의 순으로 식재되어 있었다.

2) 학교별 녹지특성

학교별 녹지의 특성을 분석한 결과, M.H.학교의 단층구조, 다층구조, 잔디식재구조, 나지의 유형이 존재하고 있었다. 교목 단층구조 식재유형의 주요 식재수종은 소나무, 잣나무, 뽕나무 등이 식재되어 있었으며, 혼효식재유형으로 녹지용적계수는 6.54m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>인 것으로 분석되었다. 다층구조의 경우, 교목층에 향나무, 독일가문비, 서어나무 등이 식재되어 있었으며, 관목층으로는 회양목, 영산홍 등이 식재되어 있었다. 또한 녹지용적계수는 2.11m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>인 것으로 분석되었다. D.R.학교의 경우, 단층구조, 다층구조, 나지의 유형이 존재하였다. 단층구조의 주요 식재수종의 경우 소나무, 구상나무, 단풍나무, 뽕나무 등이었으며, 그에 따른 녹지용적계수의 경우 2.15m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>인 것으로 분석

Table 1. Setting variables

	Index	Variable	Method	Unit
Dependent variable	Negative air ion	Negative air ion	Actually measured	ea/cm <sup>3</sup>
Independent variable	Meteorological characteristic	Air temperature		℃
		Relative humidity		%
		Wind speed		m/s
	Green characteristic	GVZ	Actually measured	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Layer structure		Multiple(Tree + Shrub) = 1 Single(Only Tree) = 2 Lawn = 3 Bare = 4	Dummy variable	

되었다. 다층구조의 경우, 교목층에 소나무, 팔배나무, 살구나무, 헛개나무 등이 주요 식재주종이었으며, 관목층에 철쭉, 주목, 화살나무 등이었다. D.R.학교의 다층구조의 녹지용적계수는 3.06m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>로 분석되었다. Y.S.학교의 녹지특성을 분석한 결과, 단층구조, 다층구조, 나지 등 3가지의 식재유형이 존재하였다. 단층구조의 경우, 주요 식재수종은 소나무, 자작나무, 단풍나무 등이었으며, 녹지용적계수의 경우 1.3m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>인 것으로 분석되었다. 다층구조의 경우, 교목층에는 소나무, 주목, 중국단풍 등이, 관목층에는 서양측백, 회양목 등이 주요 식재종이었으며, 녹지용적계수는 1.46m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>인 것으로 분석되었다. S.N.학교의 경우, 교목단층, 다층구조, 나지 등 3가지의 식재유형이 존재하였으며, 단층구조의 경우, 소나무, 단풍나무, 반송 등이 주요

식재수종으로 녹지용적계수는 1.05m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>인 것으로 분석되었다. 다층구조의 경우, 교목층에 소나무, 팔배나무, 단풍나무 등이 식재되어 있었으며, 관목층에 서양측백, 회양목, 철쭉 등이 식재되어 있었고, 녹지용적계수는 1.24m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>인 것으로 분석되었다. S.S.학교의 경우, 단층구조, 다층구조, 잔디식재구조, 나지 등 4가지 유형이 존재하고 있었다. 단층구조의 주요 식재수종은 반송, 단풍나무, 배롱나무, 보리수나무, 사과나무 등이었으며, 녹지용적계수는 1.03m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>이었다. 다층구조의 경우, 구상나무, 향나무, 층층나무, 단풍나무, 산수유가 교목층으로 식재되어 있었으며, 관목층에 측백나무, 회양목, 산철쭉이 식재되어 있었다. 그에 따른 녹지용적계수의 경우, 1.29m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>인 것으로 분석되었다(Table 3 참조).

Table 3. Green characteristic by school case

School name	Layer structure	Spices		Planting type	GVZ (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )
M.H.	Single	Tree layer	<i>Pinus densiflora, Pinus koraiensis, Prunus serrulata var. spontanea</i>	Mixed	6.54
		Shrub layer	-		
	Multi	Tree layer	<i>Juniperus chinensis, Picea abies, Carpinus laxiflora, Fraxinus rhynchophyllus, Chionanthus retusa</i>	Mixed	2.11
		Shrub layer	<i>Buxus microphylla var. koreana, Rhododendron indicum Sweet, Juniperus chinensis var. sargentii, Euonymus japonicus</i>		
	Lawn	-	-	-	-
Bare	-	-	-	-	
D.R.	Single	Tree layer	<i>Pinus densiflora, Abies koreana, Acer palmatum, Prunus serrulata var. spontanea, Pinus densiflora for. multicaulis</i>	Mixed	2.15
		Shrub layer	-		
	Multi	Tree layer	<i>Pinus densiflora, Sorbus alnifolia, Prunus armeniaca var. ansu, Hovenia dulcis, Malus sieboldii, Quercus mongolica, Quercus acutissima, Ginkgo biloba</i>	Mixed	3.06
		Shrub layer	<i>Rhododendron schlippenbachii, Taxus cuspidata, Euonymus alatus, Buxus microphylla var. koreana, Callicarpa japonica</i>		
Bare	-	-	-	-	
Y.S.	Single	Tree layer	<i>Pinus densiflora, Betula platyphylla var. japonica, Acer palmatum, Quercus mongolica, Quercus aliena</i>	Mixed	1.34
		Shrub layer	-		
	Multi	Tree layer	<i>Pinus densiflora, Taxus cuspidata, Acer buergerianum, Carpinus laxiflora, Acer triflorum</i>	Mixed	1.46
		Shrub layer	<i>Thuja occidentalis, Buxus microphylla var. koreana, Rhododendron yedoense var. poukhanense</i>		
Bare	-	-	-	-	
S.N.	Single	Tree layer	<i>Pinus densiflora, Acer palmatum, Pinus densiflora for. multicaulis, Chionanthus retusa</i>	Mixed	1.05
		Shrub layer	-		
	Multi	Tree layer	<i>Pinus densiflora, Sorbus alnifolia, Acer palmatum, Chionanthus retusa</i>	Mixed	1.24
		Shrub layer	<i>Thuja occidentalis, Buxus microphylla var. koreana, Taxus cuspidata, Rhododendron schlippenbachii</i>		
Bare	-	-	-	-	
S.S.	Single	Tree layer	<i>Pinus densiflora for. multicaulis, Acer palmatum, Lagerstroemia indica, Elaeagnus umbellata, Malus pumila var. dulcissima</i>	Mixed	1.03
		Shrub layer	-		
	Multi	Tree layer	<i>Abies koreana, Juniperus chinensis, Cornus controversa, Acer palmatum, Cornus officinalis</i>	Mixed	1.29
		Shrub layer	<i>Thuja orientalis, Buxus microphylla var. koreana, Rhododendron yedoense var. poukhanense</i>		
	Lawn	-	-	-	-
Bare	-	-	-	-	

## 2. 기상요소 및 음이온 측정결과

### 1) 학교별 기상요소 및 음이온 측정결과

학교의 위치 및 학교의 차이에 따른 기상요소 및 음이온 발생량을 비교 분석하였다(Figure 2 참조). 기온의 경우, Y.S. 학교(31.16℃) > D.R. 학교(31.14℃) > M.H. 학교(30.86℃) > S.N. 학교(29.66℃) > S.S. 학교(28.13℃)의 순이었으며, 상대습도의 경우, S.S. 학교(60%) > S.N. 학교(57%) > D.R. 학교(53%) > M.H. 학교(45%) > Y.S. 학교(39%)의 순으로 기온과 반대되는 경향인 것으로 분석되었다. 기온과 상대습도의 경우, 고온역에서는 저습역이, 저온역에서는 고습역이 형성된다는 선행연구와 일치하는 경향인 것으로 분석되었다(Yoon, 2004). 풍속의 경우, Y.S.

학교(0.85m/s) > M.H. 학교(0.67m/s) > D.R. 학교(0.58m/s) > S.S. 학교(0.50m/s) > S.N. 학교(0.49m/s)의 순이었다. 풍속이 빠를수록 기온저감은 크게 나타나는데 반해, 측정기간 중 풍속이 1m/s 이하인 것으로 측정되어 기온저감에 큰 영향을 미치지 못한 것으로 사료되었다(Yoon *et al.*, 2005). 음이온의 경우, S.N. 학교(892ea/cm<sup>3</sup>) > N.H. 학교(878ea/cm<sup>3</sup>) > Y.S. 학교(785ea/cm<sup>3</sup>) > S.S. 학교(629ea/cm<sup>3</sup>) > D.R. 학교(584ea/cm<sup>3</sup>)의 순인 것으로 분석되었다. 이는 일반적 도시지역 내 음이온 발생량인 500ea/cm<sup>3</sup>보다 높은 것으로 분석되었으며(Ji, 2003), 인천지역 내 학교녹지 음이온 분포량인 597~918ea/cm<sup>3</sup>와 유사한 경향으로 분포하고 있었다(Park, 2014).

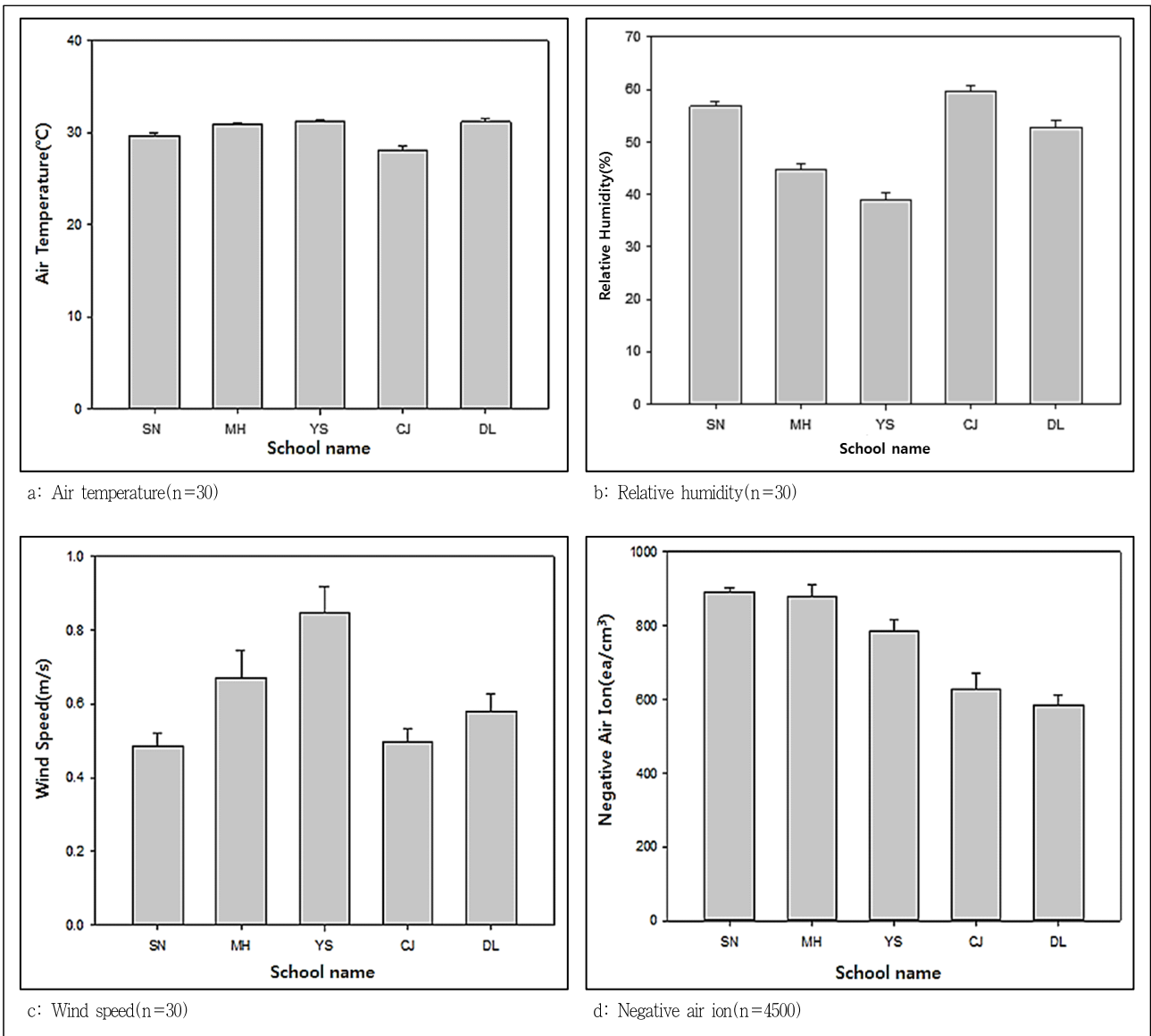


Figure 2. Results of negative air ion and microclimates by school

2) 층위구조별 기상요소 및 음이온 측정결과

층위구조에 따른 기상요소 및 음이온 측정결과(Figure 3 참조), 기온의 경우, 나지(30.76℃) > 잔디(30.35℃) > 단층구조(29.85℃) > 다층구조(29.41℃)의 순으로 분석되었으며, 상대 습도의 경우, 다층구조(53%) > 단층구조(52%) > 잔디(50%) > 나지(47%)의 순으로 나타났다. 이는 식재지율 및 층위구조가 형성될수록 기온저감 효과가 더 높다는 선행연구와 일치하는 결과였다(Yoon, 2004; Yoon and Kim, 2002).

나지(0.71m/s) > 단층구조(0.64m/s) > 잔디(0.50m/s) > 다층구조(0.48m/s)의 순인 것으로 분석되었다. 풍속의 경우, 단층구조보다 잔디식재구조에서 풍속이 더 낮은 것으로 분석되었는데, 이는 각 학교의 지리적 요건이 각기 상이하여 주변의 건

폐물, 시설물에 의한 영향인 것으로 예상되었다. 뿐만 아니라, 다층구조보다 단층구조에서 풍속이 더 높은 것으로 분석되었는데, 이는 수목에 의한 차폐효과가 다층구조에서 더 높기 때문인 것으로 사료되었다. 식재구조별 음이온 측정결과, 단층구조(934ea/cm<sup>3</sup>) > 다층구조(794ea/cm<sup>3</sup>) > 잔디(553ea/cm<sup>3</sup>) > 나지(529ea/cm<sup>3</sup>)의 순으로 분석되었다.

본 연구 결과, 다층구조보다 단층구조에서 기온이 더 낮은 것으로 분석되었다. Yoon *et al.*(2005)에 따르면 기온저감효과에 있어 높은 풍속은 기온저감량과 영향범위를 더 넓게 한다는 결과를 고찰해 보았을 때, 단층구조가 다층구조에 비하여 식재에 의한 차폐율이 낮아 공기의 흐름이 더 원활하였기 때문으로 사료되었다.

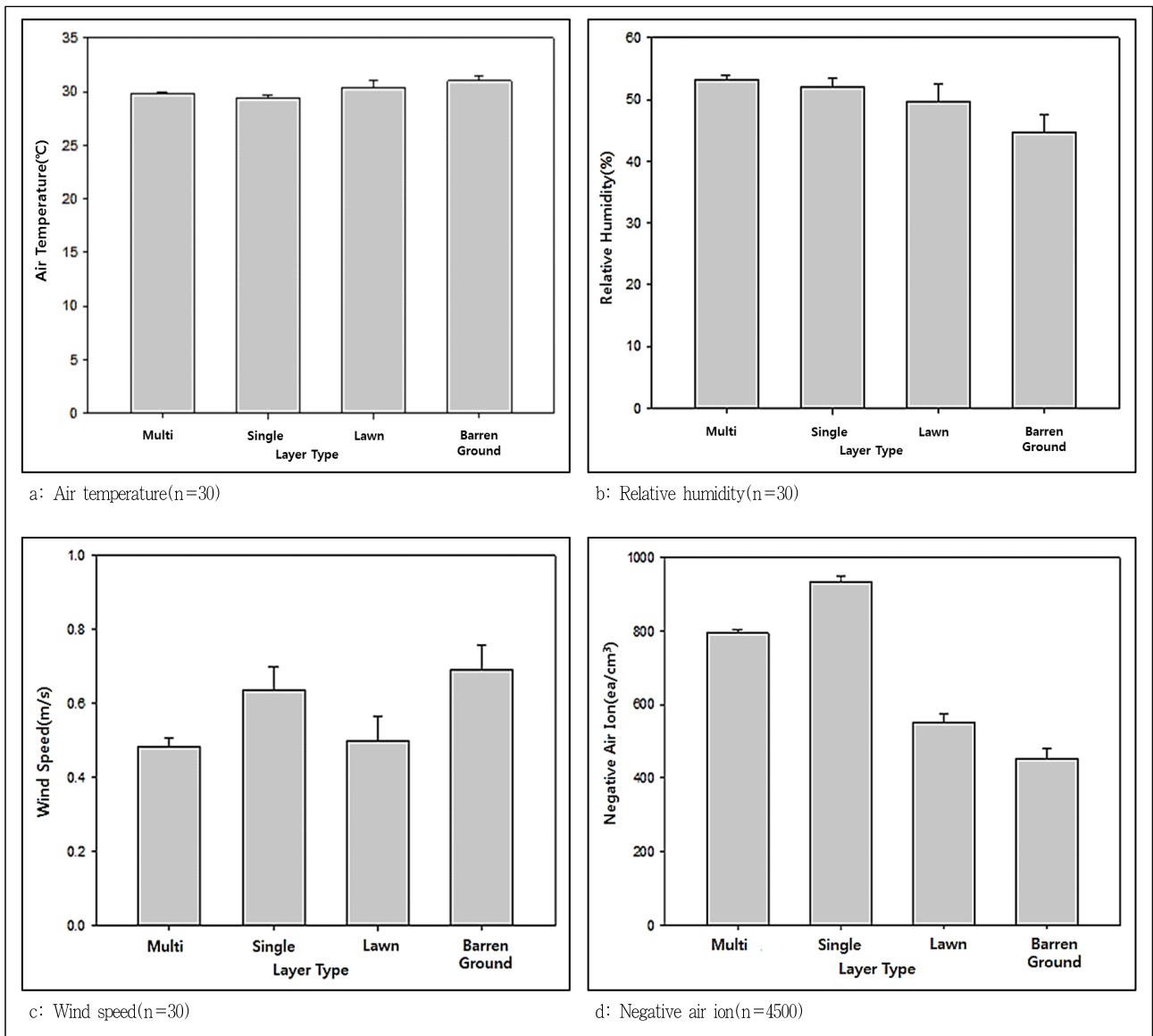


Figure 3. Results of negative air ion and microclimates by layer type

### 3. 식재구조 차이에 따른 음이온 발생 요인

#### 1) 상관분석

식재구조에 따른 음이온 측정값을 분석하기 위하여 상관분석을 실시하였다. 상관분석에 앞서 식재구조의 경우, 측정된 데이터와 통계적인 비교를 위하여 다층구조: 1, 단층구조: 2, 잔디: 3, 나지: 4의 가변수로 지정하여 상관분석을 실시하였다 (Table 4 참조).

상관분석결과, 음이온의 경우 녹지구조와 0.01의 유의수준이 있는 것으로 분석되어 음이온과 녹지구조는 상관성이 없다는 귀무가설을 기각하고, 음이온과 녹지구조는 상관성이 있다는 대립가설을 채택하게 되었다( $P < 0.01$ ). 상관계수의 경우,  $-0.576$ ( $P < 0.01$ )으로 부의 상관관계인 것으로 분석되어 다층구조로 조성된 식재구조일수록 음이온이 높게 측정된 것으로 판단되었다. 기온과 음이온과의 상관분석결과 또한 상관계수  $-0.337$ ( $P < 0.05$ )로 부의 상관관계가 있는 것으로 분석되어, 기온이 낮을수록 음이온 측정값이 높은 것으로 분석되었다. 이는 다층구조로 조성된 학교숲일수록, 기온이 낮을수록 음이온 발생량이 많았다고 판단할 수 있으며, 이는 기온과 음이온 농도는 부의 상관관계라는 선행연구(Kim *et al.*, 2012, Shin *et al.*, 2012)와 일치하였다.

#### 2) 식재구조 차이에 따른 음이온 발생량

##### (1) 녹지용적계수 차이에 따른 음이온 발생량

식재구조 중 녹지용적계수 차이에 따른 음이온 발생량을 비교 분석하기 위하여 상관성 분석을 실시하였다(Table 5 참조). 분석에 앞서 잔디식재유형과 나지유형의 경우, 녹지용적계수가 존재하지 않아 분석에 활용하지 않았다. 그 결과, 음이온과 녹지용적계수의 경우, 상관계수  $0.480$ ( $P < 0.05$ )로 분석되어 '음이온발생량과 녹지용적계수와의 상관성이 없다'는 귀무가설을 기각하고, '상관이 있다'는 대립가설을 채택하게 되었으며, 정의 상관관계인 것으로 분석되어 녹지용적계수가 높아짐에 따라 음이온발생량이 많아지는 것으로 판단되었다. 이와 같은 결과는 실내실물의 양의 증가에 따라 음이온 발생량 또한 증가하였다는 선행연구와 일치하는 경향인 것으로 판단되었다(Lee, 2004).

Table 5. Correlation analysis of negative air ion and GVZ

	GVZ
Negative air ion	.480*

\*:  $P < 0.05$ , \*\*:  $P < 0.01$ , n=20

##### (2) 층위구조 차이에 따른 음이온 발생량

식재구조에 따른 음이온 차이를 규명하기 위하여 분산분석을 실시하고, 사후검정으로 Tukey test를 실시하였다. 분산분석결과,  $F$ 값이 14.104인 것으로 분석되었으며, 임계값을 상회하는 수치인 것으로 나타나( $P < 0.001$ ), 식재구조 차이에 따른 음이온발생량은 '식재구조유형간 차이가 없다'라는 귀무가설을 기각하고, '식재구조간 차이가 적어도 하나의 집단에는 있다'라는 대립가설을 채택하게 되었다. 또한 사후분석으로 Tukey test를 실시한 결과, 식재구조간의 차이는 크게 네 집단으로 분류되었으며, 그 값은 단층구조, 다층구조, 잔디, 나지의 순인 것으로 분석되었다(Table 6 참조).

Tukey test의 경우, 분석에 있어 정확한 통계량의 차이는 분석되지 않는다는 단점이 있기 때문에 정확한 통계량의 차이를 검증하기 위하여 다층구조와 단층구조의 음이온발생량을 독립표본  $T$  검정 실시하였다(Table 7 참조). 분석결과, 다층구조와 단층구조의 음이온 측정값 차이의 평균 차이는 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다. Levene의 등분산 검정결과, 유의확률 0.266로 음이온 표본의 분산은 같지 않다는 대립가설을 기각하고, 귀무가설을 채택하여 분산이 동일한 것으로 분석되었으며, 그에 따른  $T$  검정 결과,  $t$ 값이  $-2.656$ 으로 두 집단의 음이온발생량 평균값은 같지 않다는 대립가설을 채택하였다. 이와 같은 결과로 다층구조의 식재구조보다는 단층구조의 식재구조가

Table 6. Mean difference of negative ion concentration using Tukey test

Layer type	Negative air ion conc.
Multi	794.17 <sup>abz</sup>
Singe	933.71 <sup>a</sup>
Lawn	553.00 <sup>bc</sup>
Barren ground	528.60 <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Means lowercase letters within columns denote significant differences by Tukey test, 5% level, n=30

Table 4. Correlation analysis of negative air ion and microclimates by difference of layer type

	Layer type	Air temperature	Relative humidity	Wind speed
Air temperature	.138			
Relative humidity	-.151	-.673**		
Wind speed	.088	.296	-.549**	
Negative air ion	-.576**	-.377*	.120	.016

\*:  $P < 0.05$ , \*\*:  $P < 0.01$ , n=30



Table 7. *T*-test of mean difference on multi layer type and simple layer type

	Levene statistic		<i>t</i>	<i>df</i>	Sig.	Mean difference	Std. error	95% confidence interval	
	<i>F</i>	Sig.						Minimum	Maximum
Negative air ion	1.324	.266	-2.656	29	.017	-143.54762	54.03900	-257.55994	-29.53530

음이온 발생에 더 효율적일 것으로 판단되었다.

음이온의 발생에는 여러 가지 요인이 작용하지만, 기온이 음이온 발생량에 큰 영향을 미친 것으로 판단되었다(Shin *et al.*, 2012). 또한 Wu *et al.*(2006)의 경우, 음이온발생원으로부터 거리와 기온 및 상대습도 따른 변화 분석에서, 음이온의 발생원으로부터 일정 범위 내에서 기온이 높을 때 음이온 농도가 낮아진다고 보고하였다. 본 연구 또한 다층 및 단층구조에서의 기온이 잔디, 나지 및 운동장의 기온보다 낮게 측정되어 일치하는 경향인 것을 확인할 수 있었다. 뿐만 아니라, Yoon *et al.* (2005)는 녹지에서 높은 풍속은 기온저감효과 영향범위가 넓다고 보고된 바, 풍속이 다층구조보다 단층구조에서 더 높게 측정되었는데, 단층구조가 다층구조에 비하여 수목에 의한 바람의 차폐가 상대적으로 덜 이루어졌기 때문인 것으로 판단되며, 높은 풍속으로 인하여 음이온의 확산이 더 유리할 것으로 예상되었다.

#### IV. 결론

본 연구는 쾌적성을 증진시킬 수 있고, 인간의 건강에 긍정적인 영향을 미칠 수 있는 음이온을 평가인자로 설정하고, 학교별 녹지특성 및 배치, 기상요소를 구분하여 음이온 발생에 효과적인 학교숲 조성모델에서 더 나아가 도시녹지 조성에 대한 기초자료로 제공하고자 하였다.

연구결과, 음이온의 경우 식재구조에 따라 차이가 있으며, 단층구조 > 다층구조 > 잔디 > 나지의 순으로 분석되었다. 뿐만 아니라 녹지용적 계수가 음이온 발생량에 정의 상관인 것으로 분석되었다. 기상요소와의 상관성의 경우, 기온과 부의 상관관계인 것으로 분석되어 선행연구와 일치하는 경향이었다. 녹지구조에 따른 음이온농도의 차이는 다층구조보다 단층구조에서 더 높은 것으로 분석되었다. 이는 선행연구 고찰 결과, 음이온 발생원에서 일정거리 이내에서는 기온이 높을수록 음이온 농도가 낮아지기 때문인 것으로 사료되었다. 또한 풍속이 다층구조보다 단층구조에서 더 높게 측정되었는데, 음이온의 확산에 있어 단층구조가 다층구조에 비하여 수목에 의한 바람의 차폐가 상대적으로 덜 이루어져 음이온의 확산이 더 유리하고, 주변의 음이온이 유입될 수 있을 것이라 판단되었다.

본 연구결과를 토대로 학교숲의 조성 및 쾌적한 도시 녹지 조성의 기초자료로 활용하고, 아울러 더 나아가 단순 식재구조 뿐만 아닌, 이용자의 심리적 효과와 주변 주민들의 건강에 대

한 심도 있는 연구가 이루어진다면, 학교숲 조성을 위한 기준으로 활용될 수 있으며, 더 나아가 도시녹지 조성의 중요한 기준으로 사용할 수 있을 것이다. 본 연구는 학교 내 학교숲의 식재구조와 기상요소에 따른 음이온 농도 분포에 대해 분석한 연구로 식재구조에 따른 음이온 농도의 차이는 확인할 수 있었으나, 녹지구조에서 식재분수, 식재밀도 등의 변수에 따라 음이온 농도 변화에 미치는 영향을 규명하지 못하였다는 한계점이 있었다. 이는 단순히 학교숲의 식재구조를 구분하였기 때문인 것으로, 차후 계속적인 반복측정과, 다양한 변수 도입을 통한 녹지특성과 음이온의 발생에 대한 상관관계를 규명해야 할 것이다.

#### References

- Ahn, C. R.(1998) A survey study on the energy facility of schools (United Kingdom, France, Japan). *Journal of Korean Institute of Educational Facilities* 5(4): 105-113.
- Byeon, J. S., H. J. Yun and I. H. Kim(2008) Research on the actual conditions and achievement of school forest. *Journal of Korean Institute of Landscape Architecture* 36(1): 49-61.
- Chae, J. H., K. J. Zoh, S. J. Kim, Y. K. Hoh and J. Y. Hwang(2014) A study on operational systems & planning contents of parks & green space plan: Focused on London, New York, Berlin, Sydney, Seoul. *Journal of Korean Institute of Landscape Architecture* 42(2): 91-102.
- Choi, D. H. and K. I. Noh(2000) A study on the activation strategy of site-based experiential environmental education. *Journal of Korean Society for Environmental Education* 13(2): 51-52.
- Hamik, P.(2010) *Urban Green: Innovative Parks for Resurgent Cities*. Washington D.C: Island.
- Inbar, O., A. Rotstein, R. Dlin, R. Dotan and F. Sulman(1982) The effects of negative air ions on various physiological functions during work in a hot environment. *International Journal of Biometeorology* 26(2): 153-163.
- Ji, C. K.(2003) *The Efficacy of the Anion*. Seoul: Living Books.
- Jin, S. W.(2005) *Anion and Well-being*. Seoul: The People of the Land.
- 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. *Journal of Korean Institute of Landscape Architecture* 31(3): 83-90.
- Karjalainen, E., T. Sarjala and H. Raitio(2010) Promoting human health through forests: Overview and major challenges. *Environmental Health and Preventive Medicine* 15(1): 1-8.
- Kim J. H., D. K. Oh and Y. H. Yoon(2012) Anion concentrations of urban regeneration stream through multiple regression analysis: Targeting Cheonggyecheon on Seoul. *Seoul Studies* 13(3): 37-46.
- Kim, I. H.(1998) A case study on the activities of the domestic and foreign social organizations for the environmental educational applications of school landscape. *Journal of Korean Society for People, Plants and Environment* 1(2): 1-16.
- 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. *Journal of Korean Forest Society* 97(4): 423-430.
14. Knight, S.(2011) Forest school as a way of learning in the outdoors in the UK. *International Journal for Cross-Disciplinary Subjects in Education, Special Issue* 1(1): 590-595.
  15. Korea Forest Research Institute(2003) The Impacts of Cities Forests on Workers and School Forest Benefit.
  16. Krueger, A. P. and E. J. Reed(1976) Biological impact of small air ions. *Science*, 193(4259): 1209-1213.
  17. Lee, J. H.(2004) A study of generation by indoor plants. *Journal of Korean Institute of Interior Landscape Architecture* 6(2): 53-66.
  18. Lee, S. G., J. S. Jang, S. G. Jung and J. H. You(2009) An analysis of satisfaction with school forest using triangular fuzzy number. *Journal of Korean Institute of Landscape Architecture* 37(3): 1-10.
  19. Maynard, T.(2007) Forest schools in the great Britain: An initial exploration. *Contemporary Issues in Early Childhood* 8(4): 320-331.
  20. McPherson, E. G.(1998) Atmospheric carbon dioxide reduction by Sacramento's urban forest. *Journal of Arboriculture* 24(4): 215-223.
  21. O'Brien, L. and M. Richard(2007) Forest school and its impacts on young children: Case studies in Britain. *Urban Forestry & Urban Greening* 6(4): 249-265.
  22. Park, S. H.(2014) A Study on the Development and Application of the Outdoor Health Indicators of Green Building Certification Criteria in School Facilities. Master's Degree, Konkuk University.
  23. Pohl, W., H. D. Schulze and M. Grobmann(1984) Gutachten: Werte für die Landschaftsplanung -grünvolumenzahl und bodenfunktionszahl, Schriftenreihe der Umweltbehörde Hamburg.
  24. Roe, J. and P. A. Aspinnall(2011) The restorative outcomes of forest school and conventional school in young people with good and poor behaviour. *Urban Forestry & Urban Greening* 6(2): 205-212.
  25. Scott, K. I., E. G. McPherson and J. R. Simpson(1998) Air pollutant uptake by Sacramento's urban forest. *Journal of Arboriculture* 24(4): 224-234.
  26. Shin, W. S., P. S. Yeoun, K. H. Kim and J. H. Lee(2012) Amount of a negative ions by forest climates. *Journal of Korea Institute of Forest Recreation Welfare* 16(4): 125-131.
  27. Son, J. W. and S. Y. Ha(2013) Examining the influence of school forests on attitudes towards forest and aggression for elementary school students. *Journal of Korea Institute of Forest Recreation Welfare* 17(4): 49-57.
  28. Waite, S., B. Davis and K. Brown(2006) Forest school principles: 'Why we do what we do'. Devon EYDCP Final Report.
  29. Wu, C. C., G. W. Lee, S. Yang, K. P. Yu and C. L. Lou(2006) Influence of air humidity and the distance from the source on negative air ion concentration in indoor air. *Science of the Total Environment* 370(1): 245-253.
  30. Yamanoi, N.(1998) Experimental evaluation of fatigue and amenity of human during exposure to air loaded with negative ions. *Proceedings of the Institute of Electrostatics Japan* 22(4): 199-203.
  31. Yanagio, H.(1984) Peace of Forest. Tokyo: Kobun-sa.
  32. Yataki, K.(1993) The Power of Forest. Tokyo: Kobun-sa.
  33. Yoon, H. J., J. S. Byeon and I. H. Kim(2008) A study on the value analysis of school forest. *Journal of Korean Institute of Landscape Architecture* 36(3): 29-38.
  34. Yoon, Y. H. and W. T. Kim(2002) Influencing degree to the air temperature of stratification in the urban green space. *Journal of Korean Society for Turfgrass Science* 16(2): 107-114.
  35. Yoon, Y. H.(2004) Effects of the land coverage of vegetation and the stratification of forest on micro-climate changes. *Journal of Korea Institute of Forest Recreation Welfare* 8(1): 25-33.
  36. Yoon, Y. H., W. T. Kim, S. J. Kim and B. J. Park(2005) The effects of park size and wind velocity on cooling. *Journal of Korean Society for People, Plants and Environment* 8(4): 1-8.

---

Received : 30 July, 2015

Revised : 26 August, 2015 (1st)

8 September, 2015 (2nd)

Accepted : 8 September, 2015

3인익명 심사필