

Research Paper

## 도로와의 거리에 따른 도시 근린공원의 음이온 농도 분포차이

– 서울시 양재 시민의 숲을 대상으로 –

이현진 · 이동근 · 김보미

서울대학교

### Distribution of Negative Air Ion Concentration in Urban Neighborhood Park by Distance to Road

– A Case of Yangjae Citizen's Forest, Seoul –

Hyunjin Lee · Dong Kun Lee · Bomi Kim

Seoul National University

**요약** : 인간의 건강에 긍정적 영향을 미치는 음이온을 평가인자로 설정하고, 서울시 서초구 양재 시민의 숲을 대상으로 대기 중 음이온 농도 분포차이에 미치는 인접도로의 영향을 분석하였다. 대기 중 음이온, 양이온 농도와 대기온도, 상대습도, 풍속의 기상요소, 녹지용적계수(GVZ), 고속도로 및 일반도로로부터의 거리를 측정하였다. 그 결과, 고속도로 및 일반도로와 인접한 도로의 영향권에서는 평균 대기 중 음이온 농도가 206ea/cm<sup>3</sup>, 대기 중 양이온 농도가 416ea/cm<sup>3</sup>이었으며, 공원 내부지역인 도로의 비영향권에서는 평균 대기 중 음이온이 339ea/cm<sup>3</sup>, 대기 중 양이온이 229ea/cm<sup>3</sup>로 도로의 영향권 여부에 따른 대기 중 음이온 농도 차이가 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다. 또한, 영향요인들과의 상관분석을 종합하여 음이온 농도모델을 제시하였으며 도로의 영향 요소를 추가함으로써 모델의 설명력이 높아진 것으로 나타났다.

**주요어** : 음이온 분포, 상관분석, 위계선형 다중회귀모형, 건강도시

**Abstract** : The purpose of this study was to analyze the effect of adjacent roads on the concentration of negative air ions in urban neighborhood park. The measured factors were negative air ion concentration, positive air ion concentration, air temperature, relative humidity, wind speed, green formation volume factor (GVZ) and distance from highway and general road. The mean negative air ion concentration was 206ea/cm<sup>3</sup> and the positive air ion concentration was 416ea/cm<sup>3</sup> in the influence zone of roads. On the other hand, the mean negative air ion was 339ea/cm<sup>3</sup> and the

First Author: Hyunjin Lee, Interdisciplinary Program in Landscape Architecture, Seoul National University, Tel:+82-2-880-4885, E-mail: hjlee411@snu.ac.kr

Corresponding Author: Dong Kun Lee, Dept. of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul National University, Tel: +82-2-880-4875, E-mail: dklee7@snu.ac.kr

Co-Author: Bomi Kim, Interdisciplinary Program in Landscape Architecture, Seoul National University, E-mail: adees@gmail.com

Received: 28 June, 2017. Revised: 2 April, 2018. Accepted: 3 April, 2018.

positive air ion was  $229\text{ea}/\text{cm}^3$  in the unaffected zone of roads, which are inner areas of the park. The difference of the negative air ion concentration according to the influence of the road was statistically significant. The negative air ion concentration model was presented by integrating the correlation analysis with the influence factors, and the explanatory power of the model was increased by adding the influence factor of the road.

**Keywords** : Anion, Distribution of negative air ion, Correlation analysis, Hierarchical Multiple Regression analysis, Healthy city

## I. 서론

급격한 산업화와 경제성장으로 과밀화된 도시는 불투수 포장면의 증가, 건축물 밀집화로 인한 바람길 차단, 대기오염물질 배출량 증가 등으로 환경 문제가 심각해지고 있다. 이러한 환경 문제에 따라 도시민의 아토피 피부염, 천식과 같은 환경성 질환이 증가(Bae et al. 2010) 하고, 청소년과 노인의 스트레스로 인한 우울증이 급증하면서(Kim et al. 2011) 도시민의 신체적, 정신적 건강이 위협받고 있다. 그러나 도시에서 공원 및 녹지공간은 도시기온 저감효과, 대기오염의 완화, 바람길 형성, 증발을 통한 습도조절 등 환경 위해성을 완화시킴으로서 도시환경의 질을 개선시킨다(Kim et al. 2014). 또한 삭막한 도시에 녹음과 쾌적한 환경을 제공함으로써 도시민에게 부족한 자연접촉의 기회와 휴식 및 여가를 보낼 수 있는 공간으로 스트레스를 완화시켜 신체적, 정신적 측면에서 긍정적인 영향을 미치고 있다.

녹지는 인간 건강에 긍정적 영향을 주는 다양한 물질을 생성하는데 대표적인 것이 음이온이다. 음이온이란 대기 중의 부유미립자가 음전하를 띤 것을 말하며, 자연환경에서는 식물의 광합성을 통한 증산작용을 통해 미세한 물분자가 공기의 마찰로 분해되면서 발생된다. 건강을 위한 최소한의 음이온 개수는  $400\sim 1,000\text{ea}/\text{cm}^3$ 로 제시되고 있다(Um & Kim 2010; Jeon & Jo 2009). 음이온이 건강에 긍정적 영향을 주는 메커니즘은 크게 두 가지로 구분된다. 첫째, 음이온은 전기적 특성에 의해 대기 중 오염물질을 제거하여 공기질을 정화하는 효과가 있다. 도시의 대기 중에는 질소산화물부터 미세먼지, 각종 세균 및 곰팡이 포자 등 오염물질이 많이 분포되어 있는데 이러한

오염물질들은 양전하로 대전되어 서로 밀어내며 공기 중에 떠다니고 있다. 이 때 음이온이 공급되면 오염물질은 전자를 얻고 안정화되어 무거워지게 되면서 땅으로 떨어져 제거된다(Jin 2005). 둘째, 음이온은 인간의 피부와 호흡을 통해 몸속으로 흡수되면서 신진대사를 촉진하는 효과를 가진다. 즉 음이온은 영양을 공급 받고 노폐물을 배출하는 세포의 역할을 원활하게 함으로써 신체 내 세균 및 박테리아 억제, 신체 내 개선에 관한 생물학적 효과, 호흡기능 개선, 혈압안정, 뇌파안정, 체온유지, 자율신경기능 회복, 신경전달물질인 세로토닌을 증가시켜 우울증을 치료하는 등의 효과가 있다고 알려져 있다(Flory et al. 2010; Lee et al. 2009; Takahashi et al. 2008; Yamada et al. 2006; Ryushi et al. 1998; Krueger & Reed 1976). 이와 같이 오염된 공기가 많아 양이온이 증가된 환경에 노출되어 각종 질병이나 스트레스에 취약한 도시민에게 녹지를 통한 음이온의 공급은 대기정화 뿐 아니라 신체의 이온 불균형 문제를 해결하기 위해 중요하다.

녹지가 제공하는 음이온에 관한 연구는 그린벨트와 같은 대규모 산림에서 대기 중 음이온 농도의 시계열 변화(Yan et al. 2015; Liang et al. 2014; Liu et al. 2011; Tammet et al. 2006; Hirsikko et al. 2005) 또는 용도지역 및 토지이용에 따른 음이온 농도 차이와 영향 요인을 밝히는 연구(Ling et al. 2010; Sun et al. 2010) 등 주로 자연림을 중심으로 이루어졌다. 이를 통해 산림지역이 다른 토지이용보다 음이온 발생농도가 높음을 밝힘으로서 산림욕, 산림치유 등 숲에서의 건강증진 활동의 효과를 입증하였다. 그러나 인구의 대부분이 거주하는 공간은 도시 지역이며 대기질 정화 및 도시민의 건강관리를 위한

도시 녹지의 중요성이 강조되고 있는 만큼 도시 녹지의 대기 중 음이온 농도에 관한 연구가 필요하다. 이에 주로 식재구조에 따른 음이온 농도 차이에 대한 연구(Kim et al. 2015a, 2015b; Yoon et al. 2012, 2014; Mu & Liang 2009; Wang 2004)가 이루어졌으며, 이러한 연구 결과는 침엽수와 활엽수, 단층식재와 다층식재, 녹지와 나대지 등에 따른 음이온 발생량의 차이를 밝힘으로써 도시 녹지공간의 식재설계 시 유용한 근거자료를 제시하였다는 점에서 의의가 있다.

그러나 거시적 규모의 산림지역과 달리 도시 공원 녹지는 한정된 공간이고 주로 도로로 둘러싸여 있으므로 녹지에서 발생하는 음이온 농도에 도로에 의한 주변부 영향이 있을 것으로 예상되며, 이는 도시 공원에서의 치유 프로그램 등 건강증진 활동 장소를 정함에 있어 고려해야 할 부분이다. 현재 이러한 연구는 전무한 실정으로 도시 공원 녹지에서 발생하는 음이온 농도에 도로의 영향을 고려하는 연구가 이루어져야 할 것으로 보인다. 그러므로 본 연구에서는 도시 공원녹지에 미치는 도로의 영향을 설명하기 위해 도심지 내에 위치한 생활권 근린공원인 양재 시민의 숲에서 도로의 영향을 고려한 대기 중 음이온 농도의 측정 연구를 수행하였다.

이에 본 연구의 목적은 도시 공원녹지의 건강관련 환경인자로서 음이온을 설정하고, 양재 시민의 숲의 대기 중 음이온 농도의 분포를 파악하여 대기 중 음이온 농도 분포에 미치는 도로의 영향을 분석하고자 한다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상지

연구대상지로 선정한 양재 시민의 숲은 서울특별시 서초구 매향로 99번지에 위치한 근린공원이다. 본 연구는 도시민이 쉽게 이용할 수 있는 생활권 근린공원의 대기 중 음이온 농도를 비교, 분석하기 위해 양적, 질적으로 충분한 녹지와 도로가 인접한 영향이 작용하는 곳을 대상으로 선정하였다. 양재 시민의 숲은

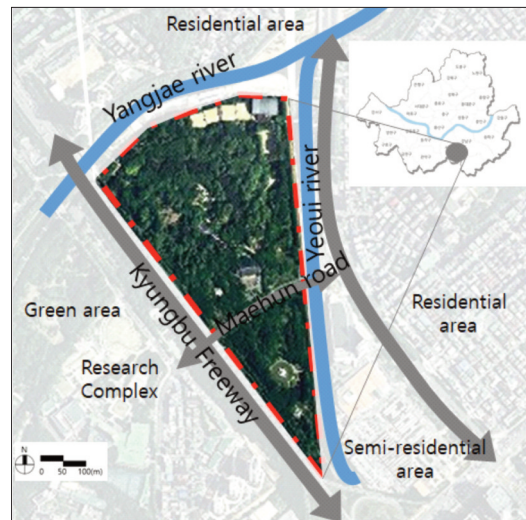


Figure 1. Study site : Yangjae Citizen's Forest.

총면적 257,000m<sup>2</sup>의 대규모 공원녹지로서 조성된 지 30년이 넘어 교목의 평균 수고가 약 23m에 달하는 울창한 녹음과 쾌적한 자연환경을 제공하고 있다. 주요수종으로는 소나무, 잣나무, 느티나무, 칠엽수 등 43종 94,800주가 식재되어 있으며(Kim et al. 2015b) 수목 밀도가 높게 형성되어 있다. 접근성 측면에서는 주거지역과 인접하고 양재 시민의 숲 역이 신설되어 접근성이 우수한 생활권 근린공원이다. 도로 영향 측면에서 대상지는 폭원 14m 도로(매현로, 왕복 4차선 도로)에 의해 북쪽(시민의 숲)과 남쪽(메모리얼 숲)의 두 지역으로 나누어져 있고, 공원 서쪽은 폭원 51m 고속도로(경부고속도로, 왕복 10차선 도로)와 접하고 있어 두 개의 도로가 대상지에 인접하고 있다. 또한 공원 북측과 동측은 완충 녹지대와 양재천, 여의천이 접하고 있어 사방이 개방된 입지적 특성을 가지므로 본 연구에 적합한 것으로 판단된다.

### 2. 조사분석 방법

#### 1) 조사구 설정

조사구 설정은 대상지 서쪽 경계를 기준으로 대지경계선과 평행하게 40m 간격으로 그리드를 설정하고, 이와 수직각으로 대상지 북쪽 경계를 기준으로 역시 동일 간격의 그리드를 설정하였다. 이는 대상지 전체의 음이온 농도 분포를 시각적으로 표현하기 위해 측

정 가능한 범위의 조사구를 설정하였으며, 식물 군집의 종풍부도 조사<sup>1)</sup>에서 사용되는 Whittaker의 50m × 20m 방형구의 크기를 참고하였다. 각 그리드 내의 횡축과 종축으로부터 20m 이격한 중심 교차지점을 측정지점으로 하여 총 112개의 사전조사 지점을 설정하고(Figure 2 참고), 각 지점별로 대기 중 음이온 농도와 환경변수를 측정하였다. 단, 대상지 전체의 음이온 농도 분포를 알아보기 위해 제외되는 부분이 없도록 그리드를 설정하였으나 1열의 우측부분은 실내 테니스장 건물이 위치하여 외부 측정이 불가능한 관계로 조사지점에서 제외하였다.

## 2) 데이터 수집

측정 시기는 Kim et al.(2015a), Yoon et al.(2014)의 연구와 같이 광합성이 활발한 시기 및 Liang et al.(2014)의 연구와 같이 구름이 없는 맑은 날, 바람이 적은 날을 고려하여 2017년 5월 8일, 12일, 16일의 3일간 같은 지점에서 반복 실시하였다. 대기 중 음이온은 측정시간대에 따라 농도가 실시간으로 변화하므로 측정 시간대와 측정방법이 주요 변수가 된다(Kim et al. 2015a). 이에 본 연구는 대기 중 음이온의 일 변화량이 가장 높은 12시~15시(Pawar et al. 2010; Retalis et al. 2009) 사이에 측정하였다.

측정 항목으로는 대기 중 음이온과 양이온 농도 및 기온, 상대습도 그리고 풍속 데이터를 수집하였다. 대기 중 음이온과 양이온은 비접촉식 공기이온 측정기인 AIC-2000(Alpha Lab, USA)을 사용하였으며, 풍속 및 풍향에 의한 음이온의 확산 변화를 최소화하기 위해 Jo(2009)의 방법에 따라 측정기의 흡입구를 바람에 등지고 설치하였다. 또한 지전장의 영향을 최소화하기 위하여 지상에서 1.2m 높이에서 삼각대에 고정하여(Shin et al. 2012) 작동시키고, 5분간 대기에 노출 시킨 후 20초 간격으로 1분간 측정된 3개 값의 평균값을 기록하고, 동일한 방법으로 같은 시간에 3일간 반복 측정하여 한 개의 측정지점 당 총 9개 값의 평균값을 분석 데이터로 사용하였다. 측정시의 기온, 상대습도, 풍속은 종합 기상계측 로거인 Kestrel 4500 (Nielsen-Kellerman, USA)을 사용하여 이온 측정과 동시간의 측정값과 측정시각을 기록하였다.

도로로부터의 거리와 녹지용적계수(GVZ; Grunvolumenzahl, green formation volume factor)는 디지털 지도와 서울시 동부공원녹지사업소 공원 운영과의 양재 시민의 숲 식재현황도(2016년 조사)를 참조하여 작성하였다. 여기서 녹지용적계수(GVZ)<sup>2)</sup>는 식재현황도와 그리드 지도(Figure 2)를 중첩한 후 각 그리드 내의 수목 주수, 수고, 흉고 및 근원직경을 참고로 하여 수관높이와 수관피복면적을 곱하여 그리드별로 산출하였다. 본 연구에서 측정단위인 40m × 40m의 그리드 내에는 대부분 혼합식재로 구

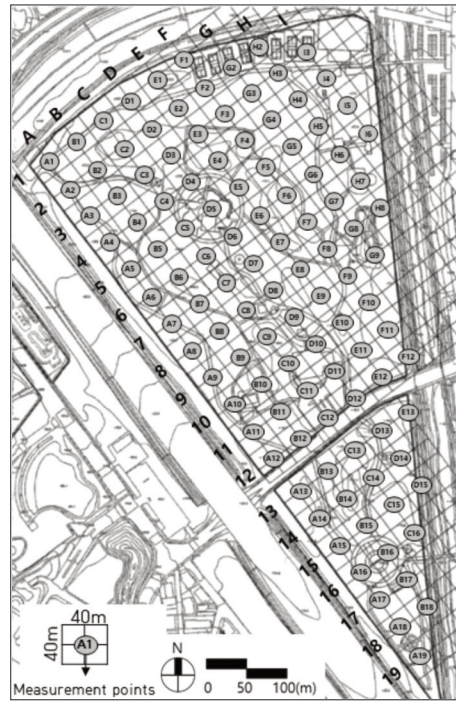


Figure 2. Measurement points : total 112 points are derived from center points of the 40×40m grid cells.

- 1) 군집의 종풍부도는 단위면적 내의 모든 종수이며, Whittaker에 의해 제안된 표준화된 조사방법에서는 조사하려는 식생에서 그 식물군집을 대표하는 균질한 장소에 50m × 20m 방형구를 설치한다(Yechon ecological society 2005).
- 2) 녹지용적계수(GVZ)란 녹지의 풍부함을 정량적 자료로 산출하기 위한 것으로 단위면적당(m<sup>2</sup>) 각 수목의 수관용적(m<sup>3</sup>) 즉, 각 수목의 가지와 잎이 만드는 관모양이 차지하는 공간의 크기의 합계를 말한다. A(단위면적당 수관용적) + B(단위면적당 수관용적) + 등등의 합계로 녹지의 풍부함을 숫자로 나타낸다.

Table 1. Setting variables

|                       | Index                  | Variables          | Unit                           | Sources               |
|-----------------------|------------------------|--------------------|--------------------------------|-----------------------|
| Dependent variable    | Negative air ions      | Negative air ions  | ea/cm <sup>3</sup>             | Actually measured     |
| Independent variables | Meteorological factors | Air temperature    | °C                             |                       |
|                       |                        | Relative Humidity  | %                              |                       |
|                       |                        | Wind speed         | m/s                            |                       |
|                       | Green factors          | GVZ                | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> | Tree planting Diagram |
|                       | Spatial factors        | Distance from road | m                              | Digital map           |
| Distance from freeway |                        | m                  |                                |                       |
|                       |                        | Positive air ions  | ea/cm <sup>3</sup>             | Actually measured     |

성되어 있어 수종의 다양성은 고려 대상에서 제외하고 음이온의 발생원으로서 녹지의 많고 적음을 나타내는 수관의 총량을 녹지의 특성 변수로 설정하였다.

### 3) 통계분석

통계분석은 112개 측정지점에 대해 3일간 측정된 총 336개의 표본을 활용하여 통계분석을 실시하였다. 통계분석은 SPSS ver 24.0을 활용하였으며, 대기 중 음이온 농도 분포에 따른 측정 평균값의 차이를 분석하기 위하여 T검정을 실시하였다. 또한 두 그룹의 대기 중 음이온 농도와 변수들과의 상관성을 파악하기 위한 상관분석을 실시하고, 도로의 영향을 고려

한 대기 중 음이온 농도 모델을 제시하기 위해 다중 회귀 위계선형분석을 실시하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 대기 중 음이온 농도의 분포 특성

대상지 내 일정간격의 다양한 지점에서 측정된 대기 중 음이온 농도의 분포를 시각화한 결과는 Figure 3과 같다. 반복측정 평균값을 기준으로 가장 낮은 음이온 값은 109ea/cm<sup>3</sup>이고 가장 높은 값은 575ea/cm<sup>3</sup>로 변화의 폭이 크게 나타났으며, 시각적 편의를 위해 최솟값과 최댓값의 범위에서 8개의 등간척도로 구

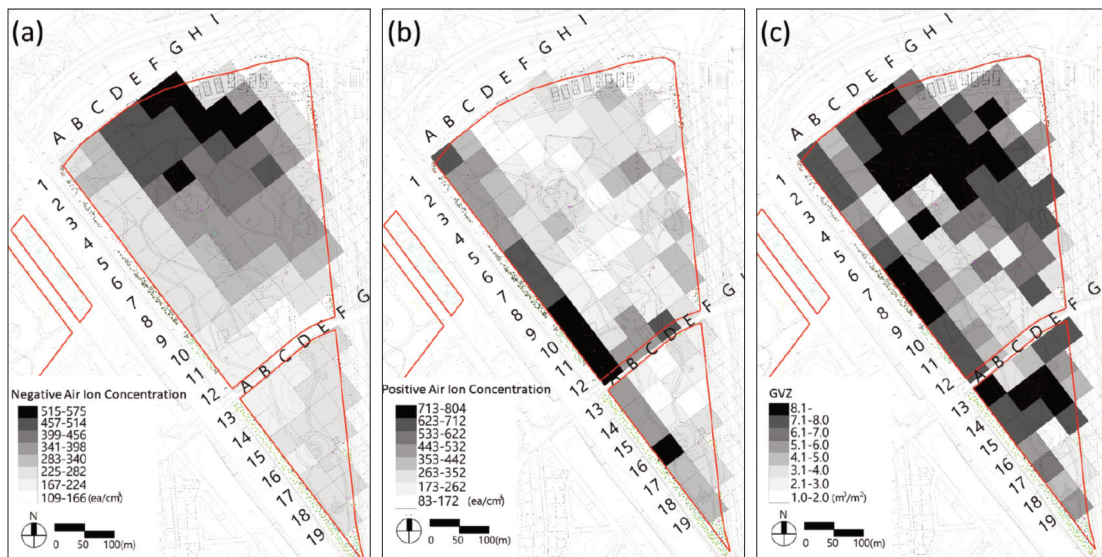


Figure 3. (a) Distribution of negative air ion concentration by mean value of the measurement results, (b) Distribution of positive air ion concentration by mean value of the measurement results on 8 May (1<sup>st</sup>), 12 May (2<sup>nd</sup>) and 16 May (3<sup>rd</sup>) 2017, (c) Distribution of GVZ (Grünvolumenzahl, green formation volume factor).

분하여 공간적 분포를 나타내었다. 그 결과 고속도로와 일반도로 주변은 음이온의 값이 낮게 분포하며, 공원의 내부로 갈수록 음이온의 값이 높게 분포하였다.

낮은 음이온의 분포를 나타낸 고속도로 주변부의 A~B열 지점들과 일반도로 주변부의 11~14행 지점들에서는 음이온 농도가 109~282ea/cm<sup>3</sup>로 나타났는데, 이 지점들의 평균 녹지용적계수는 5.82m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> (Figure 3.(c), Appendix 참고)로 우리나라 자연림의 녹지용적계수가 6.6m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>인 것을 고려할 때 양호한 녹지가 분포되어 있는 것을 알 수 있다. 이는 높은 수고와 흉고직경을 가진 수목의 차폐식재로 양호한 수목의 양과 질에 의해 음이온 농도가 높게 나타나야 함(Kim et al. 2015a, 2015c)에도 불구하고 차량이 통행하는 도로가 영향을 미치는 것으로 예상된다.

한편, 도로에서 거리가 어느 정도 떨어진 공원의 내부에서는 상대적으로 도로와 접한 공원의 가장자리 보다 음이온 농도가 높게 분포되어 있고, 농도의 폭이 다양하게 나타났다. G2, H2, H7, I2~6의 지점들은 음이온 농도가 167~224ea/cm<sup>3</sup>로 낮게 나타났는데 이는 운동, 편익 및 문화시설인 공원 시설로서 녹지용적계수(Figure 3.(c), Appendix 참고)가 적기 때문이고, Kim et al.(2015b)의 연구에서 밝힌 오픈스페이스 유형에서 낮은 음이온 농도를 보인 결과와 같았다.

반면, D4지점은 음이온 농도가 575ea/cm<sup>3</sup>로 주변에 비해 상당히 높은 것으로 나타났는데, 이는 연못과 바닥분수의 수경시설이 위치하는 곳으로서 녹지용적계수와 함께 수경시설이 음이온 농도에 영향을 미친다는 선행연구의 결과(Kim et al. 2013)와 일치하였다. 다시 말해, 도로와 인접한 공원의 가장자리 지역은 주변부가 발생하여 녹지의 양에 비해 음이온 농도가 낮게 나타나고, 도로의 영향권을 벗어나 음이온을 상쇄시키는 원인이 없는 공원 내부 지역은 주변부의 영향 없이 녹지 및 수경시설에서 발생된 음이온 농도가 높게 유지되는 것으로 분석된다.

대기 중 음이온 농도분포에 미치는 도로의 영향은 Figure 3.(b)와 같이 대기 중 양이온 농도의 분포로 설명될 수 있다. Ling et al.(2010)의 연구에서 고속도로 주변의 대기 중 양이온 농도의 일변화를 측정하

결과 대형 디젤 차량이 지나간 시점에 양이온의 값이 극값을 나타내었고, 차량이 통행하는 도로의 주변은 대기 중 양이온 농도가 높게 분포하였다. 그러므로 앞서 말한 바와 같이 음이온이 양이온과 결합하여 하강하는 특성에 의하여 동일한 양의 녹지에서 같은 양의 음이온이 발생해도 대기 중 양이온 농도가 높은 곳에서는 상대적으로 대기 중 음이온 농도가 낮게 유지됨을 유추할 수 있다.

## 2. 주요측정항목의 기술통계량

양재 시민의 숲의 대기 중 음이온 농도 분포특성에 따라 도로의 영향이 예상되는 지역과 그 외 지역의 두 개 유형으로 구분하고, 유형별 주요 측정항목에 대한 일반적 특성을 알아보기 위하여 최솟값, 최댓값, 평균, 표준편차, 왜도와 첨도를 분석하였다(Table 2). 고속도로 및 일반도로로부터의 그리드 측정 거리에 따른 음이온 농도 값의 범위를 보면(Figure 4) 음이온 농도의 값이 큰 폭으로 변화되는 지점을 3번째 그리드 측정지점으로 하여, 낮은 음이온의 분포를 나타낸 고속도로 주변 A~B열과 일반도로 주변 11~14행 지점들은 Type 1로 설정하고, 그 외의 높은 음이온 분포를 나타내어 도로의 영향이 미미하다고 판단되는 공원의 내부 지점들은 Type 2로 설정하였다. Figure 4에서 이상치로 나타난 값은 제하는 것이 일반적이거나, 본 연구에서는 공원시설지에 따라 발생 가능성이 있는 수치로 가정하여 이상치로 간주하지 않고 전체 표본을 분석에 포함하였다. 여기서 측정지점 중 공원시설지는 G2, H2, H7, I3, I5의 5개 측정지점이 테니스장, 운동장과 야외무대 시설지로서 마사토 포장의 나대지이고, C11, C12, D11의 3개 측정지점은 주차장 시설지로서 건폐지이다. 또한 C7은 야외예식장으로서 건폐지이고, D5는 놀이터와 수경시설이 있는 보도로서 건폐지이다(Figure 5). 그러나 각 그리드 내에 모두 주변 수목 및 녹지가 조성되어 있어 대기 중 음이온이 발생할 수 있는 장소이므로 식재지역과 동일하게 녹지용적계수를 산출하였으며, 표본수를 충분히 확보하기 위해 분석에 포함하였다.

대기 중 이온 농도의 경우, Type 1은 음이온 평균 농도가 206.36ea/cm<sup>3</sup>으로 양이온의 평균 농도

Table 2. Metrics descriptive statistics (N=336)

|  | Type | Min.  | Max.  | M      | SD     | Skew | Kurt  | t        | p   |
|--|------|-------|-------|--------|--------|------|-------|----------|-----|
| Negative air ion (ea/cm <sup>3</sup> ) | 1    | 10    | 610   | 206.36 | 99.65  | .78  | 1.61  | -9.606*  | .00 |
|  | 2    | 90    | 833   | 339.36 | 153.19 | .59  | -.39  |          |     |
| Positive air ion (ea/cm <sup>3</sup> ) | 1    | 40    | 1010  | 416.26 | 242.98 | .97  | .03   | 8.509*   | .00 |
|  | 2    | 35    | 690   | 229.49 | 123.09 | 1.04 | 1.13  |          |     |
| Air Temperature (°C)                   | 1    | 20.50 | 27.45 | 22.70  | 1.89   | .78  | -1.05 | -.101    | .92 |
|  | 2    | 19.40 | 26.65 | 22.72  | 2.00   | .64  | -1.37 |          |     |
| Relative Humidity (%)                  | 1    | 37.50 | 77.40 | 56.06  | 12.75  | .35  | -1.41 | -.042    | .97 |
|  | 2    | 39.10 | 76.50 | 56.12  | 12.64  | .16  | -1.50 |          |     |
| Wind Speed (m/s)                       | 1    | .00   | 1.80  | .21    | .30    | 2.11 | 6.51  | 3.584*   | .00 |
|  | 2    | .00   | .70   | .11    | .18    | 1.67 | 1.83  |          |     |
| GVZ (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )  | 1    | 1.01  | 9.31  | 5.82   | 2.19   | -.36 | -.98  | -3.254*  | .00 |
|  | 2    | 1.02  | 9.85  | 6.60   | 2.17   | -.64 | -.38  |          |     |
| Dist.Freeway (m)                       | 1    | 20    | 240   | 66.53  | 55.80  | 1.46 | 1.51  | -19.185* | .00 |
|  | 2    | 100   | 360   | 211.75 | 82.61  | .12  | -1.19 |          |     |
| Dist.Road (m)                          | 1    | 20    | 460   | 162.04 | 134.00 | .76  | -.58  | -8.178*  | .00 |
|  | 2    | 100   | 460   | 273.97 | 110.97 | -.03 | -1.16 |          |     |

\*p<.01

416.26ea/cm<sup>3</sup>보다 낮게 나타난 반면, Type 2는 음이온 평균 농도는 339.36ea/cm<sup>3</sup>, 양이온 평균 농도는 229.49ea/cm<sup>3</sup>로 음이온이 더 높게 측정되었다. 기상요소의 경우, 기온은 Type 1과 Type 2 모두 평균 22.7°C였으며, 상대습도는 Type 1(56.06%) < Type 2(56.12%) 이나 큰 차이를 나타내지 않았다. 풍속은 Type 1이 평균 .21m/s로 Type 2의 평균 .11m/s보다 다소 높은 것으로 측정되었다. 이는 고속도로와 접한

부분은 주로 단층구조의 차폐식재로 구성되어 있어 식재의 밀도차이로 미미한 차이가 발생한 것으로 사료된다. 풍속과 함께 풍향의 경우 대기 중 이온 농도의 확산에 영향을 미칠 수 있는 요소로서 측정일의 기상청 AWS가 제공한 양재 시민의 숲 일대의 주풍향은 첫째 날과 둘째 날은 남풍, 셋째 날은 남남서풍이었다. 그러나 Table 2에서 보듯이 측정시점의 평균 풍속은 모두 1m/s 미만으로 본 연구에서는 대기

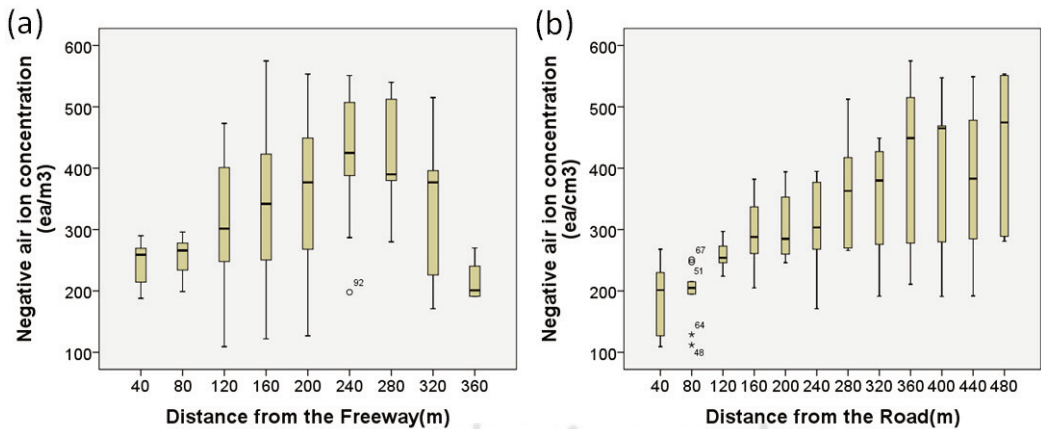


Figure 4. Boxplots of negative air ion concentration by distance from the freeway (a), by distance from the road (b). The distance standard is 40x40 (m) grid cell.

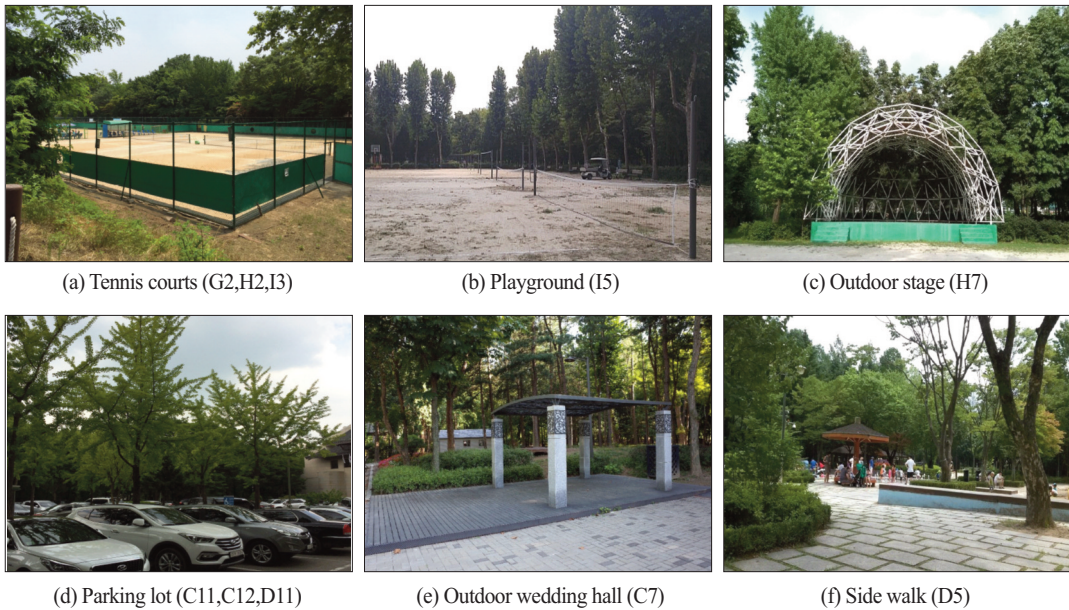


Figure 5. Park facilities of measuring points.

중 이온의 확산은 미미한 것으로 사료되나 추후 연구에서는 측정지점의 풍향도 고려되어야 할 것이다. 한편 녹지 요소인 녹지용적계수는 Type 1( $5.82\text{m}^3/\text{m}^2$ ) < Type 2( $6.6\text{m}^3/\text{m}^2$ ) 이나 두 유형 모두 양호한 수준의 녹지가 조성되어 있음을 유추할 수 있다. 공간적 요소의 경우, 고속도로 및 일반도로로부터의 거리는 Type 1에서 각각 66.53m와 162.04m로 Type 2보다 가까운 지점들로 구분되었다.

이상을 종합하면, 도로의 영향권 여부로 설정한 Type 1과 Type 2는 기상요소 및 녹지용적계수의 차이는 미미하여 유사한 조건인 것으로 가정할 때, 도로의 영향권인 Type 1에서는 음이온 농도가 낮고 양이온 농도가 높아 도로의 통행차량에 의한 오염물질이 대기 중에 부유하고 있는 것으로 판단된다. 반면 공원 내부지역인 Type 2에서는 도로의 영향이 배제된 것을 낮은 양이온 농도와 도로로부터의 거리가 먼 것으로서 유추할 수 있으며, 녹지용적계수가 높아 여기서 발생하는 음이온 농도가 상쇄되는 효과 없이 높게 유지되고 있다고 판단된다.

이러한 도로의 영향에 따른 두 집단(Type 1, 2)의 차이를 통계적으로 분석하기 위하여 대응표본 t검정을 실시하였다. 그 결과, 대기 중 음이온 및 양이온

농도, 풍속, 녹지용적계수(GVZ)의 경우 도로의 영향권 여부에 따라 그 값의 차이에 대해 유의하다고 판단할 수 있다. 그러나 기온 및 상대습도의 경우 유의확률이 .05보다 높은 수치로 분석되어 도로의 영향권 여부에 따라 평균값의 차이가 없다는 귀무가설이 채택되어 도로의 영향권에 따른 기상요소의 차이는 미치는 영향이 미미한 것으로 판단되었다.

### 3. 대기 중 음이온 농도와 영향요인의 상관성

대기 중 음이온 농도에 영향을 미치는 요소들의 관계를 파악하기 위하여 전체 측정지점을 대상으로 상관분석을 실시하였다(Table 3).

#### 1) 기상요소와 음이온

대기 중 음이온 농도는 대기온도와  $-.400(p<.01)$ 로 유의성이 나타나 부의 상관관계를 보였다. 즉, Kim et al.(2015b)의 연구에서와 같이 온도가 낮을수록 음이온의 농도가 높게 나타나는 결과와 동일한 경향이며, 이는 수목의 캐노피 하부에서는 주차장 및 시설지와 같은 오픈스페이스보다 태양 복사열이 차단되어 대기온도가 낮아짐을 의미한다. 또한 풍속은  $-.269(p<.01)$ 로 부의 상관관계를 보여 풍속이 높을

Table 3. Correlation analysis

|                   | Negative air ion | Positive air ion | Temperature | Relative Humidity | Wind speed | GVZ   | Dist. Freeway |
|-------------------|------------------|------------------|-------------|-------------------|------------|-------|---------------|
| Positive air ion  | -.360**          |                  |             |                   |            |       |               |
| Temperature       | -.400**          | .006             |             |                   |            |       |               |
| Relative Humidity | .12              | .073             | -.258**     |                   |            |       |               |
| Wind speed        | -.269**          | .018             | .104        | -.306**           |            |       |               |
| GVZ               | .509**           | .059             | -.613**     | .297**            | -.213*     |       |               |
| Dist. Freeway     | .357**           | -.467**          | .141        | .118              | -.187*     | -.033 |               |
| Dist. Road        | .656**           | -.131            | -.248**     | -.003             | -.118      | .221* | .238*         |

\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$

수록 대기 중 음이온 농도가 낮아지는 것으로 분석되었으며, 이는 바람이 불 때 대기 중 이온이 확산되는(Pawar et al, 2010) 특성에 의해 측정시점의 평균농도가 낮아진 것으로 판단된다. 상대습도와는 유의미한 상관성이 나타나지 않았으나, 온도와 습도는  $-.258$  ( $p < .01$ )로 부의 상관성을 갖는 것으로 나타나 고온역에서는 저습역이, 저온역에서는 고습역이 형성된다는 선행연구(Kim et al, 2015a)와 일치하는 경향을 나타내었다.

## 2) 녹지요소와 음이온

녹지용적계수(GVZ)는 대기 중 음이온과  $.509$  ( $p < .01$ )로 유의성이 나타났고 정의 상관인 것으로 나타났다. 이는 수목 수관부분의 부피 즉 광합성을 하는 엽면적의 양을 의미하며 음이온의 발생원으로 대표적인 것이 수목임(Kim et al, 2015a, 2015b; Yoon et al, 2014)을 입증하는 결과이다. 그리드별 수종은 대부분 침엽수와 활엽수의 혼합식재로 이루어져 있으며, 침엽수는 A열의 차폐식재로 잣나무가 대부분을 차지하고 있고, 그 외에 전나무, 스트로브잣나무, 측백나무, 편백나무, 독일가문비, 향나무 등이 대상지내에 다양하게 식재되어 있다. 반면 활엽수는 주로 느티나무, 회화나무, 단풍나무 등이 주를 이루며 그 외에 칠엽수, 플라타너스, 중국단풍, 은행나무, 자작나무, 자귀나무, 모과나무, 살구나무, 뽕나무 등으로 구성되어 있다(Appendix 참고). 일부 선행연구에서 상록침엽수림이 낙엽활엽수림보다 대기 중 음이온 농도가 높게 나타나 수종에 따른 음이온 발생량의 차

이를 언급한 바 있다(Kim et al, 2015b, 2015c). 그러나 본 연구에서는 일정 간격으로 음이온 농도를 측정하였으므로, 측정지점의 그리드 내에 침엽수와 활엽수의 녹지용적계수(GVZ)와 음이온 농도가 유의미하지 않게 나타나 수종별 음이온 발생량의 영향은 구분하지 못하는 한계를 가진다. 즉, 대부분의 측정지점이 혼합식재지이므로 본 연구에서는 그리드별 전체 수목의 녹지용적계수(GVZ)와 음이온의 상관성을 분석하였다.

한편, 녹지용적계수는 기상요소와 상관성을 가지는 것으로 나타났으며, 녹지용적계수가 높으면 기온이 낮고( $-.613$ ,  $p < .01$ ) 상대습도가 높으며( $.297$ ,  $p < .01$ ) 풍속이 낮음( $-.213$ ,  $p < .05$ ) 것을 알 수 있다. 여기서 녹지와 상대습도와 관계는 상대습도가 40~90% 범위 내에서 높을수록 광합성이 증가하는(Shin et al, 2012) 것을 의미하며, 광합성을 많이 한다는 의미는 곧 음이온 농도의 증가와 관련되는 것으로 분석된다.

## 3) 도로의 영향과 음이온

앞서 설명한 바와 같이, 대기 중 음이온에 영향을 미치는 도로의 특성은 차량의 통행으로 발생한 양이온의 농도로 해석되며, 고속도로로부터의 거리와 양이온 농도가  $-.467$  ( $p < .01$ )로 부의 상관성을 갖는 것으로 분석되었다. 이는 Ling et al, (2010)의 연구에서 밝힌 고속도로로부터의 거리가 가까울수록 양이온이 높은 결과와 일치하는 경향으로 나타났다. 그러나 일반도로로부터의 거리는 양이온 농도와  $-.131$ 로 역시 음의 값을 가지지만 유의한 수준으로 나타나지

는 않았다. 이는 왕복 10차선 고속도로의 통행량이 왕복 4차선 일반도로의 통행량보다 월등히 높은 것으로 추정되기 때문에<sup>3)</sup> 여기서 발생하는 대기 중 양이온 농도의 차이에 의한 것으로 사료된다. 본 연구에서는 도로의 영향을 도로로부터의 거리와 대기 중 오염물질 농도를 의미하는 대기 중 양이온 농도로 선정하여 상관성을 분석하였으나 향후 PM10, PM2.5와 같은 미세먼지, 일산화탄소(CO), 이산화질소(NO<sub>2</sub>), 아황산가스(SO<sub>2</sub>) 등의 대기 중 오염물질 농도 또한 측정하면 더욱 정밀한 분석이 가능할 것이다. 반면, 도로의 영향을 나타내는 양이온과 음이온 농도는 -.360(p<.01)로 부의 상관을 가지며, 고속도로와 일반도로로부터의 거리와는 각각 .357(p<.01)과 .656(p<.01)으로 정의 상관을 갖는 것으로 분석되었다.

이상의 결과를 종합할 때, 대상지인 양재시민의 숲에서는 온도와 풍속이 낮을수록 대기 중에 분포하는 음이온 농도가 높게 유지되며, 도로로부터의 거리가 멀어질수록 즉, 공원의 내부로 갈수록 녹지에서 발생한 음이온의 농도가 높은 수준으로 유지됨을 알 수 있다. 이는 발생한 음이온을 상쇄시키는 양이온의 농도와도 상관이 있으며, 도로로부터의 거리가 가까울수록 양이온의 농도가 높아 녹지의 수준이 양호하더라도 대기 중 음이온 농도는 낮은 것으로 나타났다. 그러므로 건강증진 목적으로 공원을 이용할 경우 도로로부터 일정거리 떨어진 지역을 이용해야 녹지가 제

공하는 음이온의 혜택을 볼 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 다른 공원, 녹지 등의 대상지에서는 도로의 폭원과 통행차량에 따라 영향력이 다를 수 있으므로 향후 연구에서 지속적으로 규명해야 할 것이다.

#### 4. 대기 중 음이온 농도 모델

양재 시민의 숲의 도로의 영향을 고려한 대기 중 음이온 농도의 모델을 제시하기 위해 음이온 농도에 영향을 미치는 변수들로 다중회귀 위계선형분석을 실시하였다. 기상요소인 기온, 상대습도와 풍속, 녹지요소인 녹지용적계수(GVZ)를 통제하고서, 고속도로 및 일반도로로부터의 거리와 대기 중 양이온 농도를 투입한 추가적인 설명력은 Table 4와 같다.

결과를 살펴보면, 통제요인으로 기상요소와 녹지용적계수(GVZ)만 투입한 Model 1은 30%, 통제요인과 고속도로 및 일반도로로부터의 거리와 대기 중 양이온 농도까지 투입한 Model 2는 69.2%의 영향력을 보였다. Model 2의 회귀모델의 적합도(F)는 11,938에서 33,519로 회귀모형의 유용성이 증가된 것으로 분석되었다. Model 1에서는 풍속이  $t=-2.325(p<.05)$ ,

3) 국토교통부의 「도로 교통량 통계연보」에 따르면 2016년 고속국도의 교통량은 평일 50,098대/일, 일반국도는 12,399대/일, 지방도는 5,944대/일로서 일반국도 및 지방도에 비해 고속국도의 교통량이 월등히 높은 것으로 나타난다 (Annual Traffic Volume Report, 2016).

Table 4. Hierarchical regression model

|                         | Model 1       |          | Model 2       |          |
|-------------------------|---------------|----------|---------------|----------|
|                         | $\beta$       | t        | $\beta$       | t        |
| Temperature             | -.162         | -1.582   | -.072         | -.989    |
| Relative Humidity       | -.100         | -1.142   | -.036         | -.587    |
| Wind Sped               | -.198         | -2.325*  | -.109         | -1.859   |
| GVZ                     | .397          | -3.799** | .365          | 5.126**  |
| Positive air ion        |               |          | -.252         | -4.004** |
| Dist.Freeway            |               |          | .131          | 1.953    |
| Dist.Road               |               |          | .481          | 8.094**  |
| R <sup>2</sup>          | .309          |          | .693          |          |
| Adjusted R <sup>2</sup> | .283          |          | .672          |          |
| F                       | 11.938 (.000) |          | 33.519 (.000) |          |

\*p<.05, \*\*p<.01  
Durbin-Watson=1.048

녹지용적계수(GVZ)가  $t=3.799(p<.01)$  수준에서 대기 중 음이온 농도에 영향을 미치는 요인으로 나타났다. Model 2에서는 모델의 하위요인을 추가한 결과 풍속 변수에 대해 녹지용적계수는  $t=5.126(p<.01)$ 로 여전히 영향을 미치는 요인으로 나타났으며, 대기 중 양이온 농도와 일반도로로부터의 거리 요인이  $t=-4.004(p<.01)$ ,  $t=8.094(p<.01)$ 로 유의미한 수준에서 영향을 미쳤다. Model 1에서 영향이 있었던 풍속은 Model 2에서 유의수준을 벗어났는데, 이는 도로의 영향과 관련한 요인들이 더 큰 영향요인으로 작용하였기 때문인 것으로 판단된다. 즉, 녹지용적계수에 따라 발생하는 음이온 농도에 차이가 있으며, 도로로부터의 거리와 대기 중 양이온 농도 또한 대기 중 음이온 농도에 차이를 발생시키는 것으로 나타났다. Model 2에서 양재 시민의 숲의 대기 중 음이온 농도 모델에서 가장 영향력이 큰 요인은 베타값의 절대값을 기준으로 대기 중 양이온 농도이고, 다음 순서로는 녹지용적계수(GVZ) > 고속도로로부터의 거리 > 일반도로로부터의 거리의 순서로 나타났다.

이상을 종합하여 공간요소인 인접한 도로의 영향을 고려한 양재 시민의 숲의 대기 중 음이온 농도 모델은 다음과 같이 제시하였다.

$$y = 650.100 + (18.404x_1) + (-0.159x_2) + (0.400x_3)$$

[R<sup>2</sup>: 67%, y: Negative air ion concentration,  
x1: GVZ, x2: Positive air ion concentration,  
x3: Distance from the road]

#### IV. 결론

본 연구에서는 건강에 긍정적 영향을 미치는 음이온을 평가인자로 설정하고, 양재 시민의 숲을 대상으로 녹지가 제공하는 음이온의 대기 중 농도와 인접도로의 영향을 밝히는 실증연구를 수행하였다. 이는 건강증진 목적의 공원 이용 또는 치유 프로그램 등의 참여형 프로그램 운영 시 효과적인 이용범위를 제시하고, 더 나아가 도시녹지 구성에 대한 기초자료를 제공하기 위함이며, 주요 결과는 아래와 같다.

첫째, 양재 시민의 숲의 대기 중 음이온 농도의 분포는 다양하게 나타났으며, 고속도로 및 일반도로와

가까운 지역은 모두 음이온 농도가 낮게 분포하였다. 고속도로 및 일반도로와 접한 공원의 외곽지역은 차폐 및 군집식재로 녹지용적계수(GVZ)의 분포가 높은 양상을 보임에도 불구하고 모두 음이온 농도가 낮은 수준으로 나타나 이 부분의 양이온 농도가 높게 분포하고 있는 것과 연관된다. 즉, 도로에 가까울수록 차량의 통행에 의한 대기 중 오염물질이 양이온으로 하전되어 있어 이 지역의 대기 중 양이온 농도가 높게 나타나며, 녹지의 양과 질이 양호하더라도 이 지역의 대기 중 음이온 농도가 낮게 분포하였다. 반면, 도로에서 멀리 떨어진 공원의 내부로 갈수록 녹지용적계수(GVZ)가 높은 지역과 수경시설이 위치한 곳에서 대기 중 음이온 농도가 높게 분포되어 있으며, 테니스코트, 야외무대 등 시설지에서는 상대적으로 녹지용적계수(GVZ)의 값이 낮으므로 음이온 농도 또한 낮게 분포하였다.

둘째, 대기 중 음이온 농도에 영향을 미치는 요인들은 기상요소로서 기온, 상대습도와 풍속을 측정하였고, 녹지요소로서 녹지용적계수(GVZ), 공간요소로서 도로로부터의 거리와 양이온 농도를 설정하였다. 대기 중 음이온 농도의 분포특성에 따라 도로의 영향이 예상되는 일정 지역과 그 외 지역의 두 개 유형으로 구분하여 주요 측정항목의 일반적 특성을 분석한 결과, 두 유형 모두 기상요소 및 녹지용적계수의 차이는 미미하여 유사한 조건인 것으로 나타났다. 반면 도로의 영향권 여부에 따른 음이온과 양이온의 농도 차이가 유의미하게 나타나 인접도로의 거리에 따라 오염물질인 양이온의 영향으로 인해 음이온 농도에 통계적으로 유의미한 차이가 발생하는 것으로 분석되었다.

셋째, 대기 중 음이온 농도에 영향을 미치는 요인들의 상관성을 양재 시민의 숲 전체 측정지점을 대상으로 분석한 결과, 대기 중 음이온 농도는 기상요소의 경우 온도 및 풍속과 유의미한 부의 상관성을 가지며, 녹지요소인 녹지용적계수(GVZ)와는 정의 상관성을 나타내 녹지의 양과 질이 높아질수록 음이온 농도가 증가한다는 선행연구(Kim et al. 2015a, 2015b)와 일치하는 결과를 보였다. 한편 도로로부터의 거리와는 정의 상관성을, 양이온 농도와는 부의 상관성을 갖는 것

으로 분석되었다.

넷째, 양재 시민의 숲의 도로의 영향을 고려한 대기 중 음이온 농도의 모델을 제시하기 위해 다중회귀 위계선형분석을 실시한 결과, 기상요소 및 녹지요소를 통제하고서, 고속도로 및 일반도로로부터의 거리와 대기 중 양이온 농도를 영향요인으로 투입한 모델의 영향력은 30%에서 69.2%로 향상되었다. 또한 위계적 회귀모델의 적합도(F)는 11,938에서 33,519로 회귀모형의 유용성이 증가된 것으로 분석되었으며, 가장 큰 영향요인은 대기 중 양이온 농도이고 그 다음으로 녹지용적계수(GVZ), 고속도로로부터의 거리, 일반도로로부터의 거리의 순서로 나타났다. 각각의 영향력을 종합하여  $y = 650.100 + (18.404x1) + (-0.159x2) + (0.400x3)$  [ $R^2$ : 67%, y: Negative air ion concentration, x1: GVZ, x2: Positive air ion concentration, x3: Distance from the road]의 인접도로의 영향을 고려한 양재 시민의 숲의 대기 중 음이온 농도 모델을 제시하였다.

분석 결과를 종합하면, 도시 근린공원인 양재 시민의 숲에서 도로로부터의 거리에 따라 대기 중 음이온 농도에 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 다시 말해, 음이온 농도 패턴의 차이로 인해 도로와 인접한 일정 지역에 도로의 영향이 작용하는 것을 알 수 있었고, 도로의 거리와 부의 상관관을 가지는 양이온 농도가 음이온 농도에 영향을 미치는 것을 실증적으로 입증할 수 있었다. 향후, 도로의 오염물질 농도를 상세히 측정하고, 측정지점을 m단위로 세분화하여 반복측정값을 토대로 하는 추가적인 연구를 통해 더욱 정량적이고 객관적인 도로의 영향범위를 도출할 수 있을 것이며, 건강증진 목적의 공원이용 범위 또는 녹지조성을 위한 기초자료로 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구는 측정지점의 범위가 40m 간격의 그리드 셀 범위로 한정되어 있어 정확한 영향범위를 밝히지 못하고, 단일시기 측정으로 도로 교통량의 일변화는 고려하지 못하였다는 한계를 가진다. 그러나 음이온을 환경인자로 한 도시 근린공원 녹지의 질적 기능을 평가할 수 있는 실증적 연구라는 점에서 의의가 있으며, 차후 대상지의 측정지점을 세분화하고 추가적인 반복측정을 통해 교통량과 음이온 농도의 일변화 및 풍

속과 풍향에 의한 음이온의 확산 등 도로와 대기 중 음이온 농도의 관계를 더 구체적으로 규명해야 할 것이다.

## References

- Annual Traffic Volume Report. 2016. Ministry of Land, Infrastructure and Transport. [Korean Literature]
- Bae HJ, Ha JS, Choi MJ, Kim H. 2010. Climate Change and Air Pollution Effects on Environmentally Related Disease - Interactive Effects of Temperature and Oz one on Environmentally Related Disease-. Korea Environment Institute, Basic Research Report 2010: 1-121. [Korean Literature]
- Flory R, Ametepe J, Bowers B. 2010. A randomized, placebo-controlled trial of bright light and high-density negative air ions for treatment of Seasonal Affective Disorder. *Psychiatry Research*. 177(1): 101-108.
- Hirsikko, A, Laakso L, Horrak U, Aalto PP, Kerminen V, Kulmala M. 2005. Annual and size dependent variation of growth rates and ion concentrations in boreal forest. *Boreal Environment Research*. 10(5): 357.
- Jeon KS, Jo YB. 2009. A Study on the Anion Contents in Forests. The Korea Institute of Forest Recreation Welfare, 2009 Autumn Conference Proceedings. 10: 15-17. [Korean Literature]
- Jin SW. 2005. Anion and well-being, Seoul : The People of the Land. [Korean Literature]
- Jo YB. 2009. A Study on the Development of Suitable Locations Evaluation Model and Therapy Type to Therapeutic Forests. Wonkwang Univ. Doctoral Thesis. [Korean Literature]

- Literature]
- Kim JH, Park SH, Kim WT, Yoon YH. 2013. Anion Distribution and Correlation Analysis by Fountain Type in Urban. *Journal of Environmental Science International*. 22(12): 1599-1610. [Korean Literature]
- Kim JH, Seo YH, Joo CH, Yoon YH. 2014. Assessment of Anion Generation on the Isolated Trees at Summer. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*. 42(4): 1-9. [Korean Literature]
- Kim JH, Oh DK, Park YG, Yoon YH. 2015a. A Comparative Analysis of Negative Air Ions according to the Planting Structure at School Forests. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*. 43(5): 55-64. [Korean Literature]
- Kim JH, Oh DK, Yoon YH. 2015b. 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. [Korean Literature]
- Kim JH, Oh DK, Yoon YH. 2015c. Effects of Green Space Type in Urban Park on Anions Distribution - Target to Seoul Forest in Seoul. *Urban Design*. 16(1): 17-34. [Korean Literature]
- Kim RB, Park KS, Lee JH, Kim BJ, Chun JH. 2011. Factors Related to Depression Symptom and the Influence of Depression Symptom on Self-rated Health Status, Outpatient Health Service Utilization and Quality of Life. *Korean Journal of Health Education and Promotion*, 28(1): 81-92. [Korean Literature]
- Krueger AP, Reed EJ. 1976. Biological impact of small air ions. *Science*. 193(4259): 1209-1213.
- Lee SG, Jang JS, Jung SG, You JH. 2009. An Analysis of Satisfaction with School Forest Using Triangular Fuzzy Number. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*. 37(3): 1-10. [Korean Literature]
- Liang H, Chen X, Yin J, Da L. 2014. The spatial-temporal pattern and influencing factors of negative air ions in urban forests, Shanghai, China. *Journal of Forestry Research*. 25(4): 847-856.
- Ling X, Jayaratne R, Morawska L. 2010. Air ion concentrations in various urban outdoor environments. *Atmospheric Environment*. 44(18): 2186-2193.
- Liu X, Wu LH, Zhang H, Wang XR. 2011. Study on the Concentration of Negative Air Ions and the Influential Factors in Different Urban Plant Communities. *Journal of Fudan University(Natural Science)*. 2011-02.
- Mu D, Liang YH. 2009. Effects of urban greenbelt structure on air negative ions concentration. *Chinese Journal of Ecology*. 5: 033.
- Pawar SD, Meena GS, Jadhav DB. 2010. Diurnal and seasonal air ion variability at rural station Ramanandnagar(17A° 2'N, 74A° E), India. *Aerosol and Air Quality Research*. 10(2): 154-166.
- Retalis A, Nastos P, Retalis D. 2009. Study of small ions concentration in the air above Athens, Greece. *Atmospheric Research*. 91(2): 219-228.
- Ryushi T, Kita I, Sakurai T, Yasumatsu M, Isokawa M, Aihara Y, Hama K. 1998. The effect of exposure to negative air ions on the recovery of physiological responses after moderate endurance exercise. *International Journal of Biometeorology*. 41(3): 132-136.
- Shin WS, Yeon PS, Kim KH, Lee JH. 2012.

- Amount of a Negative ions by Forest Climates. The Korea Institute of Forest Recreation Welfare. 16(4): 125-131. [Korean Literature]
- Sun MZ, Tian Y, Liu XL. 2010. Experimental Research of Negative Oxygen Ion in Different Functional Areas of Beijing. Environmental Science & Technology. 2010-S2.
- Takahashi K, Otsuki T, Mase A, Kawado T, Kotani M, Ami K, Maeda M. 2008. Negatively-charged air conditions and responses of the human psycho-neuro-endocrino-immune network. Environment International. 34(6): 765-772.
- Tammet H, Horrak U, Laakso L, Kulmala M. 2006. Factors of air ion balance in a coniferous forest according to measurements in Hyytiala, Finland. Atmospheric Chemistry and Physics. 6(11): 3377-3390.
- Um TW, Kim KT. 2010. Correlations Between Concentrations of Negative Ions and Forest Type, and Site Factors at National Forests in Yangyang-gun. Korean Society of Environment and Ecology. 24(5): 539-546. [Korean Literature]
- Wang HJ. 2004. Effects of structure of urban forestry on aero-anion concentration. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition). 28(50): 96-98 ref.8.
- Yamada R, Yanoma S, Akaike M, Tsuburaya A, Sugimasa Y, Takemiya S, Imada T. 2006. Water-generated negative air ions activate NK cell and inhibit carcinogenesis in mice. Cancer Letters. 239(2): 190-197.
- Yan X, Wang H, Hou Z, Wang S, Zhang D, Xu Q, Tokola T. 2015. Spatial analysis of the ecological effects of negative air ions in urban vegetated areas: A case study in Maiji, China. Urban Forestry & Urban Greening. 14(3): 636-645.
- Yechon ecological society. 2005. Modern ecological experiment. Kyomunsa publishing. p.194-195. [Korean Literature]
- Yoon YH, Oh DK, Kim JH. 2012. An Analysis of Anions Distribution and Correlation by Biotope Types in Summer for Pleasant Urban Environment. Urban Design. 13(1): 51-62. [Korean Literature]
- Yoon YH, Joo CH, Park H, Kim JH. 2014. Comparative Analysis of Anion Concentration by the Type of Roadside Buffer Green. Journal of Environmental Science International. 23(7): 1339-1347. [Korean Literature]

Appendix. Major species of tree

| ID  | Species of tree                                   |   | GVZ<br>(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ) |
|-----|---|---|--|
|     | Evergreen coniferous tree                         | Deciduous broadleaf tree  |  |
| a01 | <i>Pinus koraiensis</i> , <i>Abies holophylla</i> | <i>Sophora japonica</i> , <i>Acer palmatum</i> Thunb.,<br><i>Acer pseudosieboldianum</i>  | 7.31                                     |
| a02 | <i>Pinus koraiensis</i>                           | <i>Acer palmatum</i> Thunb., <i>Ginkgo biloba</i> , <i>Aesculus turbinata</i>   | 7.43                                     |
| a03 | <i>Pinus koraiensis</i>                           | <i>Acer palmatum</i> Thunb., <i>Acer buergerianum</i> ,<br><i>Metasequoia glyptostroboides</i>  | 7.42                                     |
| a04 | –   | <i>Acer palmatum</i> Thunb., <i>Platanus</i> , <i>Ginkgo biloba</i> ,<br><i>Fraxinus rhynchophylla</i>  | 6.01                                     |
| a05 | <i>Abies holophylla</i>                           | <i>Acer palmatum</i> Thunb., <i>Ginkgo biloba</i> , <i>Sophora japonica</i>   | 7.05                                     |
| a06 | <i>Abies holophylla</i>                           | <i>Acer palmatum</i> Thunb., <i>Platanus</i>  | 7.33                                     |
| a07 | <i>Abies holophylla</i>                           | <i>Ginkgo biloba</i> , <i>Acer palmatum</i> Thunb., <i>Aesculus turbinata</i> ,<br><i>Magnolia kobus</i>  | 9.31                                     |
| a08 | <i>Pinus koraiensis</i>                           | <i>Taxodium distichum</i> , <i>Sophora japonica</i> , <i>Acer palmatum</i><br>Thunb., <i>Zelkova serrata</i>  | 9.06                                     |
| a09 | <i>Pinus koraiensis</i>                           | <i>Acer palmatum</i> Thunb., <i>Zelkova serrata</i> , <i>Prunus serrulata</i> var.<br><i>spontanea</i> , <i>Aesculus turbinata</i> , <i>Acer buergerianum</i>       | 9.01                                     |
| a10 | –   | <i>Zelkova serrata</i> , <i>Acer palmatum</i> Thunb., <i>Platanus</i>   | 8.03                                     |
| a11 | <i>Pinus koraiensis</i>                           | <i>Zelkova serrata</i> , <i>Acer palmatum</i> Thunb., <i>Aesculus turbinata</i>   | 7.90                                     |
| a12 | <i>Pinus koraiensis</i>                           | <i>Acer palmatum</i> Thunb., <i>Acer buergerianum</i>   | 8.10                                     |
| a13 | <i>Pinus koraiensis</i>                           | <i>Albizia julibrissin</i> Durazz., <i>Zelkova serrata</i> ,<br><i>Metasequoia glyptostroboides</i> , <i>Aesculus turbinata</i>                                     | 8.50                                     |
| a14 | <i>Pinus koraiensis</i>                           | <i>Zelkova serrata</i> , <i>Metasequoia glyptostroboides</i> ,<br><i>Acer palmatum</i> Thunb., <i>Aesculus turbinata</i>  | 7.62                                     |
| a15 | <i>Pinus koraiensis</i>                           | <i>Metasequoia glyptostroboides</i> , <i>Aesculus turbinata</i> , <i>Acer</i><br><i>buergerianum</i> , <i>Sophora japonica</i> , <i>Albizia julibrissin</i> Durazz. | 7.80                                     |
| a16 | <i>Pinus koraiensis</i> , <i>Pinus densiflora</i> | <i>Metasequoia glyptostroboides</i> , <i>Acer palmatum</i> Thunb.,<br><i>Albizia julibrissin</i> Durazz.  | 5.81                                     |
| a17 | <i>Pinus koraiensis</i>                           | <i>Aesculus turbinata</i> , <i>Acer palmatum</i> Thunb.   | 7.06                                     |
| a18 | <i>Pinus koraiensis</i>                           | <i>Lagerstroemia indica</i>   | 5.01                                     |
| a19 | <i>Pinus densiflora</i>                           | <i>Zelkova serrata</i> , <i>Metasequoia glyptostroboides</i> , <i>Acer</i><br><i>buergerianum</i> , <i>Magnolia kobus</i>   | 5.20                                     |
| b01 | <i>Pinus densiflora</i> , <i>Abies holophylla</i> | <i>Acer palmatum</i> Thunb., <i>Aesculus turbinata</i>  | 5.32                                     |
| b02 | –   | <i>Acer palmatum</i> Thunb., <i>Aesculus turbinata</i> , <i>Sophora japonica</i> ,<br><i>Betula platyphylla</i> var. <i>japonica</i>                                | 6.04                                     |
| b03 | –   | <i>Fraxinus rhynchophylla</i> , <i>Sophora japonica</i> , <i>Acer palmatum</i><br>Thunb., <i>Metasequoia glyptostroboides</i>                                       | 6.01                                     |
| b04 | <i>Pinus koraiensis</i>                           | <i>Fraxinus rhynchophylla</i> , <i>Aesculus turbinata</i>   | 3.02                                     |
| b05 | <i>Pinus koraiensis</i>                           | <i>Acer buergerianum</i>  | 1.56                                     |
| b06 | <i>Pinus koraiensis</i>                           | <i>Aesculus turbinata</i> , <i>Chaenomeles sinensis</i>   | 4.40                                     |
| b07 | <i>Pinus koraiensis</i>                           | <i>Platanus</i> , <i>Metasequoia glyptostroboides</i> , <i>Aesculus turbinata</i>   | 5.03                                     |
| b08 | <i>Chamaecyparis obtusa</i>                       | <i>Platanus</i> , <i>Taxodium distichum</i> , <i>Acer palmatum</i> Thunb.,<br><i>Betula platyphylla</i> var. <i>japonica</i>  | 6.80                                     |
| b09 | –   | <i>Zelkova serrata</i> , <i>Betula platyphylla</i> var. <i>japonica</i> ,<br><i>Taxodium distichum</i> , <i>Acer palmatum</i> Thunb.                                | 5.61                                     |
| b10 | <i>Pinus densiflora</i>                           | <i>Zelkova serrata</i> , <i>Aesculus turbinata</i>  | 5.04                                     |
| b11 | <i>Pinus densiflora</i>                           | <i>Zelkova serrata</i> , <i>Aesculus turbinata</i> , <i>Platanus</i>  | 5.08                                     |

## Appendix. Continued

| ID  | Species of tree  |  | GVZ<br>(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ) |
|-----|--|--|--|
|     | Evergreen coniferous tree  | Deciduous broadleaf tree   |  |
| b12 | <i>Abies holophylla</i> , <i>Pinus koraiensis</i> ,<br><i>Pinus strobus</i>              | <i>Zelkova serrata</i> , <i>Acer palmatum</i> Thunb.   | 4.32                                     |
| b13 | <i>Picea abies</i> , <i>Abies holophylla</i>   | <i>Sophora japonica</i> , <i>Acer palmatum</i> Thunb., <i>Zelkova serrata</i>  | 3.13                                     |
| b14 | <i>Abies holophylla</i>  | <i>Albizia julibrissin</i> Durazz., <i>Acer buergerianum</i> ,<br><i>Aesculus turbinata</i> , <i>Ginkgo biloba</i> , <i>Acer palmatum</i> Thunb.             | 8.13                                     |
| b15 | –  | <i>Aesculus turbinata</i> , <i>Acer buergerianum</i> , <i>Ginkgo biloba</i> ,<br><i>Sophora japonica</i>   | 8.02                                     |
| b16 | –  | <i>Sophora japonica</i>  | 1.01                                     |
| b17 | <i>Pinus koraiensis</i>  | <i>Acer buergerianum</i> , <i>Sophora japonica</i> ,<br><i>Metasequoia glyptostroboides</i>  | 3.02                                     |
| b18 | <i>Pinus koraiensis</i>  | <i>Aesculus turbinata</i> , <i>Metasequoia glyptostroboides</i> ,<br><i>Lagerstroemia indica</i>   | 2.98                                     |
| c01 | <i>Pinus koraiensis</i> , <i>Picea abies</i>   | <i>Acer palmatum</i> Thunb., <i>Sophora japonica</i> , <i>Acer buergerianum</i> ,<br><i>Ginkgo biloba</i> , <i>Aesculus turbinata</i>                        | 7.70                                     |
| c02 | <i>Pinus koraiensis</i>  | <i>Zelkova serrata</i> , <i>Sophora japonica</i> , <i>Aesculus turbinata</i>   | 8.03                                     |
| c03 | <i>Pinus koraiensis</i>  | <i>Zelkova serrata</i> , <i>Sophora japonica</i> , <i>Acer palmatum</i> Thunb.,<br><i>Aesculus turbinata</i>   | 8.60                                     |
| c04 | –  | <i>Sophora japonica</i> , <i>Aesculus turbinata</i> , <i>Fraxinus rhynchophylla</i> ,<br><i>Taxodium distichum</i> , <i>Ginkgo biloba</i>                    | 9.75                                     |
| c05 | <i>Pinus koraiensis</i>  | <i>Sophora japonica</i> , <i>Acer palmatum</i> Thunb., <i>Zelkova serrata</i> ,<br><i>Fraxinus rhynchophylla</i> , <i>Platanus</i>                           | 6.00                                     |
| c06 | <i>Pinus koraiensis</i> , <i>Platycladus orientalis</i> , <i>Abies<br/>holophylla</i>    | <i>Sophora japonica</i> , <i>Fraxinus rhynchophylla</i> , <i>Platanus</i> ,<br><i>Taxodium distichum</i> , <i>Prunus serrulata</i> var. <i>spontanea</i>     | 9.71                                     |
| c07 | <i>Pinus koraiensis</i>  | <i>Platanus</i> , <i>Acer buergerianum</i>   | 4.03                                     |
| c08 | <i>Platycladus orientalis</i> , <i>Pinus koraiensis</i> ,<br><i>Chamaecyparis obtusa</i> | <i>Acer buergerianum</i> , <i>Taxodium distichum</i>   | 3.11                                     |
| c09 | <i>Pinus densiflora</i>  | <i>Diospyros kaki</i> , <i>Ginkgo biloba</i> , <i>Prunus armeniaca</i> , <i>Sophora<br/>japonica</i> , <i>Acer palmatum</i> Thunb., <i>Acer buergerianum</i> | 5.11                                     |
| c10 | <i>Platycladus orientalis</i> , <i>Pinus densiflora</i>                                  | <i>Diospyros kaki</i> , <i>Ginkgo biloba</i> , <i>Acer buergerianum</i>  | 4.03                                     |
| c11 | <i>Pinus densiflora</i> , <i>Pinus koraiensis</i>  | <i>Zelkova serrata</i> , <i>Ginkgo biloba</i> , <i>Acer buergerianum</i>   | 3.15                                     |
| c12 | <i>Pinus densiflora</i> , <i>Pinus koraiensis</i>  | <i>Ginkgo biloba</i> , <i>Chaenomeles sinensis</i> , <i>Acer buergerianum</i>  | 3.23                                     |
| c13 | <i>Abies holophylla</i> , <i>Pinus strobus</i>   | <i>Ginkgo biloba</i> , <i>Acer palmatum</i> Thunb., <i>Prunus serrulata</i> var.<br><i>spontanea</i> , <i>Prunus armeniaca</i> , <i>Taxodium distichum</i>   | 4.15                                     |
| c14 | <i>Pinus koraiensis</i>  | <i>Ginkgo biloba</i> , <i>Acer palmatum</i> Thunb., <i>Sophora japonica</i> ,<br><i>Taxodium distichum</i>   | 8.50                                     |
| c15 | <i>Pinus koraiensis</i>  | <i>Aesculus turbinata</i> , <i>Acer buergerianum</i> , <i>Sophora japonica</i> ,<br><i>Zelkova serrata</i>   | 8.41                                     |
| c16 | –  | <i>Zelkova serrata</i> , <i>Acer palmatum</i> Thunb., <i>Sophora japonica</i> ,<br><i>Acer buergerianum</i>  | 7.47                                     |
| d01 | <i>Pinus koraiensis</i> , <i>Picea abies</i> , <i>Chamaecyparis<br/>obtusa</i>           | <i>Metasequoia glyptostroboides</i> , <i>Acer palmatum</i> Thunb.,<br><i>Ginkgo biloba</i>   | 9.85                                     |
| d02 | <i>Pinus koraiensis</i> , <i>Picea abies</i>   | <i>Zelkova serrata</i> , <i>Aesculus turbinata</i> , <i>Acer palmatum</i> Thunb.,<br><i>Betula platyphylla</i> var. <i>japonica</i>                          | 9.06                                     |
| d03 | <i>Pinus koraiensis</i>  | <i>Zelkova serrata</i> , <i>Sophora japonica</i> , <i>Acer buergerianum</i>  | 8.60                                     |
| d04 | <i>Pinus koraiensis</i>  | <i>Zelkova serrata</i> , <i>Sophora japonica</i> , <i>Acer buergerianum</i> ,<br><i>Acer palmatum</i> Thunb., <i>Ginkgo biloba</i>                           | 8.88                                     |
| d05 | <i>Pinus densiflora</i>  | <i>Zelkova serrata</i> , <i>Prunus armeniaca</i>   | 2.40                                     |

Appendix. Continued

| ID  | Species of tree  |   | GVZ<br>(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ) |
|-----|--|---|--|
|     | Evergreen coniferous tree  | Deciduous broadleaf tree  |  |
| d06 | <i>Abies holophylla</i>  | <i>Zelkova serrata</i> , <i>Acer palmatum</i> Thunb., <i>Taxodium distichum</i> ,<br><i>Malus prunifolia</i> (Willd.) Bokth.  | 5.05                                     |
| d07 | <i>Abies holophylla</i>  | <i>Taxodium distichum</i> , <i>Platanus</i>   | 6.17                                     |
| d08 | <i>Pinus koraiensis</i>  | <i>Taxodium distichum</i> , <i>Aesculus turbinata</i> , <i>Zelkova serrata</i>  | 4.03                                     |
| d09 | <i>Platyclusus orientalis</i> , <i>Pinus koraiensis</i> ,<br><i>Abies holophylla</i>                     | <i>Ginkgo biloba</i> , <i>Acer palmatum</i> Thunb., <i>Diospyros kaki</i>   | 6.30                                     |
| d10 | <i>Platyclusus orientalis</i> , <i>Picea abies</i> ,<br><i>Taxus cuspidata</i> , <i>Pinus densiflora</i> | <i>Ginkgo biloba</i> , <i>Acer buergerianum</i>   | 4.02                                     |
| d11 | <i>Pinus strobus</i> , <i>Platyclusus orientalis</i> ,<br><i>Chamaecyparis obtusa</i>                    | <i>Zelkova serrata</i> , <i>Acer buergerianum</i> , <i>Aesculus turbinata</i> ,<br><i>Betula platyphylla</i> var: <i>japonica</i> , <i>Prunus armeniaca</i> ,<br><i>Ginkgo biloba</i> , <i>Acer palmatum</i> Thunb. | 2.21                                     |
| d12 | <i>Pinus densiflora</i> , <i>Pinus strobus</i> ,<br><i>Platyclusus orientalis</i>                        | <i>Ginkgo biloba</i> , <i>Acer palmatum</i> Thunb., <i>Aesculus turbinata</i> ,<br><i>Hibiscus syriacus</i> ( <i>Althaea frutex</i> )   | 2.69                                     |
| d13 | <i>Pinus koraiensis</i>  | <i>Metasequoia glyptostroboides</i> , <i>Acer palmatum</i> Thunb.,<br><i>Taxodium distichum</i> , <i>Platanus</i>   | 7.63                                     |
| d14 | <i>Pinus koraiensis</i>  | <i>Acer buergerianum</i> , <i>Sophora japonica</i>  | 6.17                                     |
| d15 | –  | <i>Acer buergerianum</i> , <i>Metasequoia glyptostroboides</i> ,<br><i>Sophora japonica</i>   | 4.33                                     |
| e01 | <i>Pinus densiflora</i> , <i>Pinus koraiensis</i>  | <i>Zelkova serrata</i> , <i>Sophora japonica</i> , <i>Ginkgo biloba</i> ,<br><i>Taxodium distichum</i> , <i>Aesculus turbinata</i> , <i>Acer buergerianum</i>   | 9.76                                     |
| e02 | <i>Pinus koraiensis</i>  | <i>Zelkova serrata</i> , <i>Acer palmatum</i> Thunb.  | 7.43                                     |
| e03 | <i>Pinus koraiensis</i>  | <i>Zelkova serrata</i> , <i>Fraxinus rhynchophylla</i> , <i>Platanus</i> ,<br><i>Aesculus turbinata</i>   | 8.81                                     |
| e04 | <i>Pinus koraiensis</i>  | <i>Prunus serrulata</i> var: <i>spontanea</i> , <i>Acer palmatum</i> Thunb.   | 8.80                                     |
| e05 | <i>Pinus koraiensis</i>  | <i>Zelkova serrata</i> , <i>Acer palmatum</i> Thunb., <i>Taxodium distichum</i>   | 8.71                                     |
| e06 | <i>Pinus koraiensis</i>  | <i>Platanus</i> , <i>Zelkova serrata</i>  | 8.18                                     |
| e07 | <i>Pinus koraiensis</i>  | <i>Platanus</i> , <i>Zelkova serrata</i>  | 6.42                                     |
| e08 | <i>Pinus koraiensis</i> , <i>Abies holophylla</i>  | <i>Platanus</i> , <i>Acer palmatum</i> Thunb., <i>Zelkova serrata</i>   | 6.03                                     |
| e09 | <i>Pinus koraiensis</i>  | <i>Ginkgo biloba</i> , <i>Malus prunifolia</i> (Willd.) Bokth. , <i>Acer</i><br><i>palmatum</i> Thunb., <i>Syringa dilatata</i>   | 2.71                                     |
| e10 | –  | <i>Zelkova serrata</i> , <i>Platanus</i> , <i>Aesculus turbinata</i> ,<br><i>Acer palmatum</i> Thunb.   | 7.90                                     |
| e11 | –  | <i>Zelkova serrata</i> , <i>Acer buergerianum</i> , <i>Ginkgo biloba</i> , <i>Platanus</i>  | 7.35                                     |
| e12 | –  | <i>Acer buergerianum</i> , <i>Prunus serrulata</i> var: <i>spontanea</i> ,<br><i>Acer palmatum</i> Thunb., <i>Ginkgo biloba</i> , <i>Cornus officinalis</i>   | 3.03                                     |
| e13 | <i>Pinus koraiensis</i>  | <i>Metasequoia glyptostroboides</i> , <i>Sophora japonica</i> ,<br><i>Acer buergerianum</i>   | 7.71                                     |
| f01 | <i>Pinus koraiensis</i>  | <i>Acer buergerianum</i> , <i>Zelkova serrata</i> , <i>Platanus</i>   | 6.63                                     |
| f02 | <i>Pinus densiflora</i>  | <i>Acer palmatum</i> Thunb., <i>Sophora japonica</i> , <i>Zelkova serrata</i>   | 5.79                                     |
| f03 | <i>Pinus koraiensis</i> , <i>Picea abies</i>   | <i>Zelkova serrata</i> , <i>Sophora japonica</i> , <i>Cornus officinalis</i> ,<br><i>Platanus</i>   | 8.36                                     |
| f04 | <i>Pinus koraiensis</i>  | <i>Acer buergerianum</i> , <i>Ginkgo biloba</i> , <i>Cornus officinalis</i> ,<br><i>Zelkova serrata</i> , <i>Sophora japonica</i> , <i>Chaenomeles sinensis</i>   | 8.24                                     |
| f05 | <i>Pinus koraiensis</i> , <i>Abies holophylla</i>  | <i>Zelkova serrata</i> , <i>Chaenomeles sinensis</i> , <i>Acer palmatum</i> Thunb.  | 8.19                                     |
| f06 | <i>Pinus koraiensis</i>  | <i>Zelkova serrata</i> , <i>Sophora japonica</i> , <i>Platanus</i> ,<br><i>Acer palmatum</i> Thunb., <i>Acer buergerianum</i>   | 7.99                                     |

Appendix. Continued

| ID  | Species of tree  |   | GVZ<br>(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ) |
|-----|--|---|--|
|     | Evergreen coniferous tree                                  | Deciduous broadleaf tree  |  |
| f07 | <i>Pinus koraiensis</i>                                    | <i>Acer buergerianum</i> , <i>Ginkgo biloba</i> , <i>Zelkova serrata</i>  | 7.60                                     |
| f08 | <i>Abies holophylla</i>                                    | <i>Acer palmatum</i> Thunb., <i>Sophora japonica</i> , <i>Platanus</i> ,<br><i>Aesculus turbinata</i>                               | 7.71                                     |
| f09 | –  | <i>Zelkova serrata</i> , <i>Aesculus turbinata</i> , <i>Acer palmatum</i> Thunb.,<br><i>Cercis chinensis</i>                        | 6.40                                     |
| f10 | –  | <i>Zelkova serrata</i> , <i>Syringa dilatata</i> , <i>Platanus</i> ,<br><i>Acer palmatum</i> Thunb.                                 | 6.38                                     |
| f11 | –  | <i>Sophora japonica</i> , <i>Cornus officinalis</i> , <i>Acer buergerianum</i>  | 3.84                                     |
| g02 | –  | <i>Sophora japonica</i> , <i>Acer palmatum</i> Thunb.   | 3.12                                     |
| g03 | <i>Pinus koraiensis</i> , <i>Abies holophylla</i>          | <i>Zelkova serrata</i> , <i>Sophora japonica</i> , <i>Ginkgo biloba</i> ,<br><i>Acer palmatum</i> Thunb., <i>Platanus</i>           | 7.79                                     |
| g04 | –  | <i>Sophora japonica</i> , <i>Metasequoia glyptostroboides</i> ,<br><i>Chaenomeles sinensis</i>                                      | 6.49                                     |
| g05 | <i>Pinus koraiensis</i>                                    | <i>Zelkova serrata</i> , <i>Taxodium distichum</i>  | 8.16                                     |
| g06 | –  | <i>Zelkova serrata</i> , <i>Acer palmatum</i> Thunb., <i>Aesculus turbinata</i> ,<br><i>Platanus</i> , <i>Ginkgo biloba</i>         | 9.38                                     |
| g07 | –  | <i>Acer palmatum</i> Thunb., <i>Ginkgo biloba</i> , <i>Platanus</i>   | 8.03                                     |
| g08 | <i>Pinus koraiensis</i> , <i>Abies holophylla</i>          | <i>Zelkova serrata</i> , <i>Platanus</i> , <i>Acer palmatum</i> Thunb.,<br><i>Acer buergerianum</i>                                 | 7.47                                     |
| g09 | <i>Pinus koraiensis</i>                                    | <i>Zelkova serrata</i> , <i>Ginkgo biloba</i> , <i>Sophora japonica</i> ,<br><i>Aesculus turbinata</i>                              | 7.23                                     |
| g10 | –  | <i>Zelkova serrata</i> , <i>Sophora japonica</i> , <i>Platanus</i> ,<br><i>Acer palmatum</i> Thunb.                                 | 3.45                                     |
| h02 | <i>Pinus koraiensis</i>                                    | –   | 1.02                                     |
| h03 | –  | <i>Zelkova serrata</i> , <i>Sophora japonica</i> , <i>Acer palmatum</i> Thunb.  | 5.25                                     |
| h04 | <i>Pinus koraiensis</i>                                    | <i>Zelkova serrata</i> , <i>Aesculus turbinata</i> , <i>Acer palmatum</i> Thunb.,<br><i>Ginkgo biloba</i> , <i>Cercis chinensis</i> | 8.36                                     |
| h05 | <i>Pinus koraiensis</i>                                    | <i>Ginkgo biloba</i> , <i>Acer palmatum</i> Thunb.,<br><i>Aesculus turbinata</i> , <i>Platanus</i>                                  | 6.04                                     |
| h06 | –  | <i>Zelkova serrata</i> , <i>Acer palmatum</i> Thunb.,<br><i>Aesculus turbinata</i> , <i>Platanus</i>                                | 6.72                                     |
| h07 | <i>Juniperus chinensis</i>                                 | <i>Aesculus turbinata</i> , <i>Sophora japonica</i>   | 3.03                                     |
| h08 | <i>Pinus koraiensis</i>                                    | <i>Sophora japonica</i> , <i>Aesculus turbinata</i> , <i>Zelkova serrata</i> ,<br><i>Acer buergerianum</i>                          | 7.03                                     |
| i03 | <i>Chamaecyparis obtusa</i> , <i>Pinus koraiensis</i>      | –   | 5.51                                     |
| i04 | <i>Pinus koraiensis</i> , <i>Pinus strobus</i>             | <i>Sophora japonica</i> , <i>Ginkgo biloba</i> , <i>Zelkova serrata</i> , <i>Platanus</i>   | 5.50                                     |
| i05 | –  | <i>Platanus</i>   | 1.65                                     |
| i06 | <i>Platyclusus orientalis</i> , <i>Juniperus chinensis</i> | <i>Sophora japonica</i> , <i>Platanus</i>   | 5.79                                     |