

# 서울 도심 가로수 및 가로녹지의 기온 저감 효과와 기능 향상 연구†

정희은\* · 한봉호\*\* · kwakjeongin\*\*\*

\*서울시립대학교 대학원 조경학과 · \*\*서울시립대학교 조경학과 · \*\*\* (재)환경생태연구재단

## A Study on Air Temperature Reduction Effect and the Functional Improvement of Street Green Areas in Seoul, Korea

Jung, Hee-Eun\* · Han, Bong-Ho\*\* · Kwak, Jeong-In\*\*\*

\*Dept. of Landscape Architecture, Graduate School, University of Seoul

\*\*Dept. of Landscape Architecture, University of Seoul

\*\*\*Environment Ecosystem Research Foundation

### ABSTRACT

The goal of this research is to examine air temperature changes according to tree type, plantation type, roadside green area structure, and green volume of street green area within a city. The plantation type that could be analyzed for comparison by tree type with over 3 species was 1 rows of tree+shrubs. The results of analysis of average air temperature difference between pedestrian and car streets vis-a-vis 1 row of tree+shrub in high air temperature areas were: *Pinus densiflora*, 1.35°C; *Zelkova serrata*, 1.84°C; *Ginkgo biloba*, 2.00°C; *Platanus occidentalis*, 2.57°C. This standard large wide canopy species was analyzed by the roadside to provide shade to have a significant impact on air temperature reduction. In terms of analysis of the relationship between plantation type of roadside trees and air temperature, the average air temperature difference for 1 row of tree type was 1.80°C; for 2 rows of trees it was 2.15°C. In terms of analysis of the relationship between the roadside green area structure and air temperature, for tree type, average air temperature 1.94°C: for tree+shrub type, average air temperature 2.49°C; for tree+mid-size tree+shrub type, average air temperature 2.57°C. That is, air temperature reduction was more effective in a multi-layer structure than a single layer structure. In the relationship analysis of green volume and air temperature reduction, the air temperature reduction effect was enlarged as there was a large amount of green volume. There was a relationship with the green volume of the road, the size of the tree and number of tree layers and a multi-layer structured form of planting. The canopy volume was large and there were a great number of rows of the tree layer and the plantation type of multi-layer structure, which is what is meant through a relationship with the green volume along the roadside. Green composition standards for air temperature reduction effects and functional improvement were proposed based on the result. For a pedestrian street width of 3m or less in the field being ideal, deciduous broadleaf trees in which the canopy volume is small and the structure of the tree+shrub type through the greatest 1m green bend were proposed. For a pedestrian street width of over 3m, deciduous broadleaf trees in which the canopy volume is large and is multi-layer planted with green bend over 1m, tree+mid-size tree+shrub type was proposed.

†: 이 논문은 2013년도 산림청 산림과학기술개발사업 기획연구과제 ‘도로 및 환경유형별 가로수 조성·관리 모델 개발’ 과제에 의해 수행되었음.

**Corresponding author:** Hee-Eun Jung, Dept. of Landscape Architecture, Graduate School, University of Seoul, Seoul 130-743, Korea, Tel.: +82-2-6490-5521, E-mail: sonamu1988@uos.ac.kr

*Key Words: Urban Green, Thermal Island Effect, Plantation Type, Roadside Green Structure, Green Volume*

## 국문초록

본 연구는 도시 내 가로수 및 가로녹지의 수종, 식재유형, 가로녹지 구조, 녹량(녹지용적)에 따른 기온 변화량을 규명하고자 하였다. 수종별 비교 가능한 3종 이상의 가로수가 식재된 유형은 교목 1열+관목이었으며, 보차간 기온차이 평균값 간 분석에서 소나무 1.35℃, 느티나무 1.84℃, 은행나무 2.00℃, 양버즘나무 2.57℃이었다. 규격이 크고 수관폭이 넓은 수종은 가로변에 그늘을 제공하여 기온 저감에 상당한 영향을 주는 것으로 분석되었다. 가로수 식재유형과 기온과의 관계 분석결과는 교목 1열 유형은 평균기온 차이 1.80℃, 교목 2열 유형은 평균기온 차이 2.15℃로 교목 열수 증가에 따라 보차간 기온차이 평균값이 큰 것을 알 수 있었다. 가로녹지 구조별 기온 저감 효과 분석결과는 교목 유형 1.94℃, 교목+관목 유형 2.49℃, 교목+아교목+관목 유형 2.57℃이었으며, 기온저감은 단층구조보다 다층구조에서 효과적이었다. 녹량(녹지용적량)과 기온저감량의 관계 분석에서는 녹량이 많을수록 기온저감 효과가 커지는 것으로 분석되었다. 연구 결과 수관용적이 크고 교목층의 열수가 많으며, 다층구조인 식재형태는 가로 내 녹량과 관계가 있음을 의미하였다. 본 결과를 바탕으로 기온 저감 효과와 기능 강화를 위한 가로녹지 조성 기준을 제안하였다. 보도폭 3m 이하인 경우에는 수관용적이 작은 낙엽활엽수와 최대 1m의 띠녹지 조성을 통한 교목+관목의 구조를 제시하였다. 보도폭 3m 이상인 경우에는 수관용적이 큰 낙엽활엽수 다열 식재 및 1m 이상의 띠녹지 조성, 교목과 관목뿐만 아니라, 아교목 성상의 수목 식재를 통한 다층구조 녹지조성이 가능할 것으로 판단되었다.

*주제어: 도시 녹지, 열섬현상, 식재유형, 가로녹지 구조, 녹지용적*

## 1. 서론

1970년대부터 지속된 산업화는 도시 개발에 의한 토지이용 변화와 인구 증가를 가속시켰다. 그 중에서도 개발이 쉬운 녹지 지역이 토지이용 변화의 주된 대상지가 되었으며, 이로 인하여 생물은 서식기반을 잃어버렸고, 인간의 생활환경은 악화되었다. 도심지역의 무분별한 개발과 인구증가에 따른 자동차 증가는 극심한 대기오염과 도심 내부의 온도가 상승하는 열섬현상, 시민들이 쉴 수 있는 그늘 부족, 생물서식처 감소 등 많은 문제들을 발생시켰다. 이 중 열섬현상은 도시의 중심이 주변지역에 비해 온도가 높게 나타나는 것으로서, 원인은 에너지 사용량 증가, 건축물 연면적 증가, 녹지량 감소, 인구수 증가(Do *et al.*, 2007; Suh *et al.*, 2009; Han *et al.*, 2010) 등으로 제기되었다.

도심 내 녹지의 필요성은 다양한 환경문제 발생으로 인하여 부각되고 있으나, 지가 상승으로 인한 토지매입, 토지수급 문제 등으로 면적녹지 확보가 어렵게 되었고, 최근 침체된 재건축 및 개발 사업 등으로 면적 녹지 확충이 더욱 어려운 실정이다(Han *et al.*, 2014). 따라서 이미 고밀도로 개발된 대도시에서는 토지매입에 불필요한 대표적 공공공간인 가로공간을 대상으로 한 가로수 및 가로녹지 조성은 녹지를 확충할 수 있는 효과적인 수단이라 할 수 있다.

가로수는 「도로법」 제11조에 따른 도로(고속국도를 제외한 다)와 보행자전용도로 및 자전거전용도로 등 대통령령으로 정

하는 도로의 도로구역 안 또는 그 주변지역에 심는 수목을 말하며(Han *et al.*, 2014), 가로녹지는 도시 내 보도에 식재된 교목성상의 가로수와 보도 내 띠형태로 조성되어 관목과 초화류가 식재된 녹지(Lee *et al.*, 2011)라고 정의하고 있다. 도심 내 가로수 및 가로녹지가 갖는 기능을 살펴보면 기온 조절 효과, 대기오염 정화, 소음 조절, 재해의 완충효과, 생물서식공간, 아름다운 도시경관 창출 등 다양한 기능을 갖고 있다(Park and Kim, 2000; Kim and Kim, 2002). 특히 도시화에 의한 대표적 문제인 도시열섬현상 완화 기능을 하고 있다.

가로수 관련 연구는 1990년대 초기 가로수의 중요성과 식재 체계 수립, 부족한 녹지 확보 방안(Park and Kim, 2000) 등의 연구가 주를 이루었다. 특히 가로수가 갖는 기능과 중요성을 제시(Jo and Ahn, 1999)하는 연구는 도시화와 산업화를 겪으면서 박차를 가하게 되었다. 가로수 기능을 규명하는 연구는 나무 한그루가 저장하는 산소발생량, 탄소저장량, 토양 내 중금속 함량, 차량 배기가스 등에 대한 연구(Park and Kang, 2010)가 주를 이루었다. 그러나 도시열섬화 저감효과와 관련된 연구는 도시 피복유형과 온도와의 상관분석에 관한 효과 검증 및 예측 연구(Kim, 2012; Kang, 2014)가 대부분이었다.

가로수와 가로녹지는 시민이 일상적으로 접하는 생활과 밀접한 녹지이나 가로수와 가로녹지가 갖는 여러 기능 중 도시열섬 완화 및 보행쾌적성에 영향을 미치는 기온저감 효과에 관한 정량적인 연구는 미흡하였다. 또한 기온저감 기능을 적절히 수

행할 수 있는 가로수 및 가로녹지 조성 기준이 체계적으로 제시되지 못하였다. 따라서 본 연구는 가로수 및 가로녹지의 다양한 조성 유형에 따른 기온저감 효과를 분석하고, 이를 바탕으로 기온저감 기능을 강화할 수 있는 체계적인 조성 기준을 제시하고자 수행하였다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구대상지

연구대상지는 토지이용과 지표면온도 2가지 항목을 기준으로 선정하였다. 1985~1994년 서울은 농경지에서 도시 지역으로 4.9%, 산림에서 도시 지역으로 13.8%의 토지이용 변화가 발생하였다. 산림에서 도시 지역으로의 토지이용 변화는 도봉구, 노원구 등에서 많았으며, 농경지에서 도시지역으로의 토지이용 변화는 강남구, 송파구, 서초구, 강서구 등에서 많았다(Cho, 1995). Landsat ETM+ 인공위성 영상의 지표면온도 분포는 1985년 상업업무기능지역과 공장밀집지역인 영등포구 및 구로구, 송파구, 서초구, 관악구에서 준고온역 및 고온역으로 나타났다(Cho, 1995). 전체적으로 높은 온도 분포대를 형성하고 있는 지역은 중구, 영등포구, 동대문구, 구로구, 용산구 등이었다(Lee and Jo, 2004).

조사구는 과거 개발에 따른 토지이용 변화율이 높고, 열섬현상으로 인하여 지표면온도가 고온역인 대표 가로(세종대로, 우정국로, 무교로, 여의대방로, 경인로, 당산로, 남부순환로, 삼성로, 테헤란로, 양재대로, 영동대로, 강동대로, 올림픽로) 13개 노선을 선정하여 31개소를 조사하였다(Figure 1 참조).

### 2. 조사분석방법

#### 1) 가로수 및 가로녹지 구조

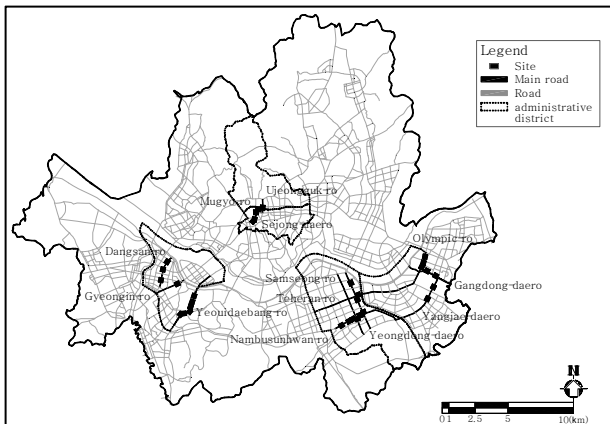


Figure 1. Site location map

가로 현황 조사는 토지이용과 지표면온도에 의해 추출된 차기 내 해당노선을 걸으며, 보도폭, 녹지폭, 왕복차선수, 주변 토지이용을 조사하였다. 조사 당시 가로 면적은 길이 20~40m, 폭은 현장 여건에 따라서 다르게 측정되었다. 도면에 조사구 위치를 표시하고, Autodesk 2004 프로그램을 활용하여 조사구 위치도를 작성하였다.

가로수 식재 현황에서는 조사구 내 전체 교목, 아교목, 관목의 수종, 수고, 지하고, 수관폭, 흉고직경의 규격과 개체수를 조사하였다. 식재유형은 교목 1열, 교목 2열, 교목 1열+관목, 교목 2열+관목, 교목 3열+관목, 교목 1열+아교목+관목, 교목 3열+아교목+관목으로 구분하였으며, 가로녹지 구조는 단층구조(교목), 복층구조(교목+관목), 다층구조(교목+아교목+관목)로 구분하여 조사하였다.

녹량은 녹피율, 녹지용적계수, 수관용적을 분석하였다. 녹피율은 녹의 2차원적인 면적을 나타내는 지표이며, 이는 조사구 내 수목의 중, 수고, 지하고, 흉고직경, 수관폭, 개체수를 기준으로 하였으며, 띠녹지 내 잔디피복율은 고려하지 않았다. 녹지용적계수(GVZ: Grünvolumenzahl)는 녹의 3차원적 용적을 나타내는 지표로서, 단위면적당 수관용적의 합계를 나타낸 것이며, 녹지의 용적에 따라 온도값에 미치는 영향을 파악하고자 녹지의 풍부함을 정량적 자료로 산출하는 녹지용적계수를 분석하였다. 수관용적은 수관폭, 수고, 지하고 측정값과 수목의 형태(원추형, 종란형, 횡란형, 원통형)에 따른 체적 계산공식을 적용하여 용적을 계산하였다.

#### 2) 기온 측정

측정 시기는 고온시간대 기온저감 효과가 높다는 기존 연구(Kim, 2012) 결과를 바탕으로 연중 가장 고온인 시기를 선정하였다. 기상청에서 관리하는 서울시 자동기상관측장비(AWS)의 2009~2013년 자료를 비교한 결과, 8월의 온도가 가장 높았으며, 점차 증가한 것으로 나타났다. 조사는 기존 연구결과를 토대로 하여 2013년 8월 4일로 선정하였다.

조사구별 기온은 TES-1341 계측기(제조사: TES)를 사용하여 지상 1.5m에서 측정하였다. 하루 중 온도가 높은 시기인 12시부터 16시까지 측정하였으며, 조사구별 보도와 차도에서 각각 10회씩 수치를 수집하였다. 조사구 내의 기온 측정을 통해 수종, 식재구조, 식재유형, 녹량이 보도와 차도의 기온차이 평균값에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

#### 3) 가로수 및 가로녹지와 기온 간 관계 분석

가로수 및 가로녹지와 기온 간 관계를 분석하기 위하여 SPSS 17.0 프로그램을 사용하였다. 상관관계 분석 전 보도와 차도에서 측정된 기온이 상호간 평균 차이가 있는가를 검증하기 위하여 조사구 총 31개소에 대해 독립표본 T 검정(Park et al.,

2009)을 실시하였다. 조사구의 주변 환경차이를 고려하기 위해 차도에서 실측된 값으로 평균차이 검정을 할 수 있는 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)(Park *et al.*, 2009)을 사용하였다. 유사한 기온경향을 보이는 대상지를 2개 그룹(Group 1, Group 2)으로 분류하여 수종, 식재유형, 가로녹지 구조, 녹량을 분석하였다.

가로수 수종과 보차간 기온차이 평균값과의 관계를 분석하기 위해 느티나무, 양버즘나무, 소나무, 은행나무 수종 유형을 명목변수, 보차간 기온차이 평균값은 종속변수로 선정하였다. 고온시간대와 고온역에서 기온저감 효과가 높다는 기존 연구 결과(Han *et al.*, 2010)를 토대로 차도측 상대적 고온역(Group 2)만으로 분석을 하였으며, 정밀한 연구 결과를 얻기 위하여 동일한 식재유형 내에서 일원배치분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였다. 또한 동일한 식재유형끼리 구분한 결과, 명목변수(수종)가 3개 이상 나오는 것은 Group 2의 교목 1열+관목 유형 밖에 없었기 때문에 교목 1열+관목 유형만 분석하였다.

가로수 식재유형과 보차간 기온차이 평균값과의 관계 분석은 교목 1열, 교목 1열+관목, 교목 1열+아교목+관목, 교목 2열, 교목 2열+관목, 교목 3열+관목, 교목 3열+아교목+관목의 식재유형을 명목변수, 보차간 기온차이 평균값은 종속변수로 하여 일원배치분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였다. 가로녹지 구조와 보차간 기온차이 평균값과의 관계 분석은 교목, 교목+관목, 교목+아교목+관목의 녹지구조 유형을 명목변수, 보차간 기온차이 평균값을 종속변수로 하여 일원배치분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였다. 녹량(녹지용적)과 보차간 기온차이 평균값과의 관계를 분석은 두 변수 간의 상관관계에 대한 유무 검정을 실시하는 분석 방법인 피어슨의 단순 상관계수(Pearson's simple correlation coefficient) 분석을 실시하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 가로수 및 가로녹지 현황

##### 1) 노선별 가로 현황

대표 가로노선은 경인로, 당산로, 여의대방로, 무교로, 우정국로, 세종대로, 강동대로, 올림픽로, 양재대로, 남부순환로, 영동대로, 테헤란로, 삼성로 총 13개이었으며, 영등포구, 종로구, 중구, 송파구, 강남구 총 5개 지역에 속하였다. 주요 가로수종은 양버즘나무, 은행나무, 느티나무이었다.

가로노선별 길이는 경인로 2.7km, 당산로 2.5km, 여의대방로 5.7km, 무교로 0.1km, 우정국로 0.7km, 세종대로 1.5km, 강동대로 4.5km, 올림픽로 6.5km, 양재대로 4.6km, 남부순환로 5.9km, 영동대로 5.7km, 테헤란로 3.9km, 삼성로 5.1km이었다. 왕복차선수가 가장 넓은 곳은 강남구 영동대로(14차선)이었으

Table 1. Status of street green area by type

Road Names	Local government	Tree type	Length (km)	Car lanes
Gyeongin-ro	Yeongdeungpo-gu	<i>Platanus occidentalis</i>	2.7	7~8
Dangsan-ro		<i>Platanus occidentalis</i> <i>Zelkova serrata</i>	2.5	4~10
Yeouidaebang-ro		<i>Zelkova serrata</i> <i>Ginkgo biloba</i> <i>Platanus occidentalis</i>	5.7	6~10
Mugyo-ro	Jongno-gu	<i>Ginkgo biloba</i>	0.1	2
Ujeongguk-ro		<i>Zelkova serrata</i>	0.7	6~9
Sejong-daero	Jung-gu	<i>Ginkgo biloba</i>	1.5	10~12
Gangdong-daero	Songpa-gu	<i>Ginkgo biloba</i> <i>Platanus occidentalis</i>	4.5	10~11
Olympic-ro		<i>Ginkgo biloba</i> <i>Platanus occidentalis</i>	6.5	7~9
Yangjae-daero		<i>Platanus occidentalis</i> <i>Ginkgo biloba</i>	4.6	10~11
Nambusunhwan-ro	Gangnam-gu	<i>Platanus occidentalis</i>	5.9	8~10
Yeongdong-daero		<i>Platanus occidentalis</i> <i>Zelkova serrata</i>	5.7	10~14
Teheran-ro		<i>Platanus occidentalis</i>	3.9	8~12
Samseong-ro		<i>Platanus occidentalis</i>	5.1	6~8

며, 가장 좁은 곳은 종로구 무교로(2차선)이었다(Table 1 참조).

#### 2) 조사구별 가로녹지 구조 현황

##### (1) 가로녹지 구조 유형화

식재유형은 띠녹지 조성 유무 및 띠녹지 내 식재구조에 따라 교목 1열, 교목 1열+관목, 교목 1열+아교목+관목, 교목 2열, 교목 2열+관목, 교목 3열+관목, 교목 3열+아교목+관목 총 7개 유형으로 구분되었다.

교목 1열 유형은 여의대방로-1, 여의대방로-2, 여의대방로-3, 여의대방로-5로 모두 영등포구이었다. 교목 1열+관목 유형은 9개 조사구이었으며, 영등포구, 중구, 강남구, 송파구 4개 지역이었다. 여의대방로-4는 영등포구이었으며, 세종대로-2는 중구이었다. 남부순환로-1, 남부순환로-2, 남부순환로-3, 남부순환로-4, 남부순환로-5, 삼성로-1은 강남구, 올림픽로-2는 송파구이었다. 교목 1열+아교목+관목 유형은 4개 조사구이었으며, 영등포구, 강남구 2개 지역이었다. 당산로-1, 당산로-2, 당산로

-3은 영등포구이었으며, 영등대로-2는 강남구이었다.

교목 2열 유형은 4개 조사구이었으며, 영등포구, 종로구, 중구 3개 지역이었다. 경인로-1은 영등포구이었으며, 무교로-1, 우정국로-1은 종로구, 세종대로-1는 중구이었다. 교목 2열+관목 유형은 7개 조사구이었으며, 영등포구, 강남구, 송파구 3개 지역이었다. 여의대방로-6은 영등포구이었으며, 테헤란로-1은 강남구, 양재대로-1, 양재대로-2, 강동대로-1, 강동대로-2, 올림픽로-3은 송파구이었다.

교목 3열+관목 유형은 2개 조사구이었으며, 강남구, 송파구 2개 지역이었다. 영등대로-2는 강남구, 올림픽로-1은 송파구이었다. 교목 3열+아교목+관목 유형은 영등대로-3 강남구 1개 지역이었다. 전반적으로 송파구와 강남구 지역은 보도 및 가로폭이 넓어 교목 열수가 많았고, 층위구조를 이루는 곳이 많았으며, 종로구, 중구, 영등포구는 보도 및 가로폭이 좁아 단층구조가 많았다(Table 2 참조).

## (2) 유형별 가로녹지 세부 현황

유형 1인 교목 1열 조사구는 영등포구 여의대방로이었고, 가로수 수종은 양버즘나무, 느티나무이었다. 총 4개 조사구 중 여의대방로-3이 녹피율 94.20%, 녹지용적계수  $25.33\text{m}^3/\text{m}^2$ 로 가장 높았다. 여의대방로-1과 여의대방로-2의 녹피율은 각각 45.02%, 48.41%로 여의대방로-2가 높았지만, 녹지용적계수는 여의대방로-1( $12.33\text{m}^3/\text{m}^2$ )이 더 높았다. 여의대방로-1과 여의대방로-3의 수종은 양버즘나무로서 수고, 흉고직경, 수관폭 등의 규격이 컸으며, 수종의 특성상 수관용적이 크기 때문인 것으로 분석되었다.

유형 2인 교목 1열+관목 유형의 조사구는 영등포구 여의대방로, 중구 세종대로, 강남구 남부순환로, 삼성로, 송파구 올림픽로이었다. 총 9개 조사구 중 여의대방로-4의 수종은 느티나무이었으며, 녹피율 24.30%, 녹지용적계수  $1.27\text{m}^3/\text{m}^2$ 이었다. 세종대로-2의 가로수 수종은 소나무이었으며, 녹피율 32.24%, 녹지용적계수  $1.47\text{m}^3/\text{m}^2$ 이었다. 녹피율이 가장 높은 조사구는 삼성로-1( $141.33\%$ )이었으며, 수종은 은행나무이었다. 또한 녹지용적계수가 가장 높은 조사구는 남부순환로-1( $15.16\text{m}^3/\text{m}^2$ )이었으며, 수종은 양버즘나무이었다. 올림픽로-2는 은행나무이었으며, 녹피율 55.51%, 녹지용적계수  $2.56\text{m}^3/\text{m}^2$ 이었다. 이 중 녹피율이 가장 높은 조사구는 삼성로-1이었으며, 녹지용적계수가 가장 높은 조사구는 남부순환로-1이었다. 녹지용적계수가 높은 조사구는 대부분 나무의 수관폭과 흉고직경이 큰 것으로 분석되었다.

유형 3인 교목 1열+아교목+관목 조사구는 영등포구 당산로와 강남구 영등대로이었고, 가로수 수종은 느티나무, 양버즘나무이었다. 총 4개 조사구로 영등포구 당산로-2는 녹피율 25.51%, 녹지용적계수  $0.89\text{m}^3/\text{m}^2$ 이었으며, 수종은 느티나무이

었다. 당산로-1의 녹피율은 91.91%, 녹지용적계수  $8.20\text{m}^3/\text{m}^2$ 이었으며, 당산로-3의 녹피율은 58.88%, 녹지용적계수  $12.56\text{m}^3/\text{m}^2$ 이었고, 수종은 양버즘나무이었다. 강남구 영등대로-2 녹피율은 35.54%, 녹지용적계수  $2.86\text{m}^3/\text{m}^2$ 이었으며, 수종은 양버즘나무이었다. 녹피율은 당산로-1(91.91%), 녹지용적계수는 당산로-3( $12.56\text{m}^3/\text{m}^2$ )이 가장 높았다. 이는 수관용적이 큰 양버즘나무 때문인 것으로 분석되었다.

유형 4인 교목 2열 조사구는 영등포구 경인로와 종로구 우정국로, 무교로, 중구 세종대로이었으며, 가로수 수종은 양버즘나무, 은행나무, 느티나무이었다. 총 4개 조사구 중 영등포구 경인로-1은 녹피율 84.78%, 녹지용적계수  $8.19\text{m}^3/\text{m}^2$ 이었으며, 수종은 양버즘나무-은행나무이었다. 종로구 우정국로-1은 녹피율 82.43%, 녹지용적계수  $15.94\text{m}^3/\text{m}^2$ 이었으며, 수종은 은행나무-느티나무이었다. 중구 세종대로-1는 녹피율 60.26%, 녹지용적계수  $11.88\text{m}^3/\text{m}^2$ 이었으며, 수종은 은행나무이었다. 경인로-1의 녹피율은 높으나, 녹지용적계수는 우정국로-1에 비해 낮았다. 이는 우정국로-1의 수종인 은행나무와 느티나무가 흉고직경이 큰 나무 때문인 것으로 분석되었다.

유형 5인 교목 2열+관목 조사구는 영등포구 여의대방로, 강남구 테헤란로, 송파구 남부순환로, 강동대로, 올림픽로이었으며, 가로수 수종은 양버즘나무, 은행나무, 느티나무, 단풍나무이었다. 총 7개 조사구 중 영등포구 지역 여의대방로-6은 녹피율 48.54%, 녹지용적계수  $3.03\text{m}^3/\text{m}^2$ 이었으며, 수종은 느티나무이었다. 강남구 지역 테헤란로-1은 녹피율 51.32%, 녹지용적계수  $7.15\text{m}^3/\text{m}^2$ 이었으며, 수종은 느티나무이었다. 송파구 지역 조사구 중 녹피율과 녹지용적계수가 가장 높은 곳은 양재대로-1( $219.43\%/32.23\text{m}^3/\text{m}^2$ )이었으며, 수종은 양버즘나무이었다. 조사구 중 녹피율이 가장 낮은 곳은 양재대로-2( $26.06\%$ )이며, 녹지용적계수가 가장 낮은 곳은 강동대로-1( $0.91\text{m}^3/\text{m}^2$ )이었다.

강동대로-1의 가로수 수종은 은행나무이었으며, 강전정으로 인하여 수관폭이 상대적으로 좁아져 녹지용적계수가 가장 낮은 것으로 판단되었다.

유형 6인 교목 3열+관목 조사구는 강남구 영등대로와 송파구 올림픽로이었으며, 가로수 수종은 양버즘나무, 은행나무, 느티나무이었다. 총 3개 조사구로 강남구 영등대로-1은 녹피율 83.01%, 녹지용적계수  $11.43\text{m}^3/\text{m}^2$ 이었으며, 수종은 양버즘나무, 은행나무이었다. 송파구 올림픽로-1은 녹피율 79.41%, 녹지용적계수  $5.66\text{m}^3/\text{m}^2$ 이었으며, 수종은 은행나무, 느티나무이었다. 녹피율과 녹지용적계수가 가장 높은 조사구는 영등대로-1이었으며, 가장 낮은 조사구는 올림픽로-1이었다. 수관용적이 큰 양버즘나무가 식재되어 있는 영등대로-1이 녹피율, 녹지용적계수 모두 높았다.

유형 7인 교목 3열+아교목+관목 조사구는 강남구 영등대로이었으며, 수종은 양버즘나무이었다. 강남구 영등대로-3은 1개

Table 2. Status of street green area by type

Item	Site	Tree type	Ratio of green coverage (%)	Index of plant crown volume (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )
Type 1 (1 row of tree type)	Yeouidaebang-ro-1	<i>Platanus</i>	45.02	12.33
	Yeouidaebang-ro-3	<i>occidentalis</i>	94.20	25.33
	Yeouidaebang-ro-2	<i>Zelkova serrata</i>	48.41	4.07
	Yeouidaebang-ro-5	<i>serrata</i>	34.74	3.62
Type 2 (1 row of tree+shrub type)	Yeouidaebang-ro-4	<i>Zelkova serrata</i>	24.30	1.27
	Sejong-daero-2	<i>Pinus densiflora</i>	32.24	1.47
	Nambusunhwan-ro-1	<i>Platanus occidentalis</i>	77.07	15.16
	Nambusunhwan-ro-2		57.16	5.10
	Nambusunhwan-ro-3		31.70	3.34
	Nambusunhwan-ro-5		138.12	11.60
	Nambusunhwan-ro-4		71.00	10.51
	Samseong-ro-1	<i>Ginkgo biloba</i>	141.33	12.77
Olympic-ro-2		55.51	2.56	
Type 3 (1 row of tree+mid-size tree+shrub type)	Dangsan-ro-2	<i>Zelkova serrata</i>	25.51	0.89
	Dangsan-ro-1	<i>Platanus occidentalis</i>	91.91	8.20
	Dangsan-ro-3		58.88	12.56
	Yeongdong-daero-2		35.54	2.86
Type 4 (2 row of tree type)	Gyeongin-ro-1	<i>Platanus occidentalis</i> - <i>Ginkgo biloba</i>	84.78	8.19
	Ujeongguk-ro-1	<i>Ginkgo biloba</i> - <i>Zelkova serrata</i>	82.43	15.94
	Mugyo-ro-1	<i>Ginkgo biloba</i>	39.07	7.28
	Sejong-daero-1		60.26	11.88
Type 5 (2 row of tree+shrub type)	Yeouidaebang-ro-6	<i>Zelkova serrata</i>	48.54	3.03
	Teheran-ro-1	<i>Zelkova serrata</i>	51.32	7.15
	Yangjae-daero-1	<i>Platanus occidentalis</i>	219.43	32.23
	Yangjae-daero-2		26.06	3.22
	Gangdong-daero-1	<i>Ginkgo biloba</i>	39.35	0.91
	Gangdong-daero-2		38.61	1.61
Type 6 (3 row of tree+shrub type)	Olympic-ro-3	<i>Ginkgo biloba</i> - <i>Acer palmatum</i>	85.73	3.71
	Yeongdong-daero-1	<i>Platanus occidentalis</i> - <i>Platanus occidentalis</i> - <i>Ginkgo biloba</i>	83.01	11.43
Type 7 (3 row of tree+mid-size tree+shrub type)	Olympic-ro-1	<i>Ginkgo biloba</i> - <i>Ginkgo biloba</i> - <i>Zelkova serrata</i>	79.41	5.66
	Yeongdong-daero-3	<i>Platanus occidentalis</i>	36.82	3.93

조사구로 녹피율 36.82%, 녹지용적계수 3.93m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>이었다. 교목 전체가 수관용적이 큰 수종인 양버즘나무이었지만, 아교목과 관목이 풍부한 녹량을 형성하지 못하여 녹피율과 녹지용적계수가 다소 낮은 것으로 분석되었다(Table 2 참조).

## 2. 유형별 가로 기온 특성

유형 1인 교목 1열에 해당하는 4개 조사구 중 보도와 차도 기온차이 평균값이 가장 큰 조사구는 여의대방로-1(2.1℃)이었다. 보도측 평균 기온은 32.6℃, 차도측 평균 기온은 34.7℃이었으며, 전체 조사구 중 보도측 기온이 가장 낮았다. 조사구 특징으로는 1m 폭의 관목 식재가 되어 있었으며, 후면 담장이 녹화되어 있었다. 또한 여의대방로-5는 보도와 차도 기온차이 평균값이 2.0℃ 차이가 있었으며, 후면녹지(아파트 전면 녹지)가 있는 곳이었다.

유형 2인 교목 1열+관목에 해당하는 9개 조사구 중 보도와 차도의 기온차이 평균값이 가장 큰 조사구는 남부순환로-1(3.4℃)이었다. 남부순환로-3 조사구의 보도측 평균 기온은 33.4℃이었으며, 차도측 평균 기온은 36.7℃이었다. 조사구 특징으로는 아파트 경계부에 7.5m 폭의 완충녹지가 있었다. 같은 유형의 다른 조사구는 보도와 차도 기온차이 평균값 분포가 1.4~3.4℃이었으며, 특히 남부순환로-1, 남부순환로-2, 올림픽로-2 조사구의 보도측 평균 기온이 32.0~32.9℃로 낮은 기온을 유지하였다. 세종대로-2는 보도측(36.5℃)과 차도측(37.9℃)의 평균 기온 값이 다른 지역에 비해 다소 높았으며, 기온이 높은 이유는 왕복 12차선 도로의 영향이 있는 것으로 분석되었다.

유형 3인 교목 1열+아교목+관목에 해당하는 4개 조사구 중 보도와 차도의 기온차이 평균값이 가장 큰 조사구는 영동대로-2(4.0℃)이었으며, 보도측 평균 기온은 32.5℃, 차도측 평균 기온은 36.5℃이었다. 보도 내부는 고층 건물로 인한 그늘과 폭 5.0m의 넓은 녹지로 인해 보도와 차도의 기온차이 평균값이 큰 것으로 분석되었다.

유형 4인 교목 2열에 해당하는 4개 조사구 중 보도와 차도의 기온차이 평균값이 가장 큰 조사구는 우정국로-1(2.6℃)이었으며, 보도측 평균 기온은 33.2℃, 차도측 평균 기온은 35.9℃이었다. 우정국로-1에 식재된 가로수는 느티나무, 은행나무이었으며, 흉고직경 25~39cm로 다소 큰나무이었다. 무교로-1은 보도측 평균 기온이 31.9℃로 가장 낮았으며, 다른 조사구와 비교하였을 때 왕복 2차선의 좁은 차선수가 영향을 주는 것으로 판단되었다.

유형 5인 교목 2열+관목에 해당하는 7개 조사구 중 보도와 차도의 기온차이 평균값이 가장 큰 조사구는 테헤란로-1(4.5℃)이었으며, 보도측 평균 기온 33.9℃, 차도측 평균 기온 38.4℃이었다. 다른 조사구와 비교하였을 때 보도측의 기온은 평균적인

수치이지만, 차도측 기온이 높은 이유는 강남 시내의 고층공동주거지와 상업지가 밀집해 있는 곳으로서 많은 차량 이동에 영향을 받는 것으로 판단되었다.

유형 6인 교목 3열+관목에 해당하는 2개 조사구는 올림픽로-1과 영동대로-1이었다. 올림픽로-1의 보도측 평균 기온은 35.4°C이었고, 차도측 평균 기온은 37.2°C이었으며, 보도 내부에 그늘이 형성되어 있었다. 이는 보도 내부에 8.7m 폭의 넓은 완

충녹지가 있어 보도와 차도의 기온차이 평균값이 다소 큰 것으로 분석되었다.

유형 7인 교목 3열+아교목+관목에 해당하는 조사구 유형은 강남구 영동대로-3이었으며, 보도와 차도의 기온차이 평균값은 2.4°C이었다. 보도측 평균 기온은 32.5°C이었으며, 차도측 평균 기온은 34.9°C이었다. 영동대로-3은 보도 내 4.0~8.2m 폭의 완충녹지에 의한 영향으로 보도와 차도의 기온차이 평균값이 큰 것으로 분석되었다(Table 3 참조).

Table 3. Status of temperature measurement by type

Item	Site	Average air temperature(°C)		
		Pedestrian street	Car street	Difference
Type 1 (1 row of tree type)	Yeouidaebang-ro-1	32.6	34.7	2.1
	Yeouidaebang-ro-3	34.2	36.0	1.9
	Yeouidaebang-ro-2	34.2	35.4	1.3
	Yeouidaebang-ro-5	34.0	36.0	2.0
Type 2 (1 row of tree+shrub type)	Yeouidaebang-ro-4	33.8	35.7	1.8
	Sejong-daero-2	36.5	37.9	1.4
	Nambusunhwan-ro-1	32.0	35.0	3.0
	Nambusunhwan-ro-2	32.6	34.0	1.4
	Nambusunhwan-ro-3	33.4	36.7	3.4
	Nambusunhwan-ro-5	34.3	36.3	2.0
	Nambusunhwan-ro-4	34.3	36.4	2.1
	Samseong-ro-1	35.0	37.2	2.2
	Olympic-ro-2	32.9	34.8	1.9
Type 3 (1 row of tree+mid-size tree+shrub type)	Dangsan-ro-2	34.7	35.5	0.8
	Dangsan-ro-1	33.3	36.2	2.9
	Dangsan-ro-3	32.7	34.1	1.4
	Yeongdong-daero-2	32.5	36.5	4.0
Type 4 (2 row of tree type)	Gyeongin-ro-1	33.2	34.5	1.2
	Ujeongguk-ro-1	31.9	34.1	2.1
	Mugyo-ro-1	33.2	35.9	2.6
	Sejong-daero-1	33.5	35.2	1.7
Type 5 (2 row of tree+shrub type)	Yeouidaebang-ro-6	33.2	35.9	2.7
	Teheran-ro-1	33.9	38.4	4.5
	Yangjae-daero-1	33.4	34.9	1.4
	Yangjae-daero-2	34.4	35.0	0.7
	Gangdong-daero-1	34.3	37.0	2.7
	Gangdong-daero-2	32.2	34.3	2.0
Type 6 (3 row of tree+shrub type)	Olympic-ro-3	32.2	34.8	2.7
	Yeongdong-daero-1	32.9	34.0	1.1
Type 7 (3 row of tree+mid-size tree+shrub type)	Olympic-ro-1	35.4	37.2	1.8
	Yeongdong-daero-3	32.5	34.9	2.4

### 3. 가로녹지와 기온간 관계 분석

#### 1) 기온 저감량에 따른 그룹 구분

조사구별 보도와 차도에서 측정된 기온의 평균 차이를 T-test 분석을 통하여 검정하였다. 표본수 총 620개로 차도 평균 기온은 35.53°C이며, 보도 평균 기온은 33.43°C로 2.1°C 차이가 있었다(Table 4 참조).

검정통계량 *t*값은 22.305이고, 이에 대한 유의확률 0.000이 0.01보다 작으므로 두 집단의 평균 차이가 있다는 유의성이 인정되었다(Table 5 참조).

가로녹지와 기온간 관계 규명을 위한 통계분석의 유의성을 높이기 위해 가로 전체 기온에 영향을 줄 수 있는 주변 토지이용, 보도폭, 차도폭 등의 통제요인과 차도측 기온을 기준으로 유사한 경향의 조사구를 일원배치분산분석(one-way ANOVA)을 통해 그룹화 하였다. 총 31개 조사구, 조사구별 10개의 기온

Table 4. Group statistics according to mean value of temperature between pedestrian street and car street

Division	Sample count(N)	Average temperature(°C)	Standard deviation(°C)	Standard error(°C)
Car street	310	35.53	1.24	0.07
Pedestrian street	310	33.43	1.12	0.06

Table 5. Independent sample *t*-test according to mean value of temperature between pedestrian street and car street

Division	Equal variance of Levene		<i>T</i> -test				
	<i>F</i>	Sig.	<i>t</i>	<i>df</i>	Sig. (both sides)	Average difference	Standard error
Supposed to equal variance	5.466	0.020	22.305	638	0.000**	2.093	0.094
Not supposed to equal variance	-	-	22.305	632.911	0.000**	2.093	0.094

\*\* : The correlation coefficient are significant from significant probability level which are 0.01 of both side.

측정 결과를 바탕으로 총 18개의 부집단이 크게 2개의 그룹으로 구분되었다. Group 1은 차도측 상대적 저온역으로서 33.99~35.19°C이었고, Group 2는 차도측 상대적 고온역으로서 35.42~38.38°C이었다. 본 분석은 고온시간대와 고온역에서 기온저감 효과가 높다는 기존 연구 결과(Kim, 2012)에 의해 차도측 상대적 고온역(Group 2)만으로 분석을 실시하였다.

2) 가로수 수종과 기온간 관계 분석

수종과 기온과의 관계 분석에서는 식재유형을 통일시키기 위해 조사구를 식재유형별로 구분하여 일원배치분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였다. 식재유형은 교목 1열, 교목 1열+관목, 교목 1열+아교목+관목, 교목 2열, 교목 2열+관목, 교목 3열+관목, 교목 3열+아교목+관목으로 구분되었고, 수종별 비교 가능한 3종 이상인 유형은 교목 1열+관목이었다.

차도측 상대적 고온역(Group 2)의 수종별 보차간 기온차이 평균값에 따른 기술통계 분석결과, 느티나무는 표본수 20개, 최고-최저-평균기온차 1.84°C이었으며, 양버즘나무는 표본수 60개, 최고기온차 3.40°C, 최저기온차 2.10°C, 평균기온차 2.57°C이었다. 소나무는 표본수 20개, 최고기온차 1.35°C, 최저기온차 1.35°C, 평균기온차 1.35°C이었으며, 은행나무는 표본수 20개, 최고-최저-평균기온차 2.00°C이었다. 총 표본수는 120개, 수종 유형 4개, 최고기온차 3.40°C, 최저기온차 1.35°C, 평균기온차 2.15°C이었다. 평균기온 차이는 양버즘나무가 소나무보다 컸으며, 차이값은 1.22°C이었다(Table 6 참조).

수종별 보차간 기온차이 평균값에 따른 분산의 동질성을 검정하였다. 수종과 보차간 기온차이 평균값과의 분석결과 신뢰도 99% 수준에서 유의성이 인정되었다(Table 7 참조).

수종별 보차간 기온차이 평균값에 따른 분산분석 결과에서는 수종별 보차간 기온차이 평균값의 차이가 없다는 귀무가설이 기각되어 유의성이 인정되었다(Table 8 참조).

Table 6. Descriptive statistics of according to mean value of temperature between pedestrian street and car street by tree types relatively high temperature area of car street

Division	Sample count (N)	Highest temperature difference (°C)	Lowest temperature difference (°C)	Average temperature difference (°C)
<i>Zelkova serrata</i>	20	1.84	1.84	1.84
<i>Platanus occidentalis</i>	60	3.40	2.10	2.57
<i>Pinus densiflora</i>	20	1.35	1.35	1.35
<i>Ginkgo biloba</i>	20	2.00	2.00	2.00
Total/average	120	3.40	1.35	2.15

Table 7. Levene test for equality of variances according to mean value of temperature between pedestrian street and car street by tree types relatively high temperature area of car street

Levene statistic	df 1	df 2	Sig.
148.262	3	116	0.000

Table 8. Analysis of variance according to mean value of temperature between pedestrian street and car street by tree types relatively high temperature area of car street

Division	Division	df	Sum of squares	Mean square	F
Between groups	3	25,588	8,529	47,265	0,000**
Within groups	116	20,933	0,180		

\*\* : The correlation coefficient are significant from significant probability level which are 0.01 of both side.

Tukey HSD의 사후검정 결과에서는 느티나무와 소나무의 보차간 기온차이 평균값 0.490°C로 1% 수준에서 유의성이 인정되었고, 양버즘나무와 느티나무, 소나무, 은행나무는 0.727°C, 1.217°C, 0.567°C로 1% 수준에서 유의성이 인정되었다. 또한 은행나무와 소나무의 보차간 기온차이 평균값이 0.650°C로 1% 수준에서 유의성이 인정되었다(Table 9 참조).

수종별 보차간 기온차이 평균값에 의한 Duncan 분석결과, 표본수는 120개이고, 평균 기온차 범위는 1.35~2.57°C이었다. 조

Table 9. Post-hoc test of Tukey HSD according to mean value of temperature between pedestrian street and car street by tree types relatively high temperature area of car street

Division		Average difference	Standard error	Sig.
<i>Zelkova serrata</i>	<i>Platanus occidentalis</i>	-0.727*	0.110	0.000**
	<i>Pinus densiflora</i>	0.490*	0.134	0.002**
	<i>Ginkgo biloba</i>	-0.160	0.134	0.634
<i>Platanus occidentalis</i>	<i>Zelkova serrata</i>	0.727*	0.110	0.000**
	<i>Pinus densiflora</i>	1.217*	0.110	0.000**
	<i>Ginkgo biloba</i>	0.567*	0.110	0.000**
<i>Pinus densiflora</i>	<i>Zelkova serrata</i>	-0.490*	0.134	0.002**
	<i>Platanus occidentalis</i>	-1.217*	0.110	0.000**
	<i>Ginkgo biloba</i>	-0.650*	0.134	0.000**
<i>Ginkgo biloba</i>	<i>Zelkova serrata</i>	0.160	0.134	0.634
	<i>Platanus occidentalis</i>	-0.567*	0.110	0.000**
	<i>Pinus densiflora</i>	0.650*	0.134	0.000**

\* : The correlation coefficient are significant from significant probability level which are 0.01 of both side.

\*\* : The correlation coefficient are significant from significant probability level which are 0.01 of both side.



화평균 표본크기는 24,000이었으며, 집단은 3개로 구분되었다. 소나무가 1.35°C로 보차간 기온차이가 가장 작았고, 느티나무와 은행나무가 각각 1.84°C, 2.00°C로 하나의 집단으로 구분되었으며, 양버즘나무가 2.57°C로 기온차이가 가장 컸다. 양버즘나무와 소나무의 차이값은 1.22°C이었다.

수종별 보차간 기온차이 평균값 분석에서는 침엽수보다는 낙엽활엽수의 기온 차이가 크며, 낙엽활엽수 중에서는 수관용적이 크고, 잎의 면적이 넓은 양버즘나무가 보도측 기온저감에 가장 효과적인 수종이었다.

수종별 보차간 기온차이 평균값에 따른 기온분포도 결과에서는 세종대로-2에 식재된 소나무의 규격은 수고 7.5~8.5m, 흉고직경 16~19cm, 수관폭 4.0m×3.5m이었다. 당산로-2, 여의대방로-4, 5, 6, 테헤란로-1, 여의대방로-2에 식재된 느티나무의 규격은 수고 5~10m, 흉고직경 13~43cm, 수관폭 8.0m×6.0m 이었고, 강동대로-1, 남부순환로-4, 삼성로-1에 식재된 은행나무의 규격은 수고 13~14m, 흉고직경 20~37.5cm, 수관폭 7.0m×7.0m이었다. 남부순환로-3, 남부순환로-5, 당산로-1, 여의대방로-3, 영동대로-1, 영동대로-2에 식재된 양버즘나무의 규격은 수고 13~16m, 흉고직경 12~60cm, 수관폭 7.0m×7.0m이었다.

4개의 수종 중 양버즘나무는 보차간 기온차이 평균값이 가장 컸으며, 소나무가 가장 작았다. 나무의 규격이 크고, 수관폭이 넓은 수종일수록 보차간 기온차이 평균값이 커지는 경향을 나타냈다. 가로수와 녹음수로 많이 쓰이는 양버즘나무는 넓은 잎을 가지고 있기 때문에 가로변에 그늘을 제공하여 기온 저감에 상당한 영향을 주는 것으로 분석되었다. 침엽수는 활엽수보다 빛에 대한 차단율이 낮아 그늘을 형성하지 못하므로 침엽수종의 식재보다는 활엽수종을 식재하는 것이 기온 저감에 효과적이었다. 따라서 도심 가로수 식재 시 기온 저감 효과를 위한 가로수 수종 선정에서는 수관용적이 크고 잎의 면적이 넓어 그늘을 제공하는 수종이 적절할 것으로 분석되었다(Table 10 참조).

Table 10. Homogeneous subsets according to mean value of temperature between pedestrian street and car street by tree types relatively high temperature area of car street

Division	Tree types	Sample count(N)	Sub set for alpha=0.05		
			1	2	3
Duncan <sup>a</sup>	<i>Pinus densiflora</i>	20	1.35		
	<i>Zelkova serrata</i>	20		1.84	
	<i>Ginkgo biloba</i>	20		2.00	
	<i>Platanus occidentalis</i>	60			2.57

<sup>a</sup>: Used sample size 24,000 of harmonic mean due to different group size

3) 가로수 식재유형과 기온간 관계 분석

차도측 상대적 고온역에서 가로수 식재유형별 보차간 기온차이 평균값에 대한 결과는 교목 1열(여의대방로-2, 3, 5)은 표

Table 11. Descriptive statistics of according to mean value of temperature between pedestrian street and car street by plantation types relatively high temperature area of car street

Division		Sample count (N)	Highest temperature difference (°C)	Lowest temperature difference (°C)	Average temperature difference (°C)
1 row of trees	-	60	1.98	1.27	1.71
	Shrubs	120	3.40	1.35	2.15
	Mid size trees+shrubs	60	4.00	0.80	2.57
2 row of trees	-	20	2.62	2.62	2.62
	Shrubs	80	4.70	2.65	3.18
3 row of trees	Shrubs	20	1.80	1.80	1.80
Total/average		360	4.70	0.80	2.38

본수 60개, 최고기온차 1.98°C, 최저기온차 1.27°C, 평균기온차 1.71°C로 평균기온 차이값이 가장 작았으며, 교목 2열+관목(여의대방로-6, 테헤란로-1, 강동대로-1)은 표본수 80개, 평균기온차 3.18°C, 최저기온차 2.65°C, 최고기온차 4.70°C로 평균기온 차이값이 가장 컸다. 특히 교목 3열+관목(영동대로-1) 유형에서 평균기온 차이값이 1.8°C로 다소 낮았으며, 평균기온 차이값이 낮은 이유는 다른 조사구와 비교하였을 때 뚜렷한 특징은 없었다(Table 11 참조).

가로수 식재유형별 보차간 기온차이 평균값에 따른 분산의 동질성 검정 결과에서는 유의확률  $p=0.000$ 이므로 분산이 같다는 귀무가설을 기각한다. 따라서 식재유형과 보차간 기온차이 평균값과의 분석결과, 신뢰도 99% 수준에서 고도의 통계적 유의성이 인정되었다(Table 12 참조).

식재유형별 보차간 기온차이 평균값에 따른 분산분석 결과에서는 수종별 보차간 기온차이 평균값의 차이가 없다는 귀무가설이 기각되어 유의성이 인정되었음을 알 수 있었다(Table 13 참조).

Tukey HSD의 사후검정 결과에서는 교목 2열과 교목 3열+관목의 보차간 기온차이 평균값이 0.820°C으로 5% 수준에서 유의성이 인정되었고, 교목 2열+관목과 교목 1열의 보차간 기

Table 12. Test of homogeneity of variances of according to mean value of temperature between pedestrian street and car street by plantation types relatively high temperature area of car street

Levene statistic	df 1	df 2	Sig.
51.065	5	354	0.000**

\*\* : The correlation coefficient are significant from significant probability level which are 0.01 of both side.

Table 13. Analysis of variance according to mean value of temperature between pedestrian street and car street by tree types relatively high temperature area of car street

Division	df	Sum of squares	Mean square	F	Sig.
Between groups	5	93,982	18,796	30,201	0.000**
Within groups	354	220,324	0,622		

\*\* : The correlation coefficient are significant from significant probability level which are 0.01 of both side.

Table 14. Post-hoc test of Tukey HSD according to mean value of temperature between pedestrian street and car street by tree types relatively high temperature area of car street

Division		Average difference	Standard error	Sig.
1 row of trees	1 row of trees+shrubs	-0.438*	0.125	0.007**
	1 row of trees+mid size trees+shrubs	-0.860*	0.144	0.000**
	2 row of trees	-0.910*	0.204	0.000**
	2 row of trees+shrubs	-1.465*	0.135	0.000**
	3 row of trees+shrubs	-0.090	0.204	0.998
2 row of trees	1 row of trees	0.910*	0.204	0.000**
	1 row of trees+shrubs	0.472	0.191	0.134
	1 row of trees+mid size trees+shrubs	0.050	0.204	1.000
	2 row of trees+shrubs	-0.555	0.197	0.058
	3 row of trees+shrubs	0.820*	0.249	0.014*
1 row of trees +shrubs	1 row of trees	0.438*	0.125	0.007**
	1 row of trees+mid size trees+shrubs	-0.422*	0.125	0.010*
	2 row of trees	-0.472	0.191	0.134
	2 row of trees+shrubs	-1.027*	0.114	0.000**
	3 row of trees+shrubs	0.348	0.191	0.449
2 row of trees +shrubs	1 row of trees	1.465*	0.135	0.000**
	1 row of trees+shrubs	1.027*	0.114	0.000**
	1 row of trees+mid size trees+shrubs	0.605*	0.135	0.000**
	2 row of trees	0.555	0.197	0.058
	3 row of trees+shrubs	1.375*	0.197	0.000**
3 row of trees +shrubs	1 row of trees	0.090	0.204	0.998
	1 row of trees+shrubs	-0.348	0.191	0.449
	1 row of trees+mid size trees+shrubs	-0.770*	0.204	0.003**
	2 row of trees	-0.820*	0.249	0.014*
	2 row of trees+shrubs	-1.375*	0.197	0.000**
1 row of trees+ mid size trees+ shrubs	1 row of trees	0.860*	0.144	0.000**
	1 row of trees+shrubs	0.422*	0.125	0.010*
	2 row of trees	-0.050	0.204	1.000
	2 row of trees+shrubs	-0.605*	0.135	0.000**
	3 row of trees+shrubs	0.770*	0.204	0.003**

\* : The correlation coefficient are significant from significant probability level which are 0.01 of both side.

\*\* : The correlation coefficient are significant from significant probability level which are 0.01 of both side.

온차이 평균값이 1.465℃로 1% 수준에서 유의성이 인정되었다 (Table 14 참조).

가로수 식재유형별 보차간 기온차이 평균값에 의한 Duncan 분석결과, 교목 1열 유형은 표본수 20개로 평균기온 차이 1.80℃, 교목 1열+관목 유형은 표본수 60개로 평균기온 차이 2.57℃, 교목 1열+아교목+관목 유형은 표본수 20개로 평균기온 차이 2.62℃이었다. 교목 2열 유형은 표본수 120개로 평균기온 차이는 2.15℃이었으며, 교목 2열+관목 유형은 표본수 80개로 평균기온 차이는 3.18℃, 교목 3열+관목 유형은 표본수 60개로 평균기온 차이는 1.71℃이었다. 조사구별 20~120개이며, 조화평균 표본크기는 38,919이었다. 교목 2열+관목이 보차간 기온차이 평균값이 3.18℃로 가장 높았고, 교목 3열+관목이 1.71℃로 가장 낮았다.

차도측 상대적 저온역의 식재유형별 보차간 기온차이 평균값에 따른 기온분포도 결과 중 보차간 기온차이 평균값의 분포는 교목 1열보다 교목 2열이 높게 분석되었으며, 평균값이 가장 큰 유형은 교목 2열+관목이었다.

특이사항으로는 교목 3열+관목 유형에서 낮게 나왔다는 점이었다. 교목 3열+관목은 영동대로-1로서 보도측 평균 기온(35.4℃)이 다른 조사구에 비해 비교적 높았다. 본 조사구는 8.7m의 넓은 완충녹지가 있지만 고층공동주거지가 밀집해 있는 지역이었으며, 6.0m의 보도폭, 왕복 10차선의 도로로 인하여 기온저감 효과가 적은 것으로 판단되었다.

전체적인 경향으로는 교목 열수 증가와 다층구조일수록 보차간 기온차이 평균값이 큰 것을 알 수 있었다. 교목 열수 증가는 햇빛에 대한 차단률을 높이고, 다층구조는 높은 녹지용적량으로 활발한 증발산작용을 통해 기온을 낮추는 기능을 하는 것으로 분석되었다(Table 15 참조).

Table 15. Homogeneous subsets according to mean value of temperature between pedestrian street and car street by tree types relatively high temperature area of car street

Division	Sample count(N)	Sub set for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
Duncan <sup>a</sup>	3 Row of trees+shrubs	60	1.71		
	1 Row of trees	20	1.80	1.80	
	2 Row of trees	120		2.15	
	1 Row of trees+shrubs	60			2.57
	1 Row of trees+mid size trees+shrubs	20			2.62
	2 Row of trees+Shrubs	80			

<sup>a</sup>: Used sample size 24,000 of harmonic mean due to different group size.

#### 4) 가로녹지 구조와 기온간 관계 분석

차도측 상대적 고온역에서 가로녹지 구조별 보차간 기온차

이 평균값에 따른 기술통계에서는 교목 유형은 표본수 80개, 최고 기온 2.62℃, 최저기온 1.27℃, 평균기온 1.94℃, 교목+관목 유형은 표본수 200개, 최고기온 4.50℃, 최저기온 1.35℃, 평균 기온 2.49℃이며, 교목+아교목+관목은 표본수 60개, 최고기온 4.00℃, 최저기온 0.80℃, 평균기온 2.57℃이었다. 총 표본수는 340개, 최고기온 4.50℃, 최저기온 0.80℃, 평균기온 2.38℃이었다. 교목 유형과 교목+아교목+관목 유형의 평균기온 차이는 0.63℃, 교목+관목 유형과 교목+아교목+관목 유형은 0.08℃이었다(Table 16 참조).

가로녹지 구조별 보차간 기온차이 평균값에 따른 분산의 동질성을 검정 결과는 유의확률  $p=0.000$ 으로서 분산이 같다는 귀무가설을 기각한다. 따라서 가로녹지 구조와 보차간 기온차이 평균값과의 분석결과 신뢰도 99% 수준에서 고도의 통계적 유의성이 인정되었다(Table 17 참조).

가로녹지 구조별 보차간 기온차이 평균값에 따른 분산분석 결과에서는 가로녹지 구조별 보차간 기온차이 평균값의 차이가 없다는 귀무가설이 기각되어 유의성이 인정되었음을 알 수 있었다(Table 18 참조).

Tukey HSD 사후검정 결과에서 교목+관목과 교목은 보차간 기온차이 평균값이 0.507℃, 교목+아교목+관목과 교목의 보차간 기온차이 평균값이 0.633℃로 1% 수준에서 유의성이 인정되었다(Table 19 참조).

가로녹지 구조별 보차간 기온차이 평균값에 의한 Duncan 분

Table 16. Descriptive statistics of according to mean value of temperature between pedestrian street and car street by roadside green area structure relatively high temperature area of car street

Division	Sample count(N)	Highest temperature difference (°C)	Lowest temperature difference (°C)	Average temperature difference (°C)
Trees	80	2.62	1.27	1.94
Trees+shrubs	200	4.50	1.35	2.49
Trees+mid size trees+shrubs	60	4.00	0.80	2.57
Total/average	340	4.50	0.80	2.38

Table 17. Test of homogeneity of variances of according to mean value of temperature between pedestrian street and car street by roadside green area structure relatively high temperature area of car street

Levene statistic	df 1	df 2	Sig.
40.120	2	337	0.000**

\*\* : The correlation coefficient are significant from significant probability level which are 0.01 of both side.

석결과, 2개의 집단으로 구분되었으며, 교목 유형은 표본수 80개로 평균기온 차이 1.94℃, 교목+관목 유형은 표본수 200개로 평균기온 차이 2.44℃, 교목+아교목+관목 유형은 표본수 60개로 평균기온 차이 2.57℃이었다. 표본수 총 340개이며, 조화평균 표본크기는 87.805이었다. 교목+관목 유형과 교목+아교목+관

Table 18. Analysis of variance of according to mean value of temperature between pedestrian street and car street by roadside green area structure relatively high temperature area of car street

Division	df	Sum of squares	Mean square	F	Sig.
Between groups	2	18.281	9.140	11.106	0.000**
Within groups	337	277.358	0.823		

\*\* : The correlation coefficient are significant from significant probability level which are 0.01 of both side.

Table 19. Post-hoc test of Tukey HSD according to mean value of temperature between pedestrian street and car street by roadside green area structure relatively high temperature area of car street

Division		Average difference	Standard error	Sig.
Trees	Trees+shrubs	-0.507*	0.120	0.000**
	Trees+mid size trees+shrubs	-0.633*	0.155	0.000**
Trees+shrubs	Trees	0.507*	0.120	0.000**
	Trees+mid size trees+shrubs	-0.126	0.134	0.613
Trees+mid size trees+shrubs	Trees	0.633*	0.155	0.000**
	Trees+shrubs	0.126	0.134	0.613

\* : The correlation coefficient are significant from significant probability level which are 0.01 of both side.

\*\* : The correlation coefficient are significant from significant probability level which are 0.01 of both side.

Table 20. Homogeneous subsets according to mean value of temperature between pedestrian street and car street by roadside green area structure relatively high temperature area of car street

Division	Sample count(N)	Sub set for alpha=0.05	
		1	2
Duncan <sup>a</sup>	Trees	80	1.94
	Trees+shrubs	200	2.44
	Trees+mid size trees+shrubs	60	2.57

<sup>a</sup>: Used sample size 24,000 of harmonic mean due to different group size.

목 유형은 2개의 그룹으로 묶인 것으로 보아 교목 유형과 명확히 구분되었음을 알 수 있었다. 교목 유형과 교목+관목 유형의 평균기온 차이는 0.50℃이며, 교목 유형과 교목+아교목+관목 유형은 0.63℃이었다. 단층구조보다 다층구조일 때 보차간 기온차이가 큰 것으로 분석되었다. 기온차이는 단층구조에서 다층구조일수록 크게 나지만, 관목만 식재된 복층구조라도 기온차이가 나는 것을 알 수 있었다(Table 20 참조).

차도측 상대적 고온역의 가로녹지 구조별 보차간 기온차이 평균값에 따른 기온분포도 결과에서 보차간 기온차이 평균값이 가장 큰 것은 교목+아교목+관목, 교목+관목, 교목 순이었다. 기존 연구결과에 의하면 교목보다 교목+소교목으로 피복되어 있는 구역이 비교적 기온이 낮았으며(Yoon and Song, 1998; Yoon, 2004), 식생체적의 10% 증가는 기온을 약 0.14℃ 감소시켰다(Jo and Ahn, 2009). 이러한 연구결과는 층위구조를 형성할수록 보차간 기온차이 평균값이 증가하는 본 연구결과와 일치하였다.

기온저감을 위한 도심 가로수 식재유형에서는 하층을 보식하는 것이 가장 중요하였다. 현장 여건에 따라 교목층+아교목층+관목층이 불가능하다면 최소 교목층+관목층의 구조로 조성하는 방안이 필요하였다.

5) 녹량과 기온간 관계 분석

차도측 상대적 고온역(Group 2)의 녹지용적과 보차간 기온차이 평균값간 상관관계 분석 결과는 99% 수준에서 유의한 양(+)의 상관관계가 인정되었으며, 녹지용적 평균은 988.2m<sup>3</sup>, 보차간 기온차이 평균값은 2.4℃이었다. 녹지용적이 증가할수록 보차간 기온차이 평균값도 증가한다는 결과가 도출되었다(Table 21 참조).

Table 21. Correlation analysis results of mean value of temperature between pedestrian street and car street, and green area volume relatively high temperature area of car street

Division		Green volume
Average temperature difference between pedestrian street and car street	Pearson's simple correlation coefficient	0.185**
	Sig.(both sides)	0.001

\*\* : The correlation coefficient are significant from significant probability level which are 0.01 of both side.

4. 기온저감 기능 강화를 위한 가로녹지 조성 기준 및 방안

기온저감을 위한 가로녹지 조성 기준으로는 다음과 같다. 첫째, 수중 측면에서는 침엽수보다 넓은 잎을 갖고 있으며, 지엽

이 밀생하여 수관용적이 큰 낙엽활엽수가 유리하였다. 둘째, 식재유형 측면에서는 1열보다 2열 식재, 즉 2열 식재 이상일 때 유리하였다. 셋째, 가로녹지 구조 측면에서는 단층구조보다 복층구조, 다층구조일 때 유리하였다. 넷째, 녹량 측면에서는 수관폭이 넓어 수관용적이 크고 복층 및 다층구조일 때 즉, 녹량이 많을수록 유리하였다.

가로환경 영향요인 연구에 의하면 차도폭 8차선 이상, 보도폭 3m 이상, 토지이용 자연녹지 인근, 전선 및 통신선 지중화 구간, 보도점용이 낮은 지역이 가로녹지 조성에 유리한 지역으로 제시하였다(Han et al., 2013). 또한 보도폭 3~6m의 경우, 락지 조성 필요하며, 6m 이상의 경우 교목 열수 증가와 다층구조 조성을 제시하였다.

기존 연구에서 가로녹지 조성에 유리한 기준으로 3m를 제시하였으며, 이에 따라 기온저감 기능 강화를 위한 가로녹지 조성 기준 방향을 설정하였다. 보도폭 3m 미만의 경우 보도폭이 좁기 때문에 수관용적이 큰 나무나 다양한 식재유형에 어려움이 있다. 이를 위해서는 가로녹지 구조 개선을 통한 녹량 증진이 필요할 것으로 판단되었다(Table 22 참조).

Table 22. Green composition standards and plan for temperature reduction

Division	Composition	Plan
Pedestrian street less than 3m	<ul style="list-style-type: none"> <li>Improve the "multi-layer" structure</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Green bend less than 1m</li> <li>Improve the "tree+shrub tree" structure</li> </ul>
Pedestrian street more than 3m	<ul style="list-style-type: none"> <li>Replacing with a big canopy volume tree</li> <li>Diversify plantation type</li> <li>Improve the "multi-layer" structure</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Green bend more than 1m</li> <li>Planting the more than 2 row of tree</li> <li>Improve the "tree+shrub tree, tree+mid-size tree+shrub tree" structure</li> </ul>

IV. 결론

본 연구는 도심 내 가로수 및 가로녹지의 기온저감 효과와 기능 향상에 대한 연구를 진행하였다. 연구목적은 기온 변화량과 영향요인간의 상관관계 분석을 통하여 기온저감 기능 강화를 위한 가로녹지 조성 기준을 제시하기 위함이었다.

본 연구의 결과는 첫째, 수중과 보차간 기온차이 평균값의 분석결과는 소나무, 느티나무, 은행나무, 양버즘나무 순이었으며, 통계적으로 유의성이 인정되었다. 보차간 기온차이 평균값은 침엽수보다 낙엽활엽수에서 큰 것으로 분석되었다. 기온저감 효과를 극대화시키기 위해서는 지엽이 치밀하고 수관폭이 넓어 햇빛 차단률이 높은 낙엽활엽수 즉, 수관용적이 큰 나무의 식재가 필요하였다.

둘째, 가로수 식재유형과 보차간 기온차이 평균값의 분석결

과는 “교목 1열”보다 “교목 2열”, “교목 1열+관목”보다 “교목 2열+관목”에서 큰 것으로 나타났다. 본 결과로 인하여 보차간 기온차이는 교목층 열수가 중요하였으며, 2열 이상 식재하는 것이 기온저감 효과를 극대화하는 방법이었다.

셋째, 가로녹지 구조별 보차간 기온차이 평균값의 분석결과는 “교목”보다 “교목+관목”, “교목+관목”보다 “교목+아교목+관목”이 기온차가 더 크다는 결과를 도출하였다. 교목과 교목+아교목+관목 유형 사이에서 보차간 기온차이 평균값이 가장 큰 것으로 분석되었다.

넷째, 녹량(녹지용적)과 보차간 기온차이 평균값의 분석결과, 녹지용적과의 상관관계 유의성이 인정되어 녹량 증가 시 보도 내 기온저감 효과가 있는 것으로 나타났다.

기존 연구에서 가로녹지 조성에 유리한 기준을 보도폭 3m로 제시하였다. 이를 고려한 기준 설정 방향은 보도폭 3m 미만인 경우, 가로녹지 구조 개선을 통한 녹량 증진과 보도폭 3m 이상인 경우 수종 갱신, 식재유형 및 가로녹지 구조 개선을 통한 녹량 증진이었다.

기온저감 기능 강화를 위한 기준은 수종 측면에서 보도폭 3m 미만인 경우 수관용적이 작은 낙엽활엽수가 적정하였으며, 보도폭이 3m 이상인 경우 수관용적이 큰 낙엽활엽수가 적정하였다. 식재유형 및 가로녹지 구조 측면에서 보도폭 3m 미만인 경우에는 최대 1m의 띠녹지 폭을 확보하고, 다층구조 식재가 필요하였으며, 보도폭 3m 이상인 경우에는 수관용적이 큰 수종으로 갱신, 교목층의 열수와 다층구조 식재가 필요하였다.

본 연구는 도시 내 증가하는 기온을 낮추기 위한 방안으로 도심 내 수목인 가로수 및 가로녹지를 이용하였으며, 이에 대한 기능을 규명하였다. 보도와 차도의 기온차이에 미치는 영향 요인은 수종, 식재유형, 가로녹지 구조이며, 교목층 열수와 녹량이 증가할수록 보차간 기온차이가 큰 것으로 분석되었다. 따라서 도심 내 부족한 녹지를 확충하고, 도시민에게 쾌적한 보행환경을 제공하기 위해 가로환경에 적합한 가로수 식재 및 가로녹지 조성이 필요하며, 다양한 후속 연구 및 구체적인 조성 방안이 제시되어야 할 것이다.

## References

1. Cho, E. J.(1995) Study of Surface Temperature and Its Change with Landuse Change. Master's thesis, Ewha Womans University, Seoul, Korea, 54pp
2. Do, H. J., J. M. Lee and J. H. Ra(2007) A study on the distribution characteristic of urban surface temperature and urban heat island effects, *Journal of the Environmental Sciences* 16(5): 611-622.
3. Han B. H., H. S. Kim, T. J. Jung and S. H. Hong(2010) The related research with the land cover state and temperature in the outer space of the super-high-rise building. *Kor. J. of Env. Eco.* 24(6): 751-762.
4. Han, B. H., J. I. Kwak and H. S. Kim(2013) Influence factors of street environment for provision and management of street green, *Kor. J. of Env. Eco.* 27(2): 253-265.
5. Han, B. H., K. J. Lee, J. W. Choi, J. I. Kwak, J. Y. Kim, I. T. Choi, H. K. Kang, S. W. Lee, S. J. Lee, K. S. Ki, J. H. Jang, T. H. Noh, J. H. Yeum, K. W. Kim, J. Y. Hur, S. C. Park, T. Y. Choi, H. S. Kim, M. Y. Lee, S. S. Im, J. H. Song, J. M. Jung, H. E. Jung, S. Y. Yoo, J. J. Kim and J. H. Kim(2014) Development of Composition and Management Model of Street Tree by Road and Environment Type, Korea Forest Service, Daejeon, Korea, 348pp.
6. Jo, H. K. and T. W. Ahn(1999) Function of microclimate amelioration by urban greenspace, *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 76(4): 23-28.
7. Jo, H. K. and T. W. Ahn(2009) Impacts of three-dimensional land cover on urban air temperatures, *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 37(3): 54-60.
8. Kang, J. H(2014) The Shading Effects of Double Row Street Trees on the Thermal Comfort Index. Master's thesis, Gyeongnam National University of Science and Technology, Korea, 69pp.
9. Kim, H. S.(2012) The Difference in Temperature according to the Land Coverage and Vegetation Structure of Large-Scale Green Area in Seoul. Master's thesis, University of Seoul, Seoul, Korea, 119pp.
10. Kim, S. B. and H. D. Kim(2002) Influences of urban trees on the control of the temperature, *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 30(3): 25-34.
11. Lee, K. J. and M. H. Jo(2004) Analysis of urban surface temperature distribution properties using spatial information technologies, *Journal of the Korean Society of Remote Sensing* 20(6): 397-408.
12. Lee, K. J., B. H. Han, W. Cho, S. H. Choi, C. H. Oh, J. O. Kwon, S. D. Lee, J. H. Kim, J. Y. Kim, S. H. Hong, I. T. Choi, J. S. Kim, J. W. Choi, K. S. Ki, J. I. Kwak, S. H. Kim, H. K. Kang and J. S. Jang(2011) *Environmental Ecology*. Kwang-il Publishing Co. Ltd., Seoul, 415pp.
13. Park, E. J. and Kang, K. Y(2010) Estimation of C storage and annual CO<sub>2</sub> uptake by street trees in Gyeonggi-do, *Kor. J. of Env. Eco.* 24(5): 591-600.
14. Park, Y. J. and T. K. Kim(2000) Establishment of roadside tree planting system, *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 28(5): 93-103.
15. Park, S. H., S. S. Jo and S. S. Kim(2009) SPSS 17.0 Understanding and Using. Hannarae Academy, 526pp.
16. Suh, J. E., B. Y. Park, S. G. Kim, T. Y. Kim and S. B. Lee(2009) An analysis of elements that cause heat island in urban area -Focused on Seoul metropolitan area-. *Proceeding of Architectural Institute of Korea Conference* 29(1): 581-584.
17. Yoon, Y. H. and T. G. Song(1998) Thermal effect of park and open space in urban area, *Journal of Korea Planners Association* 33(1): 91-98.
18. Yoon, Y. H.(2004) Effects of the land coverage of vegetation and the stratification of forest on micro-climate changes, *Journal of Korean Institute of Forest Recreation* 8(1): 25-33.

Received : 18 June, 2015

Revised : 16 July, 2015 (1st)

Accepted : 16 July, 2015

3인익명 심사필