

열쾌적성과 에너지절약을 위한 녹지계획 전략 연구[†]

조현길 · 안태원

강원대학교 조경학과

A Study on Greenspace Planning Strategies for Thermal Comfort and Energy Savings

Jo, Hyun-Kil · Ahn, Tae-Won

Dept. of Landscape Architecture, Kangwon National University

ABSTRACT

The purpose of this study is to quantify human energy budgets for different structures of outdoor spatial surfaces affecting thermal comfort, to analyze the impacts of tree shading on building energy savings, and to suggest desirable strategies of urban greenspace planning concerned. Concrete paving and grass spaces without tree shading and compacted-sand spaces with tree shading were selected to reflect archetypal compositional types for outdoor spatial materials. The study then estimated human energy budgets in static activity for the 3 space types. Major determinants of energy budgets were the presence of shading and also the albedo and temperature of base surfaces. The energy budgets for concrete paving and grass spaces without tree shading were 284 W/m^2 and 226 W/m^2 , respectively, and these space types were considerably poor in thermal comfort. Therefore, it is desirable to construct outdoor resting spaces with evapotranspirational shade trees and natural materials for the base plane.

Building energy savings from tree shading for the case of Daegu in the southern region were quantified using computer modeling programs and compared with a previous study for Chuncheon in the middle region. Shade trees planted to the west of a building were most effective for annual savings of heating and cooling energy. Plantings of shade trees in the south should be avoided, because they increased heating energy use with cooling energy savings low in both climate regions. A large shade tree in the west and east saved cooling energy by 1~2% across building types and regions. Based on previous studies and these results, some strategies including indicators for urban greenspace planning were suggested to improve thermal comfort of outdoor spaces and to save energy use in indoor spaces. These included thermal comfort in construction materials for outdoor spaces, building energy savings through shading, evapotranspiration and windspeed mitigation by greenspaces, and greenspace areas and volume for air-temperature reductions. In addition, this study explored the application of the strategies to greenspace-related regulations to ensure their effectiveness.

Key Words: Spatial Material, Human Energy Budget, Heating and Cooling, Tree Shading, Planning Indicator

[†]: 본 연구는 국토해양부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 2007년도 첨단도시개발사업의 연구비 지원(과제번호: 07도시재생 B04)에 의해 수행된 결과의 일부로서, 2009년 한국조경학회 추계학술대회에서 발표한 내용을 보완한 논문임.

Corresponding author: Hyun-Kil Jo, Dept. of Landscape Architecture, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea, Tel.: +82-33-250-8345, E-mail: jhk@kangwon.ac.kr

국문초록

본 연구의 목적은 옥외공간의 표면재료 구성에 따라 열쾌적성에 작용하는 인체 에너지수지를 산정하고, 수목차양이 건물에너지 절약에 기여하는 효과를 분석하여 도시녹지계획의 바람직한 전략을 제시하는 것이다. 옥외공간의 대표적 구성재료 유형을 반영하여, 수목차양이 부재하는 콘크리트 포장공간과 잔디공간, 수목차양의 마사토 포장공간 등 3개 공간유형별 휴식활동의 인체 에너지수지를 산정하였다. 이들 공간유형별 에너지수지 차이에 기여한 결정변수는 차양 여부와 지표면 알베도 및 온도이었다. 차양이 부재하는 콘크리트 포장공간과 잔디공간의 인체 에너지수지는 각각 284W/m^2 , 226W/m^2 로서, 열쾌적성 측면에서 상당히 불량한 것으로 나타났다. 따라서, 옥외 휴식공간은 증발산이 가능한 차양교목 및 자연재 바닥면으로 구성함이 바람직하다.

수목차양에 의한 건물에너지 절약은 남부지방 대구시를 사례로 컴퓨터 모델링 프로그램을 활용하여 계량화하고, 중부지방 춘천시의 기존연구와 비교하였다. 건물 서향에 식재한 차양수목이 연간 냉난방에너지 절약 상 가장 효과적이었다. 반면, 남향의 차양수목은 중부 및 남부지방 모두 냉방에너지 절약효과가 낮고 난방에너지 소비를 가중시키므로 그 식재를 회피해야 한다. 서향과 동향의 대형 차양수목은 건물유형 및 지방에 따라 냉방에너지를 1~2%/주 절약하였다. 저자의 기존연구와 이들 연구결과를 바탕으로, 옥외공간의 열쾌적성 증진과 옥내공간의 에너지절약을 위한 도시녹지계획의 지표표를 포함한 전략을 제시하였다. 본 지표 및 전략은 공간구성 재료에 따른 열쾌적성, 녹지의 차양, 증발산 및 풍속감소에 의한 건물에너지 절약, 기온저감을 위한 녹지의 면적과 체적 등을 포함하며, 아울러 제시한 전략의 실효성을 감안하여 녹지분야 주요 법제에의 적용안을 모색하였다.

주제어: 공간재료, 인체 에너지수지, 냉난방, 수목차양, 계획지표

1. 서론

공간표면 재료의 종류, 색채, 수평적 및 수직적 분포는 에너지수지를 좌우하고 미기후에 영향을 미치는 주요한 인자이다. 공간표면에 도달한 태양복사(solar radiation)는 반사, 흡수, 투과와 경로를 거치며, 반사량은 표면재료의 알베도(albedo)에 달려 있다. 이 반사를 제외한 순태양복사와 지구복사(terrestrial radiation)가 공간표면을 가열시킨다. 지구복사는 지구표면의 모든 물체, 구름, 대기오염물질 및 하늘 그 자체에 의해 방사되는 에너지이다. 태양복사와 지구복사에 의해 가열된 표면은 장파방사(longwave emission), 증발산, 전도 및 대류에 의해 냉각된다. 즉, 태양복사와 지구복사는 공간표면 에너지의 생산자이며, 장파방사, 증발산, 전도 및 대류는 에너지의 소비자이다. 장파방사는 표면의 온도에 따라서 방출되는 에너지이며 모든 물체는 스테판-볼츠만(Stefan-Boltzmann) 법칙으로서 절대온도의 4승에 비례하는 복사에너지를 방사한다(Brown and Gillespie, 1995). 대류는 표면온도와 기온 간 차이, 풍속 등의 두 변수에 정비례한다.

공간표면 재료 또는 토지피복과 기온 간의 인과관계에 대한 국내 연구는 주민의 체감온도나 건물에너지 소비에 직접적으로 작용하는 소규모 공간의 실측연구(조현길과 안태원, 1999b; 2006; 윤용환과 송태갑, 2000; 주민진 등, 2004), 실측 비교가 난이한 대규모 공간의 위성영상자료 해석연구(Lee, 1993; 박인

환 등, 2000; 윤민호와 안동만, 2009) 등 다양하게 수행되어 왔다. 즉, 조현길과 안태원(1999b; 2006)은 도시수목의 증산량 및 토지피복 재료의 알베도를 실측하고, 수목피도나 수관체적의 차이에 따른 소공간의 기온저감 기능을 구명한 바 있다. 주민진 등(2004)은 엽면적 지수가 상이한 녹음이수가 차양을 통해 기여하는 체감온도지수의 저감효과를 평가하였다. 박인환 등(2000)이나 윤민호와 안동만(2009)은 위성영상 자료를 이용하여 도시열섬을 완화시키는 매개체인 도시녹지, 하천 등의 기온 완화 및 완화거리를 분석하였다. 그러나, 옥외공간의 표면재료 구성이 인체 열쾌적성(thermal comfort)에 어떻게 얼마나 영향을 미치는지 상기한 에너지수지를 계량화한 국내 연구는 전무하다. 단지, Brown and Gillespie(1995)가 수목인지 잔디인지 구분 모호한 식생표면과 아스팔트 포장 간 바닥면 차이에 따른 정오 시 도시표면의 에너지수지를 비교하고, 인체 에너지수지를 산정하는 수식을 제시했을 뿐이다.

녹지는 증발산, 차양 및 방풍기능을 통하여 옥외공간의 미기후를 개선하고 옥내공간의 냉난방에너지를 절약한다(조현길과 안태원, 1999a; 1999b). 즉, 수목, 초본 및 토양으로 구성되는 녹지는 증발산의 역할을 통해 대기를 가열하는 현열을 잠열로 전환하여 기온을 감소시킨다. 수목은 하드스케이프에 도달하는 태양복사를 차단하거나 흡수하여 구조물 표면의 에너지 전도, 대류 및 저장에 의한 폐열발생과 기온상승을 저지한다. 한편, 수목은 방풍과 표면마찰 증가를 통해 풍속을 감소시키며, 옥외

공간에서 겨울철 대류에 의한 체온의 손실을 제어한다. 방풍 또는 풍속감소는 옥내로의 한풍 침투를 막고 옥외로의 열손실을 낮추어 난방에너지를 절약한다.

국외에서는 도시녹지의 건물에너지 절약에 관한 적지 않은 연구를 통해, 그것의 에너지보전 역할을 구명하고, 도시 내 녹지 확보의 중요성을 강조하여 왔다. 수목피도 10% 증가는 연간 냉방에너지를 미국 피닉스(Phoenix)시에서 12%, 그리고 새크라멘토(Sacramento)시에서 24% 절약하였다(Huang *et al.*, 1992). 시카고(Chicago)시의 경우, 수목피도 10% 증가는 연간 냉난방 에너지를 5~10% 감소시키는 것으로 나타났다(McPherson, 1994). 국내에서는 조현길과 안태원(1999a)이 춘천시를 대상으로 관련 연구를 수행하여, 수목피도 22%인 주거지구에서 호당 냉방 및 난방에너지를 연간 각각 약 19%, 2% 절약하였음을 보고하였다. 녹지의 에너지 절약 효과는 수목피도, 건물 주변 식재 패턴, 건물구조 등은 물론 기후조건에 따라 상이할 수 있다. 그러나, 그 효과에 관한 국내 연구는 중부지방에 국한된 소수에 불과하며(조현길 등, 1998; 조현길과 안태원, 1999a), 특히 남부지방을 대상으로 한 관련 연구는 전무한 상황이다.

조경분야에서 미기후 관련 관심사 중의 하나는 옥외공간을 이용하는 주민에게 계절에 따라 쾌적한 열환경을 제공해 주는 것이다. 공간표면 재료에 따른 미기후 변화는 주민의 열쾌적성에 영향을 미치며, 옥외공간을 다루는 조경계획 및 설계는 옥내의 경우처럼 활동에 쾌적한 열환경을 창출할 필요가 있다. 옥외공간의 쾌적한 미기후는 저탄소 녹색성장이라는 국내외 사회현안의 일부로서, 옥내공간의 냉난방에너지를 절약하고 탄소배출을 저감하는데도 기여한다. 공간표면 재료가 열쾌적성을 좌우한다는 것은 주지의 사실이나, 에너지수지의 인과관계를 계량적으로 분석하여 변수 간 상대적 중요도의 판단기준을 객관화한 조경분야의 응용연구는 거의 없다. 도시녹지에 의한 건물에너지 절약의 경우, 남부지방 대상의 연구가 부재하여 중부지방과의 기후적 차이를 반영한 녹지계획 전략을 마련하는데 한계가 있다. 따라서, 본 연구의 목적은 도시 옥외공간의 표면 재료 구성에 따라 열쾌적성에 작용하는 인체 에너지수지를 산정하고 수목차양이 건물에너지 절약에 기여하는 효과를 분석하여 미진한 연구정보를 구축한 후, 기존의 관련 연구결과를 추가 고찰하여 열쾌적성과 에너지절약을 위한 도시녹지계획의 전략을 제시하는 것이다.

II. 연구내용 및 방법

1. 옥외공간 열쾌적성 계량분석

도시에서 흔히 나타나는 공간구성 재료의 유형을 반영하여, 수목차양이 부재하는 콘크리트 포장공간(이하 '하드스케이프

공간'이라고 한다), 수목차양이 부재하는 잔디공간(이하 '잔디공간'이라고 한다), 느티나무 차양의 마사토 포장공간(이하 '수목차양 공간'이라고 한다) 등 3개 유형으로 구분하고, 아래의 수식을 적용하여 휴식활동의 인체 에너지수지를 산정하였다. 인체를 가열하는 주 에너지원은 활동유형에 따라 인체 내부에서 발생하는 대사에너지(metabolic energy: M), 태양으로부터 흡수한 태양복사(S) 및 지구의 모든 물체로부터 얻는 지구복사(T)이다. 반면, 인체를 냉각시키는 에너지는 발한(perspiration)에 기인한 증발(E), 바람에 의한 대류(C) 및 장파방사(L)이다. 이러한 과정의 인체 에너지수지를 수식으로 표현하면 다음과 같다(Brown and Gillespie, 1995).

$$\text{인체 에너지수지} = (M+S+T) - (E+C+L) \quad (\text{식 1})$$

$$M = \{1 - [0.15 - (0.0173 \times \text{포화수증기압}) - (0.0014 \times \text{기온})]\} \times \text{휴식활동 에너지} \quad (\text{식 2})$$

$$S = (\text{직달일사} + \text{산란복사} + \text{수관반사복사} + \text{지표반사복사}) \times (1 - \text{인체 알베도}) \quad (\text{식 3})$$

$$\text{여기서, 직달일사} = \{[(\text{수평면 총일사} - \text{산란복사}) / \tan \text{태양고도}] / 3.14\} \times \text{수관 일사투과율} \quad (\text{식 4})$$

$$\text{산란복사} = \text{수평면 총일사} \times 0.1 \times \text{수관 개방률} \quad (\text{식 5})$$

$$\text{수관반사복사} = [\text{산란복사} \times (1 - \text{수관 개방률})] \times \text{수관 알베도} \quad (\text{식 6})$$

$$\text{지표반사복사} = \text{수평면 총일사} \times \text{수관 일사투과율} \times \text{지표면 알베도} \quad (\text{식 7})$$

$$T = \{[0.5 \times (\text{하늘복사} + \text{수관복사})] + (0.5 \times \text{지표복사})\} \times \text{인체 복사능} \quad (\text{식 8})$$

$$\text{여기서, 하늘복사} = \text{대기복사} \times \text{수관 개방률} \quad (\text{식 9})$$

$$\text{대기복사} = [1.2 \times \text{인체 복사능} \times (5.67 \times 10^{-8}) \times (\text{기온} + 273)^4] - 171 \quad (\text{식 10})$$

$$\text{수관복사} = [\text{인체 복사능} \times (5.67 \times 10^{-8}) \times (\text{수관 온도} + 273)^4] \times (1 - \text{수관 개방률}) \quad (\text{식 11})$$

$$\text{지표복사} = [\text{인체 복사능} \times (5.67 \times 10^{-8}) \times (\text{지표면 온도} + 273)^4] \quad (\text{식 12})$$

$$E = 0.42 \times (M - 58) + \text{피부발한} \quad (\text{식 13})$$

$$C = 1.200 \times (\text{체온} - \text{기온}) / (\text{육체열저항} + \text{의류열저항} + \text{경계층저항}) \quad (\text{식 14})$$

$$L = 5.67 \times 10^{-8} \times (\text{인체표면온도} + 273)^4 \quad (\text{식 15})$$

상기한 수식에 필요한 변수인 공간유형별 기온, 표면온도, 풍속, 수평면 총일사, 수관 일사투과율, 수관개방률, 알베도 등은 8월 중순의 맑은 날 오후 1~2시에 실측하여 적용하였다. 기온은 지상 3m 높이에 자기온습도계 H08-032-08(HOBO, 2000)을 설치하고 1시간 동안 10분 간격으로 공간유형별로 동시에 측정하였다. 기기 간 기온의 실측결과는 실측 전일 동일 환경 조건 하에서 주간 8시간 동안 측정된 자료를 비교하여, 하드스케이프 공간의 설치기기를 기준으로 편차를 산출하여 보정하였다. 표면온도는 표면온도계 HI9063(Hanna Instruments, 2005)을, 풍속은 지상 1.5m 높이에서 풍속계 TA45(Airflow Developments Ltd, 2003)를, 그리고 수평면 총일사, 수관 일사투과율 및 알베도는 전천복사계(pyranometer) LI-200SA(LI-COR, 1999)를 이용하여 공간유형별로 각각 5반복에 걸쳐 측정하였다. 수관개방률은 수관을 사진 촬영하여 0.5cm의 격자를 그린 투명셀로판지를 올려 놓고, 개방 부분의 격자점 분포비를 파악하여 산출하였다. 인체 복사능은 기존 문헌(Brown and Gillespie, 1995)에 근거하여 0.98을 적용하였다. 본 연구에서는 대상 공간유형별 인체 에너지수치를 계량 분석한 기존 연구가 부재함을 고려하여, 옥외공간의 열쾌적 여부가 큰 관심사인 여름철의 오후 시간대를 대상으로 공간유형별 인체 에너지수치를 계량 비교하고, 이를 근간으로 적절한 옥외 휴식공간의 구성에 필요한 열쾌적성 결정변수를 검증하는데 초점을 두었다.

2. 옥내공간 에너지절약 모델링

건물 주변의 부적절한 위치에 식재한 수목의 차양은 중부지방의 경우 연간 건물에너지 절약에 오히려 역효과인 것으로 나타났다(조현길과 안태원, 1999a). 수목차양에 의한 냉난방에너지 절약은 식재위치에 부가하여 기후권역에 따라 상이할 수 있으므로, 기후권역을 고려한 건물 주변 적절한 식재방위를 파악함은 녹지계획 전략의 일환으로서 긴요한 사안이다. 따라서, 국내 연구가 부재한 남부지방 중 대구시를 사례로 수목차양에 의한 건물에너지 절약을 모델링하고, 중부지방 춘천시 대상의 기존 연구결과(조현길과 안태원, 1999a)를 본 연구의도에 맞게 재분석하여 비교하였다. 건물에너지 소비는 컴퓨터 모델링 프로그램으로서 그 결과에 대한 신뢰성이 입증된 MICROPAS(ENERCOMP, Inc., 1995)를 활용하여 산정하였다. MICROPAS는 열전도와 관련된 건물구조, 냉난방시설과 이용특성 및 기상자료의 입력을 토대로 월별, 시간별 건물에너지 이용량을 산출한다. 기후권역 간 수목차양 효과의 비교 차원에서 기상자료를 제외한 타 변수는 동일하게 처리하였다. 즉, 춘천시 주택의 구조적 특성을 반영하여 남향의 1층 및 2층 주택을 선정하고 모델링 관련 변수를 입력하였다(표 1 참조). 그리고 기상청으로부터 2006년에서 2008년까지 365일 매시간의 기온, 일사량,

표 1. 건물유형별 구조적 특성과 MICROPAS 주요 입력자료

건물구조		1층	2층
현관방위		남향	남향
건축재료		벽돌	벽돌
바닥규모(m)		12.0×8.9	12.3×8.7
냉난방 면적(m ²)		93.7	185.9
냉난방 체적(m ³)		210.9	418.2
세대수/거주자수		1/4	2/8
창면적 (m ²)	전면	7.8	12.4
	후면	3.3	4.8
	좌측	3.0	4.7
	우측	2.5	3.9
	합계	16.6	25.7
창유리수/열관류율		2/2.88	2/2.88
창문 차양계수	유리	0.48	0.48
	커튼 또는 블라인드	0.63	0.63
열관류 저항	벽체	2.04	2.04
	천정	2.88	2.88
외기차단계수		0.25	0.40
난방기기효율		0.73	0.73
온도조절장치		설정	설정
겨울철 난방(℃)		21.1	21.1
여름철 냉방(℃)		25.6	25.6

자료: 조현길과 안태원, 1999a

풍속, 풍향 등을 포함하는 대구시 기상자료를 구입하여, 3개년 대표치의 MICROPAS 호환성 기상파일을 작성하고 이를 모델링에 이용하였다. 춘천시의 경우, 필요한 기상자료의 완벽한 확보가 불가하여 그와 근접한 서울시의 3개년 대표치를 대체 활용하였다.

수목의 차양효과는 SPS(McPherson *et al.*, 1985: 1988)를 활용하여 계량화하였다. SPS(Shadow Pattern Simulator)는 태양고도의 변화에 따른 월별, 시간별 수목차양에 의한 건물표면 전체의 차양계수(shading coefficient)를 산출하는 MICROPAS 호환성 프로그램이다. 이 프로그램은 태양각 변화와 관련된 계절과 위도 및 경도, 건물길이 및 넓이, 수목크기와 식재위치 등 태양, 건물, 수목 관련 다양한 변수의 입력을 필요로 한다. 수목차양 유형은 식재위치의 차이에 초점을 두고 동향, 남향, 서향 등 3개 방위를 선정하여, 실측 대표치의 하나로서 건물로부터 5m 거리에 식재한 비교적 대형의 낙엽수에 의한 차양효과를 모델링하였다. 즉, 이 수목의 크기는 수고 8m, 수관고 5.5m 및 수관폭 7.5m이고 수형은 우산형이었다. 수관의 일사투과율은 다양한 낙엽수종의 대표치로서(McPherson, 1984; McPherson *et al.*, 1993) 생장기간(5~10월) 동안 15%이고, 낙엽된 겨울철에는 75%인 것으로 가정하였다. 주택 및 차양유형별 SPS 시뮬레이션을 통하여 생성된 파일을 MICROPAS에 입력

하여 차양효과를 반영한 건물에너지 이용량을 산정하였다.

3. 녹지계획 전략 제시

본 연구결과와 관련 기존연구(Heisler, 1989; Akbari *et al.*, 1992; 조현길과 안태원, 1999a; 1999b; 2006; 2009; 조현길과 野島義照, 2000; Wong *et al.*, 2003)를 바탕으로, 옥외공간의 열쾌적성 개선과 옥내공간의 에너지절약을 위한 도시녹지계획의 지표를 제시하고 전략을 모색하였다. 즉, 연구의 주요 내용으로서 공간구성 재료에 따른 열쾌적성, 녹지의 차양, 증발산 및 풍속감소에 의한 건물에너지 절약, 기온저감을 위한 녹지의 면적과 체적 등의 지표를 제시하였다. 여기에서, 지표란 관련 녹지계획에 어떤 변수를 반영해야 하고, 그 효과가 어느 정도 인지를 가늠하는 계획전략의 계량적 판단기준을 의미한다. 본 녹지계획 지표 및 전략은 이를 목표로 저자가 지난 약 10년 동안 연구해 온 결과를 중심으로 시의성을 감안하여 종합 고찰하고, 그 동안 미진했던 옥외공간의 인체 에너지수지와 남부지방 수목차양의 에너지절약을 본 연구를 통해 보강하여 마련하였다. 이러한 녹지계획 전략은 실용성을 감안하여 조경분야의 해당 법제에 반영되길 기대하면서, 기술적인 측면의 연장 선에서 법제적 지표 및 기준의 수립도 검토 제안하였다.

III. 연구결과

1. 옥외공간 구성유형별 열쾌적성

연구대상 옥외공간의 수평면 일사는 8월 중순의 맑은 날 오후 1~2시에 장애물이 없는 조건 하에서 평균 831W/m²이었고, 풍속은 0.3m/s이었다. 공간재료 구성유형별 평균 기온은 하드스케이프 공간 약 33℃, 잔디공간 31℃, 수목차양 공간 30℃이었다. 지표면의 온도와 알베도는 각각 콘크리트 포장 36℃ 및 0.30, 잔디면 29℃ 및 0.25, 마사토 포장 22℃ 및 0.34이었다. 느티나무 수관의 일사투과율은 10%, 개방률은 4%, 알베도는 0.23인 것으로 나타났다. 이 느티나무의 수고는 약 8m, 수관고는 6m, 수관폭은 7m이었다.

공간재료 구성유형별 인체 에너지수지는 하드스케이프 공간 284W/m², 잔디공간 226W/m², 수목차양 공간 13W/m²이었다(그림 1 참조). 에너지수지가 +이면 과열로서 더위를, -이면 추위를 각각 느끼며, 균형을 이룰 경우 활동에 쾌적한 열환경이 된다. 에너지수지에 근거한 열쾌적성 지표는 -50~50W/m²인 경우 쾌적한 상태이며, -150W/m² 미만이면 훨씬 따뜻하게 개선, 그리고 150W/m²를 초과하면 훨씬 시원하게 개선을 요구한다(Brown and Gillespie, 1995). 따라서 수목차양 공간은 휴식에 쾌적한 천정면과 바닥면으로 구성되었으나, 하드스케이프

표 2. 연구대상 옥외공간의 여름철 에너지수지 산정변수별 측정치

변수	하드스케이프 공간	잔디공간	수목차양 공간	
수평면 일사(W/m ²)	831	831	831	
기온(지상 3m, ℃)	32.6	31.3	29.5	
풍속(지상 1.5m, %)	0.3	0.3	0.3	
지표면	재료	콘크리트	잔디	마사토
	알베도	0.30	0.25	0.34
	온도(℃)	36	29	22
수관	일사투과율	-	-	0.1
	개방률	-	-	0.04
	알베도	-	-	0.23

공간이나 잔디공간은 열쾌적성 측면에서 상당히 불량한 상태를 시사한다.

연구대상 옥외공간의 에너지수지 차이에 결정적 역할을 담당한 인자는 태양복사를 비롯하여 지구복사 중의 하늘복사와 지표복사이었다. 태양복사는 직달일사, 산란복사, 지표반사복사 등의 합으로서, 3개 복사의 합은 하드스케이프 공간 438W/m², 잔디공간 397W/m², 수목차양 공간 42W/m²이었다. 이 차이에 영향을 미친 주요 변수는 수관 일사투과율과 지표면 알베도이었다. 하늘복사와 지표복사의 합은 하드스케이프 공간 917W/m², 잔디공간 863W/m², 수목차양 공간 436W/m²이었다. 하늘복사와 지표복사의 차이에 관여한 결정변수는 각각 기온 및 지표면 온도이었다.

열쾌적성의 주요 결정변수인 수평면 일사와 수관 일사투과율, 지표면 온도 및 알베도 등 4개 변수를 선정하여 수목차양 공간을 대상으로, 적용 수식의 민감도를 포함한 변수 간 상대적 기여도를 분석하였다. 각 변수의 측정치를 20%씩 상향 조정하여 에너지수지를 산정한 결과, 지표면 온도 약 1.9배, 수평면 일사 1.5배, 수관 일사투과율 1.4배, 지표면 알베도 1.2배 등의 순으로 에너지수지를 증가시키는 것으로 나타났다. 즉, 지표면 온도가 인체 에너지수지에 매우 민감하게 반응함을 시사하며, 이는 천정면의 차양 정도와 지표면의 재료외도 유관한 것이다. 연구대상 옥외공간의 기온은 이들 변수의 종합적 상호작용의 결과라고 해석할 수 있다. 본 연구결과는 유사한 옥외공간의 인체 에너지수지를 계량화한 선행 사례를 찾아보기 어려워 비교 고찰이 불가하므로, 향후 관련 연구의 축적을 통해 검증될 필요가 있다.

열쾌적성을 위한 옥외공간의 조성은 상기한 에너지수지의 결정변수를 반영해야 한다. 옥외 휴식공간에서 녹음식재를 무시하고 불필요하게 넓은 면적에 걸쳐 잔디를 식재하거나 불투수 하드스케이프로 포장하는 경향을 볼 수 있다. 공원에서 녹음이 없는 잔디 위주의 식재는 여름철 태양복사에의 노출을 회

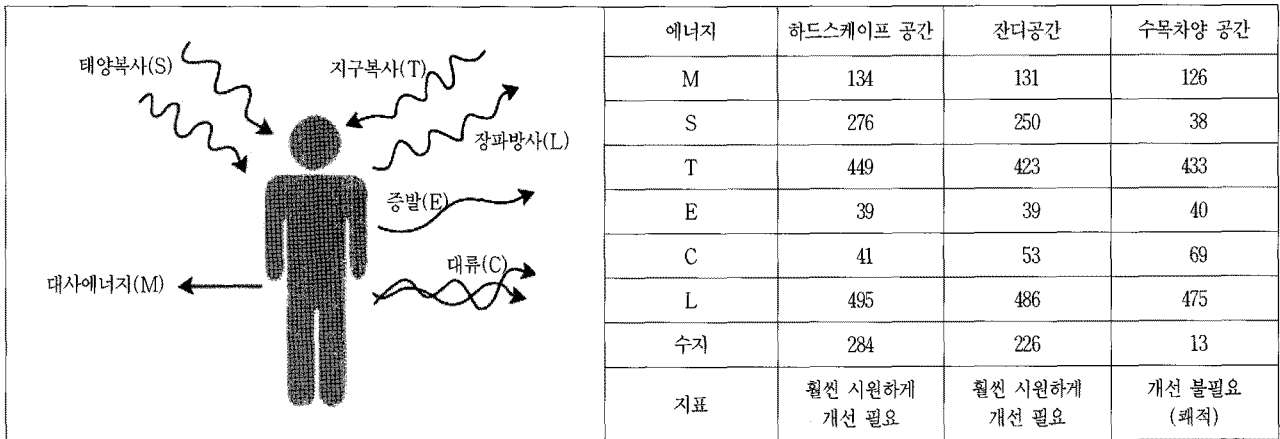


그림 1. 옥외공간 구성유형별 여름철 인체 에너지수지와 열쾌적성 지표(단위: W/m²)

피하는 이용자에게 바람직하지 않으며, 수목의 환경생태적 및 경관미적 효과를 위해서도 식재공간을 낭비하는 결과가 된다. 따라서, 옥외 휴식공간은 증발산이 가능한 교목의 양호한 차양과 자연재 바닥면으로 조성할 필요가 있다.

2. 수목차양에 의한 건물에너지 절약

건물유형별 MICROPAS 모델링을 통해 나타난 냉난방면적당 에너지이용은 춘천에서 1층 주택이 난방 1,099.9MJ/m², 냉방 8.2kWh/m²이고, 2층 주택이 난방 1,025.1MJ/m², 냉방 7.5kWh/m²이었다. 대구의 경우는 1층 주택이 난방 835.8MJ/m², 냉방 8.5kWh/m²이고, 2층 주택이 난방 769.9MJ/m², 냉방 7.8kWh/m²이었다. 즉, 대구에서는 춘천에 비해 난방에너지 소비량이 약 25% 더 적은 반면 냉방에너지 소비량은 3% 더 많았다.

수목차양이 건물의 냉난방에너지 절약에 미치는 효과는 건물 주변 식재위치와 연구대상 지방에 따라 상이하였다. 동향의 수목은 냉방에너지를 춘천에서 1주당 1.0~1.6%, 대구에서 1.7~2.4% 각각 절약하여, 그 절약효과가 남향이나 서향의 수목보다 높았다. 남향 수목은 동향 및 서향 수목에 비해 여름철 차양을 통한 냉방에너지 절약효과가 가장 낮은 것으로 나타났다. 한편, 모든 방위의 차양수목은 겨울철 수광을 차단하여 난방에너지 이용을 오히려 가중시키는 역효과를 초래하였다. 그 역효과는 남향 수목이 지방에 따라 1주당 -0.3~-0.6%로서 가장 큰 반면, 서향 수목의 경우는 미미하였다. 남향 수목의 경우, 냉방에너지 절약효과가 낮고 난방에너지 이용을 가중시키는 이유는 태양고도가 높은 여름철에 일사 차단효과가 낮은 반면 태양고도가 낮은 겨울철엔 일사 투과를 방해하기 때문이다. 수목차양에 의한 건물유형별 에너지절약은 춘천보다 난방기간이 짧은 대구에서 더 효과적인 것으로 분석된다.

표 3. 식재방위별 수목차양에 의한 호당 연간 에너지절약 효과

식재방위	도시	건물유형	난방		냉방		비용	
			양(MJ)	비율(%)	양(kWh)	비율(%)	원	비율(%)
동향	춘천	1층	-104	-0.10	12	1.55	530	0.04
		2층	-176	-0.09	14	1.02	-20	-0.01
	대구	1층	-113	-0.14	19	2.39	1,480	0.14
		2층	-186	-0.13	25	1.74	1,490	0.08
남향	춘천	1층	-466	-0.45	3	0.40	-5,230	-0.38
		2층	-570	-0.30	2	0.13	-6,680	-0.26
	대구	1층	-455	-0.58	4	0.53	-4,930	-0.46
		2층	-510	-0.36	4	0.29	-5,610	-0.29
서향	춘천	1층	-54	-0.05	10	1.35	900	0.07
		2층	-71	-0.04	12	0.84	890	0.04
	대구	1층	-37	-0.05	13	1.68	1,560	0.14
		2층	-48	-0.03	16	1.10	1,790	0.09

*: 건물에서 5m 거리에 식재한 수고 8m, 수관폭 7.5m의 낙엽수 1주에 의한 차양

에너지소비에 따른 비용은 난방에너지가 8,800kcal당 약 450원, 냉방에너지가 1kWh당 약 150원이었다(조현길과 안태원, 1999a: <http://cyber.kepco.co.kr>). 이 비용을 적용하여 차양에 의한 호당 연간 냉난방에너지 절약을 산출하면, 남향 수목은 지방에 따라 1주당 -0.3~-0.5%인 -4,900~-6,700원이었다. 남향의 수목차양이 연간 에너지소비를 증가시킨 이유는 여름철 냉방 에너지의 절약 이상으로 겨울철 난방에너지 이용을 더 많이 요구했기 때문이다. 동향 수목은 대구에서 층수에 관계없이 약 1,500원 절약하였으나, 춘천의 2층 건물에서는 에너지비용을 오히려 약간 증가시켰다. 서향 수목은 춘천에 비해 대구에서 약 2배 많은 1,600~1,800원을 절약하였다.

결국, 서향은 중부 및 남부지방 모두 수목차양을 통한 에너지절약 상 가장 바람직한 식재방위인 것으로 나타났다. 동향의 차양식재 역시 남부에서 바람직하지만, 춘천에서는 가지밀도가 낮은 대형 낙엽수 외엔 제한을 필요로 한다. 남향은 중부 및 남부지방 모두 연간 에너지소비를 증가시키는 역효과를 초래하므로 차양수목의 식재를 회피해야 한다. 기존 연구들(McPherson, 1994; 조현길과 안태원, 1999a; Jo and McPherson, 2001) 역시 본 연구결과와 유사하게, 차양효과가 가장 양호한 식재방위는 건물의 서향 및 동향이며, 남향의 차양수목은 오히려 난방에너지 이용을 증가시킴을 보고한 바 있다. 건물 주변 기존의 조경식재는 적합한 식재방위를 고려함이 없이 남향에 더 많은 수목을 식재하는 경향이 있었다. 본 연구의 중요한 결과는 연간 냉난방에너지 절약을 최대화하기 위해 건물 주변 적지적소에 차양식재를 추진함이 바람직하되, 식재방위의 적합 여부는 중부지방이나 남부지방 모두 유사하다는 점이다. 다만, 남해안이나 제주도 등 난대지방에도 본 연구결과를 적용할 수 있는지 여부는 추가연구를 통한 검증이 요구한다.

3. 녹지계획 전략

1) 옥외공간 열쾌적성 증진

옥외공간의 여름철 열쾌적성을 결정하는 주요 인자는 복사와 표면온도에 영향을 미치는 공간재료 및 알베도이다. 높은 표면온도는 장파복사 및 대류에 의해 주변 기온을 증가시키는 반면, 차양은 표면을 가열하는 복사를 차단하고 증발산은 대기를 가열하는 현열을 잠열로 전환하여 기온을 감소시킨다(표 4 참조).

본 연구 및 기존 연구(조현길과 안태원, 1999b)의 결과에 따르면, 옥외공간 구성의 대표적 재료 중 콘크리트나 아스팔트는 토양수분의 증발이 불가하고, 알베도가 특히 낮은 아스팔트는 태양복사에 의한 열저장이 많아 식물, 목재 등 자연재보다 여름철 표면온도가 훨씬 높다. 즉, 콘크리트 및 아스팔트 포장의 표면온도는 잔디면보다 여름철 오후 각각 7~8℃, 13℃ 더 높은 것으로 나타났다. 도시에 흔히 식재하는 단풍나무와 플라타너스의 증산량은 8월 단위시간 및 단위엽면적당 각각 75g/m²/h, 250g/m²/h이고, 흉고직경 16cm인 단풍나무 1주의 8월 하루 증산량은 사무실 24평형용 7,100kcal/h 냉방능력을 가진 냉방기 1대를 약 12시간 동안 가동하는 효과에 해당하였다(조현길과 野島義照, 2000). 따라서, 옥외 휴식공간은 하드스케이프 재료를 최소화하고 증발산이 가능한 차양수목과 자연재 포장으로 구성함이 바람직하다. 여기에서, 자연재 포장이란 본 연구의 마사토 포장과 같이 증발을 통한 기온저감이 가능하고 복사에 의한 열저장이 낮은 그린블럭, 지피식물 혼용의 석재포장 등을 의미한다.

녹지량에 따른 기온 차이와 관련된 저자의 다년간 연구에 의하면, 수목피도 10% 증가는 여름철 기온을 약 0.5℃씩 저감시

표 4. 열쾌적성 증진 및 건물에너지 절약을 위한 녹지계획의 지표

변수	기능	지표	
		열쾌적성	에너지절약
알베도	태양복사 반사/저장	아스팔트 0.09, 잔디 0.25, 콘크리트 0.30, 백색벽 0.68 ^a	건물 알베도 3배 증가→냉방 20% 절약 ^b
표면온도	장파복사, 대류	잔디면 대비 콘크리트 7~8℃ 상승, 아스팔트 13℃ 상승 ^a	옥상토심 30cm 관목식재→건물에너지 15% 절약 ^c
증발산	현열의 잠열 전환	단풍나무 증산 75~플라타너스 250g/m ² /h ^d	수목피도 10% 증발산→냉방 9% 절약 ^e
차양	태양복사 차단	낙엽수 착엽기간 90% 차양, 마사토포장 수목차양공간→인체 에너지수지 13W/m ² (열쾌적)	대형수목 건물서향/동향 차양→냉방 1~2% 절약
바람조절	대류, 통풍, 방풍	수목피도 10%→풍속 10% 감소 ^f	수목피도 10% 풍속감소→난방 1% 절약 ^g
수목피도	증발산, 차양 및 풍속감소	수목피도 10~20%(수관체적 15~35m ³ /100m ²) →여름철 기온 0.5~1℃ 감소 ^h	수목피도 10%→냉방 10%, 난방 1% 절약 ^g
공간재료 체적	도시 에너지수지	식생체적 10% 증가→여름 기온 0.30% 저감/ 건물체적 10% 감소→기온 0.39% 저감 ^h	-

자료: ^a: 조현길과 안태원, 1999b. ^b: Akbari et al., 1992. ^c: Wong et al., 2003. ^d: 조현길과 野島義照, 2000. ^e: 조현길과 안태원, 1999a. ^f: Heisler, 1989.

^g: 조현길과 안태원, 2006. ^h: 조현길과 안태원, 2009

키고 녹지가 풍부한 교외보다 하드스케이프가 우점하는 도심에서 그 효과가 더 현저하였다(조현길과 野島義熙, 2000; 조현길과 안태원, 2006). 그리고, 공간재료의 입체적 영향으로서 식생체적 10% 증가는 여름철 기온을 0.30%씩 저감시키고, 건물체적 10% 감소는 기온을 0.39%씩 저감시키는 것으로 나타났다(조현길과 안태원, 2009). 결국, 도시전체의 열쾌적성 증진은 녹지체적 확충을 필요로 하며, 아울러 바다면의 투수포장과 지피식재, 수직벽과 옥상의 녹화 등으로 하드스케이프의 현열 발생을 제어해야 한다. 하드스케이프는 알베도가 높은 밝은 계통의 색채로 마감되되, 백색 위주의 마감은 반사에 기인한 또 다른 폐열 발생, 눈부심 등을 유발할 수 있으므로 증명도 및 증채도의 색채를 혼용한다(조현길과 안태원, 1999b; 조현길과 조용현, 2008).

2) 건물에너지 절약

건물에너지 절약을 위한 녹지계획은 어떻게 하면 차양, 증발산 및 풍속감소의 효과를 증진하느냐에 달려 있다(표 4 참조). 차양효과의 증진은 본 연구에서 다른 주요 내용으로서, 계절별 태양고도 및 태양각을 고려하여 여름철에는 태양복사를 차단하고, 겨울철에는 이를 방해하지 않는 적합한 방위에 식재하는 것이다. 즉, 건물 서향 및 동향의 벽면 가까이에 차양수목을 식재하여 여름철 오후의 태양복사를 최대한 차단한다. 다만, 중부지방의 경우 동향에는 가지밀도가 낮은 대형 낙엽교목을 식재하여 겨울철 오전의 일사를 허락하는 전략이 필요하다. 남향의 차양수목은 중부 및 남부지방 모두 난방에너지 소비를 오히려 가중시키므로 남향에는 겨울철 일사를 차단하는 수목식재를 회피해야 한다.

증발산 및 풍속감소에 의한 냉난방에너지 절약효과는 단지 건물을 차양하는 개개의 수목뿐만 아니라, 일정 주거지에 분포하는 모든 수목의 종합적인 영향에 기인하므로 건물 주변의 적극적 수목식재에 초점을 두어야 한다. 왜냐하면, 수목피도 증진은 단위면적당 증발산량을 증가시켜 여름철 냉방에너지를, 겨울철 표면마찰 증가로 한풍을 감속시켜 난방에너지를 각각 절약할 수 있기 때문이다. 증발산은 수목피도 약 10% 및 20%인 주거지에서 냉방에너지를 호당 평균 각각 9.1%, 17.8% 절약하는 것으로 나타났다(조현길과 안태원, 1999a). 주거지에서 수목피도 10% 증가는 풍속을 5~15% 감소시키며, 그 효과는 수목피도가 높은 지역보다 낮은 주거지에서 상대적으로 더 크다(Heisler, 1989; 1990; Myrup *et al.*, 1993). 풍속감소는 수목피도 약 10% 및 20%인 주거지에서 난방에너지를 호당 평균 각각 0.9%, 1.9% 절약하였다(조현길과 안태원, 1999a). 난방에너지 0.9%의 절약은 약 1,403MJ에 해당하는 적지 않은 양으로서(조현길과 안태원, 1999a), 수목에 의한 풍속감소는 남부지방보다 난방기간이 긴 중부지방에서 더 효과적일 것이다. 따라

서, 겨울 한풍의 주풍향에 낙엽수와 상록수를 다층으로 군식하여 증발산 및 풍속감소의 효과를 증진하되(조현길과 안태원, 1999a; 조현길과 조용현, 2008), 겨울철 일사와 여름철 통풍을 방해하는 위치에는 수목식재를 지양한다. 춘천의 주풍향은 겨울철 북향 및 여름철 남서향이고, 대구의 경우는 겨울철 북서향 및 여름철 남동향이었다.

한편, 녹지면적 확보가 제한되는 고밀의 도심에서는 옥상 및 벽면 녹화를 추진하여 상기한 효과를 도모한다. Wong *et al.*(2003)은 싱가포르의 5층 상업건물을 대상으로 옥상녹화에 의한 에너지절약 효과를 시뮬레이션한 결과, 30cm 깊이 토양의 관목식재는 비녹화 옥상에 비해 연간 약 15%의 에너지를 절약하였음을 보고하였다. 건물 지붕 및 외벽은 알베도를 고려하여 밝은 계통의 색채로 마감하여 태양복사의 흡수와 저장에 의한 건물에너지 부하를 최소화한다. 미국 새크라멘토시 주택의 경우, 지붕 및 외벽의 알베도를 0.2에서 0.6으로 증가시킨 결과, 냉방에너지 비용을 약 20% 절감할 수 있었다(Akbari *et al.*, 1992). 다만, 남측 벽면은 겨울철에 비해 태양고도가 높은 여름철 수광량이 적으므로, 중부지방에서는 진한 계통의 색채로 마감하는 것이 난방에너지 절약상 유리하다(조현길과 조용현, 2008).

3) 관계법제 개선

(1) 건축법

건축법에 의하면 대지 내 조경을 요구하는 최소대지면적은 200m²로서, 건물규모에 따라 지방자치단체의 조례에서 정하는 조경면적을 확보해야 하며, 서울시의 경우 최소조경면적은 5%이다. 이 기준은 과학적 근거가 무엇인지 불분명하다. 대지규모 200m² 미만인 주택에서는 수목 한 그루도 식재할 필요가 없고, 대지 200m²의 5%인 10m² 면적은 대형수목 한 그루가 차지하는 규모도 되지 않는 셈이다.

따라서, 최소조경면적은 이 기준이 요구하는 녹지확보 본연의 효과를 달성할 수 있도록 합리적으로 개정함이 바람직하되, 한 방안으로서 에너지절약 및 저탄소 도시의 조성동향에 부응하여 녹지의 기온저감 기능을 적용할 수 있다. 예를 들어, 전기 한 바와 같이 여름철 온도를 0.5~1℃ 저감할 수 있는 녹지지표로서(조현길과 안태원, 2006), 최소조경면적 5%는 수목피도 10~20% 이상 또는 수관체적 15~35m³/100m²(흉고직경 15cm의 수목 0.5~1주에 상당) 이상으로 그 기준을 마련하는 것이다. 또한, 건축법의 에너지절약 관련 조항에 본 연구의 건물 주변 식재기법과 알베도를 포함하는 냉난방에너지 절약기준을 삽입하는 방안이 요구된다.

(2) 주택건설기준 등에 관한 규정

본 규정에 따르면 공동주택단지에서는 단지면적의 30% 이

상에 해당하는 녹지면적을 확보해야 한다. 그러나, 상업지역 내에 주택을 건설하는 경우나 세대당 전용면적이 85m^2 이하인 주택을 전체 세대수의 2/3 이상 건설할 경우, 건축법의 조경면적 기준을 준용할 수 있다. 이 단서조항은 고층고밀의 도심에서 녹지에 의한 열쾌적성 개선 및 건물에너지 절약의 효과를 확보하기 위해 삭제함이 바람직하다.

300세대 이상의 공동주택을 건설하는 단지의 녹지에는 500세대마다 1개소 이상의 휴게시설을 설치하도록 규정하고 있다. 휴게시설에는 퍼골라 및 25명용 벤치를 설치하고 주변에는 수목을 식재해야 한다. 25명용 휴게시설이 500세대를 위해 절대 부족한 것도 부당하지만, 본 연구 관련 문제는 휴식공간의 조성기준이 부재하다는 것이다. 그러므로, 본 열쾌적성 연구결과를 반영하여 증발산이 가능한 차양교목과 투수성 자연포장재로 구성된 휴식공간 모델을 제시하는 명쾌한 지침이 필요하다(그림 2 참조).

(3) 도시공원 및 녹지 등에 관한 법률

본 법률의 시행규칙에 의하면, 개발제한구역 및 녹지지역을 제외한 도시공원의 확보기준은 시민 1인당 3m^2 이상이다. 이 공원면적 기준은 논리적 근거가 불분명하며, 공원녹지기본계획 수립 및 녹지설치 관련 조항에는 1인당 도시녹지의 확보기준이 부재한다.

따라서, 상기한 바와 같이 녹지의 기온저감 기능을 바탕으로 도시녹지의 확보기준을 명기할 필요가 있다. 즉, 여름철 온도를 $0.5\sim 1^\circ\text{C}$ 저감할 수 있는 최소 기준으로서, 수목피도 $10\sim 20\%$ 또는 수관체적 $15\sim 35\text{m}^3/100\text{m}^2$ 의 녹지공급 지표를 적용하는 것이다.

(4) 친환경건축물 인증제도

친환경건축물 인증제도의 생태환경, 에너지 등 관련 평가항목에 열쾌적성 개선을 위한 녹지지표의 달성 여부와 건물에너

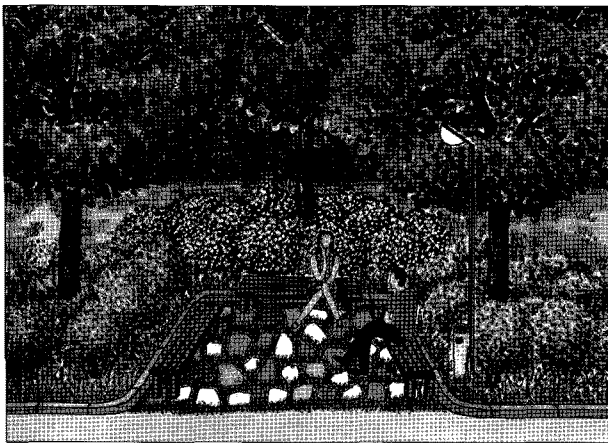


그림 2. 열쾌적성을 고려한 공간재료로 구성된 휴식공간 조성모델

지 절약을 위한 방위별 식재기법의 적용 여부를 추가할 필요가 있다.

IV. 결론

본 연구는 도시 옥외공간의 대표적 구성재료 유형에 따라 열쾌적성에 작용하는 여름철 인체 에너지수지를 산정하고, 남부지방 대구를 대상으로 수목차양이 냉난방에너지 절약에 기여하는 효과를 분석하여 중부지방 춘천의 경우와 비교하였다. 이들 주제는 그 동안 국내에서 절대 미진했던 연구내용으로서, 조경분야에서 쾌적한 열환경 창출 및 저탄소 녹색성장의 사회적 이슈에 부응하고자 하는 의의에서 관련 녹지계획 전략을 모색하였다.

연구대상 옥외공간의 인체 에너지수지의 차이에 기여한 결정변수는 차양 여부와 지표면 알베도 및 온도이었다. 차양이 부재하는 하드스케이프 공간이나 잔디공간은 열쾌적성 측면에서 상당히 불량하였으나, 느티나무 차양과 마사토 포장으로 구성된 공간의 여름철 인체 에너지수지는 $13\text{W}/\text{m}^2$ 로서 양호한 열쾌적성을 나타냈다. 그러므로, 옥외 휴식공간은 증발산이 가능한 자연재 바닥면 및 차양교목으로 구성함이 바람직하다. 본 결과는 유사한 옥외공간의 인체 에너지수지를 계량화하여 쾌적한 열환경의 조성전략을 수립한 선행 연구를 찾아보기 어려워 비교 고찰이 불가하였다. 향후, 다양한 옥외공간의 계절별 인체 에너지수지를 확대 연구하여 여름철에 국한된 본 에너지수지 연구를 검증할 필요가 있다.

수목차양에 의한 연간 건물에너지 절약이 가장 효과적인 식재방위는 중부 및 남부지방 모두에서 건물의 서향이였다. 서향과 동향의 대형 차양수목은 건물유형 및 지방에 따라 냉방에너지를 $1\sim 2\%$ /주 절약하였다. 수목차양에 의한 건물에너지 절약은 춘천보다 남부의 대구에서 더 많은 것으로 나타났다. 한편, 남향의 차양수목은 냉방에너지 절약효과가 낮고 난방에너지 소비를 가중시키므로 중부 및 남부지방 모두 그 식재를 회피해야 한다. 건물에너지 절약에 관한 본 연구는 남부지방 대상의 연구가 전무한 상황에서, 방위별 차양수목 식재의 적부성을 구명하고, 중부 및 남부지방을 포괄하는 건물 주변 식재기법을 일반화하고자 하는 의도에서 수행되었다. 다만, 대구 이남의 난대 지방에도 본 연구결과를 적용할 수 있는지 여부는 추가 연구를 통한 검증을 요구한다. 한편, 대구의 수목차양 효과는 기후권역간 비교 차원에서 기상자료를 제외하곤 춘천의 건물 구조적 특성을 적용한 결과이다. 추후, 남부지방의 건물구조와 에너지소비비를 실시하고 녹지의 차양효과 이외에 증발산 및 풍속감소 기능을 포괄하는 건물에너지 절약에 관한 추가 연구가 필요하다.

상기한 본 연구결과를 비롯하여 저자가 지난 10여년 동안 연구해 온 관련 결과를 추가적으로 고찰하여, 옥외공간의 열쾌적

성 개선과 옥내공간의 에너지절약을 위한 도시녹지계획의 전략을 제시하였다. 이 전략은 공간구성 재료에 따른 열쾌적성, 녹지의 차양, 증발산 및 풍속감소에 의한 건물에너지 절약, 기온저감을 위한 녹지의 면적과 채적 등 관련 녹지계획의 계량적 판단기준으로서의 지표에 근거하였다. 본 녹지계획 전략에는 건축법, 주택건설기준 등에 관한 규정, 도시공원 및 녹지 등에 관한 법률 등의 주요 해당 법제를 선정하여, 녹지조성 관련 조항에 적용할 법제적 지표나 기준의 마련도 포함하였다. 이는 녹지조성 본연의 실효성을 추구하면서 과학적으로 미흡한 법제적 녹지조성 기준을 명쾌히 수립할 당위성을 강조한 것이다. 다만, 본 지표 및 전략은 본 연구주제인 열쾌적성 개선 및 건물 에너지 절약에 국한된 것이므로, 녹지의 탄소흡수를 포함한 대기정화, 야생동물 서식, 우수투수 및 순환 등 타 환경생태적 기능도 종합적으로 반영하는 후속 연구가 수행되길 기대한다.

인용문헌

- 박인환, 장갑수, 김종용, 박종화, 서동조(2000) 대도시에 있어 냉설의 유형별 온도완화 효과-대구광역시 사례연구. 한국조경학회지 28(1): 11-18.
- 윤민호, 안태원(2009) 위성영상을 이용한 도시녹지의 기온저감 효과 분석. 한국조경학회지 37(3): 46-53.
- 윤용한, 송태갑(2000) 도시공원의 기온에 영향을 미치는 요인. 한국조경학회지 28(2): 39-48.
- 조현길, 안태원(1999a) 춘천시 주거지구내 수목피복의 차이가 난방방 에너지 이용 및 비용에 미치는 효과. 한국조경학회지 27(2): 19-28.
- 조현길, 안태원(1999b) 도시녹지에 의한 미기후개선의 기능. 한국조경학회지 27(4): 23-28.
- 조현길, 안태원(2006) 도시 수목식재와 미기후 개선의 상관성 구명. 한국조경학회지 34(5): 70-75.
- 조현길, 안태원(2009) 도시기온에 작용하는 입체적 토지피복의 영향. 한국조경학회지 37(3): 54-60.
- 조현길, 안태원, 김한수, 정응호(2009) 옥외공간 열쾌적성과 건물 에너지 절약을 위한 녹지계획지표 연구. 한국조경학회 추계학술대회 논문집. pp. 10-13.
- 조현길, 조용현(2008) 생태조경계획 및 설계. 서울: 기문당.
- 조현길, 한갑수, 서육하(1998) 도시식생의 주택에너지 절약 및 탄소배출 저감 기능. 한국조경학회지 26(3): 104-117.
- 조현길, 野島義照(2000) 도시녹지의 미기후개선, CO₂ 흡수 및 화재방지의 효과. 한국자원식물학회지 13(3): 155-163.
- 주민진, 이춘석, 류남형(2004) 도심 녹음수의 체감온도지수(WBGT) 조절효과. 한국조경학회지 32(3): 51-59.
- Akbari, H., P. Martien, and A. Rosenfeld(1992) Using light-colored surfaces to cool our communities. In H. Akbari, S. Davis, S. Dorsano, J. Huang, and S. Winnett, eds., *Cooling Our Communities*. Washington, D.C.: US Government Printing Office. pp. 43-52.
- Brown, R. D. and T. J. Gillespie(1995) *Microclimatic Landscape Design*. New York: John Wiley & Sons.
- ENERCOMP, Inc.(1995). *MICROPAS4 User's Manual*. Sacramento, CA.
- Heisler, G. M.(1989) *Site Design and Microclimate Research*. Final Report to Argonne National Laboratory. University Park, PA: USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station.
- Heisler, G. M.(1990) Mean wind speed below building height in residential neighborhoods with different tree densities. *ASHRAE Transactions* 96: 1389-1396.
- Huang, J., R. Ritschard, N. Sampson, and H. Taha(1992) The benefits of urban trees. In H. Akbari, S. Davis, S. Dorsano, J. Huang, and S. Winnett, eds., *Cooling Our Communities*. Washington, D.C.: US Government Printing Office. pp. 27-42.
- Jo, H.-K. and E. G. McPherson(2001) Indirect carbon reduction by residential vegetation and planting strategies in Chicago, USA. *Journal of Environmental Management* 61: 165-177.
- Lee, H.-Y.(1993) An application of NOAA AVHRR thermal data to the study of urban heat islands. *Atmospheric Environment* 27B(1): 1-13.
- McPherson, E. G.(1984) Planting design for solar control. In E. G. McPherson, ed., *Energy-Conserving Site Design*. Washington, D.C.: ASLA. pp. 141-164.
- McPherson, E. G.(1994) Energy-saving potential of trees in Chicago. In E. G. McPherson, D. J. Nowak, and R. A. Rowntree, eds., *Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project*. General Technical Report NE-186. Radnor, PA: USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. pp. 95-113.
- McPherson, E. G., L. P. Herrington, and G. D. Heisler(1988) Impacts of vegetation on residential heating and cooling. *Energy and Buildings* 12: 41-51.
- McPherson, E. G., P. L. Sacamano, S. Wensman, J. Ratliff, and H.-K. Jo(1993) *Modeling Benefits and Costs of Community Tree Plantings*. Final Report to American Forests, US Environmental Protection Agency, US Department of Energy, and USDA Forest Service.
- McPherson, E. G., R. Brown, and R. A. Rowntree(1985) Simulating tree shadow patterns for building energy analysis. In A. T. Wilson and W. Glennie, eds., *Solar 85-Proceedings of the National Passive Solar Conference*. Boulder, CO: American Solar Energy Society. pp. 378-382.
- Myrup, L. O., C. E. McGinn, and R. G. Flocchini(1993) An analysis of microclimatic variation in a suburban environment. *Atmospheric Environment* 27B(2): 129-156.
- Wong, N. H., D. K. W. Cheong, H. Yan, J. Soh, C. L. Ong, and A. Sia(2003) The effects of rooftop garden on energy consumption of a commercial building in Singapore. *Energy and Buildings* 35: 353-364.
- http://cyber.kepco.co.kr

원 고 접 수 일: 2010년 5월 7일
 심 사 일: 2010년 6월 23일(1차)
 2010년 7월 21일(2차)
 개 재 확 정 일: 2010년 7월 21일
 4 인 의 명 심 사 필