

토지이용변화와 열쾌적성 상관관계 분석

- 서울시 종로구 송월동 -

윤민호* · 안동민**

*서울대학교 대학원 생태조경 · 지역시스템공학부 · **서울대학교 조경 · 지역시스템공학부

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

도시화의 특징은 고밀도·고층 빌딩의 증가와 녹지공간 감소, 증가된 일인당 에너지소비량 등이다(김수봉 등, 2006). 지표와 대기의 열적 상호작용은 매우 복잡하며 다양한 열환경을 조성하여 미기후를 변화시킨다. 도시지역에서는 개발에 따른 토지이용 변화가 열수지 체계를 변화시키는 근본적인 요인으로 작용하여 시골지역과는 다른 미기후를 나타낸다. 에너지 소비에 따른 여열 또는 폐열의 발생은 도시의 열환경 변화를 더욱 가속시킨다(송영배, 2007). 1961년 세계보건기구(WHO)는 쾌적성을 삶의 질에 대한 개념으로 인식하여 인간의 기본 생활 욕구를 충족시키기 위한 조건으로 쾌적성, 안정성, 건강성, 편리성을 제시하였다. 쾌적이란 심신에 적합하여 기분이 매우 좋음을 나타내며, 따라서 쾌감을 일으키는 조건은 개인적이고 주관적인 상태를 말한다(이은주, 2006). 이 중 열쾌적성은 '특정 열환경에 대한 만족감의 표현'으로 정의된다(ASHRAE, 2005). 도시 미기후는 시민의 열쾌적성에 영향을 미치며, 옥외공간을 다루는 조경계획 및 설계는 실내의 경우처럼 활동에 쾌적한 열환경을 창출할 필요가 있다(조현길, 2008). 그러나 실외공간의 열쾌적성에 대한 국내 연구는 현재까지 미흡한 실정이다.

기존 연구를 고찰한 결과, 도시화에 따른 토지이용변화는 도시기후를 변화시킨다. 시가지가 증가함에 따라 녹지는 감소하고 그에 따라 기온은 상승하고 열쾌적성은 악화된다. 국내 도시열섬현상 관련연구는 활발하게 수행되었으나, 상대적으로 사람이 느끼는 야외공간 열쾌적성 연구는 미흡하다. 따라서 열쾌적성 증진을 위한 계획·설계시 적용할 수 있는 기초자료가 부족한 실정이다. 어느 한 지점의 기온에 영향을 미치는 토지이용의 범위에 대해서는 연구가 진행되고 있으나 명확한 범위는 설정되어 있지 않다. 선행연구 고찰을 통해 측정지점으로부터 반경 500m와 1km의 범위에서 토지이용 유형을 분류하였고(윤용한, 2000; 권영아, 2003; 이은주, 2006; 도후조 등, 2007), 이를 통해 토지이용변화와 열쾌적성 변화의 상관관계를 살펴본 것이다(Emmanuel, 2005). 따라서 본 연구에서는 서울시의 한 사례지를 대상으로 토지이용변화에 따른 열쾌적성 변화를 살펴

보고 시가지 증가로 인한 녹지 감소가 궁극적으로 인간의 열쾌적성에 미치는 영향을 평가하고자 한다.

II. 연구범위 및 방법

1. 연구범위

공간적 범위는 서울시 종로구 송월동 지역이며 시간적 범위는 1980년, 1990년, 1995년, 2000년, 2004년의 여름철(6월 1일~8월 31일)이다. 토지피복도와 입수가능한 당해연도의 기상자료를 이용하였다. 기상청에서 제공하는 기상자료 중 열쾌적성 분석에 필요한 습도와 기온의 시계열 자료는 서울관측소(서울시 종로구 송월동 소재, 국가표준 관측소코드 108)가 유일하여 대상지를 송월동 지역으로 선정하였다.

2. 연구방법

토지이용변화와 열쾌적성의 상관관계를 살펴보기 위해 1980년에서 2004년까지 여름철 기온과 습도를 분석하였다. 토지이용변화는 환경부의 토지피복분류 기준에 따라 시가지지역, 농업지역, 산림지역, 초지, 습지, 나지, 수역 등 총 7개로 분류하였다. 시가지 증가로 인한 녹지 감소가 열쾌적성에 미치는 영향을 알아보려는 것이므로 산림지역과 초지를 녹지로 재분류하였다. 1980~2004년의 기상자료는 서울관측소 자료를 이용하였으며, 토지피복도는 국가수자원관리종합정보시스템의 자료를 이용하였다(그림 1 참조). 토지피복분류는 관측소를 중심으로 반경 500m를 기준으로 수행하였으며, 열쾌적성 분석을 위해 9시, 15시, 21시의 기온과 습도자료를 이용하였다.

열쾌적성을 산정하기 위하여 THI(Temperature Humidity Index)를 활용하였다(Thom, 1959; Toy et al., 2007). THI는 기온과 상대습도의 방정식으로 식 1과 같이 표현된다.

$$THI(°C) = t - 0.55(1 - 0.01f)(t - 14.5) \quad (\text{식 1})$$

THI: 온습지수

t: 기온

f: 상대습도

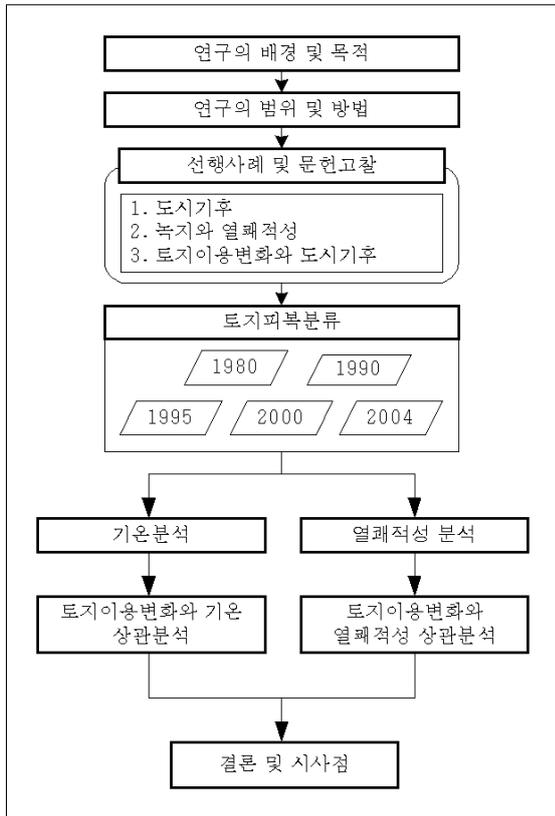


그림 1. 연구흐름도

공식에 의하면 인간은 THI 지수가 15~20°C 사이일 때 가장 쾌적하다. 토지이용유형과 열쾌적성의 상관관계 분석을 위하여 MS Excel 2007, SPSS 15.0, ArcMap 9.2, Arc View 3.2를 이용하였다.

III. 연구결과

1. 토지이용변화에 따른 기온분포 분석

공기의 혼합작용은 광범위한 지역의 온도와 습도를 동일하게 만든다. 나무 그늘 아래 공간과 직사광선을 받는 공간은 미기후 차이가 크지만, 그 차이는 온도차 때문이 아닌 태양복사의 영향 때문이다(Brown *et al.*, 1995). 토지이용이 기온에 미치는 영향을 분석하기 위하여 선행연구를 통하여 관측지점으로부터 반경 500m와 1km로 범위를 구분하여 토지이용 유형을 분류하였다. 500m를 중심으로 서술하고 1km 범위의 경우, 시사점을 얻는 데 활용하였다.

환경부의 토지피복분류 기준에 따라 시가지/건조지역, 농업지역, 산림지역, 초지, 습지, 나지, 수역 등 총 7개로 분류한 1980년부터 2004년까지 대상지의 토지이용은 표 1과 같다. 관측지점으로부터 반경 500m 내의 시가지 면적은 1980년 67.05%에서 2004년 97.80%로 증가하였다. 초지와 산림을 녹

표 1. 1980~2004년 토지피복분류 (단위: %)

년도	1980	1990	1995	2000	2004
시가지	67.05	89.60	87.98	90.17	97.80
수역	0	0	0	0	0
나지	6.59	4.96	3.01	0.35	0.00
습지	0.92	0.98	0.00	0.00	0.00
초지	7.05	5.56	2.66	1.50	0.00
산림	2.31	2.83	2.54	2.43	2.20
농경지	16.07	12.54	3.82	5.55	0.00

출처: 수자원관리종합정보시스템

표 2. 1980~2004년 여름철 기온분포 (단위: %)

년도	1980	1990	1995	2000	2004
6월	21.6	20.7	21.6	23.7	23.2
7월	22.7	24.9	24.5	26.8	27.7
8월	22.8	26.3	26	26.2	26.1

출처: 기상청

지로 재분류하여 분석하면 녹지는 9.36%에서 2.20%로 감소하였다. 서울관측소에서 관측된 1980년부터 2004년까지의 여름철 기온분포는 표 2와 같다. 기온은 지상으로부터 1.5m 상공에서 관측되었다.

당해연도 6~8월의 기온을 평균하여 여름철 평균기온을 산출하였다. 여름철 평균기온은 1980년 22.37°C에서 2004년 25.67°C로 증가하였다.

1980년부터 2004년까지 대상지 토지이용변화와 여름철 평균기온 상관관계 분석은 표 3과 같다(산림지역과 초지 녹지로 재분류).

대상지 토지이용변화와 여름철 평균기온 관계를 알아보기 위하여 Pearson 상관관계 분석을 실시하였다. 시가지와 기온간의 상관계수(r)는 0.898($\alpha=0.05$)로서 높은 정의 상관관계를 보였으며 녹지와 기온간의 상관계수(r)는 -0.951 ($\alpha=0.05$)로써 부의 상관관계를 보였다. 이 기간 동안 시가지 면적은 1980년 67.05%에서 2004년 97.80%로 증가하였고 녹지는 9.36%에서 2.20%로 감소하였다.

표 3. 토지이용변화와 여름철 평균기온 상관분석

구분	시가지	녹지	기온
시가지	1.000	-0.986*	0.898**
녹지		1.000	-0.951**
기온			1.000

*: 1% 유의수준에서 양측검정 결과 유의성 있음

**: 5% 유의수준에서 양측검정 결과 유의성 있음

표 4. 1980~2004년 일 최고기온 및 습도

년도	1980년		1990		1995		2000		2004	
	기온 (°C)	습도 (%)								
09시	22.3	59	29.2	75	24.6	86	27.9	66	29.2	70
15시	29.3	41	34.7	42	30.9	60	34	35	35.7	42
21시	26.0	51	29.8	73	26.3	81	29.2	55	30.3	72

출처: 기상청

2. 토지이용변화에 따른 열쾌적성 분석

최고기온의 분포특성은 기상상태보다는 토지이용상태를 잘 반영한다(권영아, 2002). 따라서 토지이용변화와 열쾌적성의 상관관계분석을 위해서 연구 당해연도의 일 최고기온을 보인 날을 선정하였다. 1980년 8월 1일, 1990년 8월 7일, 1995년 8월 15일, 2000년 8월 2일, 2004년 8월 10일의 기상자료를 이용하였다. 각 날 9시, 15시, 21시 기온 및 습도분포는 표 4와 같다. 열쾌적성을 산출하기 위하여 공식 $THI(°C) = t - 0.55(1 - 0.01f)(t - 14.5)$ 에 9시, 15시, 21시의 기온과 습도를 대입하여 얻은 THI 값은 그림 2와 같다. 1980년부터 2004년까지 THI는 9시 20.54에서 26.77로, 15시 24.50에서 28.94로, 21시는 22.90에서 27.90으로 상승하였다. 전반적으로 열쾌적성이 악화되었다는 것을 의미한다.

특히, 1980년에서 1990년의 경우, THI값이 큰 폭으로 증가하였는데, 이것은 같은 기간에 시가지가 20.75% 급속하게 증가한 것과도 관련이 있다. 이것은 시가지가 증가함에 따라 열쾌적성이 악화된다는 기존연구에 부합하는 내용이다(Emmanuel, 2005; Harlan et al., 2006; Gaitani et al., 2007).

대상지의 1980년부터 2004년까지 토지이용변화와 THI 상관관계 분석은 표 5와 같다. 9시의 경우, 시가지와 THI간의 상관

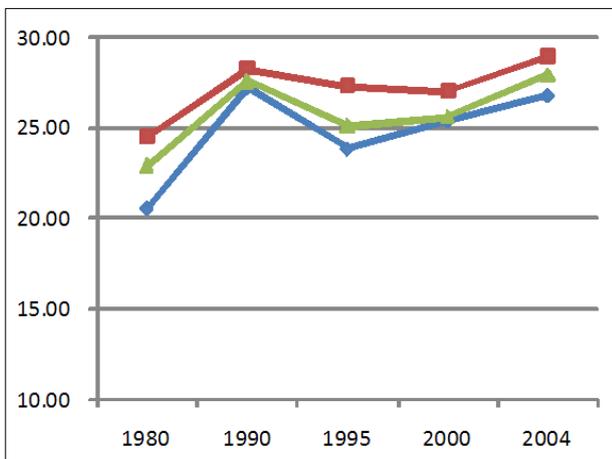


그림 2. 1980~2004 THI 변화

범례: ● 09시, ■ 15시, ▲ 21시

표 5. 토지이용변화와 THI상관관계 분석

년도	시가지	녹지	09시 THI	15시 THI	21시 THI
시가지	1.000	-0.986*	0.913**	0.960*	0.895**
녹지		1.000	-0.877***	-0.920**	-0.861***
09시 THI			1.000	0.946**	0.972*
15시 THI				1.000	0.968*
21시 THI					1.000

*: 1% 유의수준에서 양측검정 결과 유의성 있음

**: 5% 유의수준에서 양측검정 결과 유의성 있음

***: 10% 유의수준에서 양측검정 결과 유의성 있음

계수(r)는 0.913 ($\alpha = 0.05$)로써 높은 정의 상관관계를 보였으며, 녹지와 THI의 상관계수(r)는 -0.877 ($\alpha = 0.1$)로써 부의 상관관계를 보였다. 15시의 경우, 시가지와 THI간의 상관계수(r)는 0.960 ($\alpha = 0.01$)로써 높은 정의 상관관계를 보였으며, 녹지와 THI의 상관계수(r)는 -0.920 ($\alpha = 0.1$)로써 부의 상관관계를 보였다. 21시의 경우, 시가지와 THI간의 상관계수(r)는 0.895 ($\alpha = 0.01$)로써 높은 정의 상관관계를 보였으며, 녹지와 THI의 상관계수(r)는 -0.861 ($\alpha = 0.1$)로써 높은 부의 상관관계를 보였다. 1980년에서 2004년까지 시가지면적은 67.05%에서 97.80%로 증가하였고, 녹지는 9.36%에서 2.20%로 감소하였다.

IV. 결론

1. 결론

1980년부터 2004년까지의 토지이용변화를 분석하고 기상자료를 이용하여, 토지이용변화와 기온 및 열쾌적성과의 상관관계를 분석한 결과는 다음과 같다.

첫째, 환경부의 토지피복분류 기준에 따라 토지이용변화를 살펴보았으며, 관측된 기온자료와 상관분석관계를 살펴보았다. 1980년에서 2004년까지 대상지의 여름철 평균기온은 22.37°C에서 25.67°C로 증가하였다. 같은 기간동안 시가지 면적은 20.75% 증가하였고, 녹지는 7.16% 감소하였다. 시가지가 증가하고 녹지가 감소함에 따라 기온이 증가하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 토지이용과 기온과의 관계에 대한 기존 연구를 뒷받침하는 것이다(윤용한, 1998; 박인환, 2000; 권영아, 2003; 곽은주, 2004; 김운수, 2006; 윤용한, 2007; Chi-ru et al., 2006).

둘째, 토지이용변화와 열쾌적성 상관관계 분석을 수행하였다. 열쾌적성 측정에는 THI를 이용하였다. 연구 당해 연도의 일 최고기온을 보이는 날을 선정하여 THI 분석을 한 결과 1980년부터 2004년 사이 9시, 15시, 21시 모두 열쾌적성이 악화하는 경향을 보였다. 시가지 면적은 20.75% 증가하였고, 녹지는 7.16% 감소하였다. 시가지가 증가함에 따라 녹지가 감소하고 열쾌적성도 악화하는 경향이 있다. 위 결과는 토지이용 차

이가 열쾌적성에 영향을 미친다는 기존연구를 뒷받침하는 것이다(Gomez *et al.*, 2004; Emmanuel, 2005; Harlan *et al.*, 2006; Gaitani *et al.*, 2007). 본 연구에서는 열쾌적성 향상을 위한 조경계획 및 설계의 기초자료로 활용하기 위해 토지이용변화와 열쾌적성의 상관관계를 파악하였다. 도시화로 인한 열쾌적성 악화를 막고 쾌적하고 건강한 도시환경을 조성하기 위해서 도시녹지의 보전과 확충이 절실히 필요하다. 기후변화로 인한 폭염이 사회문제로 대두되면서 조경계획/설계시 열쾌적성을 고려하는 방안이 필요하다.

2. 연구의 한계

본 연구의 한계는 다음과 같다.

첫째, 대상지를 확대하여 서울시 전 지역을 대상으로 연구를 수행한다면 더 명확한 상관관계를 파악할 수 있을 것이다.

둘째, 열쾌적성에 영향을 미치는 가장 큰 물리적 인자는 기온, 습도, 태양복사, 풍속이다. 그러나 THI 모델의 한계로 본 연구에서는 열쾌적성을 분석할 때 태양복사와 풍속을 고려하지 않았다. 또한, THI는 전 세계적으로 널리 사용되고 있지만 한국인을 대상으로 하여 도출된 쾌적성 모델이 아니기 때문에 한국의 기후와 사람들에 적합한 열쾌적성 측정지수 개발에 관한 연구가 필요하다.

셋째, 신도시 개발지 등 토지이용변화가 급격하게 발생하는 대상지를 선정하였을 경우 더 명확한 상관관계를 규명할 수 있다. 그러나 기상관측 자료의 한계로 대상지를 서울시 종로구로 한정하여 연구를 수행하였다.

향후 연구과제는 다음과 같다.

열쾌적성 악화와 기온상승이 토지이용변화에 따른 녹지 감소 외의 다른 요인에 의한 것인지에 대해서는 더 많은 연구가 필요하다. 그러나 기존연구에 의하면 녹지면적이 감소하고 시가지 면적이 증가함에 따라 기온은 상승하는 경향을 보이고, 이는 위 연구결과에 부합하는 것이다. 관측소로부터 반경 500m와 1km를 기준으로 열쾌적성과 상관분석을 실시한 결과,

반경 1km에서 비교적 낮은 상관관계를 보였다. 이것은 한 지점의 열쾌적성에 영향을 미치는 거리에 대해 시사점을 준다. 본 연구에서 정확한 거리를 산출하지는 않았으나 향후 연구를 통해 어느 정도의 거리가 한 지점의 열쾌적성에 영향을 미치는지에 관한 고찰이 필요하다. 앞에서 제시한 연구의 한계점을 보완하고 도시 전체규모로 확대해서 열쾌적성 연구를 실시한다면 도시 전반적인 관점에서 녹지 확충과 배치를 통한 열쾌적성 향상을 이룰 수 있는 정책시행 및 계획수립이 가능해질 것이다.

인용문헌

1. 권영아(2002) 서울의 도심녹지가 주변기온에 미치는 영향. 건국대학교 대학원 박사학위논문.
2. 권영아, 이현영(2003) 토지이용 유형에 따른 기온 특성 -서울시 자동차상관측지점 주변을 사례로-. 환경영향평가 12(4): 281-290.
3. 김수봉, 나정화, 정응호(2006) 친환경적 도시계획: 도시열섬연구. 서울: 문운당.
4. 도후조, 이정민, 나정화(2007) 도시지표면 온도분포 특성 및 열섬완화 방안. 한국환경과학회지 16(5): 611-622.
5. 박인환, 장갑수, 김종용, 박종화, 서동조(2000) 대도시에 있어 냉섬의 유형별 온도완화 효과. 한국조경학회지 28(1): 11-18.
6. 윤용한(2000) 공원에 의한 고온성 저감효과에 관한 연구. 한국전통조경학회지 18(1): 83-90.
7. 윤용한, 배병호, 김원태, 박봉주, 조성모, 조현수(2007) 토지이용형태가 도시열섬에 미치는 영향. 한국환경과학회지 16(9): 1063-1069.
8. 조현길(2008) 도시생태복원 정책과 조경정책 -미기후개선 및 에너지절약을 중심으로-. (사)한국조경학회 전략심포지엄Ⅲ 환경생태복원과 조경정책.
9. ASHRAE(2005) ASHRAE handbook of fundamentals. Atlanta: ASHRAE.
10. Brown, R. D. and T. J. Gillespie(1995) Microclimate landscape design. New York: John Wiley & Sons.
11. Emmanuel, R(2005) Thermal comfort implications of urbanization in a warm-humid city the Colombo Metropolitan Region(CMR), Sri Lanka. Building and Environment 40(12): 1591-1601.
12. Gomez, F. and L. Gil, and J. Jabaloyes(2004) Experimental investigation on the thermal comfort in the city: relationship with the green areas, interaction with the urban microclimate. Building and Environment 39(9): 1077-1086.
13. Harlan, S. L. and A. J. Brazel, and L. Prashad, and W. L. Stefanov, and L. Larsen(2006) Neighborhood microclimates and vulnerability to heat stress. Social Science & Medicine 63(11): 2847-2863.