

시가화지역 토지이용 및 녹지구조에 따른 온도변화 연구¹

홍석환^{2*} · 이경재³ · 한봉호³

Analysis of Temperature Profiles by Land Use and Green Structure on Built-up Area¹

Suk-Hwan Hong^{2*} · Kyong-Jae Lee³ · Bong-Ho Han³

요약

본 연구는 시가화지역 토지이용 및 녹지구조에 따른 온도변화를 파악하고자 강남구 내 시가화지역을 대상으로 44개소 조사지를 블록단위로 선정하여 실시하였다. 온도값은 1999~2002년까지의 Landsat TM 및 ETM+ 영상 6scene을 적용하였다. 도시온도변화에 대한 영향요인 분석결과 토지이용유형은 그 자체로 도시온도변화의 중요 인자로 작용하지는 않는 것으로 판단되었으며 토양피복유형은 상관관계 분석결과 상관계수가 건폐율이 0.368(2001년 6월)~0.709(1999년 5월)로 양(+)의 상관관계에 있었으며 녹지율은 -0.551(2001년 6월)~-0.860(1999년 6월)으로 음(-)의 상관관계를 보였다. 녹지용적(녹지용적계수×100), 녹피율과 온도값과의 상관관계 분석결과 녹피율과의 상관계수는 -0.549(2001년 6월)~-0.817(1999년 6월)의 범위이었으며 녹지용적은 -0.577(2001년 6월)~-0.882(1999년 6월)로 녹피율과 녹지용적 모두 각 온도값과 강한 음(-)의 상관관계를 보였다. 도시화지역 온도변화 예측모형 구축을 위한 회귀분석 결과 녹지용적이 설명변수로 채택되었다.

주요어 : 도시온도, 녹지용적, 인공위성영상

ABSTRACT

This study was conducted selecting 44 places with a block unit subject to urban area in Gangnam-gu, to analyze a temperature change according to land use and green structure. In this study, it was used the broad-wide urban temperature, supported by Landsat TM and ETM+ satellite image 6scene(1999~2002). The result of the research, the land use pattern has slightly influence on a temperature change of urban area. The result from correlation analysis between temperature and the factors affected by land cover type, such as building-to-land ratio(A correlation coefficient is 0.368~0.709) have positive correlation and green area ratio(a correlation coefficient is -0.551~-0.860) have negative correlation. The result from correlation analysis between temperature and green capacity of the land, crown projection area ratio, each factor have

1 접수 8월 17일 Received on Aug. 17, 2005

2. 서울시립대학교 대학원 조경학과 Dept. of Landscape Architecture, Graduate School, Univ. of Seoul(130-743), Korea(hwan94@uos.ac.kr)

3. 서울시립대학교 도시과학대학 College of Urban Sciences, Univ. of Seoul(130-743), Korea

* 교신저자, Corresponding author

negative correlation with temperature, as showing that a correlation coefficient of green capacity of the land is $-0.577(\text{June } 2005) \sim -0.882(\text{June } 1999)$ and crown projection area ratio's is $-0.549(\text{June } 2001) \sim -0.817(\text{June } 1999)$. The result of the regression analysis for establishing urban area temperature change prediction model showed that green capacity of the land of the explanation variable was accepted.

KEY WORDS : URBAN TEMPERATURE, GREEN CAPACITY OF THE LAND, REMOTE SENSING

서론

시가화지역 에너지 사용량 급증은 환경오염과 기후 변화 등 많은 문제를 유발하고 있으며 이의 개선을 위한 연구가 다각도로 이루어지고 있다. 서울시 비오톱 현황 조사에 의하면 대부분 녹지가 도시 외곽부에 위치하고 있었으며(서울특별시, 2000a) 시청을 중심으로 반경 5km 이내에는 녹지율이 5% 내외로 녹지보존율이 매우 낮았다(이정재, 1993). 이러한 시가화지역의 녹지 훼손과 지표면 피복면적 증가는 시가화지역 고온화를 가속화시키고 있다.

도시열섬에 관한 연구는 도시화 과정에서 나타나는 기후현상의 변화 중 문헌에서 가장 많이 토론되는 주제 이나(Landsberg, 1981), 열섬효과와 원인이 매우 복잡적이며 국지적 특성이 강하게 나타나기 때문에 연구의 어려움이 따른다(Oke, 1982). 도시화지역을 대상으로 한 온도변화 연구는 주로 소규모 면적을 대상으로 온도의 실측을 통해 진행되었으나(이은엽, 1995; 윤용한, 2000; 윤용한, 2001) 광역지역을 대상으로 할 때는 한계가 있다(이혜선, 2001). 따라서 광역지역의 온도분포에 관한 연구는 주로 열감지 장치가 탑재된 인공위성영상자료를 이용한 원격탐사기법이 이용되고 있다. 원격탐사기법은 광범위한 지역의 표면온도자료 획득뿐만 아니라 영상의 각 cell이 각각의 온도값을 지니고 있어 대규모 지역의 온도분포 및 시계열변화연구에 효과적이다. 그러나 영상이 지니는 해상도의 한계로 도시지역 기후연구는 대부분 대규모 산림녹지지역을 대상으로(이혜선, 2001; 조명희 등, 2001; 박경훈과 정성관, 1999; 이용식, 1990) 이루어졌으며 시가화지역의 소규모 조성녹지에 대한 연구는 진행되지 않고 있다.

도시열섬현상의 완화 방대책 중 하나로 녹지의 증발산 작용을 이용하는 것은 가장 합리적이고 현실적인 방법(設樂實, 1971)으로 도시온도 저감에 있어서 녹지의 역할은 높다고 할 수 있다. 홍석환과 이정재(2004)는 아파트단지를 대상으로 녹지면적과 투수포장면적에 따른

온도변화모형을 제시한 바 있는데 이 때에는 식물의 체적을 고려하지 않고 분포하고 있는 면적만을 대상으로 하여 도시녹지의 조성형태에 따른 온도저감 효과에 대해 구체적으로 제시하지는 못하였다.

따라서 본 연구는 시가화지역을 대상으로 토지이용 및 녹지구조가 온도변화에 미치는 영향을 규명하고자 실시하였다. 실측에 의한 자료획득이 어려운 광범위 지역의 온도자료는 인공위성영상자료의 Thermal Data를 활용하였으며, 인공위성영상자료에서 분석하기 어려운 토지이용 및 녹지구조 자료는 현장조사를 실시하여 녹지면적 및 녹지 내 조성된 전체 수목의 규격조사를 통해 녹지용적을 산정하였다.

연구범위 및 방법

1. 연구대상지

본 연구는 도시온도에 영향을 미치는 외적 요소인 바람의 세기, 지리적 요소인 지역 간 고도차, 경사도 및 경사향 등에 의한 온도분포 편차 등이 상대적으로 적은 지역인 서울시 강남구 일대를 대상으로 수행하였다. 강남구는 1999년 서울시 자동기상관측망(AWS)에서 관찰한 기온자료를 이용한 기상 추정결과 토지이용에 관계 없이 전체지역에서 고르게 높은 온도를 보였다(오성남과 부경은, 2000). 서울시 AWS 자료를 1988~1997년까지 분석한 결과 강남구 일대 바람세기는 서울지역 내에서 4계절 모두 약하게 분석되었다(서울특별시, 2000b). 또한 1/25,000 Scale의 서울시 지도에서 고도 20m 간격으로 작성된 등고선을 추출하여 분석한 결과 강남구 일대는 지역간 고도차가 거의 없는 것으로 분석되었다. 이에 세부 연구대상지는 1999년 수행된 서울시 비오톱 조사자료를 바탕으로 토지이용유형, 토양피복유형, 녹지비율 등을 고려한 층화추출법(stratified sampling method)에 의해 44개 블록을 선정하였다.

Figure 1은 강남구내 44개 연구대상지 위치이다.

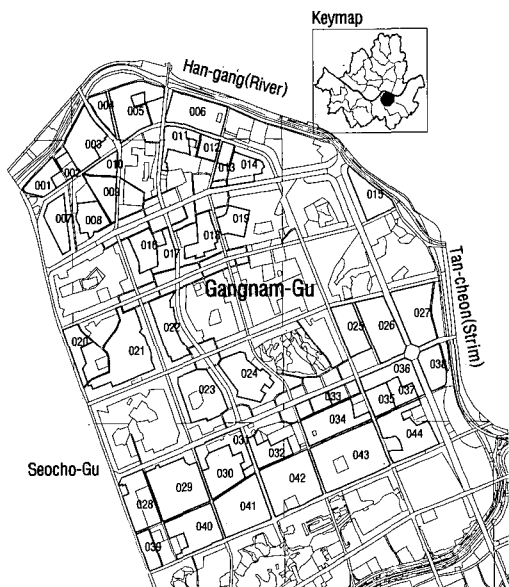


Figure 1. Location map of survey in Gangnam-Gu, Seoul

2. 조사분석방법

1) 도시온도변화 영향요인

도시온도변화 영향요인으로는 기존 연구에서 다루어진 주요 요소인 토지이용유형(Gallo *et al.*, 1996; 이현영과 이승호, 1997; Lee, 1995), 토양피복유형(송영배, 2002; Gallo *et al.*, 1996; Oke, 1987; 이용식 1990), 건물 밀도(김운수와 김학열, 2001; 홍석환과 이경재, 2004), 녹지면적(이혜선, 2001; 이현영, 1985; 홍석환과 이경재, 2004)과 함께 녹지의 질적 측면을 나타내는 요소인 녹지용적 등 녹지구조를 설정하였다. 대상지 토지이용 및 토양피복현황 조사는 서울시 비오톱 현황조사 방법(서울특별시, 2000b)의 분류기준에 근거하였다.

토지이용유형은 주거지역, 업무상가지역, 공공용도지역, 공업지역의 4개 항목으로 중분류 하였으며 이를 다시 10개 항목으로 세분류 하였다.

토양피복유형은 포장지역과 녹지지역으로 대분류 하였으며, 시가화지역은 견폐지, 불투수포장지, 투수포장지, 기타지역으로 구분하였다.

각 대상지는 서울시 비오톱 현황조사 자료를 바탕으로 유형별로 다수의 대상지를 정하였다. 이렇게 정한 유형군의 미세한 차이를 조사하기 위해 아파트단지과 교육시설지는 조사대상지 전 지역의 토양피복형태를 조사

Table 1. The criteria for classifying Land use type

Large scale classification	Midium scale classification	Small scale classification
Urbanization zone	Residential area	1. Detached houses
		2. Apartment houses
		3. Apartment complex
	Commercial or Business area	1. Business building area
		2. Commercial building area
3. Mixed Residential and Business building area		
Industrial area	1. Industrial area	
Public facilities area	1. Educational facilities area	
2. Governmental offices and Research centre		
3. Hospitals or Health care ecnter		

* Data: Seoul Metropolitan Government(2000b), Reconstitution

하였다. 그 외 지역은 견폐지의 경우 전 지역을, 녹지는 각 대상지에서 3~7개 대표 블록을 선정하여 조사하였다. 조사블록은 대상지 면적 및 건물군 유형, 오픈스페이스 면적 등을 고려하였다. 조사결과는 층화추출에 의한 대표지역 값으로 이를 전체 면적에 대응시켜 녹지율과 견폐율을 구하였다.

건물 밀도는 전체면적에 대한 건축물의 바닥 총면적을 비율로 나타낸 값인 용적율을 산출하였으며 녹지구조 조사는 대상지 내 출현수목의 수관투영면적을 합산한 녹피율과 녹지의 풍부함을 정량적으로 나타내는 녹지용적을 구하였다. 녹피율과 녹지용적의 산출을 위한 조사구 선정은 토양피복유형 분류를 실시한 지역 내 녹지 중 식재밀도 및 수목의 규격 등 식재현황이 대표적인 지역을 선정하여 조사구 내 식재된 목본식물의 수종명, 수고, 지하고, 수관폭을 조사하였다.

녹피율은 각 조사구의 층위별 목본수종의 수관투영

Table 2. The criteria for classifying Land cover type

Large scale classification	Small scale classification
Pavenent area	1. Building-to-land area
	2. Impermeable pavement area
	3. Permeable pavement area
Green area	1. Planted green area

* Data: Seoul Metropolitan Government(2000b), Reconstitution

면적을 합산하여 백분율로 나타내었다.

$$\text{■ 녹피율(\%)} = \frac{\sum \text{수관투영면적(m}^2\text{)}}{\text{조사지 면적(m}^2\text{)}} \times 100$$

$$\text{* 수관투영면적} = \text{수관폭(장축)} \times \text{수관폭(단축)} \times \pi \div 4$$

녹지용적은 단위면적당 수관용적의 합계로 녹지용적계수(GVZ: Grünvolumenzahl)를 산출하여 녹량을 정량적으로 나타내었다(한국건설기술연구원, 1996). 수관용적은 장축과 단축의 수관폭, 수고, 지하고의 측정값과 수목의 형태(구형, 기둥형, 원추형)에 따른 체적 계산공식을 적용하여 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{■ 녹지용적계수(GVZ)} = \frac{\sum \text{수관용적(m}^3\text{)}}{\text{조사지 면적(m}^2\text{)}}$$

* 수관용적

1. 구형 = 수관폭(장축)×수관폭(단축)×(수고-지하고)×π×4/3÷8
2. 기둥형 = 수관폭(장축)×수관폭(단축)×(수고-지하고)×π÷4
3. 원추형 = 수관폭(장축)×수관폭(단축)×(수고-지하고)×π×1/3÷4

2) 인공위성영상자료를 이용한 지표면 온도산출 및 상관관계 분석

인공위성영상자료는 Landsat 5호(TM) 위성의 영상과 Landsat 7호(ETM+)의 영상을 활용하였다. ETM+영상의 경우 Thermal Band가 60m의 해상도로 TM(120m)보다 고해상도이나 위성의 발사시기가 1999년으로 영상자료 송신기간이 짧아 활용가능한 자료가 많지 않았다. 따라서 2000년 이후 영상은 ETM+영상을, 2000년 이전 영상은 TM영상을 활용하였다.

강남구 삼릉초등학교(강남구 삼성2동 42)에 설치된 자동기상측정망(AWS) 자료 중 각 인공위성영상자료의 촬영시기를 기준으로 촬영전 2일, 촬영일, 촬영후 1일의 4일간 기상개황을 분석한 결과 대체적으로 촬영전후에 기온, 풍속 등의 심한 변화는 없었으며 강우로 인한 급격한 온도변화도 없었다.

서울시 1/1,000수치지도를 바탕으로 대상지 경계를 작성한 후 각 대상지 인공위성영상 DN값을 추출하여 온도를 추정하였고 이렇게 산정한 DN값을 상대적 온도값으로 분석에 사용하였는데, 먼저 토지이용유형에 따른 온도값의 차이를 검증하기 위하여 이원분산분석

Table 3. Analyze DN value of Landsat image Band 6 into relative the presumed temperature value(DN)

Plot NO.	Landsat ETM+				Landsat TM		The gernal mean
	2001. 0923	2001. 0603	2000. 0904	2000. 0507	1999. 0622	1999. 0521	
001	133.4	146.1	148.1	129.9	142.1	137.1	139.5
002	136.8	148.7	148.2	131.2	142.7	137.2	140.8
003	130.3	143.5	146.1	126.3	138.1	134.3	136.4
004	132.0	143.7	146.7	127.1	137.9	135.1	137.1
005	131.4	145.4	147.0	129.2	139.3	137.0	138.2
006	133.5	145.9	148.5	130.2	141.0	138.2	139.6
007	136.5	146.4	150.3	130.7	143.6	140.2	141.3
008	136.3	147.2	150.4	131.6	144.4	140.4	141.7
009	134.9	146.3	149.1	130.2	143.5	140.1	140.7
010	135.1	146.3	149.9	129.6	143.3	140.4	140.8
011	136.6	148.4	151.2	133.4	143.9	142.3	142.6
012	137.2	148.9	151.0	133.0	144.3	141.5	142.6
013	135.1	146.7	150.4	131.3	143.1	140.4	141.2
014	136.3	147.6	151.0	132.2	143.7	141.1	142.0
015	134.2	143.7	147.6	129.2	139.3	137.0	138.5
016	136.0	147.3	149.7	131.9	143.0	140.5	141.4
017	134.3	145.9	149.7	130.9	143.4	140.2	140.7
018	135.7	147.8	150.2	131.3	143.3	140.5	141.5
019	135.5	147.2	147.9	130.5	142.0	137.7	140.1
020	137.7	148.9	151.5	132.1	144.3	141.8	142.7
021	136.2	148.2	150.7	132.1	144.0	141.6	142.1
022	135.9	147.0	150.7	130.9	143.4	140.4	141.4
023	135.6	147.6	150.9	132.4	144.0	141.1	142.0
024	137.1	147.9	151.5	132.5	143.6	141.6	142.4
025	136.5	146.8	152.6	131.7	143.3	140.5	141.9
026	128.8	141.4	146.4	126.5	138.0	134.8	136.0
027	136.0	146.9	151.4	131.4	142.6	141.3	141.6
028	135.4	146.2	150.7	131.5	143.1	140.6	141.3
029	136.7	147.5	151.8	131.5	144.3	142.3	142.3
030	137.1	147.1	151.9	131.4	143.2	142.1	142.1
031	134.8	145.1	152.2	131.4	144.0	141.6	141.5
032	133.6	145.5	148.9	129.4	141.2	139.9	139.8
033	134.8	145.2	152.7	129.9	143.1	142.4	141.4
034	136.3	147.0	151.8	131.8	142.9	142.0	142.0
035	135.3	145.9	151.4	130.3	142.6	140.8	141.1
036	135.8	145.9	151.9	130.1	142.0	140.2	141.0
037	135.8	147.0	150.2	130.8	140.9	139.7	140.7
038	135.9	146.7	152.0	131.8	143.3	143.2	142.2
039	133.8	144.3	149.5	129.3	141.6	139.6	139.7
040	136.2	146.4	150.2	130.7	144.0	143.0	141.8
041	136.1	146.6	151.1	131.2	142.9	141.9	141.7
042	134.6	146.3	150.1	130.9	141.3	140.4	140.6
043	136.7	147.3	152.4	131.3	143.0	142.7	142.2
044	136.9	147.8	151.9	132.3	142.8	142.2	142.3

(ANOVA)을 실시하였다. 또한 토양피복유형 및 건물밀도, 녹지구조의 변수와 온도값의 상관관계를 분석하였으며 이들을 독립변수로, 인공위성영상자료를 활용한 대상지의 평균온도값을 종속변수로 한 회귀분석으로 각 변수들이 온도에 미치는 영향의 정도를 회귀식으로 도출하였다.

결과 및 고찰

1. 인공위성영상분석을 통한 도시온도 추출

Table 4는 각 영상에 대한 대상지별 디지털 온도추출 결과이다. 전체 대상지에 대한 영상의 평균 DN값은 2000년 5월 영상이 가장 낮아 130.8을 기록하였으며 가장 높은 시기는 2000년 9월 영상으로 150.1이었다. 각 대상지별 온도를 살펴보면 COEX 건물이 위치한 연구대상지 26이 136.0으로 가장 낮았으나 이 지역의 경우 지붕을 유리재로 조성한 COEX에 의해 온도왜곡이 일어나는 것으로 추정되어 분석에서 제외하였다. 연구대상지 26을 제외한 온도추정값에서 압구정 신현대아파트 지역인 조사지 3은 가장 낮은 값인 136.4를 기록하였고 가장 높게 나타난 지역은 논현역 남쪽에 위치한 업무상가 지역인 조사지 20으로 142.7이었다.

2. 도시온도변화 영향요인

1) 토지이용유형

조사지 26을 제외한 전체 43개 조사지에서 주거지역은 공동주택 14개소, 아파트단지 7개소로 모두 21개

소이었으며 업무상가지역은 총 19개 지역으로 업무중심형건물지가 9개소, 상가중심형건물지 7개소, 주거와 상가 혼합지가 3개소이었다. 공공용도지역은 교육시설이 3개소 포함되어 있었다.

토지이용유형별 전체영상의 평균온도값 산출결과 (Table 5) 주상 혼합건물지의 평균온도값이 142.03으로 가장 높았으며 주거지역 중 아파트단지는 138.43으로 가장 낮았다. 각 시기별 영상의 지역별 온도값을 살펴보면 아파트단지의 경우 6개 영상에서 모두 가장 낮은 값을 기록하였으며 주상혼합건물지는 2001년 9월, 2000년 5월, 1999년 5월 등 3차례에 걸쳐 가장 높은 온도값을 보였다. 각 년도별로 유사한 시기의 온도값을 살펴보면 온도가 가장 높은 지역은 모두 달랐으며 지역 간 경향은 뚜렷하지 않았다. 따라서 각 시기별, 계절별 영상의 온도값을 분류하여 분석에 사용하는 것은 어려운 것으로 판단되었으며 토지이용유형에 따른 온도분포 변화향상의 규명을 위해 분석에 사용한 전체 영상온도값의 평균을 대상지의 대푯값으로 사용하는 것이 바람직하였다.

각 토지이용유형에 따른 온도값에 차이가 있는지를 검증하기 위하여 6개 영상의 평균온도값을 사용하여 산분석을 실시한 결과 신뢰도 99% 수준에서 온도값이 같지 않은 집단이 있음을 확인하였다. 사후분석결과 아파트단지는 다른 5개 집단과 평균 온도값의 차이가 있다고 할 수 있었으며 나머지 5개 집단은 1%수준의 유의도 검증에서 모두 기각되었다.

토지이용유형별 온도값은 아파트단지가 다른 집단과 차이가 있었으나 다른 유형별 온도차가 뚜렷하지 않아 토지이용의 형태가 도시화지역 온도변화의 중요한자로 작용하지는 않는 것으로 판단되었다.

Table 4. The temperature value by survey in Gangnam-Gu, Seoul

Midium scale classification	Small scale classification	Site count	Temperature value(DN)						The mean
			2001. 09	2001. 06	2000. 09	2000. 05	1999. 06	1999. 05	
Residential area	1. Apartment houses	14	136.09	147.12	150.92	131.45	143.23	141.15	141.66
	2. Apartment complex	7	132.64	144.83	147.56	128.79	139.83	136.94	138.43
Commercial or Business area	1. Business building area	9	135.58	146.31	151.35	130.96	142.96	141.09	141.38
	2. Commercial building area	7	135.76	147.03	150.79	131.50	143.75	141.22	141.68
	3. Mixed Residential and Business building area	3	136.47	147.31	151.03	131.72	143.51	142.14	142.03
Public facilities area	1. Educational facilities area	3	136.03	147.62	148.76	130.78	141.86	138.19	140.54

Table 5. The general situation of Building-to-land ratio and Green area ratio by survey area

Plot NO.	Building-to-land ratio (%)	Green area ratio (%)	Plot NO.	Building-to-land ratio (%)	Green area ratio (%)
001	18.27	33.32	023	37.06	4.11
002	12.52	9.11	024	37.52	6.06
003	16.92	41.28	025	38.01	5.83
004	17.22	36.49	027	22.27	13.69
005	18.98	38.61	028	39.70	3.67
006	18.11	35.77	029	38.72	4.86
007	39.48	3.82	030	34.45	5.94
008	39.64	4.37	031	31.88	1.98
009	41.07	2.37	032	21.24	35.79
010	43.56	1.57	033	37.49	5.01
011	34.98	5.09	034	40.04	4.76
012	42.52	3.06	035	38.26	5.75
013	35.94	7.79	036	34.67	4.65
014	34.06	8.45	037	13.26	21.57
015	17.87	32.44	038	25.35	9.70
016	37.54	5.07	039	39.29	4.52
017	27.83	8.52	040	40.48	5.36
018	39.69	6.97	041	37.96	7.22
019	8.13	24.18	042	27.67	31.65
020	44.72	2.68	043	40.78	4.25
021	42.42	4.48	044	36.13	3.77
022	37.89	8.28	-	-	-

2) 토양피복유형

대상지별 건폐율 및 녹지율을 산출한 것이 Table 6이다. 건폐율은 8.13~44.72%이었는데 가장 낮은 세 지역(조사지 2, 19, 37)이 모두 교육시설지인 학교이었으며 아파트단지 7개 지역은 16.92~21.24%로 교육시설지 다음으로 낮았다. 업무상가지역과 공동주택지는 전 지역에서 교육시설과 아파트단지에 비해 높았으나 세분류된 업무상가지역과 공동주택지간 분포경향은 뚜렷하지 않았다.

녹지율은 1.57~41.28%이었는데 녹지율이 높은 7개 지역(32.44~41.28%)은 모두 아파트단지이었으며 녹지율이 낮은 6개 지역(1.57~3.67)은 모두 업무상가지역이었다.

Table 7은 건폐율, 녹지율과 온도값의 'Pearson의 상관관계수'를 구한 것이다. 건폐율과 온도값과의 상관관계수는 0.368(2001년 6월)~0.709(1999년 5월)로 전체 영상에서 양(+)의 상관관계에 있었으며 녹지율과의 상관관계수는 -0.551(2001년 6월)~-0.860(1999년 6월)로 모두 음(-)의 상관관계를 보였다. 2001년 6월 온도값과 건폐율은 신뢰도 95%수준에서 유의하였으며 나머지는 모두 신뢰도 99%수준에서 유의하였다.

3) 건물밀도

대상지별 용적율 조사결과 가장 낮은 지역은 조사구 19로 32.73%이었으며 테헤란로변 업무상가지역인 조사구 33이 356.05%로 가장 높았다. 43개 대상지 평균 용적율은 152.14%이었다. 건물이 낮고 운동장 등의 비건

Table 6. Correlation among the Green area ratio, Building-to-land ratio and Temperature value

	Classification	Building-to-land ratio	Green area ratio
September. 2001	Pearson Correlation coefficient	0.543**	-0.776**
	Significant probability	0.000	0.000
June. 2001	Pearson Correlation coefficient	0.368*	-0.551**
	Significant probability	0.015	0.000
September. 2000	Pearson Correlation coefficient	0.661**	-0.768**
	Significant probability	0.000	0.000
May. 2000	Pearson Correlation coefficient	0.491**	-0.671**
	Significant probability	0.001	0.000
June. 1999	Pearson Correlation coefficient	0.704**	-0.860**
	Significant probability	0.000	0.000
May. 1999	Pearson Correlation coefficient	0.709**	-0.768**
	Significant probability	0.000	0.000
The mean temperature	Pearson Correlation coefficient	0.664**	-0.827**
	Significant probability	0.000	0.000

a. ** The correlation coefficient are significant from Significant probability level which are 0.01 of both side

b. * The correlation coefficient are significant from Significant probability level which are 0.05 of both side

Table 7. The general situation of Floor area ratio by survey area

Plot NO.	Floor area ratio(%)	Plot NO.	Floor area ratio(%)
001	241.42	023	99.07
002	51.89	024	87.99
003	201.51	025	118.16
004	182.18	027	151.58
005	223.94	028	195.31
006	203.07	029	126.36
007	119.64	030	102.14
008	114.98	031	177.21
009	170.65	032	189.46
010	243.57	033	356.05
011	129.74	034	112.83
012	139.31	035	109.78
013	129.01	036	322.12
014	89.96	037	43.84
015	201.33	038	112.78
016	93.73	039	313.26
017	210.47	040	133.32
018	122.75	041	120.72
019	32.73	042	130.48
020	167.89	043	116.54
021	122.20	044	117.94
022	113.10	-	-

Table 8. Correlation between Temperature value and Floor area ratio

Classification		Floor area ratio
September. 2001	Pearson Correlation coefficient	-0.504**
	Significant probability	0.001
June. 2001	Pearson Correlation coefficient	-0.602**
	Significant probability	0.000
September. 2000	Pearson Correlation coefficient	-0.119
	Significant probability	0.447
May. 2000	Pearson Correlation coefficient	-0.501**
	Significant probability	0.001
June. 1999	Pearson Correlation coefficient	-0.282
	Significant probability	0.067
May. 1999	Pearson Correlation coefficient	-0.186
	Significant probability	0.233
The mean temperature	Pearson Correlation coefficient	-0.385*
	Significant probability	0.011

- a. ** The correlation coefficient are significant from Significant probability level which are 0.01 of both side
- b. * The correlation coefficient are significant from Significant probability level which are 0.05 of both side

폐 면적이 넓은 학교지역은 건폐율과 마찬가지로 3개소 모두 가장 낮았다. 용적율이 300%를 넘는 고밀도 개발 지역은 3개 지역(조사구 33, 36, 39)으로 모두 고층의 업무상가지역이었다.

Table 9는 용적율과 평균온도값의 상관관계 분석결과로 신뢰도 95%수준에서 유의한 상관관계를 보인 영상은 2001년 6월과 9월, 2000년 5월 영상으로 3시기의 영상이었으며 나머지 3개 영상은 유의하지 않은 것으로 분석되었다. 전체영상의 평균온도값과 용적율의 상관계수는 -0.385로 신뢰도 95%수준에서 유의한 음(-)의 상관관계에 있었다.

건물 용적율과 온도값과의 관계는 뚜렷한 경향을 보이지 않았는데, 이는 아파트단지를 대상으로 적용한 시물레이션연구(김운수와 김학열, 2001)와 강남지역 아파트단지의 용적율 산정을 통한 온도변화연구(홍석환과 이경재, 2004) 등과 유사한 결과이었다. 따라서 용적율 증가에 따른 에너지사용량 증가나 건축물에 의한 그림자효과 등의 연관관계는 추후 보다 정밀한 조사연구

가 뒤따라야 할 것으로 판단되었다.

4) 녹지구조

Table 10은 대상지별 녹피율 및 녹지용적계수를 산정한 것으로 녹피율은 2.43(조사지 12)~36.99%(조사지 3)이었다. 녹피율 5%미만의 지역을 살펴보면 전체 8개 조사지 중 상가중심형건물지가 4개소, 업무중심형건물지가 3개소로 상업업무지역의 녹피율이 다른 지역에 비해 낮았다. 아파트단지 7개 지역은 타 조사지 보다 모두 높았다. 대상지 전체 평균녹피율은 11.32%로 평균녹지율인 11.95%보다 낮았는데 이는 교목층과 아교목층, 관목층에 식재된 모든 수목의 수관면적이 수목식재가 가능한 녹지면적에 비해 낮음을 의미하는 것으로 조사지 전체적으로 수목식재량이 부족함을 나타낸다.

녹지용적계수는 실제 계수의 산출 결과값이 낮아 계수값(m²/m²)에 100을 곱하여 분석에 사용하였다. 위와 같이 산출한 녹지용적은 가장 낮은 지역이 2.89(조사구 33)이었으며 가장 높은 지역은 조사구 4로 88.38이었다.

Table 9. The general situation of Crown projection area ratio and Green capacity of the land by survey area

Plot NO.	Crown projection area ratio(%)	Green capacity of the land(m ² /m ² ×100)	Plot NO.	Crown projection area ratio(%)	Green capacity of the land(m ² /m ² ×100)
001	31.54	51.43	023	7.95	12.69
002	10.83	16.76	024	9.31	13.54
003	36.99	72.55	025	11.46	25.74
004	28.22	88.38	027	14.22	22.20
005	30.44	71.41	028	4.60	4.05
006	22.21	63.64	029	7.62	8.24
007	6.08	9.26	030	9.38	11.12
008	5.60	8.07	031	3.31	3.88
009	3.29	2.99	032	20.07	52.02
010	2.48	4.84	033	4.97	2.89
011	8.10	7.70	034	5.54	5.96
012	2.43	3.16	035	9.69	17.43
013	7.81	9.82	036	10.68	11.00
014	6.82	7.49	037	13.18	36.58
015	20.34	50.95	038	18.11	17.89
016	5.79	8.15	039	7.22	6.84
017	9.74	13.84	040	10.62	18.89
018	4.84	6.20	041	6.58	8.49
019	14.79	41.95	042	15.31	35.91
020	2.86	3.39	043	6.72	8.12
021	7.75	8.52	044	10.90	12.54
022	10.16	17.40	-	-	-

a. Green capacity of the land: Green capacity of the land index × 100

Table 10. Correlation among the Green capacity of the land, Crown projection area ratio and Temperature value

Classification		Crown projection area ratio	Green capacity of the land
September. 2001	Pearson Correlation coefficient	-0.770**	-0.775**
	Significant probability	0.000	0.000
June. 2001	Pearson Correlation coefficient	-0.549**	-0.577**
	Significant probability	0.000	0.000
September. 2000	Pearson Correlation coefficient	-0.699**	-0.766**
	Significant probability	0.000	0.000
May. 2000	Pearson Correlation coefficient	-0.675**	-0.712**
	Significant probability	0.000	0.000
June. 1999	Pearson Correlation coefficient	-0.817**	-0.882**
	Significant probability	0.000	0.000
May. 1999	Pearson Correlation coefficient	-0.740**	-0.800**
	Significant probability	0.000	0.000
The mean temperature	Pearson Correlation coefficient	-0.798**	-0.849**
	Significant probability	0.000	0.000

a. ** The correlation coefficient are significant from Significant probability level which are 0.01 of both side

b. * The correlation coefficient are significant from Significant probability level which are 0.05 of both side

Table 11. The result between Variable and The correlation analysis

Classification	Variables	Building-to-land ratio	Crown projection area ratio	Green capacity of the land	Green area ratio
Pearson Correlation coefficient	Building-to-land ratio	1.0000	-0.7624	-0.7821	-0.8063
	Crown projection area ratio	-0.7624	1.0000	0.9311	0.9085
	Green capacity of the land	-0.7821	0.9311	1.0000	0.9531
	Green area ratio	-0.8063	0.9085	0.9531	1.0000
Significant probability(one side)	Building-to-land ratio	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	Crown projection area ratio	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	Green capacity of the land	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	Green area ratio	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

a. Green capacity of the land: Green capacity of the land index × 100

녹지용적(녹지용적계수×100), 녹피율과 온도값과의 상관관계 분석결과(Table 11) 녹피율과 온도값과의 상관계수는 -0.549(2001년 6월)~-0.817(1999년 6월)의 범위이었으며 녹지용적은 -0.577(2001년 6월)~-0.882(1999년 6월)로 녹피율과 녹지용적 모두 각 영상의 온도값과 강한 음(-)의 상관관계에 있었고 모두 신뢰도 99%수준에서 유의하였다.

5) 회귀모형

도시온도변화를 설명하는 각 변수와 영상별 온도값과의 상관관계 분석결과 각 계절별 두 scene의 영상이 모두 유사하지 않은 것으로 분석되어 분석에 사용된 각 계절별 영상을 계절의 대푯값으로 사용하기에는 부적합한 것으로 판단하였다. 본 연구에서는 각 영상이 촬영되는 시기에 초래될 수 있는 일부지역의 이상기온현상에 의한 오류를 최소화하기 위하여 분석에 사용된 6scene의 영상에서 추출한 온도값의 전체 평균을 사용하여 회귀분석을 실시하였다. 도시화지역의 온도변화 예측모형을 위하여 전체 영상의 평균온도값을 종속변수로, 토양피복유형과 녹지구조, 건물밀도를 설명하는 5개의 독립변수 중 각 시기별 영상의 온도값과 모두 유의수준 0.05에서 유의한 것으로 분석된 4개의 변수(건폐율, 녹피율,

녹지용적, 녹피율)들을 독립변수로 하여 회귀분석을 실시하였다. 건물밀도의 지표로 사용한 용적율의 경우 전체 영상의 평균온도값과는 유의수준 0.05에서 유의한 것으로 판단되었으나 각 시기별 영상 중 신뢰도 95%수준에서 유의하게 나타난 것이 3scene에 불과하였으며 영상의 촬영시기에 따른 그림자효과가 효과가 크게 작용한 것으로 판단되어 독립변수 선택에서 제외하였다.

회귀분석 이전에 독립변수들 사이의 상관성을 확인하기 위하여 변수간 상관관계 분석을 실시한 것이 Table 12이다. 건폐율, 녹피율, 녹지용적계수, 녹지율의 4가지 변수는 모두 서로간 상관계수가 ±7.5이상이었으며 신뢰도 99%수준에서 유의하여 이들 변수간 강한 상관관계가 있음이 확인되었다.

서로간 강한 상관관계를 가지는 독립변수의 배제를 통한 중복변수가 없는 회귀모형 도출을 위하여 단계선택(stepwise regression)에 의한 변수선택방법을 적용한 결과 녹지량 확보정도의 비교를 위한 녹지용적이 채택되었으며 건폐율과 녹지율, 녹피율은 제외되었다. 건폐율, 녹지율, 녹피율은 상관관계 분석에서 온도값에 미치는 영향이 강하였으나 녹지용적과 다중공선성 문제가 나타나 종속변수에 가장 큰 영향을 주는 녹지용적이 독립변수로 채택되었다. 채택된 독립변수는 F검정과 T검

Table 12. The result of Regression analysis

Classification	B	SE B	Beta	T	Sig. T	F (Sig. F)	R ²
(Constant)	142.1837	0.1615	-	880.1580			
Green capacity of the land	-0.0552	0.0054	-0.8492	-10.2952	0.000	0.000	0.714

a. Resectable Variables: Building-to-land ratio, Green area ratio, Green projection area ratio, Floor area ratio

b. Green capacity of the land: Green capacity of the land index × 100

정에서 모두 유의수준 0.01에서 유의하였으며 수정결정 계수(Adjusted R-Square: R^2)값은 0.714이었다.

회귀분석을 통한 시가화지역 온도예측모형은 다음과 같다. NASA(2002)에서 제시한 ETM+ 영상의 DN값을 대기온도 추정식으로 섭씨온도로 환산하면 DN값 128이 약 20°C, 148이 약 30°C이다.

$$\text{도시화지역예측온도} = 142.1837 - 0.0552 \times (\text{녹지용 적계수} \times 100)$$

연구결과 녹지량 증대는 도심기온현상의 완화를 위한 가장 효과적인 방법으로 분석되었다. 녹지량 증대를 위한 가장 효과적인 방법은 우선적으로 녹지면적을 확대하는 것이나 고밀도로 개발된 시가화지역에서는 현실적인 어려움이 크다. 따라서 도심내 녹지량을 늘리기 위한 방법으로 소규모 공간의 지속적인 녹지확보와 함께 교목층과 아교목층, 관목층을 구분한 다층구조식재 등의 녹지량 증진을 위한 효율적인 녹지조성이 필요하였다. 또한 재개발에 따른 기존 녹지의 훼손을 방지하고 적극적 보전을 통한 녹지량 증진 등을 지속적으로 추진하는 것이 도심지역 온도저감효과를 극대화할 수 있는 방안으로 판단되었다.

인용문헌

- 김운수, 김학열(2001) 서울시 기상특성을 고려한 도시계획 기법연구(Ⅱ). 서울시정개발연구원, 200쪽.
- 박경훈, 정성관(1999) 광역적 녹지계획 수립을 위한 도시열섬효과 분석. 한국지리정보학회지 2(3): 35-46.
- 서울특별시(2000a) 서울시 기상특성을 고려한 도시계획 기법연구. 275쪽.
- 서울특별시(2000b) 서울시 비오텍현황조사 및 생태도시 조성지침 수립. 245쪽.
- 송영배(2002) 신도시 개발이 도시열섬 현상에 미치는 영향-분당신도시와 판교지역을 중심으로-. 한국조경학회지 30(4): 37-46.
- 오성남, 부경은(2000) 1999년 서울지역 기온의 시공간 분포 특성. 한국기상학회지 36(4): 499-506.
- 윤용한(2000) 공원에 의한 고온성 저감효과에 관한 연구. 한국정원학회지 18(1): 83-90.
- 윤용한(2001) 녹지에 의한 열섬현상의 저감효과에 관한 연구 -풍속과의 관련성에 관해서-. 대한국토·도시계획학회지 36(2): 187-196.
- 이경재(1993) 환경이 보존되는 범위내의 개발과 이용, 지속 가능한 개발(ESSD)을 위한 학제간 대토론회. 한국환경행정학회·삼성지구환경연구소, 141-153.
- 이용식(1990) 도시열섬 분석에 있어서 원격탐사 기법의 적용에 관한 연구. 서울대학교 석사학위논문, 39쪽.
- 이은엽(1995) 도시녹지의 온도영향에 관한 연구. 청주대학교 석사학위논문, 72쪽.
- 이현영(1985) 서울의 도시기온에 관한 연구. 이화여자대학교 대학원 박사학위논문, 104쪽.
- 이현영, 이승호(1997) 한국의 대규모 간척사업이 주변의 환경변화에 미치는 영향. 대한지리학회지 32(4): 463-478.
- 이혜선(2001) 인공위성 영상자료를 이용한 녹지의 도시온도 저감효과에 관한 연구. 서울시립대학교 석사학위논문, 93쪽.
- 조명희, 이광재, 김운수(2001) 원격탐사자료와 GIS를 활용한 도시 표면온도의 공간적 분포특성에 관한 연구. 한국지리정보학회지 4(1): 57-66.
- 한국건설기술연구원(1996) Green Town 개발사업 I (연구 개요 및 건축분야). 297쪽.
- 홍석환, 이경재(2004) 서울 강남지역 아파트단지의 녹지면적에 따른 온도변화 모형. 한국환경생태학회지 18(1): 53-60.
- 設樂實(1971) 都市砂漠. 地理 16(8): 10.
- Gallo, K. P., D. R. Easterling and T. C. Peterson(1996) The influence of land use/land cover on climatological values of the diurnal temperature range. J. Climate, 9: 2941-2944.
- Landsberg(1981) The Urban Climate, International Geophysics series 28. Academic Press. NASA(2002) The Landsat-7 Science Data User's Handbook.
- Lee, H. Y.(1995) Potential effects of land-use change on the local climate. J. Korean Society of Remote Sensing, 11(3): 83-100.
- Oke, T. R.(1982) The energetic basis of the urban heat island. Quart. J. Royal Meteorol. Soc. 108: 1-24.
- Oke, T. R.(1987) Boundary layer climates(2ed.), London and New York.