

도시 지표면 온도분포 특성 및 열섬완화방안

도 후 조 · 이 정 민 · 나 정 화*
경북대학교 대학원 조경학과, *경북대학교 조경학과
(2006년 9월 11일 접수; 2007년 3월 20일 채택)

A Study on the Distribution Characteristic of Urban Surface Temperature and Urban Heat Island Effects

Hu-Jo Do, Jung-Min Lee and Jung-Hwa Ra*

Department of Landscape Architecture, Graduate School of Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

*Department of Landscape Architecture, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

(Manuscript received 11 September, 2006; accepted 20 March, 2007)

The purpose of this research was to three-criteria landuse-pattern, developing density, NDVI which were related to the heat island and find the distribution characteristic of urban surface temperature and urban heat island effects. The results of this study were as follows.

According to the analysis of surface temperatures, the first grade was the outside-city like a mountain and its temperature was less than 12.18°C. The fifth grade was the downtown industrial area and its temperature was more than 23.54°C. It means Daegu-Metropolitan-City has the serious heat-island effect. the results of landuse pattern analysis, in case of fifth and fourth grade, city area was occupied over 90% with residential, commercial and industrial areas, but in case of third grade, openspace was occupied over 70%. The results of developing density analysis, the temperature had high correlation with building ratio, road ratio, vegetation ratio and etc. To plan for the decrease of heat island effect needed the extension of green space, decrease of paving, but there was a limit to get the objective method for grade classification because of lacking in the basic data, the research of criteria will be accomplished continuously.

Key Words : Heat island, Developing density, NDVI, Correlation analysis

1. 서 론

최근 산업이 발달하고 인구가 증가함에 따라 전 세계적으로 도시화가 빠르게 진행되고 있으며 도시의 규모도 점차 거대해져 가고 있다. 이러한 도시의 팽창은 녹지의 감소, 도로 포장률의 증가, 도시하천의 복개 등 지표면의 피복 상태를 변화시키고 도시 구조물의 급격한 증가를 초래하고 있다.

이에 따른 대기환경의 복합적인 작용으로 도시는 주변과는 다른 도시 특유의 기후를 형성하고 있으며, 식생으로 덮여있는 지표가 불투수층의 인공구조물로 대체되면서 도시기온은 점차 상승하고 있는

추세에 있다^{1~2)}. 특히 도시는 토지이용이 집약적이기 때문에 고밀화, 고층화된 시가지의 고온화 현상으로 형성된 열섬이 인간생활에 많은 영향을 미치고 있으며 이는 도시 기후위생학적인 측면에서 커다란 문제점으로 지적되어 왔다.

이를 극복하기 위해 도시열섬의 형성 원인^{3~6)}, 토지이용에 따른 기온특성^{1,7~9,10)} 등과 같은 많은 연구가 이미 수행되었다. 특히 도시녹지가 주변기온을 감소시켜 열섬현상을 완화시키고 쾌적한 공기를 제공하여 악화된 도시환경의 질적 향상에 크게 기여할 수 있다는 것이 여러 연구에서 입증되었다^{11~13)}. 또한 도시열섬과 그에 관련한 인자들간의 상호간의 관계성을 파악하여 도시지표면 온도 분포에 영향을 주는 여러 인자들의 우선 순위에 관한 연구도 선행된 바 있다⁴⁾. 그러나 도시열섬에 가장 직접적으로

Corresponding Author : Jung-Hwa Ra, Department of Landscape Architecture, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea
Phone: +82-53-950-5785
E-mail: jhra@knu.ac.kr

영향을 미칠 수 있는 인자들만을 추출하고 이를 도시 지표면 온도와 복합적으로 고려하여 도시녹지계획으로의 적용가능성을 규명한 연구는 그 필요성에 비해 아직까지 부족한 실정이라 사료된다.

따라서 본 연구에서는 대구광역시를 대상으로 지표면 온도의 공간적 분포와 그에 직접적인 영향을 미칠 수 있는 토지피복유형, 개발밀도, 식생지수 등의 요인간의 관계를 규명하여, 그 결과를 토대로 향후 도시녹지계획에 활용 가능한 기초자료를 구축하는데 가장 큰 의의를 두었다.

우선, 대구광역시의 12개 사례지를 대상으로 GIS Landsat TM 6 band의 DN 값을 활용하여 대구광역시 지표면 온도값을 추출하였으며, 이 값을 토대로 토지이용형태, 개발밀도, 식생지수별 지표면 온도의 특성을 GIS 공간 분석기법을 활용하여 파악하였다. 또한 지표면 온도값과 각 변수들 간의 회귀식을 도출하여 그 결과를 토대로 향후 도시녹지계획으로의 적용방안을 제시하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 도시 지표면 온도 분석

도시 지표면 온도를 분석하기 위하여 Landsat TM 대구광역시 위성영상자료(2000년)를 토대로 Band6의 DN값을 추출하여 지표면 온도를 산출하였다. 또한 Band 6에서 산출된 표면온도를 Standard Deviation 명령어를 이용하여 열섬강도가 가장 작은 1등급에서 가장 큰 5등급으로 일정온도 간격의 5등급으로 재분류하여 기온의 상대적인 경향을 파악하였다.

지표면 온도를 추출하는 과정에서, 한국과학기술원에서 제공하는 위성자료로부터 지표면온도를 추출하기 위한 식 Cubic regression mode($k=206.127+1.054 \times TM6-0.003714 \times TM6^2+6.60655 \times 10^{-6} \times TM6^3$)을 활용하였으며, 이 식을 통하여 얻어지는 온도는 절대온도로써 ($^{\circ}C = k-273.015$)의 식을 이용하여 섭씨온도로로 전환하였다.

특히 본 연구에서는 대구광역시 2000년의 지표면 온도의 시계열적 구조변화를 분석해 보기 위하여 지표면 온도 분포도를 작성하였다. 그러나 지표면 온도값이 각 해마다 다르게 나타나기 때문에 절대적인 평가가 이루어질 수 없었던 바, 각각의 평균온도를 기준으로 5등급화하고 그를 토대로 각 등급별 면적비율을 도출하여 사례지내의 상대적인 비교분석을 수행하였다.

2.2. 표본 조사구 선정

표본 조사구는 상기에서 파악된 지표면 온도 분포도(2000년)와 축적 1:5,000 지형도를 기초로 우선적으로 추출하였으며, 모집단을 층으로 나눈 후, 그 층별 일정 수의 표본을 추출하는 층화추출법을 사용하여 최종 선정하였다(Fig. 1).

특히 조사구 선정시, 분류된 5등급 모두를 대상으로 하는 것이 아니라 비교적 열섬의 강도가 심하다고 판단되는 평균온도 이상의 3, 4, 5등급(층)에 한해서만 수행하였으며, 이들 등급이 주로 분포하고 있는 시가화 지역(도시중심부에서 반경 20km)내에서 각 등급별로 사례지를 4개씩 비례 추출하여 총 12개의 표본 조사구를 선정하였다.

면적기준은 직경 50m(1,962.5m², 약 2,000m²) 범위 내에서 기온과 토지피복형태가 상관관계가 있다는 기존의 연구를 근거로 하여¹⁵⁾, 2000m²의 5배 값인 동시에 도시계획법 근린공원면적의 지정면적인 100m×100m(1ha)로 설정하였다. 선정된 표본 조사구의 위치도 및 위치는 Fig. 2와 같다.

2.3. 도시 지표면 온도변화 영향요인 선정

사례지의 지표면 온도변화 영향요인은 국내·외 문헌 및 연구자료를 토대로 선정하였으며^{4,16~19)}, 특히 도시 기온이 토지이용패턴 등의 경관생태적인 요소와 상호 밀접한 관계를 가지고 있다는 선행연구를 중점적으로 활용하였다⁴⁾. 특히 도시열섬과 관련하여 포장율, 이용강도, 투수성 포장율의 항목에서 비교적 큰 상관성을 가진다는 연구결과⁴⁾에 착안

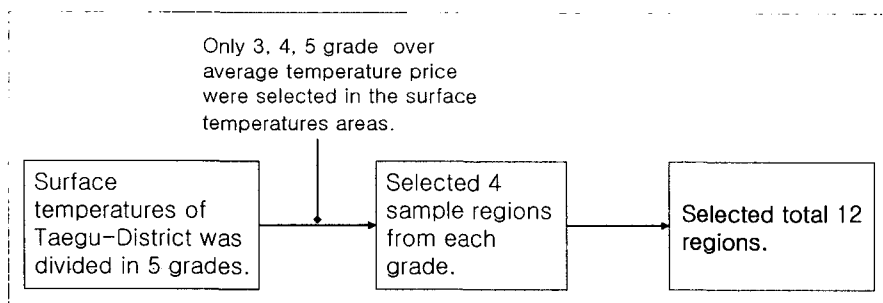


Fig. 1. Process for selecting sample regions by stratified sampling method.

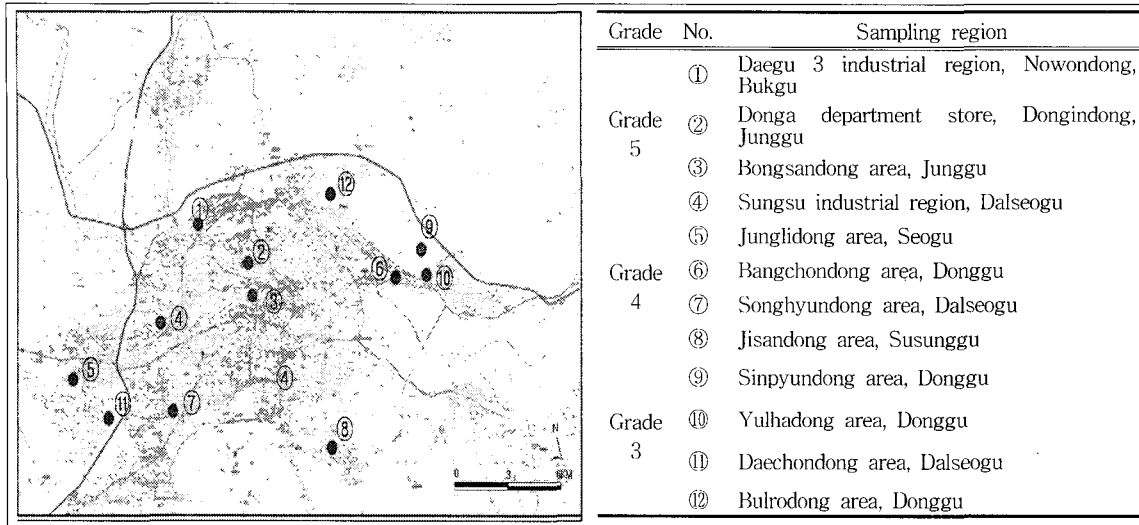


Fig. 2. Sample regions in each grade.

하여 세 가지 항목을 대표할 수 있다고 판단되는 보다 세부적인 인자들을 재선정하였다. 이들 요인들에 대하여 현장 및 실내작업을 병행하여 수정 및 보완한 후 토지피복유형, 개발밀도, 식생지수의 세 가지 영향요인들을 최종적으로 선정하였다.

2.4. 도시 지표면 온도변화 영향요인 분석

선정된 3가지 영향요인별 분석기법을 살펴보면 아래와 같다. 우선, 토지피복유형의 분류는 환경부(2003)에서 지정한 토지피복 분류기준을 근거로 하여 시가지 지역, 오픈스페이스지역, 수계의 3가지로 대분류하였으며, 그 중 시가지 지역은 주거지역, 상업지역, 공업지역, 교통시설지역, 대지로, 오픈스페이스 지역은 공원, 산림, 초지, 농경지로, 그리고 수계는 정수지, 유수지로 세분류하였다. 또한 토지피복유형이 기온에 미치는 영향을 분석하기 위하여 선정된 조사구를 중심으로 반경 100m범위내의 토지피복유형별 비율을 산출하였다.

또한 개발밀도는 불투수성 표면의 대표적인 요소인 건물과 도로를 도시 개발밀도를 나타내는 대표인자로 선정하여³⁾, 사례지에 대한 각각의 면적비율을 산출하였다. 도로화율의 경우 시가지 면적에 대한 도로면적의 비로 산정하였으며, 면적 산출시 선으로만 나타난 도로의 경우는 제외하였다. 또한 건축면적에 해당하는 건폐율은 해당지역의 지형도를 활용하여 건폐면적을 기준으로 산출하였다.

마지막으로 식생의 활력도 및 녹지피복을 분석하기 위하여 Landsat TM 대구광역시 위성영상자료(2000년)를 토대로 ERDAS사의 Imagine 8.4의 지도대수연산을 이용하였으며, 그를 토대로 대구광역시

전역에 대한 식생지수를 추출하였다. 그리고 이를 보다 쉽게 파악하기 위해서 $\{NDVI = (Band4 - Band3) / (Band4 + Band3)\}$ 의 공식을 활용하여 6개의 등급으로 분류된 식생지수 분포도를 작성하였다.

2.5. 도시 지표면 온도와 영향요인의 관계성 분석

선정된 12개의 표본 조사구에 대한 현장조사결과를 토대로 SPSS 11.0 Window 버전을 이용하여 상관관계분석 및 회귀분석을 실시하였다. 상관관계분석은 도시온도의 영향요인들 간의 관계성 파악 및 지표면 온도와 영향요인들 간의 상관성을 파악하는데 주안점을 두었으며, 상관정도를 파악하기 위해서 피어슨의 상관계수를 활용하였다.

단순 및 다중회귀분석은 현장 및 실내작업을 통하여 획득한 자료를 토대로 종속변수인 지표면 온도와 독립변수인 영향요인간의 회귀식을 도출하고 F-검정을 통한 회귀모델의 유의성을 검정하였으며, 각 회귀식의 설명력과 회귀계수부호의 적정성을 판단하였다. 특히, 단순회귀분석은 다항목 평가기준별 단순회귀식의 도출 및 다중회귀모형에 투입될 변수의 선정을 위해서 실시하였으며, 다중회귀분석은 단순회귀분석에서 영향력이 높게 나타난 평가기준과 지표면 온도와의 관련성을 보다 정밀하게 파악하기 위해 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 도시 지표면 온도 분포 분석

2000년의 대구광역시 지표면 온도 분포도를 살펴보면(Fig. 3), 1999년도의 대구광역시 지표면 온도 분포도와 거의 유사하게 팔공산과 비슬산의 외곽지

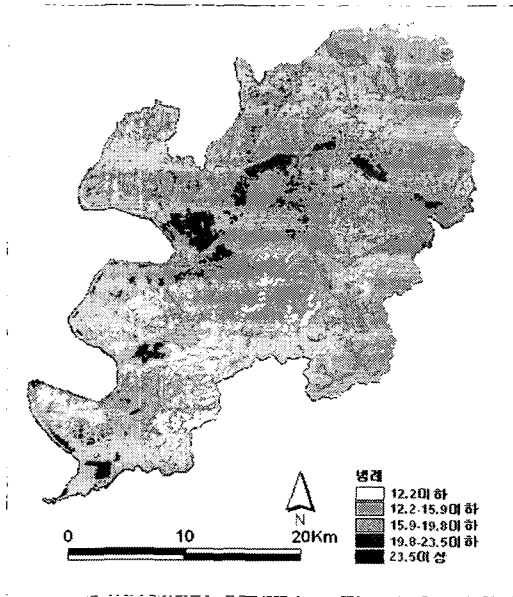


Fig. 3. Analysis map of surface temperatures of Daegu-Metropolitan-City(2000).

역 산림을 중심으로 1등급인 저온역이 형성되었으며, 도시 중심부와 대규모 공단지역을 중심으로 5등급인 고온역이 형성되어 도시열섬현상이 뚜렷하게 나타나는 것으로 분석되었다. 1999년과 2000년에 걸쳐 도시열섬의 강도가 도시의 최종심부에서 가장 높고 외곽으로 갈수록 점차 낮아지는 현상을 보였던 바, 이는 분지라는 대구의 지형적인 요인이 이러한 도시열섬현상에 가장 크게 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이, 중구(중심상업지역), 서구(주거지밀집지역), 달서구(공업지역) 등이 높은 온도 분포대를 형성하고 있는 것으로 나타났으며, 상대적으로 많은 지역이 산림으로 이루어진 동구와 달성군에서 낮은 온도 분포대를 형성하고 있는 것으로 분석되었다. 한편 대구광역시에서 가장 협소한 면적을 나타내는 중구의 경우, 대부분 중심업무 및 상업시설들로 이루어진 지역으로서 1999년, 2000년 두 시기 모두 약 24℃ 이상으로 높은 지표온도 값을 가지고 있었다. 또한 북구, 서구, 달서구의 경우, 금

호강 유역 인근에 분포하고 있는 제3공단, 이현공단, 성서공단 등의 공업단지들이 밀집해 있는 지역들을 포함하고 있어, 그 일대는 중구와 마찬가지로 가장 높은 지표온도 분포대를 형성하는 것으로 분석되었다.

특히 공업단지 밀집지역과 상업지역 등의 인공구조물들이 밀집된 지역들은 높은 온도 분포대에 속하고 있고, 농경지 수공간, 산림 등의 자연녹지 및 일부 공원녹지 지역들은 저온대를 형성하고 있다는 것을 명확하게 확인할 수 있었으며, 이러한 결과를 토대로 볼 때 토지이용형태에 따라 도시 지표면 온도 분포패턴이 뚜렷이 구분된다는 것을 확인할 수 있었다.

지표면 온도 등급별 분포패턴에 따른 토지이용형태를 구체적으로 살펴보면(Table 1), 12.18℃미만의 1등급에 속하는 지역은 팔공산 일부 지역과 달성군의 비슬산 국립공원 등의 도시 외곽 산림 고지대이며, 전체 면적의 3.66%에 해당하는 것으로 나타났다. 또한 12.18℃~15.97℃미만에 해당하는 2등급은 전체 면적의 43.97%로 비교적 많은 면적을 차지하는 것으로 조사되었으며 대부분 공원지역과 금호강과 같은 유수지 그리고 도시외곽 산림의 저지대 구릉지 지역을 포함하는 것으로 분석되었다.

15.97℃~19.76℃미만의 3등급 지역의 경우, 전체 면적의 47.26%로 가장 많은 면적을 차지하는 것으로 나타났으며 대부분 농경지 및 초지 지역, 일부의 도시외곽산림의 저지대 구릉지 지역이 이에 해당하는 것으로 조사되었다. 그리고 23.54℃ 이상의 열섬강도의 최대치인 5등급에 속하는 지역은 도심지역과 대규모 공단지역으로 나타났으며 전체 면적의 0.31%의 면적을 차지하는 것으로 분석되었다.

한편 1999년 대구광역시 온도 분포에 대한 선행연구⁴⁾와 대구광역시 지표면 온도 분포 특징을 연도별로 상호 비교해 보았던 바, 2000년대의 대구광역시 지표면 온도분포는 전반적으로 1999년과 유사하게 나타났으며 두 시기 모두 도심으로 갈수록 온도가 높아지고 도시외곽으로 갈수록 낮아지는 전형적인 도시열섬현상을 보이고 있음을 알 수 있었다.

1999년에는 최저 13℃미만에서 최고 26.9℃까지 분포하고 있으며 이 시기에는 13.00℃~17.60℃

Table 1. The present state of surface temperatures of Daegu-Metropolitan-City(2000)

Grade	Surface temperature(℃)	Area(km ²)	Percentage of area(%)
Grade 1	12.18 under	32.39	3.66
Grade 2	12.18~15.97 under	389.14	43.97
Grade 3	15.97~19.76 under	418.25	47.26
Grade 4	19.76~23.54 under	42.48	4.80
Grade 5	23.54 over	2.74	0.31

미만의 온도 분포대가 가장 넓게 분포해 있는 것으로 나타났다. 한편 2000년도에는 최저 12.18℃ 미만에서 최고 23.54℃ 이상으로 나타났으며 평균적으로 15.97~19.76미만의 온도대가 가장 넓게 분포해 있는 것으로 확인되었다. 이는 1999년 위성영상(5월)이 2000년 위성영상(9월)보다 영상 촬영시기가 다소 빠른 관계로 세부적인 온도 분포대 값에서 조금 높은 것으로 나타났으나, 1999년과 2000년의 온도 차이를 제외한다면 전반적으로 온도분포 곡선의 패턴은 두 시기 모두 유사하다는 사실을 확인할 수 있었다.

지표면 온도 등급별 면적변화율을 구체적으로 살펴보면(Fig. 4), 1등급 지역이 1999년에 비해 2000년도에는 약 10%정도 감소되었으며, 2등급 지역은 4% 정도 감소된 것으로 분석되었다. 또한 3등급 지역은 1999년도에 비해 약 25%나 증가된 것으로 나타나 가장 큰 면적변화율을 나타내는 것으로 분석

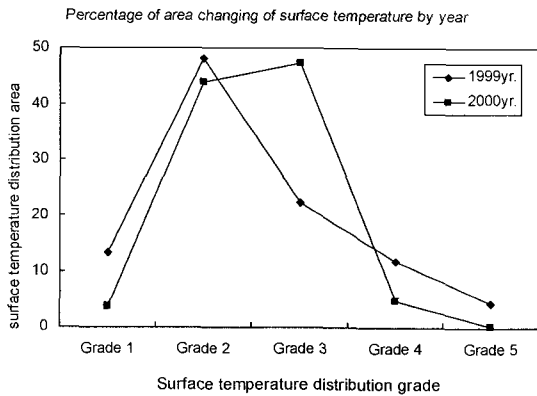


Fig. 4. Percentage of area changing of surface temperature by year of Daegu-Metropolitan-City.

되었다. 그리고 4등급 지역과 5등급 지역은 각각 약 7%, 4%로 감소된 것으로 조사되었다.

특히 연도 변화에 따른 대구광역시 지표면 온도 변화에서, 1등급, 2등급, 4등급, 5등급 지역이 감소된 반면, 3등급 지역의 면적 증감이 두드러지게 나타났다. 이러한 결과는 1999년에 2등급으로 조사된 도시 외곽 산림의 일부 저지대 구릉지 지역이 시가지 지역의 확장에 따른 영향으로 토지피복형태가 변화되어 고온의 3등급으로 전환되었기 때문이라 사료되며, 무엇보다 대구광역시에 도시화 지역의 확산에 따른 고온지역의 확산 현상이 점점 더 심화되고 있음을 입증해 주고 있다.

3.2. 도시 지표면 온도변화 영향요인 분석

3.2.1. 토지피복에 따른 유형분류 및 분석

사례지에 대한 토지피복유형 분석결과를 살펴보면(Table 2), 5등급 및 4등급의 경우, 시가지 지역이 전체면적의 약 90% 이상을 차지하였으며, 토지피복 유형별로는 주거지, 상업지, 공업지 등이 대부분을 차지하고 있는 것으로 조사되었다. 특히 5등급에 속한 지역들 중, 공업밀집지역은 공업지로의 토지피복 비율이 70% 이상으로 매우 높은 값을 나타냈다. 한편 3등급에 속한 사례지들은 오픈스페이스 비율이 약 70% 이상을 차지하고 있어, 4등급, 5등급에 속한 지역들과는 토지피복유형에 많은 차이를 나타내는 것으로 분석되었다.

사례지별로 시가화된 지역의 비율을 살펴보면, 5등급의 경우 서구 중리동(100%), 북구 노원동(99.72%), 중구 동인동(99.26%) 순으로 높았으며, 북구와 달서구의 공업단지는 공업지가 대부분을 차지하고 있었고, 중구 동인동은 상업지가, 중구 봉산동은 주거지

Table 2. Land cover type of sampling regions(%)

	Urban area					Total	Open space				Water area			
	Residential area	Commercial area	Industrial area	Traffic facility area	Vacant land area		Park area	Forest area	Grass area	Farmland area	Total	Flowing water area	Pool area	Total
1	.	0.82	71.26	24.13	3.51	99.72	0.28	.	.	.	0.28	.	.	.
2	12.74	69.70	.	17.35	.	99.26	0.74	.	.	.	0.74	.	.	.
3	56.24	29.51	.	12.73	.	98.48	1.52	.	.	.	1.52	.	.	.
4	.	.	70.25	20.53	1.02	91.80	8.20	.	.	.	8.20	.	.	.
5	57.96	21.91	.	20.13	.	100
6	52.13	21.51	.	19.35	4.23	97.22	2.78	.	.	.	2.78	.	.	.
7	49.90	20.72	.	16.07	7.32	94.01	5.99	.	.	.	5.99	.	.	.
8	58.54	12.22	.	18.55	8.55	97.86	2.14	.	.	.	2.14	.	.	.
9	2.27	.	.	8.24	.	10.51	.	.	.	88.09	88.09	.	1.4	1.4
10	9.07	.	.	11.96	4.17	25.20	.	.	.	74.80	74.80	.	.	.
11	0.53	14.31	.	3.25	28.36	46.45	53.55	.	.	.	53.55	.	.	.
12	12.41	7.01	.	2.08	.	21.50	.	.	78.50	.	78.50	.	.	.

가 더 많은 비율을 점유하고 있는 것으로 조사되었다. 4등급은 대부분의 사례지에서 주거지의 비율이 약 50%로 가장 높았고 다음으로 상업지가 약 20% 차지하는 것으로 분석되었다. 또한 3등급의 경우 시가화 지역의 비율이 약 30%로 비교적 적은 값을 보였으며 주거지, 상업지, 교통시설지가 고른 분포를 보이는 것으로 나타났다.

한편 오픈스페이스 지역의 비율을 살펴보면, 5등급의 경우, 달서구 성서공업단지(8.20%), 중구 봉산동(1.52%)의 순으로 나타났다. 특히 공업단지에서의 녹지면적이 비교적 양호하게 나타난 이유는 대규모 공업단지의 경우 일정량 이상의 녹지면적을 조성해야 하는 법적기준으로 인하여 상업지역보다 비교적 높은 녹지면적을 점유하고 있기 때문으로 사료된다. 4등급의 경우, 달서구와 중구의 주거밀집지역은 오픈스페이스 면적이 약 2% 이상을 나타내고 있었으며, 수성구 지산동 일대의 아파트 지역과 고급주택 지역의 경우는 비교적 높은 6%의 면적을 차지하고 있는 것으로 조사되었다. 그리고 3등급의 경우, 선정된 사례지 모두 50% 이상의 높은 비율을 차지하는 것으로 분석되었다. 한편, 수계 지역의 경우, 동구 신편동 일대에 정수지가 약 1.4%를 차지하는 것으로 조사되었다.

특히 주거지역의 경우, 저층의 주거밀집지역(3%)과 아파트지역 및 고급주택지역(6%)에서 오픈스페이스 면적량의 차이는 미비하게 나타났으나, 저층의 조밀한 주택단지의 경우 아파트보다 열섬의 영향을 많이 받고, 같은 단독주택지역이라 하더라도 건폐율이 낮고 피복률이 낮은 지역이 온도 변화폭과 상승률이 적다는 사실을 고려해 볼 때²⁰⁾, 주거형태에

따른 녹지면적량과 기온간의 연관성이 있을 것으로 사료된다.

이상과 같이 토지피복유형이 점유하는 비율과 도시기온간의 관계에서는 전반적으로 열섬강도가 높은 지역일수록 시가화 비율이 높고 오픈스페이스 비율이 낮은 것으로 분석되었다. 이러한 사실은 시가화 지역이 많은 비율을 차지할수록, 즉 주거지, 상업지, 상업지 등의 콘크리트나 아스팔트 등의 인공지역이 차지하는 면적이 커질수록 기온이 높아진다는 연구²¹⁾와 거의 유사한 결과를 보여주고 있다. 각 등급별 토지피복분류 현황도를 일례로 제시하면 아래의 Fig. 5와 같다.

3.2.2. 개발밀도 분석

선정된 사례지별 개발밀도 분석결과, 우선 5등급에 포함되는 지역들의 경우 도로율이 약 20% 이상으로 나타났으며, 건폐율도 약 60% 이상으로 조사되었다. 또한 3등급의 경우 도로율과 건폐율이 약 10% 미만으로 나타났으며 농경지의 경우 도로율과 건폐율이 매우 적은 비율을 차지하는 것으로 조사되었다(Table 3).

특히 지표면 온도 등급과 도로율을 비교해 볼 때, 교통시설지 면적(도로율)이 넓을수록 지표면 온도가 높아지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 교통시설지의 단위면적에 따라 주변 지표면 온도 및 열발생량에 대한 영향력이 크다는 것을 유추할 수 있었다. 이러한 사실로 미루어볼 때, 도시 지표면 온도 상승을 억제할 수 있는 한 방안으로 교통관련 요소들에 대한 효율적인 관리가 필요할 것으로 사료된다.

특히 지표면 온도가 높은 5등급 지역일수록 도로율과 건폐율이 높은 것으로 나타난 반면, 지표면 온

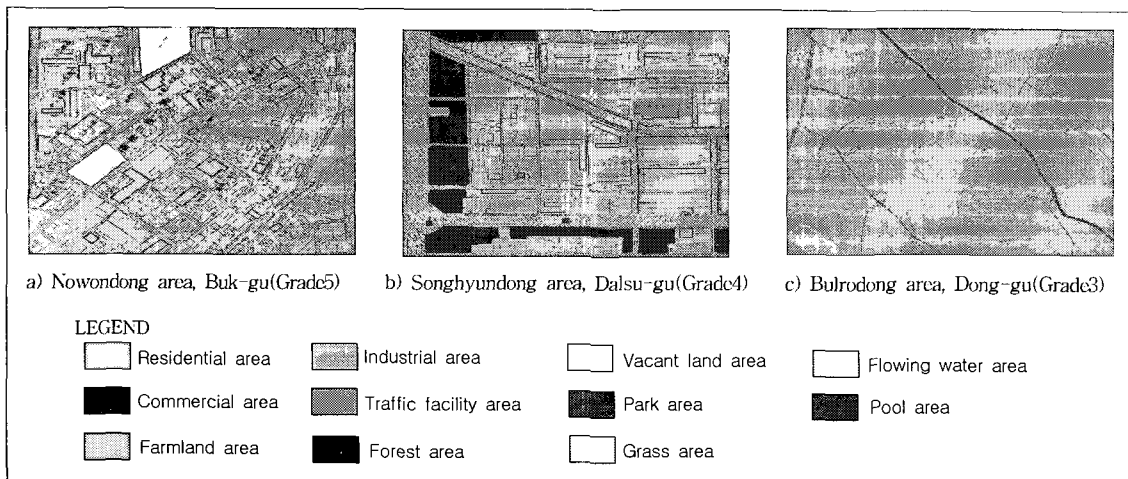


Fig. 5. Land cover types of sampling regions of 3 grades over average temperature.

Table 3. Analysis of Developing density of each sampling regions

Grade	No.	Percentage of road area(%)	Percentage of building area(%)
Grade 5	1	24.13	56.41
	2	17.35	63.82
	3	12.73	68.44
	4	30.53	65.23
Grade 4	5	20.13	57.55
	6	19.35	56.21
	7	16.07	57.12
	8	18.55	53.79
Grade 3	9	8.24	1.23
	10	11.96	5.89
	11	3.25	7.22
	12	2.08	12.64

도가 낮은 3등급 지역일수록 도로율과 건폐율이 낮아지는 것으로 분석되었다. 즉 개발밀도가 높을수록 지표면 온도가 높아지고 개발밀도가 낮을수록 지표면 온도가 낮아져, 지표면 온도와 개발밀도가 큰 연관성을 가지고 있음을 확인할 수 있었다. 이는 개발이 비교적 덜 이루어진 자연 지역들이 개발이 과밀화되어 있는 인공지역보다 지표면 온도 등급이 낮고 이는 녹지지역이 지표면 온도 완화에 효과적이라는 연구결과²²⁾와도 유사함을 알 수 있었다.

3.2.3. 식생지수 분석

2000년의 대구광역시 NDVI 분석결과를 살펴보면 (Fig. 6), 대구시 외곽으로 팔공산과 비슬산의 외곽 지역 산림을 중심으로 높은 NDVI 값을 나타냈으며, 도시 중심부와 대규모 공단지역을 중심으로 낮은 NDVI 값을 나타냈다. 이러한 결과는 분지형태의 대구시가 도시화 발달과정에 있어 도시 중심부를 중심으로 개발이 이루어져 도시전반에 걸쳐 도시 중심부의 NDVI 값이 낮고 도시외곽으로 갈수록 NDVI 값이 높은 동심원 형태로 NDVI 값이 분포하는 것으로 사료된다.

Fig. 6에서 보는 바와 같이, NDVI는 최저 -0.94 ~ -0.55 에서 최고 0.67~0.97까지 분포해 있었으며, 0.36~0.67 분포대가 가장 넓은 지역을 차지하고 있었다(Table 4). 시가지 내부의 경우, 중구, 서구, 달서구 등의 대부분 빌딩과 도로로 형성되어 있는 개발면적이 넓은 지역들에서는 NDVI 값이 상대적으로 낮게 나타났으며, 일부 도심의 공원녹지 지역에서만 비교적 높은 NDVI 값을 확인할 수 있었다. 반면 달성군, 동구 등의 산림지역이 가장 넓게 분포하고 있는 녹지면적이 넓은 지역들은 다른 지역에 비

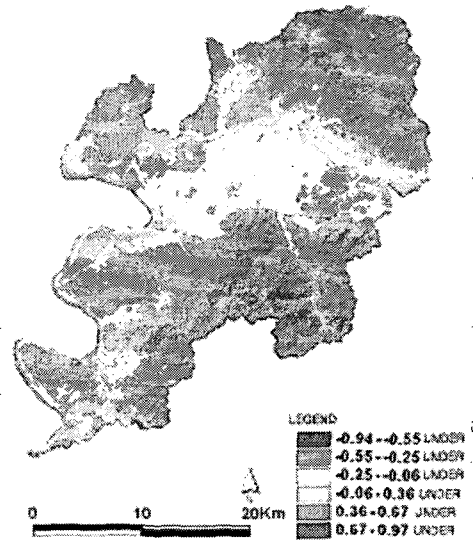


Fig. 6. Map of NDVI distribution of Daegu-Metropolitan-City(2000).

Table 4. Analysis of NDVI distribution

No	NDVI distribution	Area(km ²)	Percentage of area(%)
1	-0.94~-0.55	2.21	0.25
2	-0.55~-0.25	16.99	1.92
3	-0.25~-0.06	162.49	18.36
4	0.06~0.36	174.96	19.77
5	0.36~0.67	401.44	45.36
6	0.67~0.97	126.91	14.34

해 높은 값의 NDVI 분포대를 형성하고 있는 것으로 분석되었으며, 도시외곽으로 갈수록 이러한 현상은 더욱 명확하게 나타났다. 특히 이들 지역 중 팔공산과 비슬산 자락을 포함하고 있는 동구와 달성군이 평균 0.67 이상의 가장 높은 식생지수 분포대를 보이고 있는 것으로 조사되었다.

대구광역시 NDVI 분포도와 지표면 온도 분포도를 비교해보면, 지표면 온도가 높은 지역일수록 NDVI가 낮은 값을 나타내며 지표면 온도가 낮은 값을 갖는 지역일수록 NDVI가 높은 값을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

3.3. 지표면 온도 분포와 영향요인간의 관계성 분석

3.3.1. 상관관계분석

지표면 온도와 영향요인간의 상관관계 분석결과 (Table 5), 지표면 온도와 공업지, 건폐율, 식생지수는 유의수준 1%에서 통계적 유의성이 있었던 바, 이들에 따른 온도변화의 차이가 있다고 할 수 있다.

Table 5. Analysis of correlations

		Surface temperature	Residential area	Commercial area	Industrial area	Traffic facility area	Vacant land area	Park area	Grass area	percentage of building area	percentage of road area	NDVI
Surface temperature	Pearson	1.000	-.103	.193	.753**	.631*	-.375	.546	-.320	.752**	.631*	-.780**
	Sig.		.749	.547	.005	.028	.230	.066	.310	.005	.028	.003
Residential area	Pearson		1.000	.292	-.466	.311	-.151	.132	-.308	.526	.311	-.409
	Sig.			.356	.127	.325	.640	.683	.330	.079	.325	.187
Commercial area	Pearson			1.000	-.382	.138	-.107	-.086	-.035	.468	.138	-.427
	Sig.				.221	.668	.740	.790	.915	.125	.668	.166
Industrial area	Pearson				1.000	.520	-.145	.419	-.135	.328	.520	-.439
	Sig.					.083	.653	.175	.676	.298	.083	.153
Traffic facility area	Pearson					1.000	-.363	.398	-.507	.793**	1.000**	-.795**
	Sig.						.246	.200	.093	.002	.000	.002
Vacant land area	Pearson						1.000	-.084	.927**	-.341	-.363	.291
	Sig.							.795	.000	.279	.246	.359
Park area	Pearson							1.000	-.212	.514	.398	-.496
	Sig.								.509	.087	.200	.101
Grass area	Pearson								1.000	-.414	-.507	.364
	Sig.									.181	.093	.245
percentage of building area	Pearson									1.000	.793**	-.977**
	Sig.										.002	.000
percentage of road area	Pearson										1.000	-.795**
	Sig.											.002
NDVI	Pearson											1.000
	Sig.											

** : Correlation is significant at the 0.01 level(2-tailed)

* : Correlation is significant at the 0.05 level(2-tailed)

상관계수 값을 살펴보면, 지표면 온도와 공업지는 (+)0.753, 지표면 온도와 건폐율은 (+)0.752, 지표면 온도와 식생지수는 (-)0.780로 비교적 높게 나타났다.

지표면 온도와 교통시설, 도로화율은 유의수준 5%에서 통계적 유의성이 검증되어, 역시 이들에 따른 온도변화에 차이가 있음을 알 수 있었다. 상관계수 값을 살펴보면, 지표면 온도와 교통시설, 지표면 온도와 교통시설, 지표면 온도와 도로화율이 모두 (+)0.631로 같은 값을 나타내고 있는데, 이는 표본 조사구에서 조사된 교통시설지와 도로화율의 현장 조사값이 거의 유사하게 나타난 것에 기인한 것으로 사료된다.

한편 영향요인간의 분석결과를 살펴보면(Fig. 7), 교통시설과 건폐율, 교통시설과 도로화율, 교통시설과 식생지수, 나지와 초지, 건폐율과 도로화율, 건폐율과 식생지수, 도로화율과 식생지수는 각각 유의수준 1%내에서 통계적으로 유의하게 분석되었다.

회귀분석에서는 독립변수들 즉, 영향요인들은 비교적 서로 독립적이어야 한다(변수간의 상관관계가 낮아야 한다)라는 사실에서 서로간의 상관성이 높게 나타난 요인들은 회귀분석시 제외시켰다.

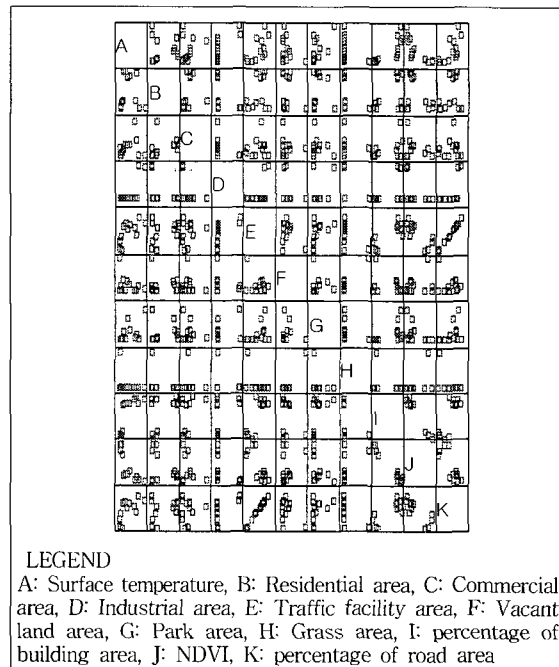


Fig. 7. Scatterplot matrix of correlation analysis.

3.3.2. 회귀분석

3.3.2.1. 토지피복유형

이상과 같이 상관관계분석결과, 영향 요인들 간의 상관성이 존재한다는 사실을 파악하였다. 이를 토대로 아래에서는 단계별 선택법을 이용한 다중회귀분석을 실시하였으며, 그 결과는 아래 Table 6과 같다.

지표면 온도와 토지이용패턴간의 다중회귀분석 결과, 전체 모델에 관한 F-검정은 F점수 23.292, 유의도 0.000으로 유의수준 1%에서 유의성이 인정되었다. 독립변수의 회귀계수는 상수항이 17.393, 유의도 0.000으로 유의수준 1%에서 유의성이 인정되었고, 공업지는 9.039E-02, 유의도 0.000으로 유의수준 1%에서 유의성이 검증되었으며, 상업지는 7.273E-02, 유의도 0.004로 유의수준 1%에서 유의성이 인정되었다. 또한, 자기상관에 대한 검정을 하기 위해 실시한 Durbin-Watson값은 1.756으로 자기상관현상을 무시할 수 있는 2에 가까운 값으로 나타나, 모형이 적합하다고 할 수 있다.

공업지와 상업지의 토지이용패턴이 넓을수록 온도가 높아지고, 회귀계수의 크기에서 공업지의 단위면적 변화로 인한 영향력이 상업지의 단위면적 변화로 인한 영향보다 더 크다는 것을 확인할 수 있었다.

도출된 회귀식은 다음과 같다.

$$Y = 17.393 + 9.039E-02X1 + 7.273E-02X2$$

여기서, Y = 지표면 온도

X1 = 공업지

X2 = 상업지

3.3.2.2. 개발밀도

지표면 온도와 도로화율, 지표면 온도와 건폐율의

단순회귀 분석한 결과는 Table 7 및 Table 8과 같다.

우선, 지표면 온도와 도로화율의 단순회귀분석 결과에 따른 모형식은 전체 모델에 관한 F-검정은 F점수 6.630, 유의도 0.028로 유의수준 5%에서 유의성이 인정되었다. 설명변수의 회귀계수는 상수항이 17.092, 유의도 0.000으로 유의수준 1%에서 유의성이 인정되었고, 도로화율은 0.232, 유의도 0.028로 유의수준 5%에서 유의성이 검증되었다. Durbin-Watson값은 1.184로 자기상관현상을 무시할 수 있는 2에 가까운 값으로 나타나 모형이 적합하다고 할 수 있다. 그러나 독립변수인 도로화율과 건폐율은 서로간의 상관성이 높게 나타나 통계적으로 유의하지 않게 분석되었던 바, 지표면 온도와 도로화율, 건폐율의 다중회귀분석을 통한 회귀식은 제시하지 않았다.

도출된 회귀식은 다음과 같다.

$$Y = 17.092 + 0.232X1$$

여기서, Y = 온도

X1 = 도로화율

지표면 온도와 건폐율의 단순회귀분석 결과에 따른 모형식은 전체 모델에 관한 F-검정은 F점수 12.995, 유의도 0.005로 유의수준 1%에서 유의성이 인정되었다.

설명변수의 회귀계수는 상수항이 17.393, 유의도 0.000으로 유의수준 1%에서 유의성이 인정되었고, 건폐율이 7.273E-02, 유의도 0.005로 유의수준 1%에서 유의성이 검증되었다. 또한, Durbin - Watson값은 1.784로 자기상관현상을 무시할 수 있는 2에 가까운 값으로 나타나, 모형이 적합하다고 할 수 있다.

Table 6. Multiple regression model of surface temperature, industrial and commercial area

Model	Coefficient	R-square	F
Independent variable term(X1)	9.039E-02		
Independent variable term(X2)	7.367E-02	.838	23.292
Constant term	18.177		

Table 7. Simple regression model of surface temperature and percentage of road area

Model	Coefficient	R-square	F
Independent variable term(X1)	.232		
Constant term	17.092	.399	6.630

Table 8. Simple regression model of surface temperature and percentage of building area

Model	Coefficient	R-square	F
Independent variable term(X1)	7.273E-02		
Constant term	17.393	.565	12.995

Table 9. Simple regression model of surface temperature and NDVI

Model	Coefficient	R-square	F
Independent variable term(X1)	-8.581	.608	15.533
Constant term	20.285		

도출된 회귀식은 다음과 같다.

$$Y = 17.393 + 7.273E-02X1$$

여기서, Y = 온도
X1 = 건폐율

3.3.2.3. 식생지수

지표면 온도와 식생지수의 단순회귀분석 결과 (Table 9), 지표면 온도와 식생지수의 단순회귀분석 결과에 따른 모형식은 전체 모델에 관한 F-검정은 F점수 15.533, 유의도 0.003으로 유의수준 1%에서 유의성이 인정되었다.

설명변수의 회귀계수는 상수항이 20.285, 유의도 0.000으로 유의수준 1%에서 유의성이 인정되었고, 식생지수는 -8.581, 유의도 0.003으로 유의수준 1%에서 유의성이 검증되었다. Durbin-Watson값은 1.825로 자기상관현상을 무시할 수 있는 2에 가까운 값으로 나타나, 모형이 적합하다고 할 수 있다.

도출된 회귀식은 다음과 같다.

$$Y = 20.285 + -8.581X1$$

여기서, Y = 지표면 온도
X1 = 식생지수

3.3.3. 종합고찰

상기에서 대구광역시 지표면 온도와 이에 영향을 미치는 인자들의 관계성 파악 및 영향요인들 간의 상관성을 파악해 보았으며 그 상관성이 확인되었다. 지표면 온도 및 영향인자들 간의 상관관계 분석을 수행한 결과, 대구광역시 지표면 온도와 토지피복유형 중 공업지와 교통시설, 개발밀도 중 건폐율 그리고 식생지수의 관계성에서 유의수준 1%에서 통계적 유의성이 규명되었으며 분석시 영향요인들 서로 간의 상관성이 매우 높게 나타났다.

영향인자별 상관관계를 살펴보면, 건폐율과 도로 화율은 유의수준 1%내에서 상관계수 값이 (+)0.793, 교통시설과 건폐율은 유의수준 1%내에서 상관계수 값이 (+)0.793, 교통시설과 식생지수는 유의수준 1%내에서 상관계수 값이 (-)0.795, 건폐율과 식생지수는 유의수준 1%내에서 상관계수 값이 (-)0.977 등으로 뚜렷한 상관관계가 존재하는 것으로 나타났던 바, 이는 영향요인들 간에도 밀접한 상호관련성이 있는 것으로 해석할 수 있다. 또한 지표면 온도와 공업지, 지표면 온도와 건폐율이 정(+)의 상관관계

가 식생지수 등에서 부(-)의 상관관계가 있는 것으로 분석되었으며 공업지의 경우, 상관계수 값이 (+)0.753로 가장 높게 나타났다. 즉 공업지, 교통시설, 건폐율 등이 지표면 온도를 상승시키는 효과가 있는 반면 식생지수 등이 기온을 저감시키는데 기여하는 것으로 조사되었다.

특히 회귀분석결과, 토지피복유형 중 공업지와 상업지가 차지하는 면적이 넓을수록 온도가 높아지고, 또한 공업지의 단위면적 변화로 인한 영향력이 상업지의 단위면적 변화로 인한 영향보다 더 크다는 것을 알 수 있었다.

이러한 결과들은 상기에서 도출된 대구광역시 지표면 온도 분포도에서 보는 바와 같이, 대구광역시에서 가장 높은 강도의 지표면 온도 분포값을 가지고 있는 것으로 분석된 북구 3공업단지 및 성서공업단지 등의 공업단지 밀집지역과 중심상업지역이 소규모 녹지공간을 제외하고는 대부분 공업지 및 상업지 등의 건축공간으로 구성되어 있다라는 점을 감안할 때 그 타당성이 인정되며, 도시 지표면 온도가 그 주변 지역의 토지이용현황에 따라 열 분포 패턴이 명확히 달라진다는 사실을 확인할 수 있었다.

한편 도시 지표면 온도와 식생지수 사이에는 뚜렷한 부(-)의 상관관계가 존재하고 있는 것으로 확인되었던 바, 녹지가 지표면 온도 저감에 긍정적인 효과가 있음을 입증해 주고 있다. 이는 표면온도와 NDVI 사이에 뚜렷한 부(-)의 상관관계가 존재하고 있다는 것을 밝힌 바 있는 연구¹⁷⁾와 유사한 결과를 보여주고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 대구광역시를 대상으로, 지표면 온도의 공간적 분포와 그에 직접적인 영향을 미칠 수 있는 요인들과의 관계를 규명해보고, 이를 토대로 향후 도시녹지계획에 활용가능한 기초자료를 제공하는데 가장 큰 의의가 있었다.

본 연구의 결과는 다음과 같다.

첫째, 1999년, 2000년의 대구광역시 지표면 온도 분포도를 살펴보면, 두 시기 모두 거의 유사하게 팔공산과 비슬산의 외곽지역 산림을 중심으로 1등급인 저온역이 형성되었으며, 도시 중심부와 대규모 공단지역을 중심으로 5등급인 고온역이 형성되어 도시열섬현상에 현저한 차이가 있었다.

둘째, 토지피복 분석결과, 열섬강도가 매우 높은 5등급, 4등급의 경우, 시가화 지역이 전체면적의 약 90% 이상을 차지하는 것으로 나타났으며 주거지, 상업지, 공업지 등이 대부분을 차지하는 것으로 조사되었다. 한편 열섬강도가 높은 3등급에 속한 사례지들은 오픈스페이스 비율이 약 70% 이상을 나타내는 것으로 나타나, 4등급, 5등급에 속한 지역들과는 토지피복유형에서 많은 차이가 있었다.

셋째, NDVI 분석결과, 대구시 외곽으로 팔공산과 비슬산의 외곽지역 산림을 중심으로 높은 NDVI 값을 나타냈으며, 도시 중심부와 대규모 공단지역을 중심으로 낮은 NDVI 값을 나타내는 것으로 분석되었다.

넷째, 개발밀도 분석결과, 5등급에 포함되는 지역들의 경우 도로율이 약 20% 이상으로 나타났으며, 건폐율도 약 60% 이상으로 조사되었으며, 4등급의 경우 도로율이 약 20% 미만으로 나타났으며 건폐율은 약 60% 미만으로 분석되었다. 또한 3등급의 경우 도로율과 건폐율이 약 10% 미만으로 나타났다.

다섯째, 지표면 온도와 선정된 인자들 간의 상관관계 분석결과, 교통시설과 건폐율, 교통시설과 도로화율, 교통시설과 식생지수, 나지와 초지, 건폐율과 도로화율, 건폐율과 식생지수, 도로화율과 식생지수는 각각 유의수준 1%내에서 통계적으로 유의하게 분석되어 영향요인간의 높은 상관성을 규명하였다.

마지막으로 본 연구를 통해서 도시 지표면 온도와 그에 영향을 미치는 토지피복유형, 개발밀도, 식생지수의 관계를 보다 명확하게 규명함으로써 기후위생학적 측면을 고려한 도시 녹지 공간 확충의 필요성과 도시녹지 기능에 대한 중요성을 재확인할 수 있었다. 특히 도시온도 상승을 억제하기 위해서는 우선적으로 공업지와 상업지와 같은 개발밀도가 높고 녹지공간이 부족한 지역들에 대한 정책적 수단과 아울러 우선적으로 녹지면적을 증가시킬 수 있는 구체적인 녹지 확충 방안에 마련될 필요가 있을 것으로 사료된다. 그러나 도시 지표면 온도에 대한 영향요인들의 선정시 전문가 설문 등을 통한 객관적인 평가기준 제시와 선정된 영향요인 모두에 대한 연도별 상호비교 등과 같은 문제는 향후 계속 연구될 필요가 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1) Kato H., 1996, A statistical method for separating urban effect trends from observed temperature data and its application to Japanese temperature records, J. Meteor. Soc.

of Japan, 74(5), 639-653.
 2) Gallo K. P., Owen T. W., Easterling D. R., Jamason P. F., 1999, Temperature trends of the U.S. historical climatology network based on satellite designated land use/land cover, J. of climate, 12, 1344-1348.
 3) 박인환, 장갑수, 김종용, 1999, 추이대를 중심으로 한 경상북도 3개 도시의 열섬 평가, 환경영향평가지, 8(2), 73-82.
 4) 이현영, 1985, 서울의 도시기온에 관한 연구, 박사학위논문, 사회생활학과, 이화여자대학, 서울.
 5) 이용식, 1990, 도시열섬 분석에 있어서 원격탐사기법의 적용에 관한 연구, 석사학위논문, 환경계획학과, 서울대학, 서울.
 6) 윤일희, 민경덕, 김경익, 1994, 대구지역의 기상특성 연구 및 대기확산모델의 개발 도시열섬현상에 관한 사례 연구, 한국기상학회지, 30(2), 303-313.
 7) 부경은, 전영신, 박지용, 조하만, 권원태, 1999, 자동기상관측장치자료를 이용한 서울의 기온수평 분포 분석, 한국기상학회지, 35(3), 335-343.
 8) 이은엽, 문석기, 심상렬, 1996, 도시녹지의 기온 및 지온 완화효과에 관한 연구, 한국조경학회지, 24(1), 65-78.
 9) Oke T. R., 1987, Boundary layer climates (2ed), London and New York.
 10) Gallo K. P., Owen T. W., 1999, Satellite based adjustments for the urban heat island temperature bias, J. Appl. Meteor, 38(6), 806-813.
 11) Landsberg H. E., 1981, Urban climate, Academic Press, 275.
 12) Spronken S. R. A., Oke T. R., 1998, The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates, International J. of Remote Sensing, 19(11), 2085-2104.
 13) Eliasson I., Upmans H., 2000, Nocturnal airflow from urban parks implications for city ventilation, Theoretical and Applied Climatology, 66(1/2), 95-107.
 14) 이정민, 도후조, 나정화, 김수봉, 정우호, 2005, 다항목 평가기법의 적용을 통한 열섬현상의 평가, 한국환경과학회지, 14(11), 1005-1014.
 15) 윤용한, 2001, 녹지에 의한 열섬현상의 저감효과에 관한 연구, 대한국토도시계획학회지, 36(20), 187-196.
 16) 박중화, 1996, TM 영상추출 NDVI를 이용한 수도권 그린벨트의 평가, 대한원격탐사학회지, 12(3), 245-256.

- 17) 조명희, 이광재, 김운수, 2001, 원격탐사자료와 GIS를 활용한 도시 표면온도의 공간적 분포 특성에 관한 연구, 한국지리정보학회지, 4(1), 57-66.
- 18) Arnold C., Gibbons J., 1996, Impervious surface coverage, The emergence of a key environmental of a terrestrial index of ecological integrity, Ecological Indicators, 1(1), 21-35.
- 19) Schueler T. R., 1995, Site planning for urban stream protection, Metropolitan Washington Council of Government Washington D.C.
- 20) 황지욱, 김소정, 2003, 도시열섬현상의 주거 형태별 비교분석, 대한국토도시계획학회지, 38(7), 235-244.
- 21) 권영아, 2002, 서울시 도심 녹지가 주변 기온에 미치는 영향, 석사학위논문, 지리학과, 건국대학, 서울.
- 22) 윤용한, 배병호, 2002, 녹지의 규모와 기온저감 효과와의 관련성에 관한 연구, Korean J. Environ. Biol., 20(1), 10-19.