

다항목 평가기법의 적용을 통한 열섬현상의 평가

이 정 민 · 도 후 조 · 나 정 화 · 김 수 봉 · 정 응 호*
경북대학교 조경학과, *계명대학교 환경계획학부
(2005년 1월 31일 접수; 2005년 11월 25일 채택)

An Evaluation of the Phenomenon of Heat-Island Effect by Multi-Criteria Methods

Jung-Min Lee, Hu-Jo Do, Jung-Hwa Ra, Soo-Bong Kim* and Eung-Ho Jung*

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

*College of Environment, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

(Manuscript received 31 January, 2005; accepted 25 November, 2005)

The purpose of this research was to present multi-criteria which were related to the heat island and find methods which decreased heat island affection on the ecological landscape planning. 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 13.0°C. The fifth grade was the downtown, industrial area and its temperature was more than 26.9°C. Therefore, the result was seen the serious heat-island effect. The results of field survey, the closer to the first grade, the higher the value of green coverage. The closer to the fifth grade, the higher the value of impermeability surface, paving materials and colors. According to the correlation analysis, the temperature had high correlation with impermeability surface, paving materials and colors. According to the simple regression analysis, permeability surface, green coverage, topography, impermeability surface, paving materials & colors, human impact related with surface temperatures. To plan for the decrease of Heat-Island Effect needed the extension of green space, decrease of impermeability surface. This research suggested data for urban green plan and decrease of heat island effect, but there was a limit to get the objective method for grade classification because of lacking in the basic data, the research of multi-criteria will be accomplished continuously.

Key Words : Heat-island, Ecological factors, Correlation analysis, Regression analysis

1. 서 론

1970년대 이후, 무분별한 도시화와 산업화는 도시 기온 상승, 대기오염 물질의 증가 등의 급격한 기후 변화를 초래하게 되었다. 범세계적으로 이러한 기후 변화 현상에 대한 우려가 점차적으로 증가하는 추세에 있으며, 세계적으로는 지구온난화가 국지적으로는 도시지역의 기온상승 등의 문제가 크게 부각되고 있다.

특히 도시녹지의 급속한 질적·양적 감소는 미기후의 변화에 커다란 영향을 끼쳐왔으며, 이들을 가속화시키는 주요원인이 되고 있다^{1,2)}. 그리고, 이러한 도시열섬 현상은 녹지의 감소뿐만 아니라, 토지 피복상태, 차량 및 공장으로부터의 열방출, 기상조건, 대기오염 등 여러 요소들의 상호작용의 결과로 나타나는 특성을 가지고 있다³⁻⁵⁾.

도시열섬 현상을 저감하기 위하여 국내·외적으로 많은 연구들이 수행되었으며, 국내에서는 특히 도시녹지와 관련하여 도시녹지에 의한 미기후 개선 및 열섬저감효과, 도시 미기후의 변화를 고려한 도시계획 및 단지설계 지침 마련 등의 연구들이 활발하게 수행되고 있다^{6,7)}. 이은엽 등⁸⁾은 지표재료, 수

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

목그늘지와 비그늘지, 공원과 공원 주변지역과의 온도차 측정을 분석하여 녹지구성요소가 도시기온의 완화에 효과가 있음을 확인하였으며, 조현길 등⁹⁾은 토지피복유형별에 따른 알베도를 측정하여 인공구조물에 의한 열섬현상을 완화하기 위하여 밝은 색계통의 표면재료의 사용을 제안하였다.

국외의 경우에도 이와 관련된 많은 연구가 있다. Oke¹⁰⁾는 도시녹지가 분포하는 지역에 현저한 기온저감 효과가 있음을 보여주어 토지피복상태와 대기온도가 높은 상관관계를 가지고 있음을 규명하였다. 또한 Robinette¹¹⁾은 녹지와 그 주변지역의 온도를 비교하여 녹지의 영향으로 주변지역의 온도가 감소된다는 것을 연구한 바 있다.

그러나 도시열섬현상에 영향을 미치는 경관생태적인 인자들의 통합적 평가 및 도시열섬분포에 영향을 주는 인자의 우선 순위에 관한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 이에 경관생태적인 관점에서 열섬현상에 영향을 미치는 주요 평가기준들을 추출하고 이들 상호간의 관계를 분석하여 저감방안을 마련하는 것이 우선적으로 필요하다고 판단된다.

따라서, 본 연구는 대구광역시를 사례지로 선정하여 도시 열섬현상과 경관생태적인 평가기준들의 관계를 통계적으로 분석하고, 이를 토대로 향후 도시 녹지계획수립 및 열섬저감을 위한 기초 자료를 제공하는데 가장 큰 목적이 있다. 이를 위해서, 우선 사례지에 대한 지표면 온도 분포도를 작성하였다. 이를 바탕으로 표본조사구를 선정하여 설정된 평가항목을 중심으로 현장조사를 수행하였다. 특히, 조사된 평가항목과 도시 지표면 온도와의 상관성을 파악해 보기위해 상관관계분석 및 회귀분석을 수행하였다.

2. 연구내용 및 방법

2.1. 다항목 평가기준 설정

본 연구의 다항목 평가기준은 1차적으로 국내·외 문헌 및 연구자료를 중심으로 설정하였으며, 2차적으로 현장조사를 통하여 평가기준의 설정과 평가기준의 산정방식을 결정하였다. 우선 본 연구에서는 경관생태적 관점에서 도시열섬현상에 영향을 미치는 인자들을 중심으로 국내·외 문헌 및 연구자료를 조사하였다. 그 결과, 도시의 미기후와 관련된 토지이용패턴, 이용강도, 녹피율 등의 경관생태적인 요소와 상호 밀접한 관계를 가지고 있다는 사실을 근거로^{9,12-14)}하여, 이와 관련 있는 평가기준을 1차적으로 설정하였다. 이들 평가기준들 중 서로 유사성이 강한 기준은 정보의 중복을 배제하기 위해 유사기준 중 하나만을 선택하였다. 그리고, 평가기준의

현실화 및 현장 적용성을 높이기 위해 2차적으로 현장조사를 실시하였으며, 이를 통해 1차적으로 설정된 평가기준들을 삭제하거나 수정·보완하였고 각 평가기준의 산정방식도 결정하였다. 그 결과(Table 1)는 최종적으로 불투수성포장율, 수공간, 지형(표고), 녹피율, 건물구조(건물층수), 포장재료 및 색채(알베도), 이용강도(헤메로비 등급)을 설정하였다.

2.2. 지표면 온도 분석

지표면 온도 분석은 2003년 5월 26일 Landsat TM 영상자료를 이용하여 시각적으로 명확하게 파악할 수 있게 지표면 온도분포도를 작성하였다. 이를 위해서, 지형도의 스캐닝작업을 Vidar Truscan 800 Scanner를 사용하여 수행하였으며, 스캐닝된 자료는 Cadcore 2.0을 이용하여 ARC/INFO에서 인식할 수 있는 DXF(Data Exchange Format)파일로 변환하였다.

특히 표면온도는 Landsat TM자료의 7개 밴드 중 6번 밴드의 DN값을 활용하여 산출하였다. 또한, 평균온도를 기준으로 하여 기온의 높고 낮음의 상대적인 분석을 위해 Landsat TM영상자료의 Band 6에서 산출된 표면온도를 Standard Deviation명령어를 이용하였다. 최종적으로, 표면온도는 일정간격의 5등급으로 재분류하였으며, 1등급을 최저온역으로, 5등급을 최고온역으로 정하였다.

2.3. 표본조사구 선정

본 연구의 사례지내 표본조사구는 상기에서 파악된 대구광역시 지표면 온도 분포 패턴과 축적 1:5,000 지형도를 기초로 하여 추출하였다. 표본조사구는 대구광역시 전체를 대상으로 5개의 온도등급별로 표본조사구를 3개씩 추출하여 총 15개를 설정하는 층화추출법을 이용하였고, 표본조사구의 면적 기준은 100m×100m(1ha)로 설정하였다. 표본조사구 선정시 온도에 영향을 미치는 공간규모에 대한 확실한 경계가 밝혀지지는 않았지만, 면적크기는 직경 50m범위 내에서 기온과 토지피복형태가 상관관계가 있다는 기존의 연구¹³⁾를 근거로 산출하였다.

또한 표본조사구의 개수는 피복분류항목별로 최소 50개 정도의 표본이 필요하며, 특별히 크거나 많은 class로 구별해야 할 경우는 최소 75-100개 정도면 적당하다는 기존의 연구²⁰⁾를 참고하였다. 그러나, 면적 2,000m², 개수 75개의 표본을 추출하여 현장조사를 하기에는 표본조사구의 면적이 적고 개수가 너무 많아서 시간과 비용이 많이 드는 현실적인 문제점이 있었다.

이에 면적은 2,000m²의 5배인 값인 동시에 도시계획법 근린공원면적의 지정면적인 10,000m²로 설정하

Table 1. Selected multi-criteria and contents

Selected multi-criteria		Contents	References
Permeability surface	Total area/ permeability surface are	The increase and decrease of permeability surface influence surface temperature, because the increase and decrease of it related with moisture evaporation capacity.	Rosenberg etc. ¹⁵⁾ Spronken etc. ¹⁶⁾ Upmanis etc. ²⁾
Water space	Total area/ water space	The water space increase, moisture evaporation capacity increase, surface temperature becomes low.	Yoon etc. ¹⁷⁾
Topography	Ground level	Topography have an effect seed and direction of wind.	Forman ¹²⁾
Green coverage	Total area/ area covered with green	As the green coverage increase, the surface temperature tends to decrease. It related evapotranspiration of plant.	Satio etc. ⁷⁾ Lambin etc. ¹⁾ Jo etc. ⁹⁾
Impermeability surface	Total area/ impermeability surface area	The impermeability surface increase, the surface temperature becomes high.	Forman ¹²⁾
Building structure	Floors	Building structure influence speed and direction of wind. The wind is disturbed and declined by high density built-up area.	Oke ¹⁰⁾ Jo etc. ⁹⁾ Seoul ⁶⁾
Paving materials & colors	Albedo	The albedo is a measure of reflectivity of a surface. The albedo decreases, more sunlight is absorbed, and the temperature tends to increase. The albedo in the region covered with light and natural paving materials is higher than it in the region covered with dark and artificial paving materials.	Robinett ¹¹⁾ Akbari etc. ⁴⁾ Forman ¹²⁾ Asaeda etc. ¹⁸⁾
Human impact	Hemeroby	The temperature of regions with high human influence becomes high.	Sukopp ¹⁹⁾

있고 75개를 5로 나눈 값인 15개의 표본을 추출하였다. 그리고 각 등급별로 같은 수의 표본을 추출하기 위해 15개를 5등급으로 나눈 값인 3개의 표본을 등급별로 추출하였다. 표본조사구의 위치는 Fig. 1로 제시하였으며, 온도등급 1등급지역은 1-3번 표본조사구로 산지나 낮은 구릉지역이고, 2등급지역으로는 4-6번으로 하천이나 공원지역이고, 3등급지역으

로는 7-9번, 4등급지역으로는 10-12번으로 대부분이 주거지역 또는 상업시설지역이고, 5등급지역으로는 13-15번으로 도심이나, 공업지역으로 설정하였다 (Table 2).

2.4. 현장조사

사례지내 선정된 표본조사구에 대한 현장조사는 야장표를 활용하여 8개의 다항목 평가기준들을 중심으로 조사를 실시하였다. 그리고 선정된 표본조사구의 전체적인 구조와 현황을 기록하기 위하여 사진촬영을 실시하였다. 투수성 포장율, 수공간크기, 녹피율, 불투수성 포장율은 전체공간면적에 대한 해당공간면적의 비율(%)로 조사하였다. 지형은 표고를 응용하였으며, 건물형태는 평균 건물층수를 산출하여 활용하였다. 그리고, 포장재료 및 색채는 알베도 지수를 응용하되, 표본조사구의 전체면적에 대한 표본조사구내에 존재하는 상이한 포장재료와 색채별 공간면적비율을 산정하였고, 이용강도는 헤메로비등급을 응용하되, 표본조사구의 전체면적에 대한 표본조사구내에 존재하는 상이한 헤메로비등급별 공간면적비율을 산정하였다.

이를 통해 획득된 자료는 다항목 평가기준의 비교분석을 위해 표본조사구 15개의 현장조사 결과

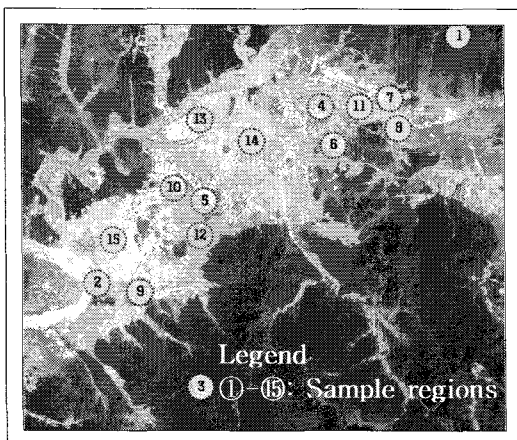


Fig. 1. Sample regions.

값을 각 평가기준별 평균값을 각각 산정하고 그 값을 기준으로 각각의 다항목 평가기준을 5등급으로 재등급화하였다.

15개 표본조사구의 현장조사결과를 모두 기술하기에는 지면상 한계가 있었던 바, 13번 표본조사구인 대구 제 3공단주변지역을 조사한 결과(Table 3.)를 예로 제시하였다. 제 3공단주변지역의 불투수성포장율과 투수성포장율은 95%, 5%로, 녹피율 5%로 조사되었고, 투수성포장율 5%인 지역은 녹지로 모두 피복되어 있어 이 같이 분석되었다. 건물의 구조는 지붕이 평평한 형태의 콘크리트 구조물이 대부분을 차지하고 있었으며, 이들 구조물의 평균 층수는 2층으로 분석되었다. 이 표본조사구의 경우, 대

부분의 토지이용패턴이 공업, 상업시설지와 도로시설지로 이루어져 있었으며, 인간의 간섭정도를 나타내는 헤메로비 등급은 메타헤메로비로 조사되었다.

2.5. 지표면 온도 분포와 다항목 평가기준의 관계 성분석

상기 선정된 15개의 표본조사구에 대한 현장조사결과를 토대로 SPSS 11.0 Window 버전을 이용하여 상관관계분석과 회귀분석을 실시하였다.

상관관계분석은 다항목 평가기준들간의 관계성 파악과 지표면 온도 및 다항목 평가기준 들간의 상관성을 파악하는데 주요점을 두었다. 이때, 상관정도를 파악하기 위해서 피어슨의 상관계수를 활용하였다.

Table 2. Sample regions in each grade

Grade	Number	Sampling Region
Grade1	①	Mt. Palgon area, Dohakdong, Dong-gu
	②	Samoongin Bridge area, Dalseong-gun
	③	Mt. Bisle area, Ugamuyn, OKpo, Dalseong-gun
Grade2	④	Gumho River area, Ipsukdong, Dong-gu
	⑤	Duryu Park area, Durywdong, Dalseo-gu
	⑥	Children's park, Hwanggumdong, Suseong-gu
Grade3	⑦	Sinpyundong area, Dong-gu
	⑧	Yulhadong area, Dong-gu
	⑨	Daechondong area, Dalseo-gu
Grade4	⑩	junglidong area, Seo-gu
	⑪	Bangchondong area, Dong-gu
	⑫	Songhyundong area, Dalseo-gu
Grade5	⑬	Daegu 3 industrial region, Nowondong, Buk-gu
	⑭	Dong-a department store, Dongindong, Jung-gu
	⑮	Sungsu industrial region, Dalseo-gu

Table 3. Table for field survey(Ex: The third Dae-Gu industrial region)

Field survey					
Land use pattern	Industrial built-up	Number of topographic maps	NI 52-2-04-061	Date	2003. 8. 27
				Direction	NW
Multi-Criteria	Contents		Multi-Criteria	Contents	
Permeability surface	5%		Impermeability surface	95%	
Green coverage	5%		Building structure	2 floors	
Water space	·		Paving materials & colors	Asphalt(gray black)	
Topography	Flatten(25m)		Human impact	Meta-hemeroby	
Plants					
Stratum structure	1 stratum				
Species	Less than 10 species(<i>Campsis grandiflora</i> , <i>Pathenocissus tricuspidata</i> , <i>Buxus microphylla</i> etc.)				

단순 및 다중회귀분석은 현장조사한 자료를 토대로 종속변수인 지표면 온도와 독립변수인 다항목 평가기준간의 회귀식을 도출하고 F-검정을 통한 회귀모델의 유의성을 검정하였으며, 각 회귀식의 설명력과 회귀계수부호의 적정성을 판단하였다. 특히, 단순회귀분석은 다항목 평가기준별 단순회귀식의 도출 및 다중회귀모형에 투입될 변수의 선정에 위해서 실시하였으며, 다중회귀분석은 단순회귀분석에서 영향력이 높게 나타난 평가기준과 지표면온도와 의 관련성을 보다 정밀하게 파악하기 위해 실시하였다.

3. 분석 및 고찰

3.1. 지표면 온도 분석

사례지에 대한 지표면 온도를 분석한 결과(Fig. 2, Table 4), 팔공산과 비슬산 중심의 외곽지역 산림을 중심으로 1등급인 저온역이 형성되었다. 반면, 도시 중심부와 3공단, 이현공단, 성서공단 등의 공단지역은 5등급인 고온역이 형성되어 확연한 온도

차이를 보이고 있어 열섬현상이 뚜렷한 차이를 확인할 수 있었다. 즉 도시열섬의 강도가 도시 발달의 최중심부에서 가장 높게 나타나고 주위로 갈수록 점차 낮아지는 동심원의 구조를 보이고 있었으며, 이는 대구가 산으로 둘러싸여 있는 분지형이라는 지형적인 영향이 어느 정도 관련이 있을 것으로 판단된다.

특히, 지표면 온도 등급별 토지이용형태를 살펴보면, 13.0℃미만의 1등급에 속하는 지역은 북구 송정동, 신무동, 진인동을 중심으로 하는 팔공산 일부 지역과 달성군의 비슬산 군립공원 등의 도시 외곽 산림 고지대이며, 전체 면적의 13.4%에 해당하는 것으로 나타났다.

또한 13.0℃~17.6℃미만에 해당하는 2등급은 전체 면적의 48.0%로 가장 많은 면적을 차지하는 것으로 조사되었으며 수성구 내환동 삼덕동, 남구 송현동 상인동 등을 중심으로 하는 대부분의 공원지역과 금호강과 같은 유수지 그리고 도시외곽 산림의 저지대 구룡지 지역이 이에 속하는 것으로 나타

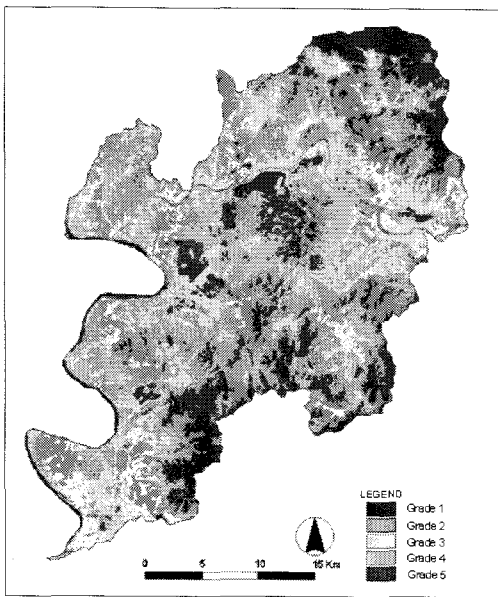


Fig. 2. Analysis map of surface temperatures.



Fig. 3. Map of Dae-gu.

Table 4. The present state of surface temperatures

Grades	Surface temperatures	Area	Percentage of area
Grade1	Below 13.0℃	118.0km ²	13.4%
Grade2	Above13.0℃~Below17.6℃	422.8km ²	48.0%
Grade3	Above17.6℃~Below22.2℃	196.4km ²	22.3%
Grade4	Above22.2℃~Below26.9℃	104.8km ²	11.9%
Grade5	Above 26.9℃	38.8km ²	4.4%

났다.

17.6°C ~ 22.2°C미만의 평균기온을 포함하고 있는 3등급의 지역은 전체면적의 22.3%로 비교적 많은 면적을 차지하는 것으로 나타났으며 달서구 대천동, 동구 을하동 인근의 대부분의 농경지 및 초지 지역이 이에 해당하는 것으로 조사되었다.

그리고 22.2°C ~ 26.9°C미만의 4등급은 전체 면적의 11.9%를 차지하고 있으며 서구 중리동, 달서구 송현동 등 대부분의 주거지역이 이에 속하는 것으로 분석되었다. 이 등급에 속하는 지역들은 도시민이 일상생활 속에서 도시열섬에 대한 영향을 보다 직접적으로 느낄 수 있는 공간으로 판단되며 특히, 야간에 주거지역이 공업지역보다 열섬의 강도가 대체로 크다는 연구조사를 볼 때²¹⁾ 이 지역에 대한 보다 적극적인 열섬완화방안을 마련할 필요가 있을 것으로 사료된다.

한편 열섬 강도의 최대치인 5등급에 속하는 지역은 중구 동인동, 대신동, 남산동을 중심으로 한 도심지역과 북구 노원동, 서구 이현동, 중리동, 달서구 갈산동, 월암동 등의 대규모 공단지역으로 나타났다. 이 지역들은 전체 면적의 4.4%의 비교적 적은 면적을 차지하고 있었으나, 외부의 저온역 지역으로부터 도심으로 연결되는 선상에 위치하여 도시내부를 격리시키는 분포 형태를 보이고 있어 열섬완화를 위한 저감방안이 우선적으로 필요한 지역으로 판단된다.

그리고, 특이할만한 점으로는 열섬현상이 가장 심하게 나타나는 중구의 경우 대부분 5등급으로 나타났으나, 이 지역내 1ha 미만의 소규모 공원의 경우에는 비교적 지표면 온도가 낮은 3등급으로 분석되어 녹지공간의 열섬완화 효과를 잘 입증해 주고 있었다.

3.2. 현장조사

지표면 온도등급별로 선정된 15개의 표본조사구에 대한 현장조사는 야장표에 기록된 8개의 다항목 평가기준을 중심으로 수행하였다.

다항목 평가기준의 조사결과를 살펴보면(Fig. 4), 가장 낮은 1등급으로 나타난 달성군 옥포면 비슬산 군립공원의 경우, 투수성 포장율, 녹피율, 지형 등의 평가기준에서 높은 값을 나타냈으며, 불투수성 포장율, 건물형태, 이용강도에서는 낮은 값으로 조사되었다. 반면에 가장 높은 5등급으로 나타난 대구3공업단지의 경우, 불투수성 포장율, 건물형태, 포장재료 및 색채, 이용강도 등의 평가기준에서는 높은 값을 보였으나, 투수성 포장율, 녹피율, 지형 등의 평가기준에서는 낮은 값을 보이는 것으로 분석되었다. 한편 3등급으로 나타난 동구 을하동의 농경지의 경

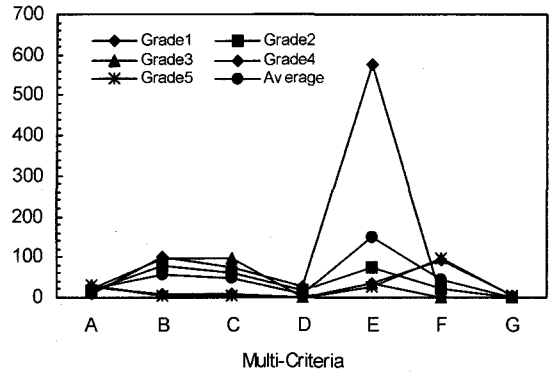


Fig. 4. Multi-criteria analysis diagram in each surface temperatures grade.

우, 투수성 포장율, 녹피율, 포장재료 및 색채, 이용강도 등의 평가기준에서는 비교적 높은 값을 나타냈으나 지형, 불투수성 포장율 등의 평가기준에서는 낮은 값으로 조사되었다.

그러나, 달성군 사문진교 낙동강과 동구 입석동 급호강의 경우, 지표면 온도 등급이 낮은 1등급 및 2등급에 포함되나, 1등급 및 2등급에 속하는 다른 표본조사구와 달리 녹피율과 지형의 다항목 평가기준에서 매우 낮은 값을 보였다. 이는 달성군 사문진교 낙동강과 동구 입석동 급호강의 두 표본조사구의 경우, 수공간이라는 특수상황에 의해 수공간크기의 평가기준이 이 지역에 대한 기온저감에 더 큰 효과를 보여 이러한 결과가 도출된 것으로 사료된다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이, 1등급, 2등급, 3등급의 경우 투수성 포장율, 녹피율의 평가기준에서 높은 값을 보인 반면 4등급, 5등급 불투수성 포장율, 포장재료 및 색채, 이용강도의 평가기준에서는 높은 값을 보였다. 전반적으로 지표면 온도 등급별로 투수성 포장율, 녹피율, 불투수성 포장율, 이용강도의 평가기준에서 매우 뚜렷한 차이를 나타내는 것으로 분석되었다.

이러한 현장조사 결과를 종합해 보면, 지표면 온도 등급이 낮아질수록(1등급) 투수성 포장율, 녹피율 등의 평가기준이 높은 값을 보인 반면, 등급이 높아짐에 따라(5등급) 불투수성 포장율, 포장재료 및 색채, 이용강도 등의 값이 높아지는 경향을 보였다.

이는 녹지 및 원토양 등의 자연형 요소들을 많이 포함하고 있는 자연지역이 인공지역보다 지표면 온도 등급이 낮다는 것을 의미하며, 이러한 사실은 특히, 녹지지역이 지표면 온도 완화에 효과적이고 나지지역과 인공지반이 기온상승에 큰 영향을 미친다는 기존연구결과²²⁾와 유사한 측면이 있는 것으로 해석된다.

3.3. 지표면 온도 분포와 다항목 평가기준간의 관계성분석

3.3.1. 상관관계분석

기온과 다항목 평가기준간의 상관관계 분석결과를 살펴보면(Table 5), 기온과 투수성 포장율, 녹피율, 불투수성 포장율, 포장재료 및 색채, 이용강도는 유의수준 5%에서 통계적 유의성이 있었으며, 지형은 유의수준 1%에서 통계적 유의성이 검증되었다. 수공간크기, 건물형태는 유의확률1%에서 유의하지 않게 나타났던 바, 이들의 변화에 따른 지표면 온도 차이는 크지 않을 것으로 사료된다. 투수성 포장율, 녹피율, 지형(표고) 등은 부(-)의 상관관계가, 불투수성 포장율, 포장재료 및 색채(알베도), 이용강도(헤메로비등급) 등은 정(+)의 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

지표면 온도와 다항목 평가기준과의 상관관계분석 결과, 투수성 포장율, 불투수성 포장율, 이용강도의 유의도가 0.000으로 유의수준 0.05에서 기각되므로 이들 평가기준에 따른 지표면 온도변화에 차이가 있다고 할 수 있으며, 상관계수값이 각각 (-)0.868, (+)0.868 (+)0.928로 높게 나타났다.

평가기준간의 상관관계분석 결과를 살펴보면, 투수성 포장율과 녹피율, 투수성 포장율과 건물형태, 투수성 포장율과 포장재료 및 색채, 투수성 포장율과 이용강도, 녹피율과 불투수성 포장율, 불투수성

포장율과 건물형태, 불투수성 포장율과 포장재료 및 색채, 불투수성 포장율과 이용강도, 건물형태와 포장재료 및 색채는 유의수준 1%내에서 통계적으로 유의하게 분석되었다. 그리고, 녹피율과 건물형태,

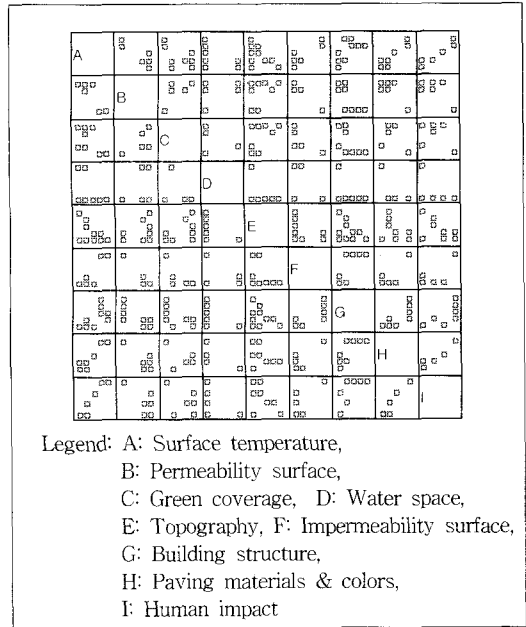


Fig. 5. Scatterplot matrix of correlation analysis.

Table 5. Correlations of surface temperatures and multi-criteria

		Surface temperature	Permeability surface	Green coverage	Water space	Topography	Impermeability surface	Building structure	Paving materials & colors	Human impact
Surface temperature	Pearson	1.000	-.868*	-.670*	-.405	-.580**	.868*	.511	.907*	.928*
	Sig.		.000	.006	.135	.024	.000	.052	.000	.000
Permeability surface	Pearson		1.000	.859*	.273	.406	-1.000*	-.667*	-.876*	-.798*
	Sig.			.000	.325	.133	.000	.007	.000	.000
Green coverage	Pearson			1.000	-.257	.513	-.859*	-.545**	-.586**	-.531**
	Sig.				.355	.051	.000	.036	.022	.042
Water space	Pearson				1.000	-.163	-.273	-.227	-.565**	-.534**
	Sig.					.561	.325	.416	.028	.040
Topography	Pearson					1.000	-.406	-.251	-.355	-.573**
	Sig.						.133	.366	.194	.026
Impermeability surface	Pearson						1.000	.667*	.876*	.798*
	Sig.							.007	.000	.000
Building structure	Pearson							1.000	.664*	.600**
	Sig.								.007	.018
Paving materials & colors	Pearson								1.000	.956*
	Sig.									.000
Human impact	Pearson									1.000
	Sig.									

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

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

녹피율과 포장재료 및 색채, 녹피율과 이용강도, 수공간 크기와 포장재료 및 색채, 수공간 크기와 이용강도, 지형과 이용강도, 건물형태와 이용강도는 유의수준 5%내에서 통계적으로 유의하게 분석되어 평가기간간에도 상호관련성이 있는 것으로 해석할 수 있었다.

3.3.2. 회귀분석

3.3.2.1. 단순회귀분석

단순회귀 분석결과(Table 6), 투수성 포장율(X1), 녹피율(X2), 지형(X4), 투수성 포장율(X5), 포장재료 및 색채(X7), 이용강도(X8)에 관한 모형식은 전체 모델에 관한 F-검정과 설명변수의 회귀계수가 모두 1% 유의수준의 유의성이 인정되었고, 각 변수의 부호는 예상했던 결과로 나타났다.

투수성 포장율(X1)의 회귀식은 지표면온도의 전체 변이량의 75.3%정도, 녹피율(X2)의 회귀식은 지표면온도의 전체 변이량의 44.8%, 지형(X4)의 회귀식은 지표면온도의 전체 변이량의 33.6%, 불투수성 포장율(X5)의 회귀식은 지표면온도의 전체 변이량의 75.3%, 포장재료 및 색채(X7)의 회귀식은 지표면온도의 전체 변이량의 82.3%, 이용강도(X8)의 회귀식은 지표면온도의 전체 변이량의 86.1%정도를 설

명하고 있음이 확인되었다.

여기서, 지형은 평균표고에 관한 평가지표로 평균 고도가 높을수록 온도가 낮은 것은 일반적인 자연 현상에 기인한다고 말할 수 있으며, 대체로 고도가 높은 지역은 구릉지, 산지인 경우가 많아 녹피율과 상당한 관계가 있을 것으로 판단되며, 상기의 상관관계분석에서 녹피율과 지형은 상관관계계수 0.556으로 5%의 유의수준에서 유의성이 인정되었다.

이밖에, 건물형태(X6)의 회귀식은 F-검정을 통하여 10% 유의수준에서 유의성이 인정되었고, 수면율(X3)의 회귀식은 F-검정을 통하여 유의성이 검증되지 않았지만, 회귀계수에 관한 t-검정에서 10%의 유의성이 인정되었다. 수면율의 경우, 하천에 의한 온도 완화 효과가 녹지보다 높게 나타난 기존의 연구결과와는 다소 차이를 보였으나, 이는 본 연구에서는 수공간을 포함하고 있는 표본조사구의 수가 작아서 나타난 결과로 사료되며 이에 대한 재검증은 향후 계속 수행되어야 할 것으로 판단된다.

3.3.2.2. 다중회귀분석

단순회귀분석결과를 토대로 단계별 선택법을 이용한 다중회귀분석을 실시한 결과를 살펴보면(Table 7), 우선 도출된 회귀식은 R²값이 0.906으로서 지표

Table 6. Simple regression model

Independent variable		Coefficient		R-square	F
		Independent variable term	Constant term		
Permeability surface	X1	-.148*	29.282*	.753	39.716*
Green coverage	X2	-.116*	26.331*	.448	10.561*
Water space	X3	-.130	21.827*	.164	2.546
Topography	X4	-1.5×10 ^{-2**}	22.992*	.336	6.580**
Impermeability surface	X5	.148*	14.503*	.753	39.716*
Building structure	X6	1.322***	18.470*	.261	4.596***
Paving materials & colors	X7	4.348*	6.496*	.823	60.351*
Human impact	X8	5.490*	.205	.861	80.505*

* : Correlation is signification at the 0.01 level(2-tailed)
 ** : Correlation is signification at the 0.05 level(2-tailed)
 *** : Correlation is signification at the 0.10 level(2-tailed)

Table 7. Multiple regression model

Model	Coefficient	R-square	F
Independent variable term(X1)	-5.98×10 ^{-2**}	.906***	57.734**
Independent variable term(X2)	0.869*		
Constant term	4.536**		

* : Correlation is signification at the 0.01 level(2-tailed)
 ** : Correlation is signification at the 0.05 level(2-tailed)
 *** : Correlation is signification at the 0.10 level(2-tailed)

면 온도의 변이의 총 90.6%를 설명하고, F-값은 57.734이고 유의도 0.000으로 유의수준 1%에서 유의성이 인정되었다. 독립변수의 회귀계수에 관한 t-검정값도 투수성 포장율(X1)은 유의도 0.034로 유의수준 5%에서, 이용강도(X2)는 유의도 0.001로 유의수준 1%에서, 상수항은 유의도 0.05로 유의수준 5%에서 유의성이 인정되었다. 독립변수의 각 부호는 예상했던 결과대로, 투수성 포장율(X1)은 음(-)으로, 이용강도(X2)는 양(+)으로 나타났다.

또한, 투수성 포장율인 녹지, 수면, 투수성 포장(자연토양)으로 피복된 면적이 넓을수록 지표면 온도가 낮아지는 반면, 이용강도의 증가는 이와 반대현상으로 나타났다. 회귀계수의 크기를 보면, 설명변수 중 이용강도 즉 헤메로비등급의 단위면적 변화로 인한 영향력이 투수성 포장율의 변화로 인한 영향보다 더 크다는 것을 알 수 있었다.

헤메로비등급은 토지이용형태와 이용강도를 나타내는 지표이며, 투수성 포장율은 불투수성 포장율의 반대 지표로서, 도시온도 상승을 억제하기 위해서는 이용강도를 낮추는 방법과 인공재료에 의한 피복인 자들에 대한 적절한 정책적 수단과 아울러 녹지 면적을 증가시킬 수 있는 계획이 마련되어 온도저감 효과를 증대시켜 나갈 필요가 있다.

본 연구에서 최종모형에 도입된 변수들은 본 모형식에 포함되어 있지 않은 많은 인자들(차량, 통행량, 건물규모, 인구, 경제활동 등)의 대리변수일 수 있으므로 모델결과를 해석하는데 다소간의 차이는 있을 것으로 사료된다.

4. 결론 및 후속연구

이상 본 연구는 문헌연구 및 현장조사를 통해 획득한 도시 열섬현상과 경관생태적인 평가기준들의 관계를 통계적으로 분석하고, 향후 도시녹지계획수립 및 열섬저감을 위한 기초 자료를 제공하는데 가장 큰 목적이 있었던바, 이들 결과를 요약하면 다음과 같다.

대구광역시 지표면 온도분포 분석 결과, 외곽지역 산림을 중심으로 1등급의 저온역이, 도시 중심부와 공단지역을 중심으로 5등급의 고온역이 형성되어 시가지지역내부로 갈수록 도시열섬현상이 두드러짐을 알 수 있었다. 또한, 지표면 온도 등급별 토지이용패턴을 살펴보면, 전체 면적의 48.0%로 가장 많은 면적을 차지하는 2등급에서 토지이용패턴은 대부분 공원지역과 유수지, 도시외곽 산림 저지대 구릉지로 분석되었다.

표본조사구의 다항목 평가기준을 현장조사한 결과, 가장 낮은 1등급으로 나타난 달성군 옥포면 비슬산 군립공원의 경우, 투수성 포장율, 녹피율, 지형

등의 평가기준에서 높은 값을 나타냈으며, 불투수성 포장율, 건물형태, 이용강도에서는 낮은 값으로 조사되었다. 반면에 가장 높은 5등급으로 나타난 대구 3공업단지의 경우, 불투수성 포장율, 건물형태, 포장재료 및 색채, 이용강도 등의 평가기준에서는 높은 값을 보였으나, 투수성 포장율, 녹피율, 지형 등의 평가기준에서는 낮은 값을 보이는 것으로 분석되었다. 이를 정리해 보면, 등급이 낮아질수록 (1등급에 가까워질수록) 투수성 포장율, 녹피율 등의 평가기준이 높아졌으며, 등급이 높아질수록(5등급에 가까워질수록) 불투수성 포장율, 포장재료 및 색채, 이용강도 등의 평가기준이 높아짐을 알 수 있었다.

지표면 온도와 평가기준간의 상관관계 분석 결과, 이용강도, 포장재료 및 색채, 불투수성 포장율 등이 비교적 높은 상관성을 가지는 것으로 나타났던 바, 이는 인간의 간섭정도가 도시열섬현상에 가장 큰 영향을 미치는 원인으로 사료되었다.

단순회귀 분석결과, 투수성 포장율, 녹피율, 지형, 불투수성 포장율, 포장재료 및 색채, 이용강도에 관한 모형식은 전체 모델에 관한 F-검정과 설명변수의 회귀계수가 모두 1% 유의수준의 유의성이 인정되었다. 다중 회귀분석 결과, 투수성 포장율인 녹지, 수면, 자연토양으로 피복된 면적이 넓을수록 지표면 온도가 낮아지는 반면, 이용강도(헤메로비등급)의 증가는 이와 반대의 현상을 나타냈다. 회귀계수의 크기를 보면, 설명변수 중 이용강도(헤메로비등급)의 단위면적 변화로 인한 영향력이 투수성 포장율의 변화로 인한 영향보다 더 크다는 것을 알 수 있었다.

본 연구결과 다항목 평가기준과 도시열섬간의 상호관련성이 입증되었던 바, 다항목 평가기준에 토대로 도시열섬현상저감방안이 모색되어야 할 것이다. 불투수성 포장면적의 증감이 녹지면적의 증감보다 도시기온에 약 3배가량 영향을 많이 미치는 것으로 연구되어 도시열섬 완화를 위하여 불투수성 포장면적을 감소시킬 수 있는 세부적인 대안이 필요하다고 판단된다. 즉, 녹지 및 수공간 확충방안으로 자투리땅의 녹화, 옥상 및 벽면녹화 등의 인공구조물을 활용한 방안, 공단지역에 대한 완충녹지대 조성, 담장허물기를 통한 정원확보, 쌈지공원 조성 등을 제안할 수 있다. 또한, 포장재료 및 색채를 평가하기 위한 평가인자인 알베도가 낮은 인공구조물은 주간 에 복사열을 흡수하고 야간에 서서히 그것을 방출하여 야간온도를 높이는 주원인이 되므로, 표면반사율이 높은 밝은 색채 및 보수성이 높은 건축재료를 이용하여 건물표면을 처리하는 것이 타당하다고 사료된다.

그러나 다항목 평가기준의 정확한 자료값 확보를 통한 객관화된 평가기준의 등급설정, 전문가 설문을 통한 객관적인 평가기준 제시 및 바람길 인자를 활용한 도시열섬 완화방안 등의 문제는 계속 보완되어야 할 것으로 사료된다.

본 연구는 열섬현상을 분석할 때, 사계절 및 주·야간에 따른 지표면 온도차이를 모두 고려한 연구를 수행해야 하나, 연구과제의 시간 및 비용상의 문제로 인해 다양한 지표면 온도값을 토대로 분석을 수행하지 못한 한계를 가진다고 판단된다. 이에 향후 본 연구의 후속과제에서 계속적인 연구와 분석이 수행되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 연구논문은 계명대학교 대구지역환경기술개발센터의 지원과제 “다항목 평가기법의 적용을 통한 열섬완화방안”의 일환으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- 1) Lambin, E. F. and D. Ehrlich, 1996, The Surface Temperature Vegetation Index Space for Land Cover and Land Cover Change Analysis INT., J. Remote Sensing, 17(3), 463-487.
- 2) Uprmanis, H., I. Eliasson and S. Lindqvist, 1998, The Influence of Green Areas on Nocturnal Temperatures in a High Latitude City, International J. Climatology, 18, 681-700.
- 3) Landsberg, H. E., 1981, Urban Climate Academic Press.
- 4) Akbari, H., P. Martien and A. Rosenfeld, 1992, Using Light Colored Surfaces to Cool Our Communities, in H. Akbari, S. Davis, S. Dorsano, J. H. and S. Winnett eds. Cooling Our Communities Washington D. C., U. S. Government Printing Office.
- 5) Givoni, B., 1998, Climate Considerations in Building and Urban Design, van Nostrand Reinhold, 443.
- 6) 서울특별시, 2000, 서울시 기상특성을 고려한 도시계획기법 연구.
- 7) Satio, I., O. Ishihara and T. Katayama, 1991, Study of the Effect of Green Areas on the Thermal Environment in an Urban Area, Energy and Building, 15(16), 493-498.
- 8) 이은엽, 문석기, 심상렬, 1996, 도시녹지의 기온 및 지온 완화효과에 관한 연구, 한국조경학회지, 24(1), 65-78.
- 9) 조현길, 안태원, 1999, 도시녹지에 의한 미기후개선의 기능, 한국조경학회지, 27(4), 23-27.
- 10) Oke, T. R., 1987, The Energetic Basis of the Urban Heat Island Quarterly, J. Royal Meteorological Society, 108(455), 1-24.
- 11) Robinett, G. O., 1977, Landscape Planning for Energy Conservation, Enviromental Design Press.
- 12) Forman, R. T. T., 1995, Land Mosaics, Cambridge University Press.
- 13) 윤용한, 2001, 녹지에 의한 열섬현상의 저감효과에 관한 연구, 대한국토도시계획학회지, 36(2), 187-196.
- 14) 김학열, 김운수, 2003, 서울시 도시기온 변화에 관한 모델 연구, 한국조경학회지, 31(3), 74-82.
- 15) Rosenberg, N. J., B. I. Blad and S. B. Verma, 1983, Microclimate the Biological Environment, 2nd edition, A Willey Interscience PUB, New York.
- 16) Smith, S., R. A. and T. R. Oke, 1998, The Thermal Regime of Urban Parks in Two Cities with Different Summer Climates, International J. Remote Sensing, 19, 2085- 2104.
- 17) 윤용한, 송태갑, 2000, 도시공원의 기온에 영향을 미치는 요인, 한국조경학회지, 28(2), 39-48.
- 18) Asaeda, T., V. T. Ca and A. Wake, 1996, Heat Storage of Pavement and Its Effect on the Lower Atmosphere, Atmosphere Environment, 30(3), 413-427.
- 19) Sukopp, H., 1980, Biotopkartierung in Besiedelten Bereich von Berlin, Garten und Landschaft, 80(7), 560-568.
- 20) Congalton, R. G., 1991, A Comparison of Sampling Schemes used in Generating Error Matrices for Assessing the Accuracy Maps Generated from Remotely Sensed Data, Photogrammetric Engineering and Remote sensing, 54(5), 593-600.
- 21) 윤일희, 민경덕, 김경익, 1994, 대구 지역의 기상 특성 연구 및 대기확산 모델의 개발, 도시열섬 특성에 관한 사례 연구, 한국기상학회지, 30(3), 303-313.
- 22) 윤용한, 배병호, 2002, 녹지의 규모와 기온저감효과와의 관계성에 관한 연구, 한국생물학회지, 20(1), 10-20.