

대도시 외곽지역 논경작지의 토지이용 및 피복변화에 따른 온도 변화모형 연구

기경석* · 이경재**

*서울시립대학교 대학원 조경학과 · **서울시립대학교 조경학과

A Study on Temperature Change Profiles by Land Use and Land Cover Changes of Paddy Fields in Metropolitan Areas

Ki, Kyong-Seok* · Lee, Kyong-Jae**

*Dept. of Landscape Architecture, Graduate School, University of Seoul

**Dept. of Landscape Architecture, University of Seoul

ABSTRACT

The purpose of this study is to understand the scale of temperature change following large-scale urban developments in paddy fields to present possible measures to preserve suburban area paddy fields and to lower the scale of temperature increase after developing paddy fields in urban areas.

The study was conducted in Bupyeong and Bucheon of Incheon Metropolitan City. The satellite image(1989~2000) before and after the development of old paddy fields were used to analyze the land surface temperature changes according to the land use types. Building coverage, green coverage, non-permeable pavement coverage, and floor area ratio(FAR) were selected as the factors that influence urban temperature changes and the temperature estimation model was constructed by using correlation and regression analyses.

The before and after satellite images of Bupyeong and Bucheon were classified into forests, greens and plantations, paddy fields, unused lands, and urban areas. The results indicate that most of the paddy fields that existed in the center of Bupyeong and Bucheon were converted into unused lands which were undergoing construction to become new urban areas. The difference between the surface temperatures of May 17th, 1989 and May 7th, 2000 was analyzed to reveal that most land converted from paddy fields to unused lands or urban areas saw an increase in surface temperature.

Han River was used as a comparison to analyze the average surface temperature changes(1989~2000) in former paddy fields. The scale of temperature changes were: +1.6697°C in urban parks; +2.5503°C in residential zones; +2.9479°C on public lands, +3.0385°C in commercial zones, and +3.1803°C in educational zones. The correlation between building coverage, green coverage, non-permeable pavement coverage, or floor area ratio(FAR) and surface temperature increases was also analyzed. The green coverage to temperature increases, but building coverage, non-permeable pavement coverage, and floor area ratio(FAR) had no statistically significant temperature increases.

The factors that influence urban temperature changes were set up as independent variables and the surface temperature

Corresponding author: Kyong-Seok Ki, Dept. of Landscape Architecture, Graduate School, University of Seoul, Seoul 130-743, Korea, Tel.: +82-2-2210-2592, E-mail: sparrow97@hanmail.net

changes as dependent variables to construct a surface temperature change model for the land use types of former paddy fields. As a result of regression analysis, green coverage was selected as the most significant independent variable. According to regression analysis, if farmland is converted into an urban area, a temperature increase of +3.889°C is anticipated with 0% green coverage. The temperature saw a decrease of -0.43°C with every 10% increase of green coverage.

Key Words: Urban Microclimate, Green Coverage, Urban Heat Islands, Satellite Image, Regression Analysis

국문초록

본 연구는 도시미기후 측면에서 냉섬 역할을 하는 논경작지의 대규모 택지개발로 인한 도시기온 변화량을 분석하여 논경작지 보존을 위한 기초자료를 제공하고 도시온도 상승을 줄일 수 있는 방안을 제시하고자 하였다.

인천시 부평구와 부천시의 개발 전·후 토지피복 변화를 분석하기 위해 1989년 5월 17일과 2000년 5월 7일 위성영상을 산립, 초지 및 식재지, 논경작지, 나지, 시가화 지역을 구분하여 분석한 결과, 기존 인천시 부평구와 부천시 중앙에 넓게 분포하고 있던 논경작지 대부분이 신도시 건설로 인해 시가화 지역과 개발 중인 나지로 변한 것으로 분석되었다. 토지피복 변화 유형별 지표면 온도 변화 현황 분석 결과, 지표면 온도가 높아진 주요 유형은 논경작지에서 나지로 변화된 유형(+1.493 9°C), 논경작지에서 시가화 지역으로 변화된 유형(0.9356°C)이었다. 논경작지 토지이용 변화에 따른 온도 변화 영향요인을 분석하기 위해 논경작지 변화지역을 대상으로 블록별 평균 지표면 온도차를 분석한 결과, 1989년 세부 연구대상지는 논경작지였기 때문에 19~20°C 사이의 균일한 온도분포를 나타낸 반면, 시가화 지역으로 변한 2000년 블록별 지표면 온도는 19.1~23.9°C로 온도편차가 크고 분포가 다양하게 나타나고 있었다.

논경작지 토지이용 변화에 따른 도시기온 변화 원인 분석을 위해 지표면 온도 변화량과 도시기온 변화 영향요인간 상관관계를 분석한 결과, 녹지율 상관계수는 -0.662로 강한 음의 상관관계를 보였으며, 건폐율, 불투수포장율, 용적율은 지표면 온도 변화량과 상관계수가 +0.231, +0.226, +0.123으로 통계적 유의성이 인정되지 않았다. 논경작지 토지이용 변화에 따른 지표면 온도 변화모형을 구축하기 위해 녹지율을 독립변수로 지표면 온도 변화량을 종속변수로 한 회귀분석을 실시한 결과, 기존 논경작지에서 시가화 지역으로 변화할 경우 녹지율 및 불투수포장율이 0%라 가정할 때 +3.889°C의 온도 상승이 예상되며 녹지율이 10% 증가할 때마다 +3.889°C에서 -0.430°C 만큼 온도저감 효과가 있는 것으로 분석되었다.

주제어: 도시미기후, 녹지율, 도시열섬현상, 냉섬, 위성영상

1. 연구배경 및 목적

도시주변 논은 식량생산 역할 이외에 홍수조절, 대기정화, 토양침식 예방, 여름철 대기냉각 효과 등 환경을 보전하는 기능을 가지고 있어 자연생태계와 도시생태계를 조화롭게 유지시켜주는 중요한 교량역할을 하고 있다(현병근 등, 2003). 또한, 농경지는 연중 기온상승을 억제시켜 -1.0~-4.0°C의 기온저감효과가 있으며(都市環境學教材編集委員會, 2003), 여름철 증발산되는 수분의 기화잠열이 주위 열을 빼앗아가기 때문에 시가화 지역과 인접해 있는 논은 도시 미기후 측면에서 중요한 냉섬 역할을 하고 있다(박인환 등, 2000b).

논의 미기후조절 기능에 대한 연구는 논과 밭에서 작물체를 통해 증발산되는 물의 양으로 기후순화 기능을 평가한 연구(엄기철 등, 1993)가 있으며, 논 수면증발량을 이용한 계절별 잠재증발산량 추정모형이 있다(Oh et al., 1996). 일본에서는 논

의 기후순화 기능을 증발산량으로 평가하였는데(Yoshida, 1998), 여름철에 논 주위 온도와 논에서 150m 떨어진 거리의 온도 차이를 비교한 결과 -2.5°C의 차이가 있었으며, 평균 기온저감 효과는 -1.3°C로 평가되었다.

지바시(千葉市)를 대상으로 수행한 연구에서도 도시기온 저감에 가장 효과적인 토지피복 상태는 하천과 논으로 파악되었고, 폭 100m 이상의 하천과 논, 폭 200m 정도 수림지와 나지가 온도저감 효과가 있는 것으로 분석되었다(入江 等, 1999). 특히, 도시화 지역 인공면은 연중 +1.0~+2.5°C 정도의 기온상승 효과가 있는 반면 농경지는 연중 기온상승을 억제시켜 -1.0~-4.0°C까지의 기온저감 효과가 있다(都市環境學教材編集委員會, 2003).

이상의 연구결과를 종합해 보면 대도시 인근에 분포하는 논은 도시기온 저감에 중요한 냉섬의 역할을 하게 되며, 논이 도시화 지역으로 바뀔 경우 논 온도저감 효과(-1.0~-4.0°C)와 도시화 지역의 온도상승 효과(+1.0~+2.5°C)가 합쳐져 온

도상승이 예상된다. 따라서 현재 도심 내·외부에 남아 있는 논과 수공간은 도시 미기후 차원에서 보존해야 할 가치가 있으며, 기존 논경작지의 시가지 개발로 인한 온도 변화 연구는 이러한 보존을 위한 기초자료 제시 측면에서 중요한 의미를 지닌다.

국내 농지는 2004년 말 현재 18,356km²로서 2003년에 비하여 0.56%인 103,60km²가 감소하였고, 이를 내역별로 보면 개간 72,49km², 기타 9,93km² 등으로 82,42km²가 증가한 반면, 공공시설 57.42km², 건물건축 66.95km², 기타 61.65km² 등의 용도 이용으로 186.02km²가 감소하였다. 농경지의 타용도 전환은 신도시 개발 등으로 매년 증가하고 있는 실정이며 주거 및 산업용지 등 수요가 계속 증가되고 있어 향후 농지의 시가지 지역으로 변화는 계속될 것으로 예상되고 있다(건설교통부, 2005). 따라서 기존 냉섬지역이던 논은 도시화 지역으로 바뀌면서 도시기온의 급격한 상승을 유발할 것으로 예상된다.

특히, 인천광역시 부평구와 부천시 1990년을 기점으로 대면적의 논경작지(부평평야)가 시가지 지역으로 변화된 지역이며, 다른 지역에 비해 상대적으로 온도가 낮은 논경작지를 아파트 단지로 개발하면서 도시기온이 급격히 상승하였을 것으로 판단된다. 이런 측면에서 논경작지의 토지이용 및 피복 변화에 따른 도시기온 변화 영향요인을 밝히고 이를 모형화하여 향후 논경작지 토지이용 변화 시 온도 변화를 예측하는 연구는 의미가 있을 것으로 판단된다.

따라서 본 연구는 도시 미기후 측면에서 냉섬 역할을 하는 논경작지의 택지개발로 인한 도시기온 변화량을 파악하여 도시외곽지역 논경작지 보존과 향후 논경작지의 택지개발 시 온도상승을 줄일 수 있는 방안의 기초자료로 활용하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상지

연구대상지는 수도권 도시 중 과거에 논이었으나, 최근 도시개발로 급격하게 토지이용이 변화된 부천시 중동신도시와 인천시 부평구로 설정하였으며, 연구대상지 총 면적은 약 85km²이었다. 현재 행정구역상 구분되어 있는 인천시 부평구와 부천시 일대는 과거 하나의 평야지역이었으며, 1990년대 이후 수도권 지역의 급속한 개발로 시가지 지역으로 변화된 곳이다.

한강은 위성영상 촬영일 수 및 기상조건 차이로 인한 영상간 온도차를 보정하기 위한 대조구로서 부천시에서 가장 가까운 방화대교와 가양대교 사이에 200×200m 규모의 블록 5개소를 설정하였다.

연구대상지는 1990년 초부터 급속히 시가지 지역으로 변화하여 1990년대 말까지 개발이 진행되었기 때문에 논경작지 개발이전의 위성영상은 1984년에서 1990년 이전의 자료를 검색하



그림 1. 연구대상지 위치도

범례: [Study Area Symbol] 연구대상지, [Control Area Symbol] 대조구

표 1. 사용된 위성영상의 제원

센서	밴드수	공간 해상도	열적외밴드 해상도	촬영시기	Path	Row
TM	7	30×30m	120×120m	1989. 5. 17.	116	34
ETM+	8	30×30m	60×60m	2000. 5. 7.	116	34

였으며, 개발 이후의 자료는 2000년 부터 2002년까지의 위성영상을 선정하고자 하였다. 지표면 온도 변화 분석을 위해 기상 조건과 촬영시기를 최대한 맞추어 온도차를 줄이고자 개발 전 봄철 영상인 1989년 5월 17일 오전 10시 Landsat TM 영상과 개발 이후 봄철 영상인 2000년 5월 7일 오전 10시 Landsat ETM+ 영상을 선정하였다(표 1 참조).

2. 연구수행체계

본 연구는 시기별 토지피복 유형을 분류한 후 각각 변화양상을 파악하였으며, 영상의 Band 6를 이용하여 온도를 추출한 후 변화양상을 분석하였다. 도시기온 변화원인을 분석하기 위해 논경작지 변화지역 중 시가지 지역을 대상으로 블록별 건폐율, 녹지율, 불투수포장율, 용적률을 조사하여 지표면 온도 변화량과의 상관관계를 분석하였다. 토지이용 변화에 따른 도시기온 변화량 산출은 지표면 온도와 도시기온 변화 영향요인간 회귀식을 도출하여 기온변화 모형을 구축하였다.

3. 조사 및 분석 방법

위성영상의 기하보정은 1/1,000 수치지형도를 기준으로 하여 2000년 영상의 기하보정을 실시하였고, 1989년 영상은 기하보정된 2000년 영상을 기준으로 영상 대 영상 중첩(image to image

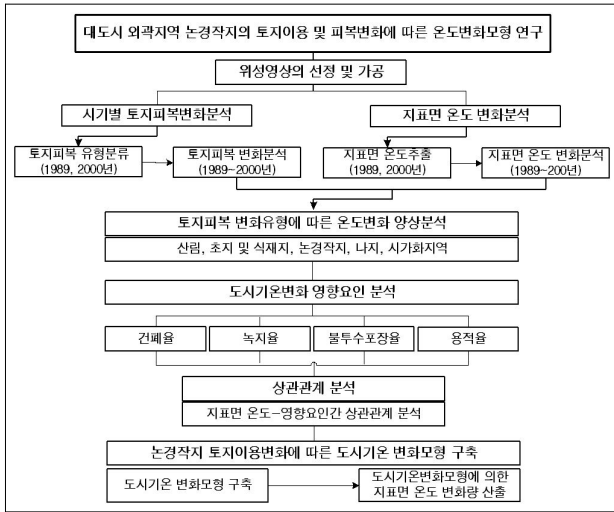


그림 2. 연구수행체계도

방식)의 기하보정을 실시하였다. 기하보정은 ERMapper 6.4 program의 내장알고리즘을 이용하여 최근린내삽법(nearest neighbor resampling)으로 실시하였다(홍석환, 2003).

연구대상지 토지이용분류항목은 미국지질측량원(U.S. Geological Survey, USGS)에서 제시한 토지이용/피복 분류체계의 단계 I, II 항목을 참조하고 대상지역에서 명확히 나타나는 것을 전제로 산림, 초지 및 식재지, 논경작지, 나지, 시가화 지역 5개 항목으로 설정하였다. 논경작지는 다른 지역보다 상대적으로 기온이 낮고 물을 포함하고 있어 분류가 용이하므로, 영상의 분광특성상 반경작지를 비롯하여 초지와 식물 식재지는 같은 항목으로 분류하였다. 표본데이터(training data) 추출은 1989년, 2000년 영상에 대하여 토지이용 형태가 변형되지 않은 지역을 선별하여 동일한 지리적 위치의 데이터를 추출하여 분류에 적용하였다.

위성영상의 토지피복분류는 감독분류(supervised classification)기법(Cambell, 1987)을 사용하였으며, 영상분류방식은 최대우도법(Maximum Likelihood Classification)으로 분류하였다(Lillesand et al., 1994). 분석대상이 되는 영상의 해상도는 30×30m로 일원화하였으며, 비교변화탐지방법을 이용하여 각 픽셀의 토지피복 변화 방향성을 효율적으로 탐지하기 위해 변화탐지 매트릭스를 구성하였다(표 2 참조).

위성영상을 이용한 지표면 온도분석은 NASA(National Aeronautics and Space Administration)모형을 기반으로 하여 산출하였고(Markham et al., 1986; NASA, 2002), 토지피복 변화 유형별 지표면 온도 변화 비교분석은 논경작지 개발 전·후 영상의 지표면 온도차를 산출한 후 토지피복 변화 유형별 지표면 온도 변화량을 분석하였다.

지표면 온도 변화 원인을 분석하기 위해 논경작지 개발지역에 세부연구대상지를 토지이용블록 단위로 설정하였다. 세부

표 2. 토지피복 변화탐지 매트릭스

토지피복 변화탐지	토지피복 유형	2000년					
		산림	초지 및 식재지	논경작지	나지	시가화 지역	
토지피복 유형	Type	1	2	3	4	5	
1989년	산림	1	11	12	13	14	15
	초지 및 식재지	2	21	22	23	24	25
	논경작지	3	31	32	33	34	35
	나지	4	41	42	43	44	55
	시가화 지역	5	51	52	53	54	55

연구대상지 토지이용 유형별 평균 지표면 온도 변화량의 차이 분석을 위해 분산분석을 실시하였으며, Duncan의 사후검정을 통해 평균 지표면 온도차가 있는 토지이용 유형을 밝히고자 하였다. 영상의 촬영일수, 기상조건 등의 차이로 인해 두 시기의 온도 변화량을 정량적으로 분석하기 위해 과거와 현재의 토지 피복 변화가 없는 지역 중 한강(물 방사율: 0.98)의 온도차를 보정값으로 하여 정량적 지표면 온도 변화량을 산출하였다.

토지피복 유형과 지표면 온도값 증첩을 위한 분석프로그램은 ERMapper 6.4와 ERDAS IMAGINE 8.4, ArcView GIS 3.3을 사용하였으며, 토지피복 변화 유형별 지표면 온도 변화 분석은 통계분석프로그램인 SPSS for Windows 12.0을 사용하였다.

도시기온 변화 영향요인 조사를 위한 세부연구대상지는 과거 논경작지 변화지역으로 선정하였다. 변화된 지역 토지이용 유형은 크게 시가화 지역과 녹지 및 오픈스페이스 지역으로 대분류하였고 이중 시가화 지역은 공동주택지, 상업업무시설지, 교육시설지, 공공용도지의 4가지 유형으로 녹지 및 오픈스페이스는 근린공원 1가지 유형으로 분류하였다. 온도보정을 위한 대조구는 인천시 부평구와 부천시에서 가까운 한강의 5개소 블록을 설정하여 세부연구대상지는 총 55개소를 설정하였다(표 3, 그림 3 참조). 도시기온 변화 영향요인으로는 토지피복현황으로서 블록별 건폐율, 녹지율, 불투수포장율을 분석하였으며,

표 3. 세부연구대상지 개황

대분류	중분류	개소
시가화 지역	공동주택지	23개소
	상업업무시설지	2개소
	교육시설지	14개소
	공공용도지	2개소
녹지 및 오픈스페이스	근린공원	9개소
대조구	한강	5개소
합계		55개소

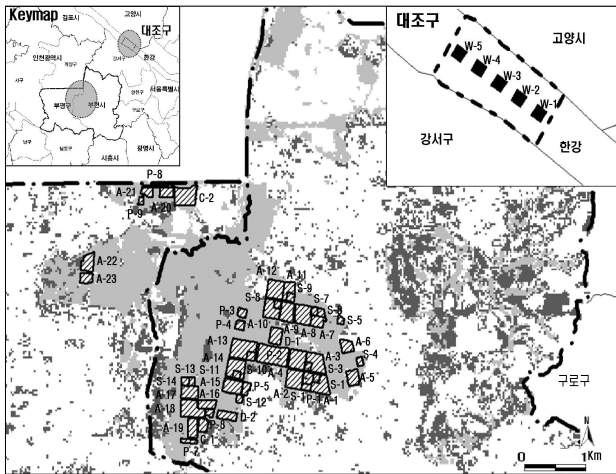


그림 3. 세부연구대상지 조사구 위치도
 범례: ▨ 세부연구 대상지, ■ 대조구(한강), ▒ 논경작지 변화지역, □ 기타변화지역, □ 유지지역

개발밀도에 따른 도시기온 변화량 분석을 위해 블록별 용적율을 산출하였다.

논경작지 토지이용 변화에 따른 지표면 온도 변화에 영향을 미치는 요인을 분석하고자 세부연구대상지의 건폐율, 녹지율, 불투수포장률, 용적률을 산출하여 1989~2000년간 지표면 온도 변화량과 각 영향요인간 상관성을 분석하였다. 이를 바탕으로 지표면 온도 변화량을 종속변수로, 도시온도 변화 영향요인을 독립변수로 한 회귀분석을 실시하였다. 분석 프로그램은 SPSS for Windows 12.0을 사용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 토지피복 변화에 따른 도시기온 변화

1989년에서 2000년간 논경작지 개발 전·후의 부평구 및 부천시 토지피복 변화를 분석한 결과, 토지피복 형태가 변화한 지역은 총 31,906,800m²(37.33%), 유지지역은 53,558,100m²(62.67%)이었다(표 4 참조). 그 중 기존 논경작지의 토지피복 유형이 다른 유형으로 바뀐 것이 전체의 19.44%로 넓은 면적의 토지피복 변화가 기존 논경작지에서 이루어진 것으로 파악되었다. 논경작지 변화유형 중 시가화 지역으로의 변화지역은 9.58%로 전체 세부토지피복 변화 유형 중 가장 큰 비율이었으며, 이는 기존 대상지 중앙부에 넓게 분포하고 있던 논경작지 대부분을 중동신도시 및 부평구 갈산동, 부개동 일대 아파트단지 건설로 인해 시가화 지역으로 변화했기 때문이다. 논경작지 변화 유형 중 나지로 변화한 유형은 4.25%이었는데, 이는 2000년 위성영상 촬영 당시 부천시 중동 및 상동지역이 대규모 공사 중이었기 때문으로 판단되었다. 이외에 기존 시가화 지역이었으나 초지 및 식재지 혹은 나지로 변한 지역이 분포하고 있는데,

표 4. 인천시 부평구와 부천시 개발 전·후(1989~2000년) 토지피복 변화 유형별 면적 및 비율

토지이용 변화		Type	소분류		중분류 비율(%)
1989년	2000년		면적(m ²)	비율(%)	
산림	초지 및 식재지	12	2,928,600	3.43	4.27
	논경작지	13	164,700	0.19	
	나지	14	161,100	0.19	
초지 및 식재지	시가화 지역	15	396,000	0.46	4.82
	산림	21	448,200	0.52	
	논경작지	23	171,900	0.20	
논경작지	나지	24	717,300	0.84	19.44
	시가화 지역	25	2,783,700	3.26	
	산림	31	862,200	1.01	
나지	초지 및 식재지	32	3,930,300	4.60	1.90
	논경작지	34	3,633,300	4.25	
	시가화 지역	35	8,190,000	9.58	
시가화 지역	산림	41	2,700	0.00	6.90
	초지 및 식재지	42	269,100	0.31	
	논경작지	43	9,000	0.01	
유지지역	초지 및 식재지	45	1,344,600	1.57	62.67
	산림	51	105,300	0.12	
	초지 및 식재지	52	2,861,100	3.35	
유지지역	논경작지	53	301,500	0.35	62.67
	나지	54	2,626,200	3.07	
	소계		31,906,800	37.33	
유지지역	산림	11	6,646,500	7.78	62.67
	초지 및 식재지	22	4,731,300	5.54	
	논경작지	33	5,004,000	5.86	
	나지	44	697,500	0.82	
	시가화 지역	55	36,478,800	42.68	
소계			53,558,100	62.67	62.67
합계			85,464,900	100.00	100.00

이는 신도시 조성을 통해 신규로 조성된 공원지역 또는 공사 중인 지역인 것으로 판단되었다.

2. 개발 전·후 지표면 온도 변화(1989~2000년)

토지피복 변화에 따른 지표면 온도 변화량 분석 결과, 지표면 온도 변화가 높아진 주요 유형은 논경작지에서 나지로 변화된 유형(1.4939℃), 논경작지에서 시가화 지역으로 변화된 유형(0.9356℃), 산림에서 시가화 지역으로 변화된 유형(0.8435℃)이었으며, 지표면 온도 변화가 낮아진 주요 유형은 논경작지 유지지역(-2.9649℃)이었고, 나지에서 논경작지로 변화된 지역과 시가화 지역에서 논경작지로 변화된 지역은 온도가 낮아졌으나 변화면적이 매우 미미하였다(표 5 참조).

위의 토지피복 변화 유형간 지표면 온도 변화량은 1989년 5월

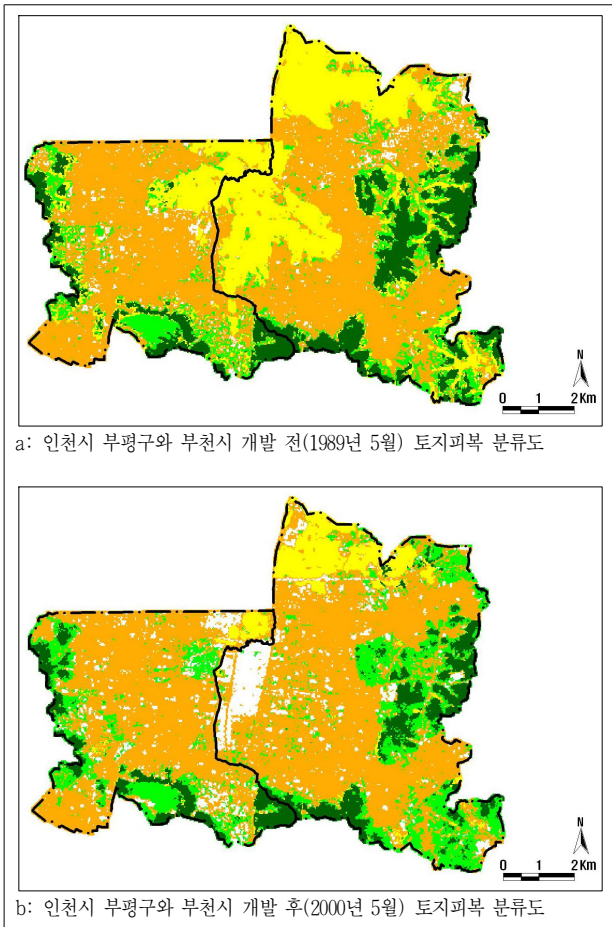


그림 4. 인천시 부평구와 부천시 개발 전·후 토지피복 분류도
 범례: ■ 산림, ■ 초지 및 식재지, ■ 논경작지,
 □ 나지, ■ 시가화 지역
 *: 개발 전 영상: 1989년 5월 17일 Landsat TM 영상, 개발 후 영상: 2000년 5월 7일 Landsat ETM+ 영상

17일과 2000년 5월 7일의 기상조건과 촬영일 수의 차이가 있으므로 지표면 온도의 정량적 변화량으로 판단하기에는 무리가 있으며, 25개 토지피복 변화 유형간 지표면 온도 변화의 상대적 비교만으로도 가치가 있을 것으로 판단되었다.

25개 토지피복 변화 유형별 지표면 온도 변화량의 차이를 알기 위해 분산분석을 시행한 결과 F검정결과 유의성이 0.01에서 인정되어 토지피복 변화유형간에는 지표면 온도 변화량간의 차이가 있었다. 따라서 Duncan의 사후검정을 통해 토지피복 변화 유형간 차이 있는 집단을 분석한 결과 논에서 나지로 변화된 유형(Type: 34)은 전체 변화 유형과 지표면 온도 변화량에서 차이가 있었고, 논에서 시가지로 변화된 유형(Type: 35)은 산림에서 시가지로 변화된 유형(Type: 15)을 제외한 나머지 유형과 평균 지표면 온도 변화량에서 차이가 있었다.

위의 분산분석 결과를 바탕으로 토지피복 변화유형별 지표면 온도 변화량의 평균으로 지표면 온도차를 분석한 결과, 산림, 논경작지 변화유형이 주로 온도가 높아졌으며, 특히 논경작지

표 5. 인천시 부평구와 부천시 개발 전·후(1989~2000년) 토지피복 변화에 따른 지표면 온도 변화량

토지이용 변화		Type	지표면 온도 변화량(°C)
1989년	2000년		
산림	산림	11	-1.2569
	초지 및 식재지	12	0.4740
	논경작지	13	-0.7763
	나지	14	0.3358
	시가화 지역	15	0.8435
초지 및 식재지	산림	21	-2.5381
	초지 및 식재지	22	-1.3516
	논경작지	23	-2.2027
	나지	24	-1.3559
	시가화 지역	25	-1.4175
논경작지	산림	31	-2.3456
	초지 및 식재지	32	0.2449
	논경작지	33	-2.9649
	나지	34	1.4939
	시가화 지역	35	0.9356
나지	산림	41	-1.1847
	초지 및 식재지	42	-1.0830
	논경작지	43	-2.9960
	나지	44	-2.2606
	시가화 지역	45	-2.3272
시가화 지역	산림	51	-2.8835
	초지 및 식재지	52	-1.9189
	논경작지	53	-3.1876
	나지	54	-2.6960
	시가화 지역	55	-3.2127

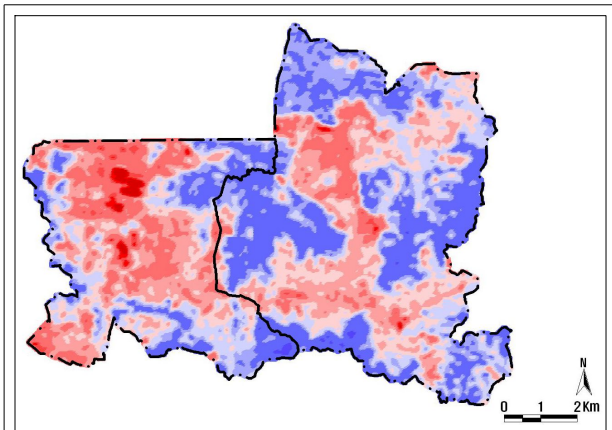
에서 공사중인 나지지역과 개발 완료된 시가화 지역으로 변화했을 경우 온도가 크게 상승하였다(그림 6 참조).

3. 논경작지 토지이용 변화에 따른 도시기온 변화 영향요인

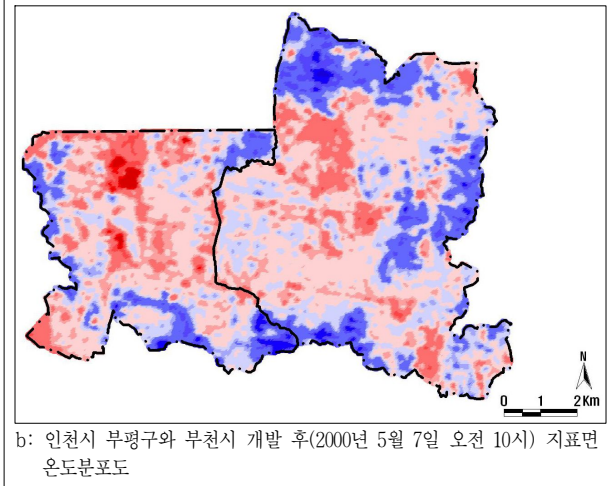
1) 토지이용 유형별 도시기온 분석

논경작지 개발 전(1989년 5월 17일) 세부연구대상지 블록별 지표면 온도는 모든 대상지가 논경작지로 이루어져 있었기 때문에 최저 18.3838°C(A-4)에서 최고 22.1886°C(S-1)로 온도차가 크지 않으며, 대부분의 지역들이 19~20°C 사이에 분포하고 있었다. 논경작지 개발 후(2000년 5월 7일) 세부연구대상지 블록별 지표면 온도는 각 블록별로 최저 19.0999°C(P-9)에서 최고 23.8998°C(S-1)로 온도분포가 다양하게 나타났다.

표 7은 온도 변화량을 보정하기 위해 대조구로 설정한 한강의 블록별 지표면 평균온도 및 온도 변화량이다. 1989년 5월 17일



a: 인천시 부평구와 부천시 개발 전(1989년 5월 17일 오전 10시) 지표면 온도분포도



b: 인천시 부평구와 부천시 개발 후(2000년 5월 7일 오전 10시) 지표면 온도분포도

그림 5. 인천시 부평구와 부천시 개발 전·후 지표면 온도분포도
 범례: a: ● 14.5~16.3, ● 16.3~18.1, ● 18.1~19.8, ● 19.8~21.6, ● 21.6~23.4, ● 23.4(Mean), ● 23.4~25.1, ● 25.1~26.9, ● 26.9~28.7, ● 28.7~30.4, ● 30.4~32.2, ● 32.2~34, ● 34~44.3
 b: ● 13.3~13.8, ● 13.8~15.1, ● 15.1~16.4, ● 16.4~17.7, ● 17.7~18.9, ● 18.9~20.2, ● 20.2~21.5, ● 21.5(Mean), ● 21.5~22.8, ● 22.8~24.1, ● 24.1~25.4, ● 25.4~26.7, ● 26.7~28, ● 28~29.2, ● 29.2~36.4

*: 개발 전 영상: 1989년 5월 17일 Landsat TM 영상, 개발 후 영상: 2000년 5월 7일 Landsat ETM+ 영상

은 최소 12.7594℃에서 최대 13.4673℃의 온도분포를 보이고 있었으며, 2000년 5월 7일에는 최소 12.2984℃에서 최대 12.5608℃의 온도분포를 보이고 있었다. 두 시기의 온도 변화량은 최소 -0.3247에서 최대 -0.9066℃로 온도 변화량의 편차가 매우 낮게 나타났다.

논경작지 개발 전·후의 토지이용 유형별 지표면 온도 변화량 차이를 알기 위해 분산분석을 시행한 결과 F검정결과 유의수준 0.05에서 유의성이 인정되어 5개의 토지이용 유형 집단간에는 지표면 온도간 차이가 있는 집단이 존재하였다. Duncan의 사후검정 결과, 근린공원과 교육시설지는 유의수준 0.05이내에

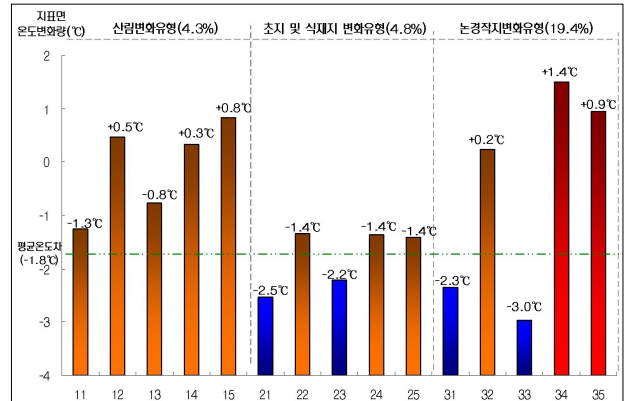


그림 6. 인천시 부평구와 부천시 개발 전·후(1989~2000년) 토지이용 유형별 지표면 온도 변화량

범례: 11 삼림 유지지역, 12 삼림→초지 및 식재지, 13 삼림→논경작지, 14 삼림→나지, 15 삼림→시가화 지역, 21 초지 및 식재지 유지지역, 22 초지 및 식재지 유지지역, 23 초지 및 식재지→논경작지, 24 초지 및 식재지→나지, 25 초지 및 식재지→시가화 지역, 31 논경작지→삼림, 32 논경작지→초지 및 식재지, 33 논경작지 유지지역, 34 논경작지→나지, 35 논경작지→시가화 지역

서 지표면 온도 변화 차이가 있었으며, 공동주택지, 상업업무시설지, 공공용도지의 통계적 차이는 인정되지 않았다. 따라서 논경작지 개발 후 녹지 및 오픈스페이스와 시가화 지역 간에는 근린공원과 교육시설지에서 차이를 보이고 있었으며, 다른 시가화 지역 토지이용 유형별 통계적 차이는 인정되지 않았다.

두 시기의 온도보정을 위해 설정한 대조구로 설정한 한강 5개소 지표면 온도 변화 평균차가 -0.7225℃ 이므로 지표면 온도를 1989년 5월 17일과 동일하게 보정하기 위해 2000년 5월 7일 위성영상의 각 블록별 평균온도에 -0.7225℃만큼 낮은 차이를 구하여 이를 1989년에서 2000년간 토지이용 변화에 의한 지표면 온도 변화량으로 산출하였다.

토지이용 유형별 지표면 온도 변화량의 평균으로 지표면 온도 순위를 분석한 결과 근린공원(+1.6697℃), 공동주택지(+2.5503℃), 공공용도지(+2.9479℃), 상업업무시설지(+3.0385℃), 교육시설지(+3.1803℃) 순으로 논경작지 토지이용 변화에 따른 지표면 온도가 상승한 것으로 분석되었다. 앞서 실시한 Duncan의 사후검정 결과 시가화 지역간에는 평균온도의 차이가 있다고 볼 수 없기 때문에 논경작지 개발 이후 온도 변화는 근린공원 +1.6697, 시가화 지역 평균 +2.5503~+3.1803℃의 온도 변화가 있는 것으로 판단되었다.

2) 지표면 온도와 도시기온 변화 영향요인간 상관관계분석

(1) 도시기온 변화 영향요인 현황

논경작지 토지이용 변화에 따른 온도 변화 원인을 분석하기

표 6. 세부연구대상지 블록별 지표면 평균온도 및 온도 변화량

토지이용유형		블록명	평균 지표면온도(°C)		온도 변화량(°C)
1989년	2000년		1989. 5. 17.	2000. 5. 7.	
공동주택지	A-1		19.6505	22.9623	3.3118
	A-2		19.1593	21.9527	2.7934
	A-3		19.0044	22.6135	3.6091
	A-4		18.3838	21.7542	3.3704
	A-5		19.7036	20.9256	1.2220
	A-6		22.1802	22.4264	0.2462
	A-7		20.2414	22.4051	2.1637
	A-8		19.3777	21.8775	2.4998
	A-9		20.1001	22.2009	2.1008
	A-10		19.3632	22.0930	2.7298
	A-11		20.2787	22.9384	2.6597
	A-12		20.9308	22.0242	1.0934
	A-13		19.7905	21.2177	1.4272
	A-14		19.0274	21.6084	2.5810
	A-15		18.9722	20.0833	1.1111
	A-16		19.6687	21.4745	1.8058
	A-17		19.1528	19.9863	0.8335
	A-18		19.5773	21.1918	1.6145
	A-19		20.2541	21.0198	0.7657
	A-20		20.1592	21.2092	1.0500
	A-21		20.9389	21.0128	0.0739
	A-22		21.7977	22.0058	0.2081
	A-23		19.2186	21.9879	2.7693
평균		19.8666	21.6944	1.8278	
상업업무시설지	C-1		20.9481	22.8016	1.8535
	C-2		19.1892	21.9676	2.7784
	평균		20.0687	22.3846	2.3160
논경작지	S-1		22.1886	23.8998	1.7112
	S-2		19.5978	21.2142	1.6164
	S-3		18.7653	21.1888	2.4235
	S-4		19.8999	23.1417	3.2418
	S-5		19.5800	23.1683	3.5883
	S-6		19.2470	22.8734	3.6264
	S-7		18.8981	22.5403	3.6422
	S-8		19.9645	21.8142	1.8497
	S-9		19.8001	22.6991	2.8990
	S-10		19.9132	22.1379	2.2247
	S-11		18.8802	22.2648	3.3846
	S-12		20.8415	22.3531	1.5116
	S-13		19.0139	21.1832	2.1693
	S-14		19.8967	20.4168	0.5201
평균		19.7491	22.2068	2.4578	
공공용도지	D-1		20.9251	23.2475	2.3224
	D-2		19.9507	22.0791	2.1284
	평균		20.4379	22.6633	2.2254
근린공원	P-1		19.7595	22.3440	2.5845
	P-2		19.8931	21.1596	1.2665
	P-3		20.5677	22.1839	1.6162
	P-4		20.7084	22.0851	1.3767
	P-5		20.1705	21.9002	1.7297
	P-6		19.9478	22.0820	2.1342
	P-7		21.7098	21.0382	-0.6716
	P-8		21.6644	20.5406	-1.1238
	P-9		19.4871	19.0999	-0.3872
평균		20.4343	21.3815	0.9472	

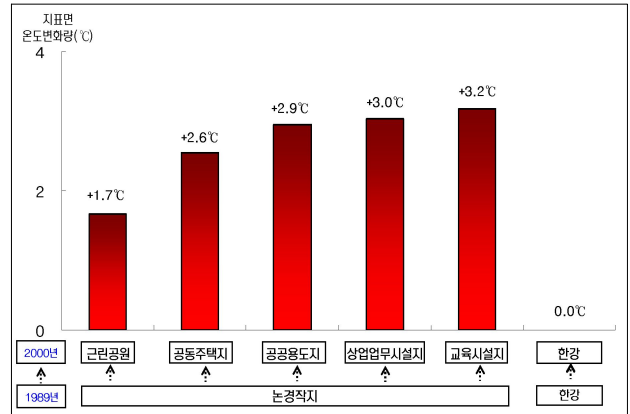


그림 7. 세부연구대상지 토지이용 변화에 따른 토지이용 유형별 지표면 온도 변화량

표 7. 대조구(한강) 블록별 지표면 평균온도 및 온도 변화량

토지이용 유형 (대조구)	블록명	지표면 평균온도(°C)		온도 변화량(°C)
		1989. 5. 17.	2000. 5. 7.	
수면(한강)	w-1	13.3157	12.5608	-0.7549
	w-2	13.4673	12.5608	-0.9066
	w-3	13.1760	12.3170	-0.8591
	w-4	12.7954	12.4707	-0.3247
	w-5	13.0656	12.2984	-0.7672
	평균	13.1640	12.4415	0.7225

표 8. 세부연구대상지 토지이용블록 도시온도 변화 영향요인

토지이용 유형	토지이용 블록	도시기온 변화 영향요인(평균)			
		건폐율 (%)	녹지율 (%)	불투수포장률 (%)	용적률 (%)
시가화 지역	공동주택지	18.31	32.21	44.87	205.79
	상업업무시설지	32.16	9.27	58.58	107.48
	교육시설지	14.47	12.41	24.58	90.58
	공공용도지	15.97	26.85	48.43	79.53
녹지 및 오픈 스페이스	근린공원	1.03	57.88	35.11	1.82

위해 세부연구대상지 블록별 건폐율, 녹지율, 불투수포장률, 용적률을 분석하였다(표 8 참조).

(2) 상관관계 분석

표 9는 논경작지 토지이용 변화에 따른 도시기온 변화 원인 분석을 위해 지표면 온도 변화량과 도시기온 변화 영향요인간 상관관계를 분석한 것이다. 지표면 온도 변화량과 건폐율, 녹지율, 불투수포장률, 용적률간 상관관계 분석결과, 녹지율의 상관

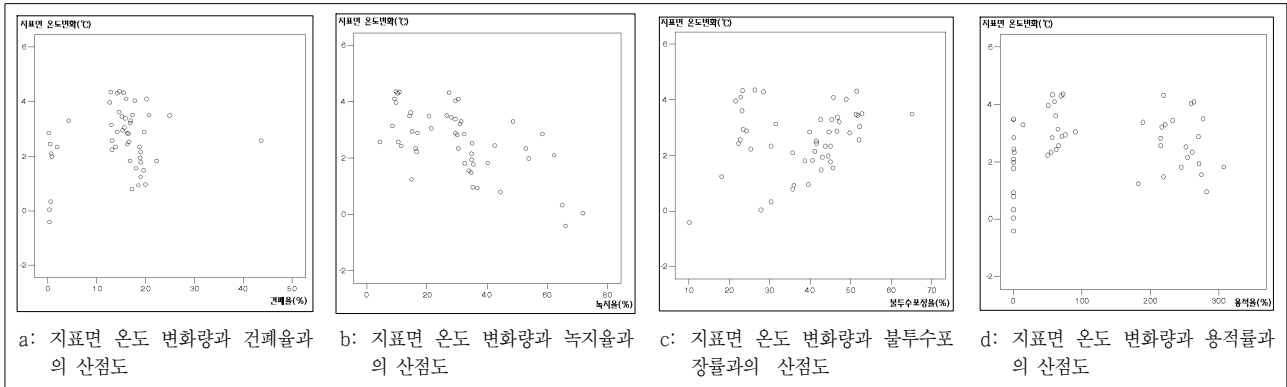


그림 8. 지표면 온도 변화량과 도시기온 변화 영향요인간 산점도

표 9. 지표면 온도 변화량과 도시기온 변화 영향요인간 상관관계

구분		건폐율	녹지율	불투수포장률	용적률
지표면 온도 변화량	Pearson 상관계수	0.231	-0.622*	0.226	0.123
	유의확률 (양측)	0.106	0.000	0.115	0.396

*: 상관계수는 0.01 수준(양측)에서 유의함

표 10. 도시기온 변화모형 요약

R	R ²	수정된 R ²	추정값의 표준오차
0.622(a*)	0.387	0.374	0.9094749

: a: 예측값: (상수), 녹지율

계수는 음(-)의 상관관계가 0.01수준에서 고도의 유의성이 인정되었다. 따라서 논경작지 토지이용 변화 시 녹지율이 높을수록 온도 변화 폭을 낮추는 영향요인으로 판단되었으며, 건폐율, 불투수포장률, 용적률은 지표면 온도 변화량과의 통계적 유의성이 인정되지 않았다.

그림 8은 지표면 온도 변화량과 도시기온 변화 영향요인간 산점도이다. 녹지율과 지표면 온도 변화량과의 산점도는 음의 방향으로 뚜렷한 선형의 형태로 분포하고 있었다. 불투수포장률과 지표면 온도 변화량과의 산점도는 양(+)의 방향으로 선형의 형태를 띠고 있었으나 다소 산포되어 있었고 건폐율, 용적률은 지표면 온도 변화량과의 산점도가 뚜렷한 경향을 판단하기 어려웠다.

4. 논경작지 토지이용 변화에 따른 도시기온 변화모형

도시기온 변화 영향요인으로 고도의 상관성이 인정된 녹지율을 독립변수로 지표면 온도 변화량을 종속변수로 한 회귀분석결과 결정계수는 37.4%이었으며, 모형의 F검정결과 유의수준 0.01에서 고도의 유의성이 인정되었다(표 10, 11 참조).

위의 결과를 바탕으로 논경작지의 토지이용 변화 시 녹지율을 독립변수로 한 도시기온 변화모형은 표 12와 같다.

표 11. 도시기온 변화모형 분산분석

모형	자유도	제곱합	평균제곱	F	유의확률
선형회귀분석	1	25.028	25.028	30.259	0.000(a*)
잔차	48	39.703	0.827	-	-
합계	49	64.731	-	-	-

: a: 예측값: (상수), 녹지율

표 12. 도시기온 변화량과 녹지율 및 불투수포장률간 도시기온 변화 모형

독립변수	온도 변화모형	R ²
녹지율	$Y_1 = 3.889 - 0.043 \times X_1$	0.387

*: Y₁: 지표면 온도 변화량(°C), X₁: 녹지율(%)

본 회귀식에 의하면 기존 논경작지에서 시가화 지역으로 변화할 경우 녹지율이 0%라 가정할 때 +3.889°C의 온도상승이 예상되며 녹지율이 10% 증가할 때마다 +3.889°C에서 -0.430°C만큼 온도저감효과를 나타내는 것으로 분석되었다.

IV. 결론

본 연구는 도시 미기후 측면에서 냉섬 역할을 하는 논경작지의 대규모 택지개발로 인한 도시기온 변화량을 분석하여 논경작지 보존을 위한 기초자료를 제공하고, 도시온도 상승을 줄일 수 있는 방안을 제시하고자 하였다. 이를 위해 인천시 부평구와 부천시 지역의 기존 논경작지를 중심으로 개발 전·후 위성영상자료(1989~2000년)를 이용하여 토지피복 변화 유형별 지표면 온도 변화량을 분석하였다. 나아가 도시기온 상승 원인을 분석하기 위해 논경작지에서 시가화 된 지역을 대상으로 세부 연구대상을 설정하였다. 도시기온 변화 영향요인으로 건폐율, 녹지율, 불투수포장률, 용적률을 선정하였으며, 온도 변화량과의 상관관계를 분석하고 이를 이용하여 논경작지 토지피복 변화에 따른 온도 변화량 예측모형을 구축하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 인천시 부평구와 부천시의 개발 전·후 토지피복 변화를 분석하기 위해 1989년 5월 17일과 2000년 5월 7일 위성영상을 산림, 초지 및 식재지, 논경작지, 나지, 시가화 지역을 구분하여 분석한 결과 토지피복 형태가 변화한 지역은 총 37.33%, 유지지역은 62.67%이었다. 그 중 논경작지가 다른 유형으로 바뀐 것이 전체의 19.44%로 대부분의 토지피복 변화가 기존 논경작지에서 이루어진 것으로 파악되었다. 논경작지 변화유형 중 시가화 지역으로의 변화는 9.58%로 25개 세부변화유형 중 가장 큰 비율을 나타내었으며, 기존 인천시 부평구와 부천시 중앙에 넓게 분포하고 있던 논경작지 대부분이 신도시 건설로 인해 시가화 지역과 개발 중인 나지로 변한 것으로 분석되었다.

둘째, 토지피복 변화 유형별 지표면 온도 변화 현황을 분석하기 위해 1989년 5월 17일과 2000년 5월 7일 위성영상의 지표면 온도를 산출하여 그 차를 분석한 결과, 지표면 온도가 높아진 주요 유형은 논경작지에서 나지로 변화된 유형(+1.4939°C), 논경작지에서 시가화 지역으로 변화된 유형(0.9356°C)이었다.

셋째, 논경작지 토지이용 변화에 따른 온도 변화 영향요인을 분석하기 위해 논경작지 변화지역을 대상으로 세부연구대상지를 설정하여 블록별 평균 지표면 온도차를 분석한 결과, 1989년 세부연구대상지는 논경작지였기 때문에 19~20°C 사이의 균일한 온도분포를 나타낸 반면 시가화 지역으로 변한 2000년 블록별 지표면 온도는 19.1~23.9°C로 온도편차가 크고 분포가 다양하게 나타나고 있었다.

넷째, 두 영상의 촬영시기 및 기상차이에 의한 온도차를 보정하기 위해 대조구로 설정한 한강의 온도차(-0.7225°C)로 보정한 결과, 1989년에서 2000년간 토지이용 변화에 따른 지표면 온도 변화량은 근린공원: +1,6697°C, 공동주택지: +2,5503°C, 공공용도지: +2,9479°C, 상업업무시설지: +3,0385°C, 교육시설지: +3,1803°C 순으로 높게 나타났다.

다섯째, 논경작지 토지이용 변화에 따른 도시기온 변화 원인 분석을 위해 지표면 온도 변화량과 도시기온 변화 영향요인간 상관관계를 분석한 결과, 녹지율 상관계수는 -0.662로 강한

음의 상관관계를 보였으며, 건폐율, 불투수포장률, 용적률은 지표면 온도 변화량과 상관계수가 +0.231, +0.226, +0.123으로 통계적 유의성이 인정되지 않았다.

여섯째, 논경작지 토지이용 변화에 따른 지표면 온도 변화모형을 구축하기 위해 녹지율을 독립변수로 지표면 온도 변화량을 종속변수로 한 회귀분석을 실시하였다. 본 회귀식에 의하면 기존 논경작지에서 시가화 지역으로 변화할 경우 녹지율 및 불투수포장율이 0%라 가정할 때 +3,889°C의 온도상승이 예상되며, 녹지율이 10%증가할 때마다 +3,889°C에서 -0.430°C만큼 온도저감효과 있는 것으로 분석되었다.

인용문헌

1. 건설교통부(2005) 2005년도 국토의 계획 및 이용에 관한 연차보고서.
2. 박인환, 장갑수, 김종용, 박중화, 서동조(2000b) 대도시에 있어 냉설의 유형별 온도 완화 효과. 한국조경학회지 28(1): 11-18.
3. 엄기철, 김동수, 윤성호, 황선웅, 윤순강(1993) 논의 공익 기능. 한국토양비료학회지 26(4): 314-333.
4. 현병근, 김무성, 엄기철, 강기경, 윤홍배, 서명철(2003) 발농사의 여름철 기후순화기능에 대한 경제적 가치. 한국토양비료학회지 36(6): 423-428.
5. 홍석환(2003) 서울 강남지역 아파트단지의 녹지면적에 따른 온도분포 모형. 서울시립대학교 대학원 석사학위논문.
6. 都市環境學教材編集委員會(2003) 都市環境學.
7. 入江 彰昭, 平野 侃三(1999) "ランドサットTMデータ解析による都市氣象緩和に有効な緑地形態と規模に関する研究. 第34回 日本 都市計划學會學術研究論文集.
8. Cambell, J. B.(1987) Introduction to Remote Sensing, the Guilford Press, New York, London.
9. Lillesand, T. M. and R. W. Kiefer(1994) Remote Sensing and Image Interpretation, 3rd edition, NewYork.: Wiley.
10. Markham, B. L and J. L. Becker(1986) Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures, EOSAT Landsat Tech. Notes, 1: 3-7.
11. NASA(2002) The Landsat-7 Science Data User's Handbook.
12. Oh, D. S., Y. T. Oh, K. C. Song, and J. S. Shin(1996) Guideline for evaluation the drought according to soil moisture contents, Annual Report, National Institute of Agricultural Science and Technology.
13. Yoshida, K.(1998) An economic evaluation of multifunctional roles of agriculture and rural areas in Japan, Annual report, National Research Institute of Agricultural Economic 52(4): 113-138.

원 고 접 수 일: 2008년 1월 15일
 심 사 일: 2008년 2월 1일(1차)
 2009년 2월 12일(2차)
 개 재 확 정 일: 2009년 2월 13일
 3 인 의 명 심 사 필