

도농복합도시 온도상승 영향요인 분석^{1a}

- 경남 밀양시를 대상으로 -

홍석환^{2*}

Cause Analysis of the Rising Temperature in Mixed City of Urban and Rural Area^{1a}

- Case of Miryang City, Kyongsangnamdo -

Suk-Hwan Hong^{2*}

요 약

본 연구는 도시와 농촌이 혼재되어 있는 도농복합도시인 밀양시를 대상으로 도시온도 상승에 관한 영향요인을 분석하고자 수행하였다. 이를 위해 1974년부터 2010년까지 36년간의 온도자료와 온도에 영향을 미칠 수 있는 도시환경 변화 요소를 살펴보았다. 도시환경변화 요소는 생활패턴의 변화로 나타나는 사회적 요소와 도시 토지이용 변화에서 나타나는 구조적 측면에서 각각 살펴보았다. 연구결과 온도는 연평균기온과 연평균최고기온의 상승이 통계적으로 유의미하였으며 이에 가장 영향력이 높은 요인으로는 경작지 감소이었다. 일반적으로 경작지의 감소는 시가지지역 확대로 이어지므로 이는 동일한 관점에서 바라볼 필요성이 있었다. 경작지의 감소는 평균기온상승보다 한낮의 온도상승에 미치는 영향이 더 큰 것으로 나타나 경작지가 일중 가장 뜨거운 시기에 냉섬으로 작용한다고 볼 수 있었다. 경작지 면적의 1km² 감소는 약 0.08℃의 연평균최고기온 상승을, 연평균기온의 약 0.06℃ 상승을 유발하는 것으로 예측되었다.

주요어: 연평균기온, 경작지, 냉섬, 시가지지역, 도시온도

ABSTRACT

This study was conducted to determine factors causing urban temperature rises in a mixed urban and rural city in Korea. The study site was Miryang City. For this study, temperature changes over a 36 year period from 1974 to 2010, as well as changes made in the urban environment of the city were examined. Changes in the urban environment included data pertaining to both urban development and changing land use, as well as the changing lifestyle patterns of the populace. The study showed that a rise in the average annual temperature and the average annual mean-maximum temperature were statistically significant and the greatest determining factor for the temperature rise was a corresponding decrease in arable land. The study also showed that the decrease in cultivated land was directly and significantly related to an expansion of regional urbanization. There is a direct relationship between the decrease in cultivated land and an increase in the annual-mean-maximum temperature compared with annual-mean temperature. This increase can be explained as arable land works as an "island" of cooler temperatures in the hottest times of the day. A decrease of 1 km² of arable land is expected to cause

1 접수 2013년 11월 20일, 수정(1차: 2013년 12월 18일, 2차: 2013년 12월 30일), 게재확정 2013년 12월 31일

Received 20 November 2013; Revised (1st: 18 December 2013, 2nd: 30 December 2013); Accepted 31 December 2013

2 부산대학교 조경학과 Dept. of Landscape Architecture, Pusan National Univ., Miryang 627-706, Korea

a 본 연구는 2012학년도 부산대학교 교내학술연구비(신임교수연구정착금)에 의한 연구임.

* 교신저자 Corresponding author: hong@pusan.ac.kr

an increase of 0.08° C of annual-maximum-mean temperature and 0.06°C of annual-mean temperature.

KEY WORDS: ANNUAL MEAN TEMPERATURE, CULTIVATED LAND, COOL ISLAND, BUILT-UP AREA, URBAN TEMPERATURE

서론

도시를 농촌과 구분하는 가장 큰 특징은 인구이다. 그러나 단순히 인구의 많고 적음에 의해 온도에 대한 차이가 발생하는 것은 아니며 이로 인해 발생하는 물리적, 사회적 특성의 뚜렷한 차이에서 도시와 농촌의 온도차이를 보인다. 구조적 측면에서 도시가 지니는 가장 큰 특징은 인위적 토지 피복이라 할 수 있으며(Kim and Yeom, 2012) 사회적 측면에서는 2차·3차 산업의 비율 증가와 높은 인구밀도라 할 수 있다.

도시화에 따른 인공화 즉, 지표면 포장확대 및 높은 건물 밀도를 지닌 지역은 낮동안 열을 축적하고 방출하는 능력이 자연지역에 비해 월등히 높아 도시열섬을 유발한다. 열섬으로 대변되는 도시지역의 온도변화와 관련한 연구는 1933년 Howard가 10년간 런던의 도시지역과 주변 농촌지역과의 월 평균 기온을 비교하면서 열섬현상을 설명한 이후 꾸준히 지속되었는데 주로 기후적 측면에서 연구가 진행되었으며, 현재 기온의 증가는 일반적 경향으로 자리잡고 있다(Landsberg, 1981). 최근에는 도시열섬과 관련한 연구가 점차 세분화되고 있는 추세로 도시의 공간구조 및 지표면 특성과 열환경과의 관계연구, 지표면 열섬과 대기열섬의 관계연구, 대기 모델과의 연계 연구 등 크게 세가지 측면의 연구가 중심을 이루고 있다(Voogt and Oke, 2003). 이 중 도시의 지표면 온도와 열환경과의 관계 연구가 가장 활발하게 진행되고 있는데, 지표면 온도에 관한 연구는 토지이용유형에 따른 공간적 패턴과 온도와의 관계 연구를 다각도로 진행하여 그 상관성을 밝히고 있다(Gallo *et al.*, 1993; Nichol, 1998; Quattrochi and Ridd, 1998; Streutker, 2002; Wilson *et al.*, 2003; Weng *et al.*, 2004; Lu and Weng, 2006; Xian and Crane, 2006). 이러한 도시온도와 관련한 실증적인 연구를 진행하면서, 과학자들은 도시의 인구집중과 이에 따라 발생하는 토지이용의 고밀화, 화석에너지 이용량의 증대 등 생활 및 산업패턴의 변화가 시가지지역의 온도를 높이는 요인으로 작용한다고 주장하고 있다.

우리나라에서의 도시기후 관련 연구는 다른 나라와 마찬가지로 온도관련 연구에서 시작하여 1980년대 후반부터 습도, 강수량 등 기후요소와 관련한 연구가 꾸준히 진행되다가(Lee, 1995) 2000년대 들어서는 인공위성영상자료의 활용증대로 토지피복과 관련한 연구가 다각도로 진행되고 있

으며 더 나아가 이러한 자료를 바탕으로 한 공간계획 모델링으로까지 확대되는 추세이다(Ahn, 2007). 또한 최근들어서는 기술의 발달로 보급이 많아진 열화상카메라를 이용하여 국지적이고 상대적인 측면에서의 온도분석 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이러한 열화상카메라의 이용은 지표면의 재료 측면에서 주로 이루어지고 있다(Ryu and Um 2013). 우리나라의 도시기후 관련 연구는 측정기술과 장비의 발달로 인해 점차 연구분야가 국지적으로 좁아지고 있는 추세이다. 이러한 다양한 도시기후 관련 연구가 진행됨에도 불구하고 대부분 연구가 서울을 중심으로 한 대도시 지역에 국한되어 있으며 중소도시나 도농복합도시 등 도시의 수직적 확대보다는 수평적 확대가 주로 일어나고 있는 지역에 관한 연구는 상대적으로 미흡한 상태이다.

일반적으로 녹지나 수면 등은 주변온도를 낮추는 요소이며 화석에너지의 사용, 불투수포장면의 증대 등은 도시온도를 높이는 요인이 된다. 도시지역 인공지물의 상당부분을 차지하는 아스팔트나 콘크리트 포장면은 알베도(Albedo)가 낮아 많은 양의 태양복사 에너지를 흡수함으로써 지표 부근의 열에너지를 점진적으로 누적시킨다. 게다가 대부분의 인공포장재는 함수능이 없기 때문에 하부의 자연토양에서 발생하는 수분증발을 막고 물순환을 차단하여 상당부공기를 건조하게 만든다. 이 밖에도 도시열섬현상을 일으키는 원인으로 자동차의 배기가스, 도시산업시설에서 배출되는 대기오염물질, 고층·고밀 건축에 인한 열전도율이나 에너지 순환체계의 변화, 냉·난방기에 의한 배출열 등 각종 인공열을 들 수 있다(Owen *et al.*, 1998; Park, 2001).

오랜 시간동안 많은 연구가 진행되었음에도 불구하고 도시열섬과 관련된 연구는 그 원인의 복잡성과 국지적인 미기후 특성에 대한 설명을 일반화하기 어렵다는 근본적인 이유로 인해 지속적으로 다양한 관점에서 시도되고 있다(Oke, 1982). 이러한 다양한 연구에서 나타나는 바와 같이 도시온도를 높이는 다각적 요인 중 어느 한 요인만이 온도변화에 중요하게 작용한다고는 할 수 없을 것이다. 그러나 수많은 요인들 중 어떠한 요인이 도시온도를 높이는 중점 요인인지에 대한 분석은 쾌적한 도시관리 및 향후 도시환경 정책 및 공간계획의 올바른 방향성 수립을 위한 기초자료로 매우 중요하게 작용할 수 있다. 이에 본 연구에서는 도시지역의 온도상승에 영향을 미치는 다양한 요인 중 온도변화와 밀접한 관계를 갖는 인자를 찾아보고자 도시환경변화와 관련한

다양한 요소들과 온도변화와의 관계성을 분석하였다.

연구방법

1. 연구대상지

일반적으로 정립된 도시온도상승이 인구집중으로 인한 토지이용의 고밀화와 화석에너지 사용량의 증대에 의해 나타난다고 했을 때 우리나라는 수도권과 지방 일부 대도시의 도시온도 상승이 현격히 나타나야 한다. 그러나 인구 상승이 현저하지 않고 오히려 인구가 줄고 있는 중소도시에서 온도상승이 고밀도 대도시지역에 비해 높게 나타나는 현상들이 나타나는 것이 현실이다. 이에 도시지역 온도상승과 관련한 연구는 대도시지역에 국한되어서는 안될 것으로 판단된다. 연구대상지는 우리나라 기상청 기상관측지점 78개 도시 중 제주도 서귀포시를 제외하고 최근 3년간(2010~2012) 및 최근 10년간(2001~2010) 일 최고기온 평균이 가장 높은 도시인 경상남도 밀양시 전체를 대상으로 하였다. 밀양시 최근 3년간 일최고기온은 19.8℃로 대구, 합천 등 우리나라의 대표적 고온도시보다 높았으며, 인접 위도대 또는 더 낮은 위도에 위치한 대도시인 광주, 울산, 부산 등과 비교하여도 높은 온도값을 보이는 도시이다. 경상남도 밀양시는 농업을 기반으로 한 도농복합도시로 도시화의 진행이 주변 대도시에 비해 상대적으로 더딘 편으로 볼 수 있으며 실제 거주인구 또한 지속적으로 감소하는 추세에 있어 일반적인 도시온도 상승과 관련한 요인의 직접적인 영향이 주변에 비해 덜하다고 판단할 수 있는 지역이었다. 이에 일반적인 도시지역 온도상승의 영향요인인 피복면적의 증대나 인구 증가로 인한 에너지 소비패턴의 변화 등의 요인과는 별도의 요인이 작용했을 것으로 판단하였다.

2. 조사분석 방법

조사는 종속변수로 작용하는 도시온도 변화 측면과 독립변수로 작용하는 환경변화를 구분하여 실시하였다. 도시환경변화는 크게 두 가지 요소로 구분하여 살펴보았는데, 사회적 측면의 변화와 구조적 측면의 변화로 구분하여 자료를 구축하였다. 도시온도와 관련한 요소는 기상청 통계연보를 활용하여 최근 30년간 연평균기온 및 여름철 평균기온(6~8월), 연최고기온, 연평균최고기온의 변화를 살펴보았다. 도시환경변화요인 중 사회적 측면의 독립변수로는 사회구조와 생활패턴이 변화하면서 나타나는 요인 중 온도와 직·간접적 관계가 있을 것으로 판단되는 요인인 자동차 대수, 전기사용량, 인구변화를 적용하였으며, 구조적 측면의 변수로는 도로면적, 공장용지, 전, 담, 임야면적에 대한 자료를 수

집하여 사용하였다.

도·농복합도시의 특징은 도시지역뿐만 아니라 도시와 인접하여 농촌지역을 하나의 도시로 개념을 확대하여 관리하는 데 있다. 도시와 인접한 경작지의 특징 중 하나는 전·답으로 지정되어 있는 토지지목을 변경하지 않은 상태에서 생산작물만을 변경하는 경우가 많다. 우리나라는 이러한 실질적 면적변화에 대한 자료구축은 없는 상태로 경작지 경작유형 변화에 대한 시계열자료를 간접적으로 살펴보기 위해 관련작물의 생산량 변화를 살펴보고, 이에 따른 온도와의 관계를 분석하고자 하였다. 이를 위해 전과 답의 면적합계를 분석을 위해 추가하였으며 실제 논경작이 진행되는 공간의 면적을 간접적으로 추정하기 위해 농촌진흥청의 벼 재배면적을 독립변수로 추가하였다. 시계열자료는 자료의 확보가 가능한 모든 시기를 분석하고자 1974년부터 2010년까지의 자료를 밀양시 및 통계청 통계연보를 바탕으로 수집하였다. 최종적으로 밀양시 법무통계 담당자의 확인을 거쳐 통계데이터 상에서 누락되거나 오류가 있는 자료를 보정하여 분석에 이용하였다.

구축된 자료는 온도와 관련한 종속변수를 움직일 수 있는 독립변수로 판단하여 각종 자료와 온도값과의 상관관계 분석과 회귀분석을 실시하여 온도값과 관련이 높은 변수를 추출하고자 하였다. 통계와 관련한 모든 분석은 IBM SPSS Statistics 21을 사용하였다.

결과 및 고찰

1. 온도변화

1974년부터 2010년까지 밀양시 온도변화 추이를 연평균기온, 연평균최고기온, 연최고기온, 6~8월까지의 여름철 평균기온으로 구분하여 살펴본 결과 전반적으로 대부분의 온도데이터가 시간이 지나면서 높아지는 경향을 보였다. 이는 지구적인 온도상승 경향과도 궤를 같이 한다고 볼 수 있으나 국지적 측면에서 바라볼 필요성 또한 중요하다고 판단된다. 온도상승에 대한 통계적 검증을 위한 상관관계 분석결과 여름철 평균기온을 제외하고 나머지 3개 항목의 온도자료는 모두 시간이 지나면서 높아지고 있었다. 항목별로 살펴보면 평균기온과 평균 최고기온의 경우 큰 변화 없이 시간이 지나면서 꾸준히 증가하는 추세를 보인 반면 연최고기온의 경우 2000년대 들어 모두 35℃를 넘고 있는 등 연도별로 기록이 심하게 나타나는 편이었다. 일반적으로 지구적 관점에서 기후변화의 경우 여름철 최고온도나 겨울철 최저온도 등 극한값의 변화를 인식하기 쉬우나 본 대상지의 경우 여름철 극값의 변화경향은 통계적으로 나타나지 않고 있었다. 달리 말해 과거에도 여름철 최고온도는 매우 높게

나타났음을 의미한다.

신뢰도 99%의 상관관계를 보이고 있는 연평균기온과 연평균최고기온의 연도별 변화량에 대한 선형회귀식을 작성하여 1974년부터 2010년까지의 온도변화를 살펴보면 연평균기온은 약 1.2℃ 상승하였으며 연평균최고기온은 약 1.7℃ 상승하였다.

밀양지역 온도변화 분석결과 통계적으로 온도상승의 경향은 유의미한 결과를 보였으며 40년이 채 되지 않는 기간 동안 연평균기온과 연평균최고기온의 상승은 매우 높게 나타남을 확인할 수 있었다. 연평균기온보다 연평균최고기온

의 상승이 높게 나타나는 것은 하루 중 새벽시간대의 낮은 온도보다는 한낮의 높은 온도가 상대적으로 더 높아졌다는 것을 의미하는 것으로 활동이 많은 시간대에 온도상승이 높게 나타나고 있어 체감하는 온도상승은 연평균기온의 상승보다 높을 수 있다고 해석이 가능하다. 다만 연최고기온의 상승은 통계적으로 그 경향이 뚜렷하지 않았다.

2. 도시환경변화

1) 사회적 변화

밀양시 도시온도와 관련한 변수 중 사회적 변화 측면에서 살펴본 인구나 자동차 대수, 전기사용량을 연도별로 살펴보면 인구는 1974년 약 19만 명에서 2010년 약 11만 명으로 36년간 8만명 정도가 감소한 것으로 나타났다. 일반적으로 도시온도 상승이 인구증가에 기인한 요소들의 영향이라는 것이 많은 연구결과에 의한 의견인데, 밀양시의 경우 이 기간동안 40% 이상 인구가 감소하였음에도 불구하고 높은 온도상승을 보이고 있어 단순히 인구증가를 온도상승의 직접적 요인으로 규정하기에는 무리가 따르는 것으로 판단

Table 1. Correlation coefficients between temperature and time (year)

	Mean T.	Mean High T.	High T.	Summ. T. (Jun~Aug)
Pearson' correlation	.551**	.643**	.351*	.204
Sig.	.000	.000	.033	.233
N	37	37	37	36

** r: p<0.01 * r: P<0.05

T.: Temperature, Summ.: Summer

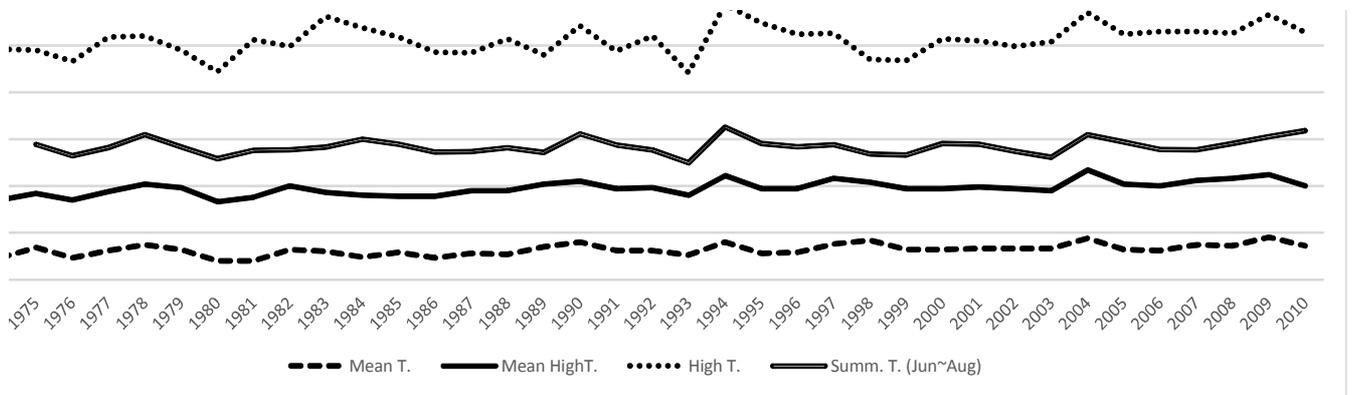


Figure 1. Changing pattern of temperature in Miryang City (1974~2010)

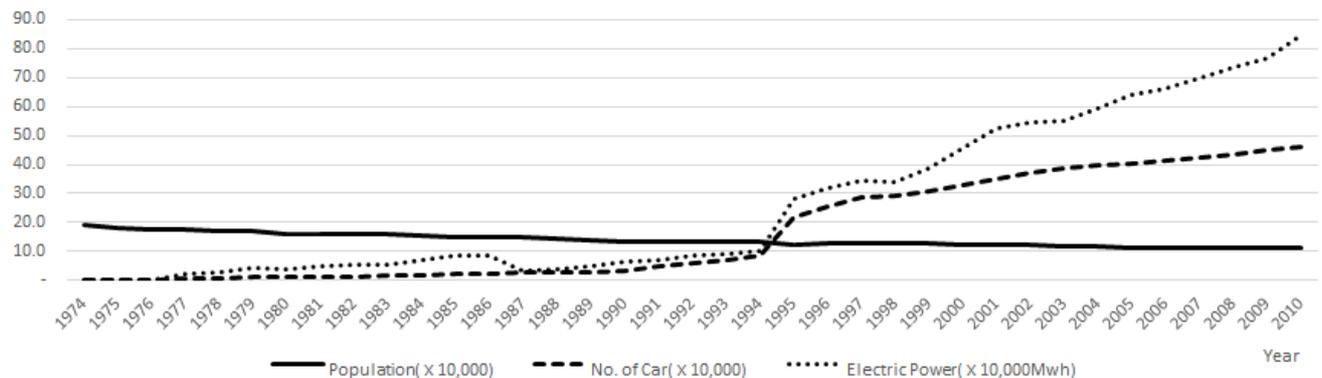


Figure 2. Change of population and life style factor in Miryang City (1974~2010)

되었다. 인구의 꾸준한 감소에도 불구하고 편리한 생활패턴을 추구하는 간접적 지표들인 자동차 등록대수와 전기사용량은 꾸준히 증가하고 있었다. 특히 1990년대 중반부터 전기사용량과 자동차 등록대수가 급격히 증가하였으며 전기사용량의 증가추이는 훨씬 가파르게 나타나고 있었다.

일반적으로 인구증가에 비례하여 자동차나 전기사용량이 증가하게 되어 온도상승이 이러한 추이를 반영하는 것으로 볼 수 있으나 밀양시와 같이 인구가 줄어들어도 불구하고 1인당 자동차 대수나 전기사용량이 기하급수적으로 증가하는 경우로 비춰보았을 때 인구의 편중지역뿐만 아니라 인구가 줄어들고 있는 중소도시의 기후변화 연구가 보다 활발하게 진행될 필요성이 있는 것으로 판단되었다.

이러한 결과를 뒷받침하기 위해서는 향후 인구가 장시간 동안 정체되거나 늘어나는 도시의 비교연구가 진행되어야 할 것이다.

2) 구조적 변화

도시온도와 관련한 변수 중 구조적 변화 측면에서 살펴본 도로 및 공장, 논, 밭, 산림과 실질 논경작지의 면적에 대한 시계열 변화를 나타낸 것이 Figure 3이다. 상관관계 분석결과 산림면적을 제외하고 시간이 지나면서 모든 토지이용유형의 면적증감이 유의미하게 나타나고 있었는데, 시간이 지나면서 도로와 공장용지는 증가하고 나머지 면적은 감소하는 경향을 보였다. 특히 토지이용상의 논보다 실제로 논경작이 이루어지고 있는 면적의 감소가 다른 유형에 비해 뚜렷하게 나타나고 있었다. 실질 논경작지의 면적은 1974년 12,547ha로 토지이용상의 면적 12,711ha와 거의 차이를 보이지 않았으나 2010년에는 6,386ha로 약 50%가까이 감소하였으나 토지이용상 논경작지는 11,870ha로 줄어든 면적이 크지 않은 것으로 나타났다. 달리 말하면 토지이용상의 논경작지가 실제 논경작이 이루어지는 것이 아니라 다른

작물의 재배가 진행됨을 의미한다. 공장용지의 면적은 자료를 확인할 수 있는 첫 해인 1979년 약 32ha이던 면적이 2010년 약 224ha로 급격히 증가하였으며 도로는 36년간 약 2배의 면적이 증가하였다.

종합하면 냉섬의 변수 중에서는 밭경작지의 축소가 뚜렷하게 나타나고 있었으며 반대로 공장용지와 도로의 면적은 급격히 증가하고 있었다. 밭경작지의 경우 상대적으로 개발이 용이하여 공장이나 도로 등으로 전환되는 것으로 판단할 수 있었다. 논경작지의 경우에는 지목상의 면적축소는 거의 없는 것으로 나타났으나, 실제 벼가 경작되는 면적은 현저히 감소하고 있었다. 이들 지역은 주로 고소득 작물인 고추, 깻잎, 딸기 등의 밭작물로 대체되는 것으로 보였다.

논경작지의 경우 도시미기후 측면에서 냉섬의 역할을 하는 중요한 공간으로 Ki(2006)의 연구에 의하면 논경작지가 도시지역의 대표적 냉섬인 공원으로 변화하더라도 약 1.7°C의 온도가 상승하는 것으로 보고하고 있으며 시가지지역으로 변할 경우에는 약 3°C전후의 상승이 일어나는 것으로 보고하고 있어 밀양시에서 논경작지의 타 용도 전환이 가지는 온도상승 효과는 매우 뚜렷할 것으로 판단되었다.

3. 도시환경변화와 온도와의 관계

1) 사회적 변화

온도와 도시의 사회적 변화과정과의 상관관계를 분석한 결과 자동차의 증가는 연평균기온 및 연평균최고기온과 강한 관계를 보였으며 연최고기온과 여름철 평균기온과는 유의미한 상관관계는 나타나지 않았다. 인구나 전기사용량의 경우에는 연평균기온, 평균 최고기온 및 연최고기온과 상관관계가 있었고 여름철 평균기온과는 상관성이 나타나지 않았다.

통계적 분석결과 생활패턴의 변화는 최고기온, 즉 연중

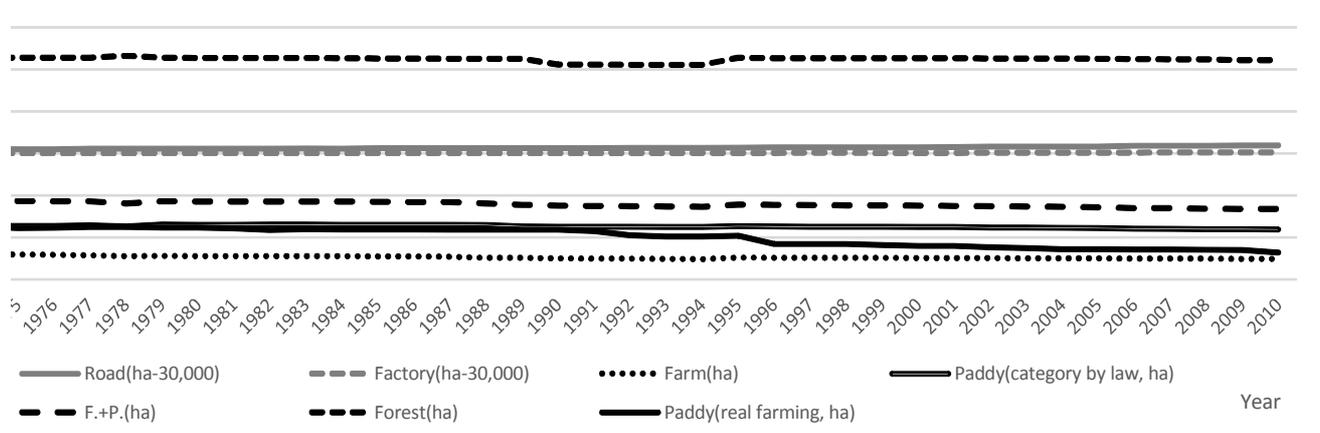


Figure 3. Change of urban structure in Miryang City (1974~2010)

극한값과는 크게 관계가 없는 것으로 나타났으나 평균온도의 상승과는 밀접한 관계를 가지는 것으로 나타났다. 특히 연평균최고기온과의 관계가 높게 나타나 겨울철 한낮의 온도를 높이는 역할을 한다고 할 수 있었다. 그러나 인구의 경우에서 보는 바와 같이 통계적으로 인구가 감소할 경우 온도가 상승하는 일반적 현상과는 다른 결과 또한 유의미한 결과를 보였는데, 이는 단순히 인구 자체의 문제가 아니라 개인당 소비하는 에너지의 양과 밀접한 관련이 있음을 확인해주는 결과로 볼 수 있었다. 달리 말하면 인구가 여타의 사회적 생활패턴의 변화를 추정하는 요소가 될 수는 있으나 이를 직접적으로 반영하는 요소로서는 적합하지 않음을 의미한다.

Table 2. Correlation coefficients between temperature and the factors of social life style

		Mean T.	Mean High T.	High T.	Summ. T. (Jun~Aug)
No. of Car	Pearson' correlation	.524**	.574**	.308	.199
	Sig.	.001	.000	.064	.238
	N	37	37	37	37
Electric power	Pearson' correlation	.505**	.555**	.339*	.250
	Sig.	.001	.000	.040	.135
	N	37	37	37	37
Population	Pearson' correlation	-.523**	-.637**	-.352*	-.249
	Sig.	.001	.000	.033	.137
	N	37	37	37	37

**r: p<0.01, *r: P<0.05

T.: Temperature, Summ.: Summer

2) 구조적 변화

도시의 구조적 변화 항목과 온도변화와의 상관관계를 살펴보면 산림면적의 변화는 모든 온도값과의 상관관계가 나타나지 않았으나 나머지 모든 요소는 온도값과 강한 상관관계를 보이고 있었다. 이 중 인공적 요소, 즉 도시의 열섬으로 작용할 수 있는 요소인 도로와 공장용지는 온도와 정(+)의 상관관계를 보였으며 자연적 요소, 즉 도시의 냉섬으로 작용하는 인자인 논경작지와 밭경작지의 경우 모두 음(-)의 상관관계를 보여 대조적으로 나타나고 있었다. 항목별로 살펴보면 논경작지와 밭경작지를 합한 경작지 면적이 온도값과 가장 강한 상관관계를 보이는 것으로 나타났다. 온도상승 요인에서는 공장보다는 도로의 상관계수가 보다 높게 나타나고 있었다.

도시의 경계는 한정된 면적을 지닌다. 따라서 도시구조의 변화는 자연스럽게 상대적으로 변화하게 된다. 특정 토지이용이 증가할 경우 대체되는 여타의 유형은 감소하기 때문이

다. 모든 유형이 독립적으로 늘어날 수는 없으며 서로 복잡하게 맞물려 있다고 볼 수 있다. 도시화가 진행될수록 경작지나 산림이 도로나 주거지, 공장지역으로 변화하는 것이 일반적으로 이들과의 관계성은 매우 높게 되는 것이다.

Table 3. Correlation coefficients between temperature and the factors of urban structure

		Mean T.	Mean High T.	High T.	Summ. T. (Jun~Aug)
Road area	Pearson' correlation	.540**	.622**	.368*	.261
	Sig.	.001	.000	.025	.118
	N	37	37	37	37
Factory area	Pearson' correlation	.570**	.578**	.332	.260
	Sig.	.001	.001	.063	.151
	N	32	32	32	32
Farm	Pearson' correlation	-.537**	-.656**	-.331*	-.280
	Sig.	.001	.000	.045	.093
	N	37	37	37	37
Paddy (category by law)	Pearson' correlation	-.617**	-.632**	-.314	-.308
	Sig.	.000	.000	.059	.064
	N	37	37	37	37
Farm + paddy	Pearson' correlation	-.622**	-.693**	-.347*	-.317
	Sig.	.000	.000	.036	.056
	N	37	37	37	37
Forest	Pearson' correlation	-.218	-.255	-.059	-.119
	Sig.	.194	.128	.730	.484
	N	37	37	37	37
Paddy (real farming)	Pearson' correlation	-.654**	-.688*	-.331	-.296
	Sig.	.000	.000	.060	.094
	N	35	35	35	35

**r: p<0.01, *r: P<0.05

T.: Temperature, Summ.: Summer

3) 종합

도시공간의 변화와 관련한 요소들은 서로 독립적으로 움직이는 것이 아니라 다른 변화와 밀접한 관련을 가지는 것이 일반적이다. 도로의 면적이 늘면 이에 따라 경작지나 산림이 줄어들기 때문에 이들 각 요소가 엄격한 독립성을 지닌다고는 할 수 없다. 이에 본 연구에서 제시한 도시온도에 영향을 주는 각각의 독립변수들은 다중공선성이 강하게 존재할 가능성이 높다. 이에 다중공선성의 문제를 해결하고 도시온도에 영향을 주는 요인과 도시온도와의 회귀분석을 위해 각각의 독립변수와 온도와의 회귀분석을 SPSS의 단계선택법을 선택하여 분석하였다. 회귀분석은 모든 독립변수와 온도와의 선형회귀분석을 실시하였는데, 이 때 온도값은 변수와의 상관성이 높은 연평균기온과 연평균최고기온

으로 하였다.

연평균기온과의 회귀분석 결과 10개의 독립변수 중 유일하게 논경작지와 밭경작지를 합한 경작지면적이 회귀모형에 채택되었다. 이는 나머지 9개의 독립변수가 연평균기온과 상관관계가 미미하거나 채택된 독립변수의 면적변화와 높은 상관성이 있음을 의미한다. 아울러 논경작지뿐만 아니라 밭경작지 또한 도심지역에서 냉섬의 역할을 같이 하고 있다고 볼 수 있다.

연평균기온과 경작지 전체 면적과의 상관관계는 아래와 같으며 회귀식의 설명력은 37.5%이었다. 회귀식에 의하면 밀양시에서 경작지 1km²이 줄어들 경우 도시 전체 평균온도가 약 0.06℃ 상승하게 된다. 현재 밀양시의 경작지 면적이 약 167km²임을 감안하면 경작지가 10% 줄 경우 도시온도가 약 1.1℃ 상승할 것으로 예측할 수 있다.

$$Y = -0.063x + 24.313$$

(Y: 연평균기온(℃), x: 경작지면적(km²))

연평균최고기온과 10개 독립변수와의 회귀분석 결과에서도 경작지 전체 면적이 유일하게 회귀모형을 위한 독립변수로 채택되었다. 연평균최고기온과 경작지면적과의 회귀식은 아래와 같으며 설명력은 38.3%이었다. 회귀식에 의하면 경작지 면적이 1km²이 줄어들 경우 도시 전체 평균 최고온도가 약 0.08℃ 상승하게 되어 평균온도보다도 영향력이 높다고 볼 수 있었다.

$$Y = -0.076x + 33.413$$

(Y: 연평균최고기온(℃), x: 경작지면적(km²))

이상의 결과를 종합하면 밀양시의 온도는 최근 36년동안 평균기온과 평균 최고기온이 통계적으로 유의미하게 높아졌음을 확인할 수 있었으며 이에 영향을 준 가장 큰 영향요인으로는 경작지의 감소이었다. 경작지의 경우 일반적으로 작물이 재배되는 환경에 있어 도심지역에서 냉섬의 한 유형으로 작용한다(Ki, 2006). 경작지의 감소는 대부분 시가지 지역의 확대로 이어지게 되므로 냉섬지역이 열섬지역으로 변화된다고 볼 수 있다. 일반적으로 밭경작지보다 논경작지의 온도저감 효과가 큰데 도시 전체적 측면에서 봤을 때 특정 경작지의 감소보다는 모든 경작지 유형의 감소가 온도상승에 영향을 미친다고 볼 수 있었다.

본 연구에서 냉섬유형의 한 요소인 산림의 경우에는 면적변화가 매우 적은 관계로 도시온도에 미치는 영향과의 관계성이 나타나지 않았으며 온도상승과의 요인에서 냉섬 면적의 감소, 즉 열섬 역할을 하는 토지이용면적의 증가가 높은

관계를 보인다고 할 수 있었다. 다만, 연최고기온은 과거에 비해 최근들어 상승했다고 보기는 어려웠다. 아울러 경작지의 감소는 평균적인 온도상승에도 영향을 미치나 한낮의 온도상승에 미치는 영향이 더 컸는데, 이는 다시 말해 경작지가 일중 가장 뜨거운 시기에 온도를 낮출 수 있는 냉섬으로 작용함을 의미한다. 이는 증발산되는 수분의 기화잠열이 주위 열을 빼앗는 효과가 경작지에서 나타나므로(Park *et al.*, 2000) 한낮에 증발산량이 많음으로 인해 발생하는 자연스러운 현상으로 판단할 수 있었다. 밀양시와 같은 도농복합도시의 경우 경작지의 축소를 지속적으로 억제하는 것이 온도상승을 줄이는 최선의 방법이라 할 수 있다.

본 연구결과 국지적 토지이용의 변화는 그 지역의 전반적인 온도변화에 영향을 준다고 판단할 수 있으나 연중 최고 온도 등 극한 기후의 변화는 보다 광역적인 기작에서 나타나는 현상으로 추정할 수 있었다. 이에 국지적인 연구와 광역적인 연구의 병행이 필요한 것으로 판단된다. 아울러 다양한 도시의 비교분석을 통해 연구의 결과 검증을 통해 도시온도변화 저감을 위한 계획방향을 찾아가야 할 것이다.

현재 중소도시의 미기상 분석시스템이나 토지이용변화 등에 대한 시계열자료구축은 매우 열악한 형편이다. 이에 보다 정확한 도시기후변화 관련 연구를 위해서는 지역에 대한 데이터가 체계적이고 지속적으로 구축되어야 할 필요성이 있다. 특히 도시와 농촌지역이 공존하고 있는 도농복합도시의 경우 경작지의 면적변화 및 각 경작지의 재배 작물에 대한 공간적 조사를 꾸준히 진행할 필요성이 있다.

LITERATURE CITED

- Ahn, J.S.(2007) Study on the Thermal Environment Assessment for the Urban Environment Planning. Doctoral thesis of Keimyong Univ., 167pp. (in Korean with English abstract)
- Gallo, K.P., A.L. McNab, T.R. Karl, J.F. Brown, J.J. Hood and J. D. Tarpley (1993) The use of NOAA AVHRR data for assessment of the urban heat island effect. *J Appl Meteorol* 32: 899-908.
- Ki, K.S.(2006) A Study on Temperature Change Profiles by the Landuse and the Landcover Change of the Paddy Field in the Metropolitan Area. Master's thesis of Univ. of Seoul, 95pp. (in Korean with English abstract)
- Kim, H.O. and J.M. Yeom(2012) Effect of the urban land cover types on the surface temperature: case study of Ilsan New City. *Korean Society of Remote Sensing* 28(2): 203-214. (in Korean with English abstract)
- Landsberg, H.E.(1981) *The Urban Climate*. Academic Press, 275pp.
- Lee, H.Y.(1995) Potential effects of land-use change on the local climate. *Korean Journal of Remote Sensing* 11(3): 83-100. (in

- Korean with English abstract)
- Lu, D. and Q. Weng(2006) Spectral mixture analysis of ASTER images for examining the relationship between urban thermal features and biophysical descriptors in Indianapolis, Indiana, USA. *Remote Sens Environ* 104: 157-167.
- Nichol, J.E.(1998) Visualization of urban surface temperatures derived from satellite images. *Int J Remote Sens* 19: 1635-1637.
- Oke, T.R.(1982) The energetic basis of the urban heat island. *Quart J Royal Meteorol Soc* 108: 1-24.
- Owen, T.W., T.N. Carlson and R.R. Gillies(1998) An assessment of satellite remotely-sensed land cover parameters in quantitatively describing the climatic effect of urbanization. *International Journal of Remote Sensing* 19: 1663-1681.
- Park, I.H., G.S. Jang, J.Y. Kim, C.H. Park and D.J. Seo(2000) Effect of cool islands on the thermal mitigation in urban area: Case study of Taegu Metropolitan City. *Korean Journal of Landscape Architecture* 28(1): 11-18. (in Korean with English abstract)
- Park, M.H.(2001) A study on the urban heat island phenomenon using Landsat TM thermal infrared data. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 21(6-D): 861-874. (in Korean with English abstract)
- Quattrochi, D.A. and M.K. Ridd(1998) Analysis of vegetation with-
in a semiarid urban environment using high spatial resolution airborne thermal infrared remote sensing data. *Atmos Environ* 32: 19-33.
- Ryu, T.H. and J.S. Um(2013) Evaluating changing trends of surface temperature in winter according to rooftop color using remotely sensed thermal infrared image. *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System* 21(1): 27-37. (in Korean with English abstract)
- Streutker, D.R.(2002) A remote sensing study of the urban heat island of Houston, Texas. *Int J Remote Sens* 23: 2595-2608.
- Voogt, J.A. and T.R. Oke(2003) Thermal remote sensing of urban areas. *Remote Sensing of Environment* 86: 370-384.
- Weng, Q., D. Lu and J. Schubring(2004) Estimation of land surface temperature—vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sens Environ* 89: 467-483.
- Wilson, J.S., M. Clay, E. Martin, D. Stuckey and V.R. Kim(2003) Evaluating environmental influences of zoning in urban ecosystems with remote sensing. *Remote Sens Environ* 86: 303-321.
- Xian, G. and M. Crane(2006) An analysis of urban thermal characteristics and associated land cover in Tampa Bay and Las Vegas using landsat satellite data. *Remote Sens Environ* 104: 147-156.