Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies, 21(1) 2018, pp. 46-56 ISSN 1226-9719(Print)On
https://doi.org/10.11108/kagis.2018.21.1.046 ISSN 2287-6952(Online)

MODIS 영상 자료와 패널 자료를 이용한 지표면온도변화 요인분석*

배다혜[1] · 김홍명[2] · 하성룡[2※]

The Factor Analysis of Land Surface Temperature(LST) Change using MODIS Imagery and Panel Data*

Da-Hye BAE[1] · Hong-Myung KIM[2] · Sung-Ryong HA[2※]

요 약

본 연구에서는 지표면 온도 변화에 미치는 주요 지역특성인자를 도출하고 각각의 인자가 미치는 확률적 영향계수를 추정하였다. 연구대상지역은 충청북도 전역이며 패널 분석을 위해 시 · 군 행정단위로 분할하였다. 지표면온도 및 지역특성 시계열자료들은 MODIS 영상과 통계청자료를 사용하여 각각 구축하였다. 그리고 지표면온도와 횡단면자료인 지역특성인자들을 다중회귀관계로 설정하고 패널 모형 분석을 통하여 회귀계수 추정치를 산정하였다. 지표면온도와 지역특성인자는 패널 모형 분석에서 종속변수와 설명변수로 각각 사용하였다. 패널 자료 분석은 상용 통계프로그램 STATA14를 사용하였으며, 일원 개체 고정효과모형이 본 연구의 지표면온도 변화 해석에 가장 적절한 모형으로 선정되었다. 지표면온도 변화에 미치는 설명변수의 영향수준을 나타내는 기여율은 회귀방정식의 추정회귀계수로부터 구했다. 설명변수별 기여율은 도시 공업지역이 3.746로 가장 컸으며, 다음으로 평균고도×대지면적비율이 2.856, 전력사용량 2.742, 평균풍속 0.553, 비도시관리지역 0.102, 농림지역과 자연 · 환경보전지역은 0.085와 0.071 그리고 시 · 군의 평균강우량 한 단위 변화가 지표면온도 변화에 미치는 기여율은 0.003으로 추정되었다.

주요어 : 고정효과, 다중회귀, 영향인자, 지역특성, 지표면온도, 패널자료분석, MODIS

ABSTRACT

This paper aimed to identify main factors of community characters, which have an effect

2018년 2월 6일 접수 Received on February 6, 2018 / 2018년 3월 9일 수정 Revised on March 9, 2018 / 2018년 3월 9일 심사완료 Accepted on March 9, 2018
* 본 논문은 2015년 충북대학교 학술연구지원사업의 교내연구비 지원으로 수행된 연구결과임.
1 국가기상위성센터 위성운영과 Satellite Operation Division, National Meteorological Satellite Center
2 충북대학교 도시공학과 Dept. of Urban Engineering, Chungbuk National University
※ Corresponding Author E-Maill : simplet@chungbuk.ac.kr

on the land surface temperature(LST) change and estimate the impacting coefficient(ratio) of factors in a significant level of statistics. Chungcheongbuk-do province was selected and then partitioned into city and county areas for the sake of convenience of modeling. LST time series data and the community character data were developed based on Terra Satellite MODIS data and collected from the National Statistical Office, respectively. By the cause and effect relationship between community characters and LST, regression coefficients were estimated using a penal model. In a panel modeling, LST and community characters were used as a dependent variable and explanatory variables, respectively. Panel modeling analysis was carried out using statistical package STATA14 and one-way fixed effect model was selected as the most suitable model to evaluate the regression coefficients in the study area. The impacting ratio of LST change by any explanatory variable derived from the regression coefficients of the panel model fixed. Impacting ratios for industrial areas, elevation x building, energy usage, average window speed, non-urban management area, agricultural, nature and environmental conservation, average precipitation were 3.746, 2.856, 2.742, 0.553, 0.102, 0.071 and 0.003, respectively.

KEYWORDS : Fixed Effect, Regression, Impacting Factor, Community Character, Land Surface Temperature, Panel Data Analysis, MODIS

서 론

최근 전 지구적 온난화의 영향으로 국내외 도시지역에서의 지표온도 증가와 이에 따른 도시열섬현상이 증가하고 있다(부경온 등, 1999, 2000; 홍제우 등, 2013). 고밀도 도시화는 도심의 지표온도 상승과 열섬효과를 촉진함으로서 특히 여름철 도심 생활환경의 불쾌지수 및 냉방비용을 증가 시키는 요인으로 작용하는 것으로 잘 알려져 있다(Lee, H.Y., 1993; Streutker, D. R., 2002). 특히 Jang, Y. J. *et al.*(2012)은 기후변화에 따른 여름철 열대야 일수 등 다양한 기상인자가 도심 생활환경의 불쾌지수를 상승시키고 있다고 보고한 바 있다. 차영화 등(2009)의 연구에 따르면 지표온도 상승에 따른 열섬현상은 주민들의 생활환경에 악영향을 미치며 노약자의 생명을 위협하고 삶의 질을 저하시켜 심각한 도시 문제로 부각되고 있음을 지적한 바 있다. Duy, X. T. 등(2017)은 토지이용과 토지피복과 지표온도와의 관계에 대한 해석적 연구결과를 제시하였다. 국내의 경우, 이현영(1989)은 다중시기 광역 지표온도의 시계열자료 확보의 수단으로 인공위성에 적재된 적외선 센서를 활용한 연구를 발표했다. 서경호(2015)는 도심에서의 지표온도 상승의 원인과 실태를 파악하기 위해서는 도시주변 토지표면의 다중시기 시계열 지표면온도 변화를 관측한 자료 획득의 필요성을 강조했으며, 지준범 등(2014)은 MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectro-radiometer) 영상을 이용한 연구에서 산출한 지표온도와 기상청의 AWS(Automatic Weather System) 지상관측 기온 간에 높은 상관성이 있음을 확인한 바 있다. 이와 같이, 국내에서의 지표면온도와 관련된 연구보고는 증가하고는 있으나, 아직 많은 연구가 지표면온도 변화요인을 유발하는 다양한 요인들 간의 관계를 공간통계학적 관점에서 파악하기 보다는 단면적인 상관성 분석에 머물고 있는 상태이다. 지표면온도 변화를 파악하기 위해서는 광범위한 공간을 장시간 관찰한 결과인 횡단면자료를 활용하여, 토지이용 용도지역, 전력사용량 등 사회·경제적 변수정보 그리고 강수량, 풍속 등 자연·기상학적 변수 들을 해석할 수 있는 공간통계학적 패

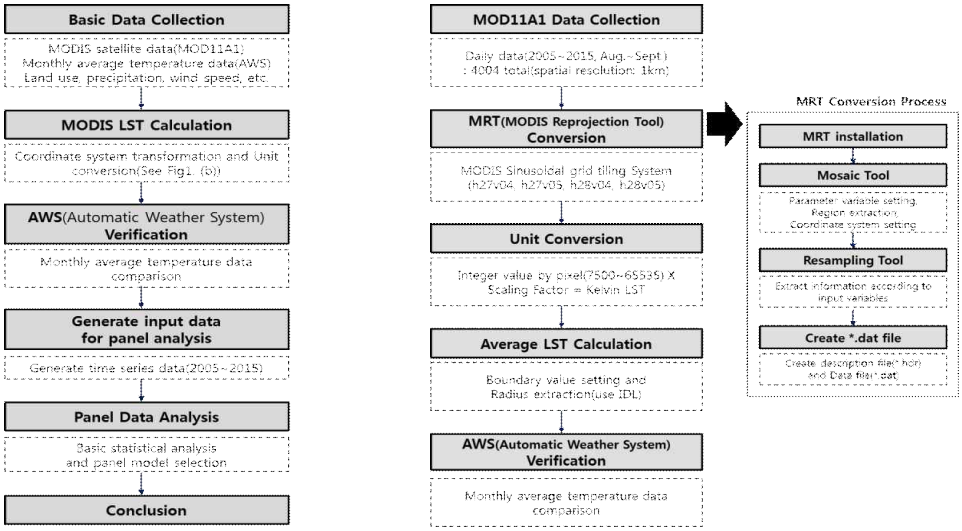
널 자료 분석이 요구된다(Egger, P. *et al.*, 2006; 민인식 등, 2009). 패널 분석은 기존의 공간자료해석에서 주로 사용되어온 분석방법과는 달리 이원적 성질을 지닌 패널 자료가 지닌 시계열적 특성과 횡단면적 특성을 동시에 반영한 다중회귀모형의 회귀계수를 추정할 수 있는 기능을 지닌다. 특히 패널 모형의 선정과정에서 드러나지 않았던 더미자료를 추출하여 시간효과와 개체효과가 반영된 통계적 적정 추정통계량을 제공한다(Hsiao, C. 2014). 충청북도(이하 충북)는 국토균형발전정책의 영향으로 세종특별자치시, 충북혁신도시 및 공공기관 이전이 추진되고 도시화가 급속히 심화됨으로서 지역의 토지이용 및 토지피복의 변화가 커서 10여 년간의 지표면온도의 상승과 도시열섬현상이 다발된 지역이다. 본 연구에서는 MODIS 영상이 제공하는 지표면온도 자료와 지역 특성자료와의 다중회귀관계를 설정하고, 패널 모형을 이용하여 영향요인과 기여수준을 산출하고자 한다.

연구 방법

연구는 충북의 모든 시·군을 대상지로 하고, 연구지역 내에서 변화되는 지표면온도 자료를 확보하기 위하여 Terra 위성의 MODIS 적외선 센서의 영상자료를 이용한다. 그림 1은 MODIS 영상의 처리과정을 보인다. Terra-MODIS 위성은 극궤도 위성으로 오전·오후 10시~13시 사이에 한반도를 통과하기 때문에 영상취득이 주·야간 한번으로 한정된다. 우리나라의 도시열섬효과나 지표면온도의 증가는 주로 하절기에 집중된다. 특히, 패널 자료를 이용한 패널 모형 분석은 지표면온도를 제공하는 MODIS 영상과 지역의 횡단면자료의 통계량이 동시에 존재해야 한다. 연구에 사용되는 패널 자료는 2005년부터 2015년까지의 연중 온도가 가장 높은 여름철(8월, 9월)로 제한하였다.

1. MODIS 지표면온도 산출

지표면온도 산출에 사용된 영상자료는 LP DAAC (Land Processes Distributed Active Archive Center)에서 제공하는 Terra 위성 MODIS LST/Emissivity product인 MOD11A1이며 밴드번호 31과 32에 해당한다. 지표면온도는 하루단위로 합산된 픽셀자료로 제공된다(DAAC, 2011). 우리나라 전역은 h27v04, h27v05,



(a) Flow (b) Treatment of MODIS Image

FIGURE 1. Work-flow of this study

h28v04, h28v05 타일 내에 속한다. MRT (MODIS re-projection tool)을 사용하여 좌표체계를 우리나라에서 사용할 수 있게 전환한다. 본 연구대상지는 위도 33° ~42° 와 경도 124° ~131° 범위에 해당하고, 공간해상도 1km×1km로 총 844×1085개의 LST_Day_1km 픽셀자료를 사용한다. 산출된 자료에는 픽셀별로 7500~65535의 정수가 배정되어 있으며, Kelvin 단위 지표면온도는 배정된 정수에 비례계수(Scaling Factor) 0.02를 곱하여 산출하였다.

2. 패널 모형 분석

패널 모형 분석은 다중회귀모형의 계수를 적정하게 추정하기 위한 과정으로, 회귀모형 기본가정의 점검이 필요하다. 분산팽창 계수(Variation Inflation Factor, VIF)는 분석 전에 점검하고, VIF값이 큰 변수는 우선 제거해야한다. 또한 설명변수들 간의 상관관계가 높으면 다중공선성의 문제가 발생하고 그 결과, 회귀분석의 F 통계량은 유의하지만 회귀계수의 t 통계량은 작아지는 결과를 초래함으로 검정을 통한 조정이 필요하다. 패널 모형은 오차항의 이질성 효과(개체특성과 시간특성)를 어떻게 다루느냐에 따라 고정효과모형(fixed effect model)과 확률효과모형(random effect model)으로 대별된다.

고정효과모형은 식(1)과 같고, 상수항이 개체별로 서로 다르게 고정(fixed)되어 있다고 가정한다.

$$Y_{it} = (\alpha + u_i) + \beta \times X_{it} + \epsilon_{it} \qquad (1)$$

여기서 X와 Y는 각각 설명 및 종속변수를 첨자 i와 t는 각각 개체와 시간(관측 시점)을 α는 상수항, β는 회귀계수, ε는 오차항, 그리고 u_i는 개체 i의 시간불변 특성 값을 의미한다.

식(1)에서 보듯이 설명변수가 종속변수에 미치는 영향은 각 개체의 고유한 시간불변 특성 값 μ_i를 통제함으로서 정확한 추정이 가능하다. 즉, 고정효과모형은 독립변수가 종속변수에게 미치는 순 효과를 추정하기 위하여 시간불변 특성 값의 단위효과를 조정한다. 또 고정효과모형의 상수항($\alpha + u_i$)는 각 패널 개체별로 상이하나 회귀식의 회귀계수 β는 모든 패널 개체들에서 동일한 것으로 가정한다.

한편, 확률효과모형은 독립변수와 지역 시간불변 특성 값의 단위 효과 간에 상관관계를 지닌 개체고정효과모형과는 달리, 둘 간의 cov (X_{it}, u_{it})=0 을 가정한다. 즉 확률효과모형은 개체의 고유한 시간불변 특성 값의 변화에 고정된 값이 아닌 무작위적 변동을 한다. 식(2)는 확률효과모형 방정식이다.

$$Y = \alpha + \beta \times X + u\,(\text{단}, u = u_i + \lambda_i + \epsilon) \qquad (2)$$

여기서 μ, λ, ε, x는 상호 독립적 관계이다.

또 식(3) 합동모형의 절편은 모든 개체 절편들의 평균값이다. 합동모형은 오차항의 이질성이 개체특성과 시간특성에서 없다고 판단되는 경우에 적용된다.

$$Y = \alpha + \beta \times X' + \epsilon \qquad (3)$$

패널 모형의 계수보정과정은 Chow검정, Breusch-Pagan LM(이하 LM)검정, 그리고 Hausman 검정의 3단계로 이뤄진다. 패널 모형 분석에 투입되는 모든 종속 및 설명변수들은 정규성이 확보되어야 한다. 분산의 안정화가 필요한 경우에는 변수변환을 실시하여 안정화를 담보하며, 설명변수들 간의 다중공선성 수준을 파악하여 공선성이 높은 변수는 제거한다.

3. 패널 모형의 선정

Chow 검정은 개체고정효과와 시간고정효과를 동시에 검정함으로써 합동모형과 고정효과모형의 상대적 적합성을 비교한다. 본 연구에서는 LSDV(Least Square Dummy Variable)모형을 사용하여 숨겨진 개체특성 및 시간특성의 더미변수를 도출하고, 그 결과를 F-통계량 검정

으로 통계적 유의성을 진단한다. 귀무가설은 식(4)와 같다.

$$Ho: \alpha_1 = \alpha_2 = \ldots\ldots \alpha_n = \alpha \quad (4)$$
$$H_A: \alpha_1 \neq \alpha_2 \neq \ldots\ldots \alpha_n = \alpha_i$$

즉 귀무가설은 개체들의 특성이 하나의 회귀선으로 추정될 수 있는지를 판단하는 '모든 더미변수의 추정계수는 0이다.' 의미를 지닌다. 만일 검정결과 귀무가설이 기각되면 더미변수를 포함한 고정효과 모형이 더 적합함을 의미한다. 한편, 귀무가설이 인용되면, 오차항의 이질성이 개체 및 시간특성이 반영되지 않는 합동모형을 이용한다.

LM 검정은 시간의 확률효과가 통계적으로 유의한가를 판정하고 귀무가설은 식(5)와 같다.

$$Ho: var(\alpha i) = \sigma_e^2 \quad (5)$$
$$H_A: var(\alpha i) = \sigma_u^2 + \sigma_e^2$$

여기서, $(\sigma_u^2 + \sigma_e^2)$는 오차항 총분산, σ_u^2는 개체효과 분산, σ_e^2는 잔류오차 분산이다.

시간(년)을 분석기준 집단으로 설정할 경우, 귀무가설 식(5)은 '시간효과와 설명변수들과는 독립적이라는 가정(r=0)' 을 한다. 검정결과 귀무가설이 기각되면 회귀모형 오차항의 이질성이 대부분이 시간 차이 및 개체 차이에서 발생하는 것을 의미한다. 즉 오차항은 시간 및 개체간 모두에서 무작위분포를 지닌 확률변수임을 의미한다. 귀무가설이 인용되면, 오차항의 이질성이 개체특성과 시간특성에서 없다고 판단하여 합동모형을 이용한다.

Hausman 검정은 고정효과모형과 확률효과모형 중 어느 모형이 더 적절한지 추정하기 위해서 설명변수와 개체효과 사이에 상관관계가 존재하는지 여부를 분석한다. 귀무가설은 '설명변수와 개체특성 효과 간에는 서로 독립적이며 상관관계가 없다.' 는 의미를 지닌다. 식(6)과 같이 χ^2 (k−1)확률분포를 사용하여 유의확률을 산정한다. 유의확률이 귀무가설의 기각역에 존재할 경우 기각되며 설명변수와 개체특성 간에 상관성이 존재하여 고정효과모형을 적정모형으로 선택한다. 반면 가설이 채택되면 확률효과모형이 채택된다.

$$H = (\beta_{fe} - \beta_{re}) / var(\beta_{fe} - \beta_{re}) \times \beta(\beta_{fe} - \beta_{re}) \sim \chi^2(k-1) \quad (6)$$

여기서, β_{fe}과 β_{re}는 각각 고정효과모형과 확률효과모형에서 산출된 추정계수행렬이다. 그리고 $var(\beta_{fe} - \beta_{re})$은 고정효과 추정계수에서 확률효과 추정계수를 제한 값의 분산행렬을 의미한다.

모형이 선정되면, 변수들의 자기상관성과 이분산성을 진단 및 보정함으로써 최종 다중회귀모형의 추정계수가 결정된다. 자기상관성은 STATA14의 Durbin-Watson을 이용한다(민인식 등, 2009). 오차항의 이분산성은 Wald 검정을 사용한다. 귀무가설은 '모든 개체의 분산은 동일하다' 이다.

결과 및 고찰

1. MODIS 지표면온도 산출

그림 2는 산출된 픽셀단위 월평균 지표면온도 분포이다. 지난 11년간의 MODIS 지표면온도의 시계열자료로부터 연구지역의 급격한 지표면온도 변화는 도시열섬 및 도심 열 방출 빈도가 큰 여름철 7월, 8월, 9월에 발생하였다. 특히 백두대간의 소백산맥 줄기에 해당하는 대상지역의 특성상 7월 중 빈번한 강우와 구름 등으로 지표면온도 자료가 없거나 자료의 신뢰성이 떨어지는 문제를 발생시켰다. 따라서 7월의 지표면온도 자료는 연구에 투입시키지 않고 8월과 9월의 픽셀기반의 월평균 지표면온도의 시계열자료를 구축하였다. 시간의 경과와 더불어 대도시를 중심으로 지표면온도는 점차 증가했으며 특히, 2010년 후로 세종특별시의 빠른 개발에 동반되어 청주시 인근지역의 지표면온도가 크게 상승되었다.

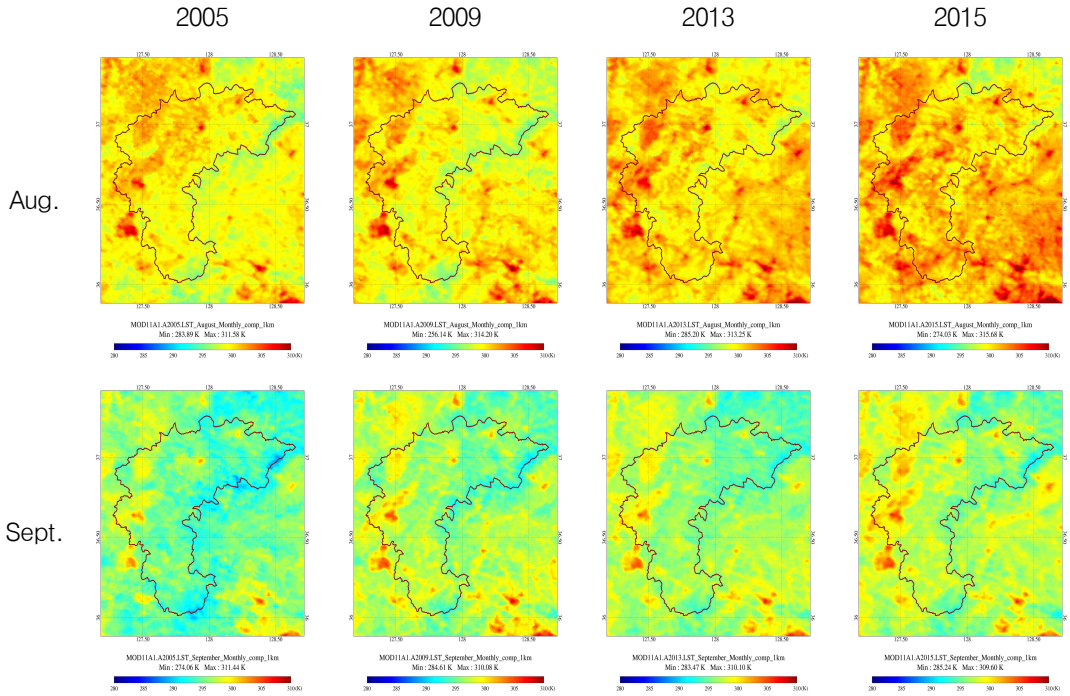


FIGURE 2. MODIS LST change by year

그림 3에서 보듯이 2005~2015년간의 연평균 지표면온도는 2009년 가장 낮았고, 2012년 가장 높았다. 연평균은 27℃ 전후로 약 3℃ 정도 온도 차이를 보인다. 청주시, 충주시, 제천시에서 40℃이상 고온지역이 있어 주변지역과의 큰 온도차가 확인된다. 평균 지표면온도는 충주시에서 가장 높고, 최고온도는 증평군에서 발생했다.

그림 4는 2005년부터 2015년까지 11년간 여름철(8월, 9월) 관측된 MODIS 일 자료를 통계적 처리를 하여 만든 충북의 시군별 지표면온도(℃)의 추정 값 시계열 분포도이다. 표 2에서

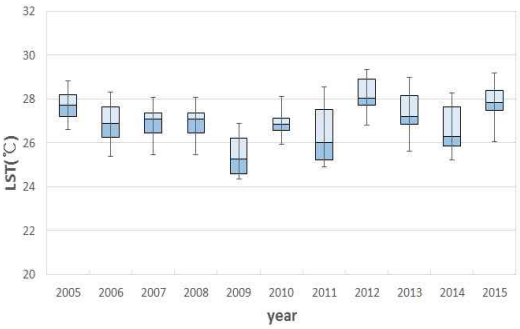


FIGURE 3. MODIS LST scattering of Chungbuk area by year

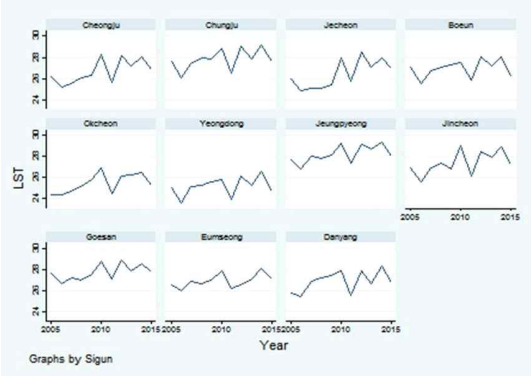


FIGURE 4. LST by Chungcheongbuk-do(2005~2015)

TABLE 2. Statistic of Community LST(℃)

	Cheong ju	Chung ju	Je cheon	Bo eun	Ok cheon	Yeong dong	Jeungpyeo ng	Jin cheon	Goe san	Eum seong	Dan yang
Mean	26.68	27.81	26.41	26.96	25.44	25.19	28.19	27.38	27.72	26.91	26.88
Std.	1.11	0.98	1.33	0.84	0.92	0.89	0.82	1.07	0.72	0.65	0.97
Max.	28.28	29.16	28.55	28.09	26.87	26.62	29.33	28.99	28.83	28.12	28.29
Min.	25.20	26.04	24.88	25.47	24.33	23.57	26.78	25.62	26.62	25.95	25.39

보듯이 각 시·군별 평균 지표면온도는 25.1~27.8℃로 평균편차는 2.7℃ 수준이고, 최대온도 29.33℃와 최소온도 23.57℃의 차이는 최대 약 6℃정도였다. 또 같은 기간 충북도 관내 청주, 충주, 제천, 추풍령, 보은 5곳의 AWS에서 관측된 월평균 기온(℃)자료를 확보하고, AWS 관측위치가 포함된 MODIS 영상 픽셀의 동일 기간의 월평균 지표면온도와 비교했다. 두 통계량 간의 상관계수(r)는 청주, 충주, 제천, 추풍령, 보은에 각각 0.89, 0.91, 0.91, 0.87, 0.89로 상관계수 평균은 0.89로 높은 상관성을 보였다. AWS 5개소에서 관측된 기온과 동일지점 MODIS 자료에서 도출된 지표면온도와의 평균오차 RMSE는 각 관측소별로 2.96, 2.22, 2.76, 3.05, 2.90℃였고, 그 평균은 약 2.7℃ 차이를 보였다. 이러한 차이는 선행연구(지준범 등, 2014)에서도 비슷한 차이를 보고한바 있다. 이는 위성과 AWS 지표면온도 측정 방법과 측정 시간의 차이에서 기인한 것으로 보인다. 본 연구의 검증을 통해 패널 자료 분석시 지표면온도 값을 사용함에 문제가 없다는 것을 확인하였으며, AWS 값이 존재하는 5개 지점의 온도만을 사용한 결과로, 시간적 빈도대비 공간해상도 신뢰수준이 상당히 낮은 현실이 반영된 결과임을 밝힌다.

3. 패널 자료 구축

패널 분석에서는 지표면온도(℃)를 종속변수, 그리고 시·군 단위의 횡단면자료를 설명변수로 설정한다. 표 3에서 보듯이 분석에 사용된 패널 자료의 규모는 11개의 개체인 시·군과 2005~2015년까지 11년간 8월과 9월의 지표면온도 자료를 평균한 여름철 시계열 자료를 합쳐서 총 121개에 달한다.

지표면온도는 토지이용용도에 따라 태양에너지의 복사열, 강우수의 지하수 침투율, 생태면적율, 건물 및 지상시설물에 의한 피복 등의 차이로 교란되고 변화된다. 특히 도시인근 토지관리는 도시계획관련 법률에 의거 도시지역과 비도시지역으로 나뉘어 사회경제적인 큰 영향을 받게 되고, 다양한 원인으로 교란된다. 이러한 토지관리의 특성을 반영하여 토지 관리정책과 관련한 토지이용 면적을 지표면온도 변화 요인으로 가정하고 설명변수로 패널 분석 과정에 투입하였다. 특히 여름철 도시에서의 열섬효과 등을 고려하여, 여름철의 자연·기상과 연관이 있는 시·군 단위의 월평균 강수량 및 월평균 풍속 또한 설명변수에 추가했다. 또한 연구대상지는 국토의 중앙에 위치하는 한편, 동북방향의 괴산군, 충주시, 제천시, 단양군 등은 고지대에 위치하여 자원개발 등의 영향으로 산지가 개발에 이용된다. 이점을 고려해서 지역 평균해수면 높이와 대지개발면적을 고려한 복합인자를 설명변수로 설정하였다. 한편, 지역 지표온도 변화에 영향을 미치는 인자로는 여름철 에어컨 사용량을 대변하는 전력사용량을 설명변수로 포함하였고, 비도시지역의 관리지역, 농업지역, 자연·환경보전지역과 도시지역의 공업지역 등을 사회·경제적 영역을 대표한 설명변수에 추가했다. 선정된 설명변수들의 정규성을 확보하기 위해 통계프로그램인 STATA의 ladder 명령을 활용하여 분산 안정화 변환을 실시했다. 단, 도시지역을 대표하는 공업지역은 자연로그의 변환보다 제곱근의 역수를 취했을 때 가장 정규화분포가 좋았으며, 전력량과 평균고도는 역수를, 풍속은 제곱근을 취하여 변수의 분산안정화를 실시했다. 선정

TABLE 3. Variables used in panel data analysis

Item		Variable name	Content	Unit	Source
Dependent variable		LST	Average of land surface temperature (Aug.~Sept.)	℃	LP DAAC
Independent variable	Land use	Manag	Area of management (Manage/Non-urban)	㎡	KOSIS
		Agro	Area of agriculture (Agriculture/Non-urban)		
		Natur	Area of nature conservation (Nature Conservation/Non-urban)		
		Facto	Area of industry (Industry/Urban)		
	Economic social	Elect	Average of electricity used (Aug.~Sept.)	MWh	KEPCO
	Nature meteorological	Precip	Average precipitation(Aug.~Sept.)	㎜	Statistics Korea
		Wind	Mean wind velocity(Aug.~Sept.)	m/s	
		Dem*Bld	Mean of digital elevation model × Area of Building	m	National spatial information portal

된 8개 설명변수들의 평균 분산팽창계수(VIF)는 2.26이고 가장 높은 VIF는 비도시 관리지역과 농업지역에서 각각 5.63과 4.10이었다. 공업지역 및 기타 사회경제관련 변수와 기상관련 변수들은 매우 안정적인 1.10~2.97 수준이었다. 이들 모든 변수를 회귀모형의 설명변수로 투입했다.

4. 모형의 확률적 신뢰성 비교

LSDV 모형을 전재로 한 Chow 검정결과는 표 4와 같이, 높은 유의수준 0.000으로 귀무가설은 기각되었다. 더미변수를 하나도 포함하지 않은 합동모형에 비해 시간특성과 개체특성의 더미변수를 포함한 즉, 개체와 시간의 고정효과가 반영된 고정효과모형이 보다 적정한 모형으로 선택되었다. 또 LM 검정을 이용하여 시간확률효과가 통계적으로 유의한 가를 판정했다. 그 결과, 표 5에서 보듯이 x^2-통계량은 69.70이고

TABLE 4. Chow test

	F-value	Prob>F
Difference between individuals	F(10, 92)=49.10	0.0000
Difference between year	F(10, 92)=9.45	0.0000
Total difference	F(20, 92)=31.61	0.0000

TABLE 5. LM test for random effects

	One-way individual random effect model		One-way time random effect model	
	Variance	Std.	Variance	Std.
LST	1.634	1.278	1.634	1.278
e	0.300	0.548	0.164	0.405
u	0.243	0.493	0.212	0.460
$x^2(1)$	256.98		69.70	
Prob>x^2	0.0000		0.0000	

TABLE 6. Hausman test

(LST)	Fixed effect model Coef. (A)	Random effect model Coef. (B)	(A−B)	Std.
Manag	−0.030	−0.032	0.001	0.001
Agro	−0.093	−0.089	−0.004	0.002
Natur	−0.045	−0.047	0.002	0.001
Facto	1.224	1.109	0.116	0.075
Elect	−2.289	−2.150	−0.138	0.061
Precip	−0.003	−0.002	−0.001	0.001
Wind	−0.296	−0.509	0.213	0.079
DEM*Bld	−2.383	−2.561	0.179	0.070
$\chi^2(7)$	14.16			
Prob>χ^2	0.0146			

TABLE 7. One-way fixed effect model(using DW statistics)

(LST)	One-way individual fixed effect model				One-way time fixed effect model			
	Coef.	Std. err.	t	P>t	Coef.	Std. err.	t	P>t
Manag	−0.102	0.029	−3.550	0.001	−0.208	0.375	−0.550	0.582
Agro	−0.085	0.019	−4.45	0.000	−0.181	0.640	−0.280	0.778
Natur	−0.071	0.007	−10.28	0.000	0.019	0.209	0.090	0.927
Facto	−3.746	1.048	−3.57	0.001	−2.062	1.605	−1.280	0.202
Elect	−2.742	0.588	−4.67	0.000	−3.962	8.311	−0.480	0.635
Precip	−0.003	0.001	−3.66	0.000	0.000	0.001	0.160	0.871
Wind	−0.553	0.395	−1.40	0.165	−1.768	0.559	−3.170	0.002
DEM*Bld	−2.856	0.710	−4.02	0.000	−14.05	8.450	−1.660	0.100
_cons	32.37	0.550	58.85	0.000	34.62	10.64	3.25	0.002
sigma_u(σ_u)	0.930				1.372			
sigma_e(σ_e)	0.475				1.013			
rho $\sigma_u^2/(\sigma_u^2+\sigma_e^2)$	0.793				0.647			
r^2	within		0.791		within		0.162	
	between		0.027		between		0.355	
	overall		0.411		overall		0.193	
F(9, 453)	23.91				2.11			
Prob > F	0.0000				0.0313			

유의확률은 0.000으로 귀무가설이 기각됨으로서 전체 오차의 대부분이 시간 간의 차이로 인하여 발생하는 것으로 판단되었다. 따라서 개체의 더미변수가 포함된 모형에서 시간확률효과는 유의하다고 판단된다. 한편, 일원 개체 확률효과 모형의 LM 검정 결과 x^2-통계량은 256.98이고 유의확률 0.000으로 귀무가설이 기각됐다. 따라서 개체의 고정효과와 확률효과 두 모형 모두 사용이 가능하다.

5. 영향요인과 기여수준 산출

최종적으로 충북 11개 시군의 평균 지표면온도에 대한 패널 자료 분석을 통해 자기상관성을 처방한 개체고정효과모형이 가장 적합하였다. 지표면온도는 비도시지역의 관리지역(Manag), 농림지역(Agro), 자연·환경보전지역(Natur)의 증가에 따라 감소하는 것으로 나타났으며, 도시지역의 공업지역(Facto)은 분산안정화 과정에서 제곱근의 역수를 취함에 따라 추정계수의 부호가 반대로 나타났지만, 이는 공업지역의 증가

함에 따라 지표면온도가 증가함을 의미한다. 또한 본 연구에 사용된 지표면온도는 여름철의 값으로 전력사용량(Elect)이 온도 변화에 밀접한 영향을 줄 것으로 예상하였다. 전력사용량은 분산안정화 과정에서 역수를 취함에 따라 추정계수는 음의 부호를 갖지만, 이는 전력사용량이 증가할수록 온도도 증가하는 것을 의미한다. 이는 여름철 에어컨 사용량이 급증하여 에어컨의 실외기에서 냉매가 응축함으로 인한 액화열을 방출하여 온도를 높이는 원인으로 작용하기 때문으로 해석할 수 있다. 지표면온도는 기후 값과 밀접한 관련이 있기 때문에 이를 반영하기 위한 변수로 강수량(Precip)과 평균 풍속(Wind)을 선정하였다. 강수량은 미미한 영향을 주는 것으로 나타났다. 평균풍속은 증가할수록 지표면온도는 감소하는 것으로 나타났다. 평균고도×대지면적비율(DEM*Bld)은 분산안정화 과정에서 역수를 취함에 따라 추정계수는 음(−)의 부호를 갖지만, 실제로는 평균고도×대지면적비율이 증가함에 따라 지표면온도는 증가하는 것으로 나타났다. 산출된 회귀방정식으로부터 설명변수의 사회경제적 지표의 한 단위 변화가 종속변량인 지표면온도에 미치는 비율인 회귀계수의 크기는 도시지역의 공업지역 3.746으로 가장 컸으며, 그 다음은 평균고도×대지면적비율 2.856, 전력사용량 2.742, 평균풍속 0.553, 비도시지역의 관리지역 0.102, 그리고 농림지역, 자연·환경보전지역 각각 0.085와 0.071이었고, 시군의 평균강우량의 한 단위 변화가 지표온도 증가에 미치는 영향은 0.003이었다.

결 론

본 연구의 목적은 여름철 지표면온도 변화의 요인을 파악하고 각 요인에 의한 영향의 정도를 통계적 검정을 통하여 추정하는데 있으며 다음과 같은 결론을 도출하였다. 충청북도(충북)전역을 연구대상지로 2005년부터 2015년까지의 기상청 기온자료와 Terra MODIS 위성에서 관측된 지표면온도자료를 분석하여 충북의 여름철(8~9월) 지표면온도는 전반적으로 상승한 것을 파악했다. 자연 및 사회·경제적 지역특성 횡단면자료와 지표면온도의 시계열자료를 사용한 패널분석을 적용하여, 지표면온도와 영향을 미치는 요인들 간의 다중회귀방정식을 도출하였다. 통계적 검정과정을 통한 추정회귀계수를 산출하여 영향 요인과 그 영향 수준을 결정하였다. 충북의 지표면온도는 비도시지역의 관리지역, 농림지역, 자연·환경보전지역이 증가할수록 지표면온도는 감소하며, 도시지역의 공업지역이 증가할수록 증가하였다. 전력사용량, 평균고도×대지면적비율이 증가할수록 증가하고, 강수량 및 평균풍속이 증가할수록 감소하였다. 회귀계수의 크기는 도시지역의 공업지역 3.746으로 가장 컸으며 그 다음은 평균고도×대지면적비율 2.856, 전력사용량 2.742, 평균풍속 0.553, 비도시지역의 관리지역이 0.102이었고, 농림지역, 자연·환경보전지역 평균 강우량의 영향은 0.1 이하 수준이었다. KAGIS

REFERENCES

Boo, K.O., Y.S. Jeon, J.Y. Park, H.M. Jo, and W.T. Gwon. 1999. Horizontal distribution of air temperature in seoul using automatic weather station data. Korean Journal of Meteorological Society. 35(3):335−343 (부경온, 전영신, 박지용, 조하만, 권원태. 1999. 자동기상관측장치자료를 이용한 서울의 기온수평분포 분석. 한국기상학회지, 35(3):335−343).

Hong, J.W., J.K. Hong, S.E. Lee, and J.W. Lee. 2013. Spatial distribution of urban heat island based on local climate zone of automatic weather station in seoul metropolitan area. Korean Journal of Meteorological Society. 23(4):638−639 (홍제우, 홍진규, 이성은, 이재원. 2013. 자동기상관측소의 국지기후대에 근거한 서울 도시열섬의 공간 분포. 한국기상학회지. 23(4):

638-639).

Boo, K.O. and S.N. Oh. 2000. Characteristics of spatial and temporal distribution of air temperature in seoul, 1999. Korean Journal of Meteorological Society. 36(4): 499-506 (부경온, 오성남. 2000. 1999년 서울지역 기온의 시공간 분포 특성. 한국기상학회지. 36(4):499-506).

Lee, H.Y.. 1993. An application of NOAA AVHRR thermal data to the study of urban heat islands. Atmospheric Environment. 27(1):1-13.

Streutker, D.R.. 2002. A remote sensing study of the urban heat island of Huston. Texas. International Journal of Remote Sensing. 23(13):2595-2608.

Jang, Y.J., H.S. Heo, B.J. Kim, S.K. Kim, G.M. Hong, and W.K. Lee. 2012. The change of the average discomfort index from june to september during the past 10 yeras. J. of Climate Change Research. 3(2):89-100.

Cha, Y.H., H.Y. Kim, and T.Y. Heo. 2009. The effects of urban land use and land cover characteristics on air temperature in seoul metropolitan area. The Seoul Institute. 10(4):107-120 (차영화, 김학열, 허태영. 2009. 토지이용·토지피복 특성이 서울시 도시기온에 미치는 영향. 서울도시연구. 10(4):107-120).

Tran, D.X., F. Pla, P. Latorre-Carmona, S.W. Myint, M. Caetano and H.V. Kieu. 2017. Characterizing the relationship between land use land cover change and land surface temperature. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. 124. pp.119-132.

Jee, J.B., K.T. Lee, and Y.J. Choi. 2014. Analysis of land surface temperature from MODIS and Landsat satellite using by AWS temperature in capital area. Korea Journal of Remote Sensing. 30(2): 315-329 (지준범, 이규태, 최영진. 2014. 수도권 AWS 기온을 이용한 MODIS, Landsat 위성의 지표면 온도 분석. 대한원격탐사학회지. 30(2):315-329).

Egger, P. and H. Winner. 2006. How corruption influences foreign direct investment: a panel data study. Economic Development and Cultural Change. 54(2):459-486.

Min, I.S. and P.S. Choi. 2009. Analysis of STATA panel data. The Korean Journal of STATA (민인식, 최필선. 2009. STATA 패널데이터 분석. 한국 STATA학회).

Hsiao, C.. 2014. Analysis of Panel Data. Cambridge University Press.

Land Processes DAAC USGS EROS(Earth Resources Observation and Science) Center. 2011. MODIS Reprojection Tool User's Manual.

Lee, H.Y. and S.C. No. 2013. Advanced statistical analysis: theory and practice. MoonWoosa (이희연, 노승철. 2013. 고급통계분석론: 이론과 실습, 문우사).