

Landsat 7 TM/ETM+ 위성영상을 이용한 군산지역 지표 온도와 NDVI에 대한 상관분석

이홍로^{1*}, 김형무²

A Correlation Analysis between Land Surface Temperature and NDVI in Kunsan City using Landsat 7 TM/ETM+ Satellite Images

Hong-Ro Lee^{1*}, Hyung-moo Kim²

요 약

황해연안 전라북도 군산시 지역의 15년 동안의 4개 시점을 선택하여 육상도시 변화탐지를 목적으로 지표온도와 NDVI를 비교 관찰하고 NDVI최저대-지표온도최고대 상관관계를 분석하였다. 위성영상은 장기간에 걸친 광역지역의 연속모니터링에 효과적이므로 군산시를 촬영한 Landsat-5 TM과 Landsat-7 ETM+인공위성 영상을 분석대상으로 하였으며 에러보정을 위한 승인된 “gain”, “bias” 또는 “offset”의 임계치를 대입하여 TM과 ETM+영상간의 오차를 정량화하고 분류하여 비교 검증하였다.

본 연구는 Landsat-5 TM과 Landsat-7 ETM+인공위성 영상을 전북 군산시 도시변화탐지에 적용하고 지표온도, 토지피복, 식생 변수를 검증하여 지표온도와 NDVI식생지수와의 $R=(+)0.9478$ 의 강한 양의 상관관계를 검출함으로써 제안한 위성영상을 이용한 NDVI최저대-지표온도최고대 상관분석모델이 육상 도시변화탐지에 매우 효과적임을 입증할 수 있다.

주요어: 지표온도, 식생지수, Landsat-5 TM, Landsat-7 ETM+, 토지피복, 상관관계, 변화탐지

Abstract

Four time points of the fractional area data during the 15 years of the highest group of land surface temperature and the lowest group of NDVI of the Kunsan city Chollabuk-do, Korea located beneath the Yellow sea coast, are observed and analyzed their correlations for the intention to detect the changes of urban land cover. As long as the effective contributions of satellite images in the continuou

2005년 1월 29일 접수 Received on January 29, 2005 / 2005년 5월 25일 심사완료 Accepted on May 25, 2005

1 군산대학교 자연과학대학 컴퓨터정보과학과 Department of Computer Information Science, College of Natural Science, Kunsan National University

2 전북대학교 공과대학 컴퓨터공학과 Department of Computer Engineering, Chonbuk National University

* 연락처: leehongro@kunsan.ac.kr

s monitoring of the wide area for wide range of time period, Landsat-5 TM and Landsat-7 ETM+ artificial satellite images, acquired over the Kunsan city area, are surveyed by the compared calibration after quantization and classification of the deviations between TM and ETM+ images substituted approved error correction thresholds such as gains and biases or offsets.

This experiment and research applied Landsat-5 TM and Landsat-7 ETM+ artificial satellite images in change detection of urban land cover in urbanized Kunsan city, then detected strong and proportional correlation relationship between the highest group of land surface temperature and the lowest group of NDVI which exceeded $R=+0.9478$, so the proposed Correlation Analysis Model between the highest group of land surface temperature and the lowest group of NDVI will be able to give proof an effective suitability to the land city change detection monitoring.

KEYWORDS: Land Surface Temperature, NDVI, Landsat-5 TM, Landsat-7 ETM+ Land Cover, Correlation, Change Detection

서론

도시의 변화를 효과적으로 탐지하기 위하여 Landsat-5 TM(thematic mapper) 과 Landsat-7 ETM+(enhanced thematic mapper plus)인공위성 영상을 이용한 도시 지표온도, 토지피복, 식생변화탐지를 할 수 있으며, 위성영상으로부터 지표온도와 토지피복 및 식생의 시공간적 변화패턴을 추출할 수 있다. 도시변화의 탐지를 위한 기존의 NDVI(정규식생활력지수: normalized difference vegetation index)(Rouse, et al., 1974)-지표온도 상관분석모델(조명희 외 2001)은 지표온도와 식생지수간의 부의 상관관계를 제시하였지만 최고온도를 나타내던 도시중심업무지구(CBD: central business district) 지역의 수축과 NDVI 간의 구체적인 상관관계를 설명하는 데는 한계가 있었다. NDVI최저대-지표온도최고대 상관분석모델은 최고온도대와 최저식생대만을 분리하여 상관분석하고 그 기하학적 중첩을 확인함으로써 도시변화탐지의 새로운 모델이 될 수 있다.

Landsat 위성영상은 주변부가 급격히 팽창하지만 CBD는 오히려 밀집화하고 수축하는 도시의 종합적인 변화를 효과적으로 탐지하여 도시계획, 국토개발, 재난방지, 환경오염방지, 그리고

제반 경제적 활동에 응용될 수 있다. 도시의 변화를 효과적으로 탐지하여 도시계획, 국토개발, 재난방지, 환경오염방지, 그리고 제반 경제적 활동에 활용될 Landsat TM/ETM+ 위성영상을 이용한 도시 지표온도, 토지피복, 식생변화탐지 래스터 GIS기반 NDVI최저대-지표온도최고대 상관분석모델을 설계하는 것이 이 연구의 목적이다. Landsat 7 위성영상을 이용하여 전라북도 군산지역의 온도와 식생 상관관계를 분석한다.

본 연구에서 제안하는 NDVI최저대-지표온도최고대 상관분석모델을 전라북도 군산시 도시변화탐지에 적용하고 검증한 결과 제안한 Landsat 위성영상을 이용한 NDVI최저대-지표온도최고대 상관분석모델이 육상 도시변화탐지에 매우 효율적으로 기여할 것으로 기대된다.

(Markham, Baker, 1986)는 처음으로 LandsatMSS와 LandsatTM의 지표온도산출을 위해 필요한 DN(digital number)과 분광방사휘도와의 관계식에 대입할 센서특성별 플랑크 함수 전환을 위한 사후검정값을 제시하였다. (Chander, Markham, 2003)은 (Markham, Baker, 1986)가 제시한 LandsatTM의 DN과 분광방사휘도와의 관계식 고유상수의 변화를 반영하는 새 방사보정 절차와 밴드별 “gain” 과 “offset”의 동적 구간을 제시하였다(Fisher, et al., 2004).

(NASA, 2004)는 (Chander, Markham, 2003)이 제시하지 않은 Landsat-7 ETM+에서의 “gain” 과 “offset”, 그리고 ETM+ 센서의 DN과 분광방사휘도와의 관계식에 대입할 밴드별 플랑크 함수 전환을 위한 사후-검정 동적 범위 (Post-calibration dynamic range)를 제시하였다. (Melesse, 2004)는 NDVI에서 산출한 토지 피복특성계수를 LandsatTM과 ETM+영상의 6번 밴드에 대입하여 지표온도를 구하고 토양의 열 또는 에너지흐름을 분석하고 이를 다시 도시의 불투수계층증가를 반영하는 강우유출해석에 적용하여 경작지와 도시지역의 28년에 걸친 증가와 산록의 눈 녹은 물에 의한 유량의 변화를 설명하였다.

(정종철, 유신재, 1999)는 NASA, RESTEC, 그리고 Quadratic방법을 이용하여 위성영상에서 1997년 6월 16일 시화호의 해수표면온도를 추출하고 각각의 방법이 실측값과 갖는 R2과 RMSE를 비교한 결과, 미항공우주국 NASA방법이 0.9343/3.5876°C, 일본원격탐사기술센터 RESTEC(remote sensing technology center of Japan)방법이 0.8937/3.76°C, 미시간 호수에 적용된 quadratic(경험적 이차방정식)방법이 0.8967/2.949°C 의 오차를 갖고 있음을 분석하였다. (조명희, 이광재, 김운수, 전병운, 2001)은 NASA모형을 이용하여 위성영상으로부터 대구시의 지표온도분포를 추출하고 지형의 향과 경사 GIS자료를 적용한 NDVI값을 기준으로 토지 피복분류를 실시하여 토지피복 6개 클래스와 지표온도 샘플 포인트 600개 지점에서 -0.8187에서 -0.8979에 이르는 음의 강상관관계를 가지고 있음을 분석하였으며 1999년 시점에 해발고도 60미터 이내 사면경사 40도 이하, 지표온도 섭씨 25-40도구간의 조건하에서 대구시의 90% 이상이 도시지역으로 분류됨을 제시하였다. (신선희, 하경자, 김재환, 오현미, 조명희, 2004)는 에너지균형모형(EBM: energy balance model)을 대기모형으로 하고 지형적 특성인 향(aspect)과 경사(slope)를 반영한 식생지수(NDVI)와 반사율

(albedo)을 지표온도의 상세한 분포를 설명하는데 이용하여 한반도 동남부의 지표온도 분포를 분석하였다. (Fisher, Jeremy I., Mustard, John F., 2004)는 53개의 TM과 ETM+영상에서 온도를 추출하고 재귀적 곡선조정 알고리즘을 적용하여 거대발전소 배출수의 영향을 받는 수역의 년평균 해수표면온도(12.30±0.41°C)가 그렇지 않은 유사한 조건하의 수역의 해수표면온도(11.86±0.21°C)에 비해 높아지며 가을철 온도하락을 지연시키는 현상을 분석하였다. (Suga, Y., Ohno, Ogawa H., Ohno K., Yamada K., 2003)은 히로시마만 해안 육지 두 지역의 여름, 가을 겨울, 봄 지표온도를 ETM+ NASA모형으로 추출하고 실측치와의 비교로 0.9764(겨울, 2000년 12월 29일) 이상의 상관계수와 0.5816(여름, 2000년 7월 22일)이하의 표준편차를 가진다는 사실을 분석하였다[10].

본 연구는 NASA 방법에 기반하여 군산지역의 온도 및 식생의 상관관계를 ERDAS IMAGINE 8.7을 이용하여 연속분포패턴을 추출하고자 한다. 연구대상 지역인 전라북도 군산시의 도시변화 탐지를 위해 LandsatTM 위성영상으로 지표온도와 토지피복 및 식생변화 패턴을 추출하였다. 도시변화의 추적과 예측을 위한 기존의 연구들은 주로 벡터기반 거리와 면적척도를 사용하였다. 위성영상이 폭넓게 활용되는 추세를 보이고 있는 최근에는 이 위성영상을 이용한 효과적인 래스터 GIS기반 모델에 대한 연구가 필요하다. 본 연구는 래스터 GIS기반 NDVI 최저대-지표온도최고대 상관분석모델 방법을 제안하여 이를 전라북도 군산시 도시변화탐지에 적용하고 검증한 결과 제안한 래스터GIS기반 NDVI최저대-지표온도최고대 상관분석모델이 육상 도시변화탐지 모니터링에 효과적임을 입증하고자 한다.

본 논문은 제2장에서는 연구지역과 자료에 대해 기술하고, 제3장에서는 위성영상처리방법에 대해 규정하며, 제4장에서는 연구결과 및 검토를 기술하며, 마지막으로 결론 및 향후연구방

향에 대해 기술하고자 한다.

연구지역과 자료

1. 연구지역

연구대상지역인 군산시의 면적은 349.98km² 이고 북쪽에는 년평균 65억톤의 담수를 방출하는 금강하구가 위치해있으며 호남 평야를 배후지로 하는 서해안의 중심적 항구도시이며 익산 김제시와 부안 서천 보령군의 중심거점도시 기능을 하고 있다. 서쪽 황해에 연한 지역에 군장 국가산업단지가 들어서 있으며 남쪽으로는 401.00km²의 새만금간척공사가 진행 중에 있으며 동남쪽 평야에 대부분의 논과 밭이 위치하고 있다.



FIGURE 1. Study area: Kunsan City Chollabuk-do, Korea

2. 자료

본 연구에 사용된 영상의 출처인 Landsat-5 TM 인공위성은 NASA에 의해 1984년 3월부터 지금까지 20년 이상 활용되고 있으며 이를 대체

하기 위해 1999년 Landsat-7 ETM+가 발사되어 가동 중이다. 아래의 Table 1.에서 band 1 - band5, band 7은 TM과 ETM+ 모두 같은 특성을 가지나 band 6은 TM과 ETM+에 따라 특성이 다르며, band 8은 ETM+만 가지고 있다.

Landsat 위성은 육상 환경을 탐사해온 가장 대표적이며 오래된 프로젝트이다(Chander, Markham, 2003). TM과 ETM+ 센서로부터 입수된 4개의 위성영상의 상세를 아래의 표 2.에 기술하였다.

TABLE 2. Landsat TM/ETM+ image pre-processing

번호	년도	센서	전처리
1	1987. 04. 18	Landsat 5 TM	기하보정
2	1995. 10. 17	Landsat 5 TM	기하보정
3	1999. 05. 21	Landsat 5 TM	기하보정
4	2002. 02. 14	Landsat 7 ETM+	기하보정

위 표 2. 의 상세에 표시한 위성영상 자료는 촬영년도 순서대로 각각 봄, 가을, 여름, 겨울을 대표하도록 선택되었으나 맑은 날 여름에 가장 가까운 5월말 영상을 선택하였다. Landsat 위성영상 모두 오전 10시경에 촬영한 것이다. 그래서 본 연구에서는 지표온도는 일일 최고 관측 기온을 채택하고, NDVI는 각각 그날 녹색식생 반사 최대치를 취한다.

위성영상 처리

1. 토지피복처리

TABLE 1. Landsat 7 TM/ETM+ band specifications

특성	밴드								
	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 7	Band 8	Band 6	
	TM/ETM+				ETM+			TM/ETM+	
명칭	가시영역			근적외	중적외	원적외	Panchro	열적외선(TIR)	
	Blue	Green	Red	(NIR)	(MIR)	(SIR)	matic	TM	ETM+
분광해상도(μm)	0.45-	0.53-	0.63-	0.78-	1.55-	2.09-	0.52-	10.40-	
	0.52	0.61	0.69	0.90	1.75	2.35	0.90	12.50	
공간해상도(m×m)	30×30	30×30	30×30	30×30	30×30	30×30	15×15	120×120	60×60
시간해상도(day)	16	16	16	16	16	16	16	16	

토지피복처리를 위한 무감독 분류는 영상에 대한 사전지식이 없이 무작위로 추출된 화소를 개략적인 지형지물(feature)을 정량적으로 분류하여 군집화하는 기법이다. 이 무감독 기법은 순차분류기법, K-means 군집 분류, ISODATA 기법(interactive self organizing data analysis technique), 그리고 Fuzzy C-means 군집 기법 등이 제안되고 있다. 연구에 사용하는 위성영상은 ETRI 위성영상센터 위성영상전처리 컴포넌트로 국토지리정보원 1:25000 수치지도 행정구역도에 중첩시켜 관심영역을 분리하여 영상 처리할 수 있도록 기하보정을 하였다. TM 6번 밴드의 120m×120m 해상도, ETM 6번밴드의 60m×60m 해상도는 3번 4번 밴드의 30m×30m 해상도를 갖는 NDVI영상과 비교하기 위해 30m×30m해상도로 일원화하였다. 기하 보정된 영상은 ERDAS IMAGINE의 무감독 분류법인 ISODATA 군집화 알고리즘으로 분류하였다.

본 연구에서는 지표온도와 NDVI의 상세값에 의한 토지피복분류를 시도하지 않고 화소의 지표온도값, NDVI값의 유사성, 정량적 유클리드 근사성에 따라 최소 6개 클래스를 보장하는 분류만을 시도하였고, 이렇게 분류된 지표온도 최고대와 NDVI최저대를 감독분류하여 부분적으로 상관분석을 진행시켰다.

2. 식생지수

NDVI는 식생 피복(vegetation cover)에서 녹색정도를 측정하는 것이다[18]. 지수의 계산 원리는 NIR(근적외선: band 4)과 Red(적색 가시영역: band 3)에서 녹색 식물의 반사율 차이가 크게 나는 것을 이용하여 두 영역에서 관측되어진 영상에 일정한 수식을 적용하여 식생의 상태를 나타내는 영상을 얻어내는 것이다. NDVI의 산출수식은 다음과 같다(Melesse, 2004).

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red) \quad (1)$$

일반적으로 다양한 지표 구성 물질 중 구름, 물, 눈 등과 같이 수분을 포함하는 경우에는 가시광선이 근적외선보다 반사값이 크기 때문에 NDVI 값이 음수가 되며, 암석, 마른 토양 등은 두 파장대에서 반사특성이 거의 같기 때문에 NDVI 값은 0 에 가깝게 나타난다. 녹색 식물인 경우에는 가시광선 영역의 반사율이 근적외선 영역보다 적으며, 따라서 NDVI 값이 양수가 된다. 식생이 존재하는 대부분의 영역은 식생이 갖는 수분 상태를 고려하지 않는다면 보통 0.1 -0.6 사이의 값을 갖는다. 본 논문에서는 1987년에서 2002년에 이르는 15년 구간에서 4개년도의 영상을 선택하여 밴드6으로 6개 클러스터를 부여한 무감독 ISODATA 군집화를 거친

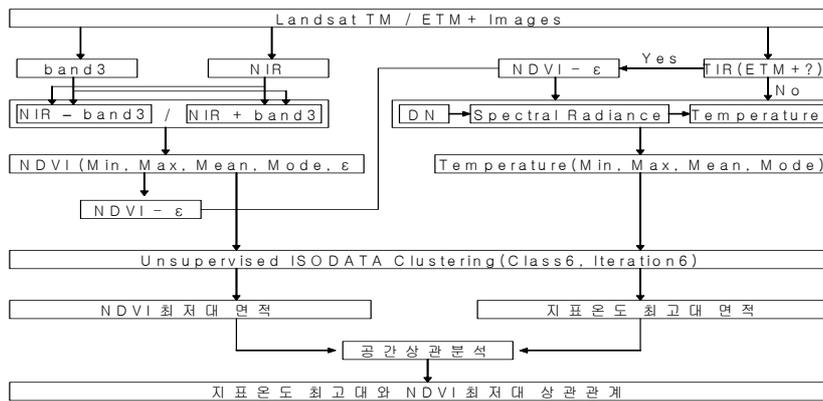


FIGURE 2. Flow chart of correlation analysis algorithm

DN값에 NASA 알고리즘에 의해 각각 가장 높은 온도 클래스의 4개년도 멤버 수를 구한다. 영상 DN 값에서 식생활력도를 추출하는 방법으로 NDVI 알고리즘을 이용하였으며 이를 아래 그림 2.에 도식화 하였다.

그림 2.는 ETM+ 영상의 경우 해당영상의 0보다 큰 NDVI에서 산출한 토지피복특성계수 $NDVI_{\lambda}$ 를 대입하여 지표온도를 구하거나, 0보다 작은 NDVI의 경우 상수 1을 대입하여 지표온도를 구하고, TM 영상의 경우 NDVI와의 보정을 적용하지 않고 지표온도를 구한 다음 ISODATA 군집화를 거쳐 지표온도 최고대와 NDVI 최저대 지역간의 공간상관분석을 시행하는 알고리즘을 나타낸 것이다.

3. 지표면 온도

대상물의 반사 및 복사 특성을 정확히 평가하기 위해 방사보정(radiometric correction)이 필요하다. 센서를 통해 대상물로부터 반사 또는 복사되는 전자에너지를 관측하게 되면 측정치는 대상물의 분광방사휘도(spectral radiance) 등의 실제 물리량과 일치하지 않는다. 이는 태양의 위치나 각도의 조건, 얇은 안개나 아지랑이와 같은 대기의 조건 등에 의한 왜곡이 포함되어 있기 때문이다. 따라서 이러한 각종 왜곡을 제거하기 위해 방사보정이 필요하다. 방사보정에는, 센서의 감도 특성에 기인하는 보정 및 태양 고도나 지형의 향과 경사 등에 관한 기하보정 및 대기보정 등이 포함된다.

1) NASA모델의 Landsat 영상 절대방사량 및 절대온도 관계식

Landsat TM/ETM+ 영상 자료의 6번 밴드는 열적외선 영역에 속하며, 이 밴드를 통해 나타나는 영상 자료의 밝기는 이 파장대에서의 에너지의 세기, 지표면 온도를 미리 정해진 관계식에 의해 이산화하여 반영하고 있는 것이다. 즉, DN은 절대 스칼라량이 아니고 상대량이므로 온도추출을 위해서는 다시 절대방사량을 추

정하는 영상화 표현의 반대경로를 거쳐야 한다. 본 연구에서는 이 절대방사량을 환원하는 NASA 모델에 기반하여 Landsat TM/ETM+ 영상의 표면온도를 계산하고자 한다(Chander, et al., 2003), (NASA, 2004).

먼저 TM/ETM+의 각 DN에 대해 방사적 검정 값(Q_{cal})으로부터 분광방사휘도 L_{λ} ($L_{\lambda-TM}$, $L_{\lambda-ETM+}$)으로의 변화는 열적외 6번 밴드에 대한 검정범위의 극한 값 $LMIN_{\lambda}$ 와 $LMAX_{\lambda}$ 이 주어졌을 때 다음의 식 (2)에 의해서 구할 수 있다.

$$L_{\lambda} = ((LMAX_{\lambda}-LMIN_{\lambda})/Q_{calmax}-Q_{calmin})*(Q_{cal}-Q_{calmin})+ LMIN_{\lambda} \quad (2)$$

여기서

- L_{λ} = spectral radiance at the sensor's aperture in $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m^1)$;
- $LMIN_{\lambda}$ = spectral radiance that is scaled to Q_{calmin} in $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m^1)$;
- $LMAX_{\lambda}$ = spectral radiance that is scaled to Q_{calmax} in $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m^1)$;
- Q_{cal} = quantized, calibrated pixel value in digital numbers(DNs);
- Q_{calmin} = minimum quantized, calibrated pixel value(DN=0: TM or NLAPS products in ETM+, DN=1: LPGS products in ETM+) corresponding to $LMIN_{\lambda}$;
- Q_{calmax} = maximum quantized, calibrated pixel value(DN=255) correspond to $LMAX_{\lambda}$;

가. Landsat TM 영상의 절대 방사량 추정

위 식(2)에서 최소의 방사검정값이 $Q_{calmin} = DN = 0$ 인 경우, $L_{\lambda-TM}$ 은 다음과 같이 선형식(linear expression)으로 규정할 수 있다(Chander, et al., 2003)[5].

$$L_{\lambda-TM} = G_{rescale} * Q_{cal} + B_{rescale} \quad (3)$$

여기서

- $G_{rescale} = (LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda})/Q_{calmax}$ in units of $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m^1)/DN$;
- $B_{rescale} = LMIN_{\lambda}$ in units of $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m^1)$;

m¹)/DN;

아래의 표 3.은 Landsat TM의 분광방사휘도 LMIN_λ과 LMAX_λ에 대한 촬영시기에 따른 6번 밴드의 사후검정 동적 범위의 특성을 나타내고 있다.

TABLE 3. Landsat TM spectral radiance, post-calibration G_{rescale}, B_{rescale} dynamic ranges

Band	LMIN _λ	LMAX _λ	G _{rescale}	B _{rescale}
6	1.2378	15.303	0.055158	1.2378

나. Landsat ETM+ 영상의 절대 방사량 추정

위 식(2)에서 최소의 방사검정 값 Q_{calmin}는 LPGS(ESO Data Gateway에서 DN = 1을 사용하고 NLAPS(EarthExplorer)에서 DN = 0을 사용한다. 이를 바탕으로 절대 방사량(L_{λ-ETM+})은 다음의 식 (4)에 의해서 구할 수 있다(NASA, 2004)[17].

$$L_{\lambda-ETM+} = \text{"gain"} * Q_{cal} + \text{"offset"} \quad (4)$$

여기서

- L_{λ-ETM+} = Spectral Radiance at the sensor's aperture in Watts/(m²*sr¹*μm¹);
- "gain" = Rescaled gain in Watts/(m²*sr¹*μm¹);
- "offset" = Rescaled bias in Watts/(m²*sr¹*μm¹);

ETM+ 영상의 6번 열적외 밴드는 "low gain"인 6(1)과 "high gain"인 6(2)로 상시 분리되어 있으므로 다른 밴드에서처럼 "low gain"과 "high gain"을 교차시켜 방사 보정할 필요가 없다. 6(1) 또는 6(L)로 분류되는 "low gain" 열적외 밴드는 -70도(섭씨)에서 +90도(섭씨)에 이르는 160도(섭씨) 구간의 넓은 범위의 분광방사 에너지를 기록할 수 있으며 6(2) 또는 6(H)로 분류되는 "high gain" 열적외 밴드는 -30도(섭씨)에서 +60도(섭씨)에 이르는 90도(섭씨) 구간

의 상대적으로 좁은 범위의 분광방사 에너지를 저장할 수 있는 것으로 보고 되고 있다(Suga et al., 2003). 이것은 영상에서 관측되는 에너지의 분광농도와 방사정도 사이의 상쇄를 방지하기 위한 것이나 ETM+ 6번 밴드는 상시 분리된 "low gain"과 "high gain"을 채택하므로 본 연구에서는 보다 실측온도에 가까운 6(1) "low gain"을 이용하여 지표온도를 계산하였다. ETM+ 6번 밴드에서 "low gain"과 "high gain"의 LMIN_λ와 LMAX_λ는 한 밴드의 DN보정에 "low gain"과 "high gain"을 대상공간의 주요 구성체 피복반사특성에 맞게 교차시켜 영상의 사용목적에 따라 전자기량을 상대화하는 다른 밴드와 달리 2000년 7월 1일 이후에도 변화하지 않고 일정하게 유지되고 있다(NASA, 2004).

TABLE 4. Landsat ETM+ spectral radiance LMIN_λ and LMAX_λ "offset" "gain" ranges

Band	Low Gain		High Gain	
	LMIN _λ	LMAX _λ	LMIN _λ	LMAX _λ
6	0.0	17.04	3.2	12.65

2) Landsat TM/ETM+ 온도

가. NASA에 의한 Landsat TM/ETM+ 온도 산출

이상과 같이 Landsat-5 TM 그리고 Landsat-7 ETM+ 영상에서 구해진 분광방사휘도 L_λ(L_{λ-TM}, L_{λ-ETM+})와 절대온도(°K: Kelvin) 사이에는 다음과 같은 상관관계가 존재한다 (Markham, 2003), (NASA, 2004)[8].

$$T(^{\circ}K) = K_2 / \ln ((K_1 / L_{\lambda}) + 1) \quad (5)$$

여기서

- T = effective at-satellite temperature in Kelvin;
- L_λ = spectral radiance at sensor's aperture in W/(m².sr¹.μm¹);

- K_2 = calibration constant 2 in Kelvin;
- K_1 = calibration constant 1 in $W/(m^2 \cdot sr^1 \cdot \mu m^1)$;

식 (5)에서 DN은 영상이 갖는 픽셀 값을 의미하며, L_{λ} ($L_{\lambda-TM}$, $L_{\lambda-ETM+}$)은 그 영상 밝기에 해당하는 태양광선의 에너지, T는 그 에너지에 해당하는 지표면의 절대 온도를 나타낸다.

K_1 은 고유 상수 분광방사휘도 보정값(607.76: Landsat-5 TM)이고, K_2 는 고유 상수 절대온도 보정값(1260.56K: Landsat-5 TM)이다.

TABLE 5. Landsat 5/7, TM/ETM+ thermal band calibration constants

센서	상수	K_1	K_2
Landsat-5 TM		607.76	1260.56
Landsat-7 ETM+		666.09	1282.71

나. NDVI와 경험적 방법에 의한 Landsat ETM+ 영상의 온도 추정

NDVI와 경험적 방법에 의한 ETM+ 온도는 다음의 식 (6)과 같이 프랑크 함수를 이용해서 다음과 같이 얻을 수 있다(Melesse, 2004)[13].

$$T_{NDVI}(^{\circ}K) = \{K_2 / \ln((\epsilon * K_1 / L_{\lambda}) + 1)\} \quad (6)$$

여기서 $T(^{\circ}K)$ 는 절대지표온도이고, L_{λ} 는 Landsat-7 ETM+ 영상에서 분광 방사휘도값을 나타내는 식 (2)에 의해 $Q_{calmin} = 1$, $Q_{calmax} = 255$, $L_{max} = 17.04[W/(m^2 \cdot sr^1 \cdot \mu m^1)]$, $L_{min} = 0 [W/(m^2 \cdot sr^1 \cdot \mu m^1)]$ 이다. ϵ 는 토지피복특성계수로써 표면방사패턴을 나타내는 표면 복사도로서

경험적 방법을 이용해서 식 (1)에서 규정한 영상의 NDVI에서 얻는다. 즉, $\epsilon = 1.009 + 0.047 * (\ln NDVI)$ 이며, $NDVI > 0$ 이다. $NDVI < 0$ 인 경우 ϵ 는 상수 1을 취한다(Melesse, 2004)[13]. K_1 은 고유 상수 분광방사휘도 보정값(666.09: Landsat-7 ETM+)이고, K_2 는 고유 상수 절대온도 보정값(1282.71K: Landsat-7 ETM+)이다.

결과 및 토의

1. 결과

ETM+ 영상의 고유 상수 분광휘도 K_1 을 대체하는 토지피복특성계수 $\epsilon * K_1$ 의 ϵ 를 $NDVI-\epsilon$ 로 명명하고 산출하여 Table 6.에 정리하였다. 군산지역의 $NDVI-Mean$ 은 1987년, 1995년 기간 동안 양수의 값을 보이다 1999년부터 음수의 값을 나타내고 있었다. 2002년 영상이 ETM+이고 이 시기 군산지역의 $NDVI-Mean$ 이 -0.014, $NDVI-Mode$ 이 -0.00044 이므로 $NDVI-\epsilon$ 는 1이 되어야 하나 관측지역인 군산기상대 지점이 군산지역 전체를 대표한다는 전제인 지역대표성이 미흡한 점을 감안하여 2002. 02. 14-b를 구분하여 양의 식생지수와 토지피복특성계수 $\epsilon * K_1$ 를 구하여 관측기온과의 편차를 비교하였다.

군산기상대 관측기온에서 그 군산기상대지점 영상 지표온도와와의 편차는 -3.043(영상온도가 높은 경우)에서 4.650(영상온도가 낮은 경우) 구간의 값을 나타내고 평균은 0.85(영상온도가 낮은 경우)였다. 군산기상대 지점의 토지피복특성

TABLE 6. NDVI ranges and $NDVI-\epsilon$ for estimation of land surface temperature

년도	NDVI변량				
	NDVI-Min	NDVI-Max	NDVI-Mode	NDVI-Mean	$NDVI-\epsilon$
1987.04.18	-0.5	0.543	-0.00095	0.0013	0.6966
1995.10.17	-0.705	0.688	-0.00024	0.0533	0.8712
1999.05.21	-0.571	0.591	-0.00146	-0.0003	1
2002.02.14-a	-0.508	0.496	-0.00044	-0.014	1
2002.02.14-b	0.113	0.113	0.113	0.113	0.9065

계수 $K_1 \times K_2$ 을 전체에 적용한 2002. 02. 14-b의 경우 2002. 02. 14-a와 비교시 편차는 -6.717(영상온도가 높은 경우)에서 4.650(영상온도가 낮은 경우) 구간의 값을 나타내고 평균은 -0.47(영상온도가 높은 경우)였다. 즉 식생평균이 음수인 지역에 양수 식생값을 적용한 결과 관측기준지역의 영상온도는 6.552에서 11.817로 상향되었고 그 지점 관측기준과의 편차는 -1.452에서 -6.717로 증가하는 것을 알 수 있었다.

2002. 02. 14-b의 경우 편차가 -1.452에서 -6.717로 증가함에 따라 Landsat TM/ETM+ 영상 지표온도 산출식의 선형성을 나타내는 기

여도(R^2) 역시 0.8146에서 0.6408로 약화되었다.

군산 기상대 지점의 토지피복특성계수DVI- K_1 : 0.9065를 대입하여 NDVI-mean, 그리고 NDVI-mode가 음수값을 갖는 약한 식생 지역 전체에 적용한 2002. 02. 14-b의 지표온도 산출은, 군산기상대 지점의 토지피복특성계수 $K_1 \times K_2$ 에 NDVI- K_1 : 1.0000을 대입하여 NDVI-mean, 그리고 NDVI-mode가 음수값을 갖는 약한 식생 지역 전체에 적용한 2002. 02. 14-a의 지표온도 산출보다 편차가 5도 이상 증가하고 다중시기의 기여도(R^2)를 약화시키는 것으로 나타났다. 이는 관측기준 측정소가 지역대표성을 갖지 않은 경우 관측지점의 토지피

TABLE 7. Observed temperature and estimated land surface temperature(Unit: °C)

년도	온도변량	관측기준	Landsat TM/ETM+ 영상 지표온도	편차
1987.04.18		19.6	22.643	-3.043
1995.10.17		19.5	14.85	4.650
1999.05.21		25.0	21.751	3.249
2002.02.14-a		5.1	6.552	-1.452
평균		17.3	16.45	0.85
2002.02.14-b		5.1	11.817	-6.717
평균		17.30	17.77	-0.47

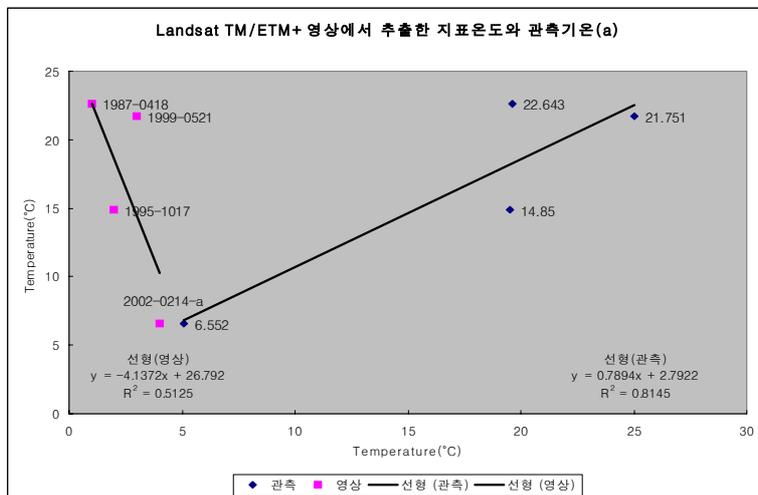


FIGURE 3. Observed temperature and estimated land surface temperature

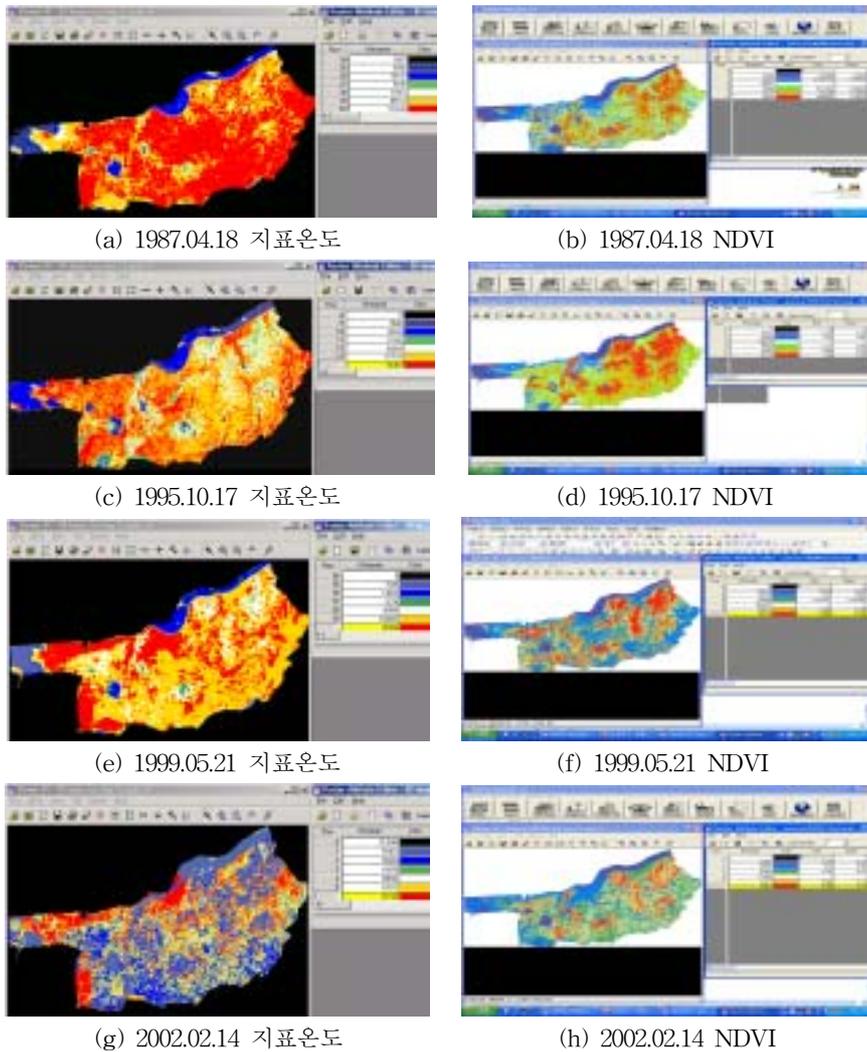


FIGURE 4. Land cover clustering of LST and NDVI

복특성계수보다는 전체지역의 NDVI-mean이나 NDVI-mode를 적용해야 실측값에 가까워진다는 것을 의미한다. 따라서 본 연구에서는 2002. 02. 14-a의 방법으로 영상에서 지표온도를 산출하도록 하고 2002. 02. 14-b의 방법은 적용하지 않았다.

4개 년도, 4개 계절을 대표하는 TM/ETM+ 영상들로부터 군산지역의 지표온도를 산출하여 무감독 ISODATA 군집화 알고리즘으로 분류한

그림 4.의 (a), (c), (e) 그리고 (g)는 넓게 분포 하던 지표온도가 상대적으로 가장 높은 지역의 면적을 의미하는 픽셀수가 급감 후 점증하는 것을 볼 수 있는데 이는 도시화, 산업화하면서 군산시의 고온대지역의 면적은 공장과 산업단지를 중심으로 밀집화하며 점증한 결과로 보인다. 또한 같은 분류기준에 의해 4개년도, 4개 계절을 대표하는 TM/ETM+영상들로부터 군산지역의 NDVI를 산출하여 무감독 ISODATA 군집화 알

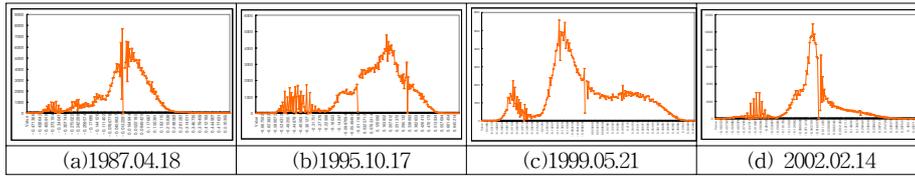


FIGURE 5. Kunsan city NDVI histogram

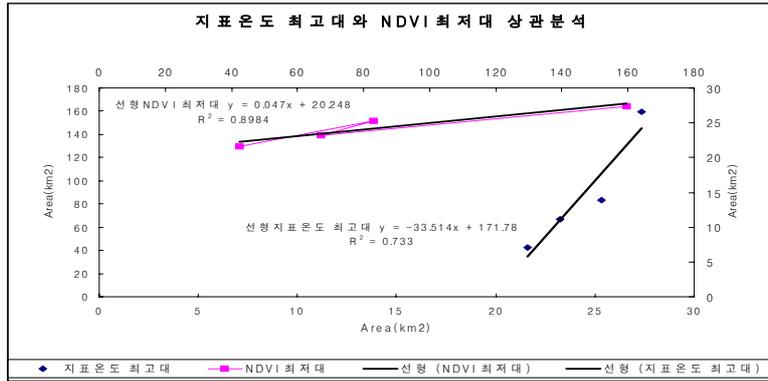


FIGURE 6. Correlation scattergram between the highest LST and the lowest NDVI

고리즘으로 분류한 Figure 4.의 (b), (d), (f) 그리고 (h)는 넓게 분포하던 NDVI가 상대적으로 가장 낮은 지역의 면적을 의미하는 픽셀수가 점증하는 것을 볼 수 있다.

그림 5.를 보면 좌측의 저식생 집단이 일정한 패턴으로 성장 성숙하는 것을 알 수 있는데 이것이 지표온도의 분포패턴과 어떤 상관관계가 있는지를 알기 위해 지표온도최고대 그룹과 저식생대 그룹의 히스토그램을 비교하고 상관분석한 결과는 다음 Table 8.과 같다.

군산지역에서 지표온도분포 전체와 NDVI분포 전체는 의미있는 상관관계를 갖고 있지 않았다. 이는 도시화가 진행되면 식생지수는 약화된다는 다른 도시를 대상으로 하는 기존 연구들의 결과와는 일치하지 않는 것으로써 이것이 지표온도 최고대와 NDVI 최저대를 특정하여 상관분석을 시도한 원인이다. 군산시에서 지표온도가 상대적으로 최고대인 지역의 면적은 42.40km²에서 159.51km²구간에서 변화하며 중앙값은 75.02 km², 표준오차는 25.26km², 표준편차는 50.53km² 이

TABLE 8. Correlation coefficient between the highest LST and the lowest NDVI

변량	지표온도 최고대(km ²)	NDVI 최저대(km ²)
년도		
1987.04.18	159.5187	27.3744
1995.10.17	66.9249	23.2353
1999.05.21	83.1186	25.317
2002.02.14	42.4062	21.6081
상관분석결과(R)		
지표온도 최고대	1	
NDVI 최저대	R=(+)0.947822772	1

었다. 또한 NDVI가 상대적으로 최저대인 지역의 면적은 21.60km²에서 27.37km²구간에서 변화하며 중앙값은 24.27km², 표준오차는 1.25km², 표준편차는 2.50km² 이었다.

국토개발, 재난방지, 환경오염방지, 그리고 제반 경제적 활동에 활용될 Landsat TM/ETM+ 위성영상을 이용한 도시 지표온도, 토지피복, 식생변화탐지 래스터모형을 제안하고 이를 군산시 도시변화탐지에 적용한 결과 지표온도 최고온도대 면적과 가장 약한 식생대 면적과는 상관관계수 R=(+)0.9478의 강한 정의 상관관계가 있다는 결과를 얻었다. 그러나 더욱 많은 시기의 영상을 이용하고 최고온도대와 가장 약한 식생대 이외의 분포에서 온도와 식생의 일반 상관관계모형을 얻는 것은 본 연구의 한계를 벗어나므로 향후 연구과제로 한다.

2. 검증

실험결과 지표온도 최고온도대는 1997년에 최대치인 112.1km², 1995년에 최소치인 67.9km²를, NDVI최저대는 1987년에 최대치인 27.3km², 2002년에 최저치인 21.6km²를 보였다.

Landsat TM/ETM+ 위성영상을 이용한 도시 지표온도, 토지피복, 식생변화탐지 래스터모형을 설계하고 이를 군산시 도시변화탐지에 적용한 결과 지표온도 최고온도대 면적과 가장 약한 식생대 면적과는 피어슨 상관관계수 R=(+)0.9478의 강한 정의 상관관계가 있다는 결과를 얻었다. 이는 위성영상의 지표온도와 NDVI간에 일반적으로 부의 상관관계가 있다는 기존 연구결과와 부합하며 기존 연구들에서 드러나지 않은 도시지역 편입면적이 줄거나 그대로임에도 불구하고 고온대인 CBD가 밀집화하면 최저식생대 면적이 줄어들긴 하지만 최저식생대가 최고지표온도대에 종속적인 패턴으로 밀집화하여 강한 정의 비례관계 선형성을 보인다는 보다 구체적인 사실을 알 수 있었다.

결 론

도시의 변화를 효과적으로 탐지하기 위하여 Landsat TM/ETM+ 위성영상을 이용한 도시 지표온도, 토지피복, 식생변화탐지를 위해 래스터 GIS기반 NDVI 최저대-지표온도최고대 상관분석모형을 설계하여 지표온도와 토지피복 및 NDVI로 나타나는 식생변화 패턴을 관찰하였다. 본 연구는 Landsat TM/ETM+ 위성영상을 이용한 육상도시의 지표온도, 토지피복, 식생변화탐지 래스터기반 방법의 절차를 규정하였고, 이를 전북 군산시 도시변화탐지에 적용하여 지표온도가 가장 높게 나타나는 지역과 식생활력지수가 가장 낮은 지역을 분류하여 상관관계를 검증하였으며 그 결과로 지표온도와 NDVI식생지수와의 피어슨 상관관계수 R=(+)0.9478의 강한 정의 상관관계를 검출함으로써 Landsat TM/ETM+ 위성영상을 이용한 도시 지표온도, 토지피복, 식생변화탐지 래스터모형이 육상변화탐지 모니터링에 매우 효과적임을 입증하였다.

향후 진행되어야 할 연구방향으로는 육상도시의 기후변화를 기존 방식보다 더욱 입체적으로 정확하게 분석할 수 있게 하는 요인으로서 지표온도와 식생지수 상관성의 응용범위를 넓혀 상세 토지피복분류를 통해 정밀 토지이용도를 작성하고 경작지 작물의 최적 성장지역을 찾는 육상 식생 생산성 총량모니터링시스템을 설계하는 것이며 이를 위해 더욱 많은 시기의 영상을 이용하고 최고 온도대와 가장 약한 식생대 이외의 분포에서 온도와 식생의 일반상관관계 전체를 검증할 수 있는 연구가 필요하다.

참고문헌

- 1] 신선희, 하경자, 김재환, 오현미, 조명희. 2004. GRID/GIS 및 RS 자료를 이용한 에너지 평형모형으로부터의 국지적 지표 온도 산출. Korean Journal of Remote Sensing 20(2):103-116.
- 2] 정종철, 유신재. 1999. Landsat TM을 이용한 표층수온 분석 오차. Journal of the Korean Society of Remote Sensing 15(1):1-8.

- 3] 조명희, 이광재, 김운수, 전병운. 2001. 원격 탐사자료를 이용한 도시지역 토지피복과 열 분포 상관성 분석. Korean Journal of Remote Sensing. Proceedings Spring 2001. 42-48쪽.
- 4] Chander, Gyanesh and Markham, Brian L., Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Post-calibration Dynamic Ranges, IEEE Transactions on geoscience and remote sensing, Vol.41, No.11, November 2003, pp.2674-2677.
- 5] Fisher, I. Jeremy and John F. Mustard. High spatial resolution sea surface climatology from Landsat thermal infrared data, Remote Sensing of Environment 90, 2004 pp.293-307.
- 6] Markham, Brian L., and Baker, John L., Landsat MSS and TM Post-Calibration Dynamic Ranges, Atmospheric Reflectance and At-Satellite Temperatures, Laboratory for Terrestrial Physics-NASA/Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD. 20771, pp3-7, 1986.
- 7] Melesse, Assefa M., Spatiotemporal dynamics of land surface parameters in the Red river of the north basin, Physics and Chemistry of the Earth 29, 2004, pp. 795-810.
- 8] NASA, Landsat Project Science Office(2004). Landsat 7 Science Data Users Handbook. Chapt.11-Data Products, http://tpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_htmls/chapter11/chapter11.html, 2004.
- 9] Rouse, J. W., R. H. Haas and J. A. Schell. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: Proc., Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium. Greenbelt, NASA SP-351, 1974. pp3010-3017.
- 10] Suga, Y., Ohno, H. Ogawa, K. Ohno and K. Yamada. 2003. Detection of surface temperature from Landsat-7/ETM+. Adv. Space Res. 32(11):2235-2240.