

Landsat 위성영상을 이용한 몽골 Tuul-Basin 지역의 토지피복변화 및 지표온도 시계열적 분석

Time series Analysis of Land Cover Change and Surface Temperature in Tuul-Basin, Mongolia Using Landsat Satellite Image

에르덴썬베 술드* · 조기성**
Erdenesumbee Suld · Cho, Gi Sung

要 旨

본 연구는 몽골 Tuul-basin 지역의 토지피복변화 상태와 토지황폐화에 대한 분석을 위해 1990, 2001, 2011년의 녹색식물의 활력도가 가장 높은 여름의 Landsat 위성영상을 활용하였다. 몽골 Tuul-Basin 지역의 시계열 데이터를 이용하여, 정규식생지수(NDVI, normalized difference vegetation index), 토양조절 식생지수(SAVI, soil-adjusted vegetation index), 지표면온도(LST, land surface temperature)를 계산하여 토지피복변화 분석을 하였다. 그 결과 연구지역 전체 지역의 산림 및 녹지는 감소되고, 건조지역, 휴경지는 증가된 것으로 나타났으며, 점진적으로 토지가 황폐화되어 감을 알 수 있었다. 또한 LST와 식생지수의 상관성 분석을 실시한 결과, 높은 상관관계를 나타내었으며, 이는 대상지역의 토지피복변화나 식생의 활력도가 지표면의 온도와 밀접하게 관계가 있다는 것을 알 수 있었다.

핵심용어 : Landsat TM, 정규식생지수, 토양조절 식생지수, 지표면온도

Abstract

In this study analysis the status of land cover change and land degradation of Tuul-Basin in Mongolia by using the Landsat satellite images that was taken in year of 1990, 2001 and 2011 respectively in the summer at the time of great growth of green plants. Analysis of the land cover change during time series data in Tuul-Basin, Mongolia and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index) and LST (Land Surface Temperature) algorithm are used respectively. As a result shows, there was a decrease of forest and green area and increase of dry and fallow land in the study area. It was be considered as trends to be a land degradation. In addition, there was high correlation between LST and vegetation index. The land cover change or vitality of vegetation which is taken in study area can be closely related to the temperature of the surface.

Keywords : Landsat TM, NDVI, SAVI, LST

1. 서 론

최근 지구온난화 및 무분별한 개발로 인해 전 세계적으로 토지황폐화 및 사막화가 심각하게 진행되고 있다. 사막화의 진행은 식생과피, 토양침식, 토양 악화 등의 현상으로 나타난다.

몽골 지역의 경우 사막화의 87%는 인간적 요인에 의한 것이고 13%는 자연적인 것으로 발생하고 있다고 보고되고 있다(Khandsuren, 2009). 이와 같은 몽골의 토

지황폐화 혹은 사막화의 발생은 가뭄이나 건조화와 같은 자연현상을 비롯하여 과도한 방목, 경작으로 인한 토양 유실, 산불 또는 화전, 휴경지 개간, 차량 이동으로 인한 초지파괴 등과 같은 인위적 요인이 복합적으로 작용된 결과이다.

또한 몽골에서는 극심한 가뭄과 혹독한 겨울에 의해 가축이 대량 몰사하는 심각한 조드(Zhud)가 발생하기도 한다. 특히 몽골에서 1999~2002 그리고 2008년에 조드가 발생하였으며(Begzsuren, 2004), 조드 발생 원

Received: 2016.06.08, revised: 2016.08.17, accepted: 2016.08.29

* 정희원 · 전북대학교 토목공학과 박사과정(Member, Ph. D. Student, Department of Civil Engineering, Chonbuk National University, esuld@yahoo.com)

** 교신저자 · 정희원 · 전북대학교 토목공학과 교수(Corresponding Author, Member, Professor, Department of Civil Engineering, Chonbuk National University, RCIT, gscho@jbnu.ac.kr)

인에 대한 규명, 몽골초원의 가축수용능력의 평가, 조드 발생 실태 및 전망 등에 대한 다양한 분석이 수행되었다(Johnson et al., 2006).

위성영상을 이용한 원격탐사기술은 빠른 시간 내에 넓은 지역에 해당되는 토지피복변화를 알 수 있기 때문에 광범위한 지역에 대한 모니터링에 효과적이다. 현재까지 위성영상을 활용한 토지피복분류 연구가 많이 진행되고 있으며, 대부분의 연구들이 영상분류기법을 적용하여 토지피복을 분류하고 있다. 그러나 몽골지역의 경우 산림, 초지, 사막과 같은 특징점들은 ROI(region of interest)를 선정하는데 비교적 용이하지만 기타 피복 클래스의 경우 대상지 확인이 어려운 한계가 있다. 최근에는 이러한 점을 보완하기 위해 피복클래스와의 상관성이 높은 정규식생지수(NDVI; normalized difference vegetation index)를 참조값으로 하여 토지피복을 추출하는 연구들이 시도되고 있다(Bayasgalan, 2005).

몽골지역의 경우 토지피복 분류시 사막화 현상이 큰 영향을 주게 되며, 따라서 지표면 온도에 따른 영향도 있을 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 몽골 Tuul-basin 지역을 연구대상지로 선정하여 1990, 2001, 2011년의 Landsat TM 위성영상으로부터 정규식생지수(NDVI), 토양조정 식생지수(SAVI; Soil-Adjusted Vegetation Index, SAVI) 및 지표면온도(LST; Land Surface Temperature)를 추출하였으며, NDVI, SAVI, LST의 통계특성을 활용하여 토지피복분류를 수행하는 기법을 제시하는데 목적을 두었다.

2. 연구방법 및 자료 처리

2.1 연구대상지

본 연구 대상지역은 몽골의 수도인 울란바타르

(Ulaanbaatar)을 포함한 지역이며, 지리적 위치는 북위 48°13'20", 동경 108°13'20"으로 해발 고도는 770~2200m의 지역이다. Tuul basin 지역은 5개 아이막(Aimag)의 37개 군(Sum), 울란바토르 시의 7개 동으로서 총 49774.3km² 지역을 포함한다(Fig. 1). Tuul basin 지역은 3개의 자연구역으로 분류되며, 82.8%는 초원, 11.8%는 산림 초원, 5.4%는 높은 산 타이가(Taiga) 지역으로 분류된다. 이 지역의 평균 기온은 -0.7°C(최저, 최고 -45°C~40°C)이며 연평균 강수량은 약 258mm로 기온이 낮고 강수량이 적은 반건조지역이다. 또한 몽골 지역의 중앙에 위치하고 있으며, 인구 밀도가 높고 총인구의 42.8%가 이 지역에 거주하고 있다.

2.2 연구방법

본 연구에서는 Fig. 2와 같은 과정을 통해 시계열 토지피복 변화를 분석하였다. 몽골과 같이 광범위한 지역에 대한 모니터링을 위해서는 중해상도급의 위성영상이 필요하며, 특히 본 연구에서 NDVI, SAVI, LST 값을 계산하는데 이용되는 다양한 파장대를 가지고 있는 범용적 영상인 Landsat 영상을 활용하였다(Table 1).

Table 1. Specification of LANDSAT TM

File_ Date	LT513202719 90260XXX03	LT513202720 01242BJC00	LT513202720 11254IKR00
Spacecraft_ID	LANDSAT 5	LANDSAT 5	LANDSAT 5
Sensor_ID	TM	TM	TM
Cloud_Cover	0	0	0
Image_Quality	9	9	9
Date	2015-09-17	2001-08-30	2001-08-30
Earth-sun distance	1.00512	1.00969	1.00672
Sun_Elevation	39.357	46.837	43.921
Sun_Azimuth	144.476	145.466	151.707

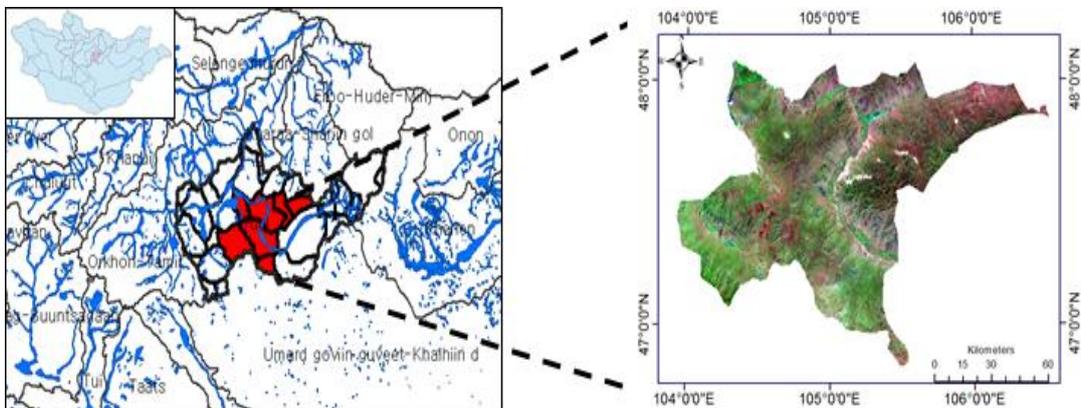


Figure 1. Location map of the study area

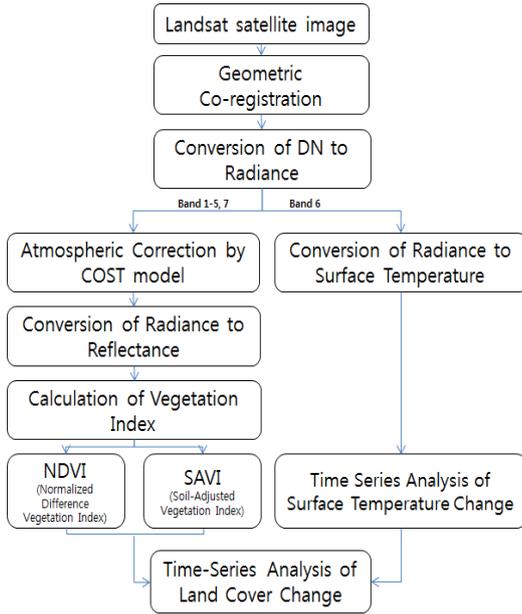


Figure 2. Processing flowchart used in this study

연구방법을 살펴보면, 먼저 시계열 영상에 대해 기하보정과 대기보정과 같은 전처리를 수행하였다. 그리고 근적외선과 적색밴드로부터 NDVI와 SAVI를 계산하였으며, 열적외선밴드로부터 LST를 계산하였다. 또한 분석된 NDVI, SAVI, LST 결과물에 대해 영상에서 확인 가능한 토지피복클래스 지점별 NDVI, SAVI, LST 값의 통계분포를 확인하여 적정구간을 토지피복클래스를 분류하였다. 그리고 최종적으로 시계열별로 분류된 토지피복클래스의 면적분포를 계산하여 토지피복 변화 특성을 분석하였다.

2.2.1 영상의 전처리

위성에서 취득하게 된 영상자료는 여러 가지 요인에 의해 영향을 받게 되나 그 중 절대위치의 차이를 갖게 되는 기하학적 뒤틀림이 중요한 부분을 차지한다. Landsat TM 영상의 UTM 좌표계로 1차 기하보정이 이루어져 있으나, 보다 정확한 위치정확도 확보를 위해 Image to Image 방식을 이용하여 1990년 영상을 기준으로 2001년도와 2011년도 영상에 대한 기하보정을 실시하였다.

대기보정은 일반적으로 위성센서에 기록된 DN를 복사휘도값(radiance)으로, 복사휘도값을 지표의 반사율(reflectance)로 변환하여 보정하며, 그 식은 Eqs. (1) and (2)와 같다.

$$L_{\lambda} = \left(\frac{L_{\max} - L_{\min}}{Q_{\text{calmax}} - Q_{\text{calmin}}} \right) \times (Q_{\text{cal}} - Q_{\text{calmin}}) + L_{\min} \quad (1)$$

여기서 L_{λ} 는 관측된 복사에너지($W/m^2/sr/\mu m$)이고, Q_{cal} 은 관측 정량화된 복사에너지(DN)이고, Q_{calmin} 는 정량화된 최소 복사에너지(DN=0)이며, Q_{calmax} 는 정량화된 최대 복사에너지(DN=255)이다. L_{\min} 은 최소 복사에너지로 $Q_{\text{cal}} = Q_{\text{calmax}}$ 일 때 복사에너지($W/m^2/sr/\mu m$), L_{\max} 는 최대 복사에너지로 $Q_{\text{cal}} = 0$ 일 때 복사에너지($W/m^2/sr/\mu m$)이다.

$$L_{\lambda} = \frac{1}{\pi} \rho T_{\theta_0} \left(\frac{ESUN}{d^2} T_{\theta_0} \cos \theta_z + E_{dt} \right) + E_{dt} \quad (2)$$

Eq. (2)에서 L_{λ} 는 위성센서에서 기록된 복사휘도 값(radiance), ρ 는 지표의 반사율(reflectance), $ESUN_{\lambda}$ 은 태양으로부터 복사된 복사조도(irradiance), d 는 태양과 지구와의 거리이며, T_{θ_0} 는 대기의 투과율, θ_z 는 태양의 천정각(zenith angel), E_{dt} 는 대기의 하향복사량, E_{dt} 는 대기의 상향복사량을 의미한다.

본 연구에서 수행한 대기보정 기법은 Chavez(1996) 제안한 COST(cosine of the sun zenith angle) 모델이다, 이 모델은 대기의 하향복사량이 미미하기 때문에 무시해도 된다고 가정하였고, 태양에서 지표까지의 대기투과율을 cosine값으로 근사화한 것이 특징이다 (Chavez, 1996).

COST 대기보정 모델식은 Eq. (3)과 같다.

$$r = \frac{\pi(L_{\lambda} - L_p) \cdot d^2}{ESUN_{\lambda} \cdot T_{\theta_0} \cdot \cos \theta_z} \quad (3)$$

Chavez는 현실적으로 반사율이 0인 지역은 존재하지 않을 것이라는 가정하여 완전 흑체의 반사율을 1%로 결정하고 이로부터 대기의 상향복사량을 구하였다.

Chavez가 제안한 대기의 상향복사량은 Eq. (4)을 통해 구할 수 있다.

$$L_p = L_{s_d} - \frac{\rho_d \cdot \cos \theta_z \cdot ESUN_{\lambda}}{d^2 \cdot \pi} \quad (4)$$

위 식에서 L_p 는 대기의 상향복사량, L_{s_d} 는 dark-object에서의 복사휘도, ρ_d 는 완전 흑체의 반사율을 의

미하며 0.01의 값을 가지고, $ESUN_{\lambda}$ 은 태양으로부터 복사된 복사조도(irradiance), d 는 태양과 지구와의 거리이며, θ_z 는 태양의 천정각(zenith angle)이다.

2.2.2 식생지수

정규식생지수(NDVI)는 주로 식생 활력도로 해석되며, Landsat 위성영상의 밴드 중 밴드4 (근적외선 영역: 0.7 ~ 1.1 μ m), 밴드3 (가시광선 중 적색 영역: 0.6 ~ 0.7 μ m)을 이용하여 계산한다(Eq. (5)).

$$NDVI = \frac{(NIR_{b4} - RED_{b3})}{(NIR_{b4} + RED_{b3})} \quad (5)$$

영상의 NDVI 분류 결과 산림으로 분류된 지역은 0.5 ~ 0.75의 값으로 나타났다.

토양조정 식생지수(SAVI)는 토양의 영향을 최소화하기 위해 토양정보인자 L을 추가하여 나타낸 식생지수이며, L은 토양명도 보정계수로 0.5를 이용하였다(Huete, 1988)(Eq. (6)).

$$SAVI = \frac{(1+L)(NIR_{b4} - RED_{b3})}{NIR_{b4} + RED_{b3} + L} \quad (6)$$

2.2.3 지표면온도

본 연구에서는 대상지역의 토지피복유형이 지표면온도에 미치는 영향을 파악하기 위해 열적외밴드를 가지고 있는 Landsat 위성영상을 이용하였다. Landsat TM이나 Landsat ETM+의 열적외밴드를 이용해서 지표면온도를 산출하는 방법은 크게 복사전달방정식(Radiative transfer equation), Mono-window 알고리즘(Qin, 2001), Jimenez-Munoz and Sobrino 알고리즘(Sobrino, 2004)이 있다.

지표온도(LST)를 계산하기 위하여 USGS(United States Geological Survey)에서 1999년부터 제공하고 있는 Landsat TM 영상의 열적외밴드를 이용하였으며, 기록된 DN값을 방사휘도 값으로 변환하기 위해 Eq. (1)을 사용하여 온도(T)를 계산하였다(NASA-Landsat Project Science Office, 2004).

복사에너지(L_{λ})와 절대온도(K)사이의 관계성을 이용하여 위성관측 온도를 계산하게 된다(NASA-Landsat Project Science Office, 2004)(Eq. (7)).

$$T(C) = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)} - 273 \quad (7)$$

여기서, T(C)는 위성관측온도이고, Landsat TM 위성의 경우에는 K_1 은 607.76 W/m²/sr/ μ m, K_2 는 1260.56이다. 계산된 위성관측 온도를 절대온도에서 섭씨온도로 바꿔주기 위해 273(°C)를 감하였다.

2.2.4 상관관계 분석

상관계수(correlation coefficient)는 두 변수 사이에 존재하는 관계의 성격과 정도에 대한 정보를 제공한다(Eq. (8)).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n ((x_i - \bar{x})^2) * \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (8)$$

여기서, \bar{x} 은 표본집단 X의 평균, \bar{y} 은 표본집단 Y의 평균, s_x 은 표본집단 X의 표본표준편차, s_y 은 표본집단 Y의 표본표준편차, n 은 표본집단의 개체수이다.

본 연구에서는 지표면온도(LST)와 NDVI, SAVI 지수의 상관성을 분석하기 위해서 각 지수의 도출한 값들과 위성영상으로부터 계산된 지표면온도값을 사용해서 MATLAB 프로그램을 통하여 상관분석을 수행하였다.

3. 분석 및 결과

3.1 식생지수 분석 결과

대상지역의 토지피복변화를 분석하기 위해 1990, 2001, 2011년의 Landsat 위성영상을 적용하여 NDVI, SAVI, 및 지표면온도를 계산하였다(Fig. 3). 또한 대상 지역 토지피복상태를 forest(산림), grass land(초원), open-shrub land(관목지), dry steppe(건조목지), fallow land(휴경지), barren land(초목이 드문 지역과 모래지역), water(강, 호수)와 같이 7가지로 분류하였다.

본 연구에서 사용된 NDVI는 주로 식생 활력도로 해석되며 식생이 없는 지역은 -1, 식생이 활발히 분포한

Table 2. NDVI range of land cover classification

Class	Normative range of NDVI
Forest	0.5 ~ 1
Grass land	0.38 ~ 0.5
Open shrub	0.3 ~ 0.38
Dry steppe	0.22 ~ 0.3
Fallow land	0.15 ~ 0.22
Barren land	0 ~ 0.15
Water	0 ~ -1

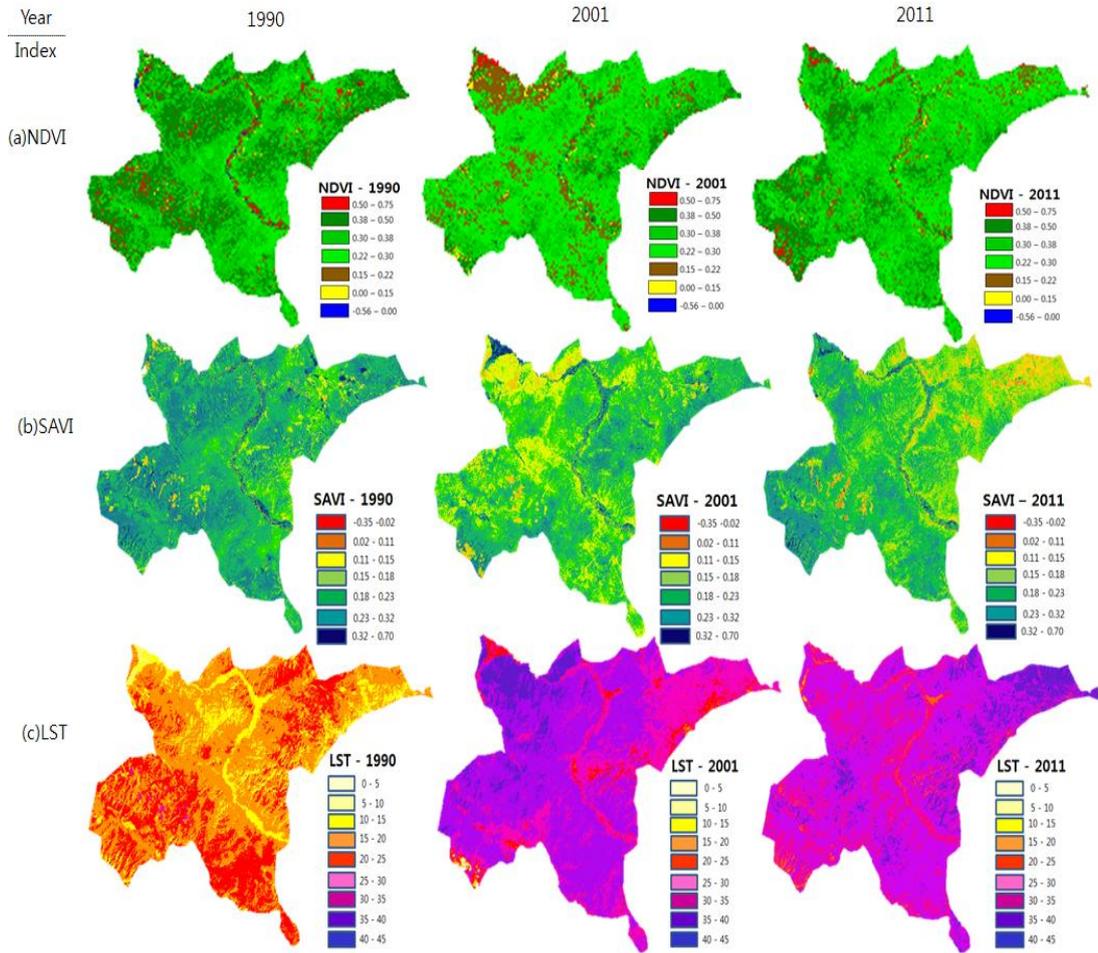


Figure 3. Result of (a) NDVI, (b) SAVI, and (c) LST map of each year

지역은 1의 값을 갖는 지수다. 이러한 NDVI 특성과 대상지역특성을 고려하여 0에 가까운 값을 갖는 모래지역 0.5~1 사이의 산림지역 등으로 토지피복도에 따른 NDVI 기준범위를 선정하였다(Bayasgalan, 2005)(Table 2). 또한 토지피복의 식생과 토양의 특성을 고려하여 토양의 효과를 감소시킨 지수인 SAVI의 경우에는 Table 3과 같은 범위를 적용하였다.

Table 3. SAVI range of land cover classification

Class	Normative range of SAVI
Forest	0.32 ~ 1
Grass land	0.23 ~ 0.32
Open shrub	0.18 ~ 0.23
Dry steppe	0.15 ~ 0.18
Fallow land	0.11 ~ 0.15
Barren land	0.02 ~ 0.11
Water	0.02 ~ -1

Fig. 3(a)와 Table 4은 1990년, 2001년, 2011년의 NDVI 분류 방법에 의해 얻어진 토지피복도 및 결과값이다. 1990년에서 2001년 사이에 산림지역, 초원, 관목지 지역은 감소되고, 건조목지, 휴경지지역 및 모래 지역이 증가하는 것으로 나타났다. 또한 2001년의 분류 결과는 1990년과 2011년에 비해 산림, 초원 지역이 낮게, 다른 건조지역, 휴경지 지역, 모래 지역이 높게 나타나는 것은 1999~2002년에 발생한 조드의 영향을 받는 것으로 볼 수 있다. 특히, 1990년부터 2001년에 휴경지 지역이 5배 정도 증가한 것을 알 수 있다. 1990년부터 2011년 사이의 토지피복변화를 정량적으로 기술하면 산림지역은 $160.4km^2$, 초원지역은 $2031.34km^2$ 로 각각 감소하였으며, 관목지 지역은 $143.51km^2$ 로 증가한 것으로 나타났다. 또한 건조지역과 휴경지지역은 $1775.86km^2$ 와 $305.38km^2$ 로 각각 2배 이상 증가

Table 4. Result NDVI of land cover classification for 1990, 2001 and 2011

Land cover classification	1990		2001		2011		Change of 1990-2011	
	Area(km ²)	%	Area(km ²)	%	Area(km ²)	%	(km ²)	(%)
Forest	331.50	2.9	156.99	1.4	171.10	1.5	-160.40	-1.4
Grass land	4153.81	36.4	872.90	7.7	2122.47	18.6	-2031.34	-17.8
Open. sh	4863.59	42.6	3077.39	27.0	5007.09	43.9	143.51	1.3
Dry steppe	1692.49	14.8	5578.90	48.9	3468.34	30.4	1775.86	15.6
Fallow land	295.60	2.6	1621.00	14.2	600.98	5.3	305.38	2.7
Barren land	42.07	0.4	91.51	0.8	31.52	0.3	-10.55	-0.1
Water	30.94	0.3	11.30	0.1	8.49	0.1	-22.45	-0.2

Table 5. Result SAVI of land cover classification for 1990, 2001 and 2011

Land cover classification	1990		2001		2011		Change of 1990-2011	
	Area(km ²)	%	Area(km ²)	%	Area(km ²)	%	(km ²)	(%)
Forest	192.49	1.7	121.13	1.1	119.89	1.1	-72.59	-0.6
Grass land	3426.06	30.0	827.76	7.3	2050.78	18.0	-1375.28	-12.1
Open. sh	5404.54	47.4	3850.83	33.7	5250.41	46.0	-154.13	-1.4
Dry steppe	1649.66	14.5	4049.46	35.5	2663.06	23.3	1013.39	8.9
Fallow land	525.06	4.6	2257.45	19.8	1165.19	10.2	640.13	5.6
Barren land	174.12	1.5	289.67	2.5	150.23	1.3	-23.89	-0.2
Water	38.06	0.3	13.71	0.1	10.43	0.1	-27.62	-0.2

한 것을 알 수 있다. 즉, 건조목지와 휴경지가 가장 큰 변화를 나타냈는데 이는 기존에 농경지로 이용되던 지역들이 이용도가 낮아 휴경지로 분류된 것으로 판단된다. 또한 산림과 초원의 감소는 녹지의 난개발 및 무분별한 훼손으로 인해 건조지역이 증가한 것으로 판단된다.

토양조정 식생지수(Soil-Adjusted Vegetation Index, SAVI)는 식생이 건강하고 적외선 분광의 반사율이 높은 식생일수록 높은 값이 나타나며, 낮을수록 0에 가까운 값이 계산된다. 이와 같은 SAVI를 계산한 결과는 Fig. 3(b)과 Table 5와 같다.

Table 5에서와 같이 1990~2001년 사이에는 산림 및 초원지역의 각각 71.4km²와 2598.3km²로 감소하였으며 반면 건조지, 휴경지 및 모래지역의 증가하였다. 그러나 1990~2011년 사이에 산림지역은 72.6km², 초원지역은 1375.3km² 또한 관목지역은 154.1km²로 각각 감소되었다. 한편, 건조지역과 휴경지역은 1013.4km²의 8.9%나 640.1km²의 5.6%로 증가하였다.

토지피복 클래스별 비교정확도 평가시 쌍대쌍 비교에 활용되는 Kappa 지수를 활용하는 것이 일반적이다. 쌍대쌍 비교는 Tables 6 and 7과 같이 기준이 되는 토지피복도 대비 분석된 토지피복을 상호 비교하는 것을 의미한다. 정확도 분석을 위해 각각 영상의 각각 분류별에서 얻은 15개의 검증점(reference point)을 이용한 결과는 Tables 6 and 7과 같다. 1990년, 2001년, 2011년의 NDVI에 대한 Kappa 지수는 각각 0.88, 0.89,

0.89로 높게 나타났으며, SAVI에 대한 Kappa 지수도 각각 0.89, 0.94, 0.91로 높게 나타났다. SAVI는 토지 피복의 식생과 토양의 특성을 고려하여 토양의 효과를 감소시키기 때문에 식생이 적거나 거의 없는 지역의 토양을 포함한 식생지수로서 본 연구 대상지역의 특성에 의해 높은 정확도를 나타내고 있다고 볼 수 있다.

3.2 지표면온도 결과

Landsat 위성영상의 6번 밴드인 열적외선 파장영역을 사용하여 지표면온도를 추출할 수 있다. 그리고 토지이용과 방사온도와의 관계를 파악하여 열섬현상에 대해 그 원인과 결과를 분석하고, 경년변화를 탐지하여 환경문제를 대비하고 환경대책수립 등에 이용되고 있다.

본 연구에서는 NASA에서 제공된 기법을 이용하여 대상지역의 토지피복유형이 지표면온도에 미치는 영향을 살펴보기 위해 열적외밴드를 이용하여 Fig. 3(c)와 같이 LST를 계산하였다. Fig. 3(c)에 나타난 LST는 1990년 경우 평균온도 값은 3.7°C, 최고온도는 20~25°C 이었으나, 2001년과 2011년도에는 평균온도 값이 5.8~6.2°C이며, 최고온도가 40~45°C로 나타났다. 지표면온도 변화가 식생의 활력도에 영향을 미친 것을 식생지수분류 결과인 Fig. 3에서 알 수 있다. 이는 온도가 높게 나타난 지역은 녹지가 감소되고, 건조, 휴경지 지역이 증가된 것으로 볼 수 있다.

관측된 지표면온도 값을 기준으로 각 NDVI 및 SAVI의 토지피복분류에 대해 상관성 분석을 수행하였

Table 6. Accuracy assessment for land cover by NDVI in 1990, 2001 and 2011

Land cover class	1990						
	Forest	Grass	Openshrub	Dry steppe	Fallow land	Barren land	Water
Forest	100	7	0	0	0	0	0
Grass	0	92	3	0	0	0	0
Open shrub	0	2	91	0	0	0	0
Dry steppe	0	0	6	95	0	0	0
Fallow	0	0	0	4	94	11	0
Barren	0	0	0	0	5	76	2
Water	0	0	0	0	1	13	98
Total	100	100	100	100	100	100	100

Kappa statistic:0.88

Land cover class	2001						
	Forest	Grass	Openshrub	Dry steppe	Fallow land	Barren land	Water
Forest	100	6	0	0	0	0	0
Grass	0	94	6	0	0	0	0
Open shrub	0	0	94	6	0	0	0
Dry steppe	0	0	0	90	0	0	0
Fallow	0	0	0	4	97	22	0
Barren	0	0	0	0	3	72	2
Water	0	0	0	0	0	6	98
Total	100	100	100	100	100	100	100

Kappa statistic:0.89

Land cover class	2011						
	Forest	Grass	Openshrub	Dry steppe	Fallow land	Barren land	Water
Forest	100	6	0	0	0	0	0
Grass	0	94	6	0	0	0	0
Open shrub	0	0	92	1	0	0	0
Dry steppe	0	0	3	93	0	0	0
Fallow	0	0	0	6	96	5	0
Barren	0	0	0	0	4	85	1
Water	0	0	0	0	0	10	99
Total	100	100	100	100	100	100	100

Kappa statistic:0.89

Table 7. Accuracy assessment for land cover by SAVI in 1990, 2001 and 2011

Land cover class	1990						
	Forest	Grass	Openshrub	Dry steppe	Fallow land	Barren land	Water
Forest	100	6	0	0	0	0	0
Grass	0	92	5	0	0	0	0
Open shrub	0	2	91	0	0	0	0
Dry steppe	0	0	4	96	1	0	0
Fallow	0	0	0	4	92	2	0
Barren	0	0	0	0	7	96	2
Water	0	0	0	0	0	2	98
Total	100	100	100	100	100	100	100

Kappa statistic:0.89

Land cover class	2001						
	Forest	Grass	Openshrub	Dry steppe	Fallow land	Barren land	Water
Forest	100	6	0	0	0	0	0
Grass	0	94	7	0	0	0	0
Open shrub	0	0	93	0	0	0	0
Dry steppe	0	0	0	98	0	0	0
Fallow	0	0	0	2	98	9	0
Barren	0	0	0	0	2	91	1
Water	0	0	0	0	0	0	99
Total	100	100	100	100	100	100	100

Kappa statistic:0.94

Land cover class	2011						
	Forest	Grass	Openshrub	Dry steppe	Fallow land	Barren land	Water
Forest	100	6	0	0	0	0	0
Grass	0	94	6	0	0	0	0
Open shrub	0	0	93	0	0	0	0
Dry steppe	0	0	1	95	0	0	0
Fallow	0	0	0	5	95	0	0
Barren	0	0	0	0	5	97	0
Water	0	0	0	0	0	3	100
Total	100	100	100	100	100	100	100

Kappa statistic:0.94

Table 8. Linear correlation of LST for each land cover classification

Year	Index/Class	Forest	Grass	Openshrub	Dry steppe	Fallowland	Barrenland	Water
1990	LST-NDVI	-0.2484	0.2621	-0.3262	-0.111	-0.5758	-0.103	0.434
	LST-SAVI	0.012	0.2465	-0.2582	-0.2878	-0.8026	-0.2375	0.388
2001	LST-NDVI	-0.407	-0.4282	-0.7532	-0.3201	-0.3638	-0.0797	0.770
	LST-SAVI	-0.2442	-0.0411	-0.7215	-0.29	-0.4144	-0.1102	0.760
2011	LST-NDVI	-0.3838	-0.0138	-0.2873	-0.2797	0.4843	-0.376	0.809
	LST-SAVI	0.5347	0.0895	-0.3477	-0.3029	0.7267	-0.1957	0.829

으며 결과는 Table 8과 같다. 1990년의 LST와 NDVI 경우에는 휴경지역은 -0.58, LST와 SAVI의 경우에는 -0.80 음의 상관관계를 나타내었으나, 나머지 분류 지역은 지표온도와 낮은 상관관계를 보였다. 2001년에는 지표온도와 NDVI, SAVI는 모두 음의 상관관계를 가지고 있는 것을 알 수 있다. 이는 지표온도가 높은 지역에서는 식생지수가 낮으며, 지표온도가 낮은 지역에서는 식생지수가 높게 나타남을 알 수 있다. 2011년에 LST와 SAVI의 경우에는 산림지역이 0.54로, 휴경지지역은 0.73으로, 강 지역은 0.83으로 상관성이 높게 나타났다. 이러한 상관성 분석을 통해서 식생의 분포 면적과 밀도, 식생 활력도 등 따른 토지피복변화에 인한 여러 요소들이 지표온도와 밀접한 관계가 있다는 것을 확인할 수 있었다. 특히 1999~2002년에 발생한 조도

로 인해 2001년 영상의 NDVI, SAVI, LST값이 영향을 받았고 이로 인해 토지피복 변화에 큰 영향을 준 것으로 판단된다.

또한 영상 전체에 대한 지표면온도와 NDVI, SAVI의 상관성 분석을 실시하였으며, 그 결과는 Table 9와 같다. 식생지수 NDVI와 지표온도의 경우 1990년에는 0.829으로, 2001년에 0.925으로, 2011년에는 0.845의 상관관계로 나타났으며, SAVI와 지표온도의 경우 1990년에는 0.977으로, 2001년에는 0.995으로, 2011년에는 0.985으로 각 년도의 NDVI에 비해 높은 상관관계를 보여 주었다. 이와 같이 높은 상관관계로 나타나는 것은 대상지역의 토지피복변화나 식생의 활력도가 지표면의 온도와 밀접하게 관계가 있다는 것을 알 수 있었다.

Table 9. Statistics of NDVI, SAVI, LST for each year

Data	Statistics			Correlation
	ave. NDVI	ave. SAVI	ave. LST	
1990	0.36	0.046	3.91	NDVI - SAVI 0.924
				LST - NDVI 0.829
				LST - SAVI 0.977
2001	0.29	0.038	6.62	NDVI - SAVI 0.937
				LST - NDVI 0.925
				LST - SAVI 0.995
2011	0.33	0.042	5.83	NDVI - SAVI 0.924
				LST - NDVI 0.845
				LST - SAVI 0.985

4. 결 론

본 연구에서는 몽골 Tuul-Basin 지역의 토지피복변화 상태를 분석하기 위하여 10년 단위로 Landsat 위성영상을 이용하여 토지피복분류를 통한 대상지역의 토지피복변화를 비교 분석하였으며, 토지분류 항목에 따른 식생지수와 지표온도의 상관관계를 분석하였다.

첫째, 식생분포에 대한 변화추이를 분석하기 위해 식생의 활력을 파악할 수 있는 정규식생지수(NDVI), 토양조절 식생지수(SAVI)를 이용하였다. 분석결과 Tuul 강유역의 각 분류지역별 식생지수는 1990년 이후 2011년까지 감소하고 있는 추세를 나타냈다. 이는 기후변화와 지표온도의 변화, 산림이나 초원지역의 훼손에 따른 녹지지역의 면적은 감소되고, 반면 건조지역이나 휴경지의 면적은 14% 정도가 증가하여 각 식생지수가 감소하였다.

둘째, 2001년의 NDVI, SAVI, LST의 결과 값이 다른 연도와 비교할 때 차이가 있는 것은 1999~2002년 사이에 발생한 조드 영향을 받는 것으로 볼 수 있다. 조드는 무덥고 건조한 여름 이후에 찾아오는 혹한의 겨울 기후로 발생하기 때문에 조드가 2001년의 식생지수와 지표온도에 영향을 미친 것을 알 수 있으며, 온도변화와 식생의 변화로 인한 토지피복변화의 원인 된다는 것을 알 수 있었다. 또한 NDVI와 SAVI의 분류 정확도는 NDVI보다 SAVI의 전체정확도와 카파계수가 높게 분류되었다.

셋째, Landsat 위성영상의 열적외선 밴드6을 이용하여 분류지역별 지표온도 변화를 분석 식생의 분포 면적과 밀도, 식생 활력도 등 다른 토지피복변화에 인한 여러 요소들이 지표온도와 관련이 있다는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 영상 전체적인 식생지수와 온도의 상관관계 분석을 하였으며, LST와 SAVI는 다른 상관성

NDVI와 SAVI, LST와 NDVI의 비해 0.995의 높은 상관관계로 나타났다.

마지막으로, 본 연구에서 나타난 토지피복분류와 지표온도를 통한 토지피복변화 분석은 대상지역의 지역적 특성을 따른 토지황폐화, 사막화 등 기후변화의 대처방안 마련에 도움이 될 수 있으리라고 사료된다.

References

1. Bayasgalan, M., 2005, Monitoring of drought in the Mongolia, Doctoral thesis, National university of Mongolia.
2. Begzsuren, S., Ellies, J. E., Ojima, D. S., Coughenour, M. B. and Chuluun, T., 2004, Livestock responses to droughts and severe winter weather in the Gobi Three Beauty National Park, Mongolia, *Journal of Arid Environments*, Vol. 59, No. 4, pp. 785-796.
3. Chavez, P. S., 1996, Image-based atmospheric correction revisited and improved, *American Society For Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 62, No. 9, pp. 1025-1036.
4. Johnson, D. A., Sheehy, D. P., Miller, D. and Damiran, D., 2006, Mongolian rangelands in transition, *Secherleresse*, Vol. 17, No. 1, pp. 133-141.
5. Huete, A. R., 1988, A soil-adjusted vegetation index, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 25, No. 1, pp. 295-309.
6. Khandsuren, D., 2009, Northeast asia environmental cooperation and Mongolia: desertification and yellow dust, Master's thesis, Graduate School of the University of Seoul, Seoul. Korea.
7. NASA landsat Project Science Office, 2004, Landsat 7 Science Data Users Handbook, Chapter11-Data Product.
8. Qin, Z., Karnieli, A. and Berliner, P., 2001, A mono-algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 22, No. 18, pp. 583-594.
9. Sobrino, J. A., Jimenez-Munoz, J. C. and Leonardo, P., 2004, Land surface temperature retrieval from Landsat TM5, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 90, No. 4, pp. 434-440.