

Landsat TM/+ETM 위성영상을 이용한 몽골 Tuv지역의 토지피복변화 및 광산지역확대 추이분석

Temporal Analysis on the Transition of Land Cover Change and Growth of Mining Area Using Landsat TM/+ETM Satellite Imagery in Tuv, Mongolia

에르덴숨베술드¹⁾ · 조미수²⁾ · 조기성³⁾

Erdenesumbee, Suld · Cho, Misu · Cho, Gisung

Abstract

Recently, the land degradation and pasture erosion in Tuv, located around Ulaanbaatar of Mongolia, have been increasing sharply due to escalating developments of mining sectors, well as the density of populations. Because of that, we have chosen the urban and mining area of Tuv for our study target. During the study, the temporal changes of land cover in Tuv, Mongolia were observed by the Landsat TM/+ETM satellite images from 2001 to 2009 that provided the fundamental dataset to apply NDVI and K-Mean algorithm of Unsupervised Classification and Maximum likelihood classification(MLC) of Supervised Classification in order to conclude in land cover change analyzation. The result of our study implies that the growth of mining area, the climate change, and the density of population led the land degradation to desertification.

Keywords : Satellite Imagery, Unsupervised Classification, Supervised Classification, NDVI

초 록

최근 몽골 수도 울란바타르를 둘러싸고 있는 Tuv지역의 토지 황폐화가 급속도로 진행되고 있는데 이는 광산업의 발달과 인구 밀집으로 인하여 기존의 목초지가 파괴됨으로써 더욱 더 가속화 되고 있다. 따라서 본 연구에서는 Tuv지역의 도심지역과 광산지역을 대상으로 하여 토지피복의 변화 탐지와 토지황폐화에 대한 추이를 분석하기 위하여 2001년부터 2009년까지의 Landsat TM과 +ETM 위성영상을 활용하여, 정규식생지수와 무감독분류(Unsupervised Classification)의 K-Mean 알고리즘과 감독분류(Supervised Classification)의 MLC 등의 디지털 영상 분류기법을 적용하여 몽골 Tuv지역의 다중시기별 토지피복변화를 분석하였다. 그 결과 광산지역의 확장과 더불어 기후변화 및 인구밀집 등으로 인하여 토지가 황폐화되어 사막지역으로 변화되어가는 추이를 알 수 있었다.

핵심어 : 위성영상, 무감독분류, 감독분류, 정규식생지수

1. 서 론

몽골의 토지 황폐화는 자연 생태계와 인간 활동과 밀접한 관계를 가지고 있으며, 자연적 요인인 가뭄과 기후변화와 같은 건조화 현상이 나타나고 있다. 특히 도심지역과 광산개발

1.1 연구배경 및 목적

Received 2014. 09. 24, Revised 2014. 10. 06, Accepted 2014. 10. 31

1) Dept. of Civil Engineering, Chonbuk National University (E-mail: esuld@yahoo.com)

2) Corresponding Author, Member, Dept. of Civil Engineering, Chonbuk National University (E-mail: chol369@korea.kr)

3) Member, Dept. of Civil Engineering, Chonbuk National University (E-mail: gscho@jbnu.ac.kr)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

지역에서 인간적인 요인으로의 토지 황폐화가 가속화 되고 있다(Suld, 2011).

몽골 지리생태연구소의 토지 황폐화에 대한 연구 결과에 따르면 전체 국토의 78%가 사막화 위험에 처해있으며, 이중 60%는 매우 취약한 상태인 것으로 알려져 있다. 그밖에도, 국가의 40% 이상의 강과 호수의 수위가 저하되고 있다(Adyasuren and Dash, 2001). 목초지의 경우, 방목이 가장 큰 원인으로 꼽히며 약 70%이상의 목초지가 줄어들고 있다(Erdenetuya and Khudulmur, 2008).

이와 같은 몽골의 토지 황폐화에 대한 대책을 수립하기 위하여, 위성영상을 이용한 토지 황폐화 지역의 토지피복 분류 및 변화를 파악하려는 연구도 지속적으로 이루어지고 있다(Batjargal, 1997). 대부분 연구에서는 토지피복 상태를 파악하기 위해 정규식생지수를 사용하였다. 또한 Landsat TM/+ETM 영상을 이용해서 무감독분류방법이나 감독분류방법에 의한 산림조사, 지질조사, 농산물의 경작상태 및 규모파악을 통한 수확량 예측, 자연생태조사 등 다양한 목적으로 한 연구들이 진행되고 있다.

몽골의 Tuv지역은 수도 울란바타르를 둘러싸고 있으며 몽골의 토지 황폐화가 가속화되고 있는 지역의 하나로, 인구 밀집, 광산업의 발달과 과도한 방목으로 인해 토지 황폐화와 사막화 문제가 발생하는 곳이다(Sankey *et al.*, 2010). 특히 최근에 수년간 급속한 인구가 증가하고 광산업의 경우 매년 8-12% 성장한 것으로 알려지고 있다.

따라서 본 연구에서는 도심지역과 광산지역을 대상지역으로 몽골 Tuv 지역의 토지피복변화 추이를 분석하기 위하여 Landsat 위성영상을 이용하여 무감독분류, 감독분류 및 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index) 분류기법을 적용하여 그 결과로 연차적인 토지피복의 면적 변화를 정량적으로 산정하였으며, 도심지역 토지 황폐화 방지를 위한 녹지사업 등과 같은 몽골 환경문제를 위한 대책 수립에 필요한 기본 자료를 획득하는데 목적을 두고 있다.

1.2 연구내용 및 범위

본 연구에서는 Landsat 위성영상자료를 영상 분류기법에 적용하여 몽골 Tuv지역의 울란바타르와 광산개발지역을 대상으로 시간적 변화에 따른 토지피복 상태를 정량적으로 계산하고자 한다. 따라서 토지피복 특성이 잘 나타나는 8월의 2001년부터 2009년까지 3년 주기의 영상을 취득하여, 토지피복 상태를 나대지, 녹지, 사막지역 및 광산지역으로 구분을 통해 도심지역의 확장과 광산지역의 개발 산업으로 인한 토지피복변화 분석을 수행하였다.

다음 Fig. 1은 연구흐름도를 나타낸다.

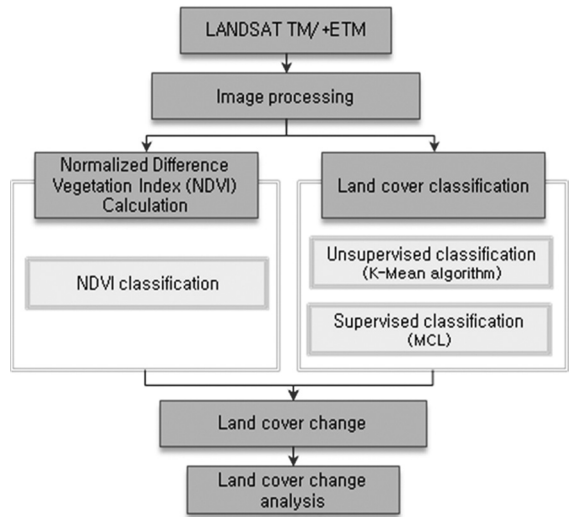


Fig. 1. Flow chart

2. 이론적 고찰

2.1 영상분류 방법

본 연구에서는 연구대상지의 토지피복 변화를 탐지하기 위해 구축된 위성영상에 대하여 영상분류를 수행하였다. 영상분류 알고리즘에 대해 지금까지의 선행연구를 검토한 결과 가장 높은 정확도를 얻을 수 있는 분류 방법을 선정하였으며 무감독분류에서 높은 정확도를 보인 K-Means와 감독분류에 MLC(Maximum Likelihood Classification)를 적용하였다. 또한 NDVI를 이용한 토지피복변화분석을 수행하였다.

무감독분류는 영상에 나타나 있는 지역에 대한 사전정보 없이 영상을 구성하는 화소값의 공간적, 분광적 특성만을 고려한 알고리즘을 이용하여 분류하는 방법으로 훈련지역의 선정과정 필요하지 않다(Kwah, 2005). 일반적으로 영상에 대한 사전지식의 없을 경우 적은 입력변수를 요구하는 K-Means 알고리즘을 적용하는 것이 정확한 결과를 생성할 수 있어 적용하였으며(Jong and Kim, 2003), 분류항목으로는 나대지, 사막지역, 광산지역과 녹지 등 5개의 항목을 정하여 분류를 반복 수행하였다.

감독분류는 분류 항목 및 각 분류 항목별 훈련지역을 분석하고자 지정하고, 훈련지역 특징을 기준으로 영상자료를 분류하는 방법으로서, 감독분류의 다른 분류 기법에 비해 정확도에서 보다 유리하다는 장점을 가지고 있고 각 토지피복클래스의 분포를 효과적으로 표현할 수 있는 MLC를 사용하여 분

류 작업을 수행하였다(Kang, 2006).

NDVI는 식생피복에서 녹색정도를 측정하는 것이다. 지수의 계산 원리는 NIR(근적외선)과 Red(적색 가시영역)에서 녹색 식물의 반사를 차이가 크게 나는 것을 이용하여 두 영역에서 관측되어진 영상에 일정한 수식을 적용하여 식생의 상태를 나타내는 영상을 얻어내는 것이다(Park, 2010). 본 연구에서는 2001년에서 2009년 사이에서 4개년도의 영상을 선택하여 NDVI를 적용하였다.

본 연구에서 사용된 토지피복분류방법의 수식은 일반적으로 잘 알려져 있기 때문에 참고문헌으로 대체하였다.

2.2 연구 자료 취득

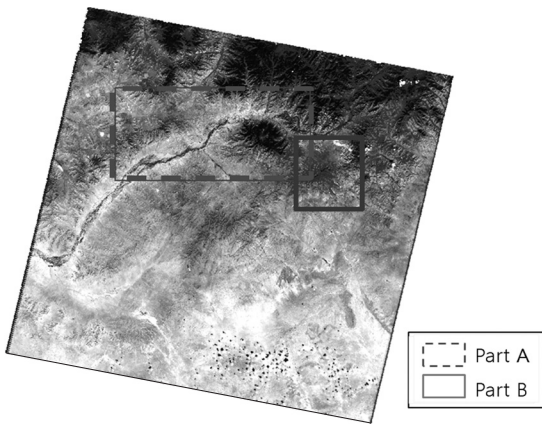


Fig. 2. Landsat image of study area (Part A - Urban area, Part B - Mining area)

본 연구에서는 몽골 Tuv지역의 경도 106.17E~107.32E, 위도 47.52N~48.01N의 도심지역, 경도 107.21E~107.58E, 위도 47.45N~47.79N의 광산지역을 연구대상지역으로 선정하였다. Fig. 2는 대상지역을 나타낸 것이다. 대상지역은 지형적 특성과 광산업의 발달, 풍부한 임목 및 수계를 보유하고 있어 인구 밀집현상이 발생하고 있거나 고비사막과 근접하게 위치하고 있어 황사로 인한 대기오염 및 황폐화에 크게 노출되어 있는 지역을 본 연구대상지로 선정하였으며 사용한 위성영상은 2001, 2003, 2006, 2009년 8월의 Landsat TM/+ETM 위성영상을 이용하였다.

3. 몽골 Tuv지역의 토지피복도 변화 분석

3.1 무감독분류에 의한 토지피복분류 결과

몽골 Tuv지역에서 연구대상 지역으로 선택한 도심지역과

광산지역을 토지피복변화 탐지 및 토지 황폐화 대책을 수립하기 위하여 영상의 5개 분류 항목을 설정하고 훈련 기준자료로 구성하였으며, 위성영상의 분류 방법을 적용하여 분류를 수행하였다. Table 1은 영상의 분류 항목이며 Figs. 3 and 5는 연구대상지역의 도심지역과 광산지역을 2001년, 2003년, 2006년, 2009년 영상에 대해 영상에 나타나 있는 지역에 대한 사전정보 없이 수학적인 도구를 사용하여 분류하는 방법으로서 K-Means 알고리즘을 적용한 무감독 분류 방법에 의해 작성된 각 시기별 토지피복분류 결과를 나타내고 있다.

Table 1. Legend of land cover classification

Classification	Class
	Green area
	Mixed area
	Sandy area
	Mining area
	Others

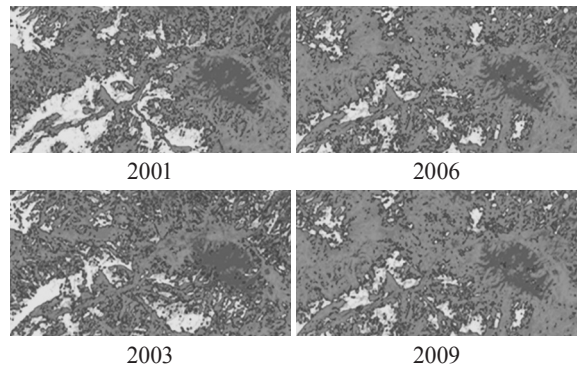


Fig. 3. Land cover classification of urban area by K-Means, Part A

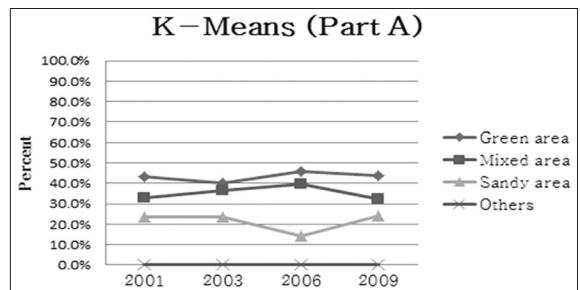


Fig. 4. Yearly result of K-Means classification by the comparison of percent, Part A

Table 2. Yearly result of K-Means classification for land cover(%), Part A

Class	2001	2003	2006	2009
Green area	43.2%	40.0%	46.0%	43.8%
Mixed area	33.1%	36.5%	39.8%	32.1%
Sandy area	23.7%	23.5%	14.2%	24.1%

무감독분류방법에 의한 도심지역의 경우 분류된 결과에 따라 토지피복지도에서 분류클래스별 면적을 계산하여 다음 Fig. 4와 Table 2 같은 결과를 얻을 수 있었다. 도심지역의 토지피복분류 결과는 Table 2와 같이 Green area는 2001년부터 2003년까지 감소추세를 보였으나 그 후 2006년의 결과에서는 증가하다가 2009년에 2.2%정도로 감소 추이를 나타내고 있다. 그러나 2006년도에 Green area가 증가하는 이유는 다른 연도에 비해 강우량이 크게 증가하여 나타난 결과임을 몽골 통계 자료로 확인할 수 있었다(National Statistical Office of Mongolia, 2005). Mixed area는 2006년에 40%까지 증가하다가 급격히 감소하여 2009년에는 32%정도로 변화하였다. 마지막으로 Sandy area의 경우는 2006년에 14% 정도까지 감소하다 2009년에 24%로 급격히 증가하는 형태를 나타내었다. 이와 같이 Green area 감소하고 Sandy area가 증가하는 것은 최근 도심지역으로 이동하는 인구로 인한 밀집에 의하여 위와 같은 결과를 보이고 있는 것과 일치함을 알 수 있다 (Adyasuren and Dash, 2001).

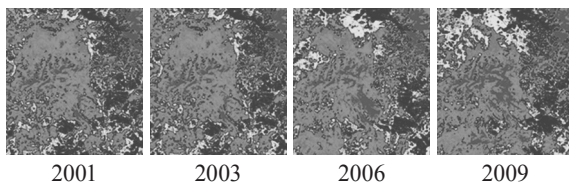


Fig. 5. Land cover classification of mining area by K-Means, Part B

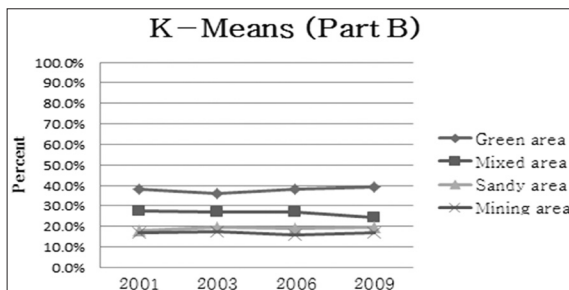


Fig. 6. Yearly result of K-Means classification by the comparison of percent, Part B

Table 3. Yearly result of K-Means classification for land cover(%), Part B

Class	2001	2003	2006	2009
Green area	38.0%	35.8%	38.3%	39.3%
Mixed area	27.6%	27.2%	26.9%	24.1%
Sandy area	17.7%	19.4%	18.8%	19.5%
Mining area	16.7%	17.6%	16.0%	17.1%

광산지역의 분류 결과는 Fig. 6과 Table 3 같이 Green area가 점차 증가함을 알 수 있으며, 2003년에 경우 산간지역을 중심으로 Mining area의 점진적인 증가와 Green area의 감소를 통해 광산개발지역이 확산되고 있음을 확인 할 수 있었다. 또한 Mixed area의 감소와 2001년부터 2009년까지 Sandy area는 2% 정도가 증가함을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 대상 지역에서 광산의 급속한 개발 및 개발 후 원상복구가 충분하지 못했기 때문으로 보인다(Bayarjargal *et al.*, 2000).

3.2 감독분류에 의한 토지피복분류 결과

감독분류는 MLC를 적용하여 분석하였으며 Fig. 7 and 9

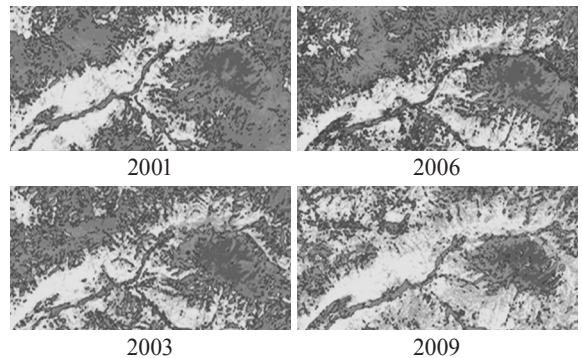


Fig. 7. Land cover classification of urban area by MLC, Part A

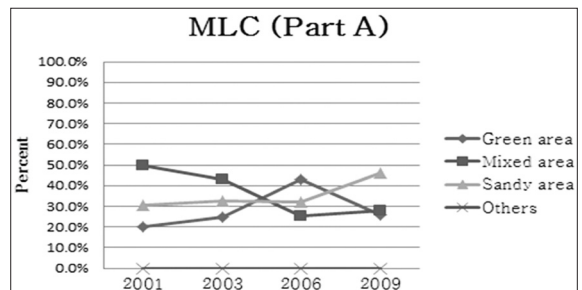


Fig. 8. Yearly result of MCL classification by the comparison of percent, Part A

Table 4. Yearly result of MLC classification for land cover(%), Part A

Class	2001	2003	2006	2009
Green area	20.0%	24.5%	42.8%	25.6%
Mixed area	49.7%	43.2%	25.3%	28.1%
Sandy area	30.3%	32.3%	31.9%	43.3%

는 연구대상지역 도심지역 및 광산지역의 2001년, 2003년, 2006년, 2009년의 감독 분류 방법에 의해 작성된 토지피복 분류 결과이다.

MLC에 대한 도심지역의 분류결과 Table 4와 같이 Green area는 급격히 감소하여 25.7%의 비율을 나타냈으며, Mixed area 경우에는 반대로 25.3%에서 28.1%정도로 증가하고 있음을 알 수 있었다. 그러나 Sandy area이 경우 2001년 30.3%에서 2009년에는 약 16%가 증가된 46.3%의 높은 비율을 차지하는 것으로 나타났다.

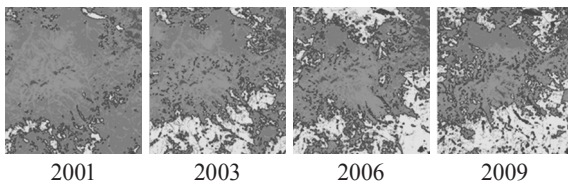


Fig. 9. Land cover classification of mining area by MLC, Part B

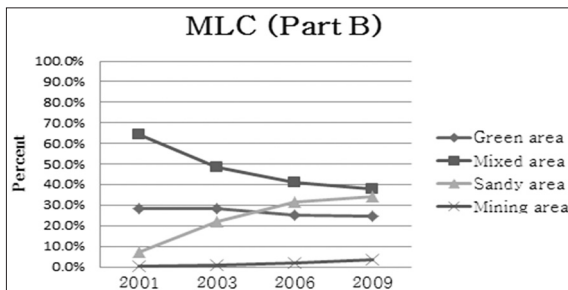


Fig. 10. Yearly result of MLC classification by the comparison of percent, Part B

Table 5. Yearly result of MLC classification for land cover(%), Part B

Class	2001	2003	2006	2009
Green area	28.2%	28.6%	25.4%	24.5%
Mixed area	64.1%	48.4%	40.9%	37.8%
Sandy area	7.2%	22.2%	31.5%	34.3%
Mining area	0.5%	0.8%	2.2%	3.4%

광산지역의 분류 결과 Table 5와 같이 Green area의 경우 28.2%에서 24.5%로 감소가 이루어짐을 알 수 있었다. Sandy area의 경우 2001년에 7.2% 정도 있었으나 2009년에는 약 4 배가량 증가하여 34%정도로 나타났다. 이와 같은 결과는 Mining area의 증가를 포함시켜 분석해 볼 때 광산개발산업의 확장으로 Mixed area가 Sandy area로 전환되는 것으로 볼 수 있다.

3.3 NDVI에 의한 토지피복분류 결과

본 연구에서 사용한 NDVI는 1969년 Kriger가 고안한 NDVI로 식생이 없는 지역은 -1, 식생이 가장 활발히 분포한

Table 6. NDVI range for land cover classification

Class	Normative range of NDVI
Green area	0.2~1
Mixed area	0.0~0.2
Sandy area	-0.1~0.0
Mining area	-1~-0.1
Others	-1~-0.1

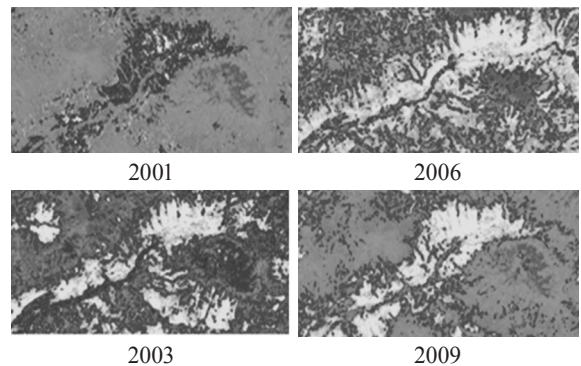


Fig. 11. Land cover classification of urban area by NDVI, Part A

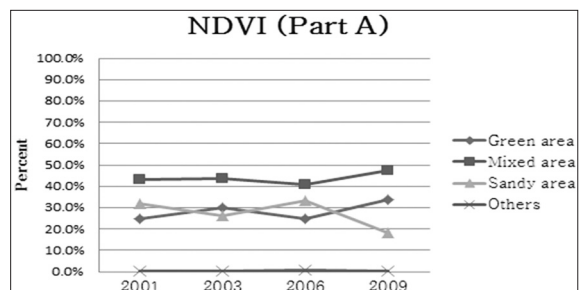


Fig. 12. Yearly result of NDVI classification by the comparison of percent, Part A

Table 7. Yearly result of NDVI classification for land cover(%), Part A

Class	2001	2003	2006	2009
Green area	24.8%	29.9%	24.9%	33.9%
Mixed area	43.1%	43.8%	40.9%	47.6%
Sandy area	31.8%	26.0%	33.5%	18.3%
Others	0.3%	0.3%	0.7%	0.3%

지역에서 1의 값을 갖도록 정규화한 NDVI이다(Park, 2010). 이런 NDVI의 특성과 몽골지역특성을 고려하여 0에 가까운 값을 갖는 사막화지역과 0.4~1사이의 녹지지역 등으로 토지 피복분류 기준범위를 선정하였다. 다음 Table 6은 토지피복분류에 따른 NDVI 기준범위를 선정한 것이다. Figs. 11 and 13은 도심지역과 광산지역의 2001년, 2003년, 2006년, 2009년의 NDVI 분류 방법에 의해 작성된 토지피복분류 결과이다.

본 연구에서 NDVI에 의한 방법으로 토지피복변화를 분석한 결과는 도심지역의 경우 Fig. 12와 Table 7과 광산지역의 경우 Fig. 14와 Table 8과 같다. 도심지역의 경우 NDVI에 의해 분류한 결과는 NDVI의 특성으로 인해 수계 및 일부 도심지역이 기타지역(Others)의 영역으로 분류되었다. 2009년에 Sandy area가 감소추세를 보였으나 그 이유는 NDVI의 분류 기준 특성으로 인하여 분류단위가 되는 하나의 픽셀에 Sandy area가 Mixed area로 포함되어 나타나는 결과에 의한 것으로 사료된다.

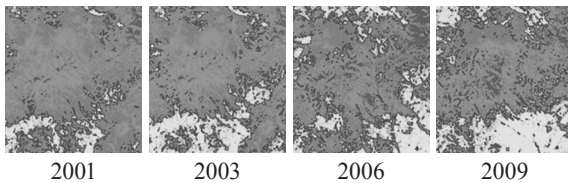


Fig. 13. Land cover classification of mining area by NDVI, Part B

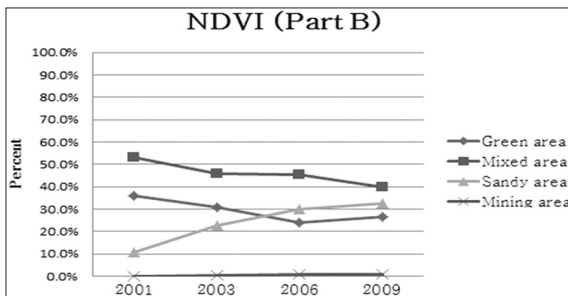


Fig. 14. Yearly result of NDVI classification by the comparison of percent, Part B

Table 8. Yearly result of NDVI classification for land cover(%), Part B

Class	2001	2003	2006	2009
Green area	35.8%	30.7%	23.8%	26.6%
Mixed area	53.1%	45.9%	45.6%	40.0%
Sandy area	10.9%	22.9%	29.9%	32.4%
Mining area	0.2%	0.5%	0.7%	1.0%

NDVI를 이용하여 분류된 Mining area의 경우 점진적으로 해당 면적이 증가하였지만 다른 분류기법에 비해 차지하는 면적이 상당히 적음을 알 수 있다. 이는 피복분류 시 식생에 특화되어 있는 NDVI의 특성에 따른 분류오차로 사료된다. 그러나 Mixed area의 경우 Sandy area 변화로 인하여 Sandy area 면적량이 증가함을 알 수 있었다. 또한, Green area는 다른 두 분류기법에 의해 분류된 면적과 약 5-10%의 차이를 보이고 있다. 이것은 기법들 간의 분류기준의 차이에 의한 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구는 Landsat TM/+ETM 위성영상을 이용하여 몽골 Tuv지역의 토지피복변화와 광산지역 확대 추이를 분석한 결과는 다음과 같다.

첫째, 다중 시기별 Landsat 위성영상자료를 각 영상분류기법에 적용하여, 분류항목별 피복면적을 정량적으로 제시할 수 있었다.

둘째, 영상분류에 의한 무감독분류, 감독분류, NDVI 등 분류기법들 통해 대상지역의 토지피복분류 변화를 볼 수 있으며 토지피복분류 결과는 도심지역과 광산지역의 녹지와 목초지는 전체적으로 감소하고 있으며 사막지역과 광산 지역이 약 11% 정도 증가된 것으로 나타났으며, 이는 도심지역의 인구 밀집과 광산지역의 급속한 개발의 결과로 판단된다.

셋째, 본 연구에서 제시한 토지피복분류를 통한 토지피복 변화 추이 분석은 특정 대상지역의 인구 밀집 및 개발 등 지역적 특성에 따른 사막화 등 기후변화에 대처할 수 있는 의미 있는 자료가 될 수 있을 것이다.

향후 고해상도 및 초분광 위성영상 자료를 이용한 추가적인 자료 구축이 이루어진다면, 몽골의 환경문제, 토지 황폐화, 사막화방지 등을 위한 대책 수립에 본 연구 결과가 크게 활용될 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 정부의 재원으로 한국연구재단(NRF-2012R1A1A2038703)의 지원을 받아 수행하였습니다.

References

- Adyasuren, T. and Dash, D. (2001), Reasons of land degradation and its current situation in Mongolia, *In Abstracts of Open Symposium on Change and Sustainability of Pastoral Land Use Systems in Temperate and Central Asia*, Environmental Policy of Mongolia, 28 June-1 July, Ulaanbaatar, Mongolia, pp. 25-28.
- Batjargal, Z. (1997), *Desertification in Mongolia*, RALA Report No. 200, Agricultural Research Institute, Reykjavik, Iceland, pp.107-113.
- Bayarjargal, Yu., Adyasuren, T., and Munkhtuya, S. (2000), Drought and vegetation monitoring in the arid and semi-arid regions of the Mongolia using remote sensing and ground data, *The Global Geospatial Magazine*, Noida India, <http://www.geospatialworld.net/paper/application/ArticleView.aspx?aid=1042> (last date accessed: 4 April 2008).
- Erdenetuya, M. and Khudulmur, S. (2008), Land cover change and pasture estimation of Mongolia from space, *The Global Geospatial Magazine*, Noida India, <http://www.gisdevelopment.net/application/environment/conservation/envc0002pf.htm> (last date accessed: 15 February 2009).
- Jong, S. and Kim, J. (2003), A study on the unsupervised classifiers for Landsat TM image, *The Research Institute of Industrial Technology Development*, Vol. 17, pp. 127-134. (in Korean with English abstract)
- Kang, S. (2006), *Analysis of Thermal Distribution According to Landcovers in Urban Area Using Landsat TM and ETM+ Data*, Master's thesis, Kumoh National Institute of Tehnology, Gyeongsangbuk-do, Korea, 49p. (in Korean with English abstract)
- Kwah, M. (2005), *A Study on the Urban Land Use Change over Gwangju City Using Satellite Image and GIS*, Master's thesis, Chonnam National University, Gwangju, Korea, 75p. (in Korean with English abstract)
- National Statistical Office of Mongolia (2005), Monthly bulletin of statistics, *National Statistical Office of Mongolia*, Ulaanbaatar, Mongolia, <http://www.1212.mn/> (last date accessed: 13 October 2014).
- Park, J. (2010), Change detection of vegetation using Landsat image, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 28, No. 2, pp. 241-248. (in Korean with English abstract)
- Sankey, T.T., Sankey, J.K., Weber, T., and Montagne, C. (2010), *Final Report: Comparing Effects of Management Practices on Rangeland Health with Geospatial Technologies*, NNX06AE47G, GIS TReC, Pocatello, USA, pp. 85-96.
- Suld, E. (2011), Land cover classification of satellite imagery using techniques change analysis of desertification in Mongolia, *NSDI Conference on Geo-Spatial Information*, Korean Society for Geospatial Information and Korea Spatial Information Society, 28 October, Ilsan, pp. 222-223. (in Korean)