

Landsat 위성영상을 이용한 황사발생 원인지역의 녹지 환경 변화 분석

이종신¹ · 박준규² · 윤희천^{1*}

Change Analysis of the Greenbelt Environment in the Region of Yellow Dust Origin Using Landsat Satellite Images

Jong-Sin LEE¹ · Joon-Kyu PARK² · Hee-Cheon YUN^{1*}

요 약

중국의 사막화로 인해 발생한 황사 방지대책의 일환으로 우리나라의 전문시민단체와 기업에서는 2008년부터 매년 황사발생 원인지역에 나문재를 파종하고 있다. 이와 관련하여 황사발생 원인지역의 녹지 환경 조성 계획을 위해서는 대상지의 녹지화 현황 분석이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 녹지 환경의 조성 현황을 파악하고 분석하기 위해 Landsat 5 TM 위성영상과 Landsat 8 위성영상을 기반으로 영상분류를 통한 녹지 환경을 분석하였으며, 소금사막 내부의 상세한 녹지 환경 및 식생지수를 파악하기 위해 NDVI를 이용한 분석을 수행하였다. 그 결과, 2009년에서 2011년 사이에는 소금사막과 나대지가 대폭 감소하고 녹지가 증가하는 녹지화가 효율적으로 진행된 반면, 2011년에서 2013년 사이에는 녹지 면적이 급격히 감소하고 나대지가 증가한 것으로 나타났다. 이를 통해 2011년 이후 녹지 환경 조성에 어려움이 있는 것을 알 수 있었으며, 향후 녹지화 사업 시 위성영상을 이용한 사업 수행이 필요할 것으로 판단된다.

주요어 : 황사, 사막, Landsat, 녹지, 위성영상

ABSTRACT

The interest group and corporation in Korea have cultivated Suaeda grass in the source area every year as a plan to prevent the yellow dust due to Chinese desertification. It needs the afforestation analysis about the research area to plan the greenbelt environment development in the region of yellow dust origin. Thus, this research analyzed the greenbelt environment based on Landsat 5 TM satellite image

2014년 5월 31일 접수 Received on May 31, 2014 / 2014년 9월 15일 수정 Revised on September 15, 2014 / 2014년 10월 17일 심사완료 Accepted on October 17, 2014

1 충남대학교 토목공학과 Dept. of Civil Engineering, Chungnam National University

2 서울대학교 토목과 Dept. of Civil Engineering, Seoul University

* Corresponding Author E-mail : hcyoon@cnu.ac.kr

and Landsat 8 image to grasp and analyze the present of greenbelt environment development. And this research analyzed the inside of the salt desert to understand the detailed greenbelt environment and vegetation index. As a result, it represents that the afforestation was accomplished efficiently between 2009 and 2011, while the greenbelt area was decreased rapidly and bare soil was increased between 2011 and 2013. Through these results, we could recognize that it is in trouble about the greenbelt environment development after 2011 and it needs the project implementation using satellite image when the next afforestation project is planned henceforth.

KEYWORDS : *Yellow Dust, Desert, Landsat, Greenbelt, Satellite Image*

서론

황사는 주로 봄철에 중국 또는 몽골의 사막에 있는 모래와 먼지가 상승하여 편서풍을 타고 멀리 날아가 서서히 가라앉는 현상이다 (Yoon *et al.*, 2010). 기상청에 따르면 1990년대에는 연평균 황사발생빈도가 3.3회 정도였으나 2000년 이후 평균 8.6회로 급격히 증가하였으며, 황사에 오염물질이 포함되는 등 심각성이 가중되고 있는 추세이다. 특히, 최근 4년간(2008년~2011년) 발생한 황사 중에서 일반 황사에 비해 2배 이상의 중금속 농도가 포함된 황사(오염황사)의 발생율이 증가하는 것으로 나타나 대기질 오염에 영향을 주고 있다. 또한 황사에 포함된 미세먼지 농도의 증가로 인해 기관지염, 천식 등의 호흡기 질환과 자극성 결막염 등 안구질환을 유발할 수 있으며, 우천 후에는 토양으로 침투하여 초원을 퇴화시키는 등 악영향을 미치고 있다 (Shin and An, 2004; Yun and Lee, 2014). 이와 같이 황사로 인한 피해가 날로 심각해짐에 따라 최근에는 황사 현상의 현황 분석 및 방지대책과 관련된 연구들이 활발하게 진행되고 있다. Lee *et al.*(2008)는 중국과 몽골 사막주변의 식생수분지수를 산출하기 위해 SPOT/ VEGETATION 위성영상을 이용하여 정규 수분지수(NDWI : Normalized Difference Water Index)를 산출하는 연구를 수행하였다. Jeong(2009)은 토지피복변화와 생태계 평가지표를 사용하여 쿠부

치 사막 일대의 사막화 경향을 파악하고 지형변수와 인문환경변수와의 관계 분석을 통해 사막화의 주요인을 파악하는 연구를 수행하였다. Moonon(2010)은 Landsat TM 및 Landsat ETM+ 위성영상의 시계열 자료를 이용하여 몽골 사막지역의 토지피복 분류를 수행하고, NDVI(Normalized Difference Vegetation Index) 지표와의 상관관계를 분석함으로써 시간에 따른 사막화 지역의 토지피복 변화를 분석하였다(Prince, 1986; Benedetti, 1994; Lee and Kim, 2005).

이와 같이 황사관련 연구뿐만 아니라 국제적인 해결방안 모색 및 황사 피해의 최소화를 위해 한국·중국·일본 환경장관회의(TEMM : Tripartite Environment Ministers Meeting)를 통한 국제협력을 추진하고 있으며, 몽골과 중국 등 황사발생 원인 지역에 사막화방지를 위한 녹지화 사업을 진행하고 있다. 그러나 사업의 진행에 따른 녹지 환경 변화에 대한 지속적인 분석이 미흡한 실정이다. 이에 본 연구에서는 위성영상을 이용하여 중국의 황사발생 원인지역을 대상으로 녹지화 현황을 파악 및 분석하고, NDVI 값을 산출함으로써 녹지의 환경변화를 탐지하고자 한다.

연구대상지

최근 10년 간 우리나라에 황사발생의 영향을 준 지역들 중 고비사막과 내몽골 고원이 80%로 가장 큰 영향을 주는 지역에 해당된다. 이에

본 연구에서는 황사발생의 주요 원인지역 중 2008년부터 현재까지 우리나라의 전문시민단체와 기업에서 녹지화 사업을 진행하고 있는 차간노르 지역을 대상지로 선정하였다. 녹지화 사업에는 물이 부족한 현지 특성을 고려하여 많은 물이 필요하지 않은 자생식물 일종인 나문재(알칼리 토양에서도 자라는 명아주과 식물)를 과종하였다.

그림 1은 연구대상지인 차간노르 지역이며, 중국 네이멍구자치구에 해당된다.

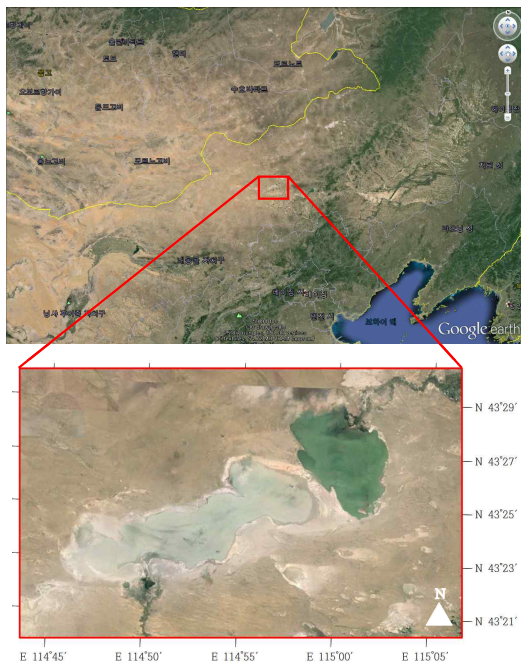


FIGURE 1. Research area

차간노르는 2000년 이전까지 호수였다가 2002년 완전히 말라버린 후 염분 성분의 황사가 발생하는 알칼리성 황사의 시작점에 해당된다.

영상분류를 통한 녹지 환경 분석

1. 영상분류

차간노르 녹지화 사업의 매커니즘 상 나문재의 생장 시기가 7월~10월에 해당되는 것을 고

려하여 위성영상은 각각 2009년 7월 2일 Landsat 5 TM, 2011년 8월 9일 Landsat 5 TM, 2013년 8월 30일 Landsat 8 OLI 영상을 사용하였다. 그림 2는 본 연구에서 사용한 세시기 위성영상의 RGB 조합을 나타낸다.



(a) 2 July 2009



(b) 9 August 2011



(c) 30 August 2013

FIGURE 2. Satellite images

차간노르 지역은 현재 단순한 토지피복을 보이고 있으며, 크게 호수와 소금사막, 나지와 일부 식생이 분포하고 있다. 각 시기별 녹지화 현황을 파악 및 분석하기 위해 표 1과 같이 훈련

집단을 4가지 클래스로 구분하고 가장 적합한 영상분류 방법을 선택하기 위하여 분류 방법별 정확도 분석을 실시하였다. 그림 3은 분류방법 결정을 위해 선정한 훈련집단을 나타낸다.

TABLE 1. Class of training set

Class	Symbol	Color
Lake	Lake	Blue
Salt desert	Salt desert	Red
Greenbelt	Greenbelt	Green
Bare soil	Bare soil	Yellow



FIGURE 3. Training set setting for error matrix

영상분류는 일반적으로 많이 사용되는 최소거리법(Minimum Distance), 최대우도법(Maximum Likelihood), SVM(Support Vector Machine)을 사용하였으며, 분류 결과는 표 2와 같이 오차행렬로 작성하고 각 분류 방법별 생산자정확도, 사용자정확도, 전체정확도를 산출하였다.

TABLE 2. Error matrix

		Minimum Distance				Total	User's accuracy
	Lake	Salt desert	Green belt	Bare soil			
Lake	25	0	7	0	32	78.1%	
Salt desert	0	25	0	0	25	100%	
Greenbelt	0	0	18	0	18	100%	
Bare soil	0	0	0	25	25	100%	
Total	25	25	25	25	100	100%	
Producer's accuracy	100%	100%	72.0%	100%	100%	93.0%	

		Minimum Distance				Total	User's accuracy
	Lake	Salt desert	Green belt	Bare soil			
Lake	25	0	0	0	25	100%	
Salt desert	0	25	0	0	25	100%	
Greenbelt	0	0	25	0	25	100%	
Bare soil	0	0	0	25	25	100%	
Total	25	25	25	25	100	100%	
Producer's accuracy	100%	100%	100%	100%	100%	100%	

		SVM				Total	User's accuracy
	Lake	Salt desert	Green belt	Bare soil			
Lake	25	0	2	0	27	96.2%	
Salt desert	0	25	0	0	25	100%	
Greenbelt	0	0	23	0	23	100%	
Bare soil	0	0	0	25	25	100%	
Total	25	25	25	25	100	100%	
Producer's accuracy	100%	100%	92.0%	100%	100%	98.0%	

산출 결과 전체 정확도는 최소거리법의 경우 93.0%, 최대우도법 100.0%, SVM 98.0%로 나타났다. 특히 최소거리법과 SVM의 경우 식생의 생산자 정확도, 호수의 사용자 정확도가 상대적으로 낮게 나타나 본 연구에서는 최대우도법이 가장 적합한 것으로 판단되었다.

그림 4는 영상분류를 위해 선정한 분류항목별 훈련집단을 나타내고, 그림 5는 최대우도법에 의한 각 시기별 분류 결과를 나타낸다.

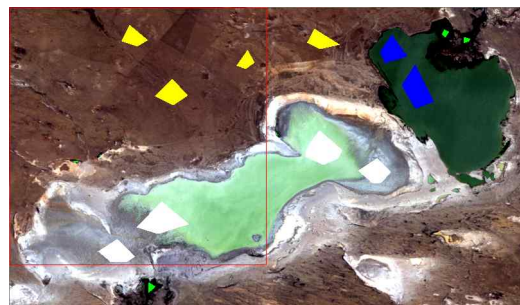
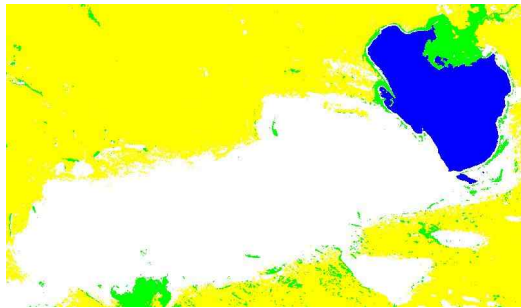
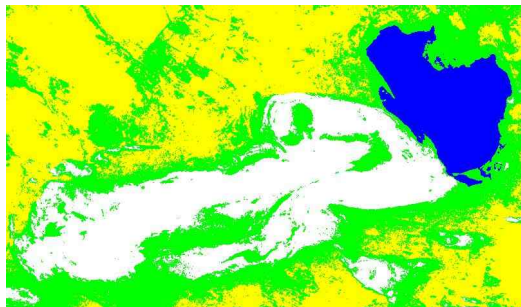


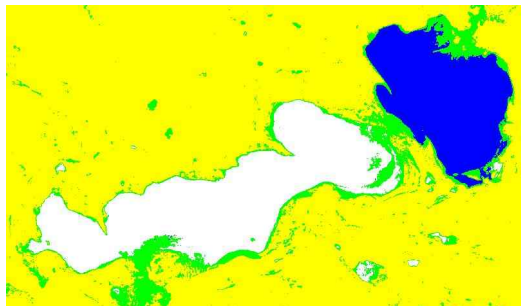
FIGURE 4. Training set setting for image classification



(a) 2 July 2009



(b) 9 August 2011



(c) 30 August 2013

FIGURE 5. Result of classification

2. 녹지 환경 분석

그림 5에서 보는 바와 같이 2009년 영상에서 녹지로 분류된 지역은 우측 상단의 일부와 좌측 하단의 일부만 해당이 되었다. 이러한 결과는 2008년부터 시작된 녹지화 사업을 통해 생성된 지역으로 판단된다. 또한, 2011년에는 녹지화 지역이 대폭 늘어난 것을 확인할 수 있다. 그러나 2013년에는 녹지면적이 급격히 줄어든 것을 볼 수 있다.

보다 구체적인 변화양상을 확인하기 위해 녹지화로 인한 분류 항목별 면적변화를 표 3과 그림 6에 나타내었다.

TABLE 3. Change of greenbelt environment (km²)

Class	Lake	Salt desert	Greenbelt	Bare soil
2009	25.1613	139.7763	13.1490	157.7736
09~11 Change	↑1.7856	↓60.9750	↑97.3980	↓38.2086
2011	26.9469	78.8013	110.5470	119.5650
11~13 Change	↑2.6001	↓26.0595	↓85.0077	↑108.4671
2013	29.5470	52.7418	25.5393	228.0321

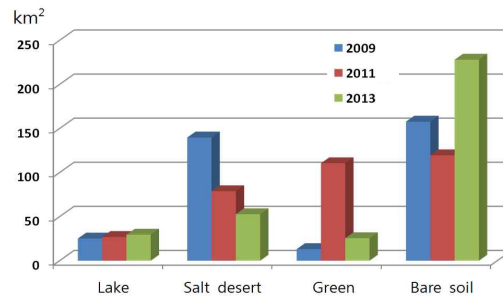


FIGURE 6. Change graph of greenbelt environment

영상분류를 통해 소금사막 주변지역의 녹지 환경 변화를 분석한 결과 소금사막의 면적은 2009년에서 2011년 사이 60.9750km², 2011년에서 2013년 사이 26.0595km² 만큼 감소하였으며, 녹지의 면적은 2009년에서 2011년 사이 97.3980km² 만큼 증가하였으나, 2011년에서 2013년 사이에는 85.0077km² 만큼 감소하였다. 나대지의 면적은 2009년에서 2011년 사이 38.2086km² 만큼 감소하였으나, 2011년에서 2013년 사이에는 108.4671km² 만큼 증가한 것으로 나타났다.

NDVI를 이용한 녹지 환경 분석

식생지수는 단위가 없는 복사값으로, 식생의

분포량 및 활동성, 엽록소 함량 등의 각종 식생 정보를 나타내는 지수로 현재 약 20여 종류의 식생지수가 사용되고 있으며, 이 중 정규화 식생 지수인 NDVI(Normal Distribution Vegetation Index)가 가장 보편적으로 사용되고 있다. 근적외 밴드에서 가시광선 Red 밴드의 차를 이 두 밴드의 합으로 나눈 식으로 표현되며, -1에서 +1의 범위를 가지며 +1에 가까울수록 식생의 분포량과 활동성이 크다는 것을 의미한다.

그림 7은 시계열에 따른 NDVI 산출 결과를 나타낸다.

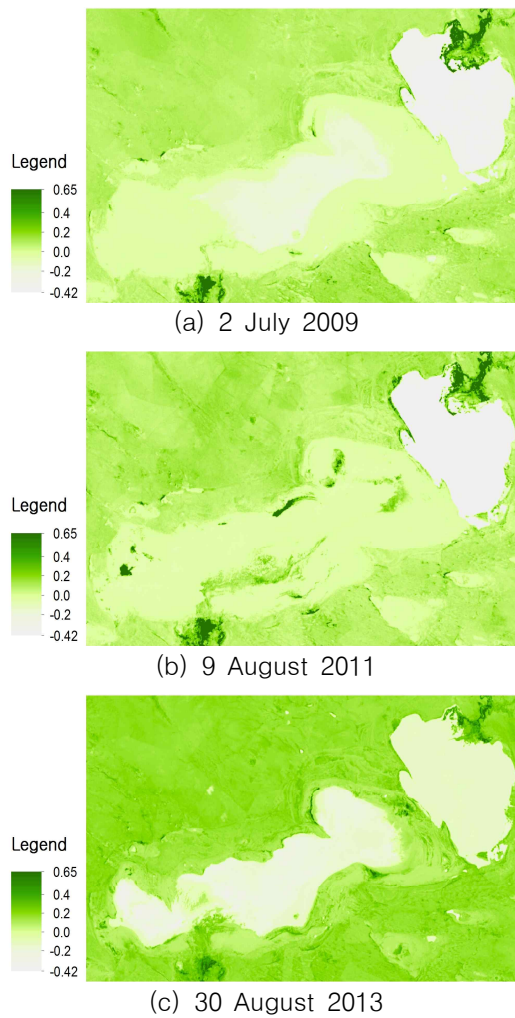


FIGURE 7. NDVI result

NDVI 분류 결과 2009년의 경우 영상분류 결과와 유사하게 우측 상단과 좌측 하단 지역에서 식생지수가 높게 나타났으며, 2011년에는 2009년과 비교하였을 때 소금사막 내부까지 녹지화 지역이 대폭 증가한 것을 확인할 수 있었다. 특히, 중앙부 띠모양의 높은 식생지수값을 나타내는 지역은 그림 5(b)에서 소금사막 내부의 식생결과값과 유사한 형태를 띠고 있는 것을 알 수 있었다. 그러나 2013년에는 소금사막 안쪽에서 녹지화 지역이 나타나지 않았다.

NDVI 결과를 바탕으로 구체적인 식생 변화를 확인하기 위해 산출된 NDVI 결과에서 일반적으로 식생이라고 보는 값인 NDVI 0.2 이상인 지역(Landsat 8 영상의 경우 0.25 이상)을 추출하였다.

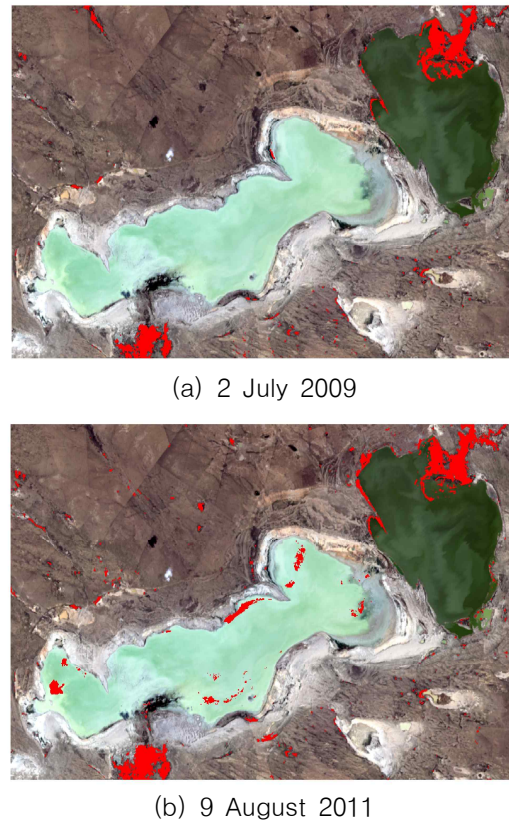
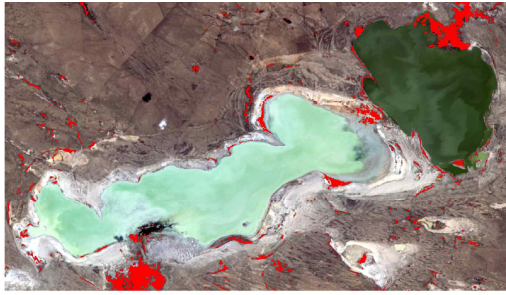


FIGURE 8. Region of vegetation distribution



(c) 30 August 2013

FIGURE 8. Continued

그림 8에서 보는 바와 같이 2009년의 경우 소금사막 안쪽에는 식생이 나타나지 않았으나, 2011년에는 소금사막 내부에 식생이 분포하는 것을 알 수 있었다. 녹지화 사업이 끝난 2013년의 경우에는 소금사막 내부의 식생은 거의 나타나지 않았으며, 일부 외곽부분에서만 식생이 분포한 것으로 나타났다.

식생 분포의 정량적인 확인을 위해 그림 9과 같이 녹지화 사업이 진행된 소금사막 내부의 식생에 대한 면적을 산출하였다. 표 4와 그림 10은 소금사막 내부 녹지 면적의 변화를 나타낸다.



FIGURE 9. Region of afforestation (30 August 2013)

TABLE 4. Change of greenbelt environment in the inside of the salt desert

Item	No. of Pixel	Resolution	Area(m ²)
2009	38	30m	34,200
2011	1,599	30m	1,439,100
2013	206	30m	185,400

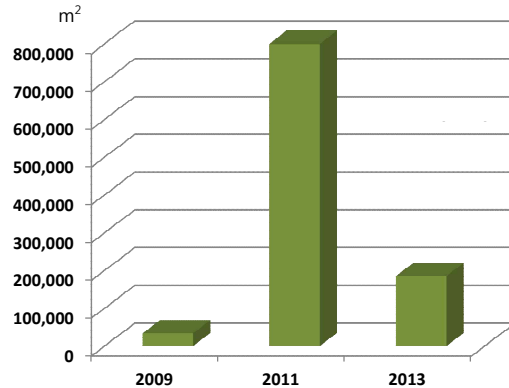


FIGURE 10. Change graph of greenbelt environment in the inside of the salt desert

산출결과 소금사막 내부에서는 2009년 34,200m²의 식생이 분포하는 것으로 나타났으며, 2011년에는 799,500m²으로 증가하였다가 2013년에 185,400m²로 감소하는 것으로 나타났다.

결론

본 연구에서는 Landsat 위성영상을 이용하여 중국의 황사발생 원인지역을 대상으로 녹지화 현황을 파악하였으며, 보다 구체적인 녹지화 환경 분석을 위해 NDVI 값을 산출한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.


첫째, 영상분류를 통해 소금사막 주변지역의 녹지 환경 변화를 분석한 결과 녹지화 사업으로 2009년에서 2011년 사이에는 소금사막과 나대지가 각각 60.9750km², 38.2086km² 만큼 대폭 감소하고, 감소한 면적만큼 97.3980km²가 녹지화 된 것을 알 수 있었다. 그러나 2011년 이후 녹지화 추세가 급격히 감소하게 되어 2013년에는 소금사막과 녹지가 각각 26.0595km², 85.0077km² 만큼 감소하고, 감소한 면적만큼 108.4671km²가 나대지로 변한 것으로 나타났다. 이는 2011년까지 녹지화가 활발하게 이루어져 소금사막과 나대지가 모두 감소하였으나 2011년 이후 2013년까지는 녹지화 되었던 면적이

나대지화 되어 가고 있는 것을 알 수 있었다.

둘째, NDVI를 이용하여 소금사막 내부의 녹지 환경을 분석한 결과 2009년에서 2011년 사이에 녹지 면적이 700m² 이상 급격히 증가한 반면, 2011년과 2013년 사이에는 800m² 이상 급격히 감소한 것으로 나타났다. 이를 통해 2011년 이후 녹지 환경 조성이 어려운 상황임을 알 수 있었다.

셋째, 영상분류와 NDVI를 이용하여 소금사막 주변 및 내부의 녹지 환경을 분석한 결과 2011년 이후 녹지 비율이 감소하고 있는 것으로 나타나 향후 녹지화 사업 시 위성영상을 이용한다면 보다 효율적인 사업 수행이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2014년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2012R1A1A2009156). 

REFERENCES

- Benedetti, R., P. Rossini and R. Taddei. 1994. Vegetation classification in the Middle Mediterranean area by satellite data. *International Journal of Remote Sensing* 15(3):583-596.
- Jeong, J.S. 2009. Temporal-spatial change and the major factor of desertification in the Kubuqi desert and its adjacent regions, Inner Mongolia, China. Master Thesis, Seoul National University, Seoul, Korea. 129pp (정진숙. 2009. 중국 네이멍구 쿠부치(庫布齊) 사막과 주변지역 사막화의 시공간적 변화와 요인. 서울대학교 대학원 석사학위논문. 129쪽).
- Lee, G.L., Y.S. Kim, K.S. Han, C.S. Lee and J.M. Yeom. 2008. Vegetation water status monitoring around China and Mongolia desert using satellite data. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 11(4):94-110 (이가람, 김영섭, 한경수, 이창석, 염종민. 2008. 위성자료를 이용한 중국과 몽골 사막주변의 식생수분상태 모니터링. 한국지리정보학회지 11(4):94-110).
- Lee, H.R. and H.M. Kim. 2005. A correlation analysis between land surface temperature and NDVI in Kunsan city using Landsat 7 TM/ETM+ satellite images. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 8(2):31-43 (이홍로, 김형무. 2005. Landsat 7 TM/ETM+ 위성영상을 이용한 군산지역 지표 온도와 NDVI에 대한 상관분석. 한국지리정보학회지 8(2):31-43).
- Moonon, E. 2010. Detection of land cover changes using image data in desert area. Master Thesis, University of Incheon, Incheon, Korea. 55pp (뫼닝 에리텐치맥. 2010. Landsat 영상자료를 이용한 사막지역의 토지피복 변화 분석. 인천대학교 대학원 석사학위논문. 55쪽).
- Prince, S.D. and W.L. Astle. 1986. Satellite remote sensing of rangelands in Botswana I Landsat MSS and herbaceous vegetation. *International Journal of Remote Sensing* 7(11):1533-1553.
- Shin, S.C. and T.Y. An. 2004. Estimation of areal evapotranspiration using NDVI and temperature data. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 7(3):79-89 (신사철, 안태용. 2004. NDVI와 기온자료를 이용한 광역증발산량의 추정. 한국지리정보학회지 7(3):79-89).
- Yoon, S.O., C.S. Park and S.I. Hwang.

2010. Grain size characteristics of the Asian dust in Seoul and relationship to loess sediments in the west coast of Korea during the spring. Journal of the Korean Geomorphological Association 17(3):77-88 (윤순옥, 박충선, 황상일).
2010. 봄철 서울 지역에 발생한 황사의 입도 특성과 퇴스와와의 관련성. 한국지형학회지 17(3):77-88).
- Yun, H.C. and J.S. Lee. 2014. Analysis of present condition about yellow dust source area using remote sensing technique in China. Proceedings of Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography 2014, Seoul, April 24-25. pp.221-222 (윤희천, 이종신. 2014. 원격탐사기법을 활용한 중국 황사발원지의 녹지화 현황 분석. 한국측량학회 춘계 학술대회 논문집. 221-222 쪽). 