

## 동아시아의 황사발원지들에 대한 토지피복 비교 연구: 고비사막과 만주

피경진 · 한경수<sup>†</sup> · 박수재

부경대학교 위성정보과학과

### A Comparative Analysis of Land Cover Changes Among Different Source Regions of Dust Emission in East Asia: Gobi Desert and Manchuria

Kyoung-Jin Pi, Kyung-Soo Han<sup>†</sup>, and Soo-Jae Park

Dept. of Geoinformatic Engineering, Pukyong National University

**Abstract** : This study attempts to analyze the difference among the variations of ecological distribution in Gobi desert and Manchuria through satellite based land cover classification. This was motivated by two well-known facts: 1) Gobi desert, which is an old source region, had been gradually expanded eastward; 2) Manchuria, which is located in east of Gobi desert, was observed as a new source region of yellow dust. An unsupervised classification called ISODATA clustering method was employed to detect the land cover change and to characterize the status of desertification and its expanding trends using NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from VEGETATION sensor onboard the SPOT satellite for 1999 and 2007. We analyzed NDVI annual variation pattern for every classes and divide into 5 level according to their vegetation's density level based on NDVI. As results, Gobi desert is showed positive variation: a decrease 78,066km<sup>2</sup> in central Gobi desert and out skirts of Gobi desert (level-0) but Manchuria area is worse than previous time: an increase 25,744km<sup>2</sup>.

**Key Words** : desertification, land cover change, Gobi desert, Manchuria, SPOT VEGETATION.

**요약** : 본 연구에서는 변화하고 있는 지표를 파악하기 위하여 기존 황사발원지인 고비사막과 새로운 황사발원지로 주목 받고 있는 만주에 대한 토지피복 비교 분석을 수행하였다. 이를 위해 1999년과 2007년의 SPOT VEGETATION(VGT) 센서로부터 취득된 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) 10-day 자료를 사용하였다. 효율적으로 식물의 변화를 탐지하기 위해 NDVI패턴을 분석하고, 식생의 밀도에 따라 level로 분류하여 식생상태를 비교하였다. 그 결과 모든 level을 통해 황사발원지들의 동진추세를 확인할 수 있었다. 또한 기존의 황사발원지였던 고비사막과 황토고원은 positive한 변화를 보인 반면 새로운 황사발원지인 내몽골 고원과 만주는 negative한 변화를 보임을 관찰하였다. 특히 만주는 다른 황사발원지들과 다르게 사막이나 나지의 특성을 가지고 있지는 않으나 지속적으로 negative하게 변화함을 SPOT VGT의 1999년에서 2007년까지 9년 동안의 자료를 분석하여 확인하였다.

접수일(2009년 4월 14일), 수정일(1차 : 2009년 4월 23일), 게재확정일(2009년 4월 23일).

<sup>†</sup> 교신저자: 한경수(kyung-soo.han@pknu.ac.kr)

## 1. 서론

중국에서 발생하는 황사는 매년 봄철마다 심각한 문제로 대두된다. 황사의 발생 원인 중 가장 큰 영향을 주는 사막화는 최근 50년간 중국 인구의 급격한 증가와 대규모 벌목, 개간으로 가속화·확대되고 있다. 기상청 자료를 보면 2001년부터 2006년 4월까지 우리나라에 영향을 준 황사는 모두 38차례였다. 이중 76%는 한반도와 가까운 내몽골 고원 (66%)과 만주 (10%)지역에서 발생하였고, 고비사막과 황토고원은 24%에 불과했다(기상청, 2007). 2000년 이전에 고비사막과 황토고원에서 발생한 황사가 80%이상을 차지했었던 것에 비하면 황사발원지가 크게 변화한 것을 볼 수 있다. 이처럼 황사발원지의 동진 추세는 중국 내 사막지역이 서에서 동으로 점차 확대되면서 가속화되고 있다. 2000년 이후부터 사막화하고 있는 지역은 적은 강수량과 높은 증발량, 긴 겨울과 낮은 온도로 식생의 생육조건이 열악하여 급격한 생태붕괴를 불러왔다. 따라서 이전 황사발원지와 현재 황사발원지의 지표 형태와 상태를 제대로 파악하는 것은 전 지구적인 기후변화의 모니터링에 있어 상당히 중요하다고 할 수 있다.

그 동안 SPOT위성 외에 Landsat위성, Terra, Aqua 위성의 MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer) 센서 등으로부터 취득된 위성영상을 이용하여 중국의 사막화 진행을 탐지하는 연구가 활발히 진행되어 왔고, 지금도 활발한 연구가 이루어지고 있다(A. X. Liu *et al.*, 2003; S. Huang and F. Siegert, 2006; H. Liu *et al.*, 2008). 하지만 많은 선행연구에서는 토지피복 상태를 파악하기 위해 정규식생지수 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)를 사용한 정량적인 평가가 대부분이었다. 많은 연구에서 건조지역과 반 건조지역에서의 NDVI 사용의 유용성이 입증(Malo and Nicholson, 1990; Peters and Eve, 1995; Liu *et al.*, 2004a, b)되었지만 NDVI를 사용한 정량적인 평가뿐만 아니라 'sparsely vegetated land'와 'bare land'를 제대로 파악하기 위한 정성적인 평가도 이루어져야 한다. 따라서 최근 변화하고 있는 지표를 파악하기 위하여 두 영역의 지표 비교 분석이 필요하다. 또한 같은 영역에 대한 사막화 현상의 팽창과 축소 파악을 위해 장기적인 지표

변화 패턴 분석이 이루어져야 한다.

본 연구에서는 최근 변하고 있는 황사발원지들의 지표 특성을 파악하기 위하여 기존 황사발원지인 고비사막과 최근 황사발원지로 주목 받는 만주에 대한 토지피복 비교 분석을 수행하고자 한다. 아울러, 1999년과 2007년의 두 지역에 대한 토지피복분류를 수행하고 연도별·영역별 차이를 연구하여 장기적인 지표변화 패턴을 분석하고자 한다.

## 2. 자료 및 연구영역

본 연구의 범위는 Fig. 1과 같이 위도 37.9°N ~ 48.9°N, 경도 96.0°E ~ 128.5°E이며 주요 연구 영역은 중국과 몽골 사이에 위치한 고비사막과 중국 동북에 위치한 만주이다. 몽골 남부에 위치하고 몽골면적의 25% 이상을 차지하는 고비사막과 그 주변은 대륙성 기후로서 한서의 차이가 심하며 강수량이 적고 증발량이 많아 스텝기후를 보인다. 중국은 대부분이 온대 몬순권이나 영역이 크고 지형이 복잡하여 기후가 다양하다. 중국 동북 지방에 위치한 만주는 바람이 심하며 특히 겨울철 한랭한 시베리아 기단에 위치하여 하천의 동결 기간이 연중 6개월에 이를 정도로 추위가 심한 대륙성 기후를 나타낸다. 연구 자료는 1999년과 2007년 각 5월에서 10월까지의 SPOT VEGETATION (VGT) 센서로부터 취득된 NDVI 10-day MVC (Maximum Value Composite) 자료를 사용하였다. MVC는 10일 동안의 NDVI 값 중 가장 높은 값을 가장 정확한 값으로 보고 최대값을 취하는 것으로서, MVC 방법은 NDVI 산출 시 강수 이후 지표 수분에 의해 발생하는 오차요소와 구름과 대기의 영향을 줄이는 가장 일반적인 방법이다 (Eidenshink and Faundeen, 1994). 토지피복의 종류와 비율을 파악하기 위한 보조자료는 2001년에 제작된 1km MODIS Global Land Cover를 사용하였고, 총 16종으로 분류되어 있다.

## 3. 분류 및 후처리

전체적인 연구 방법의 개요는 Fig. 2에 나타내었고

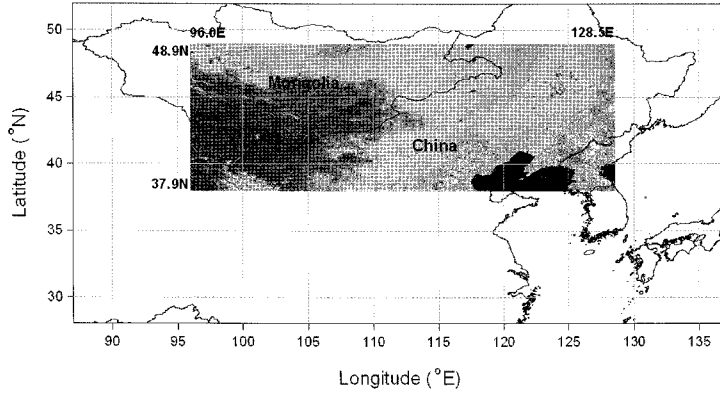


Fig. 1. Location of study area.

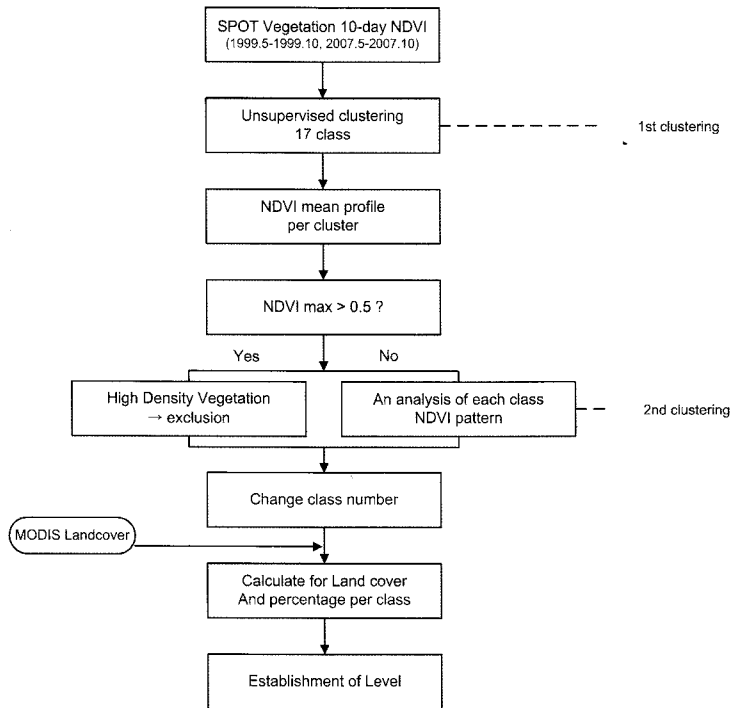


Fig. 2. Flowchart for synthesis methodology of the study.

구체적인 방법은 다음과 같다.

(1) MODIS Global Land Cover의 각 class에 해당 되는 모든 화소의 NDVI MVC 값에 대해 ERDAS IMAGINE 8.6을 이용하여 ISODATA 무감독분류 기법을 수행한다(1차분류). ISODATA 무감독분류법은 정해진 개수의 초기 군집에 대한 중심벡터를 임의로 설정하여 군집화를 수행하는 방법으로 다음과 같이 나타내어진다.

$$J = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \|x_i^{(j)} - c_j\|^2 \quad (1)$$

식 (1)에서  $i$ 는 해당 화소,  $j$ 는 해당 cluster를 나타낸다.  $K$ 는 cluster의 수를 나타내며  $n$ 은 화소의 수를 의미한다.  $\|x_i^{(j)} - c_j\|^2$ 은  $j$ 번째 cluster의  $i$ 번째 화소 값  $x_i^{(j)}$ 와  $j$ 번째 cluster의 중심 값  $c_j$ 와의 물리적 거리를 나타낸다. ISODATA 무감독분류법은 반복 계산을 통해 각 군집의 새로운 평균이 계산되며 군집 정리 시 군집의 표

준 편차값을 분석하여 편차가 너무 큰 경우 두 개의 군집으로 분리 할 수 있다. 이러한 군집 분리 기능을 가짐으로써 읽어 들인 모든 화소는 분광 특성상 물리적 거리가 가장 가까운 군집으로 할당된다. 무감독분류는 광범위한 사전지식 없이 통계적인 반복에 의해 유사한 픽셀들을 그룹화하는 것으로 간단하며 빠르게 수행 된다(박운영 등, 2006). 1차 분류는 MODIS global land cover의 class 수를 고려하여 17개로 분류하였고 같은 특성을 가진 class로 분류하기 위하여 1999년과 2007년 자료

를 동시에 처리하였다.

(2) 이렇게 1차 분류된 각 연도별 모든 NDVI 10-day 자료의 class내 화소를 분류하여 각 class의 평균을 산출한다. 여기서 water bodies인 class 1과 각 class 평균의 최대값이 0.5 이상을 보이는 class 10 에서 class 17 까지를 제외시켰다. 최대값이 0.5 이상인 class는 4개의 Land Cover (IGBP, UMD, GLC 2000, MODIS)에서 확인한 결과 식생 상태가 활발한 곳으로 파악되어 본 연구의 관심 대상에서 벗어나기 때문에 이들을 통합하여 High Density Vegetation Cover로 정의하였다.

(3) Fig. 3은 9개 class를 제외시키고 선출된 class들 중 class 2에서 class 7까지의 NDVI 분포를 나타낸 것이다. 이 그림과 Table 1을 보면 Class 2와 class 3, class 4와 class 5, class 6 과 class 7은 아주 미미한 물리적 차이를 제외하고 각각 class들의 NDVI분포만 보면 증가와 감소 경향이 비슷한 패턴을 보이고 있음을 관찰할 수 있다. Land Cover에서 확인한 결과 각각의 두 class 영역이 비슷한 식생 상태를 가지고 있음을 알 수 있었다. 이와 같이 NDVI의 패턴이 비슷한 cluster들이 존재하고 만약 이러한 cluster들이 같은 성질의 것이라면 통합할 필요가 있다(박운영 외, 2006). 따라서 이에 해당하는 class를 통합한 결과 최종적인 연구 class는 5개로 분류되었다. 이러한 과정은 복잡한 자료를 단순화하여 물리적·시각적으로 자료의 분석을 용이하게 한다.

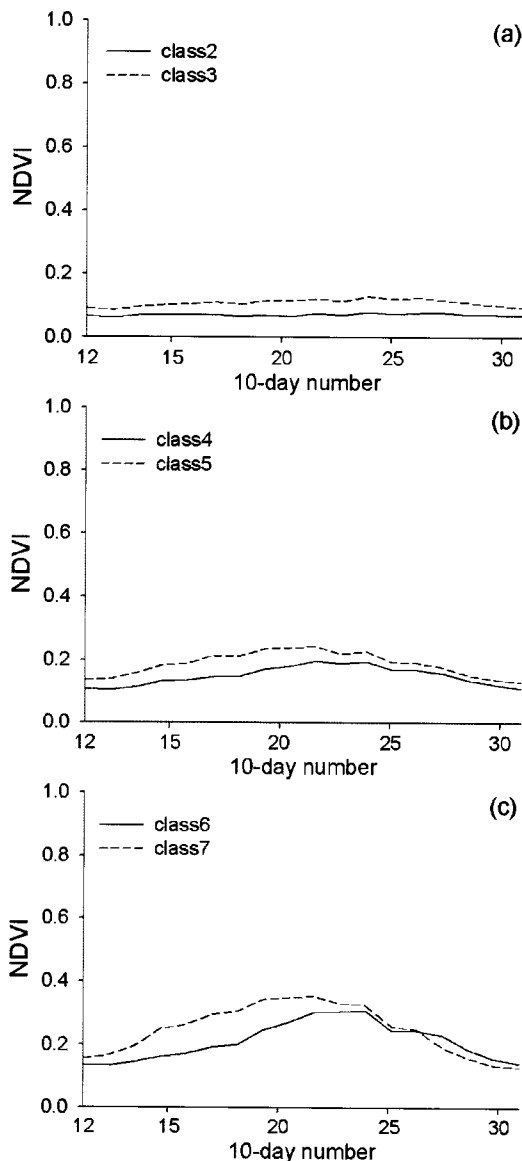


Fig. 3. Each of NDVI annual profile having similar variation trends in 1999.

Table 1. An aggregation that similar land cover in 1999

Class	A comparison between 1999 and MODIS-2001
2	Barren of Sparsely Vegetated (94.97%) Open Shrubland (1.92%)
3	Barren of Sparsely Vegetated (70.39%) Open Shrubland (19.76%)
4	Grasslands (40.93%) Open Shrubland (30.16%)
5	Grasslands (69.43%) Open Shrubland (20.34%)
6	Grasslands (72.09%) Open Shrubland (16.71%)
7	Grasslands (82.09%) Open Shrubland (11.95%)

#### 4. 결과 및 분석

MODIS Global Land Cover의 clusters를 기준으로 최종적으로 분류된 class의 토지피복 종류와 비율을 파악하였다. 본 연구에서는 분류된 class에 대해서 class name을 명명하지 않고, 각각의 class를 식생의 밀도에 따라 level로 분류하였다. 최종적으로 분류된 5개의 class외에 high density vegetation cover와 water bodies로 정의된 class는 연구의 범위에서 벗어나므로 level을 부여하지 않았다. Table 2은 각 class에 대한 토지피복 종류와 비율을 나타낸 것으로서 이 과정을 통하여 level을 설정하였다.

Barren of sparsely vegetated의 비율이 1999년과 2007년 각각 84.52%, 84.45%로 나타나는 class 2와 class 3 (통합된 class)은 level-0으로 설정하였다. Table 2을 보면 알 수 있듯이 두 연도 모두 class 4와 class 5, class 6와 class 7에서 barren of sparsely vegetated의 비율이 작아졌음을 확인할 수 있다. 또한 1999년 class 번호가 커질수록 open shrubland의 비율이 각 25.59%, 13.43%, 4.76%로 작아졌고 2007년 역시 마찬가지로의 결과를 보였다. 이렇게 각 class의 토지피복 종류와 비율을 파악하여 식생밀도가 가장 낮은 class 2와 class 3은 level-0으로 설정해주고, class 4과 class 5, class 6와 class 7, class 8, 그리고 class 9를 각각 level-1, level-2, level-3, level-4로 설정해주었다. 이는 Level이 증가할수록 좋은 식생 상태를 보

임을 알 수 있다. 이와 같이 각 level은 식생의 밀도에 따라 임의로 나눈 것으로서 식생의 밀도가 증가 할수록 높은 level을 설정하였고, 식생의 밀도가 감소 할수록 낮은 level을 설정하였다. 각 level은 식생 밀도가 낮은 clusters에 대한 지표로서 사막화 현상을 보이는 황사 발원지의 토지피복을 파악하는데 중요한 역할을 한다. Fig. 4는 동일한 level에 대한 1999년과 2007년의 NDVI 분포를 나타낸 것이며 같은 level에 대한 두 연도의 NDVI 분포가 거의 일치하는 모습을 볼 수 있다. 이것은 1999년과 2007년의 동일한 level이 같은 특성을 가지고 있음을 의미한다. Fig. 5는 모든 level의 NDVI 분포를 나타낸 것으로서 각 level이 서로 다른 패턴으로 명확하게 분류되었음을 확인할 수 있다. 그리고 level을 시각적으로 분석하기 위해 Fig. 6과 같이 이미지로서 나타내었다. 1999년과 2007년의 모든 level에 따른 분포를 나타낸 것으로서 전체적인 식생변화를 파악할 수 있으며 전반적으로 level들이 2007년에 동쪽으로 많이 이동한 것을 확인할 수 있다.

1999년과 2007년의 토지피복 상태를 비교하기 위하여 level별 · 연도별로 분석을 하였다(Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9, Fig. 10, Fig. 11). 모든 그림에서 붉은 영역은 각 level에 대한 두 연도의 공통 영역을 나타낸 static zone이고, 검은 영역은 당해 연도에만 변화를 보인 dynamic zone이다. Table 3은 각 level에 따른 1999년과 2007년의 총 면적과 연도별 면적 차이를 나타낸 것이다. 먼저 식생밀도가 가장 낮은 level-0은 Fig. 7과

Table 2. A comparative table of level of 1999, 2007 with MODIS global land cover

Class	MODIS-2001		Level
	1999	2007	
2 · 3	Barren of Sparsely Vegetated (84.52%)	Barren of Sparsely Vegetated (84.45%)	0
4 · 5	Grasslands (54.20%) Open Shrubland (25.59%) Barren of Sparsely Vegetated (18.52%)	Grasslands (58.84%) Barren of Sparsely Vegetated (22.84%) Open Shrubland (17.22%)	1
6 · 7	Grasslands (78.98%) Open Shrubland (13.43%) Barren of Sparsely Vegetated (3.16%)	Grasslands (72.31%) Open Shrubland (19.18%) Barren of Sparsely Vegetated (5.50%)	2
8	Grasslands (68.55%) Croplands (17.71%) Open Shrubland (4.76%)	Grasslands (87.40%) Open Shrubland (6.10%) Croplands (4.01%)	3
9	Grasslands (73.64%) Croplands (14.55%) Open Shrubland (8.00%)	Grasslands (70.46%) Croplands (15.91%) Open Shrubland (9.22%)	4

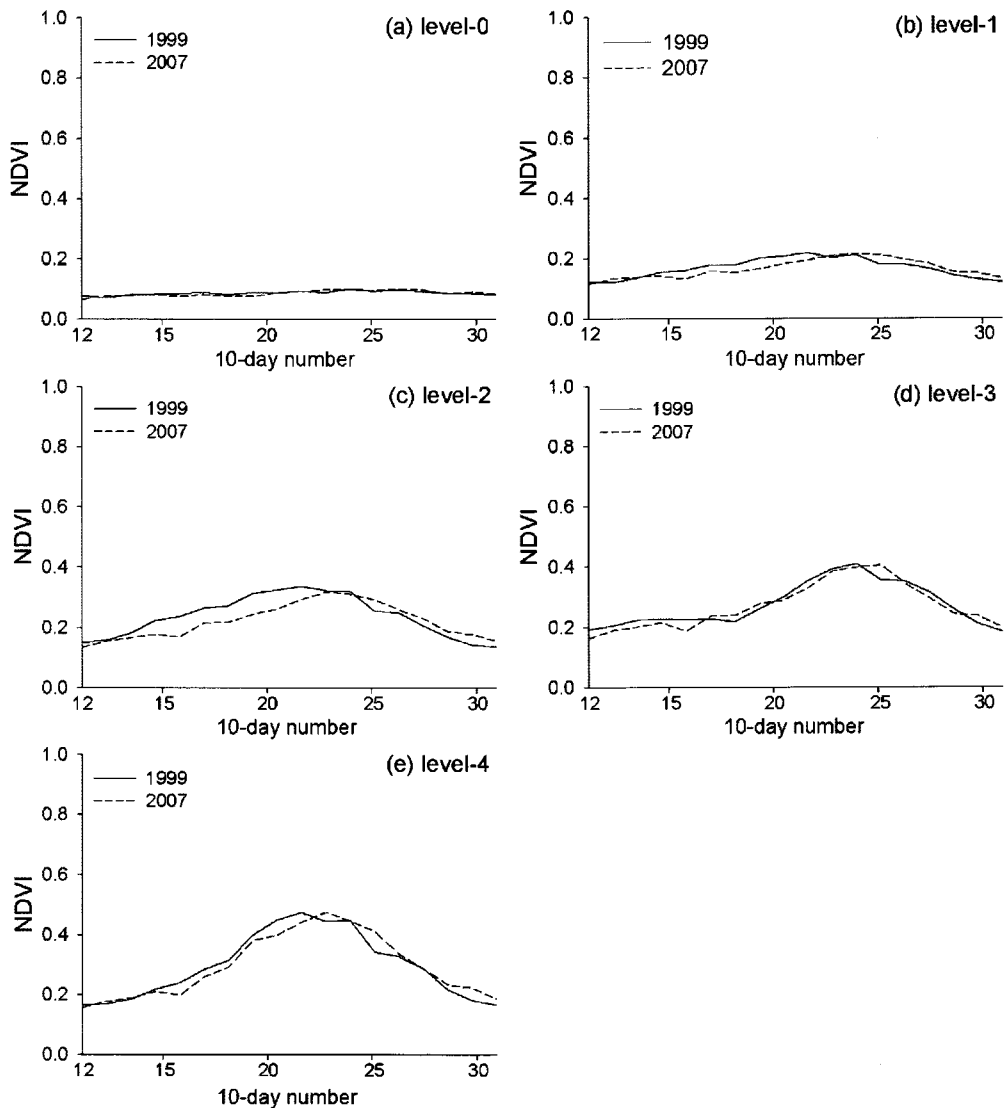


Fig. 4. NDVI profile in 1999 and 2007 for the same level (a) level-0; (b) level-1; (c) level-2; (d) level-3; (e) level-4.

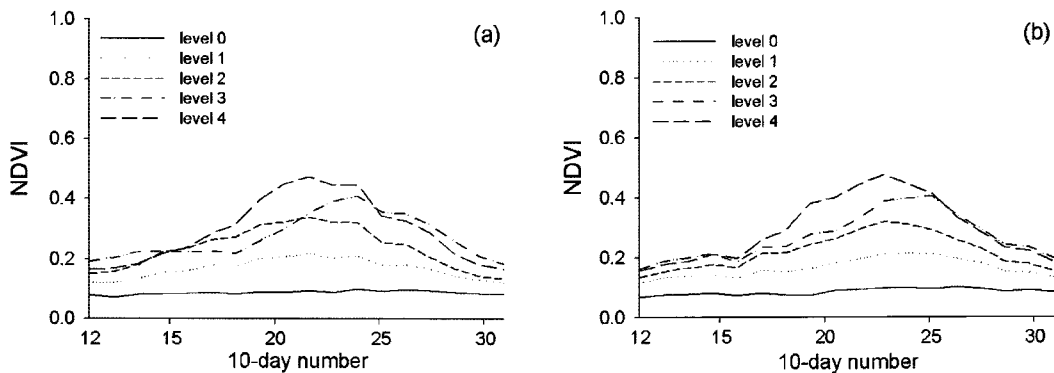


Fig. 5. (a) 1999 NDVI profile per level; (b) 2007 NDVI profile per level.

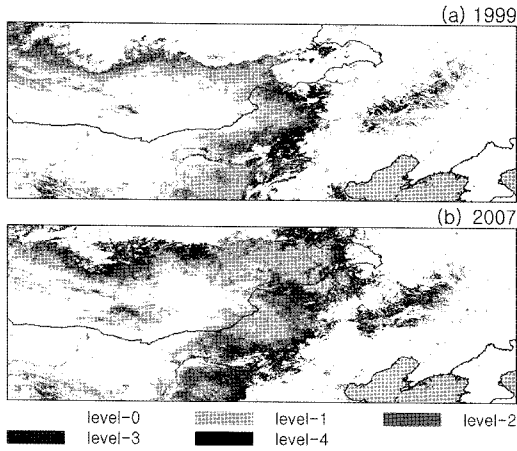


Fig. 6. Comparison of level distribution between (a)1999 and (b)2007.

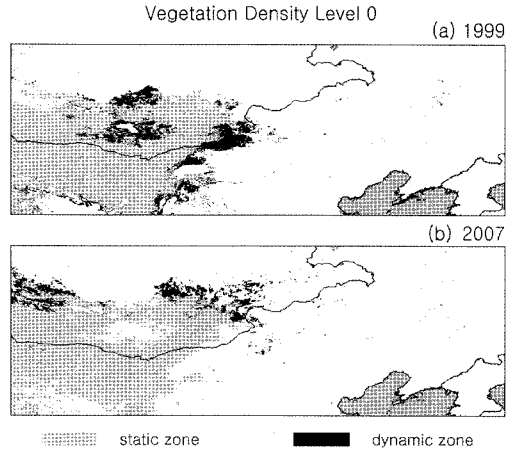


Fig. 7. Land cover change between (a)1999 and (b)2007 for level-0.

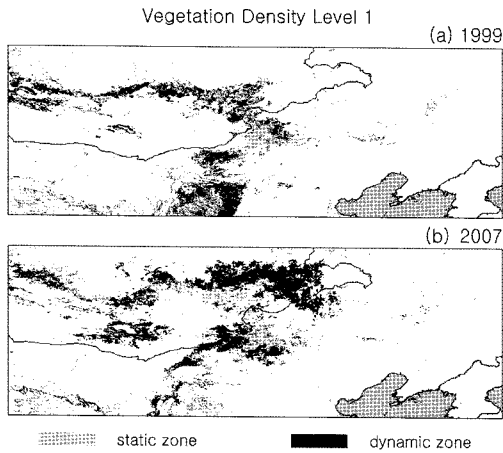


Fig. 8. Land cover change between (a)1999 and (b)2007 for level-1.

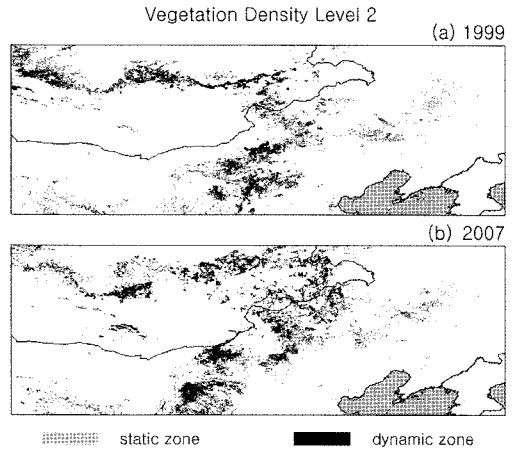


Fig. 9. Land cover change between (a)1999 and (b)2007 for level-2.

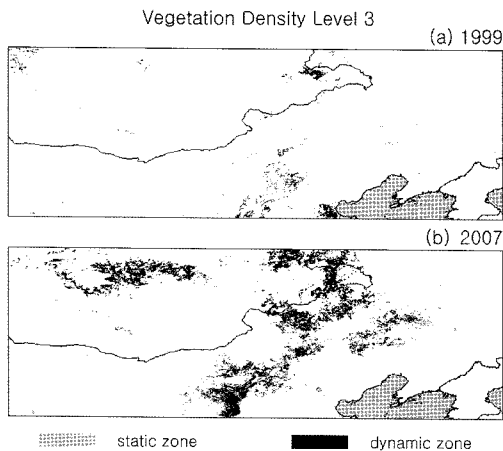


Fig. 10. Land cover change between (a)1999 and (b)2007 for level-3.

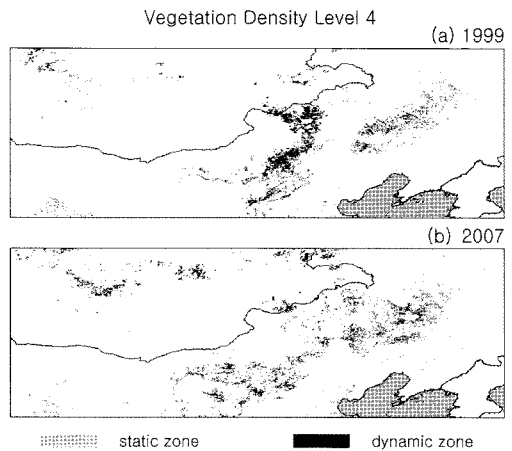


Fig. 11. Land cover change between (a)1999 and (b)2007 for level-4.

Table 3. Total area and changed area of 1999, 2007 for level

	Total Area (km <sup>2</sup> )		Changed Area (km <sup>2</sup> )
	1999	2007	
Level-0	1,184,604	1,106,538	-78,066
Level-1	451,771	529,439	+77,668
Level-2	330,296	391,994	+61,698
Level-3	47,157	291,402	+244,245
Level-4	139,906	146,057	+6,151

같이 두 연도 모두 고비사막을 중심으로 분포되어 있다. 각 연도의 Dynamic zone은 1999년 (178,307km<sup>2</sup>)에 비해 2007년 (100,241km<sup>2</sup>) 고비사막 변두리에서 분포가 감소한 것을 볼 수 있다. 그리고, 고비사막 중심을 보면 2007년 level-0의 분포가 줄어든 것을 볼 수 있는데, 이는 박윤영(2008)의 연구결과와 일치하는 것으로 고비사막의 중심은 증감을 반복하며 특히 2007년 사막화가 약화되었음을 보여주었다. 고비사막의 중심은 Fig. 8을 보면 확인 할 수 있듯이 1999년에는 level-0의 분포를 보이던 이곳이 2007년에는 level-1의 분포를 보임으로서 상태가 호전되었음을 알 수 있다.

Level-1의 식생 분포는 Fig. 8과 같으며 육안으로 변화를 확실하게 관찰 할 수 있다. Dynamic zone을 보면 1999년 241,411km<sup>2</sup>에서 2007년 382,079km<sup>2</sup>로 3.134% 증가하였고, 그 분포 또한 확실한 변화를 보였다. 1999년과 비교하여 2007년 고비사막의 동쪽으로 큰 변화가 있음을 확인 할 수 있다. 1999년에는 high density vegetation cover로 분류되었던 곳으로서 토지피복의 상태가 급격히 악화되었음을 알 수 있으며 이 영역은 만주와 함께 새로운 황사발원지로 주목 받는 내몽골 고원으로 파악된다. 내몽골 고원은 우리나라에 영향을 주는 황사가 2000년 이후 66%나 발생한 곳으로서

본 연구를 통해 재확인 할 수 있다(기상청, 2007). 또한 Fig. 8에서 고비사막의 남쪽 지역을 보면 1999년에는 level-1의 dynamic zone에 속하던 이 영역이 2007년에는 한 단계 높은 level-2에 속한 것을 볼 수 있다. 이 영역은 황토고원의 경계로서 2000년 이후 황토고원의 영향이 줄어들었다는 사실을 증명하듯 positive한 변화를 보이고 있다. Level-2 (Fig. 9)의 dynamic zone은 2007년에 1,375% 증가하였으며 내몽골 고원에 새롭게 분포하고 있음을 관찰 할 수 있으며, 이는 1999년에 비해 level-2의 분포가 확실히 동쪽으로 진행되었음을 확인 할 수 있다.

두 연도의 변화를 명확하게 볼 수 있는 Level-3은 1999년 (38,435km<sup>2</sup>)에 비해 2007년 (282,680km<sup>2</sup>) 약 5배나 증가하였다(Fig. 10). 전체적인 level의 분포를 볼 수 있는 Fig. 5에서 level-3을 관찰하면 1999년에는 어떠한 level에도 속하지 않았던(High Density Vegetation Cover) 영역들이 2007년에는 level-3의 분포를 보이고 있다. 이는 동쪽으로 진행되면서 식생상태가 악화되고 있음을 의미한다. 또한 level-0, level-1, level-2에서 나타나지 않았던 만주의 변화를 탐지 할 수 있다. 만주에서 발생한 황사가 우리나라에 영향을 준 것은 10%에 불과했지만, 내몽골 고원과 비교하면 아주 큰 변화를 보이진 않았다. 1999년에 비해 식생상태가 악화되긴 하였으나 기존의 황사발원지처럼 사막이나 나지에 가까운 식생 상태를 보이고 있지 않다. 그리하여 만주에서 발생하는 황사가 만주만의 영향이 아니라고 사료되어 2007년 level-3의 dynamic zone영역에 대한 재분석을 위해 SPOT VGT의 1999년에서 2007년까지 9년 동안의 자료를 이용하여 수행하였다. Fig. 12는 level-3 dynamic zone에 대한 재분석 결과로서 level-3의

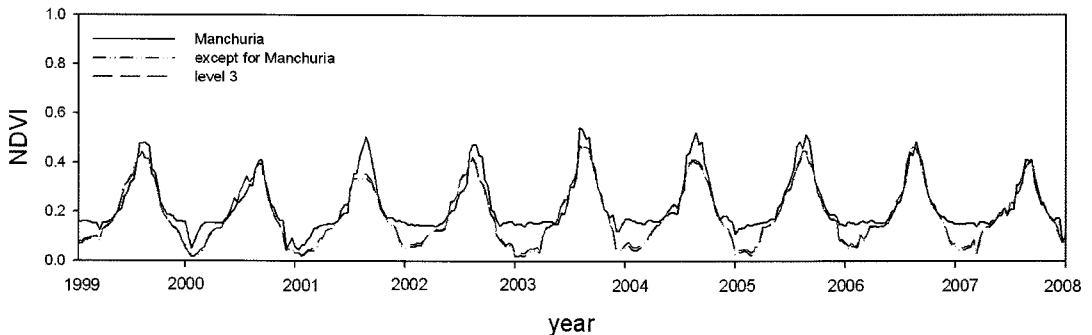


Fig. 12. Time series of level-3 dynamic zone for manchuria, except for Manchuria and level-3 dynamic zone in 1999-2007.



dynamic zone 중 만주와 만주를 제외한 영역, 그리고 level-3 dynamic zone 전 영역의 NDVI 분포를 나타낸 것이다. 먼저 전반적으로 만주의 생장 곡선의 최고점이 점점 낮아지고 있음을 확인 할 수 있다. 세 영역 모두 같은 level 이므로 NDVI 패턴은 비슷하지만 NDVI 수치는 조금씩 차이를 보이고 있다. 2006년 이전에는 만주 생장 곡선의 최고점이 다른 영역에 비해 높은 값을 보이고 있으나 2006년 이후에는 최고점이 다른 영역과 같아지고 있음을 알 수 있다. 또한 만주를 제외한 영역과 level-3 전 영역에 대한 NDVI 최저점은 0에 가까운 수치를 보이고 있으나 만주는 상대적으로 최저점이 높다. 따라서 만주의 NDVI가 정상적인 식생 상태에 비해 아주 작은 값이기는 하나 사막이나 나지에 가까운 값은 아니다. 만주에서 발생하는 황사는 만주의 영향만이 아닌 것으로 사료되며 그에 따른 황사 발원의 메커니즘에 대한 추가적인 연구가 수행되어야 할 것이다. Level-4의 전체 비율은 거의 변하지 않았으나 1999년과 2007년의 dynamic zone 분포에 차이가 있다. 1999년에는 고비사막의 경계에 집중 분포하고 있었으나 2007년에는 동쪽으로 더 진행된 지역에 넓게 분포하고 있음을 확인하였다.

## 5. 요약 및 결론

본 연구에서는 SPOT VGT 센서로부터 취득된 1999년과 2007년의 NDVI 10-day MVC 자료를 이용하여 기존의 황사발원지인 고비사막과 새로운 황사발원지인 만주에 대한 토지피복을 비교분석 하였다. 이를 위해 식생의 밀도에 따라 level을 설정하여 연구 영역에 대한 토지피복상태를 분석하였다. 연구 결과, 모든 level의 분포를 통해 황사발원지의 동진추세를 확인할 수 있었다. 또한 고비사막과 황토고원은 positive한 변화를 보이고 있으며 내몽골 고원과 만주의 상태는 악화되고 있다. 특히 만주는 사막이나 나지의 특성을 가지고 있지는 않으므로 만주에서 발생하는 황사는 만주의 영향뿐만 아니라 그 주변의 영향을 함께 받는다고 사료되며 현재 만주는 지속적으로 negative한 변화를 보이고 있다. 따라서 황사발원지의 이동은 고비사막이나 황토고원의 직접적인 변화뿐 아니라 그 경계에서 발생하는 식생변화

에 초점을 맞출 필요가 있다. 본 연구에서는 토지피복의 변화를 NDVI를 사용하여 정량적으로 평가하였을 뿐만 아니라 두 영역을 연도별로 비교하여 정성적인 평가도 수행하였다. 사막화 과정에 대한 토지피복분류는 많은 연구에서 수행되었지만 토지피복분류는 단순한 분류일 뿐이므로 본 연구와 같이 피복변화에 대한 심도 깊은 연구가 수행되어야 할 것이다. 또한 본 연구에서는 snow cover의 영향과 여러 가지 해석상의 문제로 11월부터 4월까지의 제외하고 연구를 수행하였다. 향후 연구에서는 정확성이 향상된 토지피복 분류와 비교를 위해 식생 활동이 시작하기 전의 기간도 연구범위에 포함시켜야 할 것이다.

## 사 사

본 연구는 기상청 “기상지진기술개발사업 (CATER 2006-4106)”의 일환으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

- 박운영, 한경수, 2006. SPOT/VEGETATION NDVI 자료를 이용한 동북아시아의 생태기후지도, 한국농림기상학회지, 8(2): 86-96.
- 박운영, 2008. An analysis of ecosystem change around deserts of central China and Mongolia, 석사학위논문, 부경대학교.
- Eidenshink, J. C. and J. L. Eidenshink, 1994. The 1km AVHRR global land data set: First stages of implementation, *International Journal of Remote Sensing*, 15(17): 3443-3462.
- Huang, S. and F. Siegert, 2006. Land cover classification optimized to detect areas at risk of desertification in North China based on SPOT VEGETATION imagery, *Journal of Arid Environments*, 67(2): 308-327.
- Liu, A. X., Z. J. Liu, C. Y. Wang, and Z. Niu, 2003. Monitoring of desertification in central Asia and western China using long term NOAA-

- AVHRR NDVI time-series data, Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS '03. Proceedings, vol.4, 2278-2280.
- Liu, Y., Y. Zha, J. Gao, and S. Ni, 2004a. Assessment of grassland degradation near Lake Qinghai: West China: using Landsat TM and in situ reflectance spectra data, *International Journal of Remote Sensing*, 25(20): 4177-4189.
- Liu, A., C. Wang, Z. Liu, Z. Niu, and J. Wang, 2004b. Application of NOAA-AVHRR for desertification monitoring in central Asia and western China, *Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications and Geology III*, Proceedings of the SPIE, vol.5239, 357-364.
- Liu, H., C. Zhou, W. Cheng, E. Long, and R. Li, 2008. Monitoring sandy desertification of Otindag Sandy Land based on multi-data remote sensing images, *Acta Ecologica Sinica*, 28(2): 627-635.
- Malo, A. R. and S. E. Nicholson, 1990. A study of rainfall and vegetation dynamics in the African Sahel using Normalized Difference Vegetation Index, *Journal of Arid Environments*, 19: 1-4.
- Peters, A. J. and M. D. Eve, 1995. Satellite monitoring of desert plant community response to moisture availability, *Environmental Monitoring and Assessment*, 37: 273-287.