동북아시아 지역에서의 최근 12년간 (2001-2012) MODIS 토지피복 분류 자료의 특성

박지열 · 서명석[†]

공주대학교 대기과학과

Characteristics of MODIS land-cover data sets over Northeast Asia for the recent 12 years(2001-2012)

Ji-Yeol Park and Myoung-Seok Suh[†]

Department of Atmospheric Sciences, Kongju National University, Gongju, Korea

Abstract : In this study, we investigated the statistical occupations and interannual variations of land cover types over Northeast Asian region using the 12 years (2001-2012) MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer(MODIS) land cover data sets. The spatial resolution and land cover types of MODIS land cover data sets are 500 m and 17, respectively. The 12-year average shows that more than 80% of the analysis region is covered by only 3 types of land cover, cropland (36.96%), grasslands (23.14%) and mixed forests (22.97%). Whereas, only minor portion is covered by cropland/natural vegetation mosaics (6.09%), deciduous broadleaf forests (4.26%), urban and built-up (2.46%) and savannas (1.54%). Although sampling period is small, the regression analysis showed that the occupations of evergreen needleleaf forests, deciduous broadleaf forests and mixed forests are increasing but the occupations of woody savannas and savannas are decreasing. In general, the pixels where the land cover types are classified differently with year are amount to more than 10%. And the interannual variations in the occupations of land cover types are most prominent in cropland (1.41%), mixed forests (0.82%) and grasslands (0.73%). In addition, the percentage of pixels classified as 1 type for 12 years is only 57% and the other pixels are classified as more than 2 types, even 9 types. The annual changes in the classification of land cover types are mainly occurred at the almost entire region, except for the eastern and northwestern parts of China, where the single type of land cover located. When we take into consider the time scale needed for the land cover changes, the results indicate that the MODIS land cover data sets over the Northeast Asian region should be used with caution.

Key Words : MODIS land cover, Northeast Asia, Interannual variations

요약 : 본 연구에서는 12년(2001-2012)간의 MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer

접수일(2014년 6월 19일), 수정일(1차 : 2014년 8월 20일), 게재확정일(2014년 8월 20일).

[†] 교신저자: 서명석(sms416@kongju.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.

(MODIS) 토지피복 자료를 이용하여 동북아시아 지역에 대한 토지피복 유형별 통계적 점유율과 연변동을 조사하였다. MODIS 토지피복 자료의 공간해상도는 500 m이며 토지피복 유형의 수는 17개이다. 12년 평균에서 농지(36.96%), 초지(23.14%) 그리고 혼합림(22.97%) 3가지 유형이 분석 영역의 80% 이상을 점유하고 있는 것으로 나타났고, 그 외 농지와 자연 식생의 혼합유형(6.09%), 낙엽활엽수림(4.26%), 도시(2.46%) 그리고 사바나(1.54%) 유형이 점유하고 있는 것으로 나타났다. 비록 자료의 사용 기간이 짧지만 단순회귀분석에서 상록침엽수림, 낙엽활엽수림, 혼합림은 유의수준 5%에서 점유율이 증가하는 경향을 보였으나 사바나 유형은 유의수준 5%에서 감소하는 경향을 보였다. 토지피복 유형이 매년 다르게 분류되는 화소의 비율이 10% 이상이며 토지피복 유형별 점유율의 연변동은 농지(1.41%), 혼합림(0.82%), 초지(0.73%)에서 가장 두드러지게 나타났다. 또한, 12년 동안 토지피복 유형이 1개로만 분류된 화소의 비율은 단지 57%이며, 나머지 화소들에서는 2개 이상으로 분류되었으며 최대 9개 유형으로 분류된 화소도 존재했다. 공간적으로 균질하게 1개 유형만 분포하고 있는 중국 동부와 북서부 지역을 제외한 전체 지역에서 토지피복 유형이 연도별로 다르게 분류되고 있다. 따라서 토지피복 변화에 소요되는 시간적 규모를 고려할 때 동북아시아 지역에서 MODIS 토지피복 자료를 이용할 시 주의가 필요하다.

1. 서론

초지, 숲, 사막, 도시 등 다양한 유형의 토지피복(land cover)은 알베도, 거칠기 길이 등 지구 표면의 생·물리적 특성을 결정짓는 주요 인자이다. 지표면의 생·물리적 특성의 동질성에 근거한 토지피복 분류 자료는 토지 이용(land use) 및 자연자원 관리 그리고 사막화와 도시화 등의 생태계 환경 변화를 연구하는데 중요한 기초 자료로 이용되고 있다(Brown *et al.*, 2000; Verburg *et al.*, 2011). 또한 기후 및 대기 모델링 연구에서는 지면경계 조건 자료로 이용되고 있어 정확한 토지피복 분류 자료의 중요성이 점점 증대되고 있다(Sellers *et al.*, 1995; Chase *et al.*, 2000).

기후변화 영향 평가, 지면-대기 상호작용 등 다양한 분야에서 요구되는 토지피복 분류는 주로 National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Terra/Aqua 등 극궤도 위성 자료로부터 산출된 식생지수(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)를 이용한다(Loveland *et al.*, 2000; Friedl *et al.*, 2010). 식생지수는 상대적인 식생의 양과 상태를 지수로 나타낸 것으로서 식생특성(식생의 성장주기, 잎면적 등)과 상관성이 매우 높아 토지피복 분류, 지면상태 변화(사막화, 도시화 등) 그리고 지면의 생·물리적 상태의 시·공간적 변화 탐지 등에 활용되고 있다(Suh *et al.*, 2001; Wang *et al.*, 2004; Pettorelli *et al.*, 2005). 현재 전 지구규모의 식생지수를 이용한 토지피복 분류 자료로 International Geosphere

Biosphere Programme (IGBP), Global Land Cover 2000 (GLC2000), Global Land Cover Map 2009 (GlobCover 2009), MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Land Cover Type product (MCD12Q1) 등이 제공되고 있으며(Loveland *et al.*, 2000; Bartholomé and Belward, 2005; Bontemps *et al.*, 2010; Friedl *et al.*, 2010), 국내에서도 수치모델이나 지역기후 모델, 지면상태 변화 탐지 등에 적합한 토지피복 분류 연구가 수행되어 왔다(Suh *et al.*, 2001; Jeong *et al.*, 2006; Han, 2008; Kang *et al.*, 2009; Kang *et al.*, 2010). 하지만 현재 제공되고 있는 다양한 토지피복 자료들 사이에는 위성의 센서, 공간해상도, 초기사용자료, 전처리 수준, 분류 기법 등의 차이로 적지 않은 화소들에서 분류가 상이하게 되어 있음이 밝혀지고 있다(McCallum *et al.*, 2006; Kang *et al.*, 2007; Herold *et al.*, 2008; Tchuente *et al.*, 2011).

최근 10년 동안 전 지구 토지피복 자료 생산을 위한 기초 자료와 방법들이 급속히 발달되었고 분류 자료들의 축적으로 토지피복 분류 자료들의 상호비교 및 변화 탐지 연구가 가능해졌다. 그 결과 급속한 경제 발전과 더불어 사막화와 도시화 등으로 토지피복이 빠르게 변경되고 있는 곳 중의 하나인 동아시아 지역에서 토지피복 변화에 대해 많은 연구들이 진행되고 있다. Seong(2000)은 Pathfinder Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) for Land (PAL) 자료를 이용하여 1982~1993년까지 위도에 따른 식생의 성장 특성을 고려한 위도별 화상분할기법을 적용하여 동아시아 지역의 토지피복을

분류하였다. Ryu *et al.*(2013)는 Satellite Pour l' Observation de la Terre (SPOT) 위성의 VEGETATION 센서를 통해 취득한 식생지수 자료에 Iterative Self-Organizing Data Analysis (ISODATA) 무감독 분류법(Unsupervised classification)을 적용하여 동아시아 지역의 토지피복을 분류하고 황사발원지인 고비사막, 내몽골 고원, 만주 지역 등 사막 경계 지역에서의 사막화 경향을 분석하였다. 하지만 현재 제공되고 있는 토지피복 자료만을 이용하여 토지피복의 변화를 분석하기에는 몇 가지 고려되어야 할 사항이 있다. 첫째로 토지피복 분류에 사용된 초기 자료들이 1990년 중반에서 2000년대 초까지의 자료인 경우가 많고 초기 자료를 획득하는 센서들간의 불일치 문제가 있으며 공간해상도가 대부분 1 km 또는 그 이상인 점이다 (Loveland *et al.*, 2000; Seong, 2000). 또한, 지금까지의 토지피복 변화 연구에서는 서로 다른 출처의 자료들을 이용하여 사막화 탐지 등 토지피복 변화 유무에 대한 연구를 수행하였지만 동북아시아 지역에 대해 동일한 출처의 자료를 이용하여 최근의 토지피복 분류 현황에 대해 통계적으로 분석한 연구는 거의 없었다.

본 연구에서는 동북아시아 지역에 대한 최근 12년(2001~2012)간의 MODIS 토지피복 자료를 이용하여 토지피복 분류 현황과 토지피복 변화 경향에 대해서 분석하였다. 또한 12년간의 분류 자료를 이용하여 연도별 토지피복 분류 현황 분석을 통해 분류에 변화가 큰 지역과 유형을 조사하였다.

2. 자료 및 연구방법

1) 연구영역

연구영역은 동북아시아 지역으로 위도 30°N~45°N, 경도 113°E~142°E이며 한국, 중국, 일본 그리고 러시아 일부 지역이다. 중국의 동부 지역은 주로 평야 지대이고 북서부지역은 고비, 타클라마칸 사막이 위치하며 주로 몬순과 함께 대륙성 기후의 영향을 받는다. 한국과 일본은 국토의 대부분이 산악지역으로 되어있고 서쪽에는 중국 대륙이, 동쪽에는 태평양이 있어 온대몬순기후의 영향을 받는다. 분석영역의 기후 및 지형적 특성에 의해 토지피복은 사막, 초지, 농지, 온대림에 이르기까지 다양

한 종류로 구성되어 있다. 이러한 지리·지형적 조건에 따른 다양한 종류의 토지피복은 지면-대기 순환과 상호작용하여 동북아시아 지역에서 몬순기후의 시·공간적 변동에 영향을 주는 것으로 알려지고 있다(Suh *et al.*, 2005; Park and Han, 2006).

2) 자료

본 연구에서 사용된 토지피복 자료는 미국항공우주국(National Aeronautics and Space Administration, NASA) 산하의 Land Processes Distributed Active Archive Center(LP DAAC)에서 제공하는 MODIS MCD12Q1이며 분류 자료의 특성은 Table 1과 같다. 토지피복 자료의 공간해상도는 500 m이며, 자료의 이용 기간은 최근 12년

Table 1. Summary of the MODIS land cover datasets

MCD12Q1	
Sensor	Terra, Aqua
Temporal Coverage	2001-2012
Spatial Resolution	500 m
Temporal Granularity	Yearly
Projection	Sinusoidal grid
Classification Scheme	IGBP (17 classes)
Classification Technique	Supervised classification decision-tree

Table 2. Description of land cover types defined in the IGBP and MODIS

IGBP code	Description	Acronym
1	Evergreen Needleleaf Forest	Ever. Ndlf.
2	Evergreen Broadleaf Forest	Ever. Brdf.
3	Deciduous Needleleaf Forest	Decd. Ndlf.
4	Deciduous Broadleaf Forest	Decd. Brdf.
5	Mixed Forest	Mixed.
6	Closed Shrublands	Clsd. Shrub.
7	Open Shrublands	Opn. Shrub.
8	Woody Savannas	Wdy. Svn.
9	Savannas	Savannas
10	Grasslands	Grass
11	Permanent Wetlands	Wetland
12	Croplands	Crop
13	Urban and Built-up land	Urban
14	Crop/Natural Vegetation Mosaic	Crp/Nat.
15	Snow and Ice	Snow
16	Barren or Sparsely Vegetated	Barren
17	Water Bodies	Water

(2001-2012)이다. MODIS 토지피복 자료는 각 연도별 12개월의 식생지수 자료에 감독 분류 기법(Supervised classification) 중의 하나인 결정나무 기법(Decision-tree)을 적용하여 분류된 자료로 IGBP 분류 정의에 따라 Table 2와 같이 17개의 유형으로 분류된다(Friedl *et al.*, 2010). 현재 MODIS에서 제공되고 있는 토지피복 자료는 Collection 5.1(V051)이며 본 연구에서 사용된 토지피복 자료는 United States Geological Survey (USGS) 홈페이지(<https://lpdaac.usgs.gov/>)에서 다운로드 한 것이다.

3) 연구방법

토지피복 분류 특성을 용이하게 분석하기 위해 지도 투영법을 재투영하였다. MODIS 자료들은 Sinusoidal 투영법으로 제공되고 있어 MODIS Reprojection Tool (MRT) 프로그램을 이용하여 500 m 공간해상도의 플레이트 커리 맵 투영법(Plate carree map projection)으로 재투영하였다. 이 투영법은 위도와 경도의 격자가 수직으로 만나고, 한 화소의 위도와 경도의 거리가 같아 자료의 이용 및 관리가 수월하며 다른 형태로의 재투영이 비교적 간단하다. 따라서 자료의 화소 수와 시작지점의 위·경도 정보만으로 전체 자료의 위·경도를 쉽게 계산하여 사용할 수 있는 장점이 있지만, 극으로 갈수록 왜곡이 커져 극점이 하나의 줄로 나타나는 등 지형적 왜곡이 심

한 단점이 있다(Kang *et al.*, 2007).

동북아시아 지역에서 최근 12년(2001-2012)간의 토지피복 분류 현황은 각 토지피복 유형별로 12년 단순평균과 표준편차를 통해 분석하였다. 또한 각 유형별 점유율의 변화는 단순선형회귀분석으로 산출하였으며 점유율 변화경향의 유의성은 T-검정을 사용하였다. 그리고 토지피복 분류의 신뢰성 및 토지피복 변화 가능성을 분석하기 위하여 12년간의 분류 자료를 이용하여 각 화소별로 토지피복 유형이 다르게 분류된 연도 수와 분류된 총 토지피복 유형 수에 대해 조사하였다. 예를 들어 어느 화소에서 12년 동안 토지피복이 1, 2, 3, 1, 1, 3, 5, 2, 1, 1, 3, 1로 분류되었다면 분류가 변경된 연도수는 9회 이고 총 분류 유형 수는 4개이다.

3. 결 과

1) 토지피복 분류 현황

동북아시아 지역에서의 16개 토지피복 유형별 최근 12년 평균 점유율, 표준편차 그리고 최대와 최소 점유율 간의 차를 Table 3에 나타내었다. 각 토지피복 유형별 12년 평균 점유율은 농지(36.96%), 초지(23.14%), 혼합림

Table 3. Summary of 12 years (2001-2012) of MODIS land cover datasets over the Northeast Asian region (unit : %)

Class \ Year	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Avg.	Std. Dev.	Max-Min
Ever.Ndlf.	0.41	0.38	0.34	0.44	0.40	0.35	0.32	0.38	0.43	0.60	0.69	0.67	0.45	0.12	0.37
Ever.Brdf.	0.06	0.07	0.07	0.11	0.10	0.08	0.06	0.07	0.08	0.07	0.06	0.04	0.07	0.02	0.07
Decd.Ndlf.	0.04	0.06	0.06	0.08	0.10	0.10	0.08	0.12	0.13	0.13	0.04	0.05	0.08	0.03	0.09
Decd.Brdf.	3.81	3.76	3.63	3.97	4.62	4.63	4.92	4.26	4.12	4.45	4.24	4.75	4.26	0.40	1.28
Mixed.	21.79	22.01	22.81	22.28	22.53	22.47	22.72	23.50	23.43	23.57	23.71	24.80	22.97	0.82	1.71
Clsd. Shrub.	0.79	0.50	0.41	0.39	0.58	0.81	0.77	0.64	0.45	0.45	0.70	0.35	0.57	0.16	0.46
Opn. Shrub.	0.46	0.23	0.30	0.36	0.48	0.39	0.48	0.42	0.40	0.24	0.16	0.11	0.34	0.12	0.37
Wdy. Svn.	2.14	1.74	1.72	1.54	1.86	1.58	1.55	1.32	1.27	1.32	1.33	1.13	1.54	0.28	1.00
Savannas	0.42	0.17	0.11	0.10	0.12	0.11	0.12	0.09	0.06	0.04	0.05	0.07	0.12	0.10	0.38
Grass	24.14	22.55	23.23	21.81	22.58	23.04	23.37	24.02	24.04	23.49	23.29	22.08	23.14	0.73	2.33
Wetland	0.21	0.42	0.51	0.47	0.44	0.54	0.64	0.58	0.46	0.47	0.47	0.59	0.48	0.10	0.43
Crop	35.09	38.81	38.30	39.72	38.02	37.50	36.35	35.74	35.34	36.21	36.16	36.30	36.96	1.41	4.63
Urban	2.46	2.46	2.47	2.46	2.47	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.47	2.46	0.00	0.00
Crp/Nat.	7.59	6.24	5.68	5.76	5.36	5.43	5.73	5.86	6.84	6.04	6.21	6.31	6.09	0.60	2.23
Snow	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02
Barren	0.57	0.57	0.37	0.49	0.35	0.53	0.42	0.53	0.49	0.45	0.42	0.25	0.45	0.09	0.32

Fig. 1. Spatial distribution of MODIS land-cover data over the Northeast Asian region for the selected years.

(22.97%) 순으로 나타나 전체 동북아시아 지역의 80% 이상을 3가지 유형이 점유하고 있음을 제시한다. 그 외에 농지와 자연식생의 혼합유형, 낙엽활엽수림, 도시, 그

리고 사바나 유형이 각각 6.09%, 4.26%, 2.46%, 1.54%를 차지하는 것으로 나타났다. 점유율을 고려하지 않을 경우 토지피복 분류가 연도별로 가장 빈번하게 변경되었

Fig. 2. Interannual variations and trends of percentage of land cover types over the Northeast Asian region. [Reg. Coef.: Regression Coefficient (%/year), **Significance level: 5%, *Significance level: 10%]

던 유형은 농지로 표준편차가 1.41%로 나타났으며 다음으로 혼합림(0.82%), 초지(0.73%), 농지와 자연식생의 혼합유형(0.60%) 순으로 분류에서 변화가 빈번한 것으로 나타났다. 또한 농지 유형의 경우 점유율이 최대인 해와 최소인 해의 차가 4.63%로 가장 크게 나타났으며 다음으로 초지(2.33%) 및 농지와 자연식생의 혼합유형(2.23%)에서도 점유율이 최대인 해와 최소인 해 사이에 큰 차이를 보이고 있다.

Fig. 1은 동북아시아 지역에 대한 연도별 MODIS 토지피복 자료의 공간분포를 나타낸 것이다. 동북아시아 지역에서 점유율이 가장 높은 농지는 중국 동부와 만주 지역에, 초지는 중국 북서부 지역에 그리고 혼합림의 경우 한반도를 포함한 만주, 일본 지역에 대부분 분포하고 있다. 그 외 농지와 자연식생의 혼합유형, 낙엽활엽수림 등은 만주, 한반도와 일본 등에 분포하고 있다. 시각적으로 뚜렷하게 구분이 되지는 않지만 연도별로 점유율의 편차가 크게 나타난 농지, 초지 그리고 농지와 자연식생의 혼합유형은 중국 북동부 지역과 만주 지역에서 공간 분포에 차이를 보이고 있다.

2) 토지피복 유형별 점유율 변화

Fig. 2는 동북아시아 지역에서의 각 토지피복 유형별 점유율의 경년변동 및 경향성을 나타낸 것이다. 최근 12년 동안 각 토지피복 유형별 점유율은 단순감소나 증가 패턴을 포함하여 유형에 따라 다양한 패턴의 경년변동을 보이고 있다. 상록침엽수림(+0.0256%/yr), 낙엽활엽수림(+0.0709%/yr), 그리고 혼합림(+0.2191%/yr)은 유의수준 5%에서 증가되고 있는 반면 사바나 유형(Wdy. Svn.: -0.072%/yr, Savannas: -0.02%/yr)에서는 유의수준 5%에서 감소되는 것으로 나타나고 있다. 또한 유의수준은 높지 않지만 농지(-0.1926%/yr), 나대지 등의 유형에서 점유율이 감소되는 경향을 보이고 있다. 습지의 경우 유의수준 10%에서 증가경향(0.017%/yr)을 보이고 있는데 이는 2001년도에 습지의 점유율이 다른 연도에 비해 현저히 적게 나온 것이 기인한 것으로 보인다. 반면 나대지의 경우 유의수준 10%에서 감소경향(-0.0138%/yr)을 보이고 있는데 이는 2012년도에 나대지의 점유율이 다른 연도에 비해 현저히 적게 나온 것이 기인한 것으로 보인다.

Fig. 3. Percentage of pixels classified differently to the total pixels with year.

3) 토지피복 분류의 특성 분석

Fig. 3은 분석영역 전체 화소 중 연도별로 토지피복 분류가 다르게 분류된 화소의 비율을 나타낸 것이다. 동일한 위성자료, 전처리와 분류기법을 사용하였음에도 불구하고 평균 약 12% 이상의 화소에서 매년 토지피복이 변화된 것으로 분류되고 있다. 2002년과 2003년 사이에는 약 10%만 토지피복이 다르게 분류되었으나 2011년과 2012년 사이에는 약 13% 이상의 화소에서 토지피복이 다르게 분류되고 있다. 도시화나 농지화 등 인위적 요인과 사막화, 산불에 의한 특정 지역에서의 토지피복의 변화를 제외하면 시간적 변동성이 적은 토지피복의 특성을 고려할 때 매년 12% 이상의 화소에서 토지피복이 다르게 분류된 것은 토지피복이 변화되었다기보다는 분류상의 오류에 의한 것일 가능성이 높다. 따라서 이들 자료를 이용하여 기후변화나 인위적 요인에 의한 토지피복의 변화탐지를 연구할 때에는 주의가 요구된다.

Table 4는 12년 간의 토지피복 분류 자료에서 토지피복 분류가 다르게 분류된 횟수별 화소 수를 나타낸 것이다. 토지피복이 12년간 한 종류로만 분류된 화소의 비율은 단지 57%이며 남은 43%의 화소 중에서 토지피복이 1회와 2회 다르게 분류된 화소의 비율은 각각 8.46%와 10.18%이다. 최근 동북아시아 지역에서의 급격한 도시화, 농지화 그리고 사막화 등을 고려할 때 토지피복이 1-2회 변경된 것으로 분류된 화소의 경우 실제 토지피복에서 변경이 발생할 수도 있을 것이다(Lepers *et al.*, 2005). 하지만 동북아시아 지역에서 지난 12년 사이에 토지피복이 3회 이상 변경되는 것이 현실적으로 용이하지 않음에도 불구하고 토지피복이 3회 이상 다르게 분류된 화소의 비율이 24.3%에 이르는 것은 앞에서 설명한 바와

Table 4. Number of pixels according to the times of land cover classified differently for 12 years (2001-2012)

# of change times	# of pixels	Ratio(%)	Accumulated ratio (%)
0	9,331,832	57.01	57.01
1	1,384,945	8.46	65.47
2	1,666,838	10.18	75.65
3	1,247,871	7.62	82.27
4	1,179,639	7.21	90.48
5	764,148	4.67	95.14
6	446,202	2.73	97.87
7	219,783	1.34	99.21
8	88,520	0.54	99.75
9	30,939	0.19	99.94
10	7,679	0.05	99.99
11	1,746	0.01	100.00
Total	16,370,142	100.00	

같이 분류상 오류가 원인일 수도 있다.

분석기간 12년 동안 토지피복 분류가 변경된 횟수의 공간분포를 Fig. 4에 나타내었다. 내몽골, 산둥반도, 연해주 그리고 일본 등 대부분 지역에서 토지피복이 12년간 1개 유형으로 분류되고 있다(초록색). 하지만 양쯔강 유역, 황하강에서 만주, 한반도 대부분 지역 그리고 일본 본토 지역 등에서 토지피복이 연도에 따라 다르게 분류되었음을 볼 수 있다. Fig. 1과 비교할 때 토지피복 분류에서 변화가 자주 발생한 지역은 주로 농지와 초지의 경계지역임을 알 수 있다. 또한 한반도와 같이 다양한 토지피복이 혼재되어 있는 지역에서도 토지피복 분류에 변화가 자주 발생하였음을 볼 수 있다.

Table 5는 12년간의 토지피복 분류 자료에서 각 화소별로 토지피복이 다르게 분류된 유형의 수에 대해 나타낸 것이다. 토지피복이 1개의 유형으로 분류된 화소는 단지 57%이고, 2개 이상의 유형으로 분류된 화소는 43%에 달하며 최대 9개 유형으로 분류된 화소도 존재하였다. 토지피복이 2-3개 유형으로 분류된 화소(38.9%) 중에는 실제 토지피복이 변경되거나 농작물의 재배유형이 바뀐 화소도 있을 것이다. 하지만 12년 사이에 토지피복 유형이 3 종류 이상으로 변화되는 것은 현실적이지 않으므로 MODIS 토지피복 자료는 최소한 15% 이상의 분류 오류를 포함하고 있는 것으로 추정할 수가 있다.

분석기간 12년 동안 각 화소별로 토지피복이 분류된

Table 5. Number of land cover types classified for the 12 years (2001-2012)

# of land cover	# of pixels	Ratio (%)	Accumulated ratio (%)
1	9,331,832	57.01	57.01
2	4,784,344	29.23	86.23
3	1,585,859	9.69	95.92
4	502,071	3.07	98.99
5	135,524	0.83	99.81
6	26,767	0.16	99.98
7	3,495	0.02	99.99
8	241	0.00	99.99
9	9	0.00	100.00
Total	16,370,142	100.00	

유형 수의 공간분포를 Fig. 5에 나타내었다. 토지피복이 2개 유형으로 분류된 지역은 농지와 초지 등 식생의 계절변동 패턴(phenology)이 유사한 유형이 인접하는 곳에서 주로 발생하고 있다. 또한 발해만 북부와 만주, 한반도, 양쯔강 상류, 일본 중북부 지역 등 Fig. 4에서 토지피복 분류가 자주 바뀐 지역들에서 토지피복 유형 수가 3개 이상으로 나타나고 있다.

Table 6은 12년 동안 토지피복이 2개 유형으로만 분류된 화소들에 대해 각 유형별로 분류된 개수와 점유율을 나타낸 것으로 각 유형별 분류 화소수가 다르기 때문에 평균 점유율은 점유율의 평균 대신 전체 화소를 기준으로 계산한 것이다. 표에서 세로축은 2001년도의 토지피복 유형을 나타낸 것이며 가로축은 세로축에 위치한 토지피복이 12년 동안 어떠한 유형으로 분류되었는가를 나타낸 것이다. 대부분의 경우 식생의 계절변동 패턴이 유사한 유형으로 분류되고 있음을 볼 수 있다. 2001년에는 상록수림과 낙엽수림으로 분류된 화소들의 대부분이 혼합림(>93%)으로 분류되고 있다. 또한 초지와 나대로 분류되었던 화소들의 대부분이 초지(~86%), 초지는 농지(~87%)로, 그리고 폐쇄된 관목수림은 혼합림(~85%)로 분류가 변경되고 있다. 하지만 표에서 보는 바와 같이 12년 동안 2개 유형으로만 분류된 화소들에서도 분류의 변경 패턴이 다양하게 나타나고 있다. 예를 들어 2001년에 혼합림(5), 초지(10) 그리고 농지(12)로 분류되었던 화소들의 경우 10종 이상으로 다양하게 변경되어 분류되고 있다. 동일 화소에서 토지피복이 연도에 따라 다양하게 분류된 것은 실제 토지피복이 변경된

Fig. 4. Spatial distribution of the number of classification changes for the 12 years (2001-2012).

Fig. 5. Spatial distribution of number of classified land cover types for 12 years (2001-2012).

Table 6. Number (a) and percentage (b) of pixels corresponding to the classification results of 2001, experienced one time of land cover change for 12 years (2001-2012)

(a)

2001	# of pixels according to the reclassified land cover types for 12 years																	Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
1	-	20	8	8	40,990	14	2	66	1	10	342	311	0	27	0	13	2,140	43,952
2	11	-	0	7	1,185	0	0	13	0	18	191	464	0	42	0	7	154	2,092
3	32	0	-	0	994	0	2	10	0	18	73	102	0	79	0	1	28	1,339
4	0	7	0	-	441,873	2	0	519	2	166	14	212	0	13,243	0	1	2	456,041
5	53,837	15,485	3,911	618,877	-	25,335	34	66,403	1,778	6,661	7,634	14,862	0	90,023	2	213	4,175	909,230
6	120	2	10	47	41,428	-	19	468	12	1,128	180	4,908	0	141	0	8	28	48,499
7	4	0	5	0	107	2	-	26	6	22,729	35	17,149	0	132	2	49	26	40,272
8	410	92	28	535	89,151	369	26	-	250	866	852	38,902	0	4,755	0	8	427	136,671
9	6	3	0	4	5,159	28	5	147	-	556	71	6,346	0	224	1	15	8	12,573
10	182	0	120	353	7,977	778	71,276	2,594	939	-	938	961,151	0	23,882	38	32,602	2,484	1,105,314
11	528	23	191	11	3,996	43	11	257	18	183	-	1,210	184	54	5	181	1,519	8,414
12	2,000	130	2,200	638	51,419	5,704	2,940	50,133	2,655	591,392	17,880	-	0	544,405	55	884	1,024	1,273,459
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,228	0	-	0	0	0	601	1,829
14	176	98	303	35,020	162,477	179	140	3,704	358	19,427	796	424,265	0	-	25	72	280	647,320
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	133	4	67	0	0	-	38	13	255
16	397	1	15	0	135	8	50	43	2	61,417	277	178	0	7	15	-	8,440	70,985
17	4,181	27	93	2	4,479	3	10	133	4	2,356	1,742	789	156	43	222	11,859	-	26,099
Total	61,884	15,888	6,884	655,502	851,370	32,465	74,515	124,516	6,025	707,060	32,257	1,470,916	340	677,057	365	45,951	21,349	4,784,344

(b)

2001	% of pixels according to the reclassified land cover types for 12 years																	Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
1	-	0.0	0.0	0.0	93.3	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.8	0.7	0.0	0.1	0.0	0.0	4.9	100
2	0.5	-	0.0	0.3	56.6	0.0	0.0	0.6	0.0	0.9	9.1	22.2	0.0	2.0	0.0	0.3	7.4	100
3	2.4	0.0	-	0.0	74.2	0.0	0.1	0.7	0.0	1.3	5.5	7.6	0.0	5.9	0.0	0.1	2.1	100
4	0.0	0.0	0.0	-	96.9	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0	0.0	0.0	100
5	5.9	1.7	0.4	68.1	-	2.8	0.0	7.3	0.2	0.7	0.8	1.6	0.0	9.9	0.0	0.0	0.5	100
6	0.2	0.0	0.0	0.1	85.4	-	0.0	1.0	0.0	2.3	0.4	10.1	0.0	0.3	0.0	0.0	0.1	100
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	-	0.1	0.0	56.4	0.1	42.6	0.0	0.3	0.0	0.1	0.1	100
8	0.3	0.1	0.0	0.4	65.2	0.3	0.0	-	0.2	0.6	0.6	28.5	0.0	3.5	0.0	0.0	0.3	100
9	0.0	0.0	0.0	0.0	41.0	0.2	0.0	1.2	-	4.4	0.6	50.5	0.0	1.8	0.0	0.1	0.1	100
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.1	6.4	0.2	0.1	-	0.1	87.0	0.0	2.2	0.0	2.9	0.2	100
11	6.3	0.3	2.3	0.1	47.5	0.5	0.1	3.1	0.2	2.2	-	14.4	2.2	0.6	0.1	2.2	18.1	100
12	0.2	0.0	0.2	0.1	4.0	0.4	0.2	3.9	0.2	46.4	1.4	-	0.0	42.8	0.0	0.1	0.1	100
13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	67.1	0.0	-	0.0	0.0	0.0	32.9	100
14	0.0	0.0	0.0	5.4	25.1	0.0	0.0	0.6	0.1	3.0	0.1	65.5	0.0	-	0.0	0.0	0.0	100
15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	52.2	1.6	26.3	0.0	0.0	-	14.9	5.1	100
16	0.6	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1	0.1	0.0	86.5	0.4	0.3	0.0	0.0	0.0	-	11.9	100
17	16.0	0.1	0.4	0.0	17.2	0.0	0.0	0.5	0.0	9.0	6.7	3.0	0.6	0.2	0.9	45.4	-	100
Avg.	1.3	0.3	0.1	13.7	17.8	0.7	1.6	2.6	0.1	14.8	0.7	30.7	0.0	14.2	0.0	1.0	0.4	100

Table 7. Same as in Table 6 except for the pixels experienced two times of land cover changes for 12 years (2001–2012)

(a)

2001	# of pixels according to the reclassified land cover types for 12 years																	Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
1	-	925	293	819	8,919	500	30	2,211	134	349	2,536	1,264	0	1,052	7	471	2,394	21,904
2	231	-	44	43	1,025	19	13	456	30	236	917	860	0	376	2	228	340	4,820
3	345	6	-	67	1,318	92	10	502	34	186	509	404	0	502	3	36	124	4,138
4	237	103	156	-	64,834	364	12	9,169	169	2,231	189	2,157	0	55,226	0	5	52	134,904
5	20,823	8,585	2,947	129,534	-	19,594	293	66,815	5,208	35,225	12,538	68,718	0	169,293	27	2,682	7,562	549,844
6	2251	32	317	12,652	27,317	-	575	8,980	570	7,649	1,076	14,129	0	4,851	0	142	145	80,686
7	128	1	63	137	621	311	-	1,247	215	19,448	307	19,860	0	3,968	12	2,490	168	48,976
8	7,174	1,210	1,491	10,658	91,169	9,019	613	-	4,689	10,888	9,642	62,851	0	44,465	10	382	1,225	255,486
9	504	83	199	1,116	12,736	1,836	334	8,754	-	6,318	866	9,718	0	3,920	3	139	100	46,626
10	4,545	50	1,170	6,639	35,548	6,460	61,553	20,381	3,743	-	6,262	164,684	0	91,593	468	25,441	13,025	441,562
11	3,304	139	847	57	7,755	205	80	2,644	152	932	-	2,329	6	530	37	1,374	3,539	23,930
12	7,458	406	4,130	14,158	156,491	21,003	34,257	84,794	7,252	187,112	20,445	-	0	239,653	361	2,960	2,106	782,586
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	-	0	0	0	6	12
14	3,507	1,086	2,087	130,894	237,883	4,063	3,167	44,710	3,499	97,874	4,799	171,486	0	-	245	1,203	1,221	707,724
15	12	0	1	2	20	0	11	15	3	489	42	200	0	25	-	333	121	1,274
16	2,672	23	182	8	1,703	97	4,137	242	21	8,824	1,796	1,826	0	217	286	-	6,980	29,014
17	4,993	106	384	125	6,276	37	154	820	40	6,290	4,599	1,292	1	562	514	12,039	-	38,232
Total	58,184	12,755	14,311	306,909	653,615	63,600	105,239	251,740	25,759	384,051	66,529	521,778	7	616,233	1,975	49,925	39,108	3,171,718

(b)

2001	% of pixels according to the reclassified land cover types for 12 years																	Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
1	-	4.2	1.3	3.7	40.7	2.3	0.1	10.1	0.6	1.6	11.6	5.8	0.0	4.8	0.0	2.2	10.9	100
2	4.8	-	0.9	0.9	21.3	0.4	0.3	9.5	0.6	4.9	19.0	17.8	0.0	7.8	0.0	4.7	7.1	100
3	8.3	0.1	-	1.6	31.9	2.2	0.2	12.1	0.8	4.5	12.3	9.8	0.0	12.1	0.1	0.9	3.0	100
4	0.2	0.1	0.1	-	48.1	0.3	0.0	6.8	0.1	1.7	0.1	1.6	0.0	40.9	0.0	0.0	0.0	100
5	3.8	1.6	0.5	23.6	-	3.6	0.1	12.2	0.9	6.4	2.3	12.5	0.0	30.8	0.0	0.5	1.4	100
6	2.8	0.0	0.4	15.7	33.9	-	0.7	11.1	0.7	9.5	1.3	17.5	0.0	6.0	0.0	0.2	0.2	100
7	0.3	0.0	0.1	0.3	1.3	0.6	-	2.5	0.4	39.7	0.6	40.6	0.0	8.1	0.0	5.1	0.3	100
8	2.8	0.5	0.6	4.2	35.7	3.5	0.2	-	1.8	4.3	3.8	24.6	0.0	17.4	0.0	0.1	0.5	100
9	1.1	0.2	0.4	2.4	27.3	3.9	0.7	18.8	-	13.6	1.9	20.8	0.0	8.4	0.0	0.3	0.2	100
10	1.0	0.0	0.3	1.5	8.1	1.5	13.9	4.6	0.8	-	1.4	37.3	0.0	20.7	0.1	5.8	2.9	100
11	13.8	0.6	3.5	0.2	32.4	0.9	0.3	11.0	0.6	3.9	-	9.7	0.0	2.2	0.2	5.7	14.8	100
12	1.0	0.1	0.5	1.8	20.0	2.7	4.4	10.8	0.9	23.9	2.6	-	0.0	30.6	0.0	0.4	0.3	100
13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0	50.0	100
14	0.5	0.2	0.3	18.5	33.6	0.6	0.4	6.3	0.5	13.8	0.7	24.2	0.0	-	0.0	0.2	0.2	100
15	0.9	0.0	0.1	0.2	1.6	0.0	0.9	1.2	0.2	38.4	3.3	15.7	0.0	2.0	-	26.1	9.5	100
16	9.2	0.1	0.6	0.0	5.9	0.3	14.3	0.8	0.1	30.4	6.2	6.3	0.0	0.7	1.0	-	24.1	100
17	13.1	0.3	1.0	0.3	16.4	0.1	0.4	2.1	0.1	16.5	12.0	3.4	0.0	1.5	1.3	31.5	-	100
Avg.	1.8	0.4	0.5	9.7	20.6	2.0	3.3	7.9	0.8	12.1	2.1	16.5	0.0	19.4	0.1	1.6	1.2	100

것이 원인일 수도 있다. 하지만 단기간에 토지피복의 변화가 발생하기 어려운 점을 고려할 때 공간해상도가 500 m인 MODIS 센서로 관측된 자료의 전처리 과정에서 발생하는 기하학적 보정의 한계가 토지피복이 균질하지 않은 지역들에서 연도에 따라 분류가 변경되는데 중요한 요인으로 작용한 것으로 판단된다(Friedl *et al.*, 2010). 또한 식생계절 변동자료를 준비하는데 가장 문제가 되는 구름으로 오염된 화소의 탐지와 복원의 한계 그리고 강수와 기온의 경년변동에 민감한 식생들이 기후의 경년변동에 의해 식생의 계절변동 특성이 변경된 것도 분류를 연도에 따라 상이하게 하는데 주요한 요인으로 작용한 것으로 판단된다(Suh *et al.*, 2005).

Table 7은 Table 6에서와 같이 12년 동안 3개 유형으로만 분류된 화소들에 대해 각 유형별 화소 수와 점유율을 나타낸 것이다. 2001년 토지피복 유형이 12년 동안 2회 변경된 화소들에서는 토지피복 유형에 관계없이 매우 다양한 유형으로 분류되고 있다. 도시를 제외한 대부분의 유형에서 혼합림, 사바나(Wdy. Svn.), 초지 및 농지 그리고 농지와 자연식생의 혼합유형 등이 포함되는 3개 유형으로 분류되고 있는 반면 낙엽침엽수림, 혼합림, 폐쇄된 관목수림(Clsd. Shrub.) 그리고 사바나 및 농지 유형에서는 4개 이상의 유형으로 분류되고 있다. 각 유형별로 분류된 화소를 공간분포와 비교해보면 두 가지 이상의 유형이 혼재하고 있는 지역에서 서로 인접한 유형으로 분류가 많이 되고 있는 것을 알 수 있다(Figs. 1 and 5). 이와 같이 12년 사이에 3개 이상의 유형으로 분류된 화소의 경우 실제 토지피복의 변화라기보다는 분류상의 오류일 확률이 높을 것으로 판단된다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 토지이용(land use) 및 토지피복 변화(land cover change) 연구 그리고 기후 및 수치 모델링 연구에서 지면경계조건 자료로 주로 이용되고 있는 토지피복 자료 중의 하나인 MODIS 자료(MCD12Q1)를 이용하여 동북아시아 지역에서의 토지피복 분류 현황 및 변화경향 그리고 12년(2001-2012)간의 분류 특성을 분석하였다.

동북아시아 지역에서 토지피복 유형별 12년 평균 점

유율은 농지(36.96%), 초지(23.14%), 혼합림(22.97%) 3가지 토지피복 유형이 분석영역의 80% 이상 점유하고 있는 것으로 나타났고, 그 외 농지와 자연 식생의 혼합유형(6.09%), 낙엽활엽수림(4.26%), 도시(2.46%) 그리고 사바나(1.54%) 유형이 점유하는 것으로 나타났다. 각 토지피복별 점유율은 증가와 감소패턴을 포함하여 유형에 따라 다양한 경년변동을 보였다. 상록침엽수림(+0.0256%/yr), 낙엽활엽수림(+0.0709%/yr) 그리고 혼합림(+0.2191%/yr)은 유의수준 5%에서 증가되고 있는 반면 사바나 유형(Wdy. Svn.: -0.072%/yr, Savannas: -0.02%/yr)에서는 유의수준 5%에서 감소되는 것으로 나타났다. 습지(+0.017%/yr)와 나대지(-0.0138%/yr)는 유의수준 10%에서 증가와 감소경향을 보이고 있는데 이는 특정 연도의 점유율이 다른 연도에 비해 현저히 적게 나온 것이 기인한 것으로 보인다. 동일한 위성자료, 전처리와 분류기법을 사용하였음에도 불구하고 매년 10% 이상의 화소에서 토지피복 유형이 다르게 분류되고 있으며, 토지피복 유형별 점유율의 연변동은 농지(1.41%), 혼합림(0.82%), 초지(0.73%)에서 가장 두드러지게 나타났다.

12년간 MODIS 토지피복 자료에서 토지피복 분류가 1개 유형으로만 분류된 화소의 비율은 단지 57%이며 나머지 화소에서는 토지피복 분류가 1회 이상 다르게 분류되었고 최대 11회 다르게 분류된 화소도 존재했다. 또한, 각 화소에서 토지피복 유형이 3개 이상으로 분류된 화소는 13%이며 최대 9개 유형으로 분류된 화소도 존재했다. 12년 동안 토지피복 유형이 2개 또는 3개 유형으로 분류된 화소에서도 분류의 유형 변경이 다양하게 나타나고 있다. 시간적 변동성이 적은 토지피복의 특성을 고려할 때 토지피복 유형이 3회 이상 다르게 분류되거나 2개 이상의 유형으로 분류된 화소의 경우 토지피복이 변화되었다기 보다는 분류상의 오류일 가능성이 높다. 동일 화소에서 토지피복이 연도에 따라 다양하게 분류된 것은 기하학적 보정과 구름으로 오염된 화소의 탐지와 복원의 한계 그리고 작물재배 특성이 변경된 것도 분류를 연도에 따라 상이하게 하는 주요한 요인으로 작용한 것으로 판단된다. 토지피복이 연도별로 다르게 분류되는 지역은 공간적으로 동일한 토지피복이 분포하고 있는 중국 동부와 북서부 지역을 제외하고 다양한 토지피복 유형이 혼재하거나 유사한 토지피복 유형이 접하고 있는 베이징 부근과 양쯔강 유역, 만주, 한반도 등

대부분 지역에서 토지피복 분류의 변화가 자주 발생했다. 이는 Foody(2002)의 연구에서와 같이 두 종류 이상의 혼합유형이 존재하고 있는 지역과 각 유형들의 경계 부근에서 토지피복 분류의 오류가 많이 발생되고 있음을 제시한다.

본 연구의 결과는 동북아시아 지역에서 MODIS 토지 피복 자료를 다양한 유형의 수치 및 기후모델의 지면경계자료로 사용하거나 토지피복 변화 탐지 등을 연구하는 사용자들에게 하나의 참고자료로 활용될 수 있을 것이다. 또한, 동북아시아 지역에서의 보다 정확한 토지피복 분류 자료를 구축하기 위해서는 구름 탐지 및 복원기법 개발, 분류 결과의 객관적 검증을 위한 다양한 현장 관측 자료 및 고해상도의 자원탐사 위성자료 구축이 수행되어야 할 것이다.

사 사

본 연구는 “다중위성 기반의 동아시아 지표면온도 및 지면피복지도 산출”의 일환으로 (재)기상기술개발원(CATER 2012-2067)의 지원으로 수행되었습니다.

References

- Bartholomé, E. and A.S. Belward, 2005. GLC2000: A new approach to global land cover mapping from earth observation data, *International Journal of Remote Sensing*, 26(9): 1959-1977.
- Bontemps, S., P. Defourny, E.V. Bogaert, O. Arino, V. Kalogirou, and J.R. Perez, 2011. *GLOBCOVER 2009-Products description and validation report*, European Space Agency.
- Brown, D.G., B.C. Pijanowski, and J.D. Duh, 2000. Modeling the relationships between land use and land cover on private lands in the Upper Midwest, USA, *Journal of Environmental Management*, 59(4): 247-263.
- Chase, T.N., R.A. Pielke Sr, T.G.F. Kittel, R.R. Nemani, and S.W. Running, 2000. Simulated impacts of historical land cover changes on global climate in northern winter, *Climate Dynamics*, 16(2-3): 93-105.
- Foody, G.M., 2002. Status of land cover classification accuracy assessment, *Remote Sensing of Environment*, 80(1): 185-201.
- Friedl, M.A., D. Sulla-Menashe, B. Tan, A. Schneider, N. Ramankutty, A. Sibley, and X. Huang, 2010. MODIS Collection 5 global land cover: Algorithm refinements and characterization of new datasets, *Remote Sensing of Environment*, 114(1): 168-182.
- Han, S.H., 2008. Land cover classification of multi-functional administrative city for hazard mitigation precaution, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, 8(5): 77-83.
- Herold, M., P. Mayaux, C.E. Woodcock, A. Baccini, and C. Schmullius, 2008. Some challenges in global land cover mapping: An assessment of agreement and accuracy in existing 1 km datasets, *Remote Sensing of Environment*, 112(5): 2538-2556.
- Jeong, S.K., C.H. Park, and S.W. Kim, 2006. Land cover classification of the Korean Peninsula using linear spectral mixture analysis of MODIS multi-temporal data, *Korean Journal of Remote Sensing*, 22(6): 553-563.
- Kang, J.H., M.S. Suh, and C.H. Kwak, 2007. A comparison of the land cover data sets over Asian region: USGS, IGBP and UMD, *Atmosphere*, 17(2): 159-169.
- Kang, J.H., M.S. Suh, and C.H. Kwak, 2009. Classification of land cover over the Korean Peninsula using MODIS data, *Atmosphere*, 19(2): 169-182.
- Kang, J.H., M.S. Suh, and C.H. Kwak, 2010. Land cover classification over East Asian region using recent MODIS NDVI data (2006-2008), *Atmosphere*, 20(4): 415-426.
- Lepers, E., E.F. Lambin, A.C. Janetos, R. DeFRIES, F.

- Achard, N. Ramankutty, and R.J. Scholes, 2005. A synthesis of information on rapid land-cover change for the period 1981-2000, *BioScience*, 55(2): 115-124.
- Loveland, T.R., B.C. Reed, J.F. Brown, D.O. Ohlen, Z. Zhu, L. Yang, and J.W. Merchant, 2000. Development of a global land cover characteristics database and IGBP DISCover from 1 km AVHRR data, *International Journal of Remote Sensing*, 21(6): 1303-1330.
- McCallum, I., M. Obersteiner, S. Nilson, and A. Shivdenko, 2006. A spatial comparison of four satellite derived 1 km global land cover datasets, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8(4): 246-255.
- Park, Y.Y. and K.S. Han, 2006. Ecoclimatic map over North-East Asia using SPOT/VEGETATION 10-day synthesis data, *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 8(2): 86-96.
- Pettorelli, N., J.O. Vik, A. Mysterud, J.M. Gaillard, C.J. Tucker, and N.C. Stenseth, 2005. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change, *Trends in ecology and evolution*, 20(9): 503-510.
- Ryu, J.H., K.S. Han, K.J. Pi, and M.J. Lee, 2013. Analysis of land cover change around desert areas of East Asia, *Korean Journal of Remote Sensing*, 29(1): 105-114.
- Sellers, P.J., and Coauthors, 1995. Remote sensing of the land surface for studies of global change: Models-algorithms-experiments, *Remote Sensing of Environment*, 51(1): 3-26.
- Seong, J.C., 2000. Characteristics and application of large-area multi-temporal remote sensing data, *Korean Journal of Remote Sensing*, 16(1): 1-11.
- Suh, M.S., C.H. Kwak, H.S. Kim, and M.K. Kim, 2001. Classification of land cover over the Korean Peninsula using polar orbiting meteorological satellite data, *Journal of the Korean Earth Science Society*, 22(2): 138-146.
- Suh, M.S., J.R. Lee, J.H. Kang, D.K. Lee and M.H. Ahn, 2005. On the relationship between seasonal change of vegetation and climate elements in East Asia, *Journal of Korean Meteorological Society*, 41(4): 557-570.
- Tchuenté, A.T.K., J.L. Roujean, and S.M. De Jong, 2011. Comparison and relative quality assessment of the GLC2000, GLOBCOVER, MODIS and ECOCLIMAP land cover data sets at the African continental scale, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13(2): 207-219.
- Verburg, P.H., K. Neumann, and L. Nol, 2011. Challenges in using land use and land cover data for global change studies, *Global Change Biology*, 17(2): 974-989.
- Wang, Q. and J.D. Tenhunen, 2004. Vegetation mapping with multitemporal NDVI in North Eastern China transect (NECT), *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 6(1): 17-31.