

위성자료를 이용한 북한지역 토지피복 및 식생 변화 추정*

Estimation of Land Cover and Vegetation Change in North Korea Using Satellite Data

김란희 Kim Ran Hui**, 김현우 Kim Hyun Woo***, 이재희 Lee Jae-Hee****, 이승훈 Lee Seunghoon*****

Abstract

This study was proposed to monitor the change of land cover and forest area in North Korea, and Hwanghae Province using satellite imagery from 2001 to 2014. Land cover change was annually monitored, and the change of forest area was observed monthly using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer(MODIS) images. The forest area of North Korea in 2013 was 53% of North Korean land. This result indicated that the forest has been degraded during the last 14 years. In Hwanghae Province, the area of crop land was not substantially changed, and forest area was slightly increased. However, the value of NDVI gradually decreased, and this result also can be an indirect evidence of forest degradation. The results of this study will be useful to strengthen North Korea's adaptive capacity to climate change, and to establish a joint foundation for climate change response between South and North Korea in near future.

Keywords: Land Cover, Forest Area, NDVI, MODIS, Satellite Image, North Korea

I. 서론

북한의 기후 온난화는 전 세계 평균보다 빠르게 진행되고 있다(명수정 2013, 3). 전 지구적으로 지구의 평균 기온은 지난 133년간 0.85℃ 증가하였으나, 북한 지역의 연평균 기온은 0.45℃/10년 상승하였다. 전 지구 평균뿐만 아니라 남한(0.36℃/10년)에 비해서도 가

속도로 진행되고 있는 것으로 보고되었다(명수정 2013, 4). 북한은 오랫동안 지속되어 온 에너지난과 식량난으로 산림이 훼손되어 가뭄과 같은 기후 극한 사상에 의한 자연재해에 취약하여 기후변화에 대한 분석이 필요하다(명수정 2013, 4). 기후변화로 인한 자연재해의 피해를 최소화하기 위해서는 다양한 접근이 요구되는데, 가장 중요한 자연자원 중 하나이며 기

* 본 논문은 2016년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 일반연구사업(과제번호: NRF-2014R1A1A2060140).

** 안양대학교 환경에너지공학과 연구원(제1저자) | Research Assistant, Dept. of Environmental & Energy Engineering, Anyang Univ. | Primary Author | kimrh777@naver.com

*** 안양대학교 환경에너지공학과 조교수(교신저자) | Assistant Prof., Dept. of Environmental & Energy Engineering, Anyang Univ. | Corresponding Author | kim4eco@hydro@anyang.ac.kr

**** 에스이랩 과장 | Manager, SELab, Inc. | jhlee@selab.co.kr

***** 안양대학교 환경에너지공학과 조교수 | Assistant Prof., Dept. of Environmental and Energy Engineering, Anyang Univ. | tenboy@anyang.ac.kr

후변화 조절에 중요한 역할을 하는 산림에 대한 정확한 현황 및 변화량을 파악하는 것도 효과적인 대안이다. 그러나 북한 정부가 이를 자력으로 감당할 만한 여력은 없는 것으로 보이므로, 대한민국 정부의 지원에 의한 남한의 환경 관리자 혹은 연구자가 주체가 되어 북한의 산림을 대상으로 남북 간 교류 및 협력을 추진하는 것이 현실적으로 가능한 우리의 정책 방향이다. 이는 한반도 전역에 걸친 지속가능한 국토 관리의 활성화 방안이 될 수 있으리라 사료된다.

1990년대 중반 이후 원격탐사를 이용한 북한 산림 관련 연구가 활발히 수행되었다. 원격탐사는 물체로부터 반사 또는 방출되는 전자기파를 이용하여 물체의 성분, 종류, 상태 등을 조사하는 기술로 다양한 분야에서 이용되고 있다(Jensen 2007, 31). 특히 식생과 산림 연구에 원격탐사가 널리 이용되는데 이는 원격탐사가 정보를 주기적으로 제공해주며, 넓은 지역을 한번에 연구하기에 적당하고, 저비용으로 산림 및 식생을 관측할 수 있기 때문이다(Jensen 2007, 355). 특히 자유로운 현장 실측 연구가 불가능한 북한지역을 대상으로 한다면 원격탐사 기술은 유일한 대안이라고 할 수 있다. 김두일, 한옥, 정상조(1998, 135)는 LANDSAT 영상자료를 활용하여 황해도 북부 농촌지역의 토지이용 변화를 분석하였다. 이 연구에서 1990년과 1995년 사이 가장 급속한 변화를 보인 토지피복 지역은 도시 지역이었으며(19.3% 증가), 그밖에 초지나 임지의 면적 변화는 없거나 매우 작은 감소를 나타내었다. 이규성, 정미령, 윤정숙(1999, 352)은 북한지역 산림면적 변화의 규모와 특성에 관하여 연구하였는데, 이 연구를 통하여 추정된 산림면적은 1970년대에서 1980년대까지는 상대적으로 적게 감소하였으나, 1990년대에 이르러 급격히 감소한 것으로 보고하였다. 이는 1990년대부터 악화된 경제 사정과 반복적인 기후 극한사상으로 인한 것이라 주장한 바 있다.

이민부, 한옥, 김남신, 한주연 외(2003, 630)는 다시기(多時期) LANDSAT 영상과 수치고도자료를 이용하여 두만강 하류지역의 농경지 및 산림의 분포와 변화 과정의 공간적 특성을 분석하였다. 이를 통해 산림이 제거된 나대지들이 사면침식과 하천의 토사퇴적 원인을 제공함을 밝혔다. 염종민, 한경수, 이창석, 박윤영 외(2008, 28)는 SPOT/VEGETATION NDVI 자료를 이용한 북한지역의 식생 변화를 탐지하고 그 원인을 분석하였다. 1999년부터 2005년까지 7년간의 지표 상태를 모니터링하여 가뭄과 태풍으로 인한 식생 변화가 일어남을 밝혔다. 박지열, 서명석(2014, 511)은 Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer(MODIS) 영상을 활용하여 동북아시아 지역에서의 최근 12년간(2001~2012년) 토지피복 분류자료의 특성을 조사하여 동북아시아 전역의 토지피복 특성을 분석하였다. 그러나 이러한 연구들은 대부분 단기간에 걸쳐 수행되거나 남북 교류가 비교적 원활했던 2010년 이전에 이루어져 최근 북한의 산림 현황을 제대로 파악하기에 어려움이 있었다. 따라서 장기적인 모니터링을 통하여 최근의 토지피복과 식생 변화에 대해 분석할 필요가 있다.

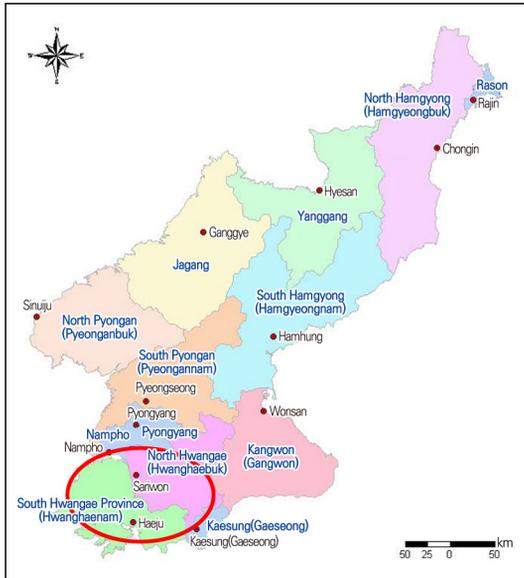
이에 본 논문에서는 MODIS 위성영상자료를 활용, 북한 전역과 황해도 지역의 토지피복 변화와 식생 변화를 추정하여 최근 14년간 산림면적의 변화가 어떻게 진행되어 왔는지 알아보고자 하였다. 이러한 자료를 활용하여 북한의 산림자원 관리 및 전반적인 산림 생태계 복원의 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 연구 대상 및 방법

1. 연구 대상 지역

본 논문은 북한 전역과 북한지역의 일부인 황해도 지역을 대상으로 하였다(<Figure 1> 참조). 북한지역은

Figure 1 _ Administrative Units in North Korea Including Hwanghae Province



Source: KBS 2016. (accessed 2016. 9. 22).

북부와 동부가 높고 서부와 남부가 낮아지는 동북고남서저의 형태로 이루어져 있다. 평균 해발고도는 440m이고 1,000m 이상 되는 지역은 12.8%이며, 2,000m가 넘는 지역은 0.26%로 저산성산지다. 큰 산맥들은 북부와 동부에 치우쳐 있고 가장 높고 넓은 산지는 동북산지다. 여기에는 북북서에서 남남동으로 뻗어 있는 백두산맥, 낭림산맥, 북수백산맥, 현화산맥 등과 동북동에서 서남서 방향으로 된 함경산맥, 부전령산맥 등 한반도에서 가장 높고 험준한 산맥들이 있다(한국학중앙연구원 2016).

황해도 지역은 북한에서 함경도 다음으로 기후변화 취약성이 높고, 농지의 면적이 가장 넓다(명수정 2013, 4). 이에 산림에서 농지로의 토지 이용 전환이 오래전부터 집중적으로 이루어지고 있는 지역이라 예상되어 황해도 지역을 연구 대상지로 선정하였다. 동북부에는 험준한 산맥으로 평균 해발 1,000m 이상의 산들이 자리 잡고 있고, 동서에는 평균 800m 내외의

산지를 형성하고 있다. 1월 평균기온은 -5~-8℃로 최저 기온은 곡산에서 기록된 -33℃였다. 7월 평균 기온은 24~25℃ 내외로 우리나라의 다른 지방과 큰 차이가 없으며, 기온의 연교차는 경기지방보다 훨씬 크다.

강우 분포는 계절풍이 부는 여름철에 60% 이상 집중적으로 내려 하계 다우형이다. 증발량은 1,300mm 내외에 달하고, 일조 시수 60~62%를 나타내어 우리나라에서 최다조 지역을 이룬다. 황해도에 있는 멸악산맥 남쪽 예상강 서쪽에 전개되는 연백평야는 한반도 내 제3의 평야이며 북한에서는 제1의 평야로 북한 최대의 쌀 생산지로 알려져 있다(한국학중앙연구원 2016).

2. 연구방법

1) MODIS 육상자료 산출물

MODIS는 1999년 12월 발사된 Terra 위성과 2002년 발사된 Aqua 위성에 탑재된 센서로서 전 지구 표면을 관측하여 36개의 밴드로 이루어진 자료를 1일 2회씩 일단위로 제공한다. MODIS 영상은 지구상의 광범위한 생물리학적 변화를 모니터링하기 위한 목적으로 운영 중이다. 또한 MODIS는 전 세계적으로 영상 제공 시스템이 구축되어 있어 육지, 해양, 대기 등의 분야에서 다양하게 활용되고 있는 영상 중 하나다. 본 논문에서는 미항공우주국(National Aeronautics and Space Administration: NASA), Land Process Distributed Active Archive Center(LP DAAC)에서 제공하는 MODIS 토지 피복 유형 산출물(Land cover type product, MCD12Q1)과 식생지수 산출물(Vegetation Index product, MOD13A2)을 이용하여 북한지역의 토지피복 및 산림면적 변화를 추정하였다.

MODIS는 주로 가시광선이나 적외선 영역 파장대

의 자료들을 활용하는데 이 파장대의 복사파들은 구름이나 에어로졸을 통과하지 못하기 때문에 대기 조건에 따라서 영상자료의 품질 저하가 발생할 수 있다. 이러한 이유로 맑은 날에 생성된 자료의 최댓값을 이용하는 최댓값 중첩법(Maximum Value Composite: MVC)으로 구름의 영향을 최소화한 자료를 제공한다.

또한 MODIS에서는 약 40여 개의 산출물들을 Hierarchical Data Format(HDF)의 형태로 제공하며, 처리 수준에 따라 level 0~5로 구분한다. 본 논문에서 사용된 토지피복 및 식생지수 자료는 각각 12, 13번째 산출물로서 대기 보정된 level 3 자료다.

이들 자료의 일반적인 특성은 각각 <Table 1>에 나타내었다. MODIS 토지피복 및 식생자료를 포함한 육상자료들은 시뉴소이드 도법(Sinusoidal Projection)으로 제공되므로 위경도 좌표계(Geographic Lat/Lon)로 재투영하였다(Justice, Townshend, Vermote and Masuoka et al. 2002, 7).

2) 토지피복

MODIS 토지피복 유형 산출물 자료는 17개 등급의 International Geosphere-Biosphere Programme(IGBP) 분류, 14개 등급의 University of Maryland(UMD) 분류, 10개 등급의 MODIS Leaf Area Index/Fraction of Photosynthetically Active Radiation(LAI/FPAR) 분류,

8개 등급의 Biome-BioGeoChemical(Biome-BGC) 분류, 그리고 12개 등급의 Plant Functional Type(PFT) 분류를 포함한 5개의 토지피복 분류 방식을 제공하고 있다(Friedl, Sulla-Menashe, Tan and Schneider et al. 2010, 169). 본 논문에서는 그중 한반도뿐만 아니라 전 지구 규모의 토지피복 분류 연구에 가장 널리 사용되고 있는 방식인 IGBP 분류 방식을 따랐다.

북한의 경우 토지의 일부가 사바나(savanna) 항목과 같이 IGBP 분류에는 맞게 나타나지 않는 토지피복 유형이 존재하여 재분류가 필요하였다. 현재로서는 북한에 접근이 불가능한 상황이므로 북한은 한반도 지역의 일부이며 남한지역과 비슷한 토지피복 유형으로 이루어져 있으리라는 가정하에 남한지역의 토지피복을 분류한 선행연구와 환경부의 토지피복분류도를 참고하여 재분류하였다(성효현, 박옥준 2000, 277). 본 논문의 연구 목적은 산림면적의 변화를 추정하는 데 있으므로 산림지역의 변화를 식생과 관련하여 비교하기 위해 산림 유형인 상록침엽수림(evergreen needleleaf forests), 낙엽침엽수림(deciduous needleleaf forest), 상록활엽수림(evergreen broadleaf forests), 낙엽활엽수림(deciduous broadleaf forest), 혼효림(mixed forests) 유형만 따로 구분하여 분류하였다. 농지에 해당하는 농지(cropland)와 농지 및 자연 식생 모자이크(cropland/natural vegetation mosaic) 유형은 농지로 통합하고, 물이 존재하는 영구설빙(Permanent Snow and Ice, IGBP

Table 1 _ General Characteristics of MODIS Products Used in This Study

Category	Land Cover (MCD12Q1)	Vegetation Index (MOD13A2)
Sensor	Combined MODIS	Terra MODIS
Temporal Coverage	2001~2014	
Image Dimensions (rows/columns)	2400 × 2400	1200 × 1200
Spatial Resolution	500m	1,000m
Temporal Resolution	Yearly	16days
Projection	Sinusoidal Grid	

15)과 수역(water, IGBP 17) 유형은 수역(water)으로, 도시지역(urban and built-up land)은 그대로 남겨두었다. 폐쇄형 관목림(closed shrublands), 개방형 관목림(open shrublands), 수목이 우거진 사바나(woody savannas), 사바나(savannas), 초지(grasslands), 영구습지(permanent wetlands) 그리고 나대지(barren or sparsely vegetated) 유형은 구분이 어렵고, 북한지역에 맞지 않는 유형도 존재하므로 위의 유형들 중 가장 높은 비율을 가지는 초지로 통합하여 재분류하였다. 또한 본 논문에서는 산림과 농지의 토지피복 변화 비교가 주된 연구이므로 산림, 농지, 도시, 초지, 수역으로 한 번 더 대분류하여 면적 변화를 추정하였다.

3) 식생지수

정규분포식생지수(Normalized Difference Vegetation Index: NDVI)는 적색 가시광선과 근적외선 영역의 녹색 식물에 대한 반사율을 이용하여 계산된다(Huete, Justice and Leeuwen 1999, 4).

$$NDVI = (NIR-RED)/(NIR+RED) \quad <식 1>$$

여기서, NIR는 근적외선 영역의 녹색 식물에 대한 반사율을, RED는 적색 가시광선 영역의 반사율을 각각 나타낸다. <식 1>에서 계산된 NDVI는 -1~1까지의 값을 가지게 되고, 0 이하의 값에서는 식생이 거의 나타나지 않음을 의미하며 0 이상부터 식생이 나타나게 된다. NDVI가 높을수록 식생의 활력도가 높다는 것을 의미한다. 본 논문에서는 40여 개의 MODIS 산출물 중 13번째인 MODIS Vegetation Index 16day composite global 1km(MOD13A2) 산출물을 활용하였다(<Table 1> 참조). 자료에서 NDVI 값이 구름이나 에어로졸 등의 영향이 적어 왜곡이 심하지 않은 자료

들을 선별하여 북한지역의 식생 변화를 추정하였다(차수영, 서동조, 박종화 2009, 402). 이를 통하여 북한 전역과 황해도 지역에서 최근 14년간(2000~2014년)의 NDVI를 연도에 따른 월별 산술평균값과 표준편차를 산출하여 분석하였다. 위성영상의 분석 작업은 Exellis Visual Information Solution사에서 개발된 Interactive Data Language(IDL) 기반의 ENVI 프로그램을 사용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 토지피복 변화

본 논문에서는 북한 전역과 황해도 지역을 17개의 토지피복 유형별로 나눈 후, 재분류하여 2001년부터 2013년까지의 토지피복 점유율을 분석하였으며 그중 2001년과 2013년의 결과를 제시하였다(<Table 2, 3> 참조). 2001년에서 2013년으로 토지피복 변화가 나타남을 알 수 있었다. 박지열, 서명석(2014, 511)은 동북아시아 지역에서의 16개 토지피복 유형의 2001년부터 2012년까지의 12년간 평균 점유율은 농지(36.96%), 초지(23.14%), 혼효림(22.97%) 순으로 나타나 전체 동북아시아 지역의 80% 이상을 세 가지 유형으로 보고하였다. 그러나 본 논문에서는 혼효림(42.80%)과 농지(24.12%)가 북한지역의 약 70%를 점유하고 있는 것으로 나타났다. 그 외에 낙엽활엽수림, 도시 유형이 각각 9.72%, 1.17%를 차지하는 것으로 나타났다.

북한 전역의 가장 큰 부분을 차지하는 산림의 면적은 1998년 북한이 유엔에 제출한 자료에서는 7만 5,519km²이었으나(이규성, 정미령, 윤정숙 1999, 352), 본 논문에서는 2001년 6만 1,065km² 2013년 6만 6,621km²로 각각 나타났다. 실제 북한에서는 1995년부터 2000년

대 초반까지 잦은 산사태와 대홍수가 발생하였는데, 이는 산림면적의 축소가 주 요인 중 하나라고 추정할 수 있다(이규성, 정미령, 윤정숙 1999, 362). 그러나 본 논문의 연구 결과, 2001년과 2014년 사이에는 산림면적 자체가 증가하는 것으로 나타나, 면적 자체는 증가하였지만 식생의 활력도는 떨어지는 황폐지(denuded land)가 산림면적에 포함되어 나타날 수 있어 산림 황폐화와 관련이 있다고 추정된다. 황폐지란, 자연 상태에서 입목지로 회복이 불가능한 지역이다. 풀과 나무를 합한 총피복도가 40% 미만인 지역으로 나무가 거의 없는 맨땅과는 개념상 차이가 있다. 산림 황폐지는

“산지이면서 정상적인 산림 생산활동이 이루어지지 않고 방치되었거나, 경작지 등 타 용도로 사용되어 산지 고유의 기능을 발휘하지 못하고 있는 산림지역으로서 여건이 바뀌면 조림 등의 복구 행위가 즉시 요구되는 지역”으로 정의된다(이승호 2004, 109). 산림 황폐지는 지피식생의 정도와 산지의 이용형태에 따라 나지, 개간 산지, 무림 목지의 세 가지 유형으로 분류될 수 있다(이승호 2004, 109).

또한 여러 선행 연구에서는 과거 북한 국토의 80%를 산림이 차지하고 있는 것으로 언급하였으나(박경석, 이성연, 박소영 2011, 424; 이민부, 한옥, 김남신,

Table 2 _ Land Cover Change in North Korea in 2001 and 2013

Category	2001		2013	
	Size(km ²)	Percent(%)	Size(km ²)	Percent(%)
Evergreen Needleleaf Forest	204	0.17	639	0.53
Deciduous Needleleaf Forest	84	0.07	169	0.14
Deciduous Broadleaf Forest	7,956	6.60	15,477	12.84
Mixed Forest	52,832	43.83	50,337	41.76
Total Forested Area	61,065	50.66	66,621	55.27
Croplands	47,914	39.75	49,047	40.69
Urban and Built-up Land	1,398	1.16	1,410	1.17
Grasslands	10,125	8.40	3,435	2.85
Water	36	0.03	24	0.02

Table 3 _ Land Cover Change in Hwanghae Province in 2001 and 2013

Category	2001		2013	
	Size(km ²)	Percent(%)	Size(km ²)	Percent(%)
Evergreen Needleleaf Forest	8	0.05	54	0.32
Deciduous Needleleaf Forest	12	0.07	30	0.18
Deciduous Broadleaf Forest	159	0.95	558	3.33
Mixed Forest	1,885	11.26	2,028	12.11
Total Forested Area	2,065	12.33	2,669	15.94
Croplands	13,732	82.01	13,437	80.25
Urban and Built-up land	221	1.32	221	1.32
Grasslands	723	4.32	413	2.47
Water	3	0.02	3	0.02

한주연 외 2003, 631), 본 논문에서는 2013년 토지피복자료 내 산림의 면적은 53% 정도로 나타났다. 추후 이에 대한 다양한 추가 분석이 필요하다고 사료된다.

2001년에서 2013년 사이에 토지피복은 유형별로 각각 다른 양상을 나타내었다(<Figure 2, 3> 참조). 선행연구에서 2005년 산림면적은 8만 9,270km², 2008년 산림면적은 8만 9,900km²로 북한의 산림면적이 630km² 증가하였지만, 실제로는 2008년 황폐산림은 2만 8,400km²로 산림면적에 포함되는 황폐산림이 증가하였다. 본 논문에서도 산림면적 5,556km², 농지면적 1,133km²가 증가하였다. 이는 산림면적 자체는 증가하였지만, 황폐산림의 증가로 말미암은 것으로 추정

할 수 있다.

MODIS 토지피복자료에서 분류하고 있는 혼효림, 낙엽활엽수림, 낙엽침엽수림, 상록활엽수림, 상록침엽수림의 구분이 명확하지 않기 때문에 낙엽활엽수림은 증가하고 있지만, 혼효림이 감소하는 결과가 나타내는 것이 2001년에는 혼효림으로 영상에서 인식되었던 것이 2013년에는 낙엽활엽수림으로 인식되었기 때문으로 판단된다(이규성, 정미령, 윤정숙 1999, 357).

황해도 지역의 2001년과 2013년의 토지 피복의 변화는 <Table 3>과 같다. 2001년과 2013년에 농지면적이 1만 3,732km², 1만 3,437km²로 비슷하게 나타나

며 황해도 지역에서 가장 높은 토지 유형으로 분포하고 있다. 산림면적은 2001년에 2,065km², 2013년에 2,669km²으로 나타났다. 농지면적이 295km² 줄었으며, 산림면적은 604km²가 늘었다. 도시와 수역은 221km², 3km²로 거의 일정하게 유지되었다. 황해도는 주로 농지를 개간하는 지역으로 도시개발은 거의 이루어지지 않았다고 사료된다. 초지면적은 310km²가 감소하였다. 황해도 지역에서 유일하게 증가한 산림이 초지의 토지이용 전환으로 인하여 이루어진 것이라 판단된다.

Figure 2_ Spatial Changes of Land Cover in North Korea in 2001 and 2013

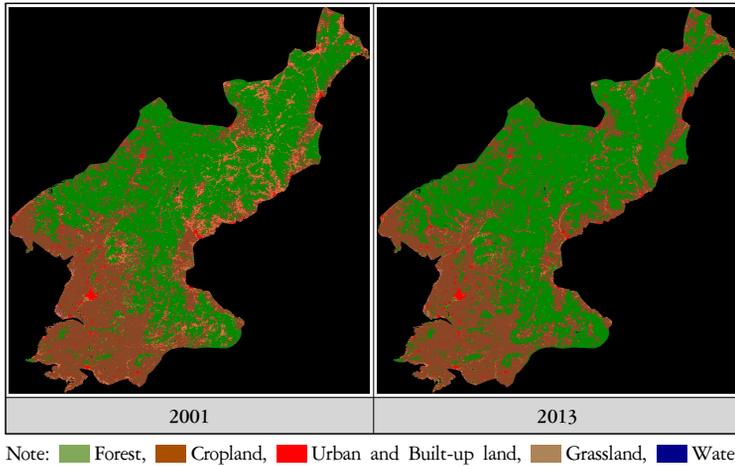
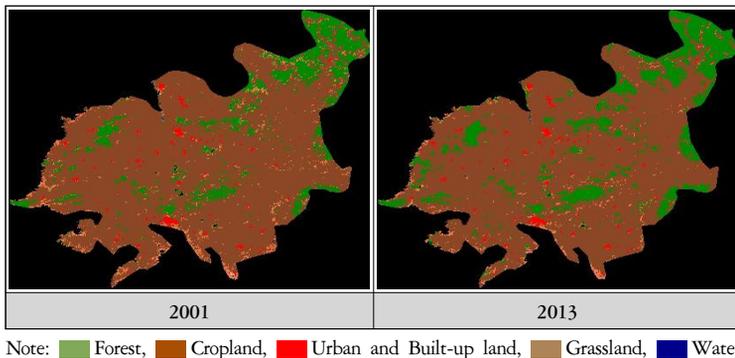


Figure 3_ Spatial Land Cover Changes in Hwanghae Province in 2001 and 2013



2. 식생 변화

본 논문에서는 MODIS NDVI를 이용하여 2001년부터 2014년까지 북한 전역 및 황해도의 식생 변화를 추적하였는데, 그

Table 4 _ NDVI Changes in North Korea(2001~2014)

Year \ Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Average
2001	0.14	0.19	0.26	0.33	0.68	0.68	0.80	0.80	0.43	0.46	0.40	0.31	0.46
2002	0.23	0.27	0.29	0.40	0.66	0.72	0.80	0.80	0.63	0.38	0.30	0.22	0.48
2003	0.19	0.22	0.27	0.42	0.65	0.76	0.80	0.78	0.65	0.47	0.38	0.30	0.49
2004	0.23	0.23	0.29	0.37	0.63	0.68	0.76	0.80	0.66	0.43	0.37	0.28	0.48
2005	0.25	0.18	0.26	0.34	0.58	0.69	0.69	0.82	0.69	0.42	0.37	0.25	0.46
2006	0.20	0.22	0.28	0.32	0.56	0.74	0.80	0.81	0.67	0.42	0.37	0.28	0.47
2007	0.24	0.26	0.26	0.31	0.62	0.71	0.77	0.81	0.67	0.43	0.36	0.30	0.48
2008	0.25	0.26	0.29	0.38	0.60	0.72	0.78	0.80	0.66	0.41	0.37	0.29	0.48
2009	0.24	0.27	0.29	0.36	0.63	0.72	0.79	0.78	0.62	0.39	0.33	0.23	0.47
2010	0.16	0.22	0.24	0.29	0.55	0.71	0.76	0.79	0.73	0.44	0.36	0.26	0.46
2011	0.23	0.27	0.27	0.33	0.54	0.71	0.78	0.79	0.67	0.41	0.35	0.29	0.47
2012	0.24	0.26	0.26	0.34	0.60	0.69	0.74	0.80	0.67	0.44	0.30	0.17	0.46
2013	0.14	0.22	0.26	0.30	0.57	0.74	0.79	0.80	0.66	0.44	0.29	0.19	0.45
2014	0.24	0.24	0.28	0.39	0.59	0.72	0.77	0.76	0.62	0.42	0.38	0.26	0.47
Average	0.21	0.24	0.27	0.35	0.60	0.71	0.77	0.80	0.65	0.43	0.35	0.26	0.47

Table 5 _ NDVI Changes in Hwanghae Province(2001~2014)

Year \ Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Average
2001	0.12	0.12	0.09	0.11	0.17	0.17	0.10	0.10	0.09	0.10	0.09	0.13	0.12
2002	0.12	0.11	0.09	0.11	0.19	0.16	0.10	0.09	0.11	0.09	0.11	0.12	0.12
2003	0.14	0.12	0.09	0.11	0.17	0.12	0.10	0.11	0.11	0.10	0.10	0.12	0.12
2004	0.12	0.11	0.10	0.11	0.17	0.16	0.13	0.09	0.11	0.10	0.11	0.12	0.12
2005	0.12	0.10	0.09	0.10	0.17	0.16	0.16	0.09	0.11	0.10	0.10	0.12	0.12
2006	0.12	0.11	0.09	0.09	0.15	0.15	0.10	0.09	0.11	0.10	0.10	0.12	0.11
2007	0.13	0.10	0.09	0.09	0.18	0.16	0.12	0.09	0.11	0.10	0.10	0.11	0.12
2008	0.11	0.11	0.09	0.11	0.18	0.18	0.12	0.09	0.12	0.10	0.11	0.11	0.12
2009	0.12	0.11	0.09	0.12	0.20	0.16	0.11	0.09	0.11	0.10	0.11	0.13	0.12
2010	0.12	0.12	0.11	0.09	0.16	0.15	0.12	0.10	0.12	0.10	0.11	0.12	0.12
2011	0.14	0.12	0.09	0.11	0.17	0.20	0.12	0.09	0.11	0.10	0.10	0.13	0.12
2012	0.13	0.12	0.10	0.11	0.19	0.17	0.12	0.10	0.11	0.11	0.14	0.15	0.13
2013	0.12	0.13	0.10	0.09	0.18	0.15	0.11	0.10	0.12	0.10	0.15	0.15	0.13
2014	0.13	0.12	0.09	0.13	0.19	0.17	0.12	0.10	0.11	0.10	0.12	0.13	0.13
Average	0.18	0.24	0.29	0.37	0.50	0.55	0.58	0.62	0.70	0.76	0.84	0.92	0.12

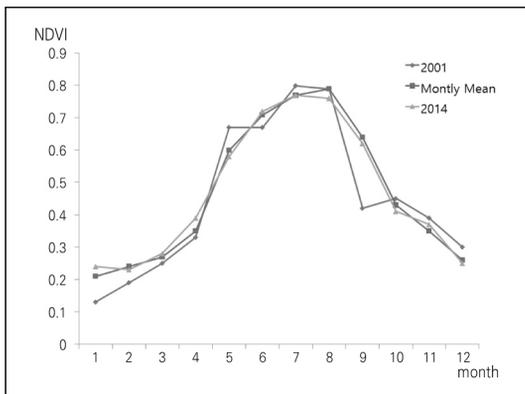
결과를 월별 NDVI값과 14년간의 월별 평균 NDVI 값으로 나타내었다(<Table 4, 5> 참조). 북한지역 전체적인 식생 변화는 1월에 NDVI값이 연중 최솟값을 나타내고, 8월에 NDVI값이 연중 최댓값을 나타낸다. NDVI의 패턴은 4월 이후에 NDVI값이 급격하게 증가했다가 8월 이후에 급격하게 감소하는 것을 알 수 있었는데 이는 한반도의 일반적인 계절기후학적 특징이라고 할 수 있으며 선행연구의 결과와도 대체적으로 일치하는 것으로 보인다(염종민, 한경수, 이창석, 박윤영 외 2008, 34).

연간 식생 변화를 분석한 결과 2001년에 상당히 낮은 값을 보이다가 잠깐 높은 값을 보이지만 5~6년에 한 번씩 낮은 값을 보였으며(2005, 2010년), 결국 14년 동안 NDVI값이 가장 낮았던 해는 2013년이었던 것으로 나타났다(<Figure 4> 참조).

이는 토지피복 분석에서 나타난 산림 면적의 증가와는 반대로 북한 전역에서 식물의 활력도는 점차 감소하고 있는 것으로 보이므로 산림황폐화가 진행되고 있는 간접적인 증거가 될 수 있는데, 추후 추가 분석이 이루어져야 한다.

이규성, 정미령, 윤정숙(1999, 352)은 위성영상을 이용하여 황폐화된 산림지역을 정확하게 구분하여 분류하기 위해서는 작물들이 충분히 성장한 시점인 7, 8월

Figure 4_ Seasonal Variations of NDVI in North Korea



영상이 가장 적합하다고 하였다. 본 연구 결과에서도 7, 8월의 NDVI값을 살펴보면 2010년 이후로 평균 NDVI값보다 낮은 값을 나타낸다.

황해도 지역은 농지 비율이 높아 북한 전역에 비하여 현저히 낮은 NDVI값을 나타내었다. 14년간의 NDVI값의 변화를 살펴보면 매년 비슷한 양상으로 나타나고 있다. 이는 황해도 지역에서는 산림면적의 변화가 거의 일어나지 않고 유지되고 있다고 판단된다.

IV. 결론

본 논문은 북한의 산림면적 변화를 추정하기 위해 북한 전역과 북한에서 농지가 가장 많이 분포되어 있는 황해도 지역을 대상으로 MODIS 위성영상을 이용하여 2001년부터 2014년까지의 산림 현황 및 토지피복 변화를 분석하였으며 그 결과는 다음과 같다.

MODIS 토지피복자료로 추정된 2013년도 북한 전역의 산림 점유율(53%)은 과거 문헌(80%)에 비해 상당한 차이가 있는 것으로 나타났다. 본 연구 결과에 나타난 최근 14년간의 토지피복 변화에 의하면 산림 면적은 오히려 다소 증가하였다. 2001년에서 2014년까지 NDVI값이 점차적으로 낮아지는 것으로 보아 산림 면적 자체는 증가하지만 식생의 활력도가 떨어지고 있으므로 북한 전역에서 산림 황폐화가 일어나고 있다는 간접적인 증거가 될 수 있으나 추가적으로 다양한 분석이 이루어져야 할 것이다.

북한 전역에 비해 황해도는 농지 비율이 80%, 산림 비율은 12%를 점유하고 있는 것으로 나타났다. 산림 면적이 가장 낮은 황해도에서는 산림에서 농지로의 지속적인 토지 전용이 일어나고 있지는 않은 것으로 보이며 오히려 초지에서 산림으로의 토지 전용이 일어나고 있음이 나타났다.

본 연구를 통하여 2001년부터 2014년까지의 토지

피복과 식생의 변화에 대한 기본적인 자료를 구축하였는데, 토지피복과 식생의 변화자료를 상호적으로 분석하여 산림 면적 자체는 다소 증가하였으나 식생의 활력이 전반적으로 줄어들고 있는 것을 확인하였다. 본 논문의 연구 결과는 북한 환경에 대한 지속적인 연구의 기초자료로 활용될 수 있을 것이다. 또한, 본 논문에서 북한의 일부 지역에서 산림 복원을 하고 있다는 가능성이 나타나는 것에 대해 앞으로 남북 공동의 대책 마련에 도움이 될 수 있을 것이다.

그러나 본 논문은 다음과 같은 한계를 가진다. 북한이라는 지역 특성으로 사실상 접근이 불가능함에 따라 식생 변화에 영향을 미칠 수 있는 실측된 수문 기상자료(예: 강수량, 기온, 토양수분 등)가 부재하다. 북한은 국내외 정치적인 변화에 따라 관심이 높아지는 지역이다. 추후 남북 관계 개선이 이루어질 때를 대비하여 북한의 토지환경에 대한 정확한 정보 구축이 이루어져 이를 활용할 수 있다면, 식생 변화 원인 분석 및 결과에 대한 신뢰도 향상을 기대할 수 있을 것이며 나아가서는 남북한의 균형적이고 지속가능한 국토 관리를 위한 중요한 기초자료로서 역할을 담당할 수 있을 것이다. 본 논문에 나타난 2001~2013년의 토지피복 및 산림면적 변화는 현재로서는 사실상 실측이 불가능한 북한이라는 지역의 특성을 감안한 추정이며, 산림의 구분 기준, 추정방법, 사용한 자료 등 분석방법에 따라 달라질 수 있다. 본 논문에서는 MODIS 위성영상 자료만 이용하였기에, 추후 LANDSAT, SPOT 등의 다양한 위성자료들을 이용한 상세화(downscaling) 등의 기법을 통해 본 논문의 연구 결과와 비교하여 정확도를 높여나갈 예정이다. 본 논문은 추후 북한지역의 생태계 복원과 기후변화 적응 역량을 강화하는 데 기초자료로 활용될 수 있으리라 사료된다.

참고문헌 •••••

- 김두일, 한옥, 정상조. 1998. 위성 영상을 이용한 황해도 북부 농촌지역의 토지이용변화 연구. 국토지리학회지 32권, 4호: 135-146.
Kim Dooil, Han Uk, Jeong Sangjo. 1998. A study on the land use change in the northern part of Whanghae Province using remote sensing images. *The Geographical Journal of Korea* 32, no.4: 135-146.
- 명수정. 2013. 한반도 기후변화 대응을 위한 남북협력 기반 구축 연구(III). 서울: 한국환경정책·평가연구원.
Myeong Soojeong. 2013. *A Study on Constructing a Cooperative System for South and North Korea to Counteract Climate Change on the Korean Peninsula III*. Seoul: Korea Environment Institute.
- 박경석, 이성연, 박소영. 2011. 북한의 경제사회적 여건을 고려한 황폐산림 복구 기본방향 연구. 한국임학회지 100권, 3호: 423-431.
Park Kyungseok, Lee Seongyeon and Park Soyoung. 2011. A study on the basic directions for forest rehabilitation programs considering to economic and social conditions of North Korea. *Journal of Korean Forest Society* 100, no.3: 423-431.
- 박지열, 서명석. 2014. 동북아시아 지역에서의 최근 12년간 (2001~2012) MODIS 토지피복 분류 자료의 특성. 대한원격탐사학회지 30권, 4호: 511-524.
Park Jiyeol and Suh Myounseok. 2014. Characteristics of MODIS land-cover datasets over northeast Asia for the recent 12 years (2001-2012). *Korean Journal of Remote Sensing* 30, no.4: 511-524.
- 성효현, 박옥준. 2000. 토지피복 변화에 따른 식생지수(NDVI) 분포 및 변화에 관한 연구: 성남시를 중심으로. 한국GIS학회지 8권, 2호: 275-288.
Sung Hyohyun and Park Okjun. 2000. A study on distribution and change of NDVI with land-cover change in city of Sungnam. *The Journal of GIS Association of Korea* 8, no.2: 275-288.
- 염종민, 한경수, 이창석, 박윤영, 김영섭. 2008. SPOT/VEGETATION NDVI 자료를 이용한 북한지역 식생 변화 탐지. 한국지리정보학회지 11, no.2: 28-37.
Yeom Jongmin, Han Kyungsoo, Lee Changsuk, Park Younyoung and Kim Youngseup. 2008. A detection of vegetation variation over North Korea using SPOT/

- VEGETATION NDVI. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 11, no.2: 28-37.
7. 이규성, 정미령, 윤정숙. 1999. 북한지역 산림면적 변화의 규모와 특성. *한국임학회지* 88권, 3호: 352-363.
Lee Kyusung, Jung Mireyoung and Yoon Jungsook. 1999. Content and characteristics of forest cover changes in North Korea. *Journal of Korean Forest Society* 88, no.3: 352-363.
 8. 이민부, 한옥 김남신, 한주연, 신근하, 강철성. 2003. 다시기 위성영상을 이용한 두만강 하류지역의 농경지 개간의 공간적 특성분석. *대한지리학회지* 38권, 4호: 630-639.
Lee Minboo, Han Uk, Kim Namshin, Han Juyoun, Shin Keunha and Kang Chulsung. 2003. Analysis on the spatial characteristics caused by the cropland increase using multitemporal landsat images in lower reach of Duman River, northeast Korea. *Journal of the Korean Geographical Society* 38, no.4: 630-639.
 9. 이승호. 2004. 북한 산림자원의 황폐화 현황과 남북한 임업협력의 발전방향. *농업생명과학연구* 38권, 3호: 101-113.
Lee Seungho. 2004. Situation of degraded forest land in DPRK strategies for forestry cooperation between South and North Korea. *Journal of Agriculture and Life Sciences* 38, no.3: 101-113.
 10. 차수영, 서동조, 박종화. 2009. MODIS 자료를 이용한 북한 개마고원 및 백무고원 식생의 생물계절 모니터링. *대한원격탐사학회지* 25권, 5호: 399-409.
Cha Susyoung, Seo Dongju and Park Chonghwa. 2009. Monitoring vegetation phenology using MODIS in northern plateau region, North Korea. *Korean Journal of Remote Sensing* 25, no.5: 399-409.
 11. 한국학중앙연구원. 2016. 한국민족문화대백과사전.
<http://terms.naver.com/entry.nhn?docId=571216&cid=46618&categoryId=46618>
The Academy of Korean Studies. 2016. Encyclopedia of Korean Culture. <http://terms.naver.com/entry.nhn?docId=571216&cid=46618&categoryId=46618>.
 12. KBS 통일방송연구(북한백과). 2016. 북한의 행정구역 변화. <http://blog.joins.com/media/folderlists/12401725>.
KBS Unification Broadcasting Research (North Korea Encyclopedia). 2016. Administrative divisions of North Korea. <http://blog.joins.com/media/folderlists/12401725>.
 13. Friedl, M. A., Sulla-Menashe, D., Tan, B., Schneider, A., Ramankutty, N., Sibley, A. and Huang, X. 2010. MODIS Collection 5 global land cover: Algorithm refinements and characterization of new datasets. *Remote Sensing of Environment* 114, no.1: 168-182.
 14. Huete, A., Justice, C., Leeuwen, W. 1999. *MODIS Vegetation Index Algorithm Theoretical Basis Document*. Charlottesville: Department of Environmental Sciences, University of Virginia. http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf.
 15. Jensen, J. R. 2007. *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*. New Jersey: Pearson Prentice Hall.
 16. Justice, C., Townshend, J., Vermote, E., Masuoka, E., Wolfe, R., Saleous, N. and Roy, D. et al 2002. An overview of MODIS land data processing and product status. *Remote Sensing of Environment* 83, no.1~2: 3-15.
-
- 논문 접수일: 2016. 5. 19
 - 심사 시작일: 2016. 6. 29
 - 심사 완료일: 2016. 7. 19

요약

주제어: 토지피복, 산림면적, 정규분포식생지수, MODIS, 위성영상자료, 북한

북한지역의 온난화는 전 세계 평균보다 빠르게 진행되고 있으며, 오랫동안 지속되어 온 에너지난과 식량난으로 인해 지속적으로 산림이 훼손되어 왔다. 이로 인하여 가뭄과 같은 기후 극한사상에 의한 자연재해에 취약하여 기후변화에 대한 적응역량의 강화가 시급한 실정이나 북한 정부는 이를 자력으로 감당할 여력이 없는 것으로 판단된다. 본 논문에서는 북한 전역 및 북한에서 농지의 면적이 가장 넓은 황해도 지역을 대상으로 MODIS 위성영상을 이용하여 2001년부터 2014년까지 토지피복 변화와 산림 변화를 분석하였다. MODIS 토지피복 산출물을 이용하여 토지피복 변화를 분석하였고, MODIS의 정규분포식생지수(NDVI)를 통해 산림 면적의 변화를 14년간 월별로

나타내었다. 북한의 산림 면적은 2013년 53% 정도로 나타나 과거 여러 문헌에 제시된 80%보다 현저히 감소한 것으로 나타났다. 산림 면적은 다소 증대되었으나 식생지수는 낮아지는 것으로 나타나 황폐화되어 가고 있는 것으로 추정된다. 황해도 지역은 토지피복의 측면에서 농지 점유율은 유지되거나, 산림 면적이 다소 증가한 것으로 나타났다. 본 논문의 결과는 북한지역의 산림 복원과 북한의 기후변화 적응 역량을 강화하고 남북 공동 기후변화 대응 기반 구축에 효율적으로 사용될 수 있으며, 북한을 포함한 한반도의 지속가능한 국토관리 정책을 위한 기초자료로 활용될 수 있으리라 사료된다.