

생물계절 상 분석을 통한 Level 3 type 북한 토지피복 특성

유재심*† · 박종화* · 이승호**

*서울대학교 환경대학원 환경조경학과, **국립산림과학원 기후변화연구센터

Level 3 Type Land Use Land Cover (LULC) Characteristics Based on Phenological Phases of North Korea

Yu, Jaeshim*†, Park, Chonghwa* and Lee, Seungho**

*Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University,

** Forest Center for Climate Change, Korea Forest Research Institute

Abstract : The objectives of this study are to produce level 3 type LULC map and analysis of phenological features of North Korea. ISODATA clustering of the 88scenes of MVC of MODIS NDVI in 2008 and 8scenes in 2009 was carried out. Analysis of phenological phases based mapping method was conducted. In level 2 type map, the confusion matrix was summarized and Kappa coefficient was calculated. Total of 27 typical habitat types that represent the dominant species or vegetation density that cover land surface of North Korea in 2008 were made. The total of 27 classes includes the 17 forest biotopes, 7 different croplands, 2 built up types and one water body. Dormancy phase of winter ($\sigma^2 = 0.348$) and green up phase in spring ($\sigma^2 = 0.347$) displays phenological dynamics when much vegetation growth changes take place. Overall accuracy is (851/955) 85.85% and Kappa coefficient is 0.84. Phenological phase based mapping method was possible to minimize classification error when analyzing the inaccessible land of North Korea.

Key Words : North Korea, Phenological phases, Level 3type classification, Phenology, Habitat, MODIS

요약 : 본 연구의 목적은 Level 3 type 북한 토지피복도를 작성하고 생물계절 특성을 파악 하는 데 있다. 2008년과 2009년에 촬영된 88장과 8장의 MODIS NDVI를 MVC 하여 짙어 향상된 영상에 ISODATA 알고리즘을 적용하였다. 생물계절 상 분석을 기반으로 북한의 토지피복도를 구축하고 중분류에 대해서는 정확도 검정을 하였다. 결과, 총 27개 클래스의 북한 토지피복도가 생산되었다. 토지피복은 17개의 산림 서식지, 토지이용은 7개의 농경지와 2개의 시가지, 그리고 한 개의 수역을 포함한다. Level 3 type 생물계절 특성은 휴지기($\sigma^2 = 0.348$)와 식생이 급격히 생장하는 봄철($\sigma^2 = 0.347$)의 역동성이 가장 컸다. Level 2 type에 대한 정확도 검정에서, 전체 정확도는 85.85%(851/955), Kappa 계수는 0.84 였다. 현장 접근이 불가능한 북한의 토지피복도 구축에 생물계절 상 분석기법 적용은 오분류를 최소화하고 분류정확도를 향상시키는 데 기여하였다.

1. 서론

토지피복 자료는 산림벌채를 막고 지속 가능한 거주지 성장을 유지하고 수자원의 질과 공급을 보호하는 이슈에 중추적인 역할을 한다(DeFries and Townshend, 1999). 또한 측량될 수 없는 넓은 지역에서 개개의 종과 종의 서식지 분포를 예측하는 데 유용하다(Jensen, 2004). 그래서 원격탐사자료를 토지피복 정보로 분류하기 위해서는 토지피복 결과가 개개의 종과 서식지 분포를 표현할 수 있어야 하고 각종 자연환경 계획에 적용될 수 있도록 토지피복 클래스를 주의 깊게 선택하고 정의하여야 한다.

북한은 또 하나의 국토로서 환경계획이나 설계의 대상이 되어야 하기 때문에 북한에 관한 정밀한 토지피복 자료와 통계는 서식지 자료로서 매우 유용하다. 하지만 접근이 제한되어 있기 때문에 토지피복 정보취득이 어려워서 북한에 관한 토지피복 분류는 연구에 따라 분류 체계가 다르고 분류 체계에 따라 통계면적도 달라지는 경향이 있었다. Landsat 단일영상을 이용한 환경부의 대분류 토지피복도는 자연재해와 남벌로 황폐화 된 북한의 토지피복 현실을 대표하지 못한다. 산림조사와 산림황폐화 지역을 탐지하는 목적으로 이루어진 연구에서도(이승호 외, 1998) 한대림 및 온대림을 우점하는 피복을 영상만으로 구현하지 못했기 때문에 특정 토지피복은 GIS(Geographic Information System)파일을 이용하여 설정하기도 하였다. MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)영상을 이용한 북한관련 연구(김원주, 2004; 정승규 외, 2006; 김도형, 2006)에서도 농작물의 작부체계나 산림대 별 생물계절 특성을 반영하여 토지피복 분류를 시도한 경우는 찾아보기 어렵다. 단일영상의 경우 생물계절(Phenology) 특성을 반영하지 못하는 한계(Key et al., 2001) 때문이고, MODIS 다중시기 영상을 이용한 연구에서도 통계적 기법 혹은 자동화 알고리즘을 적용하면서, 기후대에 따른 생물계절 변화와 토지피복 특성을 반영하지 못했기 때문이다. 북한 산림의 14%(UNEP, 2003)를 차지하는 아한대 낙엽침엽수림의 분류를 시도한 적이 없다. 자연재해, 개간, 남벌로 황폐화된 무림목지와 아한대산림의 특징인 알파인의 추출도 시도하지 못하였다. 그것은 첫째, 북한 생물계절에 대한 현장정보

의 부족이 가장 큰 원인이고 둘째, 토지피복을 연구하는 영상전문가들이 짧은 시간에 자연생태계에 대한 전문지식을 취득하는 것이 어려운 것도 하나의 원인이다.

본 연구에서는 북한에 관련된 각종 자연환경계획이나 환경모니터링에 유용한 수준의 level 3 type 토지피복도를 작성하고 생물계절 특성을 밝히는 데 목적이 있다. 현장접근이 어려운 북한의 특성을 감안하여 연구를 수행하면서 몇 가지 새로운 시도를 한다. 첫째, 산림 생물계절 정보는 국내의 연구와 Ronald Good(1947)에 의해 제안된 동아시아구계의 북한과 중첩되는 일본 홋카이도(Hokkaido)와 혼슈(Honshu)를 대상으로 하는 연구 결과를 차용한다. 둘째, 농작물 작부체계는 북한 농업에 관한 국내 연구를 바탕으로 하고, 2007년과 2008년 북한을 방문했을 때 청문하여 기록한 주작물의 파종과 수확 정보를 적극 활용한다. 셋째, 구름이나 눈의 영향을 최소화 하기 위해 특정계절 영상을 제외하고 데이터를 분석하는 경우도 있으나, 본 연구는 식물생장 시작 시기는 물론 생장이 멈추거나 더딘 시기의 중요성을 감안하여 여름영상과 겨울영상을 모두 포함한다.

2. 방법 및 데이터

문헌연구에서 획득한 생물계절 정보를 MODIS영상에서 추출한 생물계절 정보와 매칭하여 level 3 type 토지피복도를 만들기 위해서 다음과 같은 원칙과 방법을 적용하였다. 첫째, 문헌 연구를 통해서 북한의 산림구성과 농작물 작부체계에 따른 생물계절 특성을 파악하여 지식기반화 한다. 둘째, 지식기반을 바탕으로 토지피복 분류체계를 세우고 분류체계 별 우점종의 생물계절 정보를 순열척도(ordinal scale)화 한다. 셋째, MODIS NDVI(Normalized Difference Vegetation Index) 영상에서 추출한 생물계절 정보는 기후대에 따른 우점종과 주작물의 생물계절 상(phenological phases) 별로 범주화 한다. 넷째, 분류항목을 명명하는 과정에서 MODIS기반 생물계절 상과 지식기반 생물계절 순열정보를 매칭한다. 다섯째, MODIS의 해상도로 표현이 어려운 토지이용 형태인 도시나지, 조림지, 과수원, 목초지 등은 분류항목에서 고려하지 않는다.

1) 문헌 연구

문헌 연구를 통해 북한의 기후대에 따른 산림분포와 우점종 그리고 주작물의 작부체계 정보를 취득하였다. 북한산림에 우점하는 침엽수의 종류와 분포지역은 Uyeki(1926)에 의해 간행된 '조선의 임목'을 주로 참고하였다. 이 책에서는 침엽수림 중 소나무림, 삼송림(三松, 분비나무, 가문비나무, 종비나무), 이깔나무림의 분포지역과 생활사에 따른 생물계절 정보를 파악할 수 있었다. 활엽수 우점종의 수종 별 생활사와 생물계절 정보는 이창복(1999)의 신고수목학 편집본인 수정수목학(장진성, 2003)과 1985년 도쿄에서 발행된 '유용광엽수의 지식' 그리고 Sawako and Takayoshi(2006)에 의해 실험 발표된 논문을 참조하였다. Sawako and Takayoshi는 일본 홋카이도와 북혼슈에 우점하는 낙엽 활엽수 7종의 광합성에 따른 잎의 수명을 측정하는 실험을 하였다. 결과, 참나무류 잎의 수명이 가장 길었고, 고추나무 등의 잎은 중간, 자작나무 잎의 수명은 가장 짧게 나타났다. 북한 농업의 주작물과 작부체계에 관한 정보는 부경생 등(2006)이 저술한 '북한의 농업'을 참조하였다. 이 책에는 논과 밭의 주작물, 작물에 영향을 주는 지리와 기후, 작물의 재배지, 작부형태와 수리시설 까지 북한에 관한 농업연구 결과가 망라되어 있다. 2007년과 2008년의 북한방문과 2009년 남·북 접경 DMZ 남쪽과 2010년 북·중 접경지인 압록강과 두만강 변을 따라 이동하면서 기록한 북한 내부의 토지피복 정

보도 활용하였다. 예를 들어, 2008년 9월 말에 평양 외곽의 논과 안주-박천 평야 그리고 압록강 삼각주에서는 벼베기가 1/3이상 진행되어 있었다. 신문사설과 방송에서는 벼 수확이 빨리 진행되도록 독려하는 사설과 뉴스가 연일 보도 되었는데 2008년의 수확구호는 "(날 알갱이가 땅에 떨어지기 전에) 익는 족족 수확하자" 였다. 밭의 경우, 평양 등 대도시 주변에서는 4월에 경운하여 감자 등 채소나 꽃강냉이를 파종하고 7월 수확한 후에 땅을 갈고 김장채소를 심는다. 산간의 비탈밭에서는 만생종 옥수수 또는 콩을 일모작 한다.

북한 산림의 생물계절 특성을 도출하기 위해 원용한 동아시아식물구계 범위는 Fig. 1과 같다. 만주구계(a)는 중국 북동부를 지나 북한의 북부와 접해있고 홋카이도 북부(c)와 이어지고 있다. 중국북부구계(f)는 한반도의 온대지역(b)을 지나 일본의 북혼슈와 홋카이도 남부(d)와 이어진다.

2) MODIS 데이터 및 분석

MODIS/Terra는 매 1~2일마다 지구에 대한 육지의 일차 생산량과 토지피복을 관찰하기 때문에 현장자료 취득이 어려운 북한의 경우 MODIS 영상을 통해 연구를 진행하기에 최적이다. 분석에 사용된 MODIS는 NASA의 WIST(Warehouse Inventory Search Tool)에서 L3 상태로 내려 받은 MOD13Q1 Vegetation Indices 16-day composite 영상으로 해상도 250 m의

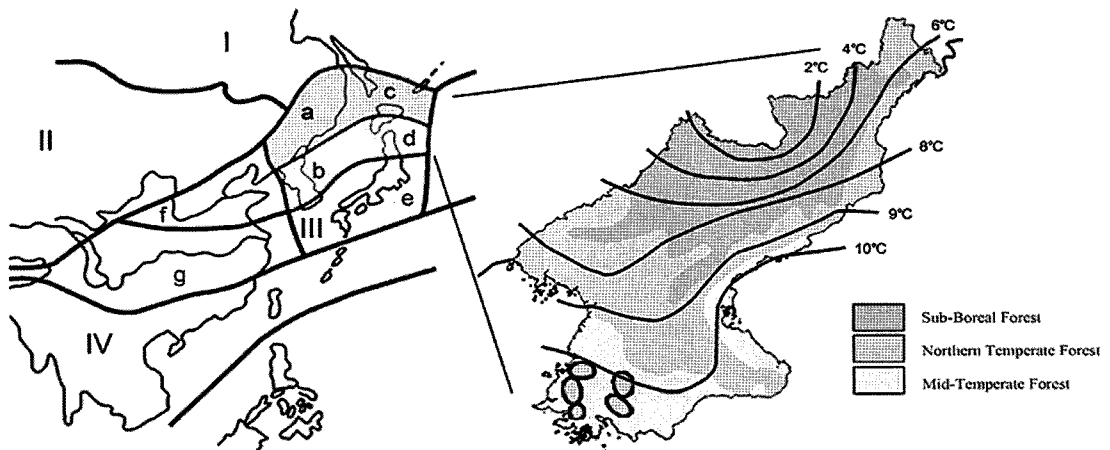


Fig. 1. Eastern Asia flora and forest zone of North Korea (left). Annual average temperature and forest zone in North Korea (right). Left copy has been adapted from Dendrology written by Lee (1999) and edited by Chang (2003), and modified for better understanding by researcher.

식생정보를 제공한다. 홍수와 가뭄이 없어서 날씨가 비교적 양호했던 2008년 1월부터 12월까지 88장의 영상과 2009년 4월과 5월 영상 8장을 분석에 사용하였다. MRT(MODIS Reproduction Tools)를 이용하여 프로젝션을 1차 변환하고 NDVI영상을 추출하였다. ENVI 4.5로 불러온 NDVI영상을 UTM N52로 2차 프로젝션하고 밴드1과 밴드2 영상을 MVC(Maximum value composite)하여 질이 향상된 단일영상을 만들고 1월부터 12월까지 순서대로 한 개의 파일로 만들었다. ISODATA(Iterative Self-Organizing Data) MLC 방법을 적용하여 총 68개의 식생기반분할영상(Phyto-Fraction Image)으로 만들었다. 육상생태계의 토지피복 오분류를 최소화하기 위해서 12개월 중 NDVI값이 적어도 한 달은 0 이하로 내려가는 총 28개의 클래스를 수역으로 간주하여 제거하였고 최종 토지피복도 작성시에는 단일 수역 클래스로 만들어 결합하였다.

$$NDVI = (\rho NIR - \rho RED) / (\rho NIR + \rho RED) \quad (1)$$

3) SPOT 데이터 및 정확도 검증

2004년에서 2008년 사이에 촬영된 Level 1B SPOT 5 xs 32장의 영상을 정사보정하여 중분류(Level 2 type) 타입 별로 정확도 검증용 샘플을 층화임의추출하였다. 설계기반 추론검정은 일관된 추정량을 이용하여 비 편향된 지도 정확도 통계값을 제공하기 때문에 고비



Fig. 2. 32 scenes of SPOT 5 xs used for accuracy test which were taken between 2004 and 2008.

용이 들지만 효과적이다(Jensen, 2004). Fig. 2에서 보이는 SPOT 5 xs 영상은 10m 해상도로 재배열된 30 m DEM (Digital Elevation Model)으로 정사보정하여 모자이크(Mosaic) 한 것이다. 중분류 클래스 GTPs (Ground Truth Points)는 북한방문 당시에 관찰하여 기록한 토지피복 정보를 참조하면서, 분류항목 별로 현장의 토지피복 정보를 알고 있는 관심 지역에서 먼저 샘플링을 한 후에 영상의 반사특성이 같은 지점을 찾아 전국에서 골고루 취득되도록 노력하였다.

총 10개의 중분류 클래스에서 GTPs를 취득하였지만 알파인 항목은 정확도검정에서 제외하였다. 백두산 주변과 개마고원 등 SPOT영상의 고산지역에 구름이 많아서 샘플취득이 쉽지 않았으며 취득한 샘플의 수가 총 11개로 적었기 때문에 나머지 클래스와 형평성이 맞지 않아서 제외하였다. 9개의 관심지역에서 추출한 GTPs를 MODIS 분류영상에 생성시켜서 오차행렬표(Confusion Matrices)를 작성하였다(Joshi *et al.*, 2006; Punia *et al.*, 2011). 오차행렬표는 전체 정확도, 생산자 정확도, 사용자 정확도와 Kappa 계수를 포함한다.

$$\hat{K} = \frac{N \sum_{i=1}^k a_{ii} - \sum_{i=1}^k (a_{i+} \times a_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^k (a_{i+} + a_{+i})} \quad (2)$$

k: 행렬에서 열의 수(토지피복 항목 수), a_{ii} : 열i와 행i에서 관측 수, a_{i+} 와 a_{+i} : 각각 열 i와 행 i에 대한 합계, N; 총 관측 수.

4) 생물계절 상 분석

MODIS 영상에서 추출된 생물계절 상은 잎이 돋는 4월에서 6월(Green up Stage, GS), 광합성 활동이 극상을 이루는 7월에서 9월(Maturity Period, MP), 잎의 광합성 능력이 감소하는 10월에서 11월(Senescence Stage, SS), 휴지기인 12월에서 3월(Dormancy Period, DP)과 잎이 돋는 봄에서 낙엽이 지는 가을까지 전체 생육기(Greenness Period, GP)를 분석 변수로 사용하였다. 봄은 자연환경의 생물계절 변화와 파종 시기에 따른 작물의 생물계절 변화가 다르게 나타나므로 4월에서 5월의 GS1과 5월에서 6월의 GS2 두 개의 변수로 분리하였다. 생물계절 상의 값은 각각 평균값을 취하였고 분류 클래스 별 생물계절 순열정보와 비교하여 클래스를 명명하였다. 클래스를 명명하는 의사결정 단계에서 지리 정보 및 위치 정보는 DEM을 참조하였다.

3. 결 과

1) Level 3 type 토지피복도 구축

Level 3 type 북한 토지피복도는 Fig. 3과 같다. 수역을 제외한 육역의 40개 식생기반분할영상에서 총 26개의 Level 3 type 토지피복 클래스가 도출되었다. 문헌연구를 바탕으로 만들어진 새로운 북한 토지피복분류 체계와 수역을 포함하는 27개의 토지이용 토지피복 면적은 Table 1에서 확인할 수 있다. 27개 각각의 분류클래스는 토지피복을 대표하는 17개의 산림, 토지이용을 대표하는 7개의 농경지와 2개의 시가지 지역 그리고 수역을 포함한다.

북한의 산림은 잎의 형태와 생활사 별 피복도에 따라

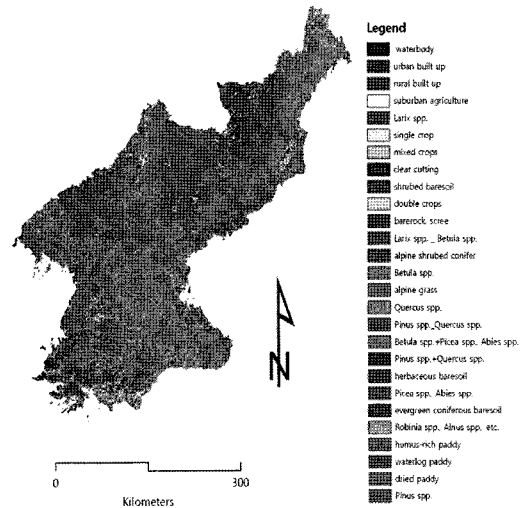


Fig. 3. Level 3 type LULC map of North Korea in 2008.

Table 1. Level 3 type class labeling and size of area depicted in figure 3

ID	Level 2 types	Level 3types	Area(km ²)
1	Water body	Water body	1,016.00
2	Built up area	Urban built up	1,205.88
3		Rural built up	1,759.38
4	Dry Field	Suburban agriculture	1,932.06
5		Double crops	4,701.00
6		Single crop: potatoes or soybeans	1,858.06
7	Paddy	Mixed crops: corns and potatoes	1,854.38
8		Humus-rich paddy	1,388.56
9		Waterlog paddy	3,346.06
10	Evergreen conifer	Dried paddy	7,610.81
11		<i>Pinus</i> spp.	2,901.50
12		<i>Picea</i> spp., <i>Abies</i> spp.	7,401.44
13	Deciduous broadleaf	<i>Pinus</i> spp., <i>Quercus</i> spp.	6,301.81
14		<i>Betula</i> spp.	2,327.56
15		<i>Robinia</i> spp., <i>Alnus</i> spp., etc	5,465.13
16	Mixed forest	<i>Quercus</i> spp.	18,709.50
17		<i>Betula</i> spp. + <i>Abies</i> spp., <i>Picea</i> spp.	3,878.94
18		<i>Pinus</i> spp+ <i>Quercus</i> spp.	15,707.06
19	Deciduous conifer	<i>Larix</i> spp., <i>Betula</i> spp.	4,066.00
20		<i>Larix</i> spp.	6,395.38
21	Sparse forest	Herbaceous baresoil	6,147.88
22		Evergreen coniferous baresoil	1,535.88
23		Outcrops and granitic soil.	2,019.06
24		Clear cutting	2,591.88
25		Shrubby baresoil	7,899.25
26	Alpine forest	Alpine grass	891.00
27		Evergreen shrubby alpine	1,651.06

상록침엽수림, 낙엽침엽수림, 낙엽활엽수림, 혼효림, 무림목지, 그리고 알파인으로 구성된다. 이 중 양호한 입목지는 면적이 73,154 km²로 북한 국토면적의 약 60%이다. 상록침엽수림 면적은 16,604.75 km²이고 우점종에 따라 3개의 하위 클래스로 이루어진다. 북부 개마고원과 백두산에 이르는 아한대 상록 침엽수림 대는 삼송(三松)이 주로 피복하고 면적은 7,401.44 km²이다. 소나무 순림은 2,901.50 km²이고 소나무 우점에 참나무류 같은 낙엽활엽수림이 차우점하는 면적은 6,301 km²이다. 북한의 낙엽활엽수림 면적은 26,502 km²로 국토면적의 21.62%를 차지하는데 북부 아한대 자작나무림 2,327.56 km², 서부능선과 백두대간 능선을 타고 나타나는 참나무림 18,709.50 km²과 아카시나무와 오리나무류 등 기타 낙엽활엽수림 5,465.15 km²이다. 알파인은 전체 산림의 2.07%이고 면적은 2,542 km²이다. 이 중 알파인 초지는 891 km²이고 포복성 상록관목이 서식하는 알파인은 1,651.06 km²이다. 산림토양이 나출되었거나 수관의 피복이 30% 이하이고 잡풀이 피복한 산지인 무림목지는 20,194 km²로 북한 국토 면적의 16.48%이다. 즉, 전체 산림 면적의 약 30%가 황폐화 되었다.

북한의 농경지는 밭과 논으로 나눈다. 밭은 평양, 개

성, 함흥 등 대도시 주변에서 나타나는 도시근교 농업지 1,932.06 km², 자강도와 양강도 등 북부 고원에 나타나는 단일작물 재배지 1,858.06 km², 중온대에 분포하며 풋옥수수와 김장채소, 봄 채소와 고추 등 두 번의 작물 순환사이클이 나타나는 농경지가 4,701.10 km²이고 온성, 셋별, 회령 등 북온대의 저지대를 중심으로 나타나는 혼작지대 1,854.06 km²로 이루어졌다. 혼작지는 주로 감자 재배로 잘 알려진 협동농장(FAO/WFP, 2008)으로 옥수수와 콩을 사이같이 한다. 논은 재령평야, 용천평야, 금성천 하류 등 충적토 주변에 주로 나타나는데, 이모작의 곡선행태 1,388.56 km², 안주·박천 평야, 평양평야, 압록강 삼각주, 함흥평야 등 관개시설이 잘 된 지역에 나타나는 곡선행태 3,346.06 km²이고 연백평야, 영흥평야, 신계, 곡산 등 평야지대 외곽의 산림과 접한 부분에 나타나는 형태의 논이 7,610.81 km²를 차지한다.

2) 북한의 생물계절 특성

Fig. 4는 북한의 입목지를 대표하는 낙엽활엽수림(a), 낙엽침엽수림(b), 상록침엽수림(c)과 혼효림(d)의 생물계절 곡선이다. Fig. 4(a) GP는 광합성 기간에 따른

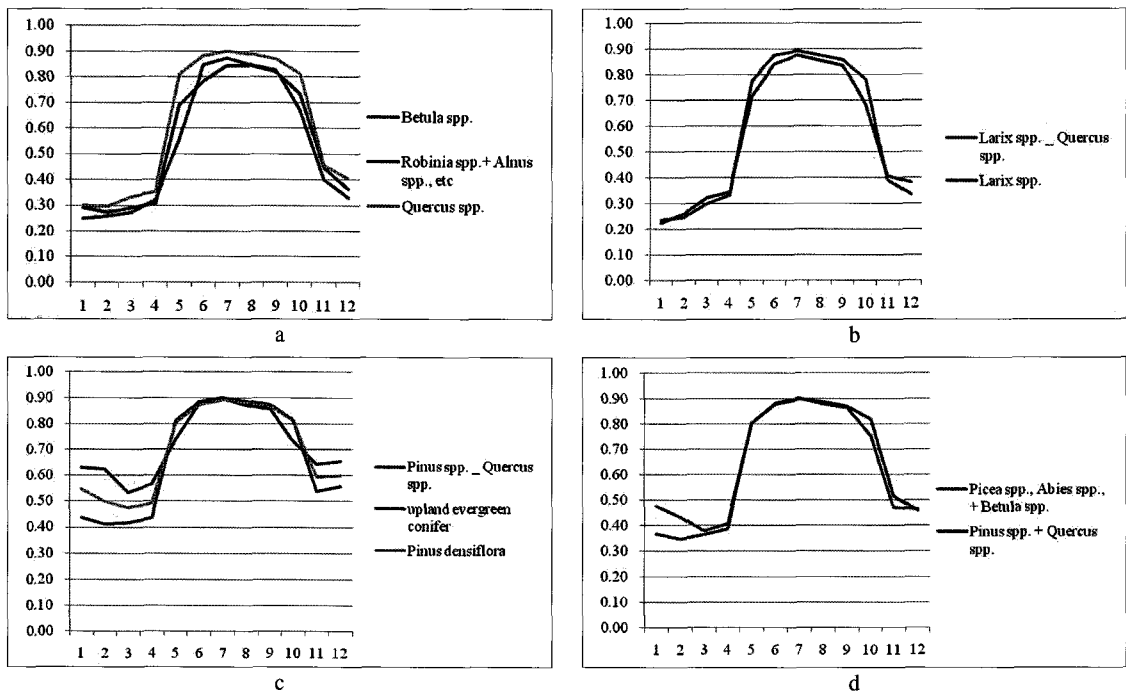


Fig. 4. Level 3 type phenological features of North Korea forest. (a) Deciduous broadleaved forest, (b) Deciduous conifer, (c) Evergreen conifer, (d) Mixed forest.

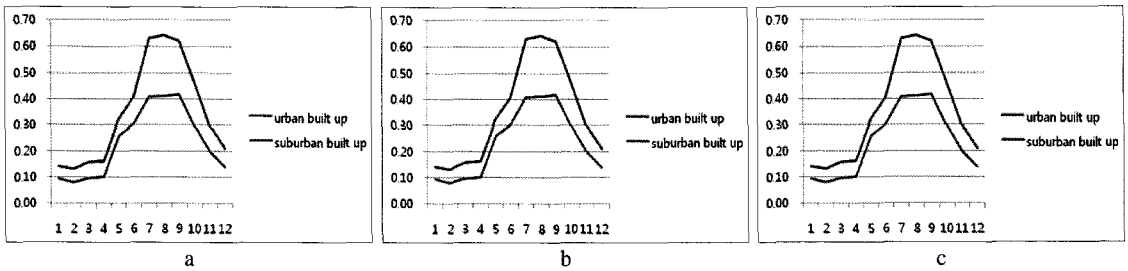


Fig. 5. Phenological features of land use in North Korea. (a) Built-up area, (b) Dry field, (c) Paddy field.

잎의 생육기를 나타내는 것으로 참나무류(0.75), 오리나무류 등 낙엽활엽수림(0.68)과 자작나무류(0.67) 순으로 크다. 기타 낙엽활엽수림의 MP가 상대적으로 낮은 것(0.84)은 북한 방문기간 동안에도 확인했지만 오리나무잎벌레 등 낙엽활엽수 병충해의 영향이 큰 것으로 판단된다. 자작나무속의 7월 NDVI(0.87)가 8월(0.85)보다 상대적으로 높은 것, Fig. 4(c)의 산림 밀도가 큰 삼송림의 SS(0.69)가 소나무림 SS(0.70)보다 낮은 것, 그리고 Fig. 4(b)의 아한대 이깔나무림의 SS(0.55)가 북온대에 분포하는 이깔나무 낙엽활엽수림의 SS(0.59)보다 낮은 것은 겨울이 빨리 찾아오는 한대지방 생물계절의 공통적인 특징이다. Fig. 4(c)의 DP는 상록침엽수림을 기타 입목지와 구분하게 하는 특징이면서 지역별 우점종의 식별을 대표하는 값이다. 산림밀도가 높은 삼송림(0.61), 온대 소나무 순림(0.53), 온대 소나무 참나무림(0.45) 순으로 DP값이 나타난다. Fig. 4(d) 전체 혼효림 GS1의 값(0.60)이 Fig. 4(a) 전체 낙엽활엽수림 GS1의 값(0.51)보다 높은 것은 혼효림에는 상록성 산림이 혼효되었기 때문이다.

토지이용의 GP는 지리정보 이외에 토지피복으로부터 토지이용의 생물계절 변별력을 높일 수 있는 유일한 변수이다. Fig. 5는 토지이용 형태 중에서 시가지지역(a)과 밭(b)과 논(c)을 나타낸다. Fig. 5(b) 도시 근교농업지는 시설재배가 많아서 NDVI가 낮아 보이지만 MP(0.67)와 GP(0.51)는 볼투수 피복이 상대적으로 많은 Fig. 5(c)의 도시지역(각각 0.63과 0.44)보다 높아서 쉽게 식별이 가능하다. 단일작물을 재배하는 추운 지방의 밭은 무림목지의 NDVI와 비슷한 변동곡선을 가지지만 기타 작물과 마찬가지로 수확이 끝난 후 SS의 기울기가 무림목지 보다 급격하게 하강하기 때문에 주작물의 종류에 따라 식별 가능하다. 논 GS(0.37)는 밭(0.47)보다 낮다. 북한의 모내기 대부분 지역에서 6월

중순 이후에 시작되기 때문이다(청문, 2008). 남한보다 늦은 모내기 현상은 북쪽 민통선에서도 쉽게 관찰된다. 따라서 논은 5월에서 6월까지 GS변동곡선 형태가 밭과 다르고, 6월 말부터 가파르게 상승한다. 수확은 9월 말부터 시작되는데 벼 수확의 특성때문에 SS 기울기는 3개 형태의 논에서 거의 일치한다. 재령평야, 용천평야, 압록강 삼각주 일부는 이모작이 이루어지고 그것을 평활 처리하면 Fig. 5(c)의 humus-rich paddy 곡선과 같다.

MP는 상록침엽수림(0.88), 혼효림(0.88), 낙엽활엽수림(0.87), 낙엽침엽수림(0.86) 순서로 나타나지만 하위 클래스마다 NDVI가 비슷해서 클래스를 구별하는 기준이 될 수 없다. 또한 토지이용과 토지피복을 구분하는 데에도 MP는 기준이 되지 않는다. 이유는 노두암 혹은 화강풍화토가 나출 되었거나(0.74) 초본이 드물게 난 무림목지의 MP(0.79)는 잘 관리된 협동농장 혼작지 MP(0.79)보다 낮기 때문이다. 따라서 산림을 분류할 때 비생육기 영상을 중요하게 고려하지 않은 연구에는 문제가 있다(Funk and Budde, 2009). 휴지기인 DP($\sigma_2 = 0.348$)와 잎의 광합성 능력이 높아지는 GS($\sigma_2 = 0.347$)는 역동성이 커서 클래스를 식별하는 데 도움을 준다. 생물계절 상과 LULC 간의 상관분석 결과에서도 시사하는 바가 크다. LULC와 GP($r=0.98$), SS($r=0.97$), GS1($r=0.97$), GS2($r=0.92$), DP($r=0.92$), MP(0.87)의 상관관계가 각각 나타났다. 광합성 활동이 극상을 이루는 여름영상(MP)은 LULC를 작성할 때 표현력이 상대적으로 떨어진다. 전체 산림과 MP의 상관계수($r=0.78$)는 산림과 DP의 상관계수($r=0.94$)보다 더 낮아진다. 겨울영상을 제외하고 LULC를 작성하는 경우에 문제가 있다는 위 언급을 뒷받침한다.

Table 2. Confusion matrices showing accuracy assessment results

ULC classes	Deciduous broadleaf	Deciduous conifer	Evergreen conifer	Mixed	Sparse	Dry Field	Paddy	Built_up	Water body	User's accuracy
Deciduous broadleaf	113	5	0	9	2	3	0	0	0	85.61%
Deciduous conifer	2	97	0	2	3	1	0	0	0	92.38%
Evergreen conifer	3	2	94	3	0	0	0	0	0	92.16%
Mixed	5	0	0	88	1	0	0	0	0	93.62%
Sparse	12	21	5	2	99	9	0	0	0	93.62%
Dry Field	8	5	0	0	17	137	0	0	1	66.89%
Paddy	0	0	0	0	0	15	109	0	0	81.55%
Built_up	0	0	0	0	0	1	0	69	1	87.90%
Water body	0	1	0	0	0	5	0	0	44	97.18%
Producer's accuracy	79.02%	74.05%	94.95%	84.62%	81.15%	80.12%	100.00%	100.00%	95.65%	85.91%

Overall accuracy = (850/994) 85.51%

Kappa coefficient = 0.84

3) 정확도 검증

Table 2은 9개의 중분류 토지피복에 대한 오차행렬 표이다. 전체정확도 85.55%, Kappa 계수 0.84로 나타났다. 산림에서는 낙엽침엽수림과 낙엽활엽수림이 전체 정확도 보다 상대적으로 낮은 79.02%와 74.05%의 정확도를 각각 보였다. 낙엽활엽수림의 오분류는 무림목지에 12개, 밭에 8개가 할당되었다. 이유는 첫째, SPOT 5 xs 영상에서 낙엽활엽수림, 낙엽침엽수림과 혼효림의 경계가 쉽게 구분되지 않아서 샘플링을 잘못했을 가능성이 있다. 둘째, 오분류된 지역의 SPOT 영상이 MODIS 촬영 시기보다 3년 정도 앞서기 때문에, 3년 사이에 산림이 황폐화 되었을 가능성도 배제할 수는 없다. 셋째, 낙엽침엽수림이 무림목지에 21점 할당된 경우에서도 의미를 찾을 수 있다. 이 지역의 SPOT 영상 시간해상도는 2004년에서 2006년이다. 북한에서는 낙엽침엽수림이 개벌 - 방화 - 후벌청소 - 밭으로 개간되기까지 인력노동에 의지하기 때문에 2년에서 3년이 소요된다고 한다. 더구나 감자와 같은 내한성 작물 경작지는 협동농장 체제로 관리되기 때문에 MODIS영상에서 고원을 개간한 감자밭 구역의 생물계절 특성은 산림 생물계절 특성과는 명확히 구분된다.

밭은 전체정확도 80.12%이고 무림목지와 오분류되는 비율(12%)이 가장 높았다. 그 다음이 낙엽활엽수림과 낙엽침엽수림 순으로 오분류되었고 논과는 14% 오분류되었다.

4. 결론

기존의 생태학적 연구결과를 지식기반으로 생물계절 상 분석을 통해 북한 토지피복을 Level 3 type으로 분류하고 생물계절 특성을 파악하였다. MODIS NDVI 영상의 생물계절 상 분석방법은 첫째, 종의 서식지 표현이 정밀하였다. 북한 전체를 27개의 서식지로 세분류했고, 산림성상은 물론 우점종과 차우점종을 명명할 수 있어서 선행연구에서 추출하지 못했던 낙엽침엽수림, 무림목지, 알파인 등 서식지 표현이 가능하였다. 둘째, 분류정확도를 높일 수 있었다. 북한의 현실이 반영된 토지피복 분류체계에 맞춰 MODIS NDVI 영상이 표현할 수 있는 생물계절 정보를 적용하여 선행연구에서 알파인 초지나 무림목지를 농경지로 오분류 하던 관행을 최소화 했기 때문이다. 셋째, 국가단위 서식지에 대한 통계를 얻을 수 있었다. 시계열 MODIS는 북한 전체를 한 개의 파일로 만들어서 구동 가능하고 Landsat이나 SPOT 영상의 장점으로도 표현하지 못하는 생물계절 특성을 이용하여 서식지를 도출할 수 있기 때문에 단일 파일로 국가단위 서식지 통계 추출이 가능하였다.

북한 토지피복에서 나타나는 생물계절 특성은 첫째, 개개의 종과 우점종의 생활사를 나타내는 GP가 토지피복과 토지이용을 구분하는 데 결정적인 역할을 하였다. 둘째, MP는 분산이 거의 없어서 상록침엽수림, 낙엽활엽수림, 혼효림 등 산림성상과 밭과 논을 구분하는 기준이 되기 어려웠다. 그러나 토지피복 밀도와 토지이용을

대분류 하는 데에는 결정적인 역할을 하였다. 셋째, 생활사에 따른 광합성 활동의 역동성이 큰 GS와 DP 그리고 SS는 상록수와 낙엽수, 주작물의 종류, 우점종과 차우점종을 결정하는데 중요한 역할을 하였다. 따라서 북한의 토지이용 토지피복도를 작성할 때에는 사계절이 모두 포함된 영상을 사용하여야 효과적이다.

생물계절 특성을 반영한 Level 3 type 북한 토지피복도는 북한의 서식지에 대한 계층적 지도로서 환경 모니터링, 무립목지 복원계획, 알파인 보전계획 및 광역생태계획 등 각종 자연환경계획에 유용하게 사용될 수 있을 것이다. 그러나 북한의 생물계절 현장정보를 직접 획득할 수 없기 때문에 문헌연구에 의존하여 생물계절 정보를 취득한 것은 연구의 한계이고 아쉬운 점이다. 인터넷을 통한 지역의 생물계절 정보 축적은 토지피복, 기후변화, 환경정책에 유용한 정보를 제공하고 있다. 그런 측면에서 USA-NPN(National Phenology Network)나 EPN(European Phenology Network)과 같은 한반도의 Phenology Network이 이루어진다면 자연환경 연구에 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- 김도형, 2006. MODIS 다중시기 영상을 이용한 북한지역의 토지피복 변화분석, 서울대학교 대학원 석사학위논문.
- 김원주, 2004. 자연환경 관련 공간변수를 이용한 한반도 생태지역 분류, 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 부경생, 김성필, 김운근, 김종환, 김채수, 류인수, 박규택, 박근용, 박석홍, 손해룡, 유병일, 이근상, 이실관, 임상철, 최장경, 2006. 북한의 농업-실상과 발전방향, 서울대학교 출판부.
- 社団法人 林業科學技術振興所, 1985. 有用廣葉樹の知識, 東京
- 植木秀幹, 1926. 朝鮮の林木, 朝鮮總督府 林業試驗場, 京城
- 이승호, 정성학, 송장호, 1998. 원격탐사에 의한 북한의 산림자원조사, 산림과학논문집, 58: 1~13.
- 이창복, 1999. 신고수목학. 향문사, 서울
- 정승규, 박종화, 김상옥, 2006. MODIS 다중시기 영상 의 선형분광혼합화소분석을 이용한 한반도 토지 피복분류도 구축, 대한원격탐사학회지, 22: 553-563.
- DeFries, R.S. and J.R.G. Townshend, 1999. Global land cover characterization from satellite data: from research to operational implementation, *Global Ecology & Biogeography*, 8: 367-379.
- FAO/WFP, 2008. Crop and food security assessment mission to the Democratic People's Republic of Korea, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. World Food Programme, Rome.
- Funk, C. and M.E. Budde, 2009. Phenologically-tuned MODIS NDVI-based production anomaly estimates for Zimbabwe, *Remote Sensing of Environment*, 113: 115-125.
- Good, R., 1947. The geography of the flowering plants (1st ed.). Longmans, Green and co., London, UK.
- Jensen, J.R., 2004. Introductory Digital Image Processing (3rd ed.): A Remote Sensing Perspective. (pp. 431-471). Prentice Hall Series in Geographic Information Science.
- Joshi, C., J.D. Leeuw, A.K. Skidmore, I.C. van Duren, and H. van Oosten, 2006. Remotely sensed estimation of forest canopy density: A comparison of the performance of four methods, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8: 84-95.
- Key, T., T.A. Warner, J.B. McGraw, and M.A. Fajvan, 2001. A comparison of multispectral and multitemporal information in high spatial resolution imagery for classification of individual tree species in a temperate hardwood forest, *Remote Sensing of Environment*, 75: 100-112.
- Punia, M., P.K. Joshi, and M.C. Porwal, 2011. Decision tree classification of land use land cover for Delhi, India using IRS-P6 AWiFS

- data, *Expert Systems with Applications*, 38: 5577-5583.
- Sawako, M. and K. Takayoshi, 2006. Comparison of leaf life span, photosynthesis and defensive traits across seven species of deciduous broad-leaf tree seedlings, *Annals of Botany*, 97: 813-817.
- UNEP, 2003. DPR Korea: State of the Environment, United nations Environment Programme Regional Resource Centre for Asia and the Pacific (UNEP RRC.AP), Published by the United Nations Environment Programme.