

북한 산림의 시·공간 변화와 황폐화 추동*

유재심 · 김경민

국립산림과학원 국제산림연구과

Spatio-Temporal Changes and Drivers of Deforestation and Forest Degradation in North Korea*

Yu, Jaeshim and Kim, Kyoungmin

Division of Global Forestry, National Institute of Forest Science.

ABSTRACT

The objective of this study is to establish implications for forest restoration planning in North Korea by analyzing spatio-temporal forest changes and detecting bio-physical factors driving forest degraded.

We measured the relationship and spatial distribution between shifting cultivation and sparse forest. We also analyzed between degraded forest land and ecological variables by binary logistic regression to find biophysical drivers of forest degradation and deforestation in North Korea.

Between the sparse forest and the shifting cultivation, a positive relationship is found ($r=0.91$) and scattered discontinuously throughout the country (Moran's $I = -1$, Z score = -13.46 ($p=0.000$)). The sparse forest showed a negative relationship with the warmest month(bio 9), the coldest month(bio10), and the minimum of soil water contents (swc_min), while the shifting cultivation had a negative relationship with the warmest month(bio 9) and the minimum of soil water contents(swc_min). However, the most critical drivers convert forests into sloping farmland were the three months rainfall in summer(bio8) and the yearly mean of soil water contents. Such results reflect the growth period of crops which overlaps with the rainy season in North Korea and the recent land reclamation of uplands where the soil water contents are maintained with a dense forest.

* 본 연구는 2015년도 국립산림과학원 박사연구원십의 지원에 의해 이루어진 것임.

First author : Yu, Jaeshim, Division of Global Forestry, National Institute of Forest Science,
Tel : +82-2-961-2899, E-mail : jaeshimy@hanmail.net

Corresponding author : Yu, Jaeshim, Division of Global Forestry, National Institute of Forest Science,
Tel : +82-2-961-2899, E-mail : jaeshimy@hanmail.net

Received : 30 October, 2015. **Revised** : 15 December, 2015. **Accepted** : 2 December, 2015.

When South Korea aids forest restoration projects in North Korea, in consideration of food shortage due to North Korea's cropland deficiency, terrace farmlands where soil water contents can be maintained should be excluded from the priority restoration area. In addition, an evaluation method for selecting a potential restoration area must be modified and applied based on multiple criteria including altitude and socio-economic factors in the respective regions.

Key Words : *Logistic regression, Terrace farmland, Shifting cultivation, Agroforestry, Potential restoration area.*

I. 서 론

한 지역이나 국가의 산림을 전용(Deforestation)하고 저하(Degradation)를 가중시키는 데에는 사회·문화·경제적 요인이 복합적으로 작용한다. 북한은 국토면적 122,536km² 중 약 80%가 산림이었으나, 현재는 세계 3대 산림 황폐지역이 되었다.¹⁾ 기후재난으로 촉발된 ‘고난의 행군’ 동안 경작지 전용, 전용 산지의 방치, 과도한 에너지원 채취 등이 복합적으로 작용한 것으로 알려졌다. 북한도 산림 전용의 원인과 환경의 악순환 관계를 잘 파악하고 있으며, 2015년에 「산림복원 10개년 계획(2015-2024)」과 「림농복합경영 10개년 계획(2015-2024)」을 선포하고, 산림복원과 식량증산을 동시에 추진하고 있다.²⁾

북한의 산림 황폐화 문제가 대두된 이래 남한의 관련 연구들은 대략 네 가지 범주로 진행되어 왔다. 원격탐사 방법론을 이용한 황폐산지 추정(Lee, 2004; Park and Yu, 2009; Yu et al., 2011), 조림 경험의 북한 적용(Kim, 2004; Park and Park, 2012), 기후변화 메카니즘 활용성(Lee et al., 2007; Jo et al., 2011; Kim and Yoon, 2014)과 산림복원 정책의 방향성 제시(Kim, 2005;

Park and Park, 2013; Park and Lee, 2015)가 주류를 이룬다. 우선복원대상지 선정(Park et al., 2014) 시도를 제외하면, 대부분 독립변수인 황폐지 면적에 관해 거시적이고 정성적인 방법으로 산림복원의 당위성을 설명하려는 공통점이 있다. 산림복원 계획 및 지원에 필요한 황폐화를 가속시킨 공간 현상이나 생·물리적 요인을 탐색한 연구는 찾아보기 어렵다. 복원계획의 과정은 기준년도 대비 현재의 상태를 추정하여, 변화를 추동한 생·물리적 요인을 분석하고, 사회·경제적 목표를 설정하여 시행하는 것이 일반적이다(SER, 2004; Hallett et al., 2013).³⁾ 특히, 북한은 상대적으로 취약한 생태계이고, 접근불능지역이기 때문에 산림 황폐화 관련 공간을 분석하여 복원 계획에 반영하는 것이 무엇보다 필요한 지역이다.

본 연구는 남한에서 북한의 산림복원을 지원할 경우를 대비해, 산림의 황폐화를 추동한 생·물리적 요인을 탐색하고 북한 산림복원 정책에 적용할 시사점을 찾는 것을 목적으로 한다. 산지를 전용하거나 저하를 가중시킨 어떤 공간적 조건이 존재한다면, 그 공간의 독특한 조건이 황폐화를 추동하여 더욱 가중시킬 수 있

1) <http://www.maplecroft.com>, 2012

2) 2015년 2월 27일자 노동신문에 발표된 김정은의 「식수질 로작」에서, 북한은 스스로 산림 황폐화의 전용원과 직접 원인을 잘 파악하고 있으며 전례 없이 솔직하게 반성하면서 산림복원 의지를 강하게 밝힘(북한 『조선중앙통신』 3월 7일자 보도, 제일 조총련계 『조선신보』 3월 16일자 산림총국 강현 국장 인터뷰).

3) <http://www.ser.org/home>

다는 추동이론에 근거 한다.4) 산림이 변화된 지역 중에서 복원 가능성이 있는 잠재복원대상지를 종속변수로, 환경요인을 독립변수로, 황폐화를 추동하는 원인을 분석하면, 북한의 산림 복원계획을 세울 때 유의미한 공간적 대안을 제시할 수 있을 것으로 가정하였다.

시계열 공간 자료의 구축 및 분석에는 ENVI 5.2, ArcMap10.3과 SPSS 21을 사용하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시계열 공간자료

1) 1989년 산림

기준 연도인 1989년 산림은 GLCF(Global Land Cover Facility)에서 AVHRR NDVI(Normalized Difference Vegetation Index) 영상 24개를 내려 받아 MVC(Maximum Value Compositing) 방법으로 구름과 수증기의 영향을 최소화하였다. Median Filtering한 12개월 영상을 수계, 산림, 농경지, 도

시화 지역으로 분류한 후, 북한의 산림과 비산림 지도를 생성하였다(Figure 1). 분류 후 영상은 공간 해상도 30m의 Landsat TM (Thematic Mapper)의 산림과 비산림에서 임의 추출한 참조 자료(개성, 1989; 원산, 1991; 평양, 1992; 혜산, 1993)를 이용하여 분류정확도 71.67%를 취득하였다.

AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer)은 1981년 이래 지구 전체에 대한 영상을 수집하여 제공한다. 공간 해상도는 0.01° (1.09km)로, 국가수준이나 경관단위에서 생태계의 연간 식생패턴을 측정하는 데 사용된다(Fujiwara and Kudoh, 2005; Eidenshink, 2006). 채널 1은 식생의 엽록수에 의해 강하게 흡수되는 파장대 ($0.58\sim 0.68\mu\text{m}$)이고, 채널 2는 해면조직(Spongy mesophyll)에 의해 반사되는 파장대($0.72\sim 1.10\mu\text{m}$)이다. 따라서 두 채널의 반사도 차이를 정규화한 영상($NDVI = (ch2 - ch1)/(ch2 + ch1)$)으로, 식생 면적, 활동상태, 밀도 등을 측정할 수 있다.

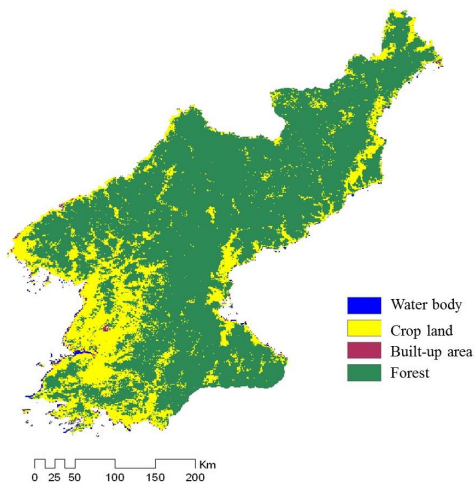


Figure 1. Level I type land cover map in North Korea, 1989.

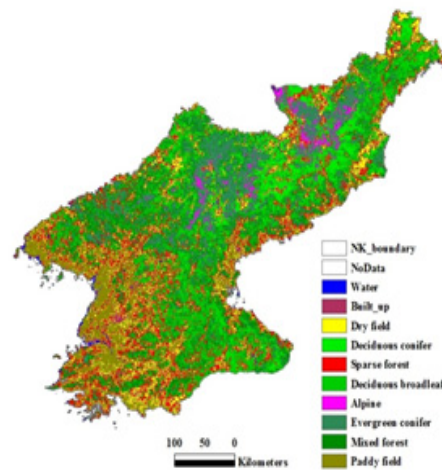


Figure 2. MODIS based Landuse Landcover Map of NK, 2008(Yu et al., 2011).

4) Frued의 추동이론(Drive theory)에는 두 가지 가정이 포함되어있음. 좌절로 인해 공격 대상을 찾게 된다는 가정과 공격 에너지를 해소해야 공격성이 감소된다는 가정으로 ‘정화가설’이라 함. 황폐화를 발생시키는 어떤 요인으로 인해 황폐화는 가속되고, 황폐화 현상을 멈추기 위해서는 원인을 찾아 치유해야 되는 것과 유사함.

2) 2008년 산림

연구에 사용된 2008년 현재 북한 토지피복도는 공간해상도 250m의 MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) NDVI 영상으로 제작된 선행연구 결과물이다(Yu et al., 2011). 2010년 당시 북한 전역을 10개 항목으로 중분류하였다(Figure 2). 분류 후 정확도는 북한 전역을 커버하는 SPOT5 XS 영상에서 나지를 제외한 총 9개의 토지피복 참조자료(References data)를 계층적 임의 추출방식으로 수집하여 통계적 추론 검증하였다(Jensen, 2004).

산림 영역은 상록침엽수림, 낙엽활엽수림, 혼효림, 낙엽침엽수림, 그리고 북한 산림의 특성인 알파인(Alpine)과 무림목지(Sparse forest)를 분류하였다. 농경지의 논과 밭, 그리고 나지와 수역의 총 10개 항목을 분류하였다. 북한의 고산지대는 환경 요인에 의해 수목의 생장이 저지되는 수목 한계선과 고산 알파인이 있다. 알파인을 구성하는 초본과 관목은 생물계절(Phenology) 곡선이 각각 논이나 밭과 유사하기 때문에 경작지로 오분류 되던 것을 바로 잡아서 토지피복 분류정확도를 높일 수 있었다.

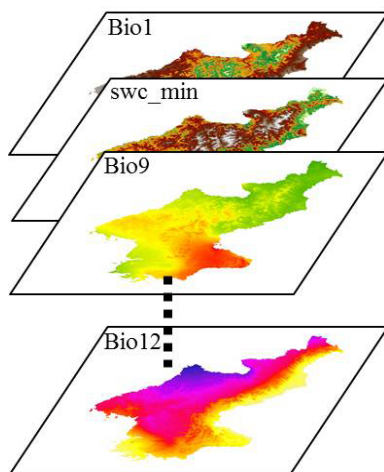


Figure 3. The fourteen's ecological covariance used for driving analysis.

3) 공간 변수

산림의 황폐화 추동을 탐색하기 위한 독립변수는 한반도 생태계 주성분 모형에 사용한 한 변수인 alt(고도), bio1(평균 온도), bio2(온도의 계절변동성), bio3(여름철 평균온도), bio4(겨울철 평균온도), bio5(연평균 강수량), bio6(강수량 계절변동성), bio7(겨울철 강수량), bio8(여름철 강수량), swc_mean(토양수분함유량 평균), swc_cov(토양수분함유량 변동성), fpar_mean(생산성 평균), fpar_cov(생산성 변동성), ss_mean(여름철 일사량), ss_cov(여름철 일사량 변동성), sw_mean(겨울철 일사량), sw_cov(겨울철 일사량 변동성)의 17개의 변수(Yu and Kim, 2015)와 산림 전용이나 저하의 생태적 요인을 상세하게 분석할 수 있도록 bio9(가장 더운달 최고온도), bio10(가장 추운 달 최저온도), bio 11(가장 더운 달 강수량), bio 12(가장 추운달 강수량), swc_max(토양수분함유량 최대치), swc_min(토양수분함유량 최저치)을 추가하였다. 총 23개의 공간 변수를 탐색적 주성분 분석하여 요인1과 요인2에 공통적으로 적재된 변량 14개(Figure 3)를 황폐화 추동 분석의 독립변수로 사용하였다(Table 1).

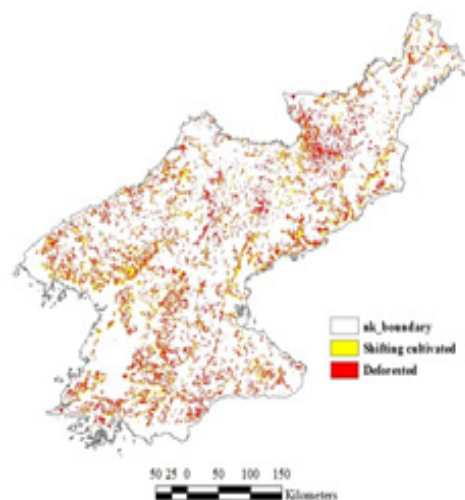


Figure 4. Potential restoration area which spread across the country

Table 1. Covariance explains for binary multivariate logistic regression.

No.	Variables	Explain	Range		
			maximum	mean	minimum
1	alt	Elevation and cartography(m)	2489	592	0
2	bio1	annual mean temperature(*10)	117	58	-62
3	bio3	mean temperature of warmest quarter	239	192	83
4	bio4	mean temperature of coldest quarter	0	-92	-224
5	bio5	annual mean precipitation(mm)	1544	1062	546
6	bio9	maximum temperature of warmest month(*10)	295	252	145
7	bio10	minimum temperature of coldest month(*10)	-48	-169	-302
8	bio11	precipitation of warmest month(mm)	441	264	128
9	bio12	precipitation of wettest quarter(mm)	1002	617	313
10	swc_max	annual maximum soil water contents	100	98	64
11	swc_mean	annual mean soil water contents	100	89	58
12	swc_min	annual minimum soil water contents	100	73	47
13	swc_cov	coefficient of covariance	15	9	0
14	ss_mean	solar radiation mean of summer solstice	2184	1794	1611

2. 잠재복원대상지 선정

황폐한 산림을 탐지한다는 것은 과거에는 양호한 산림이었지만 현재는 양호하지 않은 상태로 토지이용이나 피복이 변화된 지역을 찾아내는 공간적 통계 기법이다(Jensen, 2004). 1989년

산림이었던 지역에서 2008년 현재 도시화지역, 농경지, 수역, 무림목지, 그리고 기타 항목으로 변화된 지역을 탐색하였다. 이 중 도시화 지역, 수역과 기타 항목은 항상 그런 것은 아니지만, 더 이상 복원의 잠재성이 없는 곳으로 간주된다

Table 2. Change detection including unchanged potential restoration area.

Category	Past(AVHRR)	Present(MODIS)	Remark
Forest	Forested	Forested	Unchanged
		Sparse forests	Potential restoration area
		Shifting cultivation	
		Agriculture	
		Built_up area	Changed
the others			
Nonforest	Agriculture	Agriculture	Unchanged
	Built_up area	Built_up area	
	Waterbody	Waterbody	

Table 3. Dependant variables used to binary logistic analysis.

Category	Variables	Explain
Forest	0	unchanged
	1	Potential restoration area
Degraded forest	0	unchanged
	1	Forest degraded(to sparse forest)
	1	Deforestation(to shifting cultivation)

(Laestadius et al., 2011). 따라서 본 연구의 잠재복원대상지는 1989년 산림이었다가 2008년 현재 ‘개간산지’와 ‘무림목지’로 변화된 지역이다 (Figure 4). 산림이었다가 식량생산을 위한 경작지로 토지이용이 변화된 지역은 ‘개간산지’로, 산림이었다가 벌채, 산불, 방치, 훼손 등으로 산림의 NDVI가 저하된 지역은 ‘무림목지’로 명명하여 분석에 사용하였다(Table 2).

3. 황폐화 추동 분석

1) 잠재복원대상지 특성

잠재복원대상지인 무림목지와 개간산지 간의 피어슨 상관(Pearson's correlation)을 분석하여 두 설명변수의 상호 관계를 추정하였다. 고도에 따른 무림목지와 개간산지 비율을 분석하고, 두 개념을 통합한 잠재복원대상지의 공간적 분포를 평가하였다. 잠재복원대상지의 평가에는 공간적 집중, 분산, 임의분포를 설명할 수 있는 전역적 공간자기상관 통계량(Global Moran's I statistics)을 사용하였다(Alselin et al., 2000).

2) 산림 전용과 저하 분석

산림 전용(Deforestation)과 저하(Degradation)를 추동하는 요인은 이진 로지스틱 다중회귀분석을 통해 탐색하였다(Dubovyk et al., 2013). 이진 로지스틱 회귀분석은 이진형 종속변수(잠재복원대상지)와 공변량의 인과 관계를 설명할 수 있는 방법으로, 무림목지, 개간산지, 잠재복원대

상지를 각각 분석하였다(Table 3). 회귀식에 진입하는 공변량을 제거하는 검정 방법은 단계적 전진법인 Wald 통계량(Stepwise forward statistics)을 사용하였다. 모형 내의 모든 변수에 대해 Wald 통계량을 조사하여 유의수준이 가장 큰 변수 중 기준 절단값(0.1)을 초과하면 모형에서 제거시키는 방법이다.

어떤 사건이 일어날 확률 p 와 그 사건이 일어나지 않을 확률 $(1-p)$ 로 이분되고(eq. 1), 예측된 종속변수가 독립변수와 정(+)의 관계이면 1에 가까운 확률 값을 갖고, 부(-)의 관계이면 0에 가까운 확률 값을 갖는다(eq. 2). p 개의 독립변수가 있을 때 절편 β_0 와 모수 β 에 대한 선형 결합 z ,

$$z = \left(\frac{p}{1-p} \right) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p \quad (\text{Eq. 1})$$

$$P \left(\frac{y=1}{x_1, \dots, x_p} \right) = p(x) = \frac{\exp(z)}{1 + \exp(z)} \quad (\text{Eq. 2})$$

III. 결과 및 고찰

1. 잠재복원대상지 특성

1) 산림의 시·공간 변화

1989년 영상에서 북한의 산림면적은 91,679km²으로, 북한 국토 면적(122,312km²)의 약 74%였다. 2008년 영상에서 북한의 산림면적은 약 73,291km²로 추정되었다. 1989년에 산림면적 중 2008년에도 산림으로 남아 있는 지역은 69,024km²(75.29%)

Table 4. Change detection between 1989(AVHRR) and 2008(MODIS NDVI).

AVHRR_89	LULC	Area(km ²)	Percent(%)
	Forested	91,679	100
MODIS_08	▼	▼	▼
	Deciduous forest		
Forested	Deciduous broadleaf	69,023.61	75.29
	Evergreen conifer		(unchanged)
	Mixed forest		
Non-forested	Sparse forest	13,627.14	21.62
	Shifting cultivation	6,191.89	(Potential restoration area)
	Alpine	2,192.28	3.09
	Non-forested and no data	644.18	(changed)
	Total	91,679(km ²)	100(%)

이고, 나머지 22,655km²(24.71%)는 변화되었다. 산림이었다가 변화된 22,655km² 중, 도시화 지역, 수역 등 토지이용이 이미 변화된 지역 644km² (0.70%)와 알파인항목 2,192km²(2.39%)는 복원 대상지에서 제외되었다. 나머지 약 19,819km² (21.62%)의 산림이 경작지 혹은 무림목지로 변화되었다(Table 4). 이 지역의 대부분은 복원계획의 대상지로서 본 연구에서는 잠재복원대상지로 간주하였다. 알파인은 수목 한계선 위로 나타나는 독특한 산림 생태계로, 환경이 척박하여, 관목성 목본과 짧은 생활사의 초본이 피복하고, 건조한 쇠석물이 나출되어 있다. 알파인은 그러나 고산 지역의 자연경관이기 때문에 무림목지 항목이 아닌 산림으로 분류되었다(Yu et al., 2011).

2) 잠재복원대상지 분포

잠재복원대상지인 무림목지와 개간산지 사이에는 높은 양의 상관관계가 있어서($r = 91$), 무림목지와 경작지 전용은 양적(+)으로 상호 작용하는 것을 추정할 수 있었다. 산림에 작물을 심기위해 개간되었다가 방치되면 무림목지 상태가 되고, 산림을 개간하기 위해서는 벌채 후 후

벌 작업 기간 동안 무림목지 상태가 지속되는 과정과는 관련이 큰 것으로 추정되었다.

잠재복원대상지에 군집거리 1000m를 입력했을 때, 전역적 공간 자기상관인 Moran's I 지수 -1, Z-score = -13.46($p = 0.000 < 0.01$)로 나타났다. 1989년과 2008년 사이 북한의 개간산지나 무림목지는 어느 한 지점에 몰려서 뚜렷한 공간 자기상관이 발생하지 않고, 북한의 고원지역과 고도가 낮은 경사지 등 전국에 걸쳐 비연속적으로 분산되어 산포하였다(Figure 4). 고도가 낮은 경사지(150m-600m)의 무림목지에 대한 경작지 전용 비율(25~32%)은 고원지대(1050m-1500m)의 무림목지에 대한 농경지 전용비율 보다 낮았다(32%~45%). 이것은 고도 200m~300m 사이에서 정점을 이루는 개간산지와 무림목지 분포가 점차 감소하다가 고도 1000m 이상의 고원지대에서 면적이 다시 늘어나는 것과 맥락을 같이 한다(Figure 5). 2000년대 이후, 북한의 산지개간은 남·서부 지역에서는 한계에 이르렀지만, 북부 고원지대를 중심으로 비옥한 토양을 이용한 감자농사와 고랭지 채소 등 특용작물 재배 농장이 확대되는 것으로 알려져 있다.

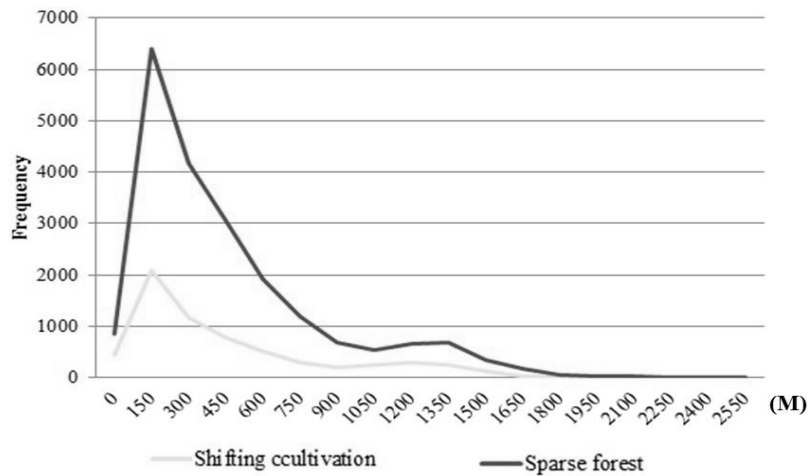


Figure 5. Spatial distribution according to altitude of shifting cultivation and sparse forest.

2. 산림 황폐화 추동

1) 산림 황폐화 요인

잠재복원대상지(1)와 그 외 지역(0)으로 이분하여 14개 변수의 wald 통계량을 검증하였다. 산림전용과 산림저하에 영향을 주는 요인은 지형, 온도, 여름철 일사량, 토양수분이었다. 겨울철 온도(bio4), 토양수분함유량 평균(swc_mean), 토양수분함유량 최소치(swc_min), 고도(alt), 여름철 온도(bio3), 토양수분함유량 변동성(swc_cov), 여름

철 일사량(ss_mean)이 회귀식에 진입하였다. 가장 더운 달 최고온도(bio9), 가장 추운 달 최저온도(bio10), 여름철 일사량(ss_mean), 토양수분함유량 최소치(swc_min), 토양수분함유량 변동성(swc_cov)은 잠재복원대상지와 서로 (-)부적 관계가 있었다. 여름철 온도(bio3), 겨울철 온도(bio4), 고도(alt), 토양수분함유량 최고치(swc_max)와 토양수분함유량 평균(swc_mean)은 북한의 산림이 황폐화되는 것과 (+)양적 관련이 있었다(Table 5).

Table 5. Variables in the equation changed forest into degraded forest model.

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% C.I. for EXP(B)	
							Lower	Upper
bio9	-.041	.004	118.884	1	.000	.960	.953	.967
bio3	.028	.003	63.226	1	.000	1.028	1.021	1.035
bio4	.017	.002	121.644	1	.000	1.017	1.014	1.020
bio10	-.009	.001	34.689	1	.000	.991	.989	.994
alt	.000	.000	7.479	1	.006	1.000	1.000	1.001
Step 10 ss_mean	-.001	.000	4.318	1	.038	.999	.999	1.000
swc_max	.040	.009	20.062	1	.000	1.041	1.023	1.059
swc_min	-.061	.009	50.339	1	.000	.941	.925	.957
swc_mean	.017	.008	4.172	1	.041	1.017	1.001	1.034
swc_cov	-.070	.023	8.824	1	.003	.933	.891	.977
Constant	4.258	.772	30.446	1	.000	70.675		

2) 무림목지 추동 요인

무림목지(1)와 그 이외 지역(0)으로 이분하여 14개 변수의 wald 통계량을 검증하였다. 무림목지를 추동한 생태요인은 11단계에서 회귀식에 진입하였다. 가장 추운달의 최저기온(bio10), 토양수분함유량 평균(swc_mean), 고도(alt), 토양수분함유량 최소치(swc_min), 겨울철 온도(bio4), 여름철 온도(bio 3), 토양수분함유량 최고치(swc_max), 연평균 기온(bio1)이 진입하였다. 그러나 연 평균기온(bio1), 겨울철 온도(bio4), 그리고 토양수분함유량 평균(swc_mean)은 유의확률이 낮았다($p > 0.05$). 따라서 무림목지를 추동한 생태요인은 고도, 온도와 토양수분함유량으로, 산림황폐화를 추동한 요인과 유사하였다. 이들 생태요인 중에서 가장 추운달 최저기온(bio10), 가장 더운달 최고온도(bio9)과 토양수분함유량

최소치(swc_min)는 무림목지와 (-)부적 상관성이 있었다. 고도(alt), 여름철 온도(bio3)와 토양수분함유량 최고치(swc_max)는 무림목지를 추동한 요인과 (+)양적 상관성이 있었다(Table 6).

3) 개간산지 추동 요인

개간산지(1)와 그 외의 지역(0)으로 이분하여 wald 통계량을 검증하였다. 산림이 경작지로 전용된 지역의 생태요인은 8단계에서 회귀식에 진입하였다. 가장 추운달 최저온도(bio9)와 토양수분함유량 최소치(swc_min)는 산림의 경작지 전용과 (-)부적 상관성이 있었다. 여름철 온도(bio3), 겨울철 온도(bio4), 여름철 강수량(bio8)과 토양수분함유량 평균(swc_mean)은 경작지 개간과 (+)양적 관련성이 있었다(Table 7). 그러나 개간산지를 추동하는 요인은 무림목지를 추동한 요인

Table 6. Variables in the equation changed forest into sparse forest ($p < 0.05$).

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% C.I. for EXP(B)	
							Lower	Upper
alt	.001	.000	23.130	1	.000	1.001	1.000	1.001
bio9	-.036	.004	69.116	1	.000	.964	.956	.973
bio10	-.006	.002	13.681	1	.000	.994	.991	.997
Step 11 bio3	.016	.006	6.342	1	.012	1.016	1.004	1.029
swc_max	.016	.006	7.088	1	.008	1.016	1.004	1.029
swc_min	-.032	.005	35.634	1	.000	.968	.958	.979
Constant	1.360	.418	10.593	1	.001	3.895		

Table 7. Variable in the equation changed forest into dry field.

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% C.I. for EXP(B)	
							Lower	Upper
bio9	-.028	.006	25.586	1	.000	.972	.962	.983
bio3	.011	.005	4.268	1	.039	1.011	1.001	1.022
bio4	.003	.001	24.055	1	.000	1.003	1.002	1.005
Step 8 bio8	.001	.000	22.040	1	.000	1.001	1.000	1.001
swc_min	-.076	.006	180.838	1	.000	.927	.916	.937
swc_mean	.065	.005	139.838	1	.000	1.067	1.056	1.079
Constant	1.599	.650	6.058	1	.014	4.948		

과 달리 여름철 강수량(bio8)과 토양수분함유량 평균(swc_mean)에 의해 결정적 영향을 받고 있었다. 한반도에서 여름철은 강수량이 급증하는 우기이며, 작물의 생장기와 중첩되고 천수답 농업이 유지되는 조건과 관련 있다. 북한은 남한과 비교하여 상대적으로 강수량이 적고 토양수분 함유량이 낮은 생태계이다(Yu and Kim, 2015). 산지를 인위적으로 경작할 때 우기 3개월의 강수량이 많은 지역과 토양수분 함유량이 유지되는 지역을 중심으로 발생하는 것은 당연하다. 고원지대는 강수량이 적지만 토양수분함유량 최소치가 높아서 무림목지에 대한 경작지 전용 비율이 높은 것과 유사하다(Figure 5).

IV. 결 론

무림목지와 개간산지 분포 사이에는 높은 양의 상관관계가 있고($r = 0.91$), 산림 황폐화 현상은 고도가 낮은 경사지뿐 아니라 고도가 낮은 고원지대에도 분산되어 전국에 산포하였다(Moran's I index = -1). 산림전용 비율은 고도가 낮은(150m-600m) 경사지(25~32%)보다 경사가 낮은 고원(1050m-1500m)에서 더 높았다(32%~45%). 북한의 고원지대는 강수량이 적지만, 울창한 산림으로 토양수분이 유지되고, 토양입자(0.25~2mm)에는 칼륨, 나트륨, 인 등 원소들이 퇴적되어 비옥도가 높기 때문에, 2000년대 이후 경작지 개발이 활발한 것으로 알려져 있다.

무림목지화는 고도, 온도, 토양수분함유량의 영향을 받고, 산지전용은 온도, 강수량, 토양수분함유량 요인이 작동하였다. 그러나 산림의 경작지 전용은 여름철 강수량(bio8)과 연중 토양수분함유량(swc_mean)의 결정적 영향을 받았다. 이것은 북한의 농작물 생육기가 한반도 우기와 중첩되고, 경사지 농업은 천수답에서 요구하는 토양수분 유지와 관련이 있는 것으로 추정되었다.

산림청에서는 경사 8° 이상의 산지에 분포하

는 황폐 산림 284만ha를 복원 대상지로 지정하여 복원계획에 반영하고 있다. 그러나 북한은 강수량이 적고 토양수분함유량이 낮아서 상대적으로 건조한 생태계이다(Yu and Kim, 2015). 또한 농경지 면적이 적기 때문에 2002년 개정 「농업법」 제3장 35조는 왜기논, 비탈밭, 빈땅 등을 정리하여 규격 포전 및 기계화 포전으로 만들 것을 요구하고, 1999년 개정 「토지법」 제5장 49조는 농작물의 수확고를 높이기 위한 방도로 다락밭을 조성할 때 관·배수 체계를 세우도록 명시하였다. 유네스코는 ‘농사지을 수 있는 땅이 유일하게 경사지일 때, 계단식 경지를 만들어 물을 가두고, 작물을 재배해서 주민이 지역에서 살아갈 수 있는 적응수단’인 다락밭을 인류의 문화유산으로 지정하여 보전하고 있다. 따라서 남한에서 북한의 산림복원을 지원할 경우, 북한의 식량사정과 산지이용을 고려하여 토양수분을 일정하게 유지할 수 있는 ‘다락밭’은 우선복원대상지에서 제외시킬 필요가 있다. 또한, 고원생태계의 중요성을 감안하여, 복원대상지를 선정할 때, 경사도 이외에 고도와 지역의 사회·경제적 다기준 평가 기준을 개발하여 북한 산림복원 계획에 반영할 필요가 있다.

References

- Alselin, L. · Cohen, J. · Cook, D. · W. Goor and G. Tita. 2000. Spatial analyses of crime, Criminal Justice 2000, Washington, D.C.: National Institute of Justice.
- Dubovyk, O. · Menz, G. · Conrad, C. · Kan, E. · M. Machwitz and A. Khamzina. 2013. Spatio-temporal analyses of cropland degradation in the irrigated lowlands of Uzbekistan using remote-sensing and logistic regression modeling, Environ Monit Assess, 185: 4775-4790.
- Eidenshink, J. 2006. A 16-year time series of 1

- km AVHRR satellite data of the conterminous United States and Alaske, Photogrammteric Engineering & Remote Sensing 72(9): 1027-1035.
- Fujiwara, K. and J. I. Kudoh. 2005. NDVI analysis in Korea with NOAA VAHRR images. Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2005. IGARSS '05. Proceeding, (5): 3067-3069.
- Hallett, L. M. · Diver, S. · Eitzel, M. V. · Olson, J. J. · Ramage, B. S. · Sardinas, H. · Statman-Weil, Z. and K. N. Suding. 2013. Do we practice what we preach? Goal setting for ecological restoration, Restoration Ecology, 21(3): 312-319.
- Jensen, J. R. 2004, Introductory Digital Image Processing : A Remote Sensing Perspective, 3rd edition, New York: Pentice Hall.
- Jo JH · Koo JC and Yoon YC. 2011. Economic feasibility of REDD project for preventing deforestation in North Korea. Jour. Korea For. Soc., 100(4): 630-638.
- Kim OS and Yoon YC. 2014. An identification of project sites for lowering carbon emissions and saving forests in DPR Korea. Journal of the Korean Geographical Society, 49(2): 264-274.
- Kim YH. 2005. A study on ecological restoration measuries for the degraded land in North Korea-focus on South Korea's restoration policy. North Korean Studies Review 9(2): 21-50.
- Laestadius, L. · Maginnis, S. · Minnemeyer, S. · Potapov, P. · Saint-Laurent, C. and N. Sizer. 2011. Mapping opportunities for forest landscape restoration. Unasylva 238, 62: 47-48.
- Lee DK · Oh YC and Kim JU. 2007. A study on forest changes for A/R CDM in North Korea. J. Korean Env. Res. & Reveg. Tech., 10(2): 97-104.
- Lee SH. 2004. Situation of degraded forest land in DPRK and strategies for forestry cooperation between South and North Korea. J. Agriculture and Life Sciences 38(3): 101-113.
- Park CH and Yu JS. 2009. Forest degradation survey of North Korea using remote sensing. Journal of Environment, ESGE, 2009. 48: 3-24.
- Park KS and Park SY. 2012. The rehabilitation of North Korea's devastated forest with focus on the case of South Korea. North Korean Studies 8(1): 133-159.
- Park SY and Park KS. 2013. Research on operation of forest policy under the planned economy system in North Korea. Korean Journal of Forest Economics 20(1): 1-11.
- Park KS and Lee CH. 2015. A Study on the scenario on forest cooperations between North Korea and South Korea and the realization of environmental politics. North Korean Studies, 11(1): 171-198.
- Park SH · Koo JC and Seok HD. 2014. Selection of primary site for deforested and degraded mountain restoration projects in North Korea. Korean Forest Economic Society, 21(1): 37-46.
- Yu JS · Park CH and Lee SH. 2011. Level 3 tyhpe land use land cover characteristics based on Phenological phases of North Korea. Lpream Kpirma; pf Re,pte Sensing 27(4): 457-466.
- Yu JS and Kim JM. 2015. Principal Component Analysis based Ecosystem Differences between South and North Korea using Multivariate Spatial Environmental Variables. J. Korean Env. Res. Tech., 18(4): 15-27.