

북한 주요 지역의 산림면적 변화 특성 분석

윤성호¹ · 김은희² · 박진우^{1*}

¹강원대학교 산림경영학과, ²국립산림과학원 국제산림연구과

Characteristic Analysis of Forest Area Changes in Major Regions of North Korea

Seong-Ho Yoon¹, Eun-Hee Kim² and Jin-Woo Park^{1*}

¹Department of Forest Management, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

²Division of Global Forestry, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Korea

요약: 본 연구는 국립산림과학원에서 수행한 황폐지 모니터링 자료를 이용하여 북한 주요 지역(개성, 고성, 평양, 혜산-삼수)에 대한 산림면적 변화의 특성 파악을 목적으로 하였다. 1999년~2018년까지의 모니터링 자료를 교차분석하여 토지피복 변화의 흐름을 파악하였으며, 핫스팟(Hotspot) 분석을 통하여 산림 면적변화에 대한 밀집도를 공간적으로 표현하고 특성을 분석하였다. 북한 주요 지역의 산림면적은 1999년~2008년까지 산림에서 타 토지로의 변화가 많이 발생하였으나, 2008년~2018년에는 산림면적의 변화폭이 감소하였으며, 일부 지역에서 산림으로 회복하는 지역도 확인되었다. 그러나, 핫스팟 분석결과, 2008년~2018년까지 도시 외곽지역 및 임연부는 1999년~2008년보다 집중적으로 핫스팟이 발생된 것으로 분석되었다. 특히, 북한의 산림면적 변화는 지역의 특성 및 사회적 요인에 따라 변화 원인이 다양하였으며, 핫스팟 분석을 통하여 경향을 파악할 수 있었다. 본 연구는 남북 산림협력에 있어 기초적인 산림복구 대상지 선정 및 복구방법의 선택을 위한 의사결정의 기초자료로 활용될 수 있다.

Abstract: This study identified the characteristics of changes in forest areas of North Korea's major regions (Gaesong, Goseong, Pyongyang, and Hyesan-Samsu) using data on degraded lands collected via monitoring by the National Institute of Forest Science. The data, spanning 1999 to 2018, were cross-analyzed to determine trends in land cover change, and hotspot analysis was conducted to confirm evident changes in the forest areas. The results showed that the areas of interest substantially transitioned to other land use types from 1999 to 2008. Contrastingly, the range of changes decreased from 2008 to 2018, with some areas regenerating into forests. Nevertheless, the hotspot analysis indicated that hotspots occurred more intensively in the outskirts of cities and forest edges from 2008 to 2018 than from 1999 to 2008. The analysis also showed that the aforementioned changes were caused by various aspects, depending on regional characteristics and social factors. This study can be used as a basic reference for decision-making on the selection of basic forest restoration targets and restoration methods in inter-Korean forest cooperation initiatives.

Key words: inter-Korean forest, forest area changes, hotspot analysis, spatial pattern analysis

서론

북한의 산림황폐화에 대한 문제는 1990년대 중반부터 국제적인 쟁점이 되었으며, 김정은 정권이 시작되고 2015

년 북한은 산림복구전투를 발표하면서 산림황폐지 복구를 국가적 과제로 부각시켜 해결 방안을 찾고자 노력하였다. 산림황폐지는 산림의 기능을 약화해 가뭄과 홍수로 인한 토지 유실 및 농경지 파괴의 원인이 되며, 이러한 현상은 북한의 경제난을 가중시키는 원인 중 하나가 되었다(Oh, 2022). FAO의 국가별 산림자원평가(Forest Resources Assessment; FRA) 2020에 의하면, 북한은 2020년 기준 603만ha의 산림면적이 있으며, 이것은 1990년 대비 약

* Corresponding author

E-mail: pjw@kangwon.ac.kr

ORCID

Jin-Woo Park  <https://orcid.org/0000-0001-6004-5866>

14% 감소한 것으로 보고했다(FRA, 2020). 또한, 2018년 국립산림과학원에서 분석한 북한의 산림황폐지 면적은 약 262만ha로 북한 산림면적의 약 32%를 차지하는 것으로 보고하였다. 보고에 따르면, 북한의 산림황폐화는 1999년~2008년 대비 2008년~2018년에 산림황폐지의 확장이 둔화하는 것으로 평가되지만, 여전히 황폐화된 산림면적이 많은 것으로 보고하였다(Oh and Kim, 2020). FAO와 국립산림과학원의 결과는 구축 방법과 활용데이터에 따라 차이가 있으나, 지속적으로 산림면적이 감소하고 있다는 동일한 특징을 보이고 있다. 북한 산림에 대한 특성을 파악하는 연구는 산림복구를 위한 토대를 마련하고 중장기적 계획을 수립하는데 기초자료로 활용될 수 있다. 북한은 국제사회에 정확한 산림 및 황폐지에 대한 현황을 발표하고 있지 않으며, 산림분야 통계 시스템이 구축되어 있지 않은 상태이다(Son et al., 2016). 과거 우리나라는 60년대 산림의 복구를 위하여 UNDP/FAO에서 지원받은 산림자원조사를 기반으로 산림계획을 수립하였으며, 이러한 체계적인 자원조사가 현재까지 진행되어 우리나라 산림자원의 통계구축에 활용되고 있다(KFS, 2023). 남북 산림협력력을 위해서는 지속적인 산림자원에 대한 현황 및 특성에 대한 파악이 중요하다.

접근이 어려운 북한의 경우 원격탐사 기술을 활용한 토지피복 현황 및 특성을 파악하는 연구가 이루어져 왔다(Hong et al., 2012). Hong et al.(2008)은 Landsat TM 자료를 이용하여 IPCC의 토지피복분류항목의 기준에 따라 북한의 토지피복 분류를 시행하였으며, KEI(2020)은 국토지리정보원의 수치지형도와 SPOT 6/7 위성영상을 기반으로 북한의 토지피복지도를 구축하고 분포 특성을 분석하였다. 특히, 국립산림과학원은 남북 산림협력의 기반 조성을 목적으로 북한의 토지피복 및 황폐지의 현황을 파악하기 위하여 1999년부터 2018년까지 10년을 주기('99 '08 '18)로 총 3회에 걸쳐 북한 산림에 대한 모니터링 사업을 수행하였다(Oh and Kim, 2021). 그러나 지금까지의 연구는 위성영상 자료를 활용하여 토지피복 지도를 작성하고 북한의 현황을 파악하는 데 초점이 맞춰져 있어 단일 시기 분석 또는 시계열에 따른 분류항목별 단순 총량만을 비교하였다. 또한 분석 시기에 따라 토지피복의 항목별 기준 및 위성영상 데이터의 종류와 센서 성능이 상이하여 토지피복 항목 간의 변화에 대한 경향 파악에 어려움이 있다.

토지의 구체적인 변화과정을 파악하기 위해서는 항목 간의 교차분석을 통한 변화탐지가 실시되어야 한다. 교차분석을 통한 변화탐지는 토지피복 항목 간의 정확한 변화 경향을 파악할 수 있으며, 기후변화 대응 국제적인 통계에서도 이러한 교차분석이 가능한 tier 3 수준의 통계를 요구

하고 있다(Hwang et al., 2018). 또한 이러한 토지의 변화는 개별적인 공간단위에서 일어나는 변화보다는 인접한 토지의 공간적 영향을 받아 변화하게 된다. 따라서 공간의 특성을 파악하기 위해서는 주변의 공간과 함께 상관관계를 고려하여 평가할 필요가 있다(Kim and Lee, 2007). 국토의 관리 및 계획수립을 위하여 토지의 근집현상과 확산현상을 파악하는 것이 중요하며, 이러한 경향을 파악하기 위하여 공간통계기법이 활용되고 있다(Jeong et al., 2010). 공간통계기법인 핫스팟(Hotspot) 분석은 Art Getis와 Keith Ord(1995)에 의하여 개발된 통계기법으로 공간단위의 변화에 대하여 빠르게 검색하고 영향력의 차이를 지도로 표현하여 수치적인 부분과 공간적인 부분을 지도로 보여줄 수 있다.

따라서 본 연구는 국립산림과학원에서 수행한 북한 산림황폐지 모니터링 자료를 기반으로 북한의 주요 지역에 대한 산림면적의 변화를 파악하고, 핫스팟을 통한 공간적 패턴 분석을 통하여 북한 주요 지역 산림의 변화 특성을 파악하는 것을 목적으로 하였다.

재료 및 방법

1. 연구대상지

본 연구는 남북 산림협력력을 위한 산림복구 정책 및 전략 수립을 적용할 수 있는 대상지의 산림변화에 대한 특성 파악을 목적으로 한다. 따라서 국립산림과학원의 상시 모니터링 대상지 총 11개 지역(개성, 고성, 평양, 수안, 안주, 북청, 신의주, 위원, 혜산, 삼수, 무산) 중 북한의 주요 복구사업대상지, 관광특구, 목재생산지 등 다양한 산림협력 전략 수립이 가능한 지역으로 5개 지역(개성, 고성, 평양, 혜산, 삼수)을 선정하였다(Figure 1).

개성은 남과 북의 접경지역으로 우리나라에서 관찰이 가능한 지역이며, 개성공단 및 산업의 발전으로 인하여 도시 내 황폐화가 많이 발생한 지역이다. 개성은 북한의 5대 복구사업 대상지로 북한 내에서도 관심이 많은 지역이다. 고성은 과거 산림청 및 민간협회의를 통하여 금강산 지역의 병해충 방제 및 조림 등 다양한 산림협력 사업이 진행된 지역이다. 또한, 과거 육로와 해상을 통한 금강산 관광 등 관광특구로 유명하며, 금강산은 북한의 5대 명산으로 주요 관광특구로 지정된 지역이다. 평양은 북한의 수도이며, 행정의 중심 지역이다. 특히, 북한의 산림복구 전략 중 원림화 사업이 중심적으로 이루어지는 지역으로 도심 지역의 산림복구사업을 관찰할 수 있는 지역이다. 혜산과 삼수는 위원과 함께 북한의 주요 목재생산지역으로 벌채를 통한 목재의 생산과 수출이 이루어지는 곳이며, 이에

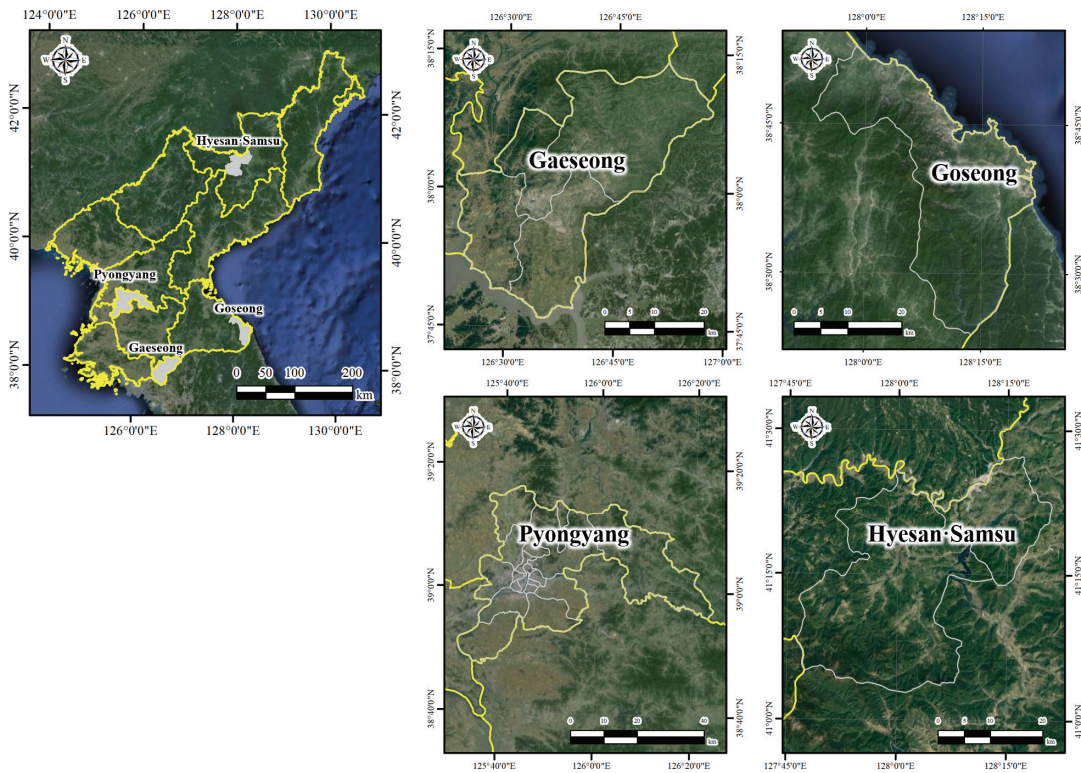


Figure 1. Study area.

과도한 산림벌채로 인한 황폐화가 증가한 지역이다(Kim et al., 2015). 혜산과 삼수는 황폐지의 발생 원인이 유사하고 시·군이 인접하여 하나의 대상지로 묶어 분석하였다.

2. 연구자료 및 방법

1) 연구자료

연구자료는 국립산림과학원에서 구축한 '99, '08, '18 북한 황폐지 모니터링 자료를 활용하였다. '99 모니터링 자료는 공간해상도 30 m의 Landsat-TM, '08 모니터링 자료는 공간해상도 10 m의 SPOT-5, '18 모니터링 자료는 공간해상도 5 m의 RapidEye 영상을 이용하여 모니터링 자료를 구축하였다(Figure 2). 북한의 행정구역도는 국가공간정보포털에서 구축한 북한행정구역도를 활용하였으며, 개성과 평양은 행정구역의 승격 및 축소로 인하여 변화된 행정구역을 반영하여 분석하였다. 개성은 2019년 개성특별시로 승격하여 개풍군, 판문군, 장풍군을 포함하여 확장되었으며, 평양은 2012년 중원군, 상원군, 승호구역 등 남쪽 지역을 황해북도로 편입시켜 축소된 면적으로 행정구역을 활용하였다(Lee, 2020; Park, 2020).

2) 연구방법

본 연구는 북한 주요 시·군의 산림변화를 파악하고 공간

적 변화의 특성을 분석하는 것이 목적으로 수행하였다. 국립산림과학원의 북한 산림모니터링 자료는를 이용하여 분류항목의 기준과 해상도를 일치시켜 토지피복의 교차 분석을 진행하여 토지피복의 항목별 면적변화 및 경향 분석을 하였다. 또한 행정구역별 공간평가 단위의 격자망을 구축하고 핫스팟분석을 통하여 산림면적의 변화 특성을 분석하였다(Figure 3).

가) 토지피복변화 분석

국립산림과학원의 북한 산림황폐지 모니터링 자료는 구축 시기에 따라 토지피복 분류항목이 일치하지 않았으며, 조사시기에 따라 센서의 성능이 다른 위성영상을 사용하여 분류 결과의 공간해상도 차이가 발생하여 정확한 토지 피복의 변화를 파악하는 데 어려움이 있다. 시기별 북한 산림황폐지 분석 결과 보고서 및 논문을 통하여 분류항목의 정확한 의미를 파악하고, 모든 모니터링 자료에서 공통으로 분류하고 있는 항목을 기준으로 토지피복분류 항목을 재분류하였다. 본 연구에서는 토지피복 분류항목을 5 가지(산림, 황폐지, 농지 및 초지, 주거지, 수역) 항목으로 재분류하였다. 초지는 '08년 분류항목에 존재하지 않지만, '99년 분류항목 중 농경지와 공간적으로 일치하는 부분이 많아 농경지와 초지를 하나의 분류항목으로 수정하였다.

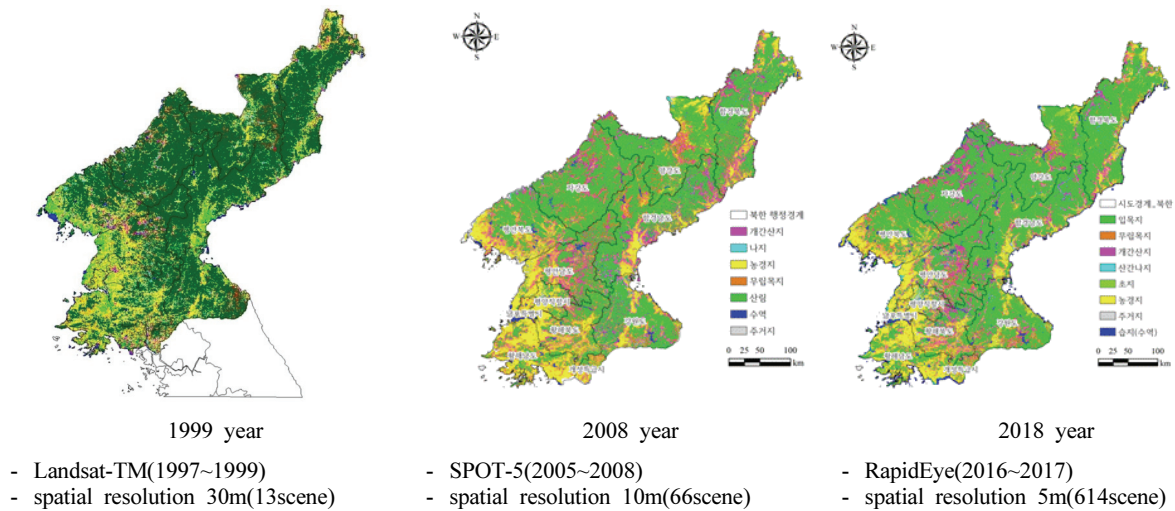


Figure 2. Land cover monitoring data in North Korea.

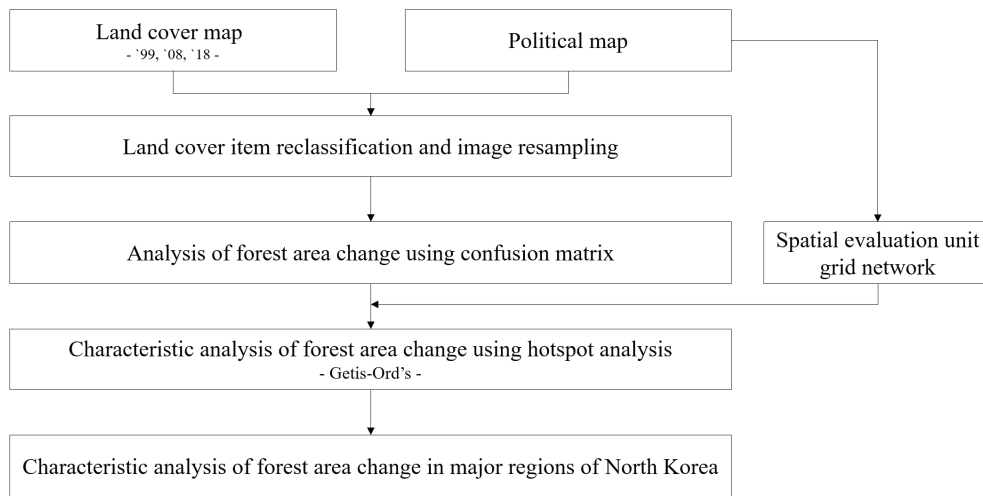


Figure 3. Flow chart of research.

또한, 2013년부터는 모니터링 분류항목이 11개로 황폐지의 항목도 세분화되어 수행되었으나, 기존의 '99년과 '08년 결과는 일부 황폐지의 세분류 항목이 없거나, 황폐지를 하나의 항목으로 분류하고 있어 공통적인 분류항목인 황폐지로 재분류하였다. 영상의 공간해상도는 가장 낮은 단위의 5 m('18년 기준)를 기준으로 재배열하여 분석을 실시하였다. 재분류된 결과는 기수분류결과와 기말분류결과와의 교차분석을 통하여 오차행렬(Confusion matrix)표를 작성하여 토지피복 항목 간 양적·공간적 이동 면적을 파악하였다.

나) 공간자기상관을 이용한 산림면적변화 특성 분석
토지피복의 변화는 단순한 독립적인 형태로 발생하는

것이 아니라 가까운 주변의 공간변화에 따라 영향을 받는다(Lee et al., 2011). 본 연구는 토지피복변화의 발생지점과 주변 지역의 공간적 관계에 따라 변화를 파악할 수 있는 공간자기상관 분석법을 이용하여 산림면적변화의 특성을 분석하였다. 공간자기상관은 변화의 발생지점과 주변의 변화 지점의 거리 또는 인접에 따라 유사성과 차이점을 분석하여 특성을 직관적으로 hotspot과 coldspot으로 보여준다(Anselin and Bera, 1998). 본 연구에서는 Getis-Ord's Gi*를 사용하여 hotspot 분석을 실시하였다. Getis-Ord's Gi*는 Art Getis와 Keith Ord(1995)에 의하여 개발된 방법으로, 공통적인 공간단위에서 중심이 되는 공간단위와 그 주변 공간단위의 비중을 계산하여 집중도와 연관성 정도를 분석하여 시각적으로 표현하는 분석 방법이다. Gi*는

입력된 데이터의 표준편차인 Z-Score와 확률인 P-Value를 활용하여 통계치가 양수이면서 높은 값을 가진 군집은 핫스팟(hotspot), 통계치가 음수이면서 낮은 값을 가지는 군집은 콜드스팟(coldspot)으로 표현된다(Jang, 2016). 핫스팟은 비슷한 Z-score를 가지는 데이터의 군집들 중 주변 객체들과 밀집하여 높은 Z-score를 가지는 군집들이 형성되면 핫스팟으로 표현되고, 낮은 값의 Z-score에 집중되게 되면 콜드스팟으로 나타나게 된다(Kim et al., 2018).

$$Gi^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij}x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{s \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - \left(\sum_{j=1}^n w_{ij}\right)^2}{n-1}}} \quad (1)$$

- x_i : attribute value of i
- s : standard deviation
- n : total number of cases
- w_{ij} : spatial weight (spatial weight matrix value)
- $\begin{cases} i \text{ and } j \text{ are adjacent} : 1 \\ i \text{ and } j \text{ are not adjacent} : 0 \end{cases}$

한편, 공간자기상관 방식의 연구는 기준 대상과 주변 지역의 동일한 면적 단위의 공간에서 분석할 필요가 있다. 일반적으로 공간평가단위는 그리드 형식으로 작성되며, 삼각형, 사각형, 육각형 등의 모형이 활용된다. 본 연구는 샘플링의 편향을 줄이고, 지구의 곡률로 인한 왜곡 오차를 감소시킬 수 있는 육각형 그리드를 사용하였다(Birch et al., 2007). 그리드의 크기는 산림의 공간적 특성을 평가할 수 있는 크기로 선정하였으며, 『국유림의 경영 및 관리에 관한 법률』에 따라 산림경영을 위한 집약관리 단위인 임반의 최소기준(100 ha)를 적용하여 그리드를 구축하고 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 북한 주요 지역의 산림면적변화 분석

- 1) 시계열에 따른 토지피복분포
시계열에 따라 재분류된 기준을 통하여 토지피복의 변

화를 분석한 결과, 개성은 1999년 산림과 농지 및 초지의 경계인 임연부 지역에서 2008년 황폐지로의 변화가 많이 발생하였으며, 2018년은 기존 발생지역인 임연부를 중심으로 황폐지의 밀도가 높아지는 형태를 보인다. 고성은 2008년 임연부뿐만 아니라 금강산 지역에서도 산림의 황폐지가 많이 분포하는 것으로 분석되었으나, 2018년 주거지역과 농지 및 초지를 중심으로 주변에서 황폐지가 많이 발생하는 것으로 분석되었다. 평양은 2008년에 강동군과 상원군을 중심으로 황폐지가 증가하였으며, 2018년은 같은 지역에서 황폐지가 확장 및 집중되는 것으로 분석되었다. 해산·삼수는 2008년 해산시 지역을 중심으로 황폐지가 급격하게 증가하였으며, 2018년은 삼수군의 임연부로 황폐지가 확장 및 집중되고 있는 것으로 분석되었다(Figure 4).

토지피복지도를 통하여 시계열에 따른 토지피복의 분포를 보면, 산림은 1999년부터 2008년까지 감소하였으며, 많은 면적이 산림 황폐지로 변화하는 것을 볼 수 있다. 한편, 2008년부터 2018년까지 산림의 면적은 다소 회복되는 지역이 있으나, 황폐지가 임연부에서 확장 및 집중도있게 발생하는 것으로 분석되었다. 총량으로 계산한다면, 시계열에 따른 북한 주요 지역에 대한 산림의 황폐화는 최근 다소 감소하고 있으나, 한번 황폐화된 지역은 회복되지 못하고 확장되는 형태를 보이는 것으로 판단되었다.

2) 1999년부터 2008년의 산림면적변화 분석

개성은 1999년 산림면적이 약 54천ha로 개성 전체면적의 약 43%를 차지하였으나, 2008년 약 26천ha로 1999년 대비 약 51%가 감소하였다. 감소한 산림면적 중 약 22천ha가 황폐지로 변화하였으며, 1999년 농지 및 초지의 면적 중 약 21천ha가 황폐지로 변화되었다. 개성은 1999년부터 2008년까지 산림과 농지 및 초지의 인접 지역에서 황폐지의 발생이 극심한 것으로 분석되었다(Table 2).

고성은 1999년 산림면적의 비율이 약 63천ha로 고성군 전체면적의 약 73%를 차지하여 높은 산림의 면적 비율이 높았으나, 2008년 약 45천ha로 1999년 산림면적 대비 약

Table 1. Land cover classification categories and definition.

Categories	Definition of land cover classification
Forest	Coniferous forest, broad-leaved forest, mixed forest and area with trees
Deforestation	Degraded_Stand, Degraded_Field, Barren_Mt, Barren
Field and Grass	Farmland, Herbal plantation site, Farm, Orchard, Agriculture road, Cemetery, Pasture
BuiltUp	Building site, Factory, School, Warehouse, Parking, Electrical facilities, Water supply, Road, Park
Water	River, Lake, Reservoir

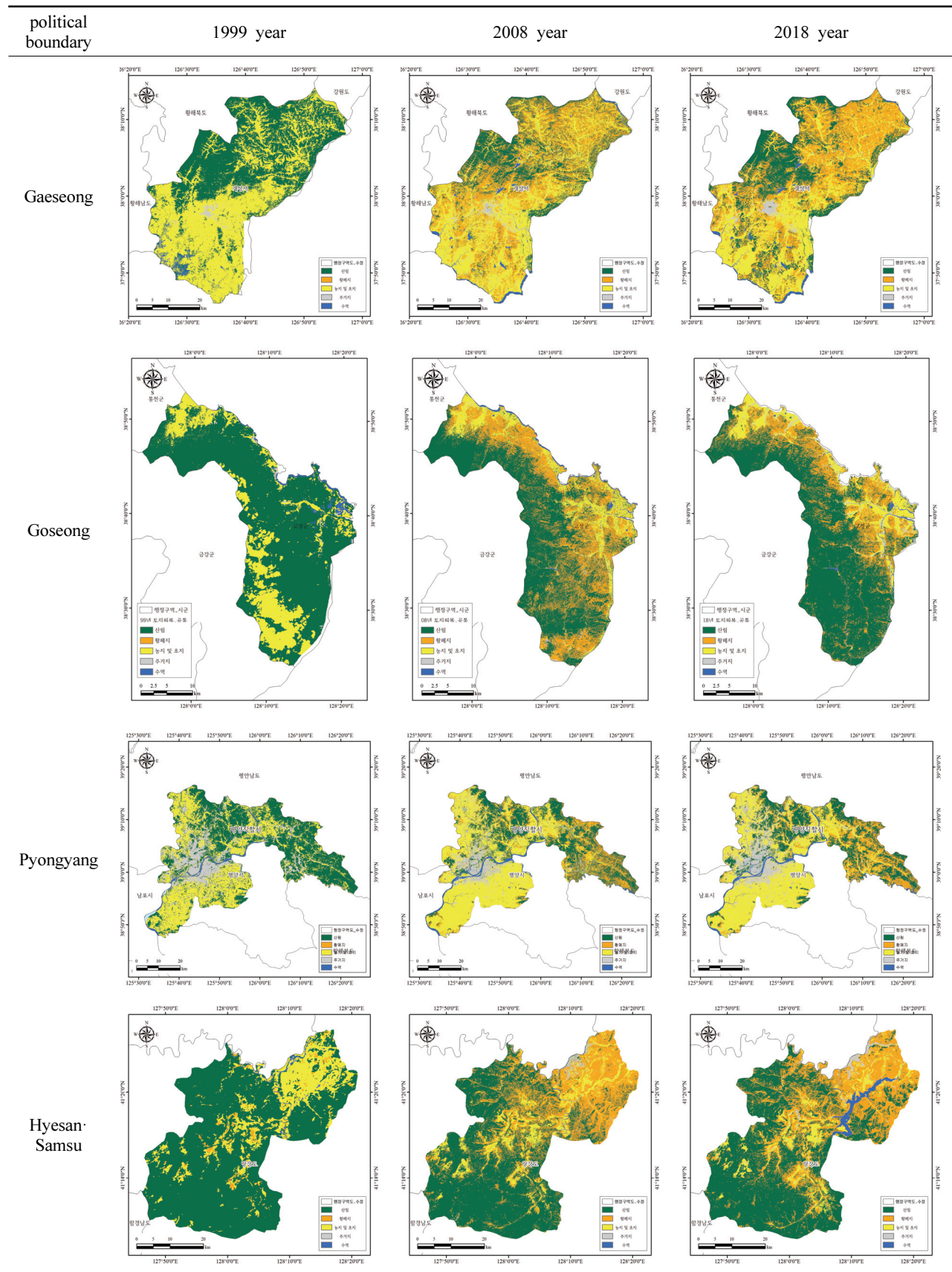


Figure 4. Reclassification Land Cover Map.

Table 2. Confusion matrix of land cover (1999~2008).

		2008 year						
Class		Forest	Deforestation	Field and Grass	BuiltUp	Water	Other land	Total
1999 year	Forest	17,973	21,940	13,927	268	581	2	54,692
	Deforestation	-	-	-	-	-	-	-
	Field and Grass	7,727	20,964	36,302	1,838	1,632	3	68,466
	BuiltUp	20	142	483	226	13	-	884
	Water	50	150	1,159	45	85	1	1,490
	Other land	628	279	1,943	57	234	4	3,144
	Total	26,398	43,475	53,814	2,434	2,546	9	128,676
Gaeseong	Forest	41,842	14,488	6,181	536	274	1	63,322
	Deforestation	1,241	9,510	2	-	1	-	10,754
	Field and Grass	1,034	2,606	5,137	275	209	1	9,262
	BuiltUp	72	64	249	4	10	-	399
	Water	102	96	594	9	488	161	1,450
	Other land	394	364	507	24	87	27	1,403
	Total	44,685	27,128	12,670	848	1,069	190	86,590
Pyongyang	Forest	37,231	17,089	17,577	2,142	643	0	74,683
	Deforestation	-	-	-	-	-	-	-
	Field and Grass	4,857	6,316	56,757	3,962	1,125	1	73,017
	BuiltUp	2,605	1,528	11,489	8,454	465	0	24,541
	Water	107	96	171	103	2,534	0	3,011
	Other land	125	37	177	3	263	1	607
	Total	44,925	25,066	86,171	14,664	5,030	3	175,859
Hyesan-Samsu	Forest	60,353	23,289	7,390	403	109	1	91,546
	Deforestation	636	995	959	30	21	0	2,640
	Field and Grass	4,156	10,981	6,426	821	165	2	22,552
	BuiltUp	-	-	-	-	-	-	-
	Water	159	372	189	144	22	0	887
	Other land	60	121	112	11	45	2	351
	Total	65,364	35,758	15,077	1,410	361	5	117,975

30%가 감소하였다. 고성은 감소한 산림면적 중 약 67%가 황폐지로 변화하여 개성과 유사한 형태로 산지전용이 발생하였다(Table 2).

평양은 북한의 수도로 매우 도시화 된 지역이며, 1999년 산림면적이 평양 전체면적의 약 42%를 차지하였다. 2008년은 약 30천ha가 감소하여 평양 전체면적의 약 26%로 감소하였으며, 감소한 산림면적의 중 약 47%가 농지 및 초지로 약 46%가 황폐지로 변화하였다(Table 2). 평양은 도시의 확장으로 인한 식량확보를 위한 농지로의 변화가 높은 것으로 판단된다.

혜산·삼수는 1999년 산림면적이 약 92천ha였으며, 행정

구역 전체면적의 약 74%로 산림면적의 비율이 높았으나, 2008년 약 65천ha(55%)로 약 26천ha가 감소하였다. 특히, 감소한 산림면적 중 황폐지로의 변화가 약 75%로 네 지역 중 가장 높은 비율을 차지하는 것으로 분석되었다(Table 2).

교차분석을 통하여 1999년부터 2008년까지의 주요지역의 산림면적 변화를 보면, 산림에서 황폐지로의 변화가 다수 발생하였으며, 이것은 식량자원 확보를 위한 개간산지와 땔나무 확보를 위한 과도한 벌채로 판단된다. Lim (2011)은 북한의 황폐화에 대한 직접적인 원인으로 개간산지와 땔나무 채취로 보고하였다. 또한 농지 및 초지에서도 황폐지로의 변화가 높게 발생하였다. 이것은 경작이 이

루어지지 못한 농지와 관리되지 못한 초지 형태의 휴경지가 황폐지로 변화한 것으로 판단된다. Kim(2007)에 의하면, 휴경지는 2년 이상 유휴지로 존재할 경우, 경작지로서의 이용이 어렵게 된다고 보고하고 있으며, Chae and Kim (2011)는 휴경지를 방치하면 수년 내에 황폐해져 인근 농지에도 피해를 준다고 보고하고 있다. 따라서 관리되지 못한 농지와 초지도 북한 황폐지의 원인이 되고 있다. 한편, 평양은 산림에서 농지 및 초지로의 변화가 가장 높아 타 지역과 면적변화의 차이가 있었다. 이것은 평양이 북한의 수도이며, 인구집중 지역으로 식량 확보를 위한 산지의 개간이 많이 발생한 것으로 판단된다.

3) 2008년부터 2018년의 산림면적변화 분석

개성은 2008년 산림면적 대비 2018년 산림면적이 약 4.6천ha가 증가하였다. 2018년 산림으로 변화한 면적 중 황폐지에서 변화한 면적이 약 11천ha로 가장 높았으며, 이것은 개성시 지역에 위치한 송악산과 묘지산, 두석산을 중심으로 산림의 분류가 명확해지고 확장되는 것을 볼 수 있다. 한편, 개성은 농지 및 초지에서 황폐지로의 변화가 약 11천ha가 발생하여 황폐지 지역이 회복되지 못하고 확장 또는 집중되는 것으로 판단된다(Table 3).

고성은 2008년 산림면적 대비 2018년 산림면적이 약 8.2천ha가 증가하였으며, 황폐지에서 산림으로 변화한 면적

Table 3. Confusion matrix of land cover (2008~2018).

		2018 year							
		Class	Forest	Deforestation	Field and Grass	BuiltUp	Water	Other land	Total
2008 year	Gaeseong	Forest	15,665	7,975	2,542	41	73	-	26,297
		Deforestation	10,831	27,980	4,284	220	90	-	43,405
		Field and Grass	4,250	10,827	36,956	1,139	411	-	53,584
		BuiltUp	79	336	1,234	715	64	-	2,429
		Water	72	195	293	26	1,946	-	2,531
		Other land	2	0	2	1	4	-	9
		Total	30,899	47,314	45,311	2,143	2,588	-	128,254
	Goseong	Forest	37,870	5,178	1,364	144	85	45	44,685
		Deforestation	13,406	12,088	1,263	221	68	82	27,128
		Field and Grass	1,304	1,221	8,409	1,353	275	108	12,670
		BuiltUp	317	291	189	31	15	4	848
		Water	8	19	78	35	251	679	1,069
		Other land	0	0	1	0	0	188	190
		Total	52,906	18,796	11,305	1,784	693	1,106	86,590
	Pyongyang	Forest	30,768	8,399	3,752	1,600	406	-	44,925
		Deforestation	7,981	14,053	1,906	902	225	-	25,066
		Field and Grass	2,725	5,056	68,245	9,631	514	-	86,171
		BuiltUp	528	664	4,867	8,288	317	-	14,664
		Water	46	40	162	210	4,572	-	5,030
		Other land	0	0	1	0	1	-	3
		Total	42,048	28,212	78,933	20,631	6,035	-	175,859
	Hyesan·Samsu	Forest	53,774	9,270	2,038	114	169	-	65,364
		Deforestation	8,691	24,504	1,340	559	664	-	35,758
		Field and Grass	1,263	2,629	8,863	864	1,457	-	15,077
BuiltUp		85	515	219	485	106	-	1,410	
Water		5	20	32	21	283	-	361	
Other land		0	0	0	0	5	-	5	
Total		63,818	36,938	12,492	2,043	2,684	-	117,975	

이 약 13천ha로 산림이 회복된 것으로 볼 수 있다. 고성지역은 2008년 대비 산림분류지역 내 발생하였던 산개한 황폐지의 면적이 줄어들면서 산림의 면적이 증가한 것으로 판단된다(Table 3, Figure 4). 개성과 고성은 산림의 면적과 황폐지에서 산림으로 변화한 면적이 증가하여 산림의 회복되는 것으로 판단하고 있으나, 산림에서 황폐지로 변화한 면적이 각각 약 8천ha, 약 5천ha로 산림경계인 임연부에서 지속적으로 황폐화가 진행되는 것으로 판단된다(Figure 4).

평양은 2008년 산림면적 대비 2018년 산림면적이 약 2.9천ha가 감소하여 많은 면적은 아니지만 지속적으로 산림의 전용이 발생하였다. 교차분석을 통하여 분석한 결과, 2008년 산림에서 2018년 황폐지로 변화한 면적과 2008년 황폐지에서 2018년 산림으로 변화한 면적이 각각 약 8.4천ha, 약 8천ha로 유사하게 변화하였다. 이것은 평양이 산림의 복구사업 중 원림화 사업에 집중한 효과로 평가되며, 평양의 도심지역은 산림이 회복되고 있지만 강동군과 같은 도시의 외곽지역은 지속적인 산림관리가 이루어지지 않아 황폐지가 확장되고 있는 것으로 분석되었다.

해산·삼수의 산림면적은 1999년부터 2008년까지 극심하게 황폐지로 변화하였으나, 2008년부터 2018년 사이에는 황폐지로의 변화폭이 감소하였다(Table 3). 해산시는 절덕산과 운주봉 주변의 산림면적이 회복되고 있으나, 삼수군 지역에서 산림과 농지 및 초지의 인접 지역에서 황폐지가 증가하는 것으로 분석되었다. 해산시 지역은 일부 지역에서 산림의 회복이 발생하는 것으로 보이지만, 삼수군은 지속적으로 산림황폐지가 증가하는 것으로 분석되었다(Figure 4).

교차분석을 통하여 2008년부터 2018년까지의 북한 주요 지역 산림면적 변화를 비교한 결과, 4개 지역 모두 총량적인 부분에서 산림이 회복되는 것으로 판단되며, 산림이 황폐지로의 변화가 둔화하고 있는 것으로 분석되었다. 그러나 영상분석 결과를 보면, 산림의 내부에서 산개하게 발생한 소규모의 황폐지는 감소하는 반면, 임연부는 지속적으로 황폐지가 확장 및 집중되어 증가하는 것으로 분석되었다. 특히, 마을 인접 지역의 개간산지는 확장되거나 경계가 명확해지는 것을 알 수 있다(Figure 4). 북한 산림황폐화의 원인이 개간산지와 땔나무의 확보가 높은 만큼 임연부 지역에 대한 집중적인 관리가 필요한 것으로 판단된다.

2. 북한 주요지역의 산림면적 변화의 공간패턴 분석

1) 1999년부터 2008년의 산림면적 변화의 공간패턴

개성은 1999년부터 2008년까지 산림에서 황폐지, 농지 및 초지로의 변화에 대하여 분류항목별 경계부에서 Z-

score 6.0 이상의 높은 핫스팟이 형성되고 있으며, 장풍군과 개성시를 중심으로 핫스팟이 분포하고 있다. 또한, 개풍군과 판문군 지역에서는 콜드스팟이 분석되어 황폐지와 농지 및 초지로의 전용이 산개하여 발생하는 것을 알 수 있다. 주거지로의 변화는 개성공단과 개풍군 해안지역을 중심으로 발생하였다. 개성공단은 도시개발로 인한 산림전용이며, 개풍군 해안지역은 농지의 증가와 함께 주거지의 확장으로 인한 전용으로 판단된다. 수역으로의 변화는 분석에 사용된 위성영상의 변화에 따라 공간해상도 차이로 인하여 수역이 확장된 것으로 판단된다(Figure 5).

고성은 황폐지로의 변화가 개성과 마찬가지로 임연부 지역에서 Z-score 7.2의 높은 핫스팟이 발생하여 산림전용이 집중적으로 발생하고 있다. 농지 및 초지로의 변화는 운곡리와 금천리 등을 중심으로 마을이 밀집되어 농경지의 발달이 높은 지역에서 발생하였다. 주거지로의 변화는 금강산 관광산업으로 새롭게 주거지역이 발달한 지역의 중심으로 핫스팟이 발생하였으며, 금강군과의 경계 지역의 남강 주변에서도 주거지로 인한 산림전용이 많이 발생하였다(Figure 5).

평양은 황폐지와 농지 및 초지로의 변화에서 강동군을 중심으로 Z-score 9.3의 높은 핫스팟이 형성되었다. 1999년부터 2008년까지 평양은 도심지역은 산개한 형태의 소규모 변화가 발생하고 있으나, 시외곽 지역의 강동군은 집중적인 대면적의 산림변화가 발생하였다. Shin(2018)에 의하면, 평양을 중심으로 대규모 과수농장 건설을 보고하고 있으며, 이러한 원인으로 산림면적의 변화가 발생한 것으로 판단된다. 주거지로의 변화는 도심지역을 중심으로 Z-score 15.0의 매우 높은 핫스팟이 형성되었다(Figure 5).

해산·삼수는 황폐지로의 변화가 해산시 운송강 남부지역을 중심으로 분포하고 있으며, 삼수군에서는 도심지역을 중심으로 핫스팟이 발생하였다. 또한 농지 및 초지로의 변화 핫스팟은 삼수군의 산림과 농지의 임연부에서 국지적으로 발생하였다. 주거지로의 변화는 해산시 남부지역을 중심으로 발생하였다. 해산·삼수는 3개의 지역 보다 핫스팟의 분포가 국지적으로 많이 발생하고 Z-score가 낮았다(Figure 5). 이것은 산림의 전용이 한 곳에서 집중적으로 일어난 것이 아니라 모든 지역에서 발생하는 것으로 판단된다. 국립산림과학원의 주요 지역 모니터링 결과를 보면, 해산·삼수는 과도한 벌채와 제재업으로 황폐화가 심각한 것으로 보고되어 이러한 문제로 산림의 전용이 전 지역에서 발생한 것으로 판단된다(Kim et al., 2015).

핫스팟분석을 통하여 4개 지역의 분류항목별 산림변화의 특성을 분석한 결과, 황폐지와 농지 및 초지로의 변화는 개성과 고성에서는 임연부에서 많이 발생하는 반면, 평

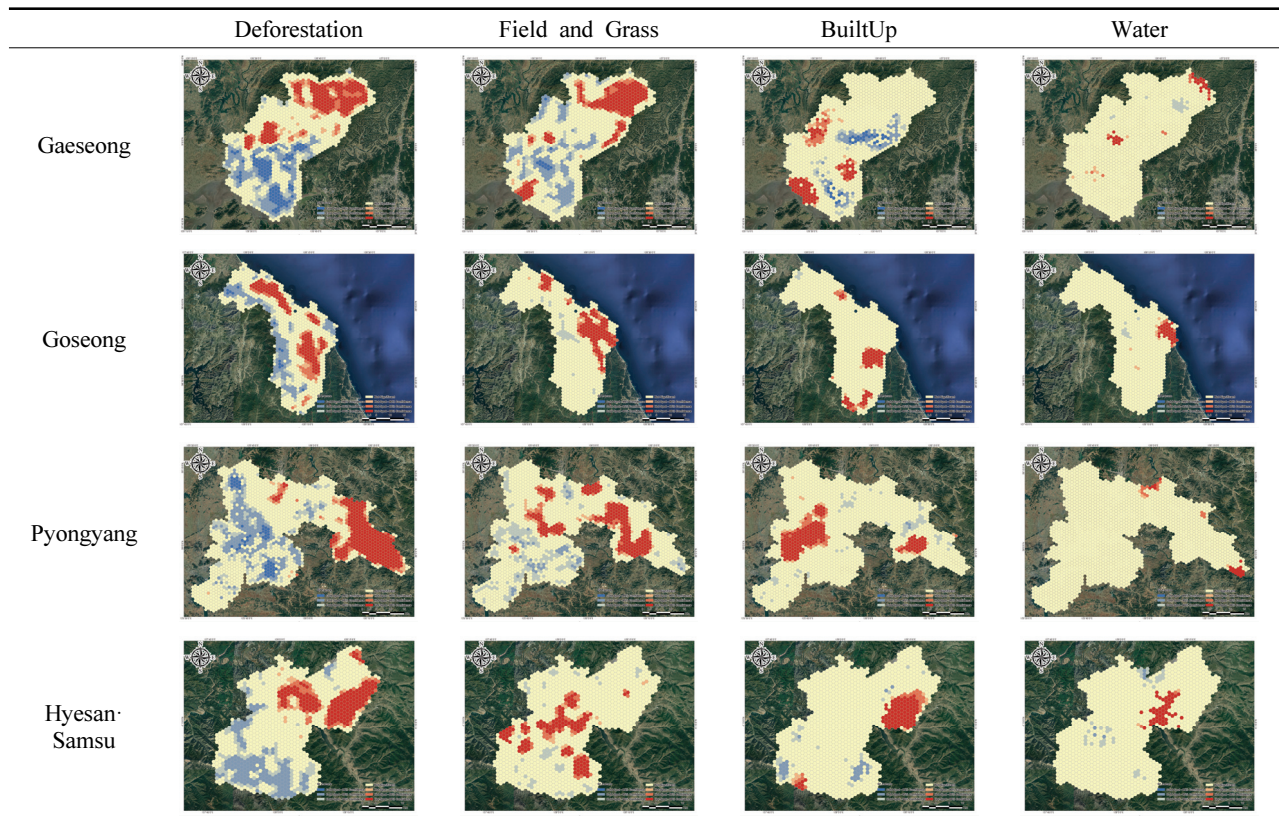


Figure 5. Hotspot distribution maps of forest land cover change(1999~2008).

양은 도심 외곽지역에서 발생하고 있으며, 해안·삼수 지역은 과도한 목재생산으로 인하여 전 지역에서 발생하고 있어 지역별 특성이 다르게 분석되었다.

2) 2008년부터 2018년의 산림면적 변화의 공간패턴 개성은 산림에서 황폐지와 농지 및 초지로의 변화에 대하여 1999년부터 2008년까지는 경계부에서 핫스팟이 형성되었으며, 2008년부터 2018년까지는 이러한 경계부 핫스팟이 더욱 심화하여 장풍군 지역에서 핫스팟이 집중적으로 발생하였다. 산림의 내부지역은 접근성이 용이하지 못하여 산림이 일부 회복되는 모습을 보이고 있지만, 경계부 지역은 지속적으로 황폐해져 전용지역이 집중적으로 나타나고 있다. 또한 콜드스팟의 범위가 1999년부터 2008년까지 보다 넓어져 2008년부터 2018년까지 산림의 전용이 소규모로 산개하여 지속적으로 발생하고 있다고 판단된다. 주거지로의 변화는 개성시를 중심으로 산림과의 경계부에서 핫스팟이 형성되었다(Figure 6).

고성은 황폐지로의 변화가 1999년부터 2008년까지 보다 핫스팟의 규모가 작아지고, 임연부에서 국지적으로 형성되어 황폐지로의 변화는 둔화하고 있다고 판단된다. 농지 및 초지로의 변화는 다소 감소하였으나, 통천군과 경계

인 북쪽 지역 강가를 중심으로 농지가 발달하면서 핫스팟이 증가하였다. 주거지로의 변화는 장전읍을 중심으로 해안가 마을의 발달과 함께 핫스팟이 확산되었다. 고성은 금강산 지역의 산림지역은 전용이 둔화하였으나, 해안가 마을이 발달하면서 농지와 주거지로 의한 핫스팟이 증가하고 있다(Figure 6).

평양은 황폐지로의 변화가 강동군 지역 대부분이 핫스팟으로 표시되어 이 지역의 산림전용이 심각한 것으로 판단된다. 또한 도심지역의 콜드스팟의 면적도 확장되어 평양은 도심지역의 원림화 사업이 진행되고 있으나, 산림에서 소규모 전용지가 지속적으로 증가하는 것으로 판단된다. 농지 및 초지로의 핫스팟도 강동군 지역에서 집중적으로 형성되어 강동군의 산림전용이 심각한 것으로 판단된다. 주거지로의 핫스팟은 도심지역에서 집중적으로 발생하고 있으며, 1999년부터 2008년보다 Z-score가 평균 4.6으로 높고 면적도 확산되고 있다(Figure 6). 강동군 지역은 google earth 영상을 통하여 관찰할 결과, 채석장 형태의 노지 탄광이 있는 것으로 확인되며, 이러한 이유로 황폐지가 집중적으로 증가한 것으로 판단된다.

해산·삼수는 황폐지와 농지 및 초지로의 핫스팟이 삼수군 남부지역을 중심으로 발생하여 산림의 전용이 확산되

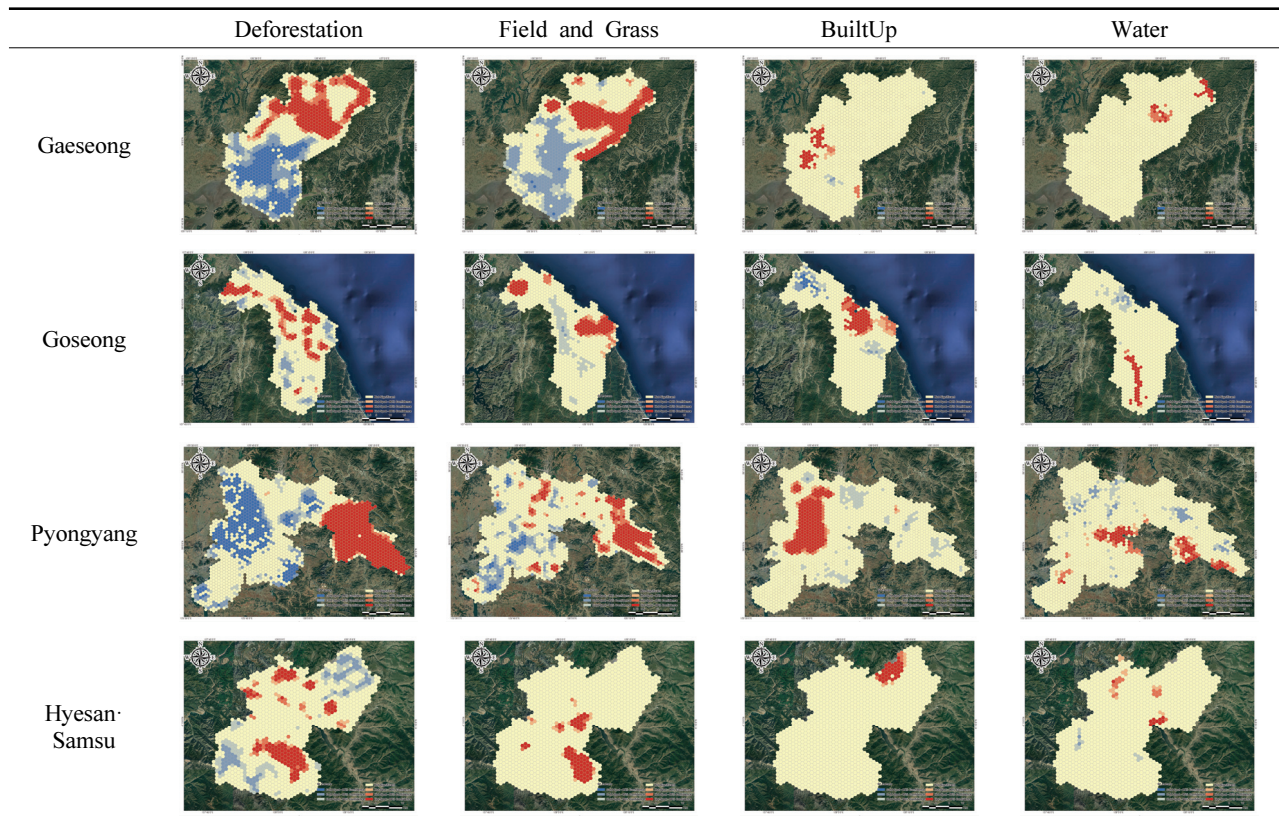


Figure 6. Hotspot distribution maps of forest land cover change(1999~2008).

고 있는 것으로 판단된다. 산림의 면적변화에 있어 북한의 산림복구 전투사업으로 인하여 혜산시에서 회복되고 있으나, 핫스팟 분석을 통하여 전용지역이 확장되고 있는 것을 확인할 수 있었다. 주거지로의 변화 핫스팟은 혜산시의 중국과 인접한 도시를 중심으로 Z-score 값이 평균 10.0으로 매우 높아 이 지역의 도시 발달이 산림전용의 원인으로 판단된다(Figure 6).

핫스팟분석을 통하여 2008년부터 2018년까지의 4개 지역의 분류항목별 산림변화의 특성을 분석한 결과, 개성과 평양은 산림의 전용이 발생한 지역에 대해서 확장과 집중되는 형태를 볼 수 있었다. 고성은 금강산 지역과 마을 인근 지역의 차이점이 명확해지고 있으며, 혜산·삼수 지역은 일부 산림이 회복되고 있으나 여전히 전용 발생이 많은 것으로 분석되었다.

결론

본 연구는 북한 주요 지역을 대상으로 국립산림과학원의 산림황폐지 모니터링 자료를 활용하여 산림 변화지의 공간적인 특성과 패턴을 파악하는 것을 목적으로 하였다. 기존 연구는 북한의 모니터링 자료를 통하여 토지피복의

항목별 양적인 변화만 파악할 수 있었으나, 본 연구를 통하여 산림면적의 공간적인 변화를 파악할 수 있었으며, 핫스팟 분석을 이용하여 산림변화지에 대한 인접지역과의 관계를 통하여 지도로 확인가능하였다.

북한 주요 지역의 산림면적은 1999년부터 2018년까지 황폐지 또는 농지, 초지로 지속적으로 변화가 발생하였으며, 2008년부터 2018년까지 변화폭이 감소하였다. 교차분석을 통한 공간적 변화와 핫스팟 분석을 통하여 세분화된 산림의 변화를 보면, 임연부 지역의 황폐지는 더 집중적으로 발생하거나 확산하고 있는 것을 파악할 수 있었으며, 이러한 변화가 인간의 개발 또는 경제적 활동과 연관성이 높다는 것을 파악할 수 있었다. 특히, 평양시는 이러한 변화지의 발생이 시중심부와 외곽지역의 차이가 지속적으로 발생하고 있었으며, 혜산·삼수 지역은 혜산시 지역에서 산림이 회복되고 있으나 삼수군 지역으로 별채지가 옮겨지고 있는 것을 파악할 수 있었다. 한편, 황폐지, 농지 및 초지에서 산림으로 회복되는 면적도 파악할 수 있었으며, 이러한 지역이 산림 객체의 내부 접근이 어려운 지역이라는 것을 알 수 있었다.

본 연구를 통하여 북한 산림 변화지의 특성이 지역별 또는 사회적 요인에 따라 변화 원인이 다양하다는 것을

알 수 있었다. 핫스팟 분석은 산림의 변화지의 집중도를 지도로 파악할 수 있어 해석이 쉽고 빠른 경향 파악에 도움이 된다. 향후 북한의 인문·사회학적 통계자료가 구축되면 변화 요인에 대한 수치적 해석에 대한 분석 방법이 필요한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 산림청(한국임업진흥원) 산림과학기술 연구개발사업(2021367B10-2323-BD01)의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

References

- Anselin, L. and Bera, A.K. 1998. Spatial dependence in linear regression models with an introduction to spatial econometrics. *Statistics Textbooks and Monographs* 155: 237-290.
- Birch, C.P., Oom, S.P. and Beecham, J.A. 2007. Rectangular and hexagonal grids used for observation, experiment and simulation in ecology. *Ecological modelling*, 206(3-4): 347-359.
- Chae, G.S. and Kim, H.S. 2011. A study on introducing proper acreage for farmland preservation. *Journal of Rural Development* 2011: 1-146.
- FRA (Forest Resources Assessment). 2020. *Global Forest Resources Assessment 2020*. Rome. pp. 137.
- Hwang, J.H., Jang, R.I. and Jeon, S.W. 2018. Analysis of spatial information characteristics for establishing land use, land-use change and forestry matrix. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 21(2): 44-55.
- Hong, S.Y., Min, B.K., Lee, J.M., Kim, Y. and Lee, K. 2012. Estimation of paddy field area in North Korea using RapidEye images. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 45(6): 1194-1202.
- Hong, S.Y., Rim, S.K., Lee, S.H., Lee, J.C. and Kim, Y.H. 2008. Spatial analysis of agro-environment of north korea using remote sensing i. landcover classification from landsat TM imagery and topography analysis in North Korea. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 27(2): 120-132.
- Jang, M.H. 2016. Analysis on the characteristics of urban decline using GIS and spatial statistical method: the case of Gwangju metropolitan city. *Journal of the Korean association of regional geographers* 22(2): 424-438.
- Jeong, K.S., Moon, T.H. and Jeong, J.H. 2010. Hotspot analysis of urban crime using space-time scan statistics. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 13(3): 14-28.
- KEI (Korea Environment Institute). 2020. *Land Cover Status and Mapping Based on Satellite Images of Major Areas in North Korea*. Sejong. Korea Environment Institute.
- KFS (Korea Forest Service). 2019. North Korea's forest research contributes to inter-Korean forest cooperation. <https://www.korea.kr/briefing/pressReleaseView.do?newsId=156347415>. (2023.05.07.)
- KFS (Korea Forest Service). 2023. https://www.forest.go.kr/kfswweb/kfi/kfs/cms/cmsView.do?mn=NKFS_04_05_08&cmsId=FC_000344. (2023. 05. 07.)
- Kim, E.K. 2007. Current issues and policy improvements of agricultural land regulation: Focus on the designation system of the Agriculture Promotion Area. *Journal of Regulation Studies* 16(1): 193-220.
- Kim, S.J. and Lee, Y.J. 2007. The effect of spatial scale and resolution in the prediction of future land use using CA-Markov technique. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 10(2): 58-70.
- Kim, K.M., Yu, J.S., Kim, C.M., Moon, K.S., Kim, E.S. and Kim, S.R. 2015. A classification map of deforested areas in North Korea's continuous monitoring area. *National Institute of Forest Science, Newsletter* 15-07. Seoul, Korea 1-14.
- Kim, B.K., Hwang, D.H., Bak, S.H., Kim, H.M., Cho, H.G., Chung, Y.H. and Yoon, H.J. 2018. Hotspot analysis on the red tide occurrence in the South Sea of Korea using GIS. *Journal of the Korean Ecological Engineering Society* 6(2): 51-55.
- Kwon, S.K., Kim, E.H., Lim, J.B. and Yang, A.R. 2021. The analysis of changes in forest status and deforestation of North Korea's DMZ Using RapidEye Satellite Imagery and Google Earth. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 24(4): 113-126.
- Lee, G.C. 2020. Institutional management system of world heritage 'historic monuments and sites in Kaesong' in North Korea. *Journal of the Architectural Institute of Korea* 36(6): 87-96.
- Lee, J.H., Kim, S.I., Han, K.S. and Lee, Y.W. 2011. Hotspot detection for land cover changes using spatial statistical methods. *Korean Journal of Remote Sensing* 27(5): 601-611.
- Lee, S.B. 2011. *North Korea's diplomatic network during the arduous march period, 1996-2000*. Changwon. University of North Korean Studies.
- Lim, J.H. 2011. North Korea's social control and defores-

- tation. *Discourse and Policy in Social Science* 4(1): 77-102.
- Oh, S.U. 2022. The study on North Korea's national Strategy on ecological environment during the kim jong-un era. Seoul. Dongguk Univertisy.
- Oh, S.U. and Kim, E.H. 2020. nalysis of cooperation in the forestry and environmental fields during the German unification process - focusing on East German (Germany) policy documents. *Journal of North Korean Studies* 24(1): 239-261.
- Oh, S.U. and Kim, E.H. 2021. Analysis of Forest Restoration Achievements and Patterns since Kim Jong Un Era. *North Korean Studies Review* 25(2): 79-107.
- Ord, J.K. and Getis, A. 1995. Local spatial autocorrelation statistics: distributional issues and an application. *Geographical analysis* 27(4): 286-306.
- Park, H.J. 2020. The connection space of the city-countryside in North Korea and the classes that are created. *Culture and Politics* 7(3): 211-241.
- Shin, Y.U. 2018. Current Pomiculture Status in North Korea and Suitable Cooperation Proposals. *Journal of Northern Agriculture Research* 41(1): 54-67.
- Son, H.G., Choi, J.Y. and Seok, H.D. 2016. A study on basic directions for management of mountainous areas in North Korea After Unification. Naju. Korea Rural Economic Institute.

Manuscript Received : May 10, 2023
First Revision : October 4, 2023
Second Revision : November 3, 2023
Third Revision : November 18, 2023
Accepted : November 20, 2023