

생태자연도 등급 하락에 영향을 미치는 인위적 토지피복 변화 분석*

최철현¹⁾ · 임치홍¹⁾ · 이성제²⁾ · 서현진¹⁾

¹⁾ 국립생태원 전임연구원 · ²⁾ 국립생태원 선임연구원

The Impact of Anthropogenic Land Cover Change on Degradation of Grade in Ecology and Nature Map*

Choi, Chul-Hyun¹⁾ · Lim, Chi-Hong¹⁾ · Lee, Sung-Je²⁾ and Seo, Hyun-Jin¹⁾

¹⁾ National Institute of Ecology, Associate Researcher,

²⁾ National Institute of Ecology, Senior Researcher.

ABSTRACT

The first grade zones in Ecology and Nature Map are important regions for the conservation of the ecosystem, but it would be degraded by various anthropogenic factors. This study analyzes the relationship between potential land cover change and degradation of the first grade zones using land cover transition probability. As a result, it was shown that most of the first grade zones with degraded were converted from forest to urban(5.1%), cropland(27.2%), barren(11.0%) and grass(27.5%) in Gangwon and forest to urban(18.0%), cropland(15.3%), grass(28.4%), barren(12.3%) in Gyeonggi. The result of the logistic regression analysis showed that the probability of degradation of first grade zone was higher in area where was expected the higher probability of urban, cropland, barren, grass transition. The barren transition probability was the most influential and grass was the next highest. There were regional differences in the probability of urban transition and cropland transition, and the urban transition probability was more influential in Gyeonggi-do. This is because development pressure such as housing site development is high in Gyeonggi-do. Due to the limitations of the Act on Mountain Districts

* 본 논문은 환경부의 재원으로 국립생태원의 지원을 받아 수행하였으며(NIE-기반연구-2019-07), 한국환경과학회 추계 학술대회(2019.11.7.)에서 발표한 논문을 수정·보완한 연구입니다.

First author : Choi, Chul-Hyun, Division of Ecological Survey Research, National Institute of Ecology, Associate Researcher, Tel : +82-41-950-5676, E-mail : kenix0@nie.re.kr

Corresponding author : Seo, Hyun-Jin, Division of Ecosystem Assessment, National Institute of Ecology, Senior Researcher, 1210, Geumgang-ro, Maseo-myeon, Seocheon-gun, 33657, Korea, Tel : +82-41-950-5476, E-mail : hjseo8427@nie.re.kr

Received : 30 October, 2019. **Revised** : 4 December, 2019. **Accepted** : 3 December, 2019.

Management, even in the first grade zones, the grade may be degraded. Therefore, if Ecology and Nature Map are used to prevent deforestation or conversion of mountainous districts, it may contribute to the preservation of the ecosystem.

Key Words : Transition Probabilities, Logistic Regression, Ecosystem, Markov Chain, Forest

I. 서 론

생태자연도는 점차 멸종되어 가는 생물과 자연적·생태적·경관적으로 우수한 생태계를 보호하기 위한 법적 보호제도 중 하나로서 전국자연환경조사, 멸종위기 야생생물 전국분포조사, 전국내륙습지조사 등 생태·생물 관련 각 분야 전문가들의 조사결과를 바탕으로 생태적 보전가치를 평가한 자료이다(NIE, 2018). 생태자연도는 전국을 1, 2, 3등급 및 별도관리지역으로 구분하고 있으며, 이러한 등급에 따라 보전가치를 파악할 수 있기 때문에 자연환경의 효율적 관리에 있어 반드시 필요한 자료이다. 그 내용을 보면, 1등급 권역은 자연환경의 보전 및 복원이 필요한 지역, 2등급은 자연환경의 보전 및 개발·이용에 따른 훼손의 최소화, 3등급은 체계적인 개발 및 이용이 가능한 지역으로 정의되어 있다(자연환경보전법 시행령 제28조). 별도관리지역은 다른 법령에서 지정된 주요 보호지역으로 산림보호구역, 자연공원, 천연기념물로 지정된 구역, 야생생물 보호구역 등이 포함된다(자연환경보전법 시행령 제25조). 이러한 특성으로 인해 생태자연도는 현재 국가 및 지자체의 환경보전 계획이나 환경영향평가 대상사업 수행 시 고려해야 할 기초자료로 활용되고 있으며, 특히 1등급 권역은 각종 개발에 대해서 서식지의 훼손이 우려되는 지역을 규제할 수 있는 방안으로서 효율성이 높다(NIE, 2018).

생태자연도의 등급 변경은 전국자연환경조사 결과를 반영하여 이루어지는 개정고시와 관·민원에서 제기된 이의신청에 의한 현지조사 결과

를 바탕으로 한 수시고시를 통해 이루어진다. Ahn et al.(2015)에 의하면 생태자연도가 최초 고시된 2007년 이후 2013년까지 총 182건의 관·민원 등급 수정·보완 신청이 접수되었으며, 그 결과, 약 98%가 등급이 변경된 것으로 나타났다. 이 중 보전가치가 높은 생태자연도 1등급 권역 하락의 주요 원인에는 멸종위기종의 감소, 개발지 및 훼손지 발생, 지형보전등급 변경 등으로 확인되었다(Jung et al., 2017). 특히, 문제가 되는 것은 인위적 요인에 의해 3등급으로 변경된 경우이며, 이러한 경우 개발에 취약해지기 때문에 서식지의 훼손으로 인한 생물다양성의 감소 등 생태계에 악영향을 미칠 수 있다. Jung et al.(2017)의 연구에 의하면 등급 하락 비율이 높은 지역은 주로 개발지와 가깝거나 경사가 완만한 저지대인 것으로 확인되었다. 이를 통해 생태자연도 등급의 하락은 개발압력이 높은 인위적 요인에 의해 주로 나타난다는 것을 알 수 있다.

보전가치가 높은 1등급 권역 중 개발압력이 높은 지역은 상대적으로 등급 하락의 가능성이 크기 때문에 이에 대한 인위적 영향요인을 파악할 필요가 있다. 토지피복의 시계열적 변화는 환경적, 물리적, 사회·경제적 변수 등 다양한 인위적 요인들이 복합적으로 작용하여 공간상에 투영된 최종적인 결과로서 생물의 주요 서식지인 산림이 개발지 또는 농경지나 나지 등 어떠한 형태로 변화되었는지 확인할 수 있는 가장 기본적인 자료이다(Lee et al., 2010; Sangermano and Eastman, 2010; Lee et al., 2011; Sang et al., 2011; Seo and Jun, 2017). 따라서 현재 어떠한 경향으로 토지피복 변화가 발생하였고 이러

한 변화가 생태자연도 등급 하락에 얼마나 영향을 미치는지 파악할 수 있다면 인위적 영향요인을 쉽게 확인할 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 토지피복 변화를 바탕으로 도출된 전이확률과 경사도를 활용하여 생태자연도 등급 하락의 인위적 영향요인을 분석해 보고자 하였다. 전이확률이란 각 토지피복 유형별 전환 가능성을 의미하며, 3등급으로 하락된 지역에 대해 토지피복 변화 면적을 비교하고 여기서 변화가 큰 토지피복 클래스를 전이확률 변수로서 고려하였다. 이러한 잠재적 토지피복 전이확률은 Markov chain 모형을 통해 도출하였다. 또한 경사도는 환경영향평가 등에서 중요한 개발행위 허가기준이며, 인위적 토지피복 변화의 제한요인이 될 수 있기 때문에 추가적으로 고려하였다. 연구지역은 생태자연도 1등급 권역이 3등급으로 하락된 곳을 확인하여 등급 하락 면적이 넓은 경기도 및 강원도를 선정하였다. 각 토지피복 클래스별 전이확률이 등급 하락에 미

치는 영향력을 정량적으로 분석하기 위해 로지스틱 모형을 사용하였다. 이러한 결과를 바탕으로 잠재적 토지피복 변화가 생태자연도의 등급 하락에 미치는 영향력 및 등급 하락의 원인과 이에 대한 대응방안에 대해 모색해 보고자 한다.

II. 자료 및 방법

1. 생태자연도 현황 및 연구지역 선정

생태자연도가 최초로 고시된 시기는 2007년 4월이며, 이후 현재까지 3차례의 개정고시(안) 국민열람(2012년, 2016년, 2017년) 및 6회의 개정고시(2013.1, 2015.4, 2016.9, 2017.2, 2017.11, 2018.6)가 이루어졌다. 최초 고시된 2007년 생태자연도를 대상으로 분석해본 결과, 1등급 권역의 총 면적은 7,310.1km²로 전국 면적 대비 7.4%인 것으로 분석되었다. 기존 1등급 권역 중 2018년도에도 1등급인 면적은 5,901.6km²로 80.7%는 1등급을 유지하고 있는 것으로 분석되

Table 1. Area and ratio by grade in 2018 Ecology and Nature Map after changing the first grade zones in the 2007 Ecology and Nature Map.

Province	Grade 1		Grade 2		Grade 3		Separately Managed Zones	
	Area (km ²)	Ratio (%)	Area (km ²)	Ratio (%)	Area (km ²)	Ratio (%)	Area (km ²)	Ratio (%)
Gangwon	3,296.0	55.8	251.8	33.1	95.4	50.9	265.8	57.8
Gyeonggi	397.2	6.7	138.0	18.1	22.4	12.0	26.4	5.7
Gyeongsangnam-do	179.0	3.0	45.2	5.9	5.7	3.0	11.9	2.6
Gyeongsangbuk-do	1,046.3	17.7	112.5	14.8	20.2	10.8	105.2	22.9
Gwangju	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Daegu	27.2	0.5	0.2	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0
Daejeon	14.5	0.2	0.2	0.0	0.3	0.2	0.2	0.0
Busan	3.0	0.1	3.6	0.5	0.7	0.4	0.0	0.0
Seoul	0.8	0.0	6.4	0.8	0.5	0.3	0.0	0.0
Sejong	8.0	0.1	1.7	0.2	0.4	0.2	0.0	0.0
Ulsan	46.0	0.8	6.3	0.8	0.9	0.5	9.3	2.0
Incheon	5.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0
Jeollanam-do	167.0	2.8	52.8	6.9	4.9	2.6	7.9	1.7
Jeollabuk-do	203.0	3.4	86.2	11.3	6.6	3.5	8.7	1.9
Jeju	90.1	1.5	13.4	1.8	0.5	0.3	3.5	0.8
Chungcheongnam-do	165.2	2.8	31.9	4.2	21.6	11.5	5.2	1.1
Chungcheongbuk-do	251.0	4.3	11.1	1.5	7.1	3.8	15.4	3.3
Total	5,901.6	100.0	761.4	100.0	187.3	100.0	459.8	100.0

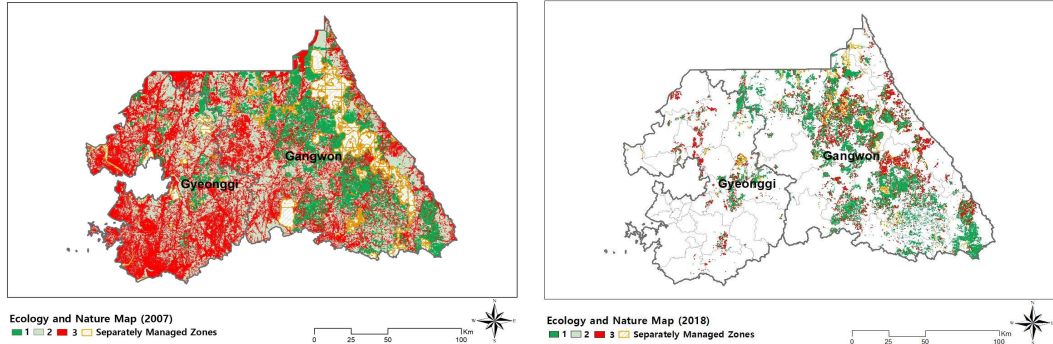


Figure 1. 2007 Ecology and Nature Map (left), 2018 Ecology and Nature Map show only regions with first grade zones in 2007 (right).

였으며, 타 보호법으로 관리되는 별도관리지역으로 변경된 지역은 459.8km²(6.3%)인 것으로 나타났다. 반면, 2등급 및 3등급으로 하락된 지역은 각각 761.4km²(10.4%), 187.3km²(2.6%)로 13%는 등급이 하락된 것으로 분석되었다. 특히 3등급으로 변경된 면적이 가장 많은 지역은 강원도(95.4km²)였으며, 다음으로 경기도(22.4km²), 충청남도(21.6km²), 경상북도(20.2km²) 순으로 나타났다(Table 1).

본 연구에서는 1등급 권역에서 개발 및 이용이 가능한 3등급 권역으로 변화된 지역의 면적이 가장 많은 강원도 및 경기도를 대상으로 토지피복 변화 및 토지피복 전이확률이 생태자연도 등급 유지 및 하락에 미치는 영향력을 분석해 보고자 하였다(Figure 1).

2. 토지피복 변화 분석

토지피복 변화는 인위적 활동에 기인하여 공간상에 직접적으로 나타나는 대표적인 현상이라 할 수 있으며, 이에 본 연구에서는 등급이 하락된 지역을 대상으로 토지피복 변화 분석을 수행하였다. 일반적으로 토지피복 변화탐지와 관련된 연구에서는 위성영상의 시기별 차이를 도출하여 변화여부를 탐지하는 방법이 사용된다(Singh, 1989; MAS, 1999; Jin et al., 2013). 국내의 경우 환경부에서 각종 환경정책 수립 및

국토의 변화상을 파악하기 위해 고해상도 영상을 활용하여 전국을 대상으로 토지피복지도를 구축하였다(Oh et al., 2016). 이는 위성영상, 항공정사영상, 기 구축된 공간자료 등을 활용하여 토지피복 속성을 분류한 지도로서, 본 연구에서는 토지피복 변화를 파악하기 위해 이 자료를 활용하였다.

토지피복지도는 각 토지피복 클래스별 속성을 가지고 있으며, 두 시기의 자료를 분석하면 산림에서 시가지지역으로의 전환, 농경지에서 나지로의 전환 등과 같은 결과를 도출할 수 있다. 본 연구에서는 과거와 현재의 생태자연도에 반영된 조사시기와 가장 가까운 시기에 제작된 환경부 토지피복지도를 사용하였다. 최초 고시된 생태자연도의 경우 2005년 조사결과까지 반영되었기 때문에 해당시기와 가장 근접한 2007년 중분류 토지피복지도를 사용하였으며, 최근 고시된 생태자연도는 2013년까지의 조사결과가 반영된 3차전국자연환경조사 자료가 대부분 사용되어 2013년 중분류 토지피복지도를 사용하였다. 환경부 토지피복지도의 경우 대분류 속성은 영상자료를 통해 구분하나 중분류 및 세분류 속성은 임상도나 KLIS 용도지역지구도와 같은 보조자료를 참고하여 분류하기 때문에 토지이용적 측면이 반영되어 있다(Oh et al., 2016). 본 연구에서는 이러한 이용적 측면이 아닌 피복변

화를 분석해보고자 하였으며, 이를 위해 중분류 자료를 7개의 대분류 항목으로 병합한 후 변화 여부를 파악하였다.

3. Markov 토지피복 전이확률

일반적으로 토지피복 전이확률은 미래의 토지피복 예측에 활용되는 모형에서 계산되며, 이러한 모형은 CA-Markov(Sang et al., 2011; Seo and Jun, 2017), Dyna-CLUE(Lee et al., 2011), 인공지능경망(Li and Yeh, 2002), 유전자알고리즘(Li et al., 2013), 의사결정나무(Li and Yeh, 2004), SimWeight(Sangermano and Eastman, 2010) 등 수학적 확률계산부터 기계학습 기반의 모형에 이르기까지 다양한 분야에서 개발되어 활용되고 있다. 대부분의 모형은 미래의 토지피복 변화를 정확히 예측하기 위해 이와 관련된 다양한 물리적, 사회·경제적 변수들을 요구하며, 모형에 따라 주변의 특성 및 공간적 인접성에 따른 영향을 고려할 수 있다. 그러나 본 연구에서는 미래의 토지피복 예측이 아닌 실제로 나타난 두 시기의 토지피복 변화 경향을 생태자연도 등급 유지 및 하락에 영향을 미치는 변수로서 고려하고자 하였으며, 이러한 경향을 잘 반영하는 장점이 있는 Markov chain 모형을 분석에 활용하였다(Lee and Kim, 2007).

Markov chain 모형은 어떠한 변수가 갖는 바로 이전 과거의 특성을 통해 앞으로 나타날 수 있는 변화를 연속적으로 예측하기 위한 수학적 기법이다(Kim and Lee, 2007). 이는 현재의 피복변화 패턴이 미래에도 지속된다는 것을 전제로 두 시기의 토지피복지도를 분석하여 각 셀의 토지피복이 이전의 상태에 따라 다음 시기에 어떠한 토지피복으로 전환될 것인지에 대한 Markov 전이확률을 Eq. 1과 같이 계산한다(Park and Kim, 2007a; Araya and Cabral, 2010; Sang et al., 2011; Subedi et al., 2013; El-Hallaq and Habboub, 2015).

$$L_{(t+1)} = P_{ij} \times L_{(t)}$$

$$(Eq. 1)$$

$$P_{ij} = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1m} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ P_{m1} & P_{m2} & \dots & P_{mm} \end{pmatrix}$$

$$0 \leq P_{ij} \leq 1 \quad \text{and}$$

$$\sum_{i=1}^m P_{ij} = 1 \quad (i, j = 1, 2, \dots, m)$$

$L_{(t+1)}$: t+1 시간에서 토지피복

P_{ij} : Markov 전이확률

$L_{(t)}$: t 시간에서 토지피복

Markov 기법은 시스템의 현재 상태가 이전 단계의 상태에 의해서만 영향을 받고 그 이전의 상태에 의해서는 전혀 영향을 받지 않는 Markov chain이라는 확률과정을 가정한다(Kim and Lee, 2007). 따라서 이전과 현재의 토지피복 변화를 통해 변화확률을 도출할 수 있고 이를 통해 복잡한 도시의 토지피복 변화에 대해 피복별 변화 경향을 쉽게 파악할 수 있다. 이는 곧 잠재적인 변화확률을 의미하기 때문에 미래의 토지피복 예측에도 활용할 수 있다(Weng, 2002; Seo and Jun, 2017).

앞서 설명한 바와 같이 Markov 전이확률을 계산하기 위해서는 두 시기의 토지피복지도가 필요하며, 2007년, 2013년 중분류 토지피복지도를 7개의 대분류 항목으로 병합한 자료를 래스터로 변환하여 사용하였다. 전이확률 분석은 IDRISI Terrset(Eastman, 2012)를 사용하였으며, 토지피복지도의 시기 차이는 6년, Null 값은 변화가 없도록 background cell option을 0으로 설정하여 분석을 수행하였다(Eastman, 2016).

4. 생태자연도 등급 하락의 인위적 영향요인 분석

생태자연도 등급의 하락은 유지된 지역과 대비하여 어떠한 인위적 요인에 의해 영향을 받는 지 모형을 통해 분석해 보고자 하였다. 이에 모형의 종속변수는 생태자연도 등급의 유지 및 하

락으로 설정하였으며, 특히 자연환경의 보전이 필요한 1등급 권역의 유지 및 하락에 초점을 맞추었다. 다만, 2등급으로 하락된 경우는 멸종위기종의 수가 감소하거나 서식지의 식생 또는 지형보전등급이 감소하는 등 자연적 요인이 작용할 수 있기 때문에 배제하였다. 생태자연도 등급 유지 및 하락지역은 벡터 형태인 생태자연도를 래스터로 전환한 후, 2007년 기준 생태자연도 1등급 권역에서 현재 등급이 유지된 픽셀을 0, 3등급으로 하락된 픽셀을 1로 설정한 이분형 자료로 제작하였다. 자료의 탐색적 분석결과, 대부분 등급이 유지된 지역이 많아 종속변수의 불균형성이 존재하기 때문에 유지된 지역(0)에 대해서는 계통추출법(systematic sampling)을 통해 하락된 픽셀의 개수만큼 추출하였다. 단, 개발이 불가능할 경우 인위적인 생태자연도 등급 하락도 거의 없을 것이라 가정하고 토지의 적성평가에 관한 지침 상 개발이 불가능한 경사도 20° 이상인 지역(국토교통부 훈령 제1130호), 별도관리지역, 개발제한구역은 분석에서 제외하였다.

생태자연도 등급의 유지 및 하락에 영향을 주는 독립변수는 토지피복 전이확률 및 경사도 변수를 사용하였다. 토지피복 전이확률 변수의 경

우 토지피복 변화 분석에서 변화 비율이 높은 클래스를 우선적으로 선정하였다. 경사도의 경우 각종 개발행위에 대한 허가기준으로 사용되며, 경사도에 따라 등급의 하락 비율이 다르게 나타난다는 선행연구(Jung et al., 2017) 결과를 고려하여 추가적으로 선정하였다. 경사도 자료는 약 30m 해상도의 SRTM DEM(1-arcsecond)을 경사도로 변환하여 구축하였으며, DEM 자료는 USGS(United States Geological Survey)의 Earth Explorer에서 제공받았다.

모형의 종속변수가 이분형이므로 로지스틱 회귀모형을 사용하였으며, R(R Core Team, 2018)을 이용하여 분석을 수행하였다. 모든 변수는 래스터 형태로 제작되었으며, 경사도 자료의 공간 해상도가 30m임을 감안하여 ArcGIS 10.5(ESRI, 2011)를 사용하여 동일한 해상도로 일치시켰다.

III. 결과 및 고찰

1. 등급 하락지역의 토지피복 변화

기존 1등급에서 3등급으로 변경된 지역의 면적이 가장 많은 강원도 및 경기도를 대상으로 1→3등급 지역에서 토지피복 클래스별 변화 비

Table 2. Change rate of land cover class in the area where the grade is changed from 1 to 3 (excluding the area maintained in the same class of the total area).

		2013						
		Urban	Cropland	Forest	Grass	Wetland	Barren	Water
2007	Urban	-	0.8	1.0	0.3	0.2	0.4	0.1
	Cropland	1.2	-	5.4	2.5	0.7	1.3	0.2
	Forest	5.1	27.2	-	27.5	6.0	11.0	1.0
	Grass	0.2	0.8	2.0	-	0.1	0.4	0.1
	Wetland	0.1	0.1	0.1	0.0	-	0.2	0.2
	Barren	0.6	0.3	0.5	0.7	0.1	-	0.3
	Water	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.5	-
Gyeonggi	Urban	-	1.5	2.6	1.2	0.0	0.2	0.1
	Cropland	3.6	-	3.9	2.9	0.0	0.9	0.4
	Forest	18.0	15.3	-	28.4	0.0	12.3	1.5
	Grass	0.6	0.7	1.6	-	0.1	0.4	0.0
	Wetland	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0
	Barren	0.9	0.3	0.8	1.1	0.0	-	0.4
	Water	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	-

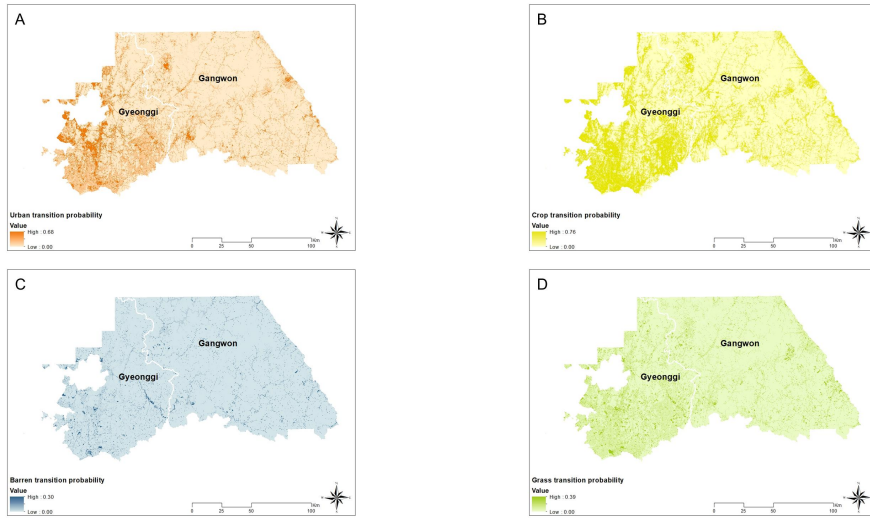


Figure 2. Distribution of Markov transition probability. A: Urban, B: Cropland, C: Barren, D: Grass

을 분석하였다(Table 2). 그 결과, 강원도의 경우 산림에서 농경지, 초지, 나지로 변경된 비율이 각각 27.2%, 27.5%, 11.0%로 분석되었으며, 나머지 피복변화는 모두 6% 이하로 나타났다. 경기도의 경우 산림에서 초지, 시가지지역, 농경지, 나지로 변경된 비율은 각각 28.4%, 18.0%, 15.3%, 12.3%였으며, 나머지는 모두 4% 이하인 것으로 분석되었다. 생태자연도는 식생, 멸종위기야생생물, 습지, 지형 등 4개 분야의 평가항목을 종합한 결과지만 1등급 권역의 대부분은 식생이 가장 많은 비율을 차지하고 있다(Ahn et al., 2015). 토지피복 변화 분석결과, 산림에서 다른 토지피복으로의 큰 변화가 나타났으며, 이를 통해 식생의 훼손이 생태자연도 등급 하락의 주요 원인이라는 것을 알 수 있다. 생태자연도가 3등급으로 하락된 지역 중 시가화, 농경지, 나지, 초지로 변화된 비율이 대부분을 차지하기 때문에 해당 클래스의 전이확률을 모형에 적용하였다. 모형에 적용할 해당 클래스별 전이확률을 도출한 결과는 Figure 2와 같다.

2. 로지스틱 회귀모형 분석 결과

시가화, 농경지, 나지, 초지 전이확률 및 경사도

를 독립변수, 생태자연도 등급 유지 및 하락 여부를 종속변수로 하여 이분형 로지스틱 모형 분석을 수행하였다(Table 3). 지역별로 구분하여 분석을 실시한 결과, 로지스틱 모형의 설명력을 의미하는 Nagelkerke R^2 는 강원도 0.48, 경기도 0.47로 분석되었으며, 모형에 사용된 모든 독립변수는 wald-test 결과 모두 유의한 것으로 나타났다.

강원도와 경기도 모두 경사도 변수의 승산비(odds ratio)는 0.97로 1보다 작은 것으로 분석되었다. 승산비가 1보다 작으면 등급이 하락될 확률이 감소한다는 것을 의미하며, 경사도가 1도 증가할 때 생태자연도 등급이 하락될 확률이 3% 감소한다고 해석할 수 있다. 이는 경사도가 완만할수록 등급이 하락되는 비율이 높다고 보고한 Jung et al.(2017)의 연구와 일치하는 결과라 할 수 있다.

다른 변수들의 경우 승산비는 95% 신뢰구간을 포함하여 모두 1보다 높은 것으로 나타났다. 이는 시가화, 농경지, 나지, 초지 전이확률이 커질수록 생태자연도 등급이 하락될 확률 역시 높아진다는 것을 의미한다. 승산비의 크기를 통해 생태자연도 등급이 하락될 확률에 미치는 영향력을 비교해보면 두 지역 모두 나지 전이확률

Table 3. Result of logistic regression analysis.

Province	Variables	Estimate	Standard Error	Odds Ratio	95% CI	
					LL	UL
Gangwon	(Intercept)	-0.70***	0.02	-	-	-
	Slope	-0.03***	0.00	0.97	0.97	0.97
	Urban transition	4.50***	0.15	90.30	67.47	123.06
	Cropland transition	5.63***	0.07	279.29	242.02	323.73
	Barren transition	13.27***	0.41	578,534.90	264,244.20	1,295,952.00
	Grass transition	6.15***	0.12	467.31	370.91	591.24
	Nagelkerke R ²	0.48				
Gyeonggi	(Intercept)	-0.60***	0.06	-	-	-
	Slope	-0.03***	0.00	0.97	0.96	0.97
	Urban transition	5.52***	0.35	249.01	131.51	515.60
	Cropland transition	5.21***	0.30	183.20	105.17	344.37
	Barren transition	8.30***	1.26	4,006.08	416.60	60,287.85
	Grass transition	6.47***	0.30	642.88	357.17	1,180.65
	Nagelkerke R ²			0.47		

*: p<0.05, **: p<0.01, ***: p<0.001

CI: Confidence Interval, LL: Lower Limits, UL: Upper Limits

변수가 가장 큰 영향을 미치고 초지 전이확률이 두 번째로 높은 것으로 분석되었다. 도시가 외연적으로 확장될 경우 도시 주변부의 산림지역을 도시적 용도로 전환시킨다(Park and Kim, 2007b). 산림을 도시적 용도 또는 농업용지로 전환하기 위해서는 먼저 나지화 또는 초지화가 선행되어야 하며, 이러한 경우 생태자연도 등급의 조정 역시 불가피해진다. 따라서 나지 및 초지 전이확률이 높을 경우 생태자연도 등급의 하락 확률이 높은 것으로 판단된다.

시가화지역 전이확률의 경우 강원도보다 경기도가 높았으나 농경지 전이확률은 강원도가 높은 것으로 분석되었다. 두 지역에서 생태자연도 등급 하락에 대한 시가화지역 전이확률과 농경지 전이확률의 영향력이 다르게 나타난 결과는 산림의 훼손이나 전용 양상의 지역간 편차에 기인하는 것으로 판단된다. 임업통계연보의 최근(2019년) 산지 타용도 전용허가 현황을 살펴보면, 강원도의 경우 농업용 98ha, 택지 152ha인 반면, 경기도의 경우 농업용 63ha, 택지 473ha로

농업용 대비 택지로의 용도전환 비율이 경기도가 압도적으로 많은 것을 확인할 수 있다(KFS, 2019). 해당 자료를 근거로 해석해보면 경기도에서의 산림훼손은 주로 택지개발과 같은 개발지의 확장 등에 의해 발생하며, 이에 경기도의 개발압력이 강원도에 비해 높기 때문에 시가화지역 전이확률 변수가 더 큰 영향을 미친 것으로 판단된다.

IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 생태자연도 등급의 하락과 관련된 인위적 영향요인을 토지피복 전이확률을 통해 모델링하여 어떠한 요인이 등급의 하락에 가장 큰 영향을 미치는지 파악하였다. 분석된 결과를 토대로 등급의 하락에 대한 대응방안에 대해 요약하면 다음과 같다.

토지피복 변화 및 모형 분석을 통해 주로 산림에서 나지나 초지로 변화될 가능성이 높은 지역에서 생태자연도 등급이 하락될 확률이 높은

것으로 나타났다. 이러한 결과는 1등급 권역의 산림이 나지 또는 초지화되는 것에 대한 제도적 규제가 어렵기 때문에 나타난 현상으로 추측되며, 이는 산지와 관련된 규제인 산지관리법의 보완을 통해 해결할 수 있을 것으로 판단된다. 산지관리법 상 보전산지와 생태자연도 1등급 권역의 경우 지정 목적은 보호적 측면에서 유사하나 지정된 지역의 공간적 범위가 각기 다르다. 산지의 전용이나 입목의 벌채는 산지관리법상 보전산지가 아니라면 허가될 수 있으며, 보전산지는 경사도나 입목도 등을 고려하여 지정되기 때문에 생태보전적 관리를 위한 실천 전략이 미비한 상황이다(KRIHS, 2005). 따라서 산지전용이나 벌채의 허가에 있어 생태자연도 등급을 고려하는 등 법적 기준을 보완한다면 이러한 문제를 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

경기도의 경우 시가화지역으로 변화될 가능성이 높은 지역에서 등급 하락 확률이 높은 것으로 나타났으며, 이는 최근 경기도의 난개발 등이 원인이라 할 수 있다. 강원도의 경우 1등급 권역의 개간에 의한 등급 하락을 최소화할 필요가 있으며, 이러한 문제를 해결하기 위해서는 생태자연도의 제도적 한계를 먼저 보완해야 할 것으로 보인다. 자연환경보전법 상 정의되어 있는 1등급 권역의 취지에 부합하도록 행위제한이나 법적 효력을 강화한다면, 우수한 생태계를 지속적으로 보호하고 국토의 생물다양성 증진에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 생태자연도 등급 하락에 미치는 영향요인 분석에 있어 인위적 변화요인만을 고려하였으며, 자연적인 변화요인을 고려하지 못하였다는 한계가 있다. 자연적인 요인은 인위적 요인보다 변수화가 어렵고 장기간의 조사가 수반되어야 하기 때문에 본 연구에서는 인위적 요인의 영향력 도출과 생태자연도의 제도적 보완점에 대한 논의에 집중하였다. 추후에는 인위적 요인을 세분화하고 자연적 요인을 정량화할 수 있는 방법을 강구하여 생태자연도 등급 하락

요인에 대한 세밀한 분석과 대책을 수립해야 할 것으로 판단된다.

References

- Ahn KW · Shin YK · Kim JY · Lee YK · Lim JC · Ha JW · Kwon HS · Suh JH and Kim MJ. 2015. A review on the public appeals of the ecosystem and nature map. *Journal of Environmental Impact Assessment*. 24(1) : 99-109. (in Korean)
- Araya YH and Cabral P. 2010. Analysis and modeling of urban land cover change in Setúbal Sesimbra, Portugal. *Remote Sensing*. 2(6) : 1549-1563.
- Eastman JR. 2012. *IDRISI-TerrSet*. Worcester, MA: Clark University.
- Eastman JR. 2016. *IDRISI Terrset manual*. Worcester, MA: Clark University.
- El-Hallaq MA and Habboub MO. 2015. Using cellular automata-markov analysis and multi criteria evaluation for predicting the shape of the Dead Sea. *Advances in Remote Sensing*. 4(01) : 83-95.
- ESRI AD. 2011. Release 10.5. Environmental Systems Research Institute. Redlands, CA.
- Jin S · Yang L · Danielson P · Homer C · Fry J and Xian G. 2013. A comprehensive change detection method for updating the National Land Cover Database to circa 2011. *Remote Sensing of Environment*. 132: 159-175.
- Jung TJ · Song IB · Lee JS · Lee SJ · Cho KJ · Song KH · Kim KD · Cha JY · Cho JS · Leem HS and Joung HJ. 2017. The analysis on causes of areas with public appeals to the ecosystem and nature map. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology*. 20(1) : 25-34. (in Korean)

- KFS. 2019. Statistical yearbook of forestry. Korea Forest Service. (in Korean)
- KRIHS. 2005. Policy directions for the efficient management of forestland. Korea Research Institute for Human Settlements. (in Korean)
- Kim SJ and Lee YJ. 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) : 57-69. (in Korean)
- Lee YH and Kim SJ. 2007. A Modified CA-Markov Technique for Prediction of Future Land Use Change. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers D*. 27(6D) : 809-817. (in Korean)
- Lee DK·Kim JU and Park C. 2010. A prediction of forest vegetation based on land cover change in 2090. *Journal of Environmental Impact Assessment*. 19(2) : 117-125. (in Korean)
- Lee DK · Ryu DH · Kim HG and Lee SH. 2011. Analyzing the future land use change and its effects for the region of Yangpyeong-gun and Yeosu-gun in Korea with the Dyna-CLUE Model. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology*. 14(6) : 119-130. (in Korean)
- Li X · Lin J · Chen Y · Liu X and Ai B. 2013. Calibrating cellular automata based on landscape metrics by using genetic algorithms. *International Journal of Geographical Information Science*. 27(3) : 594-613.
- Li X and Yeh AGO. 2002. Neural-network-based cellular automata for simulating multiple land use changes using GIS. *International Journal of Geographical Information Science*. 16(4) : 323-343.
- Li X and Yeh AGO. 2004. Data mining of cellular automata's transition rules. *International Journal of Geographical Information Science* 18(8) : 723-744.
- Mas JF. 1999. Monitoring land-cover changes -a comparison of change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*. 20(1) : 139-152.
- NIE. 2018. Research for ecosystem and nature map. National Institute of Ecology. (in Korean)
- Oh KY·Lee MJ and No WY. 2016. A study on the improvement of sub-divided land cover map classification system -based on the land cover map by ministry of environment. *Korean Journal of Remote Sensing*. 32(2) : 105-118. (in Korean)
- Park GA and Kim JS. 2007a. Prediction of the urbanization progress using factor analysis and CA-Markov technique. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*. 49(6) : 113-122. (in Korean)
- Park SH and Kim JI. 2007b. The characteristics of land use change at the urban fringe. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*. 10(2) : 35-45. (in Korean)
- R Core Team. 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Sang L · Zhang C · Yang J · Zhu D and Yun W. 2011. Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA-Markov model. *Mathematical and Computer Modeling*. 54(3-4) : 938-943.
- Sangermano F·Eastman JR and Zhu H. 2010. Similarity weighted instance based learning

- for the generation of transition potentials in land use change modeling. *Transactions in GIS*. 14(5) : 569-580.
- Seo HJ and Jun BW. 2017. Modeling the spatial dynamics of urban green spaces in Daegu with a CA-Markov model. *Journal of the Korean Geographical Society*. 52(1) : 123-141. (in Korean)
- Singh A. 1989. Review article digital change detection techniques using remotely-sensed data. *International Journal of Remote Sensing*. 10(6) : 989-1003.
- Subedi P·Subedi K and Thapa B. 2013. Application of a hybrid cellular automata-markov(CA-Markov) model in land-use change prediction -a case study of Saddle Creek Drainage basin. Florida. *Applied Ecology and Environmental Sciences*. 1(6) : 126-132.
- Weng Q. 2002. Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modelling. *Journal of Environmental Management*. 64(3) : 273-284.