

연구논문

## 토지피복 변화를 반영한 미래의 산림식생 분포 예측에 관한 연구

이동근 · 김재욱\* · 박 찬\*\*

서울대학교 조경 · 지역시스템공학부, 서울대학교 농업생명과학연구원\*, 서울대학교대학원 협동과정 조경학전공\*\*  
(2009년 12월 4일 접수, 2010년 2월 10일 승인)

### A Prediction of Forest Vegetation based on Land Cover Change in 2090

Dong-Kun Lee · Jae-Uk Kim\* · Chan Park\*\*

Department of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul National University  
Research Institute for Agriculture and Science, Seoul National University\*  
Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University\*\*  
(Manuscript received 4 December 2009; accepted 10 February 2010)

#### Abstract

Korea's researchers have recently studied the prediction of forest change, but they have not considered landuse/cover change compared to distribution of forest vegetation. The purpose of our study is to predict forest vegetation based on landuse/cover change on the Korean Peninsula in the 2090's. The methods of this study were Multi-layer perceptron neural network for Landuse/cover (water, urban, barren, wetland, grass, forest, agriculture) change and Multinomial Logit Model for distribution prediction for forest vegetation (*Pinus densiflora*, *Quercus Spp.*, Alpine Plants, Evergreen Broad-Leaved Plants). The classification accuracy of landuse/cover change on the Korean Peninsula was 71.3%. Urban areas expanded with large cities as the central, but forest and agriculture area contracted by 6%. The distribution model of forest vegetation has 63.6% prediction accuracy. *Pinus densiflora* and evergreen broad-leaved plants increased but *Quercus Spp.* and alpine plants decreased from the model. Finally, the results of forest vegetation based on landuse/cover change increased *Pinus densiflora* to 38.9% and evergreen broad-leaved plants to 70% when it is compared to the current climate. But *Quercus Spp.* decreased 10.2% and alpine plants disappeared almost completely for most of the Korean Peninsula. These results were difficult to make a distinction between the increase of *Pinus densiflora* and the decrease of *Quercus Spp.* because of they both inhabit a similar environment on the Korean Peninsula.

Keywords : Climate change, Korean Peninsula, Regional climate model, Multi-layer perceptron neural network, Multinomial Logit Model

## 1. 서론

2007년에 발간된 IPCC 4차 평가보고서에 따르면, 기후변화에 가장 많은 영향을 미치는 원인은 인간의 활동이라는 것이 지속적인 관찰을 통하여 더욱 분명해졌다고 밝히고 있다. IPCC의 Working group I에서 발간한 「The Physical Science Basis」는 현재의 추세대로 인간 활동이 지속된다면 금세기말에 지구 평균기온은 최대 6.4℃, 해수면은 59cm 상승할 것으로 예측하였다(IPCC, 2007b). 기후변화의 영향, 적응 및 취약성 분야를 다룬 Working group II에서 2007년에 발간한 IPCC 4차 평가보고서에서는 앞으로 전지구의 평균온도가 1.5~2.5℃ 증가하면 전세계 동식물의 20~30%가 멸종위기에 처하고, 생태계의 구조와 역할에도 많은 영향을 미칠 것으로 예상하였다(IPCC, 2007a). 최근 들어 종의 분포가 북쪽으로 이동하거나 고지대로 이동함에 따라 극지방 부근에 서식하는 종 또는 고지대에 서식하는 종 등 제한적 범위에 분포하는 종이 위협받고 있는 것으로 나타났다(Parmesan and Yohe, 2003; Parmesan, 2006).

Emanuel *et al.*(1985)의 기후변화와 생태계의 구분에 관한 연구 이후, 기후와 식생의 'dynamic equilibrium'을 이용한 미래의 식생을 예측하는 많은 모형들이 개발되었다. 국내에서 이루어지고 있는 산림식생의 분포와 환경요인에 관한 연구는 대부분 현장조사를 바탕으로 한 식물사회학적 연구가 대부분이다(이우철과 이철환, 1989; 이윤원과 홍성천, 1995; 배병호와 이호준, 1999; 송호경 등, 2003; 이미정 등, 2002; 2004). 국립산림과학원에서 지형과 토양조건을 반영한 지위지수를 이용하여 38개 수종(침엽수 11종, 활엽수 27종)에 대한 적지 적수도를 제공하고 있다(신만용 등, 2007; 이승우 등, 2007).

기후인자와 산림식생의 분포를 규명한 연구는 현재의 분포를 설명하는데 머무르는 한계를 갖고 있으나(노의래, 1983; 이종수 등, 2006), 최근 들어 기후모형을 이용하여 미래의 식생분포까지 예측하고 기후변화에 의한 산림의 취약성을 평가하는 연

구가 진행되었다(김재욱과 이동근, 2006; 이동근과 김재욱, 2007). 그러나, 이러한 연구에서는 산림식생의 분포에 대한 자연환경적인 요소만을 반영하고 인간의 활동에 대한 영향을 반영하지 못한 한계가 지적되었다. 국외에서는 이미 기후와 토지이용/토지피복 변화에 의한 식물의 분포(Pearson *et al.*, 2004; Pompe *et al.*, 2008)에 대한 연구가 진행되었으나, 우리나라에서는 아직까지 토지이용/토지피복의 변화와 식물 분포의 관계에 대한 연구가 진행되지 않고 있다.

인간의 활동이 반영되는 토지이용/피복의 변화는 생물종 다양성, 이산화탄소 배출, 탄소의 순환에 영향을 미친다(Turner, 1994). 이러한 특성으로 인하여 다양한 시나리오를 반영한 미래의 토지피복 변화예측에 대한 연구가 수행되었고(Feddema *et al.*, 2005), 토지피복 변화와 변화를 일으키는 구동요인들 간의 상관성을 파악하고 모델링하는 연구가 이루어졌다(Verburg *et al.*, 2002). 국내에서도 최근에 토지피복 변화예측 모델링을 통해 미래를 예측하는 연구가 진행되었다(장동호, 2005; 김우선 등, 2008; 이동근과 박찬, 2009). 이렇게 국내·외에서 토지피복 변화 모델링을 통한 도시화 양상의 예측이나, 환경적 영향을 예측하기 위한 많은 연구들이 진행되고 있다.

토지피복 변화 모델링은 사회-경제적 요소의 변화에 따른 시·공간적인 변화를 명확하게 밝혀내야 하기 때문에 매우 복잡하다(Verburg *et al.*, 2002). 이러한 복잡성에도 불구하고 경제적, 생태적, 에이전트 기반의 토지피복 변화 모델링 기법은 미래의 토지피복 요구 정도나, 성장관리 목적을 위하여 지속적으로 개발되고 있다(Verburg *et al.*, 2002; 최대식과 임창호, 2004; 박창석 등, 2005). 미래를 예측하기 위한 토지피복 변화 모델링은 다양한 통계적 기법의 방법론을 활용하여 사회-경제적 시나리오에 따른 변화양상을 반영할 수 있다. 특히 토지피복 변화는 토지피복의 공간적 패턴과 구동요인과의 관계를 파악하고, 미래의 토지이용정책 및 구동요인의 변화를 파악함으로써 충분히 예측될 수 있다

(Verburg *et al.*, 2002). 이러한 토지피복 변화 모델링은 시간의 경과에 따른 변화를 통해 변화패턴을 분석하기 때문에 위성영상으로부터 구축된 토지피복지도를 활용하는 것이 효과적이라고 할 수 있다(김성준과 이용준, 2007).

따라서, 본 연구에서는 기후변화에 민감한 산림식생의 변화를 살펴보기 위하여 미래의 기후와 토지피복 변화에 의하여 산림식생이 어떻게 분포하는지 예측하고, 현재와 비교하여 기후변화에 취약한 수종 및 지역에 대한 정보를 도출하여 기후변화 적응대책을 마련하는데 필요한 기초자료를 제공하고자 한다.

## II. 재료 및 방법

본 연구에서는 2001년도에 환경부에서 제작한 토지피복 자료를 1km 해상도 자료로 변환한 후, 한반도를 대상으로 미래의 토지피복을 예측하였다. 식생분포 예측에는 1986년부터 1998년까지 환경부에서 진행된 자연환경기초조사에 근거하여 1:50,000 축척으로 제작된 현존식생도를 이용하였다. 미래의 토지피복에서 산림으로 분류된 지역을 대상으로 식생분포를 예측하여 현재의 산림식생이 미래에 어떻게 변화할 것인지 살펴보고자 한다.

기후변화는 광범위한 지역에 나타나는 현상이기 때문에, 우리나라 뿐만 아니라 북한지역에까지도 그 영향이 미친다. 그러나, 북한지역에 대한 자료가 매우 부족하여 많은 정보가 알려지지 않았다. 따라서, 본 연구에서는 남한지역의 자료를 이용하여 도출된 식을 북한지역까지 적용해 보고자 하였다. 기후모형만을 이용한 산림식생분포 예측은 시가지지역이나 농경지와 같은 산림이 아닌 지역까지 산림식생이 분포하는 것으로 예측되기 때문에 정확한 취약성을 평가할 수 없다. 따라서, 미래의 토지피복 결과와 산림식생분포를 중첩하여 토지피복에 의해 산림으로 분류된 지역의 식생을 예측하고 현재 산림식생 분포와 비교하여 산림식생의 취약성을 비교하였다. 시간적 범위는 1971년부터 2000년까지 현

재기후를 기준으로 하고, 일본 기상청에서 제공하는 지역기후모형의 2090년대(2081~2100년 평균)를 목표연도로 가정하였다.

미래의 토지피복 변화는 과거와 현재의 토지피복에 따른 공간적 패턴과 토지피복을 구성하기 위한 구동요인과의 관계를 통하여 예측하였다. 환경부에서 제작한 1980년대와 1990년대 토지피복 자료를 이용하여 현재의 토지피복 변화 경향을 살펴보고, 고도자료, 시가지로부터의 거리, 도로로부터의 거리와 같은 토지피복에 영향을 미치는 구동요인을 반영하여 각 토지피복의 변화가능성지도를 작성하였다. 토지피복의 변화가능성을 나타내는 Cramer's V 계수를 Multi-layer perceptron neural network<sup>1)</sup>에 적용하여 현재의 토지피복이 다른 토지피복으로 바뀔 수 있는 확률을 고려하여 미래의 토지피복을 예측하였다. 예측된 결과는 공간화(allocation)하여 도면으로 나타내었다.

현재의 산림식생이 분포하는 지역과 기후자료를 이용하여 산림식생과 기후요소의 관계를 도출하고, 도출된 식에 미래 기후자료를 반영하여 미래의 산림식생분포를 예측하고자 하였다. 우리나라 식생의 56.2%를 차지하는 소나무군락과 대표적인 활엽수인 참나무류 군락(30.4%), 기후변화에 의해 영향을 많이 받을 것을 예상되는 고산·아고산 식생(0.26%), 상록활엽수림(0.16%) 등 4개 산림식생을 대상으로 하였다. 기상청에서 제공한 남북한 99개 지점에서 관측한 1971년부터 2000년까지 30년을 평년기준으로 하여 월별 평균기온, 월평균 최고기온, 월평균 최저기온, 월별 강수량 자료를 이용하였고, 산림식생의 서식환경과 기후요소의 관계는 Multinomial Logit Model을 적용하여 나타내고자 하였다. 현재의 산림식생분포로부터 도출된 식에 2090년을 목표연도로 하여 일본 기상청에서 제작된 지역기후모형(Regional Climate Model)을 이용하였다.

1) Multi-layer perceptron neural network는 신경회로망을 트레이닝 시키기 위해서 가장 널리 사용되고 있는 방법이며, 입력층, 은닉층, 출력층으로 나뉘어진 네트워크 구조에 의한 학습결과에 의해서 분석이 이루어진다(임태훈과 서용수, 1996).

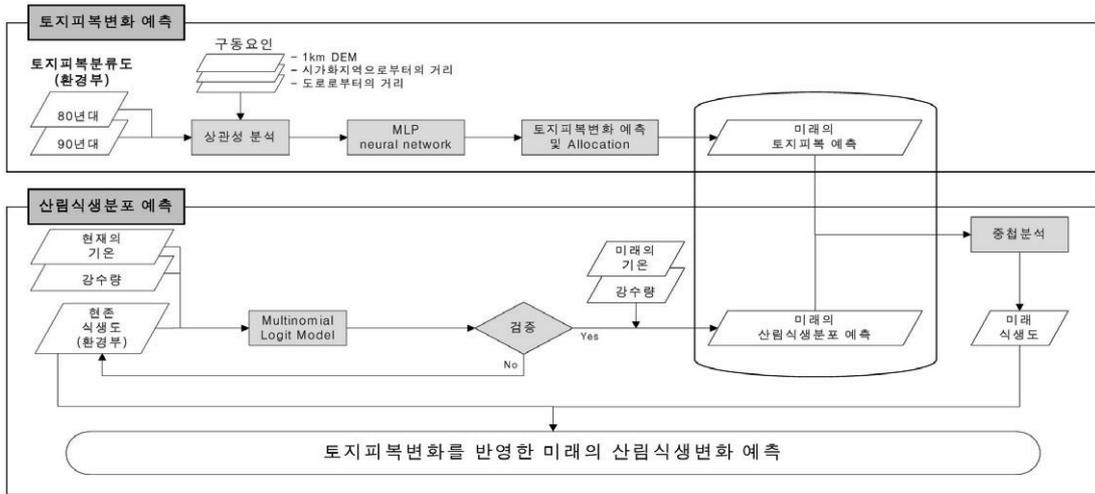


그림 1. 연구흐름도

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 토지피복 변화예측

토지피복의 변화양상을 분석하기 위해 토지피복이 변화가 일어난 지역과 구동요인과의 Cramer's V 상관성 분석결과, 구동요인으로 선정된 고도, 시가화 지역으로부터의 거리는 토지피복과 상관성이 있는 것으로 파악되었다. 특히 농경지, 시가화 지역의 경우에는 고도, 도시화의 지역으로부터의 거리 변수에 밀접한 관계를 보였다. 기존의 토지피복에서 변화가 나타난 것으로부터 추출해낸 변화가능성과의 상관성은 다른 요소들보다 토지피복에 있어서 밀접한 관계를 보였다.

토지피복 변화예측 방법에 대한 모델의 타당성을 검토하기 위하여 Cross table 방법과 면적비교를 실시한 결과 Cross table을 이용한 전체 분류 정확

도는 70.6%로 나타났다. 예측된 면적과 실제 면적을 비교한 결과 나지나 초지 등은 오차가 많이 발생하였으나 시가화 지역, 산림, 농경지 등은 유사한 값을 보였다. 특히 산림의 경우는 다른 토지이용에 비해 예측정확도가 높게 나타났다. Fang *et al.*(2005)의 연구에서 모델의 정확도는 71.8%이며, 일반적으로 토지피복/이용의 변화 모델링에서 70% 이상의 분류정확도가 나타나면 모델링으로 활용되고 있다. CA-Markov를 이용한 토지이용 변화 모델링에서 Verburg *et al.*(2002), Fang *et al.*(2005), 이용준과 김성준(2007), 조대현(2008)은 모델타당성 예측력이 70~80% 수준에서 모델링을 수행하였다.

WAMIS 자료를 이용한 연구방법론 검증결과를 바탕으로 한반도 전체에 대한 토지피복 변화를 예측한 결과, 구동요인으로는 고도, 도로로부터의 거

표 1. 한반도 전체의 토지피복 변화예측을 위한 구동요인

	고도	도로로부터의 거리	시가화 지역으로부터의 거리	변화가능성과의 상관성	제한요인과의 상관성
전체	0.2779	0.1785	0.1940	0.4452	0.3333
시가화	0.1292	0.1070	0.1287	0.7057	0.1867
나지	0.1798	0.1299	0.0816	0.1415	0.1323
습지	0.1315	0.1002	0.0270	0.1922	0.1045
초지	0.0493	0.0620	0.0753	0.2137	0.0370
산림	0.1987	0.1724	0.2079	0.2212	0.1867
농경지	0.8261	0.7946	0.8372	0.8949	0.7917

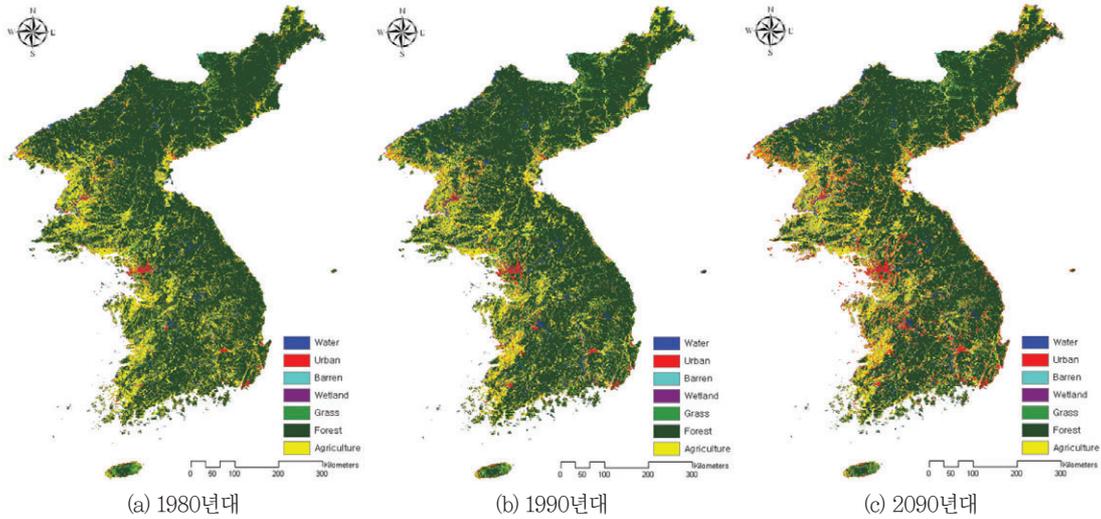


그림 2. 한반도 전체의 토지피복 및 변화예측

리, 시가화 지역으로부터의 거리가 토지피복의 변화에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 토지피복의 변화와 관련해서 해발 1,000m 이상 지역은 산림식생이 우수하기 때문에 시가화 지역으로의 개발에 제한적이라고 가정하여 제한요인으로 설정하였다.

한반도 전체의 토지피복 변화의 분류정확도는 71.3%로 나타났으며, 대도시를 중심으로 남북한 지역 모두 시가화 지역이 확대될 것으로 예상되었다. 1990년대와 2000년대의 토지피복 비율을 살펴보면, 시가화지역의 면적은 약 2.7배 증가한 19.5km<sup>2</sup>를 차지하였으며, 시가화 지역으로 변화된 지역은 나지, 농경지, 초지, 산림의 순서로 변화 가능성이 높은 것으로 나타났다. 산림과 농경지는 6% 가량 감소될 것으로 나타났다.

## 2. 산림식생 변화예측 결과

현존식생도와 기상청에서 제공한 1971년부터 2000년까지의 30년 평균 남북한 기상자료를 이용하여 현재 우리나라에 분포하고 있는 산림식생의 분포를 아래와 같은 관계식으로 도출하였다. 소나무군락, 참나무군락, 고산·아고산 식생, 상록활엽수림의 분포에 공통적으로 영향을 미치는 변수로는 고도와 12월 최저기온, 2월 최고기온, 1월 강수량, 4월달 평균기온이 선정되었다.

소나무군락의 지수함수(EG1)

$$= e^{-120476-0.00521 \times DEM - 26116 \times \min T_{DEC} + 1.7969 \times \max T_{FEB} + 0.2134 \times P_{JAN} - 0.3691 \times \text{avg} T_{APR}}$$

참나무군락의 지수함수(EG2)

$$= e^{5.3671 - 0.00404 \times DEM - 22380 \times \min T_{DEC} + 1.7888 \times \max T_{FEB} + 0.1508 \times P_{JAN} - 0.5100 \times \text{avg} T_{APR}}$$

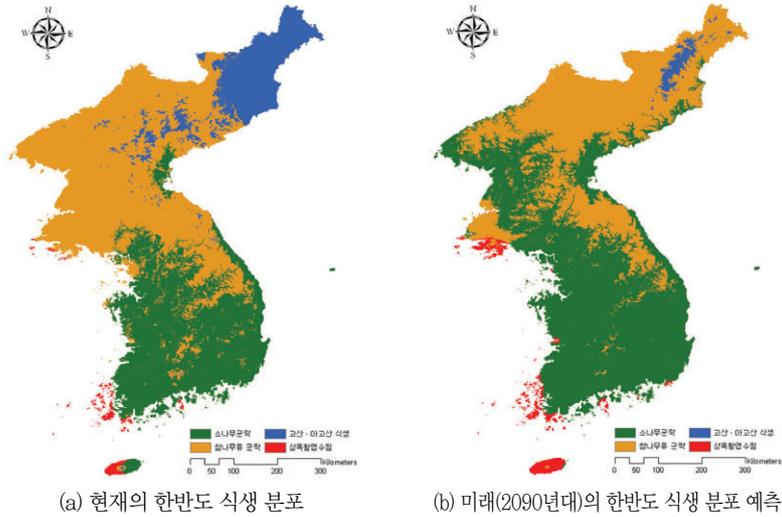
고산·아고산 식생의 지수함수(EG3)

$$= e^{15.3224 - 0.0112 \times DEM - 18516 \times \min T_{DEC} + 1.5856 \times \max T_{FEB} + 0.1338 \times P_{JAN} - 29754 \times \text{avg} T_{APR}}$$

(※ DEM: 고도,  $\min T_{DEC}$ : 12월 최저기온,  $\max T_{FEB}$ : 2월 최고기온,  $P_{JAN}$ : 1월 강수량,  $\text{avg} T_{APR}$ : 4월 평균기온)

각 군락의 분포확률을 비교하여 가장 나타날 확률이 높은 군락을 도출하였다. 위와 같이 다항로지 모형을 이용한 산림식생의 분포를 나타낸 모형의 분류정확도는 63.6%로 나타났다.

현재의 산림식생 분포와 기후조건을 이용하여 도출한 모형에 미래기후의 값을 입력하여 미래의 한반도에 분포할 것으로 예측되는 식생의 분포를 예측하였다(그림 3). 소나무군락은 북한지역과 고지대로 수평·수직으로 확대 이동하였고, 참나무군락은 현재보다 분포가 많이 줄어들 것으로 예상되었다. 고산·아고산 식생은 남한지역에서는 사라질 것으로 나타났고, 북한지역에서도 개마고원 일대에 일부 분포할 것으로 나타났다. 제주도과 일부 남해안 섬지역에 분포하는 것으로 나타난 상록활엽수림은 북한의 황해도 일부 지역까지 분포범위가 확대되고, 제주도 전체와 경상남도 남부지역 일부에도



(a) 현재의 한반도 식생 분포 (b) 미래(2090년대)의 한반도 식생 분포 예측

그림 3. 한반도의 식생 분포에 대한 예측결과

분포할 것으로 예상되었다.

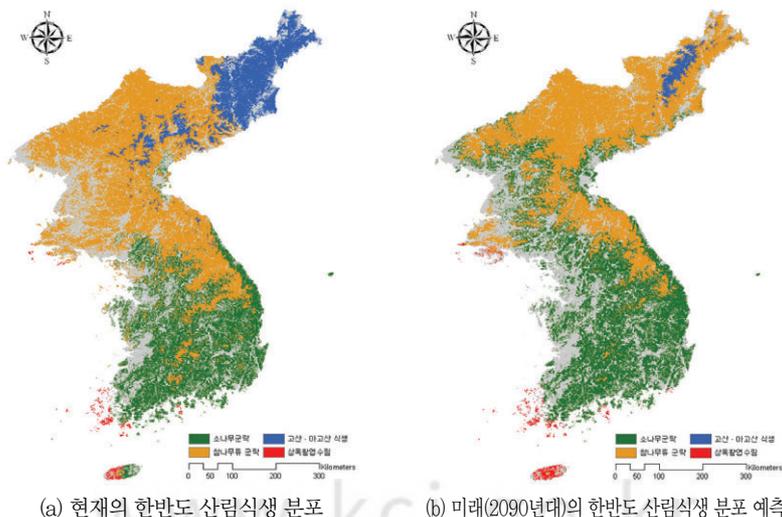
소나무군락의 확대 및 참나무류군락의 축소와 관련해서 신갈나무를 제외한 졸참나무, 굴참나무, 상수리나무, 갈참나무, 떡갈나무가 분포하는 지역의 기후조건이 소나무가 분포하는 지역의 기후조건과 매우 유사한 지역으로 나타났다(양금철, 2002). 따라서, 본 연구의 결과에서 소나무군락이 분포하는 지역은 소나무가 우점한 지역이라기 보다는 소나무와 신갈나무를 제외한 참나무류가 혼효하는 지역으

로 보는 것이 더욱 타당할 것으로 판단된다.

### 3. 토지피복 변화를 반영한 산림식생 변화예측 결과

토지피복 분류 가운데 산림으로 구분된 지역에 분포할 것으로 예상되는 산림식생에 대하여 분석한 결과, 남북한 모두 서해안 지역은 산림이 거의 분포하지 않을 것으로 예측되었다.

소나무군락은 현재보다 약 38.9% 가량 증가할 것으로 예상된 반면에 참나무류군락은 10.2% 정도



(a) 현재의 한반도 산림식생 분포 (b) 미래(2090년대)의 한반도 산림식생 분포 예측

그림 4. 토지피복 변화를 반영한 미래의 산림식생 분포에 대한 예측결과

표 2. 토지피복 변화를 반영한 미래의 산림식생 분포 예측

	1990년대		2090년대		변화율(%)
	면적(km <sup>2</sup> )	비율(%)	면적(km <sup>2</sup> )	비율(%)	
소나무군락	70,680	30.8	98,202	45.5	38.9
참나무류군락	122,233	53.2	109,800	50.9	-10.2
고산·아고산식생	35,158	15.3	4,832	2.2	-86.3
상록활엽수림	1,686	0.7	2,868	1.3	70.1
전 체	229,757	100	215,702	100	-6.1

감소할 것으로 나타났다. 고산·아고산 식생은 86.3%가 감소하여 거의 대부분 사라질 것으로 예상되었으며, 상록활엽수림은 현재의 분포 대비 약 70% 증가할 것으로 나타났다.

#### IV. 결 론

지구환경의 중요성이 대두되고 있는 가운데 기후 변화에 의한 영향을 미리 예측하고 대응전략을 세우는 일은 의미있다고 할 수 있다. 기후변화에 의한 피해는 다양한 분야에서 발생하고 있으며, 이를 감소시키기 위한 대응전략과 앞으로 발생될 기후변화에 대한 연구가 전세계적으로 많이 이루어지고 있다. 급격한 경제발전으로 인하여 우리나라는 다른 나라보다 매우 빠르게 기후변화가 이루어지고 있기 때문에 정확한 미래예측을 통하여 적절한 대응방안을 마련해야 할 것이다.

본 연구의 결과, 2090년대에는 현재보다 시가화 지역의 전 국토에서 차지하는 비율이 2.4%에서 6.6%로 증가할 것으로 예상되었다. 반면에 산림은 69.7%에서 65.4%로 감소하고, 농경지 역시 20.2%에서 18.8로 감소될 것으로 나타났다. 토지피복에 의하여 면적이 줄어든 산림에서 소나무군락과 상록 활엽수림은 38.9%, 70.1% 증가할 것으로 예상되었고, 참나무류군락과 고산·아고산 식생은 -10.2%, -86.3% 감소할 것으로 나타났다.

우리나라에서는 처음으로 시도된 토지피복의 변화와 산림식생의 변화를 살펴본 본 연구에서는 한 가지 토지피복 변화 시나리오 및 지역기후모형을 활용하였고, 제공된 지역기후모형의 한계로 인하여 미래시기의 산림식생 변화를 시계열로 살펴보지 못

하였다. 또한, 산림식생 예측에서 소나무군락과 참나무류군락의 구분이 명확하게 나타나지 않은 한계를 갖고 있었다. 따라서, 이러한 한계를 극복하기 위하여 다양한 토지피복 변화 시나리오의 개발 및 적용과 여러 기후모형을 활용하여 불확실성이 많은 미래에 대한 예측의 정확성을 높일 필요가 있다고 판단된다. 또한, 산림식생에서 소나무군락과 참나무류군락 사이에 침엽수종과 활엽수종이 혼재하는 군락을 함께 반영하여 천이과정을 모델에 반영하는 것도 필요할 것으로 판단된다.

#### 사 사

본 연구는 2008년도 환경부 “차세대 핵심환경기술개발사업”으로 지원받은 과제입니다.

#### 참고문헌

- 김성준, 이용준, 2007, 면적규모 및 공간해상도가 CA-Markov 기법에 의한 미래 토지이용 예측결과에 미치는 영향, 한국지리정보학회지, 10(2), 57-69.
- 김우선, 윤공현, 허 준, Jayakumar, S., 2008, CLUE-S 모델과 시계열 Landsat 자료를 이용한 토지피복 변화 예측, 한국지형공간정보학회지, 16(1), 33-41.
- 김재욱, 이동근, 2006, 지역기후모형을 이용한 산림식생의 취약성 평가에 관한 연구, 환경복원논총, 9(5), 32-40.
- 노의래, 1983, 기상인자에 의한 우리나라 삼림수종의 생육범위 및 적지적수에 관한 연구, 한국

- 임학회지, 62, 1-18.
- 박창석, 정희성, 문태훈, 전대욱, 조창제, 이애정, 2005, 도시토지이용의 생태-효율제고방안 연구-대기환경용량에 기초한 수도권 토지 이용형태 분석을 중심으로, 한국환경정책·평가연구원.
- 송호경, 이미정, 이선, 김효정, 지윤위, 권오원, 2003, 신갈나무림의 식생구조와 생태적지, 한국임학회지, 92(4), 409-420.
- 신만용, 원형규, 이승우, 이운영, 2007, 기후대별 입지환경 인자에 의한 소나무류의 지위지수 추정식 및 적지 구명, 한국농림기상학회지, 9(3), 179-187.
- 양금철, 2002, 한반도의 기후와 지형적 특성에 근거한 생태공간의 분류, 중앙대학교 박사학위논문.
- 이동근, 김재욱, 2007, 한반도 지역의 기후변화에 의한 고산·아고산 식생 취약성 평가, 환경복원녹화, 10(6), 110-119.
- 이동근, 박 찬, 2009, 토지이용변화에 따른 식생 및 토양의 이산화탄소 저감잠재량 분석, 환경복원녹화, 12(2), 95-105.
- 이미정, 이 선, 김효정, 송호경, 지윤위, 2002, 굴 참나무림의 식생구조와 생태적지, 한국임학회지, 91(4), 409-420.
- 이미정, 이 선, 김효정, 지윤의, 송호경, 2004, 줄 참나무림의 식생구조와 생태적지, 환경복원녹화, 7(1), 50-58.
- 이승우, 원형규, 신만용, 손영모, 이운영, 2007, 산림 입지토양 환경요인에 의한 상수리나무와 신갈나무의 적지추정, 한국토양비료학회지, 40(5), 429-434.
- 이용준, 김성준, 2007, 미래 토지이용변화 예측을 위한 개선된 CA-Markov 기법의 제안 및 적용, 한국토목학회논문집, 27(6), 809-817.
- 이우철, 이철환, 1989, 한국산 소나무림의 식물사회학적연구, 한국생태학회지, 12(4), 257-284.
- 이운원, 홍성천, 1995, 구상나무림의 군락생태학적 연구, 한국임학회지, 84(2), 247-257.
- 이종수, 이우균, 윤정호, 송철철, 2006, 공간통계와 GIS를 이용한 소나무림과 참나무류림의 분포패턴, 한국임학회지, 95(6), 663-671.
- 이호준, 배병호, 1999, 식생보전을 위한 소나무림의 식물사회학적 연구, 한국생태학회지, 22(1), 21-29.
- 임태훈, 서용수, 1996, 카테고리분류를 위한 다층퍼셉트론 신경회로망과 최대유사법의 성능비교, 한국지형공간정보학회지, 4(2), 137-147.
- 장동호, 2005, 퍼지 논리와 지리공간정보를 이용한 공주지역 토지피복 변화 예측, 환경영향평가, 14(6), 387-402.
- 조대현, 2008, 개발밀도를 고려한 셀룰러 오토마타 기반의 도시 토지이용 변화 모델링, 대한지리학회지, 43(1), 117-133.
- 최대식, 임창호, 2004, 밀도결합형 셀룰라 오토마타 모형의 개발-서울대도시권 도시성장 시뮬레이션, 1972~2000, 국토계획, 39(5), 7-24.
- Emanuel, W. R., Shugart, H. H., and Stevenson, M. P., 1985, Climatic change and the broad-scale distribution of terrestrial ecosystems' complexes, *Climatic Change*, 7(1), 29-43.
- Fang, S., Gertner, G. G., Sun, Z., and Anderson, A. A., 2005, The impact of interactions in spatial simulation of the dynamics of urban sprawl, *Landscape and Urban Planning*, 73(4), 294-306.
- Feddema, J. J., Oleson, K. W., Bonan, G. B., Meams, L. O., Buja, L. E., Meehl, G. A., and Washington, W. M., 2005, The importance of land-cover change in simulating future climates, *Science*,

- 310(5754), 1674-1678.
- IPCC, 2007, Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. London: Cambridge University Press.
- IPCC, 2007, Climate Change 2007: The Scientific Basis. London: Cambridge University Press.
- Parmesan, C. and Yohe, G., 2003, A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems, *Nature*, 421, 37-42.
- Parmesan, C., 2006, Ecological and evolutionary responses to recent climate change, Annual Review of Ecology, *Evolution, and Systematics*, 37, 637-669.
- Pearson, R. G., Dawson, T. P., and Liu, C., 2004, Modelling species distributions in Britain: a hierarchical integration of climate and land-cover data, *Ecography*, 27(3), 285-298.
- Pompe, S., Hanspach, J., Badeck, F., Klotz, S., Thuiller, W., and Kühn, I., 2008, Climate and land use change impacts on plant distributions in Germany, *Biology Letters*, 4, 564-567.
- Turner II, B. L., 1994, Local faces, global flows: the role of land use and land cover in global environmental change, *Land Degradation and Rehabilitation*, 5(2), 71-78.
- Verburg, P. H., Soepboer, W., Veldkamp, A., Limpiada, R., Espaldon, V., and Mastura, S. S. A., 2002, Modeling the spatial dynamics of regional land use: The CLUE-S model, *Environmental Management*, 30(3), 391-405.

최종원고채택 10. 04. 01