

지역기후모형을 이용한 산림식생의 취약성 평가에 관한 연구

김재욱¹⁾ · 이동근²⁾

¹⁾ 서울대학교 환경대학원 · ²⁾ 서울대학교 조경 · 지역시스템공학부

A Study on the Vulnerability Assessment of Forest Vegetation using Regional Climate Model

Kim, Jae-Uk¹⁾ and Lee, Dong-Kun²⁾

¹⁾ Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University,

²⁾ Department of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul National University.

ABSTRACT

This study's objects are to suggest effective forest community-level management measures by identifying the vulnerable forest vegetation communities types to climate change through a comparative analysis with present forest communities identified and delineated in the Actual Vegetation Map.

The methods of this study are to classify the climatic life zones based on the correlative climate-vegetation relationship for each forest vegetation community, the Holdridge Bio-Climatic Model was employed. This study confirms relationship between forest vegetation and environmental factors using Pearson's correlation coefficient analysis. Then, the future distribution of forest vegetation are predicted derived factors and present distribution of vegetation by utilizing the multinomial logit model. The vulnerability of forest to climate change was evaluated by identifying the forest community shifts slower than the average velocity of forest moving (VFM) for woody plants, which is assumed to be 0.25 kilometers per year.

The major findings in this study are as follows : First, the result of correlative analysis shows that summer precipitation, mean temperature of the coldest month, elevation, soil organic matter contents, and soil acidity (pH) are highly influencing factors to the distribution of forest vegetation. Secondly, the result of the vulnerability assessment employing the assumed velocity of forest moving for woody

Corresponding author : Jae-Uk Kim, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, San 56-1, Shillim-dong, Gwanak-gu, Seoul, 151-742, Korea,
Tel : +82-2-880-4885, E-mail : japa95@hanmail.net

Received : 14 August, 2006. **Accepted** : 22 October, 2006.

plants (0.25km/year) shows that 54.82% of the forest turned out to be vulnerable to climate change. The sub-alpine vegetations in regions around Mount *Jiri* and Mount *Seorak* are predicted to shift the dominance toward *Quercus mongolica* and *Pinus densiflora* communities. In the identified vulnerable areas centering the southern and eastern coastal regions, about 8.27% of the *Pinus densiflora* communities is likely to shift to sub-tropical forest communities, and 3.38% of the *Quercus mongolica* communities is likely to shift toward *Quercus acutissima* communities. In the vulnerable areas scattered throughout the country, about 8.84% of the *Quercus mongolica* communities is likely to shift toward *Pinus densiflora* communities due to the effects of climate change.

The study findings concluded that challenges associated with predicting the future climate using RCM and the assessment of the future vulnerabilities of forest vegetations to climate change are significant.

Key Words : *Climate change, Global warming, Pearson analysis, Multinomial logit model, Sub-alpine vegetation.*

I. 서 론

인간이 살고 있는 생물권은 지구의 암석권, 대기권, 수권과 상호 불가분의 관계를 가지며, 물질순환에 의해 서로 균형을 이루어왔다. 그러나, 18세기 후반 영국에서 일어난 산업혁명 이후, 대기 중 CO₂ 농도의 증가와 함께 지구의 온도가 과거의 변화보다 큰 폭으로 상승하기 시작하면서 생물권에 많은 변화가 나타나기 시작하였다.

제주도에서는 제주조릿대의 확산에 의해 아고산 식생들이 점점 줄어들고 있다고 조사되었고, 서울에서는 남부지방에서 자라는 상록활엽수림인 동백꽃이 관찰되었다. 또한 신갈나무잎의 성장속도와 벚꽃의 개화시기가 빨라지는 등 우리나라에서도 많은 변화가 관찰되고 있다(이승호·이경미, 2003; 동아일보, 2004; 조선일보, 2005).

식생은 기후·토양·지형 등 무기적인 환경조건과 생물간의 경쟁·공존 등의 규제조건이 각각의 생물에 작용하여 생육지를 제한하기 때문에 종류에 따라 생육장소가 각각 정해져 있다. 따라서, 다양한 조건에 의해서 분포하는 식생을 연구하는 방법 중 기후요소¹⁾를 통한 산림식생의

구분은 매우 의미있다고 할 수 있다(Kirilenko et al., 2000).

Emanuel et al.(1985)의 기후변화와 생태계의 구분에 관한 연구 이후, 기후와 식생의 ‘dynamic equilibrium²⁾’을 이용한 미래의 식생을 예측하는 많은 모형들이 개발되었다. Sanderson et al.(1995)은 국가식생분류의 식생군락 내에서, 고도, 강수량, 경사, 토양타입 등의 환경변수와 17개의 관리변수를 이용하여 수종구분을 예측하는 연구를 진행하였고, Hilbert and Ostendorf(2001)는 기후, 토양, 지형 등의 변수를 인공신경망기법을 이용하여 15개 산림군집의 현재 분포와 과거, 미래의 잠재 분포확률을 추정하였다. 현재 분포의 경우 약 75%의 분포정확도를 나타내었다. Austin(2002)은 생태학적 모델, 자료의 수집과 측정을 통한 data 모델, 통계적 모델 등 3 가지 모델을 상호비교하

에 따라 각 지역의 기후는 서로 다르게 나타난다. 기후요소에는 기온·습도·강수량·바람·증발·일조·일사가 있다(자료 : [http : //www.kma.go.kr/kor/kmas/data/data_09_01.jsp](http://www.kma.go.kr/kor/kmas/data/data_09_01.jsp)).

2) 기후변화에 의하여 식생의 분포가 생육에 적당한 지역으로 이동하여 안정한 상태를 이룬다는 이론으로 southern Quebec 지역에서 여름과 겨울의 기후변화 때문에 spruce(*Picea*)는 남쪽지역으로, beech(*Fagus*)는 북쪽지역으로 이동한 것으로 나타났다(Webb, 1986).

1) 기후요소(climatic element) : 기후는 대기 현상의 각종 요소로 구성되어 있으며, 이들 기후요소의 결합

표 1 취약성 평가에 이용된 군락구분.

구 분	군 락 명	비 율
A	잣나무군락, 사스래나무군락, 구상나무군락, 분비나무군락, 전나무군락, 눈쭈백나무군락, 주목나무군락, 자작나무군락, 털진달래군락	0.27
B	동백나무군락, 구실잣밤나무군락, 모밀잣밤나무군락, 까마귀쪽나무군락, 붉가시나무군락, 굴거리군락	0.09
C	줄참나무군락	1.02
D	상수리나무군락	3.46
E	굴참나무군락	3.52
F	신갈나무군락	15.22
G	소나무군락	45.99

※ 비율은 현존식생도 자연림 전체의 군락대비 면적비율임.

여 생태적 이론을 반영한 통계모델이 가장 높은 상관계수를 나타내는 결과를 얻었다.

국내의 연구를 살펴보면, 김종원 등(1995)은 온량지수 자료를 일일생육적산온도로 환산하여 동백나무, 신갈나무, 서어나무, 분비나무, 주목, 사스래나무에 대한 잠재식생분포 범위를 분석하였다. 평균기온이 2°C 상승하면 동백나무는 2 배 이상 증가할 것으로 예측하였고, 서어나무와 분비나무, 주목, 사스래나무 등은 온도 상승에 따라 급격하게 축소될 것으로 나타났다. 공우석(1999)은 한라산 고산식물 8종의 분포역을 관측한 기온 분포와 비교하여 고산식물의 온도적 범위와 생태적 특성을 파악하였으며, 구경아 등(2001)은 61 속 132종에 달하는 상록활엽수의 종류에 따른 지리적 분포와 기후요소와의 관계를 분석하여 분포하는 지역의 수, 수직적 고도 범위, 위도에 따라 7개의 그룹으로 분류하였다. 허인혜 등(2006)은 기후특성에 따라 분포의 차이가 잘 나타나는 대나무와 미늘을 이용하여 각각의 북한계와 기온과 분포에 대한 연구를 실시하였다.

II. 연구의 내용 및 방법

연구의 시간적 범위는 일본국립환경연구소에

서 제공한 지역기후모형을 이용하기 위해 2041년에서 2050년까지를 목표연도로 설정하였다.

산림식생의 취약성을 평가하기 위한 공간적 범위는 군락단위의 산림식생 분류에는 공간적 한계가 존재하지 않으나, 북한지역의 자료를 구할 수 없는 입력자료의 한계로 인하여 남한지역으로 한정하여 개발에 의한 인위적인 훼손이나 자연재해로 인한 자연림의 손실이 없다는 전제 아래 자연림을 대상으로 하였다. 1986년부터 1990년까지 환경부 1차 자연생태전국조사를 바탕으로 작성된 현존식생도의 자연림 군락 가운데, 군락을 이루고 있는 수종의 특징과 환경요소들의 상관관계를 반영하기 위하여 단일 수종으로 이루어진 군락을 선정하였다. 단일수종이면서 전체 산림식생 면적의 1% 이상으로 이루어진 군락은 소나무, 신갈나무, 굴참나무, 상수리나무, 줄참나무 등 5개 군락으로 나타났다. 그러나 기후변화에 의하여 분포면적이 줄어들 것으로 예상되는 아고산 식생과 분포면적이 늘어날 상록활엽수림의 경우 좁은 면적을 차지하기 때문에 기존에 조사된 문헌을 참고해서 여러 군락을 합하여 식생대 전체의 변화를 분석하였다(양금철, 2001; 공우석, 2002).

미래기후에서 군락단위의 산림식생 분포를 예측하기 위해 1971년부터 2000년까지의 기온, 강

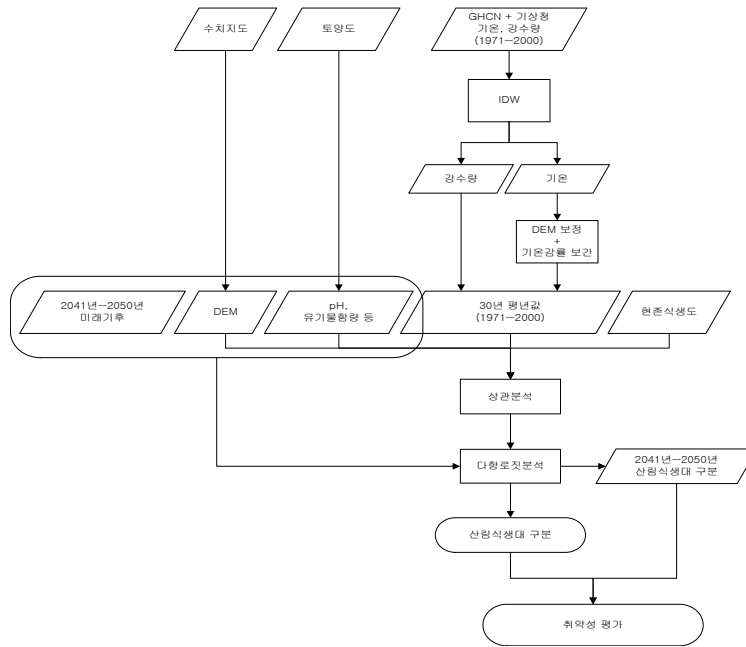


그림 1. 미래기후의 산림식생에 대한 취약성 평가.

수량 등 기후자료와 고도, 토양도 자료를 이용하였다. 현존식생도와 기후, DEM, 토양도 자료를 상관분석을 통하여 산림식생의 분포와 각 환경요소들 간의 상관성을 살피고 상관성이 높은 환경인자를 선정하였다. 이렇게 선정된 인자를 다항로지모형³⁾을 통하여 기후, 지형 및 토양에 의한 회귀식을 도출하였다. 도출된 회귀식에 미래기후를 대입하여 2041년부터 2050년의 군락 단위 산림식생의 분포를 예측하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 산림기후대 분포

기후요소에 따른 경험적 통계모형인 Holdridge 모형을 이용하여 산림기후대의 분포를 그림 3과

3) 로지스틱회귀모형의 확장된 형태를 말하며, 종속변수가 취할 수 있는 결과를 3 가지 이상 갖는 경우를 말한다. 종속변수가 순위척도로 측정될 때 사용되는 로짓모형을 순위로지모형이라 하고, 종속변수가 명목척도로 측정될 때 사용되는 로짓모형을 다항로지모형이라고 한다(성웅현, 2001).

같이 분류하였다.

현재 기후에서의 분류결과를 살펴보면, 68.00%가 냉온대림(Cool temperate forest) 기후대, 31.86%가 난온대림(Warm temperate forest) 기후대로 나타났다. 냉온대림 기후대는 주로 백두대간을 중심으로 분포하고 있으며, 난온대림 기후대는 제주도와 남해안 일대를 포함하는 강원도를 제외한 대부분의 지역에 넓게 분포하였다. 아한대림(Boreal forest) 기후대의 경우, 매우 제한적인 환경조건 때문에 0.13%를 차지하였다. 또한 제주도 남부 일대에 0.002%를 차지하는 아열대림(Subtropical forest) 기후대가 나타났다.

미래기후는 기온이 약 3.62℃ 증가하였고, 강수량은 21.82% 증가할 것으로 예측되었는데, 이렇게 예측된 결과는 산림기후대 분포에 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다(그림 3).

기후변화에 따른 산림기후대 분포의 가장 두드러진 변화는 아열대림 기후대의 증가로 볼 수 있다. 미래기후에서는 아열대림 기후대가 제주도와 남해안 일대, 경남 내륙과 전남 서부, 동해안

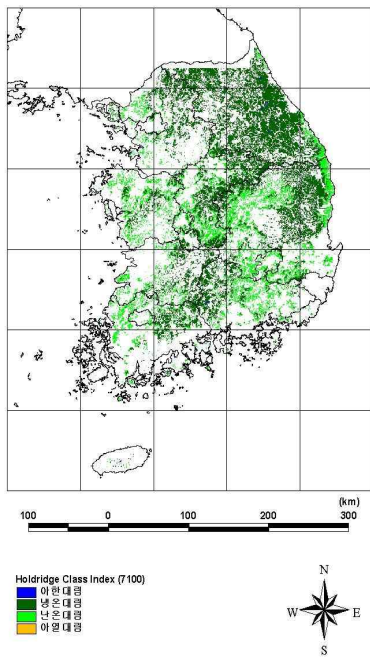


그림 2. 현재기후의 산림기후대 분포.

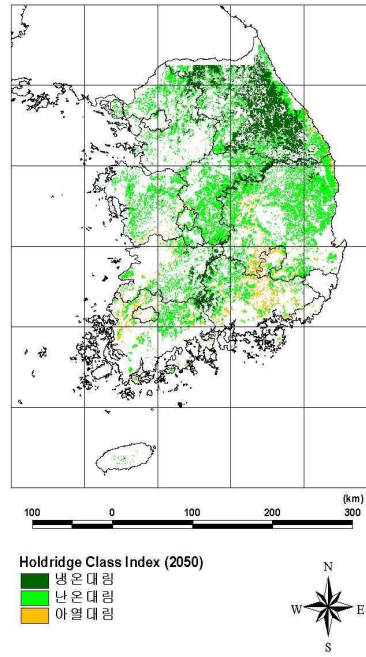


그림 3. 미래기후의 산림기후대 분포.

일부 지역 등 8.05%를 차지하는 것으로 나타났다. 또한, 난온대림 기후대는 경북 내륙과 충청지역, 경기지역 등으로 확대되어 전체 면적의 67.38%를 차지한 반면에 냉온대림 기후대는 기온증가로 그 범위가 백두대간 일부지역으로 축소되어 24.57%를 차지하였다.

2. 산림식생의 분포

현존식생도를 바탕으로 7개 군락과 기후요소, 지형, 토양 등의 환경변수 간의 상관관계를 살펴본 결과, 가을철(9~11월), 겨울철(12~2월) 강수량을 제외한 16개의 변수는 99% 유의수준에서 유의한 것으로 나타났다.

표 2. 산림식생과 환경변수의 pearson 상관관계.

	지형	총강수량	겨울 강수량	봄 강수량	여름 강수량	가을 강수량
상관계수	-0.16771 ^a	-0.13902 ^a	-0.01010	-0.06426 ^a	-0.18404 ^a	-0.00936
	연평균기온	겨울 평균기온	봄 평균기온	여름 평균기온	가을 평균기온	최한월 평균기온
상관계수	0.17010 ^a	0.17719 ^a	0.19624 ^a	0.13811 ^a	0.14241 ^a	0.17779 ^a
	최난월 평균기온	생물온도	한랭지수	온난지수	유기물함량	pH
상관계수	0.12715 ^a	0.15833 ^a	0.18062 ^a	0.15484 ^a	-0.09898 ^a	0.02467 ^a

※ a : 99% 유의수준

표 3. 산림식생과 환경변수의 관계식.

군락명	관계식
아고산 식생(A)	$0.1323+0.8777 \times DEM-0.2836 \times P_{jja}-0.7431 \times T_{jan}+0.6720 \times organic-0.0412 \times pH$
상록활엽수림(B)	$-41.2226+2.3159 \times DEM+0.0432 \times P_{jja}+2.1646 \times T_{jan}-0.7909 \times organic-0.3040 \times pH$
줄참나무군락(C)	$-9.9032+0.4836 \times DEM+0.2351 \times P_{jja}+0.1930 \times T_{jan}+0.3787 \times organic-0.0871 \times pH$
상수리나무군락(D)	$-3.1393-0.5867 \times DEM+0.2618 \times P_{jja}-0.0677 \times T_{jan}+0.1731 \times organic-0.1189 \times pH$
굴참나무군락(E)	$-4.0287+0.1859 \times DEM+0.0759 \times P_{jja}+0.00595 \times T_{jan}+0.3851 \times organic-0.0943 \times pH$
신갈나무군락(F)	$4.7917+0.1657 \times DEM+0.0381 \times P_{jja}-0.6179 \times T_{jan}+0.2409 \times organic+0.00604 \times pH$

미래의 산림식생 분포를 예측하기 위하여 산림 식생과 상관관계가 높고, 분류정확도가 높은 환경변수를 선정하였다. 선정된 환경변수를 살펴보면, 여름철 강수량(P_{jja}), 최한월 평균기온(T_{jan})이 기후조건으로 선정되었고, 지형(DEM)과 토양의 유기물함량(organic), pH를 반영하였다. 이렇게 선정된 환경변수를 이용하여 다항로짓모형을 통한 통계분석을 실시한 결과 다음의 관계식을 도출하였다(표 3).

각각 pixel이 갖고 있는 군락별 잠재분포확률값 가운데 가장 높은 확률이 나타나는 군락이 각각의 pixel에 나타나는 군락으로 결정되었다. 분류 결과를 현존식생도와 비교해 보았을 때, 99% 유의수준에서 약 72.72%의 분류정확도로 산림식생을 분류되는 것으로 나타났다. 표 3의 결과식에 미래기후를 입력하여 미래의 산림식생 분포를 예측하였다(그림 5).

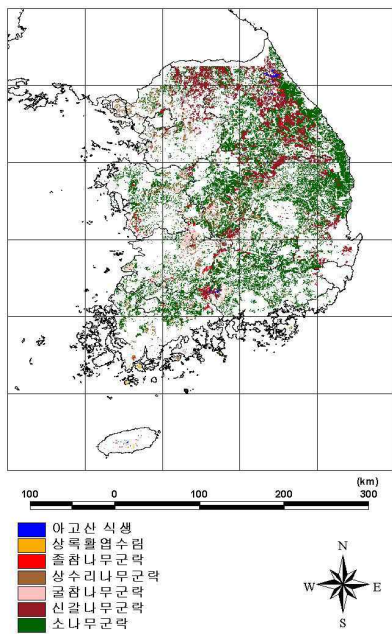


그림 4. 현재기후의 산림식생 분포.

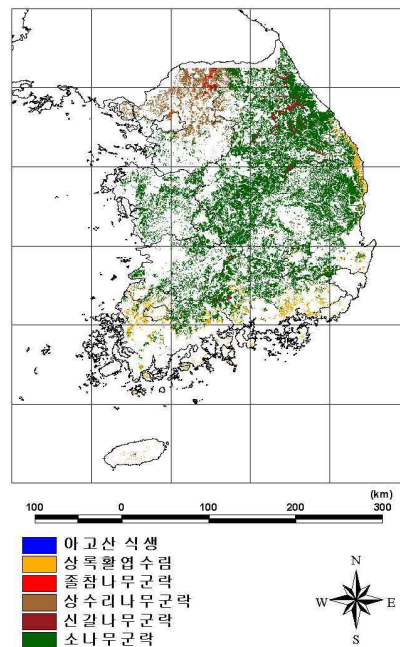


그림 5. 미래기후의 산림식생 분포.

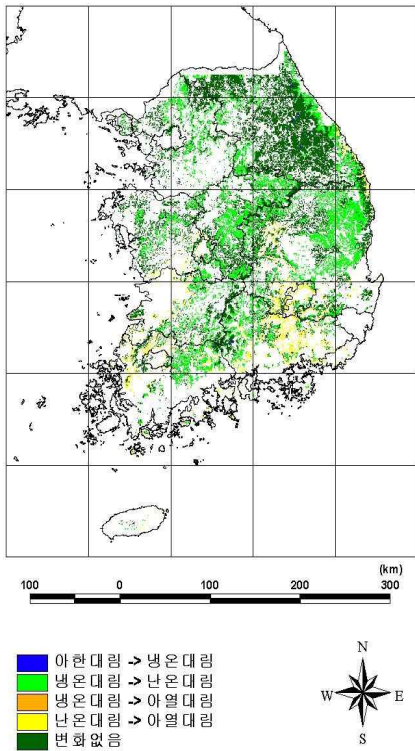


그림 6. 산림기후대의 이동.

3. 산림기후대의 취약성 평가

이러한 변화 가운데 기후변화 속도를 따라가지 못하는 취약한 지역을 평가하기 위하여, 목본식물의 추정 평균이동속도인 0.25km/yr를 적용하였다(그림 6).

분석결과를 살펴보면, 기후변화에 영향을 받지 않는 냉온대림과 난온대림은 45.18%로 나타났으나, 나머지 54.82%는 기후변화에 취약한 것으로 나타났다. 0.21%를 차지하고 있던 아한대림은 기온상승과 더불어 냉온대림으로 변화하여 생물종 다양성에 있어 많은 피해가 예상되고, 40.45%의 냉온대림이 경북내륙지방과 전남내륙지방을 중심으로 난온대림으로 변화하고, 남해안과 제주도를 중심으로 13.96%의 난온대림이 아열대림으로 변화될 것으로 예측되었다.

그러나, 기후변화에 의해 산림기후대가 변화하였지만 목본식물의 평균이동속도로는 따라가지 못하기 때문에, 이 지역의 산림식생은 열 스트레스를 받거나 건조해져서 고사의 위험을 갖게 된다.

4. 산림식생의 취약성 평가

산림기후대에서 기후변화 속도를 따라가지 못하는 지역을 대상으로 산림식생이 어떠한 취약성을 나타내는지 살펴보았다(표 4).

취약지역의 소나무군락 가운데 8.27%가 상록활엽수림으로 변화였고, 신갈나무군락의 8.84%가 소나무군락으로 변화였다.

남부지역과 동해안 일대에 있는 소나무군락이 상록활엽수림으로 변화였고, 남해안에 존재하는

표 4. 기후변화 취약지역의 산림식생 면적 비율.

현재 \ 미래	아고산 식생	상록 활엽수림	졸참나무 군락	상수리나무 군락	굴참나무 군락	신갈나무 군락	소나무 군락
아고산 식생	0.01	0.00	0.01	0.01	-	0.10	0.10
상록 활엽수림	-	0.20	-	-	-	-	0.00
졸참나무 군락	-	0.17	-	0.00	-	-	1.23
상수리나무 군락	-	0.60	-	1.54	-	-	2.78
굴참나무 군락	-	0.29	-	0.47	-	-	5.86
신갈나무 군락	-	0.10	-	3.38	-	0.18	8.84
소나무 군락	-	8.27	-	3.03	-	-	62.84

여러 섬들에 서식하였던 상수리나무군락과 굴참나무군락과 제주도에 존재하던 졸참나무군락이 상록활엽수림으로 바뀌었다.

취약지역의 3.38% 를 차지하는 신갈나무군락과 3.03% 를 차지하는 소나무군락이 상수리나무군락으로 바뀌면서, 경기지역에 집중적으로 분포하는 특징을 나타내고 있다.

신갈나무군락은 기후변화에 취약한 지역이 거의 나타나지 않았으며, 설악산과 지리산일대에 존재하던 아고산 식생이 신갈나무군락으로 변화하였다.

전북 북부지역을 중심으로 한 취약지역의 5.86%를 차지하는 굴참나무군락과 전국적으로 산재해 있던 취약지역의 8.84%의 신갈나무군락이 소나무군락으로 바뀔 것으로 나타났다.

IV. 결 론

지구환경의 중요성이 대두되고 있는 가운데 기후변화에 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.

한반도에서 지구온난화에 의해 기온과 강수량이 증가하면 상록활엽수림은 생육범위가 확장되지만 아고산 식생의 경우 점차 감소하는 것으로 나타났다. 아고산 식생의 경우, 우리나라의 백두대간의 높은 산지를 중심으로 분포하는데 기온증가로 인하여 이동할 수 있는 범위가 점차 줄어들기 때문이다. 아고산 식생뿐만 아니라, 다른 군락의 경우도 마찬가지로 기후변화에 적응하지 못하면서 수평적으로는 북쪽으로 이동하였다. 신갈나

무군락의 경우는 수직적인 이동도 확인할 수 있었다. 이처럼 기후변화에 적응하지 못한다면 분포지역이 다른 군락으로 변화하게 되면서 면적이 점점 줄어들 것이다.

따라서, 산림식생의 변화에 대한 종합적인 연구와 대책이 마련되어야 할 것이다. 인간의 활동에 의한 산림식생의 이동가능 범위가 감소되고 있기 때문에, 인간에 의한 자연훼손에 따른 보호대책이 같이 병행되어야 할 것이다.

본 연구는 첫째, 우리나라의 기후 특성을 잘 반영하는 RCM을 이용하여 미래기후를 예측하였다. 둘째, 산림식생의 생육환경에 대한 기초자료를 수집하였고, 이를 바탕으로 우리나라의 지역 특성을 잘 반영하는 지역기후모형을 활용하여 미래의 산림식생에 대한 취약성을 평가했는데 큰 의미가 있다고 할 수 있다. 연구결과를 이용하여 취약성을 나타내는 군락별로 관리방안을 마련할 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

그러나, 좀 더 발전된 기후변화영향연구를 위하여 다음과 같은 연구의 한계를 보완하여야 할 것으로 생각된다.

첫째, 식물의 천이과정을 반영하지 못하고 환경조건만을 고려한 산림식생의 분포를 설명하였다. 향후에 천이과정과 식물의 생산량을 포함하는 산림식생 예측모형을 개발할 필요성이 있다. 이러한 예측모형이 개발된다면 생육환경에 맞는 적지적소에 기후변화에 적응할 수 있는 군락을 조성할 수 있을 것으로 판단된다. 둘째, 다양한 시나리오의 RCM을 반영하지 못하였다. RCM의 경우 우리나라의 기후적 특성에 맞게 미래기후를 예측하였지만, A2시나리오만을 이용했다는 한계가 있다. 따라서 GCM과 같은 다양한 시나리오의 적용이 필요하다고 할 수 있다. 셋째, 연구결과에의 정확성을 좀 더 높이기 위하여 현장조사와 병행하여 비교·분석하는 것이 필요할 것으로 판단된다. 이러한 문제점들을 보완하여 기후변화의 영향을 최소화하기 위한 군락별 관리방안을 마련하여 기후변화에 적극적으로 대처해야 할 것이다.

인용문헌

- 공우석. 1999. 한라산의 수직적 기온 분포와 고산 식물의 온도적 범위. *대한지리학회지* 34(4) : 385-393.
- 공우석. 2002. 한반도 고산식물의 구성과 분포. *대한지리학회지* 37(4) : 357-370.
- 구경아 · 공우석 · 김종규. 2001. 한반도 상록활엽수의 지리적 분포와 기후요소. *대한지리학회지* 36(3) : 247-257.
- 김종원 · 신준환 · 임종환. 1995. 제6장 기후변화에 따른 식생대 변화 예측. *In* 기후변화가 한반도에 미치는 영향과 지구 환경관련 대책 연구(II). 한국과학기술연구원, 과학기술처 : 132-157.
- 동아일보(2004. 10. 27) '식물계 무법자' 제주 조릿대 한라산 점령.
- 성웅현. 2001. 응용 로지스틱 회귀분석-이론, 방법론, SAS활용. 서울 : 탐진.
- 양금철. 2001. 한반도의 기후와 지형적 특성에 근거한 생태공간의 분류. 중앙대학교 대학원 박사학위논문.
- 이승호 · 이경미. 2003. 기온 변화에 따른 벚꽃 개화시기의 변화 경향. *환경영향평가* 12(1) : 45-54.
- 조선일보(2005. 05. 17) 서울서 동백꽃이 피었습니다.
- 허인혜 · 권원태 · 전영문 · 이승호. 2006. 우리나라에서 기온 상승이 식생분포에 미치는 영향-대나무와 마늘을 중심으로. *환경영향평가* 15(1) : 67-78.
- Austin, M. P. 2002. Spatial prediction of species distribution : an interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecological Modelling*, 157(2-3) : 101-118.
- Emanuel, W. R., H. H. Shugart., M. P. Stevenson. 1985 Climatic change and the broad-scale distribution of terrestrial ecosystems' complexes. *Climatic Change*, 7(1) : 29-43.
- Hilbert, D. W., and B. Ostendorf. 2001. The utility of artificial neural networks for modelling the distribution of vegetation in past, present and future climates. *Ecological Modelling*, 146(1-3) : 311-327.
- Kirilenko, A. P., N. V. Belotelov., and B. G. Bogatyrev. 2000. Global model of vegetation migration : incorporation of climatic variability. *Ecological Modelling*, 132(1-2) : 125-133.
- Sanderson, R. A., S. P. Rushton., A. T. Pickering., and J. P. Byrne. 1995. A preliminary method of predicting plant species distributions using the British National Vegetation Classification. *Journal of Environmental Management*, 43 (3) : 265-288.
- Webb, T. 1986 Is vegetation in equilibrium with climate? How to interpret late-Quaternary pollen data. *Vegetatio*, 67(2) : 75-92.