

한반도 지역의 기후변화에 의한 고산·아고산 식생 취약성 평가*

이동근¹⁾ · 김재욱²⁾

¹⁾ 서울대학교 조경·지역시스템공학부 · ²⁾ 서울대학교 환경대학원

Vulnerability Assessment of Sub-Alpine Vegetations by Climate Change in Korea*

Lee, Dong-Kun¹⁾ and Kim, Jae-Uk²⁾

¹⁾ Department of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul National University,

²⁾ Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University.

ABSTRACT

This study's objects are to predict distribution and to assess vulnerability of sub-alpine vegetations in the Korean peninsula for climate change using various climate models. This study validates relationship between sub-alpine vegetations and environmental factors using Pearson correlation analysis. Then, the future distribution of sub-alpine vegetations are predicted by a logistic regression. The major findings in this study are; First, spring mean temperature (March-May), total precipitation, elevation and warmth index are highly influencing factors to the distribution of sub-alpine vegetations. Second, the sub-alpine vegetations will be disappeared in South Korea and concentrated around *Baekdu Mountain* in North Korea. North Korea is predicted to have serious impact of climate change because temperature will be increased higher than in South Korea. The study findings concluded that the assessment of the future vulnerability of sub-alpine vegetations to climate change are significant.

Key Words : *Global warming, Impact assessment, Regional climate model(RCM), Korean peninsula.*

I. 서 론

기후변화에 관한 정부간협의체(IPCC)가 지난

4월 5일 벨기에의 브뤼셀에서 발표한 4차 평가보고서에 따르면 2020년대에는 지구평균기온이 1°C 상승하면서 생물종에 다양한 변화가 나타날 것이

* 본 연구는 2007년도 환경부 “차세대 핵심환경기술개발사업”으로 지원받은 과제임.

Corresponding author : Kim, Jae-Uk, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University,
Tel : +82-2-880-4885, E-mail : japa95@snu.ac.kr

Received : 2 November, 2007. Accepted : 17 December, 2007.

라고 예측하였다(IPCC, 2007).

급격한 산업화로 인한 대기 중 CO₂ 농도의 증가로 인하여 우리나라의 경우 지구 평균보다 평균기온이 빠르게 증가하는 것으로 나타나고 있으며, 벚꽃의 개화시기와 신갈나무의 새잎이 돌아오는 시기가 빨라지는 등 기후변화가 자연생태계에 미치는 영향이 관찰되고 있다(임종환과 신준환, 2000; 이승호와 이경미, 2003).

기후변화로 인한 지구온난화의 영향으로 기온이 상승하면 우리나라의 남해안에 분포하고 있는 상록활엽수림의 분포는 확대되지만, 고산·아고산에 서식하는 식생들은 쇠퇴하거나 멸종하는 등 생태적 부작용이 발생할 수 있다. 우리나라의 고산·아고산 식생은 신생대 제4기 플라이스토세(Pleistocene) 빙하기에 북방에서 유입된 빙하기의 유존종으로 온도의 범위가 좁고 여름고온에 민감하여 지구온난화에 가장 취약하다고 볼 수 있다(공우석, 1998; 2005).

우리나라의 고산·아고산 식생에 대한 연구는 대부분 한라산과 지리산, 설악산 등 1,500m가 넘는 높은 산에서 이루어져 왔다. 공우석(1998; 1999)은 한라산을 대상으로 고산식생의 분포특성을 8가지 유형으로 구분하였고, 분포를 기초로 고산식생의 온도범위를 분석하여 고산식생에 대한 생물지리학적 기초 자료를 축적하였다. 또한 공우석(2002a; 2002b; 2005)은 한반도 전체를 대상으로 고산식생의 구성과 분포를 정리하고, 이를 바탕으로 지구온난화에 취약한 지표식물을 6등급으로 구분하였다.

북한지역의 고산·아고산식생에 대한 연구는 라응칠과 정인경(1985)이 아한대성식물구와 온대성식물구의 경계를 차지하고 있는 오가산자연보호구를 대상으로 한 연구가 있다. 김광보 등(1995)은 아한대북부내륙고원지대와 북온대산지대, 북온대낮은지대에 대한 산림림지지방의 특성에 대하여 연구하였다. 또한 김광보와 박준순(1997)은 아한대북부내륙고원지대를 대상으로 기상, 지형, 토양, 립종변수지표 등을 이용해서 인

자 및 무리분석방법을 실시하여 산림림지지구를 구분하였다. 황원국과 최현일(2003)은 자강도의 식물상을 대상으로 생활형별 중구성을 분류하고 종별 수직분포에 대한 연구를 수행하였다. 조성훈 등(2006)은 2001년도에 제작된 조선식물피복도의 한대성식물군락을 대상으로 식물군락을 실시하였다.

외국의 경우에는 식생분포와 환경인자 사이의 관계를 설명하기 위하여 생태적 이론을 바탕으로 한 다양한 통계적 모델과 GIS와 함께 이용하여 생태학적 모델링 분석을 하기 위한 최적의 모형을 찾기 위한 연구가 많이 이루어졌다(Muñoz and Felicísimo, 2004; Iverson *et al.*, 2005; Prasad *et al.*, 2006; Austin, 2007).

Augustin *et al.*(2001)은 식생타입과 같은 범주 자료로부터 공간적인 설명변수를 이용하여 변화확률을 간단하게 추정하기 위한 통계모형인 Logistic regression과 Multinomial logit model에 대한 연구를 수행하였다.

Calef *et al.*(2005)은 고도, 향, 경사, 배수형태, fire interval, 성장기간(5~9월)의 평균기온, 성장기간(5~9월)의 총강수량 등의 변수를 Logistic Regression Model을 이용하여 4가지 식생형태(툰드라, 낙엽수림, 검은가문비나무, 흰가문비나무)의 잠재적인 평형분포를 예측하였다.

이렇게 외국에서는 통계적 기법을 이용하여 식생의 분포를 예측하기 위한 연구가 많이 진행되고 있으나, 국내에서는 아직까지 미래예측을 위한 연구가 활발하게 이루어지지 않고 있다.

노의래(1983)는 기상인자를 이용하여 우리나라 삼림수종의 생육범위 및 적지적수를 구분하였으며, 구경아 등(2001)은 61속 132종에 달하는 상록활엽수의 종류에 따른 지리적 분포와 기후요소와의 관계를 분석한 결과, 분포하는 지역의 수, 수직적 고도 범위, 위도에 따라 7개의 그룹으로 분류하였다. 백승언(2002)은 한반도의 식물대 구계구분을 위하여 기온과 강수량 등 환경인자를 통계적 기법으로 분석하였으며, 이종수 등(2006)

은 우리나라의 소나무림과 참나무림의 분포를 지형, 기후, 토양관련 주제도를 이용하여 출현빈도 모델을 이용하여 분석하였다.

그러나, 대부분의 연구가 과거의 기상자료를 바탕으로 한 현재 분포의 연구에 머무르는 한계가 있었고(노의래, 1983; 구경아 등, 2001; 백승언, 2002), 미래기후는 불확실성이 높기 때문에 다양한 기후모형을 이용해야 하지만 한가지 GCM을 이용한 한계가 있었다(이종수 등, 2006).

따라서, 본 연구에서는 생물종 다양성 측면에서 우리나라 고유종을 보호하기 위하여 다양한 기후모형을 바탕으로 한반도의 고지대에 분포하는 고산·아고산 식생이 미래에 어떻게 변화될 것인지 예측하고 분포범위가 어떻게 변화할 것인지 평가하여 취약한 지역을 추출하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 재료

연구의 시간적 범위는 1971년부터 2000년까지 현재와 2041년에서 2050년까지를 목표연도로 설정하였다. IPCC 에서 제공하는 4개의 대순환모형(General circulation model, GCM)과 일본 국립환경연구소에서 제작한 지역기후모형(Regional

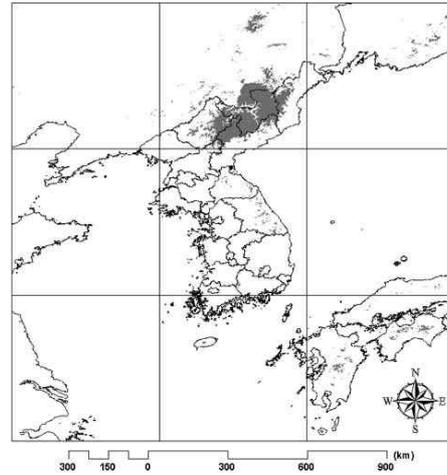


그림 1. 한반도의 고산·아고산 지대.

climate model, RCM)을 이용하였다(표 1). GCM 보다 RCM 이 우리나라의 기후특성을 잘 나타내지만, RCM 의 경우 다양한 모형이 없기 때문에 다양한 미래예측을 위하여 4개의 GCM 을 추가적으로 활용하였다(이동근 등, 2006).

미래를 예측하는데 활용된 시나리오는 IPCC 에서 제안한 SRES A2 를 이용하였다. SRES A2 는 지역의 개별성을 강조하기 때문에, 온난화대책을 위한 비용이 가장 많이 소요된다.

연구의 공간적 범위는 남북한 고산·아고산

표 1. 연구에 사용된 IPCC 에서 제공하는 GCM과 RCM.

Center	Acronym	Model	SRES Scenario Runs				Time Period
			A1	A2	B1	B2	
Hadley Centre for Climate Prediction and Research	HCCPR	HADCM3		A2		B2	1950-2099
Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation	CSIRO	CSIRO-Mk2	A1	A2	B1	B2	1961-2100
Canadian Center for Climate Modelling and Analysis	CCCma	CGCM2		A2		B2	1900-2100
Center for Climate System Research(CCSR) /National Institute for Environmental Studies (NIES)	CCSR/NIES	CCSR/NIES AGCM+CCSR OGCM	A1	A2	B1	B2	1890-2100
National Institute for Environmental Studies(NIES)	NIES/RAMS	NIES/RAMS RCM		A2			1981-1990 2041-2050

표 2. 우리나라의 고산·아고산 식생군락 목록.

대분류	우점종 군락(14개 군락)
산지관목림 (1)	털진달래군락(<i>Rhododendron mucronulatum</i> var. <i>ciliatum</i> Nakai)
아고산 침엽수림 (11)	전나무군락(<i>Abies holophylla</i> Maxim.), 구상나무군락(<i>Abies koreana</i> Wilson), 분비나무군락(<i>Abies nephrolepis</i> Maxim.), 시로미군락(<i>Empetrum nigrum</i> var. <i>japonicum</i> K. Koch), 눈향나무군락(<i>Juniperus chinensis</i> var. <i>sargentii</i> Henry), 노간주나무군락(<i>Juniperus rigida</i> Siebold & Zucc.), 잣나무군락(<i>Pinus koraiensis</i> Siebold & Zucc.), 눈잣나무군락(<i>Pinus pumila</i> Regel), 주목군락(<i>Taxus cuspidata</i> Siebold & Zucc.), 눈측백군락(<i>Thuja koraiensis</i> Nakai), 측백나무군락(<i>Thuja orientalis</i> L.)
아고산 활엽수림 (2)	사스래나무군락(<i>Betula ermanii</i> Cham.), 자작나무군락(<i>Betula platyphylla</i> var. <i>japonica</i> Hara)

지역의 식생을 대상으로 하였다. 남북한 지역의 고산·아고산 분포는 여러 선행연구와 현존식생도의 고산·아고산 식생이 분포하는 지역의 평균고도를 참고하여 표고 1,000m 이상인 지역으로 선정하였다(김윤식 등, 1981; 공우석, 2002; 2005; 2006).

현존식생도와 공우석(2002)의 연구에서 고산·아고산 식생은 크게 아고산침엽수림과 아고산활엽수림으로 구분되어 있으며, 각각 11개, 2개의

우점종 군락으로 이루어져 있다(표 2).

2. 연구방법

본 연구에서는 기상청 자료를 이용하여 추정된 현재기후와 현존식생도의 고산·아고산 식생군락의 서식환경에 대한 정보에 대하여 로지스틱 회귀분석을 실시하였다. 로지스틱 회귀모형은 선형회귀모형의 제한적인 가정들을 극복할 수 있기 때문에 종속변수가 두가지 값만 취하는 모형에

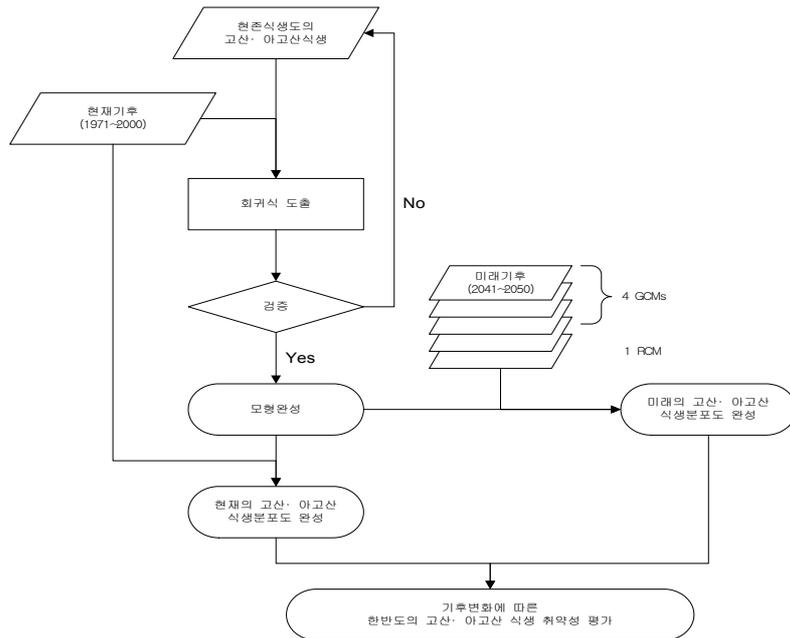


그림 2. 연구방법.

널리 사용된다(성웅현, 2001).

로지스틱 회귀분석에서 도출된 식에 현재기후를 입력하여 현존식생도의 고산·아고산 식생분포와 비교한 다음, 미래의 분포를 예측하였다. 본 연구에서는 현재에는 고산·아고산 식생이 분포하지만, 미래에 그 지역에 고산·아고산 식생이 분포하지 않는 경우를 취약성으로 정의하였으며, 미래와 현재의 분포차이를 이용하여 한반도에서 기후변화에 의한 고산·아고산 식생의 취약성을 평가하였다(그림 2).

III. 결과 및 고찰

1. 현재의 고산·아고산 식생분포

남한지역의 고산·아고산 식생분포를 살펴보면, 설악산, 지리산, 한라산을 중심으로 산림면적의 약 0.26%를 차지하고 있으며 분포지역의 평균 높이는 약 1,000 m 정도로 나타났다. 분포지역의 기후조건을 살펴보면, 연평균기온은 5.7 °C, 총강수량은 1,346.7 mm로 나타났다(그림 3, 표 3).

고산·아고산 식생이 분포할 가능성이 높은 고산·아고산 지역은 북한의 경우, 국토면적의 22.8%를 차지하고 있으며 남한은 1.3%로 나타났다.

고산·아고산 식생분포와 환경변수와의 관계

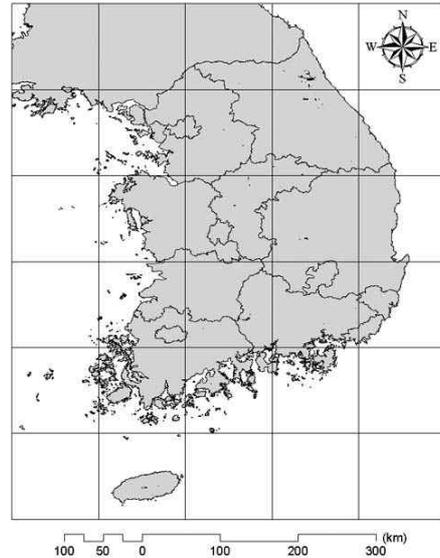


그림 3. 고산·아고산 식생분포도.

표 3. 고산·아고산 식생분포 특성.

	범위	평균
면적	0.26%	
고도(m)	86~1,824	1,024.1
평균기온(°C)	1.2~15.9	5.7
총강수량(mm)	1,019~1,837	1,346
온량지수(月·°C)	30.9~130.6	57.3

표 4. 식생분포와 환경변수의 상관분석 결과.

구분	평균기온	최한월 평균기온	최난월 평균기온	봄 평균기온	여름 평균기온
고산·아고산	-0.09080	-0.06791	-0.09632	-0.10778	-0.10703
p-value	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
구분	가을 평균기온	겨울 평균기온	총강수량	봄 강수량	여름 강수량
고산·아고산	-0.07321	-0.07121	0.01627	0.00302	0.00334
p-value	<.0001	<.0001	<.0001	0.2571	0.2101
구분	가을 강수량	겨울 강수량	고도	온량지수	한랭지수
고산·아고산	0.03578	0.02711	0.11088	-0.08956	-0.08932
p-value	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001

표 5. 식생분포와 환경요소의 로지스틱 회귀분석 결과.

Factor	회귀계수	유의확률
봄철 평균기온(T_{mam})	-1.8873	<.0001
총강수량(P_{total})	-0.00290	<.0001
고도(DEM)	0.00434	<.0001
온량지수(WI)	0.2586	<.0001
intercept	-10.8265	<.0001

를 알아보기 연평균기온, 최한월 평균기온, 최한월 평균기온, 계절별 평균기온, 총강수량, 계절별 강수량, 고도, 온량지수, 한랭지수 등의 환경변수를 이용하였다. 상관분석 결과, 봄과 여름 강수량을 제외한 13개의 환경변수와 99% 유의수준에서 유의한 것으로 나타났다(표 4).

상관성이 높은 변수들을 중심으로 기온, 강수량, 지형(고도), 식생관련 지수 등 4개의 변수를 선정한 결과, 봄철(3~5월) 평균기온, 총강수량, 고도, 온량지수가 유의성이 높게 나타났다.

독립변수들의 값이 모두 0 이라는 귀무가설에서 $-2 \log L$ 값은 χ^2 -분포를 따르며 유의확률이 99%이므로 환경인자와 고산·아고산 식생의 회귀모형은 유의하였다. Score 검정의 유의확률 또한 99%로서 모형의 적합성에 문제가 없다고 판단하였다.

따라서, 고산·아고산 식생분포와 환경변수간의 관계를 가장 적합한 회귀식은 다음과 같다.

$$\log\left(\frac{p}{1-p}\right) = 0.00434DEM + 0.2586WI - 0.00290P_{total} - 1.8873T_{mam} - 10.8265$$

$$P(Alpine) = \frac{\text{EXP}\left\{\log\left(\frac{p}{1-p}\right)\right\}}{1 + \text{EXP}\left\{\log\left(\frac{p}{1-p}\right)\right\}}$$

도출된 회귀식의 예측치와 관측치간의 통계값을 살펴보면, 현재 모형으로 관측치를 정확히 예측한 비율은 78.8%이며, Somer's D, Gamma, Tau-a, c 등 서열통계량에 대한 상관관계 모두 양(+)의 값을 가지며, 비교적 높은 값을 나타냈기 때문에 예측이 잘 되었다고 볼 수 있다.

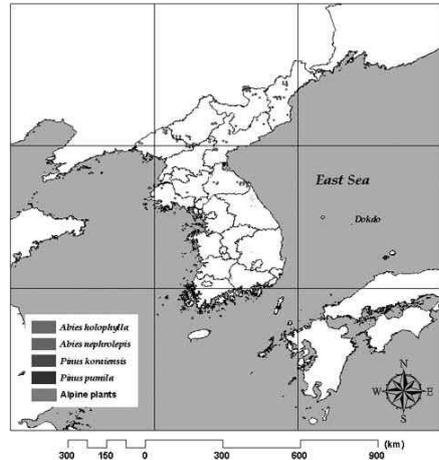


그림 4. 현존식생도의 고산·아고산 식생분포.

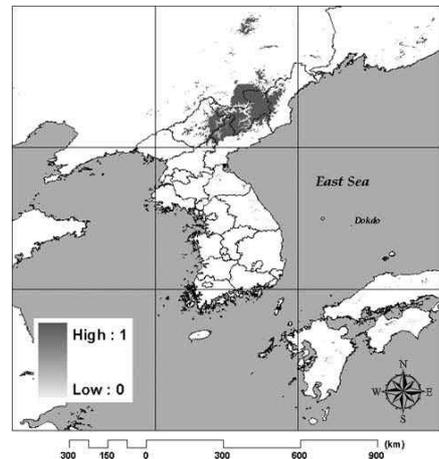


그림 5. 현재기후에서의 고산·아고산 식생분포.

그림 4는 남한은 현존식생도의 고산·아고산 식생분포, 북한은 1950년대를 전후하여 채집된 지역과 문헌 상에 나타난 전나무, 분비나무, 잣나무, 누운잣나무의 분포를 나타낸 것이다(김윤식 등, 1981; 공우석, 2004; 2006). 그림 5는 도출된 회귀식을 적용한 분포를 나타내었다. 그림 4~5

를 비교한 결과, 유사한 공간패턴을 나타내는 것을 알 수 있었으며, 한반도의 고산·아고산 지역에 고산·아고산 식생이 분포할 확률은 75.3%로 나타났다.

2. 미래의 고산·아고산 식생분포

1) GCM을 이용한 고산·아고산 식생분포

IPCC에서 제공하는 4개의 GCM을 이용해서 고산·아고산 지대를 대상으로 미래의 고산·아고산 식생분포를 예측한 결과, CCSRNIES GCM의 경우 가장 낮은 분포확률인 15.5%를 나타냈다. 백두산과 개마고원 일부를 제외한 대부분의 지역에서 고산·아고산 식생이 분포할 확률이 낮게 나타났다. CCSRNIES GCM은

월평균 기온이 현재보다 2.0~5.5 °C 증가할 것으로 예측되고, 강수량은 가장 낮은 증가율을 나타내었다. 특히 고산·아고산 식생분포에 영향을 미치는 봄의 기온 증가가 높게 나타나 고산·아고산 식생분포의 확률이 낮아진 것으로 판단된다.

CGCM2와 CSIRO-Mk2 GCM은 현재 분포확률과 비교했을 때 평균적으로 5% 정도 확률이 감소되었다. 다른 GCM과 비교했을 때 연평균기온의 증가가 낮았고, 총강수량은 월평균 변화는 크지 않았으나 계절별 변동 폭이 크게 나타났다.

마지막으로 HADCM3 GCM은 고산·아고산 식생의 분포확률이 약 17% 정도 줄어들 것으로 예측되었다.

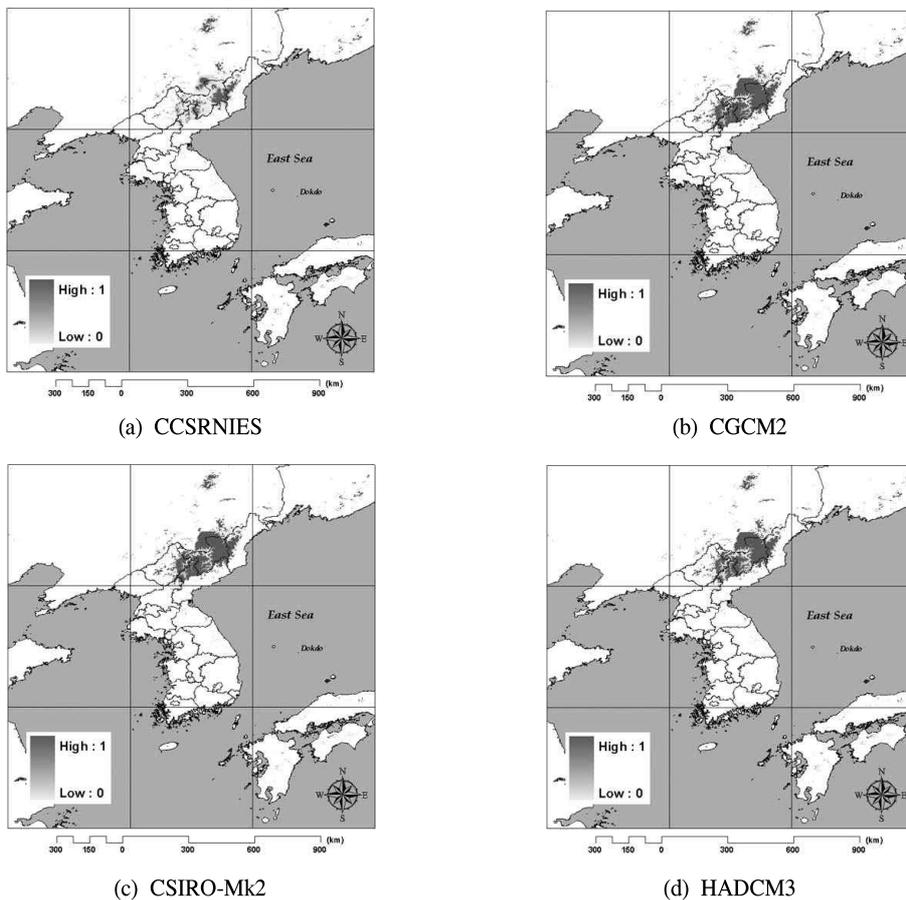


그림 6. 각 GCM별 고산·아고산 식생분포.

2) RCM을 이용한 고산·아고산 식생분포

우리나라의 기후특성을 잘 반영하는 것으로 나타난 RCM을 이용해서 미래의 고산·아고산 식생분포를 예측한 결과, 분포확률이 약 63.7%로 예측되었다. 현재와 비교했을 때, 약 11% 가량 낮게 나타났다.

RCM의 경우 GCM의 평균과 비교해 보았을 때, 북한지역이 다소 높은 증가를 보이고 있다. 계절적으로는 여름철(6~8월)의 기온이 가장 높은 4.47℃ 증가할 것으로 나타났다. 남한지역은 계절적으로는 비교적 고른 증가를 나타냈으나, 봄철(3~5월)의 기온이 가장 높은 3.76℃ 증가할 것으로 나타났다. 강수량은 7월과 10월을 제외한 모든 달에 증가추세를 나타내고 있었다.

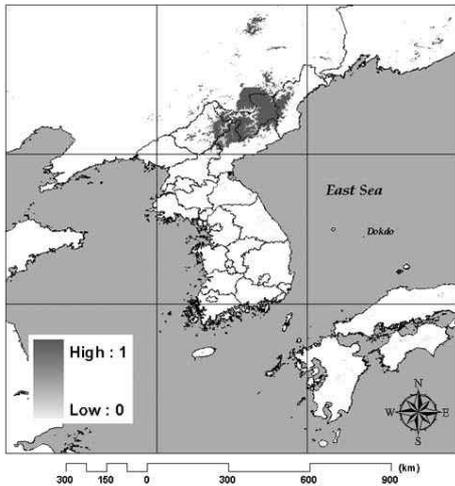


그림 7. RCM을 이용한 고산·아고산 식생분포.

3. 고산·아고산 식생의 취약성 평가

4개의 GCM과 1개의 RCM을 종합한 결과와 현재기후에서 고산·아고산 지역의 분포를 비교하여 취약성을 평가하였다. 평가한 결과를 살펴보면, 전체적으로 약 19% 정도 고산·아고산 식생분포 확률이 낮아졌다. 특히 고산·아고산 식생분포 확률이 감소할 것으로 예상되는 북은 지역이 개마고원을 중심으로 한 북한지역에 많이 나타났다(그림 8).

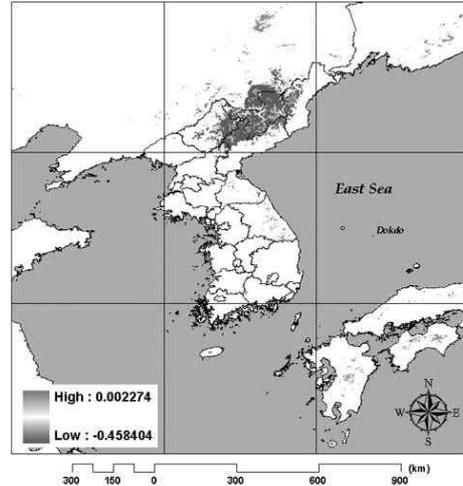


그림 8. 고산·아고산 식생의 취약성 평가.

그 원인으로서는 온도의 경우에 남한지역 보다는 북한지역에서의 온도 증가가 더 많이 일어났는데, 이는 향후 기후변화의 영향이 남한보다는 북한에서 더 많은 영향을 미칠 가능성을 보여주는 것이라 할 수 있다.

북한의 경우 자강도와 양강도, 함경북도 지역의 고산·아고산 식생분포 확률이 떨어질 것으로 나타난 반면에, 백두산 부근은 낮은 확률이지만 고산·아고산 식생의 분포확률이 현재보다 증가하는 것으로 예측되었다.

남한의 대표적인 고산·아고산 지대인 설악산과 지리산, 한라산의 경우에는 고산·아고산 식생의 분포확률이 증가할 것으로 예측되었으나, 그 확률이 매우 적은 것으로 나타났으며, 상대적으로 지리산 부근의 감소 확률이 높게 나타났다(그림 9).

IV. 결 론

우리나라의 기후변화 속도는 지구 평균보다 빠르게 진행되고 있으며, 이미 기후변화의 영향에 의한 생태계의 변화가 진행되고 있는 것으로 조사되었다.

본 연구는 기후변화에 가장 민감하게 반응하

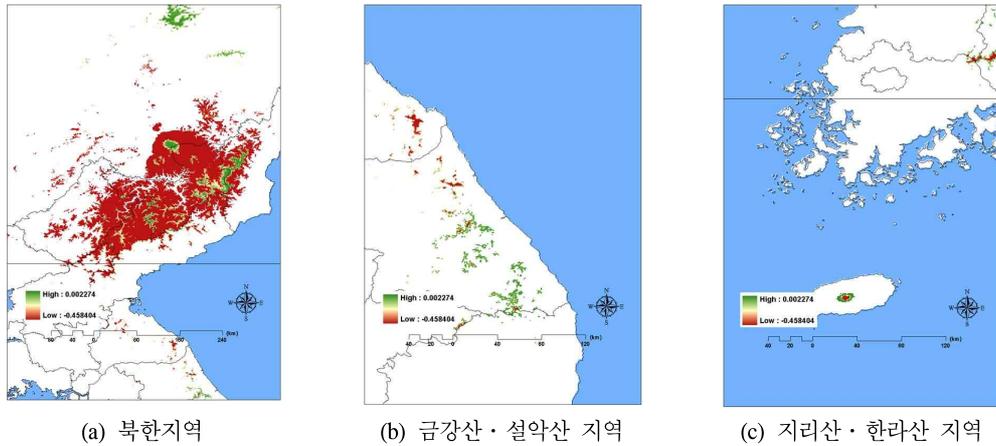


그림 9. 주요 지역의 고산·아고산 식생분포 확률의 변화.

는 고산·아고산 식생을 대상으로 남북한 지역에 대한 취약성을 평가했는데 큰 의의가 있다.

기후변화로 인한 기온 증가로 우리나라의 고지대에서 서식하는 고산·아고산 식생이 분포할 확률이 많이 낮아지는데, 남한지역보다는 북한지역이 더 많은 영향을 받는 것으로 나타났다.

또한 남북한 지역에 공통적으로 적용할 수 있는 자료의 한계를 극복해야 할 것으로 판단된다. 토양의 분포는 식생분포에 많은 영향을 미치지만, 아직까지 자료를 확보하지 못하였기 때문에 모형에서 반영하지 못하였다. 또한 우리나라와는 다른 지형적 조건 및 토양조건에 의한 식생분포를 모형에 반영시켜야 현실을 더욱 잘 반영할 수 있을 것이다. 마지막으로, 로지스틱 회귀모형 뿐만 아니라 다양한 통계모형을 비교하는 과정을 통하여 최적 모형의 개발이 필요하다.

인 용 문 헌

공우석. 1998. 한라산 고산식물의 분포 특성. 대한지리학회지 33(2) : 191-208.
 공우석. 1999. 한라산의 수직적 기온 분포와 고산 식물의 온도적 범위. 대한지리학회지 34(4) : 385-393.
 공우석. 2002. 북한 자연생태계의 생물지리적 특

성. 환경영향평가 11(3) : 157-172.
 공우석. 2002. 한반도 고산식물의 구성과 분포. 대한지리학회지 37(4) : 357-370.
 공우석. 2004. 한반도에 자생하는 칩엽수의 종 구성과 분포. 대한지리학회지 39(4) : 528-543.
 공우석. 2005. 지구온난화에 취약한 지표식물 선정. 한국기상학회지 41(2-1) : 263-273.
 공우석. 2006. 한반도에 자생하는 소나무과 나무의 생물지리. 대한지리학회지 41(1) : 73-93.
 구경아 · 공우석 · 김종규. 2001. 한반도 상록활엽수의 지리적 분포와 기후요소. 대한지리학회지 36(3) : 247-257.
 김광보 · 김미림 · 김성익. 1995. 우리 나라 산림립지의 영역적구분에 대한 연구(2) - 산림립지지방구분. 자연과학 4(172) : 4-8.
 김광보 · 박준순. 1997. 우리 나라 산림립지의 영역적구분에 대한 연구(3) - 아한대북부내륙 고원지대에서 인자 및 무리분석방법에 의한 산림립지지방별 산림립지지구구분. 지리과학 2(178) : 24-28.
 김윤식 · 고성철 · 최병희. 1981. 韓國植物의 分布圖에 關한 研究 IV-소나무科的 分布圖. 식물분류학회지 11(1-2) : 53-75.
 노의래. 1983. 氣象因子에 의한 우리나라 森林樹種의 生育範圍 및 適地適樹에 관한 研究. 한

- 국립학회지 62 : 1-18.
- 라응철·정인경. 1985. 오가산자연보호구 식물피복의 몇가지 군락학적특성. *생물학* 3(90) : 28-33.
- 백승언. 2002. 한국식물대의 구계구분에 대한 재검토. *한국생태학회지* 25(1) : 1-6.
- 성웅현. 2001. 응용 로지스틱 회귀분석-이론, 방법론, SAS 활용. 서울 : 탐진.
- 이동근·김재욱·정휘철. 2006. 기후변화의 영향 평가를 위한 대순환모형과 지역기후모형의 비교 연구. *환경영향평가* 15(4) : 249-257.
- 이승호·이경미. 2003. 기온 변화에 따른 벚꽃 개화시기의 변화 경향. *환경영향평가* 12(1) : 45-54.
- 이중수·이우균·윤정호·송철철. 2006. 공간통계와 GIS를 이용한 소나무림과 참나무림의 분포패턴. *한국임학회지* 95(6) : 663-671.
- 임종환·신준환. 2000. 지구온난화가 산림생태계에 미치는 영향. *자연보존* 111 : 19-25.
- 조성훈·윤재혁·리기철. 2006. 조선식물피복도에 묘사된 한대성식물군락의 생태적특성에 대한 연구. *생물학* 3(174) : 48-49.
- 황원국·최현일. 2003. 자강도 식물상의 종구성과 그 수직분포에 대한 연구. *생물학* 1(160) : 45-46.
- Augustin, N. H., Cummins, R. P., and French, D. D. 2001. Exploring spatial vegetation dynamics using logistic regression and a multinomial logit model. *Journal of Applied Ecology*, 38 (5) : 991-1006.
- Austin, M. 2007. Species distribution models and ecological theory : A critical assessment and some possible new approaches. *Ecological Modelling*, 200(1-2) : 1-19.
- Calef, M. P., McGuire, A. D., Epstein, H. E., Rupp, T. S., and Shugart, H. H. 2005. Analysis of vegetation distribution in Interior Alaska and sensitivity to climate change using a logistic regression approach. *Journal of Biogeography*, 32(5) : 863-878.
- IPCC. 2007. *Climate change 2007 : Impacts, Adaptation and Vulnerability*. The 8th Session of Working Group II of the IPCC. Brussels : Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Iverson, L. R., Prasad, A. M., and Schwartz, M. W. 2005. Predicting Potential Changes in Suitable Habitat and Distribution by 2100 for Tree Species of the Eastern United States. *Journal of Agricultural Meteorology*, 61(1) : 29-37.
- Muñoz, J., and Felícimo, Á. M. 2004. Comparison of statistical methods commonly used in predictive modelling. *Journal of Vegetation Science*, 15(2) : 285-292.
- Prasad, A. M., Iverson, L. R., and Liaw, A. 2006. Newer Classification and Regression Tree Techniques. *Ecosystems*, 9(2) : 181-199.