

기후변화에 따른 우리나라 특산식물의 잠재적 분포적지 변화 예측*
- 모데미폴을 중심으로 -

이상혁¹⁾ · 정휘철²⁾ · 최재용¹⁾

¹⁾ 충남대학교 산림환경자원학과 · ²⁾ 한국환경정책·평가연구원 국가기후변화적응센터

Projecting Climate Change Impact on the Potential Distribution of
Endemic Plants (*Megaleranthis saniculifolia*) in Korea*

Lee, Sang-hyuk¹⁾ · Jung, Huicheul²⁾ and Choi, Jaeyong¹⁾

¹⁾ Dept. of Environment and Forest Resources, Chungnam National University,

²⁾ Korea Adaptation Center for Climate Change, Korea Environment Institute.

ABSTRACT

The importance of the genetic value of native plants has been raised recently after the adoption of Nagoya Protocol. In this stream, this research focused on the future distribution of *Megaleranthis saniculifolia* which has been evolved and adapted to Korean natural environment and classified as an endemic endangered species by IUCN. The distribution of the species in future are projected based on 'present potential distribution area' by adopting SRES (Special Report on Emission Scenarios) A1B climate change scenario using 6 types of GCM (General Circulation Model). The major results of the research are as follows : habitats of *Megaleranthis saniculifolia*. (1) will be reduced by 44% nation wide; (2) in Chungcheongnam Do and Jeollanam Do will be the most affected; and (3) in high altitude in Chungcheongbuk Do, Gyunggi Do and Gangwon Do will be relatively less affected.

Key Words : SRES, habitat, GCM, Nagoya Protocol, Maxent model.

* 본 연구는 산림청 '산림과학기술개발사업-효율적 산림투자를 위한 국제협력방안 수립 및 주요 투자대상국의 SWOT 분석(과제번호 : S211012L020330)'의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

First author : Lee, Sang-hyuk, Department of Environment & Forest Resources, Chungnam National University 305-764, Korea,
Tel : +82-42-821-7835, E-mail : sonata@cnu.ac.kr

Corresponding author : Choi, Jaeyong, Department of Environment & Forest Resources, Chungnam National University 305-764, Korea,
Tel : +82-42-821-5750, E-mail : jaychoi@cnu.ac.kr

Received : 23 May, 2012. **Revised** : 12 June, 2012. **Accepted** : 12 June, 2012.

I. 서론

한반도는 단위면적 대비 비교적 다양한 식물상을 보유하고 있는데(국립수목원, 2009a), 이 중 우리나라 특산식물(Korean Endemic Plants)은 한반도의 자연환경에서 적응·진화 해온 우리나라에만 분포하는 귀중한 유전자원이다(김무열, 2004).

현재 기후변화가 가속화됨에 따라 자생식물의 서식지 이동추세가 심화되고 있으며(국립수목원, 2009a), 미세한 환경요인의 변화에도 민감하게 반응하는 특산식물의 보전과 관리는 대단히 중요한 문제로 인식되고 있다. 불확실한 미래 전망하의 신뢰성 높은 관리정책 수립을 위해서는 특산식물 분포지 예측의 불확실성을 고려한 기후변화 영향의 확률적 평가가 필요하다. 하지만, 현재 대부분의 특산식물 연구는 과거의 기상자료를 바탕으로 한 현재 분포 연구에 머무르고 있으며(구경아 등, 2001; 백승언, 2002), 기후변화하의 미래 환경변화가 특산식물 미래 분포지 변화에 미치는 영향 예측 노력은 부족한 실정이다.

지구기온이 상승하고 있는 현 시점에서 미래 기후를 전망하는 것은 기후변화 영향평가 및 적응 부분에서 가장 필수적인 정보이며, 기후 변화에 적응 대책을 세워야 하는 모든 분야에서 유용하게 이용될 수 있다(권영아 외, 2007). 그러나, 기후변화 시나리오에 따른 개별 종의 반응을 모델링하는 것은 간단한 일이 아니며, 일반적으로 비기후적 요소를 포함하지 않는 모델은 개체군 반응을 잘못 예측할 수도 있다(국립환경과학원, 2006). 이러한 상황에서 생물종의 분포는 기후변화에 대한 생태계 영향을 평가하는 지표로서 매우 유용하며, 이런 한계를 극복하기 위한 연구가 영국이나 유럽에서 활발하게 수행되고 있다(국립환경과학원, 2006).

본 연구의 목적은 생물다양성협약에 의한 자국 식물자원 배타적 권리인정으로 자생 식물자원의 보존기능 확대됨에 따라 전국에 분포하는 한반도 특산식물 중 보전가치가 높은 종에 대한 현

황을 파악하고, 여러 자생 환경인자와 기후변화 시나리오 및 기후변화 예측모델의 비교를 통해 특산식물 중의 하나인 모데미풀의 분포 가능한 생육적지를 예측하는데 있다. 이를 통해 모데미풀 현재 자생지의 잠재적 분포지역을 분석하고 추후 기후변화로 인한 영향의 정도에 따라 서식처 분포 변화를 예측하고자 한다. 이를 통해 자연적 이동속도보다 빠르게 진행되는 기후변화로 인한 피해를 최소화하기 위한 특산식물 현지내(*in-Situ*) 보전방안과 미래 기후변화 취약성에 대한 기반 정보 제공을 목적으로 하고 있다.

II. 연구범위

본 연구는 북위 33°~39°, 동경 123.5°~131°의 우리나라 전역을 대상으로 모데미풀의 잠재적 분포 가능지역을 예측하며, 기후변화 영향을 평가하기 위해 1950년~2000년을 현재로 설정하고 2080년대(2070년~2099년)의 분포지 변화와 사멸위험성을 분석하고자 한다.

연구대상 특산식물은 한반도에서만 자생하는 1종 1속의 유전적 가치가 높은 6가지 한국의 특산속식물 중 세계자연보전연맹(International Union for Conservation of Nature and Natural Resources; IUCN)과 국립수목원에서 작성된 RED LIST 위기종 목록(국립수목원 2009b)에 포함되어 상대적 중요도가 높은 것으로 판단되는 모데미풀을 선정하였다. 현재 모데미풀은 백두대간을 따라 강원, 충북, 경북, 경남, 전북지역과, 제주도에 자생하고 있으며, 해발 770~1,440m 정도의 범위와 0°~20° 경사의 완만한 계곡부에 생육한다고 알려져 있다(장수길, 2008). 2003년~2006년 소백산과 태백산 자생지 특성과 개체수 증감 및 생식기관의 정량적 형질의 조사결과 성숙 개체수의 변화에서 소백산 모데미풀의 수는 지속적인 증가를 보이는 반면, 태백산의 개체수는 감소하는 양상을 나타냈다(오병윤 외, 2009).

III. 연구방법

불확실성이 높은 미래 기후 전망을 보완하기 위해서는 복수의 GCM(General Circulation Model) 혹은 RCM(Regional Climate Model)을 이용하는 것이 필요하다(이중수 등, 2006). 본 연구에서는 모데미폴의 미래 분포지 예측을 위해 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 배출시나리오에 관한 특별보고서(Special Report on Emission Scenarios, SRES)의 기후변화 시나리오들 중 현실에 가장 잘 부합되는 것으로 알려진(권영아, 2007), A1B 시나리오하의 6가지 GCM 모델 결과를 분석에 이용하였다(Table 1). WorldClim에서 제공하는 공간 상세화(downscaling)된 해상도 30"(약 1km)의 6가지 GCM들을 식생 분포 예측 모형의 입력자료로 하여 2050년대와 2080년대의 모데미폴의 잠재 분포지를 추정하고 지역별 소멸예상 확률을 분석하였다.

현재 식생 분포 예측 연구는 통계적 기법을 이용한 방법 등 다양한 예측 모형들이 해외를 중심으로 개발·적용되고 있으며, 입력 자료의 형태에 따라 출현/비출현 자료, 출현/임의 비출현 자료, 출현자료 등을 이용하여 환경정보의 공간적 분포에 따른 종별 잠재 서식지를 예측하는데 활용되었다(Franklin, 1995; Guisan and Zimmermann, 2000). 국내에서도 미래 분포지 예측 연구가 부분적으로 이루어지고 있으며 주로 출현자료만 조사된 우리나라 현실상, 출현자료만을 이용하여 서식가능 확률이 계산 가능한 Logistic 모형(이동

근과 김재욱, 2007), MaxEnt(Maximum Entropy) 모형(서창완, 2008; 송원경, 2011) 등을 이용한 연구 등이 있다. 본 연구에서는 MaxEnt모형의 일종인 Java 6기반의 Maximum Entropy Species Distribution Modeling 3.3.3k(Phillips 외, 2006)를 사용하여 잠재 분포지 예측을 실시하였으며, 입력 자료의 구축을 위해 DIVA-GIS 7.5와 ArcGIS Desktop9.3 software를 사용하였다.

모데미폴 서식지 위치 정보는 국립수목원의 자생지 조사 데이터에 기반한 자료를 바탕으로 총 26곳의 자생지 위치자료를 이용하였다. 서식 지역의 제한적 공간정보를 모형의 종속변수로 설정하고 이에 상응하는 각종 환경정보(19가지 생물기후정보(BioClim) 및 고도, 경사 등 기타 환경변수)를 독립변수로 하여 통계적 상관성을 분석하였으며, 연구지역내 현재 환경변수에 따른 잠재적 식생분포를 추정하였다. 미래 분포적지 분석은 WorldClim자료에 따른 2050년대와 2080년대의 환경변수 변화에 따른 잠재 분포지역을 분석하고 6개 GCM들의 평균과 편차를 계산하였다.

IV. 연구결과

1. 현재의 잠재적 서식 가능분포지

현재 자생지 위치 관측 자료와 DEM(Digital Elevation Model)의 중첩 비교를 통해 자생지의 고도를 추정한 결과, 현재 자생지 위치 중 가장 높은 곳이 1,673m이나 대부분의 자생지는 장수

Table 1. List of GCM models.

Center	Model	Country	Reference
National Center for Atmospheric Research	CCSM30	U.S.A.	Collins, W.D. <i>et al.</i> (2005)
Canadian Center for Climate Modelling and Analysis	CGCM31	Canada	Scinocca <i>et al.</i> (2008)
Institut Pierre-Simon Laplace	CM4	France	Marti <i>et al.</i> (2005)
Max Planck Institute for Meteorology	ECHAM5	Germany	Jungclaus <i>et al.</i> (2005)
Hadley Centre for Climate Prediction and Research	HadCM3	U.K.	Collins, M. <i>et al.</i> (2001)
Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation	MK3	Australia	Gordon <i>et al.</i> (2002)

길(2008)에서 조사된 해발 770~1,440m 사이의 고도와 유사한 범위에 분포하는 것으로 나타났다(Figure 1). 또한 MaxEnt 모형을 통해 추정된 잠재 분포 확률과 자생지 관측 위치 비교를 통해 관측지역의 발생확률을 비교한 결과, 모데미풀은 분포 확률이 30%이상 지역에 현재 자생지가 위치하고 있으며, 전체 관측수의 60%이상인 16개(총 26개중) 위치는 분포 확률 70% 이상인 지역에 나타나고 있다(Figure 2). 현재 모데미풀 관측 정보는 공간적으로 분산된 26개 지점 자료만이 제공되어(Figure 3), 자생지 경계 판단을 위한 관측자료가 부족한 편이다. 따라서 본 연구에서는 명확한 경계설정에 주목하기 보다는 현재 모데미풀 자생지역 전체를 포함하는 30% 이상 분포확률 지역을 잠재 생육 가능 지역으로 정의하고, 기후변화에 따른 상대적 잠재 생육지면적 변화를 분석하였다.

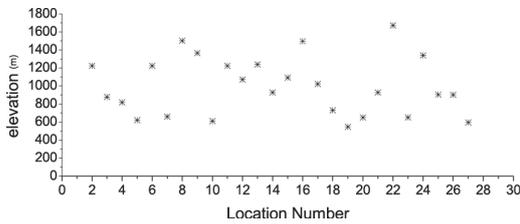


Figure 1. Estimated elevation of *Megaleranthis saniculifolia*.

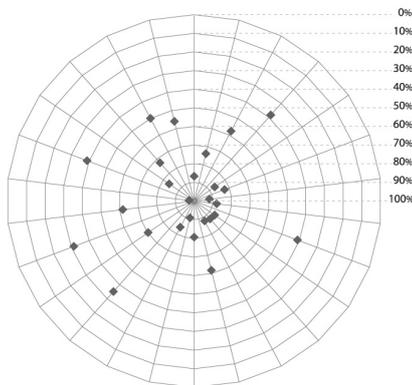


Figure 2. Present data of *Megaleranthis saniculifolia* with estimated presence probability.

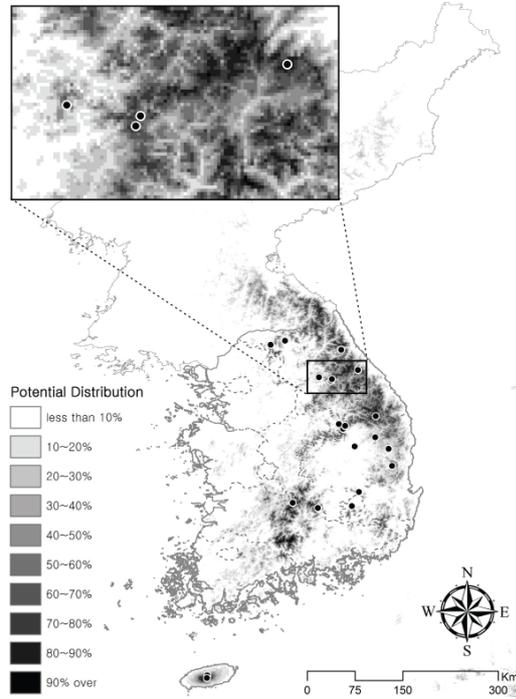


Figure 3. Potential distributions of *Megaleranthis saniculifolia* with estimated presence probability.

모의된 현재 시기 모데미풀 서식 가능확률이 높은 지역은 장수길(2008)의 연구와 같이 백두대간을 따라 강원, 충북, 경북, 경남, 전북지역과, 제주도 일부지역으로 나타났으며(Figure 3), 자생특성 중 하나인 고도의 영향이 분포를 결정하는 주요 변수중 하나일 것으로 판단된다. Figure 3의 검은색 원은 모데미풀의 현재 자생지의 위치를 나타내며, 음영의 진하기는 잠재적 분포가능성이 높은 것을 나타낸다.

1) 모형의 검증

분포 예측 모형의 설명력 검증을 위해 ROC (Receiver operating characteristics)곡선의 AUC (Area Under the ROC Curve)값 분석을 실시하였다. 0.5~1.0 사이에 존재하는 AUC값 중에서 약 0.7이상일 때 모형이 설명하는 잠재력이 의미를 갖는 것으로 알려져 있으며(Phillips and Dudik, 2008), 본 연구의 AUC값은 0.9656으로 산출되어

Table 2. Result of Variable Contribution (%).

Variable	Percent Contribution	Permutation Importance
Annual mean temp.	0.0000	0.0000
Mean diurnal range	0.1929	0.0000
Isothermality	0.0000	0.0000
Temp. seasonality	0.4400	0.0000
Max temp. of warmest period	0.0491	0.0000
Min temp. of coldest period	1.2486	12.4564
Temp. annual range	0.3288	0.8155
Mean temp. of wettest quarter	1.1582	0.0000
Mean temp. of driest quarter	0.0000	0.0000
Mean temp. of warmest quarter	0.0027	0.0000
Mean temp. of coldest quarter	0.1403	3.5727
Annual precipitation	0.3358	0.0000
Precipitation of wettest period	0.0000	0.0000
Precipitation of driest period	0.5179	3.3368
Precipitation seasonality	0.0000	0.0000
Precipitation of wettest quarter	0.0000	0.0000
Precipitation of driest quarter	57.4348	42.6144
Precipitation of warmest quarter	0.0000	0.0000
Precipitation of coldest quarter	0.0000	0.0000
Altitude	36.9303	36.0424
Aspect	0.7688	0.2792
Slope	0.4518	0.8827

분포예측 모형의 설명력이 높은 것으로 나타났다.

2) 변수별 중요도 평가

모데미풀 분포 예측을 위한 WorldClim의 19가지 생물기후 및 기타 환경관련 독립 변수들의 상대중요도를 파악하기 위해 백분율 기여도(Percent Contribution)와 무작위 중요도(Permutation Importance) 검사를 실시하였다. 백분율 기여도는 실측 자료를 이용한 모형의 훈련(training) 과정에서 각 변수가 최적 결과 도출에 기여하는 정도에 따라 일정량의 가중치를 증가시키는 방법으로 모형 알고리즘에 따라 달라질 수 있는 변수간의 상대적 기여도를 판단하는 방법이다. 특히, 변수간 상관성이 높은 경우 해석이 곤란한 어려움이 있다. 무

작위 중요도 검사는 모형 훈련시 각 변수를 무작위로 변화시켜 AUC 값을 감소시키는 변수의 중요성을 나타낸다(Phillips 외, 2006).

변수들의 중요도 분석 결과, 가장 건조한 계절 강수량은 백분율 기여도가 57.4%, 무작위 중요도 42.6%로 가장 중요한 변수로 나타났다. 표고는 백분율 기여도 36.9%, 무작위 36%로 두 번째 중요한 변수로 나타났다(Table 2). 그 외 중요 변수로는 무작위 중요도에서 겨울철 최저기온(12.5%)과 평균 기온(3.6%), 가장 건조한 달의 강수량(3.3%) 순으로 변수 중요도가 높은 것으로 나타나, MaxEnt 모형의 모데미풀 서식지 분포패턴 결정시 건기 강수량과 표고, 기온 순으로 분포확률을 결정에 기여하는 것을 알 수 있었다.

2. 미래의 잠재적 분포지 변화

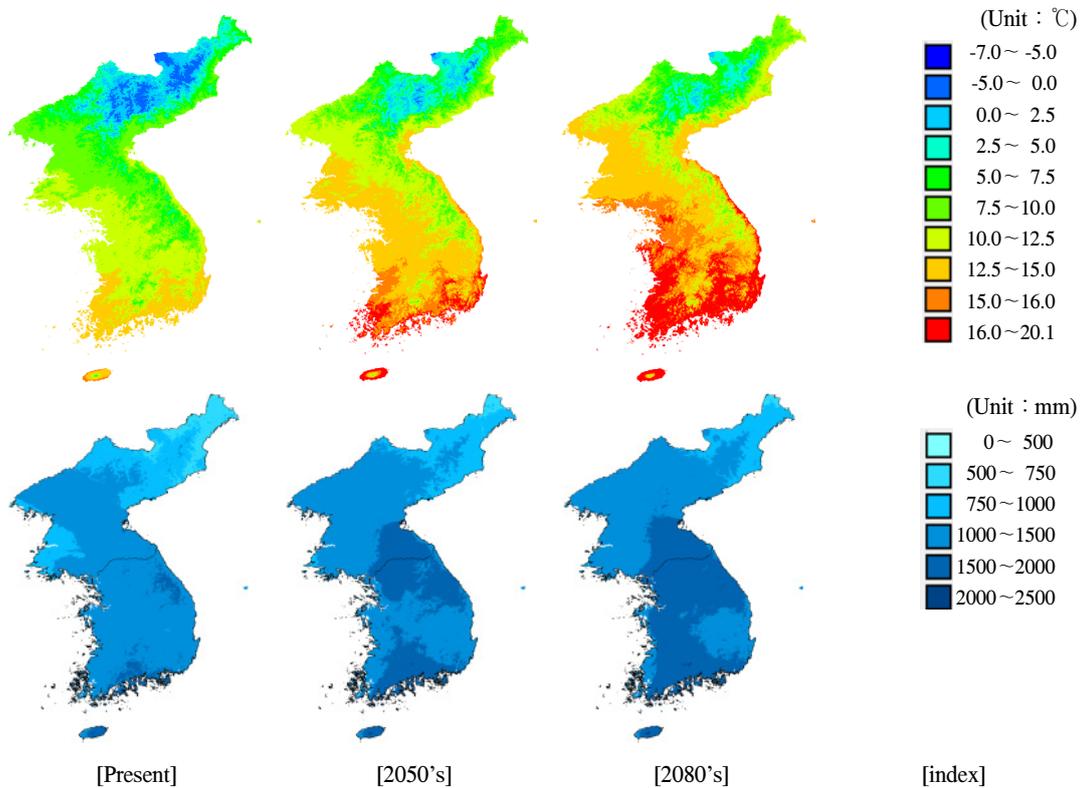
1) 기온 및 강수량 변화

우리나라의 과거 50년(1950~2000년)대비 A1B 시나리오에 따른 평균 기온 변화는 현재 약 11.3℃에서 2050년도에 13.3℃로 증가하며, 2080년도에 현재보다 4℃ 증가한 15.3℃로 나타났다(Table 3). 연간 강수량의 경우 기온변화와 마찬가지로 전반적으로 증가하는 것으로 나타나며 현재 1,320mm에서, 2050년대 1,499mm로 평균 179mm 증가된 변화량을 보였다. 2080년대에는 현재대비 274mm가 증가되어 평균 1,594mm로 (최대 2,341mm에서 최소 1,147mm)로 나타났다(Table 3). 한반도 전체로 봤을 때는 연평균 기온이 2050년대에 2.7℃증가하고 2080년대에 4.2℃증가할 것으로 나타나며, 강수량의 경우 2050년대에 167mm 증가하고 2080년대에 254mm 증가할 것으로 나타났다.

우리나라는 백두대간을 중심으로 한 산악지역 주변을 제외하고는 대부분 지역이 온대기후에 해당하며, GCM 평균 미래 기온은 동해안보다는 남해안과 서해안쪽으로, 포항과 강릉을 포함하는 동해안 지역의 증가가 더욱 두드러지게 나타났다(Figure 4).

Table 3. Change in annual mean temperature (T) and annual total precipitation (P) by 2050's and 2080's

Period	Index	T (°C)			P (mm)		
		ALL	DPRK	ROK	ALL	DPRK	ROK
Present	Average	8.2	5.8	11.3	1,142	1,005	1,320
	Range	23.0	18.7	13.7	1,591	998	1,190
	Max.	16.0	11.7	16.0	2,137	1,544	2,137
	Min.	-7.0	-7.0	2.3	546	546	947
2050's	Average	10.9	8.7	13.8	1,309	1,162	1,499
	Range	22.4	18.7	13.3	1,654	1,139	1,193
	Max.	18.3	14.6	18.3	2,270	1,755	2,270
	Min.	-4.1	-4.1	5.0	616	616	1,077
	change	2.7	2.9	2.5	167	157	179
2080's	Average	12.4	10.3	15.3	1,396	1,245	1,594
	Range	22.0	18.7	13.0	1,686	1,207	1,194
	Max.	19.5	16.1	19.5	2,341	1,862	2,341
	Min.	-2.5	-2.6	6.5	655	655	1,147
	change	4.2	4.5	4.0	254	240	274

**Figure 4.** Ensemble mean change in annual mean temperature (top) and annual precipitation (bottom).

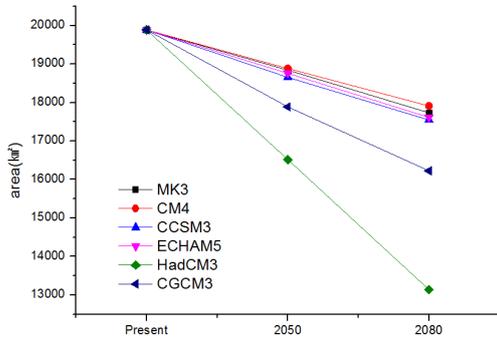


Figure 5. Change in the potential area of *Megaleranthis saniculifolia* by GCMs.

2) GCM별 잠재 분포지 변화

분포확률 30%이상의 우리나라 모데미풀 잠재 분포 지역은 현재 약 19,916km² 정도로 나타나며, 6가지 GCM별 미래 기후변화로 인한 잠재 분포지역 면적 변화를 살펴본 결과는 MK3, CM4, CCSM3, CGCM3모델은 비슷한 변화폭의 감소 경향을 나타내고 있다(Figure 5). 잠재 분포지 변화가 가장 큰 기후변화는 HadCM3모델로 2050년대에 이미 다른 모델들의 2080년대 감소량을 넘어서며, 2080년대에 현재대비 약 44%인 13,137km²로 잠재 분포지역이 급격한 감소할 것

으로 예상되었다. 전국의 GCM 평균 변화를 분석한 결과, 현재 잠재적 분포 가능성이 70%이상으로 나타난 고산지역은 비교적 변화가 적었으나 30~60% 지역에서의 감소 정도는 높을 것으로 나타났다(Figure 6).

3) 지역별 잠재분포지 변화

기후변화로 인한 지역별 잠재 분포적지 변화를 분석하여 GCM 평균 변화와 변화폭을 예측하였다. 그 결과 현재 평균 분포적지는 강원도(GW)가 10,369km²로 가장 많은 면적을 차지하고 있으며, 경상북도(GB)가 3,567km²로 다음 순으로 나타났고, 충청남도(CN)가 32km²로 가장 적은 지역으로 나타났다(Table 4). 현재 대비 미래 분포적지 의 GCM모델간 평균 변화정도는 강원도(GW)가 2080년대에 1,044km²가 감소할 것으로 나타났으며, 경상북도(GB) 지역이 938km² 감소할 것으로 나타났다. 경기지역(GG)과 제주 지역(JJ)은 가장 변화가 적을 것으로 나타났다. 두 지역은 현재 자생지 관측 데이터가 없는 지역으로 미래 전망 판단에 주의가 요구된다.

지역별 잠재 분포적지의 상대 면적 감소를 비

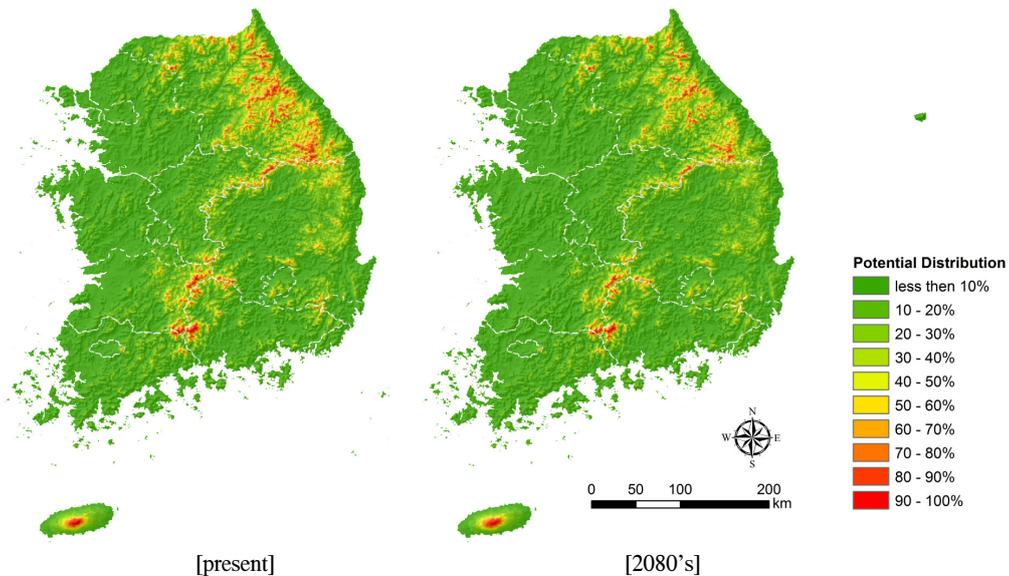
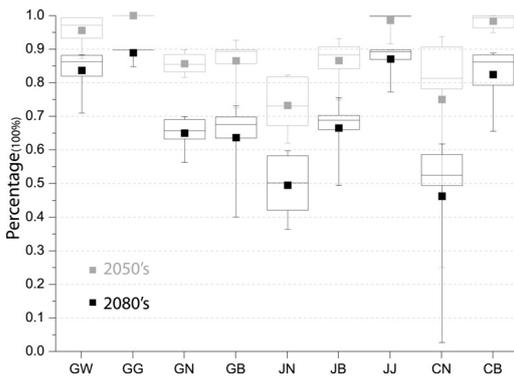


Figure 6. Ensemble mean change in the potential distribution of *Megaleranthis saniculifolia*.

Table 4. Ensemble mean of the potential area of *Megaleranthis saniculifolia* by provinces (km²)

Region	Acro-nym	Present	2050's	2080's
Chungcheongbuk-do	CB	1,003	986	929
Chungcheongnam-do	CN	32	24	18
Gangwon-do	GW	10,369	9,908	9,325
Gyeonggi-do	GG	119	119	118
Gyeongsangbuk-do	GB	3,567	3,086	2,629
Gyeongsangnam-do	GN	1,853	1,587	1,391
Jeollabuk-do	JB	1,842	1,594	1,411
Jeollanam-do	JN	534	391	318
Jeju	JJ	597	588	581
TOTAL		19,916	18,283	16,720

**Figure 7.** Relative fraction of potential area of *Megaleranthis saniculifolia* by provinces.

교하기 위해 축소되는 분포적지의 면적을 각각 백분율로 비교한 결과는 Figure 7에 나타나있다. Figure 7에서 포인트는 평균값을 나타내며, 라인은 최대값과 최소값을 의미한다. 또한 박스플롯은 GCM모델들의 25%~75%사이의 값이며, 박스의 중간선은 중앙값을 나타낸다.

GCM평균에 따른 잠재 분포적지의 상대 변화가 가장 큰 지역은 충청남도(CN)와 전라남도(JN) 지역으로 나타나며, 비교적 산악지형이 많고 고도가 높은 강원도(GW)와 충청북도(CB)지역은 잠재 분포지역 변화정도가 비교적 적어 보전지역 설정에 적합한 지역으로 나타났다.

V. 결 론

최근 나고야의정서의 발효에 따라 국가적으로 생물주권을 확보하고자 노력하고 있는 상황에서 보전가치가 뛰어난 특산속식물이자 멸종위기종인 모데미풀에 대해 미래의 기후변화가 어떻게 분포지역을 변화시킬 것인지를 정량적 방법을 통해 분석하고자 하였다. 본 연구에서는 현재 식생 분포 연구에서 많이 이용되는 생물기후대 구분을 벗어나 수종별 접근을 시도하고자 하였으며, 여러 가지 모델의 기후자료를 이용한 종합적 평가를 시도하고자 하였다. 이를 통해 기후변화의 취약성을 검토하였으며, 향후 현지내(*In-situ*) 보전을 위한 보전가능지역을 찾아 서식지 증가, 감소, 보존정도 및 자생지의 이동추이를 살펴 서식지보전을 위한 기초자료 수집을 목적으로 하고 있다.

어떤 종의 현재 분포는 기후와 더불어 토양, 수문, 중간경쟁, 개체군고립, 서식지 이용가능성, 분포능력과 같은 여러 가지 요소들의 상호작용의 결과이다. 이에 따라 생물기후변수 및 기타 환경변수를 고려하여 이들의 상대적 중요성을 검토한 결과, 모데미풀은 강수량과 고도의 영향이 현재의 분포패턴에 큰 영향을 주고 있음을 확인할 수 있었다.

기후변화 시나리오의 기후모델별로 어떤 모델을 사용하느냐에 따라서 결과 양상이 크게 차이가 나는 것을 알 수 있었다. 그리하여 각 모델간의 평균값을 산출하여 잠재적 서식가능지역의 변화양상을 살펴보았다. 가장 변화량이 큰 모델은 영국 Hadley Centre for Climate Prediction and Research의 HadCM3 모델이었으며 변화정도가 가장 적었던 모델은 프랑스 Institut Pierre-Simon Laplace의 CM4 모델로 나타났다. 현재 잠재적 분포 면적 대비 지역별 소멸정도는 충청남도와 전라남도에서 매우 클 것으로 나타났으며, 강원도와 경상북도에서의 소멸 면적이 가장 클 것으로 나타났다.

기후변화의 영향 예측시 일반적으로 비기후적

요소를 포함하지 않는 모델은 개체군 반응을 잘못 예측할 수도 있고, 기후변화 시나리오 및 관련 모델들의 모든 부분을 완벽하게 고려하는 것은 사실상 불가능하기 때문에 상당한 불확실성이 포함된다. 이에 따라 분포자료의 보정이나 편중자료를 고려한 분석방법을 적용하지 않고서는 적절한 분석이 어려운 것으로 나타났다. 하지만, 본 연구에서는 강수량관련 데이터와 기온관련 데이터 등으로 이루어진 생물환경기후 변수와, 지형 환경적 데이터를 추가 사용하여 분포적지 예측 정확성을 높이고자 시도하였으며, 향후 기후변화 불확실성을 개선하기 위해 자생지 특성을 고려하여 토지피복 및 토양환경과 같은 추가적인 변수를 포함하는 것이 분포적지 예측의 정확성 향상에 큰 영향을 미칠 것으로 사료된다. 따라서 신뢰성 높은 미래기후를 전망하기 위해 더욱 복합적인 환경적요소와 우리나라에 맞는 기후 모델링을 추가한 연구가 요구되며, 우리나라 실정에 맞는 모델의 개발이 필요하다. 또한 IPCC 5차보고서에 따른 기후변화 시나리오 적용을 통해 더욱 정확성 높은 추가적인 분석이 필요할 것으로 판단된다.

인 용 문 헌

- 구경아 · 공우석 · 김종규. 2001. 한반도 상록활엽수의 지리적 분포와 기후요소. *대한지리학회지* 36(3) : 247-257.
- 국립환경과학원. 2006. 한반도 기후변화 진단지표 생물종 조사.
- 국립수목원. 2009a. 기후변화 취약 산림식물종 보전 · 적응사업 보고서.
- 국립수목원. 2009b. 한국 희귀식물 목록집.
- 권영아 · 권원태 · 부경운 · 최영은. 2007. A1B 시나리오 자료를 이용한 우리나라 아열대 기후 전망. *대한지리학회지* 42(3) : 355-367.
- 김무열. 2004. 한국의 특산식물, *솔과학*.
- 오병윤 · 한종원 · 양선규 · 장창기 · 김윤영 · 지성진 · 강신호. 2009. 한국특산식물 모데미풀 보전을 위한 자생지특성 조사. *한국자원식물학회 학술심포지엄* p.95.
- 백승언. 2002. 한국식물대의 구계구분에 대한 재검토. *한국생태학회지* 25(1) : 1-6.
- 서창완 · 박유리 · 최윤수. 2008. 위치자료의 종류에 따른 생물종 분포모형 비교 연구. *한국지형공간정보학회지* 16(4) : 59-64.
- 송원경. 2011. 공간그래프 이론을 적용한 숲 서식지 네트워크 모형 개발, 서울대학교 박사학위논문.
- 이동근 · 김재욱. 2007. 한반도 지역의 기후변화에 의한 고산 · 아고산 식생 취약성 평가. *한국환경복원녹화기술학회지* 10(6) : 110-119.
- 이중수 · 이우균 · 윤정호 · 송철철. 2006. 공간통계와 GIS를 이용한 소나무림과 참나무림의 분포패턴. *한국임학회지* 95(6) : 663-671.
- 장수길. 2008. 모데미풀의 분포와 자생지 생태 특성. *한국자원식물학회 학술심포지엄* pp.80.
- Collins, M., S. F. B. Tett, Cooper, C. 2001. "The internal climate variability of HadCM3, a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments." *Climate Dynamics* 17(1) : 61-81.
- Collins, W.D., Bitz, C.M., Blackmon, M.L., Bonan, G.B. 2005. The Community Climate System Model (CCSM). *Journal of Climate*. special issue.
- Franklin, J. 1995. Predictive vegetation mapping : geographic modeling of biospatial patterns in relation to environmental gradients. *Progress in Physical Geography* 19(4) : 474-499.
- Franklin, J. 2009. *Mapping Species Distributions : Spatial Inference and Prediction*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Gaisan, A. and N.E. Zimmermann. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology.

- Ecological Modelling, in review.
- Gordon, H.B., Rotstayn, L.D., McGregor, J.L., Dix, M.R., Kowalczyk, E.A., O'Farrell, S.P., waterman, L.J., Hirst, A.C., Wilson, S.G., Collier, M.A., Watterson, I.G., and T.I., Elliott. 2002. The CSIRO Mk3 Climate System Model [Electronic publication]. Aspendale : CSIRO Atmospheric Research. CSIRO Atmospheric Research technical paper 60 : 130.
- IPCC. 2007. Climate Change : Physical science Basis Paris. France. pp.221.
- Jungclaus, J.H., Botzet, M., Haak, H., Keenlyside, N., Luo, J J., Latif, M., Marotzke, J., Mikolajewics, U. and E. Roeckner. 2005. Ocean circulation and tropical variability in the AOGCM ECHAM5/ MPI OM. Journal of Climate.
- Marti, O., Braconnot, P., Bellier, J., Benshila, R., Bony, S. 2005. The new IPSL climate system model : IPSL CM4. Institute Pierre Simon Laplace. technical report.
- Phillips, S. J., Dudik, M. and Schapire, R. E. 2004. A maximum entropy approach to species distribution modeling. In Proceedings of the Twenty First International Conference on Machine Learning. pp.655-662.
- Phillips, S. J., R. P. Anderson, and R. E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling 190 : 231-259.
- Scinocca, J.F., McFarlane, N.A., Lazare, M, Li, J. and D.Plummer. 2008. The CCCma third generation AGCM and its extension into the middle atmosphere. Atmospheric Chemistry and Physics 8 : 7055-7074.
- [http : //www.worldclim.org/download\(WorldClim 데이터 다운로드\)](http://www.worldclim.org/download(WorldClim 데이터 다운로드))