

기후변화를 고려한 잣나무의 미래 적지적수 변화 예측*

최재용¹⁾ · 이상훈²⁾ · 이상혁¹⁾

¹⁾ 충남대학교 산림자원학과 · ²⁾ 충남대학교 농업과학연구소

Anticipation of the Future Suitable Cultivation Areas for Korean Pines in Korean Peninsula with Climate Change*

Jaeyong Choi¹⁾ · Peter Sang-Hoon Lee²⁾ and Sanghyuk Lee¹⁾

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

²⁾ Institute of Agricultural Science, Chungnam National University.

ABSTRACT

Korean pines(*Pinus koraiensis*) are one of the major plantation species in the Republic of Korea and their natural habitats range from Japan and China to Siberia. The seed of Korean pines, pine nuts, are well know for good food reserves. Due to the global changes which drive the Korean peninsula into the semi-tropical climate, current plantations and natural habitats of Korean pines are faced with the change in the environmental conditions to some extent. To anticipate suitable sites for Korean pines in the future, the location of Korean pines were extracted from the 'Map of suitable trees on a site' that provides the map of suitable trees on a site considering tree species for timber and special uses, and then MaxEnt modelling was used for generating a prediction map on the basis of statistical analysis. As a result, the order of predicted suitable sites were Kangwon-do, Kyungsangbuk-do and Chungcheongbuk-do provinces and sites with high elevation within those provinces were considered most suitable in common. The prediction map of suitable sites for Korean pines presented that suitable

* This work was supported by research fund of Chungnam National University.

First author : Jaeyong Choi, Department of Environment & Forest Resources, Chungnam National University 305-764, Korea,

Tel : +82-42-821-5750, E-mail : jaychoi@cnu.ac.kr

Corresponding author : Sanghyuk Lee, Department of Environment & Forest Resources, Chungnam National University 305-764, Korea,

Tel : +82-42-821-7835, E-mail : sonata@cnu.ac.kr

Received : 26 January, 2015. **Revised** : 24 February, 2015. **Accepted** : 10 February, 2015.

sites in the future decreased by 72.2% by 2050's and almost disappeared with a decrease of 92.1% by 2070's on a nationwide scale. In relation to the major production regions of pine nuts in South Korea - Gapyung gun and Yangpyung gun, Kyunggi province and Hongcheon gun, Kangwon province, suitable sites within their areas were predicted to increase by 2050's but become extinct in South Korea by 2070's. To establish a long-term countermeasures against the improvement on forest productivity quality in terms of managing national food security, the result from this study can be considered as a firm basis of predicting plantation suitability. Also, it can be used to predict the changes in supply of forest products and thereby market values in accordance with climate change scenarios.

Key Words : *SDM, RCP, Maxent, Biodiversity, Bioclim, Korean pine.*

I. 서 론

1995에서 2003년까지 8년간에 걸쳐 1 : 25,000 축척의 산림입지도(813도엽)가 수치화됨에 따라 입지조건별, 토양유형별로 입지의 상태를 분류하고 그 입지에 적합한 수종을 분석하여 GIS 기법으로 임업에 활용할 수 있는 과학적인 적지적수 선정의 기틀이 마련되었다(KFRI, 2009a). 적지적수(適地適樹)의 사전적 풀이는 ‘알맞은 땅에 알맞은 나무를 골라 심음’이라고 되어 있다. 여기서 ‘알맞은’이 의미하는 것에는 나무를 심는 목적 내지는 나무의 용도 등에 따라 다양한 형태로 적지적수가 실행될 수 있음이 내포되어 있다. 즉, 용재생산, 수자원함양, 경관, 휴양, 환경보전 등 산림의 기능별로 나무를 심을 곳과 심어야 할 나무가 달라질 수 있다는 뜻이다(KFRI, 2009a). 국립산림과학원(Korea Forest Reserach Institute, KFRI)은 실제 임분의 입지생산력을 정량적으로 평가하기 위해 산림입지도에 포함된 28개 산림입지, 토양 DB 속성정보를 이용하여 지위지수를 추정할 수 있는 다중회귀식을 개발하였으며, 12개 주요 조림수종의 적지를 기후대별로 선정하고 전국 165개 시·군 단위로 작성된 적지면적은 전국 약 6백만ha로 나타났다(KFRI, 2009a).

잣나무(*Pinus koraiensis* Siebold et Zuccarini)는 우리나라를 대표하는 주요 조림수종 중의 하나로서 일본, 중국 그리고 시베리아에 분포하고 있으며, 해발고가 높고 온도가 낮은 곳에서 잘 자라는 한대성 수종으로 알려져 있다(Lee, 2006; Lee, 2013). 또한, 내음성이 강한 수종으로 상층목의 그늘에서도 성장할 수 있어 장시간에 걸쳐 천천히 성장하며 생육환경의 변화에 따라 다양한 성장 양상을 나타낸다(Lee, 2013). 잣나무는 목재로서의 가치뿐만 아니라 구과인 잣은 식용으로도 널리 알려져 있다. 그러나 최근 경기도 광릉지역과 강원도 일부 지역에서 벌기령에 도달한 잣나무의 성장 감소와 고사현상이 발견되고 있으며 이와 관련된 생리·생태적, 시업적 관리방안 등과 관련한 연구가 진행 중에 있다(KFRI, 2009b). 또한 지구온난화로 인하여 아열대 기후대가 북상하면서 잣나무 조림지 및 자생지의 생육환경이 크게 변하고 있으며, 이로 인한 잣나무의 산림병해 발생빈도 증가와 발생형태 및 발생률도 달라질 것으로 예상하고 있다(KFRI, 2009b).

최근 기후변화에 관한 정부간협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)의 5차 기후변화 평가보고서를 위한 새로운 온실가스 배출 시나리오(Representative Concentration

Pathway, RCP) 8.5 기반의 한반도 기후변화시나리오가 발표되었다(NIMR, 2011). 채택의 근거는 교토의정서의 충실한 이행을 통해 미래 사회가 고도성장을 유지하면서 화석에너지와 비화석에너지의 균형잡힌 이용, 신기술과 고효율 기술이 도입되어 온실기체 배출이 최대한 억제될 것이라는 낙관적 전망이었다. 하지만 최근까지 포스트 교토체계의 확립이 지연되고 나라별 이해관계에 따라 국제적인 온실기체 감축계획 이행이 현실적으로 불가능한 것으로 판단됨에 따라 우리 정부에서는 5차 보고서 작성에 사용된 RCP 시나리오 가운데 ‘비관적’전망에 속하는 RCP 8.5를 표준으로 채택하였다. 이 시나리오는 온실기체에 의한 $8.5Wm^2$ 의 복사강제력 추가를 상정하는데, 특별한 감축노력 없이 현재 추세대로 온실기체가 대기 중으로 유입되어 21세기 말 지구 대기의 이산화탄소 농도가 940ppm이 될 것이며, 평균기온 4.8도가 상승, 강수량 6% 증가 및 해수면 상승이 90cm에 이를 것이라고 전망한다(NIMR, 2011). 그 결과 기후변화에 의한 세계 평균기온 상승으로 생물종의 약 20~30%가 멸종이 예상되며 생물기후(Phenology)의 변화로 인한 서식지의 복상이 관찰되고 있다(Parmesan and Yohe, 2003).

따라서 본 연구에서는 우리나라 대표적인 용재수종이며, 부가가치가 높은 유실수 중의 하나인 잣나무를 대상으로 IPCC 5차 평가보고서의 대표적인 RCP를 적용한 기후변화 시나리오를 이용해 현재 및 미래의 잠재적 분포가능지역을 예측하여 단기임산물의 효과적인 경영을 위한 기초자료로 사용하고자 한다.

II. 연구내용 및 방법

1. 연구 범위

본 연구는 북위 33~39도, 동경 123.5~131.0도의 우리나라를 포함한 한반도 전역을 대상으로 잣나무의 잠재적 분포가능지역을 예측하고

자 한다. 기후변화 영향을 평가하기 위해 1950년부터 2000년까지의 기상, 기후 데이터를 이용하여 현재 기후를 설정하고, 가까운 미래(2050년대), 먼 미래(2070년대)의 재배 가능지역의 변화와 소멸위험성을 분석하였다.

연구대상인 잣나무의 영문명은 Korean pine으로 우리나라에 자생하는 대표적인 침엽수종이며 소나무와 함께 가장 친숙한 침엽수이다. 우리나라는 잣나무의 남방 한계선으로 잣나무 천연림이 백두산지역과 개마고원에 주로 분포하고 남쪽으로는 강원도 설악산과 오대산의 높은 지역에 분포하며 추운 지역에 주로 분포하는 잣나무는 내음성이 강한 수종으로 수고는 30m, 흉고직경은 100cm이상 자라고 대경재와 함께 잣을 생산하는 유용한 수종이다. 따라서 온대 중부 이상의 토심이 깊고 보수력이 양호한 토양이며, 경사가 완만한 곳이 재배적지로 여겨진다. 현재 잣을 재배하는 임가의 수와 재배면적은 크게 감소하고 있고 가구당 재배면적은 2005년에 감소했지만 2010년에는 다시 증가했다. 가구 당 생산량과 생산액은 크게 증가했는데, 가구당 잣에 대한 재배규모가 증가했고 동시에 잣 생산기술의 보급에 따른 생산효율 향상에 의한 것으로 판단되었다(Ko YW, 2013).

잣은 현재 204가구의 임가(전업임가 6가구, 겸업임가 198가구)에서 재배되고 있으며, 재배면적은 총 831ha로 2013년 약 2,287톤이 생산되었다. 주요 생산지는 경기도로서 536ha에서 약 1,820톤이 생산되었고, 그 뒤를 이어 경상북도에 재배면적 132ha에서 502kg이 생산되었다. 특히, 강원도는 54ha의 재배면적에서 458,127kg을 생산하여 단위면적대비 가장 많은 양을 생산하였고, 경기도 가평균은 국내 총 생산량의 약 78%를 차지하고 있다(KFS, 2014).

2. 환경변수

1) 종속변수(분포자료 구축)

본 연구에 사용된 종속변수는 산림청의 ‘맞춤

Table 1. Statistical Status of Forestry by *Pinus koraiensis*(2013).

Province	Cultivated Area(ha)	Production		Living Area(ha)	Accumulation (m ³ /ha)
		Quantity(kg)	Value(1,000won)		
Seoul	2	0	0	178	24,934
Busan	5	0	0	116	12,495
Daegu	0	0	0	763	7,691
Incheon	22	0	0	150	19,578
Gwangju	0	0	0	54	11,539
Daejeon	3	1,000	10,000	352	22,683
Ulsan	0	0	0	832	13,976
Sejong	-	1	12	-	-
Gyeonggi-do	536	1,820,729	14,008,840	60,775	7,624,411
Gangwon-do	54	458,127	3,868,416	71,999	6,286,316
Chungcheongbuk-do	18	0	0	20,367	816,675
Chungcheongnam-do	13	670	5,090	7,737	290,748
Jeollabuk-do	2	3,800	45,200	13,900	514,657
Jeollanam-do	0	0	0	4,331	231,407
Gyeongsangbuk-do	132	502	6,024	27,859	1,059,624
Gyeongsangnam-do	44	2,198	26,520	4,906	378,198
Jeju	0	0	0	38	5,802
Total	831	2,287,027	17,970,102	214,357	17,320,734

* Source. Korea Forest Service(2014)

형 조림지도'에서 추출한 잣나무의 적지적수 자료로서 적지적수 선정 알고리즘을 통해 기후대 및 수종별 지위지수를 추정하여 만들어진 자료이다(KFRI, 2009a). 맞춤형 조림지도는 1995년부터 2003년까지 8년간에 걸쳐 수치화된 산림입지도(축척 1 : 25,000)를 바탕으로 적지적수에 따른 알맞은 수종을 선정하여 GIS기법으로 나타낸 데이터이다(Table 2). 주요 조림수종에 대해 임령 30년을 기준으로 하는 지위지수 추정모델 및 곡선도를 작성함으로써 현재 임분의 임지생산력을 정량적으로 평가하는데 적용하였으며, 산림입지도에 포함된 28개 산림입지·토양 DB 속성정보¹⁾를 이용하여 임지생산력의 지표인 지위지수를 추정할 수 있는 다중회귀식이 개

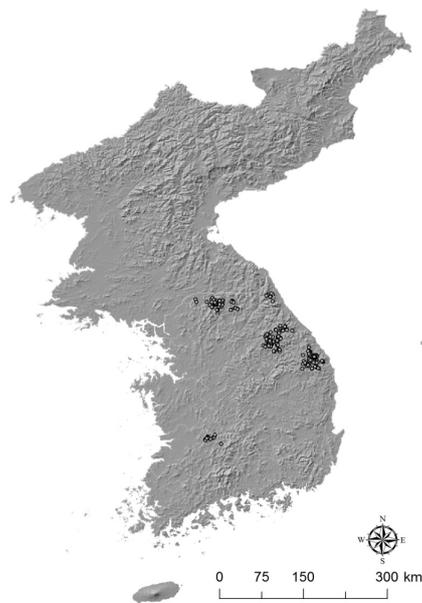


Figure 1. Location of *Pinus koraiensis* with hillshade.

발되었다. 이러한 지위지수 추정식을 바탕으로 한 적지적수 데이터를 통해 기후, 입지, 생리·생태적 특성이 반영된 적지관정 모듈을 만들어 수평·수직적 제한범위(Table 3) 등이 적용된 수종별 적지 알고리즘을 개발하였다(KFRI, 2009a). 이를 결과로 만들어진 Polygon 형태의 데이터를 Point로 변환하여 재배적지 위치의 좌표값을 생성하였다(Figure 1).

2) 독립변수

한반도 수치표고모델(Digital Elevation Model, DEM), 방위, 경사와 IPCC 5차 평가보고서(AR5)의 RCP 8.5를 적용한 Bioclim(<http://www.worldclim.org>) 기후자료를 바탕으로 환경변수를 구축하였다. RCPs 시나리오는 현재 추세로 온실가스가 배출되는 경우인 RCP 8.5를 적용하였고, 예측의 범위는 가까운 미래(2050년대)와 먼 미래(2070년

Table 2. Major components for the system of ‘Suitable trees on a site’. In the ‘Soil type’ soil color is coded by characters and soil moisture is presented by subscript numbers(B: Brown forest soils; rB: Red-Brown forest soils; R: Red forest soils; GrB: Gray Brown forest soils; DR: Dark Red forest soils; DRb: Dark Red-brown forest soils; Va: Volcanic ash forest soils; Er: Eroded soils; Im: Immature soil; Li: Lithosols).

Classification	Criterion	Category
Topographic map	Altitude	100m interval(0m~2,000m)
	Slope	Less than 15 degree
		5 degree interval(15~35 degree)
		Greater than 35 degree
	Aspect	8 directions
Topography	Ridge / Hillside / Valley	
Forest Site Map	Soil type	Aridic soil B ₁ , Er ₁ , GrB ₁ , rB ₁ , Va ₁ , R ₁ , Va-R ₁ , DR ₁ , DRb ₁ , Li
		Semi-aridic soil B ₂ , rB ₂ , R ₂ , DR ₂ , DRb ₂ , Va ₂ , Va-R ₂ , Va-gr
		Moderately moist soil Im, B ₃ , DR ₃ , Va ₃
		Sub-moist soil B ₄ , Va ₄
	Soil depth	Less than 50cm
		50~70cm
		70~90cm
		Greater than 90cm

Table 3. Habitat characteristics of Korean pines for the algorithm of ‘Suitable trees on a site’.

Altitude(m)	Climate Region	Coastline boundary	Topography	Aspect	Soil depth
Higher than 400m	Except for southern temperate and warm temperate zones	Inland areas	Hillside	Except for S, E, SW, SE	Deeper than 60cm

1) 지형, 기후대, 모암, 토양배수, 경사, 표고, 퇴적양식, 침식상태, 경사형태, 방위, 유효토심, 암석 노출도, 능선대 계곡비, 풍노출도, 풍화정도, 토양형, A·B층별(토심, 토색, 유기물, 토성, 건습도, 견밀도)

대)로 설정하였다.

본 연구에 사용된 환경변수는 생물기후(BioClim) 변수 19개와 고도, 경사, 방위로 총 22개의 변수를 사용하였다(Table 4). 잠재적 재배가능지역의 예측 정확도는 수신자 조작 특성(Receiver Operating Characteristic, ROC) 곡선의 하위 영역(Area Under Cover, AUC)값을 이용해 측정하였다. AUC값을 이용한 모의 정확도는 기준값에 독립적인 장점을 가지고 있으며, 다양한 모형의 정확도 비교에 많이 이용된다. AUC값은 최소 0.5를 기준으로 모형이 완벽할 경우 1.0을 나타내며 일

반적으로 0.8이상이면 모형 예측력이 우수하다고 평가한다(Thuiller, 2003; Franklin, 2009).

3. 연구 방법

RCPs에는 다양한 기후변화 예측모델(Global Climate Model, GCM)이 있으며 본 연구에서는 한국의 기후변화정보센터(Climatic Change Information Center, CCIC)가 선정한 HadGEM2-AO를 적용하였다. 국립기상연구소(2011)에서는 RCP 8.5 배출 시나리오에 기초하여 전 지구 대기-해양-해빙-수문-에어로졸 결합모델인 영국 해들리 기후예측연구센터(Hadley Centre for Climate Prediction And Research)의 HadGEM2-AO를 이용하여 2100년까지 일별 기상을 전망하였다(Figure 2). 이에 따르면 21세기 말 한반도는 평균기온이 현재보다 6.0°C 상승, 강수량 20% 증가, 영하일은 28.4일 감소, 호우와 고온일의 발생확률 증가, 아열대 지역의 백두대간 일부지역을 제외한 전 지역으로 확대될 것으로 나타났다(Table 5).

본 연구는 한반도 전체지역을 대상으로 산림청에서 제공하는 ‘맞춤형 조림지도’에서 추출한 잣나무 적지적수의 위치자료를 바탕으로 분석하고자 하였으므로, 비출현자료에 대한 현장조사 자료구축에 한계가 있어 출현자료만을 활용하는 MaxEnt 모형(Phillips et al., 2006)을 사용하여 잣나무 재배적지 모델을 개발하였다.

Table 4. List of Environment variations.

Value name	Description
bio1	Annual mean temperature
bio2	Mean diurnal range
bio3	Isothermality
bio4	Temperature seasonality
bio5	Max temperature of warmest period
bio6	Min temperature of coldest period
bio7	Temperature annual range
bio8	Mean temperature of wettest quarter
bio9	Mean temperature of driest quarter
bio10	Mean temperature of warmest quarter
bio11	Mean temperature of coldest quarter
bio12	Annual precipitation
bio13	Precipitation of wettest period
bio14	Precipitation of driest period
bio15	Precipitation seasonality
bio16	Precipitation of wettest quarter
bio17	Precipitation of driest quarter
bio18	Precipitation of warmest quarter
bio19	Precipitation of coldest quarter
alt	Altitude
asp	Aspect
slope	Slope

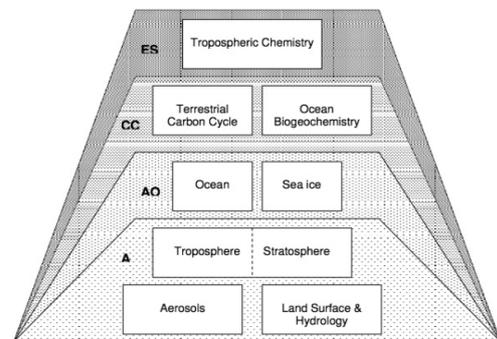


Figure 2. Processes included in the HadGEM2 model family.

Table 5. Change in annual mean temperature and annual total precipitation by 2050's and 2070's.

Period	Index	Temperature(°C)			Precipitation(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
	Difference	2.7	2.9	2.5	167	157	179
2070'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
	Difference	4.2	4.5	4.0	254	240	274

* DPRK: Democratic People's Republic of Korea, ROK: Republic of Korea

III. 결과 및 고찰

1. MaxEnt 모델을 이용한 재배 적지의 분석 결과

현재 추출된 잣나무의 303개의 위치자료와 DEM의 중첩비교를 통해 위치자료의 고도를 추정된 결과 227m부터 1,239m사이의 분포를 나타냈으며, 연평균기온은 4.3°C부터 11.6°C(평균 7.7°C), 연강수량 1,287mm부터 1,669mm(연평균강수량 1,472mm)로 나타났다.

‘맞춤형 조림지도’의 적지적수 데이터로부터 추출된 303개의 잣나무 재배가능 위치데이터와 MaxEnt로부터 현재 잠재적 재배 가능지역 결과를 비교한 결과 기하평균 값 0.5251(최소값: 0.2783; 최대값: 0.6147)로 나타났다(Figure 3). 따라서, 예측된 잠재적 분포가능 확률 0.5251 이상 지역을 잠재적 재배 가능지역, 0.5251 미만 지역을 잠재적 재배 불가능지역으로 하는 2진법 형태의 분포도를 작성하였다.

잣나무의 현재 분포에 관여하는 독립변수는 MaxEnt모델의 기여도 평가에 의하여 측정하였다. 평가 결과 Annual precipitation(0.442), 고도(0.109) 순으로 기여도가 높은 것으로 나타났다

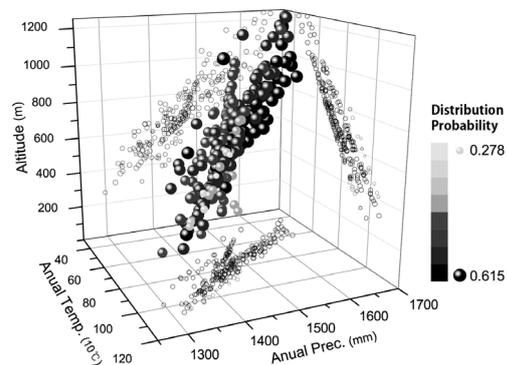


Figure 3. Distribution probability of suitable sites for *Pinus koraiensis* based on annual precipitation, annual temperature and altitude above sea level.

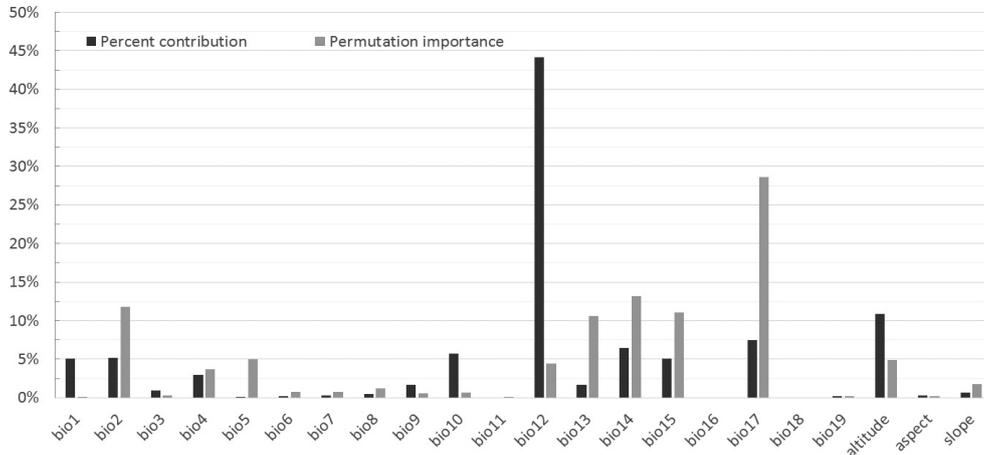


Figure 4. Contribution of environment variables in the estimation of the distribution of suitable habitat by MaxEnt model.

(Figure 4). 이는 실측자료를 이용한 모형의 훈련 과정 중 각 변수가 최적 결과 도출에 기여하는 정도에 따라 일정량의 가중치를 증가시키는 방법으로 모형 알고리즘에 따라 달라질 수 있는 변수간의 상대적 기여도를 판단하는 방법이다. 무작위 샘플링에 의한 Permutation importance는 모형 훈련시 각 변수를 무작위로 변화시켜 ROC의 AUC값을 감소시키는 변수의 중요성을 나타내는데, 가장 건조한 분기의 강수량(Precipitation of driest quarter)이 0.286으로 가장 높은 것으로 나타났다. 가장 습한 분기의 강수량(Precipitation of wettest quarter)과 가장 따뜻한 분기의 강수량(Precipitation of warmest quarter)을 제외한 모든 강수량 관련 변수에서 높은 기여도가 측정되었으며, 대체적으로 기온관련 변수보다 강수량 관련변수의 기여도가 더욱 큰 것으로 나타났다(Figure 3). 잠재 재배지의 모의 정확도 평가는 ROC의 AUC(5-folder cross-validation)를 통하여 분석하였다. 잣나무의 5-cv AUC는 0.98로 모형의 정확도는 우수한 것으로 나타났다.

2. 재배 가능성 변화 예측

현재 잣의 생산은 경기도 양평군, 가평군 일대에서 국내 총 잣 생산량의 79.6%를 차지하고

있다(KFS, 2014). 분석결과 현재 잠재적 재배가능 지역 면적은 강원도(GW)가 약 2,100km²로 전국 재배가능 면적의 약 46.6%를 차지할 것으로 나타났으며, 경상북도(GB) 약 2,700km²(약 26.6%), 충청북도(CB) 약 7,400km²(약 8.0%), 전라북도(JB) 약 750km²(약 7.3%), 경기도(GG) 약 630km²(약 6.2%) 순으로 나타났다. 하지만 이 결과는 재배조건을 고려하지 않은 기후관련 데이터를 기반으로 분석된 결과로서 실제 재배 면적은 경기도가 가장 높지만(Table 1), 재배 가능한 면적은 강원도가 가장 클 것으로 나타났다(Figure 4, Table 6).

지역별 잠재적 재배가능 지역의 상대면적 감소를 비교하기 위해 재배적지의 면적을 백분율로 비교한 결과, 현재 대비 미래 재배가능지역의 변화정도는 강원도(GW)에서 2070년대에 이르러 약 83.4% 감소할 것으로 나타났으며, 경기도(GG) 및 기타 지역들은 재배가 불가능할 것으로 나타났다.

3. 주요 생산지에서의 변화 예측

경기도 가평군의 면적은 약 84,350ha로서 현재 재배가능 지역은 약 27,060ha로 총면적의 약 32%를 차지하고 있다. 2050년대에 재배면적이

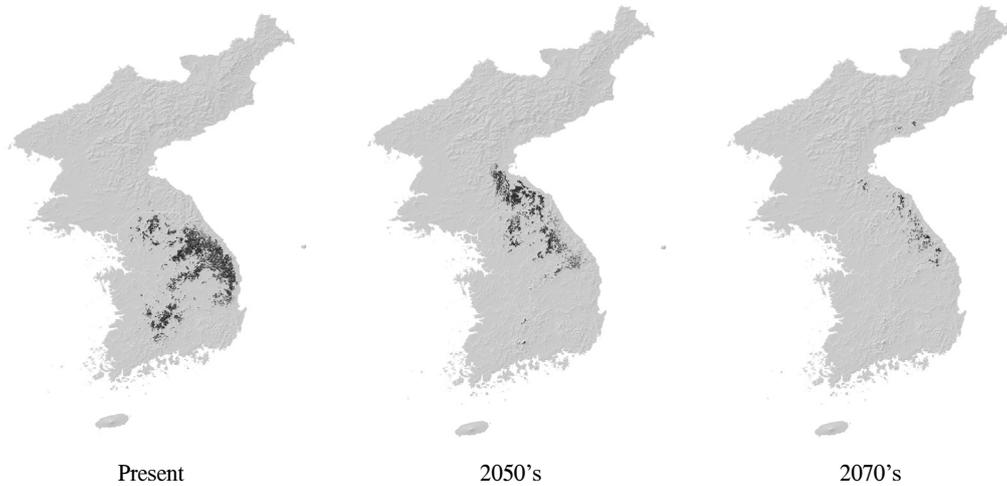


Figure 5. Potential distributions of *Pinus koraiensis* with estimated presence probability.

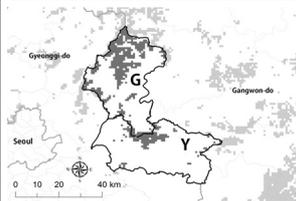
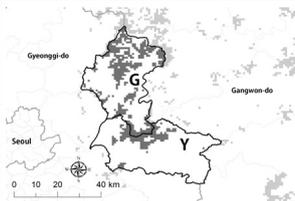
Table 6. Potential area of *Pinus koraiensis* by Province.

(unit: ha, %)

Acro- nym	ADA	Present Area	ADA per Ratio	2050's Area	Present Area per Loss ratio	2070's Area	Present Area per Loss ratio
SU	605.20	8.18	1.35	-	0.00	-	0.00
BS	769.80	-	0.00	-	0.00	-	0.00
DG	883.50	-	0.00	-	0.00	-	0.00
IC	1,040.90	-	0.00	-	0.00	-	0.00
GJ	501.20	-	0.00	-	0.00	-	0.00
DJ	540.20	0.69	0.13	-	0.00	-	0.00
US	1,060.50	-	0.00	-	0.00	-	0.00
SJ	464.90	-	0.00	-	0.00	-	0.00
GG	10,172.60	629.37	6.19	483.65	76.85	0.69	0.11
GW	16,829.80	4,740.05	28.16	2,101.49	44.33	789.09	16.65
CB	7,407.20	812.63	10.97	87.31	10.74	-	0.00
CN	8,204.50	44.54	0.54	-	0.00	-	0.00
JB	8,066.40	745.11	9.24	14.97	2.01	2.85	0.38
JN	12,303.90	33.83	0.27	0.77	2.27	-	0.00
GB	19,029.00	2,706.84	14.22	114.43	4.23	5.55	0.20
GN	10,537.30	452.58	4.30	30.03	6.64	6.43	1.42
JJ	1,849.30	-	0.00	-	-	-	-
Total	100,266.20	10,173.81	10.15	2,832.65	27.84	804.62	7.91

* ADA: Administrative Division Area, SU: Seoul, BS: Busan, DG: Daegu, IC: Incheon, GJ: Gwangju, DJ: Daejeon, US: Ulsan, SJ: Sejong, GG: Gyeonggi-do, GW: Gangwon-do, CB: Chungcheongbuk-do, CN: Chungcheongnam-do, JB: Jeollabuk-do, JN: Jeollanam-do, GB: Gyeongsangbuk-do, GN: Gyeongsangnam-do, JJ: Jeju-do

Table 7. Projection of the changes in suitable sites for Korean pines within major production areas for pine nuts. The binary maps show the sites having the harvesting probability on pine nuts of equal to or greater than 0.5251 presenting the changes in their areas from the current situation to the near future(2050's) and the far future(2070's).

Region	Present		2050's		2070's	
	ADA (ha)	PA(ha) (Proportion)	PA(ha) (Proportion)	Increase / Decrease	PA(ha) (Proportion)	Increase / Decrease
Gapyeong-gun	84,348	27,059 (32.08%)	28,155 (33.38%)	△1,096 (△4.05%)	69 (0.01%)	▽27,052 (▽99.9%)
Yangpyeong-gun	87,781	8,832 (10.06%)	11,366 (12.95%)	2,534 (△28.69%)	0 (0.00%)	8832 (▽100%)
Binary Map						

* ADA: Administrative Division Area, PA: Projected Area

1,100ha로 약 4.1% 소폭 증가하는 것으로 나타났는데(Table 7), 이는 MaxEnt 모형 기여도 평가 결과에서와 같이 기후변화로 인한 강수량의 증가로 인해 일시적으로 증가할 것으로 판단된다. 하지만, 2070년대에 이르러 경기도 가평군 일대 대부분 지역에서 재배가능지역이 소실될 것으로 나타났다.

IV. 결 론

산림청에서 구축한 ‘맞춤형 조림지도’의 경우 현재의 임분 상태에 따라 적지여부를 평가하고, 조림 및 경영계획에 필요한 기초정보도 함께 포함하고 있어 일반 산주는 물론 산림을 경영하는 전문 임업인들에게 매우 유용한 정보로 활용되고 있다. 토질을 비롯한 여러 입지조건을 가지고 수익을 창출하기 위한 경영목적에 가장 적합한 나무가 어떠한 것인지를 명확히 알 수 있도록 하고 있다. 하지만 이것은 어디까지나 현재를 기반으로 한 추정일 뿐이기 때문에 미래

의 기후변화에 대응하기 위해서는 재배적지의 변화를 예측하는 연구가 필요하다.

본 연구는 출현정보(presence data)만을 이용해 종 분포 예측을 할 수 있는 MaxEnt 모형을 선택하고 22개의 환경변수를 이용한 분석을 통해 현재 재배 가능지역을 예측하였으며, RCP 8.5를 적용한 미래 기후에서의 잠재적 재배가능 지역 분포의 예측을 시도하였다. 이를 위해 우리나라를 포함한 한반도 전역을 대상으로 대표적 조림수종인 잣나무를 대상으로 잠재적 분포 가능지역을 예측하였다. 기후변화 영향을 평가하기 위해 2000년까지의 기후를 현재 기후로 설정하여 가까운 미래(2050년대)와 먼 미래(2070년대)의 재배 가능지역의 분포 변화와 이를 바탕으로 한 소멸위험성을 분석하였다.

어떠한 종의 현재 생육지는 기후와 더불어 토양, 수문, 중간경쟁, 개체군고립, 서식지 이용 가능성, 분포능력과 같은 여러 가지 요소들의 상호작용 결과를 반영하므로, 생물기후변수 및 기타 환경변수를 고려하여 이들의 상대적 중요

도를 평가한 결과, 잣나무는 강수량과 고도의 영향이 재배 가능지역을 결정하는데 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

기후변화의 영향 예측 시 일반적으로 비기후적인 요소를 포함시키지 않는 모델은 개체군 반응을 잘못 예측할 가능성이 있고, 기후변화 시나리오 및 관련 모델들은 현실 세계의 중요한 요소를 선택적으로 반영하기 때문에 연구결과는 언제나 불확실성을 수반하게 된다. 따라서 분포자료의 보정이나 편중자료를 고려한 분석 방법을 적용하지 않고서는 적절한 분석이 어려운 것으로 판단되었다. 또한, 본 연구에서는 생물기후변수와 지형적인 환경변수를 추가로 사용하였고, 기후변화에 따라 전국적으로 분포의 위치가 고도가 높은 지역으로 이동한다는 것과, 2070년대에는 강원도 일부지역에서만 재배가 가능할 것이란 점을 얻을 수 있었다. 현재 전국적으로 잣의 생산량이 가장 높은 경기도 가평군 및 주변 지역의 경우 먼 미래에는 재배가 불가능할 것으로 나타났다.

본 연구의 결과는 고임금과 노동인력 부족으로 인해 산림을 보다 집약적으로 관리해야 하는 시대적 상황에서 임지생산력이 높은 곳을 선정하고 생산성 있는 수종으로 조성하며 기후변화로 발생될 수 있는 요소들을 제한하거나 극복하는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 추가적인 연구를 통해 기타 단기소득임산물의 공급 변화를 예측하여 고부가가치 임산물의 시장가치 대한 공급예측이 가능할 것으로 판단된다.

References

- Bae SW · Jung JM and Lee ST. 2009. A consideration for management of *Pinus koraiensis*. Symposium of Korean Forestry Society. (in Korean with English summary)
- Franklin, J. 2009. Mapping species distributions: spatial inference and prediction. Cambridge University Press.
- KFRI. 2009a. History and the application of the suitable trees on a site. Research Report, Korea Forest Research Institute, Korea Forest Service. (in Korean)
- KFRI. 2009b. Seminar in the on-site workshop on the rational management for decline of pine trees. Korea Forest Research Institute, Korea Forest Service. pp. 48. (in Korean)
- Ko YW. 2013. A Study of Regional Specialization for Activation of Non-Timber Forest Products. M.A. dissertation, Chungnam National University. (in Korean with English summary)
- Korea Forest Service. 2013. Statistics in Forest Products. (in Korean)
- Korea Forest Service. 2014. Statistical yearbook of forestry. no.44. (in Korean)
- Lee CY. 2006. Ecology and Culture of Pine trees. Forest and Culture. pp. 192. (in Korean)
- Lee DK. 2013. Ecological Management of Forests. Seoul National University Press. pp. 194-216. (in Korean)
- NIMR. 2011. Report on the climate change scenario in response to IPCC 5th Assessment Report, National Institute of Meteorological Research.
- Parmesan. C. and G. Yohe. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. Nature. 421(6918), 37-42.
- Thuiller, W. 2003. BIOMOD-optimizing predictions of species distributions and projecting potential future shifts under global change. Global Change Biology 9(10), 1353-1362.
- <http://www.forest.go.kr>
- <http://www.kfri.go.kr>