

중분포모형의 불확실성 확인을 위한 앙상블모형 적용 Applying Ensemble Model for Identifying Uncertainty in the Species Distribution Models

권혁수*

Kwon, Hyuk Soo

要 旨

중분포모형은 생물다양성 평가, 보호지역 지정, 서식지 관리 및 복원, 기후변화 예측 등의 다양한 분야에 활용되고 있으나 공공이나 정책분야에서는 모형의 불확실성으로 인하여 활용이 제한적이었다. 최근에는 이러한 모형의 불확실성을 저감하기 위하여 앙상블이나 합의모형 등의 다중모형을 적용하는 연구가 증가하고 있다. 이에 본 연구에서는 히어리를 대상으로 단일모형과 앙상블(다중) 모형을 적용하고 이를 비교하는 연구를 수행하였다. 모형은 AUC와 kappa, TSS를 이용하여 적합도를 평가하였으며, 이 중 모형 간의 비교가 용이하고 이항형 지도로 바로 변환할 수 있는 TSS가 효과적이었다. 단일모형과 앙상블 모형 모두 높은 모형적합도를 나타내었으며, 다중 모형 중에서는 RF, Maxent, GBM이 높게, GAM, SRE는 비교적 낮게 평가되었다. 예측지도에서는 단일모형에 비해 다중모형의 예측범위가 과대 추정되는 경향이 있었다. 이는 여러 모형이 중첩된 결과로 현장전문가와 모형전문가들 간의 협력 연구를 통하여 적절한 모형 선택과 가중치 부여 등을 통하여 문제를 해결할 수 있다. 앙상블모형을 공간의사결정이나 보호지역계획에 활용하기 위해서는 불확실성의 정도와 원인을 파악하고, 이를 저감하려는 개선작업과 함께 결과의 불확실성이나 위험성을 인지하고 의사결정을 해야 한다.

핵심용어 : 히어리, 전국자연환경조사, BIOMOD2, Maxent, Bioclim,

Abstract

Species distribution models have been widely applied in order to assess biodiversity, design reserve, manage habitat and predict climate change. However, SDMs has been used restrictively to the public and policy sectors owing to model uncertainty. Recent studies on ensemble and consensus models have been increased to reduce model uncertainty. This paper was carried out single model and multi model for *Corylopsis coreana* and compares two models. First, model evaluation was used AUC, kappa and TSS. TSS was the most effective method because it was easy to compare several models and convert binary maps. Second, both single and ensemble model show good performance and RF, Maxent and GBM was evaluated higher, GAM and SRE was evaluated lower relatively. Third, ensemble model tended to overestimate over single model. This problem can be solved by the suitable model selection and weighting through collaboration between field experts and modeler. Finally, we should identify causes and magnitude of model uncertainty and improve data quality and model methods in order to apply special decision-making support system and conservation planning, and when we make policy decisions using SDMs, we should recognize uncertainty and risk.

Keywords : *Corylopsis Coreana*, National Ecosystem Survey, BIOMOD2, Maxent, Bioclim,

1. 서 론

최근 10년간 국외에서는 중분포모형(Species Distribution Models)에 대한 관심과 연구들이 활발히 이루어지고 있다(Franklin, 2009; Thuiller et al., 2009). 국내에서도 생물다양성의 평가(Kwon 2011; Kwon et al., 2012c), 보호지역 지정(Kwon, 2011; Kim, 2012),

서식지관리 및 복원(Kwon et al., 2012a), 개체군이나 군집 생태계모형(Song and Kim, 2012; Kim et al., 2012; Jeon et al., 2014), 기후변화 예측(Yun et al., 2011; Kwon et al., 2012b; Kim, 2012) 등 다양한 연구에 활용되고 있다. 특히 중분포모형은 개체군들의 지리적 분포나 속성을 파악하여 우선 보호될 지역을 찾거나 잠재적으로 위협이 될 만한 지역을 찾아 보전계획이

Received: 2014.08.22, revised: 2014.11.28, accepted: 2014.12.08

* 정희원 · 국립환경과학원(Member, National Institute of Environmental Research, Research Fellow, ulmus96@hotmail.com)

나 관리방안을 수립하는데 중요한 정보들을 제공한다 (Franklin, 2009, Thorn et al., 2009).

이러한 다양한 성과와 유용성에도 불구하고 공간 자료의 부족, 모형의 한계, 기후변화 시나리오가 가진 부정확성 등으로 발생하는 중분포모형의 불확실성은 환경계획이나 보전계획의 모형 적용에 걸림돌이 되어왔다(Flather et al., 1997; Araujo et al., 2005; Elith and Leathwick, 2009; Buisson et al., 2010; Braunschweig et al., 2013). 최근 연구에서는 앙상블모형이나 합의모형과 같은 다중모형접근법을 통해 이를 해결하고자 하는 다양한 연구들이 등장하고 있다(Araujo et al., 2005; Thuiller et al., 2009; Meller et al., 2014). 특히 기후변화 시나리오와 같은 불확실성이 높은 기후변화 예측 모형이나 예측의 공간 스케일이 큰 중분포모형에 주로 사용되고 있다(Araujo et al., 2005; Latif et al., 2013).

최근 생태환경자료의 지도화에 대한 요구가 많아지고 있다(Jeon et al., 2014). 그러나 모형의 불확실성으로 인하여 생물종의 분포자료는 불린값(예, 환경부의 생태자연도나 환경성평가지도)으로 평가되거나 점자료(예, 지방자치단체에서 제작하는 환경생태지도) 형태로 표현하여 생물종의 분포정보를 제한적으로 활용하고 있다. 이것은 야생동식물의 서식지 특성을 반영하지 못할 뿐만 아니라 자료수집 당시의 위치만을 표시하여 정보의 왜곡을 초래할 수 있다.

본 연구에서는 중분포모형이 가지는 다양한 불확실성의 원인들 중 통계모형이 가지는 불확실성을 최소화하고자 다중 모형인 앙상블 모형을 적용하고자 하였다 (Buisson et al., 2010). 앙상블 모형의 결과는 개별모형의 단점들을 최소화하고 장점들을 최대화하는 방식을 통해 전체 모형을 대표하며, 이에 따른 개별모형의 불확실성을 나타낼 수 있는 장점이 있다. 국내에 서식하는 히어리를 대상으로 단일 모형과 앙상블모형 같은 다중 모형과의 차이점을 살펴보고 불확실성 원인 파악과 저감방안을 통해 향후 환경계획의 활용가능성에 대해 논의해 보고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 모형 대상종 및 공간자료

2.1.1 히어리

히어리(*Corylopsis coreana*)는 Fig. 1과 같이 지리산 일대의 남부지역과 경기도 북부, 강원도 일부 지역에 고립되어 서식하는 특산식물로, 멸종위기야생동식물 II급으로 지정된 바 있다. 히어리와 같은 속인 *Corylopsis pauciflora*와 일본의 *Corylopsis spicata*도

IUCN과 일본의 적색목록에 등재될 정도로 보호가 필요한 식물이다. 히어리는 낙엽성 관목으로 주로 북사면 계곡부에 서식하며 배수가 잘 되는 적습지에 주로 분포하고 있다. Kwon et al.(2012a)는 히어리의 거시적 분포에 영향을 주는 요인으로 기후인자를 뽑았으며, 그 중에서 연강수량과 여름철 강수량이 종의 분포 패턴에 가장 큰 영향을 주는 것으로 분석하였다.

2.1.2 공간변수

모형에 사용되는 히어리의 위치는 1997년에서 2012년까지 제2·3차 전국자연환경조사에서 수집된 자료를 이용하였다(Fig. 1).

기후자료는 Worldclim에서 제공하는 Bioclim자료를 사용하였으며, 변수들 간의 높은 자기상관을 보일 수 있어 19개의 Bioclim 자료 중 PCA분석을 통하여 전체 변수를 대표할 수 있는 7개의 변수(Bio1, Bio4, Bio10,

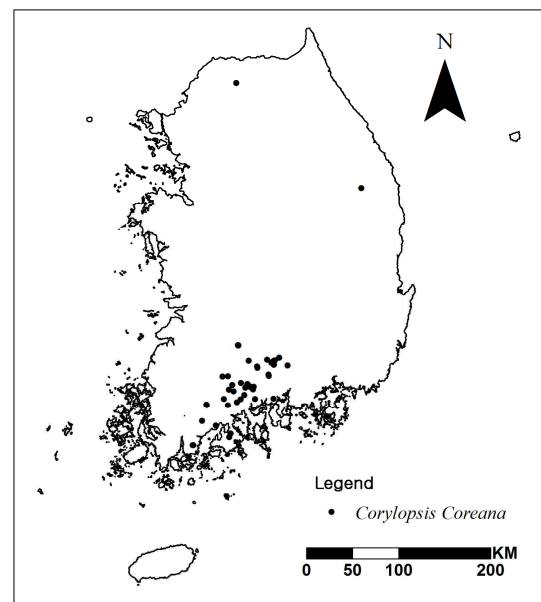


Figure 1. Distribution of *C. coreana*. Extracting from National Ecosystem Survey Data

Table 1. Bioclimatic variables

| Variables | Descriptions |
|-----------|---|
| BIO1 | Annual Mean Temperature |
| BIO4 | Temperature Seasonality (standard deviation *100) |
| BIO10 | Mean Temperature of Warmest Quarter |
| BIO11 | Mean Temperature of Coldest Quarter |
| BIO12 | Annual Precipitation |
| BIO16 | Precipitation of Wettest Quarter |
| BIO17 | Precipitation of Driest Quarter |

Bio11, Bio12, Bio16, Bio17)를 선택 하였다(Seo et al. 2009; Kwon et al., 2012a).

2.2 모형 적용

2.2.1 Maxent

앙상블 모형과 비교하기 위한 단일모형으로는 출현 자료만을 이용하는 기계학습모형인 Maxent를 적용하였다. 전국자연환경조사의 특성상 출현자료만을 수집하는 방식이므로 이를 이용한 단일모형으로는 Maxent가 가장 효과적이다(Franklin, 2009; Kwon, 2010; Kim et al., 2012). 본 연구에서는 무료로 배포되는 MaxEnt 3.3.3k*을 이용하였으며, 모형평가를 위해 5회의 교차 분석을 실시하였다. 모형의 결과로 나오는 확률예측분포를 sensitivity와 specificity의 합이 최대가 되는 값으로 출현과 비출현 지역으로 나누었다(Jeon et al., 2014).

2.2.2 앙상블 모형

동식물의 분포는 다양하고 복잡한 주변 환경과의 상호작용으로 결정되어, 모형은 많은 가설과 가정을 포함하고 있다. 따라서 위치자료를 기반으로 종의 분포를 가장 잘 표현하는 유일한 최적모형을 찾기 어렵다. 최근 단일모형 대신 여러 통계모형을 이용하여 종의 분포를 예측하는 앙상블모형은 종의 현재의 분포예측, 종 풍부도의 패턴, 종 다양성 등의 결과를 개선하기 위해 제안되었다. 그 동안 앙상블모형은 주로 기후변화 시나리오에 따른 종의 분포변화와 영향을 평가하는데 주로 사용되었으며, 불확실성을 정량화하고 다양한 모형의 결과 값들을 제시함으로써 정책의사결정에 도움을 주고 있다(Araujo et al. 2005; Thuiller et al., 2009; Meller et al. 2014).

허여리의 분포를 예측하기 위한 앙상블모형으로 R 패키지인 BIOMOD2를 이용하였다(Thuiller et al., 2009). 본 연구에서는 모형 간의 차이를 알아보기 위하여 패키지에서 제공하는 모든 중분포모형들을 수행하였다(Generalized Linear Models(GLM), Generalized Additive Models (GAM), Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS), Classification Tree Analysis (CTA), Mixture Discriminant Analysis (MDA), Artificial Neural Networks (ANN), Generalized Boosted Models (GBM), Rectilinear Envelope Similar to BIOCLIM (SRE), Random forest (RF), Maxent(Maximum entropy algorithm)). 이 모형

들은 통계 기반으로 한 GLM, GAM, MARS 와 기계 학습을 기반으로 CTA, MDA, ANN, GBM, SRE, RF, Maxent로 크게 나눌 수 있다(Franklin, 2009).

전국자연환경조사는 출현 자료로, Maxent와 SRE를 제외하면 모두 출현-비출현 형태의 이항형 입력 자료가 필요한 모형이다. 이를 위하여 의사 비출현 자료(pseudo-absence data)를 생성하였다. 의사 비출현 자료의 편향이 없도록 하기 위하여 100개의 의사 비출현 지역을 임의 표본화 하는 방법으로, 10회 반복하여 모형을 구현하였다(Barbet-Massin et al. 2012). 자료 처리 및 지도 작성은 ArcGIS ver. 9.3을 이용하였다.

2.3 모형 정확도 검증

ROC (receiver-operating characteristic)의 AUC (Area Under the Curve)값은 기준 값에 독립적이어서 각 모형을 비교하는데 장점을 가지고 있다. 반면 이항형 지도로 변환할 때 별도의 기준 값을 제시해야 하는 단점이 있다. AUC 값은 0.5 이상으로, 0.5-0.7은 모형 적합도가 낮음, 0.7-0.9는 보통, 0.9 이상은 모형이 잘 예측되었다고 판단한다(Franklin, 2009).

Cohen's kappa는 우연에 의해 기대되는 예측 정확도를 이용하여 모형예측의 전체 정확도를 판정하는 방법으로, 우연히 분류가 일치할 가능성을 보정한 방법이다. Kappa는 생태학에서 모델 검증 수단으로 널리 이용되는 방법으로, 출현-비출현 자료의 정확도 검증에 주로 많이 사용되었으며, 특히 위성영상을 이용한 토지피복 분류의 정확도 검증에 많이 사용되었다. (Allouche et al. 2006). 계수 값은 -1에서 1까지 존재하며, 0 미만은 거의 일치하지 않음을, 0.4 미만은 일치정도가 낮음, 0.4-0.6까지는 일치정도가 보통, 0.6-0.8은 높음, 0.8 이상은 거의 일치함을 나타낸다. Kappa는 이항형 예측지도로 변환 시에 비교적 단순하게 선택 기준 값을 제시하는 장점이 있다. 다만 기준 값에 독립적이지 않은 단점을 가지고 있어 모형 간 비교에는 적용이 어렵다(Franklin, 2009)..

TSS(True skill statistics)는 kappa의 기준 값에 독립적이지 않은 단점을 보완하고 이항형 변수의 기준 값을 제시하는 장점은 유지하였다. 결과 값은 기준 값에 독립적인 AUC와 높은 상관관계를 나타내었다(Allouche et al. 2006). 계수값의 범위는 kappa와 동일하다(Franklin, 2009).

모형 검증은 훈련자료(training data)와 시험자료(test data)를 8대 2으로 나누어 5회 반복 실시하였다.

* <http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>

3. 연구 결과 및 고찰

3.1 모형의 정확도 검증

Maxent 모형의 5회 교차검증 AUC는 0.969로 잘 예측된 것으로 평가되었다.

양상블모형의 경우에는 100개의 의사 비출현 자료 10세트를 5회 교차 검증하여 총 50개의 검증 결과를 도출하였다. 각 검증 방법 3개씩 10가지의 모형을 시행하여 총 1,500회의 모형이 시행되었다. 10개의 모형을 살펴보면 RF, Maxent, GBM이 높게 평가되었으며, GAM, SRE는 낮게 평가되었다. 그러나 각 검증방법들의 기준들에서 살펴보면 모형이 모두 잘 구현되었다.

3.2 Maxent vs. 양상블 모형

Maxent 모형은 확률지도로 결과가 도출되며(Fig. 3_(a)), 이를 sensitivity와 specificity의 합이 최대가 되는 값을 기준으로 출현/비출현 지도로 변환하였다(Fig. 3_(d))(Franklin, 2009; Jeon et al., 2014).

반면, 모형의 양상블은 TSS 값이 0.7 이상 되는 모형을 대상으로 양상블을 시행하였으며, TSS값을 기준으로 가중치를 부여하고 평균하는 방법을 취하였다(Fig. 3_(b)). 이항형 자료로 변환하기 위해 TSS값을 최대가 되는 값을 임계값으로 사용하였다(Allouche et al., 2006; Barbet-Massin et al., 2012; Fig. 3_(e)).

Clamping map은 불확실성이 높은 지역을 표시하는 지도로서, 변수 값이 모형에서 예측된 범위를 벗어나는 지역을 표시하였다(Fig. 3_(c)). clamping이란 훈련 변수(training variables)의 범위를 벗어나는 것을 다루는 것을 의미하며, 예측모형이 훈련 변수의 범위를 벗어난다는 것은 예측이 불확실해 지는 것을 의미하게 된다(Rödder et al., 2009). 불확실성이 높은 지역으로 강원도 지역의 일부를 예측하였다. 이는 예측된 범위가 출현위치 자료에 비해 넓게 예측되었기 때문으로 보인다.

그 밖에 북한과 일본의 일부지역은 예측 가능성이 있으나 출현위치자료가 없기 불확실성이 있는 지역으로 추정하였다. 모형에서의 불확실성을 줄이기 위해서는 출현자료의 개수를 늘이거나 편향을 최소화하기 위해 공간적으로 균질한 표본수집이 필요하다. 아울러 비출현 자료의 정보를 함께 수집하는 것이 모형의 불확실성을 줄이는데 도움을 준다(Elith and Leathwick, 2009). 강원도 지역의 경우, 전국자연환경조사에서는 한 지역만 발견되었으나 국립생물자원관의 멸종위기종 조사나 환경영향평가의 현장조사, 제2차 전국자연환경조사 자료에서는 다수의 지점이 발견된 바 있다(Kwon et al., 2012a).

두 모형을 비교하기 위하여 Fig. 3_(e)에서는 결과 자료를 중첩하였다. 양상블 모형은 경기 북부와 강원도 산간, 제주도 한라산 인근을 서식 가능지역으로 예측하여 Maxent 모형에 비하여 과대 추정되는 경향을 보이고 있다. 반면 Maxent 모형은 양상블모형과 중첩되는 지리산과 전남 백운산, 조계산으로 이어지는 산림에서 서식지역이 분리되지 못하고 뭉치는 경향을 보이고 있다. 이러한 모형간의 차이들은 향후 해당 현장 전문가들과의 협업을 통해 최적화된 모형을 선택하는 방법을 구현해 볼 수 있을 것이다.

4. 결론

종분포모형은 생물다양성 평가, 보호지역 지정, 서식지 관리 및 복원, 기후변화의 예측 등의 다양한 분야에 활용되고 있으나 공공이나 정책분야에서는 모형의 불확실성으로 인해 활용이 제한적이었다. 최근에는 이러한 모형의 불확실성을 저감하기 위하여 양상블모형이나 합의모형 등을 활용하는 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 이에 본 연구에서는 히어리를 대상으로 단일모형과 양상블 모형을 구현하고 이를 비교하는 연구를 수행하였다. 아울러 모형의 불확실성을 평가하고 이

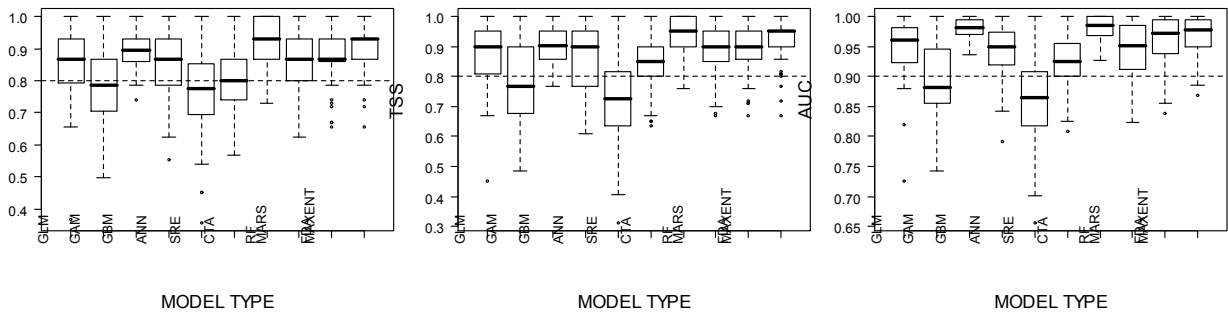


Figure 2. Kappa, TSS and AUC comparisons across 10 models. Dashed line means the baseline of good performance(Kappa 0.8, TSS 0.8 and AUC 0.9)

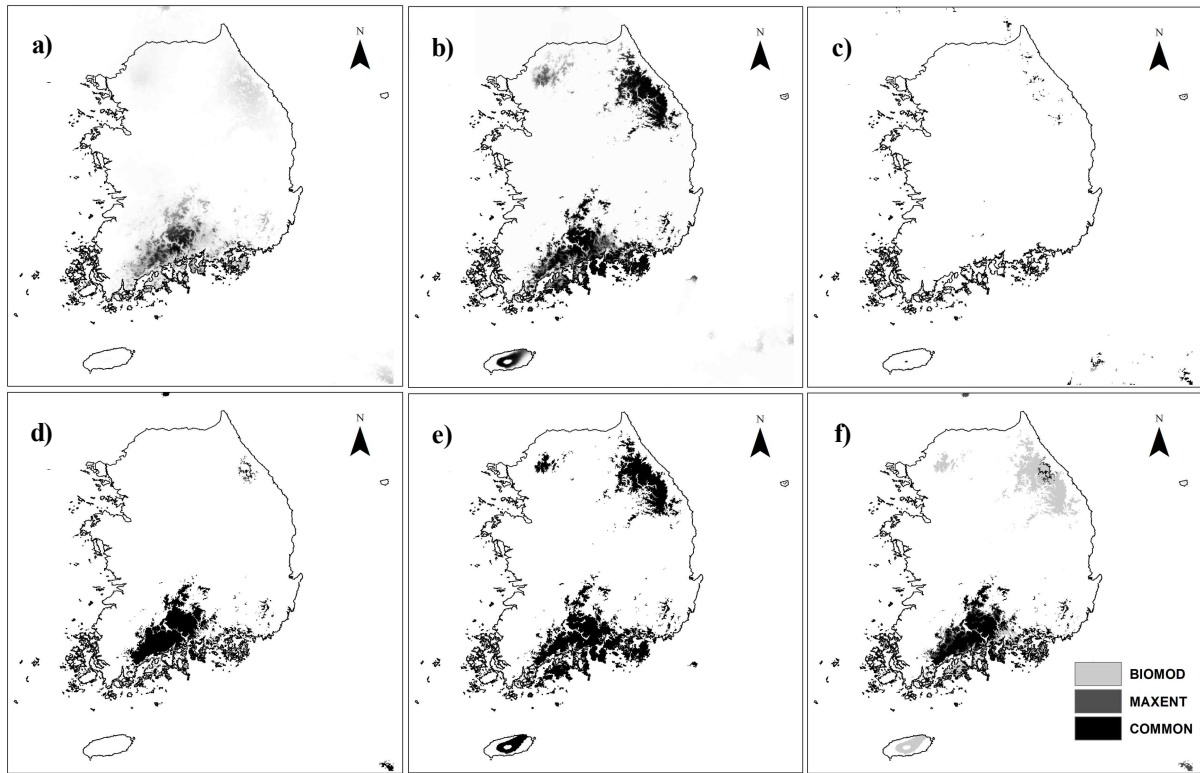


Figure 3. a) probability map in Maxent model b) probability map in ensemble model c) clamping map in ensemble model d) binary map in Maxent model e) binary map in ensemble model f) combine map with Maxent and ensemble results.

에 따른 원인을 파악하고 저감방안을 제안하고자 하였다.

본 연구는 기존의 단일모형 연구에 비해 다중 모형을 적용하여 모형의 불확실성을 측정하고, 이에 따른 불확실 정도와 위치를 파악할 수 있는 점이 다른 분포모형 연구에 대해 차이점이라 할 수 있다. 연구의 결과는 다음과 같다.

모형의 평가를 위해 AUC와 kappa, TSS를 적용하였으며, 이 중 모형의 비교가 용이하고 이항형 지도로 변환할 수 있는 장점을 가진 TSS 평가방법이 용이하였다. 단일모형과 다중모형 모두 높은 모형적합도를 나타내었다. 다중모형에서는 RF, Maxent, GBM이 높게 평가되었으며 GAM, SRE는 비교적 낮게 평가되었다. 단일모형에 비해 다중모형의 예측범위가 과대 추정되는 경향이 있었다. 이는 여러 모형이 중첩된 결과로 중분포모형을 공공정책이나 보전계획 등에 활용하기 위해서는 불확실성의 원인과 결과에 대한 현장전문가와 모형전문가들 간의 협력연구와 합의가 필요하다. 이러한 불확실성을 저감하기 위한 환경공간정보의 고도화나 개선된 모형도 아울러 필요하다. 또한 공간의사결정과정에서 모형결과 사용에 따른 불확실성의 정도와 원인을 파악하고 이에 따른 위험요소를 감안해야 한다.

추가적으로는 종에 반응하는 환경변수의 선정에 있어 좀 더 신중해야 한다(Braunisch et al. 2013).

감사의 글

본 연구는 국립환경과학원의 연구사업인 “매체별 환경정보 공간화 모델링 기법 연구(I)”으로 진행되었습니다.

References

1. Allouche, Omri, Asaf Tsoar, and Ronen Kadmon. 2006, Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the True Skill Statistic (TSS), *Journal of Applied Ecology*, Vol.43, No.6, pp.1223-1232.
2. Araújo, M.B., R.J. Whittaker, R.J. Ladle and M. Erhard, 2005, Reducing uncertainty in projections of extinction risk from climate change. *Global Ecology and Biogeography*, Vol. 14, pp.529-538.
3. Barbet-Massin, M., F. Jiguet, C.H. Albert, and W. Thuiller, 2012, Selecting Pseudo-absences for species distribution models: how, where and how

- many?, *Methods in Ecology and Evolution*, Vol.3, No.2, pp.327-338.
4. Braunisch, V., J. Coppes, R. Arlettaz, R. Suchant, H. Schmid and K. Bollmann, 2013, Selecting from correlated climate variables: a major source of uncertainty for predicting species distributions under climate change. *Ecography*, Vol.36, No.1, pp.1-13.
 5. Buisson, L., W. Thuiller, N. Casajus, S. Lek and G. Grenouillet, 2010, Uncertainty in ensemble forecasting of species distribution. *Global Change Biology*, Vol.16, No.4, pp.1145-1157
 6. Elith, J. and J.R. Leathwick, 2009, Species Distribution Models: Ecological explanation and prediction across space and time, *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, Vol.40, No.1 pp.677-697.
 7. Flather, C.H., K.R. Wilson, D.J. Dean and W.C. McComb, 1997, Identifying gaps in conservation networks : of indicators and uncertainty in geographic-based analyses. *Ecological Applications*, Vol.7, No.2, pp.531-542.
 8. Franklin, J., 2009. *Mapping species distributions spatial inference and prediction*, 1st ed., New York: Cambridge University Press.
 9. Jeon, S.W., J. Kim, H. Jung, W.K. Lee and J.S. Kim, 2014, Species distribution modeling of endangered mammals for ecosystem services valuation: focused on national ecosystem survey data, *J. Korean Env. Res. Tech.*, Vol.17, No.1, pp.111-122.
 10. Kim, H., 2012, (A) study on the method establishing protected areas for the prediction of habitat distribution changes of living species by climate change : focused on forest vegetations, birds and amphibians, Master's thesis, Seoul National University.
 11. Kim, J., C. Seo, H. Kwon, J.E. Ryu, and M. Kim, 2012, A study on the species distribution modeling using national ecosystem survey data, *Journal of Environmental Impact Assessment*, Vol.21, No.4, pp.593-607.
 12. Kwon, H., 2011, Integrated evaluation model of biodiversity for conservation planning: focused on Mt. Jiri, Mt. Deokyu and Mt. Gaya regions, Doctoral dissertation, Seoul National University.
 13. Kwon, H., C. Seo and C. Park, 2012c, Development of species distribution models and evaluation of species richness in Jirisan region, *Korean Society for Geospatial Information System*, Vol.20, No.3, pp.11-18.
 14. Kwon, H., J.E. Ryu, C. Seo, J. Kim, D.O. Lim and M.H. Suh, 2012a, A study on distribution characteristics of corylopsis coreana using SDM, *Journal of Environmental Impact Assessment*, Vol.21, No.5, pp.735-743.
 - 105 Kwon, H., J.E. Ryu, C. Seo, J. Kim, J. Tho, M.H. Suh and C. Park, 2012b, Climatic and environmental effects on distribution of narrow range plants, Vol.15, No.6, pp.17-27.
 16. Latif, Q.S., V.A. Saab, J.G. Dudley and J.P. Hollenbeck, 2013, Ensemble modeling to predict habitat suitability for a large-scale disturbance specialist. *Ecology and evolution*, Vol.3 , No.13, pp.4348-4364.
 17. Meller, L., M. Cabeza, S. Pironon, M. Barbet-Massin, L. Maiorano, D. Georges and W. Thuiller, 2014, Ensemble distribution models in conservation prioritization: from consensus predictions to consensus reserve networks, *Diversity and Distributions* Vol.20 pp.309-321.
 18. Rödder, D., J. Kielgast, J. Bielby, S. Schmidlein, J. Bosch, T.W.J. Garner, M. Veith, S. Walker, M.C. Fisher and S. Lötters, 2009, Global amphibian extinction risk assessment for the Panzootic Chytrid Fungus, *Diversity*, Vol.1, pp.52-66.
 19. Seo, C., J.H. Thorne, L. Hannah and W. Thuiller, 2009, Scale Effects in species distribution models: implications for conservation planning under climate change, *Biology Letters*, Vol.5, No.1, pp.39-43.
 20. Song, W. and E. Kim, 2012, A comparison of machine learning species distribution methods for habitat analysis of the Korea water deer (*Hydropotes inermis argyropus*), *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol.28, No.1, pp.171-180.
 21. Thorn, J.S., V. Nijman, D. Smith and K.A.I. Nekaris, 2009, Ecological niche modelling as a technique for assessing threats and setting conservation priorities for Asian slow lorises (*Primates: Nycticebus*), *Diversity and Distributions*, Vol.15, No.2, pp.289-298.
 22. Thuiller, W., B. Lafourcade, R. Engler and M.B. Araújo, 2009, BIOMOD - a platform for ensemble forecasting of species distributions, *Ecography*, Vol.32, No.3, pp.369-373.
 23. Yun, J.H., K. Nakao, C.H. Park, B.Y. Lee and K.H. Oh, 2011, Change prediction for potential habitats of warm-temperate evergreen broad-leaved trees in Korea by climate change, *Kor. J. Env. Eco.*, Vol. 25, No.4. pp.171-180.