韓國地形空間情報學會誌 第19卷 第2號 2011年 6月 pp. 19-27

연구논문

기온감율을 적용한 기후자료가 잠재 산림분포 예측에 미치는 영향

The Effect of Climate Data Applying Temperature Lapse Rate on Prediction of Potential Forest Distribution

이상철* · 최성호** · 이우균*** · 유성진**** · 변재균*****

Lee, Sang Chul · Choi, Sung Ho · Lee, Woo Kyun · Yoo, Seong Jin · Byun, Jae Gyun

要 旨

본 연구의 목적은 기후변화에 따른 잠재 산림분포 예측에 이용되는 기상 자료의 효과적인 구축 및 규모변환(Down Scaling) 방법을 제시 하는 것이다. 잠재 산림분포 예측을 위해 한국형 산림 분포 모형 TAG(Thermal Analogy Group)의 예측 방법과 HyTAG(Hydrological and Thermal Analogy Group)에서 정의한 식생 기능성 유형(PFT: Plant Functional Types)을 함께 적용하였다. 이를 위해 20km 공간해상도의 기상자료를 1km의 공간해상도에 부합하도록 보간 하였다. 이러한 보간 및 규모변환의 한 가지 방법으로 고도에 따른 기온감율을 적용 및 비적용하여 각각의 과거 잠재 산림분포를 예측하였다. 현존 산림분포도와 비교한 정확도 검증에서 기온감율을 적용한 잠재 산림분포가 약 38% 더 정확한 것으로 나타났다.

핵심용어 : 기후변화, 잠재 산림분포, 규모변환, 보간, 기온감율

Abstract

The objective of this study was to suggest technical approaches for preparation and down scaling of climate data used for predicting the potential forest distribution. To predict the forest distribution, we employed a Korean-specific forest distribution model, so-called the TAG(Thermal Analogy Group), and defined the PFT(Plant Functional Types) based on the HyTAG(Hydrological and Thermal Analogy Group). The climate data with 20km spatial resolution were interpolated to fit on the input data format with 1km spatial resolution. Two potential forest distribution maps were estimated using climate data constructed by kriging, one of the interpolation and down-scaling approaches, with and without lapse rate considered. Through the verification process by comparing two potential maps with the actual vegetation map, the forest distribution using the lapse rate was proven to be 38% more accurate.

Keywords : Climate Change, Potential Forest Distribution, Down-Scaling, Interpolation, Lapse Rate

1. 서 론

육지면적의 약 1/3을 차지하고 지구 전체 광합성의 2/3을 담당하는 산림 생태계의 역할은 기후변화에 따라서 더욱 중요하게 생각되고 있다(산림청, 2009). 그에 따라 전 세계적으로 기후변화가 산림 생태계에 미치는 영향을 파악하기 위해 전 지구적 차원의 식생모형을 개발하고 있다(Cao and Woodward, 1998; Osborne et al., 2000; Bachelet et al., 2001; Watanabe et al., 2004). 국내에서는 Holdridge(김재욱과 이동근, 2006), CEVSA (Carbon Exchange between Vegetation, Soil and Atmosphere, Lee et al., 2007), MAPSS-CENTURY (MC1, Choi et al., 2010a), TAG(Choi et al., 2010b), HyTAG(Choi et al., 2010c) 모형을 이용하여 기후변화가 산림 생태계에 미치는 영향을 분석한 바 있다.

모형을 이용한 기후변화의 영향을 분석하기 위해서는 다양한 입력 자료가 요구되며, 그 자료를 구축하는 방법도 다양하게 연구되고 있다(윤진일 등, 2001;

2011년 3월 2일 접수, 2011년 3월 31일 채택

* 학생회원 · 고려대학교 환경생태공학과 석사과정(attractive37@korea.ac.kr)

** 정회원 · 고려대학교 환경 GIS/RS Center 연구원(gkattack@korea.ac.kr)

*** 교신저자 · 고려대학교 환경생태공학과 교수(leewk@korea.ac.kr)

**** 고려대학교 환경생태공학과 석사과정(yoosjin@gmail.com)

***** 국립산림과학원 탄소경영 연구과(worbs12@paran.com)

Chung et al., 2006; Stahl et al., 2006; Gomez et al., 2008; Kim et al., 2009). 특히, 기후변화에 민감한 온도는 식물의 호흡과 광합성 변화로 식생대 이동을 유발하기 때문에 산림변화에 큰 영향을 주는 것으로 인식되고 있다(산림청, 2005).

이민아 등(2007)의 연구에 따르면 대부분의 모형에 사용되는 입력 자료는 공간상으로 연속적으로 구성 될 필요가 있다. 하지만 기상청에서 제공하는 과거의 기상자료의 경우, 특정 지역에 설립되어 있는 관측소에서 얻어진 자료만을 제공하기 때문에 관측소가 없는 지점들에 대한 모형 적용이 어렵다. 그에 따라 온도 자료를 이용한 식생 예측 연구에서는 관측소 및 모델로 취득한 온도자료를 이용하여 미관측 지점에 대한 자료를 취득하기 위해 보간법을 이용하고 있다(Lee et al., 2007; Choi et al., 2010a, 2010b, 2010c). 우리나라에서는 국지적인 기후특성으로 기상요소의 시·공간적 변동성이 크기 때문에 균일한 격자형 기후자료 산출을 위해 관측자료와 해발고도, 지면 피복상태, 수륙분포 등의 부가적인 지리적 인자를 고려한 공간보간기법이 필요하다(홍기옥 등, 2007). 대표적인 공간보간기법으로는 거리역산가중(IDW: Inverse Distance Weighted), 스플라인(Spline), 크리깅(Kriging), RBF(Radial Basis Function) 등이 있다(Christos et al., 2009; Yan et al., 2005). 이민아 등(2007)은 거리자승역가산가중(IDSW: Inverse Distance Squared Weighted)을 이용하여 기온과 강수량의 공간 예측을 실시하였으며, 관측점과 비관측점의 표고 편차와 윤질일 등(2001)이 제안한 기온감율을 적용하여 보간된 것을 보정하였다. 박노욱과 장동호(2008)는 기존의 비균질한 관측 자료에 수치표고모델과 다변량 크리깅을 적용하여 제주도 지역의 균질한 격자형태의 계절별 기온 및 강수 분포도를 작성한 바 있다.

국지적으로 고도의 변이가 다양한 우리나라에서 모형을 이용한 산림분포 예측을 위해서는 온도 자료에 대한 기온감율 보정식 적용이 중요하고 적용 여부에 따라 모형 예측 결과에 큰 차이가 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 기온감율을 적용한 온도자료와 미적용한 온도자료를 이용하여 잠재 산림분포를 예측하고 그 결과를 현존 식생도와 비교하여 정확도 검증을 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 연구 대상지

본 연구의 대상지는 한반도 남한지역만을 포함하는 경도 124° 54‘ - 131° 6’, 위도 33° 9‘ - 38° 45’, 공간해상도는 0.01°(약 1km)로 한정하였다(Figure 1). 잠재

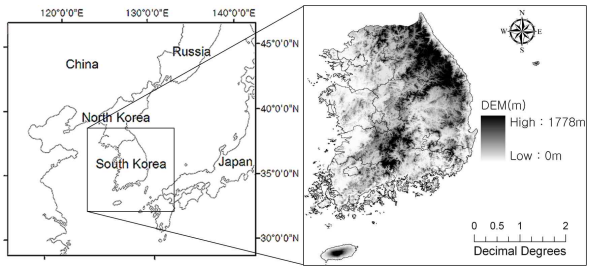


Figure 1. Study Area

식생분포 예측을 위해 서울대학교 지역기후 모델(SNURCM: Seoul National University Regional Model)로 구축된 20km 해상도의 과거(1980-1999) 20년 월 평균기온과 월 평균 최저기온을 사용하였다. 기온감율에 이용된 30m 해상도의 ASTER DEM(Global Digital Elevation) 자료와 정확도 검증을 위해서 환경부에서 제공하는 현존 식생도는 GIS를 이용하여 1km 공간 해상도로 나타내었다.

2.2 기상자료 구축

공간해상도 20km의 기상자료는 관심 있는 지점에서 특성값을 알기 위해 이미 값을 알고 있는 주위값들의 선형조합으로 그 값을 예측하는 공간통계적 기법인 크리깅(최종근, 2007)을 적용하여 전국을 1km 공간 분포로 규모변환 하였고, 그 과정에서 윤진일 등(2001)이 제안한 기온감율 보정식을 적용하였다(Figure 2). 월별로 제공된 기상자료에 기온감율을 적용하기 위해 Eq. 1과 Eq. 2로 일별 평균기온 및 최저기온 기온감율을 계산한 후, 월 평균기온 및 최저기온 기온감율을 구축하였다. 그리고 Eq. 3을 이용하여 크리깅으로 구축된 기온자료에서 고도와 기온감율을 곱한 값을 감하여 모델 입력자료를 구축하였다.

$$|\tau_{avg}| = 0.00688 + 0.0015\cos 0.0172(i-60) \quad \text{Eq. (1)}$$

$$|\tau_{\min}| = 0.00695 + 0.0013\cos 0.0172(i-30) \quad \text{Eq. (2)}$$

$$T = T_i - Elevation(m) \times \text{기온감율} \quad \text{Eq. (3)}$$

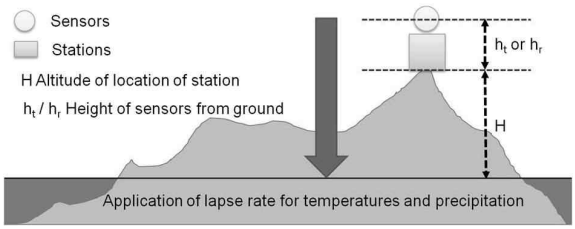


Figure 2. Data Interpolation considering Temperature Lapse Rate

여기서, $|\tau_{avg}|$: 평균기온 기온감율, $|\tau_{\min}|$: 최저기온 기온감율, T_i : 연중 일별 기온값; i : 연중 날짜(1/1일 = 1, 12/31일 = 365)

2.3 잠재 식생분포 예측 모형

Choi et al.(2010b)의 TAG(Thermal Analogy Group) 모형은 한국형 산림분포 모형으로써 Kira(1945)의 온량지수(WI: Warmth Index)와 Neilson(1995)의 최저온도지수(MTCI: Minimum Temperature Index of the Coldest month)를 잠재 분포 모의 과정에서 기후지수로 사용하였다(Figure 3).

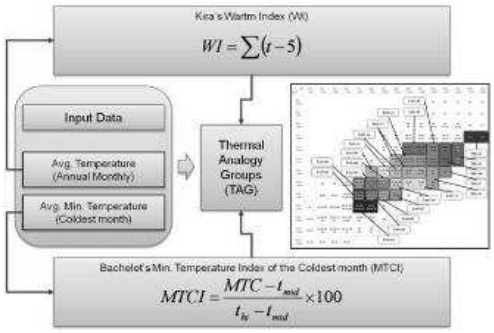


Figure 3. Process for TAG model(Choi et al,, 2010b)

2.3.1 온량지수(WI)

Kira(1945)의 온량지수(WI)는 식물생장의 유효 열량(Effective heat for pla6nts)과 관계가 있으며 잠재식생분포를 결정하는 중요한 요소이다. 우리나라에서는 Yim(1977)이 온량지수를 이용하여 우리나라 산림분포를 설명한 바 있다. 온량지수는 5°C보다 높은 월 평균기온의 합으로 계산할 수 있다(Eq. 4).

$$WI = \sum (t-5) \quad \text{Eq. (4)}$$

여기서, t: 5°C보다 높은 월 평균 기온

2.3.2 최저온도지수(MTCI)

Neilson(1995)에 따르면 월 평균 최저기온에 따라서 산림 식생대가 달라진다고 한다. 월 평균 최저기온이 18°C 이상인 경우 상록활엽수가 존재할 가능성이 높고, −15°C 이하인 경우 상록침엽수가 존재할 가능성이 높다 (Prentice et al., 1992; Lenihan and Neilson, 1993; Neilson, 1995). 또한, 월 평균 최저기온이 약 1.5°C인 곳에서는 낙엽활엽수가 존재할 가능성이 높다. 이러한 이론적인 배경에 따라서 Bachelet et al.(2001)은 월 평균 최저기온을 이용하여 최저온도지수를 계산하였다(Eq. 5). 최저온도지수는 식생의 내한성(Cold

Table 1. Range of Optimal WI and Optimal MTCI(Choi et al., 2010c)

Scientific Name	*Optimal WI range*	*Optimal MTCI range*
Abies koreana	41.4 - 61.7	−111.4 - −60.7
Abies nephrolepis	39.5 - 55.6	−118.3 - −95.7
Pinus densiflora	71.9 - 105.2	−82.7 - −37.5
Pinus koraiensis	46.5 - 87.1	−102.2 - −62.3
Pinus rigida	87.5 - 105.4	−68.2 - −35
Pinus thunbergii	97.1 - 116.2	−43.9 - −13.7
Taxas cuspidata	40.9 - 50.5	−116.3 - −100.2
Larix kaempferi	69 - 95.4	−85.8 - −55.1
Acer mono	67.6 - 112.3	−66.7 - −6.2
Betula ermanii	39.5 - 54.3	−119.6 - −67.5
Carpinus laxiflora	61.1 - 98.5	−85.1 - −23
Carpinus tschonoskii	62.7 - 99	−52.2 - −16.2
Carpinus turczaninovii	92.6 - 114.3	−45.1 - −12.3
Castanea crenata	88.8 - 104.1	−69.5 - −29.4
Quercus dentata	51.5 - 82.1	−97.4 - −64.5
Quercus mongolica	73.4 - 102.5	−36.4 - −9.5
Quercus serrata	56.8 - 78.4	−93.5 - −71.8
Quercus variabilis	74.9 - 101.6	−80.8 - −41.7
Robinia pseudoacacia	91.7 - 108.4	−61.9 - −35.1
Zelkova serrata	85.8 - 108.9	−59.7 - −16.8
Camellia japonica	97.7 - 115.6	−33.5 - −5.9
Castanopsis sieboldii	100.2 - 124.9	−21.7 - 5.3
Quercus acuta	92.4 - 114.8	−28.8 - −3.2

Resistance)을 표현하는 지표로서 Bachelet et al.(2001)가 동적식생모형에 적용한 바 있다.

$$MTCI = \frac{MTC - t_{mid}}{t_{hi} - t_{mid}} \times 100,$$
$$MTC \geq t_{mid}(1.5°C) \quad \text{Eq. (5)}$$

여기서, t_{hi}: 18℃, t_{mid}: 1.5℃, t_{low}: −1.5℃

2.3.3 잠재 생물상(PFT)

본 연구에서는 Choi et al.(2010b)의 TAG 모형의 수종별 적정 WI 및 MTCI 범위를 적용하고(Table 1) Choi et al.(2010c)의 HyTAG(Hydrological and Thermal Analogy Group) 모형의 기후 조건에 따른 잠재 생물상(PFT: Plant Functional Type)에 따라 식물군락을 아고산림, 냉온대 혼효림, 냉온대 활엽수림, 온대 혼효림, 온대 활엽수림, 온난대 혼효림, 온난대 상록수림, 아열대림 8가지로 분류하였다(Table 2). 각 잠재 생물상에 포함된 수종들은 최적 생육 온도지수(온량지수, 최저온도지수) 범위의 유사성에 따라 분류되었다. 기후지수분포도에서 환경부 현존식생도의 자연군락(식재림 제외)에 해당하는 부분을 추출하여 정규분포(가우시안) 곡선을 그리고 상위/하위 11.5%를 제외한 77%를 최적 생육범위로 정의하였다(Yim, 1977).

2.4 정확도 검증

기온감율 적용에 따른 정확도 검증은 해발고도에 따른 식생대의 수직적 발달이 뚜렷하여 다양한 잠재 식물상을 나타내는 제주도를 대상으로 수행하였다. 검증 방법은 Choi et al.(2010c)이 적용한 PrP(Prediction Probability)을 참조하여 적용하였다. 이 방법은 실제 식생분포 면적에 대한 실제 및 잠재 식생이 겹치는 면적의 비율을 계산하는 것이다. 모델의 예측결과가 100%에 가까울수록 유의성이 높다는 것을 말해준다.

Table 2. HyTAGs and Tree Species Composition(Choi et al., 2010c)

General PFTs	*HyTAG*	*Tree species composition and description*			
		**EN*	***DN*	*#DB*	*##EB*
Subalpine coniferous forest	*HyTAG-N*	*Subalpine type not in this study species(WI < 75°C•month)*			
Cool-temperate mixed forest	*HyTAG-A*	*Abies koreana, A. nephrolepis, Pinus koraiensis, Taxas cuspidata*		*Betula ermanii, Cornus controversa, Juglans mandshurica,*	
Cool-temperate deciduous forest	*HyTAG-AB*	*Both in HyTAG A and B*			
Temperate mixed-forest	*HyTAG-B*	*P. densiflora, P. rigida,*	*Larix kaempferi*	*Acer mono, Carpinus laxiflora, C. tschonoskii, Castanea crenata, Q. acutissima, Q. aliena, Q. dentata, Q. mongolica, Q. variabilis, Robinia pseudoacacia*	
Temperate deciduous forest	*HyTAG-BC*	*Both in HyTAG B and C*			
Warm-temperate mixed forest	*HyTAG-C*	*P. thunbergii*		*C. turczaninovii, Fagus crenata, Zelkova serrata*	*Camellia japonica, Castanopsis sieboldii, Q. acuta*
Warm-temperate evergreen forest	*HyTAG-T*	*Warm temperate type not in this study species (75°C•month < WI < 125°C•month)*			
Suntropical evergreen forest	*HyTAG-S*	*Subtropic type not in this study species(125°C•month < WI)*			

*EN: Evergreen Needle-leaved tree; **DN: Deciduous Needle-leaved trees; #DB: Deciduous Broad-leaved trees; ##EB: Evergreen Broad-leaved trees

본 연구에서는 모형으로 예측된 주요 수종의 면적과 현존 식생도에서의 주요 수종이 분포된 면적 중 일치하는 면적 비율을 다음과 같이 계산하였다(Eq. 6).

$$Accuracy = \frac{P \cap A}{P} \times 100(\%) \quad \text{Eq. (6)}$$

여기서, P: 모형으로 예측된 주요 수종의 면적, A: 현존 식생도에서의 주요 수종의 면적

그리고 Error Matrix를 작성하여 실제 수종이 어떤 수종그룹으로 오분류가 일어났는지 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 잠재 식생분포 결과

모형으로 예측된 전국 잠재식생 분포는 기온감율 적용 유무에 큰 차이를 보였다(Figure 4, 5). 기온감율이 미적용된 분포에서 아고산 침엽수림은 강원도 산간지방 일부에서만 분포하였지만, 적용된 분포에서는 강원도 산간지방, 지리산 일대, 한라산 정상부근에서 나타났다. 기온감율 적용 전에 제주도는 전 지역이 아열대림을 나타냈지만 적용 후에는 냉온대 활엽수림을 제외한 아고산림, 냉온대 혼효림, 온대 혼효림, 온대 활엽수림, 온난대 혼효림, 온난대 상록수림, 아열대림 등이 다양하게 분포하는 것으로 나타났다. 기존 연구에 따르면 한반도에서 고산식물은 북한 북부지방에 주로 자라지만 남한의 설악산, 한라산, 지리산 등의 고산지대와 아고산대에서도 분포하는 것으로 조사 되었다(공우석, 2002). 또한, 제주도는 해발고도에 따른 식생의 수직적 발달이 뚜렷하여 온대와 난대성 식물뿐만 아니라 고산식물도 분포하는 것으로 보고되고 있다(공우석, 1999). 이로써 기온감율을 적용하여 온도분포자료로부터 추정된 잠재산림분포가 현존산림분포를 보다 잘 설명해주는 것으로 볼 수 있다.

3.2 정확도 검증결과

기온감율 적용 전·후의 결과와 현존 식생도의 비교는 국지적으로 다양한 식생분포를 나타내고 두 잠재산림 분포에서 가장 큰 차이를 보인 제주도 지역을 대상으로 실시하였다. HyTAG 모형에서 정의한 수종 구성에 포함된 수종에서 제주도 현존 식생도에 포함되고 현존 식생도에서 가장 많이 분포하는 구상나무, 졸참나무, 서어나무, 곰솔을 대상으로 정확도를 검증하였다. 모형으로 예측된 잠재 분포는 수종이 아닌 수종 기능성 그룹으로 구분하여 나타내기 때문에 4가지 수종 포함된 HyTAG-A, B, C의 수종 그룹을 그 수종이 분포하는 영역대로 가정하였다(Table 3).

기온감율 적용 전의 잠재 산림분포결과에서 제주도 전체가 아열대 상록수림 지역으로 나타났고, 4가지 주요수종이 분포하지 않았다. 그러나 기온감율을 적용한

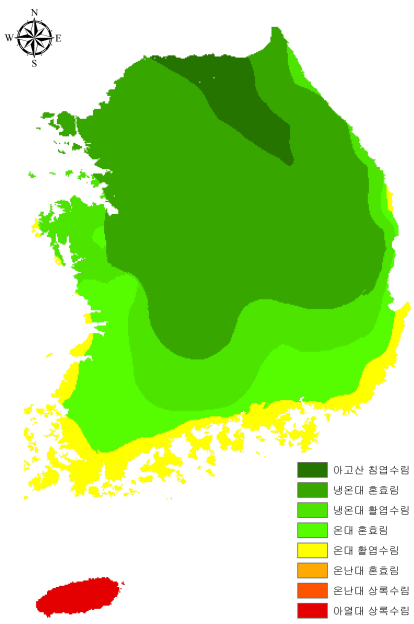


Figure 4. Forest Distribution without Temperature Lapse Rate

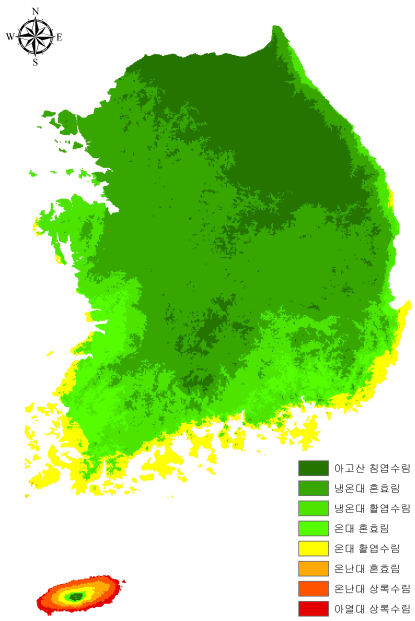


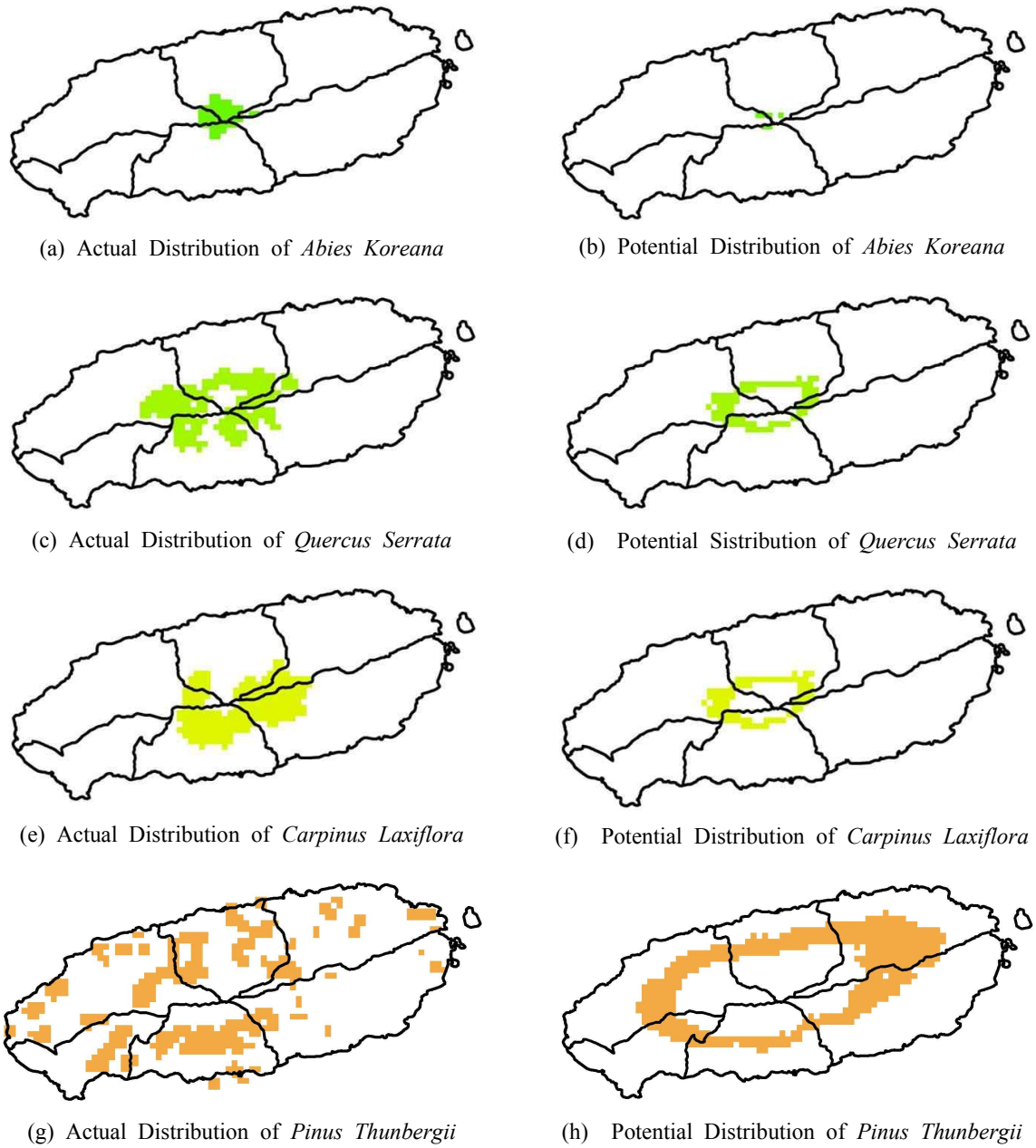
Figure 5. Forest Distribution with Temperature Lapse Rate

Table 3. PFTs considered as Actual Species

HyTAG	*Actual Species*
HyTAG-A (Cool-temperate mixed forest)	*Abies koreana*
HyTAG-B (Temperate deciduous forest)	*Quercus serrata*
	Carpinus laxiflora
HyTAG-C (Warm-temperate mixed forest)	*Pinus thunbergii*

잠재식생분포도에서는 4가지 수종대가 출현하였으며, 그 분포도 현존 식생분포와 상당부분 일치하는 것으로 나타났다(Figure 6).

4가지 수종 모두 잠재 식생분포 보다 현존 식생도에서의 분포 면적이 더 넓었으며, 정확도는 한라산 정상부근에 집중 분포하는 구상나무가 가장 높았고 제주도 전 지역에 넓게 분포하는 곰솔의 정확도가 가장 낮았다. 두 가지 잠재 식생분포 결과와 현존 식생도를 비교한 결과는 기온감율을 미적용한 분포에서는 정확도가 0%를 나타냈지만 적용 한 분포에서는 정확도가 38.39% 높게 나타났다(Table 4).



(a) Actual Distribution of *Abies Koreana*
(b) Potential Distribution of *Abies Koreana*
(c) Actual Distribution of *Quercus Serrata*
(d) Potential Sistribution of *Quercus Serrata*
(e) Actual Distribution of *Carpinus Laxiflora*
(f) Potential Distribution of *Carpinus Laxiflora*
(g) Actual Distribution of *Pinus Thunbergii*
(h) Potential Distribution of *Pinus Thunbergii*

Figure 6. Potential Distribution with Temperature Lapse Rate and Actual Distribution of Main Species

Table 4. Accuracy Analysis of Potential Distribution using Temperature Lapse Rate

Species	P	A	P∩A	Accuracy(%)
Abies koreana	6	44	6	100%
Quercus serrata	76	196	65	85.53%
Carpinus laxiflora	76	201	44	57.89%
Pinus thunbergii	428	396	110	25.70%
Total				38.39%

P: The Area of Potential Distribution with Temperature Lapse Rate(km^2); A: The Area of Actual Distribution(km^2); P∩A: The Area of Main Species in both the Actual Distribution and the Potential Distribution with Temperature Lapse Rate(km^2)

Table 5. Error Matrix of Actual and Potential Distribution using Temperature Lapse Rate

Actual / *Potential*	*Abies koreana*	*Quercus serrata*	*Carpinus laxiflora*	*Pinus thunbergii*
HyTAG-N	**33**	33	36	0
HyTAG-A	6	1	1	0
HyTAG-AB	0	0	0	0
HyTAG-B	5	65	44	8
HyTAG-BC	0	**90**	**89**	108
HyTAG-C	0	7	31	110
HyTAG-T	0	0	0	**114**
HyTAG-S	0	0	0	39
Undefined Area	0	0	0	17
Total	44	196	201	396

Error Matrix 분석결과 구상나무는 아고산 침엽수림으로, 졸참 및 서어나무는 온대 활엽수림으로, 곰솔은 온난대 상록수림으로 오분류된 지역이 많이 분포하여 정확도 검증결과가 낮게 나타났다(Table 5).

4. 결 론

본 연구에서는 산림 분포에 큰 영향을 미치는 기온자료가 고도에 따른 기온의 하강을 고려한 기온 감율 적용에 따라 잠재 산림분포가 어떻게 변하는지를 TAG 모형의 예측 방법과 HyTAG 모형의 식생구성 방법을 이용하여 비교하였다. 기온감율 적용 전·후에 가장 큰 잠재 산림 분포변화를 나타낸 제주도 지역을 대상으로 현존 식생도와 비교를 통하여 정확도 검증 결과, 기온감율 미적용 잠재식생분포에서는 정확도가 0%였으나, 기온감율을 적용한 잠재 산림분포에서는 정확도가 38.39%로 나타났다.

본 연구에서는 기온감율을 적용한 공간보간기법으로 구축된 기온자료로부터 기후변화에 따른 잠재산림분포를 정확히 예측할 수 있다는 것을 잘 보여주고 있다. 이는 우리나라와 같이 소면적이면서 복잡한 지형을 지닌 조건에서 지역규모의 모형을 구축할 때 기온감율 등의 미기후 요소가 중요함을 시사하는 것이다. 또한, 강수량 및 습도 등 산림과 관련된 다른 기상자료들을 고도, 지표, 지형 등을 고려한 자료 구축 방법론에 대한 연구 및 개발의 중요성도 강조하고 있다.

그러나 기온자료 구축 시 여러 베리오그램의 결과를 비교하여 최적의 공간적 자기상관성을 나타내는 모델링 기법을 크리깅에 적용하지 않고 Arc GIS(Ver. 9.3)에서 기본값으로 제공하는 구형베리오그램을 적용한 정규 크리깅을 이용하였고, 자료의 정확성 자체에 대한 검증이 배제한 한계점이 있다. 그리고 잠재 산림분포 결과는 주요 수종 그룹별로 도출되었지만, 그 결과를 주요 수종의 분포로 가정하여 정확도 검증을 한 것은 그 수종그룹에 포함된 다른 수종의 분포를 고려하지 못한 한계점을 가진다. 수직적으로 다양한 수종이 분포하는 제주도를 현존 식생도를 기준으로 고려한 4가지 주요 수종보다 더욱 많은 수종에 대한 정확도 검증이 필요하다.

Error Matrix 결과 주요수종 별로 많은 부분에서 오분류된 것으로 나타났다. 산림에 영향을 미치는 강수, 습도, 토양 등의 요소들의 구축 방법에 대한 연구를 수행하여 미관측 지점에서 최대한 실제와 유사한 기상자료를 구축 및 여러 산림분포 예측 모형에 적용시켜 보다 정확한 잠재 산림분포를 예측 할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비지원(07첨단도시 A01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 공우석, 1999, “한라산의 수직적 기온 분포와 고산식물의 온도적 범위”, *대한지리학회지*, 제34권, 4호, pp. 385−393.
2. 공우석, 2002, “한반도 고산식물의 구성과 분포”, *대한지리학회지*, 제37권, 4호, pp.357−370.
3. 김재욱, 이동근, 2006, “지역기후모형을 이용한 산림식생의 취약성 평가에 관한 연구”, *한국환경복원녹화기술학회지*, 제9권, 5호, pp.32−40.
4. 박노욱, 장동호, 2008, “수치표고모델과 다변량 크

리깅을 이용한 기온 및 강수 분포도 작성", *대한지리학회지*, 제43권, 6호, pp.1002-1015.
5. 산림청, 2005, *기후변화와 산림생태계*, pp.1-14
6. 산림청, 2009, *기후변화대응 산림종합대책*, pp.1-10.
7. 윤진일, 최재연, 안재훈, 2001, "일별 국지기온 결정에 미치는 관측지점 표고영향의 계절변동", *한국농림기상학회지*, 제3권, 2호, pp.99-104.
8. 이민아, 이우균, 송철철, 이준학, 최현아, 김태민. 2007, "기온 및 강수량의 시공간 변화예측 및 변이성", *한국GIS학회지*, 제15권, 3호, pp.267-278.
9. 최종근, 2007, *지구통계학*, 시그마프레스, 서울, pp. 188-231.
10. 홍기옥, 서명석, 나득균, 장동호, 김찬수, 김맹기, 2007, "GIS와 PRISM을 이용한 고해상도 격자형 기온자료 추정", 대기, 제17권, 3호, pp.255-268.
11. Bachelet, D., Lenihan, J.M., Daly, C., Neilson, R.P., Ojima, D.S., Parton, W.J., 2001, "MC1: a Dynamic Vegetation Model for Estimating the Distribution of Vegetation and Associated Carbon, Nutrients, and Water", *Pacific Northwest Research Station*, pp.1-13
12. Cao, M.K., Woodward, F.I, 1998, "Dynamic Responses of Terrestrial Ecosystem Carbon Cycling to Global Climate Change", Nature, Vol.393, No.21, pp.249-252.
13. Choi, S., Lee, W.K., Kwak, H.B., Yoo, S., Choi, H.A., Park, S., Lim, J.H., 2010a, "Vulnerability Assessment of Forest Ecosystem to Climate Change in Korea using MC1 model", Journal of Forest Planning(In press)
14. Choi, S., Lee, W.K., Son, Y., Yoo, S., Lim, J.H., 2010b, "Changes in the Distribution of South Korean Forest Vegetation Simulated using Thermal Gradient Indices", *Science in China Series C-Life Sciences*, Vol.53, No.7, pp.784-797.
15. Choi, S., Lee, W.K., Kwak, D.A., Lee, S.C., Lim, J.H., Saborowski, J., 2010c, "Predicting Forest Cover Changes in Future Climate using Hydrological and Thermal Indices in Korea", Climate Research(In review)
16. Christos G. K., Ioannis Z. G., Eirini K., Nikolaos L.-S., Georgios N.S., 2009, "Evaluatoin of Spatial Interpolation Techniques for Mapping Agricultural Topsoil Properties in Crete", *EARSeL eProceedings*, pp.26-39.
17. Chung, U., Seo, H.H., Hwang, K.H., Hwang, B.S., Choi, J., Lee, J.Y., Yun, J.I., 2006, "Minimum Temperature Mapping over Complex Terrain by Estimating Cold Air Accumulation Potential", *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol.137, pp. 15-24.
18. Gomez, J.D., Etchevers, J.D., Monterroso, A.I., Gay, C., Campo, J., Martinez, M., 2008, "Spatial Estimation of Mean Temperature and precipitation in areas of scarce meteorological information", *Atmosfera*, Vol.21, No.1, pp.35-56.
19. Kim, S.N., Lee. W.K., Shin, K.I., Choi, H.A., Kwak, H., Kwon, T.H., 2009, "Spatial Patterns of Climatic Factors using PRISM in Korea", *Proceedings of ESRI 2009 Users Conference*, ESRI(On-line published)
20. Kira T., 1945, "A New Classification of Climate in Eastern Asia as the Basis for Agricultural Geography", *Kyoto Univ.*, pp.1-23.
21. Lee, M.A., Lee, W.K., Son, Y., Cho, Y.S., Song, C.C., Kim, T.M., Yu, L., Tao, B., 2007, "Sensitivity and Adaptability of Vegetation and Soil Carbon Storage to Climate Change with CEVSA Model in Korea", *Proceedings of 2007 A3 Foresight Program*, A3 Foresight Program, p.24.
22. Lenihan, J.M., Neilson, R.P., 1993, "A rule-based formation model for Canada", *Journal of Biogeography*, Vol.20, pp.615-628
23. Neilson, R.P., 1995, "A Model for Predicting Continental-Scale Vegetation Distribution and Water Balance", *Ecological Applications*, Vol.5, No.2, pp. 62-385.
24. Osborne, C.P., Mitchell, P.L., Sheehy, J. E., Woodward, F.I., 2000, "Modelling the Recent Historical Impacts of Atmospheric CO2 and Climate Change on Mediterranean Vegetation", *Global Change Biology*, Vol.6, pp.445-458.
25. Prentice, I.C., Cramer, W., Harrison, S.P., Leemans, R., Monserud, R.A., Solomon, A.M., 1992, "A global biome model based on plant physiology and dominance, soil properties and climate", *Journal of Biogeography*, Vol.19, pp.117-134
26. Stahl, K., Moore, R.D., Floyer, J.A., Asplin, M.G., McKendry, I.G., 2006, "Comparison of

Approaches for Spatial Interpolatoin of Daily Air Termperature in a Large Region with Complex Topography and Highly Variable Station Density", *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol.139, pp.224-226.

27. Watanabe, T., Yokozawa, M., Emori, S., Takata, K., Sumida, A., Hara, T., 2004., "Developing a Multilayered Integrated Numerical Model of Surface Physics-Growing Plants Interaction(MINoSGI)", *Global Change Biology*, Vol.10, pp.963-982.
28. Yan H., Henry A.N., Mike F.H., Trevor H.B., 2005, "Spatial Interpolation of Monthly Mean Climate Data for China", *International Journal of Climatology*, Vol.25, pp.1369-1379.
29. Yim, Y.J., 1977, "Distribution of Forest Vegetation and Climate in the Korean Peninsula III. Distribution of Tree Species along the Thermal Gradient", *Japanese Journal of Ecology*, Vol.27, pp.177-189.