

# 전라남도 섬 지역의 난온대 상록활엽수림 복원을 위한 적합지 예측<sup>1a</sup>

성찬용<sup>2</sup> · 강현미<sup>3</sup> · 박석곤<sup>4\*</sup>

## Predicting Suitable Restoration Areas for Warm-Temperate Evergreen Broad-Leaved Forests of the Islands of Jeollanamdo<sup>1a</sup>

Chan Yong Sung<sup>2</sup>, Hyun-Mi Kang<sup>3</sup>, Seok-Gon Park<sup>4\*</sup>

### 요약

국내 섬 지역은 감독 부실과 관광 등으로 인해 산림 훼손이 심각한 상황이다. 한반도 서남해안 지역의 난온대 기후대 원식생은 상록활엽수림이어서, 이곳을 원식생으로 복원이 바람직하다. 따라서 본 연구에서는 전남의 섬 지역 산지를 대상으로, 현존 상록활엽수림의 환경 요인을 분석하여 상록활엽수림 복원 적합지를 도출하였다. 이를 위해 딥러닝(deep learning) 알고리즘을 이용하여 Sentinel-2 위성영상에서 연구 대상지의 식생 유형을 6가지로 분류하였고, 분류된 식생 유형의 위치 및 지형, 기후 속성을 측정하여 상록활엽수림의 내성 범위(tolerance range)를 분석하였다. 분석 결과, 현존 상록활엽수림은 인간의 간섭이 적은, 고도가 높고 경사가 급한 지역에 상대적으로 높은 비율로 분포하였다. 이와 같은 인위적인 간섭으로 현존 상록활엽수림은 타 식생 유형보다 오히려 연평균기온이 낮은 곳에 분포하는 경향을 보였는데, 이는 고도가 높을수록 기온은 낮아지기 때문이다. 여러 환경 요인 중 인간의 간섭에 따른 영향을 배제하고, 상록활엽수림의 복원 적합지를 파악할 수 있는 환경 요인에는 위도와 최한월 평균기온(1월)이 있었다. 상록활엽수림 내성 범위 분석 결과, 위도 34.7° 이남, 최한월평균기온 1.7°C 이상인 지역에 주로 생육하는 것으로 나타나, 이 조건에 맞는 지역을 상록활엽수림 복원 적합지로 예측하였다. 전남 섬 지역의 산지 중 상록활엽수림 복원 적합지 면적은 614.5km<sup>2</sup>로 전체 연구 대상지의 59.0%, 연구 대상지 중 농경지 등을 제외한 산림 식생 지역의 73.4%를 차지하였다. 본 연구의 결과를 바탕으로 향후 구체적인 섬 지역 산림복원계획과 예산을 수립해야 할 것이다.

주요어: Sentinel-2 위성영상, 딥러닝, 내성 범위, 1km 기후 격자

### ABSTRACT

Poor supervision and tourism activities have resulted in forest degradation in islands in Korea. Since the southern coastal region of the Korean peninsula was originally dominated by warm-temperate evergreen

1 접수 2021년 6월 24일, 수정 (1차: 2021년 9월 24일), 게재확정 2021년 10월 7일

Received 24 June 2021; Revised (1st: 24 September 2021); Accepted 7 October 2021

2 한밭대학교 도시공학과 부교수 Dept. of Urban Engineering, Hanbat National Univ., 125 Dongseo-daero, Yuseong-gu, Daejeon, 34158, Korea (cysung@hanbat.ac.kr)

3 국립목포대학교 조경학과 조교수 Dept. of Landscape Architecture, Mokpo National Univ., Muan 58554, Korea (kang@mokpo.ac.kr)

4 국립순천대학교 산림자원·조경학부 교수 Division of Forest Resources and Landscape Architecture, Suncheon National Univ., Sunchoen 57922, Korea

a 이 논문은 산림청(한국임업진흥원) 산림과학기술 연구개발사업(2020206A00-2022-BA01)의 지원으로 이루어졌음

\* 교신저자 Corresponding author: sgpark@scnu.ac.kr

broad-leaved forests, it is desirable to restore forests in this region to their original vegetation. In this study, we identified suitable areas to be restored as evergreen broad-leaved forests by analyzing the environmental factors of existing evergreen broad-leaved forests in the islands of Jeollanam-do. We classified forest lands in the study area into six vegetation types from Sentinel-2 satellite images using a deep learning algorithm and analyzed the tolerance ranges of existing evergreen broad-leaved forests by measuring the locational, topographic, and climatic attributes of the classified vegetation types. Results showed that evergreen broad-leaved forests were distributed more in areas with a high altitudes and steep slope, where human intervention was relatively low. The human intervention has led to a higher distribution of evergreen broad-leaved forests in areas with lower annual average temperature, which was an unexpected but understandable result because an area with higher altitude has a lower temperature. Of the environmental factors, latitude and average temperature in the coldest month (January) were relatively less contaminated by the effects of human intervention, thus enabling the identification of suitable restoration areas of the evergreen broad-leaved forests. The tolerance range analysis of evergreen broad-leaved forests showed that they mainly grew in areas south of the latitude of 34.7° and a monthly average temperature of 1.7°C or higher in the coldest month. Therefore, we predicted the areas meeting these criteria to be suitable for restoring evergreen broad-leaved forests. The suitable areas cover 614.5 km<sup>2</sup>, which occupies 59.0% of the total forest lands on the islands of Jeollanamdo, and 73% of actual forests that exclude agricultural and other non-restorable forest lands. The findings of this study can help forest managers prepare a restoration plan and budget for island forests.

**KEY WORDS: SENTINEL-2 SATELLITE IMAGE, DEEP LEARNING, TOLERANCE RANGE, 1-km CLIMATE GRID**

## 서론

육지와 지리적·유전적으로 고립된 섬 지역은 이곳 환경에 적응한 독특한 기능적 형질을 가진 개체들이 많이 서식하는 생물다양성의 보고이다(Kim *et al.*, 2016; Russell and Kueffer, 2019). 이처럼 높은 생태학적 가치에도 불구하고, 섬 지역은 육지에서 접근성이 떨어져 생태계 보전을 위한 행정력이 미치지 못해, 예전부터 연료목 채취와 불법 농경, 방목 등 산림 훼손 행위가 빈번히 발생하고 있다(Ministry of Environment, 2019). 최근에는 여가 수요가 증대되면서, 리조트와 펜션 등 개발이 증가하고 있고, 여기에 무허가 비박 등 무분별한 관광 활동까지 더해져 섬의 산림 훼손이 가속화되고 있다(Choi, 2021). 이에 따라 섬 지역 산림복원이 시급히 요구되나, 섬 지역 산림복원을 위한 제반 연구는 부족한 실정이다. 특히 섬 지역은 육지로부터 유전적으로 고립되고 해풍·염해와 같은 환경압에 지속적으로 노출되는 등 산림복원에 불리한 환경을 가지고 있어, 이러한 환경에 적응할 수 있는 복원 수종을 선정하는 것이 중요하나, 이에 관한 연구는 거의 수행되지 않았다(Park *et al.*, 2018).

한반도 서남해안 연안 섬들은 가시나무류, 구실잣밤나무, 후박나무 등 난온대 상록활엽수종의 북방한계선에 위치하

고 있다(Koo *et al.*, 2001; Park *et al.*, 2016; Yoo *et al.*, 2020). 기존의 문헌(Yim and Kira, 1975; Choi, 2013; Kim *et al.*, 2016; Yoo *et al.*, 2016; Park *et al.*, 2018)에 따르면 서남해안 섬 지역의 산지는 난온대 상록활엽수림이 주를 이루고 있었으나, 인간에 의한 훼손으로 원식생인 상록활엽수림은 거의 사라지고 현재 조림으로 형성된 곰솔림과 낙엽활엽수림 등이 대부분이다. 따라서, 서남해안의 섬 지역 산림을 복원할 때 이곳의 고유종인 난온대 상록활엽수종 위주로 복원하는 것이 생물다양성 보전 측면에서 바람직하다. 게다가 최근 기후변화로 난온대 상록활엽수림의 생육지 분포가 점차 넓어지고 있다는 점을 고려하면, 서남해 섬 지역 복원에 상록활엽수종을 활용하는 것이 효율성 면에서도 합리적인 방안이라 할 수 있다(Yun *et al.*, 2014; Park *et al.*, 2016; Yoo *et al.*, 2020).

상록활엽수종을 활용한 산림복원의 실무적 문제는 상록활엽수림 복원 적합지 선정이 어렵다는 점이다. 로지스틱 회귀모형과 같은 생물종 분포모형(species distribution model)을 이용해 여러 환경 요인들과 현존 상록활엽수림과의 관계를 정립하고, 이를 바탕으로 상록활엽수림 복원 적합지를 선정할 수 있겠지만(예, Yun *et al.*, 2013; Park *et al.*, 2016; Yoo *et al.*, 2016), 상록활엽수림 대부분이 훼손되거나 파편

화된 현 상황에서 현존 상록활엽수림 생육지의 정보만 가지고 모형의 파라미터를 추정하면, 상록활엽수림의 생육 적합지가 편향적으로 추정되는 문제가 발생할 수 있다. 게다가 현장 조사가 쉽지 않은 섬 지역 여건상, 상록활엽수림 데이터가 조사가 쉬운 일부 지역에만 편중되어 있을 가능성이 커져 모형의 정확도를 담보할 수 없다.

본 연구에서는 상록활엽수림의 분포 모형 대신, 여러 환경 요인에 대한 상록활엽수림의 내성 범위(tolerance range)를 도출하는 방식으로 상록활엽수림 복원 적합지를 예측하였다. 상록활엽수림의 내성 범위는 실제 상록활엽수림 생육지의 환경 요인을 측정하여 다음, 측정값의 분포를 히스토그램(histogram)으로 그려, 환경 기울기(environmental gradient) 상 상·하한 경계를 파악하여 결정할 수 있다. 하지만, 히스토그램을 통해 내성 범위를 파악하려면, 히스토그램을 그리기에 충분한 만큼 많은 수의 상록활엽수림 생육지와 생육지별 환경 요인 측정값이 필요한데, 대부분의 상록활엽수림이 훼손된 데다, 현장조사가 쉽지 않은 섬의 여건을 고려하면 이는 현실적으로 불가능하다.

본 연구에서는 이 문제를 위성영상에서 서남해안 섬 지역의 상록활엽수림 생육지를 도출하는 방식으로 해결하였다. 위성영상을 활용하면 넓고 접근이 어려운 지역의 생물종 분포를 파악할 수 있다. 단, 위성영상을 통해서도 상록활엽수림의 생육지 위치만 알 수 있을 뿐, 생육지의 환경 조건은 알 수 없어, 생육지별 환경 조건을 측정할 수 있는 별도의 데이터가 필요하다. 본 연구에서는 modified Korean parameter-elevation regressions an independent slopes model(MK-PRISM) 모형을 통해 추정된 기후 데이터를 활용하여 위성영상에서 도출된 생육지의 환경 조건을 측정하였다(Korea Meteorological Administration, 2021). 이와 같은 과정을 통해 전남 섬 지역 내 현존 상록활엽수림의 환경 요인별 내성 범위를 파악한 다음, 이를 바탕으로 상록활엽수림 복원 적합지를 예측하였다.

## 연구방법

### 1. 연구 대상지

본 연구의 연구 대상지는 행정구역상 전라남도에 속한 모든 섬이다. 여기서 섬의 경계는 국토교통부 국토지리정보원의 1:5,000 수치지형도의 해안선을 기준으로 구획하였다(National Geographic Information Institute, 2020). 수치지형도 상 전라남도 지역에서 바다로 둘러싸인 섬으로 식별된 지역은 총 8,713개소인데, 이 숫자는 면적이 1m<sup>2</sup> 이하인 작은 암초들까지 포함한 숫자이다. 생태복원의 관점에서 섬

과 암초를 구분하는 기준을 찾기 어렵다. 유엔해양법협약 등에 섬과 암초를 구분하는 기준이 명시되어 있기는 하지만(예, 국제해양법협약 제 121조 제1~3항), 이는 국가의 배타적경제수역을 정의할 때 국가 간 분쟁을 막기 위한 기준으로, 생태학적 연구에 적용하기는 적절치 않다. 따라서, 본 연구에서는 연구자 임의로 섬과 암초를 구분하지 않고, 수치지형도 상 바다로 둘러싸인 모든 지역을 섬으로 간주하고 분석 대상에 포함하였다.

본 연구의 주요 목적은 전남의 섬 지역 중 상록활엽수림으로 복원하기 적절한 지역을 예측하여 제시하는 것이다. 따라서, 본 연구에서는 앞서 전남 섬 지역 중, 산림으로 복원 가능성이 없는 주거지나 농경지, 도로 등은 분석에서 제외하고, 「산지관리법」 상 산지로 구분된 지역만을 연구 대상으로 선정하였다. 이 기준을 적용하여 비산지 지역을 제외하면, 앞서 언급한 작은 암초들은 대부분 연구 대상지에서 제외되었다. 최종적으로 선정된 연구 대상지의 총면적은 1,041.6km<sup>2</sup>이다.

## 2. 위성영상 분석

### 1) 위성영상 선정

연구 대상지 내 상록활엽수림 생육지는 2020년에 촬영된 Sentinel-2 영상을 분류하여 도출하였다. Sentinel-2는 유럽 우주국(European Space Agency)에서 개발·운영 중인 2기 위성으로 구성된 지구관측 프로그램을 통칭하는 이름으로, Sentinel-2에는 10~60m의 각기 다른 공간해상도를 가진 13개의 밴드로 구성된 다중분광센서(multispectral sensor)가 탑재되어 있다(Drusch *et al.*, 2012). Sentinel-2 밴드 중, 492~832.8nm 파장대의 4개의 밴드는 10m, 704nm~2202.4nm 파장대의 6개 밴드는 20m, 443nm~1373.5nm 파장대의 3개의 밴드는 60m의 공간해상도로 지상에서 방출된 전자기복사 에너지를 관측한다(Drusch *et al.*, 2012). 본 연구에서는 공간해상도 10m인 4개 밴드 영상과 공간해상도 20m인 6개 밴드, 총 10개 밴드 영상을 이용하였는데, 이 중 20m 영상은 10m로 재표본(resample)하여 이용하였다(Wang *et al.*, 2016). Sentinel-2 영상은 대기보정 전인 level 1C와 보정 후인 level 2A 영상, 이렇게 두 수준으로 제공되는데(Main-Knorn *et al.*, 2017), 본 연구에서는 2A 영상을 이용하여 분석하였다.

상록활엽수림은 겨울에도 잎이 지지 않아, 겨울철 영상에서 낙엽활엽수림과 분광 반사율의 차가 가장 크기 때문에, 비생장기 영상을 이용할 때 상록활엽수와 낙엽활엽수림의 분류 정확도가 향상된다(Sung and Li, 2012). 따라서, 본 연구에서는 비생장기인 2020년 3월 8일에 촬영된 Sentinel-2 영상과 생장기인 2019년 5월 23일과 2020년 5월 12일에 촬영된 영상을 합성하여 식생 유형 분류하였다(Figure 1).

Table 1. The structure of deep learning classifier

layer	the number of node	activation function
input layer	30	
hidden layer 1	128	ReLU
hidden layer 2	128	ReLU
hidden layer 3	128	ReLU
output layer	7	softmax

하나의 Sentinel-2 영상이 10개 밴드 영상으로 구성되어 있으므로, 세 시기 영상을 합성한 영상은 30개의 밴드로 구성되었다.

## 2) 현존산림 식생 유형 분류

본 연구에서는 앞 절에서 설명한 Sentinel-2 합성 영상을, deep learning(DL) 알고리즘을 이용하여 7개 식생 유형으로 분류하였다. 여기서 6개 유형은 상록활엽수림, 낙엽활엽수림, 상록침엽수림, 초지/관목, 농경지, 나지/건조지, 수역이다. DL은 입력 데이터와 출력 데이터를 연결하는 신경망을 구축하여 출력 결과를 예측·분류·인식하는 기계 학습(machine learning) 방법의 일종이다(Zhu *et al.*, 2017; Kim *et al.*, 2018; Ma *et al.*, 2019). 본 연구에서는 입력층(input layer)과 출력층(output layer) 사이에 3개의 은닉층(hidden layer)을 배치하여 신경망을 구축하였다(Table 1). DL의 입력층은 Sentinel-2 합성 영상의 밴드에 대응하는 30개의 노드로 구성하였고, 출력층은 7개 식생 유형에 대응하는 7개의 노드로 구성하였다. 3개의 은닉층은 각각 256개의 노드를 갖는다. 은닉층의 노드에 대한 활성화 함수(activation function)는 ReLU를 적용하였고, 출력층의 노드에 대한 활성화 함수는 softmax를 적용하였다.

DL은 감독분류(supervised classification)의 일종으로 연

구자가 학습용 데이터를 입력해서 DL이 내부 파라미터를 추정하도록 하여야 한다. 본 연구는 7개 식생 유형별로 150개 씩의 픽셀을 학습용 데이터로 선정하여 DL을 학습시켰으며, DL의 epoch는 5겹 교차검증(5-fold cross-validation) 방법을 통해 과적합 문제(overfitting problem)가 발생하지 않도록 결정하였다. DL 분류는 R 언어로 구현된 Keras 패키지(version 2.3)를 이용하여 수행하였다(Falbel *et al.*, 2021).

## 3. 상록활엽수림 복원 적합지 분석

본 연구에서는 Sentinel-2 합성 영상 분류 결과, 상록활엽수림 생육지로 분류된 모든 픽셀의 위치에 대한 환경 요인의 측정값을 히스토그램으로 그려 각 식생 유형별 내성 범위를 도출하였다. 단, 본 연구의 대상지인 전남 섬 지역은 난온대 상록활엽수림의 내성 범위 전체를 포괄하지 못하므로, 내성 범위 전체가 아니라 내성 범위 중 기온이 낮은 쪽 경계만 파악하였다. 비교를 위해, 상록활엽수림 외에 낙엽활엽수림과 상록침엽수림에 대해서도 같은 분석을 수행하였다.

3가지 식생 유형의 내성 범위는 위치 및 지형과 기후 요인에 대해 도출하였다(Table 2). 본 연구에서 분석한 위치 및 지형 관련 요인들은 위도와 고도, 경사도, 해안까지 거리가 있는데, 이들 요인은 1:5,000 수치지형도의 등고선 데이터를 이용하여 측정하였다. 기후 요인들은 연평균기온과 최한월평균기온, 연강수량, 결빙일수 등이다. 여기서 최한월평균기온은 1월 평균기온이고, 결빙일수는 일최고기온이 0°C 미만인 날의 연중 일수이다. 이들 기후 요인은 MK-PRISM version 1.2 알고리즘으로 생성된 공간해상도 1km의 격자 데이터를 이용하여 측정하였다(Korea Meteorological Administration, 2021). MK-PRISM 1km 격자 데이터는 실제 기상 관측 데이터를, 표고와 경사도, 사면향, 해안으로부터 거리 등을 고려하

Table 2. Descriptions of environmental factors

	factors	descriptions	data sources
locational and geographic	latitude	latitude in decimal degree	1:5,000
	elevation	elevation above sea level in meter	digital
	slope	surface slope in degree	topographic map
	distance to shore	distance to the nearest shore in meter	
climatic	annual average temperature	average temperature between 2000 and 2017 in °C	MK-PRISM version 1.2
	average temperature for the coldest month	average temperature for January between 2000 and 2017 in °C	
	annual precipitation	average annual precipitation between 2000 and 2017 in mm	
	the number of freezing days	average number of days when the lowest temperature is below freezing temperature (i.e., 0°C)	

Table 3. Accuracy of the deep learning classifier (epoch = 1,750)

actual	classified							sum
	bare/ built	agricultural	grass/ shrub	deciduous	evergreen coniferous	evergreen broad-leaved	waterbody	
bare/built	147	0	2	0	0	0	1	150
agricultural	1	142	6	0	0	0	1	150
grass/shrub	1	2	141	5	0	1	0	150
deciduous	0	0	2	142	6	0	0	150
evergreen coniferous	0	0	0	3	141	6	0	150
evergreen broad-leaved	0	0	0	0	2	148	0	150
waterbody	1	0	0	0	0	0	149	150
sum	150	144	151	150	149	155	151	1050
overall accuracy (%)	96.2							

여, 남한 전 지역에 대해 추정된 데이터이다(Kim *et al.*, 2012; 2013). MK-PRISM 데이터는 연 단위로 추정하여 제공 되는데, 본 연구에서는 2000년부터 2017년까지 데이터의 평균값을 계산하여 활용하였다. 연구 대상지 중 육지와 바다 경계부 일부는 MK-PRISM 추정값이 없었는데, 이 경우는 최근린 격자의 데이터값으로 추정하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 전남 섬 지역의 식생 유형 현황

분석 결과, DL의 식생 분류 정확도는 96.2%로 매우 높았다(Table 3). 생육지 면적이 가장 넓은 유형은 상록침엽수림으로 분포 면적이 총 557.3km<sup>2</sup>에 이르러, 연구 대상지인 전남 섬 지역 산지 전체 면적의 53.5%를 차지하였다(Table 4). 다음으로 낙엽활엽수림의 분포 면적이 230.8km<sup>2</sup>(22.2%)로 넓었다. 반면, 상록활엽수림의 생육지 면적은 52.9km<sup>2</sup>로 연

Table 4. Classification results of the deep learning

vegetation types	area (km <sup>2</sup> )	percentage (%)
bare/built	57.5	5.5
agricultural	21.2	2.0
grass/shrub	114.3	11.0
deciduous	230.8	22.2
evergreen coniferous	557.3	53.5
evergreen broad-leaved	52.9	5.1
waterbody	7.7	0.7
total	1041.6	100.0

구 대상지의 5.1%에 지나지 않아, 원식생인 상록활엽수림이 대부분 훼손되어 사라졌음을 알 수 있었다. 연구 대상지 중 상록활엽수림과 낙엽활엽수림, 침엽수림을 모두 합한 면적은 840.9km<sup>2</sup>로 연구 대상지 전체 면적의 80.7%였고, 나머지 19.3%는 초지나 농경지 등 비산림 식생 유형이었다.

상록활엽수림 생육지가 가장 많은 섬은 완도로서 그 면적은 18.3km<sup>2</sup>이고, 연구 대상지의 상록활엽수림 생육지 전체 면적( 52.9km<sup>2</sup>)의 34.6%에 해당한다(Figure 1). 다음으로 넓은 지역은 보길도이며 상록활엽수림의 생육지 면적은 9.3 km<sup>2</sup>였다. 이 외에 가거도(3.9km<sup>2</sup>)와 흑산도(3.9km<sup>2</sup>), 거문도 동서·고도(3.4km<sup>2</sup>), 홍도(2.8km<sup>2</sup>), 여서도(1.4km<sup>2</sup>) 등에 상록활엽수림이 넓게 남아있었다.

### 2. 환경요인별 상록활엽수림 복원 적합지 분석

Sentinel-2 영상 중 상록활엽수림과 낙엽활엽수림, 침엽수림으로 분류된 픽셀의 환경 요인 측정값들을 히스토그램으로 그린 결과, 상록활엽수 생육지는 대부분 흑산군도가 위치한 위도 34.7°선 이남에 분포하여, 34.7° 이남에 위치한 섬 지역을 상록활엽수림 복원이 적합한 지역으로 예측하였다(Figure 2a). 물론 알려진 상록활엽수림의 실제 북방한계선은 대청도 인근이고(Yun *et al.*, 2001), 본 연구 결과에서도 상록활엽수림 생육지가 전남 최북단인 위도 35.3°선까지도 발견되어, 상록활엽수림의 북방한계선이 본 연구의 대상지인 전남보다 북단에 형성되는 것을 알 수 있었지만, 본 연구의 목적은 상록활엽수종의 생육 가능성을 찾는 것이 아니라 복원 적합지를 찾는 것이기 때문에, 위도 34.7° 이남 지역을 상록활엽수종의 복원 적합지로 판단하였다.

상록활엽수림 생육지의 표고 분석 결과, 상록활엽수림은 타 식생 유형보다 높은 고도에 분포하는 비율이 높았다(Figure

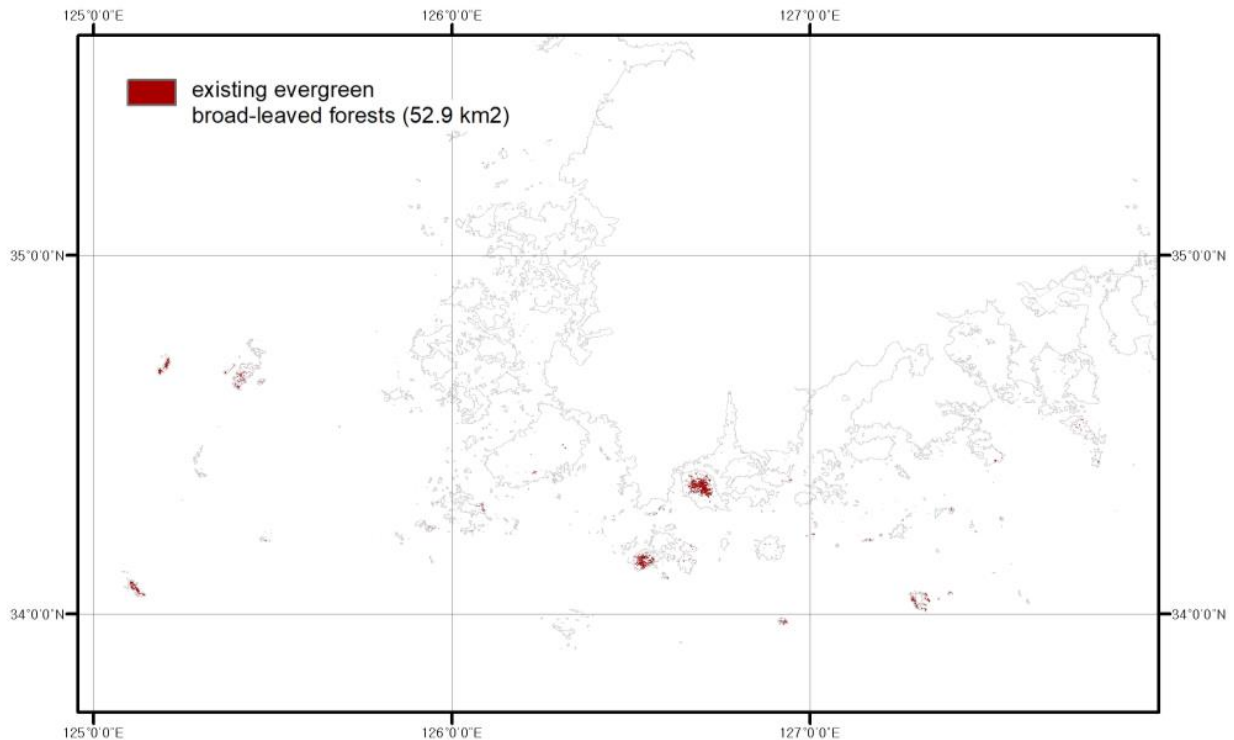


Figure 1. Existing evergreen broad-leaved forests in the islands of Jeollanamdo

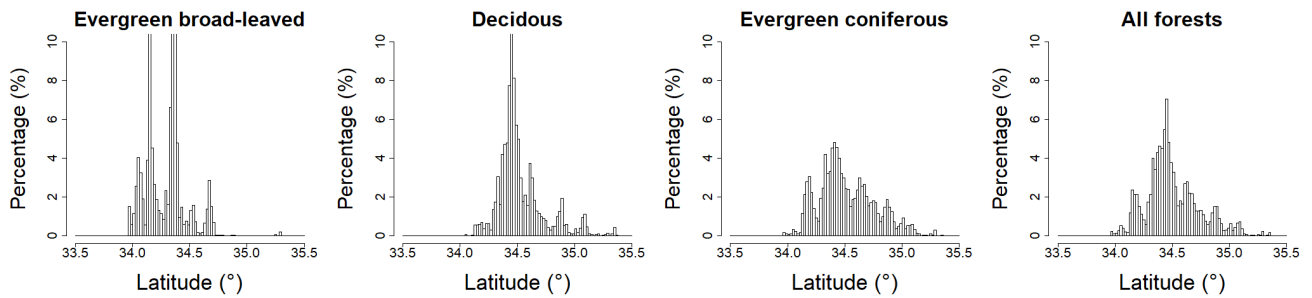
2b). 이 결과는 상록활엽수가 고도가 높은 곳을 선호한다기보다는, 고도가 높은 지역의 산림이 인간에 의해 덜 훼손되었기 때문에 해석하는 편이 합리적이다. 고도가 높아서 기온이 낮음에도 상록활엽수림 비율이 높다는 결과는, 전남 섬 지역 대부분 산림의 원식생이 상록활엽수(Choi, 2013; Park *et al.*, 2018)라는 것을 간접적으로 보여주는 결과이기도 하다. 경사도 분석 결과도 표고 분석 결과를 뒷받침해준다. 경사도 분석 결과, 상록활엽수림은 경사도가 높은 지역에 상대적으로 많이 생육하였는데, 이는 경사가 급한 지역일수록 인간에 의한 훼손이 적어 원식생인 상록활엽수림이 상대적으로 많이 남아있기 때문으로 볼 수 있다(Figure 2c). 경사도 분석 결과에서 경사도가 낮은 지역에 상록침엽수림 분포가 특이하게 높았는데, 이는 해안가에 적응력이 뛰어난 곰솔림이 넓게 분포(Yang *et al.*, 2012; Kimura., 2014)해 있기 때문일 것이다.

해안까지 거리에 따른 상록활엽수림 생육지 분석 결과도 큰 틀에서 타 지형 관련 요인들과 유사하게 해석될 수 있다. 해안까지 거리 분석 결과, 해안에서 멀리 떨어진 지역일수록 상록활엽수림의 비율이 상대적으로 높게 나타나, 대부분 해안에서 멀리 떨어진 지역에 위치해 고도가 높고 경사가 급한 고지대 산지에 상록활엽수림이 상대적으로 많이 분포하였다(Figure 2d). 단, 상록활엽수림은 해안까지 거리가 3,500m 이내의 지역까지는 타 식생 유형보다 상대적 인 비

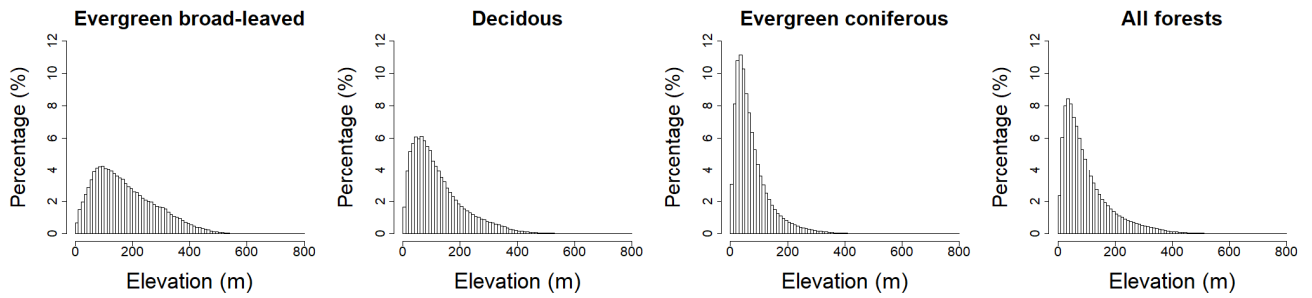
율이 높았지만, 3,500m 이상부터 상대적 비율이 급격히 감소하고, 4,000m 이상에서는 거의 발견되지 않았는데, 이는 섬 지역 특성상, 해안까지 거리가 4,000m 이상인 지역이 거의 없기 때문이다. 전남 섬 지역 중 해안까지 거리가 4,000m를 넘는 지역은 연구 대상지 중 가장 큰 섬인 진도 내부 산지인 남산과 대곡산 등에만 있었는데, 진도는 인구 밀도가 상대적으로 높고 산지의 표고와 경사도도 높지 않아, 상록활엽수림이 대부분 훼손되고 현재는 낙엽활엽수림이 주로 분포하여 4,000m 이상 지역에서는 상록활엽수림은 거의 없고 낙엽활엽수림의 비율만 높게 나타났다.

인간의 간섭 정도에 따라 상록활엽수림이 선택적으로 훼손 또는 보존되었다는 사실은, 기후요인별 환경 기율기 상록활엽수의 복원 적합지 예측을 복잡하게 만든다. 예를 들어, 연평균기온에 대한 히스토그램을 보면(Figure 2e), 상록활엽수림 생육지의 하한선이 12.6°C로 타 식생 유형의 하한선보다 오히려 낮게 형성되었는데, 이는 국내 상록활엽수림 최대 생육지인 완도 상왕산 일대의 연평균기온이 12.6°C이기 때문이다. 즉, 완도 상왕산의 고도가 645.5m로 연구 대상지 중 가장 높아 연평균기온이 가장 낮았던 것이, 이와 같은 결과에 영향을 미쳤다고 할 수 있다. 또한, 상록활엽수림은 연평균기온의 상한선인 14.6~14.7°C 부근에서도 상대적으로 높은 비율로 분포하는데, 이는 상록활엽수림이

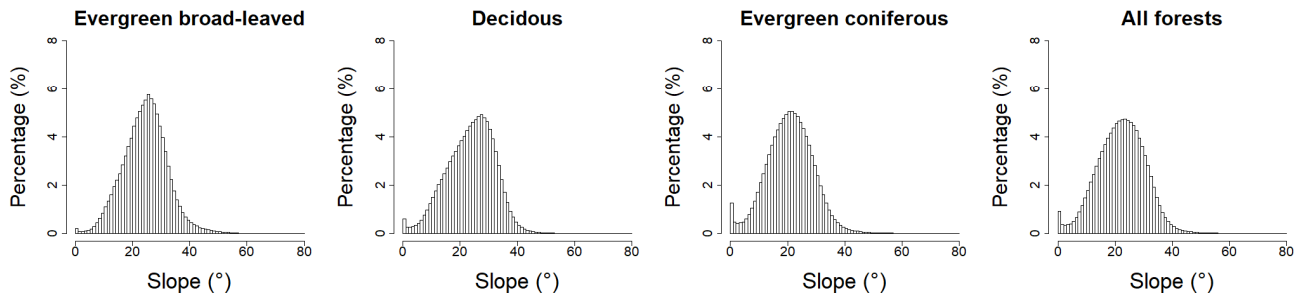
a) Latitude



b) Elevation



c) Slope



d) Distance to shore

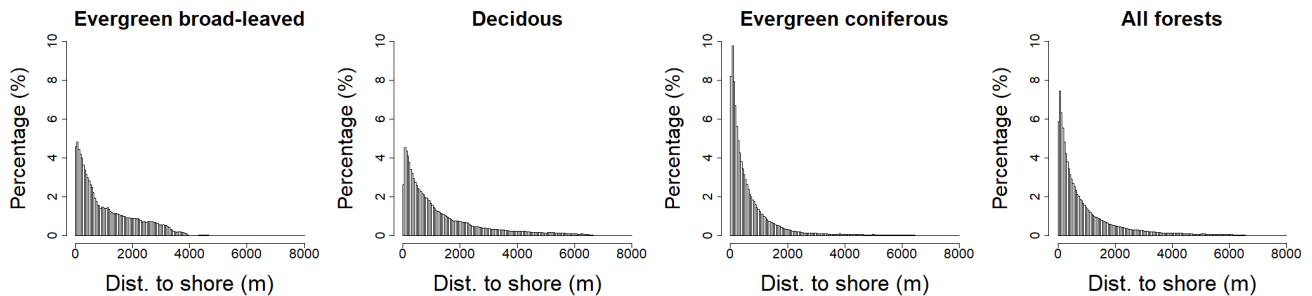
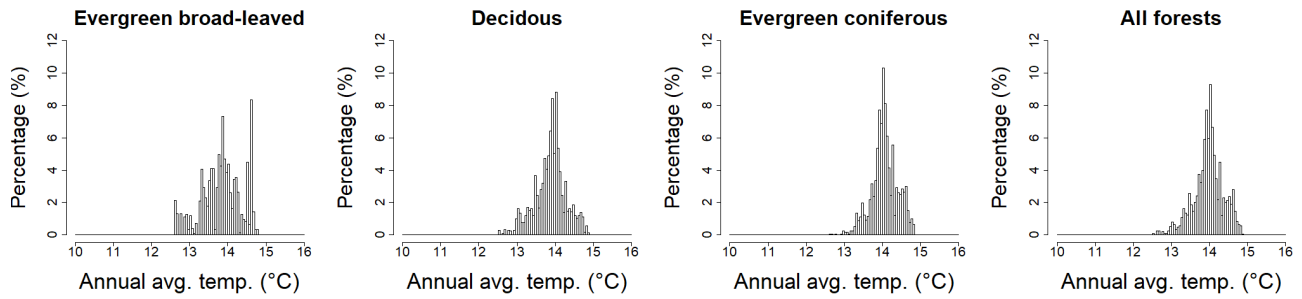


Figure 2. Histograms of environmental factors for vegetation types.

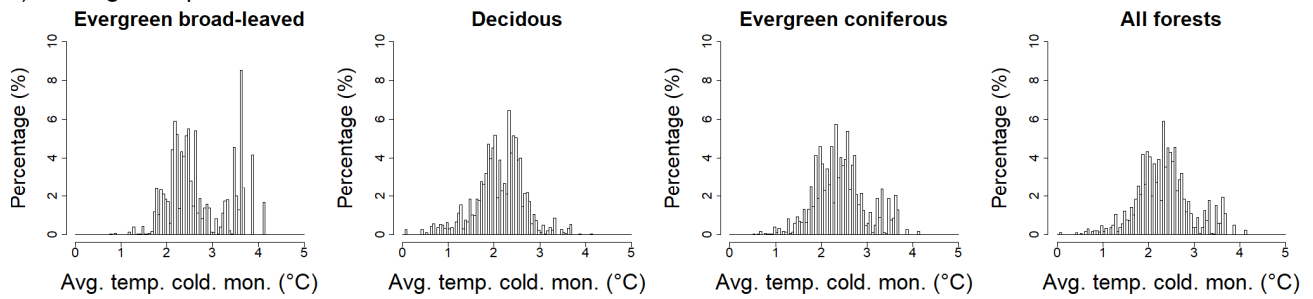
기온이 높은 지역을 선호한다는 생태적 특성에 부합한다. 상록활엽수림이 타 식생 유형보다 기온이 높은 지역을 선호

한다는 사실과, 인간의 간섭으로 현존 상록활엽수림이 기온이 낮은 고지대에 편중되어 보존되어 있다는 사실을 종합하

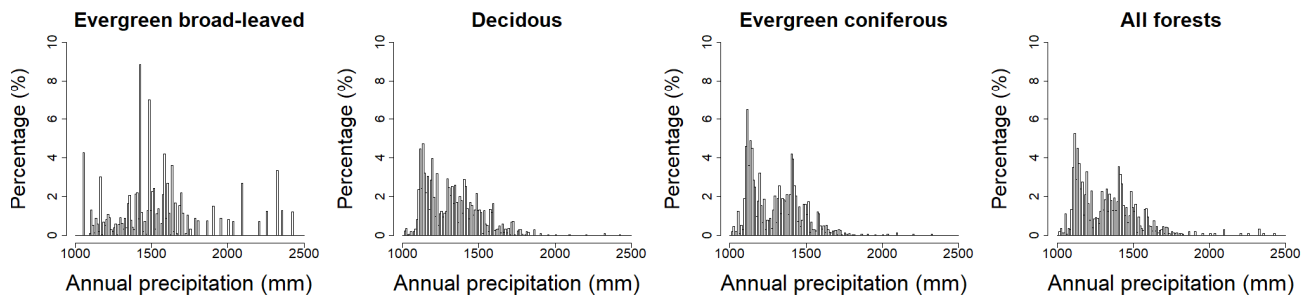
e) Annual average temperature



f) Average temperature of the coldest month



g) Annual precipitation



h) The number of freezing days

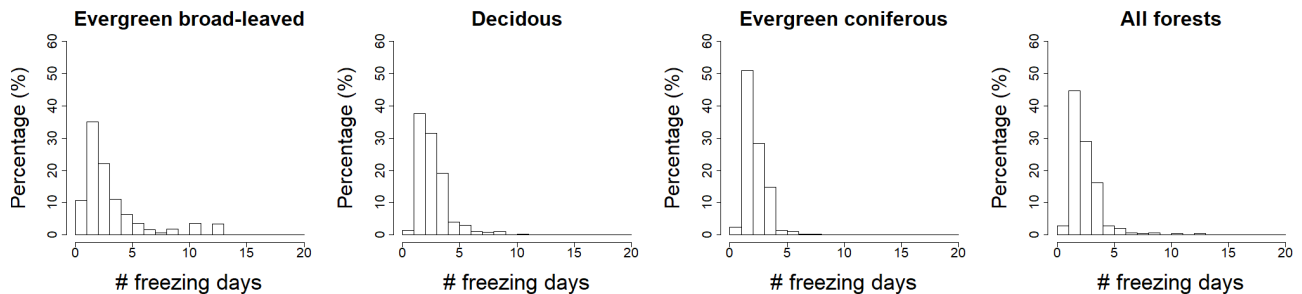


Figure 2. continued

면, 연구 대상지에서 상록활엽수림 생육지의 연평균기온 분포가 타 식생 유형보다 더 넓다는 결과에 대한 합리적 설명

이 될 수 있는데, 이와 같은 추세는 연평균기온(Figure 2e) 뿐 아니라, 강수량(Figure 2g)과 결빙일수(Figure 2h) 분포



에서도 확인할 수 있다.

기후요인 중 상록활엽수의 생육지 하한선을 가장 잘 판별할 수 있는 요인은 최한월 평균기온이었다. 상록활엽수림의 생육지는 최한월 평균기온이 0.8°C인 지역까지 분포하긴 하였지만 대부분 생육지는 1.7°C 이상인 지역에 분포하여, 타 식생 유형보다 하한이 높은 선에서 형성되었다(Figure 2f). 일본의 상록활엽수림 분포역을 연구한 Hattori(1993)는 내한성이 강한 붉가시나무림이나 참가시나무림이 내륙 고지대의 최한월 평균기온 2°C까지 우점했다고 밝혀, 본 연구 결과와 부합하였다. 이 결과는 MK-PRISM이 추정한 완도 상왕산 일대(붉가시나무림)의 최한월평균기온이 1.7°C로, 타 기후요소와 달리 상왕산 일대의 최한월평균기온이 연구 대상지 중 최저가 아니기 때문인데, 이는 완도 일대의 지형적 특성을 반영한 결과로 보이나, 이에 대한 설명은 본 연구의 범위를 벗어나는 것으로 더는 고찰하지 않았다.

### 3. 전남 섬 지역의 상록활엽수림 복원 적합지 예측

위의 환경 요인별 상록활엽수림 복원 적합지 분석 결과를 토대로 다음과 같이 복원 적합지 예측 기준을 설정해 연구 대상지의 복원 적합지를 예측하였다.

첫째, 상록활엽수 복원 적합지는 위도 34.7°선 이남 지역

이다. 기타 지형 관련 환경 요소인 고도와 경사도, 해안까지 거리에 대한 상록활엽수림 생육지 분포는 생육 적합성이 아니라 인간에 의한 훼손 정도에 따른 결과이므로, 상록활엽수 복원 적합지 예측 요인으로 고려하기 적절치 않다.

둘째, 기후 요인 중 상록활엽수 복원 적합지를 가장 잘 판별할 수 있는 요인은 최한월인 1월 평균기온으로, 상록활엽수 복원 적합지는 1월 평균기온이 0.8°C보다 높은 지역이다. 기타 기후 요인에 따른 생육지 분포 역시, 인간의 훼손에 영향을 받은 결과이므로, 상록활엽수 복원 적합지 예측 요인으로 고려하기에 적합하지 않다.

셋째, 위성영상에서 분류한 6개 식생 유형 중, 낙엽활엽수림과 상록침엽수림, 초지/관목지를 대상으로 상록활엽수 복원 적합지를 예측하였다. 건조지와 농경지는 현재 지역 주민이 이용하고 있어, 산림으로 복원하는 것이 불가능하다 판단하여 제외하였다. 나지는 대부분 해안가나 산 정상부 암벽이어서 식재가 불가능하여 제외하였고, 수역도 같은 이유로 복원 대상에서 제외하였다.

이 결과를 바탕으로 복원 대상 식생 유형 중, 위도 34.7°선 이남, 1월 평균기온이 0.8°C 이상인 지역을 선별하여, 최종 상록활엽수림 복원 적합지를 예측하였다(Figure 3). 추출된 상록활엽수림 복원 적합지의 면적은 총 710.2km<sup>2</sup>로, 이는 연구대상지(1,041.6km<sup>2</sup>) 전체의 68.2%에 해당한다. 복

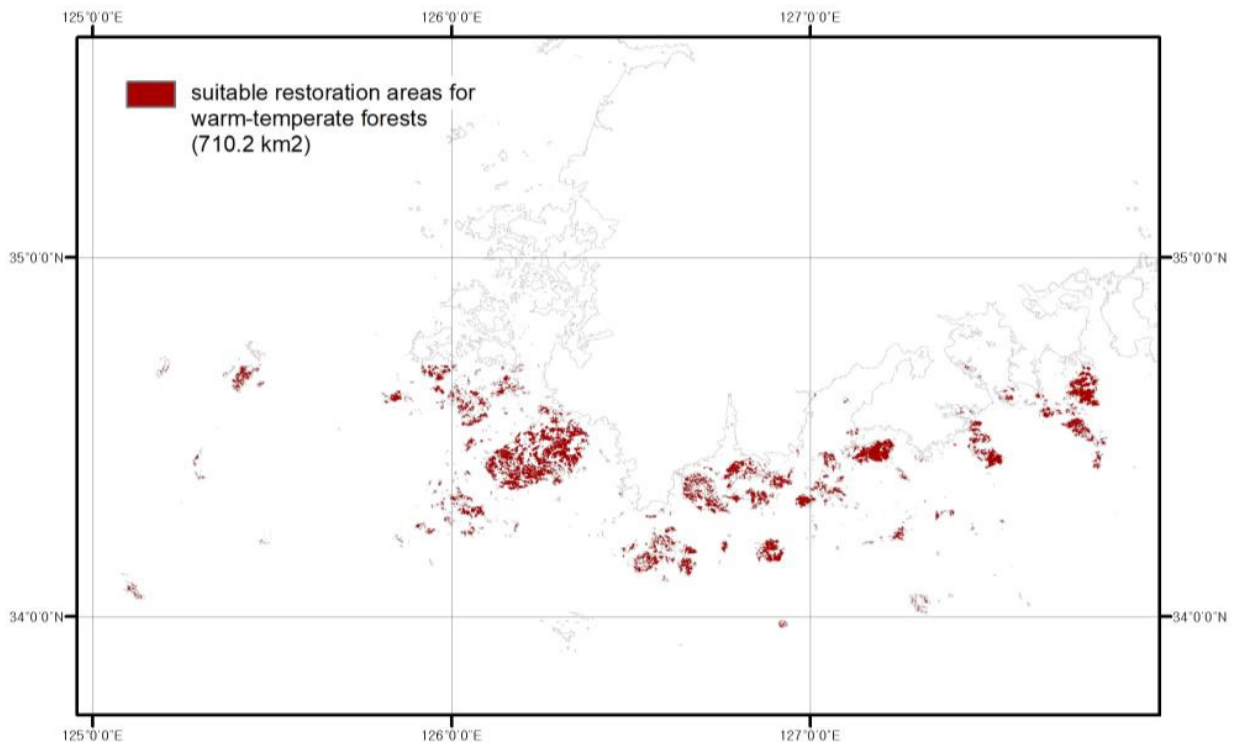


Figure 3. Suitable areas for restoration of warm-temperate evergreen broad-leaved forests.

원 적합지로 예측된 지역 중 현존 식생별로 살펴보면, 상록 침엽수림이 437.8km<sup>2</sup>로 전체 복원 적합지 면적의 61.6%였고, 다음으로 낙엽활엽수림이 190.4km<sup>2</sup>로 26.8%였다. 초지/관목은 82.0km<sup>2</sup>로 전체 복원 적합지의 11.5%를 차지하였다.

#### 4. 고찰

본 연구에서는 위성영상 분석과 환경 요인별 생육지 분석을 통해, 전남 섬 지역 산지 중 상록활엽수림으로 복원하기 적절한 지역을 예측하였다. 이는 전남 섬 지역 산지 중 대부분의 원식생이 상록활엽수림이라는 기존 근거(Yim and Kira, 1975; Choi, 2013; Park *et al.*, 2018)에 기반한 결과로, 이 근거는 본 연구 결과를 통해서도 간접적으로 증명된다. 하지만, 원식생이 대부분 훼손된 현 상황에서 전남 섬 지역의 산림 대부분의 원식생이 상록활엽수림이라 단정할 수는 없다. 토양 조건이나 지하수위 등 지엽적으로 상록활엽수림 생육을 저해하는 요인으로 작용해 토지극상(Park and Oh, 2002)이 생길 수 있기 때문이다. 상록활엽수림 복원 적합지 선정시 이와 같은 변수들도 고려하여야 하나, 가용 데이터가 한정적인 섬 지역 특성상 상세한 분석은 쉽지 않다. 예를 들어, 본 연구진이 확인한 결과 본 연구 대상지 중 산림청에서 제작하는 식생도나 토양도, 농촌진흥청 국립 농업과학원의 토양환경지도에 데이터가 누락된 경우가 많았다. 따라서, 본 연구의 결과물은 복원계획 수립 초기 단계에서 상록활엽수 분포 적합지를 예측하는 데 활용하고, 실행계획 단계에서 상록활엽수로 복원할지 여부는 토양 조사 등 추가적인 현장 조사를 바탕으로 결정하여야 한다.

본 연구에서는 상록활엽수를 하나의 복원 유형으로 보고, 상록활엽수 유형으로 복원하기 적합한 복원 대상지를 예측하였다. 하지만 한반도에 자생하는 상록활엽수만 61속 132종에 이르고(Koo *et al.*, 2001), 이들 수종의 생육 조건 또한 다양하여, 실제 상록활엽수림 복원을 위해서는 실제 복원 대상지의 생육 환경을 고려한 수종별 복원 대상지 선정이 이루어져야 한다. 단, 이를 위해서는 토양이나 지형 등 보다 정밀한 환경 데이터가 필요한데, 이와 같은 데이터가 구축되어 있지 않은 섬 지역 여건상, 상록활엽수 수종별 복원 적합지 예측은 수행하지 못하였다. 이와 관련해 현재 후속 연구가 진행 중으로, 후속 연구에서는 토양 조건과 현존 식생 등을 종합적으로 고려하여, 섬 지역 복원 적합 수종을 선정하고 있다. 이 연구가 마무리되면, 상록활엽수 수종별 복원 적합지 예측도 가능할 것이다. 또한, 후속 연구를 통해 현존 식생 상황에 맞는 복원 수종 선정과 복원 우선 순위도 제안할 수 있을 것이다.

마지막으로, 본 연구는 최근 가속화되고 있는 기후변화에 따른 상록활엽수림 생육 환경 변화(Park *et al.*, 2010; Yu

*et al.*, 2020)를 고려하지 않았다. 선행 연구에서 보였듯이, 기후변화에 따라 상록활엽수림 생육지도 점점 확장할 것으로 예상된다. 하지만 기후변화에 따라 상록활엽수림이 확대될 것인지는 분명하지 않다. 기후변화는 기온의 상승뿐 아니라, 태풍 등 극한 기후의 증가도 불러올 것인데, 이와 같은 변화가 상록활엽수림 생육 환경에 어떤 영향을 미칠지 불분명하기 때문이다. 따라서, 한반도 서남해안 섬 지역의 산림 복원을 위해서는 기후변화가 상록활엽수림 생육에 미치는 영향에 대한 보다 심층적인 연구가 요구된다. 또한, 이러한 연구 결과들을 적용하여 섬 지역 상록활엽수림 복원 대상지 선정 모형을 고도화하는 연구 또한 필요하다.

## REFERENCES

- Choi, B.G.(2013) Syntaxonomy and Syngeography of Warm Temperate Evergreen Broad-leaved Forests in Korea. Doctoral dissertation, Keimyung Univ., Daegu, 148pp.
- Choi, E.J.(2019) Islands in Incheon suffer from litter dumped by increased by campers after COVID19 pandemic. Yonhap News (25 April, 2021). (in Korean)
- Drusch, M., U. Del Bello, S. Carlier, O. Colin, V. Fernandez, F. Gascon, B. Hoersch, C. Isola, P. Laberinti, P. Martimort, A. Meygret, F. Spoto, O. Sy, F. Marchese and P. Bargellini(2012) Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. Remote Sensing of Environment 120: 25-36.
- Falbel, D., J.J. Allaire, F. Chollet, R Studio, Google, Y. Tang, W. Van Der Bijl, M. Studer and S. Keydana(2021) Package 'keras,' R package version 2.4.0. Available at <https://cran.r-project.org/web/packages/keras/index.html>
- Kim, E.S.(2018) Performance evaluation of machine learning and deep learning algorithms in crop classification: Impact of hyper-parameters and training sample size. Korean Journal of Remote Sensing 34: 811-827. (in Korean with English abstract)
- Kim, H.H., D.B. Kim, H.K. Won, C.S. Kim and W.S. Kong(2016) Island-biogeographical characteristics of insular flora in southern sea of Jeollanamdo Korea. Journal of Climate Change Research 7: 143-155. (in Korean with English abstract)
- Kim, M.K., D.H. Lee and J. Kim(2013) Production and validation of daily grid data with 1km resolution in South Korea. Journal of Climate Research 8: 13-25. (in Korean with English abstract)
- Kim, M.K., M.S. Han, D.H. Jang, S.G. Baek, W.S. Lee, Y.H. Kim and S. Kim(2012) Production technique of observation grid data of 1km resolution. Journal of Climate Research 7: 55-68. (in Korean with English abstract)
- Kimura, K.(2014) Mass mortality of Japanese black pine trees in

- coastal forests along the Pacific ocean in Aomori Prefecture. Japanese Journal of Forest Environment 56: 27-35. (in Japanese with English abstract)
- Koo, K.A., W.S. Kong and C.K. Kim(2001) Distribution of evergreen broad-leaved plants and climatic factors. Journal of the Korean Geographical Society 36: 247-257. (in Korean with English abstract)
- Korea Meteorological Administration(2021) MK-PRISM (GRID). Available at [http://www.climate.go.kr/home/CCS/contents\\_new/32\\_2\\_user\\_analysis\\_past.php](http://www.climate.go.kr/home/CCS/contents_new/32_2_user_analysis_past.php) (in Korean)
- Ma, L., Y. Liu, X. Zhang, Y. Ye, G. Yin and B.A. Johnson(2019) Deep learning in remote sensing applications: A meta-analysis and review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 152: 166-177.
- Main-Knorn, M., B. Pflug, J. Louis, V. Debaecker, U. Müller-Wilm and F. Gascon(2017) Sen2Cor for Sentinel-2. Proc. SPIE 10427, Image and Signal Processing for Remote Sensing XXIII: 1042704.
- Ministry of Environment(2019.11.11) Yeongsan river basin environmental office enforces illegal pasturing. Press Releases of Ministry of Environment. (in Korean)
- National Geographic Information Institute(2020) Coastline. Available at <http://data.nsgi.go.kr/dataset/20180927ds0050> (in Korean)
- Park, J.C., K.C. Park and D.H. Jang(2010) The movement of evergreen broad-leaved forest zone in the warm temperate region due to climate change in South Korea. Journal of Climate Research 5: 29-41. (in Korean with English abstract)
- Park, S.G. and K.K. Oh(2002) Conservation status and restoration of the evergreen broad-leaved forests in the warm temperate region, Korea(I)-Distribution of the evergreen broad-leaved forests and category of degraded levels-. Korean Journal of Environment and Ecology 16: 309-320. (in Korean with English abstract)
- Park, S.G., S.H. Choi and S.C. Lee(2018) A review of vegetation succession in warm-temperate evergreen broad-leaved forests-Focusing on *Actinodaphne lancifolia* community-. Korean Journal of Environment and Ecology 32: 77-96. (in Korean with English abstract)
- Park, S.W., J.A. Koo and W.S. Kong(2016) Potential impact of climate change on distribution of warm temperate evergreen broad-leaved trees in the Korean Peninsula. Journal of the Korean Geographical Society 51: 201-217. (in Korean with English abstract)
- Russell, J.C. and C. Kueffer(2019) Island biodiversity in the anthropocene. Annual Review of Environment and Resources 44: 31-60.
- Sung, C.Y. and M.H. Li(2012) Considering plant phenology for improving the accuracy of urban impervious surface mapping in a subtropical climate regions. International Journal of Remote Sensing 33: 261-275.
- Wang, Q., W. Shi, Z. Li and P.M. Atkinson(2016) Fusion of Sentinel-2 images. Remote Sensing of Environment 187: 241-252.
- Yang, J.C., Y.M. Lee, S.H. Oh, J.H. Lee and K.S. Chang(2012) Illustrated Conifers of Korea. Korea National Arboretum, Pocheon, 254pp. (in Korean)
- Yim, Y.J. and T. Kira(1975) Distribution of forest vegetation and climate in the Korean Peninsula. I. Distribution of some indices of thermal climate. Japanese Journal of Ecology 25: 77-88.
- Yoo, S.B., B.D. Kim, H.T. Shin and S.J. Kim(2020) Habitat climate characteristics of Lauraceae evergreen broad-leaved trees and distribution change according to climate change. Korean Journal of Environment and Ecology 34: 503-514. (in Korean with English abstract)
- Yun, J.H., J.H. Kim, K.H. Oh and B.Y. Lee(2011) Distributional change and climate condition of warm-temperate evergreen broad-leaved trees in Korea. Korean Journal of Environment and Ecology 25: 47-56. (in Korean with English abstract)
- Yun, J.H., K. Nakao, J.H. Kim, S.Y. Kim, C.H. Park and B.Y. Lee(2014) Habitat prediction and impact assessment of *Neolitsea sericea* (Blume) Koidz. under climate change in Korea. Journal of Environmental Impact Assessment 23: 101-111. (in Korean with English abstract)