

우리나라 도서지역의 토지피복과 변화패턴 분석

김재범¹, 이보라^{1*}, 이호상², 조낭현³, 박찬우¹, 이광수¹

¹국립산림과학원 난대·아열대산림연구소, ²국립산림과학원 국제산림연구과

³강원대학교 자연과학대학 환경과학과

(2022년 4월 20일 접수; 2022년 9월 14일 수정; 2022년 9월 29일 수락)

Analysis of Land Cover Composition and Change Patterns in Islands, South Korea

Jaebeom Kim¹, Bora Lee^{1*}, Ho-Sang Lee², Nanghyun Cho³, Chanwoo Park¹, Kwang-Soo Lee¹

¹Warm Temperate and Subtropical Forest Research Center, National Institute of Forest Science, Seogwipo 63582, Korea

²Global Forestry Division, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Korea

³Department of Environmental Science, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

(Received April 20, 2022; Revised September 14, 2022; Accepted September 29, 2022)

ABSTRACT

In this study, the island's land-use and land-cover change (LULCC) is analyzed in South Korea using remotely sensed land cover data(Globeland 30) acquired from 2000 to 2020 to meet the requirement of providing practical information for forest management. Analysis of LULCC between the 2000 and 2020 images revealed that changes to agricultural land were the most common type of change (7.6% of pixels), followed by changes to the forest (5.7%). The islands forests maintain 157,246 ha (42.2% of the total island area). Land cover types that changed to the forest from grasslands were 262 islands, while reverse cases have occurred on 421 islands. These 683 islands have a possibility of transition and disturbance. The artificial land class was newly calculated in 22 islands. The forests, which account for 42.2% of the 22 island area, turned into grassland, and 27.8% of agricultural land and grassland turned into forests. The development of artificial land often affects developed areas and surrounding areas, resulting in deforestation, management of agriculture, and landscaping. This study can provide insights concerning the fundamental data for assessing ecological functions and constructing forest management plans in islands ecosystems.

Key words: Island, Land cover composition, Land cover change tracking



* Corresponding Author : Bora Lee
(boralee7208@korea.kr)

I. 서 론

유엔해양법협약(UN Convention on the Law of the Sea, 1982)에 의하면 도서(섬)는 만조시 바다 위에 드러나는 육지이다. 지리적으로 대륙과 독립된 환경은 고유의 생태계를 형성하고, 기후변화의 영향을 육지보다 직접적으로 받는다(Kim *et al.*, 2021). 바다로 둘러싸인 도서의 고유 생태계는 독립된 서식환경을 제공하여 전 세계 도서 면적이 전체 육지 면적의 5.3%에 불과함에도 높은 생물다양성과 토착 및 희귀 식물자원이 서식하고 있다(Weigelt *et al.*, 2013; Chi *et al.*, 2019).

토지는 지구 지표면의 한 부분으로 인간을 포함한 육지 생물의 생명을 유지하고 식량생산과 함께 다양한 생태계 서비스를 제공한다. 토지는 주거와 농경, 산림, 초지와 같은 인간의 이용과 자연적 변화에 의해 그 용도가 변화한다(Dinerstein *et al.*, 2017; Mahmoud and Gan, 2018; Ning *et al.*, 2018; Raziq *et al.*, 2016). 초지, 관목지, 산림 등으로 구분되는 토지의 식생피복은 증산작용과 탄소 고정 및 저장과 함께 토지와 기후 사이의 물과 탄소, 에너지 순환에 중요한 역할을 하며 동식물의 서식지 환경과 생물 다양성, 천이 과정 내 단계에 대한 단편적인 정보를 제공한다(Sedlar *et al.*, 2017; Pérez-Cárdenas *et al.*, 2021). 또한, 기후변화와 외래식물 침입, 산불 등의 교란 및 훼손에 의해 토지와 생태계 간 균형의 변화가 발생하고 이로 인한 식생의 쇠퇴나 확장, 천이 등이 일어날 수 있다(Xu *et al.*, 2020). 그 중 산림은 전 세계 육상 생물분류군의 65%와 밀접한 관계를 맺고 있으며 기후변화와 외래종의 침입과 같은 다양한 위기로부터 토착종을 보호하는 중요한 도피처가 된다(Borges *et al.*, 2018; Lindenmayer *et al.*, 2006). 산림식생의 다양한 계층 구조는 다양한 서식지를 제공하고 종 간의 경쟁 감소를 통해 새와 미생물, 무척추동물 등 높은 생물 다양성을 보인다(Amoó and Babalola, 2019; Brown *et al.*, 2019; Oliveira and Scheffers, 2019; Pollierer *et al.*, 2021).

식량생산과 정주환경 개선, 광산 등 인위적인 개발이 토지 피복과 토지 이용 변화에 주요 원인이 되고, 미국의 콘 벨트 같은 대규모의 균일화된 토지 이용이 발생하기도 한다(Han *et al.*, 2019; Marques *et al.*, 2019). 이러한 토지피복 변화는 기존의 토지피복을 반영구적으로 변형시키거나 과수나 논과 같이 특정 수종을 집약적으로 식재하여 토지 식생피복 내 수종과 구조를 단순화 시킨다. 특히, 인위적인 변화는 동식물의

서식지 제거 및 단순화를 통해 생물다양성의 감소를 가져온다. 이와 반대로, 고령화와 인구소멸 현상, 지역 간 인구 불균형 등의 사회적 문제로 인해 토지가 버려지는 경우 생물다양성을 회복하기도 한다(Peña-Angulo *et al.*, 2019).

자연적 상태에서 식생피복은 산불, 야생동물의 섭식, 외래종 침입, 병해충, 기후변화 등과 같은 인위적이거나 자연적인 교란의 발생으로 천이의 가속 또는 역이행이 진행되고 이에 따라 식생의 계층 구조와 생물 다양성이 변한다(Izquierdo *et al.*, 2018; Narantsetseg *et al.*, 2018; Oliveira and Scheffers, 2019). IPCC 4차(2007)와 6차(2021, 2022) 보고서에서는 기후변화에 따른 기온상승으로 향후 한 세기 동안 도서 기온의 지속적 상승을 예견하고, 중위도 도서에 비토착 생물 종의 침입 증가와 토착종의 멸종 등 생태계 변화를 기술하고 있다. 예를 들어, 산지생태를 갖는 하와이는 저지대의 열대와 고지대의 고산생태까지 다양한 생태계가 고도에 따라 분포한다. 기후변화는 기존 토착종을 상대적으로 온도가 낮은 고지대로 이동시켰고, 기온상승에 따른 질병매개체의 증가로 토착종의 멸종사례도 보고되었다(Freed *et al.*, 2005). 더불어 태풍과 같은 극한의 기상 현상은 도서 식생의 느린 적응 특성에 의해 충격이 누적되어 산림 내 생물 다양성에 심각한 영향을 미치며(Ostertag *et al.*, 2005), 서태평양의 해양표층온도 증가는 태풍의 발생 빈도와 강도를 증가시키고 있다(Webster *et al.*, 2005).

위성영상은 물체의 반사특성을 이용해 지표면의 구성과 형태 정보를 광범위한 면적에서 주기적으로 얻을 수 있다. 이러한 장점은 지상의 생물리정보를 얻는데 소요되는 기술 및 비용의 한계를 해소하지만 원격탐사 기술 고유의 불확실성(e.g. 방사보정에 관여하는 속성)을 갖는다(Richter *et al.*, 2012; Vermote *et al.*, 1997). 그럼에도 불구하고 도서 및 군도에 대한 원격탐사기술 기반의 다수의 식생 및 생태계 연구가 수행되어왔다(Estrella *et al.*, 2021; Prabakaran *et al.*, 2021; Rivas-Toress *et al.*, 2018; Robin *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2021). 전 세계 범위의 토지피복영상은 USGS의 Global Land Survey(GLS)와 MODIS 12Q1, Esri land cover, CCI land cover 등이 있으며, 10 m에서 5 km의 다양한 공간해상도를 갖는다. 토지피복정보는 Plant functional type (PFT)과 육상요소, 기후 등 물과 탄소, 에너지 순환을 묘사하는 모델에 중요하게 사용되며, 피복형태는 CO₂방출 흐름 등의 설명에 이용된

다(Boucher *et al.*, 2020; Lawrence *et al.*, 2019; Shi *et al.*, 2016).

본 연구는 도시의 산림자원 확보 및 관리를 통해 생물 다양성 및 생태계 서비스를 확보하고자 남한지역의 4천여개가 넘는 도시를 대상으로 토지피복 분석을 수행했다. 연구 목적은 I) 국내 도시의 산림 및 토지피복 분포 현황 및 20년 간의 변화 관찰, II) 산림 및 토지피복의 변화 추적을 통한 인간의 토지이용형태 확인과 도시 산림의 교란 및 회복을 설명할 수 있는 도시 선별을 통해 추후 도시 산림 정책 수립을 위한 기초자료를 확보하고자 했다.

II. 재료 및 방법

2.1. 연구지역

한국은 중국과 일본, 러시아 사이에 위치한 반도국가로 바다가 동쪽(동해)과 남쪽(남해), 서쪽(서해)을 둘러싸고 있으며, 도서는 동경 124°36'8"에서 131°39'38"와 북위 37°59'52"에서 32°59'14"에 주로 해안선을 따라 분포하고 있다(Fig. 1). 도서의 개수는 국토교통부(유·무인도 합산 3,935개), 해양수산부(무인도 2,918개), 행정안전부(유인도 465)가 각각 다르게 명시하고 있다(국토교통부, 2022; 해양수산부, 2020; 행정안전부, 2021). 우리나라 도시의 기후는 공통적으로 사계절이 나타나는 온대기후이지만, 지리적 위치에 따라

남쪽의 따뜻한 쿠로시오 해류와 북쪽의 찬 리만 해류의 영향을 받는 해양성 기후를 띤다.

2.2. 자료수집

2.2.1. Island boundary map

도시경계지도는 국립해양조사원의 해안선 자료(<http://www.data.go.kr/data/15083948/fileData.do>)를 기반으로 국립산림과학원에서 구축 중인 자료를 추가한 것으로 남한 도시의 지리적 위치와 면적, 형태를 공간정보로 정의하고 행정주소와 인구거주 현황, 육지연결성 등의 속성정보를 갖는 벡터자료이다. 이 지도에 의하면 총 도시의 수는 4,158개로 행정구역에 따라 Table 1과 같이 분포하고 있으며 전체 면적은 395,987 ha이다. 서해 남부와 남해에 위치한 전라남도과 경상남도가 전체의 약 78%인 3,179개의 도시가 분포한다. 도서 면적이 가장 큰 곳은 진도로 38,532 ha이고, 1 ha 미만의 도서는 2,359개로 전체 도서 중 57%의 비중을 차지하고 있다. 사람이 사는 유인도서의 수는 494개이고 무인도서는 3,664개로 구성되어 있으며, 주로 도서 면적이 크고 육지와의 연결성이 좋거나 육간 거리가 가까운 도서에 인구가 거주한다.

2.2.2. 토지피복도

토지피복도는 중국의 국가지리정보센터에서 발행한 Globeland30 토지피복자료(<http://www.globallandcover>).

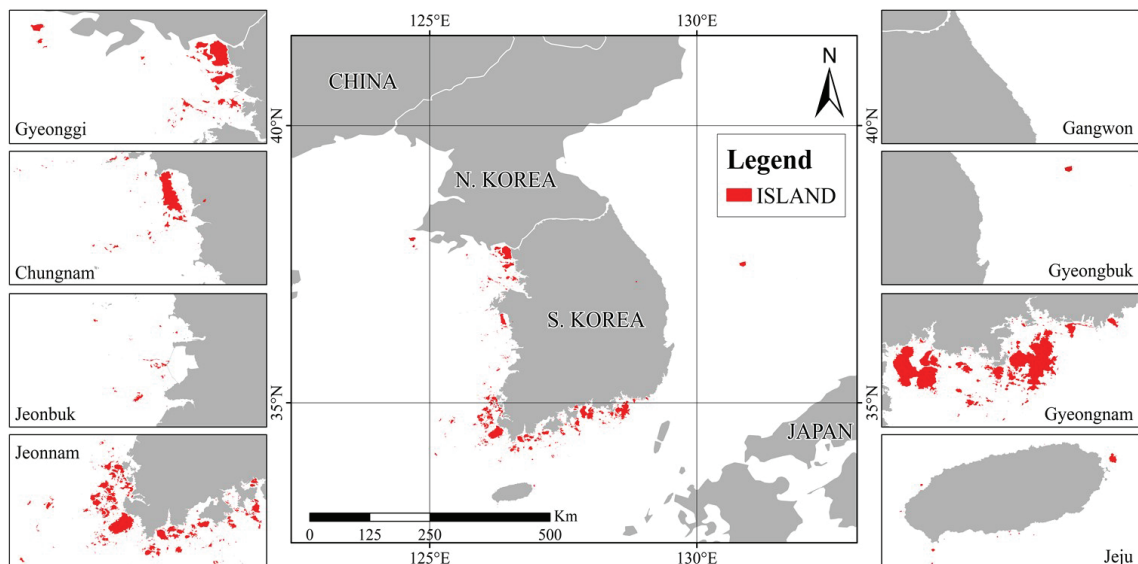


Fig. 1. The geographical distribution of islands in S. Korea.

com/)로 전 세계 토지피복정보를 제공하고 NASA의 MODIS 자료와 USGS의 Global land survey 등 다른 토지피복자료보다 높은 공간해상도와 긴 자료제공기간을 통해 작은 면적이 많은 우리나라 도서를 분석하는데 적합하다. Globeland30은 식생지수를 기반으로 지표 구성에 따른 반사특성과 시계열 변화, 영상의 질감 등을 이용해 토지피복을 10개 형태로 분류한 격자자료이다. Landsat (USA)과 HJ-1(China) 영상을 이용하여 전세계 토지피복을 30 m 공간해상도로 분류하고 2000년부터 10년 단위로 발행하고 있다. 2020년에 발행한 Globeland30 자료는 16 m 공간해상도의 GF-1 (China)을 추가 활용하여 정확도를 2010년 대비 2.22% 개선한 85.72%를 갖는다(Chen et al., 2014). 분류된 토지피복의 종류는 농경지(Cultivated land)와 산림(Forest), 초지(Grassland), 관목지(Shrubland), 습지(Wetland), 수체(Water bodies), 영구동토(Tundra), 인공지(Artificial surfaces), 나지(Bareland), 만년설(Permanent snow and ice)과 같이 10개이다.

2.3. 자료처리

격자자료인 토지피복도의 재배열(Resampling)과 벡터자료인 도서경계지도의 격자화(Rasterization)를 수행하여 공간자료 간 좌표계와 배열, 범위 등을 일치시켰다. 재배열과 격자화는 격자자료의 공간속성 일치와 벡터자료의 격자자료 전환에 사용된다. 재배열은 격자자료의 공간해상도와 좌표계, 공간범위, 배열을 일치시킬 수 있다. 벡터자료의 격자화는 벡터자료 내 하나의 속성자료를 격자자료로 생산한다. 본 연구에서는 Fig. 2와 같이 ESRI Inc.의 ArcGIS를 이용하여 임상도와 토지피복도가 동일한 공간정보를 갖도록 Nearest 방법으로 재배열하고, 도서경계지도 내 도서번호정보는 재

배열 정보와 동일한 격자자료로 생산하여 배열 내 도서의 위치 값을 색인할 수 있는 도서색인지도를 제작하였다. Nearest 방법은 토지피복도와 같은 범주형 자료의 재배열에 주로 사용되는 방법으로 출력된 배열에 가장 가까운 입력자료 값을 치환하여 입력값의 변화가 없는 특징이 있다. 도서색인지도 제작방법에는 30 m 공간해상도의 격자 내 도서 면적이 50% 이상인 경우 해당 도서번호가 격자자료로 생성되도록 했다. 이후 도서의 임상과 토지피복정보는 도서색인지를 바탕으로 IDL (Harris Geospatial Solutions Inc.) 컴퓨터 언어를 이용하여 추출하였다.

III. 결 과

3.1. 도서색인지도

도서색인지도 전체 4,158개 도서 중 78%의 도서가 기록되었고 전체 면적은 395,844 ha로 기록된 도서의 수는 Table 1과 같다. 전체 도서 중 도서색인지도에 기록되지 못한 도서의 수는 921개이고 총 면적은 143 ha로 평균 0.16 ha였다. 전라남도는 2,313개의 도서 중 기록된 도서와 미 기록된 도서의 수가 각각 1,925개와 388개로 행정구역 중 가장 많았고, 경상북도의 도서 수는 9개로 행정구역 중 가장 작았지만 울릉도와 독도를 포함한다. 경기도와 전라북도는 행정구역 내 도서의 97% 이상이 기록되었다.

3.2. 도서 내 토지피복구성

도서색인지도와 토지피복자료를 공간적으로 매치하여, 도서의 토지피복변화 분석은 2,515개 도서, 372,828 ha의 면적을 대상으로 수행했다. 해당면적은 도서격자 위치에 2000년과 2020년의 토지피복정보를

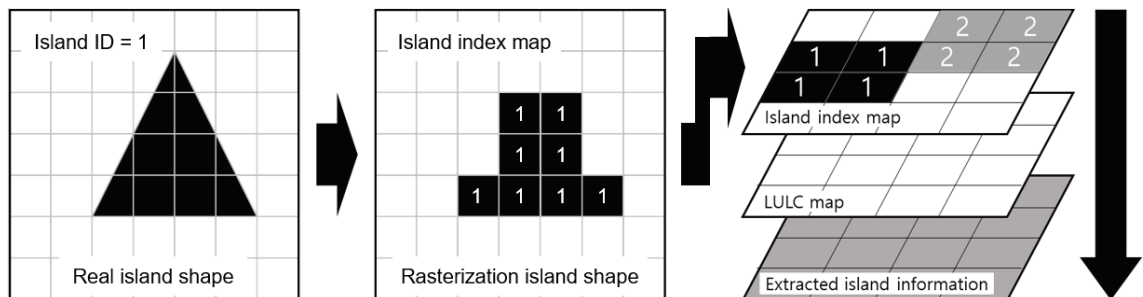


Fig. 2. Concept image for understanding the rasterization island shape and the process of extracting island information.

Table 1. The number of observed island by province

Status	GW	GG	GB	GN	CN	JB	JN	JJ	Total
Observed* (Count / %)	71 (32)	208 (97)	8 (89)	606 (65)	257 (89)	94 (98)	1,925 (83)	68 (77)	3,237 (78)
Unobserved* (Count / %)	150 (68)	6 (3)	1 (11)	322 (35)	32 (11)	2 (2)	388 (17)	20 (23)	921 (22)
Total** (Count / %)	221 (5)	214 (5)	9 (1)	928 (22)	289 (7)	96 (2)	2,313 (56)	88 (2)	4,158 (100)

*GW: Gangwon, GG: Gyeonggi, GB: Gyeongsangbuk, GN: Gyeongsangnam, CN: Chungcheongnam, JB: Jeonbuk, JN: Jeonnam, JJ: Jeju

**Percent of the observed and unobserved are calculated by province.

***The denominator of the total percent by province is the total island count.

모두 갖는 면적으로 전체 도서면적 중 약 94%이다. 도서 내 토지피복은 Fig. 3과 같이 산림과 농경지, 초지, 인공지 순으로 많이 분포하고, 2000년 대비 2020년에는 농경지와 초지가 각각 7.6%, 1.7% 감소한 반면 산림과 인공지가 각각 5.7%, 3.2% 증가했다. 특히 인공지는 20년 간 1.64 배 증가하여 가장 큰 증가비율을 보였고, 경기도가 8,322 ha로 영종도 인천공항 주변의 토지 개발로 추정되는 가장 큰 변화를 보였다. 습지는 간척화에 따라 토지형태변화를 보일 수 있지만, 본 연구는 2019년도에 제작된 도서경계지도만을 사용하기 때문에 간척화에 따른 도서경계의 확장과 이용을 설명하는데 부적절하다.

2020년 토지피복도 내 도서면적에 따른 산림과 초지, 농경지, 인공지는 Fig. 4와 같이 분포한다. 산림은 0~0.1 ha 도서면적에서 평균 10.5%의 분포를 시작으로 100~1,000 ha의 도서에서 평균 62.7% 까지 증가 후 감소하는 형태를 보였다. 초지는 도서면적 1~10 ha의 도서에 평균 41.0% 분포를 보이고 면적이 증가함

에 따라 감소하여 10,000~100,000 ha 이상 도서에서는 5.3%의 초지가 분포했다. 농경지와 인공지는 도서 면적에 따라 점차 증가하는 형태가 공통적으로 나타나고 농경지의 분포가 인공지보다 상대적으로 컸다.

3.3. 토지피복변화추적

도서 내 피복의 변화 형태를 확인하기 위해 피복 변화를 격자 단위로 추적하여 Table 2와 같은 결과를 얻었다. 토지피복분석에 사용된 372,828 ha 중 42.2%와 25.8%가 각각 산림과 농경지로 20년 동안 유지되었다. 6.7%의 농경지와 2.8%의 초지가 산림으로 변화하였고, 3.6%의 산림은 초지와 농경지로 각각 2.2%, 1.4% 변화였다. 인공지는 농경지를 주로 이용하는 것으로 확인되었다.

인공지의 유입이 도서의 토지피복을 어떻게 변화시키는 지 보기 위해 2020년에 인공지가 유입된 22개 도서를 2000년의 토지피복에서 추적했다. 먼저 인공지가

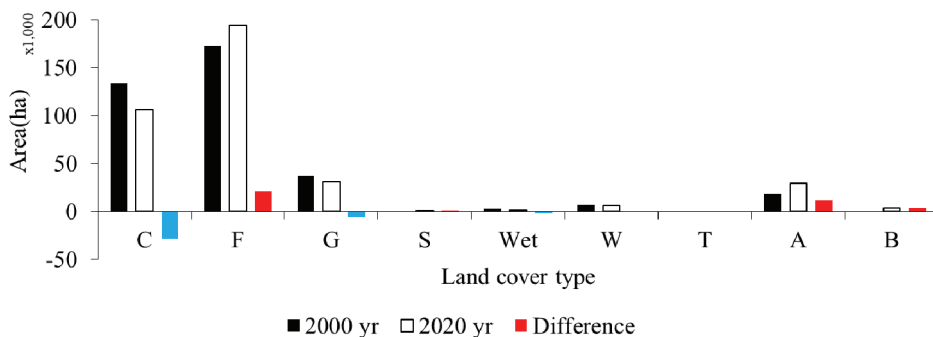


Fig. 3. The LULC distribution and change in S. Korea (C: Cultivated land, F: Forest, G: Grassland, S: Shrubland, Wet: Wetland, W: Water bodies, A: Artificial surfaces, B: Bare land).

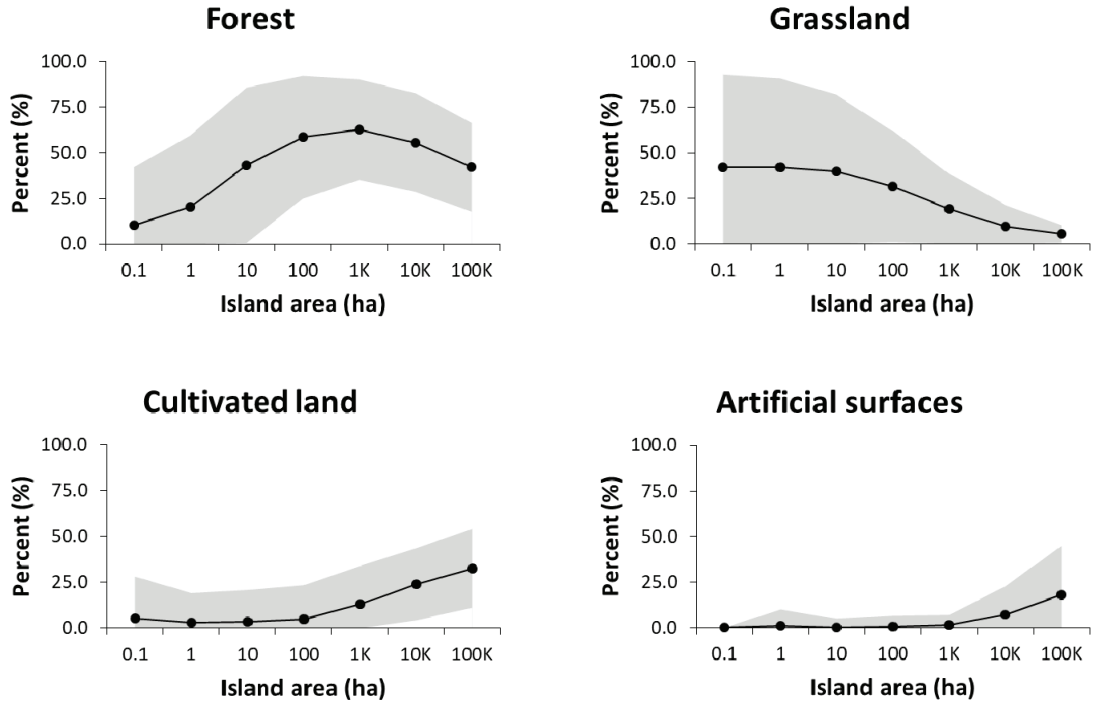


Fig. 4. The Land cover distribution by area in 2020 year. Each point is average value between island areas such as 0.1 = 0~0.1 (Black line is the average, gray area is the standard deviation).

Table 2. The LULC change pattern of islands in S. Korea

	F-F	C-C	C-F	G-G	A-A	G-F	C-A	F-G	F-C	W-W
Area	157,246	96,031	25,095	20,062	15,432	10,512	8,212	8,155	5,072	4,363
(ha / %)	(42.2)	(25.8)	(6.7)	(5.4)	(4.1)	(2.8)	(2.2)	(2.2)	(1.4)	(1.2)

*Only 1% or more of the LULC change are displayed.

*Notation example: X1-X2, X1 and X2 are the land cover type in 2000 yr and 2020 yr respectively.

*C: Cultivated land, F: Forest, G: Grassland, W: Water bodies, A: Artificial surfaces

어떤 토지피복에 유입되는지를 보았을 때 Table 3과 같았다. 인공지는 농경지에 우선 유입되고 다음으로 간척지로 예상되는 수채와 초지, 산림 순이었다.

Table 4는 인공지가 유입된 도서의 토지피복의 변화 유형이다. 42.2%의 산림은 초지로 전환되어 인간 활동을 위한 인공지의 유입이 도서의 산림 면적 감소로 이어지는 것을 확인하였다. 27.8%의 농경지와 초지는 산림으로 전환되었고, 20.5%의 산림과 수채, 초지는 농경지로 전환되었다.

IV. 토 의

도서는 독립된 지리적 영향에 따라 생물다양성의 보고로 널리 인식되어 왔고, 지구온난화가 진행되는 현재에 국제사회는 생물다양성협약과 지속가능개발목표(SDGs), IPCC 보고서 등을 통해 도서의 토착 및 희귀종 등 도서 고유 생태계에 대한 중요성과 취약성을 알렸다. 산림은 다양한 계층적 구조를 통해 동식물의 서식지와 먹이자원, 경쟁감소를 제공하여 생물다양성 유지에 중요한 역할을 한다. 2020년 기준 남한의 도서 내 산림은 194,244 ha로 전체 도서면적의 52.1%에 산림이

Table 3. The area of changed class to the newly developed artificial surfaces class

	C	F	G	Wet	W
Area	1,084	70	98	6	105
(ha / %)	(79.6)	(5.1)	(7.2)	(0.4)	(7.7)

Table 4. The type of land cover change in the newly developed island

	F-G	C-F	G-F	C-G	F-C	W-C	G-C
Area	12,664	5,414	2,908	2,879	2,755	2,363	1,005
(ha / %)	(42.2)	(18.1)	(9.7)	(9.6)	(9.2)	(7.9)	(3.3)

분포하고 있다. 또한 그 중 약 81%의 산림이 20년간 변하지 않고 유지되어 왔다. 이러한 도서산림의 높은 분포비율은 기후변화에 따른 해수면의 상승과 지구 온난화로 영향을 받을 수 있는 생물종 서식처 및 탄소흡수원으로서의 기능을 유지하기 위한 관리 전략을 요구한다.

토지피복은 초지와 관목, 산림과 같은 식생의 계층 구조와 식생발달에 따른 천이과정에 대한 단편적 정보를 제공한다. Ostertag *et al.*(2005)는 도서 생태계가 태풍에 적응하는 시간이 느려 태풍의 영향이 누적되어 나타나고 교목 고사율을 연간 5.2% 증가시킨다고 했다. 도서 산림은 산불과 가축방목 등 인위적 교란과 풍해와 염해 등 자연적 교란을 잠재적으로 갖고 이러한 교란은 식생피복형태 변화를 가속할 수 있다(Wang *et al.*, 2007). 2000년과 2020년의 토지피복 변화에서 농경지나 인공지 같은 인간활동이 없는 도서 중 초지에서 관목지 혹은 관목지에서 산림으로 순차적으로 발달하거나 그 반대로 진행되는 지역은 확인되지 않았다. 다만 초지가 산림으로 변하는 면적이 1 ha 이상인 도서가 262개, 산림이 초지로 변하는 도서가 421개 확인되었다. Groninger *et al.*(2007)는 토양조건이 수증 성장에 적합한 경우, 교란 이후 산림의 수관이 닫히는데 걸리는 시간을 15~20년으로 설명하고 있어 초지가 산림으로 발달하는 가능성을 확인했다. 반대로 연 중 약 3개 내외의 태풍영향을 받는 남한은 태풍에 의해 산림과 산림 내 생물다양성이 심각한 피해를 받을 가능성이 있다(Mildrexle *et al.*, 2009; 기상청, 2011).

인간의 토지이용은 정주환경개선, 농경지 개간 등 주변 식생피복형태를 직접적이고 극적으로 변화시킨다. 따라서 토지피복형태에 따른 식생 천이를 추적하고자 할 때에는 반드시 인간활동에 따른 토지피복 변화 여부를 확인할 필요가 있다. 2020년에 인공지가 추가

생성된 도서의 수는 22개이다. 해당 도서에서 인공지로 전환된 토지피복은 Table 3과 같이 농경지에서 79.6%로 가장 큰 비율을 차지한다. 농경지는 도로, 건물 등 토지 전환이 비교적 편리하여 도서 개발에 쉽게 사용되는 것으로 판단된다. 산림은 인공지로의 전환 비율이 5.1%로 가장 작지만, Table 4와 같이 인공지 유입에 따른 도서 내 산림 소실 비율이 높고(51.4%) 농경지와 초지가 산림으로 전환된 비율은 27.8%였다.

토지피복을 분석하는 과정에서 토지피복자료와 분석방법의 한계점은 지속적으로 확인되었다. 중국의 NGCC가 배포하는 Globeland30은 전세계를 대상으로 2000년부터 10년 단위로 생산되고 있다. 30 m의 공간 해상도의 영상으로 도서의 형태와 면적에 따라 도서가 누락될 수 있으나 울릉도와 독도를 포함하여 면적 1 ha 이상의 118개 도서가 누락되어 있다. 도서경계도를 격자화하는 과정에서 수치적으로 0.16 ha 이상의 도서가 확인되었다고 할 때, 118개 도서를 포함하는 796개의 도서가 토지피복영상에서는 확인되지 않는다. 이는 위성영상의 수평오차(i.e. <12m) 영향을 포함한다 하더라도 토지피복영상이 표현하지 않는 도서가 존재함을 의미했다(Iron *et al.*, 2012).

Wardle *et al.*(1997)은 도서에서 나무가 초본에 비해 경쟁에 우위를 차지하지만 도서면적이 작을수록 토양 환경 변화에 의해 나무의 생육이 제한된다고 설명한다. Fig. 4에서 산림과 초지의 분포는 도서 면적의 변화에 따라 역전되어 나타나 해당 연구 결과가 우리나라 도서의 식생분포 설명에 적용됨을 확인했다. 인공지와 농경지는 인간의 토지이용을 의미하고 100~1000 ha 이상의 도서가 인간의 주거, 식량생산 등 생활에 주로 활용되었다. 그리고 농경지의 증가가 인공지 증가보다 상대적으로 높아, 도서는 주거 및 사회 기반시설을 위한 토지 이용보다 식량 생산에 활용되는 토지가 더 많았다.

해당 구간에서 산림과 초지의 감소는 인간활동에 따른 토지의 전환으로 판단되며, 특히 도서면적 증가에 따라 초지분포가 지속적으로 감소하는 경향을 통해 인간활동에 초지가 우선적으로 활용됨을 알 수 있다.

V. 결 론

연구에 사용된 Globeland30 토지피복도는 울릉도와 독도, 추자도 등 자료 누락이 있으므로 추가적인 도서 지역 토지피복연구 진행에 있어서 보다 정밀한 자료의 사용을 추천한다. 본 연구에서는 토지피복자료를 바탕으로 20년간 도서지역 토지피복의 변화에 대한 분석을 진행하였고, 도서산림의 교란과 적응 연구의 기초정보를 제공하는 것을 목적으로 하였다. 본 연구에서는 토지피복 변화의 원인을 직접적으로 확인하기 어려웠으나 인공지 유입 이후 토지피복의 극적인 변화는 기존 동식물의 서식지 파괴와 식생구조의 단순화에 따른 생물다양성 감소에 대한 가능성을 추정하게 하였다. 또한 이 연구의 결과를 토대로 남한 내 도서면적의 약 절반이 산림으로 구성되는 것을 확인하였다. 도서면적이 작은 곳은 초본이, 큰 곳에서는 교목의 분포가 주로 나타나므로 도서 면적에 따른 초본과 교목의 세분화된 관리 전략이 필요할 것으로 판단된다. 20년간 유지된 산림과 초지 각각 157,246 ha, 20,062 ha와 잠재적으로 천이와 교란의 가능성이 있는 683개 도서는 기후변화와 교란에 대한 도서산림의 적응과 취약성 연구를 수행하는데 시작점이 될 수 있을 것으로 본다.

적 요

본 연구는 도서에 대한 휴양과 안보 등 도서산림 기능 발굴 및 지속적인 유지보전을 위하여 남한지역 도서의 2000년과 2020년의 Globeland30 토지피복자료 분석을 통해 도서지역 토지피복의 구성 및 변화형태를 추적하고 도서산림의 이해를 위한 공간정보를 제공하고자 했다. 각 년도 별 토지피복분포와 격자 기반의 토지피복변화 분석을 수행했고 그 결과, 2000년 대비 2020년에는 농경지와 초지가 각각 7.6%, 1.7% 감소한 반면 산림과 인공지가 각각 5.7%, 3.2% 증가했고 도서산림은 20년 동안 전체 도서면적의 42.2%인 157,246 ha가 유지되었다. 또한 농경지와 인공지가 존재하지 않는 도서 중 1 ha 이상 초지가 산림으로 변하는 262 개 도서와 산림이 초지로 변하는 421 개 도서

를 관측하여 천이와 교란에 대한 잠재적 정보를 갖는 683 개 도서를 확인했다. 인공지의 유입이 확인된 22 개 도서에서는 주로 농경지가 인공지로 전환되었다. 해당 도서 면적의 42.2%를 차지하는 산림이 초지로 변하고 27.8%의 농경지와 초지가 산림으로 변했다. 거주환경개선 및 사회기반시설 확충 등 인공지의 유입은 개발지역에 국한되지 않고 정주환경 개선을 위한 산림 파괴와 조경, 농경지의 개발 및 휴경화 등 주변부까지 토지피복의 변화를 수반하는 경우가 확인되었다. 해당 연구 결과는 추후 도서생태연구와 도서산림의 관리방안을 마련하기 위한 기초자료로 높은 활용도를 보일 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 산림청(국립산림과학원) 연구과제 “도서산림생태계의 지속적인 유지보전을 위한 관리 및 활용 기술개발” 지원으로 이루어졌습니다.

REFERENCES

- Amoo, A. E., and O. O. Babalola, 2019: Impact of land use on bacterial diversity and community structure in temperate pine and indigenous forest soils. *Diversity* **11**(11), 217.
- Borges, P. A., P. Cardoso, H. Kreft, R. J. Whittaker, S. Fattorini, B. C. Emerson, A. Gil, R. G. Gillespie, T. J. Matthews, and A. Santos, 2018: Global island monitoring scheme (GIMS): A proposal for the long-term coordinated survey and monitoring of native island forest biota. *Biodiversity and Conservation* **27**(10), 2567-2586.
- Boucher, O., J. Servonnat, A. L. Albright, O. Aumont, Y. Balkanski, V. Bastrikov, S. Bekki, R. Bonnet, S. Bony, and L. Bopp, 2020: Presentation and evaluation of the IPSL-CM6A-LR climate model. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems* **12**(7), e2019MS002010. <https://doi.org/10.1029/2019MS002010>
- Brown, J. A., J. L. Lockwood, J. D. Avery, J. Curtis Burkhalter, K. Aagaard, and K. H. Fenn, 2019: Evaluating the long-term effectiveness of terrestrial protected areas: A 40-year look at forest bird diversity. *Biodiversity and Conservation* **28**(4), 811-826.
- Chen, J., J. Chen, A. Liao, X. Cao, L. Chen, X. Chen, C. He, G. Han, S. Peng, and M. Lu, 2015:

- Global land cover mapping at 30 m resolution: A POK-based operational approach. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **103**, 7-27.
- Chi, Y., J. Sun, Z. Fu, and Z. Xie, 2019: Spatial pattern of plant diversity in a group of uninhabited islands from the perspectives of island and site scales. *Science of the Total Environment* **664**, 334-346.
- Dinerstein, E., D. Olson, A. Joshi, C. Vynne, N. D. Burgess, E. Wikramanayake, N. Hahn, S. Palminteri, P. Hedao, and R. Noss, 2017: An ecoregion-based approach to protecting half the terrestrial realm. *Bioscience* **67**(6), 534-545.
- Estrella, E. H., A. Stoeth, N. Krakauer, and N. Devineni, 2021: Quantifying vegetation response to environmental changes on the galapagos islands, ecuador using the normalized difference vegetation index (NDVI). *Environmental Research Communications* **3**(6), 065003.
- Freed, L. A., R. L. Cann, M. L. Goff, W. A. Kuntz, and G. R. Bodner, 2005: Increase in avian malaria at upper elevation in hawai'i. *The Condor* **107**(4), 753-764.
- Groninger, J., J. Skousen, P. Angel, C. Barton, J. Burger, and C. Zipper, 2007: Mine Reclamation Practices to Enhance Forest Development through Natural Succession. USDOJ Office of Surface Mining. Forest Reclamation Advisory no.5.
- Han, M., G. Chen, and M. Dunford, 2019: Land use balance for urban economy: A multi-scale and multi-type perspective. *Land use Policy* **83**, 323-333.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007: Small Islands. In *Climate change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability: Contribution of Working Group II Contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Parry, M. L., O. Canziani, J. Palutikof, P. Van der Linden, and C. Hanson (Eds.)]. Cambridge University Press., 700pp
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2021: Atlas. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson- Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (Eds.)]. Cambridge University Press. In Press., 96pp
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2022: *Small Islands*. In *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. In Press., 3-23.
- Irons, J. R., J. L. Dwyer, and J. A. Barsi, 2012: The next landsat satellite: The landsat data continuity mission. *Remote Sensing of Environment* **122**, 11-21.
- Izquierdo, A. E., H. R. Grau, C. J. Navarro, E. Casagrande, M. C. Castilla, and A. Grau, 2018: Highlands in transition: Urbanization, pastoralism, mining, tourism, and wildlife in the argentinian puna. *Mountain Research and Development* **38**(4), 390-400.
- Kim, H. H., K. Mizuno, H. S. Lee, J. G. Koo, and W. S. Kong, 2021: Distribution of indicator plant of climate change in major islands of the Korean peninsula. *Journal of Environmental Science International* **30**(1), 29-43.
- Lawrence, D. M., R. A. Fisher, C. D. Koven, K. W. Oleson, S. C. Swenson, G. Bonan, N. Collier, B. Ghimire, L. van Kampenhou, and D. Kennedy, 2019: The community land model version 5: Description of new features, benchmarking, and impact of forcing uncertainty. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems* **11**(12), 4245-4287.
- Lindenmayer, D., J. Franklin, and J. Fischer, 2006: General management principles and a checklist of strategies to guide forest biodiversity conservation. *Biological Conservation* **131**(3), 433-445.
- Mahmoud, S. H., and T. Y. Gan, 2018: Impact of anthropogenic climate change and human activities on environment and ecosystem services in arid regions. *Science of the Total Environment* **633**, 1329-1344.
- Marques, A., I. S. Martins, T. Kastner, C. Plutzer, M. C. Theurl, N. Eisenmenger, M. A. Huijbregts, R. Wood, K. Stadler, and M. Bruckner, 2019: Increasing impacts of land use on biodiversity and carbon sequestration driven by population and economic growth. *Nature Ecology & Evolution* **3**(4), 628-637.
- Mildrexler, D. J., M. Zhao, and S. W. Running, 2009: Testing a MODIS global disturbance index across north america. *Remote Sensing of Environment* **113**(10), 2103-2117.

- Narantsetseg, A., S. Kang, and D. Ko, 2018: Livestock grazing and trampling effects on plant functional composition at three wells in the desert steppe of mongolia. *Journal of Ecology and Environment* **42**(1), 1-8.
- Ning, J., J. Liu, W. Kuang, X. Xu, S. Zhang, C. Yan, R. Li, S. Wu, Y. Hu, and G. Du, 2018: Spatiotemporal patterns and characteristics of land-use change in china during 2010-2015. *Journal of Geographical Sciences* **28**(5), 547-562.
- Oliveira, B. F., and B. R. Scheffers, 2019: Vertical stratification influences global patterns of biodiversity. *Ecography* **42**(2), 249-249.
- Ostertag, R., W. L. Silver, and A. E. Lugo, 2005: Factors affecting mortality and resistance to damage following hurricanes in a rehabilitated subtropical moist forest. *Biotropica: The Journal of Biology and Conservation* **37**(1), 16-24.
- Peña-Angulo, D., M. Khorchani, P. Errea, T. Lasanta, M. Martínez-Arnáiz, and E. Nadal-Romero, 2019: Factors explaining the diversity of land cover in abandoned fields in a mediterranean mountain area. *Catena* **181**, 104064.
- Pérez-Cárdenas, N., F. Mora, F. Arreola-Villa, V. Arroyo-Rodríguez, P. Balvanera, R. Flores-Casas, A. Navarrete-Pacheco, and M. A. Ortega-Huerta, 2021: Effects of landscape composition and site land-use intensity on secondary succession in a tropical dry forest. *Forest Ecology and Management* **482**, 118818.
- Pollierer, M. M., B. Klärner, D. Ott, C. Digel, R. B. Ehnes, B. Eitzinger, G. Erdmann, U. Brose, M. Maraun, and S. Scheu, 2021: Diversity and functional structure of soil animal communities suggest soil animal food webs to be buffered against changes in forest land use. *Oecologia* **196**(1), 195-209.
- Prabakaran, N., S. Bayyana, K. Vetter, and H. Reuter, 2021: Mangrove recovery in the nicobar archipelago after the 2004 tsunami and coastal subsidence. *Regional Environmental Change* **21**(3), 1-15.
- Raziq, A., A. Xu, Y. Li, and Q. Zhao, 2016: Monitoring of land use/land cover changes and urban sprawl in peshawar city in khyber pakhtunkhwa: An application of geo-information techniques using of multi-temporal satellite data. *Journal of Remote Sensing & GIS* **5**, 174.
- Richter, R., J. Louis, and U. Müller-Wilm, 2012: Sentinel-2 MSI-Level 2A products algorithm theoretical basis document. *European Space Agency, (Special Publication)* **49**(0), 1-72.
- Rivas-Torres, G. F., F. L. Benítez, D. Rueda, C. Sevilla, and C. F. Mena, 2018: A methodology for mapping native and invasive vegetation coverage in archipelagos: An example from the galápagos islands. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment* **42**(1), 83-111.
- Robin, M., J. Chapuis, and M. Lebouvier, 2011: Remote sensing of vegetation cover change in islands of the kerguelen archipelago. *Polar Biology* **34**(11), 1689-1700.
- Sedlar, Z., A. Alegro, A. Radović, A. Brigić, and V. Hršak, 2017: Extreme land-cover and biodiversity change as an outcome of land abandonment on a mediterranean island (eastern adriatic). *Plant Biosystems-an International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology* **152**(4), 728-737.
- Shi, X., S. Nie, W. Ju, and L. Yu, 2016: Climate effects of the GlobeLand30 land cover dataset on the beijing climate center climate model simulations. *Science China Earth Sciences* **59**(9), 1754-1764.
- UN, 1982: United Nations Convention on the Law of the Sea, *U.N.T.S.* **1833**, 397pp.
- Vermote, E. F., D. Tanré, J. L. Deuze, M. Herman, and J. Morcette, 1997: Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **35**(3), 675-686.
- Wang, F., Z. Wang, and J. H. Lee, 2007: Acceleration of vegetation succession on eroded land by reforestation in a subtropical zone. *Ecological Engineering* **31**(4), 232-241.
- Wang, L., C. Chen, F. Xie, Z. Hu, Z. Zhang, H. Chen, X. He, and Y. Chu, 2021: Estimation of the value of regional ecosystem services of an archipelago using satellite remote sensing technology: A case study of zhoushan archipelago, china. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* **105**, 102616.
- Wardle, D. A., O. Zackrisson, G. Hornberg, and C. Gallet, 1997: The influence of island area on ecosystem properties. *Science* **277**(5330), 1296-1299.
- Webster, P. J., G. J. Holland, J. A. Curry, and H. Chang, 2005: Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment. *Science* **309**(5742), 1844-1846.
- Weigelt, P., W. Jetz, and H. Kreft, 2013: Bioclimatic and physical characterization of the world's islands. *Proceedings of the National Academy of Sciences*

110(38), 15307-15312.

Xu, X., G. Jia, X. Zhang, W. J. Riley, and Y. Xue, 2020: Climate regime shift and forest loss amplify fire in amazonian forests. *Global Change Biology* **26**(10), 5874-5885.

국토교통부, 2022: <http://openapi.nsd.go.kr/nsdi/eios/ServiceDetail.do?svcSe=F&svcId=F016&provOrg=NI>

DO

기상청(국가태풍센터), 2011: *태풍백서*. 기상청, 225pp.
해양수산부, 2020: http://uui.mof.go.kr/UII/mn/mng_card/stat.do

행정안전부, 2021: <https://www.data.go.kr/data/15042646/fileData.do>