

멸종위기 야생생물 I급 나도풍란의 서식지 적합성 지수(HSI) 개발*

- 다도해해상국립공원을 중심으로 -

The Development of Habitat Suitability Index Model of Class I Endangered Wildlife, *Sedirea japonica*

- A Case Study of Korea National Park of Dadohaehaesang -

심 윤 진** · 박 용 수*** · 장 래 하**** · 윤 영 준***** · 김 선 령***** · 한 승 현*****

Shim, Yun-Jin · Park, Yong-Su · Jang, Rae-Ha · Yoon, Young-Jun · Kim, Sun Ryoung · Han, Seung Hyun

ABSTRACT

The purpose of this study was conducted to suggest the HSI(Habitat Suitability Index) model of *Sedirea japonica* (Rchb. f.) Garay & H.R. Sweet based on the research on the ecological and habitat status of *S. japonica* and the literature research on the HSI model. Currently, *S. japonica* is considered extinct in the wild and has been designated as an endangered wildlife species level 1. Thus, *S. japonica* has been selected as a priority restoration target species(a total of 25 species) according to the Endangered Wildlife Conservation Comprehensive Plan (2018~2027).

The habitat variables of *S. japonica* are the relative humidity, the altitude, the gradient, the slope, and the artificial over-exploitation. Based on the existing literature of *S. japonica*, the results of field surveys and expert opinions, the SI(Suitability Index) model and HSI model were developed and applied to the site to examine the applicability of the HSI model. The SI model and HSI model were developed through literature search, field survey results, and expert advice, and applied to the site to test the applicability. The highest value for HSI was 1.0, with an area of 16,040,000 m², and 0.9 with an area of

* 본 연구는 국립생태원 멸종위기종복원센터 “멸종위기 야생생물 서식변수 및 서식지 적합성지수 개발 연구”의 지원에 의해 수행되었습니다.

** (주)그룹한 어소시에이트 연구소장 : (Group Han Associates)

*** 국립생태원 멸종위기종복원센터 책임연구원 : (Research Center for Endangered Species, National Institute of Ecology)

**** 국립생태원 멸종위기종복원센터 전임연구원 : (Research Center for Endangered Species, National Institute of Ecology)

***** 국립생태원 멸종위기종복원센터 선임연구원 : (Research Center for Endangered Species, National Institute of Ecology)

***** 국립생태원 멸종위기종복원센터 전임연구원 : (Research Center for Endangered Species, National Institute of Ecology)

106,510,000 m². As a result, the area with an HSI of 1.0 was presented as an alternative habitat for the *S. japonica*. As a result, the area with 1.0 of HSI value in Dadohaehaesang National Park was proposed as an alternative habitat for *S. japonica*.

The HSI model can be an important basis for the habitat evaluation and restoration model of *S. japonica*. In particular, it is highly applicable to the selection and evaluation of alternative habitats for *S. japonica*. However, the alternative habitat of *S. japonica* presented as a result of this study was evaluated by a 100 m × 100 m grid size due to the limitations of the spatial data established. Therefore, it is meaningful to select a primary candidate site, and a secondary on-site investigation is necessary to determine the detailed target site. If the spatial data on the micro-climate and the long-term monitoring of the *S. japonica* habitat are constructed through follow-up studies, detailed alternative habitats can be suggested by the more precise spatial analysis. However, as a future study, various status-finding data on the habitat of *S. japonica* should be established to improve the accuracy of the existing HSI model.

Key Words(핵심용어) : Alternative Habitats(대체서식지), Ecological Restoration(생태 복원), Endangered Species(멸종위기 야생생물), Habitat evaluation Procedure(HEP, 서식지 평가 절차), *Sedirea japonica*(나도풍란), Korea National Park of Dadohaehaesang(다도해해상국립공원)

국 문 초 록

본 연구는 나도풍란(*Sedirea japonica* (Rchb. f.) Garay & H.R. Sweet)의 문헌조사 및 서식지 현황 조사를 바탕으로 나도풍란의 HSI(Habitat Suitability Index) 모델을 개발하는 것을 목적으로 하며, 이를 통해 향후 나도풍란 대체서식지 평가 및 복원 연구의 기초 자료로 제시하고자 한다. 현재 나도풍란은 국내 자연 상태에서 절멸된 것으로 간주되어 멸종위기 야생생물 1급으로 지정되었고 멸종위기 야생생물 보전 종합계획(2018~2027)에 따라 우선복원대상종(총 25종)으로 선정되었다.

나도풍란의 서식변수로 최고우기 월강수량, 연간 기온 차이, 월평균 기온차, 최저기온, 해발고도, 경사, 도로와의 거리를 제안하였다. 전문가 자문을 통해 상대습도, 안개일수, 광환경, 향, 인위적 남획 등이 추가적으로 제시되었으나 데이터 구축 여부를 고려하여 상대습도, 향, 인위적 남획을 선정하였다. 이중 인위적 남획을 간접적으로 평가하기 위해 보호지역 포함 여부를 제시하였다. 최고우기 월강수량, 연간 기온 차이, 월평균 기온차, 최저기온 등은 모두 적합하나 나도풍란에 대한 자료가 부족하여 변수로 선정되지 않았다. 위의 과정을 통해 최종 변수는 상대습도, 해발고도, 경사, 향, 인위적 남획으로 선정하였다. 문헌조사와 현장조사 결과 및 전문가 자문을 통하여 SI(Suitability Index) 모델과 HSI 모델을 개발하였으며, 적용 가능성을

시험하기 위해 대상지에 적용하였다. HSI가 가장 높은 값은 1.0이며 해당 면적은 16,040,000 m²로 나타났다. 그 외 0.8(148,280,000 m²), 0.7(57,940,000 m²), 0.6(5,320,000 m²)으로 도출되었다. 그 결과, 다도해해상국립공원에서 HSI가 1.0인 지역을 나도풍란의 대체서식지로 제시하였다.

이 모델은 나도풍란의 서식지 평가와 복원 모델의 제시하는데 중요한 근거가 될 것이며, 특히 나도풍란의 대체서식지 선정과 평가에 활용도가 매우 높다. 그러나 본 연구결과로 제시된 나도풍란의 대체서식지는 국내·외 구축되어 있는 공간 자료의 한계로 100 m×100 m의 격자 크기로 평가되었다. 따라서 일차적인 후보지 선정에 의미가 있으며, 세부 대상지 확정을 위해서는 이차적인 현장조사가 필요하다. 후속연구를 통해 국내 미기후에 대한 공간자료와 나도풍란 서식지에 대한 장기 모니터링 데이터가 구축된다면 보다 정밀한 공간분석으로 세부적인 대체서식지를 제시할 수 있을 것이다. 서식지 적합성 모델의 정확도를 높이기 위해 향후 나도풍란의 서식지에 대한 다양한 실태조사를 구축해야 할 것으로 보인다.

I. 서 론

유럽과 미국 같은 선진국의 경우 대체서식지 위치 선정을 위해 목표종의 생태적 특성을 반영하는 것이 매우 중요하며 관련 정보를 종합적으로 분석하고, 그 결과를 바탕으로 위치를 선정한다(Box, 1996). 나아가 복원지역에서 목표종의 지속적인 생존이 가능하기 위해서는 도입된 종의 생존뿐만 아니라 인접지역에서 서식하는 개체군과의 상호 연결성이 높아지도록 고려해야 한다(Pryke and Samways, 2001). 이를 위해서는 목표종이 이용 가능한 서식지의 특성을 대변할 수 있는 환경요소들을 정량화하여 복원대상지의 환경적 특성을 정량적으로 평가 및 예측하여야 한다(국립생태원, 2017).

서식환경평가는 생물종 분포자료 확보여부, 생물종-서식지 관계에 대한 정보출처, 전문가 활용 및 서식환경평가의 목적에 따라 다양한 유형으로 구분할 수 있다. 특히 서식지 모형에 의거하여 서식지 적합성 지수(Habitat Suitability Index; 이하 HSI)를 이용한 전문가 지식기반 모형, 현지조사 자료를 이용한 통계분석기반모형, 전문가 의견, 문헌자료 및 현지 조사 자료를 이용한 통합적 서식지 모형으로 구분할 수 있다(Verner et al. 1986). 이 중 전문가 지식에 의존하는 HSI 모형은 분포역이 협소하여 현지조사에서 발견되기 어려운 희귀종에 유용하다(Kangas et al., 2000).

미국의 Fish and Wildlife Service(1980)에서 개발한 서식지 적합성 지수 모델은 주관적 판단이나 타당성이 없는 가정을 최대한 배제하여 한 종이 이용 가능한 서식지의 정량적, 정성적 특성을 비교적 객관적으로 평가할 수 있는 장점이 있다(이보은 외, 2017). SI(Suitability Index; 이하 SI) 모델은 특정 환경요인(서식지 변수)별 서식지 적합성을 수치화하는 것인데, 대상 종의 서식 조건을 규정하는 먹이, 번식 조건 등의 적정 정도를 0(완전히 부적합)에서 1(최적)사이의

점수로 표현한다. 이를 기반으로 평균내거나 더하는 등 여러 가지 SI 모델을 상황에 맞추어 종합하여 HSI 모델을 만든다. 종과 서식지의 관계를 고려하여 조합하며, SI모델과 마찬가지로 값은 0에서 1사이의 값으로 나타낸다(충남발전연구원, 2015).

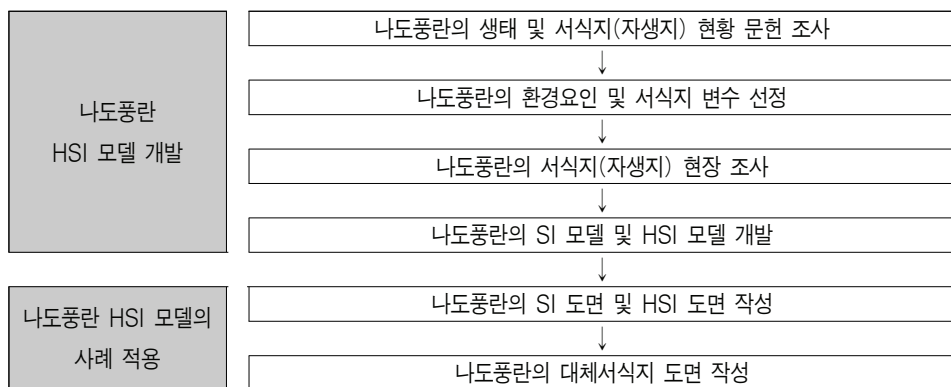
1980년대 이후 국외에서는 HSI에서 관련 다양한 연구가 진행된 반면, 국내 HSI 관련 연구는 반달가슴곰(환경부, 2011), 산양(최태영·박종화, 2004), 삶(이상돈 외, 2012)과 같은 중대형 포유류 및 맹꽁이(심윤진 외, 2014), 두꺼비(조근영, 2017), 남생이(박용수 외, 2015) 등 양서·파충류를 중심으로 일부 이루어졌다. 육상식물에 대한 HSI는 단양쭉부쟁이와 층층동굴레(이보은 외, 2017) 연구가 있으며, 식물종 복원을 위한 정량화된 서식지 평가는 전무한 실정이다.

나도풍란(*Sedirea japonica*)은 환경부 지정 멸종위기 야생생물 I급으로 현재 국내 자연 상태에서 절멸된 것으로 간주되어 환경부에서 우선복원 대상종으로 선정하여 복원중이다(환경부, 2018). 이에 국립생태원 멸종위기종복원센터에 도입 후 기초연구가 진행되고 있어 과거 자생지를 기반으로 복원대상지 선정을 위한 연구가 필수적이다.

본 연구는 나도풍란의 문헌조사, 분포자료 및 서식지 현황 조사를 바탕으로 나도풍란의 HSI 모델을 개발하는 것을 목적으로 하며, 이를 통해 향후 나도풍란 대체서식지 평가 및 복원 연구의 기초 자료로 제시하고자 한다.

II. 연구 방법

본 연구는 첫째 나도풍란 HSI 모델 개발, 둘째 나도풍란 HSI 모델 사례 적용으로 구분하여 수행하였다(그림 1).



자료: 본 연구 수행과정내용에 의함

〈그림 1〉 연구흐름도

1. 나도풍란의 생태 및 서식지(자생지) 현황 문헌조사

나도풍란의 생태 및 서식지(자생지) 현황에 대하여 연구된 문헌(국립공원관리공단, 2017; 국립생물자원관, 2018; 이진실·최병희, 2006; 환경부, 2006)을 토대로 검토하였다. 나도풍란의 과거 분포 지역, 생태적 특성, 생육 환경(해발고도, 경사), 기후(온도, 강수량) 등으로 구분하여 조사하였다.

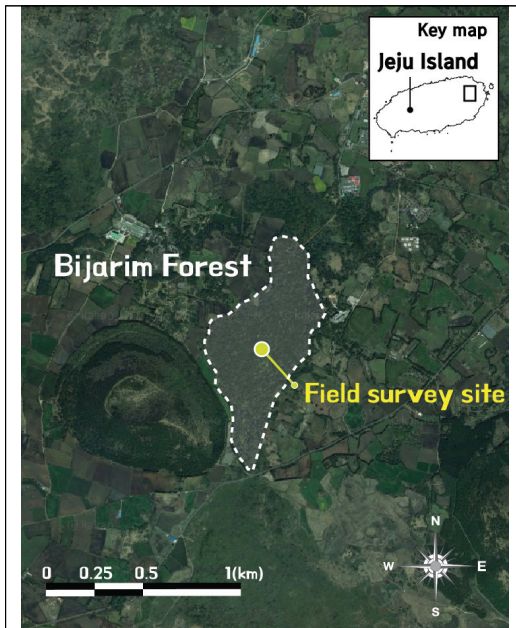
2. 나도풍란의 환경요인 및 서식지 변수 선정

나도풍란의 문헌 조사 결과를 토대로 환경요인 및 서식지 변수를 1차적으로 제시하고, 2019년 5월부터 7월까지 관련 전문가 2명과 수차례에 걸친 심층 대면 면담 결과를 바탕으로 5개의 서식지 변수를 선정하여 제시하였다.

3. 나도풍란의 서식지(자생지) 현장조사

나도풍란의 서식지(자생지)에 대한 기존 문헌 조사결과, 제주도와 남해안 일부 섬 지역에 분포했던 기록이 있지만 최근 수십 년간 관찰 기록이 없어 자생지가 모두 소실된 것으로 추정하고

있다(국립생물자원관, 2018). 따라서 나도풍란의 자생지 현황 조사는 대체서식지로 복원된 제주도 비자림 일대를 선정하여 실시하였다(그림 2). 조사 항목은 선정된 서식지 변수를 중심으로 해발고도, 경사, 향, 인위적 남획(보호지역 포함 여부) 등으로 구분하여 조사하였으며 강수량과 습도는 비자림 인근의 기상 관측소(성산기상대) 자료를 활용하였다. 나도풍란은 멸종위기 야생동물 I 급으로 지정·관리되고 있어 종 보존을 위해 정확한 좌표는 생략하였다.



자료: 본 연구 수행과정에 의함

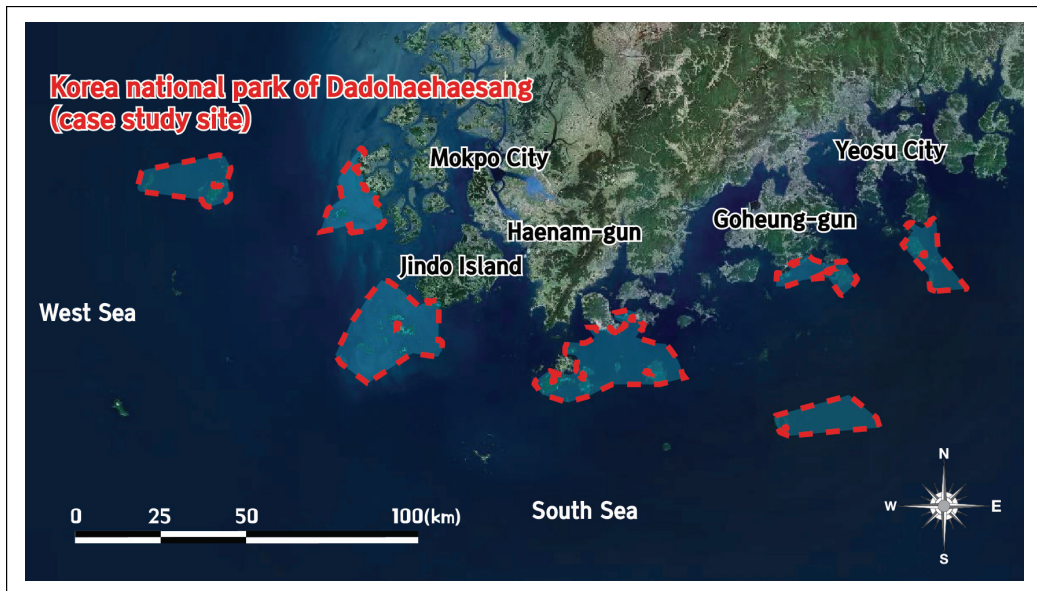
〈그림 2〉 연구대상지

4. 나도풍란의 SI 모델 및 HSI 모델개발

나도풍란의 문헌자료 및 현지 조사 결과를 토대로, 2019년 9월부터 10월까지 수차례 양방향 대면 인터뷰를 통한 자문을 진행하였다. 나도풍란 조사 대상지가 1개소에 불과하여 통계 처리에 한계가 있다는 전문가의 자문 의견을 수렴, 현지 조사와 기존 문헌 자료를 토대로 전문가 심층 면담을 통해 나도풍란 SI 모델 및 HSI 모델을 개발하였다.

5. 나도풍란의 HSI 모델사례 적용

나도풍란 HSI 모델의 사례 적용을 위해 과거 나도풍란의 자생지가 포함된 다도해해상국립공원 일대를 연구대상지로 선정하였다(그림 3). 나도풍란의 SI 모델별 도면을 작성하기 위해 관련된 서식지 변수별 지리정보 자료를 구축하고 QGIS Desktop 2.14.21-Essen을 활용해 나도풍란의 SI 도면 및 HSI 도면을 작성하였다. 그 결과를 바탕으로 나도풍란의 대체서식지를 제시하였다. 나도풍란의 SI 모델별 도면 작성과 관련된 서식지 변수별 지리정보 자료는 표 1과 같다. 해발고도, 경사, 향은 국토지리정보원 국토정보플랫폼의 수치표고모형(DEM)을 활용하였고, 상대 습도는 기상청 기상자료개방포털의 중관기상관측 자료, 인위적 남획(보호지역 포함 여부)는 한국보호지역 통합DB관리 시스템의 한국 보호지역 데이터를 활용하였다(표 1).



자료: 본 연구 수행과정에 의함

〈그림 3〉 나도풍란 HSI 모델의 사례 적용 대상지(다도해해상국립공원)

〈표 1〉 나도풍란의 서식지 변수별 지리정보 자료

요인	서식지 변수	지리정보 데이터	출처
기후	상대습도	기상청 기상자료개방포털 종관기상관측 자료	https://data.kma.go.kr
지형	해발고도	국토정보플랫폼 수치표고모형(DEM)	http://map.ngii.go.kr
	경사	국토정보플랫폼 수치표고모형(DEM)	http://map.ngii.go.kr
	향	국토정보플랫폼 수치표고모형(DEM)	http://map.ngii.go.kr
위험요인	인위적 남획 (보호지역 포함 여부)	한국 보호지역 데이터	http://www.kdpa.kr

Ⅲ. 연구결과 및 고찰

1. 나도풍란의 생태 및 서식지(자생지) 현황 문헌조사

나도풍란은 한국, 중국, 일본 등 동아시아 지역에 주로 서식하며, 국내에서는 제주도를 비롯해 전라남도 신안군, 완도군, 경상남도 거제시, 부산광역시 영도구 등 한반도 남쪽 섬에 주로 자생했던 것으로 알려져 있다(국립생물자원관, 2018). 현재 무분별한 채취와 서식지 파괴, 낮은 자연번식률로 인해 전문가들 사이에 자연 상태에서 절멸된 것으로 간주하고 있으나(이진실·최병희, 2006), 산림청 국립수목원에서 2014년도 인공증식·복원사업을 실시하여 현재 제주도 비자립 지역 내 일부 개체가 생육하고 있다(국립생물자원관, 2018).

나도풍란의 생육에 영향을 미치는 생태적 특성은 최고우기 월강수량, 연간 기온차, 월평균 기온차, 최저기온 등 기후와 관련된 변수들과 산지경사 및 주변 식생 등 주변 환경과 밀접한 관련이 있다(국립공원관리공단, 2017). 이외에도 광 조건에 따라 나도풍란의 엽록소 함량 및 지하부 뿌리 발달이 달라진다고 보고된 바 있다(허경연 외, 2018). 상록성 여러해살이풀로 바람이 잘 통하고 공중 습도를 얻기 쉬운 남해안 섬 지역에 주로 자생하며, 바다에서 불어오는 따뜻한 해풍과 이슬 속 양분을 이용해서 자라는데 뿌리를 밖으로 드러내어 공중 습도 및 공기를 이용하여 탄소동화작용을 거쳐 성장한다(환경부, 2006).

나도풍란과 같은 착생난이 자라는 주변에는 이끼나 지의류 등이 함께 자생하는데, 이들은 착생식물 줄기 내의 미환경 조건을 만들어 싹이 나오는 것을 도와주는 역할을 한다(Koopowitz, 2001). 또한 난초과 식물은 대부분 곤충에 의해 수분이 일어나기 때문에 수분매개체도 동시에

보전할 수 있어야 한다(환경부, 2006).

과거 자생지를 대상으로 서식 환경을 분석한 결과, 지형적인 요인인 해발고도와 경사도의 생육범위는 각각 21~409m(평균 143.6m, 표준편차 108.5m)와 0.4~30.3° (평균 9.2° , 표준편차 9.1°)이다(국립공원관리공단, 2017). 기후인자 생육범위로는 연평균 기온이 12.8~15.4℃(평균 14.4℃, 표준편차 0.8℃), 연 최고 기온이 27.6~29.6℃(평균 29.0℃, 표준편차 0.5℃), 연 최저 기온이 -2.0~2.0℃(평균 0.5℃, 표준편차 1.3℃), 연강수량이 948.0~1,782.0mm(평균 1,322.6, 표준편차 326.0mm) 등이다(표 2).

국내의 나도풍란 연구의 대부분은 인공증식 및 재배연구로 서식지 기초생태자료에 대한 자료가 매우 미흡하기에 나도풍란과 생태적 특성과 생활형이 유사한 난초과 착생식물 풍란(*Neofinetia falcata* (Thunb.) H.H. Hu)의 생태 및 서식처 현황에 대한 자료를 추가로 검토하였다(표 3).

〈표 2〉 나도풍란의 생태 및 서식처 현황 문헌조사 결과

구분		내용	문헌 출처
기후	연 평균 기온	- 최대 15.4℃, 최소 12.8℃, 평균 14.4℃, 편차 0.8℃	국립공원 관리공단 (2017)
	연 최고 기온	- 최대 29.6℃, 최소 27.6℃, 평균 29.0℃, 편차 0.5℃	
	연 최저 기온	- 최대 2.0℃, 최소 -2.0℃, 평균 0.5℃, 편차 1.3℃	
	연 강수량	- 최대 1,782.0mm, 최소 948.0mm, 평균 1,322.6mm, 편차 326.0mm	
지형	경사	- 산지경사 최대 30.3° , 최소 0.4° , 평균 9.2° 편차는 9.1°	
	해발 고도	- 해발고도 최대 409.0m, 최소 21.0m, 평균 143.6m, 편차 108.5m	
위험요소		- 무분별한 채취	국립생물 자원관 (2018)
기타	환경 변수 중요도	- 산지경사, 최고우기 월강수량, 연간기온차이, 월평균 기온차, 최저기온 순으로 중요도가 높은 것으로 나타남 - 산지경사 변수기여율 51.5%, 최고우기 월강수량 변수기여율 26.0%, 연간 기온차이 변수기여율 11.7%, 월평균 기온차 변수기여율 4.3%, 최저기온 변수기여율 3.0%임	국립공원 관리공단 (2017)

〈표 3〉 풍란의 생태 및 서식처 현황 문헌조사 결과

구분		내용	문헌 출처
공간	서식 분포	- 전 세계적으로 중국, 일본, 우리나라에 분포함 - 국내에는 제주도와 남해안 일대에 분포하는데, 서쪽으로는 전라남도 신안군 가거도부터 동쪽으로는 경상남도 거제도까지 생육함 - 현재 제주도, 경상남도 일부 지역에서만 확인되고 있음	국립생물자원관 (2018)
		- 경상남도의 거제도, 남해도, 통영, 전라남도의 거문도, 돌산도, 완도, 진도 및 흑산도 그리고 제주도 등의 남쪽 지방 섬에 주로 분포하는 것으로 알려져 있음	환경부 (2006)
	생육지 환경	- 상록성 여러해살이풀로 바람이 잘 통하고 공중 습도를 얻기 쉬운 곳에서 나타남 - 남쪽 지방 해안가 절벽이나 나뭇가지 등에 주로 착생함	국립생물자원관 (2018)
		- 지리적으로는 바람이 잘 통하고 공중 습도를 얻기 쉬운 위치에 자생함 - 겨울에도 따뜻한 기운을 느낄 수 있는 남쪽 지방의 바닷가 절벽이나 나뭇가지 등에 붙어서 자람 - 사방이 개방되어 있어 통풍이 잘되고 습기가 충분한 섬 지방에서 많이 자생함	환경부 (2006)
서식 기질	생장	- 바다에서 불어오는 따뜻한 해풍과 이슬을 섭취해서 자라는데, 뿌리를 밖으로 드러내어 습기를 취해 살아감 - 대기 중의 영양소의 공중 습도 및 공기를 이용하여 탄소동화작용을 거쳐 생장함 - 회고 길다란 뿌리는 다른 난의 뿌리에 비해 공중 질소 고정 능력이 강하며, 생장점은 엽록소의 영향으로 신선한 푸른빛을 가짐	환경부 (2006)
	식생	- 한려해상국립공원 내 풍란 자생지 입지환경의 식생은 사스레피 나무와 돌가시나무, 세뿔석위 등이 생육함	남엽 외 (2016)
		- 바람이 잘 통하는 상록수림 안에서 자생함	국립생물자원관 (2018)
서식 기질	주변 식생	- 착생식물 주변에는 이끼나 지의류 등도 같이 자라게 되는데, 이들은 착생식물 줄기 내의 미환경 조건을 만들어주어 씨에서 싹이 나오는 것을 도와준 것으로 알려져 있음(Koopowitz, 2001)	환경부 (2006)
	숙주 식물	- 풍란의 숙주식물은 자귀나무, 팽나무, 해송, 느티나무, 녹나무 등이 있음 - 일본에서는 풍란이 개가시나무, 조록나무, 단풍나무, 참나무 종류와 감나무 종류, 은행나무 등에 부착하여 생육하고 있음	
	수분매개자/군사	- 풍란과 난과 식물은 대부분 곤충에 의해서 수분이 일어나기 때문에 수분매개자들도 동시에 보전할 수 있어야함 - 종자에서 싹이 나올 때 군사가 필요하므로, 보전 지역 내에 군사도 풍부해야 함	

구분		내용	문헌 출처
지형	경사	- 한려해상국립공원 내 풍란 자생지 입지환경은 주로 경사 30° 에 생육함	남엽 외 (2016)
	사면	- 한려해상국립공원 내 풍란 자생지 입지환경은 주로 북동사면에 생육함	
	해발 고도	- 우리나라에서는 고도 350m 이하에서 서식이 확인됨	황부영 (2019)
		- 한려해상국립공원 내 풍란 자생지 입지환경은 주로 해발 70m에 생육함	남엽 외 (2016)
기후	온도	- 여름에는 온도가 높지 않고 신선하며 가을에는 평균 온도 10℃ - 2003년 8월 20일부터 2004년 3월 11일까지의 자생지 평균 온도는 11.6 ℃임	환경부 (2006)
	광도	- 2003년 12월 16일부터 2004년 3월 11일까지의 자생지 평균 광도 0.6 Lum/sqm임	
	상대 습도	- 2003년 8월 20일부터 2004년 3월 11일까지의 자생지 평균 상대습도는 78.2%임 - 온난하며 공중 습도가 높은 곳을 특히 좋아함	
토양		- 한려해상국립공원 내 풍란 자생지 입지 환경은 부엽토가 많은 곳에 생육함	남엽 외 (2016)
위협요인		- 화훼, 원예 종사자 및 일반인들의 남획 - 일본 내에서 풍란의 멸종 원인으로 꼽는 주요 원인은 원예채취가 61%, 삼림벌채는 22%, 도로공사는 7%임	환경부 (2006)

2. 나도풍란의 환경요인 및 서식지 변수선정

기존문헌을 이용한 나도풍란의 생태 및 서식지 현황 조사 결과를 바탕으로 환경요인 및 서식지 변수를 1차적으로 제시하였다. 이 후 종 복원 사업에 기여하고 있는 박사 후 경력 5년 이상의 교수 및 기관의 식물 전문가 7명에게 자문을 받아 변수를 보완하였다.

이 결과 1차적으로 제시된 변수 중 해발고도, 경사 등은 나도풍란의 변수로 적합하여 지수에 반영되었고, 추가적으로 상대습도, 안개일수, 광환경, 향, 인위적 남획 등의 변수가 제시되었다. 이 중 기초자료부족 및 공간데이터 구축 여부를 고려하여 상대습도, 향, 인위적 남획을 변수로 추가하였다(표 4).

<표 4> 나도풍란의 환경요인 및 서식지 변수 선정

환경요인	서식지 변수				
	제안	전문가 1	전문가 2	자료구축 가능 여부	최종 선정
기후	최고우기 월강수량	보통	적합	부	-
	연간 기온 차이	적합	적합	부	-
	월평균 기온차	보통	적합	부	-
	최저기온	적합	적합	부	-
	-	상대습도 추가 제시	상대습도 추가 제시	가	상대습도
	-	안개 일수 추가 제시	-	부	-
	-	-	광환경추가 제시	부	-
지형	해발고도	적합	적합	가	해발고도
	경사	보통	보통	가	경사
	-	향 추가 제시	-	가	향
위험요인	도로와의 거리	부적합	보통	-	-
	-	인위적 남획 (보호지역 포함 여부)추가 제시	인위적 남획 (보호지역 포함 여부)추가 제시	가	인위적 남획

자료: 본 연구 수행과정 및 자문결과에 의함

3. 나도풍란 서식지(자생지) 현장조사 및 검증

나도풍란의 대체서식지로 복원된 제주도 비자림의 평균 상대습도는 $83.15 \pm 1.41\%$ 이며, 강수량은 31.3 mm이다. 그 외 비자림 내 나도풍란 서식환경으로 해발고도는 152m이며 경사는 15° , 향은 북북동 방향으로 나타났다. 또한 제주도 비자림은 천연기념물 보호지역으로 남획 및 인위적인 간섭은 보통인 것으로 확인되었다. 특이사항으로는 2014년도에 500개를 이식하였으나 현재 약 100개체만 남아 있으며, 대부분 3m이상 높이에 부착된 개체만이 생존하였다.

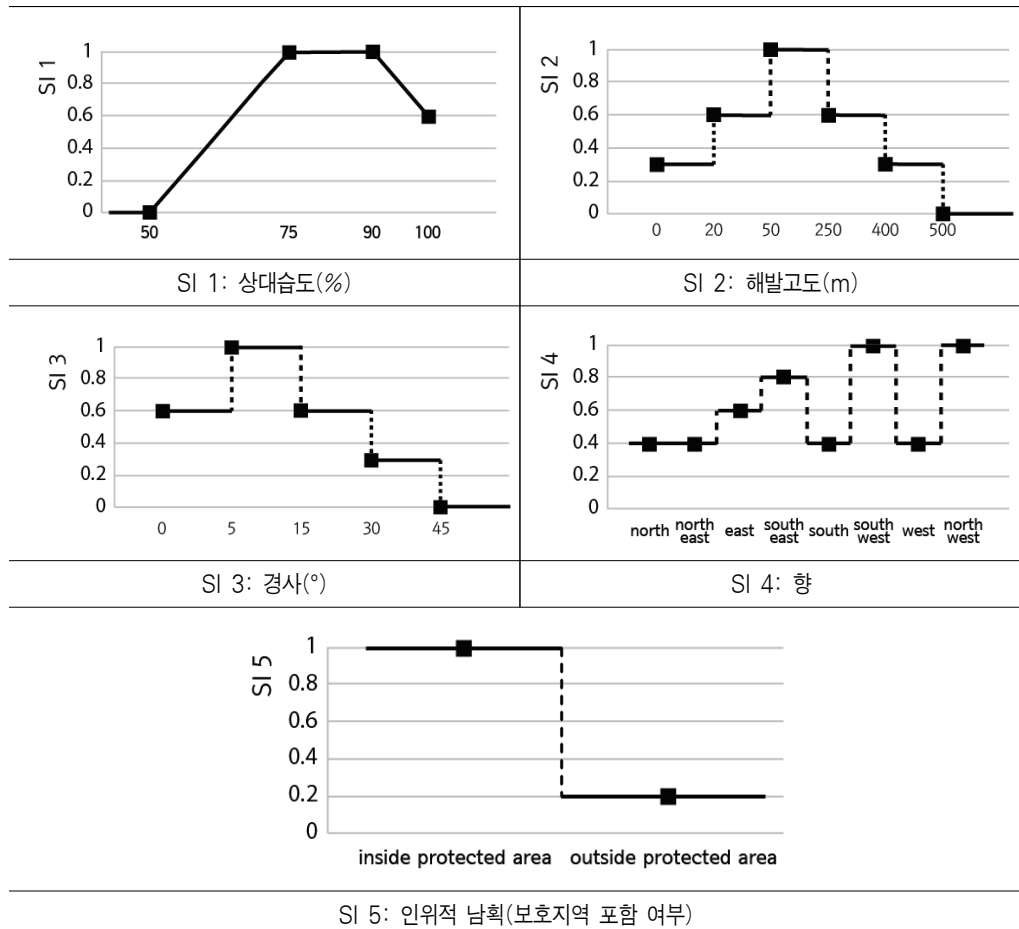
4. 나도풍란 SI 모델 및 HSI 모델개발

나도풍란의 기존 문헌과 전문가 자문 의견을 바탕으로 SI 모델을 도출하였다(그림 4). 더불어

나도풍란 복원지인 비자림의 현지조사 자료를 통해 이를 검증하였다.

나도풍란에 대한 상대습도 자료가 전무하여, 전문가 자문 결과에 따라 나도풍란과 생태적 특성이 유사한 풍란의 상대습도 자료를 참고하였다. 환경부(2006)에 따르면, 2003년 8월 20일부터 2004년 3월 11일까지의 자생지 평균 상대습도는 78.2%이다. 추가로 전문가 자문 의견을 참고하여 상대습도(SI 1)는 50% 미만을 SI 1 = 0으로, 75~90%를 SI 1 = 1.0으로 설정하였다. 해발고도(SI 2)는 국립공원관리공단(2017)의 연구결과, 현장조사 결과 및 전문가 자문 의견을 바탕으로 50~250m를 SI 2 = 1.0, 500m 초과를 SI 2 = 0으로 설정하였다. 경사도(SI 3)는 국립공원관리공단(2017)의 연구결과, 현장조사 결과 및 전문가 자문 의견을 바탕으로 5~15°를 SI 3 = 1.0으로, 45° 이상을 SI 3 = 0으로 설정하였다. 또한 전국자연환경조사 2차~4차 결과를 토대로 나도풍란 자생지 12개소의 향을 분석한 결과, 북서향 5개소, 남서향 4개소, 남동향 2개소, 동향 1개소로 나타났다. 현장조사 결과 및 전문가 자문 의견을 추가하여 향(SI 4)은 남서향과 북서향을 SI 4 = 1.0으로, 남동향을 SI 4 = 0.8로, 동향을 SI 4 = 0.6으로, 북향, 북동향, 남향, 서향을 SI 4 = 0.4로 설정하였다. 인위적 남획(보호지역 포함 여부, SI 5)는 전문가 자문 의견을 바탕으로 보호지역 내부는 SI 5 = 1.0으로, 보호지역 외부는 SI 5 = 0.2로 설정하였다.

도출된 SI 모델을 대상으로 HSI 모델과의 관계를 설정하였다. 도출된 5개의 SI 모델은 상호 보완관계가 있어 산술평균을 통해 제시하였으며, 상대습도의 중요도가 높다는 전문가 의견을 수렴하여 SI 1에 대한 가중치를 2배 부여하였다(수식 1).



자료: 본 연구 수행과정에 의함

〈그림 4〉 나도풍란의 SI 모델

$$\text{나도풍란 } HSI = \frac{(2 \times SI1) + SI2 + SI3 + SI4 + SI5}{6}$$

〈수식 1〉 나도풍란 HSI 도출식

5. 나도풍란 HSI 모델사례 적용

서식지 변수별 지리정보 자료를 바탕으로 다도해해상국립공원 일대 나도풍란의 SI 모델별 도면을 격자크기 100m×100m으로 구축하였다(부록 1). 나도풍란의 SI 모델별 도면에 나도풍란의 HSI 모델을 적용하여 나도풍란의 HSI 도면을 구축하였다(그림 5). 그 결과, HSI가 가장 높

은 값이 1.0이며 해당 면적은 16,040,000m²로 나타났으며 그 외 0.9(106,510,000m²), 0.8(148,280,000m²), 0.7(57,940,000m²), 0.6(5,320,000m²)으로 각각 나타났다(표 5). 연구결과, 다도해해상국립공원에서 HSI가 1.0인 지역을 나도풍란의 대체서식지로 제시하였다(그림 6).



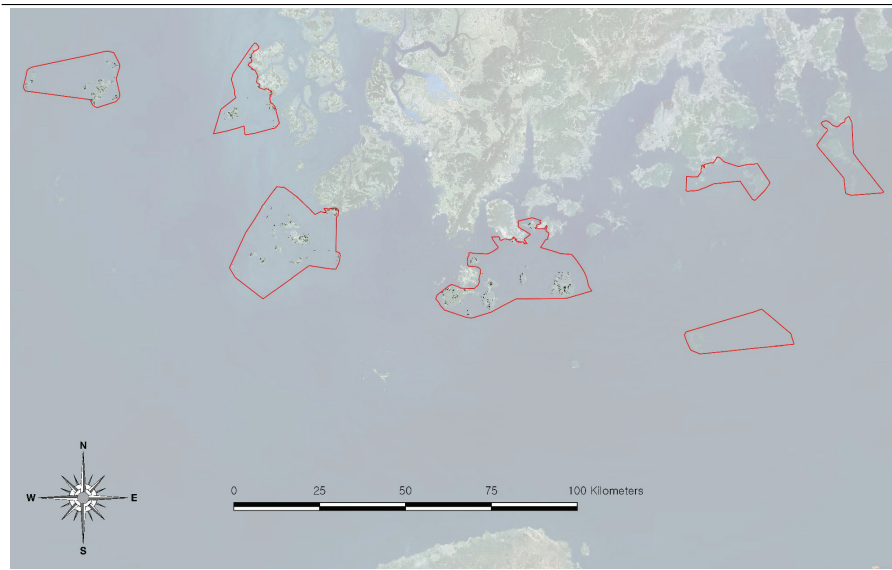
자료: 본 연구 수행결과에 의함

〈그림 5〉 다도해해상국립공원의 나도풍란 HSI 도면

〈표 5〉 나도풍란의 HSI별 면적

HSI	면적(m ²)
1.0	16,040,000
0.9	106,510,000
0.8	148,280,000
0.7	57,940,000
0.6	5,320,000
합계	334,090,000

자료: 본 연구 수행결과에 의함



자료: 본 연구 수행결과에 의함

〈그림 6〉 다도해해상국립공원의 나도풍란 대체서식지 위치도

IV. 결 론

본 연구는 나도풍란의 생태 및 서식지 현황에 대한 문헌 및 현장 조사를 바탕으로 나도풍란의 HSI 모델을 제시하고자 수행되었다. 나도풍란의 서식지 변수로 상대습도, 해발고도, 경사, 향, 인위적 남획 등 5개 변수를 선정하였다. 기존문헌 및 현지조사 결과와 전문가 자문 의견을 바탕으로 SI 모델 및 HSI 모델을 개발하였고, 이를 현장에 사례 적용하여 HSI 모델의 적용 가능성을 검토하였다.

본 연구 결과 멸종위기에 처한 나도풍란의 절멸 방지를 위한 서식지 평가 관련 정보를 제시하였다. 이는 ‘대체서식지 조성·관리 환경영향평가 지침’을 비롯한 다양한 생태복원 관련 정책의 중요한 기초자료로 활용될 수 있으며, 특히 나도풍란의 대체서식지 선정 및 평가에 적용 가능하다.

한편 나도풍란은 자생지 내 절멸된 것으로 간주되어 수집할 수 있는 연구 자료가 미흡하였다. 향후 나도풍란 서식지에 대한 다양한 환경조사 데이터를 구축하여 HSI 모델의 정확성을 높여야 한다. 또한 본 연구결과로 제시된 나도풍란의 대체서식지는 국내·외 구축되어 있는 공간 자료의 한계로 100m×100m의 격자크기가 활용되었다. 이는 잠재적 후보지 선정에 의미가 있으나, 세부 대상지 확정을 위해서는 현장조사가 필요하다. 후속연구를 통해 나도풍란 서식지의 미기후

자료를 포함한 장기 환경 모니터링 데이터가 구축된다면 보다 정밀한 공간분석으로 세부적인 대체서식지를 제시할 수 있을 것이다. 장기적으로 나도풍란의 복원과 도입을 위해 HSI 모델에 대한 검증 연구가 필요하며 이는 나도풍란 서식지 평가 및 복원 모델 구축, Test-bed 조성, 모니터링과 연계되어 이루어져야 할 것이다.

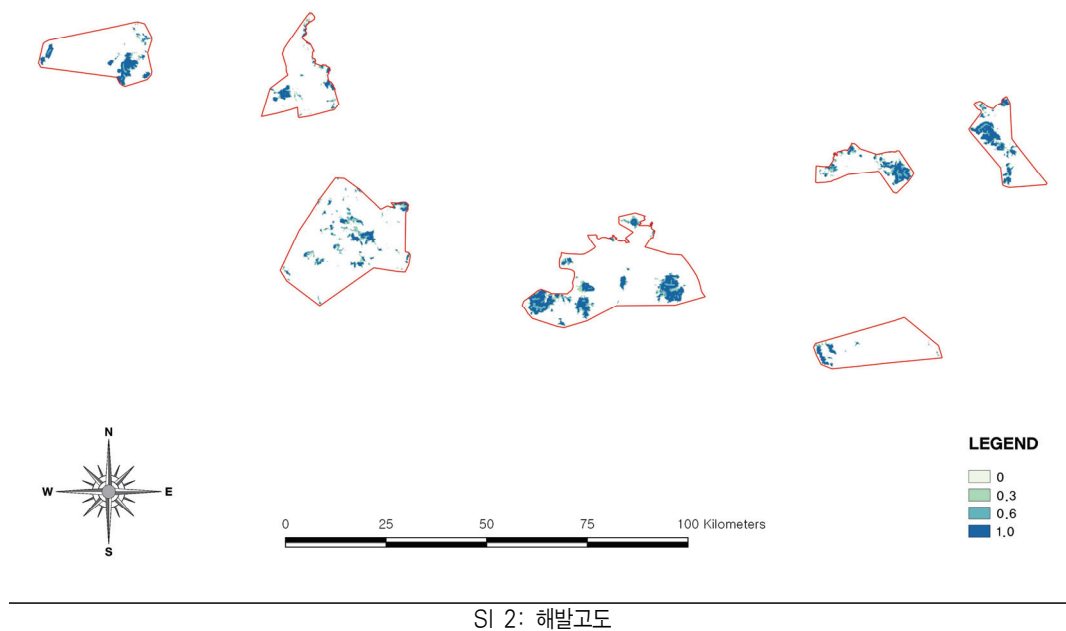
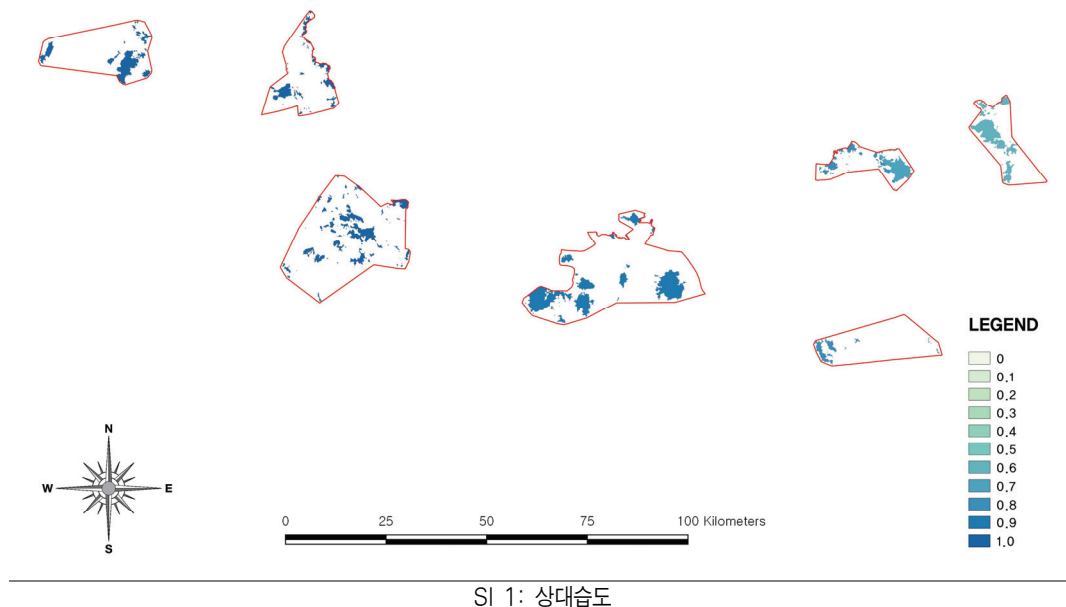
참 고 문 헌

1. 국립공원관리공단 국립공원연구원, 2017, 『멸종위기식물 생육지 환경분석을 통한 서식 예측분포도 제작: 3차년도』: 106.
2. 국립생물자원관, 2018, 『한눈에 보는 멸종위기 야생생물』: 596.
3. 국립생태원, 2017, 『생물서식(대체서식지)제고를 위한 가이드라인 마련 연구』: 153.
4. 남엽·황부영·정대호·신동진·정현진·홍길표·김병부·송동주·박은희, 2016, “멸종위기 야생생물 I 급 풍란의 효율적인 복원방법 구명”, 『농업생명과학연구』, 50(5), 경상대학교 농업생명과학연구원: 39-49.
5. 박용수·장민호·차진열·조동길·김승희·이성우, 2015, “서식지 적합성 지수(HSI)를 활용한 납생이 서식지 복원 대상지 선정 방안 연구” 『한국환경복원기술학회지』, 18(3), 한국환경복원기술학회: 109-118.
6. 심윤진·조동길·박소현·이동진·서윤희·김상혁·김덕호·고상범·차진열·성현찬, 2014, “맹꽁이 서식지 복원을 위한 서식지 적합성 지수(HSI) 개발” 『한국환경복원기술학회지』, 17(2), 한국환경복원기술학회: 109-123.
7. 이보은·김정욱·김남일·김재근, 2017, “서식지 적합 지수를 이용한 멸종위기식물 단양쭈부쟁이와 층층둥굴레의 대체서식지 평가”, 『한국습지학회지』, 19(4), 한국습지학회: 433-442.
8. 이상돈·권지혜·김아람·정지향, 2012, “GIS를 이용한 서식지적합성지수(HSI)의 생태영향평가 활용방안 연구 -삼장-산정 국도건설공사를 사례에서 삶을 중심으로-”, 『환경영향평가』, 21(5), 한국환경영향평가학회: 801-811.
9. 이진실·최병희, 2006, “한반도 야생란의 분포 및 보호 대상 식물”, 『식물분류학회지』, 36(4), 한국식물분류학회: 335-360.
10. 조근영, 2017, 『HSI를 활용한 두꺼비 서식지 조성모델 연구: 원흥이방죽 대체서식지를 중심으로』, 상명대학교 대학원 석사학위논문: 143.
11. 최태영·박종화, 2004, “설악산국립공원내 산양(*Nemorhaedus Caudatus Raddeanus*)의 잠재 서식지 적합성 모형; 다기준평가기법(MCE)과 퍼지집합(Fuzzy Set)의 도입을 통하여”, 『한국조경학회지』, 32(4), 한국조경학회: 28-38.
12. 충남발전연구원, 2015, 『서식지 생태영향평가 방법론』, 파주, 도서출판 한: 304.
13. 허경연·김건일·박소영, 2018, “풍란과 나도풍란 재배시 단색 및 혼합 LED광이 생장과 엽록소 함량에 미치는 영향”, 『한국화훼학회 정기총회 및 학술발표회 자료집』, 26, 한국화훼학회: 17.

14. 환경부, 2006, 『멸종위기종인 풍란의 자생지내외 보전과 지역사회 협력모델 개발』 : 767.
15. 환경부, 2011, 『개발사업에 따른 멸종위기종 서식지 적합성 평가방안 마련을 위한 연구』 : 165.
16. 환경부, 2018, 『멸종위기 야생생물 보전 종합계획 2018-2027』 : 228.
17. 황부영, 2019, 『멸종위기식물 풍란의 복원 후 시간경과에 따른 생육특성』, 경상대학교 대학원 석사 학위논문 : 60.
18. Box J, 1996, "Setting Objectives and Defining Outputs for Ecological Restoration and Habitat Creation", *Restoration Ecology*, 4(4) : 427-432.
19. Koopowitz H, 2001, *Orchids and Conservation*, Timber Press, Portland : 176.
20. Kangas J, Store R, Leskinen P, and MehtaÉtalo L, 2000, "Improving the Quality of Landscape Ecological Forest Planning by Utilising Advanced Decision-Support Tools", *Forest Ecology and Management*, 132(2-3) : 157-171.
21. Pryke SR and Samways MJ, 2001, "Width of Grassland Linkages for the Conservation of Butterflies in South African Afforested Areas", *Biological Conservation*, 101(1) : 85-96.
22. U.S. Fish and Wildlife Service, 1980, *Habitat as a Basis for Environmental Assessment. Ecological Services Manual*, Division of Ecological Services, US Fish and Wildlife Service, Department of the Interior, Washington, DC Unnumbered : 101.
23. Verner J, Morrison ML and Ralph CJ, 1986, *Wildlife 2000: Modeling Habitat Relationships of Terrestrial Vertebrates: Based on an International Symposium Held at Stanford Sierra Camp, Fallen Leaf Lake, California, 7-11 October 1984*, University of Wisconsin Press : 470.

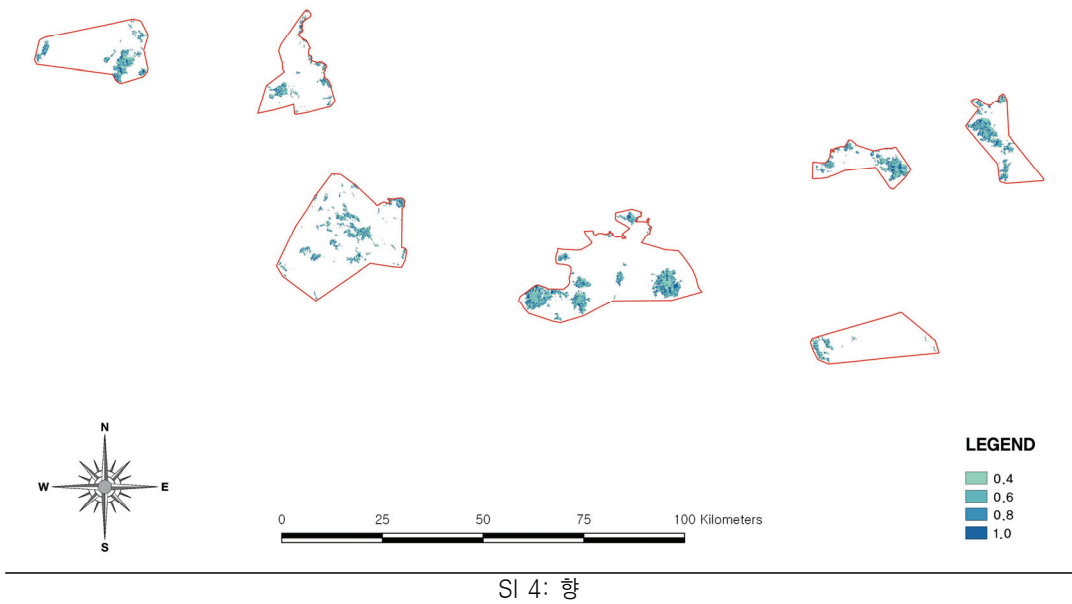
(논문접수일 : 2020. 04. 02 / 수정일 : 1차-2020. 04. 15, 2차-2020. 04. 17, 3차-2020. 04. 20, 4차-2020. 04. 21,
5차-2020. 04. 28 / 영문초록감수일 : 2020. 04. 24 / 게재확정일 : 2020. 04. 29)

〈부록 1〉. 나도풍란의 서식지 변수별 SI 지도



자료: 본 연구 결과에 의함

〈부록 1〉. 계속.



자료: 본 연구 결과에 의함

〈부록 1〉. 계속.



SI 5: 인위적 남획(보호지역 포함 여부)

자료: 본 연구 결과에 의함