

멸종위기 야생생물 핵심서식지 발굴 연구 : 산양, 꼬마잠자리, 나도승마

Study on analysis of core habitats for endangered species
: *Naemorhedus caudatus*, *Nannophya pygmaea*, *Kirengeshoma koreana* Nakai

멸종위기종복원센터 복원전략실
도재화, 윤영준, 장래하, 김선령
정진우, 박선욱, 이진홍, 장연희

2021. 12.



• 참여연구진 •

국립생태원	연구책임	도재화	팀장
	연구부책임	윤영준	선임연구원
	연구수행	장래하	전임연구원
	연구수행	김선령	전임연구원
	통계분석	정진우	선임연구원
	GIS 분석	박선욱	전임연구원
	생태계 조사	이진홍	계장(교류)
	GIS 분석	장연희	전문위원

• 자문위원 •

국립생태원	최태영	국립생태원	윤창만
국립생태원	임정은	국립생태원	차덕재
국립생태원	김진영	국립생태원	박희복
국립생태원	정재철	경희대학교	이대성
삼육대학교	김동건	충남대학교	김성덕
세명대학교	강신호	농림축산검역본부	김민지
국립공원공단	소순구	서울대학교	권신영
서울대학교 학술림	조선희	동북아생물다양성연구소	한병우
동북아환경생물연구소	김성수	대상건설시스템	이승연

CONTENTS

I. 연구배경 및 개요	1
1. 연구배경 및 목적	3
가. 연구배경	3
나. 연구목적	4
2. 연구개요	6
가. '21년 연구목표	6
나. 연구 추진체계 및 일정	6
다. 연구방법 및 내용	7
라. 연구대상종	9
II. 산양	13
1. 자료수집 및 연구대상지 선정	15
가. 자료수집	15
나. 연구대상지 선정	18
2. 위협요인 분석	20
가. 문헌조사 결과	20
나. 전문가 자문 결과	20
3. 서식지적합성지수	21
가. 주요서식변수 도출	21
나. 주요서식변수 별 적성지수	22
다. 가중치 산정 및 서식지적합성지수 개발	27
라. 서식지적합성 평가	28
4. 종분포모형을 이용한 서식지 평가	30
가. 자료구성	30
나. 모형제작	31
다. 서식지적합도 분석	35
5. 핵심서식지 발굴	37
가. 핵심서식지 분석	37

CONTENTS

III. 꼬마잠자리	39
1. 자료 수집 및 연구대상지 선정	41
가. 자료 수집	41
나. 연구대상지 선정	44
2. 서식지특성 분석	46
가. 잠재서식지 특성	46
나. 출현지 특성	51
다. 위협요인 분석	53
3. 서식지적합성지수	55
가. 주요서식변수 도출	55
나. 주요서식변수 별 적성지수	56
다. 가중치 산정 및 서식지적합성지수 개발	61
4. 서식지 평가	62
가. 적성지수 별 잠재서식지 평가	62
나. 서식지적합성 평가	64
5. 핵심서식지 발굴	67
가. 핵심서식지 분석	67
나. 핵심서식지 선정	68
IV. 나도승마	69
1. 자료 수집 및 연구대상지 선정	71
가. 자료 수집	71
나. 연구대상지 선정	74
2. 서식지특성 분석	75
가. 서식지 환경특성	75
나. 환경데이터 모니터링	79
다. 위협요인 분석	85
3. 서식지적합성지수	86
가. 주요서식변수 도출	86
나. 주요서식변수 별 적성지수	87
다. 가중치 산정 및 서식지적합성지수 개발	92
라. 서식지적합성 평가	93

CONTENTS

4. 종분포모형을 이용한 서식지 평가	96
가. 자료구성	96
나. 모형제작	97
다. 서식지적합도 분석	101
5. 핵심서식지 발굴	104
가. 핵심서식지 분석 및 선정	104
V. 결론	109
1. 결론(종 별)	111
가. 산양	111
나. 꼬마잠자리	111
다. 나도승마	112
2. 종합결론	113
가. 종합결론	113
VI. 참고문헌	115
VII. 부록	121

I. 연구배경 및 개요

1. 연구배경 및 목적

2. 연구 개요



1 연구배경 및 목적

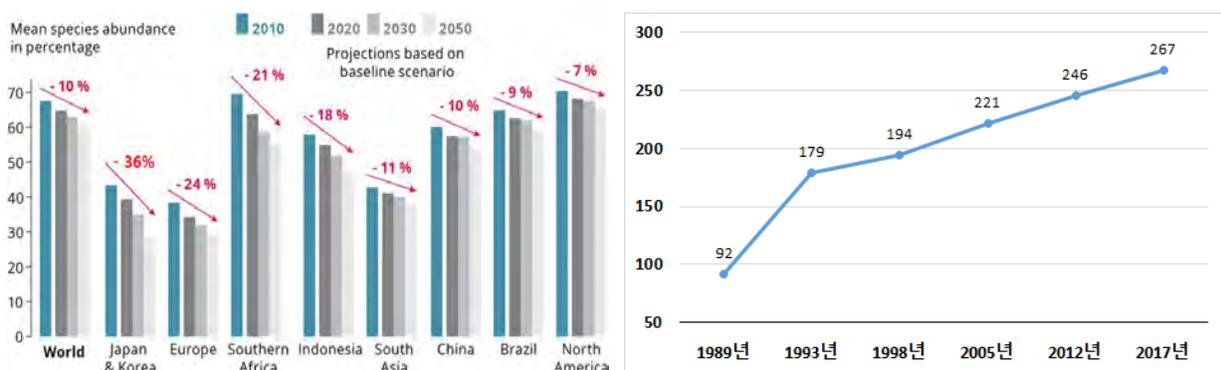
가. 연구배경

(1) 정책적 부합성

- 가) 「야생생물 보호 및 관리에 관한 법률」 제3조(야생생물 보호 및 이용의 기본원칙) 제2항 및 동법 제13조(멸종위기 야생생물에 대한 보전대책의 수립 등) 제1항
- 나) 「국립생태원 설립 및 운영에 관한 법률」 제5조(사업) 및 동법 제5조의2(멸종위기종복원 센터의 설치)
- 다) 현 정부 ‘100대 국정과제’ 「지속가능한 국토환경 조성」 ‘21년까지 보호지역을 국토 대비 17%로 확대 기반 마련
- 라) 「아이치타겟 11」 육지의 17%, 해양의 10%를 보호지역으로 지정 및 관리 필요
- 마) 「멸종위기 야생생물 보전 종합계획(2018~2027)」 서식지 평가를 통한 적극적 서식지 보전 및 서식지 보전 중심의 종 복원(환경부 2018)

(2) 사회경제적 필요성

- 가) 전 세계 육상생물 다양성은 지속적으로 감소하고 있으며, 우리나라의 감소 예측률과 멸종위기 야생생물 지정 종 수의 증가율은 이를 크게 상회함(그림1)



[그림 1] 생물다양성 감소율(oecd 2012)(좌), 멸종위기야생생물 지정 현황(우)

나) 연구 요구 및 활용도 지속적 증가

- 1) 「야생생물 보호 및 관리에 관한 법률」에 따라 지정된 멸종위기 야생생물은 국토환경 개발과 관련된 생태자연도, 환경영향평가 등에 큰 영향을 줌
- 2) 사회적 이슈가 되지 않는 종일지라도 그 효력은 동일하여, 민관산학에서 멸종위기종 야생생물에 대한 주요 서식지를 선정하고, 서식지 연구 등을 수행 시 지금까지와는 차별화된 연구 및 조사방법이 요구됨
- 3) 개발사업에 따른 환경영향평가, 대체서식지 선정, 보호지역 지정 등 멸종위기 야생생물 서식지 적합성을 사전에 평가할 수 있는 조사방법이 필요

(3) 기술적 필요성

가) 단순한 개체 증식·보충 위주의 복원의 한계로 서식지 보호 및 보전 필요성 부각

나) 멸종위기 야생생물 기초생태 연구 및 정보의 부족

- 1) 대부분 사회적 이슈가 되지 않는 멸종위기 야생생물은 기초생태연구의 부족으로 서식지 이용특성에 대한 자료가 없거나 거의 미비함
- 2) 일부 특성이 제시되었더라도 연구 및 통계적인 근거가 없거나 열악하며, 관찰 또는 추정으로 제시되는 사례가 대다수임
- 3) 30여년에 걸친 환경영향평가로 수질, 소음진동 등 생활환경 분야에 있어 영향예측을 위한 모델이 크게 발전되어 있지만, 서식지 및 생태계는 서식지 훼손 또는 변화량을 판단할 수 있는 모델 개발이 이루어지지 않음
- 4) 생태자연도, 바이오톱 지도 등 다양한 지도가 만들어지고 있지만 멸종위기 야생생물 별 생태적 지위[※]에 대한 연구가 수행되지 않아 적합한 서식지를 판단할 수 없음

※ 생태적 지위: 한 종의 생활방식 또는 생물군집 또는 생태계에서의 기능적 역할

나. 연구목적

(1) 멸종위기 야생생물 주요서식변수 마련

가) 멸종위기 야생생물의 문헌, 현지조사 및 공간자료 수집을 통한 적합 서식 범위 및 서식지 이용 특성 도출

나) 전문가 자문 및 통계분석 등을 활용한 주요서식변수 도출

(2) 멸종위기 야생생물 핵심서식지 발굴

- 가) 주요서식변수를 활용한 핵심서식지 분석 모델(HSI 등) 개발
- 나) 멸종위기 야생생물 핵심서식지 발굴을 통한 보호지역 확대 기반 마련
- 다) 잠재서식지 및 대체서식지 발굴의 기초자료 제공

2 연구개요

가. '21년 연구목표

- (1) 멸종위기 야생생물 3종의 핵심서식지 분석 모델 개발
- (2) 모델을 활용한 핵심서식지 선정

나. 연구 추진체계 및 일정

(1) 추진체계



(2) 추진일정

추진내용	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
평가항목 선정·지수화	대상종 선정		자료수집		주요변수선정 및 모델개발							
현지조사	환경모니터링 장비 설치 및 현장조사											
전문가 자문	자문					자문				자문		
핵심서식지 선정						핵심서식지 도출				검증 및 선정		

다. 연구방법 및 내용

(1) 연구대상종 선정

가) 수요조사

1) 복원 대상종 64종*을 대상으로 2021년 연구대상종 선정을 위해 멸종위기 야생생물 기초생태연구, 증식 및 복원 업무를 수행하고 있는 국립생태원 멸종위기종복원센터 복원연구실 각 팀의 수요조사 수행

* 환경부 멸종위기야생생물 보전종합계획(2018~2027)

** 포유류팀, 조류팀, 어류양서파충류팀, 곤충무척추동물팀, 식물팀

[표 1] 복원대상종 64종

구분	분류	종명	종수
동물	포유류	반달가슴곰, 산양, 여우, 수달 , 사향노루, 대륙사슴, 무산쇠족제비	7
	조류	저어새 , 황새, 따오기, 양비둘기, 검은머리갈매기	5
	양서파충류	비바리뱀, 수원청개구리, 남생이, 금개구리 , 구렁이, 맹꽁이	6
	어류	여울마자, 모래주사, 줌수수치, 임실납자루, 흰수마자, 큰줄납자루, 한강납줄개	7
	곤충	비단벌레, 산굴뚝나비, 장수하늘소, 소똥구리, 꼬마잠자리, 닳무늬길앞잡이, 대모잠자리, 똥보주름메뚜기, 물방개, 여름어리표범나비, 왕은점표범나비, 은줄팔랑나비, 큰홍띠점박이푸른부전나비	13
	무척추동물	나팔고둥, 남방방개, 두드럭조개, 참달팽이, 검붉은수지맨드라미, 갯게, 기수갈고둥, 대추귀고둥, 붉은발말뚝게, 자색수지맨드라미, 흰발농게	11
식물	육상식물	나도풍란 , 만년콩, 털복주머니란, 한라솜다리, 가는동자꽃, 정향풀, 각시수련, 서울개발나물, 신안새우난초, 한라송이풀 , 나도승마, 노랑붓꽃, 물고사리, 제주고사리삼, 철보치마	15

※ 볼드(수달, 저어새, 금개구리, 나도풍란, 한라송이풀)는 '19, '20년 연구 대상종

나) 평가 및 선정

- 1) 전문가 의견수렴을 통한 복원대상종 별 시급성, 우선연구 필요성 등 검토
- 2) 공통 서식지 이용 특성 분석을 위한 분포(좌표) 확인 및 이격거리 검토
- 3) 충분한 좌표 및 이격거리가 있는 종의 기초 생태자료 및 문헌 정도 확인

(2) 기초생태자료 수집

가) 문헌조사 및 전문가 자문

- 1) 연구대상종의 서식지 이용 특성, 분포현황, 위협요인 등 서식변수 수집
- 2) 한국학술정보, 국회도서관, 등에 저장된 논문, 보고서 등 수집 및 분석

나) 연구대상지 선정

- 1) 전국자연환경조사, 멸종위기야생생물 전국 분포조사, 문헌조사 등을 통해 수집된 연구대상종 분포좌표 보정 및 연구대상지 선정
- 2) 연구대상종 별 행동권, 권역 등을 고려한 연구대상지 서식지 특성 도출

다) 공간자료 수집

- 1) 환경부, 국토교통부 등 정부 및 산하기관 보유 공간자료(shape, raster 등) 수집
- 2) 국내·외 위성자료 수집 및 위성영상 분석을 통한 서식지 특성 공간자료화
- 3) 경사, 향, 수직적 식생대 등 공간자료 도면 제작

라) 서식지 이용 특성 분석

- 1) 구축된 공간자료를 활용하여 좌표 지점의 서식지 이용 특성 추출

마) 환경데이터 모니터링

- 1) 공간자료로 구축되지 않거나 서식환경이 작은 연구대상종(ex: 식물, 양서류 등)의 서식지 환경데이터 수집 및 자료구축을 위한 모니터링 장비 설치

바) 현장조사

- 1) 공간자료로 구축되지 않은 서식지 이용 특성 확인 및 현장조사
- 2) 문헌으로 확인된 서식지 이용 특성 및 위협요인 검증
- 3) 분포좌표 정확도 검증 및 서식가능성 확인

(3) 주요서식변수 도출

- 가) 기초생태연구 정도에 따른 연구대상종 주요서식변수 도출 방법 결정
- 나) 전문가 자문, 공통 서식지 이용 특성 분석 및 통계분석 등을 활용한 주요서식변수 도출

(4) 핵심서식지 분석 모델 개발

- 가) 주요서식변수를 대상으로 기초생태자료 및 공간자료 구축 정도를 고려하여 전문가기반형 모델(HSI) 개발
- 나) 좌표 및 주요서식변수 기반 통계기반형 모델(MaxEnt, 회귀분석 등) 분석

(5) 핵심서식지 검증 및 선정

- 가) 개발된 모델을 통한 연구대상종 핵심서식지 평가 및 지도화
- 나) HSI와 통계기반형 모델과의 비교 분석을 통한 핵심서식지 선정
- 다) 핵심서식지 후보지 검증(전문가 검증, 현장검증 등)

라. 연구대상종

(1) 연구대상종 선정

- 가) 수요조사 결과 및 분석
 - 1) 복원연구실 의견 수렴 결과 총 3종(산양, 검은머리갈매기, 양비둘기)이 핵심서식지 발굴 연구 대상종으로 제안됨

[표 2] 복원연구실 제안종

구분	분류	의견
포유류	산양	<ul style="list-style-type: none"> • 서식지 확산에 따른 도심지역 출몰, 폐사 발생에 따른 대책 마련 등을 위하여 핵심 서식지 연구 필요
조류	검은머리갈매기	<ul style="list-style-type: none"> • 서해안 매립지에서 번식을 하는 종으로 매립지의 개발, 천이 등 환경 변화에 따라 번식지 이동이 잦음 • 장기적인 보전 대책 수립을 위한 핵심 서식지 발굴 필요
	양비둘기	<ul style="list-style-type: none"> • 국내 100개체 미만 서식으로 구례, 고흥, 연천 등에서 번식 확인 • '21년 고흥 시범방사를 시작으로 향후 증식 개체 방사가 계획되어 있어, 안정적으로 정착할 수 있는 핵심서식지 발굴 필요

다) 연구대상종 선정

- 1) 공통 서식변수 추출을 위해서 분포지역이 너무 많은(20개 시·군 이상) 종(10종)과 단일 지역에서만 분포하는 종(11종)을 제외함
- 2) 서식지 이용특성에 대한 문헌, 논문 및 보고서 등을 검토 결과 충분한 기초생태연구가 이루어진 산양(표 3)과 꼬마잠자리(표 4)를 연구대상종으로 선정함
- 3) 복원대상종 중 멸종위기 식물 서식지에 대한 연구는 난초과 일부를 제외하고는 전무하거나 매우 미비하여, 상대적으로 서식지 이용 특성 연구가 수행된 나도승마(표 5)를 연구대상종으로 선정함



[그림 3] 연구대상종

II . 산양

1. 자료수집 및 연구대상지 선정
2. 위협요인 분석
3. 서식지적합성지수
4. 종분포모형을 이용한 서식지 평가
5. 핵심서식지 발굴

1 자료수집 및 연구대상지 선정

가. 자료수집

(1) 산양분류, 형태 및 생태학적 특성

[표 1] 산양 종 정보 및 특성

산양	
학명	<i>Naemorhedus caudatus</i>
영문명	long-tailed goral
분류학적 위치	우제목(Artiodactyla), 소과(Bovidae)
보호종 지정 현황	환경부 멸종위기야생생물 1급 문화재청 천연기념물 217호 IUCN Redlist VU(취약)
분포지역	세계적으로 동남아, 중국 동부, 시베리아 남동부에 분포 설악산, 오대산, 월악산에서 복원사업이 진행중
개체수 및 개체군 추세	정밀조사 필요

형태 및 생태학적 특징

- 머리부터 몸통까지의 길이는 105~130cm이며 꼬리는 매우 짧음
- 암수 모두 뿔을 가지고 있음
- 한국 산양은 안선(顔腺)이 없음
- 몸의 털은 회갈색으로 일부는 담흑갈색이며 목에 백색의 털이 있음
- 짝짓기는 1~2년에 한번으로 10~12월에 시도함
- 임신기간은 약 250일 내외로 5~7월에 1개체를 출산함
- 경사가 급한 바위 및 산림 지대를 선호함
- 초식으로 식물의 잎과 종자를 섭식하며, 활엽수 및 초본류의 연한 줄기 및 잎을 주로 섭식하지만 부족한 경우 침엽수, 이끼류도 섭식함

(2) 기초생태자료 수집

가) 산양 서식지 이용 특성에 관한 문헌 총 12편을 수집하였으며, 해발고도, 경사도, 향 등 총 10개 항목의 변수를 수집함(표2)

[표 2] 산양 문헌수집 결과

특성	내용	참고문헌
고도 (해발표고)	<ul style="list-style-type: none"> - 표고 500~1,000m사이에 주로 서식하며 1,000m 이상의 고지대에서는 밀도가 낮게 분포함 - 서식 지역에 따라 600~700m, 700~800m, 900~1,000m 등 선호하는 고도가 다르게 나타남 - 선호하는 암반 또는 암벽의 분포에 따라 서식 고도가 달라짐 	최태영 등 2002, 최태영 등 2005, 박희복 2011, 이배근 등 2011, 조재운 2013, 이민지 2017, 김다빈 2017, 조재운 외 2017
지형	<ul style="list-style-type: none"> - 산양의 서식지는 바위절벽과 소규모 소나무림으로 부터 가까울수록 긍정적인 영향을 보임 - 암반의 분포가 산양의 서식에 매우 필수적인 요소이며 바위절벽으로부터 1km 이내의 구역에서 주로 생활 - 생태적 특징은 가파른 바위가 있거나 다른 동물이 접근하기 어려운 험한 산악 산림 지대에 서식 - 산비탈의 보다 윗부분에 먹이 흔적이 많이 발견되며 산비탈 초원지대를 선호함 	최태영 등 2002, 최태영 등 2005, 서창완 등 2008, 임상진 2014, Myslenkov et al. 2012
경사도	<ul style="list-style-type: none"> - 경사지와 급경사지에서 가장 많이 출현하였고 험준지, 절험지, 완경사지에서도 출현함 - 산양은 30~45°의 경사도를 가장 선호하는 것으로 나타났으며, 경사도가 30°이하로 내려갈수록 선호하지 않는 것으로 나타났다. - 설악산 산양의 경사도 이용은 60°이상이 가장 많았으며, 35°~40°와, 30°~35°인 지역의 이용이 그 다음으로 많았음 	이배근 외 2011, 박희복 2011, 조재운 외 2015, 조재운 외 2017, 이민지 2017
향	<ul style="list-style-type: none"> - 오대산에 서식중인 산양의 향(Aspect) 평균 이용비율을 분석한 결과 남동방향(SE) 17.3% >남, 동, 북동쪽방향(S,E, NE) 15.4% >북쪽방향(N) 14.4%로 분석되었음 - 향의 이용은 북동쪽과 남동쪽의 선호가 높았으며 서쪽과 남쪽이NE가 14.3%, SE가 14.1%, S가 13.9%, N이 13.1%로 나타났다 - 남서방향이 가장 선호하는 방향으로 나타났으며, 남쪽방향과 서쪽방향이 그 다음으로 선호하는 지역이었으며, 북서방향이 가장 낮은 선호를 보였음 - 향은 남동, 남, 동향을 선호하는 것으로 조사되었으며 이는 겨울철 눈이 빨리 녹는 곳을 선호하기 때문임 	최태영 등 2002, 이배근 외 2011, 박희복 2011, 박희복2011, 조재운 외 2015, 조재운 외 2017

〈 표 계속 〉 산양 문헌수집 결과

특성	내용	참고문헌
식생 (수종, 초본, 수목밀도 등)	<ul style="list-style-type: none"> - 소규모 소나무숲과 하부의 초지를 선호하는 것으로 나타남 - 산양의 주요서식지가 활엽수림에 산재된 소규모 소나무림으로 나타남 - 서식지 수종은 침활혼효림에서 31%, 기타활엽수에서 24%, 소나무와 신갈나무에서 16%가 발견되었으며 침엽수림보다 활엽수림을 선호함 - 산림 유형은 활엽수림이 40.0%, 혼합림이 34.5%로 나타남 - 신갈나무 등의 활엽수림에 산재 되어있는 소규모 소나무림에 서식함 - 소나무 숲 아래 식생하는 사초 및 화분과를 먹이로 이용함 - 수목의 밀도의 경우 수관 점유 면적이 71% 이상으로 밀도가 높은 지역을 선호함 - 수목 연령별로는 주로 4,5,6영급에 서식함 	최태영 등 2002, 최태영 등 2004, 서창완 등 2008, 임상진 2014, 이민지 2017, 조재운 외 2015, 이민지 2017
수계 (수계와의 거리)	<ul style="list-style-type: none"> - 수계와 서식지와 거리는 0~50m가 35.4%, 50~100m가 28.5%, 100~150m가 17.1%로 나타남 - 수계와의 거리는 50m에서 34.0%, 100m에서 32.3%로 나타남 	조재운 2015, 조재운 2017
기후 (적설량)	<ul style="list-style-type: none"> - 폭설은 산양의 생존에 절대적인 영향을 미치는데, 산양은 눈 속에서 먹이를 섭취할 수 없으며, 적설량이 10cm 이하여야지만 주둥이로 눈을 파헤쳐 먹이를 먹을 수 있기 때문임 	Myslenkov et al. 2012
위협 요인 (도로와의 거리)	<ul style="list-style-type: none"> - 탐방로와 도로에서의 인간간섭에 의하여 서식지가 감소됨 - 설악산은 국도에 의해 공원이 단절되어 있으며, 연 중 300만 명 이상의 탐방객 역시 산양의 서식지 위축과 단절에 커다란 영향을 줌 - 탐방객의 이용강도가 높은 탐방로로부터 1km의 거리 이내에는 산양의 서식 흔적이 거의 존재하지 않으므로 일부 탐방로가 개체군간 교류의 장애물로서 작용함 - 산양은 이용객 탐방로로부터 1000m거리 이내에 서식 흔적의 분포가 매우 적었고, 중간 강도의 경우 400m, 낮은 강도의 경우 100m이상을 벗어난 거리에서 산양의 서식 흔적이 비교적 고르게 분포하는 것으로 나타남 - 1,000~5,000명이 이용하는 탐방로의 경우 탐방로로부터 400m이내에서는 서식흔적의 분포가 매우 낮게 나타남 	최태영 2002, 최태영 등 2005, 서창완 등 2008, 박희복 2011, 조재운 2015, 조재운 2017

나. 연구대상지 선정

(1) 과거 출현좌표 조사 결과

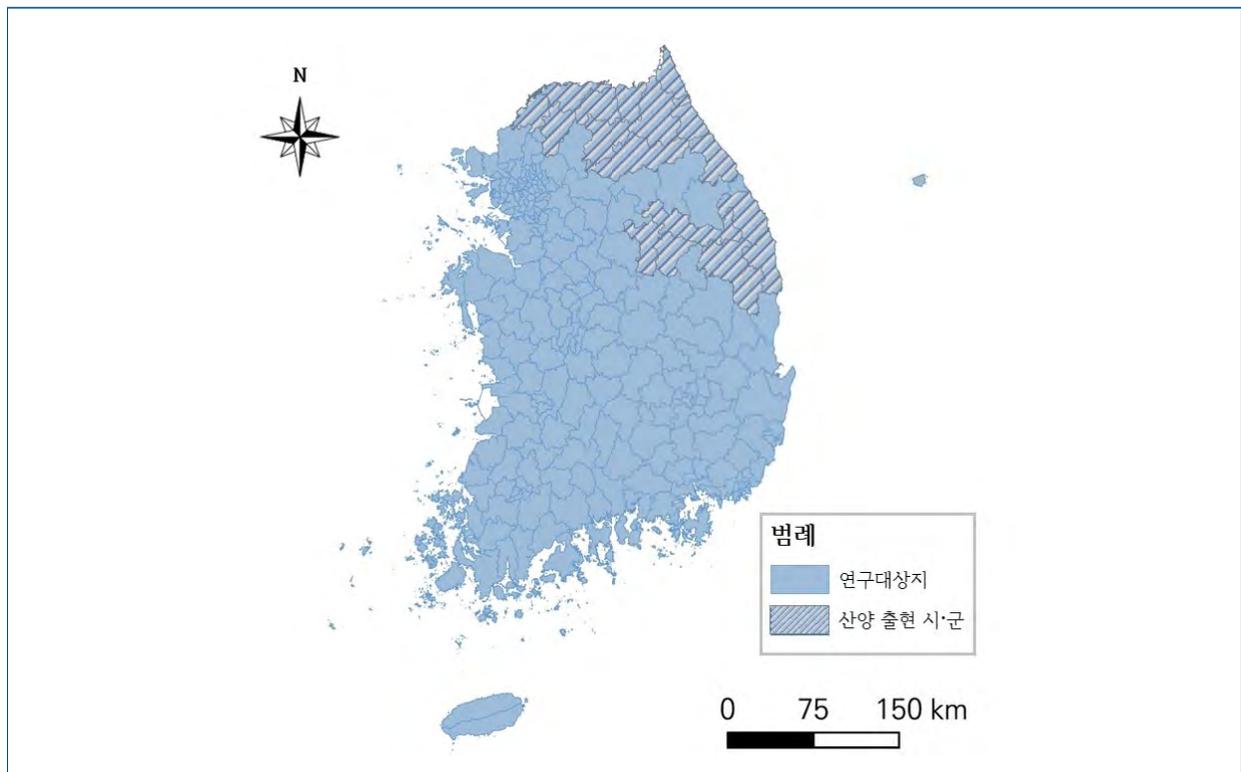
- 가) 멸종위기 야생생물 전국 분포조사, 전국자연환경 조사 결과를 바탕으로 산양의 흔적좌표 452개 중 공간 정보가 부족한 DMZ지역의 좌표를 제외한 340개 좌표를 확인하였으며, ASF 모니터링을 통해 발견된 24개의 좌표를 포함하여 총 364개의 좌표를 분석에 활용함(표 3)
- 나) 4개 도(강원도, 경기도, 경상북도, 충청북도), 20개 시군(강릉시, 고성군, 삼척시, 속초시, 양구군, 양양군, 영월군, 인제군, 철원군, 춘천시, 태백시, 홍천군, 화천군, 포천시, 봉화군, 연천군, 영양군, 울진군, 단양군, 제천시)에 분포하고 있음을 확인함(그림 1)

(2) 연구대상지 선정

- 가) 전문가 자문결과 울진이 산양의 최남단 분포지였으나 기존 서식지 수용력이 포화되고 있음
- 나) 2018년 서울 용마산에서 처음 목격된 이후 인왕산 등에서도 산양이 발견되어 언론에 보도된 바 있음
- 다) 이에 전국을 대상으로 산양의 핵심서식지를 분석하여 기존 서식지가 포화되어 도심으로 서식범위가 확산되고 있는 산양의 대체 서식지 및 신규 보호지역지정 후보지를 확인하고자 함

[표 3] 산양 과거 출현 좌표

시·도	시·군·구	출현좌표 수
강원도	강릉시	5
	고성군	19
	삼척시	31
	속초시	5
	양구군	22
	양양군	8
	영월군	4
	인제군	25
	철원군	1
	춘천시	1
	태백시	7
	홍천군	1
	화천군	119
경기도	포천시	2
	연천군	1
경상북도	봉화군	15
	영양군	5
	울진군	91
충청북도	단양군	1
	제천시	1



[그림 1] 산양 연구대상지

2 위협요인 분석

가. 문헌조사 결과

(1) 서식지 단절

- 가) 인간의 이용을 위해 만들어진 탐방로와 도로 등으로 인해 서식지가 단절됨
- 나) 이용강도가 높은 탐방로를 기준으로 일정한 거리 내에서는 서식 흔적이 매우 적게 나타남

(2) 폭설

- 가) 폭설은 먹이섭취를 저해하며, 적설량이 10cm 이하여야지만 주둥이로 눈을 파헤쳐 먹이를 먹을 수 있음(그림2)

나. 전문가 자문 결과

(1) 서식지 단절

- 가) 지방도, 고속도로 등은 로드킬 및 서식지 단절 위협이 크지만, 탐방로의 경우 위협요인의 강도가 미약한 것으로 추정됨
- 나) 로드킬 방지 울타리 등이 서식지 단절이 큰 위협요인으로 판단됨

(2) 폭설

- 가) 폭설은 산양의 위협요인이지만, 암벽등반이 수월하여 다른 종들에 비해 폭설에 살아남을 가능성이 높아 다른 종의 제한요인이기도 함



폭설에 갇힌 산양 (출처: 윤광배)

[그림 2] 산양 위협요인

3 서식지적합성지수

가. 주요서식변수 도출

(1) 서식변수 분석

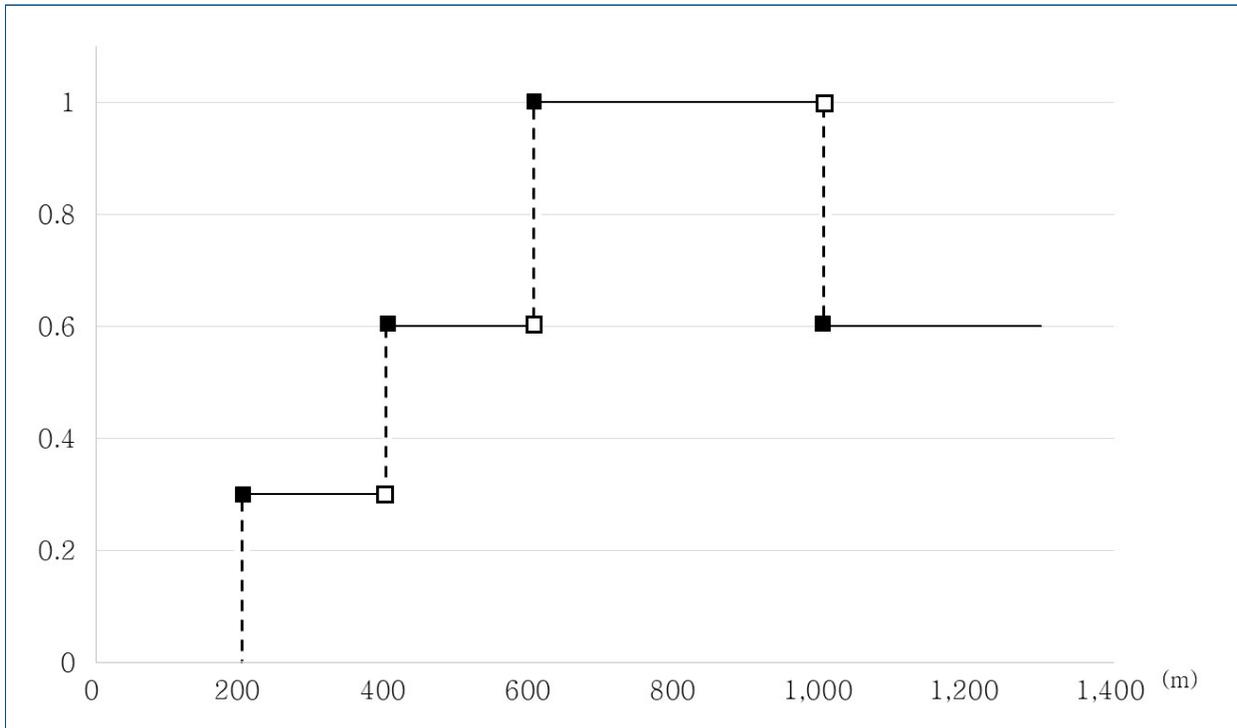
- 가) 문헌조사 및 전문가 자문을 통해 제시된 변수를 고려하여 서식환경 특성, 공간자료 구축 여부를 반영한 주요서식변수를 선정함(표 4)
- 나) 그 결과, 산양의 주요서식변수는 총 5가지(고도, 경사도, 향, 영급, 지형)로 나타났으며, 위협요인으로 판단되는 적설량은 별이 드는 지역에서 눈이 녹는 속도 및 일사량 등에 영향을 미치는 향으로 대체함

[표 4] 산양 주요서식변수

환경요인	변수	공간자료 구축여부	최종 선정	비고
고도	고도	○	○	-
지형	암벽	×	-	-
	경사도	○	○	-
	향	○	○	-
	지형(계곡, 능선 등)	○	○	-
식생	수종	○	-	-
	영급	○	○	-
	초본	×	-	-
수계	수계와의 거리	×	-	-
기후	적설량	×	-	향으로 대체
위협요인	도로(임도, 탐방로)와의 거리	○	-	-

나. 주요서식변수 별 적성지수

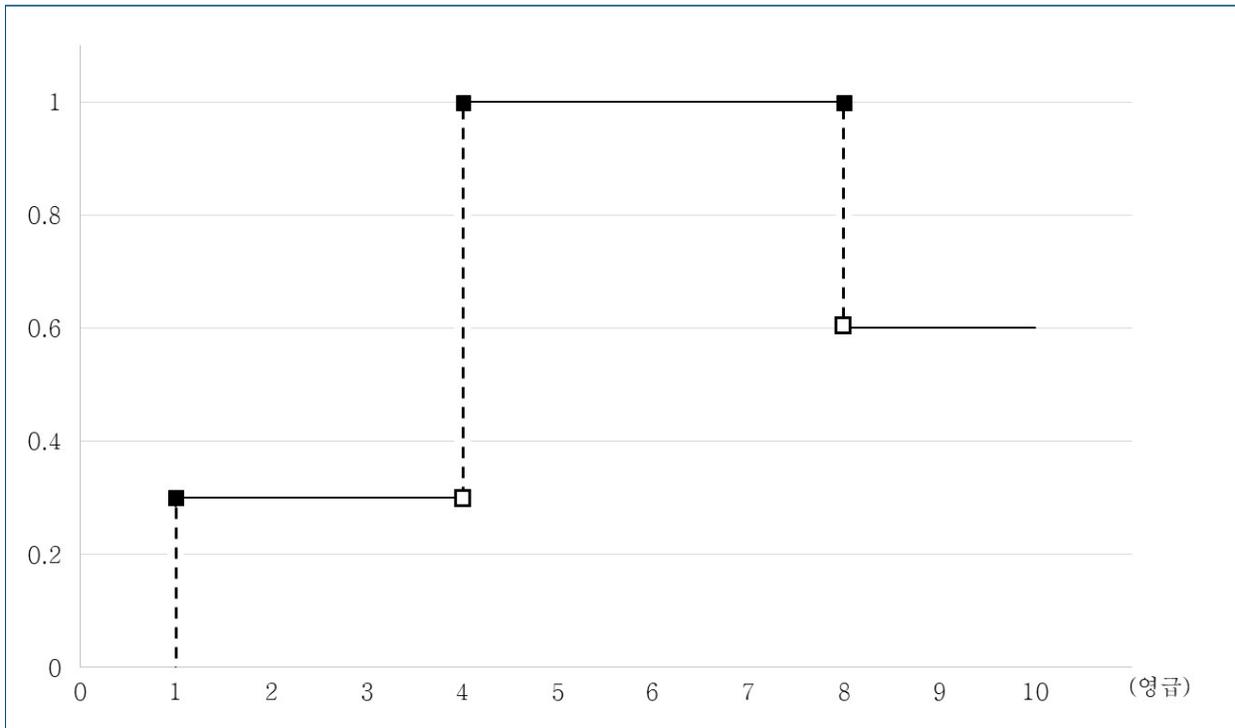
(1) 고도



[그림 3] 산양 고도 SI 모델

- 가) 문헌조사 결과 산양은 고도 600m~1,000m 사이에 주로 분포하며 1,000m 이상의 고지대에서는 밀도가 낮게 분포하는 것으로 나타났음
- 나) 그러나 서식 지역에 따라 선호하는 고도는 다르게 나타나며 낮은 지역에서도 분포가 확인되어 고도를 200m기준으로 나누어 점수를 차등 부여하였음
- 다) 고도는 문헌자료와 전문가 자문에서 동시에 주요서식변수로 확인되었으며, 분포좌표, 문헌자료 및 전문가 검토를 통해 적성지수를 제시함

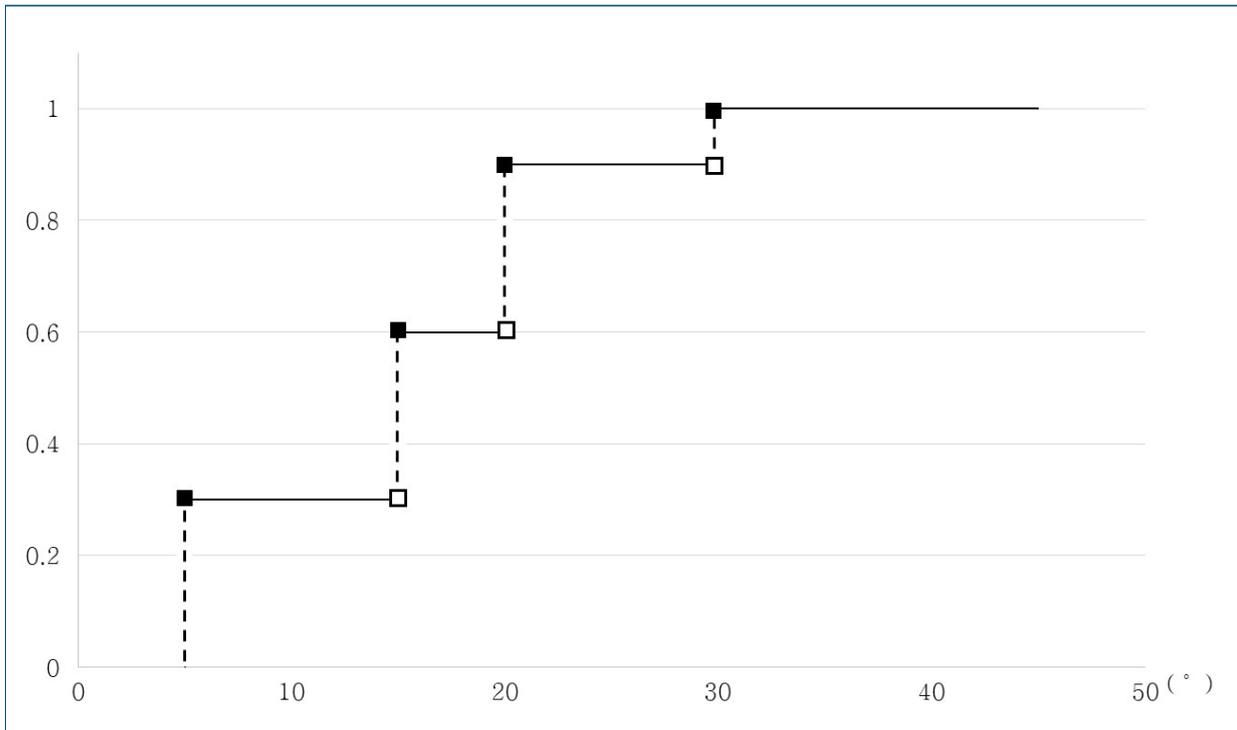
(2) 영급



[그림 4] 산양 영급 SI 모델

- 가) 문헌조사 및 전문가 자문 결과 산양은 오래된 숲을 선호하며 4영급 이상의 산림에서 주로 분포함
- 나) 9영급 이상의 지역은 오히려 산양의 분포가 낮게 나타나기도 함
- 다) 따라서 4영급에서 8영급 사이의 지역을 서식 적합지로 제시하였으며, 오래된 숲을 선호하는 산양의 특성을 반영하여 8영급 이상의 지역과 4영급 미만 지역에 차등을 두었음

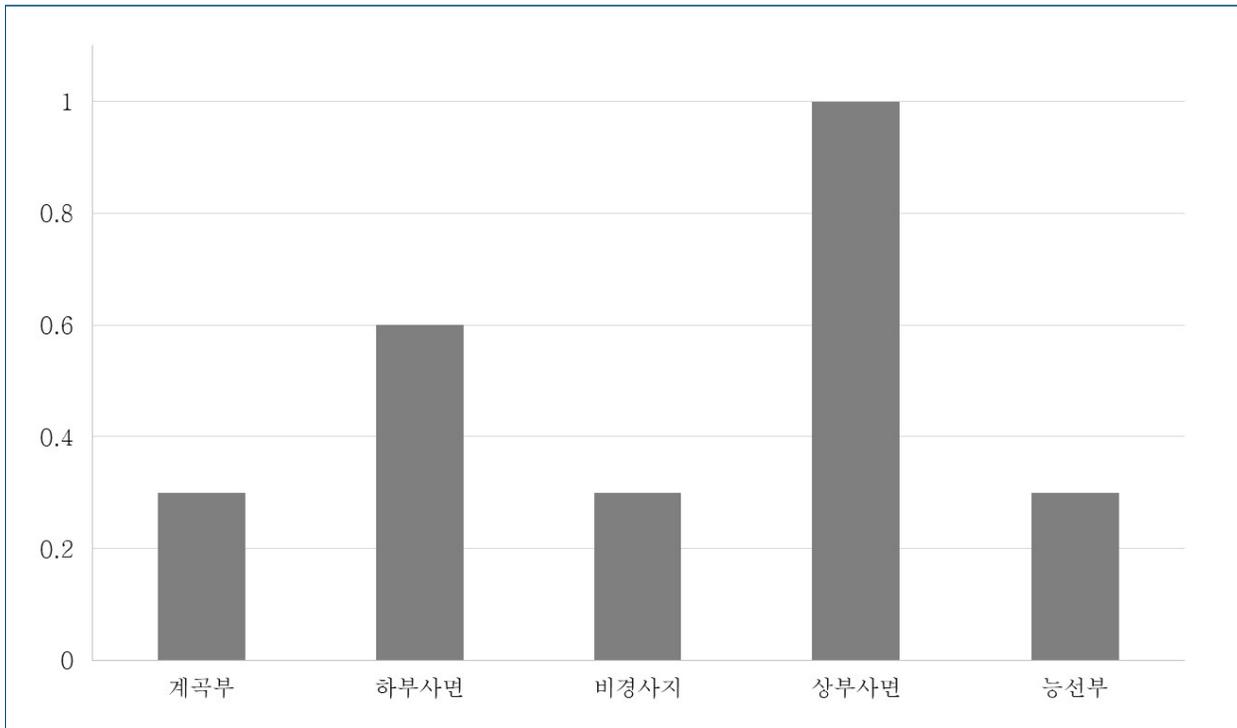
(3) 경사도



[그림 5] 산양 경사도 SI 모델

- 가) 문헌조사 및 전문가 자문 결과 산양은 경사지와 급경사지에서 가장 많이 출현하는 것으로 나타났음
- 나) 30°~45°의 경사도를 가장 선호하는 것으로 나타났으며 경사도 30°이하는 선호도가 낮은 것으로 나타남
- 다) 30°이상의 험준지와 절험지를 서식 적합지로 제시하였으며 30°미만 지역은 단계에 따라 차등으로 점수를 부여하였음

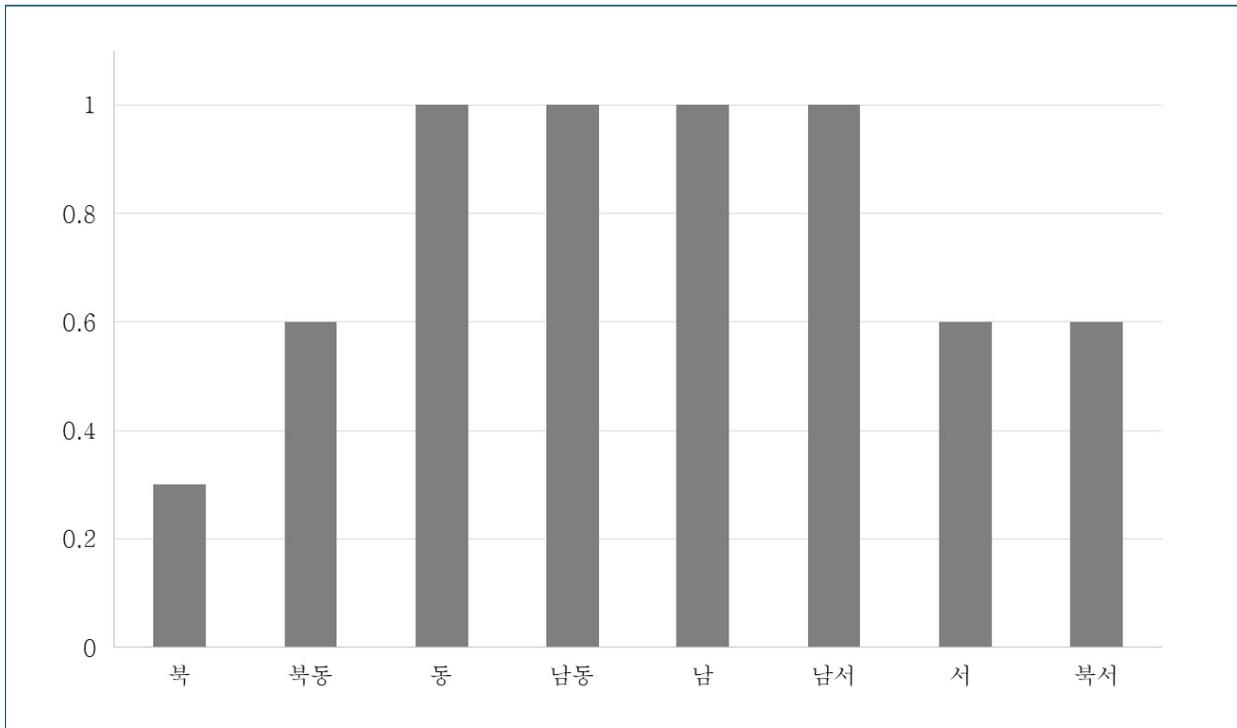
(4) 지형



[그림 6] 산양 지형 SI 모델

- 가) 문헌조사 및 전문가 자문 결과 산양은 산 정상부 보다는 사면부의 5~8부 지점을 선호하는 것으로 나타났음
- 나) 산양 발신기를 이용한 위치지점분포 연구에서도 정상부보다는 사면부에서 출현좌표가 많이 나타남
- 다) 따라서 능선부와 계곡부, 비 경사지보다는 사면부에 높은 점수를 주었으며 사면부 중에서도 상부 사면에 가장 높은 점수를 부여하였음

(5) 향



[그림 7] 산양 향 SI 모델

- 가) 문헌조사 및 자문 결과 산양은 경쟁종으로부터 우위를 점하기 위해 겨울철 적설량이 어느 정도 있는 지역 중 눈이 빨리 녹는 곳을 선호함
- 나) 문헌조사 및 전문가 자문 결과 눈이 빨리 녹는 곳을 공간정보로 구현하기 위한 지표로 향을 많이 사용하며 동, 남동, 남, 남서향을 선호하는 것으로 알려짐
- 다) 산양이 선호하는 향에 대해서는 명확한 이유가 있기 때문에 출현 좌표 기반의 기준 보다는 문헌 조사를 기준으로 평가하는 것이 더 정확하다는 전문가 자문 결과를 얻음

다. 가중치 산정 및 서식지적합성지수 개발

(1) 가중치 산정

가) 5가지 주요서식변수를 대상으로 내부 전문가 자문을 통해 각 변수 별 중요도*를 분석함 (표 5)

나) 이 결과, 산양의 서식에 경사도(SI3)가 가장 높은 기여도를 가지고 있는 것으로 확인 되었으며, 그 다음으로 향(SI5), 고도(SI1), 지형(SI4), 영급(SI2) 순으로 나타남

[표 5] 주요서식변수 별 중요도

변수	고도(SI1)	영급(SI2)	경사도(SI3)	지형(SI4)	향(SI5)
위원1	3	1	4	3	4
위원2	4	1	5	1	4
위원3	3	1	4	1	4
평균(가중치)	3.3	1.0	4.3	1.7	4.0

* 5점(매우 높음) → 1점(매우 낮음)

(2) 서식지적합성지수 개발

가) 제시된 중요도를 기반으로 가중치를 산정하였으며, 그 결과는 다음과 같음(식 1)

〈 식 1 〉 산양 서식지적합성지수

$$HSI = 0.23(SI1) + 0.07(SI2) + 0.30(SI3) + 0.12(SI4) + 0.28(SI5)$$

SI1= 고도
 SI2= 영급
 SI3= 경사도
 SI4= 지형
 SI5= 향

라. 서식지적합성 평가

(1) 행정구역별 적합도 분석

가) 개발된 서식지적합성지수를 활용하여 전국 249개 시군을 평가함(그림 8)

※ 공간정보의 한계로 인해 울릉군 제외

나) 이 결과, 서식지적합성지수가 1인 면적이 가장 넓은 지역은 정선군(35.51km²)으로 전체 면적의 2.91%가 1인것으로 확인됨(표 6)

다) 다음으로 인제군(35.33.km²), 평창군(34.31km²)이 산양 서식에 적합한 지역이 넓게 분포하는 것으로 확인됨

라) 강원도 지역이 대체로 산양의 서식에 적합한 지역으로 나타남

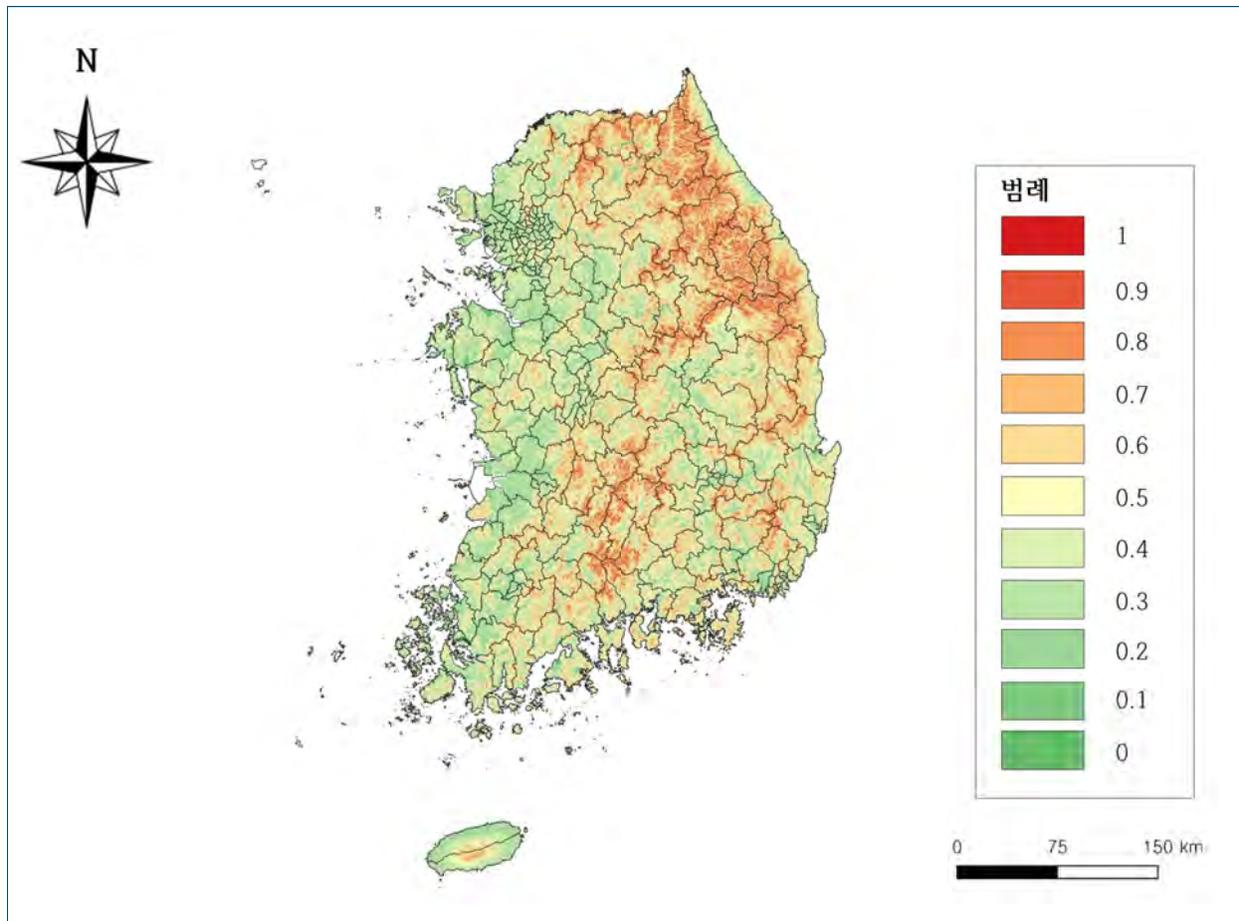
[표 6] 산양 서식지 적합성 평가

구분	행정구역 명	전체면적(km ²)	HSI 1 면적(km ²)	비율
1	정선군	1,219.90	35.51	2.91%
2	인제군	1,616.71	35.33	2.19%
3	평창군	1,464.29	34.31	2.34%
4	봉화군	1,202.20	23.77	1.98%
5	홍천군	1,817.90	21.74	1.20%
6	영월군	1,128.09	20.59	1.83%
7	삼척시	1,186.75	18.31	1.54%
8	화천군	907.65	11.94	1.32%
9	강릉시	1,039.44	11.59	1.11%
10	문경시	914.84	11.36	1.24%

※ HSI 1 면적 상위 10개 시군

[표 7] 산양 서식지 적합성 지수 별 면적

구분	면적(km ²)	비율
0	1,123.27	1.13%
0.1	2,118.64	2.12%
0.2	8,938.17	8.96%
0.3	16,502.11	16.54%
0.4	15,962.68	16.00%
0.5	16,380.74	16.42%
0.6	14,592.01	14.62%
0.7	12,366.82	12.39%
0.8	8,134.69	8.15%
0.9	3,205.04	3.21%
1	456.70	0.46%



[그림 8] HSI 결과 지도

4

종분포모형을 이용한 서식지 평가

가. 자료구성

(1) 연구대상지

- 가) 연구대상지는 서식지적합성지수 평가 결과와의 비교를 위해, 전국을 대상으로 함
- 나) 모델의 학습과 예측 정확도를 위해 제주도와 울릉도는 분석에서 제외함

(2) 출현 지점

- 가) 산양 출현지점 전체 364개 중 자료의 밀집 등으로 인한 편향을 방지하기 위해 spatial scaling을 진행하였음
- 나) 산양의 활동 영역(평균 1.38km²)을 고려하여(조재운 등 2015) 격자 크기는 1.5×1.5km로 설정하여 한 격자 내에 좌표는 하나만 남도록 조정하였음
- 다) 위 과정을 통해 선정된 산양 출현 지점은 172개로 이중 70%(121개)는 모형의 모의 자료로, 나머지 30%(51개)는 검증자료로 사용하였음

(3) 비출현 지점

- 가) 종분포모형 제작을 위하여 분석 대상지인 한반도를 대상으로 무작위 지점을 생성하여 산양의 비출현 지점으로 간주함
- 나) 무작위 지점이 특정지역에 집중되는 것을 방지하기 위해, 출현지점과 같이 spatial scaling(격자크기 1.5x1.5km)를 거쳐 최종적인 산양 비출현 지점을 구성하였음
- 다) 위 과정을 통해 MaxEnt 모형 제작에 사용될 1만 개 지점과 모형 검증을 위한 51개 지점을 비출현지점으로 구성하였음

(4) 환경변수

- 가) 서식지적합성지수의 적정성 검토 및 결과와 비교하기 위하여 서식지적합성지수 개발에 사용된 5가지 주요서식변수가 모형제작에 이용됨
- 나) 주요서식변수 중 고도와 경사는 연속형 변수로, 향 및 영급코드, 지형은 범주형 변수로 간주하여 사용하였음(표 8)

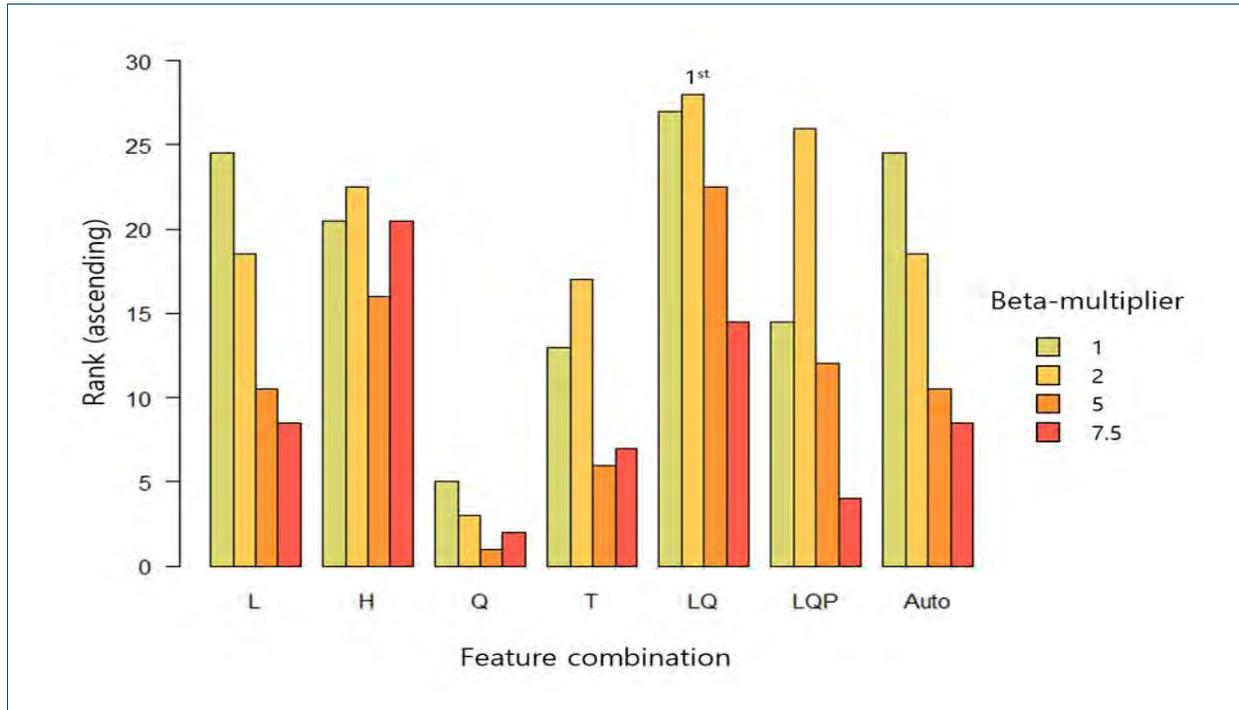
[표 8] 산양 주요서식변수

구분	주요서식변수				
	고도	영급	경사도	지형	향
자료유형	연속형	범주형	연속형	범주형	범주형

나. 모형제작

(1) MaxEnt 모형제작

- 가) 기 제작한 산양의 출현·비출현자료를 사용하여 종분포모형을 제작 및 훈련하였으며 검증자료를 이용해 종분포모형의 성능을 평가하였음
- 나) 종분포모형의 평가 지표로는 AUROC* 값과 정확도를 사용함
 - * AUROC(area under the receiver operating characteristic curve): 진단 메타에 사용되는 모형 정확도 값
- 라) 정확도는 모형의 민감도와 특이도 값이 가장 높게 나오는 역치값을 기준으로 계산함
- 마) MaxEnt 모형의 모수를 조절하는 최적화 과정(optimization)을 통해, 최적화된 산양의 종분포모형을 제작하였으며, 모수 조절에 따른 모형의 성능을 AUROC값의 순위로 나타냄 (그림 9)



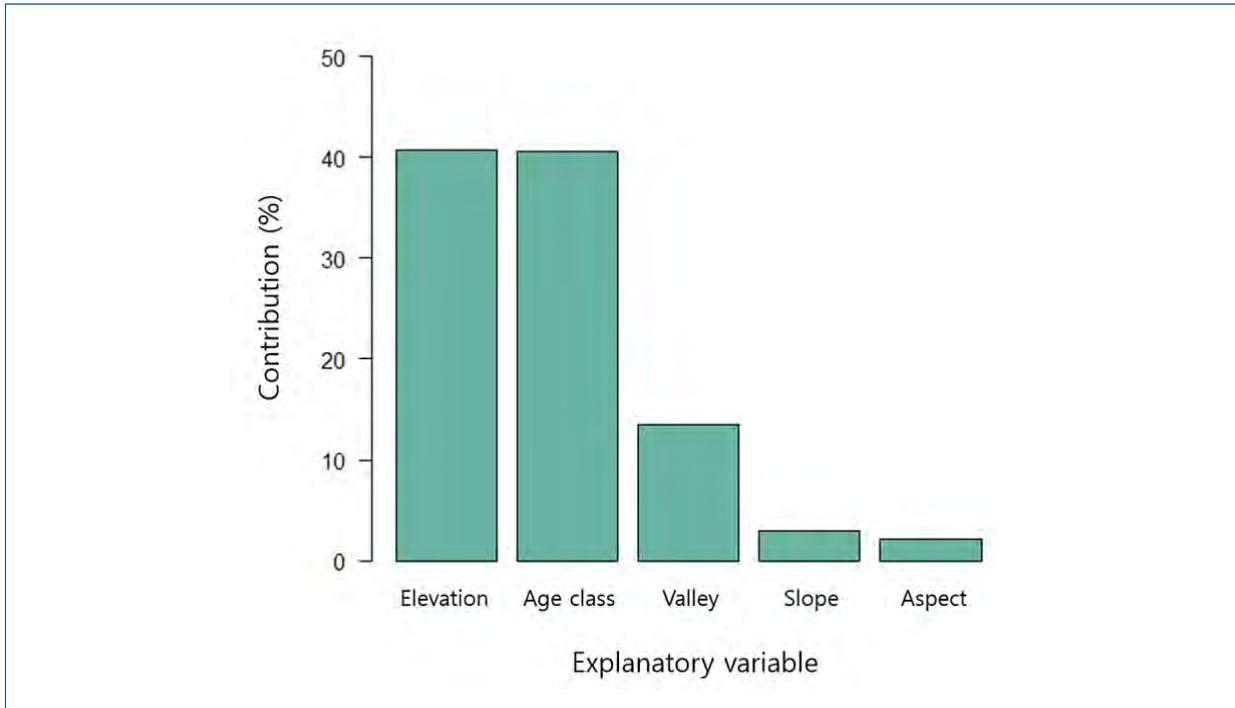
[그림 9] 모수 선정 결과(AUROC 값에 대한 모수별 순위 선정)

(2) 종분포모형 평가

- 가) 모형 검증자료를 통해 종분포모형의 성능을 평가한 결과, 종분포모형의 AUROC값은 0.876, 정확도0.833로 나타나 높은 신뢰도를 보임(훈련 AUROC값은 0.893)
- 나) 종분포모형에 대한 민감도 분석 결과, 나도승마의 서식지 적합도에는 고도와 영급이 가장 큰 영향을 주었고 그 다음으로 지형이 영향을 미치는 것으로 나타남(표 9)
- 다) 경사도와 향은 다른 변수와 비교하여 중요도가 다소 낮게 나타남(그림 10)

[표 9] 종분포모형을 이용한 환경변수 별 민감도 분석 결과

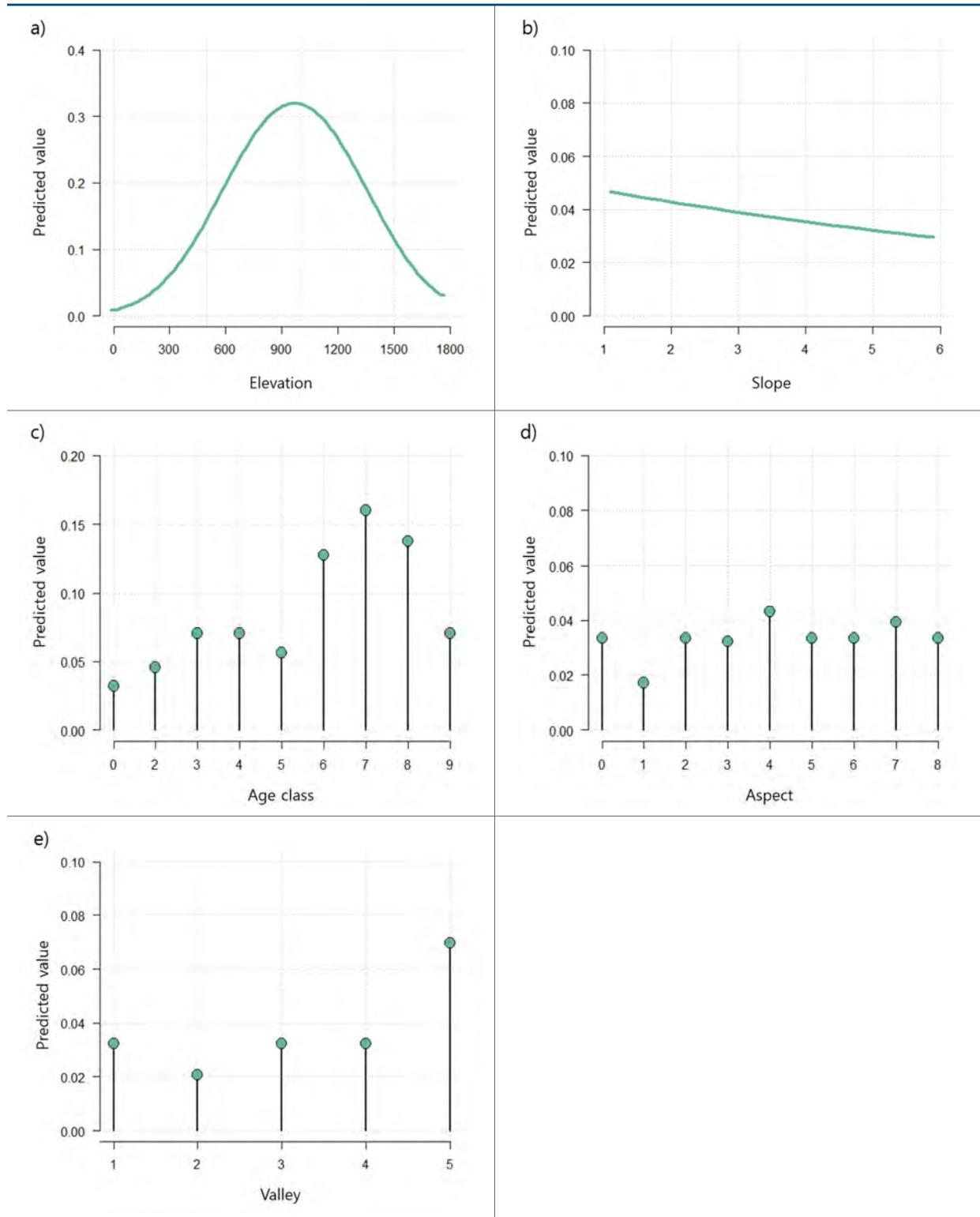
구분	변수 중요도(%)
고도(elevatio)	40.75
영급(age class)	40.63
지형(valley)	13.54
경사도(slope)	2.92
향(aspect)	2.17



[그림 10] 종분포모형을 이용한 환경변수 별 민감도 분석 결과.

(3) 변수 별 부분의존도

- 가) 각 주요서식변수가 종분포모형을 통해 계산된 서식지 적합도에 미치는 영향을 부분의존도 (Partial dependence plot)을 통해 확인함(그림 11)
- 나) 산양의 서식지 적합도는 고도 0-1,000m 사이에서 증가하였으며, 그 이상의 고도에서는 감소하였음
- 다) 절협지(1)에서 평탄지(6)로 갈수록 서식지 적합도가 감소하였으나, 서식지 적합도에 미치는 영향은 매우 적었음
- 라) 5영급(6)-7영급(8) 수목이 존재하는 지역에서 서식지 적합도가 높은 것으로 나타났으며 나머지 영급지역에서는 서식지 적합도의 차이가 크게 나지 않았음
- 마) 북향에서 서식지 적합도가 낮은 것으로 나타났으며 남동쪽은 다소 높은 것으로 나타났으나 나머지 향에 따른 큰 차이는 보이지 않았음
- 바) 지형에 따른 서식지 적합도 평가에서는 산 능선 부분에서 서식지 적합도가 높게 나타났음



[그림 11] 부분 의존도(a: 고도, b: 경사, c: 영급코드, d: 방향, e: 지형)

다. 서식지적합도 분석

(1) 행정구역 별 적합도 분석

- 가) 제작된 산양의 종분포모형을 이용하여 전국 247개 시군의 서식지 적합도를 예측함(그림 12)
- 나) 서식지 적합도가 1로 평가된 지역의 면적이 가장 넓은 지역은 인제군(138.01km²)으로 전체면적의 8.54%가 서식에 적합한 지역으로 확인되었음(표 10)
- 다) 다음으로 118.35.km²인 평창군, 90.64km²인 정선군이 산양 서식에 적합한 지역이 넓게 분포하는 것으로 확인됨
- 라) 강원도 지역이 대체로 산양의 서식에 적합한 지역으로 나타남

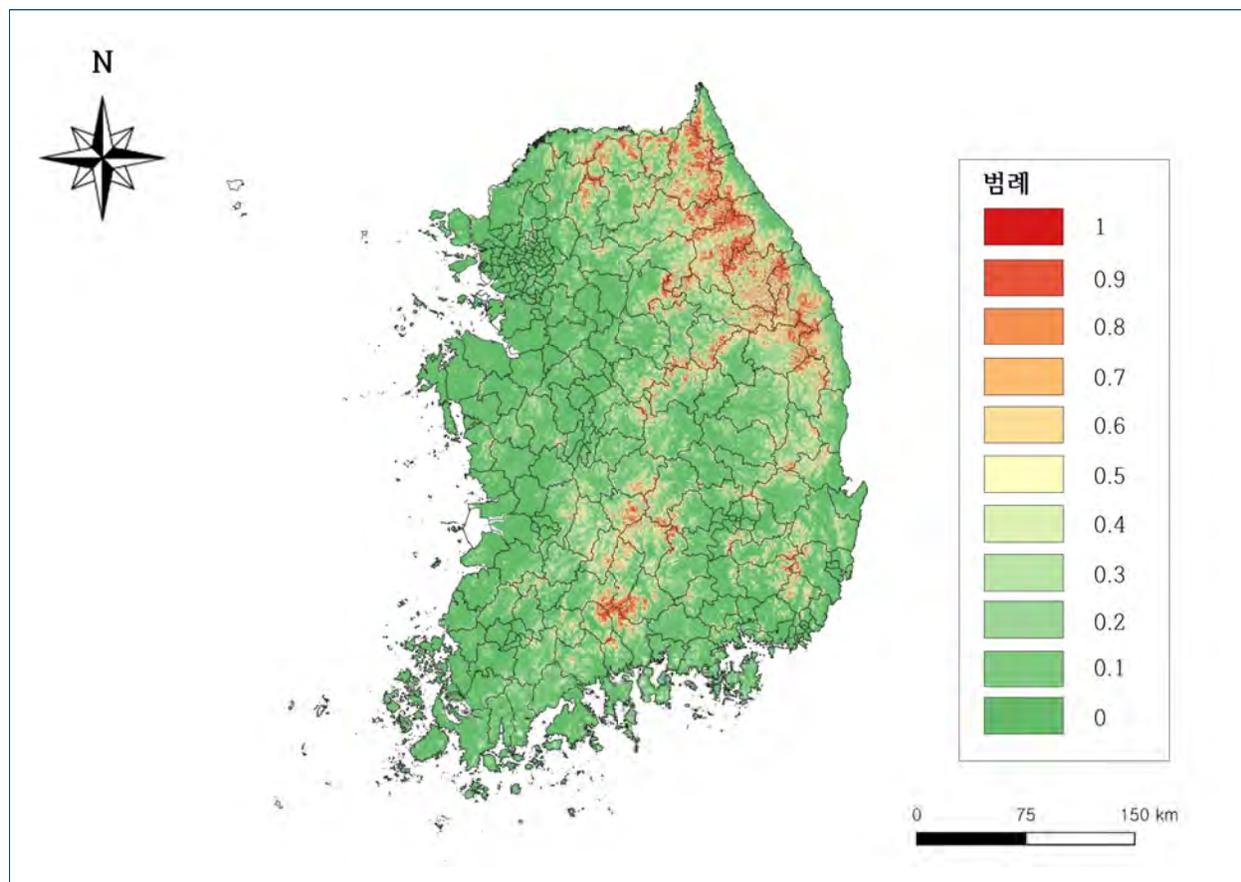
[표 10] 행정지역 별 서식지 적합지역 면적

구분	행정구역 명	전체면적(km ²)	서식지 적합도 1(km ²)	비율
1	인제군	1616.71	138.01	8.54%
2	평창군	1464.29	118.35	8.08%
3	정선군	1219.90	90.64	7.43%
4	홍천군	1817.90	78.20	4.30%
5	삼척시	1186.75	68.68	5.79%
6	봉화군	1202.20	50.14	4.17%
7	화천군	907.65	37.17	4.10%
8	영월군	1128.09	36.89	3.27%
9	울진군	992.55	30.27	3.05%
10	태백시	303.57	25.84	8.51%

※ MaxEnt 1 면적 상위 10개 시군

[표 11] 산양 MaxEnt 점수 별 면적

구분	면적(km ²)	비율
0	44,076.33	46.11%
0.1	19,787.53	20.70%
0.2	8,680.50	9.08%
0.3	5,425.78	5.68%
0.4	3,962.79	4.15%
0.5	3,265.02	3.42%
0.6	2,756.21	2.88%
0.7	2,097.62	2.19%
0.8	2,242.40	2.35%
0.9	2,127.70	2.23%
1	1,158.09	1.21%



[그림 12] MaxEnt 결과 지도

5 핵심서식지 발굴

가. 핵심서식지 분석

(1) 핵심서식지 선정

- 가) 산양은 HSI로 도출된 적합도가 0.9이상인 지역과 MaxEnt로 도출된 적합도가 0.9이상인 지역을 중첩하여, 중복되는 지역을 핵심서식지로 선정함(그림 13)
- 나) 전체 연구대상지중 산양의 핵심서식지가 가장 넓은 지역은 인제군(117.33km²)으로 전체 면적의 7.26%가 핵심서식지로 확인됨(표 12)
- 다) 다음으로는 평창군(98.87km²), 정선군(87.59km²), 홍천군(66.10km²) 순으로 넓은 핵심서식지가 분포해있음을 확인하였음
- 라) 설악산에서 태백산, 소백산으로 이어지는 백두대간을 따라 산양의 핵심서식지가 분포하여 강원도의 핵심서식지 비율이 높게 나타났음

[표 12] 산양 핵심서식지 분포

구분	시·군	HSI 결과 (km ²)	Maxent 결과 (km ²)	핵심서식지 면적 (km ²)	핵심서식지 비율
1	인제군	277.78	372.55	117.33	7.26%
2	평창군	260.35	333.06	98.87	6.75%
3	정선군	253.64	240.52	87.59	7.18%
4	홍천군	172.51	213.09	66.10	3.64%
5	삼척시	140.63	170.71	57.61	4.85%
6	봉화군	176.17	126.19	48.28	4.02%
7	영월군	154.79	99.00	36.60	3.24%
8	화천군	96.95	98.70	33.87	3.73%
9	강릉시	86.51	71.86	24.07	2.32%
10	태백시	63.64	70.44	23.99	7.90%
11	양양군	59.45	63.04	23.75	3.77%
12	울진군	61.68	75.97	23.38	2.36%
13	산청군	61.50	59.13	20.24	2.56%
14	가평군	63.59	50.37	19.28	2.29%
15	양구군	58.76	63.39	18.82	2.90%

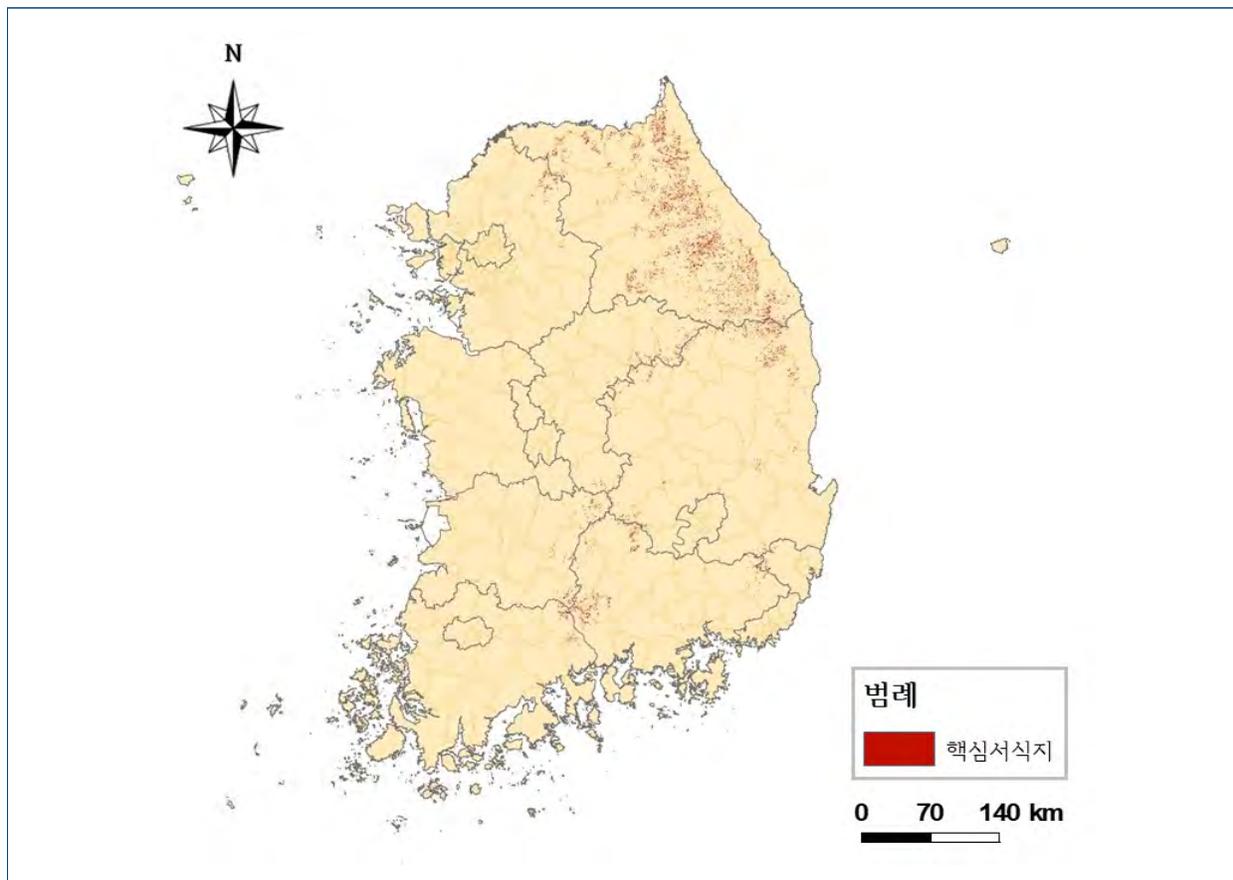
〈 표 계속 〉 산양 핵심서식지 분포

구분	시·군	HSI 결과 (km ²)	Maxent 결과 (km ²)	핵심서식지 면적 (km ²)	핵심서식지 비율
16	문경시	80.38	41.26	18.38	2.01%
17	황성군	60.61	58.44	17.41	1.75%
18	하동군	50.46	51.84	17.37	2.58%
19	단양군	70.64	56.26	17.32	2.22%
20	고성군	39.02	48.46	17.22	2.94%

※ 핵심서식지 면적 상위 20개 시군

[표 13] 산양 핵심서식지 분포

구분	대상지	HSI 0.9-1	Maxent 0.9-1	핵심서식지
면적(km ²)	98,076.38	3,658.529	3,285.679	1,046.58
비율	-	3.73%	3.35%	1.07%



[그림 13] 산양 핵심서식지 지도

III. 꼬마잠자리

1. 자료 수집 및 연구대상지 선정
2. 서식지특성 분석
3. 서식지적합성지수
4. 서식지 평가
5. 핵심서식지 발굴

1

자료 수집 및 연구대상지 선정

가. 자료 수집

(1) 꼬마잠자리 분류, 형태 및 생태학적 특성(표 1)

[표 1] 꼬마잠자리 종 정보 및 특성

꼬마잠자리	
학명	<i>Nannophya pygmaea</i>
영문명	Scarlet dwarf
분류학적 위치	잠자리목(Odonata), 잠자리과(Libellulidae)
보호종 지정 현황	환경부 멸종위기야생생물 II급 IUCN Redlist LC(관심 필요)
분포지역	국내 제주도를 제외하고 전국적으로 분포함 서식 가능한 환경이 매우 드뭄 세계적으로 일본 남부, 중국 중·남부, 타이완, 동남아 등에 분포
개체수 및 개체군 추세	정밀조사 필요
형태 및 생태학적 특징	
<ul style="list-style-type: none"> - 세계에서 가장 작은 잠자리로 성충의 몸길이가 13mm에 불과 - 수컷의 몸은 온통 새빨갳고 앞·뒷날개 기부(몸통과 날개의 연결부위)도 붉은색 - 암컷은 전체적으로 짙은 갈색으로 제2~6배마디는 옅은 노란색의 띠무늬와 짙은 갈색의 가로줄무늬가 있음 - 약 10개월의 유충시기 이후 5~8월에 성충으로 출현 - 성충은 서식지 내 반경 1~2m 안에서 낮게 날아다니며 경계활동 함 - 십여 초 짧은 짹짹 후 암컷 혼자서 배 끝으로 수면을 치듯이 물 속에 알을 낳음 - 산지나 구릉의 편평한 지대에 질퍽거리는 작은 규모의 습지를 매우 좋아함 - 여뀌나 꿀풀 균락이 있는 곳을 선호 	

(2) 기초생태자료 수집

가) 꼬마잠자리의 서식지 이용 특성에 관한 문헌 총 11편을 수집(표 2)하였으며, 문헌분석 및 전문가 자문으로 총 13개 항목의 서식변수(표 3)를 도출함

[표 2] 꼬마잠자리 문헌수집 결과

변수	요약	참고문헌
수온	<ul style="list-style-type: none"> - 부화시기 수온 14.3℃ 이상 - 발육 최적온도는 30~35℃로 일반적인 잠자리과 종들보다 높음 	김동건 등 2006 김동건 등 2009
기온	<ul style="list-style-type: none"> - 기온은 16~27℃로 다소 넓은 범위 	조규태 등 2012
서식지 유형	<ul style="list-style-type: none"> - 원 서식처는 산간습지지만 현재 많은 경우 휴경논(목논)에서 발견 - 산간습지 파괴 및 휴경논의 수심 등 환경이 꼬마잠자리 서식에 적합한 대체 서식지로 이용되기 때문으로 판단 - 농경지에 유입된 물이 고여 자연적으로 형성된 휴경작지 - 상관이 수목에 가려지지 않은 그늘이 없는 개방된 서식지 - 자연서식처는 3~5년간 휴경상태인 목논으로 부영양화의 초기인 빈영양 상태에서 나타나는 식생 유형 	환경부 2009, 김동연 2011, 이은희 등 2008, 윤지현 2008, 박민영 2008
식생	<ul style="list-style-type: none"> - 골풀군락이 47.3%로 가장 넓은 면적 - 수생식물의 높이와 밀도가 높은 곳에서는 산란이 요이치 않음 - 골풀에서 참억새로 토양이 육화됨에 따라 서식지가 제한됨 - 골풀군락, 고마리군락, 골풀-네모골 군락에서 활동 - 습지 바깥쪽에 버드나무군락이 높은 비율로 나타남 	환경부 2009, 이은희 등 2008, 조규태 등 2012
수심	<ul style="list-style-type: none"> - 수심 2~10cm 유지되며 직사광선이 차단되지 않은 개방된 습지에 서식 - 수심이 깊을 경우 유충시기에 상위포식자에게 포식 위험 - 수심 약 20cm정도 유지하는 지역에서도 서식 가능 	김동연 2011, 환경부 2016
개방수면	<ul style="list-style-type: none"> - 타수산란 산란특성을 지니기에 반드시 개방수면 필요 - 개방수역 공주: 1.7%, 광주: 4.8%, 문경: 6% 	김동연 2011, 조규태 등 2012, Jung 2007
수질	<ul style="list-style-type: none"> - pH, EC, T-N, T-P, EC값은 서식에 직접적인 영향을 미치지 않음 - DO: 출현지점 평균 6.6mg/l - 탁도: 1.3 NTU, 총 용존 고형물질(TDS): 18.75mg/l, pH: 6.14 - 전기전도도: 전체평균: 38.69us/cm(전체만 제시됨) - 양이온 농도: Ca 1.4, Na 3.8, Mg 0.4, K 0.5mg/l - 수질이 꼬마잠자리의 서식에 직접적인 영향을 미치지 않은 것으로 판단됨 	환경부 2009, 김명현 등 2010
토양	<ul style="list-style-type: none"> - 총수분함량: 35.28%, 수분보유력: 3.76%, 유기물함량: 4.87% - Sandy loam(사양토) 70%, loam(양토) 25%, loam sandy(양질사토) 5% - pH: 5.03, 전기전도도: 28.36uS/cm - 가용성 음이온: PO4-P 154.93mg/kg, NO3-N 5.06mg/kg, NH4-N 11.27mg/kg - 양이온농도: NA+ 0.067, MG+ 0.0175, K+ 0.045, Ca++ 1.654cmol/kg - T-C, T-H, T-N은 각각 1.74, 0.53, 0.12% 	환경부 2009, 김명현 등 2010

[표 3] 꼬마잠자리 서식변수

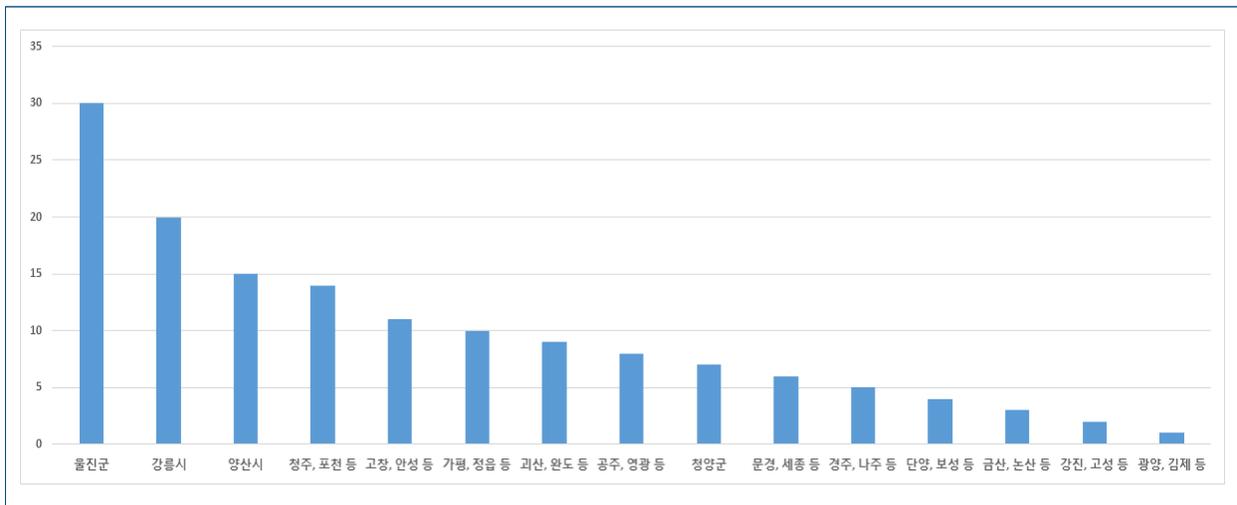
변수	요약
서식지 유형	산지습지 및 묵논에 서식
식생지수	천이초기단계의 상관이 개방된 지역에 서식
침수지역 식생	관목단계의 버드나무 및 물오리나무가 유입되지 않은 천이초기단계
	골풀, 고마리, 골풀-네모골 군락 등
침수지역 면적	수생식물의 밀도가 높은 곳에서는 산란이 용이하지 않음
개방수면	타수산란특성을 지니기에 반드시 개방수면과 식생면적이 넓은 서식환경이 유지되어야 함
침수지역 식피율	넓은 면적의 수생식물이 낮은 밀도로 분포하며 개방된 수면이 필요함
침수지역 식생 높이	수생식물의 높이가 높은 곳에서는 산란이 용이하지 않음
수심	2.5~9.5cm로 일반적인 잠자리 서식처에 비교해 낮은 수심이 필요함
6~7월 평균온도	6~7월 산란하며 이 시기 기후조건에 따라 집단 수 결정됨
연중담수기간	발육임계온도는 약 14.3도로 4월부터 10월까지 성장이 가능한 것으로 나타남. 그러나 최근 겨울부터 봄까지 강수량이 적어 습지가 말라 미처 성충의 출현시기가 늦어지는 경향이 있음.
포식자 유무	어류, 수서노린재류, 기타 포식성 수서곤충(왕잠자리등)의 서식 유무는 종간경쟁에서 꼬마잠자리 개체군의 크기를 결정하는 중요 인자로 작용함
해발고도	해발고도는 온도, 강수 등에 많은 영향을 끼치므로 서식지 연구 시 고려가 필요함
수온	산란 시기의 온도도 중요하지만, 산란 이후 개체군의 크기를 좌우하는 것은 알(약충)의 발육과 연관 있으므로 핵심서식지 개발 단계에서 최적의 조건을 탐색하여 생태정보를 축적하는 것도 필요함

나. 연구대상지 선정

(1) 산지습지 조사 결과

가) 「전국내륙습지 모니터링」로 확인된 습지(2,499개) 중 산지습지(목논)는 총 551개로 확인됨(그림 1)

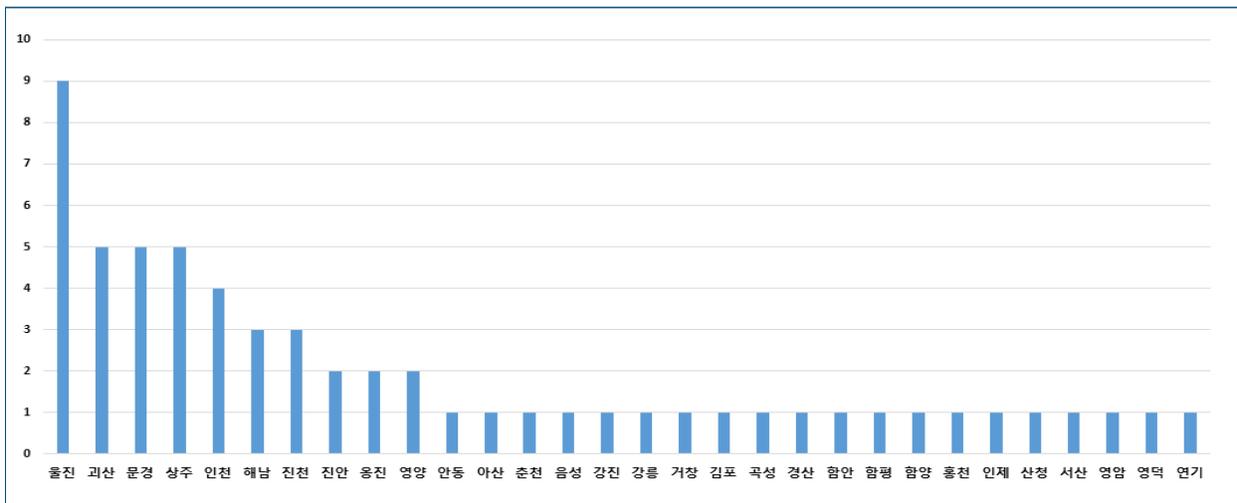
나) 이 결과, 산지습지는 울진군(30개)에 가장 많이 분포하고 있음



[그림 1] 시·군 별 산지습지 분포

(2) 분포조사 결과

가) 「멸종위기야생생물 전국 분포조사」결과 꼬마잠자리의 서식좌표는 총 62개로 울진군에 가장 많은 서식좌표(9개)가 확인됨(그림 2)

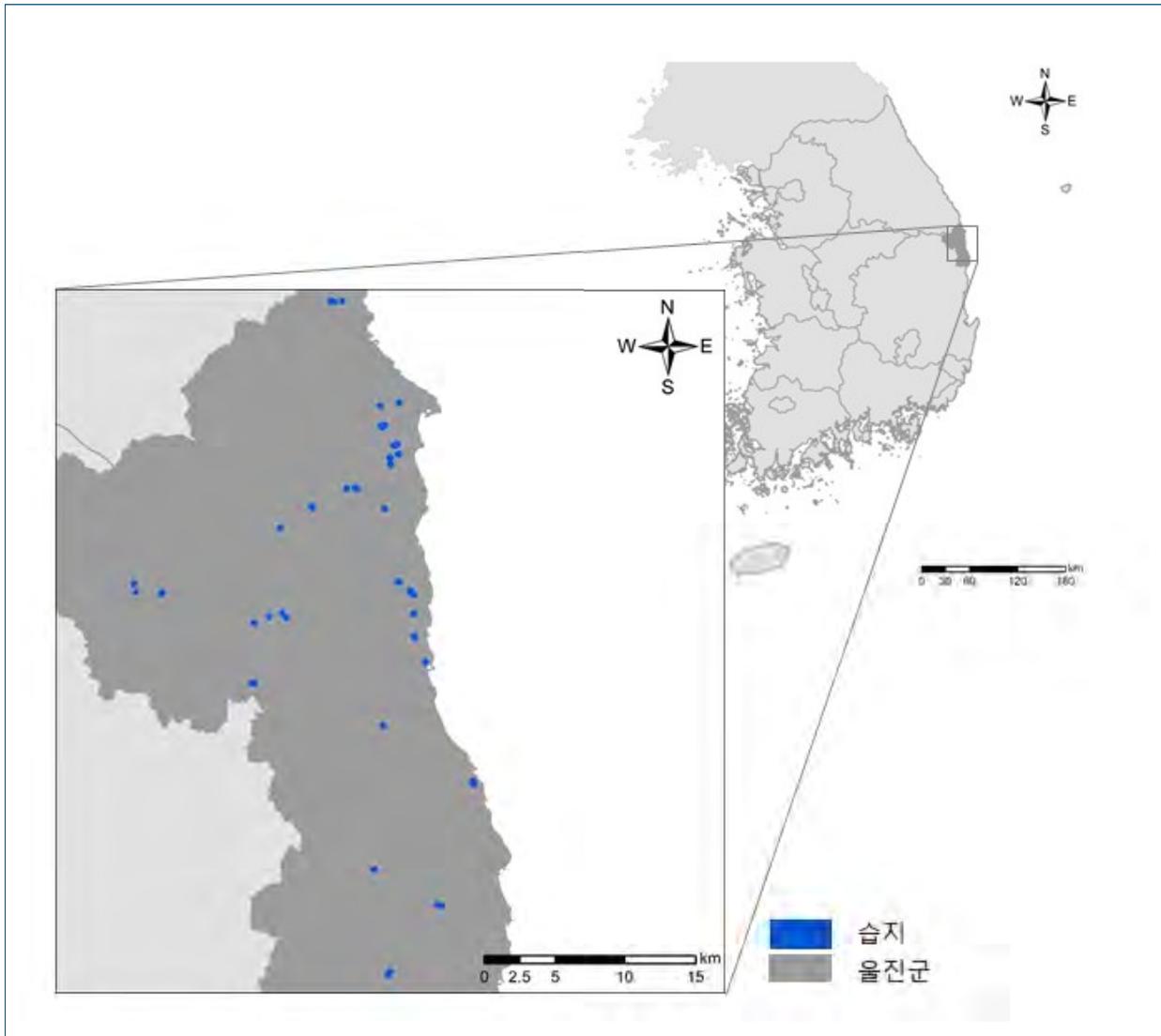


[그림 2] 시·군 꼬마잠자리 서식좌표

(3) 연구대상지 선정

가) 울진군에 위치한 총 46개의 습지(울진군 산지습지 30개 지점, 꼬마잠자리 과거 서식지 5개* 지점, 현장조사 중 확인된 초기단계의 묵논 11지점)를 연구대상지로 선정함(그림 3)

* 꼬마잠자리 서식좌표 중 개체수 0으로 확인된 4지점 제외



[그림 3] 꼬마잠자리 연구대상지

2

서식지특성 분석

가. 잠재서식지 특성

(1) 공간자료 분석

- 가) 공간자료를 통해 수집된 잠재서식지 환경 특성을 표 4에 제시함
- 나) 이 결과, 잠재서식지의 2020년 연평균 기온 $11.6 \pm 1.7^\circ\text{C}$, 6~7월 평균기온 $19.8 \pm 1.2^\circ\text{C}$, 온량지수 89.4 ± 13.3 로 나타남
- 다) 연강수량은 $1355.5 \pm 24.5\text{mm}$ 로 나타났으며, 가장 건조한 달의 강수량은 $39.3 \pm 2.7\text{mm}$ 로 나타남
- 라) 식생지수는 0.7 ± 0.1 이며, 해발고도는 $163.7 \pm 170.2\text{m}$ 임
- 마) 논적성등급은 5등급이 37%로 가장 많았으며, 2등급이 19.6%로 가장 적었고, 1등급은 확인되지 않았음

(2) 현장조사 자료 분석

- 가) 현장조사를 통해 수집된 잠재서식지 환경 특성을 표 5에 제시함
- 나) 총 46개 습지 중 30개(약 65%) 습지에서 개방수면이 확인됨
- 다) 개방수면이 확인되지 않은 습지는 수로변경 및 묵논천이로 인한 토양육화(7지점)와 개발·재경작(9지점)으로 확인됨
- 라) 침수지역 내 선구식물(버드나무sp, 오리나무sp)이 확인된 습지는 16개로 나타남
- 마) 산포리1습지, 왕피리습지-1, 화성리1습지는 묵논천이 후기 단계로 수면 상부를 수고 7m 이상의 버드나무가 덮고 있었음
- 바) 나곡리1습지는 묵논천이 진행중으로 수고 약 3m의 버드나무가 침수구역 곳곳에 산포하고 있어서 추후 조사시 꼬마잠자리가 확인된다면 버드나무 제거 등 관리가 필요할 것으로 사료됨

[표 4] 꼬마잠자리 잠재서식지 환경 특성(공간자료 기반)

구분	습지명	평균기온 (°C)	6~7월 평균기온 (°C)	온량 지수	연강수량 (mm)	가장 건조한 달의 강수량 (mm)	식생지수	해발 고도 (m)	논적성 등급
1	읍남리습지	12.8	20.5	98.34	1343.81	41	0.79	37	3급지
2	천축산1습지	8.9	17.6	65.74	1392.94	37	0.77	469	5급지
3	천축산2습지	8.5	17.2	62.54	1398.44	37	0.78	552	5급지
4	천축산3습지	8.1	16.9	60.18	1401.91	37	0.76	534	5급지
5	천축산4습지	8.8	17.4	64.45	1394.34	37	0.72	488	5급지
6	오산리습지-1	12.3	20.3	95.05	1349.47	40	0.72	32	3급지
7	오산리습지-2	12.3	20.3	95.05	1349.47	40	0.70	29	3급지
8	오산습지(울진)	12.5	20.4	96.62	1347.22	40	0.64	42	5급지
9	진북리2습지	12.6	20.4	96.97	1346.48	40	0.77	49	4급지
10	고성리2습지	12.6	20.4	97.49	1346.09	41	0.77	86	2급지
11	대흥리습지	11.0	19.2	83.43	1369.29	38	0.81	314	3급지
12	신림리1습지	11.0	19.1	83.02	1367.54	39	0.83	251	4급지
13	쌍전리1습지	7.0	16.6	55.14	1418.86	36	0.82	619	5급지
14	쌍전리3습지	7.1	16.7	55.57	1416.96	36	0.81	556	5급지
15	쌍전리2습지	8.0	17.3	60.92	1405.94	36	0.73	493	5급지
16	왕피리습지-1	11.2	19.7	85.64	1363.94	36	0.55	200	3급지
17	왕피리습지-2	11.2	19.7	85.57	1364.13	36	0.56	209	3급지
18	산포리2습지-1	12.8	20.6	99.22	1343.06	41	0.80	93	4급지
19	산포리2습지-2	12.8	20.6	99.22	1343.06	41	0.82	87	4급지
20	진북리1습지	12.7	20.4	97.76	1345.09	41	0.84	80	5급지
21	산포리1습지	12.6	20.3	96.59	1346.53	41	0.82	78	4급지
22	나곡리2습지	11.3	19.7	86.06	1378.10	43	0.64	80	5급지
23	나곡리1습지	11.8	20.1	90.54	1371.16	43	0.56	28	5급지
24	후정리습지	12.9	20.7	100.11	1345.59	42	0.79	61	3급지
25	용장습지(울진)	12.4	20.3	95.65	1351.60	42	0.74	85	5급지
26	화성리2습지	12.7	20.5	98.40	1345.93	42	0.84	54	3급지
27	봉평리습지-1	12.7	20.4	97.51	1346.19	42	0.76	54	5급지
28	봉평리습지-2	12.6	20.4	97.44	1346.32	42	0.76	55	3급지
29	봉평리습지-3	12.6	20.4	97.44	1346.32	42	0.79	44	2급지
30	삼산리습지	10.7	19.1	81.08	1368.19	38	0.64	236	4급지

〈 표 계속 〉 꼬마잠자리 잠재서식지 환경 특성(공간자료 기반)

구분	습지명	평균기온 (°C)	6~7월 평균기온 (°C)	온량 지수	연강수량 (mm)	가장 건조한 달의 강수량 (mm)	식생지수	해발 고도 (m)	논적성 등급
31	사동리습지	12.4	20.5	95.64	1340.10	39	0.60	45	2급지
32	오곡리2습지	12.4	20.8	96.26	1320.92	36	0.63	58	2급지
33	덕인리2습지-1	11.9	20.4	92.53	1323.49	34	0.51	153	4급지
34	덕인리2습지-2	11.9	20.4	92.53	1323.49	34	0.64	151	4급지
35	선구리습지	11.5	20.1	88.92	1331.28	36	0.58	138	4급지
36	덕인리1습지	11.8	20.4	91.61	1324.43	34	0.47	175	4급지
37	명도리1습지-1	12.5	20.3	96.45	1347.13	42	0.74	67	2급지
38	명도리1습지-2	12.8	20.5	99.01	1343.67	42	0.66	59	2급지
39	명도리1습지-3	12.5	20.3	96.45	1347.13	42	0.61	62	2급지
40	명도리2습지	12.9	20.6	99.88	1342.09	42	0.80	34	2급지
41	고성리1습지	12.6	20.4	97.48	1346.12	41	0.78	96	5급지
42	신림리2습지-1	12.5	20.3	96.18	1347.90	40	0.75	147	5급지
43	신림리2습지-2	12.5	20.3	96.18	1347.90	40	0.75	147	5급지
44	명도리3습지	13.0	20.7	100.19	1342.29	42	0.51	71	5급지
45	화성리1습지	12.6	20.4	97.17	1347.76	42	0.79	58	3급지
46	오곡리1습지	12.3	20.7	95.54	1321.87	36	0.74	76	2급지

[표 5] 꼬마잠자리 잠재서식지 서식지 특성(현장조사 기반)

구분	습지명	침수지역						수변 식생	습지 구분*	비고
		개방 수면	식피율	부엽 식물 피도	수심	선구 식물 식피율	우점종			
1	읍남리습지	1	5	1	3	0	달부리풀	버드나무	2	-
2	천축산1습지	3	4	1	3	1	진퍼리새	진퍼리새	2	-
3	천축산2습지	1	1	0	1	0	-	진퍼리새	2	-
4	천축산3습지	2	2	0	1	0	진퍼리새	버드나무	2	-
5	천축산4습지	1	2	1	3	0	-	소나무	2	-
6	오산리습지-1	1	1	1	4	0	가래	고마리	2	-
7	오산리습지-2	1	3	2	3	1	말즘	세모골	2	-
8	오산습지(울진)	0	0	0	0	0	-	진퍼리새	2	-
9	진복리2습지	0	0	0	0	0	-	버드나무	2	-
10	고성리2습지	1	1	1	2	0	개구리밥	쑥	3	-
11	대흥리습지	1	1	1	1	0	방울고랭이	버드나무	2	-
12	신림리1습지	-	-	-	-	-	-	-	2	조사예정
13	쌍전리1습지	1	4	1	3	1	고마리	소나무	2	재경작
14	쌍전리3습지	4	4	4	4	0	가래_sp	버드나무	2	-
15	쌍전리2습지	-	-	-	-	-	-	-	2	재경작
16	왕피리습지-1	4	5	1	2	5	버드나무	버드나무	2	-
17	왕피리습지-2	0	0	0	0	0	고마리	버드나무	2	-
18	산포리2습지-1	2	4	1	2	0	줄	소나무	3	-
19	산포리2습지-2	2	3	1	2	0	골풀	소나무	3	-
20	진복리1습지	4	3	2	4	1	마름	버드나무	2	-
21	산포리1습지	1	5	1	1	5	버드나무	버드나무	2	-
22	나곡리2습지	-	-	-	-	-	-	-	2	개발
23	나곡리1습지	1	5	1	2	3	버드나무	경작	2	-
24	후정리습지	1	5	1	2	1	고마리	버드나무	2	-
25	용장습지(울진)	1	2	1	1	1	골풀	경작	2	-
26	화성리2습지	2	1	1	3	1	골풀	버드나무	2	-
27	봉평리습지-1	0	0	0	0	0	버드나무	버드나무	2	-
28	봉평리습지-2	1	2	1	2	1	개구리밥	버드나무	3	-
29	봉평리습지-3	4	1	1	4	0	골풀	버드나무	3	-
30	삼산리습지	0	0	0	0	0	-	갈대	2	-
31	사동리습지	-	-	-	-	-	-	-	2	매립중
32	오곡리2습지	1	2	1	1	1	고마리	골풀	3	-
33	덕인리2습지-1	4	3	2	3	1	개구리밥	경작	3	-

〈 표 계속 〉 꼬마잠자리 잠재서식지 서식지 특성(현장조사 기반)

구분	습지명	침수지역						수변 식생	습지 구분*	비고
		개방 수면	식피율	부엽 식물 피도	수심	선구 식물 식피율	우점종			
34	덕인리2습지-2	3	4	1	3	1	부들	경작	3	-
35	선구리습지	-	-	-	-	-	-	-	2	재경작
36	덕인리1습지	0	0	0	0	0	-	버드나무	2	-
37	명도리1습지-1	-	-	-	-	-	-	-	1	개발
38	명도리1습지-2	1	5	2	1	0	부들	택지	3	-
39	명도리1습지-3	3	3	2	3	0	골풀	택지	3	-
40	명도리2습지	4	5	1	3	0	부들	-	1	-
41	고성리1습지	-	-	-	-	-	-	-	1	재경작
42	신림리2습지-1	-	-	-	-	-	-	-	1	재경작
43	신림리2습지-2	3	4	2	2	1	물달개비	-	3	-
44	명도리3습지	-	-	-	-	-	-	-	1	개발
45	화성리1습지	1	5	0	1	5	버드나무	버드나무	2	-
46	오곡리1습지	0	0	0	0	0	-	버드나무	2	-

* 습지구분(과거 꼬마잠자리 서식지: 1, 내륙습지조사 습지: 2, 신규 발굴습지: 3)

나. 출현지 특성

(1) 공간자료 분석

- 가) 꼬마잠자리가 현재 서식하거나 최근까지 서식한 습지의 공간자료 분석 결과를 표 6에 나타냄
- 나) 꼬마잠자리의 서식지는 산지습지인 인천지역을 제외하고 논적성등급 4급지의 묵논습지로 확인됨
- 다) 평균 해발고도는 $163 \pm 97.1\text{m}$ 로 연안과 인접한 인천(28m)에서 가장 낮았으며, 청주(306m)에서 가장 높았음
- 라) 평균 식생지수 0.76 ± 0.03 으로, 인천에 위치한 산지습지는 도서지역에 위치하여 식생지수가 제공되지 않았음
- 마) 연평균 기온 $11.4 \pm 0.96^\circ\text{C}$, 6월 평균 기온 $21.81 \pm 0.53^\circ\text{C}$, 7월 평균 기온 $21.85 \pm 0.8^\circ\text{C}$ 로 나타남
- 바) 온량지수 92.27 ± 8.09 , 연평균 강수량 $1,662.4 \pm 223.45\text{mm}$, 가장 건조한 달의 강수량 $26.8 \pm 2.86\text{mm}$ 로 나타남

[표 6] 꼬마잠자리 서식지 환경특성(공간자료 기반)

구분	논급지	해발고도 (m)	6월기온 (°C)	7월기온 (°C)	연평균 기온(°C)	강수량 (mm)	온량 지수	가장건조한 달의 강수량 (mm)	식생 지수	임상 밀도
대전	4급지	136	22.72	22.32	12.11	1643.23	98.68	29	0.73	기타
청주	4급지	306	21.34	21.30	10.41	1505.96	84.38	25	0.76	무임상
진천	4급지	234	21.21	20.76	10.12	1698.75	81.39	26	0.80	무임상
인천	-	28	21.88	23.09	12.54	1405.07	102.28	23	-	밀
곡성	4급지	111	21.92	21.80	11.84	2058.98	94.62	31	0.73	기타

(2) 현장조사 자료 분석

- 가) 꼬마잠자리가 현재 서식하거나 최근까지 서식한 습지를 대상으로 현장조사한 결과는 다음과 같음(표 7)
- 나) 침수지역 수심은 평균 $12.2 \pm 7.19\text{cm}$ 로 곡성지역(25cm)이 가장 깊었으며, 인천지역(3cm)이 가장 낮았음
- 다) 개방수면은 평균 $60 \pm 12.65\%$ 으로 확인되었으며, 모든 서식지에서 최소 50% 이상의 개방수면이 나타남
- 라) 평균 수면으로부터 식생높이는 $16 \pm 7.35\text{cm}$ 로, 곡성(30cm)에서 가장 높았으며, 청주와 대전(10cm)에서 가장 낮았음
- 마) 선구식물 식피율은 평균 $2 \pm 2.45\%$ 로 모든 서식지에서 5% 미만으로 확인됨
- 바) 우점식생은 고마리 군락이 2지점, 물꼬챙이골sp, 하늘지기sp, 달뿌리풀로 확인됨
- 사) 수원은 모두 지표유출수와 강수로 확인됨

[표 7] 꼬마잠자리 서식지 환경특성(현장조사 기반)

구분	수위 (cm)	개방수면 (%)	식생높이 (cm)	우점식생	수변식생	선구식물 식피율(%)	수원
대전	13	50	15	물꼬챙이골sp	진퍼리새	5	지표유출수, 강수
청주	10	70	10	고마리	골풀	0	지표유출수, 강수
진천	10	50	10	고마리	진퍼리새-골풀	5	지표유출수, 강수
인천	3	50	15	하늘지기sp	갈대	0	지표유출수, 강수
곡성	25	80	30	달뿌리풀	달뿌리풀-애기부들	0	지표유출수, 강수

다. 위협요인 분석

(1) 전문가 의견

- 가) 임상밀도가 높거나 차광이 잘 되는 지역은 수온이 낮고, 수면이 빛에 반사되는 장소에 산란을 하는 꼬마잠자리의 특성상 천이 등으로 인한 수면의 차광은 큰 위협요인으로 적용됨
- 나) 기존서식지 중 2019년 극심한 가뭄으로 물이 완전하게 마른 서식지가 다수 확인되었고, 이후 충분한 물이 공급되더라도 그 서식지에서 꼬마잠자리가 다시 출현하지 않음
- 다) 원 습지는 산지습지로 국내 특성상 서식조건이 유사한 천이초기단계의 묵논습지에서도 많이 서식하고 있지만, 이런 묵논습지는 재개발 및 재경작으로 쉽게 파괴됨
- 라) 꼬마잠자리는 가장 작은 잠자리로 유충과 성충의 크기, 행동권 및 이동성도 작아 상위 포식자(어류, 양서류 등)로부터 피식 위험에 노출되어 있으며, 현재까지 발견된 꼬마잠자리의 서식지에는 어류가 존재하지 않음
- 마) 또한, 대부분의 서식지가 도심지와 떨어진 습지이므로 농업용수, 생활용수 등으로 활용하기 위한 호스 등을 설치하여 습지가 육화됨

[표 8] 꼬마잠자리 서식지 위협요인

구분	내용	비고
차광	- 주변 키가 큰 식물 및 수면을 덮는 높은 식피울 등으로 인한 차광	수온관련요인
육화	- 묵논천이, 용수활용 등으로 인한 토양육화	-
가뭄	- 꼬마잠자리의 산란 및 서식지가 말라버릴 정도의 가뭄	-
포식	- 어류 등 상위 포식자로부터의 피식	-
서식지파괴	- 개간, 재경작 등으로 인한 서식지 훼손	인간간섭요인

(2) 현장자료 분석

- 가) 울진군 2021년 6월 3차례 현장조사를 통해 울진군 산지습지 46개의 현장을 확인한 결과 6월에 꼬마잠자리는 확인하지 못함
- 나) 기존 꼬마잠자리 서식지 5지점 중 4지점(명도리1습지-1, 고성리1습지, 신림리2습지-1, 명도리3습지)이 개발 및 재경작으로 사라졌으며, 산지 습지 30개 지점 중 5개 지점이 개발 및 재경작되었고, 일부 지역이 재경작된 습지도 확인됨(그림 4)
- 다) 꼬마잠자리의 서식지 대부분은 묵논천이 초기단계의 습지로 사유지가 많아 재경작 및 개발압력에 노출되어 있음



[그림 4] 개발 및 재경작된 묵논습지

3

서식지적합성지수

가. 주요서식변수 도출

(1) 서식변수 분석

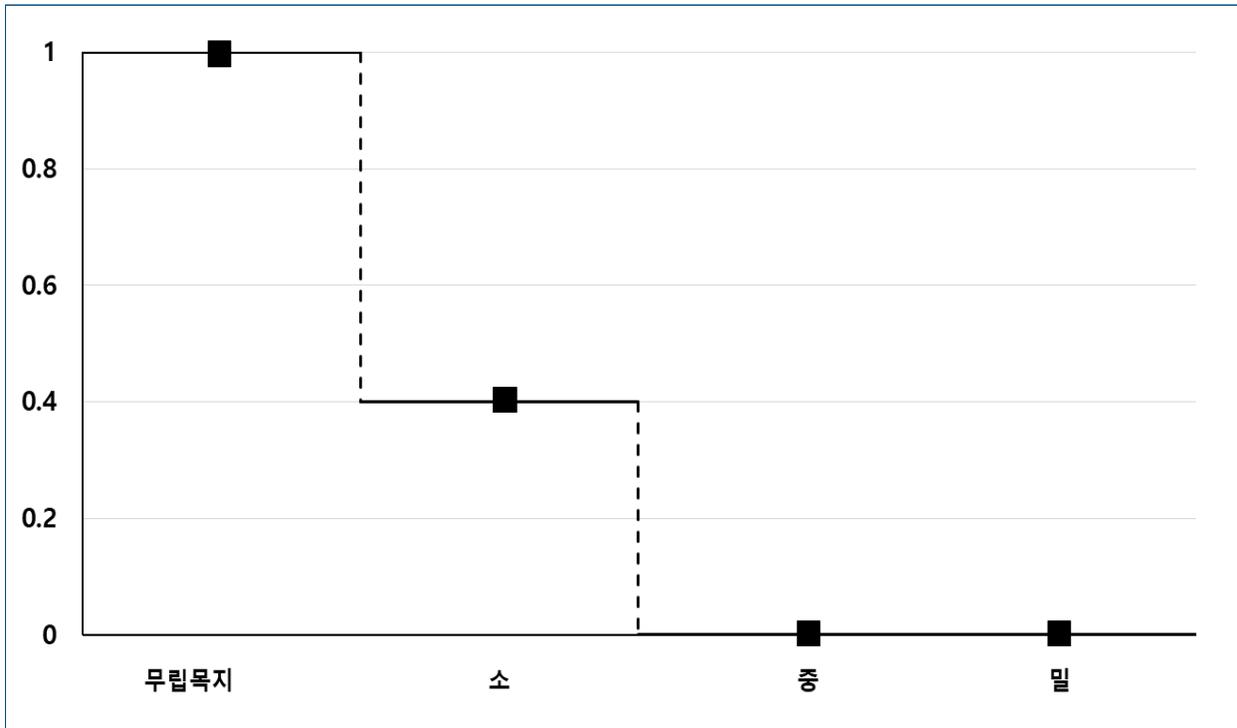
- 가) 꼬마잠자리의 서식지인 산지습지는 구축되어있는 공간자료가 매우 부족하여 현장조사를 통한 확인이 필수적임
- 나) 이에, 문헌조사로 제시된 변수 중 전문가 자문과 현장조사 결과를 분석하여 공통적으로 필요하다고 제시된 변수를 주요서식변수로 선정함
- 다) 그 결과, 꼬마잠자리의 서식변수로 총 14가지가 제시되었으며, 주요서식변수는 총 5가지 (임상밀도, 침수지역 개방수면, 침수지역 수심, 선구식물 식피율, 수원)로 나타남

[표 9] 꼬마잠자리 주요서식변수

환경요인	변수	자문 결과	최종 선정
고도	해발고도	온도, 강수에 영향을 끼치지만 영향력이 적음	-
식생	식생지수	해상도 상 뚜렷한 결과 도출이 어려움	-
	임상밀도	묵논습지 및 산지습지 등을 고려시 필요	○
	식생높이	식생높이가 낮은 지역에서만 서식함	-
기상	연평균 기온	산란시기의 수온이 중요함	-
	6~7월 평균온도	산란시기의 수온이 중요함	-
	가장 건조한 달의 강수량	연중담수기간의 대체 변수로 활용가능할 수 있지만, 주요서식변수로는 고려 필요	-
수환경	침수지역 개방수면	타수산란을 위해 개방수면을 필수조건으로 확인됨	○
	수원	수온을 간접적으로 반영할 수 있는 변수로 확인됨	○
	수온	산란시에 주요서식변수로 확인되지만 기초생태자료의 부족으로 지수의 개발이 어려움	-
	침수지역 면적	꼬마잠자리는 행동권이 매우 작아 침수지역의 면적보다는 작더라도 적정서식지가 필요	-
	연중담수기간	주요서식변수로 생각되지만, 일부 서식지의 경우 질척한 토양에서 유충상태로 겨울을 보냄	-
위험요인	선구식물 식피율	묵논천이 단계를 간접적으로 반영하는 주요서식변수로 확인됨	○
	침수지역 수심	어류 유입 고려시 주요서식변수로 확인됨	○

나. 주요서식변수 별 적성지수

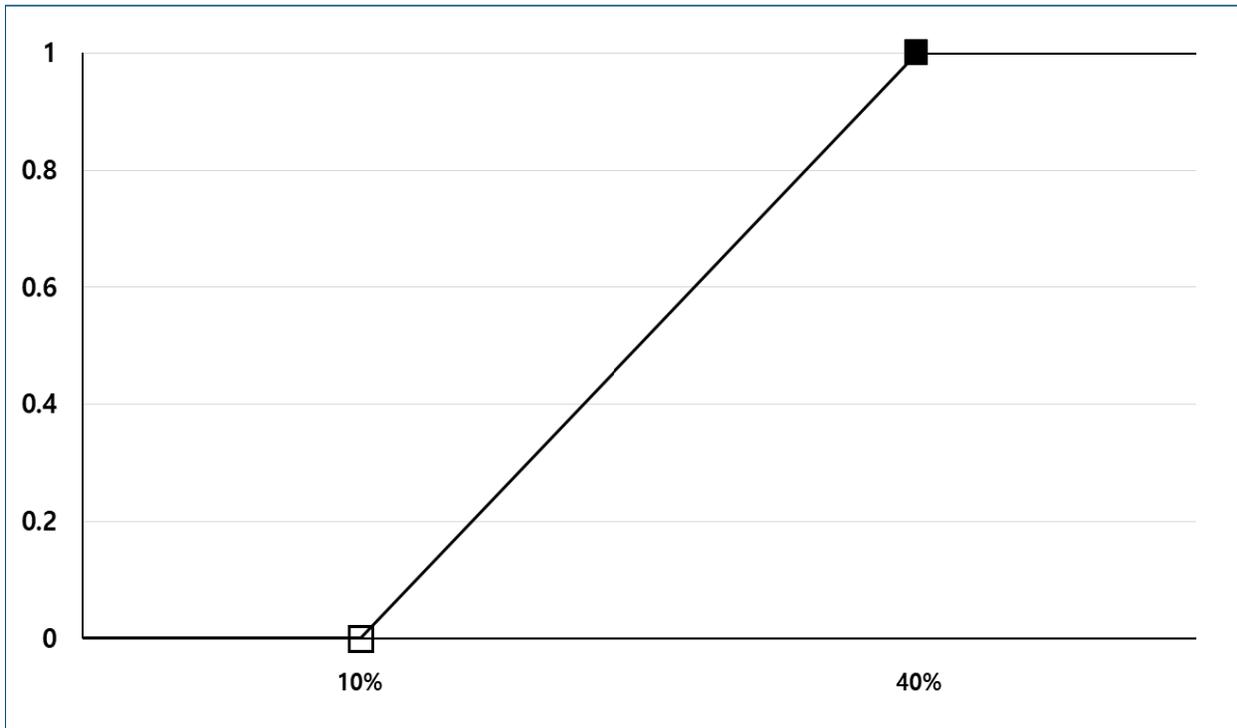
(1) 임상밀도



[그림 5] 꼬마잠자리 임상밀도 SI 모델

- 가) 문헌조사 및 전문가 자문 결과 꼬마잠자리의 서식지는 상관이 수목에 가려지지 않은 그늘이 없는 지역의 습지에서 서식함
- 나) 꼬마잠자리가 현재 서식하고 있는 지역과 과거 서식했던 지역을 조사한 결과 모두 식생 상관이 개방되어 있었음
- 다) 이에, 임상이 없는 무림목지를 꼬마잠자리의 적합서식지로 제시하고, 임상이 존재하더라도 밀도가 낮아 수면에까지 빛이 닿을 수 있는 산지습지를 고려하여 지수를 선정함

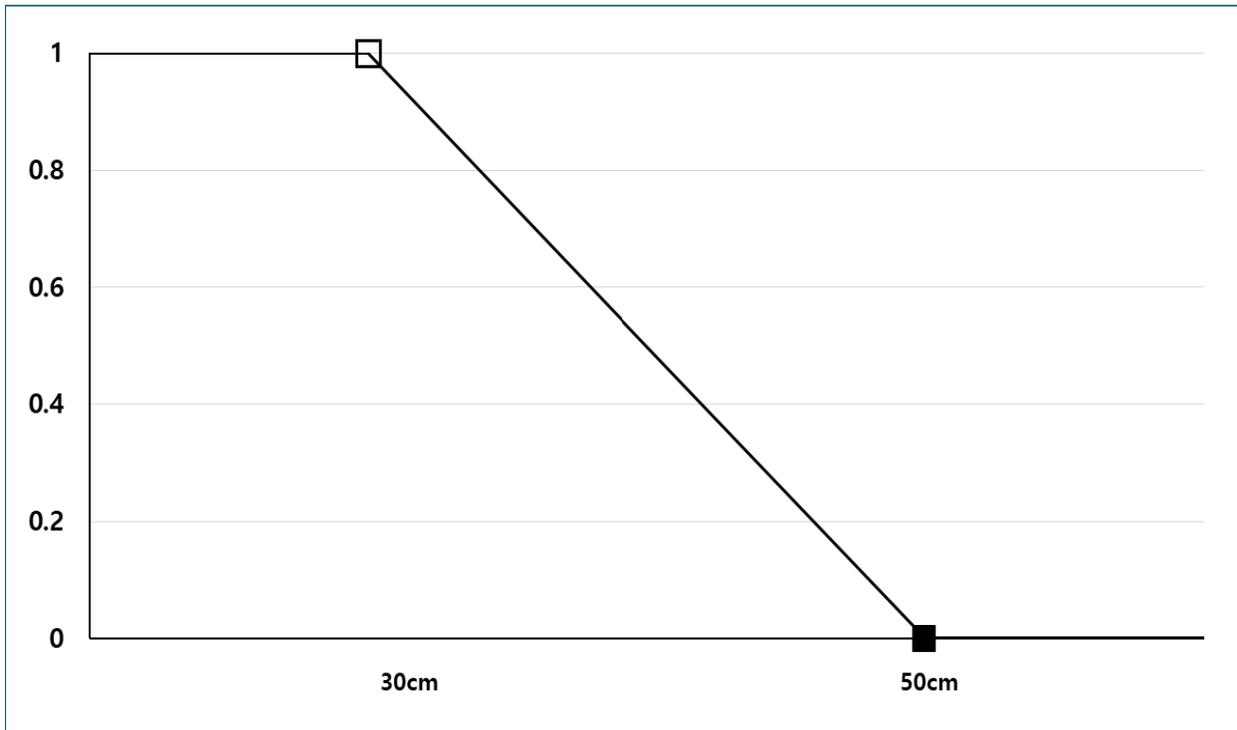
(2) 침수지역 개방수면



[그림 6] 꼬마잠자리 침수지역 개방수면 SI 모델

- 가) 문헌조사 및 전문가 자문결과 개방수면은 타수산란을 하며, 상대적으로 높은 온도를 필요로 하는 꼬마잠자리 서식지의 주요서식변수로 확인됨
- 나) 꼬마잠자리는 같이 수면을 완전히 덮지 않는, 벼과, 사초과 등의 식물 줄기 사이에서도 산란을 하므로 식피율보다는 개방수면 노출도를 주요서식변수로 선정함
- 다) 꼬마잠자리가 현재 서식하고 있는 5지점의 습지를 조사한 결과, 꼬마잠자리가 출현한 지점의 개방수면은 50% 이상으로 확인되며, 건기를 고려하여 개방수면 40% 이상을 적합서식지로 선정함

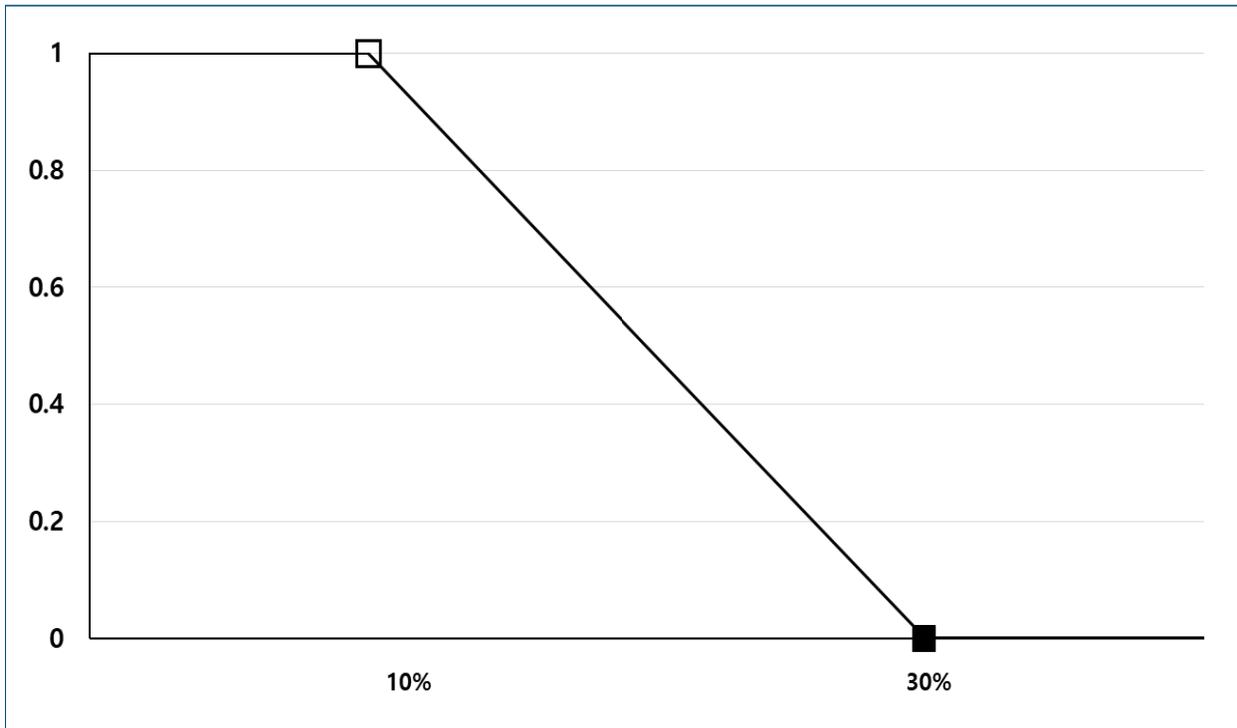
(3) 침수지역 수심



[그림 7] 꼬마잠자리 침수지역 수심 SI 모델

- 가) 문헌조사 결과 꼬마잠자리 서식지의 수심은 20cm 이하로 확인됨
- 나) 수심은 꼬마잠자리 산란시기의 수온증가와 주요 위협요인인 어류의 서식가능성을 나타내는 변수로 연중 침수지역이 필요함
- 다) 꼬마잠자리가 확인된 서식지 중 가장 깊은 수심을 보이는 곡성 월봉제 의 수심이 25cm로 나타남
- 라) 다른 서식변수에 비해 수심은 가뭄, 폭우 등 연간 변동성이 존재함을 고려하여 30cm 까지를 적정 서식지로 제시하였으며, 전문가 자문을 통해 지수의 적정성을 검토함

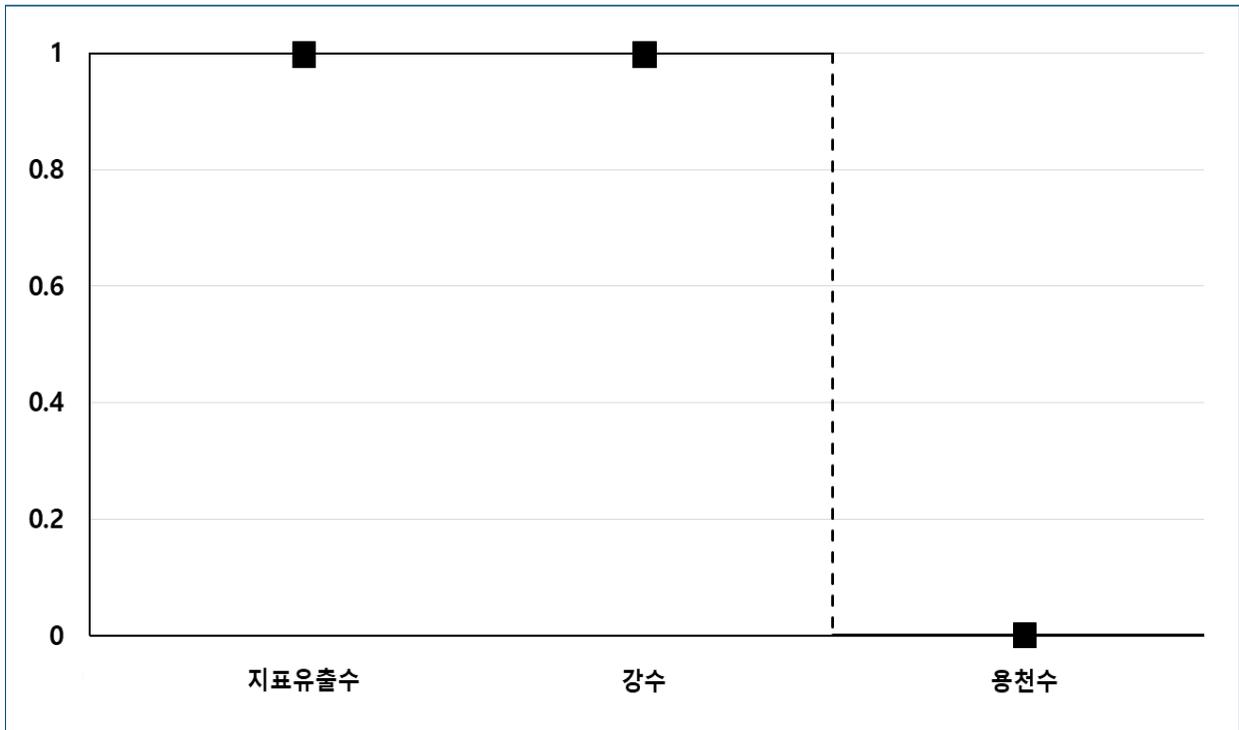
(4) 선구식물 식피율



[그림 8] 꼬마잠자리 선구식물 식피율 SI 모델

- 가) 문헌조사 결과, 꼬마잠자리의 서식처는 대부분 휴경논에서 발견되며, 묵논천이 초기 단계의 식생이 꼬마잠자리가 선호하는 서식지로 나타남
- 나) 묵논천이 단계를 구분하기 위한 여러 연구가 있지만 초기단계에 1년생 초본이 도입된 이후 다년생 초본(골풀, 부들 등)이 나타남
- 다) 꼬마잠자리 서식지를 현장조사한 결과, 침수지역 주변으로 다년생 초본(골풀, 진퍼리새 등)이 우점하고 있었으며 꼬마잠자리가 실제 서식하고 있는 지역에는 고마리(1년생 초본)와 물꼬챙이골sp 등 키가 작은 식물들이 분포하고 있었음
- 라) 여러 문헌에서 꼬마잠자리의 주요위협요인으로 묵논천이에 따른 토양육화가 제시됨에 따라 묵논천이 진행정도를 간접적으로 알 수 있는 선구식물(버드나무류, 오리나무류)의 도입정도를 주요서식변수로 제시하였고, 현지조사 및 전문가 자문을 통해 지수의 적정성을 검토하였음

(5) 수원



[그림 9] 꼬마잠자리 수원 SI 모델

- 가) 문헌조사 결과, 꼬마잠자리는 열대지역에 적응한 종으로 저온발육임계온도, 고온발육 임계온도 및 발육최적온도가 일반적인 잠자리과 종보다 높은 경향을 보임
- 나) 꼬마잠자리의 경우 움직임이 둔하고 행동반경이 좁아 작은 공간에서 높은 밀도로 서식하며, 미숙 성충은 우화 수역을 떠나지 않으므로, 수온이 낮은 용천수로 이루어진 습지는 높은 수온을 필요로 하는 꼬마잠자리의 서식지로 적합하지 않음
- 다) 강수나 지표유출수(용천수의 유출수도 포함)로 이루어진 습지를 적합서식지로 제시 하였으며, 전문가 자문을 통해 적정성을 검토함

다. 가중치 산정 및 서식지적합성지수 개발

(1) 가중치 산정

가) 5가지 주요서식변수를 대상으로 내부 및 외부 전문가 7명의 자문을 통해 각 변수 별 중요도를 분석함

나) 이 결과, 꼬마잠자리의 서식에 수심(SI3)이 가장 높은 기여도를 가지고 있는 것으로 확인 되었으며, 수원(SI5) > 개방수면(SI2) > 임상밀도(SI1) = 선구식물 식피울(SI4)로 나타남

[표 10] 주요서식변수 별 중요도

변수	임상밀도(SI1)	개방수면(SI2)	수심(SI3)	선구식물 식피울(SI4)	수원(SI5)
위원1	1	4	5	3	5
위원2	1	3	5	1	5
위원3	3	5	4	2	4
위원4	4	3	3	2	4
위원5	5	4	4	5	2
위원6	3	3	5	4	2
위원7	3	2	4	3	4
평균(가중치)	2.8	3.5	4.3	2.8	3.7

(2) 서식지적합성지수 개발

가) 제시된 중요도를 기반으로 가중치를 산정하였으며, 그 결과는 다음과 같음

〈 식 1 〉 꼬마잠자리 서식지적합성지수

$$HSI = 0.17(SI1) + 0.2(SI2) + 0.25(SI3) + 0.17(SI4) + 0.21(SI5)$$

SI1= 임상밀도
 SI2= 개방수면
 SI3= 수심
 SI4= 선구식물 식피울
 SI5= 수원

4 서식지 평가

가. 적성지수 별 잠재서식지 평가

(1) 임상밀도(SI1)

가) 임상밀도가 1로 나타난 지점은 봉평리습지-3 등 총 11지점으로 확인됨(표 11)

나) 임상밀도 0인 지점(21지점)이 가장 높은 비율(45.6%)을 차지함

[표 11] 꼬마잠자리 잠재서식지 임상밀도 평가

구분	요약
1	봉평리습지-3, 천축산3습지, 화성리2습지, 오산리습지-1, 천축산2습지, 고성리2습지, 대흥리습지, 용장습지(울진), 봉평리습지-2, 옹곡리2습지
0.4	진북리1습지, 덕인리2습지-1, 명도리1습지-3, 산포리2습지-2, 오산리습지-2,
0	쌍전리3습지, 왕피리습지-1, 명도리2습지, 천축산1습지, 덕인리2습지-2, 신림리2습지-2, 산포리2습지-1, 산포리1습지, 나곡리1습지, 화성리1습지, 읍남리습지, 쌍전리1습지, 후정리습지, 명도리1습지-2, 오산습지(울진), 진북리2습지, 왕피리습지-2, 봉평리습지-1, 삼산리습지, 덕인리1습지, 옹곡리1습지
기타	신림리1습지, 쌍전리2습지, 나곡리2습지, 사동리습지, 선구리습지, 명도리1습지-1, 고성리1습지, 신림리2습지-1, 명도리3습지

(2) 개방수면(SI2)

가) 개방수면이 1로 나타난 지점은 봉평리습지-3 등 총 6지점으로 확인됨(표 12)

나) 개방수면 0인 지점(23지점)이 가장 높은 비율(50%)을 차지함

[표 12] 꼬마잠자리 잠재서식지 개방수면 평가

구분	요약
1	봉평리습지-3, 진북리1습지, 덕인리2습지-1, 쌍전리3습지, 왕피리습지-1, 명도리2습지
0.5	천축산3습지, 화성리2습지, 명도리1습지-3, 산포리2습지-2, 천축산1습지, 덕인리2습지-2, 신림리2습지-2, 산포리2습지-1
0	오산리습지-1, 천축산2습지, 천축산4습지, 고성리2습지, 대흥리습지, 용장습지(울진), 봉평리습지-2, 옹곡리2습지, 오산리습지-2, 산포리1습지, 나곡리1습지, 화성리1습지, 읍남리습지, 쌍전리1습지, 후정리습지, 명도리1습지-2, 오산습지(울진), 진북리2습지, 왕피리습지-2, 봉평리습지-1, 삼산리습지, 덕인리1습지, 옹곡리1습지
기타	신림리1습지, 쌍전리2습지, 나곡리2습지, 사동리습지, 선구리습지, 명도리1습지-1, 고성리1습지, 신림리2습지-1, 명도리3습지

(3) 수심(SI3)

가) 수심이 1로 나타난 지점은 봉평리습지-3 등 총 27지점으로 확인됨(표 13)

나) 개방수면 1인 지점(27지점)이 가장 높은 비율(58.7%)을 차지함

[표 13] 꼬마잠자리 잠재서식지수심 평가

구분	요약
1	봉평리습지-3, 덕인리2습지-1, 왕피리습지-1, 명도리2습지, 천축산3습지, 화성리2습지, 명도리1습지-3, 천축산2습지, 고성리2습지, 산포리2습지-2, 천축산1습지, 덕인리2습지-2, 신림리2습지-2, 천축산4습지, 산포리2습지-1, 고성리2습지, 대흥리습지, 용장습지(울진), 봉평리습지-2, 오곡리2습지, 오산리습지-2, 산포리1습지, 나곡리1습지, 화성리1습지, 읍남리습지, 쌍전리1습지, 후정리습지, 명도리1습지-2
0	진북리1습지, 쌍전리3습지, 오산리습지-1, 오산습지(울진), 진북리2습지, 왕피리습지-2, 봉평리습지-1, 삼산리습지, 덕인리1습지, 오곡리1습지
기타	신림리1습지, 쌍전리2습지, 나곡리2습지, 사동리습지, 선구리습지, 명도리1습지-1, 고성리1습지, 신림리2습지-1, 명도리3습지

(4) 선구식물 식피율(SI4)

가) 선구식물 식피율이 1로 나타난 지점은 봉평리습지-3 등 총 33지점으로 확인됨(표 14)

나) 선구식물 식피율 1인 지점(33지점)이 가장 높은 비율(71.7%)을 차지함

[표 14] 꼬마잠자리 잠재서식지 선구식물 식피율 평가

구분	요약
1	봉평리습지-3, 덕인리2습지-1, 명도리2습지, 천축산3습지, 화성리2습지, 명도리1습지-3, 산포리2습지-2, 천축산1습지, 덕인리2습지-2, 신림리2습지-2, 대흥리습지, 산포리2습지-1, 천축산2습지, 천축산4습지, 고성리2습지, 용장습지(울진), 봉평리습지-2, 오곡리2습지, 오산리습지-2, 읍남리습지, 쌍전리1습지, 후정리습지, 명도리1습지-2, 봉평리습지-1, 진북리1습지, 쌍전리3습지, 오산리습지-1, 오산습지(울진), 진북리2습지, 왕피리습지-2, 삼산리습지, 덕인리1습지, 오곡리1습지
0	왕피리습지-1, 산포리1습지, 나곡리1습지, 화성리1습지
기타	신림리1습지, 쌍전리2습지, 나곡리2습지, 사동리습지, 선구리습지, 명도리1습지-1, 고성리1습지, 신림리2습지-1, 명도리3습지

(5) 수원(SI5)

- 가) 수원이 1로 나타난 지점은 봉평리습지-3 등 총 37지점으로 확인됨(표 15)
- 나) 수원 1인 지점(37지점)이 가장 높은 비율(80.4%)을 차지함

[표 15] 꼬마잠자리 잠재서식지 수원 평가

구분	요약
1	봉평리습지-3, 덕인리2습지-1, 명도리2습지, 천축산3습지, 화성리2습지, 명도리1습지-3, 산포리2습지-2, 천축산1습지, 덕인리2습지-2, 신림리2습지-2, 고성리2습지, 천축산2습지, 산포리2습지-1, 천축산4습지, 대흥리습지, 용장습지(울진), 봉평리습지-2, 오곡리2습지, 오산리습지-2, 읍남리습지, 쌍전리1습지, 후정리습지, 명도리1습지-2, 진북리1습지, 쌍전리3습지, 오산리습지-1, 오산습지(울진), 진북리2습지, 왕피리습지-2, 봉평리습지-1, 삼산리습지, 덕인리1습지, 오곡리1습지, 왕피리습지-1, 산포리1습지, 나곡리1습지, 화성리1습지
기타	신림리1습지, 쌍전리2습지, 나곡리2습지, 사동리습지, 선구리습지, 명도리1습지-1, 고성리1습지, 신림리2습지-1, 명도리3습지

나. 서식지적합성 평가

(1) 서식적합성지수를 활용한 잠재서식지 평가

- 가) 개발된 서식지적합성지수를 활용하여 울진군 꼬마잠자리 잠재서식지 46개 지점을 평가함(표 16)
 - 나) 이 결과, 서식지적합성지수가 1인 지역은 1지점(봉평리습지-3)으로 확인됨
 - 다) 다음으로 0.9인 지점(천축산3습지, 화성리2습지)이 확인되었으며, 가장 낮은 점수(0.38)를 받은 지역(신림리1습지, 쌍전리2습지 등)은 7지점으로 나타남
- ※ 개발로 서식지 파괴된 9지점 제외

[표 16] 꼬마잠자리 잠재서식지 별 HSI 평가

구분	습지명	SI1	SI2	SI3	SI4	SI5	HSI
1	읍남리습지	0	0	0.25	0.17	0.21	0.63
2	천축산1습지	0	0.1	0.25	0.17	0.21	0.73
3	천축산2습지	0.17	0	0.25	0.17	0.21	0.8
4	천축산3습지	0.17	0.1	0.25	0.17	0.21	0.9
5	천축산4습지	0.17	0	0.25	0.17	0.21	0.8
6	오산리습지-1	0.17	0	0	0.17	0.21	0.55
7	오산리습지-2	0.068	0	0.25	0.17	0.21	0.698
8	오산습지(울진)	0	0	0	0.17	0.21	0.38
9	진북리2습지	0	0	0	0.17	0.21	0.38
10	고성리2습지	0.17	0	0.25	0.17	0.21	0.8
11	대흥리습지	0.17	0	0.25	0.17	0.21	0.8
12	신림리1습지	0	0	0	0	0	-
13	쌍전리1습지	0	0	0.25	0.17	0.21	0.63
14	쌍전리3습지	0	0.2	0	0.17	0.21	0.58
15	쌍전리2습지	0	0	0	0	0	-
16	왕피리습지-1	0	0.2	0.25	0	0.21	0.66
17	왕피리습지-2	0	0	0	0.17	0.21	0.38
18	산포리2습지-1	0	0.1	0.25	0.17	0.21	0.73
19	산포리2습지-2	0.068	0.1	0.25	0.17	0.21	0.798
20	진북리1습지	0.068	0.2	0	0.17	0.21	0.648
21	산포리1습지	0	0	0.25	0	0.21	0.46
22	나곡리2습지	0	0	0	0	0	-
23	나곡리1습지	0	0	0.25	0	0.21	0.46
24	후정리습지	0	0	0.25	0.17	0.21	0.63
25	용장습지(울진)	0.17	0	0.25	0.17	0.21	0.8
26	화성리2습지	0.17	0.1	0.25	0.17	0.21	0.9
27	봉평리습지-1	0	0	0	0.17	0.21	0.38
28	봉평리습지-2	0.17	0	0.25	0.17	0.21	0.8
29	봉평리습지-3	0.17	0.2	0.25	0.17	0.21	1
30	삼산리습지	0	0	0	0.17	0.21	0.38
31	사동리습지	0	0	0	0	0	-
32	오곡리2습지	0.17	0	0.25	0.17	0.21	0.8
33	덕인리2습지-1	0.068	0.2	0.25	0.17	0.21	0.898
34	덕인리2습지-2	0	0.1	0.25	0.17	0.21	0.73
35	선구리습지	0	0	0	0	0	-
36	덕인리1습지	0	0	0	0.17	0.21	0.38

〈 표 계속 〉 꼬마잠자리 잠재서식지 별 HSI 평가

구분	습지명	S11	S12	S13	S14	S15	HSI
37	명도리1습지-1	0	0	0	0	0	-
38	명도리1습지-2	0	0	0.25	0.17	0.21	0.63
39	명도리1습지-3	0.068	0.1	0.25	0.17	0.21	0.798
40	명도리2습지	0	0.2	0.25	0.17	0.21	0.83
41	고성리1습지	0	0	0	0	0	-
42	신림리2습지-1	0	0	0	0	0	-
43	신림리2습지-2	0	0.1	0.25	0.17	0.21	0.73
44	명도리3습지	0	0	0	0	0	-
45	화성리1습지	0	0	0.25	0	0.21	0.46
46	오곡리1습지	0	0	0	0.17	0.21	0.38

5 핵심서식지 발굴

가. 핵심서식지 분석

(1) 핵심서식지 선정방법

- 가) 현재 꼬마잠자리가 서식하고 있는 5지점 중 4지점은 서식지적합성지수 1로 확인됨(표 17)
- 나) 인천지역의 서식지적합성지수는 0.83로 확인되었고, 현장조사 결과 임상밀도의 스케일 문제로 실제 서식지는 무임상지대로 확인됨
- 다) 울진지역의 위성영상 분석 및 현장조사 결과 과거 꼬마잠자리 서식지 5지점 중 1지점을 제외하고는 모두 재경작 및 개발로 파괴되었으며, '21년 꼬마잠자리가 확인되지 않았지만 과거 서식했던 습지(명도리2습지)의 서식지적합성지수는 0.83으로 나타남
- 라) 이에, 서식지적합성지수 0.83 이상인 습지를 핵심서식지 분류함
- 마) 현장조사에서 발생하는 오차범위와 공간자료 스케일 등을 고려하여 서식지적합성지수가 0.8 이상인 지점을 울진군 꼬마잠자리의 핵심서식지 후보지로 제시함

[표 17] 꼬마잠자리 서식지 서식지적합성지수

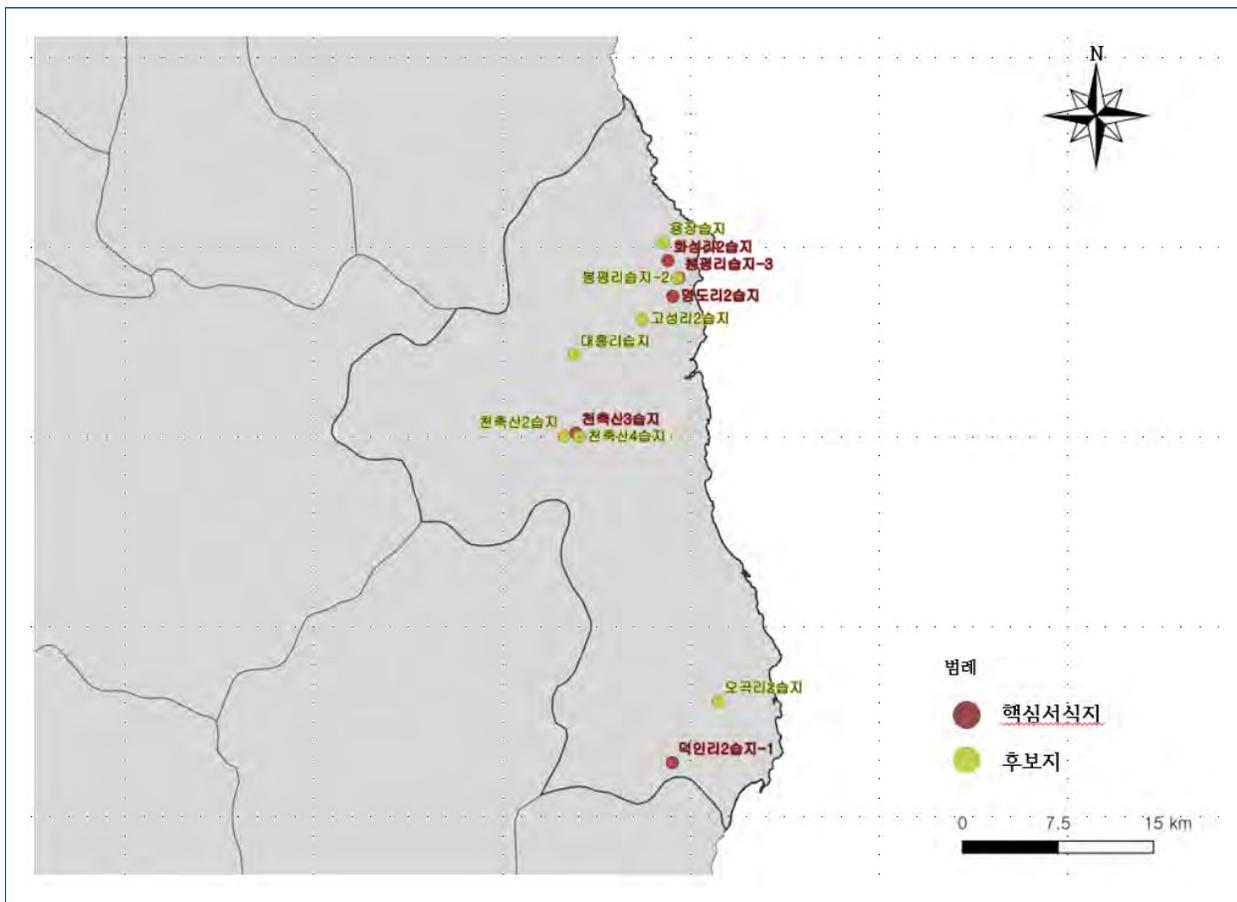
구분	시·군	SI1	SI2	SI3	SI4	SI5	HSI
1	울진 (명도리2습지)	0	0.2	0.25	0.17	0.21	0.83
2	대전	0.17	0.2	0.25	0.17	0.21	1
3	청주	0.17	0.2	0.25	0.17	0.21	1
4	진천	0.17	0.2	0.25	0.17	0.21	1
5	인천	0	0.2	0.25	0.17	0.21	0.83
6	곡성	0.17	0.2	0.25	0.17	0.21	1

※ 울진지역은 과거 서식좌표로 '21년에는 발견되지 않음

나. 핵심서식지 선정

(1) 핵심서식지 선정

- 가) 꼬마잠자리의 핵심서식지 및 후보지 도출 결과, 총 12개의 습지가 도출됨(그림 10)
- 나) 총 5개의 습지(봉평리습지-3, 천축산3습지, 화성리2습지, 덕인리2습지-1, 명도리2습지)가 꼬마잠자리의 핵심서식지로 확인되었으며, 핵심서식지 후보지로 총 7개의 습지가 확인됨
- 다) 핵심서식지와 핵심서식지 후보지는 대부분 울진군 중부와 북부에 위치하고 있었으며, 남부에는 총 2개 지점(핵심1, 후보지1)만이 위치함
- 라) 이는, 울진군 북부에 해발고도가 높은 산이 넓게 분포하고, 큰 마을이 적어 인구의 감소 등으로 인한 천이초기 묵논습지가 많이 산포하는 것으로 추정됨



[그림 10] 꼬마잠자리 핵심서식지 및 후보지

IV. 나도승마

1. 자료 수집 및 연구대상지 선정
2. 서식지특성 분석
3. 서식지적합성지수
4. 종분포모형을 이용한 서식지 평가
5. 핵심서식지 발굴

1

자료 수집 및 연구대상지 선정

가. 자료 수집

(1) 나도승마 분류, 형태 및 생태학적 특성

[표 1] 나도승마 종 정보 및 특성

나도승마	
학명	<i>Kirengeshoma koreana Nakai</i>
영문명	Korean waxbell
분류학적 위치	장미목(Rosales), 수국과(Hydrangeaceae)
보호종 지정 현황	환경부 멸종위기야생생물 II급 IUCN Redlist EN(위기) 고유종
분포지역	영취산(전남), 백운산, 지리산 및 중북부 일부 지역에 분포
개체수 및 개체군 추세	정밀조사 필요
특이점	고산지대 기후변화 지표종

형태학적 특징

- 해발 800m의 산간 지대에서 자라며 백운산이 주요 자생지
- 여러해살이풀로 높이 30~90cm 정도로 성장
- 고도가 높고 햇볕이 잘 들지 않으며 부엽질이 많은 낙엽수 아래를 선호함
- 잎은 마주나며 잎몸은 8~20cm 정도인 원형으로 가장자리가 얇게 갈라지고 톱니가 있음
- 뿌리는 굵고 옆으로 뻗으며 끝에서 새순이 올라옴
- 꽃은 7~9월에 열은 노란색으로 피며, 1~5개가 원줄기 끝과 가지 끝에 뭉쳐서 남
- 꽃받침은 종모양이고 5갈래로 갈리지며 표면에 털이있음
- 열매는 지름 15mm 정도의 둥근 삭과로 10월 무렵에 익음
- 꽃은 암수한몸이지만 자가 수정이 잘 되지 않는 특성과 꽃이 피는 시기에 장마철의 영향으로 씨앗을 잘 맺지 못하며 이러한 이유로 유전적인 다양성이 매우 낮음

(2) 기초생태자료 수집

가) 나도승마의 서식지 이용 특성에 관한 문헌 총 7편을 수집(표 2)하였으며, 문헌 분석 및 전문가 자문을 통해 총 15개 항목의 서식변수(표 3)를 도출함

[표 2] 나도승마 문헌수집 결과

변수	요약	참고문헌
식생	<ul style="list-style-type: none"> - 신갈나무 군락, 식피울은 교목층 80~85, 아교목층 30, 관목층 5~10, 초본층 90~95%, 임상에는 흰털팽이는 군락이 형성(강신호 2007) - 고로쇠, 비목, 졸참-사람주, 신갈, 신갈, 신갈-당단풍-쇠물푸레, 활엽수 혼효림 지역에 서식(조선희 2012) 	강신호 2007, 조선희 2012
해발고도	<ul style="list-style-type: none"> - 해발 600m 이상 지역에서부터 나도승마 개체군 분포 급격히 증가 	조선희 2012
임상낙엽	<ul style="list-style-type: none"> - 낙엽층 두께: 2~8cm, 낙엽층 피도 30~70% 	조선희 2012
지형	<ul style="list-style-type: none"> - 물가 습한 토양이나 바위틈에 서식 	최도열 2002
토양	<ul style="list-style-type: none"> - 토양습도가 인근 산림보다 훨씬 높으며, 토양수분이 주요 인자로 확인됨 - 암석노출률 5~70%, 토양깊이 10~40cm로 고르게 분포 - 토양수분은 9.97~24.87%로 평균 16.11% - 토성은 모래59.7%, 미사24.5%, 점토 15.8%로 모래함량이 높음 - Soil texture의 경우 Sandy loam, Loamy sand, Sandy loam Sand clay loam으로 비교적 필요성분이 골고루 분포하는 비옥한 토양으로 쉽게 수분이 공급되고 배수가 잘되는 토양을 선호 - pH4.45~4.89로 강산성, 유기물함량 10.24~21.26%, 전질소 0.6~0.96%, 치환성양이온 용량 28.62~46.69cmol/kg, 유효인산 12.73mg/kg~60.42mg/kg 	강신호 2007, 조선희 2012
경사도	<ul style="list-style-type: none"> - 해발 약 1,000m 지점의 개체군 확인 결과 평평한 지역 - 대부분 계곡부와 바위틈에 자생하고 있어 강우시 토양 유실 우려 - 15~40°로 경사에 크게 영향을 받지 않음 	강신호 2007, 권신영 2019
방위	<ul style="list-style-type: none"> - 북, 북동 	조선희 2012
주요서식변수	<ul style="list-style-type: none"> - Han et al.(2014): 지형유형, 토심, 수분과 빛의 이용도 - 조선희(2012): 지형22.3%, 토성17.1%, 태양복사 11.5%, 고도 7.5%, 임분밀도 7.3%, 수분지수 7.1% 기여 	Han et al. 2014, 조선희 2012
위협요인	<ul style="list-style-type: none"> - 개인의 원예용 채집으로 추정되는 흔적 확인 - 집단 감소의 가장 큰 위협요인은 인간의 이용과 교란임 - 많은 탐방객이 방문하고 있어 인위적 교란과 훼손 위험 - 일본에서는 인가와 인접한 길가 옆 집단에서 인간의 교란으로 인한 아집단의 절멸이 발생하며, 일본사슴이 나도승마 유식물과 성숙개체를 먹어 주요 멸종 위협으로 작용 	강신호 2007, IUCN 2019, TCESC 2010

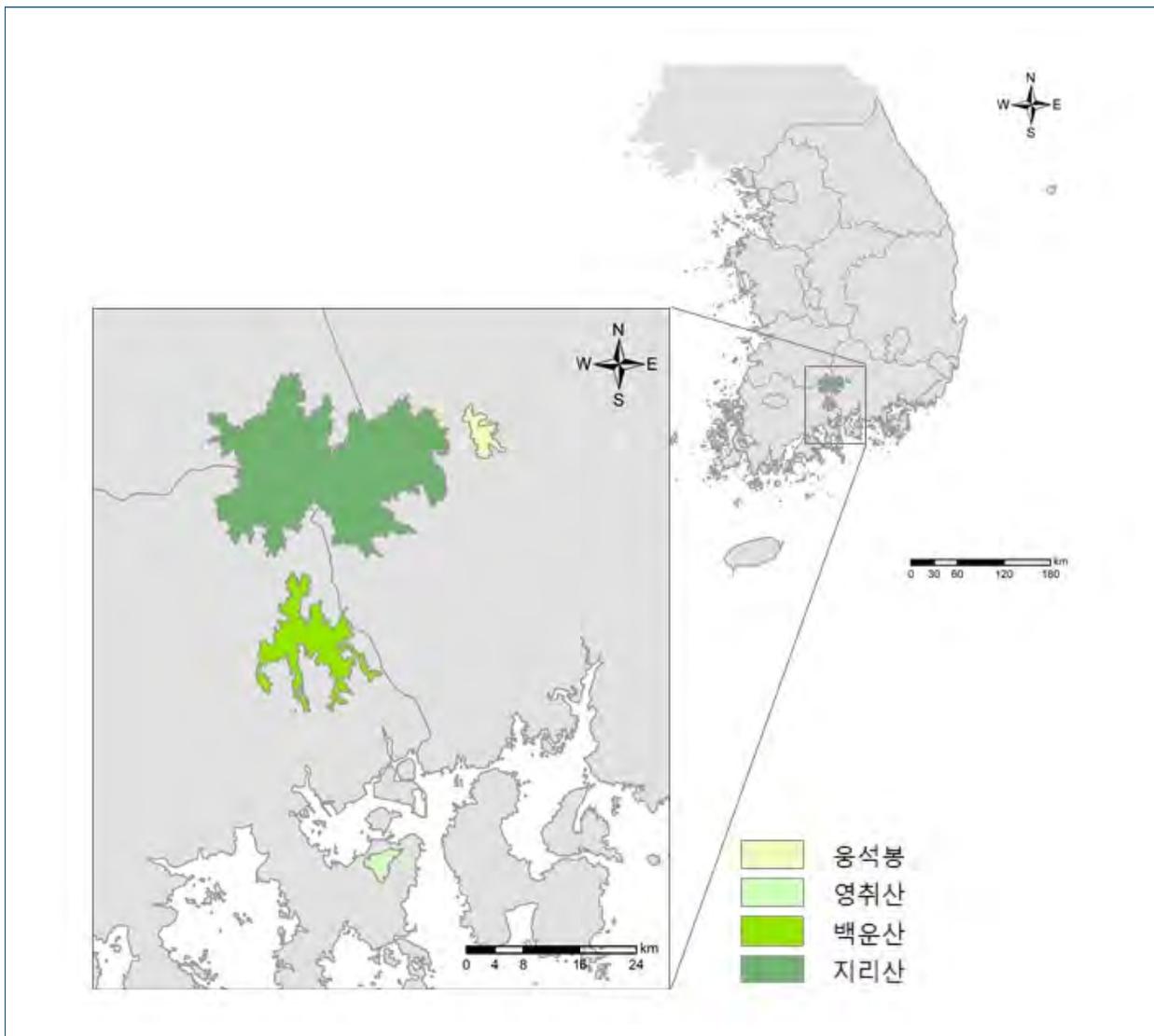
[표 3] 나도승마 서식변수

구분	변수	내용
식생	식생	고로쇠나무, 비목나무, 졸참나무, 사람주나무, 신갈나무가 우점하는 식생으로 활엽수림 아래에서 자생
	임분밀도	밀집된 지역으로 확인되며, 하층이 잘 발달되지 않은 지역
	식생지수	-
기상	대기온도	서식지가 속한 광양지역 최근 15년간 연평균 기온은 14.37℃
	온량지수	광양지역의 평균 온량지수는 115.9
	강수량	최근 15년간 연평균 강수량은 1513.4mm
지형	지형유형	계곡에 주로 자생하며, 수계망과 직접적 영향을 가지고 있음
	토양수분지수	9.97~17.56%, 평균 16.11%
	태양복사지수	0.85MJ/m ² 에서 서식 가능성이 가장 높았음
	사면향	조사된 83%가 북동 방향을 선호하고 있었음
	경사도	15~40°, 경사의 영향은 받지 않는 것으로 판단됨
토양	유효토심	10~40cm, 평균 25cm
	표토자갈함량	암반위 15cm 이하의 얇은 표토층에 균집을 이루며 자생하는 지역도 있으며, 다수의 서식지 자갈 노출율은 평균 35%임
	표토토성	Sandy loam으로 모래함량이 높으면서, 토양 비옥도 또한 다른 산림지역보다 높음
기타	수계로부터의 거리	1~20m, 대부분의 서식지의 90%가 계곡과 10m 이내

나. 연구대상지 선정

(1) 나도승마 자생지 조사 결과

- 가) 나도승마는 백운산, 지리산, 응석봉 및 영취산에 자생하는 것으로 알려짐
- 나) 「멸종위기야생생물 전국 분포조사」를 통해 백운산과 응석봉의 서식지가 확인되었으며, '20년 지리산국립공원에서 나도승마가 발견됨
- 다) 이에, 나도승마가 확인된 백운산, 지리산, 응석봉을 연구대상지로 선정하였으며, 추가로 현재 확인되지 않은 영취산 나도승마의 서식가능성 및 신규서식지 발굴을 위하여 영취산을 연구대상지로 선정함(그림 1)



[그림 1] 나도승마 연구대상지

2

서식지특성 분석

가. 서식지 환경특성

(1) 좌표기반 환경특성 분석

- 가) 나도승마 자생지 총 5지점의 공간자료를 분석한 결과를 표 4에 나타냄
- 나) 나도승마 자생지의 2020년 평균 기온과 식생지수는 각각 $9.1 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$, 0.9 ± 0.1 로, 표준편차의 차이는 있지만 백운산지역($9.1 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$, 0.9 ± 0)과 웅석봉지역($8.9 \pm 1.6^{\circ}\text{C}$, 0.9 ± 0.1)에서 큰 차이를 보이지 않음
- 다) 6~7월 평균기온과 온량지수는 각각 $18.3 \pm 1.3^{\circ}\text{C}$ 와 69.6 ± 11.9 으로, 웅석봉($19.2 \pm 1.4^{\circ}\text{C}$, 70.3 ± 11.5)에서 백운산($18.3 \pm 1.3^{\circ}\text{C}$, 69.6 ± 12.4)보다 높게 나타남
- 라) 연평균 강수량은 $1934.8 \pm 83.2\text{mm}$ 로 웅석봉($2148.83 \pm 8.1\text{mm}$)에서 백운산($1934.8 \pm 14.9\text{mm}$)에서 높았음
- 마) 나도승마 자생지는 중경목 이상의 임상밀도가 높은 활엽수림으로 확인되며, 식생지수는 0.9 ± 0.1 로, 표준편차의 차이는 있지만 백운산지역(0.9 ± 0)과 웅석봉지역(0.9 ± 0.1)에서 동일하게 나타남
- 바) 자생지 18지점의 평균 해발고도는 $704.3 \pm 249.4\text{m}$, 백운산 자생지($704.3 \pm 250.4\text{m}$)가 웅석봉 자생지($603.7 \pm 277.9\text{m}$)보다 높은 지역에 위치함
- 사) 자생지는 북동사면(8지점)과 동사면(5지점)에 가장 많이(72%) 위치해 있었으며, 남동, 남서, 서, 북서사면에 각각 1지점씩 위치해 있었고, 북사면과 남사면에는 위치하지 않았음
- 아) 지형수분지수는 평균 6.3 ± 1.9 로 웅석봉 자생지(7.8 ± 3)가 백운산 자생지(6.3 ± 1.7)보다 높았음
- 자) 표토자갈함량은 바위가 있음(용량 15~35%, 크기 25cm 이상)지역에서만 확인되었으며, 웅석봉 2지점(사양토)을 제외하고는 양토로 나타남
- 차) 토심은 웅석봉 1지점(50~100cm)를 제외하고는 20cm 미만의 토양으로 확인됨

[표 4] 나도승마 자생지 특성(공간자료)

지역	구분	기상				식생			
		평균기온 (°C)	6~7월 평균기온 (°C)	온량지수	연강수량 (mm)	식생지수	상관	임상밀도	경급
백운산	1	12.5	21.1	97.55	1901.24	0.87	활엽수	중	중경목
	2	12.5	21.1	97.55	1901.24	0.87	활엽수	중	중경목
	3	7.8	17.1	59.28	1950.52	0.94	활엽수	밀	중경목
	4	9.2	18.3	69.09	1937.08	0.94	활엽수	밀	중경목
	5	9.2	18.3	69.09	1937.08	0.94	활엽수	밀	중경목
	6	8.2	17.5	62.00	1945.66	0.94	활엽수	밀	중경목
	7	8.8	18.0	66.19	1939.14	0.94	활엽수	밀	대경목
	8	9.0	18.1	67.44	1940.93	0.95	활엽수	밀	중경목
	9	8.8	18.0	66.19	1939.14	0.94	활엽수	밀	대경목
	10	9.0	18.1	67.44	1940.93	0.95	활엽수	밀	중경목
	11	8.4	18.0	64.57	1934.27	0.93	활엽수	밀	중경목
	12	8.0	17.7	61.99	1937.18	0.93	활엽수	밀	중경목
	13	7.3	17.0	57.78	1943.13	0.92	활엽수	밀	중경목
	14	7.9	17.2	60.04	1949.33	0.95	활엽수	밀	중경목
	15	10.2	19.2	77.88	1925.69	0.94	활엽수	밀	대경목
웅석봉	1	7.5	17.9	60.18	2147.53	0.71	활엽수	밀	대경목
	2	10.6	20.6	82.77	2141.46	0.92	활엽수	밀	대경목
	3	8.7	19.0	68.00	2157.50	0.94	활엽수	밀	대경목

〈 표 계속 〉 나도승마 자생지 특성(공간자료)

지역	구분	지형				토양			
		해발고도 (m)	사면향	경사도 (°)	지형수분 지수	표토자갈 함량	유효토심	표토토성	토양수분 지수
백운산	1	222	북동	5~15	9.7	바위가 있음	<20	양토	0.67
	2	228	북	20~30	9.7	바위가 있음	<20	양토	0.67
	3	844	동	20~30	6.31	바위가 있음	<20	양토	-0.37
	4	636	북동	20~30	5.92	바위가 있음	<20	양토	0.70
	5	711	북동	20~30	5.92	바위가 있음	<20	양토	0.98
	6	815	동	20~30	5.97	바위가 있음	<20	양토	0.77
	7	630	북동	5~15	4.76	바위가 있음	<20	양토	0.72
	8	660	동	20~30	7.54	바위가 있음	<20	양토	0.16
	9	638	동	5~15	5.20	바위가 있음	<20	양토	0.72
	10	682	동	15~20	6.69	바위가 있음	<20	양토	0.86
	11	992	북서	20~30	4.97	바위가 있음	<20	양토	0.64
	12	1017	남서	5~15	4.71	바위가 있음	<20	양토	0.54
	13	1070	북동	15~20	5.14	바위가 있음	<20	양토	0.76
	14	876	북동	15~20	4.54	바위가 있음	<20	양토	0.93
	15	544	남동	5~15	7.74	바위가 있음	<20	양토	0.84
웅석봉	1	717	북동	30~40	6.89	자갈이 있음	50~100	양토	0.97
	2	287	북동	5~15	11.07	바위가 있음	<20	사양토	0.97
	3	807	서	30~40	5.36	바위가 있음	<20	사양토	0.12

(2) 현장조사를 통한 환경특성 분석

- 가) 나도승마 자생지 총 5지점을 현장조사한 결과를 표 5에 나타냄
- 나) 이 결과 나도승마의 자생지는 능선부사면에 위치한 백운산13번 지역을 제외하고는 계곡부를 따라 자생하고 있었으며, 토양수분함량이 높았음
- 다) 임상낙엽층은 3~5cm이며, 암석노출도는 15~70%인 산림내부에 위치함
- 라) 5지점의 평균 해발고도는 716.8m로 확인되었으며, 교목층식피율 68%, 초본층식피율 44%, 암석노출도 34%로 나타남

[표 5] 나도승마 자생지 특성(현장조사)

구분	지형	식생상관	해발고도	교목층 식피율	초본층 식피율	토양 수분	임상 낙엽	암석 노출도	비고
백운산13	능선부 사면	신갈나무	1,070	80	40	습	3cm	15%	-
백운산14	계곡부	신갈나무	876	80	45	적	5cm	30%	-
백운산15	계곡부	졸참나무	544	70	45	과습	5cm	40%	-
웅석봉2	계곡부	상수리나무	807	70	80	습	3cm	15%	사방공사
웅석봉3	계곡부	상수리나무	287	40	10	습	3cm	70%	숲가꾸기



과습한 토양



높은 암석노출도(백운산14)

[그림 2] 자생지 환경특성

나. 환경데이터 모니터링

(1) 모니터링 장비 설치

가) 이동성이 없는 나도승마의 자생지의 환경데이터를 수집하기 위하여 총 4지점(백운산 3지점, 응석봉 1지점)의 자생지에 환경데이터 측정장비를 설치함(표 6)

※ 응석봉은 숲가꾸기 사업으로 인해 7월에 설치함

나) 확인된 자생지는 계곡부 토양수분함량이 매우 높은 지역으로 지반이 약해 케이블타이를 이용하여 나무에 직접 로거를 부착하였으며, 나무의 성장을 고려하여 6개월에 한번씩 케이블타이를 교체함

다) 측정장비는 모두 나도승마에 미치는 영향을 최소화하기 위해 자생지로부터 약 3m 거리를 두고 설치하였으며, 평균 해발고도는 694m로 나타남

[표 6] 나도승마 환경데이터 측정장비 설치 해발고도

구분	백운산-1	백운산-2	백운산-3	응석봉	평균
해발고도(m)	1,070	876	544	287	694



대기 온습도 측정장비 및 로거 설치



토양온도 및 수분함량 측정장비 설치

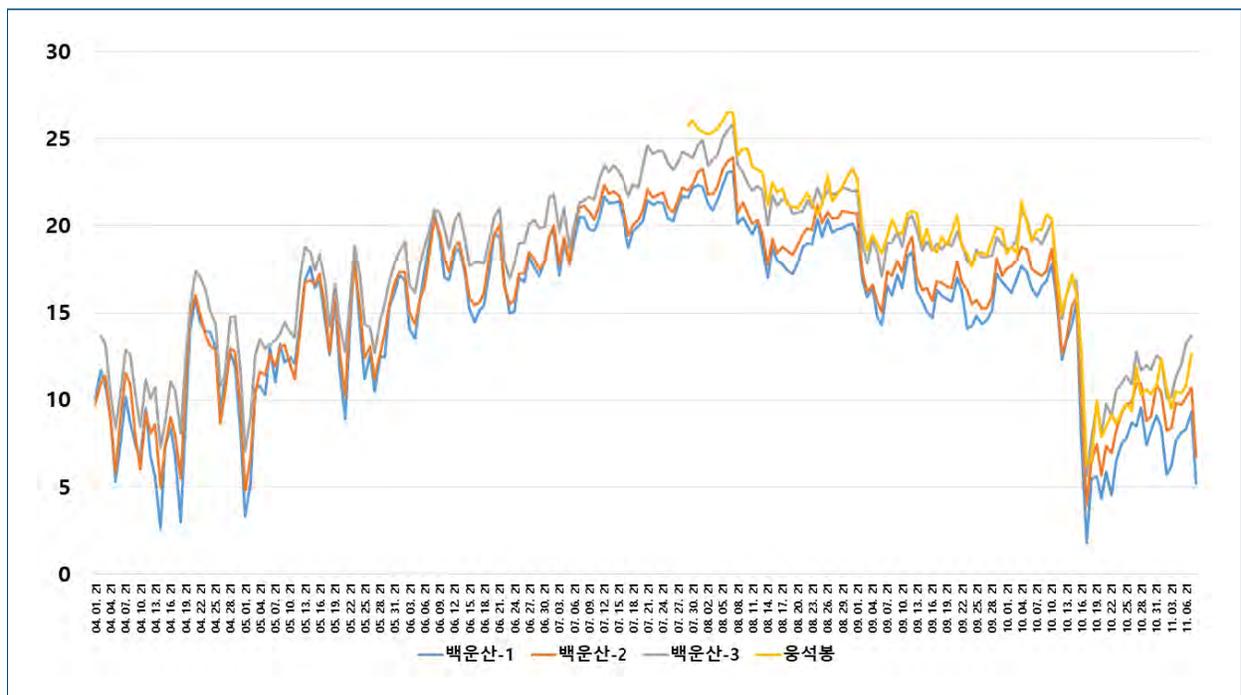
[그림 3] 나도승마 환경데이터 측정장비

(2) 대기온도

- 가) 나도승마 자생지 4곳의 평균 대기온도는 16.51℃로 측정기간 중 8월에 가장 높았으며, 4월에 가장 낮았음
- 나) 대기온도 측정 결과 해발고도가 높은 백운산-1 지역의 평균온도가 가장 낮았으며, 해발 고도가 낮은 응석봉 지역이 가장 높았음

[표 7] 나도승마 자생지 월 평균 대기온도(℃)

구분	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월
백운산-1	9.48±5.29	12.82±4.37	17.02±2.6	20.42±2.1	19.80±2.11	16.03±1.85	11.25±5.29
백운산-2	10.09±4.13	13.27±3.58	17.37±2.18	20.93±1.78	20.56±2	16.86±1.66	12.52±4.86
백운산-3	12.05±4.11	14.85±3.41	19.01±2.08	22.64±1.91	22.41±1.9	18.95±1.39	14.31±4.7
응석봉	-	-	-	-	23.07±2.7	19.42±1.95	13.90±5.54
평균	10.54	13.65	17.8	21.3	21.33	17.82	13



[그림 4] 나도승마 자생지 일 평균 대기온도(℃)

(3) 대기습도

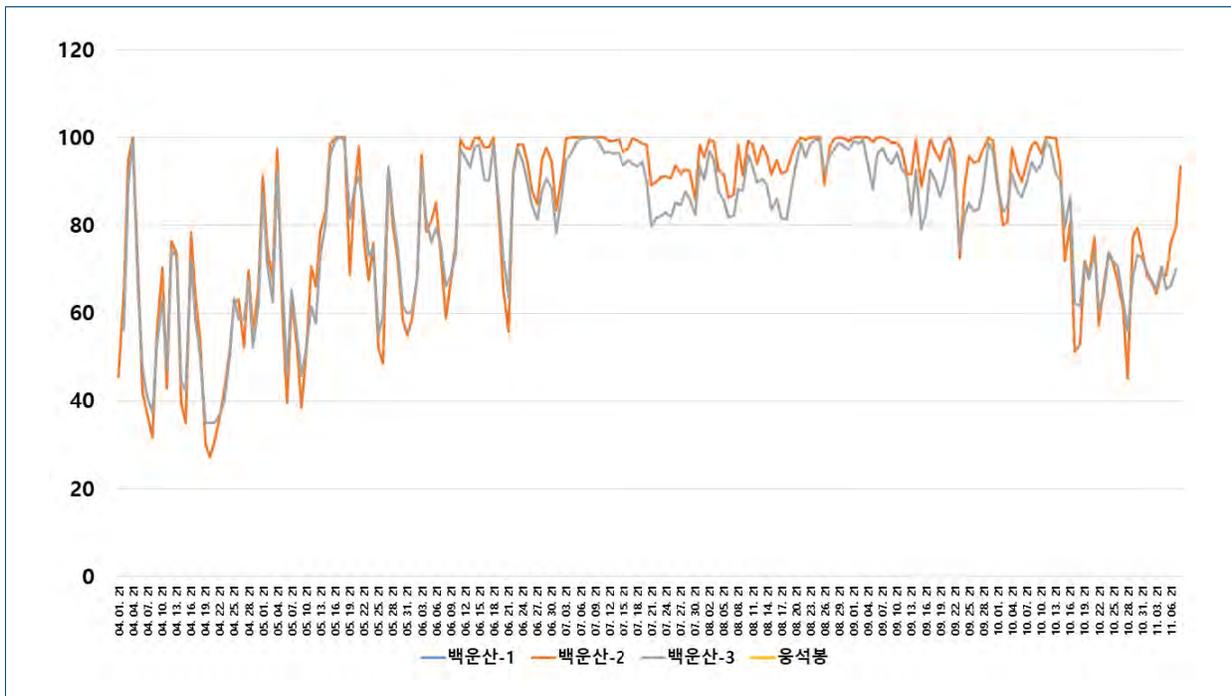
가) 나도승마 자생지 2곳의 평균 대기습도는 82%로 측정기간 중 8월에 가장 높았으며, 4월에 가장 낮았음

나) 대기습도 측정 결과, 백운산-2지역의 대기습도가 백운산-3 지역보다 더 높았음

[표 8] 나도승마 자생지 월 평균 대기습도(%)

구분	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월
백운산-1	-	-	-	-	-	-	-
백운산-2	55.38±23.64	73.08±22.13	86.04±16.27	95.82±6.04	96.06±5.48	96.30±6.39	79.38±17.59
백운산-3	55.13±20.62	73.88±18.77	84.41±13.1	91.23±7.79	91.62±7.1	90.74±7.28	79.03±13.63
웅석봉	-	-	-	-	-	-	-
평균	55.26	73.48	85.23	93.52	93.84	93.52	79.21

※ 웨더스테이션의 오류로 대기습도는 백운산-2와 백운산-3 지역의 대기습도만 측정됨



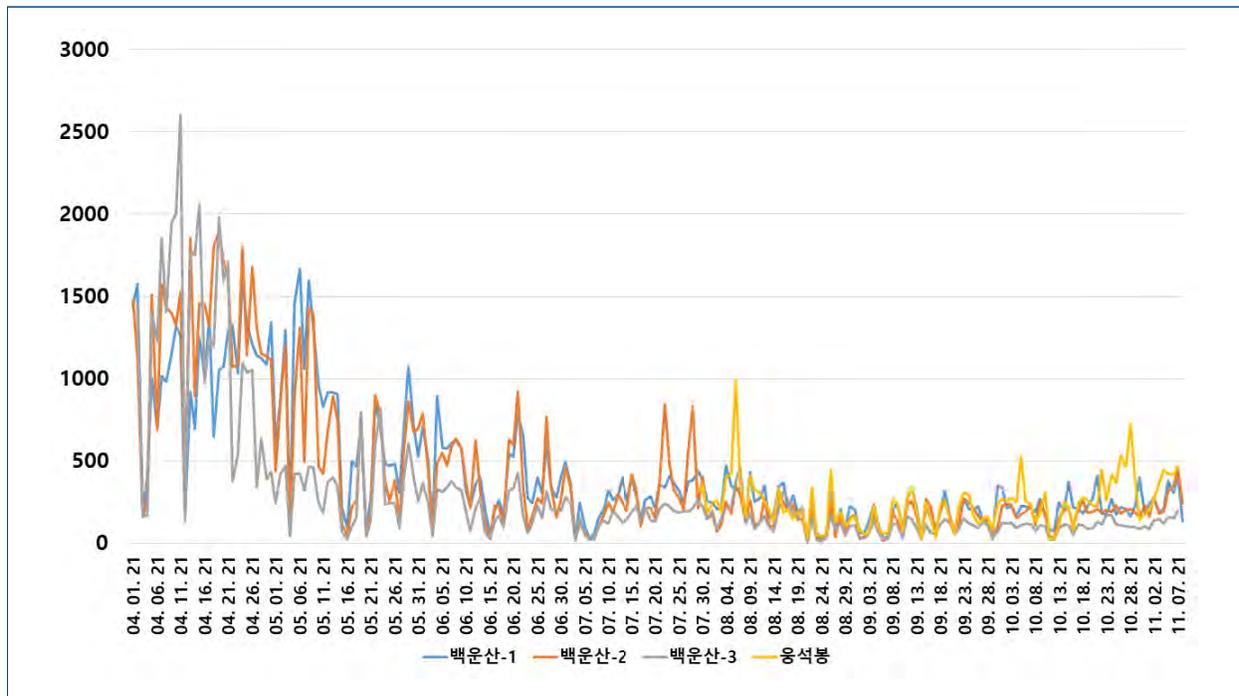
[그림 5] 나도승마 자생지 일 평균 대기습도(%)

(4) 조도

- 가) 나도승마 자생지 4곳의 평균 조도는 407.29lum/ft²로 측정기간 중 4월에 가장 높았으며, 9월에 가장 낮았음
- 나) 해발고도가 높은 지역에서 낮은 지역으로 갈수록 조도가 감소하였음
- 다) 조도는 9월까지 지속적으로 감소하다 10월에 다시 증가하는 경향을 보였는데, 이는 식물의 개엽과 낙엽으로 인해 지면에 닿는 조도가 변화한 것으로 판단됨

[표 9] 나도승마 자생지 월 평균 조도(lum/ft²)

구분	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월
백운산-1	1,057.24± 1,811.28	747.09± 1,440.5	424.19± 690.34	279.15± 405.73	230.05± 416.18	168.86± 332.81	222.66± 353.25
백운산-2	1,273.25± 2,346.11	598.57± 1210.03	388.65± 847.68	277.49± 686.91	160.69± 278.92	140.68± 261.35	185.74± 324.26
백운산-3	1,190.79± 2468.32	323.51± 796.29	222.2± 351.56	165.31± 244.08	153.48± 413.27	88.20± 146.08	102.98± 185.63
웅석봉	-	-	-	-	245.28± 664.63	165.94± 324.33	276.39± 871.25
평균	1,173.76	556.39	345.01	240.65	197.38	140.92	196.94



[그림 6] 나도승마 자생지 일 평균 조도(lum/ft²)

(5) 토양온도

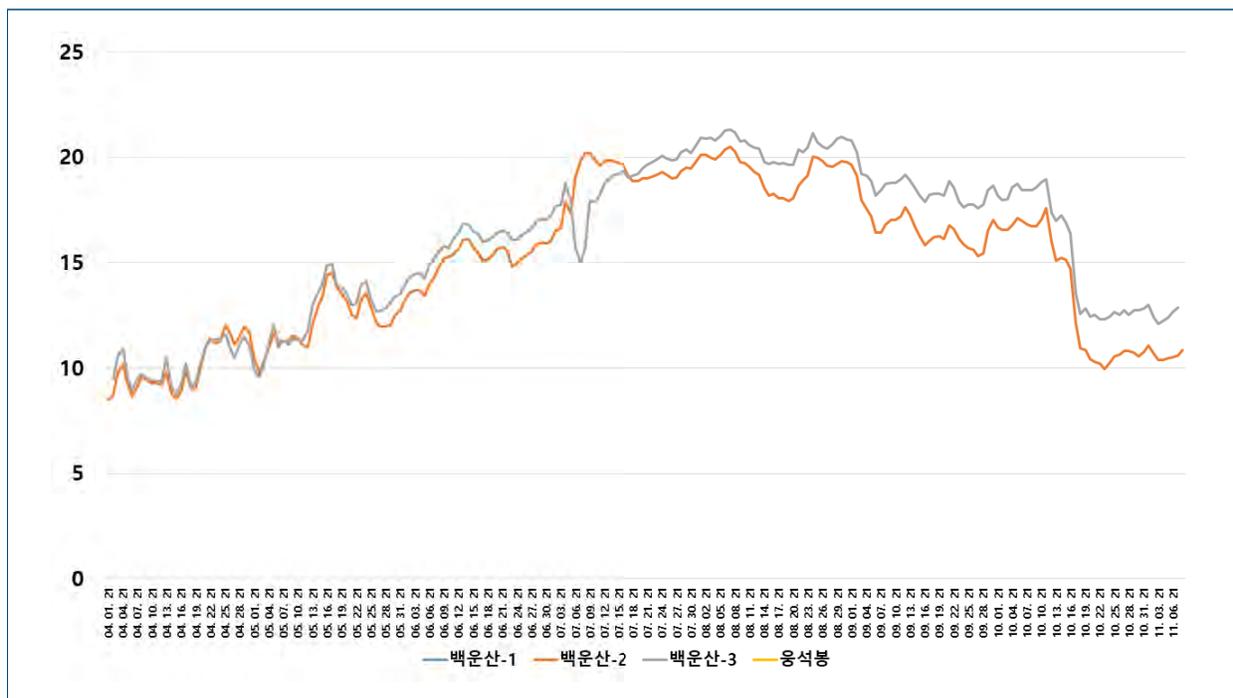
가) 나도승마 자생지 2곳의 평균 토양온도는 15.57℃로 8월에 가장 높았으며, 4월에 가장 낮았음

나) 토양온도 측정결과 백운산-3지역의 평균 토양온도가 백운산-2지역보다 높았으며, 이는 고도에 따른 온도차이로 판단됨

[표 10] 나도승마 자생지 월 평균 토양온도(℃)

구분	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월
백운산-1	-	-	-	-	-	-	-
백운산-2	9.98±1.23	12.19±1.2	15.06±0.86	19.03±1.06	19.39±0.8	16.73±0.99	13.61±2.94
백운산-3	10.14±1.02	12.56±1.45	15.93±0.91	18.80±1.44	20.53±0.56	18.56±0.73	15.42±2.76
웅석봉	-	-	-	-	-	-	-
평균	10.06	12.37	15.50	18.92	19.96	17.65	14.51

※ 웨더스테이션의 오류로 대기습도는 백운산-2와 백운산-3 지역의 대기습도만 측정됨



[그림 7] 나도승마 자생지 일 평균 토양온도(℃)

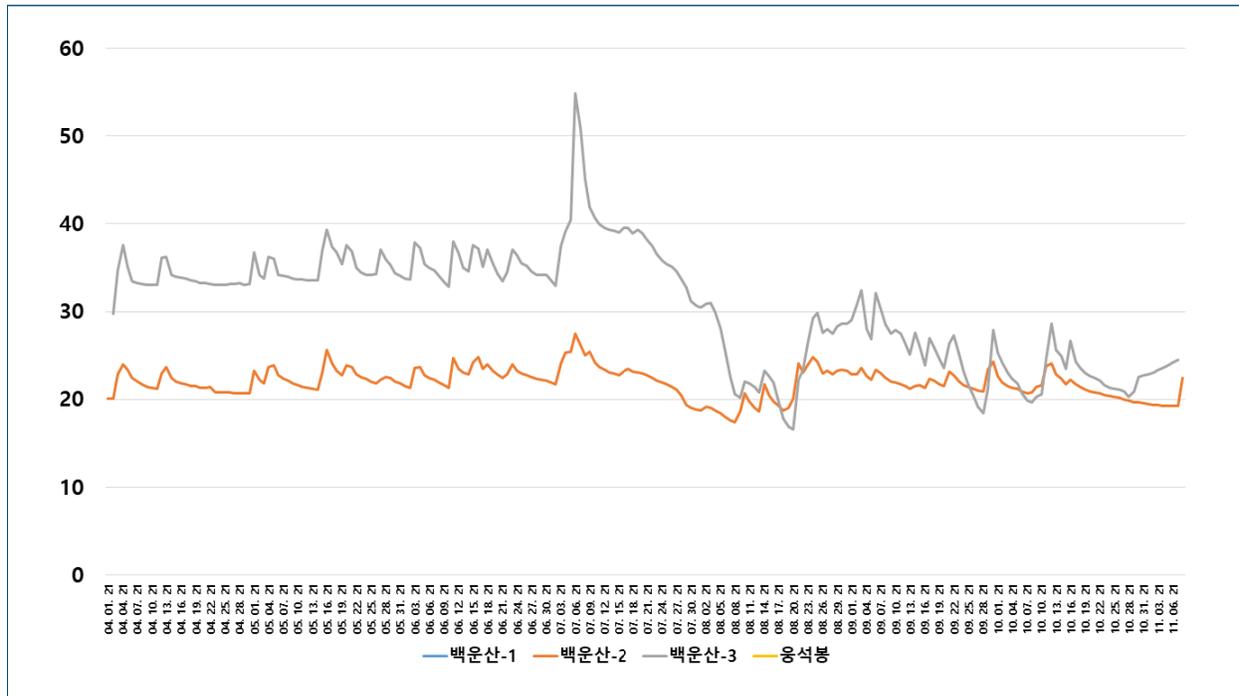
(6) 토양수분함량

- 가) 나도승마 자생지 2곳의 평균 토양수분함량은 26.42%로 7월에 가장 높았으며, 10월에 가장 낮았음
- 나) 백운산-3 지역의 토양수분함량(30.83%)은 백운산-2지역(22.01%)보다 높았음
- 다) 백운산-3지역은 상시 물이 흐르는 계곡 10m 이내에 위치하고 있었으며, 백운산-2지역은 비가오면 물이 흐르는 토양습도가 높은 계곡부에 위치해 있어 평균 토양수분함량의 차이를 보이는 것으로 판단됨

[표 11] 나도승마 자생지 월 평균 토양수분함량(%)

구분	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월
백운산-1	-	-	-	-	-	-	-
백운산-2	21.62±1.21	22.58±1.27	22.89±1.14	22.90±2.14	20.70±2.45	22.18±0.99	21.22±1.15
백운산-3	33.57±1.83	35.16±1.82	35.27±1.85	38.45±5.22	24.65±4.47	26.07±3.67	22.65±2.18
웅석봉	-	-	-	-	-	-	-
평균	27.60	28.87	29.08	30.67	22.68	24.12	21.94

※ 웨더스테이션의 오류로 대기습도는 백운산-2와 백운산-3 지역의 대기습도만 측정됨



[그림 8] 나도승마 자생지 일 평균 토양수분함량(%)

다. 위협요인 분석

(1) 현장조사 결과 분석

- 가) 나도승마의 자생지 중 일부는 숲가꾸기 사업이 진행중인 전석지에서 확인되었고, 나도승마에 대한 보호조치는 확인되지 않음
- 나) 또한, 일부 자생지의 경우 사방공사로 인해 자생지 절반이 절단된 것으로 확인되어 자생지의 확신이 어려운 것으로 판단됨
- 다) 잎을 먹는 벌레로 인해 일부개체는 70% 이상의 잎이 훼손됨
- 라) 나도승마는 잎이 크고, 선명한 노란색의 꽃이 눈에 띄어 인위적 간섭이 용이한 등산로와 바로 인접한 자생지는 남획 위험에 노출되어 있었음



[그림 9] 나도승마 위협요인(빨간동그라미는 나도승마를 표시함)

3 서식지적합성지수

가. 주요서식변수 도출

(1) 서식변수 분석

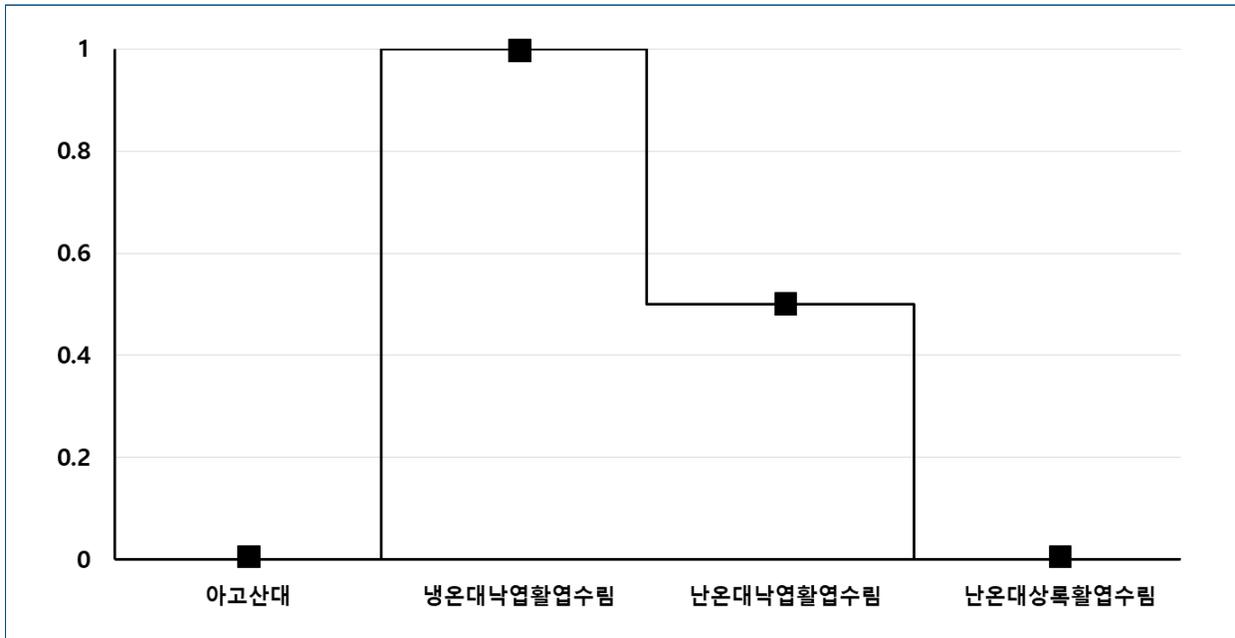
- 가) 문헌조사 및 전문가 의견을 고려하여 나도승마의 서식변수를 선정하였고, 공통 서식지 특성 및 공간자료 구축 여부를 고려하여 주요서식변수를 선정함(표 12)
- 나) 그 결과, 나도승마 서식지에 영향을 주는 환경특성으로 총 14가지 변수가 도출되었으며 총 5가지 주요서식변수를 선정함

[표 12] 나도승마 주요서식변수

구분	변수	공간자료 구축여부	최종 선정	비고
식생	식생대	○	○	-
	임상	○	○	임상수종을 기반으로 임상도에서 변환
	임분밀도	○	○	-
기상	온량지수	○	X	식생대로 간접반영
	연평균 강수량	○	○	-
광	광량 및 광도	X	X	-
지형	지형유형	△	X	미세지형 별 지형유형 자료 없음
	사면향	△	X	미세지형 별 사면향 자료 없음
토양	유효토심	○	○	-
	물리적특성	X	X	-
	이화학적특성	X	X	-
	토양수분함량	X	X	-
기타	수계로부터의 거리	△	X	-
	초본층 식피율	X	X	-

나. 주요서식변수 별 적성지수

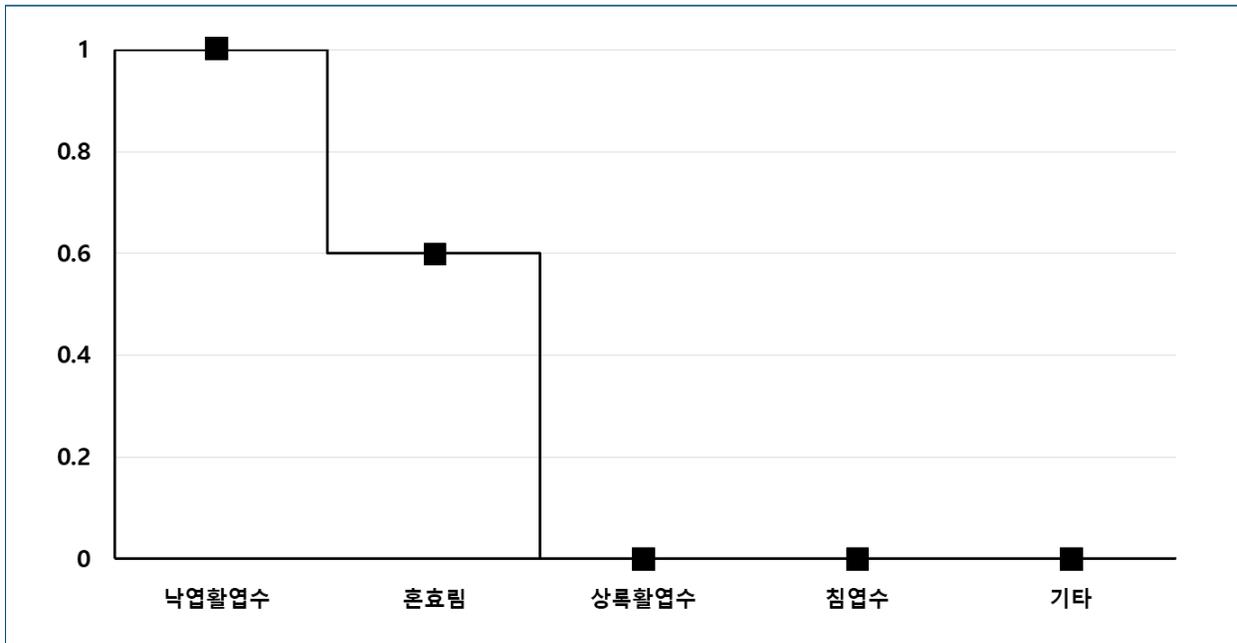
(1) 수직적 식생대(SI 1)



[그림 10] 나도승마 수직적 식생대 SI 모델

- 가) 나도승마 자생지의 평균 온량지수는 68.08 ± 9.66 로 1지점(97.55)을 제외하고는 모두 냉온대 낙엽활엽수림에 분포함
- 나) 온량지수는 식물의 분포를 예측할 수 있는 하나의 지표로, 온량지수에 따라 수직적 식생대를 구분할 수 있음
- 다) 단순 해발고도는 수평면 거리에 따른 기온변화율을 반영하지 못하므로, 이에 수직적 고도에 따른 수직적 식생대를 주요서식변수로 선정하였으며, 총 18지점 중 17지점이 위치하는 냉온대낙엽활엽수림을 적정 서식지로 제시함

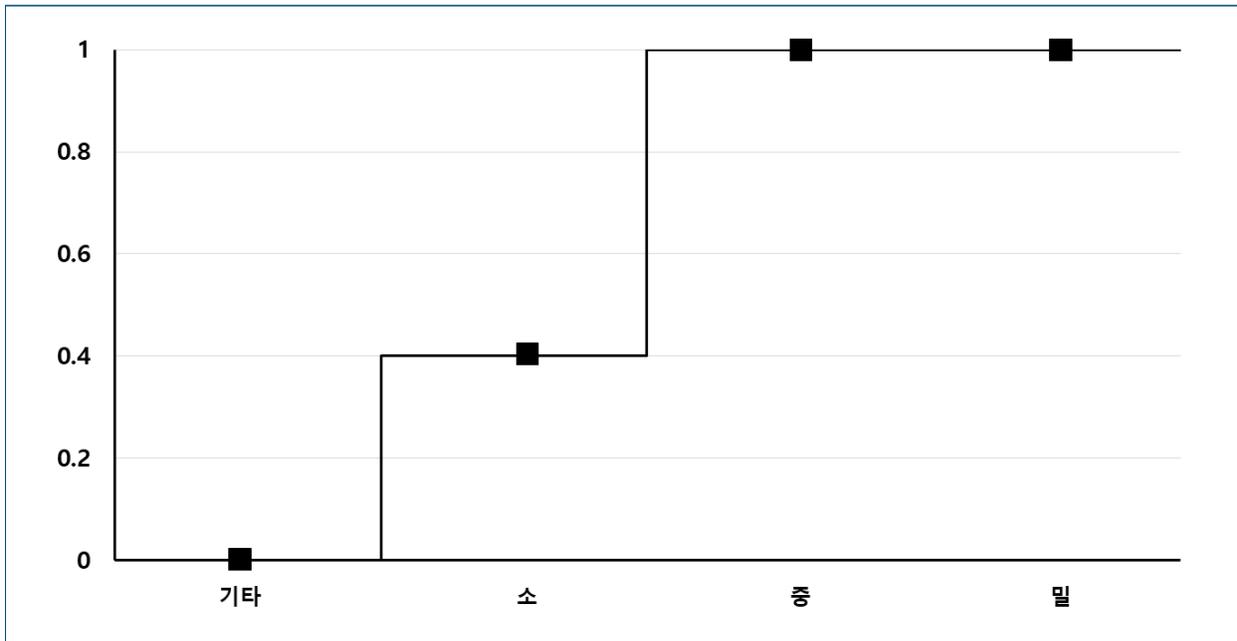
(2) 임상(SI 2)



[그림 11] 나도승마 임상 SI 모델

- 가) 임상도 분석결과 나도승마의 약 78%는 신갈나무, 상수리나무, 밤나무 등 낙엽성 참나무과의 임상아래서 서식하고 있었으며, 나머지는 기타활엽수 아래에서 서식함
- 나) 문헌자료에서 조사된 나도승마의 자생지는 모두 낙엽활엽수 지역으로 수종은 참나무류가 주를 이루었으며, 고로쇠나무가 우점하고 있는 지역에서도 확인됨
- 다) 나도승마는 활엽수림에서 분포하고 있는 것으로 확인되며, 활엽수, 침엽수, 혼효림이 제시된 임상도보다는 세부적으로 분류되어 있는 임상수종도를 대상으로 임상을 재분류함
- 라) 전문가 자문과 문헌자료를 분석하여 낙엽활엽수를 적정 서식지로 제시하고, 혼효림 중 낙엽활엽수 지대가 일부 포함되어 있는 지점에서 서식할 가능성을 고려하여 적성지수를 개발함

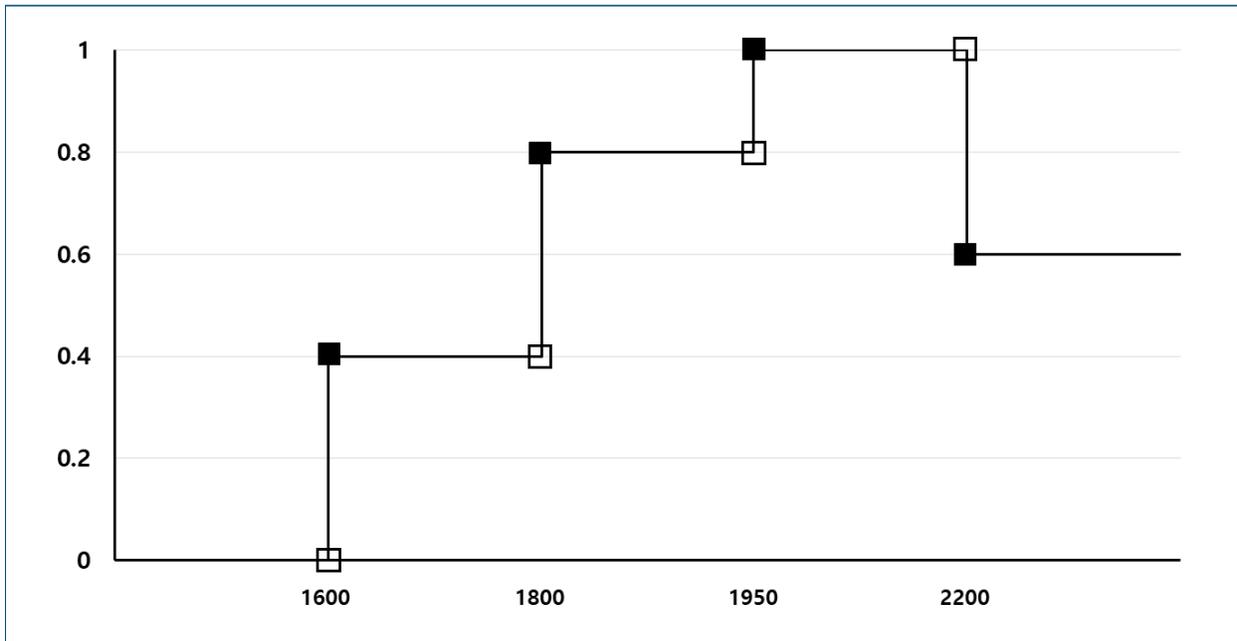
(3) 임분밀도(SI 3)



[그림 12] 나도승마 임분밀도 SI 모델

- 가) 분포자료를 공간분석한 결과 나도승마의 자생지는 임분밀도가 51%이상(중, 밀)인 높은 지역에서 자생하는 것으로 확인됨
- 나) MaxEnt를 활용한 나도승마 서식지 잠재력 평가 논문에서 임분밀도는 7.3%의 기여도를 가지고 있는 것으로 연구됨
- 다) 이에 임분밀도 중과 밀을 적정서식지로 제시하였으며, 임상도의 격자크기를 고려하여 임상밀도가 소인 지점 중 일부 임상밀도가 높은 지역에서 서식가능할 가능성을 고려하여 적성지수를 제시함

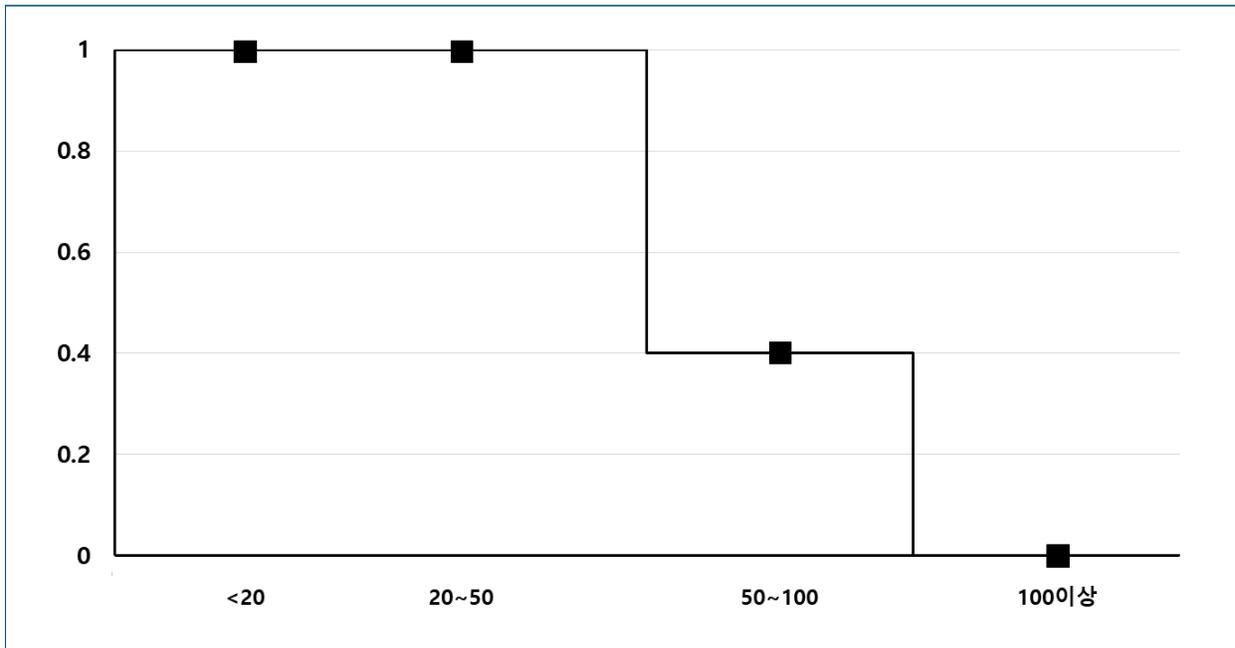
(4) 연평균 강수량(SI 4)



[그림 13] 나도승마 연평균 강수량 SI 모델

- 가) 문헌조사 결과, 나도승마는 습도가 높은 계곡부 또는 바위틈 등 인근 산림보다 토양습도가 높은 지역에서 서식하고 있음
- 나) 현장조사 결과, 평균토양수분함량이 22% 이상으로 대부분 토양수분함량이 높은 지역에서 자생하고 있었으며, 일부는 계곡부와 바로 인접하여 우기에 물이 흐르는 지역에서도 확인됨
- 다) 토양습도의 경우 국내 구축된 공간정보가 없어 변수로 선택될지라도 활용이 어려우므로 강수량을 주요서식변수로 선정하여 공간자료와 전문가 의견을 반영하여 적성지수를 제시함

(5) 유효토심(SI 5)



[그림 14] 나도승마 유효토심 SI 모델

- 가) 문헌조사 결과, 나도승마 자생지는 토양깊이 10~40cm로 확인됨
- 나) 토양도에서 나도승마 자생지 17지점의 유효토심을 확인한 결과, 1지점(50-100)을 제외하고는 유효토심이 20cm 이하인 지점에 위치하고 있음
- 다) 이 결과, 나도승마는 다른 식물과의 경쟁을 피해 토심이 깊지 않은 지역에서 서식하는 것으로 확인되며, 토심 50cm 이하인 지역을 적정 서식지로 제시함

다. 가중치 산정 및 서식지적합성지수 개발

(1) 가중치 산정

가) 5가지 주요서식변수를 대상으로 내부 및 외부 전문가 자문을 통해 각 변수 별 중요도를 분석함(표 13)

나) 이 결과, 나도승마의 서식에 유효토심(SI5)이 가장 높은 기여도를 가지고 있는 것으로 확인되었으며, 연평균강수량(SI4)>임상(SI2)=임상밀도(SI3)>수직적 식생대(SI1)로 나타남

[표 13] 주요서식변수 별 중요도

변수	수직적식생대 (SI1)	임상 (SI2)	임상밀도 (SI3)	연평균강수량 (SI4)	유효토심 (SI5)
위원1	2	5	3	2	3
위원2	1	4	5	3	2
위원3	1	1	2	3	2
위원4	5	5	3	1	5
위원5	2	2	3	5	4
위원6	2	1	2	5	4
평균(가중치)	2.16	3	3	3.16	3.33

(2) 서식지적합성지수 개발

가) 제시된 중요도를 기반으로 가중치를 산정하였으며, 그 결과는 다음과 같음

〈 식 1 〉 나도승마 서식지적합성지수

$$HSI = 0.15(SI1) + 0.2(SI2) + 0.2(SI3) + 0.22(SI4) + 0.23(SI5)$$

SI1= 수직적식생대

SI2= 임상

SI3= 임상밀도

SI4= 연평균 강수량

SI5= 유효토심

라. 서식지적합성 평가

(1) 연구대상지 별 적합도 분석

가) 전체 연구대상지 중 HSI가 1인 지역은 289.81km²로 전체 연구대상지 면적의 48.8%를 차지하고 있었음

나) 백운산 HSI 1인 지역의 면적(81.29km²)은 백운산 전체 면적의 80.2%를 차지함

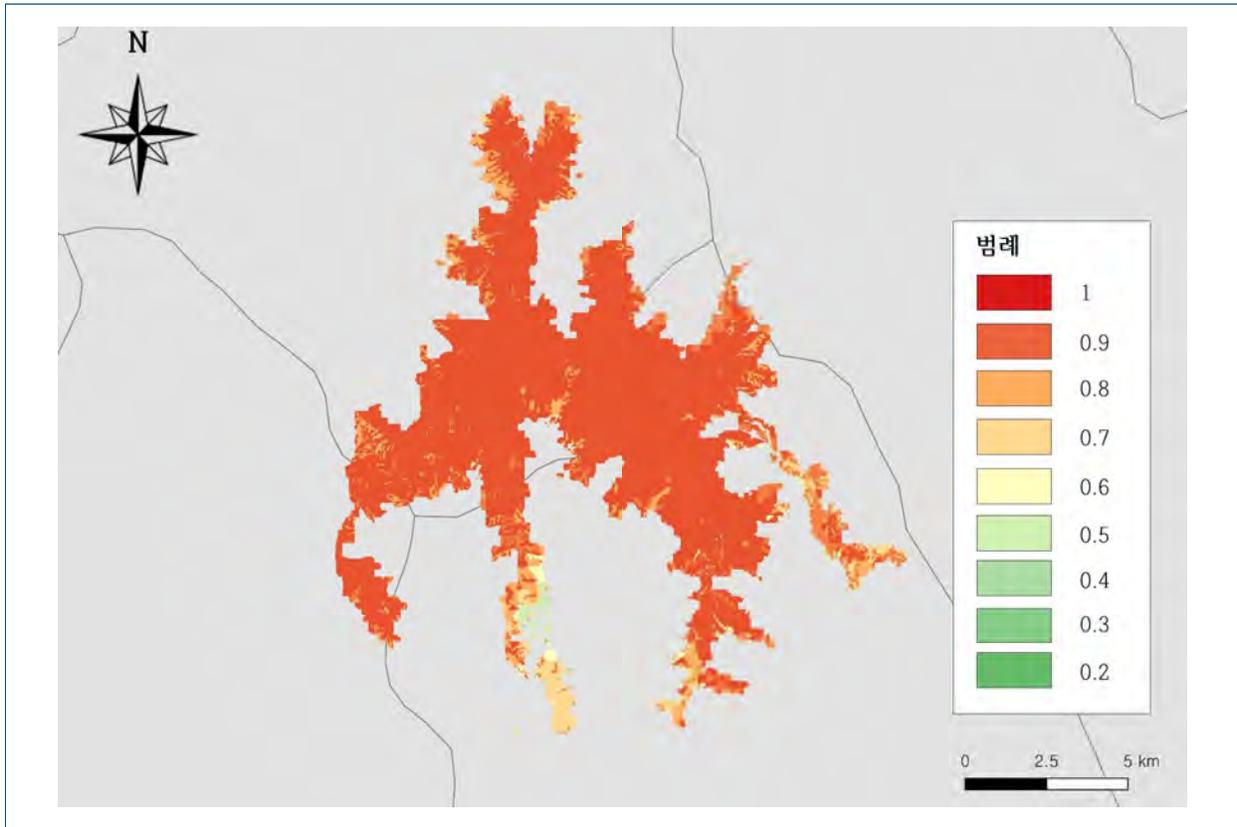
다) 응석봉 HSI 1인 지역의 면적(10.24km²)은 응석봉 전체 면적의 54.8%를 차지함

라) 지리산 HSI 1인 지역의 면적(198.23km²)은 지리산 전체 면적의 42.8%를 차지함

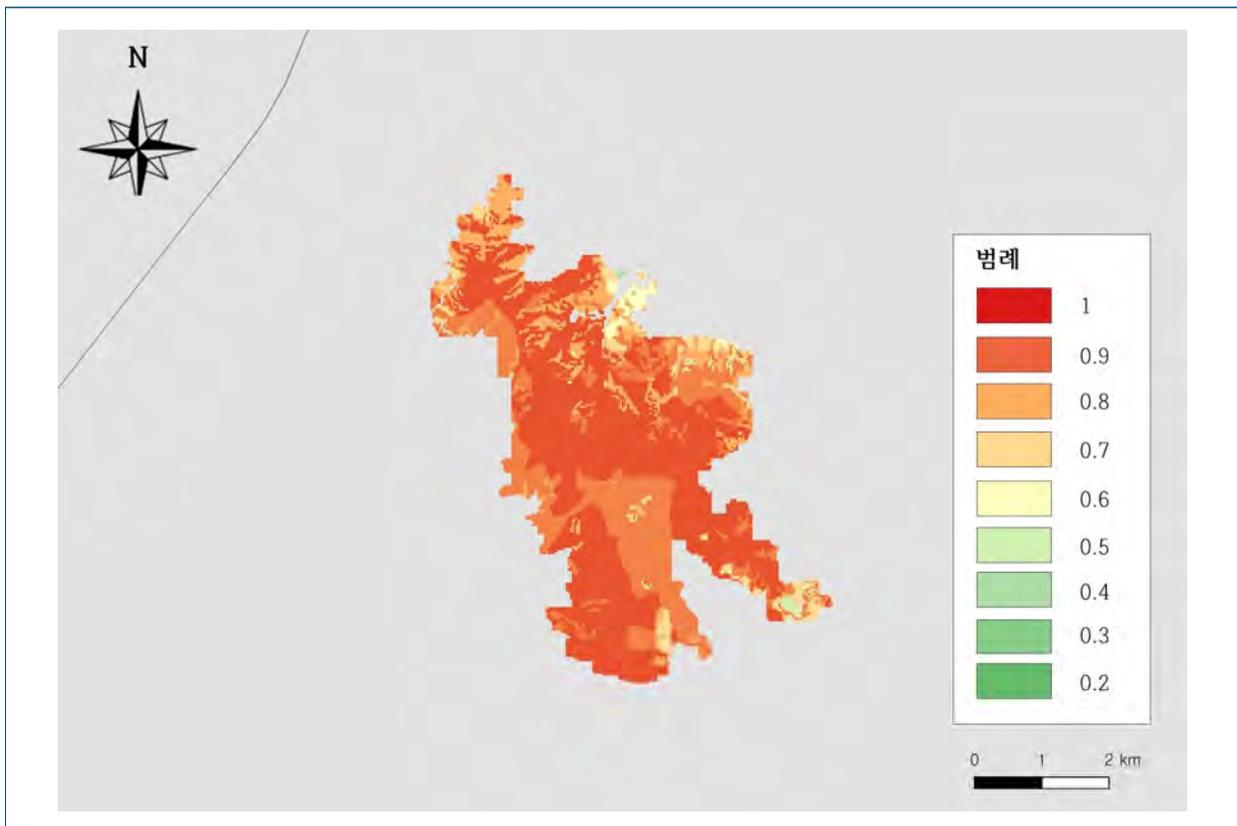
마) 영취산 HSI 1인 지역의 면적(0.05km²)은 백운산 전체 면적의 0.5%를 차지함

[표 14] 나도승마 서식지적합성을 활용한 서식지 적합도 분석 결과(km²)

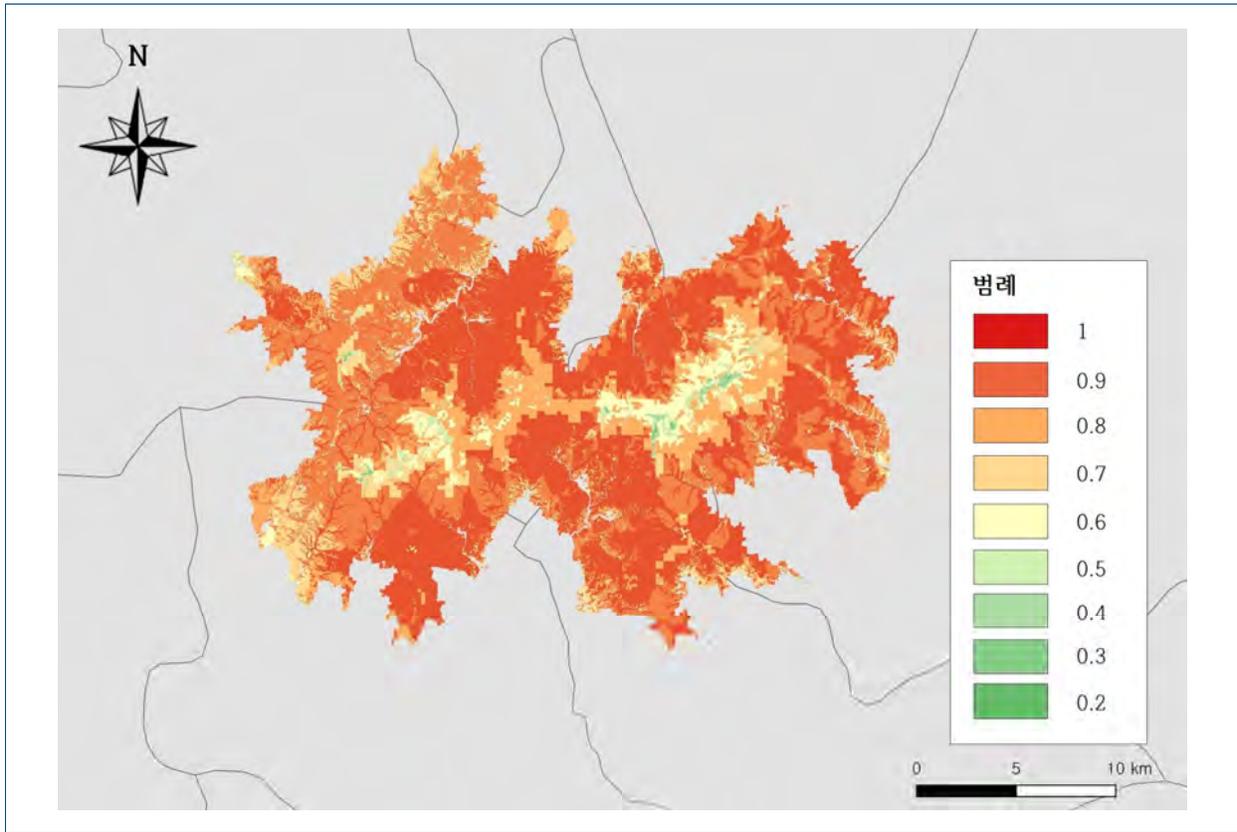
구분	백운산	응석봉	지리산	영취산	합계
1	81.29	10.24	198.23	0.05	289.81
0.9	7.07	5.16	128.07	1.67	141.97
0.8	7.71	2.07	71.35	2.92	84.06
0.7	3.59	0.83	38.60	2.49	45.52
0.6	0.79	0.26	20.96	2.61	24.61
0.5	0.81	0.11	4.11	0.37	5.40
0.4	0.01	0.02	1.38	0.15	1.55
0.3	0.05	0	0.76	0.06	0.86
0.2	0.01	0	0.05	0	0.06
0.1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
합계	101.32	18.68	463.52	10.31	593.83



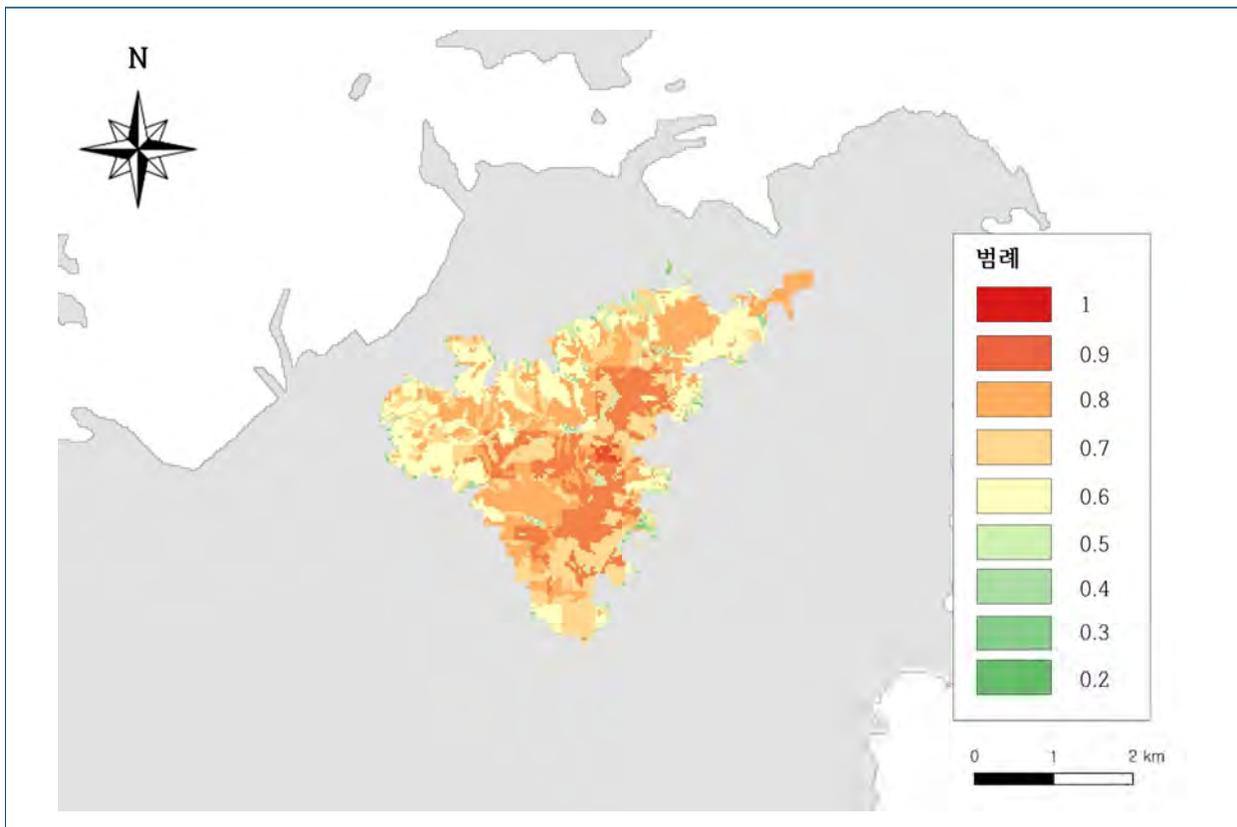
[그림 15] 백운산 서식환경 적합성 결과(HSI)



[그림 16] 응석봉 서식환경 적합성 결과(HSI)



[그림 17] 지리산 서식환경 적합성 결과(HSI)



[그림 18] 영취산 서식환경 적합성 결과(HSI)

4

종분포모형을 이용한 서식지 평가

가. 자료구성

(1) 연구대상지

- 가) 연구대상지는 서식지적합성지수 평가 결과와의 비교를 위해, 나도승마가 자생하는 것으로 알려진 백운산, 지리산, 응석봉 및 영취산으로 선정함
- 나) 영취산을 제외하고는 나도승마가 현재 자생하고 있는 것으로 확인됨

(2) 비출현 지점

- 가) 종분포모형 제작을 위하여 출현좌표지점이 존재하는 백운산, 응석봉 지역을 대상으로 무작위 지점을 생성하여 나도승마의 비출현 지점으로 간주함
- 나) 무작위 지점이 특정지역에 집중되는 것을 방지하기 위해, 생성 후 spatial scaling(격자 크기 1x1km)를 거쳐 최종적인 나도승마 비출현 지점 총 5,000개를 생성함
- 다) 제작된 비출현 지점 및 기존 출현 지점의 환경자료를 추출해 나도승마의 환경자료를 제작함

(3) 환경변수

- 가) 서식지적합성지수의 적정성 검토 및 결과와 비교하기 위하여 서식지적합성지수 개발에 사용된 5가지 주요서식변수가 모형제작에 이용됨
- 나) 주요서식변수는 연평균강수량을 제외하고는 범주형으로 구분하여 분석함(표 15)

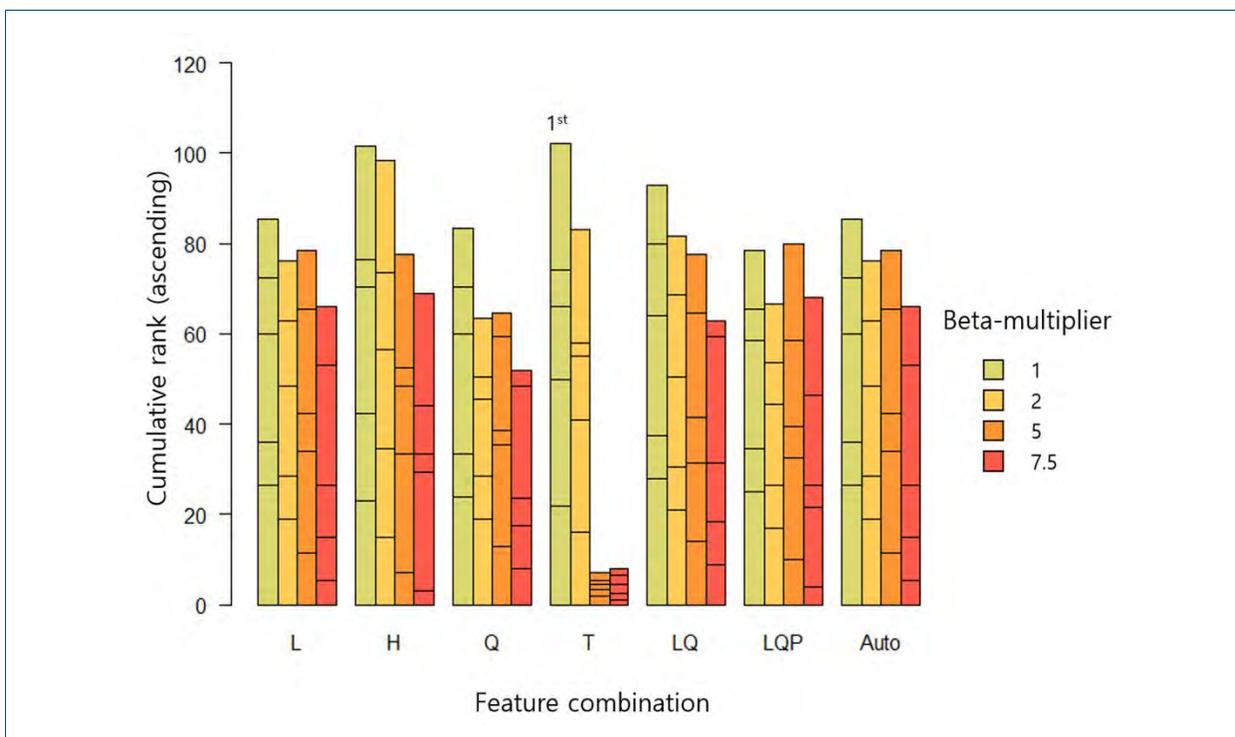
[표 15] 나도승마 주요서식변수 별 자료유형

구분	주요서식변수				
	수직적 식생대	임상	임분밀도	연평균 강수량	유효토심
자료유형	범주형	범주형	범주형	연속형	범주형

나. 모형제작

(1) Maxent 모형제작

- 가) 나도승마의 출현 지점 수가 전체 18개로, 일반적인 종분포모형(훈련, 검증, 자료 구분)을 제작하기에 자료의 수가 충분하지 않음
- 나) 이에 전체 자료에 대해 교차 검증 방법(K-fold cross-validation)을 이용하여 종분포 모형의 제작 및 검증을 수행함
- 다) 전체자료를 5개의 집합으로 분할하여 모형의 훈련 및 검증에 반복적으로 사용하였고, 종분포모형의 평가 지표로는 AUROC* 값과 정확도를 사용함
- * AUROC(area under the receiver operating characteristic curve): 진단 메타에 사용되는 모형 정확도 값
- 라) 정확도는 모형의 민감도와 특이도 값이 가장 높게 나오는 역치값을 기준으로 계산함
- 마) MaxEnt 모형의 모수를 조절하는 최적화 과정(optimization)을 통해, 최적화된 나도승마의 종분포모형을 제작하였으며, 모수 조절에 따른 모형의 성능을 AUROC값의 순위로 나타냄(그림 19)



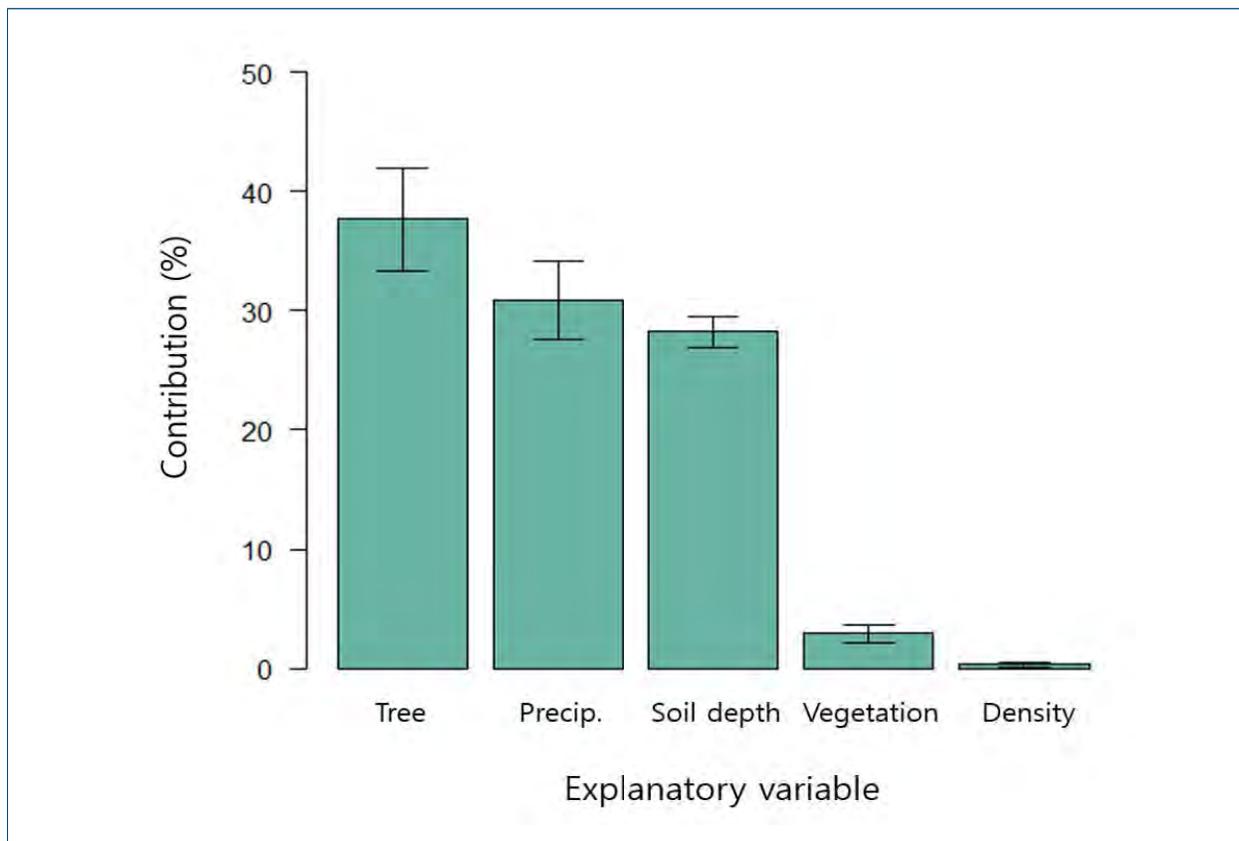
[그림 19] 모수 선정 결과(AUROC 값에 대한 모수별 순위 선정)

(2) 종분포모형 평가

- 가) 교차 검증을 통해 종분포모형의 성능을 평가한 결과, 종분포모형의 평균 AUROC값은 0.973, 평균 정확도 0.94로 나타나 높은 신뢰도를 보임
- 나) 종분포모형에 대한 민감도 분석 결과, 나도슴마의 서식지 적합도에는 유효토심과 임상이 가장 큰 영향을 주었고, 식생대, 강수량 순으로 나타남
- 다) 임상밀도는 다른 4가지 변수와 비교하여 중요도가 낮게 나타남(표 16, 그림 20)

[표 16] 종분포모형을 이용한 환경변수 별 민감도 분석 결과

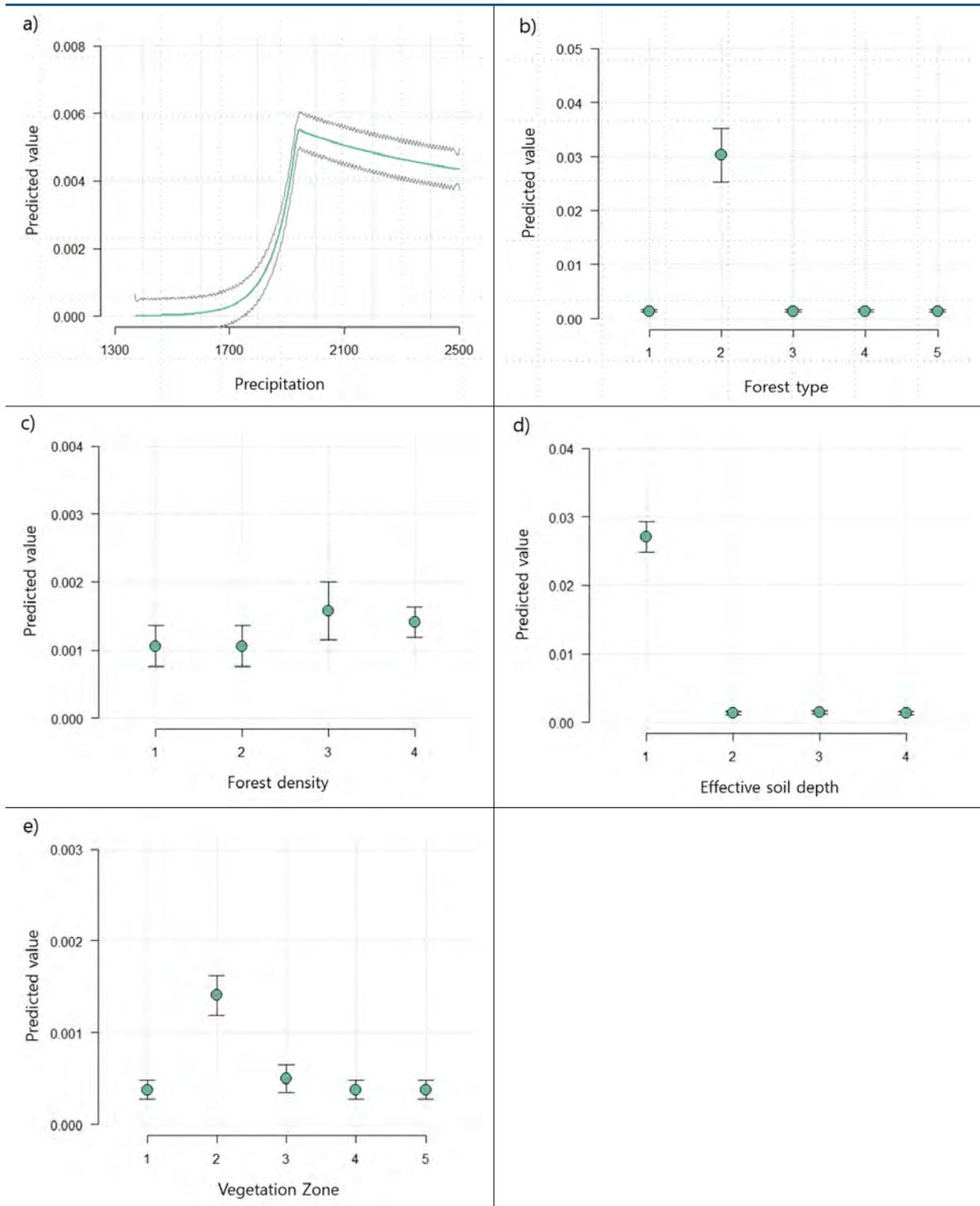
구분	평균	표준편차	표준오차
임상밀도	0.60	0.41	0.18
연평균강수량	16.31	1.00	0.45
유효토심	34.56	3.76	1.68
수직적 식생대	16.84	6.35	2.84
임상	31.69	3.67	1.64



[그림 20] 종분포모형을 이용한 환경변수 별 민감도 분석 결과

(3) 변수 별 부분의존도

- 가) 각 주요서식변수가 종분포모형을 통해 계산된 서식지 적합도에 미치는 영향을 부분의존도 (Partial dependence plot)을 통해 확인함(그림 21)
- 나) 연속변수인 강수량에 대한 추세선 및 신뢰구간은 LOESS 방법을 통해 추정하였고, 나머지 범주형 변수에 대해서는 각 범주별 평균값 및 표준 오차를 계산함
- 다) 나도승마의 서식지 적합도는 연평균강수량 1,700mm까지는 적합하지 않은 것으로 확인되었고, 1,800~1,950mm 사이에서 크게 증가하였으며, 이후 약간씩 감소하는 것으로 나타남
- 라) 임상은 낙엽활엽수림에서 가장 적합하며, 다른 산림(침엽수림, 상록활엽수림 등)에서는 적합하지 않은 것으로 나타남
- 마) 임상밀도는 중(3)에서 가장 적합한 것으로 확인되었으며, 다음으로 밀(4)에서 적합한 것으로 나타남
- 바) 유효토심은 20cm 미만인 지역에서 가장 적합한 것으로 확인되었으며, 20cm이상인 지역에서는 서식에 적합하지 않는 것으로 나타남
- 사) 수직적 식생대는 냉온대 낙엽활엽수림에서 가장 적합한 것으로 나타남



[그림 21] 부분 의존도(a: 연평균 강수량, b: 임상, c: 임상밀도, d: 유효토심, e: 수직적 식생대).
연평균 강수량에서 검정색 선은 95% 신뢰구간을 의미함

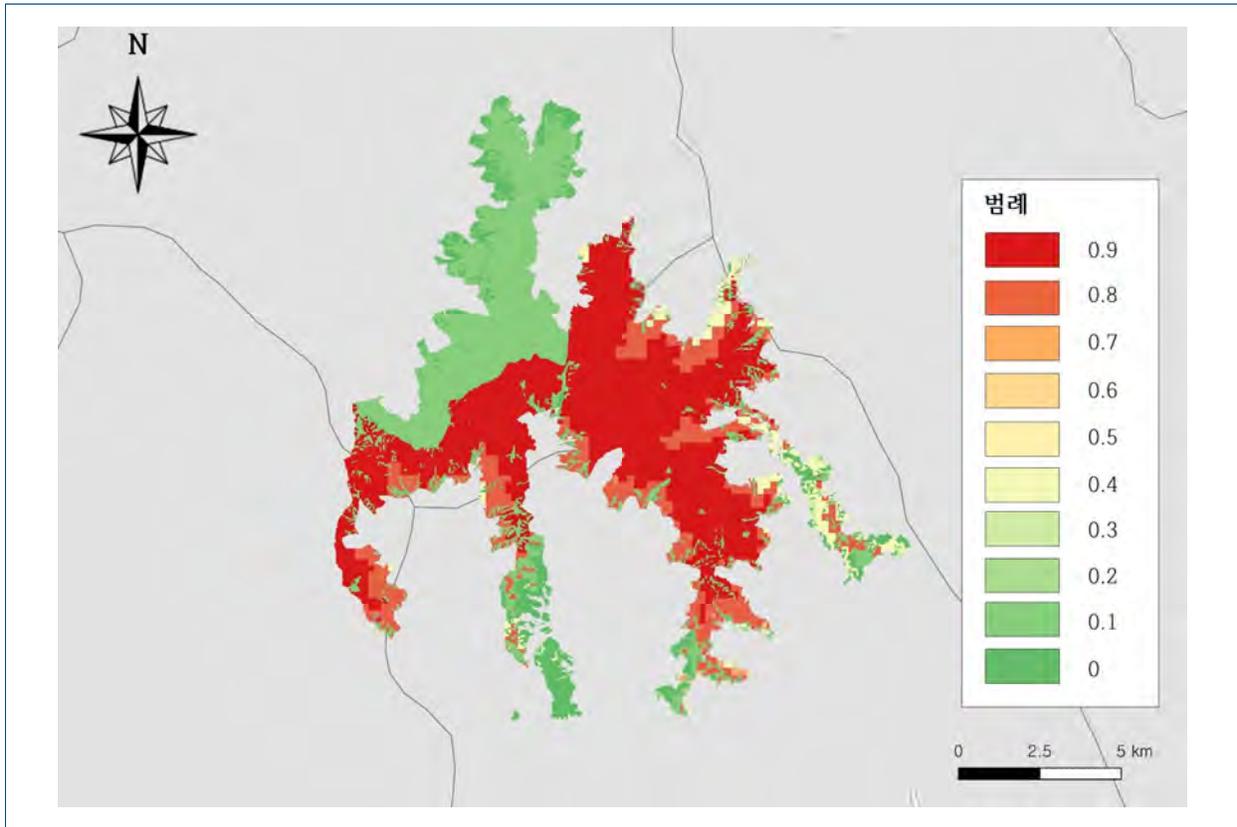
다. 서식지적합도 분석

(1) 연구대상지 별 적합도 분석

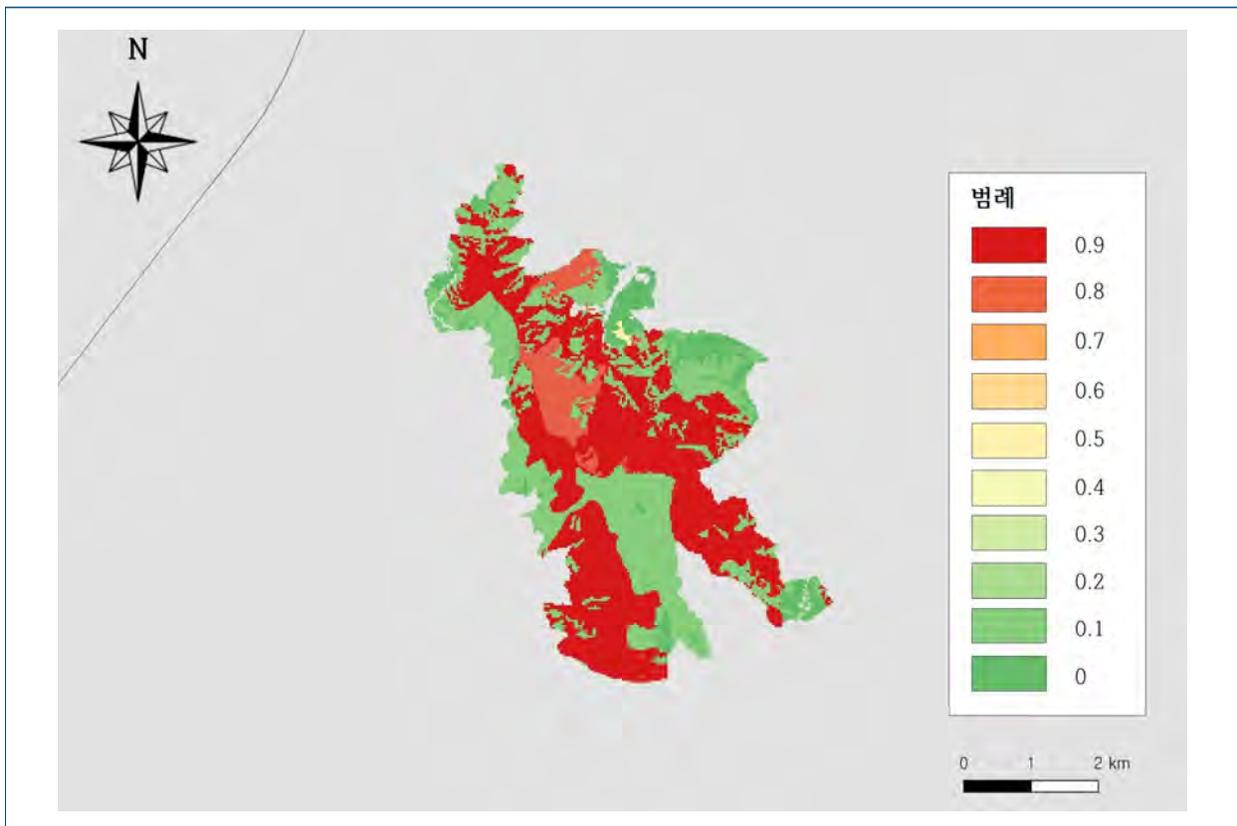
- 가) 제작된 나도승마의 종분포모형을 이용하여 백운산(그림 22), 웅석봉(그림 23), 지리산(그림 24), 영취산(그림 25) 일대의 나도승마 서식지 적합도를 예측함(표 17)
- 나) 적합도는 0~0.9로 나타났으며, 전체 연구대상지 중 적합도가 낮은 0.1인 지역이 가장 넓은 면적을 차지하였고, 다음으로 0.9, 0 순으로 나타남
- 다) 적합도가 0.9인 지역 총 166.19km²으로 지리산(112.16km²)에서 가장 넓은 면적을 차지하고 있었으며, 각 연구대상지 별 비율은 웅석봉(46.6%), 백운산(42.3%), 지리산(24.1%) 순으로 나타남
- 라) 현재 나도승마의 자생이 확인된 백운산과 웅석봉 뿐 아니라 지리산에서도 적합한 지역이 높게 나타났으며, 영취산에서는 적합한 지역이 적게 나타남

[표 17] 나도승마 MaxEnt를 활용한 서식지 적합도 분석 결과(km²)

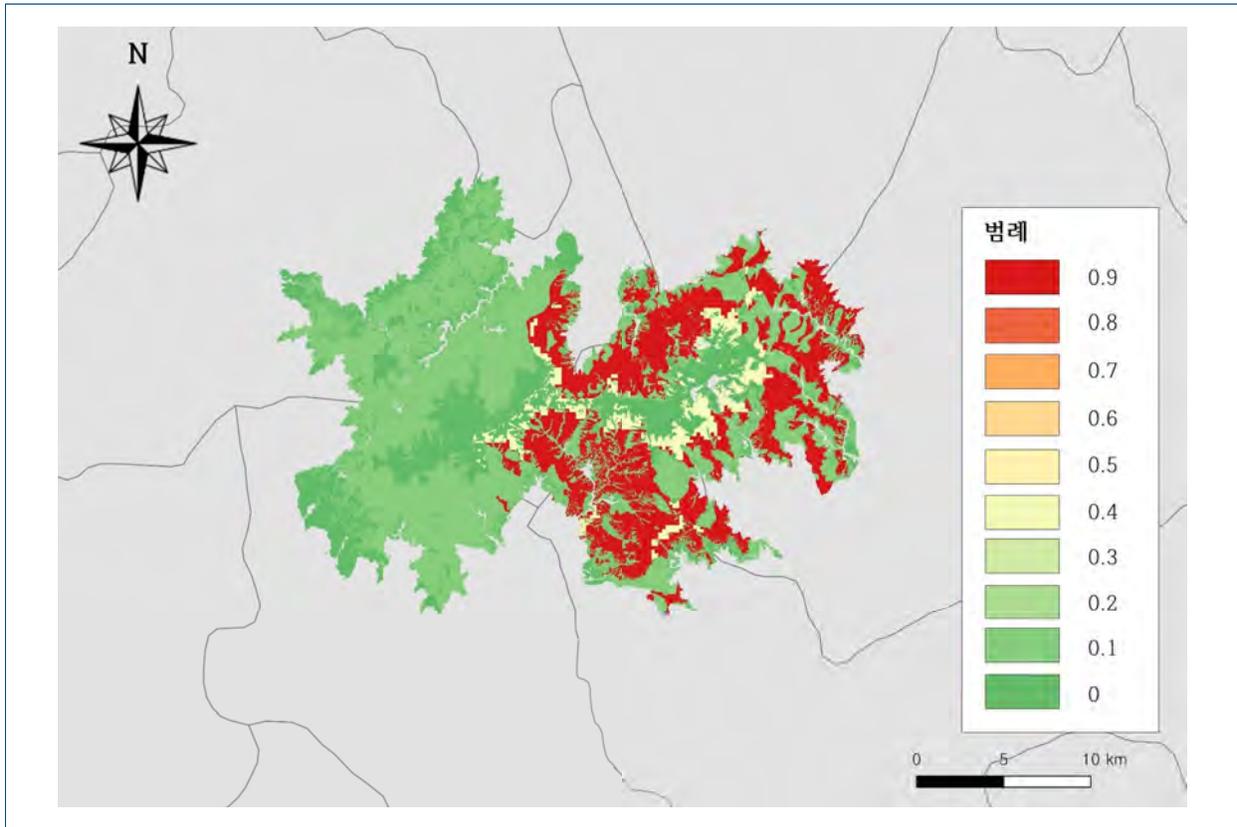
구분	백운산	웅석봉	지리산	영취산	합계
1	-	-	-	-	-
0.9	44.94	9.08	112.16	-	166.19
0.8	15.03	1.32	0.22	-	16.57
0.7	0.27	0.01	0.07	0.03	0.39
0.6	0.06	0.00	0.00	-	0.06
0.5	0.45	0.04	0.71	-	1.20
0.4	3.63	-	20.94	0.02	24.59
0.3	0.48	-	0.03	1.32	1.82
0.2	0.01	-	-	2.15	2.15
0.1	31.99	7.31	222.66	0.06	262.03
0	9.72	1.74	109.48	7.00	127.93
합계	106.57	19.51	466.28	10.58	602.94



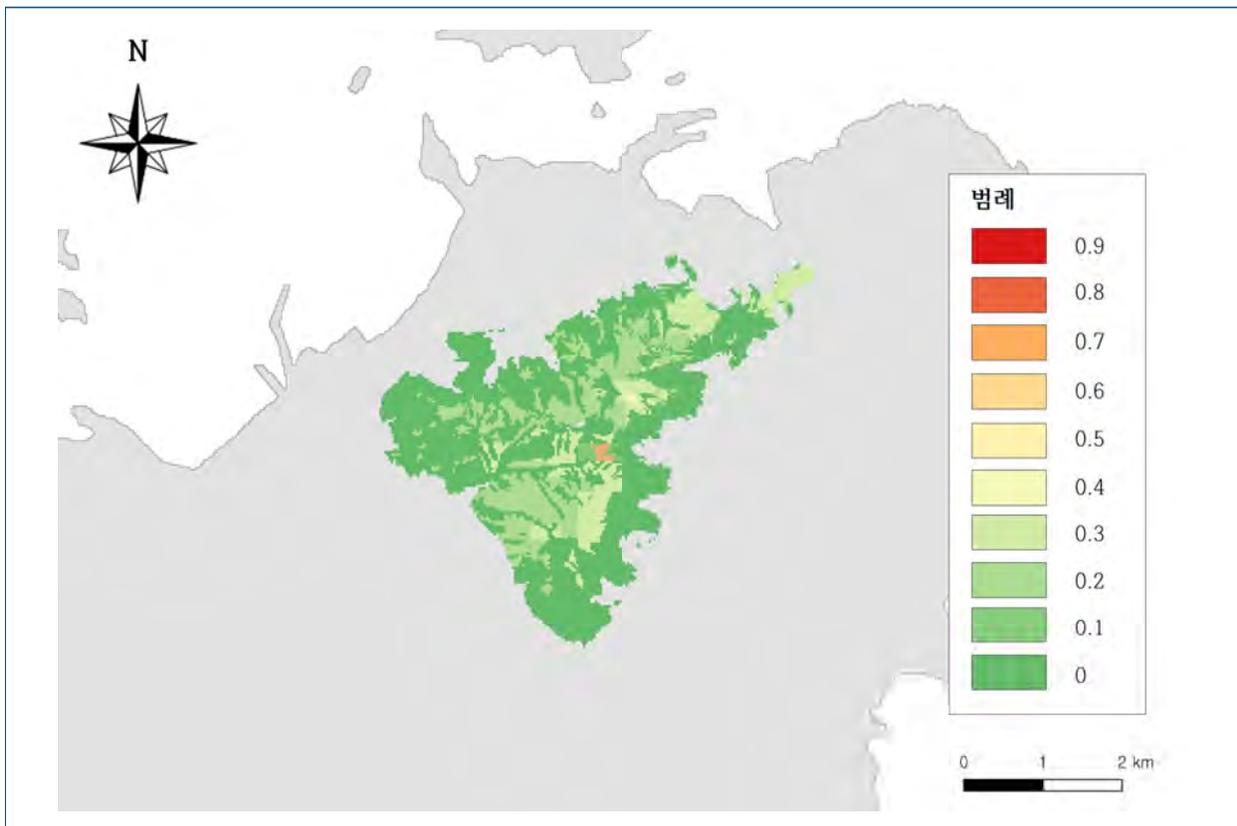
[그림 22] 백운산 서식환경 적합성 결과(MaxEnt)



[그림 23] 응석봉 서식환경 적합성 결과(MaxEnt)



[그림 24] 지리산 서식환경 적합성 결과(MaxEnt)



[그림 25] 영취산 서식환경 적합성 결과(MaxEnt)

5 핵심서식지 발굴

가. 핵심서식지 분석 및 선정

(1) 적지분석 결과 검증

- 가) 서식지적합성지수와 MaxEnt 모델을 활용한 연구결과와 나도승마의 자생지 18지점을 대조한 결과를 표 18에 나타냄
- 나) 이 결과 총 3지점을 제외하고는 모두 적합한 서식지로 확인됨
- 다) 데이터가 추출되지 않은 백운산 2개 지점은 좌표가 백운산 경계 밖에 위치하여 모델의 결과 나타나지 않았으며, 나머지 1지점(HSI 0.9, MaxEnt 0.1)은 유효토심이 50~100cm로 나타나 결과의 차이를 나타냄

[표 18] 나도승마 분포좌표 별 적지분석모델 결과 비교

지역	구분	HSI	MaxEnt	비고
백운산	1	-	-	연구대상지 외부에 위치
	2	-	-	연구대상지 외부에 위치
	3	1	0.9	-
	4	1	0.9	-
	5	1	0.9	-
	6	1	0.9	-
	7	1	0.9	-
	8	1	0.9	-
	9	1	0.9	-
	10	1	0.9	-
	11	1	0.9	-
	12	1	0.9	-
	13	1	0.9	-
	14	1	0.9	-
	15	1	0.9	-
웅석봉	1	0.9	0.1	유효토심으로 인한 차이
	2	1	0.9	-
	3	1	0.9	-
평균		0.99	0.85	-

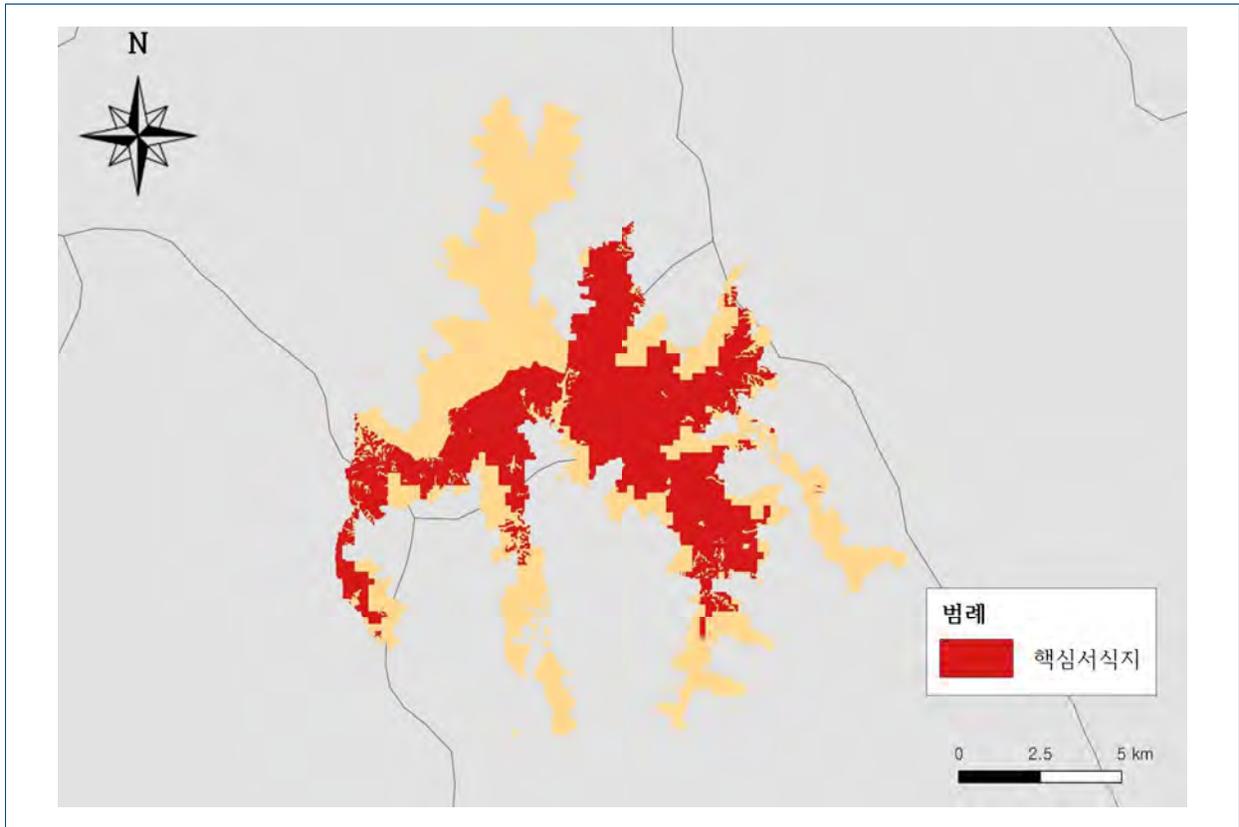
(2) 핵심서식지 선정

- 가) 나도승마의 핵심서식지는 서식지적합성지수로 인한 결과가 가장 높은(1) 지역과 MaxEnt 모델 결과가 가장 높은 0.9 지역을 동시에 고려하여 핵심서식지로 선정함
- 나) 전체 연구대상지 면적(589.67km²) 중 나도승마의 핵심서식지는 163.99km²으로 확인됨
- 다) 산 면적 대비 핵심서식지 비율은 응석봉(47.35%)이 가장 높았으며, 다음으로 백운산(43.47%), 지리산(24.18%) 순으로 나타남
- 라) 전체 핵심서식지 면적 중 지리산(67.77%)이 가장 넓은면적을 차지하고 있었으며, 백운산(26.84%), 응석봉(5.39%) 순으로 나타남
- 마) 영취산에는 핵심서식지가 없는 것으로 확인됨

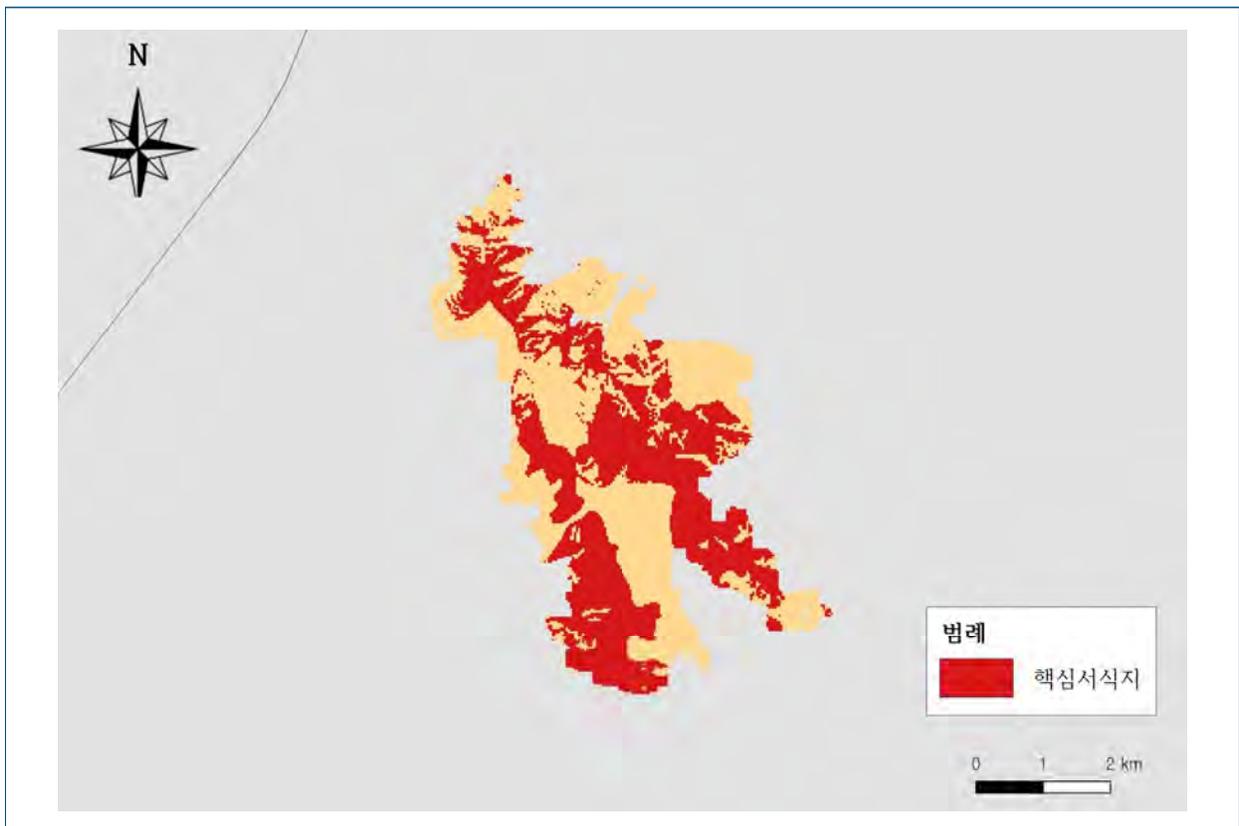
[표 19] 나도승마 핵심서식지 면적

구분	백운산	응석봉	지리산	영취산	합계
총면적(km ²)	101.22	18.65	459.58	10.22	589.67
핵심서식지(km ²)	44.05	8.83	111.11	0	163.99
핵심서식지 비율(%)	43.47	47.35	24.18	0	-
전체핵심서식지 면적대비 기여율(%)*	26.84	5.39	67.77	0	100

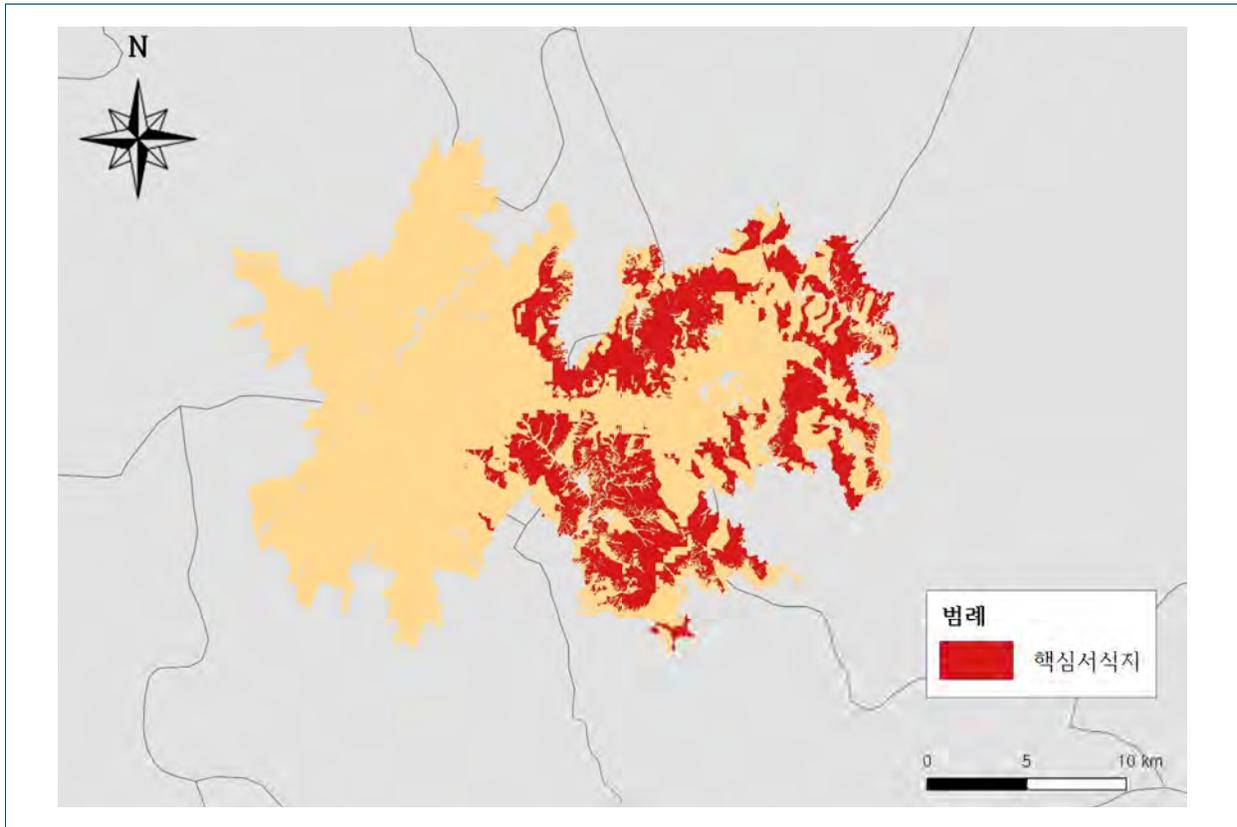
* 각 산의 핵심서식지 면적 / 전체핵심서식지 면적 × 100



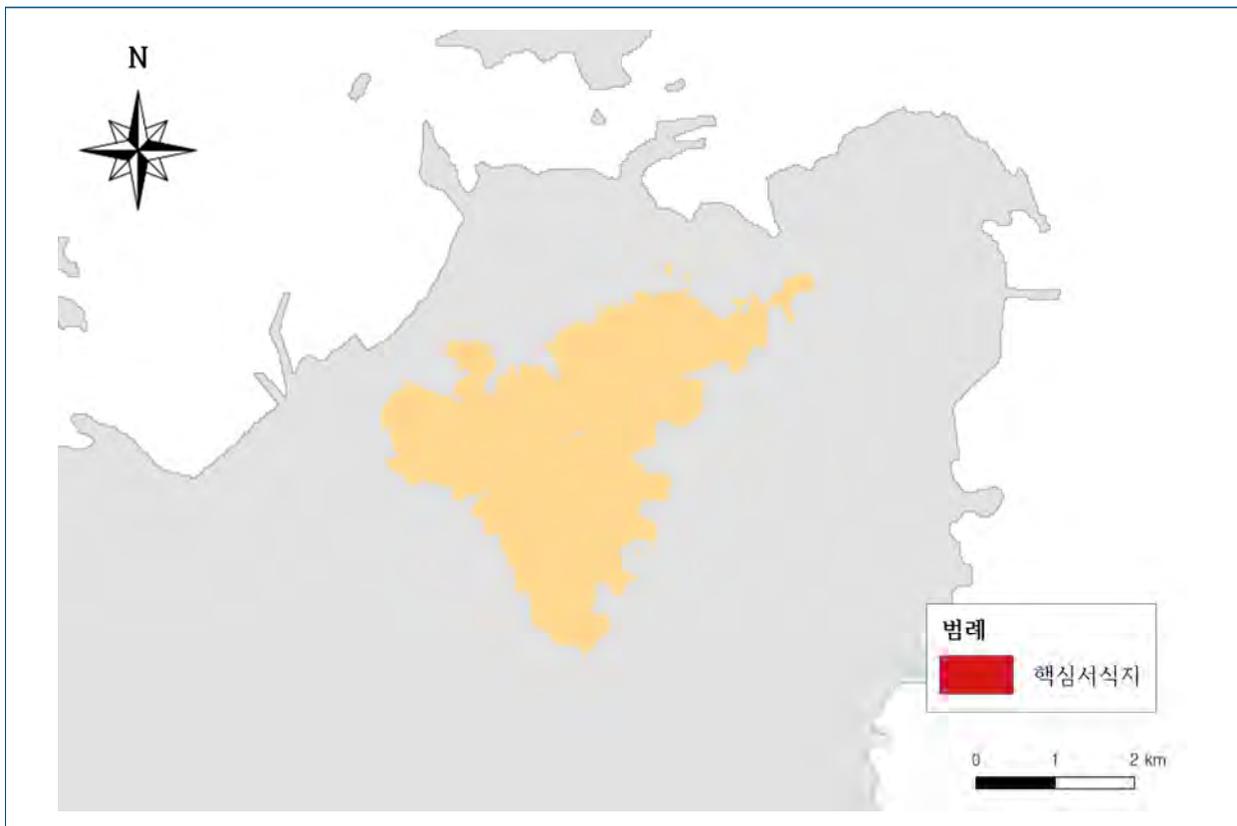
[그림 26] 백운산 핵심서식지



[그림 27] 응석봉 핵심서식지



[그림 28] 지리산 핵심서식지

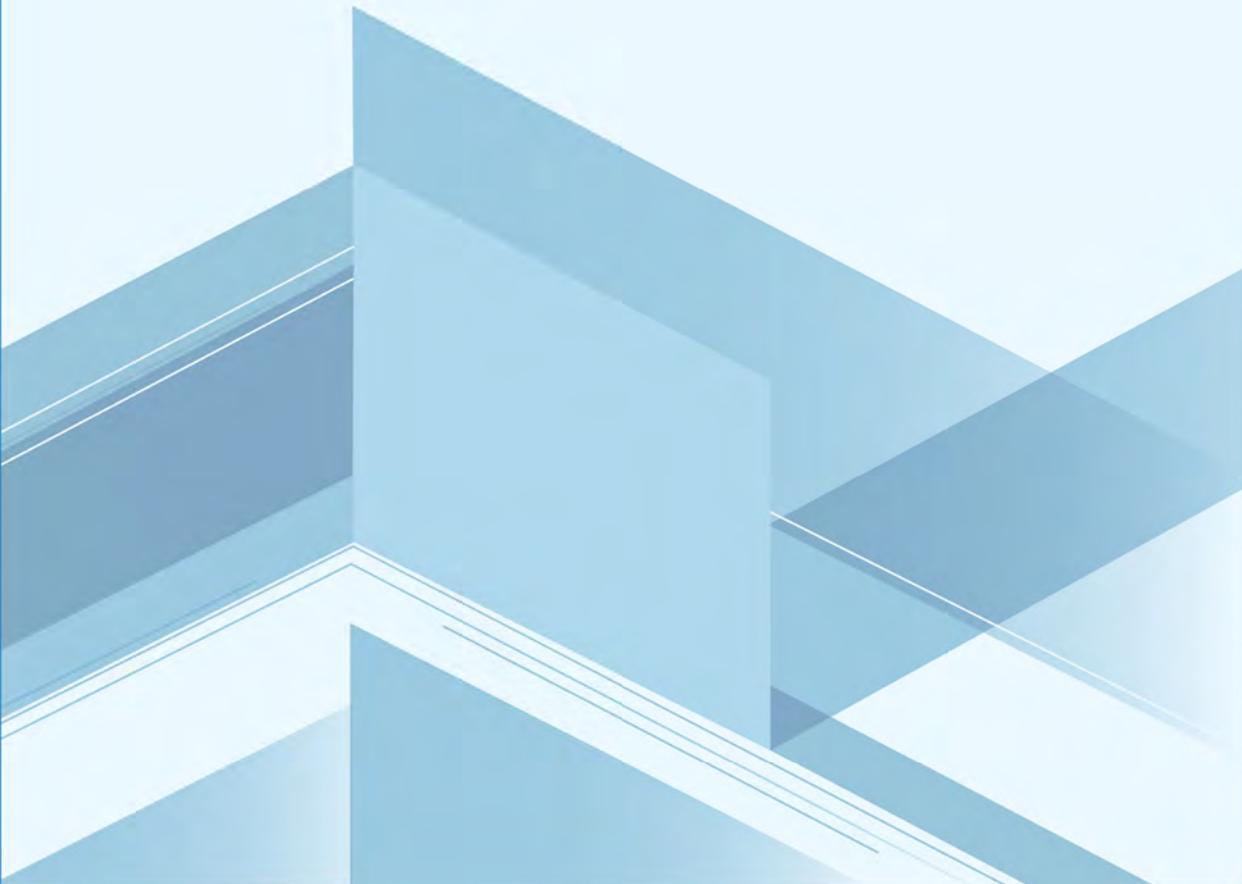


[그림 29] 영취산 핵심서식지

V. 결론

1. 결론(종 별)

2. 종합결론



1

결론(종 별)

가. 산양

- 가) 산양의 핵심서식지는 주로 강원도와 경북의 북쪽 지역인 태백산맥을 따라 분포하는 것으로 확인되었음
- 나) 산양의 출현좌표는 흔적 조사로 확인된 비율이 높아 출현 지점을 통한 핵심 서식지의 환경요인을 선정하는데 한계가 존재함
- 다) 이에, 산양 개체에 GPS 발신기 부착 등을 통하여 산양 서식환경에 대한 정밀한 연구를 통해 모델의 고도화가 필요함
- 라) 산양의 핵심서식지가 밀집되어 있는 지역은 대부분 국립공원으로 지정되어 보호되고 있으나 백석산, 두타산, 가리왕산 인근 지역은 보호되고 있지 않아 향후 현장조사 등을 통하여 분포를 확인한 후 보호지역 설정 등이 필요함

나. 꼬마잠자리

- 가) 꼬마잠자리 서식지인 산지습지와 천이초기의 묵논습지는 연간 서식환경의 변동성이 크고 수계의 공간정보가 구축되어 있지 않아 현장조사가 되지 않은 지역에 대한 분석이 불가능함
- 나) 이에, 현장조사를 통한 습지환경정보 수집이 필수적이며, 핵심서식지로 선정된 지역의 정기적인 모니터링 계획이 필요함
- 다) 울진군 산지습지 46지점 조사 결과 꼬마잠자리의 출현이 확인되지 않았고, 기존 서식지의 대부분이 파괴되어 현재 꼬마잠자리 서식지의 사유지 매수 또는 사유지가 아닌 지역으로의 이주가 필수적임

다. 나도승마

가) 나도승마 좌표지점 16지점 중 15지점이 핵심서식지로 나타나 개발된 모델은 높은 정확도 (93.75%)를 가지고 있으며, 과거 분포했다고 알려졌지만, 현재 확인되지 않은 영취산에서 핵심서식지가 나타나지 않은 것으로 볼 때, 기후변화, 서식지 파괴 등으로 현재상황이 고려된 모델로 판단됨

※ 연구대상지 밖에 위치하여 결과도출에서 제외된 좌표 2지점 제외

나) 하지만, 나도승마의 기초생태자료와 출현좌표가 매우 적어 산양, 꼬마잠자리 모델과 비교하여 상대적으로 적합범위가 넓은 모델이 개발됨

다) 이에 전체 연구대상지의 약 27.8%가 핵심서식지로 확인되었으며, 추후 나도승마의 자생지를 선별할 수 있는 환경변수와 적정범위에 대한 정밀한 연구를 통해 모델의 고도화가 필요함

라) 나도승마는 자생지가 한정적으로 보전가치가 높지만 일부 자생지가 숲가꾸기 사업과 사방사업으로 훼손 위험이 매우 높았고, 일부 서식지가 등산로 및 사방사업으로 단절된 것을 확인하여 적극적인 보전대책이 강구되어야 함

2

종합결론

가. 종합결론

- 가) 본 연구는 전문가 기반형 모델의 한계로 지적되는 주관적 기준, 통계분석의 부재 등과 통계기반형 모델의 한계로 지적되는 현장검증, 전문가의견 반영 등의 극복을 위하여 각각의 모델을 개발하여 핵심서식지를 도출함
- 나) 모델의 결과로 제시된 핵심서식지는 공간자료의 한계, 미소서식지, 경쟁종 및 공생종 등의 제한으로 불확실성을 수반하므로 높은 등급으로 확인된 서식지라도 대상종이 실제 서식하지 않을 수 있다는 불확실성을 수반하기에 현장검증이 필수적으로 수행되어야 함
- 다) 일부 종의 경우, 넓은 서식지를 가지고 있어 개체군마다 서식지 이용 특성이 달라(떡이원 등) 지리적 이격거리가 큰 종의 경우 국내 실정에 맞는 모델 개발이 필요함
ex) 러시아에서 산양은 해안가 절벽지대 또는 초지가 거의 없는 바위가 산재된 지역에서 서식하여 국내 산양의 서식지와는 대조됨
- 라) 이러한 한계에도 불구하고, 서식지 적합성 모형은 생물종의 분포와 서식지 이용 특성을 이용하여 적합 서식지를 예측하고, 전체 서식지 중 서식가능성이 높은 대상지를 예측할 수 있어 신규 서식지 발굴, 대체서식지 선정 등 다양한 방면으로 활용 가능함
- 마) 또한, 전국범위에서 조사해야할 대상지를 1차적으로 필터링하여 향후 정밀조사 및 보호 지역으로 지정하기 위한 조사대상지를 선별해 주기 위한 사전 연구로 향후 전문가가 많지 않은 야생생물 분야의 인력 및 시간을 감소시켜주는데 높은 가치가 있음

VI. 참고문헌





참고문헌

- 강신호 외. (2007). 한반도 희귀식물 나도승마(범의귀과)에 관한 생태학적 연구. **한국자원식물학회지**, 20(1), 1-6.
- 권신영. (2019). 개체군 활력도 분석을 통한 나도승마(*Kirengeshoma palmata* Yatabe) 한반도 집단의 보전 연구. 서울대학교. 서울특별시 .
- 김규철 외. (2020). 오대산국립공원 산양 (*Naemorhedus caudatus*) 개체 수 분석-무인센서카메라 분석을 이용한 개체 구분 및 통계 분석. **한국환경생태학회지**, 34(1), 1-8.
- 김다빈. (2017). 한반도 산양의 시·공간적 분포와 변화. 경희대학교, 서울특별시.
- 김동건, 염진화, 윤태중, & 배연재. (2006). 꼬마잠자리 (*Nannophya pygmaea* Rambur: Libellulidae, Odonata) 알의 부화에 미치는 온도의 영향. **한국응용곤충학회지**, 45(3), 381-383.
- 김동건, 황정미, 윤태중, & 배연재. (2009). 한국의 멸종위기종인 꼬마잠자리 (*Nannophya pygmaea* Rambur: 잠자리과, 잠자리목) 알의 발육과 온도의 관계. **한국환경생물학회지**, 27(3), 292-296.
- 김동언. (2011). 울산시 산림휴경지의 꼬마잠자리 서식지 변화 및 관리방안 연구. **한국환경생태학회지**, 25(6), 867-877.
- 김명현 외. (2010). 꼬마잠자리 서식지의 식물상과 생활형. **한국환경농학회지**, 29(2), 206-213.
- 박희복. (2011). 경북 북부지역 산양의 서식지 이용 특성과 기후변화의 영향. 경북대학교. 대구광역시.
- 서창완, 최태영, 최윤수, & 김동영. (2008). 설악산 산양을 대상으로 한 야생동물 서식지 적합성 모형에 관한 연구. **한국환경복원기술학회지**, 11(3), 28-38.
- 오기철, 노기현, 이황구, & 김동건. (2017). 멸종위기야생생물 II 급인 꼬마잠자리 (*Nannophya pygmaea*) 와 서식처의 보호 및 보존 조치에 관한 제언. **환경생물학회지**, 35(4), 545-548.
- 이민지. (2017). Maxent 모형을 이용한 우리나라 산양 서식지 분포 예측 : 설악산 및 울진-삼척지역 중심으로. 이화여자대학교. 서울특별시.
- 이배근 외. (2011). 오대산국립공원 산양(*Naemorhedus caudatus*)의 서식지 이용특성 연구. **한국환경생태학회 학술대회지**, 21(2), 208-211.

- 이은희 외. (2008). 꼬마잠자리 (*Nannophya pygmaea* Rambur: Libellulidae, Odonata) 서식처 복원을 위한 기초연구. **한국환경생태학회지**, 22(1), 35-42.
- 임상진. (2014). 지리정보시스템(GIS)을 활용한 멸종위기 포유동물의 서식지 특성 분석. 강원대학교. 강원도.
- 조규태 외. (2012). 멸종위기종 꼬마잠자리 보전을 위한 묵논 서식처의 경관생태 및 환경 특성. **한국습지학회지**, 14(4), 667-674.
- 조선희 외. (2013). 나도승마 서식지의 환경적 특성과 식생구조. **한국산림과학회지**, 102(3), 446-454.
- 조선희. (2012). MAXENT 모델을 적용한 나도승마의 서식지로 적합한 임분의 잠재력 평가. 서울대학교. 서울특별시.
- 조재운. (2013). 산양(*Naemorhedus caudatus*)의 계통분류와 생태 및 보전대책에 관한 연구. 충북대학교. 충청북도 청주시.
- 조재운 외. (2015). 설악산국립공원 멸종위기 산양 (*Naemorhedus caudatus*) 개체군 크기와 서식지 이용 현황. **한국환경생태학회지**, 29(5), 710-717.
- 조재운 외. (2017). 속리산국립공원 재도입 산양의 행동 특성에 따른 복원 대상지 확대. **한국환경생태학회 학술대회지**, 2017(2), 25-25.
- 최도열. (2002). 희귀식물 나도승마(*Kirengeshoma koreana* Nakai)와 모데미풀(*Megaleranthis saniculifolia* Ohwi)의 유전구조 및 교배양식에 따른 보전방안. 서울대학교. 서울특별시.
- 최태영. (2002). 설악산국립공원의 산양특별보호구역 설정: GPS 를 이용한 흔적조사에 입각한 서식지적합성평가와 최소존속개체군을 고려하여 . 서울대학교. 서울특별시.
- 최태영, 박종화 & 서창완. (2002). 지식기반분석기법을 이용한 설악산 국립공원의 산양 서식지 적합성 평가. **한국조경학회 춘계학술논문 발표회 논문집**, 74-79.
- 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), 28-38.
- 최태영 & 박종화. (2005). 설악산 국립공원의 산양 보호구역 설정기법에 관한 연구: 서식지 적합성 모형, 서식지 수용능력, 최소 존속 개체군 이론을 이용하여. **한국조경학회지**, 32(6), 23-35.
- 환경부. (2016). 무제치늪 꼬마잠자리의 새로운 보금자리. 경남 창원시:파크. 119p.
- 환경부. (2018). 멸종위기 야생생물 보전 종합계획 2018~2027. 1-227.
- 환경부. (2009). 생태환경 이용 및 관리기술, 습지보전 깃대종으로서 멸종위기동물인 물장군과 꼬마잠자리의 보존, 복원 및 증식 기술 개발에 관한 연구. 72.

- Bae, Y. J., Yum, J. H., Kim, D. G., Suh, K. I., & Kang, J. H. (2020). *Nannophya koreana* sp. nov.(Odonata: Libellulidae): A new dragonfly species previously recognized in Korea as the endangered pygmy dragonfly *Nannophya pygmaea* Rambur. *Journal of Species Research*, 9(1), 1-10.
- Han H. et al. (2014). Assessing the potential suitability of forest stands as *Kirengeshoma koreana* habitat using MaxEnt. *Landscape and ecological engineering*, 10(2), 339-348.
- Myslenkov, A. I. & Voloshina, I. V. (2012). **아무르산양의 생태와 행동**(박인주 옮김). 경기도 파주시: 한국학술정보(주)
- OECD. (2012). *OECD environmental outlook to 2050: the consequences of inaction*.
- Soil Science Division Staff(SSDS). (2017). *Soil Survey Manual: Soil Science Division Staff*. Washington, DC, USA: Government Printing Office.
- Tokushima Committee for Endangered Species Conservation(TCESC). (2010). *Conservation and Management Manual for Endangered Species Conservation in Tokushima*. Tokushima, Japan: Tokushima city museum.
- [https://www.iucnredlist.org/species/13188492/13189494#threats\(2021.07.20\)](https://www.iucnredlist.org/species/13188492/13189494#threats(2021.07.20))

Ⅶ. 부록

1. 평가항목 및 지표
2. 공간자료 수집
3. 주요서식변수 별 적성지수 분석 결과

1 평가항목 및 지표

가. 꼬마잠자리 평가 잠재서식지 평가지표

평가항목	평가지표					
	0	1	2	3	4	5
개방수면	없음	5%미만	5~10%	10~30%	30%이상	-
침수지역 식피울	없음	10%미만	10~30%	30~50%	50~70%	70%이상
부엽식물 피도	없음	10%미만	10~30%	30~50%	50~70%	70%이상
정체수역 수심	없음	5cm미만	5~10cm	10~15cm	15cm이상	-
선구식물* 식피울	없음	10%미만	10~30%	30~50%	50%~70	70%이상

*버드나무sp, 오리나무sp

나. 표토자갈함량 구분 기준(SSDS 2017)

구분	내용
자갈이없음	용량 0~15%
자갈이있음	용량 15%이상, 크기 0.2~0.5cm
잔자갈이있음	용량 15%이상, 크기 0.5~7.5cm
잔돌이있음	용량 15%이상, 크기 7.5~25cm
돌이있음	용량 15%이상, 크기 25~60cm
돌과동근바위가있음	용량 15%이상, 크기 (돌)25~60cm, (동근바위) 60cm이상
동근바위가있음	용량 15%이상, 크기 60cm이상
바위가있음	용량 15%~35%, 크기 25cm이상
바위가많음	용량 35%이상, 크기 25cm이상
기타	하천범람지, 저수지, 간석지, 하해범람지, 암석노출지, 암석지, 광석지, 간석소택지, 소택지, 용암지 등 농용지로 이용할 수 없는 지역

※ 흙토람에서 미국 USDA 토양조사 매뉴얼을 준용하여 만든 토양분류체계 사용

다. 농토양의 적성등급 기준

구분	1급지	2급지	3급지	4급지	5급지
정의	1) 논으로 생산력이 높음 2) 벼 재배의 집약적 경영이 용이하며 토양을 관리하는데 제한을 받지 않음	1) 논으로 생산력이 보통임 2) 벼 재배의 집약적 경영이 가능하나 토양을 관리하는데 다소의 제한을 받음	1) 논으로 생산력이 낮음 2) 벼 재배에 심한 제한을 받고 있어 특수관리 및 재배 기술을 필요로 함	1) 논으로 생산력이 매우 낮음 2) 벼 재배에 매우 심한 제한을 받고 있어 경제적 이용이 어려울 경우가 있음	해당 지목으로 이용 부적합
토양배수	약간 불량, 약간 양호 (단, 지표에서 25cm 이상이 회색화된 것에 한함)	약간 양호, 약간 불량, 불량, 매우 불량	양호, 약간 양호, 약간 불량, 불량, 매우 불량	양호, 약간 양호, 약간 불량, 불량, 매우 불량	-
토성	식질, 식양질, 미사식양질	식질, 식양질, 미사식양질	식질, 식양질, 미사식양질, 사양질, 미사사양질	식질, 식양질, 미사식양질, 사양질, 미사사양질, 사질 (단, 배수 양호 및 매우 양호인 사질 제외)	-
유효토심 (cm)	>100	100~50	50~20	50~20 (암반, 경반층) 20~10 (석력, 모래층)	-
표토의 석력 함량	없음~약간 있음	없음~약간 있음	있음	많음	-
표층의 암석 노출	없음	없음	없음	없음	-
염농도 (ds/m at 25℃)	<4	4~8	8~16	16 <	-
유산철의 집적층(cm) 출현 시	>100	100~50	50~20	50~20	-
침식 정도	없음~약간 있음	없음~약간 있음	있음	있음	-
경사(%)	<2	2~7	7~15	15~30	-

※ 농촌진흥청 농경지 토양 관리기술 기준

라. 임상밀도 구분 기준

구분	내용
소	교목의 수관점유 면적이 50% 이하인 임분
중	교목의 수관점유 면적이 51~70% 이하인 임분
밀	교목의 수관점유 면적이 71% 이상인 임분
기타	-

※ 산림청 산림공간정보서비스

마. 식생대의 구분 기준(Yim 1977b)

식생대 유형	판정기준
난온대 상록활엽수림	한랭지수 CI > -10 혹은 온량지수 WI > 105
난온대 낙엽활엽수림 남부형 북부형	온량지수 WI 90 - 105 온량지수 WI 100 - 105 온량지수 WI 90 - 100
냉온대 낙엽활엽수림	온량지수 WI 45 - 90
아한대 (아고산대) 침엽수림	온량지수 WI 45 이하

※ 온량지수(warmth index, WI): $WI = \sum (Ti - 5)$ 단 $Ti \geq 5^{\circ}C$

바. 정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)

정규식생지수는 활력이 높거나 밀도가 높은 식생의 근적외선 반사율이 높게 나타난다는 것에 착안하여 만들어진 지수이다. 적색파장과 근적외선 파장을 이용하여 계산하며 1에서 -1까지의 값을 갖는다.

$$NDVI = (NIR^* - Red^{**}) / (NIR + Red)$$

*NIR: 근적외선, **Red: 적색파장

2 공간자료 수집

가. 분석에 활용된 공간자료

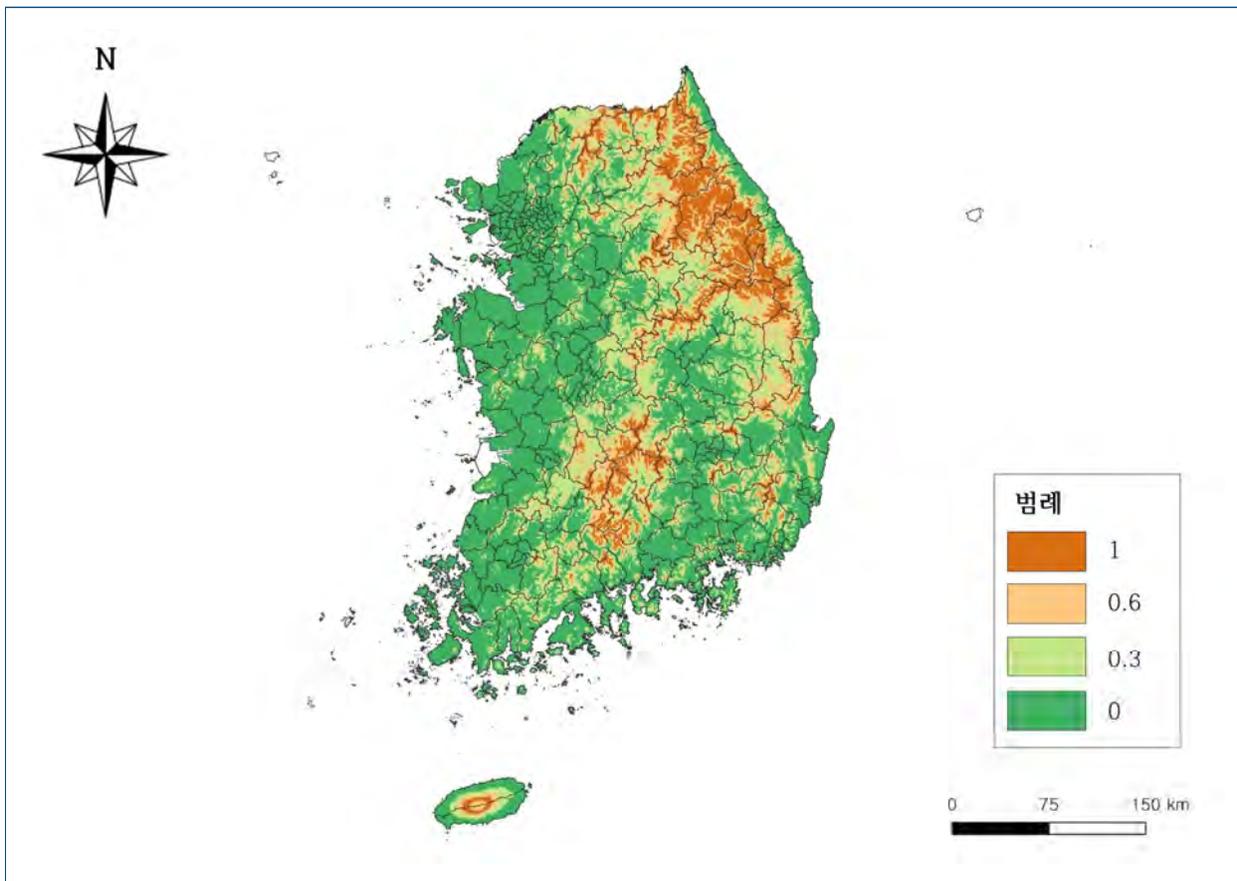
구분	보유기관	공간자료	변수	자료출처
1	기상청	기상도	연평균온도, 연평균강수량, 온량지수	기상자료개방포털
2	worldClim	생물기후도	가장 건조한 달의 강수량(BIO14),	worldclim
3	국립농업과학원	토양도	유효토심, 표토토성, 표토자갈함량, 논적성등급	흙도람
4	국토지리정보원	연속수치지형도	해발고도, 사면향, 경사도, 지형도	국토정보플랫폼
5	임업진흥원	임상도	임상밀도, 경급, 상관, 등산로	산림공간정보서비스
6	한국지질자원연구원	식생지수	정규식생지수	환경 빅데이터 플랫폼
		수분지수	지형수분지수, 토양수분지수	환경 빅데이터 플랫폼
7	국립생태원	멸종위기야생생물 전국분포조사	멸종위기야생생물 분포자료	국립생태원
		전국자연환경조사	야생생물 분포자료	국립생태원

3 주요서식변수 별 적성지수 분석 결과

가. 산양

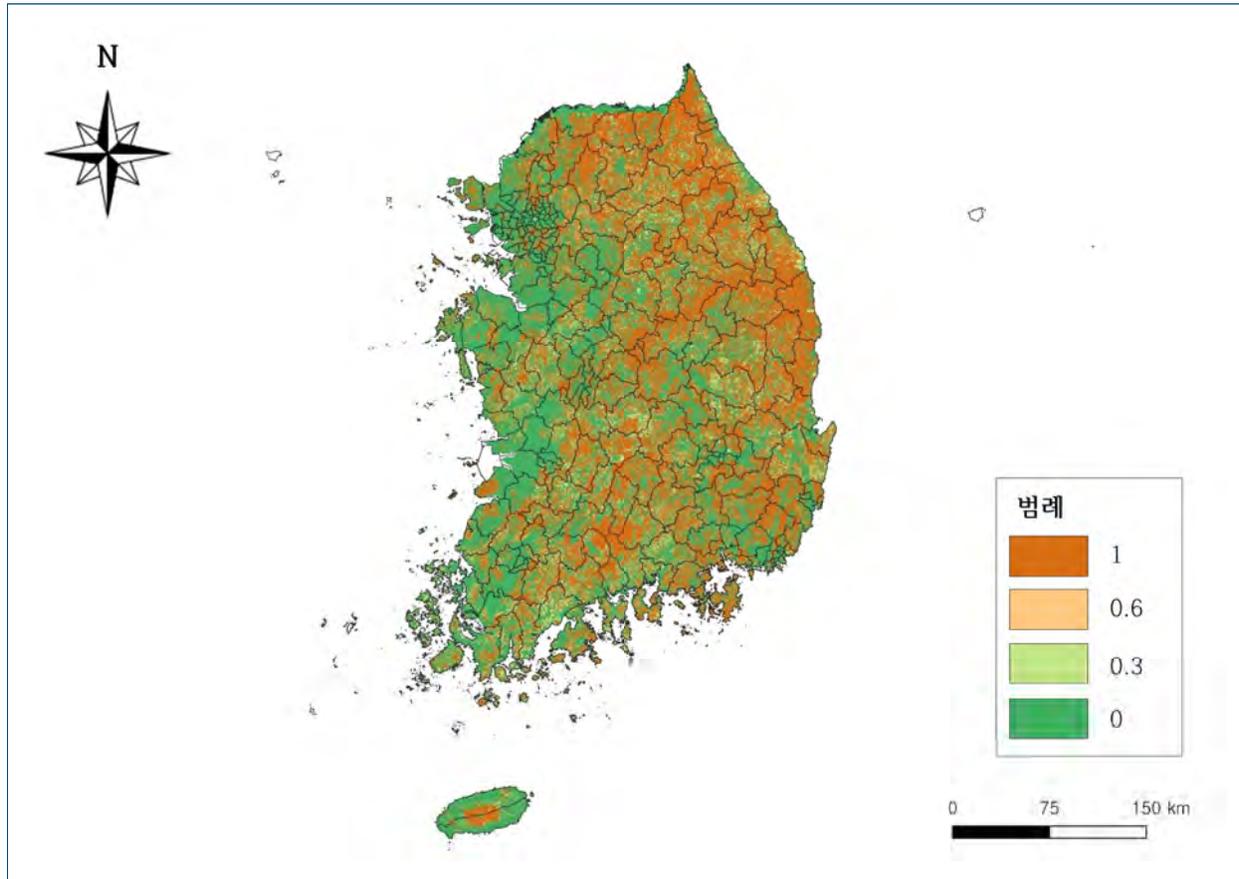
(1) 고도

구분	SI 별 면적			
	1	0.6	0.3	0
면적(km ²)	9443.15	13275.74	24224.97	53156.16
비율(%)	9.43	13.26	24.20	53.10



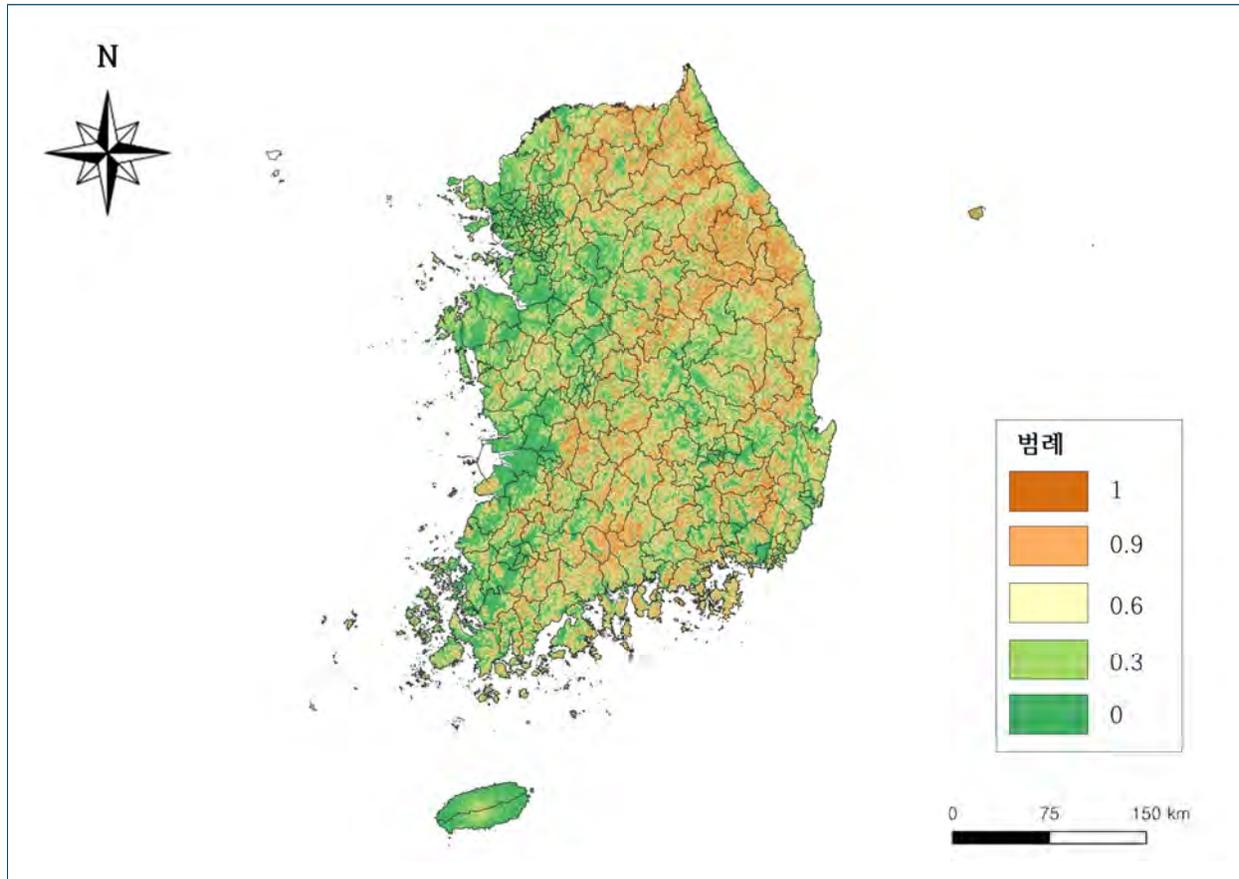
(2) 영급

구분	SI 별 면적			
	1	0.6	0.3	0
면적(km ²)	46928.57	106.55	12006.72	41058.17
비율(%)	46.88	0.11	11.99	41.02



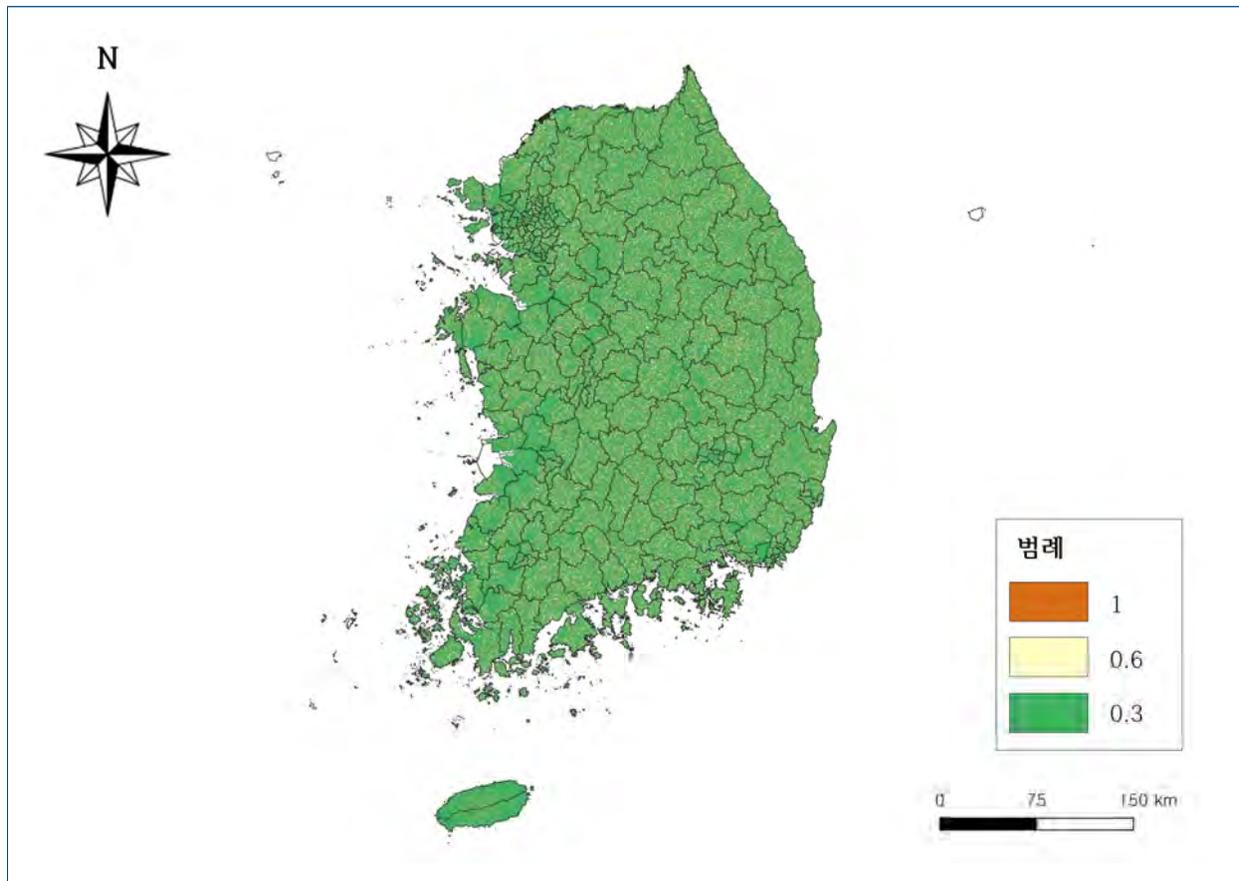
(3) 경사

구분	SI 별 면적				
	1	0.9	0.6	0.3	0
면적(km ²)	7293.43	22293.91	15604.61	30741.88	23995.76
비율(%)	7.30	22.31	15.62	30.76	24.01



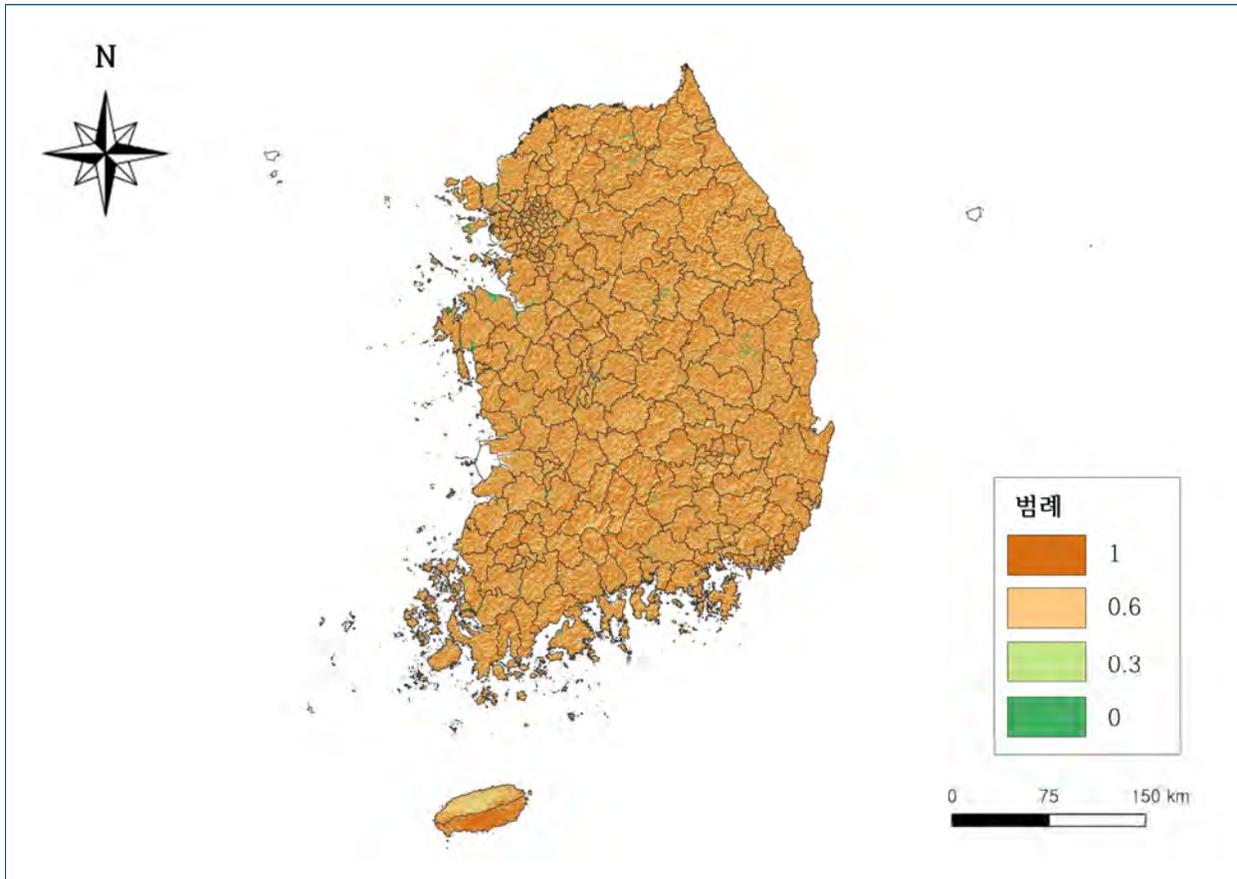
(4) 지형

구분	SI 별 면적		
	1	0.6	0.3
면적(km ²)	10438.21	13288.75	76373.15
비율(%)	10.43	13.28	76.30



(5) 향

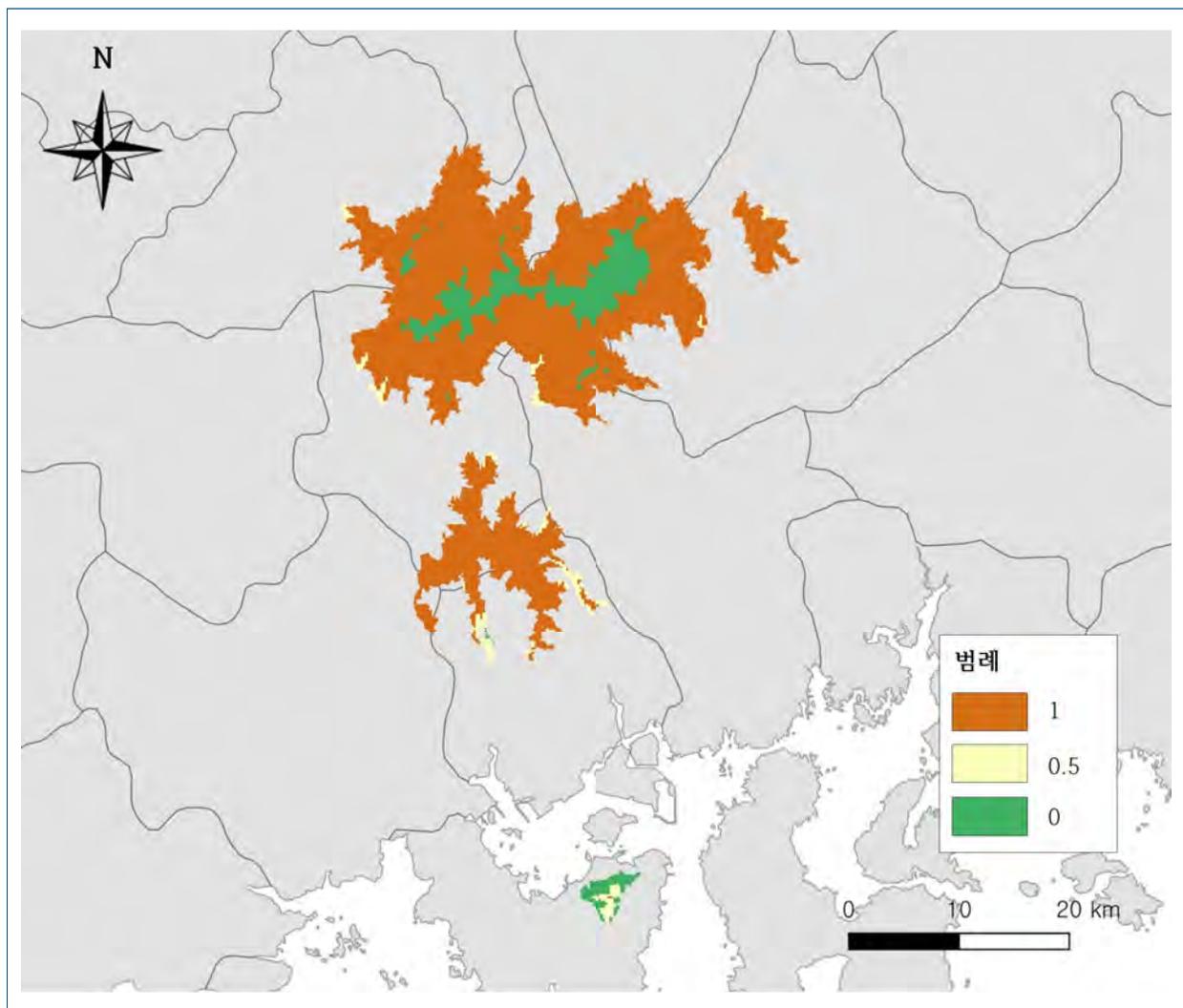
구분	SI 별 면적			
	1	0.6	0.3	0
면적(km ²)	50040.93	36542.54	12030.72	1167.212
비율(%)	50.15	36.62	12.06	1.17



나. 나도승마

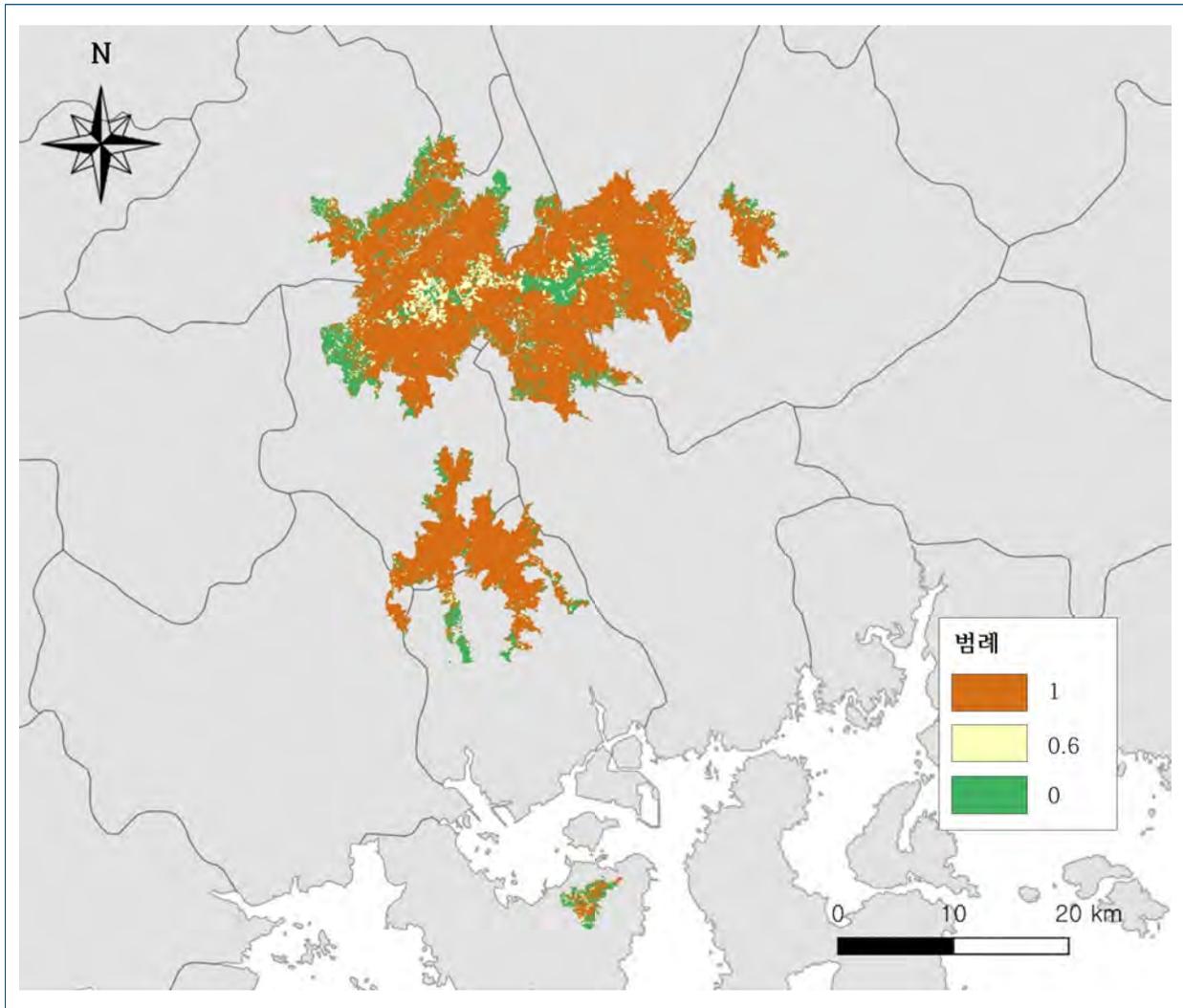
(1) 수직적 식생대

구분	SI 별 면적		
	1	0.5	0
면적(km ²)	517.55	21.46	79.44
비율(%)	83.69	3.47	12.84



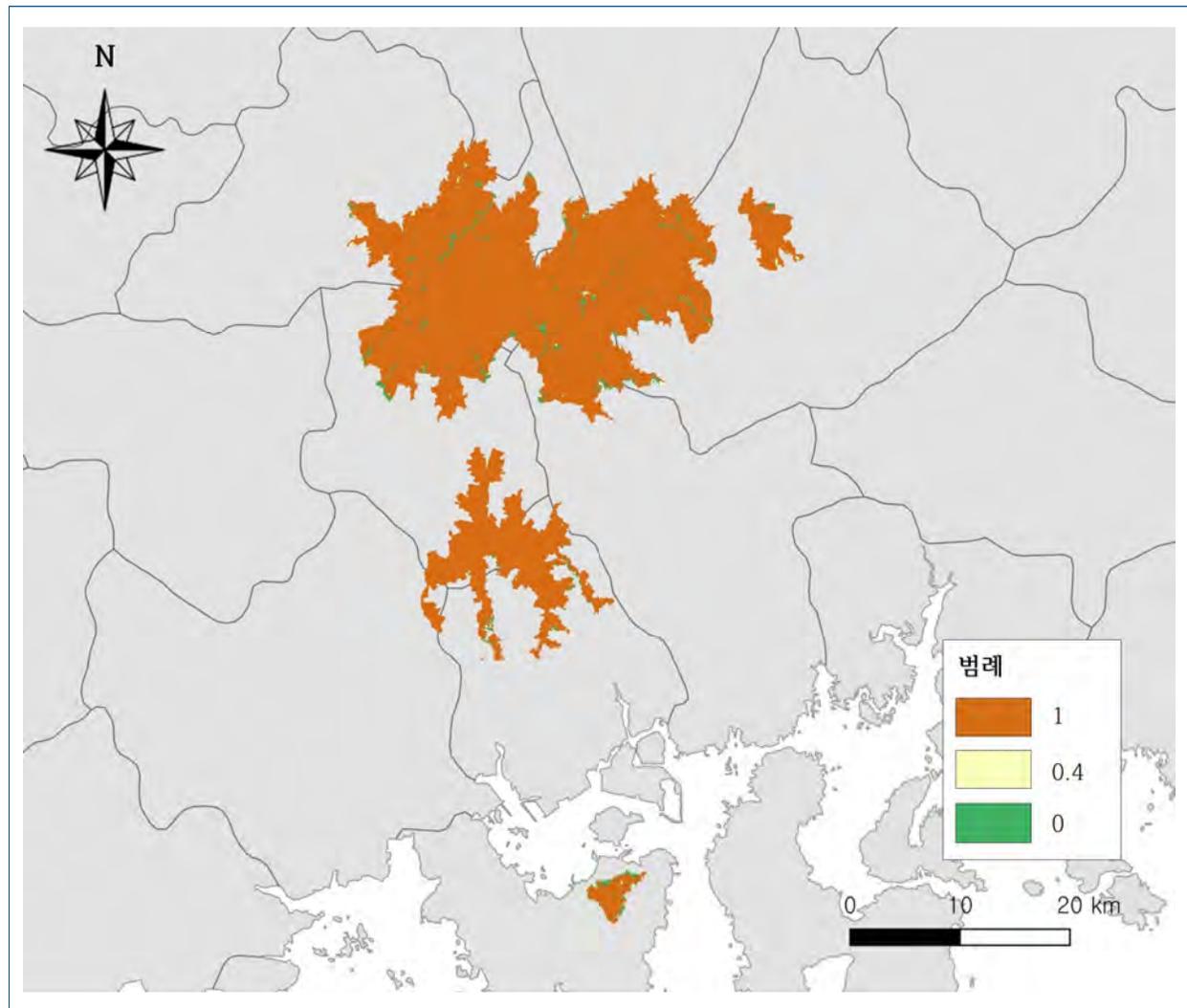
(2) 임상

구분	SI 별 면적		
	1	0.6	0
면적(km ²)	471.38	42.52	93.32
비율(%)	77.63	7	15.37



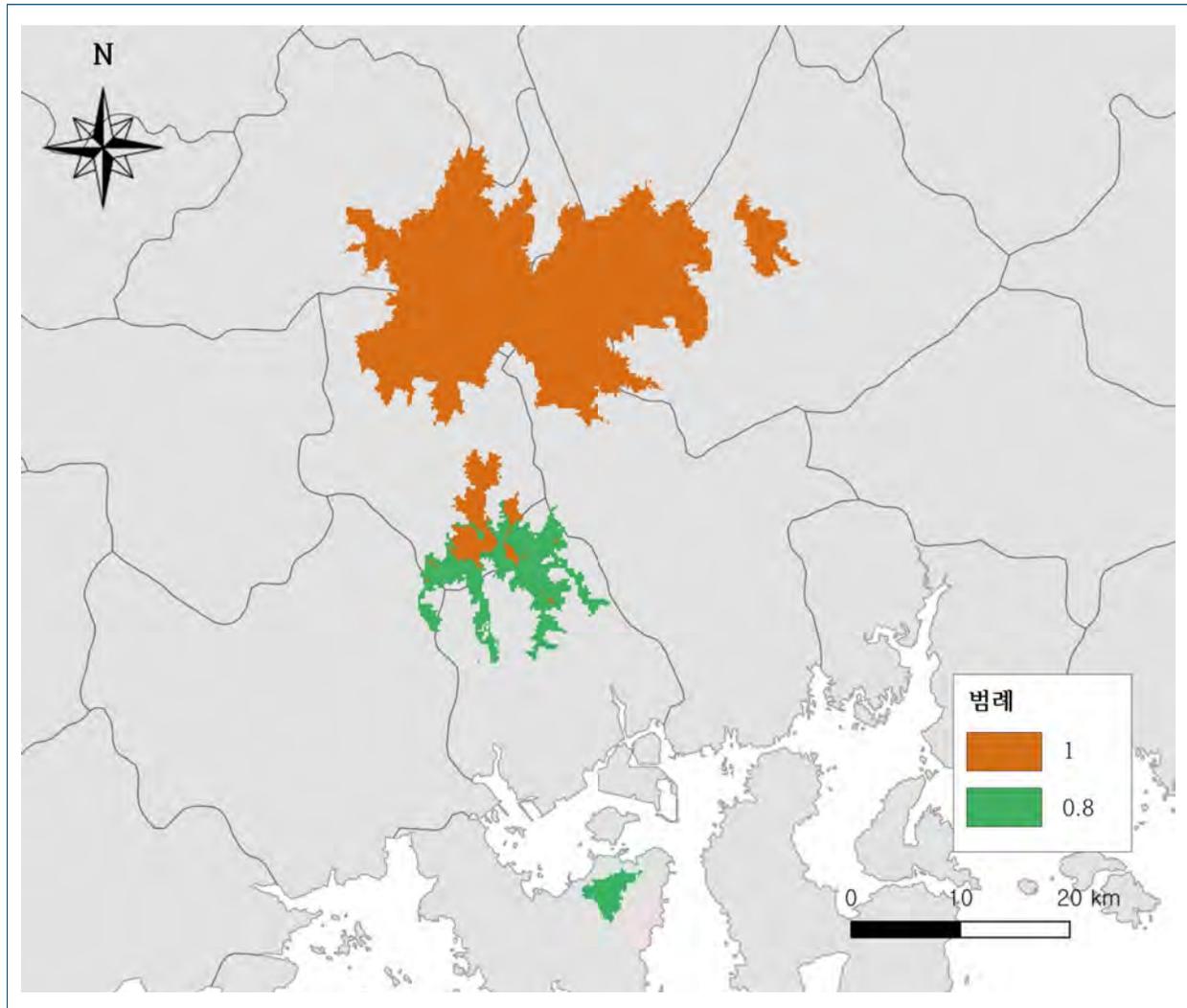
(3) 임상밀도

구분	SI 별 면적		
	1	0.4	0
면적(km ²)	599.86	2.25	16.34
비율(%)	96.99	0.37	2.64



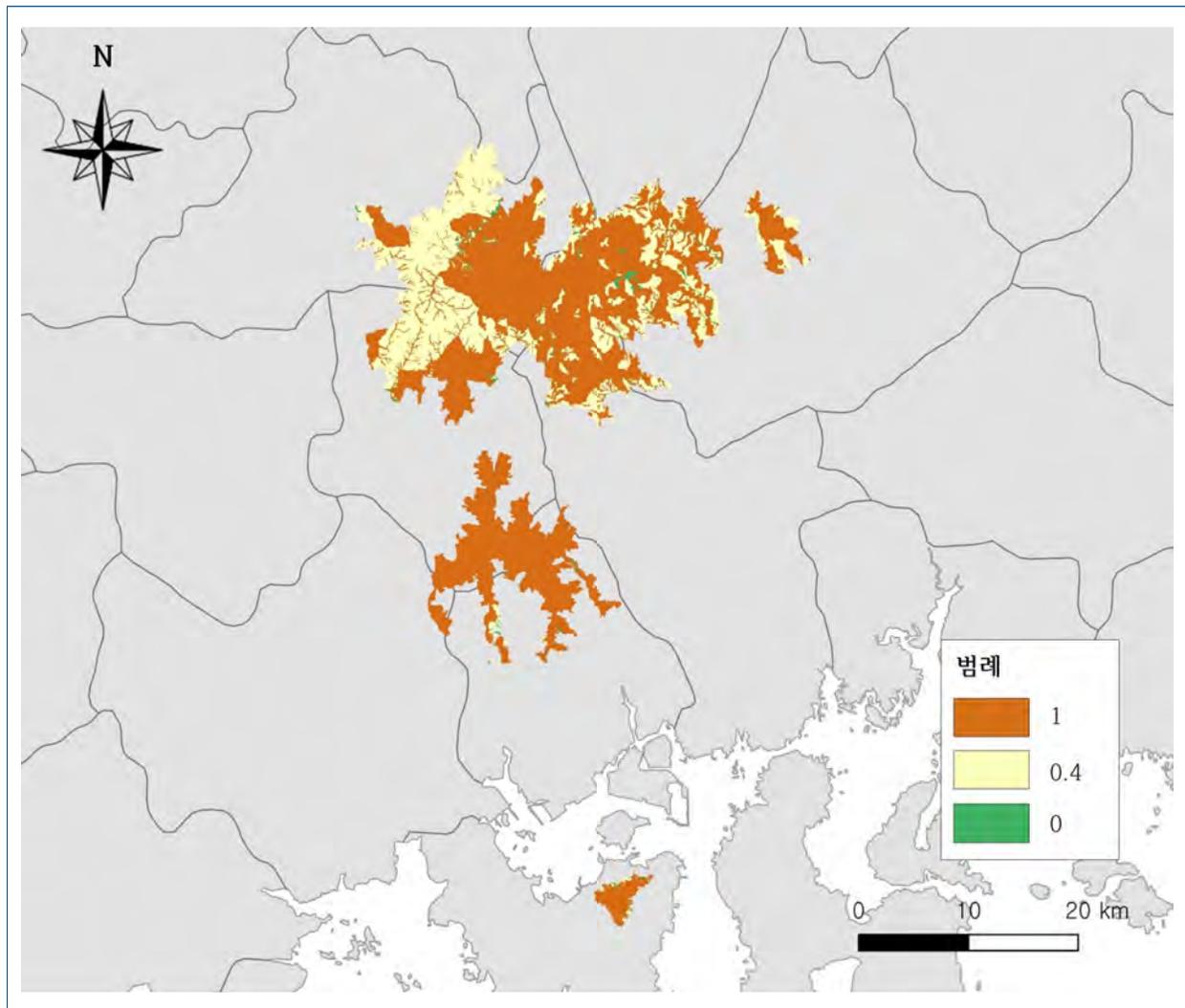
(4) 연평균 강수량

구분	SI 별 면적		
	1	0.8	0
면적(km ²)	530	87.95	-
비율(%)	85.77	14.23	-



(5) 유효토심

구분	SI 별 면적		
	1	0.4	0
면적(km ²)	424.72	187.74	5.99
비율(%)	68.68	30.35	0.97



멸종위기 야생생물 핵심서식지 발굴연구: 산양, 꼬마잠자리, 나도승마

Study on analysis of core habitats for endangered species:
Naemorhedus caudatus, *Nannophya pygmaea*, *Kirengeshoma koreana* Nakai

발	행	일	2021년 12월 31일
발	행	인	조도순
연	구	진	도재화, 윤영준, 장래하, 김선령, 정진우, 박선욱, 이진홍, 장연희
발	행	처	국립생태원 충남 서천군 마서면 금강로 1210 Tel. 041-950-5300
I	S	B	N 979-11-6698-054-1(93490)
인	쇄	/	편 집 전우용사춘(주)
