

연구보고서(연차)

NIE-B-2025-34

연구보고서(연차)

2025년 멸종위기 야생생물 서식지 연구 -백부자, 애기송이물, 표범장지뱀, 하늘다람쥐-

국립생태원

## 2025년 멸종위기 야생생물 서식지 연구

-백부자, 애기송이물, 표범장지뱀, 하늘다람쥐-

Study of endangered wildlife habitats in 2025

-*Aconitum coreanum*, *Pedicularis ishidoana*, *Eremias argus*, *Pteromys volans* -

NATIONAL  
INSTITUTE OF ECOLOGY

# 2025년 멸종위기 야생생물 서식지 연구

- 백부자, 애기송이풀, 표범장지뱀, 하늘다람쥐 -



# 연구진

연구책임자	도재화	팀장
연구참여자(내부)	이병두	선임연구원
	정진우	선임연구원
	김민한	전임연구원
	김선령	전임연구원
	이승은	전임연구원
	박선욱	전임연구원
	유영은	과장
연구참여자(외부)	김유경	경상국립대학교 연구원
	박수곤	프리랜서
	임춘우	동국대학교 연구원
자문위원(내부)	이정현	팀장
자문위원(외부)	김용환	서울대학교 연구원
	노지선	수원시정연구원 위촉연구원
	박대식	강원대학교 교수
	손윤지	서울대학교 연구원
	송재영	국립공원연구원 선임연구위원
	유종길	프리랜서
	이화진	야생동물연합 책임연구원
	장래하	국립생물자원관 환경연구사

본 연구진은 연구윤리를 준수하였음을 서약합니다.



# | 목 차 |

■ 요약 문(Abstract)	9
<b>I</b> 연구배경 및 개요	1. 연구배경 및 목적 ..... 17 2. 연구개요 ..... 20
<b>II</b> 백부자	1. 기초생태자료 및 연구대상지 선정 ..... 27 2. 연구방법 ..... 30 3. 연구결과 ..... 33 4. 결론 ..... 38
<b>III</b> 애기송이풀	1. 기초생태자료 및 연구대상지 선정 ..... 41 2. 연구방법 ..... 45 3. 연구결과 ..... 50 4. 결론 ..... 73
<b>IV</b> 표범장지뱀	1. 기초생태자료 및 연구대상지 선정 ..... 77 2. 연구방법 ..... 79 3. 연구결과 ..... 81 4. 결론 ..... 97
<b>V</b> 하늘다람쥐	1. 기초생태자료 및 연구대상지 선정 ..... 101 2. 연구방법 ..... 103 3. 연구결과 ..... 109 4. 결론 ..... 132
<b>VI</b> 참고문헌	..... 133

## | 표 목차 |

표 1-1   연구 추진 일정 .....	21
표 2-1   백부자의 분류학적 정보 및 특성 .....	27
표 2-2   백부자 및 관련종 선행연구 목록 .....	28
표 2-3   백부자 연령구조 및 기준 .....	30
표 2-4   개체군 조사를 위한 고정조사 지점 주소 .....	31
표 2-5   백부자 연도에 따른 백부자 개체수 .....	33
표 2-6   백부자 연도에 따른 지점별 개체군 정보 .....	34
표 2-7   백부자 조사지점별 평균 종자 결실률 .....	35
표 3-1   애기송이풀의 종 정보 및 특성 .....	41
표 3-2   애기송이풀 문헌조사 .....	42
표 3-3   애기송이풀 공간 데이터 .....	44
표 3-4   애기송이풀 과거 출현지점 기반 통계 분석 .....	52
표 3-5   애기송이풀 조사지역별 식물상 .....	54
표 3-6   멸종위기 야생생물 목록 .....	58
표 3-7   국가생물적색목록 및 희귀식물 목록 .....	58
표 3-8   고유종 목록 .....	58
표 3-9   식물구계학적 특정식물종 목록 .....	59
표 3-10   애기송이풀 출현지점 토양분석 .....	60
표 3-11   애기송이풀 조사지점 환경요인 .....	63
표 3-12   Topo DEM과 LiDAR DEM의 고도 통계 비교 요약 (N=40) .....	66
표 4-1   표범장지뱀의 종 정보 및 특성 .....	77
표 4-2   공간자료 수집항목 .....	80
표 4-3   MaxEnt 모델에 적용된 환경변수 설명 .....	81
표 4-4   표범장지뱀 관련 국내 주요 논문 현황 .....	83
표 4-5   표범장지뱀 개체군의 증감 예측 및 위협요인(전문가 자문) .....	86
표 4-6   기후변수별 모델 영향력 .....	86
표 4-7   표범장지뱀 조사대상지 전체 현황(기존 기록지점) .....	88
표 4-8   표범장지뱀 조사대상지별 현황 .....	89
표 4-9   서식지 특성에 따른 서식가능성 차이(카이제곱 검정) .....	93
표 4-10   표범장지뱀 서식에 영향미치는 환경변수 분석(GLM)(현장조사 기반) .....	93

표 4-11   표범장지뱀 서식에 영향미치는 환경변수 분석(GLM)(고도, 경사 및 토지피복) .....	94
표 5-1   하늘다람쥐 종 정보 및 특성 .....	101
표 5-2   현장조사 수집항목 .....	103
표 5-3   하늘다람쥐 먹이원 및 서식지 특성 문헌 조사 결과 .....	109
표 5-4   분변 DNA 종 동정 결과 .....	115
표 5-5   분변 DNA 메타바코딩 분석(ITS2)에서 검출된 OTU와 read count .....	116
표 5-6   분변 DNA 메타바코딩 분석(ITS2)에서 검출된 OTU와 read count .....	119
표 5-7   ITS2와 rbcL 유전자 메타바코딩 결과의 비교 .....	123
표 5-8   식생조사 수종과 DNA 메타바코딩 결과 간 비교 .....	126

## | 그림 목차 |

그림 1-1   연구 추진 체계 .....	20
그림 2-1   개체군 단위의 고정조사지점 .....	29
그림 2-2   백부자 생활사별 개체 모습(a: 유묘단계, b: 영양단계, c: 생식단계) .....	30
그림 2-3   조사지점별 전경 .....	31
그림 2-4   개체군 조사 시기 .....	32
그림 2-5   조사지점별 개체 식별을 위한 인식표 예시 .....	32
그림 2-6   백부자 영양단계별 개체수 .....	34
그림 2-7   조사지점별 평균 종자 결실률 변화 .....	35
그림 2-8   백부자 평균 종자결실률 예측 지도 .....	37
그림 3-1   애기송이풀 연구 대상지 .....	45
그림 3-2   GPS 측량기를 이용한 개체 위치 기록 및 지상 LiDAR 촬영 .....	47
그림 3-3   LiDAR 기반 DEM 및 Slope 도면 .....	47
그림 3-4   애기송이풀 개체군 분포 기반 공간 분석 범위 .....	48
그림 3-5   LiDAR 기반 DEM 및 등고선 기반 DEM .....	49
그림 3-6   애기송이풀 겨울눈 .....	50
그림 3-7   애기송이풀 생장기 .....	50
그림 3-8   애기송이풀 개화기 .....	51
그림 3-9   애기송이풀 고사체 .....	51
그림 3-10   CCA분석 결과 .....	63

그림 3-11   Polygon-level 평균 고도 비교 산점도(1:1 기준선 포함) .....	64
그림 3-12   $\Delta$ metrics boxplot .....	66
그림 3-13   대상지 경사도 도면 비교 .....	67
그림 3-14   애기송이풀 자생지 단면도 .....	68
그림 3-15   애기송이풀 자생지 계곡 상류부 .....	68
그림 3-16   애기송이풀 자생지 계곡 중류부 .....	69
그림 3-17   애기송이풀 자생지 계곡 하류부 .....	69
그림 3-18   애기송이풀 자생지 계곡 지류부 .....	70
그림 3-19   토양 유실 위험 개체 .....	70
그림 3-20   애기송이풀 자생지 영양균형 공동 답사 .....	71
그림 3-21   산책로 인근 애기송이풀 개체 .....	71
그림 3-22   애기송이풀 위협요인 .....	72
그림 4-1   표범장지뱀 연구대상지 .....	78
그림 4-2   표범장지뱀 서식에 영향을 미치는 환경변수 별 중요도 평균(자문 결과) .....	85
그림 4-3   기후변화 시나리오에 따른 표범장지뱀 현재 및 미래 분포 변화 예측 .....	87
그림 4-4   표범장지뱀 서식지 위협요인 (초지 확장) .....	94
그림 4-5   표범장지뱀 서식지 위협요인 (해안 모래 침식) .....	95
그림 5-1   하늘다람쥐 분변 연구대상지 .....	102
그림 5-2   지점별 하늘다람쥐 분변 수집 .....	104
그림 5-3   샘플 분류를 통한 분변 DNA추출 및 PCR증폭 .....	106
그림 5-4   하늘다람쥐 인공소상 설치 대상지 .....	108
그림 5-5   하늘다람쥐 분변의 색 .....	110
그림 5-6   하늘다람쥐 분변의 신선도 및 크기 .....	111
그림 5-7   하늘다람쥐 분변 출현 수종 특성 .....	112
그림 5-8   하늘다람쥐 분변 출현 수종 특성 및 발견지점 .....	114
그림 5-9   ITS2 메타바코딩을 통한 하늘다람쥐 먹이원 .....	117
그림 5-10   ITS2 메타바코딩을 통한 시기별 하늘다람쥐 먹이원 결과 비교 .....	118
그림 5-11   rbcL 메타바코딩을 통한 하늘다람쥐 먹이원 .....	121
그림 5-12   rbcL 메타바코딩을 통한 시기별 하늘다람쥐 먹이원 결과 비교 .....	122
그림 5-13   하늘다람쥐 인공소상 설치 현황 .....	129
그림 5-14   하늘다람쥐 인공소상 설치 결과 .....	130
그림 5-15   야생생물 특별보호구역 후보지 대상지 현황 .....	131

## 요약문

본 연구는 멸종위기 야생생물의 기초생태자료 구축과 통계 기반 서식지 분석을 통해 주요 서식변수를 도출하고, 신규·대체서식지 발굴 및 위협요인 개선을 위한 과학적 근거를 마련하는 것을 목표로 한다. 이를 위해 당해연도 연구대상종 4종(백부자, 애기송이풀, 표범장지뱀, 하늘다람쥐)을 대상으로 현장 조사 자료 및 문헌·공간자료를 종합 분석하여 보호지역 확대와 실효적 보전 관리체계 구축에 기여하고자 한다.

본 연구는 백부자(*Aconitum coreanum* (H.Lév.) Rapaics)를 대상으로 개체군 조사를 통한 개체군 변화 및 평균 종자결실률을 산출하고자 하였으며 백부자의 평균종자결실률에 영향을 미치는 환경변수의 관계를 확인하고자 하였다. 개체군 변화 및 평균 종자결실률을 확인하기 위해 선행연구를 통해서 백부자의 생활사를 유묘단계, 영양단계, 생식단계로 구분하였으며 영월군 남면, 한반도면, 정선군 남면, 평창군 미탄면 등 4곳에 고정조사구를 설치하여 3년간 개체군 정보 및 평균 착과율, 종자결실률을 조사하였다. 종자결실률을 통해서 살펴보면 영월군 한반도면이 백부자 개체군에 제일 적합한 서식 환경으로 나타났으며 정선군 남면 평창 미탄면 순으로 확인되었다. 영월군 남면은 가장 적합하지 않은 지역으로 나타났다. 일반화선형모형을 통해서 각 지점별 평균 종자결실률과 연평균기온, 가장 더운달의 최고기온, 가장 추운 달의 최저기온을 활용하여 통계분석을 수행하였다. 연평균기온은 양의 상관관계를 가지며 다른 2개 변수는 음의 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 상관식을 활용하여 평균종자결실률 예측도를 만들어서 백부자 출현좌표 81곳과 비교한 결과 평균 종자 결실률 평균값은 7.86%로 산출되었다. 백두대간을 중심으로 고도가 높은 지역은 높게 예측되었으며 서해안 지역으로 갈수록 수치가 낮아졌다. 본 연구는 멸종위기종의 개체군 기반 분석을 수행함에 있어서 유용한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

애기송이풀(*Pedicularis ishidozana* Koidz. & Ohwi)은 한반도 고유종으로 경기도, 강원도, 충청북도, 경상도 일부지역에서 확인된다. 전국적으로 넓은 수평 분포와 저해발(약 100 m)부터 고해발(약 1,080 m)까지 이어지는 수직 분포를 보이나, 실제로는 자연성이 높고 교란이 적은 사질 기반의 좁은 미소 서식지에 한정되어 나타나는 종이다. 그러나 이러한 서식처는 최근 계곡·수변 개발에 의해 급격히 축소되고 있다. 정준대응분석(CCA) 결과, 애기송이풀 군집은 토양 모래함량, 해발고도, 평균기온, 토양 영양염(N·P<sub>2</sub> O<sub>3</sub>) 구배에 따라 배열되었으며, 중산간의 서늘하고 배수가 양호한 조건에서 서식 적합성이 가장 높게 나타났다. 반면, 기온 상승 및 인위적 토양 비옥도 증가는 서식지 적합성을 저하시킬 가능성이 높아 향후 관리에서 중요한 고려 요소로 판단된다. 생활사적 측면에서 애기송이풀은 3-5월 낙엽활엽수 개엽 이전의 단기간

광환경 확보가 개체 생장에 핵심적이며, 이는 임분광 조건 변화 및 주변 교란에 민감함을 의미한다. 주요 자생지인 영양군을 대상으로 LiDAR 기반 지형 분석을 수행한 결과, 기존 등고선 DEM보다 계곡부 미세지형을 정밀하게 반영하여 서식처 해석의 정확성을 높였고, 자생지의 평균 경사도는 20.97° 로 급경사 환경임을 확인하였다. 특히 영양군은 우리나라 최대 애기송이풀 자생지 임에도 불구하고 등산로와 관광지 인근에 위치하여 탐방객 접촉으로 인한 개체 훼손 위험, 급경사지 토양 유실로 인한 서식지 붕괴 위험이 존재한다. 따라서 계곡 및 하천 주변 개발 시 애기송이풀의 위치 정보를 기반으로 한 맞춤형 회피·보전 계획 수립, 서식지 변형 최소화, 탐방로 관리 강화가 필요하다.

표범장지뱀(*Eremias argus*(Peters, 1869))은 하안과 해안과 같은 개방적이고 모래가 노출된 환경을 선호하며, 낮은 경도의 부드러운 모래땅(토양 경도)이 서식에 결정적인 주요 변수로 확인되었다. 반면, 산림 서식지는 낮은 서식 가능성을 보였다. 표범장지뱀 서식지의 주요 위협 요인은 초지의 확장, 산림화(입목축적 증가), 해안 지역의 모래 침식, 그리고 인간 활동 증가로 나타났다. 초지 확장은 모래톱 감소 및 토양 변질을, 산림화는 서식지 상실을, 모래 침식은 서식 공간 축소 및 단절을 초래한다. 이에 따라, 표범장지뱀 보전을 위해서는 모래 노출을 위한 초지 관리와 모래사구 복원 및 관리를 통한 개방적 서식 환경의 유지가 필수적이다. 또한, 기후변화(RCP8.5 시나리오)는 서식지 질 및 분포 범위의 추가적인 축소를 야기할 수 있으므로, 서식지 복원 및 연결성 확보 노력이 병행되어야 한다.

하늘다람쥐(*Pteromys volans*(Linnaeus, 1758)) 먹이원과 서식지 특성 규명을 위해 전국 13개 지점에서 현장조사를 수행하였다. 이를 통해 수집한 분변을 DNA 메타바코딩 기법을 통해 분석하였다. 총 43개의 속과 76개의 OTU 정보를 확인하였으며, 하늘다람쥐는 교목성 활엽수와 침엽수를 주요 먹이원으로 선호하지만, 그 이용 양상은 시기와 지역에 따라 달라지는 것으로 확인되었다. 지역별 먹이원 차이는 하늘다람쥐가 각 지역 환경에 적응하여 자원을 선택적으로 이용하는 결과로 해석되었으며, 샘플 신선도가 분석 결과에 미치는 영향 또한 재확인하였다. 또한, 핵 DNA 마커와 엽록체 DNA 마커를 함께 분석하여 기존 연구에서 보고되지 않은 다양한 식물군이 먹이원으로 이용됨을 확인하였다. 현장조사에서는 분변의 주요 출현 수종인 참나무속과 실제 섭식하는 먹이원인 오리나무속 및 소나무속 간에 차이를 보였고, 식생조사와 DNA 메타바코딩을 통해 검출된 상위 5종 먹이원 수종이 일치하여 DNA 메타바코딩 기법의 신뢰도를 확인하였다. 그리고 본 연구에서 하늘다람쥐 서식지 개선활동의 일환으로 진행된 산불 피해지역에 총 64의 인공소상 설치용 설치하였다. 이 활동은 단기적으로 효과가 제한적일 수 있으나, 장기적인 관리를 통해 향후 산불지역의 하늘다람쥐 기초생태연구 수행의 필요성을 시사한다. 본 연구는 하늘다람쥐의 먹이원 및 서식지 이용 특성에 대한 중요한 기초자료를 제공하며, 향후 서식지 관리와 개체군 보호, 멸종위기종 보전 정책 수립에 기여할 수 있는 정보를 제공한다.

주요어: 보호지역, 종분포모형, 서식지 관리 및 복원, LiDAR기반 분석, DNA메타바코딩

## Abstract

This study aims to establish foundational ecological datasets for endangered wildlife and to derive key habitat variables through statistical habitat analyses, thereby providing scientific evidence for identifying new and alternative habitats and for improving habitat threat factors. To this end, we conducted an integrated analysis of field survey data, literature, and spatial datasets for the four target species of the year—*Aconitum coreanum*, *Pedicularis ishidoyana*, *Eremias argus*, and *Pteromys volans*—to support the expansion of protected areas and the development of an effective conservation management framework.

This study aimed to investigate population dynamics and estimate average seed set rates of *Aconitum coreanum* (H.Lév.) Rapaics through population surveys, as well as to examine relationships between environmental variables and the species' average seed set rate. Based on previous studies, the life stages of *A. coreanum* were classified into seedling, vegetative, and reproductive stages. Fixed monitoring plots were established in four locations—Nam-myeon, Hanbando-myeon (Yeongwol-gun), Nam-myeon (Jeongseon-gun), and Mitan-myeon (Pyeongchang-gun)—and population data, fruit set rate, and seed set rate were surveyed over a three-year period. Analysis of seed set rates indicated that Hanbando-myeon in Yeongwol-gun provided the most suitable habitat conditions for the species, followed by Nam-myeon in Jeongseon-gun and Mitan-myeon in Pyeongchang-gun, whereas Nam-myeon in Yeongwol-gun appeared to be the least suitable site. Using a generalized linear model, statistical analysis was conducted with mean seed set rate as the response variable and annual mean temperature, maximum temperature of the hottest month, and minimum temperature of the coldest month as predictors. Annual mean temperature showed a positive correlation with the seed set rate, whereas the other two variables exhibited negative correlations. Based on the resulting predictive model, the average seed set rate was estimated for 81 occurrence coordinates of *A. coreanum*, yielding an average value of 7.86%. Predicted values were higher at high elevations along the Baekdudaegan Mountain Range and decreased toward the western coastal regions. The findings of this study are expected to serve as valuable baseline information for population-based analyses of endangered species.

*Pedicularis ishidoyana* Koidz. & Ohwi, an endemic species of the Korean Peninsula, occurs in restricted areas of central and southern Korea despite its broad horizontal and vertical

distribution range (100–1,080 m). In practice, the species is confined to narrow, low-disturbance microhabitats characterized by well-drained, slightly acidic sandy soils with shallow effective depth, which have been increasingly diminished by valley and riparian development. Canonical Correspondence Analysis (CCA) indicated that plant communities of *P. ishidoyana* are structured primarily by gradients of soil sand content, elevation, mean temperature, and soil nutrients (N, P<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>). The species shows the highest suitability in cool, well-drained mid-mountain environments, whereas warming and nutrient enrichment may reduce habitat quality. Early-season light availability before canopy leaf-out (March–May) was found to be essential for growth, highlighting its sensitivity to canopy-light conditions. LiDAR-based topographic analysis in Yeongyang County effectively captured fine-scale valley terrain and revealed that natural habitats frequently occur on steep slopes. Given the proximity of several populations to hiking trails and tourist areas, risks of trampling and soil erosion are evident. Conservation planning should therefore prioritize minimizing habitat alteration and implementing site-specific protection measures.

The analysis revealed that *E. argus* (Peters, 1869) prefers open, sand-exposed environments such as riparian and coastal areas, and that soft sand with low stiffness (soil hardness) was identified as the critical environmental variable for its inhabitation. Conversely, forest habitats showed low suitability. The primary threats to the *E. argus* habitat were found to be expansion of grasslands, afforestation (increase in stand volume), sand erosion in coastal areas, and increased human activity. Grassland expansion leads to the reduction of sandbars and changes in soil properties, afforestation causes habitat loss, and sand erosion results in the contraction and fragmentation of living spaces. Therefore, maintaining an open habitat environment is essential for the conservation of *E. argus*, specifically through managing grasslands to expose sand and restoring and managing sand dunes. Furthermore, climate change (RCP8.5 scenario) is likely to cause further reduction in habitat quality and distribution range, necessitating concurrent efforts in habitat restoration and securing connectivity.

This study analyzed the dietary resources and habitat characteristics of the Siberian flying squirrel (*Pteromys volans* (Linnaeus, 1758)) using DNA meta-barcoding on fecal samples collected from 13 locations across South Korea. A total of 43 genera and 76 OTUs were identified, revealing that the primary dietary resources preferred by the squirrels were deciduous trees and conifers. However, the utilization patterns of these dietary resources varied by season and region. Regional differences in dietary resources suggest that the squirrels selectively use resources that are available and suitable to their local environments. Additionally, the

---

analysis confirmed that sample freshness significantly influences the results of DNA meta-barcoding. By employing both nuclear and chloroplast DNA markers, the study identified a broader range of plant species utilized by the squirrels, beyond those reported in previous studies. Field surveys revealed discrepancies between the tree species (*Quercus*) where fecal was predominantly found and the actual Dietary Resources consumed, such as *Alnus* and *Pinus*. However, the top five dietary resources identified through vegetation surveys and DNA meta-barcoding were consistent, confirming the reliability of the DNA meta-barcoding method. As part of habitat improvement efforts, 64 artificial nests were installed in fire-damaged areas. While the short-term effects of this intervention may be limited, the long-term management suggests a need for continued ecological research on squirrels in these fire-impacted regions. Overall, this study provides valuable baseline data on the dietary and habitat use characteristics of the Siberian flying squirrel, contributing to future habitat management, population conservation, and the development of endangered species protection policies.

Keywords: Protected Areas, Species Distribution Modeling (SDM), Habitat Management and Restoration, LiDAR Analysis, DNA Metabarcoding



# I

## 연구배경 및 개요

---

1. 연구배경 및 목적
  2. 연구 개요
-



## I. 연구배경 및 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 제13조(멸종위기 야생생물에 대한 보전대책의 수립 등) 제1항
- 나) 「국립생태원 설립 및 운영에 관한 법률」 제5조(사업) 및 제5조의 2(멸종위기종복원 센터의 설치)
- 다) 현 정부 국정과제 43 『국가 기후적응 역량 강화』 기후위험 영향 평가 및 민간 참여 자연환경 복원사업 추진을 위한 기틀 마련
- 라) 현 정부 국정과제 45 『4대강 자연성 및 한반도 생물다양성 회복』 멸종위기종 서식지 보전의 과학적 근거 마련 및 체계 강화
- 마) 「생물다양성협약(CBD) K-M GBF(2022)」, 현 정부 국정과제 45 『4대강 자연성 및 한반도 생물다양성 회복』 2030년까지 육상 및 해양의 30%를 보호지역으로 지정 및 관리 필요
- 바) 「멸종위기 야생생물 보전 종합계획(2023~2027)」 적극적 서식지 보전 및 서식지 보전 중심의 종 복원

##### 2) 사회·경제적 필요성

- 가) 전 세계 육상생물 다양성은 지속적으로 감소하고 있으며, 우리나라의 감소 예측률과 멸종위기 야생생물 지정 종 수의 증가율은 이를 크게 상회함
- 나) 인간 활동에 따른 이해당사자 간 객관적인 자료 요구 증가
  - (1) 「야생생물 보호 및 관리에 관한 법률」에 따라 지정된 멸종위기 야생생물은 국토 환경 개발과 관련된 생태자연도, 환경영향평가 등에 큰 영향을 줌
  - (2) 사회적 이슈가 되지 않는 종일지라도 그 효력은 동일하여, 멸종위기종 야생생물에 대한 주요 서식지를 선정하고, 서식지 연구 등을 수행 시 과학적인 연구 및 조사

방법이 요구됨

- (3) 개발사업에 따른 환경영향평가, 대체서식지 선정, 보호지역 지정 등 멸종위기 야생생물 서식지 적합성을 사전에 평가할 수 있는 조사 방법이 필요
- (4) 이해당사자 간 원활한 조율과 협의를 위한 자료의 요구 증가를 충족하기 위한 객관적이고 과학적인 연구 결과물이 필요

다) ESG 경영 확대에 의한 멸종위기종 서식지 복원 및 개선활동 수요 증가

- (1) 실효성 있는 서식지 복원 및 개선활동을 위한 과학적 근거 필요
- (2) 서식지 개선활동 이후 모니터링 등을 통한 효과 검증 및 정량화
- (3) 멸종위기종 서식지 위협요인 사전 분석을 통해 ESG 활동 수요 발생 시 효과적인 대응 가능

### 3) 학문적·기술적 필요성

가) 단순한 개체 증식·보강 위주의 복원 한계로 서식지 보호 및 보전 필요성 부각

나) 멸종위기 야생생물 기초생태 연구 및 활용 가능한 정보 구축 미비

- (1) 사회적 이슈가 되지 않는 멸종위기 야생생물은 기초생태연구의 부족으로 서식지 이용 특성에 대한 자료가 없거나 연구 결과가 미비함
- (2) 일부 특성이 제시되었더라도 통계적인 근거가 없거나 열악하며, 관찰 또는 추정으로 제시되는 사례가 대다수임
- (3) 환경영향평가로 수질, 소음, 진동 등 생활환경 분야에 있어 영향 예측을 위한 모델이 크게 발전되어 있지만, 멸종위기 야생생물을 포함한 야생생물에 대한 분석은 제대로 이루어지지 않았음
- (4) 특히, 야생생물의 서식지와 관련한 서식지 훼손 또는 변화량을 판단할 수 있는 모델에 관한 연구와 분석체계는 아직 기초단계에 머물러 있음
- (5) 생태자연도, 바이오톱 지도 등 다양한 지도가 만들어지고 있지만 멸종위기 야생생물의 생태적 지위에 대한 연구가 수행되지 않아 적합한 서식지를 판단할 수 없음

## 나. 연구목적

### 1) 멸종위기 야생생물 주요서식변수 도출

- 가) 분포범위, 기초생태연구 정도, 시급성 등을 고려하여 연구 대상종을 선정
- 나) 과거 문헌수집, 현지조사 및 공간자료 수집을 통한 기초생태자료 구축
- 다) 전문가 자문 및 통계분석 등을 활용한 종별 주요서식변수 도출

### 2) 멸종위기 야생생물 적합서식지 발굴

- 가) 주요서식변수를 활용한 적지분석모델(MaxEnt 등) 구동 및 기후변화 영향 예측
- 나) 멸종위기 야생생물 보호지역 확대 기반 마련
- 다) 잠재서식지 및 대체서식지 발굴의 기초자료 제공

### 3) 위협요인 분석을 통한 서식지 개선

- 가) 서식 현황 분석 및 개체군의 안정적인 유지를 위한 위협요인 도출
- 나) 서식지 위협요인 개선을 통한 야생개체군 변화 모니터링
- 다) 서식지 개선효과 검증 및 과학적 분석체계 기반 마련

## 2 연구 개요

### 가. 당해연도 연구목표

- 1) 멸종위기 야생생물 4종의 서식지 환경 특성 분석 및 주요 서식변수 도출
- 2) 연구 대상종 별 적지분석모델 구동 및 통계기법을 활용한 서식지 분석
- 3) 현장 조사자료를 기반으로 한 서식지 위협요인 개선 및 보전방안 마련

### 나. 연구 추진체계 및 일정

#### 1) 추진체계

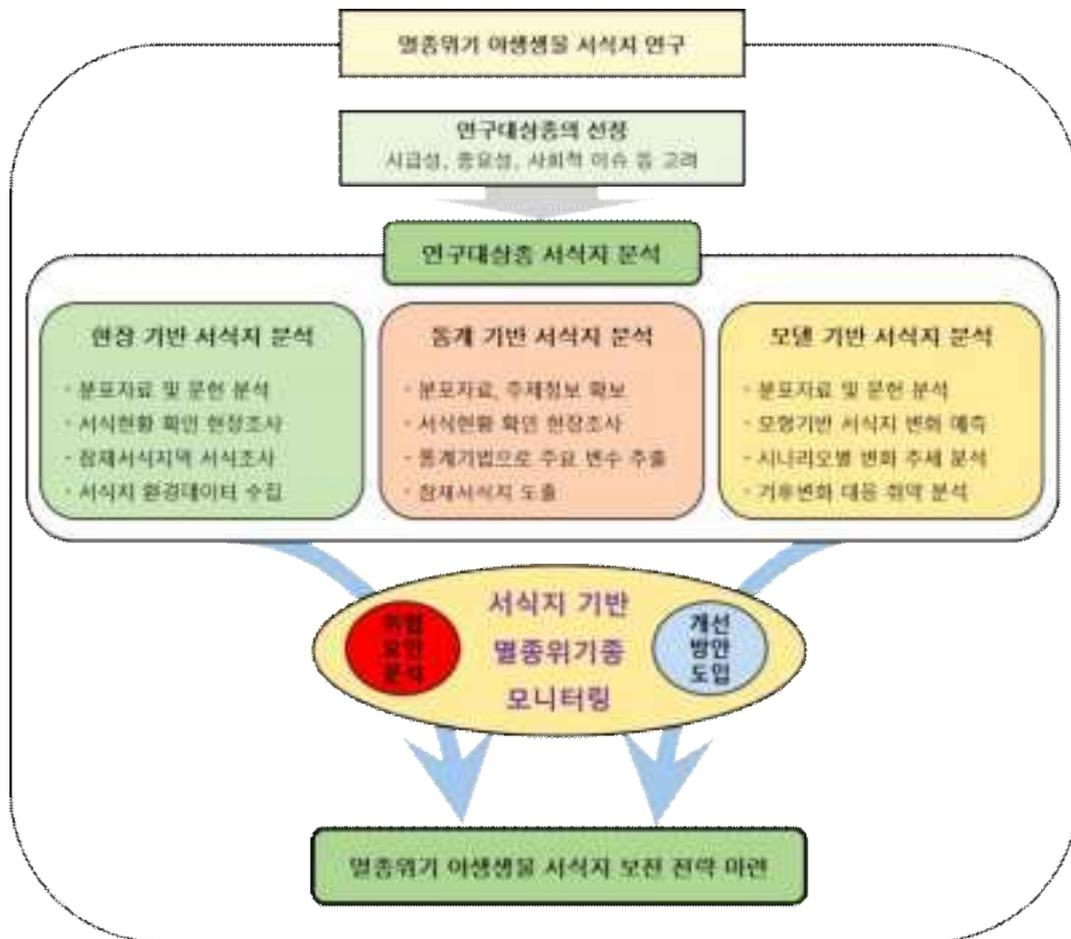


그림 1-1 | 연구 추진 체계

2) 추진일정

표 1-1 | 연구 추진 일정

연구목표 및 내용	월 별											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
대상종 선정 및 연구계획 수립	대상종 선정	자료수집										
현장조사		도양, 배설물 샘플 수집 및 야장 작성 등 현지조사										
자료검토 및 분석					자료검토 및 분석							
중분포모델 및 통계분석 수행					분석방법 결정	중분포모델 구동 및 통계분석 수행						
주요서식변수 도출									주요서식변수 도출			
기후변화 영향 모니터링 연구					현장조사			현장조사 및 변화분석				
결과 검증 및 보전방안 마련								분석결과 검증 및 보고서 작성				
전문가 자문	자문					자문				자문		

다. 연구내용

1) 연구대상종 선정

가) 백부자

- (1) 강원도, 경상북도의 석회암 지대와 충청북도, 경기도 일부 지역에 분포
- (2) 약용을 목적으로 한 무분별한 채취, 서식지 훼손 등으로 개체군이 감소하는 추세를 보임

나) 애기송이풀

- (1) 한반도 고유종이며 경기도, 강원도, 충청북도, 경상도 일부 지역에 자생함
- (2) 무분별한 채취 및 탐방객에 의한 피해, 하천 공사, 등산로 개발 등에 따른 서식처 파괴로 개체수가 감소하고 있음
- (3) 기후변화로 인한 서식지 변화가 예상됨

다) 표범장지뱀

- (1) 국내 서해안에 주로 분포하고, 내륙으로도 강원도, 경기도, 경상도, 충청도 지역에서 서식하였으나, 최근 내륙 서식지가 감소되고 있음

- (2) 대규모 하천공사로 인해 넓은 면적의 서식처가 파괴되고 있음
- (3) 산림 및 초지의 증가로 모래톱의 감소가 발생하여 서식지가 축소됨

라) 하늘다람쥐

- (1) 하늘다람쥐는 산림생태계에서 화분 매개체, 종자산포 등 중요한 역할을 수행함
- (2) 전국 산악지대의 산림에 서식하고 있으나 최근 산림 개발 등 위협요인으로 인해 개체수가 지속적으로 감소하고 있음
- (3) 행동권이 작아 산림 내 변화에 취약하며, 개체수 보전 및 증진을 위해 미소서식지 연구 및 선호 서식 환경 규명하여 안정적인 서식지 제공 및 관리가 필요함

2) 연구대상종 자료 수집

가) 출현좌표 및 기초생태자료 수집

- (1) 「멸종위기야생생물 전국 분포조사」, 「전국자연환경조사」를 통한 출현 좌표 획득
- (2) 한국학술정보, 국회도서관, 학술연구정보서비스 등을 활용한 관련 문헌 수집

나) 좌표지점 환경특성정보 추출

- (1) 국립농업과학원, 국토지리정보원, 임업진흥원, WorldClim 등의 공간자료 수집 및 전처리
- (2) 수집 좌표지점 별 환경 특성 정보 자료화

3) 현장조사

가) 백부자

- (1) 대표 자생지 4지점을 선정하여 고정 방형구를 설치하고 1년간 3회(개화기 전, 개화기, 결실기) 조사 수행
- (2) 개체별 높이, 근원 직경을 측정하였으며, 결실기 조사 시 개체를 무작위로 선택하여 열매를 채취하여 성숙 종자와 미성숙종자를 식별

나) 애기송이풀

- (1) 자연환경 조건 및 상관 식생형을 고려하여 초본층에 애기송이풀이 군락으로 출현하는 지점에 대하여 비정형으로 식물상 조사 실시
- (2) 조사 지점별 토심 10cm 지점의 토양시료 채집하였으며, 시료 분석을 수행함
- (3) 대표 자생지인 영양군 애기송이풀 전수조사를 실시하여 개체수 및 분포 지점을 수집하였으며, 항공 LiDAR 및 지상 LiDAR 촬영을 수행함

#### 다) 표범장지뱀

- (1) 2010년 이후에 개체가 관찰된 지점을 중심으로 해안, 하안, 육상지역으로 구분하여, 대상지를 선정함
- (2) 2인의 조사자가 매우 느린 속도(0.5m/s 이하)로 이동하면서 관찰되는 표범장지뱀의 위치와 개체수를 기록하였으며, 식생높이, 식생피복도, 토양 노출도, 토양 경도를 기록함

#### 라) 하늘다람쥐

- (1) 전년도 현장조사 지점(24지점) 및 전문가 자문을 통해 하늘다람쥐 출현 좌표를 획득하였고, 지역적 편향을 고려하여 총 55지점을 최종 선정하였으며 13개 장소에서 분변을 수집함
- (2) 하늘다람쥐 분변과 관련하여 총 19가지의 변수를 선정하여 현장조사표 제작 후, 지역 별 10x10m의 방형구 기준으로 표본조사를 수행함
- (3) 하늘다람쥐 행동권을 반영하여 분변 수집지점 반경 100m를 기준으로 7지역 13지점의 출현 교목 및 관목 수준의 식생조사를 수행함

### 4) 서식지 특성 분석

#### 가) 백부자 서식지 특성 분석

- (1) 개체군 변동 및 환경변수 상관분석을 통해 남한 평균 종자 결실률을 예측함

#### 나) 애기송이풀 서식지 특성 분석

- (1) 과거 출현지점을 대상으로 자생지의 경향성을 분석함
- (2) 식물상 조사 결과를 통해 지점별 출현종을 파악하여 출현과 비출현을 1과 0으로 구분하였으며, 토양분석 및 공간분석을 통해 수집된 환경 특성을 활용하여 정준대응분석(CCA)을 수행함
- (3) LiDAR 분석을 통해 자생지의 지형 특성을 분석하였음

#### 다) 표범장지뱀 서식지 특성 분석

- (1) 전문가 자문을 통해 주요 서식 변수를 선정하였으며, 개체군 증감 및 위협요인을 조사함
- (2) 기후변화 시나리오에 따른 표범장지뱀의 분포를 MaxEnt 모델링을 통해 예측함
- (3) 현장조사를 통해 조사대상지 특성을 파악하였으며, 서식 유무에 따른 서식가능성 점정 및 GLM분석을 수행함

라) 하늘다람쥐 서식지 특성 분석

- (1) 현장조사 결과를 통해 분변의 특성 및 환경 특성을 파악함
- (2) 분변 DNA분석을 통해 먹이원 분석을 수행함
- (3) 현장조사 결과와 DNA 메타바코딩 결과를 종합하여 하늘다람쥐가 이용하는 수종을 파악함

5) 서식지 보전방안 마련

- 가) 서식지 별 위협요인 검토 및 제시
- 나) 연구대상종 별 서식지 보전·관리 방안 마련
- 다) 서식지 위협요인 분석 및 서식지 개선

# II

## 백부자

주저자: 박선욱

1. 기초생태자료 및 연구대상지 선정
2. 연구방법
3. 연구결과
4. 결론



## II. 백부자

### 1 기초생태자료 및 연구대상지 선정

#### 가. 연구대상종 선정

##### 1) 백부자 형태 및 생태학적 특성

표 2-1 | 백부자의 분류학적 정보 및 특성

백부자	
학명	<i>Aconitum coreanum</i>
분류학적 위치	미나리아재비과(Ranunculaceae) 초오속( <i>Aconitum</i> )
보호종 지정 현황	- 환경부 멸종위기야생생물 II급 - 산림청 희귀식물 - IUCN 적색목록 최소관심(LC) - 국가적색목록평가 취약(VU)
분포지역	- 국내에는 강원도, 경상북도의 석회암 지대와 충청북도, 경기도 일부 지역에 분포 - 국외에는 북한, 중국, 러시아 등에 서식
개체수 및 개체군 추세	- 약용을 목적으로 한 무분별한 채취, 서식지 훼손 등으로 개체군이 감소하는 추세를 보임
형태 및 생태학적 특징	



- 다년생 초본으로 영양 상태에 따라 개체 높이가 1.8m까지 성장하며 주변 식물 또는 땅에 기대어서 서식하기도 하며, 줄기가 곧게 서서 성장하기도 함
- 열매는 골돌 형태로서 2개에서 3개가 길게 자라며 꽃받침 뒤에 붙어 있음
- 종자는 세모진 타원형으로 미끄럽고 길이는 4mm 정도임
- 산복부 또는 능선 지역으로 토양이 약간 건조한 지역에 서식함

2) 백부자 연구 동향

- 가) 백부자가 속해있는 초오속은 3개의 아속(*Aconitum*, *Lycocotnum*, *Gymnaconitum*) 총 400종으로 구성됨
- 나) 백부자는 백부, 관백부, 노랑동저귀와 같은 이름을 가지는 전통의학 재료로써 특정 알칼로이드를 가지고 있음
- 다) 특정 성분으로 뇌졸중, 간질, 구안와사 등의 약재로 한국과 중국에서 활용되었음
- 라) 추출물이 동물의 심장에 미치는 작용 연구, 향균 및 황산화 효과 등 생리적 효능에 관한 연구들이 주로 이루어짐
- 마) 일부 연구에서는 백부자의 화분매개곤충을 파악하기 위한 연구가 진행되었음
- 바) 종분포모형과 기후변화 시나리오를 사용하여 남한에서 백부자에 대한 잠재서식지를 예측하고 기후변화에 따른 서식지 파편화 정도를 예측한 연구가 진행되었음
- 사) 잠재서식지 적합도가 높은 지역은 강원도 영서지역, 충청북도 일부 지역으로 나타났으며 강원도 정선, 평창, 영월군 또한 상대적으로 높은 적합도를 보였음

표 2-2 | 백부자 및 관련종 선행연구 목록

구분	내용	출처
유전자 연구	백부자 표본을 활용하여 전체 염색체 게놈 분석을 수행하였으며, 이를 통해 대한민국 중서부와 동부지역에서 분리된 백부자가 군집을 이루는 것으로 확인	Kim <i>et al</i> 2019
활용방안	극동 및 아시아 국가에 분포하는 76종의 투구꽃속의 약용 사용 사례를 검토하였으며, 백부자가 가지고 있는 독성 물질을 중성화시키는 전통의학 방식에 대한 검토, 약효에 대한 문헌 조사 수행	Nyirimigabo <i>et al.</i> , 2014
화분매개	강원도 영월 지역에 개화한 백부자 꽃에 방문한 곤충을 조사하였으며, 백부자의 꽃 형태를 통해 우수리뒤영벌이 백부자에 대한 화분매개자 가능성을 예측함	Han <i>et al.</i> , 2013
기후변화	기후변화 시나리오인 SSP 시나리오를 활용하여 백부자에 관한 종분포모형을 개발하였으며 기후변화에 따른 백부자에 관한 영향을 분석하였음. 또한 기후변화가 백부자의 서식처 파편화 변화를 확인함	Park <i>et al.</i> , 2023
분포현황 및 위협요인	백두대간보호지역 내 덕치-육십령에 분포하는 관속식물상조사를 통해 백부자 서식지를 확인하였으며 인위적 훼손 가능성을 제시함	Hwang <i>et al.</i> , 2020
	백부자를 포함한 멸종위기 야생생물 34종에 대한 분포 현황을 확인하였으며 해당 식물들에 대한 위협요인을 평가함 백부자의 경우, 인간에 의한 서식지 개발, 인위적인 채취 등을 위협요인을 제시함	Kim <i>et al.</i> , 2016
개체군 변화와 환경요인 분석	히말라야 지역의 고유종인 <i>Aconitum naviculare</i> 를 대상으로 6개 개체군에 대한 생활사 및 개체수를 조사하였음. 이를 통해 각 개체군의 변화에 영향을 미치는 다양한 자연적, 인위적 환경요인을 분석함	Shrestha and Jha, 2010
	네팔 지역에 서식하는 고유종인 <i>Aconitum spicatum</i> 에 대한 개체군 변화를 조사하였으며 고도에 따른 3개의 개체군 집단으로 분류하였음. 각 개체군별 밀도, 종자중량 등을 조사하였으며 인위적, 환경요인에 개체군 변화에 미치는 영향을 분석함	Chapagain <i>et al.</i> , 2019

### 나. 연구대상지 선정

#### 1) 개체군 단위의 연구

- 가) 종분포모형을 활용한 잠재서식지에서 특정 개체군을 선정하여 장기간 모니터링을 통해 개체군 변동을 확인하고 이를 통해서 개체군 변동과 환경변수간의 상관관계를 확인하고자 함
- 나) 이를 위해 선행연구에서 나타난 잠재서식지 적합도가 높은 지역에서, 백부자 개체군이 생활단계별로 구성된 지역, 조사 용이성, 위도 및 고도, 환경조건 등을 고려하여 4개 고정조사지점을 설치함(그림 2-1)
- 다) 지점 1의 조사구 면적은 86.7㎡, 고도는 389m로 남서사면에 소나무 군락이 있는 능선부에 위치하며 하부식생이 열려있음
- 라) 지점 2의 조사구 면적은 39.9㎡, 고도는 318m로 완만한 남사면에 소나무 군락과 함께 위치하며 하부식생이 열려있음
- 마) 지점 3의 조사구 면적은 57.1㎡, 고도는 552m로 급격한 남동사면에 위치하며 임도가 급격하게 꺾어지는 곳에 있음
- 바) 지점 4의 조사구 면적은 24.9㎡, 고도는 552m로 남서사면에 위치함



그림 2-1 | 개체군 단위의 고정조사지점

## 2 연구방법

### 가. 개체군 기반 서식지 평가

#### 1) 백부자 연령구조 설정

가) 백부자는 다년생 초본으로 겨울철에는 지상부가 고사하고 지하부가 생존하며 봄철에 줄기가 성장하는 것으로 알려져 있음

나) 투구꽃속 선행연구를 통해 3단계로 생활사를 나누었으며 각각 유묘단계(Seedling), 영양단계(Vegetative), 생식단계(Reproductive)로 명명함(표2-3, 그림 2-2)

표 2-3 | 백부자 연령구조 및 기준

생활사	설명
유묘단계(Seedling)	근원직경 1mm 이하, 잎 수 1개 이하 개체
영양단계(Vegetative)	근원직경 2mm 이상, 잎 수 7개 이상 개체
생식단계(Reproductive)	개화 및 결실 개체

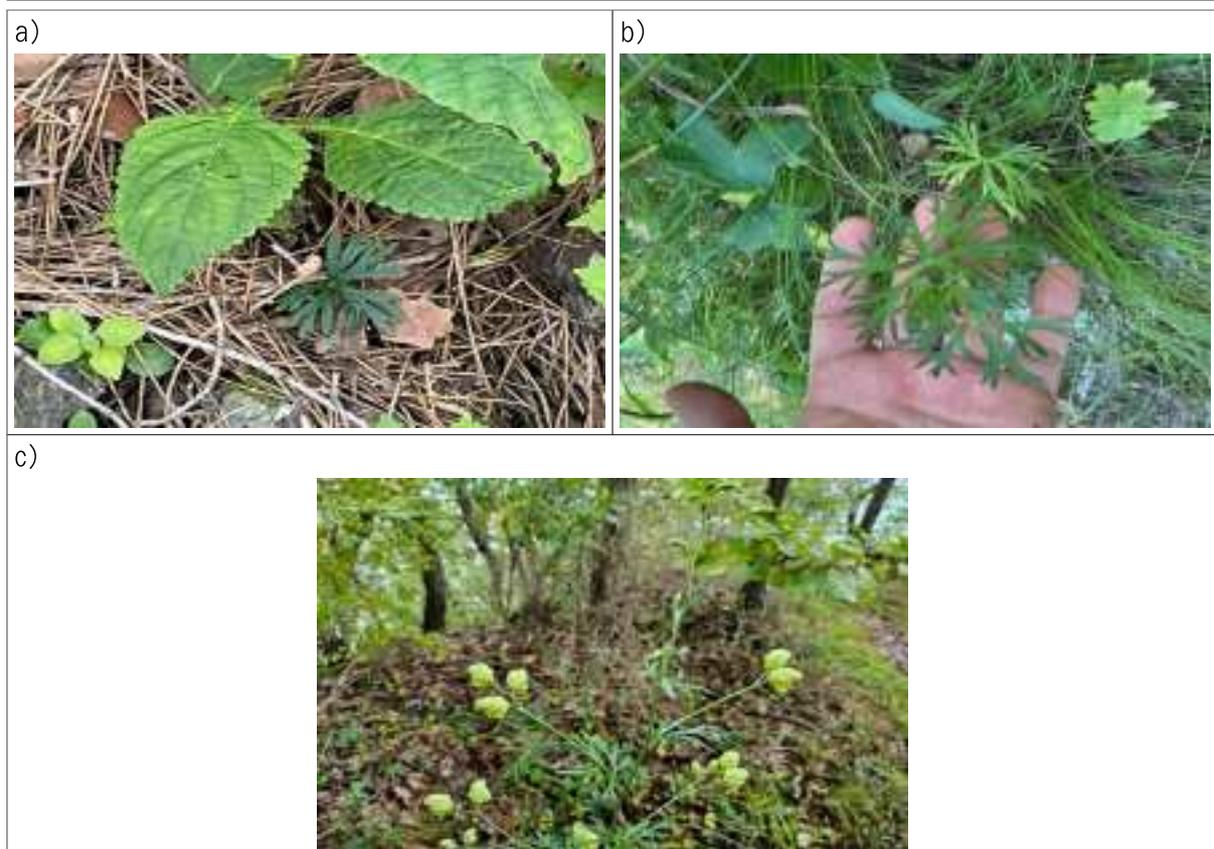


그림 2-2 | 백부자 생활사별 개체 모습(a: 유묘단계, b: 영양단계, c: 생식단계)

2) 개체군 조사를 위한 고정조사 지점 선정

가) 멸종위기 야생생물 전국분포조사 사업을 통해서 조사된 백부자 서식지에서 개체군이 일정 이상 서식하며 접근성이 뛰어난 지점 4곳을 선택하여 방형구를 설치하였음 (표 2-4, 그림 2-3)

표 2-4 | 개체군 조사를 위한 고정조사 지점 주소

지점번호	명칭	약어	주소
지점 1	영월군 남면	YN	강원특별자치도 영월군 남면
지점 2	영월군 한반도면	YH	강원특별자치도 영월군 한반도면
지점 3	평창군 미탄면	PM	강원특별자치도 평창군 미탄면
지점 4	정선군 남면	JN	강원특별자치도 정선군 남면



그림 2-3 | 조사지점별 전경

3) 개체군 조사 시기, 방법 및 통계적 분석

가) 개체군 조사는 1년에 총 3회에 걸쳐서 조사하였으며 조사구 내 개체 식별 및 유묘단계를 확인하기 위한 개화기 전 조사(4월 중순~5월), 영양단계와 생식단계를 구별하기 위한 개화기 조사(8월~9월), 개체군의 결실률을 확인하기 위한 결실기 조사(9월 중순~10월)로 구성됨(그림 2-4)

1월~3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
	← 개화기 전 조사 →				← 개화기 조사 →		← 결실기 조사 →		

그림 2-4 | 개체군 조사 시기

나) 조사구내 개체 식별을 위한 인식표가 설치되었으며 개화기 전 조사, 개화기 조사에서 개체별 높이, 근원 직경을 측정함(그림 2-5)



그림 2-5 | 조사지점별 개체 식별을 위한 인식표 예시

- 다) 결실기 조사에서는 생식단계에 이른 개체를 무작위로 선택하여 열매를 채취하며 성숙 종자와 미성숙 종자를 식별함
- 라) 이를 통해 각 고정조사구 별 열매 결실률과 종자 결실률을 산출함
- 마) 각 고정조사구별 종자 결실률과 worldclim에서 제공하는 1970년~2000년까지 대표하 는 현재기후의 생물기후변수(Bioclimatic variables, Bioclim)와 함께 통계적 분석(일반 화 선형 모형)을 수행하여 상관식을 구성함
- 바) 상관식과 생물기후변수의 레스터 자료를 활용하여 남한의 종자 결실률 예측 지도를 도출함

### 가. 개체군 기반 서식지 평가

#### 1) 조사구별 개체군 영양상태 및 개체군 변동

- 가) 4개 조사 지점에서 백부자 개체군 조사를 통해 2023년 148개체, 2023년 291개체, 2025년에 421개체를 식별함(표2-5, 그림 2-6)
- 나) 2023년 생활단계별 백부자 연구 결과, 유묘 단계는 3개체(평균 높이: 10.76cm), 영양 단계는 30개체(평균 높이:43.79cm), 생식 단계는 112개체(평균 높이:112.05cm)로 분류되었음(표2-6)
- 다) 2024년에는 291개 백부자가 식별되었으며 생활단계별 연구 결과, 유묘 단계는 49개체(평균 높이: 6.57cm), 영양 단계는 178개체(평균 높이:47.92cm), 생식 단계는 64개체(평균 높이: 121.9cm)로 분류되었음(표2-6)
- 라) 2025년에는 421개 백부자가 식별되었으며 생활단계별 연구 결과, 유묘 단계는 104개체(평균 높이: 6.36cm), 영양 단계는 248개체(평균 높이:25.57cm), 생식 단계는 69개체(평균 높이: 99.05cm)로 분류되었음(표2-6)
- 마) 2023년은 개화기 전 조사가 이루어지지 않았고 개화기 조사만 수행하였기 때문에 2024년과 2025년에 비해 유묘단계 개체 식별이 미비하였음(표2-6)

표 2-5 | 백부자 연도에 따른 백부자 개체수

	전체개체	유묘단계	영양단계	생식단계
2023년	148	6	30	112
2024년	291	49	178	64
2025년	421	69	248	104

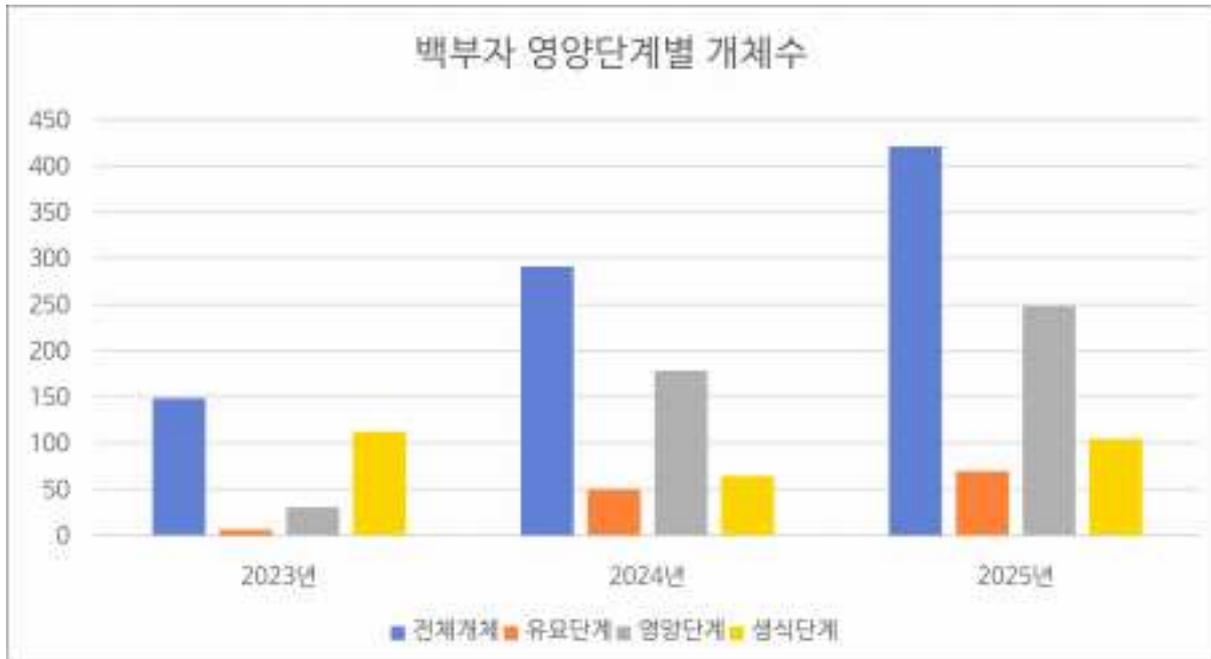


그림 2-6 | 백부자 영양단계별 개체수

표 2-6 | 백부자 연도에 따른 지점별 개체군 정보

2023년 지점별 백부자 개체군 정보								
	PM	평균높이	YN	평균높이	YH	평균높이	JN	평균높이
생식단계	32	118.650	26	89.435	49	120.549	5	104.3
영양단계	3	41.667	9	29.389	14	55.728	4	36
유묘단계	3	10.667	1	5	1	18	1	15.6
2024년 지점별 백부자 개체군 정보								
	PM	평균높이	YN	평균높이	YH	평균높이	JN	평균높이
생식단계	31	128.081	10	80.610	20	131.270	3	133.2
영양단계	38	44.805	33	40.676	95	53.313	12	35.075
유묘단계	25	7.588	6	6.217	18	5.294	0	0
2025년 지점별 백부자 개체군 정보								
	PM	평균높이	YN	평균높이	YH	평균높이	JN	평균높이
생식단계	30	111.203	8	57.762	23	102.696	8	84.35
영양단계	74	22.242	42	28.970	126	26.381	6	25.883
유묘단계	29	6.624	36	5.569	35	7.117	4	5.15

- 바) 지점별 개체군 정보를 살펴보면 정선 남면(JN)이 다른 지점보다 적은 개체수를 보이며 영월 한반도면(YH)에 제일 많은 개체수를 확인하였음
- 사) 개체 평균 높이를 비교하면 평창 미탄면(PM)과 영월 한반도면(YH)는 개체 성장이 원활한 것으로 보이며, 영월 남면(JN)은 성장히 원활하지 않은 것으로 확인됨
- 아) 결실기 조사를 통해 3년간(2023년~2025년) 조사지점별 개체군의 평균 종자결실률을 측정함(표 2-7, 그림 2-7)

표 2-7 | 백부자 조사지점별 평균 종자 결실률

	정선 남면(JN)	평창 미탄면(PM)	영월 남면(YN)	영월 한반도면(YH)
2023년	4.49%	1.19%	5.37%	1.10%
2024년	10.63%	9.57%	0%	4.03%
2025년	14.41%	1.21%	1.92%	25.45%
평균	9.84%	3.99%	2.43%	10.19%

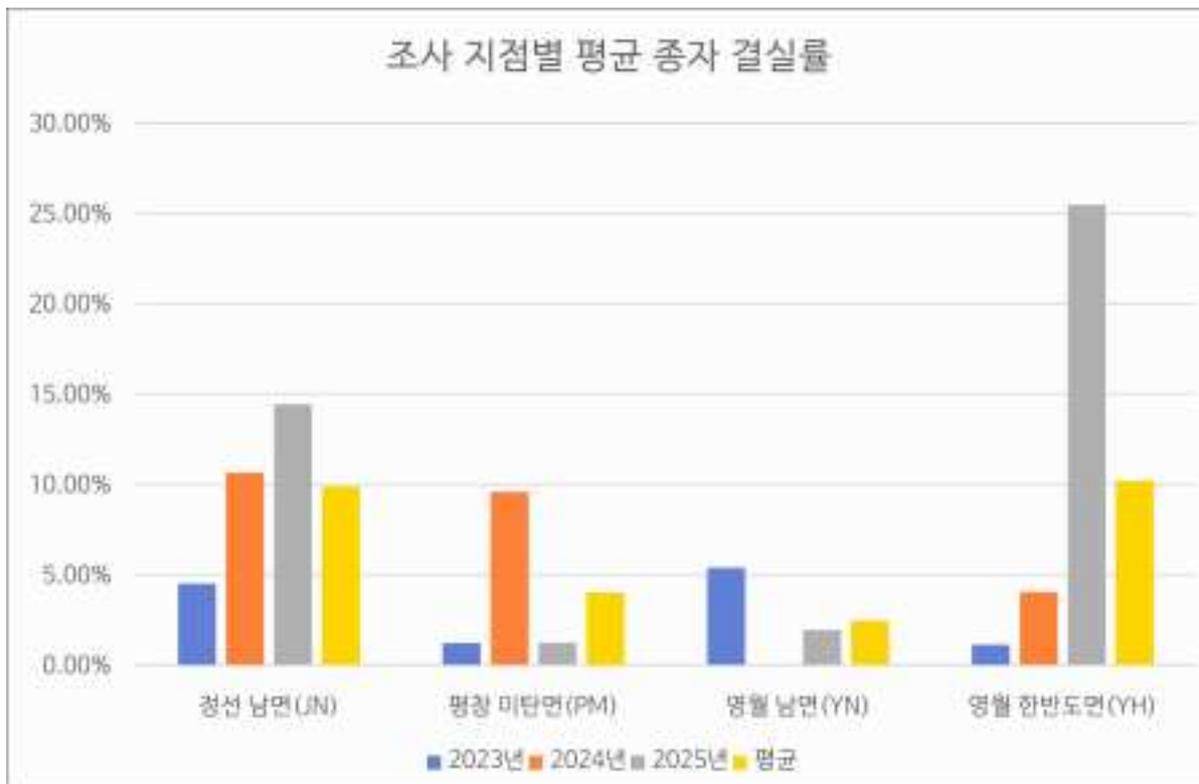


그림 2-7 | 조사지점별 평균 종자 결실률 변화

자) 3년간 평균 종자결실률을 살펴보면 영월 한반도면(YH)이 10.19%로 가장 높은 결실률을 보이며 그 다음으로 정선 남면(JN), 평창 미탄면(PM) 영월 남면(YN) 순으로 각각 9.84%, 3.99%, 2.43%의 종자결실률이 산출되었음(표 2-6)

차) 종자결실률 분석 결과 영월 한반도면이 백부자 개체군에 가장 적합한 서식 환경으로 판단되며, 다음으로 정선 남면, 평창 미탄면이 적합한 것으로 확인되었음(그림 2-7)

카) 영월 남면은 2023년 높은 종자결실률을 보였지만 2024년에 종자가 하나도 열리지 못하고 지상부가 고사하였으며, 이는 여름철 고온과 능선의 영향으로 추정됨

## 2) 개체군 종자결실률과 환경변수 통계분석

가) 4개 지점별 평균 종자결실률과 worldclim에서 제공하는 현재 기후의 연평균기온(Bio01), 가장 더운 달의 최고기온(Bio05), 가장 추운 달의 최저기온(Bio06)을 변수로 선정하여 회귀분석을 수행함

나) 일반화 선형 모형(GLM)을 통한 통계분석을 수행한 결과, 연평균기온(Bio01)은 종자결실률과 0.299의 양의 상관관계를 가지며 제일 더운 달의 최고기온(Bio05)은 -0.226의 음의 상관관계, 제일 추운 달의 최저기온(Bio06)은 -0.109의 음의 상관관계를 가지는 것으로 분석되었음

다) 충분한 표본수를 확보하지 못하였기 때문에 변수와 종자결실률의 상관관계는 향후 많은 개체군의 종자결실률 또는 개체군 변동에 관한 자료를 확보하였을 때 활용 가능함

## 3) 개체군 기반 서식지 평가

가) 상관분석결과와 3개 변수의 레스터자료를 활용하여 남한 범위의 백부자 평균 종자결실률을 예측하였음

나) 해당 결과를 기반으로 전국분포조사에서 수집된 백부자 출현좌표 81곳의 종자결실률 값을 추출한 결과 평균 7.86%로 산출되었음

다) 백두대간을 중심으로 고도가 높은 지역이 주로 높게 예측되었으며 서해안 지역으로 갈수록 예측치가 낮아지는 것을 확인할 수 있음(그림 2-8)

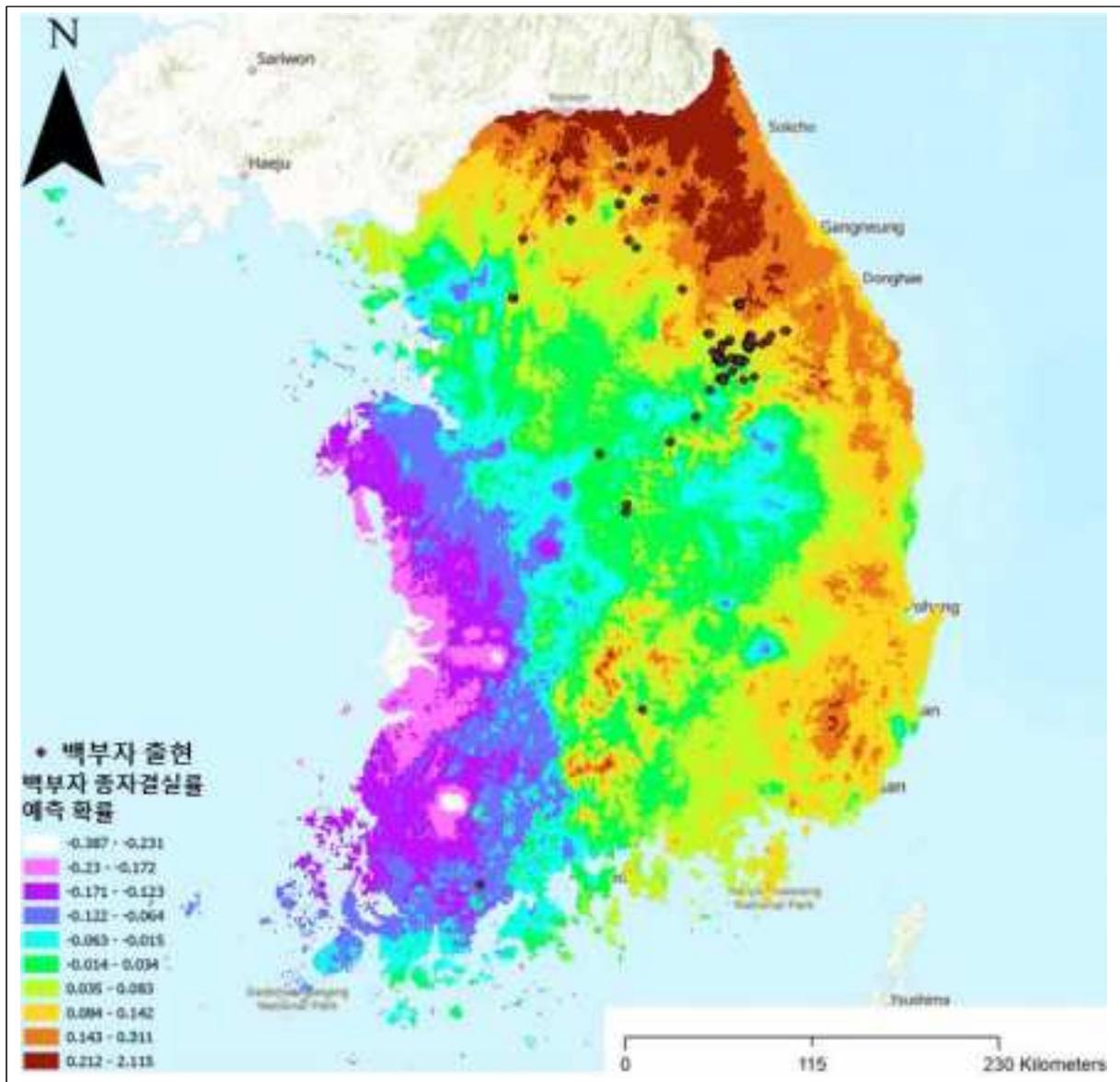


그림 2-8 | 백부자 평균 종자결실률 예측 지도

## 4 결론

- 가. 멸종위기 야생생물 II급 백부자를 대상으로 개체군 현장조사를 통해 개체군 평균 종자 결실률과 환경변수들 간의 관계를 확인하고자 하였음
- 나. 2023년부터 2025년까지 4개 조사지점에서 총 421개 백부자 개체를 식별하였으며 3개 생활단계(유묘단계, 영양단계, 생식단계)에 따른 개체를 식별하였음
- 다. 2023년에는 유묘단계 3개체(평균 높이: 10.76cm), 영양단계 30개체(평균 높이: 43.79cm), 생식단계 112개체(평균 높이: 112.05cm)를 확인하였음
- 라. 2024년에는 유묘단계 49개체(평균 높이: 6.57cm), 영양단계 178개체(평균 높이: 47.92cm), 생식단계 64개체(평균 높이: 121.9cm)를 확인하였음
- 마. 2025년에는 유묘단계 49개체(평균 높이: 6.36cm), 영양단계 104개체(평균 높이: 25.57cm), 생식단계 69개체(평균 높이: 99.05cm)를 확인하였음
- 바. 2023년부터 2025년까지 3년간 4개 지점별 평균 종자생산율은 영월 한반도면(YH), 정선 남면(JN), 평창 미탄면(PM), 영월 남면(YN)순으로 도출되었음
- 사. 종자결실률과 worldclim에서 제공하는 현재 기후의 연평균기온, 가장 더운 달의 최고기온, 가장 추운 달의 최저기온 변수를 회귀분석한 결과, 연평균기온은 양의 상관관계를 가지며 가장 더운 달의 최고기온, 가장 추운 달의 최저기온은 음의 상관관계를 가지는 것으로 분석되었음
- 아. 환경변수와 평균 종자결실률의 상관관계를 통해서 한반도 내 백부자 평균 종자결실률예측한 결과, 81개 백부자 출현좌표의 평균 종자결실률은 7.86%로 산출되었음
- 자. 백두대간을 중심으로 고도가 높은 지역의 평균종자결실률이 높게 예측되었으며 서해안 지역으로 갈수록 예측치가 낮게 나타났음

# III

## 애기송이풀

주저자: 김선령, 이승은

1. 기초생태자료 및 연구대상지 선정
2. 연구방법
3. 연구결과
4. 결론



### III. 애기송이풀

#### 1 기초생태자료 및 연구대상지 선정

##### 가. 자료수집

##### 1) 애기송이풀 형태 및 생태학적 특성

표 3-1 | 애기송이풀의 종 정보 및 특성

애기송이풀	
학명	<i>Pedicularis ishidozana</i> Koidz. & Ohwi
분류학적 위치	현삼목(Scrophulariales) 현삼과(Scrophulariaceae)
보호종 지정 현황	- 환경부 멸종위기야생생물 II급 - 산림청 희귀·특산식물 - 국가적색목록 취약(VU)
특이점	한반도 고유종이며 하천공사 및 등산로 개발로 서식지가 파괴됨
형태 및 생태학적 특징	
	
형태	- 줄기는 없고 잎은 뿌리에서 모여나며, 전체적으로 잔털이 있음 - 근경은 2~3cm정도 묻혀있으며 윗부분은 인편으로 쌓여있거나 목질화 되어있음 - 깃꼴겹잎으로 가장자리에 톱니가 있으며 길이는 25~30cm임 - 꽃은 홍자색이고 꽃부리는 2갈래로 갈라지며 아래쪽은 3갈래로 갈라짐 - 열매는 삭과이며 지상부는 결실 후 빠르게 고사하여 뿌리만 남고 다음 해에 다시 꽃을 피운다
위협요인	- 기후변화로 인한 서식지 변화 - 무분별한 채취 및 탐방, 하천 공사등에 따른 서식처 파괴
국내/외 분포	- 국내: 경기도, 강원도, 충청북도, 경상도(한반도 고유종)

2) 기초생태자료 수집

- 가) 애기송이풀의 생태와 관련 연구 4건을 확인하였으며, 식물상 조사 시 애기송이풀이 확인된 연구 4건을 확인하였음(표 3-2)
- 나) 문헌조사에 따르면 애기송이풀은 주로 계곡부 북사면에 자생하며, 남부지역부터 중부지역까지 넓게 분포함
- 다) 애기송이풀은 다양한 낙엽활엽수와 함께 발견되며, 특정 종보다는 각 지역 자생종과 적응하여 서식하는 것으로 확인됨
- 라) 자연적 교란, 기후변화, 개발 및 인간의 활동 등으로 서식지가 위협받고 있음

표 3-2 | 애기송이풀 문헌조사

구분	주요 내용	문헌출처
자생지 특성	- 죽파리 계곡을 따라 정상에 이르는 길에 애기송이풀이 분포하고 있음	정규영 외, 2007
	- 유량이 풍부한 계곡부의 서늘한 곳에 분포 - 산의 북사면에 주로 분포함	조원범, 2010
	- 평균경사 10.5°로 계곡부에서 사면방향으로 20m까지 분포하며 모자이크식 군집형태로 군생함 - 대부분 북 또는 북서사면에 위치하며 해발고도는 107~494m임 - 노암울과 유기물층의 깊이가 높은 설명력을 보였으며 특히 노암울이 낮을수록 1㎡당 개체수가 높았음	변준기 외, 2013
	- 계곡부에 자생함 - 경주국립공원 내 해발고도 228~235m에서 확인됨 - 경사도 25%~80%에서 확인 됨 - 북동과 동남향 사면에 위치함	유주한 외, 2020
	- 노자산 북사면 계곡부에서 약 500개체 출현함	정명희 외, 2021
	- 거제, 경주, 영양에서 서식지 고도는 107~490m 범위에 분포하였으며 평균 고도는 296m임 - 5개 지점은 북사면, 2개 지점은 남사면에 위치함 - 경사각 5~20° 범위에 분포함 - 토양이 비교적 습한 계곡부에 서식함 - Bio13(가장 습한 달의 강수량) 370~400mm, BIO14(가장 건조한 달의 강수량) 10~14mm, 북향,지형 위치 지수(TPI) -300~-250에서 높은 출현 확률을 보임 - SSP2-4.5시나리오에 따르면 애기송이풀의 적합 서식지 면적은 증가할 것으로 보이나, SSP5-8.5시나리오에 따르면 감소할 것으로 확인됨 - 경상도 인근 서식지는 감소할 것으로, 경기도와 강원도에서는 확대될 것으로 예측됨 - 강수가 가장 큰 영향을 미치며, 지형, 온도 관련 변수가 그 다음으로 영향을 줌	Yuqi <i>et al.</i> 2023
	- 가평군 논남기 계곡 일대에 산발적으로 서식함	권석우, 2025

구분	주요 내용	문헌출처
식물상 특성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 6지역 18개 방형구 내에서 76과 160속 173종 2아종 62변종 6품종, 총 243분류군이 확인됨</li> <li>- 분포범위가 온대남부에서 온대중부지역까지 넓으며 계곡부라는 지리적 특이성이 있어 다수의 식물이 분포함</li> <li>- 귀화식물은 도꼬마리1종만 확인 됨</li> <li>- 신갈나무와 당단풍나무가 모든 지역의 주요 목본층 수종구성에서 확인 되었으며 다양한 낙엽활엽수림에서 자생하였음</li> <li>- 관목층에서는 생강나무, 국수나무, 조록싸리가 전 지역에서 확인됨</li> <li>- 초본층에서는 개별꽃, 고깔제비꽃, 남산제비꽃, 대사초, 동굴레 등이 전 지역에서 확인됨</li> </ul>	변준기 외, 2013
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 경주 만호봉 일대 애기송이풀 자생지 주변은 서어나무, 졸참나무, 까치박달, 당단풍나무, 쥐똥나무, 작살나무, 비늘고사리, 미나리냉이, 노루오줌, 족도리풀, 이삭여뀌 등이 생육함</li> <li>- 서어나무, 졸참나무, 까치박달이 우점함</li> </ul>	유주한 외, 2018
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 경주 자생지 내 35과 44속 53종 1아종 5변종, 총 59분류군이 확인됨</li> <li>- 교목층은 졸참나무, 아교목층은 까치박달, 졸참나무가 우점함</li> <li>- 관목은 개웃나무, 철쭉, 쪽동백나무, 조록싸리가 우점하며, 초본층은 뱀고사리, 생강나무, 비늘고사리, 가는잎그늘사초가 우점함</li> <li>- 낙엽활엽수 하부를 선호하는 것으로 보임</li> </ul>	유주한 외, 2020
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3지역 7개 방형구 내에서 46과, 70속, 80종, 1아종, 8변종, 5 품종이 조사되었음</li> <li>- 교목층과 아교목층으로는 굴피나무, 졸참나무, 느티나무, 서어나무, 때죽나무, 물푸레나무 등이 확인되었음</li> <li>- 관목층으로는 까치박달, 때죽나무, 나도밤나무, 국수나무 등이 확인됨</li> <li>- 초본층은 얼레지, 애기나리, 제비꽃 등이 확인됨</li> <li>- 세 지역의 종 균등도는 0.67~0.76에 분포하여 지역간 종 구성이 유사함이 확인됨</li> </ul>	Yuqi et al. 2023
생태적 특성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 개화기는 4~5월로 다른 송이풀속 분류군들에 비해 빠름</li> </ul>	조원범, 2010
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 특정 종과의 공존보다는 각 지역의 자생종과 함께 적응해 나간 것으로 판단됨</li> <li>- 최고 깊이 30cm, 최고 폭 85cm의 수염뿌리형태 근계를 이루어, 계곡부와 계류부에서 떠내려가지 않고 호우로 인한 급격한 교란에서 우위를 선점하는 것으로 판단됨</li> <li>- 봄철에 개화하고 여름철 장마기간 전에 결실하며 장마기간에는 지상부가 녹아 없어지며 휴면상태를 유지함</li> </ul>	변준기 외, 2013
형태적 특성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수술에 선모가 없으며 상순에 긴 선모가 있는 것으로 분류함</li> </ul>	조원범, 2010
유전적 특성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 한국산 송이풀속에서 애기송이풀이 유전적 거리가 가장 먼 것으로 확인됨</li> </ul>	조원범, 2010
위협요인	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 연천지역 자생지는 주거지역 및 야영지와 인접하여 인간활동으로 인한 음식물 및 생활쓰레기가 방치됨</li> <li>- 식생 천이에 따른 목본층 밀도 증가 및 식생 피압에 의한 개화-결실의 영향이 예상됨</li> <li>- 목본층의 종류와 밀도에 따른 수광량에 따라 초본층 발달정도가 영향을 받을 것으로 판단되며, 식생 밀도 조절 및 숲틈 처리에 의한 광환경 개선이 요구됨</li> </ul>	변준기 외, 2013

구분	주요 내용	문헌출처
	- 자생지 인근 야생화 촬영 등으로 무단침입이 빈번하여 탐방객의 통제가 요구됨 - 너덜지대에 위치한 자생지의 경우 암석 낙하등으로 인한 자연적 훼손이 발생할 가능성 있음	유주한 외, 2020
	- 기후변화로 인한 강수량 증가는 토양 침식과 같은 자연적 교란을 증가시킬 것으로 예상되어 계곡 경사면에 자생하는 애기송이풀의 서식 적합지역이 감소할 것으로 예측됨	Yuqi et al. 2023
	- 가평군 명지산 개체는 식생변화와 같은 자연적 교란 및 인위적 교란으로 생육환경이 대체로 불량한 편이며 지속적 교란으로 개체수가 감소하고 있음	권석우, 2025

### 3) 공간자료 수집

- 가) 멸종위기 야생생물 분포조사 자료를 통해 애기송이풀 출현좌표 209지점을 수집하였음(그림 3-1)
- 나) 주제도별 공간자료 분석을 위해 5개 기관의 주제도를 활용하여 8가지 변수 도면을 공간분석에 활용하였음(표 3-3)

표 3-3 | 애기송이풀 공간 데이터

구분	보유기관	공간자료	변수	자료출처
1	국립농업과학원	토양도	표토자갈함유량, 유효토심, 배수등급	흙토람
2	국토지리정보원	연속수치지형도	해발고도, 수계와의 거리	국토정보플랫폼
3	임업진흥원	임상도	수종	산림공간정보서비스
4	Worldclim	생물기후변수	연평균기온, 연평균강수량	worldclim.org
5	국립생태원	멸종위기야생생물 전국분포조사	애기송이풀 분포 지점	국립생태원

### 나. 연구대상지 선정

- 1) 애기송이풀 과거 자생지 자료 중 가장 최신자료(2019년)를 중심으로 개체수가 10개 이상인 지점을 현장조사 대상지로 선정하였음(그림 3-1)  
※ 경주국립공원 내 애기송이풀 조사 시 학술연구 승인을 받아 진행함
- 2) 애기송이풀 현장조사 결과 가장 개체수가 많은 것으로 확인된 영양군을 대상으로 개체군 전수 조사를 수행하였으며 LiDAR센서 촬영을 진행함

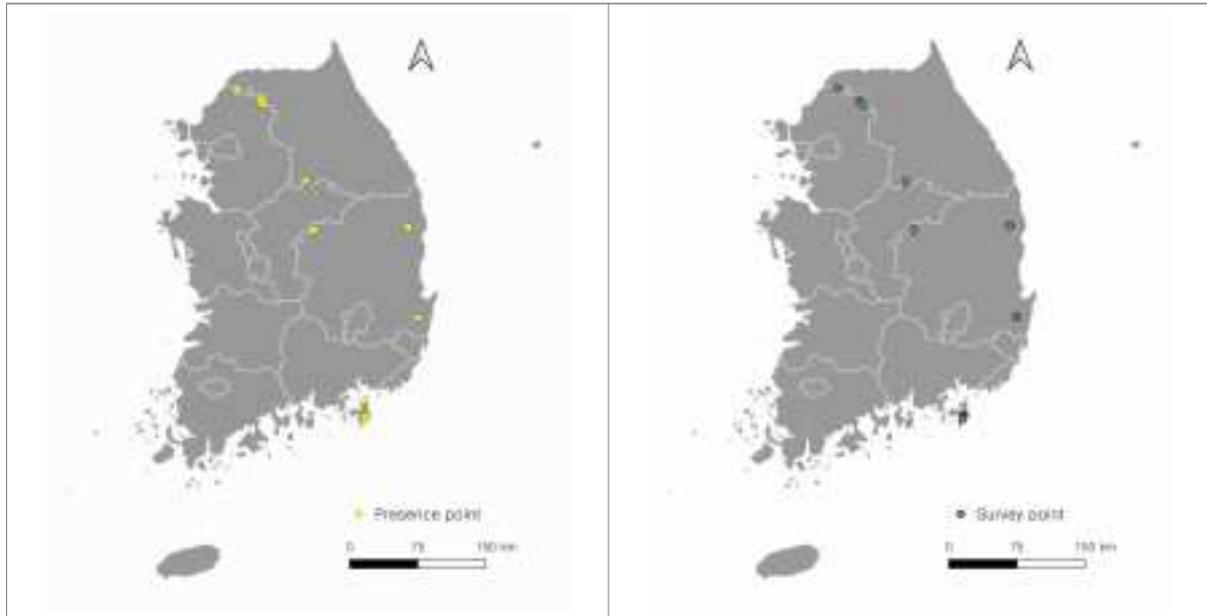


그림 3-1 | 애기송이풀 연구 대상지

## 2

## 연구방법

### 가. 현장조사

- 1) 자연환경 조건 및 상관 식생형을 고려하여 초본층에 애기송이풀이 군락으로 출현하는 지점에 대하여 비정형으로 식물상 조사 실시
- 2) 애기송이풀과 함께 구성하고 있는 식물 종조성을 분석하였으며, 식물의 국명 및 학명은 국립생물자원관의 국가생물종목록(2024년) 관속식물을 기준으로 작성함
- 3) 식물상의 멸종위기 야생생물, 고유종, 국가생물적색목록은 기후에너지환경부(2025년)의 자료를 활용하였으며, 희귀식물은 산림청(2025년)의 자료를 활용하였고, 식물구계학적 특정식물종은 국립생태원(2025년)의 자료를 활용하였으며.
- 4) 조사 지점별 토심 10cm 지점의 토양시료 채집하였으며, 시료 분석을 통해 유기물, 양이온치환용량, 유효인산, 전기전도도, 질소, 토성\*, pH 값을 얻음  
\* 토성의 분류는 미국 농무성법 기준을 따랐음
- 5) 조사지점의 좌표를 기록하였으며, 추후 공간자료를 활용한 현장조사 지점별 환경

변수를 수집함

#### 나. 상관관계 분석

- 1) 애기송이풀의 출현 지점에 대한 식물군집 구성과 환경요인의 관계를 파악하기 위해 정준대응분석(CCA)을 수행함
- 2) 분석에는 R의 vegan 패키지를 활용하여 초기 모형을 구축한 뒤 vif.cca() 함수를 이용하여 환경변수 간 다중공선성을 검토하였으며, 이를 통해 모형의 안정성을 확보하고 불필요한 상관 중복을 최소화하였음
- 3) ordistep() 기반 단계적 선택을 적용하여, 통계적으로 유의한 환경변수만을 포함하는 최종 CCA 모형을 도출하였으며, ggplot2 및 ggrepel을 이용한 시각화를 통해 지점, 종 분포 및 환경요인의 방향성을 표현한 CCA 이중그래프(biplot)를 작성하였음

#### 다. 공간분석

- 1) 애기송이풀 과거 출현 좌표 및 현장조사 지점 좌표를 기준으로 ArcGIS의 Sample 및 Spatial Join 도구를 활용하여 각 지점별 환경 변수값을 추출하였으며 이를 통계에 활용함
- 2) 개화기 영양군 애기송이풀 전수조사를 실시하여 GPS 측량기를 이용해 전 개체군의 범위를 polygon화 하였으며, 각 범위 별 개체수를 면적으로 나누어 개체 밀도를 산정하였음(그림 3-2)
- 3) 영양군 애기송이풀 자생지 계곡의 미세 지형 분석을 위해 항공 LiDAR 및 지상 LiDAR 촬영을 수행함(그림 3-2)
- 4) 계곡이 깊고 굴곡이 있어 비행이 불가능한 지점은 제외하여 항공 LiDAR 촬영을 수행하였으며, 지상 LiDAR는 전형적인 애기송이풀 자생지로 대표성을 띄는 지점을 선정하여 촬영하였음
- 5) 지상LiDAR 결과물을 활용하여 개체의 미소 분포지점 시각화를 위해 단면도를 제작함
- 6) 항공 LiDAR 촬영결과물은 LiDAR360을 활용하여 도면화 하였으며, ground point filtering 수행 후 이를 기준으로 1m 단위로 수치표고모형(DEM)과 경사(Slope) 도면을 구축하였음(그림 3-3)



그림 3-2 | GPS 측량기를 이용한 개체 위치 기록 및 지상 LiDAR 촬영

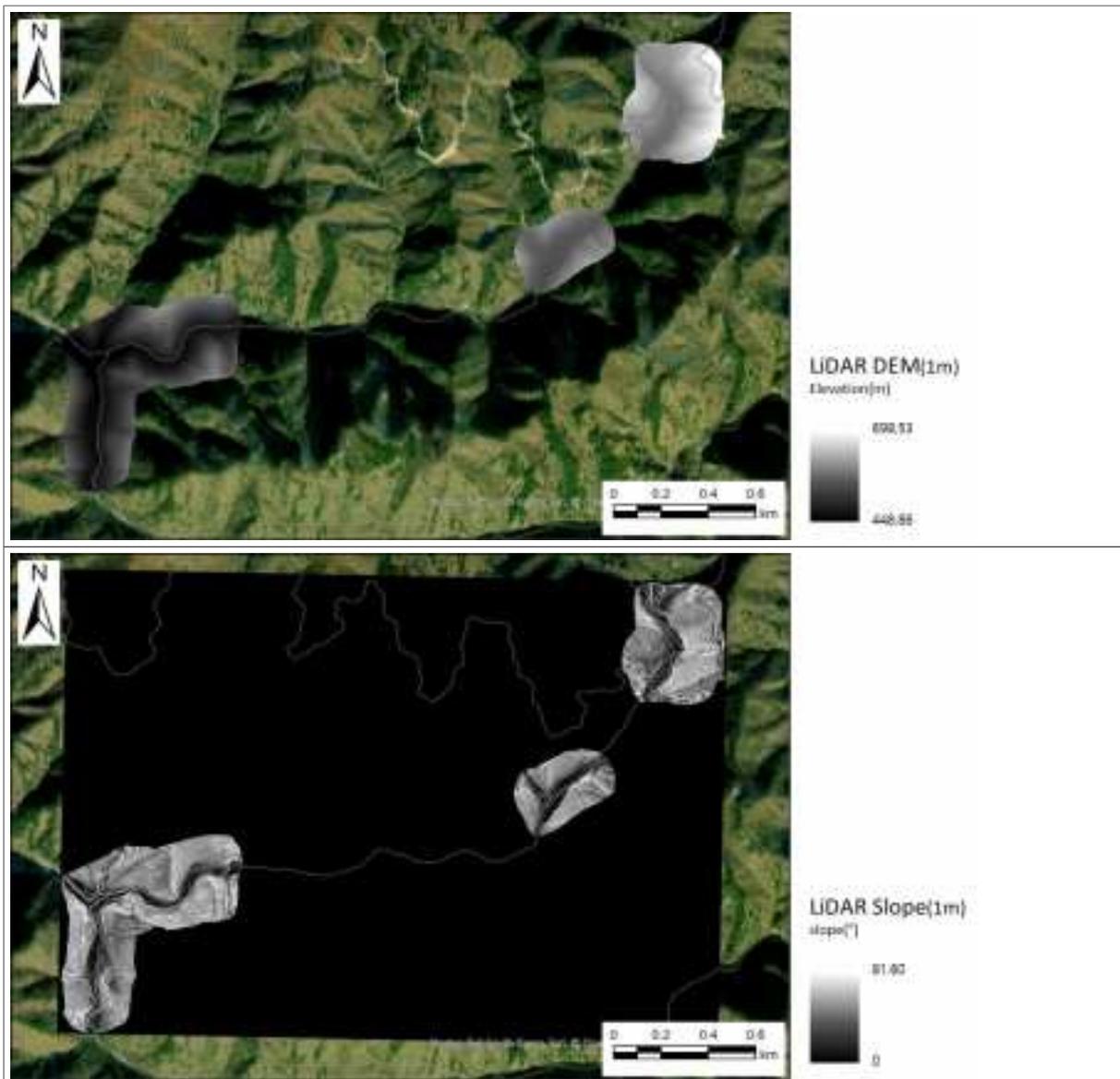


그림 3-3 | LiDAR 기반 DEM 및 Slope 도면

### 라. 지형 표현성 비교

- 1) 미소지형의 표현성 비교를 위하여 LiDAR 기반 DEM과 등고선 기반 DEM을 각각 제작하고, DEM을 기준으로 도출한 경사 도면의 값 분포를 확인하였음
- 2) 연속수치지형도 등고선 자료(5m 간격)에 대해 Topo-to-Raster 알고리즘을 적용하여 5m DEM을 생성하였으며, 동일 조건에서의 비교 분석을 위해 LiDAR DEM을 bilinear 방식으로 5m cell size resample 하였음(그림 3-5)
- 3) 애기송이풀 개체군 분포 영역(총 59개 polygon)에 3m의 buffer를 부여하여 분석 대상으로 활용하였으며, 이때 buffer의 영역이 중첩되는 경우 dissolve를 수행하여 최종적으로 40개 ploygon 영역을 도출해 편향을 방지하였음(그림 3-4)
- 4) 각 polygon 단위에 대해 LiDAR DEM 및 Topo DEM에 대한 zonal statistics 수행하였으며, 산출 지표는 최솟값, 최댓값, 평균, 중간값, 표준편차, 90% 분위수로 설정함
- 5) DEM 간 직접 비교를 위해 R 프로그램(ver. 4.5.1.)을 활용하여 LiDAR DEM과 Topo DEM값의 차이를 계산하였고, 평균 고도(Mean)에 대해 Pearson 상관 및 단순회귀 분석을 실시했음
- 6)  $\Delta$ Mean의 정규성 검정 후 paired t-test 수행했으며, 내부 변동성 평가를 위해  $\Delta$ STD의 분포를 분석하였음



그림 3-4 | 애기송이풀 개체군 분포 기반 공간 분석 범위

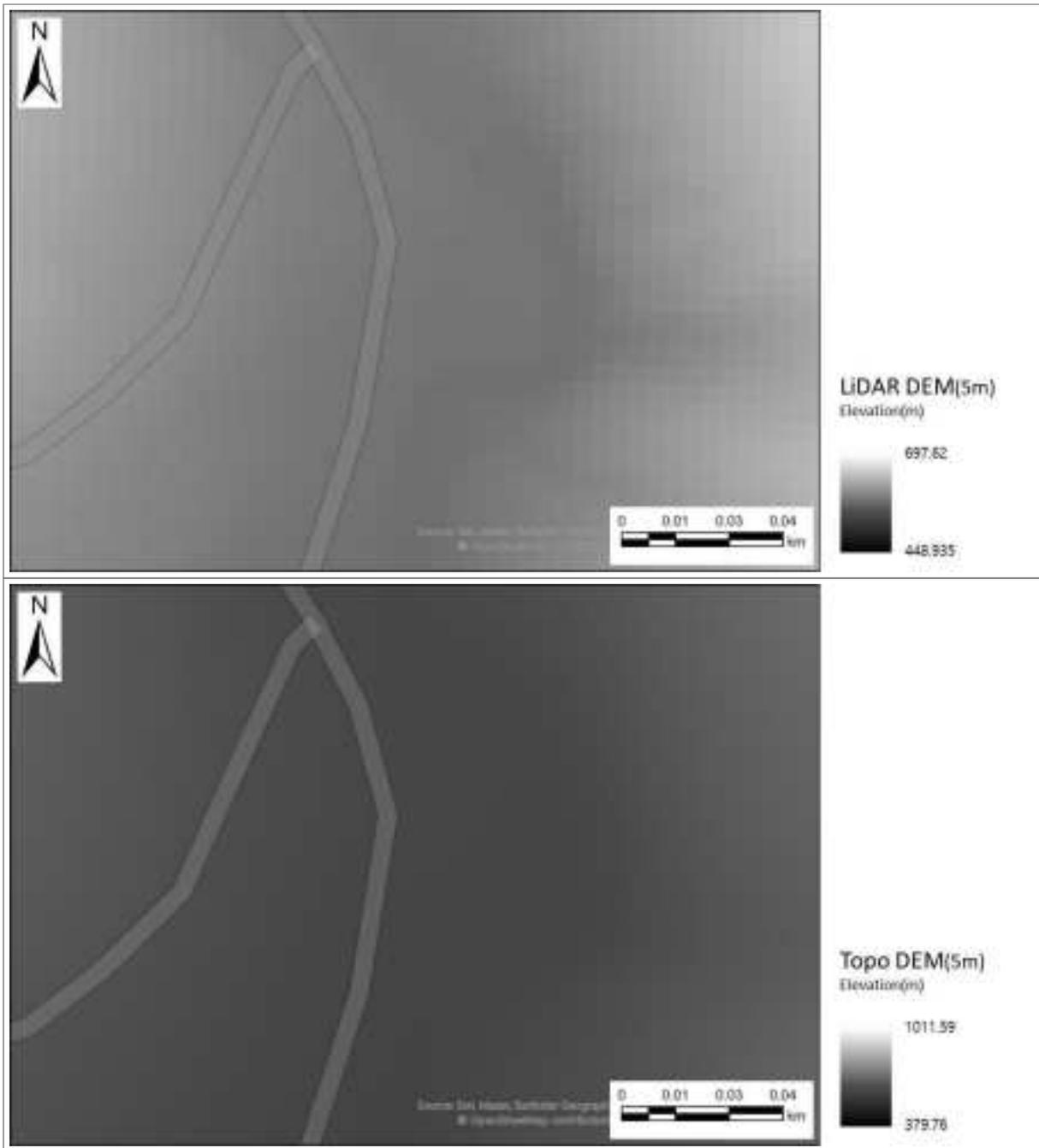


그림 3-5 | LiDAR 기반 DEM 및 등고선 기반 DEM

### 3 연구결과

#### 가. 애기송이풀 생활사

- 1) 겨울눈 상태의 애기송이풀은 3월 초부터 싹을 틔우기 시작하는 것으로 확인되며 개체가 위치한 지점의 일조량에 따라 그 시기는 상이함(그림 3-6)



2025.03.14.

그림 3-6 | 애기송이풀 겨울눈

- 2) 3월말 경 대부분의 애기송이풀의 잎이 붉은빛으로 돌아나는 것을 확인할 수 있음 (그림 3-7)
- 3) 4월이 되어 지상부는 빠르게 성장하여 점차 초록색으로 변화하며 잎이 무성해지기 시작하는 것을 확인함(그림 3-7)



2025.04.01.

2025.04.09.

그림 3-7 | 애기송이풀 생장기

4) 애기송이풀은 4월 중순~말경 개화하며, 개화 이후 일주일 가량 관찰이 가능함(그림 3-8)

5) 위도에 따라 2주 정도 개화시기의 차이가 있음을 확인함



그림 3-8 | 애기송이풀 개화기

6) 5월이 되면 잎이 빠르게 고사하여 지상부를 점차 확인하기 어려워짐(그림 3-9)

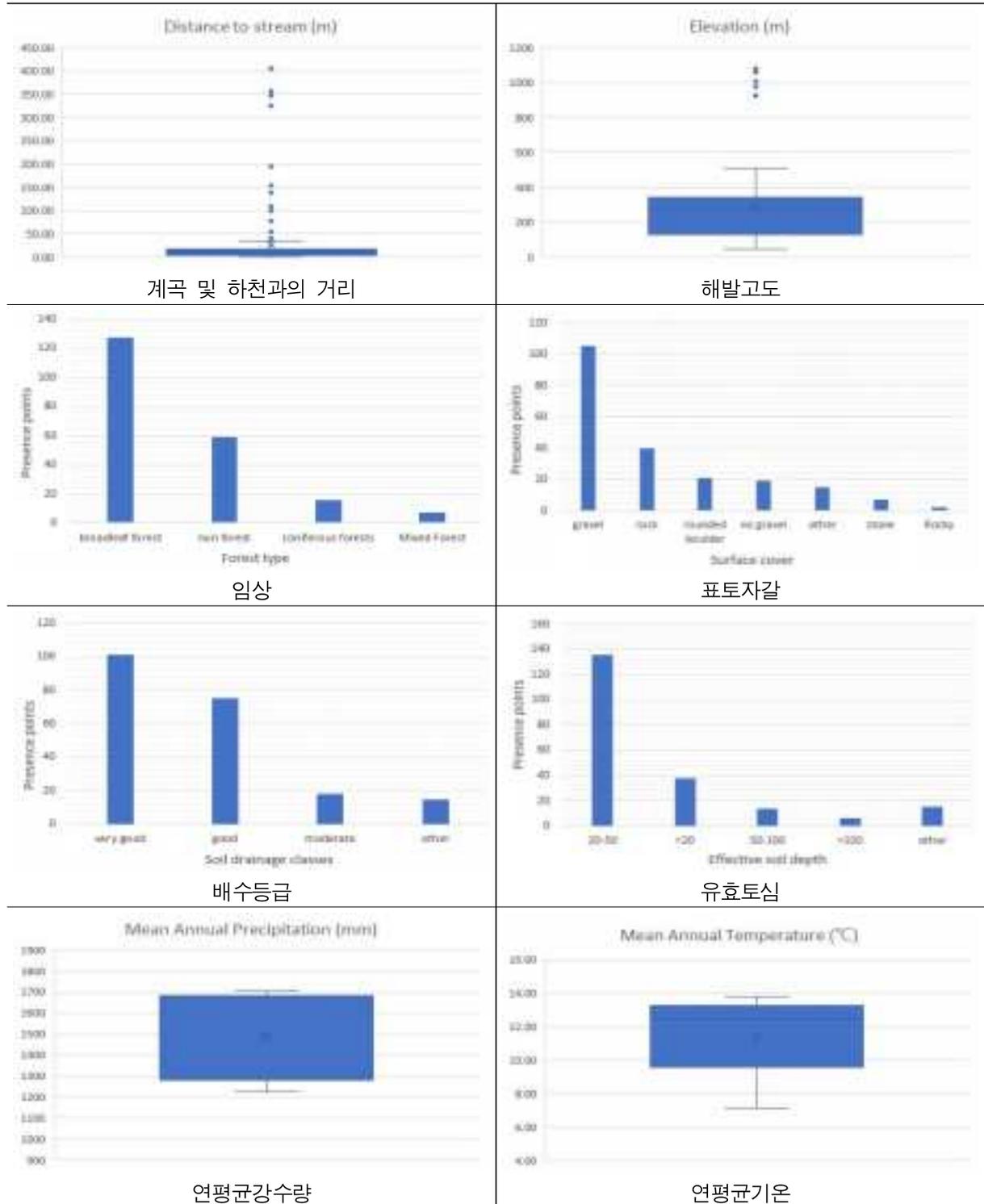
7) 6월에는 잎이 완전히 분해되어 흔적을 찾기 어려워지며 일부 열매를 확인할 수 있음(그림 3-9)



그림 3-9 | 애기송이풀 고사체

나. 과거 출현지점 기반 통계 분석

표 3-4 | 애기송이풀 과거 출현지점 기반 통계 분석



- 1) 애기송이풀이 과거 확인되었던 209지점을 대상으로 공간 분석을 수행하였음(표 3-4)
- 2) 애기송이풀은 평균  $300.46 \pm 220.04\text{m}$ 에 분포하며 계곡 및 하천과의 거리는 평균  $26.34 \pm 68.90\text{m}$ 로 분석되었음
- 3) 대부분 계곡부에 위치하였으나 일부 개체가 1,000m 근방 능선부에 위치하여 경향성의 차이를 보였음
- 4) 애기송이풀은 대부분 활엽수림에 분포하였으며 그 다음으로는 무임상지대에 많이 분포하였는데, 이는 계곡부에 자생하는 서식특성이 반영된 것으로 보임
- 5) 토양특성으로는 대부분 표토에 자갈을 함유하고 있으며, 배수등급이 양호하고 유효토심이 20-50cm인 것으로 확인됨
- 6) 연평균 강수량은  $1490.48 \pm 204.33\text{mm}$ 로 대한민국 기후 평년값(1991~2020년)인 1305.8mm보다 다소 높았으며 연평균 기온은  $11.34 \pm 2.04^\circ\text{C}$ 로 대한민국 기후 평년값  $12.79^\circ\text{C}$ 보다 낮은 것으로 확인됨

#### 다. 식생조사 결과

- 1) 애기송이풀이 분포하는 12개 지점에 대한 식물상을 조사한 결과 목본으로는 당단풍나무, 고로쇠나무가 높은 빈도로 출현하였고, 초본으로는 족도리풀, 개별꽃 등이 빈도 높게 출현함(표3-5)
- 2) 애기송이풀과 함께 종조성을 이루는 초본식물의 특성은 이른 봄 교목층의 잎이 무성해지기 전, 빛이 지면까지 잘 도달하는 시기에 꽃을 피우는 족도리풀, 개별꽃, 얼레지, 바람꽃, 남산제비꽃, 현호색 등과 혼생하여 분포함
- 3) 교목층은 침엽수 보다 주로 낙엽활엽수종이며, 계곡부 식생의 주요 진단종인 서어나무, 까치박달, 고로쇠나무, 매죽나무, 층층나무, 당단풍나무 등이 빈도 높게 출현함
- 4) 생물기후 구분도에 따라 거제는 지역적 특색(남해안형)으로 교목층에 나도밤나무의 빈도가 높은 것이 특징이었으며, 대부분 중부내륙형 또는 중남부내륙형의 계곡 식생 하층인 초본층 구성요소로 군락을 이루었음
- 5) 애기송이풀은 영양군과 거제군에서 넓은 면적으로 군락을 형성하였으며, 대부분 지역에서는 우점하는 형태로 출현하지 않음

- 6) 본 연구에서는 계곡부에 분포하는 애기송이풀 기존 연구와 달리, 최초로 문경과 포천 지역 능선부에 분포하는 애기송이풀에 관하여 조사하였음. 그로 인해 신갈나무, 진달래, 철쭉, 박새, 양지꽃, 은분취 등이 출현하는 것이 특징적임. 주로 능선부 등산로 주변에서 관찰되었으며, 빛 조건이 충분하고 운무로 인해 수분 조건이 양호한 입지에 출현하는 것으로 판단됨
- 7) 애기송이풀은 관목(망토군락)이 발달이 미약한 소매식생과 삼림식생의 경계에 주로 분포하며, 망토군락과 삼림군락이 발달하여 빛조건이 불량해지면 출현빈도가 줄어들거나 군락이 쇠퇴할 것으로 판단됨

표 3-5 | 애기송이풀 조사지역별 식물상

국명	학명	GP	GJ1	GJ2	GJ3	YY	GyJ1	GyJ2	MG	YC	JC	PC1	PC2	Co.
애기송이풀	<i>Pedicularis ishidoyana</i> Koidz. & Ohwi	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	12
당단풍나무	<i>Acer pseudosieboldianum</i> (Pax) Kom.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	12
족도리풀	<i>Asarum sieboldii</i> Miq.	+	+	+	+	+	+	.	+	+	+	+	+	11
고로쇠나무	<i>Acer pictum</i> var. <i>mono</i> (Maxim.) Franch.	.	+	+	+	+	+	+	+	+	.	.	+	9
개별꽃	<i>Pseudostellaria heterophylla</i> (Miq.) Pax	+	+	.	.	+	.	+	+	+	+	.	+	8
서어나무	<i>Carpinus laxiflora</i> (Siebold & Zucc.) Blume	.	+	+	+	+	+	+	+	.	.	.	.	7
얼레지	<i>Erythronium japonicum</i> Decne.	.	+	+	+	+	+	.	+	+	.	.	.	7
졸참나무	<i>Quercus serrata</i> Murray	+	+	.	+	+	+	.	.	+	+	.	.	7
그늘사초	<i>Carex lanceolata</i> Boott	.	+	.	+	+	+	+	.	.	.	+	+	7
까치박달	<i>Carpinus cordata</i> Blume	.	+	+	.	.	+	+	.	.	+	+	+	7
생강나무	<i>Lindera obtusiloba</i> Blume	.	.	.	+	+	+	+	.	.	+	+	+	7
국수나무	<i>Stephanandra incisa</i> (Thunb.) Zabel	+	+	+	+	.	.	.	.	.	+	.	+	6
남산제비꽃	<i>Viola albida</i> var. <i>chaerophylloides</i> (Regel) F. Maek.	.	+	.	+	+	.	+	.	+	+	.	.	6
대사초	<i>Carex siderosticta</i> Hance	+	.	.	.	+	.	.	+	+	+	.	+	6
때죽나무	<i>Styrax japonicus</i> Siebold & Zucc.	.	+	+	+	.	+	+	+	.	.	.	.	6
투구꽃	<i>Aconitum jaluense</i> Kom.	+	+	.	.	.	.	.	+	+	+	.	+	6
덜꿩나무	<i>Viburnum erosum</i> Thunb.	.	+	+	+	.	+	+	.	.	.	.	.	5
하늘말나리	<i>Lilium tsingtauense</i> Gilg	.	+	+	+	+	.	.	.	+	.	.	.	5
다래	<i>Actinidia arguta</i> (Siebold & Zucc.) Planch. ex Miq.	.	+	.	.	+	.	.	+	+	+	.	.	5
물푸레나무	<i>Fraxinus rhynchophylla</i> Hance	.	.	.	.	+	+	.	.	+	+	.	+	5
신갈나무	<i>Quercus mongolica</i> Fisch. ex Ledeb.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	+	+	+	5
층층나무	<i>Cornus controversa</i> Hemsl.	.	.	.	+	+	.	+	.	.	+	.	+	5

국명	학명	GP	GJ1	GJ2	GJ3	YY	GyJ1	GyJ2	MG	YC	JC	PC1	PC2	Co.
비목나무	<i>Lindera erythrocarpa</i> Makino	.	+	.	.	.	+	+	.	.	.	.	+	4
산딸나무	<i>Cornus kousa</i> F. Buerger ex Miq.	.	+	+	+	.	.	.	+	.	.	.	.	4
팔배나무	<i>Sorbus alnifolia</i> (Siebold & Zucc.) K. Koch	.	+	+	+	.	.	.	+	.	.	.	.	4
선밀나물	<i>Smilax nipponica</i> Miq.	.	.	+	+	.	+	+	.	.	.	.	.	4
원추리	<i>Hemerocallis fulva</i> L.	+	+	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	4
현호색	<i>Corydalis remota</i> Fisch. ex Maxim.	.	+	.	.	+	.	.	+	+	.	.	.	4
회리바람꽃	<i>Anemone reflexa</i> Stephan	.	.	.	.	+	.	.	+	+	+	.	.	4
나도밤나무	<i>Meliosma myriantha</i> Siebold & Zucc.	.	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	3
노루귀	<i>Hepatica asiatica</i> Nakai	.	+	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	3
달래	<i>Allium monanthum</i> Maxim.	.	+	.	.	+	.	.	.	+	.	.	.	3
병꽃나무	<i>Weigela subsessilis</i> (Nakai) L. H. Bailey	.	+	.	+	.	.	.	.	.	+	.	.	3
작살나무	<i>Callicarpa japonica</i> Thunb.	.	+	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	3
굴참나무	<i>Quercus variabilis</i> Blume	.	.	+	.	+	.	+	.	.	.	.	.	3
굴피나무	<i>Platycarya strobilacea</i> Siebold & Zucc.	.	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	3
노린재나무	<i>Symplocos sawafutagi</i> Nagam.	.	+	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	3
느티나무	<i>Zelkova serrata</i> (Thunb.) Makino	+	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	3
마삭줄	<i>Trachelospermum asiaticum</i> (Siebold & Zucc.) Nakai	.	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	3
머위	<i>Petasites japonicus</i> (Siebold & Zucc.) Maxim.	+	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	3
산괴불주머니	<i>Corydalis speciosa</i> Maxim.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+	+	.	3
산수국	<i>Hydrangea serrata</i> var. <i>acuminata</i> (Siebold & Zucc.) Nakai	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	.	+	3
산철쭉	<i>Rhododendron yedoense</i> f. <i>poukhanense</i> (H.Lév.) M. Sugim.	+	.	.	+	.	.	.	.	.	+	.	.	3
애기나리	<i>Disporum smilacinum</i> A. Gray	.	+	+	.	.	.	.	.	+	.	.	.	3
진달래	<i>Rhododendron mucronulatum</i> Turcz.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	+	+	3
참나리	<i>Lilium lancifolium</i> Thunb.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	+	.	.	3
참회나무	<i>Euonymus oxyphyllus</i> Miq.	.	.	.	+	+	.	.	+	.	.	.	.	3
철쭉	<i>Rhododendron schlippenbachii</i> Maxim.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	+	+	3
태백제비꽃	<i>Viola albida</i> Palib.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	+	.	3
회잎나무	<i>Euonymus alatus</i> f. <i>ciliatodentatus</i> Hiyama	.	.	.	+	+	.	.	.	+	.	.	.	3
참취	<i>Aster scaber</i> Thunb.	+	.	.	.	.	+	.	.	.	+	.	.	3
취뽕나무	<i>Ligustrum obtusifolium</i> Siebold & Zucc.	.	.	+	.	.	.	.	.	+	.	.	.	2
초피나무	<i>Zanthoxylum piperitum</i> (L.) DC.	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	2
오갈피나무	<i>Eleutherococcus sessiliflorus</i> (Rupr. & Maxim.) S. Y. Hu	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	2

국명	학명	GP	GJ1	GJ2	GJ3	YY	GyJ1	GyJ2	MG	YC	JC	PC1	PC2	Co.
고깔제비꽃	<i>Viola rossii</i> Hemsl.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
곰의말채나무	<i>Cornus macrophylla</i> Wall.	.	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	2
귀룽나무	<i>Prunus padus</i> L.	+	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	2
금붓꽃	<i>Iris minutoaurea</i> Makino	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	2
꼬랑사초	<i>Carex mira</i> Kük.	+	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	2
노루발	<i>Pyrola japonica</i> Klenze ex Alef.	.	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	2
논쟁이냉이	<i>Cardamine komarovii</i> Nakai	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	2
단풍취	<i>Ainsliaea acerifolia</i> Sch. Bip.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	2
둥굴레	<i>Polygonatum odoratum</i> var. <i>pluriflorum</i> (Miq.) Ohwi	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	2
만주우드풀	<i>Woodsia manchuriensis</i> Hook.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	2
매화말발도리	<i>Deutzia uniflora</i> Shirai	+	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	2
미나리냉이	<i>Cardamine leucantha</i> (Tausch) O. E. Schulz	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	2
박새	<i>Veratrum oxyssepalum</i> Turcz.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	+	2
복자기	<i>Acer triflorum</i> Kom.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	2
부산사초	<i>Carex fusanensis</i> Ohwi	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
비늘고사리	<i>Dryopteris lacera</i> (Thunb.) Kuntze	.	.	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.	2
산돌배나무	<i>Pyrus ussuriensis</i> Maxim.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+	.	.	2
산초나무	<i>Zanthoxylum schinifolium</i> Siebold & Zucc.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	2
소나무	<i>Pinus densiflora</i> Siebold & Zucc.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+	.	.	2
신나무	<i>Acer tataricum</i> subsp. <i>ginnala</i> (Maxim.) Wesm.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	2
실새풀	<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth	.	.	.	.	+	.	.	+	.	.	.	.	2
야광나무	<i>Malus baccata</i> (L.) Borkh.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	2
양지꽃	<i>Potentilla fragarioides</i> L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	2
용동굴레	<i>Polygonatum involucreatum</i> (Franch. & Sav.) Maxim.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	2
은분취	<i>Saussurea gracilis</i> Maxim.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	2
잔털제비꽃	<i>Viola keiskei</i> Miq.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	+	.	2
점백이천남성	<i>Arisaema serratum</i>	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
조록싸리	<i>Lespedeza maximowiczii</i> C. K. Schneid.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	2
죽대	<i>Polygonatum lasianthum</i> Maxim.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
줄딸기	<i>Rubus oldhamii</i> Miq.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	2
진범	<i>Aconitum pseudolaeve</i> Nakai	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	+	.	2
쪽동백나무	<i>Styrax obassia</i> Siebold & Zucc.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	2
참꽃마리	<i>Trigonotis radicans</i> var. <i>sericea</i> Thunb.	+	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	2
큰괭이밥	<i>Oxalis obtriangulata</i> Maxim.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+	.	.	2
큰애기나리	<i>Disporum viridescens</i> (Maxim.) Nakai	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	2

국명	학명	GP	GJ1	GJ2	GJ3	YY	GyJ1	GyJ2	MG	YC	JC	PC1	PC2	Co.
터리풀	<i>Filipendula glaberrima</i> Nakai	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	2
털대사초	<i>Carex ciliatmarginata</i> Nakai	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	2
풀솜대	<i>Maianthemum japonicum</i> (A. Gray) La Frankie	+	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	2
피나무	<i>Tilia amurensis</i> Rupr.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	+	2
황새송마	<i>Cimicifuga foetida</i> L.	+	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	2
등근잎천남성	<i>Arisaema amurense</i> Maxim.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	2
털개회나무	<i>Syringa pubescens</i> subsp. <i>palta</i> (Pall.) MC. Chang & XL. Chen	+	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	2

※ 빈도 1회 출현종

**GP.** 광릉갈퀴 *Vicia venosa* var. *cuspidata* Maxim. 갱쟁이풀 *Jeffersonia dubia* (Maxim.) Benth. & Hook. f. ex Baker & S. Moore 녹빛사초 *Carex quadriflora* (Kt.) Ohwi 독사초 *Carex thunbergii* var. *appendiculata* (Trautv.) Ohwi 바다나물 *Angelica decursiva* (Miq.) Franch. & Sav. 뱀나무 *Prunus jamasakura* Siebold ex Koidz. 비비추 *Hosta longipes* (Franch. & Sav.) Matsum. 북사초 *Carex augustiniowiczii* Meinsh. ex Korsch. 통동굴레 *Polygonatum inflatum* Kom. 홀아비바람꽃 *Anemone koraiensis* Nakai **GJ1.** 개감수 *Euphorbia sieboldiana* C. Morren & Decne. 자주잎제비꽃 *Viola violacea* Makino 청사초 *Carex breviculmis* R. Br. **GJ2.** 박쥐나무 *Atlangium platanifolium* var. *trilobum* (Miq.) Ohwi 사람주나무 *Neoshirakia japonica* (Siebold & Zucc.) Esser 연리초 *Lathyrus quinquenervius* (Miq.) Litv. **GJ3.** 물개암나무 *Corylus sieboldiana* var. *mandshurica* (Maxim.) C. K. Schneid. 민둥외제비꽃 *Viola tokubuchiana* var. *takedana* (Makino) F. Maek. 산독사초 *Carex forficula* Franch. & Sav. 산족제비고사리 *Dryopteris bissetiana* (Baker) C. Chr. 삼주 *Attractodes ovata* (Thunb.) DC. 애기등 *Wisteria japonica* Siebold & Zucc. 좀딱취 *Ainsliaea apiculata* Sch. Bip. ex Zoll. 천남성 *Arisaema amurense* f. *serratum* (Nakai) Kitag. 큰꽃으아리 *Clematis patens* C. Morren & Decne. 홍지네고사리 *Dryopteris erythrosora* (D. C. Eaton) Kuntze **YY.** 난사초 *Carex holotricha* Ohwi 노랑무늬붓꽃 *Iris odaesanensis* Y. N. Lee 당귀 *Angelica gigas* Nakai 딱총나무 *Sambucus williamsii* Hance 외제비꽃 *Viola selkirkii* Pursh ex Goldie 물박달나무 *Betula dahurica* Pall. 미치광이풀 *Scopolia japonica* Maxim. 분꽃나무 *Viburnum carlesii* var. *bitchuense* (Makino) Nakai 서덜취 *Saussurea grandifolia* Maxim. 세잎양지꽃 *Potentilla freyniana* Bornm. 애기괭이는 *Chrysosplenium flagelliferum* F. Schmidt 잔털벗나무 *Prunus serrulata* var. *pubescens* (Makino) Nakai 전나무 *Abies holophylla* Maxim. **GyJ1.** 개맥문둥 *Liriope spicata* (Thunb.) Lour. 산뽕나무 *Morus bombycis* Koidz. 주름조개풀 *Oplismenus undulatifolius* (Ard.) Roem. & Schult. **GyJ2.** 가지청사초 *Carex polyschoena* H.Lév. & Vaniot 개고사리 *Athyrium niponicum* (Mett.) Hance 고비 *Osmunda japonica* Thunb. 산벗나무 *Prunus sargentii* Rehder 영아자 *Asyneuma japonicum* (Miq.) Briq. **MG.** 가는잎그늘사초 *Carex humilis* var. *nana* (H. Lév. & Vaniot) Ohwi 가락지나물 *Potentilla kleiniana* Wight & Arn. 갈매나무 *Rhamnus davurica* Pall. 개구릿대 *Angelica anomala* Avé-Lall. 평의바람꽃 *Anemone raddeana* Regel 대극 *Euphorbia pekinensis* Boiss. 동의나물 *Caltha palustris* L. 음나무 *Kalopanax septemlobus* (Thunb.) Koidz. 함박꽃나무 *Magnolia sieboldii* K. Koch **YC.** 갈퀴꼭두선이 *Rubia cordifolia* L. 벌개덩굴 *Meehania urticifolia* (Miq.) Makino 얇은잎고광나무 *Philadelphus tenuifolius* Rupr. 왕제비꽃 *Viola websteri* Hemsl. ex F.B. Forbes & Hemsl. 피나무 *Hylomecon vernalis* Maxim. 황벽나무 *Phellodendron amurense* Rupr. **JC.** 독활 *Aralia cordata* var. *continentalis* (Kitag.) Y. C. Chu 백당나무 *Viburnum opulus* var. *sargentii* (Koehne) Takeda 알록제비꽃 *Viola variegata* Fisch. ex Link 으름덩굴 *Akebia quinata* (Houtt.) Decne. 찔레나무 *Rosa multiflora* Thunb. 처너바디 *Angelica cartilaginomarginata* (Makino ex Y. Yabe) Nakai 큰개별꽃 *Pseudostellaria pallibiniana* (Takeda) Ohwi 등근털제비꽃 *Viola collina* Besser

**PC1.** 기린초 *Sedum kamtschaticum* Fisch. & C. A. Mey. 용머리 *Dracocephalum argunense* Fisch. ex Link **PC2.** 관중 *Dryopteris crassirhizoma* Nakai 노랑제비꽃 *Viola orientalis* (Maxim.) W. Becker 맑은대속 *Artemisia kelskeana* Miq.

※ GP:gapyeong, GJ:geoje, YY:yeongyang, GyJ:gyeongju, MG:mungyeong, YC:yeoncheon, JC:jecheon, PC:pocheon

## 라. 식물상분석 결과

- 1) 애기송이풀과 함께 멸종위기 야생식물 목록으로는 왕제비꽃이 출현하였으며, 왕제비꽃 서식지와 유사하나 왕제비꽃은 기반암이 석회암지역에 집중되어 있는 반면 애기송이풀은 조금 더 광범위한 모암 특성을 지님(표3-6)
- 2) 국가생물적색목록으로는 7종이 기재 되었으며, 애기송이풀, 노랑무늬붓꽃, 왕제비꽃 3종은 국가적색식물목록과 희귀식물에 모두 포함됨 (표3-7)

- 3) 한반도 고유종으로는 5종이 확인되었으며, 대부분 4~6월 이른 시기에 꽃이 피는 식물종임(표3-8)
- 4) 식물구계학적 특정식물종으로 I 등급 20종, II 등급 9종, III 등급 10종, IV 등급 7종, V 등급 2종이 목록화됨. 대부분의 종이 2개 아구에 걸쳐서 분포하는 광역종임(표 3-9)
- 5) 생태계교란 생물은 본 연구에서 확인되지 않은 것이 특징적임

**표 3-6 | 멸종위기 야생생물 목록**

번호	학명	국명	비고
1	<i>Pedicularis ishidozana</i> Koidz. & Ohwi	애기송이풀	II급
2	<i>Viola websteri</i> Hemsl. ex F.B. Forbes & Hemsl.	왕제비꽃	II급

**표 3-7 | 국가생물적색목록 및 희귀식물 목록**

번호	학명	국명	평가	비고
1	<i>Pedicularis ishidozana</i> Koidz. & Ohwi	애기송이풀	VU/VU	적색목록/ 희귀식물
2	<i>Iris minutoaurea</i> Makino	금붓꽃	LC	적색목록
3	<i>Jeffersonia dubia</i> (Maxim.) Benth. & Hook. f. ex Baker & S. Moore	깽깽이풀	NT	적색목록
4	<i>Iris odaesanensis</i> Y. N. Lee	노랑무늬붓 꽃	LC/NT	적색목록/ 희귀식물
5	<i>Wisteria japonica</i> Siebold & Zucc.	애기등	LC	적색목록
6	<i>Viola websteri</i> Hemsl. ex F.B. Forbes & Hemsl.	왕제비꽃	VU/VU	적색목록/ 희귀식물
7	<i>Anemone koraiensis</i> Nakai	흠아비바람 꽃	LC	적색목록

**표 3-8 | 고유종 목록**

번호	학명	국명	비고
1	<i>Pedicularis ishidozana</i> Koidz. & Ohwi	애기송이풀	
2	<i>Weigela subsessilis</i> (Nakai) L. H. Bailey	병꽃나무	
3	<i>Aconitum pseudolaeve</i> Nakai	진범	
4	<i>Iris odaesanensis</i> Y. N. Lee	노랑무늬붓꽃	
5	<i>Anemone koraiensis</i> Nakai	흠아비바람꽃	

표 3-9 | 식물구계학적 특정식물종 목록

번호	학명	국명	등급
1	<i>Aconitum jaluense</i> Kom.	투구꽃	I
2	<i>Lindera erythrocarpa</i> Makino	비목나무	I
3	<i>Meliosma myriantha</i> Siebold & Zucc.	나도밤나무	I
4	<i>Hepatica asiatica</i> Nakai	노루귀	I
5	<i>Eleutherococcus sessiliflorus</i> (Rupr. & Maxim.) S. Y. Hu	오갈피나무	I
6	<i>Iris minutoaurea</i> Makino	금붓꽃	I
7	<i>Deutzia uniflora</i> Shirai	매화말발도리	I
8	<i>Veratrum oxysepalum</i> Turcz.	박새	I
9	<i>Pyrus ussuriensis</i> Maxim.	산돌배나무	I
10	<i>Malus baccata</i> (L.) Borkh.	야광나무	I
11	<i>Filipendula glaberrima</i> Nakai	터리풀	I
12	<i>Angelica anomala</i> Avé-Lall.	개구릿대	I
13	<i>Euphorbia pekinensis</i> Boiss.	대극	I
14	<i>Viburnum opulus</i> var. <i>sargentii</i> (Koehne) Takeda	백당나무	I
15	<i>Neoshirakia japonica</i> (Siebold & Zucc.) Esser	사람주나무	I
16	<i>Syringa pubescens</i> subsp. <i>patula</i> (Palib.) M.C. Chang & X.L. Chen	털개회나무	I
17	<i>Ainsliaea apiculata</i> Sch. Bip. ex Zoll.	좁딴취	I
18	<i>Clematis patens</i> C. Morren & Decne.	큰꽃으아리	I
19	<i>Syringa pubescens</i> subsp. <i>patula</i> (Palib.) M.C. Chang & X.L. Chen	털개회나무	I
20	<i>Dryopteris erythrosora</i> (D. C. Eaton) Kuntze	홍지네고사리	I
21	<i>Tilia amurensis</i> Rupr.	피나무	II
22	<i>Viola orientalis</i> (Maxim.) W. Becker	노랑제비꽃	II
23	<i>Carex quadriflora</i> (Kük.) Ohwi	녹빛사초	II
24	<i>Caltha palustris</i> L.	동의나물	II
25	<i>Viola tokubuchiana</i> var. <i>takedana</i> (Makino) F. Maek.	민둥되제비꽃	II
26	<i>Carex augustinowiczii</i> Meinsh. ex Korsh.	복사초	II
27	<i>Hylomecon vernalis</i> Maxim.	피나물	II
28	<i>Magnolia sieboldii</i> K. Koch	함박꽃나무	II
29	<i>Phellodendron amurense</i> Rupr.	황벽나무	II
30	<i>Cardamine komarovii</i> Nakai	논쟁이냉이	III
31	<i>Acer triflorum</i> Kom.	복자기	III
32	<i>Carex holotricha</i> Ohwi	난사초	III
33	<i>Angelica gigas</i> Nakai	당귀	III
34	<i>Betula dahurica</i> Pall.	물박달나무	III

번호	학명	국명	등급
35	<i>Scopolia japonica</i> Maxim.	미치광이풀	III
36	<i>Prunus sargentii</i> Rehder	산벚나무	III
37	<i>Lathyrus quinquenervius</i> (Miq.) Litv.	연리초	III
38	<i>Dracocephalum argunense</i> Fisch. ex Link	옹머리	III
39	<i>Viola violacea</i> Makino	자주잎제비꽃	III
40	<i>Anemone reflexa</i> Stephan	회리바람꽃	IV
41	<i>Rhamnus davurica</i> Pall.	갈매나무	IV
42	<i>Jeffersonia dubia</i> (Maxim.) Benth. & Hook. f. ex Baker & S. Moore	깁깁이풀	IV
43	<i>Iris odaesanensis</i> Y. N. Lee	노랑무늬붓꽃	IV
44	<i>Carex thunbergii</i> var. <i>appendiculata</i> (Trautv.) Ohwi	뚝사초	IV
45	<i>Wisteria japonica</i> Siebold & Zucc.	애기등	IV
46	<i>Anemone koraiensis</i> Nakai	흙아비바람꽃	IV
47	<i>Pedicularis ishidoyana</i> Koidz. & Ohwi	애기송이풀	V
48	<i>Viola websteri</i> Hemsl. ex F.B. Forbes & Hemsl.	왕제비꽃	V

### 마. 토양분석

표 3-10 | 애기송이풀 출현지점 토양분석

분석항목(단위)	시료구분										
	문경	가평	제천	포천	연천	경주	거제1	거제2	영양1	영양2	
유기물(%)	16.65	3.43	7.79	16.92	5.37	7.93	11.62	8.39	3.02	7.25	
N(%)	0.63	0.13	0.28	0.50	0.23	0.34	0.41	0.29	0.10	0.30	
유효P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	41.64	36.43	31.23	41.64	52.05	62.45	62.45	46.84	46.84	46.84	
치환성K(cmol <sup>+</sup> /kg)	0.73	0.31	0.30	0.52	0.77	0.54	0.48	0.28	0.12	0.28	
치환성Ca(cmol <sup>+</sup> /kg)	8.00	2.97	2.45	4.34	15.42	8.00	8.68	3.40	1.15	21.82	
치환성Mg(cmol <sup>+</sup> /kg)	2.28	0.66	0.58	0.91	2.19	2.03	3.35	1.29	0.44	2.30	
치환성Na(cmol <sup>+</sup> /kg)	0.21	0.078	0.23	0.21	0.42	0.17	0.22	0.12	0.082	0.64	
양이온치환용량(cmol <sup>+</sup> /kg)	32.10	9.00	14.90	14.10	16.70	21.70	22.65	14.30	8.00	19.40	
pH[1:5]	4.48	5.50	5.34	5.21	6.16	5.98	6.10	5.64	5.63	6.23	
전기전도도[1:5](dS/m)	0.43	0.090	0.090	0.12	0.13	0.20	0.30	0.10	0.060	0.15	
토성 (美농무성법 분류)	모래(%)	9.75	77.42	61.46	39.99	69.63	50.60	24.56	48.00	79.01	75.85
	미사(%)	63.20	5.19	10.93	23.66	14.86	21.44	49.62	20.74	7.92	7.85
	점토(%)	27.01	17.39	27.61	36.35	15.51	27.96	25.82	31.26	13.07	16.30
	분류	미사질 양토	사질식 양토	사질식 양토	식양토	사질 양토	사질식 양토	양토	사질식 양토	사질 양토	사질 양토

- 1) 애기송이풀이 분포하는 지역의 토양분석 결과 전체적으로 유기물 함량이 낮은 척박한 토양임. 문경이 16.65%로 비교적 높은 편이나 일반적으로 부식이 적은 토양이 다수임. 이는 애기송이풀이 주로 계곡, 하천 중류 수변에 분포하여 범람 시 영양분이 쉽게 유실되는 입지에 분포하기 때문인 것으로 판단됨(표 3-10)
- 2) 질소(N)의 함량은(0.10%~0.63%)전 지점 매우 낮은 빈영양 산림토양임
- 3) 유효 인산( $P_2 O_5$ )은 다소 높은 편이나 이는 일반적인 산림토, 사질양토에서 흔히 나타나는 범위임
- 4) 치환성 K, Ca, Mg, Na 는 지점마다 편차가 크며, 전반적으로 칼륨, 마그네슘은 부족하고 칼슘은 지역에 따라 편차가 큼
- 5) 양이온치환용량은 전반적으로 낮지 않은 수준으로 이 수치는 점토 또는 유기물 함량과 관련이 있으며, 산지의 사질양토 특성에 가까움
- 6) pH는 5~6 사이로 애기송이풀의 서식지는 약산성 토양임
- 7) 전기전도도가 매우 낮은 염분이 없는 비 염류성 토양으로 모래의 비율이 높음. 모래의 비율이 높은 투수성이 좋은 토양임
- 8) 결론적으로 애기송이풀은 약산성(pH 5~6)의 배수성이 좋은 사질양토 또는 양토에서 자라며, 유기물과 질소가 낮아 비옥하지 않은 척박한 토양을 선호함
- 9) 문경과 포천의 경우 유기물함량(비옥도)이 높고 투수성이 다른 지역에 비해 낮은 것은 다른 지역(수변)과 서식지 유형이 다른 능선부에 애기송이풀이 분포하는 것과 연관 있음

#### 바. 상관관계 분석

- 1) 본 연구에서는 애기송이풀의 출현 지점에 대한 식물군락 조성과 환경요인의 관계를 파악하기 위해 정준대응분석(CCA)을 수행하였음(그림 3-10)
- 2) 지점별 현장조사를 통해 분석한 식물상 조사 결과를 활용하였으며, 종별 출현 여부를 0과 1로 구분하였고, ArcGIS를 활용하여 현장조사지점 별 환경변수를 추출하여 이를 정준대응분석(CCA)에 활용함(표3-11)
- 3) 본 연구의 CCA 결과는 애기송이풀 서식지 식물군집이 토양 입도(sand), 해발고도(ele), 기후요인(temp) 및 토양 영양염(N,  $P_2 O_5$ )의 상호작용에 의해 구조화됨을

시사함. 특히 제1축(CCA1)은 모래함량(sand)과 평균기온(temp, 양의 방향) 간의 구배를 주로 반영하였고, 제2축(CCA2)은 해발고도(ele, 양의 방향)를 주요하게 반영하는 축으로 해석됨.

- 4) 모래함량(sand) 영향지역(CCA1 음의 방향)에는 1, 9, 10번 조사구가 집중 분포함. 이들 지점은 상대적으로 하천과의 거리가 가깝고 사질토가 많아 배수가 양호한 환경을 형성하며, 원추리, 꼬랑사초, 산철쭉 등 사질·건조 내성의 식물이 출현함
- 5) 온난·영양풍부 영향지역(CCA1 양의 방향)에는 5, 6, 7과 2, 3, 4번 조사구가 위치하였고, 해당 방향으로 평균기온(temp) 및 토양 영양성분(N, P<sub>2</sub> O<sub>3</sub>) 벡터가 함께 정렬되어 있음. 이들 조사구는 평균기온이 높고(2, 3, 4번) 토양 내 가용질소·인 농도가 비교적 높은 특성을 보임. 즉 CCA1 양(+) 방향은 저지대성·온난·영양풍부 환경을 반영함
- 6) 해발고도(ele) 관련 구배(CCA2 양의 방향)는 11, 12, 8번 조사구와 연관되어있음. 고해발의 산지 능선부에 출현하는 애기송이풀 조사지점으로, 이들 지점은 해발고도가 높고 상대적으로 서늘한 기후를 보이며, 태백제비꽃·신갈나무 등 전형적 산지·냉온대성 종이 출현함. CCA2 양의 방향에 위치한 식물종과 지점은 해발고도 상승에 따른 온도 낮아짐을 반영하며, 산지 미기후가 식생 조성에 중요한 역할을 함을 보여줌
- 7) 질소(N)와 유효인산(P<sub>2</sub> O<sub>3</sub>)은 CCA도표에서 CCA1의 양(+) 쪽, 즉 온난·영양이 풍부한 쪽으로 기여하는 것으로 관찰됨. P<sub>2</sub> O<sub>3</sub>는 상대적으로 상향(또는 상우측)에 가깝게 위치하며 습윤·양분이 비교적 풍부한 서식지에서 산수국류·일부 관목이 우세한 반면, N은 온난·영양조건과 더 직접적으로 결부됨. 두 질소와 유효인산은 종 조성의 세부 차이를 설명하는 데 기여하지만, 축 분산의 대부분은 sand-temp-ele 구배로 설명됨
- 8) 종합적으로 애기송이풀은 중산간의 서늘한 미기후와 적당한 배수성을 갖는 토양에서 가장 적합하며, 온도 상승과 교란에 따른 인위적 토양 영양(특히 P<sub>2</sub> O<sub>3</sub>·N)의 증가가 서식지 적합성을 낮출 가능성이 큼. 조사지점별 분포는 이러한 환경 구배를 실제 공간적으로 잘 반영하므로, 보전계획 수립 시 지점별 특성을 고려한 공간적·관리적 우선순위 설정이 필요함



### 사. LiDAR 기반 지형 자료 검증

- 1) 대상지 내 40개 분석 구역(Polygon)에 대하여 수치지형도 기반 DEM(이하 Topo DEM)과 LiDAR 기반 DEM(이하 LiDAR DEM)의 5m 해상도 격자 값을 비교 분석하였음
- 2) 두 데이터 간의 전반적인 고도 경향성을 파악하기 위해 기술통계 및 Pearson 상관 분석을 수행함
  - 분석 대상지의 평균 고도(Mean Elevation)는 Topo DEM이 497.4m, LiDAR DEM이 496.9m로 나타났으며, 중앙값(Median) 또한 각각 472.5m, 471.9m로 유사한 분포를 보임
  - 두 데이터 간의 Pearson 상관관계수(r)는 0.9998로 통계적으로 매우 높은 양의 상관관계( $p < 0.001$ )를 보여, 조사 대상지 전반에서 지형 패턴은 두 DEM이 동일하게 재현함을 확인함
  - Topo DEM 평균값을 독립변수로 설정한 선형 회귀식은  $LiDAR\ mean = 1.013 \times Topo\ mean - 6.83$ 로 산출되었음

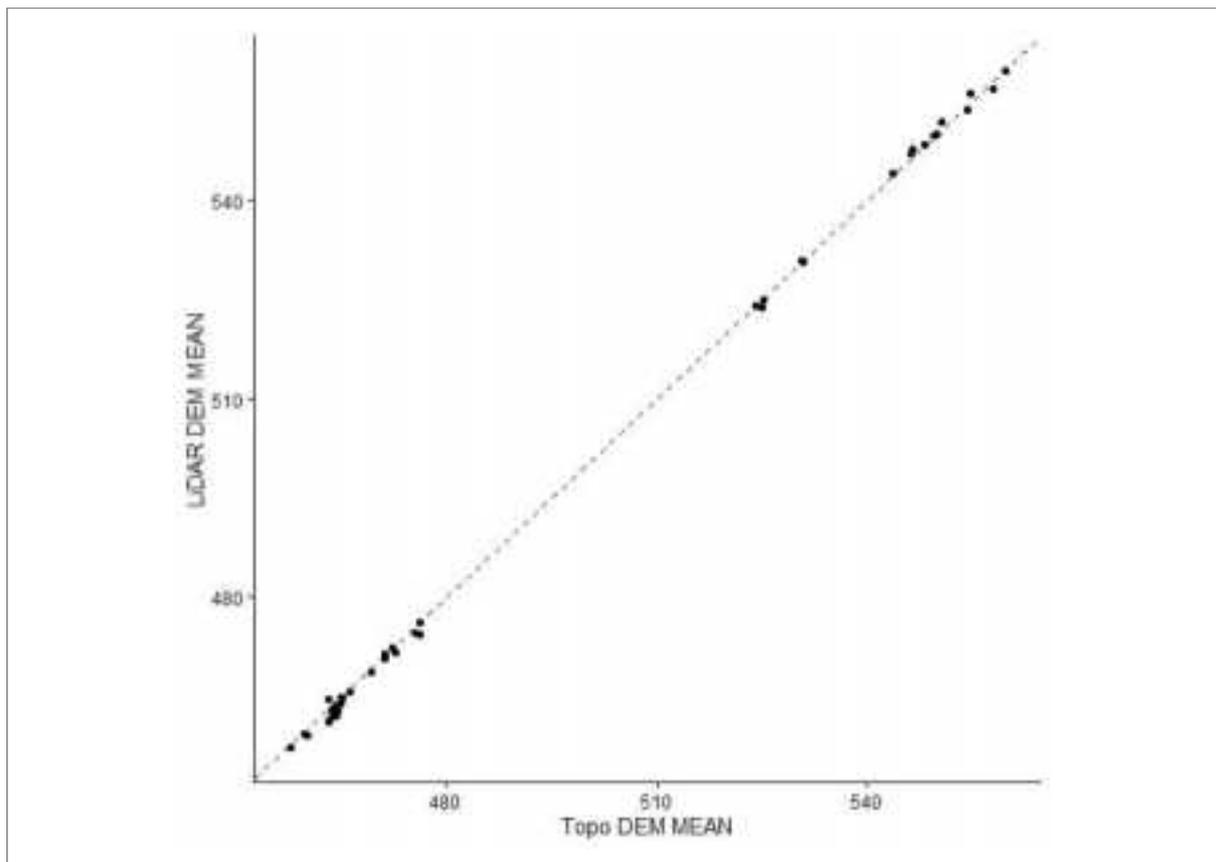


그림 3-11 | Polygon-level 평균 고도 비교 산점도(1:1 기준선 포함)

- 분석모델의 기울기는 1.013으로 polygon rks 고도 변화량이 두 자료에서 거의 동일하게 반영 되는 것으로 확인하였으나, 절편이 -6.83m로 추정되어 LiDAR DEM이 Topo DEM에 비해 절대 고도값을 약 6-7m 낮게 산정하는 편향이 존재함을 확인함
  - 회귀모델의 결정계수는  $R^2 = 0.9996$ 으로, 평균 고도 분포가 거의 완전하게 대응됨을 보여줌(그림3-11)
- 3) 두 데이터 간의 일치도를 정량적으로 평가하기 위해 차이값(Delta = LiDAR - Topo)에 대한 정규성 검정 및 대응표본 t-검정(Paired t-test)을 수행함(표3-12)
- 평균 고도 차이는 -0.53m로 나타났으며, 범위는 최소 -2.24m에서 최대 +1.36m 사이로 LiDAR DEM이 Topo DEM에 비해 전반적으로 약 53cm 정도 낮게 측정되는 경향이 있음을 확인함
  - Shapiro-Wilk 정규성 검정 결과, 차이 데이터는 정규분포를 따르는 것으로 확인되었음( $W=0.974$ ,  $p=0.469$ )
  - 대응표본 t-검정 결과, 두 데이터 간의 평균 차이는 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $t = -3.59$ ,  $p < 0.001$ )
- 4) 지형의 형태적 특성과 정밀도를 파악하기 위해 표준편차(STD)와 상위 10% 고도(PCT90)를 종합적으로 비교 분석하였음(그림 3-12)
- 지형의 복잡도와 거칠기를 나타내는 표준편차(STD)를 비교한 결과, LiDAR DEM의 평균 표준편차(0.99m)가 Topo DEM(0.63m)보다 약 0.35m 높게 나타남
  - 등고선 보간(interpolation) 과정을 거치며 지형이 평탄화(Smoothing)되는 Topo DEM과 달리, LiDAR DEM은 지표면의 미세한 요철과 굴곡을 정밀하게 반영하고 있음을 시사함
  - 전체 평균 고도 차이(Delta Mean)가 -0.53m로 나타난 것에 비해, 지형의 상부 구간을 대변하는 90분위수(PCT90)의 평균 차이(Delta PCT90)는 -0.18m로 상대적으로 작게 나타남
  - 두 데이터가 지형의 돌출부는 비교적 유사하게 표현하고 있으나(약 18cm), 계곡부 등에서 LiDAR가 미세 지형을 정밀하게 반영하면서 전체적인 평균 차이가 커진 것으로 예상됨
  - LiDAR 데이터는 Topo 데이터와 비교했을 때 상부 지형의 정합성은 유지하면서도, 하부의 미세 지형을 더 구체적으로 묘사함으로써 더 높은 지형 정밀도를 제공하는 것으로 판단됨

표 3-12 | Topo DEM과 LiDAR DEM의 고도 통계 비교 요약 (N=40)

구분	Topo DEM (m)	LiDAR DEM (m)	LiDAR - Topo	비고
평균(mean)	497.4	496.9	-0.53	통계적으로 유의함 (p<.001)
중앙값(Median)	472.5	471.9	-0.44	-
상위10%(PCT90)	498.1	497.9	-0.18	고지대 일치도 높음
표준편차(STD)	0.63	0.99	+0.35	LiDAR가 지형 굴곡을 더 잘 반영함

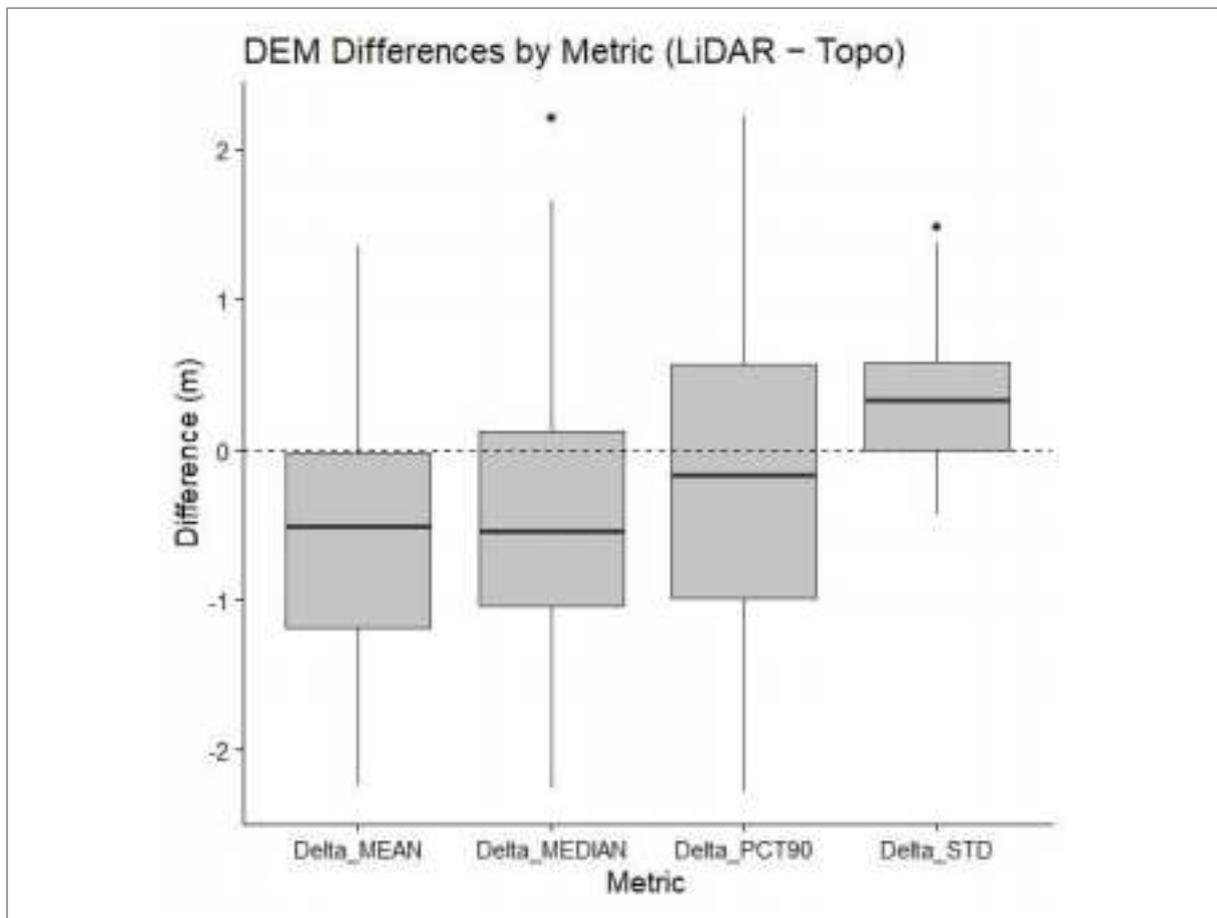


그림 3-12 | Δ metrics boxplot

5) 1m 단위로 만들어진 LiDAR기반 경사도 도면과, 5m 단위로 만들어진 등고선 기반 경사도 도면을 비교하였을 때 애기송이풀이 주로 서식하는 계곡부의 경사도 반영이 확연히 차이나는 것을 확인할 수 있어 해당 통계결과가 자료의 특성을 잘 반영하였음을 검증함(그림 3-13)

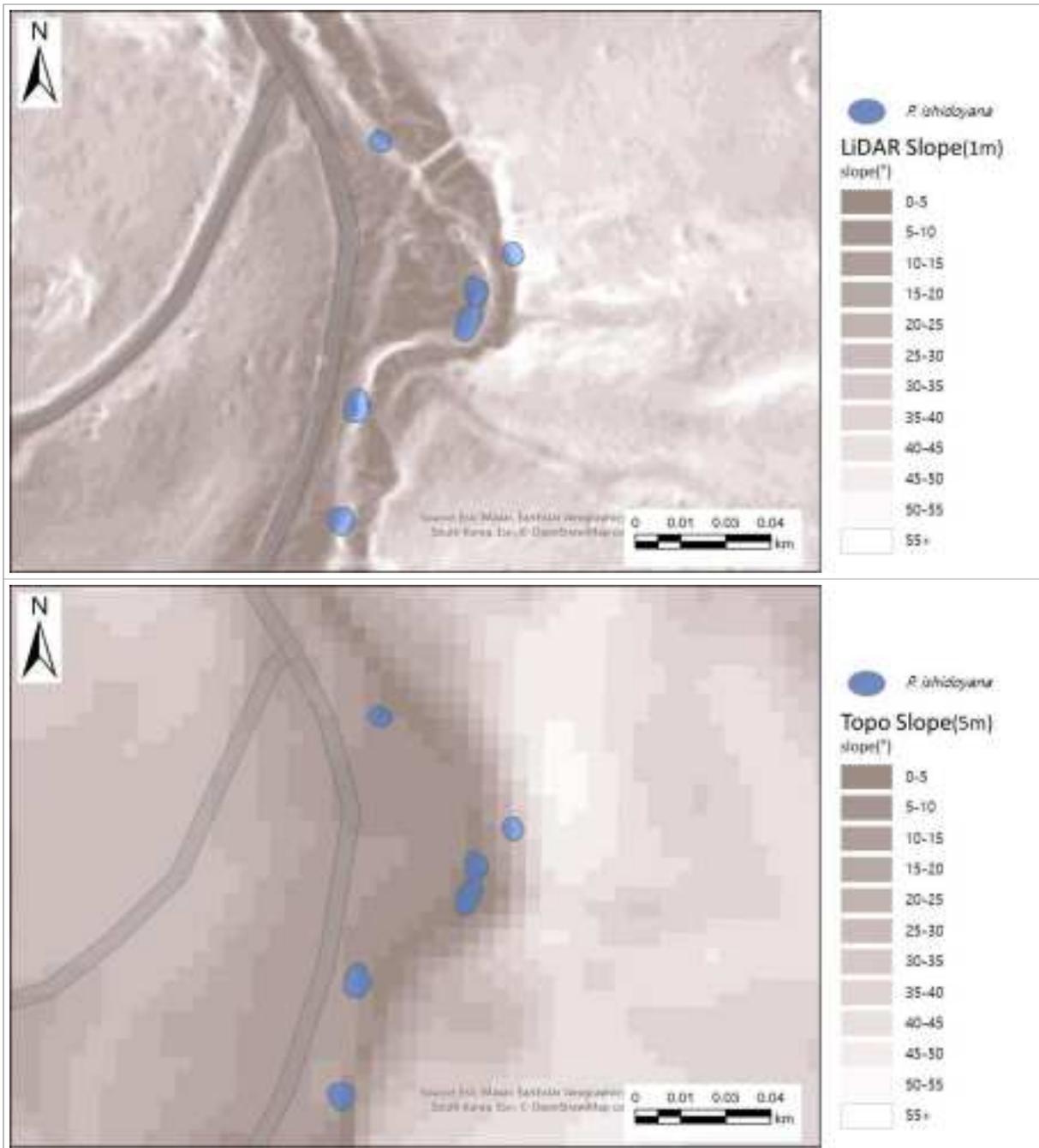


그림 3-13 | 대상지 경사도 도면 비교

#### 아. 영양군 자생지 현황

- 1) LiDAR기반 경사도 도면 기준 애기송이풀 자생지의 평균 경사도는  $20.97^\circ$  였으며, 최대값은  $62.82^\circ$  최소값은  $0.65^\circ$  로 넓은 분포를 보였음
- 2) 주로 숲 가장자리 계곡부에 자생하였으며 활엽수 인근에서 발견되었음(그림 3-14)

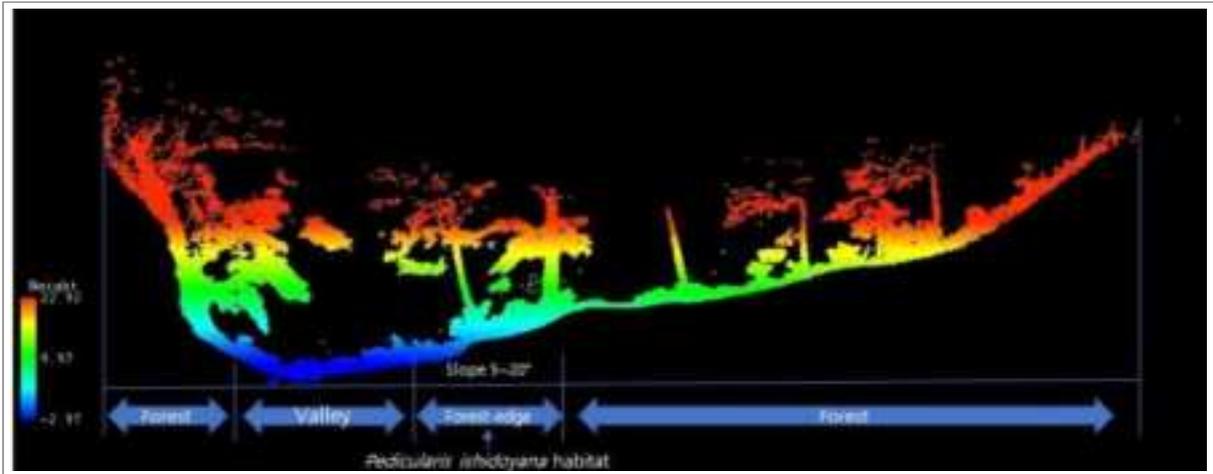


그림 3-14 | 애기송이풀 자생지 단면도

3) 또한 영양군 애기송이풀 자생지의 개체수 전수조사를 통해 각 개체군의 분포 면적과 개체수를 산정하였으며, 이를 단위 면적당 개체수로 표현하여 밀도를 확인하였음



그림 3-15 | 애기송이풀 자생지 계곡 상류부

4) 상류부의 경우 넓은 범위에 개체가 분포하고 있었으며, 넓은 면적에도 높은 밀도를 보이는 개체군이 확인되었음(그림 3-15)

5) 산책로를 따라 길게 분포하여 탐방객에 의한 피해가 우려되는 지역임



그림 3-16 | 애기송이풀 자생지 계곡 중류부

6) 계곡의 중간 지점은 개체가 넓게 분포하지는 않았으나 밀도가 높은 군집이 확인되었음(그림 3-16)



그림 3-17 | 애기송이풀 자생지 계곡 하류부

7) 계곡 하류 구간은 대체로 좁은 범위의 군집이 산발적으로 분포되어 있었음(그림 3-17)

- 8) 등산로와 산림의 경계가 구분되어 있지 않은 구간에서 애기송이풀이 다수 발견되어 주의가 요구됨



그림 3-18 | 애기송이풀 자생지 계곡 지류부

- 9) 지류 지역은 일반인의 출입이 제한된 구역으로 탐방객에 의한 피해는 적을 것으로 보임(그림 3-18)
- 10) 넓은 범위의 개체가 확인되나 급경사지에 위치한 군집이 다수 확인되어 토양 유실로 인한 개체 피해가 예상됨(그림 3-19)



그림 3-19 | 토양 유실 위험 개체

### 자. 연구활용 및 보호구역 제안

- 1) 영양군 애기송이풀 주요 자생지인 죽파리는 우리나라 애기송이풀 최대 자생지임에도 불구하고 관광지로 개발되어 관광객의 출입이 잦은 지역임
- 2) 죽파리 마을과 자작나무숲을 연결하는 도로는 차량 통행이 금지되어 있기는 하나, 셔틀버스가 정기적으로 운행되고 있으며 도보로 출입하는 등산객이 존재함
- 3) 또한 상류부에 단위면적당 개체 분포밀도가 높은 지역이 다수 확인되었으나, 해당 지역은 관광지인 자작나무숲과 가장 인접한 곳으로 탐방객의 통행 관리가 요구됨
- 4) 영양군 애기송이풀 개체군 전수조사 결과를 기반으로 영양군청에 산책로 경로 변경을 제안하였으며, 이를 위한 공동 현장실사를 수행함(그림 3-20)



그림 3-20 | 애기송이풀 자생지 영양군청 공동 답사

- 5) 애기송이풀 분포지역과 산책로가 인접한 지역이 다수 존재하며, 코코넛 매트 등으로 서식지가 단절되어 손상을 입은 개체도 확인되었음(그림 3-21)



그림 3-21 | 산책로 인근 애기송이풀 개체

- 6) 전국 범위 애기송이풀 현장조사 결과 가평, 거제, 연천 등 사방공사, 농수로 및 유원지 개발 등으로 위협을 받고 있었으며, 과거 출현 지점에 개체가 확인되지 않는 등 대부분 쇠퇴를 겪고 있었음(그림 3-22)
- 7) 영양군 애기송이풀 자생지는 범위가 넓고 비교적 자연 계곡의 원형을 유지하고 있는 것으로 확인되어 보호구역으로 지정하여 보전하는 것을 제안함



그림 3-22 | 애기송이풀 위협요인

- 가. 애기송이풀은 분포 범위가 수평적(전국분포)으로 넓고 수직적으로 저해발(104m)~고해발(1086m)까지 분포하는 광역분포종 특징을 보이지만 외래생물이 침입하지 않을 정도로 자연성이 높은 (교란이 적은) 입지에 서식함. 더불어 하천에서 삼림식생까지 이어지는 단면적 측면에서도 좁은 서식범위에 애기송이풀이 분포하는데 이마저 계곡 및 수변의 무분별한 개발로 인해 멸종에 이른 것으로 판단됨
- 나. 토양은 사질 기반의 배수성이 좋은 약산성(pH 5-6) 빈영양 토양에서 안정적이며, 유효토심 20-50cm 범위가 대표적 서식 조건으로 확인됨
- 다. CCA 분석 결과, 애기송이풀 군집은 토양 모래함량, 해발고도, 평균기온, 토양 영양염 ( $N \cdot P_2 O_3$ )의 구배에 의해 구조화되며, 특히 CCA1은 사질·건조 vs 온난·영양풍부 환경을, CCA2는 저지대 vs 고지대 미기후 차이를 반영하였음. 애기송이풀은 중산간의 서늘하고 배수가 양호한 환경에서 가장 적합성이 높으며, 온도 상승 및 토양 영양분 증가(특히  $P_2 O_3 \cdot N$ )가 서식지 적합성을 저하시킬 가능성이 있음
- 라. 시기별 현장조사 결과 애기송이풀은 3-5월의 단기간 광환경에 의존하는 생활사 특성을 가지며, 낙엽활엽수림 개엽 이전의 이른 빛을 확보하는 것이 개체 성장에 주요한 것으로 보임
- 마. LiDAR 기반 지형 자료는 계곡부의 미세 굴곡과 경사 변화를 정밀하게 반영하여 기존 등고선 DEM보다 서식처 해석의 정확도가 높았음. 애기송이풀 자생지 지형 특성을 정밀히 반영하여 추후 애기송이풀 보호 및 서식처 분석 등에 활용가능할 것으로 보임. LiDAR 기반으로 분석한 영양군 애기송이풀 자생지의 평균 경사도는  $20.97^\circ$  였으며, 최대값은  $62.82^\circ$  최소값은  $0.65^\circ$  로 넓은 분포를 확인함.
- 바. 영양군 애기송이풀 자생지의 경우 등산로에 인접한 경우가 많고, 상류부 군집은 관광지인 자작나무숲과 근거리에 위치하여 관광객으로 인한 개체 피해가 우려됨. 또한 급경사에 위치한 개체의 경우 토양 유실로 인한 피해가 예상됨
- 사. 계곡부 및 하천의 서식지변형을 최소화하고 영양군의 경우 계곡과 임도(소로) 개발 시 애기송이풀의 위치정보를 바탕으로 한 개발계획이 필요함



# IV

## 표범장지뱀

주저자: 정진우

1. 기초생태자료 및 연구대상지 선정
2. 연구방법
3. 연구결과
4. 결론



## IV. 표범장지뱀

## 1 기초생태자료 및 연구대상지 선정

## 가. 자료수집

## 1) 표범장지뱀 형태 및 생태학적 특성

표 4-1 | 표범장지뱀의 종 정보 및 특성

표범장지뱀		
	학명	<i>Eremias argus</i>
	분류학적 위치	파충강 유린목 장지뱀과 표범장지뱀속
	보호종 지정 현황	환경부 멸종위기야생생물 II급 국가적색목록평가 취약(VU)
	분포지역	서해안, 한강 및 낙동강, 춘천 등
	특이점	내륙 모래톱의 감소에 따른 서식지 축소
형태 및 생태학적 특징		
형태	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 몸길이: 6~10cm, 다른 장지뱀류에 비해 대체로 머리가 큼</li> <li>- 등면은 황갈색, 가장자리가 암갈색, 내부가 흰색인 표범 무늬의 작은 반점이 몸 전체에 산재해 있음</li> <li>- 배면은 백색 또는 회백색으로 특별한 무늬가 없음</li> <li>- 등면과 측면의 비늘은 모두 작은 알갱이의 형태를 띠며, 46~62개의 비늘 줄이 있으며, 서해안공은 11쌍</li> </ul>	
생태	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 특징: 오전 또는 오후에 활동하는데, 한낮에는 땅속이나 풀숲에 숨어 지냄</li> <li>- 서식지: 주로 서·남해의 해안과 섬에 발달한 사구의 초지에 서식, 내륙은 큰 하천 제방과 주변 초지, 산림지역에서는 무덤 또는 산 정상부근에서 서식함</li> <li>- 먹이: 거미류와 곤충류</li> <li>- 번식: 5월경 짝짓기하여 6~7월까지 땅속에 산란, 2~3회에 걸쳐 3~6개의 알을 낳으며, 40~50일 정도가 지나면 부화함</li> </ul>	
위협요인	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 대규모 하천공사로 인해 넓은 면적의 서식처가 파괴되고 있으며, 지속적인 서식처 개발로 인한 개체수 감소 발생 중</li> <li>- 육상의 모래땅이 드러난 장소의 감소(산림 및 초지의 증가)</li> <li>- 하천 수변구역 모래톱의 감소 및 초지화</li> </ul>	
국내/외 분포	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 국내: 서해안에 주로 분포하고 있으며, 강원도, 경기도, 경상도, 충청도 일부 지역에 서식</li> <li>- 국외: 중국, 러시아, 몽골 등지에 서식</li> </ul>	

출처: 국립생태원(2023), 한눈에 보는 멸종위기 야생생물

## 나. 연구대상지 선정

- 1) 기존에 관찰된 지점을 참고하였으며, 2010년 이후에 개체가 관찰된 지점을 중심으로 현장조사 대상지를 선정하였음(그림 4-1)
- 2) 현장조사 대상지는 해안, 하안, 육상지역으로 구분하여, 대상지를 선정하였음

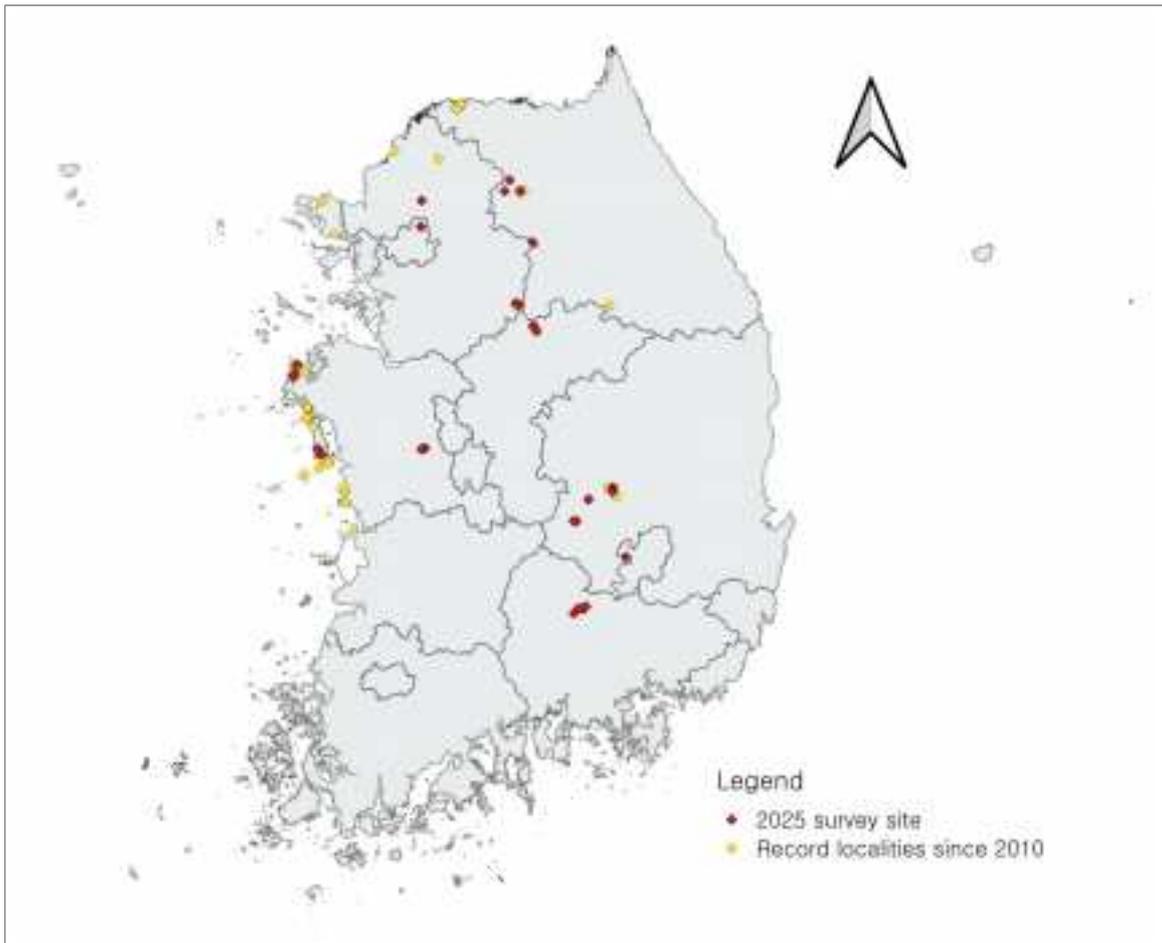


그림 4-1 | 표범장지뱀 연구대상지

### 가. 서식지 환경 특성

#### 1) 문헌자료 수집

가) 표범장지뱀의 서식지 이용 특성 확인 및 조사항목 선정을 위해 구글스칼라(<http://scholar.google.co.kr/>)와 학술연구정보서비스(<https://www.riss.kr/>)를 이용하여 문헌(학위논문, 학술지, 보고서 등)을 수집 및 검토하였음

#### 2) 전문가 자문

가) 현장조사 이전 표범장지뱀의 서식환경에 영향을 미치는 환경변수 선정을 위하여 전문가 자문을 실시하였음

나) 총 4명의 전문가에게 설문조사를 통해 표범장지뱀 서식에 중요한 변수, 조사방법, 현재서식지, 조사시기 등에 대한 자문을 실시하여 그 결과를 토대로 현장조사를 실시하였음

#### 3) 현장자료 항목 및 수집방법

##### 가) 현장 조사방법

- 2인의 조사자가 매우 느린 속도(0.5m/s 이하)로 이동하면서 관찰되는 표범장지뱀의 위치와 개체수를 기록(지도표지 또는 GPS)
- 조사자 사이에는 최소 5m 이상 거리를 두고 가능한 겹치지 않는 지역으로 이동하며 조사하고, 한번 지나간 장소는 다시 지나가지 않았음
- 조사시기는 가능한 4~6월에 실시하고, 새끼의 활동시기인 9~10월에도 실시

#### 4) 공간변수 수집

가) 연구대상지의 지형 및 임상을 확인하기 위하여 환경부, 국토지리정보원에서 제공되는 주제도를 활용하여 3가지 항목에서 7가지 변수를 생성(고도, 경사, 산림면적 비율, 초지면적 비율, 습지면적 비율, 나지면적 비율, 수역면적 비율)(표 4-2)

나) 수치표고모델(DEM)을 ArcGIS pro3.0의 SLOPE 도구를 이용하여 경사도 주제도를 제작

표 4-2 | 공간자료 수집항목

구분	항목	출처
1	수치표고 모델(DEM)	국토정보플랫폼(국토지리정보원)
2	경사도	
3	토지피복도	환경공간정보서비스(환경부)

## 나. 서식지 분석

### 1) 종분포 모형(MaxEnt)

#### 가) 분석에 활용된 기후 환경 변수 자료

- 본 분석에는 Worldclim(<http://www.worldclim.org>)에서 제공하는 30 Arc second(약 1km) 해상도의 현재 및 미래 기후 예측치 자료가 활용되었음
- 현재 기후 자료: 1960년부터 1990년까지의 평균 기후 자료를 사용하였음
- 미래 기후 자료: 영국 해들리센터의 전 세계 기후 모델(GCM)인 HadGEM2-AO 모델을 사용하였음
- 미래 예측 시점: 2050년(2041년 ~2060년 평균) 및 2070년(2061년~2080년 평균)을 설정하였음
- 미래 기후변화 시나리오는 두 가지 대표 농도 경로(RCP)를 적용하였음 (Riahi et al. 2011).
- RCP4.5 시나리오: 온실가스 저감 정책이 상당히 실현되어 2100년에 CO<sub>2</sub> 농도가 540ppm에 도달하는 경우를 가정하였음
- RCP8.5 시나리오: 현재 추세대로 온실가스 배출이 이루어져 2100년에 CO<sub>2</sub> 농도가 940ppm에 도달하는 경우를 가정하였음
- 모든 기후 자료는 30×30m의 공간 스케일을 활용하여 분석을 수행하였음. Worldclim 자료와 같이 스케일이 다른 경우, Arcmap 10.7의 재투영 기능을 사용하여 스케일을 30×30m로 동일하게 조정하였음
- 생물기후변수 선정의 경우 초기 변수: 생물의 생존과 성장에 영향을 미치는 기간에 따라 변수화된 생물기후변수(Bioclimatic variable) 19개를 사용하였음
- 최종 선정: 변수들 간의 공간 자기상관성을 최소화하기 위해 피어슨 상관계수가 0.7 이하인 변수들 중에서 6개(Bioclim 1, 2, 3, 12, 13, 14)를 최종적으로 활용하였음 (Koo et al., 2015)(표 4-3)

표 4-3 | MaxEnt 모델에 적용된 환경변수 설명

기후 변수	설명
Bio01	Annual mean temperature (°C)
Bio02	Mean diurnal range (°C)
Bio03	Isothermality (%)
Bio12	Annual precipitation (mm)
Bio13	Precipitation of wettest month (Jul.) (mm)
Bio14	Precipitation of driest month (Dec.) (mm)

### 3 연구결과

#### 가. 서식지 환경 특성 현황

##### 1) 문헌조사 결과

- 가) 표범장지뱀(*Eremias argus* Peters, 1869)은 파충강(Reptilia) 유린목(Squamata) 장지뱀과(Lacertidae)에 속하는 소형 도마뱀으로, *Eremias* 속 내에서 가장 넓은 분포를 가지는 종 중 하나임. 분류학적으로는 Animalia-Chordata-Reptilia-Squamata-Lacertidae-Eremias-E. argus로 위치하며, 일부 문헌에서는 아종 E. a. barbouri를 구분하기도 함(Tian *et al.*, 2024; Li *et al.*, 2023). 미토콘드리아 및 핵 유전자 기반 계통지리 연구 결과, 동북아시아 전역의 개체군 사이에 뚜렷한 유전적 구조가 존재함이 밝혀졌으며, 이는 보전단위(ESU) 설정 시 유전적 차이를 고려해야 함을 시사함(Li *et al.*, 2023).
- 나) 형태학적 특징으로는 길고 가는 체형과 긴 꼬리, 그리고 등면에 분포하는 다수의 밝은 반점(ocelli)이 대표적임. 이러한 반점 배열은 종명 “argus”의 어원이 된 그리스 신화 속 ‘많은 눈의 아르고스’를 연상시킴(Kim *et al.*, 2010). 성체의 평균 주둥이-항문 길이(SVL)는 60-80 mm이며, 꼬리를 포함한 전체 체장은 150-200 mm 범위로 보고되고 있으며 꼬리는 전체 길이의 60% 이상을 차지함. 한국 집단을 포함한 연구에서 수컷은 머리길이, 머리너비, 꼬리길이가 암컷보다 길어 뚜렷한 성적 크기 이형(sexual size dimorphism)을 보임(Kim *et al.*, 2010). 이러한 성적 이형성은 번식기 수컷 간 경쟁이나 암컷 선택과 연관된 행동생태적 적응으로 해석됨. 고도에 따른 체형 변이도 보고되었는데, 고위도·고지대 개체군은 체장이 더 작고 성장속도가 느린

경향을 보였음(Li *et al.*, 2023).

- 다) 표범장지뱀은 한반도를 포함해 중국 동북부, 내몽골, 몽골, 러시아 연해주 등 동북아시아 전역에 분포함. 중국과 몽골에서는 건조 초원과 준사막 지역에 광범위하게 분포하며, 내몽골 스텝에서는 개체 밀도가 높게 보고됨(Huang *et al.*, 2016). 한국에서는 주로 서해안의 해안사구와 일부 하천 둔치에 국지적으로 분포하고 있으며, 이들 서식지는 개발, 농경지 확장, 사구 훼손 등으로 단편화되고 있음. 태안 해안사구에서 수행된 장기 모니터링 연구는 사구 복원 이후 개체군 크기 증가와 행동권 확대가 확인되었으며, 이는 서식지 복원이 개체군 회복에 긍정적 영향을 준다는 근거로 제시됨(Chang *et al.*, 2021). 하천섬과 제방 등 인공 서식지에서도 소규모 개체군이 발견되며, 토양 경도, 식생 피도 등의 미세서식지 요인이 개체군 유지에 중요한 역할을 하는 것으로 보고된 바 있음(Cho & Son, 2024).
- 라) 해외 개체군과 비교했을 때 한국 개체군은 몇 가지 차이를 보임. 중국, 몽골, 러시아 개체군은 넓은 서식 범위와 큰 개체군 규모를 가지는 반면, 한국 개체군은 좁은 국지 서식지에 제한되어 개체수와 유전적 다양성이 낮고 고립화가 진행되고 있음(Park *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2023). 유전학 연구 결과 한국 개체군은 다른 지역 집단에 비해 유전적 다양성이 낮고 유전자 흐름이 제한되어 있어 장기적으로 근친교배 위험이 존재함. 또한 지역별 생활사 전략 차이도 관찰되는데, 고위도·고지대 개체군은 알 수는 적으나 알 크기가 크고, 저위도 개체군은 다산 경향을 보임(Deme *et al.* (2022). 한국 개체군은 해안사구 특유의 서식환경과 인간 교란에 적응해 좁은 행동권과 제한적 서식지 이용 패턴을 보이며, 이는 장기적으로 개체군 생존에 불리하게 작용할 수 있음(Chang *et al.*, 2021).
- 마) 결론적으로 표범장지뱀은 동북아시아 전역에 걸쳐 넓게 분포하지만, 지역별로 형태, 유전, 생태 특성이 상이함. 특히 한국 개체군은 제한된 서식지와 낮은 유전적 다양성으로 인해 보전 우선순위가 높으며, 장기적 생존을 위해 서식지 복원과 연결성 확보, 유전적 관리가 필요함. 향후에는 전 분포권을 포괄한 유전체 분석, 미세서식지 요인 비교, 장기 개체군 모니터링을 통해 변이를 정량화하고 과학적 근거에 기반한 보전전략 마련이 필요함(Tian *et al.*, 2024; Park *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2023).
- 바) 추가로, 표범장지뱀에 관한 국내 주요 논문 현황과 내용은 표로 정리하였음(표4-4)

표 4-4 | 표범장지뱀 관련 국내 주요 논문 현황

논문명	저자명	출판 연도	학술지명 (출판사명)	논문 요약
태안해안국립공원에 서식하는 표범장지뱀 먹이 분석	정종철, 송재영	2010	Journal of National Park Research	바람아래해변에서 표범장지뱀의 먹이구성을 분석한 결과, 총 8목 13과의 먹이 항목이 확인되었고 나비목(30.6%), 거미목(20.4%), 딱정벌레목(15.7%) 순으로 높은 비중을 차지하였음. 먹이자원의 계절적 변화도 뚜렷하게 나타나 여름철에는 나비목 비율이 높고 봄철에는 거미목 비율이 높았음
Mating behavior of the Mongolian racerunner (Eremias argus)	Bin-Na Kim, Ja-Kyeong Kim, Daesik Park	2012	Animal Cells and Systems	표범장지뱀의 교미행동을 12단계로 구분하여 상세 기술하였음. 수컷은 교미 전 암컷에게 접근하여 냄새 탐지, 꼬리 흔들기, 물기 등의 행동을 보였고 교미 후 교미물기(mate guarding) 행동을 길게 유지하였음. 이러한 행동은 암컷의 재교미를 방지하고 수컷의 번식 성공도를 높이는 전략으로 해석됨
Population genetic structure of endangered Mongolian racerunner	Han-Chan Park, Ho Young Suk, Eu-Jin Jeong, Dae-Sik Park, Hang Lee, Mi-Sook Min	2014	Molecular Biology Reports	표범장지뱀의 국내외 집단의 유전적 다양성을 마이크로새틀라이트 마커로 분석한 결과, 3개의 주요 유전군집이 확인되었음. 한국 개체군은 중국, 몽골 개체군에 비해 유전적 다양성이 낮았으며, 집단 간 유전자 흐름이 제한적인 것으로 나타났음. 이는 국내 개체군의 장기적 생존에 불리할 수 있음
Physical characteristics and age structure of Mongolian racerunner	Ja-Kyoung Kim, Jae-Young Song, Jung-Hyun Lee, Daesik Park	2010	Journal of Ecology and Field Biology	표범장지뱀 개체군의 연령 구조를 골격학적 방법으로 조사한 결과, 2~11세까지 다양한 연령대가 분포하고 있었음. 수컷의 머리 길이와 체장이 암컷보다 길었고, 연령이 높을수록 체장이 길어졌음. 개체군 내 연령 분포는 안정적인 번식 집단을 시사하였음
Movement and Home Range of the Mongolian Racerunner	Jae-Young Song, Kyo-Sung Koo, Min-Ho Chang	2010	Korean Journal of Herpetology	표범장지뱀의 행동권을 조사한 결과, 평균 행동권은 31.5㎡로 나타났고 수컷의 행동권이 암컷보다 넓었음. 개체 이동은 대부분 서식지 내에서 국소적으로 이루어졌으며, 포획-재포획 분석에서 암컷의 이동거리가 수컷보다 짧았음. 이는 암컷이 포란 중 활동성이 낮아진 결과로 해석됨
Characteristics of Oviposition and Egg Hatching	Bin-Na Kim, Il-Hun Kim, Ja-kyeong Kim, Daesik Park	2010	Korean Journal of Herpetology	산란 행동과 부화 과정을 관찰한 결과, 평균 산란수는 클러치당 3개였고 포란 기간은 38~50일이었음. 알의 부화율은 95% 이상으로 매우 높았으며, 부화 개체의 생존율도 높았음. 산란장은 대부분 모래와 식물이 혼합된 장소에서 발견되었음
Characteristics of Eremias argus Habitat	Ja-kyeong Kim, Il-Hoon Kim, Bin-Na Kim, Nam-Yong Ra,	2011	Korean Journal of Herpetology	해안사구와 산지 서식지를 비교한 결과, 해안사구 서식지는 초본 피도가 높고 곤충 다양성이 풍부했음. 산지 서식지는 교란 정도가 높고 먹이 자원이 적어 개체군 밀도가 낮았음. 이는

논문명	저자명	출판연도	학술지명 (출판사명)	논문 요약
	Daesik Park			표범장지뱀의 보전을 위해 해안사구 서식지 관리가 중요함을 시사함.
바람아래해변 표범장지뱀 개체군 크기 변화 모니터링	이영규, 류현선, 신대섭, 남궁헌, 송재영	2024	Journal of National Park Research	2021~2023년 개체군을 모니터링한 결과, 개체 수는 48~80개체로 유지되었으나 서식지 훼손이 지속되면 향후 개체수 감소가 예상되었음. 보호 울타리와 안내판 설치를 권고하였음
태안해안국립공원 표범장지뱀 먹이 분석	정종철, 송재영	2010	Journal of National Park Research	표범장지뱀의 먹이를 계절별로 조사한 결과, 총 8목 13과가 확인되었고 나비목, 거미목, 딱정벌레목이 주요 먹이였음. 먹이 비율은 계절에 따라 차이를 보여 서식지 내 먹이자원 변동이 개체군 생태에 영향을 미친다고 해석되었음
한국산 장지뱀과의 성적이형	장민호, 오흥식	2012	Kor. J. Env. Eco.	한국산 장지뱀과 4종의 성적이형을 비교한 결과, 수컷이 암컷보다 머리, 꼬리, 다리가 더 길고 체중이 무거운 경향을 보였음. 성적이형의 정도는 종마다 차이가 있었고 번식 전략과 관련이 깊은 것으로 나타났음
바람아래해변 표범장지뱀 개체군 크기추정	송재영, 장민호, 구교성	2013	Korean Journal of Herpetology	포획-재포획법으로 개체군 크기를 추정한 결과, 바람아래해변 개체군은 약 438~470개체로 나타났음. 암컷의 재포획률이 수컷보다 높아 활동 패턴과 행동권의 차이를 시사하였음
국내 멸종위기양서·파 충류 분포예측	도민석, 이진원, 장환진, 김대인, 박진우, 유정철	2017	Korean J. Environ. Ecol.	국내 멸종위기 양서·파충류의 주요 분포지역을 MaxEnt 모델로 예측하였음. 표범장지뱀의 분포는 서해안·충청남도·경기 해안지역에 집중되었으며, 고도가 중요한 결정 요인으로 나타났음
서울시 하천 둔치 자연성 회복 방안	김진홍	2014	서울연구원 정책리포트	서울시 하천 둔치의 생태 현황을 조사하고 복원 방안을 제시하였음. 둔치 생태통로 확보, 펜스 설치, 초지 복원 등이 제안되었으며, 표범장지뱀 서식지 훼손이 주요 문제로 지적되었음
표범장지뱀의 생태특성 및 증식기술개발 연구	김자경	2010	인하대학교 석사학위논문	표범장지뱀의 서식환경, 활동시기, 산란습성을 조사하고 인공사육 실험으로 산란·부화 조건을 최적화하여 증식기술을 개발하였음. 부화율이 높아지고 개체군 보전을 위한 방사 가능성이 확인되었음
해안사구내 표범장지뱀의 이동특성과 행동권	김일훈	2012	서울대학교 석사학위논문	무선추적법으로 개체 이동경로와 활동범위를 분석한 결과, 평균 행동권은 1,200~1,800㎡로 나타났다. 수컷이 암컷보다 넓은 행동권을 가지며 초지·사구 경계부를 주로 이용하였음
한국산 도마뱀아목의 분류 및 생태학적 연구	이상철	2010	인천대학교 박사학위논문	한국산 도마뱀아목 7종의 분류형질·서식지·생활사를 종합 분석하였음. 표범장지뱀은 초지 전이지대에서 가장 높은 밀도로 서식하며, 교미 시 수컷의 교미물기 행동과 계절별 활동주기(동면~활동~산란)가 상세히 기록되었음

## 2) 전문가 자문 결과

### 가) 주요 서식 변수

- 총 4인의 전문가 자문결과 표범장지뱀 서식에 가장 중요한 환경요인은 토지피복이 “모래” 인 지역이 제시되었으며, 기타 일조량, 먹이원(기타 곤충), 나지, 식생밀도 등이 중요한 요인으로 나타났음(그림 4-2)
- 반면, 농경지, 바위, 먹이(개미), 기온, 산림 등은 중요한 요인이 아닌 것으로 나타났음

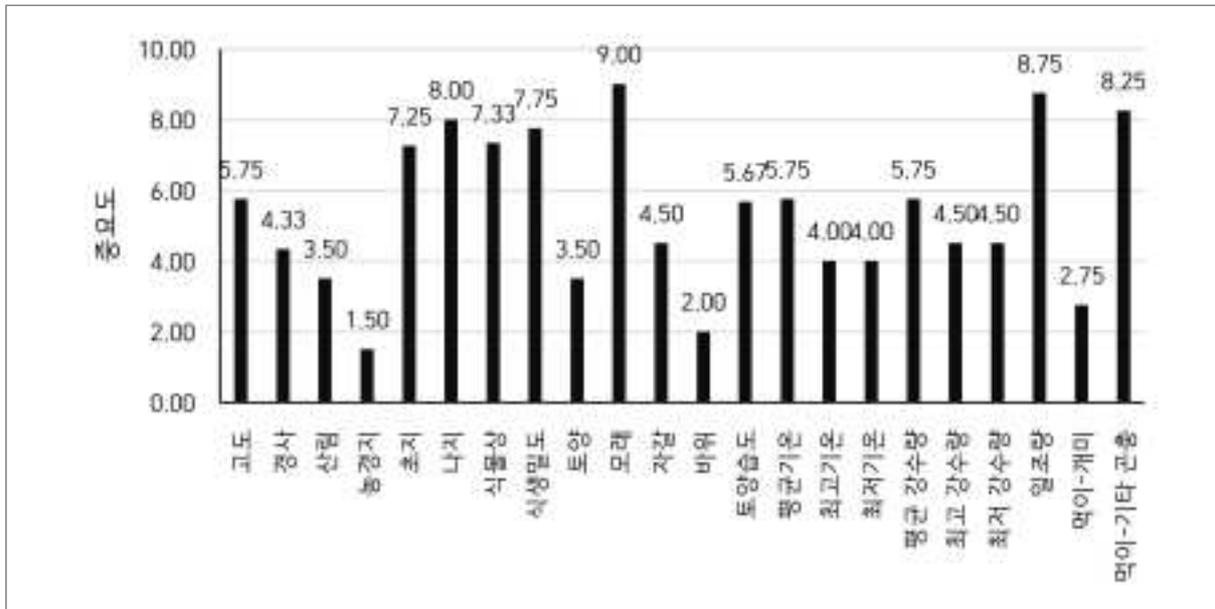


그림 4-2 | 표범장지뱀 서식에 영향을 미치는 환경변수 별 중요도 평균(자문 결과)

### 나) 표범장지뱀 국내 개체군 증감 의견

- 개체군 현황 및 향후 증감 의견에는 전문가에 따라 의견이 다르게 나타났음
- 주요 위협요인으로는 하천 공사에 따른 모래 서식지의 감소, 서식지의 연결성 감소, 초본류 밀생 등을 제시하였음(표 4-5)

표 4-5 | 표범장지뱀 개체군의 증감 예측 및 위협요인(전문가 자문)

전문가	증감 의견	사유	위협요인
A	감소	<ul style="list-style-type: none"> <li>하천공사, 모래둔덕의 나대지 이용 증가에 따른 서식지 감소</li> <li>서식지 훼손, 서식처 연결성 저하</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>짚은 하천 공사, 모래둔덕의 이용도 증가에 따른 서식지 훼손, 서식지의 연결성 저하</li> </ul>
B	유지	<ul style="list-style-type: none"> <li>특정 해안서식지의 경우 개체군 유지 중</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>초본류 밀생</li> </ul>
C	증가	<ul style="list-style-type: none"> <li>과거 확인되지 않았던 산지지역 서식지가 추가 확인될 가능성 있음, 특히 군사지역 등 과거 확인되지 않은 서식지가 존재할 가능성 있으므로, 정밀조사시 산지 서식지를 중심으로 확대 가능성 있음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>모래반출, 건축폐기물 매립, 축산폐기물 매립, 하천 서식지내 낚시꾼에 의한 교란 등</li> </ul>

### 3) 중분포 모형(MaxEnt) 분석

#### 가) 기후변화 시나리오에 따른 중 분포 변화 예측

- 기후변화 시나리오에 따른 표범장지뱀의 분포를 MaxEnt 모델링을 통해 예측하였음. 기후변수별 모델 영향력은 Bio14가 53.8%로 가장 높게 나타났고, 다음으로 Bio12와 Bio13 순으로 영향력이 높게 나타남(표4-6)
- 현재의 경우 종이 주로 관찰되는 서해안 및 낙동강 권역을 중심으로 서식지가 예측되었으며, 춘천을 중심으로한 강원도 일부 지역과 동해안 북부지역, 충청남도 지역에서 종의 분포가 예측되었음. 2050년 RCP4.5시나리오에서는 서해안의 분포지가 감소하고, 낙동강 상류부터 경기 북부까지의 내륙 중부를 중심으로 서식지가 예측되었음. 2070RCP4.5에서는 낙동강의 서식지도 축소되며, 경기북부에서 춘천까지 지역에서 서식이 예측되었음. 2050RCP8.5와 2070RCP8.5는 유사하게 나타났는데, 낙동강 상류 일부와 남한 중북부 지역에 일부 서식가능성이 있으며, 대부분의 지역에서 서식가능성이 낮아지는 것으로 분석되었음(그림 4-3)

표 4-6 | 기후변수별 모델 영향력

Variable	Percent contribution	Permutation importance
bio14	53.8	7.9
bio12	23.6	36
bio13	11.5	27.5
bio01	8.9	13.4
bio02	1.7	8
bio03	0.5	7.2

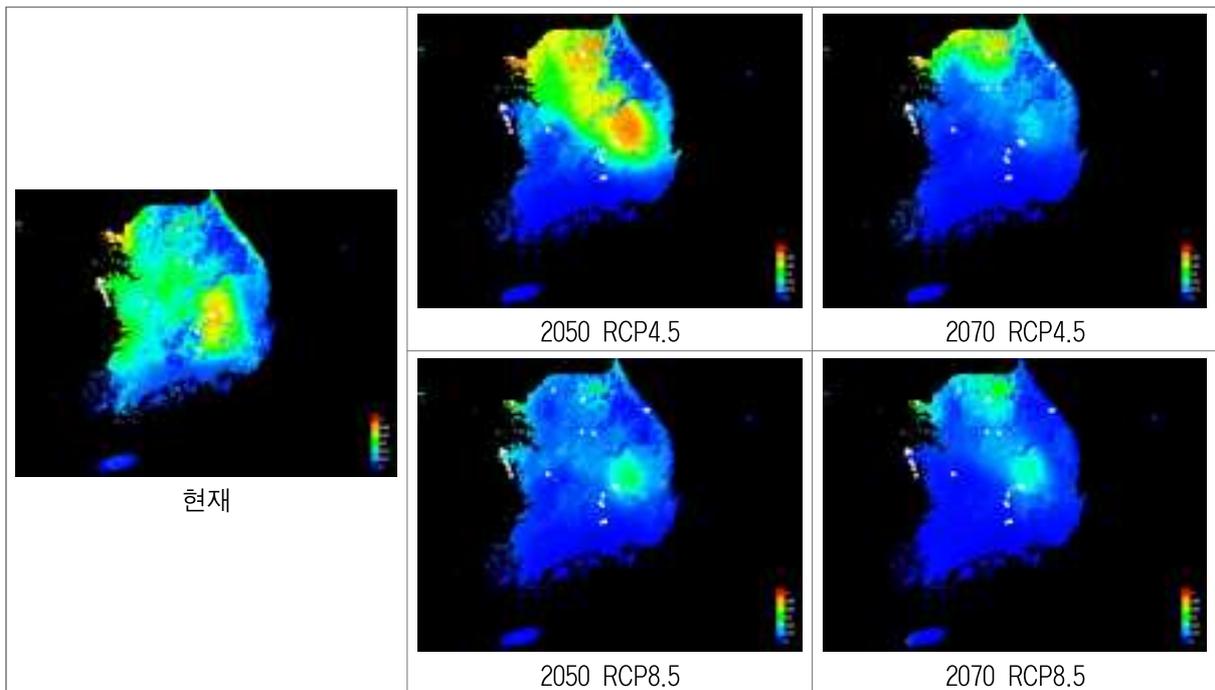


그림 4-3 | 기후변화 시나리오에 따른 표범장지뱀 현재 및 미래 분포 변화 예측

#### 4) 현장조사 결과(통계분석 포함)

##### 가) 조사대상지별 특징

- 총 28지역에 대한 현장조사를 실시하였음. 이 중 12개 지역에서 1개체 이상의 표범장지뱀이 관찰되었음. 조사가 가능한 지역에서는 식생높이, 식생피복도, 토양노출도, 토양경도를 기록하였으며, 전반적인 서식지 현황을 살펴보고, 연구자가 주관적으로 서식가능성을 판단하였음(표 4-7, 8)

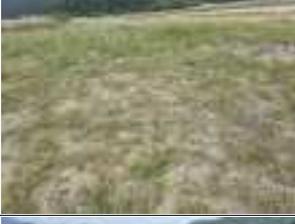
표 4-7 | 표범장지뱀 조사대상지 전체 현황(기존 기록지점)

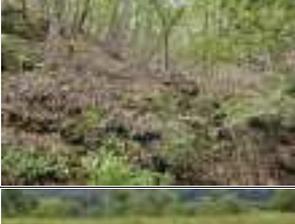
Site.	대표 주소	조사일	지역 구분	총 관찰 개체수	100m당 관찰 개체수	토양 경도	서식 가능성
1	경북 구미시 해평면	25.5.21.	하안	1	0.0728	강	○
2	경북 구미시 선산읍	25.5.21	하안	20	1.7212	약	○
3	경북 구미시 고아읍	25.5.21	하안	14	1.0712	약	○
4	경북 김천시 아포읍	25.5.21	하안		0.0000	강	○
5	경북 김천시 조마면	25.5.21	하안	2	0.1723	약	○
6	경북 김천시 조마면	25.5.21	하안		0.0000	약	○
7	경북 고령군 다산면	25.5.22	하안	22	1.4716	약	○
8	경남 합천군 용주면	25.5.22	하안		0.0000	약	×
9	경남 합천군 용주면	25.5.22	하안	2	0.1840	약	○
10	경남 합천군 용주면	25.5.22	하안		0.0000	약	○
11	경남 합천군 울곡면	25.5.22	하안		0.0000	약	○
12	충북 충주시 중앙탑면	25.5.28	하안		0.0000	강	×
13	충북 충주시 양성면	25.5.28	하안		0.0000	강	○
14	경기 여주시 점동면	25.5.28	하안		0.0000	약	○
15	경기 여주시 강천면	25.5.28	하안	3	0.2198	약	○
16	강원특별자치도 춘천시 서면	25.5.29	산림			강	×
17	강원특별자치도 춘천시 서면	25.5.29	산림			강	×
18	강원특별자치도 춘천시 신동면	25.5.29	산림	8	1.1887	약	○
19	경기 양평군 청운면	25.5.29	산림			약	○
20	충남 공주시 검상동	25.9.15	산림			강	×
21	충남 공주시 검상동	25.9.15.	하안	5	1.2755	약	○
22	충남 태안군 고남면	25.9.15.	해안	15	0.7669	약	○
23	충남 태안군 고남면	25.9.15.	해안		0.0000	약	○
24	충남 태안군 원북면	25.9.16.	산림			강	×
25	충남 태안군 원북면	25.9.16.	해안	6	1.2552	약	○
26	충남 태안군 원북면	25.9.16.	해안	23	1.2757	약	○
27	경기 양주시 광사동	25.9.30.	산림			약	○
28	서울 노원구 상계동	25.9.03	하안			약	×

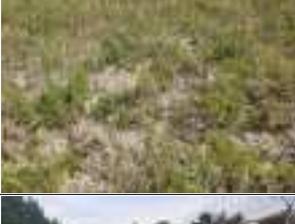
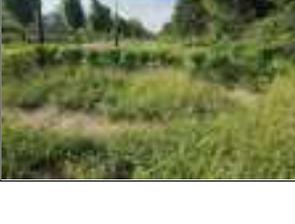
※ 국립공원지역 출입 시 국립공원공단의 학술연구 승인을 받아 수행되었음

표 4-8 | 표범장지뱀 조사대상지별 현황

Site.	대표 주소	대표사진		대상지 특성	서식 가능성
1	경북 구미시 해평면			- 과거 모래땅에 초지가 점차 확대 중 - 소수의 표범장지뱀 서식	○
2	경북 구미시 선산읍			- 하안 평지화 후 큰금계국 이식한 곳에 표범장지뱀이 다수 서식 - 적절한 초지 관리 필요	○
3	경북 구미시 고아읍			- site2와 유사한 환경 - 적절한 식생과 토양 노출로 다수의 표범장지뱀 서식	○
4	경북 김천시 아포읍			- 감천의 하안으로 초지가 급격히 확대 중 - 개체는 발견되지 않았으나, 서식가능성은 있음 - 초지가 계속 확장시 서식지 질 저가 가능	○
5	경북 김천시 조마면			- 감천의 하안으로 소수의 개체 확인 - 다만, 가장자리 초지가 확대하고 있어 초지 관리 필요	○
6	경북 김천시 조마면			- 감천의 하안으로 서식가능성 높음 - 장기적으로 초지 관리 필요 - 특히, 버드나무 등 관목의 관리 필요	○
7	경북 고령군 다산면			- 낙동강의 하안으로 면적이 넓고, 큰금계국이 확대 중 - 많은 개체가 서식하고 있음 - 현재는 서식에 좋은 환경이나 초지의 확대 관리 필요	○

Site.	대표 주소	대표사진		대상지 특성	서식 가능성
8	경남 합천군 용주면			- 황강의 고수부지 - 과거 관찰지점이나, 면적이 좁고, 차량이동이 많은 지점으로 지속적인 서식지로서의 가치는 높지 않음	×
9	경남 합천군 용주면			- 합천댐 보조댐 하부의 하천 내 공간으로 현재 표범장지뱀의 서식지로 매우 양호한 환경임 - 초지와 모래가 적절한 환경	○
10	경남 합천군 용주면			- 황강 중류지역 - 서식환경은 양호하나, 개체는 발견되지 않음	○
11	경남 합천군 울곡면			- 개체 확인은 안되었으나, 서식가능성 높음 - 가장자리 초지의 관리필요	○
12	충북 충주시 중앙탑면			- 남한강의 하중도 - 과거 모래땅에 많은 개체가 서식하였으나, 현재는 개체 확인 안됨 - 땅이 단단해지고, 초지가 확대되어 서식지의 질이 감소하였음	×
13	충북 충주시 양성면			- 전체적으로 초지가 확대중이나, 일부 모래톱이 존재하여 서식가능성이 높은 지역임 - 다만, 초지의 확대는 서식지의 질 낮출 가능성 높음	○
14	경기 여주시 점동면			- 개체는 관찰되지 않았으나, 모래가 넓게 분포하고 초지도 적절히 분포해, 서식가능성이 높은 지역	○

Site.	대표 주소	대표사진		대상지 특성	서식 가능성
15	경기 여주시 강천면			- 개체 확인됨 - 일부 모래땅과 적절한 초지 지역은 서식지로 이용가능 - 관광지로 사람출입이 늘어나고, 잔디같은 촘촘한 초지의 확대는 위협요인	○
16	강원특별 자치도 춘천시 서면			- 과거 관찰시점에 상황은 알 수 없으나, 현재는 완전한 숲이 되어 서식가능성 없음	×
17	강원특별 자치도 춘천시 서면			- 소규모 묘지 지역으로 현재는 초지가 확대하고, 모래땅이 아닌 토양으로 서식가능성 낮음	×
18	강원특별 자치도 춘천시 신동면			- 묘지 지역으로 다수의 개체 확인 - 지속적인 묘지의 이장에 따른 모래땅 유지 - 초지의 확대는 위협요인임	○
19	경기 양평군 청운면			- 군사지역 - 마사토 지역으로 식생이 거의 없고, 노출된 모래땅이 많아 서식가능성 있음	○
20	충남 공주시 검상동			- 과거 기록 지점은 현재 산림으로 서식가능성 낮음	×
21	충남 공주시 검상동			- 금강 하안으로 모래땅에 초지가 확대중 - 개체는 상당수 서식하나, 초지의 확대는 위협요인임	○

Site.	대표 주소	대표사진		대상지 특성	서식 가능성
22	충남 태안군 고남면			- 해안으로 국내 최대 표범장 지땀 서식지임 - 모래의 침식과 쓰레기의 적치는 위협요인 - 일부 초지의 확대도 관리 필요	○
23	충남 태안군 고남면			- 서식가능성 높은 지역이나 관찰 안됨 - 모래 침식이 심한 상태로 서식 가능지가 협소해지고 있는 상황	○
24	충남 태안군 원북면			- 과거 관찰 시점의 상황 알 수 없으나, 현재는 산림과 초지가 발달하고, 토양은 단단한 형태라 서식지로서 좋다고 할 수 없음	×
25	충남 태안군 원북면			- 일부 인도에 다수 개체 확인되나 다른 지역에서는 확인 안됨 - 모래의 침식, 초지의 확대로 서식지가 매우 협소한 상황 - 인위적인 관리 필요	○
26	충남 태안군 원북면			- 매우 넓은 모래톱 지역에 적절한 초지가 있어 많은 개체가 서식하고 있음 - 다만, 일부지역 초지의 확대는 위협요인임	○
27	경기 양주시 광사동			- 묘지와 군부대 지역으로 일부 모래(마사토)가 노출된 지역이 있어 서식가능성은 있음 - 초지의 확대는 위협요인	○
28	서울 노원구 상계동			- 2024년까지 확인되었으나, 2025년 확인안되고 있음 - 서식지가 매우 협소하고, 초지의 확대, 인간활동, 고양이 등 포식자 서식 등 위협요인이 많음	×

## 나) 서식지 특성에 따른 서식유무 및 서식가능성 차이

- 서식지특성(산림, 하안, 해안)에 따라 서식가능성이 차이가 있는지 비교하였으나, 통계적인 차이는 없는 것으로 나타났음( $p > 0.05$ )(표 4-9). 다만, 통계값이 0.058로 유의수준에 근접하게 나타났는데, 하안과 해안 서식지에서 서식가능성이 높은 지역이 낮은 지역보다 큰 차이로 많으며, 산림 서식지의 경우에는 서식가능성이 없는 지역이 많았기 때문에 판단됨. 통계적으로는 유의하지 않으나, 근접하게 하안과 해안에서 산림보다는 서식가능성이 상대적으로 높은 것으로 판단됨
- 단순하게, 표범장지뱀이 관찰된 지역과 관찰되지 않은 지역간에도 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았음( $X^2=4.14$ ,  $df=2$ ,  $p\text{-value}=0.126$ ).

표 4-9 | 서식지 특성에 따른 서식가능성 차이(카이제곱 검정)

서식지 특성	서식가능성 없음	서식가능성 있음	카이제곱 ( $X^2$ )	자유도 (df)	p-value
산림	4	3	5.68	2	0.058
하안	3	14			
해안	0	4			

## 다) 서식지 환경변수 분석(GLM: Generalized Linear Model)

- 현장조사에서 확보한 식물높이, 식물 피복도, 토양 노출도, 토양 경도가 표범장지뱀 서식에 미치는 영향을 분석한 결과, 토양 경도만이 유의하게 영향을 미치는 것으로 분석되었음( $AIC=30.42$ ,  $df=26$ ,  $X^2=5.07$ ,  $P=0.024$ )
- 토양 경도가 낮은 무른 땅(모래땅)이 표범장지뱀 서식에 핵심 서식 변수로 확인되었음(표 4-10)

표 4-10 | 표범장지뱀 서식에 영향미치는 환경변수 분석(GLM)(현장조사 기반)

변수	Estimate	Standard Error	z	p
(Intercept)	-37.47	0.632	-49.95	1
토양경도(낮음)	2.079	0.981	2.12	0.034

- 고도, 경사, 초지면적 비율, 습지면적 비율, 나지면적비율, 수역면적 비율, 산림면적 비율 중 표범장지뱀 서식가능지역에 영향을 미치는 환경 요인은 산림 면적 비율만이 유의한 것으로 분석되었음( $AIC=25.84$ ,  $df=26$ ,  $X^2=9.647$ ,  $P=0.002$ ). 산림면적 비율이 낮을수록 표범장지뱀 서식가능성에 높아지는 것으로 나타났음(표 4-11)

표 4-11 | 표범장지뱀 서식에 영향미치는 환경변수 분석(GLM)(고도, 경사 및 토지피복)

변수	Estimate	Standard Error	z	p
(Intercept)	2.438	0.784	3.111	0.002
산림면적 비율(%)	-4.644	1.755	-2.646	0.008

5) 서식지 교란 및 위협 요인

가) 녹지의 확장(초지 및 교목 등)

- 현장조사 결과 기존에 서식했다고 알려진 대부분의 지역에서 초지 등의 확장으로 표범장지뱀의 핵심 서식변수인 모래톱이 감소하는 것을 확인할 수 있었음
- 적당한 초지는 표범장지뱀의 은신처로 이용될 수 있으나, 모래가 밀집되는 경우 이동이 어렵고, 모래속으로 파고 들기 어렵기 때문에 서식지의 질이 감소할 가능성이 높음
- 초지의 확대에 의한 부엽의 증가는 모래땅을 토양으로 변질시키거나, 물을 더 많이 머금게 하여 습지화 또는 토양의 경도를 증가시켜 표범장지뱀의 서식지의 질을 감소시킬 수 있음(그림 4-4)



그림 4-4 | 표범장지뱀 서식지 위협요인 (초지 확장)

- 특히, 산림서식지에서 더 심각한 상황으로 나타났는데, 과거 관찰되었던 일부 산림서식지는 현재 완전한 초지화 되어 표범장지뱀의 일반적인 서식지와 전혀 달라 서식가능성이 낮았음. 우리나라 전반적인 입목축적의 증가는 표범장지뱀의 산림 서식지의 감소를 초래하였을 가능성이 높음

## 나) 모래톱의 감소(모래 침식)

- 해안 서식지 및 일부 하안서식지의 경우 파도 또는 물에 의해 모래톱이 깎여 나가는 현상이 확인되었음. 급격한 모래톱의 감소는 직접적인 서식지의 감소로 작용할 수 있으며, 표범장지뱀의 서식지의 단절을 초래할 수 있음
- 특히, 학암포해수욕장과 운여해수욕장의 경우 모래침식이 심각하여, 해안가장자리에서 절벽이 발생하였으며, 표범장지뱀이 모래톱으로 접근하기 어려운 상황이 되었음
- 표범장지뱀이 모래톱으로 내려가더라도, 바닷물이 만조시에는 다시 안전한 높은 서식지로 돌아와야 하는데, 현재 침식된 지역에서는 올라가는 것이 불가능해 보였음
- 이런 현상이 지속될 경우 해안 서식지 또한 개체군이 크게 감소할 가능성이 높음(그림 4-5)



그림 4-5 | 표범장지뱀 서식지 위협요인 (해안 모래 침식)

## 6) 위협요인 및 보전·관리 전략

- 표범장지뱀은 국내에서 크게 해안, 하안, 산림 등 다양한 환경에서 서식하고 있으나, 그 서식지는 모두 노출된 모래땅이 필요하므로, 모래땅의 관리가 가장 중요함. 해안, 하안, 산림 서식지에서 모두 초지의 확장에 따른 모래땅 감소가 확인되었는데, 지속될 경우 표범장지뱀의 전국적인 감소를 야기할 가능성이 높음. 따라서, 초지의 관리가 중요함. 이미 여러 산림 서식지는 초지화에 따라 표범장지뱀의 서식지로서의 기능을 잃었으며, 현재 서식 가능하더라도 관리가 없을시에 사라질 서식지도 많음
- 해안 서식지의 경우 모래땅의 침식이 심각한 것으로 나타났음. 모래사구와 같은 지역

이 유지되어야 표범장지뱀이 서식가능한데, 침식에 따라 모래사구가 잘려나가면, 표범장지뱀의 이동이 제한됨. 이러한 경우 표범장지뱀은 배후 산림과 해안의 중간지역에 머무르게 되는데, 이 지역이 초지화되는 경우 서식지는 급격히 좁아질 수 있음  
 학암포해수욕장의 경우 모래는 침식되고, 배후 초지는 확대되어 표범장지뱀이 서식할 공간 자체가 감소한 상태임. 인위적으로 초지지역에서 풀을 제거하여 모래땅이 드러나게 하거나, 사람의 이동로를 조성하여 풀이 나지 않는 곳을 확대할 필요가 있음

- 또한, 해양 쓰레기의 축적, 인간 활동의 증가(파크골프 확대, 주차장 이용, 이용시설 증대, 산책로 증가 등) 등은 표범장지뱀 서식지의 축소를 야기할 수 있음
- 현장조사시 일부 서식지에서는 고양이와 확인되었는데, 야생 고양이의 경우 직접적으로 표범장지뱀의 서식에 위협이 될 수 있음. 야생 고양이에 대한 관리도 필요
- 각 서식지는 개별적으로 위협요인의 정도에 차이가 있으므로, 관리계획의 수립 및 서식지의 관리는 개별적으로 추진되어야 할 것임

- 가. 본 연구는 표범장지뱀(*Eremias argus*)의 서식지 특성에 따른 서식 가능성 및 서식지 환경변수 분석을 통해, 이 종의 서식지 특성과 주요 위협 요인들을 평가하였음. 먼저, 서식지 특성에 따른 서식 가능성 차이를 살펴본 결과, 하안과 해안 서식지에서 상대적으로 서식 가능성이 높은 지역이 더 많이 분포하였으나, 통계적으로 유의미한 차이는 나타나지 않았음( $p > 0.05$ ). 통계적으로 유의하지는 않지만, 하안과 해안 지역은 표범장지뱀이 선호하는 환경적 특성(낮은 토양 경도와 적당한 식생 구조)을 제공할 가능성이 높음. 반면, 산림 서식지는 상대적으로 서식 가능성이 낮은 것으로 나타났으며, 이는 산림 서식지가 표범장지뱀이 선호하는 개방적이고 모래가 노출된 환경을 제공하지 않기 때문임. 이러한 결과는 표범장지뱀이 보다 개방적이고 모래가 노출된 환경을 선호한다는 기존 연구와 일치하며(Cho & Son, 2024; Park *et al.*, 2014), 서식지 관리 및 보전 전략 수립 시 이러한 환경적 요소들을 우선적으로 고려해야 함을 시사함.
- 나. 서식지 환경변수 분석(GLM)을 통해, 표범장지뱀 서식에 영향을 미치는 주요 변수는 토양 경도로 확인되었으며, 낮은 경도의 부드러운 모래땅이 서식에 중요한 변수로 작용하는 것으로 나타났음. 이는 표범장지뱀이 모래와 같은 부드러운 토양을 선호한다는 기존의 연구 결과를 뒷받침하며(Cho & Son, 2024), 서식지 선택에서 중요한 환경적 요인으로 작용함. 또한, 산림 면적 비율이 낮을수록 서식 가능성이 높아지는 경향을 보였는데, 이는 산림 지역이 표범장지뱀이 선호하는 개방적이고 노출된 환경을 제공하지 않기 때문일 수 있음. 이러한 결과는 서식지 관리에서 모래가 노출된 개방적 환경을 보전하는 것이 중요하다는 점을 강조함.
- 다. 서식지 교란 및 위협 요인에 대한 분석에서도 표범장지뱀의 서식지 위협이 심각하게 나타났음. 특히 초지의 확장은 표범장지뱀 서식지에 큰 영향을 미쳤으며, 초지 확장으로 인해 모래톱이 감소하고 토양의 물리적 특성이 변화하는 현상이 관찰되었음. 초지의 확장과 더불어 부엽층의 증가는 토양을 변질시키거나 습지화 현상을 일으킬 수 있어 표범장지뱀의 서식에 부정적인 영향을 미침. 이러한 교란은 특히 산림 서식지에서 더 심각하게 나타났으며, 과거 관찰된 일부 산림 서식지는 현재 초지화가 진행되어 표범장지뱀이 서식하기 어려운 환경이 되었음. 산림 서식지의 감소는 입목 축적 증가로 인한 것이며, 이는 표범장지뱀의 서식지 상실을 초래하는 주요 원인으로 판단됨. 또한, 모래 침식은 해안 서식지에서 중요한 위협 요소로 작용하였음. 해안 서식지에서 모래사구가 침식되며, 표범장지뱀이 서식할 수 있는 공간이 줄어들고,

이는 서식지 단절을 초래할 수 있음. 급격한 모래침식은 해안가의 모래사구 폭을 감소시키며, 표범장지뱀이 모래사구로 접근하기 어려운 상황을 만들 수 있음. 이러한 침식 현상이 지속될 경우, 해안 서식지에서 표범장지뱀의 개체군 감소가 불가피할 수 있음. 이에 따라, 모래사구 복원 및 관리가 중요한 보전 전략으로 제시됨

- 라. 위협 요인 및 보전 전략에 대해서는 표범장지뱀이 서식하는 지역에서 초지의 확장, 모래 침식, 그리고 인간 활동 증가가 주요한 위협으로 작용하고 있음을 확인하였음. 특히, 초지의 관리가 중요한 요소로 부각되며 초지에서 풀을 제거하거나 사람의 이동로를 조성하여 모래가 드러나게 해야 함. 또한, 해안 서식지에서는 모래 침식을 방지하기 위한 구조적 복원과 함께, 인간 활동의 증가로 인한 서식지 축소를 방지할 필요가 있음. 야생 고양이와 같은 포식자 문제 또한 서식지 관리에 중요한 고려 요소로 작용할 수 있음
- 마. 기후변화시나리오에 의한 표범장지뱀의 현재 및 미래분포 예측의 경우 현재 기록된 위치를 기반으로 서식가능성이 예측되었으나, 미래의 기후변화시에는 표범장지뱀의 서식지에 부정적인 영향을 미쳐, 기존 서식지가 점차 사라질 수 있음을 시사함. RCP8.5 시나리오는 더 높은 기온 상승과 극단적인 기후 조건을 반영한 시나리오로, 서식지의 질과 분포범위 축소가 심화될 수 있음을 나타냄. 다만, 표범장지뱀 서식에는 기후 뿐 만 아니라, 다양한 환경요소가 작용하기 때문에, 미래의 분포범위 예측은 더 많은 연구가 필요함. 기후변화로 인해 서식지의 감소가 발생 할 가능성이 있으므로, 적절한 서식지에 대한 지속적인 관심을 통해 서식지 복원과 연결성 확보를 위한 노력이 병행되어야 할 것이라 판단됨
- 바. 기후변화가 표범장지뱀의 서식지에 미치는 영향에 대한 예측은 중요한 연구 주제임. 최근의 연구에 따르면 기후변화로 인해 초지 및 산림의 분포가 변화하며, 이는 표범장지뱀과 같은 개방적 환경을 선호하는 종의 서식지 축소를 초래할 수 있음. 기후변화로 인해 산림의 확대와 초지의 변화가 일어날 경우, 표범장지뱀이 선호하는 모래가 노출된 개방적인 서식지가 감소할 가능성이 높음. 예를 들어, 산림화가 진행되면 입목축적이 증가하고, 이는 표범장지뱀이 선호하는 환경을 제공하지 않게 됨(Wang *et al.*, 2025). 또한, 초지의 확장은 토양의 물리적 특성을 변화시키고, 표범장지뱀이 활동하기 어려운 환경을 만들 수 있음(Zhu *et al.*, 2024). 이러한 기후변화의 영향은 표범장지뱀의 서식지 축소를 가속화할 수 있으며, 모래 침식 또한 이러한 서식지 감소를 더욱 부추길 가능성이 있음. 따라서, 기후변화에 따른 서식지 변화에 대응하기 위해서는 모래사구 복원 및 관리뿐만 아니라, 산림화 제어와 초지 관리가 중요한 보전 전략으로 제시됨

# V

## 하늘다람쥐

주저자: 김민한

1. 기초생태자료 및 연구대상지 선정
2. 연구방법
3. 연구결과
4. 결론

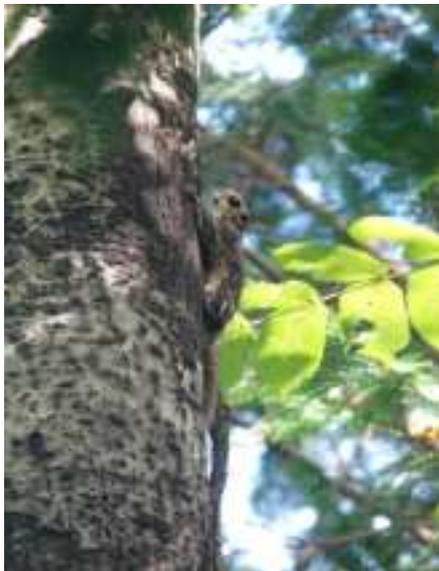


## V. 하늘다람쥐

### 1 기초생태자료 및 연구대상지 선정

#### 가. (계속)연구대상종 개요

표 5-1 | 하늘다람쥐 종 정보 및 특성

하늘다람쥐		
	학명	<i>Pteromys volans</i>
	영문명	Siberian Flying Squirrel
	분류학적 위치	설치목(Rodentia), 청설모과(Sciuridae)
	보호종 지정 현황	환경부 멸종위기야생생물 II급 천연기념물 328호 국가적색목록평가 VU(취약)
	분포지역	(국내) 제주도, 울릉도 등 도서지역을 제외한 전국에 분포 (국외) 러시아 동부, 중국 북부, 일본 북해도 등 분포
	개체 수 및 개체군 추세	산림 벌채, 댐 건설, 서식처 환경 변화 등으로 인해 개체 수가 감소하고 있는 실정
	특이점	산림생태계 내 화분의 매개체, 종자산포 등 산림건강성 지표종 역할

#### 전년도 연구결과 요약

- (산림유형) 자연림 비율(75%)이 높았으나 인위적으로 식재된 산림(6지점)에서도 개체 서식 및 흔적을 확인함
- (해발고도) 출현지점 고도는 53~773m까지 다양한 고도에서 확인함
- (임상현황) 현장조사 결과, 미소 서식환경의 임상은 활엽수림이 가장 많았고 혼효림, 침엽수림을 포함하여 다양한 임상환경에서 서식함
- (동지이용 수종) 자연동지로 활용하는 수종은 오동나무가 가장 많았고 밤나무, 물오리나무, 은사시나무, 자작나무 등 딱따구리류가 뚫어놓은 구멍의 다양한 수종을 동지로 활용함
- (출현수종 및 DBH) 출현지점 내 교목 수종은 총 18과 24속 35종이 확인되며 출현지점 내 수종의 평균 DBH는 38.6±15.1cm로 확인됨
- (위협요인) 생물적요인으로 담비, 맹금류인 올빼미, 참매 등 천적의 위협과 비생물적요인으로는 인간의 간섭, 산불, 산림벌채 등이 확인됨
- (주성분분석) 제 1주성분은 임상밀도, 제 2주성분은 혼효림 제 3주성분은 침엽수림으로 하늘다람쥐 서식지 특성에 주요한 변수로 나타남
- (군집분석) 하늘다람쥐는 동지를 지역적으로 출현하는 수종을 선택적으로 이용하는 것으로 확인하였고 자연림 뿐만 식재된 산림에서도 서식환경이 충족되는 것으로 확인됨

## 나. 연구대상지 선정

### 1) 하늘다람쥐 서식지점

가) 전년도 현장조사 지점(24지점) 및 전문가 자문을 통해 하늘다람쥐의 분변 수집을 위한 지점좌표를 획득함

### 2) 연구대상지 최종선정

가) 전국 범위의 하늘다람쥐의 먹이원 분석을 수행하기 위해 지역적 편향을 고려하여 총 55지점을 최종 선정함(그림5-1)

나) 연구에 이용한 하늘다람쥐 분변은 20205년 2월에서 5월까지 강원도 인제군, 양양군, 경상남도 진주시, 경상북도 경주시, 영양군, 영주시, 영천시, 청도군, 경기도 성남시, 전라남도 구례군, 함평군, 충청남도 계룡시 등 전국 12개 시군 13개 장소에서 수집함

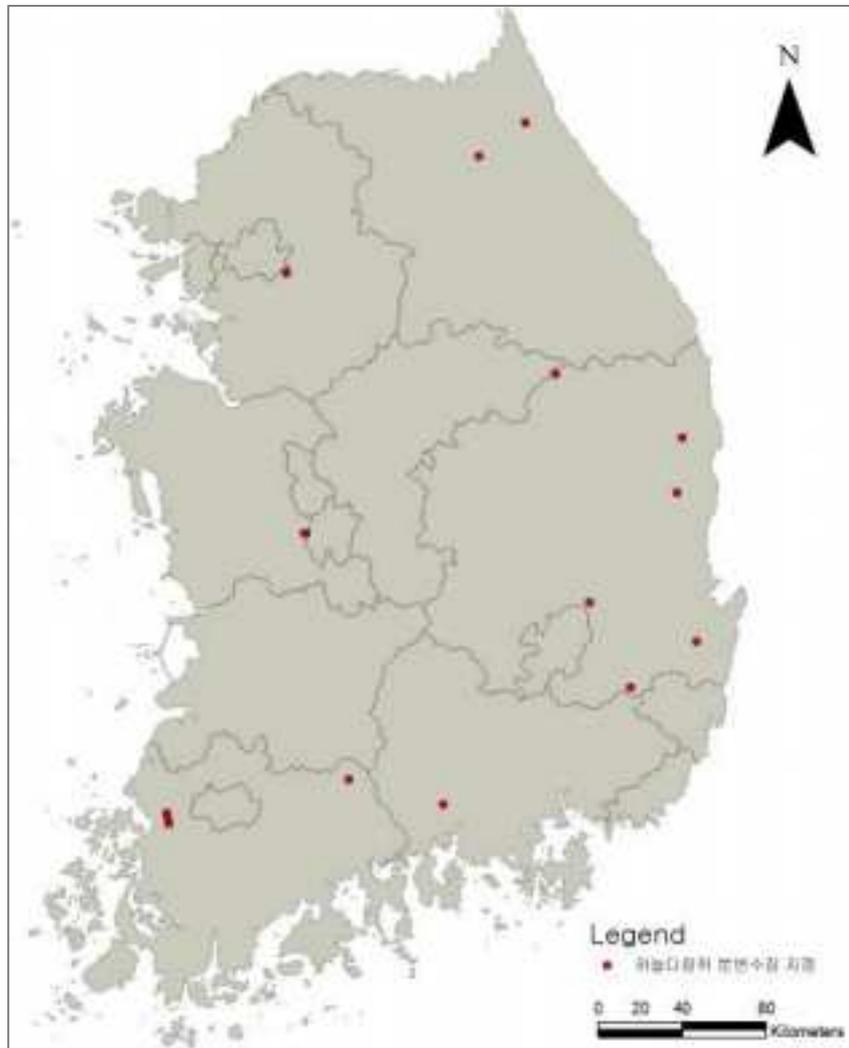


그림 5-1 | 하늘다람쥐 분변 연구대상지

## 가. 서식지 환경 특성

## 1) 문헌자료 수집

가) 하늘다람쥐의 서식지 이용 특성 확인 및 먹이원 선행연구 사례조사, 조사항목 선정을 위해 구글스칼라(<https://scholar.google.co.kr/>)와 학술연구정보서비스(<https://www.riss.kr>)를 이용하여 문헌(학위논문, 학술지, 보고서 등) 약 40여편을 수집 및 검토함

## 2) 현장자료 항목 및 수집

가) 현장조사 항목은 참고문헌을 통해 하늘다람쥐 분변과 관련하여 총 19가지의 변수를 선정하여 현장조사표 제작 후 활용하여 수집함(표 5-2)

표 5-2 | 현장조사 수집항목

Category	Variable	Category	Variable
1	Weather	11	Elevation
2	Tree count per grid (fecal-based)	12	Fecal-detected location
3	Distance to the nearest tree	13	Crown branching
4	Diameter at breast height(DBH)	14	Crown branching height
5	Crown width	15	Tree mortality
6	Fecal count	16	Fecal deposition pattern
7	Fecal color	17	Fecal length
8	Fecal area	18	Fecal width
9	Fecal-detected tree species	19	Freshness
10	Fecal-detected tree height		

나) 조사시기는 원활한 분변 수집을 위해 2~5월인 늦겨울부터 봄철까지 수행함

다) 지역 별 10x10m의 방형구 기준으로 표본조사를 수행하였으며 각 방형구는 분변이 확인된 지점을 중심으로 선정함

라) 해발고도(Elevation), 날씨(Weather), 분변의 개수(Fecal count), 색깔(Feces color), 면적(Feces area), 발견 수종(Tree count per grid), 발견 위치(Fecal-detected location), 수관분지 여부(Crown branching), 적재 형태(Fecal deposition pattern), 고

- 사 여부(Tree mortality)는 직접 확인 후 현장조사표에 기록함
- 마) 방형구 내 출현 교목 수종(Fecal-detected tree species)은 국가생물종목록 기준으로 학명과 국명을 작성함
- 바) 교목의 수고(Fecal-detected tree height), 수관폭(Crown width), 수관분지 높이(Crown branching height)는 수고측정기를 이용하여 정밀하게 측정함
- 사) 흉고직경(DBH)은 흉고줄자(3M, MDS)를 이용하여 둘레를 직접 측정함
- 아) 분변의 장경(Feces length)과 단경(Feces width)은 캘리퍼스(CD-P15S, Mitutoyo)를 이용하여 정밀하게 측정함
- 자) 분변 신선도(Freshness) 정도에 따라 먹이원 분석 유무 및 수준정도를 확인하기 위해 좋음, 보통, 나쁨정도로 구분하여 기록함
- 차) 먹이원 분석결과와 비교하고자 하늘다람쥐 행동권을 반영하여 분변 수집지점 반경 100m를 기준으로 7지역 13지점의 출현 교목 및 관목 수준의 식생조사를 수행함

#### 나. DNA meta-barcoding 기법을 이용한 먹이원 분석

##### 1) 샘플수집 방법 및 보관

- 가) 조사시기를 각 겨울철(2~3월)과 봄철(4~5월)로 나누어 분변을 지점별로 수집함(그림 5-2)
- 나) 분변 시료는 Silica gel이 들어있는 sample tube에 넣은 후 아이스팩을 동봉하여 저온 상태로 유지 후 수집된 시료들은 곧바로 DNA를 추출하거나, DNA 추출 전까지 -20℃ 또는 -70℃ 냉동고에 보관함

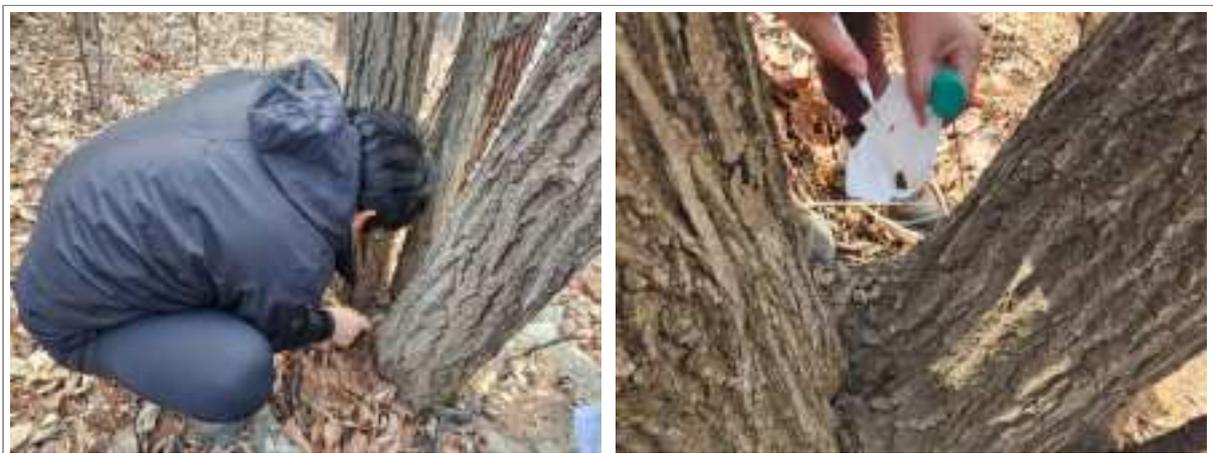


그림 5-2 | 지점별 하늘다람쥐 분변 수집

## 2) 분변 DNA 추출 및 PCR 증폭(그림 5-3)

- 가) 분변 DNA는 QIAamp Power Fecal DNA Kit (Qiagen, Hilden, Germany)를 이용하여 추출함
- 나) 같은 지역에서 수집한 분변이어도 육안으로 확인하여 색깔과 모양, 부패 정도에 다른 분변 덩이들은 서로 다른 시료로 간주하여 세분하여 추출을 진행함
- 다) 추출한 DNA는 중합효소연쇄반응(polymerase chain reaction, PCR)과 먹이원 meta-barcoding을 위한 주형으로 이용함

## 3) 미토콘드리아 DNA의 COI 유전자 절편에 이용한 하늘다람쥐 종 동정

- 가) 분변 DNA의 종을 종정하기 위하여 동물 DNA barcoding에 표준 유전자로 이용되는 미토콘드리아 DNA(mtDNA)의 cytochrome oxidase I(COI) 유전자의 313-bp 절편을 증폭함
- 나) 유전자 증폭을 위한 PCR 프라이머는 Leray *et al.* (2013)의 mlCOIintF와 Geller *et al.* (2013)의 jgHCO2198를 이용함
- 다) 추출한 DNA 용액과 프라이머, 증류수를 혼합하여 반응하였고, Mastercycler Nexus Gradient 장비를 이용하여 증폭하였고, 증폭이 끝난 PCR 산물은 1.5% agarose 겔 상에서 전기영동하여 확인한 후, DNA 염기서열 분석에 이용함
- 라) 정제한 PCR 산물은 Dye-termination 방법으로 반응한 후, ABI Automated DNA Sequencer 3730XL을 이용하여 서열을 결정함
- 마) DNA sequencing을 통해 얻은 유전자 서열 정보를 미국 생명공학정보센터( NCBI의 Nucleotide database에서 Basic Local Alignment Search Tool(BLAST)검색을 이용하여 최고 유사 서열을 검출하여 판독함
- 바) 또한, 유전자 정보 분석의 정확도를 검증하기 위해 전라남도 함평군에서 수집한 다람쥐(*Tamias sibiricus*) 분변샘플을 수집하여 이용함



그림 5-3 | 샘플 분류를 통한 분변 DNA추출 및 PCR증폭

#### 4) DNA 메타바코딩 분석과 먹이원 종 동정

- 가) 하늘다람쥐의 주 먹이원인 식물종 정보를 수집하기 위해 핵 DNA의 리보솜 영역에 위치하는 비전사영역인 internal transcribed spacer 2 (ITS2)와 엽록체 DNA(cpDNA)의 ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase large subunit (rbcL) 유전자의 절편을 PCR에 DNA meta-barcoding 분석을 수행함
- 나) ITS2 영역에 대한 분석은 범용 프라이머 ITS2-F과 ITS2-R(Travadi *et al.*, 2023)를 이용하였고, rbcL 유전자 분석은 rbcL-F(Maloukh *et al.*, 2017)와 rbcL-R(Travadi *et al.*, 2023)을 이용함
- 다) 범용 프라이머를 이용한 사전 시험을 마친 DNA 시료는 메타게놈 amplicon에 대한 염기서열 정보를 수집하였고, DNA 서열 결정에는 Mi-seq NGS 분석법을 이용하여 하나의 분변 내에 섭식한 식물의 다양성이 낮기 때문에 염기서열 분석의 심도를 해독사본 수(read count) 10,000개 이상인 경우에만 판독함

- 라) 결정된 서열들은 증폭산물 변이 서열(Amplicon Sequence Variant, ASV) 상태로 구분  
한 후 NCBI의 nucleotide database 상에서 BLAST 프로그램으로 유사서열을 검출함
- 마) 유사서열 검출은 각각의 ASV 서열에 대해 95% 이상 비교하고, 일치도(identity  
percentage) 98% 이상인 데이터 중에서 최고유사서열을 채택하여 작용분류단위  
(operating taxonomic unit, OTU)를 채택함
- 바) 동일한 수준의 일치도를 나타내는 경우, 검출된 OTU를 모두 채택하였고 검출된  
OTU의 식물 종(species)의 분류체계는 NCBI의 Taxonomy database를 기준으로 하였  
음
- 사) 본 연구에서 식물 먹이원은 속(Genus) 수준으로 분류하였고 속명은(Genus name)은  
국립생물자원관 국가생물종목록의 국명을 채택하였고, 해당 속명이 없는 경우는 식  
물도감을 기준으로 하여 이용하여 먹이원 목록을 작성함.
- 아) 또한, 국내에 기록되지 않은 식물 종이나 ASV의 readcount가 10 이하인 OTU는 분석  
에서 제외함
- 자) 하늘다람쥐 먹이원의 시기별 유의적 차이를 확인하기 위해 비모수통계인 Wilcoxon-  
test를 이용하였고 데이터의 정규화를 위해 Read count값을 백분율로 전환 후 진행하  
였으며 분석은 R프로그램을 이용함

#### 다. 하늘다람쥐 서식지 개선을 위한 인공소상 설치

##### 1) 인공소상 설치 대상지 선정

- 가) 하늘다람쥐 서식지 및 분변조사를 수행하는 지역 중 산불로 인해 심각하게 서식  
지가 훼손된 것으로 판단하여 경상북도 영양군 석보면 일원을 대상으로 선정함  
※ 영양군 석보면 일원: 하늘다람쥐의 자연동지 및 분변이 확인된 기존 서식지
- 나) 대상지 내 인공소상 설치지점은 USGS에서 제공하는 Landset 위성영상 및 현지조사  
를 통해 습지에 인접한 산불 전소 지역과 산불피해 지역 내에서도 산불피해를 입지  
않은 곳으로 선정함(그림 5-4)
- 다) 습지 내 오리나무속, 소나무속 등의 먹이원으로 활용할 수 있는 수종이 확인되어  
습지 내 이동을 유도하여 연결성 확보를 통해 개체군 유지에 기여하고자 대상지로  
최종 선정함

## 2) 인공소상 제작 및 설치 위치 선정 방법

- 가) 하늘다람쥐 생태, 천적으로 위협, 모니터링 및 관리 등을 고려하여 직접 제작함
- 나) 대상지 내 하늘다람쥐 행동권을 반영하여 단위 격자당 약 150\*150m의 크기로 총 24개 격자를 생성함
- 다) 하늘다람쥐의 경우 번식 및 병해충 등의 영향으로 한번에 여러 개의 둥지를 동시에 사용하는 생태적 특성을 고려하여 단위 격자당 3~4개 인접하여 설치함.
- 라) 인공소상이 설치되는 교목의 경우, 침엽수종과 활엽수종을 고루 나누어 균등하게 분배 후 설치하였고 설치 높이는 선행연구사례 및 관리적 측면으로 고려하여 약 2.5m 높이에 설치함



그림 5-4 | 하늘다람쥐 인공소상 설치 대상지

(좌: 산불피해 전소지역, 우: 대상지 내 미피해 지역)

## 라. 보호지역 후보지 제안

- 1) 전국 범위의 하늘다람쥐 출현지점 서식지 조사를 통해 서식지 환경특성(자연동지 유무, 먹이원 등), 내·외부 위협요인 등을 반영하여 야생생물 특별 보호구역 후보지를 도출하여 최종 선정함

## 가. 먹이원 및 분석기법 문헌수집 결과

표 5-3 | 하늘다람쥐 먹이원 및 서식지 특성 문헌 조사 결과

Category	Summary	Reference
하늘다람쥐 먹이원	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 아메리카 대륙에 서식하는 날다람쥐 종들(<i>Glaucomys volans</i>, <i>G. sabrinus</i>)은 붉은꼬리딱따구리(red-cockaded woodpecker)의 동지를 공격하고 조류의 알을 섭식하는 등의 행동에 근거하여 소형 육식동물로 간주되기도 함</li> <li>- 하늘다람쥐류(<i>Pteromys</i> spp.)는 전적으로 식물을 취식하는 생물 종으로 간주되며, 지의류나 균류뿐만 아니라 조류의 알이나 새끼 또는 소형 포유류, 곤충 등을 기회적으로 섭식하는 것으로 보고됨.</li> <li>- 일본 하늘다람쥐의 먹이원으로는 식물 42종이 확인되었고, 계절과 서식지에 따라 이용하는 식물이 달라짐</li> <li>- 국내 하늘다람쥐에 대한 연구는 분변 및 먹이원과 관련하여 서식지 이용 특성, 배변이나 동지로 이용하는 나무의 종류와 분변 장소의 계절적 특성 등에 관한 연구들이 보고되고 있음</li> <li>- 국내에 서식하는 하늘다람쥐는 나무껍질이나 잎, 눈, 잣이나 도토리과 같은 굳은 열매, 과실이나 버섯 등을 먹고, 인공사육 중에는 잣도 먹고, 실내에서는 자작나무 속과 개암나무 속(<i>Corylus</i> spp.)의 어린 싹과 사과, 기장도 섭식하는 것으로 확인됨</li> <li>- 겨울철 하늘다람쥐의 주요 먹이는 오리나무(<i>Alnus japonica</i>)와 느릅나무(<i>Ulmus davidiana</i>)의 수꽃화서와 겨울눈으로 알려져 있음</li> </ul>	<p>Stoddard, 1920 Weigl, 1968 Harlow and Doyle, 1990 Helmick <i>et al.</i>, 2014 Ando <i>et al.</i>, 1985 Thyssel <i>et al.</i>, 1997 Smith and Xie, 2008 Aulagnier <i>et al.</i>, 2009 Wilson <i>et al.</i>, 2016 Isii, 2005 Asari <i>et al.</i>, 2009 Murakami <i>et al.</i>, 2021 Cho <i>et al.</i>, 2013 Woo <i>et al.</i>, 2013 Han <i>et al.</i>, 2018 Kim, 2018; Lim <i>et al.</i>, 2021. Won, 1967 Yoon <i>et al.</i>, 2004</p>
메타바코딩	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 분변에는 기본적으로 소화되지 않은 잔여물이 남아 동물의 소화기관에서 유래된 각종 효소와 장내 미생물뿐만 아니라 동물의 소화기관 상피세포 등이 혼합된 상태이기에 분변 DNA에는 이러한 성분들에서 유래된 다양한 종류의 DNA들이 혼합된 상태로 존재함</li> <li>- 분변 DNA에 대한 분석은 먹이원, 내부 미생물, 숙주의 유전정보까지 다양한 정보를 제공하는 연구재료로 이용됨</li> <li>- 동물에 대한 직접적인 접촉이나 포획, 없어도 비침습적으로 접근할 수 있어 종 동정부터 개체수 산출, 먹이원 정보 수집 등 다양한 생물학적, 생태적 정보를 수집할 수 있음</li> <li>- 동물 분변에서 먹이원 분석은 육안이나 현미경을 이용한 조직학적 분석뿐만 아니라 분변에서 추출한 DNA를 대상으로 먹이원이나 장내세균의 종-특이적인 중합효소연쇄반응(PCR)을 통해 검출하거나 다수의 종들과 폭넓게 결합할 수 있는 범용 프라이머를 이용한 메타바코딩 방법 등이 이용됨</li> <li>- DNA 메타바코딩은 차세대염기서열결정법(NGS)을 이용하는 방식으로 PCR 증폭산물 내에 존재하는 모든 사본의 염기 서열의 정보를 수집하여 비교하는 방식이다</li> </ul>	<p>Pompanon <i>et al.</i>, 2012 McInnes <i>et al.</i>, 2016 He <i>et al.</i>, 2018 Schultz <i>et al.</i>, 2018 Schwartz <i>et al.</i>, 2007 Stansbury <i>et al.</i>, 2014 Lesmerises <i>et al.</i>, 2015 De Barba <i>et al.</i>, 2010 Borthakur <i>et al.</i>, 2011 Pompanon <i>et al.</i>, 2012 Berry <i>et al.</i>, 2017 Yamaguchi <i>et al.</i>, 2020, Carlson, 2021</p>

Category	Summary	Reference
	- (연구사례) 일본의 하늘다람쥐는 자작나무속( <i>Betula</i> ) 등 5개 속 식물들을 이용하고 핀란드 하늘다람쥐의 먹이원으로 12개의 서로 다른 식물 속( <i>genus</i> )들을 제안하였고, 이 중 단풍나무 속( <i>Acer</i> ), 오리나무 속( <i>Alnus</i> ), 자작나무 속 등 8개 속 식물들을 주 먹이원으로 보고함	

## 나. 현장조사 결과

### 1) 분변 특성

가) (분변 색깔) 분변색의 경우 먹이섭식, 신선도에 따라 다르게 나타나는데 신선한 배설물의 경우 녹색계열, 갈색계열로 확인되고 오래된 배설물의 경우 흑색계열이나 곰팡이의 의해 회색계열로 나타남(그림 5-5)



그림 5-5 | 하늘다람쥐 분변의 색

(a: 녹색계열, b: 갈색계열, c: 흑색계열, d: 회색계열(곰팡이로 부패된 분변))

- 나) (분변 개수) 분변 출현지점의 하늘다람쥐의 평균 분변 개수는  $173 \pm 207$ 개로 확인되며 이동 중 배설하게될 경우, 적게는 약 10~100개로 확인되고 겨울철 고정적으로 이용하는 지점의 경우 많게는 1000개 이상의 분장을 이루는 것으로 나타남
- 다) (분변 면적) 분변이 쌓인 수목의 형태나 개수에 따라 차이가 존재하는데 쌓이는 평균 면적은  $126.8 \pm 145.5 \text{cm}^2$ 로 확인됨
- 라) (장경/단경) 수집된 분변의 장·단경 길이를 측정한 결과, 평균 장경은  $6.89 \pm 1.66 \text{cm}$ , 평균 단경은  $2.92 \pm 0.44 \text{cm}$ 로 확인되며 일부 분변의 경우 비로 인해 수분을 머금고 불려져 장경과 단경이 크게 측정된 분변도 확인됨(그림 5-6 c, d)

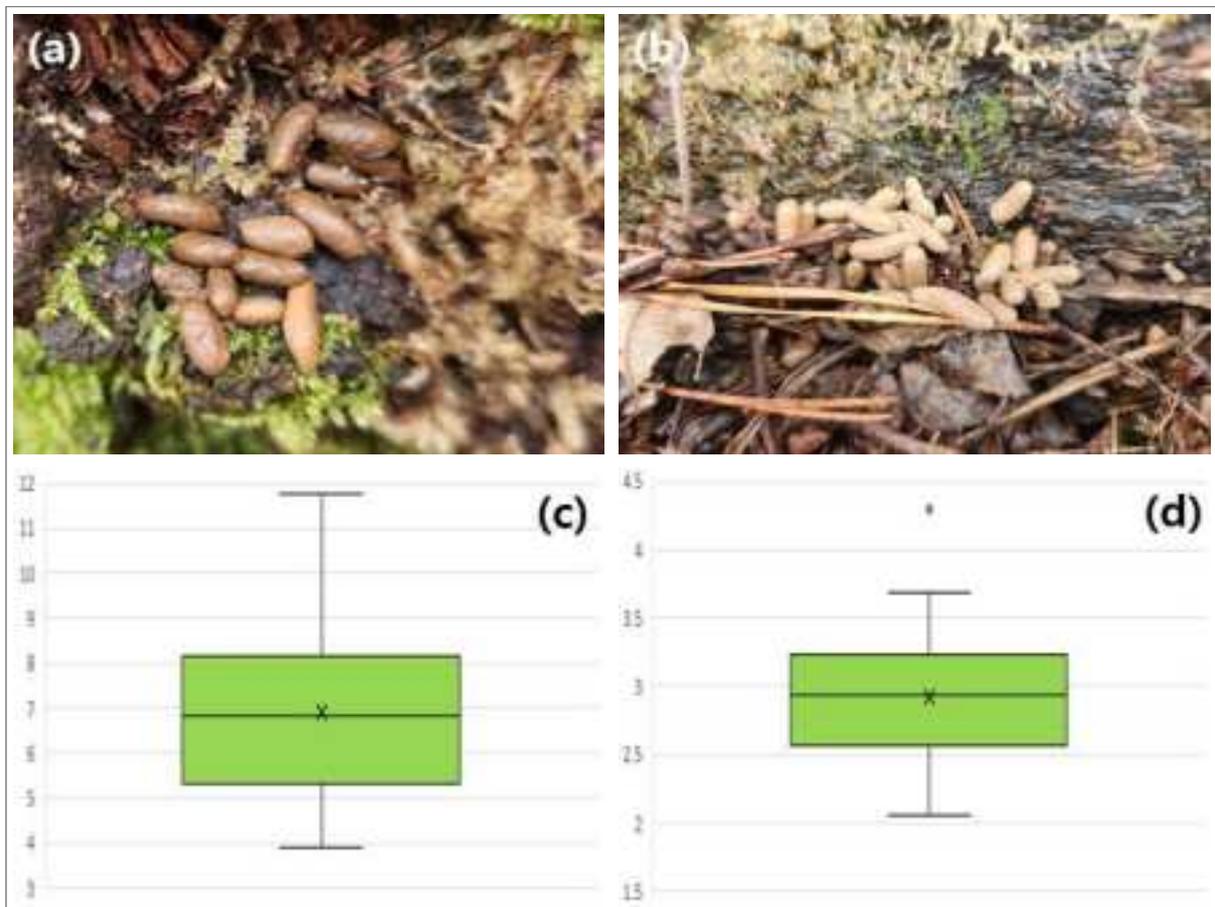


그림 5-6 | 하늘다람쥐 분변의 신선도 및 크기

(a: 신선한 분변, b: 강우에 의해 불려진 분변, c: 분변 평균 장경, d: 분변 평균 단경)

- 마) (신선도) 분변 출현지 고정모니터링 조사결과, 겨울철 분변이 배출된지 2일 이하에 발견된 경우 녹색 혹은 갈색 계열로 확인됨(그림 5-6 a)

바) (신선도) 분변에서 소나무속 솔잎류를 섭취한 것으로 추정되는 배설물의 경우 솔잎향이 낮으며 갈색계열의 배설물의 경우 하늘다람쥐 특유의 분변냄새를 확인하였고 오래된 배설물의 경우 냄새가 나지 않았음(그림 5-6 b)

2) 분변 출현지점 환경특성

가) (분변 출현 나무 수) 10\*10m 방형구 내 평균 분변 출현 나무 수는  $14 \pm 0.7$ 개로 확인되며 일반적으로 분변이 확인될 경우 인접한 수목에서도 출현함을 확인함

나) (수종) 분변이 발견되는 수종의 경우, 굴참나무, 상수리나무, 신갈나무 등 참나무과에 속하는 수종이 가장 많았고, 뽕나무, 은사시나무, 서어나무에서도 확인되었으며 겨울철에는 소나무류 뿌리목에서도 분변을 확인함(그림5-7 a)

다) (수고) 분변 출현 교목의 평균 수고는  $11.5 \pm 2.5$ m로 확인되며 약 6m 정도의 아교목 수준의 수목부터 약 16m정도의 대형 교목까지 다양하게 확인됨(그림5-7 b)

라) (수관폭) 분변 출현 교목의 평균 수관폭은  $78.5 \pm 58.5$ m로 확인됨((그림5-7 c)

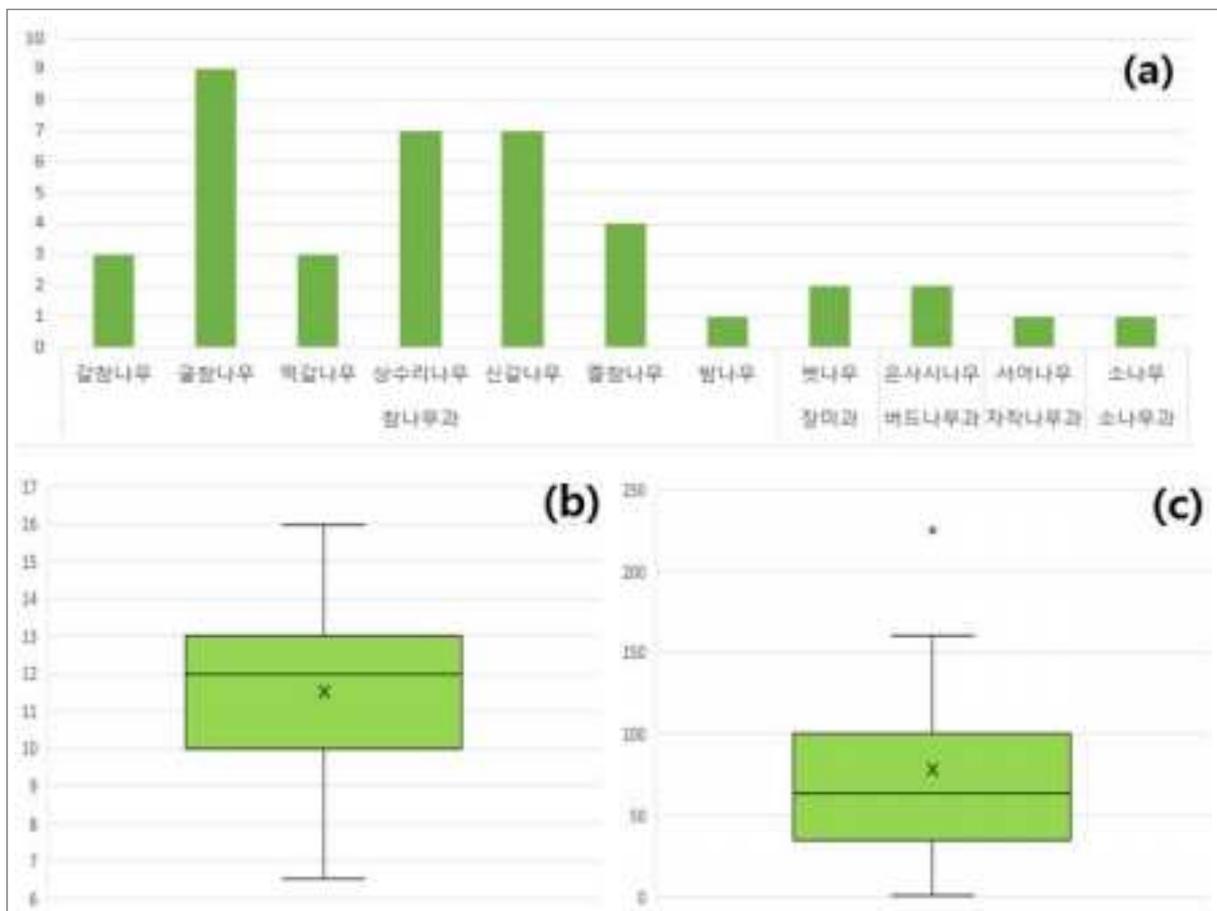


그림 5-7 | 하늘다람쥐 분변 출현 수종 특성  
 (a:분변 발견 수종, b: 평균 수고, c: 평균 수관폭)

- 마) (흉고직경) 분변출현 교목의 평균 흉고직경(DBH)은  $32.3 \pm 8.1\text{cm}$ 이며 중경목 이상의 교목으로 확인됨(그림5-8 a)
- 바) (해발고도) 분변 출현지점의 평균 해발고도는  $427.2 \pm 267.5\text{m}$ 로 본 연구의 출현지점 기준 100~1331m까지 다양한 고도에서 하늘다람쥐의 분변이 확인됨(그림5-8 b)
- 사) (고사여부) 하늘다람쥐 자연등지의 경우 고사목을 이용하는 것으로 확인되나 본 연구의 분변 출현지점의 교목의 경우 고사목이 확인되지 않은 것으로 나타남
- 아) (수관분지 교목) 은사시나무나 소나무와 같이 곧게 자라는 교목의 경우 교목의 뿌리목에서 분변이 확인되는 것에 반해 참나무과 교목이나 벚나무는 수관이 분지되는 형태로 분변이 수관분지점에서 주로 확인되며 분변량이 많을 경우 수관분지점과 뿌리목 모두 확인됨(그림5-8 c, d)
- 자) (수관분지 높이) 분변 출현지점의 수관분지점 평균 높이는  $0.76 \pm 0.46\text{m}$ 로 확인되며 이는 조사자 현장에서 확인할 수 있는 정도의 분지점만 관찰한 결과로 해석되며 분지되는 지점 높이는 조사결과보다 높게 나타날 것으로 추정됨
- 차) (분변 배출 형태) 흉고직경이 큰 교목의 경우, 일자(—)형으로 쌓이는 형태를 가지고 수관이 분지된 형태, 굴곡 있는 형태, 비스듬하게 휘어져 불규칙적인 형태의 수목의 경우, 물방울 모양으로 소복하게 쌓이거나 뿌리목에 유자(U)형을 그리며 넓게 분포하는 형태로 확인됨
- 카) (분변 배출 형태) 수피가 거친 교목의 경우, 수피에 걸려 10알 미만의 분변이 확인되기도 하고 이동 중 분변을 배출할 경우 수관분지점에서 점형태로 소량 확인되는데 결론적으로 교목의 형태, 분변 배출량에 따라 다양한 형태로 확인됨



그림 5-8 | 하늘다람쥐 분변 출현 수종 특성 및 발견지점  
 (a: 평균 흉고직경, b: 분변 발견지점 해발고도, c: 뿌리목, d: 수관분지점)

### 다. 먹이원 분석 결과

#### 1) 분변 DNA종 동정 결과

가) 우리나라 12개 시군 13개 지점에서 수집한 하늘다람쥐 분변 DNA 18개 시료에서 DNA 서열을 이용하여 종 동정한 결과, MtDNA COI 유전자 서열을 이용한 BLAST 검색 결과에서 양성 대조구로 이용한 다람쥐 분변을 제외하고 17개 시료에서 하늘다람쥐에서 보고된 서열이 최고유사서열 확인됨

나) 서열 간 gap이 없는 상태에서 평균 99.73%이상 하늘다람쥐(*Pteromys volans*)로 확인됨(표 5-4)

표 5-4 | 분변 DNA 종 동정 결과

Winter(03)				Spring(05)			
Site	Sequence number	Most closely related species	%	Site	Sequence number	Most closely related species	%
HP	8	<i>Pteromys volans</i>	99.4	HP	5	<i>Pteromys volans</i>	99.4
GR	3	<i>Pteromys volans</i>	99.4	GY	2	<i>Pteromys volans</i>	99.7
GY	5	<i>Pteromys volans</i>	99.7	YC	6	<i>Pteromys volans</i>	100
YC	5	<i>Pteromys volans</i>	100	YJ	15	<i>Pteromys volans</i>	99.7
GJ	9	<i>Pteromys volans</i>	100	SB	3	<i>Pteromys volans</i>	99.4
SB	2	<i>Pteromys volans</i>	99.7	GM	8	<i>Pteromys volans</i>	99.7
GM	4	<i>Pteromys volans</i>	100	YY	1	<i>Pteromys volans</i>	100
IJ	7	<i>Pteromys volans</i>	100	IJ	5	<i>Pteromys volans</i>	99.4
SN	4	<i>Pteromys volans</i>	100	Mean±SD		99.7±0.26	

2) 핵 DNA ITS2 메타바코딩 식물 먹이원 분석 결과

가) 핵 DNA ITS2 메타바코딩 결과

- 강원도 양양군 5월(YJ05), 인제군 3월(IJ03)과 5월(IJ05), 경상북도 경주시 3월(GJ03), 영양군의 3월(SB03)과 5월(GM05), 영주시 5월(YJ05), 영천시 3월(YC03)과 5월(YC05), 경기도 성남시 3월(SN03), 충청남도 계룡시 5월(GY05) 등 11개 시료에서는 먹이원 유전자 정보가 수집됨
- YJ05에서 14개 OTU가 검출되어 조사된 시료 중 가장 많았고, GM05 11개, YC05 10개, YY05, IJ03, IJ05는 9개, YC03과 SN03은 8개, GJ03은 7개의 OTU였고, SB03은 6개로 OTU 순으로 나타남
- 전체에서 결정된 ASV 서열은 505개이며, 염기서열의 길이는 240~275 염기쌍(base pair, bp)이었고 해독된 평균 Read count는 18748.2±337.3개/시료, 평균 OTU는 9.2±2.2개/시료로 확인됨(표 5-5)
- 전체적으로 25개 속의 44개 OTU가 검출되었고, 자작나무속(*Betula*), 참나무속(*Quercus*)이 5개 OTU로 가장 많았고, 단풍나무속(*Acer*) 4개, 오리나무속(*Alnus*)과 소나무속(*Pinus*)은 3개, 다래속(*Actinidia*)과 개암나무속(*Corylus*), 진달래속(*Rhododendron*), 느릅나무속(*Ulmus*)은 각각 2개의 OTU가 검출됨
- 또한, 마가목속(*Sorbus*), 서어나무속(*Carpinus*), 환삼덩굴속(*Humulus*), 가래나무속(*Juglans*), 향나무속(*Juniferus*), 잎갈나무속(*Larix*), 싸리속(*Lespedeza*), 메타세쿼이아

속(*Metasequoia*), 굴피나무속(*Platycarya*), 사시나무속(*Populus*), 뱃나무속(*Prunus*), 버드나무속(*Salix*), 때죽나무속(*Styrax*), 주목속(*Texus*), 백리향속(*Thymus*), 피나무속(*Tilia*)에서는 각각 1개의 OTU가 검출됨

표 5-5 | 분변 DNA 메타바코딩 분석(ITS2)에서 검출된 OTU와 read count

DNA sample	ITS2	
	Read count	No. of OTU
YY05	18897	9
IJ03	18980	9
IJ05	18272	11
GJ03	18831	7
GM05	18955	11
SB03	18750	6
YJ05	18058	14
YC03	18972	8
YC05	18999	10
SN03	19020	8
GY05	18496	8
Mean±SD	18748.2±337.3	9.2±2.2

나) 수집 지점별 ITS2 메타바코딩 결과

- 시료별로는 YJ05에서 12개 속, IJ05에서 9개 속, YC05에서 8개 속, YC03에서 7개 속, SN03, GY05, GM05에서 각각 6개 속, IJ03과 YY05에서 각각 5개 속, GJ03과 SB03에서 각각 4개 속의 OTU들이 검출됨
- 지점별로 확인된 OTU 중에서는 소나무속이 전체 11개 시료에서 모두 검출되었고, 오리나무속 9개 시료, 참나무속은 8개 시료, 자작나무속은 6개 시료, 다래속은 5개 시료, 서어나무속과 개암나무속은 각각 4개 시료, 단풍나무속과 뱃나무속은 각각 3개 시료, 환삼덩굴속과 굴피나무속, 진달래속은 각각 2개 시료, 나머지 마가목속, 가래나무속, 향나무속, 잎갈나무속, 싸리속, 메타세쿼이아속, 사시나무속, 버드나무속, 때죽나무속, 주목속, 백리향속, 피나무속, 느릅나무속 등은 각각 1개 시료에서만 검출됨
- 검출된 비율은 오리나무속이 48.47%로 가장 높은 비율을 차지하였고, 다래속 11.57%, 자작나무속 9.09%, 단풍나무속 8.94%, 진달래속 8.76%, 느릅나무속 8.17%, 개암나무속 2.11%, 서어나무속 0.80%, 사시나무속 0.71%, 참나무속 0.43%, 소나무속 0.38%, 때죽나무속 0.15%, 버드나무속 0.14%, 마가목속 0.13%, 잎갈나무속 0.05%, 메타세쿼

이아속 0.02%, 환삼덩굴속과 가래나무속, 향나무속, 싸리속, 굴피나무속, 벗나무속, 주목속, 백리향속, 피나무속은 각각 0.01%로 나타남(그림 5-9)

- 현장조사 결과, 참나무속의 경우 분변이 가장 많이 확인되는 수종의 속으로 확인됨에 따라 시료 검출의 빈도는 높으나 검출된 비율은 낮게 나타나 검출빈도와 비율과의 차이는 존재하는 것으로 확인됨

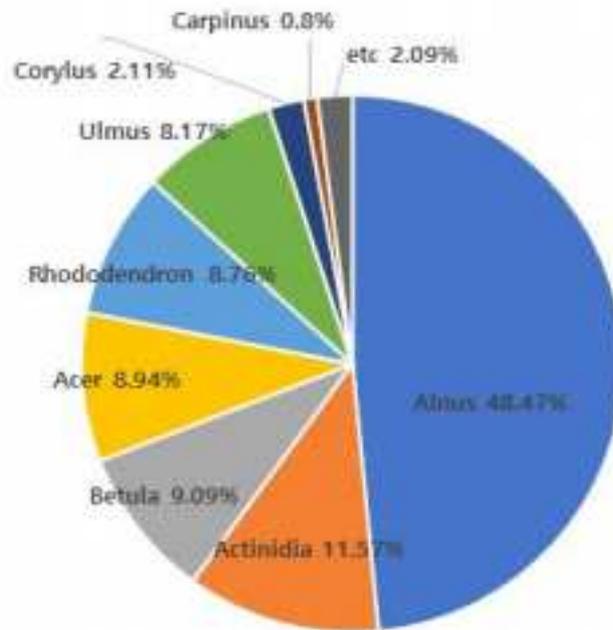


그림 5-9 | ITS2 메타바코딩을 통한 하늘다람쥐 먹이원

#### 다) 시기별 ITS2 메타바코딩 결과

- ITS2 메타바코딩 분석 결과를 시기에 따른 구분 결과, 3월에 수집된 5개 시료들(YC03, GJ03, SB03, IJ3, SN03)에서는 13개 속들이 평균  $5.20 \pm 1.30$ 개/시료로 검출되었고, 5월에 수집된 6개 시료들(YJ05, YY05, IJ05, GY05, GM05, YC05)에서는 21개 속들이  $7.67 \pm 2.58$ 개/시료로 검출됨
- (3월 먹이원) 오리나무속이 70.42%로 가장 높은 비율이었고, 느릅나무속 17.81%, 자작나무속 10.28%, 소나무속 0.58%, 마가목속 0.28%, 다래속 0.23%, 개암나무속 0.22%, 서어나무속 0.05%, 메타세쿼이아속 0.04%, 백리향속 0.02%, 굴피나무속과 벗나무속은 각각 0.01% 순으로 나타남 (그림 5-10)
- (5월 먹이원) 오리나무속이 29.89%로 가장 높은 비율을 나타내었고, 다래속 21.18%, 단풍나무속 16.50%, 진달래속 16.18%, 자작나무속 8.07%, 개암나무속 3.71%, 서어나무

속 1.44%, 사시나무속 1.31%, 참나무속 0.75%, 때죽나무속 0.28%, 버드나무속 0.26%, 소나무속 0.22%, 잎갈나무속 0.09%, 피나무속 0.03%, 환삼덩굴속과 가래나무속, 주목속은 각각 0.02%, 향나무속과 싸리속, 뱀나무속은 각각 0.01%를 나타냄(그림 5-10)

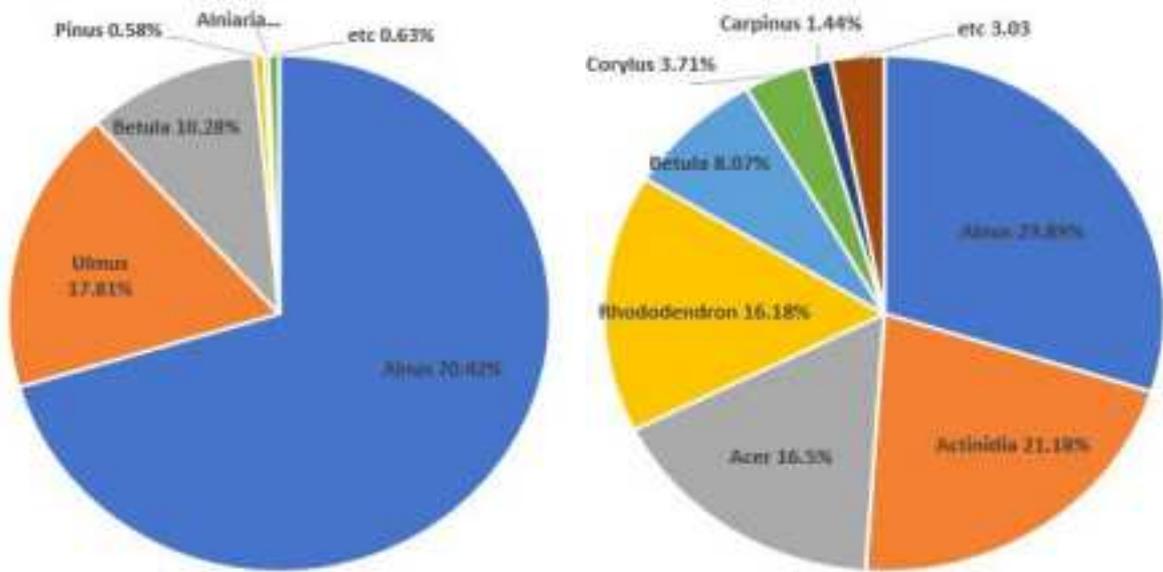


그림 5-10 | ITS2 메타바코딩을 통한 시기별 하늘다람쥐 먹이원 결과 비교

(좌: 겨울철 먹이원, 우: 봄철 먹이원)

### 3) 엽록체 DNA rbcL 유전자 메타바코딩에서 검출된 식물 먹이원

#### 가) 엽록체 DNA rbcL 유전자 메타바코딩 결과

- 강원도 양양군 5월(YJ05), 인제군 3월(IJ03)과 5월(IJ05), 경상북도 경주시 3월(GJ03), 영양군 3월(SB03)과 5월(SB05, GM05), 영주시 5월(YJ05), 영천시 3월(YC03)과 5월(YC05), 경기도 성남시 3월(SN03), 전라남도 구례군 3월(GR03), 함평군 3월(HP03)과 5월(HP05), 충청남도 계룡시 5월(GY05) 등 15개 시료에서 먹이원 유전자 정보가 수집됨
- HP05에서 15개 OTU가 검출되어 조사된 시료 중 가장 많았고, YJ03과 HP03에서 13개의 OTU, GM05, SN03에서는 11개, IJ05는 10개, SB05는 9개, YY05는 8개, GJ03과 YC03은 7개, IJ03과 YC05, GY05는 각각 6개의 OTU였고, SB03과 GR03은 4개로 OTU가 가장 적었음
- 전체에서 결정된 ASV 서열은 379개이며, 염기서열의 길이는 223~275-bp이고 해독된 평균 read count는 31411.3±69.0개/시료, 검출된 평균 OTU는 8.7±3.4개/시료로 확인됨(표5-6)
- 전체적으로 36개 속의 49개 OTU가 검출되었고, 소나무속이 7개의 OTU로 가장 많았

고, 전나무속(*Abies*), 단풍나무속, 생강나무속(*Lindera*), 참나무속, 진달래속, 산딸기속(*Rubus*), 청미래덩굴속(*Smilax*), 느릅나무속은 각각 2개의 OTU가 검출됨

- 또한, 단풍나무속, 다래속, 자작나무속, 양털이끼속(*Brachythecium*), 서어나무속, 개잎갈나무속(*Cedrus*), 팽나무속(*Celtis*), 개암나무속, 삼나무속(*Cryptomeria*), 사슴뿔이끼속(*Hondaella*), 가래나무속, 향나무속, 왕고들빼기속(*Lactuca*), 잎갈나무속, 싸리속, 사과나무속(*Malus*), 가문비나무속(*Picea*), 굴피나무속, 사시나무속, 빛나무속, 낮털거울이끼속(*Pylaisiadelph*), 배나무속(*Pyrus*), 버드나무속, 딱총나무속(*Sambucus*), 옷나무속(*Toxicodendron*), 마삭줄속(*Trachelospermum*), 겨우살이속(*Viscum*)은 각각 1개의 OTU가 검출됨

표 5-6 | 분변 DNA 메타바코딩 분석(ITS2)에서 검출된 OTU와 read count

DNA sample	rbcl	
	Read count	No. of OTU
YY05	31398	8
IJ03	31450	6
IJ05	31464	10
GJ03	31437	7
GM05	31451	11
SB03	31393	4
SB05	31379	9
YJ05	31460	13
YC03	31403	7
YC05	31442	6
SN03	31429	11
GR03	31382	4
HP03	31185	13
HP05	31450	15
GY05	31447	6
Mean±SD	31411.3±69.0	8.7±3.4

## 나) 수집 지점별 rbcL 유전자 메타바코딩 결과

- 시료별로는 YJ05와 HP05에서 각각 12개 속으로 가장 많은 속이 검출되었고, SN03에서 10개 속, HP03과 IJ05에서 각각 9개 속, GM05에서 8개 속, YY05와 SB05에서 각각 6개 속, YC03과 GJ03, IJ03, GR03, GY05, YC05에서는 각각 5개 속, SB03에서 4개 속, GR03에서 2개 속 순으로 검출됨
- 지점별로 확인된 OTU 중에서는 소나무속이 전체 15개 시료에서 모두 검출되었고, 오리나무속 11개 시료, 자작나무속과 참나무속은 각각 8개 시료, 잎갈나무속은 5개 시료, 자작나무속은 6개 시료, 다래속은 5개 시료, 단풍나무속과 서어나무속, 왕고들빼기속, 사시나무속, 벗나무속은 각각 4개 시료, 다래속과 딱총나무속, 느릅나무속은 각각 3개 시료, 개잎갈나무속과 팽나무속, 개암나무속, 털겨울이끼속, 버드나무속, 마삭줄속은 각각 2개 시료, 긴양털이끼속과 삼나무속, 사슴뿔이끼속, 가래나무속, 향나무속, 싸리속, 생강나무속, 사과나무속, 가문비나무속, 굴피나무속, 배나무속, 진달래속, 산딸기속, 청미래덩굴속, 옷나무속, 겨우살이속은 각각 1개 시료에서만 검출됨
- 검출된 비율은 오리나무속이 43.45%로 가장 높은 비율을 차지하였고, 소나무속이 17.50%, 다래속 8.49%, 서어나무속(7.36%), 전나무속 5.96%, 느릅나무속 5.24%, 사시나무속 2.10%, 단풍나무속 1.89%, 잎갈나무속 1.84%, 산딸기속 1.58%, 자작나무속 1.37%, 딱총나무속 1.22%, 진달래속 0.48%, 벗나무속 0.36%, 배나무속 0.27%, 마삭줄속 0.23%, 가래나무속 0.12%, 팽나무속과 개암나무속, 버드나무속은 각각 0.09%, 청미래덩굴속 0.08%, 참나무속 0.05%, 왕고들빼기속 0.04%, 옷나무속과 털겨울이끼속은 각각 0.03%, 싸리속과 사과나무속은 각각 0.02%, 생강나무속과 굴피나무속, 겨우살이속은 각각 0.01%, 긴양털이끼속과 개잎갈나무속, 삼나무속, 사슴뿔이끼속, 가문비나무속은 검출되었으나 미미한 수준으로 확인됨(그림 5-11)

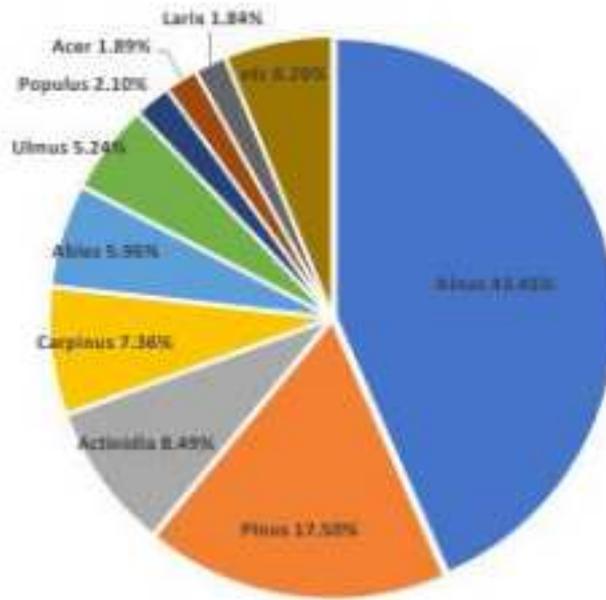


그림 5-11 | rbcL 메타바코딩을 통한 하늘다람쥐 먹이원

#### 다) 시기별 rbcL 유전자 메타바코딩 결과

- rbcL 유전자 메타바코딩 분석 결과를 시기에 따른 구분결과, 3월에 수집된 7개 시료들(IJ03, GJ03, SB03, YC03, SN03, GR03, HP03)에서는 22개 속들이  $5.71 \pm 2.81$ 개/시료로 검출되었고, 5월에 수집된 8개 시료들(YJ05, IJ05, GM05, SB05, YJ05, YC05, HP05, GY05)에서는 31개 속들이  $7.88 \pm 2.90$ 개/시료로 검출됨
- (3월 먹이원) 오리나무속이 62.89%로 가장 높은 비율이었고, 소나무속 23.81%, 느릅나무속 11.23%, 자작나무속 1.35%, 사시나무속 0.23%, 개잎갈나무속과 개암나무속은 각각 0.14%, 마삭줄속 0.10%, 팽나무속 0.06%, 다래속과 사과나무속은 각각 0.04%, 굴피나무속과 벗나무속은 각각 0.03%, 참나무속 0.02%, 삼나무속과 왕고들빼기속, 가문비나무속은 각각 0.01%, 서어나무속과 잎갈나무속, 털거울이끼속, 버드나무속, 딱총나무속은 검출되었으나 미미한 수준으로 확인됨(그림 5-12)
- (5월 먹이원) 오리나무속이 26.46%로 가장 높은 비율이었고, 다래속 15.87%, 서어나무속 13.80%, 소나무속 11.97%, 전나무속 11.18%, 사시나무속 3.73%, 단풍나무속 3.55%, 잎갈나무속 3.45%, 산딸기속 2.95%, 딱총나무속 2.28%, 자작나무속 1.38%, 진달래속 0.89%, 벗나무속 0.64%, 배나무속 0.50%, 마삭줄속 0.34%, 가래나무속 0.22%, 버드나무속 0.18%, 청미래덩굴속 0.14%, 팽나무속 0.12%, 참나무속 0.07%, 왕고들빼기속 0.06%, 털거울이끼속과 옷나무속은 각각 0.05%, 개암나무속 0.04%, 짜리속 0.03%, 긴양털이끼속과 사슴뿔이끼속, 향나무속, 생강나무속, 겨우살이속은 각각 0.01%, 개잎갈나무

속은 검출은 되나 미미한 수준으로 확인됨(그림5-12)

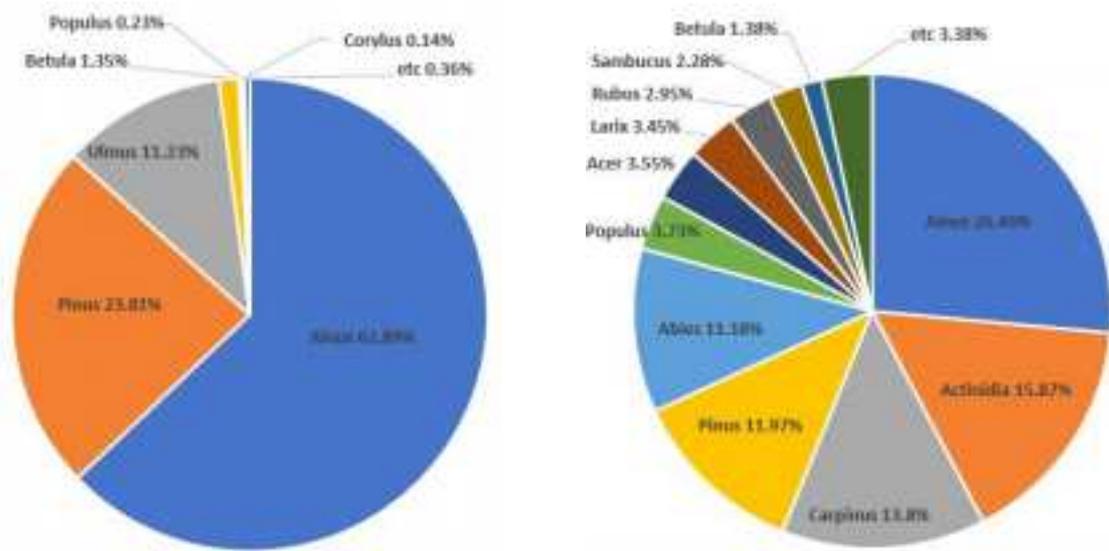


그림 5-12 | rbcL 메타바코딩을 통한 시기별 하늘다람쥐 먹이원 결과 비교

(좌: 겨울철 먹이원, 우: 봄철 먹이원)

#### 4) ITS2와 rbcL 유전자 메타바코딩 비교 및 고찰

##### 가) 메타바코딩 분석에서 확인된 식물 먹이원

- ITS2와 rbcL 유전자 메타바코딩의 결과 차이의 경우, ITS2는 핵 DNA 내에 위치하기 때문에 식물성 소화물에서는 세포 내 핵이 온전히 남아있는 경우에만 유전자 정보가 수집될 수 있으며, rbcL은 식물의 세포소기관 중 하나인 엽록체 내에 위치하기 때문에 세포가 손상되더라도 엽록체 DNA는 남아있을 가능성이 있어 검출되는 수준의 차이를 보이는 것으로 추정됨
- 핵 DNA 성분은 세포소기관인 엽록체 DNA에 비해 자연상태에 노출된 후에는 더 빨리 분해될 가능성이 높기 때문에, 분석 결과가 산출된 시료 수에서 차이를 보였고, 결정된 read count 역시 rbcL 유전자 메타바코딩에서가 ITS2 메타바코딩보다 더 높은 수준을 나타낸 것으로 추정됨
- 따라서, 결과들을 초식동물의 식물 먹이원에 대한 메타바코딩 분석에서는 ITS2나 rbcL 유전자를 단독으로 이용하기보다는 두 유전자 마커를 동시에 사용함으로써 검출할 수 있는 식물의 범주를 넓히고, 서로의 마커를 보완할수 있을 것으로 판단됨
- 또한, 다른 가능성은 유전자 정보를 이용한 분자 종 동정에서 기준이 되는 데이터베이스(NCBI nucleotide database) 내에 해당 종의 서열이 등록되어 있는 정도에 따라 결과

가 달라질 수 있음.

- ITS2와 rbcL 유전자 메타바코딩 결과를 종합했을 때, 산출된 OTU는 총 43속의 76개 OTU로 확인됨
- 검출된 43속의 76개 OTU 중 40개 속의 73개 OTU는 관속식물이었으며, 3개 속의 3개 OTU은 선대식물로 확인됨
- 오리나무속, 자작나무속, 소나무속 등 32개 OTU는 ITS2와 rbcL 유전자 메타바코딩에서 모두 확인되었으나 메타세쿼이아속, 때죽나무속, 피나무속 등 13개 OTU들은 ITS2 분석 결과에서만 확인되었고 긴양털이끼속, 개잎갈나무속, 팽나무속 등 28개 OTU들은 rbcL 유전자 메타바코딩에서만 확인됨(표 5-7)
- 차세대염기서열분석법에 의해 결정된 ITS2 서열 중에서는 0.02~2.99%, rbcL 서열 중에서 0.00~0.18%의 read를 제외한 모든 서열들에 대해 분류학적으로 정의되었고, 특히 rbcL에서는 정의되지 않는 read의 비율이  $0.015 \pm 0.045\%$ 로 확인되어 99.8% 이상의 해독력을 보임(표 5-7)

표 5-7 | ITS2와 rbcL 유전자 메타바코딩 결과의 비교

Analysis	No. of DNA sample analyzed	Overall		No. of genera		No. of OUT		Read sequences	% of undefined reads
		Genus	OUT	Private	Comm	Private	Common		
ITS2	11	24	44	7	17	13	31	18748.2±337.3	0.900±1.197
rbcL	15	36	49	19	17	28	21	31411.3±69.0	0.015±0.046
ITS2+rbcL	15	43	76						

- 본 연구에서 조사된 시료 중 다수에서 검출된 소나무속(ITS2 11개 시료 전체, rbcL 유전자 15개 시료 전체), 오리나무속(ITS2 8개 시료, rbcL 유전자 11개 시료)의 시료별 비율은 소나무속 0.16~96.83%, 오리나무속 0.01~98.53%로 매우 넓은 범위였으나 참나무속(ITS2 8개 시료, rbcL 유전자 7개 시료)은 검출된 지점은 많았으나 시료별 비율은 0.4% 이하로 낮은 수준으로 확인됨
- 이로 인해, 오리나무와 소나무속은 대부분의 지역에서 주요 먹이원으로 이용되고 있다는 일부 해외 연구결과들(Airapetyants and Fokin, 2003; Isii, 2005; Carlson, 2021; Murakami *et al.*, 2021)과 유사함
- 또한, 시료별로 비율이 다른 점은 개체의 식이 활동이 영양 조건이나 행동권, 성별이

나 성장 시기, 서식지 조건 등에 따라 먹이원의 종류뿐만 아니라 한 번에 섭식하는 양에서도 차이 등으로 판단됨(Spitzer *et al.*, 2020; Yamaguchi *et al.*, 2020; Carlson, 2021; Walker *et al.*, 2022)

#### 나) 수집지점별 유전자 메타바코딩

- 수집된 지역에 따라 식물 먹이원 OTU는 ITS2에서는 4개 속(GJ03, SB03)에서 12개 속(YJ05), rbcL 유전자에서는 2개 속(GR03)에서 12개 속(YJ05, HP05)으로 확인됨.
- (ITS2 유전자 분석) 오리나무속은 YC03, SB03, SN03, GY05에서 가장 높은 비율이었고, 자작나무속은 IJ03과 IJ05, 다래속은 YJ05와 YC05, 단풍나무속은 GM05, 느릅나무속은 GJ03, 진달래속은 YY05에서 최고 비율로 확인됨
- (rbcL 유전자 분석) 오리나무속은 IJ03, IJ05, SB03, YC03, SN03, GR03, GY05에서 가장 높은 비율이었고, 다래속은 YJ05와 YC05, 소나무속은 HP03과 HP05, 서어나무속은 GM05와 SB05, 전나무속은 YY05, 느릅나무속은 GJ03에서 높은 비율로 확인됨
- 오리나무속, 소나무속, 느릅나무속, 서어나무속 등 몇몇 속 식물들이 나타내는 비율이 적게는 40%에서 많게는 90% 이상을 차지하고 있어, 하늘다람쥐가 먹이원 식물을 다양하게 이용하지만, 핀란드, 러시아, 일본에서 오리나무속, 자작나무속, 소나무속 등을 주로 선호한다는 연구결과(Airapetyants and Fokin, 2003; Isii, 2005; Carlson, 2021)와 일부 일치하는 것으로 나타남
- 반면 본 연구에서는 다래속, 팽나무속, 가래나무속, 메타세쿼이아속, 굴피나무속, 배나무속, 진달래속, 때죽나무속, 주목속, 윗나무, 마삭줄속, 청미래덩굴속 등 다양한 수종들이 확인되었는데 이는 기존 연구사례를 비추어볼 때 새롭게 검출된 수종으로 확인됨

#### 다) 시기별 유전자 메타바코딩

- 수집 시기별로 3월과 5월을 비교했을 때, ITS2와 rbcL 메타바코딩 결과 모두 전반적으로 5월에 검출되는 OTU 수가 3월보다 더 많아, 더 많은 식물 종들을 먹이원으로 이용하는 것으로 보이고, 3월과 5월에 모두 오리나무속의 비율이 가장 높지만, 5월에는 크게 감소된 양상을 나타내어, 다른 식물 종들에 대한 섭식이 상대적으로 증가된 것으로 확인됨

- (비모수통계) 이에 본 연구에서는 Wilcoxon-test를 통해 통계적으로는 시기별 유의한 차이를 확인하였으며 ITS2 메타바코딩 결과의 경우 근소한 차이로 유의적인 차이가 없는 것으로 확인되었고( $V=107$ ,  $p=0.2189$ ), rbcL 메타바코딩 결과의 경우 유의적인 차이가 있는 것으로 확인됨( $V=132.5$ ,  $p<0.05$ )
- 또한, 같은 지점에서 수집된 인제군과 영천시 3월과 5월 시료에 대한 ITS2 메타바코딩 분석결과와 인제군, 영양군, 영천시, 함평군 등에서 조사된 3월과 5월 시료에 대한 rbcL 유전자 메타바코딩 분석결과에서도 유사한 양상을 보임
- 이상의 결과들은 대부분의 식물들이 아직 싹이 돋지 않은 3월과는 달리, 5월은 거의 모든 식물들이 싹을 돋은 후라는 점에서 하늘다람쥐가 더 다양한 식물을 섭식한다는 것을 판단됨.
- 또한, 육안 관찰과 무인센서카메라 조사에서 4월의 경우 버드나무속 식물의 어린잎, 겨울눈, 화서, 자작나무속의 어린잎들을 먹고, 5월의 경우 버드나무속의 어린잎과 겨울눈, 사시나무속의 겨울눈, 자작나무속의 화서, 참나무속의 잎과 느릅나무와 잎갈나무의 겨울눈을 먹는 등 시기별로 수종과 식이 부위가 다름을 해외사례(Isii, 2005; Asari *et al.*, 2008)를 통해 확인함

##### 5) 분변 출현지점 식생조사와 DNA메타바코딩 결과 비교

- 가) 분변 수집 지점기반 식생조사 결과, 총 45과 71속 109종으로 확인됨(표 5-8)
- 나) 식생조사 수종 목록과 DNA 메타바코딩(ITS2, rbcL) 비교 결과, 식생조사 출현과 유전자 분석 검출이 모두 확인된 수종은 총 28속으로 나타났고 총 13지점 중 10지점 이상 출현 빈도를 보인 오리나무속, 소나무속, 율나무속, 참나무속, 밤나무속, 뽕나무속 등 식생조사 출현과 DNA 메타바코딩 분석을 통해 모두 확인됨
- 다) rbcL 메타바코딩을 통해 확인된 먹이원 수종의 상위 5속 중 전나무속을 제외한 오리나무속, 소나무속, 다래속, 느릅나무속과 ITS2 메타바코딩을 통해 확인된 먹이원 수종의 상위 5속 중 오리나무속, 다래속, 자작나무속, 단풍나무속, 진달래속은 식생조사를 출현을 확인되어 DNA 메타바코딩 분석 결과와 유사하게 확인됨
- 라) 또한, 전나무속의 경우 강원도 양양군 샘플에서 검출된 속으로 식생조사 대상지에 제외되어 반영되지 않아 식생조사와 DNA 메타바코딩 결과가 일치하지 않은 것으로 판단됨

표 5-8 | 식생조사 수종과 DNA 메타바코딩 결과 간 비교

Category		Genus	Korean name	Direct observation	DNA barcoding
Tree and shrub	Broad-leaved tree	<i>Acer</i>	단풍나무속	+	+
		<i>Actinidia</i>	다래속	+	+
		<i>Aesculus</i>	칠엽수속	+	
		<i>Albizia</i>	자귀나무속	+	
		<i>Alnus</i>	오리나무속	+	+
		<i>Aralia</i>	두릅나무속	+	
		<i>Betula</i>	자작나무속	+	+
		<i>Broussonetia</i>	닥나무속	+	
		<i>Callicarpa</i>	작살나무속	+	
		<i>Carpinus</i>	서어나무속	+	+
		<i>Castanea</i>	밤나무속	+	
		<i>Celtis</i>	팽나무속	+	+
		<i>Cornus</i>	층층나무속	+	
		<i>Corylopsis</i>	히어리속	+	
		<i>Corylus</i>	개암나무속	+	+
		<i>Diospyros</i>	감나무속	+	
		<i>Eleutherococcus</i>	오갈피나무속	+	
		<i>Euonymus</i>	화살나무속	+	
		<i>Eurya</i>	사스레피나무속	+	
		<i>Euscaphis</i>	말오줌때속	+	
		<i>Flueggea</i>	광대싸리속	+	
		<i>Fraxinus</i>	물푸레나무속	+	
		<i>Idesia</i>	이나목속	+	
		<i>Juglans</i>	가래나무속	+	+
		<i>Lespedeza</i>	싸리속	+	+
		<i>Ligustrum</i>	쥐똥나무속	+	
		<i>Lindera</i>	생강나무속	+	+
		<i>Magnolia</i>	목련속	+	
		<i>Mallotus</i>	예덕나무속	+	
		<i>Malus</i>	사과나무속		+
<i>Morus</i>	뽕나무속	+			
<i>Paulownia</i>	오동나무속	+			
<i>Platanus</i>	버즘나무속	+			

Category		Genus	Korean name	Direct observation	DNA barcoding
		<i>Platycarya</i>	굴피나무속	+	+
		<i>Populus</i>	사시나무속	+	+
		<i>Prunus</i>	벚나무속	+	+
		<i>Pyrus</i>	배나무속	+	+
		<i>Quercus</i>	참나무속	+	+
		<i>Rhododendron</i>	진달래속	+	+
		<i>Rhus</i>	붉나무속	+	
		<i>Robinia</i>	아까시나무속	+	
		<i>Rubus</i>	산딸기속		+
		<i>Salix</i>	버드나무속	+	+
		<i>Sambucus</i>	딱총나무속		+
		<i>Sorbus</i>	마가목속	+	+
		<i>Staphylea</i>	고추나무속	+	
		<i>Stephanandra</i>	국수나무속	+	
		<i>Stewartia</i>	노각나무속	+	
		<i>Styrax</i>	때죽나무속	+	+
		<i>Symplocos</i>	노린재나무속	+	
		<i>Thymus</i>	백리향속		+
		<i>Tilia</i>	피나무속	+	+
		<i>Toxicodendron</i>	옻나무속	+	+
		<i>Ulmus</i>	느릅나무속	+	+
		<i>Vaccinium</i>	산앵도나무속	+	
		<i>Viburnum</i>	산분꽃나무속	+	
		<i>Weigela</i>	병꽃나무속	+	
	<i>Zanthoxylum</i>	초피나무속	+		
	Coniferous tree	<i>Zelkova</i>	느티나무속	+	
		<i>Abies</i>	전나무속		+
		<i>Cedrus</i>	개잎갈나무속		+
		<i>Chamaecyparis</i>	편백속	+	
		<i>Cryptomeria</i>	삼나무속	+	+
		<i>Juniperus</i>	향나무속	+	+
		<i>Larix</i>	잎갈나무속	+	+
<i>Metasequoia</i>		메타세쿼이아속		+	
<i>Picea</i>	가문비나무속		+		

Category		Genus	Korean name	Direct observation	DNA barcoding
Climbing and parasitic plants		<i>Pinus</i>	소나무속	+	+
		<i>Taxus</i>	주목속		+
		<i>Akebia</i>	으름덩굴속	+	
		<i>Celastrus</i>	노박덩굴속	+	
		<i>Dioscorea</i>	마속	+	
		<i>Parthenocissus</i>	담쟁이덩굴속	+	
		<i>Pueraria</i>	칩속	+	
		<i>Schisandra</i>	오미자속	+	
		<i>Smilax</i>	청미래덩굴속	+	+
		<i>Taxillus</i>	참나무겨우살이속	+	
		<i>Trachelospermum</i>	마삭줄속	+	+
		<i>Viscum</i>	겨우살이속		+
		<i>Vitis</i>	포도속	+	
Herb		<i>Humulus</i>	환삼덩굴속		+
		<i>Lactuca</i>	상추속		+
		<i>Paederia</i>	계요등속	+	
Moss		<i>Brachythecium</i>	양털이끼속		+
		<i>Hondaella</i>	사슴뿔이끼속		+
		<i>Pylaisiadelph</i>	낮털거울이끼속		+

## 라. 하늘다람쥐 서식지 개선활동

### 1) 대상지 내 인공소상 설치 결과(그림 5-13)

- 가) (대상지 현황) 대상지와 인접한 산불피해 지점은 전소된 수목 별채가 이루어져 하늘다람쥐 서식지가 일부 소실되었고, 연구대상지의 전소지의 경우 습지와 인접하여 고사되지 않은 수종이 다수 분포하는 것으로 확인되어 별채가 이루어지지 않고 있음
- 나) 경상북도 영양군 석보면 일원에 총 64개의 하늘다람쥐 인공소상을 설치 완료함
- 다) 산불피해로 자연동지의 소실로 번식지 및 안식처 공급을 위해 습지와 인접한 산불전소지역 내 24개, 산불 피해지역과 인접한 미피해지역 내 24개를 설치함(그림 5-13)

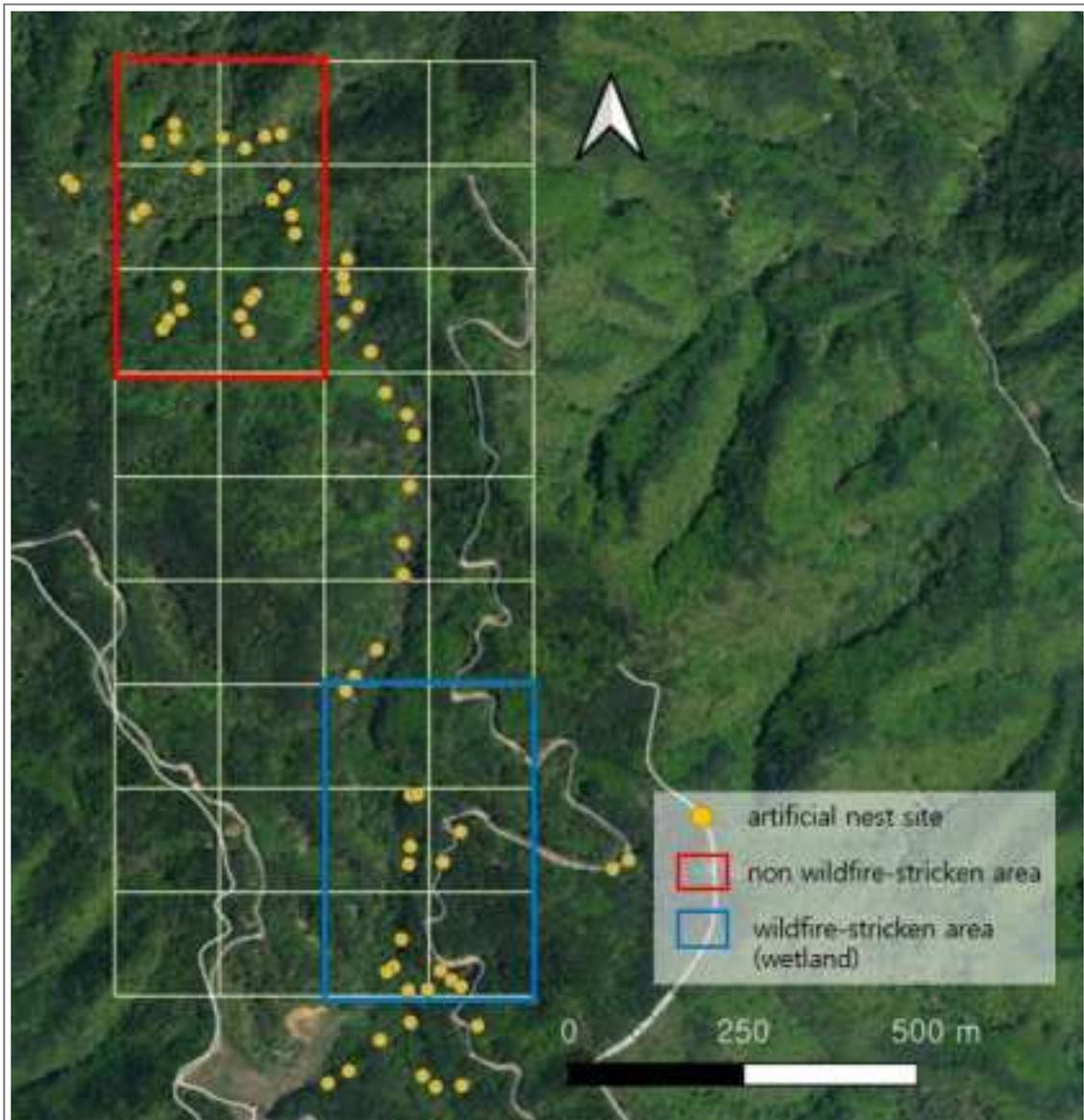


그림 5-13 | 하늘다람쥐 인공소상 설치 현황

- 라) 또한, 두 지역 간 연결성 및 먹이원 수종 방향의 유도를 위하여 16개의 인공 소상을 추가로 설치함
- 마) 향후, 설치 지점에 대한 환경특성자료 수집을 위한 현장조사표 작성 및 주기적인 장기 모니터링 수행을 통해 산불 피해 이후 하늘다람쥐 생존 유무 및 유입 여부를 확인하고자함



그림 5-14 | 하늘다람쥐 인공소상 설치 결과

(a: 대상지 인접 내 산림벌채, b: 전소지역 내 습지인접 대상지  
c: 인공소상 설치, d: 대상지 내 설치된 인공소상)

#### 마. 야생생물 특별보호구역 후보지 제안

##### 1) 강원특별자치도 인제군 남면 정자리 일원

- 가) (분변 출현) 시기별 조사를 통해 분변 출현 빈도가 가장 높은 지점으로 분류되고 겨울철 분장형태의 분변 흔적을 미루어볼 때 해당 연구대상지는 하늘다람쥐의 개체군이 일정 수준이 유지되는 것으로 추정됨(그림 5-15)
- 나) (먹이원) 본 연구를 통해 하늘다람쥐 주요 먹이원으로 확인된 수종인 오리나무속, 소나무속, 자작나무속, 소나무속, 다래속 등의 수종이 모두 확인되는 혼효림으로 확인되며 그 외 먹이원으로 활용되는 수종이 다양하게 확인됨
- 다) (자연동지) 해당 연구대상지의 경우 오리나무속, 참나무속 등의 출현 피도값이 높게 나타났으며 자연동지로 주로 활용되는 수종인 사시나무속인 은사시나무의 피도값이 높게 나타났고 그 외 자연동지로 이용할 수 있는 자작나무, 물오리나무 등을 수종이

다양하게 출현함을 확인함

- 라) (자연등지) 등지의 속재료로 이용하는 목본성 덩굴인 칩속, 으름덩굴속이 확인되어 번식 및 개체군 유지 무리가 없을 것으로 판단됨
- 마) (위협요인) 강원도 산간의 임도로 관리되는 산림 내 지점으로 자연적인 천적의 위협은 존재하고 민가가 비교적 인접하고 있으나 대상지 인근 구조물이나 잦은 인간 출입 등의 인위적인 간섭은 낮은 것으로 판단됨(그림 5-15)
- 바) 위 내용을 종합하여 판단할 때 본 연구대상지를 야생생물 특별보호구역으로 제안하여 하늘다람쥐의 서식지를 보존하고자 함



그림 5-15 | 야생생물 특별보호구역 후보지 대상지 현황

(좌: 대상지 전경, 우: 겨울철 분변 형태)

## 4 결론

- 가. 본 연구를 통해 전국 13개 지점에서 수집한 하늘다람쥐 분변을 DNA 메타바코딩 방법으로 43개 속 76개의 OTU 정보를 획득함
- 나. 산출된 먹이원 정보는 기존에 해외에서 연구된 결과들과 유사하게 교목성 활엽수와 침엽수를 주 먹이원으로 선호하는 결과를 보였으나, 이용 양상과 비율이 시기에 따라 달랐음
- 다. 지역에 따라 먹이원이 차이를 보이는 경우는 하늘다람쥐가 해당 지역의 환경에 잘 적응하여 서식하는 서식지 내에서 가용할 수 있는 자원을 이용한 데에서 기인한 결과로 판단되며, 먹이원에 대한 DNA 메타바코딩 분석에서 시료의 신선도가 결과에 중대한 영향을 주고 있음이 재확인되었고, 핵 DNA 마커와 엽록체 DNA 마커를 함께 분석함으로써 기존의 연구에서 보고된 먹이원의 범주보다 폭넓은 범주의 식물들을 이용하고 있음을 확인함
- 라. 현장조사 비교 결과, 주로 분변이 출현된 참나무속과 실제 먹이원으로 섭식하는 주요수종인 오리나무속, 소나무속 등으로 분변출현 수종과 주요 먹이원 수종과의 차이가 존재함을 확인함
- 마. 산불 피해지역의 인공소상 설치의 경우, 단기간으로는 성과가 없을 수는 있으나 향후 장기적인 관리를 통해 산불 피해지역의 하늘다람쥐 서식지 연구를 수행 가치가 있을 것으로 판단됨
- 바. 이번 연구에서는 ITS2에서 같은 지점 2개소, rbcL 유전자에서는 4개소에서 다른 시기 (3월, 5월) 시료에 대한 자료를 산출하여 비교할 수 있었으나, 더 많은 지점에서 다른 시기에 해당하는 시료들이 분석되고, 이번에 다루지 못한 여름, 가을철 시료에 대한 정보가 추가적인 습득이 필요해 보임
- 사. 그럼에도 불구하고 이번 연구결과들은 다양한 서식지에서 공통으로 검출된 주 먹이원 식물들을 확인하였고, 지점 및 시기에 따라 달라지는 이용 양상, 서식지의 환경과 연관된 먹이원 이용 등에 대한 정보가 수집됨으로써, 향후 하늘다람쥐의 서식지 관리 뿐만 아니라 구조개체의 관리와 대체 서식지 조성 등 하늘다람쥐 개체군 보호와 생태적 관리방안 마련, 연관된 멸종위기종 보전정책 수립에 있어 매우 중요한 기초자료가 될 것으로 판단됨

# VI

## 참고문헌



## VI. 참고문헌

- Airapetyants, A. E. & Forkin, I. M. (2003). Biology of the European flying squirrel *Pteromys volans* L.(Rodentia: Pteromyidae) in the North-West of Russia. *Russian Journal of Theriology*, 2, 105-113.
- Ando, M., Shiraishi, S., & Uchida, T. A. (1985). Food habits of the Japanese giant flying squirrel, *Petaurista leucogenys*. *Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University*, 29(4), 189-202.
- Asari, Y., Toujiyo, S., & Yanagawa, H. (2009). Study on the conservation countermeasure for the Siberian flying squirrel based on the ecological. *In Proceedings of the 7th Annual Meeting of the Symposium on Wild Life and Traffic*, 22, 67-72.
- Asari, Y., Yamaguchi, Y. & Yanagawa, H. (2008). Field observations of the food items of the Siberian flying squirrel, *Pteromys volans orii*. *Journal of the Japanese Wildlife Research Society*, 33, 7-11.
- Aulagnier, S. *et al.* (2009). *Mammals of Europe, North Africa and the Middle East*, 164-165. London: A & C Black Publishers Ltd.
- Berry, T. E. *et al.* (2017). DNA metabarcoding for diet analysis and biodiversity: A case study using the endangered Australian sea lion (*Neophoca cinerea*). *Ecology and Evolution*, 7(14), 5435-5453.
- Borthakur, U. *et al.* (2011). Noninvasive genetic monitoring of tiger (*Panthera tigris tigris*) population of Orang National Park in the Brahmaputra floodplain, Assam, India. *European Journal of Wildlife Research*, 57(3), 603-613.
- Byun, J. G. *et al.* (2013). Vegetation Structure of *Pedicularis ishidoyana* Koidz. & Ohwi in South Korea Natural Habitats. *Korean Journal of Plant Resources*, 26(2), 214-226.
- Carlson, H. (2021). What does the Siberian flying squirrel eat?, Master' s thesis, University of Helsinki. Finland.
- Chang, M. H., Kim, J. H., & Park, C. R. (2021). Effect of coastal dune restoration on the

- population of endangered *Eremias argus* in the Republic of Korea. *Journal of Coastal Conservation*, 25(4), 57-68. <https://doi.org/10.1007/s11852-021-00824-7>
- Chapagain, D. J., Meilby, H., & Ghimire, S. K. (2019). Plant density and life history traits of *Aconitum spicatum* in North-central Nepal: effects of elevation and anthropogenic disturbances. *PeerJ*, 7, e7574.
  - Cho, E. & Son, D. (2024). Environmental characteristics, including soil and vegetation composition, in relation to the occurrence patterns of an endangered lizard, *Eremias argus*, in a fluvial island, South Korea. *Nature Conservation*, 55, 21-39. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.55.113483>
  - Cho, H. J., Kim, D. H., Kang, T. H., Kim, I. K., & Lee, J. W. (2013). Basic research on the habitat characteristics of endangered species *Pteromys volans*. *Korean Journal of Environment and Ecology*, 27(5), 544-549.
  - Cho, W. (2010). Distribution of Korean Pedicularis and taxonomic position of *P. ishidoyana*. Master's thesis. Inha University, Incheon.
  - Chung, G.Y. et al. (2007). Distribution of Vascular Plants in Geommasan (Yeongyang, Gyeongbuk). *Korean Journal of Plant Resources*, 20(4), 281-291.
  - De Barba, M., et al. (2010). The power of genetic monitoring for studying demography, ecology and genetics of a reintroduced brown bear population. *Molecular Ecology*, 19(18), 3938-3951.
  - Deme, G. G., Hao, X., Ma, L., Sun, B., & Du, W. (2022). Elevational variation in reproductive strategy of a widespread lizard: High-elevation females lay fewer but larger eggs. *Asian Herpetological Research*, 13(3), 198-204. <https://doi.org/10.16373/j.cnki.ahr.210068>
  - Han, C. W. et al. (2018). Seasonal characteristics of fecal sites of the Siberian flying squirrel *Pteromys volans*. *Journal of Forest and Environmental Science*, 34(2), 184-187.
  - Han KS, Jeon JI & Lee JS. (2013). Apr. A pollinating insect of the endangered species, *Aconitum coreanum* (Lev.) Lev. *Proceedings of the Korean Society of Applied Entomology Conference.*, 218.
  - Harlow, R. F. & Doyle, A. T. (1990). Food habits of southern flying squirrels (*Glaucomys volans*) collected from red-cockaded woodpecker (*Picoides borealis*) colonies in South Carolina. *The American Midland Naturalist*, 124(1), 187-191.

- He, F. *et al.* (2018). Metagenomic analysis of captive Amur tiger faecal microbiome. *BMC Veterinary Research*, 14(1), 379.
- Helmick, K. R., Barrett, T. L. & Barrett, G. W. (2014). Dietary resource preference of the southern flying squirrel(*Glaucomys volans*). *The American Midland Naturalist*, 171(2), 371-374.
- Huang, X. *et al.* (2016). Diets structure of a common lizard *Eremias argus* and their effects on grasshoppers: Implications for a potential biological agent. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 19(1), 133-138. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2015.12.013>
- Hwang, S. H. *et al.*, (2020). Flora of the vascular plants of the Baekdudaegan conservation area: Deok-chi to Yuk-sim-nyeong. *Korean Journal of Plant Taxonomy*, 50(1), 56-79.
- Isii, N. (2005). Japanese flying squirrel *Pteromys volans*(Linnaeus, 1758). In H. Abe (Ed.), *A guide to the mammals of Japan*, 124. Hadano, Japan: Tokai University Press.
- Joe K. (2019). Molecular Identification and Chemical Analyses of Korean Herbal Medicines. Seoul: Seoul National University. (in Korean with English abstract)
- Jung, M. & Moon, H. (2021). The Vascular Plants of Nojasan(Mt.) of Geoje-do, Gyeongnam-do. *the Journal of Korean Island*, 33(2), 165-187.
- KFS (Korea Forest Service) (2021) *2020 Forest Basic Statistics* (Original work in Korean: 2020년 산림기본통계). Daejeon: Korea Forest Service
- Kim, J. K., Lee, J. H. & Park, D. (2010). Morphological characteristics and age structure of *Eremias argus* from coastal dunes in Korea. *Journal of Ecology and Field Biology*, 33(4), 325-332. <https://doi.org/10.5141/JEFB.2010.33.4.325>
- Kim, J. W. (2018). Study on morphology, ecology and genetics of Siberian flying squirrel(*Pteromys volans*) in Korea. Ph. D. Thesis, *Seoul National University*.
- Kim Y-C *et al.* (2016). The status of endangered plants distributed in the Middle Eastern area of Korea and evaluation of the risk factors. *Korean J. Environ. Ecol*, 30(3), 291-307. doi:10.13047/KJEE.2016.30.3.291. (in Korean with English abstract)
- Kim, Yongsung, *et al.* (2019), "The complete chloroplast genome of *Aconitum coreanum* (H. Lév.) Rapaics (Ranunculaceae)." *Mitochondrial DNA Part B* 4.2 : 3404-3406.
- Koo, K. A., Kong, W. S., Nibbelink, N. P., Hopkinson, C. S. & Lee, J. H. (2015). Potential

- effects of climate change on the distribution of cold-tolerant evergreen broadleaved woody plants in the Korean Peninsula. *PLoS One*, 10(8), e0134043. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0134043>
- Kwon, S. W. (2025). Floristic Study of Mt. Myeongji (Gapyeong-gun) in Korea. *Korean Journal of Plant Resources*, 38(1), 39-63
  - Lesmerises, R. *et al.* (2015). Linking GPS telemetry surveys and scat analyses helps explain variability in black bear foraging strategies. *PLoS One*, 10(7), e0129857.
  - Li, W. *et al.* (2023). Chromosome-level genome assembly and population genomics of Mongolian racerunner (*Eremias argus*) provide insights into high-altitude adaptation in lizards. *BMC biology*, 21(1), 40.
  - Lim, S. J., Kim, K. Y., Kim, E. K., Han, C. W., & Park, Y. C. (2021). Distribution and habitat use of endangered Siberian flying squirrel *Pteromys volans*(Rodentia: Sciuridae). *Journal of Ecology and Environment*, 45(1), 17.
  - National Institute of Ecology(NIE). (2023). Endangered Wildlife at a glance. Gyeongsangbuk-do, KOREA: National Institute of Ecology
  - Nyirimigabo, E., Xu, Y., Li, Y., Wang, Y., Agyemang, K., & Zhang, Y. (2015). A review on phytochemistry, pharmacology and toxicology studies of Aconitum. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 67(1), 1-19.
  - Maloukh, L., *et al.* (2017). Discriminatory power of rbcL barcode locus for authentication of some of United Arab Emirates(UAE) native plants. *3 Biotech*, 7(2), 144.
  - McInnes, J. C., *et al.* (2016). Simultaneous DNA-based diet analysis of breeding, non-breeding and chick Adélie penguins. *Royal Society Open Science*, 3(1), 150443.
  - Murakami, S., *et al.* (2021). Analysis of feeding habit of small rodent by DNA metabarcoding: Seasonal change of feeding habit of *Pteromys volans orii*. *Research Bulletin of Obihiro University*, 42, 77-86.
  - Park, H. C. *et al.* (2014). Population genetic structure of endangered Mongolian racerunner (*Eremias argus*) from the Korean Peninsula. *Molecular biology reports*, 41(11), 7339-7347.
  - Park, S. U. *et al.* (2023). Projection of Potential Habitat Change and Fragmentation of the Endangered Species *Aconitum coreanum* under Climate Change. *Journal of climate change research*, 14(1), 67-81.

- Pompanon, F., *et al.* (2012). Who is eating what: Diet assessment using next generation sequencing. *Molecular Ecology*, 21, 1931–1950.
- Riahi, K. *et al.* (2011). RCP 8.5—A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change*, 109(1), 33. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0149-y>
- Schultz, A. J. *et al.* (2018). Fresh is best: Accurate SNP genotyping from koala scats. *Ecology and Evolution*, 8(6), 3139–3151.
- Schwartz, M. K., Luikart, G., & Waples, R. S. (2007). Genetic monitoring as a promising tool for conservation and management. *Trends in Ecology & Evolution*, 22(1), 25–33.
- Shrestha, B. B., & Jha, P. K. (2010). Life history and population status of the endemic Himalayan *Aconitum naviculare*. *Mountain Research and Development*, 30(4), 353–364.
- Smith, A. T. & Xie, Y. (2008). *A guide to the mammals of China*, 180–181. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Spitzer, R. *et al.* (2020). Fifty years of European ungulate dietary studies: a synthesis. *Oikos*, 129, 1668–1680.
- Stansbury, C. R., *et al.* (2014). A long-term population monitoring approach for a wide-ranging carnivore: Noninvasive genetic sampling of gray wolf rendezvous sites in Idaho, USA. *Journal of Wildlife Management*, 78(16), 1040–1049.
- Stoddard, H. L. (1920). The flying squirrels as a bird killer. *Journal of Mammalogy*, 1, 95–96.
- Thysell, D. R., *et al.* (1997). Observations of northern flying squirrel feeding behavior: Use of non-truffle items. *Northwestern Naturalist*, 78, 87–92.
- Tian, L. *et al.* (2024). Range-wide phylogeography and ecological niche modeling provide insights into the evolutionary history of the Mongolian racerunner (*Eremias argus*). *Animals*, 14(1), 33. <https://doi.org/10.3390/ani14010033>
- Travadi, T., *et al.* (2023). A combined approach of DNA metabarcoding collectively enhances the detection efficiency of medicinal plants in single and polyherbal formulations. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1169984.
- Walker, R. H., *et al.* (2022). Mechanisms of individual variation in large herbivore diets: Roles of spatial heterogeneity and state-dependent foraging. *Ecology*, 104, e3921.
- Wang, Y., Tong, X., Li, J., Yang, M., & Wang, Y. (2025). Impacts of climate change and

- human activities on vegetation productivity in China. *Remote Sensing*, 17(10), 1724. <https://doi.org/10.3390/rs17101724>
- Weigl, P. D. (1968). The distribution of the flying squirrel(*Glaucomys volans*): An evaluation of the competitive exclusion idea, Ph. D. Dissertation. Duke University, Durham, NC).
  - Wilson, D. E., *et al.* (2016). *Handbook of the mammals of the world(Vol. 6: Lagomorphs and Rodents I*, 776-777. Barcelona: Lynx Edicions.
  - Won, P. H. (1967). *Illustrated Encyclopedia of Fauna & Flora of Korea, Vol. 7 Mammals*, 180-187. Seoul, Republic of Korea: Ministry of Education.
  - Woo, D., Choi, T., Lee, S., & Ha, J. (2013). A study on dropping behavior and survey improvement methods for Siberian flying squirrel(*Pteromys volans*). *Journal of Environmental Impact Assessment*, 22(6), 569-579.
  - Yamaguchi, M., *et al.* (2020). Resource use of Siberian flying squirrel *Pteromys volans* in naturally regenerated deciduous forests on Hokkaido Island, Japan. *Research Bulletin of Obihiro University*, 41, 40-53.
  - Yoon, M. H., Han, S. H., Oh, H. S., & Kim, J. G. (2004). *The Mammals of Korea*, 111-113. Seoul: Dongbangmedia.
  - You, J. H. & Kwon, S. Y. (2018). Vascular Plants of Mt. Manhobong in Mt. Tohamsan District, Gyeongju National Park. *Korean Journal of Plant Resources*, 31(5), 575-589.
  - You, J. & Kwon, S. (2020). Analysis on Vegetation Characteristics of Special Protected Areas in Gyeongju National Park - Focused on *Pedicularis ishidoyana* Koidz. & Ohwi, *Millettia japonica* (Siebold & Zucc.) A.Gray and *Cypripedium macranthos* Sw. Populations -. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology*, 23(3), 45-62.
  - Yuqi, W. *et al.* (2023). Vegetation characteristics and assessment of habitat suitability for *Pedicularis ishidoyana* Koidz. & Ohwi (Scrophulariaceae) community. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, 16(4), 605-614.
  - Zhu, K. *et al.* (2024). Rapid shifts in grassland communities driven by climate change. *Nature Ecology & Evolution*, 8(12), 2252-2264.



ISBN 000-00-000-0000-0

