

연구보고서(연차)

NIE-B-2024-34

2024년 멸종위기 야생생물 서식지 연구

- 산작약, 서울개발나물, 선제비꽃, 하늘다람쥐 -

Study of endangered wildlife habitats in 2024

- *Paeonia obovata*, *Pterygopleurum neurophyllum*,
Viola raddeana, *Pteromys volans* -

NATIONAL
INSTITUTE OF ECOLOGY

연구보고서(연차)

NIE-B-2024-34

2024년 멸종위기 야생생물 서식지 연구
-산작약, 서울개발나물, 선제비꽃, 하늘다람쥐-

Study of endangered wildlife habitats in 2024

-*Paeonia obovata*, *Pterygopleurum neurophyllum*, *Viola raddeana*, *Pteromys volans*-

도재화, 이병두, 정진우, 김민한, 김선령, 이승은, 박선욱, 문상균

2024

국립생태원

National Institute of Ecology

참여연구진

연구책임자	도재화	책임연구원(연구책임자)
연구참여자(내부)	이병두	선임연구원
	정진우	선임연구원
	김민한	전임연구원
	김선령	전임연구원
	이승은	전임연구원
	박선옥	전임연구원
	문상균	과장
연구참여자(외부)	박수곤	프리랜서
	임춘우	동국대학교
자문의원(내부)	윤영준	식물팀
	이학봉	복원기획팀
	윤광배	포유류팀
자문의원(외부)	김성현	영남대학교
	송영근	서울대학교
	남기흠	국립생물자원관
	김성철	에코넷
	최지영	서울대학교
	임치홍	서울여자대학교
	이화진	야생동물연합

본 연구진은 연구윤리를 준수하였음을 서약합니다.

<목 차>

I. 연구배경 및 개요	6
1. 연구배경 및 목적	6
2. 연구개요	8
II. 산작약	12
1. 기초생태자료 및 연구대상지 선정	12
2. 연구방법	16
3. 연구결과	19
4. 결론	26
III. 서울개발나물	27
1. 기초생태자료 및 연구대상지 선정	27
2. 연구방법	29
3. 연구결과	32
4. 결론	42
IV. 선제비꽃	43
1. 기초생태자료 및 연구대상지 선정	43
2. 연구방법	45
3. 연구결과	48
4. 결론	59
V. 하늘다람쥐	60
1. 기초생태자료 및 연구대상지 선정	60
2. 연구방법	62
3. 연구결과	67
4. 결론	83
IV. 참 고 문 헌	84

〈표 목차〉

〈표 2-1〉 산작약 분류학적 정보 및 특성	12
〈표 2-2〉 산작약 문헌조사	13
〈표 2-3〉 산작약 서식지 특성	13
〈표 2-4〉 산작약 공간자료 수집	14
〈표 2-5〉 식생조사 항목	16
〈표 2-6〉 산작약 출현지점 종조성	19
〈표 2-7〉 모델 예측력 평가 결과	20
〈표 2-8〉 모델에 사용된 변수의 기여도 및 중요도	21
〈표 2-9〉 위협평가 내용	25
〈표 3-1〉 서울개발나물의 종 정보 및 특성	27
〈표 3-2〉 서울개발나물 관련 문헌	33
〈표 3-3〉 서울개발나물 자생지 토양분석	35
〈표 3-4〉 서울개발나물 자생지 식생조사 결과	36
〈표 3-5〉 서울개발나물 개체수 변화	39
〈표 4-1〉 선제비꽃의 종 정보 및 특성	43
〈표 4-2〉 선제비꽃 관련 문헌	48
〈표 4-3〉 선제비꽃 자생지 토양분석	52
〈표 4-4〉 선제비꽃 자생지 식생조사 표	53
〈표 4-5〉 선제비꽃 서식지 위협분석	54
〈표 4-6〉 선제비꽃 개체수 변화	56
〈표 5-1〉 하늘다람쥐 종 정보 및 특성	60
〈표 5-2〉 현장조사 수집항목	62
〈표 5-3〉 공간자료 수집항목	63
〈표 5-4〉 하늘다람쥐 생태 및 서식지 특성 문헌 조사 결과	67
〈표 5-5〉 하늘다람쥐 출현지점 내 출현 수종	71
〈표 5-6〉 주성분별 고유값 및 중요도	78
〈표 5-7〉 선정된 주성분의 변수별 Loading score	79
〈표 5-8〉 하늘다람쥐 출현지점 내 출현수종 빈도	82

〈그림 목차〉

〈그림 2-1〉 산작약의 분포	14
〈그림 2-2〉 산작약 공간특성	15
〈그림 2-3〉 산작약 임상특성	15
〈그림 2-4〉 모델에 사용된 변수	17
〈그림 2-5〉 중복 데이터 제거(예시)	18
〈그림 2-6〉 모델 AUC 결과	20
〈그림 2-7〉 변수 response cure	22
〈그림 2-8〉 산작약 MaxEnt 결과	24
〈그림 3-1〉 서울개발나물 전국 분포 현황	28
〈그림 3-2〉 서울개발나물 자생지 현장조사	29
〈그림 3-3〉 서울개발나물 자생지 관리 및 검증	30
〈그림 3-4〉 소형무인멀티콥터 구동	31
〈그림 3-5〉 서울개발나물 자생지 현장조사	34
〈그림 3-6〉 서울개발나물 군집분석 결과	37
〈그림 3-7〉 서울개발나물 분포 면적 비교	38
〈그림 3-8〉 원동습지 NDVI 비교	40
〈그림 3-9〉 원동습지 NDVI 비교(상세)	41
〈그림 4-1〉 선제비꽃 연구대상지	44
〈그림 4-2〉 자생지 토양 분석	45
〈그림 4-3〉 선제비꽃 자생지 관리 및 검증	47
〈그림 4-4〉 소형무인멀티콥터 구동	47
〈그림 4-5〉 양산 선제비꽃 자생지	49
〈그림 4-6〉 연천 선제비꽃 자생지	50
〈그림 4-7〉 철원 선제비꽃 자생지	51
〈그림 4-8〉 선제비꽃 군집분석 결과	55
〈그림 4-9〉 선제비꽃 분포 면적 비교	56
〈그림 4-10〉 원동습지 NDVI 비교	57
〈그림 4-11〉 선제비꽃 자생지 인근 NDVI 비교	58
〈그림 5-1〉 하늘다람쥐 연구대상지	61
〈그림 5-2〉 반경 내 공간자료 추출	65

<그림 5-3> 하늘다람쥐 서식지 지형 특성	69
<그림 5-4> 수종별 하늘다람쥐 자연등지 이용 수종	70
<그림 5-5> 하늘다람쥐 출현지점 내 수종정보 수집 결과	72
<그림 5-6> 하늘다람쥐 서식지 내 위협요인	73
<그림 5-7> 하늘다람쥐 출현지점 반경기준의 해발고도 값 추출 결과	74
<그림 5-8> 출현지점 별 지형변수 면적비율	75
<그림 5-9> 출현지점 별 산림환경변수 면적비율	77
<그림 5-10> 주성분분석에 따른 주성분별 고유값	78
<그림 5-11> 주성분분석 결과	80
<그림 5-12> 하늘다람쥐 출현지점 내 수종을 이용한 군집분석 결과	82

요 약 문

본 과제는 멸종위기 야생생물의 서식지를 과학적으로 분석하여 안정적인 서식환경 조성 및 보전 전략 수립에 필요한 기초 자료를 제공하기 위해 수행되었다. 서식지 분석과 더불어, 서식지 연구의 범위를 확장하여 서식지 개선을 통해 야생개체군의 변화를 모니터링하고 분석하였으며, 인위적 개입이 야생 개체군에 미치는 영향을 평가하였다. 2024년 연구 대상 종으로는 산작약, 서울개발나물, 선제비꽃, 하늘다람쥐를 선정하였다.

(산작약) 멸종위기 야생생물 II급 산작약 분포와 서식지 특성을 규명하고 보전 전략을 제시하기 위해 본 연구를 수행하였다. 산작약은 수관밀도 70% 이상의 반음지~음지 환경에서 주로 분포하며, 광환경 조건이 분포에 중요한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 토양은 식양토를, 지질은 퇴적지대를 선호하며, 강원 남부, 대구광역시, 경상남도 일부 지역에서 분포 적합도가 높은 것으로 확인되었다. 해발고도 900m 이상에서는 분포가 급격히 감소하였으며, 계곡 및 하천으로부터 500m 이내, 경사도 15° ~30° 인 북사면 지역에서 주로 서식하는 것으로 확인되었다. 다양한 임상에서 확인되었으나 임상 자체는 분포에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 주요 위협 요인으로는 관상용 무분별 채집과 서식지 훼손이 지적되었으며, 이러한 요인은 개체군 소멸을 가속화시킬 수 있다. 본 연구는 산작약의 서식지 특성을 밝히고, 서식지 보존과 함께 무분별 채집 규제 필요성을 강조하며, 이를 통해 산림 생태계의 생물다양성 보전에 기여하고자 한다.

(서울개발나물) 멸종위기 야생생물 II급인 서울개발나물(*Pterygopleurum neurophyllum*)의 국내 유일 자생지인 경상남도 양산시 원동습지의 환경 특성을 파악하고 효과적인 서식지 관리 방안을 모색하였다. 조사 결과, 서울개발나물은 물억새 군락 내에서 주로 서식하며, 자생지는 약산성을 띠고 높은 습도를 유지하는 특징을 보였다. 서울개발나물 자생지 군락 및 자생지 인근 삼랑진 미전천의 식생조사를 바탕으로 K-means 군집 분석을 시행한 결과 비출현지가 하나의 군집으로 구분되었으며 자생지 또한 두 개의 군집으로 구분되었다. 이는 입지 안정성과 토양 습도에 따른 구분으로 확인되며, 서울개발나물은 주로 입지가 안정되지 않고, 토양 습도가 높은 지역을 선호하는 것으로 밝혀졌다. 또한, 풀베기 관리를 실시한 결과 개체수와 분포 면적이 증가하였으며, 다분광 센서 분석을 통해 구축한 NDVI 도면을 통해 확인한 결과 식생 활력도가 개선된 것으로 확인되었다. 이러한 결과는 풀베기 관리가 서울개발나물의 발아와 개체군 유지에 긍정적 영향을 미치는 효과적인 관리 방안임을 시사한다. 그러나 자생지가 한 곳밖에 남아있지 않으므로 장기적 서식지 복원과 보전을 위한 체계적인 로드맵 수립이 필요하다.

(선제비꽃) 멸종위기 야생생물 II급인 선제비꽃(*Viola raddeana*)의 서식지 환경 특성과 관리 방안을 규명하기 위해 강원도 철원군, 경기도 연천군, 경상남도 양산시의 자생지를 조사하였다. 조사 결과, 총 1,104개체가 확인되었으며, 선제비꽃은 습지 주변의 반음지 환경과 유기물 함량이 높은 산성 토양에서 주로 서식하는 경향을 보였다. 각 자생지의 식생 구성을 기준으로 K-means 군집 분석을 시행한 결과 자생지 간 뚜렷한 구분이 나타났으며, 이는 인위적 및 자연적 교란, 하천과의 거리 차이에 기인한 것으로 확인되었다. 주요 위협 요인으로는 서식지 훼손과 외래종 침입이 확인되었으며, 특히 연천군 자생지는 군사훈련지 인근에 위치해 가장 심각한 위협을 받고 있었다. 자생지 관리를 위해 양산 원동습지에서는 발아 촉진을 목적으로 풀베기 작업을 시행하였으며, 이후 NDVI 분석 결과 식생 활력도가 증가하였고 개체수와 분포 면적 또한 확대되어 개화기 이전 풀베기가 선제비꽃 생육에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 바탕으로 양산시에서는 지속적인 모니터링을 통해 보전 활동을 강화하고, 연천군과 철원군은 각 지역의 위협 요인에 맞춘 맞춤형 서식지 관리 및 대응 방안을 마련할 필요가 있다.

(하늘다람쥐) 본 연구는 멸종위기 야생생물 II급 하늘다람쥐 서식지 특성을 분석하고 주요 환경 요인을 도출하기 위해 24개 출현지점을 대상으로 현장 조사와 공간 자료를 통해 총 30개의 환경 변수를 수집하였다. 조사를 통해 하늘다람쥐의 서식지 유형, 등지 이용 수종, 서식지 내 출현 수종 등이 확인되었고, 임상과 관련된 생물적 변수가 하늘다람쥐 서식지에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 주성분 분석 결과, 1주성분은 임상 밀도, 2주성분은 혼효림, 3주성분은 침엽수림으로 확인되었으며 하늘다람쥐는 흉고직경이 크고 밀집된 건강한 산림을 선호하는 것으로 판단된다. K-means 군집 분석 결과, 하늘다람쥐는 지역적으로 특정 수종을 선택적으로 이용하는 경향이 있었다. 또한, 천적, 산불, 벌채 등 서식지 위협요인이 확인되어, 서식지 보전을 위해 인공등지 설치와 수목 식재가 필요해 보인다. 이를 통해 본 연구는 향후 하늘다람쥐 서식지 관리와 보전에 유용한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

주요어: 산작약, 서울개발나물, 선제비꽃, 하늘다람쥐, 서식지

Abstract

This project was initiated to scientifically analyze the habitats of endangered wildlife, aiming to create stable living environments and provide foundational data for devising strategies to address changing climatic conditions. Alongside habitat analysis, the project expanded the scope of habitat research to monitor and analyze changes in wild populations through habitat improvement, as well as assess the effects of human intervention on these populations. The findings from this research will serve as essential resources for ensuring the stable conservation of 282 endangered wildlife species in the country. The target species for 2024 have been selected as *Paeonia obovata*, *Pterygopleurum neurophyllum*, *Viola raddeana*, and *Pteromys volans*.

(*Paeonia obovata*) This study investigates the distribution patterns and habitat characteristics of *P. obovata* to propose effective conservation strategies. The species predominantly inhabits partially to fully shaded environments with canopy densities exceeding 70%, highlighting the critical influence of light conditions on its distribution. *P. obovata* exhibits a preference for silty loam soils and sedimentary substrates, with high habitat suitability observed in southern Gangwon Province, Daegu Metropolitan City, and parts of Gyeongsangnam-do. The distribution sharply declines at elevations above 900m. Spatially, the species is concentrated within 500m of streams and valleys, on slopes with gradients between 15° ~ 30°, and predominantly on north-facing aspects. While *P. obovata* is observed across various forest types, the specific canopy structure does not significantly influence its distribution. The primary threats include gathering for ornamental use and habitat degradation, both of which accelerate population declines. This study underscores the urgency of implementing habitat conservation measures and regulating excessive gathering to safeguard *P. obovata* and contribute to broader forest biodiversity conservation.

(*Pterygopleurum neurophyllum*) This study examined the environmental characteristics of *Pterygopleurum neurophyllum* (Maxim.) Kitag., a Category II endangered species, at its only remaining natural habitat in Wondong Wetland, Yangsan-si, Gyeongsangnam-do, and explored effective habitat management strategies. The investigation revealed that *P. neurophyllum* primarily inhabits *Miscanthus sacchariflorus* communities, with its habitat

characterized by slightly acidic soils and high humidity levels. K-means clustering analysis, based on vegetation surveys of the habitat and nearby Samrangjin Mijeoncheon, classified non-habitat areas into a single cluster, while the habitat itself was divided into two clusters. This division was attributed to site stability and soil moisture, indicating that *P. neurophyllum* prefers unstable locations with higher soil moisture. Furthermore, post-mowing management led to increases in the plant's population and distribution area, with NDVI analysis using multispectral sensors showing improved vegetation vitality. These findings suggest that mowing is an effective management strategy for promoting germination and maintaining *P. neurophyllum* populations. However, as this species survives in only one habitat, a long-term roadmap for habitat restoration and conservation is urgently needed.

(*Viola raddeana*) To identify the habitat characteristics and management strategies for *Viola raddeana* Regel, a Category II endangered wildlife species, field surveys were conducted in Cheorwon-gun(Gangwon-do), Yeoncheon-gun(Gyeonggi-do), and Yangsan-si(Gyeongsang nam-do). A total of 1,104 individuals were observed, with *V. raddeana* predominantly inhabiting semi-shaded wetland environments and acidic soils rich in organic matter. K-means clustering analysis based on the vegetation composition of each site revealed distinct differences among the habitats, which were attributed to anthropogenic and natural disturbances, as well as proximity to rivers. Major threats included habitat destruction and invasive species, with the Yeoncheon habitat facing the most severe threats due to its proximity to military training areas. To improve habitat conditions, mowing was conducted in Yangsan's Wondong Wetland to promote germination. NDVI analysis following the mowing showed an increase in vegetation vitality, individual counts, and distribution area, demonstrating that pre-flowering mowing positively impacts *V. raddeana* growth. These findings emphasize the need for continuous monitoring and conservation activities in Yangsan, while site-specific management strategies addressing unique threats should be implemented for Yeoncheon and Cheorwon.

(*Pteromys volans*) This study aimed to analyze the habitat characteristics of the *Pteromys volans* and identify key environmental factors by collecting a total of 30 environmental variables through field surveys and spatial data from 24 present sites. The surveys determined habitat types, nest tree species, and tree species present within the habitats, showing that biotic variables related to forest type significantly influence the *P. volans* habitat. Principal Component Analysis(PCA) revealed that PC1 was related to forest density,

PC2 was mixed forests, and PC3 was coniferous forests. It was found that the *P. volans* prefers healthy forests with large-diameter trees and high canopy density. Clustering analysis(K-means) indicated that the *P. volans* tends to selectively utilize certain tree species in specific regions. Additionally, habitat threats such as a natural enemy, wildfires, and logging were identified. It seems that the installation of artificial nests and tree planting are necessary for *P. volans* habitat conservation. This study is expected to serve as useful baseline data for future management and conservation of *P. volans* habitats.

Keywords: *Paeonia obovata*, *Pterygopleurum neurophyllum*, *Viola raddeana*, *Pteromys volans*, Habitat

I. 연구배경 및 개요

1. 연구배경 및 목적

가. 연구배경

1) 정책적 필요성

- 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(멸종위기종 복원센터의 설치)
- 다) 현 정부 국정과제 4-⑯『자율과 창의로 만드는 담대한 미래』 탄소중립 실현으로 지속 가능한 미래를 만들기 위한 정책 결정의 기반 마련
- 라) 현 정부 국정과제 4-⑰『기후위기에 강한 물환경과 자연생태계 조성』 건강한 자연 생태계 유지를 위한 정책 결정 기반 마련
- 마) 「생물다양성협약(CBD) K-M GBF(2022)」 2030년까지 육상 및 해양의 30%를 보호지역으로 지정 및 관리 필요
- 바) 「멸종위기 야생생물 보전 종합계획(2023~2027)」 서식지 평가를 통한 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 국토환경 개발과 관련된 생태자연도, 환경영향평가 등에 큰 영향을 줌
 - (2) 사회적 이슈가 되지 않는 종일지라도 그 효력은 동일하며, 멸종위기종 야생생물에 대한 주요 서식지 선정 및 서식지 연구 수행시 지금까지와는 차별화된 연구 및 조사 방법이 요구됨
 - (3) 개발사업에 따른 환경영향평가, 대체서식지 선정, 보호지역 지정 등 멸종위기 야생생물 서식지 적합성을 사전에 평가할 수 있는 조사 방법이 필요함
 - (4) 이해당사자 간 원활한 조율과 협의를 위한 자료의 요구 증가를 충족하기 위한 객관적이고 과학적인 연구 결과물이 필요함

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, 비오톱 지도 등 다양한 지도가 만들어지고 있지만 멸종위기 야생생물의 생태적 지위에 대한 연구가 수행되지 않아 적합한 서식지를 판단할 수 없음

나. 연구목적

1) 멸종위기 야생생물 서식지 연구

가) 시급성을 고려하여 대상종을 선정하고 종별 주요서식지를 조사·분석

나) 서식현황 분석 및 개체군의 안정적인 유지를 위한 위협요인 도출

2) 멸종위기 야생생물 주요 서식변수 도출

가) 과거 문헌수집, 현지조사 및 공간자료 수집을 통한 기초생태자료 구축

나) 전문가 자문 및 통계분석 등을 활용한 종별 주요 서식변수 도출

3) 멸종위기 야생생물 적합 서식지 발굴

가) 주요 서식변수를 활용한 핵심 서식지 분석 모델(MaxEnt 등) 개발

나) 멸종위기 야생생물 핵심 서식지 발굴을 통한 보호지역 확대 기반 마련

다) 잠재 서식지 및 대체서식지 발굴의 기초자료 제공

4) 서식지 개선을 통한 야생개체군 모니터링

가) 서식지 위협요인 개선을 통한 야생개체군 변화 모니터링

나) 서식지 개선 효과 검증 및 과학적 분석체계 기반 마련

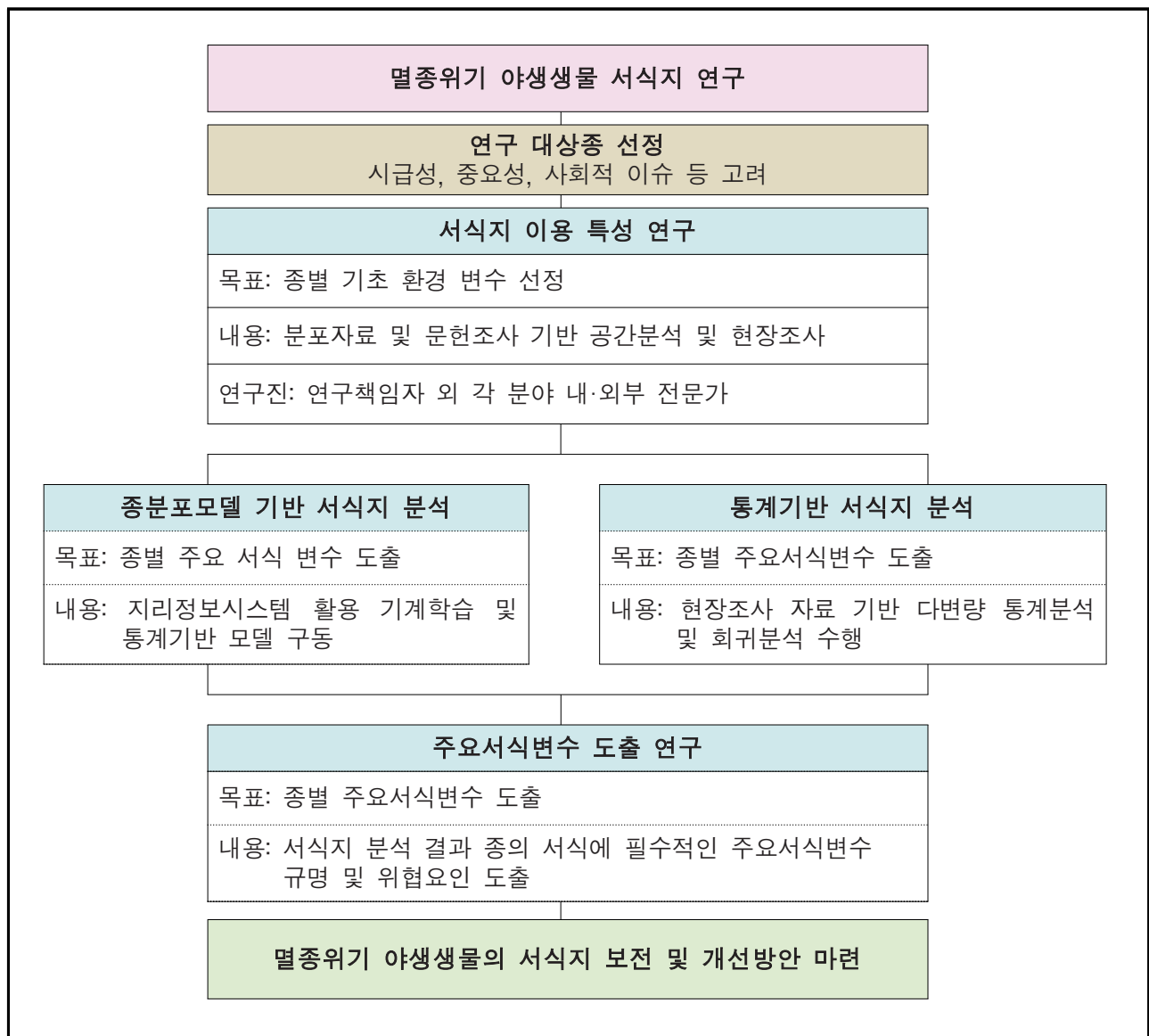
2. 연구 개요

가. 당해연도 연구목표

- 1) 멸종위기 야생생물 4종(연구기간 내 총 30종)의 서식지 환경 특성 분석 및 주요 서식변수 도출
- 2) 연구대상종 별 적지분석모델 구동 및 통계기법을 활용한 서식지 분석
- 3) 현장 조사자료를 기반으로 서식지 위협요인 개선 및 보전방안 마련

나. 연구 추진체계 및 일정

1) 추진체계



2) 추진일정

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		환경모니터링 장비설치 및 야장 작성 등 현지조사										
자료검토 및 분석					자료검토 및 분석							
종분포모델 및 통계분석					분석방법 결정	종분포모델 구동 및 통계분석 수행						
주요서식변수 도출									주요서식변수 도출			
결과 검증 및 보전방안 마련								분석결과 검증 및 보고서 작성				
전문가 자문	자문					자문				자문		

다. 연구내용

1) 연구대상종 선정

가) 산작약

- (1) 산작약은 동아시아 특산종으로 생물기후 구분도에서 중부내륙형에 속하는 강원도 일대 석회암 지역에 주로 서식함
- (2) 전국적인 분포를 하는 것으로 알려져 있었으나, 백작약 등 인접 분류군이 오동정된 사례가 많음
- (3) 약재 및 관상용 가치로 인해 인간에 의한 무분별한 채집이 이루어지고 있어 서식지 연구와 함께 야생개체군의 보호 대책이 필요한 실정임

나) 서울개발나물

- (1) 서울개발나물은 양지바른 하천가 습지에 서식하며, 1902년 처음 기록된 이후 1967년 절멸된 것으로 여겨지다가 2011년 경남 양산 원동습지에서 재발견됨
- (2) 서식지는 낙동강 배후습지로 홍수 및 폭우에 의해 침수가 반복적으로 일어남
- (3) 갈대, 물억새와 서식지를 공유하며 경쟁에 의한 피압에 노출되어 있음
- (4) 서식지 개발이 계획되어 있었으나, 관계기관 협의로 통해 생태공원으로 개장 하였으며, 서식지 개선을 통한 야생개체군의 변화 모니터링을 추진 중임

다) 선제비꽃

- (1) 선제비꽃은 1980년 국내 절멸로 추정되었다가 2000년 원동습지에서 재발견됨
- (2) 이후 철원, 연천에서 발견되어 국내 서식지 3곳이 확인된 상황임
- (3) 저지대 습지나 하천이 범람하는 초지에 서식하는 특성을 보임
- (4) 하천 개발 및 정비사업으로 자생지 훼손 위험을 받고 있어 보전이 시급함

라) 하늘다람쥐

- (1) 하늘다람쥐(설치목)은 산림생태계에서 화분 매개체, 종자산포 등 중요한 역할을 수행함
- (2) 전국 산악지대의 산림에 서식하고 있으나 최근 산림 개발 등의 위협요인으로 인해 개체 수가 지속적으로 감소하고 있음
- (3) 행동권이 작아 산림 내 변화에 취약하며, 개체 수 보전 및 증진을 위해 미소서식지 연구 및 선호 서식 환경을 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) 환경부, 산림청 등의 공간자료(임상도, 연속수치지형도 등) 수집 및 전처리
- (2) 수집 좌표지점별 환경 특성 정보 자료화

다) 주요 서식지 선정

- (1) 수집좌표 정도, 비출현좌표 유무 등을 고려한 분석방법 및 대상지 추출
- (2) 적지분석모델 결과 전문가 자문 및 현장검증을 통한 모델 확정
- (3) 모델 결과를 활용한 주요서식지 선정

3) 현장조사

가) 산작약

- (1) 자연환경조건 및 상관식생형을 고려하여 산작약이 군락으로 출현하는 지점 조사
- (2) 산작약과 함께 구성하고 있는 식물 종조성 및 미소 서식 환경 데이터 수집

나) 서울개발나물

- (1) 원동습지내 고정방형구(1x1m) 12지점 및 서울개발나물 자생지와 비교를 위해 삼랑진 미전천 생태공원 내 3지점 식생 및 토양 조사

(2) 식물 종 조성 조사, 토양시료 채집 및 분석

다) 선제비꽃

(1) 방형구(1x1m)를 기준으로 양산 6지점, 연천 6지점, 철원 8지점을 2차례(5월, 9월) 조사

(2) 식물 종 조성 조사, 토양시료 채집 및 분석

라) 하늘다람쥐

(1) 행동권을 반영한 출현지점 설정 후 선조사 방법으로 흔적(배설물, 둥지 등) 및 개체 조사

(2) 흔적·개체 발견 시 소형 방형구(10x10m)를 설정하여 미소 서식 환경 조사 및 데이터 수집

4) 서식지 특성 분석

가) 산작약 서식지 특성 분석

(1) 수집된 산작약의 서식자료를 통해 조사 좌표 지점의 환경 데이터 추출 및 분석

(2) 현장조사 및 공간분석을 통해 중요 환경요인 선별

나) 서울개발나물, 선제비꽃 서식지 공간 분석

(1) 무인항공장비 활용이 가능한 원동습지에서 촬영 진행(2회)

※ 1차 촬영(2.15.-16.) LIDAR와 다분광센서, 2차 촬영(4.4.-4.5.) 다분광센서 사용

(2) 전문가 자문을 통해 촬영된 영상을 가공하여 정규식생지수(NDVI, Normalized Difference Vegetation Index), 수치표면모델(DSM, Digital Surface Model) 등을 제작함

다) 하늘다람쥐 서식지 이용 특성 분석

(1) 공간자료 활용 환경 특성 추출 및 개체 수에 영향을 주는 환경요인을 선별

(2) 환경요인간 상관관계 및 다중공선성 문제 해결을 위한 통계 분석 수행

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

(1) 위협요인 개선 후 개체군 분포 및 개체수 변화 모니터링

(2) 서식지 개선 이후 서식지 환경 변화 모니터링

(3) 모니터링 결과분석을 통한 추가 개선점 도출 및 안정화 방안 마련

II. 산작약

1. 기초생태자료 및 연구대상지 선정

가. 자료수집

1) 산작약의 형태 및 생태학적 특성

<표 2-1> 산작약 분류학적 정보 및 특성

산작약	
학명	<i>Paeonia obovata</i> Maxim.
분류학적 위치	작약과(Paeoniaceae) 작약속(<i>Paeonia</i>)
보호종 지정 현황	- 환경부 멸종위기야생생물 II 급 - 산림청 희귀식물 - 국가적색목록평가 위기(EN)
분포지역	- 강원도의 석회암지대인 산지를 중심으로 자생 - 그 외 경기, 충청북도 일부에서 확인 - 세계적으로 중국, 일본에 분포
개체수 및 개체군 추세	- 약용 및 관상을 목적으로 한 채취, 탐방에 따른 서식처 훼손으로 감소중
형태 및 생태학적 특징	



- 줄기는 곧게 서며 높이 40~70cm임
- 잎은 1~2회에 걸쳐 3갈래로 갈라지는 겹잎이 엇갈려 달림. 작은 잎은 도란형으로 가장자리가 밋밋함. 앞면은 녹색이고, 뒷면은 연한 녹색으로 털이 없거나 잎맥 위에만 부드러운 털이 있음
- 꽃은 줄기 끝에 1개씩 피며, 지름 7~10cm로 벌어짐
- 꽃잎은 5~7장으로 보통 연한 분홍색 또는 홍색임. 암술은 3~4개이며, 자라면서 끝이 뒤로 휘어짐
- 열매는 골돌과이고 끝에 붙어 있는 암술대가 길며 갈고리 모양으로 구부러짐
- 작약과는 다르게 작은 잎의 수가 9개 이하이고, 꽃줄기 끝에 꽃이 하나씩 달리며 꽃이 완전히 벌어지지 않는 차이점이 있음. 5~6월에 개화하며 6~7월에 결실
- 산지 낙엽활엽수림 및 혼효림에서 반 그늘진 곳의 습기가 많은 토양에 분포함

2) 기초생태자료 수집

- 가) 산작약의 국내 및 해외연구는 분류학적 견해에 관한 논문이 다수임. 선행문헌(김 외, 2016)에 의해 산작약의 환경 특성, 개체군 구조, 생활사 특성이 보고됨(표 2-3)
- 나) 산작약은 백작약과 유사하여 분포조사 시 오동정이 많음. 그러나 산작약은 꽃이 경쟁엽보다 높게 위치하는 것이 특징적임. 산작약의 수술(stamen)은 전체가 흰색인 반면 백작약은 상부는 흰색 하부는 보라색임. 또한 산작약의 개화기는 주로 6월인 반면 백작약은 5월로 개화기의 차이가 있음(표 2-2)

<표 2-2> 산작약 문헌조사

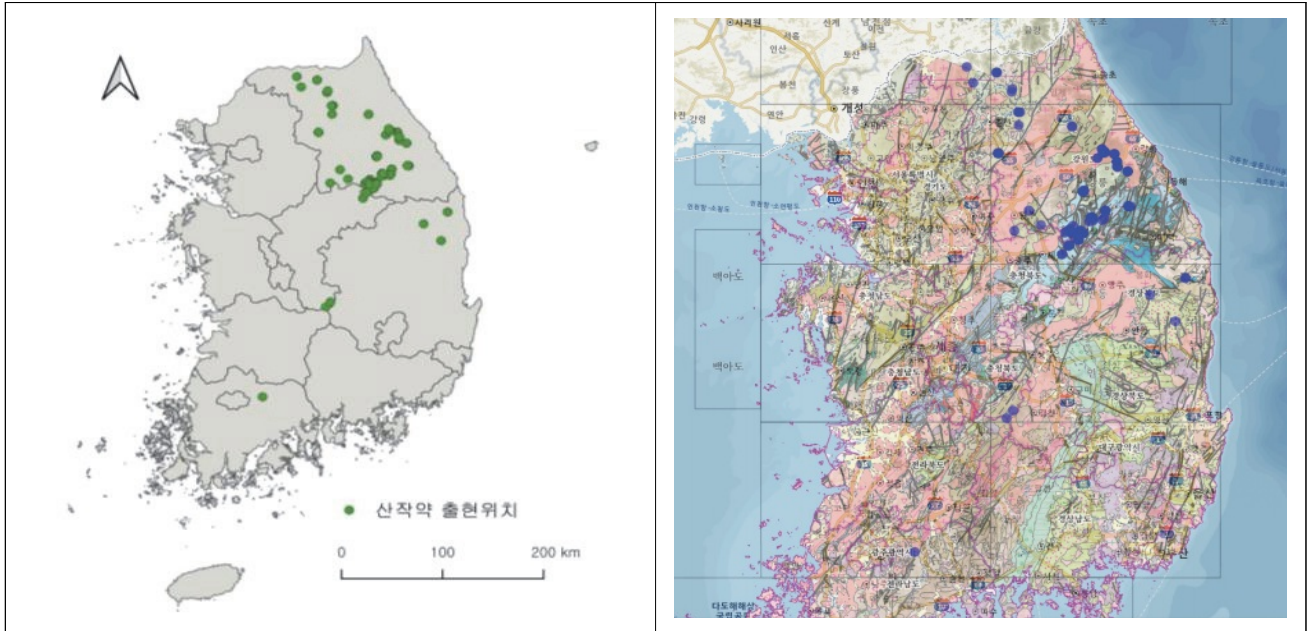
구분	주요 내용	문헌출처
생태학	환경특성, 개체군 구조, 생활사 특성 분석	김 외, 2016
계절학 및 생리학	2차 대사산물과 저장 물질 축적에 대한 적응성과 계절적 발달 단계의 영향	Kalendar 외, 2023
분류학	작약속의 분류학적 연구	정, 2012
분류학	작약속의 계통과 유전다양성	임, 2015

<표 2-3> 산작약 서식지 특성

구분	서식지 특성
토양	재배실험에서 유묘는 토양의 유기물이 상대적으로 적은 곳에서 잘 성장함
식생	상층식생에 생성된 숲 틈이 개체군 동태에 영향을 미침 비교적 넓은 식생환경에 걸쳐 분포함
하천과의 거리	계곡, 습지, 하천 등 물이 있는 곳에서 500m 이내 분포함
방위	북쪽을 향하는 산지 사면에 분포함

3) 공간자료 수집

가) 전국자연환경조사(2000~2020), 멸종위기 야생생물 분포조사(2000~2020), 자문 및 제보 등 현장조사 등을 통해 산작약 출현좌표 174지점을 수집하였음(그림 2-1)

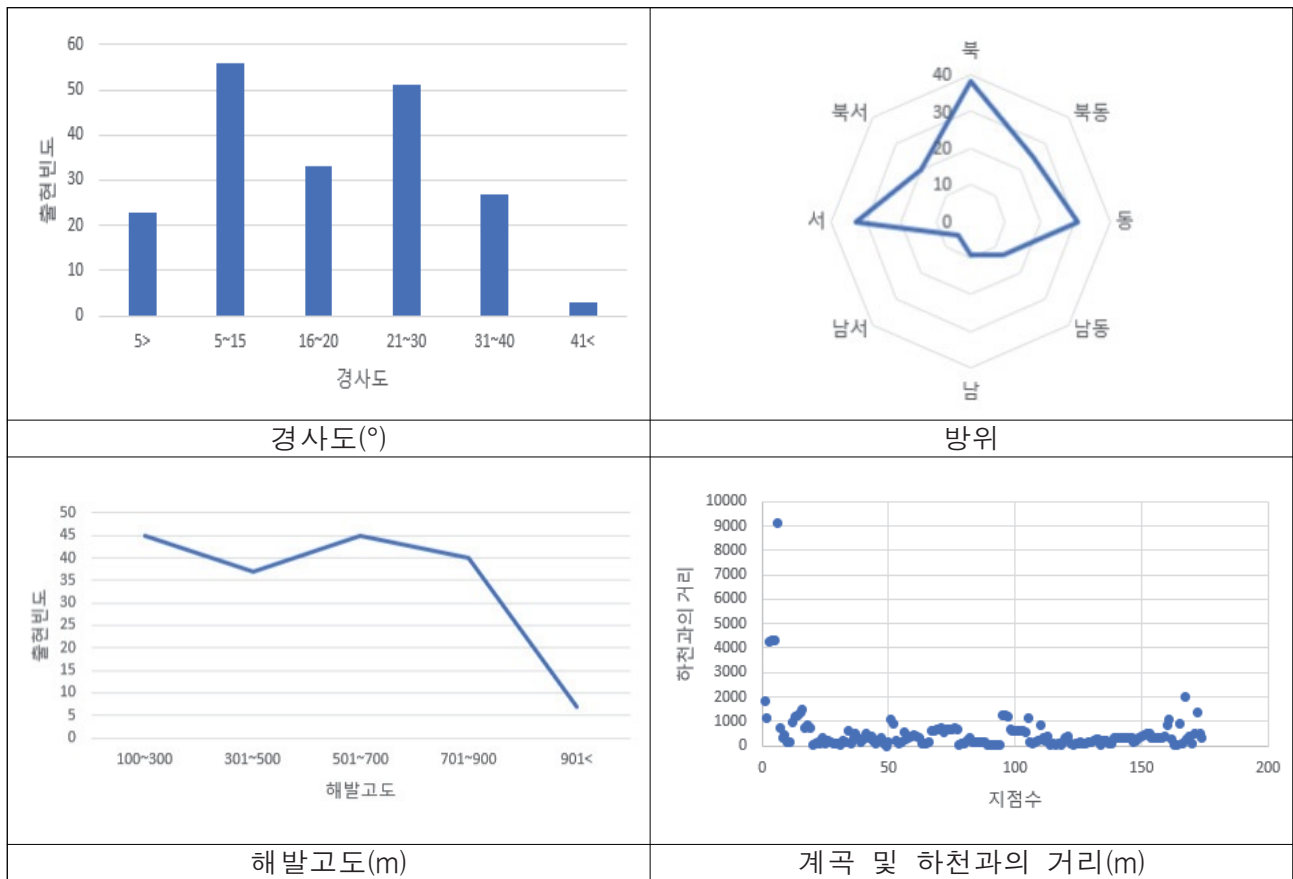


<그림 2-1> 산작약의 분포

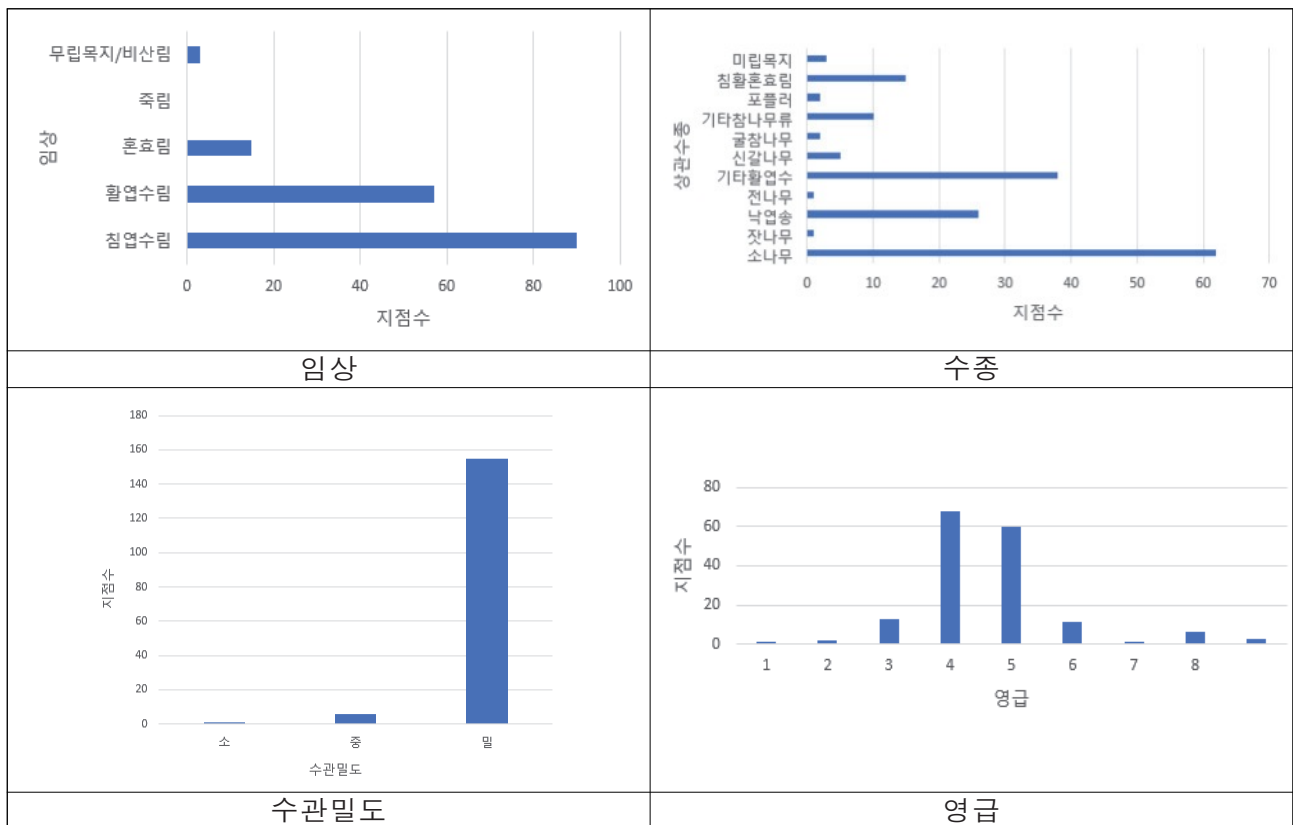
나) 주제도별 공간자료 분석을 위해 4개 기관, 5개 주제도를 활용하여 10가지 변수 도면을 제작하여 공간분석에 활용하였음(표 2-4)

<표 2-4> 산작약 공간자료 수집

구분	보유기관	공간자료	변수	자료출처
1	국립농업과학원	토양도	표토, 모암(모재)	흙토람
2	국토지리정보원	연속수치지형도	경사도, 해발고도, 방위	국토정보플랫폼
3	임업진흥원	임상도	임상, 영급, 수종, 수관밀도	산림공간정보서비스
4	국립생태원	멸종위기야생생물 전국분포조사	멸종위기 야생생물 분포자료	국립생태원
		전국자연환경조사	멸종위기 야생생물 분포자료	국립생태원



<그림 2-2> 산작약 공간특성



<그림 2-3> 산작약 임상특성

2. 연구방법

가. 현장조사

- 1) 자연환경 조건 및 상관 식생형을 고려하여 초본층에 산작약이 군락으로 출현하는 지점 식생조사 실시
- 2) 산작약과 함께 구성하고 있는 식물 종조성 및 미소 서식 환경 데이터 수집
- 3) 멸종위기 야생생물 전국 분포조사 가이드라인, 문헌(학술지, 보고서 등), 전문가 자문 등을 기반으로 산작약 현장조사 항목을 선정(표 2-5)

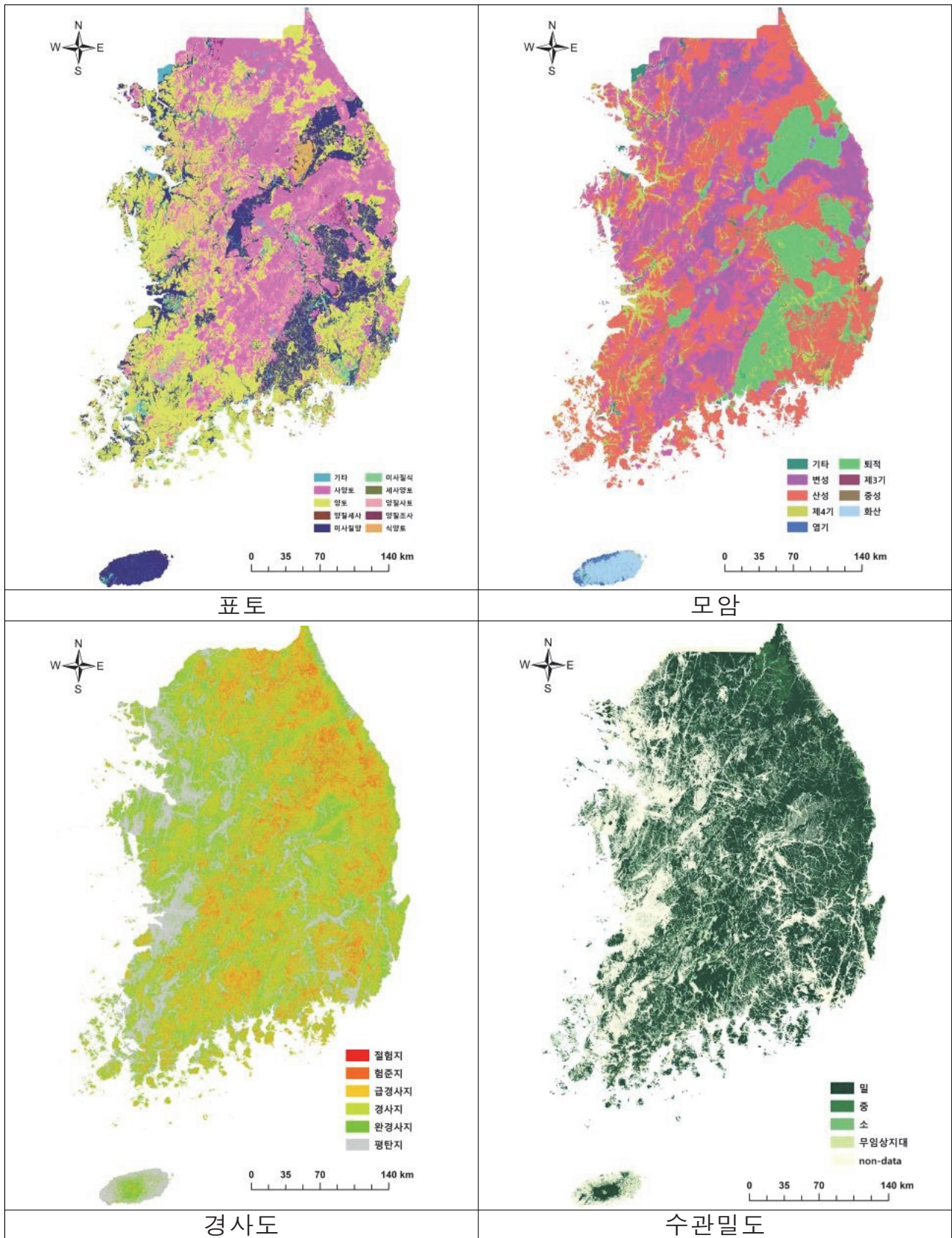
<표 2-5> 식생조사 항목

구분	항목	구분	항목
1	조사지명	14	산지지형
2	군계형	15	암석권
3	상관식생형	16	암석노출
4	경사도	17	토양
5	군락명칭	18	토성
6	면적	19	미세지형
7	해발고도	20	낙엽부식층
8	방위	21	빛조건
9	피도	22	교란입지거리
10	인접군락	23	매립·굴취
11	총별 식생고와 식피율	24	산불·방재·경작·조림 등
12	흥고직경	25	입지위치도
13	출현종목록	26	단면모식도

- 4) 표준화된 상대값을 산출하기 위하여 상대기여도(r-NCD: relative net contribution degree)를 이용함. 공식은 다음과 같음 $NCDi = (\sum C_i / N) \times (n_i / N)$ ($\sum C_i$ 는 군락 내 i 종 피도적산값, N 은 전체 조사구수, n_i 는 i 종이 출현한 조사구 수), 상대기여도 공식은 다음과 같음 $r-NCDi = (NCDi / NCD_{max}) \times 100$

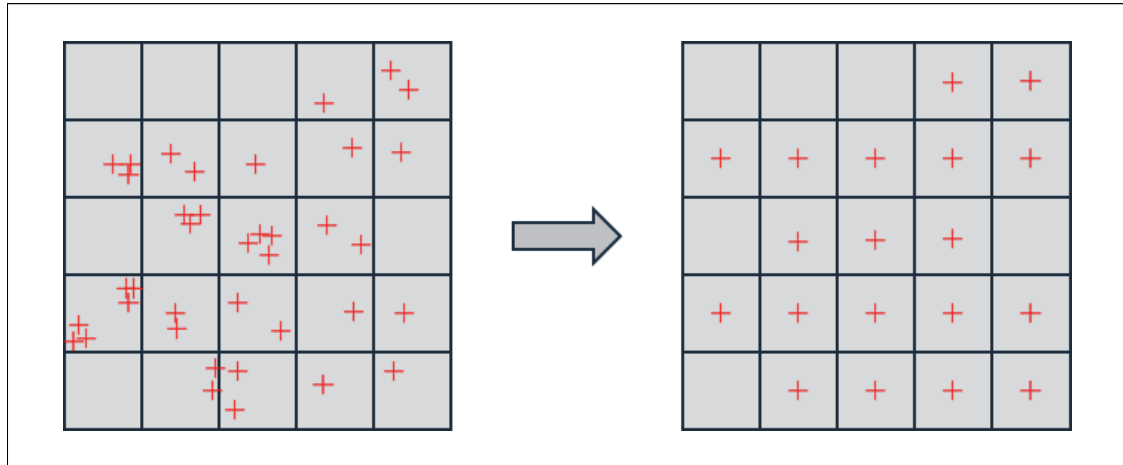
나. MaxEnt 분석

- 1) 환경변수는 산작약 분포의 주요 요인으로 판단되는 토양도(표토, 모암(모재)), 경사도, 임상도(수관밀도)가 사용되었음(그림 2-4)
- 2) 토양도 및 임상도는 30m×30m의 raster로 변환하여 사용하였으며, 경사도 또한 동일한 해상도로 변경하여 사용하였음. 모든 환경변수는 범주형 자료로 변환하여 사용하였음
- 3) 경사도는 환경부 사전환경성검토 업무 매뉴얼에서 제시한 경사 기준을 참고하였음
 - ※ 평탄지(5도 미만), 완경사지(5도~15도), 경사지(15도~20도), 급경사지(20도~30도), 험준지(30도~40도), 절험지(45도 이상)



<그림 2-4> 모델에 사용된 변수

- 4) MaxEnt 분석은 R software의 ‘dismo’ package를 사용하여 진행하였음
- 5) MaxEnt 분석에는 동일한 Grid(30m×30m) 내 포인트를 제거하여 136개의 출현 데이터가 사용되었음(그림 2-5)
- 6) 136개의 출현좌표 중 80%는 MaxEnt 모델 훈련 데이터로 사용하였고(n=109), 나머지 20%는 MaxEnt 모델의 예측력을 평가하기 위한 테스트 데이터로 사용하였음(n=27)



<그림 2-5> 중복 데이터 제거(예시)

다. 위협요인분석

- 1) 위협요인 평가는 IUCN(IUCN 2024, Threats Classification Scheme, Version3.3)에 따라 수행하였음
- 2) 위협요인 분류체계, 위협 시점, 범위, 심각도 등을 기준으로 평가하였음
- 3) 위협요인은 현장조사를 통해 산작약의 생존에 직접적으로 영향을 미치는 요인을 적용 하였으며, 여러 위협요인이 발생하는 경우 영향력이 큰 순서로 적용하였음

3. 연구결과

가. 현장조사 결과

- 1) 산작약 분포가 가장 밀집된 영월군, 단양군, 평창군 지역을 중심으로 선행 조사 시 산작약이 20개체 이상 출현한 지점을 선정하여 현장조사 하였음(표 2-6)

<표 2-6> 산작약 출현지점 종조성

국명	학명	yw1	yw2	yw4	Dy1	yw6	yw5	yw3	yw7	Pc1	상대기여도 (r-NCD)
산작약	<i>Paeonia obovata</i> Maxim.	1	1	1	2	1	1	1	1	1	20.45
물푸레나무	<i>Fraxinus rhynchophylla</i> Hance	8	8	8		8	7	8	4	4	100.00
주름조개풀	<i>Oplismenus undulatifolius</i> (Ard.) Roem. & Schult.	3	3	5	2	2	5	8		8	65.45
사초 sp.	<i>Carex</i> sp.	7	7	7	8	6					39.77
올고불나무	<i>Lonicera praeflorens</i> Batal	2		6	4	2			5	7	35.45
생강나무	<i>Lindera obtusiloba</i> Blume			5	4	6	2		6	1	32.73
소나무	<i>Pinus densiflora</i> Siebold & Zucc.		1	3	2	2	5	3		1	27.05
백선	<i>Dictamnus dasycarpus</i> Turcz.	4	3	2	2	2	4				23.18
신갈나무	<i>Quercus mongolica</i> Fisch. ex Ledeb.	5		2	2		2		5		18.18
쥐똥나무	<i>Ligustrum obtusifolium</i> Siebold & Zucc.	7	6	2	3						16.36
기름새	<i>Spodipogon cotulifer</i> (Thunb.) Hack.	3	5	3	2						11.82
신나무	<i>Acer tataricum</i> subsp. <i>ginnala</i> (Maxim.) Wesm.	9		4				3			10.91
개굴귀	<i>Galium maximowiczii</i> (Kom.) Pobed.					2	3		4		6.14
국수나무	<i>Stephanandra incisa</i> (Thunb.) Zabel	3	3		2						5.45
작살나무	<i>Callicarpa japonica</i> Thunb.			7	5						5.45
떡갈나무	<i>Quercus dentata</i> Thunb.	3			1	2					4.09
산초나무	<i>Zanthoxylum schinifolium</i> Siebold & Zucc.		2		1		3				4.09
싸리	<i>Lespedeza bicolor</i> Turcz.		1					3	2		4.09
조록싸리	<i>Lespedeza maximowiczii</i> C. K. Schneid.				1		2		3		4.09
개머루	<i>Ampelopsis brevipedunculata</i> (Maxim.) Trautv.		1		2	2					3.41
갈퀴꼭두서니	<i>Rubia cordifolia</i> L.	1		6							3.18
바디나물	<i>Angelica decursiva</i> (Miq.) Franch. & Sav.	2						3			2.27
개암나무	<i>Corylus heterophylla</i> Fisch. ex Trautv.			3	1						1.82
가실쑥부쟁이	<i>Aster ageratoides</i> Turcz.	2			2						1.82
꼭두서니	<i>Rubia argyi</i> (H. Lév. & Vaniot) H. Hara ex Lauener & D.K. Ferguson				2			2			1.82
담쟁이덩굴	<i>Parthenocissus tricuspidata</i> (Siebold & Zucc.) Planch.				1		3				1.82
동굴레	<i>Polygonatum odoratum</i> var. <i>pluriflorum</i> (Miq.) Ohwi				2			2			1.82
맑은대쑥	<i>Artemisia keiskeana</i> Miq.			2					2		1.82
방아풀	<i>Isodon japonicus</i> (Burm. f.) H. Hara			2				2			1.82
붉은병꽃나무	<i>Weigela florida</i> (Bunge) A. DC.					1			3		1.82
은방울꽃	<i>Convallaria keiskei</i> Miq.	2	2								1.82
줄방재비꽃	<i>Viola acuminata</i> Ledeb.			2		2					1.82
파리풀	<i>Phryma leptostachya</i> var. <i>oblongifolia</i> (Koidz.) Honda		2	2							1.82
노루귀	<i>Hepatica asiatica</i> Nakai			2	1						1.36
노루발풀	<i>Pyrola japonica</i> Klenze ex Alef.		1	2							1.36
버드나무	<i>Salix pierotii</i> Miq.	2	1								1.36
서어나무	<i>Carpinus laxiflora</i> (Siebold & Zucc.) Blume		1					2			1.36
옻나무	<i>Kalopanax septemlobus</i> (Thunb.) Koidz.							2		1	1.36
잔털제비꽃	<i>Viola keiskei</i> Miq.			2	1						1.36
쥐방울덩굴	<i>Aristolochia contorta</i> Bunge	1						2			1.36
처녀고사리	<i>Thelypteris palustris</i> (A. Gray) Schott	2	1								1.36

※ 빈도 1회 출현종

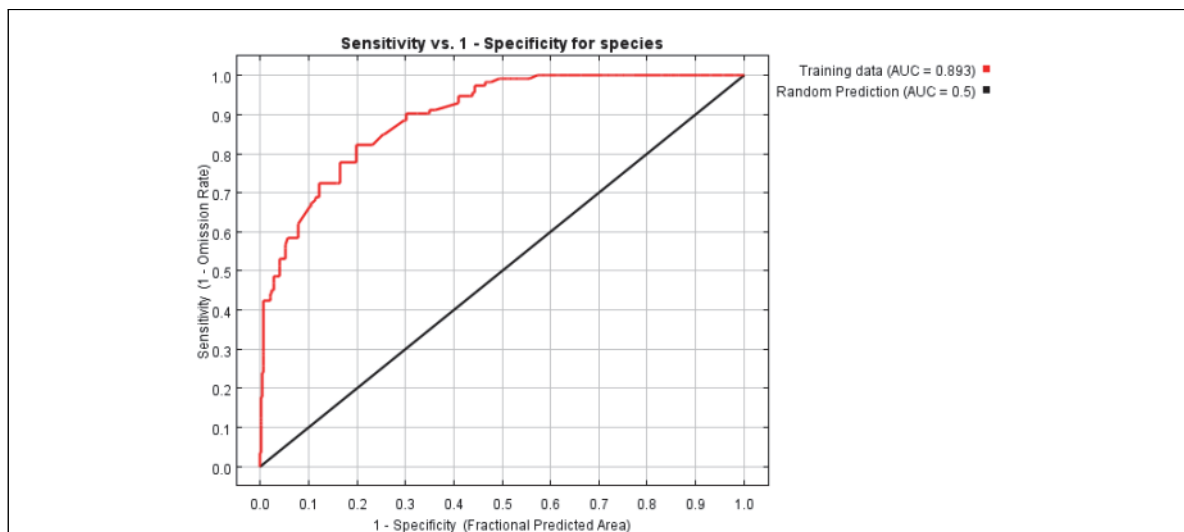
yw1. 동의나물 *Caltha palustris* L. 2 복자기 *Acer triflorum* Kom. 2 애기나리 *Disporum smilacinum* A. Gray 2 yw2. 담배풀 *Carpesium abrotanoides* L., 1 yw 참마 *Dioscorea japonica* Thunb. 1 천남성 *Arisaema amurense* f. *serratum* (Nakai) Kitag. 1 민둥갈퀴 *Galium kinuta* Nakai & H. Hara 3, yw3 비술나무 *Ulmus pumila* L. 1 그늘사초 *Carex lanceolata* Boott 2 긴잎모시풀 *Boehmeria sieboldiana* Blume 2 뱀말기 *Duchesnea indica* (Andr.) Focke 2 산딸기 *Rubus crataegifolius* Bunge 2 황고사리 *Dennstaedtia wilfordii* (T. Moore) H. Christ 3 곰취 *Ligularia fischeri* (Ledeb.) Turcz. 4 참취 *Aster scaber* Thunb. 5 yw4 평의다리 *Thalictrum aquilegifolium* var. *sibiricum* Regel & Tiling 1 홍고불나무 *Lonicera maximowiczii* (Rupr.) Regel 1 굴참나무 *Quercus variabilis* Blume 2 청미래덩굴 *Smilax china* L. 2 홀아비꽃대 *Chloranthus japonicus* Siebold 4 Dy1 팽나무 *Celtis sinensis* Pers. 7 고삼 *Sophora flavescens* Aiton 1 노간주나무 *Juniperus rigida* Siebold & Zucc. 1 들메나무 *Fraxinus mandshurica* Rupr. 1 모감주나무 *Koeleruteria paniculata* Laxm. 1 부채마 *Dioscorea nipponica* Makino 1 삼주 *Atractylodes ovata* (Thunb.) DC. 1 독갈 *Patrinia villosa* (Thunb.) Juss. 2 비목 *Lindera erythrocarpa* Makino 2 썰싸리 *Lycopus lucidus* Turcz. ex Benth. 3 yw5 출참나무 *Quercus serrata* Murray 4 누리장나무 *Clerodendrum trichotomum* Thunb. 3 췌 *Pueraria lobata* (Willd.) Ohwi 2 yw6 오갈피 *Eleutherococcus sessiliflorus* (Rupr. & Maxim.) S. Y. Hu 1 당조팝나무 *Spiraea chinensis* Maxim. 2 속단 *Phlomis umbrosa* Turcz. 2 회양목 *Buxus microphylla* var. *koreana* Nakai ex Rehder 2 우산나물 *Syneilesis palmata* (Thunb.) Maxim. 3 Pc1 물봉선 *Impatiens textorii* Miq. 1 민박 쥐나물 *Parasenecio hastatus* subsp. *orientalis* (Kitam.) H. Koyama 1 잣나무 *Pinus koraiensis* Siebold & Zucc. 1 일본잎갈나무 *Larix kaempferi* (Lamb.) Carrière 2 줄말기 *Rubus oldhamii* Miq. 2 yw7 큰기름새 *Spodipogon sibiricus* Trin. 4 덕우기름나물 *Sillaphyton podagraria* (H. Boissieu) Pimenov 3 고광나무 *Philadelphus schrenkii* Rupr. 2 오리방풀 *Isodon excisus* (Maxim.) Kudô 2 찰피나무 *Tilia mandshurica* Rupr. & Maxim. 2 투구꽃 *Aconitum jaluense* Kom. 1

- 2) 상대기여도(r-NCD) 값을 도출한 결과 물푸레나무가 100%로 가장 높게 나타났음. 물푸레 나무는 계곡부 식생을 진단하는 주요 종으로 경사가 형성되는 계곡부의 토양 수분 조건이 양호한 입지에 출현하며, 이는 산작약의 선행문헌(김 외, 2016) 결과와 일치함
- 3) 냉·온대 남부, 중부 저산지형의 숲가장자리에 일반적으로 분포하는 주름조개풀 (65.45%)이 빈도 높게 출현함
- 4) 또한 퇴적암 지역에 빈도 높게 출현하는 백선(23.18%)이 산작약과 함께 출현하였음
- 5) 신나무, 바디나물, 처녀고사리, 버드나무, 서어나무 등 토양 수분 조건이 양호한 입지에 출현 빈도가 높은 종들이 함께 종조성을 이루고 있음

나. MaxEnt 분석 결과

1) 모델 예측력 평가

가) MaxEnt 모델의 AUC는 0.893으로 우수한 설명력을 보여주었음(그림 2-6)



<그림 2-6> 모델 AUC 결과

- 나) 테스트 데이터로 MaxEnt 모델의 예측력을 평가한 결과 또한 AUC 0.84, kappa 0.818로 우수한 예측력을 보여주었음(표 2-7)
- 다) 잠재 서식지를 평가하기 위한 thresholds는 0.52로 suitability 결과에 적용하여 잠재 서식지 맵을 제작하였음
- 라) thresholds는 TPR+TNR이 최대가 되는 지점을 임계값으로 설정하였음

<표 2-7> 모델 예측력 평가 결과

AUC	kappa	max TPR+TNR	no_omission	prevalence	sensitivity	thresholds
0.84	0.818	0.081	0.011	0.0349	0.096	0.52

2) 모델에서 사용된 변수

가) MaxEnt 모델에 사용된 변수들의 모델 기여도 및 중요도는 다음과 같음(표 2-8)

나) 기여도 및 중요도가 가장 높은 변수는 수관밀도 중에서 교목의 수관점유 면적이 71% 이상 되는 ‘수관밀도 밀’에 해당하는 지역으로 기본적으로 수관밀도가 뾰뾰한 지역을 선호하는 것으로 나타났음

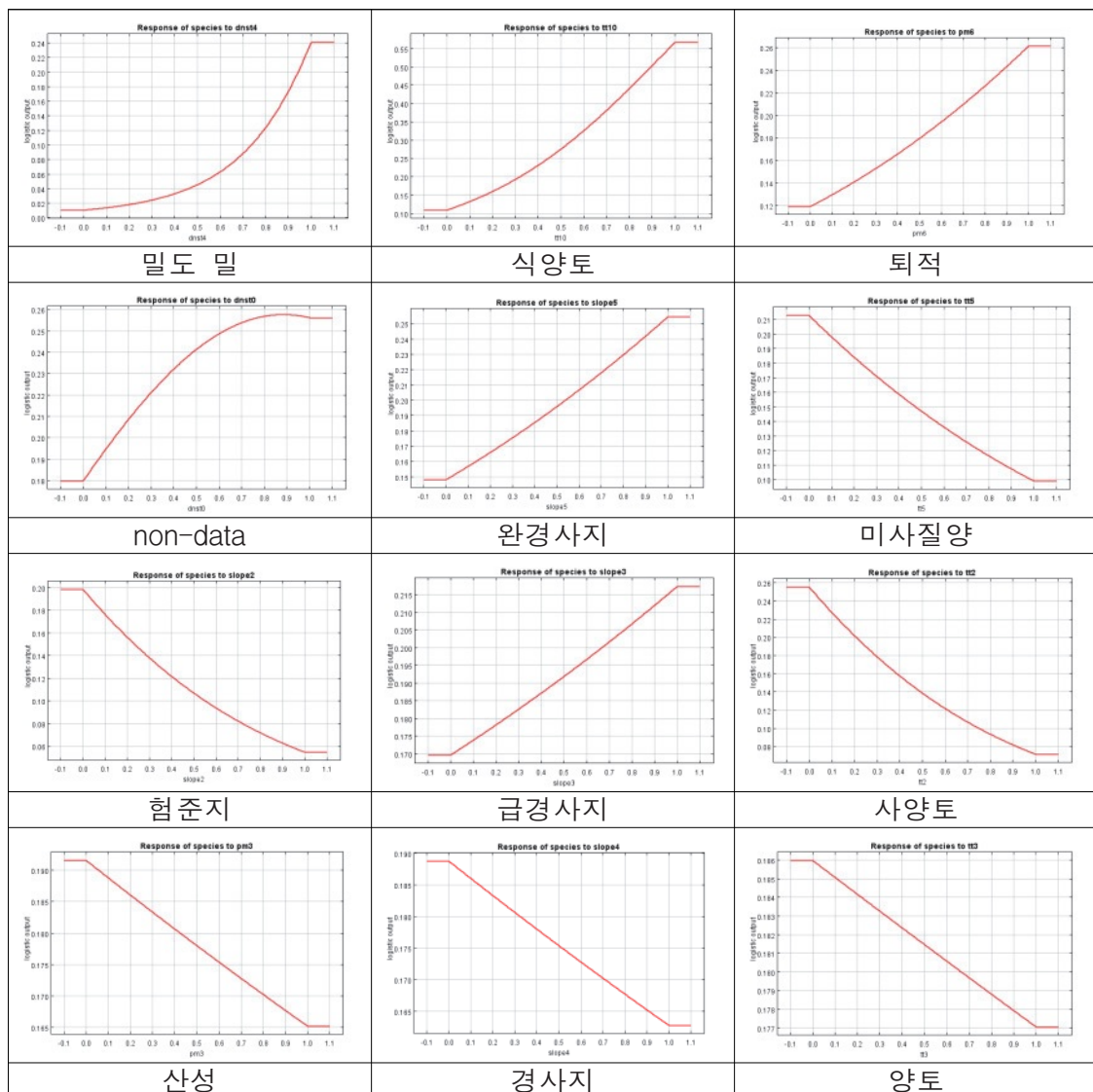
다) 표토는 식양토를 선호하고 모암은 퇴적지대를 선호하는 것으로 나타났음

라) 경사도 및 다른 변수들은 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났음

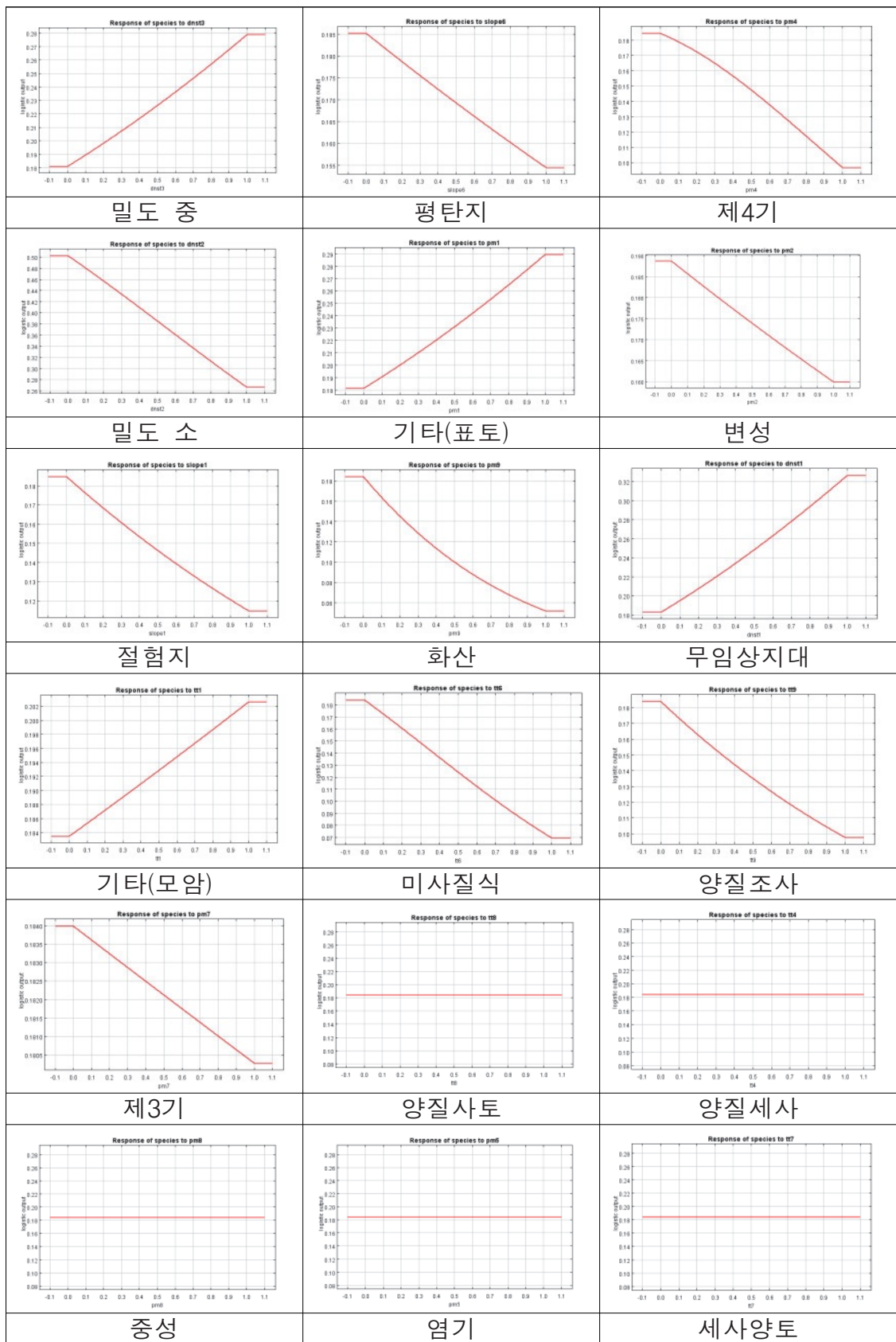
<표 2-8> 모델에 사용된 변수의 기여도 및 중요도

Variable	Percent contribution(%)	Permutation importance(%)
수관밀도 밀	25.1	23.6
식양토	22.7	4.4
퇴적	21.5	13.3
무임상지	10.8	10
완경사지	3.6	0.5
미사질양	2.2	3.1
험준지	1.7	2.2
급경사지	1.6	3
사양토	1.4	11.6
산성	1.3	3.9
경사지	1.3	1.8
양토	1.2	3.1
수관밀도 중	1	4.2
평탄지	1	5.3
제4기	0.7	3.8
수관밀도 소	0.7	1.5
기타(표토)	0.6	1.9
변성	0.4	0.7
절험지	0.4	0.6
화산	0.2	0.5
무임상지대	0.2	0.5
기타(모암)	0.2	0.1
미사질식	0.1	0
양질조사	0	0.4
제3기	0	0
양질사토	0	0
양질세사	0	0
중성	0	0
염기	0	0
세사양토	0	0

- 마) 모델에 사용된 변수들의 response curve는 다음과 같음(그림 2-7)
- 바) 모든 변수는 범주형 자료로 사용되었기 때문에, 그래프의 왼쪽인 0과 오른쪽인 1을 확인하면 됨. 기여도가 높은 순으로 그림을 삽입하였음
- 사) 기여도가 높은 밀(수관밀도), 식양토(표토), 퇴적(모암)은 산작약 서식지에 긍정적인 반응을 보여주었음
- 아) 식양토를 제외한 대부분의 표토성질은 산작약 서식지에 부정적인 반응을 보이거나 (미사질양, 사양토, 양토, 미사질식, 양질조사), 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었음(양질사토, 양질세사, 세사양토)
- 자) 모암 또한 퇴적지대를 제외하고 대부분의 지대는 부정적이거나(산성, 제4기, 변성, 화산, 제3기), 영향을 미치지 않았음(중성, 염기)



<그림 2-7> 변수 response curve (계속)



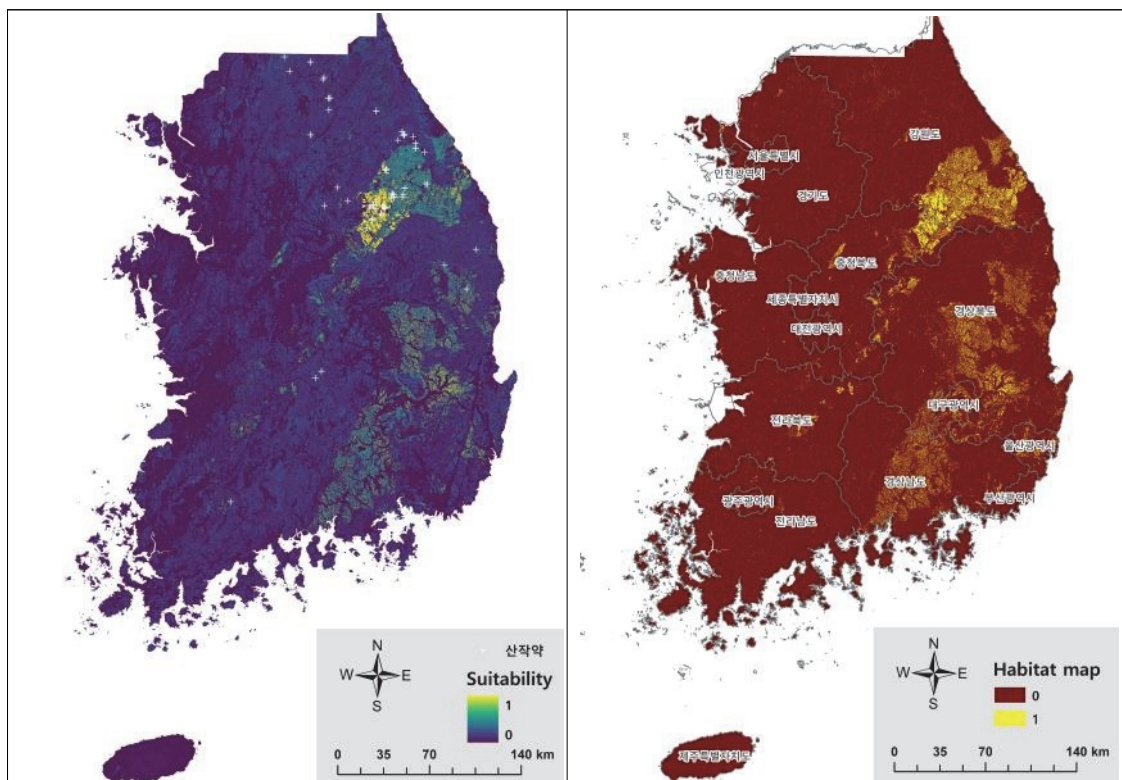
<그림 2-7> 변수 response cure

3) 산작약의 Suitability와 Habitat map

가) 다음은 MaxEnt 모델을 바탕으로 산작약의 Suitability와 Habitat map을 제작하였음
(그림 2-8)

나) Habitat map은 앞서 언급했듯이 Suitability가 0.52 이상인 지역으로 평가하였음

다) 결과를 살펴보면, 강원도 남부와 경상북도, 대구광역시, 경상남도 일부 지역에서 높은 것을 확인할 수 있는데, 이는 모델 기여도가 높은 퇴적지대 및 식양토 지역과 유사한 것으로 확인됨



<그림 2-8> 산작약 MaxEnt 결과

다. 위협요인 분석 결과

1) 산작약 위협평가

- 가) 현장조사를 통한 산작약 위협요인 분석 결과 산작약은 관광 및 휴양지(1.3), 채굴 및 채석(3.2), 육상식물채집(5.2), 벌목 및 벌채(5.3), 여가활동(6.1), 쓰레기와 고형 폐기물(9.4), 눈사태 및 산사태(10.3) 등의 위협요인에 노출되어 있음(표 2-9)
- 나) 산작약은 관광 가치가 높아 무분별한 채집(5.2)이 가장 큰 위협요인으로 판단되며, yw3과 같이 개인 소유지에 출현하는 경우 벌목 및 벌채, 서식지의 변형 등 심각한 위협요인에 노출되는 것으로 판단됨
- 다) MaxEnt 분석 결과 퇴적암 지역 특히 석회암과 같이 기반암이 유효자원으로 가치가 있어 개발·생산(채굴 및 채석)되는 경우 서식지 변형이 불가피하며, 이는 개체군 소멸을 가속화시킬 것으로 판단됨

<표 2-9> 위협평가 내용

Site	Classification of threats	impact of a threat	scope of a threat	severity of a threat	timing of a threat	Calculated Overall Threat Impact
yw1	1.3	Low	Small (1-10%)	Slight or 1-10% pop. decline	High (continuing)	Low
	5.3	Low	Restricted (11-30%)	Moderate or 11-30% pop. decline	Moderate (short-term)	
yw2	1.3	Low	Small (1-10%)	Slight or 1-10% pop. decline	High (continuing)	Low
yw3	5.2	Very High	Pervasive (71-100%)	Extreme or 71-100% pop. decline	High (continuing)	Very High
yw4	10.3	Low	Restricted (11-30%)	Moderate or 11-30% pop. decline	Moderate (short-term)	Low
	9.4	Low	Small (1-10%)	Slight or 1-10% pop. decline	High (continuing)	
Dy1	3.2	Low	Small (1-10%)	Slight or 1-10% pop. decline	Moderate (short-term)	Low
yw5	10.3	Low	Small (1-10%)	Moderate or 11-30% pop. decline	Moderate (short-term)	Low
yw6	1.3	High	Large (31-70%)	Serious or 31-70% pop. decline	High (continuing)	High
	5.2	High	Large (31-70%)	Serious or 31-70% pop. decline	High (continuing)	
Pc1	5.2	Low	Restricted (11-30%)	Moderate or 11-30% pop. decline	Moderate (short-term)	Low
	6.1	Low	Restricted (11-30%)	Moderate or 11-30% pop. decline	Moderate (short-term)	
yw7	3.2	Low	Restricted (11-30%)	Moderate or 11-30% pop. decline	Moderate (short-term)	Low
	5.2	Low	Restricted (11-30%)	Moderate or 11-30% pop. decline	Moderate (short-term)	

4. 결론

- 가. 산작약은 초지 및 미립목지 보다 반음지~음지의 수관밀도가 70% 이상인 환경 즉 광환경이 분포에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 확인됨
- 나. 수관밀도가 ‘밀’ 인 것을 선호하는 산작약 분석 결과 과도한 숲 가꾸기 사업 및 임도 건설이 지양되어야 함을 시사함.
- 다. 가장자리효과에 의해 서식지 파편화, 숲 바닥의 측광·직사광선에 의한 광환경 변화, 광량 증가에 따른 토양 건조, 오염물질의 직접적 영향 등이 숲의 쇠퇴를 촉진 시키며 산작약 분포에 부정적인 영향을 미침
- 라. 표토는 식양토를 선호하고 모암은 퇴적지대를 선호하는 것으로 나타났음
- 마. 수평적으로 퇴적암을 기반으로 하는 강원 남부, 대구광역시, 경상남도 일부 지역이 분포적합도가 높은 것으로 확인되었음. 수직적으로 해발고도 900m 이상에서는 분포가 급격히 줄어들
- 바. 계곡 및 하천과의 거리가 500m 이내, 경사도가 15° ~ 30° 인 계곡부에 집중하여 분포 하며, 사면 방향이 북사면인 서식지를 선호하는 것으로 확인됨
- 사. 냉·온대 산지식생의 침활혼효림, 하록활엽수림, 침엽수림 등 다양한 임상에서 확인되는 것으로 보아 임상은 분포에 큰 영향을 미치지 않음
- 아. 산작약의 위협요인으로서는 여러 가지가 있으나 관상용으로 가치가 높아 무분별한 채집이 가장 큰 위협요인으로 작용하며, 그 외에 결국 서식지의 훼손과 변형이 개체군 소멸을 가속화시킬 것으로 판단됨

Ⅲ. 서울개발나물

1. 기초생태자료 및 연구대상지 선정

가. 서울개발나물 개요

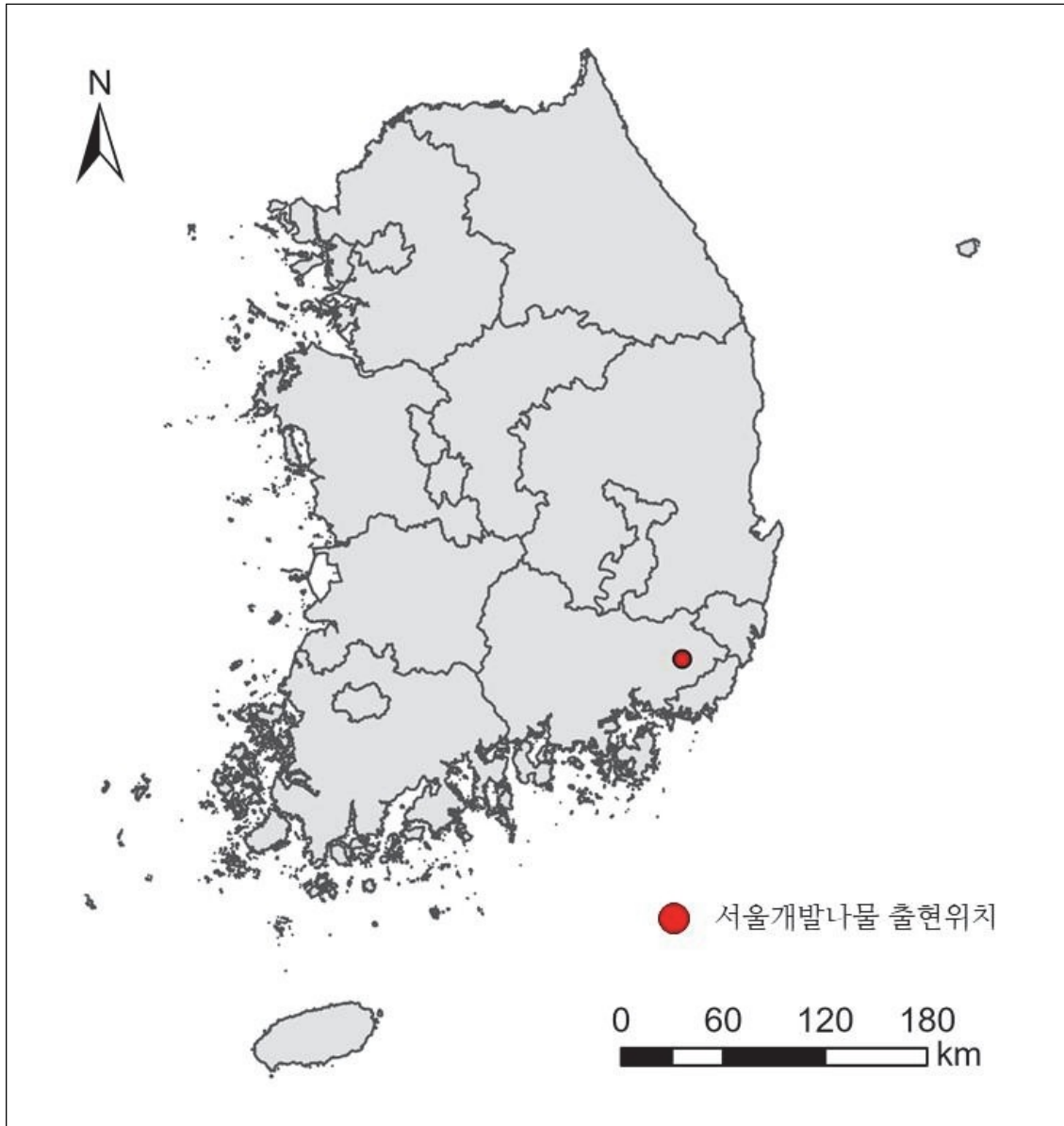
1) 서울개발나물 분류, 형태 및 생태학적 특성

<표 3-1> 서울개발나물의 종 정보 및 특성

	학명	<i>Pterygopleurum neurophyllum</i> (Maxim.) Kitag.
	분류학적 위치	산형목(Apiales), 산형과(Apiaceae)
	보호종 지정 현황	환경부 멸종위기야생생물 II 급 국가적색목록평가 위급(CR) 산림청 희귀식물
	분포지역	경상남도 양산시
	개체수 및 개체군 추세	개체군 감소 추세
	특이점	1902년 처음 발견된 이후 1967년에 멸종된 것으로 여겨지다가 2011년 재발견됨(양산)
형태 및 생태학적 특징		
- 뿌리는 흰색이며 육질로 굵어지고 땅속줄기는 짧음 - 줄기는 곧게 서고 각이 지며 윗부분에서 가지가 갈라짐 - 속은 비어있고 80~180cm 정도로 자람 - 잎은 어긋나며 줄기 위쪽으로 갈수록 잎과 잎자루는 작고 짧아짐 - 잎은 2~3회 깃꼴로 갈라지고 갈래잎은 선형으로 가장자리가 밋밋함 - 꽃은 흰색으로 피고 겹산형꽃차례를 이루며 꽃줄기에 날개 모양의 주름이 있음 - 꽃싸개잎은 있거나 없으며 꽃잎은 5장이고, 꽃잎은 흰색이며 끝이 오목하게 들어감 - 열매는 분열과이며 타원형으로 길이는 3.5~4.0mm 임		

나. 연구대상지 선정

- 1) 서울개발나물은 대한민국 내 한 지점(경상남도 양산시)에서 자생함(그림 3-1)
- 2) 대한민국에 유일하게 남아있는 서울개발나물 자생지인 양산시 원동습지를 현장조사 대상으로 선정함
- 3) 양산시 원동습지는 서울개발나물과 선제비꽃이 함께 자생하여 보전가치가 매우 높은 지역으로, 풀베기를 통한 서식지 관리 대상으로 선정하여 그 효과를 검증함



<그림 3-3> 서울개발나물 전국 분포 현황

2. 연구방법

가. 자생지 환경특성 수집

1) 문헌조사

가) 서울개발나물의 자생지 및 생태 특성 조사를 위해 구글스칼라(<https://scholar.google.co.kr/>)와 학술연구정보서비스(<https://www.riss.kr/>)를 이용하여 문헌(학위논문, 학술지, 보고서 등)을 수집·검토함

2) 현장조사

가) 자생지 환경특성 조사

- 방형구(1x1m)를 기준으로 원동습지 내 12지점을 2차례(5월, 9월) 조사하였음
- 서울개발나물 자생지와 비교를 위해 지리적으로 유사한 지역이나 서울개발나물이 확인되지 않은 삼랑진 미전천 생태공원 내 3지점을 추가로 조사하였음
- 기전식 산습도계(DM-5, Takemura)를 이용하여 조사지점 내 5곳을 무작위로 선정하여 토양 습도와 pH를 측정하였으며, 식생은 방형구 반경 3m를 기준으로 조사하였음(그림 3-2)



<그림 3-4> 서울개발나물 자생지 현장조사

나. 통계분석

1) 군집분석

- 가) 서울개발나물 자생지 내 출현지점을 기준으로 출현 식생 데이터를 활용하여 군집간의 차이 및 서울개발나물 자생지의 환경적 특성을 도출하기 위해 Jamovi(ver. 2.3)를 이용하여 통계분석을 수행함
- 나) 식생조사 결과 확인한 종을 모두 나열한 후 지점별로 출현한 경우는 1, 비출현한 경우는 0으로 구분하여 군집분석을 수행함
- 다) 군집분석의 적합성을 평가하고 데이터의 구조적 특성을 시각적으로 파악하기 위해 다차원 척도법(MDS, Multidimensional Scaling)을 적용함
- 라) MDS 결과를 바탕으로 적절한 군집 수(K)를 결정한 뒤, K-means 알고리즘을 이용하여 군집화(clustering)를 수행함

다. 관리방안 검증

1) 자생지 관리를 위한 풀베기 수행

- 가) 광조건 개선을 통한 개체 발아 촉진을 위하여 자생지 내 물억새 및 갈대 등의 고사체를 베어내어 제거함
- 나) 2024년 2월 19~21일간 진행하였으며 개체군 규모가 큰 지점을 대상으로 제초용 소도구와 예초기를 이용하여 풀베기를 수행함(그림 3-3 a, b)

2) 개체수 증감 및 범위 조사

- 가) 2023년 5월 수행한 원동습지 전수 조사를 통해 서울개발나물의 개체수를 확인하고 DGPS(고해상도 위치정보 기록장비)를 활용하여 위치를 기록함(그림 3-3 c)
- 나) 2024년 2월 풀베기 활동 이후 5월 2일~3일 양일간 개체수 확인을 통해 서울개발나물의 개체군 증감을 확인하였음



<그림 3-7> 서울개발나물 자생지 관리 및 검증

3) 다분광 센서(Multispectral)를 활용한 식생활력도 검증

- 가) 좁은 지역에 자생하는 초본의 환경을 정밀하게 측정하기 위해 소형무인멀티콥터에 다분광 센서를 부착하여 양산 원동습지를 6cm의 해상도로 촬영하였음(그림3-4)
- 나) 풀베기 효과의 검증을 위하여 관리 이전에 1차 촬영(2월 15일~16일)을 수행하였으며, 개체 발아 이후에 2차 촬영(4월 4일~5일)을 진행함
- 다) RGB 및 NIR값을 기반으로 ArcGIS Pro(3.1.0)의 래스터 계산기(Raster Calculator) 도구를 활용해 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index) 도면을 도출함
- 라) 식생조사 범위와 같은 3×3m의 사각형 폴리곤(polygon)을 생성하여 자생지 관리 지역과 비관리지역에 무작위로 3개씩 배치한 후 폴리곤 범위 내 NDVI평균 값을 비교하였음



<그림 3-8> 소형무인멀티콥터 구동

3. 연구결과

가. 자생지 환경특성 수집

1) 문헌조사 결과

- 가) 서울개발나물의 연구는 총 4건으로 확인되었음(표 3-2)
- 나) 서울개발나물의 자생지인 원동습지의 식물상 조사 결과 29과 36속 71종 10변종 1품종에 속하는 총 82분류군이 확인되었음
- 다) 서울개발나물 자생지는 물억새군락의 아군락으로, 물억새 군집 중 서울개발나물이 출현하는 구획과 출현하지 않는 구획을 비교한 결과 물억새의 높은 밀도가 서울개발나물의 성장과 분포에 영향을 미치는 것으로 확인되었음
- 라) 원동습지를 이루는 세 군락은 소수의 다양한 1년생 식물이 수반되는데, 여름철 간헐적 범람에 의한 침수 및 주변 도로개설 등 교란에 크게 노출되었기 때문으로 보임
- 마) 원동습지 내 연목립 군락인 버드나무, 키버들, 왕버들 군락이 확인되며 이들은 천이도 중상 식생으로 정착 후 우점할 확률이 큼
- 바) 서울개발나물 자생지인 원동습지 출현 식물, 서울개발나물이 포함된 물억새 군락 내 출현 식물, 서울개발 분포지점의 식물 등을 대상으로 분석한 결과 원동습지의 생활형은 Th-R₅-D₄-e type으로 확인됨
- 사) 서울개발나물의 종자는 형태생리적 휴면(MPD, Morphophysiological Dormancy)을 가지며 이는 겨울철 발아를 방지하여 습지환경에서 생존하기 위한 적응 전략임
- 아) 원동습지의 위협요인으로는 낚시꾼들의 출입으로 인해 지속적으로 식생이 제거되는 지역이 있다는 것이며, 토지매립에 따른 교란이 발생하는 것임
- 자) 서울개발나물의 자생지를 확장하고 유지하기 위해서는 물억새의 밀도를 조절하여 서식지 환경을 개선하는 등 토양교란 없는 습지 개입을 통해 과밀 경쟁 식물의 식생피복을 감소시키는 것이 필요함

<표 3-2> 서울개발나물 관련 문헌

구분	요약	참고문헌
식물상	- 서울개발나물의 자생지인 원동습지의 식물상 조사 결과 29과 36속 71종 10변종 1품종에 속하는 총 82분류군이 확인되었음 - 서울개발나물 자생지는 물억새군락의 아군락으로 서울개발나물, 쇠치기풀, 가락지나물, 찔레가 구분종으로 분석됨 - 물억새 군집 중 서울개발나물이 출현하는 구획과 출현하지 않는 구획을 비교한 결과 물억새의 높은 밀도가 서울개발나물의 성장과 문포에 영향을 미치는 것으로 확인되었음 - 원동습지의 특징적인 세 군락은 모두 수반종이 거의 없으며 장마철 침수에 강한 일년생 덩굴식물이 소수 생육하고 있음 - 그밖에 소수의 다양한 1년생 식물이 군락 내 수반되는 이유는 여름철 간헐적 범람에 의한 침수 및 주변 도로개설 등 교란에 크게 노출되었기 때문임 - 원동습지 내 연목림 군락인 버드나무, 키버들, 왕버들 군락이 확인되며 이들은 천이도 중상 식생으로 정착 후 우점할 확률이 큼	Park et al., 2021 Park, 2023
생활형	- 서울개발나물 자생지인 원동습지 출현 식물, 서울개발나물이 포함된 물억새 군락 내 출현 식물, 서울개발 분포지점의 식물 등을 대상으로 분석한 결과 휴면형의 경우 1년생 식물(Th, Therophytes)의 비율이 가장 높게 나타남 - 같은 방법으로 분석한 결과 번식형중 지하기관형(Radicoid form)은 대부분 R₃와 R₅였으며, 산포기관형(Disseminule form)은 50%이상 D₄였음 - 생육형(Growth form)은 e와 t가 대부분을 차지하였음	Park, 2023
종자	- 종자의 길이는 $2.03 \pm 0.12\text{mm}$, 너비는 $3.47 \pm 0.36\text{mm}$, 갈색을 띠 - 종자 외피는 오목한 망상 구조 - 형태생리적 휴면(MPD, Morphophysiological Dormancy)을 가지며, 배가 발달되지 않은 상태(MD)와 생리적 억제(PD)를 동시에 포함 - MPD를 통해 겨울철 발아를 방지하여 습지환경에서 생존하기 위한 적응 전략임 - H₂SO₄전처리 후 한랭 층적 처리와 GA₃처리를 통해 종자의 휴면을 타파하고 발아를 촉진할 수 있음	Kwon et al., 2020
위협요인	- 원동습지는 낚시꾼들의 출입으로 인해 지속적으로 식생이 제거되는 지역이 있으며, 토지매립에 따른 교란이 발생함	Kim et al., 2022
관리방안	- 토양교란 없는 습지 개입을 통해 과밀 경쟁 식물의 식생피복을 감소시키는 것이 서울개발나물 보존에 필요함 - 토양 개간으로 인해 토양의 조립암 함량이 높아지거나 피압이 생길 경우 서울개발나물에 부정적인 영향을 미침 - 서울개발나물의 자생지를 확장하고 유지하기 위해서는 물억새의 밀도를 조절하여 서식지 환경을 개선해야 함	Kim et al., 2022 Park et al., 2021

2) 현장조사 결과

가) 자생지 환경특성

- 서울개발나물 서식지 현장조사 결과 총 개체수는 314개체로 확인되었음
- 물억새 군락에 섞여 출현하며 단독으로 넓은 군락을 이루지는 않음
- 소수 개체가 왕버들 아래 반음지에서 자생하기도 하나 대부분 양지에 자생함 (그림 3-5)
- 물억새, 갈대 등과의 경쟁이 발생하고 인근에 자전거도로가 있으며 낚시꾼 등 인간의 출입이 잦은 지역임



<그림 3-9> 서울개발나물 자생지 현장조사

나) 자생지 토양 특성

- － 서울개발나물 자생지 토양분석 결과 평균 습도는 72.9%, pH는 6.1로 약산성을 띠는 것으로 확인됨
- － 서울개발나물이 자생하지 않는 삼랑진의 경우 pH 값은 평균 6.4로 유사했으나, 토양 습도 평균이 54.3%로 다소 낮은 것을 확인하였음(표3-3)

<표 3-3> 서울개발나물 자생지 토양분석

조사 항목	조사지점(자생지)												평균	조사지점(대조군)			평균
	YD1-1	YD1-2	YD1-3	YD2-1	YD2-2	YD2-3	YD3-1	YD3-2	YD3-3	YD4-1	YD4-2	YD4-3		SL-1	SL-2	SL-3	
토습 (%)	76.6	73.4	69.6	56.0	68.4	96.8	70.6	74.0	73.0	72.6	71.0	72.6	72.9	50	58	55	54.3
pH	6.1	6.0	6.2	6.6	6.3	5.8	6.3	5.8	5.8	6.0	5.9	6.2	6.08	6.62	6.38	6.2	6.4

다) 자생지 식생 조사

- 서울개발나물 자생지 식생조사 결과 총 22과 32속 36종의 식물을 확인하였음
(표 3-4)

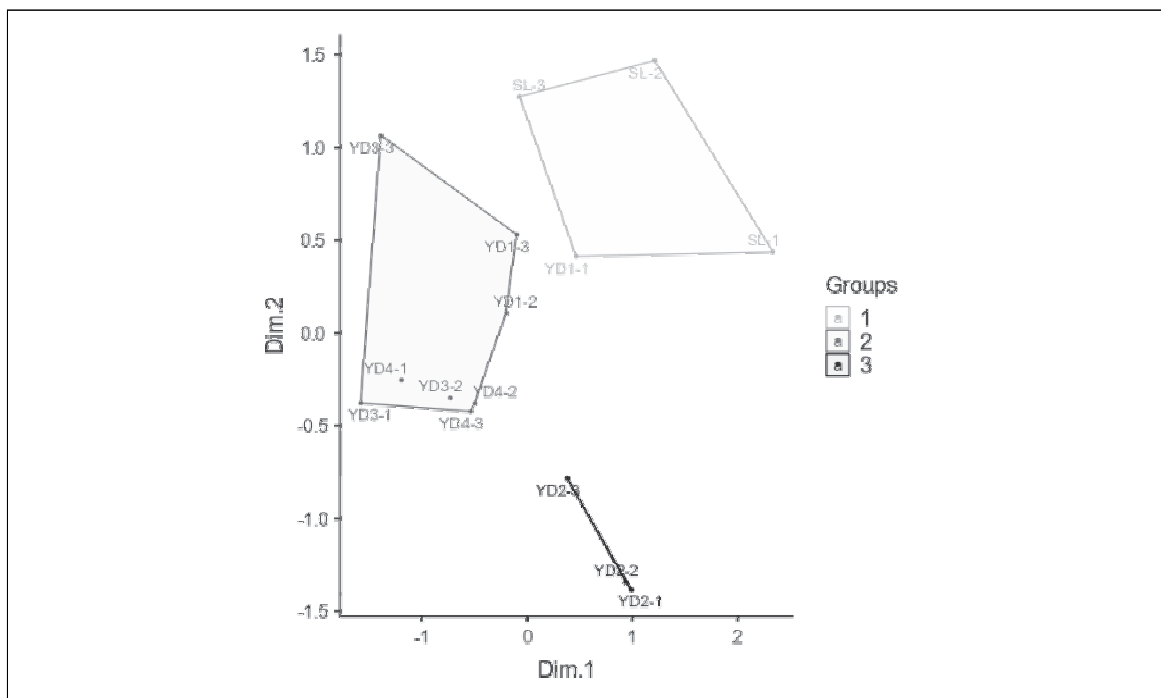
<표 3-4> 서울개발나물 자생지 식생조사 결과

국명	학명	YD 1-1	YD 1-2	YD 1-3	YD 2-1	YD 2-2	YD 2-3	YD 3-1	YD 3-2	YD 3-3	YD 4-1	YD 4-2	YD 4-3	SL1	SL2	SL3	빈도
물억새	<i>Miscanthus sacchariflorus</i> (Maxim.) Hack.	+	+	+	.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	14
서울개발나물	<i>Pterygopleurum neurophyllum</i> (Maxim.) Kitag.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	.	.	12
머느리배꼽	<i>Persicaria perfoliata</i> (L.) H. Gross	.	+	.	.	.	+	.	+	+	+	+	+	+	+	+	10
갈대	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.	+	+	.	+	+	.	.	+	.	.	+	+	+	+	.	9
비수리	<i>Lespedeza cuneata</i> (Dum. Cours.) G. Don.	.	.	.	.	+	+	+	+	.	+	+	+	.	.	.	7
흰젓제비꽃	<i>Viola lactiflora</i> Nakai	.	.	.	.	.	.	+	+	+	+	+	+	.	.	.	6
식물류	<i>Achyranthes bidentata</i> var. <i>japonica</i> Miq.	+	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	+	+	.	5
환삼덩굴	<i>Humulus japonicus</i> Siebold & Zucc.	+	.	+	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+	+	5
괭이사초	<i>Carex neurocarpa</i> Maxim.	.	.	.	+	+	+	.	.	.	.	.	.	+	.	.	4
쇠뜨기	<i>Equisetum arvense</i> L.	.	+	.	.	.	.	+	.	+	+	.	.	.	.	.	4
계요등	<i>Paederia foetida</i> L.	.	.	.	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3
여뀌바늘	<i>Ludwigia epilobioides</i> Maxim.	.	.	.	.	.	.	+	+	+	.	.	.	.	.	.	3
왕버들	<i>Salix chaenomeloides</i> Kimura	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	3
나도겨풀	<i>Leersia japonica</i> (Honda) Honda	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	2
망초	<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+	2
산뽕나무	<i>Morus bombycis</i> Koidz.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	2
소리쟁이	<i>Rumex crispus</i> L.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
쇠치기풀	<i>Hemarthria sibirica</i> (Gand.) Ohwi	.	.	.	.	.	.	+	.	.	+	.	.	.	.	.	2
참느릅나무	<i>Ulmus parvifolia</i> Jacq.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	2
가락지나물	<i>Potentilla kleiniana</i> Wight & Arn.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	1
가막사리	<i>Bidens tripartita</i> L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	1
골풀	<i>Juncus decipiens</i> (Buchenau) Nakai	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	1
닭의장풀	<i>Commelina communis</i> L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	1
돌콩	<i>Glycine soja</i> Siebold & Zucc.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	1
뚜껑덩굴	<i>Actinostemma lobatum</i> (Maxim.) Franch. & Sav.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	1
말뚝비름	<i>Sedum bulbiferum</i> Makino	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
버드나무	<i>Salix pierotii</i> Miq.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	1
새박	<i>Melothria japonica</i> (Thunb.) Maxim. ex Cogn.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	1
쑥	<i>Artemisia indica</i> Willd.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	1
여뀌	<i>Persicaria hydropiper</i> (L.) Delarbre	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	1
여우주머니	<i>Phyllanthus ussuriensis</i> Rupr. & Maxim.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	1
찔레나무	<i>Rosa multiflora</i> Thunb.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	1
콩제비꽃	<i>Viola verecunda</i> A. Gray	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	1
팽나무	<i>Celtis sinensis</i> Pers.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	1
흰갈퀴	<i>Galium tokyoense</i> Makino	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
흰꽃여뀌	<i>Persicaria japonica</i> (Meisn.) H. Gross ex Nakai	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	1

나. 통계분석

1) 군집분석

- 가) K-means 알고리즘을 통한 군집분석 결과 조사지점은 3개의 군집으로 나뉘었음(그림 3-6)
- 나) Dim.1은 입지의 안정성에 따라 나뉘며, Dim.2는 토양습도에 따라 나뉘었음
- 다) 현장조사 결과 삼랑진 지역(SL)은 원동습지보다 평균 토양 습도가 낮았으며, 왕버들과 버드나무가 출현하는 등 안정화 및 육지화가 진행되는 지역이었음
- 라) YD2 지점은 왕버들 아래의 자생지로 목본이 다수 출현하여 안정화된 지역이나, 삼랑진과 달리 토양 습도가 매우 높아 개별 군집으로 분류되었음
- 마) 계요등과 같이 임연부에 주로 출현하는 종이 YD2지역에만 확인되었으며, 초본층의 종 다양성이 낮은 것이 이를 반증함
- 바) YD1, YD3, YD4 지점은 교목이 없으며 서울개발나물이 물억새와 경쟁하는 지역임
- 사) 특히 YD1 지점은 과거 농경지로 사용되어 토양에 이랑의 흔적이 남아있는 지역이며 자전거 도로와 가까워 사람의 출입이 가장 쉬운 지역임
- 아) 따라서 YD1-1지역은 높은 피압으로 육지화가 진행되어 삼랑진 지역과 함께 분류된 것으로 판단됨
- 자) 흰젓제비꽃, 비수리, 여뀌바늘 등 양지를 선호하는 식생이 YD3, YD4 지점에서 다수 출현하여 하나의 군집으로 분류된 것으로 판단됨



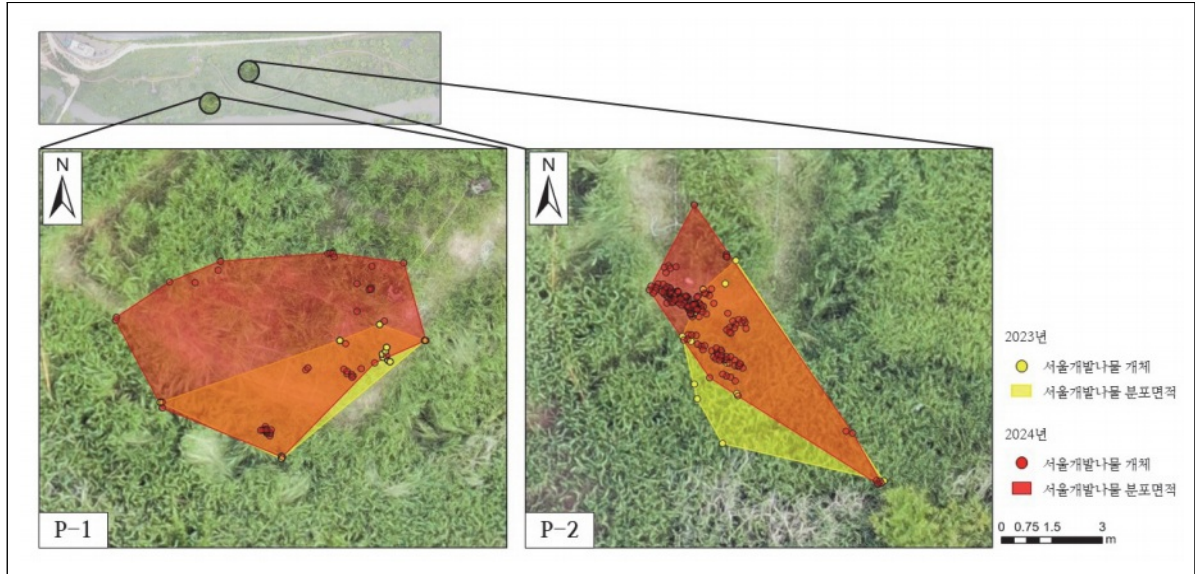
<그림 3-14> 서울개발나물 군집분석 결과

다. 관리방안 검증

1) 분포면적 및 개체수 비교

가) 서울개발나물 자생지관리를 수행한 두 지점 중 P-1지점의 분포면적은 '23년 13.05㎡에서 '24년 36.80㎡로 증가한 것을 확인하였음(그림 3-7)

나) P-2지점의경우 분포 면적 증가는 미미하지만 개체군의 확산과 신규 발아한 유묘 개체의 증가로 개체군 밀도가 증가함



<그림 3-15> 서울개발나물 분포 면적 비교

다) 개체수 조사 결과 '23년에는 8지점 106개체를 확인하였고 '24년에는 9지점 314개체를 확인하여 개체수가 증가하였음을 확인함(표 3-5)

라) 신규지점을 제외한 구역 중 풀베기를 통한 관리를 수행한 지점은 전년대비 확연한 증가를 보였으며 관리 미수행지점은 개체수가 감소되거나 소폭 상승한 것을 통해 풀베기의 효과를 확인함

마) '24년 확인한 개체 중 유묘는 181개체(57.6%)로 생장 이후 개체수 변동이 있을 것으로 예상되며 지속적인 모니터링이 필요함

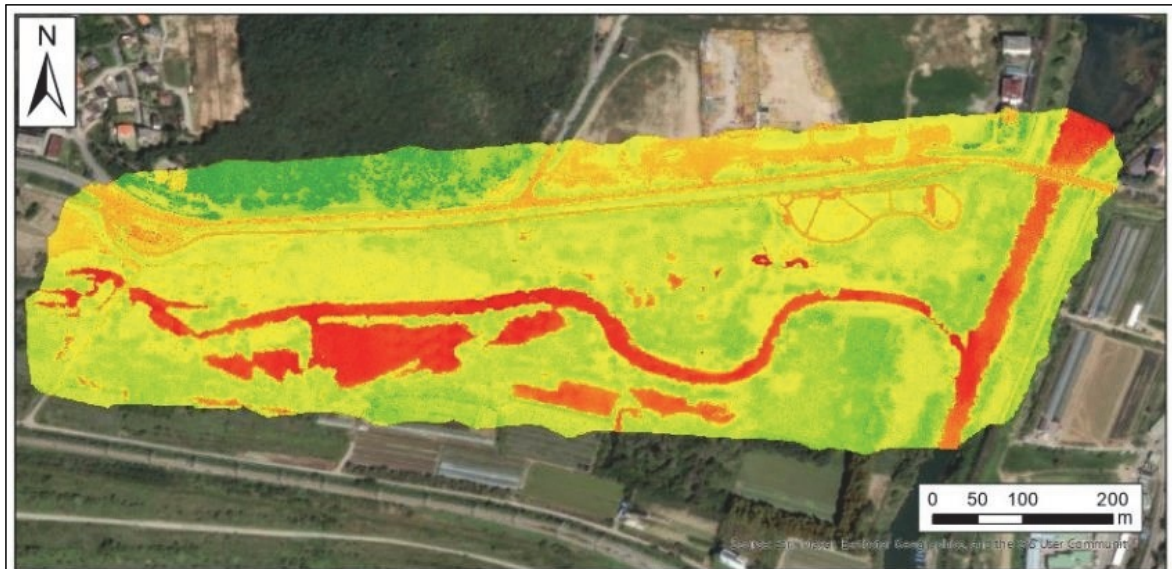
<표 3-5> 서울개발나물 개체수 변화

구역	조사연도		전년대비 증감현황	비고
	2023	2024		
P-1	12	48	▲ 36	풀베기 대상지
P-2	12	157	▲ 145	풀베기 대상지
P-3	2	1	▼ 1	
P-4	8	6	▼ 2	
P-5	56	77	▲ 21	집중분포지역
P-6	1	1	-	
P-7	3	2	▼ 1	
P-8	12	19	▲ 7	
P-9	-	3	▲ 3	신규지점
합계	106	314	▲ 208	

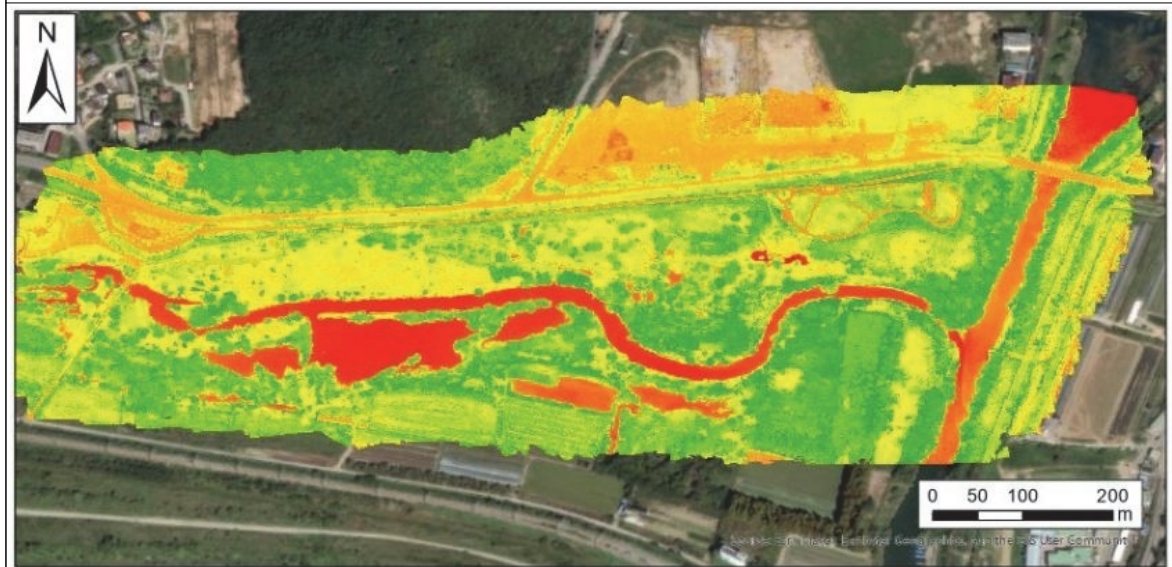
2) 다분광 센서(Multispectral)를 활용한 식생활력도 검증

가) 원동습지 다분광센서 촬영 결과를 가공하여 NDVI도면을 제작하였음

나) 초록색에 가까울수록 식생 밀도가 높고 건강한 초목이 있는 지역이며, 붉은색에 가까울수록 식생이 거의 없는 지역이나 비식생지역(건물, 바위, 물)임을 확인할 수 있음



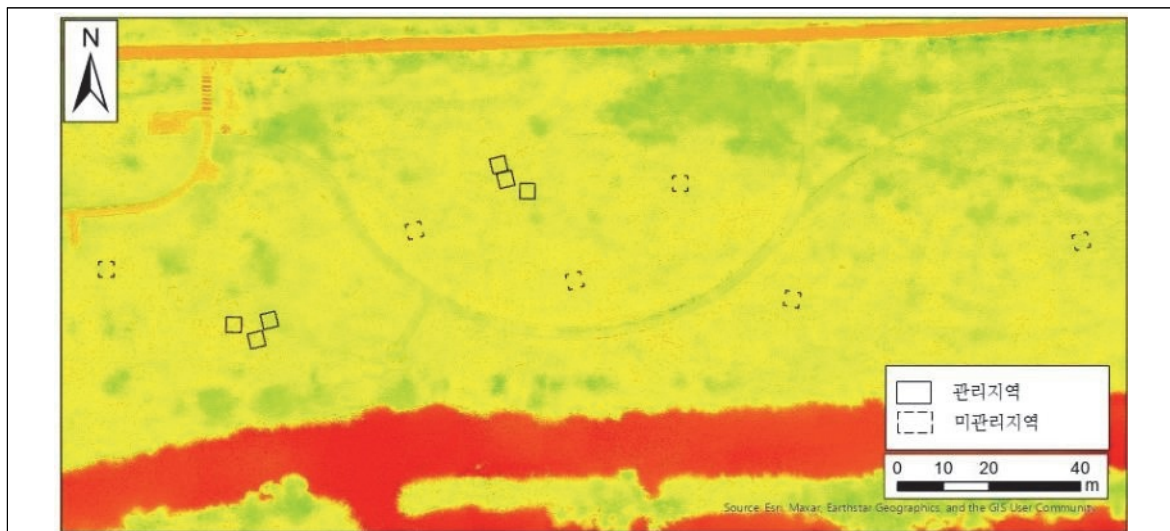
2월 15일 촬영 영상



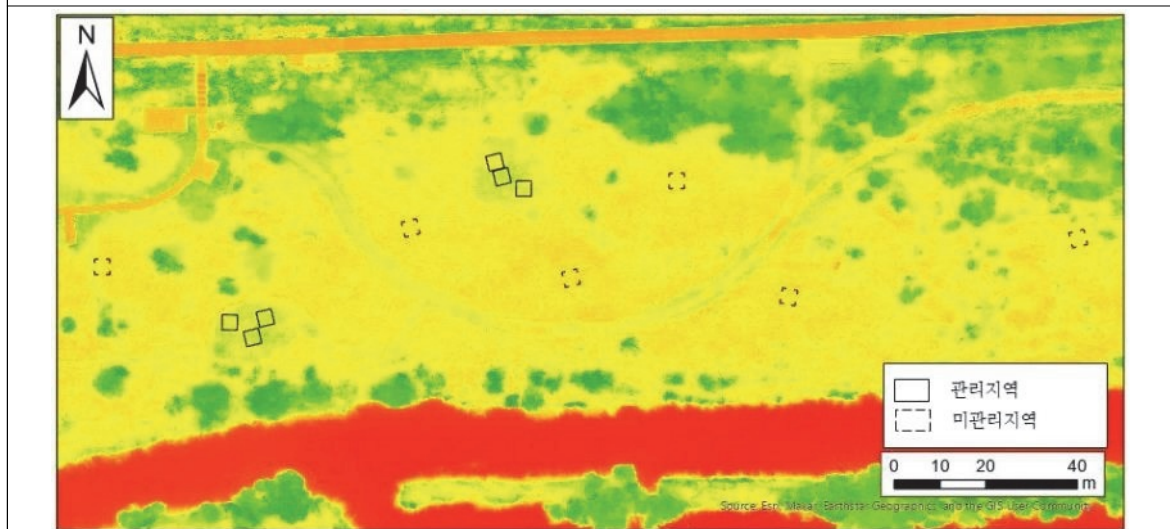
4월 5일 촬영 영상

<그림 3-8> 원동습지 NDVI 비교

- 다) 관리지역은 NDVI값이 평균 0.065 증가하였으나 미관리지역은 고사체 등의 적체로 신규식생이 발아하지 못하여 NDVI값이 평균 0.035 감소한 것을 확인하였음
- 라) 고사체 제거 및 풀베기를 통한 자생지 관리지역의 식생활력도가 증가함을 확인하였으며 개체수 증가도 함께 확인되어 서울개발나물 발아에 긍정적인 영향을 미칠 수 있을 것으로 확인됨



2월 15일 촬영 영상



4월 5일 촬영 영상

Site	NDVI 값		
	2월	4월	차이
관리지역1	0.245	0.345	0.100
관리지역2	0.260	0.294	0.034
관리지역3	0.252	0.276	0.024
관리지역4	0.286	0.324	0.038
관리지역5	0.213	0.307	0.094
관리지역6	0.241	0.343	0.102
관리지역 평균	0.250	0.315	0.065
미관리지역1	0.230	0.202	-0.028
미관리지역2	0.227	0.193	-0.034
미관리지역3	0.276	0.230	-0.046
미관리지역4	0.246	0.203	-0.042
미관리지역5	0.255	0.215	-0.040
미관리지역6	0.238	0.217	-0.020
미관리지역 평균	0.245	0.210	-0.035

<그림 3-9> 원동습지 NDVI 비교(상세)

4. 결론

- 가. 멸종위기 야생생물 II급인 서울개발나물의 국내 유일 자생지인 경상남도 양산시 원동습지 환경 특성을 파악하고, 효과적인 서식지 관리 방안을 모색하였으며 풀베기를 실시하여 효과를 분석하였음
- 나. 문헌조사 결과 서울개발나물의 종자는 형태생리적 휴면을 가지며, 겨울철 발아를 방지하는 적응 전략을 가지고 있음을 확인함
- 다. 현장조사 결과 서울개발나물은 물억새 군락 내에서 주로 서식하며, 단독 군락은 형성하지 않음
- 라. 토양분석 결과 서울개발나물 자생지 토양은 약산성을 띠며, 대조군 대비 습도가 높다는 특징을 보임
- 마. 서울개발나물 자생지는 입지 안정성과 토양습도에 따라 크게 두 유형으로 구분 되었으며, 습도가 낮고 안정적인 입지에서는 출현 빈도가 낮은 것을 확인함
- 바. 양산 원동습지에서 실시한 풀베기 관리 결과, 서울개발나물의 개체수와 분포 면적이 증가하는 효과를 보임
- 사. 다분광 센서를 이용한 분석 결과 풀베기 관리 지역의 식생 활력도가 증가하여 서울개발나물의 생육에 긍정적인 영향을 미친 것으로 확인됨
- 아. 풀베기는 서울개발나물의 발아율을 높이고 개체군의 안정적인 유지를 위한 효과적인 관리 방안이 될 수 있음을 확인함
- 자. 서울개발나물의 자생지가 한곳밖에 남지 않았으므로 장기적인 관점에서 서식지 복원을 위한 로드맵을 수립해야 할 필요성이 있음

IV. 선제비꽃

1. 기초생태자료 및 연구대상지 선정

가. 선제비꽃 개요

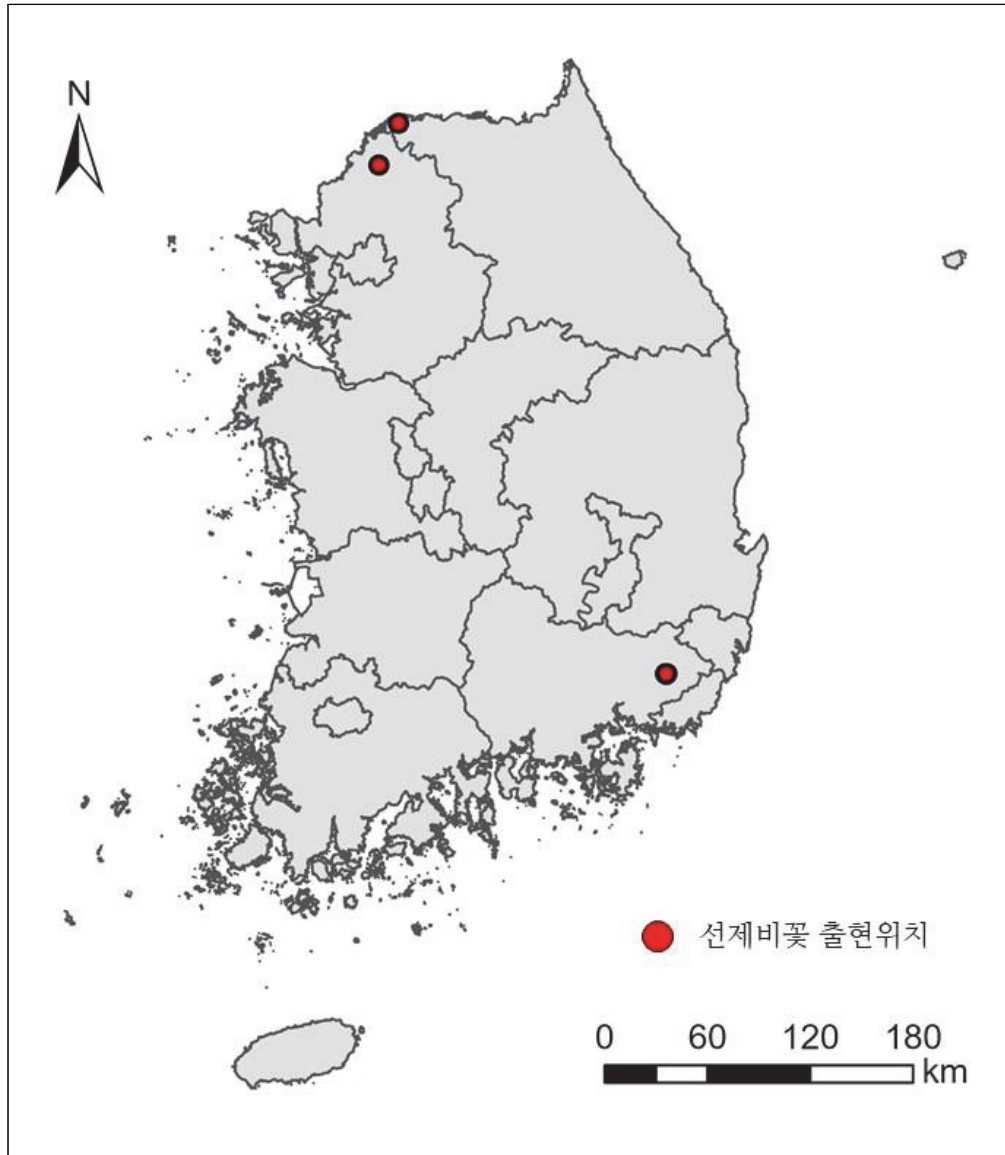
1) 선제비꽃 분류, 형태 및 생태학적 특성

<표 4-1> 선제비꽃의 종 정보 및 특성

선제비꽃		
	학명	<i>Viola raddeana</i> Regel
	분류학적 위치	제비꽃목(Violales), 제비꽃과(Violaceae)
	보호종 지정 현황	환경부 멸종위기야생생물 II급 국가적색목록평가 위급(CR) 산림청 희귀식물
	분포지역	강원특별자치도 철원군, 경기도 연천군, 경상남도 양산시
	개체수 및 개체군 추세	개체수 매우 적음
	특이점	식물체 높이30~50cm로 다른 제비꽃과 식물에 비해 큰편
형태 및 생태학적 특징		
- 땅속줄기는 짧고 줄기는 여러 개가 모여 나며 곧게 서고 높이 30~70cm임 - 앞은 어긋나며, 삼각상 피침형으로 밑은 얇은 심장형이나 끝으로 갈수록 점차 뾰족해지고 가장자리에 낮은 톱니가 있음 - 앞은 길이 4~8cm이고 너비 1~2cm이다. 잎자루는 길이 3~6cm이고 윗부분에 날개가 있음 - 턱잎은 선상 피침형으로 길이 3~6cm이며 가장자리에 큰 톱니가 있음 - 연한 보라색 꽃은 잎겨드랑이에서 나온 꽃줄기에 1개씩 달리며 길이는 1cm임 - 겉꽃잎에 자주색 줄과 털이 있으며, 꿀주머니(spur)은 길이 1.5~2.0mm인 반구형임 - 열매는 삭과이며 긴 타원형으로 길이 8~12mm임		

나. 연구대상지 선정

- 1) 선제비꽃은 강원특별자치도 철원군, 경기도 연천군, 경상남도 양산시 세 지점에서 자생함
- 2) 전국적으로 자생지가 적고 남북으로 거리가 떨어져 있어 모든 자생지를 현장조사 대상지로 선정함(그림 4-1)
- 3) 서울개발나물과 선제비꽃이 함께 자생하여 보전가치가 높은 양산시 원동습지를 풀베기를 통한 서식지 관리 대상지로 선정하여 그 효과를 검증함



<그림 4-2> 선제비꽃 연구대상지

2. 연구방법

가. 자생지 환경특성 수집

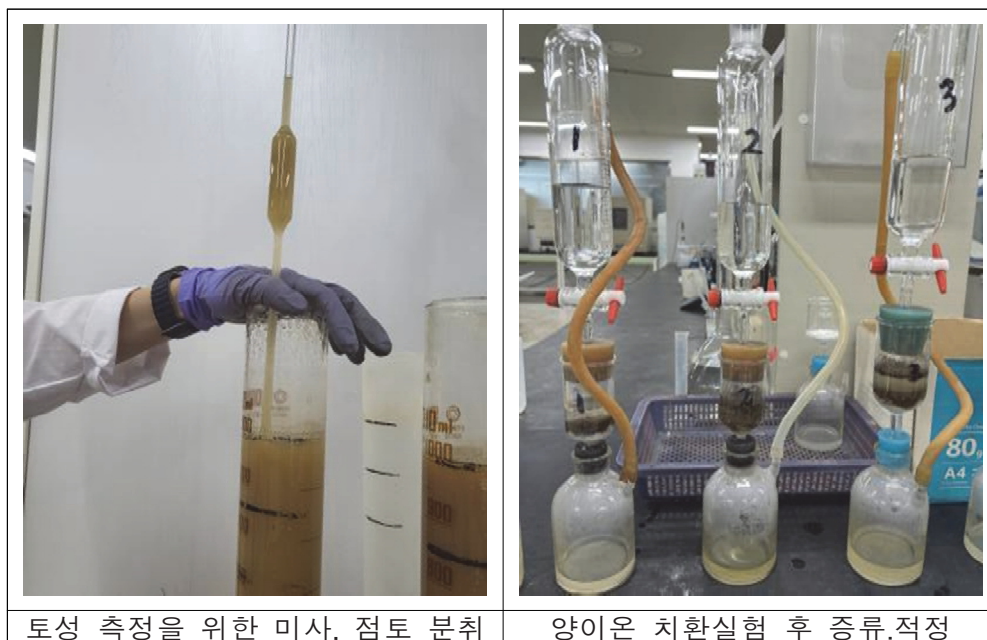
1) 문헌자료 수집

가) 선제비꽃의 자생지 및 생태 특성 조사를 위해 구글스칼라(<https://scholar.google.co.kr/>)와 학술연구정보서비스(<https://www.riss.kr/>)를 이용하여 문헌(학위논문, 학술지, 보고서 등)을 수집·검토함

2) 현장조사

가) 자생지 환경특성 조사

- － 방형구(1x1m)를 기준으로 양산 6지점, 연천 6지점, 철원 8지점을 2차례(5월, 9월) 조사하였으며, 식생은 방형구 반경 3m를 기준으로 조사하였음
- － 굴취칼(Digging Knife)을 이용해 토심 10cm 지점의 토양시료 채집하였으며, 이를 분석하여 유기물, 질소, 유효인산, 양이온치환용량, pH, 전기전도도, 토성 값을 얻었으며 토성은 미국 농무성법 분류를 따랐음(그림 4-2)
- － 토양분석에 필요한 최소한의 토양 시료량을 확보하기 위해 인접한 지역에 있는 방형구의 경우 하나의 샘플로 분석을 진행하였음



<그림 4-3> 자생지 토양 분석

나) 위협요인 조사

- 개체군 유지에 위협이 되는 서식지 내·외 요인들을 현장에서 직접 확인 후 기록함
- IUCN 위협요인 분류를 기준으로 NatureServe의 순위계산기(ver. 3.185)를 활용하여 각 위협의 범위와 심각도를 평가하였음

나. 통계분석

1) 군집분석

- 가) 선제비꽃 자생지 내 출현지점을 기준으로 출현 식생 데이터를 활용하여 군집 간의 차이 및 선제비꽃 자생지의 환경적 특성을 도출하기 위해 Jamovi(ver. 2.3)를 이용하여 통계분석을 수행함
- 나) 식생조사 결과 확인한 종을 모두 나열한 후 지점별로 출현한 경우는 1, 비출현한 경우는 0으로 구분하여 군집분석을 수행함
- 다) 군집분석의 적합성을 평가하고 데이터의 구조적 특성을 시각적으로 파악하기 위해 다차원 척도법(MDS, Multidimensional Scaling)을 적용함
- 라) MDS 결과를 바탕으로 적절한 군집 수(K)를 결정한 뒤, K-means 알고리즘을 이용하여 군집화(clustering)를 수행함

다. 관리방안 검증

1) 자생지 관리를 위한 풀베기 수행

- 가) 광조건 개선을 통한 개체 발아 촉진을 위하여 자생지 내 물억새 및 갈대등의 고사체를 베어내어 제거함
- 나) 2024년 2월 19~21일간 진행하였으며 개체군 규모가 큰 지점을 대상으로 제초용 소도구와 예초기를 이용하여 풀베기를 수행함(그림 4-3 a, b)

2) 개체수 증감 및 범위 조사

- 가) 2023년 5월 수행한 원동습지 전수 조사를 통해 선제비꽃의 개체수를 확인하고 DGPS(고해상도 위치정보 기록장비)를 활용하여 위치를 기록함(그림 4-3 c)
- 나) 2024년 2월 풀베기 활동 이후 5월 2일~3일 양일간 개체수 확인을 통해 선제비꽃의 개체군 증감을 확인하였음



<그림 4-4> 선제비꽃 자생지 관리 및 검증

3) 다분광 센서(Multispectral)를 활용한 식생활력도 검증

- 가) 좁은 지역에 자생하는 초본의 환경을 정밀하게 측정하기 위해 소형무인멀티콥터에 다분광 센서를 부착하여 양산 원동습지를 6cm의 해상도로 촬영하였음(그림4-4)
- 나) 풀베기 효과의 검증을 위하여 관리 이전인 2월 15일~16일 1차 촬영을 수행하였으며, 개체 발아 이후인 4월 4일~5일 2차 촬영을 진행함
- 다) RGB 및 NIR값을 기반으로 ArcGIS Pro(3.1.0)의 래스터 계산기(Raster Calculator) 도구를 활용해 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index) 도면을 도출함
- 라) 식생조사 범위와 같은 3×3m의 사각형 폴리곤(polygon)을 생성하여 자생지 관리 지역과 비관리지역에 무작위로 3개씩 배치한 후 폴리곤 범위 내 NDVI평균 값을 비교하였음



<그림 4-5> 소형무인멀티콥터 구동

3. 연구결과

가. 자생지 환경특성 수집

1) 선제비꽃 관련 문헌수집 결과

- 가) 선제비꽃과 관련된총 4편의 문헌과 1곳의 홈페이지를 통해 자생지 환경 및 생태 특성을 파악하였음(표 4-2)
- 나) 선제비꽃은 제비꽃과 식물 중 개체크기가 큰 편에 속하지만 화분 및 종자는 가장 작은편에 속한다는 특징이 있음
- 다) 발아를 위해 높은 광요구성과 온도조건이 수반되며 이 때문에 봄철 지표면의 광 조건이 유묘 밀도에 중요한 영향을 미침
- 라) 일본에서는 광조건 개선을 위해 인위적인 방화와 풀베기 등으로 천이의 단계를 중단하는 방식으로 선제비꽃 자생지를 관리하고 있음
- 마) 종자 발아의 촉진에는 인위적 방화 보다 겨울철 풀베기가 더 유효할 가능성이 있으며, 인위적 관리가 없는 지역은 유묘의 발아가 저해된 것을 확인함
- 바) CO₂ 농도가 증가함에 따라 열매 생산성과 종자 무게가 감소하는 등 지구온난화로 인해 부정적인 영향을 받을 것으로 예상됨

<표 4-2> 선제비꽃 관련 문헌

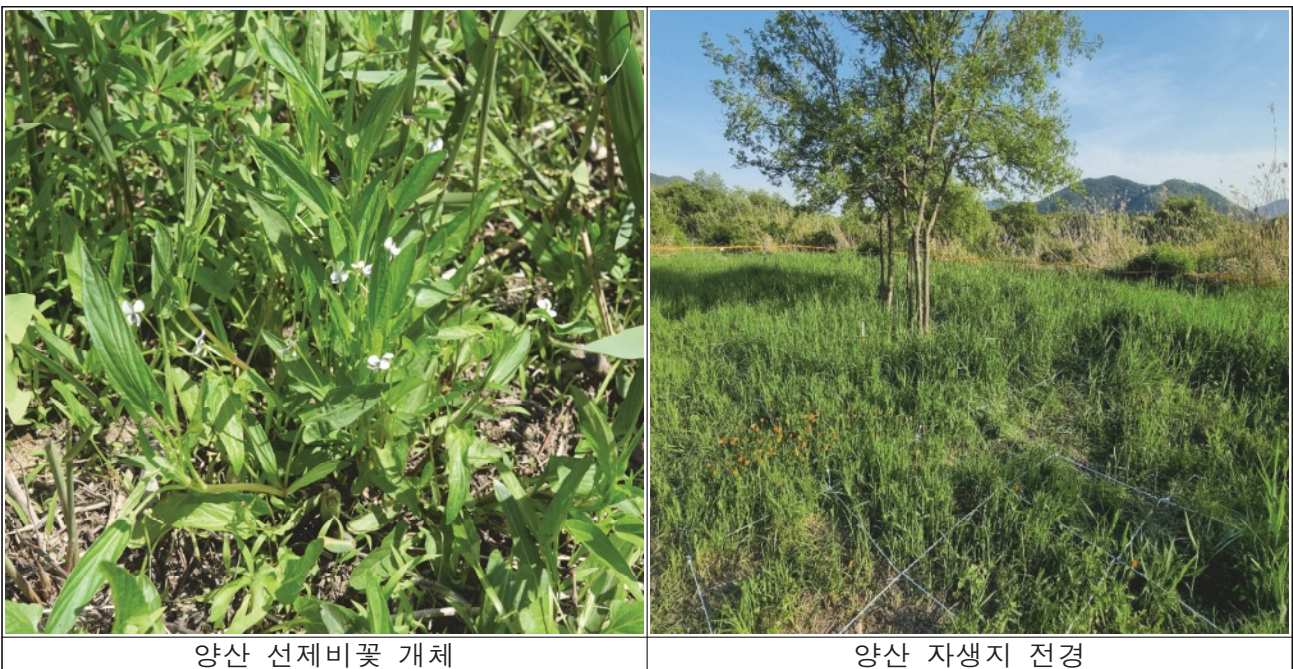
구분	요약	참고문헌
화분 및 종자	- 화분 극축의 길이는 제비꽃속 중 가장 작은 편이며 소립에 속함 - 발아구의 길이와 너비가 제비꽃속 중 가장 작은 편에 속하며, 유형은 3공구형(tricolporat)이었으나 드물게 4공구형 (tetra-colporate)도 관찰됨 - 화분의 극면입상(polar view)은 원형이며, 적도면 입상(equatorial view)는 아장구형(subprolate)임 - 화분의 극성(pollen polarity)은 등극성(isopolar)임 - 종자의 색은 회갈색이며 길이가 제비꽃 속중 가장 작은 편임 - 종피세포는 불규칙한 형태이며 세포벽이 울퉁불퉁하고 불룩하게 비후된 형태임	Lee et al., 2024
생태	- 봄철 지표면 광조건이 유묘 밀도에 중요한 영향을 미침 - 발아를 위해 높은 광요구성과 온도조건이 수반되어야 함 - CO₂ 농도가 증가하면 지상부 길이와 가지 수가 감소하며 열매 생산성과 종자 무게가 감소하여 지구 온난화로 인한 부정적인 영향을 받을 것으로 예상됨	Sawada et al., 2010 Sawada et al., 2011 Jang et al., 2013

구분	요약	참고문헌
관리방안	- 인위적 방화와 풀베기 등으로 천이 단계를 중단하여 선제비꽃의 유묘 및 월동개체 밀도를 증가시킬 수 있음 - 인위적 관리가 없는 지역은 유묘의 발아가 저해됨 - 인위적 방화를 한 지역은 평균 개체 키가 작아짐 - 풀베기를 통해 관리를 수행한 지역의 개체의 크기가 더 컸으며, 개화 개체의 비율 또한 높은 것을 확인함 - 인위적 방화와 풀베기 이후 토양수분에 유의미한 차이가 있었으나 개체 밀도에 큰 영향을 미치지 않음 - 종자 발아의 촉진에는 인위적 방화 보다 겨울철 풀베기가 더 유효할 가능성이 있음 - 람사르습지인 와타라세유수지(渡良瀬遊水地, Watarase Yusuichi)에서는 매년 3월 갈대 태우기 행사(コシ焼き)를 개최하여 과도하게 성장한 갈대와 물억새 등을 제거하는 방식으로 광량을 조절하며, 이를 통해 선제비꽃 등 자생식물의 발아를 촉진해 습지 내 식물 다양성을 유지하고 있음	Sawada et al., 2010 Sawada et al., 2011 Watarase Yusuichi, 2024

2) 현장조사

가) 자생지 환경특성

- 양산시 선제비꽃 서식지 현장조사 결과 총 개체수는 211개체로 확인되었음
- 선버들 아래 반음지에 주로 자생하며 여름철 장마기에 완전히 침수되는 지역임
- 물억새, 갈대 등과의 경쟁이 발생하고 있음
- 인근에 자전거도로가 있으며 낚시꾼의 출입이 잦아 인간으로 인한 교란이 발생하는 지역임(그림 4-5)



양산 선제비꽃 개체

양산 자생지 전경

<그림 4-6> 양산 선제비꽃 자생지

- 연천군 선제비꽃 서식지 현장조사 결과 총 개체수는 140개체로 확인되었음
- 족제비싸리 등 관목 아래 반음지에 자생하고 있음
- 1m 이내에 골풀 군락이 있는 등 상시 침수되어있는 지역이 있으며, 선제비꽃 자생지 또한 강우량에 따라 범람이 일어나는 지역임(그림 4-6)



<그림 4-9> 연천 선제비꽃 자생지

- 철원군 선제비꽃 서식지 현장조사 결과 총 개체수는 753개체로 확인되었음
- 산지와 인접한 습지로 기반암은 현무암으로 형성되어 있으며, 주변 토지이용은 논경작지임
- 습지 내 노출된 나지에 자생하기도 하지만 대부분 현무암 틈새에 자생하고 있으며, 줄기와 가지가 웃자라 바닥을 기는 형태의 개체도 확인되었음



<그림 4-12> 철원 선제비꽃 자생지

나) 자생지 토양 특성

- 토양분석 결과 평균 유기물 함량은 12.33%, 질소 함량은 0.55%, 유효인산 ($P_2 O_4$)은 55.98mg/kg으로 확인됨
- 양이온치환용량(CEC, Cation Exchange Capacity)은 평균 23.77cmol⁺/kg이었으며, 치환성양이온 중 k 0.74cmol⁺/kg, Ca 6.01cmol⁺/kg, Mg 2.88cmol⁺/kg, Na 0.23cmol⁺/kg
- 토양 전기전도도는 0.24μS/cm로 확인되었으며, pH는 평균 5.92로 산성을 띠었음
- 모래, 미사, 점토 비율에 따른 토양분류를 통해 미사질식토 4지점, 식토 3지점, 양토 1지점으로 확인됨(표 4-3)

<표 4-3> 선제비꽃 자생지 토양분석

분석 항목(단위)	시료 구분								평균
	YS1	YC1	YC2	CW1	CW2	CW3	CW4	CW5	
유기물(%)	5.81	2.28	17.19	17.73	19.34	17.73	16.52	2.04	12.33
N(%)	0.27	0.74	0.52	0.88	0.80	0.91	0.12	0.12	0.55
유효P ₂ O ₄ (mg/kg)	127.22	36.64	27.48	64.12	50.38	64.12	36.64	41.22	55.98
치환성K (cmol+ /kg)	0.5	0.94	0.71	0.81	0.79	0.97	0.85	1.06	0.74
치환성Ca (cmol+ /kg)	4.93	6.02	5.32	18.18	1.99	6.91	4.77	5.96	6.01
치환성Mg (cmol+ /kg)	1.12	2.28	2.10	7.53	0.56	4.39	3.70	4.20	2.88
치환성Na (cmol+ /kg)	0.12	0.64	0.24	0.22	0.19	0.18	0.21	0.25	0.23
양이온치환용량 (cmol+ /kg)	18.5	14.8	14.4	50.0	25.3	34.1	26.6	30.2	23.77
pH[1:5]	4.79	6.83	6.57	7.09	6.84	6.86	6.69	6.58	5.92
전기전도도[1:5] (dS/m)	0.12	0.10	0.087	0.23	0.124	0.26	0.098	0.102	0.24
모래(%)	35.2	7.38	6.15	15.72	17.74	19.52	13.18	6.40	15.16
미사(%)	44.83	47.12	49.28	36.23	38.47	30.14	43.35	47.68	42.14
점토(%)	19.97	45.50	44.57	48.05	43.79	50.34	43.47	45.92	42.70
토양분류	양토	미사질 식토	미사질 식토	식토	식토	식토	미사질 식토	미사질 식토	-

다) 자생지 식생 조사

- 선제비꽃 자생지 식생조사 결과 총 29과 49속 63종의 식물을 확인하였음
(표 4-4)

<표 4-4> 선제비꽃 자생지 식생조사 표

국명	학명	ys1	ys2	ys3	ys4	ys5	ys6	yc1	yc2	yc3	yc4	yc5	yc6	cw1	cw2	cw3	cw4	cw5	cw6	cw7	cw8	빈도
선제비꽃	<i>Viola raddeana</i> Regel	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	20
선버들	<i>Salix triandra</i> subsp. <i>nipponica</i> (Franch. & Sav.) A.K. Skvortsov	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	12
물억새	<i>Miscanthus sacchariflorus</i> (Maxim.) Hack.	+	+	+	+	+	+	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	7
흰갈퀴	<i>Galium tokyoense</i> Makino	+	+	+	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	6
흰꽃여뀌	<i>Persicaria japonica</i> (Meisn.) H. Gross ex Nakai	+	+	+	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	6
계요등	<i>Paederia foetida</i> L.	+	+	+	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	6
갈대	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.	+	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	+	.	.	.	+	.	8
족제비싸리	<i>Amorpha fruticosa</i> L.	.	.	.	.	.	.	+	+	+	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	8
인동덩굴	<i>Lonicera japonica</i> Thunb.	.	.	.	.	.	.	+	+	+	+	+	+	.	.	.	+	.	.	.	.	7
나도겨풀	<i>Leersia japonica</i> (Honda) Honda	+	.	.	.	.	.	+	+	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	6
쑥	<i>Artemisia indica</i> Willd.	.	.	.	.	.	.	+	+	+	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	6
단풍잎돼지풀	<i>Ambrosia trifida</i> L.	.	.	.	.	.	.	+	+	+	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	5
신나무	<i>Acer tataricum</i> subsp. <i>ginnala</i> (Maxim.) Wesm.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	+	+	+	+	+	+	.	.	8
찔레	<i>Rosa multiflora</i> Thunb.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	+	+	.	6
미꾸리나뉘시	<i>Persicaria sagittata</i> var. <i>sieboldii</i> (Meisn.) Nakai	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	+	.	.	.	.	.	+	+	5
새콩	<i>Amphicarpaea bracteata</i> subsp. <i>edgeworthii</i> (Benth.) H. Ohashi	.	.	.	.	.	.	+	.	+	+	.	+	.	.	.	.	.	.	+	.	5
사마귀풀	<i>Murdannia keisak</i> (Hassk.) Hand.-Mazz.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4
웅긋나물	<i>Aster fastigiatus</i> Fisch.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	+	.	.	.	+	.	4
가막사리	<i>Bidens tripartita</i> L.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	3
물레나물	<i>Hypericum ascyron</i> L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	+	3
미국가막사리	<i>Bidens frondosa</i> L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	+	.	3
사위질빵	<i>Clematis apiifolia</i> DC.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	3
새	<i>Arundinella hirta</i> (Thunb.) Tanaka	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	.	+	3
여우주머니	<i>Phyllanthus ussuriensis</i> Rupr. & Maxim.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	+	.	.	.	3
이삭사초	<i>Carex dimorpholepis</i> Steud.	+	+	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3

출현빈도 2 이하

ys1: 뚜껑덩굴(*Actinostemma lobatum* (Maxim.) Franch. & Sav.), 가락지나물(*Potentilla kleiniana* Wight & Arn.), 갯이삭초(*Carex neurocarpa* Maxim.), 말뚝비름(*Sedum bulbiferum* Makino), 웅덩사초(*Carex miyabei* Franch.), 참느릅나무(*Ulmus parvifolia* Jacq.), **ys2:** 뚜껑덩굴(*Actinostemma lobatum* (Maxim.) Franch. & Sav.), 여뀌(*Persicaria hydropiper* (L.) Delarbre), **ys3:** 머느리배꼽(*Persicaria perfoliata* (L.) H. Gross), 흰젖제비꽃(*Viola lactiflora* Nakai), **ys4:** 머느리배꼽(*Persicaria perfoliata* (L.) H. Gross), **ys5:** 비수리(*Lespedeza cuneata* (Dum. Cours.) G. Don.), 쇠치기풀(*Hemarthria sibirica* (Gand.) Ohwi), **ys6:** 비수리(*Lespedeza cuneata* (Dum. Cours.) G. Don.), 여뀌(*Persicaria hydropiper* (L.) Delarbre), **yc1:** 새 팔(*Vigna angularis* var. *nipponensis* (Ohwi) Ohwi & H. Ohashi) 택사(*Alisma canaliculatum* A. Braun & C. D. Bouché), **yc2:** 질경이(*Plantago asiatica* L.), 개구리발톱(*Semiaquilegia adoxoides* (DC.) Makino), 청비너골풀(*Juncus papillosus* Franch. & Sav.), **yc3:** 질경이(*Plantago asiatica* L.), 개구리미나리(*Ranunculus tachiroei* Franch. & Sav.), 가는마디꽃(*Rotala mexicana* Schtdl. & Cham.), 돌피(*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.), 왕고들빼기(*Lactuca indica* L.), **yc4:** 고마리(*Persicaria thunbergii* (Siebold & Zucc.) H. Gross), 진땅고추풀(*Deinostema violacea* (Maxim.) T. Yamaz.), 콩제비꽃(*Viola verecunda* A. Gray), 개발나물(*Sium suave* Walter), **yc5:** 골풀(*Juncus decipiens* (Buchenau) Nakai), **yc6:** 고마리(*Persicaria thunbergii* (Siebold & Zucc.) H. Gross), 진땅고추풀(*Deinostema violacea* (Maxim.) T. Yamaz.), 환삼덩굴(*Humulus japonicus* Siebold & Zucc.), 흰여뀌(*Persicaria lapathifolia* (L.) Delarbre), 좁고추나물(*Hypericum laxum* (Blume) Koidz.), **cw1:** 달뿌리풀(*Phragmites japonica* Steud.), **cw2:** 달뿌리풀(*Phragmites japonica* Steud.), 큰꽃은아리(*Clematis patens* C. Morren & Decne.), **cw3:** 개구리미나리(*Ranunculus tachiroei* Franch. & Sav.), **cw4:** 흰여뀌(*Persicaria lapathifolia* (L.) Delarbre), **cw5:** 처녀고사리(*Thelypteris palustris* (A. Gray) Schott), 콩제비꽃(*Viola verecunda* A. Gray), 갈풀(*Phalaris arundinacea* L.), **cw6:** 박주가리(*Metaplexis japonica* (Thunb.) Makino), 쥐깨풀(*Mosla dianthera* (Buch.-Ham. ex Roxb.) Maxim.) **cw7:** 처녀고사리(*Thelypteris palustris* (A. Gray) Schott), 꼬리조팝나무(*Spiraea salicifolia* L.), 담쟁이덩굴(*Parthenocissus tricuspidata* (Siebold & Zucc.) Planch.), 솔방울고랭이(*Scirpus karuizawensis* Makino), **cw8:** 환삼덩굴(*Humulus japonicus* Siebold & Zucc.)

라) 위협요인 조사

- － 선제비꽃의 위협요인분석 결과 3개 지역은 직접적인 위협이 모두 다른 것으로 확인되었음(표 4-5)
- － 양산시은 인간의 여가활동(6.1)과 기타 자연환경의 변형(7.3), 연천군은 농업(2.1), 군사활동(6.2), 철원군은 물관리 및 사용(7.2), 농업 폐수(9.3)이 위협요인으로 판단됨
- － 위협의 영향을 계산한 결과 연천이 가장 높은 위협에 노출된 것으로 확인됨
- － 연천 자생지 인근은 군사훈련장으로 사용되고 있으며, 추후 인근 지역과 같이 논경작지로 활용될 경우 서식지 변형에 따른 개체수 감소가 매우 빠르게 나타날 것으로 판단됨

<표 4-5> 선제비꽃 서식지 위협분석

Site	Classification of threats	impact of a threat	scope of a threat	severity of a threat	timing of a threat	Calculated Overall Threat Impact
ys	6.1	Low	Restricted (11-30%)	Moderate or 11-30% pop. decline	High (continuing)	Low
ys	7.3	Low	Restricted (11-30%)	Moderate or 11-30% pop. decline	High (continuing)	
yc	2.1	High	Large (31-70%)	Extreme or 71-100% pop. decline	High (continuing)	Very High
yc	6.2	High	Large (31-70%)	Extreme or 71-100% pop. decline	High (continuing)	
cw	7.2	Low	Small (1-10%)	Slight or 1-10% pop. decline	Moderate (short-term)	Low
cw	9.3	Low	Small (1-10%)	Slight or 1-10% pop. decline	Moderate (short-term)	

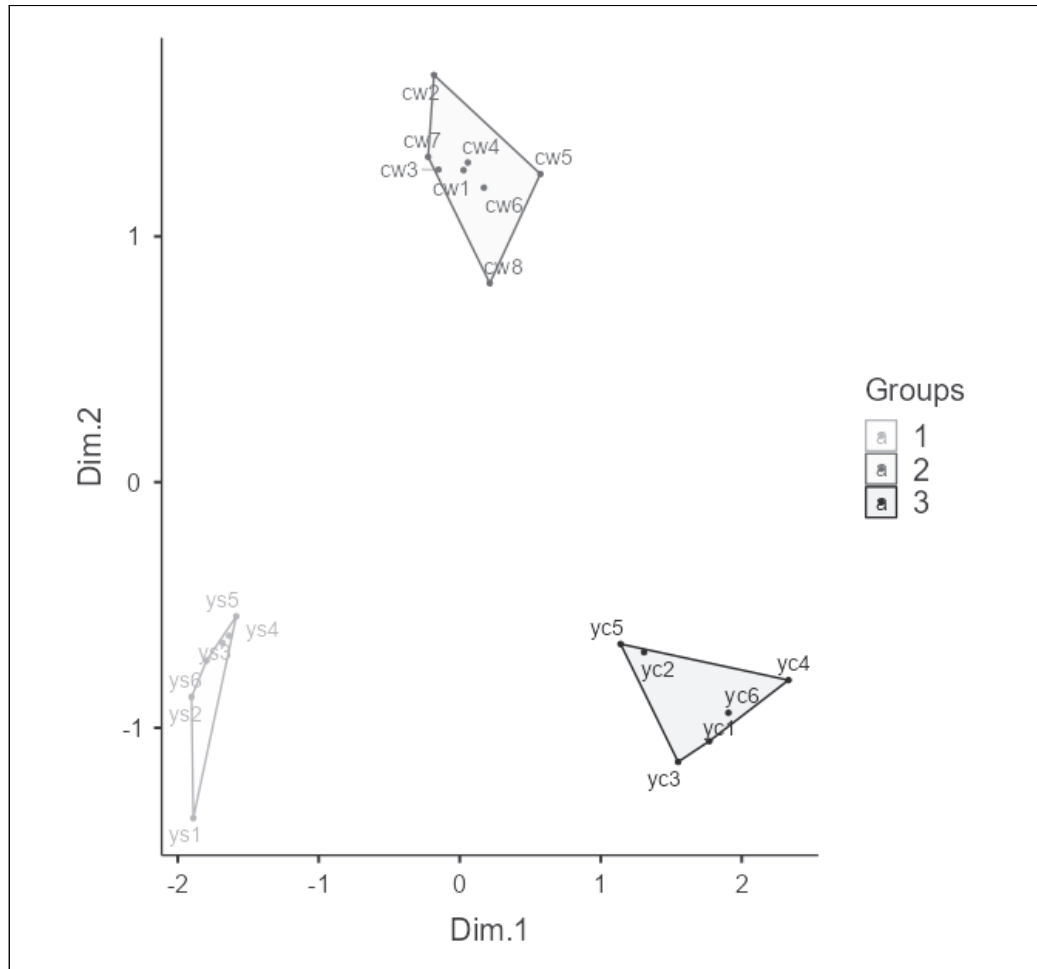
나. 통계분석

1) 군집분석

- 가) K-means 알고리즘을 통한 군집분석 결과 3개지역의 종조성은 서로 상관관계가 낮은 것으로 확인되었음(그림 4-8)
- 나) 이와 같은 뚜렷한 구분은 자생지 격리거리와 각기 다른 습지 서식지 유형에 기인한 것으로 판단됨
- 다) Dim.1은 하천과의 거리에 따라 나뉘며, Dim.2는 교란정도에 따라 나뉘었음
- 라) 양산은 홍수로 인한 범람과 같은 자연적인 교란에 노출된 반면 연천은 인공적인 교란에 노출된 것으로 판단됨
- 마) 양산은 범람원 연목림을 대표하는 선버들이 높은 피도로 출현하였으며 물억새,

흰꽃여뀌등이 출현하는 반면, 연천은 단풍잎돼지풀, 쑥 등이 빈도 높게 출현하는 것이 이를 반증함

바) 철원은 양산, 연천과 달리 산림식생과 인접하며 형성된 습지로 산지습지 및 계곡에 출현하는 신나무, 물레나물, 옹긋나물등이 빈도 높게 출현함

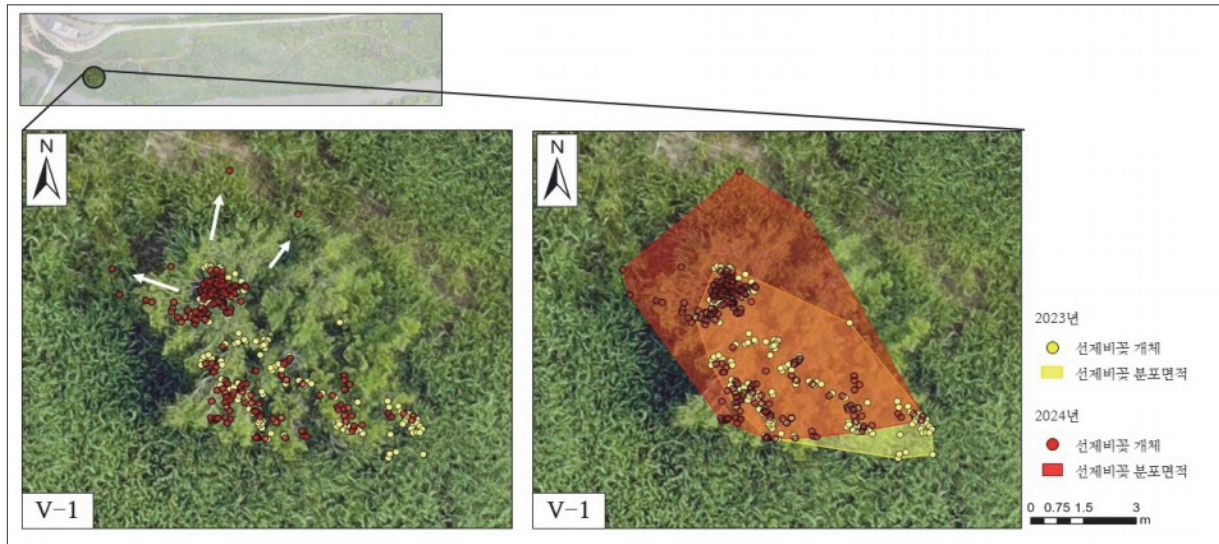


<그림 4-15> 선제비꽃 군집분석 결과

다. 관리방안 검증

1) 분포면적 및 개체수 비교

가) 선제비꽃의 분포면적은 '23년 조사결과 22.85㎡이었으나 '24년 풀베기 이후 40.14㎡로 증가하였음



<그림 4-16> 선제비꽃 분포 면적 비교

나) 개체수 조사결과 '23년에는 3지점 198개체를 확인하였으나, '24년의 경우 4지점 211개체를 확인하여 개체수가 증가하였음을 확인함

다) 기존에 확인하였던 세 지점중 풀베기를 통한 서식지 관리지점(V-1)에서 유일하게 개체수 증가를 확인함

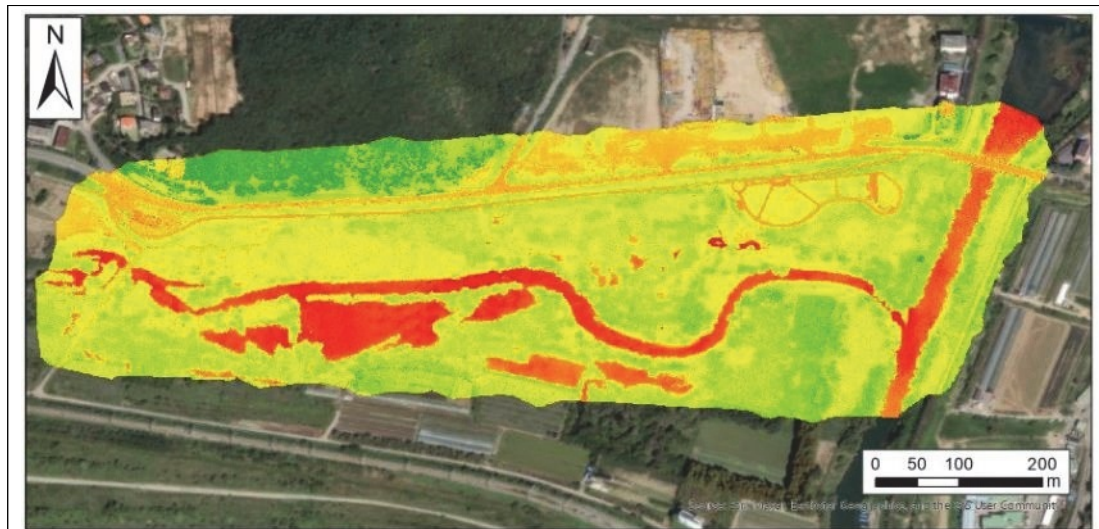
<표 4-6> 선제비꽃 개체수 변화

구역	조사연도		전년대비 증감현황	비고
	2023	2024		
V-1	190	201	▲ 11	풀베기 대상지 (집중분포지점)
V-2	1	1	-	
V-3	7	7	-	
V-4	-	2	▲ 2	신규지점
합계	198	211	▲ 13	

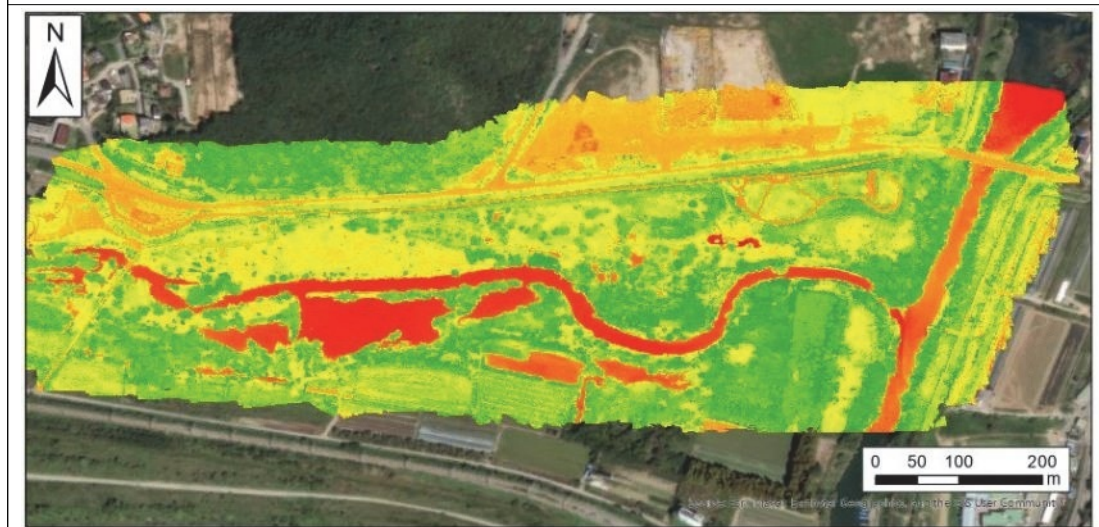
2) 다분광 센서(Multispectral)를 활용한 식생활력도 검증

가) 원동습지 다분광센서 촬영 결과를 가공하여 NDVI도면을 제작하였음

나) 초록색에 가까울수록 식생 밀도가 높고 건강한 초목이 있는 지역이며, 붉은색에 가까울수록 식생이 거의 없는 지역이나 비식생지역(건물, 바위, 물)임을 확인할 수 있음



2월 15일 촬영 영상

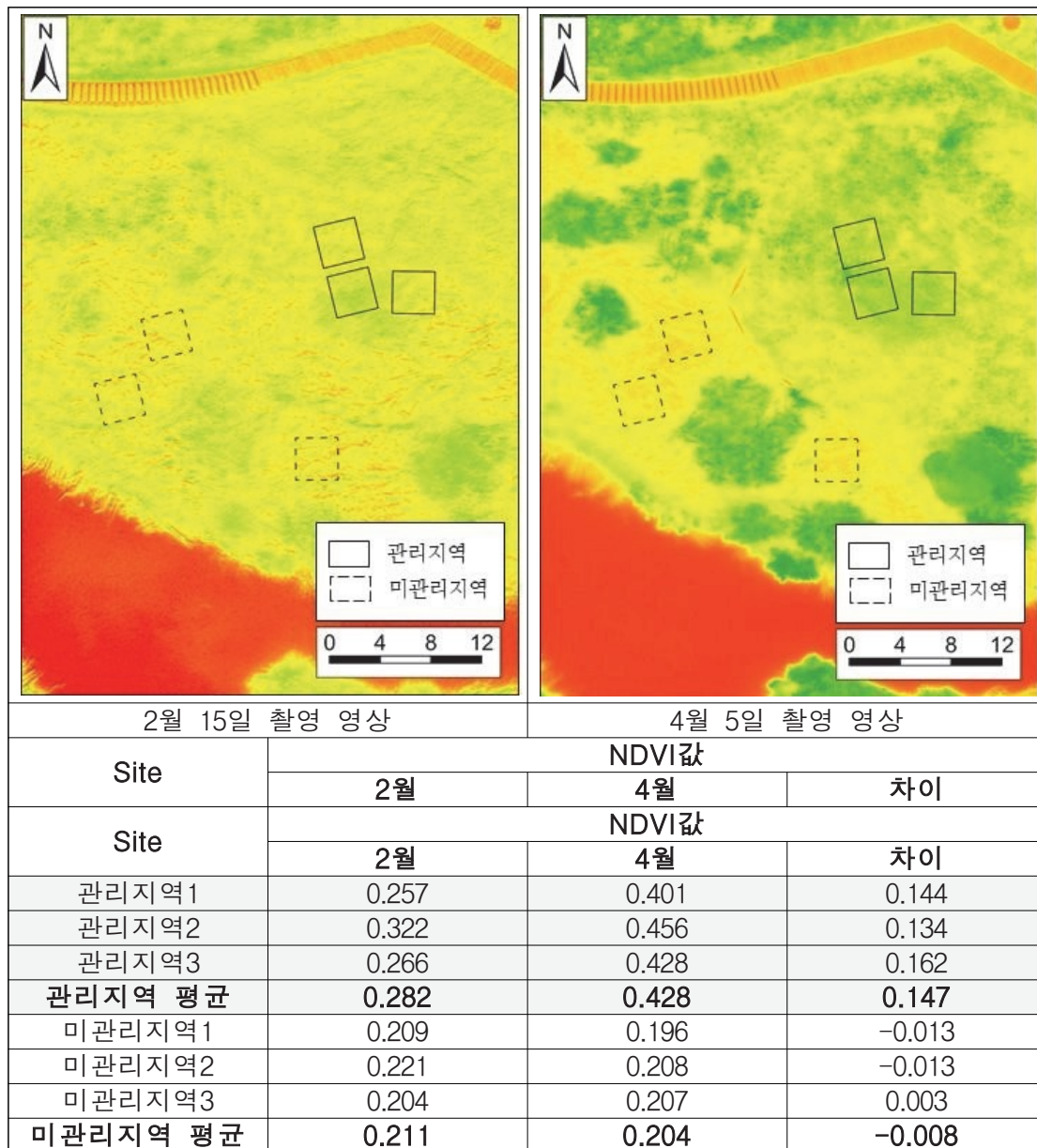


4월 5일 촬영 영상

<그림 4-17> 원 동 습지 NDVI 비교

다) 관리지역은 NDVI값이 평균 0.147 증가하였으나 미관리지역은 고사체 등의 적체로 신규식생이 발아하지 못하여 NDVI값이 평균 0.008 감소한 것을 확인하였음

라) 고사체 제거 및 풀베기를 통한 자생지 관리로 관리 지역의 식생활력도 값이 증가하였으며 개체수 증가도 함께 확인되어 선제비꽃 발아에 긍정적인 영향을 미칠 수 있음을 확인함



<그림 4-11> 선제비꽃 자생지 인근 NDVI 비교

4. 결론

- 가. 멸종위기 야생생물 II급인 선제비꽃의 서식지 환경 특성을 파악하고, 효과적인 서식지 관리 방안을 모색하기 위해 강원도 철원군, 경기도 연천군, 경상남도 양산시의 선제비꽃 자생지를 조사하였음
- 나. 양산 원동습지를 대상으로 서식지관리를 위해 풀베기를 수행하였으며 소형 무인 멀티콥터를 활용한 정밀한 촬영으로 NDVI도면을 제작해 풀베기 효과를 분석하였음
- 다. 현장조사 결과 선제비꽃은 습지 주변의 반습지 환경에서 주로 서식하며, 토양은 유기물 함량이 높고 산성을 띠는 특징을 보였음
- 라. 각 자생지별로 우점하는 식물종이 달랐으며, 인위적인 교란과 자연적인 교란 및 하천과의 거리에 따라 식생 구성이 다르게 나타남
- 마. 선제비꽃의 주요 위협 요인은 인간활동으로 인한 서식지 훼손, 외래종 침입, 기후변화 등으로 분석되었으며 연천군 자생지가 가장 심각한 위협을 받고 있었음
- 바. 양산 원동습지에서 실시한 풀베기 관리 결과 선제비꽃의 개체수와 분포 면적이 전년도에 비해 증가한 것을 확인하였으며, 다분광 센서를 이용한 분석 결과 또한 관리 지역의 식생 활력도가 증가한 것으로 나타나 개화기 이전의 풀베기가 선제비꽃의 생육에 긍정적인 영향을 미친 것으로 확인됨
- 사. 양산시의 경우 지속적인 모니터링을 통해 관리 효과를 평가하고 필요에 따라 관리 방안을 개선해야 하며, 각 자생지별로 서식 환경이 다르므로 연천군과 철원군에는 맞춤형 관리 방안 수립이 필요함
- 아. 선행연구 결과 선제비꽃은 기후변화에 따른 피해가 예상되므로, 선제비꽃의 생태적 변화를 예측하고, 이에 대한 대응 방안을 마련해야 함

V. 하늘다람쥐

1. 기초생태자료 및 연구대상지 선정

가. 연구대상종 개요

1) 하늘다람쥐 분류, 형태 및 생태학적 특성

<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 II 급 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
형태 및 생태학적 특징		
- 몸길이 14.6~16.3cm, 꼬리 길이 9.75~12.1cm이며 체중은 80~120g 정도의 야행성 소형 포유류 - 눈이 매우 크며, 귀는 폭이 넓고 짧은 형태이며 털의 색은 회색과 갈색 계통임 - 겨울철의 경우 얇은 은회색으로 변하고 배 부위는 흰색임 - 앞발의 발목 부위에서 뒷발의 무릎 부위에 걸쳐 날개막(비막)이 있으며 짧고 평편한 꼬리를 가지고 있음 - 날개막을 이용하여 나무와 나무 사이를 활공해 이동하는 것이 가장 큰 특징이며 한번의 활공으로 20~30m, 때로는 100m 이상도 이동이 가능함 - 먹이원은 나무껍질, 잎, 종자, 과실을 주로 먹지만 가끔은 애벌레나 조류의 알도 먹는 것으로 확인됨 - 암컷은 여러 마리 수컷과 다중 짝짓기를 하는 습성이 있음 - 3~4월 또는 7~8월에 짝짓기를 통해 한 번에 2~6마리의 새끼를 낳음		

나. 연구대상지 선정

1) 하늘다람쥐 서식지점

가) 국내 하늘다람쥐는 전국적인 분포로 서식하는 것으로 확인됨

나) 「멸종위기 야생생물 전국 분포조사」, 「전국자연환경조사」, 전문가 자문을 통해 총 24개의 서식지 좌표를 획득함

2) 연구대상지 선정

가) 하늘다람쥐 서식지 특성 분석을 위한 지역적인 편향을 줄이기 위해 전국범위로 총 24지점의 하늘다람쥐 출현 및 흔적(배설물, 둥지 등)을 확인함(그림 5-1)



<그림 5-1> 하늘다람쥐 연구대상지

2. 연구방법

가. 서식지 환경 특성

1) 문헌자료 수집

가) 하늘다람쥐의 서식지 이용 특성 확인 및 조사항목 선정을 위해 구글스칼라(<https://scholar.google.co.kr/>)와 학술연구정보서비스(<https://www.riss.kr>)를 이용하여 문헌(학위논문, 학술지, 보고서 등) 총 20여편을 수집 및 검토함

2) 현장자료 항목 및 수집방법

가) 현장조사 항목은 참고문헌을 통해 대상종 특성을 고려하여 22가지의 변수를 선정 및 수집함(표 5-2)

<표 5-2> 현장조사 수집 항목

구분	항목	구분	항목
1	서식지 유형(대, 중분류)	12	우점 수종
2	미세지형	13	입지접근유형
3	암석노출도	14	입지접근거리
4	흔적유형	15	수고
5	사면향	16	교목피도
6	경사도	17	흉고직경
7	고도	18	수관폭
8	임상	19	가장 인접교목거리
9	수관활력도	20	고사목 수종
10	출현교목 수종	21	고사목 수
11	둥지이용 수종	22	위협요인

나) 조사시기는 서식지 내 식생 및 임상을 조사하기 위해 7~9월인 여름철에 수행함
 다) 지역 별 10x10m의 방형구 기준으로 조사하였으며, 각 방형구는 그 지역을 대표할 수 있게 하늘다람쥐 목견 및 흔적(둥지, 배설물 등) 확인 중심으로 선정함
 라) 암석노출도, 미세지형, 수관활력도, 임상, 출현 수종(둥지이용 수종, 우점 수종), 교목 피도, 고사목 유/무는 방형구 중심에서 직접 확인 후 기록함

- 마) 방형구 내 출현교목 수종은 국가생물종목록 기준으로 학명과 국명을 작성함
 - 바) 방형구 내 3개의 나무를 무작위로 선정하여 수고, 수관폭, 흉고직경, 경사도를 측정함
 - 사) 경사도, 수고, 수관폭, 사면향 각 나침반, 수고측정기 등 각각의 측정기를 이용하여 정밀하게 측정함
 - 아) 흉고직경(DBH)은 흉고줄자(3M-MDS)를 이용하여 둘레를 직접 측정함
 - 자) 서식지 내·외에서 하늘다람쥐 서식에 위협이 되는 요인들을 현장에서 직접 확인 후 기록함
- ※ 경사도, 고도, 사면향, 임상, 흉고직경, 교목피도 항목은 공간자료를 통해 수집이 가능한 항목이지만 미소서식지 환경 현황을 파악하고자 직접 현장조사를 통해 수집함

3) 공간변수 수집

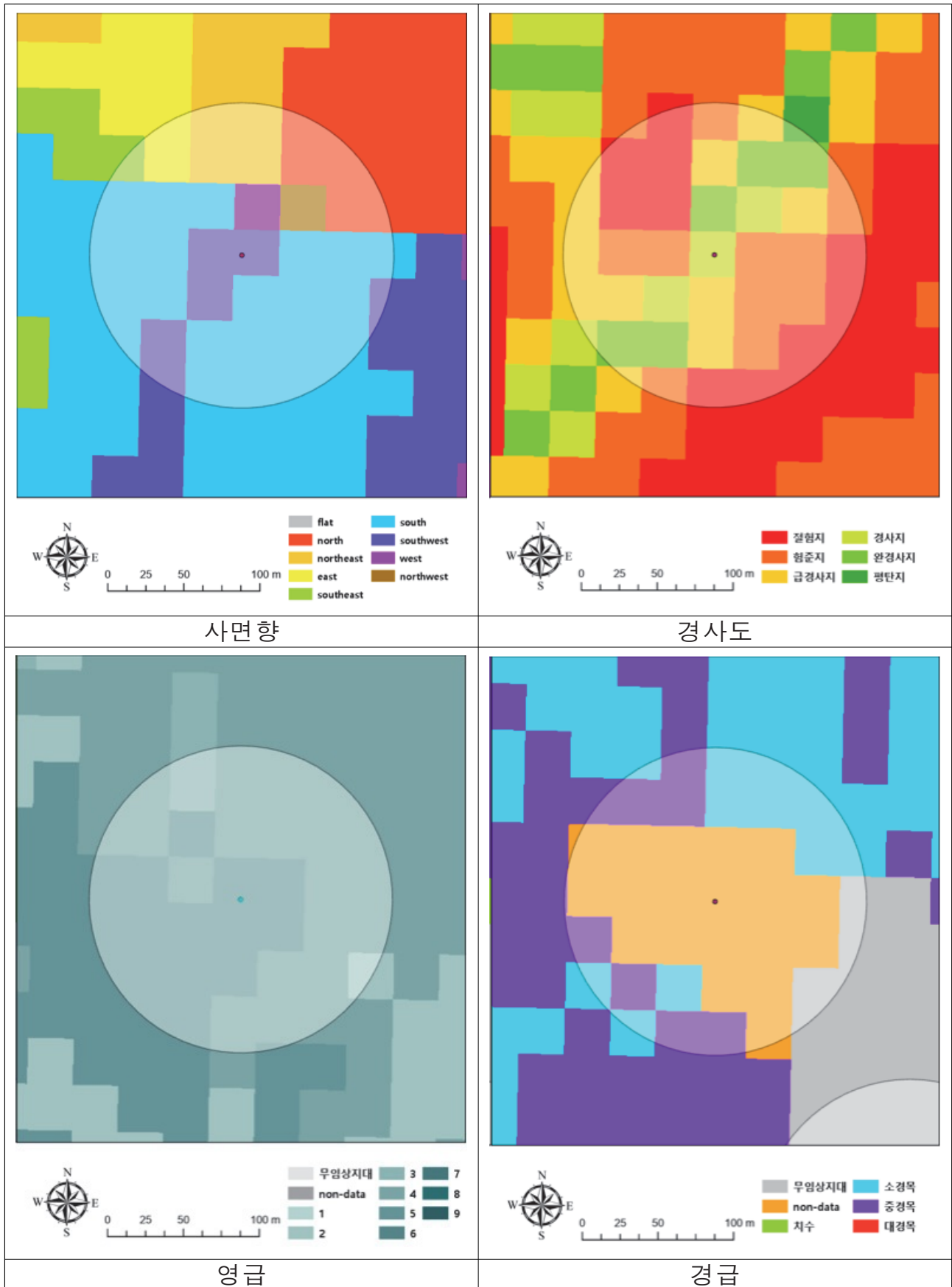
- 가) 연구대상지의 지형 및 임상을 확인하기 위하여 환경부, 국토지리정보원, 산림청에서 제공되는 주제도를 활용하여 총 8가지 변수를 수집함(표 5-3)
 - － 수치표고모델(DEM)을 ArcGIS pro3.0의 ASPECT와 SLOPE 도구를 이용하여 사면향, 경사도 주제도를 제작함

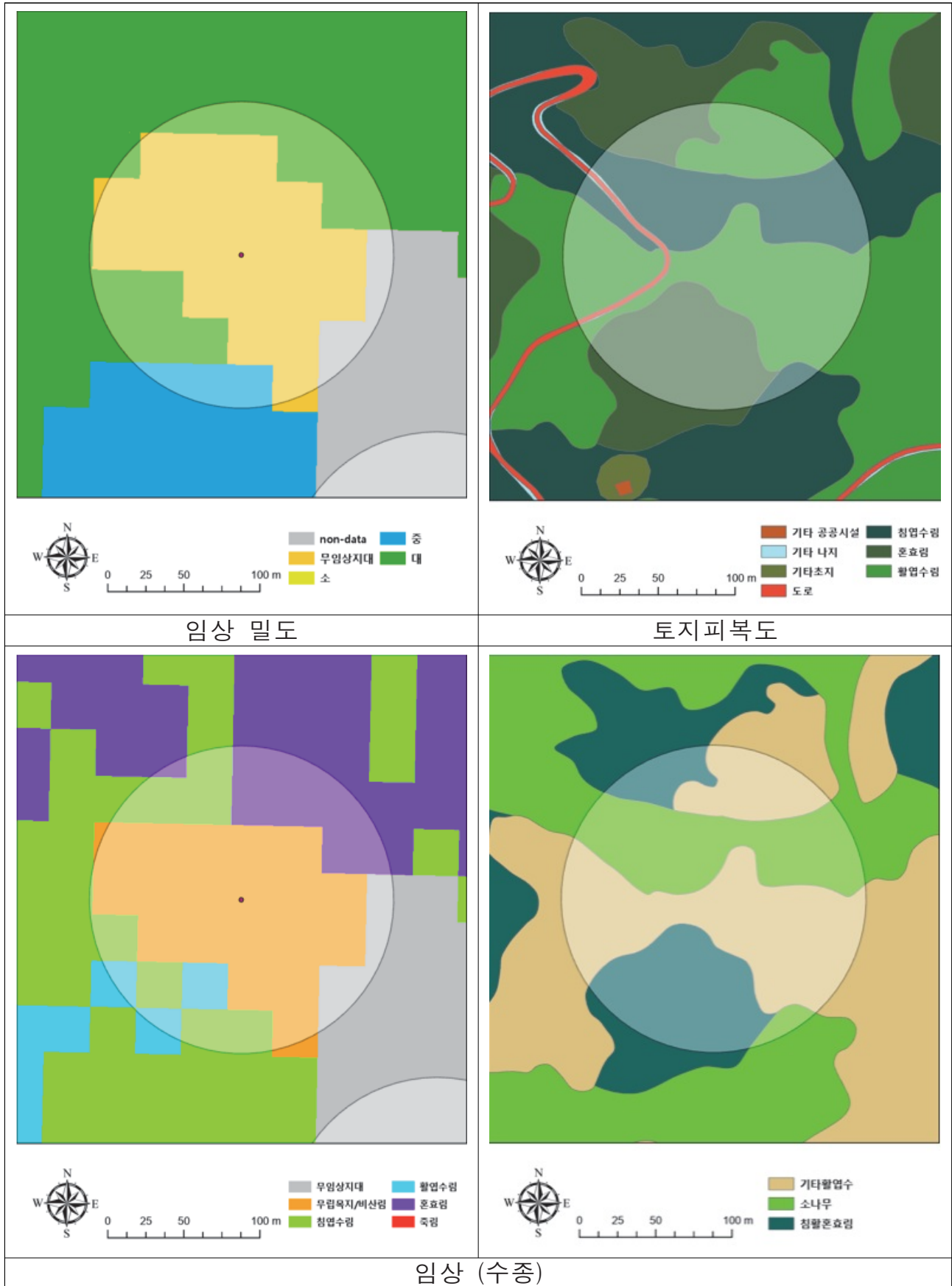
<표 5-3> 공간자료 수집 항목

구분	항목	출처
1	수치 표고 모델(DEM)	국토정보플랫폼(국토지리정보원)
2	사면향	
3	경사도	
4	임상(수종)	산림공간정보서비스(산림청)
5	경급	
6	영급	
7	임상밀도	
8	토지피복도	환경공간정보서비스(환경부)

- 나) 값의 추출범위는 하늘다람쥐의 행동권을 반영하여 출현지점의 반경 100m의 Buffer zone을 형성함(그림 5-2)

－ 수집한 주제도를 이용하여 Buffer zone 내 면적비율을 주제도 별로 추출함





<그림 5-2> 반경 내 공간자료 추출

나. 서식지 분석

1) 다변량 주성분 분석(PCA)

- 가) 출현지점 내 수집된 총 9항목의 환경변수로 하늘다람쥐 서식지의 정량적 분석 및 차원 축소를 통해 주요 환경변수를 확인하기 위해 R프로그램의 'readr' 패키지를 활용하여 주성분 분석을 수행함
- 나) 수집된 총 9항목 중 생물요인 변수는 하늘다람쥐 행동권이 반영된 서식지로 경향성을 설명할 수 있는 변수를 활용하고자 ArcGIS pro 3.0를 통해 100m 반경 기준으로 추출된 면적비율 값을 이용하였고 비생물요인 변수는 분석방법 특성 상 수치형 데이터를 반영하기 위해 현장데이터를 사용함
- 다) 문헌 및 수집데이터를 고려하여 생물요인 변수로는 수관활력도, 수종(침엽수림, 활엽수림, 혼효림), 임상밀도(>=중), 경급(>=중경목), 영급(>=4)로 비생물적 요인 변수는 고도, 경사도를 이용함
- 라) 주성분의 개수는 고유값(eigenvalues)를 확인하고 Scree plot을 통해 선정하였고, 모형의 설명력은 공분산 비율(Proportion of Variance)을 통해 누적된 설명력(Cumulative explained variance ratio)을 확인함

2) 군집 분석(K-means)

- 가) 하늘다람쥐 서식지 내 출현지점을 기준으로 출현수종을 통해 군집 간의 차이 및 서식지의 환경적 특성을 도출하고자 식생조사를 통해 확인한 종을 모두 나열한 후 지점별로 출현한 경우는 1, 비출현한 경우는 0으로 구분하여 자료를 전처리함
- 나) 통계분석 프로그램인 Jamovi(ver 2.3)를 이용하여 군집분석(K-means)을 수행함
- 다) 군집분석의 적합성을 평가하고 데이터의 구조적 특성을 시각적으로 파악하기 위해 다차원 척도법(MDS, Multidimensional Scaling)을 적용함
- 라) 이를 통해 사용하여 군집 수(K)를 결정하고 군집화(clustering) 하였음

3. 연구결과

가. 서식지 환경 특성 현황

1) 문헌조사 결과

<표 5-4> 하늘다람쥐 생태 및 서식지 특성 문헌 조사 결과

구분	요약	참고문헌
식생	- (국외) 핀란드의 경우 하늘다람쥐는 가문비나무가 우점하는 아한대 숲에 서식하고 있고 일본의 경우 삼나무와 낙엽송이 분포하는 지역에 서식하는 등 국내와 전혀 다른 서식 환경을 나타내고 있음 - (국내) 전국 산악지대의 자연림과 성숙림의 활엽수림에 서식하는 것으로 알려져 있음 - 대경목의 침엽수를 동지로 선택하고 수관밀도가 높은 산림을 선호하는 것으로 보고됨 - 하늘다람쥐는 봄·여름철에는 활엽수림 이용하고, 겨울철에는 침엽수림을 이용하기 때문에 활엽수림과 침엽수림 모두 서식에 필요한 임상으로 확인됨 - 서식지 내 출현 수종으로는 서어나무, 산벗나무, 굴참나무, 신갈나무, 소나무, 사시나무, 오동나무, 자작나무, 일본잎갈나무, 오리나무, 느릅나무, 밤나무 등 지점별로 다양한 수종이 확인됨 - 임상은 침엽수림, 영급은 4영급, 경급은 중경목, 수관밀도는 밀한 지점에서 하늘다람쥐의 출현이 높게 나타남	국립생물자원관, 2012 Hanski, 1998 Kadosaki, 2001 Wauters et al., 2001 김종우 등 2020 우동걸 등 2013 임춘우, 2024 조영준, 2022
해발 고도	- 200-399m에서 출현 비율이 가장 높은 것으로 확인됨 - 출현 지점의 해발고도는 434.5±59.54m 로 확인됨	김종우, 2018 임춘우, 2024
지형	- 경사도는 15° 이하, 향은 서향, 수계와의 거리는 40-59m로 확인됨 - 경사도는 25.06±1.07°, 사면향은 184.14±13.72°, 수계로부터의 거리가 65.73±73.16m인 곳을 이용하는 것으로 확인됨	김종우, 2018 임춘우, 2024
주요 환경요인	- 하늘다람쥐의 출현의 지형은 고도, 향, 경사도, 수계와의 거리와 산림환경으로는 임상, 경급, 영급, 수관 밀도가 주요한 환경변수로 판단됨	김성철 등, 2023 김종우 등, 2020 배서현, 2024 우동걸 등, 2013 임상진 등, 2021 조영준, 2022 한창욱 등, 2018

구분	요약	참고문헌
행동 및 생태	- 하늘다람쥐는 초식성이며 야행성인 것으로 보고되고 있음 - 지역에 따라 활엽수림과 침엽수림의 수간분지점을 모두 배설지로 이용하는 것으로 나타남 - (국외) 핀란드 이티(liti) 지역에 서식하는 하늘다람쥐의 행동권은 2.2ha에서 59.9ha로 다른 날다람쥐에 비해 행동권이 크게 나타남 - (국내) 하늘다람쥐의 행동권 연구 결과, 15.12 ± 3.18ha로 나타났고 핵심서식지는 2.75 ± 1.04ha로 확인됨 - 수컷의 행동권은 암컷보다 약 6배 정도 넓은 것으로 보고됨 - 먹이원의 경우 여름철에는 활엽수의 잎과 열매, 겨울철에는 자작나무나 오리나무의 화서, 침엽수 잎 등으로 확인됨 - (국내) 하늘다람쥐가 동지 내부 재료로 이끼가 아닌 목본성덩굴을 주로 이용함 - 하늘다람쥐는 동면을 취하지 않고 이동성을 줄이고 동지에서 체온을 유지하는 것으로 보고됨	Asari and Yanagawa 2016 Hanski 1998 Hanski et al. 2000 Kadosaki, 2001 Thorington et al 2012 김종우, 2018 우동걸 등 2013

2) 현장조사 결과

가) 서식지 경관(지형) 특성

- **(서식지 유형)** 하늘다람쥐 출현지점 총 24지점 중 산림 내 사면부(15지점)에서 가장 많이 확인되었고 능선부(1지점)에서는 거의 확인되지 않았음(그림 5-3 a)
- **(2차림)** 총 24지점 중 자연림 비율(75%)이 높았으나 인위적으로 식재된 산림(6지점)에서도 개체 서식 및 흔적을 확인함(그림 5-3 e, f)
- **(흔적 유형)** 총 24지점 중 자연동지(16지점), 인공동지(4지점), 개체목전(4지점) 순으로 확인되었고 하늘다람쥐 특성 상 본 연구의 조사시기에는 기상상태, 기후에 따른 빠른 부패로 배설물 확인이 어려웠음(그림 5-3 c, d)
- **(암석노출도)** 출현지점의 평균은 14.16%로 서식지가 주로 계곡부보다는 산림 내 사면부로 암석노출은 높지 않았음
- **(미세지형)** 출현지점 전반적인 지면 형태는 평면지형(21지점)으로 확인됨
- **(해발고도)** 출현지점의 평균 고도는 351.16 ± 262.18 m이며, 53~773m까지 다양한 고도에서 확인함
- **(사면향)** 총 24지점 중 남동향(6지점), 남향(4지점)에 사면에서 가장 확인되었고 남서향(1지점), 서향(2지점) 사면은 적은 것으로 나타남(그림 5-3 b)
- **(경사도)** 출현지점의 평균 경사도는 $25.14 \pm 13.47^\circ$ 로 확인되고, 5° 의 비교적 완만한 경사부터 50° 의 급격한 경사지까지 다양한 환경을 보였음

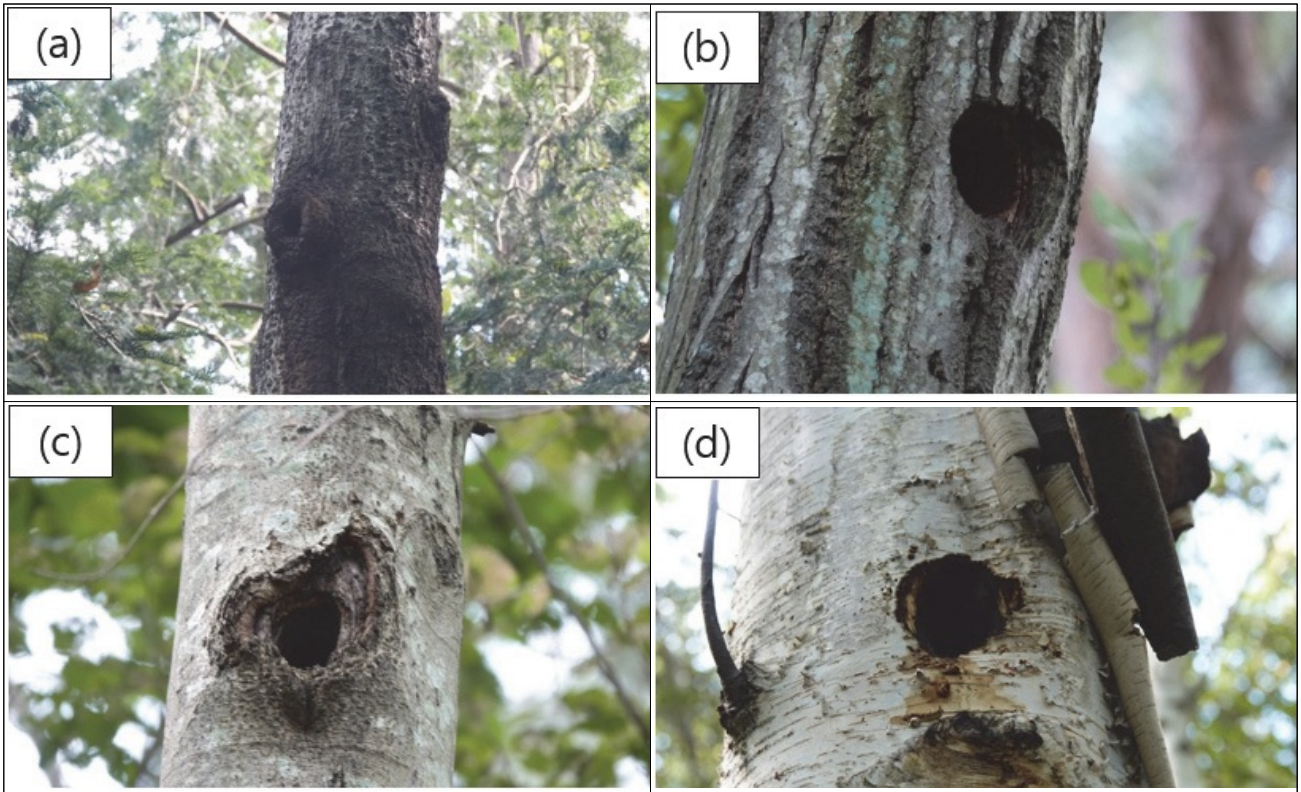


<그림 5-3> 하늘다람쥐 서식지 지형 특성

(a: 서식지유형, b: 사면향, c: 혼적유형(개체목견 및 인공둥지),
d: 혼적유형(자연둥지), e: 2차림(자연림), f: 2차림(식재림))

나) 임상 및 식생 특성

- **(수관활력도)** 모든 출현지점의 수관활력은 '중간 건강' 이상(78.2%)으로 확인됨
- **(임상 현황)** 현장조사 결과, 미소 서식환경의 임상은 활엽수림(11지점)이 가장 많았고 혼효림(8지점), 침엽수림(5지점)이었으며, 군계형은 모두 낙엽수로 확인됨
- **(둥지 이용 수종)** 총 31개의 자연둥지로 활용하는 수종은 오동나무가 가장 많았고 밤나무, 물오리나무, 은사시나무, 자작나무 등이 확인됨(그림 5-4)



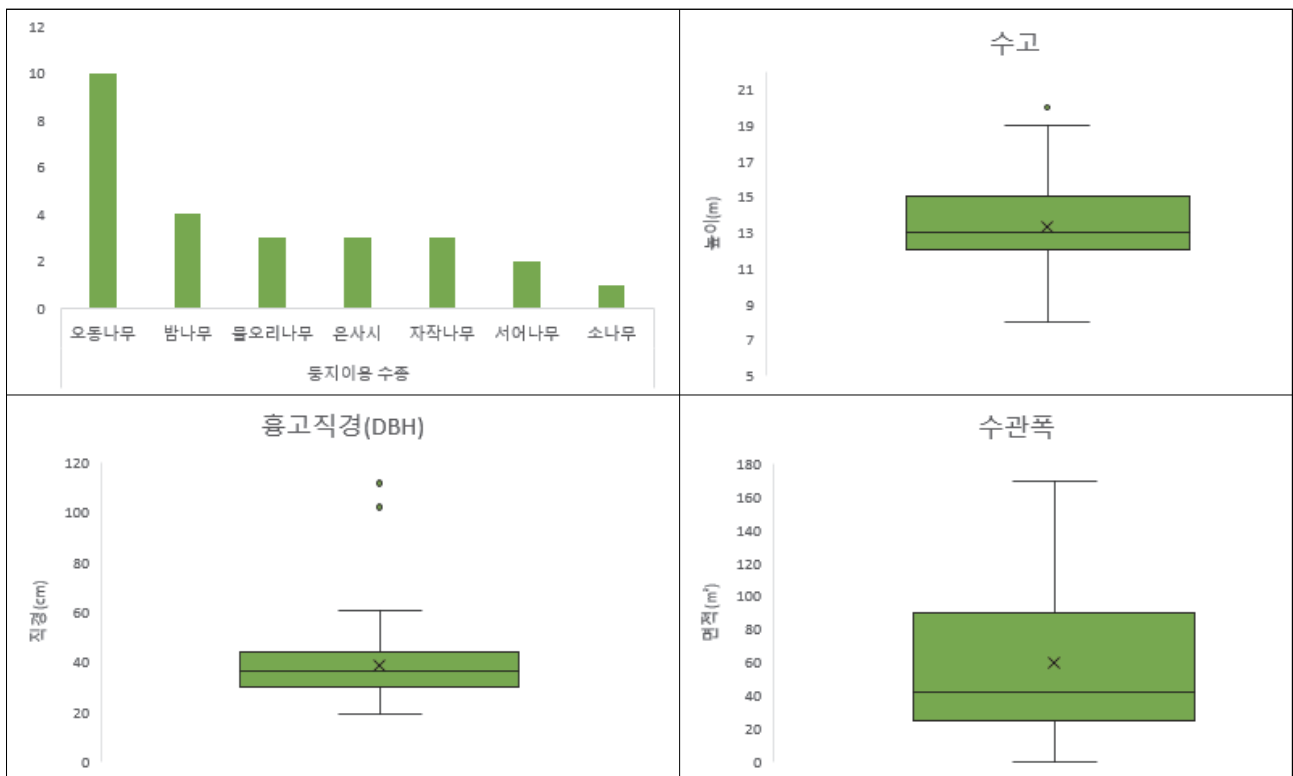
<그림 5-4> 수종별 하늘다람쥐 자연둥지 이용 수종
(a: 은사시나무, b: 밤나무, c: 물오리나무, d: 자작나무)

- **(고사목 여부)** 고사목이 확인된 지점은 총 24지점 중 10지점이었고, 확인된 지점의 방형구 내 평균 고사목 수는 3~4개로 확인됨
- **(고사목 수종)** 고사목을 자연둥지로 활용되는 수종은 은사시나무, 오동나무, 서어나무, 소나무로 확인됨
- 소나무는 진액 등으로 둥지활용을 기피하는 경향이 있으나, 고사된 경우 둥지로 활용하는 것으로 보고됨
- **(출현교목)** 모든 출현지점 내 교목 수종은 총 18과 24속 35종으로 확인됨(표 5-5)

<표 5-5> 하늘다람쥐 출현지점 내 출현 수종

과명	국명(학명)
가래나무과 (Juglandaceae)	굴피나무 (<i>Platycarya strobilacea</i>)
	가래나무 (<i>Juglans mandshurica</i>)
녹나무과 (Lauraceae)	생강나무 (<i>Lindera obtusiloba</i>)
단풍나무과 (Aceraceae)	고로쇠나무 (<i>Acer pictum</i> var. <i>mono</i>)
	당단풍나무 (<i>Acer pseudosieboldianum</i>)
때죽나무과 (Styracaceae)	쪽동백나무 (<i>Styrax obassia</i>)
물푸레나무과 (Oleaceae)	물푸레나무 (<i>Fraxinus rhynchophylla</i>)
버드나무과 (Salicaceae)	은사시나무 (<i>Populus tomentiglandulosa</i>)
벼과 (Poaceae)	숨대 (<i>Phyllostachys nigra</i> var. <i>henonis</i>)
뽕나무과 (Moraceae)	산뽕나무 (<i>Morus bombycis</i>)
소나무과 (Pinaceae)	리기다소나무 (<i>Pinus rigida</i>)
	소나무 (<i>Pinus densiflora</i>)
	일본잎갈나무 (<i>Larix kaempferi</i>)
	잣나무 (<i>Pinus koraiensis</i>)
자작나무과 (Betulaceae)	물박달나무 (<i>Betula dahurica</i>)
	물오리나무 (<i>Alnus hirsuta</i>)
	박달나무 (<i>Betula schmidtii</i>)
	사방오리 (<i>Alnus firma</i>)
	서어나무 (<i>Carpinus laxiflora</i>)
	소사나무 (<i>Carpinus turczaninowii</i>)
	자작나무 (<i>Betula pendula</i>)
장미과 (Rosaceae)	산벚나무 (<i>Prunus sargentii</i>)
차나무과 (Theaceae)	사스레피나무 (<i>Eurya japonica</i>)
참나무과 (Fagaceae)	굴참나무 (<i>Quercus variabilis</i>)
	상수리나무 (<i>Quercus acutissima</i>)
	신갈나무 (<i>Quercus mongolica</i>)
	졸참나무 (<i>Quercus serrata</i>)
	밤나무 (<i>Castanea crenata</i>)
측백나무과 (Cupressaceae)	노간주나무 (<i>Juniperus rigida</i>)
	편백 (<i>Chamaecyparis obtusa</i>)
층층나무과 (Cornaceae)	말채나무 (<i>Cornus walteri</i>)
	층층나무 (<i>Cornus controversa</i>)
콩과 (Fabaceae)	아까시나무 (<i>Robinia pseudoacacia</i>)
팽나무과 (Celtidaceae)	팽나무 (<i>Celtis sinensis</i>)
현삼과 (Scrophulariaceae)	오동나무 (<i>Paulownia coreana</i>)

- **(교목피도)** 출현지점 내 평균 교목피도는 73.7%로 확인되고 지면 기준으로 반음지 환경을 보였음
- **(수고)** 출현지점 내 평균 수고는 $13.3\pm 2.8\text{m}$ 로 확인되며 소나무, 일본잎갈나무 등의 침엽수의 경우 20m 이상으로 확인됨(그림 5-5)
- **(흉고직경)** 출현지점 내 교목수종의 평균 흉고직경은 $38.6\pm 15.1\text{cm}$ 로 확인됨(그림 5-5)
- **(수관폭)** 출현지점 내 수종의 평균 수관폭은 $59.9\pm 41.7\text{m}^2$ 로 확인됨(그림 5-5)
- **(인접 교목거리)** 모든 출현지점이 수종 간 수관이 겹쳐 있어 하늘다람쥐가 수종 간 이동에 용이한 것으로 나타남(그림 5-5)



<그림 5-5> 하늘다람쥐 출현지점 내 수종정보 수집 결과

다) 위협요인

- **(생물적 요인)** 출현지점 기준으로 흔적조사 결과 총 14지점에서 담비나 멧금류인 올빼미, 참매 등이 하늘다람쥐를 먹이자원으로 이용하는 것으로 확인되는데 생태계 먹이사슬 구조의 자연적인 부분이지만 천적에 의한 하늘다람쥐 개체 수에 영향을 줄 것으로 보임(그림 5-6 b)
- **(비생물적 요인-산불 및 벌채)** 출현지점 중 2지점에서 산불로 인한 산림훼손을

확인하였는데 산림의 훼손은 행동권이 비교적 작은 하늘다람쥐가 먹이원 및 보금자리 확보하는데 직접적인 영향을 줄 것으로 판단됨

- － (비생물적 요인-인간 간섭) 출현지점 중 19지점으로 인간의 간섭이 하늘다람쥐의 위협요인 중 가장 큰 비중을 차지함
- － (비생물적 요인-인공구조물) 주요 인공구조물, 도로 등으로 인해 활강 등의 이동에 방해되며, 로드킬 피해 사례를 확인함(그림 5-6 a)
- － (입지 접근유형 및 접근 거리) 출현지점에서 주로 도로, 임도, 탐방로(등산로)가 인접하였고, 평균 인접거리는 약 7m로 확인되어 접근이 용이한 것으로 확인됨 (그림 5-6 c, d)

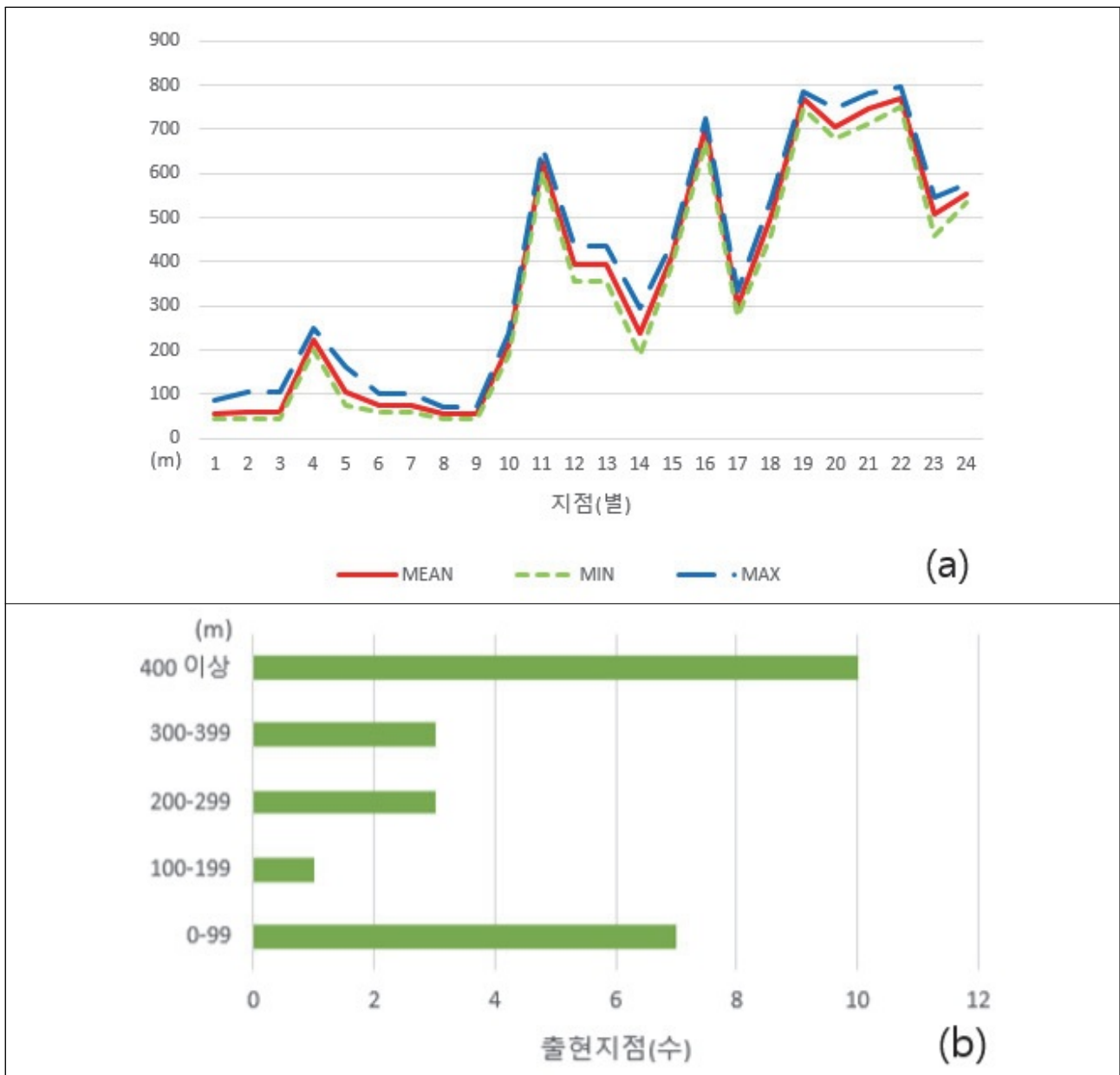


<그림 5-6> 하늘다람쥐 서식지 내 위협요인
(a: 인공구조물, b: 천적흔적, c: 탐방로 인접, d: 도로인접)

3) 공간분석 결과

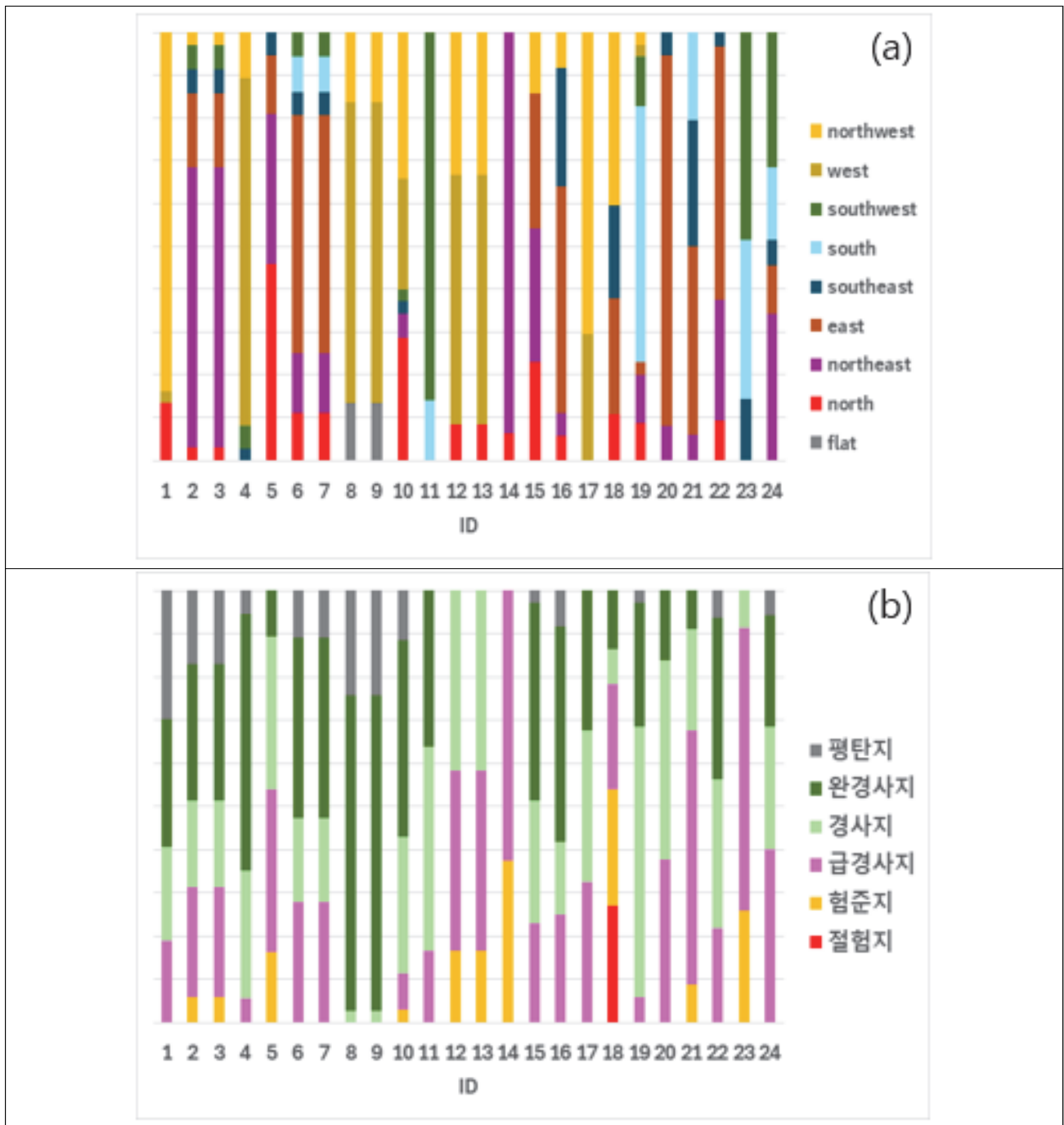
가) 비생물적 변수(Abiotic Factor)

- (해발고도) 총 24지점의 평균 고도는 $358.36 \pm 265.57\text{m}$, 최소 평균 고도는 $333 \pm 260.76\text{m}$, 최대 평균 고도는 $391.25 \pm 264.13\text{m}$ 로 나타나고 다양한 해발고도에서 하늘다람쥐의 출현을 확인함(그림5-7 a)
- (해발고도) 총 24지점 중 400m 이상(10지점)의 비교적 해발고도가 높은 곳이 가장 많았고, 0~99m(7지점)인 저지대 순으로 나타남에 따라 다양한 해발고도에서 하늘다람쥐의 출현을 확인함(그림5-7 b)



<그림 5-7> 하늘다람쥐 출현지점 반경기준의 해발고도 값 추출 결과
(a: 지점별 해발고도, b: 구간별 해발고도)

- **향(Aspect)** 총 24지점 사면향의 평균으로 동향(20%)의 비율이 가장 높았고 북동향(17%), 서향(17%) 순으로 높았고 향이 없는 평평한 지형(1%)은 거의 없는 것으로 확인됨(그림 5-8 a)
- **(경사도)** 경사도 평균은 완경사지(30.6%)에서 가장 출현 비율이 높았고 급경사지(28.3%), 경사지(26.1%) 순으로 확인되며 경사가 급하여 험준한 지형에서는 출현하지 않음(그림 5-8 b)

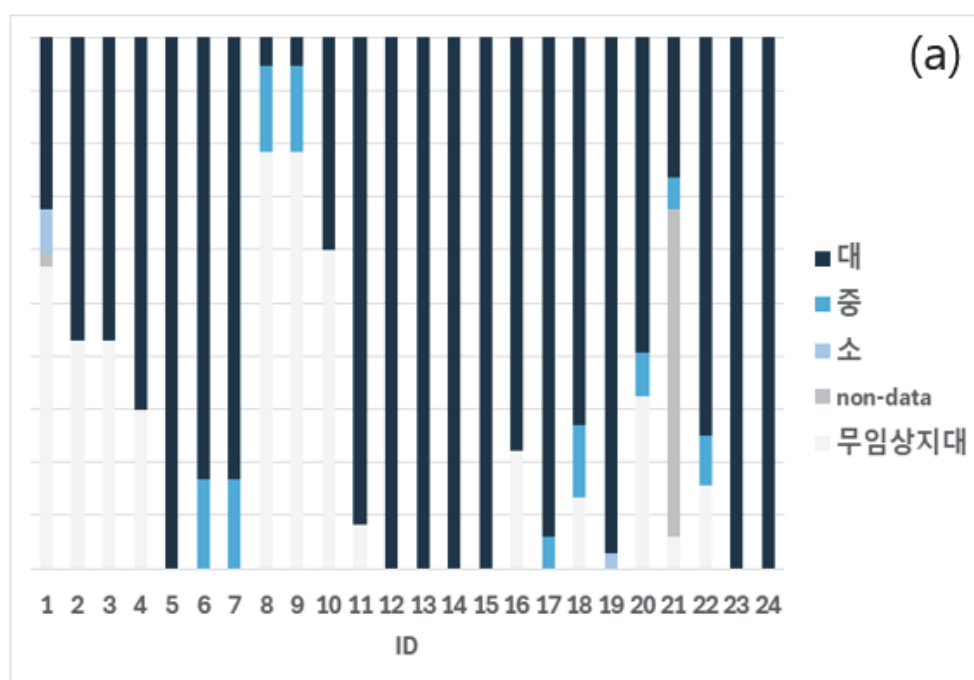


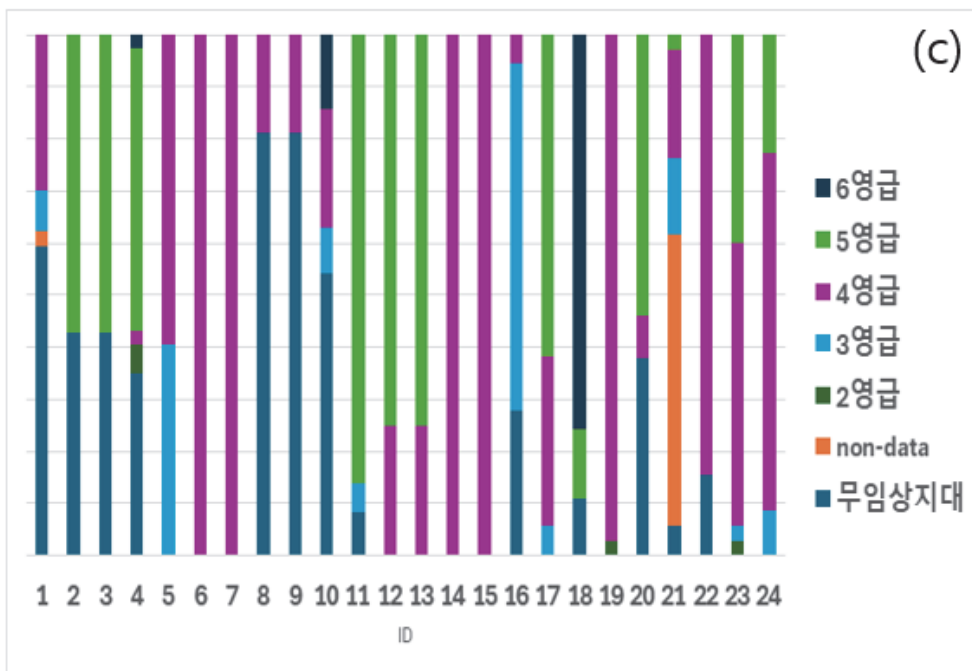
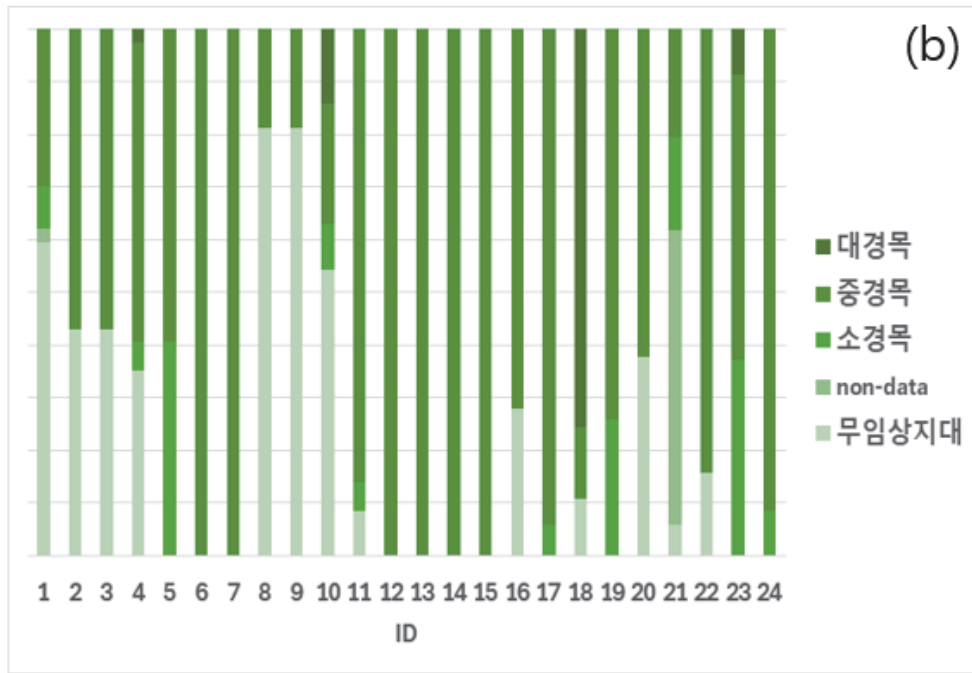
<그림 5-8> 출현지점 별 지형변수 면적비율(a: 사면향, b: 경사도)

- **(토지피복도)** 하늘다람쥐 출현 반경 중 대분류에서는 산림지역(79%)이 가장 높았고, 중분류에서는 산림지역 내 활엽수림(37%), 침엽수림(27%), 혼효림(15%) 순으로 나타남

나) 생물적 변수(Biotic Factor)

- **(임상 및 밀도)** 출현지점 중 활엽수림(34%)의 비율이 가장 높았고 침엽수림(28%), 무임상지대(21%) 순으로 나타나는데 서식지 유형 중 임연부로 판단되는 지점으로 인해 무임상지대가 높게 나온 것으로 판단되고 임상밀도는 밀한 비율(72%)이 가장 높게 나타남(그림 5-9 a)
- **(경급 및 영급)** 나무의 흉고직경을 나타내는 경급의 경우 중경목(66%)의 비율이 가장 높았고 영급은 4영급(41%)의 비율 가장 높았고, 4영급 이상의 비율69%를 차지함(그림 5-9 b, c)
- **(수종)** 수종코드를 재분류하여 추출한 결과, 소나무류(26%)의 비율이 가장 높았고, 기타활엽수(24%), 침활혼효림(20%) 순으로 높게 나타남





<그림 5-9> 출현지점 별 산림환경변수 면적비율(a:임상밀도, b: 경급, c: 영급)

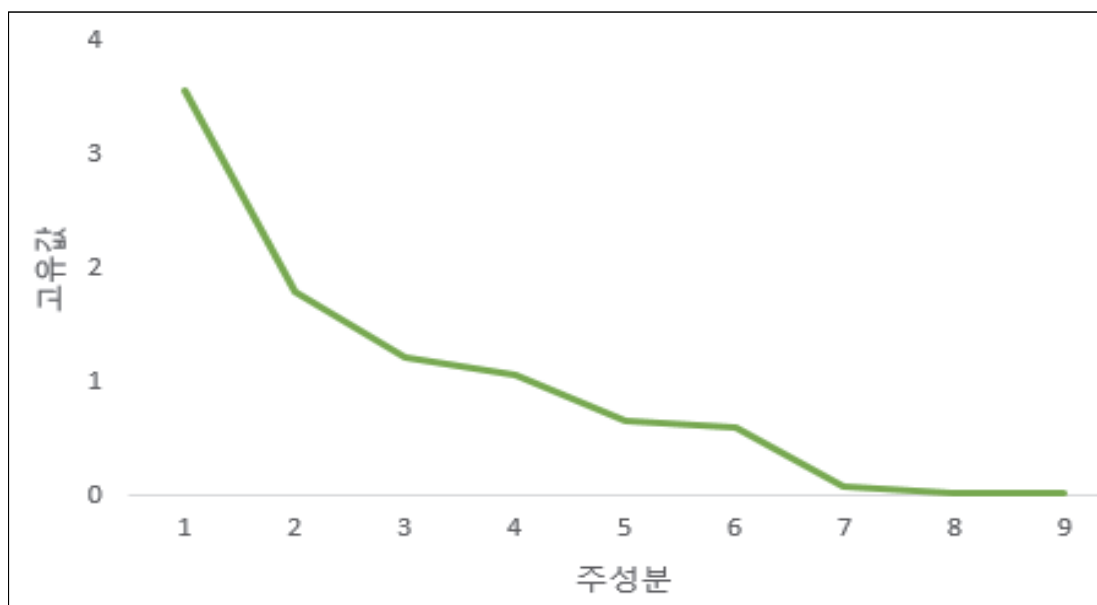
4) 통계분석 결과

가) 주성분 수 선정 및 설명력

- 고유값(eigenvalue)을 통해 3~4구간에서 완만해지는 정도를 고려하여 주성분 개수를 3개로 선정함(그림 5-10)
- 하늘다람쥐 서식지 내 환경요인에 대한 분석 결과 제 1주성분의 설명력은 39.7%, 제 2주성분의 설명력은 19.9%, 제 3주성분의 설명력은 13.4%로 확인됨(표 5-6)
- 각 주성분의 중요도의 누적합은 총 73%의 설명력을 가지는 것을 확인

<표 5-6> 주성분별 고유값 및 중요도

주성분	고유값	중요도	누적 설명력
1	3.578	0.398	0.398
2	1.795	0.199	0.597
3	1.207	0.134	0.731
4	1.052	0.117	0.848
5	0.657	0.073	0.921
6	0.590	0.066	0.987
7	0.086	0.010	0.996
8	0.021	0.002	0.999
9	0.013	0.001	1.000



<그림 5-10> 주성분분석에 따른 주성분별 고유값

나) 주성분별 분석 결과

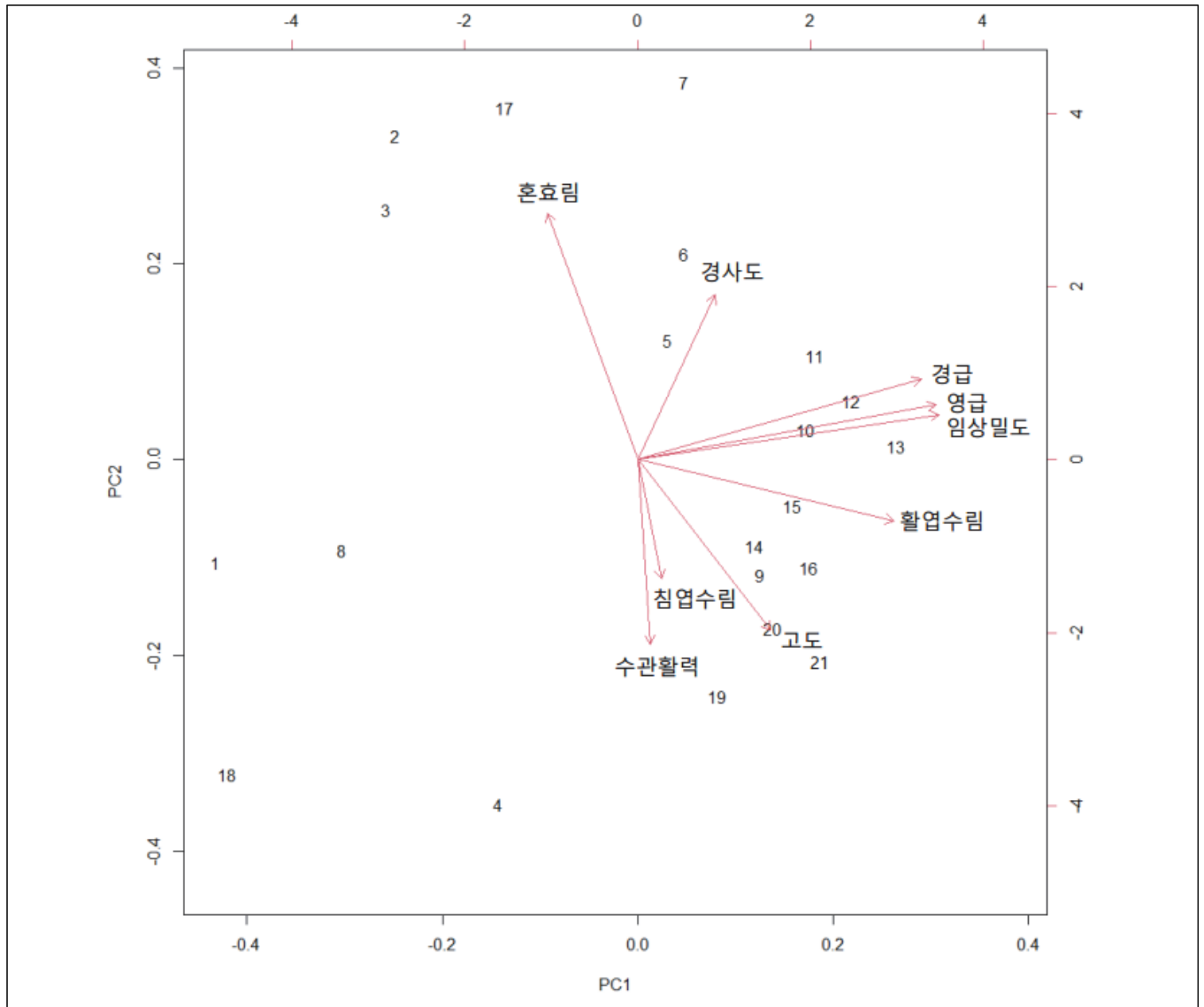
- 제 1주성분은 임상밀도(0.5036), 제 2주성분은 혼효림(0.5801) 제 3주성분은 침엽수림 (-0.7243)으로 하늘다람쥐 서식지 특성에 주요한 변수로 나타남(표 5-7)
- 제 1주성분에서는 임상밀도가 높고 4영급 이상, 중경목 이상의 교목이 있는 환경이 서식조건에 주요한 것으로 확인됨
- 제 2주성분에서는 임상 중 혼효림과 수관활력이 좋지 못한 서식조건에서 주요한 것으로 확인되는데 이는 하늘다람쥐가 고사목을 등지로 활용하는 것이 반영된 것으로 판단됨
- 제 3주성분에서는 임상 중 침엽수림 환경이 서식조건에 부정적인 영향을 끼치는 것으로 확인됨
- 여름철 등지를 대상으로 서식지 조사를 수행하여, 활엽수 및 혼효림 중심의 등지 활용을 보인것으로 판단됨
- 주성분분석을 통해 하늘다람쥐 서식지 내 영급, 경급, 임상밀도는 변수간 상관관계가 높은 것으로 확인됨

환경변수	PC1	PC2	PC3
영급	0.4986	0.1299	-0.1986
임상밀도	0.5036	0.1064	-0.1385
경급	0.4734	0.1898	-0.2174
침엽수림	0.0395	-0.2801	-0.7243
활엽수림	0.4280	-0.1441	0.4166
혼효림	-0.1503	0.5801	-0.1252
경사도	0.1289	0.3884	0.2600
고도	0.2218	-0.4014	0.3227
수관활력도	0.0215	-0.4336	-0.0926

<표 5-7> 선정된 주성분의 변수별 Loading score

다) PCA Biplot 결과(그림 5-11)

- 2, 3, 17번 지점에서 출현수종 현장조사 결과, 소나무, 리기다소나무, 밤나무, 신갈나무, 졸참나무 등 임상수종이 혼효림 환경으로 확인됨
- 1, 4, 8번 지점은 도로와 건물이 인접하고 잦은 인간 출입 등의 외부간섭으로 인해 다른 출현지점에 비해 하늘다람쥐가 서식하기에 적합하지 않을 것으로 판단됨



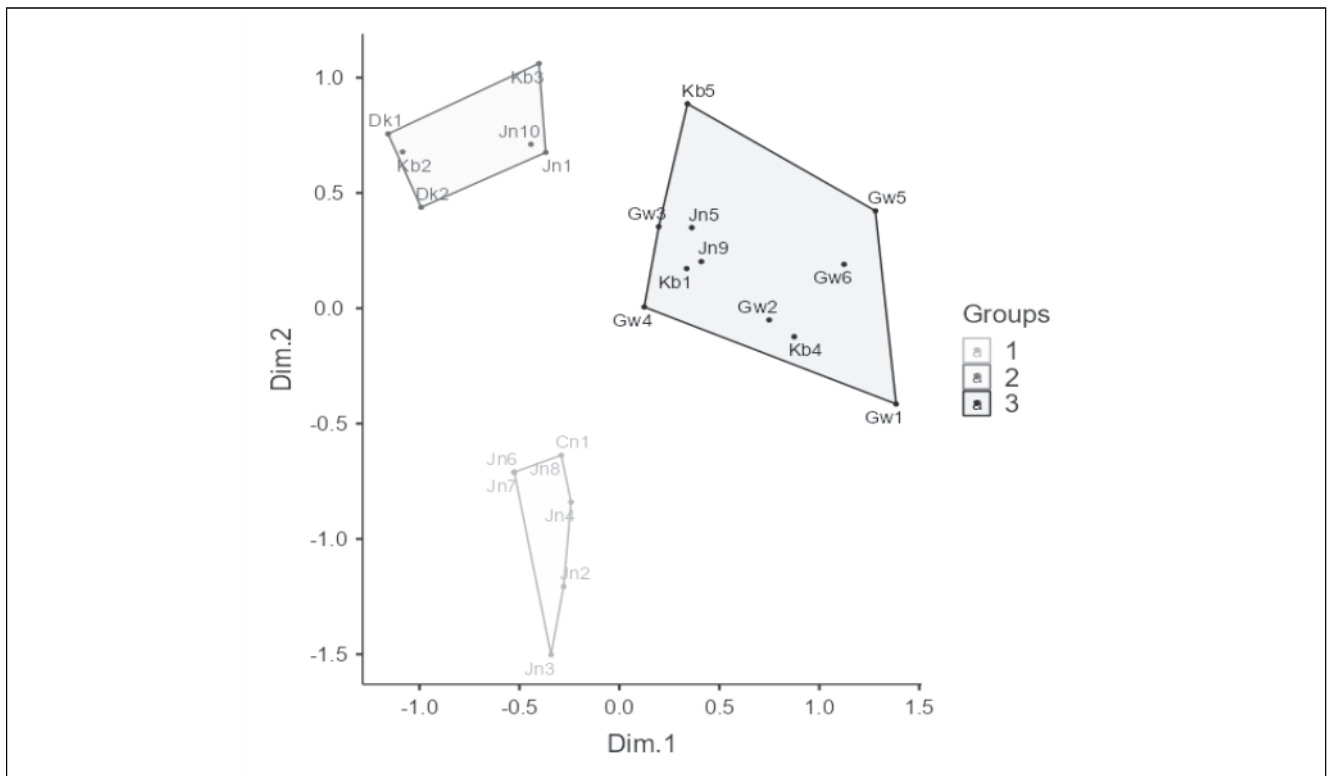
<그림 5-11> 주성분분석 결과

라) 군집분석 결과(그림 5-12)

- 하늘다람쥐 출현지점에서 빈도가 가장 높은 수종은 소나무(12지점), 밤나무(8지점), 산벚나무(8지점) 순으로 확인됨(표 5-8)
- 하늘다람쥐 출현지점의 수종으로 군집분석 결과, 총 3개 Group으로 나누어짐
- Dim 1은 위도의 차이에 따라 나뉘고, Dim 2는 교란의 정도에 따라 나뉘지는 것으로 판단됨
- Group 1의 경우 전라남도 지역에 출현지점이 Cluster를 형성하는데 대표하는 수종으로는 졸참나무, 사스레피나무 등이 확인되며 이 지역의 하늘다람쥐는 등지로 주로 밤나무를 이용하며 먹이원으로 여름철은 산벚나무 및 참나무류 등을 이용하고 겨울철에는 소나무 솔잎을 이용하는 것으로 확인됨
- Group 2의 경우 경상북도 지역과 일부 전라남도 지역의 출현지점이 Cluster를 형성하는데 이 지역의 경우 1, 3 Group에 비교하여 산림의 교란상태가 가장 큰 것으로 확인됨
- 이는 Group 2의 주요 출현수종으로 오동나무, 물오리나무가 대표적으로 확인되는데 이 수종들은 산림이 훼손되었을 때 초기천이 과정에서 우선적으로 들어오는 수종으로 이 지역은 하늘다람쥐가 오동나무를 등지로 활용하는 것으로 확인됨
- Group 3의 경우 강원특별자치도와 일부 경상북도 북부 지역의 출현지점이 Cluster를 형성하는데 대표하는 수종으로는 말채나무, 박달나무, 자작나무, 물박달나무 등이 확인되며 이 지역 하늘다람쥐의 경우 은사시나무와 자작나무를 등지로 활용하고 먹이원으로는 여름철은 참나무류, 산벚나무를 이용하고 겨울철에는 일본잎갈나무, 소나무를 이용할 것으로 판단됨
- 또한, Group 3의 경우 산림 내 교란 정도가 높은 것으로 판단되는데 이는 식재종인 일본잎갈나무 분포가 높게 확인되어 일부 교란을 주는 것으로 해석됨

<표 5-8> 하늘다람쥐 출현지점 내 출현수종 빈도

학명	Jn1	Jn2	Jn3	Jn4	Jn5	Jn6	Jn7	Jn8	Jn9	Jn10	Dk1	Dk2	Kb1	Kb2	Kb3	Kb4	Kb5	Gw1	Gw2	Gw3	Gw4	Gw5	Gw6	Cn1	빈도
<i>Pinus densiflora</i>	.	+	+	+	.	+	+	+	.	.	+	+	.	+	.	.	.	.	+	.	+	.	.	+	12
<i>Castanea crenata</i>	.	+	+	+	.	+	+	+	.	.	.	.	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	8
<i>Prunus sargentii</i>	+	.	.	.	.	+	+	+	.	+	.	.	.	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	+	8
<i>Quercus mongolica</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	+	+	.	+	.	+	+	.	.	6
<i>Paulownia coreana</i>	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	+	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	6
<i>Quercus variabilis</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	+	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	5
<i>Alnus hirsuta</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	+	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	4
<i>Larix kaempferi</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	+	.	+	.	.	.	.	.	4
<i>Quercus serrata</i>	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	+	4
<i>Betula dahurica</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	3
<i>Robinia pseudoacacia</i>	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	.	3
<i>Pinus koraiensis</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	+	.	3
<i>Styrax obassia</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	+	.	.	3
<i>Acer pictum var. mono</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+	.	2
<i>Phyllostachys nigra var. henonis</i>	+	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
<i>Cornus walteri</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	+	.	2
<i>Betula schmidtii</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	2
<i>Quercus acutissima</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	2
<i>Lindera obtusiloba</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+	.	2
<i>Carpinus laxiflora</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	+	2
<i>Populus × tomentiglandulosa</i>	.	.	.	.	+	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
<i>Betula pendula</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	2
<i>Cornus controversa</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	2
<i>Juglans mandshurica</i>	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Platycarya strobilacea</i>	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Juniperus rigida</i>	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Acer pseudosieboldianum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Pinus rigida</i>	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	1
<i>Alnus firma</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Eurya japonica</i>	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Morus bombycis</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	1
<i>Carpinus turczaninowii</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	1
<i>Celtis sinensis</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Chamaecyparis obtusa</i>	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1



<그림 5-12> 하늘다람쥐 출현지점 내 수종을 이용한 군집분석 결과

4. 결론

- 가. 본 연구대상종인 하늘다람쥐는 교목성 다람쥐로 출현지점 내 임상, 지형, 식생(교목 수종)을 중심으로 서식지 특성 연구를 수행함
- 나. 공간 자료 및 현장자료 현황을 통해 하늘다람쥐는 출현지점 평균적으로 산림지역 내 침엽수, 활엽수, 혼효림 등의 특정 임상 종류 차이는 있으나 그 정도가 미미하여 특정 산림을 선호하는 것을 구분하기는 어려워 보임
- 다. 계절에 따라 수종 선택의 영향이 있을 것으로 판단되며, 향후 시기에 따른 먹이원 확보 및 수종 선택의 연관성과 관련한 연구가 필요하다고 판단함
- 라. 주성분 분석 결과, 하늘다람쥐는 교목의 경급 및 영급이 높고 교목의 흉고직경이 크며 임상밀도가 밀한 건강한 산림의 서식환경을 선택하는 것으로 확인됨
- 마. 군집분석 결과, 하늘다람쥐는 등지를 지역적으로 출현하는 수종을 선택적으로 이용하는 것을 확인하였고, 자연림뿐만 아니라 식재된 산림에서도 서식환경이 충족되는 것으로 확인됨
- 바. 하늘다람쥐의 위협요인을 분석한 결과, 서식지 훼손(산불, 산림벌채, 인간 간섭 등) 및 천적(맹금류 등) 등의 위협요인이 있으며, 위협요인을 반영한 하늘다람쥐 인공 등지 설치 및 산림 내 수목 식재 등의 서식지 개선 및 보전이 시급해 보임
- 사. 본 연구 결과는 하늘다람쥐 서식지에 미치는 영향 및 주요 환경요인 선정 시 정량적인 지표를 제시하는 기초자료로 유용하게 사용될 수 있을 것으로 사료됨

VI. 참고문헌

- Asari, Y. & Yanagawa, H. (2016). A preliminary study of communal nesting of Siberian flying squirrels *Pteromys volans* in Japan. *Mammal study*, 41(2), 97-100.
- Bae, S.Y. (2024). A study of the habitat environment of flying squirrel (*Pteromys volans*). Master's thesis. Graduated School of Daegu Hany University, Gyeongsan
- GBIF.org (14 November 2024) GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.6v6ue3>
- Han, C.W., et al. (2018). Tree Species Preferred as Fecal Sites by the Siberian Flying Squirrel *Pteromys volans*. *Journal of forest and environmental science*, 34(2), 180-183.
- Hanski, I.K. (1998). Home ranges and habitat use in the declining flying squirrel *Pteromys volans* in managed forests. *Wildlife Biology*, 4(1), 33-46.
- Hanski, I.K., Stevens, P.C., Ihalempiä, P. & Selonen, V. (2000). Home-range size, movements, and nest-site use in the Siberian flying squirrel, *Pteromys volans*. *Journal of mammalogy*, 81(3), 798-809.
- Jang, R.-H, Lee, S.-H, Han, Y.-S, Cho, K.-T. & You, Y.-H. (2013). Ecological Response of the endangered aquatic plant, *Viola raddeana* Regel, to Effect of Increased CO₂ Concentration and Air Temperature. *Journal of Wetlands Research*, 15(3), 381-386.
- Jeong, H.J. (2012). A taxonomic study of the genus *Paeonia* in Korea. Graduate School, Chonbuk National University.
- Jo, Y.J. (2022). Habitat Conservation of Siberian Flying Squirrel(*Pteromys volans*) and Environmental Impact Asesment. Doctor's dissertation. Graduated School of Jeonbuk University, Jeonju.
- Kadosaki, M. (2001). Field signs of *Pteromys volans* in Hokkaido. *Journal of the Japanese Wildlife Research Society*, 27, 27-33.
- Kalendar, O.V., Kostikova, V.A., Kukushkina, T.A., Erst, A.S., Kuznetsov, A.A., Kulikovskiy, M.S. & Vasilyeva, O.Y. (2023). Seasonal Development of *Paeonia obovata* and *Paeonia oreogeton* and Their Contents of Biologically Active and Reserve Substances in the Forest-Steppe Zone of Western Siberia. *Horticulturae*, 9(1): 102-117.
- Kim, J.W. (2018). Study on morphology, ecology and genetics of Siberian Flying Squirrel (*Pteromys volans*) in Korea. Doctoral dissertation. Graduated School of Seoul National University. Seoul
- Kim, J.W., Park, H.C., Park, E.H., Lee, N.Y. & Oh, C.H. (2020). Spatial Distribution of Evergreen Coniferous Dead Trees in Seoraksan National Park-In the Case of Northwestern Ridge. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology*, 23(5), 59-71.
- Kim, S., Park, H., Lee, C.W., Kim, N.Y., Hwang, J.E., Lee, B., Park, H.B., An, J. & Baek, J. (2022). Endangered plant species under differing anthropogenic interventions: how to preserve *Pterygopleurum neurophyllum* in Wondong wetland *Peer J*, 10:e14050
- Kim, S.C., Jeon, Y.S., Lim, C.W. & Chung, C.U. (2023). Evaluation of potential habitat of *Pteromys volans* around some development area using GIS. *Journal of Environmental Science International*, 32(5), 395-401.
- Kim, Y.C., Chae, H.H. & Kyu, K.S. (2016). Distributional Characteristics and Population Dynamics of Endangered Plant, *Paeonia obovata* Maxim. *Korean J. Environ. Ecol.* 30(4): 658-675.
- Kwon, H.J., Kim, Y.R. & Kim, S.Y. (2020). First report on the germination requirement of *Pterygopleurum neurophyllum* seeds. *Seed Science and Technology*, 48(1), 41-48.

- LEE, Y.-S., Go, A.-R., Yoo, K.-O. & Chung, Y.J. (2024). A palynological study of *Viola* in Korea. Korean Journal of Plant Taxonomy, 54(1): 1–16
- Lim, C.W. (2024). Ecological study of the Siberian flying squirrel *Pteromys volans* in Korea. Doctoral dissertation. Graduated School of Dongguk University. Seoul.
- Lim, C.K. (2015). Molecular Phylogeny and Genetic Diversity of *Paeonia*(Paeoniaceae) in South Korea. Graduate School, Daegu University.
- Lim, S.J., Kim, K.Y., Kim, E.K., Han, C.W. & Park, Y. C. (2021). Distribution and habitat use of the endangered Siberian flying squirrel *Pteromys volans* (Rodentia: Sciuridae). Journal of Ecology and Environment, 45, 1–7.
- National Institute of Biological Resources, (2012), Red data book of endangered mammals in Korea. National institute of biological resources, Korea. <https://www.kbr.go.kr>. (방문일 2024.09.05.)
- Nature Serve. (2015). NatureServe Conservation Status Assessments: Rank Calculator Version 3.185. NatureServe, Arlington, VA.
- Park, H.J., Kim, S., Lee, C. W., Kim, N.Y., Hwang, J.E., An, J., Park, H.B., Kim, P.B. & Lee, B.D. (2021). Flora and vegetation characteristics of the natural habitat of the endangered plant *Pterygopleurum neurophyllum*. Diversity, 13(9), 401.
- Park, H.J. (2023). Vegetational Diagnosis of Endangered Species and Habitat Characteristics Changes Doctoral dissertation, Graduated School of Jeonbuk National University. Jeonbuk-do
- Sawada, M., Obata, K., Kamijo, T. & Nakamura T. (2010). Effects of Prescribed Burning on *Viola raddeana* in Wet Secondary Grassland Around Sugao-Numa, Ibaraki Prefecture, Japan
- Sawada, M., Obata, K., Kamijo, T. & Nakamura T. (2011). Habitat characteristics and vegetation management of the threatened wetland plant species *Viola raddeana* in the Tone River system, Japan. J. Jpn. Soc. Reveget. Tech., 37(1): 44–49D. OI <https://doi.org/10.7211/jjsrt.37.44>
- The jamovi project (2022). jamovi. (Version 2.3) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>.
- Thorington Jr, R.W., Koprowski, J.L., Steele, M.A. & Whatton, J.F. (2012). Squirrels of the world. JHU Press.
- Watarase Yusuichi, <https://watarase.or.jp/wild/>(방문일. 2024.10.22.)
- Wauters, L.A., Gurnell, J., Preatoni, D. & Tosi, G. (2001). Effects of spatial variation in food availability on spacing behaviour and demography of Eurasian red squirrels. Ecography, 24(5), 525–538.
- Woo, D.G., Choi, T.Y., Lee, S.G. & Ha, J.O. (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.

2024년 멸종위기 야생생물 서식지 연구
- 산작약, 서울개발나물, 선제비꽃, 하늘다람쥐 -

Study of endangered wildlife habitats in 2024
Paeonia obovata, *Pterygopleurum neurophyllum*, *Viola raddeana*, *Pteromys volans*

발 행 일 2024년 12월 31일

발 행 인 조도순

연 구 진 도재화, 이병두, 정진우, 김민한, 김선령, 이승은, 박선욱, 문상균

발 행 처 국립생태원

충남 서천군 마서면 금강로 1210

Tel. 041-950-5300



I S B N 979-11-6698-599-7(93470)

인쇄/편집 맑은기업(Deisgn by Pont: blue-pont@daum.net)
