

연구보고서(원자)
NIE-B-2025-49

멸종위기식물의 생태 및 증식복원 연구('25)

Studies on the ecological properties, propagation,
and restoration of endangered plants

NATIONAL
INSTITUTE OF ECOLOGY

내 지

연구진

연구책임자	김영중	식물팀	선임연구원(연구책임자)
연구참여자(내부)	이창우	식물팀	차장(부책임자)
	황정은	식물팀	선임연구원
	김성준	식물팀	전임연구원
	박환준	식물팀	전임연구원
	박형빈	식물팀	전임연구원
	이유빈	식물팀	전임연구원

본 연구진은 연구윤리를 준수하였음을 서약합니다.

<목 차>

요 약 문(Abstract)	5
I. 서 론	9
1. 연구배경 및 목적	9
2. 연구목표	9
II. 연구 내용 및 방법	11
1. 연구방법	11
III. 연구 결과	27
IV. 고찰 및 제언	64
참 고 문 헌	75

<표 목차>

<표 1> 2025년 연구 대상 멸종위기식물 및 연구목표	11
<표 2> 1차 이식 및 2차 이식 방법 비교	23
<표 3> 석곡 자생지 식물상	29
<표 4> 석곡 서식지 식생표	32
<표 5> 서울개발나물에 방문한 절지동물의 밀도	34
<표 6> 월별 석곡 모니터링 결과	49
<표 7> 가는동자꽃 이식지 식생 조사표 siteA	56
<표 8> 가는동자꽃 이식지 식생 조사표 siteB	58

<그림 목차>

<그림 1> 선유도 망주봉 일원	12
<그림 2> 드론을 활용한 암벽식생조사(예시)	13
<그림 3> 금자란의 자생지 형태적 특징	19
<그림 4> 이식 지점 및 석곡 이식	20
<그림 5> '24년 가는동자꽃 이식지	22
<그림 6> 큰바늘꽃 이식지 조성을 위한 경쟁식물 제거 모습	27
<그림 7> site 8 석곡 서식지	32
<그림 8> 서울개발나물 꽃에 방문한 곤충	34
<그림 9> 애기송이풀 수분흡수율 그래프	39
<그림 10> 애기송이풀 종자 외형(좌), 탈리시점 내부(우)	39
<그림 11> 애기송이풀 배:종자 비율	40
<그림 12> 애기송이풀 호르몬 처리에 따른 발아율	41
<그림 13> 금자란의 무균 종자 발아 및 원피체 발달	42
<그림 14> 배지에 따른 금자란 유묘 성장	44
<그림 15> 유기물 첨가에 따른 금자란 유묘 성장	46
<그림 16> 유기물 첨가에 따른 금자란 성장 특성	48
<그림 17> 석곡 줄기수의 월별 변화 패턴	50
<그림 18> 월별 생육량(줄기수)의 수종별 차이 분석	51
<그림 19> 월별 생육량(줄기수)의 위치별 차이 분석	51
<그림 20> 수종별 부착 위치에 따른 줄기 수 분석	52
<그림 21> 석곡 길이생장의 월별 변화 패턴	53
<그림 22> 월별 석곡 길이 생장의 수종별 차이 분석	54
<그림 23> 월별 석곡 길이 생장의 위치별 차이 분석	54
<그림 24> 수종별 부착 위치에 따른 길이 성장 분석	55
<그림 25> 월별 가는동자꽃 이식지(siteA) 모니터링	58
<그림 26> 월별 가는동자꽃 이식지(siteB) 모니터링	60
<그림 27> 홍도 site 1 내 나도풍란 생존 개체의 생육 모습	61
<그림 28> 가거도 site 5 내 나도풍란 생존 개체(좌) 및 고사 개체(우) ...	62
<그림 29> 이식지 조성 직후 및 폭우로 하천 수위가 높아진 시점의 모습 ...	63
<그림 30> 큰바늘꽃 이식 개체의 종자 결실 및 무성생식 모습	63

요 약 문

본 연구는 「야생생물 보호 및 관리에 관한 법률」 및 「멸종위기 야생생물 보전 종합계획」에 근거하여 수행되는 국립생태원 고유과제의 2차년도 결과물이다. 연구의 주된 목적은 멸종위기식물 7종(석곡, 가는동자꽃, 나도풍란, 큰바늘꽃, 서울개발나물, 애기송이풀, 금자란)을 대상으로 야생개체군의 생태 특성을 구명하고, 고도화된 증식·순화 기술을 개발하며, 자생지 이식 및 모니터링을 통해 생태계의 건강한 회복을 유도하는 데 있다.

야생개체군 생태 환경 연구 결과, 석곡(*Dendrobium moniliforme*)의 자생지인 군산 선유도 망주봉 일대를 대상으로 드론을 활용한 비침습적 식생 조사를 수행하였다. 분석 결과, 석곡은 김의털, 바위손 등 총 21종의 식물과 공존하며 특정 종이 지배하지 않는 저우점·분산형 식생 구조를 형성하고 있었다. 이는 석곡이 강한 경쟁자가 존재하는 폐쇄적 환경보다 경쟁 압력이 낮은 개방적 암벽 미소서식지에서 안정적으로 생육함을 시사한다. 서울개발나물(*Pterygopleurum neurophyllum*) 연구에서는 부산 원동습지 개체군을 대상으로 번식 생태를 조사하였다. 조사 기간 중 발생한 폭우와 침수 상황에서도 일부 개체가 개화에 성공하여 습지 환경에 대한 높은 적응성을 보였다. 방문 절지동물 23종을 분석한 결과, 유효 화분매개자는 전체의 10%인 애꽃벌류에 집중되어 있었으며, 이러한 단순한 화분매개 네트워크는 특정 화분매개자 멸실 시 번식 성공률이 급격히 저하될 수 있는 취약한 구조임을 입증하였다. 증식 및 순화 기술 개발 연구 결과, 애기송이풀(*Pedicularis ishidoyana*)의 종자 휴면 특성 연구 결과, 물리적·형태적 휴면은 없으나 생리적 휴면(PD)을 보유한 것으로 확인되었다. 특히 8주 이내의 짧은 저온 처리로는 발아가 되지 않아 12주 이상의 장기 저온 저장이 필요한 '중간 단계 생리적 휴면(Intermediate PD)' 유형으로 분류되었다. 화학적 처리에서는 지베렐린(GA3) 1,000mg/L 농도에서 37%의 최고 발아율을 기록하여 대량 증식을 위한 최적 호르몬 농도를 확립하였다. 금자란(*Gastrochilus fuscopunctatus*)의 무균 배양 연구에서는 Hyponex 배지가 MS 배지 대비 유묘의 생중량을 약 16배 향상시키며 가장

우수한 생육 기반임을 확인하였다. 유기물 첨가 실험에서는 바나나 균질물 (BH)이 초기 발아부터 14개월 이상의 장기 배양 단계까지 일관되게 생육을 촉진하였으며, 특히 뿌리 신장(평균 5.3cm)과 엽수 증가에 결정적인 역할을 하였다. 이는 바나나에 함유된 천연 생장 조절제가 금자란의 영양 동화 효율을 증대한 결과로 해석된다. 이식 및 생태 변화 모니터링 연구 결과, 석곡의 대장도 대체서식지 이식에서 93.33%의 높은 생존율을 기록하였다. 수종별 비교 분석에서 활엽수인 굴피나무가 침엽수인 소나무에 비해 유의미하게 많은 줄기 수 증가를 보여, 석곡 복원 시 수피의 물리적 특성과 수분 보유력이 뛰어난 활엽수 선택이 활착의 핵심 요인임을 구명하였다. 가는동자꽃(*Lychnis kiusiana*) 이식지인 금정산 모니터링 결과, 봄철에는 이식 개체가 우점하였으나 여름철 썩과 개망초 등 경쟁 식물의 급격한 성장이 가는동자꽃의 광 이용을 제한하여 생육 위축을 초래하였다. 이는 장기적인 복원 성공을 위해 하절기 경쟁 식물의 선택적 제거 및 미소서식지 관리가 필수적임을 시사한다. 나도풍란(*Phalaenopsis japonica*)의 경우, 홍도와 가거도 이식지에서 초기 해충(수검은줄점불나방 유충) 피해가 주요 고사 원인으로 나타났다. 다만, 매일 1~2시간의 일조량이 확보되는 미소 환경에 위치한 개체는 해충 피해 후에도 새로운 기근과 잎을 생성하며 적응하는 모습을 보여, 이식지 선정 시 미기후 조건의 중요성을 재확인하였다. 큰바늘꽃 (*Epilobium hirsutum*)은 청송 주방천 원자생지에 200개체를 이식하였으며, 68%의 생존율과 함께 종자 결실 및 무성생식을 통한 성공적인 초기 활착 징후를 확인하였다. 특히 집중호우에도 서식지가 소실되지 않아 하천 복원지로서의 적합성을 입증하였다.

본 연구는 멸종위기식물 7종에 대해 종별 특화된 증식 프로토콜과 이식 관리 전략을 체계화하였다. 특히 휴면 타파를 위한 정밀한 온도·호르몬 조건과 이식 수종 및 광량 등 미세환경 요인이 복원 성패를 결정짓는 핵심임을 밝혔다. 향후에는 본 연구에서 확립된 증식 기술을 바탕으로 유전적 다양성이 확보된 개체군을 지속 생산하고, 모니터링과 연계하여 기후 변화 등 외부 위협으로부터 멸종위기 식물의 자생력을 강화하는 보전 대책을 보완해 나갈 계획이다.

(주요어: 보전 전략, 인공 증식, 서식지 훼손)

Abstract

This study presents the second-year outcomes of a three-year strategic research program (2024-2026) conducted by the National Institute of Ecology in accordance with the Wildlife Protection and Management Act and the Comprehensive Plan for the Conservation of Endangered Wildlife. The 2025 research focused on seven endangered plant species—*Dendrobium moniliforme*, *Lychnis kiusiana*, *Phalaenopsis japonica*, *Epilobium hirsutum*, *Pterygopleurum neurophyllum*, *Pedicularis ishidoyana*, and *Gastrochilus fuscopunctatus*. The primary objectives were to elucidate wild population ecology, develop advanced propagation and acclimatization techniques, and establish restoration strategies through habitat transplantation.

In-situ investigations of *D. moniliforme* at Mt. Mangjubong (Seonyudo, Gunsan) revealed a dispersed vegetation structure with low species dominance, indicating that open cliff microhabitats with minimal competitive pressure are optimal for the stable growth of epiphytic species. Studies of *P. neurophyllum* in the Wondong Wetland (Busan) demonstrated high tolerance to extreme disturbances, including heavy rainfall and flooding. However, the pollination network was highly constrained, with effective pollinators predominantly belonging to the family Andrenidae (71.4%), suggesting potential vulnerability in reproductive success if these key pollinators decline.

Species-specific culture protocols for mass propagation were established. Research on *P. ishidoyana* confirmed the absence of physical dormancy but identified intermediate physiological dormancy, requiring more than 12 weeks of cold stratification. Optimal germination (37%) was achieved following treatment with 1,000 mg/L gibberellic acid (GA₃). For *G. fuscopunctatus*, Hyponex medium was identified as a superior growth substrate, resulting in a 16-fold increase in seedling fresh weight compared to MS medium. The addition of banana homogenate (BH) was particularly effective in promoting root elongation and leaf development during

long-term culture.

Field monitoring yielded critical data for refining restoration guidelines. Transplanted *D. moniliforme* individuals on Daejangdo Island exhibited a high survival rate of 93.33%, with the deciduous tree *Platycarya strobilacea* proving to be a more suitable host than coniferous species due to favorable bark texture and moisture retention. In *L. kiusiana* populations on Mt. Geumjeongsan, rapid summer growth of competing vegetation was identified as a primary stress factor, emphasizing the need for selective weeding. For *P. japonica*, individuals established in sites receiving 1-2 hours of daily sunlight showed greater resistance to early-stage pest damage, reaffirming the importance of microclimatic site selection. Finally, *E. hirsutum* populations in Cheongsong maintained a 68% survival rate and exhibited early signs of establishment through both sexual and asexual reproduction.

This research has systematized species-specific propagation protocols and management frameworks for seven endangered plant species. The results indicate that precise environmental controls—particularly dormancy-breaking conditions and microhabitat selection—are critical factors for successful restoration. In subsequent phases, the project will focus on producing genetically diverse populations and refining conservation strategies to enhance the long-term self-sustainability of endangered plant species in the face of external threats, including climate change.

(Keyword: Conservation Strategies, Artificial Propagation, Habitat Degradation)

I. 서론

1. 연구배경 및 목적

가. 연구배경

- 1) 국내 멸종위기식물(282종) 중 식물(92종)이 가장 많은 종수로 복원 연구가 시급함
- 2) 멸종위기식물의 생태 특성 및 증식 기술 개발로 국가 전략 자원화 필요

나. 연구목적

- 1) 멸종위기식물의 생태 특성 구명 및 증식·순화기술 개발
- 2) 복원종의 자생지 생존력 강화와 건강하고 균형 잡힌 생태계 회복 유도

2. 연구목표

가. 과제목표

본 연구과제는 총 3년(2024년 1월~2026년 12월)간 수행되는 생태원 고유과제로 야생생물 보호 및 관리에 관한 법률 제5조 「야생생물 보호 기본 계획 수립」 및 제13조 「멸종위기 야생생물 중장기 보전대책의 수립·시행」 이행을 위한 전략계획으로 「멸종위기 야생생물 보전 종합계획」에 근거하여 멸종위기 생물종 보전을 위한 중장기 보전대책을 수행하고자 함

1) 멸종위기식물 야생개체군 생태환경 연구

- 가) 야생개체군 자생지 서식 환경 조사
- 나) 생태학적 일주기 연구
- 다) 생태 환경 변화 모니터링 및 위협요인 분석

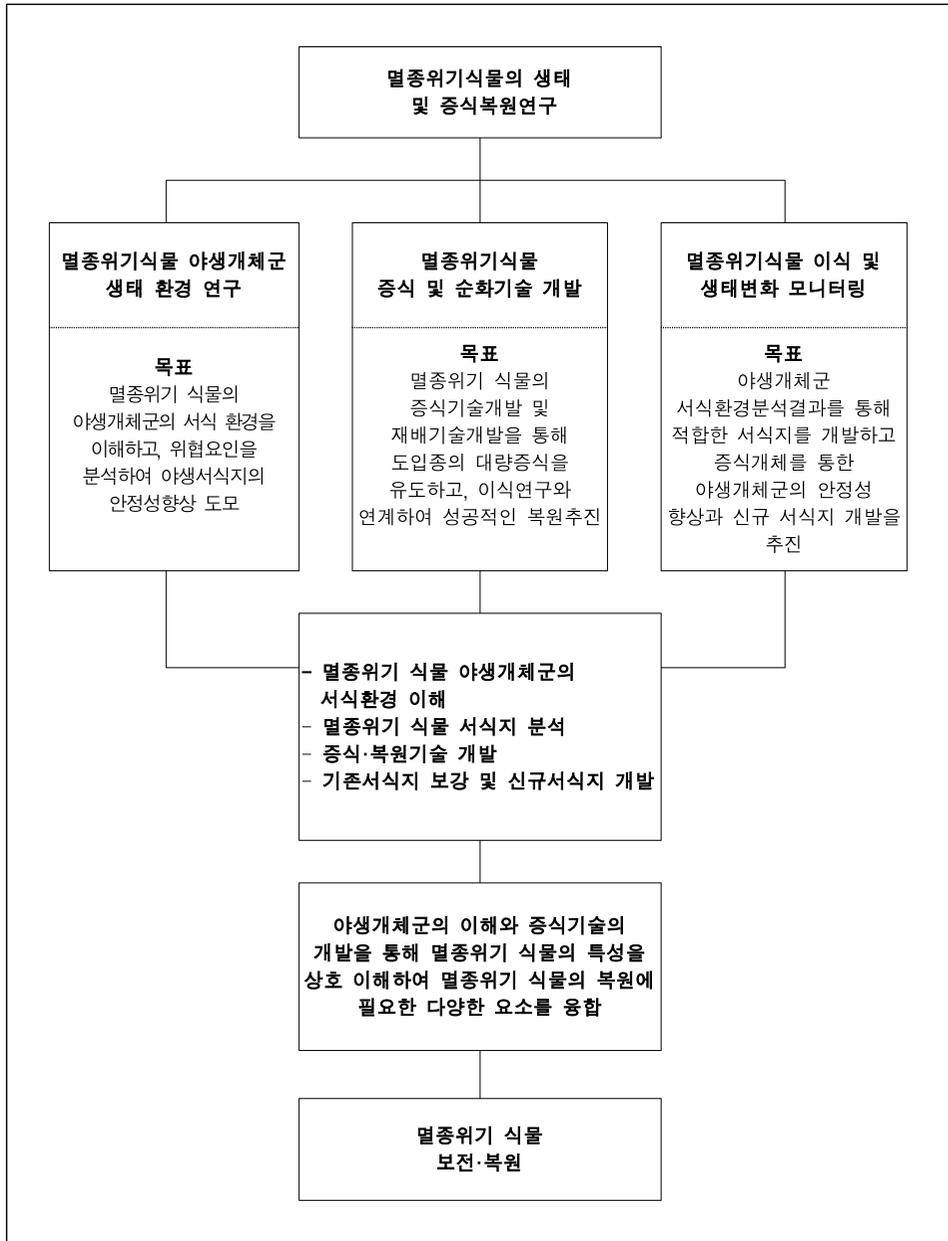
2) 멸종위기식물 증식 및 순화기술 개발

- 가) 증식·복원을 위한 국내 서식 복원대상종 원종 확보
- 나) 조직배양 및 종자 발아 연구를 통한 대량 증식 체계 구축
- 다) 종별 맞춤형 증식기술 및 재배기술 개발

3) 멸종위기식물 이식 및 생태변화 모니터링 연구

- 가) 증식 개체의 서식지 및 신규 서식지 내 안정적인 복원
- 나) 이식 후 개체모니터링 및 인근 생태변화 모니터링 연구
- 다) 서식지 내 위협요인 재분석 및 서식지 개선

나. 수행 체계



다. 당해연도

1) 멸종위기식물 야생개체군 생태환경 연구

가) 야생개체군 동태 연구(석곡, 서울개발나물 이상 2종)

2) 멸종위기식물 증식 및 순화기술 개발

가) 종자 발아율 향상 연구를 통한 대량 증식 기술 개발(애기송이풀, 금자란 이상 2종)

나) 생장 및 순화 조건 확립을 통한 재배 기술 개발(금자란 이상 1종)

3) 멸종위기식물 이식 및 생태변화 모니터링 연구

가) 이식지 관리 및 개체 보강 후 모니터링(기능동자꽃, 나도풍란, 큰바늘꽃 이상 3종)

<표 1> 2025년 연구 대상 멸종위기식물 및 연구목표

대상종(총 7종)	야생개체군 생태 환경 연구	증식 및 순화기술 개발	이식 및 생태변화 모니터링
석곡	√	-	√
기능동자꽃	-	-	√
나도풍란	-	-	√
큰바늘꽃	-	-	√
서울개발나물	√	-	-
애기송이풀	-	√	-
금자란	-	√	-

II. 연구내용 및 방법

1. 연구방법

가. 야생개체군 생태 환경 연구

1) 석곡

가) 연구지 개황

연구 대상지는 행정구역상 전라북도 군산시에 속한 선유도 망주봉 일원으로, 서해안 도서지역에 위치한 암반 산지이다. 망주봉은 해안과 인접한 화강암질 암반이 발달한 지형으로, 급경사의 암벽과 노출암반이 연속적으로 분포하며, 석곡

(*Dendrobium moniliforme*)이 암벽에 부착하여 생육하는 자생지가 형성되어 있다.

조사 대상지는 주로 능선부 및 사면부의 암벽 구간에 위치하고 있으며, 토심이 매우 얇고 토양 발달이 제한적인 환경을 보인다. 강우 시 암벽을 따라 국지적인 유수(流水)가 형성되어 부착식물의 생육에 필요한 최소한의 수분이 공급되며, 이러한 습윤 환경은 암반의 미세 입지에 따라 제한적으로 유지되는 것으로 알려져 있다 (Benzing, 1990; Zotz & Hietz, 2001). 조사 대상지의 면적은 비교적 협소하며, 암반 노출 비율이 높아 생육 환경의 공간적 이질성이 큰 특징을 보인다.

군산시를 포함한 서해안 도서지역은 식물구계학적으로 한반도 남부아구에 속하며(Lee & Yim, 1978), 해양성 기후의 영향을 받아 연중 온난하고 계절 간 기온 변동폭이 비교적 완만하다. 식생의 군계 수준에서는 난온대와 냉온대 남부의 전이적 성격을 나타내며(Yim & Kira, 1975), 식생지리학적 분포는 한반도아형의 중부산지형에 해당한다(Kim, 1992). 이러한 기후 및 식생지리학적 특성은 석곡과 같은 부착 난류 식물의 제한적인 자생지 형성에 중요한 환경적 배경으로 작용한다.

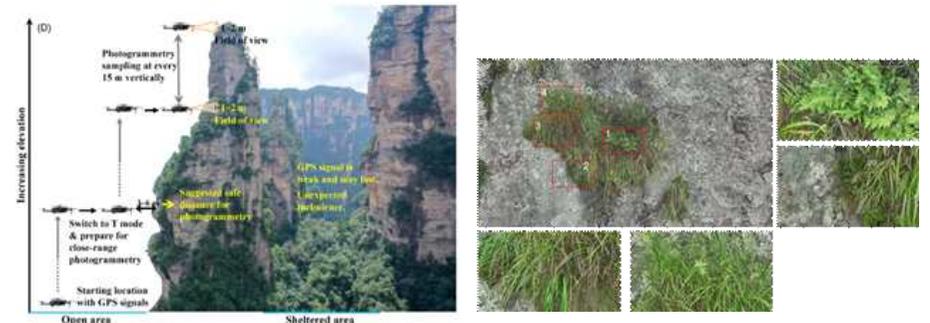


<그림1> 선유도 망주봉 일원

나) 야생개체군 식생 분석

멸종위기종 석곡(*Dendrobium moniliforme*) 자생지의 식생특성을 분석하기 위해 전라북도 군산시 선유도 망주봉 일원을 대상으로 식생조사를 실시하였다. 망주봉은

암반 노출이 많고 접근이 제한된 지형적 특성을 지니고 있어, 본 조사에서는 드론을 활용한 근접 촬영 기반 식생조사 방법을 적용하였다. 드론 촬영은 조사 대상 암벽면을 기준으로 암벽과 드론 간 거리를 약 5m로 유지한 상태에서 수행하였으며, 5m 거리에서 광각카메라를 활용하여 촬영한 후 석곡 개체 및 주변 식생을 정밀하게 판독하기 위해 망원 카메라를 활용한 확대 촬영을 병행하였다. 식생조사는 석곡이 분포하는 암벽 구간을 중심으로 5m × 9m 규모의 방형구를 설정하여 수행하였으며, 방형구는 암반과 주변 식생을 포함하도록 배치하였다. 조사 결과 총 85개의 방형구를 확보하였다. 드론을 통해 획득한 고해상도 사진을 바탕으로 전통적인 식생조사 방법을 적용하여 방형구별 식생표를 작성하였으며, 사진 판독을 통해 출현 식물종과 각 종의 피도를 기록하였다. 이러한 방법을 통해 현장 접근이 어려운 암벽 구간에서도 기존 지상 식생조사와 동일한 기준으로 식생 정보를 획득할 수 있도록 하였다. 최종적으로 작성된 총 85개의 식생표를 이용하여 선유도 망주봉 암벽의 식생을 분석함과 동시에 석곡 자생지의 식생 구성 및 구조적 특성을 분석하였다.



출처: Piloting an Unmanned Aerial Vehicle to Explore the Floristic Variations of Inaccessible Cliffs along Island Coasts

<그림2> 드론을 활용한 암벽식생조사(예시)

출현한 식물은 Lee(1980, 2003), Lee(1996a, b), Lee(2006) 등의 식물도감에 의거하여 동정 및 분류하였으며, 식물목록을 작성하였다. 이때 사용된 학명과 국명은 Kim et al.(2019)에 따라 작성하였다. 식생조사는 Z-M학과의 식물사회학적 연구방법에 따라 조사하였으며(Braun-Branquet, 1964), 방형구의 크기는 5m × 9m 규모로 설정하여 수행하였으며, 방형구는 암반과 주변 식생을 포함하도록 배치하였다. 조사구 내에 출현하는 구성종의 피도계급은 6계급(+, 1, 2, 3, 4, 5)을 활용하였다. 수집된 자료는 Aims and Methods of Vegetation Ecology(Mueller-Dombois &

Ellenberg, 1974)의 표조작법에 따라 최종 군락표를 작성하였다. 이후 컴퓨터 소프트웨어(excel)를 활용하여 층위별 피도값을 기록하였으며 소표(raw table)를 작성하였다. 식생단위 추출을 위하여 전통적인 분류방법과 함께 수리적 분석에 유리한 자연대수에 의한 값으로 변형된 분류방법이 동시에 고려되었다.

2) 서울개발나물

서울개발나물(*Pterygopleurum neurophyllum* (Maxim.) Kitag.)은 미나리목(Apiales) 미나리과(Apiaceae)에 속하는 여러해살이 초본식물로, 우리나라에서는 멸종위기 야생생물 II급으로 지정되어 보호·관리되고 있다. 본 종은 전 세계적으로 서울개발나물속(*Pterygopleurum*) 단일종으로 구성된 1속 1종의 분류군으로, 동북아시아 지역 중 한국, 일본, 중국 일부 지역에만 제한적으로 분포하는 희귀식물이다. 국내에서는 주로 하천 배후습지 및 저지대 습지와 같이 토양 수분 함량이 높고 과습한 환경에서 자생하는 것으로 알려져 있다. 서울개발나물은 개발 압력이 높은 도시 및 준도시 지역의 습지에 분포하는 특성상, 서식지 감소와 단절로 인해 개체군 유지에 취약한 상태에 놓여 있다. 특히 개화 및 결실 단계에서의 생태적 상호작용에 대한 정보가 부족하여, 자연 상태에서의 번식 성공 여부와 개체군 유지 메커니즘을 과학적으로 규명하는 데 한계가 있다. 식물의 유성생식은 화분 매개곤충과의 상호작용에 크게 의존함에도 불구하고, 서울개발나물의 개화 시기에 방문하는 곤충상과 이들 중 실제로 유효한 화분매개자의 역할에 대한 연구는 거의 수행된 바 없다. 본 연구에서는 서울개발나물의 개화 시기(7월 말)에 부산 원동습지에 분포하는 자생 개체군을 대상으로 육안 관찰을 통해 꽃을 방문하는 곤충상을 조사하였다. 이를 통해 서울개발나물 개화기에 출현하는 곤충 군집의 구성과 방문 특성을 파악하고, 잠재적·유효 화분매개자를 선별함으로써 서울개발나물의 번식 생태적 특성을 규명하고자 하였다. 아울러 동일 서식지 내 주변 식물과의 개화 시기 중첩 및 곤충 공유 여부를 분석하여, 습지 생태계 내에서 서울개발나물이 형성하는 식물-곤충 상호작용 구조를 이해하고자 하였다. 본 연구 결과는 서울개발나물의 안정적인 개체군 유지 및 증식·복원 전략 수립을 위한 기초 생태 자료로 활용될 수 있으며, 향후 도시 및 저지대 습지 환경에서의 멸종위기 식물 보전 관리 방안 마련에 중요한 과학적 근거를 제공할 것으로 기대된다.

로 기대된다.

원동습지는 낙동강 본류와 인접한 배후습지로, 하천 범람과 지하수위 변동의 영향을 지속적으로 받는 저지대 습지 환경을 형성하고 있다. 연구 대상지는 평탄한 지형이 우세하며, 강우 시 및 하천 수위 상승 시 일시적으로 토양이 침수되거나 장기간 과습 상태가 유지되는 특징을 보인다.

연구지의 토양은 세립질 퇴적물이 주를 이루며, 토심은 비교적 얇고 배수가 불량한 상태로 유지된다. 이로 인해 토양 내 수분 함량이 연중 높게 유지되며, 일부 구간에서는 불투수층의 발달로 강우 후 물이 고이는 미소지형이 형성되어 있다. 이러한 환경은 서울개발나물이 선호하는 과습한 배후습지 조건과 부합하는 것으로 판단된다.

연구지 내 식생은 갈대(*Phragmites australis*), 물억새(*Miscanthus sacchariflorus*), 사초과 식물 등 습지성 초본식물이 우점하고 있으며, 서울개발나물은 이들 습지 식생 사이의 개방된 공간 또는 수분이 안정적으로 유지되는 미소서식지에서 군락 또는 산발적으로 분포하고 있다.

나) 방문 곤충상 조사

서울개발나물의 개화 시기에 방문하는 곤충상을 파악하기 위하여, 부산 원동습지에 분포하는 자생 개체군을 대상으로 육안 관찰 기반의 현장 조사를 실시하였다. 조사는 서울개발나물의 개화가 집중적으로 이루어지는 시기인 2025년 7월 23일과 7월 24일에 수행되었으며, 시간대별 곤충 활동 특성을 고려하여 총 3회에 걸쳐 진행하였다.

조사 시간은 7월 23일 오후 시간대 2시간, 7월 24일 오전 시간대 2시간, 7월 24일 오후 시간대 2시간으로 설정하여 총 6시간 동안 모니터링을 실시하였다. 각 조사에서는 개화가 확인된 서울개발나물 개체를 대상으로, 꽃을 직접 방문하는 곤충의 출현 여부를 집중적으로 관찰하였다.

조사 과정에서 관찰자의 움직임으로 인해 곤충의 접근이나 행동이 방해되지 않도록, 조사자는 이동을 최소화한 상태에서 개화한 서울개발나물 앞에서 대기하며 관찰을 수행하였다. 꽃에 접근하거나 착지하는 곤충을 대상으로 종과 밀도를 기록하였다.

본 조사는 채집을 병행하지 않고 비침습적 관찰 방법으로 수행되었으며, 이를 통해 서울개발나물 개화기에 실제로 꽃을 방문하는 곤충 군집의 구성과 방문 특성을 파악하고자 하였다.

다) 방문곤충 분류 및 기능군 구분

서울개발나물 개화기에 관찰된 방문곤충은 현장 육안 관찰을 통해 기록된 외형적 특징과 행동 양상을 바탕으로 분류하였다. 곤충의 종 동정은 기본적으로 종 수준까지 구분하였으나 종 동정이 어려운 분류군의 경우 과(Family) 수준까지 구분하였다. 분류 및 동정이 이루어진 방문곤충은 McAlpine et al. (1981)과 Triplehorn et al. (2005)에서 제시한 먹이 기능군 기준에 따라 초식자(herbivore), 포식자(predator), 분해자(decomposer), 기생자(parasite)로 구분하였다.

한편 방문곤충의 화분매개 기능군 구분은 먹이 기능군 분류와 별도로, 화분매개 가능성을 중심으로 수행하였다. 이를 위해 곤충의 꽃 접근 방식, 착지 여부 그리고 화서 및 화기관과의 직접적인 접촉 여부를 종합적으로 고려하였다. 특히 서울개발나물의 꽃 구조에 접근하여 화분 또는 암술과 반복적으로 접촉하는 행동이 관찰된 경우, 해당 곤충을 화분매개에 기여할 가능성이 있는 개체로 판단하였으며, 이에 따라 방문곤충은 다음의 기준에 의해 다음과 같이 구분하였다.

- ① 유효 화분매개자: 꽃에 착지하여 화밀 또는 화분을 섭취하는 과정에서 신체 일부가 수술 및 암술과 직접 접촉하는 것이 명확히 관찰된 곤충
- ② 잠재적 화분매개자: 꽃 주변을 비행하거나 일시적으로 접촉하였으나, 화분 전달 가능성이 제한적으로 판단되는 곤충
- ③ 비화분매개자: 꽃에 접근하였으나 접촉이 없거나, 단순 통과 또는 주변 비행에 그친 곤충

나. 증식 및 순화기술 개발

2) 애기송이플

가) 휴면유형 분류를 위한 발아 조건 연구

냉장고에 보관된 종자들은 2%로 제조된 차아염소산나트륨(NaClO) 용액으로 약 5분간 침지 하여 소독하였으며, 소독이 완료된 종자들은 증류수로 3회 수세 후 90x15mm의 페트리디쉬에 2장의 필터페이퍼를 깔 후 위에 치상하였다. 발아온도는 4채널 챔버에서 각각 4/1℃, 15/6℃, 20/10℃, 25/15℃(주간/야간)로 설정되었으며 광주기는 12/12h(주간/야간)로 설정하였다. 물리적 특성 및 배 발달을 측정하기 위하여 수분흡수율을 0, 3, 6, 9, 12h마다 측정하였으며, 계산은 다음과 같이 진행하였다. 수분흡수율(%) = [(수분 흡수 후 무게-초기무게)/초기무게] x 100. 채종 후 종자와 발아 직전의 종자를 반으로 절단하여 이동식 현미경(AM 3111 Dino-Lite Premier; AnMo Electronics Co., Taiwan)를 이용하여 배 발달 유무를 측정하였다.

나) 저온처리에 따른 휴면 타파 연구

냉장고에 보관된 종자들은 2%로 제조된 차아염소산나트륨(NaClO) 용액으로 약 2분간 침지 하여 소독하였으며, 소독이 완료된 종자들은 증류수로 3회 수세 후 90x15mm의 페트리디쉬에 2장의 필터페이퍼를 깔 후 치상하였다. 저온처리는 4/1℃ 챔버에서 0, 4, 8주 처리 후에 25/15℃ 챔버로 옮겨 1주일 간격으로 발아율을 측정하였다.

다) 호르몬 처리에 따른 휴면 타파 연구

냉장 보관된 종자들은 2%로 제조된 차아염소산나트륨(NaClO) 용액으로 약 2분간 침지 하여 소독하였으며, 소독이 완료된 종자들은 증류수로 3회 수세 후 5가지 농도의 지베렐린 용액(GA3) (0, 500, 1000, 1500, 2000mg/L)에 침지 후 상온에서 24시간 진탕 배양 후 증류수로 3회 수세하여 90x15mm의 페트리디쉬에 2장의 필터페이퍼를 깔 후 위에 치상하였다. 1주일 간격으로 발아율을 측정하였다.

1) 금자란

가) 재료 확보 및 실험 조건

본 연구에서는 금자란(*Gastrochilus fuscopunctatus*)의 기내 발아 및 유묘 성장 특성을 분석하기 위하여 2023년 12월 경상남도 남해군 일대의 자생지(그림 1)에서 자연적으로 생육 중인 개체로부터 성숙한 종자 캡슐을 채집하여 실험 재료로 사용하였다. 채집한 종자 캡슐은 표면 오염 제거를 위해 중성 세제 용액으로 세척한 후 흐르는 수돗물로 세 차례 행구어 세제 잔여물을 제거하였다. 이후 무균 조작대에서 70% 에탄올에 3분간 침지한 뒤 멸균 증류수로 세 차례 세척하여 잔류 에탄올을 제거하였다. 표면 살균을 위해 12% 차아염소산나트륨(NaOCl) 용액에 15분간 지속적으로 교반 처리하였으며, 처리 후 멸균 증류수로 다섯 차례 세척하여 잔류 NaOCl을 완전히 제거하였다.

살균된 종자 캡슐은 무균 조건에서 멸균된 메스 칼날을 이용하여 세로 방향으로 절개한 후, 캡슐을 가볍게 두드려 종자가 배지 표면에 고르게 분산되도록 파종하였다. 발아 실험에는 Orchid Seed Sowing Medium(OSM), Hyponex 배지, 그리고 1 μM NAA가 첨가된 Hyponex 배지를 사용하였다. OSM 배지는 기본 조성에 1 μM NAA가 포함되어 있어 추가적인 성장조절제는 첨가하지 않았다. 모든 발아 배지에는 sucrose 20 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, 활성탄 1%, agar 0.8%를 첨가하였으며, pH는 5.6으로 조절한 후 121 $^{\circ}\text{C}$ 에서 15분간 고압 멸균하여 사용하였다.

파종된 종자는 24 \pm 2 $^{\circ}\text{C}$ 로 유지되는 성장 챔버에서 형광등(120 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)을 이용한 16/8시간 명암 주기로 배양하였다. 종자의 발아율과 프로토크름 발달 단계는 현미경 관찰을 통해 조사하였으며, Park 등(2017)이 제시한 기준에 따라 발아 및 발달 단계를 0-6단계로 구분하였다. 발아는 배아가 종피를 뚫고 나오는 시점을 기준으로 판단하였으며, 파종 후 3주, 6주 및 8주에 걸쳐 발아 및 프로토크름 발달 상태를 조사하였다. 프로토크름이 일정 발달 단계에 도달한 이후에는 암조건에서 광조건으로 전환하여 유묘 성장을 유도하였다.

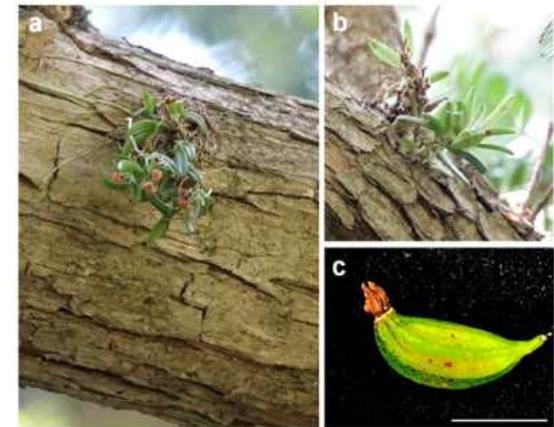
나) 재료 확보 및 실험 조건

유기물 첨가가 금자란 유묘 성장에 미치는 영향을 평가하기 위하여, 파종 후 약 2개월이 경과하여 동일한 크기와 발달 단계를 보이는 프로토크름을 선별하여

실험에 사용하였다. 선별된 프로토크름은 Murashige and Skoog(MS) 배지, Hyponex 배지, Orchid Maintenance Medium(OMM) 등 세 종류의 기본 배지로 옮겨 배양하였다.

유기물 첨가물로는 사과 균질물(AH, 10 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), 바나나 균질물(BH, 30 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), 코코넛 워터(CW, 50 $\text{mL}\cdot\text{L}^{-1}$)를 사용하였으며, 단일 유기물 첨가 처리와 세 가지 유기물을 혼합한 처리구(ABC)를 포함하여 총 12가지 배지 조합을 구성하였다. 각 기본 배지에 유기물 무첨가 처리구를 대조구로 설정하여 유묘 성장 반응을 비교하였다. 모든 배지에는 sucrose 20 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, 활성탄 1%, agar 0.8%를 첨가하였으며, pH는 5.6으로 조절한 후 고압 멸균하여 사용하였다.

유묘는 24 \pm 2 $^{\circ}\text{C}$ 의 온도 조건과 16/8시간 명암 주기가 유지되는 성장 챔버에서 배양하였으며, 2개월 간격으로 새로운 배지로 계대 배양하였다. 배양 기간 동안 유묘의 생육 상태를 지속적으로 관찰하였고, 생중량과 뿌리 길이를 정기적으로 측정하여 유기물 첨가에 따른 유묘 성장 특성을 분석하였다. 모든 배양 및 계대 과정은 무균 조건에서 수행하였다.



<그림 3> 금자란의 자생지 형태적 특징. (a) 개화 개체 (b) 미성숙 종자 캡슐 (c) 성숙한 종자 캡슐

다. 이식 및 생태변화 모니터링

1) 석곡

가) 이식 및 모니터링

본 연구는 환경부 지정 멸종위기야생생물 II급인 석곡(*Dendrobium moniliforme*)의 이식 이후 정착 및 생육 특성을 평가하기 위해 수행되었다. 연구 대상지는 석곡 자생지와 지리적·환경적 유사성을 고려하여 선정된 전라북도 군산시 대장도 일원으로, 대체서식지 조성 후 장기적인 모니터링이 가능한 지역이다. 본 연구는 ㈜두산퓨얼셀 ESG 연계 복원사업의 일환으로 추진되었다.



<그림4> 이식 지점 및 석곡 이식

석곡은 조직배양을 통해 인공 증식된 개체를 사용하였다. 배양 개체는 기내 배양 및 계대배양을 통해 충분한 개체 수를 확보한 후, 식물생장실과 온실 환경에서 단계적인 순화를 거쳐 현장 이식에 활용하였다. 이식 과정에서 식물체의 스트레스를 최소화하기 위해 분지하지 않은 상태로 포트째 이식하였다.

현장 이식은 총 120개체를 대상으로 수행하였으며, 이식 수목은 침엽수인 소나무 60주와 활엽수인 굴피나무 60주로 구성하였다. 각 수목당 석곡 12개체를 부착하였으며, 수간의 상부와 하부로 구분하여 각각 6개체씩 배치하였다. 모든 이식 개체에는 개체 식별이 가능하도록 관리번호를 부여하였고, 이식 시점에 줄기 수 및 식물

체 상태를 기록하였다.

석곡의 생존 및 생육 상태를 평가하기 위해 2025년 4월부터 11월까지 총 6회에 걸쳐 반복 모니터링을 실시하였다. 모니터링은 동일 개체를 대상으로 추적 조사 방식으로 수행하였으며, 계절 변화에 따른 생육 반응을 파악하고자 하였다. 조사 시기는 봄(4월, 5월), 여름(7월, 8월), 가을(9월, 11월)로 구분하여 진행하였다.

모니터링 항목은 개체별 생존 여부, 개화 및 결실 여부, 줄기 수, 줄기 길이(cm)로 구성하였다. 줄기 수는 개체별로 확인되는 모든 줄기의 개수를 기록하였으며, 줄기 길이는 대표 줄기를 기준으로 측정하였다. 모든 측정은 현장에서 직접 측정하는 방식으로 수행하였다.

수집된 자료를 바탕으로 반복측정 분산분석을 통해 월별 생육 패턴을 분석하였고, 월별 줄기 수 및 줄기 길이의 변화는 월별 수종 및 부착 위치에 따른 줄기수 차이는 각 조사 월별로 독립표본 t-검정을 통해 평가하였다. 또한 수종과 부착 위치의 결합 효과를 검정하기 위해 이원분산분석(two-way ANOVA)을 실시하였다. 모든 통계 분석의 유의수준은 0.05로 설정하였다.

2) 가는동자꽃

가) 이식 대상지 선정

본 연구는 2022년 가는동자꽃 1차 이식이 수행된 부산시 금정산 일원을 대상으로, 동일 지역 내에서 2차 이식 및 이식 후 2년차 모니터링을 실시하였다. 2차 이식은 1차 이식 이후 수행된 모니터링 결과를 바탕으로, 생존 및 생육 상태가 가장 양호하게 나타난 site 2를 대상으로 진행하였다.

2차 이식은 기존 1차 이식지와 동일한 지역 내에서 수행하되, site 2에 신규 방형구 2개소를 설치하여 가는동자꽃을 이식하였다(<그림 6>). 이식 시기는 장마 등 강우로 인한 수분 스트레스를 최소화하고자 조정하였으며, 생식활동이 종료된 이후 이식을 수행함으로써 생식 스트레스를 저감하고 이식 후 정착이 용이하도록 이식 시기를 조절하였다.

2024년 7월, 방형구 2개소에 각각 22개체씩 총 44개체의 가는동자꽃을 이식하였다. 2022년 1차 이식 시에는 일조량, 토양수분, 생존율, 개체 건강성, 개화율, 결실율, 성장률 등 다양한 환경요인 및 생육 지표를 중심으로 모니터링을 수행하였다.

반면, 2024년 2차 이식 및 2년차 모니터링에서는 이식 개체 밀도를 주요 평가 지표로 설정하였다.

1차 이식과 2차 이식의 방법적 차이는 <표 2>에 제시하였다. 1차 이식에서는 개체를 분지하여 개별 개체 단위로 이식한 반면, 2차 이식에서는 개체를 분지하지 않고 증식된 전체 식물체를 포트 상태로 이식하여, 이식 후 초기 정착 및 생육 안정성을 높이고자 하였다. 또한 1차 이식 시에는 토양수분, 일조량, 식생 등 환경구배를 고려하여 서로 다른 특성을 가진 입지(site 1 - 3)에 분산 이식하였으나, 2차 이식에서는 1차 이식 모니터링 결과를 토대로 가장 양호한 환경 조건을 보인 site 2에 집중 이식을 수행하였다.

이식 이후에는 월 1회 정기 모니터링을 실시하였으며, 각 모니터링 시 방형구 내 식생조사를 병행하여 피도, 동반종, 우점종 및 경쟁식물의 출현 양상을 함께 기록하였다. 본 연구에서는 이러한 조사 체계를 유지하며, 2025년에도 동일한 방법으로 2년차 모니터링을 지속 수행하여 가는동자꽃 이식 개체의 정착 및 생육 경향을 평가하였다.



<그림 5> '24년 가는동자꽃 이식지

이식 후 장마 등 스트레스로 인한 식물체 약화. 이식 시기를 변경함으로써 수분 스트레스에 대한 저감하려고 하였으며, 이식 시기를 생식활동이 끝난 이후 이식함으로써 생식 활동에 대한 스트레스 저감, 정착에 용이하도록 이식 시기를 조절하였다.

'24년 7월, 방형구 2개를 대상으로 각각 22개체 총 44개체의 가는동자꽃 이식을 수행하였으며(그림 6), 22년 이식 시에는 일조량, 토양수분, 생존율, 개체 건강성, 개화율, 결실율, 생장율 등 여러 가지 요인 모니터링 수행하였으나, 24년 2차 이식에서는 이식 개체 밀도를 중심으로 평가하였다.

<표 2> 1차 이식 및 2차 이식 방법 비교

	2022년(1차 이식)	2024년(2차 이식)
이식 방법	<ul style="list-style-type: none"> - 이식시 1개체씩 분지하는 방식(1차 이식)이 아닌 전체 식물체를 한꺼번에 이식 - 개체를 분지하지 않고 증식된 전체 개체를 한꺼번에 이식함으로써 이식 후 정착, 생육에 용이하도록 이식방법 변경 - 토양수분, 일조량, 식생 등의 환경구배를 적용하여 이식한 결과('22, 1차 이식)를 토대로 가장 양호한 지점에 재이식 	
	<ul style="list-style-type: none"> - 개체를 분지하여 1개체씩 이식 - 방형구당 6개체씩 9지점 54개체 이식 	<ul style="list-style-type: none"> - 분지하지 않고, 포트 그대로 이식 - 2개의 방형구에 각 22개체씩 44개체 이식
	<ul style="list-style-type: none"> - 토양수분, 일조량, 식생 등의 환경구배를 적용하여 이식 - 서로 다른 3개의 환경특성을 가진 입지에 분배하여 이식 	<ul style="list-style-type: none"> - 1차 이식 모니터링을 통해 가장 양호한 지점에 이식
	<ul style="list-style-type: none"> - 1차 이식시 이식지점을 환경구배(일조량, 토양수분 등)로 구분하여 site 1~3에 이식 - 2차 이식시에는 모니터링 결과 가장 양호한 site 2에 이식 수행(방형구 2개소) 	

나) 모니터링 방법

이식 이후 모니터링은 방형구 내에서 식물사회학적 방법(Braun - Blanquet)을 적용하여 수행하였다. 각 방형구를 하나의 조사구로 설정하고, 방형구 내 출현하는 모든 식물종을 대상으로 종 조성 및 식생 구조를 조사하였다.

조사 시 각 종의 출현 여부와 함께 피도(coverage)를 기록하였으며, 이를 바탕으로 방형구별 식피율, 우점종 및 동반종의 구성 양상을 분석하였다. 또한 조사구 내

에서 출현한 종의 반복 출현 양상을 평가하기 위해

모니터링은 월 1회 정기적으로 실시하였으며, 각 조사 시 방형구 내 동반종, 우점종 및 경쟁식물의 출현 변화를 함께 기록하여, 이식된 가는동자꽃의 생육 및 정착에 영향을 미칠 수 있는 식생 요인을 종합적으로 파악하였다. 본 연구에서는 이러한 식물사회학적 조사 방법을 2년차 모니터링까지 동일하게 적용하여, 이식 개체의 중·장기적인 생육 경향을 평가하였다.

3) 나도풍란

가) 연구지 개황 및 이식지 조성

나도풍란(*Phalaenopsis japonica* (Rchb.f.) Kocyan & Schuit., syn. *Sedirea japonica*)은 남해안 도서 지역과 제주도, 일본 남부, 중국 동부 등지에 분포하는 소형 착생란이다. 우리나라에서는 과거 가거도, 흥도, 흑산도, 보길도, 제주도 등에서 생육하는 것으로 보고되었으나, 무분별한 채취와 서식지 훼손으로 인해 최근 수십 년간 자연 개체군의 존재가 확인되지 않고 있어 국가생물적색자료집에서 지역절멸(RE)로 평가하고 있다. 또한 나도풍란은 멸종위기야생생물 I급으로 지정되어 법적 보호를 받고 있다. 국제적으로도 CITES Appendix II, 일본 멸종위기 적색목록(EN), 중국 적색목록(VU) 등으로 평가되는 멸종위기종으로서 보전 우선순위가 매우 높다 (Ministry of the Environment Japan 2019; Qin et al. 2017).

우리나라에서 야생 개체군이 오랜 기간 확인되지 않고 있어, 복원전략 수립을 위한 기초 생태정보(미기후 조건, 착생 기질 특성, 군집 구조), 대체서식지 예측 자료, 이식 방법 개발, 장기 모니터링 매뉴얼 등이 극히 부족한 실정이다(Sim et al. 2020). 따라서 과거에 나도풍란이 자생했던 장소를 대상으로 복원 연구를 수행하여 멸종위기 착생 난초류 복원에 필요한 기반 자료 체계적으로 축적할 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 나도풍란의 원자생지인 전라남도 신안군 흥도 및 가거도에 나도풍란 이식지를 조성하고 이식 개체의 생존율, 이식지 미기후 변동 및 잠재적 위협요인 등을 조사하였다.

첫 번째 이식 지역은 신안군 흥도천연보호구역 내 3개 지점이다(sites 1-3)(34°41'N, 125°11'E). Site 1은 해발고도 190m 및 경사도 25°의 난대상록활엽수림으로, 남사면에 위치하여 비교적 온난하다. Site 2는 해발고도 280m 및 경사도 30°에 위치한 난대상록활엽수림이며, 북서사면에 위치하여 겨울철 북서계절풍에 노

출된다. 한편 Site 3은 해발고도 290m 및 경사도 15°C에 위치한 난대상록활엽수림이며, 북사면에 있고 겨울에 수관부가 열려 겨울철 북서계절풍에 강하게 노출된다.

2021년 5월에 각 site에 나도풍란을 50개체씩(총 150개체) 이식하였다. 각 지점별로 생육 상태가 양호한 임목을 10그루 선정하고, 카본줄 및 타카를 이용하여 수간부에 나도풍란을 5개체씩 부착하였다. 이식 위치는 지표면에서 1.5m 이상 떨어지도록 하였다.

두 번째 이식 지역은 신안군 가거도에 위치한 난대상록활엽수림 2지점이다(sites 4-5, 그림1b)(34°03'N, 125°08'E). Site 4는 해발고도 250m로 가거도 남동쪽 동사면에 위치하고 있으며 붉가시나무, 광나무, 까마귀쪽나무 등이 우점하고 있다. Site 5는 해발고도 320m인 가거도 남동쪽 북사면으로 후박나무, 구실잣밤나무, 삼나무, 붉가시나무 등이 우점한다.

2023년 및 2024년에 걸쳐 각 site 및 년도별로 100개체(총 400개체)의 나도풍란을 식재하였다. 특히 가거도 이식지의 경우 해충 대량 발생 시기가 지난 시점(9월)에 조성하여, 해충 피해에 따른 초기 스트레스를 줄이고자 하였다. 개체 고정에는 카본줄을 이용하였으며, 지표면에서 1.5m 이상 떨어진 우세목에 이식하여 염소 등 야생화된 가축에 의한 피해를 예방하고자 하였다.

나) 이식 개체 및 이식지 환경 모니터링

이식지 조성 후 6개월~1년마다 각 지점별 나도풍란 생존율을 기록하였다. 또한 나도풍란이 고사한 경우 고사한 이유 등을 기록하여 잠재적 위협요인을 파악하고자 하였다. 또한 이식한 나도풍란의 개화, 종자 결실, 형태 변화 등 특이사항이 있을 경우 기록하였다. 한편 이식 지점별로 대기온습도센서(U23-001, Onset, USA)를 설치하여 미기후 변동을 기록하였다.

4) 큰바늘꽃

가) 신규 이식 및 모니터링 체계 구축

큰바늘꽃(*Epilobium hirsutum* L.)은 계곡 주변 또는 습지에 무리지어 사는 북방계 식물로, 국제적으로 우리나라, 일본, 중국 등에 분포하고 있다. 국내 법적으로는 환경부 지정 멸종위기 야생생물 II급, 한국적색목록 취약(VU) 등으로 보호를 받고 있으나, 울릉도 및 강원도 일부 지역에서만 야생 개체군이 잔존한 상태이다. 특히

최근 하천정비 등 인위적 교란 위협이 증가하고 있으며, 2025년에 발생한 대형 산불 범위 내에 큰바늘꽃 자생지점이 포함되는 등 원종 확보, 증식재배 및 이식 기술 개발을 통한 대체 서식지 조성 및 원자생지 복원 필요성이 증가하고 있다. 이에 본 연구에서는 한국가스공사 ESG 사업에 기반하여 큰바늘꽃 이식지를 조성하여 큰바늘꽃 보전 및 복원에 필요한 기초자료를 제공하고자 한다.

나) 이식지 선정

이식 후보지는 경북 청송군 주방천 상류 구역(36°23'N, 129°08'E)이다. 이 지역의 해발고도 및 경사도는 260m 및 0-5°로, 주왕산국립공원 경계면에서 약 20m 떨어져 있다. 이 지역은 본래 큰바늘꽃의 원자생지로 알려져 있었으나, 근래 하천 정비 등으로 개체군이 소멸된 것으로 추정되고 있다. 해당 지역 내 큰바늘꽃 이식 적합성을 확인하기 위하여 2025년 4~7월에 현장조사를 진행하였다. 특히 야생 큰바늘꽃의 잔존 여부, 주변 식물상 및 범람 시 홍수 등으로 인한 피해 가능성 등을 중점적으로 확인하였다.

다) 이식 및 사후 모니터링

이식에 이용한 큰바늘꽃은 2019년 강원특별자치도자연환경연구공원에서 이관받은 큰바늘꽃을 인공증식한 것이다(강원도자생식물원 보유 야생 개체를 증식한 것). 2025년 4~8월 기간 동안 줄기 삽목을 이용하여 큰바늘꽃을 인공증식하여 이식 초기 개체 간 형질 편차를 최소화하고자 하였다. 인공증식한 큰바늘꽃 중 생육이 양호한 200개체를 이식에 이용하였다.

2025년 8월에 큰바늘꽃 이식지를 조성하였다. 큰바늘꽃 식재에 앞서 부지 내 경쟁식물종을 제거하여 이식 직후 피압에 따른 스트레스를 예방하였다. 또한 토양을 경운하고 큰 암석류를 제거하여 토양의 물리적 성질을 개선하였으며, 지면을 평탄화해 강우에 따른 급격한 토양 침식을 방지하였다(그림 1). 또한 큰바늘꽃을 식재하기 전에 고랑을 조성하여 배수가 원활하게 되도록 하였다(그림 1). 이식 직후에는 상토를 복토하고 충분히 관수하여 초기 활착이 촉진되게 하였다.



<그림 6> 큰바늘꽃 이식지 조성을 위한 경쟁식물 제거(좌) 및 고랑 조성(우) 모습

2025년 8월부터 총 5회에 걸쳐 큰바늘꽃 이식 개체의 초기 생육 및 생존을 모니터링하였다. 그리고 이식 개체에서 개화, 종자 결실, 무성생식 등의 활착 징후가 나타나는지 여부를 기록하였으며, 인간 간섭, 야생동물의 섭식 및 자연재해 등의 위협요인 여부를 확인하였다.

III. 연구 결과

가. 야생개체군 생태 환경 연구

1) 석곡

가) 식생 특성

본 연구는 선유도 망주봉 지역에서 석곡(*Dendrobium moniliforme*)의 식생 구조와 종 조성을 분석하였다. 조사 방형구의 크기는 9 m × 5 m이며, 총 조사한 87개 방형구 중 12개 방형구에서 석곡 서식을 확인하였다. 12개의 석곡 서식지 방형구에서 김의털, 새, 녀줄고사리 등 21종이 출현하였다<표>. 전체 87개 방형구에서는 70종이 출현하였다. 석곡이 서식하는 방형구의 식피율은 10%에서 95%의 범위를 보였으나, 전반적으로 방형구마다 식피율이 매우 높지 않고 중간 이하 수준을 유지하는 경향을 보였다. 조사 결과, 석곡은 모든 조사 방형구에서 출현하여 출현빈도 100%, 상재도 V로 나타났다. 석곡과 함께 김의털, 새, 바위손 등 벼과식물 및 착생·암석부착성 종들이 상재도 V로 나타났으며, 이들 종은 조사구 전반에 걸쳐 지속적으로 출현하였다. 이러한 상재도 분포는 망주봉 석곡 서식지가 일정한 식생환경 조건을 비교적 균질하게 유지하고 있음을 시사한다.

한편, 상재도 IV - III 수준의 종들은 석곡과 비교적 높은 빈도로 동반 출현하였으나, 특정 종이 모든 방형구에서 높은 피도로 출현하는 우점종은 확인되지 않았다. 일부 종이 부분적으로 높은 피도를 보이기는 하였으나, 단일 종이 식생 구조를 우점하는 형태는 나타나지 않았으며, 여러 종이 비교적 균형 있게 공존하는 저우점·분산형 식생 구조를 이루고 있었다. 이러한 식생 구조는 조사 대상지가 교목층이나 초본층이 과도하게 발달한 폐쇄적인 숲이 아니라, 비교적 개방적이면서도 안정적인 구조를 유지하고 있음을 의미한다. 또한 종 간 경쟁 압력이 낮고, 광·수분·공간 자원이 국지적으로 분산된 환경이 형성되어 있음을 시사한다. 석곡은 이러한 환경 조건 하에서 모든 방형구에 걸쳐 안정적으로 출현하여, 강한 경쟁력을 지닌 우점종이 존재하는 환경보다는 경쟁이 완화된 미소서식지에서 유리하게 생육하는 종임을 보여준다.

종합적으로 볼 때, 망주봉 지역의 석곡 서식지는 높은 식피율이나 단일 우점종에 의해 지배되는 군락이 아니라, 일정한 미소환경 조건을 공유하는 개방적이고 이질적인 식생 단위로 보인다.

<표 3> 석곡 자생지 식물상

과	국명	학명
Selaginellaceae	바위손	<i>Selaginella tamariscina</i> (P. Beauv.) Spring
Davalliaceae	넉줄고사리	<i>Davallia mariesii</i> T. Moore ex Baker
Dryopteridaceae	가는잎족제비고사리	<i>Dryopteris chinensis</i> (Baker) Koidz.
	족제비고사리	<i>Dryopteris varia</i> (L.) Kuntze
Polypodiaceae	일엽초	<i>Lepisorus thunbergianus</i> (Kaulf.) Ching
	세뿔석위	<i>Pyrrosia hastata</i> (Thunb.) Ching
Cupressaceae	노간주나무	<i>Juniperus rigida</i> Siebold & Zucc.
Pinaceae	소나무	<i>Pinus densiflora</i> Siebold & Zucc.
	곰솔	<i>Pinus thunbergii</i> Parl.
Commelinaceae	닭의장풀	<i>Commelina communis</i> L.
Cyperaceae	밀사초	<i>Carex wahuensis</i> var. <i>robusta</i> (Franch. & Sav.) Franch. & Sav.
Poaceae	새	<i>Arundinella hirta</i> (Thunb.) Tanaka
	개솔새	<i>Cymbopogon goeringii</i> (Steud.) A. Camus
	바랭이	<i>Digitaria ciliaris</i> (Retz.) Koeler
	김의털	<i>Festuca ovina</i> L.
	억새	<i>Miscanthus sinensis</i> Andersson
	산기장	<i>Phaenosperma globosa</i> Munro & Benth.
	이대	<i>Pseudosasa japonica</i> (Siebold & Zucc. ex Steud.) Makino ex Nakai
	기름새	<i>Spodiopogon cotulifer</i> (Thunb.) Hack.
	큰기름새	<i>Spodiopogon sibiricus</i> Trin.
	솔새	<i>Themeda triandra</i> Forssk.
	Dioscoreaceae	마
단풍마		<i>Dioscorea quinquelobata</i> Thunb.

과	국명	학명
Liliaceae	참산부추	<i>Allium</i> sp.
	천문동	<i>Asparagus cochinchinensis</i> (Lour.) Merr.
	무릇	<i>Bamardia japonica</i> (Thunb.) Schult. & Schult. f.
	원추리sp	<i>Hemerocallis</i> sp.
	참나리	<i>Lilium lancifolium</i> Thunb.
	등굴레	<i>Polygonatum odoratum</i> var. <i>pluriflorum</i> (Miq.) Ohwi
Smilacaceae	참미래덩굴	<i>Smilax china</i> L.
Orchidaceae	석곡	<i>Dendrobium moniliforme</i> (L.) Sw.
Araliaceae	음나무	<i>Kalopanax septemlobus</i> (Thunb.) Koidz.
Asteraceae	쑥	<i>Artemisia indica</i> Willd.
Celastraceae	사철나무	<i>Euonymus japonicus</i> Thunb.
Caprifoliaceae	괴불나무sp	<i>Lonicera</i> sp.
	인동	<i>Lonicera japonica</i> Thunb.
Viburnaceae	덜꿩나무	<i>Viburnum erosum</i> Thunb.
Symplocaceae	노린재나무	<i>Symplocos sawafutagi</i> Nagam.
Ericaceae	진달래	<i>Rhododendron mucronulatum</i> Turcz.
	정금나무	<i>Vaccinium oldhamii</i> Miq.
Euphorbiaceae	예덕나무	<i>Mallotus japonicus</i> (L. f.) Müll.
Fabaceae	자귀나무	<i>Albizia julibrissin</i> Durazz.
	땅비싸리	<i>Indigofera kirilowii</i> Maxim. ex Palib.
	조록싸리	<i>Lespedeza maximowiczii</i> C. K. Schneid.
	취	<i>Pueraria lobata</i> (Willd.) Ohwi
Betulaceae	소사나무	<i>Carpinus turczaninowii</i> Hance
Fagaceae	떡갈나무	<i>Quercus dentata</i> Thunb.

과	국명	학명
	줄참나무	<i>Quercus serrata</i> Murray
	굴참나무	<i>Quercus variabilis</i> Blume
Apocynaceae	마삭줄	<i>Trachelospermum asiaticum</i> (Siebold & Zucc.) Nakai
Lamiaceae	산박하	<i>Isodon inflexus</i> (Thunb.) Kudô
Verbenaceae	층꽃나무	<i>Caryopteris incana</i> (Thunb. ex Hoult.) Miq.
Lauraceae	생강나무	<i>Lindera obtusiloba</i> Blume
Tiliaceae	수까치개	<i>Corchoropsis tomentosa</i> (Thunb.) Makino
	장구밥나무	<i>Grewia parviflora</i> Bunge
Menispermaceae	댕댕이덩굴	<i>Cocculus trilobus</i> (Thunb.) DC.
Vitaceae	개머루	<i>Ampelopsis brevipedunculata</i> (Maxim.) Trautv.
	담쟁이덩굴	<i>Parthenocissus tricuspidata</i> (Siebold & Zucc.) Planch.
Crassulaceae	큰꿩의비름	<i>Hylotelephium spectabile</i> (Boreau) H. Ohba
	바위솔	<i>Orostachys japonica</i> (Maxim.) A. Berger
Rosaceae	세잎양지꽃	<i>Potentilla freyniana</i> Bornm.
	벗나무	<i>Prunus jamasakura</i> Siebold ex Koidz.
	복사나무	<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch
	팔배나무	<i>Sorbus alnifolia</i> (Siebold & Zucc.) K. Koch
Anacardiaceae	붉나무	<i>Rhus javanica</i> L.
Anacardiaceae	검양꽃나무	<i>Toxicodendron succedaneum</i> (L.) Kuntze
Rutaceae	산초나무	<i>Zanthoxylum schinifolium</i> Siebold & Zucc.
Oleaceae	취뽕나무	<i>Ligustrum obtusifolium</i> Siebold & Zucc.
Theaceae	사스레피나무	<i>Eurya japonica</i> Thunb.
Celtidaceae	팽나무	<i>Celtis sinensis</i> Pers.

<표4> 석곡 서식지 식생표

Site		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	class
coverage(%)		50	70	40	95	40	20	10	10	10	10	10	5	
Number of species		11	11	9	12	9	11	8	7	8	7	9	6	
species														
<i>Festuca ovina</i> 김의털	H	1	2	2	2	1	1	+		+	+	+		V
<i>Arundinella hirta</i> 새	H	+	+	1	2	+	+	+	+	+	+	+	+	V
<i>Davallia mariesii</i> 넉줄고사리	H	2	1	+	+	+	+		r	+	+	+	+	V
<i>Arundinella hirta</i> 마삭줄	H	+	1	+	1	+	+	1	1			+		IV
<i>Selaginella tamariscina</i> 바위손	H	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	V
<i>Dendrobium moniliforme</i> 석곡	H	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	V
<i>Hemerocallis fulva</i> 원추리	H		+	+	+	+	+	+		+	+			IV
<i>Rhododendron mucronulatum</i> 진달래	S	+	+		r	1					+	r		III
<i>Carpinus turczaninowii</i> 소사나무	S	+	+		+		+							II
<i>Lespedeza maximowiczii</i> 조록싸리	S	+	1		+			+						II
<i>Quercus variabilis</i> 굴참나무	S								r					I
<i>Commelina communis</i> 닭의장풀	H			+						+			+	II
<i>Prunus jamasakura</i> 벚나무	S		r		r		+					r		II
<i>Dryopteris chinensis</i> 가는잎죽제비고사리	H				+									I
<i>Lepisorus thunbergianus</i> 일엽초	H	+					+			+			+	II
<i>Barnardia japonica</i> 무릇	H						+	+						I
<i>Quercus serrata</i> 졸참나무	S	+												I
<i>Quercus dentata</i> 떡갈나무	S					r								I
<i>Prunus persica</i> 복사나무	S											r		I
<i>Euonymus japonicus</i> 사철나무	S								+					I
<i>Grewia parviflora</i> 장구밥나무	S			+										I



<그림 7> site 8 석곡 서식지

2) 서울개발나물

가) 조사 환경 및 서울개발나물 생육 현황

서울개발나물 자생지인 양산 원동습지는 조사 시점 이전 발생한 폭우의 영향으로, 조사구 전반에서 침수 흔적이 확인되었다. 토양 표면에는 잔존한 퇴적물의 흔적이 남아 있었으며, 이는 서울개발나물의 개화기 생육 환경에 영향을 미쳤을 가능성이 있는 것으로 판단된다.

조사기간 동안 확인된 서울개발나물 개체는 총 10개체였으며, 이 중 4개체에서 개화가 관찰되었다. 조사구 내 식생은 물억새와 갈대가 우점하고 있었으며, 서울개발나물 개화 시기에 주변에서 동시에 개화한 다른 식물 종은 확인되지 않았다. 이에 따라 본 조사기간 동안 서울개발나물은 타 개화 식물과의 화분매개자 공유 또는 상호작용 가능성은 낮은 것으로 판단되었다.

나) 방문 절지동물상 구성

서울개발나물 개화기에 꽃을 방문한 절지동물은 총 5목 19과 23종으로 확인되었으며(표), 거미류를 포함한 총 개체수는 70마리였다. 방문 절지동물은 곤충류와 거미류로 구성되었으며, 이 중 곤충류가 다수를 차지하였다.

먹이 기능군 기준으로 분류한 결과, 초식자(Herbivore)가 전체의 약 61.4%로 가장 높은 비율을 차지하였다. 그 외 잡식자(Omnivore)는 약 20.0%, 기생자(Parasitoid)는 약 7.1%로 나타났으며, 포식자(Predator)와 분해자(Detritivore)는 각각 약 5.7%의 비율을 보였다. 이는 서울개발나물 개화기에 방문하는 절지동물 군집이 초식성 및 잡식성 분류군을 중심으로 구성되어 있음을 보여준다.

다) 화분매개 기능군별 구성 특성

방문 절지동물을 화분매개 기능군 기준으로 구분한 결과, 유효 화분매개자는 전체 방문 개체 중 약 10.0%로 나타났다. 유효 화분매개자 중에서는 애꽃벌류가 71.4%로 가장 높은 비율을 차지하였으며, 양봉꿀벌 28.6%로 함께 확인되었다. 이를 통해 서울개발나물 개화기에 실질적인 화분 전달에 기여하는 주요 분류군은 애꽃벌류인 것으로 나타났다.

잠재적 화분매개자는 전체 방문 개체 중 약 84.29%로 가장 큰 비율로 확인되었다. 이 중 잡초노린재과 종이 28.8%로 가장 높은 비율을 차지하였으며, 개미과 종이 23.7%, 긴노린재과 종이 13.6% 순으로 나타났다. 이들 분류군은 꽃에 빈번히 접근하거나 착지하는 행동이 관찰되었으나, 화분 운반 구조 및 접촉 효율을

고려할 때 화분매개 기여는 제한적인 것으로 판단되었다.

비화분매개 방문자는 전체 방문 개체 중 약 5.7%의 비율을 보였으며, 갈거미과 종이 50%로 가장 많았고, 게거미과 종 25%, 빨들파리 종 25%가 확인되었다. 이들 분류군은 모두 포식자(Predator)에 해당하며, 서울개발나물 개화기에 화분매개 기능과는 무관한 방문자로 나타났다.



<그림8> 서울개발나물 꽃에 방문한 곤충

<표5> 서울개발나물에 방문한 절지동물의 밀도

Order/Family/Species	Korean name	조사 시기			Functional guilds	화분매개 가능성
		7/23 오후	7/24 오전	7/24 오후		
Coleoptera	딱정벌레목					
Scarabaeidae	풍뎅이과					
<i>Popillia quadriguttata</i>	녹생콩풍뎅이	0	0	1	Herbivore	잠재적 화분매개자
Curculionidae	바구미과					
<i>Curculionidae</i> spp.	바구미과 종	0	0	1	Herbivore	비화분매개자
Chrysomelidae	잎벌레과					
<i>Chrysomelidae</i> sp.1	잎벌레과 종	1	0	0	Herbivore	잠재적 화분매개자
<i>Phyllotreta striolata</i>	벼룩잎벌레	0	0	2	Herbivore	잠재적 화분매개자
Diptera	파리목					
Platystomatidae	알락파리과					
<i>Rivellia alini</i>	알린콩알락파리	1	0	0	Detritivore	잠재적 화분매개자
Sciomyzidae	들파리과					
<i>Sepedon aenescens</i>	빨들파리	0	1	0	Predator	비화분매개자

Order/Family/Species	Korean name	조사 시기			Functional guilds	화분매개 가능성
		7/23 오후	7/24 오전	7/24 오후		
Sarcophagidae	쉬파리과					
<i>Sarcophaga melanura</i>	검정불기쉬파리	0	1	0	Detritivore	잠재적 화분매개자
Chironomidae	갈따구과					
<i>Chironomidae</i> sp.1	갈따구과 sp.1	2	0	0	Detritivore	잠재적 화분매개자
Hemiptera	노린재목					
Lygaeidae	긴노린재과					
<i>Lygaeidae</i> spp.	긴노린재과 종	2	2	4	Herbivore	잠재적 화분매개자
<i>Tropidothorax cruiger</i>	십자무늬긴노린재	0	1	0	Herbivore	잠재적 화분매개자
Rhopalidae	잡초노린재과					
<i>Rhopalidae</i> spp.	잡초노린재과 종	5	7	5	Herbivore	잠재적 화분매개자
Pentatomidae	노린재과					
<i>Carbula putoni</i>	가시노린재	0	1	1	Herbivore	잠재적 화분매개자
<i>Eysarcoris aeneus</i>	가시점동글노린재	0	1	0	Herbivore	잠재적 화분매개자
<i>Scutellera rubrolinneatum</i>	홍줄노린재	0	0	2	Herbivore	잠재적 화분매개자
Hymenoptera	벌목					
Andrenidae	애꽃벌과					
<i>Andrenidae</i> spp.	애꽃벌과 종	2	1	2	Herbivore	유효화분매개자
Apidae	꿀벌과					
<i>Apis mellifera</i>	양봉꿀벌	1	1	0	Herbivore	유효화분매개자
Formicidae	개미과					
<i>Formicidae</i> spp.	개미과 종	1	5	8	Omnivore	잠재적 화분매개자
Braconidae	고치벌과					
<i>Braconidae</i> sp.1	고치벌과 종	0	1	0	Parasitoid	잠재적 화분매개자
Eulophidae	좀벌과					
<i>Eulophidae</i> sp.1	좀벌과 종	2	0	0	Parasitoid	잠재적 화분매개자
Ichneumonidae	맬시벌과					
<i>Ichneumonidae</i> sp.1	맬시벌과 종	0	0	1	Parasitoid	잠재적 화분매개자
Vespidae	말벌과					

Order/Family/Species	Korean name	조사 시기			Functional guilds	화분매개 가능성
		7/23 오후	7/24 오전	7/24 오후		
<i>Polistes (Polistes) chinensis antennalis</i>	두눈박이쌍살벌	1	0	0	Predator	잠재적 화분매개자
Araneae	거미목					
Tetragnathidae	갈거미과					
<i>Tetragnathidae</i> sp.1	갈거미과 종	0	1	1	Predator	비화분매개자
Thomisidae	개거미과					
<i>Thomisidae</i> sp.1	개거미과 종	1	0	0	Predator	비화분매개자

나. 증식 및 순화기술 개발

1) 애기송이풀

가) 종자 특성 및 배발달 조사

물리적휴면 유무를 파악하기 위하여 수분흡수율 실험을 진행한 결과, 3시간부터 30% 이상의 수분흡수율을 나타내었으며, 12시간 후에는 약 38%의 수분흡수율을 나타냈다. 일반적으로 20%이하의 수분흡수율을 나타내면 물리적휴면(Physical dormancy, PY)이 있다고 판단하기 때문에 애기송이풀은 물리적휴면은 가지지 않는 것으로 나타났다. 형태적휴면(Morphological dormancy, MD) 유무 파악을 위해 탈리시점과 발아 직전의 배 발달을 관찰한 결과, 탈리 시점에 완전하게 성숙한 배를 가지고 있었으며 발아 직전까지의 추가적인 배의 신장은 나타나지 않았다. 따라서, 애기송이풀 종자는 물리적 휴면 및 형태적 휴면을 모두 가지고 있지 않은 것으로 판단되며, 수분흡수나 배의 신장에 의해서 발아가 지연되는 현상은 나타나지 않는 것으로 판단된다. 자생지 내에서 종자가 탈리되면 추가적인 배의 신장 없이 수분을 흡수하여 적정 발아온도 조건이나 휴면타파 조건을 거친 후 바로 발아가 진행될 것으로 판단된다.

종자 휴면 분류에 있어 일반적으로 적절한 온도 조건에서 4주 이내에 발아하지 않으면 내부에 있는 발아 억제물질에 의한 휴면인 생리적휴면(Pysiological dormancy, PD) 있다고 판단한다. 생리적휴면을 타파하기 위해서는 특정 온도처리 조건(저온, 고온, 저온+고온)이 필요하다고 알려져 있다(Nikolaeva, 1977; Baskin and Baskin, 2004). 발아 실험 결과 애기송이풀의 경우 국내 4계절 온도설정인

4가지 변온(4/1℃, 15/6℃, 20/10℃, 25/15℃) 조건에서 실험기간동안 발아가 전혀 이루어지지 않았다. 따라서, 애기송이풀 종자는 생리적휴면을 가지고 있다고 판단된다.

나) 휴면유형 분류를 통한 대량 증식 기술 개발

일반적으로 생리적휴면을 타파하기 위해서는 저온, 고온 단독 처리 또는 저온 고온의 복합 처리가 필요하다고 알려져있다. 그 중에서 일반적인 온대지역에 서식하는 다년생 식물의 경우 겨울을 나기 때문에 저온처리에 의해 타파되는 생리적휴면을 가졌을 것으로 예측된다. 저온처리 실험 결과 4, 8주 저온처리에서는 종자가 전혀 발아하지 않았다. 따라서 4, 8주 저온처리로는 휴면이 타파되기에는 부족했을 것으로 판단된다. 이러한 휴면 유형은 자생지 내에서의 생활패턴과 연관이 있는데 일반적인 겨울(약 12주 이상)을 지낸 후 발아가 이루어져야 생육이 가능하기 때문에 최소 12주 이상의 저온처리 실험을 진행 중에 있으며 이를 통해 휴면 타파를 위한 적절한 저온 처리조건 확립이 추후 진행 할 예정이다.

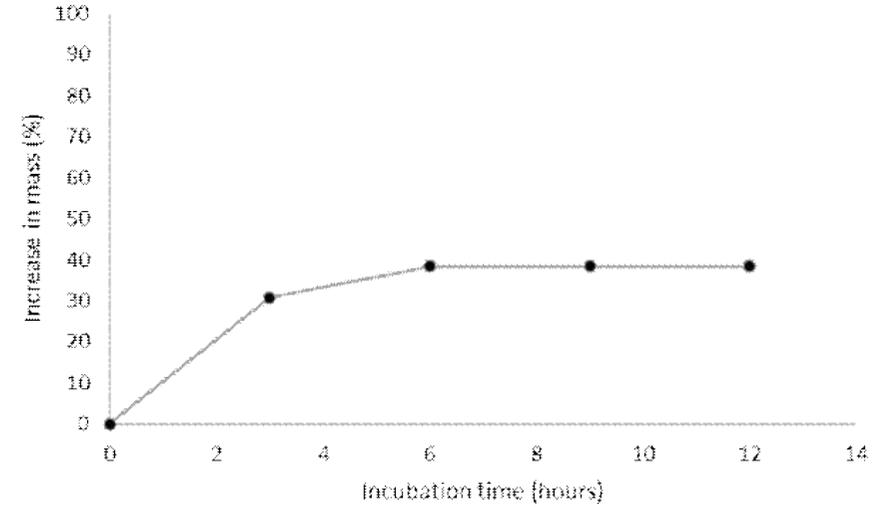
호르몬(지베렐린, GA3) 처리 결과, 0mg/L 농도에서는 발아가 전혀 이루어지지 않았다. 1500mg/L 및 2000mg/L 농도에서는 2주 차부터 발아가 시작되었으며 최종 발아율은 약 8, 16%의 낮은 발아율을 보였다. 두 농도 간 유의미한 차이는 나타나지 않았다. 500mg/L의 저농도 처리에서는 2주 차부터 발아가 시작되었으며, 최종 발아율이 약 25%로 고농도의 두 처리구(1500, 2000mg/L)보다는 높게 나타났다. 1000mg/L 처리에서는 2주 차부터 발아가 시작되어 최종적으로 약 37%의 발아율을 나타내었으며 4가지 처리 조건에서 가장 높은 발아율을 나타내었다. 따라서 애기송이풀의 경우 지베렐린 처리에 의해서 타파되는 생리적 휴면을 가지고 있으며, 휴면 타파를 위한 적절한 호르몬 처리 농도는 500-1000mg/L인 것으로 보인다.

생리적휴면의 경우 깊이에 따라서 크게 3가지 유형(nondeep, intermediate, deep)으로 분류된다. nondeep의 경우 휴면 타파 조건이 단기간의 저온처리 또는 지베렐린 처리가 필요하며, intermediate 유형은 장기간의 저온처리가 또는 지베렐린 처리, deep의 경우 장기간의 저온처리가 필요하며 지베렐린에 의해서는 휴면이 타파되지 않는 유형이다(Yang et al., 2020; Park et al., 20024). 애기송이풀

종자의 경우 지벨레린 500-1000mg/L 처리에 의해서 휴면이 타파되며, 4-8주 단기간의 저온처리로는 휴면이 타파되지 않았다. 따라서 8주 이상의 장기간 저온처리가 필요한 intermediate physiological dormancy를 가지는 것으로 판단된다. 결과적으로 애기송이풀 종자를 이용한 대량증식을 위해서는 intermediate physiological dormancy를 타파하기 위한 적정 호르몬 처리(GA 1000mg/L) 후에 상온 조건으로 이동하여 발아율을 증진 시키는 것이 필요할 것으로 판단된다.

다) 휴면유형 분류를 위한 발아 조건 연구

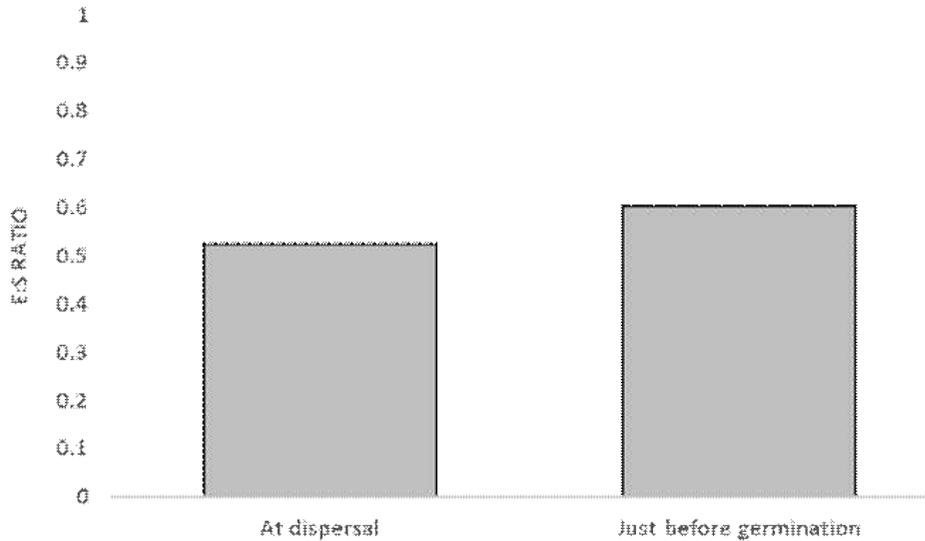
수분흡수율 관찰 결과, 애기송이풀 종자의 경우 수분흡수율이 12시간 이내에 38% 이상을 나타내었다(그림 12). 보통 수분 흡수율이 20%미만이라면 물리적 수분 흡수 차단에 의한 물리적휴면이 있다고 판단한다. 따라서 애기송이풀의 경우 종자의 수분흡수가 잘 진행되었으므로 물리적휴면(PY)은 존재하지 않는 것으로 판단된다. 애기송이풀 종자는 종자 껍질 위에 주름진 막의 형태의 외과피를 가지고 있었으며, 길이는 155.4±9.4mm 폭 84.11±4.1mm의 장타원형 모양을 나타내었다. 애기송이풀의 배 발달 유무를 관찰한 결과 탈리 시점에서 이미 완전히 성숙한 배를 가지고 있었으며(그림 13), 배:종자 비율을 비교 분석한 결과 추가적인 배의 신장은 없는 것으로 나타났다(그림 14). 따라서, 형태적휴면(MD)은 나타나지 않았다.



<그림 9> 애기송이풀 수분흡수율 그래프



<그림 10> 애기송이풀 종자 외형(좌), 탈리시점 내부(우) * Pr=pericarp, Sc=seed coat, Em=Embryo, En=Endosperm



<그림 11> 애기송이풀 배:종자 비율

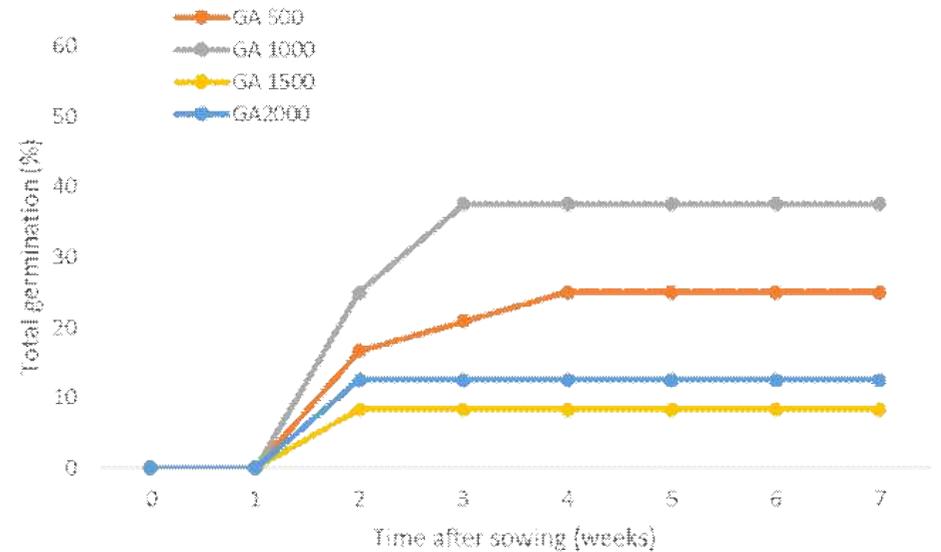
라) 저온 처리에 따른 휴면 타파

일반적으로 종자가 특정 조건 하에서 4주 이내 발아를 하지 않으면 내부 휴면물질로 인한 생리적휴면이 있다고 판단된다. 애기송이풀의 경우 일반 온도처리(4가지 변온 4/1, 15/6, 20/10, 25/15) 조건에서는 발아가 전혀 이루어지지 않았다. 따라서 특정 조건이 주어지기 전까지 발아를 진행하지 않는 생리적휴면이 존재하는 것으로 판단되었다. 생리적휴면 타파를 위한 저온처리 결과, 4, 8주 저온처리에서는 발아가 이루어지지 않았다 (그림 15). GA 처리 결과 휴면이 타파되는 것으로 보아 저온 또는 호르몬(GA) 처리에 따라 휴면이 타파되는 단순 생리적휴면(PD)을 가지고 있는 것으로 판단되며, 따라서 추후 12주 이상의 저온처리에서의 휴면 타파 유무를 파악하는 것이 필요해 보인다.

마) 호르몬 처리에 따른 휴면 타파

호르몬처리(GA 0, 500, 1000, 1500, 2000mg/L) 실험 결과, 전체 호르몬 처리구에서 발아가 진행되었다. 500mg/L 처리에서는 2주차부터 16.6%의 발아율을

나타내었으며, 최종 발아율은 25%를 나타내었다. 1500, 2000mg/L 농도에서는 2주차부터 발아가 시작 되었지만 각각 8%, 12.5%의 최종 발아율을 나타내었으며 두 처리간 유의미한 차이는 나타나지 않았다. 1000mg/L 농도에서는 2주차부터 발아가 시작되었으며 최종 발아율은 37.5%로 가장 높은 발아율을 나타내었다. 보통 생리적휴면을 가진 종자들은 저온처리나 GA 처리를 통해 휴면이 타파될 수 있다고 알려져있다. 애기송이풀의 경우도 생리적휴면을 가지고 있으며, GA 처리로 휴면이 타파되는 것으로 보아 Simple type PD를 가지고 있는 것으로 판단된다. 1500mg/L 이상의 고농도에서는 오히려 발아가 억제되는 것으로 보이며, 500mg/L 이하의 농도에서는 휴면이 타파되지 않는 것으로 보인다. 따라서 애기송이풀의 증식을 위해서는 GA500-1000mg/L의 농도에서 휴면을 타파하는 것이 효율적인 증식 방법으로 판단된다.

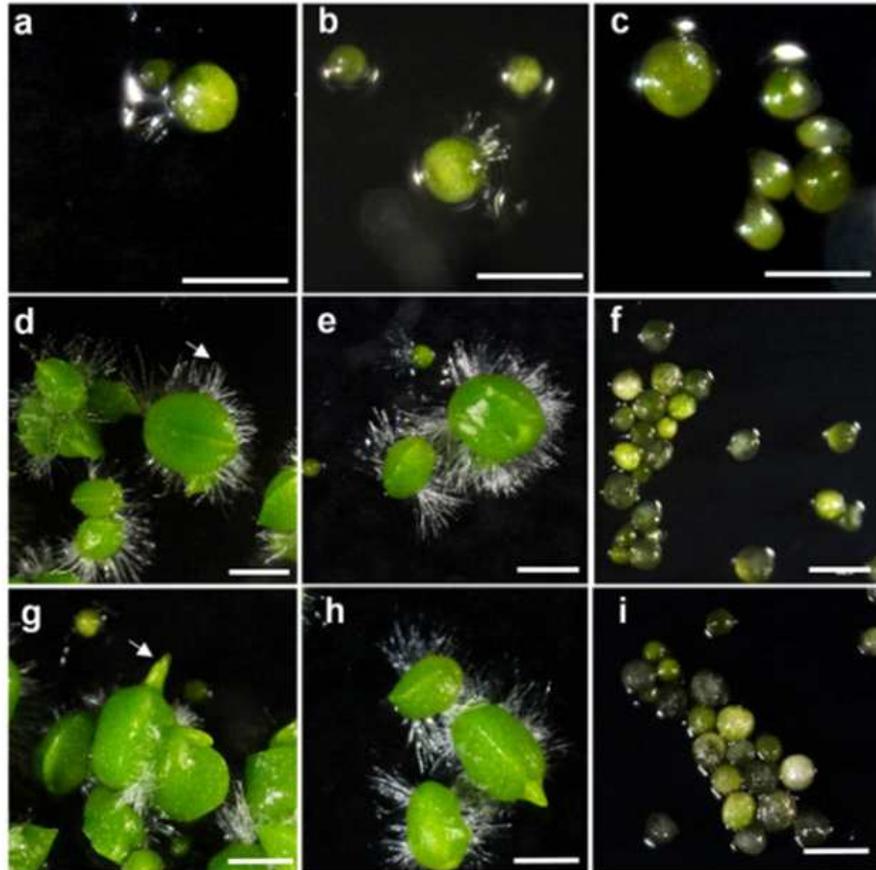


<그림 12> 애기송이풀 호르몬 처리에 따른 발아율

2) 금자란

가) 배지 조성에 따른 무균 발아 및 초기 원괴체 발달

금자란 종자의 무균 발아 및 초기 원피체 발달은 기본 배지 구성에 따라 뚜렷한 차이를 보였다. Hyponex 배지, 1 μ M NAA가 첨가된 Hyponex 배지, 그리고 Orchid Seed Sowing Medium(OSM)에서 파종 3주 후 모든 처리구에서 정상적인 발아가 관찰되었으며, 종피 파열과 배아 노출이 확인되었다 (그림 2). 이 시기에는 세 처리구 간 외형적 차이는 거의 나타나지 않았고, 원피체 발달은 공통적으로 발달 단계 3 수준까지 진행되었다.



<그림 13> 금자란의 무균 종자 발아 및 원피체 발달. (a,d,g) Hyponex 배지, (b,e,h) 1 μ M NAA가 첨가된 Hyponex 배지, (c,f,i) Orchid Seed Sowing Medium(OSM)에서 배양한 종자의 발아 및 원피체 발달 양상. (a - c) 파종 후 3주, (d - f) 6주, (g - i) 8주 시점의 모습

그러나 파종 6주 후부터 배지 간 차이가 명확해졌다. Hyponex 및 Hyponex + NAA 처리구에서는 원피체의 비대가 뚜렷하게 나타났으며, 원피체 표면에 다수의 근사(rhizoid)가 형성되었다. 또한 원피체 내부에서는 활발한 세포 분열과 함께 이후 줄기 및 뿌리 분화를 예측할 수 있는 전구 조직이 관찰되었다. 반면 OSM 배지에서는 원피체 발달이 정체되어 대부분이 발달 단계 3 수준에 머물렀으며, 형태적 변화가 거의 나타나지 않았다.

파종 8주 후에는 이러한 경향이 더욱 분명해졌다. Hyponex 및 Hyponex + NAA 배지에서는 원피체가 신장되며 줄기 원기가 분화되기 시작하였고, 형태적 발달이 지속적으로 진행되었다. 두 처리구 간 발달 속도 및 형태 차이는 거의 나타나지 않아, 발아 및 초기 원피체 발달 단계에서는 NAA 첨가 효과가 제한적인 것으로 판단되었다. 반면 OSM 배지에서는 원피체 발달 정체가 지속되었으며, 일부 개체에서는 엽록소 감소와 생육 저하 현상이 관찰되었다.

이상의 결과를 종합하면, 금자란의 무균 발아 및 초기 원피체 발달에는 기본 배지 구성이 결정적인 영향을 미치며, Hyponex 배지가 해당 단계에서 가장 적합한 배지임을 확인하였다. 반면, 발아 초기 단계에서는 외생 성장조절제(NAA)의 추가 효과는 크지 않은 것으로 나타났다.

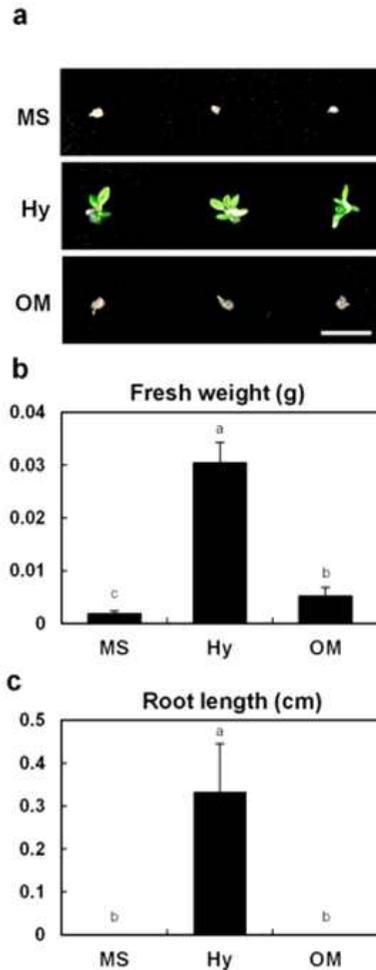
나) 기본 배지에 따른 유묘 성장 특성

금자란 유묘의 성장 특성을 평가하기 위해 파종 후 7개월 동안 MS 배지, Hyponex 배지, Orchid Maintenance Medium(OMM)에서 생육을 비교하였다. 그 결과, 유묘의 생중량 및 뿌리 생장은 배지 종류에 따라 현저한 차이를 나타냈다(그림 3).

Hyponex 배지에서 배양된 유묘는 생중량이 0.0304 ± 0.0038 g으로 가장 높게 나타났으며, 이는 MS 배지(0.0019 ± 0.0005 g) 대비 약 16배, OMM 배지(0.0052 ± 0.0017 g) 대비 약 6배 높은 수준이었다. 또한 뿌리 신장은 Hyponex 배지에서만 관찰되었으며, 평균 뿌리 길이는 0.33 ± 0.11 cm였다. 반면 MS 및 OMM 배지에서는 뿌리 형성이 거의 나타나지 않았다.

이러한 결과는 Hyponex 배지가 금자란 유묘의 생중량 증가와 뿌리 발달에 모두

유리한 배지임을 시사한다. MS 배지는 일반적인 식물 조직배양에서 널리 사용되는 배지이나, 금자란 유묘 단계에서는 염류 농도가 상대적으로 높아 생육을 저해한 것으로 판단된다. OMM 배지는 중간 수준의 생육을 보였으나, 유묘의 활발한 생장을 유지하기에는 제한적인 것으로 나타났다.



<그림 14> 기본 배지에 따른 금자란 초기 유묘 생장. 파종 후 7개월 시점의 유묘 생육 비교. (a) MS, Hyponex(Hy), OMM 배지에서 배양된 유묘. (b) 유묘 생중량. (c) 뿌리 길이

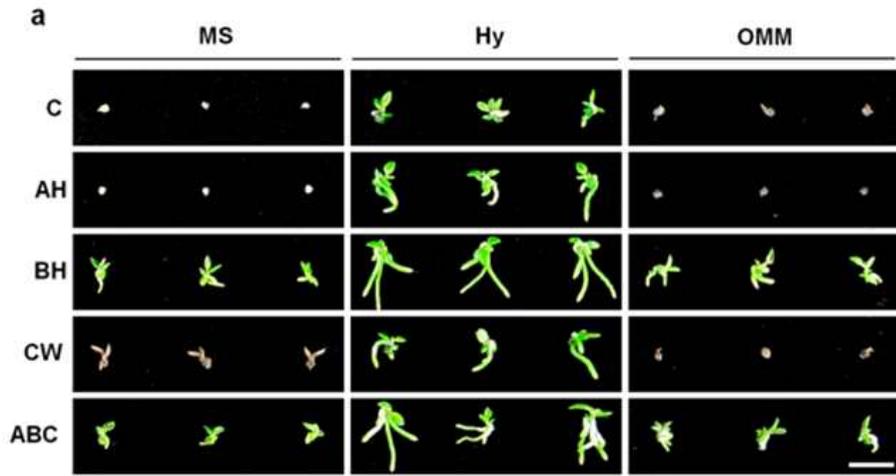
다) 유기물 첨가에 따른 초기 유묘 생장

파종 후 7개월 시점에서 유기물 첨가에 따른 유묘 생장을 분석한 결과, 기본 배지와 유기물의 조합에 따라 생육 반응이 크게 달라지는 것으로 나타났다(그림 4). 전반적으로 Hyponex 배지는 모든 유기물 처리구에서 가장 우수한 생육 기반을 제공하였다(그림 4).

특히 Hyponex 배지에 바나나 균질물(BH)을 첨가한 처리구에서 유묘의 생중량과 뿌리 생장이 가장 크게 향상되었다. 해당 처리구의 평균 생중량은 0.066 ± 0.01 g, 평균 뿌리 길이는 1.3 ± 0.24 cm로, 모든 처리구 중 가장 높은 값을 나타냈다. 이는 기본 배지와 유기물 간의 상호작용 효과가 유묘 생장에 크게 기여함을 보여준다.

BH는 MS 및 OMM 배지에서도 생육 촉진 효과를 보였으나, 그 효과는 Hyponex 배지에서 가장 두드러졌다. 사과 균질물(AH)과 코코넛 워터(CW) 처리구에서도 무첨가 대조구에 비해 생육이 다소 향상되었으나, 처리 간 변이가 크고 일관된 효과는 나타나지 않았다. 또한 세 가지 유기물을 혼합한 처리구(ABC)는 BH 단독 처리구보다 우수한 결과를 보이지 않았다.

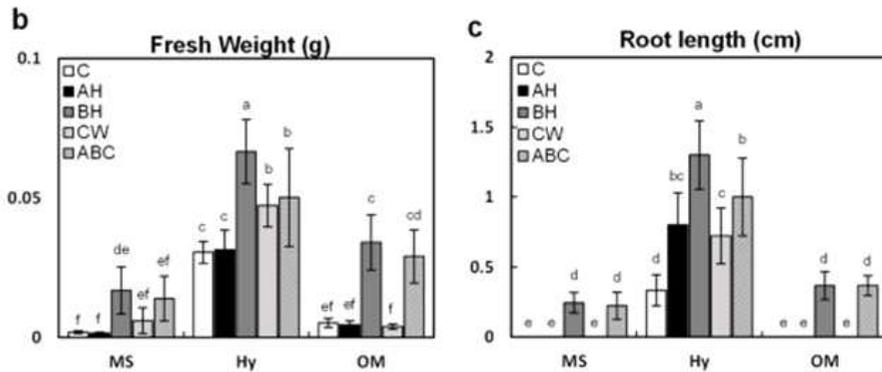
이러한 결과는 금자란 초기 유묘 생장 단계에서 바나나 균질물이 가장 효과적인 유기물 첨가물임을 시사하며, 유기물 효과는 기본 배지 구성에 크게 의존함을 보여준다.



Hyponex 배지에 혼합 유기물(ABC)을 첨가한 처리구 역시 비교적 우수한 생육을 보였으나, 모든 생육 지표에서 BH 단독 처리구보다는 낮은 값을 나타냈다. 반면 MS 배지에서는 유기물 첨가 여부와 관계없이 생육이 전반적으로 저조하였으며, OMM 배지는 중간 수준의 생육을 유지하는 데 그쳤다.

사과 균질물 및 코코넛 워터는 장기 배양 단계에서도 일관된 생육 촉진 효과를 보이지 않았으며, 일부 처리구에서는 초기 단계와 유사하게 제한적인 반응만 관찰되었다. 이는 금자란이 유기물 첨가에 대해 높은 종 특이성을 보임을 시사한다.

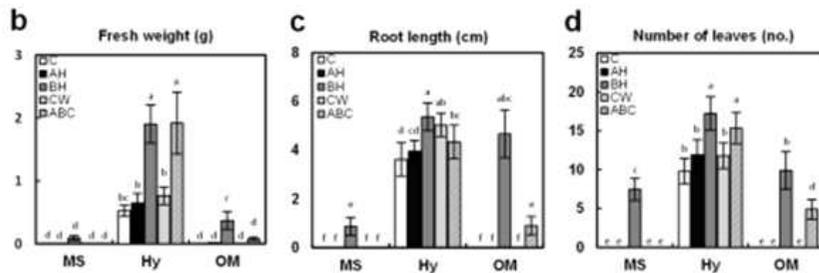
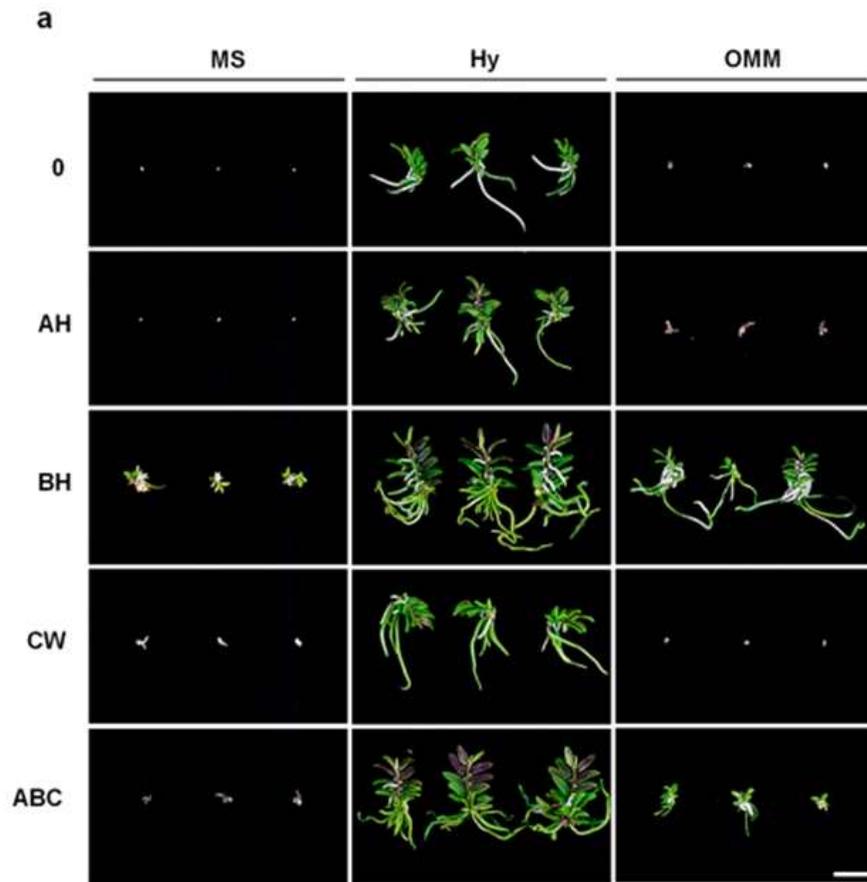
본 연구 결과, Hyponex 배지와 바나나 균질물의 조합은 금자란의 초기 발아부터 장기 생육 단계까지 가장 안정적이고 우수한 생육을 유도하는 배지 조건으로 확인되었다. 이러한 결과는 금자란의 대량 증식 및 자생지 복원을 위한 기초 기술로 활용 가능성이 높을 것으로 판단된다.



<그림 15> 유기물 첨가에 따른 금자란 초기 유묘 성장. 파종 후 7개월 시점의 유묘 생육 비교. (a) MS, Hyponex(Hy), OMM 배지에 유기물(C, AH, BH, CW, ABC)을 첨가하여 배양한 유묘. (b) 유묘 생중량. (c) 뿌리 길이

라) 장기 배양 단계에서의 배지 및 유기물 처리 효과

파종 후 14개월 시점에서 금자란 개체의 장기 생육을 평가한 결과, 초기 유묘 단계에서 나타난 배지 및 유기물 효과가 장기 배양 단계에서도 유지되는 경향을 보였다(그림 5). Hyponex 배지를 기본으로 하고 바나나 균질물을 첨가한 처리구에서 생중량(1.93 ± 0.28 g), 뿌리 길이(5.3 ± 0.56 cm), 엽수(17.2 ± 2.1 개)가 모두 가장 높게 나타났다(그림 5).



<그림 16> 유기물 첨가에 따른 금자란 생장 특성. 파종 후 14개월 시점의 생육 비교. (a) MS, Hyponex(Hy), OMM 배지에 유기물(C, AH, BH, CW, ABC)을 첨가하여 배양한 식물체. (b) 생중량. (c) 뿌리 길이. (d) 엽수

다. 이식 및 생태변화 모니터링

1) 석곡

가) 이식 개체의 생존율 및 생육 특성 변화

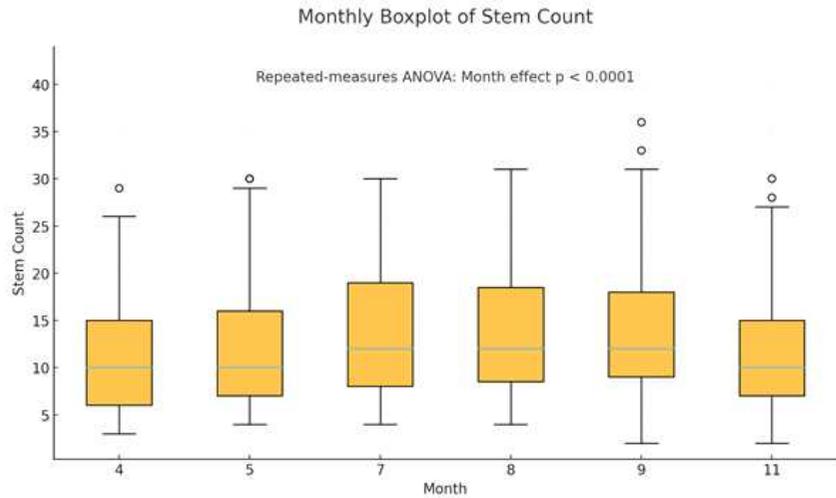
4월부터 11월까지 모니터링한 결과, 총 이식한 석곡 120개체 중 112개체가 생존하여 생존율은 93.33%로 나타났다. 7월까지의 모든 개체의 생존이 확인되었으나, 8월 이후 일부 개체에서 고사 또는 개체 탈락이 발생하여 측정이 불가능한 사례가 확인되었다. 생육 특성 측면에서는 줄기 길이가 5월에 평균 4.2 cm로 최대값을 보인 이후 점차 감소하는 경향을 나타냈으며, 줄기수 또한 초기에는 높은 값을 보였으나 여름 이후 점진적으로 감소하는 양상을 보였다.

<표 6> 월별 석곡 모니터링 결과

월	평균 줄기수	평균 길이(cm)	생존 개체 수	전체 개체	생존율
4월	11.45	3.77	120	120	100%
5월	11.95	4.20	120	120	100%
7월	13.62	3.70	120	120	100%
8월	13.85	3.73	119	120	99.17%
9월	13.92	3.57	117	120	97.50%
11월	11.56	3.33	112	120	93.33%

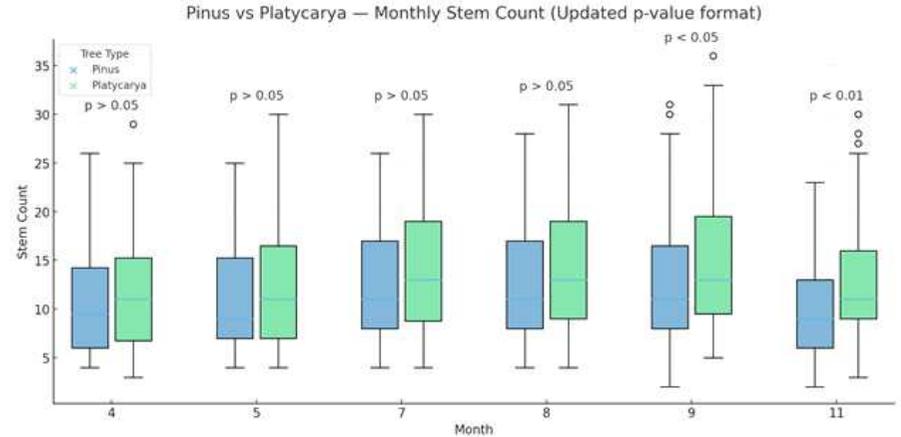
석곡 이식 후 월별 생육 변화를 파악하기 위해 4월, 5월, 7월, 8월, 9월, 11월 총 6회에 걸쳐 줄기 수를 측정하고, 월별 측정값은 분산분석 결과 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.0001$). 이는 시간 경과에 따라 줄기 수가 통계적으로 의미 있는 변화를 나타냈음을 의미한다. 전체적인 경향을 보면, 4월에서 9월로 갈수록 전체 줄기 수가 증가하다가 11월에 다시 감소하는 패턴이 확인되었다. 4월과 5월은 이식 직후로 생육이 아직 활발하게 진행되지 않은 초기 단계로 판단되며, 이 시기의 평균 줄기 수는 약 8~10개 수준으로 나타났다. 이후 7월부터는 줄기 수가 뚜렷하게 증가하기 시작하였고, 8월과 9월에는 중위값이 상승하고 사분위 범위가 확대

되는 양상이 확인되었다. 반면 11월에는 줄기 수가 전반적으로 감소하였으며, 중위값 또한 낮아지는 경향을 보여, 생육 활동이 둔화되고 휴면기로 진입함에 따라 줄기 수가 감소한 것으로 나타났다.



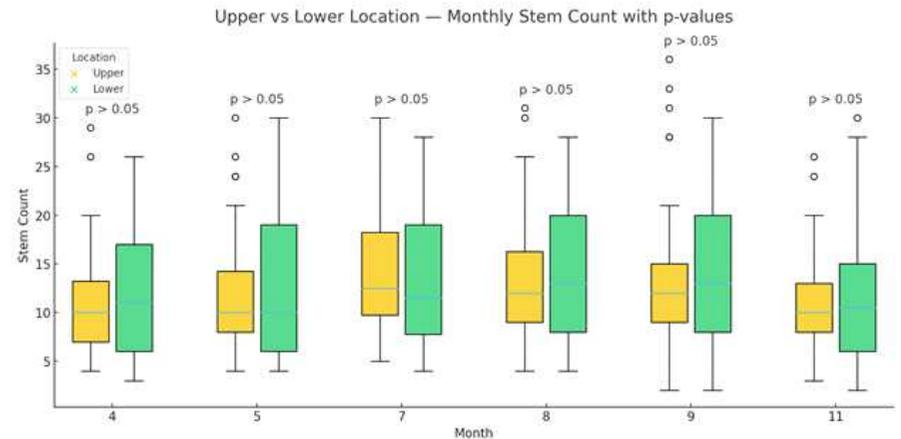
<그림 17> 석곡 줄기수의 월별 변화 패턴(RM-ANOVA $p < 0.0001$)

수종별 줄기 수 변화를 분석한 결과, 4월부터 8월까지의 모니터링에서는 수종 간 유의한 차이가 나타나지 않았다($p > 0.05$). 반면 9월 모니터링 결과에서는 수종 간 유의한 차이가 확인되었으며($p < 0.05$), Platycarya(활엽수)에서 Pinus(침엽수)보다 유의하게 많은 줄기 수를 보였다. 이후 11월 모니터링 결과에서도 수종 간 유의한 차이가 지속적으로 나타났으며($p < 0.01$), Platycarya에서 Pinus보다 여전히 많은 줄기 수가 관찰되었고, 수종 간 차이는 더욱 명확한 유의성을 보였다.



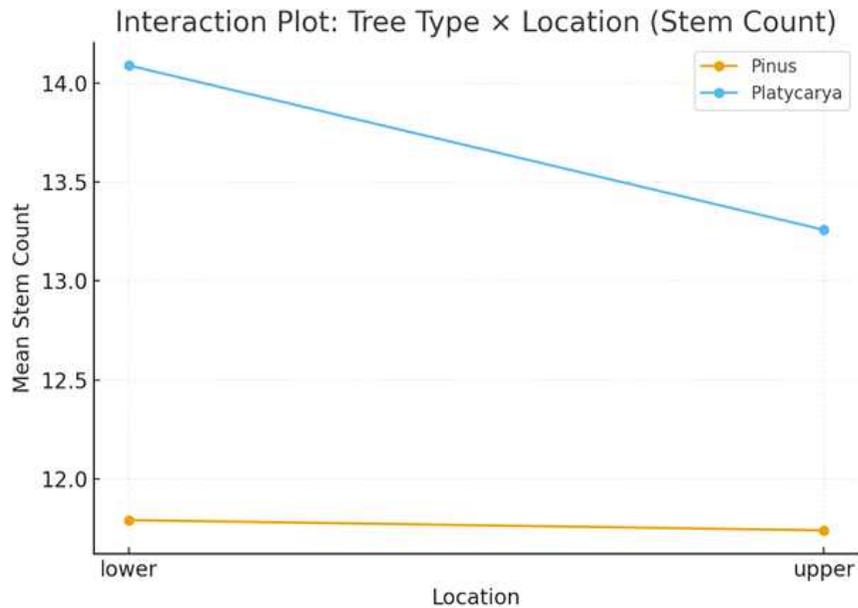
<그림 18> 월별 생육량(줄기수)의 수종별 차이 분석

위치별 줄기 수 변화를 분석한 결과, lower(아래) 위치가 전반적으로 약간 더 많은 줄기 수를 보이는 경향은 나타났으나, 해당 차이는 통계적으로 유의하지 않았다. 반면 upper(위) 위치는 변동 폭이 상대적으로 크게 나타났으나 평균 줄기 수는 lower 위치와 유사한 수준을 보였다. 위치별(upper vs. lower) 석곡 생육 차이를 분석한 결과, 모든 조사 월에서 $p > 0.05$ 로 나타나, 부착 위치 요인은 줄기 수 변화에 통계적으로 유의한 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다.



<그림 19> 월별 생육량(줄기수)의 위치별 차이 분석

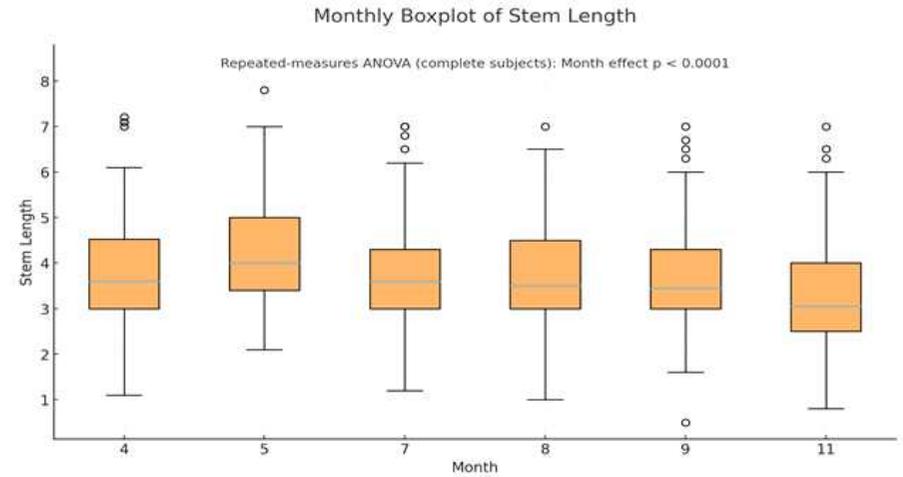
수종과 부착 위치가 줄기 수에 미치는 영향을 시각화한 결과, Platycarya(활엽수)는 상부와 하부 위치 모두에서 Pinus(침엽수)보다 높은 줄기 수를 보였다. 그러나 upper(위)와 lower(아래) 위치 간의 차이는 두 수종 모두에서 크지 않아, 위치 요인의 주효과는 유의하지 않은 것으로 나타났다. 또한 두 선의 기울기가 유사하게 나타나 수종과 위치 간 상호작용은 줄기 수 변화에 통계적으로 유의한 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다($p > 0.05$). 이러한 결과는 부착 위치 요인보다 수종(Tree type)이 석곡 줄기 수 증가에 더 중요한 요인으로 작용함을 보여준다.



<그림 20> 수종별 부착 위치에 따른 줄기수 분석

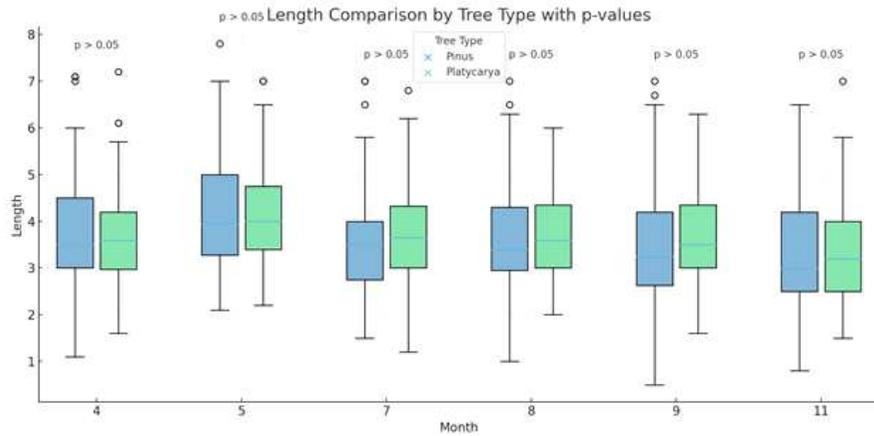
석곡 이식 후 월별 생육 변화를 파악하기 위해 4월, 5월, 7월, 8월, 9월, 11월 총 6회에 걸쳐 줄기 길이를 측정된 결과, 월별 측정값은 분산분석 결과 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.0001$). 이는 시간 경과에 따라 줄기 길이가 통계적으로 의미 있는 변화를 나타냈음을 의미한다. 월별 줄기 길이를 비교한 결과, 석곡의 줄기 길이는 조사 기간 동안 유의한 변화를 보였으며($p < 0.0001$), 4월에서 5월로 넘어가며 길이가 뚜렷하게 증가한 이후, 한여름 동안에는 비교적 안정적인 길이를 유지하는 경향을 나타냈다. 반면 9월 이후에는 생장이 둔화되면서 줄기 길이가 감소하였

으며, 이러한 결과는 석곡이 계절적 환경 요인에 따라 길이 생장이 제한되는 특성을 반영하는 것으로 나타났다.



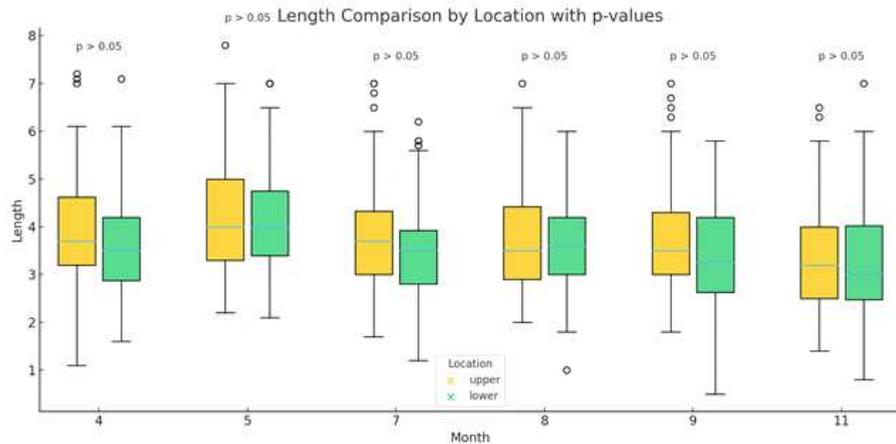
<그림 21> 석곡 길이생장의 월별 변화 패턴($p < 0.0001$)

수종별 줄기 길이 생장을 분석한 결과, 4월, 5월, 7월, 8월, 9월, 11월 모든 조사 시점에서 Pinus(침엽수)와 Platycarya(활엽수) 간 줄기 길이에 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다($p > 0.05$). 즉, 조사 기간 동안 석곡의 줄기 길이는 부착 수종에 따라 유의한 차이를 보이지 않은 것으로 확인되었다.



<그림 22> 월별 석곡 길이 생장의 수종별 차이 분석

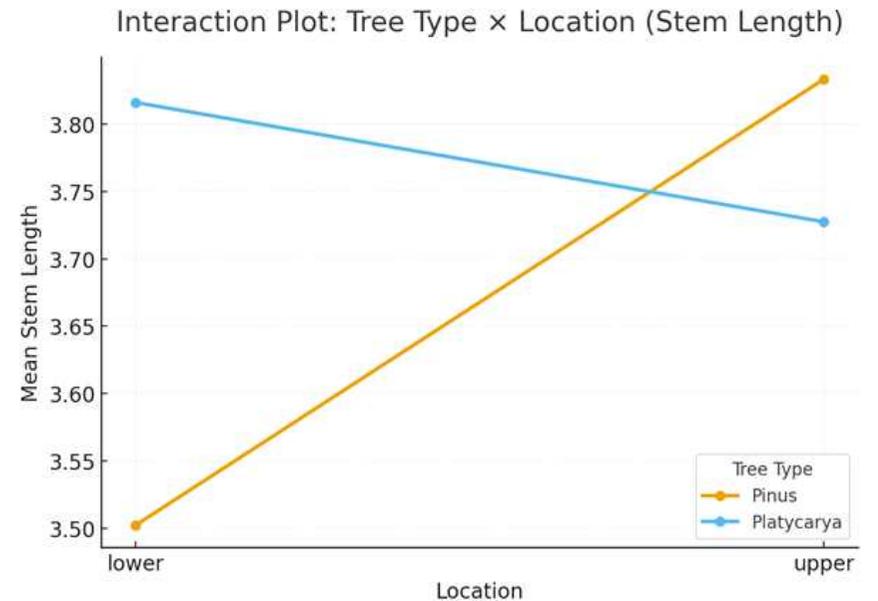
위치별 줄기 길이 생장을 분석한 결과, 4월, 5월, 7월, 8월, 9월, 11월 모든 조사 시점에서 upper(위)와 lower(아래) 간 줄기 길이에 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다($p > 0.05$). 즉, 조사 기간 동안 석곡의 줄기 길이는 부착 위치와 관계 없이 유사한 수준을 보였으며, 부착 위치(상부/하부)는 줄기 길이에 유의한 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다.



<그림 23> 월별 석곡 길이 생장의 위치별 차이 분석

수종과 부착 위치를 함께 고려한 줄기 길이 성장 분석 결과, 수종별 부착 위치에 따른 길이 생장은 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p = 0.0219$). 그래프 분석 결과, Pinus(침엽수)에서는 하부 위치(lower)에서 줄기 길이가 상대적으로 짧고 상부 위치(upper)에서 증가하는 경향을 보인 반면, Platycarya(활엽수)에서는 하부 위치(lower)에서 더 긴 줄기 길이를 보이고 상부 위치(upper)에서는 감소하는 양상이 나타났다. 즉, 수종에 따라 부착 위치에 따른 길이 성장 패턴이 서로 상반되게 나타났다.

다만 이러한 결과는 수종별로 부착 위치에 대한 민감도가 서로 다를 가능성을 시사하나, 절대적인 평균 줄기 길이의 차이는 크지 않은 수준으로 나타났다. 이에 따라 통계적으로는 유의한 결과가 도출되었지만, 모니터링 자료에서 확인된 평균 줄기 길이의 차이가 매우 작아 실제 생육 측면에서 수종별 부착 위치에 따른 길이 성장 차이를 명확히 판단하기에는 제한이 있는 것으로 보인다.



<그림 24> 수종별 부착 위치에 따른 길이 성장 분석

2) 가는동자꽃

가) 이식지 식생 특성

본 연구는 부산시 금정산 일원에서 수행된 가는동자꽃 이식 이후, 이식 개체의 정착 및 생육 상태를 평가하기 위해 방형구 A와 B를 대상으로 총 5회(4월 30일, 6월 19일, 7월 25일, 8월 28일, 10월 16일) 모니터링을 수행하였다. 모니터링은 방형구 내에서 식물사회학적 방법을 적용하여 실시하였으며, 방형구 내 출현 종의 조성, 식피율, 우점종 및 경쟁식물의 변화와 함께 가는동자꽃의 피도 변화를 종합적으로 기록하였다.

Site A 가는동자꽃 이식지의 식생조사 결과, 총 5차례에 걸친 모니터링을 통해 쑥, 삿갓사초, 쇠뜨기 등을 포함한 총 17종의 식물이 출현하였다. 봄철에 수행된 1차 모니터링에서는 가는동자꽃이 방형구 내에서 가장 높은 우점도를 보였으며, 그 다음으로 쑥과 삿갓사초가 비교적 높은 우점도를 나타냈다.

6월 19일 초여름에 실시된 모니터링에서도 가는동자꽃은 여전히 높은 우점도를 유지하였으나, 개망초의 빠른 생장으로 인해 가는동자꽃과의 경쟁이 두드러지기 시작하는 양상을 보였다. 이후 7월 25일 조사에서는 쑥과 개망초의 우점이 더욱 강화되면서, 가는동자꽃의 생육이 상대적으로 위축되는 경향이 관찰되었으며, 이러한 경향은 8월 모니터링에서도 유사하게 나타났다.

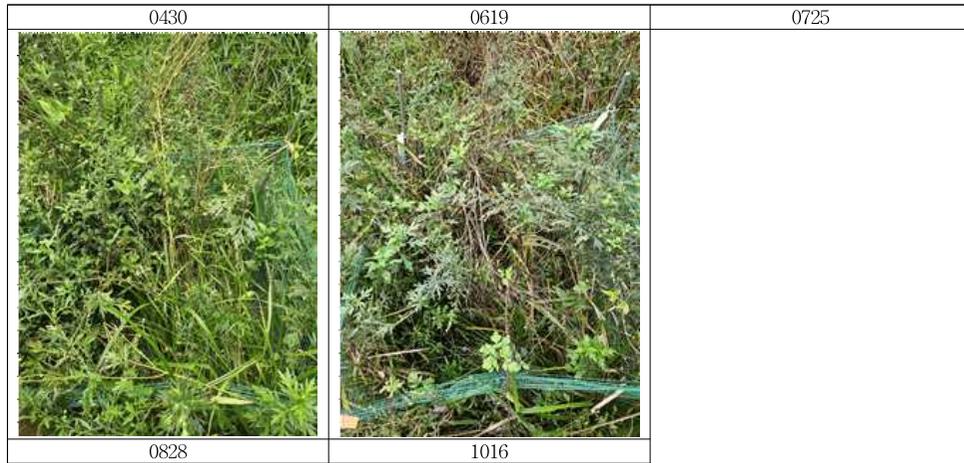
10월에 수행된 가을철 조사에서는 가는동자꽃이 생육 쇠퇴기에 접어드는 시기로, 지상부 생육이 전반적으로 감소하는 양상이 관찰되었다. 이는 계절적 생육 주기에 따른 자연스러운 변화로 판단되며, 여름철 경쟁식물의 우점 확대와 함께 가는동자꽃의 상대적 우점도 감소에 영향을 미친 것으로 보인다.

<표 7> 가는동자꽃 이식지 식생 조사표 siteA

siteA					
Date	0430	0619	0725	0828	1016
coverage(%)	100	100	100	100	100
Number of species	9	10	11	9	7

<i>Lychnis kiusiana</i> 가는동자꽃	3	3	1	2	+
<i>Artemisia indica</i> 쑥	2	2	3	3	3
<i>Carex dispalata</i> 삿갓사초	1	+	+	1	2
<i>Equisetum arvense</i> 쇠뜨기	+				
<i>Juncus decipiens</i> 골풀	+	+	+	+	+
<i>Lycopus lucidus</i> 썩새리	+	+	+	+	+
<i>Erigeron annuus</i> 개망초		3	2	+	
<i>Mazus pumilus</i> 주름잎	+				
<i>Stellaria alsine</i> var. <i>undulata</i> 벼룩나물	+				
<i>Persicaria sagittata</i> var. <i>sieboldii</i> 미꾸리뉘시		+	+	+	+
<i>Oxalis corniculata</i> 괭이밥			+		
<i>Impatiens textorii</i> 물봉선			+		
<i>Humulus japonicus</i> 환삼덩굴					+
<i>Duchesnea indica</i> 뱀딸기	+	+			
<i>Ranunculus japonicus</i> 미나리아재비		+			
<i>Persicaria thunbergii</i> 고마리			+	+	
<i>Commelina communis</i> 닭의장풀				+	





<그림 25> 월별 가는동자꽃 이식지(siteA) 모니터링

Site B 가는동자꽃 이식지의 식생조사 결과, 총 5차례에 걸친 모니터링을 통해 샷갓사초, 골풀, 쇠뜨기 등을 포함한 총 20종의 식물이 출현하였다. 봄철에 수행된 1차 모니터링에서는 Site A와 마찬가지로 가는동자꽃이 방형구 내에서 가장 높은 우점도를 보였다. 방형구 A 식피율(100%)와 다르게 60%의 식피율을 보였다.

6월 19일 초여름에 실시된 모니터링에서도 가는동자꽃은 가장 높은 우점도를 유지하였다. 약 70%(피도 4)이상을 보일 정도로 높은 우점도를 보였다. 이후 7월 25일 조사에서는 쭉과 개망초의 우점이 더욱 강화되면서, 가는동자꽃의 생육이 급격히 쇠퇴하였으며, 이러한 경향은 8월 모니터링에서도 유사하게 나타났다. 다만 8월 모니터링에서는 골풀과 미꾸리뉘시의 번성으로 두 종의 우점도가 가장 높았다.

10월에 수행된 가을철 조사에서는 Site A와 마찬가지로 가는동자꽃이 생육 쇠퇴기에 접어드는 시기로, 지상부 생육이 전반적으로 감소하는 양상이 관찰되었다.

<표 8> 가는동자꽃 이식지 식생 조사표 siteB

siteB					
Date	0430	0619	0725	0828	1016
coverage(%)	60	100	100	100	100
Number of species	9	12	11	12	8

<i>Lychnis kiusiana</i> 가는동자꽃	2	4	1	2	+
<i>Carex dispalata</i> 샷갓사초	+	+	+	+	+
<i>Equisetum arvense</i> 쇠뜨기	+	+			
<i>Duchesnea indica</i> 뱀딸기	+	+	+		
<i>Artemisia indica</i> 쭉	+	+	3	+	+
<i>Viola albida</i> var. <i>chaerophylloides</i> 남산제비꽃	r				
<i>Juncus decipiens</i> 골풀	+	1	+	3	3
<i>Persicaria sagittata</i> var. <i>sieboldii</i> 미꾸리뉘시		+	+	1	+
<i>Lycopus lucidus</i> 십싸리		+	+	+	+
<i>mpatiens textorii</i> 물봉선		+	+	+	+
<i>Ranunculus japonicus</i> 미나리아재비		+			
<i>Persicaria senticosa</i> 머느리밀싯개		+		+	
<i>Erigeron annuus</i> 개망초		+	2	+	
<i>Oxalis corniculata</i> 꿩이밥			+		
<i>Persicaria perfoliata</i> 머느리배꼽				+	
<i>Humulus japonicus</i> 환삼덩굴					+
<i>Stellaria alsine</i> var. <i>undulata</i> 벼룩나물	r				
<i>Mazus pumilus</i> 주름잎	+				
<i>Persicaria thunbergii</i> 고마리			+	+	
<i>Hypericum attenuatum</i> 채고추나물				r	



<그림 26> 월별 가는동자꽃 이식지(siteB) 모니터링

3) 나도풍란

가) 입지별·시기별 나도풍란 생존 현황 및 미소환경 적응 특성 비교

신안군 홍도 내 이식지의 경우, 6개월이 지난 시점에서 150개체 중 109 개체의 나도풍란 생존이 확인되었다. 6개월 후 지점별 생존율은 site 1에서 88%, site 2에서 54%, site 3에서 76%로, 분산분석 결과 site 1이 site 2에 비해 유의하게 높았다 ($p < 0.05$). 초기 6개월 동안 수검은줄점불나방 유충 등 해충이 대량으로 발생하였는데, 해충 피해를 많이 입은 개체가 다수 고사하는 경향을 보였다. 1년이 경과한 시점(2022년 5월)에는 남사면에 위치한 site 1의 4개체만 생존하고, 북사면에 위치한 site 2 및 site 3에서는 모든 개체가 고사하였다. 2년에 경과한 2023년 5월에는 site 1의 1개체만 생존하였는데, 이 개체는 2025년 10월 마지막 조사 시점에서도 개화하는 등 활착에 성공한 모습을 보이고 있다(그림 2).



<그림 27> 홍도 site 1 내 나도풍란 생존 개체의 생육 모습

신안군 가거도에 조성한 site 4와 5의 경우 2024년 4월 조사에서 2023년에 이식한 나도풍란 총 200개체 중 159개체가 생존하여 sites 1-3에 비해 이식 당해 동절기 고사 피해가 감소한 것으로 나타났다. 하지만 2025년 11월 조사 결과에서는 2023년 및 2024년에 이식한 총 400개체 중 18개체만의 생존이 확인되었다. Site 4의 경우 2023년에 이식한 개체는 모두 고사하였고 2024년에 이식한 나도풍란 12개체가 생존하였다. Site 5의 경우 2023년에 이식한 나도풍란 4개체 및 2024년에 이식한 나도풍란 2개체가 생존하였다. 생존한 개체는 매일 1~2시간가량 햇빛이 드는 미소환경에 노출되어, 민달팽이 등 해충에게 피해를 입더라도 기근과 있을 새로 생성하여 적응하는 모습을 보였다. 반면 고사한 개체는 그늘지고 겨울철 북서계절풍에 직접

적으로 노출되는 미소환경에 있어, 해충 등에 입은 피해를 회복하지 못한 모습을 보였다(그림 3).



<그림 28> 가거도 site 5 내 나도풍란 생존 개체(좌) 및 고사 개체(우)

4) 큰바늘꽃

가) 이식 후보지 식생 현황 및 이식 초기 모니터링 결과

큰바늘꽃 이식에 앞서 하천점용허가를 받는 등 하천 부지를 이용하는데 대한 필요 행정절차를 수행하였다. 2025년 8월에 인공증식한 큰바늘꽃 200개체를 식재하였다. 2025년 8월 및 9월 모니터링 기간에는 불법 채취 등 인위적 훼손 및 야생동물에 의한 피해를 방지하기 위한 경고 안내판과 울타리를 설치하였다(그림 4). 또한 2025년 10월에 발생한 집중호우 기간에 이식지 조사를 진행하여, 하천 수위 상승으로 인한 이식지 손실이 발생하지 않은 것을 확인하였다(그림 4). 한편 2025년 10월 마지막 모니터링 기준 총 138개체의 큰바늘꽃이 생존한 것으로 나타났으며, 일부 개체에서는 개화 및 종자 결실 등의 유성생식 및 줄기에서의 뿌리 형성을 통한 무성생식이 진행됨을 확인하였다.



<그림 29> 이식지 조성 직후(좌) 및 폭우로 하천 수위가 높아진 시점의 모습(우)



<그림 30> 큰바늘꽃 이식 개체의 종자 결실(좌) 및 무성생식(우) 모습

IV. 고찰 및 제언

가. 야생개체군 생태 환경 연구

1) 석곡

가) 서식지 식생 현황 및 생태 환경 조사

본 연구는 망주봉 지역에서 석곡(*Dendrobium moniliforme*)이 실제로 서식하는 방형구만을 대상으로 식생조사 및 상재도 분석을 수행하였다는 점에서, 석곡 서식환경을 실질적으로 반영한 분석이라는 의의를 가진다. 조사 결과, 석곡은 모든 방형구에서 출현하여 상재도 V를 보였으며, 이는 본 지역이 석곡의 지속적인 생육에 적합한 안정적인 서식환경임을 시사한다. 또한 조사 방형구들은 전반적으로 식피율이 과도하게 높지 않고, 특정 종이 식생을 지배하는 완전한 우점종이 없는 개방적이고 저경쟁적인 식생 구조를 나타냈다. 이러한 식생 특성은 착생 및 암석부착성 난초인 석곡의 생태적 요구 조건과 부합하는 것으로 해석된다.

한편, 본 연구는 드론 기반 현장 접근 및 조사 방식을 활용하여 급경사지 및 접근이 어려운 암반 지역을 중심으로 조사를 수행하였다. 이로 인해 식생조사의 기본 전제 중 하나인 상대적으로 균질한 식생을 가진 조사구를 선정하는 데에는 현실적인 제약이 존재하였다. 특히 암반과 수간에 국지적으로 분포하는 석곡을 타겟 종으로 설정함에 따라, 조사 방형구 간 식생 구조의 이질성이 완전히 배제되기 어려웠다. 이는 본 연구에서 분석된 식생표가 전형적인 군락 단위의 식생을 나타내기보다는, 석곡이 점유하는 미소서식지 단위의 식생 특성을 반영하고 있음을 의미한다.

또한 석곡을 중심으로 조사구를 선별하는 과정에서, 일반적인 식생조사에서 요구되는 군락 전체의 대표성 확보에는 한계가 있었다. 이는 본 연구가 전형적인 군락 단위의 식생 구조를 규명하기보다는, 석곡이 실제로 점유하고 있는 미소서식지의 식생 특성을 보다 직접적으로 반영하는 데 초점을 두었기 때문이다. 따라서 본 연구 결과는 군락 분류를 위한 식생학적 해석보다는, 석곡의 서식환경 특성과 보전·관리 측면에서의 활용 가능성을 중심으로 해석하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

2) 서울개발나물

가) 자생지 서식 환경 연구

본 연구 결과, 서울개발나물 자생지인 양산 원동습지는 조사 시점 이전 발생한 폭우로 인해 광범위한 침수 흔적이 확인되었음에도 불구하고 일부 개체에서 개화가 이루어졌으며, 이는 서울개발나물이 배후습지의 과습 및 단기 침수 환경에 일정 수준 적응한 종임을 시사한다. 그러나 조사 기간 동안 확인된 개화 개체 수는 총 10개체 중 4개체로 제한적이었고, 주변에 동시 개화 식물이 존재하지 않아 화분매개자 유입이 서울개발나물 단일 종에 의존하는 구조를 보였다. 이러한 조건은 화분매개 네트워크의 단순화를 초래하며, 특정 화분매개자에 대한 의존도가 높아질 경우 번식 성공률의 변동성이 커질 가능성을 내포한다. 실제로 방문 절지동물상 분석 결과, 초식자와 잡식자가 높은 비율을 차지하였으나, 화분매개 기능군 기준에서 유효 화분매개자는 전체 방문 개체 중 약 10%에 불과하였고, 그중 대부분이 애꽃벌류로 구성되어 있었다. 이는 서울개발나물의 유성생식이 소수의 핵심 화분매개자에 크게 의존하는 취약한 구조임을 보여준다. 한편 잠재적 화분매개자로 분류된 곤충군은 비교적 높은 비율과 다양한 분류군으로 구성되어 있었으며, 이들 중 일부는 방문 빈도나 체형, 꽃 접근 방식에 따라 상황에 따라 유효 화분매개자로 기능할 가능성을 내포하고 있다. 따라서 잠재적 화분매개자를 일률적으로 보조적 방문자로 한정하기보다는, 향후 연구에서는 이들 중 높은 비율을 차지하는 주요 곤충종을 대상으로 꽃 방문 형태, 체류 시간, 화기관과의 접촉 양상, 행동 특성, 그리고 실제로 화분이 체표에 부착되어 다른 개체로 이동되는지 여부를 정량적으로 분석할 필요가 있다. 이러한 세부 분석을 통해 잠재적 화분매개자의 기능적 전환 가능성을 평가하는 것은 서울개발나물의 번식 생태를 보다 정확하게 이해하는 데 중요한 근거가 될 것이다. 아울러 애꽃벌류와 같은 핵심 화분매개자의 서식 환경 보전과 함께, 잠재적 화분매개자의 기능적 역할을 고려한 다층적 화분매개 네트워크 관리 전략이 요구된다. 또한 폭우와 침수와 같은 극한 기상 조건이 반복될 경우 개화 개체 수 감소와 화분매개 기회 축소로 이어질 가능성이 있으므로, 자생지에 대한 장기적인 수문 환경 모니터링과 미소서식지 수준의 관리 방안 검토가 필요하다. 본 연구는 단기간의 관찰 결과에 기반하고 있어 연도별 기상 변동성과 화분매개자 군집의 장기적 안정성을 충분히 반영하지 못한다는 한계가 있으며, 향후에는 다년간 반복 조사를 통해 개화 개체 수, 화분매개자 구성, 번식 성공 간의 관계를 종합적으로

분석할 필요가 있다. 나아가 서울개발나물이 도시 및 준도시 습지에 분포하는 특성을 고려할 때, 개화기 곤충 방문 모니터링을 시민참여형 조사로 확장하는 방안도 중·장기적으로 검토할 수 있을 것으로 판단된다.

나. 증식 및 순화기술 개발

1) 애기송이풀

가) 애기송이풀 종자 특성 및 배발달 조사

물리적휴면 유무를 파악하기 위하여 수분흡수율 실험을 진행한 결과, 3시간부터 30% 이상의 수분흡수율을 나타내었으며, 12시간 후에는 약 38%의 수분흡수율을 나타냈다. 일반적으로 20%이하의 수분흡수율을 나타내면 물리적휴면(Physical dormancy, PY)이 있다고 판단하기 때문에 애기송이풀은 물리적휴면은 가지지 않는 것으로 나타났다. 형태적휴면(Morphological dormancy, MD) 유무 파악을 위해 탈리시점과 발아 직전의 배 발달을 관찰한 결과, 탈리 시점에 완전하게 성숙한 배를 가지고 있었으며 발아 직전까지의 추가적인 배의 신장은 나타나지 않았다. 따라서, 애기송이풀 종자는 물리적 휴면 및 형태적 휴면을 모두 가지고 있지 않은 것으로 판단되며, 수분흡수나 배의 신장에 의해서 발아가 지연되는 현상은 나타나지 않는 것으로 판단된다. 자생지 내에서 종자가 탈리되면 추가적인 배의 신장 없이 수분을 흡수하여 적정 발아온도 조건이나 휴면타파 조건을 거친 후 바로 발아가 진행될 것으로 판단된다.

종자 휴면 분류에 있어 일반적으로 적절한 온도 조건에서 4주 이내에 발아하지 않으면 내부에 있는 발아 억제물질에 의한 휴면인 생리적휴면(Pysiological dormancy, PD) 있다고 판단한다. 생리적휴면을 타파하기 위해서는 특정 온도처리 조건(저온, 고온, 저온+고온)이 필요하다고 알려져 있다(Nikolaeva, 1977; Baskin and Baskin, 2004). 발아 실험 결과 애기송이풀의 경우 국내 4계절 온도설정인 4가지 변온(4/1°C, 15/6°C, 20/10°C, 25/15°C) 조건에서 실험기간동안 발아가 전혀 이루어지지 않았다. 따라서, 애기송이풀 종자는 생리적휴면을 가지고 있다고 판단된다.

나) 휴면유형 분류를 통한 대량 증식 기술 개발

일반적으로 생리적휴면을 타파하기 위해서는 저온, 고온 단독 처리 또는 저온

고온의 복합 처리가 필요하다고 알려져있다. 그 중에서 일반적인 온대지역에 서식하는 다년생 식물의 경우 겨울을 나기 때문에 저온처리에 의해 타파되는 생리적휴면을 가졌을 것으로 예측된다. 저온처리 실험 결과 4, 8주 저온처리에서는 종자가 전혀 발아하지 않았다. 따라서 4, 8주 저온처리로는 휴면이 타파되기에는 부족했을 것으로 판단된다. 이러한 휴면 유형은 자생지 내에서의 생활패턴과 연관이 있는데 일반적인 겨울(약 12주 이상)을 지낸 후 발아가 이루어져야 생육이 가능하기 때문에 최소 12주 이상의 저온처리 실험을 진행 중에 있으며 이를 통해 휴면 타파를 위한 적절한 저온 처리조건 확립이 추후 진행 할 예정이다.

호르몬(지베렐린, GA3) 처리 결과, 0mg/L 농도에서는 발아가 전혀 이루어지지 않았다. 1500mg/L 및 2000mg/L 농도에서는 2주 차부터 발아가 시작되었으며 최종 발아율은 약 8, 16%의 낮은 발아율을 보였다. 두 농도 간 유의미한 차이는 나타나지 않았다. 500mg/L의 저농도 처리에서는 2주 차부터 발아가 시작되었으며, 최종 발아율이 약 25%로 고농도의 두 처리구(1500, 2000mg/L)보다는 높게 나타났다. 1000mg/L 처리에서는 2주 차부터 발아가 시작되어 최종적으로 약 37%의 발아율을 나타내었으며 4가지 처리 조건에서 가장 높은 발아율을 나타내었다. 따라서 애기송이풀의 경우 지베렐린 처리에 의해서 타파되는 생리적 휴면을 가지고 있으며, 휴면 타파를 위한 적절한 호르몬 처리 농도는 500-1000mg/L인 것으로 보인다.

생리적휴면의 경우 깊이에 따라서 크게 3가지 유형(nondeep, intermediate, deep)으로 분류된다. nondeep의 경우 휴면 타파 조건이 단기간의 저온처리 또는 지베렐린 처리가 필요하며, intermediate 유형은 장기간의 저온처리가 또는 지베렐린 처리, deep의 경우 장기간의 저온처리가 필요하며 지베렐린에 의해서는 휴면이 타파되지 않는 유형이다(Yang et al., 2020; Park et al., 20024). 애기송이풀 종자의 경우 지베렐린 500-1000mg/L 처리에 의해서 휴면이 타파되며, 4-8주 단기간의 저온처리로는 휴면이 타파되지 않았다. 따라서 8주 이상의 장기간 저온처리가 필요한 intermediate physiological dormancy를 가지는 것으로 판단된다. 결과적으로 애기송이풀 종자를 이용한 대량증식을 위해서는 intermediate physiological dormancy를 타파하기 위한 적정 호르몬 처리(GA

1000mg/L) 후에 상온 조건으로 이동하여 발아율을 증진 시키는 것이 필요할 것으로 판단된다.

2) 금자란

가) 배지 종류에 따른 유묘 생장

난초류의 무균 발아와 유묘 생장은 기본 배지 조성에 의해 크게 좌우되는 것으로 알려져 있으며, 본 연구 결과에서도 이러한 경향이 명확하게 확인되었다. 금자란의 무균 발아 및 초기 원괴체 발달은 Hyponex 배지에서 가장 안정적이고 빠르게 진행되었으며, OSM 배지에서는 발달 정체 및 생육 저하가 관찰되었다. 특히 발아 초기 단계에서는 1 μ M NAA의 첨가 여부에 따른 차이가 거의 나타나지 않아, 금자란의 초기 발아 및 원괴체 발달에는 외생 생장조절제보다 기본 배지의 무기염 조성이 더 중요한 요인으로 작용하는 것으로 판단된다.

유묘 생장 단계에서도 배지 종류에 따른 차이는 더욱 뚜렷하게 나타났다. Hyponex 배지에서 배양된 유묘는 생중량 증가와 뿌리 신장이 모두 우수하게 나타난 반면, MS 배지와 OMM에서는 유묘 생장이 현저히 제한되었다. 특히 뿌리 형성은 Hyponex 배지에서만 관찰되어, 이 배지가 금자란 유묘의 뿌리 분화 및 정착 능력 확보에 중요한 역할을 함을 시사한다.

이러한 결과는 배지 내 질소의 형태와 농도가 금자란 생육에 중요한 영향을 미쳤을 가능성을 시사한다. Hyponex 배지는 암모늄태와 질산태 질소를 비교적 균형 있게 제공하는 반면, MS 배지는 염류 농도가 높아 금자란과 같은 소형 착생난의 유묘 단계에서는 삼투 스트레스나 이온 불균형을 유발했을 가능성이 있다. 따라서 금자란은 비교적 완만한 이온 환경과 무기 질소 이용이 용이한 배지를 선호하는 종으로 판단된다.

종합적으로, 본 연구 결과는 Hyponex 배지가 금자란의 무균 발아 이후 유묘 생장까지 전 생육 단계에서 가장 적합한 기본 배지임을 보여주며, 이는 금자란의 대량 증식 및 복원용 식물체 생산을 위한 핵심 배양 기반으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

나) 유기물 첨가에 따른 유묘 생장

유기물 첨가제는 난초 조직배양에서 영양 보완 및 생장 촉진을 목적으로 널리 사용되어 왔으며, 본 연구에서도 유기물 첨가에 따른 금자란 유묘 생장 반응이 뚜렷하게 나타났다. 특히 바나나 균질물은 초기 유묘 단계(7개월)부터 장기 배양 단계(14개월)까지 가장 일관되고 우수한 생육 촉진 효과를 보였다.

Hyponex 배지에 바나나 균질물을 첨가한 처리구에서는 유묘의 생중량, 뿌리 길이 및 엽수가 모두 유의적으로 증가하였으며, 이러한 효과는 장기 배양 단계에서도 지속적으로 유지되었다. 이는 바나나 균질물이 탄수화물, 비타민, 무기 성분뿐만 아니라 제아틴, 옥신 및 지베렐린과 같은 천연 생장 조절제를 포함하고 있어 원괴체 분화 촉진, 광합성 능력 향상 및 영양 동화 효율 증대에 기여했을 가능성을 시사한다.

반면, 사과 균질물과 코코넛 워터는 일부 처리구에서 제한적인 생육 촉진 효과를 보였으나, 전반적으로 효과가 일관되지 않았으며 장기 배양 단계에서는 뚜렷한 생육 개선 효과를 나타내지 못했다. 특히 코코넛 워터의 경우, 사이토키닌 함량으로 인해 지상부 생장은 촉진될 수 있으나, 뿌리 생장에는 부정적인 영향을 미칠 수 있다는 기존 보고와 유사한 경향을 보였다. 또한 세 가지 유기물을 혼합한 처리구는 바나나 균질물 단독 처리구보다 우수한 결과를 보이지 않아, 금자란의 경우 복합 유기물 처리보다는 종 특이적으로 효과적인 단일 유기물 선택이 중요함을 시사한다.

이상의 결과를 종합하면, 금자란의 시험관 내 증식에서는 Hyponex 배지를 기본으로 하고 바나나 균질물을 첨가하는 배양 조건이 가장 효과적인 것으로 판단된다. 본 연구에서 확립된 배지 조합은 초기 발아 및 유묘 생장뿐만 아니라 장기적인 식물체 생육까지 안정적으로 유도할 수 있어, 금자란의 대량 증식 및 향후 순화-자생지 복원 단계로의 연계 적용이 가능할 것으로 기대된다.

본 연구 결과를 바탕으로, 금자란의 보전 및 복원을 위한 증식 전략으로 Hyponex 배지와 바나나 균질물을 활용한 시험관 내 증식 체계의 적용을 제안한다. 향후 연구에서는 순화 단계에서의 생존율 평가, 착생 기질(수피 종류, 수분 조건)에 따른 활착 특성 분석, 그리고 자생지 이식 후 장기 모니터링을 통해 현장 적용 가능성을 검증할 필요가 있다. 또한 본 연구에서 확인된 배지 및 유기물 조합은 다른 멸종위기 착생난류에도 적용 가능성이 있을 것으로 판단되며, 중별

맞춤형 증식 프로토콜 구축을 위한 비교 연구가 병행된다면 멸종위기 난초류 보전 전략 수립에 중요한 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

다. 이식 및 생태변화 모니터링

1) 석곡

가) 계절별 성장 패턴과 환경 요인 간 상호작용 분석

모니터링 결과, 석곡은 줄기 수와 줄기 길이 모두에서 명확한 계절적 성장 패턴을 보였다. 줄기 수는 4월 이후 지속적으로 증가하여 7-9월에 최대값에 도달한 뒤, 11월에 감소하는 양상을 나타냈으며, 줄기 길이 또한 5월에 정점을 형성한 이후 가을로 갈수록 감소하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 석곡이 이식 후 새로운 착생 환경에 성공적으로 적응하여, 봄과 여름 동안 성장량을 집중적으로 확보한 뒤 가을 이후 휴면 단계로 전환하는 전형적인 상록성 착생 난류의 성장 전략을 반영하는 것으로 판단된다.

수종(Tree type)에 따른 차이를 살펴보면, 줄기 수 측면에서 Platycarya(활엽수)가 Pinus(침엽수)보다 전반적으로 우수한 생육 반응을 보였으며, 특히 9월과 11월에는 두 수종 간 줄기 수 차이가 통계적으로 유의하게 나타나 Platycarya에서 더 많은 줄기 수가 관찰되었다. 이는 Platycarya의 수피 구조, 수분 보유력 등 미세서식처 특성이 석곡의 분지 및 신초 발생에 보다 유리하게 작용했을 가능성을 시사한다. 반면 줄기 길이에서는 수종 간 유의한 차이가 나타나지 않아, 수종에 따른 생육 차이는 주로 줄기 수에서 나타난 것으로 판단된다.

부착 위치(Location)에 대한 분석 결과, 줄기 수와 줄기 길이 모두에서 upper(상부)와 lower(하부) 간 통계적으로 유의한 차이는 확인되지 않았다. 이는 본 연구 대상 수목의 상·하부 간 미세서식 조건이 극단적으로 다르지 않았음을 의미하며, 해당 범위 내에서는 부착 위치가 석곡의 성장량에 뚜렷한 영향을 미치지 않았음을 보여준다.

한편 줄기 길이에 대한 이원 분산분석(Two-way ANOVA) 결과, Tree type과 Location 간 상호작용이 통계적으로 유의하게 나타났다. 이는 수종에 따라 위치에 대한 반응 패턴이 다소 상반되게 나타났음을 의미하며, Platycarya에서는 하부(lower)에서 다소 긴 줄기 길이를, Pinus에서는 상부(upper)에서 상대적으로 긴 줄기 길이를 보이는 교차 패턴이 관찰되었다. 다만 이러한 상호작용은 통계적으로는

유의하였으나, 평균 줄기 길이 차이는 매우 작은 수준으로 실제 생육에 미치는 영향은 제한적인 것으로 판단된다. 다시 말해, 특정 수종-위치 조합이 일반화할 수 있을 정도의 뚜렷한 차이를 보인 것은 아니며, 미세한 미소환경 차이가 통계적으로 포착된 수준으로 해석하는 것이 타당하다.

향후 추가적인 모니터링을 통해 수년간의 자료를 축적하고, 수피 수분함량, 광환경, 미세기상 등 세부 환경 요인을 함께 분석한다면, 본 연구에서 확인된 미세한 상호작용의 기작을 보다 명확하게 설명할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 본 연구는 단일 지역과 제한된 수종 조합(Pinus, Platycarya)을 대상으로 수행된 결과이므로, 다른 수종이나 지역에서도 동일한 패턴이 나타나는지에 대해서는 추가 검증이 필요하다.

아울러 본 연구에서는 줄기 수와 줄기 길이이라는 구조적 지표에 초점을 맞추어 분석을 수행하였으나, 향후 개화·결실 여부와 같은 번식 성공 지표, 생리적 스트레스 지표, 장기 생존률 등 기능적·재생산적 측면의 자료를 통합한다면 보다 입체적인 평가가 가능할 것이다. 그럼에도 불구하고 본 연구는 석곡의 성장 특성과 수종 및 부착 위치에 따른 반응을 정량적으로 제시함으로써, 향후 석곡 복원사업에서 이식 수종 선정, 식재 밀도 설정, 모니터링 지표 구성 등에 활용 가능한 기초자료를 제공한다는 점에서 의의를 가진다.

2) 가는동자꽃

가) 이식지의 계절별 식생 동태 및 경쟁 식물에 의한 생육 영향 분석

본 연구는 부산시 금정산 일원에 조성된 가는동자꽃 이식지(Site A 및 Site B)를 대상으로 방형구 내 식물사회학적 방법을 적용하여, 계절별 식생 변화와 가는동자꽃의 생육 반응을 분석하였다. 그 결과, 두 이식지 모두 봄과 초여름에는 가는동자꽃이 우점종으로 나타나 이식 이후 초기 정착 및 생육이 비교적 안정적으로 이루어졌음을 확인할 수 있었다. 이는 봄철 충분한 광 조건과 상대적으로 낮은 경쟁 압력이 가는동자꽃의 생육에 유리하게 작용한 결과로 해석된다.

그러나 여름철로 접어들면서 썩과 개망초를 중심으로 한 경쟁식물의 빠른 생장이 두 이식지 모두에서 관찰되었고, 이에 따라 가는동자꽃의 상대적 우점도는 감소하는 공통적인 경향을 보였다. 경쟁식물의 수고 증가와 피복 확대는 가는동자꽃의 광 이용을 제한하고, 동시에 토양수분 이용 측면에서도 불리한 조건을 형성한 것으로

로 판단된다. 특히 여름철 고온·다습한 환경에서는 경쟁식물이 가는동자꽃보다 성장 속도와 공간 점유 능력에서 우위를 보이며, 이러한 조건이 지속될 경우 장기적으로 가는동자꽃이 경쟁식물에 의해 피압될 가능성이 높아질 것으로 보인다.

Site A와 Site B는 식피율, 출현종수, 경쟁식물 구성에서 차이를 보였으나, 계절 변화에 따른 가는동자꽃의 생육 반응 양상은 전반적으로 유사하였다. 이는 가는동자꽃의 생육이 개별 이식지의 차이보다는 계절적 환경 요인과 경쟁식물의 성장 패턴에 더 크게 영향을 받는다는 점을 시사한다. 그럼에도 불구하고 두 이식지 모두에서 가는동자꽃이 여름철 경쟁 압력 증가 이후에도 완전히 소실되지 않고 지속적으로 출현한 점은, 이식 개체가 일정 수준 이상의 정착에는 성공하였음을 보여준다.

이러한 결과를 종합할 때, 가는동자꽃 이식지의 장기적인 유지와 보전을 위해서는 여름철 경쟁식물 관리가 핵심적인 관리 요소로 고려될 필요가 있다. 특히 썩과 개망초와 같이 빠른 성장을 보이는 종에 대해서는, 가는동자꽃의 생육 공간과 광환경을 확보하기 위한 선택적 관리가 요구된다. 또한 이식지 선정 시에는 봄철의 생육 적합성뿐만 아니라, 여름철 경쟁식물의 확산 가능성과 계절별 광·수분 환경 변화를 함께 고려하는 장기적인 관점이 필요하다.

아울러 가는동자꽃과 같이 특정 종을 대상으로 한 이식 및 모니터링 연구에서는, 전통적인 군락 중심 식생조사에서 나아가 타겟 종 중심의 미소서식지 분석이 병행되어야 할 것이다. 단기적인 생육 저하를 이식 실패로 판단하기보다는, 계절적 변동성을 고려한 반복 모니터링을 통해 정착 여부를 평가하는 접근이 필요하며, 본 연구 결과는 향후 가는동자꽃 이식지 관리 및 추가 이식 대상지 선정에 있어 경쟁 압력이 낮고 계절 변화에 대한 완충 능력을 갖춘 환경을 우선적으로 고려해야 함을 시사한다.

3) 나도풍란

가) 나도풍란 복원지의 시기별 생태 변화

나도풍란 이식 직후 해충 피해로 인한 초기 고사가 나타나는 경향을 확인하였다. 특히 sites 1-3에서는 이식한 해(2021년) 여름철에 수검은줄점불나방 유충이 대량 발생하여 나도풍란 초기 생존율 감소에 영향을 미쳤을 것으로 추정된다. 이는 Tremblay (2006)가 초식동물 섭식 피해가 착생란 *Sarcophilus australis*의 생존율에

미치는 영향이 미미할 것으로 예상한 것과는 대조적이다. 따라서 나도풍란의 이식 시기를 등 장마철이 지나 해충 밀도가 감소하는 시기로 변경하거나 이식지 조성 직후 해충 방제 조치를 병행하는 등의 방안이 필요할 것으로 판단된다. 실제로 가거도에 조성한 sites 4-5의 경우 해충 활동이 비교적 적은 9월에 이식함으로써 해충 피해를 줄이고 이식 당해 동절기에 고사하는 개체수를 sites 1-3 대비 크게 감소시킬 수 있었다.

그러나 2025년 11월 조사 결과 sites 4-5에서도 많은 수의 나도풍란이 고사한 것으로 나타났다. 대부분의 고사 개체가 과도하게 그늘진 곳에 있어 새로운 잎을 생성하지 못하였던 반면 생존 개체는 매일 1~2시간가량 햇빛이 드는 미소환경에 있었던 점을 고려하면, 난대상록수림으로서 매우 그늘진 본 나도풍란 이식지에서는 빛 유효도가 나도풍란 생육의 제한요인으로 작용하는 것으로 추정된다. 따라서 나도풍란 이식 개체의 중·장기적 생존율을 높이는 데에는 초기 해충 피해를 경감시키는 것뿐만 아니라 광량 등 미기후 조건이 적합한 위치를 선정하는 것이 중요할 것으로 판단된다.

4) 큰바늘꽃

가) 신규 이식 및 모니터링 체계 구축

당해연도 연구를 통하여 청송군 주방천에 큰바늘꽃 시험 이식지를 조성하고 모니터링에 착수하였다. 2025년 10월 기준 생존율은 68%이며, 유성생식 및 무성생식 흔적이 확인되는 등 초기 활착이 이루어지고 있는 것을 확인 가능하였다. 또한 집중호우로 하천 수위가 높아진 상황에서도 이식지가 소실되지 않는 것을 확인하여, 이식 부지 선정이 적절히 이루어진 것으로 판단된다. 향후 장기 모니터링을 통하여 큰바늘꽃 이식 개체의 월동 성공율 및 장기적 생존율, 잠재적 위협요인 및 하천 내 확산 경향성 등을 조사할 예정이다.

라. 종합 제언

1) 유전적 다양성 확보 및 복원 전략의 고도화

가) 종별 유전적 다양성 확보 현황 및 미래 방안

본 연구에서 다룬 석곡, 금자란, 나도풍란 등 멸종위기종의 복원은 단순히 개체 수를 늘리는 것을 넘어, 변화하는 환경에 적응할 수 있는 유전적 다양성(Genetic Diversity)을 확보하는 것이 필수적이다. 현재까지의 증식 연구는 주로 특정 우수 개체나 제한된 시료로부터 유도된 개체의 증식에 의존하는 경향이 있어, 장기적으로는 자생지 내 유전적 부동(Genetic drift)이나 근친교배에 따른 적응도 저하가 우려되는 실정이다. 따라서 장기적 복원 전략에서는 자생지별 유전적 구조 분석을 선행하여, 서로 다른 유전자형을 가진 개체군을 확보하고 이들 간의 인공 교배를 통한 유전적 보강(Genetic augmentation)이 이루어져야 한다. 특히 기후변화에 대비하여 온도나 습도 변화에 내성을 가진 다양한 생태형(Ecotype)을 체계적으로 수집하고 보존함으로써, 미래의 예측 불가능한 환경 변동성에 유연하게 대응할 수 있는 유전적 기반을 마련해야 한다.

나) 이식 적응력 확보를 위한 순화 환경 구명 및 최적 배지 연구

실험실 내 무균 배양을 통해 증식된 유묘가 야생 현장에서 직면하는 가장 큰 장벽은 급격한 환경 변화에 따른 이식 스트레스이다. 이를 극복하기 위해 현장 투입 전 적응력 극대화(Hardening-off)를 위한 체계적인 연구가 병행되어야 한다. 나도풍란 사례에서 나타난 광량 부족에 의한 고사나 애기송이풀의 생리적 휴면 특성을 고려할 때, 이식 전 단계에서 자생지의 미기후(광도, 온·습도, 광조건, 바람 등)를 정밀하게 모사한 단계별 순화 공정 확립이 시급하다.

또한 금자란 연구에서 Hyponex 배지와 바나나 균질물이 유묘 생장에 탁월한 효과를 보였듯, 이식 초기 정착을 돕는 종 특이적 혼합상토 및 활착 보조 배지에 대한 후속 연구가 필요하다. 특히 토양 미생물이나 공생 균근균(Mycorrhiza)을 포함한 혼합상토 연구는 이식 개체의 영양 흡수와 병해충 저항성을 높여 멸종위기식물의 초기 생존율을 획기적으로 향상시킬 수 있는 기반이 될 것이다.

참 고 문 헌

- 강은수, 이수광, 오승환, 김동갑, 정수영, 손동찬 (2020). 국내 외래식물의 현황. 한국식물분류학회지, 50(2), 89-119.
- 심윤진, 박용수, 장래하, 윤영준, 김선령, 한승현. (2020). 멸종위기 야생생물 I급 나도풍란의 서식지 적합성 지수(HSI) 개발 - 다도해해상국립공원을 중심으로-. 한국도서연구, 32(1), 153-172.
- Baskin, C. C., & Baskin, J. M. (2014). Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination (2nd ed.). Elsevier/Academic Press.
- Baskin, J. M., & Baskin, C. C. (2004). A classification system for seed dormancy. Seed Science Research, 14, 1 - 16.
- Benzing, D. H. (1990). Vascular Epiphytes: General Biology and Related Biota. Cambridge University Press.
- Braun-Blanquet, J. (1964). Pflanzensoziologie: Grundzüge der Vegetationskunde. Springer-Verlag.
- Kim, J. S., Kim, T. Y., Kim, J. H., et al. (2019). Checklist of Vascular Plants in Korea. Korea National Arboretum.
- Kim, J. W. (1992). Vegetation of Korea. Academy Press.
- Lee, W. T. (1980). Illustrated Flora of Korea. Hyangmunsa.
- Lee, W. T. (1996a). Coloured Standard Illustrations of Korean Plants. Academy Press.
- Lee, W. T. (1996b). Lineamenta Florae Koreae. Academy Press.
- Lee, W. T., & Yim, Y. J. (1978). Studies on the distribution of vascular plants in the Korean Peninsula. Journal of Korean Ecology, 1, 1 - 14.
- Lee, Y. N. (2003). Flora of Korea. Kyo-Hak Publishing.
- Lee, Y. N. (2006). New Flora of Korea. Kyo-Hak Publishing.
- McAlpine, J. F., Peterson, B. V., Shewell, G. E., Teskey, H. J., Vockeroth, J. R., & Wood, D. M. (1981). Manual of Nearctic Diptera (Vols. 1-3). Agriculture Canada.
- Ministry of the Environment, Japan. (2019). Red list 2019. Retrieved November 25, 2025, from <https://www.env.go.jp/press/106383.html>
- Mueller-Dombois, D., & Ellenberg, H. (1974). Aims and Methods of Vegetation Ecology. John Wiley & Sons.
- Nikolaeva, M. G. (1977). Factors controlling the seed dormancy pattern. In A. A. Khan (Ed.), The Physiology and Biochemistry of Seed Dormancy and Germination (pp. 51 - 74). North-Holland Publishing.
- Park, H. B., et al. (2024). Classification of seed dormancy in *Pedicularis hallaisanensis* Hurusawa: An endemic and endangered species native to Korea. Horticulturae, 10(11), 1188.
- Qin, H., Yang, Y., Dong, S., et al. (2017). Threatened species list of China's higher plants. Biodiversity Science, 25, 696-744.
- Tremblay, R. L. (2006). The effect of population structure, plant size, herbivory and reproductive potential on effective population size in the temperate epiphytic orchid, *Sarcochilus australis*. Cunninghamia, 9, 529-535.
- Triplehorn, C. A., & Johnson, N. F. (2005). Borror and DeLong's Introduction to the Study

of Insects (7th ed.). Thomson Brooks/Cole.

Yang, L. E., Peng, D. L., Li, Z. M., Huang, L., Yang, J., & Sun, H. (2020). Cold stratification, temperature, light, GA3, and KNO3 effects on seed germination of *Primula besiana* from Yunnan, China. *Plant Diversity*, 42, 168 - 173.

Yim, Y. J., & Kira, T. (1975). Distribution of forest vegetation and climate in the Korean Peninsula. *Japanese Journal of Ecology*, 25, 77 - 88.

Zotz, G., & Hietz, P. (2001). The physiological ecology of vascular epiphytes: current knowledge, open questions. *Journal of Experimental Botany*, 52(364), 2067 - 2078.

멸종위기식물의 생태 및 증식복원 연구('25)

Studies of the Ecological Properties, Propagation, and Restoration of Endangered Plants

발행일 2026. 1. 31.

발행인 조도순

발생처 국립생태원(충청남도 서천군 마서면 금강로 1210)

참여연구자: 김영중, 이창우, 황정은, 김성준, 박환준, 박형빈, 이유빈

문의 054-680-7282

홈페이지 www.nie.re.kr

제작 (사)에스디워크 동행

ISBN 979-11-6698-839-4(93480)

© 국립생태원

이 책은 저작권법에 의해 보호를 받는 저작물이므로 무단 전재와 무단 복제를 할 수 없습니다.



NIE-B-2025-49

멸종위기식물의 생체 및 유전체 연구 (25)



국립생태원