

연구보고서(연차)

NIE-B-2022-49

복원대상지 방사·이식 후 개체적응 및 생태환경변화 모니터링('22)

Individual adaptation and ecological environmental
change monitoring in the restoration target site('22)

NATIONAL
INSTITUTE OF ECOLOGY

NIE-B-2022-49

복원대상지 방사·이식 후 개체적응 및 생태환경변화 모니터링('22)

국립생태원



연구보고서(연차)

NIE-B-2022-49

복원대상지 방사·이식 후 개체적응 및 생태환경변화 모니터링('22)

Individual adaptation and ecological environmental
change monitoring in the restoration target site('22)

NATIONAL
INSTITUTE OF ECOLOGY

복원대상지 방사·이식 후 개체적응 및 생태환경변화 모니터링

Individual adaptation and ecological environmental change monitoring
in the restoration target site

멸종위기종복원센터 복원연구실

김남영, 이창우, 이병두, 김성준, 박환준, 강승구, 황종경, 이유영, 강동원,
박창득, 권관익, 유정우, 김영중, 윤창만, 김진영, 김황, 차덕재, 유인성

2022

국립생태원

National Institute of Ecology

연구진

김남영
Nam-Young Kim

책임연구원(연구책임)

이창우
Chang-Woo Lee

차장(연구부책임)

이병두
Byoung-Doo Lee

복원연구실 식물팀
Restoration Research Team
(Plants)

선임연구원

김성준
Seongjun Kim

전임연구원

박환준
Hwan-Joon Park

전임연구원

강승구
Seung-Gu Kang

선임연구원

황종경
Jong-Kyeong Hwang

복원연구실 조류팀
Restoration Research Team
(Ornithological Team)

전임연구원

이유영
Yu-Young Lee

전문위원

강동원
Dong-Won Kang

전임연구원

박창득
Chang-Deuk Park

복원연구실 어류·양서파충류팀
Restoration Research Team
(Fishes / Amphibians & Reptiles)

전임연구원

권관익
Kwan-Ik Kwon

전임연구원

유평우
Jeong-Woo Yoo

전임연구원

김영중
Young-Joong Kim

선임연구원

윤창만
Changmann Yoon

선임연구원

김진영
Jin Young Kim

복원연구실 곤충·무척추동물팀
Restoration Research Team
(Insects / Invertebrates)

전임연구원

김황
Hwang Kim

전임연구원

차덕재
Deokjae Cha

전임연구원

유인성
In-sung Yoo

전문위원

요 약 문

「복원대상지 방사·이식 후 개체적응 및 생태환경변화 모니터링」과제는 환경부 「멸종위기 야생생물 보전 종합계획(‘18~‘27년)」에 따른 서식지 특성 기반 증식, 방사, 사후평가 등 복원 절차에 따른 가이드라인 수립을 목적으로 한다. 당년도(2년차) 고유과제로 수행되었으며 총 5년간(‘21~ ‘25) 지속적으로 연구가 수행된다.

‘22년에 연구는 총 7분류군(조류, 어류, 양서류, 파충류, 곤충, 무척추동물, 식물) 10종(양비둘기, 꼬치동자개, 줍수수치, 금개구리, 구렁이, 남생이, 소뿔구리, 참달팽이, 나도풍란, 가는동자꽃)을 대상으로 수행되었다.

조류는 멸종위기Ⅱ급 양비둘기 인위적 이주(구례→고흥) 개체의 환경적응 검증을 위하여 고흥지역에 방사한 결과 새로운 서식지에서 환경적응 후 첫 번식에 성공하였으며, 유조 2개체가 안전하게 이소한 것을 확인하였다. 어류는 멸종위기Ⅰ급 꼬치동자개, 줍수수치를 대상으로 연구가 수행되었다. 우선 꼬치동자개의 경우 ‘21년 방류 개체의 번식 활동이 확인 되었으며 PIT tag 활용한 연구의 효율성이 입증되었다. 줍수수치는 자생지에 1,000개체 방류하였고 방류개체와 자생개체의 모니터링 연구가 수행되었다. 양서류는 멸종위기Ⅱ급 금개구리를 대상으로 연구가 수행되었다. ‘20년 방사 지역인 서천군 국립생태원 수생식물원 일대에서 포획, 청음, 목견 등을 통해 총 237개체 서식을 확인하였다. 매년 번식이 이루어지고 있으며 방사 개체의 성공적인 정착이 이루어지는 것으로 판단되었다. 파충류는 멸종위기Ⅱ급 구렁이, 남생이를 대상으로 연구가 수행되었다. 우선 구렁이는 총 3개체를 멸종위기종복원센터 부지에 방사하였으며 모니터링 결과 자연환경에 안정적으로 정착하는 것으로 나타났다. 남생이는 포획된 12개체에 GPS 발신기를 부착하여 방사 후 모니터링 연구가 진행되었으며 파충류 추적연구의 효율성을 검증하였다. 무척추동물은 멸종위기Ⅱ급 참달팽이를 대상으로 연구가 수행되었다. ‘21년 방사 개체의 생존율은 54%이며 야생에 적응하여 생존하는 것으로 확인되었다. 곤충은 멸종위기Ⅱ급 소뿔구리를 대상으로 연구가 수행되었다. 야외부지를 선정하고 국내 생태환경 적응성에 대한 연구를 수행하였으며 안정적으로 동면까지 진입하는 것을 확인하였다. 식물은 멸종위기Ⅰ급 나도풍란, Ⅱ급 가는동자꽃을 대상으로 연구가 수행되었다. 우선 나도풍란은 ‘21년 시험이식 150개체 가운데 총 4개체의 생존이 확인되었으며 향후 성공적 복원을 위한 환경정보가 구축되었다. 가는동자꽃은 부산 금정산에 54개체가 시험이식 되었으며 25개체가 생존하는 것으로 확인되었다. 이식 개체는 무기환경, 식생 등에 영향을 받는 것으로 나타났다.

목 차

요약문	i
목 차	iii
표목차	iv
그림목차	vi
ABSTRACT	ix
 I. 서론	 1
I. 멸종위기 조류 방사 후 개체적응 및 생태환경변화 연구	2
1. 고흥 양비둘기 방사 후 모니터링 연구	2
II. 멸종위기 어류 방류 후 개체적응 및 생태환경변화 연구	10
1. 꼬치동자개 개체군 이동, 분산, 정착 연구	10
2. 좁수수치 개체군 분산, 정착 연구	22
III. 멸종위기 양서파충류 방사 후 개체적응 및 생태환경변화 연구	32
1. 금개구리 방사 후 모니터링 연구	32
2. 구렁이 방사 및 방사 후 모니터링 연구	40
3. 남생이 방사 후 모니터링 연구	46
IV. 멸종위기 곤충 무척추동물 방사 개체적응 및 생태환경변화 모니터링	52
1. 멸종위기 참달팽이 방사 개체 야생적응 연구	52
2. 소뿔구리 몽골 개체군 도입 및 환경 적응성 연구	68
V. 멸종위기 식물 이식 후 개체적응 및 생태환경변화 연구	86
1. 나도풍란 시험이식지 생존, 생장, 환경, 위협요인 연구	86
2. 가는동자꽃 시험이식지 생존, 생장, 환경, 위협요인 연구	98
X. 참고문헌	111

표 목 차

표. I-1-(1). 2022년 양비둘기 방사개체 정보	4
표. I-1-(2). 2022년 양비둘기 방사 후 모니터링 일정	5
표. I-1-(3). 2022년 양비둘기 방사 후 모니터링 결과	6
표. I-1-(4). 2022년 양비둘기(ID 0285)의 행동권 면적 분석 결과	6
표. I-1-(5). 2022년 양비둘기(ID 0285)의 서식지 이용 및 번식활동	8
표. II-1-(1). 꼬치동자개 과 방류 사례	13
표. II-1-(2). 2022년 꼬치동자개 방류 하천 및 일시	14
표. II-1-(3). 2022년 꼬치동자개 방류지 위치정보	14
표. II-1-(4). PIT tag 활용 꼬치동자개 방류 후 모니터링 결과(가야천)	16
표. II-1-(5). PIT tag 활용 꼬치동자개 방류 후 모니터링 결과('21년 방류 개체)	16
표. II-1-(6). 방류지점 기점 꼬치동자개 최대 확산 거리	19
표. II-1-(7). 방류지점 기점 꼬치동자개 이동 거리	19
표. II-2-(1). 2022년 줌수수치 방류 후 모니터링 일시	23
표. II-2-(2). 줌수수치 복원을 위한 과거 방류 사례	24
표. II-2-(3). 2022년 줌수수치 방류 현황	24
표. II-2-(4). 2022년 줌수수치 모니터링 결과	29
표. II-2-(5). 자연집단 서식지 내 관찰된 줌수수치 현황	30
표. III-1-(1). 금개구리 모니터링 일자	33
표. III-1-(2). 금개구리 모니터링 결과	37
표. III-1-(3). 복원성공평가 지표 유형	39
표. III-2-(1). 구렁이 모니터링 일자	43
표. III-2-(2). 구렁이 모니터링 결과	44
표. III-3-(1). 남생이 서식지별 포획날짜 및 포획 시도 횟수	47
표. III-3-(2). 남생이 서식지별 포획날짜 및 포획 개체수	48
표. III-3-(3). GPS발신기 부착 후 방사한 남생이의 정보	48
표. IV-1-(1). 참달팽이 방사 후보군 사육조건	53
표. IV-1-(2). 참달팽이 방사 연구 관련 관계기관 허가사항	54

표. IV-1-(3). 참달팽이 방사지 선정기준	56
표. IV-1-(4). 아프리카왕달팽이 PIT-tag 발신기 사전 적용 실험 결과	59
표. IV-1-(5). 참달팽이 방사지 선정기준	63
표. IV-1-(6). 참달팽이 인공증식 및 야생개체의 방사 후 현황(생존 및 성장률)	64
표. IV-1-(7). 인공증식 및 야생개체의 초기 각경, 차수, 성장률, 생존율 및 고유식별 코드	65
표. IV-2-(1). 소똥구리 채집지	70
표. IV-2-(2). 소똥구리 서식환경 조사지	72
표. IV-2-(3). 야외모니터링케이지 내 원형케이지 상세정보	74
표. IV-2-(4). 야외 모니터링 후보지 항목별 점수표	77
표. IV-2-(5). 몽골의 내 소똥구리 서식지 6곳의 서식환경 정보	81
표. V-1-(1). 나도풍란 시험이식 지점별 환경 조건	87
표. V-1-(2). 시험이식 전 지점별 나도풍란 초기 값($p > 0.05$)	90
표. V-1-(3). 시험이식 지점 환경정보(*은 중요 관측항목)	92
표. V-2-(1). 가는동자꽃 시험이식 개체의 초기 크기	99
표. V-2-(2). 토양환경측정센서 제원	103
표. V-2-(3). 이식지 무기환경, 식생 통계분석 자료(중풍부도 제외 유의성 확인)	106
표. V-2-(4). 식생과 무기환경 상관관계	106
표. V-2-(5). 이식 개체 그룹분석 자료	107

그 립 목 차

그림. I-1-(1). 연방사장 조성 및 양비둘기 입식 현황	3
그림. I-1-(2). 위치추적기(좌) 및 개체식별 금속가락지 부착(우)	4
그림. I-1-(3). 양비둘기 연방사 전경(좌) 및 방사된 암수 모습(우)	4
그림. I-1-(4). 양비둘기(ID 0285) 행동권(95% Kernel 5.74km ²), 번식기	7
그림. I-1-(5). 양비둘기(ID 0285) 행동권(95% Kernel 6.71km ²), 번식기 후	7
그림. I-1-(6). 양비둘기 번식 암초(좌) 및 번식 굴 내부에서 관찰된 유조(우)	8
그림. II-1-(1). 꼬치동자개 방류 및 모니터링 전반 과정	11
그림. II-1-(2). 휴대용 PIT tag 수신기 활용 꼬치동자개 모니터링	12
그림. II-1-(3). 무선개체식별장치 삽입 및 고유식별번호 확인	13
그림. II-1-(4). 꼬치동자개 방류(경북 고령군 가야천)	14
그림. II-1-(5). PIT tag 활용 꼬치동자개 방류 후 모니터링 결과(가야천)	15
그림. II-1-(6). 방류 개체 재포획 성공 및 산란 참여 확인	17
그림. II-1-(7). '22년 방류 개체 모니터링 결과(가야천)	17
그림. II-1-(8). '22년 방류 개체 모니터링 결과(대가천)	18
그림. II-1-(9). '22년 방류 개체 모니터링 결과(자호천)	18
그림. II-1-(10). 꼬치동자개 방류 후 확산 거리(2년 차)	19
그림. II-1-(11). 꼬치동자개 방류 후 이동 정보(모니터링 2년 차)	19
그림. II-1-(12). 꼬치동자개 방류지 훼손 현장(2022년 11월)	21
그림. II-2-(1). 2022년 줌수수치 방류지 및 모니터링 지점	23
그림. II-2-(2). 2022년 줌수수치 방류	24
그림. II-2-(3). 줌수수치 모니터링 지점 전경(2022년 6월)	25
그림. II-2-(4). 줌수수치 모니터링 지점 전경(2022년 8월)	25
그림. II-2-(5). 줌수수치 모니터링 지점 전경(2022년 9월)	26
그림. II-2-(6). 방류지 상류 20m 인위적 유로변경	27
그림. II-2-(7). 줌수수치 모니터링 지점 전경(2022년 10월)	28
그림. II-2-(8). 방류지 상류 인위적 유로변경(2022년 10월)	28
그림. II-2-(9). 줌수수치 모니터링 지점 전경(2022년 11월)	29

그림. II-2-(10). 고읍천 줍수수치 집단서식지 발견지점	30
그림. II-2-(11). 방류지 상류에 있는 줍수수치 자연집단 서식지 발견지점	31
그림. III-1-(1). 금개구리 모니터링 대상지(국립생태원 수생식물원)	34
그림. III-1-(2). 금개구리 모니터링 결과	36
그림. III-1-(3). 금개구리 모니터링	38
그림. III-2-(1). 멸종위기 파충류 II급 구렁이	41
그림. III-2-(2). Radio tag를 이용한 파충류 모니터링	42
그림. III-2-(3). 구렁이 발신기 삽입 과정	42
그림. III-2-(4). 구렁이 방사 및 모니터링	43
그림. III-2-(5). 구렁이 이동 경향 및 행동권	44
그림. III-3-(1). 자체 제작 포획용 틀(좌) 및 설치 모습(우)	46
그림. III-3-(2). GPS 발신기(좌) 및 남생이 등갑 부착 모습(우)	47
그림. III-3-(3). 남생이의 저수지 간 이동(암컷성체, 6월)	49
그림. III-3-(4). 암컷성체(YAWL 10480)개체의 8월 위치좌표	49
그림. III-3-(5). 암컷성체(YAWL 10480)개체의 6월(원)부터 9월(오)까지 위치좌표	50
그림. IV-1-(1). 참달팽이 사육 관리를 위한 시설 및 먹이 급이 방법	53
그림. IV-1-(2). 아프리카왕달팽이 PIT-tag 사전 실험	55
그림. IV-1-(3). 참달팽이 방사 후보지 유형(상단) 및 위치정보(하단)	57
그림. IV-1-(4). PIT-Tag을 이용한 참달팽이 모니터링 예시	58
그림. IV-1-(5). 참달팽이 조사지점 A1 전경	61
그림. IV-1-(6). 참달팽이 조사지점 A2 전경	61
그림. IV-1-(7). 참달팽이 조사지점 A3 전경	62
그림. IV-1-(8). 참달팽이 조사지점 A4 전경	63
그림. IV-1-(9). 참달팽이 방사관련 사진	67
그림. IV-2-(1). 야외 모니터링 시설 후보지	68
그림. IV-2-(2). 야외 모니터링 시설 외부(좌) 및 내부(우) 도안	69
그림. IV-2-(3). 소똥구리 채집지(좌), 소똥구리 채집하는 모습(우)	70
그림. IV-2-(4). 국립생태원-몽골국립대학교 간 Mou 체결	71
그림. IV-2-(5). 소똥구리 도입을 위한 법적·행정적 절차	71
그림. IV-2-(6). 향온항습실에서 개체군 안정화 과정(좌)과 먹이 섭식 중인 소똥구리(우)	73

그림. IV-2-(7). 야외 모니터링 캐이지로 옮기는 모습(좌)과 원형캐이지 내부에서 활동 중인 소똥구리(우)	73
그림. IV-2-(8). 야외 모니터링캐이지 전경(좌), 흑한기 대비 벧짚거적을 덮어 놓은 모습(우)	75
그림. IV-2-(9). 검역소(좌)와 곤충온실 옆(우)	75
그림. IV-2-(10). 조류번식장 맞은편(좌)와 마사 올타리 안(우)	76
그림. IV-2-(11). 야외 모니터링시설 부지 전경	77
그림. IV-2-(12). 야외 모니터링시설 굴토 및 복토과정	78
그림. IV-2-(13). 야외 모니터링캐이지 조립 및 지붕작업	79
그림. IV-2-(14). 야외 모니터링캐이지 내부 모습	79
그림. IV-2-(15). 도입된 소똥구리(좌)와 소똥구리 건강상태 확인과정(우)	80
그림. IV-2-(16). 먹이를 섭식하고 있는 소똥구리(좌)와 비행 행동을 하는 소똥구리(우)	84
그림. IV-2-(17). 시기별 소똥구리 활동개체수 변화와 영양군의 기상정보	84
그림. V-1-(1). 나도풍란 시험이식 지역(상단) 및 이식지점 설계(하단)	88
그림. V-1-(2). 온실 순화(1), 이식(2), 일련번호 관리(3), 이식지 환경센서 설치(4)	89
그림. V-1-(3). 시험이식지 위치(상단) 및 세부 입지별 이식방법(하단)	90
그림. V-1-(4). 12개월 후 확인된 개화 1개체(좌:꽃 형성, 우: 결실실패)	93
그림. V-1-(5). 나도풍란 초기 생육의 지점 간 차이	94
그림. V-1-(6). 6개월 후 생존율과 초기 크기 및 해충 피해율 간 관련성	95
그림. V-1-(7). 12개월 후 생존율과 초기 크기 및 해충 피해율 간 관련성	95
그림. V-1-(8). 2021년 대비 2022년 봄철 상대습도	96
그림. V-2-(1). 가는동자꽃 종자 도입 및 증식	99
그림. V-2-(2). 가는동자꽃 이식 개체	100
그림. V-2-(3). 가는동자꽃 시험이식 후보지 및 최종 이식지	101
그림. V-2-(4). 가는동자꽃 시험이식지 전경 및 이식방법	101
그림. V-2-(5). 이식지 유형 및 이식 전 가는동자꽃(1:상부, 2:중부, 3: 하부, 4:개체)	102
그림. V-2-(6). 가는동자꽃 식별번호 부여 및 시험이식	102
그림. V-2-(7). 이식지 기온 및 상대습도	105
그림. V-2-(8). 시험 이식지 개화(좌) 및 결실 개체(우)	107
그림. V-2-(9). 가는동자꽃 생육 영향인자 분석(좌: RDA, 우: variation partitioning)	108
그림. V-2-(10). 가는동자꽃 초장과 무기환경 관계(좌: 토양 함수율, 우: 광량)	109
그림. V-2-(11). 가는동자꽃 생존율 대비 무기환경 및 식생 조건	109

Abstract

In 2022, a total of 7 taxa(birds, fish, amphibians, reptiles, insects, invertebrates, plants) and 10 species were studied.

(birds) As a result of natural release to verify the environmental adaptation of the migrants of *Columba rupestris*, they adapted to the environment in the new habitat and succeeded in breeding for the first time. It was also confirmed that two young birds were safely transferred.

(Fishes) Two species of fish (*Pseudobagrus brevicorpus* and *Kichulchoia brevifasciata*) were studied. In the case of *P. brevicorpus*, the breeding activity of individuals released in 2021 was confirmed, and the efficiency of research using the PIT tag was proven. *K. brevifasciata* released 1,000 individuals to its native habitat in 2022, and monitoring studies were conducted on the released individuals and native individuals.

(Amphibians) An ecological study was conducted on *Pelophylax chosonicus*. A total of 237 individuals were confirmed to live in the Aquatic Botanical Garden of the National Institute of Ecology in Seocheon-gun, which was released in 2020, through capture, sound, and observation.

Breeds every year, and released individuals have been confirmed to be living in nature.

(Reptiles) *Elaphe schrenckii* and *Mauremys reevesii* were studied. A total of three *E. schrenckii* were released to the site of the Endangered Species Restoration Center, and as a result of monitoring, they were found to live stably in the natural environment. *M. reevesii* were released into the wetland with GPS transmitters attached to 12 captured individuals. As a result of the monitoring study, the GPS transmitter proved to be effective for reptile tracking research.

(Invertebrates) In order to determine whether *K. koreana* (F1) raised in indoor breeding room can adapt to the wild environment, a total of 40 (20 captive propagation and 20 wild) were released in the original habitat of Hongdo Island. The survival rate of wild was 64%, slightly higher than that of captive propagation individuals (54%), but there was no significant difference. The growth rate of captive propagation individuals was 6.7%, 0.8%p higher than wild individuals (5.9%). Although there was no clear difference in the growth rate of captive propagation and wild individuals, it was confirmed that captive propagation individuals could adapt to the wild and survive.

(Insects) In this study, we assessed whether Mongolian dung beetles introduced into South Korea can adapt to the domestic environmental conditions. We chose an optimal site and installed cages for the field monitoring of dung beetles. Our observations showed that the most of introduced *G. mopsus* adults can adapt to domestic condition, and they are naturally entered hibernation without any problems.

(Plants) Two species of plants (*Sedirea japonica* and *Lychnis kiusiana*) were studied. Of the 150 *S. japonica* transplanted in 2021, the survival of a total of 4 individuals was confirmed, and environmental information was established for successful restoration in the future. In 2022, 54 *L. kiusiana* were transplanted to Mt. Geumjeong, Busan, and 25 were confirmed to survive. The survival and growth of the transplanted plants were found to be affected by inorganic environment and vegetation.

I. 서론

현재 한반도는 기후변화, 개발 등으로 인해 야생에서 살아가는 생물의 서식처가 감소하고 멸종위기 지정 종수는 점점 증가하는 추세이다. 한반도의 소중한 생물을 보전하기 위해선 국가적 차원의 대응이 시급한 상황이며 종의 성공적인 복원을 위한 기초자료 구축이 필요한 시점이다.

과거 멸종위기종 관련 방사이식 사업 대부분은 자연환경에 놓아주는 것에 국한되어 해당 종이 어떻게 정착하여 살아가는지에 관한 연구가 부족하였다. 잘 정착하여 살아가는 종도 있지만, 천적, 질병, 먹이 부족 등 여러 부정적인 요인에 의해 사멸되는 종도 있었고 방사이식종의 추적할 수 없어 추후 연구가 진행되기 어려운 부분이 있었다.

본 사업의 목적은 멸종위기 생물의 단순 방사에 국한되지 않고 대상종이 살아가는 생태정보를 세세히 연구하고 추적하여 최종적으로 성공적인 복원에 활용하는 데 있다. 멸종위기종복원센터에서는 과제 출범 전인 ‘19년 저어새 및 금개구리 방사, ’ 20년 검은머리갈매기 방사를 자체적으로 수행한 바 있다.

「복원대상지 방사·이식 후 개체적응 및 생태환경변화 모니터링」은 ‘21년부터 시작된 신규과제로 멸종위기종복원센터(본부) 복원연구실에서 직접 수행하고 있는 핵심 기초연구사업이다. 그 내용은 멸종위기생물을 대상으로 개체의 복원, 서식지 내 성공적인 안착, 지속 가능한 보전방안을 마련하는데 목표를 두고 방사·이식 개체를 대상으로 연구를 수행한다.

본 연구의 결과는 환경부「멸종위기 야생생물 보전 종합계획(‘18~‘27년)」에 따른 서식지 특성 기반 증식, 방사, 사후평가 등 복원 절차에 따른 가이드라인 수립, 「야생생물 보호 및 관리에 관한 법률」 제13조(멸종위기 야생생물에 대한 보전대책의 수립 등)의 이행을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

I. 멸종위기 조류 방사 후 개체적응 및 생태환경변화 연구

1. 고흥 양비둘기 방사 후 모니터링 연구

가. 서론

환경부에서는 멸종위기 생물 중 보전을 위한 중장기 보전대책 마련을 위해 제3차 야생생물 보호 기본계획(' 16-' 20), 멸종위기 야생생물 보전 종합계획(' 18-' 27) 및 과제별 세부 이행계획을 수립하였다. 멸종위기 야생생물 복원 대상종 중 복원 가능성이 큰 25종이 우선 복원 대상종으로 선정되었고, 그중 조류는 저어새, 황새, 따오기, 양비둘기, 검은머리갈매기 등 5종이 선정되었다. 환경부 국립생물자원관에서 실시한 양비둘기 지역별 서식실태 정밀조사 자료(NIBR 2014; 2015; 2016)에 따르면 전남 구례군 및 고흥군에서 67개체(구례 38, 고흥 29)가 생존한 것으로 파악되었다. 그러나 고흥은 2015년 29개체가 기록된 이후 2022년 현재 10개체 미만으로 개체 수가 급감하여 고흥 집단의 개체군 복원이 시급한 상황이다. 또한 다른 지역으로 이동 등 감소 요인에 대해서도 조사가 필요하다.

본 개체군 시험방사 연구는 고흥 일대 양비둘기 개체군의 증식·복원을 목적으로 시행하였으며, 관계기관 간 협력을 통해 고흥 서식지 조사 및 계획 수립, 연방사장 운영, 방사 후 모니터링을 수행하였다. 모니터링 시, 위치추적기를 각 개체에 부착한 뒤 방사하여 서식지 적응과정을 관찰하였고 정밀한 야외 현장 조사를 병행하였다. 축적된 연구 결과는 향후 멸종위기종 양비둘기의 증식·복원을 위한 서식지 내 방사를 시행하면서 위험 요소를 사전에 차단하고, 안정적이고 성공적인 서식지 복원을 위한 중요한 기초자료로 활용될 수 있다.

나. 연구 내용 및 방법

(1) 방사대상 개체 확보 및 환경적응 훈련

구례 지역에서 양비둘기 2개체(수컷, 암컷 각 1개체)를 포획·확보 후 복원센터로 이송(5월 19일)하였다. 이송한 개체들의 안정화와 연방사(soft-releasing)를 위하여, 양비둘기를 복원센터 내 조류 사육장에서 약 2개월간(5월 19일부터 7월 18일까지) 사육환경 적응 기간을 갖게 하였다. 이후 고흥군 금산면 오천리에 소재한 연방사장 (soft-releasing cage)에 입식하여 약 5주간(7월 18일부터 8월 26일까지) 방사지 환경 적응 훈련을 시행하였다. 연방사장 전면의 가림막을 개방하여 인위적으로 이송된 개체가 외부 야생 환경을 접하고 야생 개체를 만날 수 있도록 환경을 조성하였다. 또한 방사 전 번식 쌍 형성 유도과 방사 후 고흥지역 내 안정적인 정착·번식을 위하여, 암수를 합사시켰다. 입식 후 양비둘기의 안정화를 위해 가능한 사람의 출입을 제한하였고, CCTV를 활용하여 양비둘기의 서식 현황을 점검하였다(그림 1-1-(1)).



연방사장 전경



연방사장 내부 시설



사육장 전면 가림막 개방 모습



입식 및 환경적응 훈련

그림. 1-1-(1). 연방사장 조성 및 양비둘기 입식 현황

(2) 양비둘기 방사

방사개체의 이동 경로 추적을 통한 서식지 이용 현황 및 환경적응 파악을 위한 현장 조사를 위하여, 위치추적기와 개체식별용 금속 및 유색 플라스틱 가락지를 부착하였다(표 1-1-(1)). 양비둘기의 평균 체중이 250g임을 고려하여 체중 대비 5%를 넘지 않는 Druid사의 Ommi(10g) 위치추적기를 등면에 부착하였다.

위치추적기 부착 후 방사 전까지 개체들의 건강 상태를 지속해서 점검하였다. 현지 환경적응 기간이 지난 후, 8월 26일에 출입문을 개방하여 양비둘기가 자율적으로 외부로 나가는 방식의 연방사를 진행하였다(그림 1-1-(2),(3)).

표 1-1-(1). 2022년 양비둘기 방사개체 정보

연번	성별	가락지 No.	위치추적기 ID	방사일	비고
1	암컷	070-00529	0285	'22.8.26.	구레에서 포획된 야생 개체
2	수컷	070-00530	02A0		



그림 1-1-(2). 위치추적기 부착(좌) 및 개체식별 금속가락지 부착(우)



그림 1-1-(3). 양비둘기 연방사 전경(좌) 및 방사된 암수 모습(우)

(3) 양비둘기 방사 후 모니터링

8월 26일(방사일)부터 12월 7일까지 연방사지를 중심으로 전남 고흥군 금산면 일대에서 방사 후 모니터링을 총 4회 수행하였다(표 1-1-(2)). 각 개체에 부착한 위치추적기 좌표 수신 데이터를 기반으로 이동 경로를 추적하며 현장 조사를 시행하였다. 또한 연방사장 출입구는 상시 개방하여, 방사된 개체가 둥지터 및 휴식처 또는 영소지로서 연방사장을 활용하는지와 개체의 생존 여부를 CCTV를 통해 확인하였다.

표. 1-1-(2). 2022년 양비둘기 방사 후 모니터링 일정

차수	모니터링 일자	모니터링 지역
1	'22.8.26	전남 고흥군 금산면 오천리
2	'22.9.14	전남 고흥군 금산면 오천리
3	'22.10.23-24	전남 고흥군 금산면 오천리
4	'22.12.6-7	전남 고흥군 금산면 오천리, 포두면 남성리

(4) 서식지 내 행동권 분석 및 핵심서식지 파악

일반적으로 행동권 분석에 이용되는 최소볼록다각형법(Minimum Convex Polygon, MCP)과 커널밀도특정법(Kernel Density Estimation: KDE)을 사용하였다. 최소볼록다각형법은 위치추적기를 통해 수신된 좌표들 가운데 최외각 좌표를 연결하여 볼록 다각형으로 면적을 산출하는 방법으로, 간혹 추적 개체들이 장거리로 이동한 좌표까지 포함되는 단점이 있다. 하지만 다른 개체와 비교 분석 시에 적합한 방법인 것으로 알려져 있다(조해진, 2015). 커널밀도특정법은 개체의 행동권 밀도분포를 선과 같은 곡선으로 표현하는 방법으로 KDE 95%는 일반적인 행동권, KDE 50%는 핵심 서식지로 알려져 있다(유승화 등, 2013). 방사개체의 행동권 파악을 위해 KDE 50%, 70%, 95% 면적을 산출하였으며 분석은 R 3.5.1(R Development Core Team, 2018)과 QGIS 3.26.3을 이용하여 분석하였다.

다. 연구 결과

(1) 방사 후 개체 모니터링

모니터링 결과, 방사 일주일 경과 후 방사한 2개체 중 수컷은 연방사장과 인접한 금산면 오천리 정수장에서 위치추적 수신이 조기 중단되었으나, 암컷의 경우 안정적으로 번식 활동하는 모습이 관찰되던 중 11월 23일을 마지막으로 포두면 남상리 논에서 수신 중단되었다(표 1-1-(3)). 수신 중단 원인은 기기 이상 또는 태양광 충전 차단으로 추정되지만, 정확한 원인은 불명확하다. 또한 방사된 개체가 연방사장으로 재출입하는 사례는 관찰되지 않았다.

표 1-1-(3). 2022년 양비둘기 방사 후 모니터링 결과

ID	성별	방사일	최종수신일	최종수신 장소	현황
02A0	수컷	'22.8.26.	'22.9.12.	금산면 오천리 정수장	조기 수신 중단
0285	암컷	'22.8.26.	'22.11.23.	포두면 남상리 논	번식 후 수신 중단

(2) 방사 후 행동권 분석

방사 후 위치추적기 수신이 조기 중단된 수컷(ID 02A0)을 제외하고, 수신 기간이 길었던 암컷(ID 0285)의 위치추적기 좌표 데이터를 기반으로 행동권을 분석하였다.

분석 결과, 번식기 Kernel 분석에서는 1.53km²(50%), 2.55km²(70%), 5.74km²(95%)를 서식지로 이용하였으며, MCP 분석에서는 10.64km²(95%)를 이용한 것으로 나타났다(표 1-1-(4), 그림 1-1-(4)). 번식기 이후 분석에서는 1.71km²(50%), 2.88km²(70%), 6.71km²(95%)를 이용하였으며, MCP 분석에서는 73.4km²(95%)를 이용하여 번식기 후 서식지 이용 면적이 크게 확대된 것으로 나타났다(그림 1-1-(5)).

표 1-1-(4). 2022년 방사된 양비둘기(ID 0285)의 행동권 면적 분석 결과

ID	KDE 50%(km ²)	KDE 70%(km ²)	KDE 95%(km ²)	MCP(km ²)	비고
0285	1.53	2.55	5.74	53.81	번식기(11.12까지)
	1.71	2.88	6.71	73.40	번식후(11.16까지)



그림. 1-1-(4). 방사된 양비둘기(ID 0285) 행동권(95% Kernel 5.74km²), 번식지

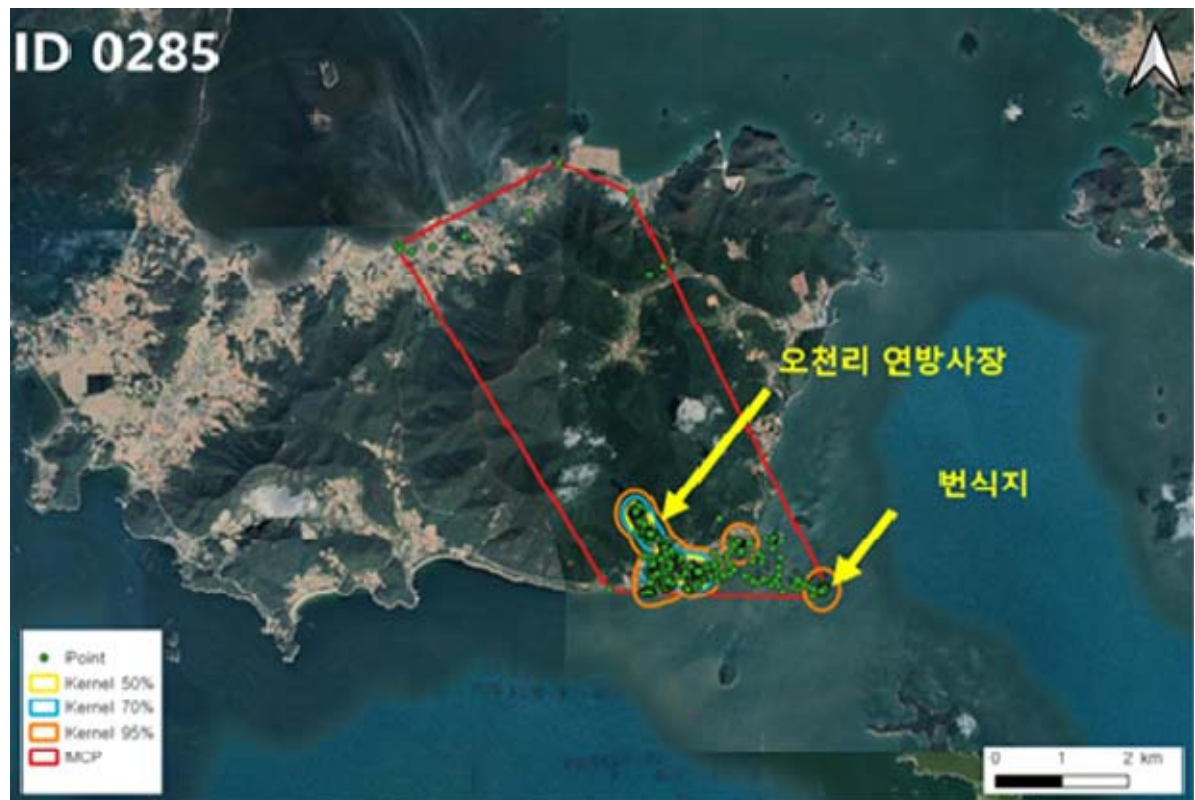


그림. 1-1-(5). 방사된 양비둘기(ID 0285) 행동권(95% Kernel 6.71km²), 번식지 후

(3) 서식지 환경적응 과정 및 번식 활동

방사한 2개체 중 암컷(ID 0285)의 경우, 고흥지역 야생 환경에 거의 완벽하게 적응하여 번식 활동까지 한 것을 확인할 수 있었다. 암컷은 8월 말 방사된 후 연방사장 인근 인공 구조물을 잠자리로 이용하다가, 9월 초부터 중순까지 서서히 활동 범위를 넓혀 오천항 인근 암초 지대로 휴식지를 옮긴 것이 관찰되었다. 이후 해안가 인근 바위섬의 굴(타포니)에서 자연번식 중인 암컷과 부화한 유조를 확인(10.23.)하였다. 관찰된 유조는 약 15일령의 성장상태로 보였으며, 어미새가 9월 20일경 산란을 하여 10월 8일에 부화 된 것으로 추정된다(그림 1-1-(6)). 유조 이소 후(11.10. 이소 추정) 금산면(거금도) 전체로 활동 범위를 넓혔으며, 최종수신일인 11월 23일에는 포두면 남성리 일대까지 신규 서식지가 최종 확대되었음을 확인하였다(표 1-1-(5)).

표 1-1-(5). 2022년 방사된 양비둘기(ID 0285)의 서식지 이용 및 번식활동

기간	서식지 이용 및 번식활동
방사-9.4.	방사장 인근 밭에서 먹이활동 및 시설물(오천수원지)을 잠자리로 이용
9.4-9.11.	해안가 바위 지대로 휴식지(잠자리) 이동
9.11.	오천항 인근 암초(고흥 개체군의 과거 번식지)의 휴식지(잠자리)로 이동
9.20.	산란 추정일(암초의 굴을 영소지로 이용)
10.8.	부화 추정일
10.23.	육추(약 15일령 유조 2개체) 확인
11.10.	유조 이소 추정
11.10-11.23	번식 후 금산면과 포두면 일대까지 활동 범위 크게 확대



그림. 1-1-(6). 양비둘기 번식 암초(좌) 및 번식 굴 내부에서 관찰된 유조(우)

라. 결론

고흥 양비둘기 방사 후 모니터링 연구는 고흥지역 번식 집단 개체수의 급감으로 인한 증식 및 복원연구가 시급한 상황에서 개체군의 보충을 통한 서식지 보전 및 안정화를 위해 시범적으로 시행되었다.

이번에 방사한 개체는 구례 지역에서 인위적으로 이주시킨 야생 개체로서 새로운 서식지에서 환경적응 및 회귀성 검증을 위하여 수행되었다. 위치추적기 부착에 의한 서식지 이용 분석 및 현장 조사한 결과 방사 후 약 1주일간은 방사장 인근 인공 구조물을 잠자리로 이용하였으나 이후부터는 해안 또는 암초 지대의 바위를 이용하였고, 주변 농경지를 먹이터로 이용하는 등 고흥 서식지에 정상적으로 적응한 것으로 나타났다. 또한, 개체들은 방사 전부터 ‘둥지 짓기’ 등 번식 활동을 이미 시작했던 번식 쌍으로 방사 후에도 번식 활동을 이어서 진행하였다. 둥지 유조의 성장상태로 보았을 때 방사 약 2주 후부터는 영소지를 찾아다니며 번식 활동을 했을 것으로 추정된다. 행동권 면적은 번식 활동 중에는 오천리 취식지와 해안 암초의 번식지 안에서 주로 서식하였으나(10.64km² (MCP 95%)), 번식이 끝난 후에는 금산면 전체로 활동 면적이 넓어졌으며(MCP 73.4km² (95%)), 이후 수신이 중단되어 정확한 원인을 알기 위해서는 추가적인 연구가 필요하다. 고흥 연방사장에서 방사한 2개체는 새로운 서식지에서 정착 후 첫 번식(산란, 부화, 유조 이소)에 성공함으로써 환경적응을 입증하였다. 인위적으로 이주한 개체의 자연번식 성공을 확인한 첫 사례로써, 이번 시범 연구를 통해 건강한 야생 개체군을 일부 이전하여 약화된 소규모 개체군을 증식할 수 있다는 것이 입증되었다. 또한 행동권 분석을 통해 확보된 서식지 이용 특성과 이동양상 등 생태정보는 향후 서식지 복원을 위한 기반 마련 및 기초자료로써 중요하게 활용될 것으로 생각된다.

II. 멸종위기 어류 방류 후 개체적응 및 생태환경변화 연구

1. 꼬치동자개 개체군 이동, 분산, 정착 연구

가. 서론

꼬치동자개(*Pseudobagrus brevicorpus*)는 메기목(Siluriformes) 동자개과(Bagridae)에 속하며 몸길이 약 10cm 내외의 소형어류이다. 물이 맑고 바닥에 자갈이나 큰 돌이 있는 하천의 중·상류에 서식하며 야행성 어류로 주로 밤에 수서곤충 등을 섭식한다. 낙동강 수계에 서식하고 있는 우리나라 고유종으로 과거 낙동강 수계에 비교적 넓게 분포하였으나 현재는 남강, 자호천, 대가천 등 일부 하천에서만 확인되고 있어 출현지역이 크게 감소하고 있는 것으로 나타난다(채 등, 2019; 멸종위기 야생생물 포털).

수질 오염, 하천 정비 등으로 인한 서식처 훼손으로 지난 2012년 멸종위기 야생생물 I 급으로 지정되어 보호받고 있으며, 한국적색목록에 <멸종우려 범주(Threatened categories)-위기(EN)>로 평가되어있다(국립생물자원관, 2019). 한편 문화재청은 개체수 급감 및 희귀성, 고유성 및 학술적 가치 등의 이유로 본 종을 2005년에 천연기념물 제455호로 지정하여 보호·관리하고 있다(문화재청, 2005).

멸종위기에 처한 꼬치동자개 보전을 위해서는 보강 혹은 재도입과 같은 개체군 보강을 위한 증식 개체 방류가 필요하며, 이러한 방류 효과의 제고를 위해서는 방류 개체의 이동, 분산 및 정착 여부에 관한 연구가 필요하다.

나. 연구 내용 및 방법

1) 증식 개체 방류

과거 연구 사례 및 각종 문헌을 참고하여 분포 현황, 유전자 교란, 서식지 적절성, 과거 재도입/보강 여부, 방류 후 서식 가능성 등을 고려한 방류 후보지를 검토하였으며 외부전문가 자문 후 최종적으로 방류지역을 선정하였다.

2) 방류 전 무선개체식별장치 삽입

Ethyl 3-aminobenzoate methanesulfonate salt(MS-222)를 이용하여 마취시킨 후 길이(전장 및 체장)와 체중을 측정하였다. 배지느러미 앞쪽에 약 0.3cm 가량 절개 후 복강 내 발신기(7×1.25mm/8×1.44mm)를 삽입하였으며 Tag 삽입 후 절개된 복강은 생체접착제(Vet bond, 3M)를 이용해 물의 체내 유입을 방지하고 항생제(oxytetracycline)를 희석한 물에 약 2시간 정도 보관하여 감염 예방 활동을 시행하였다. 이후 충분한 산소를 공급해 주며 개체 안정을 유도하였다.

3) 방류 후 모니터링

PIT tag 수신기(휴대용)를 활용하여 주기적 모니터링을 시행하였으며 방류 개체의 출현 여부, 좌표 등을 파악하였다. 서식지 환경 파악을 위해 수질측정기(YSI ProPlus), 유속계(FLOWATCH, SWISS), 수심측정기 등을 이용한 미소서식지 환경을 측정하였으며 재포획 개체 대상 길이(전장/체장), 무게 측정 후 성장상태를 파악하였다.

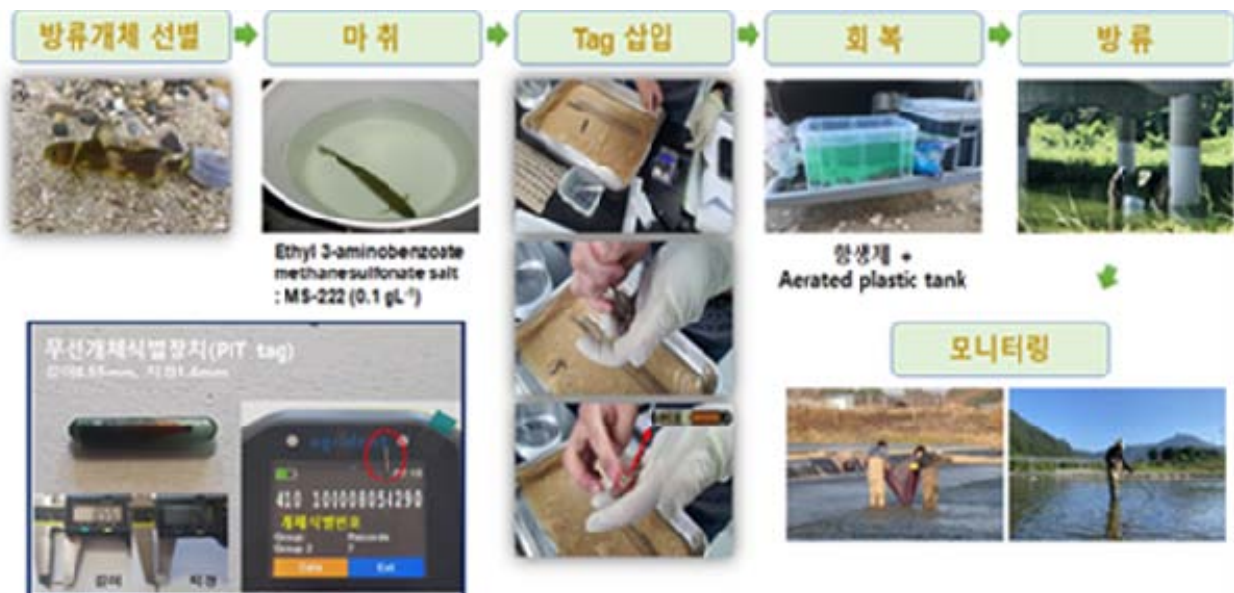


그림. II-1-(1). 꼬치동자개 방류 및 모니터링 전반 과정



그림. II-1-(2). 휴대용 PIT tag 수신기 활용 꼬치동자개 모니터링

다. 연구 결과

1) 증식 개체 방류

가) 방류지 선정

(1) 분포 현황: 2000년대 이후 낙동강 수계 덕천강, 남강, 자호천, 대가천 등 일부 지류 하천에서만 분포하는 것으로 알려져 있다.

(2) 과거 방류 현황

(가) 2012년: 덕천강 2,000개체 방류, 2018년 모니터링 때 다수의 개체가 확인되었다 (환경부, 2018).

(나) 2018~2019년: 자호천 400개체, 가야천 1,000개체 방류, 모니터링 결과 자호천은 출현이 확인되었으며, 가야천은 출현이 확인되지 않았다(환경부, 2018; 2019).

(다) 2021년: 자호천 1,000개체, 가야천 1,000개체, 대가천 1,000개체 방류, 모니터링 결과 3개 하천 모두 방류 개체가 확인되었으며, 현재도 모니터링이 진행 중이다 (멸종위기종복원센터 수행 중).

표. II-1-(1) 꼬치동자개 과거 방류 사례

방류 연도	방류 하천	방류 개체	모니터링 결과
'12	덕천강	2,000	다수 개체 확인(' 18년 조사)
'18~'19	자호천	400	서식 확인
	가야천	1,000	출현 개체 없음
'21	대가천	1,000	출현(모니터링 진행 중)
	가야천	1,000	
	자호천	1,000	

(라) 외부전문가 자문과 연구진 의견을 종합하여 '21년 방류지 중 한 곳인 가야천(안림천)에 기존 서식지 개체군의 보강을 결정하였다.

나) 무선개체식별장치(PIT tag) 삽입

- (1) 방류대상 전체 개체 삽입이 완료되었으며 삽입 후 1주간의 안정기를 거친 후 확인 결과 특이사항이 없는 것으로 확인되었다.
- (2) 방류 전 개체별 고유식별번호 확인을 완료하였다.



그림. II-1-(3). 무선개체식별장치 삽입 및 고유식별번호 확인

(출처: 연구과정 영상 - YTN사이언스 “다큐S프라임” <https://youtu.be/Ax1rJTfOyxg>)

다) 방류 실시

꼬치동자개 개체군의 보강을 위해 가야천에 총 1,000개체 방류를 실시하였다. '22년 5월 25일 방류를 완료하였으며 방류 효율성 제고를 위해 3개 지점에 분산 방류를 실시하였다.

표. II-1-(2). 2022년 꼬치동자개 방류 하천 및 일시

방류지(하천)	가야천
방류 일자	'22. 5. 25.

표. II-1-(3). 2022년 꼬치동자개 방류지 위치정보

하천명	구분	위치정보
가야천	지점 1	경남 합천군 야로면 정대리 427 인근
	지점 2	경북 고령군 쌍림면 산주리 석사교
	지점 3	경북 고령군 쌍림면 신촌리 665-221 인근



그림. II-1-(4). 꼬치동자개 방류(경북 고령군 가야천)

2) 방류 후 모니터링('22년 방류)

'22년 방류된 꼬치동자개를 대상으로 총 5회의 모니터링 결과 평균 10.8개체의 방류개체가 확인되었다. 가야천 3개의 방류지점 중 비교적 유량이 풍부했던 1번 지점과 3번 지점에서 가장 많은 개체가 출현하였다.



그림. II-1-(5). PIT tag 활용 꼬치동자개 방류 후 모니터링 결과(가야천)

방류 직후인 1차 모니터링에서는 총 29개체가 확인되어 약 2.9%의 출현율을 보였으나 2차 모니터링 12개체, 3차 모니터링 3개체, 4차 모니터링 2개체로 출현율이 점차 감소하였다. 5차 모니터링이 진행된 10월 조사에서는 8개체가 확인되어 다시 출현율이 증가하는 경향을 나타냈다.

방류지점별 출현 경향을 살펴보면 1차와 2차 모니터링에서는 유량이 비교적 풍부한 1번과 3번 지점에 집중적으로 출현하는 것을 확인할 수 있었다. 7월 이후 전체 하천에 유량이 회복된 이후에는 2번 지점에서도 출현이 확인되었다.

표 II-1-(4). PIT tag 활용 꼬치동자개 방류 후 모니터링 결과(가야천)

회차 (모니터링 일자)	지점1	지점2	지점3	계
1차 (‘22. 5. 27.)	12	0	17	29
2차 (‘22. 6. 16.)	6	0	6	12
3차 (‘22. 7. 6.)	1	2	0	3
4차 (‘22. 8. 18.)	2	0	0	2
5차 (‘22. 10. 12.)	0	7	1	8

3) 과거 방류 개체 모니터링(‘21년 방류)

‘21년 가야천, 대가천(경북 성주군), 자호천(경북 영천시)에 방류된 꼬치동자개를 대상으로 2년 차 모니터링을 진행하였다. 총 5회의 모니터링 결과 가야천은 평균 19.2개체, 대가천은 평균 15개체, 자호천은 평균 3.8개체의 방류 개체가 확인되어 방류 개체가 완전히 적응하여 서식하고 있음을 확인할 수 있었다.

하천별로는 가야천에서 가장 많은 개체가 확인되어 방류 개체의 적응상태가 비교적 양호한 것으로 확인되었으며, 자호천에서 가장 적은 개체가 출현하였다. 대가천 또한 2차 모니터링에서 30개체가 확인되는 등 방류 개체의 적응상태가 가야천과 유사한 것으로 확인되었다.

표 II-1-(5). PIT tag 활용 꼬치동자개 방류 후 모니터링 결과(‘21년 방류 개체)

회차 (모니터링 시기)	가야천	대가천	자호천	계
1차 (‘22. 3.)	27	8	8	43
2차 (‘22. 5.)	29	30	4	63
3차 (‘22. 7.)	12	13	3	28
4차 (‘22. 8.)	4	19	2	25
5차 (‘22. 10.)	24	5	2	31

한편 대가천에서는 2차 모니터링(5월)에서 '21년 방류 개체 중 재포획된 개체의 포란 상태가 관찰되었으며, 이는 방류 개체가 자연 적응에 성공하여 기존 개체군들과의 자연산란 참여가 진행된 것으로 판단되었다.



그림. II-1-(6). 방류 개체 재포획 성공 및 산란 참여 확인

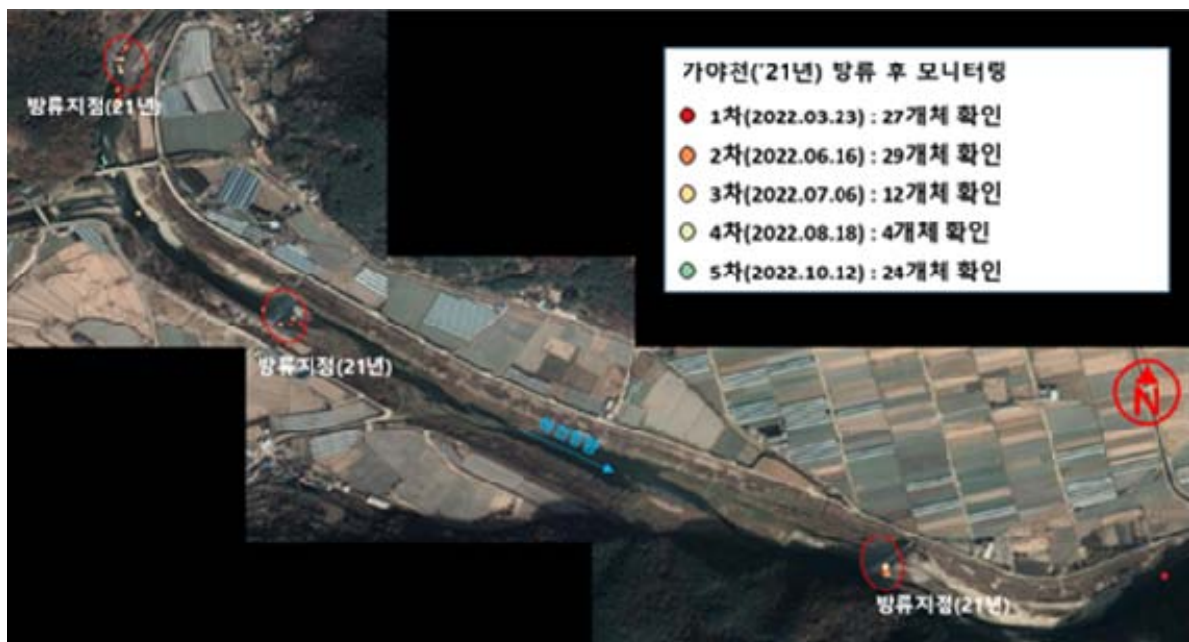


그림. II-1-(7). '22년 방류 개체 모니터링 결과(가야천)

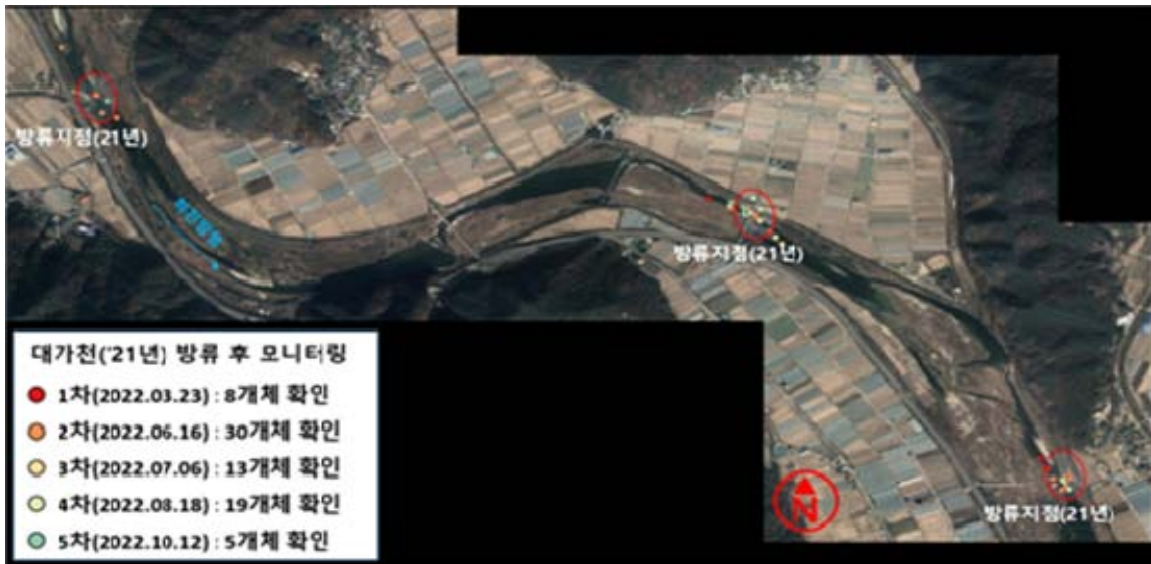


그림. II-1-(8). '22년 방류 개체 모니터링 결과(대가천)

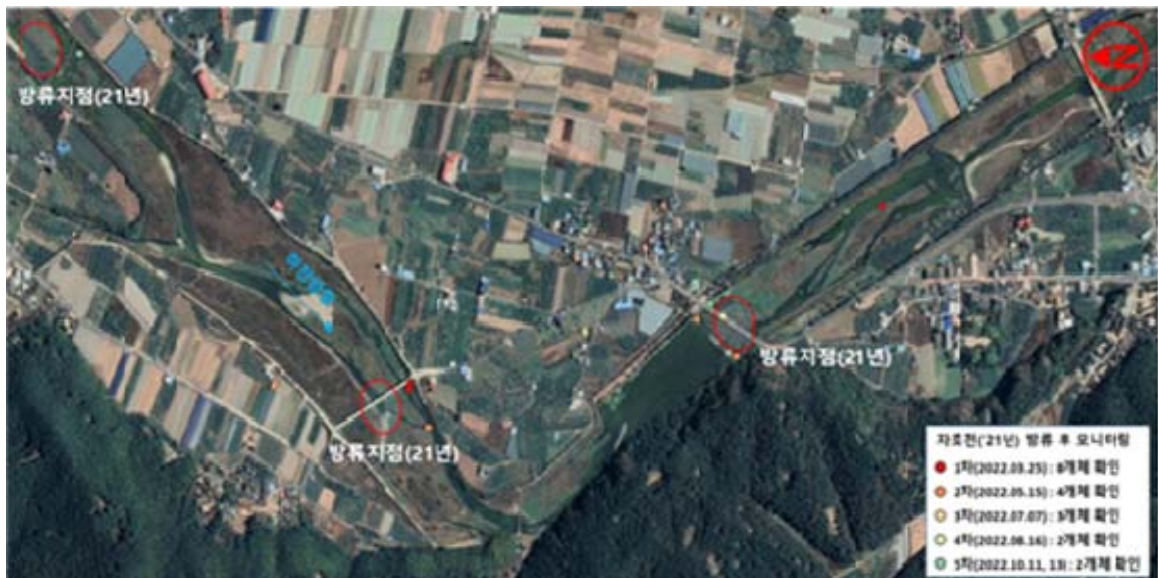


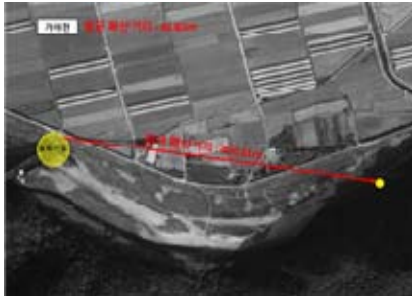
그림. II-1-(9). '22년 방류 개체 모니터링 결과(자호천)

4) 꼬치동자개 이동 연구

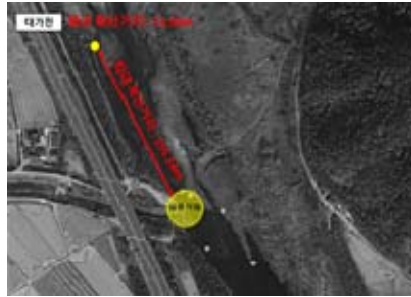
'21년 방류된 하천을 대상으로 방류 후 2년차 확산 정도를 파악하였다. 방류지점을 기준으로 자호천 개체군이 평균 62.07 m, 최대 493.11 m를 이동하여 가장 넓은 범위로 확산하였으며, 가야천 평균 60.62m, 최대 450.61m, 대가천 평균 51.59m, 최대 255.14m 순으로 확인되었다.

표 II-1-(6). 방류지점 기점 꼬치동자개 최대 확산 거리

	가야천	대가천	자호천
방류지 기점 평균 확산 거리	60.62 m	51.59 m	62.07 m
방류지 기점 최대 확산 거리	450.61 m	255.14 m	493.11 m



가야천



대가천



자호천

그림. II-1-(10). 꼬치동자개 방류 후 확산 거리(2년 차)

2회 이상의 모니터링에서 중복으로 확인된 개체를 대상으로 이동 거리를 확인한 결과 지점별 개체 평균 이동 거리는 가야천 24.90m, 대가천 25.12m, 자호천 5.5m로 나타났다.

표 II-1-(7). 방류지점 기점 꼬치동자개 이동 거리

	가야천	대가천	자호천
개체 평균 이동 거리	24.90 m	25.12 m	5.5 m
개체 최대 이동 거리	51 m	43 m	6 m



가야천



대가천



자호천

그림. II-1-(11). 꼬치동자개 방류 후 이동 정보(모니터링 2년 차)

라. 결론

과거 꼬치동자개 방류지였던 덕천강, 자호천 및 가야천을 살펴보면 비교적 물이 깨끗하며 오염원이 적어 수질이 양호한 덕천강의 경우 꼬치동자개의 서식이 용이한 것으로 확인되었다. 자호천의 경우 방류지 주변 대부분이 농경지인 관계로 농약 등의 오염원 유입이 우려되었으나 과거 적은 개체 수(400개체)의 방류에도 불구하고 양호한 서식 상태를 나타내는 것으로 확인되었다. 반면 가야천의 경우 상류 지역에서부터 유입된 오염물질(농·축산 폐수 등)의 유입과 잦은 하천 공사로 인해 방류 효과가 극히 낮은 것으로 생각된다.

2021년 모니터링 연구에서 나타난 바와 같이 직접 포획을 통한 모니터링에 비해 PIT tag를 활용한 모니터링이 매우 효율적인 것으로 생각되며, 방류 후 만 1년이 지난 개체의 추적도 가능하여 지속적인 모니터링 진행 시 추후 복원사업의 효과를 추정하는 것이 가능할 것으로 판단된다. 한편 작년(2021년) 방류 개체가 방류 후 1년 만에 적응하여 자연 산란에 참여한 것이 확인된 점은 꼬치동자개 방류가 복원에 긍정적인 영향을 미치고 있음을 판단할 수 있는 근거로 생각되며 추후 유전연구 등을 통해 방류 개체의 자손들 역시 추적이 가능할 것으로 사료된다.

이동성이 크지 않은 꼬치동자개의 특성을 고려하면 방류 개체의 정착을 위해 방류지 주변 서식 환경이 매우 중요하며 하천 공사로 인한 서식지의 훼손은 꼬치동자개 서식에 매우 큰 영향을 미칠 것으로 사료된다. 2021년에도 방류지 중 한 곳인 가야천(경북 고령군)에서 하계 휴양객의 안전을 명목으로 중장비를 투입해 하상 준설 및 평탄화를 실시하여 복원지 훼손이 우려된 바 있다. 이러한 상황은 올해도 반복되어 작년 방류지였던 대가천에서도 서식지를 훼손시키는 하천 공사가 진행 중인 것을 확인할 수 있었다(그림. II-1-(12)). 이는 돌과 자갈의 틈에 숨어 생활하는 꼬치동자개의 은신처를 훼손시키는 행동으로 멸종위기종의 복원 효율성 증진을 위해서는 개체군 보강을 위한 증식 개체 방류와 함께 서식지 보전 또한 반드시 병행되어야 한다고 생각된다.



그림. 11-1-(12). 꼬치동자개 방류지 훼손 현장(2022년 11월)

2. 줌수수치 개체군 분산, 정착 연구

가. 서론

줌수수치(*Kichulchoia brevifasciata*)는 잉어목(Cypriniformes) 미꾸리과(Cobitiidae)에 속하며 몸길이 약 5cm 내외의 소형 저서성 어류이다. 비교적 소형 하천의 수심이 얇고 흐름이 빠른 자갈 바닥에 서식하며 주로 수서곤충과 부착조류를 섭식하는 것으로 알려져 있다. 우리나라 고유속·고유종으로 전라남도 서남단의 여수시 금오도와 고흥군 거금도 및 고흥반도 일대 소하천에 분포하였으나 현재는 개체군 및 출현지역이 크게 감소한 것으로 확인되었다(채 등, 2019; 멸종위기 야생생물 포털). 하천 정비공사, 골재채취 등으로 인한 서식지 감소 및 환경악화로 인해 지난 2012년 멸종위기 야생생물 II급으로 지정되었으며, 2017년 멸종위기 야생생물 I 급으로 상향되어 보호받고 있다. 한국적색목록에 <멸종우려 범주(Threatened categories) - 위급(CR)>으로 평가되어있다(국립생물자원관, 2019).

멸종위기에 처한 줌수수치 보전을 위해서는 보강 혹은 재도입과 같은 개체군 보강을 위한 증식 개체 방류가 필요하며, 이러한 방류 효과의 제고를 위해서는 방류 개체의 정착 및 확산 여부에 관한 연구가 필요하다.

나. 연구 내용 및 방법

1) 증식 개체 방류

과거 연구 사례 및 각종 문헌을 참고하여 분포 현황, 유전자 교란, 서식지 적절성, 과거 재도입/보강 여부, 방류 후 서식 가능성 등을 고려한 방류 후보지를 검토하였으며 해당 지자체 협의 후 방류지를 최종적으로 선정하였다.

한편 줌수수치 방류 개체는 전장 3~4cm의 매우 소형 개체로 PIT tag와 같은 무선 추적발신기의 삽입 등의 표지방류가 불가능하였다. 다만 인공증식 후 1년 이상 실내에서 사육을 진행한 관계로 배쪽이 하얀색을 띠고 있어 비교적 노란색을 띠는 자연 개체와의 구분이 육안으로 가능하였다.

2) 방류 후 모니터링

줌수수치는 소형이며, 하상의 자갈 주변에 서식하는 특성을 고려하여 효율성이 낮은 직접 포획보다는 특수 제작한 아크릴판을 이용하여 육안관찰을 통한 모니터링을 실시하였다. 방류 개체의 출현 여부, 좌표 등을 파악하였으며 서식지 환경 파악을 위해 수질측정기(YSI ProPlus), 유속계(FLOWATCH, SWISS), 수심측정기 등을 이용한 미소

서식지 환경을 측정하였다.

방류 후 모니터링은 총 5회 실시하였으며, 모니터링 일시와 장소는 다음과 같다.

표 II-2-(1). 2022년 좁수수치 방류 후 모니터링 일시

회차	1차	2차	3차	4차	5차
일시	'22. 6. 20.	'22. 8. 22.	'22. 9. 27.	'22. 10. 21.	'22. 11. 26.



그림 II-2-(1). 2022년 좁수수치 방류지 및 모니터링 지점

다. 연구 결과

1) 증식 개체 방류

가) 방류지 선정

분포 현황: 전남 여수시 금오도, 고흥군 거금도 및 고흥반도 일대 일부 지역에만 소수의 개체가 서식하는 것으로 알려져 있다.

과거 방류 현황: 2020년 전남 고흥군 풍양면 고읍천에 준성어 500개체를 방류한 바 있다(환경부, 2020).

표. 11-2-(2). 줌수수치 복원을 위한 과거 방류 사례

방류 연도	방류 하천	방류 개체	비고
2020	고읍천	500	멸종위기 담수어류(줌수수치·꾸구리·여울마자·꼬치동자개) 생태 특성 및 보전방안 연구

외부전문가 자문과 연구진 의견을 종합하여 '20년 방류지인 고읍천에 개체군의 보강을 하기로 결정하였다. 고읍천은 과거 방류시 문헌 자료 검토 및 수질 등 데이터 분석, 경쟁 종 및 포식자 등의 조사 결과를 바탕으로 선정되었으며 줌수수치의 과거 서식지인 관계로 재도입을 위해 방류지로 선정된 바 있다.

나) 방류 실시

방류 전 자생지 적응을 위해 수온 조절 및 안정화를 유도하였으며 최종적으로 전남 고흥군 풍양면 고읍천 일대에 1,000개체를 방류하였다.

표. 11-2-(3). 2022년 줌수수치 방류 현황

방류 일시	하천명	위치정보	방류 개체
'22. 5. 27.	고읍천	전남 고흥군 풍양면 일대	1,000개체



그림. 11-2-(2). 2022년 줌수수치 방류

2) 방류 후 모니터링

1차 모니터링은 방류지와 방류지 하류에서 모니터링을 수행하였으나 방류 개체를 확인하지는 못하였다.



그림. II-2-(3). 줌수수치 모니터링 지점 전경(2022년 6월)

2차 모니터링은 방류지와 방류지 상·하류 지점에서 모니터링을 수행하였으며, 방류지에서 2개체가 확인되었다. 2개체 중 포획에 성공한 1개체는 전장 47mm, 체장 42mm, 무게 0.55 g으로 방류 때 보다 약간 성장한 것으로 확인되었다. 한편 모니터링 당시 방류지 내 달뿌리풀과 해감이 번성하여 원활한 수행이 불가능하였고, 방류지 상류와 하류에서는 줌수수치의 서식이 확인되지 않았다.



그림. II-2-(4). 줌수수치 모니터링 지점 전경(2022년 8월)

3차 모니터링은 방류지와 방류지 상·하류 지점에서 모니터링을 수행하였으나 줌수수치의 서식을 확인할 수는 없었다. 방류지 상류 20m 지점에서는 발작물 농사를 위한 취수목적의 인위적 유로변경 행위(그림 II-2-(6))로 인해 하류 방면 물길 차단되고 있었다.



그림. 11-2-(5). 줌수수치 모니터링 지점 전경(2022년 9월)



그림. II-2-(6). 방류지 상류 20m 인위적 유로변경

4차 모니터링 또한 방류지와 방류지 상·하류 지점에서 모니터링을 수행하였으나
 쏼수수치는 출현하지 않았다. 3차 모니터링 때와 마찬가지로 방류지 상류 20m 지점에서는
 농경지 취수목적의 인위적 유로변경 행위가 지속되고 있었으며 하류 쪽은 유량이
 부족함이 확인되었다.



그림. II-2-(7). 쏼수수치 모니터링 지점 전경(2022년 10월)



그림. II-2-(8). 방류지 상류 인위적 유로변경(2022년 10월)

5차 모니터링 역시 동일 지점에서 실시되었으나 쏼수수치 서식을 확인할 수는 없었다.
 3차 모니터링 때 시작되었던 농경지 취수목적의 인위적 유로변경 행위는 지속되었으며

이로 인해 하류 방면은 물이 완전히 고갈된 상태였다.



그림. II-2-(9). 줌수수치 모니터링 지점 전경(2022년 11월)

표. II-2-(4). 2022년 줌수수치 모니터링 결과

	모니터링 회차				
	1차	2차	3차	4차	5차
출현 개체 수	0	2	0	0	0

라. 결론

줌수수치 방류지의 하상은 줌수수치가 선호하는 돌과 자갈의 비율이 높게 형성되어 있고 수변부 수초가 잘 발달하고 있으며 수질 또한 양호하여 개체군이 성장할 가능성이 클 것으로 기대되었으나, 2022년도 심각한 가뭄으로 인해 개체군이 확인되지 않은 것으로 판단된다.

방류지인 고읍천은 하천 길이가 짧고 최상류는 사동저수지에 의해 유량이 인위적으로 조절되고 있는 특성을 가진 곳으로 2022년도에는 사동저수지의 저수율이 낮아 하천으로

전혀 방류가 이뤄지지 않은 결과 건천화 및 단편화로 인한 쏨수수치 서식에 제약이 따랐다.

쏨수수치는 하상 기질특이성이 큰 종으로 방류지점으로부터 분산 정도가 크지 않을 것으로 판단되며, 하천 내 장애물(보 또는 낙차가 있는 부분)이 존재하는 구간이 서식 한계선으로 판단되므로 추후 조사에서는 하천 연결성과 하천경사, 그리고 하상 기질의 연속성 등을 고려하여 방류지로부터 근접거리에 대한 분산 정도를 확인하고 그 범위를 서서히 넓혀 조사를 수행하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

모니터링 구간의 최상류 지점인 1지점은 콘크리트 보 아래 지점에 해당하며 이 콘크리트 보 상류 방류면에서, 많은 개체의 쏨수수치 자연집단이 확인되었다('22년 8월, 그림 II-2-(10); II-2-(11)). 본 지점은 고읍천에서 최초로 확인된 집단 서식지로 15~20㎡ 면적에서 약 20개체 이상의 성체(7cm 이상 추정)를 확인하였다. 본 집단 서식지는 하계에 가뭄으로 인해 수량이 줄어들고 있으며, 상류에 있는 사동저수지에서는 방류를 시행하지 않아 서식처 보호 및 수량 확보를 위한 대책 마련이 필요하다고 생각한다.

표. II-2-(5). 자연집단 서식지 내 관찰된 쏨수수치 현황

	관찰 시기			
	8월	9월	10월	11월
성체(전장 7cm) 수	30개체 이상	6	13	0



그림. II-2-(10). 고읍천 쏨수수치 집단서식지 발견지점



그림. II-2-(11). 방류지 상류에 있는 좁수수치 자연집단 서식지 발견지점

Ⅲ. 멸종위기 양서파충류 방사 후 개체적응 및 생태환경변화 연구

1. 금개구리 방사 후 모니터링 연구

가. 서론

금개구리는 멸종위기 야생생물 II급으로 우리나라 고유종이다. 4월이면 동면에서 깨어나 5월부터 7월까지 서식했던 장소에서 그대로 번식한다. 10월이면 논둑이나 주변의 제방, 농경지 부근에 있는 밭에 흙을 파고들어 동면한다. 수면에서 쉽게 마주칠 수 있는 곤충류를 주 먹이원으로 살아간다.

과거에 제주도를 포함한 남한 전역에 분포하는 것으로 알려져 있었으나, 최근 경기도, 경상남도 합천, 대구, 서울, 세종, 인천, 충청남도, 전라북도와 충청북도 일부 지역에서 서식하고 있는 것으로 확인이 되었다. 주로 큰 강의 범람원지대의 논에 서식하며, 서식지 파괴로 보호가 시급한 종이다. 서식지 파괴가 최대의 위협요인으로, 농지의 감소 및 생태적 단절, 주택과 도로의 건설, 수질 오염, 도입종인 황소개구리에 의한 피식 등도 감소 요인으로 확인되고 있는 종이다.

나. 연구 내용 및 방법

2022년 4차연도 모니터링은 1월부터 12월까지 총 14회에 걸쳐 실시하였다(1, 2, 3, 13, 14차 모니터링은 동면지 및 동면 개체를 확인함. 13차 모니터링은 동면지 확인만 수행하였고 개체 측정은 하지 않음).

표. III-1-(1). 금개구리 모니터링 일자

Orders	Dates
1st	2022.01.17. ~ 18.
2nd	2022.02.24. ~ 25.
3rd	2022.03.15. ~ 16.
4th	2022.04.11. ~ 12.
5th	2022.04.28. ~ 29.
6th	2022.05.09. ~ 10.
7th	2022.05.30. ~ 31.
8th	2022.06.27. ~ 28.
9th	2022.07.21. ~ 22.
10th	2022.08.29. ~ 30.
11th	2022.09.26. ~ 27.
12th	2022.10.25. ~ 26.
13th	2022.11.29. ~ 30.
14th	2022.12.12. ~ 13.

일몰부터 자정까지 걸쳐 재도입 대상지인 양서류 습지와 수생식물원 일대에 청음, 관찰 및 포획을 통하여 금개구리의 서식을 확인하였으며, 금개구리 생존에 잠재적 위협요인(황소개구리, 가물치 등)도 제거하여 주었다.

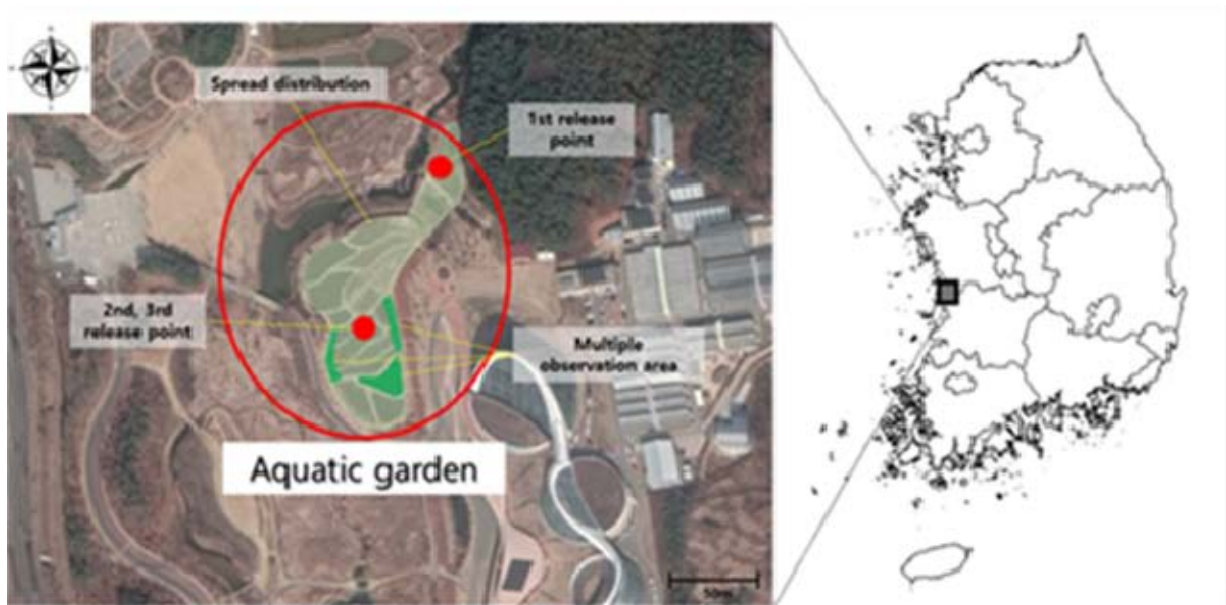


그림. III-1-(1). 금개구리 모니터링 대상지(국립생태원 수생식물원)

포획된 금개구리는 성별과 성숙도 구분 후 몸통길이(snout-vent length, SVL)와 몸무게(body weight, BW) 측정 후 즉시 방사하였다.

동면기인 1, 2, 3, 13, 14차 모니터링은 PIT tag를 활용한 동면 개체 확인을 하였으며, 동면 중인 개체를 찾아 신체측정을 실시하였다.

다. 연구 결과

금개구리 모니터링은 총 14차에 걸쳐 수행되었으며, 포획을 통하여 총 138개체를 확인 및 측정하였고, 청음 및 목전을 통하여 99개체를 확인하여 전체 237개체를 확인하였다.

1차 모니터링 시 금개구리 총 1개체(포획 1개체)를 확인하였으며, 1월 겨울철 동면개체를 확인하였다.

2차 모니터링 시 금개구리 총 2개체(포획 2개체)를 확인하였으며, 2월 겨울철 동면개체를 확인하였다.

3차 모니터링 시 금개구리 1개체(포획 1개체)를 확인하였으며, 동면에서 깨어나오기 직전에 움직임이 둔한 개체를 확인할 수 있었다.

4차 모니터링 시 금개구리 28개체(포획 13개체, 청음 10개체, 목전 5개체)를 확인하였으며, 동서종으로 한국산개구리 1개체(목전), 청개구리 7개체(청음), 참개구리 16개체(목전 4개체, 청음 12개체), 황소개구리 성체 5개체를 목전하였으며, 그중 3개체를 위협요인 제거 목적으로 퇴치하였다.

5차 모니터링 시 금개구리 53개체(포획 31개체, 청음 11개체, 목견 11개체)를 확인하였으며, 동서종으로 참개구리 2개체 목견, 청음 21개체, 청개구리 7개체 청음, 황소개구리 2개체 목견하였다.

6차 모니터링 시 금개구리 61개체(포획 49개체, 청음 7개체, 목견 5개체)를 확인하였으며, 동서종으로 참개구리 7개체 목견, 3개체 청음, 황소개구리 4개체 청음으로 확인하였다.

7차 모니터링 시 금개구리 23개체(포획 23개체)를 확인하였으며, 동서종으로 청개구리 30개체 청음, 참개구리 목견 4개체, 청음 21개체, 황소개구리 성체 4개체를 목견하였으며, 그중 1개체를 위협요인 제거 목적으로 퇴치하였다.

8차 모니터링 시 금개구리 67개체(포획 20개체, 준성체 목견 47개체)를 확인하였으며, 동서종으로 참개구리 목견 15개체, 황소개구리 2개체 청음, 8개체를 목견하였으며, 그중 5개체를 위협요인 제거 목적으로 퇴치하였다.

9차 모니터링 시 금개구리 108개체(포획 11개체, 청음 6개체, 준성체 목견 91개체)를 확인하였으며, 동서종으로 참개구리 목견 42개체, 청음 4개체, 청개구리 청음 4개체, 황소개구리 3개체 청음, 7개체를 목견, 올챙이 55개체를 확인하였으며, 그중 2개체를 위협요인 제거 목적으로 퇴치하였다.

10차 모니터링 시 금개구리 93개체(포획 71개체, 준성체 목견 22개체)를 확인하였으며, 동서종으로 참개구리 목견 9개체, 청음 3개체, 두꺼비 목견 2개체, 한국산개구리 목견 1개체, 황소개구리 3개체 목견, 1개체 청음으로 확인하였으며, 그중 1개체를 위협요인 제거 목적으로 퇴치하였다.

11차 모니터링 시 금개구리 108개체(포획 54개체, 준성체 목견 54개체)를 확인하였으며, 동서종으로 참개구리 목견 5개체, 한국산개구리 목견 2개체, 황소개구리 목견 4개체 확인하였으며, 그중 3개체를 위협요인 제거 목적으로 퇴치하였다.

12차 모니터링 시 금개구리 2개체(포획 2개체)를 확인하였으며, 동서종으로 한국산개구리 목견 7개체, 황소개구리 목견 9개체 확인하였으며, 그중 6개체를 위협요인 제거 목적으로 퇴치하였다. 10월부터 동면기가 시작되어 확인되는 금개구리의 개체 수가 현저하게 줄어든 것을 확인할 수 있었다.

13차 모니터링 시 활동 중인 금개구리는 확인할 수 없었으며, PIT tag 모니터링을 통하여 동면지 위치 파악만 수행하였다.

14차 모니터링 시 동면중인 금개구리 16개체를 확인하였으며, 동면지 특성도 추가로 확인하였다.

4차연도 모니터링 금개구리 측정 결과는 1차(SVL평균 57.97mm, BW평균 23.40g), 2차(46.73mm, 14.75g), 3차(53.10mm, 21.80g), 4차(34.42mm, 4.80g), 5차(36.46mm, 6.36g), 6차(37.03mm, 6.94g), 7차(38.55mm, 7.41g), 8차(45.80mm, 12.00g), 9차(46.55mm, 12.85g), 10차(38.30mm, 6.67g), 11차(44.03mm, 9.63g), 12차(44.02mm, 9.60g), 14차(43.66mm, 13.76g)으로 나타났다. 4차연도 전체 측정한 금개구리 294개체의 평균 SVL은 40.12mm이고, 평균 BW는 8.36g으로 확인되었다.

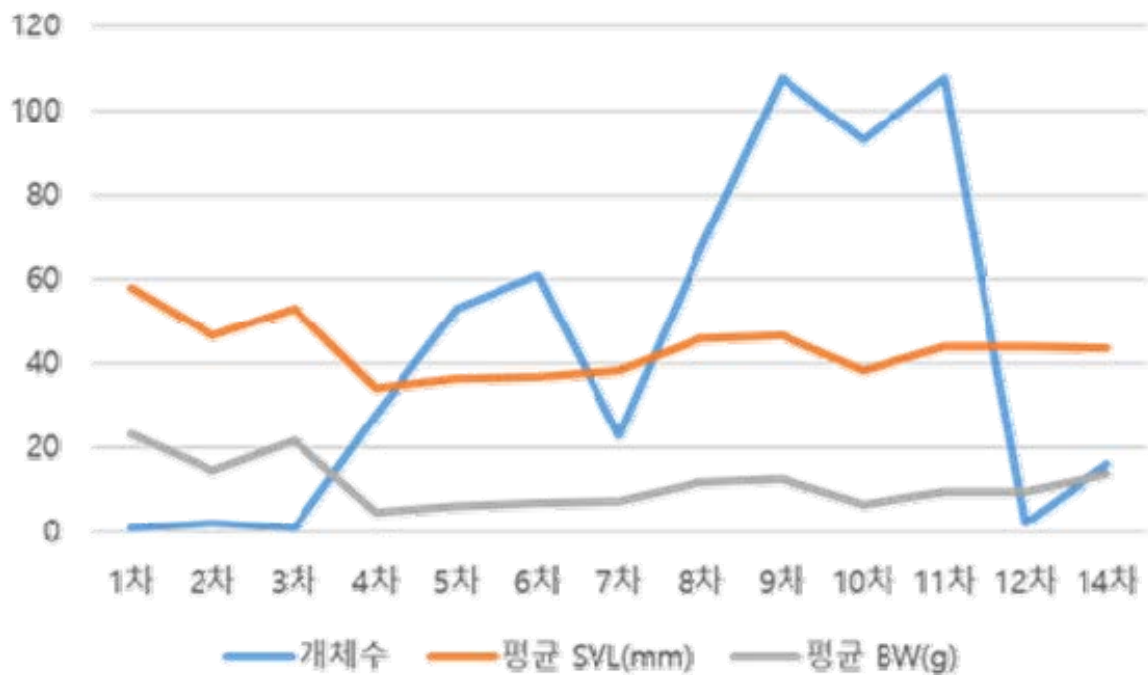


그림. III-1-(2). 금개구리 모니터링 결과

표. III-1-(2). 금개구리 모니터링 결과

Orders	<i>Pelophylax chosenicus</i>	Sympatric species	Threatening species	Average SVL(mm)	Average BW(g)
1st	1	-	-	57.97	23.40
2nd	2	-	-	46.73	14.75
3rd	1	-	-	53.10	21.80
4th	28	한국산개구리 1, 청개구리 7, 참개구리 16, 황소개구리 5	황소개구리 3 가물치 1	34.42	4.80
5th	53	청개구리 7, 참개구리 23, 황소개구리 2	-	36.46	6.36
6th	61	참개구리 10, 황소개구리 4	-	37.03	6.94
7th	23	청개구리 30, 참개구리 25, 황소개구리 4	황소개구리 1	38.55	7.41
8th	67	참개구리 15, 황소개구리 10	황소개구리 5	45.80	12.00
9th	108	청개구리 4, 참개구리 46, 황소개구리 65	황소개구리 2	46.55	12.85
10th	93	한국산개구리 1, 두꺼비 2, 참개구리 12, 황소개구리 4	황소개구리 1	38.30	6.67
11th	108	한국산개구리 2, 참개구리 5, 황소개구리 4	황소개구리 3	44.03	9.63
12th	2	한국산개구리 7, 황소개구리 9	황소개구리 6	44.02	9.60
14th	16	-	-	43.66	13.76
Total	563	한국산개구리 11, 청개구리 48, 참개구리 152, 두꺼비 2, 황소개구리 107	황소개구리 21 가물치 1	40.12	8.36

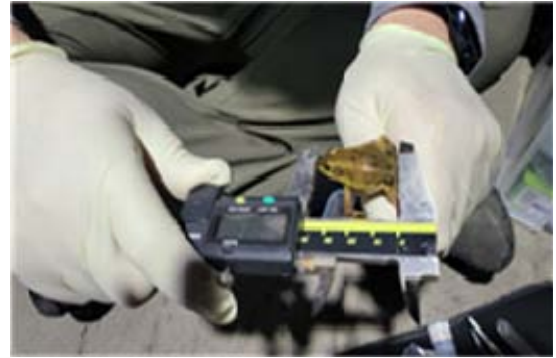


그림. III-1-(2). 금개구리 모니터링

라. 결론

2022년 상반기 모니터링 시 금년도 태어난 준성체 개체를 확인하였다. 2021년도에도 확인하였으며, 매년 번식이 이루어지는 것으로 미루어보아 개체군 안정이 이루어지고 있으며, 방사 개체의 정착이 성공적으로 이루어졌다고 판단 할 수 있다.

2022년도 금개구리 모니터링 시 PIT tag(개체식별장치) 삽입을 통한 모니터링을 통하여 동면중인 16개체를 확인하였다(동물실험윤리위원회 승인완료: NIEIACUC-2021-024). 동면시기인 차년도 2월까지의 데이터 축적을 통하여 동면개체 및 동면지 특성을 확인 할 수 있을 것으로 예상된다.

개체식별 모니터링의 데이터 분석을 통하여 개체별 성장률, 확산범위, 동면지 등이 확인이 가능할 것으로 기대되며 좀 더 정밀하고 체계화된 모니터링을 통한 금개구리 생태연구 결과가 도출될 것으로 예상된다.

표. III-1-(3). 복원성공평가 지표 유형

이른 지표 (early indicator)	장기 지표 (long-term indicator)	비고
정상 알 산란 성공	성체 개체군 크기가 5~10년 내에 50개체 초과	-
산란알로부터 부화 발생 진행, 변태 성공	혼합 개체군 구조*, 다수의 연못에서 점진적인 군체 형성**	*혼합 개체군 구조(mixed population sturcture)란 유체와 성체의 일정한 기록, 일정한 번식 성공을 말함 **점진적인 군체 형성(progressive clonization)이란 5~10년 이상 단단한 메타개체군 구조 형성을 말함
당해년 개체의 성적성숙, 번식 행동***	-	***번식행동(breeding activity)이란 암컷포란, 수컷구애울음, 포접, 산란을 말함

2. 구렁이 방사 및 방사 후 모니터링 연구

가. 서론

구렁이는 멸종위기 파충류 II급으로 국내에서는 제주도를 제외하고 전국적으로 분포하며, 국외로는 중국 중부, 북부 및 러시아에 분포하고 있다. 구렁이는 국내에 서식하는 뱀류 중 가장 큰 종에 해당하며, 몸통의 색은 흑색, 갈색, 황색 등 채색을 하고 있어 과거에는 먹구렁이, 황구렁이 등으로 구분을 하였으나 지금은 구렁이 단일 종으로 관리하고 있다.

국내에 서식하는 구렁이는 산림, 하천, 경작지, 민가 등 다양한 장소에서 서식하며, 쥐, 다람쥐, 청설모 등 소형 포유류를 섭식한다. 구렁이는 주로 4월부터 동면에서 깨어 10월까지 활동하고 11월부터 산 사면의 땅속, 바위틈, 돌담, 하천 주변 제방 등에서 동면한다(국립생물자원관, 2018).

다양한 서식 환경에서 서식하는 구렁이는 서식지 파괴와 미신에 의한 밀렵 등으로 개체군 감소가 나타나고 있다. 따라서 구렁이 보호를 위해 지속적인 밀렵 단속이 필요하지만, 장기적으로 보존할 수 있는 기초생태, 증식 및 서식지 연구와 같은 복원연구가 필요하다.

따라서, 본 연구는 이관받은 구렁이를 방사하여 모니터링 자료 축적, 공간 분석을 통해 구렁이의 서식지 이용 및 선택, 서식 환경 특성을 파악하는 데 목적이 있다.

나. 연구 내용 및 방법

구렁이의 무선 추적을 위해 구렁이 복강 내 발신기를 삽입하였다. 발신기 삽입은 수의사의 협조를 통해 암2, 수1 개체에 삽입하였고, 삽입 수술은 isoflurane을 이용하여 마취시킨 후 외과수술을 통하여 복강에 소형발신기 (SI-2, Holohi system, Canada)삽입 후 상처 소독과 염증 방지를 위한 항생제(Enrofloxacin, reptile dose=0.1 mg kg⁻¹)와 소염제 (Flunixin, reptile dose=2.5mg kg⁻¹) 주사 후 상처 회복을 거친 후 방사를 하였다.

구렁이 모니터링 연구를 위한 방사대상지는 전문가의 의견을 반영하여 멸종위기종복원센터 부지 산림에 방사하였고, 방사대상지는 구렁이가 3회 이상 목견된 장소로 선정하였다. 방사 후 모니터링시 수신기(IC-R30 ICOM, 일본)를 활용하여 무선 추적 수행 위치자료를 수집하였고, 모니터링 시기는 구렁이의 활동 시기를 고려하여 동면에 들어가는 시기까지 월 2~4회 수행하였다.

구렁이 모니터링은 Radio tag를 이용한 무선추적방식으로 수신기를 통해 방사지 주변으로 추적을 시작하여 개체별 위치를 수신기 강도를 올리며 추적하였고, 확인된 지점은 경위도 좌표를 입력하여 GIS DB화 진행하였다.

수집된 구렁이의 위치자료는 주변 환경변수(토양, 식생, 기후 등) GIS 자료를 바탕으로 공간 분석을 수행할 예정이며, 분석을 통해 구렁이의 활동반경, 서식지 이용 특성, 서식 환경 특성을 파악할 예정이다.



그림. III-2-(1). 멸종위기 파충류 II급 구렁이

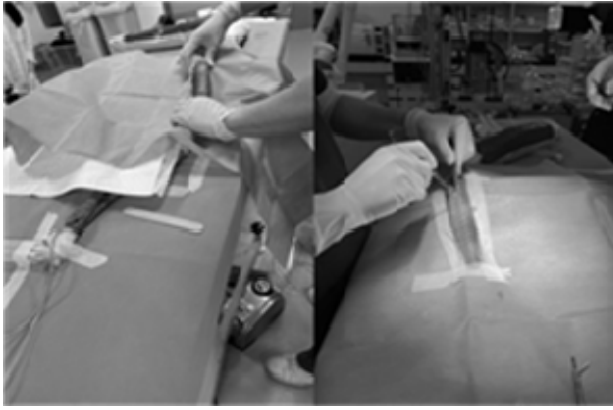


그림. III-2-(2). Radio tag를 이용한 파충류 모니터링

다. 연구 결과

구렁이 방사를 위한 발신기 삽입은 청주동물원 수의사 협조를 통해 총 3개체(암2, 수1)에 발신기를 삽입하였고, 약 3주의 회복 기간을 거쳐 방사대상지(멸종위기종복원센터 부지 산림)에 방사를 하였다.

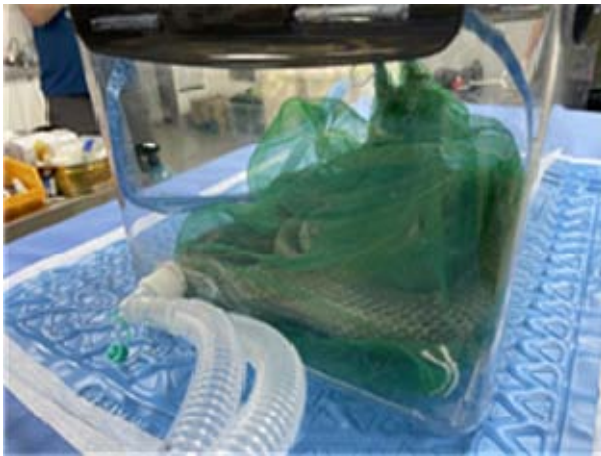


그림. III-2-(3). 구렁이 발신기 삽입 과정

2022년 7월 4일 회복된 구렁이를 방사하였고, 모니터링은 방사 당일 개체 이동 파악을 위해 1차 모니터링을 수행하였고 이후 월 2~4회 간격으로 모니터링을 시행하여 총 12회에 걸쳐 모니터링을 수행하였고, 출현 좌표를 기록하였다.

표. III-2-(1). 구렁이 모니터링 일자

차수	날짜	차수	날짜
1차	2022.7.4.	7차	2022.8.26.
2차	2022.7.8.	8차	2022.9.2.
3차	2022.7.15.	9차	2022.9.8.
4차	2022.7.29.	10차	2022.9.23
5차	2022.8.5.	11차	2022.10.7
6차	2022.8.12.	12차	2022.10.21.



그림. III-2-(4). 구렁이 방사 및 모니터링

총 12차에 걸쳐 모니터링을 수행한 결과 관찰된 모든 개체는 방사지 주변의 산림과 멸종위기종복원센터 앞 하천 수변부로 이동하는 경향을 확인할 수 있었다. 개체별로 행동을 살펴보면 23번 개체의 경우 총 12회 관찰을 하였고 1,941m 이동을 하였고, 약 92,935㎡의 행동권을 가지는 것을 파악할 수 있었다. 이동 경향을 살펴보면 계속해서 수변 지역과 방사지 인근으로의 움직임이 확인되었고, 마지막 감지 신호로는 멸종위기종복원센터 풋살장 우측 산림으로 들어가는 신호가 마지막으로 확인되었다.

21번 개체의 경우 11회 이동을 확인하여 1,172m 이동하였고, 행동권은 27,057㎡로 방성한 개체 중 가장 낮은 행동권을 보였다. 21번 개체의 이동 경향을 살펴보면 방사지 인근에서 반대편 산림과 사이의 나지 간 이동이 계속해서 확인되었고, 마지막 확인 신호는 방사지 동쪽 산림으로 이동을 마지막으로 위치를 확인하였다. 22번 개체는 9회 관찰되었고 1,263m 이동하였고 59,728㎡의 행동권으로 파악하였다. 22번 개체는

방사 직후 멸종위기종복원센터 앞쪽에 있는 수변부로 이동을 하였고, 수변부 인근으로 정착하여 이동하는 움직임을 보이다 방사지 산림의 북쪽인 수변 지역과 경계 부분에서 마지막 신호를 확인하였다.

표. III-2-(2). 구렁이 모니터링 결과

개체 번호	모니터링 횟수	이동거리(m) / 행동권(m ²)
	이동 경향	
21	11회	1,172 / 27,057
	방사지점 인근 숲 가장자리 주변으로 이동이 주로 확인되었고, 마지막 관찰까지 방사지 동쪽 산림으로 이동 확인	
22	9회	1,263 / 59,728
	방사 직후 방사산림 수변부 이동이 확인되었고 이후 산림으로 이동	
23	12회	1,941 / 92,935
	방사 직후 수변부 이동부로 이동한 후 9월이 넘으면서 다시 방사지 인근으로 정착	

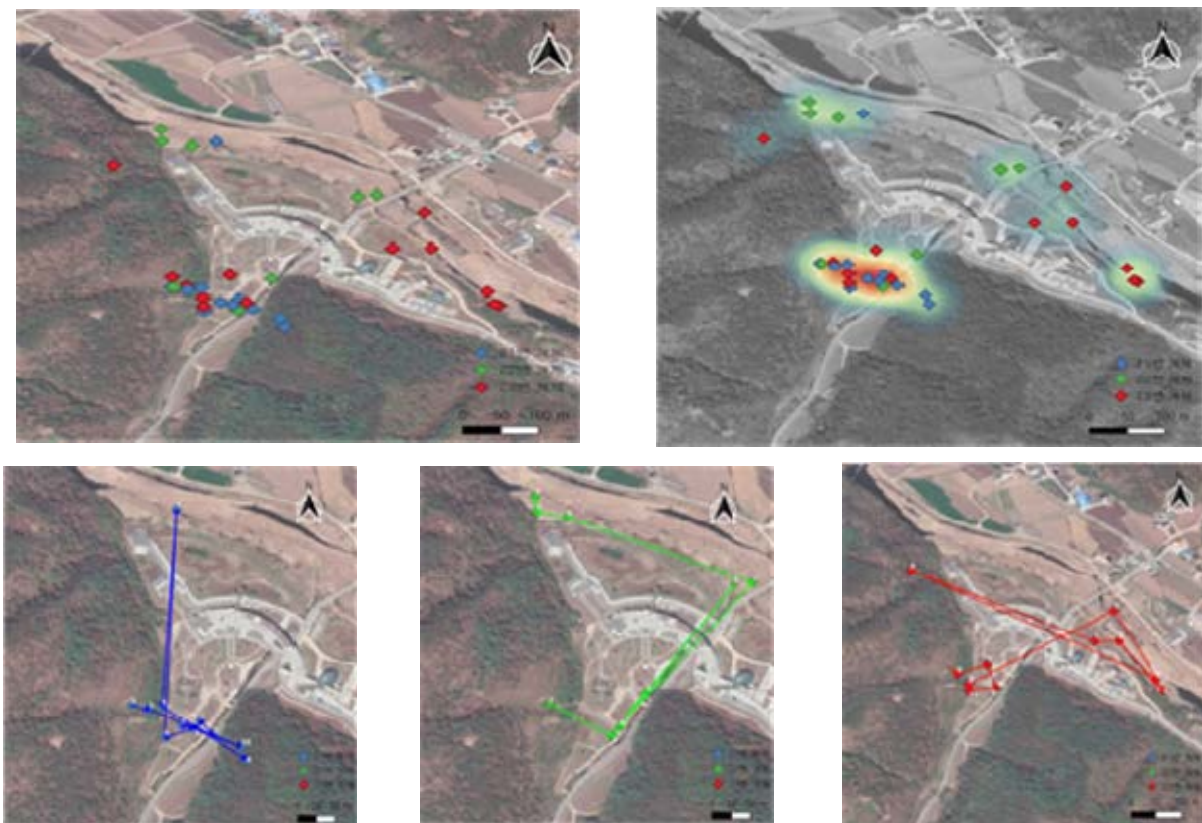


그림. III-2-(5). 구렁이 이동 경향 및 행동권

라. 결론

방사 이후 12차에 걸쳐 수집된 위치자료를 통해 방사된 구렁이는 멸종위기종복원센터 부지 산림과 수변 지역을 이동하는 경향을 보이며, 모든 개체가 기온이 떨어지면서 산림으로 들어가는 경향을 파악하였고, 이는 동면지를 찾아 이동할 수 있다고 판단하였다. 21, 22번 개체의 경우 산림으로 들어가면서 신호가 사라져 산림 깊숙이 이동하였거나, 돌틈이나 땅속으로 이동하여 동면하는 특성에 따라 이미 동면지를 구하여 신호가 사라졌다고 판단할 수도 있다. 개체별로 Radio tag 수신기를 이용하여 3개월 이상 개체 이동이 확인됨에 따라 실내 사육되던 개체가 야생에 방사되어 안정적으로 자연환경에 정착하여 방사는 성공적으로 이루어졌다고 볼 수 있다. 구렁이 방사의 완벽한 성공을 판단하기 위해서는 이듬해 구렁이의 활동기가 되었을 때 개체의 신호를 다시 감지 하는 것이 중요하다고 생각하여 23년도 연구를 수행하면서 재감지를 하는 것이 매우 필요하다. 하지만, 겨울이 지나가면서 발신기 배터리 방전으로 신호가 사라질 수 있어 이를 고려할 필요가 있다. 향후 개체별 이동정보와 구축된 GIS 자료를 통한 공간 분석을 통해 개체별 서식지 이용, 행동권, 서식 환경 특성 등 파악할 수 있을 것으로 기대되며, 이러한 연구 결과를 통해 방사 후 모니터링 표준(안) 마련 및 멸종위기 파충류의 복원전략을 제시할 수 있을 것으로 예상된다.

3. 남생이 방사 후 모니터링 연구

가. 서론

남생이는 우리나라, 중국, 일본, 대만 등 아시아에 주로 서식, 남생이는 섬을 제외한 우리나라 전역의 하천, 호수, 저수지, 연못에 주로 서식한다(국립생물자원관 2018). 남생이는 서식지 주변 지역의 개발, 외래종과의 경쟁 및 포식, 로드킬 및 불법 포획 등으로 인하여 개체 수와 분포지역이 지속해서 감소하고 있어 환경부에서는 멸종위기 야생생물 II급, 문화재청에서는 천연기념물 제453호로 지정되어 보호되고 있는 종이다. 남생이는 우리나라 전국에서 일부 지역을 제외하고는 밀도가 낮으며, 외부 자극 등에 민감하여 직접 관찰하기 매우 어려움이 있어 분포 정보뿐만 아니라 생태학적 정보가 부족하다. 따라서 최신기술인 GPS 발신기를 이용하여 남생이 등갑에 부착 후 방사, 모니터링을 통하여 남생이 종의 기초적인 행동 경향, 행동권 등의 행동 생태를 연구하고자 한다.

나. 연구 내용 및 방법

(1) 남생이 포획

남생이 포획은 남생이 전용 자체 제작 포획용 틀을 이용하여 직접 포획하였다. 서식지 유형별 비교 연구를 위해 저수지와 하천으로 나누어서 포획된 개체에 GPS 발신기를 부착하였다. ‘21년 남생이 서식 분포 연구를 기반으로 하여 제일 밀도가 높았던 곳인 구례군 동산제와 함양군 임천을 연구 대상으로 설정하였다. 그리고 제보로 인해 남생이 밀도가 높은 곳인 산청군 유구천, 남강도 추가 대상으로 설정하였다.



그림. III-3-(1). 자체 제작 포획용 틀(좌) 및 설치 모습(우)

총 7회에 걸쳐서 남생이 포획을 시도하였으며, 서식지 유형별로는 저수지(동산제)에서 4회, 하천1(유구천)에서 6회, 하천2(임천)에서 1회를 실시하였다.

표. III-3-(1). 남생이 서식지별 포획날짜 및 포획 시도 횟수

번호	날짜	남생이 포획		
		저수지(동산제)	하천1(유구천)	하천2(임천)
1	2022.4.19. ~ 4.21.	○	○	-
2	2022.5.16. ~ 5.19.	○	○	-
3	2022.6.8. ~ 6.10.	○	○	-
4	2022.6.13. ~ 6.14.	-	○	-
5	2022.6.16. ~ 6.17.	-	○	-
6	2022.6.20. ~ 6.21.	-	○	○
7	2022.8.4. ~ 8.5.	○	○	○
총 포획 횟수		4회	6회	1회

(2) 남생이 발신기 부착

남생이 모니터링을 위한 발신기는 GPS 발신기인 중국 Druid사의 Debut YAWL(7.75g)와 Lego(20.4g)를 이용하였다. GPS 발신기가 부착된 남생이의 방사 후 야생에서의 생활사에 방해를 최소화하기 위하여 각 발신기의 무게가 남생이 무게의 5% 미만인 되도록 남생이를 선별하여 부착하였다.



그림. III-3-(2). GPS 발신기(좌) 및 남생이 등갑 부착 모습(우)

다. 연구 결과

(1) 남생이 포획 및 발신기 부착

2022년 4월 19일부터 8월 5일까지 조사 결과, 남생이 총 50개체가 포획되었다. 이 중 남생이를 선별하여 저수지 동산제에서 남생이 6개체(암컷 성체 5개체, 수컷 성체 1개

체), 하천 유구천에서 3개체(암컷 성체 1개체, 수컷 성체 2개체), 하천 임천에서 3개체(암컷 성체 1개체, 수컷 성체 1개체)에 GPS발신기를 등갑에 부착 후 본래의 서식지에 방사하였다.

표 III-3-(2). 남생이 서식지별 포획날짜 및 포획 개체수

날짜 (2022)	남생이 포획개체수		
	저수지(동산제)	하천1(유구천, 남강)	하천2(임천)
4.19. ~ 4.21.	1개체	6개체	조사전
5.16. ~ 5.19.	22개체	3개체	조사전
6.8. ~ 6.10.	5개체	-	조사전
6.13. ~ 6.14.	조사끝	-	조사전
6.16. ~ 6.17.	조사끝	1개체	조사전
6.20. ~ 6.21.	조사끝	조사끝	10개체
8.4. ~ 8.5.	2개체	조사끝	조사끝
총 개체수	30개체	10개체	10개체

표 III-3-(3). GPS발신기 부착 후 방사한 남생이의 정보

이름	성별	성숙도	무게	배갑(carapace)		복갑(plastron)		비고
				장축	단축	장축	단축	
동산22_1	F	A	610.5	15.9	10.6	14.8	7	넓은머리남생이. YAWL 9443 부착. 4월 21일 오전9시59분 방사
동산22_2	F	A	490.43	15.069	10.325	14.022	6.179	YAWL 10486 부착., 5월 18일 오후2시33분 방사
동산22_3	M	A	234.06	12.332	8.011	10.139	4.897	흑화. YAWL 10511 부착., 5월 18일 오후2시33분 방사
동산22_17	F	A	909.5	19.611	12.897	18.058	8.092	넓은머리남생이. YAWL 10512 부착. 6월 10일 오전8시50분 방사, 8월 4일 제포획, LEGO13450부착, 8월 20일 오전 11시28분 방사
동산22_25	F	A	614.5	15.997	10.432	14.753	9.971	YAWL 10514 부착., 6월 10일 오전8시50분 방사
동산22_26	F	A	588	16.138	10.836	15.081	6.546	YAWL 10516 부착. 6월 10일 오전8시50분 방사
원지22_2	M	A	435.54	15.2	10.9	13.2	5.9	흑화. LEGO 11336 부착. 4월 22일 오전11시15분 방사
원지22_7	F	A	950.5	18.527	12.255	16.657	8.191	LEGO 11341 부착., 5월 18일 오전11시28분 방사
원지22_8	M	A	561.5	15.991	11.023	14.176	6.545	LEGO 11342 부착., 5월 18일 오전11시28분 방사
함양22_1	F	A	622	15.776	10.188	14.205	6.335	LEGO 11348 부착., 6월 22일 오전10시54분 방사
함양22_2	M	A	557.5	16.86	11.296	14.294	6.188	흑화. LEGO 11343 부착., 6월 22일 오전10시54분 방사
함양22_3	M	A	432.63	14.691	9.478	12.519	5.86	흑화. LEGO 11311 부착., 6월 22일 오전10시54분 방사

(2) 남생이 방사 후 모니터링

저수지 남생이의 위치 데이터를 분석한 결과, 남생이 행동 특성들이 최초로 확인되었다.

(가) 남생이의 저수지 간 이동성

구례 동산제 암컷성체(YAWL 10514)가 6월에 기존 저수지(동산제)에서 옆 저수지(오동저수지)로 언덕을 넘어 이동, 7월 이후부터는 이동한 오동저수지에서 서식하는 것으로 확인되었다.



그림. III-3-(3). 남생이의 저수지 간 이동(암컷성체, 6월)

(나) 남생이의 계절별 이동성

구례 동산제 수컷성체(YAWL 10511), 암컷성체(YAWL 10516, 10486) 모두 6월부터 8월까지는 동산제에서 내려와 근처 논에서 활동하는 것으로 확인되었다.



그림. III-3-(4). 암컷성체(YAWL 10480)개체의 8월 위치좌표

(다) 남생이의 회귀성

여름철에는 논에서 활동을 하다가 9월 이후에는 본 서식지인 동산제로 돌아가 저수지에서 서식하는 것으로 확인되었다.



그림. III-3-(5). 암컷성체(YAWL 10480)개체의 6월(왼)부터 9월(오)까지 위치좌표

라. 결론

국내에서 최초로 남생이를 대상으로 GPS 발신기를 이용하여 모니터링을 시행하여, 1시간 간격의 위치 좌표 및 환경데이터(온도, 광도)를 수신하였다. 본 연구에 사용된 GPS 발신기는 태양광 충전 방식이라 해가 떠 있을 때 일광욕을 즐기는 특성을 가진 남생이 연구에 아주 적합하다고 할 수 있다.

그러나 단점이 없는 것은 아니다. 본 연구에 사용된 GPS 발신기는 GPS 특성으로 인하여 물속에서는 위치 좌표가 수신되지 않고, 남생이가 일광욕할 때나 등갑을 물표면 위로 노출하고 유영할 때만 위치 좌표가 수신되는 단점이 있으나, 수신된 위치 좌표와 추후 온도와 광도 환경 데이터를 함께 분석한다면 보정이 가능하며, 남생이의 일주기 행동을 파악하는 데 도움이 될 것으로 생각된다.

GPS 발신기라는 신기술을 적용한 본 연구를 통해 남생이 모니터링의 정밀도가 향상되었으며, 남생이에 GPS 발신기 부착 후 방사하는 그 순간부터 GPS 발신기가 배터리가 방전되거나 이상이 생기기 전까지 위치 좌표 및 환경 데이터가 연속으로 자료화되어 남생이의 새로운 행동 특성을 파악할 수 있었다.

남생이가 서식지 선택 시 생물학적 특성이 아닌 홍수나 가뭄과 같은 자연적인 현상이나 인위적인 요인으로 선택하였을 가능성이 있으나, 본 연구에서 확인된 남생이의 계절별 이동성과 회귀성을 보았을 때 남생이는 자기 스스로 특정한 생물학적 특성으로 자신의 서식지를 선택하는 것으로 추정할 수 있다. 또한 남생이가 보통 수로를 통하여 이동할 것으로 생각할 수 있으나 본 연구에서 수로가 아닌 언덕을 넘어 최단 거리로 이동한 점이 확인되는 것을 보았을 때 남생이에게 물의 존재를 느끼는 특정한 감각이 있음을 유추해 볼 수 있다. 그러나 이는 남생이의 행동 경향만 파악할 수 있는 단편적인 과학적 자료로 이를 뒷받침하기 위해서는 실내 실험을 통하여 야생 남생이를 대상으로 하여 물에 대한 습성을 구명하거나 서식지 특성이 다른 지역(더 큰 규모의 저수지, 하천이 가까운 저수지, 주변에 논이나 밭이 없는 저수지 등)에서의 남생이 행동 특성에 관한 추가 연구가 필요하겠다.

IV. 멸종위기 곤충·무척추동물 방사 개체적응 및 생태환경변화 모니터링

1. 멸종위기 참달팽이 방사 개체 야생적응 연구

가. 서론

한국 고유종인 참달팽이는(*Koreanohadra Koreana*, Pfeiffer, 1850)는 환경부 멸종위기 야생생물 II급으로 지정되어 법으로 보호받고 있으며, 2018년에 우선 복원 대상종으로 선정됨에 따라 ' 멸종위기 참달팽이 보전계획(' 21~' 27) '이 수립되어 보전 연구가 진행 중이다. 또한, 2012년 국가적색목록에 위기(EN)로 처음 선정된 이후 2022년 개정판에는 위급(CR)으로 상향조정되어 서식지 및 개체군 보전이 시급한 상황이다. 참달팽이는 전남 신안군 홍도를 비롯해 신안군의 일부 섬에만 서식하고 있다. 홍도 서식지의 경우 민가 인근에서 주로 발견되는데 주요 서식처를 조사한 결과 평균 5개체/100 m² ('19년 5개체, '20년 6개체, '21년 4개체) 발견될 만큼 개체군의 크기가 작다(국립생태원, 2021). 또한, 주요 서식처 외에는 출현 빈도가 낮고, 조사 시기별 변동 폭이 커 개체군의 상태가 다소 불안정한 것으로 평가할 수 있다. 참달팽이는 이동성이 작아 다른 섬 또는 내륙으로의 확산에 매우 취약하다. 장기적으로는 기후변화에 의한 습도, 기온 등의 환경변화에 생존을 위협받고 있으며, 개체군의 절멸이 종 전체의 절멸과 직결될 수 있다. 단기적으로는 홍도를 방문하는 탐방객들의 무관심에 의한 밟힘 또는 인위적인 제초 행위, 살충제 사용 등에 의해 개체군이 위협받고 있다.

참달팽이 방사 개체를 추적하기 위해 사용한 PIT-tag (passive integrated transponder tag)는 무선주파수식별장치(RFID, radio frequency identification)의 한 종류이다. PIT-tag 발신기는 전원을 필요로 하지 않으며 내부에는 고유번호를 갖는 마이크로칩이 내장되어 있어 안테나형 수신기를 통해 수동으로 개체를 식별할 수 있다. 일반적으로 PIT-tag는 전용 주사기를 이용해 발신기를 척추동물의 체내에 삽입하여 성장률, 생존율, 이동 특성 등의 연구에 사용하는 장비이다. 달팽이류의 경우 크기가 작고 피하지방이 발달하지 않아 접착제를 이용하여 발신기를 패각에 부착하는 채포획법이 주로 적용된다(Henry & Jarne, 2007). 이는 접착제가 떨어져 나가는 경우가 일부 발생하는 단점이 있으나, 발신기 삽입을 위해 패각에 구멍을 뚫고 회복하는 과정에서 세균감염 등에 노출되지 않으므로 달팽이의 생존에 영향을 미치지 않는 장점이 있다.

국립생태원 멸종위기종복원센터에서는 ' 18년 전남 신안군 홍도 참달팽이 5개체를 도입하여, ' 22년에 처음으로 12개체를 인공증식하는 데 성공했으며, 2022년 6월 기준 인공증식한 참달팽이 개체 수는 총 65마리로 늘어났다. 이 중 건강한 준성체(조가비 길이 약 18-20mm) 20개체와 야생에 서식하는 20개체에 발신기를 부착 및 방사하여 인공증식 개체의 야생 적응성, 생태연구 등을 통해 향후 서식지 보전, 개체군 이입·보강 시 고려해야 할 실질적인 정보를 확보하기 위한 목적으로 수행하였다.

나. 연구 내용 및 방법

(1) 방사 개체 후보군 선정 및 관리

‘21년 인공증식(F1)한 30개체를 방사 후보군으로 1차 선별하여, 방사 시점까지 동일 사육조건(기온, 습도, 먹이 등)에서 관리하였다(표. IV-1-(1), 그림. IV-1-(1)). 방사 후보군은 ’18년 전남 신안군 홍도에서 도입한 모 개체로부터 인공증식되었으며, 방사 후보군 1차 선별 개체들을 대상으로 대구지방환경청의 ‘인공증식증명’ 및 ‘방사·훼손’ 등 관계기관의 허가를 득하여 방사 연구를 위한 행정적 기반을 마련하였다(표. IV-1-(2)). 방사 후보군의 사육과정 중 성장 부전(Failure to thrive) 개체 또는 중도 폐사한 개체를 제외하였으며, 방사 직전 먹이 반응·활동성 등을 고려하여 준성체(각경 18~20mm) 20개체를 최종 방사 대상으로 선정하였다.

표. IV-1-(1). 참달팽이 방사 후보군 사육조건

	사육실 습도	사육통 습도	기온	바닥재	먹이
내용	60%	90% 이상	24 °C	코코피트	채소, 사료, 칼슘



참달팽이 사육대



참달팽이 유생 먹이 급이

그림. IV-1-(1). 참달팽이 사육 관리를 위한 시설 및 먹이 급이 방법

표 IV-1-(2). 참달팽이 방사 연구 관련 관계기관 허가사항

구분	기관	내용	허가/문서번호	년.월
모 개체 포획·보관	영산강유역환경청	포획, 보관	제2018-43호	2018.10
	신안군청	문화재 현상 변경	2018-02	2018.10
	국립공원공단	행위허가	보전정책부-2101	2018.10
인공증식	대구지방환경청	인공증식증명	제2022-2호	2022.03
방사·포획	영산강유역환경청	포획, 방사	제2022-24호	2022.05
	신안군청	문화재 현상 변경	문화관광과-12885	2022.06
	국립공원공단	행위허가	보전정책부-976	2022.04
안내판 설치	국립공원공단	행위허가	다도해해상서부사무소-4907	2022.08

(2) PIT-Tag 발신기 적용방식 사전 실험

방사한 참달팽이의 야생 적응성을 평가하기 위해 생존·성장률(%)을 지표로 사용하였다. 이를 위해서는 각 개체를 표지 후 방사하거나, 개체 고유 식별코드를 가진 발신기 등의 부착이 필요하다. 개체의 크기는 작으나 단단한 패각을 가진 달팽이류는 접착제를 이용해 패각에 발신기를 붙이는 방법이 일반적이다. 다만, 성장이 급격하게 이루어지는 유생 단계에서는 접착제가 떨어질 가능성이 크므로 본 연구에서는 패각의 각경을 기준으로 평균 19mm의 준성체에 발신기를 부착하였다.

참달팽이 방사 대상에 발신기를 부착하기에 앞서 일반 육상달팽이(아프리카왕달팽이) 50개체를 대상(실험군별 10개체)으로 PIT-tag 발신기의 적용 안전성·안정성·부작용 등에 대한 사전 적합성을 검토하였다(그림 IV-1-(2)). 실험군은 패각 외부의 위치(제공, 등면, 각정)를 달리하여 접착제를 부착하였으며, 접착제가 붙어있는 부분의 성장부전 및 접착력 등을 검토하였다. 또한, 접착제 탈락에 따른 발신기 손실을 방지하기 위한 대안으로 내부삽입을 병행하였으며, 달팽이의 패각 체층부 위치에 2mm의 구멍을 뚫고 패각과 육질부 사이에 발신기를 삽입한 후 회복과정 중 수분 손실, 세균감염 등에 의한 폐사 위험성을 검토하였다. 대조군에는 발신기를 삽입 또는 부착하지 않고 실험군과 같은 환경 조건에서 사육하였다. 아프리카왕달팽이 사전 실험은 참달팽이 방사 전

두 달(5~6월)간 진행하였으며, 사전 실험 결과를 기반으로 참달팽이의 발신기 적용방식을 결정하였다.



접착제 각정 부착



접착제 등면 부착



발신기 패각 내부삽입

그림. IV-1-(2). 아프리카왕달팽이 PIT-tag 사전 실험

(3) 참달팽이 방사지 평가 및 선정

홍도 서식지의 참달팽이는 주로 민가 인근의 돌담, 초지에서 주로 발견된다. 다만, 민가 인근이라 할지라도 평지가 거의 없고 경사가 심해 방사지를 벗어난 참달팽이를 재포획하는 데에는 많은 제약이 따른다. 따라서 1) 서식처 안정성, 2) 개체군 안정성, 3) 조사 용이성에 대한 세부 기준을 종합적으로 평가하여 방사지를 선정하였다(표. IV-1-(3)). 각 항목에 가중치는 부여하지 않으나, 서식처 안정성(제 1항목)에서 한 지표라도 불량(1점)으로 평가되는 경우 방사지 선정에서 제외하며, 총점 24점 중 20점 이상으로 평가된 후보지를 선정하는 것이 적절하다. 방사지 후보군은 참달팽이가 주로 발견되는 마을 인근 4개 지점(A1~4)이었다(그림. IV-1-(3)).

표 IV-1-(3). 참달팽이 방사지 선정기준

항목	지표	내용
1. 서식처 안정성	식생상태	- 양호(3점): 서식처 면적 대비 식생비율 80% < - 보통(2점): 서식처 면적 대비 식생비율 60 - 80% - 불량(1점): 서식처 면적 대비 식생비율 60% >
	칼슘원	- 양호(3점): 석회석으로 부터의 거리 5 m > - 보통(2점): 석회석으로 부터의 거리 5~25 m - 불량(1점): 석회석으로 부터의 거리 25 m <
	이동·확산	- 양호(3점): 서식처면적 1,000 m² < - 보통(2점): 서식처면적 250 - 1,000 m² - 불량(1점): 서식처면적 250 m² >
	인간간섭	- 양호(3점): 도로, 등산로, 텃밭에 의한 영향 적음 - 보통(2점): 도로, 등산로, 텃밭에 의한 영향 보통 - 불량(1점): 도로, 등산로, 텃밭에 의한 영향 큼
2. 개체군 안정성	출현빈도 ('19~'21)	- 양호(3점): 3년 연속 출현 확인 - 보통(2점): 3년 중 2년만 출현 확인 - 불량(1점): 3년 중 1년만 출현 확인
	개체밀도 (개체/100m ²)	- 양호(3점): 평균 25 개체 < - 보통(2점): 평균 5 - 25 개체 - 불량(1점): 평균 5 개체 >
3. 조사 용이성	경사	- 양호(3점): 걸어서 이동 가능한 면적 80% < - 보통(2점): 걸어서 이동 가능한 면적 60 - 80% - 불량(1점): 걸어서 이동 가능한 면적 60% >
	장애물	- 양호(3점): 나무, 철조망, 암벽 등 장애물 적음 - 보통(2점): 나무, 철조망, 암벽 등 장애물 보통 - 불량(1점): 나무, 철조망, 암벽 등 장애물 많음



구 분	입지 요건	서식 유형	위치정보	
			위도	경도
A1	민가	돌담	34°41'55.9"	125°11'24.3"
A2	민가 인근	풀숲 (관목림)	34°41'00.7"	125°11'31.2"
A3	민가	돌담	34°41'54.1"	125°11'23.6"
A4	민가 인근	풀숲 (다년생 초본)	34°41'07.2"	125°11'35.0"

그림. IV-1-(3). 참달팽이 방사 후보지 유형(상단) 및 위치정보(하단)

(4) 참달팽이 방사 및 모니터링

참달팽이 총 40개체(야생 20개체/인공 20개체)에 PIT-tag (8 mm × 1.4 mm FDX-B “Skinny” PIT Tag, Oregon) 발신기를 에폭시 성분의 접착제로 부착하여 ‘22년 7월 8일에 A4 지점에 방사하였다(그림. IV-1-(4)). 야생 20개체는 홍도 참달팽이 서식지에서 포획하였으며 멸종센터 사육시설에서 인공증식한 개체의 야생 적응성을 평가하기 위한 비교 연구 대상으로 활용하였다. 참달팽이의 활동성이 높은 8, 10월 각 1회(총 2회) 안테나형 수신기(HPR Plus Handheld PIT tag Reader, Biomark)를 이용하여 방사지 일원 6,000 m²를 대상으로 추적하였다. 당초 8~10월까지 월 1회(총 3회) 조사를 계획하였으나, 올해 9월 연달아 발생한 태풍(11호~14호)의 영향으로 현장 조사자의 안전을 고려하여 9월 조사는 부득이하게 제외 하였다. 각 발신기에 내장된 마이크로칩의 고유 식별번호를 수신기로 인식하여 식별 일자, 위치정보(GPS) 등을 수집하였다. 위치가 확인된 참달팽이는 포획하여 버니어 캘리퍼스로 각경을 측정하고 포획 위치에 즉시 방사하였다. 최종적으로 방사 3개월 후 인공증식 개체의 성장률과 생존율을 분석하였다.



PIT-tag 발신기



PIT-tag 발신기 부착 모습



PIT-tag 발신기 부착 후 안정화



야생 개체 현장 PIT-tag 부착



PIT-tag 수신기



참달팽이 방사 직후

그림. IV-1-(4). PIT-Tag을 이용한 참달팽이 모니터링 예시

다. 결과

(1) PIT-tag 발신기 적용 방식 사전 실험

아프리카왕달팽이를 이용하여 두 달(5~6월)간 PIT-tag 발신기 적용방식을 사전 실험한 결과 대조군을 비롯하여 제공, 등면, 각정에 접착제를 부착한 개체들의 폐사율은 10% (1/10)였다. 접착제를 부착하지 않은 대조군에서도 한 개체가 폐사하여, 접착제에 의한 폐사 위험성은 미미한 것으로 판단된다. 또한, 제공, 각정, 등면 위치에 부착한 접착제는 단 한 개체에서도 탈락하지 않아 안정성을 확인할 수 있었다. 반면, 내부에 발신기를 삽입한 실험군에서는 20% (2/10)가 폐사하였고, 그중에 한 개체에서는 발신기 삽입을 위해 뚫은 구멍이 회복되지 않았으며, 발신기 또한 구멍을 통해 유실되었다. 전체 실험군의 각정 성장률은 삽입(15.0%) > 등면과 각정(14.8%) > 제공(10.7%) 순이었다(표. IV-1-(4)). 반면, 대조군의 각정 성장률은 13.4%였으므로 성장판 인근에 있는 제공 부위를 제외하면 발신기의 외부 부착 및 내부삽입이 성장률에 미치는 영향은 뚜렷하게 확인되지 않았다. 야생에서 발견되는 참달팽이 성체의 크기는 약 25mm 내외이며, 인공증식 개체 방사 후 연구가 진행되는 3개월간 기대되는 성장(각정) 크기는 약 1.5 mm (19.0 → 20.5 mm)'도 성장률은 8% 내외이다. 이를 종합하면 참달팽이의 패각 등면 또는 각정 부위에 발신기를 부착하는 것이 가장 적합한 것으로 판단된다.

표. IV-1-(4). 아프리카왕달팽이 PIT-tag 발신기 사전 적용 실험 결과

구분	내용	개체구분										평균
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
대조군	전	12.2	12.5	12.7	14.0	14.2	14.3	15.8	16.1	16.4	16.5	14.5
	후	14.0	14.5	폐사	15.9	15.9	16.4	17.8	18.3	18.3	18.4	16.6
	증감	1.8	2.1	-	1.8	1.7	2.0	2.0	2.2	1.9	1.9	1.9
	성장률(%)	15.1	16.5	-	13.1	12.1	14.1	12.9	13.7	11.7	11.6	13.4
실험군	각정	전	13.4	13.9	14.1	14.8	14.9	15.3	15.4	15.5	15.7	14.9
		후	15.5	15.7	폐사	16.6	17.4	17.4	17.5	17.6	17.9	17.2
		증감	2.1	1.9	-	1.9	2.5	2.1	2.1	2.1	2.2	2.2
		성장률(%)	15.5	13.5	-	12.5	16.5	13.9	13.4	13.4	14.1	14.8
	제공	전	14.6	14.8	14.9	15.0	15.1	15.1	15.8	16.2	16.4	15.5
		후	15.7	폐사	16.2	16.3	16.9	17.3	17.7	18.1	18.3	17.2
		증감	1.0	-	1.3	1.3	1.9	2.2	1.9	1.9	1.9	1.7

구분		내용	개체구분										평균
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
		성장률(%)	7.1	-	8.5	8.7	12.3	14.4	11.7	11.7	11.5	10.3	10.7
	등면	전	12.9	13.9	14.2	15.1	15.3	15.6	15.6	15.9	16.1	17.8	15.2
		후	14.4	14.7	16.3	17.2	17.8	18.0	18.4	18.8	19.5	폐사	17.2
		증감	1.4	0.8	2.0	2.1	2.5	2.5	2.8	2.9	3.4	-	2.3
		성장률(%)	11.1	5.5	14.1	14.2	16.0	15.7	17.9	17.9	21.0	-	14.8
	삽입	전	13.5	14.3	14.4	14.7	14.8	15.2	15.2	15.4	15.5	16.3	14.9
		후	폐사	폐사	15.3	16.9	17.0	17.3	17.5	17.6	18.6	19.7	17.5
		증감	-	-	0.9	2.2	2.2	2.1	2.2	2.2	3.2	3.4	2.3
		성장률(%)	-	-	6.0	14.7	14.8	13.8	14.7	14.5	20.3	20.7	15.0

(2) 참달팽이 방사 및 모니터링

가) 방사 후보지 서식처 특성

○ A1

홍도 1구 좌측의 동백나무숲(당산숲)과 마을을 연결하는 등산로 초입에 있는 60m 길이의 돌담길이다(그림. IV-1-(5)). 돌담은 크기 약 30cm 이상의 돌들을 인위적으로 쌓아 만든 구조이다. 돌 사이 간격이 넓어 소형동물의 은신처 역할을 하고 있다. 다만, 돌담 주변 소규모의 텃밭이 존재하며 등산로를 이용하는 사람에 의한 참달팽이 밟힘 등 인위적인 위협요인이 존재한다. 그럼에도 불구하고 돌담 주위로 초본 식생이 발달해 있고, 돌담 아랫면 경계를 따라 부엽토가 쌓여있어 최근 3년간('19~'21) A1의 참달팽이 개체 밀도는 평균 9개체/100 m²로 방사후보지 중 개체군의 크기가 가장 큰 곳이다(국립생태원, 2021). 다만, 돌담 사이에 숨어들어 있는 참달팽이는 채집이 어려워 성장 확인에 불리하고, 돌담 좌우의 경사가 심해 조사할 수 있는 면적이 매우 제한되는 단점이 있다.



그림. IV-1-(5). 참달팽이 조사지점 A1 전경

○ A2

A1의 돌담길이 끝나는 곳부터 등산로를 따라 위쪽에 위치하고 있다. 등산로 주변에 동백나무, 보리장나무 등 관목이 발달해 있다(그림. IV-1-(6)). A1 지점과 달리 돌담길은 없으나 산비탈면을 따라 암석의 노출 비율이 높으며, 비탈면 하부에는 부엽토가 쌓여있다. 최근 3년간('19~'21) A2의 참달팽이 개체밀도는 평균 1개체/100 m²로 방사 후보지 중 개체군의 크기가 가장 작은 곳이다(국립생태원, 2021). 등산로 주변으로 참달팽이가 종종 발견되나 경사가 심해 등산로 좌우 사면으로의 이동할 수 없어 실제 조사할 수 있는 면적이 매우 제한되는 단점이 있다.



그림. IV-1-(6). 참달팽이 조사지점 A2 전경

○ A3

홍도 1구 마을 내 다도해해상국립공원 서부사무소 홍도탐방지원센터와 우체국 사이에 있는 10m 길이의 돌담이다(그림. IV-1-(7)). 돌담 주위로 초본 식생의 발달이 미미하며, 돌담 상부 경사면을 따라 주기적으로 관리되고 있는 조경수가 일부 식재되어 있다.

골목길을 따라 주민과 탐방객의 왕래가 잦으며 인위적인 간섭이 많은 지점이다. 최근 3년간(' 19~' 21) 평균 3개체/100 m²가 출현하였으나(국립생태원, 2021), 서식처의 면적이 매우 협소하여 참달팽이의 이동·확산 및 개체군 증식에 매우 불리한 단점이 있다.



그림. V-1-(7). 참달팽이 조사지점 A3 전경

○ A4

흑산초등학교 홍도분교장 우측 깃대봉을 오르는 등산로 초입에 위치하고 있다(그림. IV-1-(8)). 관목류는 거의 관찰되지 않고 다양한 야생화를 비롯하여 초본류 식생이 잘 발달해 있다. 최근 3년간(' 19~' 21) A4의 참달팽이 개체밀도는 평균 6개체/100 m²로 방사 후보지 중 개체군의 크기가 두 번째로 큰 곳이다. A1 지점과 같은 돌담은 없으나 돌탑, 시멘트 배수로 및 초등학교 담벼락 등에서 참달팽이가 자주 발견된다. 등산객의 이동이 가장 많은 곳으로 인위적인 위협요인이 존재한다. 다만, 등산로에 나무 데크가 설치되어 있어 등산객으로부터 가해지는 참달팽이 서식처에 대한 직접적인 위협은 적다. 방사 후보지 중 서식처의 면적이 가장 넓은 뿐만 아니라 이동이 쉬워 방사 개체의 모니터링에 유리한 장점이 있다.

○ 방사지 선정 항목별 평가결과

방사 후보지를 대상으로 3가지 항목에 대한 세부 평가를 진행한 결과 A4 지점의 총 점수가 22점으로 가장 높았으며, A1 18점, A2 16점, A3 13점 순으로 나타났다(표. IV-1-(5)). 이에 따라 방사 대상지는 A4 지점으로 최종 선정하였다.



그림. IV-1-(8). 참달팽이 조사지점 A4 전경

표. IV-1-(5). 참달팽이 방사지 선정기준

항목	세부평가	A1	A2	A3	A4
1. 서식처 안정성	식생	3	3	1	3
	칼슘원	3	3	3	3
	이동·확산	2	2	1	3
	인간감섭	3	3	1	2
2. 개체군 안정성	출현빈도	3	2	2	3
	개체밀도	2	1	1	2
3. 조사 용이성	경사	1	1	3	3
	장애물	1	1	1	3
합계		18	16	13	22

(3) 참달팽이 방사 및 모니터링

참달팽이 인공증식 개체의 야생 적응성 연구에 이용된 참달팽이는 총 40개체였다. 이 중 20개체는 국립생태원 멸종위기종복원센터 자체 사육시설에서 인공증식되었으며, 다른 20개체는 인공증식 개체와 생존·성장률 비교·분석을 위해 서식처 내에서 방사 당일('22. 7. 8.) 오전에 포획되었다. 방사 1주 전 실험실 내에서 인공증식된 참달팽이의 패각 등면에 PIT-tag를 부착하였으며, 야생 개체는 포획 당일 현장에서 부착하였다.

인공증식 참달팽이 20개체의 평균 각경의 크기는 19mm 정도의 준성체였으며, 야생 개체는 약 25mm의 성체였다. 일반적으로 이른 봄 부화한 참달팽이가 여름에 준성체로 발견이 되나, 현장에는 성체와 부화한지 얼마 안 된 유생을 제외하고 준성체는 발견되지 않았다. 이는 올해 상반기 전국적인 가뭄의 영향으로 참달팽이 알의 부화 시점이 늦춰졌거나, 부화 후 휴면상태가 오랫동안 지속되어 장기간 성장이 지연된 것에 기인한 것으로 추정된다.

방사 3개월 후 최종적으로 총 24개체(60%, 24/40)가 재포획되었다. 미확인된 16개체 중에 2개체(5%, 2/40)는 탈락한 PIT-tag 발신기만 확인되었으며, 14개체(35%, 14/40)는 생사를 확인하지 못했다(표 IV-1-(6)). 방사지에 초본류가 밀생하고 있어 조사가 용이하지 않으며, 나무데크 및 돌무더기 틈 사이 등 접근하지 못한 구간에 추가적인 생존 개체가 분포하고 있을 가능성이 크다. 재포획된 24개체 중 야생 개체의 생존율이 64%(7/11)로 인공증식 개체 54%(7/13) 보다 소폭 높았으나, 인공증식 개체의 재포획률이 더욱 높았던 점을 고려했을 때 PIT-tag가 참달팽이 생존에 영향을 미쳤다고 판단하기에는 어려운 수준이었다. 방사 3개월 후 생존한 인공증식 개체의 성장률은 6.7%로 야생 개체 5.9%에 비해 0.8%p 높았다. 인공증식 개체와 야생 개체의 성장률에 뚜렷한 차이는 보이지 않았으나, 인공증식 개체가 야생에서 적응하여 생존이 가능한 것을 방증하는 결과로 해석할 수 있다. 또한 인공증식 개체 중 조사 당시 폐사한 상태로 발견된 개체들도 2.7%의 성장률을 보임에 따라 실내에서 인공증식한 참달팽이들이 야생에서 먹이활동을 하고 성장하는 것에 큰 어려움이 없는 것으로 판단된다. 인공증식 개체와 야생 개체의 각경 초기값, 조사 차수별 크기, 성장률, 생존율은 <표. IV-1-(7)>과 같다.

표 IV-1-(6). 참달팽이 인공증식 및 야생개체의 방사 후 현황(생존 및 성장률)

구분	생존(개체, 비율%)						전체	성장(크기 mm, 비율%)		
	재포획			미확인				생존	폐사	전체
	생존수	폐사수	합계	미탐지	분실	합계				
인공증식	7	6	13	6	1	7	20	1.2mm	0.5mm	0.9mm
	54%	46%	100%	86%	14%	100%		6.7%	2.7%	4.9%
야생	7	4	11	8	1	9	20	1.4mm	0.1mm	0.9mm
	64%	36%	100%	89%	11%	100%		5.9%	0.3%	3.8%

※ 분실: 현장에서 탈락된 PIT-tag 발신기만 발견된 경우

표. IV-1-(7). 인공증식 및 야생개체의 초기 각경, 차수, 성장률, 생존율 및 고유식별 코드

구분	인공증식 개체						야생 개체					
	PIT-tag code.	각경(mm)			성장률 (%)	비고	PIT-tag code.	각경(mm)			성장률 (%)	비고
		7월	8월	10월				7월	8월	10월		
1	384.0A0303A0A3	19.26	-	19.40	0.7%	생존	384.0A0303A0BA	23.57			-	미확인
2	384.0A0303A0D3	20.04	20.11	20.90	4.3%	생존	384.0A0303A0DA	27.19			-	미확인
3	384.0A0303A0C9	20.69			-	미확인	384.0A0303A090	26.32			-	미확인
4	384.0A0303A0C2	18.01	18.29	18.40	2.2%	폐사	384.0A0303A0AE	23.90	-	25.00	4.6%	생존
5	384.0A0303A0DC	17.92	-	18.00	0.4%	폐사	384.0A0303A0DF	25.57	-	30.40	18.9%	생존
6	384.0A0303A0A1	18.94	18.92	19.00	0.3%	생존	384.0A0303A0BF	26.29			-	미확인
7	384.0A0303A099	19.07			-	미확인	384.0A0303A088	23.01	-	24.90	8.2%	생존
8	384.0A0303A09D	18.93	19.20	19.20	1.4%	폐사	384.0A0303A0D7	23.07	-	23.75	2.9%	생존
9	384.0A0303A0A6	17.96			-	미확인	384.0A0303A0C0	23.50	-	-	-	분실
10	384.0A0303A0C6	18.61	18.72	18.90	1.6%	폐사	384.0A0303A0A2	27.50			-	미확인
11	384.0A0303A0C4	18.28	19.47	19.90	8.9%	생존	384.0A0303A0A0	24.16	24.93	25.00	3.5%	생존
12	384.0A0303A09F	20.55	20.55	-	-	분실	384.0A0303A0B4	27.63			-	미확인
13	384.0A0303A08B	18.87	19.10	19.10	1.2%	폐사	384.0A0303A0CB	26.46	26.46	26.46	0.0%	폐사
14	384.0A0303A0CE	17.51	-	20.10	14.8%	생존	384.0A0303A080	25.98	-	26.40	1.6%	생존
15	384.0A0303A0B3	19.62			-	미확인	384.0A0303A0E2	27.57	-	27.90	1.2%	폐사
16	384.0A0303A0C3	20.09			-	미확인	384.0A0303A0E1	27.39	-	27.39	0.0%	폐사
17	384.0A0303A085	18.52			-	미확인	384.0A0303A0B5	25.96	25.96	25.96	0.0%	폐사
18	384.0A0303A0BD	18.27	18.59	19.40	6.2%	생존	384.0A0303A082	26.77	26.54	27.10	1.2%	생존
19	384.0A0303A09A	18.67	20.53	20.90	11.9%	생존	384.0A0303A0A9	26.38			-	미확인
20	384.0A0303A0D8	18.65	20.00	20.40	9.4%	폐사	384.0A0303A0B6	23.36			-	미확인

라. 결론

아프리카왕달팽이를 이용하여 PIT-tag 적합성을 사전 실험한 결과 대조군 및 실험군 (폐각 부착)의 폐사율(10%)이 동일하였으며, 단 1개체에서도 발신기가 탈락하지 않아 안전성과 안정성을 모두 확인하였다. 반면, 실험군 중 발신기를 내부 삽입한 경우 폐사율(20%)이 다소 높아 멸종위기종에 적용하기에는 적합하지 않은 것으로 판단된다. 방사지 선정 시 1) 서식처 안정성, 2) 개체군 안정성, 3) 조사 용이성에 대한 세부 기준을 종합적으로 평가해야 하며, 특히 서식처 안정성에서 한 지표라도 불량(1점)으로 평가되는 경우 방사지 선정에서 제외하는 바람직 한 것으로 판단된다. 방사 3개월 후 최종적으로 야생 개체의 생존율이 64%로 인공증식 개체 54%보다 소폭 높았으나 큰 차이는 보이지 않았다. 인공증식 개체의 성장률이 6.7%로 야생 개체보다 0.8%p 높았으나 뚜렷한 차이는 보이지 않았으며, 폐사 개체도 2.7%의 성장률을 보임에 따라 야생 적응에는 큰 어려움이 없는 것으로 판단된다.

참달팽이 PIT-tag 부착	참달팽이 방사 홍보
참달팽이 방사	방사된 참달팽이
방사된 참달팽이 전체	참달팽이 방사 서식지 보호를 위한 팻말 설치

그림. IV-1-(9). 참달팽이 방사관련 사진

2. 소똥구리 몽골 개체군 도입 및 환경 적응성 연구

가. 서론

소똥구리는 환경, 경제, 문화적 측면에서 다양한 가치를 지닌 대표적인 곤충이다. 하지만, 국내에서는 1970년 이후로 발견기록이 없어 지역 절멸로 추정되고 있으며 환경부에서는 멸종위기 야생생물 II급으로 지정하여 보호하고 있다. 현재는 「멸종위기 야생생물 보전 종합계획('18~'27)」에 따라 우선복원대상종으로 지정하여 소똥구리 복원연구를 수행하고 있다. 이에 따른 체계적인 복원전략을 마련하기 위해 기초생태자료 축적이 시급한 상황이다.

소똥구리 복원을 위해 도입한 몽골 개체군은 국내 개체군과 유전적으로는 거의 유사하지만 한반도 야외 기상환경에서의 적응 가능성에 관해서는 확인이 필요한 상황이다. 계절변화에 따른 생활사 연구를 통해 기초생태자료가 축적되면 최적 방사 시기, 구충제 적절 투여 시기 등의 복원전략 수립에 활용할 수 있다.

나. 연구 내용 및 방법

(1) 야외 모니터링 시설 위치 선정

멸종위기종복원센터 내 후보지 4곳(검역소, 곤충온실 옆, Master Plan 부지, 마사 율타리 안) 중 사육관리의 용이성과 소똥구리에게 필요한 최적의 증식환경을 제공하기 위한 요소(거리, 외부인원 접근 용이성, 전기·수도 사용 가능 여부, 햇볕 노출 시간 등)를 고려하여 선정하였다.



그림. IV-2-(1). 야외 모니터링 시설 후보지

(2) 야외 모니터링 시설 설치

알루미늄 방충망 케이지 3개(4m×3m×2m(H) 1개, 3m×2m×2m(H) 2개)를 설치하기 위한 기반을 만들기 위해 4m×3m 1곳, 3m×2m 2곳을 굴토하였다. 소똥구리가 동면을 위해 깊이 50cm 이상 파고 들어가는 것을 고려하여 1m 깊이로 흙을 파내 바닥 면 모양을 평평하고 단단하게 다졌다. 쥐와 다른 해충의 접근을 막고, 내부 개체가 밖으로 나가는 것을 방지하기 위해 구덩이 바깥면으로 두께 3mm의 PVC 비닐을 둘러싸고 모래(강모래)를 흙으로 덮으면서 고정했다. 구덩이 위에 알루미늄 방충망 케이지를 설치하고 지상부로 노출된 PVC 비닐을 케이지 안쪽 면에 나사로 고정하여 강한 바람에도 튼튼하게 버틸 수 있게 하였다. 지붕은 빛이 잘 투과되는 투명한 PVC 슬레이트로 설치했고, 한쪽 면을 높게 하여 물이 밖으로 흘러나갈 수 있도록 했다.

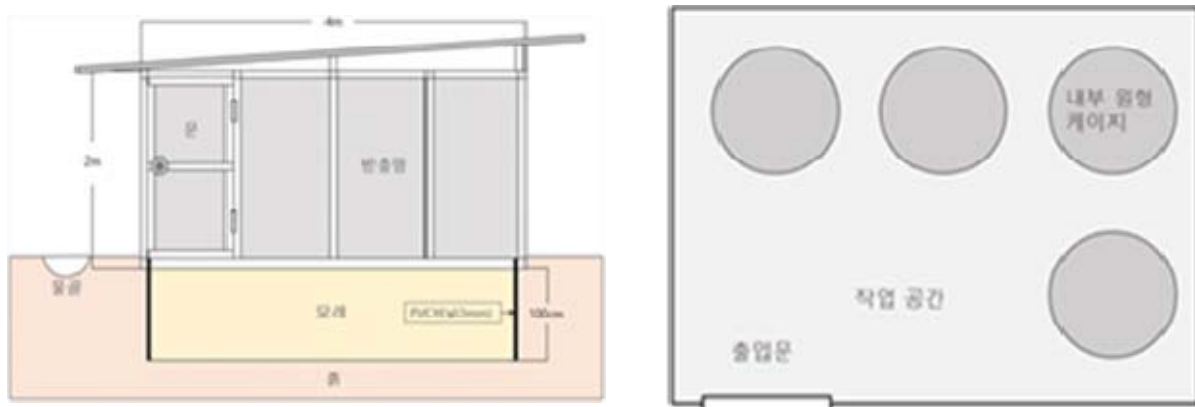


그림. IV-2-(2). 야외 모니터링 시설 외부(좌) 및 내부(우) 도안

(3) 몽골 소똥구리 개체군 도입 및 서식 환경 조사

몽골에 서식하고 있는 소똥구리 개체군은 형태학, 유전학적으로 국내종과 동일종(Yoon et al., 2017)이며 높은 유전적다양성을 가지고 있기 때문에(Kang et al, 2018) 복원을 위한 모개체군으로서 선정되었다. 소똥구리는 구북구 전역에 분포하고 있지만, 정치적인 이슈로 인해 소똥구리에 서식에 대한 정보를 확인하기 어려운 국가인 북한과 러시아는 대상에서 제외하였다.

(가) 개체군 확보 및 도입

2022년 08월 11일 ~ 2022년 08월 12일까지 몽골의 Durnogobi Aimag과 Omnogobi Aimag 주변 4곳에서 가축의 분변에서 활동 중인 소똥구리를 육안으로 확인하여 직접 채집하였다. 채집한 개체는 플라스틱 케이지에 보관하여 몽골대학교의 실험실로 이동했으며, 검역 과정을 준비하기 위해 현미경으로 확인하며 응애 등의 잡충을 제거했다.

표 IV-2-(1). 소똥구리 채집지

번호	지역	GPS 좌표
1	22km Westsouth of Mandalgovi, Durnogobi Aimag	45°40'15.3"N 106°00'08.2"E
2	10km North of Khuld, Durnogobi Aimag	45°18'09.81"N 105°37'02.66"E
3	9km South of Tsogt-ovoo, Omnogobi Aimag	44°21'18.26"N 105°15'26.49"E
4	23km Northeast of Dalanzadgad, Omnogobi Aimag	43°21'12.72"N 104°39'42.2"E

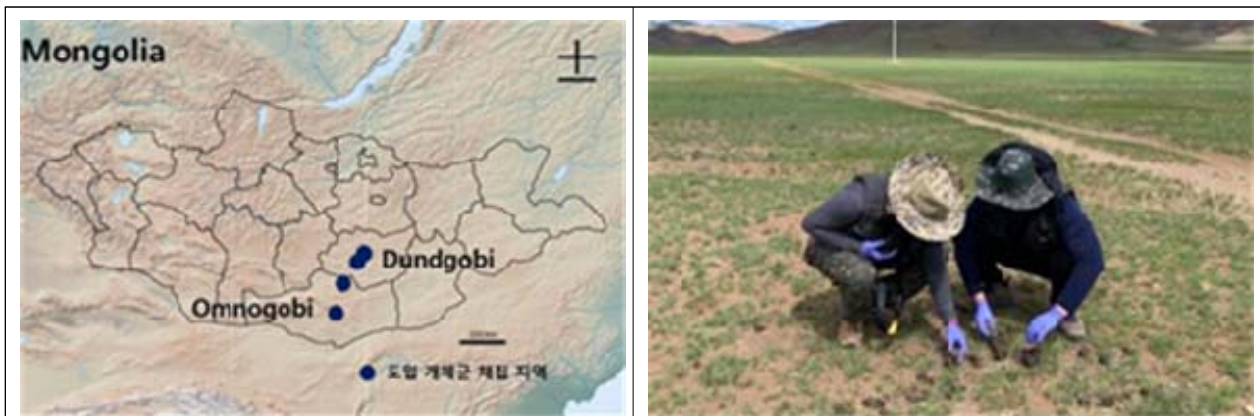


그림. IV-2-(3). 소똥구리 채집지(좌), 소똥구리 채집하는 모습(우)

(나) 몽골 법적·행정절차

- 채집지역의 지방청(Local district office)으로부터 채집허가 승인
- 환경관광부(Ministry of Environment and Tourism)의 포획 및 반출허가 승인
- 몽골상업회의소(Mongolian National Chamber of Commerce and Industry)의 증명서 취득
- 관세청(Customs General Administration of Mongolia)의 통관 및 식물검역 증명서 취득
- 몽골국립대학교와 MoU를 통해 공동연구 및 채집 지역의 가축관련 질병
 - ※ 비발생 검증자료 증빙
 - ※ 병원체(9종): 수포성구내염, 아프리카마역, 비저, 탄저, 말전염성빈혈, 말바이러스성 동맥염, 말전염성자궁염, 가성피저, 선역



그림. IV-2-(4). 국립생태원-몽골국립대학교 간 MoU 체결

(다) 국내 법적·행정절차

- 지방환경청의 멸종위기 야생생물 수입 및 보관허가 승인
- 수입한 해당 공항검역소에서 식물검역대상물품 수입신고 및 검역신청
- 농림축산검역본부 고시 제2018-17호 '금지품에서 제외되는 해충'의 규정에 맞는 허가서류 증빙
- 검역 통과 후 수입통관 신청
- 수입통관 완료 후 도입한 개체를 멸종위기종복원센터로 이동

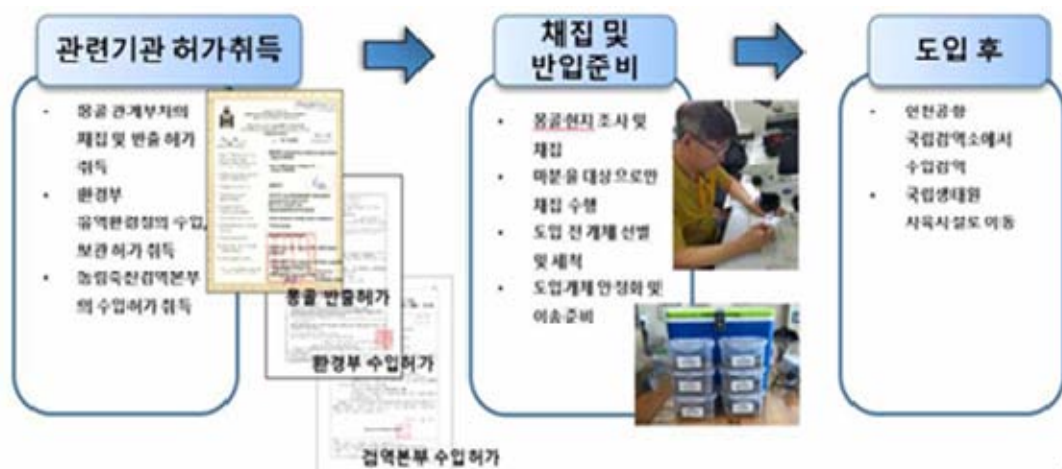


그림. IV-2-(5). 소똥구리 도입을 위한 법적·행정적 절차

(라) 서식환경 조사방법

2022년 06월 16일 ~ 07월 01일, 08월 11일 ~ 08월 12일, 두 차례에 걸쳐 몽골 내 Durnogobi Aimag, Omnogobi Aimag, Khövsgöl Aimag, Bulgan Aimag 주변의 소똥구리 서식지 6곳에서 온도, 습도, 고도, 날씨, 가축 종류 및 소똥구리 개체수를 조사하였다.

표 IV-2-(2). 소똥구리 서식환경 조사지

번호	지역	GPS 좌표
1	22km Westsouth of Mandalgovi, Durnogobi Aimag	45°40'15.3"N 106°00'08.2"E
2	10km North of Khuld, Durnogobi Aimag	45°18'09.81"N 105°37'02.66"E
3	9km South of Tsogt-ovoo, Omnogobi Aimag	44°21'18.26"N 105°15'26.49"E
4	23km Northeast of Dalanzadgad, Omnogobi Aimag	43°21'12.72"N 104°39'42.2"E
5	5km East of Ikh-Uul, Khövsgöl Aimag	49°27'32.6"N 101°32'20.8"E
6	Orkhon, Bulgan Aimag	48°37'10.83"N 103°32'30.12"E

(4) 국내 생태환경 적응성 연구

(가) 도입 후 개체군 안정화

도입 과정에서 소똥구리의 폐사를 방지하기 위해 아이스박스 안의 저온에 장시간 노출된 상태였기 때문에, 1주 동안 항온항습실에서 안정화 과정을 거치게 했다. 안정화를 위한 환경조건은 18℃~27℃로 시간마다 1℃씩 온도가 변화하도록 했고, 5과장 형광등은 14:10(L:D), 250W 적외선등은 10시~15시까지 30분 단위로 설정했다. 먹이는 -60℃ 초저온냉동고에 2주 이상 보관되었던 말 분변을 해동하여 주 3회 공급했다.

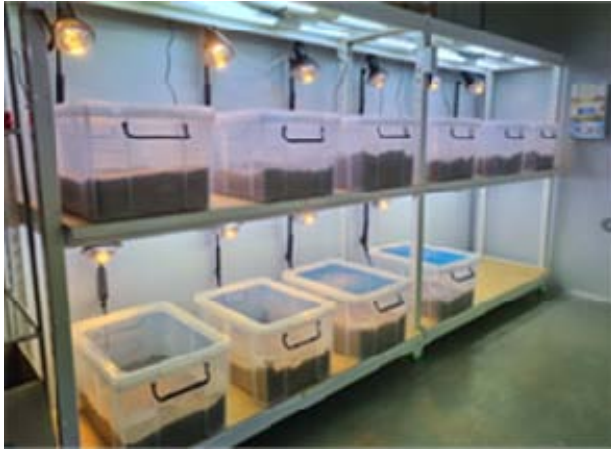


그림. IV-2-(6). 항온항습실에서 개체군 안정화 과정(좌)과 먹이 섭식 중인 소똥구리(우)

(나) 반-야외 시설 내 소똥구리 모니터링

안정화 기간을 마친 소똥구리 120개체를 야외 모니터링 시설 내부에 있는 3종류의 원형케이지(90.5cm(∅)×51cm(H), 56cm(∅)×55cm(H), 69cm(∅)×81cm(H))에 각각 암수 1:1의 비율로 12개체, 8개체, 8개체씩 넣고, 방충망이 설치된 뚜껑으로 덮었다. 먹이는 -60℃ 초저온 냉동고에 2주 이상 보관되었던 말 분변을 해동하여 주 3회 공급했다. 먹이를 교체하면서 활동하고 있는 성충개체수(14:00pm)를 확인하여 기록하였다.

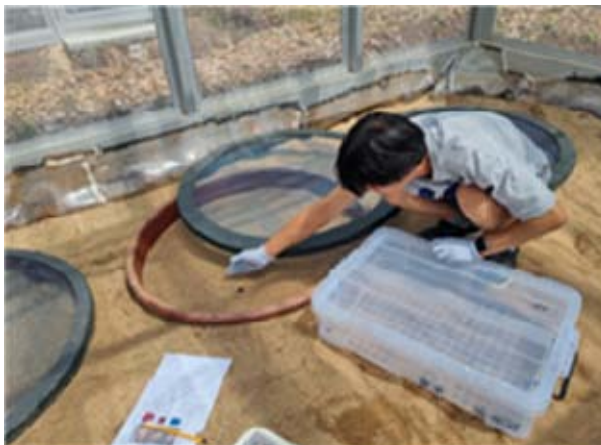


그림. IV-2-(7). 야외 모니터링 케이지로 옮기는 모습(좌)과 원형케이지 내부에서 활동 중인 소똥구리(우)

(다) 야외 모니터링 시설 동면준비

소똥구리가 모두 동면에 진입한 이후, 동절기 혹한을 대비하여 모니터링케이지 내부를 벗짚거적 2겹으로 덮었다. 동면기간 동안의 기상 온습도, 토양 내부 온도, 토양수분함

량을 측정하기 위해 기상측정 기록장치를 설치했다.

표. IV-2-(3). 야외모니터링케이지 내 원형케이지 상세정보

	내부 모습	케이지 정보	개체 밀도
케이지 A			12개체 (6:6) × cage(4)
		90.5(Ø) × 51(H)	48개체
케이지 B			8개체 (4:4) × cage(5)
		56(Ø) × 55(H)	40개체
케이지 C			8개체 (4:4) × cage(4)
		69(Ø) × 81(H)	32개체



그림. IV-2-(8). 야외 모니터링케이지 전경(좌), 혹한기 대비 벚짚거적을 덮어 놓은 모습(우)

다. 연구 결과

(1) 야외 모니터링 시설 위치 선정

(가) 검역소

검역소는 외부인원의 접근을 차단하는 울타리가 둘러싸여 있기 때문에 안전하게 모니터링이 가능하고, 전기, 수도와 화장실 등의 시설이 잘 갖춰져 있다. 하지만 단점으로는 북사면에 위치하기 때문에 햇볕이 드는 시간이 굉장히 짧다. 또한 울타리 때문에 굴착기의 접근이 어려워 실험을 수행하는 데 어려움이 있다.



그림. IV-2-(9). 검역소(좌)와 곤충온실 옆(우)

(나) 곤충온실 옆

곤충온실 옆의 부지는 사무실과 가까워서 걸어서 이동할 수 있으며, 전기와 수도는 곤충온실에서 연장선을 끌어오면 사용할 수 있다. 하지만 외부 민간인이 쉽게 접근할 수 있고, 북사면에 위치하므로 햇볕이 드는 시간이 짧다.

(다) 조류번식장 맞은편

조류번식장 맞은편에는 멸종위기종복원센터에서 ‘연구 및 부대시설 Master Plan 수립’ 계획에 따라 곤충 실내사육장과 야외방사장 부지가 정해져 있다. 이 중 야외방사장 부지는 동쪽과 서쪽으로 산이 이어지고 있긴 하지만, 남쪽으로는 트여있기 때문에 다른 후보지역에 비해 햇볕을 가장 오랜 기간 받을 수 있다. 또한 먹이원을 얻을 수 있는 마사와 가까운 편이다.



그림. IV-2-(10). 조류번식장 맞은편(좌)와 마사 울타리 안(우)

(라) 마사 울타리 안

마사 울타리 안에는 말로부터 생산된 신선한 분변을 바로 공급할 수 있는 장점이 있다. 전기와 수도가 설치되어있어 바로 사용할 수 있으며, 교육생과 방문객이 마사와 소똥구리를 같이 체험할 수 있는 공간으로 활용할 수 있다. 햇볕도 잘 드는 편이다. 하지만 경사가 심해서 모니터링 케이지를 설치하기가 힘들고, 말이 뛰어다니면서 운동할 수 있는 공간이 지금보다 훨씬 좁아지게 되는 단점이 있다.

항목별 점수를 1~5점으로 측정하여 합산할 결과, 가장 점수가 높게 나온 조류번식장 맞은편의 야외방사장 부지를 야외 모니터링 시설로서 선정하게 되었다.

표 IV-2-(4). 야외 모니터링 후보지 항목별 점수표

항목별 점수 (1~5점)	검역소	곤충온실 옆	조류번식장 맞은편	마사
햇볕	1	1	4	3
사무실과의 거리	2	4	1	1
케이지 설치 용이성	1	3	5	1
분변 공급 용이함	2	2	2	5
부지 넓이	1	3	5	1
전기, 수도 사용	5	2	2	4
화장실	5	2	1	2
외부 민간인 차단정도	5	1	3	3
교육생 및 방문객 동선	1	1	5	5
점수 합계	23	19	28	25



그림. IV-1-(11). 야외 모니터링시설 부지 전경

(2) 야외 모니터링 시설 설치

(가) 야외 모니터링시설 굴토 및 복토



굴삭기를 이용한 굴토



굴토 완료된 모습



PVC 비닐을 둘러싼 모습



굴삭기를 이용한 모래 복토

그림. IV-2-(12). 야외 모니터링시설 굴토 및 복토과정

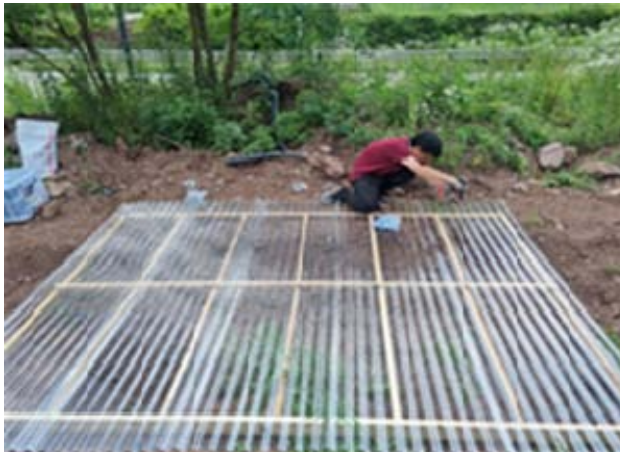
(나) 야외 모니터링 케이지 설치



주변 물골작업



모니터링 케이지 조립



케이지 지붕 작업



모니터링 케이지 설치완료

그림. IV-2-(13). 야외 모니터링케이지 조립 및 지붕작업



그림. IV-2-(14). 야외 모니터링케이지 내부 모습

(3) 몽골 소똥구리 개체군 도입 및 서식환경 조사

(가) 소똥구리 개체군 도입

몽골에서 운송되어 인천공항 검역을 마친 소똥구리 230개체는 2022년 8월 18일 경북 영양군에 있는 멸종위기종복원센터 곤충증식실로 차량을 통해 이송했으며 건강 상태는 양호했다.



그림. IV-2-(15). 도입된 소똥구리(좌)와 소똥구리 건강상태 확인과정(우)

(나) 서식환경 조사

소똥구리가 채집된 몽골 현지의 서식지 특성은 표 IV-1-(5)와 같다. 모든 지역은 초지와 사막이 혼합된 형태의 서식지였으며, 목본 식물류는 거의 존재하지 않아 일조량이 풍부한 특징을 가지고 있었다.

(4) 몽골 소똥구리 개체군

(가) 반-야외 시설 내 소똥구리 모니터링

소똥구리는 항온항습실에서 1주일간의 안정화 과정을 거친 후, 8월 25일 야외 모니터링 시설로 이동하여 주 3회 신선한 먹이를 공급하며 행동 특성을 모니터링하였다. 모니터링 결과 온도가 높아지는 11시부터 4시까지 활발한 먹이활동, 비행 행동이 확인되어 새로운 서식 환경에 적응해가는 것을 알 수 있었다. 추가로 가을에 접어들어 기온이 하강함에 따라 활동(먹이섭식, 이동, 비행, 일광욕 등)하고 있는 총 활동 개체수가 감소하는 것으로 나타나 땅속에서 동면에 진입한 개체 수가 점차 증가한 것을 알 수 있었다. 활동 개체수는 10월 초부터 확연하게 감소했는데, 10월 2일에서 10월4일까지 3일간 연속적인 강우로 인해 습도가 높고 햇볕이 약하여 활동성이 줄어들어 다수의 개체가 동면에 진입한 것으로 보인다.

표 IV-2-(5). 몽골의 내 소똥구리 서식지 6곳의 서식환경 정보

지역	22km Westsouth of Mandalgovi, Dundgobi Aimag	온도	27℃	습도	20%
날짜 / 시간	2022.08.11. / 14:00~16:30	날씨	맑음	고도	1445m
GPS	45°40'15.3"N 106°00'08.2"E	동물 종류 및 개체수			말 40마리
		- 반사막초지지형 - 산란 활동중인 개체 미발견 - <i>Gymnopleurus mopsus</i> 약 130개체 확인 - <i>Onthophagus</i> spp., <i>Bodilus</i> spp. 등의 분식성 소똥구리 서식			

지역	10km North of Khuld, Durnogobi Aimag	온도	31℃	습도	20.6%
날짜 / 시간	2022.08.11. / 16:00~17:00	날씨	맑음	고도	1306m
GPS	45°18'09.81"N 105°37'02.66"E	동물 종류 및 개체수			말 10마리
		- 반사막-사막지형 초입부 - 표토는 거친 모래와 자갈로 구성 - 매우 건조하고 식생피복도가 10% 이하 - <i>Gymnopleurus mopsus</i> 약 20개체 확인 - <i>Onthophagus</i> spp., <i>Bodilus</i> spp. 등의 분식성 소똥구리 서식			

지역	9km South of Tsogt-ovoo, Omnogobi Aimag		온도	28℃	습도	24%
날짜 / 시간		2022.08.12. / 10:30~12:30	날씨	맑음	고도	1180m
GPS	44°21'18.26"N 105°15'26.49"E		동물 종류 및 개체수		말 50마리	
			- 사막지형 - 표토는 가는입자의 모래로 구성 - 3~4m 간격으로 덩불식생 분포 - <i>Gymnopleurus mopsus</i> 약 100개체 확인 - <i>Cheironitis eumenes</i>, <i>Bodilus</i> spp. 등의 분식성 소똥구리 서식			

지역	23km Northeast of Dalanzadgad, Omnogobi Aimag		온도	27℃	습도	20%
날짜 / 시간		2022.08.12. / 18:00~19:00	날씨	맑음	고도	1402m
GPS	43°21'12.72"N 104°39'42.2"E		동물 종류 및 개체수		말 50마리	
			- 사막지형 - 표토는 거친 자갈로 구성 - 작은 덩불식생이 높은 밀도로 분포 - <i>Gymnopleurus mopsus</i> 50개체 확인 - <i>Cheironitis eumenes</i>, <i>Onthophagus</i> spp., <i>Bodilus</i> spp. 등의 분식성 소똥구리 서식			

지역	5km East of Ikh-Uul, Khövsgöl Aimag		온도	23℃	습도	27%
날짜 / 시간		2022.06.22. / 11:00~14:00	날씨	맑음, 흐림	고도	1145m
GPS	49° 27'32.6"N 101° 32'20.8"E		동물 종류 및 개체 수		소 30, 말 5마리	
			- 초지지형 - 표토는 거친 모래와 자갈로 구성 - 작은 허브들이 낮은 피복도로 자생 - 소똥구리 서식처(몽골) 중 가장 서쪽에 위치 - Khövsgöl Aimag의 첫 소똥구리 서식지 기록 - <i>Gymnopleurus mopsus</i> 약 50개체 확인 - <i>Colobopterus erraticus</i>, <i>Onthophagus</i> spp., <i>Bodilus</i> spp. 등의 분식성 소똥구리 서식			

지역	Orkhon, Bulgan Aimag		온도	24℃	습도	40%
날짜 / 시간		2022.06.24. / 10:00~13:00	날씨	맑음	고도	1053m
GPS	48° 37'10.83"N 103° 32'30.12"E		동물 종류 및 개체 수		소 10, 말 30마리	
			- 초지지형 - 표토는 거친 모래와 자갈로 구성 - 초지피복도가 높음(~70%) - 사료와 항생제를 섭취한 것으로 보이는 말의 분변이 많이 발견됨 - Orkhon강/Orkhon 마을 인근 - <i>Gymnopleurus mopsus</i> 약 50개체 확인 - <i>Colobopterus erraticus</i>, <i>Onthophagus</i> spp., <i>Bodilus</i> spp. 등의 분식성 소똥구리 서식			



그림. IV-2-(16). 먹이를 섭식하고 있는 소똥구리(좌)와 비행 행동을 하는 소똥구리(우)

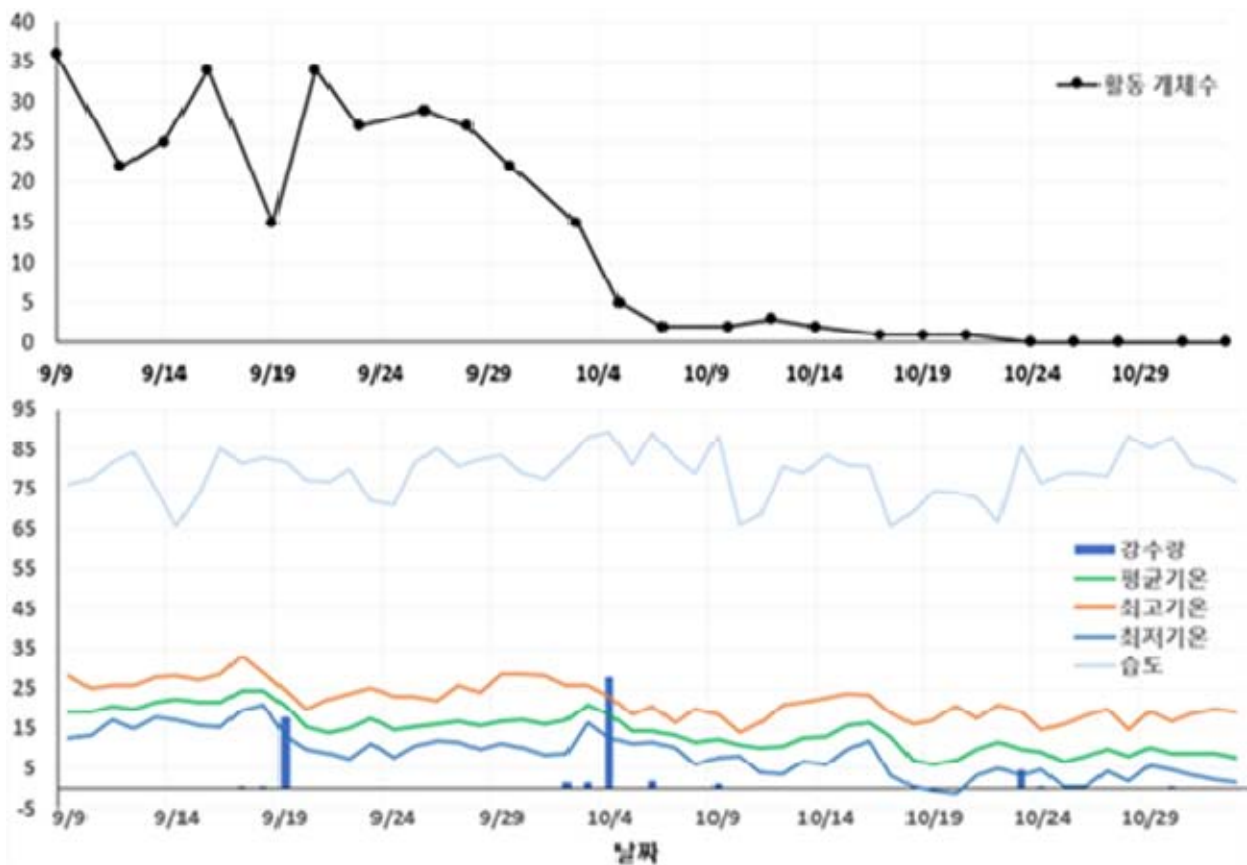


그림. IV-2-(17). 시기별 소똥구리 활동개체수 변화와 영양군의 기상정보

라. 결론

몽골에서 도입한 소똥구리의 국내 생태환경 적응성을 연구하기 위해 야외 모니터링 케이지 부지선정 및 설치, 소똥구리 도입 과정에서부터 몽골 서식환경, 야외 환경에서의 활동 모니터링, 월동준비까지의 과정을 수행했다.

멸종위기종복원센터 내에서 햇볕이 잘 들고 케이지를 여러 개 설치할 수 있는 넓은 부지를 선정하여 소똥구리 연구를 위한 야외 모니터링 시설을 설치했다. 시설의 깊이(1m)와 구덩이의 옆면(3mm PVC 비닐) 마감처리, 알루미늄 방충망 케이지는 앞으로 소똥구리 복원을 위한 시설 설치를 위한 가이드라인으로서 참고가 될 수 있다.

이전까지는 소똥구리를 '수입금지품'으로서 도입해왔기 때문에 복원 연구사업을 수행하는 데 있어 수입금지품 관리에 관한 법적 규정은 장애물로서 작용해 왔다. 그러나 연구진의 노력에 의해 소똥구리가 '수입금지품'에서 해제될 수 있었고, 이번 해에 최초로 '일반수입품'으로서 소똥구리를 도입했다. 그 과정에서 몽골과 국내에서 법적·행정적 절차를 확립할 수 있었다. 하지만 몽골은 2022년 6월 1일자로 나고야 의정서의 ABS 법이 시행됨에 따라 향후에 생물자원을 반출하는 과정에서 절차와 규정이 더 엄격해질 것으로 예상된다. 이에 따라 앞으로 몽골의 연구진과 긴밀한 공동연구 협력관계를 유지할 필요성이 있다.

몽골의 소똥구리 서식환경 조사 결과에 따르면 소똥구리는 몽골의 온대초원(steppe)과 사막지역에 주로 서식하며, 고도 1,500m 이하의 건조하고 식생피복도가 낮은 환경을 선호하는 것으로 판단된다. 앞으로 서식지를 선정하고 방사하는 과정에서 큰 도움이 될 것으로 생각된다.

몽골의 기후를 겪고 자란 소똥구리는 도입 과정에서 아이스박스에 보관되어 저온 환경을 버티고, 이후에 한국에 도착하여 새로운 기후에서 적응과정을 시작하게 되었다. 이번 해에 몽골에서부터 소똥구리가 겪었던 생활사와 환경조건을 모두 알 수는 없었지만, 국내 기후에서 활발한 먹이 섭식과 비행 행동을 보인 것으로 볼 때, 동면을 위해 에너지를 보충하고 준비하는 과정은 충분했을 것으로 생각된다. 월동생존율은 2023년 봄에 활동을 시작한 이후에 확인할 수 있지만, 2022년 1월1일부터 야외모니터링시설 부지의 토양 아래 30cm 깊이에서 온도를 기록하여 확인해 본 결과 0℃ 아래로 내려가지 않았다. 소똥구리 야외 모니터링시설의 케이지는 50cm 이상의 깊이로 설계되었기 때문에 혹한에 의한 동사를 충분히 막을 수 있을 것으로 생각된다.

V. 멸종위기 식물 이식 후 개체적응 및 생태환경변화 연구

1. 나도풍란 시험이식지 생존, 성장, 환경, 위협요인 연구

가. 서론

나도풍란은 국제적으로 우리나라, 일본, 중국 등에 분포한다. 국내에서는 가거도, 대흑산도, 홍도, 보길도 등 남해안 도서 지역 및 제주도에 서식한 기록이 있으나, 최근 수년간 국내 자생 개체군 발견 사례가 보고되지 않고 있다. 국내 법적으로는 환경부 지정 멸종위기 야생생물 I 급, 한국적색목록 위기(CR) 등으로 보호를 받고 있으며 국제적으로는 CITES 부속서 II 급, 일본적색목록 위기(EN)종, 중국적색목록 취약(VU)종 등으로 분류된다. 현재 나도풍란은 자생지의 생태적 특성에 대한 기초자료가 부족하여 기존 자생지에 대한 재도입 및 대체서식지 발굴 등이 어려운 실정이다. 본 연구의 목표는 ‘21년에 시험 이식된 나도풍란의 개체 및 지점을 대상으로 이식지역 환경정보, 생존, 성장, 위협요인 발굴 등 서식지 생태를 조사하여 기초 데이터를 확보하고 복원에 활용하는 것이다.

나. 연구 내용 및 방법

(1) 종자확보

현재 나도풍란의 자생지가 발견되지 않고 있어서 야생 원종 도입은 불가능한 실정이다. 이를 고려하여, 2019년 12월에 제주특별자치도 비자나무숲 내 나도풍란 복원지(국립수목원 조성)에서 종자 꼬투리 2개를 채취하였다. 채취 지역은 국가기관에서 진행한 국내 유일의 나도풍란 복원지로서 야생 원종이 발견되지 않는 현 상황에서 원종을 확보할 수 있는 차선책으로 적합할 것으로 판단되어 선정하였으며 국가지정문화재 현상변경 및 포획·채취·반출 허가(2019년 11월 27일자) 취득 이후 비자림관리사무소 직원의 동행하에 채취를 진행하였다.

(2) 증식 및 재배

채취된 종자는 전처리(종자소독 등)를 거친 후 2020년 1월부터 활성화탄을 포함한 하이포넥스 배지를 이용하여 기내 발아를 실시하였다. 배지 조성 및 첨가물 처리 등에 따른 나도풍란 초기 성장 반응 기초 연구를 실시하기 위하여 종자 발아 이후 활성화탄, 바나나 파우더 및 사과 파우더를 첨가한 하이포넥스 배지 내에서 기내 배양 및 초기 재배를 진행하였다. 최종적으로 총 3,000여 개체를 증식하여(인공증식증명서 발급 완료) 멸종위기종복원센터 보유 식물온실에서 순화 및 재배하였다.

(3) 시험이식개체 선별

온실 내 순화 과정을 거친 증식 개체 가운데 150개체를 선별하였다. 시험이식 후 생존, 생장, 개화 등 개체별 변화를 연구하기 위하여 초기크기 5개 항목(뿌리 수, 잎 수, 뿌리 길이, 잎 길이, 잎 폭)을 측정하였으며, 이식 장소(지점 1, 2, 3)에서 균일한 실험 조건을 갖추기 위하여 지점별 평균(표준오차)값을 최소화하도록 개체를 나누었다. 개체의 식별이 쉽도록 고유번호를 부여하였다.

(4) 시험이식

신안군 홍도를 나도풍란 시험이식에 활용한 근거로는 1) 내륙과 분리된 도서지역이며 천연기념물 및 국립공원 등으로서 법적 보호를 받고 있으며, 2) 연중 온난한 난대상록 활엽수림이 우거져 나도풍란의 일반적 서식 조건에 부합하며, 3) 멸종위기종 전국분포 조사 등에서 과거 나도풍란의 서식 기록이 남아있다는 점 등이 있다. 또한 복원전략실의 서식지 적합성지수(HSI) 분석을 통하여 나도풍란 복원에 이용 가능한 것을 확인하기도 하였다(국립생태원 2019).

2021년 4월 28일에 홍도 내 3개 지점을 대상으로 나도풍란 시험이식지를 조성하였다. 지점1의 경우 남사면에 있으며 상록활엽수림(상관우점수종: 구실잣밤나무), 지점2의 경우 북사면에 위치하고 있으며 상록활엽수림(상관우점수종: 구실잣밤나무), 지점3의 경우 북사면에 위치하며 낙엽활엽수림(상관우점수종: 고로쇠나무) 이다(표 V-1-(1)).

표 V-1-(1) 나도풍란 시험이식 지점별 환경 조건

항목	지점1	지점2	지점3
해발(m)	190	280	290
사면(°)	25	30	15
방향	남	북서	북
식생	난대상록활엽수림	난대상록활엽수림	난대하록활엽수림
우점수종	구실잣밤나무, 동백나무	구실잣밤나무, 동백나무	왕고로쇠나무, 소사나무
수반식물	황칠나무, 후박나무, 참식나무, 생달나무, 붉가시나무, 식나무, 동백나무, 새덕이, 마삭줄, 남오미자, 콩짜개덩굴, 홍지네고사리 등	붉가시나무, 후박나무, 참식나무, 사스레피나무, 광나무, 콩짜개덩굴, 마삭줄, 맥문아재비, 소엽맥문동, 홍지네고사리 등	쇠물푸레나무, 붉가시나무, 때죽나무, 덜꿩나무, 남오미자, 처진물봉선, 송악, 콩짜개덩굴, 마삭줄, 소엽맥문동, 주름조개풀, 개모시풀 등

시험 이식한 나도풍란의 수는 지점별로(지점 1,2,3) 우세목을 10그루 선정하여 나도풍란을 5개체씩 부착하였다(지점당 50개체, 총 150개체 시험이식).

초기 활착을 돕기 위해 끈 등으로 고정(활착 확인 후 제거)하였으며, 홍도에 야생 나도풍란이 잔존할 가능성을 고려해 이식 개체의 꽃대를 제거하여 잠재적인 교란을 방지하도록 하였다.

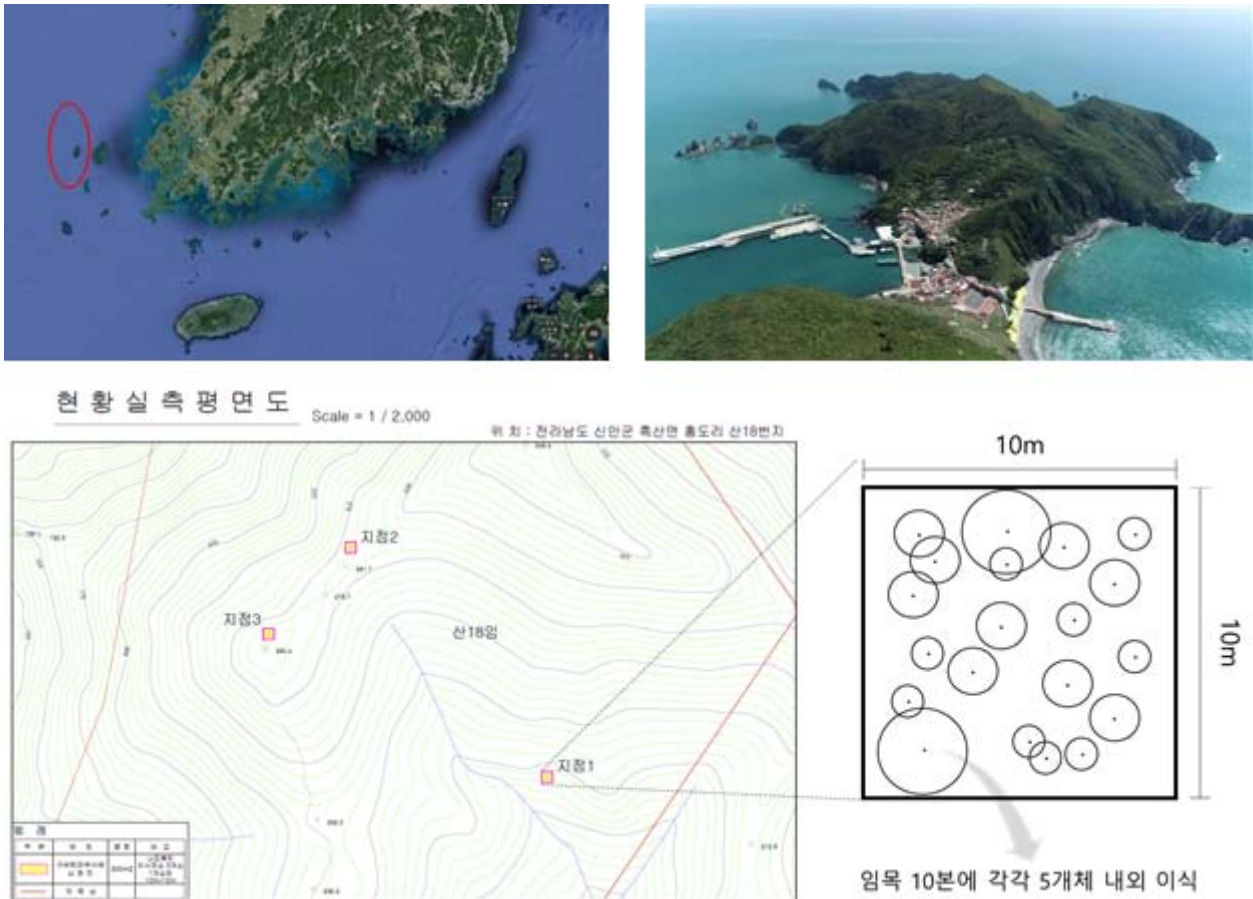


그림 V-1-(1) 나도풍란 시험이식 지역(상단) 및 이식지점 설계(하단)

(5) 시험이식지 모니터링

(가) 무기환경 및 식생 조건

시험이식지의 기온과 상대습도 자료를 수집하기 위해 대기온습도센서(U23-001, Onset, USA)를 설치하고 1시간 단위로 대기 온도 및 상대습도 자료 수집하였다. 광량측정은 광량센서(S-LIA-M003)을 이용하여 광합성활성복사선(PAR)을 1시간 단위로 수집하였다. 풍속의 경우 풍향풍속센서(S-WCF-M003, Onset, USA)를 이용하여 1시간 단위로 수집하였으며 지점별로 우세목 및 수반식물종 동정을 하였다.

(나) 생장 및 생존

나도풍란 시험이식지 개체의 생장과 생존 변화를 확인하기 위해서 '21년 시험이식 후 6개월 및 1년이 지난 후 측정하였으며 잎수, 뿌리수를 확인하기 위해 개체별 잔존 개수를 직접 측정하였으며 초기 잎수 및 뿌리수 대비 변화율을 토대로 잔존율을 산출하였다. 초기 해충 피해율을 확인하기 위해서 해충 번성기('21년 5월~8월) 동안 해충이 섭식하여 시든 잎 비율로 계산하였다. 생존율은 각 나무별 전체 개체 수(5개체) 중 생존한 개체 비율로 산출하였다.



그림 V-1-(2) 온실 순화(1), 이식(2), 일련번호 관리(3), 이식지 환경센서 설치(4)



그림 V-1-(3) 시험이식지 위치(상단) 및 세부 입지별 이식방법(하단)

(5) 모니터링 자료 분석

시험이식 전 초기 값(잎 개수, 뿌리 개수, 잎 길이, 잎 너비, 뿌리 길이) 차이를 최소화하기 위해서 개체별 식별번호를 부여하여 지점별로 분류하였다(표 V-1-(2)).

표 V-1-(2) 시험이식 전 지점별 나도풍란 초기 값($p > 0.05$)

	뿌리 수	잎 수	뿌리 길이(cm)	잎 길이(cm)	잎 폭(cm)
평균	11.5	8.6	5.8	6.0	2.3
지점별 평균(표준오차) ¹					
지점1	11.4(0.7)	6.2(0.3)	8.7(0.4)	6.0(0.2)	2.3(0.0)
지점2	11.8(0.5)	5.7(0.2)	8.6(0.4)	5.7(0.3)	2.2(0.1)
지점3	11.3(0.7)	6.0(0.2)	8.4(0.4)	5.7(0.2)	2.2(0.1)
표준편차	2.0	1.3	0.8	0.8	0.2
최소값	7.4	5.5	4.1	4.6	1.8
최대값	14.8	11.2	6.9	7.8	2.5

이식 후 차이점을 파악하기 위해 생육 현황 조사를 시행하였다. 이와 더불어 이식 개체에 피해를 줄 수 있는 해충 확인 등 위협요인 발굴조사를 병행하였다. 나도풍란 시험이식지 내 해충 가해율, 나도풍란 생존율, 뿌리 잔존율 및 잎 잔존율을 비교하기 위하여 일원분산분석을 이용하였다($n = 10$). 그리고 일원분산 분석의 결과가 통계적으로 유의미할 경우($P < 0.05$) Tukey's HSD 사후검정으로써 각 지점 간 차이의 유의성을 분석하였다. 분산분석 및 사후검정에는 R 4.0.3 버전의 ggpubr 패키지를 이용하였다. 시험 이식 후 6개월 및 1년 후 생존율에 대한 영향인자를 분석하기 위하여 다중회귀분석을 이용하였다($\alpha = 0.05$).

나도풍란의 초기 생육에 대한 영향인자를 판별하기 위하여 요인분석(redundancy analysis)을 이용하였다. 본 연구에서 요인분석의 종속변수는 나도풍란 생존율, 뿌리 잔존율 및 잎 잔존율이며, 설명변수는 해충 가해율, 광량, 풍속, 초기 잎 수, 초기 뿌리 수, 기온, 상대습도 등이다. 설명변수 간 자기상관이 매우 높을 경우 해당 그 중 가장 설명력이 높은 변수만을 요인분석에 포함하였다. 그리고 각 설명변수의 중요도를 정량적으로 판단하기 위하여 Monte-Carlo 시뮬레이션을 응용한 단계적 선택법을 이용하였다(permutation = 9999). 또한 선형 및 비선형 회귀분석을 이용하여 나도풍란의 초기 생육과 주요 영향인자 간 상관관계를 분석하였다($n = 30$). 요인분석 및 Monte-Carlo 시뮬레이션 등에는 R 4.0.3 버전의 vegan 패키지를 이용하였다.



나도풍란 가해충인 수검은줄점불나방 유충



나도풍란 시험 이식개체 가해 흔적

다. 연구 결과

(1) 지점별 환경조건

시험이식 3지점에서 평균기온(°C) 등 총 11개 항목에 대한 미기후 환경정보가 구축되었으며 환경 데이터 비교는 아래 표와 같다(표 V-1-(3)).

전체 항목 가운데 중요 항목은 6개이며 각각의 항목을 보면 우선 최저 기온(°C)은 지점1이 -3.11로 가장 높았으며, 지점2가 -4.27로 가장 낮은 기온값을 나타내었다. 최대 풍속(m s⁻¹)의 경우 지점1이 5.68로 바람이 가장 약했으며, 지점3이 13.36으로 바람이 가장 강한 것으로 확인되었다. 겨울철 평균기온(°C)은 지점1이 3.91로 가장 높은 온도를 나타내었으며, 지점2(2.78)와 지점3(2.77)의 온도는 유사했으며 낮은 온도값을 나타냈다. 식물의 지리적분포에 결정적 영향을 미치는 요인 가운데 하나인 결빙일수(일)는 지점1이 1일, 지점2, 3이 8일로 확인되었다. 나머지 2가지 항목인 겨울철 평균 풍속(m s⁻¹), 겨울철 최대 풍속(m s⁻¹)의 경우도 지점1이 가장 풍속이 약한 것으로 확인되었다.

이를 종합해보면 지점1(남사면)이 지점2, 지점3(북사면)에 비해 겨울철에 온난하고 바람이 약한 경향을 보이는 것으로 확인되었다.

표 V-1-(3) 시험이식 지점 환경정보(*은 중요 관측항목)

항목	지점1	지점2	지점3
평균 기온(°C)	15.84	15.25	15.37
최고 기온(°C)	28.52	27.85	29.15
*최저 기온(°C)	-3.11	-4.27	-4.11
평균 상대습도(%)	85.65	85.18	85.28
평균 광량($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	6.03	5.02	33.44
평균 풍속(m s ⁻¹)	0.07	1.08	0.74
*최대 풍속(m s ⁻¹)	5.68	11.35	13.36
*겨울철 평균 기온(°C)	3.91	2.78	2.77
*결빙일수(일)	1	8	8
*겨울철 평균 풍속(m s ⁻¹)	0.04	1.66	1.23
*겨울철 최대 풍속(m s ⁻¹)	3.67	8.68	9.35

(2) 시험이식 개체 현황

시험이식 6개월 후 초기 해충에 의한 피해율은 모든 지점에서 유의미한 차이가 없는 것으로 나타났다. 생존율은 지점1이 가장 높은 것으로 나타났으며 지점2가 생존율이 가장 낮은 것으로 확인되었다. 뿌리의 잔존율은 지점1과 지점3이 같았고 지점2가 잔존율이 가장 낮게 조사되었다.

6개월간의 결과를 요약하면 이식된 150개체 중 총 109개체가 생존하였으며 1년이 지난 시점에서는 총 4개체 생존이 확인되었으며 이 가운데 1개체에서 개화가 확인되었다(그림 V-1-(4)). 해충의 피해가 큰 지점의(지점2) 나도풍란은 뿌리와 잎의 잔존율이 가장 감소하였으며 생존율도 가장 감소하는 것으로 나타났다.



그림 V-1-(4) 12개월 후 확인된 개화 1개체(좌:꽃 형성, 우: 결실실패)

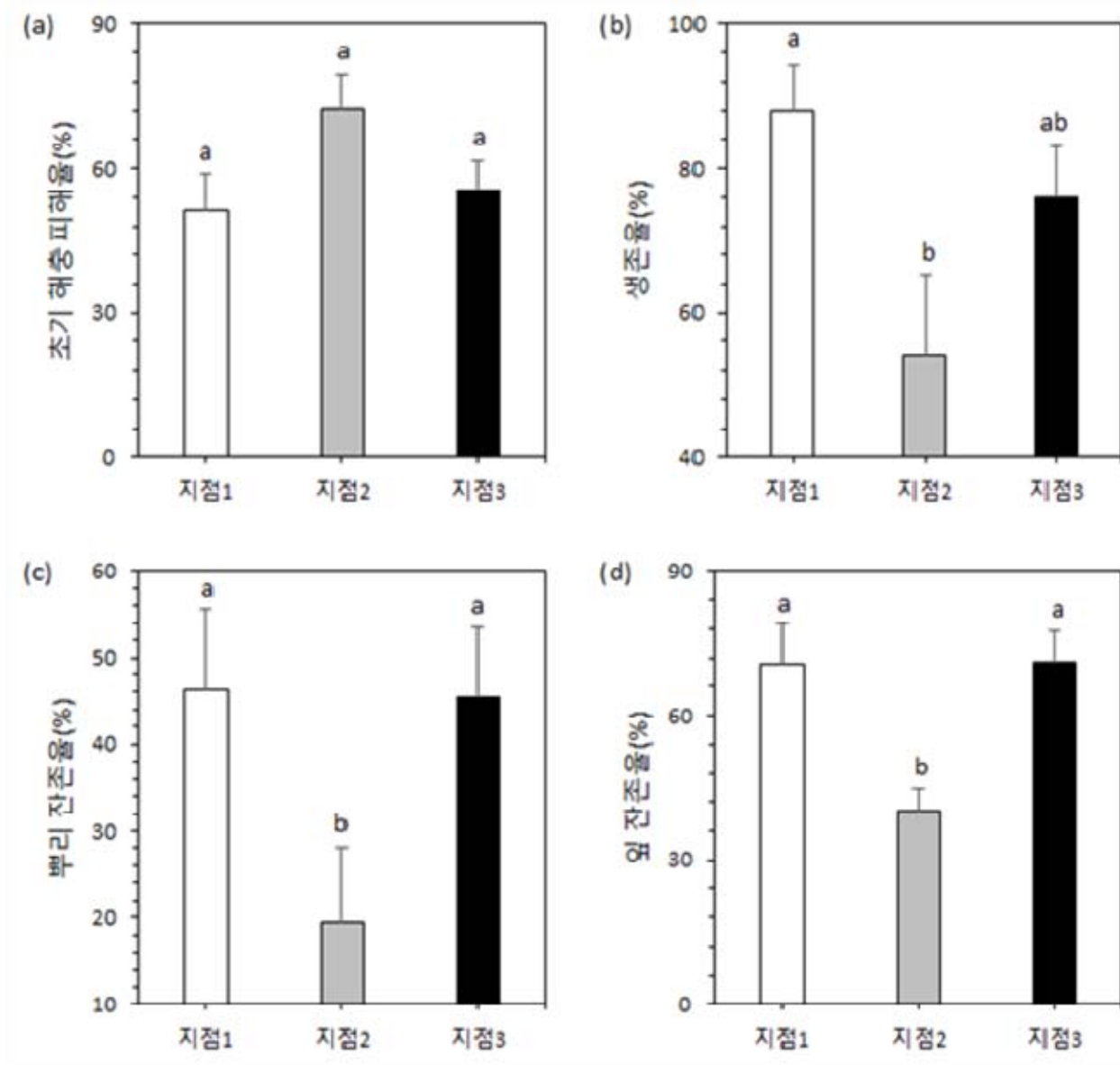


그림 V-1-(5) 나도풍란 초기 생육의 지점 간 차이

(3) 해충피해와 개체 생존의 연관성

6개월 후 나도풍란 시험 이식 개체의 생존율은 해충의 피해율이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 생존율은 나도풍란 초기의 크기(잎 수)가 클수록 생존율이 증가하는 것으로 나타났다. 12개월 후 생존율은 지점 1에서만 4개체가 생존하였다. 또한 생존 개체는 모두 해충 피해가 크지 않았던 곳이었다. 해충 피해율이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 또한 나도풍란 초기 크기(잎 수)의 영향(연관성)은 사라진 것으로 확인되었다. 이것은 생존율이 저조한 상태이므로 통계적인 유의성 검증이 불가능한 상태이다(확대 해석 불가능).

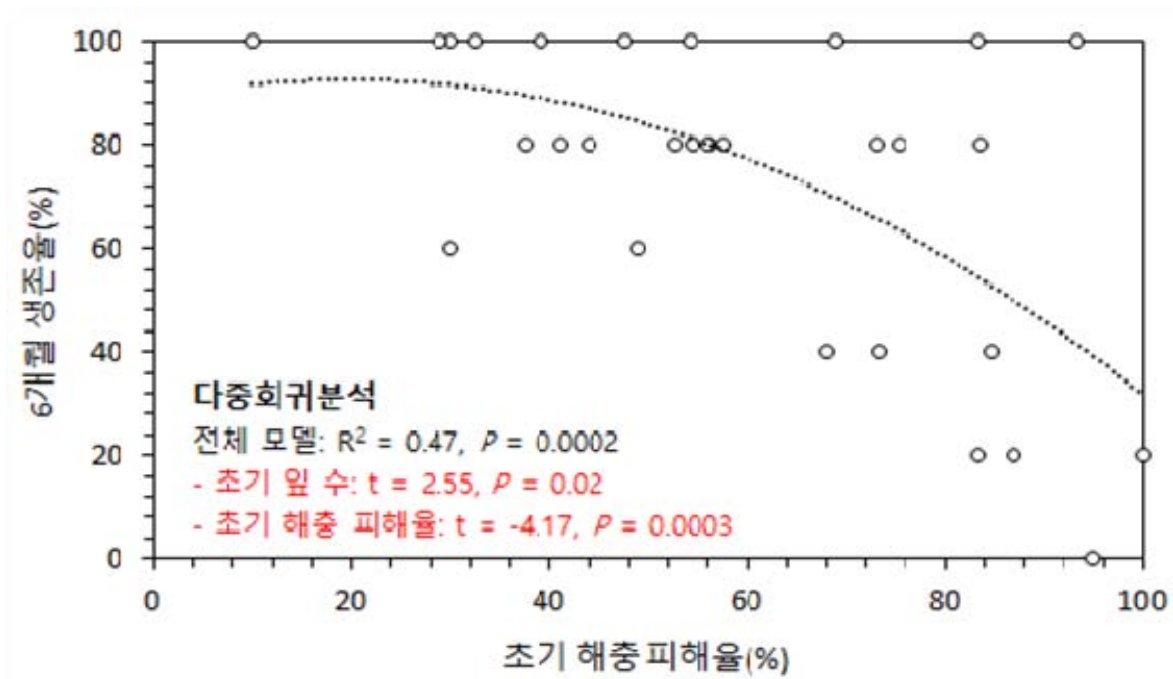


그림 V-1-(6) 6개월 후 생존율과 초기 크기 및 해충 피해율 간 관련성

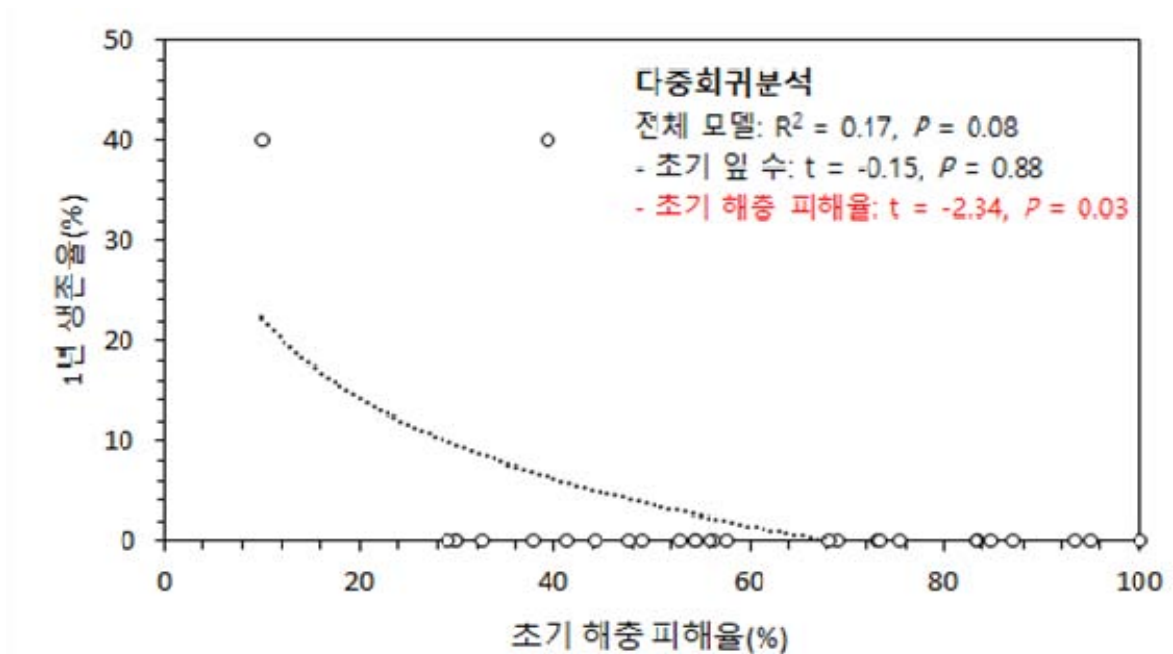


그림 V-1-(7) 12개월 후 생존율과 초기 크기 및 해충 피해율 간 관련성

2021년 대비 2022년 봄철 상대습도는 감소된 것으로 확인되었다. 지점1의 경우 -15.75%, 지점2 -12.94%, 지점3 -17.67%으로 상대습도가 감소 되었다(그림 V-1-(8)).

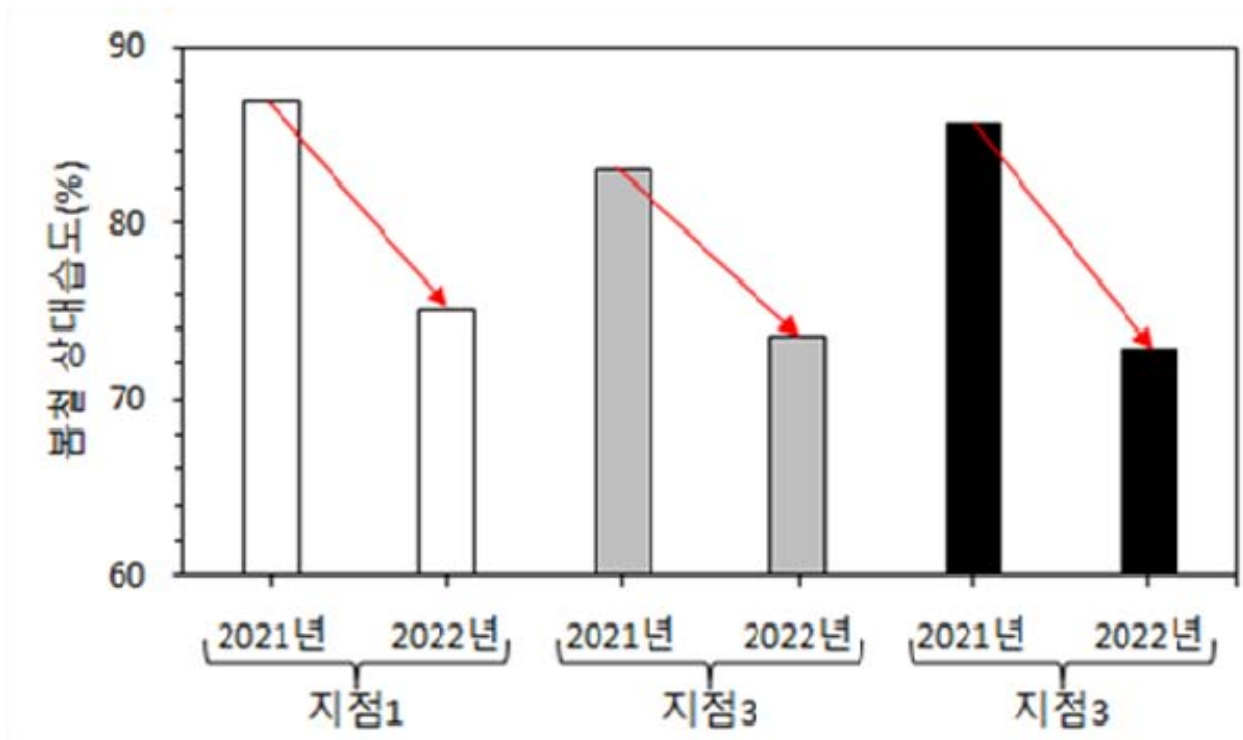


그림 V-1-(8) 2021년 대비 2022년 봄철 상대습도

라. 결론

신안군 홍도에 시험 이식된 나도풍란을 대상으로 6개월, 12개월이 지난 시점에서 생장, 생존율에 관한 연구가 수행되었다. 시험 이식 개체의 생존율은 초기 이식된 150개체 중 6개월 후 109개체가 생존하였으며 1년이 지난 시점에서는 총 4개체 생존이 확인되었다(1개체 개화 확인). 생존율이 저조한 이유를 종합해보면 3가지로 정리된다.

첫째, 지점별 미기후 조건에 영향을 받을 수 있다. 지점1(남사면)이 지점2, 지점3(북사면)과 비교하여 겨울철에 온난하고 바람이 약한 경향을 보이는 것으로 확인되며 최종 생존 개체 모두 지점1에서 확인되었다. 나도풍란은 지리적이나 행정구역상 동일 영역에 속하더라도 미세환경 또는 미기후에 의해 영향을 받는 것으로 보이며 겨울철 저온 건조한 북서풍(계절풍)의 영향이 적은 남사면 등 온난한 곳이 생존에 유리할 것으로 판단된다.

둘째, 해충피해가 개체 생존에 영향을 줄 수 있다. 나도풍란 시험 이식지에서 해충의 피해가 많은 개체와 지점은 생존율이 저조한 경향을 나타내었다. 수검은줄점불나방 유충의 대량 발생에 의한 잎 섭식 피해가 많이 발생하였으며 이것은 나도풍란의 광합성률 저해 등 초기 스트레스를 유발하고 생존(회복) 가능성을 낮추는 결과를 초래한 것으로 추정된다. 나도풍란 초기 개체의 크기가 크고 잎의 수가 많은 개체가 생존율이

증가하였다. 이것은 나도풍란의 생존율을 높이기 위해서는 장기간 실내(온실) 재배 및 순화를 통한 시험 이식 개체의 크기(잎 수)를 증대시키는 것이 초기 생존율 증진의 가능성을 높이 수 있을 것으로 추정된다.

셋째, 이상 기후는 개체 생존에 부정적 영향을 미칠 수 있다. 1년 경과 후 나도풍란 생존율이 극도로 저조한 이유는 첫째 2022년 봄철에 발생한 이상 기후로 시험 이식지가 평년 대비 매우 건조하였다. 이것은 착생란이 부착 대상체 주위의 공중 습도를 이용하며(Nieder JP and Michaloud G) 생존을 위해 중요한 요소로 활용하기 때문에 건조 현상은 생존에 악영향을 나타냈을 가능성이 있다.

향후 나도풍란의 성공적인 복원을 위해서는 미기후 환경(겨울철 계절풍의 영향을 적게 받는 남사면 등), 해충 번성 시기를 회피한 이식시기 선정(해충이 발생하면 해충방제 방법 마련 등), 보유 개체의 장기간 순화처리 등을 종합적으로 고려하여 결정되어야 할 것으로 보인다.

2. 가는동자꽃 시험이식지 생존, 생장, 환경, 위협요인 연구

가. 서론

가는동자꽃은 국제적으로 우리나라, 일본에서 분포한다. 표본상으로 국내에서는 전라남도 산청, 강원도 인제, 춘천 등에 분포한 기록이 있으나 최근 개발 등으로 인해 사라진 것으로 추정되며 현재 부산광역시 금정산 내 습지에서만 서식하고 있다(www.nature.com). 국내 법적으로는 환경부 지정 멸종위기 야생생물 II 급으로 보호를 받고 있으며, 일본에서는 일본적색목록 위기(CR)종 등으로 분류된다. 현재 가는동자꽃은 자생지의 생태적 특성에 대한 기초자료가 부족하여 기존 자생지에 대한 재도입 및 대체서식지 발굴 등이 어려운 실정이다. 본 연구는 증식 개체를 자생지 인근 비슷한 환경의 대체서식지에 시험 이식하고, 이식지역 환경정보, 생존, 생장, 위협요인 발굴 등 서식지 생태를 조사하여 기초 데이터를 수집하는 데 그 목적이 있다.

나. 연구 내용 및 방법

(1) 종자확보

가는동자꽃은 부산광역시 금정산 내 습지에서 개화 및 결실이 확인된 개체에서 종자 100립 채취 후 멸종위기종복원센터 내로 도입을 완료하였다('20.10). 종자 채취 및 보관은 낙동강유역환경청에 허가신청 및 허가 득 후('20.10.21) 종자 100립을 채취하였고, 종자 채취 및 보관 신고를 완료하였다('20.10.29)

(2) 증식 및 재배

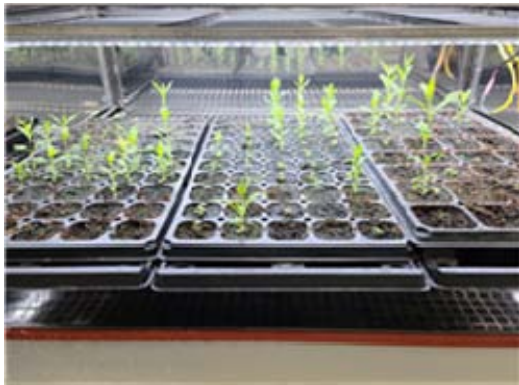
채취된 종자는 주/야 온도별 발아조건(4/1, 15/6, 20/10, 25/15℃) 처리결과, 4/1℃, 20/10℃에서는 발아하지 않았다. 반면에 25/15℃에서 80% 이상의 높은 발아율이 나타났으며, 15/6℃에서는 약 50%의 발아율이 나타났다. 가는동자꽃의 종자 저온처리(4주, 8주)는 큰 영향이 없는 것으로 나타났다. 이러한 실험을 걸쳐 약 50여 개체가 발아하였으며, 발아가 완료된 개체들은 식물생장상으로 이동하여 항온(25℃), 습도(60%) 조건에서 1차 순화를 진행하였다. 1차 순화 이후 적정 생육이 완료된 개체는 생장실(온도 25℃, 습도 60%, CO₂ 500ppm)로 이동하여 2차 순화를 진행하였다. 최종적으로 가는동자꽃 약 50여 개체를 증식(인공증식 증명서 발급완료) 성공하였다.



가은동자꽃 도입 종자



종자 발아 완료 개체



종자 발아 이후 포트 개체



가은동자꽃 증식 개체

그림. V-2-(1). 가은동자꽃 종자 도입 및 증식

(3) 시험이식개체 선별

온실 내 순화 과정을 거친 증식 개체 가운데 54개체를 선별하였다. 시험이식 후 생존, 생장, 개화 등 개체별 변화를 연구하기 위하여 초기크기 2개 항목(초장, 근원경)을 측정하였으며, 이식 장소(지점 1, 2, 3)에서 지점별 3개의 plot(각 6개체)으로 설정하였으며, 개체의 식별이 쉽도록 고유번호를 부여하였다.

표 V-2-(1). 가은동자꽃 시험이식 개체의 초기 크기

	초장(cm)	근원경(mm)
하부		
평균(표준오차)	13.44(1.58)	1.72(0.33)
중부		
평균(표준오차)	15.32(2.85)	1.51(0.09)
상부		
평균(표준오차)	15.43(2.53)	1.51(0.09)
전체 평균	14.73(1.23)	1.64(0.12)

지점 간 차이는 통계적으로 유의하지 않음(P> 0.05)



그림. V-2-(2). 가는동자꽃 이식 개체

(4) 시험이식

가는동자꽃 시험이식을 수행하기 위해 총 4 지역의 이식 후보지를 선정하였으며, 현장 조사를 통해 원 자생지 서식환경과 유사성, 접근성, 떨어진 거리, 모니터링 편의성 등을 고려하여 선정하였다. 최종적으로 선정된 가는동자꽃 시험이식지는 원 자생지와 서식 환경이 비슷하고, 시험이식이라는 기존 목적에 부합하는 다양한 식생 조건에서 시험이식이 가능하다. 또한 일조량 및 토양수분상태가 양호하다. 시험이식 후 등산객 등 외부출입의 통제가 가능하며 모니터링 조건 면에서도 접근성이 양호하여 주기적인 모니터링이 용이하다.

가는동자꽃 시험이식은 유묘상태(포트)로 이식하였으며, 생육환경별(3plot), 총 9 plot(1mx1m)로 설정한 후 각각 6개체, 총 54개체 이식하였다. 각 plot은 야생동물 피해방지 및 원활한 모니터링을 위해 그물 펜스를 설치하였고, 개체별 식별 번호를 부여하여 이식 위치를 기록하였다. 9개 plot은 상관식생에 따라 3개의 유형(상부, 중부, 하부)으로 구분하였다. 상부는 낙엽활엽수종이 상층부를 우점하는 임분으로 육지화된 산지습지 형태이며 이식지 가운데 가장 건조하고 가장 음지이다. 중부는 삿갓사초와 물봉선이 우점하며 부분적으로 낙엽활엽수가 생육하는 임분으로 산지습지와 전이대 위치에 있다. 하부는 삿갓사초가 우점하는 일반적인 산지습지로 가장 습윤한 습지이며 목본성 식물이 없고(수관층 없음) 따라서 직사광선이 초본층까지 도달하는 가장 양지인 특징이 있다.

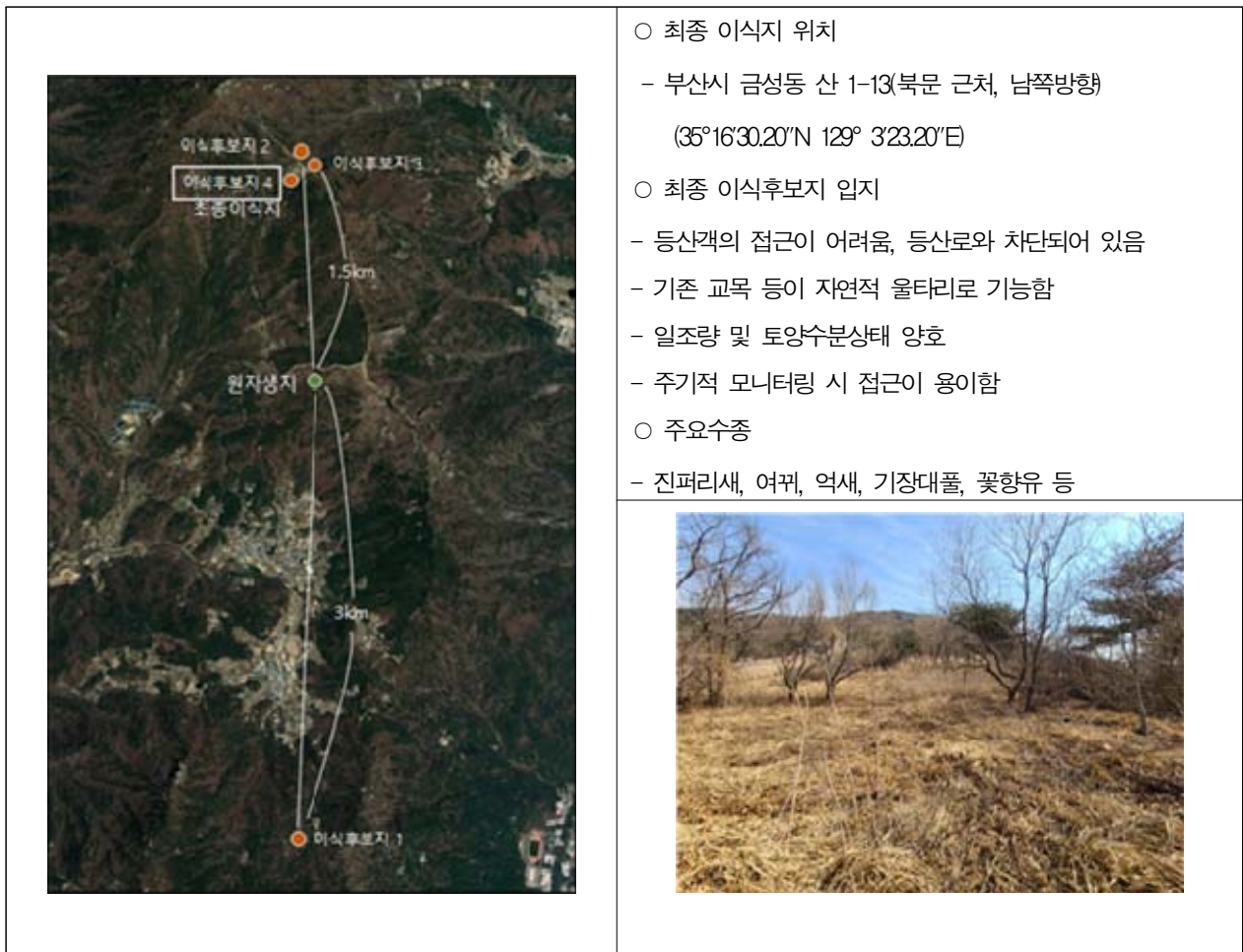


그림. V-2-(3). 가는동자꽃 시험이식 후보지 및 최종 이식지



그림. V-2-(4). 가는동자꽃 시험이식지 전경 및 이식방법



그림 V-2-(5). 이식지 유형 및 이식 전 가는동자꽃(1:상부, 2:중부, 3: 하부, 4:개체)



그림. V-2-(6). 가는동자꽃 식별번호 부여 및 시험이식

(5) 무기환경 및 식생조건

시험이식지의 기온, 상대습도를 확인하기 위해 대기온습도센서(U23-001, Onset, USA)를 설치하고 1시간 단위로 대기 온도 및 상대습도 자료 수집하였다. 토양 온도와 함수율, EC를 측정하기 위해 각 방형구 내 임의의 3지점에서 휴대용 TDM 센서(TDR 150, Spectrum Technologies Inc., USA)로 측정하였다. 이식지 광량은 휴대용 조도계(Testo540, Testo, Germany)로 지표면 및 초본층 수관부에서 각각 측정한 후 평균을 구하여 이용하였다. 초본식물의 종풍부도, 피도를 구하기 위해서 각 방형구에서 출현한 초본식물 종수 및 피복도를 기준으로 하였다.

(6) 생장 및 생존 연구

시험이식지 가는동자꽃의 생장(생식포함) 및 생존을 확인하기 위해서 단일 개체의 지표면부터 가장 긴 줄기의 정단부까지의 길이를 기준으로 초장을 측정하였다. 방형구 당 개화 개체의 비율을 확인하기 위해 한 개체 당 개화한 꽃 개수를 구하였다. 생존율은 방형구 당 생존 개체를 대상으로 비율을 구하였다.

(7) 생리 및 건강성

현장 이식 개체의 훼손을 최소화하며 현장에서 측정 가능한 생리 및 건강성 측정기기 2종류를 활용하였다. 엽록소(SPAD값)를 측정하기 위해 휴대용엽록소측정기(SPAD-502 PLUS, Konica Minolta, Japan)를 활용하였으며, 광합성 효율(Fv/Fm값)을 측정하기 위해 엽록소형광측정기(Handy PEA+, Hansatech, England)를 이용하였다.

표 V-2-(2). 토양환경측정센서 제원

제품명	용도
TDR-150 Soil Moisture Meter (Spectrum Technologies Inc, USA)	토양온도
	토양습도
	전기전도도
	

표 V-2-(3). 토양환경측정센서 제원

제품명	용도
SPAD-502 PLUS (KONICA MINOLTA, Japan)	엽록소 함량 값 측정
Handy PEA+ (Hansatech, England)	엽록소 형광 측정

(8) 통계분석

일원분산분석 및 Tukey 사후검정을 이용하여 토양 EC, 함수율, 온도, 광량 및 초본식물 피도의 지점 간 차이를 분석하였다($\alpha = 0.05$). Shapiro-Wilk 검정 결과 종풍부도는 정규분포를 따르지 않는 것으로 나타났기 때문에 일원분산분석 대신 비모수검정(Kruskal-Wallis 분석)으로 지점 간 차이를 분석하였다($\alpha = 0.05$). 이 통계분석에는 R software 4.2.1.버전의 agricolae패키지를 이용하였다. 토양 및 식물 환경 인자 간 다중공선성 검정을 위하여 피어슨상관분석을 실시하였다($\alpha = 0.05$). 일원분산분석 및 Tukey 사후검정을 이용하여 가는동자꽃 생육 차이를 비교하였다($\alpha = 0.05$). 개체 간 초기크기 편차를 고려하여 초장 비교에는 초기 초장을 공변량으로 하는 공분산분석을 이용하였다($\alpha = 0.05$). Shapiro-Wilk 검정 결과 개화율 및 개체 당 개화량은 정규분포를 따르지 않는 것으로 나타났기 때문에 일원분산분석 대신 비모수검정(Kruskal-Wallis 분석)으로 지점 간 차이를 분석하였다($\alpha = 0.05$). 이 통계분석에는 R software 4.2.1.버전의 agricolae패키지를 이용하였다. Redundancy analysis 및 variation partitioning으로 가는동자꽃 생육을 조절하는 주요 영향인자를 분석하였다. 또한 선형회귀분석을 이용하여 가는동자꽃 생육과 영향인자 간의 직접적 상관관계를 검증하였다($\alpha = 0.05$). 이 분석에는 R software 4.2.1.버전의 vegan 패키지를 이용하였다.

다. 연구 결과

(1) 이식지 기온 및 상대습도 조건

시험 이식지가 위치한 부산 금정산의 2022년 동안의 평균기온은 13.19℃, 최저기온은 -11.91℃, 최고기온은 28.98℃로 확인되었으며, 평균 상대습도는 74.58%로 확인되었다(그림 V-2-(7)).

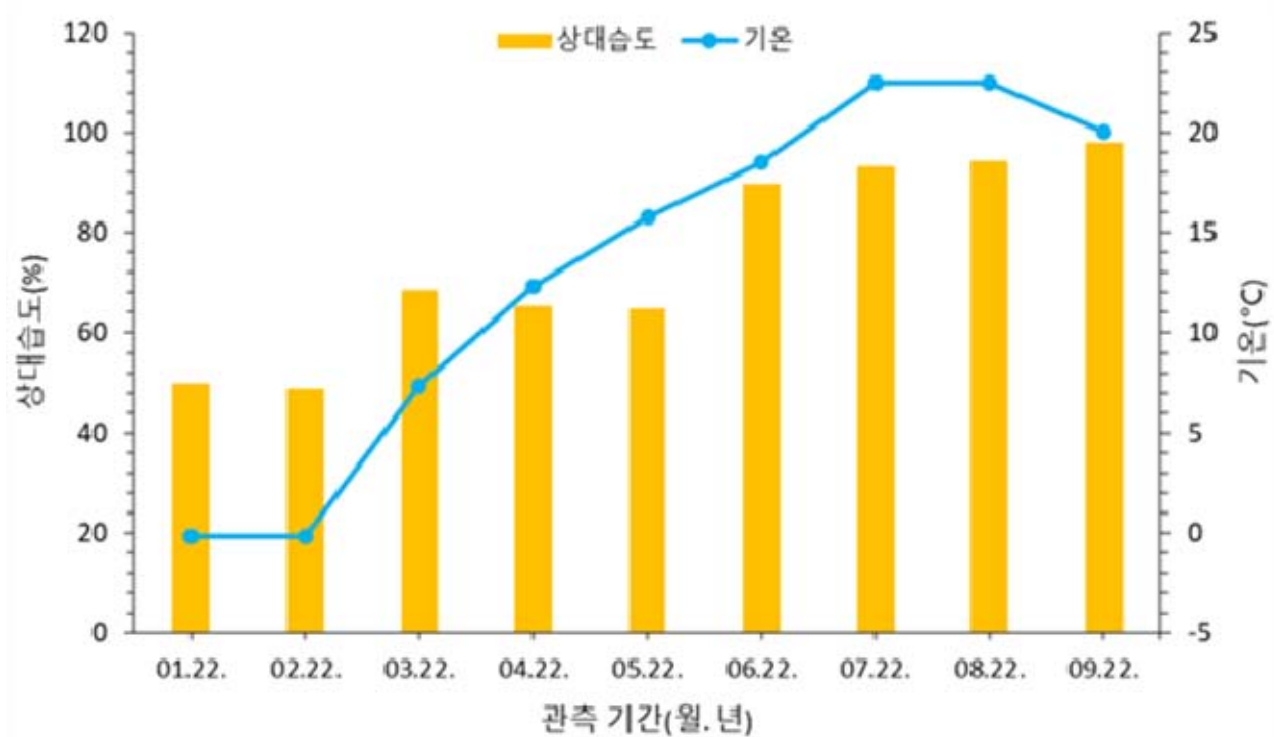


그림 V-2-(7). 이식지 기온 및 상대습도

(2) 무기환경, 식생분석

‘22년 9월까지 연구된 정보를 바탕으로 시험이식지 무기환경과 식생을 분석하였으며 지점 간 항목(중풍부도를 제외한 5개 항목)에서 유의성이 있음이 검증되었다(표 V-2-(4)). 토양 EC는 중부유형(0.11)에서 가장 높게 나타났으며 하부(0.08), 상부(0.05) 순으로 확인되었다. 토양 함수율은 하부(44.3)와 중부(41.4)에서 거의 유사한 것으로 확인되었으며, 상부(25.5)에서 가장 낮은 값을 나타내었다. 토양 온도는 하부(23.9)에서 가장 높게 나타났으며 광량의 경우 중부(157.4)와 상부(49.5)에 비하여 하부(304.9)에서 가장 높게 나타나는 것으로 확인된다. 이것은 수관층의 유무에 따른 반음지 조건에 따른 영향이며 유형별 토양 온도의 변화도 광량의 영향을 받은 것으로 판단된다. 초본식물의 피도는 상부(15.0)에서 가장 낮았으며 하부(83.3)와 중부(86.7)는 유사한 값을 나타내었다.

표 V-2-(3). 이식지 무기환경, 식생 통계분석 자료(중풍부도 제외 유의성 확인)

항목	하부	중부	상부	유의성 검정
토양 EC(dScm-1)	0.08(0.01)ab	0.11(0.02)a	0.05(0.01)b	(이식 지점) $P= 0.04$, $F = 5.86$
토양 함수율(%)	44.3(4.2)a	41.4(3.3)a	25.5(2.6)b	(이식 지점) $P= 0.02$, $F = 8.83$
토양 온도(°C)	23.9(0.1)a	23.4(0.1)ab	23.0(0.2)b	(이식 지점) $P= 0.01$, $F = 9.79$
광량($\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	304.9(41.8)a	157.4(16.0)b	49.5(16.6)b	(이식 지점) $P= 0.001$, $F = 21.63$
중풍부도	6.0(2.1)a	5.0(1.2)a	5.0(0.0)a	(이식 지점) $P= 0.99$, $\chi^2= 0.03$
초본식물 피도(%)	83.3(4.4)a	86.7(4.4)a	15.0(10.0)b	(이식 지점) $P= 0.0005$, $F = 35.34$

※ a, b: 동일 영어 공유 지점 통계적 차이 없음, 괄호: 표준오차

(3) 무기환경과 식생조건 간 상관성

유의성이 검증된 무기환경 요소(토양 EC, 함수율, 온도, 광량)와 식생조건(중풍부도, 초본식물 피도) 간의 상관관계 검증 결과 중풍부도는 상관관계가 없는 것으로 확인되었으며, 초본식물의 피도는 상관관계(양의 상관)가 있는 것으로 분석되었다(표 V-2-(5)).

표 V-2-(4). 식생과 무기환경 상관관계

	토양 EC	토양 함수율	토양 온도	광량
중풍부도	$r= 0.14$ $P= 0.71$	$r= -0.07$ $P= 0.96$	$r= 0.05$ $P= 0.91$	$r= 0.03$ $P= 0.95$
초본식물 피도(%)	$r= 0.69$ $P= 0.04$	$r= 0.83$ $P= 0.005$	$r= 0.80$ $P= 0.01$	$r= 0.69$ $P= 0.04$

(4) 이식 개체의 생육상태 비교

가는동자꽃 개화기('22년 9월) 기준 시험이식 개체 간 생육상태를 비교하였으며, 초장(cm)과 생존율(%)이 시험 이식 그룹(상, 중, 하)과 통계적으로 차이점이 있는 것으로 확인되었다($P < 0.05$). 초장(cm)의 경우 하부(41.61)에서 가장 큰 길이생장을 한 것으로 확인되었으며 상부(16.15)는 가장 적은 길이생장을 한 것으로 확인

되었다. 이식 개체의 생존율(%)은 중부 유형이 72.2로 가장 높은 것으로 확인 되었으며, 상부 유형이 22.2로 방형구 내에서 가장 많은 지상부 개체가 소멸한 것으로 확인되었다. 그 이외에 생리특성(SPAD: 엽록소, Fv/Fm:광합성 효율) 및 개화율 간의 유의미한 차이는 없었으나 개화율의 경우 상부 유형(육지화 산지)에서만 꽃이 피지 않는 것으로 확인되었다.

표 V-2-(5). 이식 개체 그룹분석 자료

	하부	중부	상부	유의성 검정
초장(cm)	41.61(4.72)a	28.71(1.61)ab	16.15(5.36)b	(이식 지점) P= 0.01, F= 16.16 (초기 초장) P= 0.06, F = 5.67
SPAD	35.35(0.81)a	34.87(1.63)a	33.29(1.02)a	(이식 지점) P= 0.49, F = 0.80
FV/FM	0.74(0.02)a	0.79(0.02)a	0.77(0.03)a	(이식 지점) P= 0.35, F = 1.25
생존율(%)	50.0(9.6)ab	72.2(5.6)a	22.2(5.6)b	(이식 지점) P= 0.01, F = 12.2
개화율(%)	16.7(9.6)a	16.7(9.6)a	0.0(0.0)a	(이식 지점) P= 0.23, χ^2 = 2.94
개체 당 개화량	3.1(2.3)a	0.5(0.4)a	0.0(0.0)a	(이식 지점) P= 0.19, χ^2 = 3.31

※ a, b: 동일 영어 공유 지점 통계적 차이 없음, 괄호: 표준오차



그림 V-2-(8). 시험 이식지 개화(좌) 및 결실 개체(우)

(5) 생육 영향인자 분석

가는동자꽃의 생육을 조절하는 주요 영향인자를 분석하기 위해서 Redundancy analysis(RDA) 및 variation partitioning 분석을 실시하였다(그림 V-2-(9)). RDA 분석에서는 무기환경과 식생 환경은 가는동자꽃 생육 변이의 89.35%의 설명력을 가지고 있는 것으로 확인되었다(RDA 축 개수 4개). 이 중 RDA1 및 RDA2 축이 83.49%의 설명력을 가지고 있다. 특히 RDA1 축은 토양, EC, 초본식물 피도, 토양 함수율과 밀접하게 관련되어 있으며, 이 축을 통하여 하부(푸른색 원), 중부(붉은색 원), 상부(회색원)를 명확하게 구분이 가능하였다. Variation partitioning 분석에서는 무기환경(0.088) 및 식생 조건(0.260) 모두 가는동자꽃 생육에 영향을 미치는 것으로 나타났으나, 식생 조건의 설명 비중이 더 높은 것으로 확인되었다. 다만 무기환경 및 식생 조건 간 다중공선성으로 인하여 교집합이 많이 발생하고 있으므로 해석에 주의가 필요하다.

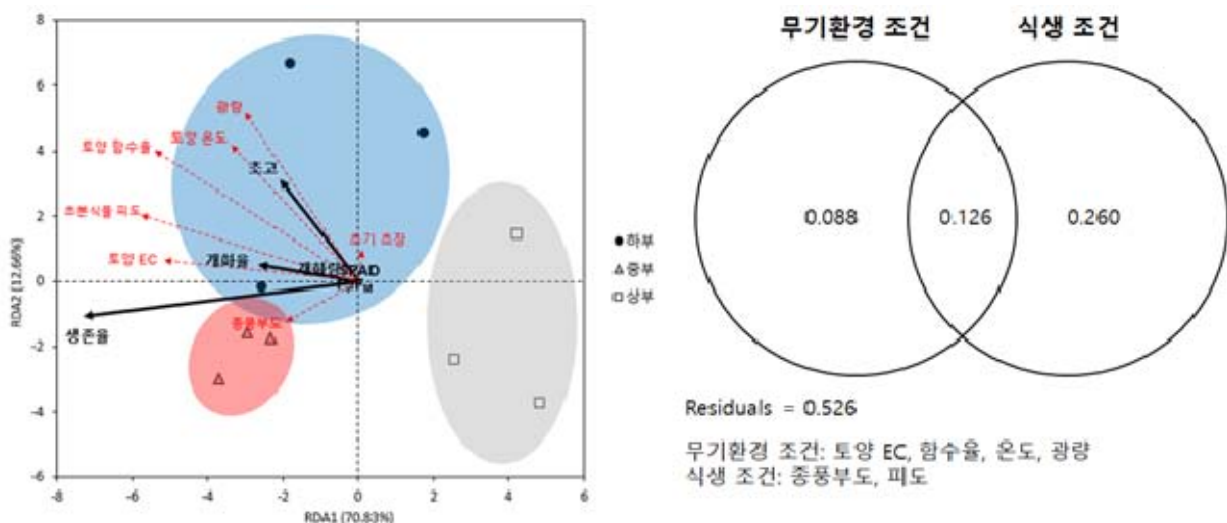


그림 V-2-(9). 가는동자꽃 생육 영향인자 분석(좌: RDA, 우: variation partitioning)

(6) 가는동자꽃 길이생장 대비 무기환경 조건

가는동자꽃 시험이식 개체의 초장은 토양 함수율 및 광량에 비례하여 증가하는 경향을 나타내었다(그림 V-2-(10), $P < 0.05$). 또한 상부(회색 원)가 초장, 토양 함수율, 광량이 모두 낮은 장소로 지점 간 생장량 차이는 무기환경 조건 구배에 따른 것으로 추정된다.

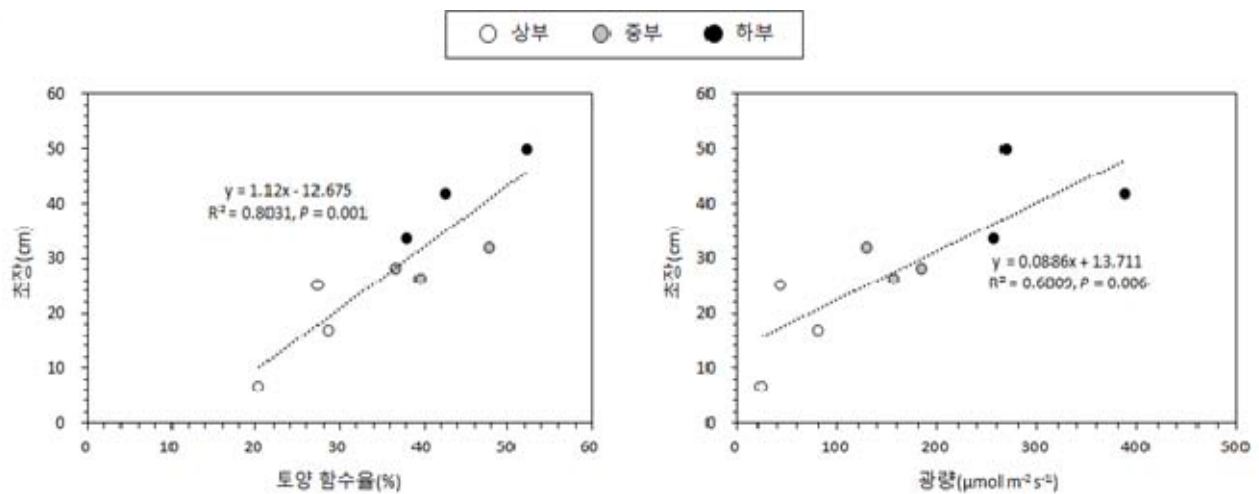


그림 V-2-(10). 가는동자꽃 초장과 무기환경 관계(좌: 토양 함수율, 우: 광량)

(7) 가는동자꽃 생존율 대비 무기환경 조건

가는동자꽃 생존율은 토양 함수율, EC, 초본식물 피도에 비례하여 증가하는 경향이 있었다($P < 0.05$). 또한 상부(흰색 원)가 생존율, 토양 함수율, EC, 초본식물 피도가 모두 낮고, 상부에서 높은 경향을 보였으므로 지점 간 생존율 차이는 무기환경 및 초본식물 피도 구배에 따른 것으로 추정할 수 있었다. 다른 인자와는 달리 생존율과 광량은 커브형 관계를 나타냈다(그림 V-2-(11)).

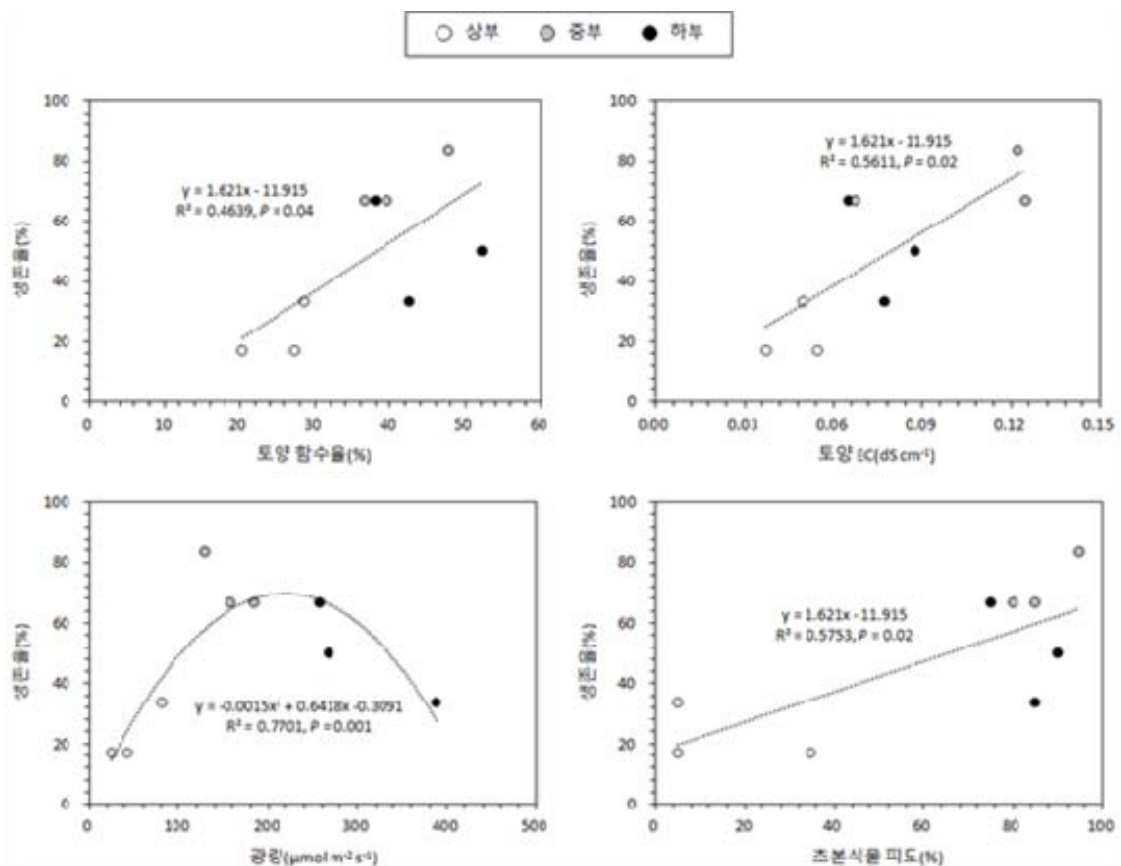


그림 V-2-(11). 가는동자꽃 생존율 대비 무기환경 및 식생 조건

라. 결론

부산 금정산 산지습지에 시험 이식된 가는동자꽃을 대상으로 무기환경, 식생조건에 따른 생장, 생존율에 관한 연구가 수행되었다. 시험 이식 개체의 생존율은 초기 이식된 54개체 가운데 25개체(약 45%)가 생존하였으며(상부 4개체, 중부 13, 하부 8개체), 이식지의 무기환경, 식생 등에 영향을 받는 것으로 나타났다. 가는동자꽃이 생장하는 데 있어서 주요한 환경요인은 토양 함수율과 광량이 필요한 것으로 확인되었다. 서식지 유형으로는 초지성 산지습지에 해당할 수 있으며, 특히 습지 내부에 목본성 식물이 침입하여 육화하거나, 수관층을 형성하여 지표면이 그늘 혹은 반그늘을 형성하는 곳에서는 생장율이 저조할 수 있음을 추정할 수 있다. 생존율은 토양 함수율, EC, 초본식물 피도에 비례하여 증가하였다. 이것은 가는동자꽃이 습지에 서식하는 종으로 서식지 토양이 연중 대부분 과습한 상태여야 할 것으로 보인다. 일반적으로 식물은 같은 공간에서 양분 및 빛 에너지를 차지하기 위해 종간 경쟁을 한다. 하지만 가는동자꽃은 초본식물이 많은 곳에서 생존율이 높게 나타났으며 이것은 초본 식물종 간 경쟁에서 어느 정도 우위를 가지고 있는 종으로 해석될 수도 있다. 실제로 가는동자꽃은 길이 생장이 어느 정도 진행된 이후는 지상부가 혼자 직립하지 않고 줄기 마디가 굽어 자라며 근처의 물체에 의지하여 생장하는 패턴이 관찰된다. 수고가 높게 자라서 그늘을 형성하거나 덩굴성식물 등에 의한 피압 상황을 제외하면 주변에 서식하는 습지성 식물종은 가는동자꽃의 생존에 유리하게 작용할 수 있는 것으로 추정된다. 가는동자꽃의 서식지를 보호하려면 다음과 같은 대책이 마련되어야 한다.

첫째, 출입을 제한해야 한다. 가는동자꽃 핵심 서식지는 출입을 금지하여 개체의 훼손 및 답압으로 인한 습지 유기물층 변화, 지상부 또는 지하부 물질 변화 등을 최소화해야 한다.

둘째, 인위적인 관리가 필요하다. 자생지를 관리하지 않고 방치하면 주변식물이 과도한 그늘 형성하거나 육화가 진행되어 육지식물 침입, 피압 등을 일으켜 가는동자꽃 생존에 불리하게 작용하므로 서식지 내부에 그늘을 형성할 수 있는 목본식물의 가지를 제거하거나 육지식물 제거 등의 관리가 필요하다.

X. 참고문헌

- 국립생물자원관. (2012). 멸종위기 담수어류(통사리 등 5종) 증식 복원 연구. p. 269.
- 국립생물자원관. (2016). 멸종위기종 소뿔구리 증식·복원 연구 3차년도 결과 보고서
- 국립생태원, 환경부. (2017). 생물서식(대체서식지) 제고를 위한 가이드라인 마련 연구. pp. 153.
- 국립생태원. (2018). 금개구리 대체서식지 조성 가이드북.
- 국립생물자원관. (2018). 한눈에 보는 멸종위기 야생생물. 환경부 국립생물자원관, 인천. Pp. 593
- 국립생태원. (2019). 멸종위기 야생생물 서식 변수 및 서식지적합성지수 개발. pp. 93-108.
- 국립생물자원관. (2019). 국가생물적색자료집 제3권 어류. p.250.
- 국립생태원. (2021). '21년 멸종위기종 야생개체군 동태 및 원인 분석 연구. p. 176.
- 국립생태원. (2021). 복원대상지 방사·이식 후 개체적응 및 생태환경변화 모니터링. pp. 2-20.
- 문화재청. (2005). 2005년 국가지정 문화재 지정보고서. 천연기념물·명승. pp. 56-57.
- 박수곤, 라남용, 윤주덕, 장민호. (2018). 금개구리(*Pelophylax chosonicus*) 최대 이동거리에 관한 보고. 한국양서파충류학회지, 9:1, pp. 12-16.
- 조신일, 나수미, 안치경, 김현정, 정유정, 임양목 & 이훈복. (2017). 한국산 남생이와 외래종 붉은귀거북의 서식지 이용 패턴 비교 분석. 한국환경생태학회지, 31(4), 397-408.
- 조해진. (2015). 중분포모형 도입을 통한 멸종위기 맹금류의 서식지 분석 및 관리방안: 참매, 수리부엉이, 올빼미를 중심으로. 전북대학교 대학원 박사학위 논문. 232pp.
- 채병수, 송호복, 박종영. (2019). 야외원색도감 한국의 민물고기. LG상록재단. p. 355.
- 유승화, 이기섭, 박종화. (2013). 철원지역 두루미 취식지의 핵심지역 설정을 위한 MCP, 커널밀도측정법(KDE)과 국지근린지점외곽연결(LoCoH) 분석. 한국환경생태학회지, 21(1), 11-21.
- 문화재청. (2005). 2005년 국가지정 문화재 지정보고서. 천연기념물·명승. pp. 56-57.
- 환경부. (2011). 멸종위기어류 얼룩새코미꾸리의 인공증식 및 방류종묘 모니터링 체제 구축. p. 250
- 환경부. (2013). 멸종위기 담수어류 증식 방류 및 사후 모니터링 연구용역. p. 232.
- 환경부. (2016). 제3차 야생생물 보호 기본계획. pp. 1-120.
- 환경부. (2018). 멸종위기 담수어류(꼬치동자개) 보전 방안 연구. p. 204.
- 환경부. (2018). 멸종위기 야생생물 보전 종합계획. p. 99.
- 환경부. (2019). 멸종위기 담수어류(여울마자, 꼬치동자개) 보전 방안 연구. p. 214.

NIBR(국립생물자원관). (2014). 멸종위기 양비둘기 보전 및 증식복원 연구(I). pp. 1-34.

NIBR(국립생물자원관). (2015). 멸종위기 양비둘기 보전 및 증식복원 연구(II). pp. 1-39.

NIBR(국립생물자원관). (2016). 멸종위기 양비둘기 보전 및 증식복원 연구(III). pp. 1-55.

문화재청 국가문화유산포털 <http://www.heritage.go.kr/>

Pfeiffer, L. (1850). Beschreibungen neuer Landschnecken. Zeitschrift fur Malakozoologie. Cassel, 7(5), 65-80.

Falk DA and Olwell P. (1992). Scientific and policy conservations on reintroduction of endangered species. Rhodora. Vol.94 (879): pp.287-315.

Henry, P., & Jarne, P. (2007). Marking hard-shelled gastropods: tag loss, impact on life history traits, and perspectives in biology. Invertebrate Biology, 126, 2, 138-153.

Yoon JW · Yi MH and Kim YS. (2014). Growth environment and vegetation structure of native habitats of *Wikstroemia ganpi* (Sieb. Et Zucc.) maxim. Korean Journal of Environment and Ecology, 28(3), 331-341.

Yoon, Tae Joong, et al. "Genetic divergence between the South Korean and Mongolian populations of the dung beetle, *Gymnopleurus mopsus* (Coleoptera: Scarabaeidae) based on mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I (COI) gene sequences." Entomological Research 47.6 (2017): 366-372.

Kang, Ji Hyoun, et al. "Historical domestication-driven population expansion of the dung beetle *Gymnopleurus mopsus* (Coleoptera: Scarabaeidae) from its last refuge in Mongolia." Scientific reports 8.1 (2018): 1-11.

복원대상지 방사·이식 후 개체적응 및 생태환경변화 모니터링

Individual adaptation and ecological environmental change monitoring in the restoration target site

발행일	2023년 1월 31일
발행인	조도순
발행처	국립생태원 충청남도 서천군 마서면 금강로 1210
참여연구자	김남영, 이창우, 이병두, 김성준, 박환준, 강승구, 황종경, 이유영, 강동원, 박창득, 권관익, 유정우, 김영중, 윤창만, 김진영, 김황, 차덕재, 유인성
문의	054-680-7282
홈페이지	www.nie.re.kr
제작	(주)전우용사촌
ISBN	979-11-6698-251-4(93400)

© 국립생태원

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

