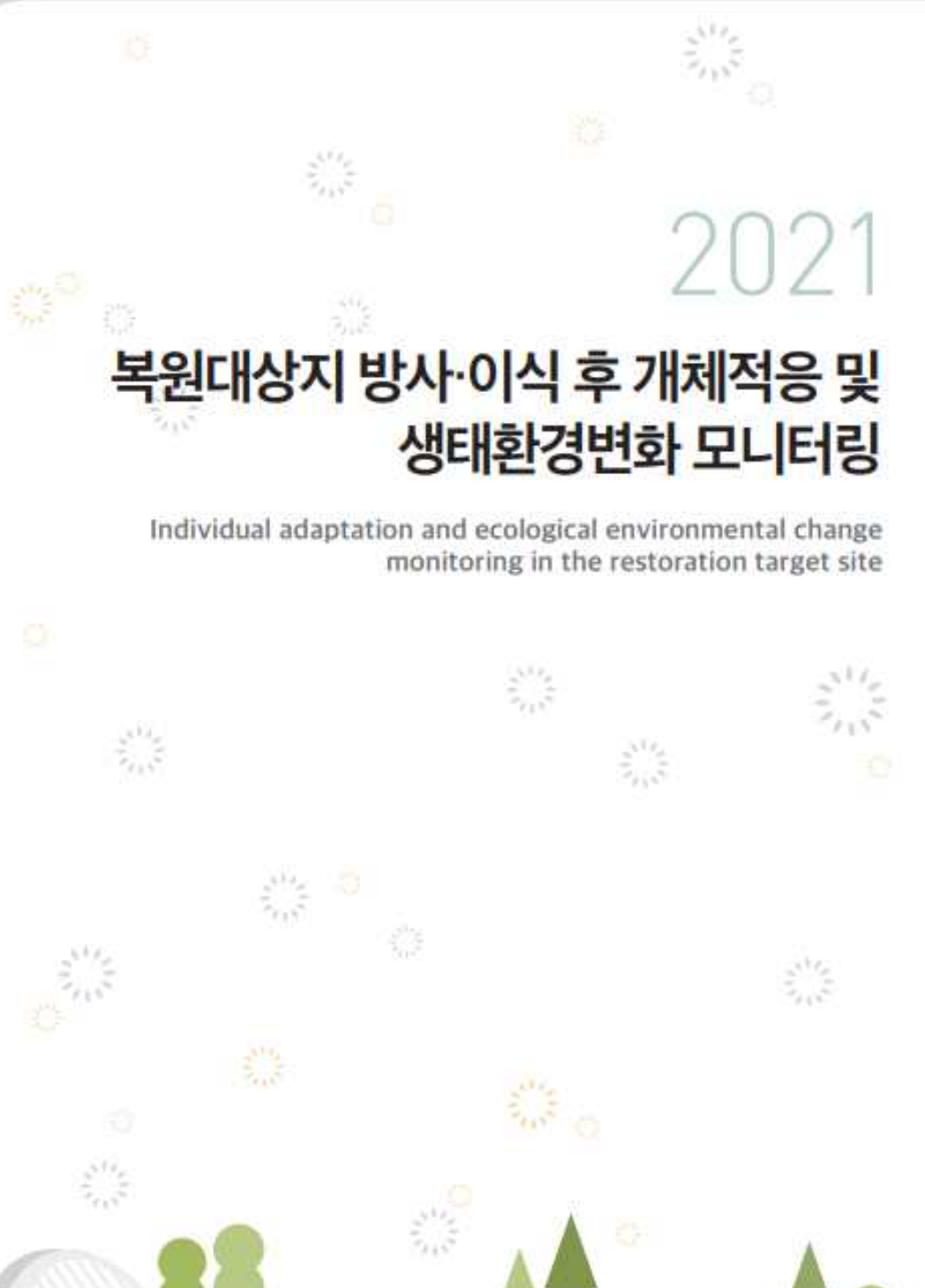




2021

복원대상지 방사·이식 후 개체적응 및 생태환경변화 모니터링

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



국립생태원
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, 강승구, 황종경, 강동원, 권관익, 유정우, 이병두

2021

국립생태원

National Institute of Ecology

연구진

김남영		책임연구원(연구책임)
Nam-Young Kim	복원연구실 식물팀	
이창우	Restoration Research Team(Plants)	차장(연구부책임)
Chang-Woo Lee		
강승구	복원연구실 조류팀	선임연구원
Seung-Gu Kang	Restoration Research	
황종경	Ornithological Team	전임연구원
Jong-Kyeong Hwang		
강동원		전임연구원
Dong-Won Kang	복원연구실 어류·양서파충류팀	
Chang-Deuk Park	Restoration Research Team	전임연구원
권관익	(Fishes / Amphibians & Reptiles)	전임연구원
Kwan-Ik Kwon		
유정우		전임연구원
Jeong-Woo Yoo		
이병두	복원연구실 식물팀	선임연구원
Byoung-Doo Lee	Restoration Research Team(Plants)	

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 복원절차에 따른 가이드라인 수립을 목적으로 한다. 당년도에 신규(핵심)과제로 수행되었으며 이후 5년간(’21~’25) 지속적으로 연구가 수행된다.

’21년에 연구는 총 4분류군(조류, 어류, 양서류, 식물) 5종(양비둘기, 꼬치동자개, 여울마자, 금개구리, 나도풍란)을 대상으로 수행되었다.

조류는 멸종위기Ⅱ급 양비둘기 8개체에 위치 추적기를 부착하여 고흥지역에 방사하였으며 합류, 천적의 회피능력, 무리생활, 잠자리 이용 등의 4가지 요소가 가장 중요한 환경 적응요소로 확인되었다.

어류는 멸종위기 I 급 꼬치동자개, 여울마자를 대상으로 연구가 수행되었다. 우선 꼬치동자개의 경우 3000개체를 가야천, 대가천, 자호천에 방류하였다. 하천별 방류지 주변 서식환경이 매우 중요한 요소로 작용했으며 PIT tag 활용 모니터링 효과가 상대적으로 매우 높은 것으로 나타났다. 여울마자의 경우 250개체 모두 체내 PIT tag를 삽입하여 남강일대에 방류하였다. ’22년부터 지자체와 협의를 통해 수신기를 활용한 모니터링 연구를 진행할 예정이다.

양서류는 멸종위기Ⅱ급 금개구리를 대상으로 연구가 수행되었다. ’20년 방사지역인 서천군 국립생태원 수생식물원 일대에서 포획, 청음, 목전 등을 통해 총 302개체 서식을 확인하였다. 준성체가 확인됨으로 인해 ’22년부터 방사개체 증식여부 확인을 위한 유전적 연구, PIT tag(개체식별장치) 삽입을 통한 모니터링을 실시 할 예정이다.

식물은 멸종위기 I 급 나도풍란을 대상으로 연구가 수행되었다. 이식대상지인 신안군 홍도에 150개체를 이식하였다. 나도풍란의 생존에 영향을 미치는 인자가 확인되었으며 특히 해충피해, 풍속, 광량 등의 인자가 나도풍란의 생존, 성장 등에 중대한 영향을 미친다는 것이 확인되었다. 위협요인으로는 수검은줄점불나방 유충에 의한 직접적인 잎가해 상황이 국내 최초로 확인되었으며 피해 수준이 심각한 것으로 나타났다.

차년도에도 멸종위기종을 대상으로 한 「복원대상지 방사·이식 후 개체적응 및 생태환경변화 모니터링」 연구 과제를 통하여 방사·이식종의 성공적인 복원을 위한 연구를 지속할 계획이다.

목 차

요약문	i
목 차	iv
표목차	iv
그림목차	v
ABSTRACT	viii
I. 서론	1
II. 멸종위기 조류 방사 후 개체적응 및 생태환경변화 연구	2
1. 고흥 양비둘기 방사 후 모니터링 연구	2
III. 멸종위기 어류 방류 후 개체적응 및 생태환경변화 연구	21
1. 꼬치동자개 개체군 이동, 분산, 정착 연구	21
2. 여울마자 개체군 이동, 분산, 정착 연구	35
IV. 멸종위기 양서류 방사 후 개체적응 및 생태환경변화 연구	43
1. 금개구리 생존, 개체 성장 연구	43
V. 멸종위기 식물 이식 후 개체적응 및 생태환경변화 연구	49
1. 나도풍란 시험이식지 생존, 성장, 환경, 위협요인 연구	49
X. 참고문헌	72

표 목 차

표. II-1-(1). 양비둘기 연방사장 시설 구성	4
표. II-1-(2). 양비둘기 방사개체 정보	6
표. II-1-(3). 양비둘기 방사 후 모니터링 결과	8
표. II-1-(4). 양비둘기 ID 8581의 행동권 면적	10
표. II-1-(5). 양비둘기 ID 6338의 행동권 면적	11
표. II-1-(6). 양비둘기 ID 8563의 행동권 면적	12
표. II-1-(7). 양비둘기 ID 8567의 행동권 면적	13
표. II-1-(8). 양비둘기 ID 8568의 행동권 면적	14
표. II-1-(9). 양비둘기 ID 8804의 행동권 면적	15
표. II-1-(10). 양비둘기 ID 8806의 행동권 면적	16
표. II-1-(11). 양비둘기 ID 8585의 행동권 면적	18
표. III-1-(1). 꼬치동자개 과 방류 사례	24
표. III-1-(2). 2021년 꼬치동자개 방류 하천 및 일시	25
표. III-1-(3). 2021년 꼬치동자개 방류지 위치정보	26
표. III-1-(4). 직접 포획을 통한 꼬치동자개 모니터링 결과	27
표. III-1-(5). PIT tag 활용 꼬치동자개 방류 후 모니터링 결과(가야천, 대가천)	29
표. III-1-(6). 방류지점 기점 꼬치동자개 최대 확산 거리	30
표. III-1-(7). 방류지점 기점 꼬치동자개 이동 거리	31
표. III-1-(8). 기존 멸종위기 담수어류 복원사업 모니터링 방법 및 효율	33
표. III-1-(9). 2021년 PIT tag 활용 꼬치동자개 모니터링 효율	33
표. III-2-(1). 여울마자 복원을 위한 과거 방류 사례	37
표. III-2-(2). 2021년 여울마자 방류 현황	38
표. III-2-(3). 직접 포획을 통한 여울마자 모니터링 결과	39
표. III-2-(4). 2019년 여울마자 방류 후 모니터링 결과	41
표. IV-1-(1). 금개구리 모니터링 일자	43
표. IV-1-(2). 금개구리 모니터링 결과	46
표. IV-1-(3). 복원성공평가 지표 유형	48

표. V -1-(1). 시험이식에 활용한 나도풍란 개체의 초기 크기	52
표. V -1-(2). 환경측정센서 제원(Onset, USA)	57
표. V -1-(3). 시험이식 지점별 환경정보	60

그 립 목 차

그림. II-1-(1). 연방사장 전경 설계 평면도(좌) 및 단면도(우)	4
그림. II-1-(2). 양비둘기 연방사장(좌) 및 사육실 내부(우)	4
그림. II-1-(3). 양비둘기 연방사장 시설물	5
그림. II-1-(4). 양비둘기 방사행사	6
그림. II-1-(5). 폐사 흔적(좌) 및 회수한 위치추적기 및 깃털(우)	8
그림. II-1-(6). 양비둘기 방사개체 서식범위 분포도	9
그림. II-1-(7). 양비둘기 ID 8581의 전체 행동권	10
그림. II-1-(8). 양비둘기 ID 6338의 전체 행동권	11
그림. II-1-(9). 양비둘기 ID 8563의 전체 행동권	12
그림. II-1-(10). 양비둘기 ID 8567의 전체 행동권	13
그림. II-1-(11). 양비둘기 ID 8568의 전체 행동권	14
그림. II-1-(12). 양비둘기 ID 8804의 전체 행동권	15
그림. II-1-(13). 양비둘기 ID 8806의 전체 행동권	17
그림. II-1-(14). 양비둘기 ID 8585의 전체 행동권	18
그림. III-1-(1). 꼬치동자개 방류 및 모니터링 전반 과정	23
그림. III-1-(2). 휴대용 PIT tag 수신기 활용 꼬치동자개 모니터링	23
그림. III-1-(3). 무선개체식별장치 삽입 및 고유식별번호 확인	25
그림. III-1-(4). 각 하천별 꼬치동자개 방류	26
그림. III-1-(5). PIT tag 활용 꼬치동자개 방류 후 모니터링 결과(대가천, 가야천) ·	28
그림. III-1-(6). PIT tag 활용 꼬치동자개 방류 후 모니터링 결과(자호천) ···	30
그림. III-1-(7). 꼬치동자개 방류 후 확산 거리	31
그림. III-1-(8). 꼬치동자개 방류 후 이동 정보(대가천, 가야천)	32

그림. III-1-(9). 꼬치동자개 방류지 훼손 현장(2021년 7월)	34
그림. III-2-(1). 여울마자 방류 및 모니터링 전반 과정	37
그림. III-2-(2). 2021년 여울마자 방류	39
그림. III-2-(3). 여울마자 방류(좌) 및 방류지 훼손(우) 관련 기사	40
그림. III-2-(4). 여울마자 방류지 과거 공사 현장(2020년 2월 남강)	41
그림. III-2-(5). PIT tag 수신기 하천 횡단 설치 예시	42
그림. IV-1-(1). 금개구리 모니터링 대상지(국립생태원 수생식물원)	44
그림. IV-1-(2). 금개구리 모니터링	47
그림. IV-1-(3). PIT tag과 PIT tag 모니터링(예시)	48
그림. V-1-(1). 나도풍란 종자확보 및 증식과정	51
그림. V-1-(2). 홍도 위치(붉은색 원)	53
그림. V-1-(3). 연구지역 우점식생(난온대상록활엽수림)	53
그림. V-1-(4). 나도풍란 시험이식지 설계	54
그림. V-1-(5). 지점1(구실잣밤나무 우점림)	54
그림. V-1-(6). 지점2(구실잣밤나무 우점림)	55
그림. V-1-(7). 지점3(낙엽활엽수 우점림)	55
그림. V-1-(8). 나도풍란 시험이식 과정	56
그림. V-1-(9). 환경측정센서 설치 현황	57
그림. V-1-(10). 지점별 월 평균 미기후 변동	62
그림. V-1-(11). 나도풍란 시험이식 개체의 지점별 생육 현황	64
그림. V-1-(12). 나도풍란 시험이식 개체의 지점별 생육 현황	66
그림. V-1-(13). 나도풍란 시험이식 개체의 초기 6개월 간 생존율, 잎 잔존율, 뿌리 잔존율에 영향을 미치는 인자에 관한 요 인분석(redundancy analysis) 결과	68
그림. V-1-(14). 나도풍란 모니터링 시점별 이차원 통계분석	70

Abstract

The research conducted in 2021 are a total of 4 categories (bird, fish, amphibian, plant), and 5 species (*Columba rubestris*, *Pseudobagrus brevicorpus*, *Microphysogio rapidus*, *Pelophylax chosenicus*, and *Sedirea japonica*). Location trackers were attached to 8 individuals *Columba rubestris*(endangered Class II) and they were released to the Goheung area, and the 4 most important environmental factors were identified. The freshwater fish species studied were *Pseudobagrus brevicorpus*(endangered class I) and *Microphysogobio rapidus*(endangered class I). 1000 *P. brevicorpus* were released for each stream(Gayacheon Stream, Daegacheon Stream, and Jahocheon Stream.), and 3000 fish were released in total. It was found that the habitat environment around the study area released by each stream was a very important factor, and the monitoring using a receiver(PIT tag) was found to be highly effective. For the study of *M. rapidus*, PIT tags were inserted into the body of 250 individuals and released into the Namgang River. *P. chosenicus* was released to the Aquatic Botanical Garden of the National Institute of Ecology in Seocheon-gun in 2020, and it was confirmed that a total of 302 individuals were inhabited through studies such as capture, hearing, and observation. *S. japonica* was transplanted to Hongdo, Sinan-gun, and there are a total of 150 individuals. In particular, it was confirmed that factors such as insect herbivory, wind speed, and light intensity had an important effect on the survival and growth of *S. japonica*.

I. 서론

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

과거 멸종위기종 관련 방사이식 사업의 대부분은 자연환경에 놓아주는 것에 국한되어 해당종이 어떻게 정착하여 살아가는지에 대한 연구가 부족하였다. 잘 정착하여 살아가는 종도 있지만 천적, 질병, 먹이부족 등 여러 부정적인 요인에 의해 사멸되는 종도 있었고 방사이식종의 추적이 불가능하여 추후 연구가 진행되기 어려운 부분이 있었다.

본 사업의 목적은 멸종위기생물의 단순 방사에 국한되지 않고 대상종이 살아가는 생태정보를 세세히 연구하고 축적하여 최종적으로 성공적인 복원에 활용하는데 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 직접수행하고 있는 핵심 기초연구사업이다. 그 내용은 멸종위기생물을 대상으로 개체의 복원, 서식지내 성공적인 안착, 지속가능한 보전 방안을 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 복원절차에 따른 가이드라인 수립, 「야생생물 보호 및 관리에 관한 법률」 제13조(멸종위기 야생생물에 대한 보전대책의 수립 등)의 이행을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

II. 멸종위기 조류 방사 후 개체적응 및 생태환경변화 연구

1. 고흥 양비둘기 방사 후 모니터링 연구

가. 서론

환경부에서는 멸종위기 생물종 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 2020년 현재까지 10개체 이하로 관찰되어 고흥 집단의 개체군 복원이 시급한 상황이다. 또한 다른 지역으로 이동 등 감소 요인에 대해서도 조사가 필요하다. 본 연구는 고흥 집단의 증식·복원을 위한 개체군 시험방사 연구를 위해 시행되었으며, 유관 기관 간 협력을 통해 고흥 서식지 조사 및 계획 수립, 연방사장 운영, 방사 후 모니터링 연구가 이루어졌다. 모니터링은 개체의 위치추적기 부착을 통한 방사 후 서식지 적응과정 및 정밀한 야외 현장조사가 시행되었으며, 축적된 연구결과 자료는 향후 멸종위기종 증식·복원을 위한 서식지 내 방사를 시행함에 있어 위험요소를 사전에 차단하고, 안정적이고 성공적인 서식지 복원을 위한 중요한 기초자료 활용하기 위함이다.

나. 연구 내용 및 방법

(1) 양비둘기 연방사장 입지선정

양비둘기 연방사장 설치를 위한 대상지 선정에는 기존 집단의 취식지와 번식지를 고려하였다. 고흥 집단의 경우 번식지 특성은 해안의 암벽 또는 암초를 번식지 또는 휴식지로 이용하며, 바위에 형성된 타포니(바위굴, 틈 등)를 영소지로 이용하고 있다. 또한 인근의 마을 농경지 또는 초지에서 먹이활동을 하며 무리를 이루어 생활하는 것으로 알려져 있다(NIBR 2014; 2015; 2016). 증식개체를 연방사할 경우 자연스런 야생 개체와의 합류를 위해 야생개체가 먹이활동을 위해 자주 활동하고, 증식개체와 야생개체가 서로 소통이 가능한 마을의 경작지를 대상지로 선정하였다(그림 II-1-(2)).

(2) 양비둘기 연방사장 설치 및 운영

방사장 설치는 고흥군 금산면 오천리 소재지에 34m²면적의 연방사장(soft-releasing cage)을 설계하여 설치하였다(그림 II-1-(1)). 연방사장은 경량철골조 구조물로써 2021년 1월 착공하여 5월에 준공하였다(그림 II-1-(2)). 구성은 외부 포식자의 출입의 방지를 위해 전면 철망을 설치하였으며, 그 외 외부 및 내부 펜스 하단부에 슬라이딩 패널을 설치하여 고양이 등 천적의 침입을 차단하였다. 또한, 사육장 입식 개체의 상태를 수시로 확인하기 위해 CCTV를 설치하였다. 상세한 양비둘기 연방사장 구성은 표 II-1-(1)와 그림 II-1-(3)과 같다. 연방사장 준공 후 양비둘기를 사육장에 입식하기 전에 센터에서 보유한 집비둘기 6개체를 활용하여 5월부터 7월까지 안정성 및 위험성 평가 등을 시행하였다. 집비둘기 사전 사육에 의해 발견된 문제점은 보완 후 양비둘기 입식에 들어갔다.

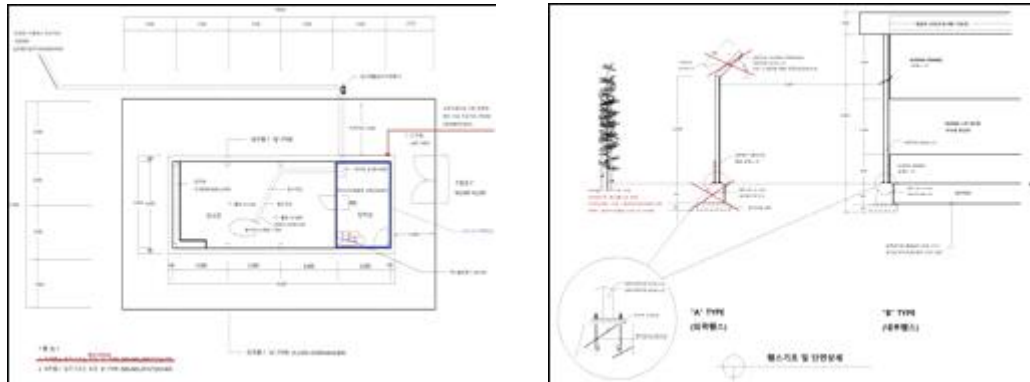


그림. II-1-(1). 연방사장 전경 설계 평면도(좌) 및 단면도(우)



그림. II-1-(2). 양비둘기 연방사장(좌) 및 사육실 내부(우)

표. II-1-(1). 양비둘기 연방사장 시설 구성

시설	세부 내용	비고
출입문	이중 여닫이문	도르래 이용 문 개폐
전면철망	스탠클램프망 (1.8cmx1.8cm)	외부 포식자 차단
탕비실	CCTV 모니터 및 먹이보관함	
급수시설	물탱크(1000cmx800cmx600cm)	
전기시설	옥외배전반	
먹이급이대	급이대 3개(150cmx100cmx150cm)	
CCTV	2대	
기타	햇대, 음수대	



그림. II-1-(3). 양비둘기 연방사장 시설물

(3) 양비둘기 자연적응훈련

방사에 적합한 양비둘기 8개체(수컷 5개체, 암컷 3개체)를 선정 후 연방사장에 입식하여 7월 30일부터 9월 29일 방사 전까지 약 2개월간 자연적응 훈련을 하였다. 방사에 앞서 양비둘기가 기존 사육 환경의 혼란을 방지하고 방사 대상지의 서식환경에 자연스러운 적응을 위해 입식 초기에 암컷, 수컷을 분리 사육하였다. 연방사장에 입식한 이후 연방사장 외부 가림막 개방을 통해 입식한 양비둘기의 외부관찰을 유도하였으며, 주변 방사지 서식환경에 적응해질 수 있도록 내부 환경을 조성하였다. 이후 양비둘기의 원활한 자연적응을 위해 9월까지 가능한 출입을 제한하였고, CCTV를 활용하여 양비둘기의 서식 현황을 점검하였다.

(4) 양비둘기 방사

방사에 앞서 방사개체의 이동경로 및 개체식별을 위해 개체표지용 금속가락지와 위치추적기를 부착하였다(표 II-1-(2)). 위치추적기는 방사개체 양비둘기의 평균 체중이 250g임을 감안하여 체중 대비 5%를 넘지 않는 위치추적기인 Druid사의 Ommi(10g) 위치추적기를 부착하였다. 부착 후 방사 전까지 개체들의 건강상태를 지속적으로 점검하였으며 2021년 9월 29일 연방사장 개방을 통해 방사를 하였다(그림 II-1-(4)).

표. II-1-(2). 양비둘기 방사개체 정보

연번	성별	가락지 No.	위치추적기 ID	비고
1	수컷	070-00518	8581	서울동물원 증식개체
2		070-00521	6338	
3		070-00522	8563	
4		070-00523	8567	
5		070-00524	8568	
6	암컷	080-07112	8804	멸종위기종복원센터 증식개체
7		080-07113	8806	
8		080-07119	8585	



그림. II-1-(4). 양비둘기 방사행사

(5) 양비둘기 방사 후 모니터링

서식지 내 방사한 양비둘기 8개체의 야생 환경적응 여부를 파악하기 위해 방사 후 모니터링을 정밀하게 수행하였다. 방사한 개체들의 연방사장 재출입 및 연방사장을 휴식지 또는 영소지로 이용 가능성에 대해 알아보기 위해 연방사장 문을 상시 개방하였다. 방사개체들의 모니터링은 연방사장 출입여부는 연방사장 내에 설치된 CCTV를 활용하여 개체들의 생존 및 이용현황을 파악하였으며, 양비둘기에 부착한 위치추적기를 기반으로 각 개체들의 방사 후 이동경로를

모니터링 하였다.

(6) 핵심 서식지 파악 및 신규서식지 발굴

양비둘기 방사개체에 부착한 위치추적기의 좌표를 활용하여 방사개체의 핵심서식지역 범위와 분포, 신규서식지를 파악하기 위해 행동권 분석을 하였다. 행동권 분석은 일반적으로 행동권 분석에 이용되는 최소볼록다각형법(Minimum Convex Polygon, MCP)과 커널밀도특정법(Kernel Density Estimation: KDE)을 사용하였다. 최소볼록다각형법은 수신된 좌표들 가운데 최외각 좌표를 연결하여 볼록 다각형으로 면적을 산출하는 방법으로 간혹 추적개체들이 장거리로 이동한 좌표사항이 포함되는 단점이 있다. 하지만 다른 개체와 비교를 할 때 적합한 것으로 알려져 있다(조해진, 2015). 커널밀도특정법은 개체의 행동권 밀도분포를 선과 같은 곡선으로 표현하는 방법으로 KDE 95%는 일반적인 행동권, KDE 50%는 핵심서식지로 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 3.14를 이용하여 분석하였다.

다. 연구 결과

(1) 양비둘기 방사 후 모니터링

양비둘기 8개체 방사 후 CCTV로 연방사장 이용개체 모니터링 결과, 연방사장을 이용하는 개체는 없는 것으로 확인되었다. 대부분 개체가 연방사장 주변 산림을 잠자리로 이용하는 것을 확인하였다. 위치추적기를 활용하여 파악한 결과 방사 후 시간이 경과할수록 분포범위가 확대되었다. 그러나 방사한 8개체 중 3개체를 제외하고 1개월 내에 위치추적 수신이 중단 되었으며, 11월 18일을 마지막으로 방사한 개체 모두 수신이 중단되었다(표 II-1-(3)). 대부분 개체가 방사지역인 오천리 일대에서 수신이 중단되었으며, ID 8581과 ID 6338 2개체는 맹금류와 포유류에 포식된 것으로 확인되었다(그림 II-1-(5)).

표. II-1-(3). 양비둘기 방사 후 모니터링 결과

위치추적기 ID	성별	최종수신	최종수신 장소	원인	비고
8581	수컷	21.10.05	거금대교	폐사	맹금류 포식
6338		21.10.09	오천리	폐사	포유류 포식
8563		21.10.20	해안암초	폐사 추정	확인필요
8567		21.10.25	오천리	미확인	확인필요
8568		21.10.07	오천리	미확인	확인필요
8804	암컷	21.10.31	오천리	미확인	확인필요
8806		21.10.29	오천리	미확인	확인필요
8585		21.11.18	오천리	폐사 추정	야생개체 합류



그림. II-1-(5). 폐사 흔적(좌) 및 회수한 위치추적기 및 깃털(우)

(3) 핵심서식지 파악 및 신규서식지 발굴

양비둘기 방사개체에서 획득한 위치추적기의 좌표를 이용하여 8개체의 행동권을 분석한 결과, 각 개체별로 다양한 행동권 범위를 보였으나 대부분 방사대상지 주변을 고정적으로 이용하는 것으로 확인되었다(그림 II-1-(6)). 그러나 수신 기간이 가장 길었던 ID 8585개체는 야생개체와 합류한 후 번식지와 휴식지를 공동으로 이용하였으며, 야생개체와 동일한 행동 특성을 보이는 등 야생 환경에 거의 완벽하게 적응한 모습을 보였다. 8개체의 위치추적 모니터링 기간 동안 고흥지역 주변에서 신규서식지는 확인되지 않았다.

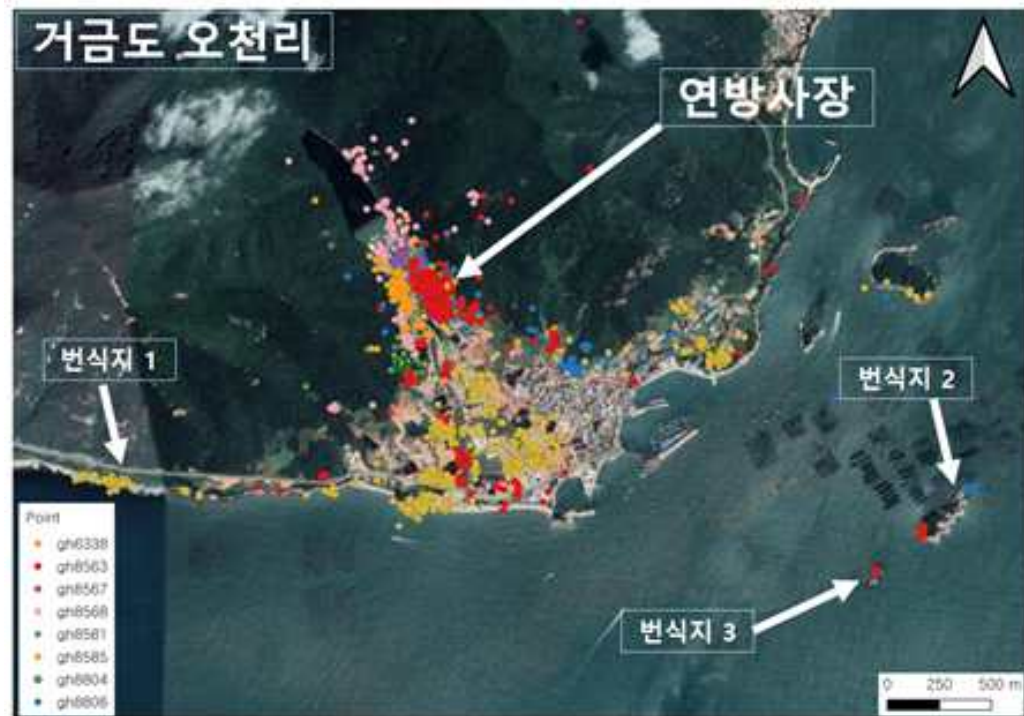


그림. II-1-(6). 양비둘기 방사개체 서식범위 분포도

(가) ID 8581

ID 8581 양비둘기의 행동권 분석결과, 최소불록다각형(MCP) 면적은 86.76km^2 으로 확인되었다. 커널밀도측정법(KDE) 분석결과 KDE 95% 수준은 94.09km^2 , KDE 70% 수준은 33.60km^2 으로 확인되었으며 핵심서식지 면적인 KDE 50% 수준은 11.39km^2 으로 확인되었다. ID 8581의 핵심서식지역은 오천리 연방사장 일대로 확인되었으며, 핵심서식지에서 직선거리로 약 10Km를 이동한 후 거금대교에서 매의 습격으로 인해 폐사하였다(표 II-1-(4), 그림 II-1-(7)).

표. II-1-(4). 양비둘기 ID 8581의 행동권 면적

ID	좌표수	KDE 50%(km ²)	KDE 70%(km ²)	KDE 95%(km ²)	MCP(km ²)
8581	146	11.39	33.60	94.09	86.76

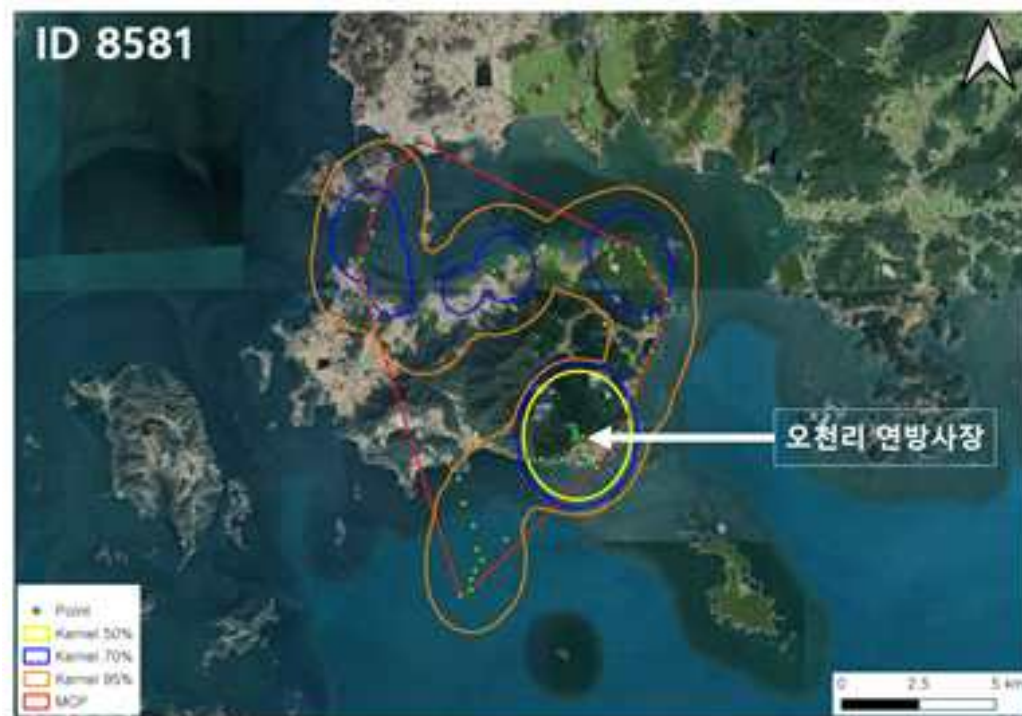


그림. II-1-(7). 양비둘기 ID 8581의 전체 행동권

(나) ID 6338

ID 6338 양비둘기의 행동권 분석결과, MCP 면적은 0.97km²으로 확인되었다. 커널밀도측정법(KDE) 분석결과 KDE 95% 수준은 0.19km², KDE 70% 수준은 0.05km²으로 확인되었으며 핵심서식지 면적인 KDE 50% 수준은 0.03km²으로 확인되었다. 핵심서식지역은 오천리 연방사장 일대로 확인되었으며, 좌표수가 적고 주변에 서식하는 포유류의 습격으로 수신이 중단되었다(표 II-1-(5), 그림 II-1-(8)).

표. II-1-(5). 양비둘기 ID 6338의 행동권 면적

ID	좌표수	KDE 50%(km ²)	KDE 70%(km ²)	KDE 95%(km ²)	MCP(km ²)
6338	115	0.03	0.05	0.19	0.97



그림. II-1-(8). 양비둘기 ID 6338의 전체 행동권

(다) ID 8563

ID 8563 양비둘기의 행동권 분석결과, MCP 면적은 50.57km²으로 확인되었다. 커널밀도측정법(KDE) 분석결과 KDE 95% 수준은 8.96km², KDE 70% 수준은 1.62km²으로 확인되었으며 핵심서식지 면적인 KDE 50% 수준은 1.01km²으로 확인되었다. 핵심서식지역은 오천리 연방사장 일대로

확인되었으며, 고흥군 풍양면 보천리 일대로 이동한 후 오천리 서식지로 복귀한 후 야생개체의 번식지에서 수신이 중단되었다(표 II-1-(6), 그림 II-1-(9)).

표. II-1-(6). 양비둘기 ID 8563의 행동권 면적

ID	좌표수	KDE 50%(km ²)	KDE 70%(km ²)	KDE 95%(km ²)	MCP(km ²)
8563	1822	1.01	1.62	8.96	50.57

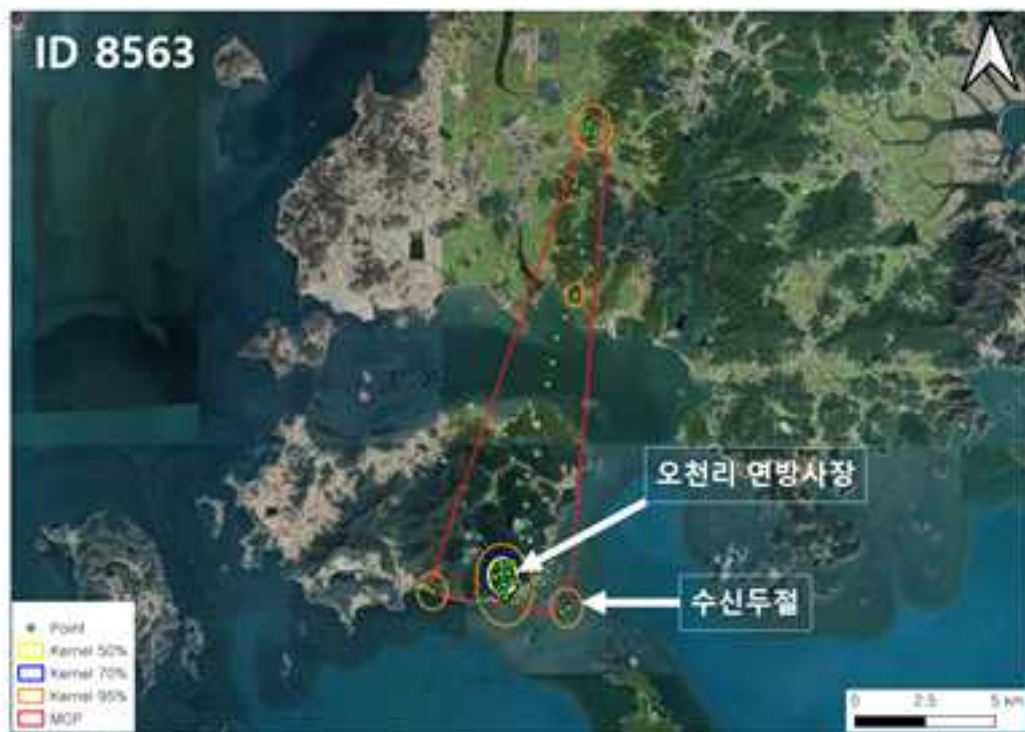


그림. II-1-(9). 양비둘기 ID 8563의 전체 행동권

(라) ID 8567

ID 8567 양비둘기의 행동권 분석결과, MCP 면적은 0.14km²으로 확인되었다. 커널밀도측정법(KDE) 분석결과 KDE 95% 수준은 0.06km², KDE 70% 수준은 0.02km²으로 확인되었으며 핵심서식지 면적인 KDE 50% 수준

은 0.01km²으로 확인되었다. 핵심서식지역은 오천리 연방사장 일대로 확인 되었으며, 좌표수가 매우 적어 행동권이 면적이 좁은 것으로 판단된다(표 II-1-(7), 그림 II-1-(10)).

표. II-1-(7). 양비둘기 ID 8567의 행동권 면적

ID	좌표수	KDE 50%(km ²)	KDE 70%(km ²)	KDE 95%(km ²)	MCP(km ²)
8567	46	0.01	0.02	0.06	0.14



그림. II-1-(10). 양비둘기 ID 8567의 전체 행동권

(마) ID 8568

ID 8568 양비둘기의 행동권 분석결과, MCP 면적은 1.32km²으로 확인되었다. 커널밀도측정법(KDE) 분석결과 KDE 95% 수준은 0.49km², KDE 70% 수준은 0.16km²으로 확인되었으며 핵심서식지 면적인 KDE 50% 수준은 0.07km²으로 확인되었다. 핵심서식지역은 오천리 연방시장 일대로 확인되었다(표 II-1-(8), 그림 II-1-(11)).

표. II-1-(8). 양비둘기 ID 8568의 행동권 면적

ID	좌표수	KDE 50%(km ²)	KDE 70%(km ²)	KDE 95%(km ²)	MCP(km ²)
8568	261	0.07	0.16	0.49	1.32



그림. II-1-(11). 양비둘기 ID 8568의 전체 행동권

(바) ID 8804

ID 8804 양비둘기의 행동권 분석결과, MCP 면적은 0.84km²으로 확인되었다. 커널밀도측정법(KDE) 분석결과 KDE 95% 수준은 0.06km², KDE 70% 수준은 0.01km²으로 확인되었으며 핵심서식지 면적인 KDE 50% 수준은 0.01km²으로 확인되었다. 핵심서식지역은 오천리 연방사장 일대로 매우 좁은 행동권 범위를 보인 것으로 확인되었다(표 II-1-(9), 그림 II-1-(12)).

표. II-1-(9). 양비둘기 ID 8804의 행동권 면적

ID	좌표수	KDE 50%(km ²)	KDE 70%(km ²)	KDE 95%(km ²)	MCP(km ²)
8804	1021	0.01	0.01	0.06	0.84



그림. II-1-(12). 양비둘기 ID 8804의 전체 행동권

(사) ID 8806

ID 8806 양비둘기의 행동권 분석결과, MCP 면적은 2.16km²으로 확인되었다. 커널밀도추정법(KDE) 분석결과 KDE 95% 수준은 0.66km², KDE 70% 수준은 0.13km²으로 확인되었으며 핵심서식지 면적인 KDE 50% 수준은 0.07km²으로 확인되었다. 핵심서식지역은 오천리 연방사장 일대로 확인되었으며, 오천리 앞 무인도서 야생개체군의 번식지까지 이동한 것을 확인하였다(표 II-1-(10), 그림 II-1-(13)).

표. II-1-(10). 양비둘기 ID 8806의 행동권 면적

ID	좌표수	KDE 50%(km ²)	KDE 70%(km ²)	KDE 95%(km ²)	MCP(km ²)
8806	1089	0.07	0.13	0.66	2.16



그림. II-1-(13). 양비둘기 ID 8806의 전체 행동권

(아) ID 8585

ID 8585 양비둘기의 행동권 분석결과, MCP 면적은 2.92km^2 으로 확인되었다. 커널밀도추정법(KDE) 분석결과 KDE 95% 수준은 1.31km^2 , KDE 70% 수준은 0.62km^2 으로 확인되었으며 핵심서식지 면적인 KDE 50% 수준은 0.37km^2 으로 확인되었다. 핵심서식지역은 오천리 연방사장 일대와 주변 마을을 고정적으로 서식한 것으로 확인되었다(표 II-1-(11), 그림 II-1-(14)). 특히 ID 8585는 방사일부터 야생개체와 합류하여 수신이 중단된 11월 18일까지 야생의 환경에 점진적으로 적응하는 모습을 보였다. 방사 후 10월 9일까지 11일간 방사장 인근 숲을 휴식지로 이용한 후 10월 10일부터는 야생개체와 같이 해안의 바위를 잠자리 또는 휴식지로 이용하였다. 그리고 10월 26일부터는 서식 범위를 넓혀 야생개체군이 이용하는

해안의 번식지를 잠자리 또는 휴식지로 이용하였다. 또한, 연방사장 주변 농경지를 취식지로 이용하는 등 야생개체와 합류하여 서식지를 공동 이용하였다.

표. II-1-(11). 양비둘기 ID 8585의 행동권 면적

ID	좌표수	KDE 50%(km ²)	KDE 70%(km ²)	KDE 95%(km ²)	MCP(km ²)
8585	2899	0.37	0.62	1.31	2.92



그림. II-1-(14). 양비둘기 ID 8585의 전체 행동권

라. 결론

고흥 양비둘기 방사 후 모니터링 연구는 고흥지역 번식 집단 개체수의 급감으로 인한 증식 및 복원 연구가 시급한 상황에서 개체군의 보충을 통한 서식지 보전 및 안정화를 위해 시범적으로 시행되었다. 연방사장 운영에 방사장 설치에 양비둘기의 생태적 습성을 최대한 반영하였고, 외부로부터 천적의 유입을 거의 완벽하게 차단하도록 설계가 되었다. 양비둘기 입식에 앞서 유사종인 집비둘기를 시범적으로 사육함으로써 추후 발생할 수 있는 문제점을 사전에 차단하고 점검하였다. 양비둘기 방사 후 정밀모니터링을 위하여 방사 예정인 8개체에게 위치추적기를 부착하였고, 현장 조사도 병행하여 시행하였다.

방사한 양비둘기 8개체의 모니터링 결과 대부분 연방사장 인근의 숲과 마을의 농경지를 취식지 및 잠자리로 이용하였으며, 10월 중·후반에 거쳐 수신이 중단되었다. 그중 3개체(ID 8585, ID 8806, ID 8563)는 야생 환경 적응 중 수신이 중단된 것으로 나타났다. ID 8806과 ID 8563은 마을 인근의 야생 번식지인 해안 암초까지 활동 범위를 넓히는 중에 수신이 중단된 것으로 보아 야생개체와 합류하였을 것으로 추정된다. 특히, 현장조사를 통해 야생개체와 합류한 것이 확인된 ID 8585는 10월 26일부터 서식 범위를 넓혀 야생개체군이 이용하는 해안의 번식지를 잠자리 또는 휴식지로 이용하였으며, 취식지도 공동으로 이용하였다. 비록 11월18일 최종적으로 수신이 중단되었으나, 야생개체와 합류할 경우 야생 서식지에 적응할 가능성이 상대적으로 높다는 것을 나타냈다. ID 8585는 연방사장 출입구에서 외부로 나오기 위해 첫 비행을 시작한 직후부터 야생개체와 합류하였으며, 이러한 사실은 해당 개체가 연방사장에 있을 때부터 야생개체와 소통이 있었을 것으로 판단된다. 현장조사에서 성조 수컷인 야생개체와 합류한 개체는 성조 암컷이었으며, 두 개체는 짝을 이루어 야생의 번식지와 취식지를 공동으로 이용하였다. 이러한 결과는 방사한 개체와 야생 개체의 합류가 야생 환경 적응에 매우 중요한 요소로 작용할 수 있음을 보여주었다.

이번에 방사한 양비둘기는 대부분 일반적인 야생의 양비둘기와 상반된

습성을 나타냈다. 야생의 양비둘기는 무리생활을 하며 해안의 암벽을 휴식지와 잠자리로 이용하지만(NIBR 2014; 2015; 2016), 방사한 개체는 대부분 숲을 잠자리로 이용하였으며, 단독으로 생활하였다. 단독으로 생활할 경우 천적의 공격에 취약하고, 제한된 먹이활동으로 인한 영양 불균형을 초래하여 폐사에 이를 수도 있다. 실제로 이들 중 2개체(ID 8581, ID 6338)는 맹금류 및 포유류의 습격으로 폐사한 것으로 확인되었다. 방사한 개체들의 환경적응을 위해서는 야생개체와 합류, 천적의 회피능력, 무리생활, 잠자리 이용 등의 4가지 요소가 가장 중요한 환경 적응요소로 평가 된다. 향후 증식 개체의 서식지내 방사에 있어서도 가장 고려되어야 할 사항이며, 이 문제들에 대한 해결을 위하여 보다 체계적이고 적극적인 야생 환경적응 프로그램이 적용되어야 할 것으로 판단된다.

고흥 양비둘기 연방사장 운영은 양비둘기 보전을 위한 지역협의체의 협력으로 이루어졌다. 영산강유역환경청, 서울동물원 및 멸종위종복원센터의 협력으로 연방사장의 설치 및 운영, 증식한 고흥 개체군 입식, 생태자문, 야생 방사가 순차적으로 진행된 대표적인 협력 사업으로 사료된다. 고흥 양비둘기 연방사장 설치 및 운영을 통한 양비둘기 방사 후 모니터링 자료는 향후 양비둘기를 포함한 멸종위기 야생생물 서식지 복원을 위한 연방사장 운영 및 야생적응 훈련에 있어 중요한 참고자료가 될 것으로 생각된다.

Ⅲ. 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 증식개체 방류가 필요하며, 이러한 방류 효과의 제고를 위해서는 방류 개체의 이동, 분산 및 정착 여부에 대한 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 검토 하였으며 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 희석시킨 물에 약 2시간정도 보관하여 감염 예방활동을 실시하였다. 이후 충분한 산소를 공급해 주며 개체 안정을 유도하였다.

(3) 방류 후 모니터링

직접 포획을 통한 모니터링을 실시(주 1회/월)하였다. PIT tag 수신기(휴대용)를 활용 주기적 모니터링을 실시하였으며 방류 개체의 출현 유무, 좌표 등을 파악하였다. 서식지 환경 파악을 위해 수질측정기(YSI ProPlus), 유속계(FLOWATCH, SWISS), 수심측정기 등을 이용한 미소 서식지 환경을 측정하였으며 재포획 개체 대상 길이(전장/체장), 무게 측정 후 성장 상태를 파악하였다.



그림. III-1-(1). 꼬치동자개 방류 및 모니터링 전반 과정



그림. III-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 지류하천에서만 분포하는 것으로 알려져 있다.

2) 과거 방류 현황

가) 2012년: 덕천강 2,000개체 방류, 2018년 모니터링시 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).

표. III-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

다) 전문가 자문 결과 대가천, 가야천, 자호천 등 기존 서식지 개체군은 보강이 필요할 것으로 결정되었다.

(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 각 개체별 고유식별번호 확인이 완료 되었다.

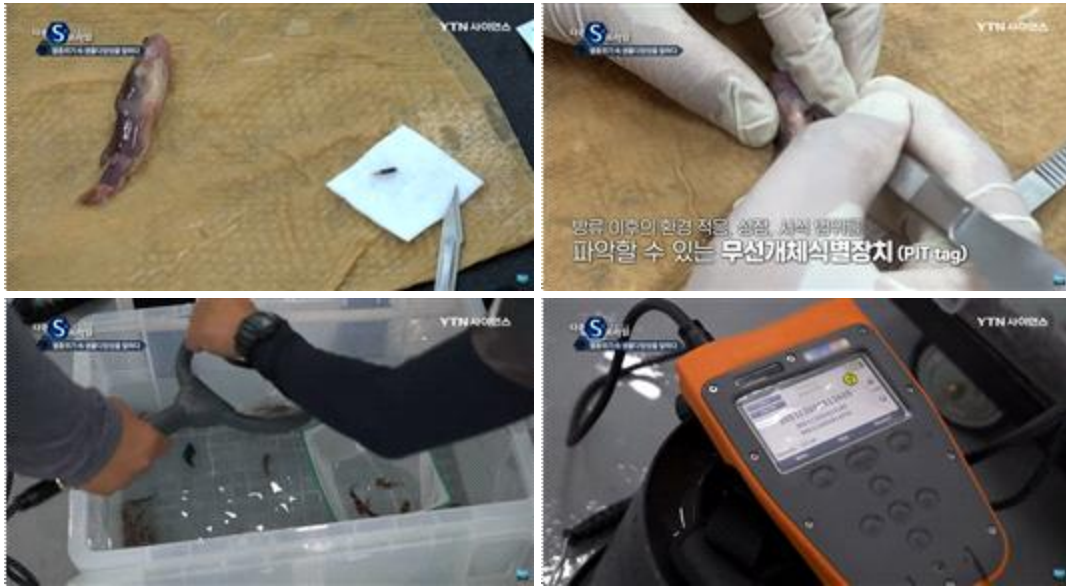


그림. III-1-(3). 무선개체식별장치 삽입 및 고유식별번호 확인
(출처: 연구과정 영상 - YTN사이언스 “다큐S프라임” <https://youtu.be/Ax1rJTfOyxg>)

(다) 방류 실시

3개 하천 대상 총 3,000개체 방류를 실시하였다(각 하천별 1,000개체). '21년 5월 14일 가야천, 대가천에 방류를 완료하였으며 '21년 8월 6일 자호천에 방류가 완료되었다. 방류 효율성 제고를 위해 하천별 3개 지점에 분산 방류를 실시하였다.

표. III-1-(2). 2021년 꼬치동자개 방류 하천 및 일시

방류지(하천)	가야천	대가천	자호천*
방류일자	'21. 5. 14.	'21. 5. 14.	'21. 8. 6.

* 자호천은 하천공사 관계로 공사 완료 후 방류 실시

표. III-1-(3). 2021년 꼬치동자개 방류지 위치정보

하천명	구분	위치 정보
대가천	지점 1	경북 성주군 수륜면 계정리 150-7 인근
	지점 2	경북 성주군 수륜면 남은리 작천교
	지점 3	경북 고령군 운수면 대평리 1217-27 인근 세월교
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
자호천	지점 1	경북 영천시 임고면 덕연리 선원교
	지점 2	경북 영천시 임고면 선원리 대환교
	지점 3	경북 영천시 임고면 선원리 양항교



<대가천(경북 성주군)> <가야천(경북 고령군)> <자호천(경북 영천시)>
그림. III-1-(4). 각 하천별 꼬치동자개 방류

(2) 방류 후 모니터링

(가) 직접 포획

총 4차에 걸친 직접 포획 결과 방류 개체 중 1개체만 확인이 되었으며(대가천) 이것은 바위나 큰 돌 틈에 은신하는 꼬치동자개의 생태 특성상 포획 도구를 이용한 직접 포획의 한계에 의한 것으로 판단된다.

표. III-1-(4). 직접 포획을 통한 꼬치동자개 모니터링 결과

방류하천	모니터링 회차			
	1차	2차	3차	4차
대가천	1(자연개체)	1(방류개체)	-	1(자연개체)
가야천	-	-	1(자연개체)	1(자연개체)

(나) PIT tag 수신기 활용 모니터링

1) 대가천

총 5회의 모니터링 결과 평균 73.6개체의 방류개체(총 918개체 방류)가 확인되었다. 방류개체가 가장 많았던 대가천 2지점에서 평균 55.2개체로 최대 개체가 확인되었다.

지점 1은 3회차까지 출현하지 않았으나 4-5회차 모니터링시 소수개체가(2-4개체) 출현하는 것으로 확인되었다. 총 5회의 모니터링에서 평균 출현 개체수는 지점 1 1.2개체, 지점 2 55.2개체, 지점 3 17.2개체였으며, 전체 평균은 73.6개체로 확인되었다.

방류개체 대비 평균출현개체 비율은 지점 1 0.8%(150개체 방류), 지점 2 10.62%(520개체 방류), 지점 3 6.94%(248개체)로 전체 평균 8.02%의 출현율을 나타내었다.

2) 가야천

총 4회의 모니터링 결과 평균 41.0개체의 방류개체(총 1,157개체 방류)가 확인되었다. 방류개체가 가장 많았던 가야천 2지점에서 평균 37.0개체로 최대 개체가 확인되었다.

지점 1은 4회차까지 출현하지 않았으나 5회차 모니터링시 1개체가 출현하였으며 총 4회의 모니터링에서 평균 출현 개체수는 지점 1 0.25개체, 지점 2 37.0개체, 지점 3 3.75개체였으며, 전체 평균 41.0개체로 확인되었다.

방류개체 대비 평균출현개체 비율은 지점 1 0.13%(188개체 방류), 지점 2 5.53%(669개체 방류), 지점 3 1.25%(300개체 방류)로 전체 평균 3.54%의 출현율을 나타내었다.

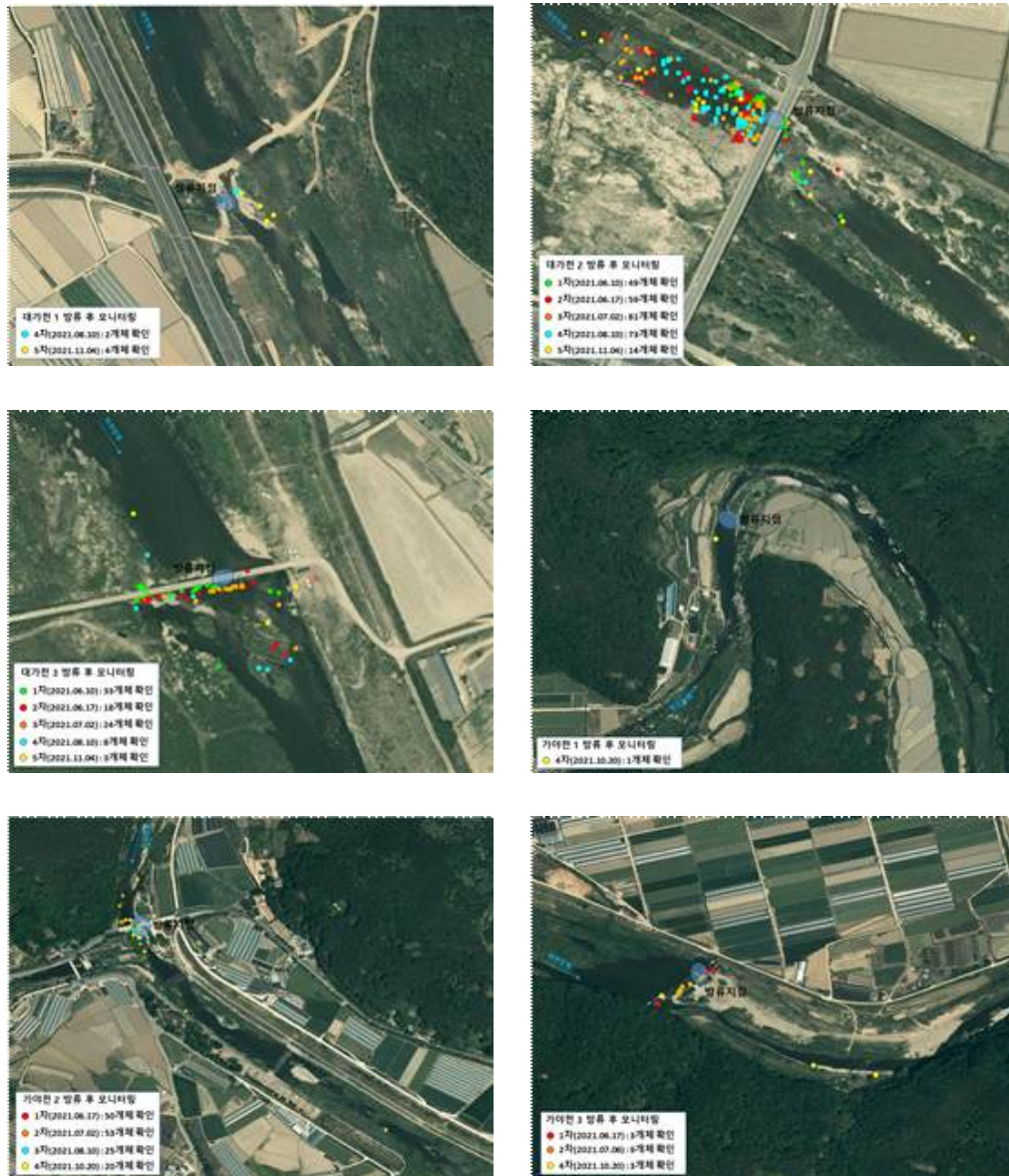


그림. III-1-(5). PIT tag 활용 꼬치동자개 방류 후 모니터링 결과(대가천, 가야천)

표. III-1-(5. PIT tag 활용 꼬치동자개 방류 후 모니터링 결과(가야천, 대가천)

회차 (방류후일자)	대가천				가야천			
	지점1	지점2	지점3	계	지점1	지점2	지점3	계
방류개체수	150	520	248	918	188	669	300	1,157
1차 (28일차)	0	49	33	82	-	-	-	-
2차 (35일차)	0	59	18	77	0	50	3	53
3차 (49일차)	0	81	24	105	0	53	9	62
4차 (83일차)	2	73	8	83	0	25	0	25
5차 (170일차)	4	14	3	21	1	20	3	24
평균 출현개체수	1.2	55.2	17.2	73.6	0.25	37.0	3.75	41.0
평균출현개체/ 방류개체(%)	0.80	10.62	6.94	8.02	0.13	5.53	1.25	3.54

3) 자호천

방류시기가 늦은 관계로 1회의 모니터링만 실시하였으며 총 확인된 개체는 11개체로 지점 2에서 8개체, 지점 3에서 3개체가 각각 확인되었다.

모니터링 시기가 늦은(11월) 관계로 저 수온 환경조건 등으로 인해 낮은 출현율을 보인 것으로 추정된다.



그림. III-1-(6). PIT tag 활용 꼬치동자개 방류 후 모니터링 결과(자호천)

(다) 꼬치동자개 이동 연구

1) 모니터링시 출현개체수 50개체 이상인 지점을 대상으로 꼬치동자개 확산 정도를 파악하였다. 방류지점 기준 대가천 2지점 177.55 m, 대가천 3지점 55.57 m, 가야천 2지점 690.31 m 확산한 것으로 확인이 되었으며 방류된 꼬치동자개는 확산범위가 넓지 않은 것으로 확인되었다.

표. III-1-(6). 방류지점 기점 꼬치동자개 최대 확산 거리

	대가천 2	대가천 3	가야천 2
방류지 기점 최대 확산 거리	177.55 m	55. 57 m	690.31 m



대가천 2

대가천 3

가야천 2

그림. III-1-(7). 꼬치동자개 방류 후 확산 거리

2) 2회 이상의 모니터링에서 중복 확인된 개체를 대상으로 이동 거리를 확인한 결과 지점별 개체 평균 이동 거리는 대가천 2지점 12.19 m, 대가천 3지점 21.13 m, 가야천 2지점 8.25 m로 나타났다.

3) 각 지점별 최대 / 최소 이동 거리는 대가천 2지점 86 m(ID: 900.226001696944) / 3 m(ID: 900.226001696916), 대가천 3지점 55 m(ID: 900.226001696821) / 2 m(ID: 900.226001696829), 가야천 2지점 21 m(ID: 900.226001696594) / 1m(ID: 900.226001696749)로 확인되었다.

표. III-1-(7). 방류지점 기점 꼬치동자개 이동 거리

	대가천 2	대가천 3	가야천 2
개체 평균 이동 거리	12.19 m	21.13 m	8.25 m
개체 최대 이동 거리	86 m	55 m	21 m



<대가천 2> <대가천 3> <가야천 2>
그림. III-1-(8). 꼬치동자개 방류 후 이동 정보(대가천, 가야천)

라. 결론

- (1) 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 개체수(400개체)의 방류에도 불구하고 양호한 서식상태를 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.
- (2) 직접 포획을 통한 모니터링 결과 꼬치동자개의 특성에 따른 한계가 분명하게 나타났으며, 국내 멸종위기 담수어류 모니터링 중 최초로 시도되었던 PIT tag 활용 모니터링 효과가 상대적으로 매우 높은 것으로 나타났다. 과거 멸종위기 담수어류 복원사업에서 시도된 방류 후 모니터링의 경우 모니터링 효율이 약 1% 대에 그쳤으나, PIT tag를 활용한 모니터링시 효율이 평균 6% 대까지 상승하는 것으로 확인되었다(환경부, 2011; 2012; 2013; 표. III-1-(8); (9)). 특히 야행성이며 주로 바위와 돌 틈에 은신하는 꼬치동자개를 포획

도구를 활용해서 포획하는 것은 효율성이 떨어지는 관계로
향후 직접 포획과 PIT tag 시스템을 병행하여 실시하는 것이
방류 효과 분석에 효과적일 것으로 판단되었다.

표. III-1-(8). 기존 멸종위기 담수어류 복원사업 모니터링 방법 및 효율

연도	종	조사방법	방류 개체수	모니터링 일자별 개체수				방류 후 30일자 모니터링 효율(%)
				1일	7일	15일	30일	
' 11	통사리	직접포획	1,000	100	30	15	7	0.70
	미호종개	직접포획	5,000	71	71	55	80	1.60
		표지개체 직접포획	1,080	11	15	11	11	1.02
	얼룩새코 미꾸리	직접포획	5,000	-	74	55	30	0.60
		표지개체 직접포획	1,200	-	15	8	4	0.33
	묵납자루	직접포획	3,000	57	16	0	0	0.00
		수중관찰		520	295	128	30	1.00
' 12	미호종개	직접포획	2,000	97	199	8	0	0.00
	얼룩새코 미꾸리	직접포획	5,000	0	48	23	3	0.06
' 13	꾸구리	직접포획	10,000	9	4	2	0	0.00
	돌상어	직접포획	10,000	25	8	2	2	0.02
평 균								0.48

표. III-1-(9). 2021년 PIT tag 활용 꼬치동자개 모니터링 효율

방류 하천	방류 개체수	모니터링 개체수*	모니터링 효율(%)
대가천	918	82	8.93
가야천	1,157	53	4.58
계	2,075	135	6.51

※ 방류 후 30일 기준

(3) 이동성이 크지 않은 꼬치동자개의 특성을 고려하면 방류개체의 정착을 위해 방류지 주변 서식환경이 매우 중요하며 하천공사로 인한 서식지의 훼손은 꼬치동자개 서식에 매우 큰 영향

을 미칠 것으로 사료된다. 실제 올해 방류가 실시되었던 가야천(경북 고령군)에서도 하계 휴양객의 안전을 명목으로 중장비를 투입해 하상 준설 및 평탄화를 실시한 바 있다. 이는 돌과 자갈의 틈에 숨어 생활하는 꼬치동자개의 은신처를 훼손시키는 행동으로 방류 후 불과 2개월 만에 효과가 저하되었다고 판단되었다. 따라서 멸종위기종의 복원 효율성 증진을 위해서는 개체군 보강을 위한 증식 개체 방류와 함께 서식지 보전 또한 반드시 병행되어야 한다고 생각된다(그림. III-1-(9)).



그림. III-1-(9). 꼬치동자개 방류지 훼손 현장(2021년 7월)

2. 여울마자 개체군 이동, 분산, 정착 연구

가. 서론

여울마자(*Microphysogobio rapidus*)는 잉어목(Cypriniformes) 잉어과(Cyprinidae)에 속하며 몸길이 약 10cm 내외의 소형어류이다. 모래와 자갈이 혼재된 여울부의 유속이 빠른 곳에 서식하며 주로 부착조류를 섭식하는 것으로 알려져 있다. 낙동강 수계에 서식하고 있는 우리나라 고유종으로 과거 낙동강 수계에 넓게 분포하였으나 현재는 남강 일대에서만 확인되고 있어 개체군 및 출현지역이 크게 감소한 것으로 나타난다(채 등, 2019; 멸종위기 야생생물 포털). 개발로 인한 하상 준설, 골재 채취 및 수질 오염 등으로 인한 서식처 훼손으로 지난 2012년 멸종위기 야생생물 I 급으로 지정되어 보호받고 있으며, 한국적색목록에 <멸종우려 범주(Threatened categories) - 위급(CR)>으로 평가되어있다(국립생물자원관, 2019).

멸종위기에 처한 여울마자 보전을 위해서는 보강 혹은 재도입과 같은 개체군 보강을 위한 증식개체 방류가 필요하며, 이러한 방류 효과의 제고를 위해서는 방류 개체의 이동, 분산 및 정착 여부에 대한 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.

(2) 방류 전 무선개체식별장치 삽입

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

(3) 방류 후 모니터링

직접 포획을 통한 모니터링을 실시하였으며(주 1회/월) 방류 개체의 출현 유무, 좌표 등을 파악하였다. 서식지 환경 파악을 위해 수질측정기(YSI ProPlus), 유속계(FLOWATCH, SWISS), 수심측정기 등을 이용한 미소 서식지 환경을 측정하였다. 재포획 개체 대상 길이(전장/체장), 무게 측정 후 성장 상태를 파악하였다.

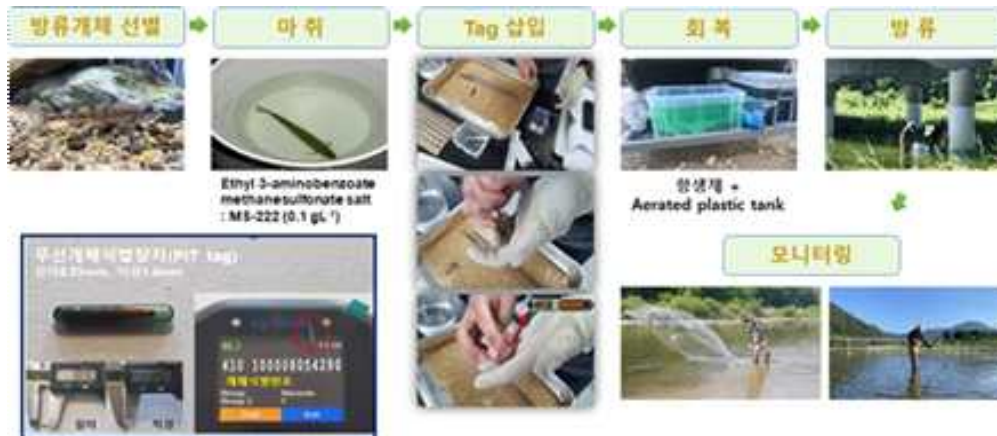


그림. III-2-(1). 여울마자 방류 및 모니터링 전반 과정

다. 연구 결과

(1) 증식 개체 방류

(가) 방류지 선정

분포 현황: 신중보고(Chae and Yang, 1999년) 이후 낙동강 수계 전역에서 확인되었으나 현재는 남강 본류에서만 출현이 확인된다.

과거 방류 현황: 2019년 남강-임천 합류부에 치어 1,000개체 방류한 기록이 있다(환경부, 2019).

표. III-2-(1). 여울마자 복원을 위한 과거 방류 사례

방류 연도	방류 하천	방류 개체	비고
' 19	남강	1,000	방류 개체 크기(mm): 43.8-82.4

문헌 자료 검토 및 수질 등 데이터 분석 결과 과거 서식지이며 수환경이 다소 회복된 덕천강을 대상으로 재도입을 통한 복원 계획을 수립하였으나, 재해예방공사 예정(지자체 시행) 등으로 인해 보류되었다. 과거 방류지(남강-임천 합류부) 대상 개체군 보강 계획하였으나

민원발생 및 하천 공사 예정을 이유로 해당 지자체의 재검토를 요청하였다. 최종적으로 현재 서식지역이지만 개체군이 급감하고 있는 남강 본류지역(함양군 유림면 일대) 대상 개체군 보강을 결정하였다.

(나) 무선개체식별장치(PIT tag) 삽입

방류개체 전체를 대상으로 삽입을 완료하였으며 삽입 후 1주간의 안정기를 거친 후 확인 결과 특이사항 없는 것을 확인하였다.

방류 전 각 개체별 고유식별번호를 부여하였으며 이를 바탕으로 정상작동 유무를 확인하였다.

(다) 방류 실시

방류 전 자생지 적응을 위해 수온조절 및 안정화를 유도하였으며 최종적으로 경남 함양군 유림면 남강 일대에 250개체를 방류하였다.

표. III-2-(2). 2021년 여울마자 방류 현황

방류 일시	하천명	위치 정보	방류개체
'21. 8. 12.	남강	경남 함양군 유림면 국계리 40 인근	250개체



<남강 여울마자 방류>



<방류 전 개체 고유번호 확인>

그림. III-2-(2). 2021년 여울마자 방류

(2) 방류 후 모니터링

(가) 직접 포획

총 4차에 걸친 직접 포획 결과 방류 개체 중 1개체만 확인되었다. 민감하고 유영능력이 있는 여울마자의 특성상 투망과 족대 등의 포획 도구를 이용한 직접 포획방법의 한계로 확인되었다.

표. III-2-(3). 직접 포획을 통한 여울마자 모니터링 결과

	모니터링 회차			
	1차	2차	3차	4차
출현 개체수 (방류개체/자연개체)	1*/1	0/0	0/2	0/13

* tag ID: 900113002839398

(나) PIT tag 수신기 활용 모니터링

여울마자 방류 개체의 확산 및 이동 연구를 위해 PIT tag 수신기를 활용한 모니터링을 계획 후 하천 내 수신기 설치 및 전기 이용 등의 문제로 해당 지자체와 협의를 시도하였으나 난색*을 표하는 관계로 실행이 불가하였다(하천

공사 예정 등의 이유). 차 년도 연구 진행시 재협의를 통해 방류개체 정착 및 이동여부에 관한 연구를 진행할 예정이다.

라. 결론

- (1) 멸종위기종의 서식과 개발은 서로 대치될 수밖에 없는 관계로 해당 지역 지자체는 멸종위기 담수어류의 방류에 대해 부담을 가지는 상황이다. 특히 여울마자의 경우 방류 후 개발로 인해 이슈가 되었던 적이 있는 만큼(그림 III-2-(3)) 멸종위기종 보전에 대한 지자체의 이해와 협력이 필수적이다. 때문에 멸종위기 담수어류의 복원 효율성 증진을 위해서는 지자체와의 협력 네트워크가 구축되고 멸종위기종 서식지 보전을 위한 공감대 형성이 이루어져야 할 것으로 판단된다.



그림. III-2-(3). 여울마자 방류(좌) 및 방류지 훼손(우) 관련 기사



그림. III-2-(4). 여울마자 방류지 과거 공사 현장(2020년 2월 남강)

(2) 과거 복원사업(환경부, 2019; 표. III-2-(4))과 본 연구에서 알 수 있듯이 직접 포획을 통한 모니터링은 방류 효과를 판단하기에 한계가 분명하게 나타났으며, 여울마자를 비롯한 대부분의 국내 담수어류는 이동 및 확산에 대한 연구가 부족한 실정이다. 향후 본 종에 대한 복원사업 진행시 PIT tag 혹은 Radio tag 등 무선추적장치의 활용을 통한 모니터링이 필요할 것으로 생각된다(그림 III-2-(5)).

표. III-2-(4). 2019년 여울마자 방류 후 모니터링 결과

	3일	7일	15일	30일
포획 개체수	2	-	-	1
목견 개체수	1	2	-	-
분산범위	상류부 최대 60m	상류부 최대 60m	-	상류부 최대 20m

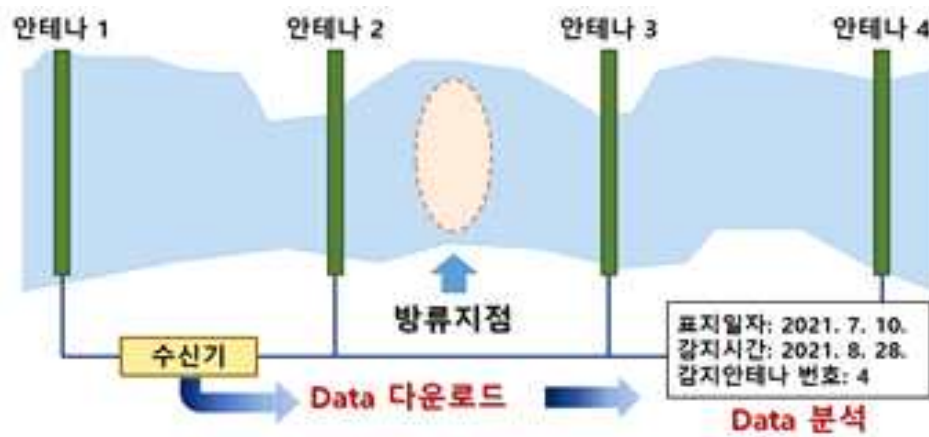
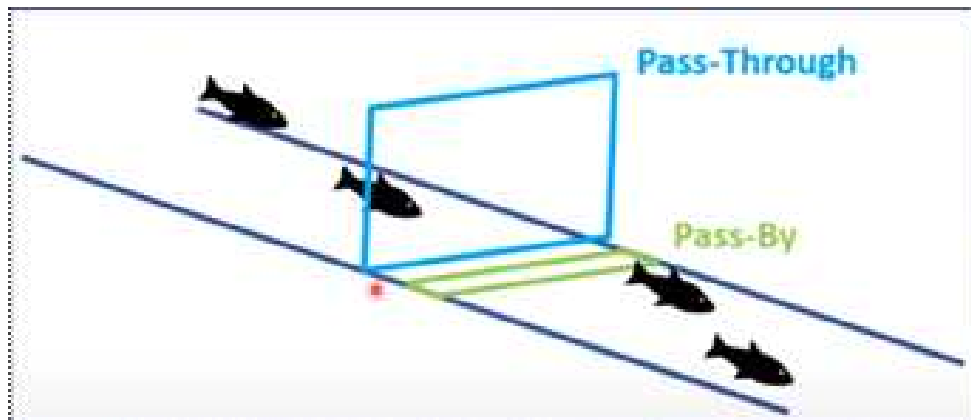


그림. III-2-(5). PIT tag 수신기 하천 횡단 설치 예시

IV. 멸종위기 양서류 방사 후 개체적응 및 생태환경변화 연구

1. 금개구리 생존, 개체 성장 연구

가. 서론

금개구리는 멸종위기 야생생물 II급으로 우리나라 고유종이다. 4월이면 동면에서 깨어나 5월부터 7월까지 서식했던 장소에서 그대로 번식한다. 10월이면 논둑이나 주변의 제방, 농경지 부근에 위치한 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 위협 요인으로, 농지의 감소 및 생태적 단절, 주택과 도로의 건설, 수질오염, 도입종인 황소개구리에 의한 피식 등도 감소 요인으로 확인되고 있는 종이다.

나. 연구 내용 및 방법

2021년 3차 년도 모니터링은 4월부터 11월까지 총 7회에 걸쳐 실시하였다(8월은 현장조사 제한으로 인하여 모니터링 미실시).

표. IV-1-(1). 금개구리 모니터링 일자

Orders	Dates
1st	2021.04.27.
2nd	2021.05.20.
3rd	2021.06.28.
4th	2021.07.22.
5th	2021.09.08.
6th	2021.10.18.
7th	2021.11.17.

일몰부터 자정까지 걸쳐 재도입 대상지인 양서류습지와

수생식물원 일대에 청음, 관찰 및 포획을 통하여 금개구리의 서식을 확인하였으며, 금개구리 생존에 잠재적 위협요인(황소개구리, 가물치 등)도 제거하여 주었다.

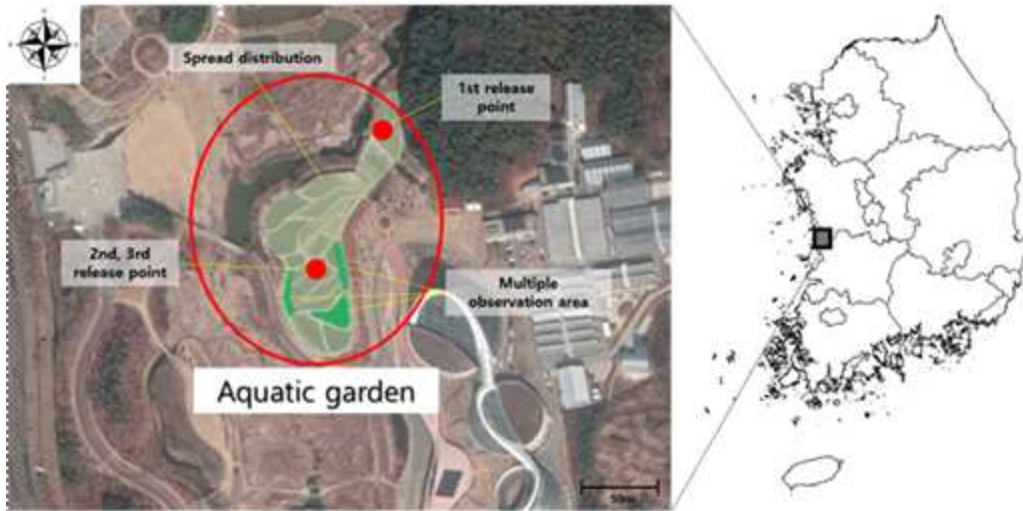


그림. IV-1-(1). 금개구리 모니터링 대상지(국립생태원 수생식물원)

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

다. 연구 결과

금개구리 모니터링은 총 7차에 걸쳐 수행되었으며, 포획을 통하여 총 119개체를 확인 및 측정하였고, 청음 및 목견을 통하여 183개체를 확인하여 전체 302개체를 확인하였다.

1차 모니터링 시 금개구리 총 9개체(포획 4개체, 청음 5개체)를 확인하였으며, 동서종으로 참개구리 청음 40개체, 올챙이 100개체, 한국산개구리 2개체 목견, 황소개구리 올챙이 30개체를 확인하였다. 또한 위협요인 제거를 위하여 황소개구리 올챙이 5개체, 가물치 1개체 퇴치하였다.

2차 모니터링 시 금개구리 총 7개체(포획 4개체, 청음 3개체)를 확인하였으며, 동서종으로 참개구리 총 8개체(목견 3개체, 청음 5개체), 한국산개구리 준성체 5,000개체 이상, 성체 4개체 목견, 황소개구리 성체 2개체, 올챙이 30개체 목견, 청음 5개체 확인하였다.

3차 모니터링 시 금개구리 23개체(포획 8개체, 유생 10개체, 청음 5개체)를 확인하였으며, 동서종으로 참개구리 9개체 목견, 청음 50개체, 한국산개구리 1개체 목견, 황소개구리 성체 20개체, 올챙이 100개체 목견, 무자치 1개체, 줄장지뱀 1개체 목견, 황소개구리 준성체 45개체를 확인하였으며, 위협요인 제거를 위하여 황소개구리 준성체 4개체, 올챙이 1개체를 퇴치하였다.

4차 모니터링 시 금개구리 187개체(포획 39개체, 청음 148개체)를 확인하였으며, 동서종으로 참개구리 2개체, 황소개구리 성체 10개체를 목견하였다. 위협요인 제거를 위하여 황소개구리 3개체 퇴치하였다.

5차 모니터링 시 금개구리 64개체(포획 53개체, 청음 11개체)를 확인하였으며, 동서종으로 참개구리 7개체 목견, 청음 6개체, 한국산개구리 1개체 목견, 황소개구리 성체 4개체 목견하였으며, 위협요인 제거를 위하여 황소개구리 1개체를 퇴치하였다.

6차 모니터링 시 금개구리 10개체(포획 10개체)를 확인하였으며, 동서종으로 한국산개구리 2개체 목견, 황소개구리 성체 4개체 확인하였으며, 위협요인 제거를 위하여 황소개구리 1개체를 퇴치하였다.

7차 모니터링 시 금개구리 2개체(포획 1개체, 청음 1개체)를 확인하였으며, 동서종으로 한국산개구리 6개체 목견, 황소개구리 성체 3개체를 확인하였다.

3차년도 모니터링 금개구리 측정 결과는 1차(SVL평균 50.26mm, BW평균 18.48g), 2차(47.51mm, 15.07g), 3차(40.04mm, 7.76g), 4차(36.36mm, 7.20g), 5차(35.55mm, 5.71g), 6차(39.35mm, 10.33g), 7차(38.74mm, 7.70g)으로 나타났다. 3차년도 전체 측정한 금개구리 119개체의 평균 SVL은 37.36mm이고, 평균 BW는 7.48g으로 확인되었다. 날이 따뜻한 시기인

3~9월 조사 시 평균 크기가 작아진 것을 확인할 수 있었으며, 이는 준성체들의 활동이 많아짐에 따라 준성체 포획율이 높아져서 평균 크기에 영향을 미친 것으로 판단된다. 지속적인 모니터링을 통하여 개체크기 변화 추이를 확인할 필요성이 있을 것으로 판단된다.

표. IV-1-(2). 금개구리 모니터링 결과

Orders	<i>Pelophylax chosonicus</i>	Sympatric species	Threatening species	Average SVL(mm)	Average BW(g)
1st	9	한국산개구리 2 황소개구리 30 참개구리 140	황소개구리 5 가물치 1	50.26	18.48
2nd	7	한국산개구리 5,004 참개구리 8 황소개구리 37	-	47.51	15.07
3rd	23	참개구리 59 한국산개구리 1 황소개구리 120	황소개구리 6	40.04	7.76
4th	187	황소개구리 10 참개구리 2	황소개구리 3	36.36	7.20
5th	64	참개구리 13 한국산개구리 1 황소개구리 4	황소개구리 1	35.55	5.71
6th	10	황소개구리 4 한국산개구리 2	황소개구리 1	39.35	10.33
7th	2	한국산개구리 6 황소개구리 3	-	38.74	7.70
Total	302	-	황소개구리 16 가물치 1	37.36	7.48



그림. IV-1-(2). 금개구리 모니터링

라. 결론

2021년 모니터링 시 금년도 태어난 준성체 개체를 확인하였다. 준성체 개체의 유전시료 확보를 통해 2019년에 방사한 개체들의 자손개체 여부를 확인하기 위해 유전자 분석을 진행중이다. 유전자 분석을 통하여 방사개체의 자손으로 확인되면 방사 개체군의 정착이 성공적으로 이루어졌다고 판단 할 수 있다.

2022년도 금개구리 모니터링 시 PIT tag(개체식별장치) 삽입을 통한 모니터링을 실시 할 예정이다(동물실험윤리위원회 승인완료: NIEIACUC-2021-024).

개체식별 모니터링을 통하여 개체별 성장률, 확산범위, 동면지 등이 확인이 가능 할 것으로 기대되며 좀 더 정밀하고 체계화된 모니터링을 통한 금개구리 생태연구가 가능할 것으로 생각된다.

표. IV-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 structure)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



그림. IV-1-(3). PIT tag과 PIT tag 모니터링(예시)

V. 멸종위기 식물 이식 후 개체적응 및 생태환경변화 연구

1. 나도풍란 시험이식지 생존, 성장, 환경, 위협요인 연구

가. 서론

식물은 우리나라의 법정 멸종위기종 중 가장 높은 비중(88종, 33%)을 차지하여 멸종위기종 복원에 있어 식물에 관한 기초 및 응용 연구가 매우 중요하다. 실제로 국립공원공단, 국립생물자원관, 지방환경청, 산림청 및 국립수목원, 지자체 및 지역 연구소 등 다양한 유관기관에서 멸종위기 식물종 보전 및 복원을 위하여 다방면에 노력하고 있다. 그러나 멸종위기종 개체군 및 서식지 교란은 계속 진행되고 있으며, 이에 대응한 장기적 관점의 멸종위기 식물 보전 및 복원 연구는 여전히 부족한 실정이다.

멸종위기종복원센터 식물팀에서는 「멸종위기 야생생물 보전 종합계획」 상 우선복원대상종 6종(나도풍란, 만년콩, 한라송이풀, 가는동자꽃, 서울개발나물, 신안새우난초)의 보전 및 복원 연구를 수행하고 있다.

「복원대상지 방사·이식 후 개체적응 및 생태환경변화 모니터링」과제는 당년도 신규(핵심)과제로 수행되었으며 이후 5년간('21~'25) 지속적으로 연구될 예정이다. 당해에 연구된 식물은 나도풍란으로 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 위급(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 연구는 인공증식개체를 과거 자생지에 시험이식하고, 이식지역 환경정보, 생존, 성장, 위협요인 발굴 등 서식지 생태를 조사하여 기초 데이터를 수집하는데 그 목적이 있다.

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 차선택으로 적합할 것으로 판단되어 선정하였으며 국가지정문화재 현상변경 및 포획·채취·반출 허가(2019년 11월 27일자) 취득 이후 비자림관리사무소 직원의 동행 하에 채취를 진행하였다.

(2) 증식 및 재배

채취된 종자는 전처리(종자소독 등)를 거친 후 2020년 1월부터 활성탄을 포함한 하이포넥스배지를 이용하여 기내 발아를 실시하였다. 배지 조성 및 첨가물 처리 등에 따른 나도풍란 초기 생장 반응 기초연구를 실시하기 위하여 종자 발아 이후 활성탄, 바나나 파우더 및 사과 파우더를 첨가한 하이포넥스배지 내에서 기내 배양 및 초기 재배를 진행하였다. 최종적으로 총 3000여 개체를 증식하여(인공증식증명서 발급 완료) 멸종위기종복원센터 보유 식물온실에서 순화 및 재배하였다.

(3) 시험이식 개체선별

온실 내 순화과정을 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 실험조건을 갖추기 위하여 지점별 평균(표준오차)값을 최소화 하도록 개체를 나누었다. 개체의 식별이 용이하도록 고유번호를 부여하였다.



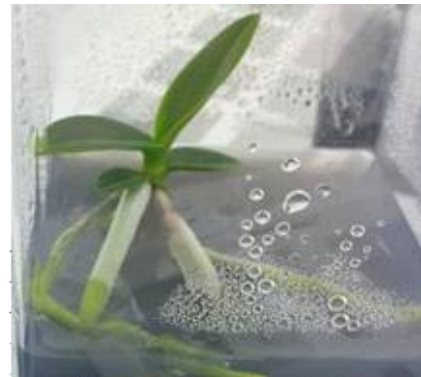
나도풍란 종자를 채취한 비자나무(2019.9.)



나도풍란 채취 종자(2019.12.)



나도풍란 종자 발아 및 증식(2020.1.)



나도풍란 증식 개체(2020.6.)



나도풍란 배양실 전경(2020.6.)



식물온실 내 나도풍란 순화(2020.6.)

그림. V-1-(1). 나도풍란 종자확보 및 증식과정

표. V-1-(1). 시험이식에 활용한 나도풍란 개체의 초기 크기

	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

¹지점 간 차이는 통계적으로 유의하지 않음($P > 0.05$)

(4) 시험 이식

나도풍란 시험이식 대상지는 전라남도 신안군 홍도(E34°41'32, N°125°1'16)이다. 홍도는 섬 전체가 다도해해상국립공원에 포함되어 있으며, 천연기념물 제170호로 지정되어 법적 보호를 받고 있다. 식생 지리학적으로 난온대 상록활엽수림대에 해당되며 우점식생은 구실잣밤나무가 최고 우점종이다(그림. V-1-(2), V-1-(3)).

민가 및 항구가 있는 섬 중심부를 기준으로 남쪽 및 북쪽에 산지가 있으며, 조사 대상종인 신안새우난초는 섬 북쪽 산지에 서식하는 것으로 알려져 있다. 홍도의 해발고도 범위는 0~325m이다. 또한 경치가 수려하여 연중 탐방객의 방문이 많다.

신안군 홍도를 나도풍란 시험이식에 활용한 근거로는 1) 내륙과 분리된 도서지역이며 천연기념물 및 국립공원 등으로서 법적 보호를 받고 있으며, 2) 연중 온난한 난대상록활엽수림이 우구쳐 나도풍란의 일반적 서식 조건에 부합하며, 3) 멸종위기종 전국분포조사 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. 시험 이식한 나도풍란의 수는 지점 당 50본씩

총 150본이다. 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(개화기 지속적인 꽃대 제거 실시예정).



그림. V-1-(2). 홍도 위치(붉은색 원)



그림. V-1-(3). 연구지역 우점식생(난온대상록활엽수림)

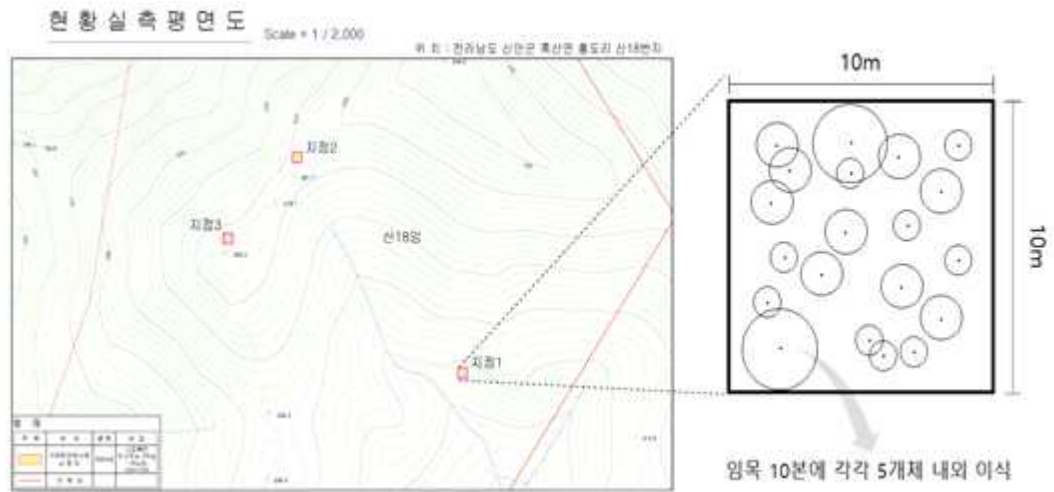


그림. V-1-(4). 나도풍란 시험이식지 설계



그림. V-1-(5). 지점1(구실잣밤나무 우점림)



그림.V-1-(6). 지점2(구실잣밤나무 우점림)



그림.V-1-(7). 지점3(낙엽활엽수 우점림)



이식개체 선별작업



식재 전 꽃대 제거



이식지 환경 및 식생조사



시험이식(목본 1주 당 5개체 부착)



나도풍란 부착



개체별 일련번호 부여

그림.V-1-(8). 나도풍란 시험이식 과정

(5) 환경 조건 모니터링

시험이식지의 환경 조건(미기후 등)을 확인하기 위하여 '21년 4월에 온·습도, 풍속, 광량 센서를 나도풍란 시험이식지 지점별 1개씩 총 3개를 설치하였다(그림. V-1-(9)). 최종적으로 6개월(4월~10월)간 수집된 자료를 바탕으로 미소서식처에 대한 환경정보를 구축하였다.

표. V-1-(2). 환경측정센서 제원(Onset, USA)

제품명	용도
U23-001A	대기온습도센서
MX2001-04	수위센서
H21-USB	마이크로 스테이션 로거
S-WCF-M003	Davis 풍향/풍속 스마트 센서



환경정보 측정센서 설치지역



Davis 풍향/풍속 스마트센서



대기온습도센서



마이크로 스테이션 로거

그림. V-1-(9). 환경측정센서 설치현황

(6) 나도풍란 모니터링 자료 분석

시험이식 전 초기 값(잎 갯수, 뿌리 갯수, 엽장, 엽폭, 뿌리길이)을 기준으로 이식 후 차이점을 파악하기 위해 생육현황 조사를 실시하였다. 이와 더불어 이식개체에 피해를 줄 수 있는 해충 확인 등 위험요인 발굴조사를 병행하였다.

나도풍란 시험이식지 내 해충 가해율, 나도풍란 생존율, 뿌리 잔존율 및 잎 잔존율을 비교하기 위하여 일원분산분석을 이용하였다($n = 10$). 그리고 일원분산분석의 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.

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 비선형회귀분석을 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.

다. 결과

(1) 나도풍란 시험이식지 환경

시험이식 지점은 총 3개로 나누어지며 각 지점마다 환경조건의 차이점이 확인되었다(표. V-1-(3)).

지점1의 경우 남사면의 해발 190m, 경사는 25°이며 상대습도는 94%, 풍속은 0.04m/s로 나타났다. 상관층 최고우점종은 난온대 상록활엽수림의 대표수종인 구실잣밤나무이며 기타 수반종으로 황칠나무, 후박나무, 동백나무가 확인되었다. 본 지점의 특이사항은 다른 지점에 비해 해발고도가 낮으며, 상대습도가 가장 높고, 풍속이 가장 낮은 지역적 특징이 있다

지점2는 북사면의 해발 280m, 경사는 30°이며 상대습도는 92%, 풍속은 0.7m/s로 확인되었다. 상관층 최고우점종은 구실잣밤나무이며 동백나무, 붉가시나무, 후박나무 등이 혼생하는 난온대 상록활엽수림이다. 본 지점의 특이사항은 경사가 가파르며 숲 내부에 광량이 가장 낮고 풍속이 빠른 특징이 있다.

지점3은 북사면에 위치하고 해발 290m, 경사는 15°이며 상대습도는 91.9%, 풍속은 0.3m/s로 확인되었다. 상관층 최고 우점종은 왕고로쇠나무이며 쇠물푸레나무, 검양옻나무, 소사나무가 수반종으로 상관층에 출현하고 있다. 본 지점의 특징은 상관층을 구성하는 수종이 가을 및 겨울시기 낙엽이 지는 낙엽활엽수로 구성되어 있다. 암석지형(너덜지대 형태)의 특징으로 인하여 암석노출이 많으며 숲의 구성종 밀도가 낮고 상관층 발달이 약하여 앞서 언급된 2지점보다 숲 하부에 도달하는 광량이 많은 특징이 있다.

표. V-1-(3). 시험이식 지점별 환경정보

항목	지점1	지점2	지점3
해발고도(m)	190	280	290
사면경사도(°)	25	30	15
사면방향	남	북서	북
기온(°C)	20.8	20.4	20.6
상대습도(%)	94.0	92.0	91.9
광량($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	6.6	3.1	11.1
풍속(m/s)	0.04	0.70	0.30
최우점 수종	구실잣밤나무(<i>Castanopsis sieboldii</i> (Makino) Hatus. ex T. Yamaz. & Mashiba)	구실잣밤나무(<i>C. sieboldii</i>)	왕고로쇠나무(<i>Acer mono</i> var. <i>savatieri</i> (Pax) Nakai)
기타 수종	황철나무(<i>Dendropanax trifidus</i> (Thunb.) Makino ex H. Hara) 후박나무(<i>Machilus thunbergii</i> Siebold & Zucc.) 동백나무(<i>Camellia japonica</i> L.)	동백나무(<i>C. japonica</i>) 불가시나무(<i>Quercus acuta</i> Thunb.) 후박나무(<i>M. thunbergii</i>)	쇠물푸레나무(<i>Fraxinus sieboldiana</i> Blume) 검양울나무(<i>Toxicodendron succedaneum</i> (L.) Kuntze) 소사나무(<i>Carpinus turczaninowii</i> Hance)

(2) 나도풍란 시험이식지 미기후

‘21년 5월부터 10월까지 측정된 미기후 환경인자 자료를 분석해보면 홍도내 시험이식지 3지점의 월 평균 기온의 지점 간 차이는 하절기인 7~8월에 가장 차이가 많이 나타났으며, 그 외의 기간에는 크지 않은 것으로 확인되었다(그림. V-1-(10)).

관측기간 동안의 월 평균 상대습도의 지점 간 차이도 크지 않은 것으로 확인되었다. 그러나 9월 이후 동절기에 접어들면서 지점1(남사면)이 지점2 및 지점3(북사면)에 비하여 높게 나타났다. 이와 같은 현상은 지점별 사면방향에 영향을 받은 것으로 보인다.

월 평균 광량은 낙엽활엽수림인 지점3이 관측기간 중 지속적으로 높은 값을 유지하였고, 북사면 상록활엽수림인 지점2의 월 평균 광량은 지속적으로 낮은 값을 유지하는 것으로 확인되었다. 동절기에 접어들면 낙엽활엽수림인 지점3의 경우 낙엽이 지고 숲 하부까지 빛이 도달할 것이므로 광량의 변화가 가장 크게 나타날 것이며, 상록활엽수림인 지점 1,2의 경우는 낙엽이 거의 지지 않기 때문에 계절별 광량차이가 상대적으로 크지 않을 것으로 보인다.

월 평균 풍속은 지점1에서 가장 낮고 지점3에서 가장 높게 나타났다. 북사면에 위치한 지점2와 지점3의 경우 동절기에 가까워짐에 따라 풍속이 높아지는 경향을 보이는 것으로 확인되었다.

나도풍란 시험이식지점의 환경 자료 분석결과를 종합해보면 시험이식지점별 차이점이 확인되었으며 환경인자로는 계절풍, 일조량 변화, 상관층 낙엽활엽수종의 낙엽현상 등에 의해 나타난 것으로 추정되었다. 그러나 환경인자 측정 장비를 설치 후 측정된 시계열 자료가 한정적(5월~10월)이므로 지속적인 데이터 축적으로 동절기(12~2월) 동안의 미기후 변동을 추가 모니터링 할 필요 있다.

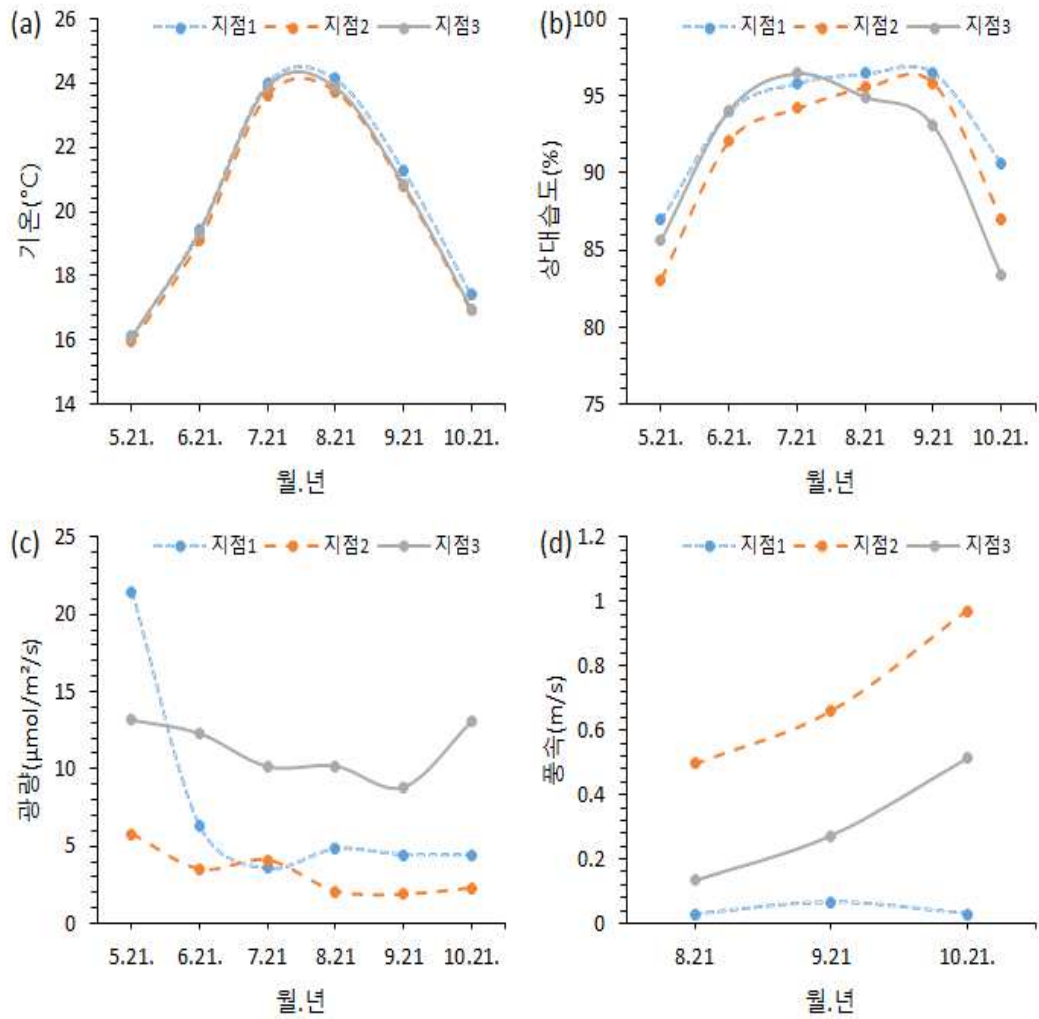


그림. V-1-(10). 지점별 월 평균 미기후 변동. (a) 기온, (b) 상대습도, (c) 광량, (d) 풍속

(3) 시험이식 후 나도풍란 생육 현황

홍도내 3개의 지점별로 시험이식 된 나도풍란의 생육현황을 확인하기 위해서 총 6개월(5월~10월)동안 생존율, 뿌리와 잎의 잔존율, 위협요인 등의 항목을 모니터링 하였다.

초기 6개월 간 각 지점별 생존율과 뿌리 및 잎 잔존율 변화는 유사한 경향을 보이는 것으로 확인되었다(그림. V-1-(11), b, c, d). 각 지점별로 항목의 변화 양상을 비교해보면 생존율은 지점1에서 가장 높고 지점2에서 가장 낮은 것으로 확인되었다.

뿌리 및 잎 잔존율은 지점 2에서 가장 낮게 나타났다. 위협요인으로서는 해충에 의한 잎의 가해가 확인되었으며 가해율은 지점2가 평균적으로 높은 편이나 각 지점 내에서도 나무별로 편차가 심하게 나타났으며 결론적으로 지점별로 유의미한 차이는 확인되지 않았다.

본 연구는 나도풍란을 시험 이식 후 단기간(6개월)에 이루어진 현황조사로 최종적인 결과가 아니다. 나도풍란의 생육, 생존, 생식 등의 데이터는 지속적인 연구를 통해 축적 할 예정이다.

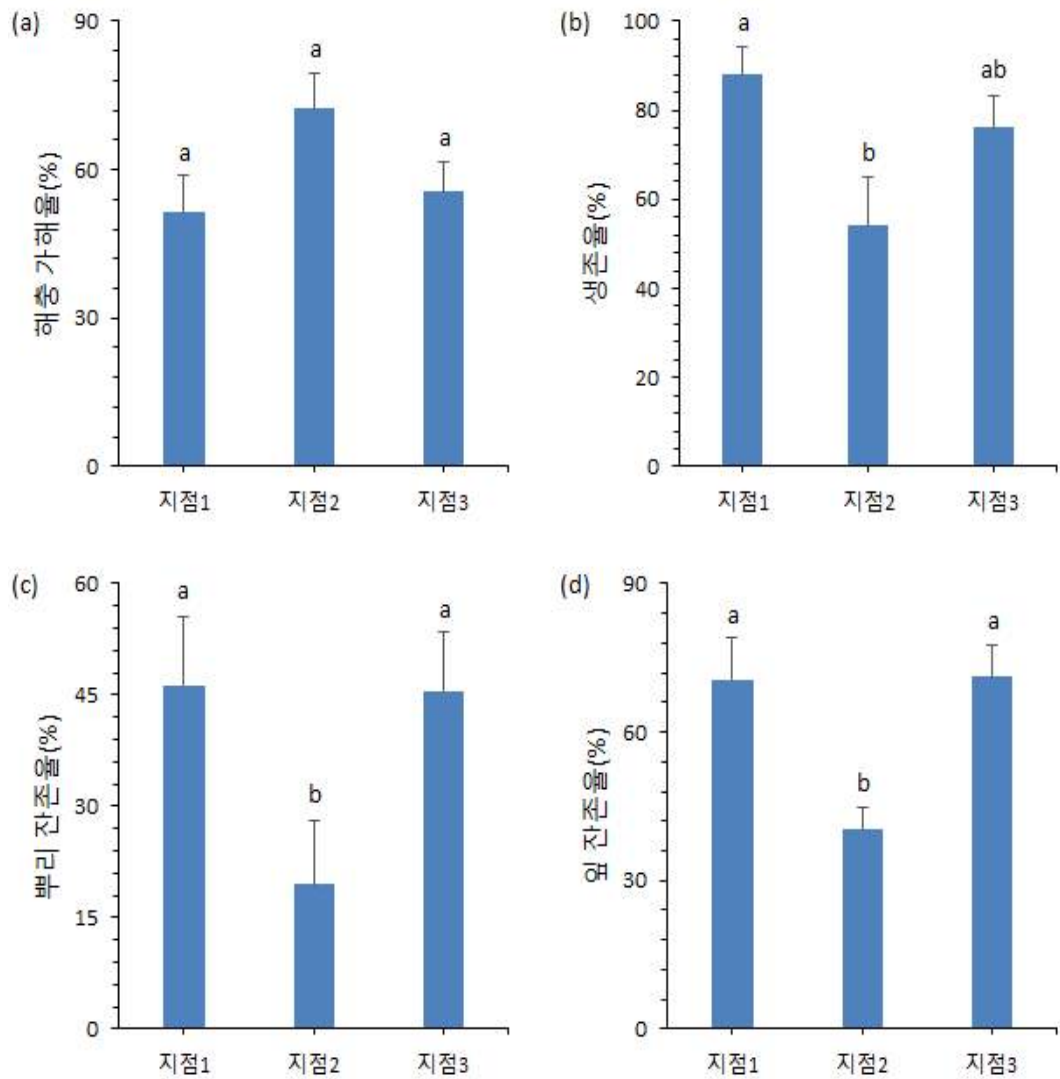


그림. V-1-(11). 나도풍란 시험이식 개체의 지점별 생육 현황. (a) 초기 3개월 간 해충 가해율, (b) 초기 6개월 간 생존율, (c) 초기 6개월 간의 뿌리 잔존율, (d) 초기 6개월 간 잎 잔존율. a, b는 지점 간 값 차이의 통계적 유의성을 의미함(P < 0.05)

(4) 위협 요인

시험이식지점에서 확인된 위협요인으로는 잎을 가해하는 해충인 수검은 줄점불나방(*Lemyra imparilis* (Butler, 1877))의 유충이 확인되었다. 본 곤충은 일본, 중국에 분포하며 울릉도를 제외한 남한 전국에 분포하는 곤충으로 주로 산딸기, 사과나무, 배나무류에 기주하는 것으로 알려져 있다(국립생물자원관 2022).

시험이식 후 초기 3개월(5월~7월) 동안 유충에 의한 잎의 가해가 심하게 발생하는 것이 확인되었으나, 후기 3개월(8월~10월)에는 잎을 가해한 흔적이 없으며 유충도 확인되지 않았다. 나방 유충에 의한 식물체 부위별(잎, 줄기, 뿌리) 피해의 차이가 확인되었는데 줄기와 뿌리는 가해한 흔적이 거의 확인되지 않았으며 잎 부위에 집중되는 것이 확인되었다. 본 곤충 이외에도 조사지에서 흔히 확인되는 민달팽이(*Meghimatium bilineatum* (Benson, 1842))가 나도풍란 시험이식 개체에 붙어있는 것이 확인되었다. 직접적인 잎 가해 현장은 확인하지 못하였으나 나도풍란 섭식부위 잎의 형태에서 2가지 유형(뜯어먹는 형태, 굽어먹는 형태)이 확인된 점으로 미루어 볼 때 잠재적인 가해 해충일 가능성이 높을 것으로 추정된다(그림. V-1-(12)).

나방 유충에 의해 잎이 가해진 나도풍란 개체 중 일부는 고사하였으나, 다른 일부 개체는 잎을 재생하거나 부착 대상물인 나무의 수피에 뿌리를 활착하여 생존하는 것이 확인 되었다. 따라서 향후 개체의 생존에 위협을 주는 요소를 확인하기 위해선 동절기 한파 등으로 인한 개체 고사 등에 관한 추가 모니터링 연구를 실시하는 등 장기적이고 다방면적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

	
잎을 가해하는 수검은줄점불나방(유충)	나도풍란 뿌리부분에 있는 민달팽이
	
수검은줄점불나방 유충 배설물	썰어먹는 형태의 가해유형
	
심각한 가해가 확인된 이식개체	굵어먹는 형태의 가해유형
	
나무 수피에 활착하고 있는 나도풍란 뿌리	신초 재생이 확인된 개체(가해 이후)

그림. V-1-(12). 시험이식개체 피해 및 정착현황

(5) 나도풍란 생존 영향인자 및 위협요인

요인분석(redundancy analysis)을 통해 나도풍란 시험이식 개체의 초기 6개월 간 생존율, 잎 잔존율, 뿌리 잔존율에 영향을 미치는 인자를 확인한 결과 초기 3개월 간의 해충 가해율이 초기 6개월 간 생존율, 뿌리 및 잎 잔존율에 가장 큰 영향(음의 상관관계)을 미치는 것으로 확인되었다(그림. V-1-(13)., $F=18.4$, $P<0.01$).

차 순으로는 광량이 영향(양의 상관관계)을 미치는 것으로 확인되었다($F=6.1$, $P<0.05$). 해충 가해율을 제외한 나도풍란의 초기 생존에 유의미한 영향을 미치는 요인으로는 광량과, 풍속으로 확인되었으며 광량이 높고(양의 상관), 풍속이 낮을수록(음의 상관) 생존율이 높아지는 것으로 분석되었다. 해당 요인이 영향을 미치는 시험이식 지점으로는 지점3(광량), 지점1(풍속)로 확인되었다.

시험이식 개체의 초기 잎 개수가 많을수록 초기 생존에 유리한 경향이 확인되었으나 그 영향은 크지 않는 것으로 나타났다($F=5.0$, $P<0.05$).

시험이식 개체의 초기 뿌리 수와 생존율과의 관계는 유의성이 없는 것으로 확인되었다($F=1.4$, $P>0.1$).

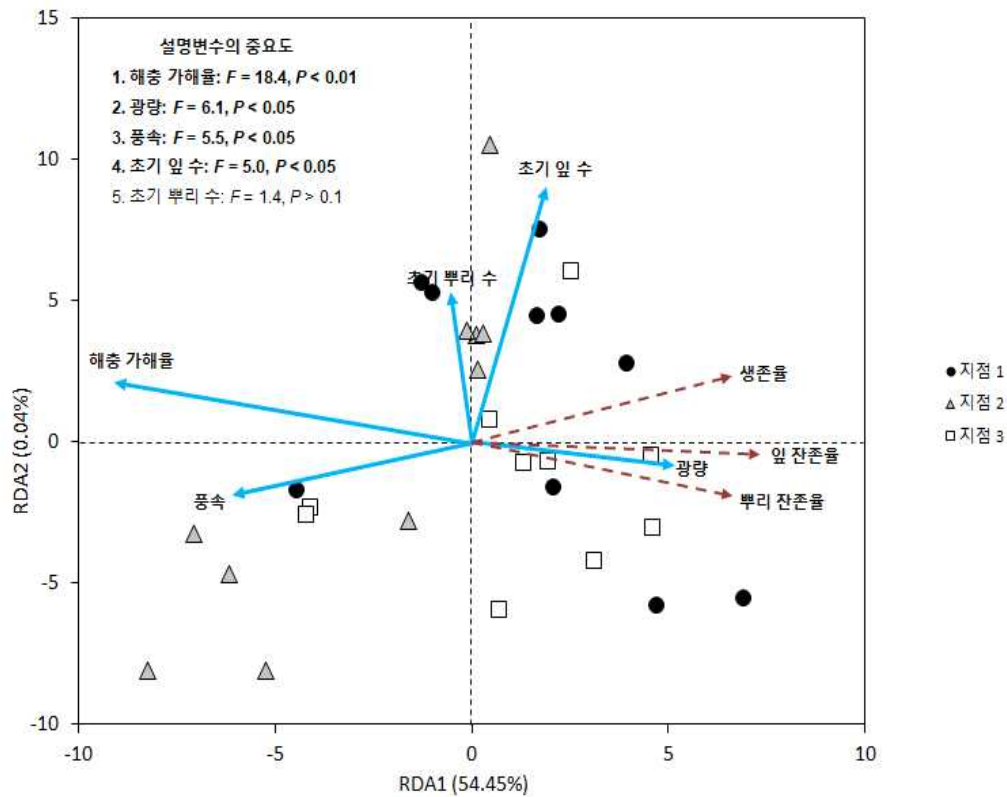


그림. V-1-(13). 나도풍란 시험이식 개체의 초기 6개월 간 생존율, 잎 잔존율, 뿌리 잔존율에 영향을 미치는 인자에 관한 요인분석(redundancy analysis) 결과. 설명변수의 중요도의 F값이 높을수록 초기 6개월 간 생존율, 잎 잔존율, 뿌리 잔존율에 미치는 영향이 큰 인자임을 의미함

(6) 나도풍란 해충 가해에 따른 영향

수검은줄점불나방 유충에 의해 직접적으로 가해가 확인되는 시기인 초기 3개월(5-8월)의 경우 해충 가해율이 높을수록 초기 6개월 간 잎 잔존율이 감소되는 것으로 나타났다(그림 62(a)).

초기 6개월 간 나도풍란의 생존율은 잎 잔존율에 시그모이드형으로 비례하여 증가하는 것으로 확인되었다(그림 62 (b)).

두 그래프를 해석하면 해충에 의한 잎 피해가 나도풍란 시험이식 개체의 초기 고사를 일으키고 있는 것을 나타내고 있다. 하지만 일정 수준 이하의 해충 피해까지는 나도풍란 시험이식 개체가 견딜 수 있는 것으로 확인되며 이것은 나도풍란 시험이식개체가 해충의 섭식에 의한 피해로 모두 고사하는 것이 아니라 내성을 가지며 향후 잎의 재개엽 등을 통한 적응 가능성을 내포하고 있는 것으로 추정된다.

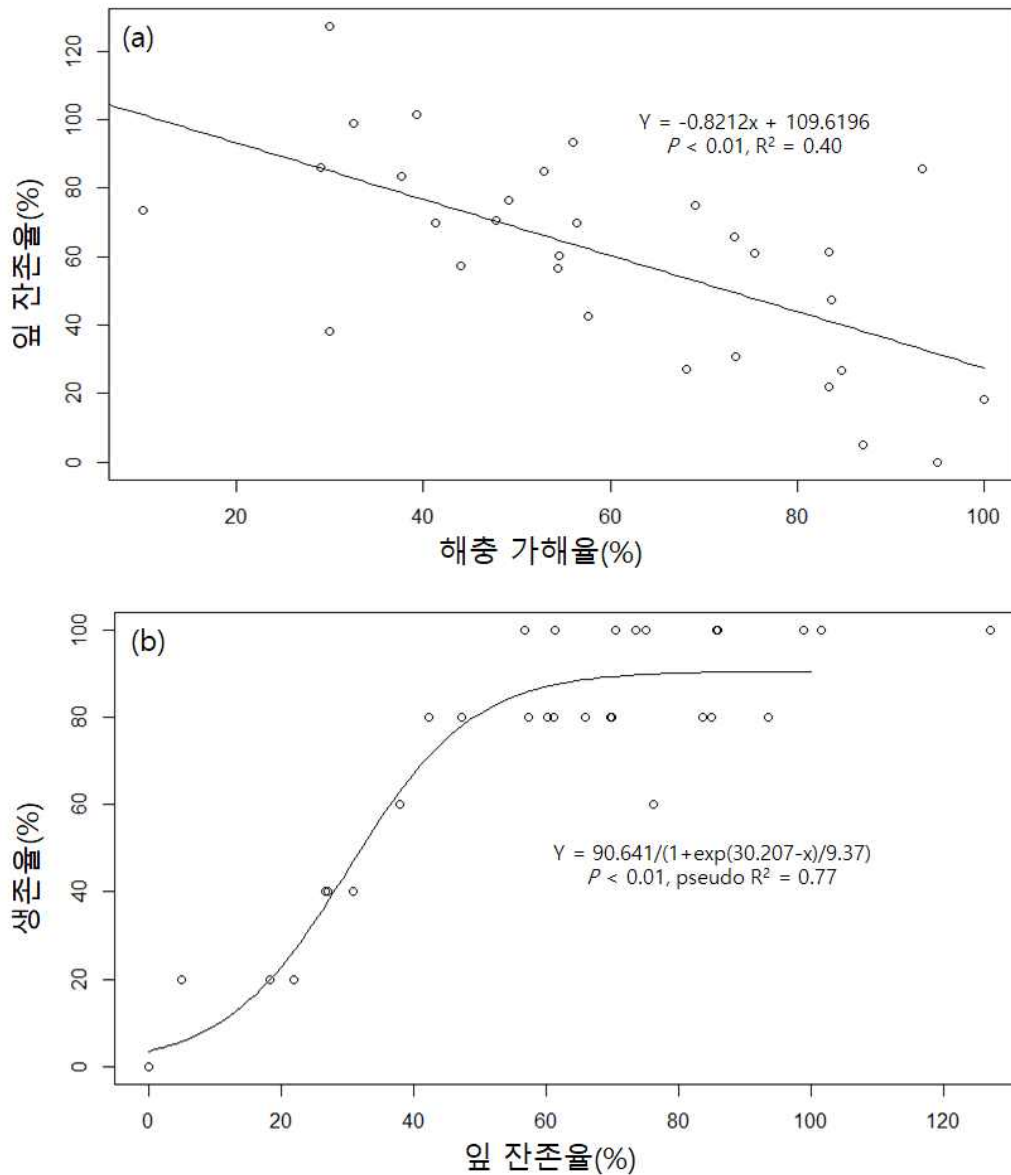


그림. V-1-(14). 나도풍란 모니터링 시점별 이차원 통계분석

(a) 초기 3개월 간 해충 가해율과 초기 6개월 간 일 잔존율 간 상관관계 및 (b) 초기 6개월 간 일 잔존율과 생존율 간 비선형 회귀분석 결과

라. 결론

나도풍란 시험이식지는 최근까지 자생했던 지역, 서식환경정보 등을 종합적으로 고려하여 최종적으로 신안군 홍도로 결정하였다. 총 150개체가 시험이식 되었으며 생존, 생장 및 미소서식처에 대한 환경정보가 구축되고 있다. 지점별로 환경 및 이식개체의 변화양상이 확인되었다. 위협요인으로는 수검은줄점불나방 유충에 의한 직접적인 잎 가해 상황이 국내 최초로 확인되었으며 그 피해 수준이 큰 것으로 나타났다. 통계분석 통하여 해충피해, 풍속, 광량 등의 인자가 나도풍란의 생존, 생장 등에 중대한 영향을 미친다는 것이 확인되었다.

하지만 나도풍란을 시험이식 후 5개월('21년 5월~10월)의 단기적인 모니터링 결과이며 현재까지의 결과를 바탕으로 방사·이식 개체의 성공적인 적응 여부 확인은 불가능하다. 이를 보완하기 위해 미기후 자료(환경센서)등 연구정보를 지속적으로 축적하고 있으며 추후 장기적인 모니터링 연구에 활용할 예정이다.

본 지역은 동절기 시베리아기단의 발달에 의한 추위와 건조에 의해 시험 이식된 나도풍란 개체의 생존율을 결정하는데 큰 영향을 미칠 것으로 보인다. 따라서 동절기에 의한 영향과 생육현황 확인을 위해 '22년 3월~4월 시험이식지 방문 및 연구를 실시 할 예정이며 이후 연차별 지속적인 모니터링 연구를 실시할 예정이다.

나도풍란을 가해하는 해충은 이식 및 복원에 있어서 중요 위협요소에 해당되므로 향후 위협요소 감소방안 마련을 위해 보다 심도 있는 연구를 추진할 계획이다.

지속적인 나도풍란 시험이식지 모니터링 연구를 통해 미소서식처 데이터를 구축하고 환경인자와 시험이식개체의 생존, 생식, 생장 등 연관성 확인하여 나도풍란 이식 및 복원의 성공률을 높일 것으로 판단된다.

X. 참고문헌

- 국립생태원. (2019). 멸종위기 야생생물 서식변수 및 서식지적합성지수 개발. pp. 93-108.
- 국립생태원 멸종위기 야생생물 포털. https://www.nie.re.kr/endangered_species
- 국립생물자원관. 한반도 의 생물다양성 홈페이지. <https://species.nibr.go.kr>.(2022.9.)
- 국립생물자원관. (2012). 멸종위기 담수어류(통사리 등 5종) 증식 복원 연구. p. 269.
- 국립생물자원관. (2019). 국가생물적색자료집 제3권 어류. p.250.
- 문화재청 국가문화유산포털 <http://www.heritage.go.kr/>
- 문화재청. (2005). 2005년 국가지정 문화재 지정보고서. 천연기념물·명승. pp. 56-57.
- 유승화, 이기섭, 박종화. (2013). 철원지역 두루미 취식지의 핵심지역 설정을 위한 MCP, 커널밀도추정법(KDE)과 국지근린지점외곽연결(LoCoH) 분석. 한국환경생태학회지, 21(1), 11-21.
- 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). 아외원색도감 한국의 민물고기. LG상록재단. p. 355.
- 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. (2018). 멸종위기 담수어류(꼬치동자개) 보전 방안 연구. p. 204.
- 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.

환경부. (2016). 제3차 야생생물 보호 기본계획. pp. 1-120.

환경부. (2018). 멸종위기 야생생물 보전 종합계획. p. 99.

Chae, Byung-Soo, Hong-Jun Yang. (1999). *Microphysogobio rapidus*, a new species of gudgeon (*Cyprinidae*, *Pisces*) from Korea, with revised key to species of the genus *Microphysogobio* of Korea. Korean Journal of Biological Sciences 3: 17-21.

복원대상지 방사·이식 후 개체적응 및 생태환경변화 모니터링

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

발행일 2021년 12월 17일

발행인 조도순

발행처 국립생태원

충청남도 서천군 마서면 금강로 1210

참여연구자 김남영, 이창우, 강승구, 황종경, 강동원, 박창득, 권관익, 유정우, 이병두

문의 054-680-7282

홈페이지 www.nie.re.kr

제작 (주)전우용사춘

ISBN 979-11-6698-097-8

© 국립생태원

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

복원대상지 방사·이식 후 개체적응 및 생태환경변화 모니터링

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

국립생태원

비매품/무료



9 791166 980978

ISBN 979-11-6698-097-8



93400