

연구보고서(연차)

NIE-B-2025-48

# 멸종위기 곤충·무척추동물 개체군 강화 및 복원연구('25)

Study on population reinforcement and restoration  
of endangered insects and invertebrates('25)

NATIONAL  
INSTITUTE OF ECOLOGY



멸종위기 곤충·무척추동물 개체군 강화 및 복원 연구('25)

**Study on population reinforcement and restoration  
of endangered insects and invertebrates('25)**

멸종위기종복원센터

**Research Center for Endangered Species**

장금희 외 6명

**Keum-Hee Jang et al.**

**2025. 12.**

December 2025

국립생태원

**National Institute of Ecology**

## 연구진

연구책임자	장금희	곤충무척추동물복원팀	책임연구원
연구참여자(내부)	김동연	곤충무척추동물복원팀	선임연구원
	윤창만	곤충무척추동물복원팀	선임연구원
	김강산	곤충무척추동물복원팀	전임연구원
	김만년	곤충무척추동물복원팀	전임연구원
	박종대	곤충무척추동물복원팀	전임연구원
	차덕재	곤충무척추동물복원팀	전임연구원

본 연구진은 연구윤리를 준수하였음을 서약합니다.

## 요 약 문

본 연구사업은 멸종위기 곤충과 무척추동물의 생태적 기능·생활사적 특성 연구를 기반으로 실효성 있는 복원과 서식지 내 보전 연구를 통한 개체군 강화 및 안정화를 추진하고, 지역협의체 기반 복원사업을 추진하여 지속 가능한 서식지를 구축하는 것에 그 목적을 둔다. 본 연구 수행 결과는 아래와 같이 요약할 수 있다.

**소똥구리**의 복원을 위한 인공증식 기술과 서식지 관리방안을 제시하며, 기후변화와 환경변화가 소똥구리의 생존과 번식에 미치는 영향을 분석하고 이에 대한 개선방안을 도출하였다. 연구는 동면 관리, 먹이원 특성 분석, 방사 개체 모니터링 등 여러 측면에서 수행되었다. 동면 생존율 분석 결과, 2025년 기온 변동과 산불 등의 외부 요인으로 인해 동면 개체의 생존율은 54.6%로 낮았으며, 실내동면 개체는 비교적 안정적인 생존을 보였으나, 야외동면 개체는 기온 변동에 민감하게 반응하여 생리적 스트레스를 겪었다. 우분과 마분의 먹이원 분석을 통해, 우분은 소똥구리의 주요 먹이원으로서 영양밀도가 높고 발효에 적합한 성분을 가진 반면, 마분은 고섬유질과 저질소 특성으로 제한적인 활용 가능성을 보였다. 신두리 해안사구에서 방사된 소똥구리는 기후 및 서식지 적응에 어려움을 겪었으며, 특히 먹이 자원 부족과 기후변화에 의한 스트레스가 영향을 미쳤다. 연구 결과, 소똥구리는 국내 자연 기후에서 월동이 가능하지만, 기후 및 먹이자원 변화에 민감하게 반응한다는 점이 확인되었으며, 실내동면 시설의 확대와 기온 순화 과정의 세밀한 조정, 우분 관리의 체계적인 접근이 필요한 것으로 나타났다. 또한, 복원사업의 성공적 지속을 위해 서식지 적응 관리와 지역사회 협력 체계 강화가 중요함을 제시하였다. 본 연구는 소똥구리 복원사업의 개선방안을 제공하고, 향후 연구에서 기후변화에 대응한 복원모델을 확립하는 데 중요한 기초자료를 제공한다.

**수염풍뎅이**의 발생 특성, 형태적 특성, 침수 내성 및 비행 행동을 분석하고 시민과학 기반 모니터링의 효과를 평가하기 위해 수행되었다. 조사는 2024~2025년 충청북도 청주시 미호강 옥산교 일원에서 야간 등화 조사와 주·야간 육안조사를 병행하여 실시하였다. 수염풍뎅이 성충 활동은 6월 하순부터 8월 초까지 확인되었으며, 성충 활동 최성기는 7월 초로 나타났다. 형태 측정 결과 평균 체장은 약 33.5mm, 체중은 1.4~1.5g 수준이었으며, 암컷이 수컷보다 다소 무거운 경향을 보였다. 침수 내성 실험 결과, 알과 1령 유충 모두 24시간 이내의 단기 침수에는 높은 생존율을 보였으나, 48시간 이상 장기 침수 시 생존율이 급격히 감소하였다. 특히 토양 침수 조건에서 폐사 속도가 더 빠르게 나타났다. 비행 행동 분석 결과, 수컷이 암컷보다 이른 시각에 먼저 비행을 시작하고, 더 늦은 시간까지 활동하는 특성이 확인되었다. 시민과학자를 활용한 모니터링은 수염풍뎅이에 대한 인식과 보호 의식을 크게 향상시켰으며, 지속적인 참여 의향도 높게 나타났다. 2025년 수염풍뎅이의 개체군 동태 연구는 서식지 내 개체군 발생과 분포 특성을 파악하기 위해 수행되었다. 조사는 기존 5개 지점과 신규 2개 지점을 포함한 총 7개 지역에서 야간 등화 조사와 주간 육안조사를 병행하여 실시하였다. 조사 결과, 세종(212개체)과 청주(202개체)에서 대규모 개체군이 확인되어 안정적인 개체군 유지가 확인되었으며, 이는 시민과학자의 참여

를 통해 가능하였다. 논산에서는 소수 개체만 확인되었고, 부여와 공주에서는 성충이 발견되지 않았다. 신규 조사지인 연천에서는 13개체가 확인되어 새로운 서식지로서의 가능성이 확인되었으나, 영월에서는 출현이 확인되지 않아 추가 조사가 필요한 지역으로 판단되었다. 조사 전 지역에서는 홍수 이후 사체 발견 및 개체 출현 감소가 확인되어, 기후변화와 수리환경 변화가 개체군에 중요한 위협요인으로 작용하는 것으로 나타났다. 수염풍뎅이는 인공조명에 강하게 유인되어 교량 조명에 의한 폐사 위험이 높으며, 조명 저감 대책의 필요성이 제시되었다. 또한 홍수 이후 제방과 인접 수변부에서도 성충이 관찰되어 환경변화에 따른 서식지 이동 가능성이 확인되었다. 본 연구는 수염풍뎅이의 지역별 분포 특성과 기상 요인에 따른 개체군 변동을 파악한 기초자료로 향후 장기 모니터링과 종합적인 보전·복원 전략 수립에 중요한 근거 자료가 될 것이다.

**뚱보주름메뚜기**의 복원을 위해 증식기술 개발과 야생 개체군에 관한 연구를 수행하였다. 증식기술 개발을 위해 F2 세대를 활용하여 월동 조건에 따른 부화율 차이와 사육 관리에 관한 연구를 수행한 결과, 전체 알집의 부화율은 22%로 나타났으며, 1령기 약충 사망률은 68%로 나타났다. 야생 개체군 연구는 서식지 모니터링, 산불 피해지 조사 및 방사 후 모니터링을 통해 수행되었다. 4월과 5월에 월 1회씩 모니터링을 수행한 결과 총 13개체가 확인되었고, 4월 조사에서 대부분 개체가 확인되어, 개체 발견 가능성이 큰 모니터링 시기는 4월이 적합한 것으로 판단되었다. 산불 피해지 조사 결과 기존 서식지 외 산불 피해지들에서는 개체가 확인되지 않았으나, 인근 미피해지에서 개체가 발견되어 신규 서식지를 확인하였다. 마지막으로 인공증식 개체를 서식지에 방사하여 모니터링한 결과, 방사 1일 차까지 개체가 재포획되어 방사지 내 초기 정착 가능성을 확인하였으며, 확산계수는 시간 당 0.5-1.5m<sup>2</sup>로 추정되었다.

**뚱무늬길앞잡이**에 대한 증식 연구는 유충의 탈피각을 이용한 비침습적 유전 분석 방법을 개발하고, 최적의 월동 조건을 규명하며, 인공증식 성충의 발달 및 생식 특성을 평가함으로써 인공증식 및 방사 프로그램의 효율을 향상시키는 것을 목표로 수행되었다. 유전 분석에서는 탈피각 회수율이 약 83%에 달했으며, 직접 gDNA 추출방법은 10배 희석했을 때 PCR 효율이 가장 높게 나타났고, 증식 집단에서는 COI 유전형 A, B, C의 세 가지 유형이 확인되었으며, 탈피 후 5일 이내에 유충 탈피각을 회수했을 때 PCR 증폭 신뢰도가 가장 높았다. 월동 조건 비교에서 실내월동 조건은 실외월동 조건보다 생존율, 용화율, 우화율이 유의하게 높았으며, 월동 종료 후 약 100일 후 성충이 출현했기 때문에 성충의 자연 활동 시기(6월 중순~7월 초)에 맞추기 위한 최적 월동 종료 시점으로 3월 10일이 제안되었다. 인공증식 성충은 야생 성충과 유사한 형태적 특징을 보였으나, 수명은 60% 이상 짧았고, 이는 전용과 번데기 단계에서 충분한 암조건이 제공되지 않은 데 따른 영향으로 추정되며, 해당 시기의 완전한 암조건 유지가 필요함을 시사한다. 암컷의 난소는 정상적으로 발달했지만 산란 실패는 산란 환경의 개선과 수컷 생식능력 평가의 필요성을 보여준다. 또한 근연종 길앞잡이류에 대한 비교 생태 연구는 향후 인공증식 기술을 더욱 정교화하는 데 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 서식지 복원을 위한 연구로 인공증식 개체군 방사를 위한 적합 서식지 도출과 현존 서식지의 지속 가능성 평가를 수행하였다. 이를 위해 과거 서식지인 신안군 임자도 4개 해변과 국내 유일 현존 서식지인 신안군 비금도 해변을 대상으로 서식지 현황조사를 실시하였다. 과거 서식지 조사 결과, 모든 해변에서

뚝섬늪길앞잡이는 확인되지 않았으며 대부분 만조 시 침수되는 저지대 모래사장으로 나타났다. 일부 해변은 석축으로 인해 배후공간이 차단되어 회피 공간이 부족하였고, 종합적으로 삼두리 해변이 잠재적 방사지로 판단되었으나 비침수 모래사장의 인위적 조성이 필요할 것으로 평가되었다. 비금도 현존 서식지 조사에서는 2025년 봄·여름철 저온 현상으로 성충 활동 시기가 약 2주 지연되었고, 개체수는 전년도 대비 약 1/10 수준으로 급감하였다. 이는 겨울철 해수면 상승에 따른 모래 유실과 장기간 침수로 인한 유충 폐사가 주요 원인으로 추정되었다. 태안 방사지 내 사후 모니터링을 실시한 결과, 초기 유충 활동과 월동 가능성은 확인되었으나 여름철 건조로 활동이 감소하고 성충 출현은 확인되지 않았다. 향후 침수와 건조, 인간활동의 영향을 최소화한 서식지 관리와 인공증식 개체군의 지속적인 이입·보강이 서식지 복원의 핵심 전략으로 제시된다. 마지막으로 서식지 개체군 복원 및 강화를 위해 태안 및 신안 서식지에 각각 83개체, 39개체의 3령기 유충을 방사하여 서식지를 복원하고자 하였다.

**거제외줄달팽이**는 소수 개체 기반의 인공증식·사육관리 방법을 구체화하고 개체군 강화 사업의 기초자료를 제공하고자 수행되었다. 2024년 2개체를 도입·사육한 뒤 2025년에 2개체를 추가로 확보(총 4개체)하여 서식지 유사 환경을 조성하였다. 연중 급이·칼슘 보충 등으로 현재까지 사육 개체 생존율은 100%를 유지하였고, 2025년 7월 24일 총 81개의 알을 산란하였으나 관찰된 알은 모두 무정란으로 F1 확보에는 실패하였다. 향후 유일한 서식지가 개발 구역에 포함되어있어 장기 모니터링을 통한 개체군 및 서식지 파악을 지속 수행할 예정이다.

**참달팽이** 서식지 모니터링(홍도·하태도) 결과, 조사 지점별 개체밀도는 전반적으로 안정적인 유지 경향을 보였다(홍도 지점별 평균 3.5 - 10.9개체/100m<sup>2</sup>, 하태도 평균 약 9 - 18개체/100m<sup>2</sup>). 현장조사 결과 인위적 위협(포획, 관광 등)이 주요 위협요인으로 확인되었다. 해당 분류군은 인공증식 기술 개발 및 3차례의 인공증식 개체 자연방사를 실시를 완료하였으며 최근 모니터링 결과 안정적인 개체군 유지를 확인하였다. 따라서 향후 서식지내보전 방향으로 지역협의체와 함께 지속적 모니터링과 보전 활동을 수행해나갈 예정이다.

**물거미**는 국내 단 2개 지점에 국한되어 서식하며 올해 처음으로 도입한 종으로 시범 사육하였다. 현장 조사(양산·연천)를 통해 개체군 현황 및 서식지 특성을 확인하였고(양산 서식지 밀도 상대적 높음), 이를 기반으로 사육 환경을 조성하였다. 초기 실험에서는 사육 수조의 동종포식 및 pH·녹조류 문제로 일부 폐사가 발생하였으나(초기 생존율 50%), 수조 용수 교체·여과기 변경·CO<sub>2</sub> 주입·정화생물 투입 등의 개선조치를 적용 후 생존율이 회복되어 약 80% 수준으로 유지되었다. 현재 조성된 사육 환경을 기반으로 표준화된 인공증식기술 개발을 다음 목표로 연구를 계획하고 있다.

**주요어:** 멸종위기 야생생물, 소똥구리, 수염풍뎅이, 똥보주름메뚜기, 뚝섬늪길앞잡이, 참달팽이, 거제외줄달팽이, 물거미, 인공증식기술 개발, 방사, 먹이원, 모니터링, 개체군 현황, 시민과학

# 목 차

요약문 .....	i
목 차 .....	iv
표목차 .....	v
그림목차 .....	vii
ABSTRACT .....	xi
I. 서론 .....	1
II. 종별 생태·생리 및 증식기술 개발 연구 .....	4
III. 서식지 내 개체군 강화 및 안정화 연구 .....	60
IV. 고찰 및 제언 .....	129
참고 문헌 .....	139

## 표 목 차

표 II-1-(1). 소똥구리 동면 생존율 .....	6
표 II-1-(2). 소똥구리의 집단·성별 체장 및 가슴폭 비교 .....	7
표 II-1-(3). 먹이원 성분(우분, 마분) 검사 결과서 .....	12
표 II-1-(4). 건물(Dry Matter, DM) 기준 환산 적용 .....	13
표 II-1-(5). 먹이원 분변(우분, 마분) 건물 기준 탄질비 비교 .....	14
표 II-2-(1). 수염풍뎅이 알의 시간대별 침수 내성 조사 .....	18
표 II-2-(2). 수염풍뎅이 1령 유충의 시간대별 침수 내성 조사 .....	20
표 II-2-(3) 2024-2025년 수염풍뎅이 성충의 등화 유인시각 비교 .....	22
표 II-3-(1). 똥보주름메뚜기 알집의 실내·외 월동 조건(평균 기온) .....	24
표 II-3-(2). 똥보주름메뚜기 알집 현황 .....	25
표 II-4-(1). 닳무늬길앞잡이 유전형 분석을 위한 프라이머 정보 .....	28
표 II-4-(2). 닳무늬길앞잡이 COI 염기서열 증폭을 PCR 온도 설정 .....	29
표 II-4-(3). 닳무늬길앞잡이 월동 조건별 월동 온도 및 월동 기간 .....	35
표 II-5-(1). 2024-25년 거제시 측정 기온 및 습도(기상청) .....	51
표 II-5-(2). 2024-25년 거제외줄달팽이 서식지 토양 온·습도 .....	51
표 II-5-(3). 산란 알 직경 및 무게 측정 결과 .....	53
표 III-1-(1). 2025년 신두리 해안사구 내 소똥구리 방사 후 모니터링 .....	60
표 III-1-(2). 신두리 해안사구 내 모니터링 카메라 설치지점 .....	61
표 III-1-(3). 소똥구리 모니터링 현지조사표 양식 .....	63
표 III-1-(4). 소똥구리 방사지(신두리 해안사구) 내 서식 종 목록 .....	64
표 III-2-(1). 수염풍뎅이 개체군 분포 조사지역 .....	75
표 III-2-(2). 수염풍뎅이 개체군 연도별 분포조사 지역 및 개체수 .....	77
표 III-2-(3). 논산시 수염풍뎅이 모니터링 결과 .....	79
표 III-2-(4). 부여군 수염풍뎅이 모니터링 결과 .....	81
표 III-2-(5). 공주시 수염풍뎅이 모니터링 결과 .....	82
표 III-2-(6). 세종시 수염풍뎅이 모니터링 결과 .....	83
표 III-2-(7). 청주시 수염풍뎅이 모니터링 결과 .....	85
표 III-2-(8). 연천군 수염풍뎅이 모니터링 결과 .....	87
표 III-2-(9). 영월군 수염풍뎅이 모니터링 결과 .....	88
표 III-2-(10). 조사방법에 따른 시기별 발견 개체수 .....	91

표 III-2-(11). 수염풍뎅이의 체장, 체폭, 체중 및 성비 비교 .....	95
표 III-2-(12) 시민과학 사전 사후 설문 구조 .....	97
표 III-3-(1). 뚝보주름메뚜기 개체군 모니터링 시기 및 위치 .....	102
표 III-3-(2). 뚝보주름메뚜기 개체군 모니터링 결과 .....	103
표 III-3-(3). 산불 피해지 조사시기 및 위치 .....	105
표 III-3-(4). 산불 피해지 모니터링 결과(개체수) .....	105
표 III-3-(5). 뚝보주름메뚜기 방사 개체 표식 .....	109
표 III-1-(6). 뚝보주름메뚜기 방사 개체 모니터링 결과 .....	110
표 III-1-(7). 뚝보주름메뚜기 방사 개체 평균 분산거리 .....	110
표 III-4-(1). 임자도 과거 서식지 현황조사 .....	112
표 III-4-(2). 신안군 비금도 서식지 개체군 변동 내역 .....	113
표 III-4-(3). 태안 방사지 내 사후 모니터링 결과 .....	116
표 III-6-(1). 2019년-2025년 참달팽이 홍도 서식지 조사지점별 개체밀도 .....	124
표 III-6-(2). 2019년-2025년 참달팽이 하태도 서식지 조사지점별 개체밀도 .....	124
표 III-7-(1). 물거미 조사지점별 수온, pH .....	127

## 그림 목 차

그림 II-1-(1). 소똥구리 사육환경 마련 .....	4
그림 II-1-(2). 소똥구리 동면조건 .....	5
그림 II-1-(3). 소똥구리 외부형질 측정(좌) 및 개체표식(우) .....	5
그림 II-1-(4). 소똥구리 활동 개시시기 대기온도(2023~2025) .....	7
그림 II-2-(1). 수염풍뎅이 알의 순수 침수(좌) 및 토양 침수(우) 내성 실험 .....	17
그림 II-2-(2). 수염풍뎅이 유충의 순수 침수(좌)와 토양 침수(우) 내성 실험 .....	19
그림 II-3-(1). 똥보주름메뚜기 사육상 및 야외 사육장 .....	24
그림 II-3-(2). 똥보주름메뚜기 실외 월동 알집 및 2024년 12월 부화 개체 .....	25
그림 II-3-(3). 똥보주름메뚜기 알집 및 알집 해체 .....	26
그림 II-3-(4). 똥보주름메뚜기 사육 개체 1~2령 시기 관리 사진 .....	26
그림 II-4-(1). 비침습 유전 분석 방법을 이용한 유충 유전형 분석 도해 .....	27
그림 II-4-(2). 닳무늬길앞잡이 유전형 분석을 위한 PCR 프라이머 위치 .....	29
그림 II-4-(3). 탈피각 최적 회수 시점 추정을 위한 탈피각의 환경조건 반응 .....	30
그림 II-4-(4). 증식 개체군의 유충 탈피각(1령기→2령기) 회수율 .....	30
그림 II-4-(5). 희석배율에 따른 유충 탈피각 PCR 증폭 효율 비교 .....	31
그림 II-4-(6). 증식 개체군 내 COI 유전형 비율 .....	32
그림 II-4-(7). 탈피 후 환경 노출 시간별 탈피각 내 gDNA 증폭 유무 비교 .....	33
그림 II-4-(8). 닳무늬길앞잡이 유충 실외 월동 조건 .....	34
그림 II-4-(9). 월동 조건에 따른 닳무늬길앞잡이 용화율과 우화율 비교 .....	36
그림 II-4-(10). 월동 조건에 따른 발달단계별 발달기간(a) 및 인공증식 성충의 수명(b) 비교 .....	37
그림 II-4-(11). 월동 종결 후 인공증식 성충의 합산 누적 우화율(a) 및 월동 조건별 누적 우화율(b) .....	38
그림 II-4-(12). 닳무늬길앞잡이 성체 몸 크기 측정 기준 .....	39
그림 II-4-(13). 닳무늬길앞잡이 인공증식 성충과 야생 성충간 두폭(a), 몸 길이(b), 수명(c) 비교 분석 .....	40
그림 II-4-(14). 인공증식된 닳무늬길앞잡이 암컷의 난소 구조(a)와 말단섬사 개수(b) .....	41
그림 II-4-(15). 인공증식된 닳무늬길앞잡이 암컷의 난소 발달 확인 .....	42
그림 II-4-(16). 유충 발달단계에 따른 유충 굴 입구 직경 비교 .....	44

그림 II-4-(17). 닳무늬길앞잡이와 근연종 길앞잡이 유충 두흉부 비교 .....	45
그림 II-4-(18). 닳무늬길앞잡이와 강변길앞잡이 산란 굴 위치(a)와 평균 산란 굴 깊이(b) .....	47
그림 II-4-(19). 닳무늬길앞잡이 유충 굴 깊이 측정을 위한 아크릴 관(a)과 닳무늬길앞잡이와 산길앞잡이 유충 굴 깊이 측정(b) .....	48
그림 II-5-(1). 참달팽이 인공증식 매뉴얼 .....	49
그림 II-5-(2). 거제외줄달팽이 실내 인공증식 시설 .....	50
그림 II-5-(3). 거제외줄달팽이 사육 .....	52
그림 II-5-(4). 빛 차단 달팽이 사육통 .....	52
그림 II-5-(5). 거제외줄달팽이 산란 알 .....	53
그림 II-5-(6). 알 분리 사육 관리 .....	53
그림 II-5-(7). 알 직경 측정 .....	53
그림 II-5-(8). 알 무게 측정 .....	53
그림 II-6-(1). 물거미 사육 수조 구성 및 필요 물품 .....	54
그림 II-6-(2). 물거미 사육 수조 .....	55
그림 II-6-(3). 수조 수질 측정 장치 및 먹이(실지렁이) .....	55
그림 II-6-(4). 수조 pH 및 생존 개체수 변화 .....	56
그림 II-6-(5). 실내온도 및 수조온도 변화 .....	56
그림 II-6-(6). 생이새우 .....	58
그림 II-6-(7). 애플스네일 .....	58
그림 II-6-(8). 실지렁이 급이 .....	58
그림 II-6-(9). 포식 후 잔여 사체(생이새우) .....	58
그림 III-1-(1). 2025년 소똥구리 모니터링 지점 .....	61
그림 III-1-(2). 해안사구 내 카메라 설치 .....	62
그림 III-1-(3). 소똥구리 방사지(신두리 해안사구) 내 서식 중 .....	65
그림 III-1-(4). 신두리 해안사구 내 소똥구리류 출현 현황 .....	66
그림 III-1-(5). 신두리 해안사구 내 방목 현황: 2024(좌), 2025(우) .....	67
그림 III-1-(6). 섭식활동을 하는 표범장지뱀 .....	67
그림 III-1-(7). 소똥구리 동면행동 관찰을 위한 연구장소 .....	69
그림 III-1-(8). 소똥구리 동면행동 관찰을 위한 사육상I .....	69
그림 III-1-(9). 소똥구리 동면행동 관찰을 위한 사육상II .....	70
그림 III-1-(10). 복원지(신두리 해안사구) 내 동면 해제 확인 .....	71

그림 III-1-(11). 멸종위기종복원센터(영양), 복원지(태안) 간 토양온도 변화	71
그림 III-1-(12). 소똥구리 연방사지 점검(7월 11일)	72
그림 III-1-(13). 소똥구리 연방사지 점검(8월 29일)	73
그림 III-1-(14). 관련기관 협의, 연방사장 설치 및 소똥구리 방사	74
그림 III-2-(1). 수염퐁뎡이 개체군 모니터링 연구	76
그림 III-2-(2). 수염퐁뎡이 기존 분포지역 및 신규 발견지역	78
그림 III-2-(3). 논산시 수염퐁뎡이 모니터링	79
그림 III-2-(4). 부여군 수염퐁뎡이 모니터링	80
그림 III-2-(5). 공주시 수염퐁뎡이 모니터링	81
그림 III-2-(6). 세종시 수염퐁뎡이 모니터링	82
그림 III-2-(7). 세종시 시민과학자 지점별 모니터링 결과	83
그림 III-2-(8). 청주시 수염퐁뎡이 모니터링	84
그림 III-2-(9). 연천군 수염퐁뎡이 모니터링	86
그림 III-2-(10). 영월군 수염퐁뎡이 모니터링	88
그림 III-2-(11). 2024-2025년 수염퐁뎡이 전체 발견 개체수	90
그림 III-2-(12). 2024-2025년 조사시기별 발견 개체수	91
그림 III-2-(13). 2024-2025년 생체와 사체 발견 개체수	92
그림 III-2-(14). 2024년 옥산교 일원 수염퐁뎡이 발생소장	93
그림 III-2-(15). 시민과학자의 성비, 연령 및 거주지역의 분포(2023-2024)	98
그림 III-2-(16). 시민과학자를 활용한 수염퐁뎡이 모니터링 모식도	100
그림 III-2-(17). 사전 사후 설문을 통한 시민과학자 주요 만족도 조사 결과	101
그림 III-3-(1). 똥보주름메뚜기 야생 개체군 모니터링 조사지	102
그림 III-3-(2). 똥보주름메뚜기 개체군 모니터링 시 확인된 개체	103
그림 III-3-(3). 산불 피해 전, 후(기존 서식지)	104
그림 III-3-(4). 산불 피해지역 및 똥보주름메뚜기 서식지	104
그림 III-3-(5). 산불 피해 서식지 및 확인 개체	106
그림 III-3-(6). 산불 피해지 조사(석탑리 조사지)	106
그림 III-3-(7). 산불 피해지 조사(중리리 조사지)	107
그림 III-3-(8). 산불 피해지 조사(후평리 조사지)	107
그림 III-3-(9). 산불 피해지 조사(석탑2리 조사지)	107
그림 III-3-(10). 미피해지 조사(신규 서식지)	108
그림 III-3-(11). 똥보주름메뚜기 방사 개체	109

그림 III-4-(1). 과거 서식지(임자도 4개 해변) 현황조사 .....	111
그림 III-4-(2). 예측조위 분석을 통한 신안군 비금도 해변 해수 높이 추정 .....	113
그림 III-4-(3). 신안군 비금도 서식지 모래유실 및 쇄파대 형성 .....	114
그림 III-4-(4). 방사지 내 유충 굴과 굴 입구에서 먹이활동 중인 유충 .....	115
그림 III-4-(5). 방사지 내 유충 방사 방법 및 절차 .....	117
그림 III-4-(6). 서식지 복원을 위한 인공증식 개체군 이입·보강 .....	118
그림 III-5-(1). 서식지 내 거제외줄달팽이 .....	120
그림 III-5-(2). 거제외줄달팽이 서식지 조사 .....	120
그림 III-5-(3). 울포리 서식지 인접 도로 .....	121
그림 III-5-(4). 도로에 의해 단절된 학동리 서식지 .....	121
그림 III-6-(1). 신안군 홍도 내 모니터링 조사지점 위치정보 .....	122
그림 III-6-(2). 신안군 하태도 내 모니터링 조사지점 위치정보 .....	122
그림 III-6-(3). 참달팽이 방형구 조사 .....	123
그림 III-6-(4). 참달팽이 선조사 .....	123
그림 III-7-(1). 물거미 조사 장비 .....	126
그림 III-7-(2). 양산 물거미 서식지 조사 .....	127
그림 III-7-(3). 연천 물거미 서식지 1차 조사 .....	128
그림 III-7-(4). 연천 물거미 서식지 2차 조사 .....	128

## Abstract

This research project aims to stabilize populations of endangered insects and invertebrates through restoration and habitat conservation research based on ecological functions and life history. It also seeks to establish sustainable habitats by restoration based on regional consultation. The outcomes of this research can be summarized below.

This study presents artificial propagation techniques and habitat management strategies for the restoration of the endangered dung beetle (*Gymnopleurus mopsus*) and analyzes the impacts of climate change and environmental variations on its survival and reproduction. The research was conducted through various approaches, including hibernation management, food source analysis, and monitoring of released individuals. The analysis of hibernation survival rates revealed that external factors, such as temperature fluctuations and wildfires in 2025, led to a low survival rate of 54.6% in hibernating individuals. While indoor hibernation provided relatively stable survival, outdoor hibernation was highly sensitive to temperature fluctuations, resulting in physiological stress. The analysis of food sources, including cow dung and horse dung, showed that cow dung, with its high nutritional density and suitability for fermentation, served as the primary food source for dung beetles. In contrast, horse dung, characterized by high fiber content and low nitrogen levels, had limited utility. Released dung beetles at the Sinduri coastal sand dunes faced difficulties in adapting to the climate and habitat, particularly due to food resource scarcity and stress from climate change. The findings confirmed that dung beetles can hibernate in Korea's natural climate but are sensitive to changes in climate and food resources. The study highlights the need for expanded indoor hibernation facilities, careful temperature regulation, and systematic management of dung resources. Additionally, strengthening habitat adaptation management and community collaboration are critical for the sustained success of restoration efforts. This research provides important recommendations for improving dung beetle restoration projects and lays the foundation for future studies on climate change-responsive restoration models.

The study on *Polyphylla laticollis manchurica* was conducted to analyze the occurrence characteristics, morphological traits, flood tolerance, and flight behavior of the endangered wild insect, *Polyphylla laticollis manchurica*, and to evaluate the effectiveness of citizen science-based monitoring. Surveys were carried out from 2024 to 2025 along the Miho River near Oksan Bridge in Cheongju City, Chungcheongbuk-do, using a combination of nighttime light trapping and daytime and nighttime visual inspections. The occurrence of these beetles was confirmed from late June to early August, with

the peak emergence observed in early July. Morphological measurements indicated an average body length of approximately 33.5mm and a body weight ranging from 1.4 to 1.5g, with females tending to be slightly heavier than males. Flood tolerance experiments revealed that both eggs and first-instar larvae exhibited high survival rates under short-term submersion of up to 24 hours; however, survival decreased sharply following prolonged submersion exceeding 48 hours. Mortality occurred more rapidly under soil-flooding conditions. Analysis of flight behavior showed that males initiated flight earlier and remained active later into the evening than females. Citizen science-based monitoring significantly enhanced public awareness and conservation consciousness regarding the species and demonstrated a strong willingness for continued participation. In 2025, a population dynamics study was conducted to examine the occurrence and spatial distribution of *P. l. manchurica* populations within their habitats. Surveys were performed at a total of seven sites, including five previously monitored locations and two newly added sites, using nighttime light trapping and daytime visual inspections. Large populations were recorded in Sejong (212 individuals) and Cheongju (202 individuals), indicating stable population maintenance facilitated by active citizen scientist participation. Only a few individuals were detected in Nonsan, while no adults were observed in Buyeo and Gongju. At the new survey site in Yeoncheon, 13 individuals were recorded, suggesting potential suitability as a new habitat. Across several survey areas, post-flood carcass findings and declines in population abundance were observed, suggesting that climate change and alterations in hydrological conditions act as significant threats to population stability. Rhinoceros beetles were found to be strongly attracted to artificial lighting, increasing mortality risks associated with bridge illumination and highlighting the need for light-reduction measures. Additionally, adults were observed on embankments and adjacent riparian zones following flood events, suggesting possible habitat shifts in response to environmental disturbances. This study provides essential baseline data on the regional distribution patterns and population fluctuations of the rhinoceros beetle in relation to climatic factors and serves as a critical foundation for future long-term monitoring and the development of comprehensive conservation and restoration strategies.

This study was conducted to develop rearing techniques and investigate wild populations for the restoration of *Haplotropis brunneriana*. For rearing technique development using F2 generation, we examined the hatching rate differences of egg pods according to overwintering conditions and conducted rearing management of hatched individuals. The rearing results showed that the overall hatching rate of egg pods was 22%, and the mortality rate of first instar nymphs was 68%. For wild population research, habitat monitoring, wildfire-damaged area surveys, and post-release monitoring were performed. Habitat monitoring was conducted once a

month in April and May, resulting in the identification of a total of 13 individuals, with more individuals confirmed in the April survey. Wildfire-damaged area surveys revealed no individuals at survey sites other than existing habitats. However, individuals were observed in nearby undamaged areas, confirming a new habitat. Post-release monitoring of laboratory-reared individuals showed that individuals were recaptured until one day after release, confirming the possibility of initial settlement. The mean dispersal distance (MDD) was estimated to be up to 4.4 m and Diffusion coefficient (D) 0.5 - 1.5 m<sup>2</sup>/hour.

The study on *Cicindela anchoralis* aimed to enhance the efficiency of artificial propagation and release programs by developing a non-invasive genetic analysis method using larval exuviae, identifying optimal overwintering conditions, and evaluating the developmental and reproductive traits of artificially reared adults. In the genetic analysis, exuviae recovery reached approximately 83%; direct gDNA extract method exhibited the highest PCR efficiency when diluted tenfold; and three COI genotypes (A, B, and C) were identified within the propagation group, with the most reliable amplification obtained when larval exuviae were collected within five days after molting. In the overwintering comparison, indoor overwintering condition yielded significantly higher survival, pupation, and emergence rates than outdoor condition, and because adults emerged roughly 100 days after overwintering ended, March 10 was recommended as the optimal termination date to align with the natural adult activity period (mid-June to early July). Artificially reared adults exhibited morphological traits comparable to wild adults, but their lifespan was more than 60% shorter, likely due to insufficient darkness during the pre-pupa and pupal stages, indicating the need for complete darkness during these developmental periods. Although female ovaries developed normally, non-oviposition suggests that improvements to oviposition environments and assessments of male reproductive capacity are necessary. Comparative ecological studies of related tiger beetle species may further contribute to refining artificial propagation techniques. As a study for habitat restoration, an evaluation was conducted to identify suitable habitats for releasing artificially propagated populations and to assess the sustainability of existing habitats. For this purpose, a habitat status survey was carried out targeting four beaches in Imjado, Sinan-gun and the single existing habitat beach in Bigeumdo, Sinan-gun. The survey results of the former habitats showed that *Cicindela anchoralis* were not found on any of the beaches. Most were low-lying sandy areas that were inundated during high tide. Some beaches lacked refuge areas because their back-shore space was blocked by stone revetments. Overall, Samduri Beach was judged as a potential release site, but artificial creation of a non-inundated sandy area was deemed necessary. In the survey of the existing habitat in Bigeumdo, the adult activity period was delayed by approximately two weeks due to a low-temperature

phenomenon in the spring/summer of 2025, and the number of individuals plummeted to about 1/10th of the previous year's level. This drastic decline was presumed to be primarily caused by sand loss due to sea-level rise during last winter and the mortality of larvae due to prolonged inundation. Post-release monitoring at the Taeon release site confirmed early larval activity and the potential for overwintering; however, activity decreased due to summer dryness, and adult emergence was not confirmed. Finally, to restore and strengthen the habitat populations, 83 third-instar larvae were released at the Taeon habitat and 39 at the Sinan habitat, aiming to restore the habitats.

For *Satsuma myomphala*, two individuals were introduced and reared in 2024, followed by the acquisition of two additional individuals in 2025 (total n=4). A habitat-simulated environment was established, and continuous feeding and calcium supplementation enabled a 100% survival rate. A total of 81 eggs were laid on July 24, 2025; however, all were unfertilized, and F1 offspring were not produced.

Monitoring of *Koreanohadra koreana* populations on Hongdo and Hataedo showed generally stable densities across sites (Hongdo: 3.5 - 10.9 individuals/100 m<sup>2</sup>; Hataedo: 9 - 18 individuals/100 m<sup>2</sup>). Field observations revealed anthropogenic threats, including illegal collection and tourism pressure, highlighting the need for continued monitoring and conservation actions.

Field surveys of *Argyroneta aquatica* in Yangsan and Yeoncheon identified population characteristics and habitat conditions (with relatively higher density in Yangsan), which were used to design the rearing environment. Initial mortality was caused by cannibalism, suboptimal pH, and cyanobacterial growth (initial survival 50%). After improvements—including water replacement, filtration system modification, CO<sub>2</sub> injection, and introduction of biological cleaners—survival increased to approximately 80%.

**Keyword:** Endangered wildlife species, *Gymnopleurus mopsus*, *Polyphylla laticollis manchurica*, *Haplotropis brunneriana*, *Cicindela anchoralis*, *Satsuma myomphala*, *Koreanohadra koreana*, *Argyroneta aquatica*, Ex-situ conservation method, Release, Food source, Monitoring, Population survey, Citizen science

# I. 서론

## 1. 연구배경 및 목적

### 가. 연구배경

- 1) 「야생생물 보호 및 관리에 관한 법률」 제 13조 2항에 따라 ‘현재 개체군으로 지속적인 생존이 어렵다고 판단되는 종에 대한 증식·복원하는 등 필요한 조치’ 수행 필요
- 2) 「제4차 야생생물 보호 기본계획(2021~2025)」, 「멸종위기 야생생물 보전 종합계획(2018~2027)」에 따른 멸종위기종 보전 및 복원 연구 수행 필요
- 3) 「국립생태원 중기 경영목표(2023~2027)」 ‘전략목표 2. ‘생태계 건강성 확보 및 변화대응’, ‘전략과제 2-2. 서식지 기반 멸종위기 야생생물 보전 및 복원’에 따라 멸종위기 야생생물 서식지 보호 체계 구축 및 지역 협력·인식 증진 추진

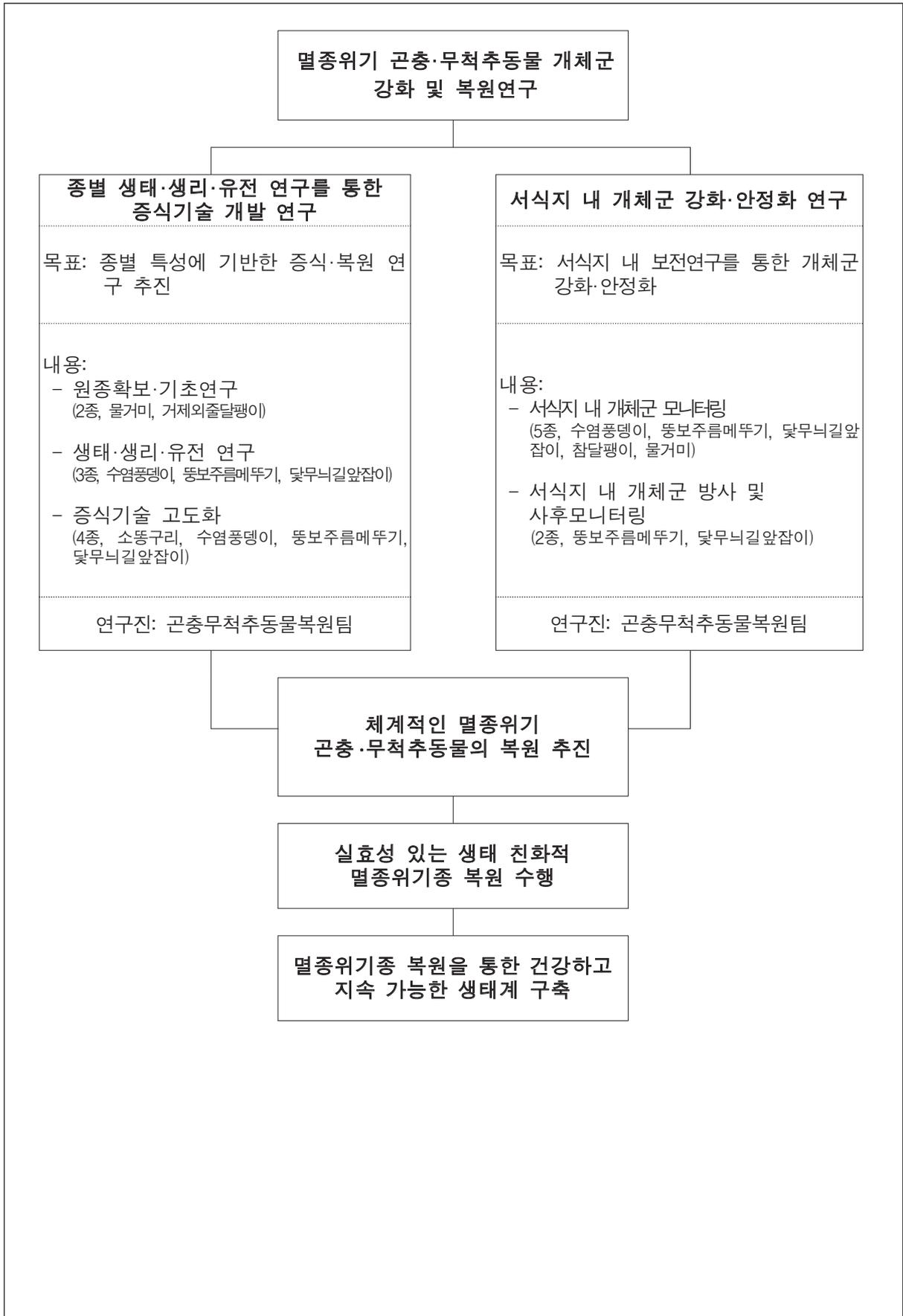
### 나. 연구목적

- 1) 곤충·무척추동물의 생태적 기능·생활사적 특성 연구 기반으로 실효성 있는 복원 추진
- 2) 서식지 내 보전 연구를 통한 개체군 강화 및 안정화 추진

### 다. 연구의 필요성

- 1) 체계적인 복원전략 수립 및 기술 고도화를 위한 종별 생태적 및 서식지 특성에 대한 기초자료 확보 필요
- 2) 멸종위기 야생생물의 보전이 종에서 서식지로 전환·확장됨에 따라 서식지 내 개체군 강화 및 안정화를 통한 서식지 내 보전 연구 필요

## 2. 연구 수행 체계



### 3. 연차별 연구내용

구분	연구의 목표	연구 내용
1차년도 (2024)	① 생태·생리 및 증식기술 개발 연구(5종)	1-1.(소똥구리) 증식기술 고도화(I) 1-2.(수염퐁뎅이) 기초생태 연구를 통한 증식기술 개발 1-3.(똥보주름메뚜기) 기초생태 연구를 통한 증식기술 개발, 탈피각을 활용한 증 동정기술 개발 1-4.(땃무늬길앞잡이) 인공증식 매뉴얼 발간 1-5.(거제외줄달팽이) 개체 도입 및 인공증식 착수
	② 서식지 내 개체군 강화·안정화 연구(I)(4종)	2-1.(소똥구리) 방사지 내 위협요인 발굴 및 관리, 기 방사 개체 모니터링 기술 개발 및 적응(신두리사구) 2-2.(수염퐁뎅이) 서식지 내 개체군 현황 모니터링(주·야간) 2-3.(땃무늬길앞잡이) 서식지 생태 모니터링 2-4.(참달팽이) 선조사를 통한 서식 밀도 측정, 서식지 위협 요인 발굴, 인공증식 개체 방사 및 사후 모니터링(하태도)
	③ 지역협의체 운영(3종)	3-1.(소똥구리) 지역협의체 운영을 통한 방사지 보호 3-2.(수염퐁뎅이) 시민참여 서식지 모니터링, 위협요인 저감 활동, 시민교육 및 인식제고 3-3.(참달팽이) 지역협의체 운영을 통한 서식지 보전 활동
2차년도 (2025)	① 종별 생태·생리·유전 연구를 통한 증식기술개발(6종)	1-1.(소똥구리) 증식기술 고도화(II) 1-2.(수염퐁뎅이) 행동 특성 연구 1-3.(똥보주름메뚜기) 이동 능력 분석 1-4.(땃무늬길앞잡이) 인공증식기술 개발, 탈피각을 활용한 유전 다양성 분석기술 개발 1-5.(물거미) 원종도입 및 증식환경 조성, 증장기 보전계획 수립 1-6.(거제외줄달팽이) 원종 도입 및 인공증식
	② 서식지 내 개체군 강화·안정화 연구(II)(7종)	2-1.(소똥구리) 방사 후 모니터링 2-2.(수염퐁뎅이) 서식지 내 개체군 모니터링 2-3.(똥보주름메뚜기) 서식지 내 개체군 모니터링, 방사 및 사후 모니터링 2-4.(땃무늬길앞잡이) 서식지 모니터링, 인공증식 개체 방사 및 사후 모니터링 2-5.(거제외줄달팽이) 서식지 내 개체군 모니터링 2-6.(참달팽이) 서식지 내 개체군 모니터링 2-7.(물거미) 서식지 모니터링, 개체군 현황조사, 서식지 특성 연구
3차년도 (2026)	① 종별 생태·생리·유전 연구를 통한 증식기술개발(7종)	1-1.(소똥구리) 환경 독성 연구 1-2.(수염퐁뎅이) 생리·생태 특성 연구 1-3.(똥보주름메뚜기) 서식지 내 복원을 위한 개체군 포획·사육 후 재방사 1-4.(땃무늬길앞잡이) 생애주기 인공증식 기술 확보, 야외 사육방법 개발 1-5.(물거미) 증식 기술 개발 및 유전적 다양성 연구 1-6.(칼세오리옆새우) 원종 도입 및 증식환경 조성 1-7.(붉은발말뚝개) 원종 도입 및 포란 특성 분석
	② 서식지 내 개체군 강화·안정화 연구(III)(6종)	2-1.(소똥구리) 방사개체 환경적응 등 사후 모니터링 2-2.(수염퐁뎅이) 서식지 내 개체군 모니터링, 방사 및 사후 모니터링 2-3.(똥보주름메뚜기) 서식지 모니터링, 개체군 현황조사 2-4.(땃무늬길앞잡이) 서식지 모니터링, 인공증식 개체 방사 및 사후 모니터링 2-5.(물거미) 서식지 모니터링, 개체군 현황조사, 서식지 특성 연구 2-6.(칼세오리옆새우) 서식지 모니터링, 개체군 현황조사, 서식지 특성 연구

## II. 종별 생태·생리 및 증식기술 개발 연구

### 1. 소똥구리

#### 가. 번식률 및 생존율 파악을 위한 개체 관리 연구

##### 1) 연구내용 및 방법

##### 가) 연구내용

소똥구리의 효과적인 복원을 위해서는 인공증식 기술의 확립이 필수적이다. 이를 위해서는 다양한 사육 조건에 따른 번식률과 생존율에 대한 정량적인 기초 정보가 필요하다. 특히 동면 후 생존율, 번식률, 세대별 개체군 크기와 같은 기초 정보는 인공증식 성공을 결정하는 중요한 요소로 작용한다. 본 연구에서는 체계적인 개체 관리 기법을 적용하여 소똥구리의 생존율에 영향을 미치는 요인을 규명하고, 이를 바탕으로 인공증식 효율을 극대화할 수 있는 기초자료를 확보하고자 한다. 이 연구는 소똥구리 복원의 성과를 높이기 위한 과학적 기반을 마련하는 중요한 단계로, 향후 효율적인 증식 방안을 제시하는 데 기여할 것이다.

##### 나) 연구방법

소똥구리 사육은 소똥구리 야외증식 매뉴얼(NIE, 2023)에 따라 곤충온실과 야외 사육시설에서 수행되었다. 사육용 상자(623×437×326mm)에는 세척된 강모래와 질석을 1:1 비율로 혼합한 인공토양을 2/3 이상 채워 넣었다. 곤충온실 내 사육환경은 온도 30℃를 유지하도록 설정하였으며, 소똥구리는 암수 2~3쌍씩 다양한 크기의 개체로 증식을 시도하였다(그림 II-1-(1)).



인공토양 재료



사육장 제작 과정



방충망 설치한 철제 사육장



사육상 매립 및 조성

그림 II-1-(1). 소똥구리 사육환경 마련



## 2) 연구결과

### 가) 동면 생존율

소똥구리 동면 개체 458개체 중 250개체가 생존하여 전체 생존율은 54.6%로 나타났다. 개체 유형별로는 몽골 도입 개체 25개체(생존율 18.2%), 2024년 자손세대 225개체(생존율 70.1%)가 생존하였다(표 II-1-(1)).

실내동면 결과, 동면개체는 4월 9일 첫 활동 개체가 확인된 이후 점차적으로 동면에서 깨어났다. 5월 21일 사육상자 토양 교체 시 최종 생존 개체를 확인하였다. 실내동면의 경우 온도 순화 과정을 거쳐 비교적 안정적으로 활동을 재개하였다.

야외동면 결과, 야외 사육상에서는 3월 10일 첫 활동 개체가 관찰되었으나 재동면 후 4월 28일 재활동하다 5월 12일 폐사하였다. 본격적인 활동은 5월 13일 이후 확인되었으며, 5월 30일 잔여 동면 개체를 곤충 온실로 이동시켜 온도 순화를 진행하였다.

유형별 생존율을 분석한 결과, 몽골 도입개체의 생존율(18.2%)이 2024년 자손세대(70.1%)에 비해 현저히 낮은 것으로 나타났다. 이는 도입 개체의 연령, 스트레스, 적응도 등이 영향을 미친 것으로 판단되며, 향후 도입 개체의 동면 관리 방법 개선이 필요할 것으로 보인다.

표 II-1-(1). 소똥구리 동면 생존율

개체유형	동면개체	폐사체	생존 개체수	생존율(%)
도입개체	137	112	25	18.2
2024년 자손개체	321	96	225	70.1
합계	458	208	250	54.6

### 나) 기상 요인에 따른 활동 특성 분석

기온 정보를 분석한 결과, 2025년은 2023년과 2024년에 비해 3월 중순과 4월 중순에 급격한 기온 상승이 관찰되었다. 특히 4월 중순 최저온도가 10℃ 이상 상승하였으며, 5월 중순에는 최저기온이 15℃ 이상으로 안정화되면서 야외동면 개체의 활동이 증가한 것으로 판단된다(그림 II-1-(4)).

반면 2025년 5월 초에는 기온 변동 폭이 이전 연도에 비해 큰 것으로 나타나, 이러한 불안정한 기온 패턴은 동면 개체들의 조기 각성 및 재동면을 유도했을 가능성이 있으며, 이로 인해 일부 개체의 생존율이 저하되었을 것으로 보인다. 따라서 기온 변동에 따른 스트레스를 최소화할 수 있는 동면 환경 개선이 필요하다고 판단된다.

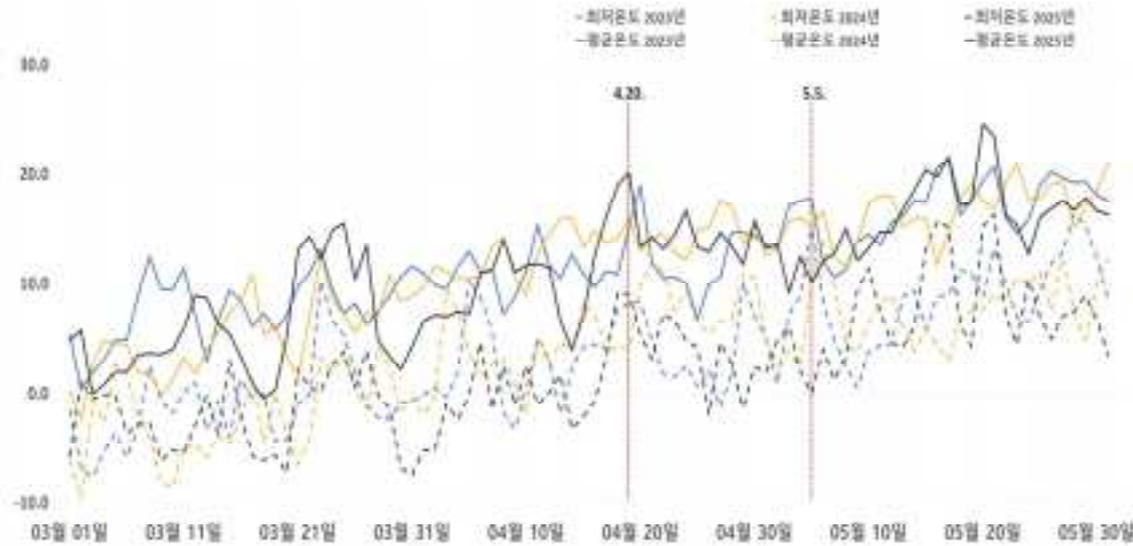


그림 II-1-(4). 소똥구리 활동 개시시기 대기온도(2023~2025)

다) 세대별/도입 개체군별 외부형질 특성비교

소똥구리의 체장, 가슴폭, 체형지수를 측정한 후, 이전 개체군 집단들과 비교하였다. 2025년 도입집단은 이전 집단들에 비해 체장이 더 길었으며, 체형지수는 2024년 자손집단, 2022년 및 2023년 부모집단, 2025년 도입집단 순으로 체장 대비 가슴폭이 상대적으로 넓은 것으로 나타났다(표 II-1-(2)).

표 II-1-(2). 소똥구리의 집단·성별 체장 및 가슴폭 비교

집단	평균±오차								
	체장			가슴폭			체형 지수(가슴폭/체장 비)		
	수컷	암컷	총계	수컷	암컷	총계	수컷	암컷	총계
2022년 부모집단 (M, n=81; F, n=101)	14.1±0.2	13.9±0.1	14.0±0.1	9.0±0.1	8.6±0.1	8.8±0.1	64.0±0.4	62.4±0.3	63.1±0.3
2023년 부모집단 (M, n=106; F, n=142)	13.9±0.1	14.2±0.1	14.1±0.1	8.9±0.1	8.9±0.1	8.9±0.0	64.0±0.2	62.6±0.2	63.2±0.2
2024년 자손집단 (M, n=162; F, n=168)	13.4±0.1	13.6±0.1	13.5±0.1	8.7±0.1	8.6±0.1	8.6±0.1	64.4±0.2	63.2±0.2	63.8±0.1
2025년 도입집단 (M, n=150; F, n=150)	14.3±0.1	14.1±0.1	14.2±0.1	9.0±0.1	8.9±0.1	8.9±0.0	59.7±0.7	58.4±0.4	59.1±0.4

### 3) 고찰

본 연구에서 소똥구리의 낮은 동면 생존율(54.6%)과 지연된 활동 개시 시기는 2025년의 이례적인 기온 패턴과 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다. 2025년은 2023년 및 2024년과 비교하여 3~4월 기온 변동 폭이 현저하게 컸으며, 특히 평년 대비 낮은 최저온도가 지속되어 소똥구리 동면해제 및 활동 개시가 지연되었다. 특히 야외동면 개체는 자연 온도 변화에 직접 노출되어 있어 기온 변화의 영향을 더욱 강하게 받았을 것으로 추정된다. 반면, 실내동면 개체는 단계적인 온도 순화 과정(15°C→20°C)을 거쳐 비교적 안정적으로 활동을 재개할 수 있었다.

한편, 동면 생존율 저하의 원인이 단순히 기온 요인만을 고려하는 것은 타당성이 부족하다. 2025년 4월 경북지역에서 발생한 대형 산불로 인해 동면 중인 개체를 긴급히 소산 대피시킨 상황도 생존율 저하에 영향을 미쳤을 가능성이 있다. 동면 중인 개체는 대사 활동이 최소화된 휴면 상태로, 이 시기의 물리적 이동이나 환경변화는 생리적 스트레스를 유발할 수 있다. 산불로 인한 소산 과정에서의 진동, 온도 변화, 새로운 환경으로 이동 등은 동면 개체에 추가적인 스트레스를 주어 생리적 안정성을 해칠 수 있다. 이러한 복합적인 환경적 요인이 동면 개체의 생존율을 저하시켰을 가능성을 배제할 수 없다. 따라서 동면 개체의 생존율이 낮게 나타난 것은 단순히 기온 변화에 의한 영향만으로 설명하기 어려우며, 자연환경에서의 교란이 중요한 추가적인 요인으로 작용했을 것으로 추정된다.

소똥구리 활동 개시 시기의 지연은 번식 기회의 감소로 이어져 개체 증식에 심각한 영향을 미쳤다. 소똥구리의 번식 활동은 주로 6~7월에 집중되는데, 이는 5월 초 동면에서 깨어난 후 1개월간 에너지를 축적한 후 산란을 시작한다. 그러나 활동 개시가 지연되면 첫 번째 산란 시기를 놓치게 되면서 연간 총 산란 횟수가 감소하고, 결과적으로 다음 세대 개체 수가 크게 줄어들게 된다.

기후변화로 인한 이상 기온 현상이 빈번해짐에 따라, 소똥구리 증식의 성공률을 높이기 위한 개선방안이 필요하다. 첫째, 실내동면 시설을 확대하여 안정적인 저온 환경을 제공하고, 실내 동면 개체들이 일정한 환경에서 활동을 재개할 수 있도록 해야 한다. 둘째, 동면 해제 시 온도 순화 과정에서 더욱 세밀한 온도 조절과 단계별 적응 기간을 설정하여 개체의 생리적 부

답을 줄여야 한다. 또한 향후 연구에서는 동면해제 시 기온과의 상관관계를 더욱 정밀하게 추적하여 임계 최저온도와 적산온도의 기준을 확립해야 한다. 이러한 기준을 바탕으로, 동면 관리와 활동 개시 시점을 보다 과학적으로 제어할 수 있을 것이다.

## 나. 번식률 및 생존율 파악을 위한 개체 관리 연구

### 1) 연구내용 및 방법

#### 가) 연구내용

소똥구리 분변은 정읍 다움농장에서 수집한 우분과 열풍 건조된 이탈리아 라이그라스를 급여한 말에서 생산된 마분을 대상으로, 소똥구리 먹이원으로서의 성분 특성을 종합적으로 분석하였다.

첫째, 두 분변의 이화학적 특성 파악을 위해 일반성분(수분, 조단백질, 조지방, 조회분, 조섬유), 섬유소(NDF, ADF), 주요 무기물(Ca, P, K, Mg), pH, 탄질비율 습물(as-fed)과 건물(dry matter) 기준으로 분석하였다. 이를 통해 우분과 마분의 영양 구성, 발효 잠재력, 분해 특성 등 기초적 물리·화학적 특성을 정량적으로 확보하였다.

둘째, 확보된 성분 분석 결과를 바탕으로 두 분변의 영양 특성을 비교하였으며, 소똥구리 생육에 영향을 줄 수 있는 주요 지표(질소·탄소 비율, 섬유 구성, 무기물 함량, 발효 가능성 등)를 중심으로 먹이자원으로서의 활용 가능성을 분석하였다. 이를 통해 우분과 마분의 성분적 차이, 소똥구리 사육과 먹이 체계 구축 시 적용 가능성을 검토하였다.

모든 성분 분석은 시료당 3회 반복 측정하여 평균값을 산출하였으며, 이를 기초로 두 분변의 특성 비교와 활용 가치 평가를 수행하였다.

#### 나) 연구방법

##### - 시료 채집 및 전처리

우분 시료는 (사)친환경축산협회에서 방목생태축산농장으로 인증된 정읍 다움농장에서 사육 중인 소의 분변, 마분 시료는 멸종위기종복원센터에서 사육 중인 말에게 열풍 건조한 이탈리아 라이그라스를 주사료로 급여한

말의 분변을 각각 300~400g 채취하였다. 두 시료는 외부 오염과 성분 변질을 방지하기 위해 즉시 밀봉하였으며, 분석 전까지 영하 60℃의 초저온 냉동고 (Deep Freezer)에 보관하였다.

#### - 일반성분 및 이화학적 분석

(주)오에티씨에서 영양분석을 의뢰하였고, 분석 방법은 농림축산식품부 고시 제2024-312호 「사료표준분석방법」과 식품의약품안전처 고시 제2025-56호 「식품의 기준 및 규격」에 제시된 시험법을 준용하였다. 수분 함량은 상압 가열건조법을 이용하여 습물 기준 수분을 측정하였으며, 조단백질은 Kjeltac(켈텍) 자동분석 시스템을 활용해 총 질소량을 정량한 뒤 질소계수 (N×6.25)를 적용하여 산출하였다. 조지방은 산분해-에테르추출법으로 분석하였고, 조회분은 건식회화법을 통해 잔류 무기물 함량을 측정하였다. 조섬유는 헨네베르크-스토오만 개량법을 적용하였으며, 섬유소(NDF, ADF)는 세포벽 구성성분 분석법으로 정량하였다. 주요 무기물(Ca, P, K, Mg)은 시료 분해 후 ICP-OES를 이용해 측정하였고, pH는 시료 현탁액을 조제하여 사료분석법에 따라 평가하였다. 탄수화물 함량은 식품공전 환산식(탄수화물(%) = 100-단백질(g/100g)-회분(g/100g)-지방(g/100g)-수분(g/100g))에 따라 계산되었다.

#### - 건물(Dry Matter, DM) 기준 환산 적용

우분과 마분의 성분을 객관적으로 비교하기 위해 모든 분석값은 습물 (as-fed) 기준과 건물(dry matter, DM) 기준으로도 환산하였다. 분변 시료는 채취 시점이나 보관 환경에 따라 수분 함량 변동 폭이 크며, 수분은 영양적 가치 없이 성분 농도만 희석시키므로 습물 기준만으로는 실제 영양·발효 특성을 정확히 비교하기 어렵다. 이러한 이유로 사료영양학 분야에서는 종류가 다른 사료 간 성분 비교를 건물 기준에서 수행하는 것이 국제 표준 방식으로 적용해 왔으며(Reiling, 2023), 주요 영양 요구량 지표도 대부분 건물 기준 자료를 기반으로 제시되고 있다(NASEM, 2021).

건물 기준 분석은 시료 간 수분 차이를 제거하여 단백질, 섬유, 무기물, 탄소, 질소 등의 실제 농도와 발효·분해 특성을 정밀하게 평가할 수 있게 해주며, 이는 소똥구리가 섭취하는 유기물과 미생물 활성 기질을 과학적으로 해석하는데 필수적이다(Reiling, 2023; NASEM, 2021). 따라서 본 연구에서는 우분과 마분

의 성분 특성과 생육 적합성을 비교하기 위해 건물 기준 성분 분석을 병행하였다. 일반성분인 조단백질, 조지방, 조회분, 조섬유 등은 습물 기준(%)으로 산출한 후 아래 식에 따라 건물 기준(%)으로 환산하였다.

여기서  $X_{wet}(\%)$ 은 습물 기준 함량,  $Moisture(\%)$ 는 습물 기준 수분 함량을 의미한다.

$$X_{DM} (\%) = [X_{wet} (\%) / 100 - Moisture (\%)] \times 100$$

#### - 탄소 및 질소 함량 분석을 통한 탄질비 산정

탄소량은 조회분 함량을 Van Bemmelen factor (1890)을 적용하여 산출하였다. 토양 및 유기물질 내 유기탄소로부터 총 유기물량을 추정하기 위하여 사용되는 변환계수로, 일반적으로 1.8의 범위를 갖는다.

$$C (\%) = [100 - 조회분 (\%)] / 1.8$$

질소량은 조단백질 함량을 킬달(Kjeldahl) 방법으로 측정한 질소 함량에 6.25를 적용하여 산정하였고, 이 수치는 국제적으로 널리 사용되는 표준 환산계수이다(Mariotti *et al.*, 2008).

$$N (\%) = 조단백질 (\%) / 6.25$$

탄질비는 탄소량을 질소량으로 나누어 산출하였고, 이는 국제적으로 통용되는 토양분석 기준을 따랐다(Bernal *et al.*, 2009).

$$C/N = 탄소량 (\%) / 질소량 (\%)$$

## 2) 연구결과

### 가) 습물 기준 성분 비교

우분과 마분의 습물 기준 성분 분석 결과, 두 시료의 수분 함량은 각각 81.10%, 80.75%로 유사한 수준을 보였다. 조단백질은 우분 2.12%, 마분 1.42%로 우분이 약 1.5배 높았으며, 조지방도 우분 1.36%, 마분 0.55%로 우분에서 약 2.5배 높은 수치를 나타냈다. 반면 조섬유는 우분 7.43%, 마분 11.01%로 마분이

더 높은 섬유 함량을 보였다(표 II-1-(3)). 그러나 두 시료 모두 수분 함량이 80% 이상으로 매우 높기 때문에, 습물 기준 수치는 실제 영양성분의 상대적 차이를 명확히 반영하지 못한다. 수분이 성분 농도를 희석시키므로, 시료 간 실질적 영양 구성 및 발표 특성을 객관적으로 비교하기 위해서는 건물 기준 분석이 필수적이다.

표 II-1-(3). 먹이원 성분(우분, 마분) 검사 결과서

항목	단위	우분				마분			
		우분1	우분2	우분3	평균	마분1	마분2	마분3	평균
수분	%	80.22	81.63	81.46	81.10	80.96	80.78	80.51	80.75
탄수화물	g/100g	13.47	12.14	12.68	12.76	12.37	15.45	15.28	14.37
조단백질	%	2.34	2.02	2.00	2.12	1.40	1.38	1.47	1.42
조지방	%	1.27	1.59	1.23	1.36	0.75	0.34	0.55	0.55
총질소	%	0.35	0.35	0.3	0.33	0.16	0.18	0.19	0.18
조회분	%	2.86	2.46	2.77	2.70	2.23	2.33	2.48	2.35
조섬유	%	7.29	7.37	7.63	7.43	10.91	11.38	10.75	11.01
NDF	%	11.53	10.95	10.72	11.07	11.24	11.72	12.69	11.88
ADF	%	8.93	9.57	8.60	9.03	9.14	10.5	10.82	10.15
칼슘	%	0.44	0.29	0.31	0.35	0.05	0.03	0.04	0.04
인	%	0.10	0.08	0.09	0.09	0.15	0.09	0.1	0.11
칼륨	%	0.17	0.15	0.14	0.15	0.14	0.15	0.17	0.15
마그네슘	%	0.09	0.08	0.09	0.09	0.04	0.03	0.03	0.03
PH	-	8.65	9.07	8.84	8.85	8.21	8.04	8.08	8.11

#### 나) 건물 기준(Dry Matter Basis) 성분 비교

건물 기준 분석 결과, 우분은 조단백질(11.20%), 조지방(7.24%), 조회분(14.26%) 등 주요 영양성분이 마분보다 높은 함량을 나타내어 영양밀도가 상대적으로 풍부한 특성을 보였다(표 II-1-(4)). 이는 가축 분뇨 중 단백질·질소 성분이 곤충 성장에 주요 요인으로 작용한다는 선행연구와 유사한 양상이다(Hanski & Cambefort, 1991).

반면 마분은 조섬유(57.22%)와 NDF, ADF 등 섬유소의 비율이 매우 높아, 건초 기반 사료의 일반적 특성과 유사한 고섬유 구조를 보였다. 이러한 고섬유·저질소 구조는 발효 속도가 느리고 미생물 활성도가 낮은 것으로 알려져 있다(Bernal *et al.*, 2009). 이는 마분이 소똥구리의 성장을 위한 단독 먹이원으로는 제한적일 수 있음을 시사한다.

### 다) 무기물 및 pH 특성

무기물 분석 결과, 우분은 칼슘(Ca) 1.83%, 마그네슘(Mg) 0.46%로 마분에 비해 월등히 높은 함량을 보였으며, 이는 발효 미생물 활성을 촉진하고 유기물 분해 효율을 향상시킬 수 있는 요소로 평가된다(Bernal *et al.*, 2009). 이는 우분이 미생물 기반 발효 과정에 보다 적합한 기질임을 나타낸다. 인(P)은 우분 0.48%, 마분 0.59%로 큰 차이는 없었다. 전반적으로 우분이 미생물 성장과 발효에 유리한 무기물 구성이며, pH는 두 시료 모두 약알칼리성을 보였으며, 우분에서 상대적으로 높은 알칼리성이 관찰되었다. 이는 분변 발효 과정에서 미생물 활성화와 유기물 분해가 원활히 일어나는 일반적인 발효 조건과 유사한 양상이다(Ge *et al.*, 2021).

표 II-1-(4). 건물(Dry Matter, DM) 기준 환산 적용

항목	단위	우분				마분			
		우분1	우분2	우분3	평균	마분1	마분2	마분3	평균
탄수화물	g/100g	68.10	66.09	68.39	67.53	64.97	80.39	78.40	74.58
조단백질	%	11.83	11.00	10.79	11.20	7.35	7.18	7.54	7.36
조지방	%	6.42	8.66	6.63	7.24	3.94	1.77	2.82	2.84
총질소	%	1.77	1.91	1.62	1.76	0.84	0.94	0.97	0.92
조회분	%	14.46	13.39	14.94	14.26	11.71	12.12	12.72	12.19
조섬유	%	36.86	40.12	41.15	39.38	57.30	59.21	55.16	57.22
NDF	%	58.29	59.61	57.82	58.57	59.03	60.98	65.11	61.71
ADF	%	45.15	52.10	46.39	47.88	48.00	54.63	55.52	52.72
칼슘	%	2.22	1.58	1.67	1.83	0.26	0.16	0.21	0.21
인	%	0.51	0.44	0.49	0.48	0.79	0.47	0.51	0.59
칼륨	%	0.86	0.82	0.76	0.81	0.74	0.78	0.87	0.80
마그네슘	%	0.46	0.44	0.49	0.46	0.21	0.16	0.15	0.17

### 라) 탄질비(C/N ratio) 분석

탄질비 분석은 소똥구리의 먹이원으로 우분과 마분의 발효가능성과 미생물 활성도를 평가하는데 중요한 지표이다. 분석 결과, 우분은 평균 26.61(unitless)로 나타났으며, 발효 활성 및 미생물 증식에 적합한 범위를 나타냈다. 탄질비 범위인 20~30(unitless)은 유기물 발효의 최적 조건으로 널리 알려져 있으

며(Bernal *et al.*, 2009), 이는 우분의 신속한 분해 및 미생물 이용성이 높다는 것을 의미한다. 반면 마분은 평균 41.47(unitless)로 질소가 부족하고 탄소 비율이 상대적으로 높은 고탄소 기질의 전형적 특성을 보였다. 이와 같은 높은 탄질비는 분해 속도 지연, 발효 저해, 미생물 활성 감소와 연관되어 있으며, 이는 마분 단독 사용이 소똥구리 먹이로서 비효율적일 수 있음을 의미한다(표 II-1-(5)).

표 II-1-(5). 먹이원 분변(우분, 마분) 건물 기준 탄질비 비교

항목	우분				마분			
	우분1	우분2	우분3	평균	마분1	마분2	마분3	평균
탄소량	47.52	48.12	47.26	47.63	49.05	48.82	48.49	48.79
질소량	1.89	1.76	1.73	1.79	1.18	1.15	1.21	1.18
탄질비	25.11	27.34	27.37	26.61	41.71	42.50	40.19	41.47

### 3) 고찰

본 연구에서 사용된 먹이원은 정읍 다움농장의 소 분변과 멸종위기종복원 센터에서 사육 중인 말에게 열풍 건조된 이탈리아 라이그라스를 급여 후 말에서 생산된 분변으로 한정된 것은 단순한 재료 선택의 문제가 아니라, 멸종위기종인 소똥구리 연구에서 요구되는 과학적·보전적·실험적 제약을 고려한 필수적인 설계였다.

소똥구리는 우리나라에서 멸종위기 야생생물 II급으로 지정된 종으로, 실험 과정에서 개체 손실을 최소화하고 사육 실패 가능성을 줄이는 것이 핵심 전제로 요구된다(Hanski & Cambefort, 1991). 이러한 보전적 특성 때문에 국내외 선행 연구에서도 먹이원을 무제한 확장하기보다는, 실제 생태환경을 대표하고 실험실에서 안정적 수급이 가능한 1~2종의 가축 분변을 표준화해 사용하는 방식이 일반적으로 채택되어 왔다(Scholtz *et al.*, 2009).

특히 소와 말 분변은 동북아시아 및 유라시아 초지 생태계에서 소똥구리가 실제로 접하는 주요 분변 자원으로, 단백질·질소·섬유 구조 등 분변의 영양·물리적 특성이 소똥구리의 번식 성공과 유충 발달에 직접적 영향을 주는 것으로 알려져 있다(Holter & Scholtz, 2007). 더불어 가축의 사료 구성은 분변의 질과 발효 특성을 결정하며, 이는 분변성 곤충의 생육 결과와 연관된다(Heddle

et al.,2024).

또한, 최근 연구에서는 가축 분변 내 구충제·살충제 잔류물(ivermectin, cypermethrin 등)이 소똥구리의 생존과 번식에 치명적인 영향을 미칠 수 있음이 보고되고 있어, 분변의 출처를 통제하는 것이 보전연구의 필수조건으로 강조된다. 이에 본 연구는 사료 체계, 위생 관리, 약제 사용 이력이 명확히 관리된 협력 농장의 우분과 멸종위기종복원센터에서 사육하고 있는 말의 분변을 사용함으로써, 독성·병원체·환경 변동 등 잠재적 위험요인을 최소화하고 실험의 재현성을 확보하였다.

소똥구리의 실내사육을 위한 먹이원 분석 결과 첫째, 우분은 건물 기준 조단백질·조지방·조회분 등 핵심 영양성분이 높고, 섬유질 수준이 상대적으로 낮으며, 발효에 적합한 탄질비를 유지하는 등 영양 밀도형이자 발효 친화적인 분변 특성을 보였다. 이러한 성분적 특징은 소똥구리의 번식, 유충 성장 과정에서 요구되는 영양·미생물·물리적 조건과 높은 부합성을 갖는다.

선행연구에서도 소·말 분변이 소똥구리류 군집의 주요 기질로 사용되어 왔으며(Hanski & Cambefort, 1991; Holter & Scholtz, 2007), 특히 소 분변은 소똥구리류의 번식 성공률을 높이는 기준 먹이원으로 활용되고 있어 본 연구 결과와 일관된 경향을 보인다(Scholtz et al., 2009). 둘째, 마분은 대체 먹이자원 후보로 고려할 수 있으나, 단독 먹이로 사용하기에는 구조적·영양학적 제약이 크다. 높은 조섬유 및 NDF·ADF 함량은 분변의 물리적 경도를 증가시켜 소똥구리의 굴착 및 경단 형성 활동을 저해할 수 있으며, 탄질비가 41 수준으로 질소가 부족하고 탄소가 과도하게 높은 조성은 발효 속도를 늦추고 미생물 활성도를 떨어뜨린다(Bernal et al., 2009). 이러한 점을 고려할 때 마분은 우분을 대체하는 기본 먹이원이기보다는, 우분과 혼합하여 재료의 특성을 조절하거나 구조를 보완하는 보조적 역할로 사용하는 적합한 것으로 판단된다.

따라서 본 연구는 우분이 소똥구리 먹이로서 마분보다 우수하다는 점을 성분 분석과 생태적 근거를 바탕으로 제시하였으며, 마분은 보조적 활용이 타당하다는 결론을 도출하였다. 향후 연구에서는 먹이원 조성 변화에 따른 분변 성분 변동, 분변 제공 방식에 따른 번식 성공률 및 유충 생존율 변화 등 생물학적 지표를 통합적으로 분석함으로써 보다 정교한 사육 표준과 현장 적용 매뉴얼을 개발할 필요가 있다.

## 2. 수염풍뎅이

### 가. 수염풍뎅이 발생조사

#### 1) 연구내용 및 방법

##### 가) 연구내용

본 연구는 멸종위기종인 수염풍뎅이의 알과 유충 단계에서 침수 환경에 얼마나 견디는지를 평가하기 위해 수행하였다. 하천 인근 둔치 지역에 주로 서식하는 종의 특성상, 집중호우나 홍수 시기에 침수로 인한 생존 영향이 큰 것으로 판단되어 알과 유충을 대상으로 침수실험을 진행하였다.

##### 나) 연구방법

###### - 알 침수 방법

수염풍뎅이의 알을 산란 24시간 이내의 건강한 알을 선별하고, 크기와 색이 동일한 조건의 알을 사용하였다. 침수(수분 과다 환경) 조건에서 일정 기간(대조군: 0시간, 실험군: 1, 3, 6, 12, 24, 48, 72, 120, 168, 240시간)을 물속에 두고 꺼낸 후에 부화 여부 확인하고자 하였다.

멸균된 페트리 디쉬, 50 mL 코니칼 튜브, 생수를 준비하고, 순수 침수(물 단독)는 코니칼 튜브에 45 mL 이상 생수를 채우고, 알을 하나씩 넣은 다음 파라필름으로 입구를 막아 알이 완전 침수되도록 만든다. 자연 침수(토양위에 알을 놓고 물을 채움)는 코니칼 튜브에 30 mL 정도 흙을 채운 후 짹짹 눌러 다진 후 그 위에 흙을 10 mL 이상 넣고 살짝 다져놓고 가운데 알이 들어갈 흙을 파 놓는다. 그리고 생수를 벽 쪽으로 조심스럽게 부어서 흙과 알이 잠기게 한다. 마지막으로 위에는 파라필름으로 입구를 막았다. 침수시킨 알은 일정 온·습도( $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ ,  $60\pm 5\%$ )의 조건으로 유지하였다. 부화 여부는 매일 관찰 하였다.

###### - 유충 침수 방법

수염풍뎅이의 1령 유충을 비슷한 크기로 선별하여 알과 동일한 조건으로 처리를 하였다. 침수(수분 과다 환경) 조건에서 일정 기간(대조군: 0시간, 실험군: 1, 3, 6, 12, 24, 48, 72, 120, 168, 240시간)을 물속에 두고 꺼낸 후에 일정 시간을 놓아 두고 움직임 유무로 생존을 확인하고자 하였다.

멸균된 페트리 디쉬, 50 mL 코니칼 튜브, 생수를 준비하고, 순수 침수(물 단독)는 코니칼 튜브에 45 mL 이상 생수를 채우고, 유충을 하나씩 넣은 다음 멸균 솜으로 입구를 막아 알이 완전히 침수되도록 만들었다. 자연 침수(토양 위에 알을 놓고 물을 채움)는 코니칼 튜브에 30 mL 정도 흙을 채운 후 짹 짹 눌러 다진 후 그 위에 흙을 10 mL 이상 넣고 살짝 다져놓고 가운데 유충이 들어갈 홈을 파 놓았다. 그리고 생수를 벽 쪽으로 조심스럽게 넣어서 흙과 유충이 잠기게 한다. 마지막으로 위에는 멸균 솜으로 입구를 막았다. 침수시킨 유충은 일정 온·습도( $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ ,  $60\pm 5\%$ )의 조건으로 유지하였다. 침수실험이 끝난 유충은 꺼내어서 발효 톱밥과 모래를 섞은 사육재 petri dish에 놓고 생존 여부를 확인하며, 생존은 일정 시간 지난 후에 움직임 여부를 확인하였다.

## 2) 연구결과

### 가) 알의 침수 내성

수염풍뎅이 알의 침수 시간에 따른 생존 특성을 알아보기 위하여, 대조군(침수 없음)과 실험군(1~240시간 침수)을 대상으로 실험을 수행하였다. 실험은 '알을 넣고 물만 채운 조건'과 '토양 위에 알을 놓고 물을 채운 조건'의 두 가지 환경에서 각각 알 3개씩 반복하여 진행하였다(그림 II-2-(1)).



그림 II-2-(1). 수염풍뎅이 알의 순수 침수(좌) 및 토양 침수(우) 내성 실험

대조군(0시간)에서는 두 조건 모두에서 생존율 100%를 보여, 실험 개체의 초기 건강 상태는 양호함을 확인할 수 있었다. 실험군의 경우, 침수 1시간, 3시간, 6시간까지는 두 조건 모두에서 생존율 100%를 유지하여 단기 침수에 대한 높은 내성을 보였다. 그러나 침수 12시간부터는 조건별 차이가 나타났는데, 물만 채운 조건에서는 여전히 100% 생존하였으나 토양 위에 알을 둔 조건에서는 생존율이 33.3%로 급격히 감소하였다. 침수 24시간에서는 물만 채운 조건에서 100% 생존이 유지되었으나, 토양 조건에서는 66.7%로 다소 회복되는 양상을 보였다. 반면 침수 48시간 이후부터는 두 조건 모두에서 생존율이 뚜렷하게 감소하였다. 48시간과 60시간 침수 시 물만 채운 조건에서는 66.7%의 생존율을 보였으나, 토양 조건에서는 각각 33.3%와 0%로 급감하였다. 침수 120시간 이후에는 생존율이 더욱 낮아져, 물만 채운 조건에서는 120시간에 33.3%만이 생존하였고, 168시간과 240시간에서는 모든 개체가 폐사하여 생존율 0%를 나타냈다. 토양 조건에서도 동일하게 120시간 이후에는 생존이 거의 확인되지 않았고, 168시간에서는 33.3%의 낮은 생존율을 보인 후, 240시간에서는 전 개체가 폐사하였다.

본 실험 결과, 수염퐁뎅이 알은 단기 침수(6시간 이내)에 대해서는 매우 높은 내성을 가지는 것으로 확인되었으나, 12시간 이상 장기 침수 시에는 조건에 따라 생존율이 급격히 감소하는 경향을 보였다. 특히 토양 위에 알을 둔 상태에서 침수될 경우 생존율 저하가 더 빠르게 나타나, 토양 내 산소 공급 차단과 미생물 활성 증가 등의 영향이 생존에 부정적인 영향을 미친 것으로 판단된다. 또한 48시간 이상 침수는 알의 생존에 치명적인 영향을 미치며, 120시간 이후에는 대부분 폐사하는 것으로 확인되었다(표 II-2-(1)).

표 II-2-(1). 수염퐁뎅이 알의 시간대별 침수 내성 조사

그룹	침수시간(h)	개체수	침수 조건 및 생존율(%) (O: 생존, X: 사망)			
			알 + 물		알 + 토양 + 물	
대조군	0	3	100	침수 없음	100	침수 없음
실험군	1	3	100	O, O, O	100	O, O, O
	3	3	100	O, O, O	100	O, O, O
	6	3	100	O, O, O	100	O, O, O
	12	3	100	O, O, O	33.3	X, X, O
	24	3	100	O, O, O	66.7	X, O, O
	48	3	66.7	O, O, X	33.3	X, O, X
	60	3	66.7	O, X, O	0	X, X, X
	120	3	33.3	X, O, X	0	X, X, X
	168	3	0	X, X, X	33.3	X, X, O
	240	3	0	X, X, X	0	X, X, X

## 나) 유충의 침수 내성

수염풍뎅이 1령 유충의 침수 시간에 따른 생존 특성을 알아보기 위해, 대조군(침수 없음)과 실험군(1~240시간 침수)을 대상으로 '유충을 넣고 물만 채운 조건'과 '토양 위에 유충을 놓고 물을 채운 조건'에서 각각 3개체씩 반복 실험을 수행하였다(그림 II-2-(2)).



그림 II-2-(2). 수염풍뎅이 유충의 순수 침수(좌)와 토양 침수(우) 내성 실험

대조군(0시간)에서는 두 조건 모두에서 생존율 100%를 기록하여 실험 개체의 초기 건강 상태가 양호함을 확인하였다. 실험군의 경우, 침수 1시간, 3시간, 6시간, 12시간, 24시간까지는 두 조건 모두에서 생존율 100%를 유지하여, 1령 유충은 24시간 이내의 단기 침수에 대해 매우 강한 내성을 보이는 것으로 나타났다.

그러나 침수 48시간 이후부터는 생존율이 뚜렷하게 감소하였다. 48시간 침수 시 물만 채운 조건에서는 생존율 66.7%, 토양 조건에서는 33.3%로 낮아졌다. 60시간 침수에서도 동일하게 물 조건 66.7%, 토양 조건 33.3%로 나타나, 토양 조건에서 생존율 감소가 더 빠르게 진행됨을 확인할 수 있었다.

120시간 침수에서는 두 조건 모두에서 생존율이 33.3%로 급감하였으며, 168 시간에서는 물 조건에서만 33.3%가 생존하고 토양 조건에서는 전 개체가 폐사하였다. 240시간 침수에서는 두 조건 모두에서 생존율 0%로 나타나, 장기 침수는 1령 유충의 생존에 치명적인 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

수염풍뎅이의 알과 1령 유충 모두 24시간 이내의 단기 침수에는 비교적 강한 내성을 가지는 것으로 확인되었다. 그러나 48시간 이상 침수부터는 생존율이 급격히 감소하며, 특히 토양 조건에서 더 빠른 폐사가 나타나는 공통된 경향을 보였다(표 II-2-(2)).

표 II-2-(2). 수염풍뎅이 1령 유충의 시간대별 침수 내성 조사

그룹	침수시간 (h)	개체수	침수 조건 및 생존율(%) (O: 생존, X: 사망)			
			유충 + 물		유충 + 토양 + 물	
대조군	0	3	100	침수 없음	100	침수 없음
실험군	1	3	100	O, O, O	100	O, O, O
	3	3	100	O, O, O	100	O, O, O
	6	3	100	O, O, O	100	O, O, O
	12	3	100	O, O, O	100	O, O, O
	24	3	100	O, O, O	100	O, O, O
	48	3	66.7	O, O, X	33.3	X, O, X
	60	3	66.7	O, O, X	33.3	O, X, X
	120	3	33.3	O, X, X	33.3	O, X, X
	168	3	33.3	X, O, X	0	X, X, X
	240	3	0	X, X, X	0	X, X, X

또한, 알과 1령 유충 모두 120시간 이상의 장기 침수에서는 생존이 극히 제한적이며, 240시간 침수 시에는 전 개체가 폐사하였다. 이는 수염풍뎅이 초기 발육단계가 장기적인 침수 환경에 매우 취약함을 시사하며, 하천 범람이나 집중호우로 인한 장기간 토양 침수는 개체군 유지에 치명적인 영향을 미칠 수 있음을 의미한다.

## 나. 비행 행동 분석

### 1) 연구내용 및 방법

#### 가) 연구내용

멸종위기종 수염풍뎅이의 비행 행동 패턴을 파악하여 활동성과 서식지 이용 특성을 규명하고자 수행되었다. 수염풍뎅이는 야간 활동성이 높은 대형 풍뎅이로 알려져 있으나, 실제 자연 서식지에서의 이동 거리, 활동 시간대, 미소 서식지 선호도 등 기초생태 정보가 매우 부족한 실정이다.

#### 나) 연구방법

##### - 야외 비행 행동 분석

서식지에서 수염풍뎅이의 비행 행동을 알아보기 위하여 청주시 옥산교 및 인근 하천 둔치 지역을 중심으로 야간 등화에 유인되는 암·수의 비행시각 및 행동 패턴을 분석하였다. 비행을 시작하는 일몰 무렵 저녁부터 해가 지고 비행이 끝날 때까지 시간을 기록하였다.

##### - Flight-mill을 활용한 비행 행동 분석

수염풍뎅이는 여름 6~7월 약 두 달간 성충으로 우화하고 성충을 확보하기 어려운 문제가 있어, 예비실험을 통해 기술을 확보하고, 이에 얻은 정보를 본 실험인 수염풍뎅이 성충에 적용하고자 하였다. 예비실험 대상은 흰점박이꽃무지(*Protaetia brevitarsis seulensis*)는 국내에 널리 분포하고 사육기술이 정립되어 있어 대량 확보가 용이하며, 체형·체중이 수염풍뎅이와 유사한 중·대형 풍뎅이류로 flight-mill의 성능 검증에 적합한 종으로 판단되어 선정하였다. 흰점박이꽃무지 성충(우화 후 7일 이상, 성적으로 성숙한 개체, 외형상 이상 없는 개체)을 선별하였다.

### 2) 연구결과

#### 가) 야외 비행 행동 분석

옥산교 하부에서 수행한 야간 등화에 수염풍뎅이가 유인된 평균 시각을 조사하였다. 2024년에 수컷은 20:40분이고 암컷은 21:08분으로 수컷이 먼저 출현하고 암컷이 나중에 출현하였다. 이후 최종 출현시각도 수컷이 늦은 시

각까지 출현하였지만 암컷은 수컷보다 짧게 비행하였다. 이에 평균 출현 시각은 수컷이 20:50분경, 암컷은 21:00분경이다. 2025년에 수컷은 20:38분이고 암컷은 21:10분으로, 2024년과 비슷한 경향이였다. 이후 최종 출현시각도 수컷이 23:47분, 암컷이 22:20분으로 수컷이 늦은 시각까지 출현하였다. 이에 평균 출현시각은 수컷이 20:56분경, 암컷은 21:47분경이다.

일몰 시각이 19시 40분~20시 사이로 해가 지고 어두워지기 시작하면 수컷이 활발하게 비행하기 시작하며 밝은 빛 쪽으로 유인된다. 야생에서는 수컷이 암컷을 찾기 위해 비행하는 시간대인 것으로 생각되며, 이후 해가 지고 완전히 어두워지면 수컷을 만나지 못한 암컷이 비행을 시작하는 것으로 보인다. 따라서 수컷이 먼저 활동하고 암컷이 나중에 활동하는 것으로 보인다. 야간 등화에 유인되어 비행하는 시간대는 수컷이 늦게까지 비행하며 20:30~24:00 이전에 비행이 끝났다. 암컷은 21:00~23:30 전후에 비행을 마쳤다. 하지만, 자연에서 하천의 도로 가로등이 있는 경우, 새벽 2~3시경에도 새로운 성충이 유인되는 결과로 보아 드물게 새벽에도 비행하는 개체가 있을 것으로 생각된다.

평균 출현 시간대를 비교해 보면, 수컷은 비슷하다고 볼 수 있으나, 암컷은 2024년에 20:56분, 2025년에 21:47분으로 시간상으로 크게 차이난데 이는 비행하여 날아오는 개체수의 차이이고, 대부분 수컷이 날아오고, 날씨에 따라 늦게까지 비행하기 때문에 수컷의 출현 시각 편차가 크게 나타난 것으로 보인다(표 II-2-(3)).

표 II-2-(3) 2024-2025년 수염풍뎅이 성충의 등화 유인시각 비교

출현시각	2024		2025	
	수컷	암컷	수컷	암컷
최초 출현시각	20:40	21:08	20:38	21:10
최종 출현시각	23:42	23:11	23:47	22:20
평균 출현시각	20:50	21:00	20:56	21:47

야간 등화를 소등 후 자연상태에서 옥산교 가로등에 유인되는 수염풍뎅이를 2시간 간격으로 조사한 결과 유인에 특정한 패턴을 보이지 않았다. 야간 등화를 소등 직후 수염풍뎅이는 곧바로 인근 풀숲으로 이동하며 5분 이내

에 다른 곳으로 이동하여 찾지 못하였고, 곧바로 다리 상부의 가로등 불빛으로 이동하는 일부 개체가 확인되었다. 이동한 개체들은 한곳에서 계속 머물지 않고, 여기저기 옮겨 다녔으며, 새벽에 새로 출현하는 종도 발견되었다. 하지만, 일단 다리 가로등으로 유인된 성충은 날이 밝아도 원서식지로 돌아가지 못하고, 한낮의 뜨거운 햇볕과 달구어진 다리 위에서 탈수되어 사망하거나, 도로쪽으로 기어가다가 로드킬되는 사례가 발견되었다. 위협요인을 줄이기 위한 대책이 필요하다.

#### 나) Flight-mill 시스템 검증 및 예비실험

흰점박이꽃무지를 대상으로 flight-mill을 활용한 예비실험을 통해 평균 비행거리, 최대 비행거리, 평균 비행속도 등의 지표를 도출하고자 하였으나, 2025년에는 충분한 실험이 이루어지지 못하였다. 이에 따라 본 실험은 2026년에 재개할 예정이며, 수염풍뎅이 성충 우화시기인 6월에 맞추어 숙련된 기술을 바탕으로 정밀하게 수행할 예정이다.

### 3. 똥보주름메뚜기

#### 가. 기초생태 및 증식기술 개발

##### 1) 연구내용 및 방법

##### 가) 연구내용

2024년 F1 세대로부터 알집(egg pod) 22개를 산란 받았으며, 증식 기술 개발을 위해 월동 조건에 따른 부화율 차이와 F2 세대 사육관리에 관한 연구를 수행하고자 하였다. 알집은 실내(사육상)와 실외(야외 사육실)로 나누어 서로 다른 월동 조건으로 관리하였고, 부화 개체(F2 세대)는 각각의 월동 장소에서 계속 사육하여 환경조건에 따른 차이를 확인하고자 하였다.

##### 나) 연구방법

알집은 2024년 6월부터 7월까지 동일 환경(온도: 25~30℃, 습도: 40~50%)에서 관리하였으며, 8월부터 실내(사육상, MLR-352H-pk)와 실외(야외 사육장)로 나누어 사육을 진행하였다(그림 II-3-(1)). 알집은 각각 사육통(SPL, Insect Breeding Dish, #310122)에 바닥재(마사토:질석=1:1)를 채운 후 1개씩 개별 관리하였다. 실내사육의 경우 저온 처리 후 부화를 위해 다시 1월부터 온도를 순화하여, 2월 중순부터 3월 사이에 부화가 이루어지도록 유도하였다(표 II-3-(1)). 부화한 F2 세대는 각 월동장소에서 썩, 밀기울 등을 공급하며 사육하였다.



그림 II-3-(1). 똥보주름메뚜기 사육상 및 야외 사육장

표 II-3-(1). 똥보주름메뚜기 알집의 실내·외 월동 조건(평균 기온)

월동 위치	알집 개수	6~7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월
실내	11	25~30℃	25℃	25℃	21℃	17 > 13 > 9 > 7 > 6℃	3℃	3 > 5℃	7 > 9 > 13℃
실외	11		27℃	23℃	16℃	7~10℃	0℃	-2℃	-1℃

## 2) 연구결과

### 가) 월동 환경에 따른 사육 특성

2024년 암컷(F1) 7개체가 산란한 알집 22개를 각각 11개씩 실내와 실외로 나누어 사육을 시도한 결과, 알집의 부화율은 실내월동 18%, 실외월동 27%로 나타났으며 전체 부화율은 22%로 확인되었다(표 II-3-(2)). 부화 결과, 특정 암컷(No.6)의 알집은 실내·외 환경에서 모두 부화하였으며, 다른 암컷(No.10)의 알집은 실외 월동 처리에서만 부화하였다. 특히 No.10 암컷의 실외 알집의 경우 2024년 12월 2개체가 한 차례 먼저 부화한 특징이 있었다(그림 II-3-(2)).

표 II-3-(2). 똥보주름메뚜기 알집 현황

암컷 번호	알집 개수	평균 산란수	평균 알 개수	실내 월동		실외 월동		총 부화율
				알집	부화	알집	부화	
No.4	5	3.14	8.3	2	0	3	0	22%
No.5	2			1	0	1	0	
No.6	4			2	2	2	2	
No.7	4			2	0	2	0	
No.8	2			1	0	1	0	
No.10	2			1	0	1	1	
No.11	3			2	0	1	0	



그림 II-3-(2). 똥보주름메뚜기 실외 월동 알집 및 2024년 12월 부화 개체

부화하지 않은 나머지 알집은 실내로 옮겨 순화(저온-고온) 과정을 다시 반복처리 했지만 부화하지 않았으며, 해체하여 확인한 결과 다수의 알집에서 피해(선충, 건조 등)가 확인되었다. 해체한 뒤 정상적인 알은 개별로 관리하였으나, 대부분 폐사하였고, 일부 알만 남은 상태이다. 해체하며 알집 내 알의 개수를 확인한 결과 평균 8.3개의 알이 알집에 있었다(그림 II-3-(3)).



그림 II-3-(3). 똥보주름메뚜기 알집 및 알집 해체

#### 나) 부화 개체 사육

총 22개체가 부화에 성공하였으며, 이 중 6개체가 성충까지 생존하였다. 1령 시기의 사망률은 68%로 나타났고, 일부 개체는 부화 직후 전유충 단계에서 탈피하지 못해 폐사하였으며, 1개체만 2-3령 시기에 폐사하였다. 월동 조건에 따른 사육 실험을 계획하였으나 부화한 개체가 적었고, 실내와 실외에서 부화한 개체의 생존을 위해 장소를 온실로 옮겨 사육을 이어갔다. 1-3령 시기 개체는 사육통에서 개별로 사육하였고(그림 II-3-(4)), 3-4령 시기부터는 사육 상자로 옮겨 넓은 공간에서 사육하였다. 먹이는 기본적으로 썩을 사육상자에 심어서 급이하였으며, 새싹밀, 밀기울, 기린초 등을 보조 먹이원으로 제공하여 사육하였다. 온실에서 개체를 사육한 결과 전반적인 생활사는 F1 세대와 유사하게 나타났다. 모든 개체가 6월 초 성충으로 탈피를 완료하였으며, 암컷 성충의 경우 추가로 지렁이 등을 먹이로 공급하여 난발육에 필요한 단백질원을 제공하였다.



그림 II-3-(4). 똥보주름메뚜기 사육 개체 1~2령 시기 관리 사진

## 4. 닳무늬길앞잡이

### 가. 비침습성 유전 분석 방법을 이용한 집단 유전 다양성 분석

#### 1) 연구내용 및 방법

##### 가) 연구내용

인공증식된 유충을 복원 서식지로 방사 전 각 개체의 유전형형을 확인하여 유전적 다양성이 고르게 구성되는 방사 개체군을 구성함으로써 유전 다양성이 낮음으로 인해서 유발될 수 있는 복원 서식지 내에서의 유전적 결함 및 근친교배 가능성을 최소화하는 복원전략을 구축하고자 하였다.

##### 나) 연구방법

##### - 유충 탈피각 회수

인공증식 유충 21개체를 1개 집단으로 구성 총 6개 집단(126개체)에 대해 1령기 유충에서 2령기 유충으로 발달하는 과정에서 생성된 유충 탈피각을 온전한 상태로 회수할 수 있는 비율을 집단별로 계산한 후 전체 유충 탈피각 회수율을 추정하였다(그림 II-4-(1)).

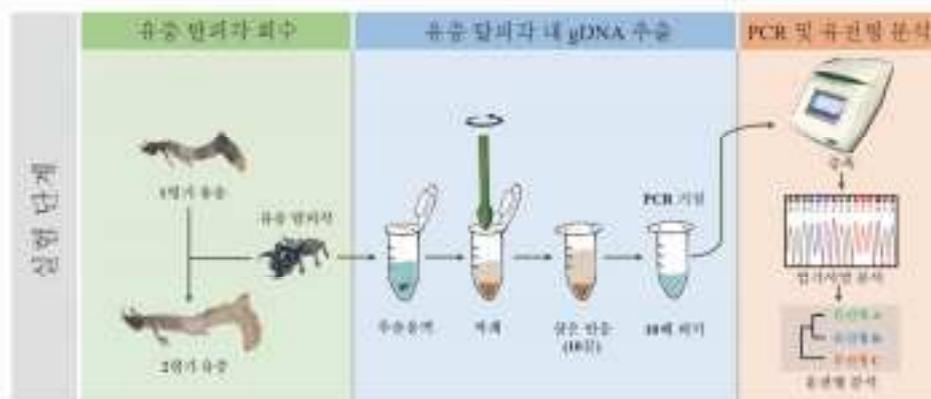


그림 II-4-(1). 비침습 유전 분석 방법을 이용한 유충 유전형 분석 도해

##### - gDNA 추출방법

상용 gDNA 추출 방법과 직접 추출 용액의 유충 탈피각 내 잔류하고 있는 gDNA 추출 효율 비교를 위해 탈피각 1개당 초기 추출 용액 용량을 200 $\mu$ L로 하여 두 추출 용액의 gDNA 추출 효율을 비교하였다. 상용 gDNA 추출 방법은 QIAGEN사

의 DNeasy Blood & Tissue kit를 사용하여 탈피각 내 gDNA를 추출하였으며, 직접 추출 용액은 DAP 추출용액(20mM sodium hydroxide 5%, polyethylene glycol 200, 5% dimethyl sulfoxide)을 사용하였다. 상용 gDNA 추출방법은 제공된 매뉴얼 내용과 동일하게 gDNA 추출하였고, 직접추출 방법은 다음과 같이 유충 탈피각 1개를 200 $\mu$ L의 DAP 추출용액이 담겨 있는 1.5mL 튜브에 넣은 후 플라스틱 막자로 갈은 후 상온에 10분간 반응시키고, 분쇄물이 완전히 침전되면 상층액 5 $\mu$ L를 PCR 기질로 사용하였다.

- 최적 희석배율

직접 추출 용액을 이용한 gDNA 추출 방법은 상용 gDNA 추출 방법에 비해 저렴한 가격, 짧은 추출 시간과 같은 장점이 있으나 흙 및 미생물 유래의 억제제 포함 여부에 따라 PCR이 저해될 수 있는 단점이 있다. 이러한 PCR 저해 현상을 제거하기 위해 최종 추출액(상층액) 희석 과정을 통해 최적 희석배율을 정립하는 과정이 필요하다. 본 연구에서는 최종 추출액을 Nuclease free water를 이용하여 2배에서 50배까지 희석한 희석 용액을 PCR하여 증폭 효율을 비교하였다.

- PCR 프라이머의 선택과 PCR 방법

유전형 분석을 위해 COI(cytochrome c oxidase I) 부위 중 닳무늬길앞잡이 4개 집단의 유전형을 구분할 수 있는 서열이 포함되어 증폭되도록 프라이머를 부위를 선정하였다(표 II-4-(1), 그림 II-4-(2)). COI 염기서열 절편 증폭을 위한 PCR 반응은 탈피각 gDNA 추출 용액 5 $\mu$ L, 42.6 $\mu$ L의 ddH<sub>2</sub>O, 1.2 $\mu$ L의 정방향 프라이머, 1.2 $\mu$ L의 역방향 프라이머를 섞은 총 50 $\mu$ L 용량의 용액을 바이오니아사의 AccuPower PCR premix 1개 튜브에 넣어 PCR 증폭을 하였다. PCR 증폭을 위한 온도 설정은 표 II-4-(2)와 같이 설정하였으며, 증폭된 최종 PCR 산물은 전기영동을 통해 추출 효율 분석 및 염기서열 분석을 통해 총 40개체를 대상으로 유전형 분석을 수행하였다.

표 II-4-(1). 닳무늬길앞잡이 유전형 분석을 위한 프라이머 정보

구 분	프라이머 명칭	염기서열
정방향 프라이머	AnCOI-st-F	5'-GTTTGGGAATTGACTTGTTCC-3'
역방향 프라이머	AnCOI-st-R	5'-GTTGATATAGAATAGGGTCCC-3'

비고: 증폭 대상 염기서열은 닳무늬길앞잡이 cytochrome c oxidase I

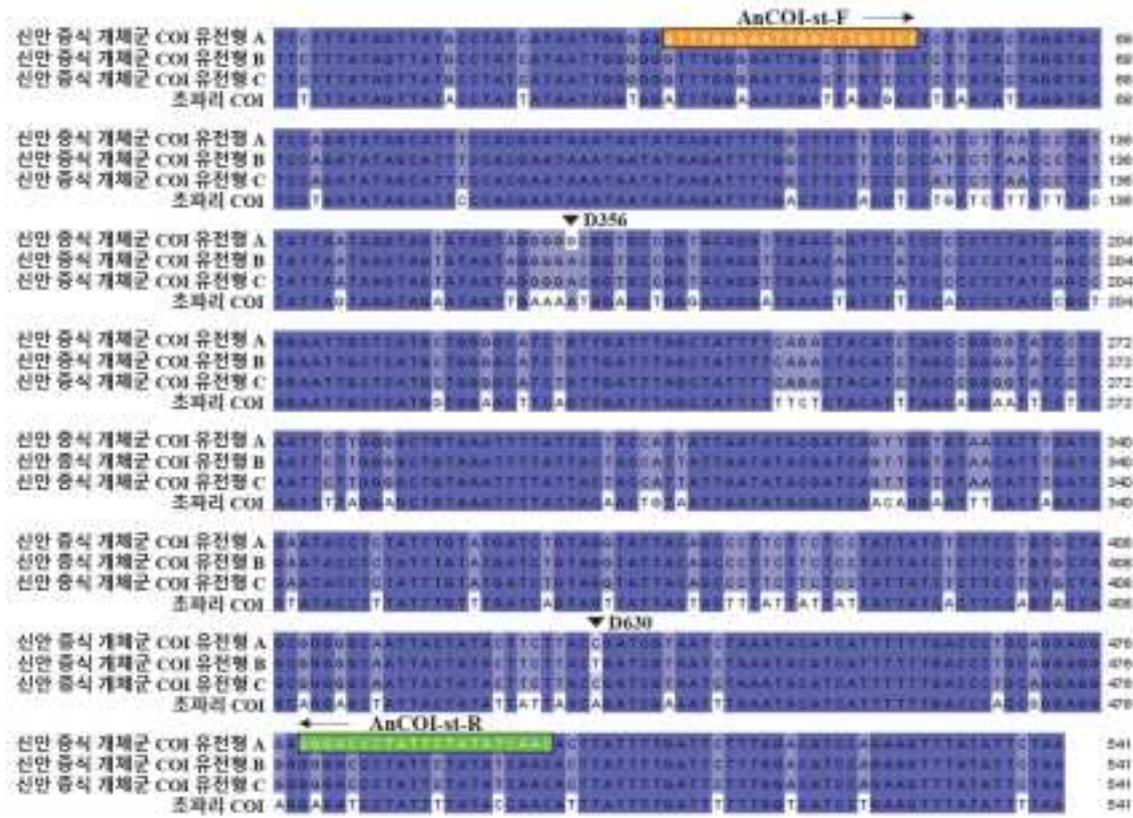


그림 II-4-(2). 닻무늬길앞잡이 유전형 분석을 위한 PCR 프라이머 위치

표 II-4-(2). 닻무늬길앞잡이 COI 염기서열 증폭을 PCR 온도 설정

구 분	전 변성	변성	풀림	신장	종결
반복횟수	1회		40회		1회
온도	95℃	95℃	56℃	72℃	72℃
소요시간	3분	30초	30초	40초	3분

- 탈피각 회수 시점

증식실 내 환경조건에서 유충이 탈피 후 모래 속에 잔류하는 탈피각이 생성된 후 어느 시점까지 신뢰성 있게 탈피각 내 gDNA를 증폭할 수 있는지 확인하였다. 총 48개의 온전한 탈피각을 증식실 환경조건(25℃, 50~60% 상대습도)에 최대 30일까지 방치한 후 5일 간격으로 8개의 탈피각을 회수하여 탈피각 내 gDNA 추출 및 PCR 증폭을 수행하였다. 8개의 탈피각 모두에서 PCR 증폭이 일정하게 나타난 시점을 유충 탈피각을 회수해야 하는 제한 시점으로 설정하였다(그림 II-4-(3)).

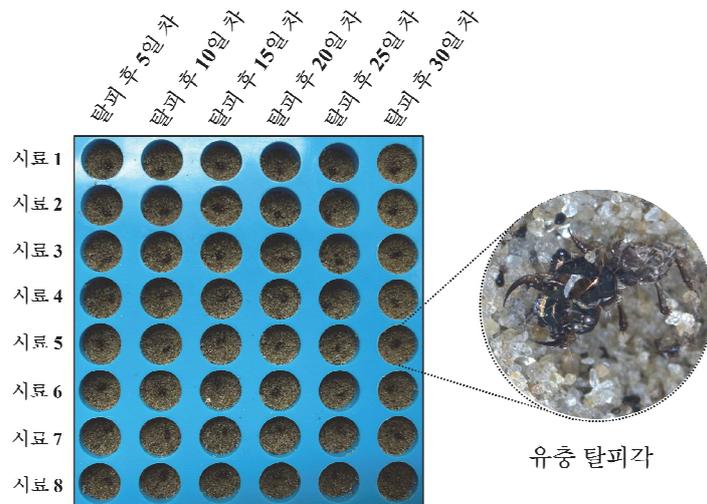


그림 II-4-(3). 탈피각 최적 회수 시점 추정을 위한 탈피각의 환경조건 반응

## 2) 연구결과

### 가) 유충 탈피각 회수율

유충 탈피각 회수율은 6개 집단(총 126개체)에서 최저 76%에서 최고 95% 수준으로 나타났으며 평균 83%의 회수율을 나타내었다(그림 II-4-(4)). 평균 83%의 유충 탈피각 회수율은 증식 개체군 내 85%의 개체에 대해 유전형을 확인할 수 있음을 시사하며, 서식지 방사 전 유전형이 다양하게 구성된 개체군을 확보할 수 있음을 나타낸다. 또한, 닳무늬길앞잡이를 서식지에 3령기 유충 형태로 방사하는 경우 총 2번(1령기→2령기, 2령기→3령기)의 탈피각을 회수할 수 있으므로 각 개체에 대한 유전형을 확인하기 위한 탈피각 회수에 어려움은 없을 것으로 생각된다.

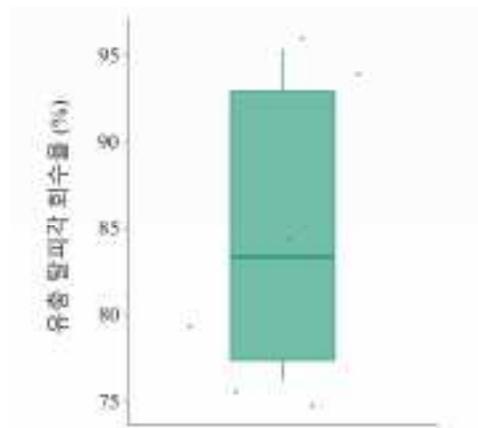


그림 II-4-(4). 증식 개체군의 유충 탈피각(1령기 →2령기) 회수율

## 나) 최적 희석배율

유충 탈피각 내 gDNA를 직접 추출 방법을 이용하여 추출한 경우 추출액을 10배 희석하였을 때 가장 높은 PCR 증폭 효율과 증폭 신뢰도를 보임을 확인할 수 있었다(그림 II-4(5)). 추출 원액의 경우는 PCR 증폭이 나타나지 않았으며, 희석물의 PCR 증폭 효율은 2배 희석부터 10배 희석까지는 증폭 효율이 증가하다가 20배 희석 이후부터는 증폭 효율이 감소하는 현상을 확인할 수 있었다. 이는 희석배율이 높아짐에 따라 추출액 내 불순물이 줄어들어 PCR 증폭 효율이 점차 증가하다 희석배율이 지나치게 높아지면 gDNA 농도가 그에 따라 감소하여 증폭 효율이 감소하는 것으로 추정된다. 또한, 10배 희석물을 이용한 PCR 증폭 효율은 대조군(DNeasy Blood & Tissue kit 사용 gDNA 추출)과 비교하였을 때 동등한 PCR 증폭 효율을 나타냄을 확인하였다.

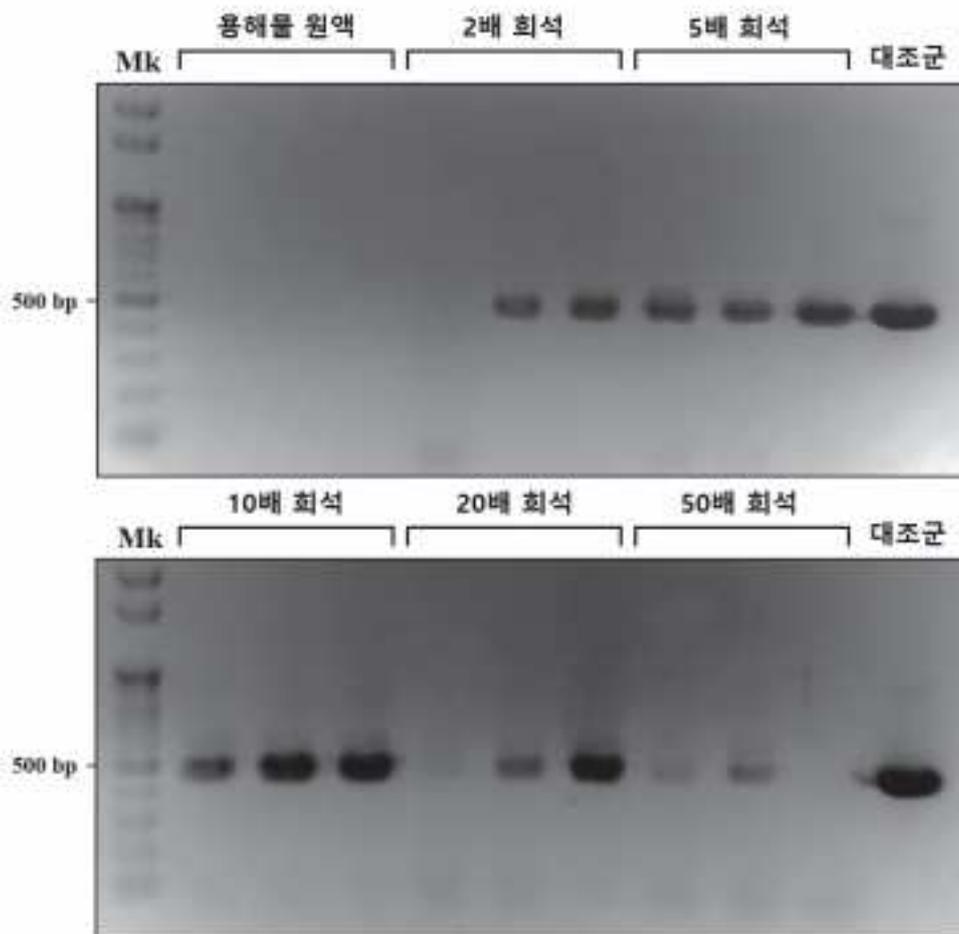


그림 II-4-(5). 희석배율에 따른 유충 탈피각 PCR 증폭 효율 비교

#### 다) 집단 내 유전형 비율

증식 개체군 내 COI 유전형 종류 및 비율을 분석하여 서식지 방사 전 유전형을 다양하게 구성할 수 있는지에 대한 여부를 확인하고자 40개체의 유충 탈피각을 이용하여 COI 유전형 분석을 위한 PCR 증폭 및 염기서열 분석을 수행하였다. 닳무늬길앞잡이 COI 염기서열을 이용한 증식 개체군 내 유전형은 3개로 확인되었으며, 비율은 각각 유전형 A(GC형)가 20%, 유전형 B(AT형)가 52.5%, 그리고 유전형 C(AC형)가 27.5%로 구성됨을 확인할 수 있었다(그림 II-4-(6)). 밝혀진 유전형 비율에 따라 방사 개체군 내 유전형 A와 C의 비율을 상승시키거나 유전형 B의 비율을 감소시켜 집단을 구성함으로써 유전적 다양성이 고루 분포하는 증식 개체군을 구성 및 방사하는 전략을 적용할 수 있을 것으로 생각된다.

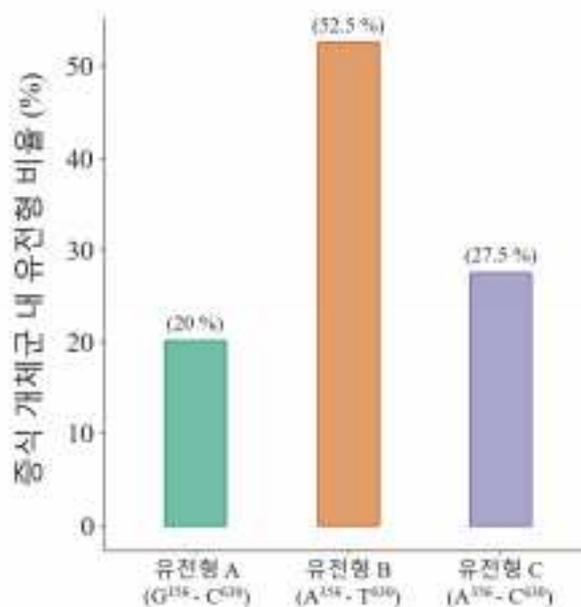


그림 II-4-(6). 증식 개체군 내 COI 유전형 비율

#### 라) 탈피각 회수 시점

유충 탈피각을 증식실 환경에 노출시켰을 때 탈피 후 30일까지 PCR 증폭이 이루어진 것으로 나타났으며, 이는 탈피각 내 gDNA가 30일까지 훼손되지 않고 유지될 수 있음을 시사한다. 하지만 온전히 8개 탈피각 모두에서 PCR 증폭이 일어난 경우는 탈피 후 5일까지였으며 그 이상의 시간 경과에서는 약 50% 수준의 PCR 증폭이 일어남을 확인할 수 있었다. 따라서 신뢰성 있게 PCR 증폭을 통해 각 개체의 COI 유전형을 확인하기 위해

서는 탈피 후 5일 이내에 탈피각을 회수하여 gDNA를 추출해야 함을 알 수 있었다(그림 II-4(7)).

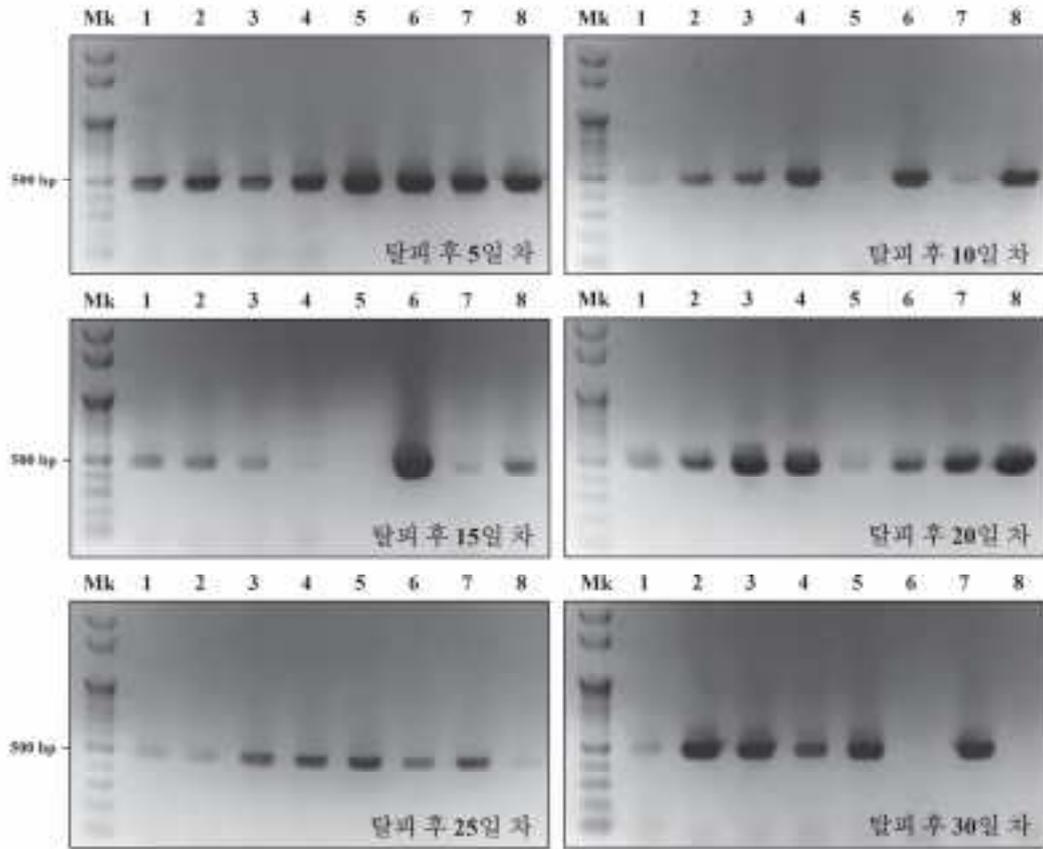


그림 II-4-(7). 탈피 후 환경 노출 시간별 탈피각 내 gDNA 증폭 유무 비교

## 나. 월동 조건에 따른 유충 사충률 및 성충 발달 양상 분석

### 1) 연구내용 및 방법

#### 가) 연구내용

땃무늬길앞잡이는 여름에 성충으로 활동 및 산란하고 유충은 그해 가을 2령기 유충 그리고 다음 해에 3령기 유충 상태로 겨울을 나기 위한 월동에 들어간다. 토양 속 월동 온도는 월동한 후에 유충의 상태 및 성충으로의 발달에 영향을 준다. 따라서 인공증식기술 개발에 있어서 최적의 월동 온도 조건을 찾는 것은 성충으로의 발달 및 개체군의 서식지외보전방법에서 중요한 단계이기에 실·내외 월동 조건 비교 실험을 통해 적합한 월동 방법에 대한 정보를 취득하여 인공증식기술을 개선하고자 하였다.

## 나) 연구방법

### - 실외 월동 조건

실외 월동은 총 30개체의 3령기 유충을 대상으로 야외 곤충 사육상에서 실시하였으며, 유충 사육관에 서식지 토양을 가득 채운 후 마개를 체결하여 유충이 유충 사육관 밖으로 나오지 않도록 하였다. 그 후 야외 곤충 사육상 지하 30cm 부근에 유충 사육관을 넣고 모래를 덮어 주었다(그림 II-4-(8)). 마지막으로 토양 속 온·습도 변화 측정을 위해 유충 사육관이 묻힌 곳과 동일한 깊이에 온·습도 측정기를 설치하였다.



그림 II-4-(8). 닳무늬길앞잡이 유충 실외 월동 조건

### - 실내 월동 조건

실내 월동은 총 30개체의 3령기 유충을 대상으로 증식실에서 이루어졌으며, 활동하는 3령기 유충에게는 하루 한 차례의 귀뚜라미(3령기 약충)을 급이하였으며, 모든 3령기 유충이 월동 행동(유충 굴 입구 닫고 활동하지 않음)을 보이는 시점에 월동을 시작하였다.

### - 월동 조건 적합 평가

월동 조건별로 30개체의 3령기 유충을 대상으로 월동을 실시하였으며, 동일

시점에 월동을 종결시켰다. 월동 온도 및 총 기간은 조건에 따라 차이가 있었다 (표 II-4-(3)). 월동 조건에 따른 적합 평가는 월동 종결 직후 3령기 유충의 사충률 및 최종 성충 발달 양상을 비교하여 평가하였다.

표 II-4-(3). 닳무늬길앞잡이 월동 조건별 월동 온도 및 월동 기간

구 분	최저온도	최고온도	월동기간	저온 유지 기간	월동장소
실외월동	0℃	15℃	114일	약 50일	야외 (지하30cm)
실내월동	18℃	25℃	98일	약 50일	실내

## 2) 연구결과

### 가) 유충 사충률 비교

월동 조건에 따른 3령기 유충의 사충률 추정은 월동 후 2주 차에 실시하여 월동 이후에 일어나는 폐사 현상도 월동의 영향으로 고려하였다. 월동 후 2주 후 증식실 내에서 최종 폐사한 유충은 총 60개체 중 4개체였으며, 실외 월동의 경우 3개체(사충률: 10%), 실내월동의 경우 1개체(사충률: 3.3%)가 폐사하였다. 개체수 및 반복이 수행되지 않았지만 실외월동에 비해 실내월동이 낮은 사충률을 보여 향후 인공증식 시에는 실내월동을 통해 생존율을 높이는 것이 더 효율적인 증식 전략으로 판단된다.

### 나) 용화율 및 성충 우화율 비교

실내월동의 경우 폐사(월동 후 유충 시기 폐사 및 전용 탈피 실패로 인한 폐사) 및 성충으로 미발달한 3령기 유충을 제외하고 실내월동을 실시한 30개체 중 21개체가 번데기로 발달(용화)하였고, 성충 탈피 시 장애를 보인 2개체를 제외한 총 19개체가 성충으로 발달(우화)하였다. 반면, 실외월동의 경우 폐사 및 성충으로 미발달한 3령기 유충을 제외하고 30개체 중 총 7개체가 번데기로 발달하였고, 그중 성충 탈피 시 장애를 보인 1개체를 제외한 6개체가 성충으로 발달하였다. 실외월동(용화율, 25.9%; 우화율, 22.2%)에 비해 실내월동(용화율, 72.4%; 우화율, 65.5%)이 용화율과 우화율 모두 높게 나타났으며 이는 실내월동이 실외월동보다 증식 전략 차원에서 더 효율적인 증식 방법이라는 것을 시사한다(그림 II-4-(9)).

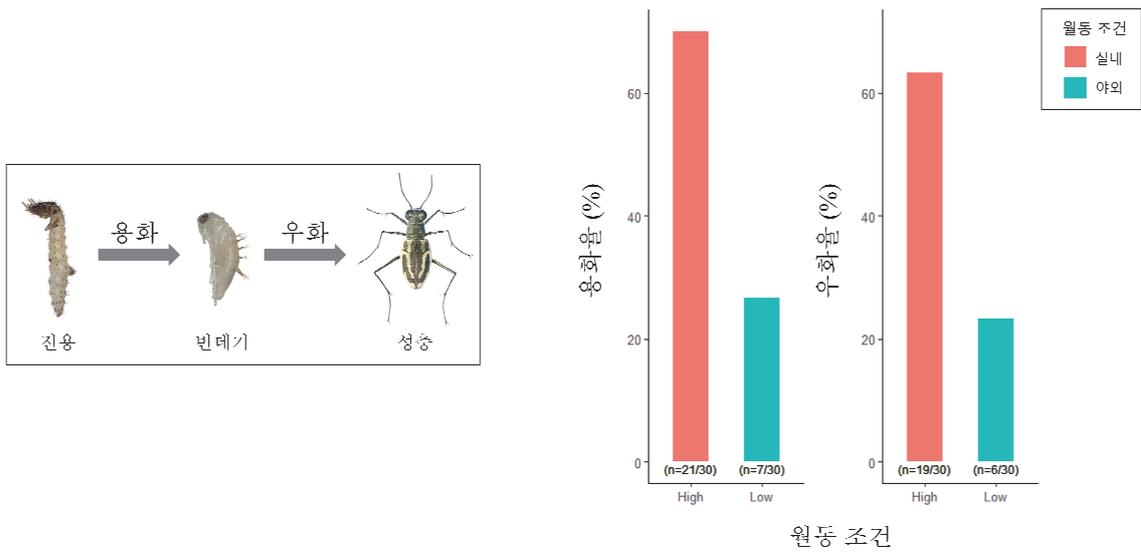


그림 11-4-(9). 월동 조건에 따른 닳무늬길앞잡이 용화율과 우화율 비교

#### 다) 월동 후 발달기간 및 성충 수명 비교 분석

인공증식기술 측면에서 두 월동 조건 중 적합한 월동 조건이 무엇인지 알아보려고 월동 종결 이후 발달단계별(3령기 유충, 전용, 번데기) 발달기간 및 성충의 수명을 비교 분석하였다. 월동 조건에 상관없이 월동 후 3령기 유충 기간은 평균 130일 정도로 나타났으며, 전용 기간은 평균 8일, 번데기 기간은 평균 16일, 성충 우화 후 생존기간(수명)도 평균 17일로 두 집단 간에 통계적으로 유의미한 차이를 나타내지는 않았다(그림 11-4-(10)). 이는 월동 조건이 직접적으로 영향을 주는 발달단계는 3령기 유충에서 전용으로 발달하는 과정에 있으며 그 이후 발달과정에는 영향을 미치지 않는다는 것을 의미하며 3령기 유충이 월동 돌입 전에 충분히 전용으로 발달할 수 있는 성장 및 지방체를 갖추어야 함을 시사한다. 더 나아가 성별에 따른 각 발달단계별 발달기간과 생존기간도 마찬가지로 월동 조건에 따른 차이는 없었다.

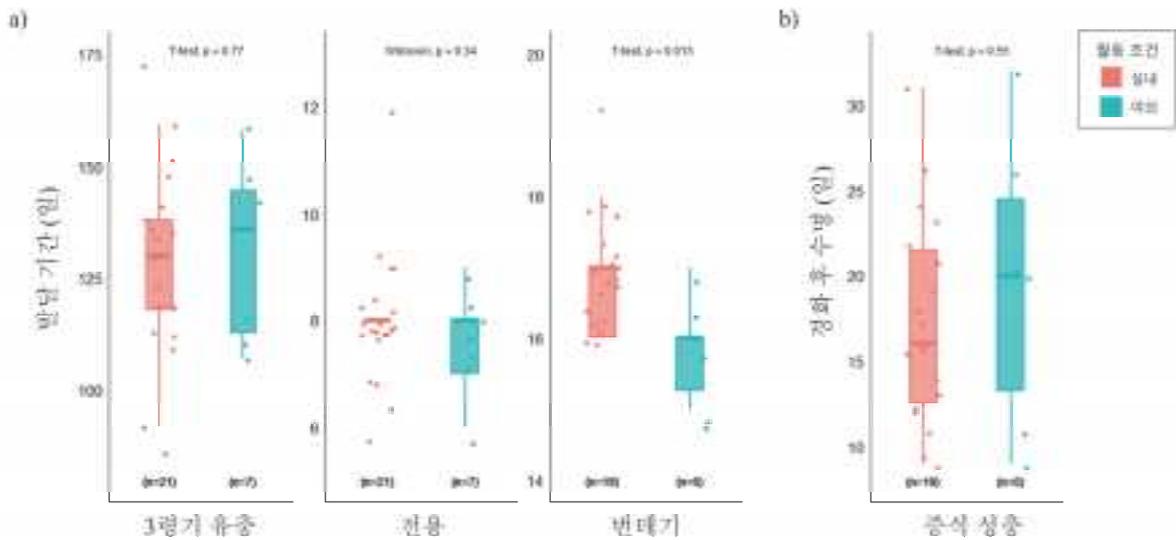


그림 11-4-(10). 월동 조건에 따른 발달단계별 발달기간(a) 및 인공증식 성충의 수명(b) 비교

#### 다. 성충 누적 우화율에 따른 월동 종결 시점 분석

##### 1) 연구내용 및 방법

##### 가) 연구내용

월동 종결 후 성충 발달까지의 기간을 분석한다면 역으로 월동 종결 시점을 조절하여 인공증식 시 성충이 출현하는 시기를 조절할 수 있을 것이다. 이를 통해 야생에서 성충이 활동하는 시기에 맞춰 인공증식 성충을 서식지에 방사하는 복원전략을 추진할 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 닳무늬길 앞잡이 3령기 유충의 월동 종결 후 성충 발달까지의 평균 기간을 월동 집단 전체 및 월동 조건별로 분리하여 분석하였다.

##### 나) 연구방법

월동 종결 시점(25년 3월 1일)부터 각 3령기 유충이 성충으로 우화한 일자를 기록하여 총 월동 종결일로부터 소요되는 총 발달기간을 분석하였다. 또한 월동 조건에 따른 총 발달기간의 차이 유무를 비교 분석하고자 월동 조건별로 비교하였으며 시작 기준점은 월동 종결 시점, 그리고 종결 기준점은 누적 우화율 50% 시점으로 하였다(그림 11-4-(11)).

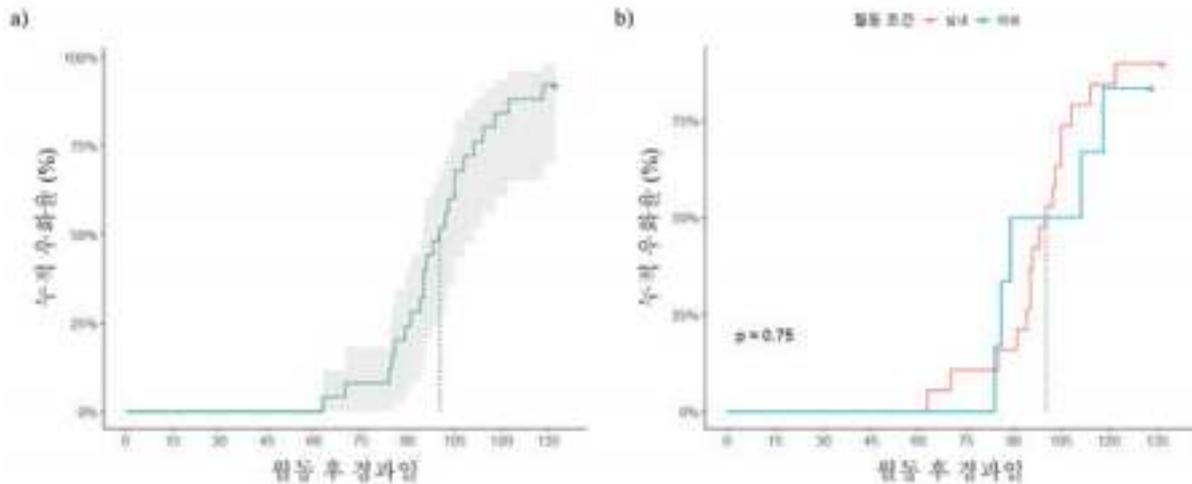


그림 11-4-(11). 월동 종결 후 인공증식 성충의 합산 누적 우화율(a) 및 월동 조건별 누적 우화율(b)

## 2) 연구결과

월동 조건(실내월동 vs. 실외월동)에 따른 두 집단 간 발달기간에서 유의미한 차이는 나타나지 않았다. 두 월동 조건에 해당하는 집단 모두 월동 종결 후 약 100일이 된 시점에 누적 우화율 50%에 도달하였으며, 이는 월동 종결일('25년 3월 1일)로부터 100일 후인 '25년 6월 9일로 확인되었다. 월동 후 발달에 필요한 시간이 평균 100일이라는 정보를 기반으로 추정하면 향후 인공증식된 성충을 우리나라에서 성충 활동시기(6월 중순부터 7월 초)에 맞춰 서식지에 방사하기 위해서는 월동 종결 시점을 기존 3월 1일에서 3월 10일로 변경할 필요성이 있을 것으로 판단된다.

## 라. 인공증식 성충의 발달 양상 분석

### 1) 연구내용 및 방법

#### 가) 연구내용

인공증식 기술을 통해 실내에서 발달한 성충이 야생의 성충과 비교하여 정상적인 발달을 이루었는지 확인하고 이를 통해 닳무늬길앞잡이 개체군 보전을 위한 서식지외보전방법의 개발에 있어 개선할 점을 찾고자 하였다. 이를 위해 성충의 정상적인 발달을 확인할 수 있는 몸 크기와 생존기간(수명)을 야생 성충과 비교 분석하였으며, 암컷의 생식기(난소) 발달의 정상

여부를 확인하였다.

## 나) 연구방법

### - 몸 크기 및 수명 비교 분석

곤충의 성체의 몸 크기는 유충 시기의 먹이 섭취량 및 온도 조건에 영향을 받는다. 따라서 이를 통해 인공증식 시 먹이량 및 사육 온도가 적절하였는지 판단할 수 있는 지표로 사용할 수 있다. 본 연구에서는 인공증식 성체 25개체(암컷, 14개체; 수컷 11개체)와 야생 성체 23개체(암컷, 13개체; 수컷 10개체)의 두폭(눈과 눈 사이)과 몸 길이(이마에서 배끝 길이)를 비교하여 성체 발달의 정상 여부를 판단하였다(그림 II-4-(12)). 더 나아가 동일 인공증식 조건(먹이 및 온도)에서 사육된 인공증식 성체 25개체(암컷, 14개체; 수컷 11개체)와 야생 성체 12개체(암컷, 7개체; 수컷 5개체)의 생존기간(수명)을 비교 분석하여 인공증식 성체의 정상 발달 여부를 판단하였다.

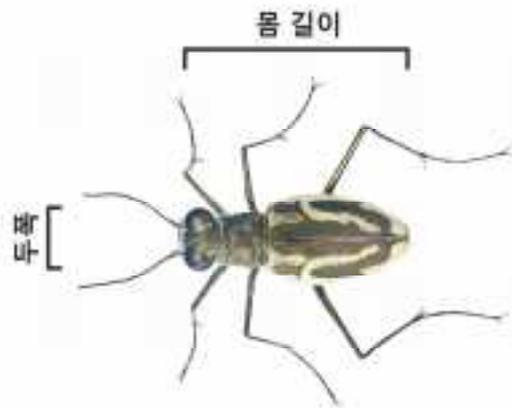


그림 II-4-(12). 땃무늬길앞잡이 성체 몸 크기 측정 기준

### - 난소 발달 및 구조 분석

수명을 다하고 죽은 인공증식된 땃무늬길앞잡이 암컷의 난소를 해부 현미경 하에서 해부하여 난소의 발달 정도 및 난 발생 여부, 그리고 말단섬사(terminal filament)의 개수를 확인하여 총 몇 개의 난소소관으로 난소가 이루어져 있는지에 대한 정보를 확인하였다. 해부는 인공증식된 암컷 성충 12개체에 대해 실시하였으며, 3령기 유충 시기의 월동 조건, 교미 여부에 따른 개체 사이의 난소 발달 정도에 차이가 있는지 확인하였다.

## 2) 연구결과

### 가) 몸 크기 및 수명 비교 분석

인공증식 성충의 두폭(암컷,  $3.24 \pm 0.07\text{mm}$ ; 수컷,  $2.96 \pm 0.10\text{mm}$ )은 야생 성충의 두폭(암컷,  $3.23 \pm 0.09\text{mm}$ ; 수컷,  $2.92 \pm 0.05\text{mm}$ )과 유의미한 차이가 없었다(t-test; 암컷,  $p=0.5$ ; 수컷,  $p=0.33$ ). 마찬가지로 인공증식 성충의 몸 길이(암컷,  $12.36 \pm 0.36\text{mm}$ ; 수컷,  $11.32 \pm 0.44\text{mm}$ )도 야생 성충의 몸 길이(암컷,  $12.45 \pm 0.41\text{mm}$ ; 수컷,  $11.33 \pm 0.18\text{mm}$ )와 유의미한 차이가 없었다(t-test; 암컷,  $p=0.54$ ; 수컷,  $p=0.93$ ). 이는 인공증식 시 급이한 먹이량과 먹이 종류가 유충 시기 발달에 부적정한 영향이 없다는 것을 시사한다. 하지만, 야생 성충의 생존기간은 포획시점부터 폐사시점까지를 생존기간으로 고려했음에도 불구하고 인공증식된 성충의 생존기간(암컷,  $17.21 \pm 6.15\text{일}$ ; 수컷,  $18.64 \pm 7.45\text{일}$ )은 야생 성충의 생존기간(암컷,  $51.71 \pm 11.98\text{일}$ ; 수컷,  $66.60 \pm 3.21\text{일}$ )에 비해 60% 이상 짧아진 것(wilcoxon signed rank test; 암컷,  $p=2.9 \times 10^{-4}$ ; 수컷,  $p=2.2 \times 10^{-3}$ )을 확인할 수 있었다(그림 II-4-(13)).

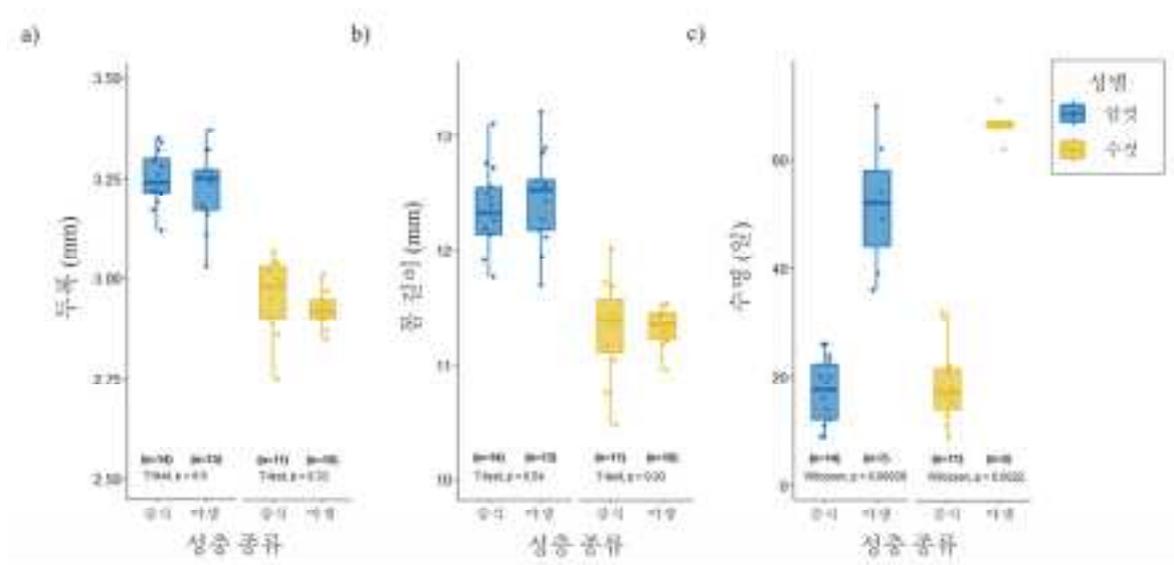


그림 II-4-(13). 땃무늬길앞잡이 인공증식 성충과 야생 성충간 두폭(a), 몸 길이(b), 수명(c) 비교 분석

딱정벌레의 번데기 발달단계 중 광 조건에 의해 생리·생식 발달에 부정적인 영향을 줄 수 있다는 보고(Klowden, 1998; Chen *et al.*, 2021)가 있으며, 이를 근거로 땃무늬길앞잡이 인공증식 성충이 야생 성충에 비해 수명이 짧아진 원인은 인공증식 과정 중 전용 및 번데기 발달 시 암 조건이 아닌 광 조건에서 관리가 이루어지면서 발생한 문제로 생각되며 향후 전용 및 번데기

발달단계 시 암 조건 사육관리를 통해 성충의 생존기간을 개선할 수 있는 방안이 마련되어야 하겠다.

### 나) 난소 발달 및 구조 분석

인공증식된 닳무늬길앞잡이 암컷 성충이 수컷과 교미를 했음에도 불구하고 산란을 하지 않았다. 인공증식 과정에서 정상적인 난소 발달이 이루어지지 않았는지 확인하고, 난소소관의 총 개수를 추정하고자 수명을 다하고 죽은 인공증식된 암컷 12개체에 대해 해부하여 난소의 발달 여부 및 말단섬사의 개수를 확인하였다. 우선, 닳무늬길앞잡이의 암컷의 난소 말단섬사는 한쪽 난소에 8개인 것을 확인하였다(그림 II-4-(14)).

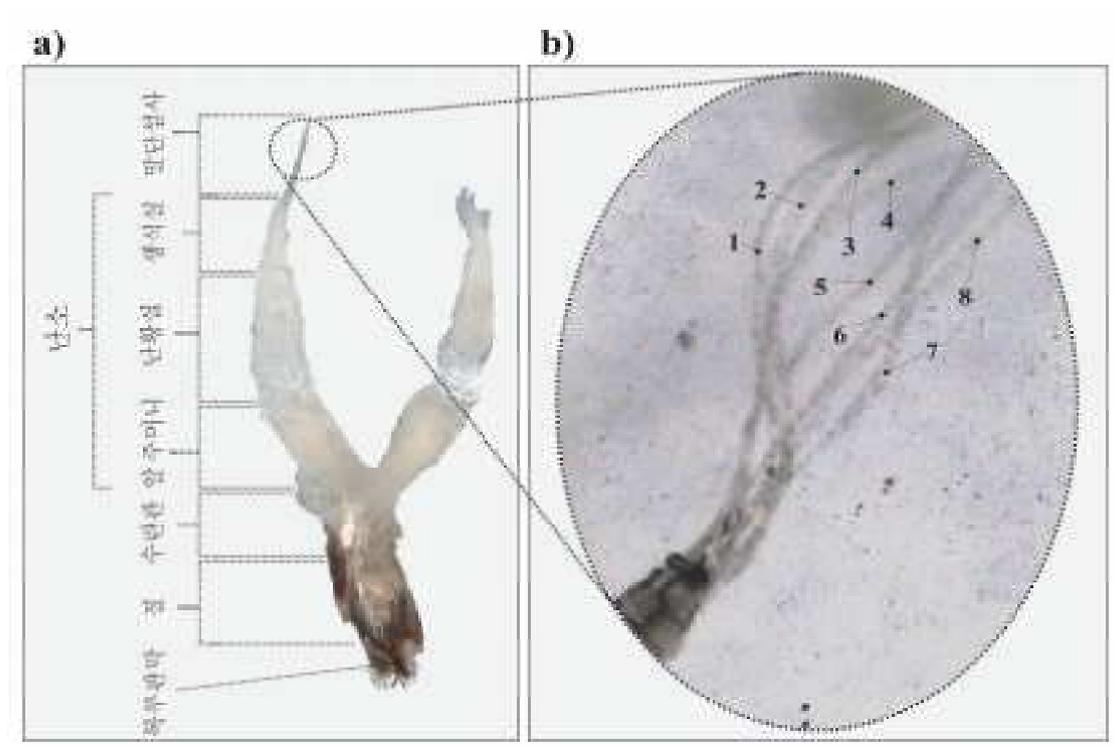


그림 II-4-(14). 인공증식된 닳무늬길앞잡이 암컷의 난소 구조(a)와 말단섬사 개수(b)

따라서, 닳무늬길앞잡이 암컷의 난소소관은 총 16개(난소소관 1개당 말단섬사 1개로 구성)로 한 번에 알이 모두 발달한다면 16개의 알을 낳을 수 있는 능력이 있는 것으로 추정된다. 해부를 진행한 암컷 12개체(실내월동, 8개체; 실외월동, 4개체) 중 난소가 발달하지 않은 개체는 없었으며, 모두 난소가 정상적으로 발달한 상태였다. 또한, 수컷과 교미가 확인된 6개체(실내월동, 3개체; 실외월동, 3개체) 중 2개체는 알 주머니에 알이 발생하고 있는 상태였다(그림 II-4-(15)).

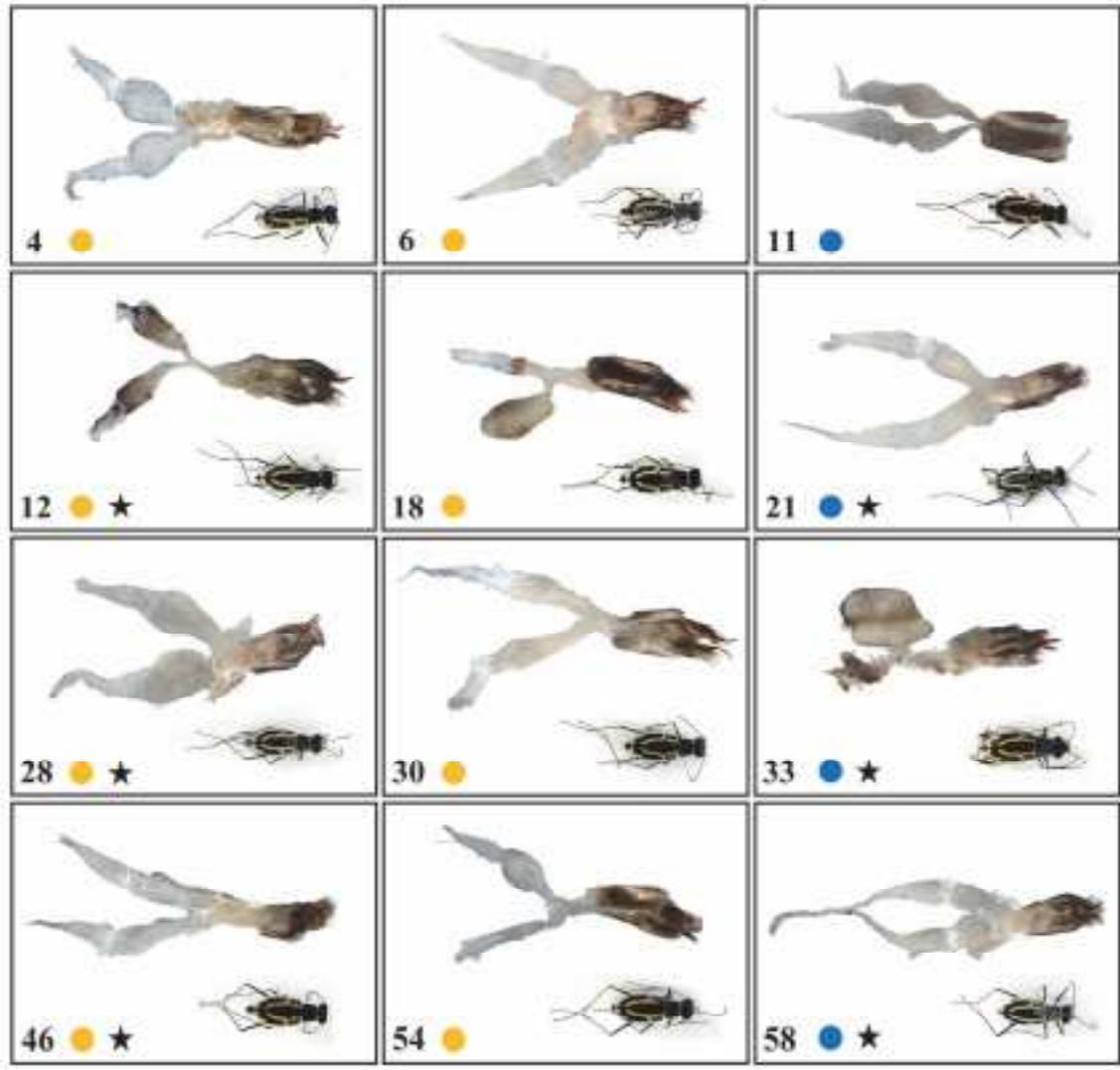


그림 II-4-(15). 인공증식된 닳무늬길앞잡이 암컷의 난소 발달 확인  
 (●, 실내월동; ●, 야외월동; ★, 교미확인)

실험실에서 인공증식된 닳무늬길앞잡이 암컷의 난소는 모두 정상 발달하였으나 전혀 산란하지 않은 현상은 산란 환경이 적합하지 않았거나 수컷의 정소가 발달하지 않은 상태였을 수 있다. 따라서 향후 산란 환경의 개선(온도 및 집단 구성) 및 수컷 정소의 정상적인 발달 여부를 확인하여 인공증식기술 개발에 개선이 필요할 것으로 생각된다.

## 마. 근연종 생태 특성 비교 분석

### 1) 연구내용 및 방법

#### 가) 연구내용

닷무늬길앞잡이와 근연종인 산길앞잡이, 개야길앞잡이의 실내사육을 통해 획득한 생태 특성을 닷무늬길앞잡이 인공증식기술 개발 개선에 적용하고자 두 종의 실내 인공증식을 수행, 유충의 먹이 섭취 특성, 유충의 굴 크기 변화 및 유충의 두흉부 형태를 기록하여 닷무늬길앞잡이와 비교하였다.

#### 나) 연구방법

##### - 사육 조건

성충 사육 조건은 닷무늬길앞잡이 성충 사육 방법과 동일하게 25℃, 60% 상대습도 조건 및 여름 광조건(광, 14시간; 암, 10시간)에서 사육하였다. 성충에게는 일일 귀뚜라미 3령기 약충 3마리, 곰개미 일꾼 3마리를 급이해주었고, 일주일에 한번 암컷과 수컷을 합사하여 교미할 수 있도록 하였다. 유충 사육 조건도 닷무늬길앞잡이 유충 사육 방법과 동일하게 유충 사육관에 서식지 토양(산길앞잡이, 황토+강모래; 개야길앞잡이, 강모래+진흙)을 채운 후 부화한 1령기 유충을 넣어 굴을 팔 수 있도록 하였다. 1령기 유충에게는 일일 초파리 암컷 3마리, 2령기 유충에게는 일일 귀뚜라미 2령기 약충 2마리, 3령기 유충에게는 일일 귀뚜라미 3령기 약충 1마리를 급이해주었다.

##### - 유충 굴 입구 측정

유충의 굴 입구 크기는 서식지에서 유충의 발달단계를 알 수 있는 지표로 사용할 수 있으며, 굴 입구의 크기가 길앞잡이종 사이에 큰 차이를 보인다면 서식지 내에서 특정 종을 구분할 수 있는 지표로도 사용할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 닷무늬길앞잡이, 산길앞잡이, 개야길앞잡이 유충의 각 발달 단계(1-3령기)에 유충의 굴 입구의 직경을 현미경 상에서 측정 및 기록하여 평균값을 추정하고, 각 발달단계별 굴 입구 직경을 길앞잡이 간에 비교하여 서식지 안에서 특정 길앞잡이를 구분할 수 있는 지표로 사용할 수 있는지 확인하였다.

- 유충 두흉부 기록

서식지 내에서 성충이 활동하지 않는 시기에 유충의 두흉부(머리+제1가슴)의 형태학적 특징을 확인하여 해당 길앞잡이가 서식지에 서식하고 있는지 확인할 수 있는 지표로 사용할 수 있다. 본 연구에서는 닳무늬길앞잡이, 산길앞잡이, 개야길앞잡이, 흰테길앞잡이 4종의 유충 두흉부를 비교하여 닳무늬길앞잡이와 형태학적 특징으로 구분 가능한지 확인하고자 하였다. 이를 위해 각 길앞잡이 유충 발달단계별로 유충 두흉부를 현미경 상에서 촬영 및 기록한 후 형태학적 특징을 비교 분석하였다.

2) 연구결과

가) 유충 굴 입구 직경 비교 분석

3종의 길앞잡이 유충의 굴 입구 직경을 유충 발달단계별로 비교한 결과 닳무늬길앞잡이와 개야길앞잡이의 굴 입구 직경은 모든 유충 발달단계에서 유사한 크기를 나타냈다. 반면, 산길앞잡이는 나머지 2종의 길앞잡이와 유충 굴 입구 직경은 큰 차이를 보였다(그림 II-4-(16)). 따라서 만약 동일 서식지에 닳무늬길앞잡이와 개야길앞잡이가 서식한다면 두 종을 유충 굴 입구 크기로 구분하는 것은 어려울 것으로 판단된다.

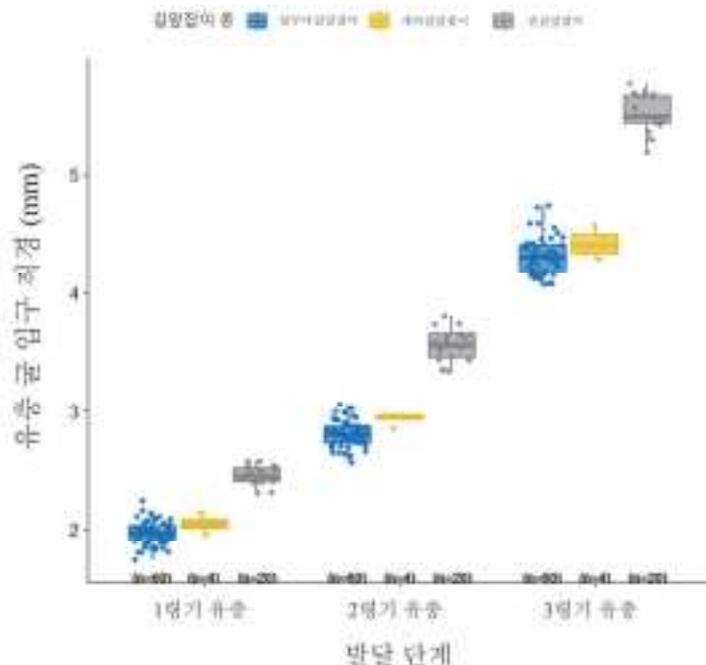


그림 II-4-(16). 유충 발달단계에 따른 유충 굴 입구 직경 비교

## 나) 유충 두흉부 형태 비교 분석

유충의 두흉부 형태를 비교한 결과 닳무늬길앞잡이, 산길앞잡이, 개야길앞잡이는 광택이 있는 초록색의 머리(두부) 형태를 나타냈고, 개야길앞잡이는 녹색의 머리 형태를 나타냈다. 흉부(제1가슴)의 형태는 각각 산길앞잡이와 개야길앞잡이는 검은색, 흰테길앞잡이는 갈색, 닳무늬길앞잡이는 흰색 테두리를 가진 흉부 형태를 가진 것으로 확인되었다(그림 II-4-(17)). 따라서, 근연종 길앞잡이 3종의 흉부 형태가 닳무늬길앞잡이 유충과는 확연하게 달라 이들 길앞잡이가 한 서식지에 서식하더라도 유충의 형태로 충분히 구분 가능할 것으로 판단된다.

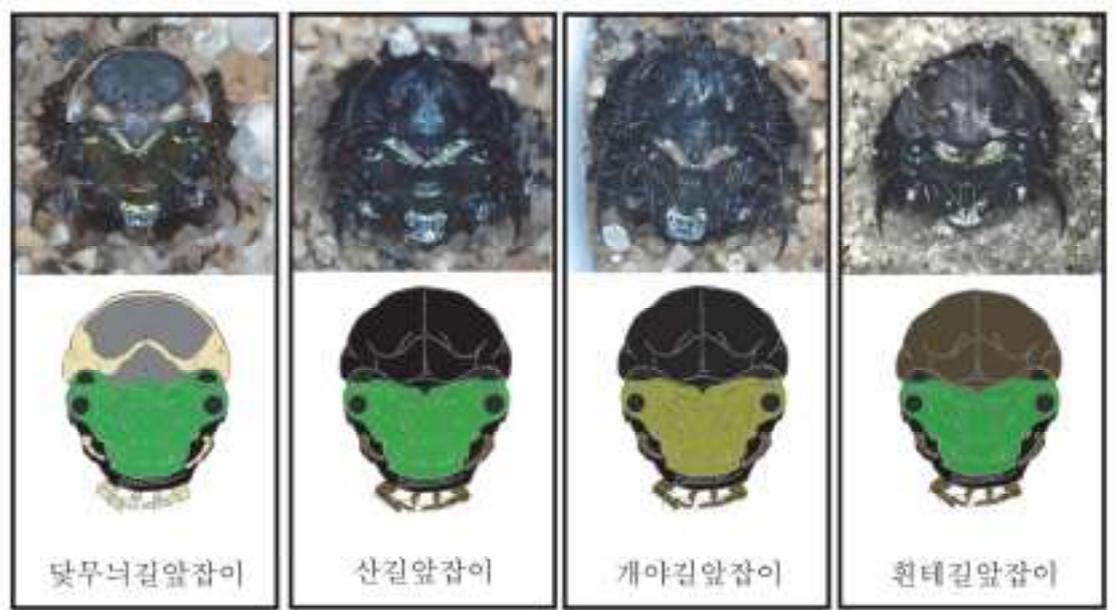


그림 II-4-(17). 닳무늬길앞잡이와 근연종 길앞잡이 유충 두흉부 비교

## 바. 성충 및 유충 행동 특성에 따른 서식지 위협요인 분석

### 1) 연구내용 및 방법

#### 가) 연구내용

닳무늬길앞잡이의 서식지 내 주요 위협요인 중 하나는 모래사장에서의 사람 및 차량의 잦은 이동에 따른 산란 굴의 파괴이다. 인공증식 시 암컷의 평균 산란 굴 깊이를 측정하여 사람 및 차량의 이동에 따른 모래사장의 눌림 및 파헤침에 따른 서식지 내 위협요인을 평가하고자 하였다. 또한 해수

면 상승 및 파랑(파도)에 의한 서식지 내 모래사장의 소실로 인한 위협요인을 분석하기 위해 유충 발달단계별 유충의 굴 깊이를 조사하였다.

## 나) 연구방법

### - 산란 굴 깊이 측정

닷무늬길앞잡이의 산란 굴 깊이는 실내사육한 암컷 3개체에 대해 산란 굴 깊이를 육안 및 측정기로 측정할 수 있는 알(산란통 외벽에 산란된 알)을 대상으로 측정하였다. 대조군으로 강변 모래에 서식하는 강변길앞잡이의 산란 굴 깊이를 측정하여 산란된 알의 깊이를 비교 분석하였다.

### - 유충 굴 깊이 측정

유충 굴 깊이는 측정할 수 있는 30cm 길이의 아크릴 관에 서식지 토양을 채운 후 각 아크릴 관에 1개체의 유충을 넣은 뒤 유충이 굴을 다 완성(굴을 완성하면 유충은 굴 입구에서 먹이를 기다리는 행동을 보임)하면 굴 입구에서부터 굴 끝단까지의 깊이를 측정하여 기록하였다. 굴 깊이 측정은 유충 발달단계별로 8개체를 대상으로 진행하였으며, 대조군으로 산길앞잡이 3령기 유충 8개체를 대상으로 유충 굴 깊이를 측정하여 비교 분석하였다.

## 2) 연구결과

### 가) 산란 굴 깊이 측정

닷무늬길앞잡이 산란 굴 깊이는 각각 다른 알을 대상으로 총 13번 측정하였으며, 평균  $9.08 \pm 1.19\text{mm}$ 의 산란 굴 깊이를 나타냈다. 반면, 강변길앞잡이 산란 굴 깊이는 총 12번 측정하였으며, 평균  $21.33 \pm 2.06\text{mm}$ 의 산란 굴 깊이를 나타냈다(그림 II-4-(18)). 강변길앞잡이가 닷무늬길앞잡이에 비해 산란 굴이 깊은 이유는 암컷의 신체 크기에 따른 것으로 닷무늬길앞잡이 암컷의 몸 크기가 평균  $12.38 \pm 0.36\text{mm}$ 인 반면 강변길앞잡이 암컷의 몸 크기는  $15.43 \pm 0.50\text{mm}$ 로 상대적으로 크기가 커서 더 깊은 산란 굴을 형성하는 것으로 보인다. 닷무늬길앞잡이의 산란 굴이 1cm 미만으로 사람 및 차량이 이동하면서 모래사장에 생기는 파임으로 인해 산란 굴이 무너질 수 있는 가능성이 매우 높을 것으로 보인다. 이는 산란기(6월 중순부터 7월 중순까지)와 알이 발달하여 1령기 유충이 부화하는 시점(7월 말)까지는 닷무늬길앞잡이

개체군 보호를 위해 서식지 내 출입을 제한시킬 필요성이 있다는 것을 시사한다.

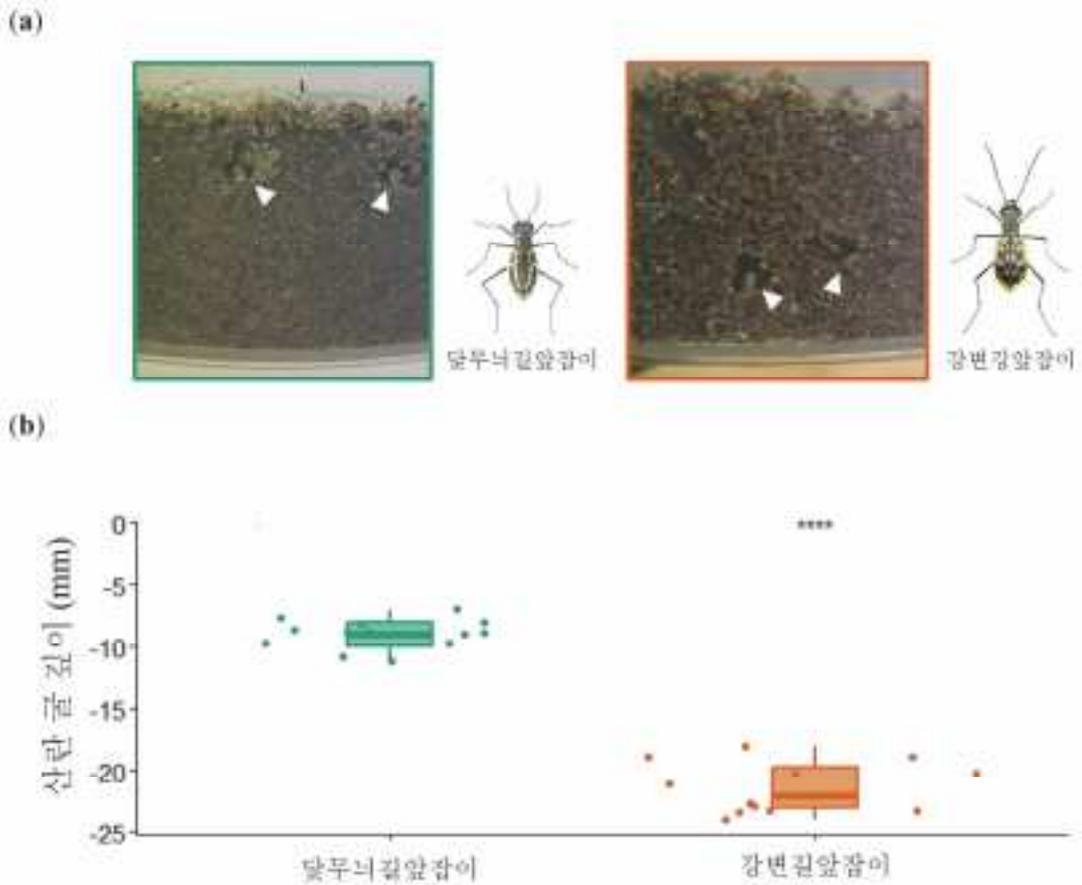


그림 II-4-(18). 닷무늬길앞잡이와 강변길앞잡이 산란 굴 위치(a)와 평균 산란 굴 깊이(b)

#### 나) 유충 굴 깊이 측정

닷무늬길앞잡이 유충의 굴 깊이는 발달단계별로 그 깊이가 달라지는 현상을 보여주진 않았다. 굴 깊이는 1령기 유충이  $17.34 \pm 3.47\text{cm}$ , 2령기 유충이  $23.34 \pm 4.04\text{cm}$ , 3령기 유충이  $19.13 \pm 3.13\text{cm}$ 로 대부분이 15~25cm 부근에 굴 끝단이 위치하고 있었다. 반면 산길앞잡이 3령기 유충의 평균 굴 깊이는  $6.13 \pm 1.63\text{cm}$ 로 닷무늬길앞잡이의 굴 깊이의 1/3에 해당하는 굴 깊이를 보였다(그림 II-4-(19)). 이는 서식지 특성에 따른 생태 특성에 기인한 것으로 산길앞잡이의 유충은 부드러운 토양층이 폭이 짧은 산에 위치하는 나대지에 주로 서식하여 이러한 짧은 굴을 뚫은 것으로 보이며, 반대로 닷무늬길앞잡이의 유충은 30cm 이상의 두터운 모래로 구성된 해변가 모래사장에

서식하여 깊은 굴을 뚫는 것으로 보인다. 닳무늬길앞잡이 유충이 발달단계별로 평균 20cm 깊이의 굴을 형성하기에 해수면 상승이나 파랑에 의한 모래 소실이 20cm 이상 발생하게 되면 유충 생존에 위협요인이 될 것으로 판단된다. 또한, 대형 중장비(트럭, 굴착기)의 서식지 진입은 20cm 이상 모래 파임을 유발할 수 있으므로 서식지 내 해양쓰레기 처리 시 인력을 동원한 수거를 통해 유충 및 유충 굴이 물리적으로 피해를 받는 현상을 최소화하는 조치가 필요할 것으로 보인다.

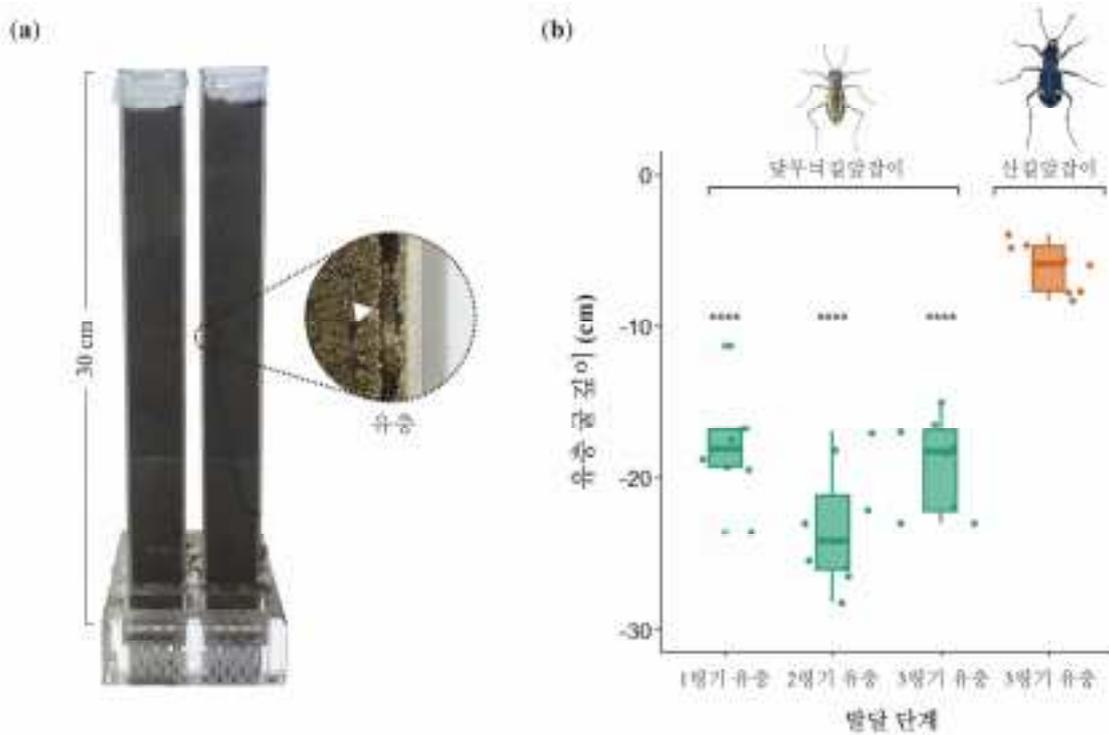


그림 11-4-(19). 닳무늬길앞잡이 유충 굴 깊이 측정을 위한 아크릴 관(a)과 닳무늬길앞잡이와 산길앞잡이 유충 굴 깊이 측정(b)

## 5. 거제외줄달팽이

### 가. 도입 및 증식·사육관리

#### 1) 연구내용 및 방법

##### 가) 연구내용

'24년 2개체 도입 후 1년 이상 사육해온 결과 개체들은 안정적으로 성장, 생존하고 있음을 확인하였다. 2개체로는 증식 연구에 어려움이 있어 '25년 새로이 두 개체를 추가 도입하였으며, 이를 기반으로 인공증식 연구를 진행하고 있다.

##### 나) 연구방법

기초 증식환경 조성은 기존 참달팽이 인공증식 매뉴얼을 참고하였으며, '24년 8월 2개체, '25년 6월 2개체, 총 4개체를 도입하여 기존 증식기술을 적용하여 사육관리를 진행하고 있다. 기존의 먹이원에 더해 번식에 필요한 환경 조성을 추가 개선하였다. 개체의 안정성이 중요하다는 연구 결과를 바탕으로 서식지와 비슷한 환경을 제공하고자, 실제 서식지와 유사하게 돌, 이끼, 낙엽 등을 소독 후 사육통에 위치하였고, 물 분무량을 늘려 비가 내리는 환경을 조성하고자 하였다. 또한 번식기인 봄철 온도에 맞추고자 증식실 온도를 기존 26℃에서 22℃로 하향 설정하였다(그림 II-5-(1), 그림 II-5-(2)).



그림 II-5-(1). 참달팽이 인공증식 매뉴얼



그림 II-5-(2). 거제외줄달팽이 실내 인공증식 시설

## 2) 연구결과

### 가) 증식환경 조성

서식지 특성에 따라 빛이 거의 들지 않는 사육통을 사용하였고, 광주기는 빛이 들지 않는 시간이 길게 8:16(L/D) 비율로 설정하였다. 항온·항습실의 기온과 습도는 거제외줄달팽이 주 활동기인 6~8월의 자료를 기반으로 설정하였다(표 II-5-(1), 표 II-5-(2)). 거제시 기상청에서 측정한 기온에 비해 실제 측정한 서식지 온도가 낮은 경향을 보임에 따라 증식실 온도는 서식지 현지 온도에 따라 20~25℃로 조정하였고, 증식실 전체 습도는 사육통의 습도가 안정적으로 유지될 수 있도록 60%로 설정, 매우 높은 수치(90%이상)를 보인 서식지 토양 습도를 참고하여 사육토(코코피트)는 마르지 않도록 매일 물을 분무하였다(그림 II-5-(3), 그림 II-5-(4)).

표 II-5-(1). 2024-25년 거제시 측정 기온 및 습도(기상청)

연월	평균기온(℃)	최고기온(℃)	최저기온(℃)	평균습도(%)
'24.1.	4.3	8.6	0.4	64
'24.2.	6.8	10.6	3.3	73
'24.3.	9.2	13.8	4.6	63
'24.4.	15.2	20.6	10.8	73
'24.5.	18.2	23.8	13.2	68
'24.6.	22.2	26.9	18.2	75
'24.7.	25.8	28.4	23.9	88
'24.8.	28.2	32.4	24.8	78
'24.9.	25.8	30	22.7	79
'24.10.	18.7	22.8	15.2	77
'24.11.	12.3	72	8.4	16.6
'24.12.	5.1	55	1.2	9.2
'25.1.	2.8	58	-1.4	7.5
'25.2.	2.4	50	-1.6	7.2
'25.3.	9.2	63	4.9	13.8
'25.4.	13.6	66	8.8	18.6
'25.5.	16.9	76	12.9	21.5
'25.6.	22.5	77	18.8	26.5
1년 평균 (‘24.2.-’25.1.)	15.86	20.22	12.08	71.58

표 II-5-(2). 2024-25년 거제외줄달팽이 서식지 토양 온·습도

연월	평균기온(℃)	최고기온(℃)	최저기온(℃)	평균습도(%)
'24.2.	7.34	19.33	2.57	91.00
'24.3.	8.69	18.04	-3.29	78.02
'24.4.	14.10	22.54	9.4	88.91
'24.5.	16.09	22.18	10.59	89.28
'24.6.	20.00	24.4	15.7	93.77
'24.7.	24.36	27.83	20.87	97.67
'24.8.	26.69	29.75	24.16	94.36
'24.9.	25.01	31.5	18.14	91.64
'24.10.	18.42	24.79	11.68	93.14
'24.11.	13.22	21.47	5.12	96.32
'24.12.	6.82	17.26	-0.27	100
'25.1.	4.59	15.22	-6.45	100
'25.2.	2.96	15.23	-5.24	100
'25.3.	8.75	23.2	0.4	100
'25.4.	12.79	24.36	5.57	100
'25.5.	15.18	20	9.87	98.84
'25.6.	19.35	23.25	14.63	96.03
1년 평균 (‘24.2.-’25.1.)	15.44	22.85	9.02	92.8



그림 II-5-(3). 거제외줄달팽이 사육



그림 II-5-(4). 빛 차단 달팽이 사육통

또한 1년간 먹이 선호도 관찰을 통해 버섯을 항상 급이하고 있으며, 약 3 가지 이상의 야채(당근, 애호박, 청경채, 양배추, 오이, 양상추 등)를 번갈아 가며 주 2회 급이하고 있다. 참달팽이 인공증식 매뉴얼을 참고하여 달팽이 패각 형성에 필요한 중탄산칼슘, 보레가루, 산호가루 등 고운 가루 형태의 칼슘 원을 제공하고 있다. 또한 단백질, 탄수화물 등 달팽이 성장에 도움이 되는 달팽이 사료를 물에 개어 먹이와 함께 제공하고 있다. 그 결과 현재까지 개체의 생존율 100%로 유지되고 있다.

#### 나) 번식 환경 조성

달팽이의 번식 환경 조건은 종에 따라 다를 수 있지만, 일반적인 요소들을 고려하여 사육 환경을 개선하였다. 우선 온도는 22~23℃를 유지하였으며, 매우 습한 환경을 제공하기 위해 물 분무량을 2배 늘려 실시하였다. 개체의 안정성을 높이기 위해 돌과 이끼 등 기존 서식지 지면 환경과 유사하게 사육통을 재정비하였으며, 급이 시 활엽수의 낙엽, 푸른 잎 등도 먹이와 함께 제공하였다. 또한 선호하는 먹이인 버섯류의 양을 늘림과 동시에 채소의 종류도 최소 2개 이상 제공하였다. 짝짓기 확률을 높이기 위해 현재 확보하여 사육 중인 4개체의 거제외줄달팽이 모두를 합사 사육하였다. 그 결과 7월 24일 81개의 알을 산란하였으며, 약 60 여일 간 10~12개의 알을 8개의 사육통에 나누어 분리 후 관리하였지만 모두 무정란으로 F1 자손 세대를 얻는 것에는 실패하였다(그림 II-5-(5), 그림 II-5-(6)).



그림 II-5-(5). 거제외줄달팽이 산란 알



그림 II-5-(6). 알 분리 사육 관리

하지만 사육 개시 후 1년 만의 첫 산란이었으며, 지속적으로 산란유도를 시도할 예정이다. 산란 알(n=20)의 평균 직경은 약 4.78 mm, 무게는 63.3 mg으로 측정되었다(표 II-5-(3), 그림 II-5-(7), 그림 II-5-(8)).

표 II-5-(3). 산란 알 직경 및 무게 측정 결과

연번	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	평균
직경 (mm)	4.84	4.79	4.73	4.77	4.82	4.69	4.80	4.70	4.72	4.71	4.73	4.78	4.86	4.81	4.85	4.80	4.77	4.76	4.75	4.82	4.78
무게 (mg)	64	66	66	64	66	66	64	64	62	63	53	65	67	66	65	60	61	58	60	66	63.3



그림 II-5-(7). 알 직경 측정



그림 II-5-(8). 알 무게 측정

#### 다) 동절기 동면 준비

'24년 2월 서식지에 온·습도계를 설치하여 사계절 온·습도 정보를 확보하였다. 기상청 제공 자료와 비교하였을 때, 거제외줄달팽이 서식지 온도는 기상기온보다 여름철과 겨울철에 더 낮은 경향을 보였다. 습도의 경우 서식지가 높았으며, '24년 3, 4, 5월을 제외하고 모두 90% 이상의 값을 보였다(표 II-5-(1)). 이를 참고하여 동면 실험은 최저온도 최종 7°C로 설정하고 온도 하강 주기는 2주씩 5°C 낮추면서, 습도는 80% 이상을 유지 시킬 예정이다.

## 6. 물거미

### 가. 도입 전 사전 연구

#### 1) 연구내용 및 방법

##### 가) 연구내용

물거미는 현재 국내 단 두 지점에서만 서식하며, 확산 능력이 극히 낮아 보전이 시급한 종이다. 이에 곤충·무척추동물복원팀에서는 '25년 물거미를 복원 대상으로 선정하여 안정적인 사육 체계 구축 및 인공증식기술 개발을 위해 본격적인 연구를 수행하기 전 시범적으로 사육환경을 조성하고자 하였다.

##### 나) 연구방법

항온항습실에 수조를 위치시키고 사육장 온도는 23℃, 습도는 60% 이상을 유지하도록 설정하였다. 수조는 검은모래(바닥재), 인공수초, 저면여과기, 기포발생기로 구성하였으며, 수조 관리를 위해 스포이드, 뜰채, 환수호스, CO<sub>2</sub> 등을 증식실에 위치시켰다(그림 II-6-(1)). 수온, pH, 개체수 등은 수시로 측정하였으며(관리일지 작성), 물이끼(녹조류) 증식 여부를 모니터링 하였다. 광주기는 8:16(L/D)으로 설정하였고, 최소 주 1회 수조물의 1/3을 환수, 일정 수심 유지를 위해 수시로 물 보충을 하였다. 사육에 사용되는 물은 수돗물을 사용하였으며, 염소 제거 및 암모니아 농도 상승 억제를 위해 하루 동안 실온에 방치 후 환수에 사용하였다.



수조

인공 수초

바닥재(모래)

여과기



기포발생기

스포이드, 뜰채 등

환수 호스

CO<sub>2</sub>

그림 II-6-(1). 물거미 사육 수조 구성 및 필요 물품

실지렁이 급이는 격일로 실시하였으며, 긴 핀셋을 이용하여 개체 주변에 직접 급이 후 초반에는 섭식을 육안으로 확인하였다. 동종포식을 감안하여, 한 수조당 4개체 이하, 비슷한 크기의 개체를 사육하였다.

#### - pH 유지와 물이끼 관리

사육실 온도를 조절하여 수온 유지, pH 상승 시 정제 이산화탄소 투입으로 조절, 녹조류는 벽면을 수세미로 긁어 떨어뜨린 후 스포이드를 이용하여 제거하였다(그림 II-6-(2)).



그림 II-6-(2). 물거미 사육 수조

#### - 실지렁이 관리 방법

개체가 잠길 만큼의 물만 사용하여 담고 4℃ 냉장고에 보관. 환수는 수돗물을 사용하되 2~3일에 한 번씩 환수하였다(그림 II-6-(3)).



그림 II-6-(3). 수조 수질 측정 장치 및 먹이(실지렁이)

## 2) 연구결과

### 가) 수조환경 조성 및 개선

초기 물거미 사육환경은 국가유산청의 선행연구 보고서를 참고하여 조성하

였다. 최초 4개 수조에 동족포식(cannibalism)을 감안하여 비슷한 크기의 개체를 한 수조당 2~3개체씩 투입하였다. 수조 1, 2에는 몸길이 6mm 이하의 개체 3개체씩 총 6개체, 수조 3에는 약 8mm 크기의 개체 2개체, 수조 4에는 크기 10mm 이상의 개체 2개체를 투입하였다. 6월 30일에 본격적인 사육을 시작하여 8월 20일까지 약 두 달간 생존율은 50%로 수조 2에서 1개체 수조 3, 4의 4개체 모두 폐사하였다(그림 II-6-(4)).

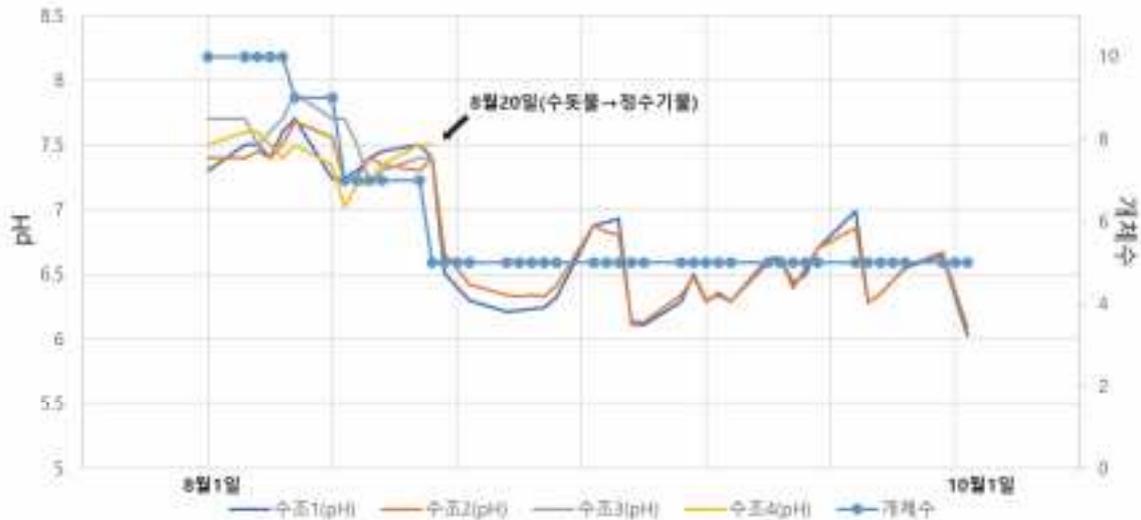


그림 II-6-(4). 수조 pH 및 생존 개체수 변화

반면 수조 1에서는 폐사가 발생하지 않았다. 원인으로서는 두 가지를 예상할 수 있었는데, 첫 번째로 수명을 들 수 있었다. 물거미의 수명은 1년으로 매우 짧다. 수조 3, 4의 경우 성장이 완료된 개체들로 수명을 다해 폐사하였을 것으로 판단된다. 두 번째로 pH가 영향을 미쳤을 가능성이 있다(그림 II-6-(5)).

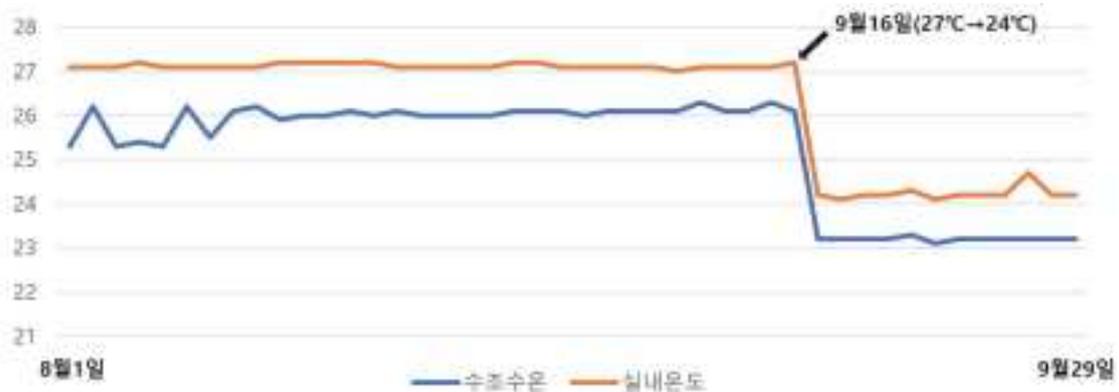


그림 II-6-(5). 실내온도 및 수조온도 변화

8월 1일부터 동월 19일까지 평균 pH를 측정한 결과 수조 3이 pH 7.58로 가장 높았으며, 수조 4보다는 작은 개체들로 구성되어 있음에도 불구하고 2개체 모두 폐사하였다.

pH의 측정을 시작한 8월 1일부터 8월 19일까지 수조 4의 pH는 약 7.5로 유지되었으며, 물이끼(녹조류)가 대량 발생하여 저면 여과기 콩돌이 막혀 수중 산소 공급에 차질이 발생하였다. 또한 양산(pH 5.33) 연천(pH 6.35) 두 서식지 모두 pH 7 이하의 중성에서 약산성을 띠고 있어 개선이 필요하였다. 영양은 석회암 지대로 수돗물의 pH가 높은 편에 속한다.

따라서 수집한 자료를 참고하여 사육수를 정수기 물로 대체하고 저면여과기에서 스펀지여과기로 변경한 후 경과를 지켜보았다. 이와 더불어 CO<sub>2</sub> 확산기를 설치하여 수시로 공급하였다. 이처럼 도출된 개선안을 8월 20일부터 적용한 결과 수조 1, 2의 pH는 7 이하로 내려갔으며, 10월 1일까지의 31일간(주말 제외)의 기록을 보면 평균 pH는 6.44였으며, 최고 6.99, 최저 6.44로 측정되었다(수조 3, 4는 개체가 모두 폐사하여 철거)(그림 II-6-(4)).

이와 더불어 물이끼(녹조류)의 증식을 억제하기 위하여 생이새우, 애플스네일 등을 정화생물로 함께 투입한 결과, 수치상의 자료는 얻지 못하였지만, 육안으로 적정 수질 유지 기간이 길어졌음을 확인할 수 있었으며, 일주일에 1회에서 2회 1~2L 정도의 물을 보충 해주었을 뿐 환수 주기를 3주에 1번 하여도 급작스러운 수질 및 pH 변화가 없음을 확인할 수 있었다. 8월 20일부터 10월 30일까지의 남은 개체의 생존율 역시 80%(5개체 중 4개체)로 높게 유지되었다.

선행연구에서 물거미는 사육 시 수온 29℃ 이상에서 폐사가 진행되는 것을 확인하였다. 따라서 27℃를 한계점으로 이를 넘지 않도록 수온을 설정하여 사육을 진행하였다. 수조의 수온은 보통 실내온도에서 대비 1℃ 정도 낮게 유지되는 것으로 측정되었으며, 측정 초기 온도계의 고장으로 불안정한 결과를 보였고, 새것으로 교체한 후에는 실내온도 대비 일정 수온을 유지하였다. 한여름 실내온도를 27℃로 설정하였을 경우 25℃ 후반에서 26℃ 초반으로 유지되었으며, 9월 16일 실내 설정온도를 24℃로 3℃ 하강 시킴에 따라 수온도 약 23℃로 3℃가량 낮아졌다(그림 II-6-(5)).

다행히 설정온도 변화에 따른 pH 변화는 극적인 변화는 관찰되지 않았다. 1년간의 서식지 수온 변화 자료가 확보되면 이를 참고하여 사육 시 동면 조건 등을 포함, 계절에 따른 서식지 수온에 맞게 설정하여 수조에 적용할 예정이다.

#### 나) 먹이원 및 급이

기존 선행연구를 참고하여 물거미의 주요 먹이원으로 실지렁이를 선정 후 제공하였으며, 서식지 조사 결과 줄새우가 서식하는 것을 확인하여, 생이 새우를 정화생물 겸 먹이원으로 함께 제공하였다(그림 II-6-(6)~(8)).



그림 II-6-(6). 생이새우



그림 II-6-(7). 애플스네일



그림 II-6-(8). 실지렁이 급이



그림 II-6-(9). 포식 후 잔여 사체(생이새우)

그 결과 실지렁이는 개체 주변에 공급하여 섭식을 확인하였으며, 생이새우의 경우 포식 후 남아 거미줄에 걸려 있는 사체 일부를 관찰할 수 있었다(그림 II-6-(9)). 먹이는 2~3일에 간격으로 제공하여도 생존에 무리가 없다는 결과를 얻었다.

안정적인 먹이 공급을 위해 두 가지 방법으로 나누어 먹이원을 관리하고 있다. 주로 공급되는 실지렁이는 4℃ 냉장고에 보관하고 있으며, 매일 수돗물 환수를 통해 박테리아, 독성 물질 등 오염을 방지하고 있다. 실지렁이는

한 개체가 죽기 시작하면 범위가 확대되는 특성이 있다. 따라서 혹시 모를 대량 폐사에 대비하여 일부는 상온(20~25℃)에서 실지렁이를 배양 증식하고 있다. 스티로폼 상자에 검은 모래를 깔고 산소발생기를 설치하여 관리하고 있으며, 현재까지 대량 폐사 없이 잘 관리되고 있어 이 방법들을 유지하며, 물벼룩, 냉동 장구벌레 등 먹이원의 다양화를 계획하고 있다.

### Ⅲ. 서식지 내 개체군 강화 및 안정화 연구

#### 1. 소똥구리

##### 가. 신두리 해안사구 내 방사개체 모니터링

###### 1) 연구내용 및 방법

###### 가) 연구내용

2023년 9월, 충청남도 태안군 신두리 해안사구에 소똥구리 200개체를 방사하여 서식지 복원을 추진하였다. 방사 후 2024년 모니터링에서는 소똥구리 6개체를 확인하였으나, 5월 중순 이후 추가 개체는 발견되지 않았다. 본 연구는 방사 이후 두 차례의 겨울을 지난 시점에서 소똥구리 개체군의 생존 및 서식지 적응 현황을 파악하고, 향후 복원 방향성을 제시하기 위해 수행되었다.

###### 나) 연구방법

본 조사는 소똥구리가 동면에서 깨어나 본격적으로 활동을 시작하는 시기인 4월 30일부터 5월 30일까지 5주간에 걸쳐 실시하였다(표 Ⅲ-1-(1)). 연구기간 동안 총 23일에 걸쳐 집중적인 모니터링이 이루어졌으며, 방사된 소똥구리 개체군의 생존 여부와 서식지 적응 현황을 파악하였다.

표 Ⅲ-1-(1). 2025년 신두리 해안사구 내 소똥구리 방사 후 모니터링

조사 차수	조사 기간	일수	비고
1주차	2025. 4. 30. ~ 5. 2.	3	
2주차	2025. 5. 5. ~ 5. 9	5	
3주차	2025. 5. 12. ~ 5. 16	5	
4주차	2025. 5. 19. ~ 5. 23.	5	
5주차	2025. 5. 26. ~ 5. 30.	5	

조사지점은 2024년 모니터링에서 소똥구리가 관찰된 지역을 기준으로 동일하게 구획화하였으며, 각 구획 내 대표지점을 선정하여 연구를 진행하였다. 각 지점 간 거리는 100m로 이격하여 선정되었고, 조사지점은 표 Ⅲ-1-(2), 그림 Ⅲ-1-(1)으로 구체적으로 제시하였다.

2025년 현재 신두리 해안사구에서는 태안군에서 관리하는 소의 방목이 중단되었고, 그로 인해 자연 상태의 우분을 활용할 수 없었다. 이를 해결하기 위해 멸종위기종복원센터에서는 신선한 우분을 신두리 사구센터 내 냉동고에 보관하였다가, 조사 직전 우분을 해동하여 각 조사지점에 격일로 교체하여 소똥구리를 유인하고자 하였다.

소똥구리의 출현 여부와 활동을 효과적으로 관찰하기 위해 각 지점에 무인 카메라(HP2X, Reconyx)를 설치하였다. 카메라는 주행성인 소똥구리 활동시간인 오전 6시부터 오후 7시까지 촬영이 가능하도록 설정되었으며, 5분 단위로 타임랩스로 촬영을 진행하였다(그림 III-1-(2)). 또한, 사구 내 주요 경로를 따라 오전과 오후 하루 2회 현장조사를 병행하여 소똥구리의 출현 여부와 사구 내 생물을 현지조사표에 기록하였다(표 III-1-(3)).

표 III-1-(2). 신두리 해안사구 내 모니터링 카메라 설치지점

구분	N	E
A	36°50'49.254"	126°11'47.460"
B1	36°50'42.292"	126°11'47.728"
B2	36°50'44.740"	126°11'54.273"
B3	36°50'48.125"	126°11'53.035"



그림 III-1-(1). 2025년 소똥구리 모니터링 지점



전경(A지점)



카메라(A지점)



전경(B1지점)



카메라(B1지점)



전경(B2지점)



카메라(B2지점)



전경(B3지점)



카메라(B3지점)

그림 III-1-(2). 해안사구 내 카메라 설치



## 2) 연구결과

2025년 4월 30일부터 5월 30일까지 실시된 육안 조사와 무인 카메라를 활용한 모니터링 결과, 방사된 소똥구리는 확인되지 않았다. 반면 소요산 소똥풍뎅이, 렌지소똥풍뎅이 등 똥풍뎅이류를 포함하여 총 21종의 사구 생물이 관찰되었다(표 III-1-(4), 그림 III-1-(3)). 또한, 사구 내 주요 생물로 멸종위기 야생생물 II급인 표범장지뱀과 관찰종인 주홍거미가 확인되었다. 특히, 렌지소똥풍뎅이 등 일부 똥풍뎅이류는 우분 제공 후 일주일이 경과한 5월 6일 최초로 발견되었으며, 이후 조사기간 동안 개체수가 점차 증가하는 경향을 보였다(그림 III-1-(4)).

표 III-1-(4). 소똥구리 방사지(신두리 해안사구) 내 서식 종 목록

구분	종명(국명)	1주	2주	3주	4주	5주	비고
1	곰보송장벌레		○				
2	녹슬은방아벌레				○		
3	물자라			○			
4	홍딱지바수염반날개			○			
5	애땅노린재		○				
6	애명주잠자리			○			
7	참길앞잡이		○	○			
8	천궁표주박바구미		○	○	○	○	
9	칠성무당벌레			○			
10	큰집게벌레		○	○	○	○	
11	꼬마모래거저리		○		○		
12	작은모래거저리		○				
13	강변거저리		○				
14	모래거저리	○		○	○	○	
15	애노랑똥풍뎅이		○	○		○	
16	꼬마곰보소똥풍뎅이		○	○	○	○	
17	소요산소똥풍뎅이			○	○	○	
18	렌지소똥풍뎅이		○	○	○	○	
19	갯털똥풍뎅이		○	○	○	○	
20	표범장지뱀	○	○	○	○	○	멸종 II
21	주홍거미					○	관찰종



렌지소똥풍뎅이



소요산소똥풍뎅이



모래거저리



천궁표주박바구미



애명주잠자리(유충)



참길앞잡이



표범장지뱀(멸종2급)



주홍거미(관찰종)

그림 III-1-(3). 소똥구리 방사지(신두리 해안사구) 내 서식 종

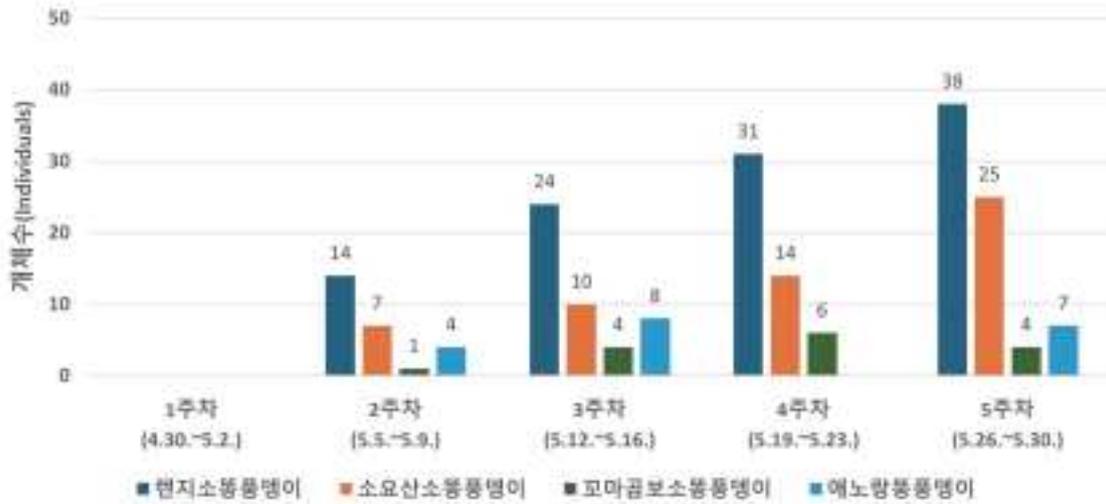


그림 III-1-(4). 신두리 해안사구 내 소똥구리류 출현 현황

### 3) 고찰

2023년 태안 신두리 해안사구는 과거 왕소똥구리의 국내 마지막 집단 서식지로 알려져 있으며, 방목된 소가 있고 보호지역(천연기념물, 국립공원)으로 관리되고 있었다. 또한 소똥구리가 서식하기 적합한 사질의 토양인 점 등의 이유로 소똥구리 복원지로 선정되었다. 2023년 9월 소똥구리 200개체가 방사되었고, 이후 지속적인 모니터링을 실시하였으나, 2024년 5월 이후부터 소똥구리가 관찰되지 않았다.

이는 소똥구리가 동면에서 깨어나 5~10월에 활동하는 생활사를 고려할 때, 방사 개체군이 한 세대를 전환하지 못하고 소멸하였음을 의미하며 소똥구리의 서식지 적합성, 포식압, 먹이자원 관리 등의 복원사업 전반을 재점검해야 할 필요성이 있음을 시사한다.

2025년 신두리 해안사구 내 소의 방목 중단으로 자연상태에서 우분 공급이 이루어지지 않았다(그림 III-1-(5)). 이에 유인용 우분 트랩을 반복적으로 설치하였으나 소똥구리는 확인되지 않았던 반면, 소똥풍뎡이류의 개체수는 점진적으로 증가하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 소똥구리의 소멸이 단순히 먹이자원의 부재 때문만은 아니라는 점을 시사한다. 소똥구리는 우수한 비행능력을 가지고 있어 해안사구 주변 지역으로의 확산이 가능하다. 그러나 신두리 해안사구 주변에는 대규모 방목 축사가 존재하지 않으며, 소똥구리가 서식하기에 적합한 사질 토양이 불연속적으로 분포하고 있다. 따라서 소똥구리가 사구를 벗어나

안정적인 먹이자원을 찾아 이동했을 가능성은 낮을 것으로 판단된다. 이는 2023년 방사지 선정 당시에도 충분히 고려한 사항으로, 해안사구 동측 2km 거리에 폐쇄형 축사가 위치해 있지만 대규모 방목 축사는 존재하지 않는다.



그림 III-1-(5). 신두리 해안사구 내 방목 현황: 2024(좌), 2025(우)

24년 연구결과(NIE, 2024)에 따르면, 신두리 해안사구 내 소똥구리에 대한 위협요인으로 사구 육지화를 막기 위한 제초작업과 강우로 인한 습지 형성을 제시한 바 있다. 이외에 직접적인 위협을 주는 잠재적 포식자로 두더지, 까마귀류, 물떼새류, 장지뱀류 등이 관찰되었다. 특히 표범장지뱀은 신두리 해안사구 내에서 높은 개체밀도를 보이며, 무인 카메라 모니터링 결과 분변에 유인되는 분식성 곤충을 적극적으로 포식하는 행동이 확인되었다(그림 III-1-(6)). 직접적인 소똥구리 포식은 관찰되지 않았으나, 성체 크기와 지표성 곤충 중심의 섭식 특성을 고려할 때, 신두리 해안사구 내 소똥구리 복원을 평가하기 위해 표범장지뱀의 먹이원 분석과 섭식 활동에 대한 추가 조사가 요구된다.



그림 III-1-(6). 섭식활동을 하는 표범장지뱀

## 나. 소똥구리 연방사(Soft release)를 통한 환경적응력 확인

### 1) 연구내용 및 방법

#### 가) 연구내용

몽골은 뚜렷한 사계절과 큰 일교차가 특징인 대륙성 기후를 보인다. 연간 강수량은 지역별로 큰 차이를 보이며, 소똥구리의 주요 서식지인 남부 고비사막 지역의 연평균 강수량은 약 100mm에 불과하다. 고비사막 지역의 1월 기온은  $-25^{\circ}\text{C}$ ~ $-15^{\circ}\text{C}$ 까지 하강하고, 가장 더운 달인 7월에는 평균 기온이 약  $20\sim 25^{\circ}\text{C}$  정도로 상승한다(<https://worldweather.wmo.int>).

반면, 한국은 몽골보다 온난하고 습윤한 기후를 보인다. 특히 소똥구리의 번식기에 해당하는 여름철에는 고온다습한 우기가 형성된다. 이러한 기후 특성은 소똥구리의 번식기와 겹치며, 높은 습도는 소똥구리 경단의 생성과 유충 발달에 부정적인 영향을 미칠 수 있다(NIE, 2024).

본 연구는 소똥구리의 환경 적응력을 평가하기 위해 다음 사항을 확인하였다.

1. 동면 후 생존 가능성: 국내 자연 기후 조건에서 소똥구리가 월동할 수 있는지 확인한다.
2. 활동시기: 태안과 영양의 환경 차이가 소똥구리의 동면 해제 시기에 미치는 영향을 확인한다.
3. 번식 가능성: 고온다습한 국내 여름철 환경에서 소똥구리가 산란 및 유충 발달이 가능한지 확인한다.

이러한 목표를 달성하기 위해 태안 신두리 해안사구에 대형 사육상을 설치하여 소똥구리를 사육하고 관찰하였다. 이러한 조건은 소똥구리가 자연 환경에 직접 노출되면서도 포식압은 통제될 수 있도록 설계되었다.

#### 나) 연구방법

복원지와 멸종위기종복원센터 야외사육 환경에서 소똥구리의 동면 행동을 비교하기 위해, 별도의 사육상(W:410×L:310×H:460mm)를 제작하였다. 2025년 2월 6일, 복원센터에서 동면 중인 소똥구리 20개체(암수 10쌍)를 신두리 해안사구 인근에 배치하였다(그림 III-1-(7)). 동면 개체에 대한 생리적 영향을

최소화하기 위해 사육상은 지면 아래로 매립하였다.



그림 III-1-(7). 소똥구리 동면행동 관찰을 위한 연구장소

또한, 사육상 상단에 타임랩스 카메라(Fockety, Time interval: 10 min)와 기상관측 장비(Hobo)를 설치하여 소똥구리의 동면 해제 후 활동 시기와 기상정보(온도, 습도)를 체계적으로 관찰하였다(그림 III-1-(8)). 또한, 신두리 사구센터 관계자와 모니터링 협조 및 비상 연락 체계를 마련하여 원활한 모니터링이 이루어질 수 있도록 하였다.

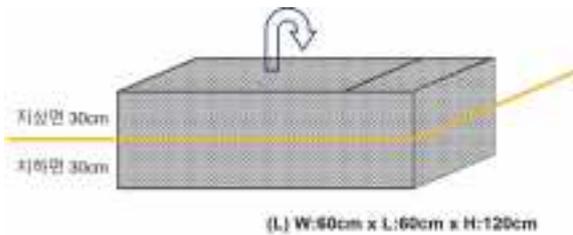


그림 III-1-(8). 소똥구리 동면행동 관찰을 위한 사육상

동면에서 깨어난 개체는 버니어캘리퍼스(150mm, Ecotone)를 이용하여 가슴폭과 체장을 mm 단위로 측정하였고, 파상기법(Scarification)을 사용하여 개체의 딱지 날개에 식별 번호를 표시하였다. 이후 개체들을 대형 사육상(W:600×L:600×H:1200mm)으로 이동시켜 국내 기후 및 서식 환경에 대한 적응 가능성을 평가

하기 위한 사육 및 관찰을 진행하였다(그림 III-1-(9)).

소똥구리 동면 행동을 관찰을 위해 기존에 설치한 타임랩스 카메라는 해체되었고, 사구센터 관리자가 육안으로 관찰하고 일지를 작성하도록 하였다. 또한, 복원센터에서 냉동 보관중인 우분을 소분하여 사구센터 냉동고에 보관하였고, 먹이공급은 월·수·금 격일로 우분을 해동하여 신선한 분변을 제공하였다.



사육상 제작 도면



환경적응력 확인을 위한 사육상



개체크기 측정 및 각인



사육상 내 소똥구리 입식

그림 III-1-(9). 소똥구리 동면행동 관찰을 위한 사육상II

## 2) 연구결과

### 가) 동면 해제 시기 및 생존율

복원지와 복원센터 야외사육 환경에서 소똥구리의 동면 행동을 비교한 결과, 복원지에서 소똥구리 활동은 5월 19일 먹이섭식 흔적을 시작으로, 5월 20일에는 소똥구리 3개체의 활동이 관찰되었다(그림 III-1-(10)). 반면, 복원센터에서는 5월 13일에 첫 활동 개체가 확인된 이후 점진적으로 활동이 개시되었다.



(2025-5-19) 먹이섭식 흔적



(2025-5-20) 소똥구리 3개체 활동 확인

그림 III-1-(10). 복원지(신두리 해안사구) 내 동면 해제 확인

복원센터(영양)와 복원지(태안)에서의 활동 개시 시기에는 7일의 차이가 발생하였다. 관찰 결과, 소똥구리의 활동은 토양 온도가 최저 10℃ 부근에서 안정화되고 최고 30℃에 도달하는 시점을 기점으로 시작되는 양상을 보였다. 복원센터는 내륙에 위치하여 낮은 비열의 영향으로 일교차가 크고 기온이 빠르게 상승한 반면, 해안가에 위치한 복원지는 바다의 영향으로 기온이 상대적으로 완만하게 이루어졌다. 이러한 지리적 특성에 따른 기온 상승 속도의 차이가 소똥구리 활동에 필요한 적산온도 축적 및 임계온도(약 30℃) 도달 시기의 차이를 유발한 결과로 판단된다(그림 III-1-(11)).

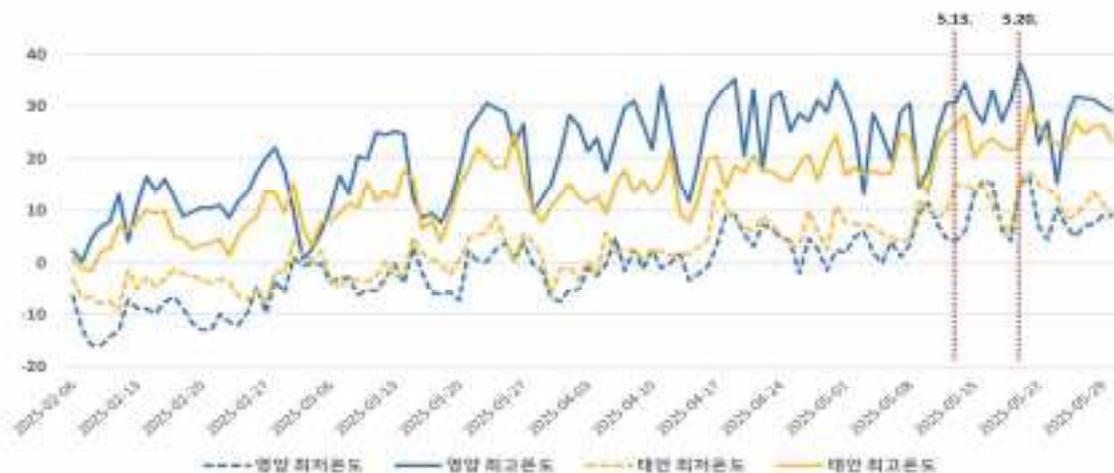


그림 III-1-(11). 멸종위기종복원센터(영양), 복원지(태안) 간 토양온도 변화

동면 후 생존율을 살펴보면, 복원지(태안)는 동면 개체 20개체 중 19개체가 생존하고 암컷 1개체만 폐사하여 95%의 생존율을 나타냈다. 반면, 복원센터(영양)는

동면개체 22개체 중 13개체만 생존하고 수컷 4개체와 암컷 5개체가 폐사하여 59%의 생존율을 나타냈다. 복원센터 동면개체의 폐사율이 높은 주된 원인은 2023년에 태어난 개체들이 2년이 경과해 생애주기상 자연사망 시기에 도달했기 때문으로 판단된다. 이와 달리, 복원지(태안)에서 95%의 높은 생존율은 실험실 환경이 아닌 자연적인 기후 조건에서 포식압을 제외한 상태에서도 소똥구리가 성공적으로 월동할 수 있음을 시사한다.

#### 나) 번식 활동 관찰

2025년 7월 11일, 관광객에 의해 사육상이 손상되어 60L 리빙박스로 소똥구리 관찰 사육상을 교체하였다. 사육상 교체 과정에서 소똥구리 12개체와 산란경단 17개를 확인하였다(그림 III-1-(12)). 개체수가 감소한 이유는 관리자가 먹이를 교체할 때 잔여 우분과 함께 일부 소똥구리가 외부로 반출되었을 것으로 판단된다. 산란 경단의 경우, 유충이 발달하여 3령 단계에 있음을 확인하였다. 이는 소똥구리가 번식기에 산란 활동을 하고 성공적으로 번식이 진행되었음을 나타내며, 이는 소똥구리의 번식 환경이 적절하고 유충 발달에 필요한 생태적 조건들이 충족되었음을 의미한다.



연방사 사육상에서 나온 산란경단

경단 내 3령유충

그림 III-1-(12). 소똥구리 연방사지 점검(7월 11일)

#### 다) 실험의 한계

2025년 8월 29일 소똥구리 사육상 점검 결과, 관리 소홀로 사육상이 파손되고 소똥구리 활동 개체가 확인되지 않아 사육상을 해체한 후 소똥구리 사체와 경단을 수거하였다. 수거된 소똥구리 사체 중 일부는 딱지날개와 발톱 마디가 완전히 경화되지 않는 것으로 보아 새롭게 태어난 개체로 판단되었고, 산란 경단을 분해하여 확인한 결과 우화 중 폐사한 소똥구리도 확인되었다(그림 III-1-(13)). 한정된 관찰기간 동안 덥고 습한시기에 소똥구리 산란 및 유충 발달을 확인할

수 있었으나, 우화 성공률 및 장기적인 환경적응 가능성에 대해서는 추가적인 연구가 필요해 보인다. 이는 소똥구리 복원의 성공적인 지속을 평가하기 위한 중요한 요소로, 향후 연구를 통해 우화율 및 장기적인 생존 가능성에 대해 더 구체적인 자료를 확보할 필요가 있다.



파손된 사육상



수거된 경단



우화중 폐사한 소똥구리



산란경단 분해 및 발달사항 확인

그림 III-1-(13). 소똥구리 연방사지 점검(8월 29일)

### 3) 고찰

본 연구를 통해서 소똥구리가 국내 자연 기후 조건에서 성공적으로 월동할 수 있음을 확인하였으며, 활동 개시 시기에서 지리적 특징에 따른 지역 간 차이가 발생할 수 있음을 보여주었다. 또한, 고온 다습한 국내 여름철 환경에도 소똥구리의 산란 활동과 유충 발달 등 번식 활동이 관찰되었다. 이는 소똥구리가 여름철 고온 다습한 환경조건에 대해 생리적, 행동적 적응 능력을 갖추고 있음을 시사하며, 다양한 기후 조건에서의 생존 및 번식에 대한 적응적 전략을 나타낸다.

하지만 사육상 관리 문제로 인해 유충에서 성충으로 우화한 개체들의 성공률 및 신생 개체의 생존 가능성에 대해서는 명확히 확인할 수 없었다. 우화 중 일부 폐사한 개체가 발견되었으나, 이들이 국내 기후 조건, 특히 여름철 강우와 습도 때문인지 사육상 관리 문제인지 명확히 구분할 수 없었다. 또한 7월 이후 사육상 파손과 관리 소홀로 인해 여름철 전 기간에 걸친 체계

적인 관찰이 이루어지지 않았다. 이를 보완하기 위해 전남 신안군에 추가 연구지를 확보하였고, 해당 지자체(태안군, 신안군) 담당자와 관리 소홀 및 파손 방지를 위해 관리자 교육, 입식 사육상 설치 등을 논의하였다.

또한, 사육상은 외부 충격에 파손되지 않도록 지하부 30cm 깊이에 폭 2m, 길이 2m, 높이 2m 크기로 설치하였고, 10월 16일에는 신안군과 태안군에 각각 20개체와 19개체를 방사하였다(그림 III-1-(14)). 향후 사육상 및 사육관리 체계를 강화하여, 번식기(5~9월) 동안 체계적인 모니터링 수행하고, 장기적인 모니터링을 통해 세대 간 생존율 및 개체군 유지 가능성을 평가하고자 한다.



연방사 업무협의(태안)



연방사 업무협의(신안)



연방사 사육상(태안)



연방사 사육상(신안)



관리 방법 등 현장교육



방사된 개체

그림 III-1-(14). 관련기관 협의, 연방사장 설치 및 소똥구리 방사

## 2. 수염풍뎅이

### 가. 서식지 내 개체군 모니터링

#### 1) 연구 내용 및 방법

##### 가) 연구내용

멸종위기 야생곤충인 수염풍뎅이(*Polyphylla laticollis manchurica*)를 대상으로 하였으며, 환경부 야생동물종합관리시스템에 등록 후 공식적인 허가(허가번호: ED202406ECP002호, ED202504ECP013호)를 받은 뒤 조사를 수행하였다. 2025년 수염풍뎅이 개체군 동태 조사는 기존 5개 조사지점과 잠재 서식지 2개 지점으로 총 7개 지점에서 실시하였다(표 III-2-(1)).

표 III-2-(1). 수염풍뎅이 개체군 분포 조사지역

번호	지역	지점	비고
1	충청남도 논산시 강경읍	황산대교 일대	기존 서식지
2	충청남도 부여군 부여읍	나래공원 일대	기존 서식지
3	충청남도 공주시 신관동	금강신관공원 일대	기존 서식지
4	세종시 보람동	보행교 일대	기존 서식지
5	충청북도 청주시 옥산면	옥산교 일대	기존 서식지
6	경기도 연천군 연천읍	북삼교 일대	신규 조사지
7	강원도 영월군 영월읍	북쌍리 일대	신규 조사지

잠재 서식지는 '24년에 수염풍뎅이를 발견하였다는 전문가의 제보로 '25년에 신규 조사지점으로 추가하였다. 올해 모니터링을 수행한 지점은 기존 조사지점으로서 1) 논산시 강경읍 황산리 황산대교 일대, 2) 부여군 부여읍 군수리 나래공원 일대, 3) 공주시 신관동 금강신관공원 일대, 4) 세종시 보람동 보행교 일대, 5) 청주시 청원군 옥산면 옥산교 일대이며, 신규 조사지점으로 6) 경기도 연천군 연천읍 북삼교 일대, 7) 강원도 영월군 영월읍 북쌍리 일대를 조사하였다(그림 III-2-(1)).



논산 황산대교 일대 조사 지점



부여군 부여읍 나래공원 일대 조사 지점



세종시 연동면 예양리 일대 조사 지점



청주시 흥덕구 옥산면 오산리 일대 조사 지점



공주시 신관동 금강신관공원 일대 조사 지점



수염풍덩이 조사 방법-야간 등화

그림 III-2-(1). 수염풍덩이 개체군 모니터링 연구

## 나) 연구방법

조사시기는 2025년에는 6월 11일부터 8월 10일까지 수행하였다. 수염풍덩이의 조사 방법은 조사지점에서 야간 등화 조사를 기본으로, 주간에는 주변 선 조사를 병행하였다. 조사는 모든 지점에서 2회 이상 실시하였으며, 조사 방법은 야간 등화를 이용한 모니터링을 실시하였고, 주간에는 조사지점

주변을 육안으로 확인하였다. 조사 내용은 암수의 출현 시각, 개체별 형태(체장, 체폭, 체고, 무게)를 기록하였다.

야간 등화는 조사지점에서 발전기(EU10i, 0.9kVA, 220V, Honda, Japan 또는 Delta 2 Max, 2048Kwh, Ecoflow, China)와 야간 등화 장비(Light monitoring; metal-halide lamp, 400W, IIKwang, ROK)를 이용하여 조사하였다.

## 2) 연구결과

### 가) 총론

2019년부터 2025년까지 연도별 분포조사 지역 및 개체수를 조사하였다 (표 III-2-(2)).

표 III-2-(2). 수염풍뎅이 개체군 연도별 분포조사 지역 및 개체수

번호	지역	연도별 분포 조사 지역 및 개체 수(폐사체 포함)						
		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
1	충청남도 논산시 강경읍 (황산대교 일대)	2	2	3	1	3	11	4
2	충청남도 부여군 부여읍 (나래공원 일대)	8	9	4	6	-	5	-
3	충청남도 공주시 신관동 (신관공원 일대)	-	-	-	-	-	1	-
4	세종시 보람동 (보행교 일대)	-	-	-	-	43	-	212*
5	충청북도 청주시 옥산면 (옥산교 일대)	-	14	24	23	46	49	202*
6	경기도 연천군 연천읍 (북삼교 일대)	-	-	-	-	-	-	13
7	강원도 영월군 영월읍 (북쌍리 일대)	-	-	-	-	-	-	-

- : 발견기록 없음, \* : 시민과학 활동을 포함한 결과

2025년에는 기존 조사지점에서 논산에서는 총 2개체, 세종시에서는 총 212개체, 청주에서는 총 202개체를 발견하였으며, 부여와 공주시에서는 발견하지 못하였다. 신규 조사지점에서 연천에서는 13개체, 영월에서는 발견하지 못하였다. 논산 지역은 개체군이 지속적으로 유지되고 있으나 부여지역은 지속적인 조사가 필요하다.

공주지역은 신규 서식지로 포함되었으나 개체군이 작아 관찰이 어려운 것

으로 보인다. 청주와 세종 지역에서는 시민과학 활동 결과를 포함하고 있어, '24년 조사 시보다 많은 수염풍뎅이가 발견되었다. 이 두 지역에서는 수염 풍뎅이가 안정적으로 개체군을 유지하고 있는 것으로 판단된다.

잠재 서식지로 조사된 연천군은 첫 조사이지만 개체군이 안정적으로 유지 되는 것으로 보였다. 하지만 영월군에서는 전문가의 제보가 있었음에도 시기와 날씨가 맞지 않아 발견하지 못한 것으로 판단되며, 향후 지속적인 조사가 필요할 것으로 보인다.

수염풍뎅이의 분포지역은 총 6개 지역(기존: 5, 신규: 1)으로 확인되었다 (그림 III-2-(2)).



그림 III-2-(2). 수염풍뎅이 기존 분포지역 및 신규 발견지역

## 나) 논산시 강경읍 조사 결과

2025년 논산에서는 1차 조사(6월 26일)에 등화로 2개체를 확인하였고, 2차 조사(7월 23일)에서는 주간 조사 중 사체 2개체를 발견하여 총 4개체를 발견하였다. 발견된 개체는 모두 수컷이었다(그림 III-2-(3), 표 III-2-(3)).



그림 III-2-(3). 논산시 수염풍뎠이 모니터링

※ 온습도 정보: 1차 조사 당일(6.26) 온도 21℃, 습도 90% 이상

2차 조사 당일(7.22) 온도 26℃, 습도 60% 이상

표 III-2-(3). 논산시 수염풍뎠이 모니터링 결과

일자	방법	성별	발견시간	무게	주소	좌표
6.26	등화	수	8:28	1.31	황산대교 하부	36° 48' 00.00" N, 126° 07' 00.00" E
6.26	등화	수	8:34	1.68	황산대교 하부	36° 48' 00.00" N, 126° 07' 00.00" E
7.23	육안	수	사체		황산대교 하부	36° 48' 00.00" N, 126° 07' 00.00" E
7.23	육안	수	사체		황산대교 하부	36° 48' 00.00" N, 126° 07' 00.00" E

2차 조사 당시, 조사 전 전국적으로 발생한 홍수로 인하여 인근 수변 인도가 침수되었던 흔적이 확인되었다. 홍수 이후 수염풍뎠이가 추가로 확인되지 않는 점을 고려할 때, 홍수가 수염풍뎠이의 서식 및 생존에 일정 부분 영향을 미친 것으로 판단된다. 특히 2차 조사에서 수염풍뎠이 사체가 발견된

지점은 다리 하부에 설치된 빗물받이 물웅덩이로, 홍수 시 빗물과 함께 유실된 개체가 해당 지점에 퇴적된 것으로 추정된다.

다) 부여군 부여읍 조사 결과

2025년 부여에서는 1차 조사(6월 25일)와 2차 조사(7월 23일) 모두에서 수염풍뎅이 개체가 확인되지 않았다. 1차 조사 당시에는 조사 당일 오전까지 강우가 지속되었고, 조사 시작 시 기온이 약 19℃로 낮아 수염풍뎅이 활동이 제한되었을 가능성이 큰 것으로 판단된다. 또한, 2차 조사 시기에는 조사 전 전국적으로 집중호우가 발생하여 홍수 및 침수 피해가 있었던 것으로 확인되었다. 이와 같은 기상 조건을 고려할 때, 부여지역에서는 1차 조사 시 낮은 기온, 2차 조사 시에는 침수로 인한 개체수 감소의 영향으로 수염풍뎅이가 확인되지 않은 것으로 판단된다(그림 III-2-(4), 표 III-2-(4)).



그림 III-2-(4). 부여군 수염풍뎅이 모니터링

※ 온습도 정보: 1차 조사 당일(6.25) 온도 19℃, 습도 70% 이상  
2차 조사 당일(7.23) 온도 26℃, 습도 70% 이상

표 III-2-(4). 부여군 수염풍뎅이 모니터링 결과

일자	방법	성별	발견시간	체장	체폭	주소	좌표
6.25	등화	-	-			나래공원	37° 48' 44.44" N, 126° 52' 44.44" E
7.23	등화	-	-			나래공원	37° 48' 44.44" N, 126° 52' 44.44" E

라) 공주시 신관동 조사 결과

2025년 공주에서는 1차 조사(7월 3일)와 2차 조사(7월 25일)를 실시하였으나, 두 차례 조사 모두에서 수염풍뎅이는 확인되지 않았다. 조사는 주간에 금강신관공원, 금강쌍신공원과 공주 고마나루 일원을 대상으로 실시하였으며, 이 중 야간조사는 금강쌍신공원에서 등화 조사로 진행하였다. 한편, 공주 지역에서는 세종시 시민과학 활동에 참여한 학생이 공주생명과학고등학교 뒤편에서 수염풍뎅이를 발견하였다는 제보가 접수되어, 향후 해당 지역에 대한 조사가 필요할 것으로 판단된다(그림 III-2-(5), 표 III-2-(5)).



그림 III-2-(5). 공주시 수염풍뎅이 모니터링

※ 온습도 정보: 1차 조사 당일(7.3) 온도 28℃, 습도 70% 이상

2차 조사 당일(7.25) 온도 29℃, 습도 60% 이상

표 III-2-(5). 공주시 수염풍뎅이 모니터링 결과

일자	방법	성별	발견시간	체장	체폭	주소	좌표
7.03	육안	-	-			금강신관공원	36° 48' 00.44" N, 126° 09' 00.00" E
7.25	육안	-	-			금강쌍신공원	36° 48' 00.44" N, 126° 09' 00.00" E

마) 세종시 보람동 조사 결과

2025년 세종에서는 수염풍뎅이 시민과학을 통해 시민들과 함께 조사를 수행하였다. 등화 조사는 1차(6월 7일)와 2차(6월 28일)에 실시하였으며, 6월 7일부터 8월 10일까지 총 79명의 시민과학자가 참여하여 보행교, 한두리대교, 학나래교의 북측(우완)과 남측(좌완) 등 총 6개 지점을 대상으로 매주 1회 육안 조사를 실시하였다. 그 결과, 등화 조사에서는 총 21개체가 확인되었으며, 시민과학자들에 의한 육안 조사에서는 총 212개체가 확인되었다(그림 III-2-(6), 표 III-2-(6)).

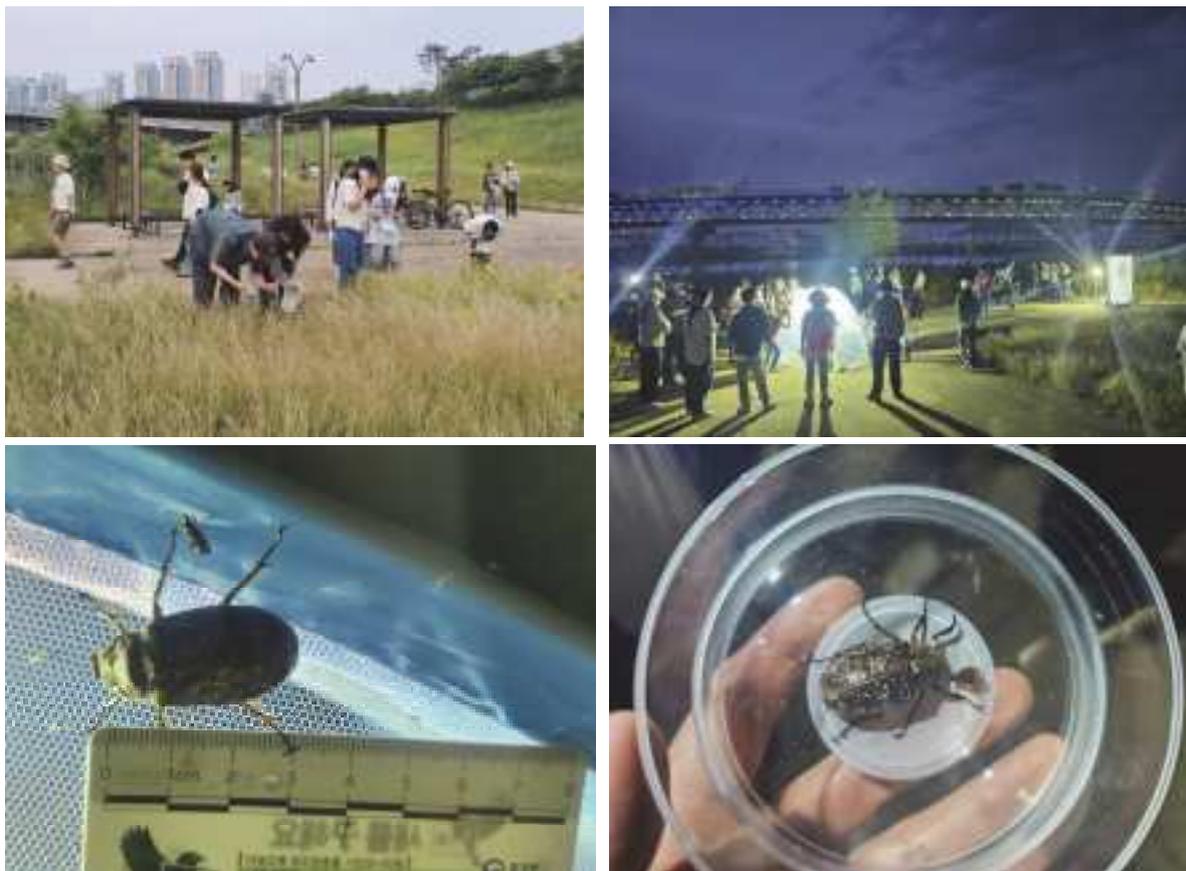


그림 III-2-(6). 세종시 수염풍뎅이 모니터링

※ 온습도 정보: 야간 조사 당일(6.7) 온도 27℃, 습도 70% 이상  
야간 조사 당일(6.28) 온도 29℃, 습도 80% 이상

표 III-2-(6). 세종시 수염풍뎅이 모니터링 결과

일자	방법	성별	발견시간	무게	주소	좌표
6.07	등화	수	20:29		세종시 보람동	37° 47' 55.447" N, 126° 57' 11.52" E
6.07	등화	수	20:30		세종시 보람동	37° 47' 55.447" N, 126° 57' 11.52" E
6.07	등화	수	20:37		세종시 보람동	37° 47' 55.447" N, 126° 57' 11.52" E
6.07	등화	수	20:39		세종시 보람동	37° 47' 55.447" N, 126° 57' 11.52" E
6.07	등화	수	20:39		세종시 보람동	37° 47' 55.447" N, 126° 57' 11.52" E
6.07	등화	수	20:52		세종시 보람동	37° 47' 55.447" N, 126° 57' 11.52" E
6.28	등화	수	20:16	1.12	세종시 보람동	37° 47' 55.447" N, 126° 57' 11.52" E
6.28	등화	수	20:30	1.41	세종시 보람동	37° 47' 55.447" N, 126° 57' 11.52" E
6.28	등화	수	20:32	1.38	세종시 보람동	37° 47' 55.447" N, 126° 57' 11.52" E
6.28	등화	수	20:34	1.34	세종시 보람동	37° 47' 55.447" N, 126° 57' 11.52" E
6.28	등화	수	20:36	1.37	세종시 보람동	37° 47' 55.447" N, 126° 57' 11.52" E
6.28	등화	수	20:39	1.49	세종시 보람동	37° 47' 55.447" N, 126° 57' 11.52" E
6.28	등화	수	20:40	1.43	세종시 보람동	37° 47' 55.447" N, 126° 57' 11.52" E
6.28	등화	수	20:41	1.23	세종시 보람동	37° 47' 55.447" N, 126° 57' 11.52" E
6.28	등화	수	20:42	1.42	세종시 보람동	37° 47' 55.447" N, 126° 57' 11.52" E
6.28	등화	수	20:47	1.3	세종시 보람동	37° 47' 55.447" N, 126° 57' 11.52" E
6.28	등화	수	20:49	1.79	세종시 보람동	37° 47' 55.447" N, 126° 57' 11.52" E
6.28	등화	암	20:51	2.66	세종시 보람동	37° 47' 55.447" N, 126° 57' 11.52" E
6.28	등화	수	20:53	1.43	세종시 보람동	37° 47' 55.447" N, 126° 57' 11.52" E
6.28	등화	수	20:56	1.16	세종시 보람동	37° 47' 55.447" N, 126° 57' 11.52" E
6.28	등화	암	20:57	2.79	세종시 보람동	37° 47' 55.447" N, 126° 57' 11.52" E

세종시에서는 시민과학자들의 활동으로 지점별, 조사 주차별 수염풍뎅이 발견 개체수가 높아지는 경향을 보였다(그림 III-2-(7)).

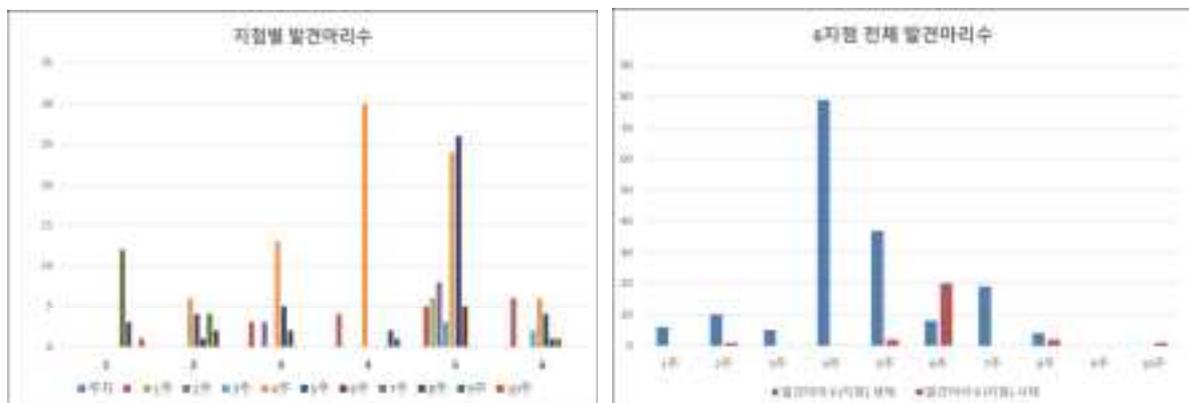


그림 III-2-(7). 세종시 시민과학자 지점별 모니터링 결과

## 바) 청주시 옥산면 조사 결과

2025년 청주에서는 옥산교 하부에서 등화 조사를, 상부에서 육안 조사를 병행하여 총 5회 조사를 수행하였다. 이 중에서 2차, 4차는 청주국제에코 콤플렉스와 청주시청과 함께 진행하는 '2025년 청주시 수염풍뎅이 시민과학 활동'에 참여한 시민과학자들과 협력하여 모니터링을 진행한 결과이다(그림 III-2-(8), 표 III-2-(7)).



그림 III-2-(8). 청주시 수염풍뎅이 모니터링

※ 온습도 정보: (6.11), 21℃, 70% 이상; (6.19), 27℃, 70% 이상; (7.2), 29℃, 60% 이상;  
(7.18), 25℃, 70% 이상; (7.24), 29℃, 80% 이상

1차 조사에서는 수염풍뎅이를 발견하지 못하였으나, 2차 조사에서 30개체를 확인하였고, 3차에서 13개체, 4차에서 6개체, 5차에서 5개체가 관찰되었다. 4차 조사 시 옥산교 산책로가 범람으로 인해 출입이 통제된 상황에서 제방에서 등화 조사를 실시하였으며, 이로 수염풍뎅이가 유인되는 것을 확인하였다. 이 결과는 수염풍뎅이가 모래톱에 국한되지 않고 주변 수변 식물 근처에서도 서식할 가능성을 시사하며, 홍수 등의 환경변화로 일부 영향을 받더라도 성충이 생존을 위해 인근 지역으로 이동할 수 있음을 나타낸다. 이러한 관찰은 종의 생태적 유연성을 강조하며, 보전전략 수립에 유용한

자료가 될 것이다.

표 III-2-(7). 청주시 수염풍뎅이 모니터링 결과

일자	방법	성별	발견시간	체장	체폭	주소	좌표
6.11	등화	-	-			옥산교 하부	42° 48' 55.442" N, 128° 12' 57.911" E
6.19	등화	수	20:38	32.36	15.96	옥산교 하부	42° 48' 55.442" N, 128° 12' 57.911" E
6.19	등화	수	20:38	32.12	15.83	옥산교 하부	42° 48' 55.442" N, 128° 12' 57.911" E
6.19	등화	수	20:38	31.69	14.36	옥산교 하부	42° 48' 55.442" N, 128° 12' 57.911" E
6.19	등화	수	20:45	32.26	15.19	옥산교 하부	42° 48' 55.442" N, 128° 12' 57.911" E
6.19	등화	암	21:10	32.80	15.49	옥산교 하부	42° 48' 55.442" N, 128° 12' 57.911" E
6.19	등화	암	21:51	36.98	15.83	옥산교 하부	42° 48' 55.442" N, 128° 12' 57.911" E
6.19	등화	수	22:05	32.97	15.34	옥산교 하부	42° 48' 55.442" N, 128° 12' 57.911" E
6.19	등화	암	22:20	35.36	16.58	옥산교 하부	42° 48' 55.442" N, 128° 12' 57.911" E
6.19	등화	암	23:47	32.84	14.75	옥산교 하부	42° 48' 55.442" N, 128° 12' 57.911" E
6.19	등화	수	23:47	34.54	15.48	옥산교 하부	42° 48' 55.442" N, 128° 12' 57.911" E
6.19	등화	수	23:47	35.80	16.86	옥산교 하부	42° 48' 55.442" N, 128° 12' 57.911" E
6.19	등화	수	23:47	35.95	16.85	옥산교 하부	42° 48' 55.442" N, 128° 12' 57.911" E
6.19	등화	수	23:47	사체	-	옥산교 상부	42° 48' 55.442" N, 128° 12' 57.911" E
7.2	등화	수	20:52	33.82	15.14	옥산교 하부	42° 48' 55.442" N, 128° 12' 57.911" E
7.2	등화	수	21:01	35.64	14.26	옥산교 하부	42° 48' 55.442" N, 128° 12' 57.911" E
7.2	등화	수	21:02	34.26	14.68	옥산교 하부	42° 48' 55.442" N, 128° 12' 57.911" E
7.2	등화	수	21:06	31.29	12.99	옥산교 하부	42° 48' 55.442" N, 128° 12' 57.911" E
7.2	등화	수	21:40	33.98	13.87	옥산교 하부	42° 48' 55.442" N, 128° 12' 57.911" E
7.2	등화	수	21:41	33.18	13.45	옥산교 하부	42° 48' 55.442" N, 128° 12' 57.911" E
7.2	육안	사체	22:33	-	-	옥산교 하부	42° 48' 55.442" N, 128° 12' 57.911" E
7.2	육안	수	22:36	-	-	옥산교 하부	42° 48' 55.442" N, 128° 12' 57.911" E
7.2	육안	암	22:38	-	-	옥산교 하부	42° 48' 55.442" N, 128° 12' 57.911" E
7.2	육안	수	22:38	-	-	옥산교 상부	42° 48' 55.442" N, 128° 12' 57.911" E
7.2	육안	수	22:41	-	-	옥산교 상부	42° 48' 55.442" N, 128° 12' 57.911" E
7.2	육안	사체	22:44	-	-	옥산교 상부	42° 48' 55.442" N, 128° 12' 57.911" E
7.2	육안	사체	10:50	-	-	옥산교 상부	42° 48' 55.442" N, 128° 12' 57.911" E
7.18.	등화	수	8:56	-	-	옥산교 일원	42° 48' 55.442" N, 128° 12' 57.911" E
7.18.	등화	수	8:59	-	-	옥산교 일원	42° 48' 55.442" N, 128° 12' 57.911" E
7.18.	등화	수	9:01	-	-	옥산교 일원	42° 48' 55.442" N, 128° 12' 57.911" E
7.18.	등화	수	9:01	-	-	옥산교 일원	42° 48' 55.442" N, 128° 12' 57.911" E
7.18.	등화	수	9:15	-	-	옥산교 일원	42° 48' 55.442" N, 128° 12' 57.911" E
7.18.	등화	수	9:26	-	-	옥산교 일원	42° 48' 55.442" N, 128° 12' 57.911" E
7.24	등화	수	8:55	-	-	옥산교 하부	42° 48' 55.442" N, 128° 12' 57.911" E
7.24	등화	암	9:29	-	-	옥산교 하부	42° 48' 55.442" N, 128° 12' 57.911" E
7.24	육안	사체	10:04	-	-	옥산교 상부	42° 48' 55.442" N, 128° 12' 57.911" E
7.24	육안	사체	10:11	-	-	옥산교 상부	42° 48' 55.442" N, 128° 12' 57.911" E
7.24	육안	사체	10:14	-	-	옥산교 상부	42° 48' 55.442" N, 128° 12' 57.911" E

### 사) 연천군 조사 결과

2025년 연천에서는 1차(7월 8일)와 2차(8월 6~8일) 조사를 실시하였다. 1차 조사 당시 일몰 직전 비행하는 수컷 무리가 관찰되었으며, 등화에 총 13 개체가 유인되어 비교적 안정적인 개체군이 서식하고 있는 것으로 판단되었다. 2차 조사는 전년도 전문가 제보가 8월 7일이었던 점을 고려하여 유사한 시기에 진행하였으나, 수염풍뎅이는 확인되지 않았다. 특히 2차 조사 시 북삼교 일원에서는 지난 홍수로 인해 지역이 대규모로 침수되었던 흔적이 확인되었다(그림 III-2-(9), 표 III-2-(8)).



그림 III-2-(9). 연천군 수염풍뎅이 모니터링

※ 온습도 정보: 1차 조사 당일(7.8) 온도 29℃, 습도 70% 이상  
2차 조사 당일(8.6) 온도 29℃, 습도 70% 이상  
3차 조사 당일(8.7) 온도 27℃, 습도 70% 이상

2025년에는 예년보다 이른 더위가 시작되고 여름이 장기간 지속된 해로, 이로 인해 수염풍뎅이의 우화 및 발생 시기가 앞당겨지고 비교적 이르게 성충 활동이 종료된 것으로 추정된다. 또한 홍수로 인한 범람 역시 개체군에 영향을 미쳤을 가능성이 높은 것으로 판단된다. 범람 이후에 수염풍뎅이의 미확인 결과를 고려할 때, 향후 조사는 기상 조건에 따른 발생 시기 변동을 충분히 반영할 필요가 있다.

한편, 북삼교에서는 물장군 사체가 확인되었으며, 임진교에서는 물장군 2개체가 관찰되었다. 임진교 일원에서는 야간 등화 조사 시 왕풍뎅이가 다수 유인되어, 시기적으로 수염풍뎅이 성충 활동이 종료된 것으로 판단된다. 또한 북삼교 가로등은 LED로 교체되어 유인되는 일반곤충 개체가 상대적으로 적을 것으로 생각되지만 임진교 가로등은 기존의 구형 조명을 유지하고 있어 곤충 유인 효과가 높은 특징을 보였다.

표 III-2-(8). 연천군 수염풍뎅이 모니터링 결과

일자	방법	성별	발견 시각	체장	체폭	체중	주소	좌표
7.8.	등화	수	8:52	31.25	16.29	1.53	연천읍 군남면	37° 42' 55.447" N, 128° 57' 7.154" E
7.8.	등화	수	8:54	32.00	16.59	1.44	연천읍 군남면	37° 42' 55.447" N, 128° 57' 7.154" E
7.8.	등화	수	8:55	31.52	15.7	1.31	연천읍 군남면	37° 42' 55.447" N, 128° 57' 7.154" E
7.8.	등화	수	8:56	30.16	14.83	1.17	연천읍 군남면	37° 42' 55.447" N, 128° 57' 7.154" E
7.8.	등화	수	8:57	33.00	15.76	1.64	연천읍 군남면	37° 42' 55.447" N, 128° 57' 7.154" E
7.8.	등화	수	8:58	31.06	17.00	1.20	연천읍 군남면	37° 42' 55.447" N, 128° 57' 7.154" E
7.8.	등화	수	9:02	31.73	16.69	1.41	연천읍 군남면	37° 42' 55.447" N, 128° 57' 7.154" E
7.8.	등화	암	9:02	31.89	18.46	2.19	연천읍 군남면	37° 42' 55.447" N, 128° 57' 7.154" E
7.8.	등화	수	9:17	32.60	17.64	1.34	연천읍 군남면	37° 42' 55.447" N, 128° 57' 7.154" E
7.8.	등화	암	9:20	33.81	18.44	2.21	연천읍 군남면	37° 42' 55.447" N, 128° 57' 7.154" E
7.8.	등화	수	9:34	-	-	-	연천읍 군남면	37° 42' 55.447" N, 128° 57' 7.154" E
7.8.	등화	수	9:45	-	-	-	연천읍 군남면	37° 42' 55.447" N, 128° 57' 7.154" E
7.8.	등화	수	9:52	29.90	15.90	1.17	연천읍 군남면	37° 42' 55.447" N, 128° 57' 7.154" E
8.6.	등화	-	-	-	-	-	연천읍 군남면	37° 42' 55.447" N, 128° 57' 7.154" E
8.7.	등화	-	-	-	-	-	연천읍 미산면	37° 42' 55.447" N, 128° 57' 7.154" E

아) 영월군 조사 결과

2025년 영월에서는 1차(7월 9일)와 2차(7월 25일) 조사를 실시하였으나, 두 차례 조사 모두에서 수염풍뎅이는 확인되지 않았다. 영월 지역은 곤충전문가의 제보를 통해 잠재 서식지로 판단되어 조사를 수행하였으며, 과거 수염풍뎅이 출현 기록이 보고된 바 있어 신빙성이 높은 지역으로 판단되었다(그림 III-2-(10), 표 III-2-(9)).



그림 III-2-(10). 영월군 수염풍뎅이 모니터링

※ 온습도 정보: 1차 조사 당일(7.9) 온도 33℃, 습도 40% 이상

2차 조사 당일(7.25) 온도 30℃, 습도 70% 이상

표 III-2-(9). 영월군 수염풍뎅이 모니터링 결과

일자	방법	성별	발견시간	체장	체폭	주소	좌표
7.9	등화	-	-	-	-	영월군 남면	37° 41' 44.47" N, 128° 10' 11.11" E
7.25	등화	-	-	-	-	영월군 남면	37° 41' 44.47" N, 128° 10' 11.11" E

## 나. 수염퐁뎡이 발생조사

### 1) 연구내용 및 방법

#### 가) 연구내용

청주시에서 수염퐁뎡이는 2020년 7월 ‘멸종위기 야생생물 통합콜센터(現 멸종위기 야생생물 발견제보)’를 통해 제보되었으며, 이후 국립생태원 멸종위기 종복원센터 조사팀이 현장 조사를 통해 신규 서식지를 확인하였다(MOE, 2020). 이후 매년 수염퐁뎡이의 분포에 대한 정기적으로 조사하였다. 조사지점은 야간 등화 및 주·야간 조사가 가능하고, 근처에 잘 발달된 모래톱 지형을 가진 곳으로, 미호강에서 수염퐁뎡이의 개체밀도가 가장 높은 지역인 충청북도 청주시 옥산면 옥산교 일원에서 수행되었다.

#### 나) 연구방법

##### - 조사시기

조사시기는 2024년에는 6월 19일부터 8월 9일까지 수행하였고, 2025년에는 6월 11일부터 8월 10일까지 수행하였다.

##### - 조사방법

수염퐁뎡이의 조사 방법은 조사지점에서 야간에는 점조사를, 주간과 야간에 주변 선조사를 병행하였으며, 발견한 개체수는 모두 합산하였다.

점조사는 야간 등화 조사(19시~22시) 동안 발견된 개체수와 주간에 발견된 개체수를 합산하여 산출하였다. 2024년에는 3회 진행하였으며, 각 차시의 기간은 다음과 같다: 1차시기(6월 19일~21일), 2차시기(7월 3일~5일), 3차시기(7월 17~19일), 4차시기(8월 5일~7일). 단, 2차시기(7월 3일~5일)에는 태풍과 폭우로 인한 강물이 급격히 불어나서 안전상의 이유로 야간 등화 조사를 하지 못하였다. 2025년에 4회 진행하였으며, 각 차시의 기간은 다음과 같다: 1차시기(6월 19일~20일), 2차시기(7월 2일), 3차시기(7월 18일), 4차시기(7월 24일).

선조사는 지정된 조사지역을 주간과 야간에 산책로를 따라 매주 1회 걸어 다니며 관찰된 개체수를 확인하였다. 야간에는 플래시를 이용하여 육안으로 관찰하였다. 점조사는 조사지점에서 발전기(EU10i, 0.9kVA, 220V, Honda, Japan

또는 Delta 2 Max, 2048Kwh, Ecoflow, China)와 야간 등화 장비(Light monitoring; metal-halide lamp, 400W, IIKwang, ROK)를 이용하여 조사하였다. 조사 시, 일반 모기장 텐트를 설치하고 불빛에 유인된 수염풍뎅이를 포획하여 조사하였다.

## 2) 연구결과

### 가) 발생조사

청주지역에서 수염풍뎅이의 발생은 2022년도부터 지속적으로 수염풍뎅이가 발견되었고, 2024년과 2025년에도 발생 현황을 조사하였다(그림 III-2-(11)).

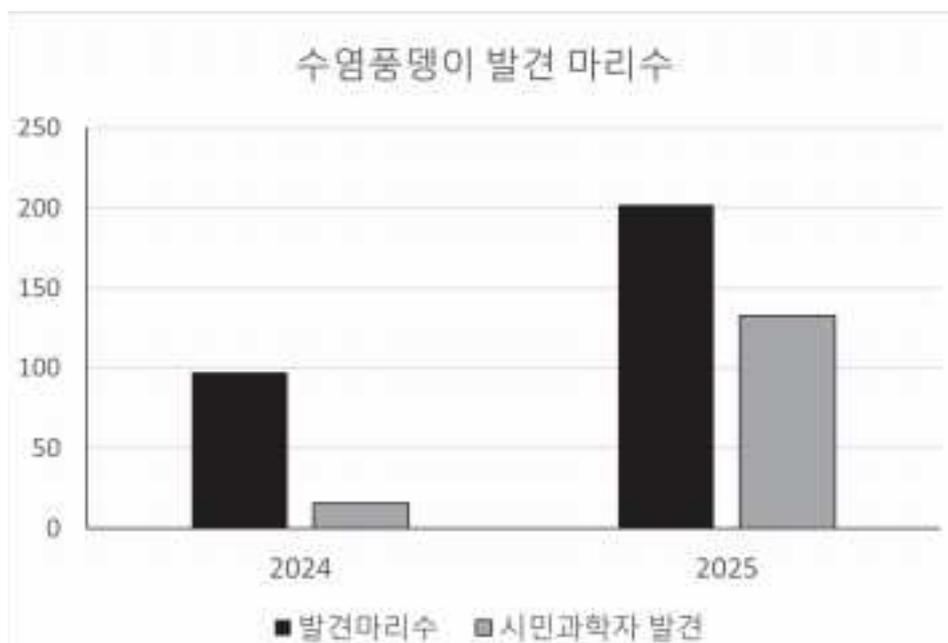


그림 III-2-(11). 2024-2025년 수염풍뎅이 전체 발견 개체수

2024년에는 총 97개체를, 2025년에는 202개체를 발견하였다. 그중에서 시민과학자들에 의한 발견은 2024년에 16개체, 2025년에 133개체로 시민과학자 활동이 많아짐에 따라 수염풍뎅이 개체 발견이 많아졌다.

### 나) 조사시기별 발견 개체수

조사시기별로 발견된 수염풍뎅이 개체수를 분석한 결과, 2024년에는 1차 시기부터 4차시기까지의 모니터링에서 2차시기 동안에 가장 많은 개체수가 관찰되었다. 2차시기에는 야간 등화 조사를 하지 못했으나, 플래시와 육안으로 교량 위와 주변 산책로에서 조사한 결과, 다른 시기보다도 많은 개체가 발견되었다. 이후 3차시기에는 수염풍뎅이가 계속 발견되었지만 발견되는

개체수는 감소하였고, 4차시기에는 야간에는 발견되지 않았으며, 주간에 사체만 관찰되었다(그림 III-2-(12)).

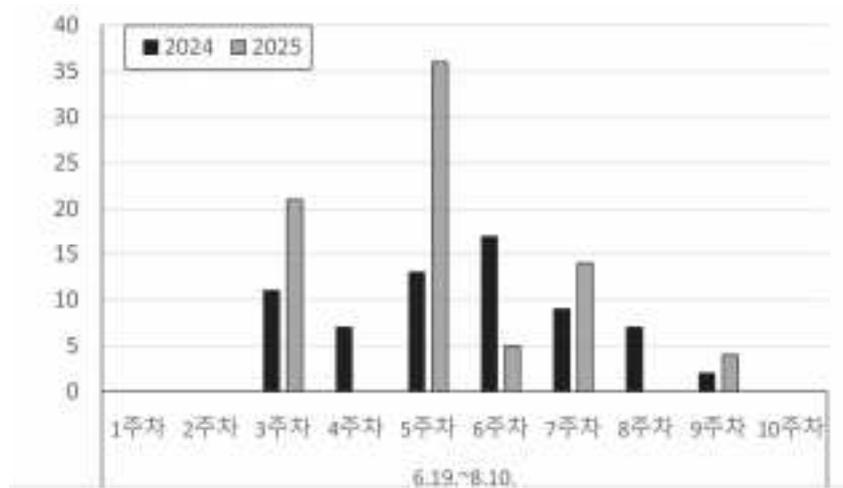


그림 III-2-(12). 2024-2025년 조사시기별 발견 개체수

수염풍뎅이의 발견은 조사자의 경험과 시기, 조사방법에 따라 차이가 있을 수 있다. 6월과 7월의 짧은 기간에 수염풍뎅이를 효율적으로 조사하기 위해서는 조사일정과 방법을 집중적으로 배분하는 것이 필요할 것으로 보인다.

#### 다) 조사방법별 발견 개체수

야간 등화(점조사)와 주간과 야간 육안관찰(선조사)에 유인된 개체수를 비교하였다(표 III-2-(10)). 야간 등화에 직접 유인된 개체는 1차(6.20~21.)와 3차시기(7.17~18.)에 각각 10개체씩 확인되었으나, 2차시기(7.3~5.)에는 폭우로 인해, 등화 조사를 수행하지 못했다. 4차시기(8.5~7.)에도 등화를 실시하였으나 수염풍뎅이는 발견되지 않았다.

표 III-2-(10). 조사방법에 따른 시기별 발견 개체수

년도	조사방법	조사 시간	1차(6.19)	2차(7.3)	3차(7.17)	4차(8.3)
2024	야간 등화	19~23 hr	10	0	10	0
	야간 육안	23~6 hr	1	24	3	0
	주간 육안	6~18 hr	10	12	18	3
2025			1차(6.19)	2차(7.2)	3차(7.18)	4차(7.24)
	야간 등화	19~23 hr	12	6	6	2
	야간 육안	23~6 hr	1	6	-	0
	주간 육안	6~18 hr	0	0	-	0

라) 생체와 사체 발견 개체수

조사기간 동안 확인된 수염퐁뎅이의 생체(50개체)와 사체(57개체) 개체수는 큰 차이를 보이지 않았다(그림 III-2-(13)). 하지만, 생체가 먼저 발견된 후 일정한 시간 차이를 두고 사체가 발견되는 경향이 나타났다. 특히, 야간 등화에 유인된 수염퐁뎅이는 날이 밝아도 원서식지로 돌아가지 못하고 불빛 주변에 머물렀으며, 시간이 흐름에 따라 사체로 발견되는 양상을 보였다.

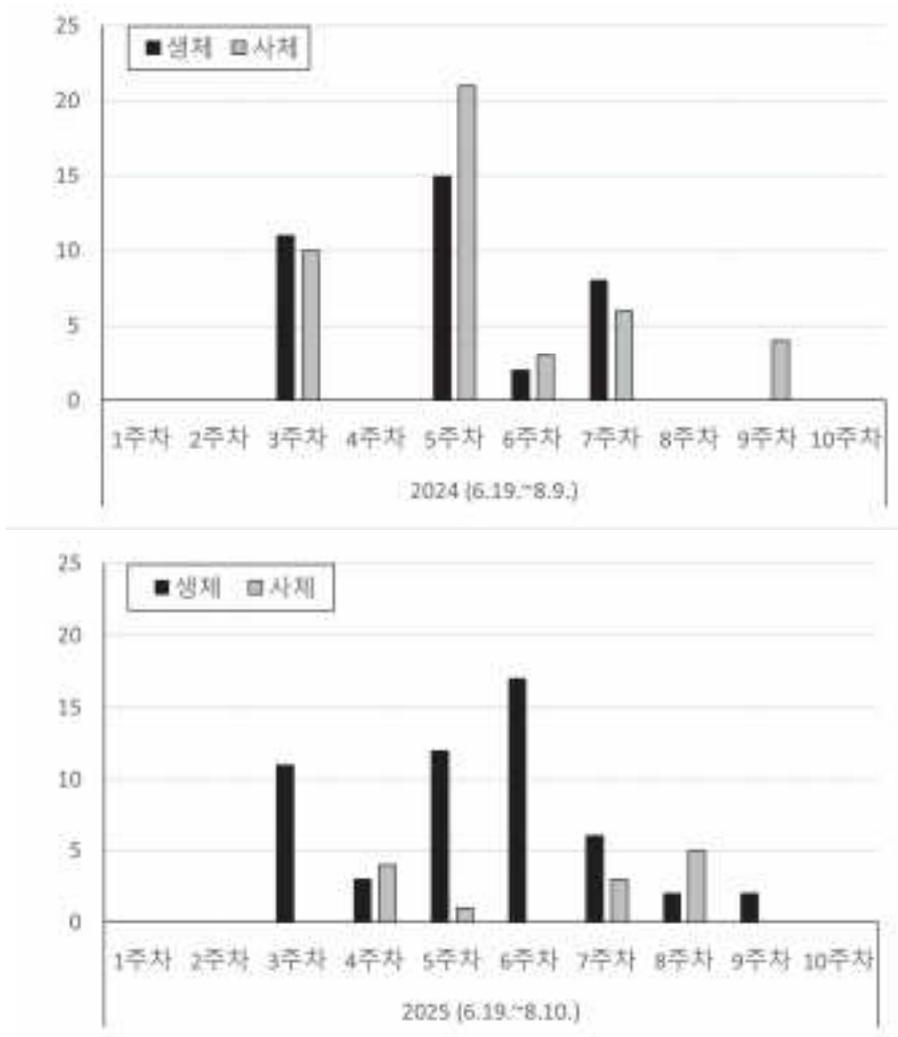


그림 III-2-(13). 2024-2025년 생체와 사체 발견 개체수

마) 발생소장

수염퐁뎅이 성충 활동 시작일은 2024년 6월 20일로 전년(2023년 6월 29일)도 조사결과와 비교하여 9일 빠르게 시작되었고, 더 많은 개체들이 발견되었다. 전체 생체수와 사체수를 종합하여 판단한 결과, 활동 최성기는 7월 5일로 나타났으며, 그 이후에 개체수가 감소하였다. 8월 4일 사체 한 개체만 발견

된 이후 발견되지 않았고, 성충 활동 종료일은 8월 4일로 기록하였다(그림 III-2-(14)). 2025년에는 2024년과 성충 활동 시작일과 종료일이 거의 유사한 경향을 보였다.

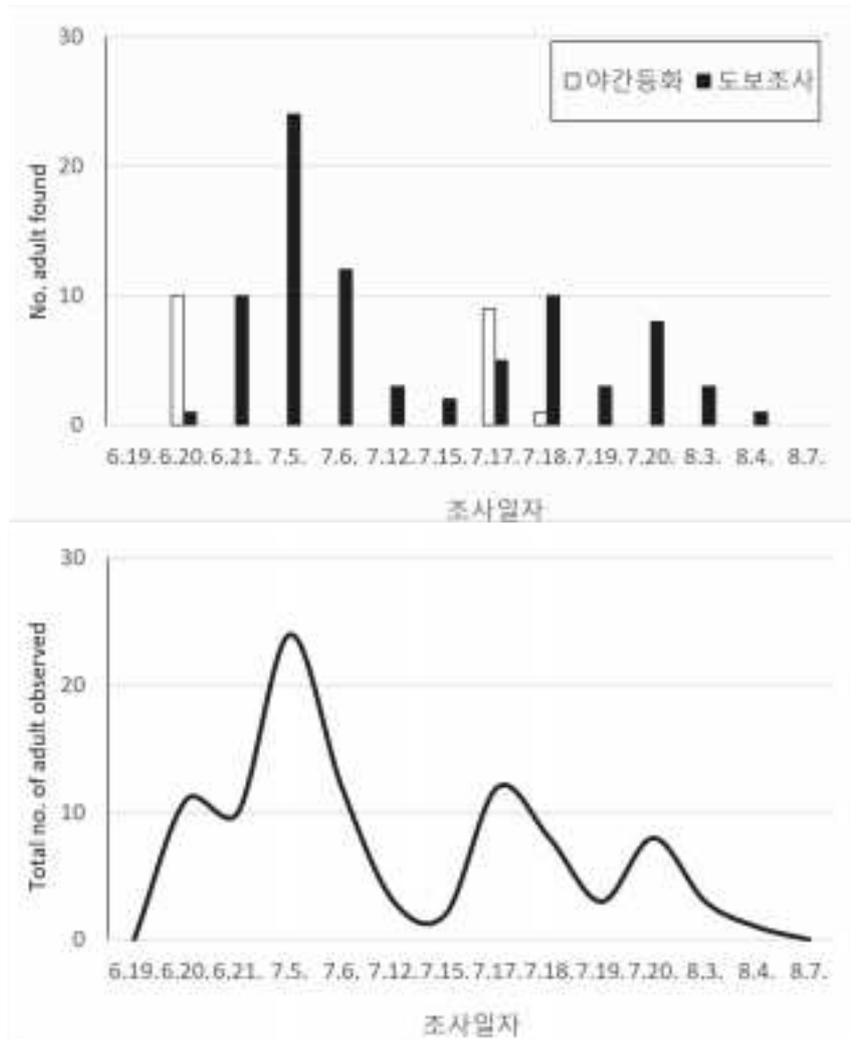


그림 III-2-(14). 2024년 옥산교 일원 수염풍뎅이 발생소장

#### 다. 형태 측정

##### 1) 연구내용 및 방법

##### 가) 연구내용

야외에서 채집된 수염풍뎅이 개체를 대상으로 형태적 특성 분석을 수행하였다. 채집 개체의 체장, 체폭, 체중을 측정하여 개체 간 형태 측정을 하였으며, 성별 및 우화 시기와의 관련성도 함께 검토하였다.

## 나) 연구방법

수염풍뎅이 성충의 형태적 수치는 야간 등화 조사 중 포획된 개체를 이용하여 측정하였다. 포획된 개체는 사육통(120 mm x 80 mm, SPL)에 티슈를 깔고 안정을 시킨 후, 형태적 특성(체장, 체폭, 무게, 성별)을 측정하였다. 체장과 체폭은 버니어캘리퍼스(Mitutoyo 500-196-300, 150mm, Japan)를 사용하여 측정하였으며, 무게는 전자저울(CAS CKW-11WT, Japan)을 사용하여 측정하였다. 성별은 수염풍뎅이의 더듬이의 모양으로 쉽게 구별하였다. 성별에 따른 체장, 체폭, 무게별 차이는 *t*-test를 이용하여  $P < 0.05$  수준에서 통계 분석하였다. 산책로 선조사 및 지점 주변 주·야간 조사에서는 개체를 포획하지 않고 육안으로만 관찰하였다.

## 2) 연구결과

수염풍뎅이는 특유의 긴 더듬이와 그 끝이 부채모양으로 펼쳐지는 특징을 가진다. 수컷의 더듬이는 7마디, 암컷은 5~6마디로 펼쳐지며, 곤봉부의 중간이 구부러져 있다. 몸통은 타원형으로 짙은 적갈색을 띠며, 등에는 불규칙한 짧은 회백색 또는 흰색 얼룩무늬가 덮여 있어 특징적인 외형을 나타낸다(NIE, 2022). 기존의 연구에서 수염풍뎅이의 형태적인 크기에 대한 측정 기록은 없었으며, 본 연구는 처음으로 수염풍뎅이의 형태적 수치 정보를 제시한다.

형태 측정은 2024년의 네 번의 조사기간 중 1차 조사(6.20~21.)에서 야간 등화로 포획된 10마리 중에서 9마리, 3차 조사(7.17~19.)에서 야간 등화로 유인된 10마리와 추가로 포획된 2마리, 총 21개체를 대상으로 진행되었다. 2025년에는 1차 조사(6.19~20.)에서 12개체와 2차 조사(7.2~3.)에서 6개체 총 18개체를 대상으로 진행되었다. 각 개체는 체장, 체폭, 무게를 측정하고 성별에 따른 차이를 비교하였다(표 III-2-(11)).

형태 측정 결과, 2024년도에는 총 21개체의 평균 체장, 체폭, 무게는 각각  $33.38 \pm 1.68\text{mm}$ ,  $16.02 \pm 1.00\text{mm}$ ,  $1.45 \pm 0.32\text{g}$ 이었다. 또한 수컷과 암컷의 성비는 7.14: 2.86로 나타났다. 수컷과 암컷의 체장과 체폭을 비교한 결과, 1차 및 3차 시기에서 두 성별 간에 통계적으로 유의미한 차이는 없었다. 그러나 체중 비교에서, 1차 시기에는 유의미한 차이가 없었으나, 모든 조사시기의 정보를 종합적으로 분석한 결과, 암컷이 수컷보다 더 무거운 경향을 보였다.

표 III-2-(11). 수염풍뎅이의 체장, 체폭, 체중 및 성비 비교

년도	조사시기	성	체 장	체 폭	체 중	성 비 (수:암)
2024	1차 (6.19.~21.)	수컷	32.47±1.34a**	16.47±1.30a	1.28±0.05a	7
		암컷	33.50±1.70a	16.30±0.57a	1.32±0.06a	2
		종합	32.70±1.38	16.43±1.15	1.29±0.05	7.8 : 2.2
	3차 (7.17.~7.19.)	수컷	33.59±1.64a	15.73±0.84a	1.40±0.26a	8
		암컷	34.50±2.04a	15.66±0.76a	1.93±0.35b	4
		종합	33.89±1.75	15.71±0.78	1.58±0.38	6.7 : 3.3
	종합 (6.19.~8.9.)	수컷	33.07±1.57a	16.07±1.11a	1.34±0.19a	15
		암컷	34.16±1.83a	15.88±0.72a	1.72±0.41b	6
		종합	33.38±1.68	16.02±1.00	1.45±0.32	7.14 : 2.86
2025	1차 (6.19.~20.)	수컷	33.46±1.72	15.73±0.84	1.40±0.26	9
		암컷	34.50±2.04	15.66±0.76	1.92±0.35	4
		종합	33.81±1.81	15.71±0.78	1.57±0.38	5.6 : 4.4
	2차 (7.2.~7.3.)	수컷	33.70±1.43	14.07±0.79	1.47±0.17	9
		암컷	-	-	-	-
		종합	33.70±1.43	14.07±0.79	1.47±0.17	10 : 0 (미확인사체 4)
	종합 (6.19.~8.10.)	수컷	33.56±1.55	15.02±1.17	1.43±0.22	18
		암컷	34.50±2.04	15.66±0.76	1.93±0.35	4
		종합	33.77±1.65	15.16±1.10	1.54±0.32	8.18 : 1.82

\* 2024년도의 2차 시기에는 우천으로 등화를 실시하지 않았음.

2025년도에는 총 18개체의 평균 체장, 체폭, 무게는 각각 33.77±1.66mm, 15.16±1.10mm, 1.54±0.32g으로 조사되었으며, 2024년도와 유사한 경향을 보였다. 수컷과 암컷의 성비는 8.18: 1.82로 나타났는데 2차 시기에 수컷만 유인되고 암컷이 유인되지 않아 성비 불균형이 원인으로 보인다. 또한, 야간 등화에 수컷이 적극적인 비행으로 유인 개체가 많고, 반대로 암컷은 가만히 있다가 나중에 비행하기에 실제로 유인된 개체수에서 차이가 나 성비 비율에서 수컷이 높게 나타났다. 체중 비교에서도 암컷이 수컷보다 무거운 경향을 보였다.

## 라. 시민과학자 조사 참여

### 1) 연구내용 및 방법

#### 가) 연구내용

짧은 기간, 넓은 지역의 수염풍뎅이의 출현 시기, 활동 특성, 서식지 이용 등을 장기적으로 확인하고자 시민과학자의 참여를 통해 모니터링을 수행하였다. 시민 참여자들은 표준화된 관찰 지침에 따라 지정된 조사지점에서 개체 출현 여부, 활동 시간, 서식 정보를 기록하였다. 수집된 자료는 지역별 개체군 동향을 파악하는 데 활용되었다. 또한 시민참여는 수염풍뎅이에 대한 인식증진과 보호 의식 향상에 어느 정도 영향을 주는지 사전·사후 만족도 설문조사를 통해 인식변화를 알아보았다.

#### 나) 연구방법

##### - 시민과학자 조사 참여

수염풍뎅이를 넓은 지역에서 짧은 시간에 조사하기 위해 청주국제에코 콤플렉스와 협력하여 시민과학 활동으로 진행하였다. 시민과학자의 자격에는 제한이 없으나 실제로 조사를 돕고 정보를 제공한 시민과학자들은 곤충 전문가 및 곤충에 관심도가 높은 일반인들이었다. 시민과학자들은 조사시기 마다 한 팀에 2-3명씩 나누어 2개 팀이 동시에 야간 등화 조사를 진행하였다. 이들은 매주 주간과 야간에 선조사 방법을 통해 조사에 참여하였고, 4번의 조사기간 동안 야간 등화 조사에 모두 참여하였다.

##### - 정보 수집 및 고유 플랫폼 구축

2024년에 일반인들이 쉽게 접근하고 사용이 간편한 카카오톡 오픈채팅방을 도입하여 정보 수집의 효율성을 높였다. 오픈채팅방은 접근성과 소통에는 유리하다. 하지만 정보 추적 및 분석에는 한계가 있어 소수일 경우에는 관리가 수월하지만 이용자가 많아질 경우 관리가 어려워질 수 있다. 향후 개방성과 체계성을 갖추 하이브리드형 플랫폼 도입이 필요하다. 궁극적으로는 프로젝트 규모, 참여자 특성, 정보 활용 목적에 따라 플랫폼을 전략적으로 선택하는 방안이 요구된다. 따라서, 2025년에는 네이처링을 활용하여 정보 공유 플랫폼으로 활용하였다.

- 시민과학자 인식변화 및 만족도 조사

시민과학자의 참여 동기와 교육 효과를 평가하기 위해, 워크숍 및 현장 조사에 참여한 인원을 대상으로 사전·사후 설문조사를 수행하였다. 설문 문항은 총 11개로 구성되었으며, 문항 내용은 (a) 시민과학의 의미 및 참여 동기, (b) 멸종위기종 및 수염퐁뎀이에 대한 인식, (c) 멸종위기종 보호 방법에 대한 의견을 포함하였다. 사후설문지는 사전 문항과 연계된 11개 후속 문항으로 구성되었으며, (a') 향후 시민과학 프로젝트 참여 의지, (b') 멸종위기종 및 수염퐁뎀이에 대한 인식변화, (c') 멸종위기종 보전을 위한 활동 계획 등을 조사하였다. 사전·사후 문항은 동일한 구조로 구성되었으며, 2023년에는 24명, 2024년에는 59명이 설문문에 응답하였다(표 III-2-(12)).

표 III-2-(12) 시민과학 사전 사후 설문 구조

사전 설문(교육 시작 전)	사후 설문(교육 수강 후)
(a) 시민과학의 이해와 참여 동기	(a') 향후 시민과학 프로젝트 참여 의지
(b) 멸종위기종과 수염퐁뎀이에 대한 인식	(b') 멸종위기종 및 수염퐁뎀이에 대한 인식변화
(c) 멸종위기종을 보호하기 위한 의견	(c') 멸종위기종 보전을 위한 활동 계획

시민과학활동 참여 후 활동 만족도 조사도 병행하였다. 2023년에는 생태 교육 참여자 10명이 전원 응답하였으며, 2024년에는 교육 참여자 33명 중 21명이 응답하였다. 해당 조사는 시민과학활동의 교육 효과 및 향후 참여 의지 향상 여부를 평가하기 위한 자료로 활용되었다.

2) 연구결과

가) 시민과학자 참여 유형 및 특성

시민과학자의 참여 유형은 자료기여형, 협력형, 공동창출형으로 구분되며 (Ko & Ye, 2000; Kang *et al.*, 2015) 본 연구에서는 전문가와 동일하게 참여하고 자료의 분석에도 참여하는 공동창출형(Co-created type)을 적용하였다. 본 연구에 참여한 시민과학자는 2023년에는 37명, 2024년에는 59명이었으며, 설문 응답자는 각각 24명과 59명이었다. 참여자의 성별 구성은 2023년과 2024년 모두 여성의 비율이 각각 54%, 73%로 높았다. 연령대별로는 2023년에

40~50대(79%), 10대(17%) 순이었으며, 2024년에는 40~50대(66.1%)가 가장 많았고 20~30대(15%), 20~30대(14%) 순이었다. 거주지는 청주시를 포함한 충북 지역이 대부분이었으며(2023년: 92%, 2024년: 79%), 충남(대전)과 세종시에서도 일부 참여가 확인되었다(그림 III-2-(15)).

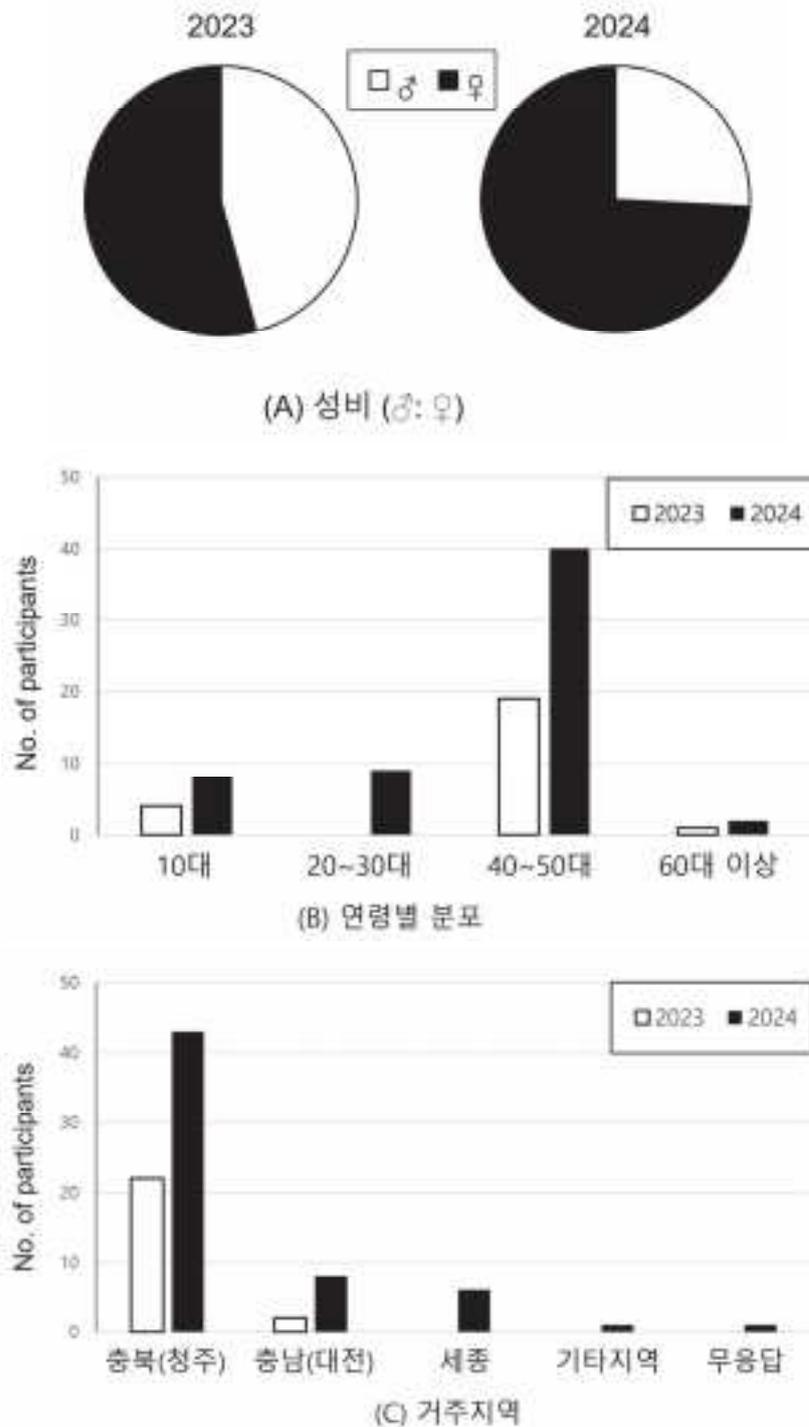


그림 III-2-(15). 시민과학자의 성비, 연령 및 거주지역의 분포(2023-2024)

## 나) 플랫폼 운영 및 정보 수집

2024년에는 2023년도에 시민과학자의 참여율이 저조하여 플랫폼 전환을 시도하였다. 2024년에는 참여자의 접근성과 실시간 소통의 필요성을 고려하여 카카오톡 오픈채팅방을 활용하였다. 총 28명의 시민과학자가 사진 업로드하였으며, 단일 종 사진을 업로드하기 때문에 별도의 동정 과정 없이 참여가 가능해져 사용의 용이성이 향상되었다.

2025년에는 네이처링(Naturing)을 정보 수집 플랫폼으로 활용하였으며, 참여자들이 관찰 결과(사진)를 업로드하였다. 네이처링은 PC와 모바일에서 모두 이용 가능하며, 등록된 생물종 관찰기록, 자동 동정 기능, 시민과학자의 활동 내역 확인, 정보 다운로드 기능 등을 제공하여 활용성이 높았다.

정보 수집과 공유는 시민과학의 핵심이며, 이를 위한 플랫폼 선택은 프로젝트 성과에 큰 영향을 미친다. 현재 사용되는 플랫폼인 네이처링([www.naturing.net](http://www.naturing.net)), 케이본(K-BON, 한국 생물다양성 관측 네트워크), 바이오블리츠([bioblitz.or.kr](http://bioblitz.or.kr)), 국립생태원의 에코뱅크([nie-ecobank.kr](http://nie-ecobank.kr)), 아이네추럴리스트([www.inaturalist.org](http://www.inaturalist.org)) 등은 각각 장단점이 있다. 그러나 공통적으로 정보 통합의 어려움, 복잡한 가입 절차, 접근성 부족, 전문가 중심 구조 등 사용자의 편의성을 저해하는 요소들이 존재한다. 특히, 정보를 다루는 기관에서는 개인정보 보호법 강화로 인해 기관이 직접 플랫폼을 구축하기도 어려운 실정이다.

청주시 지역을 중심으로 시민과학 기반의 수염풍뎅이 모니터링을 수행하기 위하여 청주시 '수염풍뎅이 지킴이'라는 지역협의체(Regional Cooperative Network)를 구성하였고, 참여기관은 국립생태원 멸종위기종복원센터(총괄 기획), 청주시청(행정 협조), 청주국제에코콤플렉스(시민과학자 모집 및 교육 지원)이다. 시민과학 활동은 1. 협력체계 구축 및 시민과학자 모집, 2. 워크숍 및 현장조사 실시, 3. 시민과학자의 모니터링 참여, 4. 플랫폼을 통한 자료 업로드 및 공유로서 4단계로 운영되었다(그림 III-2-(16)).



그림 III-2-(16). 시민과학자를 활용한 수염풍뎀이 모니터링 모식도

#### 다) 시민과학 인식변화

워크숍 및 현장조사 전·후에 실시된 설문조사를 통해, 시민과학자의 인식 변화를 분석하였다. 분석 결과, 시민과학에 대한 인식 51.2%에서 87.9%로 향상되었으며, 멸종위기종 및 수염풍뎀이에 대한 인지도는 51.6%에서 97.1%로 증가하였다. 시민과학활동이 멸종위기종 보호에 도움이 될 것이라는 응답도 87.7%에서 97.9%로 증가하였다. 향후 시민과학 프로젝트에 지속적으로 참여하겠다는 의사도 높게 나타났다. 이 외에 멸종위기종 포획 금지 인식(69.1 → 98.6%), 제보 방법 인식(44.2 → 78.6%), 환경보호 필요성(92.3 → 98.6%) 등에서도 긍정적인 변화가 관찰되었다.

#### 라) 시민과학 활동 만족도

생태교육 만족도 조사는 청주국제에코컴플렉스에서 실시되었으며, 2023년에는 10명, 2024년에는 33명 중 21명이 응답하였다. 참여자 대부분은 초등학생이었으며, 남성 비율이 높았다(61.9%). 전반적인 교육 만족도는 2023년(90%)에 비해 2024년(87.9%)에 소폭 하락하였다. 교육 내용(92 → 90.5%), 교육 시간(90 → 84.8%), 교육 방법(88 → 86.7%), 강사의 질(98 → 93.3%), 환경 인식(98 → 87.6%) 항목 모두 소폭 감소하였으며, 특히 재참여 의사는 98%에서 84.8%

로 가장 큰 하락 폭을 보였다. 그럼에도 대부분의 응답자는 멸종위기종 보호의 필요성을 인식하고, 시민과학 활동의 지속 확대를 기대하였다(그림 III-2-(17)).

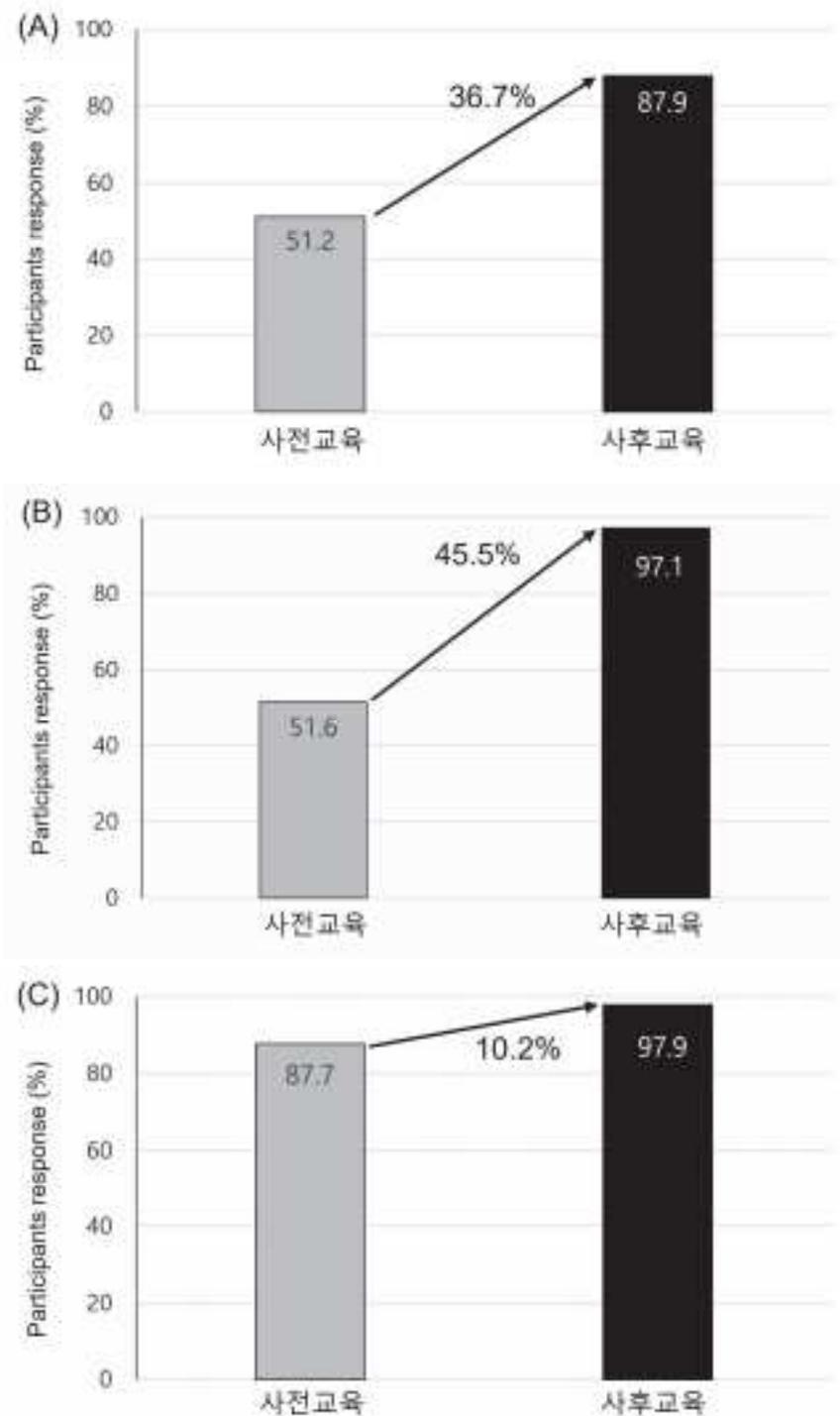


그림 III-2-(17). 사전 사후 설문을 통한 시민과학자 주요 만족도 조사 결과. (A) 시민과학 의미 이해와 참여 의지, (B) 미호강 멸종위기종에 대한 인식, (C) 멸종위기종 보호 필요성 인식변화

### 3. 똥보주름메뚜기

#### 가. 서식지 내 개체군 모니터링

##### 1) 연구내용 및 방법

##### 가) 연구내용

이전 연구 결과, 서식지 내 개체군 밀도는 감소하는 경향을 보였으며, 현재와 같은 개체군 밀도에서는 서식지 내 정밀 조사를 수행하더라도 개체의 발견 가능성은 높지 않은 것으로 나타났다. 똥보주름메뚜기의 서식지는 대부분 마을 인근 야산의 양지바른 곳에 분포하며, 주변으로 묘지, 밭, 과수원 등이 위협요인으로 작용하고 있다. 이러한 서식지 위협요인이 해소되지 않은 상황에서 개체군 밀도가 감소 추세를 보여, 야생 개체군을 지속적인 모니터링을 통해 서식지 내 개체군 현황을 파악하고자 하였다.

##### 나) 연구방법

서식지 내 개체군 모니터링을 위해, 이전 연구에서 개체군 밀도 조사를 수행했던 3개 지역의 서식지에서 개체의 발견 확률이 높은 시기에 각 1회씩 조사를 수행하였다(표 III-3-(1)). 모니터링은 기존과 같은 방법인 선조사 방법을 활용하여 개체군 밀도를 확인하였고, 추가로 인근 나대지를 조사하여 개체를 확인하고자 하였다(그림 III-3-(1)).

표 III-3-(1). 똥보주름메뚜기 개체군 모니터링 시기 및 위치

연번	시기	조사지	비고
1	2025.4.2.	영월, 제천	고정 조사구 및 주변 조사
2	2025.4.3.	의성	
3	2025.5.13.	영월, 제천	
4	2025.5.14.	의성	



그림 III-3-(1). 똥보주름메뚜기 야생 개체군 모니터링 조사지

## 2) 연구결과

### 가) 개체군 모니터링 결과

모니터링 결과 총 13개체가 확인되었으며, 지역별로 영월 5개체, 제천 5개체, 의성 3개체가 확인되었고, 월별로는 4월 11개체, 5월 2개체가 확인되었다(표 III-3-(2)). 개체군 밀도를 조사했던 고정 조사구에서는 영월 지역에서만 2개체가 확인되었고, 나머지 개체들은 모두 주변의 다른 위치에서 확인되었다(그림 III-3-(2)).

표 III-3-(2). 뚱보주름메뚜기 개체군 모니터링 결과

조사 시기	영월 (조사구/주변)	제천 (조사구/주변)	의성 (조사구/주변)	총
4월	0 / 3	0 / 5	0 / 3	11
5월	2 / 0	0 / 0	0 / 0	2
총	5	5	3	13



그림 III-3-(2). 뚱보주름메뚜기 개체군 모니터링 시 확인된 개체

이전 조사 결과에서도 3~4월 조사에서 더 많은 개체가 확인되었으며, 2025년 조사에서도 대부분의 개체가 4월에 확인되었다. 야생 개체군 현황 파악을 위해 월 1회 조사를 수행하는 경우, 3월과 4월에 조사하는 것이 발견 가능성을 높이는 데 더 효과적일 것으로 판단된다. 또한 개체가 고정 조사구가 아닌 주변에서 더 발견되고 있어, 향후 개체군 밀도 조사를 수행할 때는 조사 방법을 변경하여 적용할 필요가 있어 보인다.

## 나. 산불 피해지 조사

### 1) 연구내용 및 방법

#### 가) 연구내용

2025년 3월 경북지역에서 발생한 대형 산불로 서식지가 전소되는 피해가 발생하였다. 의성군 서식지는 이전 조사 결과 개체군 밀도가 감소하는 경향을 보여, 이번 산불과 같은 위협은 서식지와 개체군에 미치는 영향이 심각할 것으로 판단된다. 이에 산불 피해지 조사를 통해 개체군 현황을 파악하고, 피해 전·후 개체군 변화 및 향후 서식지 보전과 관리에 필요한 기초자료로 활용하고자 모니터링을 수행하였다(그림 III-3-(3)).



그림 III-3-(3). 산불 피해 전, 후(기존 서식지)

#### 나) 연구방법

산불 피해가 발생한 지점 중 뚱보주름메뚜기가 서식할 것으로 판단되는 나대지를 중심으로 조사를 수행하였다(그림 III-3-(4)). 조사는 2인 1조로 활동하며 육안조사를 통해 개체를 확인하였다. 또한 미피해지 중에서 서식 가능성이 있는 지점도 조사하여 개체군 서식 여부를 확인하고자 하였다.



그림 III-3-(4). 산불 피해지역 및 뚱보주름메뚜기 서식지

## 2) 연구결과

산불 피해지 조사는 총 5회 수행하였고(표 III-3-(3)), 피해지 5개 지점, 미 피해지 1개 지점을 조사하였다.

표 III-3-(3). 산불 피해지 조사시기 및 위치

No.	차수	시기	조사지	비고
1	1차	2025.4.3.	철파리 산3-1	천주교회묘지
2	2차	2025.4.15.	철파리 산3-1	천주교회묘지
3		2025.4.15.	팔성리 산37-2	미피해지
4	3차	2025.5.14.	철파리 산3-1	천주교회묘지
5		2025.5.14.	팔성리 산37-2	미피해지
6		2025.5.14.	석탑리 1034	마을 인근 나대지
7		2025.5.14.	중리리 산54-1	공원묘지 인근
8	4차	2025.5.30.	철파리 산3-1	천주교회묘지
9		2025.5.30.	후평리 산76	마을 인근 나대지
10	5차	2025.6.12.	철파리 산3-1	천주교회묘지
11		2025.6.12.	석탑2길 110-3	마을 인근 나대지

피해지 5개 지점 조사 결과 기존 서식지를 제외한 4개 지점에서는 뚝보 주름메뚜기를 확인할 수 없었다. 기존 서식지의 경우 산불 피해 이후 서식 현황을 확인하기 위해 월 1~2회 조사를 수행하였고, 총 10개체를 확인하였다(표 III-3-(4)).

표 III-3-(4). 산불 피해지 모니터링 결과(개체수)

피해지 횟수	철파리	석탑리	중리리	후평리	석탑2길	팔성리 (미피해지)
1	3	-	-	-	-	-
2	6	-	-	-	-	확인
3	0	0	0	-	-	확인
4	1	-	-	0	-	-
5	0	-	-	-	0	-
총합	10	0	0	0	0	-

4월에 확인된 개체는 약충이었으며, 산불로 피해받은 초지에서 개체가 확인되었다. 개체군 밀도 조사를 위해 고정 조사구를 설치한 지점은 전소되었으며, 이번에 발견된 개체는 기존 조사지에서 약 100m 떨어진 위치에서 확인되었다(그림 III-3-(5)).



그림 III-3-(5). 산불 피해 서식지 및 확인 개체

5월에 확인된 개체는 성충(암컷)이었으며, 이전 발견 지점에서 50m 떨어진 지점에서 발견되었고, 6월에는 개체가 확인되지 않았다.

석탑리 조사지의 경우 지표화 수준의 피해가 발생한 것으로 보이며, 마을 뒤편 나대지를 조사하였으나 개체는 확인되지 않았다(그림 III-3-(6)). 마을 인근뿐만 아니라 주변에도 나대지가 넓게 형성되어 있어, 향후 추가 조사가 필요할 것으로 판단된다.



그림 III-3-(6). 산불 피해지 조사(석탑리 조사지)

중리리 조사지는 '의성군 자연 장지' 주변으로 묘지가 다수 조성되어 초지가 형성되어 있으나, 개체는 확인되지 않았다(그림 III-3-(7)). 산불 피해는 지표화, 수간화 정도로 파악된다.



그림 III-3-(7). 산불 피해지 조사(중리리 조사지)

후평리 조사지의 경우 지표화 수준의 피해가 발생한 것으로 보이며, 야산에 묘지가 많이 분포해 있고 나대지가 형성되어 있어 서식지로 적합해 보이나 개체는 확인되지 않았다(그림 III-3-(8)). 향후 개체 발견 가능성이 높은 시기에 추가 조사가 필요할 것으로 판단된다.



그림 III-3-(8). 산불 피해지 조사(후평리 조사지)

석탑2리 조사지의 경우 피해가 거의 없는 것으로 보였으며, 마을 주변 야산에 묘지 있고, 나대지가 형성되어 있으나 주변에 밭, 양계장 등 시설이 있어 서식지로 적합하지는 않을 것으로 판단된다(그림 III-3-(9)).



그림 III-3-(9). 산불 피해지 조사(석탑2리 조사지)

미피해지는 기존 서식지에서 약 5km 떨어진 지점에 위치했으며, 서식 개체가 발견되어 신규 서식지로 확인되었다(그림 III-3-(10)).



그림 III-3-(10). 미피해지 조사(신규 서식지)

4월 조사 시 6개체 이상 서식이 확인되었고, 5월 조사에서도 성충 2개체, 약충 4개체가 관찰되어 서식지 내 개체군 크기가 다른 서식지에 비해 큰 것으로 판단된다. 서식지 주변에는 묘지가 있으며, 나대지가 넓게 형성되어 있었다. 다만 주변에 축사, 밭 등 위협요인이 존재하여 서식지 관리가 필요할 것으로 판단된다.

#### 다. 인공증식 개체 방사 및 사후 모니터링

##### 1) 연구내용 및 방법

##### 가) 연구내용

경북지역 대형 산불로 서식지 피해가 발생한 뚝보주름메뚜기의 의성군 내 개체군 복원을 위해, 실내에서 인공증식한 개체를 방사하여 서식지 내 개체군 복원을 시도하였다. 산불 피해지는 향후 서식지 변화의 위험이 있어, 인공 증식 개체는 산불 피해지가 아닌 신규 서식지에 방사하였으며, 해당 지역에서의 정착 가능성을 확인하고, 사후 모니터링을 통해 성충의 이동 능력을 확인하고자 하였다.

## 나) 연구방법

인공증식 개체를 방사하여 서식지 적응 확인 및 사후 모니터링을 위해 포획-재포획 방법을 사용하여 조사를 수행하였다. 먼저 인공증식 개체를 표식 후 방사하여 야생 개체와 구분하였으며, 재포획 시 개별 표식 확인을 통해 개체를 확인하였다(표 III-3-(5)).

표식 개체	표식위치	체색	특징	표식 개체	표식위치	체색	특징
암컷	A	왼쪽	황색	수컷	D	왼쪽	황색 추가 표식 (중앙)
	B	오른쪽	황색		E	왼쪽	황색 추가 표식 (오른쪽)
	C	오른쪽	검정색		F	오른쪽	황색 추가 표식 (왼쪽)

또한 이동능력 확인을 위해 재포획 지점을 기록하여 방사 개체의 평균분산 거리(Mean dispersal distance, MDD)와 확산계수(Diffusion coefficient,  $D$ )를 추정하였다. 방사 지점을 기준으로 재포획 지점과 거리를 측정하여 방사 후 이동 거리에 대한 정보를 취득하였다.

## 2) 연구결과

실내에서 인공증식한 똥보주름메뚜기 성충 6개체(3쌍)를 방사하였다(그림 III-3-(11)).



그림 III-3-(11). 똥보주름메뚜기 방사 개체

이후 일정 시간 간격으로 재포획을 시도한 결과 0~1일 차까지 개체가 확인됐으나, 이후 표식 개체는 발견되지 않았고 야생 개체는 7월 초까지 확인되었다(표 III-3-(6)).

표 III-1-(6). 뚱보주름메뚜기 방사 개체 모니터링 결과

개체	재포획 시기	위도	경도	개체
1	개체 방사	37° 42' 50.00" N, 126° 52' 50.00" E	37° 42' 50.00" N, 126° 52' 50.00" E	6개체 방사
2	1시간 경과	37° 42' 50.00" N, 126° 52' 50.00" E	37° 42' 50.00" N, 126° 52' 50.00" E	6개체 재확인
3	2시간 경과	37° 42' 50.00" N, 126° 52' 50.00" E	37° 42' 50.00" N, 126° 52' 50.00" E	5개체 재확인
4	4시간 경과	37° 42' 50.00" N, 126° 52' 50.00" E	37° 42' 50.00" N, 126° 52' 50.00" E	5개체 재확인
5	23시간 경과	37° 42' 50.00" N, 126° 52' 50.00" E	37° 42' 50.00" N, 126° 52' 50.00" E	2개체 재확인
6	28시간 경과	37° 42' 50.00" N, 126° 52' 50.00" E	37° 42' 50.00" N, 126° 52' 50.00" E	2개체 재확인
7	9일	-	-	야생 개체 확인
8	16일	-	-	야생 개체 확인

재포획되었던 시기의 위치 좌표를 활용하여 평균분산거리를 추정된 결과, 28시간 경과 시 최대 4.4m를 이동한 것으로 나타났다(표 III-3-(7)).

표 III-1-(7). 뚱보주름메뚜기 방사 개체 평균 분산거리

개체	재포획 시기	평균 분산거리	특징
1	개체 방사	0.00 m	-
2	1시간 경과	1.22 m	6개체
3	2시간 경과	2.17 m	5개체(B, 미확인)
4	4시간 경과	2.66 m	5개체(B, 미확인)
5	23시간 경과	3.11 m	2개체(A, F 확인)
6	28시간 경과	4.40 m	2개체(A, B 확인)

평균분산거리를 바탕으로 분석한 확산계수(D)는 0.5~1.5m<sup>2</sup>/h, 이탈율은 0.02~0.04m<sup>2</sup>/h로 추정되었다.

뚱보주름메뚜기 방사 후 모니터링은 페인트마커를 이용하여 표식 후 육안 조사로 개체를 추적하려 했으나, 재포획율이 1일 차에 33%, 이후로는 개체가 발견되지 않았다. 따라서 향후 방사 후 모니터링을 위해서는 모니터링 방법을 개선하여 적용할 필요가 있을 것으로 판단된다. 또한 이동능력은 현재 0~1일 차의 포획-재포획 자료를 활용하여 추정된 것으로 향후 개체수를 늘려 정확한 추정을 할 필요가 있다.

## 4. 닳무늬길앞잡이

### 가. 적합 서식지 선정을 위한 서식지 현황조사

#### 1) 연구내용 및 방법

##### 가) 연구내용

과거 서식지인 신안군 임자도 내 존재하는 4개 해변에 대한 서식지 현황 조사를 통해 향후 인공증식 개체군을 방사하기 적합한 서식지를 사전에 도출하고자 하였다. 또한 '25년 현재 국내에 유일하게 존재하는 서식지인 신안군 비금도 내 1개 해변에 대한 서식지 현황조사를 통해 장기적으로 개체군이 서식할 수 있는지 확인하고자 하였다.

##### 나) 연구방법

##### - 과거 서식지 현황조사

과거 서식지인 신안군 임자도 내 4개 해변(용난굴, 어머니, 은동, 삼두리)(그림 III-4-(1))에 대한 근연종 길앞잡이 서식 유무, 배후공간 및 석축 유무, 기수역 유무, 대상종(닳무늬길앞잡이)의 서식 유무를 해변가 전면적 조사를 통해 수행하였다. 조사는 닳무늬길앞잡이 성충이 활동하는 시기인 6월 중순인 '25년 6월 17일에 수행하였다.



그림 III-4-(1). 과거 서식지(임자도 4개 해변) 현황조사

- 현존 서식지 현황조사

현존 서식지 현황조사는 '25년 6월 17일 및 7월 10일 수행하였으며 서식지 내 성충 동태 및 서식지 위협요인인 해수면 상승 및 잦은 해변가 차량이동에 대한 사항을 조사하였다.

2) 연구결과

가) 과거 서식지 현황조사

은동 해변은 유일하게 근연종인 꼬마길앞잡이가 소수 서식하고 있었으나 모든 닻무늬길앞잡이는 서식하고 있지 않았다. 4개 해변 모두 만조 시 모래사장이 대부분 잠기는 낮은 지대의 모래사장으로 구성되어 있었다. 특히 용난굴 해변과 은동 해변은 해변 배후공간이 인공 석축(콘크리트 구조물)으로 막혀 있어 만조 시 길앞잡이가 회피할 수 있는 공간이 없었다. 모든 해변에서 기수역이 존재하여 길앞잡이류의 주 먹이원인 파리류가 서식하고 있었다. 석축과 기수역, 천적의 서식 유무 등을 고려할 때 현황조사를 한 4개 해변 중 삼두리 해변이 향후 방사지로 적합할 것으로 판단되나 만조 시 침수되지 않는 모래사장의 인위적인 조성이 수반되어야 할 것으로 생각된다(표 III-4-(1)).

표 III-4-(1). 임자도 과거 서식지 현황조사

위 치	길앞잡이 서식 현황	석축 유무	기수역 유무	비고
용난굴 해변	없음	유	유	·배후공간 없음 ·해양쓰레기 많음
어머리 해변	없음	무	유	·배후공간 짧음 ·만조 시 침수 ·갈매기 서식
은동 해변	꼬마길앞잡이	유	유	·배후공간 없음 ·만조 시 침수 ·과거 굴 양식장
삼두리 해변	없음	무	유	·배후공간 짧음 ·만조 시 침수

나) 현존 서식지 현황조사

닷무늬길앞잡이의 국내 유일 서식지인 신안군 비금도의 '25년 현황조사 결과 '23-'24년 2년 동안 성충 활동의 최성기가 6월 중순(16-20일경)인 반면 '25년에는 같은 기간에 성충 활동을 확인할 수 없었고, 7월 초 성충 활동이 확인되었다. 이는 '25년 봄-여름 시기 서해안 일대의 저온 현상으로 인하여 성충의 우화 및 활동 시점이 약 2주 정도 늦춰진 것으로 생각된다. 이와 더불어 서식지 내 활동 성충의 개체수도 감소한 것을 확인하였다(표 III-4-(2)).

표 III-4-(2). 신안군 비금도 서식지 개체군 변동 내역

지역	현황 조사 연도 / 개체수							
	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
신안군 비금도	92	232	23	304	-	90	100	10

※ (-) 현황 조사 기록 없음

서식지 내 개체수가 '24년 대비 1/10 수준으로 감소한 원인은 앞서 언급한 저온 현상에 따른 발달 지연과 더불어 '24년 겨울 비금도 일대의 해수면 상승으로 인한 모래사장 내 모래 소실 및 잦은 침수로 닷무늬길앞잡이 유충의 폐사로 이어진 것으로 생각된다(그림 III-4-(2), 그림 III-4-(3)).

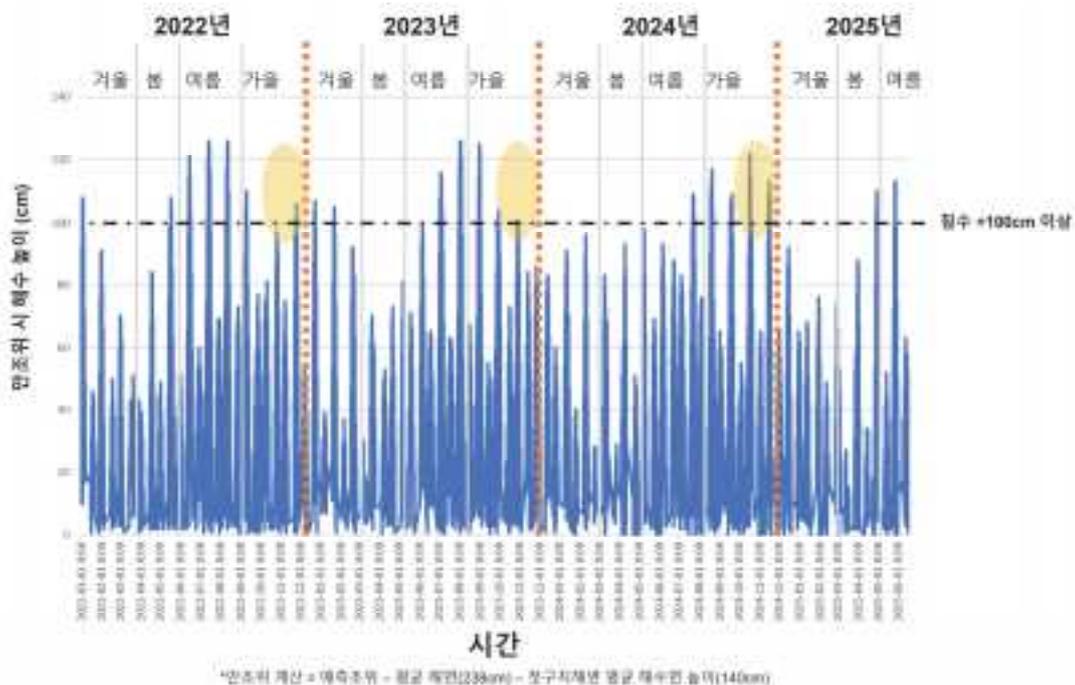


그림 III-4-(2). 예측조위 분석을 통한 신안군 비금도 해변 해수 높이 추정



‘23년도 서식지 모래사장



‘25년도 서식지 모래사장



파랑 내습으로 인한 모래유실 및 쇠파대 형성  
그림 III-4-(3). 신안군 비금도 서식지 모래유실 및 쇠파대 형성

앞선 '24년 연구 결과 닻무늬길앞잡이 유충은 침수 후 48시간까지는 침수에 의한 산소결핍을 견딜 수 있는 것으로 확인되었다. 다만 서식지 내에서 발생한 침수가 닻무늬길앞잡이의 폐사를 유발할 수 있는 3일 이상의 지속적인 모래사장의 침수 현상인지는 향후 추가적인 분석이 필요할 것으로 판단된다.

## 나. 서식지 복원을 위한 방사 후 모니터링

### 1) 연구내용 및 방법

#### 가) 연구내용

2020년까지 국내에서 닻무늬길앞잡이의 서식지는 충청남도 태안군 1개 지점, 전라남도 신안군 1개 지점으로 총 2개 지점으로 구성되어 있었다. 하지만 충청남도 태안군 서식지는 해수욕장 이용, 모래사장 침수로 인해 서식지 내 활동성충은 '23년에 5개체 이하로 확인되었다. 따라서 가까운 미래에 지역

개체군 절멸이 예측되어 서식지 복원을 위해 '24년 10월에 2-3령기 유충으로 구성된 인공증식 개체군(200개체)을 인간 활동 및 해수면 상승 정도가 적은 원서식지 인근 해변가 모래사장에 방사하였으며, 인공증식 개체군이 방사지 내 환경에서 잘 적응하여 서식하고 있는지 확인하고자 사후 모니터링을 수행하였다.

## 나) 연구방법

사후 모니터링은 국립공원공단 태안해안국립공원과 협업하여 '25년 5월 29일부터 1주일 간격으로 동년 8월 5일까지 방사지 내 모래사장 전 면적에 대해 서식지 현황, 유충 및 성충의 활동 현황을 조사하였다. 유충의 활동은 유충 굴 형성 및 먹이활동 여부를 조사하였고, 성충의 활동은 성충의 출현 여부를 조사하였다.

## 2) 연구결과

방사지 내 유충의 활동(유충 굴 형성 및 먹이활동)은 서식지 모래사장의 수분이 적정한 6월 말까지는 활동이 확인되었으나, 모래사장의 표면이 건조하여 유충 활동을 가늠할 수 있는 유충 굴을 확인하지 못하였다(그림 III-4-(4)). 유충(유충 굴)은 5월 말까지 100개체가 확인되었으나 점차 줄어들어 6월 말에는 24개체만 방사지에서 확인할 수 있었다. 또한 모래사장이 건조한 시기인 7월부터 8월, 1개월간은 유충의 활동을 확인할 수 없었다(표 III-4-(3)).



그림 III-4-(4). 방사지 내 유충 굴과 굴 입구에서 먹이활동 중인 유충

표 III-4-(3). 태안 방사지 내 사후 모니터링 결과

지역	조사 일자 (성충 / 유충)					
	'25.05.29.	'25.06.10.	'25.06.24.	'25.07.07.	'25.07.21.	'25.08.05.
태안군 청포대	0 / 100	0 / 69	0 / 24	0 / 0	0 / 0	0 / 0

과거 태안군 서식지의 성충은 6월 말 7월 초로 신안군 서식지 대비 약 1-2주 정도 늦은 시점에 활동한다. 하지만 본 조사에서 방사지 내 성충의 활동은 확인할 수 없었다. 야생에서 닳무늬길앞잡이는 2-3년에 걸쳐 유충에서 성충으로 발달하는 만큼 향후 성충이 활동할 수 있을 것으로 판단된다.

가을에 방사한 유충들이 방사지에서 월동을 하고 생존하여 활동한다는 정보를 취득한 만큼 향후 위협요인(인간활동, 침수, 건조 등)이 적은 서식지에 유충으로 구성된 인공증식 개체군을 지속해서 방사한다면 서식지를 복원할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 다. 서식지 복원을 위한 인공증식 개체군 이입·보강

##### 1) 연구내용 및 방법

##### 가) 연구내용

닳무늬길앞잡이 서식지로 기록되어 있는 충청남도 태안군(훼손 서식지), 전라남도 신안군(현존 서식지) 서식지를 대상으로 인공증식 개체군을 이입 및 보강하여 태안군 훼손 서식지 내 개체군을 복원하고 신안군 현존 서식지 내 개체군의 건강성을 유지하고자 하였다.

##### 나) 연구방법

'25년 7월 현존 서식지에서 닳무늬길앞잡이 암컷 성충 3개체로부터 총 260개의 알을 회수, 1령기 유충 166개체를 확보하였으며, 실내사육 환경에서 인공증식시켜 최종 132개체의 서식지 방사를 추진할 수 있는 3령기 유충을 확보하였다. 이 중 태안군 훼손 서식지 내 개체군 복원을 위해 84개체, 신안군 현존 서식지 내 개체군 건강성 회복을 위해 40개체를 방사하였다.

방사는 수분량이 적합한 서식지 내 모래사장에 방사관을 설치한 후 유충을

방사관 내 넣어 유충이 토양 속으로 굴을 파고 들어갈 수 있도록 하였다. 유충이 굴을 파기 시작하면 방사관을 제거한 후 방사 후 1일 차에 유충의 굴 형성을 재차 확인하였다(그림 III-4(5)).



그림 III-4(5). 방사지 내 유충 방사 방법 및 절차

## 2) 연구결과

### 가) 훼손 서식지 개체군 이입

태안군 훼손 서식지 개체군 복원을 위해 '24년 방사지(청포대) 인근 장기적으로 침수가 우려되지 않고, 기수역과 가깝고 그들이 형성되어 혹서기 모래사장 표면이 건조해지지 않는 모래사장에 3령기 유충 83개체(1개체 폐사)를 방사하였다. 방사 후 1일 차에 모든 3령기 유충이 유충 굴을 형성하였으며, 방사 지점의 모래사장 지하 온·습도 정보 취득을 위해 지하 30cm 부근에 온·습도 측정기를 설치하였다(그림 III-4(6)).

### 나) 현존 서식지 개체군 보강

신안군 현존 서식지 개체군 보강을 위해 서식지 내에 만조 시 모래사장이 침수되지 않고 모래포집기(대나무 구조물)로 인해 그들이 형성되는 모래사장에 3령기 유충 39개체(1개체 폐사)를 방사하였다. 방사 후 1일 차에 모든 3령기 유충이 굴을 형성하였으며, 방사 지점의 모래사장 지하 온·습도 정보 취득을

위해 지하 30cm 부근에 온·습도 측정기를 설치하였다(그림 III-4-(6)).



태안군 방사지 전경



신안군 방사지 전경



방사 추진



방사 후 유충 굴 형성(태안)



방사 후 유충 굴 형성(신안)



온습도 측정기 설치

그림 III-4-(6). 서식지 복원을 위한 인공증식 개체군 이입·보강

#### 다) 향후 계획

훼손 서식지 내 개체군 복원 여부 및 현존 서식지의 개체군의 건강성이 향상되었는지 확인하기 위하여 '26년 6-7월경 태안군(훼손 서식지) 및 신안군(현존 서식지) 서식지 내에서의 유충 및 성충의 활동을 사후 모니터링을 통해 확인하고자 한다. 이와 더불어 유충이 서식하는 서식지 토양 지하 30cm 부근의 온습도 정보를 바탕으로 실내 인공증식 시 월동 온도 조건에 적용하고자 한다.

## 5. 거제외줄달팽이

### 가. 서식지 내 개체군 현황조사

#### 1) 연구내용 및 방법

##### 가) 연구내용

인공증식 기술 개발, 서식지 보전의 기초자료 확보, 증식개체 도입 등을 위해 현장 조사를 실시하였다. 조사 항목으로는 개체군 현황(개체수), 서식지 위협요인, 미소기후(온·습도), 서식지 환경, 식생, 동소종 등으로 구성되어 있다.

##### 나) 연구방법

개체군 현황 파악은 발견이 어려운 희귀종임을 고려하여 육안으로 개체 탐색 및 개체수 파악하였으며(그림 III-5-(1)), 호보(Hobo)를 설치하여 서식지 온·습도 및 기상청 자료를 통해 기온 자료 확보하였다. 먹이원 조사로는 주요 식생, 서식지 및 주변을 탐색, 이와 더불어 주요 위협요인을 파악하였다(그림 III-5-(2)).



그림 III-5-(1). 서식지 내 거제외줄달팽이    그림 III-5-(2). 거제외줄달팽이 서식지 조사

#### 2) 연구결과

##### 가) 개체도입 및 서식지 현황 파악을 위한 현장조사

6월 조사를 통해 5개체를 발견할 수 있었으며, 이 중 2개체를 포획하였다. 조사 당시 날씨의 영향(흐림, 안개, 우천 등)으로 낮임에도 불구하고 평소보다 많은 개체를 발견할 수 있었으며, 거제외줄달팽이 외에 충무띠달팽이, 동양

달팽이, 산우렁이, 입술대고둥류 등 다른 달팽이도 다수 관찰되었다. 개체의 주요 출현 지점인 학동리 서식지는 나무 그늘이 발달 되어있어 개체 탐색을 위해서는 맑은 한낮에도 손전등을 소지해야 가능하였다. 또한 낙엽이 쌓인 유기물이 풍부한 토양이었으며, 주요 식생은 굴참나무, 때죽나무, 구실밤잣나무, 굴피나무, 후박나무, 동백나무 등 활엽수가 우점하는 형태를 보였으며, 침엽수가 우점하는 지점에서는 살아있는 개체는 물론 죽은 개체의 껍각조차 발견되지 않았다.

서식지 주요 위협요인으로는 서식지 단절 및 인위적 위협으로 파악되었다. 특히 도로가 바로 인접해 있어 로드킬 및 소음 진동에 의한 서식 교란 발생 가능성이 높았고, 달팽이류의 확산 및 이동속도를 고려하면, 도로에 의한 서식지 단절은 큰 위협요인으로 분류될 수 있다(그림 III-5-(3), 그림 III-5-(4)).



그림 III-5-(3). 울포리 서식지 인접 도로



그림 III-5-(4). 도로에 의해 단절된 학동리 서식지

또한 학동리 주요 서식처는 냇시터로 이어지는 길이 서식지를 가로지르고 있어 포획 및 답압 위험성이 존재한다. 미래에 예상되는 위협요인으로는 노자산 개발계획에 따른 관광시설 확충을 들 수 있다. 개발이 진행됨에 따라 개체군에 어떠한 영향을 주는지에 대한 지속적인 서식지 모니터링이 필요한 상황으로 판단된다.

## 6. 참달팽이

### 가. 서식지 내 개체군 현황 조사

#### 1) 연구내용 및 방법

##### 가) 연구내용

개체군 현황 파악을 위해 홍도 4개 지점을 대상으로 '19년부터 '25년까지 7년간, 하태도는 2개 지점에서 '23년부터 '25년까지 3년간 서식 밀도 조사를 실시하였다 (그림 III-6-(1), 그림 III-6-(2)).



그림 III-6-(1). 신안군 홍도 내 모니터링 조사지점 위치정보



그림 III-6-(2). 신안군 하태도 내 모니터링 조사지점 위치정보

## 나) 연구방법

넓은 나대지인 홍도 A4 지점은 방형구 조사방법(그림 III-6-(3))을, 길(마을 소로, 등산로)을 따라 형성된 홍도와 하태도 나머지 지점은 선조사 방법(그림 III-6-(4))을 적용하였다. A4 지점은 줄자를 이용하여 400 m<sup>2</sup>의 면적을, 선조사는 거리 100m, 좌우 가지 범위 각각 2m로 총 400 m<sup>2</sup> 가상의 방형구를 산정하여 개체밀도(개체수/m<sup>2</sup>) 산출하였다.



그림 III-6-(3). 참달팽이 방형구 조사      그림 III-6-(4). 참달팽이 선조사

## 2) 연구결과

### 가) 홍도 서식지 조사

6년간 4개 지점 평균 개체밀도는 4~8개체/100 m<sup>2</sup>, A1(약 10.6개체/100 m<sup>2</sup>)에서 가장 많은 개체가 관찰되었으며, A4(약 8.4개체/100 m<sup>2</sup>), A3(약 3.8개체/100 m<sup>2</sup>), A2(약 3.5개체/100 m<sup>2</sup>)의 순서를 보였다(표 III-6-(1)). '25년 조사 결과 A4(16개체/100 m<sup>2</sup>)에서 가장 많은 개체수가 관찰되었으며, A3에서 가장 적은 개체(2개체/100 m<sup>2</sup>)가 발견되었다. 이는 A3 지점이 마을 안에 위치하여 인위적 간섭이 많아 상대적으로 개체 서식에 불리, 기회적으로 출현할 것으로 예상된다. A2와 A4의 경우 산림이 초입부로, 주 먹이원인 목본 및 초본 및 돌담(칼슘, 은신처)이 풍부하여 A3 지점보다는 개체 서식에 적합한 것으로 보인다.

표 III-6-(1). 2019년-2025년 참달팽이 홍도 서식지 조사지점별 개체밀도

구분	A1	A2	A3	A4	평균
2019년	11	2	5	2	5
2020년	10	1	5	6	6
2021년	5	-	-	9	4
2022년	7	-	-	7	4
2023년	15	-	3	12	7.5
2024년	18	7	-	7	8
2025년	10	4	2	16	8
평균	10.9	3.5	3.8	8.4	-

※ A1, 2, 3 선조사; A4 방형구 조사; 개체밀도, 개체수/100m<sup>2</sup>

'23년부터 개체군 현황조사 결과에서 수치상으로는 개체군 밀도가 상승한 것으로 보이지만, 최소 10년 이상의 기록 정보가 축적되어야 개체군이 커지고 있다고 결론지을 수 있을 것이다. 따라서 현재 홍도 개체군이 커지는 것이 아닌 안정적으로 유지되고 있다고 하는 편이 맞을 것이며, 현재도 주민들이 밭 경작을 하고 있고, 관광객들이 다수 찾아 포획, 답압 등 인위적 위협이 존재한다. 또한 해당 서식지는 달팽이를 섭식하는 철새들의 이동 경로에 위치하여, 천적의 대발생 시 개체군에 적지 않은 영향을 끼칠 것으로 예상된다.

#### 나) 하태도 서식지 조사

하태도의 경우 2개 지점을 대상으로 '23년부터 '25년, 3년간 서식 밀도 조사를 실시하였다. '25년 조사 결과 B1과 B2에서 각각 13, 5개체/100 m<sup>2</sup>의 개체밀도를 보였다(표 III-6-(2)).

표 III-6-(2). 2019년-2025년 참달팽이 하태도 서식지 조사지점별 개체밀도

구분	B1	B2	평균
2023년	30	5	17.5
2024년	12	7	9.5
2025년	13	5	9
평균	18.3	5.7	-

※ 개체밀도, 개체수/100m<sup>2</sup>

'24년과 '25년은 '23년에 비해 개체밀도가 감소한 결과를 얻었는데, 이는 날씨의 영향이라 여겨지며, 실제 '23년 조사(일 최고기온 25.4℃)('23.7.6. 기상청

날씨누리)는 조사 전 4일간 비가 내렸으며, 짙은 안개로 인해 한낮에도 많은 개체를 관찰할 수 있었다. 반면, '24년 조사 당시 일 최고기온 33℃('24.8.8. 기상청 날씨누리)으로 무덥고 맑은 날씨가 지속되고, 대부분 나뭇잎 뒷면이나 돌 틈에 몸을 숨기고 있어 개체 관찰이 쉽지 않았다. '25년도 '24년과 비슷한 날씨를 보였다.

하태도는 홍도보다 작은 규모의 서식지 범위를 가지고 있지만, 단시간에 많은 개체를 관찰할 수 있었다. 또한 하태도행 선박은 격일로 운행되며, 홍도와 비교하여 주민과 관광객의 수가 현저히 적어 인위적 위협요인 발생 빈도가 낮을 것으로 판단된다.

## 7. 물거미

### 가. 서식지 내 개체군 현황조사

#### 1) 연구내용 및 방법

##### 가) 연구내용

물거미의 인공증식 기술 개발을 위해서는 개체도입이 필수적이다. 그러나 해당 종은 멸종위기 야생생물 2급으로 지정되어 있어 무분별한 포획이 허용되지 않는다. 이에 사전 포획 허가 후 실제 서식지를 방문하여 개체군 및 서식지 현황을 조사, 보전적 관점에서의 개체수를 확보하고자 하였다.

##### 나) 연구방법

채와 뜬채로 개체 훼손에 주의하여 쓸어잡기 방식으로 포획한 후 넓은 선반에 옮겨 담아 육안으로 종을 동정 확인했다. 개체가 확인되면 말뚝에 온·습도 측정기(Hobo)를 고정시켜 물속에 설치했다. 이동식 수조에 현장의 물을 채수하여 20~25℃가 유지될 수 있도록 온도 조절이 가능한 이동식 냉·온장고에 담아 이동, 이동식 수조에 기포발생기(에어레이션)를 설치하였다. 포획된 개체는 보관함(서식지 물, 수초 포함)에 담아 기포발생기 작동 후 이동식 냉장고에 보관 이동했다. 복합 수질 측정기는 pH 값의 변화가 없을 때까지 최소 5분 이상 측정했다. 개체와 서식지 전경을 사진으로 기록하고 실제 좌표를 확보하였다(그림 III-7-(1)).



호보



이동식 냉장고



휴대용 기포발생기, 보관함



뜬채



선반



장화



수질 측정기

그림 III-7-(1). 물거미 조사 장비

## 2) 연구결과

### 가) 양산 서식지 조사

수온, pH 측정 결과. 일 수온 차가 약 4.7°C(최고: 20.15°C, 최저: 15.44°C)로 측정되었으며, 서식지 물은 pH 5.39로 약산성을 띠고 있었다(표 III-7-(1)). 생이새우, 올챙이, 수서곤충 등이 함께 관찰되었다. 뜰채질 3회에 약 1개체가 포획되었으며, 총 50여 개체를 확인하였으며, 10개체(암컷3, 수컷 7)를 포획 완료하였다(그림 III-7-(2)).



그림 III-7-(2). 양산 물거미 서식지 조사

표 III-7-(1). 물거미 조사지점별 수온, pH

서식지	조사일	일 최고 수온(°C)	일 최저 수온(°C)	평균 수온(°C)	pH
양산	2025.6.25.-26.	20.15	15.44	17.03	5.39
연천	2025.6.30.-7.1.	28.48	25.14	26.49	6.36
	2025.10.13.-14.	18.19	16.6	17.39	6.35

## 나) 연천 서식지 조사

7월 조사에서 수온, pH 측정 결과, 일 수온 차가 약 3.34℃(최고: 28.48℃, 최저: 25.14℃)로 측정되었으며, 서식지 물은 pH 6.36으로 산성에 가까운 중성을 띠고 있었다(표 III-7-(1)). 생이새우, 올챙이, 수서곤충, 왕우렁이 등이 함께 관찰되었으며, 개체 관찰에는 실패하였다.

10월 2차 조사에서는 일 수온 차가 약 1.59℃(최고: 18.19℃, 최저: 16.6℃)로 측정되었으며, 서식지 물은 pH 6.35로 산성을 띠고 있었다. 2개체를 발견, 2개체를 확보할 수 있었다(그림 III-7-(3), 그림 III-7-(4)).



그림 III-7-(3). 연천 물거미 서식지 1차 조사

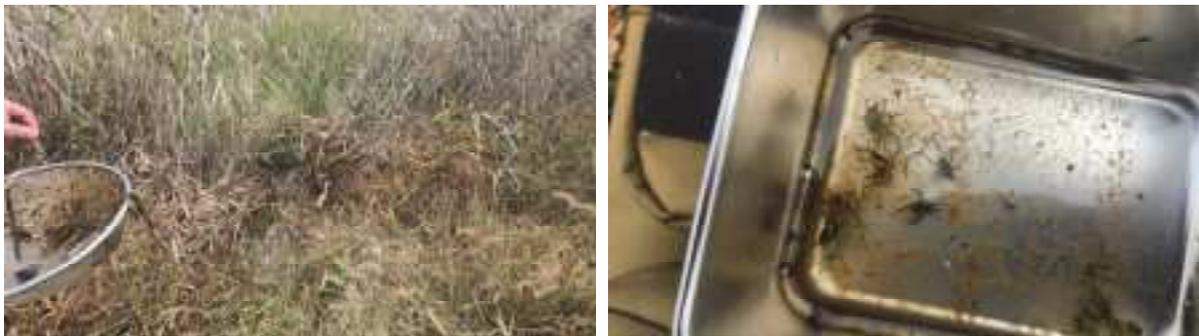


그림 III-7-(4). 연천 물거미 서식지 2차 조사

여름 조사에서는 양산이 연천보다 평균 수온이 낮게 나타났으며, 일교차는 양산이 1℃가량 컸다. 이는 양산 서식지가 고지대(고도 850m)에 위치하는 이유 때문으로 판단된다. 두 서식지 모두 pH는 산성을 띠고 있었다(표 III-7-(1)). 물거미 서식 밀도는 연천보다 양산이 상대적으로 높았으며, 동소종의 경우 생물량, 생물다양성은 연천에서 더욱 높게 나타났다.

## IV. 고찰 및 제언

### 1. 소똥구리

본 연구는 멸종위기종 소똥구리의 효과적인 복원을 위한 인공증식 기술과 서식지 관리 전략을 종합적으로 검토하였다. 특히, 기후변화와 환경변화가 소똥구리 생존 및 번식에 미치는 영향을 분석하고, 이를 기반으로 향후 복원전략을 구체화하는 데 중점을 두었다.

첫째, 동면 관리 측면에서 2025년 이례적인 기후 패턴은 소똥구리의 동면 생존에 큰 영향을 미친 것으로 나타났다. 3~5월 동안 급격한 기온 변동과 지속적인 저온은 동면 생존율에 심각한 영향을 미쳤으며, 전체 동면 생존율은 54.6%로 이전 연도에 비하여 현저히 낮았다. 특히 4월에 발생한 경북지역 산불로 인한 긴급 소산 과정에서 동면 중인 개체가 받은 물리적 이동, 진동, 온도 변화 등은 생존율 저하에 영향을 미쳤을 가능성이 있다.

실내 동면과 야외동면의 비교 분석에서는 관리 방식에 따른 차이를 확인할 수 있었다. 실내 동면 개체는 항온·항습기(Growth Chamber)에서 4°C의 안정적인 저온 환경을 유지하고 15°C에서 20°C로 단계적 온도 순화를 거쳐 비교적 안정적으로 활동을 재개하였다. 반면 야외동면 개체는 자연 온도 변화에 직접 노출되어 조기 각성과 재동면을 반복하며 생리적 부담이 가중된 것으로 보인다. 이러한 결과는 기후변화로 인한 이상 기온 현상이 빈번해지는 상황에서 실내 동면 시설 확대가 필요함을 시사한다. 향후 연구에서는 소똥구리 동면 해제와 기온의 상관관계를 정밀히 추적하고, 적합한 임계 최저온도 및 적산온도 기준을 확립할 필요가 있다. 또한 온도 순화 과정에서 세밀한 온도 단계와 적응 기간 설정을 통해 개체의 생리적 부담을 최소화할 수 있는 매뉴얼 개발이 요구된다.

둘째, 먹이원 분석 연구를 통해 우분은 소똥구리의 주요 먹이원으로서 영양 밀도가 높고, 발효에 최적화된 조성을 보였다. 우분의 조단백질, 조지방, 탄질비 등은 소똥구리의 생리적 요구를 충족시키기에 적합하며, 특히 탄질비 20~30 범위는 유기물 발효의 최적 조건으로 보고되고 있어 빠른 분해와 미생물 이용성이 높음을 의미한다. 또한, 칼슘과 마그네슘 등의 무기물이 풍부하여 발효 미생물 활성을 촉진하고 유기물 분해 효율을 향상시킬 수 있다. 반면 마분은 고섬유·

저질소 구조를 지니며 발효 속도가 느리고 미생물 활성도가 낮은 특성을 보였다. 이는 마분이 소똥구리의 단독 먹이원으로는 제한적이며, 우분과 혼합하여 보조적으로 사용하는 것이 적합함을 시사한다.

본 연구에서는 소똥구리 연구의 보전적 제약을 고려하여 정읍 다움농장의 우분과 복원센터 말의 마분을 먹이원으로 한정하였다. 실험에서 사용되는 분변의 출처와 약제 잔류물 관리가 매우 중요하며, 이는 소똥구리의 생존과 번식에 미치는 영향을 최소화하는 데 필수적이다. 향후 연구에서는 먹이원의 성분 변화에 따른 번식 성공률 및 유충 생존율 변화 등을 통합적으로 분석하여, 더욱 정교한 사육 표준과 현장 적용 매뉴얼을 개발할 필요가 있다.

셋째, 방사 모니터링 및 원인을 분석한 결과, 2023년 태안 신두리 해안사구에 방사된 200개체는 2024년 5월 이후 관찰되지 않았다. 이는 방사된 개체들이 한 세대의 생애주기를 완성하지 못하고 소멸한 것으로 해석할 수 있다. 2025년 모니터링에서도 소똥구리는 확인되지 않았지만 소똥퐁뎅이류의 개체수는 점진적으로 증가한 점은 단순한 먹이자원의 부족이 아닌 다른 복합적인 요인이 작용했음을 시사한다.

연방사 실험을 통해 태안 복원지에서 동면 생존율 95%를 달성한 것은 포식압을 제외한 자연 기후 조건에서도 성공적으로 월동할 수 있음을 보여준다. 또한 고온다습한 여름철에도 산란 활동과 유충 발달이 관찰되어 국내 환경에서의 번식 가능성을 확인하였다. 활동 개시 시기의 차이는 복원센터(영양)와 복원지(태안) 간 약 7일 차이를 보였으며, 이는 내륙과 해안 지역의 지리적 특성에 따른 기온 상승 속도 차이가 적산온도 축적 및 임계온도 도달 시기에 영향을 미친 결과로 분석된다. 그러나 7월 이후 사육상 파손과 관리 소홀로 인해 우화 성공률과 신생 개체의 생존 가능성에 대한 체계적인 평가가 이루어지지 않았다는 점은 아쉬운 부분으로 남았다.

종합적으로 본 연구는 소똥구리 복원사업의 효과적인 진행을 위해 다음과 같은 개선방안을 제시하였다. 첫째, 기후변화에 대응하는 동면 관리 체계 마련이다. 실내 동면 시설의 확대와 단계적 온도 순화 매뉴얼을 마련할 필요가 있다. 또한, 임계온도 및 적산온도 기준을 확립하여 동면 개체의 생리적 부담을 최소화할 수 있는 관리 체계가 필요하다. 둘째, 먹이원 관리

체계 확립이다. 우분을 기본 먹이원으로 설정하고, 분변의 출처 관리, 약제 잔류물 모니터링, 영양성분 분석 등을 체계화해야 한다. 이를 통해 소똥구리의 생존과 번식에 미치는 영향을 최소화하고, 복원 연구의 신뢰성을 높일 수 있다. 셋째, 서식지 내 단계적 적응 관리방안 마련이다. 연방사를 통한 장기 모니터링으로 세대 간 생존을 추적, 실패 요인 분석 및 관리방안 개선을 순환적으로 수행할 수 있는 관리 체계를 구축해야 한다. 이를 통해 서식지 변화에 적응하는 과정에서 발생할 수 있는 문제를 미리 파악하고, 대응할 수 있다. 넷째, 지역사회 협력체계 구축이다. 복원지 관리자 교육, 비상 연락 체계 마련, 장기 모니터링 협력 등 지역사회와의 협력체계 구축이 필요하다. 지속 가능한 관리 체계를 통해 복원사업의 효과를 극대화하고, 지역사회와의 소통을 강화할 수 있다.

향후 연구에서는 본 연구에서 제시한 개선방안을 체계적으로 적용하고, 장기 모니터링을 통해 국내 환경에 최적화된 소똥구리 복원 모델을 확립해야 한다. 특히 복원과정에서 발생하는 변수들을 면밀히 추적하고, 복원 성공에 기여하는 주요 요인을 규명하는 것이 중요하다. 또한 소똥구리의 생리적 특성에 대한 보다 정교한 연구와 서식지 변화에 따른 적응 능력에 대한 분석을 통해 복원사업이 더욱 과학적이고 체계적으로 이루어질 수 있도록 해야 할 것이다.

## 2. 수염풍뎅이

수염풍뎅이는 대형 곤충임에도 불구하고 형태적 특성, 생태, 발육단계별 생활사에 대한 기초연구가 매우 부족한 멸종위기종이다. 성충은 야간 불빛에 강하게 유인되는 행동 특성이 있어 도시화와 인공조명은 생존에 부정적인 영향을 미치는 주요 위협요인으로 작용하고 있다. 실제로 교량 조명으로 인한 성충 폐사 사례는 중요한 인위적 사망 요인으로 확인되었으며, 조명 소등과 같은 실질적인 저감 대책이 개체군 보전에 효과적인 방안이 될 수 있음을 시사하였다.

침수 내성 실험에서는 일정 시간 침수에도 일부 개체가 생존하는 결과가 확인되었으나, 반복적 침수는 개체 생존에 부정적인 영향을 미칠 가능성이

큰 것으로 나타났다. 이에 따라 최근 빈번해진 홍수와 침수 현상은 수염풍뎅이 유충이 서식하는 토양 환경에 직접적인 영향을 미칠 수 있어, 기후 변화가 향후 개체군 유지에 중대한 위협요인으로 작용할 가능성이 크다. 또한 비행 행동 분석에는 수염풍뎅이는 일몰 직전에만 비행하여 비교적 제한적인 비행능력을 보였다. 본 연구에서 flight-mill을 활용한 비행실험은 수행하지 못하였으나, 향후 수염풍뎅이의 비행거리와 비행속도 자료를 기반으로 서식지 패치 간 최적 거리, 복원지 선정 시 요구되는 공간 규모, 하천변 및 인접 육상 서식지 관리 범위 등을 과학적으로 제시할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 자연 확산 및 개체군 이동에 관한 정량적 근거를 확보하여, 향후 수염풍뎅이 보전·복원 전략 수립을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2025년 수염풍뎅이 개체군 모니터링은 기존 5개 지점과 신규 2개 지점을 포함한 총 7개 지역에서 수행되었다. 조사 결과, 세종(212개체)과 청주(202개체)에서 가장 많은 개체가 확인되어 안정적인 개체군이 유지되고 있는 것으로 판단된다. 반면 논산에서는 소수의 개체만 확인되어 개체군이 소규모로 유지되고 있으며, 부여와 공주에서는 금년도 조사에서 성충이 발견되지 않았다. 이는 조사 시기의 기온, 강우, 홍수 등 기상 요인이 개체 출현 여부에 큰 영향을 미친 것으로 해석할 수 있다. 신규 조사지인 연천에서는 13개체가 확인되어 신규 서식지로서 지속적인 모니터링이 필요하지만, 영월에서는 발견되지 않아 추가 정밀 조사가 필요한 지역으로 판단된다. 특히 홍수 이후 일부 지역에서 사체만 발견되거나 개체 출현이 감소한 점은 기후변화와 수리환경 변화가 개체군 유지에 중요한 위협요인임을 시사한다. 세종과 청주지역에서는 시민과학자들의 참여로 대규모 모니터링이 가능했으며, 이는 단기간 대량 우화하는 수염풍뎅이의 개체군 변동을 효과적으로 파악하는 데 큰 역할을 하였다. 또한 홍수 이후에도 제방과 인접 수변부에서 성충이 유인된 점은 수염풍뎅이가 환경변화에 따라 서식 공간을 이동할 수 있는 생태적 유연성을 지님을 보여준다. 본 연구는 수염풍뎅이의 지역별 분포 특성과 기상 요인에 따른 개체군 변동 양상을 파악하는 기초자료로 활용될 수 있으며, 향후 장기 모니터링을 통한 개체군 안정성 평가가 필요함을 시사한다.

수염풍뎅이의 성충 발생 시기는 6월 하순부터 7월 초까지 최성기에 이르며, 야간 등화 모니터링이 발생 시기와 개체군 규모를 파악하는 데 가장 효과적인

조사 방법이다. 다만 지역별 발생 시기는 기후 조건과 서식지 환경에 따라 다소 차이를 보였다. 유충이 3~4년에 이르는 긴 생활사를 갖는 수염풍뎅이는 단기 조사만으로 개체군 동향을 정확히 파악하는 데 한계가 있다(Kim, 2010; Paik, 1984). 그러나 시민과학 기반 장기 모니터링을 통해 청주와 세종 지역에서는 비교적 안정적인 개체군이 유지되고 있음을 확인하였다. 기존 연구에서 한 지역당 20~30개체 이상이 관찰되는 사례가 드물었던 점을 고려하면, 본 연구 결과는 해당 지역이 수염풍뎅이의 핵심 서식지로 기능하고 있음을 시사한다.

한편 시민과학 활동은 자료 수집을 넘어 참여자의 인식변화라는 교육적 효과도 나타났다. 사전·사후 설문조사 결과, 수염풍뎅이에 대한 인지도와 보호 필요성에 대한 인식이 향상되었고, 환경보호 전반에 대한 태도 역시 긍정적으로 변화하였다. 교육 만족도는 전반적으로 높았으나, 일부 회차에서는 기후 조건 등 외부 요인으로 인해 다소 저하되는 경향도 확인되었다. 시민과학 기반 모니터링을 종합하면 멸종위기 곤충의 분포와 개체군 변화를 장기적으로 파악하는 데 효과적이었다. 또한 시민의 인식 개선과 생태 보전 참여를 동시에 이끌어낼 수 있는 핵심 수단임을 보여주었다. 향후 수염풍뎅이 보전을 위해서는 장기 모니터링과 함께 서식지 관리, 인공조명 저감, 기후변화 대응을 포함한 종합적인 보전전략이 병행되어야 할 것이다.

### 3. 똥보주름메뚜기

월동 조건에 따른 부화율 차이를 확인하기 위해 실내와 실외로 구분하여 사육하였으나, 전체 22개 알집 중에서 5개 알집에서만 부화가 확인되었다. Zechner *et al.*, (2023)은 *Prionotropis rhodanica* 메뚜기의 경우 실험 조건에서 알집의 부화율은 12.5~20%로 나타났으며, 부화율을 높이기 위해 알집을 서식지에서 월동시킨 뒤 부화 직전에 실험실로 옮겨 부화율을 높일 수 있었다.

또한 알집 내 알이 저온 시기에 점진적으로 발달하는 것을 확인하였으며 온도가 일정하게 유지되는 인공적인 환경은 발달을 방해하며, 적절한 일교차와 온도 변화가 필요하다고 하였다. 이번 실험에서 똥보주름메뚜기

알집 역시 순화 과정에서 일교차를 주어 관리하였으나, 서식지와 동일한 수준의 온도 조건을 적용하진 못하였다.

야외 사육장의 경우 대기 온도는 서식지와 유사한 수준이지만, 위치 특성상 양지바른 위치가 아니므로 실제 알집이 위치한 지면 온도와는 차이가 있었을 것으로 판단된다. 약충 사육과 관련하여 *P. rhodanica* 에서도 1령 시기 약 70%의 사망률이 확인되었으나, 별도의 열원을 1령 시기부터 사용하여 일교차를 형성한 결과 80%의 생존율을 보였다(Zechner *et al.*, 2023)

똥보주름메뚜기 또한 1령 시기 사망률이 68%로 높게 나타났으며, 부화 개체를 사육한 온실에서는 일교차가 크지 않아 서식 환경이 초기 성장과 생존에 영향을 미쳤을 것으로 판단된다.

'25년 모니터링 결과, 개체를 효율적으로 확인하기 위해서는 3~4월 약충 시기에 조사를 수행하는 것이 발견 가능성을 높일 수 있음을 다시 확인하였다. 다만, 어린 약충 시기는 사망률이 높은 시기이므로, 모니터링을 위한 조사를 수행할 때 개체에 미치는 영향을 최소화하도록 주의가 필요하다.

산불 피해지 조사 결과, 기존 의성군 서식지가 전소되는 피해가 발생하였으나, 인근 지점에서 지속적으로 개체가 발견되어 서식지 내 개체군이 절멸된 것은 아닌 것으로 보인다. 다만, 산불 이후 식생 변화로 인해 서식지 내 초지면적은 감소할 것으로 예상된다. 방사 및 사후 모니터링은 포획-재포획 방법을 사용하여 개체를 조사하고자 했으나, 0~1일차 이후에는 표식 개체를 추가로 확인하지 못하였다. 평균분산거리는 최대 4.4m 정도였으나, 야생에서 표식한 개체를 재발견하는 것은 어려웠다.

#### 4. 닳무늬길앞잡이

달무늬길앞잡이가 속하는 여름종 길앞잡이의 경우 생애주기 증식기술 개발을 위해서는 3령기 유충시기의 적절한 온도 조건의 월동이 요구된다. 본 연구에서는 실내·외 월동 조건의 비교 분석을 통해 최저기온이 0℃까지 도달하는 월동 온도 조건보다 최저기온이 15-18℃인 월동 온도 조건이 유충이 성충으로 발달하는 비율이 높았다. 이는 달무늬길앞잡이 유충이 겨울철 일교차가 극심한 육상의 온도 조건이 아닌 일교차가 적은 해양성 온도 조건의 월동 조건이 더

적합할 수 있다는 사실을 보여준다. 따라서 이러한 결과를 반영하여 향후 유충이 겨울철 서식하는 서식지 지하 30cm 부근의 온·습도 정보를 취득 월동 단계에 적용함으로써 인공증식 기술의 개선이 이루어져야 하겠다.

‘24년 연구 결과 대비 유충 먹이원 교체를 통해 ‘25년 연구에서는 실내 인공증식을 통해 닳무늬길앞잡이 유충이 성충으로 발달하였다. 하지만 전용 및 번데기 기간의 측정을 위해 인위적으로 유충이 형성한 번데기 방을 허물어 인위적인 번데기 방에 넣어 관리하였다. 이를 통해 자연적인 상태라면 두 발달기간 동안 빛에 노출되지 않는 지하 조건에서 발달이 이루어졌어야 하지만 실내 인공증식 동안에 빛에 노출되었다. 이로 인해 인공증식된 암컷 성충은 산란하지 않았으며, 인공증식된 개체들 모두 야생 성충과 비교하여 60% 이상 수명이 짧아진 것을 확인할 수 있었다. 향후 전용 발달 직전의 3령기 유충이 유충 사육관 내에 번데기 방을 형성하면 암 조건상에서 발달할 수 있도록 인공증식 기술의 개선되어야 하겠다. 암 조건 외에 인공증식된 성충이 활동하는 온도 조건에 적합하도록 우화 뒤 26-28℃의 열원 설치와 집단 사육이 가능한 넓은 사육 상에서 사육함으로써 수컷 성충의 교미 성공률을 증대시킬 수 있는 방안이 강구되어야 하겠다.

달무늬길앞잡이의 행동 특성으로 인한 위협요인 분석 결과 서식지는 성충 산란기에 인간 및 차량의 출입을 제한하여 산란된 알의 폐사율을 줄일 수 있는 방안이 강구되어야 할 것이다. 국내에 유일하게 남아 있는 신안군 서식지는 차량의 출입으로 인해 모래사장 표면의 파임 및 답압이 지속적으로 발생하는 곳으로 환경부 주제의 서식지 보호 구역 설정 및 서식지 출입 제한 기간(6-8월)을 설정할 필요성이 있다. 이와 더불어 지역주민 대상 달무늬길앞잡이 보호에 대한 인식을 개선할 수 있는 교육 및 홍보를 통해 지역주민의 서식지 보호에 대한 긍정적인 인식이 도출될 수 있는 활동도 이루어져야 하겠다.

마지막으로 해수면 상승으로 인한 침수 및 인간간섭(캠핑, 해수욕장 이용 등)이 적은 적합한 서식지 확보와 더불어 인공증식 개체군의 지속적인 방사를 추진함으로써 서식지 복원을 확대해 나가야겠다. 하지만 이를 위해서는 우선 방사된 3령기 유충으로 구성된 증식 개체군이 방사지에서 성충으로 발달하여 적응할 수 있다는 결과가 도출되어야 할 것이다. 인공증식 개체군의 서식지 방사 후 모니터링을 통해 성충 활동에 대한 사후 조사가 필요할 것으로 판단

된다. 또한 야생에서 닳무늬길앞잡이 유충이 성충으로 발달하는데 소요되는 시간에 대한 정보를 취득해야할 것이다. 이를 위해 향후 인공적으로 조성된 반-자연(야외) 서식지 내에서 먹이량에 따른 유충의 발달기간의 측정이 필요할 것으로 판단된다.

## 5. 참달팽이

수치상으로 보면 홍도 개체밀도가 '23년부터 상승한 것으로 집계되었다. 최근 3년간의 자료라 앞으로 그 추이를 계속 관찰해볼 필요가 있다. 최소 10년간의 기록 정보가 축적되면 해당 결과의 신뢰도를 높일 수 있을 것으로 판단된다. '25년 조사 시 A3(마을 내 서식지) 지점을 제외한 주요 서식 지점에서 다수의 참달팽이가 관찰되었지만, 금번 조사에서는 해당 지점에서도 2개체가 관찰되었다. 따라서, 올해까지도 개체군이 안정적으로 유지되고 있다고 판단된다. 반면 하태도는 개체밀도가 '23년에 비해 줄어든 것으로 보이지만 단기간(3년)의 기록 자료이며, 지속적인 모니터링이 필요한 부분이다. '23년에 비해 '24년과 '25년은 높은 일사량과 기온에 의해 관찰 개체수가 적었다고 판단되며, 개체 출현은 날씨의 영향을 많이 받기 때문에 조사시기와 방법을 동일하게 유지하는 것이 중요하다. 또한 조사 당시 날씨, 기온도 반드시 기록해 두어야 한다.

현재 홍도 서식지 주요 위협요인은 다수의 관광객 방문으로 인해 파생되는 환경오염, 불법 포획, 농지 개간 등을 들 수 있다. 이는 주민들의 생업과 관련이 있어 직접적인 제약을 들 수 없으며, 정기 모니터링, 서식지 정화 활동, 주민 및 관광객을 대상으로 한 생태계 보전의 필요성 교육·홍보 등을 통해 인식증진을 도모해야 한다. 반면, 하태도의 경우, 홍도와 비교하여 개체밀도가 높으며, 주민과 관광객의 수도 현저하게 낮아 현재 큰 위협요인은 없다고 판단된다.

참달팽이 서식지 보전은 개체군 유지와 더불어 생태계 건강성을 유지하는데 중요한 의미를 지닌다. 개체군 감소와 서식지 파괴는 주로 환경오염, 개체 훼손, 기후변화 등 직·간접적인 인위적 영향에서 비롯된다. 이러한 위협요인에 대처하기 위해 참달팽이 보전연구를 수행하고 있으며, 인공증식 기술 개발 기반의 개체군 복원, 수시모니터링 및 정화 활동 등의 서식지 보전 활동을

중점적으로 실시하였다. 지속가능한 보전을 위해서는 지리적 접근성이 떨어지는 “서식지 외”보다 “서식지 내” 관리가 효율적이다. 즉, 수시로 개체군 및 서식지의 현황을 파악하고 감시하는 체계를 구축하여 느리게 혹은 급작스럽게 발생할 수 있는 돌발상황에 즉각적인 대처가 가능해야 한다. 이를 위해서는 주민, 지자체, 연구기관 등 지역사회 구성원 간 유기적인 협업 및 멸종위기 야생생물 보전에 대한 인식 확산을 전제로 한 적극적인 참여가 필요하다. 또한, 생태계는 많은 동·식물들이 유기적으로 연결되어 있는바, 참달팽이 뿐만 아니라 신안군 법정보호종 및 생태계 보전 범위를 점차 넓혀 가야 한다.

## 6. 거제외줄달팽이

‘24년 사전 개체군 현황조사 결과와 허가기관(낙동강유역환경청)과의 조율을 통해 5개체를 포획하기로 하였지만, 허가과정에서 조율이 순조롭게 이루어지지 않아 포획 시기를 놓쳐 2개체만 발견, 포획할 수 있었다. 포획 조사에서는 거제외줄달팽이 외 사전 조사에서 볼 수 있었던 동양달팽이, 충무띠달팽이 등 다수의 동소종 역시 거의 보이지 않았다. 반면 거제외줄달팽이 추가 도입을 위해 실시한 ‘25년 6월 말 조사에서 장마의 영향으로 추가 도입에 성공하였으며, 다수의 동소종도 함께 관찰되었다.

거제외줄달팽이는 일반도로에 인접하여 있어 로드킬, 서식지 단절, 진동 및 소음에 의한 서식 교란 발생 이외에도, 접근성이 좋아 인위적 포획 및 답압에 노출되어 있다. 특히, 학동리 서식지의 경우 서식지를 가로지르는 길을 통해 낚시꾼들이 자주 이동하는 것을 목격하였으며, 생활 쓰레기 투기로 인한 토양오염도 염려되는 상황이다. 또한 현재까지 거제 노자산 일대 1지점에만 서식이 확인된 만큼, 법정보호종 중에서도 극히 한정된 서식 분포를 보인다. 따라서 개체군 보전전략에서 서식지 보호를 우선순위로 두어야 할 것으로 생각된다.

도입 후 12개월 이상 사육관리 상 개체 건강에 이상 없이 먹이, 배변 등 활동도 활발한 것으로 관찰되고 있어, 현재까지 조성된 증식환경에 문제는 없어 보인다. 7월 첫 산란이 이루어졌지만, 무정란으로 F1 증식에는 성공하지 못했다. 증식 성공 시 개체의 성장률, 생존율을 기반으로 거제외줄달팽이에

최적화된 증식기술 개선 연구를 진행할 계획이다. 올해 사육 개선안으로 돌, 이끼, 낙엽 등을 추가하고 온도를 봄에 맞추어 22℃로 설정 개선하였다. 또한 매일 분무를 통해 고습한 환경을 조성해 얻은 성과였다고 판단된다. 동면 이후 '26년에도 해당 조건을 적용하여 지속적으로 산란을 유도할 예정이다.

## 7. 물거미

본 연구는 통제된 인공환경에서 물거미의 단기적 증식 가능성을 평가한 첫 단계로서, 수온·pH·수원·여과 구조가 개체 생존 및 서식 적합성에 영향을 미친다는 점을 보여주었다. 특히 석회질이 다량 포함된 수원과 정수기 물의 pH 차이는 CO<sub>2</sub> 보정 및 알칼리도 관리 없이 서식지 조건(산성에 가까운 중성)과의 차이로 이어져 생리적 스트레스를 유발할 수 있음을 확인했다. 또한 녹조류의 과성장은 저면여과기 작동 불량과 DO 저하를 통해 간접적으로 개체 폐사에 영향을 주었을 가능성을 무시하지 못하며, 단순한 물리적 제거만으로는 장기적 통제가 어려울 것으로 예상된다.

금번에 도출된 개선안이 표면적으로 적정 수조 환경 유지, 개체 생존율에 기여했음을 알 수 있었지만, 실제 물거미에게 적합한 증식환경인지를 과학적으로 검증할 예정이다. 다만 충분한 개체가 확보되지 않아 선제적으로 수조 환경을 주제로 연구를 수행할 예정이다. 우선 pH 유지 수치화를 위해 CO<sub>2</sub> 공급 여부, 수돗물과 정수기 물의 차이 등 대조군을 나누어 수조의 pH 변화 양상 차이를 분석하고, 정화생물의 투입이 녹조류 잔존량에 영향을 주는지, 발생하는 녹조류 독성 판별 연구를 설계하고 있다.

또한 실지렁이를 주요 먹이로 공급하고 있어, 개체 영양의 불균형이 우려됨에 따라 향후 연구에서는 서식지 실제 군집구조 관찰, 메타바코딩 등을 활용하여 먹이원을 규명하고자 한다.

향후 증식을 통해 개체수가 충분히 확보된다면 생존율, 성장률, 알집의 수 등을 평가 지표로 활용하여 물거미의 생리·생태학적 정보 기반의 인공증식 기술 개발 연구를 진행할 수 있을 것으로 판단된다.

## 참고 문헌

- 강정훈, 이성경, 이유진, 오부균, 현보라 (2014). 천연기념물(동물) 증식·보존 연구(5차). 국립문화재연구소, p.127.
- 강정훈, 이성경, 이유진, 오부균, 현보라 (2015). 천연기념물(동물) 증식·보존 연구(6차). 국립문화재연구소, p.128.
- 강정훈, 이성경, 이유진, 오부균, 현보라 (2016). 천연기념물(동물) 증식·보존 연구(7차). 국립문화재연구소, p.172.
- 국립생태원 (2022). 소똥구리 인공증식 매뉴얼
- 국립생태원 (2024). 멸종위기 곤충·무척추동물 개체군 강화 및 복원 연구('24).
- 권오길 (1993). 원색한국패류도감. 아카데미서적. p.446.
- 농림부 (2002). 농업생산 부산물 및 남은음식물을 이용한 식용달팽이 생산. p.169.
- 국립생물자원관 (2020). 서해5도 철새 생태 연구. 환경부, p.79.
- 국립생물자원관 (2011). 철새이동경로 및 도래실태연구. 환경부, p.217.
- 이준상, 권오길 (1993). 한국산 달팽이과 15종의 외부형태 분석. 한국패류학회지, 9(2): 44-56.
- 이준상, 권오길 (1994). 한국산 달팽이과 14종의 생식기관에 관한 연구. 한국패류학회지, 10(1): 9-18.
- Ambrožová, L., Sládeček, F. X. J., Zítek, T., Perlík, M., Kozel, P., Jirků, M., & Čížek, L. (2021). Lasting decrease in functionality and richness: Effects of ivermectin use on dung beetle communities. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 321: 107634.
- Bernal, M. P., Albuquerque, J. A., Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology*, 100(22): 5444 - 5453.
- Chen, YR., Wei, WL., Tzeng, D.T.W., Owens, A.C.S., Tang, HC., Wu, CS., Lin, SS., Zhong, S., Yang EC. (2021). Effects of artificial light at night (ALAN) on gene expression of *Aquatica ficta* firefly larvae. *Environmental Pollution*, 281: 116944.
- Ge, M., Shen, Y., Ding, J., Meng, H., Zhou, H., Zhou, J., & Liu, J. (2021). New insight into the impact of moisture content and pH on dissolved organic matter and microbial dynamics during cattle manure composting. *Bioresource Technology*, 344: 126236.

- Hanski, I., & Cambefort, Y. (1991). *Dung Beetle Ecology*. Princeton University Press.
- Heddle, T., Hemmings, Z., Burns, A., & Andrew, N. R. (2024). Pasture diet of cattle contributes to the reproductive success of dung beetles. *Agricultural and Forest Entomology*, 26(1): 38 - 50.
- Holter, P., & Scholtz, C. H. (2007). What do dung beetles eat? *Ecological Entomology*, 32(6): 690 - 697.
- Kang, Y.J., J.Y. Kim, J.H. Park, Y.H. Lee, I.K. Chung (2015). The State of Scientific Citizenship in Korea: Centered on the analysis of the citizen's perception survey on the science and technology. *Journal of Science and Technology Studies*, 15(1): 3 - 43.
- Kim, A.-Y. (2010). A taxonomy of Korean Melolonthidae (Coleoptera, Scarabaeoidea) and cladistic analysis of Polyphylla based on morphology. Masters thesis, Sungshin Women's University. 415pp.
- Klowden, M.J. (1997). Endocrine aspects of mosquito reproduction. *Arch. Insect Biochem. Physiol.*, 35: 491 - 512.
- Ko, J. & M. Ye (2020). A study on types and characteristics of citizen science to address environmental issues in Korea. *Journal of Environmental Policy*, 12: 181 - 213.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2021). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle: 8th Revised Edition*. National Academies Press.
- NIBR (2012). *Red Data Book of Endangered Mollusks in Korea*. Red Data Book 6. Nature & Ecology. 76pp.
- Nica, D.V., Bura, M., Gergen, I., Harmanescu, M., Bordean, D.-M. (2012). Bioaccumulative and conchological assessment of heavy metal transfer in a soil-plant-snail food chain. *BMC Chemistry*, 6: 55.
- Nica, D.V., Filimon, M.N., Bordean, D.-M., Harmanescu, M., Deaghici, G.A., Dragan, S., Gergen, I. (2015). Impact of Soil Cadmium on Land Snails: A Two-Stage Exposure Approach under Semi-Field Conditions Using Bioaccumulative and Conchological End-Points of Exposure. *PLoS One*.
- NIE(National Institute of Ecology) (2022). *Endangered species at a glance*. National Institute of Ecology. GGumguanolda. 621pp.
- NSW National Parks and Wildlife Service (2001). *Lord Howe Placostylus bivaricosus Recovery Plan*. NPWS, Hurstville, NSW.
- MOE(Ministry of Environment) (2020). *Endangered species, Polyphylla sp. found a new habitat in Cheongju*. Policy brief. Access date: 2024.10.22.

- Mariotti F, Tome D, Mirand PP. (2008). Converting nitrogen into protein: Beyond 6.25 and Jones' factors. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(2): 177 - 184.
- Outerbridge, M.E. & Sarkis, S.C. (2018). Recovery plan for the endemic land snails of Bermuda, *Poecilozonites bermudensis* and *Poecilozonites circumfirmatus*. Department of Environment and Natural Resources, Government of Bermuda.
- Paik, W. H. (1984). Key to the insects of Korea 3: Key to Genera of Scarabaeidae (Coleoptera)(I)(Melolonthinae). *Korean Journal of Plant Protection*. 23(3): 177 - 180.
- Reiling, B. (2023). Feed Dry Matter Conversions (NebGuide G2093). Nebraska Extension, University of Nebraska - Lincoln
- Scholtz, C. H., Davis, A. L. V., Kryger, U. (2009). Evolutionary biology and conservation of dung beetles. Pensoft.
- Van Bemmelen, J. M. (1890). Über die Bestimmung des Wassers, des Humus, des Schwefels, der in den colloidalen Silikaten gebundenen Kieselsäure, des Mangans u. s. w. im Ackerboden. *Die Landwirtschaftlichen Versuchs-Stationen*, 37: 279 - 290
- Zechner, L., Bartolucci, J.-C., and Gibault, C. (2023). Dossier technique: Construction d'une voliere d'élevage du Criquet de Crau a Calissane. Saint-Martin-de-Crau, France. Conservatoire d'espaces naturels de Provence-Alpes-Cote d'Azur (CEN PACA)

비매품/무료

