

2021 시민과학 풀씨

2기

2021 시민과학 풀씨

2기

CONTENTS

시민과학플씨 소개 04

시민과학플씨 2기 연구자 명단 06

시민과학플씨 2기 최종 결과보고서

지속 가능한 하천정화사업을 위한 시민 모니터링 09

시민과학을 주제로 한 기후변화지표종 나비의 모니터링 27

주위의 밝기에 따른 매미 울음소리 연구 65

한국에 서식하는 땅거미속(*Atypus*)의 계통학적 재정립 79

시민과학을 통한 제주도에 서식하는 풀매미(*Tettigetta isshikii*)의 분포현황 및 서식지 특성 101

합리적인 전기차 충전소 설치를 위한 주차장 머무름 시간 연구 115

해안 기수 웅덩이에 서식하는 청개구리 서식지 및 생태 분석 127

야생조류 유리창 충돌 모니터링 연구 143

송장벌레 분포와 종 다양성 간의 연관성 분석을 통한 생태계 건강도 조사 165

시민과학풀씨 소개

시민과학풀씨는 환경·안전·보건 분야 연구자들이 시민과 함께 연구하며 성과를 도출해내는 연구 프로젝트 지원사업으로, 재단법인 숲과나눔과 동아사이언스가 함께 운영하고 있습니다. 시민과학풀씨 2기 연구 프로젝트에 참여하는 시민과학자는 어린이과학동아 지구사랑탐사대 9기 대원으로 구성되어 있습니다.

시민과학 풀씨

과학적 소양과 공공성을 갖춘
미래인재 양성



공공성 갖춘 미래인재 양성

공공성을 갖춘 과학자, 과학적 소양을 갖춘
공공 활동가 양성



시민참여 연구 확대

젊은 과학자들이 연구실, 실험실을 넘어
시민과 함께 공동 연구 성과



시민과학자 양성에 기여

새로운 시민과학자를 양성
시민과학과 문화 성장

시민과학풀씨 2기 주요 일정

구분	일정 및 장소
연구자 지원 기간	2021.3.1.(월)~3.22.(월) 오후 1시
서류 합격자 발표	2021.3.26.(금)
연구자 면접 심사	2021.4.1.(목), 숲과나눔 회의실
연구자 최종 선발	2021.4.2.(금)
오리엔테이션	2021.4.9.(금) 14:00~17:00, 숲과나눔 강당
연구 프로젝트 기간	2021.5.1.(토)~10.31.(일) [6개월]
중간보고	2021.8.3.(화)까지
결과발표회	〈제3회 숲과나눔 환경학술포럼〉 2021.11.16.(화), 연세대학교 백양누리 그랜드볼룸
최종 결과보고	2021.11.7.(일)까지

시민과학풀씨 2기 연구자 명단

가람개비

유지이·김세은·김소연·김지현·유민영 가천대학교 화공생명공학과

나비효과

추현철 서울시 동부공원녹지사업소, 이정빈 충무공충박물관, 박종세 다락원

닥터구리

유다은 배재대 바이오의약학부, 최윤정 지구사랑탐사대 시민연구원

땅후루

김현구·정재욱 한림대학교 생명과학과, 임가윤 서울대학교 농생명공학부 곤충학전공

매미는 찻찻

허지만·서민호·이도영 제주대학교 생물학과

머무름

김민호 한국원자력환경공단

바다개구리

허경만 난징임업대학교 대학원 동물학전공, 손은기 서울시립대학교 도시과학대학원 조경학전공

버드이어로

고나영·김지수·유현주 삼육대학교 동물생명자원학과, 김지은 공주대학교 특수동물학과,

은나현 공주대학교 지역건설공학과

해피레인저

박정민·김동현·김판경 아주대학교 생명과학과



지속 가능한 하천정화사업을 위한 시민 모니터링

가람개비

유지이·김세은·김소연·김지현·유민영 가천대학교 화공생명공학과

1. 서론

자연형 하천이란 '이수 및 치수의 기능에서 더 나아가 본래 자연하천의 모습을 갖도록 복원 또는 보전된 하천을 말하며 다양한 동식물이 서식할 수 있도록 자연하천에 가까운 환경요소들을 갖춘 하천'을 의미한다. 하천의 기능인 이수 및 치수 기능뿐 아니라 환경기능을 강화시키기 위한 경관 및 생태계 부분을 적극적으로 배려한 것이다. 1990년대 이전 우리나라의 하천은 급속한 인구 증가와 공업화로 인해 획일적이고 인공적인 하천 정비에 초점을 맞추어 개발되어왔다. 따라서 보호되어야 할 하천이 파괴되고, 본래 자연의 모습과 생태계를 잃으며 심각한 오염이 발생하였다. 이에 기존 하천의 기능을 고려하면서 하천의 생태학적 기능을 회복하기 위한 자연형 하천 조성사업이 시작되었다. 우리나라에서는 1995년 양재천 하천 정비사업을 필두로 지방자치단체별로 자연형 하천 조성사업이 활발하게 진행되고 있다.

자연형 조성 사업 진행에 맞는 하천 공법 또한 직강화와 인공제방의 획일적인 모습에 변화를 주기 위해 연구되었다. 이수와 치수 관점의 중심에서 나아가 생태학적 관점의 강화까지 구축하기 위함이다. 따라서 콘크리트와 같은 인공재료 대신 돌, 풀, 나무와 같은 생태자료를 이용하려는 노력이 있었다. 훼손된 하천에서 풍부하고 깨끗한 수질로의 복원을 위해 친환경 하천 공법을 통한 하천 정비 사업이 진행되었다. 적용된 자연형 하천 공법은 지점에 따라 저수로 선형, 저수로 호안, 하도 내부, 고수 부지, 그리고 제방으로 나누어진다. 시민과학자들이 맡은 하천마다 적용된 사례를 살펴보고 효과를 확인할 것이다.

하천은 인간과 공생 관계이며 다양한 생물 종의 서식지이나, 인구 증가와 공업화로 인해 하천 생태계가 훼손되어왔다. 무분별한 오염원 배출과 개발로 신음하는 하천을 깨끗한 수질 및 수량의 확보와 건강하고 자연스러운 풍경의 보전을 위한 복원이 필요하다. 이에 시민과학자와 함께 협업하여 우리나

라 여러 하천을 현장 조사 후, 하천 정화 사업의 실태와 하천의 생태계 정화 정도 및 지속적인 사업의 관리 방향을 제시하려고 한다.

2. 본론

1) 선행 연구에 관한 고찰

도시개발에 따른 하천의 황폐화 문제를 해결하기 위한 하천 정비 사업과 관련된 선행 연구들은 다음과 같다.

천안천과 원성천을 대상으로 한 연구에서는, 현장답사를 통하여 하천의 현황과 이용실태를 관찰조사하고 이용자 만족도 및 의견 조사를 통하여 비교 분석하였다. 입지 특성을 반영하여 천안천은 불특정 다수가 사용할 수 있는 이벤트 공간으로써, 원성천은 주민의 휴식공간으로의 하천 정화사업의 개선 방향을 제시하였다(이희원 2012).

미호천을 연구대상으로 한 연구는 수질자료 모니터링과 주민 설문조사를 통해 자연형 하천사업 전·후의 수질변화를 분석하였다. 그 결과 하천의 고유 특성 파악과 복원대상 지역의 주변공간과 연계한 생태복원을 목적으로한 자연형 하천 공법과 지속적인 모니터링의 필요성을 제시하였다(김철호 2013).

오산천을 대상으로 한 연구에서는 해당 유역의 수질 현황 및 공법에 따른 오염부하량을 산정하여 여울, 하도습지, 취수보 등의 공법으로 인한 하천의 자정 작용 및 오탉 작용의 효과를 언급하며, 하천 복원을 위해 과거 불안정한 정화 공법들의 개발과 수질관리의 병행을 제시하였다(엄경미 2003).

국내·외의 하천자연도평가 방법에 대해 조사하여 내린천, 복하천, 안양천의 시범평가를 진행함으로써 지방1급하천 등 대하천에서도 적용할 수 있도록 평가 부문 및 평가항목을 개선하여 하천자연도평가 방법을 제시하였다(박봉진 2005).

2) 연구 방법

본 연구는 선행 논문의 하천 평가 방법을 반영하여 다양한 형태를 가지는 우리나라의 하천을 대상으로 하천 주변 경관, 하천의 모양 등 사진자료를 수집 후, 수질 측정과 설문조사를 통하여 하천 복원 사업을 진행하였거나 진행 중인 도심하천을 중심으로 고찰하였다. 데이터 수집은 시민과학자와 협업하여 시민과학자의 거주지를 고려하여 인근 하천을 각각 배정하였으며, 배정받은 하천에 직접 방문하여 수질 측정 키트를 통해 COD, TDS/EC, DO, pH, 수온, 인산염, 질산염, 총알칼리도, 총경도 등 총 10

가지의 항목을 분석 및 기록하였다.

수질 측정을 시작하기 전 온라인 강연(2021년 5월 25일)을 통해 수질 오염의 정의와 프로젝트의 계획 및 하천 정화사업의 중요성을 설명하였다. 줌 미팅(2021년 6월 21일)을 통해 연구의 목적과 수질 지표 등에 대해 교육하였다. 이후 원활한 소통을 위해 오픈 채팅방을 개설하였으며 수질 측정 키트 사용에 어려움이 있을 시민과학자를 위해 수질 측정 키트 사용법을 동영상으로 촬영하여 제공하였다.

(1) 연구의 시·공간적 범위

① 공간적 범위

전국의 하천이 대상이었으며 시민과학자가 탐사를 진행한 하천은 거주지, 하천 복원사업 진행 여부, 채수 시 안전 등을 고려하여 배정하였다.

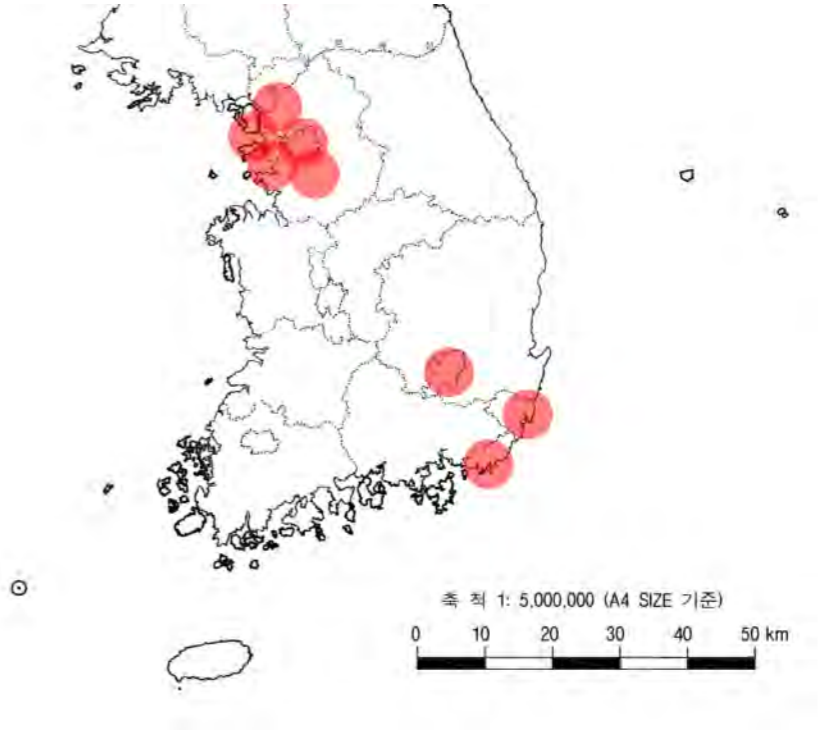
연구의 포함된 하천은 안양천(1초의 유레카), 중랑천 상부(간간이 탐사팀), 중랑천 하부(나의 지구), 서호천(다섯손가락), 굴포천(메이즈), 오산천(벚꽃나무), 여천천(배씨남매), 신대천(사랑탐험대), 성죽천(시베리안 허스키), 탄천(에코스토리), 온천천(우주사랑 지구사랑), 옥수천(조아조아), 성내천(즐거운가), 분당천(파워에너지), 창릉천(환경사랑 지구사랑)이다.

팀 이름	1초의 유레카	간간이 탐사팀	나의 지구	다섯손가락	메이즈
하천	안양천	중랑천 상부	중랑천 하부	서호천	굴포천

팀 이름	벚꽃나무	배씨남매	사랑탐험대	시베리안 허스키	에코스토리
하천	오산천	여천천	신대천	성죽천	탄천

팀 이름	우주사랑 지구사랑	조아조아	즐거운가	파워에너지	환경사랑 지구사랑
하천	온천천	옥수천	성내천	분당천	창릉천

Table1 . 연구 대상 하천 배정 목록



② 시간적 범위

탐사 기간 내의 계절 변화에 따른 수질 변화를 알아보기 위해 2021년 7월 ~ 2021년 10월까지 4개월간 채수를 통해 수질을 측정하였다. 최대한 많은 양의 데이터를 확보하고자 최소 1개월에 1번에서 많게는 매주 현장 탐사를 진행하도록 지시하였다.

(2) 설문조사

수질 측정 외의 하천 평가 요소 중 시민과학자의 관찰 조사를 통하여 시각적으로 파악되는 공간적 환경과 이용실태에 대하여 설문조사를 통해 분석하였다.

설문 항목은 주변경관(주위 건물현황), 시설현황(운동기구 및 벤치, 마감재), 조경식생(조경관리), 보도현황(도로 폭, 징검다리)으로 나누어 평가하였으며 수질 측정 지점을 기준으로 설문하였다.

3) 연구 결과

(1) 수질데이터

시민과학자가 2021년 7월부터 11월까지 수온, TDS/EC, DO, COD, 인산염, 질산염(NO₃, NO₂), 총알칼리도, 총경도, pH 총 10가지의 항목을 측정한 데이터를 평균을 내어 각 하천의 수질 항목별 비교하여 평가하였다. 또한 수질 데이터를 측정된 결과, 측정 횟수 및 측정 시점에서 차이가 다소 발생하였는데 모든 하천이 비슷한 조건으로 측정된 시점은 2021년 8월이었다. 이를 기준으로 각 하천별 수질 데이터를 비교하였다.

	수온(°C)	TDS(ppm)	EC (uS/cm)	DO(ppm)	COD(ppm)	인산염(ppb)
안양천	28	-	168	6	0	500
중랑천(상)	29	181	366	8	6	150
중랑천(하)	25	175	358	8	3	50
옥수천	22.8	121	243	5	2	200
서호천	29	371	743	5	2	200
탄천	26	171	342	2	8	0
여천천	29	103	207	4	2	200
굴포천	25	356	769	7	6	200
성죽천	26	148	317	8	3	20
성내천	31	30	179	11	2	0
분당천	24	83	167	5	4	100
창릉천	26	162	328	3	5	200

	NO ₃ (ppm)	NO ₂ (ppm)	총경도(ppm)	총알칼리도(ppm)	pH
안양천	40	0.5	160	300	8.5
중랑천(상)	20	1	75	300	8
중랑천(하)	80	30	0	120	8
옥수천	40	0	75	80	8.5
서호천	20	0.5	0	720	8
탄천	20	0.5	25	120	7
여천천	40	0	250	720	9.5
굴포천	20	0.2	1000	80	8.5
성죽천	5	0	0	120	7.5
성내천	0	10	300	120	7.5
분당천	10	0	150	60	9
창릉천	80	2	50	80	8.5

Table2. 8월 항목별 평균 데이터

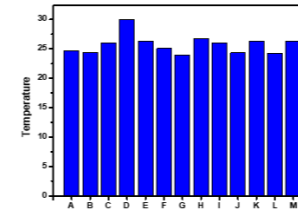


Fig2-1. 수온(Temperature)

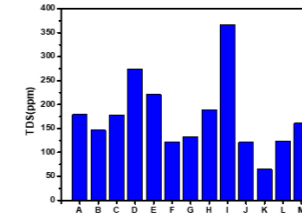


Fig2-2. TDS

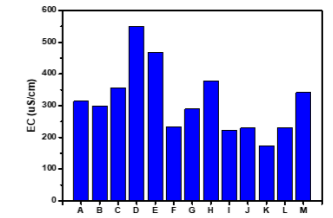


Fig2-3. EC

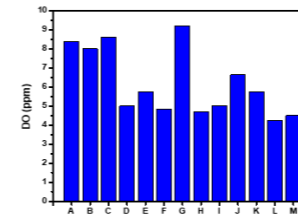


Fig2-4. DO

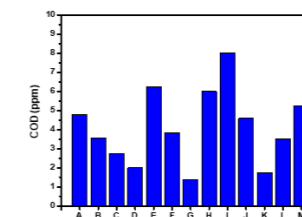


Fig2-5. COD

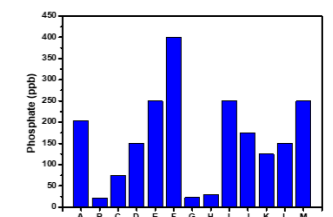


Fig2-6. 인산염(Phosphate)

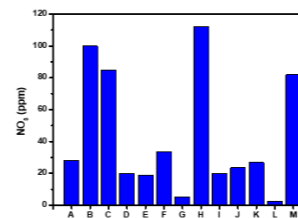


Fig2-7. NO₃

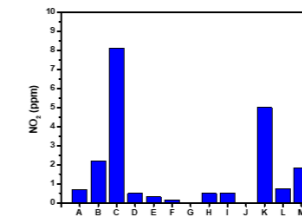


Fig2-8. NO₂

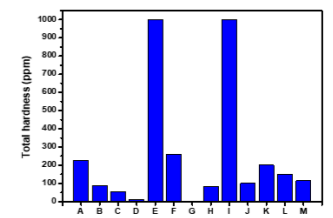


Fig2-9. 총경도(Total Hardness)

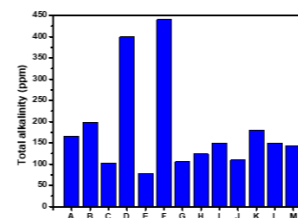


Fig2-10. 총알칼리도(Total alkalinity)

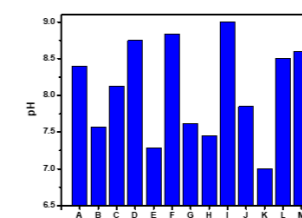


Fig2-11. pH

(2) 설문조사

시민과학자에게 수질 데이터 측정과 함께 주변경관, 시설현황, 조경식생, 보도현황에 대한 설문조사를 실시하였다. 주변경관은 수질 측정 지점을 기준으로 건물의 유무와 층고를 설문하였고, 시설현황은 운동기구 및 벤치, 사용한 마감재 현황을 설문하였다. 조경식생은 잘 정돈되었는지 여부와 보도현황은 도로의 폭과 징검다리의 유무를 설문하였다.

구분		안양천	중랑천 상부	중랑천 하부	서호천	굴포천	여천천
주변경관	건물유무	없음	있음	있음	있음	없음	없음
	건물층고		15~20층	20층	20층		
시설현황	운동기구	없음	있음	없음	있음	없음	없음
	벤치	있음	있음	없음	있음	있음	없음
	마감재	콘크리트	자연석	콘크리트	자연석, 콘크리트	자연석	자연석
조경식생	조경관리	잘 정돈됨	잘 정돈됨	잘 정돈됨	대체로 정돈됨	대체로 정돈됨	정돈되지 않음
보도현황	도로 폭	좁음	중간	넓음	넓음	넓음	좁음
	징검다리	없음	있음	없음	있음	없음	있음

구분		성죽천	탄천	온천천	옥수천	성내천	분당천	창릉천
주변경관	건물유무	있음	있음	있음	있음	없음	없음	있음
	건물층고	5층	20층	20층	15층	15층	10층	15층
시설현황	운동기구	있음	있음	있음	있음	없음	없음	있음
	벤치	있음	있음	없음	있음	있음	없음	있음
	마감재	자연석	콘크리트	콘크리트	자연석	자연석, 콘크리트	자연석, 목재	자연석
조경식생	조경관리	대체로 정돈됨	대체로 정돈됨	잘 정돈됨	대체로 정돈됨	대체로 정돈됨	정돈되지 않음	정돈되지 않음
보도현황	도로 폭	좁음	좁음	넓음	좁음	중간	중간	좁음
	징검다리	있음	없음	있음	있음	있음	있음	있음

Table3. 연구 하천 대상 설문조사

4) 연구지역 공법 적용 사례

시민과학자가 수집한 데이터를 분석하여 자연형 하천 공법이 적용된 구간을 살펴보았다. 13팀 중

굴포천, 안양천을 제외한 곳에서 저수로 변의 자갈, 갈대, 부들 등이 자연 하천과 유사한 모습을 볼 수 있었다. 또한 물이 흐르며 침식과 퇴적으로 자연스럽게 형성된 지형과 식생들이 무성하게 자라 다양한 어류와 조류들이 관찰되었다.



Fig 3-1. 성내천 상류 지점



Fig 3-2. 온천천 하류 지점

저수로 호안에서는 자연석과 식생블록의 친환경 공법을 볼 수 있으며, 우수한 사례로 중랑천에 갈대 및 갯버들과 억새 등의 수변 식물을 심어 아름다운 경치 뿐 아니라 곤충의 서식지로서의 모습을 확인할 수 있었다.



Fig 3-3. 중랑천 상류 지점

하도 내 공법은 유속의 변화를 주어 생물이 살아갈 수 있는 공간을 확보하고 자정 기능을 되살리는 역할을 한다. 온천천에서 외톨이 거석 공법으로 서식 환경이 다양해져 어류의 유입이 촉진되는 모습을 확인할 수 있었고, 서호천에서 징검다리 거석 공법, 창릉천에서는 자연형 보를 통해 공기와의 접촉면을 늘려 자정 기능을 증가시키는 경향을 파악할 수 있었다.

고수부지(둔치)에는 저수로와 같이 생태계가 자연 상태와 비슷하도록 서식처의 다양성 확보를 위한 식물 군락과 바이오톱이 있는데, 옥수천 등에서 그 적용이 관찰되었다.



Fig 3-4. 외톨이 거석 공법이 활용된 온천천 하류 지점



Fig 3-5. 징검다리 거석 공법이 활용된 창릉천 상류 지점



Fig 3-6. 서호천 상류 지점

마지막으로 고수호안은 홍수나 가뭄의 피해를 막기 위해 각 지역의 적절한 식물의 식재, 자연석 그리고 녹화블록 공법을 볼 수 있다. 이러한 자연석 호안이 잘 적용된 곳으로 여천천이 있었다. 이로써 해당 연구에 포함된 하천을 분석하여 생태재료를 이용해 하천 형태를 최대한 자연에 가깝게 복원하여 하천 동식물의 서식지 기능을 재생시킨 노력을 확인할 수 있었다.



Fig 3-7. 옥수천 상류 지점



Fig 3-8. 여천천 상류 지점

5) 연구지역의 하천오염원 분석

안양천은 만안구, 금천구, 구로구, 양천구 지대의 물이 흘러 한강으로 유입된다. 안양천을 따라 아파트 단지가 밀집되어 있어 생활하수가 가장 큰 오염원이라 예측된다. 측정지점의 하천은 Fig 4-1과 같이 크게 7개의 하수처리장을 거친다. 7개의 지점은 아래부터 순서대로 박달하수처리장, 석수하수처리장, 시흥빗물펌프장, 하안배수펌프장, 개봉제2빗물펌프장, 오금2빗물펌프장, 목동빗물펌프장이 위치한다.

탄천의 광평교 상류에는 하수처리시설인 성남시수질복원센터가 존재한다. 또한 근처 상류에 울현2 빗물펌프장이 있어 우천시에 빗물을 하천으로 방류해, 수질에 영향을 준다.

서호천은 중상류의 위치한 북부처리구역의 발생하수를 처리하기 위한 서호생태수자원센터가 위치해있다. 본 처리장은 인접한 저수지 및 하천에 유지용수를 공급하여 수역의 수질을 보전한다.

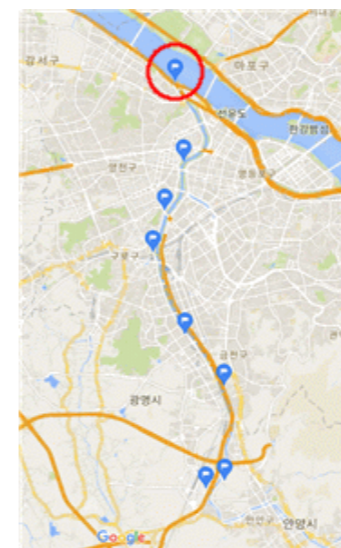


Fig4-1. 안양천

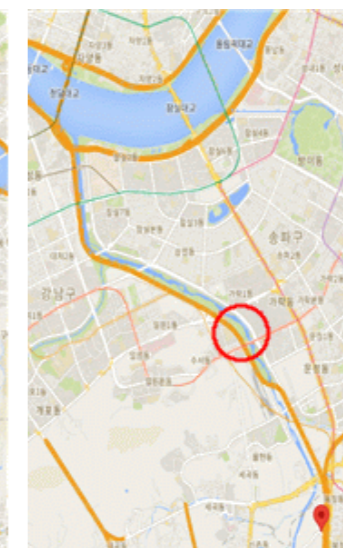


Fig4-2. 탄천

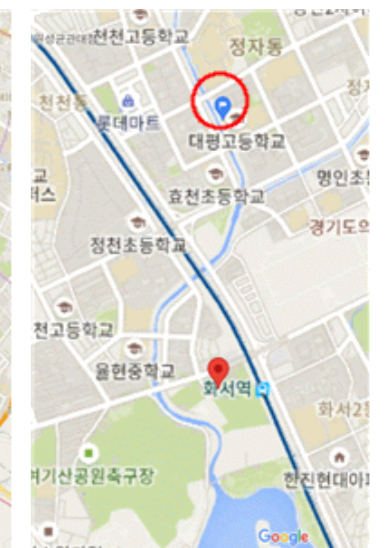


Fig4-3. 서호천

옥수천, 성죽천, 성내천은 근처 하수처리장이 없고 비나 생활폐수 등의 오염원 정도만 예측된다.

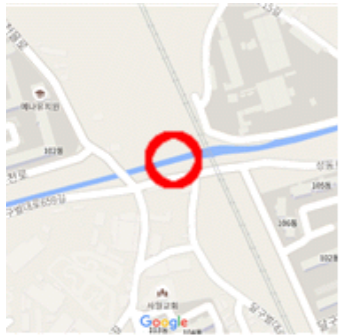


Fig4-4. 옥수천



Fig4-5. 성죽천

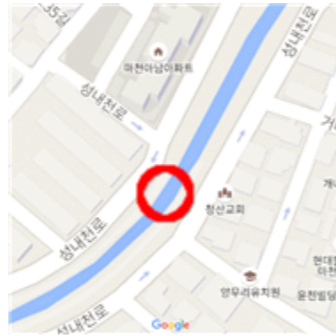


Fig4-6. 성내천

두 개의 팀이 각각 중랑천의 상, 하부를 측정하였다. 상류는 논밭이 많아서 농폐수 등이 오염원으로, 하부는 오폐수와 부유물의 유입이 오염원으로 예측된다. 상부에서 하부로 흐르는 길에 두 개의 하수처리장이 위치한다. Fig7-1에서 위에서 순서대로 의정부시공공하수처리시설과 신이문2빛물펌프장이 위치해 있다. 중랑천이 흘러 Fig7-2와 같이 중랑물재생센터를 거쳐 한강으로 유입되어 흘러가는 것을 확인할 수 있다.

굴포천의 측정지점 상류에는 북부수자원생태공원(부천하수처리장)이 위치해 있어 하수와 분뇨 등을 처리하여 굴포천에 방류한다.



Fig4-7. 중랑천의 상, 하부



Fig4-8. 중랑천의 하부



Fig4-9. 굴포천

여천천의 경우 우수관로와 하수관로가 완전히 구분되지 않아, 장마철이나 비가 많이 내리면 하수관로 맨홀로 하수가 넘쳐 하천으로 유입되는 것을 확인할 수 있다.

온천천도 비슷한 경우로, 장마로 인해 불어난 물과 주변 하수도에서 유입된 폐수들이 함께 섞여 하천 오염으로 인해 매년 여름 물고기들이 떼죽음을 당하는 모습을 관찰할 수 있다.



Fig4-10. 여천천



Fig4-11. 온천천

창릉천은 하천 둔치나 인근 도로에 쓰레기가 방치되어 있고, 주변 하수도 등이 제대로 정비되어있지 않아 오수나 오염물이 하천으로 유입될 가능성이 크다.

분당천의 경우 매우 작은 크기의 도삼하천으로 주변에 하수처리시설은 없었지만 인근 주거지로부터 생활하수가 유입될 것으로 예상된다.

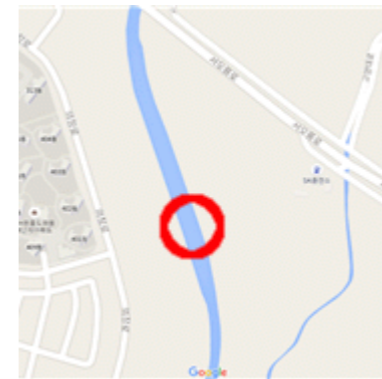


Fig4-12. 창릉천



Fig4-13. 분당천

6) 하천평가

시민과학자가 수집한 수질 및 사진 데이터 등을 분석하여 각 하천에 대해 평가하였다.

안양천은 5회 측정을 통해서 하천수질평가등급기준으로 DO 8ppm 매우 좋음, COD 4.8ppm 약간 좋음, pH 8로 매우 좋음 수준이다. TDS와 EC 또한 180ppm, 313uS/cm, 인산염 200ppm, NO₃ 35ppm, NO₂ 0.7ppm, 총경도 225ppm, 총알칼리도 210ppm으로 측정되었다. 수질 측정에서 정확치 못한 측정방법과 회차별 편차, 미측정 항목으로 평균내기가 아쉬운 결과였다. 또한 좌측 호안에 식생이 떨어져나가 콘크리트가 노출되어 녹화블록 공법이 잘 적용되지 못한 지점이 관찰되어 이에 대한 재설치가 필요로 보였으나 여러 위치한 빗물펌프장으로 장마철 범람으로 인한 침수피해를 잘 예방해왔음을 확인할 수 있었다.

중랑천 상부는 9회 측정하여 하천수질평가등급기준으로 DO 8ppm 매우 좋음, COD 4ppm 좋음, pH 8로 매우 좋음 수준이다. TDS 152ppm, EC 312uS/cm, 인산염 40ppm, NO₃ 85ppm, NO₂ 1.9ppm로 대부분 좋음 수준이다. 그러나 총경도와 총알칼리도에서 각각 95ppm, 207ppm로 편차가 크며 나쁨 등급의 횟수가 많았다. 대부분 수질 평가 기준에서 좋음 수준을 보였으나 총경도와 총알칼리도에서 나쁨 등급의 횟수가 많았는데 이는 지역적으로 논밭이 많아 농폐수의 유입을 원인으로 들 수 있다. 하수처리장의 지속적인 검토와 보완이 필요해 보인다. 지역적 특징으로 조경과 생태계를 생각한 친환경 공법으로 건강한 모습을 띠는 부분은 좋았다.

중랑천 하부는 5회 측정하여 하천수질평가등급기준으로 DO 8.7ppm 매우 좋음, COD 2.6ppm 좋음, pH 8 매우 좋음 등급을 보였다. 그 외에도 TDS 176ppm, EC 356uS/cm, 인산염 80ppm, NO₃ 74ppm, NO₂ 1.45ppm, 총경도 65ppm, 총알칼리도 100ppm으로 좋은 수질이다. 수집한 데이터 중 한 두 번의 약간 나쁨 정도의 수치가 측정되었지만 강수량이 집중되었던 시기에 하천의 컨디션이 떨어진다는 한계를 감안하면 비교적 수질이 우수하다고 분석된다. 빗물펌프장 및 물재생센터의 정비로 동식물들의 좋은 서식처가 가능해짐이 보였다.

서호천은 2회 측정하여 하천수질평가등급기준으로 DO는 5.0ppm으로 좋음 등급을 나타내고, COD는 2.0ppm으로 매우 좋음 등급을 나타낸다. pH의 측정값은 각각 9.5와 8로 하천의 정상적인 pH 수치인 6.5~8.5와 비교하였을 때 다소 높은 값이 측정되었다. 그 외 TDS 275ppm, EC 550uS/cm, 인산염 150ppm, NO₃ 20ppm, NO₂ 0.5ppm, 총경도 12.5ppm 총알칼리도 400ppm으로 측정되었다. 서호천의 전체적인 수질 데이터들을 종합했을 때 서호천의 수질은 좋음 등급을 나타냈다. 데이터 사이의 편차가 컸지만 측정 횟수가 2회로 적고 측정 방법에서 약간의 오차를 보여 그 한계를 고려했을 때

정상범위에 위치함을 알 수 있다. 서호천에 시행된 생태 하천 복원 사업이 성공적으로 적용된 것을 볼 수 있다.

굴포천은 총 9회 측정하여 하천수질평가등급기준으로 DO는 5.8ppm으로 좋음 수준을 보였으며, COD는 6.3ppm으로 보통 수준을 보였다. pH 7.3으로 하천의 생활환경 기준안에 포함되었으며 그 외의 데이터는 TDS 221ppm, EC 468uS/cm, 인산염 250ppm, NO₃ 18.8ppm, NO₂ 0.313ppm, 총경도 1000ppm, 총알칼리도 78.8ppm으로 측정되었다. 수질 측정 결과에서 총경도가 높게 측정되었는데 굴포천 상류에 하수처리장에서 분출되는 하수와 분뇨에 의한 영향임을 예측할 수 있다. 수질 데이터 중 8월 달에 TDS, EC, 인산염 부분에서 높은 값을 보였는데, 이 부분은 강수량이 집중되었던 8월에 수질의 영향이 컸음을 알 수 있다. 또한 주변에 건물이 없음에도 주민들의 산책로로써 이용되어 조경관리도 잘 되고 있음을 알 수 있다.

여천천은 총 6회 측정하여 DO 값의 평균이 4.3ppm, COD 값의 평균이 2.6ppm으로 하천수질평가등급기준으로 COD가 약간 좋은 수치이나 DO 값이 다소 낮은 점이 아쉬워 보통 정도의 수질로 판단하였다. pH의 평균값 또한 9.2로 안정적인 범위를 벗어났다. TDS와 EC의 평균값은 각각 118ppm, 234uS/cm이며, 인산염의 평균값은 400ppm이다. NO₃와 NO₂의 평균값은 각각 40ppm과 0ppm으로 측정 기간 내 변동이 없었다. 여천천은 DO가 보통 수준, COD가 약간 좋음 수치, pH 값이 안정적인 값에서 벗어나는데 이 경우는 측정 기간 내 잦은 강우로 하수도가 역류하여 하천으로의 유입이 영향 받은 것으로 보인다.

성죽천은 총 5회 측정하여 하천수질평가등급기준으로 DO가 9.2ppm, COD는 1.4ppm으로 동일하게 매우 좋음 수준이었다. 그 외의 데이터는 pH 7.62, TDS 133.6ppm, EC 289uS/cm, 인산염 22.6ppm, NO₃ 5.2, NO₂ 0ppm, 총경도 2ppm, 총알칼리도 106ppm으로 측정되었다. 성죽천은 DO 및 COD 값이 모두 매우 좋은 등급으로 측정되었고 나머지 수질 측정 항목 또한 우수하게 측정되어 다른 하천과 비교하여 하천의 수질이 매우 우수함을 알 수 있다.

탄천은 총 9회의 측정 중 6회의 DO 값이 5ppm, COD 값이 6ppm으로 DO 기준으로는 좋음에 더 가까우나 화학적 산소 요구량인 COD가 좋음 수준은 아니므로 보통의 수질임을 알 수 있다. pH 값도 7.5로 안전 범위이다. TDS와 EC는 각각 평균 187ppm, 374.5uS/cm 으로 측정 기간 4개월간 큰 변화 없이 일정한 값을 유지했다. 인산염 또한 0~100ppb로 일정했으며 NO₃와 NO₂의 평균값은 40ppm, 0.5ppm 으로 나타났다. 탄천은 DO의 값과 COD의 값이 반비례를 이루지 않았는데 그 이유를 분석해 보았을 때 인근의 빗물펌프장에서 빗물이 방류되어 오염되었을 가능성이 있다.

온천천은 총 2회 측정하여 하천수질평가등급기준으로 DO는 5ppm로 좋음 수준을 보였으며, COD는 6ppm 보통 수준으로 측정되었다. pH는 9로 측정되어 하천의 생활환경 기준 농도인 6.0~8.5에 벗어난 값이 측정되었다. 그 외의 데이터는 TDS 336.05ppm, EC 221.7uS/cm, 인산염 250ppm, NO₃ 20ppm, NO₂ 0.5ppm, 총경도 1000ppm, 총알칼리도 150ppm으로 측정되었다. 온천천은 COD, pH, 인산염, 총경도 부분에서 좋지 않은 측정값을 얻었는데 장마로 인해 불어난 수위와 주변 하수도를 통해서 유입된 다양한 비점오염원으로 인한 결과로 분석된다.

옥수천은 총 9회 측정하여 하천수질평가등급기준으로 DO는 모든 측정값이 5.0ppm을 넘어, 좋음 등급을 나타내고 있다. COD는 4~6ppm 사이의 값으로 약간 좋음 등급을 나타내고 있다. pH는 7.5~8.5 사이의 값으로 평균보다는 높은 수치이지만 매우 좋음 등급을 나타내고 있다. 그 외의 9회의 측정 수치들의 평균값을 알아보면, TDS 124.2ppm, EC 235.1uS/cm, 인산염 185.7ppm, NO₃ 23.9ppm, NO₂ 0ppm, 총경도 102.2ppm, 총알칼리도 117.8ppm로 측정되었다. 옥수천은 대부분의 수질 측정 수치가 매우 좋음 및 좋음 등급을 보이고 있다. 기존 오수관로와 불량관로 정비 및 오수관로 신설 등 하수관로 정비를 시행하고 옥수천으로의 유입을 차단해 좋은 수질을 유지하는 모습을 확인할 수 있다.

성내천은 총 4회 측정하여 하천수질평가등급기준으로 DO 7ppm, COD 1.7ppm, pH 7.5로 하천의 상태가 매우 양호한 것으로 나타났다. TDS&EC의 평균값은 65ppm과 179uS/cm, NO₃와 NO₂의 평균값은 각각 0ppm과 10ppm, 총경도와 총알칼리도의 평균값은 각각 300ppm과 120ppm으로 나타난다. 성내천의 전체적인 수치들을 살펴보면 하천의 상태가 매우 양호한 것으로 나타났다. 하천의 시작 지점이라 수질이 매우 깨끗하고 하수처리시설이나 빗물펌프 같은 정화시설이 따로 없다.

분당천은 총 4회 측정하여 하천수질평가등급기준으로 DO 4ppm, COD 3.3ppm, pH 8.7로 하천의 상태가 약간 좋음으로 나타났다. TDS&EC는 125ppm과 225.3uS/cm, NO₃와 NO₂는 각각 3.3ppm과 0.7ppm, 총경도와 총알칼리도의 평균값은 각각 150ppm과 140ppm으로 나타난다. 전체적으로 분당천의 하천의 상태는 약간 좋음으로 나타났다. 분당천은 도심하천으로 주위 주거지로부터 생활하수가 유입된 것으로 예상된다. 근처 하수처리시설이 없었는데 하천규모가 매우 작아 없는 것이라 추측한다.

창릉천은 총 4회 측정하여 하천수질평가등급기준으로 DO 3ppm, COD 6.6ppm, pH 8.75로 하천의 상태가 보통으로 나타났다. TDS&EC는 174ppm과 350.5uS/cm, NO₃와 NO₂의 평균값은 각각 90ppm과 2ppm, 총경도와 총알칼리도의 평균값은 각각 100ppm과 140ppm으로 나타난다. 창릉천은 측정지점이 상류라 물이 맑을 것이라 예측하였다. 하지만 고양시 덕양구 삼송동 창릉천변 도로에

흙더미와 쓰레기 등이 4개월 넘게 방치되는 등 주변에 쓰레기나 아직 정비가 덜 된 부분들이 많아 하수나 오염원이 하천으로 쉼 가능성 때문에 수질의 등급이 보통으로 측정된 것이라 분석할 수 있다.

3. 결론

본 연구는 자연형 하천 정화사업을 시행함에 있어 사업의 시행 후 시민 모니터링과 평가를 통해 자연형 하천 정비사업이 수질개선 등 하천의 생태적 환경에 미치는 영향을 검토하고 복원 효과를 분석하여 하천정비에 따른 생태계 보완 및 지속적 관리사업의 근거를 제공하고자 하였다.

하천 정화사업이 진행된 이력이 있는 전국 각지의 하천의 수질 측정과 주변 환경 등을 관찰하여 지속 가능한 하천 정화사업 모델을 구축하는 것을 목표로 진행하였다. 총 15팀 중 13팀으로부터 7~10월 약 4개월간 최소 4번의 수질 측정 데이터를 받았다. 하천 사진과 설문지를 통해 주변 경관, 조경 식생, 보도와 시설 현황 내용을 수집하였다. 시민과학자와 협업하여 확보한 수질 측정 및 설문조사 데이터를 중심으로 연구 지역의 공법 사례와 오염원 현황 및 오염저감시설 등의 연구지역의 주변 공간을 파악하여 다양한 이해관계를 조정하여 분석하였다. 연구 결과 대표적으로, 정화 시설로 수질이 잘 관리되고 있는 탄천, 성내천, 성죽천, 중랑천은 평균 DO 값 8~9ppm, COD 값 3ppm 정도로 수질이 양호한 것으로 나타났다. 하지만 하수관로 정비 부실 문제와 비점오염 저감시설 준공이 1년이 채 되지 않은 온천천은 DO 3~5ppm, COD 8ppm 이상으로 낮은 수준의 수질로 측정되었다.

자연형 하천 정화사업은 해당 유역의 물리적인 조건을 파악하며 주변 환경, 호안 특성, 이용실태 등을 충분히 고려하여 각 하천의 특성을 반영한 생태복원을 목적으로 한 조화로운 개선방향이 필요하다. 양재천의 사례로 자연석 설치로 유사를 퇴적시켜 습생식물 발생률을 높이고, 호안사면에는 윗가지 덮기가 자연 재생률이 높았는데 이를 반영하여 하천의 자기치유를 위해 직강화된 하천의 지형을 복구하는 것이 선행되어야 한다. 또한 하천의 경관을 헤치지 않으면서 오염된 하천의 수질이 개선될 수 있도록 하수 정화 시설 및 오염 방지 시설 등을 통해 건강한 하천을 만들어야 한다. 이번 연구 대상 하천 중 안양천과 같이 여러 지대를 걸쳐 흐르는 하천 같은 경우에는 생활하수로 인한 오염 가능성이 매우 높기 때문에 하천 근처에 하수 정화시설이 많이 분포하는 것을 확인할 수 있었다. 반면 창릉천과 같이 작은 하천의 경우 주변 하수정화시설을 찾기 어려웠다. 앞으로 하천 정화사업의 방향은 큰 하천뿐만 아니라 도심과 인접한 곳곳의 소하천 등 다양한 형태의 하천들의 관리에 관심을 두어야 한다. 이와 동시에 시설물의 기능을 적절한 상태로 유지하기 위한 과정에서 검토 및 관리가 용이해야 하며, 비용적인 측면에서 설치비, 유지비 등의 부분의 경제성이 우수해야 한다.

2021년도 시민과학플씨 2기 최종 결과보고서

시민과학자와 이번 연구를 진행함에 있어 연구의 시공간적 제약 문제를 극복하며, 더 나아가 하천 정화사업의 자발적인 시민모니터링 효과까지 기대할 수 있었다. 도심 속 하천을 생태학적으로 복원하는 방향으로 사업이 이루어지면서 시민들은 산책로나 운동시설을 이용할 수 있게 되었다. 일상생활 속에서 하천을 쉽게 접하다보니 시민들이 하천 수질에 관심을 가지고 자원봉사나 정화 활동 또한 증가하였다. 이와 같이 주변 시민들이 주인의식을 느낄 수 있는 방향의 하천 정화사업이 필요하다.

참고문헌

- 김윤진, 2012, 『자연형하천 복원사업의 환경여건 평가에 관한 연구』, 세종대학교
- 김철호, 2013, 『환경친화적 하천사업에 따른 수질변화에 대한 고찰』, 대전대학교
- 박봉진 외 2인, 2005, 『하천의 생물서식처 복원을 위한 하천자연도평가』
- 박우상, 2010, 『자연형 하천 복원 사업의 수질변화특성에 관한 연구』, 용인대학교
- 엄경미, 2003, 『오산천의 자연형 하천공법 도입지점전·후의 수질변화 및 오염부하량에 관한 조사』, 한국수자원학회
- 이희원 외 2인, 2012, 『자연형 하천정화사업의 시행 후 평가에 관한 사례연구』, 『한국산학기술학회논문지』

시민과학을 주제로 한 기후변화지표종 나비의 모니터링

나비효과

추헌철 서울시 동부공원녹지사업소
이정빈 충무공충박물관
박중세 다락원

시민과학을 주제로 한 기후변화지표종 나비의 모니터링

나비효과

추한철 서울시 동부공원녹지사업소, 이정빈 충무공충박물관, 박중세 다락원

1. 서론

1) 연구 배경 및 연구의 필요성

기후변화에 대한 사회적 관심이 높아지며, 최근에는 “기후위기”라는 표현까지 등장하며 기후변화에 대한 경각심이 나날이 높아지고 있다. 특히 지구 온난화는 인간의 생활뿐 아니라 생물 및 생태계에도 다양한 영향을 미칠 것으로 예측되고 있다. 2010년 국립생물자원관에서는 온난화의 영향으로 봄철 파종 시기가 빨라지고, 병해충의 확산으로 산림 생태계에 교란 및 변화를 가져오고 있다고 밝혔다. 또한, 2018년 기상과학원이 발간한 <한반도 100년의 기후변화> 보고서에 따르면 20세기 동안 한반도는 평균 기온이 약 1.4℃ 상승하였으며, 여름은 19일이 증가하고, 겨울은 18일이 감소하였다 한다.

2010년, 환경부 산하 국립생물자원관에서는 기후변화가 한반도 생물종 분포에 미치는 영향 및 취약성에 대한 효율적인 감시와 예측 방법을 마련하고자 국가 기후변화생물 지표 100종을 선정하여 발표하였다. 2017년 한 차례 개정하여 기후변화 예측에 유리한 이동성이 큰 곤충과 생물 계절이 뚜렷한 종을 반영해 기후변화지표종 100종과 후보종 30종을 지정하였다. 기후변화 지표종 지정 이후 관련기관과 학자들에 의해 다양한 연구가 이루어지고 있으며, 모니터링 또한 활발히 이루어지고 있다.

이러한 정책적 관심과 활발한 연구들로 인해 기후변화에 대한 지식과 정보는 쉽게 접할 수 있게 되었지만, 일반 대중들에게 기후변화에 대한 체감은 아직 막연한 위기 의식에 머물러 있는 실정이다 (2020.Ko). 이에, 대중들에게 기후변화에 대한 정보와 기후변화지표종 지정의 의미를 전달하기 위한 시민과학자 양성 교육의 필요성을 절감하였다.

기존의 생태 학습과 체험 교육은 전문가의 강의 및 해설로 진행되어 지식의 전달 방향이 일방적이고, 체험 학습도 수동적으로 이루어졌다. 근래에는 포털 사이트 및 유튜브 등 대중 매체의 발달로 일반 시민들도 원하는 정보를 검색을 통해 언제든지 쉽게 접할 수 있는 시대가 되어 일반 시민들의 지식 수

준 또한 크게 향상되었다. 이제 생태와 환경에 관심이 있는 사람이라면 누구나 자발적으로 사회 참여 활동을 하며 원하는 정보와 경험을 얻을 수 있는 시대가 도래하였다. 또한, 최근의 코로나19 팬데믹 사태로 인해 대면 행사로 이루어지던 기존의 생태 체험 프로그램은 한계에 봉착하게 되었다. 이에 따라, 생태 체험 교육 방식도 대면에서 온라인 비대면 학습으로 전환되며 생태 교육의 패러다임이 급격히 변모하고 있다.

최근 시민과학의 개념이 주목을 받으며, 전공자와 연구자의 영역이라 여겨온 과학 활동이 시민들의 사회 참여 활동에 대한 열망에 부응하며 탐구 활동뿐 아니라 건전한 여가 활동의 일환으로 저변을 넓혀가고 있다. 초기 시민과학은 동호인과 아마추어 연구가의 여가 활동 중 한 형태로 분류되어 “과학자”와 “시민”의 경계가 명백히 나뉘어 있었고 역할과 주체 또한 구분되어 있었으나, 최근의 시민과학 경향은 점차 그 경계가 모호해지고 있다(2018,김).

기후변화지표종 지정 이후 한반도의 나비 분포상 변화에 관한 연구는 꾸준히 이루어지고 있으나, 현재까지 나온 연구 결과물들은 과거 기록에 근거한 것으로 최근 종 분포 연구 경향인 GIS정보를 기반으로 한 종 분포 변화 모델링 프로그램을 활용하기에는 어려움이 많다. 때문에 현재 모니터링 연구에 맞는 데이터를 재수집해야 할 필요성이 있다. 기후변화지표종 분포 모니터링과 같은 조사 방법은 광범위한 지역에서 다수의 동시간대 기록이 필요한 센서스 방식으로, 다양한 지역의 다수가 참여할 수 있는 시민과학의 주제로 적합하다. 때문에 시민과학자들이 흥미를 가지고 쉽게 따라할 수 있는 모니터링 방식의 정립 또한 필요하다.

또한, 시민과학자들의 참여와 호응을 위해 기존 종 조사모니터링의 형식과 절차를 간소화하여, 일반인의 눈높이에 맞춰 순화할 필요성이 있다. 시민들의 종 조사 모니터링 참여 시 생태 교육과 체험학습 등 흥미와 관심을 끌 수 있는 요소를 접목한다면 모니터링 대상에 대한 인식 또한 높아질 것으로 기대한다. 아울러, 탐사 결과 공유 플랫폼을 활용해 시민과학자와 전문가가 소통할 수 있는 기회가 많아지면, 보다 많은 시민과학자들이 참여할 수 있을 것으로 전망한다.

2) 연구의 목적

본 연구는 대중들에게 친근한 이미지를 가진 나비를 주제로 시민과학 커리큘럼을 기획하여, 실제 모니터링 방식에 적용하는 것을 목적으로 한다. 특히, 기후변화지표종 나비를 중점적으로 모니터링하며 교육 및 체험 활동을 통해 시민과 전문 연구자가 소통을 통해 서로 윈윈할 수 있는 시민과학적인 방법을 모색하고자 한다. 교육을 통해 시민과학자들에게 나비에 대한 흥미를 유발하고 기후변화와 기

후변화지표종에 대한 지식과 정보를 전달하며, 누구나 쉽게 모니터링을 시도할 수 있는 동기를 부여해 시민과학자의 저변이 확대되기를 기대한다. 또한, 기후변화지표종이라는 뚜렷한 목표를 제시하여 나비 관찰 시 자연스럽게 기후변화와 기후변화지표종에 대한 이해도를 높이고, 탐사 기록 시 목표 의식을 부여해 연구의 집중도를 높일 수 있다.

이를 위해 기후변화지표종 나비 모니터링에 필요한 기초 데이터를 수집하고, 커리큘럼 구성에 필요한 자료를 조사하여 시민과학자들의 눈높이에 맞도록 순화하는 과정이 필요하다. 이 과정을 거쳐 체험 교육 및 수행 평가 형식으로 모니터링 방안을 구성해 어린이 과학동아 지구사랑 탐사대 및 시민과학 풀씨 프로젝트 참가팀을 대상으로 실제 적용해 자료의 가치와 효용성을 입증하고자 한다.

시민과학 풀씨프로젝트를 통하여 프로젝트 수행 팀과 시민과학자 팀 간 소통을 통해 연구자와 아마추어 연구가, 대중들과의 격차를 줄이고, 누구나 쉽게 수행할 수 있도록 생태 모니터링에 관한 진입 장벽을 낮출 수 있도록 유도하며, 전문 연구자들에게도 도움이 될 수 있는 시민과학 모니터링 방안을 확립하여 정착하기를 기대한다.

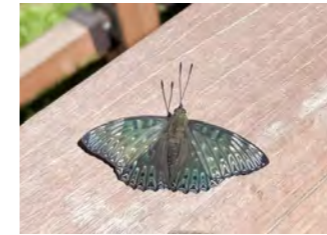
2. 본론

2010년 환경부 산하 국립생물자원관은 최근의 기후변화가 한반도 생물종 분포에 미치는 영향 및 취약성에 대한 효율적인 감시 및 예측 방법을 마련하고자 국가 기후변화 생물지표 100종을 선정하여 발표하였다. 이후 2017년 12월 한차례 개정하여 현재 100종의 지표종과 30종의 후보종이 지정되어 있다. 이 중, 나비류는 7종으로 지표종 5종과 후보종 2종이 포함된다.

지정된 종 모두 남방계열 나비로 지표종은 남방노랑나비(*Eurema mandarina*, (de l'Orza, 1869)), 먹그림나비(*Dichorragia nesimachus*, (Boisduval, 1836)), 푸른큰수리팔랑나비(*Choaspes benjaminii*, (Guérin-Méneville, 1843)), 무늬박이제비나비(*Papilio helenus*, (Linnaeus, 1758)), 물결부전나비(*Lampides boeticus*, (Linnaeus, 1767)), 후보종으로는 뽕족부전나비(*Curetis acuta*, (Moore, 1877))와 소철꼬리부전나비(*Chilades pandava*, (Horsfield, 1829)) 7종이 등재되어 있다.

이들 종을 포함하는 남방계 나비류는 60년간 북방한계선이 95km 북상하여 연간 1.6km씩 북상했다고 한다. 이는 국내 기온 증가속도와 거의 일치하는 것으로 나타났으며, 유럽에서 알려진 곤충의 북상 속도(연/1.4km)와 비슷한 결과였다(Kwon, 2015). Jeon(2013)의 연구에 따르면 Kwon et al.(2013)의 연구 결과를 바탕으로 기후적 요소를 적용하여 1938년부터 2011년까지의 나비 분포상 변화를 분석하여 남방계열 나비가 모든 위도에서 서식지 수가 증가했고, 특히 37°이상 고위도의 서식지가 가장

많이 증가했다는 연구 결과를 발표한 바 있다.



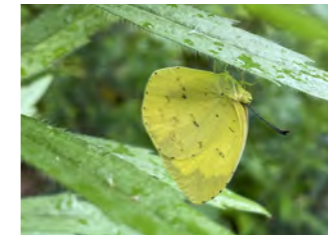
먹그림나비
Dichorragia nesimachus,
(Boisduval, 1836)



푸른큰수리팔랑나비
Choaspes benjaminii,
(Guérin-Méneville, 1843)



물결부전나비
Lampides boeticus,
(Linnaeus, 1767)

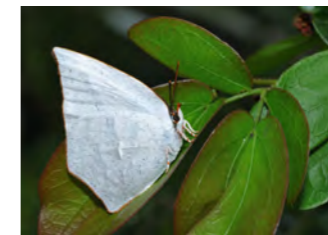


남방노랑나비
Eurema mandarina,
(de l'Orza, 1869)



무늬박이제비나비
Papilio helenus,
(Linnaeus, 1758)

기후변화지표종



뽕족부전나비
Curetis acuta,
(Moore, 1877)



소철꼬리부전나비
Chilades pandava
(Horsfield, 1829)

기후변화지표 후보종

Fig.1 기후변화지표종 및 후보종 지정 현황

본 연구는 나비효과 팀 현장탐사, 지구사랑탐사대 9기 나비 탐사, 시민과학풀씨 프로젝트 참여팀 과제 수행의 세 가지 방향으로 진행하였으며 연구 목적에 따라 각자 역할을 구분하였다.

시민과학풀씨 프로젝트 수행 팀이자 전문 연구팀 “나비효과” 팀은 기존 연구 자료를 조사하여 기후변화지표종 나비 7종의 최근 국내 분포 현황을 분석하였다. 또한, 기존 연구 결과의 재현성을 확인하

고 새로운 분포지를 발견하기 위한 탐사를 진행했다.

한편, 시민과학자의 시각에서 모니터링 시 탐사 성향과 나비에 대한 인식 수준을 파악하기 위하여 어린이과학동아 지구사랑탐사대 9기 나비 탐사의 2021년 3월부터 10월까지의 기록을 취합하고 분석하였다. 사전 교육을 통하여 나비 탐사 및 모니터링 요령에 관한 지식을 전달하고, 도심지 및 거주지의 나비상을 조사하도록 유도하였으며, 탐사 시 기후변화지표종 탐색도 병행할 수 있도록 하였다. 올해로 2년 차인 시민과학 중심의 나비 탐사 기록 및 기후변화지표종 나비 모니터링 기록을 전년도 기록과 비교 분석하여 성과를 검증하였다.

지구사랑탐사대원 중 희망자에 한해 시민과학풀씨 프로젝트 참가자를 모집하였는데, 이들에게는 주변의 나비 모니터링 수행을 병행하는 한편, 나비의 흡밀 식물과 기후변화지표종 남방노랑나비의 먹이 식물을 지원하여 나비를 유인하고 기후변화지표종 비래 여부를 파악하는 모니터링을 수행하는 심화 과제를 부여하였다.

1) 나비효과 팀 현장 탐사

(1) 탐사 개요

나비효과 팀은 전국 각지를 탐사하여 2021년 5월 1일부터 10월 13일까지 총 22회 탐사를 수행했다. 1회 탐사 시 1~6개소를 조사하며 총 51개소를 조사하였고, 그 결과 기후변화지표종 7종을 확인할 수 있었다. 조사 방법은 선조사법(동물 개체군을 조사할 때 일정한 조사 경로를 따라 출현하는 동물을 조사경로 상의 위치와 조사경로상과 수직적인 거리로 표현하여 상대적인 위치를 나타내어 일정 면적의 동물 개체군 밀도를 파악하는 방법, Line transect census) 방식으로 진행하였으며, 스마트폰과 카메라로 사진을 촬영하여 기록하였다. 촬영이 어려운 경우, 포충망을 사용하여 채집 후 종 동정이 가능하도록 근접 촬영한 뒤 방사하였다. 나비의 성충 및 알, 유충을 찾아 기록하여 장소에 따른 시기별 발생 현황을 조사하였으며, 탐사 결과는 야장에 기재하였다.

Table.1 탐사 개요표

회차	날짜	장소	종수	종명	비고
1	5.3	영흥도 국사봉 일대	1	푸른큰수리팔랑나비	다수 정상부에서 점유행동
2	5.7~8	경남 창원시 진해구	1	남방노랑나비	

3	5.8	영흥도 국사봉 일대	1	푸른큰수리팔랑나비, 먹그림나비	다수 정상부에서 점유행동
4	5.28~29	제주도 일대 (제주시, 중문동)	1	남방노랑나비	3개소 조사
5	6.5~6.6	경남 거제도 일대	2	남방노랑나비, 먹그림나비	4개소 조사
6	7.3	경남 창원시 마산합포구 의림사 일대	2	남방노랑나비, 먹그림나비	
7	7.18	충남 태안군 일대	0	발견못함	3개소 조사
8	7.24~25	제주도 일대 (조천읍, 구좌읍)	2	남방노랑나비, 소철꼬리부전나비	4개소 조사
9	7.27	강원도 동해시 무릉계곡	1	남방노랑나비	
10	8.5	강원도 인제군 서화리	1	남방노랑나비	2개소 조사
11	8.7~8.8	해남 삼산면 두륜산, 완도군 군외면	5	남방노랑나비, 먹그림나비, 푸른큰수리팔랑나비, 무늬박이제비나비, 뽕족부전나비	2개소 조사
12	8.13~8.15	전남 여수 일대	4	남방노랑나비, 먹그림나비, 물결부전나비, 뽕족부전나비	3개소 조사
13	8.16	경남 창원시 문화동 만날고개	2	남방노랑나비, 뽕족부전나비, 물결부전나비	
14	8.28	경남 거제도 일대	5	남방노랑나비, 먹그림나비, 물결부전나비, 뽕족부전나비, 푸른큰수리팔랑나비	3개소 조사
15	8.28~8.29	강원도 강릉, 동해,삼척 일대	1	남방노랑나비	4개소 조사
16	9.3~9.4	경남 창원시 여좌동 일대	2	남방노랑나비, 뽕족부전나비	1개소 조사
17	9.10~12	제주도 일대 (제주시, 조천읍, 남원읍, 안덕면 일대)	4	남방노랑나비, 뽕족부전나비, 물결부전나비, 소철꼬리부전나비	6개소 조사
18	9.19	경남 창원시 마산회원구 봉암동	1	남방노랑나비, 먹그림나비	
19	9.22	서울시 영등포구 양평동 안양천일대	1	물결부전나비	
20	9.26	강원도 고성군, 속초시	1	물결부전나비	3개소 조사
21	10.2	전남 임실군, 광양시 일대	3	남방노랑나비, 물결부전나비, 먹그림나비	3개소 조사
22	10.13	서울 동작구 대방동 보라매공원, 영등포구 셋강생태공원	1	물결부전나비	2개소
합계	33일	16지역	7종		51개소



2021.5.8. 창원 진해구

2021.8.28. 삼척 미로면

2021.9.12. 미접 남색물결부전나비 (*Jamides bochus*) 발견



야장 양식



Fig2. 2020 탐사지역



Fig.3 2021 탐사지역

(2) 전년도 비교분석

전년도에 비해 탐사 횟수를 늘려 좀 더 다양한 지역을 모니터링하였다. 그 결과 전년도 6종에서 7종을 기록하였다. 추가 기록한 종은 무늬박이제비나비로 올해 해남 두륜산에서 8월 7일 관찰하였다. 또한, 미접 남색물결부전나비(*Jamides Bochus*(Stoll, 1782))를 제주도 서귀포시 안덕면에서 9월 12일 발견하여 기록하였으며, 최근 몇 년간 매년 발견되고 발견 기록이 점차 늘어나는 것으로 보아 서식지 확대 및 정착 여부를 주목해 모니터링해야 할 것으로 판단된다.

Table.2 전문 연구팀 성과 비교

2020년도 1년 차	2021년도 2년 차
8회 16개소 탐사 6종 확인	22회 51개소 탐사 7종 확인

(3) 종별 중점 조사 사항

① 먹그림나비(*D. nesimachus*)

먹그림나비는 남부 지방을 중심으로 경기도 서해안 지역까지 분포하는 종으로 4월 말~5월경 월동한 번데기에서 우화한 봄형 성충이 발생하고, 8월경 2번째 우화한 여름형을 볼 수 있다. 내륙지방 기록으로는 서울 신림동(Jang, 2006)에 채집 기록이 있다. 먹이 식물은 나도밤나무(*Meliosma myriantha* Siebold & Zucc.)와 합다리나무(*Meliosma oldhamii* Maxim.)로 남부지역 산지 계곡가에서 쉽게 볼 수 있으며, 서해 해안가 산지에 널리 분포해있다. 먹이 식물인 나도밤나무의 최북단 분포지역은 백령도이다(2013. Kim). 본 종은 연 2회 발생한다고 알려져 있지만, 연구팀의 탐사 결과 남부지방 각 지에서는 5월부터 9월 초까지 성충이 꾸준히 관찰되었고, 유충도 한 조사 지점에서 다양한 명별로 발견되었다. 때문에, 지역별 월동기 이후 성충 발생과 연 발생횟수를 모니터링하고 서해안 북부지역에서는 월동기에 임박해 용화하는 시기 및 월동 여부도 조사해야 할 것으로 판단된다.

Table.3 월별 기록 집계

월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	합계
발견 기록	1	1	1	3	1	1	0	8개소
발견 지역	경기도 용진군 영흥도	경남 거제도 일대	경남 창원시 의림사 일대	해남 삼산면 두륜산 전남 여수 일대 경남 거제도 일대	경남 창원시 마산합포구 봉암동	전남 광양시 백운산		4지역
상태	성충	알, 유충, 성충	알, 유충	알, 유충, 성충	유충	유충	-	

당해 조사에서는 경기도 용진군 영흥도, 경남 거제도 일대, 전남 해남, 광양, 여수 등 4개 지역 8개소에서 서식을 확인하였다. 5월 첫 발생기와 8월 2회 발생기에 성충이 발견되었으며, 알과 유충은 8월 까지, 9월이후에는 유충만 발견되었다.



Fig.4 기존 먹그림나비의 분포지



Fig.5 2021년도 먹그림나비의 발견 지역

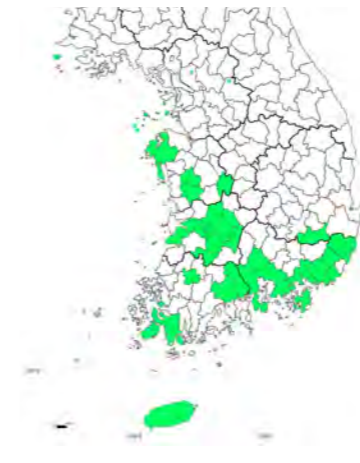


Fig.6 기존 푸른큰수리팔랑나비의 분포지



Fig.7 2021년도 푸른큰수리팔랑나비의 발견 지역

② 푸른큰수리팔랑나비(*C. benjaminii*)

먹이 식물이 나도밤나무(*M. myriantha*)와 합다리나무(*Meliosma oldhamii*)로 먹그림나비와 같다. 성충 발생 시기도 4월 말~5월경 봄형, 7~8월경 여름형으로 먹그림나비와 생태가 비슷해 함께 모니터링 할 수 있다. 주로 서남부 해안가 산지에 분포하며, 경기도 연천, 파주 광탄면, 양평 서종면, 웅진군 백령도까지 기록이 있다. 푸른큰수리팔랑나비도 연 2회 발생되는 것으로 알려져 있는데, 성충 출현 시기가 먹그림나비보다 1~2주 정도 빠르고 수명이 상대적으로 짧아 먹그림나비와 발생 시기에 차이가 날 것으로 추정된다. 본 종 역시 먹그림나비와 마찬가지로 지역별 성충 발생 시기와 연 발생 횟수, 월동기에 임박해 용화하는 시기 및 월동 여부를 중점적으로 조사해야 할 것이다.

Table.4 월별 기록 집계

월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	합계
발견 기록	1	-	-	2	-	-	-	3개소
발견 지역	경기도 웅진군 영흥도	-	-	전남 해남군 삼산면 경남 거제도	-	-	-	3지역
상태	성충	-	-	성충, 유충	-	-	-	

탐사 시 3개 지역 3개소에서 본 종을 확인하였으며, 5월 봄형은 경기도 웅진군 영흥도에서, 여름형 성충 및 유충을 전남 해남군 삼산면, 경남 거제도에서 기록하였다. 8월 28일 종령 유충을 발견하여, 성충 활동기가 9월까지 이어진다는 것을 알 수 있었다.

③ 남방노랑나비(*E. mandarina*)

남방노랑나비는 성충으로 월동하는 나비로, 이른 봄 기온이 올라가면 활동하여 우리나라 나비 중 가장 일찍 활동을 시작하는 종 중 하나이다. 주로 남부지방에 분포하나, 기온이 올라갈수록 중부 내륙 지역, 동해, 서해 해안가를 따라 북상하는 경향이 있다. 유충의 먹이 식물은 콩과 식물에 속하는 다양한 종을 섭식하기 때문에 식물의 분포에 따른 제약이 없어 국내 전역을 대상으로 이동 경로, 북상 한계선 및 도래 시기를 중점 모니터링하였다. 또한, 월동 후 첫 활동기, 월동을 준비하기 위해 월동형으로 우화하는 시기도 함께 모니터링하며 월동 가능한 지역의 북상 한계선도 중점적으로 모니터링해야 할 것으로 사료된다.

Table.5 월별 기록 집계

월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	합계
발견 기록	4	4	6	15	4	3	0	36개소
발견 지역	경남 창원시 진해구, 제주도 서귀포시 중문동	경남 거제도 일대	경남 창원시 의림사 일대, 제주도 일대, 강원도 동해시	해남 삼산면 두류산, 전남 여수 일대, 경남 거제도 일대, 경남 창원시 문화동, 강원도 강릉, 동해, 삼척, 인제군 서화리	경남 창원시 마산합포구 봉암동, 창원시 여좌동, 제주도 일대	전남 광양시 백운산		11지역
상태	성충	알, 유충, 성충	알, 유충	알, 유충, 성충	알, 유충, 성충	알, 유충, 성충	-	

본 조사 시 가장 흔하게 본 종이었으며, 월동 후 첫 성충 발생기인 5월을 제외하고 6월부터 10월까지 모든 지역에서 알에서 성충까지 모든 생활사를 관찰하였다. 지역별로는 경상남도, 전라남도, 제주도, 강원도 동해, 삼척시, 인제군 등 11개 지역 36개소에서 확인하였다. 월동 후 발생 시기인 5월에는 성충만 발견되었으나 6월부터 10월까지는 모든 생활사를 관찰하였으며 10월 이후 월동형 개체가 관찰된 것으로 보아 10월까지 꾸준히 생활사가 지속되는 것으로 판단된다. 특이할만한 점으로, 7월 말경부터 동해안가에서 관찰되기 시작하여, 8월 하순경에는 삼척 미로면을 거쳐 태백산맥 줄기를 넘어 하장면까지 내륙으로 비산하는 많은 수의 개체를 목격했다. 간헐적으로 강원 내륙지방 및 동해안 북부에서 발견된 과거 기록은 이렇게 해안가를 따라 비산하다 북상하거나 내륙으로 진출한 개체를 발견한 것으로 추정된다.



Fig.8 기존 남방노랑나비의 분포지

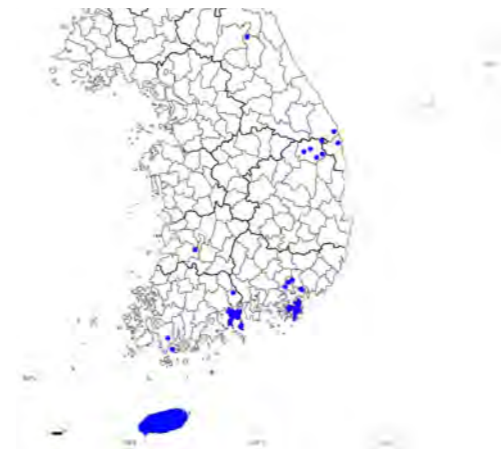


Fig.9 2021년도 남방노랑나비의 발견 지역

④ 물결부전나비(*L. boeticus*)

미접으로 알려져 있다가 2006년 영암에서 유충이 월동함을 확인하며 2010년 기후변화지표종으로 지정되었다. 주로 제주도 및 남부 해안가 지방에서 발견되나, 기온이 올라감에 따라 북상하며 내륙 지방, 서해, 동해 해안가를 따라 북상하는 경향이 있다. 이동성이 강해 고위도 지역과 강원도 내륙지역에도 기록이 있어 북상 한계선 및 도래시기, 이동 경로를 중점적으로 모니터링하였다. 6월, 8월경 기록이 있으나 주로 9~11월경 발견 기록이 많고 늦게는 12월 초에도 기록이 있는 것으로 보아 9~11월이 모니터링의 적기로 판단된다. 이동성이 강하고 생활사가 19~21일로 짧아 지역별 당해 첫 성충 목격 시기와 도래 이후 발생 횟수를 관찰해 정착 여부와 월동 가능 여부를 모니터링해야 할 것으로 판단된다.

Table.6 월별 기록 집계

월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	합계
발견 기록	-	-	-	3	5	3	-	11개소
발견 지역	-	-	-	전남 여수시 돌산면, 경남 창원시 문화동, 경남 거제시	제주도 서귀포시, 서울 영등포구 양평동, 강원도 고성군, 속초시	전남 광양시 백운산, 서울 동작구 보라매공원, 서울 영등포구 샛강생태공원	-	9지역
상태	-	-	-	성충	유충, 성충	유충, 성충	-	

본 조사에서는 9지역 11개소에서 확인하였다. 7월까지 관찰되지 않다가 8월 14일 여수군 돌산면에서 처음으로 기록하였다. 9월 제주도, 서울 영등포구 양평동 안양천변, 강원도 동해안 지역은 속초시, 고성군, 통일전망대까지 기록된 것으로 보아 그 이상으로 북상하는 것으로 보인다. 10월에는 서울 동작구 대방동 보라매공원, 여의도 샛강생태공원 일대에서도 관찰하였다. 새팔, 여우팔의 꽃봉오리에 산란하며 유충이 발생한 것도 확인하였는데, 이렇게 번식해가며 개체 수가 늘어나 북상하는 것으로 추정된다. 올해는 특히 물결부전나비의 중부지방 관찰이 유독 많이 기록되었는데, 주목할만한 점으로 9~11월경 한강 변을 따라 양평 서종면까지 진출한 것이 기록되었다.



Fig.10 기존 물결부전나비의 분포지



Fig.11 2021년도 물결부전나비의 발견 지역

⑤ 무늬박이제비나비(*P. helenus*)

무늬박이제비나비는 2000년대 초반 국내 서식 여부가 알려져 아직 분포지 기록이 많지 않다. 하지만, 남부지방 곳곳에서 발견되고 있으며 거제도 지역에서는 봄에도 발견되는 것으로 보아 월동하여 정착한 것으로 판단된다. 연 3~4회 발생한다고 알려져 있으며, 산지성을 띠고 개체 수가 많지 않아 모니터링이 어려운 종류이다. 이른 봄, 봄형 성충 출현 시기와 출현 횟수, 새로운 서식지의 발견 및 서식지 복상 여부를 모니터링하며 자료를 축적해야 할 종이다. 본 조사에서는 전남 해남군 삼산면 두륜산에서 몇 개체를 관찰하는 것에 그쳤다.

Table.7 월별 기록 집계

월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	합계
발견 기록	-	-	-	1	-	-	-	1개소
발견 지역	-	-	-	전남 해남군 삼산면	-	-	-	1지역
상태	-	-	-	성충	-	-	-	



Fig.12 기존 무늬박이제비나비의 분포지

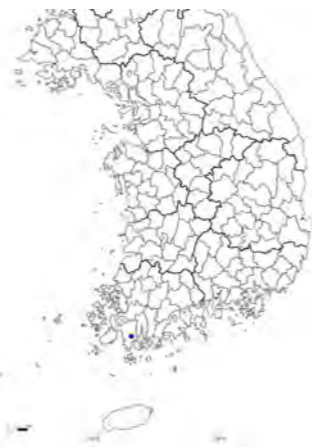


Fig.13 2021년도 무늬박이제비나비의 발견 지역

⑥ 소철꼬리부전나비(*C. Pandava*)

소철꼬리부전나비는 2006년 제주도 애월읍에서 첫 발견되었으며, 제주도에서는 매년 꾸준히 발견되고 있다. 9~10월경 개체 수가 증가하여 제주도 전역에서 흔히 볼 수 있을 정도로 번성하고, 종종 남부 해안가 지방에서 간헐적으로 발견되고 있다. 유충의 먹이 식물인 소철(*Cycas revoluta* Thunb.)이 흔한 제주도에서는 정착이 의심되고 있으나 내륙 지방에서는 일시적으로 비래하는 것으로 추정된다.

다. 제주도에서는 첫 성충 출현 시기 및 소철에서 유충의 발생 시기, 동절기 월동 여부를 중점적으로 모니터링해야 할 것이다. 내륙에서는 새로운 지역의 발견 여부와 비래 가능한 지역의 소철 집단 식재지를 중심으로 정착 여부를 모니터링해야 할 것으로 판단된다.

Table.8 월별 기록 집계

월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	합계
발견 기록	-	-	1	-	6	-	-	7개소
발견 지역	-	-	제주시 조천군 조천읍	-	제주시 건입동, 조천군 선흘리, 교래리, 구좌읍 평대리, 서귀포시 남원읍, 안덕면	-	-	1지역
상태	-	-	유충	-	알, 유충, 성충	-	-	

5월 28일 작년도 관찰지 중 하나인 제주도 중문의 소철 식재지를 조사하였으나 관찰하지는 못하였다. 7월 중순 지구사랑탐사대원의 관찰 기록을 보고 바로 제주도를 탐사하여 유충과 갓 우화한 성충들을 관찰하였다. 9월 10일 3차 조사 시 제주도 전역에서 많은 개체가 발생하여 7월 이후 개체 수가 급증하여 9~10월경 번성하는 것으로 판단된다. 겨울이 되면 대부분 사멸하여 소수가 월동에 성공하거나, 혹은 이동성이 강한 습성상 하절기 무렵 다시 열대지방 서식지에서 비래하는 것으로 추정된다.



Fig.14 기존 소철꼬리부전나비의 분포지



Fig.15 2021년도 소철꼬리부전나비의 발견 지역

⑦ 뽕족부전나비 (*C. acuta*)

미접으로 알려져 있다 2000년대 초반 거제도와 부산 해안가에서 몇 개체가 발견된 후 점차 분포지가 확대되고 있는 중이다. 유충은 콩과 식물의 꽃을 먹는 것으로 알려져 있으며, 주로 7월 이후부터 칩꽃 주변에서 활동하는 것을 볼 수 있다. 성충으로 월동하며, 난대 수종인 상록활엽수의 잎 뒤에 숨어 휴면을 하는 것으로 알려져 있다. 외국에서는 아까시나무, 등나무, 회화나무의 꽃을 먹는 것으로 알려져 있어 월동을 한 개체가 이듬해 봄, 이들 식물의 꽃에 산란하여 번식하는 것으로 추정된다. 분포지 북상 속도가 빠른 종으로 현재 최북단 관찰지로 경북 영주 지역까지 발견되었다. 북상 한계점과 월동 가능 여부, 서식지에서는 당해 최초 활동 기록, 연간 성충 출현 횟수, 월동기 직전 월동형 개체의 발생 시기 등을 모니터링해야 할 것으로 판단된다.

Table.9 월별 기록 집계

월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	합계
발견 기록	-	-	-	3	2	-	-	7개소
발견 지역	-	-	-	전남 완도군 군외면, 전남 여수시 자산동, 경남 창원시 문화동, 경남 거제도	경남 창원시 여좌동, 제주도 서귀포시 남원읍	-	-	1지역
상태	-	-	-	알, 유충, 성충	성충	-	-	

현장 탐사 시 6지역 6개소에서 관찰하였으며, 칩 군락 주변에서 활동하는 모습, 성충, 알과 유충이 함께 활동하는 모습을 관찰할 수 있었다.

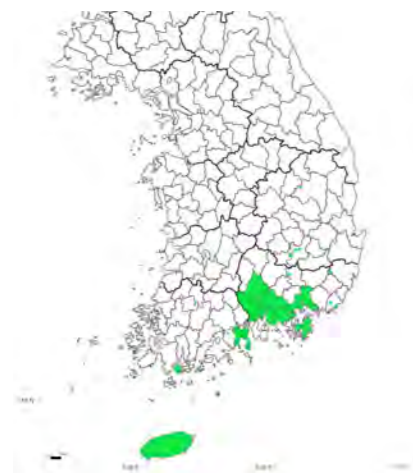


Fig.16 기존 뽕족부전나비의 분포지



Fig.17 2021년도 뽕족부전나비의 발견 지역

2) 지구사랑탐사대 나비 관찰 기록 결과

(1) 개요

지구사랑탐사대 9기 탐사기록 개설 시점인 3월 24일부터 10월 31일까지 222일 동안 180개 팀이 참여하여 총 75종 1598유효기록(총 게시물 수 1608건)을 집계하였다. 이 중, GIS정보 부재, 사진 부재, 동정(Identification) 불가한 게시물 등으로 자료화할 수 없는 기록이나 나비 이외의 곤충류 기록 70건을 제외한 관찰 수는 1528건을 기록했다. 이 중, 기후변화지표종 나비 기록은 지표종 4종, 후보종 2종으로 총 6종이 집계되었고, 관찰 수는 총 64건이다. 2020년도는 데이터 수집을 11월 31일까지 적용, 금년도는 10월 31일 기록까지 반영하여 데이터 수집 기간이 한달 단축되었다. 그럼에도 불구하고 전년도 대비 총 관찰 수는 608건 증가하였고, 유효 기록은 598건 증가하였다. 총 관찰 종은 전년도 대비 67종에서 75종으로 8종 증가하였다.

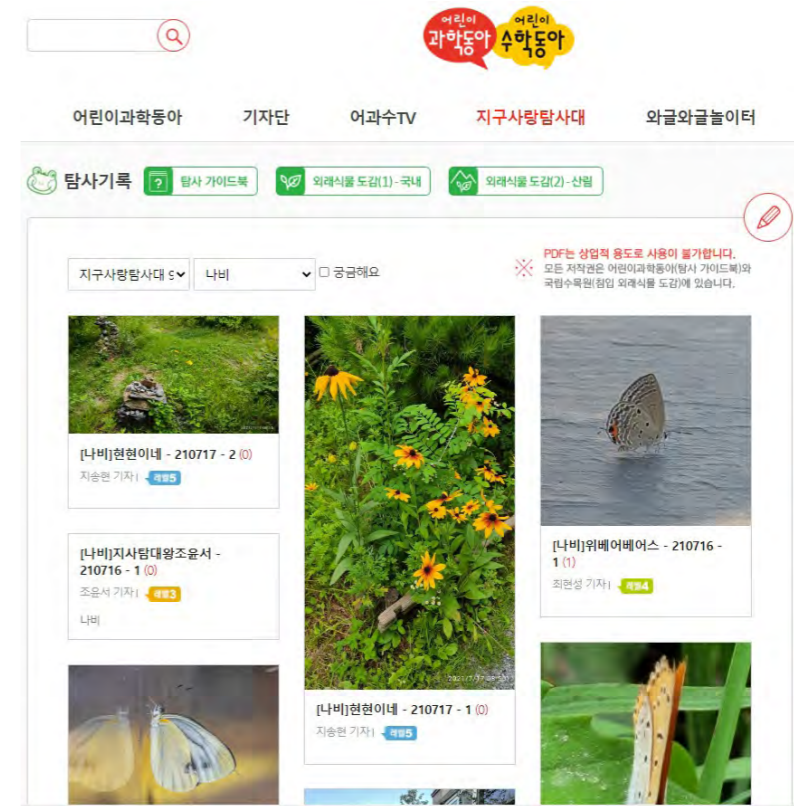


Fig.18 지구사랑탐사대 나비탐사 기록 활동



Fig.19 2020년도 지구사랑탐사대 나비탐사기록



Fig.20 2021년도 지구사랑탐사대 나비탐사기록

Table.10 전년도 대비 성과율

분류군	2020		2021		전년대비 증가 수		증가율(%)
	종	기록	종	기록	종	기록	
호랑나비과 <i>Papilionidae</i>	10	61	10	205	0	144	236 %
흰나비과 <i>Pieridae</i>	8	393	9	560	1	167	42.5 %
네발나비과 <i>Nymphalidae</i>	31	243	35	431	4	188	77.3 %
부전나비과 <i>Lycaenidae</i>	11	205	12	277	1	72	34.1 %
팔랑나비과 <i>Hesperiidae</i>	7	49	9	55	2	6	12.2 %
기타	-	49	-	70	-	21	42.8 %
합계	67종	1000건	75종	1598건	8종	598건	59.8%

과별로는 호랑나비과가 61건에서 205건으로 전년도 대비 236% 증가하였고, 흰나비과는 363건에서 560건으로 42.5%가 증가했다. 네발나비과는 243건에서 431건으로 77.3%, 부전나비과는 205건에서 277건으로 34.1%가 증가했다. 팔랑나비과는 49건에서 55건으로 12.2%가 증가하였다. 부전나비과와 팔랑나비과의 증가폭이 상대적으로 적었는데, 이들 분류군은 대체로 나비의 크기가 작고 눈에 잘 띄지 않아 비교적 흔한 나비 위주로 기록했기 때문으로 추정된다.

관찰건 수에 비해 종 수는 크게 증가하지 않았다. 이는 탐사대원들의 탐사 성향이 주로 도심지와 그

인근 지역인 거주지 주변이었기 때문에 새로운 종을 만날 기회가 적었기 때문으로 판단되며, 추가된 종들 대부분은 거주지 외 지역으로 탐사를 가거나 도심지 환경에서 만날 확률이 적은 종을 우연히 도래한 것을 포착한 경우였다. 각각의 다양도 지수(샤논-위너 지수(Shannon-Wiener index))를 분석해 본 결과, 2020년도(1.373602)보다 2021년도(1.423593)로 높게 나타났다.

Table.11 지구사랑탐사대 나비탐사기록 관찰 종 목록 집계

과명	팔랑나비과	호랑나비과	흰나비과	네발나비과	부전나비과					
출점팔랑나비	24	호랑나비 90	배주흰나비 336	네발나비 166	남방부전나비 134					
왕자팔랑나비	11	제비나비 29	대만흰나비 89	암골검은표범나비 66	암막부전나비 46					
멧팔랑나비	10	산제비나비 5	큰줄흰나비 32	큰흰표범나비 6	푸른부전나비 23					
제주꼬마팔랑나비	4	남방제비나비 18	노랑나비 43	큰멋쟁이나비 11	큰주홍부전나비 38					
산줄점팔랑나비	1	긴꼬리제비나비 31	남방노랑나비 48	애기세줄나비 28	작은주홍부전나비 6					
지리산팔랑나비	2	모시나비 6	갈구리나비 8	부처사촌나비 9	먹부전나비 13					
흰줄점팔랑나비	1	산호랑나비 3	줄흰나비 2	작은멋쟁이나비 17	부전나비 2					
줄꼬마팔랑나비	1	사향제비나비 5	풀흰나비 1	뿔나비 12	범부전나비 2					
푸른큰수리팔랑나비	1	고리명주나비 3	북방기생나비 1	황오색나비 7	소철꼬리부전나비 1					
		청띠제비나비 15		제이줄나비 5	뾰족부전나비 4					
				홍점알락나비 11	물결부전나비 7					
				물결나비 13	바둑돌부전나비 1					
				부처나비 7						
				세줄나비 2						
				흑백알락나비 4						
				제일줄나비 1						
				별박이세줄나비 8						
				먹그늘나비 3						
				흰줄표범나비 1						
				거꾸로여덟팔나비 1						
				굴뚝나비 1						
				은판나비 4						
				대왕나비 1						
				암검은표범나비 3						
				참세줄나비 1						
				굵은줄나비 1						
				먹그림나비 3						
				애물결나비 7						
				작은은점선표범나비 1						
				눈많은그늘나비 1						
				석물결나비 1						
				청띠신선나비 26						
				제삼줄나비 1						
				줄나비 1						
				뱀눈그늘나비 1						
합계	9종	55	10종	205	9종	560	35종	431	12종	277
	75종 1528 기록									

색칠 된 종은 당해 새로 발견된 종

전년도에 기록되었지만 당해 관찰되지 않은 종은 13종이었으며, 새로 관찰된 종이 19종 추가되었다. 이 종들은 대부분 산림성 나비로 주로 거주지 인근을 탐사하며 장거리 야외 탐사의 빈도가 적은 지구사랑탐사대원들의 성향상 우연히 관찰된 경우가 많았다.

Table.12 2020년도에 발견하였으나 2021년도에 발견하지 못한 종

과명	팔랑나비과	호랑나비과	흰나비과	네발나비과	부전나비과
종명	왕팔랑나비	애호랑나비		은점표범나비	굴빛부전나비
	꽃팔랑나비			긴은점표범나비	솟빛부전나비
	큰줄점팔랑나비 (산팔랑나비)			황세줄나비	
				높은산세줄나비	
				왕세줄나비	
				먹그늘나비붙이	
				한뼉눈나비	
	3종	1종		7종	2종

Table.13 월별 관찰기록

	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	합계
관찰수	9	149	173	234	164	518	239	101	0	1598
종수	5	23	34	32	28	48	40	16	0	75종

월별 기록은 여름 휴가철인 8월에 가장 많은 기록 수를 보였으며, 6월, 9월의 기록이 비슷한 수치를 보였다. 6월은 연중 한반도에 서식하는 나비의 종 다양도 및 개체 수가 가장 많은 시기라 기록 수도 증가했을 것으로 추정하며, 7월의 경우, 코로나 3차 유행으로 인하여 기록 수 일시 줄어들었다. 9월은 남방계 나비의 개체수가 많아지고 다화성 나비류(연중 여러번 생활사를 지속하여 성충 우화하는 나비류)의 마지막 우화시기이므로 기록 수가 증가하였을 것으로 사료된다.

Fig.21 지역별 관찰 수

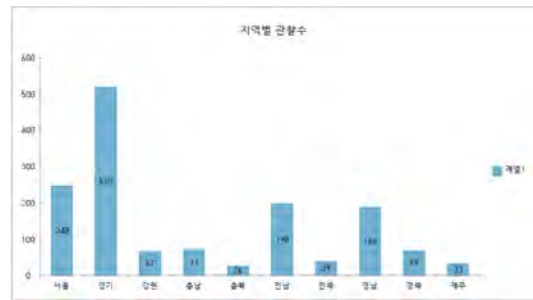


Table.14 지역별 기록 수

지역	기록 수	백분율
서울	248	17%
경기	520	35.6%
강원	67	4.6%
충남	71	4.9%
충북	26	1.8%
전남	198	13.6%
전북	39	2.7%
경남	188	13%
경북	69	4.7%
제주	33	2.3%
합계	1459	100%

지역별로는 수도권이 가장 많았으며 전남, 경남이 각각 3, 4순위를 차지하였다. 모니터링 기록은 탐사대원의 지역 편차가 심해 실제 한반도 나비의 분포 현황을 나타낸다고 볼 수는 없지만, 도심지와 거주지 환경에서의 나비 분포상을 개략적으로 파악할 수 있는 자료로 활용할 수는 있을 것으로 판단된다. 유효기록 수와 지역별 관찰 수에 편차가 나타난 것은, 나비 탐사 기록 등재 시 GIS 데이터가 기록되지 않은 게시물과 나비류 이외의 곤충에 대한 기록들은 집계에서 제외했기 때문이다.

(2) 기후변화지표종 기록 집계

기후변화지표종의 발견 건수도 비약적으로 증가하였다. 전년도에 비해 종 수는 3배, 관찰 건수는 5배 이상 증가하였다. 이는 모니터링 2년 차로 지속적인 연구 소개 및 강의로 인해 지구사랑탐사대 대원들의 기후변화지표종에 대한 인식이 증가하였기 때문으로 판단된다.

Table.15 기후변화지표종 관찰기록

2020년도 1년 차	2021년도 2년 차
2종 12기록	6종 64기록

최다 관찰 종은 남방노랑나비(*E. mandarina*)로, 이동성이 강하고 도심지에서도 비교적 쉽게 볼 수 있는 종이라 관찰이 용이하기 때문이다. 다음으로 많이 관찰된 종은 물결부전나비(*L. boeticus*)였다. 역시 이동성이 강하고 번식력이 강해 도심지의 화단이나 콩과 식물이 자라는 곳에서 발견되었다.

지역적으로는 경남, 전남 지방이 발견 기록의 67%를 차지했으며, 두 지역 모두 4종으로 가장 많은 수가 관찰되었다. 최북단 기록으로는 옹진군 소청도에서 물결부전나비가 1건, 남방노랑나비는 충남 연기군에서 1건이 기록되었다.

Table.16 기후변화지표종 기록 수

종명	기록수	기록비(%)
남방노랑나비 <i>E. mandarina</i>	48	75
물결부전나비 <i>L. boeticus</i>	7	11
소철꼬리부전나비 <i>D. nesimachus</i>	1	1.5
먹그림나비 <i>C. benjaminii</i>	3	4.6
푸른큰수리팔랑나비 <i>C. benjaminii</i>	1	1.6
무늬박이제비나비 <i>P. helenus</i>	0	0
뾰족부전나비 <i>C. acuta</i>	4	6.3
합계	64	100%

Fig.22 지역별 기록비율



Table.17 기후변화지표종 지역별 기록

지역	지역별 관찰종	남방노랑나비	물결부전나비	먹그림나비	푸른큰수리팔랑나비	무늬박이제비나비	뾰족부전나비	소철꼬리부전나비	총 기록
서울	-	0	0	0	0	0	0	0	0
경기	-	0	1	0	0	0	0	0	1
강원	-	0	0	0	0	0	0	0	0
충남	1종	3	0	0	0	0	0	0	3
충북	-	0	0	0	0	0	0	0	0
전남	4종	15	3	1	0	0	1	0	20
전북	2종	3	1	0	0	0	0	0	4
경남	4종	15	2	2	1	0	3	0	23
경북	1종	7	0	0	0	0	0	0	7
제주	2종	5	0	0	0	0	0	1	6
합계	6종	48	7	3	1	0	4	1	64

기후변화지표종은 8, 9월에 가장 많은 기록을 보였는데, 남방계 나비인 기후변화지표종과 후보종의 생태 특성상 8월부터 9월까지 개체 수가 급증하기 때문에 관찰 건수도 증가한 것으로 판단된다. 전년 도에 비해 종 수는 3배, 관찰 건수는 5배 이상 증가하였다. 이는 기후변화지표종에 대한 지구사랑탐사대 대원들의 인식이 증가하였기 때문으로 판단된다.

Table.18 월별 기후변화지표종 및 후보종 관찰기록

종명	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	합계
남방노랑나비 <i>E. mandarina</i>	-	-	-	-	3	3	20	20	2	-	48
물결부전나비 <i>L. boeticus</i>	-	-	-	-	-	-	1	4	2	-	7
먹그림나비 <i>D. nesimachus</i>	-	-	-	1	-	-	1	1	-	-	3
푸른큰수리팔랑나비 <i>C. benjaminii</i>	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
무늬박이제비나비 <i>P. helenus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
소철꼬리부전나비 <i>C. pandava</i>	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
뾰족부전나비 <i>C. acuta</i>	-	-	-	-	-	-	1	2	1	-	4
기후변화지표종 기록 Total				1	3	5	23	27	5		64
월별 발견 종 수				1	1	3	4	4	3		

(3) 라이브 강연 및 비대면 현장 탐사

① 라이브강연

2021년 5월 25일(화) 20시부터 20시 20분까지 지구사랑탐사대 9기 대원을 대상으로 20분간 전체 강연을 하였다. 화상회의 앱을 이용한 심화 강연도 진행하였다. 한편, 6월 9일(수) 20시부터 21시 20분 까지 1시간 20분간 시민과학플씨 프로젝트 참가 희망자 대상 17팀을 대상으로 화상회의 앱을 이용한 심화 강연을 진행하였다. 심화 강연 이후 기후변화지표종 나비의 시민과학 모니터링 참여팀 12팀을 선정하였다.



Fig.23 지구사랑탐사대 9기 라이브 강연

② 비대면 현장 탐방

10월 11일(월) 14:30부터 15:00까지 불암산 나비정원에서 지구사랑탐사대원을 대상으로 비대면 현장탐사를 시행하였다. 인스타그램 라이브 방송 형식으로 진행하였으며, 사전에 불암산 나비정원의 협조를 얻어 나비정원 내 사육하고 있는 나비들을 관찰하고 설명하는 방식으로 진행하였다. 현장탐방을 통해 나비를 쉽게 관찰할 수 있는 나비정원에 대해 소개하고, 나비정원의 주요 사육종이자 기후변화 지표종인 남방노랑나비의 생태를 생생히 알리며 모니터링의 중요성을 강조하였다. 또한, 우리나라에는 미점으로 알려진 남방오색나비(*Hypolimnas bolina*, (Linnaeus, 1758))를 국내에서 채집해 대량 사육이 성공하면서, 열대지방의 나비의 생생한 모습을 보여 주어 기후변화에 따른 한반도의 나비상 변화에 관한 이야기도 자연스럽게 현장 교육으로 풀어내었다.



Fig.24 지구사랑탐사대 현장 탐사 라이브

3) 시민과학플씨 프로젝트 참여팀

(1) 개요

시민과학플씨 프로젝트 “기후변화지표종 나비 모니터링” 연구에 시민과학자 참여 팀은 총 12팀으로 지난해에 비해 많은 수가 지원하였다. 또한, 참여 팀은 지역을 안배하여 선정하였으며, 수도권이 7팀으로 서울 4팀, 경기도 3팀으로 전체 참여팀의 58%를 차지하였다. 남부 지역 참여 팀으로는 경상남도 2팀, 전라남도 2팀, 대구광역시 1팀으로 남부 지역 비율이 42%였다. 이 중 10팀이 활동하여 유의미한 결과를 내었다.

기후변화지표종 모니터링만 수행했던 전년도와 달리 당해 시민과학플씨 참가 팀은 두 가지 과제를 주어 수행토록 하였다.

첫 번째로 나비 탐사 시 기후변화지표종을 중점적으로 탐사하여 지구사랑탐사대 나비 탐사 활동에

기록하고, 두 번째로는 나비의 흡밀 식물 “붓들레아”와 기후변화지표종 남방노랑나비의 먹이 식물인 “비수리”를 지원하여 흡밀하러 오는 나비와 남방노랑나비가 비래하고 산란하는지 여부를 모니터링하도록 하였다. 지원받은 식물은 7월 30일 식재 완료하여 8월부터 모니터링을 수행하였다.

시민과학플씨 탐사기록에 등록된 기후변화지표종 나비 모니터링 관련 게시글은 총 89건으로 그 중 프로젝트 참여 팀의 관찰기록은 67건이 집계되었다. 나머지 22건은 참가팀 외의 기록이거나 기후변화지표종과 관련 없는 게시글이다. 첫 번째 과제인 기후변화지표종 관찰기록은 총 6종 43건, 두 번째 과제인 먹이 식물 관찰기록은 24건이었다. 먹이 식물 식재 후 나비 방문 관찰기록은 흡밀 식물이 4건(1건 시민과학 플씨 탐사기록 기록, 3건 나비 탐사기록), 먹이 식물 23건이 집계되었다.

(2) 기후변화지표종 모니터링 집계 및 분석

지구사랑탐사대 9기 나비탐사 기록 중 시민과학플씨 프로젝트 참가 팀의 기록은 1598건 중 총 460건으로 총 기록 수의 28.9%를 차지하였다. 시민과학플씨 프로젝트 참가팀이 관찰한 종 수는 53종으로 총 관찰종의 71%에 달하는 종 수를 기록하였다. 나비 탐사기록에 업로드 된 기후변화지표종 관찰 기록 중 시민과학플씨 프로젝트 참가 팀의 관찰기록 수는 총 43건으로, 전체 기후변화지표종 관찰 수의 71%에 달했다.

Table.19 시민과학플씨 프로젝트 참여 팀 9기 나비 탐사기록 집계

팀명	거주지역	남방노랑나비	물결부전나비	먹그림나비	푸른큰수리팔랑나비	무늬박이제비나비	소철고리부전나비	뽕족부전나비	기후변화지표종	관찰종	총 관찰수
루이로즈	경기도 파주시	-	-	-	-	-	-	-	-	5	12
에코스토리	서울 송파	-	-	-	-	-	-	-	-	4	9
1초의유레카	서울 양천	-	-	-	-	-	-	-	-	7	10
가고파매밀리	경남 창원시	7	1	-	-	-	-	2	3	12	80
조아조아	대구 수성구	1	-	-	-	-	-	-	1	14	35
완도생물탐사대	전남 완도	11	2	-	-	-	-	1	3	27	116
환경사랑지구사랑	경기도 고양시	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
위베어베어스	서울 강서구	2	-	-	-	-	1	-	-	16	29
생물탐사	서울 구로구	1	2	-	-	-	-	-	2	14	41
곤충박사	전남 순천시	2	1	1	-	-	-	-	3	23	64
남양탐험대	경기도 부천시	-	-	-	-	-	-	-	0	13	38
Yerielam	경남 거제도	4	-	2	1	-	-	1	4	15	26
		28	6	3	1	0	1	4	6	53	460

경남, 전남지역의 탐사 팀은 기후변화지표종 관찰에 유리해 많은 수의 관찰을 기록하였으나 수도권 및 기타 내륙지방의 관찰기록은 거의 없었다. 수도권의 경우 기후변화지표종의 비래 확률이 적고 물결부전나비의 경우 식별이 어려워 중 동정 시 숙련도가 필요하기 때문에 판단된다. 수도권 지역 참가팀은 지역 내 관찰은 없지만 여행 시 탐사를 병행하여 최남단 제주도에서 남방노랑나비 2건과 후보종 소철꼬리부전나비를 기록하였다(2021. 7.16 위베어베어스팀). 또한, 옹진군 소청도에서 물결부전나비를 기록하여 최북단 기록을 추가하였다(2021. 10.11 생물탐사팀).

Table.20 시민과학플씨 프로젝트 참여 팀 9기 나비탐사기록 성과 집계

총 관찰기록	지구사랑탐사대 9기 전체		플씨프로젝트 참가팀 기후변화지표종 기록	
	총 집계	기후변화지표종 집계	총 집계	기후변화지표종 집계
1608기록 75종 1598 유효기록	1138기록 75종	1138기록 2종 18건	460기록 53종	43기록 6종

전년도에 비해 프로젝트 참여 팀은 2배 증가하였다. 시민과학플씨 프로젝트 내 관찰 수는 지난해보다 줄어들었는데, 이는 나비 탐사기록과 별개로 시민과학플씨 프로젝트 기록 게시판에 따로 기후변화지표종 탐색 및 수행 과제를 기록했기 때문이다. 특히, 2020년도는 나비 탐사기록 및 기후변화지표종 모니터링 1년 차로 기후변화지표종은 발견하지 못했지만 올해는 무늬박이제비나비를 제외한 6종을 발견하였다. 2년간 프로젝트를 진행하며 지구사랑탐사대 대원들의 나비와 기후변화지표종에 대한 관심과 인지도가 상승하였기 때문에 판단된다.

Table.21 시민과학플씨 프로젝트 참여팀 기록 비교

2020년도 1년 차	2021년도 2년 차
6팀 69관찰 기후변화지표종 발견 못함	12팀 43관찰 기후변화지표종 6종 집계

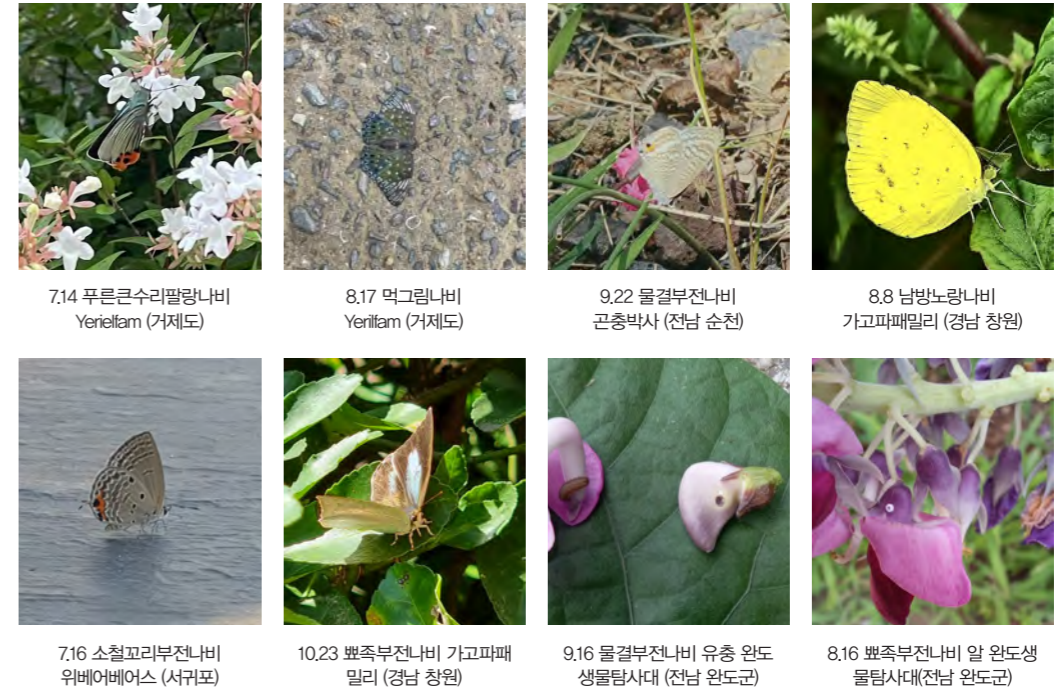


Fig.25~32 시민과학플씨 탐사대원들이 발견한 기후변화지표종

(3) 식물식재 모니터링 성과 비교

① 식물 식재 실험 개요

프로젝트 참여 팀에게 각각 나비의 흡밀 식물 붓들레아(*Buddleja davidii*, (Linne, 1753)와, 남방노랑나비 먹이 식물 비수리(*Lespedeza cuneata*, (Dumont-Cours, G. don))를 지원하였다. 붓들레아는 영명이 Butterfly bush로 불리울 정도로 나비가 좋아하는 흡밀 식물이며, 비수리는 남방노랑나비의 먹이 식물 중 선호도가 높은 편이고, 초본이라 성장속도가 빠르기 때문에 단기 모니터링 용으로 적합할 것으로 판단하였다. 각 팀별로 1포기씩 지원하였으며, 식재 후 단체 채팅방을 통해 식물 관리 및 모니터링 방법 등을 설명하였다.

식물을 지원받은 팀은 각자 모니터링하기 편한 지역을 선정해 식물을 관리하며 나비가 날아오는지 확인하고 흡밀 식물은 방문하는 나비의 종 수와 방문 횟수를 기록하도록 하였으며, 먹이식물의 경우 남방노랑나비의 방문 및 산란 여부, 발생 주기를 기록하도록 하였다.



비수리에 신란 중인 남방노랑나비



붓데레아 꽃을 흡밀하는 푸른큰수리팔랑나비

Fig.33~34 식물 실험에 활용한 비수리(*L. cuneata*)와 붓데레아(*B. davidii* Linne)

Table.22 시민과학폴씨 프로젝트 기록 집계

팀이름	거주지역	총 관찰수	기후변화지표종 관찰 수	비수리 (번식 확인)	붓데레아 (흡밀 식물 유인)
루아로즈	파주시	-	-	-	-
에코스토리	서울 송파	-	-	-	-
1초의유레카	서울 양천	-	-	-	-
가고파패밀리	경남 마산	16	3	1	-
조아조아	대구 수성구	1	1	-	-
완도생물탐사대	완도생물탐사대	30	2	11	4
환경사랑지구사랑	경기도 고양시	-	-	-	-
위베어베어스	서울 강서구	-	-	-	-
생물탐사	서울 구로구	-	-	-	-
곤충박사	전남 순천	16	3	11	1
낭랑탐험대	경기도 부천시	-	-	-	-
Yerielam	경남 거제도	4	3	-	-
12팀		67	12	23	5

지구사랑탐사대 나비탐사 기록과 구별하여 개설된 시민과학폴씨 프로젝트 기록을 집계한 결과, 12팀 중 5팀이 기후변화지표종을 기록하였다. 이중 2팀은 단순 발견 기록이고, 3팀이 식물 식재 실험 관련 기록을 업로드하였다. 모두 남부 지방에 거주하는 팀으로 사육에 많은 관심을 가지고 있어 비수리에서 성장하는 남방노랑나비의 생활사를 꾸준히 기록하였다. 관찰 기록은 탐사기록 게시판 이외에 단체 채팅방을 통해 상시 공유하였으며, 따로 야장을 만들어 기록하도록 하였다.

붓데레아의 경우 식물이 너무 어려 꽃 상태가 좋지 않아 새로운 꽃을 피워낼 때까지 관리해 주어야 했기에, 흡밀 식물 기록은 2팀 5건으로 저조했다.



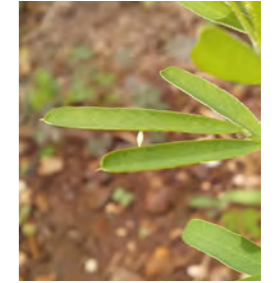
2021.7.30. Yerielam
경남 거제
택배 배송 직후



2021.9.7. 곤충박사
(전남 순천)
관찰 장소에 식재



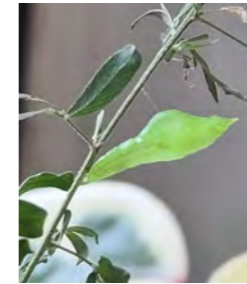
2021.7.30. 완도생물탐사대
(전남 완도)
배송 직후 비수리 성장 상태



2021.9.13. 완도생물탐사대
(전남 완도)
남방노랑나비 신란 확인



2021.9.7.가고파패밀리
(경남 창원)
비수리를 섭식하는 남방노랑
나비 유충



2021.9.22.곤충박사
(전남 순천)
남방노랑나비 용화



2021.9.15. 가고파패밀리
(경남 창원)
남방노랑나비 우화



2021.8.17. 위베어베어스
(경기 부천)
강제 철거된 관찰용 식물

Fig.35~42 먹이 식물, 흡밀 식물 식재 후 관찰 모습

② 식물 식재 실험 성과

식물 식재에 대한 성과는 지구사랑탐사대 나비탐사기록, 시민과학폴씨 탐사기록과 설문조사를 통해 집계하였다. 설문조사는 시민과학폴씨 프로젝트 참여팀 12팀 중 10팀이 답변하였다. 먹이 식물에 나비가 비래한 것을 확인한 팀은 서울 2팀, 경기 1팀, 경남 2팀, 전남 2팀으로 12팀 중 총 7팀이었다. 관찰 횟수는 매일 관찰한 탐사대원이 4팀, 그 외 월 1회 2팀, 주 1회 2팀, 2~3일 주기 2팀으로 나타났다. 탐사기록상으로는 흡밀 식물 4건, 비수리를 관찰한 기록은 23건으로 먹이 식물 관찰 기록이 많았다.

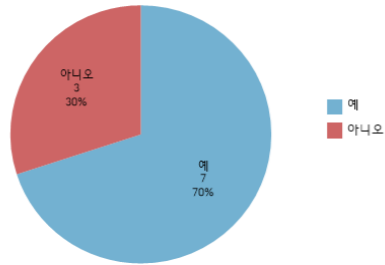


Fig.43 식물에 유인된 나비 관찰 여부

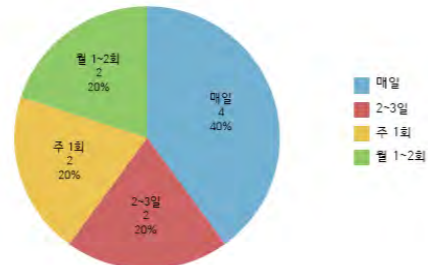


Fig.44 관찰 주기



2021.9.25. 남방노랑나비 원도생물탐사대 (완도)
 2021.10.28. 암끝검은표범나비 원도생물탐사대 (완도)
 2021.9.25. 큰흰줄표범나비 원도생물탐사대 (완도)
 2021.10.28. 큰멋쟁이나비 원도생물탐사대 (완도)

Fig.47~50 흡밀 식물(붓들레아)에 찾아온 나비 기록

③ 흡밀 식물 붓들레아(*B. davidii*.) 관찰

흡밀 식물의 관찰기록은 9월 이후부터 기록되었는데, 이는 배송 당시 너무 어린 식물이 배송되어 개화할 때까지 키우는 기간이 소요되었기 때문으로 판단된다. 나비 탐사 기록상으로는 4건 1팀이었으나, 설문을 통하여 조사한 결과 다른 참가팀들도 흡밀 식물을 꾸준히 관찰한 것으로 나타났다.

흡밀을 위해 방문하는 나비의 종 수는 1~5종으로, 방문 횟수는 매일 오는 경우가 2건, 일주일에 2~3회 방문하는 경우가 4건, 불규칙적으로 방문하는 경우가 4건으로 나타났다. 장소와 날씨의 변수가 있고 기록 수가 적어 나비의 비래 수를 정량적으로 특정할 수는 없으나 모니터링 목적으로 흡밀 식물을 설치하였을 때, 나비를 유인하는 효과가 있음을 확인하였다. 흡밀 식물을 방문한 나비 종으로는 남방노랑나비, 노랑나비, 네발나비, 암끝검은표범나비, 큰흰줄표범나비, 큰멋쟁이나비, 팔랑나비류가 방문하였다. 주로 평지에 서식하는 나비류로, 도심지에서도 흔히 볼 수 있는 종들이다. 남방노랑나비의 경우 남부지방에서만 발견되었으며 비수리에 산란을 하러 왔다가 흡밀 식물도 방문한 것이 사진 기록으로 확인되었다.

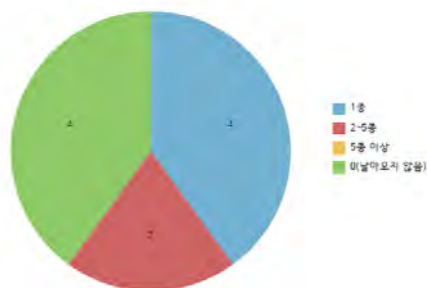


Fig.45 흡밀 식물 나비 비래 종 수

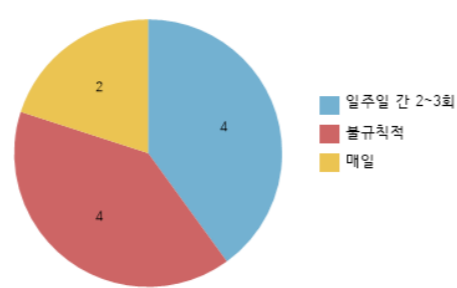


Fig.46 흡밀 식물 나비 방문 횟수

④ 남방노랑나비 먹이 식물 비수리(*L. cuneata*.) 관찰

먹이 식물인 비수리에서는 경상남도, 전라남도 지역 탐사팀 3팀이 비수리의 산란 및 번식 장면을 확인하여 기록하였다. 남방노랑나비의 비래 확률이 적은 수도권에서는 방문 기록이 없었다.

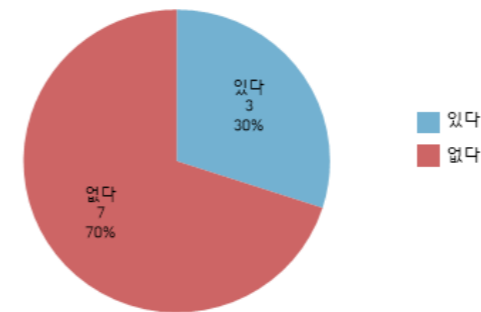


Fig.51 남방노랑나비 산란 확인

관찰지역	답변
서울	0
경기	0
경남 (거제)	1
전남(완도, 순천)	2

Table.23 먹이 식물 방문 지역

산란을 위해 비수리에 방문한 시기는 식재 직후인 8월부터 기록되었다. 완도군 기록으로 섬 전체에 남방노랑나비의 개체 수가 많기 때문으로 판단된다. 산란 횟수는 관찰기간 내 누대 횟수가 아닌 단순 산란장면 관찰 횟수를 나타낸다. 본래 노지 사육 방식으로 관찰하며 누대 횟수를 기록하는 것이 목적이었으나, 지원한 비수리의 크기와 수량이 작고, 일반 시민과학자가 나비를 누대 사육하기에는 어려울 것으로 판단하여 산란장면 관찰 횟수 기록으로 대체하였다. 향후 모니터링 참여자의 숙련도나 역량에 따라 누대 횟수를 판별하여 기록하는 것도 시도해 볼 만하다.

먹이 식물 식재실험을 통해 남방노랑나비의 생활사 주기가 알에서 성충 우화까지 약 21~23일이 소요되는 것으로 나타났다. 또한, 9월 말부터 10월 이후에 우화한 개체는 모두 월동형(열대지방에서는 건기형)으로 밝혀졌다. 월동형 개체는 이듬해 봄이 될 때까지 번식 활동을 중지하므로 남부지방에서는 당해 기후에 따라 생활사 주기상 연간 최대 7회까지 생활사가 이어질 수 있을 것으로 이론상 추정 가능하나.

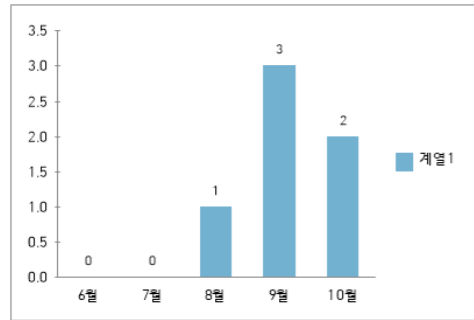


Fig.52 산란시기

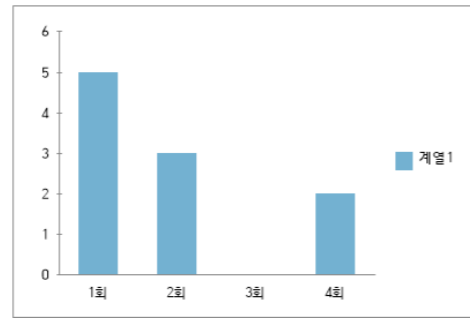


Fig.53 산란 횟수

다. 식물을 지원받았을 때 너무 어려 크기가 작고 흙밑 식물은 꽃이 적어 어느 정도 키운 후 모니터링 작업에 투입하여야 했다. 이 과정에서 매일 돌보기 힘들어 식물이 고사 직전까지 간 탐사팀도 있었고, 관찰 장소를 관리하는 인력에 의해 식물 화분이 철거된 경우도 있었다.

장소 섭외 시 도심지에서 시민들이 생태 모니터링을 할 경우, 사전에 장소를 섭외하고 모니터링이 원활히 이루어질 수 있도록 주변에 홍보를 하고 이해를 구하는 일이 수반되어야 할 것이다. 나비의 종을 구분하는 일도 초심자의 눈높이에서는 쉽지 않다는 의견도 있었다. 이는 연구자와 소통을 통해 종을 동정(Identification)받거나 연구자가 배포한 교육 자료 및 도감 등을 활용해 나비에 대한 공부를 하며 극복할 수 있을 것이다. 풀씨프로젝트 참여 팀원들의 건의사항으로, 시민과학풀씨 기록을 올릴 때 원하는 기록만 볼 수 있도록 프로젝트별로 탐사 기록의 분리가 필요한 점, 모니터링에 필요한 식물 지원 시 식물의 성장도에 대한 불만 사항 등이 건의되었다. 프로젝트 참여에 관한 만족도는 90%가 만족한다는 의견을 밝혔다.



Fig.47~50 흡밀 식물 (붓들레아)에 찾아온 나비 기록

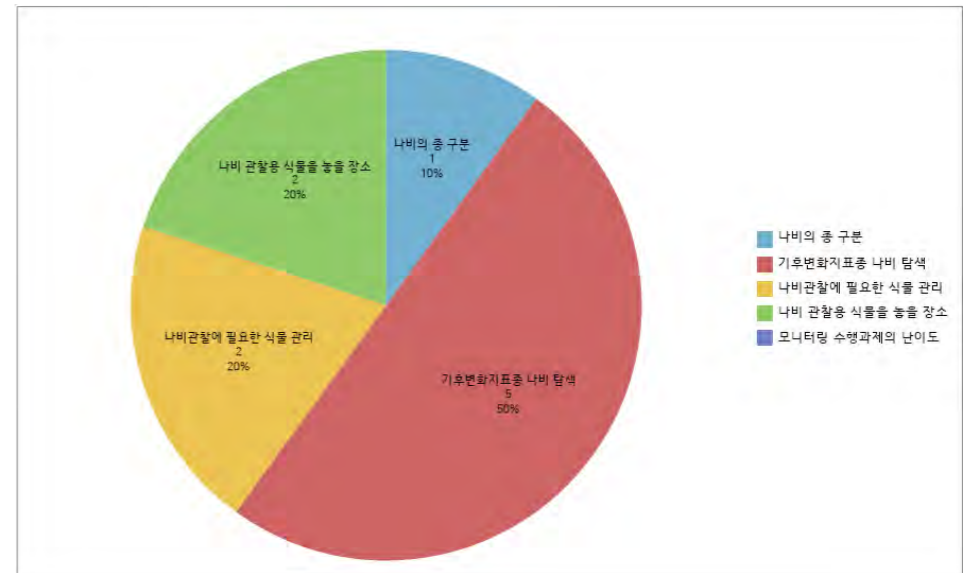


Fig.58

⑤ 실험 참여팀 소감 및 설문 분석

기후변화지표종 모니터링 수행 과제 시 어려웠던 점 중 가장 많은 의견은 역시 기후변화지표종을 찾는 것이 어렵다는 의견이었다. 답변자의 50%를 차지하였으며 다양한 지역에서 나온 의견인 것으로 보아 기후변화지표종을 표적 탐색하는 과정이 일반 시민에게는 쉽지 않은 도전 과제였다는 것을 반증한다. 두 번째로 식물 관리와 모니터링 장소를 선정하는 것이 어렵다는 의견이 각 20%로 동률을 이루었

3. 결론 및 고찰

시민과학플씨 프로젝트를 통해 시민과학이 주도하는 기후변화지표종 나비 모니터링 방안을 구상하여 실제로 적용한 결과, 시민과학의 수준에서도 충분히 전문 연구자들이 원하는 결과를 낼 수 있음을 알 수 있었다.

연구팀은 전국을 대상으로 탐사를 진행하여 기존 연구 자료에 대한 재현성을 필드에서 재확인하였으며, 기후변화지표종 나비의 새로운 기록을 추가하였다. 또한, 이동성이 강한 남방노랑나비와 물결부전나비의 분포 패턴을 통해 북상 시기에 내륙으로 비산할 때, 어느 정도 일정한 경로를 통해 북상한다는 것을 알 수 있었다.

본 연구에서 시민과학자들은 주위의 나비 모니터링을 통해 거주지 및 도심지의 나비상을 조사하고, 기후변화지표종을 탐색하는 역할을 수행했다. 단체 채팅 및 화상회의 앱을 통해 연구자-시민과학자 간 탐사 결과를 상시 공유하며 연구팀의 탐사만으로는 불가능한 전국 각지의 나비상에 대한 정보와 기후변화지표종 분포 자료를 얻을 수 있었다. 또한, 먹이 식물 및 흡밀 식물 식재 실험을 통해 식물 식재를 통한 나비 모니터링도 효과가 있음을 입증하였으며, 남방노랑나비의 생활사 관찰을 통해 연간 발생 횟수를 간접적으로 추정해볼 수 있었다.

본 연구의 모든 활동은 장기적인 코로나19 팬데믹 사태로 인해 비대면으로 이루어졌다. 대면 활동 없이도 모니터링 수행이 가능하며, 연구자-시민과학자 간 소통을 통해 충분히 연구자가 원하는 정보와 기록을 만들어 낼 수 있음을 본 연구를 통해 입증하였다. 향후, 모니터링 방안을 좀 더 체계적으로 개선하여 지속적으로 모니터링을 진행한다면 좀 더 가치있는 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대한다.

4. 개선안 및 제언

시민과학자들을 대상으로 연구 진행 시 각 팀의 역량과 탐사 수행 능력, 성과에 큰 편차가 나타나 연구를 진행함에 있어 큰 변수로 작용하였다. 프로젝트 진행자가 자신의 연구 목적이나 방향에 대해 시민과학자들을 충분히 이해시키지 못한다면 원하는 결과를 내기 어렵기 때문이다. 또한, 시민과학자들의 정제되지 않은 결과물들을 선별하고 해석하여 정량화하기 위해서는 프로젝트 진행자의 역량 강화도 필수적으로 수반되어야 할 것이다.

또한, 남방계 나비들로 지정된 기후변화지표종의 분포 특성상 대부분의 기록이 남부 지방에 편중되었다. 지역에 따라 모니터링 관점에 차별화가 필요할 것으로 판단된다. 남부지방에서는 성충 최초 발생 시기, 연내 최후 활동기 등 활동기와 발생 주기를 중점으로 할 필요가 있으며 중부, 내륙 지방에서는

북상 시기 및 북상 한계선, 월동 가능 여부를 중점적으로 모니터링 해야 할 것으로 사료된다. 중 별로는 남부지방에서는 남방노랑나비, 중부지방에서는 물결부전나비를 모니터링 하는 것을 추천한다.

올해는 프로젝트 종료 시점이 전년도보다 이른 탓에 늦은 시기까지 활동하는 기후변화지표종에 대한 데이터를 충분히 확보하지 못하였다. 기후변화지표종 나비의 생태적인 특성상 조사 기간 이외의 시기에 대한 기록이 꾸준히 이루어져야 할 것이며, 가능하다면 동절기에도 모니터링이 지속되어야 할 필요성이 있다.

설문조사 결과 지구사랑탐사대 기록 방식이 불편하다는 의견이 있었다. 시민과학플씨 프로젝트 기록란이 프로젝트별로 나뉘어 있지 않아 자료 검색이 용이하지 않았다는 의견이었으며, 연구자의 입장에서 데이터 추출 시 불편을 겪었다. 시민과학자가 활동하고 전문연구자와 소통하는 플랫폼이니만큼 이에 대한 개선이 필요할 것으로 판단된다.

본 연구는 이제 2년 차로 아직 지구 온난화에 따른 기후변화지표종 나비의 분포 변화에 대한 분석에 필요한 데이터가 아직 충분하지 않다. 최근의 중 분포 연구 경향인 모델링 프로그램을 활용하기 위해서 향후, 꾸준한 데이터 수집이 필요할 것으로 판단된다.

5. 향후 연구 과제

- 1) 시민 참여를 통한 자투리땅 가드닝으로 도심지의 나비상 및 기후변화지표종 모니터링
- 2) 이동성이 강한 남방노랑나비와 물결부전나비의 이동 시기 및 이동 경로 분석
- 3) 발견 횟수가 잦아지는 미접의 모니터링과 정착 가능성 연구
- 4) 장기 모니터링 이후 누적된 데이터를 통해 기계 학습을 기반으로 한 중 분포 모델링 기법을 적용하여 기후변화지표종 나비 7종에 대한 한반도 분포 변화 분석
- 5) 기후변화지표종 나비의 활동기 및 북상 시기에 영향을 끼치는 요인 분석

참고문헌

- 고재경 외 2020 『기후변화 적응을 위한 시민과학 활용 방안 연구』 경기연구원 보고서
- 권태성 2013 『한국나비의 분포변화』 국립산림과학원 한국산림휴양학회 P. 81-P. 81
- 권태성, 이철민 2015 『한국 나비상의 변화: 식생변화와 기후변화 영향의 검토』 2015 한국응용곤충학회 임시총회 및 추계학술발표회 P.128-128
- 권태성 2017년 『한국나비 분포변화분석』국립산림과학원 보고서
- 국립공원연구원 2014년 『기후변화가 생태계에 미치는 영향 모니터링 체계 구축(4차년)』국립공원연구원 발간자료
- 국립기상과학원 2018년 『한반도 100년의 기후변화』국립기상과학원 보고서
- 국립생물자원관 2019년 『우리 주변 생활 속 기후변화 생물지표종』 국립생물자원관 P.82-86, 142-143
- 김성수, 이철민, 권태성, 주흥재, 성주한 2012 『한국나비분포도감』 국립산림과학원 발간자료
- 김소이 외 3명 2016 『기후변화 수업이 초등학생의 환경 태도와 과학에 대한 흥미에 미치는 영향 - 2015 개정 교육과정 분석 결과를 바탕으로 -』 에너지기후변화교육 6권 2호
- 김수전 외 4명, 2013, 『기후변화가 평창강 금강모치의 생태서식 환경에 미치는 영향 평가』, 한국습지학회
- 박선욱 외 2명, 2019, 『산포능력을 고려한 기후변화 생물지표종의 미래 분포 변화 예측』, 한국기후변화학회
- 박성준 외 4인, 2015, 『도시 녹지공간의 곤충다양성』, 『한국환경생태학회지』, P.374-390
- 백문기·신유향, 2010, 『한반도의 나비』, 자연과생태
- 백문기·신유향, 2014, 『한반도 나비도감』, 자연과생태
- 송인주, 2013, 『시민참여형 기후변화 생물지표종 모니터링 시스템 구축』, 『서울연구원 보고서』
- 윤종학 외 7명, 2011, 『기후변화에 따른 한반도 후박나무의 잠재 생육지 및 변화예측』, 『한국환경생태학회지』, P.903-910
- 이상훈 외 2명, 2018, 『완도 나비 군집의 시간적 변화 및 다양성 연구』, 『한국도서학회』, P.211-223
- 임철희 외 1명, 2020, 『기계학습 기반 최근 기후변화에 따른 지표수종의 서식처 변화 규명』, 『Journal of Climate』, P.798-8-5
- 전혜영, 2014, 『한반도 기후변화에 따른 나비분포 변화에 대한 연구』, 이화여자대학교 환경공학과 대학원 석사학위 청구논문
- 정종철, 2012, 『곤충(나비류)을 활용한 기후변화 민감성 평가』, 『응용곤충학회 학술대회 논문집』, P.14
- 주흥재 외 5명, 2021, 『한반도의 나비』, 지오북
- 추헌철 외 1명, 2020, 『기후변화지표종 나비의 모니터링을 통한 한반도 기후변화 추이 분석-기후변화지표종 나비 종을 주제로 한 시민 참여형 모니터링』, 재단법인 숲과나눔 시민과학 풀씨1기 최종결과보고서
- 최세웅, 2019, 『우리나라 농촌경관에 서식하는 나비 모니터링 조사 방법 비교 연구』, 『한국환경생태학회지』,

P.82-87

- 홍성유 외 5인, 2011, 『지구 및 지역기후 모델 결과에 근거한 동아시아 및 한반도 지역기후 변화 전망 연구 소개 및 고찰』, 『한국기후변화학회』 Vol.2 No.42011.12 P.269-281
- Chris van Swaay, Alexander Harpke, Arco J. Van Strien, Benoit Fontaine, 2010, "The impact of climate change on butterfly communities 1990-2000", Butterfly Conservation Europe De Vlinderstichting
- Dina L. Kountoupes, 2008, "Citizen Science and Youth Audiences: Educational Outcomes of the Monarch Larva Monitoring Project", Journal of Community Engagement and Scholarship
- Gerard Talavera 외 4명, 2018, "Round-trip across the Sahara: Afrotropical Painted Lady butterflies recolonize the Mediterranean in early spring", Biology letters The Royal society publishing
- Harinath Palem et al., 2015, "Eco Biology and Life Cycle of the Pea Blue Butterfly, *Lampides boeticus* (Linnaeus) (Lepidoptera: Rhopalocera: Lycaenidae) from Southern Andhra Pradesh, India", South Asian Journal of Life Sciences, P14-21
- 네이처링, "www.naturing.net"
- 네이버 나비사진 동호회 풍계나무숲, "https://cafe.naver.com/nabiforest"
- 어린이과학동아, "https://kids.dongascience.com/"

주위의 밝기에 따른 매미 울음소리 연구

닥터구리

유다은 배재대 바이오의약학부, 최윤정 지구사랑탐사대 시민연구원

1. 서론

매미는 여름을 대표하는 곤충으로 종간의 뚜렷한 소리를 내며 나무의 수액을 흡즙한다. 우리나라에 서식하는 매미는 모두 12종으로 말매미, 참매미, 애매미, 쓰름매미, 유지매미, 풀매미, 털매미, 늦털매미, 소요산매미, 참깡깡매미, 세모배매미, 호줄매미 등이다. 우리 주위에서 흔하게 발견할 수 있는 매미 종으로는 말매미, 참매미, 유지매미, 쓰름매미, 애매미, 털매미로 약 6종으로 알려져 있다(이영준, 2005). 매미는 수컷이 번식을 위해 소리를 내며, 한 마리가 소리를 내기 시작하면 다른 매미들도 경쟁이라도 하는 듯 소리를 내서, 매미 소리는 일상생활에 방해가 될 만큼 소음도가 높다. 번식을 위해 우는 수컷 매미의 울음소리는 과도한 소음으로 도심 내 주민들의 일상생활에 큰 불편을 주고 있다. 도심에서 가장 흔하게 들을 수 있는 매미 소리는 말매미와 참매미 울음소리다. 매미 중 가장 울음소리가 큰 말매미는 자동차 도로 소음인 70dB을 넘어선다. 말매미 울음소리는 6kHz, 참매미 울음소리는 4kHz 주파수 대역으로 인간의 가청음 대역에 포함된다. 털매미는 7~9kHz 주파수로 귀가 따가울 정도의 높은 고음을 낸다. 말매미와 참매미는 서로 다른 시간대에 울음소리를 내는 특성이 있다. 말매미는 일반적으로 기온이 27도 이상 올라가는 오전 7시부터 오후 2시까지 소리를 내며, 참매미는 주로 온도가 낮은 새벽 시간대에 소리를 낸다.

매미는 주광성으로 밤에는 울지 않고 휴식을 취하는 곤충이다. 그러나 가로등이 환하게 밝혀진 지역에서는 밤에도 말매미, 참매미, 털매미, 애매미의 울음소리를 들을 수 있다. 매미가 울음을 시작하려면 매미의 체온이 일정 범위에 들어야 하고 매미는 종에 따라 울음소리를 내는 조도의 범위가 다르다(이영준, 2005). 야간에 들리는 매미 소리는 잠을 못 이룰 정도로 소음도가 높아 많은 민원이 제기되고 있다.

본 연구는 시민과학자들과 함께 매미 탈피각 채집 및 분류, 동정을 통해 매미의 출현 시기 및 우점

종, 시공간분포를 확인한 뒤, 도심에서 야간에 우는 매미의 환경요인 중 매미의 울음소리에 영향을 미치는 가로등, 간판, 인근 상가, 자동차 불빛, 아파트 불빛의 조도를 측정하고 매미가 울음소리를 내는 인공조도를 분석하여, 매미 소리에 대한 시민들의 인식 개선과 인간과 매미가 공존할 수 있는 방안을 찾고자 하였다.



〈그림1〉 야간에 우는 도시 말매미

1) 연구 방법

(1) 시민과학자 교육

① 온라인 강연 1회, 줌(ZOOM)을 이용한 화상미팅 3회, 교육자료 배부, 오픈 채팅방을 통해 시민과학자들에게 매미 생태 기본 교육, 조사지점 선정 방법, 매미 소리 녹음 및 조도계 사용방법, 조도 측정과 데이터 수집 방법에 대해 교육하였다.

〈표 1〉 시민대상자 교육 추진 일정

추진 과정	교육 일정	교육 내용
온라인 강연(유튜브 라이브)	5월 9일	매미 생태 기본 교육 조사 지점 선정 방법 매미 탈피각 분류 및 동정
ZOOM 미팅(1차)	6월 11일	매미 생태 교육, 매미 허물 벗기 관찰 매미 소리 녹음 및 주파수, 조도 측정
ZOOM 미팅(번개)	8월 3일	인공조도에 반응하는 매미 실험 조도 측정 방법
ZOOM 미팅(2차)	8월 25일	매미 탈피각 종동정과 분류법

② 시민과학자들은 매미가 서식하는 공원을 조사하여 야간 조명이 밝은 공원과 야간 조명이 어두운 공원 2군데를 조사지점으로 선정하였다.

③ 매미 탈피각을 채집하기 위하여 조사지점에서 임의로 나무를 정하고 리본을 매어 중심나무를 표시했다. 중심나무에서 줄자를 이용해 15M 거리를 측정하여 방형구 30M 내에 들어있는 중심나무와 기준 나무에 리본을 달아서 매미 탈피각을 채집할 나무를 표시하였다. 6월 4주에 방형구 30M 내에 있는 매미 탈피각을 수거하여, 작년 매미 탈피각이 남아 있을 가능성을 배제하였다. 매미 탈피각 채집은 포충망을 이용하여 지면에서 2.5M 높이까지 수거할 수 있는 탈피각만 채집하였다. 방형구 안의 수풀, 관목 등에 있는 매미 탈피각도 수거하여 기록하였다.

〈표 2〉 매미 탈피각 조사 지역 환경분석 예시

	주소	조사지점	조사방법 (방형구 30M)	주변 환경 특성
1	익산시 어양동 658 (어양공원)			- 5층 상가, 15층 아파트 - 8차선 대로변 인접 공원 - 가로등 6개 - 인근상가의 간판 밝음
2	익산시 익산대로 460			- 다양한 수종이 있는 공원숲 - 야간 조명이 없음

④ 시민과학자들은 야간 조명이 밝은 공원과 야간 조명이 어두운 곳을 조사하면서, 데이터 수집이 가능한 어린이과학동아 지구사랑탐사대 앱에 야간 매미 울음소리를 녹음하여 업로드하고, 주위 환경 사진, 조도 측정을 관찰하고 기록하였다. 가로등 지표면 150cm 높이에서 조도를 측정하고, 매미가 우는 나무의 지표면 150cm 높이에서 조도를 측정하였다. 가로등과 나무의 중간지점에서 같은 방법으로 조도를 측정하였다.



(2) 데이터 분석

① 매미 탈피각 채집

매미 탈피각 채집은 7월 1일에서 8월 30일까지 주 1회 수집하고 분류와 종동정을 하여 기록하였다. 매미 탈피각 출현은 7월 초이며 7월 중순에서 8월 초까지 가장 많이 발견했다. 8월 중순이 되면서 탈피각 개체 수가 점차 감소하였다. 수도권 지역에서는 말매미와 참매미가 우점종으로 나타났으며, 비수도권지역에서는 말매미, 참매미, 털매미, 애매미, 쓰름매미 등 다양한 매미가 출현하였다.

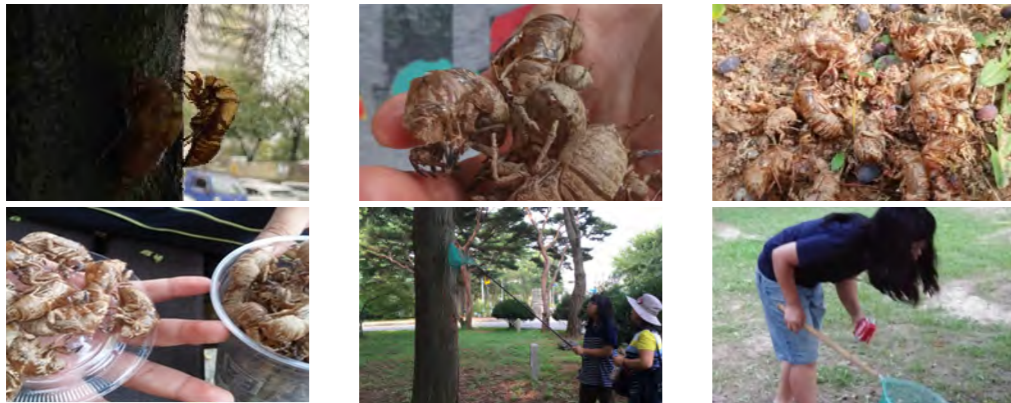


〈그림 3〉 매미 탈피각 비교

② 매미 탈피각 분류 및 종동정

매미 탈피각은 종마다의 형태학적 특징에 따라 차이가 있어 쉽고 빠르게 종동정이 가능하다. '매미 종 탈피각 형태학적 분류 동정키'(Lee et al, 2012)를 이용하여 분류 및 종동정을 하였다. 7월 중순에서 8월 초순까지 매미의 출현이 가장 높았다. 익산지역은 도심지역에서 말매미, 털매미가 우점종으로 나타났으며, 비도심지역에서는 쓰름매미, 소요산매미 등 다양한 매미종이 골고루 분포하는 것으로 분석되었다. 인구 밀집 지역이 숲, 시골보다 매미 개체 수가 4배 높았다. 연구에 참여한 시민과학자들이

사는 수도권에서는 말매미, 참매미가 우점종으로 나타났다. 수도권 지역에는 유지매미, 비수도권지역에서는 털매미의 개체 수가 높게 나타났다.



〈그림 4〉 매미 탈피각 채집

	6월			7월			8월			9월		
	초순	중순	하순	초순	중순	하순	초순	중순	하순	초순	중순	하순
말매미			○	◎	●	●	●	◎	◎	◎		
털매미			○	◎	●	●	●	◎	◎	◎	○	○
참매미				○	◎	●	●	◎	◎	○	○	○
늦털매미									○	○	○	○
애매미				○	◎	●	●	◎	○	○		
쓰름매미					◎	●	●	◎	◎	○		○

〈표 3〉 매미종별 나타나는 시기 ○개체 수 적음 ◎개체 수 보통 ●개체 수 많음

③ 인공 조도 분석

매미 울음소리는 7월 1일에서 8월 30일까지 주 2회 수집했다. 7월 1주는 매미가 관찰되지 않았고, 7월 2주부터 매미가 관찰되기 시작했다. 7월 3주에서 8월 1주까지 매미가 가장 많이 관찰되었으며, 8월 15일이 지나가자 매미 울음소리의 빈도가 점점 감소했다. 조도가 어두운 곳은 가로등 밝기 15.8(Lux), 나무 밝기 7.5(Lux), 가로등과 나무의 중간지점 밝기는 9.0(Lux)으로 측정되었다. 조도가 밝은 공원은〈그림 6〉 가로등 밝기 89.6(Lux), 나무 가로등과 나무의 중간지점 밝기는 57.6(Lux), 나무 밝기는 33.8(Lux)로 측정되었다. 조도가 어두운 곳과 밝은 곳에서 조도의 차이는 6배 이상 차이가 났다. 조도가 어두운 곳과 밝은 곳 모두 매미 울음소리가 들렸으며, 조도가 밝은 곳이 울음 발생 빈도가 높았다.

〈그림 5〉 조도가 밝은 곳 인공조도 측정(서울시 강서구)

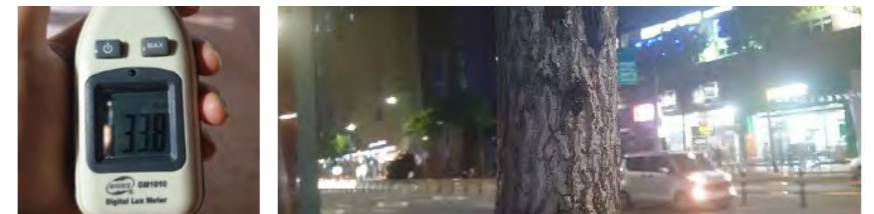
가로등 조도



가로등과 나무의 중간지점

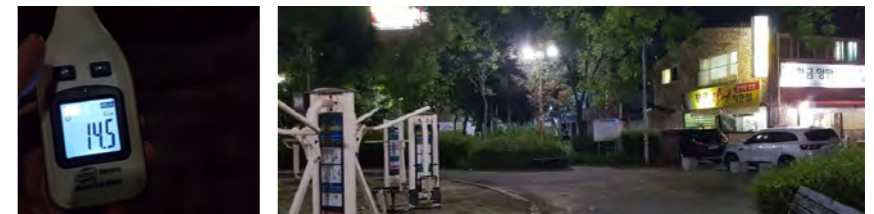


나무 (매미가 우는 나무)



〈그림 6〉 조도가 어두운 곳 인공조도 측정(익산시 어양동)

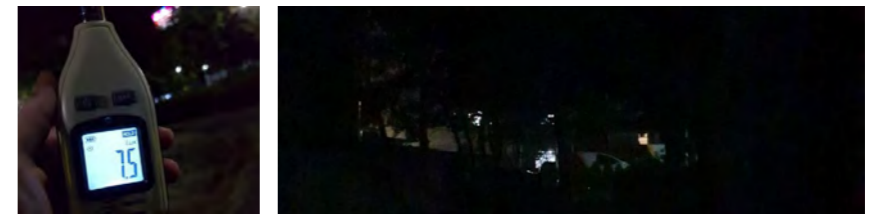
가로등 조도



가로등과 나무의 중간지점



나무 (매미가 우는 나무)



(3) 인공조도 실험

매미가 빛(조도)에 반응해서 울음소리를 내는지 알아보기 위해, 가로등, 인근 상가 등, 자동차 불빛이 전혀 없고 매미 밀집도가 높은 공원숲(익산시 신동 705-1)을 연구장소로 정하였다. 실험 재료는 백열구 조명, LED 조명, 조도계, 소음측정기를 사용했으며, 주위 소음이 없는 밤 10시부터 12시 사이에 실시했다. 실험에는 전기 공급용 차량 배터리를 연결한 조도 조절 장치(백열등, LED) 전구를 사용했다. 매미가 빛을 인지할 수 있도록 1m 높이의 실험대에서 나무 방향으로 백열등 0(Lux), 15(Lux), 30(Lux), 60(Lux), 90(Lux), 120(Lux)의 빛을 차례대로 5분 동안 비추었다. LED 조명도 동일한 조건으로 0(Lux), 15(Lux), 30(Lux), 60(Lux), 90(Lux), 120(Lux)의 빛을 5분 동안 비추었다.

〈그림 7〉 조도별 조명별 반응실험



LED 전구 조도 실험



백열구 전구 조도 실험

〈표 4〉 인공조도 실험 결과 불빛의 세기에 따른 소음도, 불빛을 비춘 시간은 모두 동일함

	불빛의 밝기(Lux)	불빛에 반응하는 매미	매미 소음도 측정(dB)
백열등	15		0
	30	말매미, 애매미, 털매미	83.5
	60	말매미, 애매미, 털매미	85.1
	120	말매미, 애매미, 털매미	83.4
LED	15		0
	30	말매미, 애매미, 털매미	85.2
	60	말매미, 애매미, 털매미	87.1
	120	말매미, 애매미, 털매미	85.3

(4) 야간 매미 울음소리 분석

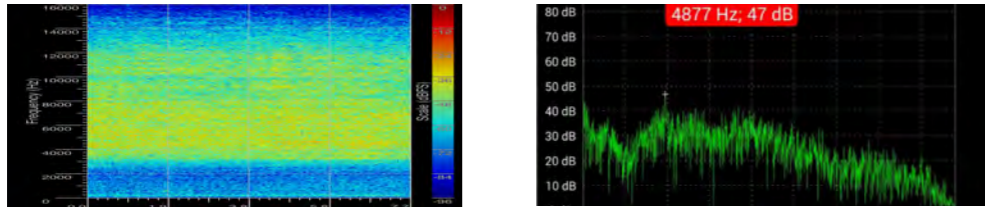
해가 질 때 매미가 울음을 그치는 시간과 해가 뜰 때 매미가 울음소리를 시작하는 시간, 야간에 우는 매미종과 울음소리 지속시간을 알아보기 위해 매미가 서식하는 나무에 녹음기를 설치하였다. 가로등이 없는 공원숲과 가로등이 있는 공원을 대조군으로 정하고, pm 21:00에서, 그 다음날 am 05:00까지 야간에 우는 매미 소리를 측정하였다. 녹음기는 매미 울음소리가 겹치는 것을 방지하기 위해 50m 이상 떨어진 4개의 지역에 설치했다. Gold wave 프로그램으로 매미 소리의 주파수와 파형을 분석하였다. 주변 자동차 소음과 곤충 소리(귀뚜라미)를 제외하고, 매미 소리가 들리는 구간을 모두 합해서 매미가 야간에 우는 시간을 분석하였다. 일몰 후 1시간, 일출 전 1시간에 들리는 매미 소리는 데이터 분석에서 제외하였다.



〈그림 8〉 녹음기 설치 지점

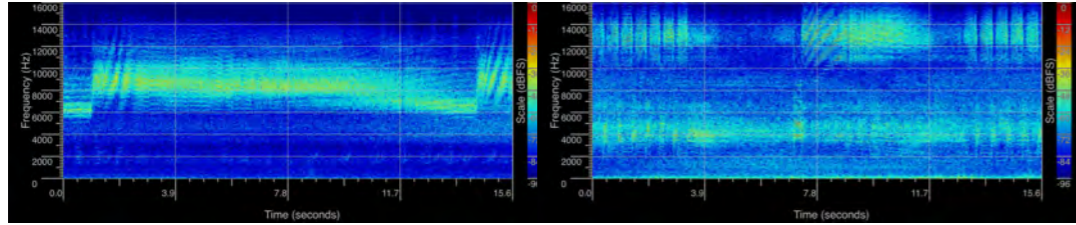
2) 결과

(1) 매미 울음소리는 아파트 인근 공원에서 가로등, 상가의 간판, 불빛, 자동차 불빛 등 인공 조명이 밝을수록 소음도가 더 컸으며, 조명이 어두운 곳에서는 소리가 많이 나지 않았다. 야간 조명이 밝은 곳은 말매미와 참매미의 울음소리가 65(dB)~72(dB)까지 측정되었다. 조도가 어두운 공원에서는 매미 울음소리 소음도는 50(dB)~ 65(dB)까지 나타났으며, 울음소리 지속시간은 조명이 밝은 곳보다 짧았다. 〈그림 10〉과 같이 가로등이 있는 공원에서는 밤에도 매미소리가 녹음되었다. Goldwave program으로 주파수를 확인했으며, 청음 확인 결과 소리를 내는 매미종은 말매미, 참매미, 털매미로 분석되었다. 가로등이 없는 공원숲은 해가 지면 조도가 0으로 측정되었다. 〈그림 11〉와 같이 해가 지는 7시 30분이 되면 일제히 매미 소리가 그쳤다. 밤새도록 매미 소리가 들리지 않았다. 해가 뜨는 새벽 5시 30분부터 말매미와 참매미 소리가 들렸다. 매미가 조도(빛)에 반응해 소리를 내는 것으로 분석되었다.



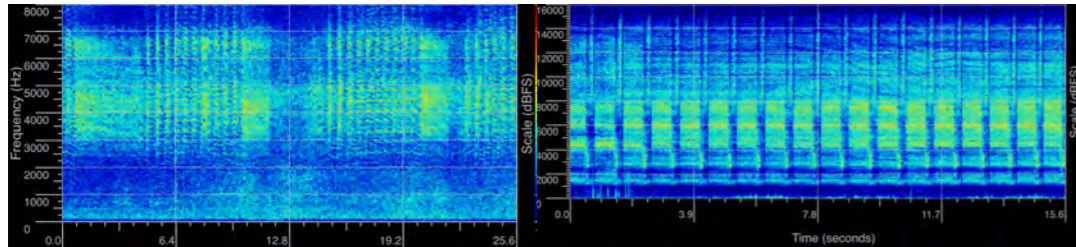
말매미

말매미, 참매미 주파수



털매미

참매미



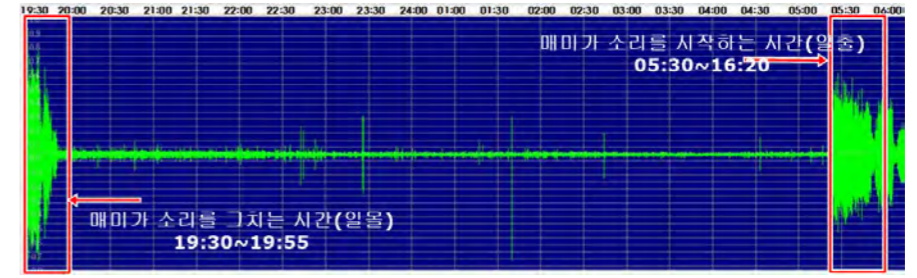
애매미

쓰름매미

〈그림 9〉 매미 주파수



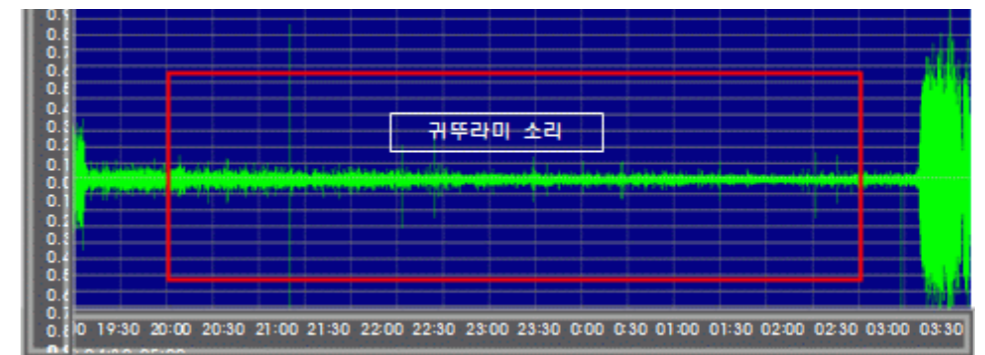
〈그림10〉 매미가 소리를 그치고 시작하는 시간 분석(가로등이 있는 공원)



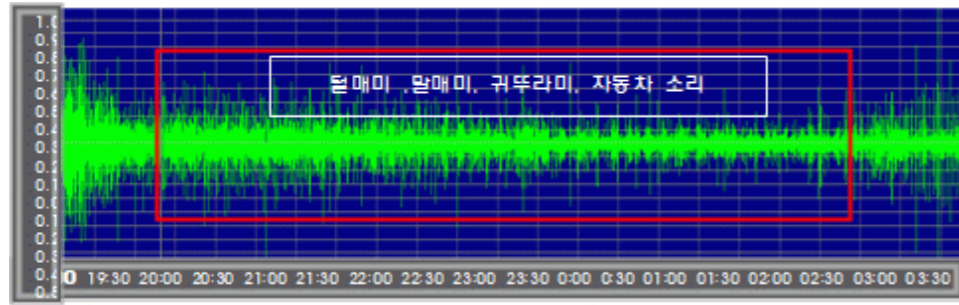
〈그림 11〉 매미가 소리를 그치고 시작하는 시간 분석(가로등이 없는 공원숲)

(2) 인공조명 실험에서 매미는 30(Lux)에서 반응해 울음소리를 냈으며, 빛에 반응해 한 마리가 울기 시작하면, 다른 매미들도 반응해 매미 울음소리 연쇄반응이 일어났다. 매미가 빛에 반응해 울기 시작한 뒤 조명을 끄고 25분이 지나도 매미 소리는 그치지 않았다. 조명을 끄고 30분이 지나자 매미 소리는 완전히 그쳤다. 백열등과 LED 전구 실험 결과, 백열등, LED 전구의 종류에 관계없이 30(Lux)에서 120(Lux)까지 빛에 반응해 울음소리를 냈다.

(3) Goldwave Program으로 주파수와 파형 분석을 하고, 가로등이 있는 공원에서 녹음한 파일(site 1, site 2, site 3, site 4,×6회) 24개를 청음으로 확인하였다. 가로등이 없는 공원숲에서 야간에 우는 매미 소리는 들리지 않았으며, 귀뚜라미를 포함한 풀벌레 소리만 녹음이 되었다. 가로등, 상가 간판 불빛, 자동차 불빛 등이 전혀 없는 공원숲에서는 매미가 울음소리를 내지 않고 휴식을 취하는 것으로 분석되었다. 가로등이 있는 아파트 인근 공원에서는 밤 9시부터 그 다음날 새벽 5시까지 8시간 동안 말매미와 털매미가 울음소리를 냈다. 밤새 매미 울음 시간은 최소 25분에서 185분 동안 녹음이 되었으며, 야간 조명이 밝은 곳에 있는 털매미가 말매미보다 2배 더 길게 소리를 냈다.



〈그림 12〉 가로등이 없는 공원숲 소리 녹음 파형 분석



〈그림 13〉 가로등이 있는 공원 소리 녹음 파형 분석

3. 결론

도심지역에 가장 많이 분포하고 있는 매미는 말매미와 참매미이며, 비도심 지역은 말매미, 애매미, 털매미, 참매미, 쓰름매미 등 다양한 매미종이 분포하는 것으로 조사되었다. 매미는 종마다 다른 언어를 가지고 있으며, 주요 활동 시간에 차이를 두며 소리를 낸다. 말매미는 오후에 가장 많이 울며, 참매미는 이른 새벽부터 울기 시작해서 해가 지기 전까지 하루 종일 소리를 낸다. 해가 지고 난 이후 도심 지역에 서식하는 말매미, 참매미는 울음소리를 그치지 않고 소리를 냈다. 매미 울음소리는 아파트 인근 공원에서 가로등, 상가의 간판, 불빛, 자동차 불빛 등 인공조명이 밝을수록 소음도가 더 컸으며, 조명이 어두운 곳에서는 소리가 많이 나지 않았다. 소음도 측정 결과 밝은 조명이 매미 울음소리를 증가시키는 것으로 나타났으며, 야간 조명이 밝은 곳에서는 말매미와 참매미의 울음소리의 빈도가 2배 더 많았다. 조도가 어두운 공원의 매미 울음소리 소음도는 50(dB)~ 65(dB)까지 나타났으며, 울음소리 지속시간은 조명이 밝은 곳보다 짧았다.

백열등과 LED 전구 실험 결과, 전구의 종류에 상관없이 30(Lux) 이상에서 매미는 빛에 반응해 울음소리를 내었다. 가로등이 전혀 없는 공원숲에서는 밤새도록 매미가 울지 않았다. 그러나 새벽에 해가 뜨는 시간이 되자 매미들이 일제히 울기 시작하였다. 매미는 빛이 있을 때만 소리를 내었으며, 저녁 시간이 되어 해가 지고 빛이 사라지자 다시 울음을 멈추고 소리를 내지 않았다.

야간에 우는 도시 매미는 인공조도가 높은 지역에 서식하는 매미들이다. 지속적인 모니터링으로 기후변화에 따른 도심 생태계와 매미 서식지 환경 변화를 연구하여 매미와 인간이 공존할 수 있는 환경을 조성해야 한다. 본 연구를 통해 시민과학자들은 자신이 사는 지역에 서식하는 매미종, 출현 시기, 시공간 분포 현황, 매미의 울음조건 등을 파악하였다. 매미가 밤에 울음소리를 내지 않고 쉴 수 있게

가로등은 갓을 썩워 불필요한 빛이 나무 위를 향하지 않게 만들고, 도심 상가, 공원 가로등의 조명은 곤충이 모여드는 네온등, 형광등보다 곤충의 유인이 낮은 전등으로 교체하는 방안을 마련할 수 있다. 가로등이나 공원 주변의 조명 광량을 줄여, 매미가 빛에 반응해 우는 것을 방지하여 매미와 함께 시민들이 공존할 수 있는 환경을 조성해야 한다.

올해는 비가 자주 오고 매미의 활동 시기가 다른 해에 비해 짧아 시민과학자들이 연구할 수 있는 기간이 다른 해에 비해 열악했다. 매미의 활동 시기 감소가 올해만 한시적으로 일어나는 것인지, 지속적인 현상인지 그 원인에 대해서는 추가 연구가 더 필요하다.

참고문헌

- 기경석, 김지연, 윤기상, 이재운, 2016, 『도심지 열대야 및 빛공해에 의한 매미 울음 영향』, 『한국환경생태학회지』, 30(4), 724-729.
- 김운재, 기경석, 2018, 『기후변화에 의한 참매미 번식울음 시기 변화 연구』, 『한국환경생태학회지』, 32(2), 244-251
- 강재연, 이희조, 정길상, 2015, 『도심 근린공원 내 서식하는 매미 발생과 기상인자와의 관계』, 『한국응용곤충학회 학술대회 논문집, 2015 한국응용곤충학회 임시총회 및 추계학술발표회』, 73-74
- 구진희, 서충열, 이재원, 최경희, 한진석, 2010, 『매미 울음소리의 음질 특성』, 『한국소음진동공학회 학술대회 논문집』, 한국소음진동공학회 2010년 추계학술대회 논문집, 546-54
- Gu, J. H., Lee, J. W., Lee, W. S., Choi, K. H., Seo, C. Y., Park, H. K., ... Han, J. S., "Sound Quality Characteristics of the Cicada Singing Noise in Urban Areas", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, 22(9), 2012, 825-829.
- 이영준, 『매미박사 이영준의 우리 매미 탐구』, 출판사 지오북, 2005, 34.
- 경향신문, 밤잠을 괴롭히는 매미울음소리, 알고보니 사람 탓, www.khan.co.kr, 2021년 10월 11일.
- 채널A, "'제발 잠 좀 자자' 매미 소리 커진 것도 폭염 탓", www.ichannela.com, 2018년 7월 26일.
- 중앙일보, "관악구 적고 잠실반포 많아, 매미 많은 지역들의 공통점", www.joongang.co.kr, 2018년 7월 21일.
- 전북도민일보, "열대야와 함께 불청객 된 매미울음", www.domin.co.kr, 2018년 8월 5일.
- MBC, "밤낮 가리지 않는 매미 울음소리, 그 이유는 도시화?", imnews.imbc.com, 2016년 8월 6일.
- 새전북신문, "폭염에 매미소리까지...왕짜증", www.sjbnews.com, 2014년 8월 6일.
- 조선일보, "번식기 맞은 매미 맹렬울음에 새벽잠 설쳐", chosun.com, 1999년 8월 11일.

한국에 서식하는 땅거미속(*Atypus*)의 계통학적 재정립

땅후루

김현구·정재욱 한림대학교 생명과학과, 임가운 서울대학교 농생명공학부 곤충학전공





1. 서론


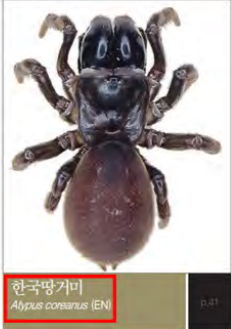
거미는 지구상에 약 4억 년 전 출현하였으며 지금까지 곤충과 함께 가장 번성한 동물이라고 할 수 있다. 전 세계적으로 거미의 계통분류학적 연구가 진행됨에 따라 2010년 기준 109과 3802속 41719 종에서, 10여년이 지난 2021년 10월 현재 129과 4232속 49713종으로 늘어났다. 거미의 분류체계는 거미강(Arachnida) 거미목(Araneae)에 속하며, 거미목은 옛실젖거미아목(Suborder Mesothelae)과 뒷실젖거미아목(Suborder Opisthothelae)으로 나뉘고, 뒷실젖거미아목은 다시 원실젖거미하목(Infracorder Mygalomorphae)과 새실젖거미하목(Infracorder Araneomorphae)으로 나뉜다. 이 중 새실젖거미하목을 제외한 나머지를 조상형질을 간직한, 소위 ‘원시거미’라 부른다. 우리가 한국에서 마주할 수 있는 대부분의 거미는 비교적 최근에 분화된 새실젖거미하목에 속하며, 원실젖거미하목에 속하는 땅거미과(*Atypidae*)의 땅거미속(*Atypus*)과 고운땅거미속(*Calommata*)이 국내 일부 서식한다.

본 연구에서는 한국에 서식하는 땅거미속(*Atypus*)에 초점을 맞추고 있다. 한국에 서식하는 거미 중 가장 오래 전 분기했으며, 생애주기의 대부분을 전대그물(purse-web)을 지어 땅 속에서 보내는 독특한 생활사를 가진 거미임에도 불구하고 국내 거미학자의 부재 등으로 많은 연구가 이루어지지 못했다. 한국에 서식하는 땅거미가 처음 발표된 이후(KIM 1985), 5종(광릉땅거미, 한라땅거미, 안동땅거미, 수원땅거미, 정읍땅거미)이 더 발표되고 1종(동국땅거미)이 동종이명 처리되어 총 6종(김승태, 이수연 2018)이 남기까지 종 간 유연관계나 분자계통학적 논문은 단 한편도 발간되지 않았다. 이러한 기초연구의 부족은 추후 여러 문제를 야기했다. 한국에 서식한다고 알려진 6종의 땅거미에 대한 정보가 부족하거나 출처가 명확하지 않아 국제연구의 샘플에서 종종 미포함 되었다. 그에 따라 기존에 한국 고유종으로 발표된 6종의 땅거미에 대한 지위도 불확실하다고 할 수 있다. 또한 분자계통학적 연구

가 진행되지 않은 상황에서 한국에 서식하는 땅거미들이 모두 외형적으로 뚜렷하게 구별되지 않는다는 점은 더 큰 혼란을 야기했다. 실제로 환경부는 땅거미의 개체 수 감소와 서식지 파괴를 인지하고 한국땅거미(*Atypus coreanus*)를 2012년 멸종위기 야생생물 관찰종으로 지정했다. 그러나 분류 자체가 정립되지 않은 상태에서 6종을 모두 같은 종으로 보고, 개체군 및 개체 수가 안정적으로 유지되고 있고, 외부 위협요인 또한 감소하였다고 평가하며 2017년 멸종위기 야생생물 관찰종에서 한국땅거미를 해제하였다. 현재 한국 멸종위기 야생생물 적색자료집에는 한국땅거미 1종이 포함되어 있지만, 어디까지가 한국땅거미인지, 과연 보호해야 하는 종이 한국땅거미인지 불확실하며, 제도적 보호력 또한 없다. 오히려 수원땅거미의 경우 국제적 멸종위기종이라는 내용이 기사화되어 수원청개구리와 함께 수원시 ‘7대 깃대종’에 선정되고, 초등학교 교육교재에 관련 내용이 포함되기도 했다. 문헌조사 과정에서 수원땅거미 신종 기재자와 국립생물자원관에 문의한 결과, 수원땅거미의 국제적 멸종위기종 지위는 유언비어임이 확인되었다. 이에 본 연구를 통해 한국에 서식하는 땅거미의 종을 명확하게 재정립하고 한국고유종을 밝히려 한다. 그리고 보호가 시급하다고 판단되는 특정 땅거미 종을 멸종위기 야생생물 관찰종 내지 멸종위기 야생 생물 지정하기 위한 발판을 시민과학자와 함께 만들고자 한다.

○ 관찰종 해제 : 4종 (곤충 2종, 무척추동물 1종, 식물 1종)

분류	종명	사진	해제사유	비고
곤충	개아길알집이		개체군 및 개체수 안정적으로 유지되고 있는 것으로 평가되며 외부 위협요인 또한 감소하여 해제	해제
곤충	말총벌		개체군 및 개체수 안정적으로 유지되고 있는 것으로 평가되며 외부 위협요인 또한 감소하여 해제	해제
무척추 동물	한국땅거미		개체군 및 개체수 안정적으로 유지되고 있는 것으로 평가되며 외부 위협요인 또한 감소하여 해제	해제
식물	장굴담초		생육지의 조립 정책 등으로 생육지 훼손 우려는 있으나 큰 영향은 없을 것으로 판단 번식이 활성화되고 개체수 및 개체군 증가가 확인	해제

〈그림1〉 순서대로 *Atypus sp.*의 전형적인 모습, 멸종위기 관찰종 해제자료, 적색자료집 EN등급 표기자료



2. 본론

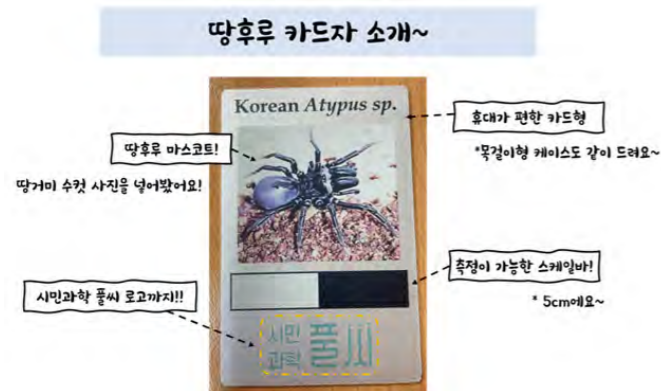
1) 시민과학자와의 협업

(1) 기초교육 및 지역 모니터링

시민과학자의 연구대상 이해와 데이터 수집에 도움을 주기 위해, 온라인 사전교육 2회와 인스타그램 라이브방송 1회, 현장교육 2회를 진행하였다. 15개의 시민과학자 팀(27명)에게 원시거미의 개념과 한국에 서식한다고 알려진 땅거미 6종, 고운땅거미와의 차이점, 생활사 및 생태, 사진 촬영법을 강의했다. 이후 각 지역에서의 야외 모니터링을 위한 scale-bar가 그려진 카드형 알루미늄 자, 코니컬튜브, 모기기피제 등을 담은 키트를 참여의사를 밝힌 모든 시민과학자 팀에게 발송했다. 또한 코로나 방역수칙에 따라 2회에 걸쳐 소수의 시민과학자와 함께 현장조사와 교육을 진행했으며, 지속적인 피드백과 소통을 위해 카카오톡 오픈채팅방을 운영했다.



〈그림3〉 좌측 상단부터 온라인 사전교육, 온라인 미팅, 좌측 하단부터 인스타그램 라이브방송, 현장교육

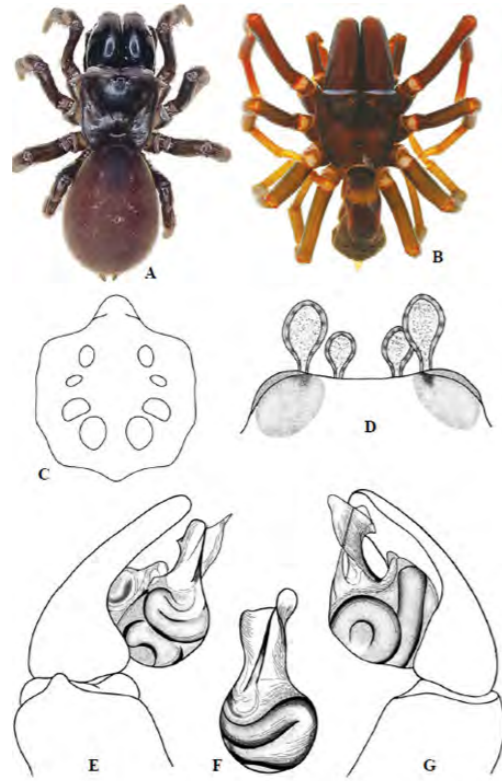


〈그림4〉 시민과학자에게 배부, 안내된 카드형 알루미늄 자

(2) 동정형질 발굴

시민과학자의 역량을 단순히 데이터를 수집하는 역할이 아닌 그 이상으로 이끄는 것을 목표로, 한 생물의 기재(Description), 동정(Identification), 명명(Nomenclature), 분류(Classification) 작업을 함께 진행하고자 했다. 특히 연구자의 문헌조사 데이터와 표본 데이터를 가지고 시민과학자와의 토론을 통해 동정형질(Morphological keys)을 발굴하는 과정이 활발히 이루어졌다. 기존에 한국에서 이루어진 땅거미의 분류는 형태적 분류이며, 전통적으로 성체의 생식기관과 배갑 모양으로만 동정이 이루어졌다. 그러나 이와 같은 형질은 단점이 명확했다. 암컷 내부생식기의 경우 직접 표본을 손상시켜 배 부분을 절개하고 속을 뒤집어야만 관찰할 수 있고, 수컷 외부생식기는 소용돌이 모양의 입체적 구조이기 때문에 사진이나 그림과 평면적 구조로 보았을 때 관찰자에 따라 여러 모양으로 관찰될 가능성이 있다. 그럼에도 불구하고 생식기는 종 간 생식적 격리를 뒷받침할 수 있는 유용한 구조적 형질이지만, 집단 내 성체의 개체 수가 적고 성장이 느려 관찰이 어렵다는 땅거미의 특징이 발목을 잡는다. 배갑 모양은 성장 정도에 따라 크기의 차이는 있지만 유체에서 성체까지 모두 홈 배열을 관찰할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 현재 학술지에 같은 종으로 분류된 개체끼리도 배갑 홈 배열이 다른 경우가 존재한다. 이것이 동정의 문제인지 형질의 다형성(Polymorphism) 문제인지 검토가 필요한 실정이다. 생식기와 배갑 홈을 포함해 시민과학자와 함께 선정한 최종 동정형질 후보는 아래와 같다.

- ① Male palp/Female spermathecae: 수컷 생식기 구조/암컷 내, 외부 생식기-수정낭 형태 및 개수
- ② Sternum sigillae: 배갑 홈의 형태(크기, 모양) 및 배열 위치
- ③ Body size: Carapace/Chelicera/Abdomen/Leg(length&width)
- ④ Carapace: 등갑의 형태. ex)사다리꼴, 앞변이 뒷변보다 길다 혹은 비슷하다.
- ⑤ Spinneret segment: PLS(Post-Lateral Spinneret)-실뿔 마디 개수
- ⑥ Coloration: 개체의 색에 따른 분류
- ⑦ Eyes: 각 눈의 간격, 배열
- ⑧ Chelicera: 독아의 형태(크기, 모양)
- ⑨ Fang: 독니의 형태(크기, 모양)
- ⑩ Spine: 가시털의 분포정도와 배열



〈그림5〉 한국땅거미(*Atypus coreanus*)의 전통적 동정형질들. A. 암컷 성체, B. 수컷 성체, C. 배갑 홈, D. 암컷 내부생식기, E, F, G. 수컷 외부생식기의 각도별 그림 (김승태, 이수연 2018)

- NIBRIV0000080368
- NIBRIV00000872761
- NIBRIV0000080370

② 국립중앙과학관 표본

- NSMK_SMPL_00000000023505
- NSMK_SMPL_00000000023506
- NSMK_SMPL_00000000023507
- NSMK_SMPL_00000000023508
- NSMK_SMPL_00000000023509
- NSMK_SMPL_00000000023510
- NSMK_SMPL_00000000023511
- NSMK_SMPL_00000000023503
- NSMK_SMPL_00000000023504
- NSMK_SMPL_00000000043650
- NSMK_SMPL_00000000053355
- NSMK_SMPL_000000000474180

2) 연구자의 데이터수집 및 분석

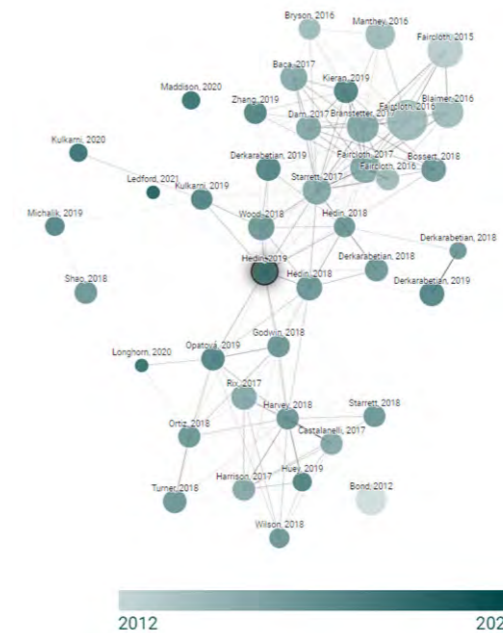
(1) 문헌조사, 표본조사

본격적인 현장 탐사에 앞서 땅거미속과 땅거미과를 다룬 국내문헌을 전수조사하고, 근연종을 다룬 해외문헌 또한 검토했다. 또한 국내의 각 기관에서 보관 중인 땅거미 표본의 소재를 파악하여 개인 소장 및 행방을 알 수 없는 표본이나 기준표본을 제외하고, 열람이 가능한 국가기관(국립생물자원관, 국립중앙과학관)에서 공식적으로 표본을 관찰했다. 확인 결과 표본은 대부분 성체 단계의 개체였으며 상태 또한 대체로 잘 보존되었다. 그러나 오래전 기탁된 표본이 많아 유실 표본이 일부 존재했다. 기관별 열람 대상 표본은 아래와 같다.

① 국립생물자원관 표본

- NIBRIV0000239529
- NIBRIV0000080369

〈표1〉 조사에 활용한 해외문헌 Network graph





〈그림6〉 국립중앙과학관 표본 취합자료, 현미경 관찰 사진



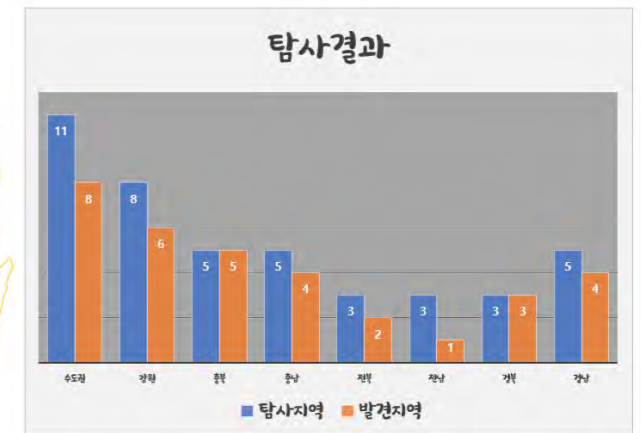
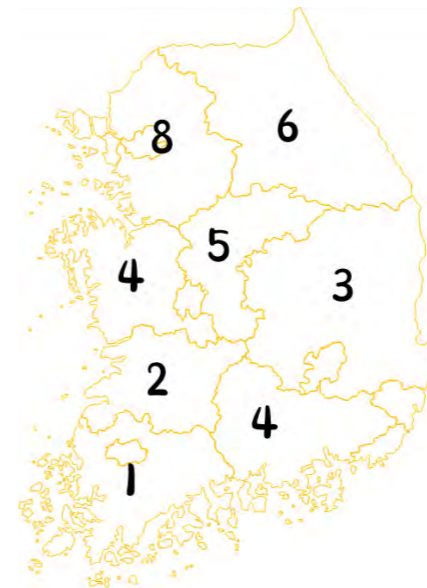
〈그림8〉 땅거미의 전대그물 발견 시 카드형 알루미늄 자를 이용한 촬영

(2) 현장 탐사

문헌조사에서 기록이 확인된 지역과, 땅거미 6종에 대한 모식산지(예봉산, 수원, 정읍, 안동 등)를 위주로 현장에서 관찰, 촬영 및 샘플링이 이루어졌다. 그 다음, 땅거미의 서식에 적합한 생태, 환경적 요건을 데이터화하고 정립하여 이와 유사한 조건을 가진 전국의 다양한 지역에서 탐사를 진행했다. 생물학적 지표는 아니지만 행정지역상 서울, 경기, 강원, 충남, 충북, 전남, 전북, 경남, 경북에서 모두 1지점 이상 서식지를 발견하여 땅거미 관찰에 성공했으며, 제주도 지역은 본 프로젝트 시작 이전 연구진이 사전에 탐사했다.



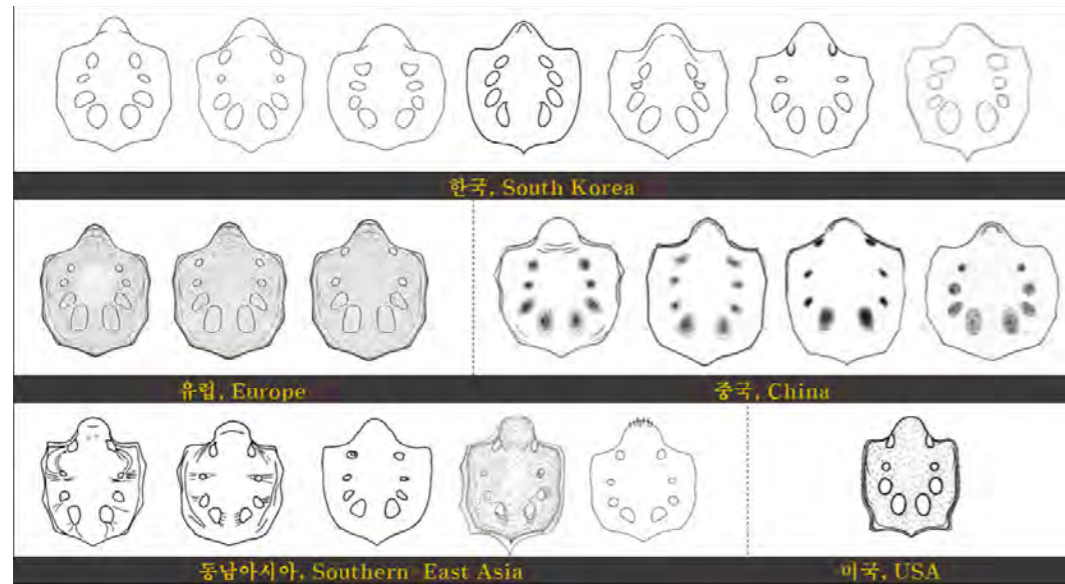
〈그림7〉 현장 탐사 사진



〈표2〉 2021년 전국 탐사기록

(3) 형질비교, 동정형질 선정

현장 탐사 시 생태와 환경적 형질을 기록하고, 샘플링이 이루어진 개체들은 현미경으로 외형적 형질을 기록했다. 사진으로 기록된 형질들은 국립생물자원관과 국립중앙과학관 표본 데이터와 합산 후, 객관적인 연구를 위해 개체의 서식산지를 블라인드 처리했다. 이후, 문헌조사에서 기존에 주로 사용되었던 동정형질과 시민과학자와의 토론으로 선정된 동정형질, 연구자가 새로 발굴한 동정형질을 기준으로 블라인드된 사진데이터를 다양하게 분류하여 분자계통학적 분석 전 임의동정을 했다. 또한 국내에 서식하는 땅거미뿐 아니라 해외에 서식하는 땅거미의 형질도 비교분석했다.



〈그림9〉 한국과 해외 땅거미속의 형질비교 예시

(4) 분자계통학적 분석

지역별로 샘플링한 개체에서 미량의 조직을 채취해 DNA를 추출했다. 같은 산지의 표본이 여러 개체 있을 경우 표본방식에 따라서는 액침표본-건조표본 순으로, 성숙 정도에 따라서는 아성체-유체-성체 순으로 샘플을 선정했다. 액침표본이 건조표본보다 DNA수율이 더 높았으며, 현미경으로 형질을 관찰하기에도 더 용이했다. 완전히 성숙한 성체는 크기가 가장 커서 확인할 수 있는 형질이 다양한 주요표본이고, 유체는 원하는 DNA수율을 얻기 위해선 표본 전체를 갈아야 하는 부담이 있다. 이러한 이유로 아성체 표본이 샘플 선정에 가장 선호되었다. 샘플로 선정된 표본은 멸균된 도구를 사용해 배부분을 제외한 나머지(주로 다리마디)를 일부 채취했다. 배 속의 장관에는 다른 미생물이나 먹잇감의

잔해와 같은 이물질이 섞여있을 가능성이 있기 때문이다. DNA는 여러 가지 키트를 활용하여 추출했으며 Nano drop과 Qubit Fluorometer로 수율을 확인했다. PCR(polymerase chain reaction)을 위한 타겟 유전자는 문헌조사를 통해 1차 선별 후(CO1, 28S, 16S, ND1, H3, 12S, ITS, Actin 등), 실험적 결과를 통해 재선정했다. 염기서열 시퀀싱 이후 최종 계통수를 얻기까지의 전반적인 실험 과정은 아래와 같다.

① 표본 처리

각 개체를 라벨링하여 80% 이상의 에탄올에 넣어 -80도에 보관한다.

② 분자계통학적 비교를 위한 DNA추출

거미의 DNA 추출은 시료의 양에 따라 QIAGEN의 Gentra Puregene Kit, QIAamp DNA Mini Kit, DNeasy Blood&Tissue Kit를 사용했다.

③ DNA의 특정 유전자지역 증폭

ex)분자계통학적 비교에 주로 쓰이는 미토콘드리아 CO1유전자의 약 658bp지역을 LCO1490과 HCO2198 프라이머를 이용해 PCR한다.

LCO1490 (5'-GGTCAACAAATCATAAAGATATTGG-3')

HCO2198 (5'-TAAACTTCAGGGTGACCAAAAAAT-3')

④ PCR증폭 여부를 확인하기 위한 전기영동

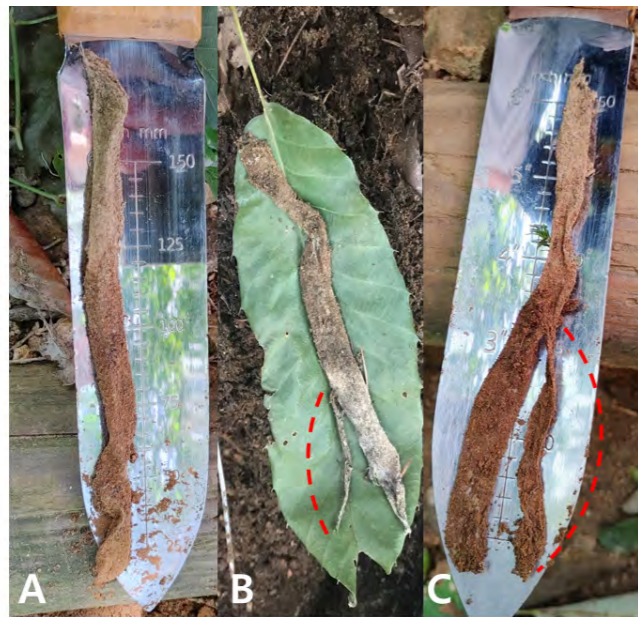
목표하는 유전자 지역의 증폭 여부를 확인하기 위해 전기영동 결과 원하는 사이즈의 band가 뜨는 것을 확인한다.

⑤ Sequencing결과를 이용한 계통수 작성

-PCR product를 Sanger sequencing한다(본 연구에서는 Macrogen사 이용).

-Sequencing을 통해 얻어진 염기서열 정보에 대한 오류검토 후, 컴퓨터 프로그램으로 비교하여 여러 가지 모델에 기반해 최적화된 계통수를 작성한다.

형태적 형질을 분자계통수와 비교해 재평가했을 시에도 유의미한 결과가 있었다. 계통수 상 3개의 OTU(Operational Taxonomic Unit)를 위에서부터 A, A', B 그룹이라고 했을 때, 배갑 형질로 A/A' 그룹과 B그룹을 구분할 수 있었다. 그러나 서로 같은 공통조상을 가진 A와 A'는 구별하지 못했다. 3종을 모두 구별하진 못하지만 B종을 확실히 동정할 수 있는 형질인 것이다. 수컷 성체의 생식기 형질의 경우, OTU 간 약간의 차이는 있었지만 각도에 따른 변화가 극심해 유용한 형질로 판단하기엔 이르다는 결론을 내렸다. 2종 이상이 혼재하는 서식지가 존재하기에 분포 지역으로 종을 구분하는 것도 한계가 있어 보인다. 다른 형태 형질 후보들은 개체 사이즈가 작아 관찰이 어려운 경우가 많아서 추후 데이터 확보가 필요하다. 추가적으로 전대그물 제작 방식이나 탈피껍질 처리 방식, 짝짓기 기간 등의 생태적 후보형질도 발굴하여 검토 중이다.



〈그림12〉 전대그물 제작 방식의 차이. A. 일반적인 전대, B. 작은 옆갈래 전대, C. 큰 옆갈래 전대

2) 한계점

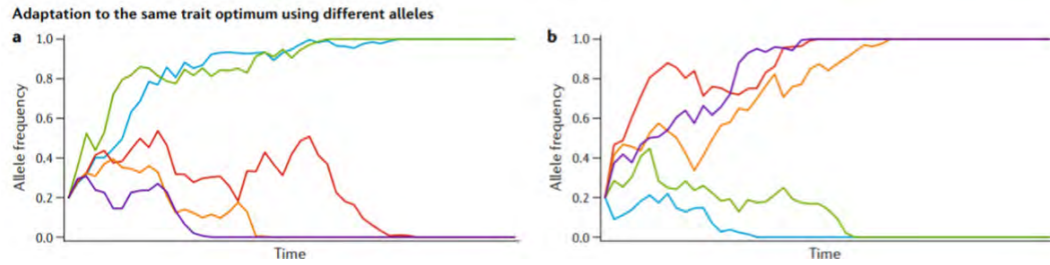
본 프로젝트에서 예상하지 못했던 가장 큰 한계점은 시민과학자와 함께하는 시간의 부족이었다. 관찰하기 어려운 땅거미의 특성상 연구자와 함께하는 현장교육이 필수적인데, 매달 코로나19에 따른 사회적 거리두기 정책이 강화되어 대부분 온라인상으로 교육이 이루어졌다. 많은 시민과학자들이 탐사에 나섰지만 우려한 것처럼 땅거미의 전대그물 발견에 어려움을 느꼈다. 프로젝트 특성상 수 개월의 제한된 시간도 시민과학자가 충분한 탐사를 하기에는 부족함이 있었다.

다른 한계점은 연구결과의 데이터량 부족이다. 전국적으로 30사이트가 넘는 지역에서 샘플링이 이루어졌지만, 분자계통학적 실험에 쓰인 샘플의 수는 이에 미치지 못했다. 실험에 쓰이는 키트와 시퀀싱 비용이 예상보다 상당히 들어가서이다. 결과의 신뢰성을 위해 한 사이트당 한 개체가 아닌 여러 개체를 실험에 사용해야 한다는 것을 감안하면 데이터의 폭은 더욱 줄어들 수밖에 없다. 추후 남은 샘플들에 대한 실험을 진행해 데이터를 보완하여 정식 학술지에 투고할 계획이다.

3) 고찰

(1) 생물학 연구의 새로운 지평

땅거미 연구는 새로운 은밀종(cryptic species)연구이다. 은밀종이란 말 그대로 유전적으로는 다른 종이지만 외형적 형질이 거의 같은 '숨은 종'이다. 분자계통학적 연구가 활발히 이루어지면서 은밀종이 종종 발견되고 있는데, 이는 생물 다양성 그 이상의 의미를 가진다. 은밀종은 비교적 가까운 시간에 공통조상으로부터 분기한 자매종인 경우가 많다. 즉, 종 분화를 더 가까이 높은 해상도로 볼 수 있다는 뜻이다. 이러한 은밀종들에 대한 연구는 종 분화 메커니즘 자체에 대한 '진화 모델 생물' 연구로 이어진다. 또한 종 간 경계설정(species delimitation)의 확립기준에도 영향을 줄 것이다. 이렇게 눈에 보이지 않았지만 보전유전학적으로 독립적인 가계를 가진 생물을 보호하여 유전적 다양성을 자연적으로 유지할 수 있다. 은밀종은 유전형이 표현형에 미치는 다유전자 적응에 대한 연구에도 큰 도움이 된다. 최근의 연구들은 유전형이 달라도 표현형이 얼마든지 같을 수 있다는 것을 보여준다(김준 2020). 서로 다른 대립유전자의 조합이어도 비슷한 환경에 적응하고, 시간이 지나면 같은 형질 최적값에 도달한다. 이처럼 새로운 은밀종 발굴은 생물학 자체의 지평을 넓히는 데 기여할 수 있다.



〈그림13〉 서로 다른 조합의 대립유전자가 결국 형질 최적값에 동일하게 도달할 수 있다.(Barghi, N, 2020)

땅거미 자체에 대한 연구는 또 다른 생물을 연구하는 발판이 된다. 해외에서는 거미를 애벌레에게 줄 먹이로 삼는 대모벌에 대한 연구가 어느 정도 이루어져 있다. 그 중 땅거미를 사냥하는 대모벌도 있다. 땅거미에 대한 상세한 계통적, 생태적 연구 없이는 이들의 연구도 이루어질 수 없고, 실제로 거의 연구된 바가 없다. 한국에도 땅거미잡이대모벌(*Aporus unicolor*)이라는 이름으로 기록이 남아있다. 한국에 서식하는 땅거미 연구가 진행된다면 한국의 땅거미를 사냥하는 땅거미잡이대모벌의 독특한 생태도 밝혀낼 수 있을 것이다.



〈그림14〉 미국의 대모벌류(*Aporus hirsutus*)가 땅거미류(*Aptostichus simus*)를 사냥하는 모습

(2) 멸종위기종

현재 대한민국의 ‘야생생물 보호 및 관리에 관한 법률’에 따르면 법적 효력으로 보존할 수 있는 최소 단위는 ‘종’이다. 아직 계통학적 연구가 되지 않아 종으로 인정받지 못한 은밀종의 경우 애매한 상

황이 벌어질 수 있다. 외형적으로 하나의 종으로 보이는 은밀종이 포함된 그룹이 멸종위기종으로 지정되어 있는지 아닌지에 따라 은밀종의 운명은 좌우된다. 보호받을 필요가 불충분함에도 법적 보호를 받거나, 멸종이 코앞임에도 비슷하게 생긴 종의 개체 수가 많다는 이유로 보호를 받지 못할 수 있다. 사실, 이미 인지되지 않은 사례가 수없이 존재할 것으로 보인다. 보전단위가 하나의 종 수준인 것과는 별개로 이미 연구가 잘 되어있는 종, 대중에게 인지도가 있는 종이 멸종위기종 지정에 주요한 요건인 것도 한계점이다. 멸종위기종 혹은 관찰종으로 지정받기 위해선 ‘멸종위기 야생생물 지정 청원서’를 작성해야 한다. 주요 항목을 보면 분류, 생활사, 분포, 분포 변화양상 등이 있는데, 사실상 연구가 상세히 되지 않은 종은 이러한 정보를 알기 어렵다.

〈그림15〉 멸종위기 야생생물 지정 청원서

땅거미는 다른 대부분의 거미들과 마찬가지로 유사비행을 하지만 이동성이 크지 않고, 부모세대가 서식한 자리 인근에서 다음 세대를 이어나간다. 그래서 한 개체가 하나의 전대그물을 짓고 독립적으로 살아가지만, 전체적으로 보면 일정 범위 안에 집단으로 서식하는 것이 대부분이다. 그 집단에서 몇 마리가 성체로 성장하느냐가 다음 세대의 집단 크기를 결정한다. 그러나 땅거미가 성체까지 무사히 자랄 생존률은 높지 않고, 성장속도 또한 매우 느린 편이다. 이러한 이유로 집단의 크기는 굉장히 다양하다. 한 산의 나무 밑동마다 전대그물을 발견할 수 있을 정도로 안정적인 대형 집단이 있는가 하면, 아무리 찾

아도 몇 개체가 보이지 않는 집단도 있다. 작은 집단은 근친교배의 가능성이 높아지고, 시간이 흐를수록 유전적 다양성이 떨어져 더 작은 집단이 되며, 이것이 반복되면 한 집단의 소실로 이어지게 된다. 만약 모든 집단이 이런 상황에 놓인다면 그 종은 결국 멸종에 이르게 된다. 탐사 결과 한국의 몇몇 지역에서 오랜 세월 동안 성공적으로 대형 개체군을 유지한 집단을 발견할 수 있었다. 이런 집단에서부터 다양한 이유로 떨어져 나온 것으로 생각되는 작은 개체군들이 주변 지역에서 발견되었다. 분자계통학적 분석 결과 이렇게 오래전에 이주한 개체군 중 일부가 고립된 지역에서 유전적으로 독립적인 집단을 형성하고 지금까지 유지한 것을 확인할 수 있었다. 이 집단들이 소실된다면 앞으로 또 다른 은밀종으로 분화할 유전적 가능성 또한 없어지는 것이며, 이는 땅거미 종들 전체의 미래에도 영향을 미친다. 본 연구를 통해 정책적 보호의 법적 효력을 하나의 종이 아닌, 종 내의 집단으로 변경하기를 제안하는 바이다.

참고문헌

- Pedersen, A. A., & Loeschke, V. Conservation genetics of peripheral populations of the mygalomorph spider *Atypus affinis* (Atypidae) in northern Europe. *Molecular Ecology*, 10(5), 2001, 1133–1142.
- Řezáč, M., Řezáčová, V., & Pekár, S. The distribution of purse-web *Atypus* spiders (Araneae: Mygalomorphae) in central Europe is constrained by microclimatic continentality and soil compactness. *Journal of Biogeography*, 34(6), 2007, 1016–1027.
- BEAVIS, A. S., SUNNUCKS, P., & ROWELL, D. M. Microhabitat preferences drive phylogeographic disparities in two Australian funnel web spiders. *Biological Journal of the Linnean Society*, 104(4), 2011, 805–819.
- Videgar, N., Toplak, N., & Kuntner, M. Streamlining DNA Barcoding Protocols: Automated DNA Extraction and a New *cox1* Primer in Arachnid Systematics. *PLoS ONE*, 9(11), 2014, e113030.
- Vera Opatova, Chris A Hamilton, Marshal Hedin, Laura Montes De Oca, Jiří Král, Jason E Bond. Phylogenetic Systematics and Evolution of the Spider Infraorder Mygalomorphae Using Genomic Scale Data. *Systematic Biology*, Volume 69, Issue 4, July 2020, 2020, 671–707
- Hedin M, Derkarabetian S, Alfaro A, Ramírez MJ, Bond JE. Phylogenomic analysis and revised classification of atypoid mygalomorph spiders (Araneae, Mygalomorphae), with notes on arachnid ultraconserved element loci. 2019.
- Buzatto, B. A., Haeusler, L., & Tamang, N. Trapped indoors? Long-distance dispersal in mygalomorph spiders and its effect on species ranges. *Journal of Comparative Physiology A*, 207(2), 2021, 279–292.
- Hendrixson, B. E., & Bond, J. E. Testing species boundaries in the *Antrodiaetus unicolor* complex (Araneae: Mygalomorphae: Antrodiaetidae): “Paraphyly” and cryptic diversity. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 36(2), 2005, 405–416.
- Hedin, M., & Bond, J. E. Molecular phylogenetics of the spider infraorder Mygalomorphae using nuclear rRNA genes (18S and 28S): Conflict and agreement with the current system of classification. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 41(2), 2006, 454–471.
- Bond, J. E., & Hedin, M. A total evidence assessment of the phylogeny of North American euctenizine trapdoor spiders (Araneae, Mygalomorphae, Cyrtaucheniidae) using Bayesian inference. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 41(1), 2006, 70–85.
- Ayoub, N. A., Garb, J. E., Hedin, M., & Hayashi, C. Y. Utility of the nuclear protein-coding gene, elongation factor-1 gamma (*EF-1γ*), for spider systematics, emphasizing family level relationships of tarantulas and their kin (Araneae: Mygalomorphae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 42(2), 2007, 394–409.

- Hamilton, C. A., Formanowicz, D. R., & Bond, J. E. Species Delimitation and Phylogeography of *Aphonopelma hentzi* (Araneae, Mygalomorphae, Theraphosidae): Cryptic Diversity in North American Tarantulas. *PLoS ONE*, 6(10), 2011, e26207.
- Bond, J., Hamilton, C., Garrison, N., & Ray, C. Phylogenetic reconsideration of *Myrmekiaphila* systematics with a description of the new trapdoor spider species *Myrmekiaphila tigris* (Araneae, Mygalomorphae, Cyrtaucheniidae, Euctenizinae) from Auburn, Alabama. *ZooKeys*, 190, 2012, 95–109.
- Arabi, J., Judson, M. L. I., Deharveng, L., Lourenço, W. R., Cruaud, C., & Hassanin, A. Nucleotide Composition of CO1 Sequences in Chelicerata (Arthropoda): Detecting New Mitogenomic Rearrangements. *Journal of Molecular Evolution*, 74(1–2), 2012, 81–95.
- Bond, J. Phylogenetic treatment and taxonomic revision of the trapdoor spider genus *Aptostichus* Simon (Araneae, Mygalomorphae, Euctenizidae). *ZooKeys*, 252, 2012, 1–209.
- Bond, J. E., Hendrixson, B. E., Hamilton, C. A., & Hedin, M. A Reconsideration of the Classification of the Spider Infraorder Mygalomorphae (Arachnida: Araneae) Based on Three Nuclear Genes and Morphology. *PLoS ONE*, 7(6), 2012, e38753.
- Opatova, V., Bond, J. E., & Arnedo, M. A. Ancient origins of the Mediterranean trap-door spiders of the family Ctenizidae (Araneae, Mygalomorphae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 69(3), 2013, 1135–1145.
- Castalanelli, M. A., Teale, R., Rix, M. G., Kennington, W. J., & Harvey, M. S. Barcoding of mygalomorph spiders (Araneae : Mygalomorphae) in the Pilbara bioregion of Western Australia reveals a highly diverse biota. *Invertebrate Systematics*, 28(4), 2014, 375.
- Řezáč, M., & Heneberg, P. Conservation status of the only representative of infraorder Mygalomorphae (Araneae) in cultivated regions of Central Europe. *Journal of Insect Conservation*, 18(4), 2014, 523–537.
- Opatova, V., & Arnedo, M. A. From Gondwana to Europe: inferring the origins of Mediterranean Macrothele spiders (Araneae : Hexathelidae) and the limits of the family Hexathelidae. *Invertebrate Systematics*, 28(4), 2014, 361.
- Kuntner, M., Xin, X., Liu, F., Chen, J., Ono, H., & Li, D. A genus-level taxonomic review of primitively segmented spiders (Mesothelae, Liphistiidae). *ZooKeys*, 488, 2015, 121–151.
- Kornilios, P., Thanou, E., Kapli, P., Parmakelis, A., & Chatzaki, M. Peeking through the trapdoor: Historical biogeography of the Aegean endemic spider *Cyrtocarenum Ausserer*, 1871 with an estimation of mtDNA substitution rates for Mygalomorphae. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 98, 2016, 300–313.
- Wheeler, W. C., Coddington, J. A., Crowley, L. M., Dimitrov, D., Goloboff, P. A., Griswold, C. E., ... Zhang, J. The spider tree of life: phylogeny of Araneae based on target-gene analyses from an extensive taxon sampling. *Cladistics*, 33(6), 2016, 574–616.
- Harrison, S. E., Harvey, M. S., Cooper, S. J. B., Austin, A. D., & Rix, M. G. Across the Indian Ocean: A remarkable example of trans-oceanic dispersal in an austral mygalomorph spider. *PLOS ONE*, 12(8), 2017, e0180139.
- Godwin, R. L., Opatova, V., Garrison, N. L., Hamilton, C. A., & Bond, J. E. Phylogeny of a cosmopolitan family of morphologically conserved trapdoor spiders (Mygalomorphae, Ctenizidae) using Anchored Hybrid Enrichment, with a description of the family, Halonoproctidae Pocock 1901. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 126, 2018, 303–313.
- Harvey, M. S., Hillyer, M. J., Main, B. Y., Moulds, T. A., Raven, R. J., Rix, M. G., ... Huey, J. A. Phylogenetic relationships of the Australasian open-holed trapdoor spiders (Araneae: Mygalomorphae: Nemesiidae: Anaminae): multi-locus molecular analyses resolve the generic classification of a highly diverse fauna. *Zoological Journal of the Linnean Society*. 2018.
- Huey, J. A., Hillyer, M. J., & Harvey, M. S. Phylogenetic relationships and biogeographic history of the Australian trapdoor spider genus *Conothele* (Araneae: Mygalomorphae: Halonoproctidae): diversification into arid habitats in an otherwise tropical radiation. *Invertebrate Systematics*. 2019.
- Ferretti, N. E., Soresi, D. S., González, A., & Arnedo, M. An integrative approach unveils speciation within the threatened spider *Calathotarsus simoni* (Araneae: Mygalomorphae: Migidae). *Systematics and Biodiversity*, 2019, 1–19.
- Xu, X., Kuntner, M., Bond, J. E., Ono, H., Ho, S. Y. W., Liu, F., ... Li, D. Molecular species delimitation in the primitively segmented spider genus *Heptathela* endemic to Japanese islands. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 2020, 106900.
- Barghi, N., Hermisson, J., & Schlötterer, C. Polygenic adaptation: a unifying framework to understand positive selection. *Nature Reviews Genetics*, 21, 2020, 769–781
- 김 준, 2020, 『양성 선택을 이해하기 위한 통합적 개념틀, 다유전자 적응』, BRIC View 2020–R32
- 전형배, 2020, 『생명 다양성 보전에 활용되는 보전유전학 연구동향』, BRIC View 2020–T25
- 김승태, 이수연, 2018, 『Invertebrate Fauna of Korea. Volume 21, Number 45, Spider IV. Arthropoda: Arachnida: Araneae: Atypidae, Anapidae, Ctenidae, Hahniidae, Miturgidae, Liocranidae, Trochanteriidae.』, 『National Institute of Biological Resources』, 21(45): 9–21
- 김주필, 1985, 『A new species of Genus *Atypus*(Araneae: Atypidae) from Korea』, 『Korea Arachnol.』
- 김주필&김병우, 1996, 『한국산 땅거미 속(*Atypus*)의 분류학적 연구』, 『Korea Arachnol.』, 12(2): 55–66
- 남궁준, 1986, 『A new species of the Genus *Atypus* Latreille, 1804(Araneae: Atypidae) from Korea.』, 『Acta Arachnologica』, 35(1): 29–33
- 김주필, 예성훈, 노광래, 2015, 『한국산 땅거미 속(*Atypus*)의 1 신종』, 『Korea Arachnol.』, 31(2): 45–51

시민과학을 통한 제주도에 서식하는 풀매미(*Tettigetta isshikii*)의 분포현황 및 서식지 특성

매미는 찻칫

허지만·서민호·이도영 제주대학교 생물학과

1. 서론

생태계는 지구상에 존재하는 생물군의 집합으로 생태계 내 생물들은 서로 상호작용하며 살아간다. 생물다양성은 육지, 수생 및 기타 복잡한 생태계에서 발생하는 유기체의 다양성으로 정의되며 종 다양성, 유전적 다양성, 생태계 다양성을 포함한다. 건강한 생물다양성은 인류의 생존, 번영 그리고 존속에 다양한 도움을 준다. 하지만, 최근 많은 지역에서 생물다양성이 빠르게 감소하는 추세이다(Raven, 2011). 이와 같이 세계적으로 감소하는 생물다양성은 인류의 성장과 경제의 성장을 저해하는 요인이다(Chopin, 2000).

매미는 울음소리를 내는 곤충으로서 한국에서는 여름을 대표하는 종이다(Nguyen et al, 2019). 매미는 긴 시간을 유충으로 땅 속에서 보내며 2~4주 내지의 짧은 시간을 땅 위에서 성충으로 보낸다(MS. Moulds, 1990). 성충 수컷의 울음소리는 주로 종 특이적인 생식 신호로 암컷을 유혹하기 위해 사용된다. 한국에서 초지 생태계에 서식하는 매미의 생태는 아직 알려진 바가 없다. 또한 실제로 몇몇의 매미는 최근에서야 서적을 통해 생태가 알려졌다.

한국에는 매미아과, 좀매미아과 2개의 아과 하위 분류군에 약 12종의 매미가 서식하는 것으로 알려져 있다. 대부분의 매미아과는 도심지에 서식하며 일부 좀매미아과에 해당하는 종은 고산지대와 초지에 서식한다. 풀매미는 한국에서 가장 작은 매미로 한반도 및 중국 동북부, 극동러시아 등지에 분포한다(Lee, 2005). 이들은 저고도에서 고고도까지 다양한 고도에 서식하며 체색이 검정색, 녹색, 황색 등 다양하게 나타난다. 풀매미는 이동성이 적고 초지에 서식하기 때문에 개체군 크기의 감소가 우려되는 상황이다.

제주도는 한반도 남부에 위치한 섬으로 한국에서 가장 규모가 큰 섬이며 가장 높은 산인 한라산이 있어 고도 범위에 따라 다양하고 독특한 식생분포로 이와 함께 다양한 동식물들이 서식한다(Hong et al, 2021). 이번 연구에는 시민과학을 활용하였는데, 서식지 범위가 넓으면 조사 반경이 넓어 연구 진행이 어려울 수 있지만 시민과학을 활용하여 대규모의 현장조사를 수행함으로써 생태조사 연구 범위의 규모를 증가시킬 수 있다(Dickinson et al, 2010). 이번 조사를 통해 시민들에게 풀매미라는 생소한 종에 대해 알림과 동시에 국내 자연 환경에 대해 보전의식을 이끌어내고자 한다. 또한 과학적 연구를 함께 참여하여 연구에 대한 거리감을 좁히고자 한다. 궁극적으로 이번 연구를 통해 시민들의 매미에 대한 부정적 인식 개선과 이들의 보전에 기여하고자 한다. 본 연구는 제주도의 풀매미의 집중적인 현장조사의 결과로써 2021년 여름 풀매미의 분포범위와 서식지 특성을 보고한다.

2. 본론

1) 연구방법

(1) 전수조사(Complete enumeration)

풀매미(*Tettigetta isshikii*)는 주로 깨끗한 초지에서 서식하며 제주도를 포함한 한반도 전역에 국지적으로 분포한다. 이들의 분포조사를 위한 초지 선정은 네이버 위성지도와 구글 위성지도를 이용해 풀매미의 서식이 예상되는 지역을 선정했다. 2021년 5월 31일부터 2021년 8월 10일까지 풀매미가 활동하는 시간대인 오전 9시부터 오후 7시까지 제주도 94곳에서 분포조사 및 서식지 조사를 진행했다. 분포 조사 시 개체 서식 여부는 울음소리의 여부 및 포충망을 사용한 개체 채집으로 확인했다. 또한 서식지 특성을 확인하기 위해 고도(SUNROAD FR510)와 온·습도(BENTECH GM1360A)를 측정하였으며, 풀매미의 기주식물의 존재 여부를 조사했다.



그림 1. 연구대상종 풀매미

그림 2. 풀매미의 서식지 전경



그림 3. 서식지 고도 및 온습도 측정

(2) 표본조사(Sample survey)

제주도 분포를 확인한 후에는 2021년 7월 17일부터 2021년 8월 10일까지 최고 고도 및 최저 고도인 서식지에서의 개체 소멸시기를 확인했다.

(3) 시민과학조사(Citizen science survey)

① 온라인 교육



그림 4. 2021년 5월 18일 풀매미 서식지 탐사에 대한 온라인 교육

- Zoom을 이용한 현장교육 사전교육 : 7월 중으로 시행될 현장교육에 앞서 정보와 유의할 점 등 사전교육을 온라인으로 진행했다.
- 제주도 서부공설묘지 현장교육 대체 온라인교육 : 코로나19의 급격한 확산으로 현장교육이 취소되었고 이로 인해 현장교육은 온라인으로 전환되었다.

② 시민과학자들의 연구 수행

시민과학자들의 연구 수행은 미리 제공한 예상 서식지 및 서식지를 방문하여 서식을 확인하고 확인되면 검증을 위한 울음소리 녹음 및 서식지 형태 파악을 위한 사진/동영상 촬영을 하여 위치 정보와 함께 연구자에게 제공하는 방식으로 진행했다.

2) 연구결과

(1) 분포조사

풀매미 조사는 프로젝트 시작 전 기존의 탐사를 통해 이미 알고 있던 일부 서식지를 중점으로 탐사를 시작했다. 2021년 5월 31일부터 2021년 8월 10일까지 총 94개의 지역을 조사했고 6월 19일 제주시 영평동 112-2에서 최초 출현을 확인했다. 5월 초순에 출현하는 통상적인 육지의 출현시기보다 약 6주 정도가 늦다.

표 1. 전수분포조사. 제주시 18곳과 서귀포시 6곳에서의 서식이 확인되었다.

	조사지역	고도(m)	위도	경도	개체서식 확인방법	
					울음소리	채집
1	제주시 월평동 112-2	393m	33°26'54.7"N	126°34'43.2"E		○
2	제주시 영평동 2090-1	253m	33°27'54.8"N	126°34'06.7"E	○	
3	제주시 연동 1216	252m	33°27'16.6"N	126°29'23.6"E		○
4	제주시 해안동 산128	294m	33°26'41.9"N	126°27'45.1"E	○	
5	제주시 연동 938	199m	33°27'49.1"N	126°30'00.4"E	○	
6	제주시 애월읍 봉성리 산66-2	409m	33°21'47.1"N	126°21'17.9"E	○	
7	제주시 애월읍 어음리 1149	213m	33°24'52.1"N	126°20'54.2"E	○	
8	제주시 애월읍 상가리 213	234m	33°25'28.2"N	126°21'59.0"E	○	
9	제주시 한림읍 금악리 1224	283m	33°21'04.1"N	126°18'16.5"E	○	
10	제주시 한경면 저지리 1421-2	131m	33°20'06.7"N	126°14'40.6"E	○	
11	제주시 아라동 2548-1	148m	33°28'56.9"N	126°33'50.7"E	○	
12	제주시 삼양일동 44	47m	33°30'57.3"N	126°36'33.4"E	○	
13	제주시 화천동 760	54m	33°30'50.1"N	126°36'55.9"E	○	
14	제주시 조천읍 대흘리 2051-1	97m	33°30'31.1"N	126°39'17.2"E	○	
15	서귀포시 성산읍 삼달리 2104-1	128m	33°23'11.7"N	126°49'20.4"E		○
16	서귀포시 표선면 하천리 1043-2	60m	33°20'44.9"N	126°49'47.8"E		○
17	서귀포시 남원읍 신흥리 1535	64m	33°18'44.7"N	126°44'24.7"E	○	

18	서귀포시 남원읍 한남리 산76-7	203m	33°19'33.8"N	126°40'42.3"E	○	
19	서귀포시 상호동 1927	424m	33°18'22.8"N	126°34'04.3"E	○	
20	제주시 아라일동 1	324m	33°27'09.3"N	126°33'28.1"E	○	
21	서귀포시 대정읍 영락리 35-1	31m	33°16'00.8"N	126°13'42.6"E		○
22	제주시 한경면 조수리 3408	67m	33°18'21.4"N	126°13'06.6"E	○	
23	제주시 한경면 판포리 922	63m	33°21'37.7"N	126°12'54.0"E		○
24	제주시 조천읍 선흘리 1988-9	263m	33°28'23.9"N	126°42'05.4"E	○	

94개의 조사 지역 중 24곳(제주시 월평동 112-2, 남원공설묘지, 제주시 조천읍 선흘리 1988-9, 널개오름, 제주시 한경면 조수리 3408, 서귀포시 대정읍 영락리 35-1, 제주대학교, 서귀포시 상호동 1927, 서귀포시 남원읍 신흥리 1535, 하천리공동묘지, 본지오름, 제주시 조천읍 대흘리 2051-1, 신촌 공동묘지, 삼양공동묘지, 화북공동묘지, 제주시 한림읍 금악리 1224, 제주시 한경면 저지리 1421-2, 제주시 애월읍 상가리 113, 광지리공동묘지, 새별오름, 제주시 연동 938, 제주시 해안동 산128, 서부 공설묘지, 제주시 영평동 2090-1)에서 서식을 확인했고 고도 및 온습도 자료 등을 수집했다. 제주시 18곳 서귀포시 6곳으로 이번 조사를 통해 풀매미의 서귀포시 분포를 처음으로 확인했다.

(2) 최고 및 최저 서식고도

최고 서식고도는 424m(서귀포시 상호동 1927, 1번 검정색 원), 최저 서식고도는 31m(제주시 삼양 일동 44, 2번 검정색 원)로 나타났다. 소멸 시기는 7월 말에서 8월 초 사이에 울음소리 및 개체 채집

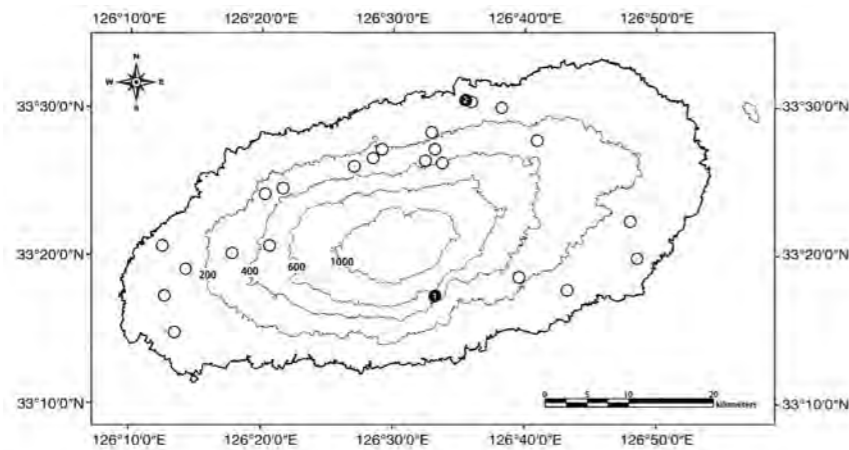


그림 5. 조사지역. 흰색 원은 서식이 확인된 지역, 검정색 원은 서식이 확인되었고 소멸시기를 조사한 최고 고도(1) 및 최저 고도(2) 지역

으로 조사했으며 7월 29일~8월 9일 사이에서 두 지역 모두 발견되지 않은 것으로 보아 그 사이인 8월 초가 개체 소멸시기로 예상된다.

(3) 서식 고도 분포

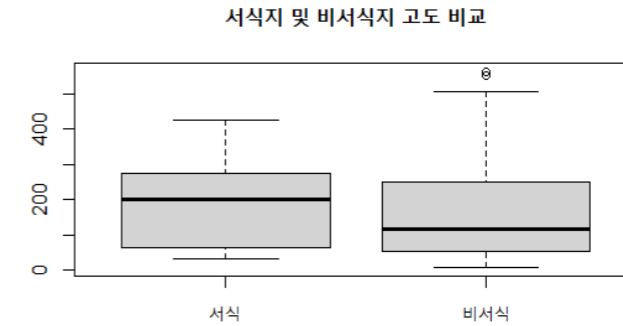


그림 6. 서식지 및 비서식지 고도 비교

서식지 평균 고도는 193.1m(소수점 둘째 자리에서 반올림)이고 표준편차는 122.1(소수점 둘째 자리에서 반올림)이다. 비서식지 평균고도는 167.3m(소수점 둘째 자리에서 반올림)이고 표준편차는 138.5(소수점 둘째자리에서 반올림)이다. 비서식지의 평균고도가 서식지 평균고도보다 25.8m 더 낮다.

(4) 서식지 온습도

서식지의 온습도 측정을 위해 해당 장소에서의 온도와 습도를 기록하였으며, 풀매미의 서식지에서 온도는 평균 29.8°C에 표준편차는 1.96이며, 습도는 평균 70.21%에 표준편차가 8.27이었다.

반면 비서식지의 경우 온도는 평균 29.54°C에 표준편차는 1.35이고, 습도는 평균 73.73%에 표준편차는 10.72로 나타났다.

(5) 서식지 및 비서식지 간 서식지 영향 요인 비율 비교

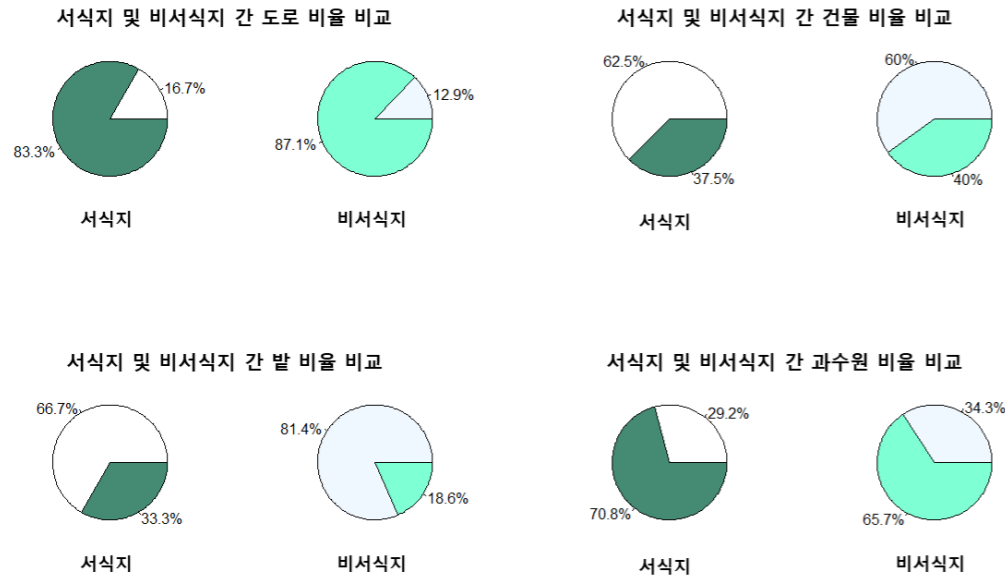


그림 7. 서식지 및 비서식지 간 서식지 영향 요인 비율 비교

서식지 특성 조사를 위해 풀매미 서식 여부에 영향을 끼치는 주변 환경에 대해서도 조사를 진행하였다. 이를 위해 조사지역 반경 100m 이내의 도로, 건물, 밭 그리고 과수원의 여부를 조사하였으며, 이를 서식지와 비서식지로 구분한 뒤 그 비율을 분석하여 주변 환경이 풀매미 서식에 영향을 끼치는지 추론하였다. 첫 번째로 한 번 비행 시 이동거리가 약 5m 정도로 짧은 풀매미의 특성을 고려하여 풀매미의 이동을 제한할 것으로 생각되는 3차선 도로 여부를 조사하였다. 조사 결과 풀매미 서식 지역에서 3차선 도로 비율은 16.7%, 비서식지에서 도로 비율은 12.9%로 도로 유무와 풀매미 서식 여부 사이에서는 유의미한 관계가 없는 것으로 나타났다. 두 번째로 생태계에 전반적인 영향을 끼치는 건물의 여부도 조사하였다. 그 결과 풀매미 서식 지역의 건물 비율은 62.5%, 비서식 지역에서의 건물 비율은 60%로 건물의 유무와 풀매미의 서식 여부 사이의 관계는 없는 것으로 나타났다. 또한 밭과 과수원 여부를 조사하여 이를 풀매미 서식 비율과 비교하였는데 밭의 경우 서식 지역 66.7%, 비서식 지역은 81.4%에서 밭이 있는 것으로 나타났으며, 과수원의 경우 서식 지역 29.2%, 비서식 지역 34.3%에서 과수원이 있는 것으로 나타났다. 따라서 밭과 과수원 또한 풀매미의 서식과 유의미한 상관관계가 없는 것으로 나타났다.

(6) 서식지 유형

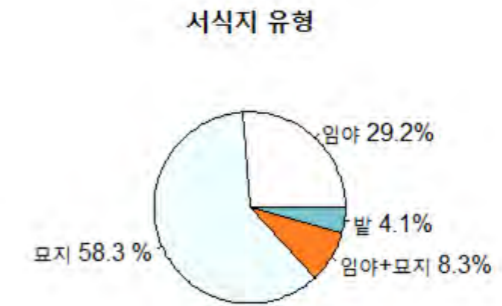


그림 8. 서식지 유형. 소수점 둘째 자리에서 반올림하였다.

서식지 유형조사에서는 서식지 유형이 묘지인 지역의 비율이 58.3%로 가장 많았고 임야 29.2%, 임야와 묘지가 함께 있는 서식지가 8.3%, 밭 4.1% 순으로 나타났다. 따라서 제주도에 서식하는 풀매미의 주된 서식지는 묘지임을 알 수 있다. 서식지 유형별 다양한 특징을 관찰할 수 있었는데 묘지의 경우 굉장히 협소한 묘지부터 면적이 넓은 공설공동묘지가 서식처가 되기도 하고 산 중턱의 제주대학교 한복판의 굉장히 규모가 작은 풀숲, 태양광 패널 아래의 풀숲, 목장까지 다양했다.

묘지 58.3%에서 공설공동묘지의 정기적인 관리가 덜한 특성이 풀매미의 넓은 서식 공간 확보에 큰 도움을 주는 것으로 보인다. 묘지 서식지 14개 중 12개가 공설공동묘지에 해당할 정도로 그 비율이 높다.



그림 9. 묘지 서식지(서귀포시 성산읍 삼달리 2104-1)와 임야 서식지(제주시 회천동 760)의 모습

묘지 서식지의 경우 초지 면적이 넓고 기주식물이 많은 반면 임야 서식지는 면적이 상대적으로 작고 도로가 있으며 인위적인 건물들이 보인다.

따라서 묘지라는 환경이 풀매미의 서식지 비율에 가장 많이 차지하는 것을 볼 수 있으며 다른 생태적 요인보다 가장 중요한 요인이 되는 것으로 보인다.

(7) 고도에 따른 서식지 수

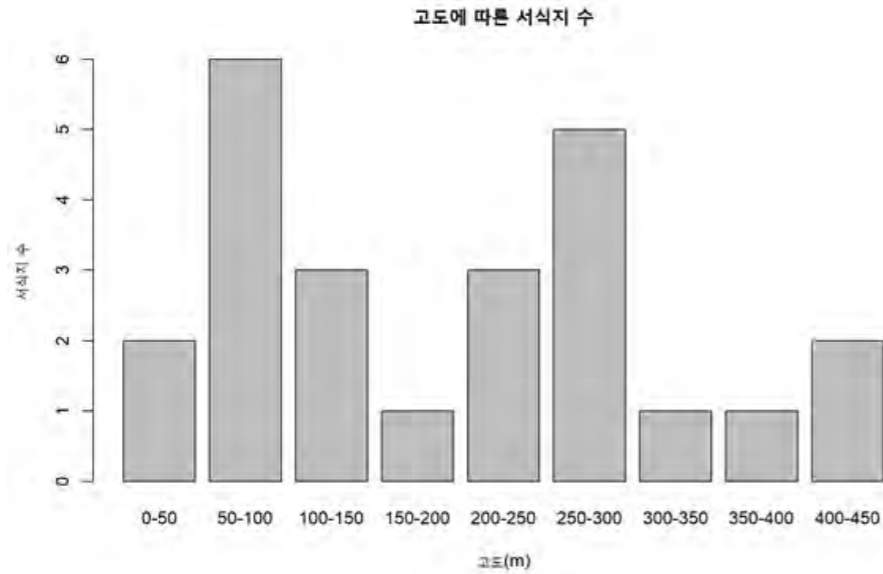


그림 10. 고도에 따른 서식지 수. 가로축은 해발고도(m), 세로축은 서식지의 수다.

고도에 따른 서식지 수에서 고도 50m까지는 서식지 수가 2개, 50-100m 구간에는 6개로 가장 많았고 100-150m는 3개, 150-200m에서 3개, 200-250m에서 1개, 250-300m에서 5개, 300-350m에서 1개, 350-400m에서 1개, 그리고 400-450m에서 3개였으며 450m 이상에서는 관찰되지 않았다. 따라서 50~300m사이의 고도에 가장 많이 분포하는 것을 알 수 있다.

(8) 면적에 따른 울음소리 수

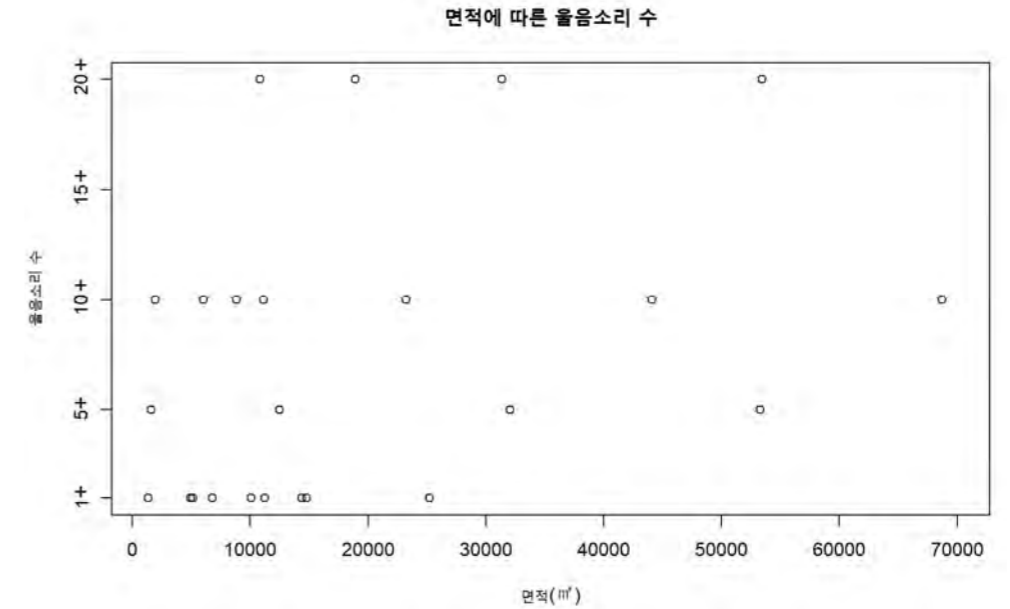


그림 11. 면적에 따른 울음소리 수

면적에 따른 울음소리 수는 네이버 지도의 면적계산기로 측정했다. 15000m² 이하의 면적에서는 대개 15마리 이하의 울음소리를 들을 수 있었으며 서식면적이 넓어질수록 평균 울음소리 수가 더 많은 것을 알 수 있다. 30000m² 이상의 면적에서는 5개체 이상의 울음소리 수가 기록되었다. 따라서 서식면적이 넓을수록 집단이 커지는 것으로 볼 수 있으나 이는 울음소리뿐만 아니라 다른 생태학적 요소가 고려되지 않아 정확하게 연관되었다고 보기 힘들다.

3. 결론

1) 연구효과

본 연구는 짧은 조사 기간 및 시민과학자의 데이터의 부족으로 인해 연구 진행에 어려움을 겪었지만, 새로운 분포를 확인할 수 있었다. 또한 지금까지 이뤄진 풀매미에 대한 관찰연구에 비해 분포조사 데이터가 많은 편이며 이들이 서식하는 서식지의 고도 및 온습도, 식생, 출현 시기 및 소멸시기 그리고 서식지 규모와 같은 생태 특성에 대해서도 확인할 수 있었다. 따라서 추후 풀매미의 세부적인 생태연구나 행동연구에 활용할 수 있을 것으로 보인다. 또한 이번 연구를 통해 시민과학자들에게 풀매미라는 생소한 종에 대해 알려주게 되었으며 이들이 어떠한 생태적 특성을 지닌 곤충인지 알릴 수 있었다.

2) 연구의 한계점

본 연구에서는 시민과학자들의 참여를 통해 풀매미 연구에 필요한 데이터를 효과적으로 수집하고 시민과학자들로 하여금 과학적 연구 활동을 보다 친숙하게 느끼도록 하는데 그 목적이 있었다. 하지만 코로나 19로 인해 대면 현장교육이 전무하였으며, 교육이 비대면(Zoom 교육)으로만 진행되어 실질적인 정보전달과 시민과학자들의 적극적인 참여를 기대하기 힘들었다. 또한 풀매미의 출현 시기는 6-7월로 기간이 짧고 장마기간에 걸쳐 있으며, 서식지가 무덤가와 같이 시민과학자들이 접근이 어려운 곳에 분포하고 있어 연구 난이도가 매우 높다. 이러한 어려움으로 인해 시민과학자들의 적극적인 참여가 부족했다. 따라서 풀매미와 같은 연구하기 까다로운 종에 대해서는 연구자와 시민과학자의 직접적인 양방향 소통이 필요할 것으로 보이며 보다 다양한 연구 방법을 제시해야할 것으로 보인다.



그림 12. 이번 조사에서 발견된 지역

3) 연구제안

현재 국내 좀매미아과는 풀매미를 포함하여 3종이 있는데 이들은 모두 생태에 대한 연구가 미미하다. 따라서 이번 연구에서 사용된 조사방법을 바탕으로 다른 좀매미아과에도 응용하고자 한다. 또한 전수분포조사에서 서식지의 면적과 접근성, 개체 풍부도 등 조사 내용을 바탕으로 추후 장기 조사 후보지(제주시 월평동 112-2, 제주시 영평동 2090-1, 제주시 연동 1216, 제주시 해안동 산128, 서귀포시 성산읍 삼달리 2104-1, 서귀포시 표선면 하천리 1043-2, 서귀포시 대정읍 영락리 35-1)를 선정하여 풀매미 집단 내 세력권과 행동적 특성 및 색 변이 요인에 대해 장기조사를 시도하고자 한다.

또한 최근 일반적인 묘지에서 납골 형태로 이장하는 경향이 증가하는 추세인데 묘지 서식 비율이 높게 나온 이번 결과를 토대로 사라져가는 묘지 서식지와 이장률에 대해 상관관계 조사가 필요하다.

참고문헌

- Peter H. Raven, "Introduction to special issue on biodiversity", American Journal of Botany, 2011, 333-335
- F. Stuart Chapin III, "Consequences of changing biodiversity", Nature, 2000, 234-242
- Hoa Quynh Nguyen, "Characterization of polymorphic loci for two cicada species: Cryptotympana atrata and Hyalessa fuscata (Hemiptera: Cicadoidea)", Molecular biology reports, 46(2), Molecular Biology Reports, 2019, 1555-1561
- Moulds, M. S., 『Australian cicadas』, 출판사 NSWU Press, 1990.
- 이영준, 『이영준의 우리 매미 탐구』, 출판사 지오북, 2005, 117
- Janis L. Dickinson, "Citizen Science as an Ecological Research Tool: Challenges and Benefits", Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 2010, 149-172.

2021년도 시민과학플씨 2기 최종 결과보고서

합리적인 전기차 충전소 설치를 위한 주차장 머무름 시간 연구

머무름

김민호 한국원자력환경공단

합리적인 전기차 충전소 설치를 위한 주차장 머무름 시간 연구

머무름

김민호 한국원자력환경공단

1. 서론

지구 대기 중 이산화탄소의 급격한 증가로 지구 온난화 등의 문제가 발생함에 따라 전 세계적으로 이산화탄소의 발생량을 줄이기 위한 노력을 시작하였다. 1992년의 유엔 기후변화협약(UNFCCC)을 시작으로 1997년의 교토의정서(Kyoto Protocol), 2015년의 파리 기후협약(Paris Agreement) 등을

통해 세계 각국이 이산화탄소의 배출 저감을 위한 노력을 시작하였다. 우리나라도 세계적 추세에 발맞춰 2021년 9월에 탄소중립기본법을 제정하여 세계에서 14번째로 2050 탄소중립 비전과 이행체계를 법제화하였다. 이어서 2021년 10월에는 탄소중립기본법을 이행하기 위해 기후위기로부터 안전하고 지속가능한 탄소중립사회를 최종목표로 2050년 국내 순 배출량을 0으로 하는 2가지의 2050 탄소중립 시나리오를 제시하였다. 탄소중립 시나리오의 수송 부문에서는 무공해차(전기차 및 수소차) 보급을 확대할 계획으로 2050년까지 무공해차 보급을 85~97% 이상 늘릴 계획이다(그림1).

2050 탄소중립 시나리오 확정 이전인 2005년부터 우리나라 정부는 친환경자동차법을 제정하여 환경 친화적 자동차 보급에 힘쓰기 시작하였다. 특히 2011년에 블루온, 2012년에 레이ev, 2013년에 스파크ev와 SM3 Z.E.가 차례로 출시되면서 국내 전기차 시장의 문이 열렸고, 2014년부터 전기차 등록 대수는 전년에 비해 두 배씩 증가하여 2020년 말에는 13만여 대의 전기차가 등록되었다(그림2). 전기차의 보급을 촉진하기 위해 정부에서는 정책적으로 전기차용 급속 및 완속 충전시설을 늘려왔다. 그 결과 2019년 말 기준 44,800여개의 충전기가 있었으나 1년 후인 2020년 말에는 63,000여 개, 2021년 8월에는 92,000여 개의 충전기가 설치되는 등 충전기 보급이 매우 빠르게 이루어지고 있다.



〈그림1〉 2050 탄소중립 시나리오



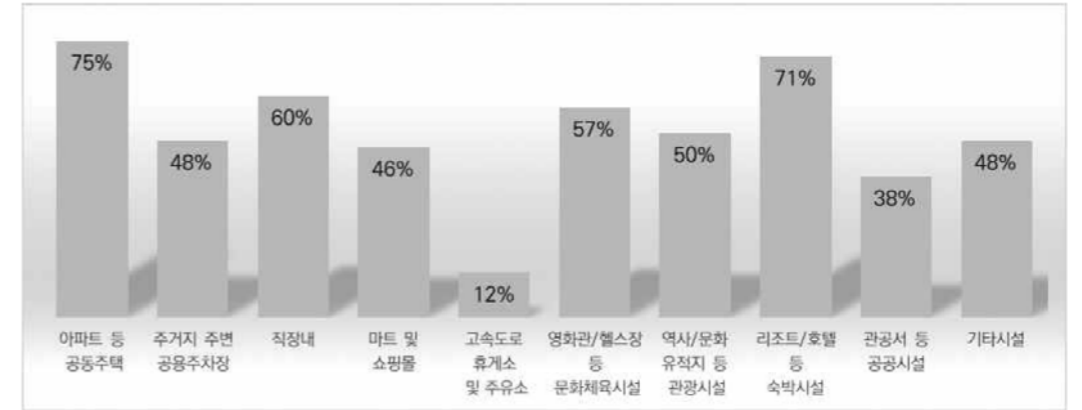
〈그림2〉 연도별 전기차 누적 등록대수 및 등록비율

전기차 충전기는 크게 충전속도 50kW 이상의 급속 충전기와 50kW 미만의 완속 충전기, 3kW 미만의 이동형 충전기로 나눌 수 있다(그림3). 또한 이용자의 충전기 소유 여부에 따라 공용 충전기와 부분공용 충전기, 비공용 충전기로 구분할 수 있다. 일반적으로 공용 충전기와 부분공용 충전기는 민간업자의 완속 충전기가 대부분이고, 공용 충전기는 환경부의 급속충전기와 민간업자의 급속·완속 충전기로 나눌 수 있다. 전기차 이용자들은 평소에는 집이나 회사의 공용·부분공용·비공용 충전기에서 충전을 하나, 장거리 운행시에는 공용 충전기를 이용하는 편이다.



〈그림3〉 급속, 완속, 이동형 충전기

전기차 이용자들은 머무르는 시간이 긴 주거지, 직장 및 숙박시설에서는 급속과 완속충전기의 비율이 1:4 정도가 필요하다고 생각하고, 머무르는 시간이 짧은 고속도로 휴게소에서는 9:1, 머무르는 시간이 다양한 쇼핑시설, 문화체육시설, 관광시설, 공용주차장에서는 5:5 정도가 적당하다고 생각한다(그림4). 하지만, 머무르는 시간이 다양한 곳에는 보통 급속 충전기가 설치되어 있어 전기차 이용자들의 충전소 이용 만족도가 떨어지는 실정이다. 이는 전기차 충전소를 빠르게 보급하기 위해 급속 충전기의 경우 설치가 쉬운 장소(쇼핑시설, 문화체육시설, 관광시설, 공용주차장 등)에 우선적으로 충전소를 설치했기 때문에 전기차 이용자의 니즈가 제대로 반영되지 않았다는 것을 잘 보여준다.



〈그림4〉 전기차 이용자 설문조사 결과 - 적정 완속충전기 비율

본 연구에서는 문화체육시설 및 관광시설에 대한 방문자의 머무름 시간을 수집하여 문화체육시설 및 관광시설에 어떤 충전기 설치가 적합한지, 어떻게 운영을 해야 하는지 합리적인 기준을 제안하려 한다. 이를 통해 충전소 이용률과 전기차 이용자의 만족도를 향상시키고자 한다.

2. 본론

2021년 5월부터 10월까지 약 6개월 동안 어린이과학동아 지구사랑탐사대 약 10개의 팀에서 210여 개의 머무름 데이터를 수집하였다. 머무름 데이터는 방문장소 정보, 방문 시작시간 및 종료시간으로 구성되어 있다. 지구사랑탐사대 대원은 사진 인증을 통해 머무름 데이터를 어린이과학동아 앱에 작성하였다(그림5).

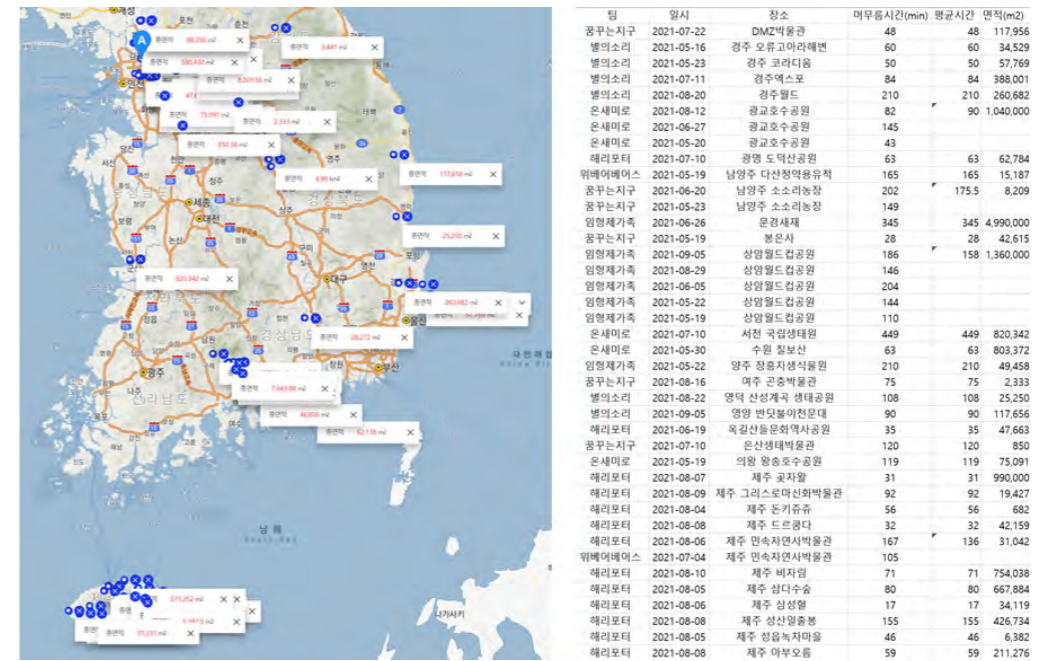


〈그림5〉 어린이과학동아 앱에 보고된 머무름 데이터 (예시)

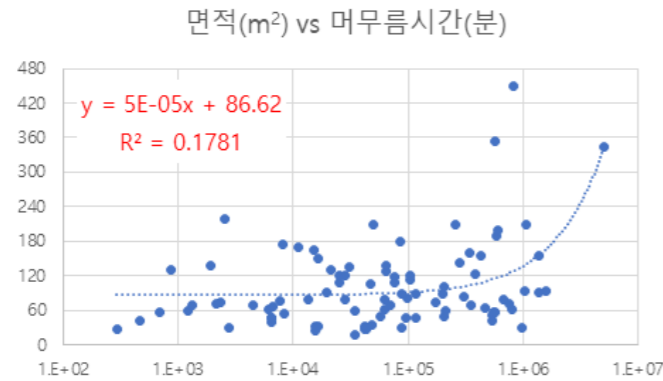
지구사랑탐사대 대원들이 보고한 210여 개 머무름 데이터 중 이번 연구에서 중점적으로 다룰 문화 체육시설과 관광시설에 대한 데이터는 180여 개로 확인하였다. 한 사람이 같은 장소에 반복적으로 방문한 경우 머무름 시간을 평균하여 데이터 처리를 한 결과 90여 곳에 대한 머무름 기록을 얻을 수 있었다. 머무름 장소의 면적과 성격을 파악하기 위해 지도 및 위성사진, 홈페이지에 대한 조사를 수행하였다(그림6). 데이터별로 머무름 시간과 면적과의 관계를 그래프로 작성하였고, 회귀분석을 통해 관계식을 도출하였다(그림7).



〈그림6-1〉 지도 및 위성사진을 이용한 면적 조사 (예시)



〈그림6-2〉 머무름 장소에 대한 조사 결과 (예시)



〈그림7-1〉 수집된 모든 데이터를 이용한 면적(m²) 대 머무름 시간(분) 그래프



〈그림7-2〉 실내 시설(좌) 및 실외 시설(우)에 대한 면적(m²) 대 머무름 시간(분) 그래프

그림 7-1은 90개의 머무름 데이터를 이용하여 면적(m²) 대 머무름 시간(분) 그래프를 그린 것이다. 면적과 머무름 시간 사이의 관계를 회귀분석을 통해 분석한 결과 $y=5.18 \times 10^{-5} x + 86.62$ 의 관계식을 얻을 수 있었고, 이때의 결정계수는 0.1781로 계산되었다(y는 머무름시간(분), x는 면적(m²)). 이를 통해 문화체육시설과 관광시설의 면적이 넓을수록 머무름 시간이 길어진다는 경향을 보인다는 사실을 알 수 있었다. 그리고 기울기가 5.18×10^{-5} 으로 매우 작아 100만m²이하의 문화체육시설과 관광시설에서는 머무름 시간이 기울기의 영향보다는 y절편의 영향이 크다는 사실을 알 수 있다. 이것은 100만m² 이하의 문화체육시설과 관광시설에서는 면적에 관계없이 머무름 시간이 평균적으로 86.62분이라는 사실을 시사한다. 이것은 문화체육시설과 관광시설 이용객들이 방문 전에 방문 계획을 짜서 방문할 가치가 있는 곳들을 선별하기 때문으로 해석할 수 있다. 또한 방문 목표를 일찍 달성하거나, 방문지에 대한 기대치에 비해 불만족스러운 경우, 부지 면적에 비해 볼거리와 즐길거리가 적은 경우 등이 있기 때문에 방

문지의 면적과 머무름시간과의 상관관계가 크게 나오지 않았을 것이라고 해석할 수 있다. 특히 실내 시설과 실외 시설에 대한 머무름 그래프를 살펴보면 실내 시설의 경우에는 실외 시설에 비해 시설 면적에 따른 머무름 시간의 상관관계가 크게 나타나지 않음을 알 수 있다(그림7-2). 이는 실내 시설의 경우에는 시설의 층수, 시설에서 제공하는 활동에 따라 머무름 시간이 다양하게 나타날 수 있기 때문으로 해석할 수 있다. 실외 시설에 대해서는 모든 데이터를 이용한 경우보다 시설 면적 대비 머무름 시간의 상관관계를 더 확실히 확인할 수 있었다.

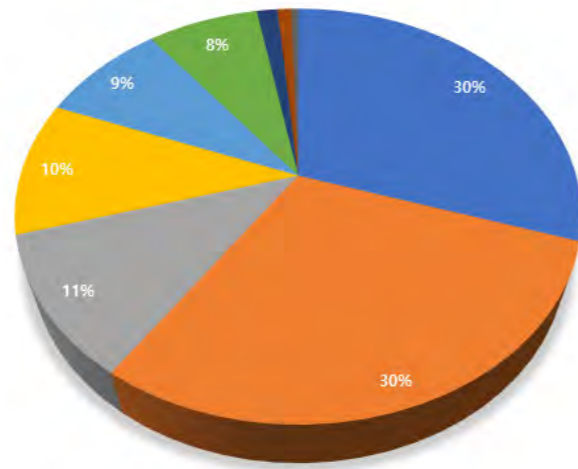
1km² 이상의 문화체육시설과 관광시설이 아닌 이상 머무름 시간이 평균 80분 정도라는 사실을 통해 문화체육시설과 관광시설에는 40분 충전제한이 설정되어 있는 급속충전기 설치도 중요하지만, 시간 제한 없이 사용 가능한 완속충전기 설치도 중요하다는 결론을 내릴 수 있다. 다양한 머무름 시간을 반영하여 전기차 이용자가 급속 및 완속을 선택할 수 있도록 급속과 완속 충전기의 비율이 1:1~2 정도로 유지되는 것이 좋다는 결론을 내릴 수 있었다. 그리고 전기차 이용자 대상 설문조사에 따르면 “머무르는 시간이 다양한 관광문화체육시설에서는 평균적으로 50%:50% 수준의 급속/완속충전기 보급비율이 적정하다고 응답하였다.”라는 보고가 있다(그림4). 2020년 12월 말 기준, 문화체육시설과 관광시설에 설치된 공용 급속 충전기와 완속 충전기는 각각 1,108기와 1,088기로 1:1의 비율로 설치되어 있다(그림8). 앞으로도 계속 급속과 완속 충전기가 1:1~2의 비율로 설치될 수 있도록 정책적으로 지원할 필요가 있다. 또한 충전기가 설치된 장소에 대한 점검을 통해 급속 충전기만 있는 장소에는 완속 충전기를, 완속 충전기만 있는 장소에는 급속 충전기를 추가 설치하여 전기차 이용자가 충전기를 선택할 수 있도록 할 필요가 있다.



〈그림8〉 2020년말 기준 공용 급속 및 완속 충전기 설치 장소 현황

이번 연구에서의 한계점은 대표성이 부족하다는 것이다. 수집된 210개의 머무름 데이터는 9개팀이 모았던 데이터이고, 그 중에 2개 팀이 절반 이상의 머무름 데이터를 수집하였다(그림9). 그리고 중복되는 장소를 평균 처리하고 문화체육시설과 관광시설 데이터만 추린 뒤 90개의 머무름 데이터만 남았다. 이 숫자는 전국의 전기차 이용자를 대표하는 수라고 하기엔 상당히 적은 데이터이다. 향후 추가 연구를 통해 더 많은 머무름 데이터가 모인다면 더 정확한 분석을 할 수 있을 것이라 기대해본다.

머무름 데이터 수집 팀



<그림9> 머무름 데이터 수집 팀

3. 결론

본 연구에서는 합리적인 전기차 충전기 설치 기준을 제안하기 위해 문화체육시설과 관광시설 방문자의 머무름 시간을 수집하여 통계적으로 분석하였다. 활용가능한 머무름 기록이 많지 않아 통계적으로 대표성을 확보할 수는 없었지만, 문화체육시설과 관광시설의 머무름 시간과 면적 사이에 관계가 있음을 확인할 수 있었고, 회귀분석을 통해 머무름 시간과 면적 사이에 약한 상관관계가 있음을 확인하였다. 이를 통해 문화체육시설과 관광시설의 급속과 완속 충전기의 비율은 1:1~2의 비율이 적당하다는 결론을 내릴 수 있었다.

100만㎡ 이하의 문화체육시설과 관광시설에서는 면적에 크게 관계없이 사람들이 평균적으로 80분 정도를 머무르고 있다. 급속 충전기는 40분 제한하여 사용되기 때문에 문화체육시설과 관광시설 방문자는 급속 충전기 이용이 다소 어려운 것이 현실이다. 이러한 어려움을 개선하기 위해 문화체육시설과 관광시설의 급속 충전기는 충전 시간을 40분으로 제한하기보다는 80분 정도로 제한하여 더 많은 사람들이 급속 충전기를 사용할 수 있게끔 제도를 개선하는 것을 제안한다. 또한 충전기 설치 시 충전기 하나를 여러 주차면에서 사용이 가능할 수 있도록 충전기를 적절한 위치에 설치하는 것이 필요하고, 충전 종료 시 차량을 이동하지 않은 상태에서 다른 차량이 충전할 수 있도록 충전기 도난 기능을 해제하는 등의 사회적 합의도 필요하다.

참고문헌

- 이재현 등 4명, 2020, 국토연구원, 『친환경차 활성화 추이에 따른 이용자 중심 충전인프라 구축 방안』
- 이호, 2020, 한국자동차연구원, 『전기차 보급의 걸림돌, 충전인프라 갈등』, 산업동향 Vol.39
- 강철구 등 1명, 2021, 경기연구원, 『미래차 상용화 발목잡는 충전인프라』, 이슈&진단 Vol.447, 4-7p
- 강철구 등 4인, 2021, 경기연구원, 『경기도 전기차충전기 효율적 설치 및 운영방안』, 정책연구 2021-08, p19
- <https://me.go.kr/home/web/board/read.do?orgCd=&boardId=1484940&boardMasterId=713>
- <https://moneys.mt.co.kr/news/mwView.php?no=2021050715218035972>
- <http://www.ijnews.net/news/articleView.html?idxno=20066>
- <http://www.2050cnc.go.kr/base/board/read?boardManagementNo=4&boardNo=101>
- <https://www.etnews.com/20210802000183>
- 합리적인 전기차 충전소 설치를 위한 주차장 머무름 시간 연구

해안 기수 웅덩이에 서식하는 청개구리 서식지 및 생태 분석

바다개구리

허경만 난징임업대학교 대학원 동물학전공, 손은기 서울시립대학교 도시과학대학원 조경학전공

1. 서론

기후위기는 국제사회에서 심각한 화두로 급부상하여 1995년 베를린에서의 유엔기후변화협약 당사국총회에서 논의된 이후 2021년 26번째 총회가 개최되었다. 기후위기 논의에서 항상 언급되는 문제는 지구의 빙하가 녹음으로써 나타나는 해수면 상승이다. 국립해양조사원은 우리나라 주변 해역의 평균 해수면이 2100년이 되면 최대 73cm 상승할 수 있다는 연구도 발표했다. 이런 식으로 해수면이 상승하면 염분의 지속적인 침투로 해안가에 서식하는 생물들에게 엄청난 피해가 갈 것이다. 그 생물들 중에서도 특히 염분에 대한 감수성이 높은 생물은 해수면 상승에 대한 피해가 더욱 커질 수밖에 없다. 그런 생물 중 하나가 바로 양서류이다. 양서류는 피부가 항상 축축하게 젖어 있어야 생존과 호흡이 가능하며 깨끗한 물이 공급되지 않는 상황에서는 다른 어떤 생물보다도 빠른 속도로 개체 수가 줄어든다. 양서류는 다른 대부분의 척추동물과는 다르게 피부가 보호와 단열의 역할을 할 뿐만 아니라 체액의 수분 함량과 삼투압을 조절하는 기능을 수행한다(Katz, 1986). 이러한 상황에서 양서류의 내염성은 아주 중요한 연구 주제이다. 고농도의 염분이 포함된 물은 양서류의 삼투 조절 능력에 장애를 일으키기 때문이다. 하지만 지난 2018년까지 국내에 서식하는 양서류의 내염성에 대한 데이터는 하나도 없었다.

그러나 청개구리는 어느 정도 염분에 견딜 수 있다는 연구결과를 발표하였고, 기존의 예측과는 다르게 일부 양서류는 염분에 저항성을 가질 가능성도 확인하였다. 미래 해수면 상승시대의 양서류 보존을 위해 지금부터라도 양서류 내염성에 관한 연구가 절실히 필요하다.

우리나라의 염분에 서식하는 양서류에 관한 연구는 2019년 한 편의 논문이 전부이다. 하지만 해외에서는 염분 서식지에 서식하는 양서류에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있으며 2017년 기준 총

144종의 양서류가 염분 서식지에 서식한다고 알려졌다. 양서류 학자 Molly Albecker는 어떠한 유전자 부위가 개구리의 내염성을 강화하는지 밝혀냈으며 여러 가지 관점에서 분석중이다. 또한 몇몇 종에 대해서는 실험실 환경에서 각각 염도를 다르게 한 뒤에 얼마나 버티는지, 얼마나 빠르게 개구리가 되는지를 보는 실험이 진행중이며 한국 종에 대해서도 같은 연구가 진행되고 있다.

이번 연구에서는 제주도의 청개구리의 염분 서식지로 적합해 보이는 구역 60개의 장소를 선정해 청개구리의 서식 여부와 서식지의 염분 농도를 확인했다. 또한 서식지의 미소서식환경을 보기 위해 날씨, 용존산소량(DO), 수온, 염도, 고도, 해안선까지의 거리, 녹지까지의 거리, 수심, 웅덩이의 최소 폭, 웅덩이의 최대 폭, 기질의 종류, 청개구리의 개체 수, 참개구리의 개체 수, 포식자인 바위게의 밀도를 측정하여 청개구리의 서식 여부에 대해 상관관계를 조사하였다.

따라서 이번 프로젝트에서 우리나라 제주도에 서식하는 청개구리의 내염성과 그 서식지 특성을 시민과학자들과 함께 다루어 보았으며 이를 통해 우리나라에 서식하는 양서류 내염성에 대해 알리는 계기가 될 것이다.

2. 본론

1) 연구 대상 및 지역

청개구리(*Dryophytes japonicus*)는 흔히 논이나 작은 습지에 서식하는 종으로 우리나라에서 가장 흔한 양서류 중 하나이다. 제주도를 포함한 전국에 분포하며 우리나라에서 염분에 저항성을 가지는 것으로 알려진 유일한 종이다. 이번 연구는 내염성에 관한 연구이기 때문에 제주도 해안가 주변 하천과 바다가 만나는 기수역과 지하수가 유입되어 기수가 유지되는 웅덩이 등 60개의 장소(이하 사이트)를 선정하였다.



그림 1. 새섬 염분 서식지의 청개구리



그림 2. 새섬 서식지 전경

2) 연구 방법

(1) 사이트 선정

청개구리 서식지 조사를 할 사이트는 구글어스(Google earth) 프로그램을 이용하여 위성지도로 기수하천과 기수 웅덩이 지역을 파악하여 선정하였다. 위성지도에 잡히지 않는 기수웅덩이도 있을 수 있기 때문에 지역명+개구리 또는 지역명+울창이를 조합하여 국내 포털사이트에 검색을 통해 추가적으로 사이트를 선정하였다. 마지막으로 이번 연구에 참여하는 시민과학자의 제보를 받아 추가하였다.

NO	조사지점 위치	좌표
1	제주시 용담2동 (용연교)	(N33.512345, E126.514172)
2	제주시 도두일동 산1 (도두봉)	(N33.508095, E126.468593)
3	제주시 내도동 898 (도근천)	(N33.491969, E126.440175)
4	제주시 외도2동 241 (마교또)	(N33.492423, E126.435540)
5	제주시 외도이동 1956-23 (마이뭇)	(N33.493344, E126.427612)
6	제주시 애월읍 하귀리 3015 (문가열쇠)	(N33.482972, E126.405758)
7	제주시 애월읍 하귀리 3018 (소왕천)	(N33.481683, E126.402094)
8	제주시 애월읍 구엄리 412-4 (수산천)	(N33.484613, E126.385642)
9	제주시 한림읍 동명리 1797-1 (명월담)	(N33.406769, E126.260740)
10	제주시 한림읍 월령리 339 (블루하와이리조트)	(N33.380992, E126.215790)
11	제주시 한경면 판포리 1638-2 (망향물)	(N33.367599, E126.205595)
12	제주시 한경면 금등리 753-3 (민산수산)	(N33.360017, E126.187977)
13	제주시 한경면 금등리 779 (다리목)	(N33.357513, E126.189108)
14	제주시 한경면 신창리 520 (신창리사무소)	(N33.346419, E126.181087)
15	제주시 한경면 신창리 546-10 (신창풍차해안)	(N33.345704, E126.179112)
16	제주시 한경면 신창리 1290-3 (한국남부국제풍력센터)	(N33.344874, E126.176554)
17	한경면 신창리 1442-7 (서쪽바다뷰뷰)	(N33.341914, E126.167713)
18	제주시 한경면 용수리 4037-1 (다령이네민박)	(N33.329185, E126.165478)
19	제주시 한경면 고산리 3997 (놀빛바다)	(N33.307240, E126.165787)
20	제주시 한림읍 협재리 (비양도)	(N33.409603, E126.225701)
21	제주시 화북일동 4453 (안드령물)	(N33.521182, E126.553895)
22	제주시 조천읍 조천리 조천8길 16 (아침해변펜션)	(N33.543942, E126.638069)
23	제주시 조천읍 신흥리 939 (신흥리1)	(N33.551722, E126.648059)
24	제주시 조천읍 신흥리 707-1, 741 (신흥리2, 3)	(N33.551722, E126.648059)
25	제주시 구좌읍 김녕리 474-3 (김녕풍력연구단지)	(N33.562901, E126.764292)
26	제주시 구좌읍 월정리 월정서로 141 (월정로)	(N33.563425, E126.777302)

27	제주시 구좌읍 하도리 947 (용목개와당)	(N33.508428, E126.893031)
28	제주시 구좌읍 하도리 947-36 (탕탕물)	(N33.508428, E126.893031)
29	제주시 구좌읍 종달리 14-1 (종달리)	(N33.507405, E126.911584)
30	제주시 우도면 연평리 1197-4 (안녕육지사람)	(N33.515114, E126.957238)
31	제주시 우도면 연평리 1804 (해별빌리지)	(N33.494270, E126.948743)
32	제주시 우도면 연평리 1732-1 (톨칸이)	(N33.492055, E126.954504)
33	서귀포시 성산읍 신천리 1086 (천미천)	(N33.339013, E126.849819)
34	서귀포시 표선면 세화리 287-2 (가시천)	(N33.306220, E126.806233)
35	서귀포시 표선면 세화리 1550 (가마초등학교)	(N33.303962, E126.800596)
36	서귀포시 남원읍 태흥리 2002 (신흥천)	(N33.298281, E126.759836)
37	서귀포시 남원읍 태흥리 1154-3 (태흥횃집)	(N33.280980, E126.745444)
38	서귀포시 남원읍 태흥리 1059-1 (외귀천)	(N33.282228, E126.739606)
39	서귀포시 남원읍 태흥리 1059-1 (제주어항원)	(N33.282388, E126.739281)
40	서귀포시 남원읍 위미리 1715-4 (리와장)	(N33.270072, E126.673166)
41	서귀포시 남원읍 위미리 1757-16 (좌배머들코지)	(N33.271598, E126.662713)
42	서귀포시 남원읍 위미리 2908-1 (위미리경로당)	(N33.274314, E126.657386)
43	서귀포시 남원읍 신례리 74-1 (뜨레향펜션)	(N33.264423, E126.638060)
44	서귀포시 남원읍 하례리 77-3 (하례리마을화관)	(N33.259522, E126.639345)
45	서귀포시 하효동 1459 (쇠소깍다리)	(N33.258456, E126.623822)
46	서귀포시 보목동 1634 (라라보목)	(N33.241230, E126.604432)
47	서귀포시 동홍동 299-3 (정방폭포)	(N33.246174, E126.571947)
48	서귀포시 대정읍 신도리 3016 (돌고래스토어)	(N33.279508, E126.170222)
49	서귀포시 안덕면 사계리 112-3 (용머리해안)	(N33.232861, E126.314063)
50	서귀포시 안덕면 사계리 3634 (다이버하우스펜션)	(N33.240904, E126.321785)
51	서귀포시 안덕면 감산리 1956 (창고천)	(N33.239408, E126.343073)
52	서귀포시 색달동 3389-6 (갯갯다리)	(N33.241142, E126.396742)
53	서귀포시 하원동 1639-2 (하원동)	(N33.242453, E126.456383)
54	서귀포시 강정동 5647 (강정교)	(N33.233401, E126.487808)
55	서귀포시 강정동 2681-4 (약근교)	(N33.234465, E126.489796)
56	서귀포시 법환동 286-3 (막숙물)	(N33.237562, E126.515646)
57	서귀포시 호근동 1628 (주차장)	(N33.240778, E126.526578)
58	제주 서귀포시 서홍동 791 (외돌개)	(N33.239073, E126.544587)
59	서귀포시 서홍동 795-6 (황우지선녀탕)	(N33.239324, E126.548930)
60	제주 서귀포시 서홍동 707-4 (새섬)	(N33.237910, E126.557323)

표 1. 제주도 사이트 목록



그림 3. 조사지 위성지도

(2) 서식지 확인 및 측정

선정된 60개의 사이트에 5~7월에 직접 방문하여 청개구리와 그 올챙이가 서식하는지 확인하였다. 각각의 사이트에서 청개구리 서식 여부와 함께 날씨, 용존산소량(DO), 수온, 염도, 고도, 해안선까지의 거리, 녹지까지의 거리, 수심, 웅덩이의 최소 폭, 웅덩이의 최대 폭, 기질의 종류, 청개구리의 개체 수, 참개구리의 개체 수, 포식자인 바위게의 밀도를 측정하였다. 이 과정에서 대만 LUTRON ELECTRONIC ENTERPRISE CO., LTD.사의 YK2001PHA 수질측정기를 사용하여 DO, 수온, 염도를 측정하였다. 거리를 재는 측정 항목은 블루텍사의 BD-D100를 사용하였으며 추가적인 개체 확인을 위해 Campark사의 4k light trail camera로 번식기 야간 촬영을 했다.

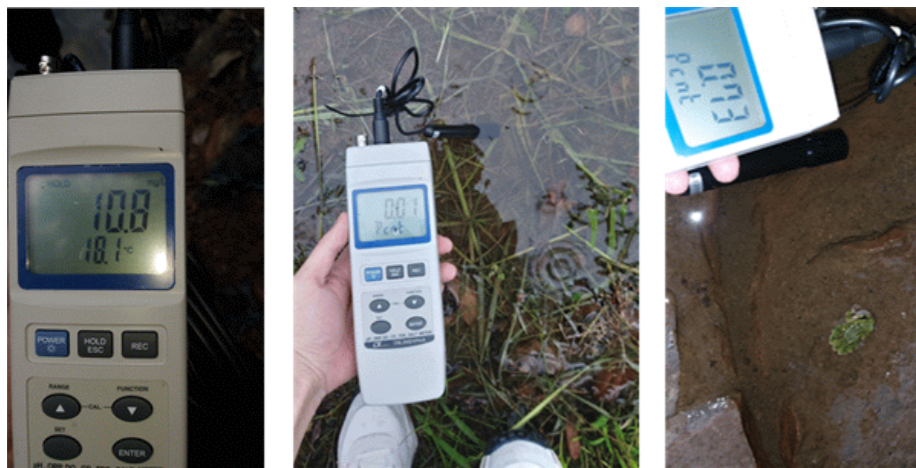


그림 4. 수온, DO, 염도 측정

(3) 자료 분석

서식지에서 얻은 여러 데이터를 바탕으로 R(R Core Team, 2013) 통계 분석을 통해 기수지역의 청개구리 서식 조건을 확인하였다.

3) 연구 결과

(1) 서식지 조사 결과

2021년 5월부터 8월까지 선정된 60개의 사이트를 모두 조사한 결과 청개구리의 기수 웅덩이 서식지를 총 4개 발견하였다. 비가 와서 임시로 형성된 서식지 1개를 제외한 3개의 서식지를 최종적으로 기수 청개구리 서식지로 선정하였다. 기존에 알려져 있던 서귀포시 서흥동에 위치한 새섬 바위절벽지대 서식지(N33,23616, E126,56017) 외 서흥동의 외돌개 서식지(N.33,23785, E 126,54757), 강정동의 강정천 서식지(N33,23225, E126,49050)를 추가로 기록하였다.



그림 5. 서식지 위성지도

① 새섬

새섬 바위절벽지대는 서귀포 중부의 서식지로 고도 8.84m 바위절벽 위에 형성되어있으며 서식지 중에서 가장 면적이 넓다. 바위게가 서식하기는 하나 10m 절벽 위로 접근이 쉽지 않아 그 서식 밀도는 낮다. 염분의 유입은 자연적인 현상으로 인해 일어나며 비가 오면 일시적으로 염도가 0.04% 정도로 낮아지고 가뭄이 계속되면 염도가 올라간다(최대 0.78%, 평균 0.25%). 너무 작은 웅덩이는 마르기도 한다. 청개구리와 참개구리가 함께 서식하고 있다.



그림 6. 새섬 절벽 서식지 특성

② 외돌개

외돌개 서식지는 폭풍의 언덕이라고 불리는 고도 12.34m의 절벽 위의 웅덩이에 형성되어있으며 그 면적은 넓지 않고 바위계가 관찰되지 않았다. 또한 평균적으로 가장 높은 염도(0.44%)에 서식하고 있었고 참개구리 없이 청개구리만 단독으로 서식하고 있었다.



그림 7. 외돌개 서식지 특성

③ 강정천

강정천 서식지는 고도가 4.15m로 다른 두 서식지보다 상대적으로 낮았지만 바위계가 없었다. 유일한 하구 서식지이며 기수역을 따라 길게 형성되어있는 특징이 있다. 전체적으로 염분 농도가 낮으며(평균 0.03%) 청개구리의 단독 서식지이다.



그림 8. 강정천 서식지 특성

④ 천미천

비가 와서 임시로 형성된 서식지는 제주 서귀포시 표선면에 위치한 천미천 하구 서식지로 유일하게 청개구리 이외에 참개구리의 올챙이가 발견되었다. 참개구리는 첫 사례라 검증이 필요하여 같은 서식지를 수일에 걸쳐 관찰했으나 참개구리 올챙이에겐 너무 높은 염분으로 인해 그 지역에서 절멸했다. 또한 이 서식지의 염분은 바닷물 유입에 의한 영향도 있으나 하천의 서쪽에 위치한 양식장에서 지속적으로 해수가 유입되는 영향이 컸다. 실제로 올챙이는 동쪽 하천변에서 발견되었으며 서쪽으로 갈수록 웅덩이의 염도가 올라갔다.



그림 9. 천미천 서식지 특성

(2) 비서식지 조사 결과

비서식지는 56개의 사이트이기 때문에 대표적인 장소 3곳인 수산천, 창고천, 갯갯다리를 선정하여 청개구리의 염분 서식지와 비교하였다.

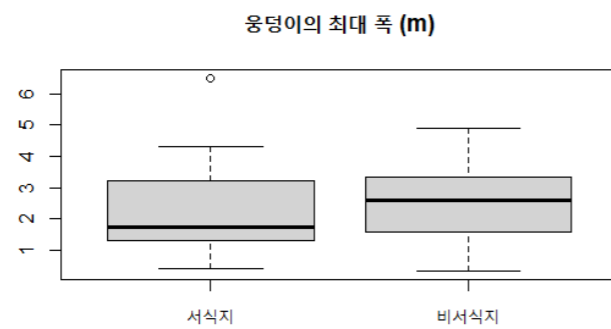


그림 10. 전형적인 제주 하천의 모습

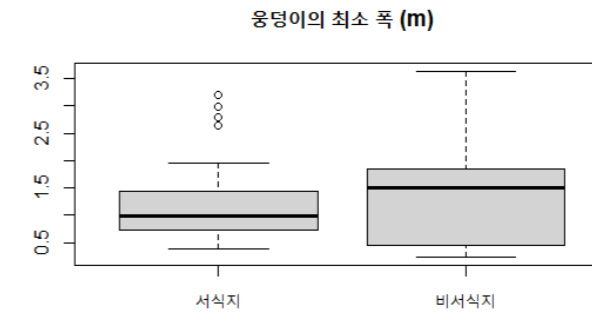
(3) 서식지 분석

서식지 분석 결과 날씨, 용존산소량, 수온, 해안선까지의 거리, 녹지까지의 거리, 웅덩이의 크기, 기질의 종류에서는 유의한 차이를 찾기 힘들었으나 고도와 바위계의 밀도는 유의한 차이를 보였다.

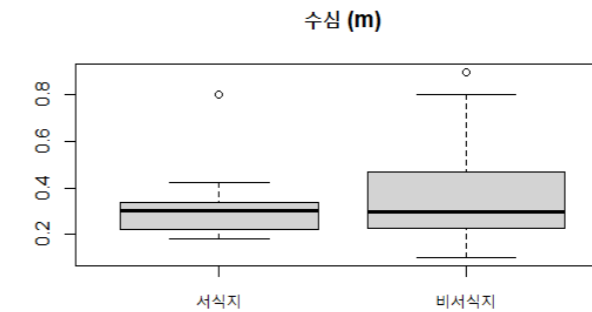
① 웅덩이의 최대 폭(m) : 웅덩이의 최대 폭은 유의한 차이를 보이지 않았다.



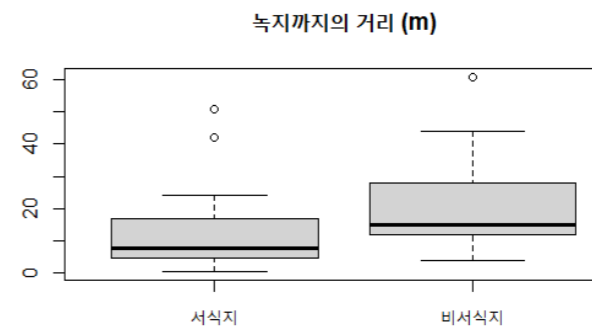
② 웅덩이의 최소 폭(m) : 웅덩이의 최소 폭은 유의한 차이를 보이지 않았다.



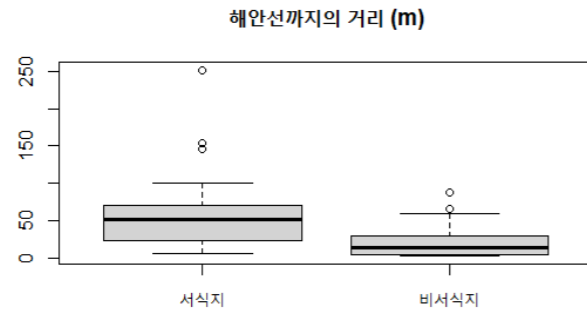
③ 수심(m) : 수심은 비서식지에서 더 다양하게 나타났으며 대체로 더 얇은 수심에서 서식지가 형성되어 있었다.



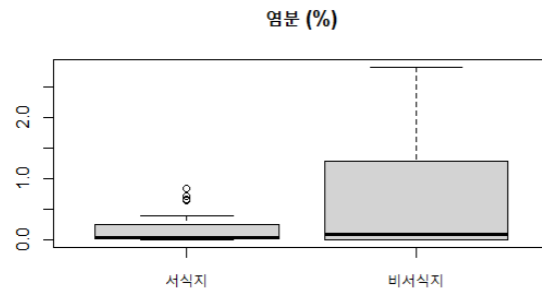
④ 녹지까지의 거리(m) : 비서식지가 상대적으로 녹지까지의 거리가 멀다. 이는 녹지가 가까운 곳을 선호하는 기존 연구와 부합하는 내용이다.



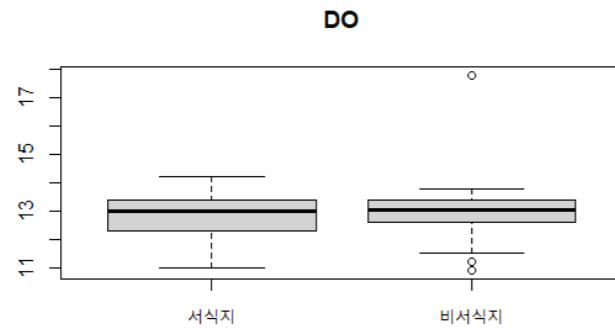
⑤ 해안선까지의 거리(m) : 해안선까지의 거리는 서식지가 더 멀게 나타났다. 이는 직접적으로 청개구리의 서식에 영향을 주지는 않지만 비서식지는 상대적으로 염분에 더 많이 노출되기 때문에 나타나는 것이다.



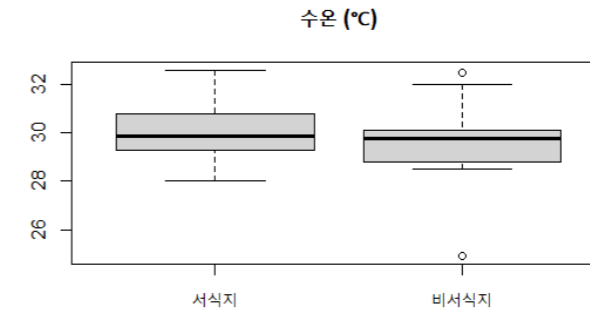
⑥ 염분(%) : 서식지의 염분은 0.0~0.8까지 다양하게 나타나며 비서식지의 염분은 개구리가 견딜 수 없는 농도까지 더욱 넓은 범위로 나타난다.



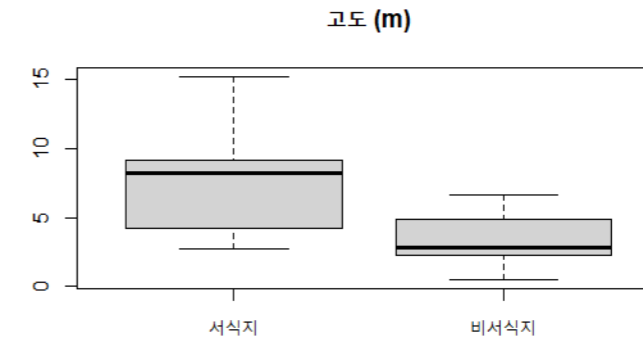
⑦ DO : DO는 유의한 차이를 보이지 않았다. 다만 흐르는 물의 DO값이 높게 나와 튀는 결과가 나왔다.



⑧ 수온(°C) : 수온은 거의 일정했다. 비서식지에서는 흐르는 물을 측정해서 수온이 비교적 낮은 결과도 있었다.

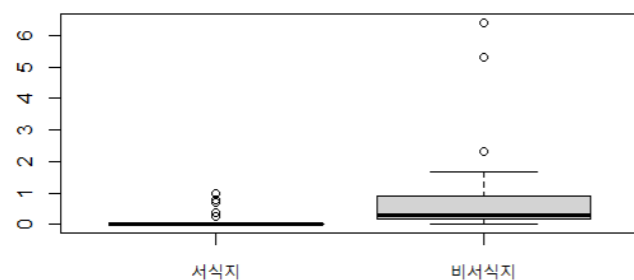


⑨ 고도(m) : 고도는 중요한 원인으로 작용하였다. 이는 뒤에 나오는 바위계의 존재와도 관련되며 고도가 높은 사이트에서 청개구리가 서식하는 것으로 나타났다. 서식지는 절벽 위에 형성되는 경우가 많았고 절벽 위가 아니더라도 바위계가 접근하기 어려운 바다와 하천이 만나는 폭포였다. 반면 비서식지는 하천의 하구로 고도가 낮아 바위계의 접근이 용이했다. 바위계와 별개로 고도가 낮으면 염도의 변화도 더 심하고 고염분이 유입될 가능성이 더 크다.



⑩ 바위계의 밀도(마리/m²) : 바위계의 밀도는 청개구리 서식과 매우 밀접한 상관관계를 보인다. 서식지 바위계의 밀도는 평균 0에 수렴하였으며 최대 1이 넘지 않는다. 반면 비서식지의 경우 제곱미터당 6마리의 높은 서식밀도를 보이는 곳도 있으며 보통 1마리 이하의 서식밀도를 보인다.

바위게의 밀도



3. 결론

60개의 사이트 중에서 4개의 사이트에서 기수지역 서식지를 발견하였으며 고도와 바위게의 서식 여부가 중요한 요인으로 작용했다. 청개구리는 하구역보다 절벽 위에 지하수 또는 빗물로 형성된 웅덩이를 선호하는 것으로 나타났다.

시민과학자들은 육지 지역의 새로운 서식지 발견을 도와주었는데 유의미한 서식지를 발견해 후속 연구를 이어나갈 것이다. 또한 이번 연구에서는 하구역을 중심으로 서식지 후보를 선정하였지만 다음 연구에서는 해안 절벽을 중심으로 서식지 후보를 선정하려 한다. 이번 연구에서는 기존 조사결과보다 높은 염도에서의 올챙이 서식을 밝혀냈다. 고염도에서의 올챙이 서식은 장마철의 간헐적인 강수로 염도가 주기적으로 내려가서 가능할 것으로 보이며 이는 후속연구에서 다룰 것이다. 실험 결과에서 고염분의 유입에 대한 상관관계를 규명하는 것이 필요하다고 판단되었으며 이어 진행할 후속연구에서는 청개구리 올챙이가 어느 정도의 염분까지 견딜 수 있는지에 대해 다룰 것이다. 만약 서식지로 예상되는 장소의 웅덩이에서 지속적으로 후속 연구를 통해 밝혀질 올챙이가 견딜 수 있는 최대 농도 이상의 염분이 유입된다면 그 장소는 서식지로 부적합하다고 규명할 수 있을 것이다.

참고문헌

- Heo, K., Kim, Y. I., Bae, Y., Jang, Y., & Borzee, A., "FIRST REPORT OF Dryophytes japonicus TADPOLES IN SALINE ENVIRONMENT", *Russian Journal of herpetology*, 26(2), 2019.
- Albecker, M. A., & McCoy, M. W., "Adaptive responses to salinity stress across multiple life stages in anuran amphibians". *Frontiers in zoology*, 14(1), 2017, 1-16
- Katz, U. (1986). The role of amphibian epidermis in osmoregulation and its adaptive response to changing environment. In *Biology of the Integument* (pp. 472-498). Springer, Berlin, Heidelberg.
- "외돌개", <https://blog.naver.com/jejupay/222474515089>, (2020년 10월 15일)
- "강정천" <https://blog.naver.com/deekay1980/221579754550>, (2020년 10월 25일)
- Groffen, J., Borzée, A., & Jang, Y. (2018). "Preference for natural borders in rice paddies by two treefrog species" *Animal cells and systems*, 22(3), 2018, 205-211.

야생조류 유리창 충돌 모니터링 연구

버드히어로

고나영·김지수·유현주 삼육대학교 동물생명자원학과
김지은 공주대학교 특수동물학과, 은나현 공주대학교 지역건설공학과

1. 서론

전 세계적으로 9개의 철새 이동 경로가 있으며, 한반도는 그중에서도 지구상 규모가 가장 큰 동아시아-대양주 철새 이동 경로의 중심에 위치한다. 2020년 12월 국립생물자원관 보고에 따르면, 545종의 새가 한반도에 서식하거나 한반도를 통과하고 있는 것으로 파악되었다. 새들은 많은 양의 곤충과 설치류를 포식하여 개체 수를 조절함으로써 농작물 피해를 줄이고, 곤충과 설치류를 통해 전염되는 질병을 막는다. 나아가 현재 자연이 얼마나 건강한지 보여주는 지표 역할을 한다. 그러나 최근 도시화로 인한 건축물의 수가 증가함에 따라 건물의 유리창처럼 투명하거나 표면 반사가 심한 구조물과의 조류충돌 피해가 심각하다(Banks, 1976; Klem, 2008). 조류는 근본적인 시각적 특성 및 행동 양식으로 인해 투명하거나 주변 풍경을 반사하는 구조물을 장애물로 인지하지 못한다고 알려져 있다(Klem, 1989). 이 때문에 조류는 투명구조물에 취약할 수밖에 없다. 투명구조물은 건강하고 번식력을 가진 성조뿐만 아니라 어린 새들에게도 매우 위협하며 이러한 위협요소로 인해 조류 개체 수는 심각한 위협을 받고 있다(국립생태원, 2017).

미국에서는 매년 최소 3억6,500만~최대 9억8,800만 마리의 조류가 유리창 충돌로 폐사하고 있으며(최, 2020), 국내의 경우 건물 유리창 충돌의 전국 연간 피해량은 약 2,420만 개체, 도로변 투명 방음벽 충돌의 전국 연간 피해량은 약 18만9천 개체로 추정되고 있다(서, 2020). 충돌로 인한 연간 조류 사망 수는 전 세계적으로 수십억 마리로 추산되고 있으며(Klem, 1989), 피해 수준이 상당한 만큼 일부 국가에서는 이미 오래전부터 투명구조물에 대한 조류충돌 문제가 대두되어 왔다(Klem, 2006). 이에 따라 미국, 캐나다 등 일부 국가에서는 조류충돌 방지를 위한 조치를 입법화하였지만, 국내의 경우 환경부에서 2019년 5월 제정한 '야생조류 투명창 충돌 저감 가이드라인'이 전부이다. 최근 저감 시설 의무화에 관한 법 개정 작업도 진행되면서 방음벽을 새로 설치할 경우 조류 충돌 방지 시설을 의무적

으로 갖추도록 하고 있으나, 이를 위반할 경우에 대한 제재 조항은 마련되어 있지 않아 전국적으로 의무화하기엔 어려움이 따르고 있다.

본 연구는 수도권과 충남 예산 지역 내 6곳을 집중 조사하여 종별 충돌 수와 스티커 부착 여부 및 방음벽의 높이에 따른 충돌 양상 등을 비교 분석해보는 것을 목적으로 수행되었다. 이로 얻은 결과는 추후 유사 과제 연구의 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대되며, 나아가 전국에서 발생할 수 있는 조류충돌 수를 예측할 수 있는 지표로서의 활용 가능성을 확인해보고자 한다. 또한 시민 과학의 특별성을 적극적으로 활용하여 조류충돌의 실태를 알리고, 해당 프로젝트 종료 후에도 시민들의 자발적인 모니터링 진행을 유도하고자 한다. 본 연구는 시민들의 조류충돌 문제에 대한 인식 향상에 이바지하고 나아가 조류를 예방 가능한 죽음으로부터 보호하고자 하는 시민의식 함양의 첫걸음이 되기를 기대한다.

2. 본론

1) 모니터링

(1) 조사 방법

2021년 5월 11일부터 9월 25일까지 조사 지역별로 매달 최소 2회씩 조사를 진행하였다. 이때 조사 방법으로는 흔적 조사를 채택하였으며, 방음벽 충돌 흔적 및 사체, 혹은 날개깃 2장 이상, 몸깃 3장 이상을 발견할 경우 충돌로 판단하여 기록하였다. 본격적인 조사를 시작하기에 앞서 조사 지역별로 방음벽 높이 및 위치에 따라 구간을 설정하고, 기동마다 번호를 부여함으로써 충돌 위치를 구체화하였다. 매 조사 시에는 사체 크기측정을 위한 자, 사체 회수를 위한 비닐장갑과 봉투, 스티커를 필수 지참하였다. 세부 조사 방법은 다음과 같다.

모든 기록은 정확한 발견 위치, 방향(내/외측), 방음벽 단 수, 충돌 방지 스티커 부착 여부, 발견 흔적의 종류 및 증명으로 구분하여 기록하였다. 이때 충돌 개체 수보다 충돌 현상 자체에 초점을 맞추어 조사를 진행하였으며, 따라서 충돌 후 다른 위치로 이동해 2차 충돌 후 사망했을 가능성이 있는 개체에 대해서는 2개의 충돌, 즉 최대값으로 기록하였다. 단, 충돌흔이 명확한 멧비둘기 혹은 집비둘기의 경우 1개의 충돌로 통일하였다. 추후 중복 기록을 방지하기 위하여 발견한 사체는 조사 직후 제거하고(서해민, 2020), 해당 위치에 스티커를 부착하여 표시하였다. 조사 시 수집된 깃털은 Featherbase 사이트의 표본 자료를 바탕으로 동정하였으며, 모든 조사 결과는 현장에서 지정된 수기 야장에 기록한 후 프로그램 EXCEL(Microsoft 365)을 이용하여 정리하였다.

(2) 조사 지역

온라인 플랫폼 ‘네이처링’ 내에 개설된 전국 단위 ‘야생조류 유리창 충돌 조사’ 미션의 조류충돌 기록을 바탕으로 수도권과 예산 지역 내 조류충돌 고밀도 발생 지점 6곳을 조사 지역으로 선정하였다. 수도권에서는 원흥동, 갈매동, 그리고 하남시의 미사강변도시 내 2곳을 조사하였고, 충남 예산 지역에서는 예산 발연리 아파트단지 방음벽과 공주대학교 예산캠퍼스 유리온실 인근을 조사 대상으로 하였다(fig 1). 조사가 진행된 방음벽의 총 길이는 약 4.2km이며, 각 방음벽은 높이 및 설치 위치에 따라 최소 4개에서 최대 7개의 구간으로 나누어 분류하였다.



Figure 1. (좌측) 수도권 조사지 지도. A: 원흥; B: 갈매; C,D: 미사강변도시; (우측) 예산군 조사지 지도. E: 예산 발연리 아파트단지; F: 공주대학교 예산캠퍼스 유리온실

갈매 더샵 나인 힐스아파트, 구리 갈매 6단지 아파트 등 갈매역 인근 조사구간의 방음벽(이하 조사지 ‘갈매’)의 총 길이는 약 1136m이며, 총 5개 구간으로 그중 4개 구간이 스티커 미부착 상태이다(fig 2-1). 갈매역 인근 조사구간의 방음벽은 불암산(509.6m)과 검암산 및 구릉산(177.9m) 사이에 길게 늘어선 형태로 설치되어 있어 이곳을 통과하는 새들에게 치명적일 것으로 판단된다. 불암산 생태경관보전지역에서는 천연기념물에 해당하는 원앙과 황조롱이, 서울시 보호종에 해당하는 물총새, 큰오색딱따구리, 흰눈썹황금새 등이 관찰되었으며, 서쪽에 위치한 중랑천에서 꼬마물떼새 및 흰목물떼새의 번식도 확인되었기 때문에 이 같은 새들의 충돌에 대한 예측과 대비가 더욱 중요하다.

원흥동 조사구간 내 설치된 방음벽의 총 길이는 약 921m이며, 총 5개 구간으로 전 구간 맹금 스티커 또는 도트 스티커가 부착되어 있다(fig 2-2). 원흥동의 북쪽으로는 공릉천, 동쪽으로는 덕수 근린공원이 위치한다. 여러 차례 모니터링 결과 조사구간 내에서 피꼬리와 파랑새가 관찰되었으며, 방음벽 건너편에는 평지 숲이 형성되어 있어 해당 방음벽 역시 갈매의 방음벽과 마찬가지로 조류의 이동통로

를 가로막는 요인으로 작용할 수 있을 것으로 판단된다. 연구 기간 중 해당 조사구간 방음벽에 조류충돌 저감 스티커 시공이 진행되었고 이에 따라 조류충돌 수가 감소할 것으로 기대한다.

개발제한구역으로 농지가 대부분을 차지하던 미사강변도시는 2009년 그린벨트가 해제되었고, 2013년 7월부터 도시가 조성되기 시작하여 2021년 대부분의 건물이 완공되었다. 본 연구의 조사 구간 중 2곳이 미사강변도시 내에 위치하며, 그중 한 곳인 ‘미사강변 푸르지오’ 및 ‘미사강변하우스디너레이크 아파트’ 등에 설치된 방음벽(이하 조사지 ‘강일’)의 길이는 약 755m이며, 총 7개의 구간으로 구분하였다(fig 2-3). 다른 한 곳인 진등교차로를 중심으로 하여 동서 방향으로 가로지르는 방음벽(이하 조사지 ‘미사’)의 길이는 약 910m이며, 총 7개의 구간으로 구분하였다(fig 2-4). 조사구간 인근에 있는 미사경정공원은 10여만 평의 인공호수와 자연녹지로 조성된 도심 속 야생조류의 쉼터로서 흰눈썹황금새, 검은댕기해오라기 등의 여름 철새가 서식하고 있다. 조사지 인근에 있는 당점섬은 하남시 최대의 철새도래지로 알려져 있고, 팔당댐 역시 흰꼬리수리 및 큰고니의 월동지 역할을 수행하고 있기 때문에 해당 지역 내 방음벽 및 투명구조물은 철새 이동 경로의 방해물로 작용할 가능성이 높다고 판단된다. 특히 강일 조사지는 원흥 조사지와 마찬가지로 연구 기간 중 도트 스티커 부착이 시행되었으며, 앞으로 이에 따른 충돌 저감효과를 지켜보는 것이 중요하다.

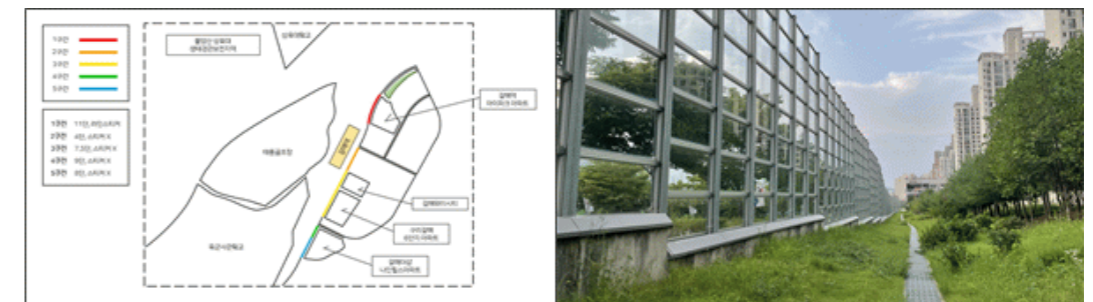


Figure 2-1. 갈매 조사구간

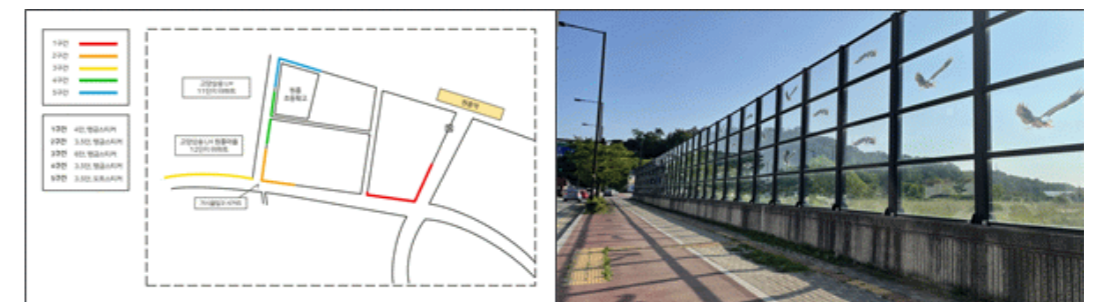


Figure 2-2. 원흥 조사구간

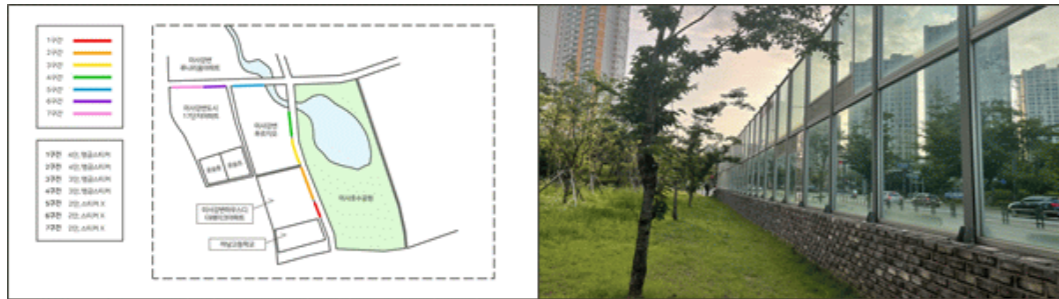


Figure 2-3. 미사강변도시_강일 조사구간

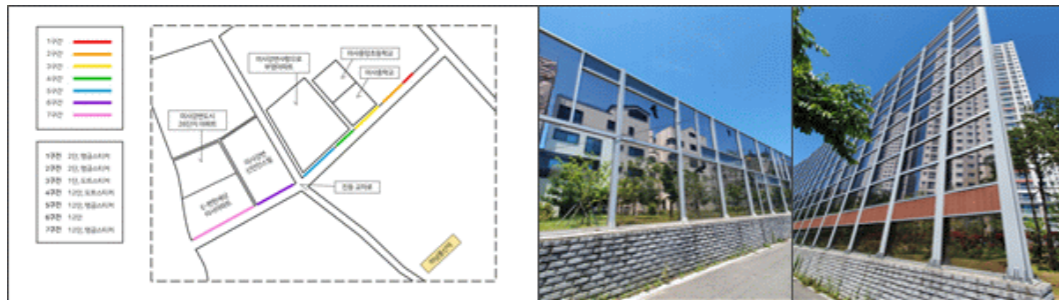


Figure 2-4. 미사강변도시_미사 조사구간

예산 발연리 아파트 단지에 설치된 방음벽(이하 조사지 '예산 발연리')의 총 길이는 약 487m이며, 총 4개의 구간으로 구분하였다(fig 3-1). 해당 조사지의 서쪽으로는 삼교호로 이어지는 약 300m 폭의 무한천이 흐르고 있으며 동쪽으로는 관모산과 금오산 등 산림이 형성되어 있다. 서쪽의 무한천 근처에는 갈대밭 및 평야가 발달해있어 오리과에 속하는 청둥오리, 기러기 등이 도래하기도 하지만 소형 철새인 할미새과와 휘파람새과 조류 또한 적지 않게 도래한다. 투명구조물 충돌에 취약한 소형 철새들인 만큼 예산 발연리 아파트 단지의 방음벽은 충돌의 위험성이 높다고 판단된다. 공주대학교 산업과학대학(예산캠퍼스)은 전체적으로 산림에 둘러싸여 있고, 학교 남쪽으로는 인가와 논밭이 형성되어 있다. 주변 지리적 환경에 따라 보호종에 해당하는 팔색조, 새매, 수리부엉이를 포함한 산림성 조류의 관찰 빈도가 높으며, 교내에서 번식하는 개체도 적지 않게 확인되었다. 후투티, 피꼬리, 파랑새, 특히 천연기념물인 황조롱이와 멸종위기 2급에 해당하는 참매의 번식도 확인되었기 때문에 야생조류 충돌 모니터링이 더욱 필요할 것으로 생각한다. 이에 따라 조류충돌의 위험이 큰 캠퍼스 내 유리온실과 유리온실 옆 건물(이하 조사지 '유리온실')을 조사구간으로 선정하였다(fig 3-2).

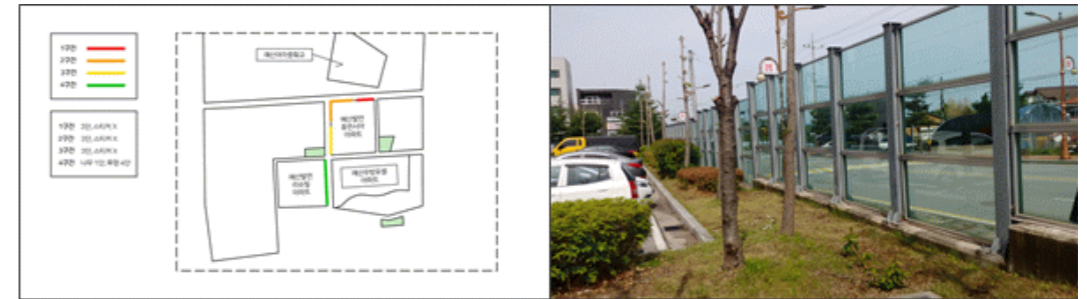


Figure 3-1. 예산 발연리 조사구간

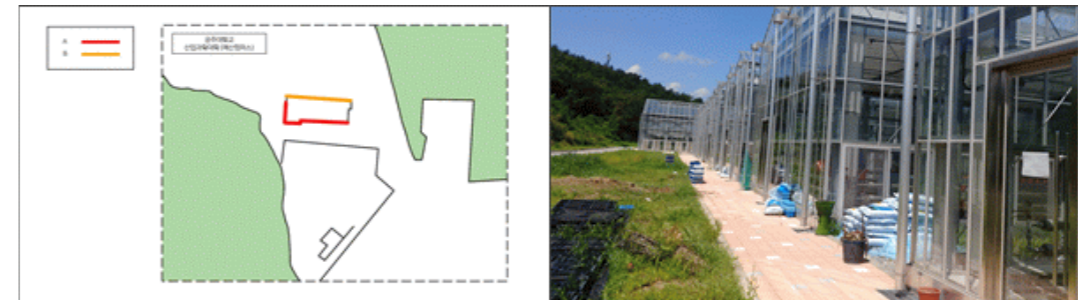


Figure 3-2. 공주대학교 예산캠퍼스 내 유리온실

2) 연구 진행 과정

(1) 시민과학자 대상 교육

① 2021년 6월 1일 - 시민과학자 대상 온라인 사전 강연

'야생조류 유리창 충돌'을 주제로 시민과학자들을 대상으로 한 온라인 유튜브 강연을 진행하였다. 강연에서는 새들이 유리창에 부딪히는 이유, 모니터링의 전반적인 방법 등을 설명하였으며 댓글창을 통해 질의응답이 이루어졌다(fig 4).



Figure 4. 시민과학자 대상 온라인 사전 강연

② 2021년 6월 18일 – ZOOM 온라인 교육

시민과학자 대상으로 본 연구와 관련해 심화 교육을 진행하였다. 일반적인 새 동정 방법, 시간 경과에 따른 사체 동정 방법 등을 안내하고, 그동안의 조사기록을 공유하며 조류충돌의 실태를 보여주었다(fig 5).



Figure 5. ZOOM 온라인 교육

③ 2021년 9월 5일 – 인스타그램 현장 라이브 방송

구리갈매 6단지 아파트 앞 방음벽과 예산 유리온실 조사지에서 실제 충돌 현장을 배경으로 생동감 넘치는 교육을 진행하였다. 유리의 투명성과 반사성에 의한 충돌을 주제로 하여 이론 교육을 진행하고, 실제 조사기록 작성법, 두개골 크기 비교를 선보였으며, 조류충돌 저감 방법을 안내하였다(fig 6).

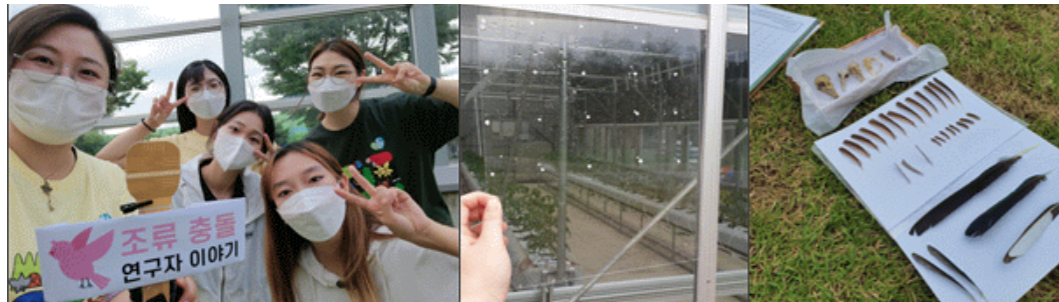


Figure 6. 인스타그램 현장 라이브 방송

(2) 설문조사 진행

본 연구 주제에 관한 시민 인식 수준을 파악하고자 설문조사를 진행하였다. 「야생조류 투명구조물 충돌」 시민 인식 정도 조사 설문은 2021.09.27.~2021.10.18. 기간 대한민국 국민 332명을 대상으로 진행되었다. 질문지는 일상생활 중 죽은 새를 마주한 경험이 있는지, 그 새의 죽음과 유리창 충돌의 연관성이 떠올랐는지, '야생조류 투명구조물 충돌' 문제에 대해 들어본 경험이 있는지, 해당 문제를 접한 매체가 무엇인지, 그리고 해당 문제의 해결방안을 알고 있는지 등에 관한 내용으로 구성하였다.

(3) 자료 분석

모든 자료는 EXCEL(Microsoft 365)을 통해 정리하고, 통계학적 분석에는 SPSS(IBM, USA)를 이용하여 T-test를 수행하였으며, 자료의 Figure 작성은 EXCEL과 POWERPOINT(Microsoft 365)를 이용하였다.

3. 결론

1) 조사 결과

2021년 5월부터 9월까지 매달 최소 2회 조사를 진행한 결과, 수도권에서 254개체, 예산에서 72개체로 총 28종 326개체의 충돌이 확인되었다(table 1). 기록된 28개의 종 가운데에는 멸종 위기 야생생물 2급이자 천연기념물 제323-4호로 지정되어있는 새매(fig 7, 8), 그리고 서울시 보호종에 해당하는 오색딱따구리, 흰눈썹황금새, 물총새, 피꼬리, 청딱따구리, 박새가 포함되어 있다(fig 7). 이처럼 보호종 및 멸종위기에 해당하는 종의 경우 충돌 피해로 인한 개체 수 감소가 타 종들보다 비교적 심각하게 나타날 수 있으므로 더욱 관심을 기울여야 한다.

No.	Species	Korean name	갈매	원흥	강일	미사	예산 발연리	유리온실	Total
1	<i>Streptopelia orientalis</i>	멧비둘기	15	1	1	6	5	9	37
2	<i>Passer montanus</i>	참새	7	0	5	4	5	0	21
3	<i>Columba livia var. domestica</i>	집비둘기	1	0	1	5	2	0	9
4	<i>Hypsipetes amaurotis</i>	직박구리	3	3	1	0	1	0	8
5	<i>Parus major</i>	박새	3	0	1	3	0	1	8

6	<i>Pica pica</i>	까치	1	3	2	0	0	1	7
7	<i>Cyanopica cyanus</i>	물까치	6	0	0	0	0	0	6
8	Family Phylloscopidae	솔새류	0	0	4	2	0	0	6
9	Family Columbidae	비둘기류	3	0	3	0	0	0	6
10	<i>Sinosuthora webbiana</i>	붉은머리오목눈이	2	0	0	2	0	0	4
11	<i>Cyanoptila cyanomelana</i>	큰유리새	0	1	1	0	1	0	3
12	<i>Turdus hortulorum</i>	되지빠귀	2	0	0	0	0	0	2
13	<i>Phoenicurus aureus</i>	딱새	0	1	0	0	1	0	2
14	<i>Phylloscopus xanthodryas</i>	솔새	1	0	0	0	1	0	2
15	<i>Picus canus</i>	청딱따구리	0	1	0	1	0	0	2
16	Family Picidae	딱따구리류	2	0	0	0	0	0	2
17	<i>Sittiparus varius</i>	곤줄박이	0	0	0	1	0	0	1
18	<i>Cecropis daurica</i>	귀제비	0	0	0	0	1	0	1
19	<i>Oriolus chinensis</i>	피꼬리	0	0	0	1	0	0	1
20	<i>Alcedo atthis</i>	물총새	0	0	0	0	1	0	1
21	<i>Motacilla lugens</i>	백할미새	1	0	0	0	0	0	1
22	<i>Cuculus canorus</i>	빠꾸기	0	0	0	0	0	1	1
23	<i>Accipiter nisus</i>	*새매	1	0	0	0	0	0	1
24	<i>Phylloscopus borealis</i>	쇠솔새	1	0	0	0	0	0	1
25	<i>Dendrocopos major</i>	오색딱따구리	0	1	0	0	0	0	1
26	<i>Zoothera aurea</i>	호랑지빠귀	0	0	0	0	1	0	1
27	<i>Ficedula zanthopygia</i>	흰눈썹황금새	1	0	0	0	0	0	1
28	<i>Anthus gustavi</i>	흰등발종다리	0	0	1	0	0	0	1
29	<i>Turdus pallidus</i>	흰배지빠귀	0	1	0	0	0	0	1
30	Family Emberizidae	멧새류	0	0	0	1	0	0	1
31	<i>Emberiza rutila</i>	꼬까참새	1	0	0	0	0	0	1

32	Unknown	미동정	62	30	36	17	35	6	186
Total number of carcasses			113	42	56	43	54	18	326
Total number of species			28						

Table 1. 조사 지역 내 종별 총돌 피해량 (*법정보호종)



Figure 7. 총돌 사체 사진: (a) 새매, (b) 물총새, (c) 청딱따구리, (d) 고양이에 의해 훼손된 되지빠귀 사체, (e) 미동정 사체 2개체와 그 주변에 찍혀있는 고양이 발자국

(1) 조사 지역에 따른 총돌 수 비교

각 조사지에 따라 수도권의 갈매 113개체, 원흥 42개체, 강일 56개체, 미사 43개체가 확인되었고 예산의 발연리 아파트 방음벽에서 54개체, 유리온실과 인근 건물에서 18개체가 확인되었다(table 1). 전체 6곳의 조사지 중 방음벽이 아닌 유리온실의 결과를 제외하고 갈매의 총돌 기록이 가장 많았으며, 원흥이 가장 적었다. 총돌 발생 지점을 파악하기 위해 QGIS 프로그램을 이용하였으며, 이때 위치정보가 소실된 기록에 대한 정보는 나타내지 않았다(fig 8).

수도권과 예산은 대조군으로서 조사지의 크기가 달라 총돌 빈도 비교에 어려움이 있었고, 따라서

방음벽의 길이를 충돌 기록 수로 나누어 평균 1회 충돌이 일어나는 방음벽의 길이를 계산하였다. 수도권은 총 방음벽 길이가 3,722m이며 총 충돌 기록은 254개로 약 14.7m당 1개체가 충돌했다고 추정할 수 있다. 이를 조사지로 나누어 계산한 결과 각각 갈매 10.1m, 강일 13.5m, 미사 21.7m, 원흥 21.4m, 예산 9m당 1개체 충돌로 예산의 충돌 빈도가 가장 높았고 미사가 가장 낮았다. 미사와 원흥의 경우 일부 방음벽에 도트 스티커가 부착되어 있어 그 빈도가 낮았을 것으로 추정된다.

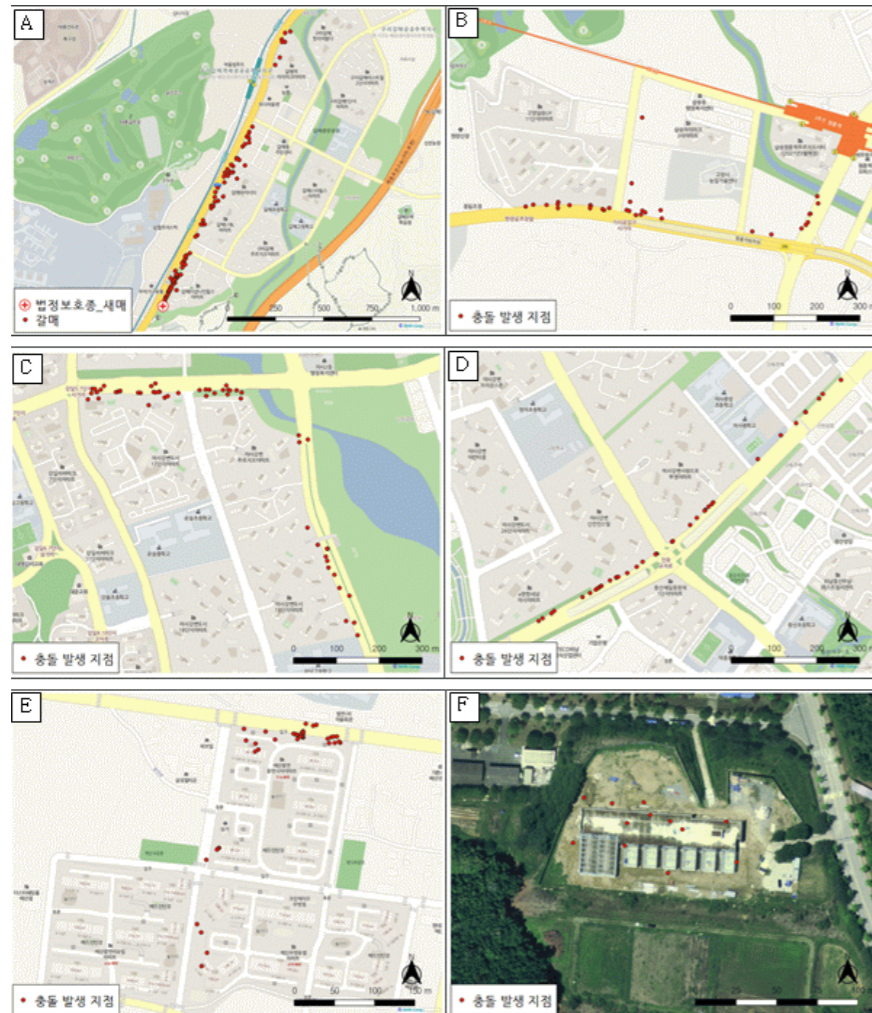


Figure 8. 충돌 발생 지점: (a) 갈매, (b) 원흥, (c) 강일, (d) 미사, (e) 예산 발연리, (f) 유리온실

(2) 충돌 저감 스티커 종류에 따른 충돌 수 비교

조사구간에 부착된 스티커 종류에 따라 맹금 스티커, 라인 스티커, 도트 스티커, 그리고 스티커 없음으로 4단계 분류하여 기록한 결과, 각각 99개체, 7개체, 5개체, 215개체가 확인되었다. 스티커의 유무는 구간별 충돌 개체 수(fig 9-1, 9-2)에 차이를 발생시켰으며, 이는 원흥과 미사 조사 결과에서 두드러지게 나타났다. 단, 조사 기간 중 충돌 방지 스티커가 부착된 일부 조사 구간에 대해서는 시공 완료 시점 및 지점을 기록하여 다음 조사에 반영하였다.

스티커 종류에 따른 충돌 수 결과값에 대해 통계학적 분석을 하였고, 도트 스티커가 부착된 구간과 스티커가 전혀 부착되어 있지 않은 구간 간 조류 충돌 개체 수 결과에서 유의한 차이를 확인할 수 있었다(T-test, $t=5.964$, $p=0.004$, table 2, 3, fig 10). 또한, 맹금 스티커가 부착된 구간과 스티커 미부착 구간 간 충돌 개체 수 결과에서도 유의한 차이가 나타났다(T-test, $t=2.883$, $p=0.02$, table 2, 3, fig 10). 맹금 스티커가 부착된 구간보다 도트 스티커가 부착된 구간에서의 조류 충돌 발생이 적었으며, 두 구간의 충돌 개체 수 결과값은 각각 상이하였다(T-test, $t=4.739$, $p=0.009$, table 2, 3, fig 10). 최종적으로 맹금 스티커와 도트 스티커 모두 스티커가 없는 것보다 충돌 저감 효과가 있으며, 두 종류를 비교하였을 때에는 도트 스티커를 부착하는 것이 훨씬 효과적이다.

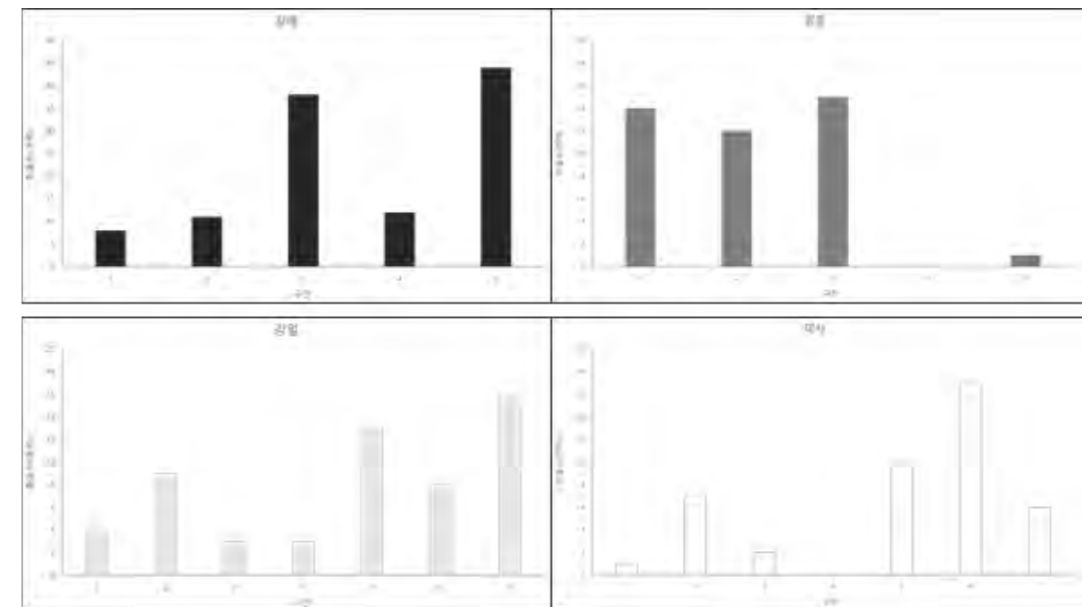


Figure 9-1. 수도권 조사지 구간별 충돌 개체 수 차이

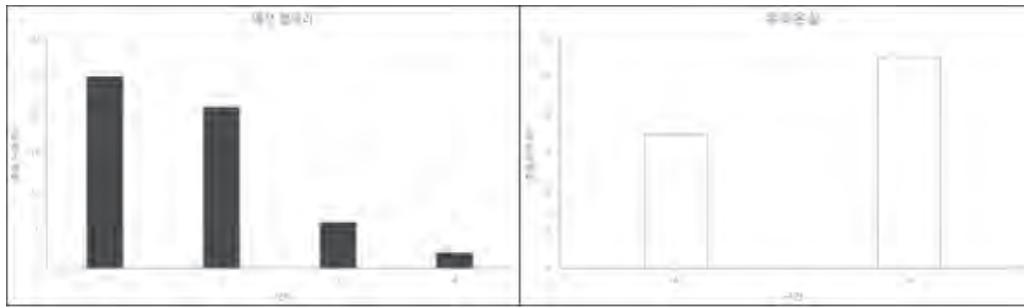


Figure 9-2. 예산 조사지 구간별 총돌 개체 수 차이

	t	p
스티커 없음 × 도트 스티커	5.964	p<0.01
스티커 없음 × 맹금 스티커	2.883	p<0.05
도트 스티커 × 맹금 스티커	4.739	p<0.01

Table 2. 스티커 종류에 따른 총돌 개체 수 차이 T-test 결과

스티커 종류	평균	표준오차
맹금	19.8	3.92938
도트	1.0	0.54772
없음	43.0	7.02140

Table 3. 스티커 종류에 따른 총돌 개체 수 평균과 표준오차

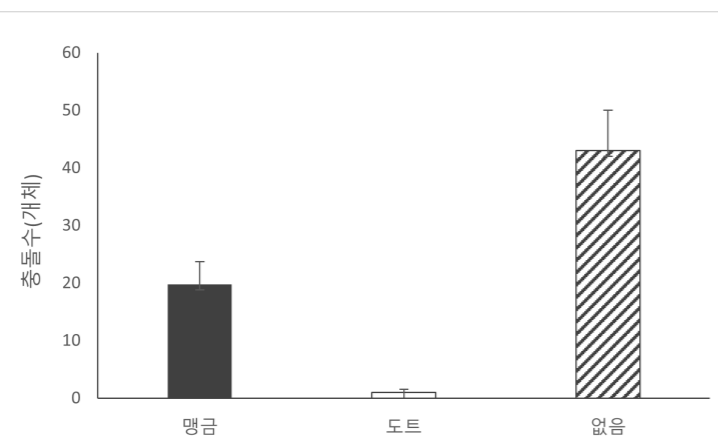


Figure 10. 맹금 스티커, 도트 스티커, 스티커 없음 구간 내 조류 총돌 개체 수의 평균값과 표준오차(standard error).

(3) 발견 유형에 따른 총돌 수 비교

조사 시 사체, 총돌 흔적(이하 흔적), 깃털, 목격으로 분류하여 기록하였으며 각각 사체 144개체, 흔적 111개체, 깃털 67개체, 목격 10개체가 확인되었다(Figure 11). 단, 총돌 흔적은 사체 및 깃털 발견 위치와 가까운 곳에서 관찰된 경우 1개체의 총돌로 판단하였기에 앞서 언급한 분류상 개체 수의 합은 총 개체 수를 초과한다.



Figure 11. 발견 유형별 사진: (a) 사체, (b) 흔적, (c) 깃털, (d) 목격

(4) 월별 총돌 수

조사 지역별로는 수도권 갈매 지역의 경우 5월, 6월, 7월, 8월, 9월까지 순서대로 19개체, 12개체, 24개체, 15개체, 43개체가 확인되었으며, 원흥에서의 총돌은 16개체, 14개체, 5개체, 6개체, 1개체가 확인되었다. 또한, 강일 지역에서는 12개체, 6개체, 17개체, 13개체, 8개체가, 미사의 경우 7개체, 4개체, 15개체, 8개체, 9개체가 확인되었다(fig 12). 예산 발연리 아파트단지 방음벽에서는 5월부터 9월까지 순서대로 29개체, 5개체, 5개체, 5개체, 10개체가, 유리온실에서는 5~7월에 각각 2개체씩, 8월에 10개체, 9월에 2개체의 총돌이 확인되었다(fig 12). 이로써 최종적으로 5월부터 9월까지 각각 85개체, 43개체, 68개체, 57개체, 73개체의 총돌이 확인되었다(fig 13).

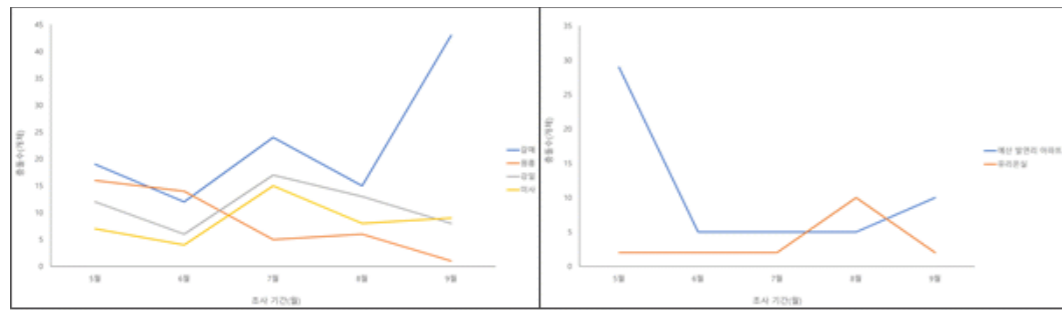


Figure 12. 수도권(좌측)과 예산(우측) 조사지의 월별 총돌 개체 수 차이

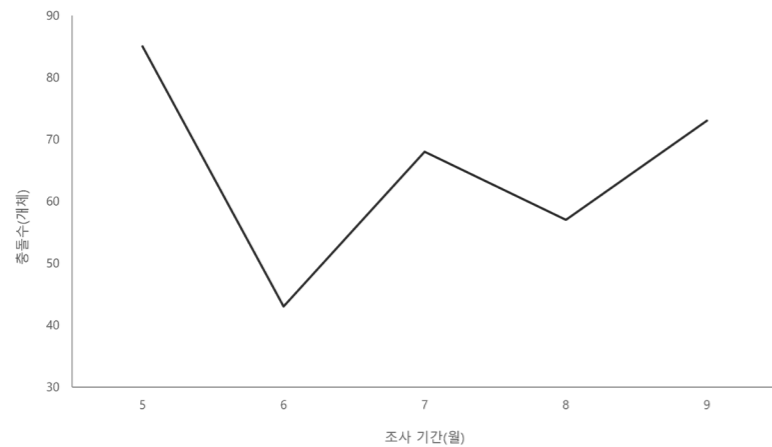


Figure 13. 전체 월별 총돌 수

(5) 방음벽 높이에 따른 총돌 발생 빈도 비교

목적 및 총돌 흔적을 토대로 방음벽 상 총돌 위치를 단의 높이로 기록하였다. 1단 17개체, 2단 31개체, 3단 20개체, 4단 4개체, 6단 5개체, 10단 2개체의 총돌이 확인되었으며(fig 14), 방음벽 높이별 충돌 빈도 비교 결과 2단 높이의 방음벽에서 가장 높았다. 가장 높은 12단 위치에서는 총돌이 확인되지 않았으며, 주로 방음벽의 하단부에서 총돌이 발생하였다. 이는 조류의 비행 특성상 최소한의 에너지를 사용하는 에너지 절약 본능에 기인한 것으로, 조류는 방음벽과 같은 인공 구조물을 피해갈 때 구조물과의 거리 격차를 최소화하여 비행한다. 따라서 이러한 비행 패턴의 반복에 의해 방음벽의 하단부 충돌률이 높게 나온 것으로 분석된다.

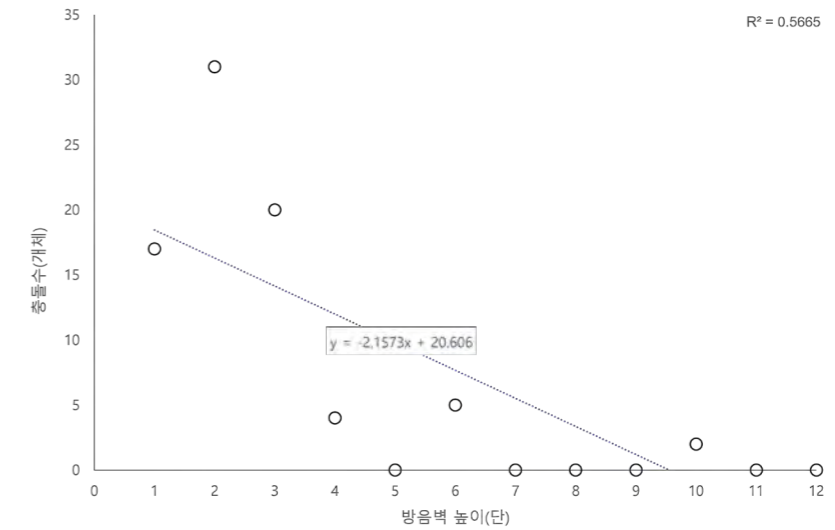


Figure 14. 방음벽 상 총돌 발생 위치

(6) 시민과학을 이용한 조류충돌 조사 결과

시민과학자들을 통해 수집된 자료는 33개였으나, 연구와 무관한 기록 및 중복 기록을 제외하고 최종적으로 유효한 기록은 총 30개로 정리하였다. 예상과 달리 해당 조사에 어려움을 겪은 팀이 많았으며, 코로나 19의 영향으로 인한 현장 교육 미시행 역시 저조한 참여율의 원인 중 하나로 작용하였으리라 생각한다. 이와 관련해 중간보고 이후 소통 방식을 변경하고, 추가 교육 자료를 제작함으로써 더 많은 시민과학자의 적극적인 조사 참여를 유도하였으며, 점차 지속적인 조사로 발전시킬 수 있었다.

5월부터 10월까지 전국적으로 12팀의 시민과학자들이 직접 진행한 조사에서 총 11종 30개체의 충돌이 확인되었다. 서울 지역에서는 구로구 외 2곳, 경기 지역에서는 용인시 외 4곳, 그리고 강원 속초시, 전남 완도군, 광주광역시 광산구에서 시민과학자들의 조사가 진행되었다. 충돌은 직박구리, 집비둘기, 까치, 물까치, 참새 순으로 많았고, 건물 유리창에서의 충돌이 12건, 방음벽에서의 충돌이 15건, 그 외 유리 난간 충돌이 1건이 확인되었다(Table 4).

No.	Species	Korean name	Building windows	Transparent noise barrier	Glass balusters	Unconfirmed	Total
1	<i>Hypsipetes amaurotis</i>	직박구리	2	1	0	0	3
2	<i>Columbidae</i>	집비둘기	1	1	1	0	3
3	<i>Pica pica</i>	까치	2	0	0	0	2
4	<i>Cyanopica cyanus</i>	물까치	0	1	0	1	2
5	<i>Passer montanus</i>	참새	1	1	0	0	2
6	<i>Turdus pallidus</i>	흰배지빠귀	2	0	0	0	2
7	<i>Emberiza elegans</i>	노랑턱멧새	1	0	0	0	1
8	<i>Streptopelia orientalis</i>	멧비둘기	1	0	0	0	1
9	<i>Parus major</i>	박새	0	0	0	1	1
10	<i>Garrulus glandarius</i>	어치	0	1	0	0	1
11	<i>Parus venustulus Swinhoe</i>	노랑배진박새	1	0	0	0	1
12	Unknown	미동정	1	10	0	0	11
Total number of carcasses			12	15	1	2	30
Total number of species			11				

Table 4. 시민과학자 야생조류 투명구조물 충돌 모니터링 결과

(7) 설문조사 결과

「야생조류 투명구조물 충돌」 시민 인식 정도 조사 설문을 진행한 결과, 332명 중 191명이 죽은 새를 본 경험이 있으며, 그중에서 171명(약 90%)이 유리창 충돌로 새가 죽었을 것으로 생각하였다고 답하였다. 또한, 332명 중 271명(약 82%)이 조류충돌 문제를 들어보았으며 소식을 접한 매체로 TV 뉴스 혹은 다큐멘터리, 인터넷 기사, SNS를 주로 지목하였다. 그러나 전체 설문 참여자 중 약 29%만이 피해 수준을 정확히 인지하고 있었으며, 연간 평균 800만 마리의 새가 죽고 있다는 사실을 아는 사람은 많지 않았다. 전체 설문 참여자의 절반가량이 조류 충돌 문제의 해결방안을 알고 있다고 답하였고, 그중에서 정확한 스티커 부착 방법(5×10 혹은 5×5 간격 부착)을 예로 든 사람은 15명에 불과했다. 해결방안으로 대부분 먹이사슬 상위권의 사진을 부착(이하 맹금스티커 부착)하는 것을 예시로 들었고, 도트 스티커를 언급은 하였으나 부착 간격 및 방법을 잘못 알고 있는 답변도 있었다. 그 외 언급된 해결방안으로는 줄 내리기, 방음벽 철거, 색유리로 교체하기 등이 있었다. 맹금 스티커 부착에 대해서는 효과가 있다는 답변이 약 41%를 차지하였으며(fig 15), 이는 아직까지 해결방안에 대한 교육이 제대로 이루어지지 않은 결과로 판단할 수 있다. 따라서 앞으로 맹금류 스티커의 부적합성과 현 충돌 저감 방안(5×10 법칙)의 실효성에 관한 제대로 된 교육이 필요할 것이다.

맹금 스티커가 효과가 있다고 생각하는가? (단위: 명)

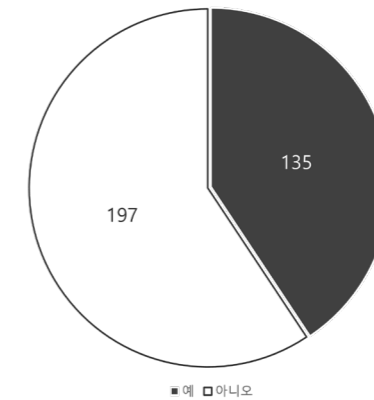


Figure 15. 맹금류 스티커의 실효성에 관한 질문과 답변 결과

2) 고찰

2021년 5월부터 9월까지 수행된 조사 결과, 지역별로 얼마나 다양한 종이 충돌하였는지 알아보기 위해 수도권과 예산의 종 다양성 지수를 각각 계산하였다. 그 결과 수도권에서의 충돌 종 다양성 지수는 약 3.661, 예산에서의 충돌 종 다양성 지수는 약 2.796으로, 수도권에서의 충돌 종 다양성이 더 풍부하였다. 이때 종 다양성 지수의 계산에는 Shannon-Wiener의 공식을 이용하였다. 수도권의 조사지가 예산 지역의 조사지보다 많으며, 수도권 내 조사지가 수자원이 풍부하고 도심과 숲의 경계에 존재하는 생태적 요충지이기 때문에 이러한 결과가 나타난 것으로 추측할 수 있다. 이뿐만 아니라 급속한 도시화로 인한 이동 경로 내 환경변화 역시 충돌의 원인으로 작용한 것으로 보인다.

조류는 계절 변화에 따른 이동성을 기준으로 크게 텃새와 철새로 구분되는데(빙, 2013), 모니터링의 시기상, 도시 지역에 번식하는 텃새와 여름 철새를 주 충돌 개체로 확인할 수 있었으며, 드물게 통과 철새가 발견되기도 하였다. 기록된 28개 종 가운데 텃새가 12종이었으며, 전부 충돌 개체 수 상위권에 속하였다. 이는 텃새가 전국적으로 널리 분포하여 연중 서식하는 특성에 따른 결과로 볼 수 있다. 특히 텃새의 충돌은 7월에 30개체로 가장 빈도가 높았으며, 이는 올해 태어난 유조 및 아성체의 미숙한 비행능력 및 방음벽에 대한 경험 부족의 영향이 있었을 것으로 추측된다. 실제로 원흥의 5구간에서 직박구리 유조의 충돌을 목격하였고, 해당 구간에는 도트 스티커가 부착되어 있었음에도 불구하고 계속해서 통과를 시도하는 모습을 확인할 수 있었다. 여름 철새의 경우 5월과 6월 진행된 조사에서 삻꾸리와 큰유리새, 흰눈썹황금새 등의 충돌이 확인되었다. 또한, 특정 시기에 국내를 통과하는 나그네새인 흰등발종다리와 꼬까참새, 쇠솔새의 충돌이 8월과 9월에 기록되었다. 월별 충돌 수 그래프에 따르면(fig 12), 5월과 9월에 가장 많은 충돌이 확인되었고, 이에 아성체의 충돌과 더불어 철새 이동의 영향이 있었을 것이라 예상한다. 점차 기후변화에 따른 국내 조류 분포의 변화가 앞으로 철새들의 충돌 양상에 변화를 가져올 것으로 예상되며, 따라서 적절한 대비책 마련이 필요할 것이다.

발견 유형별로 개체 수를 비교하였을 때 사체의 기록이 가장 많았으며, 부상당한 개체를 발견하거나 충돌의 순간을 목격하는 경우는 드물었다. 충돌과 동시에 현장에서 즉사하거나 부상을 입은 상태에서 포식당하여 죽게 된 경우가 대부분이었으며, 충돌 후 자가회복하여 무사히 날아가는 경우는 흔치 않았다. 그만큼 조류에게 투명구조물 충돌은 생존과 직결되는 매우 치명적인 문제이다. 또한, 사체는 상당수 훼손된 상태로 발견(fig 7)되거나 일부는 방음벽으로부터 조금 떨어진 위치에서 수집되었다. 이는 포식자의 훼손, 운반에 의한 것으로 판단하였고 이로 인해 소실되는 개체 수 역시 상당할 것으로 예상하여 예산 조사지 내 무인센서 카메라를 설치하였으나, 단기간의 촬영에서 얻은 유의미한 자료는

없었다. 따라서 촬영 기간 및 범위 확대, 검토 주기 단축 등의 보완을 거쳐 추가 연구를 진행할 필요가 있을 것으로 보인다.

5개월의 기간 중 현장 조사를 진행한 43일, 6곳의 조사 결과, 총 28종 326개체를 기록하였으며, 해당 결과에는 포유류의 운반 혹은 아파트 경비원의 청소에 의한 소실, 이전 조사자의 기록 등이 포함되어 있지 않다. 따라서 본 연구에서 도출된 결과값은 실제 충돌 수보다 적게 나타난다. 그러나 이 결과를 최소값으로 하여 계산하였을 때 1일 기준 약 8마리가 충돌하는 것을 알 수 있으며, 만약 실제 충돌 수 기준으로 하여 국내 전체로 환산한다면 그 피해 수준은 더욱 방대할 것으로 추정된다.

통계학적 분석을 통해 맹금 스티커가 충돌 저감에 효과가 있음을 알 수 있었으나(table 2), 실제 현장 조사에서 맹금 스티커가 부착된 위치 위의 충돌흔을 여러 차례 발견하였다(fig 11-b). 이는 습관화에 의한 충돌 저감 효과 저하로 판단된다. 현재 해당 문제를 해결하기 위한 방안 중 가장 적합한 것으로 도트 스티커를 일정 간격으로 부착하는 것이 제시되고 있다. 국립생태원이 2년 전 진행한 대전 반석동 투명방음벽 새 충돌 모니터링 결과에서 도트 스티커 부착의 효과가 입증되었다. 스티커 부착 전 401일간 발견된 충돌 피해는 133마리였으나, 부착 후 352일간의 모니터링 결과 발견된 충돌피해는 4마리에 불과하였다. 실제 본 연구 기간 중에도 원흥과 강일 조사구간에 충돌 저감 스티커 부착 시공이 이루어졌고, 그 후 조사에서 충돌 개체 수가 큰 폭으로 감소하였다. 또한, 이전부터 도트 스티커가 부착되어 있던 원흥의 5구간과 미사 3, 4구간에서 역시 단 3개체의 충돌만이 확인되었기에 충돌 저감을 위한 도트 스티커의 유효성이 충분히 입증되었다고 판단된다(fig 9-1, 10). 단, 스티커 저감 방안을 시행한다고 하더라도 반석동의 사례와 같이 꾸준한 모니터링이 이루어지지 않을 경우 해당 방안의 효과를 증명할 수 없다. 따라서 지속적인 모니터링과 연구가 필요할 것이다. 이를 바탕으로 하여 법적인 논의를 통한 효과적인 조류 충돌 저감 방안 시공과 설치에 대한 규제화가 이루어지고, 설치된 저감 방안에 대한 관리 방법 역시 수립되어야 한다(여, 2017).

이번 '시민과학폴씨' 활동은 시민과학자들과 함께한 여러 차례의 온라인 교육 및 소통을 통해 심각성에 비해 주목받지 못하던 야생조류 충돌 문제의 인식 향상에 중점을 두었다. 초기 참여도가 낮은 데에는 주검에 대한 조사라는 이유가 가장 크게 작용하였고, 이를 해결하고자 생명의 소중함과 새의 헛된 죽음에 대해 중점적으로 교육하였다. 이를 통해 시민과학자들에게 조류 충돌 모니터링의 필요성을 강조하고, 동기를 부여하며 후반기에 많은 참여를 이끌어냈다. 앞으로 해당 문제를 대중화하기 위해서는 교육 자료의 보완과 더불어 다양한 매체에서의 노출 증가가 필요할 것으로 보인다. 이에 따라 전국 수준에서 문제 해결에 대한 적극성의 제고 및 그에 따른 모니터링 참여도 증진까지 가능할 것으로 기대된다.

참고문헌

- 국립생태원, 2017, 『야생조류와 유리창 충돌』, 6-50.
- 최준오, 2020, 『조류 친화적 건축 외벽 유리에 관한 연구』, 『대한건축학회 학술발표대회 논문집』, 40(1), 21-24.
- 서해민, 2020, 『국내 야생조류의 투명구조물 충돌 피해 현황과 연간 피해량 추정』, 『국내 석사학위 논문 서울대학교 대학원』, 1-97.
- 구태희, 이우신, 박진영, 『한국의 새』, LG상록재단, 2020.
- 빙기창, 최창용, 남현영, 박종길, 홍길표, 김성진, 채희영, 최영복, 2012, 『중간기착지에서의 조류 사인에 대한 고찰』, 『한국조류학회지』, 19(1), 23-31
- 여주한, 2017, 『철새 중간기착지 흑산도 조류사망원인 연구』, 『국내 석사학위 논문 삼육대학교 대학원』, 1-37.
- 『불암산삼육대 생태경관보전지역 정밀변화관찰 연구』, 서울특별시, 2018.
- SBS NEWS, “새 충돌 막는 투명창 ‘점’ 표시...법 제정 서둘러야”, https://news.sbs.co.kr/news/endPage.do?news_id=N1006511498, 2021.10.27.
- Richard C. Banks, “Reflective plate glass—a hazard to migrating birds”, *Bioscience*, 1976, 26(6), 414.
- Klem, Jr, D, 『Avian mortality at windows: the second largest human source of bird mortality on Earth. Tundra to tropics: connecting birds, habitats and people.』 2008, 244-251.
- Klem, Jr, Daniel, 『Preventing Bird-Window Collisions』, 『The Wilson Journal of Ornithology』, 2009, 121 314-321, 10.1676/08-118.1.

2021년도 시민과학플씨 2기 최종 결과보고서

송장벌레 분포와 종 다양성 간의 연관성 분석을 통한 생태계 건강도 조사

해피레인저

박정민 · 김동현 · 김판경 아주대학교 생명과학과

송장벌레 분포와 종 다양성 간의 연관성 분석을 통한 생태계 건강도 조사

해피레인저

박정민·김동현·김판경 아주대학교 생명과학과

1. 서론

인간의 편의를 위한 도시화와 개발은 자연환경을 파괴하고 있다. 특히, 생물들의 서식지가 점점 축소되면서 생태계의 종 다양성이 부족해지는 결과를 불러오게 되었다. 건강한 생태환경을 유지하기 위해서는 다양한 종들로부터 발생하는 상호작용이 필요하다. 이는 곧 생산자, 소비자, 분해자로 표현되는 생물들의 역할을 의미한다. 이와 같이 생태계에서 분해자의 역할이 중요함에도 불구하고, 이들에 대한 연구는 생산자와 소비자에 비해 상대적으로 부족한 것이 현실이다. 따라서 건강한 생태환경을 반증하는 생물 종 다양성과 분해자와의 연관성에 대한 연구가 필요하다.

송장벌레과(Silphidae)는 전 세계에 2아과 13속 210종이 알려져 있는 시식성 곤충 집단으로 (Peck, 1990; Kalinová et al., 2009), 분해자의 역할을 하는 대표적인 곤충이다. 송장벌레의 주된 먹이는 동물의 사체이며, 동시에 알을 낳기 위한 산란장으로도 사용한다(Pukowski, 1933). 따라서 송장벌레는 먹이자 애벌레의 삶의 터전이 되는 사체를 찾을 수 있는 촉각이 강하게 발달하였다. 송장벌레는 이를 통해 수 킬로미터 이상의 먼 거리에서도 사체를 찾아낼 수 있고(Petruska, 1975), 다른 시식성 경쟁자들보다 빠르게 사체를 찾아낼 수 있는 능력을 가지고 있다(Abbot, 1927; Boeckh, 1962; Ernst, 1972).

분해자로서의 송장벌레의 특징은 먹이원인 동물상의 변화에 민감하게 반응하며, 생태계의 선순환에 도움을 준다는 점이다. 이는 곧 송장벌레의 풍부도 변화가 동물상의 변화를 반영할 수 있다는 것이다. 따라서 이러한 분해자성 생물들의 분포 및 개체 수를 파악하여 건강한 생태계의 지표로써 사용할 수 있는지에 대한 가능성을 알아보려고 하였다. 즉, '특정 지역에 송장벌레 풍부도가 높을수록, 높은 종 다양성을 띤다.'는 가설을 바탕으로 실험을 진행하였다. 특히, 개발압력이 높은 도심인근지역의 산

과 상대적으로 개발압력이 낮아 자연환경이 잘 보존되어 있는 곳들 간의 비교 연구를 통해 건강한 환경 조성에 분해자의 활용 가능성을 알아보려고 한다.

본 연구에서는 개발압력에 따라 네 곳의 지역을 선정하여 송장벌레 풍부도 및 동식물의 다양성을 파악하였고, 이들 간의 상관관계를 다양한 통계적 기법을 통해 분석하였다. 이 자료는 생태계 종 다양성의 지표로서 송장벌레를 활용할 수 있는 기초 자료가 될 것으로 생각된다.

2. 본론

1) 연구 지역 선정

본 연구는 송장벌레 풍부도를 통해 해당 생태계의 건강성을 비교해보고자 하는 연구이기 때문에 다양한 수준의 건강성을 가지는 생태계의 비교가 필요하였다. 따라서 서로 다른 개발압력에 있는 연구 지역을 선정하여 실험을 진행하였다. 본 연구에서 정의하는 개발압력 정도는 섬생물지리학의 원리 (MacArthur, R. H. and Wilson, E. O., 1967)를 바탕으로 한 녹지면적과 인구밀도를 기반(김재익 외, 2005)으로 하였다. 즉, 개발압력이 높은 곳은 녹지면적이 좁고 인구밀도가 높은 지역을 의미한다.



그림 1. 아주대학교



그림 2. 부곡체육공원



그림 3. 광고산



그림 4. 백운산

표 1. 연구 지역 녹지면적 및 인구밀도

	아주대학교	부곡체육공원	광교산	백운산
녹지면적 (km ²)	0.19	0.21	27.00	111.30
면적 당 인구수 (명/km ²)	7995.45	2610.38	1993.47	106.36

그림1~4와 표 1을 바탕으로 하여, 개발압력이 높은 순으로 네 지역(아주대학교: 37°16'58"N 127°02'36"E, 부곡체육공원: 37°18'55"N 126°57'40"E, 광교산: 37°16'47"N 127°02'38"E, 백운산: 37°16'05"N 127°56'30"E)을 선정하였다.

2) 연구 방법

비행 간섭 트랩 및 먹이 트랩을 활용해 송장벌레 채집을 시도하였다. 비행 간섭 트랩은 속리산 송장벌레 풍부도 연구(오광식 외, 2011)를 참고하여 제작하였고, 먹이 트랩은 장 내 DNA 분석 시 유인용 먹이원이 검출되지 않도록 송장벌레가 먹이원에 접근하지 못하는 구조로 구상하여, 자체적으로 제작하였다.



그림 5. 먹이트랩

채집 결과를 바탕으로 해당 지역의 송장벌레 분류 및 분포 데이터를 산출하였다. 또한, 각 지역에 특정 구획 (10m×10m)을 설정하고 해당 구역 내 식물 방형구 조사를 수행하였다. 동일 구획 내에서 pit-fall trap을 통해 동물 중 다양성을 조사하였다. 조사 결과를 바탕으로 종 다양성 지수(Shannon-Wiener index)를 산출하였다. 산출한 송장벌레 풍부도 데이터와 동식물 중 다양성 지수 간의 상관관계를 linear regression 및 pairwise correlation 통해 분석하였고, heat map을 통해 도식화하였다. 해당 분석은 위와 같은 통계적 기법(김희발, 2021)을 바탕으로 Excel과 R을 이용해 진행하였다.

채집으로 확보한 송장벌레 샘플을 바탕으로 장 내 DNA 분석을 통한 먹이원 검정을 시도하였다. DNA 추출은 AccuPrep[®] Stool DNA Extraction Kit(BIONEER, Daejeon, Republic of Korea)과 DNeasy Blood & Tissue Kit(Qiagen, Hilden, Germany), FastDNA[®] SPIN KIT(MP Biomedicals, Solon, USA)의 프로토콜을 따랐다. 이후 진행된 PCR 과정은 AccuPower[®] Taq PCR PreMix(BIONEER, Daejeon, Republic of Korea)를 사용하였고 PCR condition은 동일한 시식

성 중인 검정파리(families Calliphoridae and Sarcophagidae)를 대상으로 한 장 내 DNA 분석연구(S. Calvignac-Spencer, 2013)를 바탕으로 진행하였다. 이후 증폭된 DNA를 AccuRapid[®] TA Cloning Kit(BIONEER, Daejeon, Republic of Korea)를 통해 Cloning 하였다. Cloning 결과물은 XenoTECH에서 sequencing을 진행하였다.

해당 생태계 내의 대략적인 먹이그물을 구성하고 영양단계를 간접적으로 파악하기 위하여 안정 동위원소 분석을 수행하였다. 안정동위원소 샘플은 채집한 곤충과 식물을 동결 건조 처리한 후, tin capsule(CE Elantech, Inc, Lakewood, USA)을 이용하여 제작하였다. 샘플 분석은 The Center for stable Isotope Biogeochemistry on the UC Berkely(CSIB)에 의뢰하였다. 『Stable Isotope Ecology』(Fry, 2007)를 바탕으로 한 결과 분석을 통해 송장벌레의 영양 단계를 추측하였다. 해당 결과는 R package인 ggplot2을 통해 biplot으로 도식화하였다. 결과적으로 해당 구획별 먹이그물과 영양단계를 간접적으로 구성하였다.

3) 연구 결과

표 2. 네 개 지역의 종 다양성 지수 및 송장벌레 풍부도

채집지역	식물 종 다양성 지수	곤충 종 다양성 지수	송장벌레 풍부도 (개체)
아주대학교	1.73428	0.84673	0
부곡체육공원	2.07381	1.54642	8
광교산	2.38150	2.08442	10
백운산	2.81758	2.31321	25

연구 지역에서 특정 구획 (10m×10m)을 설정하여 조사한 식물 및 곤충 종 다양성 지수와 동일 구획 내에서 먹이트랩을 이용하여 산출한 송장벌레 풍부도이다.

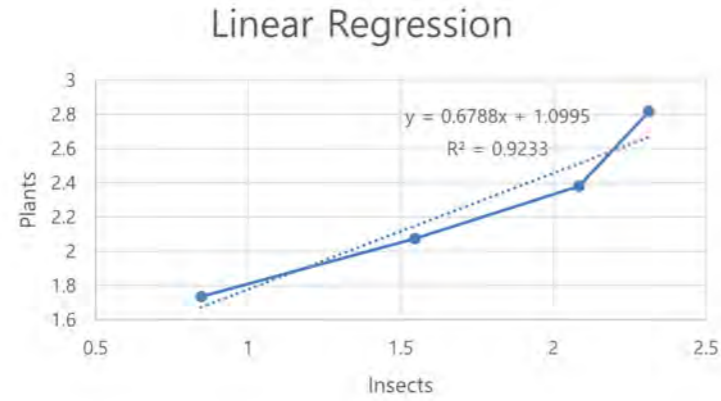


그림 6. 곤충과 식물 종 다양성 지수 간 선형 회귀 분석

표 2의 곤충 종 다양성 지수를 x축, 식물 종 다양성 지수를 y축으로 설정하여 선형회귀분석을 진행하였다. 그림 6을 통해 곤충 종 다양성 지수와 식물 종 다양성 지수의 경향성이 유사함을 확인할 수 있었다.

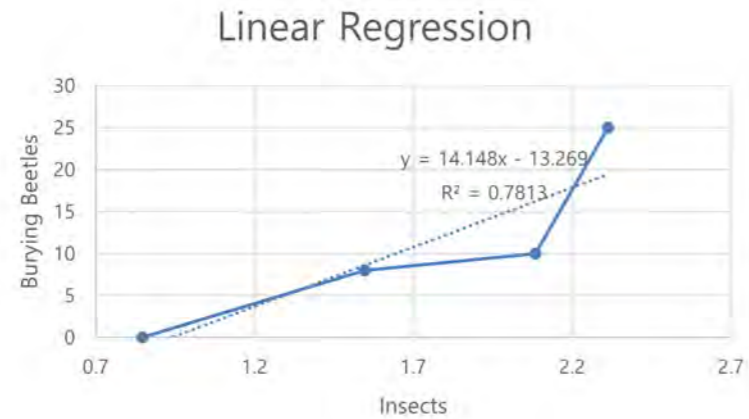


그림 7. 곤충 종 다양성 지수와 송장벌레 풍부도 간 선형 회귀 분석

표 2의 곤충 종 다양성 지수를 x축, 송장벌레 풍부도를 y축으로 설정하여 선형회귀분석을 진행하였다. 그림 7을 통해 곤충 종 다양성 지수와 송장벌레 풍부도의 경향성이 유사함을 확인할 수 있었다.

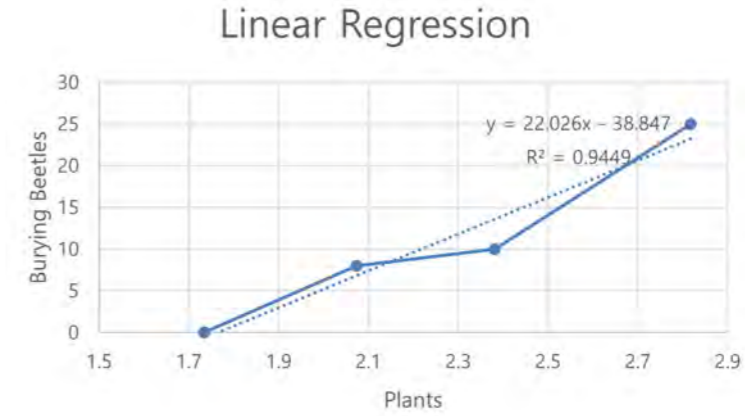


그림 8. 식물 종 다양성 지수와 송장벌레 풍부도 간 선형 회귀 분석

표 2의 식물 종 다양성 지수를 x축, 송장벌레 풍부도를 y축으로 설정하여 선형회귀분석을 진행하였다. 그림 8을 통해 식물 종 다양성 지수와 송장벌레 풍부도의 경향성 역시 유사함을 확인할 수 있었다.

표 3. 식물 및 곤충 종 다양성 지수와 송장벌레 풍부도 데이터를 통한 pairwise correlation

	Plants	Insects	Burying Beetles
Plants	1.00000	0.96088	0.97207
Insects	0.96088	1.00000	0.88393
Burying Beetles	0.97207	0.88393	1.00000

표 2의 종 다양성 지수와 송장벌레 풍부도 간의 상관관계 분석을 R의 cor() 함수를 활용하여 pairwise correlation을 구성한 표이다.

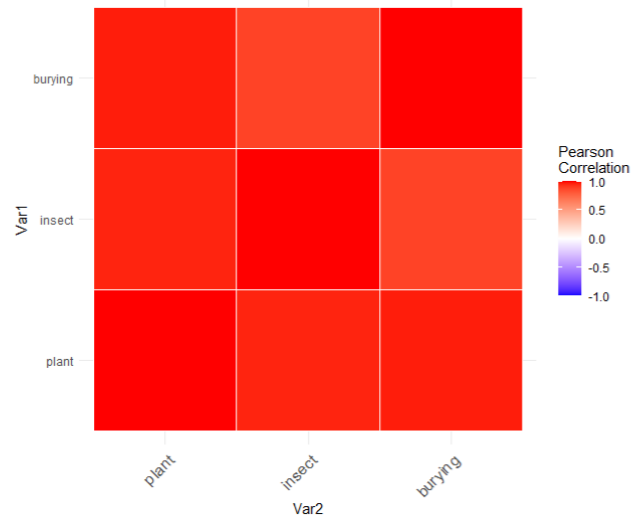


그림 9. pairwise correlation 결과를 도식화한 heat map

표 2를 바탕으로 ggplot() 함수를 이용하여 도식화한 heat map 결과이다. 이를 보면, 식물의 종 다양성 지수와 송장벌레 풍부도는 매우 높은 양의 상관관계를 가진다고 볼 수 있다. 곤충의 종 다양성 지수와 송장벌레 풍부도 역시 상당한 수준의 양의 상관관계를 보였다.

송장벌레는 시식성 곤충으로서 해당 생태계 내에 존재하는 다양한 생물종의 사체를 섭식하였을 가능성이 높기 때문에, 본 연구에서는 송장벌레 장 내 잔존 DNA를 통하여 해당 생태계 내 먹이그물 및 생물종 다양성을 추측할 수 있다고 가정하였다. DNA 분석은 2021년 07월 30일부터 2021년 09월 03일까지 진행하였다. 채집한 송장벌레는 영하 70°C deep freezer에서 보관하였다.

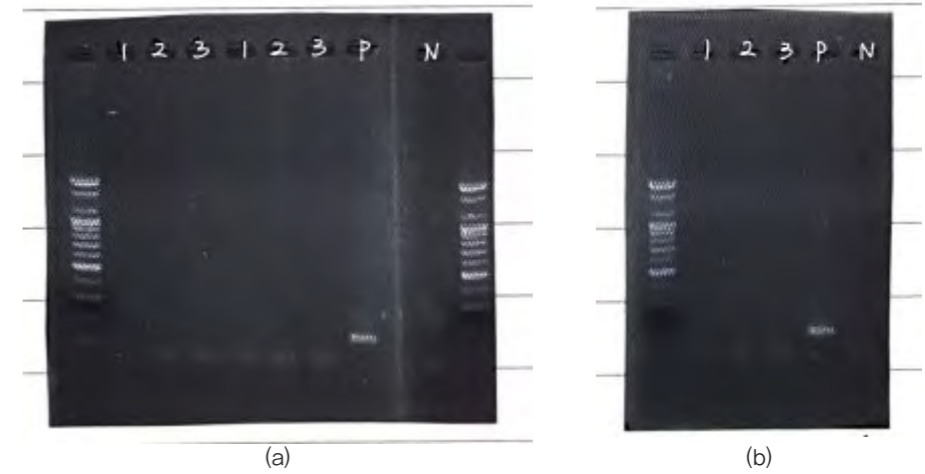


그림 10. gel electrophoresis 결과 (Stool kit) (21.07.30)

그림 10-(a)는 동물의 배설물에서 DNA를 추출하는데 사용되는 stool kit을 사용하여 송장벌레의 장 내 잔존 DNA를 추출하고 척추동물에 특이적인 12SV5 primer를 사용해 PCR을 진행하고 이후 전기영동을 시도한 것이다. 그림 10-(b)는 같은 방식이지만 DNA를 1/10로 희석하여 전기영동을 시도한 것이다. 그림 10-(a), (b) 모두 DNA 밴드는 확인되지 않았다.

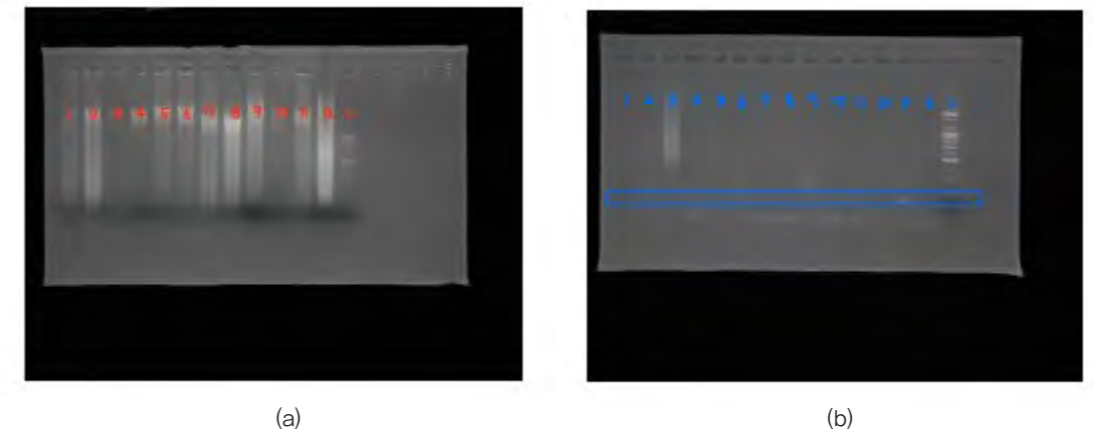


그림 11. gel electrophoresis 결과 (Stool kit) (21.08.05)

그림 11-(a)는 동물의 배설물에서 DNA를 추출하는데 사용되는 stool kit을 사용하여 송장벌레의 장 내 잔존 DNA를 추출하고 어류에 특이적인 16S primer를 사용해 PCR을 진행하고 이후 전기영동을 시도한 것이다. 그림 11-(b)는 같은 방식이지만 DNA를 1/10로 희석하여 전기영동을 시도한 것이다. 그림 11-(a)에서 DNA 밴드는 확인되지 않았다. 그림 11-(b)의 2, 5, 6, 9, 11번 샘플은 밴드가 확인되어 cloning을 진행하였다.

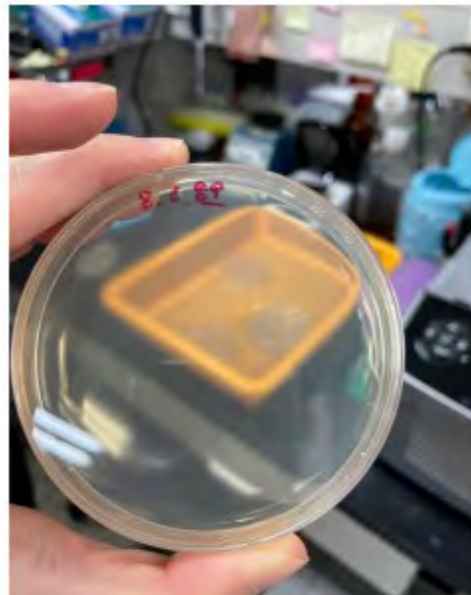
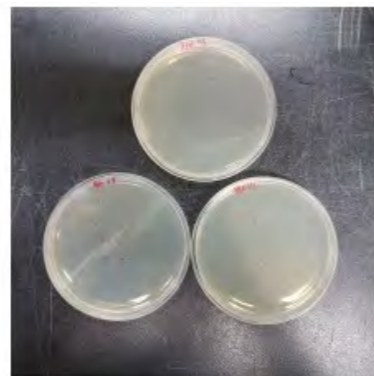


그림 12. cloning 결과 (21.08.06)

그림 11-(b)의 2, 5, 6, 9, 11번 샘플의 DNA를 대장균을 사용해 cloning을 시도했다. colony는 확인되지 않았다.



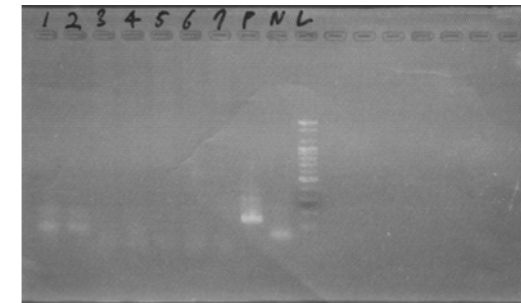
(a)



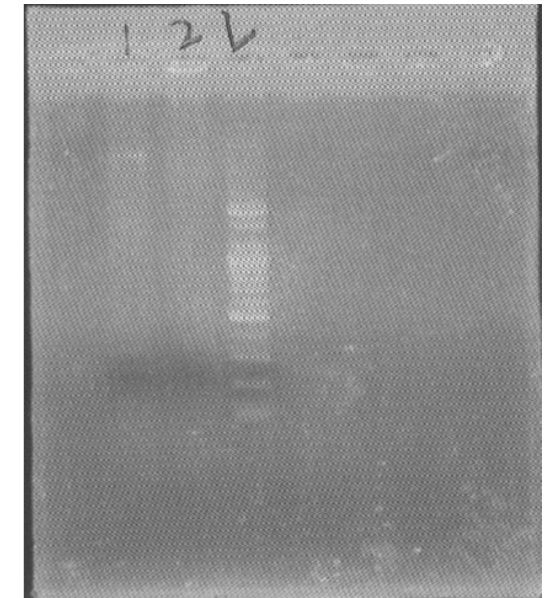
(b)

그림 13. gel electrophoresis 및 cloning 결과 (Stool kit) (21.08.12)

그림 13-(a)는 그림 11-(b)의 2, 5, 6, 9, 11번 샘플의 DNA를 다시 추출해 PCR을 진행하고 전기영동한 것이다. DNA 밴드가 확인되어 이후 cloning을 진행하였고 그림 13-(b)는 cloning 결과이다. White colony가 확인되어 sequencing 의뢰를 진행하였지만 척추동물의 DNA는 아닌 것으로 판명되었다.



(a)



(b)

그림 14. gel electrophoresis 결과 (Blood&Tissue kit, Spin kit) (21.08.27)

그림 14-(a)는 동물의 혈액 및 조직에서 DNA를 추출하는데 사용되는 blood & tissue kit을 사용하여 송장벌레의 장 내 잔존 DNA를 추출하고 척추동물에 특이적인 12SV5 primer를 사용해 PCR을 진행하고 이후 전기영동을 시도한 것이다. 그림 14-(b)는 같은 방식이지만 spin kit를 사용하여 전기영동을 시도한 것이다. 그림 14-(a), (b) 모두 DNA 밴드는 확인되지 않았다.

그림 15-(a)는 동물의 배설물에서 DNA를 추출하는데 사용되는 stool kit을 사용하여 송장벌레의 장 내 잔존 DNA를 추출하고 척추동물에 특이적인 12SV5 primer를 사용하여 기존의 방식과 동일하게 55°C에서 PCR을 진행하고 이후 전기영동을 시도한 것이다. 그림 15-(b)는 같은 방식이지만 PCR 온도를 57.8°C로 설정하여 PCR을 진행했고 이후 전기영동을 시도한 것이다. 그림 15-(c)는 같은 방식

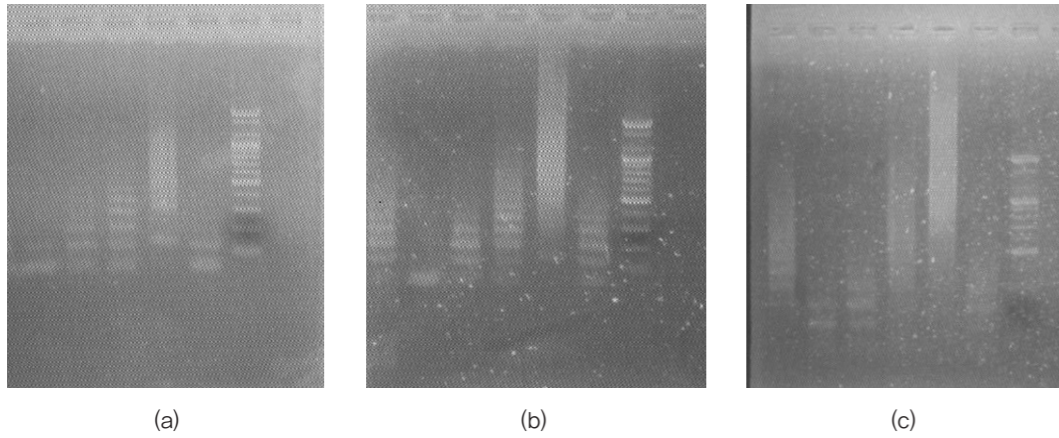


그림 15. gel electrophoresis (annealing 조건 변화) (21.08.27)

이지만 PCR 온도를 61°C로 설정하여 PCR을 진행했고 이후 전기영동을 시도한 것이다. 그림 15-(a), (b), (c) 모두 DNA 밴드는 확인되지 않았다.

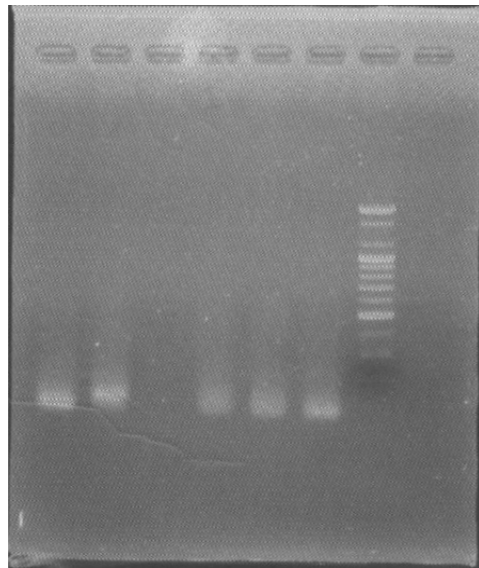


그림 16. gel electrophoresis (uniminibar 이용) (21.08.27)

그림 16은 동물의 배설물에서 DNA를 추출하는데 사용되는 stool kit을 사용하여 송장벌레의 장내 잔존 DNA를 추출하고 동물군에서 보편적으로 사용되는 uniminibar primer를 사용해 PCR을 진행하고 이후 전기영동을 시도한 것이다. DNA 밴드는 확인되지 않았다.

연구 지역별로 선정된 특정 구획에서 채집한 식물 및 곤충, 송장벌레 샘플을 바탕으로 안정동위원소($\delta^{13}C - \delta^{15}N$) 분석 biplot을 작성하였다. 먹이원 분석에는 fractionation이 거의 일어나지 않는 $\delta^{13}C$ 안정동위원소를 이용하였고, 영양단계 분석에는 단계가 높아질수록 3.4%씩 농축되는 $\delta^{15}N$ 안정동위원소 분석 이용하였다. 또한, 각 지역의 안정동위원소를 기반으로 XMind를 사용해 예상되는 먹이그물을 그렸다.

표 4. 아주대학교 안정동위원소 결과

종명	$\delta^{13}C$	$\delta^{15}N$	$\delta^{13}C$ 평균	$\delta^{15}N$ 평균	$\delta^{13}C$ 표준편차	$\delta^{15}N$ 표준편차
낙엽1	-28.62	-4.55	-29.63	-3.82	0.77	0.54
낙엽2	-30.49	-3.62				
낙엽3	-29.79	-3.28				
귀뚜라미1	-27.17	2.29	-27.37	1.36	0.39	0.71
귀뚜라미2	-27.02	1.22				
귀뚜라미3	-27.91	0.57				
일본왕개미1	-26.37	2.53	-25.73	4.21	0.88	2.39
일본왕개미2	-24.49	7.58				
일본왕개미3	-26.34	2.51				
개망초1	-33.36	-4.54	-32.89	-4.78	0.40	0.31
개망초2	-32.92	-5.21				
개망초3	-32.39	-4.58				
닭의장풀1	-32.57	-2.99	-32.63	-3.02	0.31	0.82
닭의장풀2	-32.28	-2.03				
닭의장풀3	-33.03	-4.03				
강아지풀1	-13.03	-4.16	-12.57	-4.06	0.34	0.08
강아지풀2	-12.24	-4.06				
강아지풀3	-12.44	-3.97				

아주대학교 안정동위원소 분석결과 다양한 영양단계의 종이 채집되지 않았으며, 송장벌레 역시 채집되지 않았다. 이에 따라 예상되는 먹이그물 역시 가장 단순한 형태를 보였다. 질소 안정동위원소의 측면에서, 잡식을 하는 일본왕개미의 영양단계($\delta^{15}N$ 값)가 제일 높게 나타났으며, 잡식성인 귀뚜라미

가 뒤를 이었다. 이들은 일반적으로 곤충을 직접 사냥하는 육식성 곤충이 아니기 때문에 주로 사체의 형태로 하위단계 곤충들을 섭식하였을 것으로 예상된다. 그리고 식물과 잡식성 곤충 사이의 질소 안정동위원소 값 차이(영양단계 차이)가 크게 나타났기 때문에, 중간 단계의 초식 곤충들이 존재함을 예상할 수 있었다. 또한 탄소 안정동위원소의 측면에서 C4 식물인 강아지풀의 $\delta^{13}C$ 값이 매우 높게 나타났다. 일반적으로 C4 식물의 경우 탄소 안정동위원소의 값이 높게 나타나는 것으로 알려져 있다

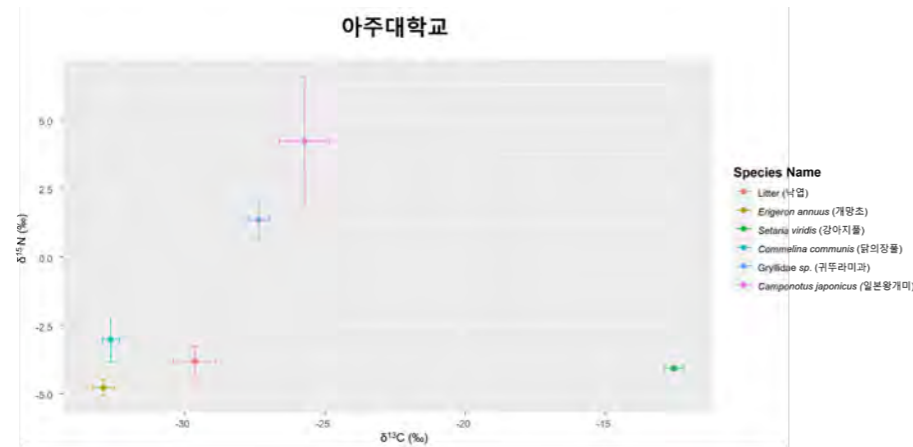


그림 17. 아주대학교 안정동위원소 biplot

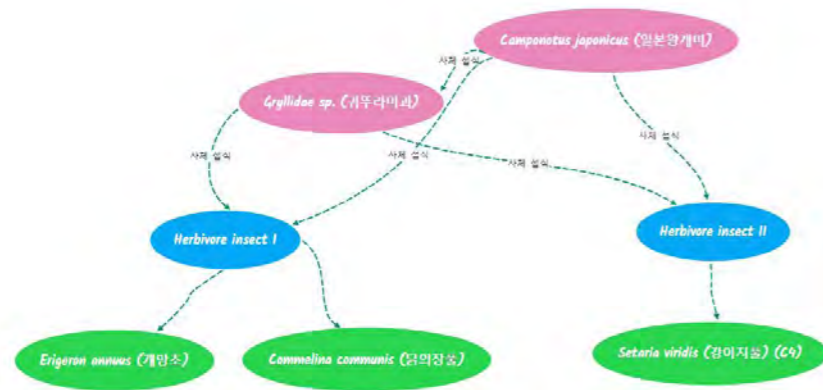


그림 18. 아주대학교 예상 먹이그물

(Elizabeth A. Kellogg, 2013). 하지만 해당 $\delta^{13}C$ 값 영역의 상위 영양단계 생물은 발견하지 못하였기 때문에 강아지풀을 먹이원으로 하는 또 다른 초식 곤충이 존재함을 예상할 수 있었다.

표 5. 부곡체육공원 안정동위원소 결과

종명	$\delta^{13}C$	$\delta^{15}N$	$\delta^{13}C$ 평균	$\delta^{15}N$ 평균	$\delta^{13}C$ 표준편차	$\delta^{15}N$ 표준편차
낙엽1	-29.66	-5.44	-30.46	-5.89	0.72	0.73
낙엽2	-30.33	-5.31				
낙엽3	-31.4	-6.91				
밤나무제주나방1	-31.81	-1.5	-31.28	-2.04	0.40	0.61
밤나무제주나방2	-31.19	-1.74				
밤나무제주나방3	-30.83	-2.89				
민집개벌레1	-27.79	3.39	-27.14	2.88	0.65	0.51
민집개벌레2	-26.49	2.37				
넓적송장벌레1	-21.71	3.99	-24.14	3.94	1.83	1.14
넓적송장벌레2	-26.11	5.31				
넓적송장벌레3	-24.61	2.52				
주름조개풀1	-35.62	-6.87	-34.98	-6.15	0.55	0.52
주름조개풀2	-35.03	-5.69				
주름조개풀3	-34.28	-5.89				
밤나무1	-31.48	-3.57	-31.49	-3.38	0.06	0.13
밤나무2	-31.43	-3.31				
밤나무3	-31.57	-3.27				

부곡체육공원 안정동위원소 분석결과 아주대학교보다 다양한 영양단계의 종이 채집되었으며, 송장벌레 역시 발견되었다. 이에 따라 예상되는 먹이그물은 아주대학교보다 복잡한 형태를 보였다. 질소 안정동위원소의 측면에서, 시식을 하는 넓적송장벌레의 영양단계($\delta^{15}N$ 값)가 가장 높게 나타났다. 또한 탄소 안정동위원소의 측면에서 $\delta^{13}C$ 값이 높게 나타나는 C4 식물 데이터가 존재하지 않으나, 넓적송장벌레 및 민집개벌레의 $\delta^{13}C$ 값이 높게 나타났기 때문에, C4 식물을 먹이원으로 하는 먹이사슬이 존재할 것으로 예상할 수 있었다.

표 6. 광교산 안정동위원소 결과

종명	δ13C	δ15N	δ13C 평균	δ15N 평균	δ13C 표준편차	δ15N 표준편차
밤나무제주나방	-27.92	-2.86	-27.92	-2.86	0.00	0.00
대모송장벌레1	-21	13.25	-23.81	9.38	1.99	2.74
대모송장벌레2	-25.28	7.41				
대모송장벌레3	-25.16	7.47				
산뱀들이거저리1	-25.12	-3.38	-24.18	-2.96	0.70	0.69
산뱀들이거저리2	-23.96	-1.99				
산뱀들이거저리3	-23.46	-3.51				
빛살방아벌레1	-25.95	1	-25.97	1.42	0.02	0.42
빛살방아벌레2	-25.98	1.84				
털두꺼비하늘소	-25.67	-1.97	-25.67	-1.97	0.00	0.00
딱정벌레과1	-26.99	0.84	-27.76	0.13	2.01	0.81
딱정벌레과2	-30.51	0.55				
딱정벌레과3	-25.78	-1.01				
낙엽1	-28.89	-4.35	-28.69	-4.77	0.30	0.42
낙엽2	-28.91	-4.62				
낙엽3	-28.27	-5.35				
주름조개풀1	-35.98	-6.98	-34.91	-6.81	1.01	0.69
주름조개풀2	-35.19	-5.89				
주름조개풀3	-33.55	-7.55				
떡갈나무1	-32.78	-2.88	-32.57	-3.71	0.35	0.61
떡갈나무2	-32.86	-4.34				
떡갈나무3	-32.08	-3.91				

부곡체육공원

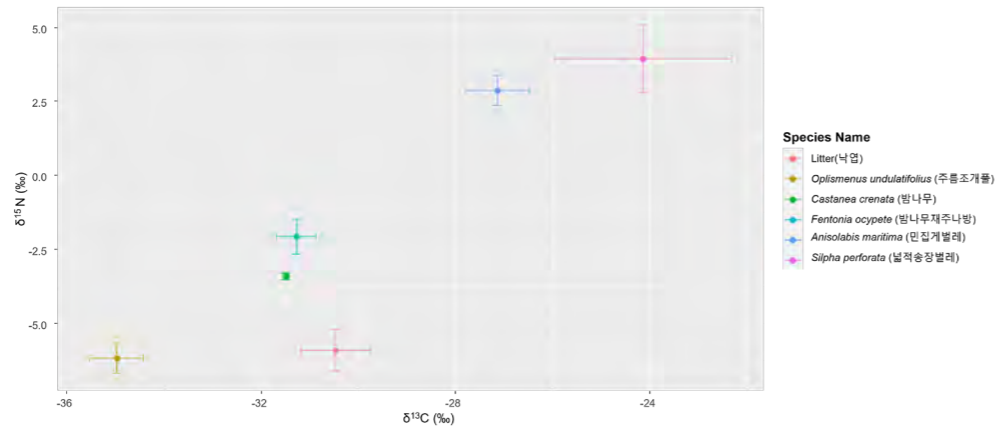


그림 19. 부곡체육공원 안정동위원소 biplot

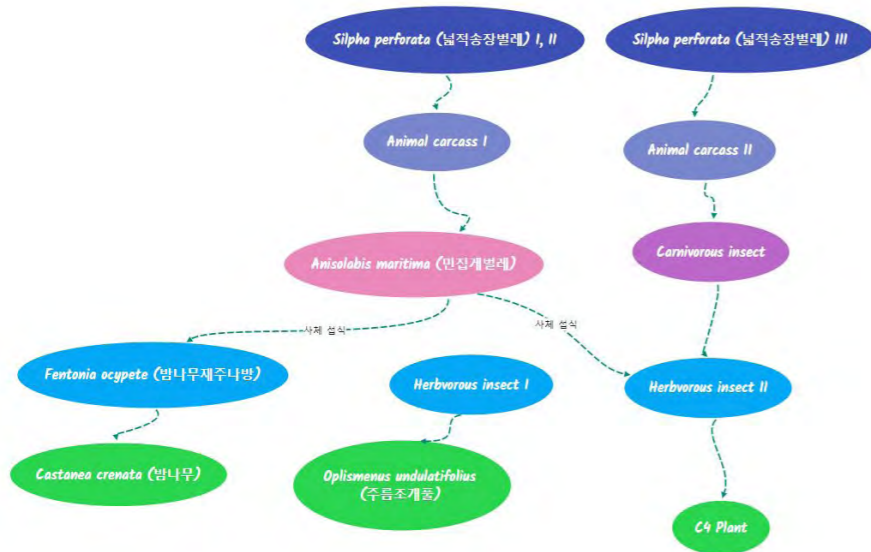


그림 20. 부곡체육공원 예상 먹이그물

광교산의 안정동위원소 분석결과 부곡체육공원보다 다양한 영양단계의 종이 채집되었으며, 송장벌레가 다수 발견되었다. 이에 따라 예상되는 먹이그물은 부곡체육공원보다 복잡한 형태를 보였다. 질소 안정동위원소의 측면에서, 시식을 하는 대모송장벌레의 영양단계(δ15N 값)가 가장 높게 나타났으며, 그 아래 영양단계의 곤충과의 δ15N 값 차이가 크기 때문에 그 사이에 다른 동물 종이 존재함을 예상할 수 있다. 또한 탄소 안정동위원소의 측면에서 δ13C 값이 높게 나타나는 C4 식물 데이터가 존재하지 않으나, 대모송장벌레의 δ13C 값이 높게 나타났기 때문에, C4 식물을 먹이원으로 하는 먹이사슬이 존재할 것으로 예상할 수 있었다.

표 7. 백운산 안정동위원소 결과

종명	δ13C	δ15N	δ13C 평균	δ15N 평균	δ13C 표준편차	δ15N 표준편차
낙엽1	-31.26	-6.03	-31.32	-4.81	0.46	0.91
낙엽2	-30.8	-3.84				
낙엽3	-31.91	-4.56				
주름조개풀1	-23.31	-5.58	-21.23	-5.33	4.05	0.48
주름조개풀2	-24.81	-5.74				
주름조개풀3	-15.56	-4.66				
떡갈나무1	-32.66	-2.65	-32.53	-2.53	0.18	0.15
떡갈나무2	-32.65	-2.32				
떡갈나무3	-32.27	-2.63				
노래기1	-24.59	3.87	-25.48	-0.59	0.69	3.18
노래기2	-25.58	-3.28				
노래기3	-26.28	-2.37				
먼지벌레1	-30.07	1.44	-28.37	2.37	1.29	0.70
먼지벌레2	-28.09	3.12				
먼지벌레3	-26.94	2.56				
딱정벌레과1	-26.78	1.18	-27.44	1.80	0.48	0.89
딱정벌레과2	-27.92	3.05				
딱정벌레과3	-27.62	1.16				
보리금풍덩이1	-27.36	0.74	-27.35	1.05	0.43	0.45
보리금풍덩이2	-27.87	1.68				
보리금풍덩이3	-26.82	0.73				
낙점박이송장벌레1	-26.41	4.1	-24.91	4.55	1.07	0.37
낙점박이송장벌레2	-24.33	4.55				
낙점박이송장벌레3	-23.98	5.01				
무당개구리1	-25.34	1.83	-25.46	1.39	0.12	0.32
무당개구리2	-25.63	1.12				
무당개구리3	-25.4	1.21				

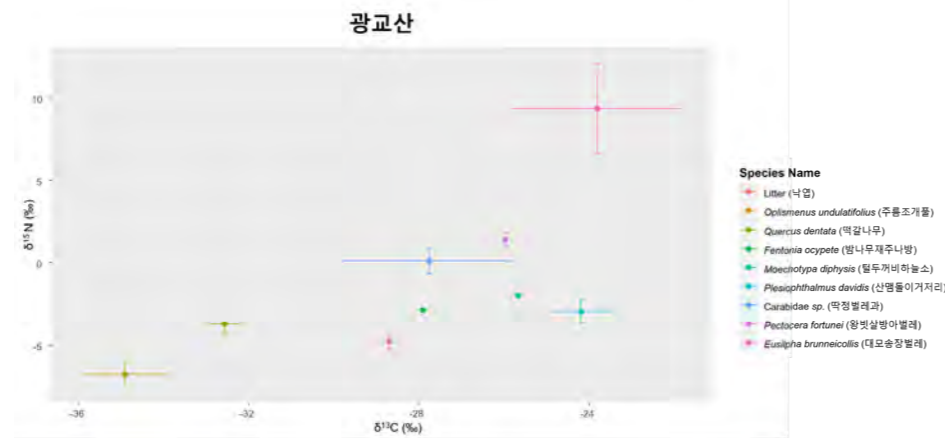


그림 21. 광교산 안정동위원소 biplot



그림 22. 광교산 예상 먹이그물

백운산의 안정동위원소 분석결과 가장 다양한 영양단계의 종이 채집되었으며, 가장 많은 송장벌레 개체가 발견되었다. 특히, 상위 영양단계에 위치하는 종이 많았으며 해당 구획을 중심으로 관찰 채집을 진행한 결과 pit-fall trap으로 채집하기 어려운 까치살모사, 꼬리치레도롱뇽, 개구리 등과 같은 다양한 종들을 발견할 수 있었다. 채집의 위험성 및 멸종위기종 보호를 위해 안정동위원소 분석에는 이 용하지 않았다.

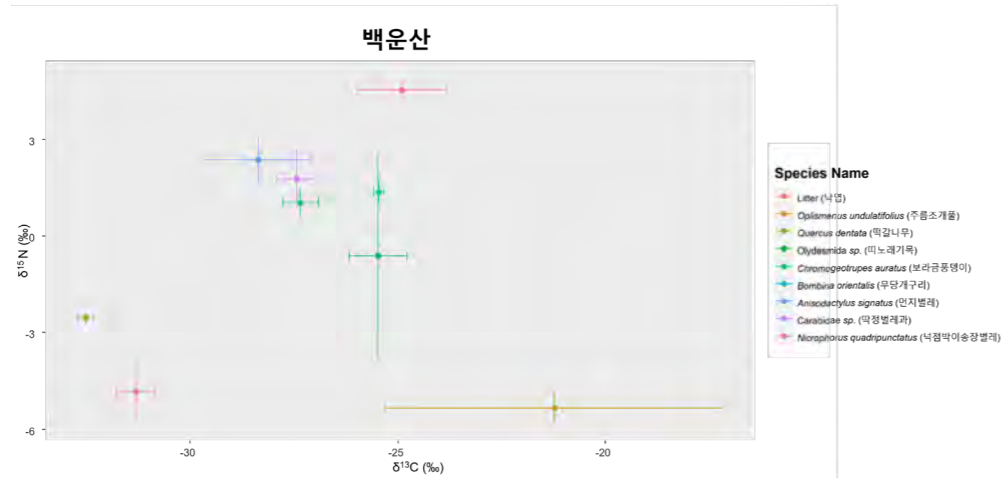


그림 23. 백운산 안정동위원소 biplot



그림 24. 백운산 예상 먹이그물



그림 25. 백운산에서 관찰된 생물들(좌측부터 까치살모사, 산개구리류, 꼬리치레도롱뇽)

이에 따라 예상되는 먹이그물은 상위단계에 집중된 형태를 보였다. 따라서 해당 생태계 하위 영양 단계에 위치하는 종 또한 다양할 것으로 예상되었다. 질소 안정동위원소의 측면에서, 시식을 하는 녀점박이송장벌레의 영양단계($\delta^{15}N$ 값)가 가장 높게 나타났고, 선택적으로 시식을 하는 보라금풍뎡이와 같은 종들 역시 함께 발견되었으며 이들의 질소안정동위원소 값도 상당히 높은 수준을 보였다. 또한 탄소 안정동위원소의 측면에서 주름조개풀의 데이터가 넓게 나타났다. 하지만 해당 $\delta^{13}C$ 값 영역의 상위 영양단계 생물은 발견하지 못하였기 때문에 주름조개풀을 먹이원으로 하는 상위 영양단계의 종들이 더 다양하게 존재할 것으로 예상하였다.

3. 결론

Linear regression 분석을 사용해 식물 종 다양성 지수와 곤충 종 다양성 지수 간의 유사한 추세를 확인했고 이를 기반으로 식물과 곤충 종 다양성 지수와 송장벌레 풍부도 간의 상당히 유사한 경향성을 확인했다. 개발압력이 낮을수록 종 다양성 지수가 높게 나타났고, 종 다양성 지수가 높을수록 송장벌레 풍부도 역시 증가함을 확인하였다. 더 정밀한 통계적 분석을 위해 correlation test를 사용하였고 종 다양성 지수와 송장벌레 풍부도 간의 높은 수준의 양의 연관성을 확인하였다. 그리고 이 결과는 heat map을 통해서도 확인할 수 있었다.

또한 생태계 중 분포를 확인하기 위해 송장벌레의 장 내 잔존 DNA 분석을 시도하였으나 척추동물의 DNA를 검출하지 못하였다. 우선 송장벌레의 소화기관 적출이 다소 어려웠으며 이에 대한 숙련도가 부족하였다. 또한 검정파리를 대상으로 한 장 내 DNA 분석연구(S. Calvignac-Spencer, 2013)를 토

대로 하였을 때, 장기간에 걸쳐 다수의 샘플을 바탕으로 한 분석이 필요했고 샘플의 장 내 잔존 DNA 보호를 위한 빠른 전처리 과정이 필요하였으나 본 연구에서는 이를 충족하기에 시간적, 인력적 측면에서 현실적인 한계가 존재하였다. 그리고 연구 목적에 부합하는 트랩의 제작과 검증이 예상보다 늦어져 실험을 위한 샘플 확보 시기가 늦어졌고 이로 인해 더 정확한 DNA 분석을 위한 primer design과 적합한 PCR 조건 설정에 필요한 충분한 시간을 확보하지 못하였다. 따라서 본 연구는 해당 생태계의 먹이그물을 간접적으로 구성하고 DNA 분석의 실현 가능성을 검증하기 위해 안정동위원소 분석을 채택하였다.

안정동위원소 분석 결과, 송장벌레가 발견되지 않은 아주대학교를 제외한 모든 연구지역에서 송장벌레의 영양단계($\delta^{15}N$)가 가장 높게 나타났고, 하위 영양단계 생물과 상당한 차이를 보였다. 이는 시식성인 송장벌레가 생태계 내 존재하는 동물의 사체를 섭식하였을 가능성이 높음을 의미한다. 또한 아래의 그림에서 확인할 수 있듯이 송장벌레의 먹이원($\delta^{13}C$)이 개체에 따라 다양하게 나타났기 때문에 해당 지역에 서식하는 다양한 동물사체를 섭식하였음을 알 수 있다.

이에 따라, 결과적으로 송장벌레 장 내 잔존 DNA 분석이 가능하다면 해당 생태계 내 존재하는 종의 확인이 가능하고, 먹이그물을 구성할 수 있음을 간접적으로 확인하였다.

따라서 본 연구는 종 다양성 지수와 송장벌레 풍부도 간의 상당한 수준의 양의 상관관계를 확인하였고, 송장벌레 안정동위원소 분석을 통해 먹이그물을 간접적으로 구성하였다. 이를 근거로 하여 해당 생태계의 종 분포 및 다양성을 검증하는 지표종으로서 송장벌레의 활용 가능성을 제시한다. 이와 같은 연구는 궁극적으로 생태계 종 다양성 연구에 분해자의 활용을 촉진할 수 있을 것으로 예상된다.

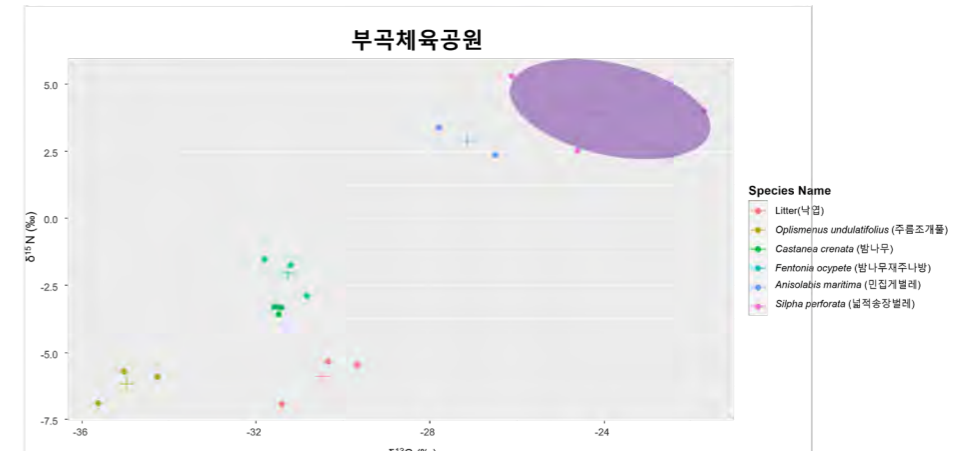


그림 26. 부곡체육공원 송장벌레 $\delta^{13}C$ 범위 (개체별 데이터)

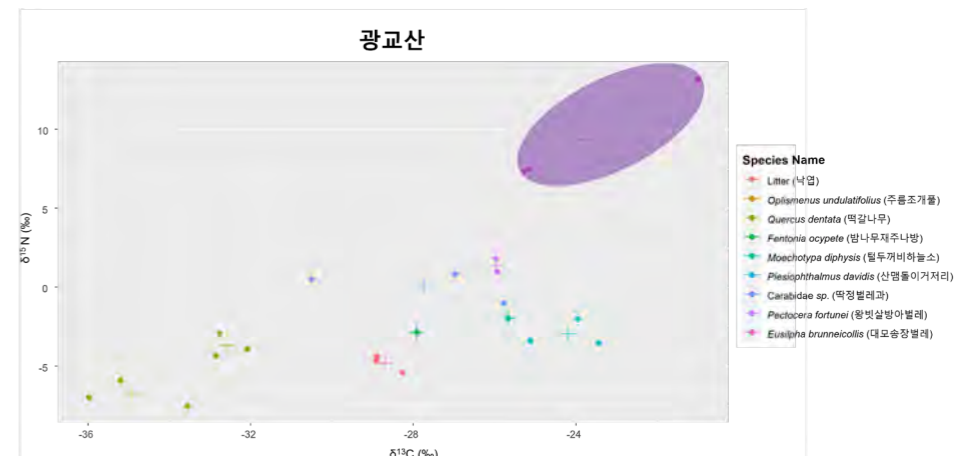


그림 27. 광고산 송장벌레 $\delta^{13}C$ 범위 (개체별 데이터)

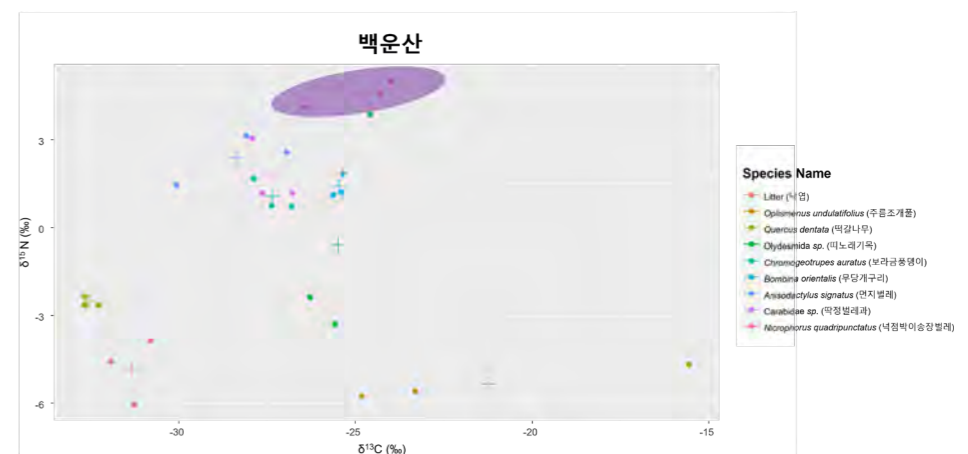


그림 28. 백운산 송장벌레 $\delta^{13}C$ 범위 (개체별 데이터)

참고문헌

- Kalinová, B., H. Podskalská, J. Růžička, M. Hoskovec. 2009, Irresistible bouquet of death—how are burying beetles (Coleoptera: Silphidae: Necrophorus) attracted by carcasses. *Naturwissenschaften* 96: 889–899.
- Pukowski, E. 1933. *Okologische Untersuchungen an Necrophorus*. Zeitschrift für Morphologie und Ökologie der Tiere. 27: 518–586. SAS–StatView 5.0.1, 1998, SAS institute Inc. Second edition.
- Abbot, C.E. 1927. Experimental data on the olfactory sense of Coleoptera, with special reference to the Necrophori. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 20: 207–215.
- Boeckh, J. 1962. Elektrophysiologische Untersuchungen an einzelnen Geruchsrezeptoren auf den Antennen des Totengrabers (Necrophorus, Coleoptera). *Z. Vgl. Physiol. Berl.* 46: 212–248.
- Ernst, K.D. 1972. Sensillum coelosphaericum, die Feinstruktur eines neuen olfaktorischen Sensillentypes. *Z. Zellforsch. Mikrosk. Anat.* 132: 95–106.
- Petruska, F. 1975. The effect of predominating winds on the flight of some species of beetles from the group of Silphidae into pitfall traps (Col. Silphidae). *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis, Facultas Rerum Natur.* 51: 55–175.
- MacArthur, R. H. and Wilson, E. O. 1967. *The Theory of Island Biogeography*. Princeton, N.J.: Princeton University Press. 38–114
- 김재익, 정현욱. 2005. 개발압력의 국토공간상 이동패턴 분석. *국토연구*, 47, 3–16
- 오광식 조영복, 김도성. '비행간섭트랩에 포획된 속리산국립공원내의 송장벌레류 종구성 및 풍부도의 계절적 변동'. *한국응용곤충학회지*, 50(3), 2011
- 김희발, 김홍태, 민영실, 박대찬, 박동선, 2021, 생명과학을 위한 통계학의 기초와 활용, 라이프사이언스, 112–203
- Calvignac–Spencer, S, Merkel, K, Kutzner, N, Kühl, H, Boesch, C, Kappeler, P.M. . Metzger, S, Schubert, G, Leendert, F.H, 2013, Carrion fly–derived DNA as a tool for comprehensive and cost–effective assessment of mammalian biodiversity, *Mol. Ecol.*, 22, pp. 915–924
- Fry, B, 2007, *Stable Isotope Ecology*, Springer Verlag, 119–182
- Kellogg, E. A. 2013, C4 photosynthesis, *PRIMER*, 23(14), 594–599
- DEAGLE, B. E, Tollit, D. J, Jarman, S. N, Hindell, M.A, Trites, A. W, Gales, N. J. Molecular scatology as a tool to study diet : analysis of prey DNA in scats from captive steller sea lions, *Molecular Ecology*; Vol. 14 Issue 6, MAY 2005
- Adams, M, O, Seifert, C. L, Lehner, L, Truxa, C, Wanek, W, Fiedler, K. 2016, Stable isotope signatures reflect dietary diversity in European forest moths /*Frontiers in Zoology*, p.5
- Penick, C. A, Savage, A, M, Dunn, R. R. 2015, Stable isotopes reveal links between human food inputs and urban ant diet, *THE ROYAL SOCIETY PUBLISHING*, p.4
- Ikeda, H, Kagaya, T, Kubota, K, Abe, T. 2008, Evolutionary Relationships Among Food Habit, Loss of Flight, and Reproductive Traits: Life–History Evolution in the Silphinae (Coleoptera: Silphidae), *EVOLUTION*, p.9



2021 시민과학 포럼

2기