

제 7 회

숲과나눔 환경학술포럼

2025. 11. 11.(화) ~ 12.(수)
연세대학교 백양누리



재단법인 숲과나눔
Korea Safety Health Environment Foundation

제7회

숲과나눔 환경학술포럼



재단법인 숲과나눔
Korea Safety Health Environment Foundation

목 차

인사말	8
제7회 숲과나눔 환경학술포럼 프로그램	10
행사장 안내도	12
심포지엄: 갈등가능사회	13
• 숲과나눔 장학생포럼 및 프로그램 소개 • 들어가며: 심포지엄 기획의도 • 토론극 〈완벽한 갈등〉 시놉시스	
기획세션 1. 풀씨연구회 5기 결과공유회	19
• 풀씨연구회 및 프로그램 소개, 풀씨연구회 5기 명단	
기획세션 2. 더많은자연	24
• 더많은자연 및 기획세션 프로그램 소개 • 한국과 독일의 태양광 계획입지제도 비교 • 독일 브란덴부르크주 재생에너지-생물다양성 공존 사례 : 리베로즈 및 피노우 태양광 단지 현장조사와 주요 기관 인터뷰 결과를 중심으로 • 우리나라에서 생물다양성을 고려하며 재생에너지를 확대할 수 있을까: 해남견문록	

기획세션 3. 포럼 생명자유공동체	41
• 포럼 생명자유공동체 및 기획세션 프로그램 소개 • 인프라와 생태전환	
기획세션 4. 삶을위한도시 포럼	48
• 삶을위한도시 포럼 및 기획세션 프로그램 소개	
기획세션 5. 한반도청년환경포럼	50
• 한반도청년환경포럼 및 기획세션 프로그램 소개 • 남북 기후 협력의 실현은 가능한가? • 금강산 세계유산 등재의 의의와 시사점 • 북한의 아프리카돼지열병 유입 및 확산경로 모델링	
기획세션 6. 자전거시민포럼	62
• 자전거시민포럼 및 기획세션 프로그램 소개	
기획세션 7. 풀씨 펠로우십 결과공유회	65
• 풀씨 펠로우십 및 기획세션 프로그램 소개	
기획세션 8. AI 활용 아이디어 공모전 결선	67
• AI 활용 아이디어 공모전 및 기획세션 프로그램 소개	
기획세션 9. 풀씨 12기 결과공유회	70
• 풀씨 및 기획세션 프로그램 소개, 풀씨 12기 명단	

구두발표 세션 1. 탄소중립 75

- 자발적 탄소시장 기반 EPC(Environmental Protection Credit) 메커니즘을 통한 기후테크 산업 활성화 방안
- 사회적 비판과 녹색 산업의 대응: 독일 바이오가스 산업의 사례
- RE100 이행을 위한 한국전력공사 요금제 대비 적정 직접 PPA 단가 산정 연구
- 은행 대출 포트폴리오의 녹색화가 주식수익률에 미치는 영향에 대한 사건 연구

구두발표 세션 2. 지속가능1 89

- 계절 변동성을 반영한 머신러닝 기반 가구 에너지 빈곤 예측
- 도시 단위 출산율 진단 방식에 관한 연구
- 한국의 1962-2050년 플라스틱 흐름 및 순환경제 전환 경로 분석
- 기후변화가 전통휠체어를 사용하는 아동의 이동성에 미치는 영향: GPS 데이터를 활용한 실증연구
- 폭염기간 대학캠퍼스 건물 실내 온열환경 분석과 취약노동자를 위한 패시브건축 개선방안 연구

구두발표 세션 3. 지속가능2 106

- 튀니지 올리브산업의 정의로운 전환을 위한 젠더 인지적 개선방안
- 마을자치 활성화를 위한 동 단위 중간지원조직의 성과와 과제: 광주 북구 용봉동 마을발전소 사례를 중심으로
- 다중밀집사고 방지를 위한 데이터 기반 도시계획: 10·29 이태원 참사로부터의 교훈
- 한국의 녹색정치 담론 형성과 정치세력화 과정 연구
- 나다운 삶을 찾아서? 고립 청년 지원의 딜레마

구두발표 세션 4. 환경교육 122

- 전북 탄소중립교육 활성화를 위한 지원 방안
- 아동기 자녀 양육자의 기후행동 이해하기: 30·40대 양육자를 중심으로 한 혼합연구
- 1인가구 생활환경 건강권을 위한 특화 정보 플랫폼 제안에 관한 고찰: 서울 지역을 중심으로
- 갯벌 되기의 존재론적 학습: 새만금시민생태조사단에 대한 질적 연구

구두발표 세션 5. 생물다양성 142

- 시스템 디자인을 통한 도시지역 생태통로 문제 분석과 디자인 개입 전략
- 지속 가능한 시민 참여 중심 생태복원사업 평가 체계 연구: 고창 자연마당을 중심으로
- 개발도상국 산림복원 성공을 이끄는 이해관계자 네트워크: 에티오피아 홍보 지역 주민주도경관복원 사례
- 한반도 흑응애류의 분류학적 연구 및 고찰

구두발표 세션 6. 시민과학풀씨 156

- 해양산성화와 조개의 상관관계: 바다의 pH와 조개의 성장간의 상관관계 파악
- 지속 가능한 모니터링을 위한 하천 조류상 연구
- 시민과학 참여를 통한 노린재 향과 생애 주기 탐사 연구: 다양한 노린재 종마다 다른 향 특성 분석
- 외래거북 시민 모니터링: 리버헬
- 지역별 공원 및 가로수 왕벚나무(*Prunus yedoensis*)의 발생 해충 조사

구두발표 세션 7. 산업보건 175

- 감정노동 및 직장폭력이 수면 전 인지적 각성을 매개로 불면증에 미치는 영향 분석
- 비전문취업(E-9) 이주노동자 산업재해 대응과정의 구조적 한계: 활동가 현장경험을 중심으로
- 한국어판 직장 내 가스라이팅 척도(Gaslighting at Work Scale, GWS-K) 타당도 및 신뢰도 검증 연구

포스터발표 세션 1. 기후위기 190

- 한국과 미국 캘리포니아 기후재난 정책과 거버넌스 비교: 산불 대응을 중심으로
- 인간 활동과 산불: 임도와 산림경영이 산불 발생에 미치는 영향
- 가족이 된 동물들: 반려동물 돌봄 실천의 잠재적 환경 영향

포스터발표 세션 2. 탄소경제 200

- 전과정평가(LCA)를 통한 수소차, 하이브리드차, 전기차의 환경성 비교 연구
- 고해상도 환경산업연관분석 모델을 활용한 가계 소비 탄소발자국 연구
- 환경비용을 고려한 국내 공항 건설의 비용편익분석: 제주 제2공항 건설사업
- 에너지 효율 향상을 위한 지그재그 적층 구조 이미지 센서 연구

포스터발표 세션 3. 탄소중립/에너지 215

- SLAM-UAV LiDAR 기반 묵논습지 버드나무 Height-DBH 회귀식 도출 및 UAV기반 탄소저장량 산정 모델 구축
- 제주도 태양광의 수분 생태계서비스 가치 추정
- 지속가능한 농업을 위한 초분광 원격탐사 기반 엽록소 함량 추정 및 질소비료 효율화 연구
- 태양광 발전 경제성 평가에서 공간 데이터 통합의 필수성
- 인도네시아의 탈탄소화 경로 평가: 석탄화력발전소에서 태양광 발전과 탄소포집저장의 탄소감축비용 비교
- 탄소포집과 법: 아세안 에너지·기후 정책에서 CCS 거버넌스에 관한 검토

포스터발표 세션 4. 도시생태 231

- 서울 도시숲 백련산의 식물다양성
- 숲 과정(Forest as Process): 봉산 도시숲 조성을 둘러싼 마찰과 충돌
- 문화경관으로서 비보숲: 비인간 행위성의 관점에서
- 환삼덩굴의 하천변 침입에 따른 토양과 식생 특성 비교

포스터발표 세션 5. 환경정책 242

- 친환경적 기피시설이 아파트 가격에 미치는 영향: 마포자원회수시설 사례 분석
- 국가산업단지의 대기오염물질에 의한 건강 영향 사례: 복잡계 이론(Complexity Theory)의 적용 방안 연구
- 강의 권리 부여와 한국 법제에의 도입 가능성
- 시민과학형 증거기반정책 모형의 개발 및 적용에 관한 연구: 해양 플라스틱 쓰레기 저감정책과 익산시 악취 저감정책을 중심으로
- 비배기 미세먼지 규제 법제화 및 기술 상용화 방안 연구: 지속가능한 '무공해자동차' 시대를 향한 로드맵
- 공공성 실천에 관한 재고: 마을 교류에서 공적 실천으로

포스터발표 세션 6. 생태/생물다양성 267

- 시민과학자 데이터를 활용한 딥러닝 기반 국내 맞춤 생태계교란 거북 종 분류 모델 개발
- 통합적인 보호지역 제도의 도입을 위한 법제도적 개선방안 연구: 「생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률」을 중심으로
- 중서부태평양 해양환경 변동에 따른 가다랑어 어획량 변동
- 중간 지속가능성 제고를 위한 전략적 틈새로서의 동물대체시험법의 가능성과 과제: 국내 오가노이드 전환실험을 중심으로
- 한국산 사초속 식물의 웹 기반 대화형 검색시스템 개발

포스터발표 세션 7. 일/환경/건강 289

- Chemical exposure from the Hebei spirit oil spill accident and its long-term effects on mental health
- 데이터 시각화를 활용한 서울지역 건강민감군 다중이용시설 실내 공기질 오염도 평가
- 실내 SVOC의 다경로 노출 및 건강 위해성 평가: 집 먼지와 유기 필름을 활용한 이중 매트릭스 접근법
- 반도체 펌프-스크러버 구간의 부식 환경 모사 조건에서 스테인리스 벨로우즈 부식 및 대기 배출 평가
- 보건·사회복지 서비스업 종사자의 직장 혁신 경험과 프리젠테이션의 관련성
- 외국인 임금근로자의 근무여건 자가평가와 작업 중 부상의 관련성
- 타이어 화재 대응 소방관들의 휘발성유기화합물 노출 평가

포스터발표 세션 8. 환경교육/커뮤니케이션 318

- 중고등학생을 위한 식물 관찰 동기 척도 개발과 타당화
- 지속가능한 농업 전환을 위한 대안 농법 교육의 심리적 효과: 라오스 농민의 환경 일체감 변화 분석
- 직장 내 가스라이팅이 자기개념 명확성을 통해 불안에 미치는 영향: 자기효과와 상대방효과
- Leave No Trace(LNT) 원칙 기반 유아환경체험교육 프로그램 개발 연구
- “청정 제주”가 만드는 인증화: 제주국제자유도시 프로젝트 사례

포스터발표 세션 9. 문화/예술/스포츠 342

- 팬덤 기반 환경행동 공동체는 어떻게 실천공동체로 작동하는가?: 야구 팬덤 기반 환경 행동 공동체를 중심으로
- AI 생태예술과 감각 회복을 통한 생태전환교육 연구: 백남준의 <TV 정원>에서 현대 AI 생태예술까지
- 축정을 넘어 참여로: 환경 예술 전시 공간에서 다중 해석성을 위한 감정-실천 의지 분석 도구
- 생태스포츠 참여자에서 환경활동가로의 변화 과정 연구

다음을 잇는 전환



환경학술포럼에 함께해 주신 모든 분들을 진심으로 환영합니다.

올해로 7회를 맞은 환경학술포럼은 환경·안전·보건의 현장에서 행동하는 활동가와, 그 경험을 연구와 이론으로 확장하는 연구자가 함께 모여 지식과 실천을 잇는 자리입니다. 다양한 시선이 교차하며 새로운 문제의식이 탄생하고, 경험과 연구가 결합해 해결의 실마리를 찾아가는 이 포럼은 단순한 발표의 공간을 넘어, 살아 숨쉬는 역동적인 교류의 장으로 자리매김해 왔습니다. 앞으로도 한국 사회의 환경·안전·보건 활동을 더욱 과학적이고 체계적으로 이끄는 기반이자, 지속가능한 사회 전환을 위한 지식 네트워크로 확장되기를 기대합니다.

이번 포럼에서는 다양한 연구자와 활동가, 시민들의 성과가 발표됩니다. 학문과 실천이 어우러지는 생동감 있는 교류의 장이 펼쳐지기를 기대합니다. 아울러 숲과나눔의 주요 활동 성과를 공유하는 시간도 마련되어 있습니다. 시민 아이디어 지원사업 ‘풀씨’ 12기의 활동 결과, 소규모 연구모임 ‘풀씨연구회’ 5기의 연구성과, 그리고 새롭게 출범한 인턴십 프로그램 ‘풀씨펠로우십’의 성과가 함께 소개됩니다. 또한 한겨레신문과 공동주최한 AI 활용 아이디어 공모전 결선과 시상식도 진행됩니다.

공간계획과 생물다양성, 비인간 생명과의 공존, 도시의 삶, 한반도 환경협력의 미래, 자전거 시민운동의 조직 전략, 시민과학 등 다양한 주제의 세션들이 이어집니다. 이러한 프로그램들은 각기 다른 실천의 형태이지만, 모두가 지속가능 사회로의 전환이라는 하나의 지향점으로 연결되어 있습니다.

특히 올해 심포지엄은 ‘갈등가능사회’를 주제로 합니다. 하나의 가상 사례를 중심으로 다양한 이해관계자의 시각을 입체적으로 살펴보며, 갈등을 이해하고 조율하는 방법을 함께 실험하는 장이 될 것입니다.

다. 환경·안전·보건의 현장은 늘 가치와 이해관계가 교차하는 복합적인 갈등의 공간입니다. 그러나 우리는 갈등을 단순한 대립이나 충돌이 아니라, 오히려 더 나은 사회를 위한 필연적이고 창조적인 ‘과정’으로 바라보고자 합니다. 갈등을 피해야 할 문제로 보지 않고, 변화를 이끄는 출발점으로 인식하며, 함께 살아가는 방식을 모색하는 삶의 과제로 삼고자 합니다. 무엇보다 이번 심포지엄은 숲과나눔 장학생들이 하나에서 열까지 직접 기획하고 준비한 자리라는 점에서, 재단의 이사장으로서 더욱 뜻깊고 기쁜 일입니다.

서로 다른 관점이 만나 교차하고, 그 속에서 새로운 상상력과 연대가 싹트는 이 자리가 우리가 바라는 지속가능 사회의 한 단면을 보여주기를 바랍니다. 숲과나눔은 앞으로도 현장과 학계, 세대와 세대, 실천과 사유를 잇는 연결자이자 동행자로서 그 역할을 꾸준히 이어가겠습니다. 바쁘신 일정 속에서도 함께해 주신 모든 분들께 깊이 감사드리며, 오늘의 만남이 더 넓은 공감과 협력으로 이어지기를 기대합니다.

2025년 11월 11일

숲과나눔 이사장

김종민

제7회 숲과나눔 환경학술포럼 프로그램

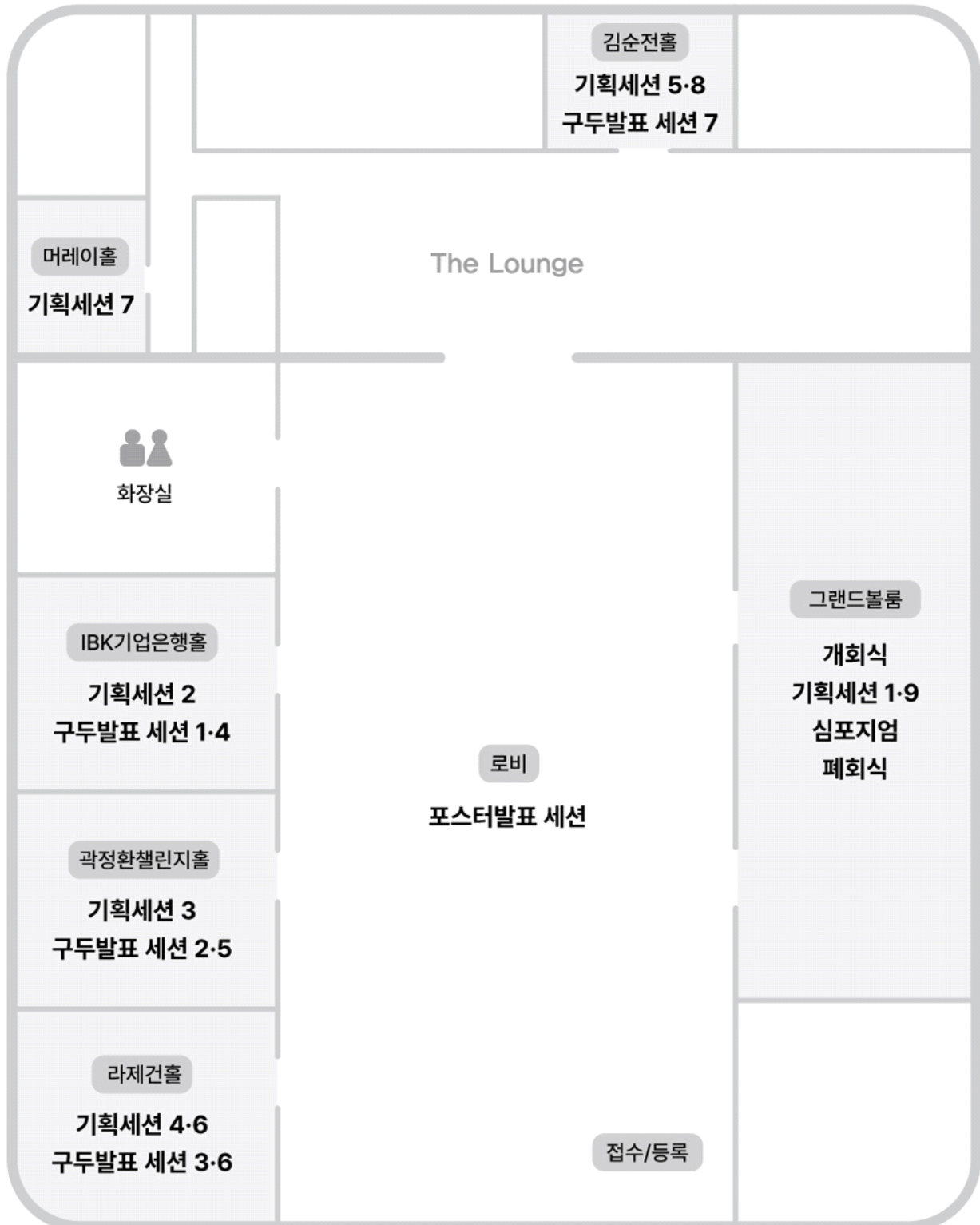
1일 차: 2025. 11. 11.(화)

개회식 @그랜드볼룸					
14:00~14:20	개회사 및 축사				
1부 발표 @세션룸					
14:20~16:00	그랜드볼룸	IBK기업은행홀	곽정환챌린지홀	라제건홀	김순전홀
	기획세션 1. 풀씨연구회 5기 결과공유회 1부	기획세션 2. 더많은자연 1부	기획세션 3. 포럼 생명자유공동체 1부 공개포럼	기획세션 4. 삶을위한도시 포럼	기획세션 5. 한반도청년환경 포럼
휴식 시간					
16:00~16:20	포스터 관람 및 행사장 이동				
2부 발표 @세션룸					
16:20~18:00	그랜드볼룸	IBK기업은행홀	곽정환챌린지홀	라제건홀	머레이홀
	기획세션 1. 풀씨연구회 5기 결과공유회 2부	기획세션 2. 더많은자연 2부	기획세션 3. 포럼 생명자유공동체 2부 북토크	기획세션 6. 자전거시민포럼	기획세션 7. 풀씨 펠로우십 결과공유회

2일 차: 2025. 11. 12.(수)

1부 발표 @세션룸					
10:00~12:05	그랜드볼룸	IBK기업은행홀	곽정환챌린지홀	라제건홀	김순전홀
	-	구두발표 세션 1. 탄소중립	구두발표 세션 2. 지속가능1	구두발표 세션 3. 지속가능2	기획세션 8. AI 활용 아이디어 공모전 결선 숲과나눔, 한겨레신문 공동주최
점심 식사					
11:30~12:30	점심 식사				
포스터발표 세션 @로비					
12:30~13:30	세션별 포스터 발표				
1부 발표 @세션룸					
13:30~15:10	그랜드볼룸	IBK기업은행홀	곽정환챌린지홀	라제건홀	김순전홀
	기획세션 9. 풀씨 12기 결과공유회 풀씨잔치 12:30~15:00 운영	구두발표 세션 4. 환경교육	구두발표 세션 5. 생물다양성	구두발표 세션 6. 시민과학풀씨 숲과나눔, 동아사이언스 공동주최	구두발표 세션 7. 산업보건
휴식 시간					
15:10~15:30	포스터 관람 및 행사장 이동				
심포지엄 @그랜드볼룸					
15:30~17:30	심포지엄: 갈등가능사회				
폐회식 @그랜드볼룸					
17:30~18:00	시상 및 폐회				

행사장 안내도



심포지엄

갈등가능사회

〈숲과나눔 장학생포럼〉 기획

- 숲과나눔 장학생포럼 및 프로그램 소개
- 들어가며: 심포지엄 기획의도
‘우리는 지금 왜 갈등을 다루는가? 갈등가능사회를 꿈꾸며’
- 토론극 〈완벽한 갈등〉 시놉시스

갈등가능사회

1. 숲과나눔 장학스포럼 소개

<숲과나눔 장학스포럼>은 재단법인 숲과나눔의 학업장학생, 특정 주제 연구자, 박사후 펠로우 등 연구 및 장학 지원을 받은 연구자들로 구성된 포럼이다. 환경, 안전, 보건 분야와 다양한 사회 문제에 대한 자유로운 토론과 분야 간 장벽 없는 교류, 협력 연구를 목표로 현재 약 50여 명의 연구자가 참여하고 있다.

2025년 2월 포럼이 출범한 이후로 매월 ‘연구 수다회’를 개최하고 있으며, 연구자들을 대상으로 실시한 사회 문제 설문조사 결과를 바탕으로 포럼 주제와 단기 및 중장기 방향을 설정하는 1박 2일 집중 워크숍을 2회 실시하였다.

특히 숲과나눔 장학생과 연구자들을 대상으로 조사한 ‘대한민국 사회와 우리 자신을 위협하는 사회문제’ 설문 결과, 갈등의 양극화, 갈등 심화가 현재 우리 사회의 주된 사회문제로 꼽힘에 따라 ‘갈등의 이분법적 이해가 아닌 입체적 이해’, ‘갈등을 다루는 건강한 방식’에 대해 연구자, 실천가, 그리고 사회 현상에 관심 있는 모두가 심도 있게 생각을 나누는 장이 필요하다고 판단되어 관련 주제 포럼을 매월 연속으로 운영하고 있다.

2. 프로그램

심포지엄에서는 현재 우리 사회의 가장 큰 해결 과제 중 하나인 ‘갈등’의 원인과 양상, 해결 방안에 관하여 ‘재생에너지’를 중심으로 심도 있게 논의한다. ‘재생에너지’를 둘러싼 담론과 가치의 충돌부터 다양한 이해관계자의 입장까지 살펴보는 입체적인 접근을 통하여 하나의 답을 찾기보다 다양한 논의 과제를 도출하고 향후 환경-안전-보건 분야 갈등을 바라보는 인사이트를 얻고자 한다.

○ 일시 및 장소: 2025. 11. 12.(수) 15:30~17:30, 그랜드볼룸

· 사회: 이태영 제주대학교 사회학과 박사 수료, 숲과나눔 연구장학생

시간	프로그램	세부내용
15:30~15:40	소개	• 심포지엄 기획의도 : 우리는 왜 지금 갈등을 다루는가? 갈등가능사회를 꿈꾸며 김효민 서울대학교 사회학과 박사과정, 숲과나눔 연구장학생
15:40~16:10	토론극	• 토론극 <완벽한 갈등> 출연 고하정 서울대학교 환경대학원 환경조경학 박사, 숲과나눔 박사후펠로우 김현구 숲과나눔 학업장학생 박민선 서울대학교 사회복지학 박사, 숲과나눔 박사후펠로우 이태영 제주대학교 사회학과 박사 수료, 숲과나눔 연구장학생 장리아 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 박사, 숲과나눔 박사후펠로우

		우정출연 박정효 고려대학교 사회학과 박사과정, 숲과나눔 연구장학생 이연진 고려대학교 에너지환경정책학과 박사과정, 숲과나눔 학업장학생 임다혜 서울대학교 지구환경과학부 물리해양학 석사과정, 숲과나눔 학업장학생 조담빈 서울대학교 생태조경시스템공학과 석사, 숲과나눔 학업장학생 증 명 고려대학교 정치외교학과 박사, 숲과나눔 연구장학생 극본 김정현 경북대학교 법학전문대학원 법학 석사, 숲과나눔 학업장학생 장리아 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 박사, 숲과나눔 박사후펠로우 연출 윤명해 숲과나눔 장학생포럼 간사
16:10~16:20	설문조사	• 현장 설문조사 진행
16:20~17:30	관객과의 대화	• 좌장 박민선 서울대학교 사회복지학 박사, 숲과나눔 박사후펠로우 • 토론 배보람 녹색전환연구소 부소장, 숲과나눔 학업장학생 정민성 카이스트 기술경영학부 기후에너지경제 박사과정, 숲과나눔 연구장학생 김효민 서울대학교 사회학과 박사과정, 숲과나눔 연구장학생 고하정 서울대학교 환경대학원 환경조경학 박사, 숲과나눔 박사후펠로우 김현구 숲과나눔 학업장학생 이태영 제주대학교 사회학과 박사 수료, 숲과나눔 연구장학생 장리아 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 박사, 숲과나눔 박사후펠로우

3. 들어가며: 심포지엄 기획의도

우리는 지금 왜 갈등을 다루는가? 갈등가능사회를 꿈꾸며

김효민 서울대학교 사회학과 박사과정, 숲과나눔 연구장학생

지난 7년간의 환경학술포럼을 통해 우리는 아주 다양한 환경, 안전, 보건 의제들을 다루어 왔습니다. 기후 재난부터 멸종 위기, 탄소 저감, 코로나19 팬데믹까지, 우리의 삶과 사회를 위협하는 문제들을 드러내고 어떻게 하면 이 문제를 해소하거나 멈출 수 있을지, 혹은 지연시킬 수 있을지를 논의해 왔습니다. 우리 삶과 사회를 위협하는 문제들은 꽤나 명확하고 명백했습니다. 이 문제와 위기들은 현실화될 확률이 컸고, 그전으로 돌아갈 수 없을 정도로 파국적인 영향을 끼칠 것이었습니다.

그러나 실제 현장에서 우리가 마주하는 문제는 기후 위기도 아니고, 압도적인 탄소 배출량도 아니고, 멸종 위기도 아니었습니다. 오히려 우리의 제안이 촉발한 갈등이었습니다. 부처 간 장벽, 확증 편향, 관료 사회, 과학주의, 지역 사회 갈등, 심지어는 장학생들 간에도 의견과 입장이 다르기도 했습니다. 연구자는 숲과 나무를 동시에 보고 전체 시스템 속에서 사고하는 사람이지만, 그 눈으로 현장을 바라보면 실재는 오히려 왜곡되어 어지럽게 다가왔습니다. 그리고 연구를 이끌어 가는 동력이었던 나의 확신은 되레 다른 사람을 어떻게 설득해야 할지를 어렵게 만들었습니다.

올해 환경학술포럼 심포지엄의 주제를 찾기 위해 여러 전공의 숲과나눔 장학생들에게 설문 조사를 진행했습니다. “현재 우리 사회의 가장 큰 위협”이 무엇인지는 질문에는, 갈등과 갈등 해결의 어려움이라는 답이 가장 많았습니다. 구체적으로는 “극단적 갈등 양상”, “사회 내 갈등 및 불신 심화”, “소통 부재”, “토론의 불가능”, “합리적(다원적) 무지”, “갈등을 유발하는 나르시시즘”이라는 답변이 나왔고 이 답변 모두는 사회 갈등에 대한 우려뿐만 아니라 갈등 해결이 불가능해진 곤경을 지목하고 있었습니다. 우리에게 무질서나 위기를 의미하는 “사회 문제”뿐만 아니라, 사회 문제를 해결하기 위한 문제가 하나 더 주어졌 있었습니다. 정치는 문제를 해결하는 수단과 방법이기보다는 또 다른 문제였습니다.

그리고 5월 31일, 장학생들은 양평에서 밤이 깊도록 이에 대한 각자의 고민과 의견들을 나누었습니다. 으레 토론과 논쟁이 그렇듯, 이야기를 거듭할수록 갈등 해결에 대한 우리의 고민은 좁혀지기보다 더 넓게 펼쳐졌습니다. 갈등이 뭐지? 우리는 지금 ‘진짜’ 갈등하고 있나?, 그냥 각자의 말만 앵무새처럼 반복하고 있는 게 아닌가? 갈등의 어원인 칙덩굴과 등나무까지 거슬러 올라갔습니다.

이야기를 할수록 이야기는 길어졌습니다. 할 말을 다한 줄 알았는데 할 말이 더 많아졌습니다. 대화를 할수록 갈등은 서로 다른 의견 간의 대립이 아니라, 입체적인 무언가가 되어 갔고, 차이의 맥락은 더 복잡해져 갔습니다. 우리가 대화를 통해 얻게 된 건, 갈등이 하나의 적대나 승패가 아니라, 서로의 관점을 비추는 질문과 경험일 수 있다는 깨달음이었습니다. 그러나 언제부턴가 이 모든 차이들은 우리에게 배움을 주는 질문이나 경험이기보다는 불편하고 번거로운 노이즈 같은 것들로 치부되어, 논쟁은 논쟁으로부터의 배움이 아니라 종결 그 자체만을 목적으로 하고 있는 듯합니다.

이번 심포지엄은 이처럼 갈등이 각자의 승리와 서로의 패배를 목표로 하는 “싸움”처럼 펼쳐지고 있는 상황에 대한 문제의식으로 기획되었습니다. 우리가 문제를 해결하기 위한 과정으로서의 정치에 실망하고 좌절하는 것은 제대로 된 갈등을 하지 않아서일지도 모른다고요. 우리가 하려던 토론과 논쟁은, 다른 의견을 마주했을 때 다른 의견에 압도되거나, 압도되지 않기 위해 자신의 의견을 더욱 드세우는 것이

아니었을 것입니다.

우리는 입장 간 대립이나 경쟁이 아니라 공통의 문제를 해결하기 위한 논의를 “갈등”으로 정의합니다. 이때, 갈등은 우리에게 주어져 있는 조건이나 상황이 아니라 쟁과 등나무가 서로를 배배 꼬며 올라가는 모습처럼, 서로의 의견과 차이를 끌어안고 우리가 성취해야 할 공동의 과제가 됩니다. 그래서 오늘 우리는, 우리가 하려던 토론과 논쟁을 하나의 극처럼 재현하며 갈등에 입체성을 다시 붙여넣어 보려고 합니다. 하나의 의제에 - 구체적으로는 재생에너지 입지 선정에 - 각기 다른 입장을 가진 사회 구성원이 되어서요.

사회학자 브루노 라투르는, 정치의 존재 양식이 “원”이라고 합니다. 서로 다른 진영 사이에 그어진 “선”이 아니라, 사회를 이루는 다름과 불연속성들을 통과하여 일시적으로 결합된 원이라는 것이지요. 공통의 문제를 해결하기 위해 다른 이들을 설득하고, 인간뿐만이 아닌 다른 존재들을 고려하기 시작하면서 확실했던 나의 말하기는 구부러지기 시작합니다. 울곤왔던 선은 구부러지면서, 구부러져서야 결국 원을 이룹니다.

너무 낭만적인 이야기로 들리실지도 모르겠습니다. 닥쳐오는 기후 파국 앞에서 지구가 평평하다고 주장하는 사람들의 이야기를 들어보라니, 코로나19가 정치적 사기라는 말을 설득해 보라니, 경제를 위해선 비인간 생명권쯤은 무시해도 된다는 사람과 논쟁하라니. 아마 논쟁만 하다 원래의 목표에는 조금도 다가가지 못할지도 모릅니다. 또 이들을 설득해 가는 과정에선 우리 스스로는 어떤 모순들을 포함하게 될 것입니다.

그러나 우리와 다른 입장이나 생각을 가진 사람들을 몰이해, 몰상식으로 치부하는 순간 우리는 설득조차 할 수 없게 됩니다. 이해와 상식이 없는 사람이라면 설득될 가능성이 없으니까요. 심지어 이는 지구를 파괴하는 사람들을 “그래도 되는” 사람들로 만들고 맙니다. 원래부터 그런 사람들이고 변화할 여지가 없으니까요. 설득에 실패하기 전에 설득하기를 시도조차 하지 않는다면 우리는 우리의 규범마저 잃고 말 것입니다.

우리에게 주어진 소여가 끝없는 말다툼, 종결될 수 없는 논쟁이라면, 정치는 아마 다수결을 통한 의사결정이 아니라 대안을 모색하는 것이 될 것입니다. 우리는 대화로부터 대안을 얻고 경험으로부터 배움을 얻는, 갈등이 가능한 사회의 모습을 극을 통해 그려보려 합니다. 현장에 계신 여러분의 경험을 비추어 봐주셔도 좋고, 앞으로의 설득을 고민하면서 봐주셔도 좋습니다. 논문 속의 주장이 현장의 말이 되고 대화와 논쟁이 될 때, 비로소 연구는 살아 있는 정치가 될 것입니다. 환경학술포럼의 마지막 순서로, 숲과나눔 장학생들이 준비한 오늘의 극이 어제와 오늘의 연구 발표들을 또 다른 장면으로 열어낼 수 있기를 바랍니다.

4. 토론극 <완벽한 갈등> 시놉시스

조용한 어촌 마을 ‘숲과나눔’ 식당 안은 오랜만에 고향에 모인 젊은이들의 떠드는 소리로 북적인다. 오랜 시간 고향을 떠났던 친구들까지 다시 모인 동창들은 그동안 못 나눈 이야기를 하며 잔을 기울인다. 오랜만에 만난 반가운 마음은 같지만, 저마다의 고민 탓인지 속내를 알 수 없는 표정이다.

어업과 임대업으로 고향을 지켜온 고 선장과 박유지는 계속 사람이 떠나가는 고향 현실의 안타까움과 생업에 대한 걱정을 내려놓지 못한다. 같은 마을에 살지만 자주 얼굴을 보지 못하는 공무원 김 공무는 요즘 악성 민원에 시달리며 골머리를 앓고 있다. 시장이 중점 사업으로 추진하는 해상 풍력 발전소 유치 합의를 올해 안으로 마무리해야 하는데, 남방 돌고래가 어찌니 저찌니 하며 매일같이 전화를 걸어 대더니 이제는 주민들까지 부추겨 때로 항의 전화를 쏟아내는 통에 짜증이 머리끝까지 치솟은 상태다.

한편, 서울에서 오랜만에 내려온 이 발전은 걸으로는 친구가 보고 싶어 무작정 내려왔다지만, 자꾸 휴대전화를 들여다보는 게 무슨 공짜이가 있는 듯하다. 그때, 좀 늦는다던 장 생태가 무언가를 손에 쥔 채 나타나고, 마침 김 공무는 부하 직원으로부터 악성 민원의 주인공이 다름 아닌 장 생태라는 전화를 받게 되는데...

○ 등장인물

이름	직업	인물 소개
김공무	시청 6급 공무원	• 평생 고향을 떠나지 않음 • 생존과 승진에 열정이 있는 공무원 • 갈등 최소화를 원함. 재생에너지 사업도, 민원도 조용히 넘어가길 바라며, 내년 원하는 부서 이동까지 무난히 시간을 보내는 것이 목표
이발전	발전사업자	• 스무 살에 고향을 떠나, 현재 서울에 있는 발전회사에서 근무 • 재생에너지 사업 계획으로 본사에서 지역으로 파견됨 • 발전소 사업 추진 차 오랜만에 고향 방문하였으며, 고향에 계신 부모님을 뵈 기회도 갖게 됨
장생태	생태법인 팀장	• 대학 시절부터 서울에 정착했고, 현재는 환경단체에서 활동 중 • 지방 주민들은 환경에 대해 무지하다 여기며, 사명감을 가진 자신이 직접 나서야 한다고 생각 • 남방큰돌고래 생태법인 실무자
박유지	자영업자	• 고향에서 평생 살아온 지역 유지로서, 지역 마트와 빌라 임대업을 운영하는 자영업자 • 지방 소멸, 인구 감소에 문제의식을 갖고 있음. 무엇보다 지역의 발전과 이익을 최우선으로 하며, 결과적으로 지역에 도움이 된다면 무엇이든 수용할 수 있다는 입장 • 동네 사람들과 생물(돌고래) 자연에 대한 좋은 경험도 간직
고선장	어업종사	• 고향에서 어업에 종사하며, 한때 읍내에서 태권도장을 운영했으나 폐업함 • 아버지의 가업을 이어 조업선을 이어 받았으나, 어업을 지속할지 보상을 택할지 갈등 중 • 자연과 공존하는 라이프 스타일 경험 있음

기획세션 1.

풀씨연구회 5기 결과공유회

숲은 고요하지 않다

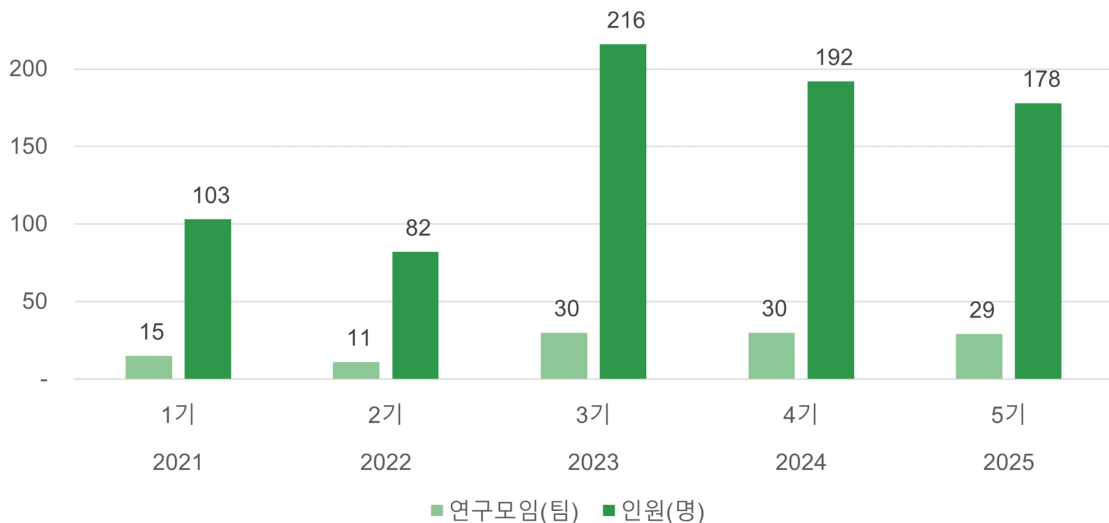
- 풀씨연구회 및 기획세션 프로그램 소개, 풀씨연구회 5기 명단

숲은 고요하지 않다

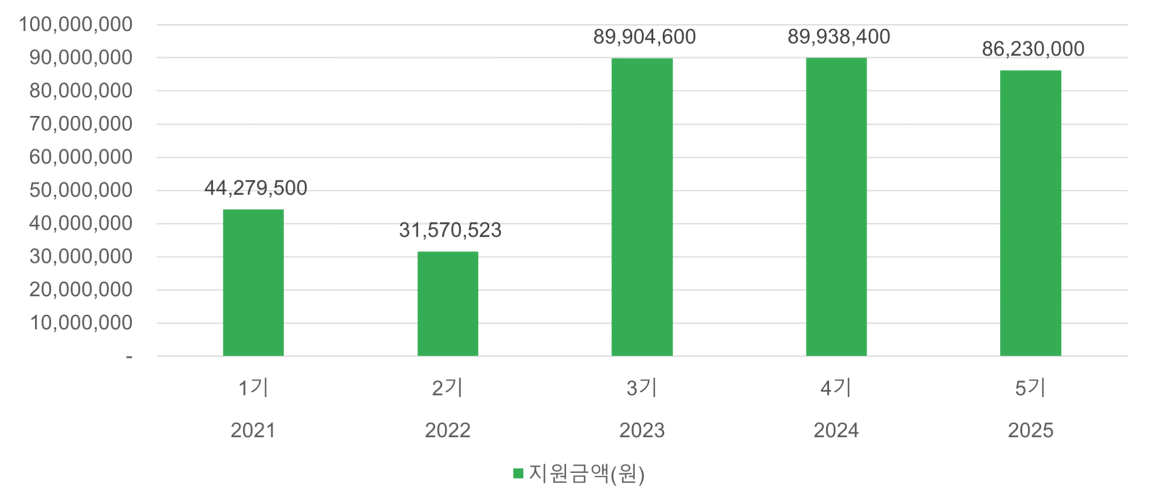
1. 소개

풀씨연구회는 젊은 연구자들 사이의 학술정보와 인적 교류를 돕기 위한 소규모 연구모임 지원사업으로, 환경·안전·보건 분야의 5인 이상 연구자로 구성되어 연 6회 이상 모임을 하는 소규모 연구모임을 대상으로 발제비, 회의비 등 모임 경비를 최대 300만 원까지 지원하고 있다. 다양한 분야의 소규모 연구모임을 통해 사회적 난제에 대한 대안 논의가 활성화되고 더 나아가 건강한 지식생태계 구성에 기여하고자 한다.

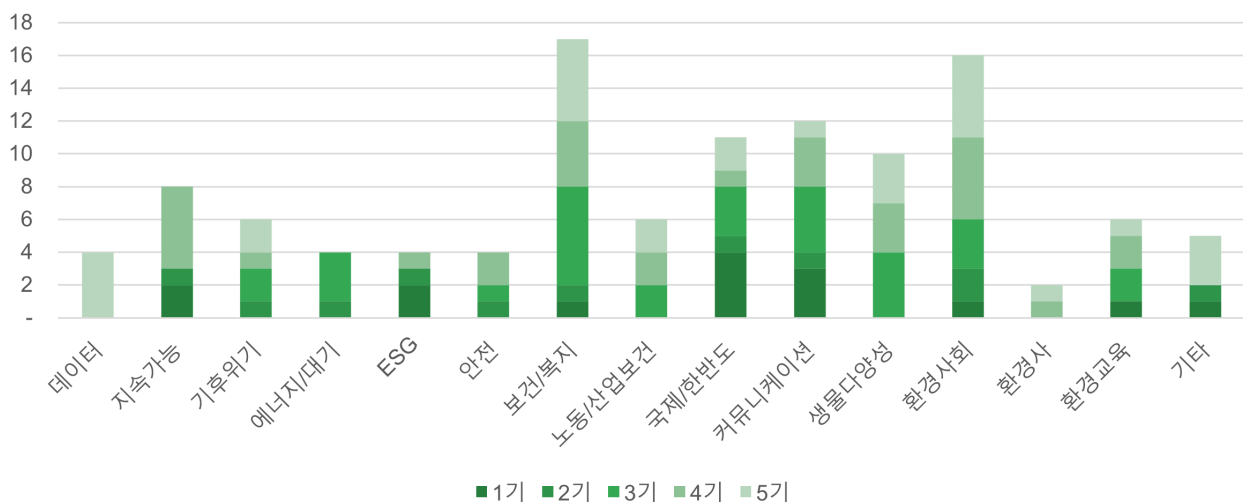
○ 활동팀 및 인원: 총 115개 팀, 771명



○ 지원 금액: 총 341,923,023원



○ 연구 분야



2. 프로그램

풀씨연구회 5기 결과공유회 기획세션에서는 숲의 다양한 생명들이 다양한 방식으로 서로 소통하는 이야기를 담은 책 ‘숲은 소요하지 않다’처럼, 풀씨연구회 5기의 29개 연구모임이 함께 소통하며 대안을 논의하는 자리를 진행한다.

1부는 ‘연속성’을 주제로 분야별 연구내용을 공유하며 문제를 함께 고민해 보고자 하며, 2부는 ‘교차성’을 주제로 각 분야에서 일어나는 갈등 상황을 찾아보고 이를 해결하기 위한 대안을 토론하고 논의하고자 한다.

○ 일시 및 장소: 2025. 11. 11.(화) 14:20~18:00, 그랜드볼룸

· 사회: 최영주 숲과나눔 PM

시간	프로그램	세부내용
14:20~14:45	소개	• 인사말 및 풀씨연구회 5기 소개
14:45~16:00	1부	• ‘숲은 소요하지 않다: 연속성’ 분야별 연구모임 내용 공유 및 발표
16:00~16:20	휴식 시간	
16:20~17:50	2부	• ‘숲은 소요하지 않다: 교차성’ 분야별 갈등상황과 대안 토론 및 발표
17:50~18:00	마무리	• 단체사진 촬영 및 마무리

3. 풀씨연구회 5기 명단

No.	연구모임명	연구모임 목적
1	A.I.D	개발도상국의 환경·보건·안전 문제를 해결하기 위해 AI 기술을 적용한 국제개발 협력 프로젝트 사례 분석 및 효과적인 AI 기술 적용 방안 연구
2	Best Friend	취약계층을 위한 Barrier-Free 공원의 접근성 및 활용성 증대 방안 연구
3	CALP	청년들의 기후 우울과 기후리터러시와의 상관관계 : 머신러닝 분석에 기반한 데이터 통계 연구
4	DEIS(DEI on Society, 다양성과 사회 연구회)	노동환경 개선을 위한 문화 다양성 실천 및 제도 도입에 관한 연구
5	H.E.L.P	한국의 건강·보건·의료 문제들의 지속가능한 해법 모색
6	가드너-리서처 온 어스	인간-너머 정원: 비인간에 관한 환경미학적 공간 이론 연구
7	갑각류 연구회	생태계 핵심 구성 생물이며 수산양식 자원과 식품·의약품 소재인 갑각류의 생물다양성 감소 문제 해결을 위한 기초연구 활성화와 보전 방안 마련 연구
8	개발협력분야 젠더와 다양성 연구회	중소제조업 분야 이주여성 노동자의 고용 안정성 결정요인 연구 : 사업장 특성과 제도적 보호 체계를 중심으로
9	금강생태공원연구회	시민 활동형 생태습지공원 조경 계획 연구 : 장남들판 금개구리 서식지 보전과 금강 생태축 연결을 통한 생물다양성 증진방안을 포함한 지속가능한 이용 방안 연구
10	기후변화를 위한 변화	주요 공여국 기후변화 개발협력 정책 분석을 통한 한국의 국제개발 협력 전략 방안 모색: 아프리카 지역을 중심으로
11	기후환경언론포럼	대한민국 기후환경 언론 보도의 현재에 대한 고찰과 앞으로 나아갈 길에 대한 모색, 기후환경 언론인의 역량 강화모임
12	대전새싹단	용인 반도체 클러스터의 편익, 위험, 대안 연구
13	대쪽진단	대구 쪽방촌 거주민의 주거환경 실태조사 및 기후특성을 고려한 주거환경 개선 방안 연구
14	멸종위기종활동가	도시공원 일몰제 이후, 도시공원의 현황과 지자체별 정책 현황을 분석
15	생태공연연구회	동시대 한국 공연예술의 생태 실천 탐색
16	수라갯벌의 친구들	신공항 건설 사업의 생태적, 환경적, 문화인류학적 문제점 분석
17	연결된 바다들 : 바다의 권리를 말하는 여섯 개의 시선과 질문들	우리는 '바다의 권리'를 어떻게 전할 수 있을까. 인간 중심적 시각에서 벗어나 바다를 주체적인 존재로 바라보고, 그 권리를 말하는 새로운 시선과 방식 연구
18	왓이즈임팩	임팩트 지표의 측정 및 평가 프레임워크 연구 : 표적 접근법과 환경 사례를 중심으로
19	지디(지속가능한 Data eXperience 연구모임)	AI 분석을 활용한 소셜미디어 기반 실시간 기후변화 담론 확산 패턴 연구
20	집으로	방문 진료 의료진의 환자 친화적인 의사소통을 증진하기 위한 대규모언어모델 기반의 피드백 시스템 개발
21	탄소중립기본법 튜아보기	탄소중립기본법 조항 및 정책 수준 검토를 통한 개선 방안 연구

22	피프틴: 15분 도시를 위한 그린 모빌리티 구성	기후변화 대응을 위한 보도 및 자전거도로의 조성 방법론 연구
23	한반도 그린 메이커스	김정은 시대 친환경 정책 연구
24	호이호이	제주 연안 연산호 군락 중 서귀포 문섬 잠수함 운행구역 중간 기착지 산호 회복 과정 조사연구
25	홀로그램	1인 가구의 삶의 질 향상과 친환경 활동 활성화를 위한 '그린 사회적 처방(green social prescribing)' 사례분석 및 적용방안 연구
26	환경강사 교육연구회	국내 사회환경교육기관의 환경교육 강사 양성 및 역량강화 프로그램 분석
27	환경과담	기후변화에 따른 한국의 계절 꽃 개화시기 변화와 그 생태계적, 사회경제적 영향 분석
28	환경담론연구회	기후변화와 환경 문제에 대한 사회적 담론 분석 : 텍스트마이닝과 질적·양적 방법론의 융합연구
29	환경인문학과 과학기술학	Envirotech 개념을 중심으로 국내 환경사를 기술의 역사로 이해 및 접근 분석

기획세션 2.

더많은자연

‘더많은자연(Nature Positive)’을 위한
재생에너지 확대의 도시계획적 접근 도입

- 1부: ‘더많은자연(Nature positive)’을 위한 재생에너지 입지 사례 및 계획입지
2부: ‘더많은자연(Nature positive)’을 위해 필요한 재생에너지 계획입지 정책과 제도

- 더많은자연 및 기획세션 프로그램 소개
- 한국과 독일의 태양광 계획입지제도 비교
이재혁 한국환경연구원 연구위원
- 독일 브란덴부르크주 재생에너지-생물다양성 공존 사례
: 리베로즈 및 피노우 태양광 단지 현장조사와 주요 기관 인터뷰 결과를 중심으로
신재은 숲과나눔 풀씨행동연구소 소장
- 우리나라에서 생물다양성을 고려하며 재생에너지를 확대할 수 있을까: 해남견문록
박 한 숲과나눔 풀씨행동연구소 캠페이너

‘더많은자연(Nature Positive)’을 위한 재생에너지 확대의 도시계획적 접근 도입

1. 소개

‘더많은자연(Nature Positive)’은 2030년까지 자연손실을 ‘0’으로 만들고, 2050년까지 자연의 완전한 회복을 위한 전 지구적 목표다. 이를 이행하기 위해 2022년 생물다양성협약(CBD, Convention on Biological Diversity) COP15에서 쿤밍-몬트리올 글로벌 생물다양성 프레임워크를 채택했다. ‘더많은자연(Nature Positive)’의 달성을 위해 자연을 더 많이 보호하고 훼손지를 복원하는 것이 필수다. 하지만 한국 사회에서 훼손지 복원 논의는 외국에 비하면 상대적으로 부족한 편이다. 숲과나눔 풀씨행동연구소는 국내에서 ‘더많은자연(Nature Positive)’ 이행 과제를 발굴하고 이행하기 위해, 구체적인 공간 변화를 만들어 갈 정책을 제안하고, 인재 양성, 연구 및 활동 지원, 시민참여 활동 등 다양한 활동을 해오고 있다.

○ 주요 활동 및 성과

구분	내용
이슈페이퍼 발간	네이처 포지티브(Nature Positive) 이행을 위한 자연자원총량제 도입 과제(2203)
	생물다양성을 고려한 재생에너지 확대 주요 사례(2024)
	GIS를 통한 한국의 자연손실 평가(1990~2020)(2024)
	생태계 보전을 고려한 재생에너지 보급 잠재량 분석(2024)
토론회 개최	유엔 생물다양성 협약 COP15 쿤밍-몬트리올 GBF 채택과 한국 사회의 과제(2023. 2. 28.)
	재생에너지와 자연의 공존은 가능하다(2023. 7. 26.)
	계통문제 및 입지갈등 해결을 위한 재생에너지 계획입지 제도 도입 방안, 기후시민프로젝트(2024. 9. 9.)
	생물다양성 공존모델에 입각한 재생에너지 계획입지 의무화법, 필요성과 쟁점 토론회, 박지혜 더불어민주당 국회의원-풀씨행동연구소(2025. 7. 29.)
	전북 탄소중립 실현을 위한 생물다양성 공존모델에 입각한 재생에너지 계획입지 도입 방안, 전북탄소중립지원센터-전북환경운동연합-풀씨행동연구소(2025. 9. 25.)
캠페인	자연의 측정, 생물다양성 크레딧과 한국사회의 과제, 주한영국대사관-풀씨행동연구소-한국환경연구원(2025. 10. 30.)
	‘더많은자연’ 서명 캠페인, https://naturepositive.kr/

2. 프로그램

2022년 쿤밍-몬트리올 프레임워크 중 타겟 8번은 자연기반해법을 중심으로 기후변화의 저감·적응의 노력이 생물다양성에 미치는 악영향을 회피하는 것이다. 현재 약 10%에 머물러 있는 재생에너지 발전량은 탄소중립을 위해 지속적이고 빠르게 늘어나야 한다. 다만 재생에너지로 인해 생물다양성 손실을 최소화할 필요가 있다.

환경부는 2018년부터 지속적으로 ‘육상태양광 환경성 평가 협의 지침’을 활용해 환경영향평가를 하고 있으나, 이슈페이퍼 ‘생물다양성을 고려한 재생에너지 확대 주요 사례’에서 발표한 것처럼 지침이 잘 적용되어 운영되고 있지 않은 상황으로, 이 같은 상황에서 생물다양성이 높은 곳을 우선 회피하고, 사업시행단계에서 공존모형을 적용하게끔 하는 재생에너지 계획입지가 중요한 해법이 될 수 있다.

더많은자연 기획세션에서는 ‘더많은자연(Nature positive)’을 위한 재생에너지 확대의 도시계획적 접근 도입에 대해 논의한다. 1부에서는 지난 4월 다녀온 독일 브란덴부르크 주의 대규모 태양광발전 시설 답사 결과를 공유하고, 우리나라 해남의 솔라시도태양광발전소의 사례를 토대로 재생에너지 계획입지 제도 법안의 가능성과 필요성을 모색해 보며, 2부에서는 재생에너지 계획입지 법안을 위해 필요한 제도와 준비사항 부각을 토론을 통해 논의한다.

○ 일시 및 장소: 2025. 11. 11.(화) 14:20~18:00, IBK기업은행홀

· 사회: 박 한 숲과나눔 풀씨행동연구소 캠페이너

1부: ‘더많은자연(Nature positive)’을 위한 재생에너지 입지 사례 및 계획입지

시간	프로그램	세부내용
14:20~14:30	소개	인사말 및 세션 소개
14:30~16:00	발제	한국과 독일의 태양광 계획입지제도 비교 이재혁 한국환경연구원 연구위원
		독일 브란덴부르크주 재생에너지-생물다양성 공존 사례 : Lieberoser Heide 및 Finow 태양광 단지 현장조사와 주요 기관 인터뷰 결과를 중심으로 신재은 숲과나눔 풀씨행동연구소 소장
		우리나라에서 생물다양성을 고려하며 재생에너지를 확대할 수 있을까: 해남건문록 박 한 숲과나눔 풀씨행동연구소 캠페이너

2부: '더많은자연(Nature positive)'을 위해 필요한 재생에너지 계획입지 정책과 제도

시간	프로그램	세부내용
16:20~16:30	소개	인사말 및 세션 소개
16:30~17:30	지정토론	- 좌장 김혜정 지속가능발전연구센터 공동대표 - 토론 박종순 국토연구원 연구위원 - 이은석 건축공간연구원, 공간AI·빅데이터본부 연구위원 - 박 찬 서울시립대학교 조경학과 교수 - 임재민 에너지전환포럼 사무처장 - 문지현 전북환경운동연합 사무처장 - 노건우 하인리히 뵐 재단 동아시아사무소 생태담당관
17:30~18:00	종합토론	토론 및 질의응답

한국과 독일의 태양광 계획입지제도 비교

이재혁 한국환경연구원 연구위원

1. 서론

국내에서 재생에너지의 무분별한 개발과 갈등을 관리하기 위해 2017년 「재생에너지 3020 이행계획」에서 처음 계획입지제도 개념을 정책에 들여왔다. 「재생에너지 3020 이행계획」에 따르면 광역지자체가 적합부지를 발굴하고, 중앙정부 승인을 거쳐 민간 사업자에게 부지를 공급, 민간 사업자가 수립한 지구개발 실시계획을 중앙정부가 승인하여 인허가의 일괄 의제처리를 하는 제도'로 정의하고 있다. 이를 통해 자연생태계 및 환경 훼손을 방지하고, 지자체와 주민참여를 통해 수용성을 향상시킴으로서, 착공 지연 및 건설 중단의 경제적 손실도 저감할 수 있기에, 지역발전에 중요한 발판이 되어왔다.

이러한 정책은 기초에 따라 바뀔 수 있기 때문에 법적 근거를 마련하는 것이 중요하다. 이에 해상풍력은 '해상풍력 특별법'을 통해 법적 근거를 마련하여 공공주도 계획입지제도를 실행할 근거를 마련하였다. 하지만, 태양광의 경우는 아직 이러한 근거를 마련하지 못한 상황이다. 이에 태양광에 대한 대륙법 체계로 국내와 법체계와 비슷하며 재생에너지 제도를 정비한 독일 계획입지제도와 국내 현황을 비교분석하여, 향후 국내 태양광을 중심으로 한 계획입지제도에 대한 시사점을 제시하고자 하였다.

2. 독일 태양광 계획입지 관련 법제도

1) 법령

독일의 「재생에너지 확대를 위한 법률(Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien: EEG)」에서는, 육상풍력, 태양광, 바이오매스, 바이오메탄, 수소 등(해상풍력 제외)에 대한 계획입지 및 입찰에 대한 내용을 담고 있다. 태양광은 별도의 세션으로 구성되어 생태지역(생물권 보존지역 및 배수된 이탄지)을 배제하며, 건물 및 공개공지(고속도로 또는 철도변 500m내 등), 농업여건이 좋지 않은 농지 등에 대한 입지에 대한 세부 규정을 마련하고 있다. 또한 특수태양광으로서 영농형태양광, 수상태양광, 주차장 태양광의 입지에 대해서도 별도의 규정을 제시하고 있다.

<표 1> EEG 법에서 제시된 태양광 입찰가능 입지

구분	세부내용
기존 개발 및 밀폐지역	도시산업상업교통시설 등 이미 건축 포장된 지역
전환지역	구 산업단지, 군사지역 및 대규모 대규모 주차장처럼 경제·교통·주거 목적이 해제된 토지
특수 태양광 시설	영농형 태양광, 수상 태양광, 주차장 태양광 등
교통 인프라 인접 지역	고속도로·주요 철도 노선 양측 500 m 이내 지역
불리한 농업지역	EU 농업정책 기준상 불리 지역으로 지정된 농지. 연간 입찰 상한 80 GW 범위 내에서 허용

출처: EEG법 기반 저자 제작성

2) 가이드라인

또한 농림환경기후보호부, 인프라지역계획부, 경제노동에너지부가 함께 제시한 태양광 발전을 위한 지침에서는 다음과 같은 긍정적 기준과 부정적 기준을 통해 입지를 설정하고 있다. 이를 토대로 각 지역에서는 더욱 정교한 태양광 부지 선정 기준 안내서(부록 1 참조)를 작성하고 있다.

<표 2> 태양광 설치를 위한 긍정적, 부정적 기준

구분	기준
긍정적 기준	▪ <u>높은 밀폐도를 가진 지역</u> 예를 들어 모든 종류의 건물, 주차장, 차도, 포장된 길 등 ▪ <u>서식지 기능이 크게 저해된 지역</u> 예: 물질 배출, 소음 또는 분할로 특징지어지는 지역. ▪ <u>기술적 시설로 인해 경관 형상이 크게 변형된 지역</u> 예: 건물, 송전선로 또는 교통로로 인해 경관이 크게 변형된 지역, 교통 부대면적 ▪ <u>전환 지역(예: 군사적 또는 경제적)</u> 이는 국가 방위를 담당했던 부대가 사용했던 지역이나, 과거 상업적·산업적 용도 또는 교통·기술 인프라 용도로 사용되었던 지역(예: 과거 상업·산업 지역, 오염된/밀폐된 지역, 저장 장소, 폐석 더미 및 과거 노천 채굴 지역 등, 자연 보호 측면에서 가치가 있거나 자연 보호법에 의해 보호되지 않는 한. 기존 부지 또는 전환 부지를 이용할 경우, 토지 이용 변경 계획에 따라 BBodSchG(연방 토양 보호법)에 근거한 위험 평가를 실시해야 합니다. 이를 바탕으로 필요한 경우 부지의 복원 또는 밀봉 해제를 계획해야 합니다
배제기준	▪ <u>LEP HR 제6.2조에 따른 개방 공간 네트워크</u> ▪ <u>§ 2 LWaldG에 따른 산림</u> ▪ <u>자연 보호 구역</u> ▪ <u>FFH 지역</u> ▪ <u>§ 30 BNatSchG에 따른 지역 및 광역 자연기념물</u> ▪ <u>진행 중인 (전문) 계획 절차가 있는 지역</u> 자연 보호 프로젝트, 관리 및 개발 계획이 수립된 지역도 고려해야 하며, 이러한 지역에서는 일반적으로 태양광 발전이 허용되지 않습니다. ▪ <u>자연적 정수 및 우수 구역</u> 수자원관리법(WHG) 제36조 제3항에 따라 태양광 설비는 다음의 경우 설치 및 운영할 수 없습니다. 1. 지표수역(인공 수역 또는 크게 변경된 수역이 아닌 경우) 내부 및 상공 2. 인공 수역 또는 크게 변경된 수역 내 및 상공에서, 평균 수위선을 기준으로 a) 설비가 수역 면적의 15% 이상을 차지하거나 b) 또는 강둑으로부터의 거리가 40m 미만인 경우. ▪ <u>수질보호구역</u> 수질보호구역 I 및 II 구역에서는 PV-FFA를 설치할 수 없으며, III 구역에서는 보호 목적에 대한 위험이 배제될 수 있는 경우에만 개별 사례 검토 후 PV 설비 설치가 허용됩니다. 또한 수변지대 및 확정 또는 잠정적으로 확보된 범람구역에 적용되는 금지 사항을 준수해야 합니다. ▪ <u>토양 기능 충족도가 높은 토양(§ 2 BBodSchG)</u> 특히 보호가 필요한 토양으로 간주됩니다. 새로운 토지 이용은 보호가 덜 필요하고 민감한 토양으로 유도해야 합니다. ▪ <u>자연에 가까운 습지 지역</u>

출처: <https://mleuv.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Gemeinsame-Arbeitshilfe-PV-FFA.pdf>

3. 한국의 태양광 계획입지 관련 법제도

1) 법령

신재생에너지법 개정안(박지혜 의원 대표발의, 2025)에서는 기존 다루지 않았던 환경과 생태계에 대한 고려가 존재한다는 점에서 기존안과 차별화된다. 그럼에도 태양광에 대한 구체적인 조건을 다루지 못하고 있다는 한계가 존재한다. 우선 태양광에 대한 섹션논의가 존재하지 않는다. 독일과 같이 생태계가 우수한 지역의 구체적 범위와 또한 특수태양광 등에 대한 종류도 다루지 않는다. 물론, 이러한 부분은 시행령, 시행규칙 등에서 제정될 수 있지만, 단순히 생태계 관련 문구가 들어가는 것이 아닌 재생에너지원별 구체적 항목들이 들어갈 때 무늬만 계획입지가 아닌 실효성 있는 운영이 가능할 것이다.

2) 가이드라인

산업통상자원부에서 2023년 발행한 재생에너지 발전시설 입지 가이드라인에 따르면, 지자체는 태양광 발전시설에 대한 주거지역의 경우 100m 범위 이내로 이격거리를 설정·운영 가능(주거지역은 주민등록이 완료된 「주택법」상 주택 5호 이상의 밀집 지역을 의미하며, 해당 주민들의 2/3 이상의 동의하는 경우 설정된 이격거리에도 불구하고 사업 추진 가능)이란 규정과 함께, 다만, 도로지역의 경우 이격거리를 설정하지 않을 것을 권고하고 있다. 이는 독일의 법령보다도 구체적인 항목이 매우 적은 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

재생에너지 계획입지에 대한 필요성은 당연한 만큼, 계획입지를 실효성 있게 운영하기 위해서는 독일과 같은 구체적 방향성과 기준이 마련되어야 할 것이다. 이러한 내용은 추후 시행령, 시행규칙 등 가이드라인에서 담을 수 있지만, 법제에서 기본적인 논의를 담아둔다면, 더욱 효과적인 운영이 가능할 것이고, 지자체에서는 이 틀을 통해 더욱 구체적 방안들을 제시할 수 있을 것이다. 또한 독일 법령에서는 태양광 계획입지를 운영을 위한 지원금(비용이 낮게 책정될시 지원금), 계통접속도 에너지경제법에 연계되어 제시되고 있다. 분산에너지의 전국적 확산을 위해서는 재생에너지 계획입지와 함께 연관된 부분도 같이 검토할 필요가 있을 것이다.

<표 3> 독일 우커마르크-바르님 계획 지역 내 태양광 부지선정 기준

1. 긍정적 기준	
EEG 제6조에 따른 협약 체결	
자연보호에 부합하는 설비 설계 개념(EEG 2023 제6조 제4항 제2문)	
운영사의 본사가 해당 지자체에 위치	
밀봉된 면적	
군사 전환 지역	
경제적 전환 지역	
경작이 어려워져 경제적 수익성이 더 이상 보장되지 않는 농경지 (예 : 가뭄, 토양염화, 부영양화)	
‘불리한 지역’(1986년 7월 14일 이사회 지침 86/465/EEC)	●
긍정적 기준 합계	1
2. 긍정적 효과	
고속도로 및 복선 철도 양측 200m 구간	
200m 폭의 복도 : 전력선 양측	
변전소로부터 2,000m 반경 내	●
변전소/송전소 지역 반경 2,000m 이내	
1차 에너지 저장시설 반경 2,000m 이내	
전해 설비로부터 500m 반경 내	
기존 바이오가스 시설로부터 500m 반경 내	
침식 위험이 특히 높은 지역(풍식 및 수식)	●
교통 부대 시설	
긍정적 효과를 가진 평가 기준 합계	2
3. 긍정적 또는 부정적 효과	
외곽 지역 위치	●
주로 밀봉되지 않은 군사 및 상업용 전환 지역	
긍정적/부정적 영향을 미치는 평가 기준 합계	1
4. 부정적 영향	
주거 지역과의 최소 거리 400m 미달	
토지 가치 지수 우세 자연 공간 북부 > 35: 자연 공간 남부 >23	
분할되지 않은 방해 요소가 적은 공간	●
고품질 경관 지역	
복원지역(특히 광산)	
유럽 조류 보호구역	
홍수 위험 지역	
수역(호수, 연못)	
지하 유적	
지상에서 보이는 지상 유정의 주변 보호 구역	
건축 유적의 주변 보호 구역	
건축 유적의 시야 축	
부정적 영향을 미치는 평가 기준 합계	1

5. 부정적 기준	
경관 보호	
주 개발 계획(LEP HR)의 개방 공간 연계망	
경관보호구역(LSG)	
산림 면적	
관광 중심 지역/휴양지	
매우 높은 가치의 경관 지역	
경관을 형성하는 경사면 및/또는 구릉	
자연 및 종 보호	
FFHM NSG, 국립공원	
보호 대상 경관 구성 요소	
엄격히 보호되는 조류 중의 휴식지, 먹이 활동지 및 번식지	
종 및 서식지 보호를 위한 간섭에 대한 보상 면적	
생태통로/야생동물통로	
토양, 물, 기후, 공기, 문화재 보호:	
농업환경 조치의 일환으로 농지 지원	
초지 및/또는 저지대 습지 지역	
기록 보관 기능을 가진 토양	
기후 조절 기능을 가진 지역(습지, 습지대, 저류지)	
지정된 범람 지역	
수질 보호구역 1구역	
문화재보호구역, 건축문화재	
주거지역	
연계된 내륙 개발 지역	
외곽 지역의 개발된 이용 면적	
계획된 건설 지역	
부정적 기준 합계	0

참고문헌

- 독일 재생에너지 확대를 위한 법률(Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien: EEG), https://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/
- 독일 농림환경기후보호부, 인프라지역계획부, 경제노동에너지부(2023), 태양광 발전소 공동 작업 지침서, <https://mleuv.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Gemeinsame-Arbeitshilfe-PV-FFA.pdf>
- 신재생에너지법 개정안(박지혜의원 대표발의, 2025)
- 산업부(2023), 재생에너지 발전시설 입지 가이드라인
- 독일 우커마크-바르님 지역 계획 공동체(2024) 태양광 발전소 부지 선정 기준, https://uckermark-barnim.de/wp-content/uploads/Handreichung_PV_2024.pdf

독일 브란덴부르크주 재생에너지-생물다양성 공존 사례

리베로즈 및 피노우 태양광 단지 현장조사와 주요 기관 인터뷰 결과를 중심으로

신재은 숲과나눔 풀씨행동연구소 소장

1. 서론: 에너지 전환과 자연 보전의 병행 과제

기후위기 대응을 위한 재생에너지 확산은 국제적인 공통 과제다. 독일은 탈원전 이후 태양광·풍력 확대를 강력히 추진했으며, 전체 국토의 2%를 재생에너지 입지로 확보할 것을 연방법으로 명시하였다. 하지만 보전지역·군사 오염지 등과의 공간 충돌이 불가피하게 발생하고 있으며, 이에 따라 생물다양성 훼손과 주민 수용성 문제도 제기되고 있다.

브란덴부르크주 리베로즈 태양광 발전소는 EU 조류보호구역(SPA) 내부에 입지한 이례적 사례로, 공공성과 생태 보전 사이의 충돌이 첨예하게 드러났다. 반면, 피노우 태양광 발전소는 시민사회·연구기관·사업자 간 협력적 설계와 과학적 모니터링을 통해 보전과 에너지 생산의 균형을 이룬 사례로 주목받고 있다.

2. 본론: 리베로즈와 피노우 사례를 중심으로 본 공존 조건

1) 리베로즈 현장 방문 사례

리베로즈 태양광 발전소는 독일 브란덴부르크주 터나우-프라이락 시 내 옛 소련군 부대 부지에 2009년에 건설된 52.076MW 규모의 재생에너지 시설이다. 이 부지는 1990년대 초까지 소련군의 군사기지로 사용되었으며, 현재까지도 다량의 화학 물질과 군수품에 의해 오염되어 출입이 제한된 상태이다. 해당 지역은 유럽연합의 보호지역 네트워크인 NATURA 2000에 포함되어 있으며, 인근의 리베로즈 황야(Lieberoser Wilderness)는 빙퇴석 지형, 사막, 언덕, 호수, 황무지 등이 복합적으로 존재하는 독일 최대의 황야지대(moorland) 중 하나이다.

주 정부는 이 지역을 에너지 전환의 상징적 부지로 선정하고, 오염 정화를 명목으로 대규모 태양광 단지를 조성하였다. 사업자는 약 380헥타르 규모의 토양정화 비용을 부담하고, 주 정부는 2008년 협약을 통해 20년간 재생에너지 발전사업을 운영할 수 있는 권리를 부여하였다.

이 과정에서 75톤의 고철, 3톤의 탄약 고철, 독성 화학 물질이 들어 있던 230개의 녹슨 드럼통이 제거되는 등 대규모 정화 작업이 이루어졌다. 이후 50헥타르 규모의 부지에 태양광 패널이 설치되었고, 나머지 부지는 초지, 관목지, 산림 등으로 조성되었다.

그러나 리베로즈 부지는 NATURA 2000 보호구역 내부에 위치하고 있어, 조류 서식지 단절, 울타리 구조, 제초 방식 등으로 인한 부정적 생태 영향이 꾸준히 제기되었다. 태양광 발전소 건설 이후 실시된 조류 모니터링 결과, 일부 조류 종은 발전소 내부에서도 번식이 확인되었으나, 초기 계획된 재자연화(renaturation)가 실제로 이행될지에 대한 우려가 지속되었다. 또한 조류 서식지 복원을 위한 보상림이 조성되었으나, 단일 수종 중심의 식재와 부적합한 서식지 설계로 인해 생태적 효용성이 낮다는 비판이 제기되었다.

2) 주요 기관별 인터뷰 결과

(1) 브란덴부르크 환경부

리베로즈 태양광 발전소 부지는 과거 군사 오염지역으로, 토양 정화와 유해물질 제거에 많은 비용과 시간이 소요된 곳이다. 이러한 오염 복원을 민간 투자자가 감수한 점은 프로젝트 승인에 있어 긍정적인 요인으로 작용하였다. 해당 부지는 오염된 군사지역(degraded land)으로, 기존에는 누구도 개발하거나 활용하려 하지 않았던 지역이다. 이를 정화하고 재생에너지 발전 부지로 전환하는 것은 공공의 이익에 부합하는 프로젝트로 간주되었다.

다만, 해당 부지는 유럽연합 조류보호구역(SPA)에 해당하는 NATURA 2000 구역 내에 위치하고 있어, EU 차원의 승인 절차를 거쳐야 했으며, 매우 엄격한 예외 승인 기준이 적용되었다. 독일에서는 '자연침해조정제도(Eingriffsregelung)'가 가장 강력한 생태보전 수단으로 기능하며, 재생에너지 발전소를 포함한 대규모 사업에서는 전문가 주도의 생물다양성 보상 모델이 오래전부터 작동해오고 있다.

(2) 슈프레나이제 군청

지구단위계획(Mebauungsplan)은 기초 지자체가 수립하며, 군청은 기술적 승인을 담당하는 역할을 수행한다. 도시계획은 지자체의 소관이고, 군청은 법적 요건 검토 및 형식적 승인 권한을 가진다. 이 과정은 정당 간 갈등 여부와 무관하게, 법령 기준을 충족하면 승인된다.

사업자는 유해물질 정화 조건을 제안하였고, 이는 지역 환경 개선에 기여함과 동시에 사업 승인에 결정적인 요인이 되었다. 사업의 주된 동력은 정부가 아닌 사업자에게 있었으며, 군청은 이를 법적 요건에 따라 수용하였다. 재생에너지는 연방법상 우선순위가 높은 항목으로 간주되며, 경제적 이익도 커서 사업 추진이 비교적 원활하게 이뤄지는 경우가 많다.

가장 큰 장점은 경제적 수익이며, 법인세 수입과 함께 메가와트시당 0.002유로 수준의 지역 이익공유가 발생하여 재정적 혜택으로 이어진다. 독일 연방건축법에 따르면 도시 외 지역(Außenbereich)에서는 일반적인 개발이 거의 불가능하며, 재생에너지 시설만이 특권적으로 허용된 상황이다. 주택단지와 같은 다른 개발은 승인 가능성이 매우 낮다.

자연보상은 초기에는 소나무 조림 위주였으나, 최근에는 보다 정교한 생태 복원 방식이 강조되고 있다. 사용 허가기간 종료 시 공식적인 재자연화 의무가 존재하지만, 현장에서는 리파워링(재설치)을 선호하는 경향이 있다. 이는 환경보다 경제적 효용 중심의 판단이 여전히 우세함을 보여준다.

(3) BUND

리베로즈는 독일 내에서도 생물다양성 가치가 매우 높은 핵심 구역 중 하나이다. 해당 지역은 유럽연합의 NATURA 2000 보호체계에 따라 조류보호구역(SPA)으로 지정되어 있으며, 멸종위기 조류, 곤충, 초지 식생 등이 다수 서식하는 곳이다.

본 지역에서 추진된 태양광 발전소 건설 과정에서는 발전소 부지에서 발생하는 생태 훼손을 외부 복원지역을 조성함으로써 상쇄하는 방식이 적용되었다. 구체적으로는 초지성 조류 서식지 복원, 원시림 복원지역 시범 운영 등의 조치가 이루어졌으며, 일부 구간은 초지 상태로 되돌려 지속적인 생물다양성 유지를 시도하고 있다.

BUND는 환경단체로서 해당 사업의 초기 단계부터 참여하여 사업 조건과 모니터링 계획에 대한 의견을 제시하였다. 이후 실시된 조류 모니터링 결과에 따르면, 발전소 내부에서도 일부 조류 종의 개체수가 증가하는 현상이 확인된 사례가 존재한다. 이는 울타리 하단 개방, 토양 반사 억제 등의 설계상 세심한 생태적 배려가 작용한 결과로 평가된다.

독일은 보호구역 면적이 넓고, 그 외의 비보전지역 내에서는 가용 부지가 제한적이라는 특성이 있다. 이와 관련하여 BUND 내부에서도 재생에너지 확대와 자연보전 사이의 균형을 둘러싼 내부적 입장 차가

존재함을 확인하였다.

BUND는 2022년 전체 회의를 통해 다음과 같은 공식 입장에 합의한 바 있다. 첫째, “재생에너지 2% 목표”라는 국가 차원의 정책 방향에 대해 원칙적으로는 동의하되, 둘째, “보호구역과 숲 지역은 입지 대상에서 제외해야 한다”는 점을 분명히 하였다. 단, 셋째로 예외적으로 입지를 허용하는 경우에는 철저한 환경영향평가와 사전 예방조치를 선행 조건으로 해야 한다는 점이 명시되었다.

(4) NABU (자연보호연맹)

리베로즈 태양광 단지를 재생에너지와 생물다양성 공존의 ‘좋은 사례’로 보기 어렵다고 평가했다. 원래 해당 부지는 군사 훈련장이었던 이력 덕분에 간섭이 적고, 모래 지형 기반의 회귀한 개방지형 서식지가 발달해 있었다. 특히 지면에 알을 낳는 조류나 민감한 곤충들이 많았지만, 태양광 패널의 소리, 열, 진동은 이들에게 명확한 스트레스를 유발하고 있었으며, 서식지는 오히려 단지 외곽 지역에서 더 회복세를 보였다. 패널 사이 간격이 좁고 빛이 가려지며, 야생동물 이동에 필요한 연결성도 떨어진다. 손실을 보상하는 숲이 조류 서식지에 맞지 않는 혼효림으로 조성되었고, 실제로는 환경영향평가와 달리 단일수종으로 식재되었다. 차라리 나무를 없애는 편이 나았을 수도 있었다고도 평가했다.

NABU를 비롯한 지역 환경단체들은 처음부터 국립공원 지정을 요구했으며, 보존적 가치가 매우 높다고 주장했다. 그러나 브란덴부르크 주 정부는 후쿠시마 사고 직후 에너지 전환의 상징으로 해당 부지를 태양광 단지로 결정했다. 주 정부가 토지를 소유하고 있었고, 행정절차 역시 중앙집중적으로 이루어졌다는 점에서 지자체나 환경단체의 의견은 반영되기 어려웠다.

최근 하나의 태양광 단지가 100~600헥타르 규모까지도 허용되고 있고, 패널 밀도, 간격 등에 대한 최소 기준도 없다는 점이 문제라고 평가했다. NABU는 이에 대응하기 위해 정치적 의견 개진, 법적 소송, 주민 컨설팅을 병행하고 있으며, 실제로 자연침해조정의 이행 미흡 시, 재감정 및 소송까지 이어진 사례도 있다.

3) 대안 사례

피노우 태양광 단지는 옛 군용 비행장 부지에 위치하며, 2011년에 건설되어 2012년 초에 시운전을 시작한 시설이다. 이 단지는 2013년부터 광범위한 생태 모니터링 연구가 진행되었고, 일부 연구는 현재까지도 계속되고 있다. 초기 설계 단계부터 에버스발데 응용과학대학교(HNEE)와 시민사회가 함께 참여하여 과학적 기반의 설계가 수립되었다.

해당 프로젝트는 외부 보상지역 뿐만 아니라 발전소 내부 부지 자체에 대한 생태 조사가 함께 이루어졌다는 점에서 특징적이다. 모니터링은 에버스발데 대학교와 레구안 그룹에 의해 수행되었으며, 건설 전 습지 해리어, 벌새, 황조롱이 등 조류가 번식 조류로 기록되었고, 참매와 솔개는 이 지역을 먹이터로 이용하는 것이 확인되었다.

설계 측면에서는 모듈 간 간격을 5.5m로 넓게 확보하였고, 인공 둥지를 설치했으며, 울타리 하단을 개방하여 야생동물의 이동을 유도하였다. 또한 잔디를 제거함으로써 마른 초지 상태를 유지하는 등 조류 및 곤충의 서식지 유지에 집중하였다. 이와 같은 조건에서 조류의 약 70%는 다양성이 유지되거나 오히려 증가하였고, 총 31종의 귀뚜라미가 확인되었다.

이 프로젝트는 지역사회가 설계와 감시에 지속적으로 참여한 사례로, 단순한 기술적 대응을 넘어선 거버넌스 기반의 공존 모델로 평가받고 있다. NABU를 포함한 주요 생태단체들은 본 사례를 단지 설계 기술의 결과가 아니라, 사람과 제도가 유기적으로 작동한 모범사례로 보고 있다.

3. 결론: 시사점

브란덴부르크 사례는 에너지 전환과 생물다양성 보전이 제도만으로 조율되기 어려우며, 실행력과 거버넌스, 지역 수용성의 조화가 핵심임을 시사한다. 특히 리베로즈 부지의 경우, 주 정부와 군청은 이를 과거 군사 훼손지로 판단했지만, 지역 환경단체는 생태적 가치가 높은 보전 대상지였다고 반박했다. 이처럼 ‘훼손지’ 판단 기준은 과거 이용 이력보다 생태적 질과 연결성을 중심으로 정밀하게 다뤄져야 한다. 이는 한국에서도 산지, 폐광산, 유흥지 등을 우선 입지로 지정하려는 흐름에서 반드시 참고해야 할 지점이다.

또한, 재생에너지를 공공의 이익으로 간주해 입지에 우선권을 부여하는 법제 구조는 정치적 추진력을 강화할 수 있지만, 그에 비례하는 환경적 검토와 감시체계가 수반되어야 한다. 브란덴부르크 주 정부는 지역계획과 환경영향평가를 통해 입지를 지정했지만, 실제로는 기초 지자체의 경제적 유인과 민간 개발자의 주도에 따라 사업이 결정되었다. 한국에서도 유사하게 지방세 수입이나 이익 공유 구조를 통해 지자체의 참여를 유도하고 있지만, 환경 판단 역량이 부족한 상태에서 진행될 경우 오히려 지역 갈등을 야기할 수 있다. 따라서 기초 지자체의 계획 수립 권한 강화와 더불어, 환경 전문성에 기반한 지원체계가 병행되어야 한다.

생물다양성 침해 조정 제도는 문서상의 설계만으로는 실효를 거두기 어렵다. 모범사례로 알려졌던 리베로즈 조차도 보상지의 생태 질 저하, 사후관리의 미흡, 감시체계 부재가 지적되었고, 지역 환경단체는 이를 보완하기 위해 시민사회와 연구기관이 참여하는 지속적 모니터링 체계를 강조하였다. 이는 한국에서 논의 중인 자연자원총량제, 환경영향평가 제도 개편, 지역협의회 제도 운영 등에 있어 실질적 감시와 평가 권한을 누구에게 어떻게 부여할 것인가의 문제로 이어진다.

마지막으로, 피노우 사례는 단지의 설계 단계부터 대학, 시민사회, 환경단체가 참여해 과학적 조율과 신뢰 기반 협력이 가능했음을 보여준다. 이는 단순히 제도를 도입하는 것보다 누가 언제 어떻게 의사결정에 참여할 수 있는지를 설계하는 거버넌스 구조가 관건임을 의미한다. 한국에서도 공론화 과정이 언론을 통한 갈등 확산 방식이 아닌, 시민사회 참여, 과학적 검토, 제도적 조율로 작동하도록 제도 설계가 개선될 필요가 있다.

우리나라에서 생물다양성을 고려하며 재생에너지를 확대할 수 있을까

해남 전문록

박 한 숲과나눔 풀씨행동연구소 캠페이너

1. 서론

2022년 우리나라 온실가스 배출량은 16.7 백만tonCO₂-eq다. 이 중 에너지로 인한 배출량은 76.2%를 차지해, 탄소중립을 달성하기 위해서는 재생에너지로의 빠른 전환이 필요하다. 그러나 쿤밍-몬트리올 글로벌 생물다양성 프레임워크는 기후변화 완화, 적응, 재해 대응 등의 기후조치가 생물다양성에 미치는 영향을 최소화할 것을 타겟 8번을 통해 정했다. 따라서 우리는 생물다양성을 고려한 대규모 재생에너지를 빠르게 설치해 「」야 한다. 지난 4월 발간된 ‘생태계 보전을 고려한 재생에너지 보급 잠재량 분석’을 통해 ‘순차적 저감 (Mitigation Hierarchy)’의 4단계 중 회피와 최소화에 초점을 맞춰 생물다양성을 고려한 재생에너지를 확대할 수 있는 ‘공존지역’을 도출한 바 있다. 그렇다면 실제 대규모 태양광발전시설에서 생물다양성을 고려한 입지 선정과 운영방법에 대해 알아보고 현재 정책에서 개정이 필요한 것이 있는지 알아볼 필요가 있다. 해남군 솔라시도 태양광발전소는 환경영향평가가 진행되고, 과거 국내 최대 규모의 태양광발전소로 알려져 해남군과 함께 인터뷰하였다.

2. 본론

1) 해남군

(1) 해남군의 전력소비량 및 신·재생에너지발전량

2020년 기준 전라남도의 최종에너지 소비량은 26,835.2 천TOE이며 이 중 해남군은 193.0천TOE를 소비해 0.7%의 비중을 차지하며 전라남도 22개 시·군 중 10위이다. 이에 반해 2020년 기준 전라남도의 신재생에너지 생산량은 1,223.4 천TOE이며 이 중 해남군은 147.9천TOE를 생산해 12.1%의 비중을 차지하며 전라남도 22개 시·군 중 1위다. 해남군의 신재생에너지 생산량 중 태양광발전은 96.3%(142.5 천TOE)이다.

(2) 향후 계획

『제1차 해남군 탄소중립 녹색성장 기본계획(2025~2034)』에 의하면 해남군은 2034년까지 51.6 MW의 태양광발전시설을 확대할 계획이다. 인터뷰를 통해 해남군은 향후 국가간척지와 수상태양광을 활용한 5.4 GW 재생에너지 확대 계획을 전했다. 정확한 면적과 위치에 대해서는 정하지 않았다. 또한 해남군은 재생에너지 설치 시 주변 주민 ‘모두’가 동의할 경우에만 설치를 허가해 재생에너지 확대는 쉽지 않아 보였다. 지난 2024년 7월 해남군의회는 지역주민 공감대 형성과 재생에너지 확대로 탄소배출 저감, 일자리 창출, 지역 경제 활성화로 지역소멸을 막기 위해 이격거리 제한 규정을 대폭 완화했다.

<표 1> 계획 및 인터뷰 별 재생에너지 확대 계획

구 분	계 획	
	용 량(MW)	예산(백만원)
2035 해남군기본계획	-	1,311
제1차 해남군 탄소중립 녹색성장 기본계획(2025~2034)	51.6	117,280
직접 인터뷰	5,400.0	-

<표 2> 『제1차 해남군 탄소중립 녹색성장 기본계획(2025~2034)』에 따른 2034년 신재생에너지 보급 및 설치 목표

사업코드	사업명	목표량(kW)	소요예산(억원)
B-11	신재생에너지 지원사업 지속추진	15,750	303.4
B-12	경로당 태양광 발전시설 설치 지원	900	119.4
B-13	도민발전소 운영	24,000	600.0
C-09	영농형 태양광발전설비 설치 확대	10,200	120.0
C-17	수산물 저온 저장고 태양광발전시설 설치	70	17.5
D-12	공공하수처리장 태양광 설치	500	8.0
D-13	매립지 태양광발전시설 설치	100	1.8
D-14	저수지 등 수상태양광 시설 설치 운영	120	2.7
합 계		51,640	1,172.8

2) 해남 솔라시도 태양광발전소

(1) 사업 연혁

솔라시도 태양광발전소는 2005년 서남해안개발 사업 구상으로부터 시작된 서남해안 관광레저형 기업 도시 개발사업(전라남도 해남군 산이면 구성리 구성지구)에 조성된 사업이다. 그러나 당초 2011년에는 골프장이 있었으며, 2018년 재생에너지산업과 첨단산업유치를 위해 사업이 변경되면서 솔라시도 태양광 발전소가 계획되었다. 지역주민으로 구성된 5개 법인과 (주)BS한양, 한국남부발전 등의 출자와 투자로 2019년 공사가 시작되고, 2020년 3월 준공되어 현재까지 운영 중이다.

(2) 사업 개요

① 사업 용량 및 면적

부지 면적은 1.59km²이며, 이 중 발전부지는 1.19km², 유휴지 등 기타부지는 0.40km²이다. 발전부지에 태양광패널 98 MW와 에너지저장체계 306 MWh가 구성되어 있다. 예상발전량은 연 129GWh이며, 2020년 해남군 신재생에너지 발전량(668.2 GWh 이 중 태양광은 668.1GWh)의 20.8%를 차지한다. 기타부지는 산이정원과 유휴지 등으로 구성되어 있다.

② 사업 입지

솔라시도 태양광발전소는 사업의 입지에 대해서는 관여하지 않고, 공사부터 발전소 운영만을 하는 상황이었다. 다만 주민과 소통하여 계획된 부지에 사업을 시작하여 공사부터 현재까지 주민민원 등 마찰은 없었다.

(4) 사업 운영

솔라시도 태양광발전소는 전기안전관리법에 의거해 설비를 관리하고 있었다. 다만 법과 지침은 전기

설비가 안전하게 잘 작동하는지 점검하고 기록하는 것 등을 주로 언급하여, 태양광발전시설 운영 시 필요한 풀베기 등 생물다양성과 관련된 관리 규정은 없는 상황이었다. 솔라시도 태양광발전소는 경제적인 이유로 제초제나 지면피복, 야생동물 접근방지 행위 등을 하지 않았다.

① 제초 및 풀베기

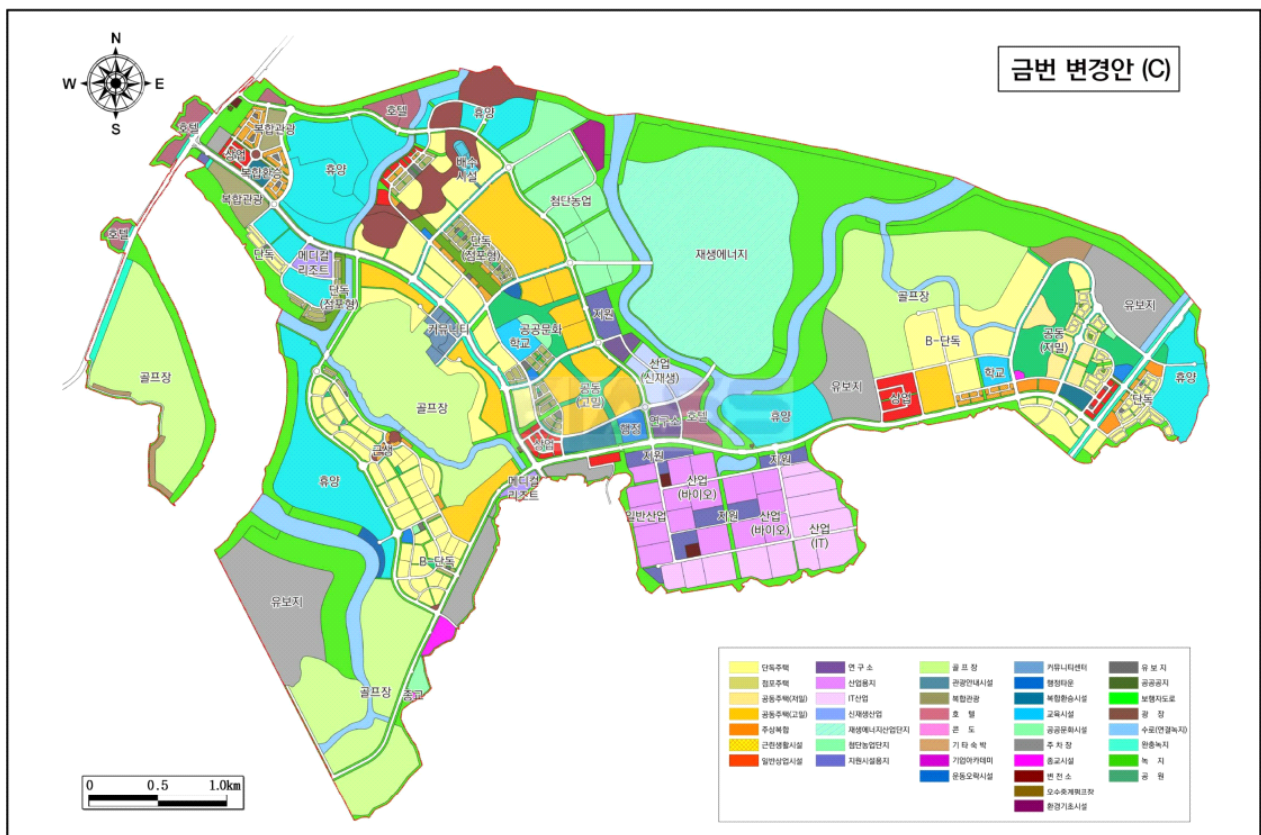
경제적인 이유로 인력이나 드론을 이용한 제초제 살포 대신 매년 1~2회 풀베기를 인력으로 진행했다.

② 지면피복

경제적인 이유로 초본류 성장을 억제하기 위해 야자매트 등으로 지면피복을 하지 않았다. 경제적인 이유와 더불어 태양광패널이 단면패널로 구성되어 양면패널의 발전효율을 높이기 위한 하얀색 비닐을 활용한 지면피복이 필요하지 않았다.

③ 야생동물 대응

해외 사례에서는 야생동물의 전선 훼손, 배설물로 인한 태양광발전 효율 저하 등의 문제점이 발생한다고 하나, 솔라시도 태양광발전소에서는 야생동물로 인한 피해가 없어 이에 따른 대응을 한 적이 없었다.



(그림 1.4-3) 토지이용계획도 비교(B&C)

<그림 1> 영암·해남 관광레저형 기업도시(구성지구) 조성사업 변경본안4차의
토지이용계획 내 솔라시도 태양광발전소

3. 결론

해남군과 솔라시도 태양광발전소 답사 결과, 해남군은 재생에너지를 대규모로 확대할 계획을 가지고 있었다. 사업자가 미리 재생에너지 발전지역을 주민과 협의하여 계획해 대규모 발전사업을 진행하는 것은 공사와 운영 측면에서 이득이었다. 대규모 태양광발전시설의 관리용이성을 위해 제초제나 지면피복, 화학약품을 이용한 패널 청소 등 다양한 방법을 활용할 것으로 예상되었으나, 경제적인 이유로 하지 않았다. 덕분에 대규모 태양광발전시설에서의 수질이나 토양오염은 우려되지 않았다. (주)BS한양의 담당자와 구성리 주민의 인터뷰가 진행되지 않아 입지선정과 주민참여 방식에 대한 검토가 미비한 점은 추후 사례조사가 필요하다.

‘육상태양광발전사업 환경성 평가 협의 지침’에서는 입지를 회피해야 하는 지역과 신중한 검토가 필요한 지역에 대해서는 상세하게 안내를 하고 있다. 반면 공사와 운영 시 생물다양성을 고려한 복원이나 운영에 대해서는 언급이 다소 미흡하다. 추후 협의지침을 변경하거나, 이를 활용해 지방자치단체에서 대규모 육상태양광발전시설을 계획할 때 생물다양성을 고려한 입지와 운영 등을 추가할 필요가 있다.

참고문헌

- 산업통상자원부, 2024, 한국전비설비규정 제9차 개정(산업통상자원부 공고 제2024-749호)
- 서남해안기업도시개발(주), 2011, 『영암·해남 관광레저형 기업도시(구성지구) 조성사업 환경영향평가서 본안』
- 서남해안기업도시개발(주), 2013, 『영암·해남 관광레저형 기업도시(구성지구) 조성사업 환경영향평가서 변경본안1차』
- 서남해안기업도시개발(주), 2018, 『영암·해남 관광레저형 기업도시(구성지구) 조성사업 환경영향평가서 변경본안2차』
- 서남해안기업도시개발(주), 2022, 『영암·해남 관광레저형 기업도시(구성지구) 조성사업 환경영향평가서 변경본안3차』
- 서남해안기업도시개발(주), 2024, 『영암·해남 관광레저형 기업도시(구성지구) 조성사업 환경영향평가서 변경본안4차』
- 이성옥 해남군 의원 대표발의, 발의 2024.7.10., 가결 2024.7.26., 해남군 군계획 조례 일부개정조례안(의안번호 3873)
- 환경부, 2025.6.30., 육상태양광발전사업 환경성 평가 협의 지침(개정 2025.6.30.)
- 해남군의회 산업건설위원회, 2024.7.23., 해남군 군계획 조례 일부개정조례안 심사보고서(의안번호 3873)
- 신재은, 박한, 최준호, 2025, 생태계 보전을 고려한 재생에너지 보급 잠재량 분석 : 육상태양광발전시설을 중심으로, (재)숲과나눔 풀씨행동연구소
- 해남군, 2025, 제1차 해남군 탄소중립·녹색성장 기본계획(2025~2034)

기획세션 3.

포럼 생명자유공동체

비인간과 인프라

생명-사회-기계의 만남

1부 공개포럼: 인프라라는 생태계, 생태계라는 인프라

2부 북토크: 비인간, 우리 시대의 상상력

- 포럼 생명자유공동체 및 기획세션 프로그램 소개
- 인프라와 생태전환
구도완 환경사회연구소 소장

비인간과 인프라

생명-사회-기계의 만남

1. 소개

포럼 생명자유공동체는 ‘모든 생명이 자유로운 공동체’를 위한 대안 담론을 모색하기 위해 (재)숲과나눔이 형성한 연구 공동체이다. 2019년부터 기후 위기, 녹색전환, 탈성장, 커먼즈, 비인간, 에코페미니즘 등을 주제로 정기적인 포럼을 개최하면서 대안 담론의 새로운 장을 만들어가고 있으며, 이를 총서 형식으로 발간하고 있다. 2020년 <생명 자유 공동체 새로운 시대의 질문>을 시작으로 2021년 <전환의 질문, 질문의 전환>, 2022년 <전환의 정치, 열개의 시선>, 2023년 <기후위기, 전환의 길목에서>, 2024년 <커먼즈 다시 그리기>까지 공동체 구성원들이 매달 모여 논의한 결과물이 담겨 있다. 올해에는 <비인간, 우리 시대의 상상력>이라는 제목으로 ‘비인간’에 대한 서로 다른 논의와 대화가 담긴 책이 출간되었다.

2. 프로그램

포럼 생명자유공동체 1부 공개포럼은 포럼 생명자유공동체의 2025년 마지막 공개포럼으로 올해 주제인 ‘인프라와 생태 전환’에 맞추어 발제를 진행한다. 2부 북토크는 비인간에 대한 서로 다른 논의와 대화가 담긴 여섯 번째 총서 <비인간, 우리 시대의 상상력> 발간을 기념하여 비인간에 대해 관심 있는 연구자와 활동가를 초청하여 책의 의미와 논쟁거리에 대해 이야기를 나누고자 한다.

○ 일시 및 장소: 2025. 11. 11.(화) 14:20~18:00, 광정환챌린지홀

1부 공개포럼: 인프라라는 생태계, 생태계라는 인프라

· 사회: 김수진 단국대학교 행정법무대학원 초빙교수

시간	프로그램	세부내용
14:20~15:50	발제	• 시설물에서 생명으로: 서울 가로수의 정동적 인프라 최명애 연세대학교 문화인류학과 교수
		• 인프라와 생태전환 구도완 환경사회연구소 소장
		• 폐기에서 분해/자원순환 기반 인프라로의 전환 장우주 삼성꿈장학재단 팀장
15:50~16:00	질의응답	• 질의응답

2부 북토크: 비인간, 우리 시대의 상상력

· 사회: 장우주 삼성꿈장학재단 팀장

시간	프로그램	세부내용
16:20~16:50	소개	- 총서6 「비인간, 우리 시대의 상상력」 소개 - 최명애 연세대학교 문화인류학과 교수
16:50~17:40	토론	- 이태영 제주대학교 사회학과 박사과정 수료, 숲과나눔 연구장학생 - 김도희 동물해방물결 해방정치연구소장 - 박소영 서울대학교 환경대학원 박사과정, 숲과나눔 연구장학생
17:40~18:00	종합토론	토론 및 질의응답

인프라와 생태전환

구도완 환경사회연구소 소장

1. 어떤 인프라?

인프라란 무엇인가? 이 글에서는 사람들이 기본적인 생활을 영위할 수 있도록 인간이 만든 물질의 결합체와 그것이 작동하도록 만드는 연결망이라고 정의한다. 인프라는 인간이 만든 것이고, 생활을 지탱할 수 있도록 하는 물질들이며, 그것을 만들고 관리하고 폐기하는 사람들이나 조직들을 전제한다.

인프라는 근대의 상징이 되었지만, 근대 인프라를 추동한 공업화는 환경오염, 자연파괴, 불평등 같은 문제들의 원인이라는 인식이 확산되면서 인프라 신화에 대한 성찰이 일어나기 시작했다. 인류, 국가, 공업, 자본 중심의 지배구조와 이를 지탱하는 인프라를 비판하고 이에 저항하는 운동과 담론이 1980년대 이후 한국에서 확산되었다. 다른 한편으로 인프라를 어떻게 생태적으로 전환할 것인가 하는 논의도 이루어지고 있다.

이 글은 한국의 인프라를 둘러싼 담론과 실천을 살펴보고 인프라를 생태적으로 전환할 수 있는 길을 찾아보는 데 목적이 있다. 이 글의 연구질문은 다음과 같다. 첫째, 인프라는 개발, 근대화 또는 환경 훼손, 불평등, 위험의 상징으로 어떻게 구성되었는가? 둘째 인프라를 어떻게 생태적으로 전환할 수 있는가? 이 글은 문헌 연구와 심층면접 방법을 사용한다.

2. 인프라와 근대화, 그리고 국가

인류는 농업혁명 이래로 인간의 필요와 번성을 위해 자연 또는 야생을 개조하여 인간을 위한 문명을 만드는 일을 지속해왔다. 산업혁명 이후 기계와 화석연료를 바탕으로 이루어온 산업 문명, 또는 근대문명은 유럽을 중심으로 시작되었고 이것은 제국주의, 식민주의와 결합하여 비유럽으로 확산되었다. 댐, 도로 등 인프라를 건설하기 위해 집합적으로 자원을 동원하는 일은 제국/식민지, 자본주의/사회주의 체제를 가로질러 일어났다.

해방 이후, 남한과 북한은 정치체제는 달랐지만 근대화, 공업화, 국가 중심 개발을 중심에 두었다는 점에서 유사하다. 1980년대 중반까지 남과 북 모두에서 권위주의 국가들이 댐, 관개시설 등의 건설을 통해 체제의 정당성을 홍보하여 정치적 자원을 확보하려고 노력했다. 국가가 국민 또는 인민의 삶을 보살피기 위해 자연을 개조하고 국토를 개발하여 인프라를 건설하고 운영한다는 담론을 남북한 모두에서 볼 수 있다. 공적 이익의 담지자로서 국가를 정당화하는 물질의 집합이자 상징적 의미로서 인프라가 생산되고 소통되었다.

그런데 동아시아에서 이런 역할을 국가가 적극적으로 수행하고 이를 정치적 동원의 자원으로 사용한다는 점에 초점을 맞추어 개발주의, 또는 개발국가, 또는 토건국가 담론이 등장했다. 개발국가 또는 토건국가는 환경을 파괴하는 대규모 개발사업을 통해 인프라를 확장하는 주된 행위자로 규정되었고 그 속성은 권위주의 또는 민주주의 정부 사이에 큰 차이가 없는 것으로 평가되기도 했다(홍성태). 이에 대한 대안으로 녹색국가에 대한 논의도 이루어졌다(문순홍).

3. 인프라의 생태적 성찰

인프라는 어떤 경우에 환경, 생태문제로 구성될까? 또 인프라가 불평등, 생태문제 등의 사회문제를 일으키거나 그럴 것으로 예상되는 경우에도 지속적으로 건설되고 유지되는 이유는 무엇일까?

1) 인프라는 언제 생태문제로 구성되는가?

첫째, 인프라가 제대로 작동하지 않거나 심각한 환경적 위해를 일으킬 때, 인프라는 골칫거리가 되고 이를 해결하기 위한 커뮤니케이션이 이루어진다(루만). 1991년, 구미에 있는 두산전자가 폐놀 유출사고를 일으켜 대구시에 클로로 폐놀에 오염된 수돗물이 공급되었을 때, 안전해야 할 수돗물이 ‘탐욕에 빠진 재벌’의 과실 또는 고의로 독극물에 오염되었다는 여론이 형성되었다. 모든 국민의 생활의 기반인 물을 상수도라는 인프라를 통해 안전하고 공급하고 관리해야 할 정부가 생산 또는 경제를 위해 기업의 책임을 제대로 묻지 않았다는 이유로 환경단체 등 시민사회는 정부와 두산전자를 강하게 비판했다. 이 사건은 이후 한국 환경운동이 확산하고 환경정책이 발전하는 데 중요한 영향을 미쳤다. 2011년에 일어난 후쿠시마 원전사고는 원전의 위험성에 대한 커뮤니케이션을 폭발시켰다. 안전하게 관리되고 있다고 여겨지던 원전은 다시 골칫거리가 되고 이로 인해 전세계적으로 원전 위험에 대한 생태적 커뮤니케이션이 활발하게 일어났다.

둘째, 인프라가 인간과 비인간존재의 생활과 생존에 부정적인 영향을 미치고 있거나 미칠 것이 예상된다라는 정보가 활발히 소통될 때, 인프라는 사회문제로 구성된다. 정부는 시화호를 담수호로 조성하려고 했으나 수질오염 때문에 크게 문제가 되었다. 어민단체들과 환경단체들은 담수호 조성계획을 철회하고 해수유통을 할 것을 요구했고, 결국 담수호 조성 계획은 취소되었다. 위험에 대한 활발한 소통이 정부의 계획을 수정하게 만들었다. 시화호 사례를 통해 사람들은 인프라의 건설과 운영이 기획자의 계획대로 관리되고 되지 않고 심각한 환경문제를 일으킬 수 있다고 인식하게 되었고, 이러한 인식은 이후 새만금 반대운동의 중요한 근거로 작용했다.

2) 인프라는 어떻게 건설되고 유지되는가?

인프라가 생태문제로 구성된다고 하더라도 인프라는 그것을 둘러싼 네트워크 또는 시스템이 작동하는 한, 그 계획과 운영은 계획대로 또는 약간의 변경을 거쳐 지속되는 경우가 많다. 인프라는 어떤 경우에 건설되고 유지될까(박순열)?

첫째, 경제체계의 작동에 유용할 때, 특히 자본주의 경제체계에서는 인프라가 자본의 축적에 기여할 때 이는 건설되고 유지된다. 인프라는 경제성, 일자리, 경제성장, 수출 경쟁력 같은 담론과 결합된다. 공기업은 정치, 행정체계의 영향을 받으며 민간기업과 유사한 방식으로 작동한다. 한국수자원공사, 한국수력원자력, 한국전력 등 공기업이 대표적인 예다. 노동자들 또는 노조도 기업의 조직 체계의 영향 아래 있는 경우가 많다.

둘째, 정치체계에서 권력의 획득, 강화, 유지에 기여할 때, 인프라가 건설, 유지된다. 인프라는 국가 발전, 지도자의 영도력, 애국 등의 담론과 결합된다. 기후, 생태위기에 대응하기 위한 재생가능에너지 등에서 볼 수 있듯이 ‘환경과 생태를 위한 인프라’도 정치체계에서 작동하는 담론이다. 정치인들은 선거에서 새로운 인프라 계획을 정치적 지지를 위한 자원으로 활용한다.

셋째, 행정체계에서 관료제의 작동에 유용할 때, 인프라는 건설되고 유지된다. 현대 국가의 관료조직은 정치체계의 영향 속에서 법체계를 작동시키면서 인프라의 건설, 운영, 폐기의 전과정에 전문가로 참여하고 그 과정에서 스스로를 확대, 유지한다.

넷째, 과학기술체계에서 인프라가 과학과 기술의 발전에 유용하다고 소통될 때, 그 인프라는 건설되고 유지된다. 원전은 한국 과학기술의 국가 경쟁력, 진보의 상징으로 소통되었다.

다섯째, 지역사회에서 어떤 인프라가 생활에 유용하다고 커뮤니케이션 될 때, 그 인프라는 건설되고 유지될 수 있다. 원전이나 방폐장의 위험성보다 경제적 혜택, 생활의 안정이 더 크다고 지역사회에서 소통될 때 그 인프라는 수용된다. 지역 소외와 지역 발전 담론은 새만금 사업, 가덕도 신공항 등 대부분의 인프라 건설사업의 핵심 담론이다.

여섯째, 환경운동조직 등의 생태와 생활의 위험성에 대한 커뮤니케이션이 이루어지더라도 인프라 건설, 유지의 결정을 바꿀 정도로 그 영향이 크지 않으면 인프라는 건설, 유지된다. 환경운동조직들은 천성산 터널, ‘북한산 관통도로’, 영종도 신공항(인천 공항) 등의 생태적 위험성을 주창했지만 지역사회, 언론 등에 중요한 영향을 미치지 못했고, 결국 기존 계획을 변경하거나 철회하지 못했다.

요약하면, 인프라는 기존의 사회체계들이 작동하는 데 기여하는 한, 지속적으로 건설, 유지된다. 지배적인 사회체계들과 조직들은 자본 축적, 정치적 권력 획득, 지역 사회의 수용 등을 목표로 기후, 생태위기, 사회적 불평등이라는 외적 환경을 무시하거나 경시하고, 인프라를 건설, 유지함으로써 체계들의 작동을 지속시킨다.

4. 인프라를 생태적으로 전환하기

기존의 인프라가 근대를 지탱해왔지만 그 근대에 바탕을 둔 인간과 비인간존재가 위기에 처해 있다면, 그 인프라를 생태적으로 전환하지 않으면 인프라의 기초가 허물어질 것이다. 인간의 생활을 지탱가능하도록 기획된 인프라가 역설적으로 인간과 지구의 지탱가능성을 허물고 있다.

인프라를 생태적으로 전환한다는 것은 근대의 물적 토대와 그 네트워크를 근본적이고 장기적으로 고쳐나간다는 것을 의미한다. 달리 말하면, 인프라의 생태전환은 근대적 인프라를 인공적으로 건설, 운영, 폐기하는 것이 국민 또는 모든 인류를 위해 필요하고 유용하다는 근대적 상상을 생태적으로 성찰하고 인간과 비인간존재의 생명과 생활의 지속가능성, 즉 생태적 지속가능성 관점에서 인프라를 바꾸어나가는 것이다.

생태적으로 지탱불가능한 인프라를 어떻게 생태적으로 전환할 수 있을까? 불필요한, 또는 생태적 위험성과 위해가 큰 댐, 석탄화력 발전소, 원전 등을 어떻게 해체하거나 줄여나갈 수 있을까?

어떤 인프라의 생태적 위험성과 위해가 압도적으로 크다는 담론이 많은 사회체계들에 영향을 주어 인프라를 건설하지 않거나 폐기하는 것이 체계의 작동을 위해 필요하거나 불가피하다고 커뮤니케이션 될 때, 그 인프라 또는 그 계획은 폐기될 수 있다.

동강댐은 건설계획 단계에서 건설로 인한 생태적 위험성이 매우 크다는 담론이 활발히 소통되고 그것이 지자체, 다수의 지역주민, 언론, 중앙정부 등에 영향을 미쳤고, 그 결과 건설계획은 정치체계에 의해 백지화로 결정되었다. 다른 한편 후쿠시마 원전 사고로 인해 높아진 위험 커뮤니케이션은 문제인 정부의 탈원전 정책, 그리고 고리 1호기 폐기라는 정책결정이 정치체계에서 가능하도록 만들었다. 그러나 정치, 경제, 언론 등의 영역에 형성된 광범하고 강력한 원전동맹의 반사적인 자원동원으로 인해 과학기술, 수출, 경제성장, 국가경쟁력 등의 담론이 위험 담론을 압도하게 되었다. 원전의 생태전환 과정은 지배적인 체계들의 강력한 작동에 의해 심각한 위협에 처하게 되었다.

요약하면, 인프라를 생태적으로 전환하기 위해서는 인프라를 작동시키는 사회체계들의 작동방식을 분석하고 그 사회체계들이 생태전환을 주된 가치로 받아들여 기존의 작동방식을 바꾸도록 하는 것이 필요하다. 원전, 석탄발전소 등이 규제 강화 등의 정책 결정으로 인해 좌초자산이 될 수 있다는 신호를 환경단체, 연구소 등 시민사회에서 운동과 실천을 통해 지속적으로 발신하고 이것이 정치체계와 경제체계의 작동을 바꾸도록 만들어야 할 것이다.

정치체계에서는 기후, 생태를 중심으로 조직된 정치 주체가 성장하고, 이들을 바탕으로 생태민주적 거

버너스를 확장해 가야 할 것이다. 생태 위험에 대한 커뮤니케이션이 확산되고 공고해질 때 인프라의 생태 전환이라는 정치적 결정이 더 많이 이루어질 것이다. 후쿠시마 이후 독일과 대만의 탈원전 과정이 이를 잘 보여준다.

경제체계에서는 기후, 생태위기를 가속화하는 자본 중심의 체계를 살림, 돌봄, 생활을 살리는 경제 영역 중심의 체계로 바꾸어 나가는 것이 필요하다. 여기에서 에너지 협동조합, 생활 협동조합 등 커먼즈가 확산하는 것이 중요하다. 화석 연료, 원자력 등 생태적으로 지속불가능한 에너지나 자원 중심의 자본에서 생태적으로 지속가능하고 사회적으로 정의로운 거버넌스 중심의 자본으로 전환해 나가는 것도 중요하다.

정치체계와 경제체계 등 사회체계들을 생태적으로 전환하기 위해서는 이 체계들 밖에서 생명, 생태, 지속가능성의 가치를 중심으로 스스로를 조직하고 재생산하는 사회운동의 작동이 매우 중요하다. 이들의 관점에서 근대 인프라를 가능하게 하는 기반은 바로 지구 위의 생명의 그물망이다. 이것이 바로 인프라의 인프라라고 할 수 있다. 이러한 인식을 진리로 논증하는 학문 체계의 커뮤니케이션도 매우 중요하다. 공업, 자본, 국가, 인류 중심의 인프라와 이를 지탱하는 사회체계들을 비판적으로 성찰하고 생태적으로 전환하는 사회운동과 학문체계 등 사회체계들이 생태적 커뮤니케이션을 확대할 때 인프라의 생태 전환은 느리지만 때로는 빠르게 이루어질 것이다.

참고문헌

- 루만, 2014, 『생태적 커뮤니케이션』, 서영조 옮김, 에코리브르.
- 문순홍, 2006, 『정치생태학과 녹색국가』. 아르케.
- 박순열, 2025, “‘까다로운(wicked) 문제’가 된 인프라의 개념적 재검토: Infra에서 parallel structur로”. 포럼생명자유공동체 2025년 첫 번째 대화마당 발표문. 2025. 7. 24.
- 홍성태, 2005, 『개발공사와 토건국가』. 한울아카데미.

기획세션 4.

삶을위한도시 포럼

삶을 위한 도시, 세 도시 이야기

- 삶을위한도시 포럼 및 기획세션 프로그램 소개

삶을 위한 도시, 세 도시 이야기

1. 소개

‘삶을위한도시’ 포럼은 도시를 단순히 건물과 도로의 집합체가 아닌 ‘삶을 위한 공간’으로 보고, 더 이상 개발과 성장이 아니라 ‘성숙’으로 도시계획의 방향을 전환할 것을 제안하는 포럼이다. 그동안 숲과나눔에는 우리가 살고 있는 도시를 더 건강하고, 안전하며, 지속가능한 곳으로 만들어가길 바라는 시민, 연구자, 활동가가 모였다. ‘삶을 위한 도시’는 이러한 숲과나눔 네트워크 안팎에서 문제를 포착하고 대안을 실천하는 사람들을 연결해 필요한 질문과 대화를 나누고, 생각을 교류하는 자리이다. 2025년에는 서울만 아니라, 광주, 부산 등 세 지역으로 확산하여 각 도시의 이슈를 찾고, 지역 사람들과 공론장을 만드는 실험을 이어가고 있다.

2. 프로그램

삶을위한도시 포럼 기획세션에서는 한 해 동안 ‘삶을위한도시’ 포럼을 진행한 서울, 광주, 부산의 경험 공유하고자 한다. 서울은 풀씨행동연구소가 풀씨들과 컬렉티브를 구성해 ‘공공공간’을 주제로 대화를 나누었고, 광주는 숲과나눔 지역거점인 ‘한걸음가게’를 중심으로 소비와 폐기, 먹거리와 순환, 마을과 공동체, 로컬 소상공인과 단골 등의 주제를 다루었다. 부산은 후기 산업사회로 전환 과정에서 여전히 개발과 성장에 초점을 두고 있는 정책에 대한 비판적인 시선을 바탕으로, 도시의 소비주의와 비인간 돌봄, 문화적 다양성 등에 대해 포럼을 열었다. 내년도 지방선거를 앞두고, 서울, 광주, 부산, 세 도시가 (누구의) 삶의 공간으로서 회복되기 위해 무엇이 필요한지 논의한다.

○ 일시 및 장소: 2025. 11. 11.(화) 14:20~16:00, 라제컨홀

· 사회: 이윤주 숲과나눔 풀씨행동연구소 캠페이너

시간	프로그램	세부내용
14:20~14:25	인사말	• 포럼 소개 및 일정 안내
14:25~15:10	발제	• 삶을위한도시의 여정 정예름 숲과나눔 풀씨행동연구소 캠페이너
		• 삶을위한도시 포럼@광주의 경험 김지현 유어스텝 대표, 숲과나눔 지역거점 ‘한걸음가게’ 운영자
		• 삶을위한도시 포럼@부산의 경험 서지현 부경대학교 국제지역학부 교수, 숲과나눔 박사후펠로우
15:10~16:00	토론	• 좌장 소준철 전남대학교 학술연구교수 • 토론 정예름 숲과나눔 풀씨행동연구소 캠페이너 김지현 유어스텝 대표, 숲과나눔 지역거점 ‘한걸음가게’ 운영자 서지현 부경대학교 국제지역학부 교수, 숲과나눔 박사후펠로우

기획세션 5.

한반도청년환경포럼

다시, 한반도 평화와 환경

- 한반도청년환경포럼 및 기획세션 프로그램 소개
- 남북 기후 협력의 실현은 가능한가?
정원희 강원대학교 통일강원연구원 선임연구원
- 금강산 세계유산 등재의 의의와 시사점
김서린 한국전통문화대학교 세계유산지속가능센터 연구교수
- 북한의 아프리카돼지열병 유입 및 확산경로 모델링
고찬우 국민대학교 기후기술융합학과 박사과정

다시, 한반도 평화와 환경

1. 소개

한반도청년환경포럼은 한반도의 환경 문제를 연구하고 협력 방안을 모색하는 청년 연구자들의 학술 교류의 장으로, 2022년 11월 출범하였다. 2023년 4월 25일 첫 모임을 시작으로 현재는 한반도 환경협력을 주제로 연구하는 박사 및 석·박사 과정생을 중심으로, 관련 분야에 관심을 가진 27명의 청년 연구자가 참여하고 있다. 본 포럼은 재단법인 숲과나눔이 주최한 환경학술포럼에서 비롯되었다. 당시 한반도 환경 세션의 발표자와 토론자로 모인 청년 연구자들은 북한 환경 현황에 대한 정보 접근의 어려움과 연구 네트워크 구축의 필요성을 공유하며 포럼을 결성하였다. 정치학·북한학 등 사회과학 전공자부터 임학·조경학·보건학 등 자연과학 전공자까지 다양한 학문적 배경을 가진 연구자들이 함께하여, 한반도 환경 문제를 다각도로 분석하고 학제적 접근을 시도하고 있다는 점이 포럼의 큰 특징이다. 매월 1회 정기적으로 회원 연구자들의 연구 성과를 공유하며 북한 및 한반도 환경 문제를 심도 있게 논의하는 학술의 장을 만들어가고 있으며, 이러한 활동의 성과로 포럼 소속 연구자들이 구성한 연구팀이 한국연구재단 융합연구 사업에 선정되기도 하였다. 포럼은 각자의 전공 영역을 넘어 새로운 시각을 배우고 협력하는 기회를 제공하며, 단순한 연구 모임을 넘어 한반도 환경 협력과 문제 해결을 위한 학문적·실무적 시너지를 창출하는 장으로 발전해 나가고 있다.

2. 프로그램

북한의 두 국가론 선언으로 인해, 남북관계에 대한 새로운 패러다임이 전개되고 있으며, 올해 새로운 정부가 들어섬에 따라 남북관계에 대한 여러가지 가능성이 논의되는 상황이다. 한반도청년환경포럼 기획세션에서는 다시 한반도 평화와 환경을 살펴보며 변화된 환경에 적합한 논의를 모색하고자 한다.

○ 일시 및 장소: 2025. 11. 11.(화) 14:20~16:00, 김순전홀

· 사회: 문예찬 연세대학교 정치학과 박사과정, 숲과나눔 연구장학생

시간	프로그램	세부내용
14:20~15:20	발제	• 남북 기후 협력의 실현은 가능한가? 정원희 강원대학교 통일강원연구원 선임연구원
		• 금강산 세계유산 등재의 의의와 시사점 김서린 한국전통문화대학교 세계유산지속가능센터 연구교수
		• 북한의 아프리카돼지열병 유입 및 확산경로 모델링 고찬우 국민대학교 기후기술융합학과 박사과정
15:20~16:00	토론	• 김진용 경남대학교 창의융합대학 부교수 하태일 국가유산청 명승전통조경과 학예연구사 임채환 농협중앙회 미래전략연구소 부연구위원

남북 기후 협력은 실현 가능한가?

정원희 강원대학교 통일강원연구원 선임연구원

1. 서론

한반도는 기후 변화 영향을 세계 평균보다 크게 받는 지역으로, 수십 년간 홍수, 가뭄, 태풍 등 자연 재해가 남북한에서 반복되어 왔다. 특히 북한은 취약한 인프라와 산림 황폐화로 인해 재해 피해가 훨씬 심각하게 나타나며, 이는 남한에도 영향을 미친다. 이런 초국경적 위협에 대응하기 위해 남북한은 협력의 필요성을 지속적으로 제기해왔으나, 협력은 정치적 변수에 종속되어 단발적 지원이나 일회성 거래(one-off deal)에 머물렀다(Hyeonjung Choi, 2021; Dawool Kim, 2023). 남한의 대북 기후 지원이 일방적 원조에 가까웠던 반면, 북한은 기후 외교를 손실과 피해, 기후 재정, 기술 이전 확보에 집중하며, 이를 국제 원조 획득과 체제 생존의 수단으로 활용했다는 비판이 제기된다(Scartozzi & Kang, 2023). 그럼에도 불구하고, 환경 문제는 국경을 초월하는 특성상 갈등 전환의 도구가 될 수 있다는 논의가 지속되어 왔다(Motyliška, 2022).

이러한 관점에서 국제사회는 적대적 관계 속에서도 환경 협력이 제도화된 사례를 보여주었다. 인도와 파키스탄은 1960년 세계은행의 중재로 인더스강 수자원을 분할 관리하는 조약을 체결하고, 영구 인더스 위원회를 설치해 수문·기상 자료와 운하 운용 현황을 상시 교환하였다. 이스라엘과 요르단 또한 1994년 평화조약(Annex II: Water-Related Matters)을 통해 요르단강 유역 수자원 배분 원칙을 명문화하고, 공동수자원위원회를 구성하여 정기적 데이터 교환과 공동 모니터링 체계를 제도화했다. 이는 환경 협력이 신뢰 구축의 토대가 될 수 있음을 보여주는 대표적 사례다. 중국 역시 메콩강위원회(MRC)와 합의하여 연중 수문 데이터를 실시간으로 공유하고 있으며, 미·중 간 전략 경쟁이 심화된 상황에서도 2023년 서니랜드 회담에서 메탄 감축과 비이산화탄소 온실가스 저감, 재생에너지 확대를 위한 공동 협력을 선언하였다. 이는 지정학적 갈등 속에서도 기후위기 대응이 협력의 접점이 될 수 있음을 시사한다.

흥미로운 점은 북한이 기후변화 의제를 다룰 때 비교적 비이념적이고 협력적인 태도를 보여왔다는 사실이다. 북한은 유엔기후변화협약(UNFCCC) 체계를 지지하며, 환경 보전과 기후행동에 관여하는 국제기구들의 활동을 긍정적으로 평가한다. 동시에 북한은 국제 사회의 공동 목표를 달성하지 못하거나 기후변화 대응에 소극적인 국가들에 대해서는 주저 없이 비판을 가한다(Scartozzi & Kang, 2023).

이론적으로 환경 평화 구축(environmental peacebuilding)과 갈등 전환(conflict transformation) 연구는 기후위기와 같은 초국경적 위협이 적대적 행위자 간 협력을 촉발할 수 있다고 본다. 환경 협력은 정보 공유와 신뢰 구축을 통해 점진적 제도화를 가능하게 하고, 규범 확산(norm diffusion)과 관계 안정화로 이어질 수 있다. 그러나 한반도는 이러한 이론적 기대와 달리 동일한 기후위기 하에서도 협력 경로가 제도화되지 못하고 있다. 즉, 기존 연구에서 입증된 갈등 속 협력의 경험이 남북한 사이에서는 작동하지 않는다.

이러한 문제의식 속에서 본 연구는 두 가지 질문을 제기한다. 첫째, 기후 변화라는 공유된 위협은 남북 협력의 동인이 될 수 있는가, 아니면 기존의 정치 구조나 외생적 변인에 의해 제약되는가? 둘째, 북한의 기후 외교와 남한의 지원 경험을 고려할 때, 남북 기후 협력은 실질적 성과를 낼 수 있는가?

2. 주요 내용

1) 기후위기 대응 논의: 협력과 제약

기후 위기 대응 논의는 협력과 제약 요인으로 구분된다. 협력 요인으로는 제도 구상과 네트워크 효과를 통한 실질적 협력 가능성이 강조된다. Carattini 등은 참여 인센티브, 네트워크 효과를 통해 협력이 가능하다고 했고, Keohane과 Victor는 다층적 거버넌스, Ostrom은 다중체계의 효율성을 강조하였다. Nordhaus는 ‘기후 클럽’을 통한 안정적 연합 형성을, Hale은 비국가 행위자의 촉매적 협력을 부각시켰고 Rowan은 기후 목표 이행에서 국가들이 가까운 파트너 국가의 목표에 따라 조건부 협력의 방식으로 더 강한 목표를 채택하는 것을 규명했다. Motylińska는 남북 간 정치적 갈등 속에서도 소규모 비정치 협력의 잠재성을 제시한다. 반면 기후협력의 제약요인으로 Moser와 Ekstrom은 제도의 경직성과 정보 부족을, Barrett은 집행의 부재를 강조했고, 북한 사례에 대해 Kim과 Ballbach, Dawool Kim은 대북 제재로 인한 현실적 한계, Scartozzi는 남북 간 기후 이슈의 낮은 우선순위를 지적한다. 결국 협력의 가능성은 존재하지만, 제도적 경직성과 제재, 낮은 정책 우선순위로 지속이 어렵다.

기후나 환경 이슈는 1990년대 중반 이전까지 정치나 학계의 주요 의제로 간주되지 않았으나 그후 환경 협력을 갈등 전환의 수단으로 활용하자는 새로운 접근법이 등장하였다. 이는 환경 문제를 갈등과 안보 위협의 주요 요인으로 인식하려는 시도에서 비롯되었다. 남북한은 단일한 생태 공간에서 공존하는 특수한 지역으로, 기후 협력 통한 갈등 전환의 여지가 있다. 하지만 남북한의 공유된 기후 환경으로 협력의 필요성이 제기되었음에도 분단 구조와 이념 차이로 말미암아 제도화된 협력으로 전환되지 못했다. 즉, 남북 기후 협력은 이론적으로는 실현 가능하지만 실질적으로 이행되지 못한 대표 사례라 할 수 있다. 북한은 태풍, 홍수, 가뭄 등 기상 재해에 구조적으로 취약하고, 제재와 폐쇄적인 경제 구조로 인해 국제 원조 체계로부터 고립돼 있다. 반면 남한은 ‘기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법’을 제정하고 NDC 상향을 통해 기후 거버넌스를 제도화하였다. 이처럼 남북한은 동일한 생태 공간을 공유하면서도, 체제 간 불균형과 상호 불신으로 공동의 기후 위협 대응이 제도화되지 못하고 있다. 결과적으로 협력 필요성은 높아졌음에도 협력의 경로는 제도와 정치적 제약에 의해 차단되어 있다.

2) 왜 남북 기후 협력은 실현되지 못하는가?

남북 기후협력이 실현되지 못한 근본 요인은 국제 제재와 지정학적 제약, 북한 내부의 제도적 취약성에 있다. 유엔 안보리 결의 1718호 이후 대북 제재는 금융·기술·인적 교류까지 확장되어 협력 기반을 약화시켰으며, 인도적 면제 제도는 절차적 복잡성과 승인 지연, 금융기관의 ‘위축 효과’로 실효성이 낮다. 미·중 전략 경쟁은 기후 거버넌스를 분절화하고, 남북한은 각각 서방과 중국 중심의 상이한 제도권에 편입되어 협력의 구조적 단절이 심화되었다. 북한은 사회주의권 결속 강화로 외교 축을 북·중·러로 이동시켜 국제 기후 협력망과의 접점을 잃었고, 국제 체제의 위계적 구조 속에서 약소국의 영향력은 강대국의 승인에 의존하게 되었다. 또한 북한은 기후 이슈를 정권안정 논리에 종속된 부차적 과제로 취급하며, 환경협력은 경제·안보 의제보다 후순위에 놓였다. 김정은 시대의 법·제도 수립과 대규모 산림조성사업은 제도적 정비로 보이나 실질적으로는 통치 정당성 강화를 위한 정치적 수단으로 활용되었다. 남북은 여러 차례 협력 합의를 도출했지만 정권 교체와 긴장 재발로 상설협의체를 유지하지 못했고, MRV·데이터 인프라 부재로 CDM 사업 등도 좌초되었다. 특히 북한의 통계 불투명성 문제는 환경·기후 정보공유를 가로막아 협력의 실질적 설계를 어렵게 한다.

3. 결론

이 연구는 기후 변화라는 공유된 위협에도, 남북 기후 협력이 제도화되지 못한 내·외생적 요인을 규명하였다. 분석 결과, 한반도의 기후 협력의 필요조건을 충족하지만, 제도적, 정치적 제약으로 말미암아 충분조건으로 발전하지 못하고 있음을 확인하였다.

첫째로 공유된 위협이 협력의 동인이 되는가라는 질문에 ‘부분적으로 가능하다’는 결론에 도달했다. 남북은 동일한 생태 공간을 공유하며, 북한 역시 UNFCCC 등 국제 기후 거버넌스 체계에 참여함으로써 외형상 협력의 기반을 갖추고 있다. 하지만, 이러한 참여가 규범적 협력으로 이어지지 못하고 있다. 이는 기후 위기를 체제 안보 문제로 인식하는 북한의 전략적 접근과 남북한 간 정책 구조의 차이가 낳은 상호적 결과이다. 다시 말해, 공유된 위협은 협력의 인식 조건을 충족하지만 제도화의 동인으로 전환되지 못했다.

둘째로 남북 기후 협력이 실질적 성과를 낼 수 있는가라는 질문에 대해서는, 국내외적 요인이 복합적으로 작동하면서 구조적인 한계를 드러낸다. 외부적으로는 유엔 안보리 제재 체계와 미·중 전략경쟁, 내부적으로는 북한의 정보 불투명성, 낮은 정책 우선순위, 남북 간 제도적 비대칭이 결합하여 협력의 지속가능성을 약화시켰다. 특히 북한의 기후 담론이 김정은 체제의 통치 정당성 확보를 위한 수단으로 활용되고 있다는 점에서 협력은 실질적 제도화보다 정치적 도구화의 경향을 띠고 있다.

셋째로 상기 내용을 바탕으로, 남북 기후 협력이 실현되기 어려운 이유가 협력 자체의 결여가 아니라, 협력의 구조적 불균형에서 찾을 수 있다. 남북한은 협력의 필요성을 인식하지만, 협력을 실행할 제도적 메커니즘과 상호 신뢰의 기반이 부재하다. 남북이 동일한 생태 공간을 공유함에도, 협력이 제도화되지 못한 것은, 단순히 의지의 문제가 아니라 국제 제재 구조, 권위주의적 통치 방식, 정보 비대칭이라는 복합적 제약의 산물이다. 따라서 협력의 부재는 비협력적 선택이 아니라 비구조화된 체제 속의 제도적 한계로 해석되어야 한다.

이상의 논의를 종합하면, 남북 기후 협력의 실현 가능성은 조건부이며 제약적이다. 공유된 위협이 협력을 촉진할 잠재력은 존재하나, 이를 실현하기 위해서는 제재 체계 내 인도적 면제 절차의 제도적 안정성 확보, 비정치적 협력 채널을 통한 신뢰 회복, 데이터 투명성과 정보 공유 기반 구축이 선행되어야 한다. 그래서 향후 남북한은 제도적 완충지대(institutional buffer zone)를 마련해 남북 기후 협력을 실현할 수 있는 토대를 구축해야 할 것이다.

결국, 남북한 기후 협력은 실현 불가능한 이상이 아니라, 정치 현실에 의해 제한된 제도의 미이행으로 판단된다. 또 기후 거버넌스는 남북 관계의 종속변수가 아니라, 상호 불신을 줄이고 분단 상황을 점차 바꿔 나가는 비정치적 신뢰 형성의 통로로 이해될 필요가 있다. 이러한 인식 전환이 이루어질 때 비로소 한반도 기후 협력은 ‘가능성의 역설(paradox of potentiality)’을 넘어 제도적 평화 구축의 단초를 마련할 수 있을 것이다.

참고문헌

- Barrett, S. 2008. Climate Treaties and the Imperative of Enforcement. *Oxford Review of Economic Policy*, 24(2), 239 - 258.
- Carattini, Stefano, Simon Levin, and Alessandro Tavoni, 2019, Cooperation in the Climate Commons, *Review of Environmental Economics and Policy*, 13(2), 227 - 247.
- Choi, Hyeonjung, 2021, North Korea's Climate Change Policy in the Kyoto Protocol System, Asan Institute for Policy Studies, Seoul.
- Hale, Thomas, 2020, Catalytic Cooperation, *Global Environmental Politics*, 20(4), 73 - 98.
- Keohane, Robert O., and David G. Victor, 2016, Cooperation and Discord in Global Climate Policy, *Nature Climate Change*, 6, 570 - 575.
- Kim, Dawool, 2023, North Korea's Climate Change Challenges and the Need for International Cooperation, *KIEP World Economy Brief*, 13(38), 2 - 4.
- Kim, Sangkuk, and Eric J. Ballbach, 2023, North Korea's Climate Diplomacy: A Potential Springboard for Security Engagement?, East Asia Institute, Seoul.
- Moser, Susanne C., and Julia A. Ekstrom, 2010, A Framework to Diagnose Barriers to Climate Change Adaptation, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(51), 22026 - 22031.
- Motylińska, Ewa, 2022, Environmental Cooperation on the Korean Peninsula - A Conflict Transformation Feasibility Study, *Korea Europe Review*, 2, 2 - 6.
- Nordhaus, William D., 2015, Climate Clubs: Overcoming Free-Riding in International Climate Policy, *American Economic Review*, 105(4), 1339 - 1370.
- Ostrom, Elinor, 2017, Polycentric Systems for Coping with Collective Action and Global Environmental Change, in *Global Justice*, Routledge, 131 - 157.
- Rowan, Sam S., 2025, From Gridlock to Ratchet: Conditional Cooperation on Climate Change, *International Organization*, 79(2), 215 - 242.
- Scartozzi, Cesare M., and Gordon Kang, 2023, North Korean Climate Diplomacy: Engagement, Priorities, and Opportunities for Collaboration, *The Pacific Review*, 36(10), 825 - 852.

금강산 세계유산 등재의 의의와 시사점

김서린 한국전통문화대학교 세계유산지속가능센터 연구교수

1. 서론

2025년 7월, 프랑스 파리에서 개최된 제47차 세계유산위원회(World Heritage Committee) 회의에서 금강산(Mt. Kumgang - Diamond Mountain from the Sea)은 복합유산으로 등재되었다. 이는 북한으로서는 고구려 고분군(2004), 개성역사유적지구(2013)에 이은 세 번째 세계유산이며, 한반도 전체를 통틀어 최초의 복합유산이자 ‘문화경관’ 범주에 해당하는 사례이다. 이는 문화와 자연을 아우르는 복합유산이라는 점에서 제도적 난이도가 높았으며, 북한이 자문기구 권고를 조용히 수용하여 등재를 성사시킨 점에서 전략적 의미를 지닌다. 본 연구는 금강산의 등재 과정을 분석하고, 복합유산의 가치, 북한의 유산정책 및 외교 전략, 세계유산 제도의 작동 방식에 대한 제도적·정치적 시사점을 도출한다.

2. 금강산의 세계유산 등재 개요

1) 등재 배경 및 경과

금강산은 이미 2000년 유네스코에 제출된 북한의 세계유산 잠정목록에 포함되어 있었으나, 실질적인 등재 준비는 오랜 기간 정체되어 있었다. 본격적인 신청서(nomination dossier)는 2021년에 제출되었으며, 이후 코로나19 팬데믹의 영향으로 현지 실사가 지연되었다가 2024년 중에야 완료될 수 있었다. 자문기구인 이코모스(ICOMOS)와 국제자연보존연맹(IUCN)은 현지 실사와 서면질의 등을 통해 심사를 진행하였고, 북한 측은 이에 대한 응답으로 보완 자료를 추가 제출하였다. 평가보고서에서는 일부 지적사항과 보완 요구가 있었지만, 전반적인 등재 권고(inscribe)가 이루어졌으며, 이에 따라 세계유산위원회는 별다른 토론 없이 등재를 결정하였다.

2) 등재신청서의 구성과 특징

금강산은 등재신청서 상 네 개의 구성요소(외금강 - 내금강, 삼일포, 해만물상, 총석정)로 구성된 연속유산(serial property)이었으나, 세계유산위원회에서는 외금강 - 내금강 지역을 복합유산으로, 삼일포를 문화유산 요소로 등재하는 것으로 결정하였다. 나머지 두 구성요소는 위원회 심의 과정에서 최종 제외되었다. 이는 금강산의 지형·지질적 특성이 특정 지구적 과정의 대표성으로 보기에는 희소성과 과학적 독창성이 부족하다는 판단에 기인하였다. 따라서 금강산은 자문기구의 판단에 따라 ‘복합유산’의 기본 요건을 충족하는 수준에서 조정된 등재로 귀결되었다.

3) 자문기구 평가 및 위원회 결정문 요지

이코모스(ICOMOS)는 금강산을 문화유산으로 평가하면서, 특히 불교 전통의 수행 공간으로서의 의미, 회화와 시문을 통한 문화적 형상화, 그리고 ‘민족의 영산’으로서의 상징성을 강조하였다. 금강산은 단지 사찰 등의 건조물이나 자연경관만이 돋보이는 유산이 아니라, 자연·문화·정신세계가 융합된 ‘연관적 문화경관(associative cultural landscape)’의 대표 사례로 간주되었다. 이에 따라 이코모스는 보존·관리체계의 개선, 관광개발과의 조화, 영향평가 도입(HIA) 등을 조건으로 하여 등재를 권고하였다.

한편, 국제자연보존연맹(IUCN)은 금강산이 시각적으로 인상적인 경관을 구성하며, 생물다양성과 지형

적 다양성 측면에서 잠재적 가치를 지니고 있다고 평가하였다. 그러나 생물학적 지표나 희귀성 측면에서는 국제적 기준을 충족하지 못해 (viii)번 기준을 인정하지 않았고, (vii)번에 해당하는 자연미와 미적 가치는 인정되었다. 또한 IUCN은 관광개발계획과 관련하여 전략환경영향평가(SEA)와 세계유산영향평가(HIA)의 제도화 필요성을 강조하며, 자연유산으로서의 장기적 관리와 법제 개선을 촉구하였다.

4) 경계 설정 및 등재 범위의 전략

등재 과정에서 북한은 자문기구의 권고를 적극 수용하였으며, 논쟁을 피하고 등재 가능성을 높이기 위해 유산 범위와 경계 설정에 있어 보수적인 태도를 취하였다. 특히 해만물상과 총석정은 자연기반 관광지라는 점에서 자연성과 진정성(authenticity)의 문제 제기가 있었고, 결국 최종 구성요소에서 제외되었다. 대신 외금강 - 내금강과 삼일포에 대한 명확한 유산 가치 서술과 완충구역의 설정, 관리계획 수립 등을 통해 국제적 기준에 부합하는 조치를 취하였다. 결과적으로 북한은 빠른 등재 실현을 위해 정치적 프레임보다는 ‘기술적 수용과 조율’에 기반한 전략을 선택하였다고 평가된다.

3. 세계유산 등재의 제도적·정치적 시사점

WHC는 원칙적으로 합의제이나, 필요 시 다수결 투표가 가능하며 실질적으로는 정치적 담판 구조다. 사우디아라비아의 등재 사례처럼 자문기구 권고가 무시되는 경우도 있다. 금강산은 자문기구 권고에 따른 순조로운 등재였으나, 남북관계와 제재 등 외부 정치 요인이 작용한 결과로 보인다.

북한은 등재 과정을 통해 국제기구의 규칙을 수용하는 책임 있는 국가, 문화 및 자연유산을 보존하는 정상 국가의 이미지를 연출했다. 등재 직후 박용수 주유네스코 대사가 금강산 등재는 “자주, 평화, 친선”이라는 외교 정책의 일환이었다고 발표하며, 국제무대에서의 이미지 재정립을 시도하였다.

북한은 원산 - 갈마 해안 관광특구와 연계한 관광개발을 추진하고 있으며, 이는 금강산 세계유산과 긴장 관계를 유발할 수 있다. 자문기구는 세계유산영향평가(HIA)와 전략환경영향평가(SEA)의 도입, 보존·관리 매뉴얼의 정비 등을 권고하였으나, 관련 제도의 법제화는 아직 미흡한 상태이다. 향후 관련 법제의 변화와 이행 여부를 면밀히 주시할 필요가 있다.

4. 결론

금강산 복합유산 등재는 북한의 전략적 선택이자 국제적 제도 수용의 사례로 의미를 갖는다. 그러나 이 금강산은 동시에 남북이 공유해온 역사적 기억과 자연환경을 아우르는 공간이며, 향후 유네스코 체제 내에서 비정치적 협력의 가능성을 열어주는 접점이 될 수 있다. 보존과 개발, 제재와 협력 사이에서 금강산의 미래는 여전히 불확실하지만, 이 지점을 남북 유산외교의 새로운 실험대로 전환할 필요가 있다.

참고문헌

- DPRK National Authority for the Protection of Cultural Heritage. (2021). Nomination file: Mt. Kumgang - Diamond Mountain from the Sea (Republic of Korea: DPRK). Submitted to the UNESCO World Heritage Centre.
- UNESCO World Heritage Committee. (2025). Decision 47 COM 8B.9: Examination of nominations of natural, mixed and cultural properties to the World Heritage List: Mt. Kumgang (Democratic People's Republic of Korea).

북한의 아프리카돼지열병 유입 및 확산경로 모델링

고찬우 국민대학교 기후기술융합학과 박사과정

1. 서론

아프리카돼지열병(African Swine Fever, ASF)은 치사율이 높고 백신이 부재한 전염병으로, 2019년 북한의 공식 보고(OIE) 이후 한반도 축산·보건·생태 안전에 중대한 위협이 되었다(Dixon, 2020; Lim, 2023). 북한의 초기 발생은 2019년 5월 자강도 우시군 북상협동농장 보고가 공식 기록이지만, 내부 실제 시작 시점과 지점에 대한 불확실성(예: 평양·사리원 등 초기 발생 정황)이 제기되며, 짧은 기간 내 전국적 확산이 이뤄졌다는 진술들이 보고되었다(DailyNK, 2019.9.20.).

멧돼지는 ASF의 지역 간 확산을 주도하며 돼지농장에 바이러스를 매개할 수 있는 주요한 숙주이다(Costard, 2013). 북한의 공식 보고 후 불과 5개월 후인 2019년 10월 DMZ 인근에서 우리나라의 첫 감염 멧돼지 사례가 보고되었으며, 2025년 현재까지도 남북 접경지역에서 야생 멧돼지의 감염 사례가 반복적으로 확인되어 DMZ를 통한 ASF가 확산 가능성이 지속적으로 제기되고 있다(Choe, 2020; Im, 2024). 이는 북한의 멧돼지 개체군 내에서 바이러스의 순환 감염이 지속되고 있을 가능성을 시사하며, ASF의 지속적 국내 유입을 차단하기 위해서는 남북 간 방역 협력이 요구되는 상황이다.

그러나 북한은 방역 협력 요청에 응하지 않고 있으며, 유입경로, 확산 현황, 멧돼지 서식밀도 등 핵심 정보가 비공개인 상황에서 자체적으로 추정할 수 있는 정보에는 뚜렷한 한계가 존재한다. 본 연구는 이러한 정보 공백에서 두 가지 결과를 목표로 한다. 첫째, 행위자기반모형(Agent-Based Model, ABM)을 활용하여 북한 내 ASF의 잠재적 시작 지점과 확산경로를 시나리오별로 모의한다. 둘째, 예측된 ASF 확산지역을 실제 보도된 확산 사례 및 확산 속도와 비교하고 검증한다. 이를 통해 북한의 ASF 확산 현황을 추정하고 방역 및 감시 우선순위를 설정할 수 있는 근거를 마련할 수 있을 것이다.

2. 본론

1) ASF 확산 예측 모델링

(1) 행위자기반모형(ABM) 설정

본 연구의 핵심은 제한된 정보를 바탕으로 북한의 멧돼지 밀도 및 분포를 추정하고, 그들 간의 ASF 확산을 추정하는 것이다. ABM은 행위자에게 행동 규칙을 부여하고 규칙 내에서 행동하는 행위자 간의 상호작용을 관찰하는 모델링 기법이다. 우리는 북한 내 멧돼지 무리를 행위자(agent)로 설정하고, 멧돼지 간의 ASF의 확산 과정을 시간과 공간에 따라 시뮬레이션하였다(Ko, 2023). 이를 위해 야생 멧돼지의 생리·생태적 변수를 수집하여 그들과 유사하게 행동하는 행위자를 설계하고, ASF 감염 멧돼지를 생성하여 상호 접촉을 통한 전염이 가능하도록 설정하였다. 모델에서 멧돼지는 설정한 행동반경, 번식능력, 사회구조에 따라 행동하고, 연구대상지 내에 안정적인 크기의 개체군과 분포를 형성한다. 이를 바탕으로 시뮬레이션 중 발생한 감염 멧돼지의 이동 경로를 기록하여 북한 내 ASF 확산경로를 추정하고 감염 멧돼지가 DMZ에 도달하기까지 걸리는 시간을 측정하였다.

2) ASF 유입 시나리오 설정

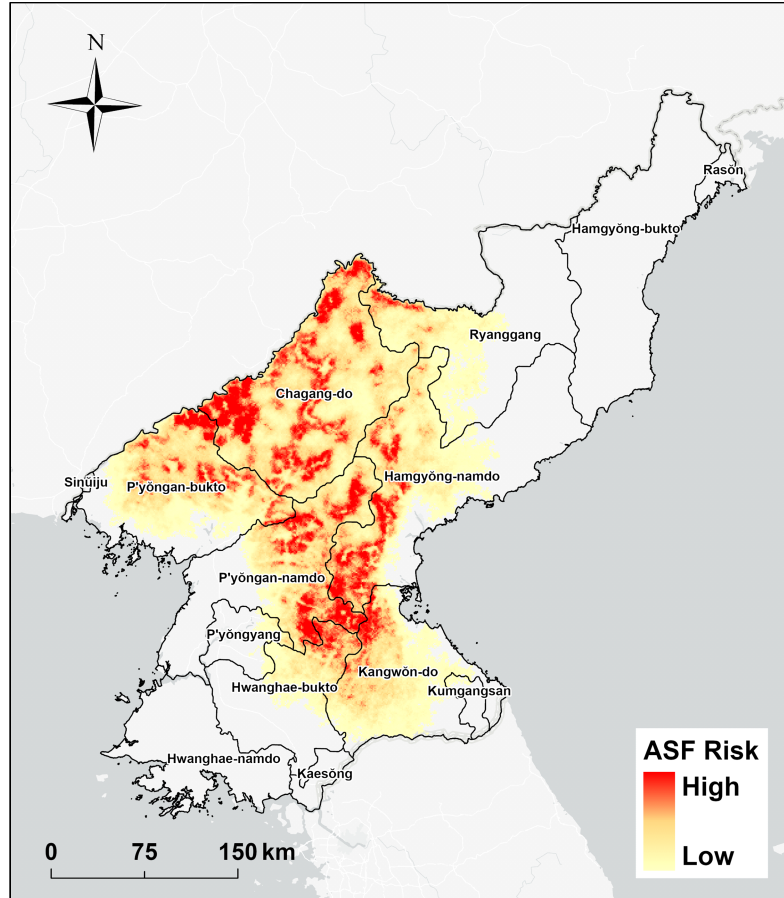
북한에 최초로 ASF가 유입된 경로를 확인하기 위해 중국과 북한의 접경지역에서 발생한 ASF 사례

와 선행 연구를 고려하여 ASF 유입 시나리오를 설정하였다. 첫 번째로 북한에서 유일하게 ASF 발생이 공식적으로 발표된 자강도 우시군 인근이 선택되었다. 해당 지역은 중국의 ASF 발병 사례와 근접하고 멧돼지의 서식지 적합성 또한 높아 멧돼지를 통한 유입 가능성이 높은 시나리오로 예상된다(Fekede, 2019). 두 번째로 함경북도 회령군 일대를 선택하였다. 해당 지역 또한 중국의 ASF 보고 지점과 근접해 있으며, 인근에서 2019년 3월 감기 증상으로 돼지가 폐사한 사례가 언론을 통해 보고되었다(DailyNK, 2019.7.5.). 또한 해외 문헌에서 자강도와 함께 ASF 유입 가능성이 있는 지역으로 평가되었다(Fekede, 2019). 이에 따라 중국으로부터 감염 멧돼지가 유입되었다는 가정하에 각 시나리오별로 초기 감염 개체를 투입하고 반복 시뮬레이션을 통해 ASF가 확산하는 지역을 확인하였다.

3. 결론

시뮬레이션 결과, 자강도 우시군에서 ASF가 유입된 시나리오에서는 감염이 평안북도, 평안남도, 그리고 양강도와 함경남도 일부로 확산되는 양상을 보였다. 이후 감염은 점진적으로 남하하여 초기 발생으로부터 약 4년 후 비무장지대에 도달하는 것으로 추정되었다. 확산 과정에서 피해가 의심되는 지역인 평안북도 신의주, 자강도 만포시에는 1년 이내, 그리고 평양시, 평안남도 평성시, 순천시, 개천시 등은 3년 이내에 감염이 도달할 것으로 예측되었다. 반면 함경북도 회령군에서 ASF가 유입된 시나리오에서는 감염이 양강도와 함경남도에 국한되었으며, 이는 감염 개체들이 대부분 마천령산맥과 낭림산맥을 넘지 못해 확산이 정체된 결과로 해석된다.

따라서 북한에서 ASF가 멧돼지를 매개로 전파될 경우, 가장 가능성이 높은 시작점은 자강도 우시군 인근으로 판단된다. 감염 멧돼지는 이후 비무장지대까지 남하한 뒤, 강원도를 중심으로 전파를 이어갈 것으로 예측되었다. 이 시나리오에서 전파속도는 유럽(연간 2.9~11.7km, Sauter-Louis, 2021)과 우리나라(연간 27km, Lim, 2024)의 사례에 비하여 빨랐지만, OIE 공식 보고(19년 5월) 이후 불과 5개월 만에 우리나라 비무장지대(19년 10월)에서 감염 멧돼지가 발견된 사례를 완전히 재현하지 못했다. 이 결과는 멧돼지의 이동만으로는 북한 내의 장거리 전파를 설명하기 어렵다는 점을 시사하며, 폐사체 이동, 인간 매개 등 인위적 요인이 작용했거나, OIE 보고 이전에 이미 ASF가 북한 내에 광범위하게 퍼져 있었을 가능성을 보여준다. 마지막으로, 시뮬레이션에서는 ASF가 DMZ에 도달한 이후에도 양강도 및 강원도 방향으로 추가 확산이 진행될 가능성이 나타났다. 따라서 향후 추가적인 확산을 방지하기 위해서는 해당 지역에 감염 멧돼지 감시, 사체 처리 등의 방역 체계 구축이 필요한 상황이다.



<그림 1> ASF 확산지역 예측결과 및 확산 위험도

참고문헌

- “Animal disease events”, <https://wahis.woah.org/#/event-management>, (2025년 10월 15일)
- Choe, S., Cha, R. M., Yu, D. S., Kim, K. S., Song, S., Choi, S. H., ... & An, D. J. (2020). Rapid spread of classical swine fever virus among South Korean wild boars in areas near the border with North Korea. *Pathogens*, 9(4), 244. <https://doi.org/10.3390/pathogens9040244>
- Costard, S., Mur, L., Lubroth, J., Sanchez-Vizcaino, J. M., & Pfeiffer, D. U. (2013). Epidemiology of African swine fever virus. *Virus Research*, 173(1), 191 - 197. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2012.10.030>
- Dixon, L. K., Stahl, K., Jori, F., Vial, L., & Pfeiffer, D. U. (2020). African swine fever epidemiology and control. *Annual Review of Animal Biosciences*, 8(1), 221 - 246. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-021419-083741>
- Fekede, R. J., Van Gils, H., Huang, L., & Wang, X. (2019). High probability areas for ASF infection in China along the Russian and Korean borders. *Transboundary and Emerging Diseases*, 66(2), 852 - 864. <https://doi.org/10.1111/tbed.13094>
- Lim, J. S., Andraud, M., Kim, E., & Vergne, T. (2023). Three years of African swine fever in South Korea (2019 - 2021): A scoping review of epidemiological understanding. *Transboundary and Emerging Diseases*, 2023(1), 4686980. <https://doi.org/10.1155/2023/4686980>
- Lim, J. S., Vergne, T., Kim, E., Guinat, C., Dellicour, S., & Andraud, M. (2024). A spatially heterogeneous impact of fencing on the African swine fever wavefront in the Korean wild boar population. *Veterinary Research*, 55(1), 163. <https://doi.org/10.1186/s13567-024-01422-7>

- Im, C., Curtis, A., Song, D., & Kim, O. S. (2024). Mapping African swine fever and highly pathogenic avian influenza outbreaks along the Demilitarized Zone in the Korean Peninsula. *Transboundary and Emerging Diseases*, 2024(1), 8824971. <https://doi.org/10.1155/2024/8824971>
- Ko, C., Cho, W., Hwang, B., Chang, B., Kang, W., & Ko, D. W. (2023). Simulating hunting effects on the wild boar population and African swine fever expansion using agent-based modeling. *Animals*, 13(2), 298. <https://doi.org/10.3390/ani13020298>
- Sauter-Louis, C., Conraths, F. J., Probst, C., Blohm, U., Schulz, K., Sehl, J., ... & Blome, S. (2021). African swine fever in wild boar in Europe—A review. *Viruses*, 13(9), 1717. <https://doi.org/10.3390/v13091717>
- “접경지역서 아프리카돼지열병 확진 잇따라…북한 내 상황은?”, *DailyNK*, 2019년 9월 20일
- “아프리카돼지열병이 또…北, 대응 나서지만 실상은 ‘허점투성이’”, *DailyNK*, 2019년 7월 5일

사사 표기

이 논문 또는 저서는 2024년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 글로벌 인문·사회융합연구지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2024S1A5C3A01043130)

기획세션 6.

자전거시민포럼

거리의 주인들, 도시를 바꾸는 자전거
자전거 이용자의 실천과 조직화 전략

- 자전거시민포럼 및 기획세션 프로그램 소개

거리의 주인들, 도시를 바꾸는 자전거

자전거 이용자의 실천과 조직화 전략

1. 소개

숲과나눔 자전거시민포럼은 ‘자전거 친화도시’가 탄소중립도시의 전제조건임을 인지하고, 자동차 중심의 ‘탄소 다소비’ 교통체계에서 벗어나 자전거·보행·대중교통을 중심으로 한 ‘탄소중립 교통체계’를 구축하는 것을 목표로 한다.

특히 자전거시민포럼은 흩어진 정책과 운동을 하나로 묶는 공통의 목표로 ‘자전거 친화도시 1010(텐텐)’ 비전을 제안해왔다. ‘1010’은 각각 ‘10분 생활권’과 ‘자전거 이용률 10%’를 상징한다. 즉, 10분 내외의 가까운 생활권 거리는 누구나 안전하게 자전거로 이동하고, 통행의 열 번 중 한 번 이상은 자전거를 이용하는 도시를 만들자는 취지다. 이는 그동안 분산되어 있던 시민단체와 전문가들의 의견을 모아 설정한 공동의 정책 목표이며, 포럼은 이를 실현하기 위해 지속적으로 노력하고 있다.

또한 세미나와 이슈페이퍼 발간을 통해 자전거 정책이 교통, 도시계획, 환경보건, 산업, 교육 등 여러 분야와 깊이 연결되어 있음을 드러내고, 자전거 단체·전문가·정책결정자 간의 가교 역할을 하며 효과적인 정보 교환과 정책 제안을 이어가고자 한다.

○ 주요 활동 및 성과

구분	내용
이슈페이퍼 발간	탄소중립과 자전거 이용 활성화를 위한 정책 제안(2022. 10. 28.)
	탄소중립을 위한 ‘자전거 친화도시 1010’(2024. 2. 19.)
국회 토론회 개최	탄소중립사회를 위한 자전거정책의 방향(2023. 4. 11.)
	탄소중립을 위한 ‘자전거 친화도시 1010’을 제안하며(2024. 2. 20.)
대선 정책 제안	대한민국 탄소중립을 위한 ‘자전거 친화도시 1010’ 달성과제(2025. 3. 12.)
	제21대 대선 사람 중심·국가 책임·시민과 함께하는 자전거 친화도시 1010(2025. 5. 12.)

2. 프로그램

자전거 정책은 수요가 부족해서가 아니라, 이용자들이 조직되지 못해 정책적 힘을 얻지 못하고 있는 상황이다. 자전거를 타는 즐거움과 권리 주장을 어떻게 집단적인 목소리로 엮어내고, 더 많은 시민이 참여하는 대중적인 운동으로 확장할 것인지에 대한 논의가 필요하다. 자전거시민포럼은 기획세션을 통해 크리티컬 매스와 같은 자발적 실천을 통해 시민 주도의 자전거 운동 확산 방안을 논의하고, 전문가 중심의 정책 논의에 더하여, 실천자 중심의 경험을 공유하고 네트워크 형성 전략을 모색하고자 한다.

○ 일시 및 장소: 2025. 11. 11.(화) 16:20~18:00, 라제건홀

· 사회: 정예름 숲과나눔 풀씨행동연구소 캠페이너, 자전거시민포럼 사무국장

시간	프로그램	세부내용
16:20~16:30	소개	• 인사말 및 세션 소개
16:30~16:50	발제	• 크리티컬 매스 시즌 2, 청년들의 새로운 시작 김의호, 줄 미쇼 크리티컬 매스 서울
16:50~17:20	토론	• 좌장 정현미 숲과나눔 자전거시민포럼 정책위원장 • 토론 정현수 숲과나눔 자전거시민포럼 공동대표, 대구녹색소비자연대 공동대표 어형종 두바퀴로가는세상 대표 공미연 〈자전거, 도시〉 영화감독
17:20~18:00	종합토론	• 토론 및 질의응답

기획세션 7.

풀씨 펠로우십 결과공유회

- 풀씨 펠로우십 및 기획세션 프로그램 소개

풀씨 펠로우십 결과공유회

1. 소개

풀씨 펠로우십은 기후·에너지·환경 분야 미래 인재를 위한 인턴십 프로그램이다. 숲과나눔 학업·연구 장학 프로그램과 환경 분야 공익활동가 양성과정 ‘풀씨아카데미’를 수료한 청년을 대상으로 하며, 시민 사회단체의 질적 성장과 지속가능한 인재공급 체계 구축을 목표로 한다. 궁극적으로 청년 인재와 단체가 함께 성장하는 선순환 구조를 지향한다.

2. 프로그램

풀씨 펠로우십 결과공유회 기획세션은 풀씨 펠로우십 1기의 운영 성과와 각 펠로우의 활동 결과를 종합적으로 검토하고, 프로그램 전반에 대한 평가와 발전 방향을 논의하는 자리다. 이를 바탕으로 2026년 제2기 운영에 반영할 계획이며, 청년 인재와 시민사회단체의 상호 성장 가능성을 확인하고 지속가능한 운영 방안을 모색한다.

○ 일시 및 장소: 2025. 11. 11.(화) 16:20~18:00, 머레이홀

· 사회: 전유영 숲과나눔 PM

시간	프로그램	세부내용
16:20~16:30	소개	• 풀씨 펠로우십 운영 성과 발표
16:30~17:10	발제	• 펠로우별 활동 성과 발표 김다현 사단법인 빅웨이브 파견 활동, 풀씨아카데미 7기 수료생 김영주 (주)에너지와 공간 파견 활동, 풀씨아카데미 7기 수료생 제수민 숲과나눔 파견 활동, 풀씨아카데미 7기 수료생 김주연 풀씨행동연구소 파견 활동, 풀씨아카데미 6기 수료생
17:10~18:00	토론	• 풀씨 펠로우십 전체 평가 및 발전방향 논의

기획세션 8.

AI 활용 아이디어 공모전 결선

숲과나눔, 한겨레신문 공동주최

- AI 활용 아이디어 공모전 및 기획세션 프로그램 소개

AI 활용 아이디어 공모전 결선

1. 소개

AI 활용 아이디어 공모전은 환경, 안전, 보건 분야의 사회적 문제를 해결하기 위한 창의적인 아이디어를 발굴하고, 이를 통해 공공성과 사회적 가치 확산에 기여하고자 한다. 이번 공모전으로 숲과나눔과 한겨레신문이 공동주최한다.

○ 공모대상: AI 활용을 통해 환경·안전·보건 문제해결에 관심있는 누구나(개인 또는 3인 이하 팀)

○ 공모분야: 다음과 같은 다양한 접근을 통해 환경·안전·보건 문제해결을 상상하고 제안

[분야 1] AI 기술을 활용한 환경·안전·보건 문제해결 아이디어 발굴

- AI 앱 등 기술 기반 문제해결 솔루션 개발
- 시민교육, 캠페인 등 인식 개선을 위한 프로그램 기획
- 정책 제언, 제도 개선 제안 등
- AI활용 교육 콘텐츠, 수업지도안, 앱 기획 등

[분야 2] 환경아카이브 풀숲 아카이빙 데이터 분석 및 활용

환경아카이브 풀숲 홈페이지(ecoarchive.org) 데이터를 기반

(숲과나눔이 구축한 환경아카이브 풀숲은 지난 40여 년간 환경단체 자료를 비롯해 약 10만 건에 달하는 기록을 디지털화해 누구나 무료로 열람·활용할 수 있도록 공개한 국내 최초의 온라인 환경 아카이브이다.)

- 환경 인식/담론 분석
- 데이터 분석 및 시각화
- 정책 및 제도 개선 제안
- 시민 교육 콘텐츠 기획
- 스토리텔링 및 전시·캠페인 기획

- 공모일정: - 공모전 접수: 2025. 9. 10.(수) ~ 10. 10.(금)
- 예선 결과 발표: 2025. 10. 17.(금)
- 결선 발표자료 제출: 2025. 11. 6.(목)
- 결선 대회: 2025. 11. 12.(수), 제7회 숲과나눔 환경학술포럼 기획세션
- 시상식: 2025. 11. 12.(수), 제7회 숲과나눔 환경학술포럼 폐회식

2. 프로그램

AI 활용 아이디어 공모전 결선 기획세션에서는 AI 활용 아이디어 공모전 예선 심사를 거쳐 선정된 9건의 작품 중 분야 1·2 최우수상 및 대상 후보작 6건의 발표가 진행된다. 또한 우수상 수상작 4건은 포스터 전시를 진행한다.

○ 일시 및 장소: 2025. 11. 12.(수) 10:00~11:40, 김순전홀

· 사회: 정예름 숲과나눔 풀씨행동연구소 캠페이너

시간	프로그램	세부내용
10:00~10:05	소개	• 인사말 및 세션 소개
10:05~10:35	[분야 1] 발표	• 시비전 기술이 적용되어 빗물받이를 자동으로 개폐 가능한 형태의 청소 장비 노바로보틱스(이무혁, 김현우, 유지영)
		• 음성 감정 분석 AI '케어링': 장애인 자살 예방을 위한 예방적 보건 시스템 사포리(박진하, 박준혁, 이정환)
10:35~11:20	[분야 2] 발표	• 토픽모델링을 활용한 40년간 환경 담론 변화 분석 김가영
		• 풀숲에서 본 에너지 전환, 네 개의 축 이주연
		• 인공지능을 활용한 지역 기후 시민 양성: 환경아카이브 풀숲과 공공데이터를 기반으로 한 시민 기후리터러시 지수(CCLI) 구축 김태연
11:20~11:40	마무리	• 질의응답 및 마무리

기획세션 9.

풀씨 12기 결과공유회 풀씨잔치

풀씨를 뿌리며 내가 하고 싶은 이야기

37개의 풀씨, 씨드볼이 되어

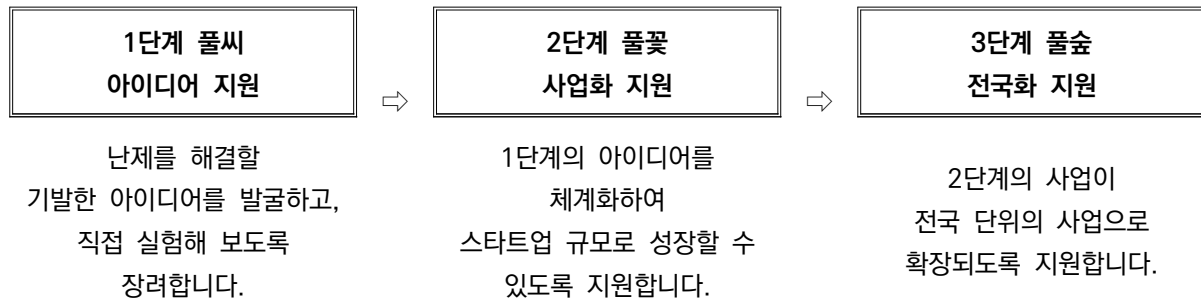
- 풀씨 및 기획세션 프로그램 소개, 풀씨 12기 명단

풀씨를 뿌리며 내가 하고 싶은 이야기

36개의 풀씨, 씨드볼이 되어

1. 소개

숲과나눔은 환경·안전·보건 분야 문제 해결을 위한 창의적인 아이디어와 팀을 발굴하고 시민사회의 역량을 키우고자 <시민아이디어 지원사업>을 3단계로 구성하여 지원하고 있다. 그중 누구나 참여할 수 있는 첫 단계 소규모 지원사업 <풀씨>는 다양한 주체의 아이디어들이 사회에 진입하도록 그 시작을 돕고 있다. 지난 7년간 풀씨 1기부터 12기까지 총 513개 팀(2,120명)을 지원했으며, 문제 해결에 집중할 수 있도록 행정절차를 최소화하고 서로에게 배움과 지지기반의 기회가 될 수 있도록 네트워킹을 장려하고 있다.



○ 활동팀 및 인원: 총 513개 팀/2,120명

구분	1기	2기	3기	4기	5기	6기	7기	8기	9기	10기	11기	12기	합계
활동팀(개)	44	49	45	33	42	45	34	50	29	58	48	36	513
인원(명)	216	203	217	136	198	165	113	206	96	212	150	149	2,120

○ 지원 금액: 총 1,390,058,121원

1기	2기	3기	4기	5기	6기
109,061,378	135,653,144	117,355,253	91,071,847	102,361,638	125,719,382
7기	8기	9기	10기	11기	12기
93,543,009	138,488,018	80,811,265	156,345,870	142,207,400	107,228,600

○ 활동 연령대(팀)

구분	10대	20대	30대	40대	50대	60대 이상	합계
1~12기 누적	11	129	181	132	53	7	513

○ 개인/단체(1~12기 누적 팀)

구분	합계
개인·모임	336
등록된 단체	177

○ 활동 분야(팀)

구분	생태	공동체	쓰레기 줄이기	기후변화	환경교육	안전·보건	합계
1~12기 누적	111	36	158	58	95	55	513

○ 지역별 활동팀

서울	경기	인천	부산	대전	대구	울산	광주
200	61	23	21	10	14	5	10

강원도	경상도	전라도	충청도	제주도	전국	합계
19	29	25	21	17	58	513

2. 프로그램

풀씨잔치 기획세션은 12기 팀들의 지난 6개월 간의 활동을 공유하고, 그 안에 담긴 문제의식과 변화 과정을 함께 되짚어보는 자리다. 풀씨 12기 36개 팀은 각 지역에서 기후위기, 생태, 돌봄, 노동, 재난 등 다양한 사회적 의제를 시민의 눈높이에서 실험하며, 드러나지 않던 문제 위에 푸른 상상을 띄우고 게릴라 가드닝처럼 사회 곳곳에 풀씨를 뿌려왔다. ‘풀씨잔치’ 1부에서는 활동 분야별 성과를 나누고, 2부에서는 네트워킹과 체험을 통해 다양한 시민 아이디어가 연결되고 확산될 수 있도록 다음 실천의 발판을 마련한다.

○ 일시 및 장소 : 2025. 11. 12.(수) 12:30~15:00, 그랜드볼룸

· 사회: 김혜승 숲과나눔 PM, 김주연 숲과나눔 풀씨행동연구소 인턴(풀씨 펠로우십 1기)

시간	프로그램	세부내용
12:30~12:40	소개	· 인사말 및 세션 소개
12:40~12:55	활동	· 아이스브레이킹: 나는 어떤 씨앗이었을까?
12:55~13:40	1부	· 풀씨를 뿌리며 내가 하고 싶은 이야기
13:40~13:50	휴식 시간	
13:50~15:00	2부	· 씨드볼의 확장

3. 풀씨 12기 명단

No.	팀명	활동명	지역
1	갯벌예술행동	순천만 갯벌 염생식물 스캐노그래피 사진 기록 및 전시 프로젝트	순천
2	경이로운 잡담	산청의 자연이 담고 있는 소리를 녹음하여 아카이빙 및 분석	산청
3	고양자전거학교	자전거 교통안전지도자 육성 및 고양평화선추리런	일산
4	기후정의와 노동자건강권 교재 제작팀	기후정의와 노동자 건강권 교재 개발 및 간담회 개최	전국
5	너머를 살피자	기후위기 대응 텃밭 실험과 가이드북 제작	강릉
6	닥터구리	매미의 생태적 시점을 알리기 위한 모니터링, 워크숍, 현장교육	익산
7	덜 소비하고 안전하게 맞이하는 임종관리 네트워크	1인 생활자를 위한 돌봄과 임종을 준비하는 지역기반 네트워크	서울
8	도고 북 클린	도고 북 클린 :도고면 쓰레기 분리배출 참여 유도 프로그램	아산
9	동네방네 기후행동으로 생명과 안전을	기후재난으로부터 안전한 우리동네 만들기	서울
10	마음결	시민활동가를 위한 트라우마 치유 워크숍	강릉
11	몽몽만남	광주에서 언제든지 중고물품을 순환할 수 있는 일상 만들기	광주
12	바짓가랑이	휠체어 사용자 맞춤형 기성 바지 제작 프로젝트	창원
13	버디로그(Birdy log)	문화취약지역 마을회관에서 여는 야생조류 생태사진전 및 워크숍	영천
14	버리스타	학교 급식에서 버려지는 간식 쓰레기를 올바르게 분리 배출하기	인천
15	산림살림에너지 사회적협동조합	쿨루프로 농촌을 시원하게	홍성
16	상괘이 편	추자도 상괘이 시민기록 아카이브	제주
17	새알미디어	시민이 묻고 활동가가 답하는 생명의 최전선 이야기	전국
18	아트랩툼	기후위기와 재난을 연결하는 리서치 기반 시각예술 프로그램	제주
19	안심이	안심이: 모두를 위한 재난 안전 데이터	전국
20	안전모	중대산업재해 예방을 위한 서식 제공 및 컨설팅 활동	대구
21	언니들	언니들의 몸 수다 클럽	서울
22	에코 깨비깨비	별빛내린천(도림천) 시민과학자 양성 프로그램	서울
23	에코갭	기후시민을 키우는 가정용 환경교육 보드게임 개발	서울
24	울동똥범탐사단	우리 동네 똥범 찾기 프로젝트	수원
25	원청농	농약병을 저에게 주세요	원주
26	이태원을 기억하는 호박랜턴	안전하게 애도할 수 있는 사회를 위해 계속 이태원에서 말 걸기!	서울
27	제렁이모임	음식물쓰레기 자원 순환을 위한 지렁이 분양 프로젝트	서울
28	초록별 환경 인형극단	재생 가능한 자원의 마을 이야기로 만드는 인형극	시흥
29	크보플 (KBOFANS4PLANET)	대짜이 체험단 및 워크숍 운영	전국

30	탈핵 친구들	후쿠시마 그 후 이야기, 후쿠시마 '부흥'계획을 파헤친다.	광주
31	특공대	특수학생 환경교육 교과서 개발	안동
32	편애편	편애편, 제주도의 고사리를 알아가는 즐거움	제주
33	폐_북 업사이클링 연구회	폐_북 그림책의 부활 : 아이들에게 인싸가 되다.	창원
34	한라생태길라잡이	시민이 관찰하고 기록하는 '한라산 기후위기 보고서'	제주
35	한센인의 아픔을 치유하는 자연환경복원	시민참여로 만드는 왕궁자연환경복원	익산
36	할미 환경운동가와 함께	할미 환경운동가 워크숍 진행 및 인터뷰와 책 발간	홍천

구두발표 세션 1.

탄소중립

- 자발적 탄소시장 기반 EPC(Environmental Protection Credit) 메커니즘을 통한 기후테크 산업 활성화 방안
윤슬기 서울대학교 환경대학원 박사과정, 숲과나눔 연구장학생
- 사회적 비판과 녹색 산업의 대응: 독일 바이오가스 산업의 사례
박현진 베를린 훔볼트 대학교 박사과정
- RE100 이행을 위한 한국전력공사 요금제 대비 적정 직접 PPA 단가 산정 연구
강희환 경기도 파주시 RE100지원팀, 지방공업주사보
황찬혁 경기도 파주시 RE100지원팀, 지방공업서기
인병주 경기도 파주시 RE100지원팀, 지방공업서기보
- 은행 대출 포트폴리오의 녹색화가 주식수익률에 미치는 영향에 대한 사건 연구
정민성 한국과학기술원 기술경영학부 박사과정, 숲과나눔 연구장학생
김형철 한국과학기술원 기술경영학부 교수
엄지용 한국과학기술원 기술경영학부 교수

자발적 탄소시장 기반 EPC(Environmental Protection Credit) 메커니즘을 통한 기후테크 산업 활성화 방안

윤슬기 서울대학교 환경대학원 박사과정, 숲과나눔 연구장학생

1. 서론

전 지구적 기후위기가 심화됨에 따라 온실가스 감축을 위한 기술 기반 대응의 필요성이 커지고 있다. 특히 기후테크 산업은 탄소중립 실현의 핵심 동력으로 부상하고 있으나, 많은 기술들이 시장 진입 이전의 '죽음의 계곡(Funding Gap)'에 직면해 있어 초기 투자 유인을 위한 제도적 장치가 절실한 상황이다. 이에 본 연구는 잠재 탄소감축 효과를 기반으로 한 초기 인센티브 제도인 EPC(Environmental Protection Credit) 메커니즘에 주목한다. 본 제도는 실증 이전 단계의 기술이라도 정량적 기준을 충족할 경우 선보상하는 방식으로, 기후테크의 초기 확산과 민간 투자 유입을 동시에 유도할 수 있는 전략적 메커니즘으로 제시된다.

2. 본론

1) 연구 목적과 필요성

본 연구는 기후기술 기반 감축 프로젝트의 초기 보상을 제도화하기 위한 EPC 메커니즘의 실현 가능성을 평가하고자 한다. 특히 디지털 MRV, 기술가치평가, 정책금융 연계 등 핵심 구성요소를 중심으로 기후금융·탄소시장·기술 생태계 간의 연계 구조를 모색함으로써, 실효적 인센티브 메커니즘의 정책적 설계 방향을 제시하는 것을 목적으로 한다.

2) 연구 방법 및 구성

연구는 문헌조사, 사례분석, 이해관계자 인터뷰를 병행하는 혼합연구(Mixed Methods) 접근을 채택하였다. ① 국내외 사례 조사를 통해 Prime Coalition의 CRANE 모델, 기술보증기금의 탄소가치평가 시스템 등을 EPC와 구조적으로 비교·분석하고, ② 이해관계자 대상 인터뷰 및 세미나 분석을 통해 EPC 개념의 수용 가능성과 민감 요인을 도출하였다. ③ 향후에는 시나리오 기반 조건 조합 분석을 통해 EPC 실현 가능성에 영향을 미치는 요인을 정량적으로 평가할 계획이다.

3) 주요 연구결과 및 함의

(1) 주요 연구결과

① EPC 메커니즘 구조

EPC는 감축 실적이 발생한 이후 보상하는 전통적 방식과 달리, 잠재 감축량을 기반으로 사전 인증과 초기 인센티브를 제공하는 선보상 구조를 취한다. 이는 기후테크와 같이 불확실성과 고비용이 수반되는 기술에 적합한 설계다.

② 정량평가 도구 적용 가능성

미국의 CRANE 모델과 한국 기술보증기금의 탄소가치평가시스템은 EPC 설계에 참고할 수 있는 정량

적 가치평가 프레임워크로 분석되었으며, 특히 국내 제도 환경에 적합한 EPC형 평가모형 구축이 가능함을 시사한다.

③ 이해관계자 인식

정부와 정책금융기관은 EPC의 정책적 유용성에 긍정적 시각을 보였으며, 민간금융기관은 이를 금융상품화 가능한 수단으로 평가했다. 반면 시민사회는 과잉상쇄에 대한 우려를 제기하며 투명성과 공공성 확보를 제안하였다.

④ Digital MRV의 중요성

EPC가 사전 보상 구조를 갖는 만큼, 감축량의 추적성과 투명성을 담보할 디지털 MRV 시스템은 제도의 핵심 인프라로 평가되었다. 위성, IoT, 블록체인 등을 활용한 감축 실적의 정량화와 검증 이력의 디지털 관리가 필수적이다.

(2) 정책적·제도적 함의

① 전환리스크 대응 수단으로서 EPC

탄소중립 전환 과정에서의 기술 변화, 규제 강화, 시장 불확실성 등 전환리스크를 완화하는 정책 도구로 EPC는 기능할 수 있다. 특히 잠재기술에 대한 신뢰 기반 보상체계는 투자 유인과 리스크 완충을 동시에 가능케 한다.

② 탄소시장과 정책금융의 통합 설계 필요

EPC 제도화는 자발적 탄소시장 내 고품질 크레딧 창출을 촉진하고, 공공기후금융과 연계될 경우 초기 기술 투자의 마중물로 작동할 수 있다. 향후 탄소세 감면, 규제 이행 인정 등과의 연계도 고려 가능하다.

③ 제도 설계의 핵심 요건

EPC가 제도화되기 위해서는 (1) 감축량 추정의 신뢰성과 유연성 확보, (2) 보조금·보증 등 정책 금융 연계, (3) MRV 기준의 국제 정합성, (4) 대중 수용성을 높이기 위한 커뮤니케이션 전략이 병행되어야 한다.

3. 결론

EPC 메커니즘은 감축 실적 중심의 기존 크레딧 제도를 보완하여, 잠재 감축 기술의 조기 확산과 민간 투자 유도를 동시에 달성할 수 있는 제도적 장치이다. 이를 위해서는 디지털 MRV 체계 확산, 기술 신뢰 기반 가치평가, 공공 자금의 마중물 역할, 시장 수용성 확보가 필수 요건이다. 향후 연구에서는 시나리오 기반의 요인 결합 효과 분석을 통해 EPC 실현을 위한 최적 정책조합을 도출하고, 국내외 제도 설계에 적용할 수 있는 정책 로드맵을 제시할 계획이다.

참고문헌

- 기술보증기금, 2023, 「탄소가치평가모형 개발 및 시범운영 보고서」, 기술보증기금 ESG추진실, 5-18.
- 산업통상자원부, 2023, 「기후기술 혁신 전략(안)」, 산업통상자원부, 12-21.
- MEIA, 2020, 『Valley of Death and Commercialization Pathways』, Maryland Energy Innovation Accelerator, 3-5.
- Baum, R., 2024, Enhanced Rock Weathering and Soil Ion Monitoring, Carbon Management Journal, 15(2), 221-236, <https://doi.org/10.1080/17583004.2024.1123456>
- Napoleon, B., 2020, Methods of Credibility in Voluntary Carbon Markets, Climate Policy Studies, 19(4), 145-167, <https://doi.org/10.1016/j.clpol.2020.06.004>
- Prime Coalition, 2022, Methods of Evaluating Emissions Reduction Potential, CRANE Technical Note, 3-12.

사사

해당 연구는 (재)숲과나눔 연구장학생 프로그램으로부터 지원을 받아 진행됩니다.

사회적 비판과 녹색 산업의 대응

독일 바이오가스 산업의 사례

박현진 베를린 훔볼트 대학교 박사과정

1. 서론

날로 심각해지는 기후위기의 상황에서 화석연료에 의존하는 산업의 탈탄소화가 더욱 중요해지고 있다. 이에 발맞춰 기후위기 대응을 요구하는 사회적 압력과 기존 산업의 대응이 많은 학술적 관심을 받고 있다 (Geels & Gregory, 2024). 그러나 정의로운 전환을 위해서는 기존 산업의 근본적 변화뿐만 아니라 “녹색 산업”의 재편 역시 중요하다. 이는 녹색 기술이 항상 환경적, 사회적, 경제적으로 누구에게나 정의로운 결과를 보장하지 않기 때문이다 (Hoffman 외, 2014). 그럼에도 불구하고 녹색 산업이 정의로운 전환을 요구하는 압력에 대응하는 양상에 관한 연구는 매우 부족한 실정이다. 해당 문제의식 속에서 본 연구는 독일 바이오가스 산업이 직면한 사회적 압력과 산업 관계자들의 대응 양상의 변화를 시기별로 분석한다. 이를 통해 바이오가스 산업 재편의 완만한 속도와 정도에 영향을 미친 산업 내·외부적 맥락을 이해하고 녹색 산업이 사회적 기대에 부응하기 위한 정책 제안을 도출한다.

2. 본론

1) 연구 방법

본 연구는 재생에너지 전력 생산이 본격적으로 지원을 받기 시작한 2000년부터 2023년까지의 독일 바이오가스 산업을 분석한다. 바이오가스는 2024년 독일 전력량의 6.51%를 생산한 녹색 기술이다 (Destatis, 2025). 2000-2010년대 초반 급성장 이후 에너지 작물을 사용하여 지속적으로 전력을 생산하고 고정된 발전차액지원을 받는 바이오가스의 생산 모델은 변화를 요구하는 다양한 압력을 받아 왔다.

바이오가스 산업의 발전과 그 영향에 대한 정량적 데이터를 얻기 위해 공공 및 민간 기관의 통계를 수집하였다. 맥락적 환경, 산업 체제 및 산업의 반응이 상호작용하는 방식을 이해하기 위해 재생에너지 법과 같은 규정, 재생에너지법의 4개 개정안에 제출된 성명서와 연방의회 회의록, 독일 바이오가스 협회에서 발행한 잡지 Biogas Journal의 사설을 분석하였다. 또한 13명의 주요 이해관계자 (이익집단, 컨설턴트, 의회 의원, 환경단체)와 인터뷰를 진행하였다. Geels(2014)의 Triple embeddedness framework를 사용하여 환경·사회·경제적 압력과 산업의 반응 양상 그리고 변화에 영향을 주는 요인을 분석하였다.

2) 연구 결과

① 네 시기에 걸친 바이오가스 산업 이해 당사자 대응의 변화

2000년부터 2023년까지 바이오가스 산업의 대응 패턴은 무시와 부정 → 인정과 정당화 → 점진적 변화 → 점진적 변화와 정당화의 순서로 변화하였다.

<표 1> 네 시기에 걸친 사회적 압력과 바이오가스 산업의 대응 변화

시기	변화를 요구하는 압력	바이오가스 산업의 대응
2000-2006: 무시와 부정	낮은 환경적 우려 (에너지 작물 경작으로 인한 경관 변화) 낮은 사회적 우려 (식량 대 연료, 농경지 임대료 변화, 악취)	우려의 선택적 인정 현상 유지 및 산업 확장에 대한 필요성 바이오가스 플랜트 수의 완만한 상승 에너지 작물 경작지의 완만한 확대
2007-2014: 인정과 정당화	높은 환경적 우려 (에너지 작물 경작으로 인한 경관, 생물다양성 변화) 높은 사회적 우려 (식량 대 연료, 농경지 임대료 변화, 악취) 높은 경제적 우려 (높은 생산 가격)	우려의 인정 및 현 상황에 대한 정당화 바이오가스 플랜트 수의 급격한 상승 (-2012) 에너지 작물 경작지의 급격한 확대 공중 캠페인, 대안적 에너지 작물 연구 본격화 (환경·사회·경제적 우려에 대한 대응)
2015-2020: 점진적 변화의 시작	낮은 환경적 우려 낮은 사회적 우려 높은 경제적 우려 (높은 생산 가격, 전력 생산의 경직성)	우려의 인정 및 생산 체계의 점진적 개선 강조 경쟁적 경매제도 참여 시작 (경제적 우려 대응) 에너지 작물 사용 비중의 감소 (사회적 우려 대응) 피크 전력 생산을 위한 인프라 마련 (경제적 우려 대응)
2021-2023: 점진적 변화와 정당화의 병행	높은 경제적 우려 (전력 생산의 경직성)와 사회·경제적 옹호(에너지 위기로 인한 에너지 안보 문제)의 혼재	생산 체계의 점진적 개선 강조 에너지 위기로 인한 개선의 일시적 중단 정당화 경쟁적 경매제도 참여 증가 (경제적 우려 대응) 에너지 작물 사용 비중·면적의 감소 (사회적 우려 대응) 비즈니스 모델의 다양화 (경제적 우려 대응)

② 점진적이고 느린 생산 모델 재편의 원인

재생에너지법의 할아버지 조항 (grandfather clause) 2010년대 초반 이후 사회적 압력을 반영한 재생에너지법 개정안이 개정 이후 전력 생산을 시작한 소수의 플랜트에만 적용되었다. 저조한 설비 투자 사회적 우려를 해소하기 위해서는 농업폐기물 사용, 탄력적 전력생산을 위한 설비 투자가 필요하였으나 많은 플랜트 소유자들이 정책적, 경제적 불확실성을 이유로 대규모 투자를 꺼려하였다. 플랜트 소유자의 사고방식 재생에너지법의 도입 이후 바이오가스에 대한 인식이 농업 폐기물을 활용하여 에너지를 자급자족하는 모델에서 에너지 작물을 사용하여 기저전력을 공급하고 농업 종사자들에게 부가적인 소득을 주는 사업으로 변모하였으며 이와 같은 변화는 사회적 압력을 무시하거나 오해하는 배경이 되었다. 지역경제, 전력시스템 안정화와 에너지안보에의 기여 바이오가스와 농촌경제의 공생, 국내에서 생산 가능하며 저장이 가능한 재생에너지로써의 장점이 재생에너지법의 급진적인 변화를 저지하였다.

3. 결론

본 연구는 독일 바이오가스 산업이 변화를 요구하는 사회적 압력에 반응하는 양상과 급진적인 변화를 막는 요인을 분석하였다. 연구 결과는 해당 산업이 변화 요구에 경직적인 반응을 보이며, 실제 변화가 점진적으로 일어난다는 점을 시사한다. 이는 화석연료에 의존하는 산업의 변화 양상에 집중해온 기존의 전환 연구가 조명하지 않은 점이다. 재생에너지 등의 녹색기술을 둘러싼 정의 논란이 심화되고 있는 한국의 맥락에도 본 연구는 중요한 시사점을 제공한다.

녹색 산업의 발전 방향과 사회적 기대를 조화시키기 위한 정책적 제안은 다음과 같다. 첫째, 녹색 산업 정책은 운영의 안정성을 보장하는 동시에 변화에 대응하는 유연성을 확보해야 한다. 이를 위해 산업 발전 방향에 대한 지속적인 모니터링이 필요하며 지역 상황에 맞춘 발전차액지원제도, 지원 수준과 기

간의 다양화 등이 검토되어야 한다. 둘째, 녹색 산업 정책은 다양한 비즈니스 모델을 지원해야 한다. 단일 비즈니스 모델에 대한 집중은 산업 재편에 필요한 비용(설비투자, 밸류체인 구축)을 증가시킬 뿐만 아니라 산업 이해당사자의 정체성과 인식을 고착시켜 빠른 산업 재편을 저해할 수 있다. 셋째, 녹색 산업 정책은 산업의 확장 뿐만 아니라 산업 이해당사자들의 끊임없는 혁신과 성장을 지원해야 한다. 녹색 산업이 성장 단계에 들어선 경우에도 대안 기술 개발, 다양한 장기적 시나리오 구축 등에 대한 지원이 계속되어야 한다. 넷째, 녹색 산업 이해당사자와 지역사회와의 상호작용을 강화하여 산업 이해당사자가 지역사회의 우려와 요구사항에 민감하게 반응할 수 있도록 유도해야 한다. 또한 지역주민 참여제도 등을 통해 녹색 산업의 발전이 지역사회에 도움이 될 수 있는 방안을 모색해야 한다.

참고문헌

- Geels, F. W. (2014). Reconceptualising the co-evolution of firms-in-industries and their environments: Developing an inter-disciplinary Triple Embeddedness Framework. *Research policy*, 43(2), 261-277. <http://dx.doi.org/10.1016/j.respol.2013.10.006>
- Geels, F. W., & Gregory, J. (2024). Explaining varying speeds of low-carbon reorientation in the United Kingdom's steel, petrochemical, and oil refining industries: A multi-dimensional comparative analysis and outlook. *Energy Research & Social Science*, 111, 103488. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103488>
- Hoffman, J., Davies, M., Bauwens, T., Späth, P., Hajer, M. A., Arifi, B., Bazaz, A., & Swilling, M. (2021). Working to align energy transitions and social equity: An integrative framework linking institutional work, imaginaries and energy justice. *Energy Research & Social Science*, 82, 102317. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102317>
- Kriechbaum, M., Posch, A., & Hauswiesner, A. (2021). Hype cycles during socio-technical transitions: The dynamics of collective expectations about renewable energy in Germany. *Research Policy*, 50(9), 104262. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2021.104262>
- Kriechbaum, M., Terler, N., Stürmer, B., & Stern, T. (2023). (Re) framing technology: The evolution from biogas to biomethane in Austria. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 47, 100724. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2023.100724>
- “Stromerzeugung 2024: 59,4 % aus erneuerbaren Energieträgern”, https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2025/03/PD25_091_43312.html, (2025년 8월 25일)

사사

본 연구의 일부는 Energy Research & Social Science 119권(Institutional work after hype: The case of biogas in Germany, 2024)에 게재되었으며 일부는 저자의 박사학위를 위해 제출한 논문 (Reorganization of Bio-Based Innovations Towards Inclusion: Insights Into Responses, Constraints, and Governance Challenges, 2025)을 기반으로 하였다. 본 연구는 유럽연합 Horizon 2020 프로그램(ID: 862674)과 라이프니츠 농업공학·바이오경제 연구소 박사과정 장학금 프로그램의 지원을 받았다.

RE100 이행을 위한 한국전력공사 요금제 대비 적정 직접 PPA 단가 산정 연구

강희환 경기도 파주시 RE100지원팀, 지방공업주사보
황찬혁 경기도 파주시 RE100지원팀, 지방공업서기
인병주 경기도 파주시 RE100지원팀, 지방공업서기보

1. 서론

RE100 요구 확대와 전력요금 상승은 기업의 에너지 조달 구조를 재편하고 있다. 본 연구의 목적은 한국전력공사(KEPCO) 요금제를 직접 PPA로 대체할 때의 비용중립 전력량 단가와 내부수익률(IRR)을 산정하고, 지방정부 직접 PPA 설계와 기업의 RE100 무역장벽 해소에 활용 가능한 실무 기준선을 제시하는 데 있다.

2. 본론

1) 산정 프레임

(1) 핵심 발전시간대

전국 평균 일평균 발전시간 3.66시간과 남중시각을 결합해 월별 핵심 발전시간대를 정의

(2) 요금 매칭

한전 시간대별 단가(경부하/중간부하/최대부하)와 월별 평일·토요일·공휴일 평균 일수를 매칭해, 핵심 시간대의 평균 전력량요금을 산정하였다.

(3) 직접 PPA 비용 항목

- ① ON-SITE: 전력량요금 + 거래수수료 + 부가가치세 + 전력산업기반기금
- ② OFF-SITE: 위 항목에 망 이용요금, 부가정산금, 송배전손실률을 추가 반영

(4) 비용중립 조건

$\bar{P}_{KEPCO} = \bar{P}_{Direct\ PPA}$ 를 만족하는 직접 PPA 단가를 도출하고, 이를 투입해 내부수익률(20·25년)을 계산하였다.

2) 데이터 및 가정

(1) 지역

발전소 및 수요지 모두 파주시로 설정 (송배전손실률: 3.52%).

(2) 재무·기술

CAPEX, 표준 O&M, 임대료 등은 Lee and Lim (2025)²⁾에 따름, 모듈 성능 1년차 98% , 이후 연 0.45%p 저하로 적용

(3) 세목

부가가치세 10%, 전력산업기반기금 2.7% 등 부가비용 설정

3) 결과 요약

(1) 수익성 비교

ON-SITE > OFF-SITE.

(2) 핵심 수치

분석결과 가장 높은 수익률은 산업용(을) 고압B 선택1 및 고압C 선택1의 ON-SITE 비용중립 단가 192 원/kWh에서 IRR 13.57%(20년), 14.15%(25년)을 나타냄. 가장 낮은 수익률은 일반용(을) 고압A 선택3은 OFF-SITE 125 원/kWh에서 IRR 5.94%(20년), IRR 7.06%(25년)로 산출됨

(3) RPS 상한과의 관계

산업용(을) 9개 중 7개 요금제의 비용중립 단가가 RPS 고정가격 상한 156 원/kWh을 상회

(4) 요금 상승 시 절감효과

전기요금 연 2 - 3% 상승 가정 시, 직접 PPA 전환은 누적 전기요금의 20년 17.5 - 25.1%, 25년 21.7 - 31.0% 절감 가능

(5) 정책·실무 시사점

산업용(을) 대체가 일반용(을) 대비 유리, ON-SITE 설계 우선이 타당. 지방정부는 공공 부지·공공기관 전력 수요를 축으로 직접 PPA 단가 가이드를 제시함으로써, 기업 RE100 조달과 지역 내 수익 재순환을 병행할 수 있다

<표 1> 직접 PPA 단가와 IRR

단위: 원/kWh)

요금제			최종 납부단가	OFF-SITE 직접 PPA 전력량단가	20년 기준 IRR (%)	25년 기준 IRR (%)	ON-SITE 직접 PPA 전력량단가	20년 기준 IRR (%)	25년 기준 IRR (%)
산업용(을)	고압A	선택1	204.8	157	9.81	10.62	182	12.57	13.22
산업용(을)	고압A	선택2	198.6	152	9.23	10.09	177	12.03	12.71
산업용(을)	고압A	선택3	193.7	147	8.64	9.55	172	11.49	12.19
산업용(을)	고압B	선택1	215.2	166	10.82	11.57	192	13.57	14.15
산업용(을)	고압B	선택2	210.9	162	10.37	11.15	187	13.08	13.69
산업용(을)	고압B	선택3	209.1	161	10.26	11.05	187	13.08	13.69
산업용(을)	고압C	선택1	215.1	166	10.82	11.57	192	13.57	14.15
산업용(을)	고압C	선택2	209.8	161	10.26	11.05	187	13.08	13.69
산업용(을)	고압C	선택3	208.6	160	10.15	10.94	186	12.98	13.6
일반용(을)	고압A	선택1	178.2	134	7.07	8.10	159	10.03	10.84
일반용(을)	고압A	선택2	172.0	128	6.32	7.41	153	9.34	10.2
일반용(을)	고압A	선택3	167.1	125	5.94	7.06	149	8.88	9.76
일반용(을)	고압B	선택1	181.0	137	7.44	8.44	162	10.37	11.15
일반용(을)	고압B	선택2	176.7	133	6.95	7.99	157	9.81	10.62
일반용(을)	고압B	선택3	174.8	131	6.70	7.76	156	9.69	10.52

3. 결론

본 연구는 한국전력공사 요금 대비 직접 PPA 전환 시의 비용중립 단가 및 IRR 기준선을 제시했다. 결과적으로 ON-SITE 중심의 산업용(을) 대체 전략이 기업의 RE100 충족과 전력원가 안정화에 효과적이며, 연구결과를 근거로 지방정부가 직접 PPA 모델의 실무 설계에 즉시 활용 가능하다. 향후에는 권역별 망 이용요금·부가정산금·손실률과 CAPEX, 발전시간 민감도를 추가 반영해 더욱 세밀한 단가 산출 방식에 대한 연구가 추가적으로 필요할 것으로 보인다.

참고문헌

- 안상효, 우종률, 2022. 국내 RE100 이행방안의 경제성 비교분석 연구, 한국태양광발전학회, 10(2), 62-71
- 이근대, 임덕오, 2024, 재생에너지 공급확대를 위한 중장기 발전단가(LCOE)전망 시스템 구축, 에너지경제연구원, 5, 15-18
- 이진영, 2025. 재생에너지 직접 PPA 적용대상 확대 방안, 기후솔루션, 1-43
- “엔라이트 전국 태양광 발전시간 총정리-월별 발전시간”, <https://blog.naver.com/solarconnect/22336071543>, (2025년 8월 22일)

은행 대출 포트폴리오의 녹색화가 주식수익률에 미치는 영향에 대한 사건 연구

정민성 한국과학기술원 기술경영학부 박사과정, 숲과나눔 연구장학생

김형철 한국과학기술원 기술경영학부 교수

엄지용 한국과학기술원 기술경영학부 교수

1. 서론

파리 기후 협정에 따르면, ‘온실가스 저배출 및 기후 회복적 발전이라는 방향에 부합하도록 하는 재정 흐름의 조성’은 지속가능한 발전과 빈곤 퇴치를 위한 노력의 맥락에서 기후변화의 위협에 대한 전지구적 대응을 강화하는 목표를 달성하는 방법 중 하나이다(법제처, 2015). 기존 연구들은 주로 금융을 조달 받는 ‘기업’들에 주목, 기후변화 대응이 기업의 재무성과에 미치는 영향을 탐구해왔으며, 주식·채권의 탄소 프리미엄과(Oestreich & Tsiakas, 2015; Zerbib, 2016; Bolton & Kacperczyk, 2021) 탄소집약적 기업에 대한 신용 등급 하향 조정(Seltzer et al., 2022) 등에 초점을 맞추고 있다.

한편, 금융기관들 또한 녹색 금융을 통해 기후 위기에 대응하거나(Reghezza et al., 2022) 금융배출량(금융 기관이 신용 공급을 통해 간접적으로 기여한 온실가스 배출량) 저감을 목표로 하는 탄소회계금융 파트너십(PCAF)과 같은 이니셔티브에 가입하는 등의 방식으로 기후위기에 대응하고 있다. 그러나 금융배출량 저감을 위한 노력이 금융기관의 재무성과에 기여하거나 영향을 미치는 정도는 아직 명확히 규명된 바 없다. 특히 기업이 조건을 주로 결정하는 주식/채권과 달리 대출의 경우, 은행과 기업 간 직접적인 협상이 수반되므로 은행의 의사결정을 통해 배출량이 높은 기업에게 조달되는 금융을 줄일 수 있으므로 이와 같은 노력이 은행의 재무성과에 미치는 영향을 이해하는 것이 중요하다.

본 연구는 은행의 금융 배출량 저감 노력이 은행의 재무적 성과에 미치는 영향을 파악하기 위하여, 차관단 대출을 통해 온실가스 배출량이 높거나 낮은 기업에 금융을 조달할 때 주식시장의 반응을 관찰한다. 사건연구 방법론을 활용하여 저탄소/탄소집약적 기업에게 은행이 대출을 해주었을 때, 은행의 주식수익률이 높아지거나 낮아지는지 살펴봄으로써 은행의 포트폴리오 녹색화가 재무 성과로 이어지는지 파악할 수 있다. 이 때 긍정적인 시장의 반응이 관찰될 경우, 기업이 탄소프리미엄을 최소화하고자 배출량 저감 노력을 기울이는 것과 마찬가지로, 금융기관 또한 재무성과를 위하여 금융배출량을 저감하는 선순환 구조를 구축할 수 있다.

2. 본론

1) 연구 방법

(1) 데이터

본 연구를 위하여 다음과 같이 다양한 데이터가 활용되었다. 첫째, DealScan 자료를 통해 차관단대출 정보를 분석에 활용하였다. 이때 대출 은행과 기업, 실행일자 및 대출금액 등이 이에 포함된다. 차관단 대출은 여러 대출기관이 참여하지만, 본 연구는 대출에 가장 큰 영향을 미치는 주관은행만을 분석의 대상으로 하였다(Ehlers et al., 2022). 둘째, 대출받는 기업들의 온실가스 배출 정보와 기업이 속한 산업군 정보를 Trucost를 통해 확보하였다. 이때 대출 실행일에 확보 가능한 정보를 분석에 활용하여야 하므로,

대출 실행 전년도 배출량 정보를 적용하였다. 셋째, 미국 주식시장에 상장된 은행들의 누적초과수익률(CAR)을 도출하기 위해 CRSP의 일별 주식수익률을 활용하였다. 이 때 은행의 주식 상장이 일원화 되어 있으므로 본사와 지점을 구분하지 않고 통일하여 분석하였다. 넷째, 은행과 차주의 재무 상태를 통제하기 위해 Compustat 자료를 활용하였다. 다섯째, 대출 실행 시점의 기후위기에 대한 시장의 인식이 미치는 영향을 분석하고자 Media Climate Change Concern (MCCC)의 일일 지표를 활용하였다. 마지막으로, UNEP의 Net Zero Banking Alliance (NZBA)에 가입한 은행 목록과 가입일 정보를 활용하여 은행이 기후위기대응에 더 적극적으로 대응하겠다는 약속이 있을 때의 추가적인 영향을 살펴보았다. 각 자료가 다른 식별 코드를 사용하므로, 이를 매칭하기 위해 Schwert(2018)와 Chava et al.(2008)의 연결 작업을 사용했다. 그 결과, 2000년부터 2023년까지 6,062건의 차관단 대출, 23개 산업의 1,642개 기업과 40개 은행이 포함된 10,727개의 관측치가 분석의 대상이 되었다.

(2) 사건 연구

본 연구 방법론은 각각의 대출 건을 개별 사건으로 취급하여, 대출을 받은 기업의 배출량이 해당 대출을 실행한 은행의 주식수익률에 미치는 영향을 분석한다. 이때 독립 변수는 주관은행의 금융배출 변화에 대한 대리변수로서 대출받는 기업의 scope 1 온실가스 배출량(또는 scope 1 온실가스 집약도)(World Resource Institute, 2013)를 활용한다. 배출량외에 주식수익률에 영향을 미칠 수 있는 주관 은행과 기업의 대출 정보 및 재무 정보는 통제하였다(Tampakoudis et al., 2022). 또한, 은행별 고정 효과를 적용하고, 연도별 산업 수준별 고정효과는 각각 적용하거나 통합하여 연도별-산업별 고정효과를 적용하여 시간에 따른 산업군별 특성을 통제하였다.

2) 연구 결과

분석 결과, 주관 은행이 온실가스 배출량이 낮은 기업에 차관단 대출을 제공할 때 양의 누적초과수익률을 보였다. 구체적으로, 온실가스 배출량이 1% 낮은 기업에 신디케이트 대출이 제공될 때, 주관 은행의 누적초과수익률은 10bp(0.1%) 높아지는 것으로 나타났다. 마찬가지로 온실가스 집약도를 독립변수로 사용할 때에도 마찬가지로 10bp 더 높아지는 것이 관찰되었다. 이러한 발견은 주식시장이 높은 수준의 금융 배출량을 위험 요인으로 인식하며, 해당 인식이 결국 금융 기관 포트폴리오의 녹색화가 이루어질 때 주식수익률 향상으로 반영된다는 것을 시사한다. 온실가스 배출량 값을 직접 사용하는 대신 녹색 또는 갈색 기업을 더미로 구분하여 분석하는 강건성 검증에서도 일관된 방향의 결과가 도출되었다.

이에 더하여, 기후위기에 대한 언론의 염려 지수가 증가할수록 금융배출량이 주식수익률에 미치는 영향이 더 강해지는 것이 관찰되었다. 해당 금융기관이 NZBA 가입 등을 통해 기후위기 대응을 위한 노력을 대외적으로 선전한 경우에도, 금융배출량의 영향이 더 강력하게 관찰되었다.

3. 결론

본 연구는 은행이 금융배출량을 저감하고자 온실가스 배출량이 낮은 기업에 대출을 제공할 때 주식시장으로부터 긍정적인 반응을 이끌어낸다는 것을 밝혀냈으며, 이는 시장이 금융배출량 증가를 은행의 미래 가치에 부정적인 사건으로 인식하고 이와 같은 평가를 시장에 내재화했음을 시사한다. 은행 대출 포트폴리오의 녹색화가 긍정적인 주식수익률로 이어지므로, 이는 은행들로 하여금 재무성과 향상을 위하여 포트폴리오를 더욱 녹색화할 유인을 제공하는 선순환 구조를 형성할 수 있다. 지금까지 금융기관의 기후위기대응은 주주보다는 이해관계자들에 의해, 주로 '자발적 이니셔티브'를 통해 추진되어 왔다. 그러나 본 연구 결과를 통해 포트폴리오 녹색화가 재무성과에 미치는 긍정적인 영향을 확인한 만큼, 주주

들 또한 본 연구 결과를 토대로 금융배출량의 감축을 요구할 수 있다.

참고문헌

- Alok, S., Kumar, N., & Wermers, R. (2020). Do fund managers misestimate climatic disaster risk. *The Review of Financial Studies*, 33(3), 1146–1183.
- Antoniou, F., Delis, M. D., Ongena, S., & Tsoumas, C. (2020). Pollution permits and financing costs. *Swiss Finance Institute Research Paper*, (20–117).
- Ardia, D., Bluteau, K., Boudt, K. & Inghelbrecht, K. (2023). Climate change concerns and the performance of green versus brown stocks. *Management Science*, 69(12), 7607 - 7632.
- Aswani, J., Raghunandan, A., & Rajgopal, S. (2024). Are carbon emissions associated with stock returns? *Review of Finance*, 75 - 106
- Benincasa, E. (2021). Climate policy and cross-border lending: evidence from the syndicated loan market. *Economic and Political Studies*, 9(4), 463–476.
- Bernardelli, M., Korzeb, Z., & Niedziółka, P. (2022). Does Fossil Fuel Financing Affect Banks' ESG Ratings?. *Energies*, 15(4),1495. <https://doi.org/10.3390/en15041495>
- Bolton, P. and Kacperczyk, M. (2021)Do investors care about carbon risk? *Journal of Financial Economics*, 142(2), 517–549.
- Beyene, W., De Greiff, K., Delis, M. D., & Ongena, S. (2021). Too-big-to-strand? Bond versus bank financing in the transition to a low-carbon economy.
- Caby, J., Ziane, Y., & Lamarque, E. (2022). The impact of climate change management on banks profitability. *Journal of Business Research*, 142, 412–422. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.12.078>
- Chan, H., Merdekawati, M., and Suryadi, B. (2022). Bank climate actions and their implications for the coal power sector, *Energy Strategy Reviews*, 39, 100799. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100799>
- Chang, X., Fu, K., Jin, Y., & Liem, P. F. (2022). Sustainable finance: ESG/CSR, firm value, and investment returns. *Asia Pacific Journal of Financial Studies*, 51(3), 325–371.
- Chava, S. & Roberts, M. R. (2008). How Does Financing Impact Investment? The Role of Debt Covenants. *The Journal of Finance*, 63, 2085–2121
- Degryse, H., Roukny, T., & Tielens, J. (2020). Banking barriers to the green economy (No. 391). NBB Working Paper. Institutions and the financing of fossil energy. Available at SSRN 3733781.
- Delis, M. D., De Greiff, K., & Ongena, S. (2024). Being stranded with fossil fuel reserves? Climate policy risk and the pricing of bank loans. *Climate Policy Risk and the Pricing of Bank loans* (September 10, 2019). EBRD Working Paper, (231). <https://doi.org/10.1111/fmii.12189>
- Del Gaudio, B. L., Previtali, D., Sampagnaro, G., Verdoliva, V., & Vigne, S. (2022). Syndicated green lending and lead bank performance. *Journal of International Financial Management & Accounting*, 33(3), 412–427.
- Ehlers, T., Packer, F., & De Greiff, K. (2022). The pricing of carbon risk in syndicated loans: Which risks are priced and why? *Journal of Banking & Finance*, 136, 106180.
- IEA. (2016). Clean energy investment in the net zero pathway, 2016–2050. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/clean-energy-investment-in-the-net-zero-pathway-2016-2050>
- Kacperczyk, M. T., & Peydró, J. L. (2022). Carbon emissions and the bank-lending channel. Available at SSRN 3915486.
- Kleimeier, S., & Viehs, M. (2018). Carbon disclosure, emission levels, and the cost of debt. *Emission Levels, and the Cost of Debt* (January 7, 2018).
- Lee, C., Wang, C., Thinh, B.T., Xu, Z. (2022) Climate risk and bank liquidity creation: International evidence, *International Review of Financial Analysis*, 82, 102198. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2022.102198>

- Mésonnier, J. S., & Nguyen, B. (2020). Showing off cleaner hands: mandatory climate-related disclosure by financial
- Oestreich, A. M., & Tsiakas, I. (2015). Carbon emissions and stock returns: Evidence from the EU Emissions Trading Scheme. *Journal of Banking & Finance*, 58, 294-308.
- Park, M., Yoon, A., & Zach, T. (2022). Sell-Side Analysts' Assessment of ESG Risk.
- Pástor, Ľ., Stambaugh, R. F., & Taylor, L. A. (2022). Dissecting green returns. *Journal of Financial Economics*, 146(2), 403-424.
- PCAF (2022). The Global GHG Accounting and Reporting Standard Part A: Financed Emissions. Second Edition.
- Reghezza, A., Altunbas, Y., Marques-Ibanez, D., d'Acri, C. R., & Spaggiari, M. (2022). Do banks fuel climate change?. *Journal of Financial Stability*, 62, 101049.
- Sautner, Z., Yu, J., Zhong, R., & Zhou, X. (2022). The EU taxonomy and the syndicated loan market. Available at SSRN 4058961.
- Schwert, M. (2018). Bank Capital and Lending Relationships, *Journal of Finance*, 73(2), 787-830.
- Seltzer, L. H., Starks, L., & Zhu, Q. (2022). Climate regulatory risk and corporate bonds (No. w29994). National Bureau of Economic Research.
- Su, C. W., Mirza, N., Umar, M., Chang, T., & Albu, L. L. (2022). Resource extraction, greenhouse emissions, and banking performance. *Resources Policy*, 79, 103122. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103122>
- Zhang, S. (2025). Carbon Returns across the Globe, *The Journal of Finance*, 80(1), 615-645
- 법제처 UN 파리 협정 번역본,
https://world.moleg.go.kr/viewer/skin/doc.html?fn=44466_70440&rs=/viewer/result/converted_files/, (2025년 9월 3일)

사사

2024 한국환경경제학회 정기학술대회 발표

2025 AERE (Association of Environmental and Resource Economists) summer conference 발표

구두발표 세션 2.

지속가능1

- 계절 변동성을 반영한 머신러닝 기반 가구 에너지 빈곤 예측
문보람 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 박사 수료
홍중호 서울대학교 환경대학원 환경관리학과 교수
- 도시 단위 출산율 진단 방식에 관한 연구
이휘정 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 박사과정, 숲과나눔 연구장학생
- 한국의 1962-2050년 플라스틱 흐름 및 순환경제 전환 경로 분석
임지은 서울대학교 대학원 건설환경공학부 박사과정, 숲과나눔 학업장학생
박주영 서울대학교 대학원 건설환경공학부 교수
- 기후변화가 전통휠체어를 사용하는 아동의 이동성에 미치는 영향: GPS 데이터를 활용한 실증연구
이성규 고려대학교 비교거버넌스연구소 박사후연구원, 숲과나눔 학업장학생
홍중호 서울대학교 환경대학원 교수
- 폭염기간 대학캠퍼스 건물 실내 온열환경 분석과 취약노동자를 위한 패시브건축 개선방안 연구
정혜원, 전형진, 강다현, 김정윤, 성혜민 계명대학교 건축학과 학부생
이종원 계명대학교 건축학과 조교수

계절 변동성을 반영한 머신러닝 기반 가구 에너지 빈곤 예측

문보람 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 박사 수료

홍중호 서울대학교 환경대학원 환경관리학과 교수

1. 서론

에너지 빈곤은 기후변화, 에너지 가격 상승, 사회경제적 불평등 심화로 인해 전 세계적으로 중요한 정책 과제로 부상하고 있다. 특히 냉·난방 수요가 뚜렷하게 계절에 따라 달라지는 한국의 맥락에서는 여름 냉방 부담과 겨울 난방 부담이 모두 가계의 에너지 취약성을 심화시킨다. 기존 연구와 정책은 주로 겨울철 난방 부족에 집중해왔으나, 최근에는 폭염으로 인한 여름철 냉방 부족 역시 심각한 문제로 인식되고 있다. 한편, 에너지 전환과 탄소중립 정책은 장기적으로 지속가능성을 강화하지만, 단기적으로는 저소득층의 부담을 가중시킬 수 있다. 따라서 계절별·계층별 에너지 취약성을 조기에 파악하고 이를 토대로 맞춤형 지원 정책을 설계하는 것이 필요하다.

그러나 전통적 회귀 분석은 선형성 가정과 변수 독립성 전제를 기반으로 하여 복잡하고 비선형적인 에너지 빈곤 메커니즘을 충분히 설명하기 어렵다. 이에 본 연구는 머신러닝 기반의 예측 모델을 활용하여 가구 단위의 에너지 빈곤을 분석하고, SHAP(SHapley Additive exPlanations) 기법을 적용하여 주요 결정 요인과 계절별 변화를 해석한다. 본 연구의 목적은 다음과 같다. 첫째, 2018 - 2022년 한국의 에너지 빈곤 실태를 가구 단위에서 측정한다. 둘째, 다양한 머신러닝 분류 알고리즘을 비교하여 최적의 예측 모델을 선정한다. 셋째, 계절별·계층별 취약 요인을 규명하여 정책적 시사점을 도출한다.

2. 데이터와 방법론

1) 데이터

본 연구는 에너지경제연구원이 실시한 가구에너지패널조사(HEPS) 2018 - 2022년 데이터를 활용하였다. 월별 에너지 소비량을 토대로 전기, 도시가스, 지역난방, 등유, 프로판, 연탄의 지출액을 추정하여 총 330,960 가구의 월 단위 관측치를 구축하였다. 독립 변수는 네 가지 차원으로 구성된다. 사회경제적 요인은 가처분소득, 가구원수, 가구주의 연령·학력·고용상태, 주거 점유형태로 구성된다. 주거 특성은 주택 유형, 건축연한, 면적, 이중창 여부로 구성된다. 행동·인식 요인은 주 난방연료, 에어컨 대수, 재생에너지 설치, 에너지효율등급 인식, 전기요금 모니터링, 에너지 절약 프로그램 참여로 구성된다. 기후 요인은 지역별 평균 최고·최저기온으로 구성된다. 종속 변수는 LIHC(Low Income High Costs) 지표를 기반으로 최저임금 미만의 가처분소득 여부와 소득 대비 10% 초과 에너지 지출 여부를 결합하여 무위험, 지출위험, 소득위험, 이중위험 네 가지 범주로 분류하였다.

2) 방법론

비교한 머신러닝 알고리즘은 Decision Tree, Random Forest, Extreme Gradient Boosting, Categorical Boosting, Support Vector Machine이다. 데이터는 2018 - 2021년을 훈련용, 2022년을 검증용으로 구분하였다. 다중 클래스 불균형 문제를 완화하기 위해 훈련 세트에 무작위 언더샘플링을 적용하였다. 교차검증을 통해 최적의 하이퍼파라미터를 탐색하였다. 성능 평가는 F1 점수를 중심으로 수행하였다. 모델 해

석을 위해 SHAP 분석을 도입하여 변수 중요도, 계절별 변화, 상호작용 효과를 시각화하였다. 이를 통해 단순 변수 순위뿐 아니라 임계값, 비선형 효과까지 탐지하였다.

3. 결과 및 토의

에너지 빈곤 분포는 무위험(74.6%), 소득위험(15.7%), 이중위험(9.0%), 지출위험(0.7%)으로 나타났으며, 특히 이중위험 가구는 규모는 작지만 가장 취약한 집단으로 정책적 우선지원 대상임이 확인되었다. 모델 성능 결과, Categorical Boosting이 가장 높은 성능(F1 score 89.96%)을 보였으며, 다수의 범주형 변수를 효율적으로 처리할 수 있다는 점에서 적합한 최종 모델로 선택되었다. 소득위험과 이중위험 집단은 비교적 잘 분류되었으나, 지출위험 집단은 데이터 희소성으로 인해 분류 성능이 낮았다.

주요 예측 요인으로 전반적으로 가처분소득이 가장 중요한 변수로 나타났으며, 기후 요인(평균 최고·최저기온)과 난방연료 접근성(특히 도시가스 사용 여부)이 뒤를 이었다. 주거 특성 중에서는 건축연한과 면적이 겨울철에 더 큰 영향을 미쳤다. 행동 요인은 비교적 영향력이 낮았지만, 전기요금 모니터링과 에너지효율등급 인식은 일정한 설명력을 보였다.



<그림 1> 에너지 빈곤 주요 예측 요인(여름/겨울)

계절별·가구 유형별 차이를 보면 무위험 그룹은 안정적 소득과 에너지 인프라 접근성이 방어 요인으로 작용했으나, 노후주택이나 단열 취약 주택은 겨울철 위험으로 전환될 가능성이 확인되었다. 지출위험 그룹은 여름에는 가구주의 연령(20 - 60대)과 에어컨 보유 대수가 중요한 요인으로 냉방기기 사용이 지출 부담을 증가시켰다. 소득위험 그룹은 1인 가구·소형주택 거주자가 특히 취약했으며 교육 수준이 낮고 실업 상태일수록 위험이 강화되었다. 이중위험 그룹은 겨울철 65세 이상 고령 가구에서 취약성이 급격히 증가하였으며, 도시가스 미사용 가구가 특히 높은 위험을 보였다. 또한, -2℃ 이하의 한파 구간에서 소형주택 거주 가구의 위험이 두드러졌다.

4. 결론

본 연구는 한국의 에너지 빈곤을 머신러닝 기반 예측 모델로 분석한 최초의 시도 중 하나로 다음과 같은 기여를 한다. 학술적 기여로 에너지 빈곤을 정태적·연간 지표가 아닌 계절별·동태적 현상으로 규정하고, 구조적 요인(주거·소득)과 행동적 요인(소비 습관)이 계절에 따라 다르게 작용함을 입증하였다. 또한 SHAP 기반 해석을 통해 비선형 효과와 임계값을 규명하였다. 정책적 시사점은 다음과 같다. 첫째, 무위험 가구라도 노후·비효율 주택은 겨울철 취약성으로 전환될 수 있어 사전적 주거 개선과 고용 안정

정책이 필요하다. 둘째, 지출위험 가구는 냉방기기 과다 사용에 따른 부담이 크므로 고효율 기기 보급과 행동 변화 유도 정책이 요구된다. 셋째, 소득위험 가구는 1인 가구 및 저학력·실업 가구가 핵심 대상이므로 소득 지원과 주거 안정, 직업 훈련을 결합한 통합 지원이 필요하다. 마지막으로 이중위험 가구는 고령·비가스 사용 가구로 대표되며, 인프라 확충(도시가스망, 단열 개선)과 직접적 난방보조금 지원이 시급하다. 본 연구의 한계로 실제 요금 청구 데이터가 아닌 소비량 기반 지출 추정치에 의존했으며, 코로나 19로 인한 특수 상황도 반영되었다는 점에서 해석에 주의가 필요하다. 또한, 에너지 바우처, 주택 에너지효율개선 사업 유무, 요금 할인과 같은 기존 정책 효과를 통제하지 못했다. 따라서 향후 연구에서는 정부 지원 프로그램 변수와 결합한 분석이 요구된다.

도시 단위 출산율 진단 방식에 관한 연구

이휘정 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 박사과정, 숲과나눔 연구장학생

1. 서론

20세기 이후 동아시아 발전주의 국가는 압축적인 산업화와 급속한 도시화를 경험하면서 초저출산 국면에 진입했다. 고도로 도시화된 국가에서 출산율의 급격한 감소는 국제 정책에서의 도시 인구 지속가능성을 위협하는 핵심 의제로 부상하였다(OECD, 2024). 특히 한국은 2023년 기준 합계출산율 0.72명이라는 전례 없는 인구학적 위기에 직면했다.

과거에는 도시화와 출산율 감소가 동시다발적으로 발생했기 때문에 도시화가 출산율 감소의 핵심 원인으로 받아들여졌다. 그러나 한국과 일본을 비롯한 고소득 국가의 도시화율이 90%에 육박하는 오늘날, 이 설명은 더 이상 유효하지 않다. 이제는 도시라는 공간 단위에서 일어나는 출산 상황을 보다 정밀하게 이해하고 진단하는 연구가 필요하다.

이 과정에서 가장 먼저 직면하는 문제는 전통적인 출산력 측정방식인 합계출산율(Total Fertility Rate, 이하 TFR¹⁾)의 적합성이다. TFR은 15~49세 전체 여성 인구를 기준으로 하므로, 평균 초산 연령이 30세를 넘어선 현대 도시의 출산 주체 이동이라는 핵심 변화를 포착하지 못하는 한계를 가진다. 따라서 본 연구는 도시의 핵심 출산 연령대에 초점을 맞춘 새로운 출산율 진단 방식을 제안하고 그 유효성을 검증하고자 한다.

2. 도시화와 출산 주체의 이동

그간 여러 연구에서 전통적인 출산율 측정 방식인 합계출산율(TFR)이 도시 단위 출산 시점의 변화를 정확하게 반영하지 못한다는 점을 지적해 왔다. Yi and Vaupel(1989)은 도시화에 따라 초산 시기가 늦춰질수록 TFR이 실제 출산력을 과소 추정한다고 경고했다. Benza et al.,(2017)은 도시의 출산시기가 점차 늦춰지고 있는데, TFR 중심의 분석은 연령별 지역별 출산 역학 관계를 고려하지 못한다고 주장하였다.

실제로 OECD 국가의 평균 초산 연령은 2000년 28.6세에서 2022년 30.9세로 상승했으며, 초혼 연령도 같은 기간 27.4세에서 31.5세로 증가하였다 (OECD, 2024). 이러한 변화는 의학계에서도 고령산모(advanced maternal age, AMA)의 기준을 만35세(Morrison, 1975)에서 40세 또는 45세로 늦추자는 논의가 진행되는 것과도 맥을 같이 한다(Cunningham & Leveno, 1995; Blickstein, 2003). 이는 도시의 출산 주체가 실질적으로 30대 이상으로 이동했음을 시사한다. 그런데도 합계출산율은 15세부터 출산 가능 연령을 설정함으로써 도시의 출산력을 왜곡하게 된다.

이러한 이론적 배경에 근거하여, 이 연구는 도시 출산력을 보다 정확하게 평가하기 위해 30~49세 여성의 연령별 출산율(ASFR²⁾)을 활용한 3049FR을 대안적 지표로 제안한다. 분석은 2013년부터 2022년까지 10년간 한국의 229개 전체 행정구역을 대상으로, 전통적인 TFR과 새로운 지표인 3049FR이 도시 단위 출산율 변화를 어떻게 다르게 보여주는지 비교하는 방식으로 수행한다.

1) $TFR = 5 \times \sum (5\text{세 구간별 ASFR}) \div 1,000$

2) $ASFR_a = \left(\frac{\text{Number of live births to women in age group } a}{\text{Number of women in age group } a} \right) \times 1,000$

3. 연구 결과

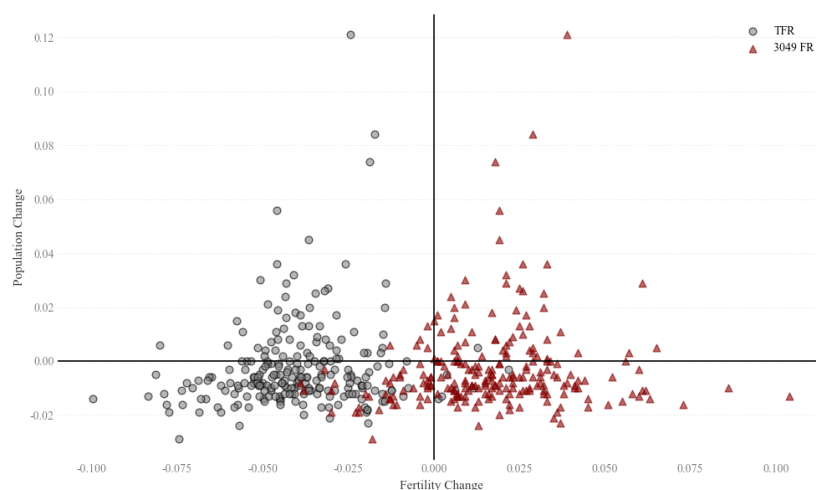
TFR과 3049FR을 비교한 결과, 3049FR이 도시의 출산 역학을 파악하기에 더욱 적합한 것으로 나타났다. 이유는 첫째, 3049FR이 도시의 핵심 출산 연령대의 출산력을 정확하게 반영하기 때문이다. 실제로 2023년 한국에서 전체 출산 중 30세 이상 여성이 차지하는 비중이 82%이며 서울의 경우 90.9%에 달한다. 따라서 3049FR은 오늘날 도시 출산 주체의 출산력을 보다 정교하게 드러낸다.

둘째, 3049FR은 도시화에 따른 출산 시점의 변화를 반영하여 TFR이 놓지는 ‘회복탄력성’을 발견하게 해준다. 지난 10년간 TFR을 적용했을 때 출산율의 연평균 성장율이 증가한 도시는 전체 229곳 중 7곳(3.1%)에 불과했으나, 3049FR을 사용했을 때는 182곳(79.5%)에서 증가한 것으로 나타났다(Table 1). 이는 도시에서 출산 시점이 이동한 것을 반영한다면 실질 출산력은 증가했을 수 있다는 것을 의미한다.

셋째, 3049FR을 사용했을 때는 TFR이 가리는 도시 간 ‘이질성’이 뚜렷이 드러난다. Figure 1은 Y축을 인구변화율로 고정하고, X축을 두 가지 출산율 측정방식으로 비교한 것이다. TFR을 기준으로 했을 때, 거의 모든 도시가 출산율 감소 국면(Left)에 속한다. 반면, 3049FR을 적용했을 때는 상당수의 도시가 출산율 증가 국면(Right)에 나타나는 것을 보여준다 (Figure 1). 이는 3049FR이 TFR만으로는 드러나지 않던 도시별 출산 역동성을 잘 파악할 수 있게 하며, TFR에만 의존했을 EO 가려졌던 다양한 출산율 경로가 존재한다는 것을 시사한다.

<Table 1> 2013 - 2022년 가장 높은 출산율 증가율을 보인 도시들.
3049FR은 도시뿐만 아니라 군단위 농촌지역에서도 유용하게 사용된다.

Rank	TFR(growth rate%)	3049FR(growth rate%)
1	군위군(2.2%)	남해군(10.4%)
2	강화군(1.3%)	영광군(8.6%)
3	영광군(1.1%)	울릉군(7.3%)
4	의성군(0.6%)	인천시 강화군(6.5%)
5	청도군(0.4)	삼척시(6.3%)
6	남해군(0.2%)	의성군(6.2%)
7	삼척시(0.1%)	괴산군(6.1%)



<Figure 1> 2013-2022년 229개 행정구역의 출산율 및 인구 변화에 대한 산점도:
x축은 출산율 변화(회색: TFR, 붉은색: 3049FR), y축은 인구변화로 고정하였다.

4. 결론

도시의 출산 주체가 30대 이상으로 이동한 것은 교육연수의 증가 등 도시화에 따라 남녀 모두에게 필연적인 것이다. 이러한 상황에서 TFR만으로 도시의 출산력을 평가하면 ‘모두가 저출산’이라는 무력한 결론에 머물게 된다. 그러나 도시의 핵심 출산 연령대에 포커싱한 3049FR을 통해 보면 도시마다 상이한 출산 궤적이 드러난다. 이 연구의 발견은 각 도시들이 갖고 있는 출산여건을 파악한다면 도시에서 구체적인 정책-보육, 고용, 주택, 도시인프라와 같은 구체적 개입 지점을 식별할 수 있음을 시사한다.

향후 도시계획은 주거 및 도시 인프라를 30대 이상 도시민들의 삶의 경로 변화에 맞추어 조정해야 한다. 올바른 진단은 올바른 처방의 전제 조건이다. 점점 더 많은 사람들이 도시에 거주함에 따라, 도시의 출산을 이해하고 도시의 출산을 가능하게 하는 것에 대한 질문은 앞으로 더욱 더 중요해질 것이다.

참고문헌

- Benza, M., Weeks, J. R., Stow, D. A., López Carr, D., & Clarke, K. C. (2017). Fertility and urban context: A case study from Ghana, West Africa, using remotely sensed imagery and GIS. *Population, Space and Place*, 23(8), e2062.
- Blickstein, I. (2003). Motherhood at or beyond the edge of reproductive age. *International journal of fertility and women's medicine*, 48(1), 17-24.
- Bongaarts, J. (2001). Fertility and Reproductive Preferences in Post-Transitional Societies. *Population and Development Review*, 27, 260 - 281. <http://www.jstor.org/stable/3115260>
- Cunningham, F. G., & Leveno, K. J. (1995). Childbearing among older women - the message is cautiously optimistic. *New England Journal of Medicine*, 333(15), 1002-1004.
- Kuznets, S. (1974). Rural-Urban Differences in Fertility: An International Comparison. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 118(1), 1 - 29. <http://www.jstor.org/stable/986434>
- Morrison, I. (1975). The elderly primigravida. *American Journal of obstetrics and Gynecology*, 121(4), 465-470.
- OECD (2024), Society at a Glance 2024: OECD Social Indicators, *OECD Publishing*.
- Yi, Z., & Vaupel, J. W. (1989). The impact of urbanization and delayed childbearing on population growth and aging in China. *Population and Development Review*, 425-445.

한국의 1962-2050년 플라스틱 흐름 및 순환경제 전환 경로 분석

임지은 서울대학교 대학원 건설환경공학부 박사과정, 숲과나눔 학업장학생

박주영 서울대학교 대학원 건설환경공학부 교수

1. 서론

플라스틱은 저비용, 경량성, 다양한 기능성으로 인해 포장재, 건설, 섬유, 전자, 의료 등 광범위한 산업에서 필수적 소재로 활용되고 있다(Meng et al., 2024; Vidal et al., 2024). 그러나 이러한 장점은 동시에 환경 잔존성을 높여 육상과 해양에서의 폐기물 누적을 가속화하며, 전 세계적으로 생산량 증가와 재활용 한계로 인해 플라스틱 오염은 기후변화·생물다양성 손실과 더불어 심각한 환경 위기로 대두되고 있다(An et al., 2022; Jambeck et al., 2015; Geyer et al., 2017). 이러한 상황 속에서 국제사회는 플라스틱 오염 저감을 위한 규제와 협약을 강화하고 있으며, 한국 역시 포장재 감축, 재활용 확대, 자원순환 촉진을 목표로 하는 전 생애주기 기반의 정책들을 도입해왔다(UNEP, 2022; 관계부처합동, 2022). 그러나 기존 정책들은 주로 사후적 재활용에 초점을 두고 있어 구조적 한계를 극복하기 어렵고(Bauer et al., 2022; Smith et al., 2023), 실제 정책 이행에 따른 순환경제 성과와 환경적 효과를 정량적으로 평가할 수 있는 데이터와 분석 체계 또한 미비하다(Borrelle et al., 2020; Zhu et al., 2024). 이러한 한계는 플라스틱 전 생애주기를 포괄하는 동적·고해상도 분석틀을 통해 정책 효과성을 실증적으로 검증할 필요성을 제기한다(Simon et al., 2021; UNEP, 2024).

본 연구는 1962-2050년 기간 동안 한국의 플라스틱 생산, 소비, 폐기 및 회수 과정을 10대 주요 수지와 49개 제품군을 포괄하는 고해상도 동적 물질흐름분석(MFA)으로 정량화하고, 이를 기반으로 순환경제 성과와 전 과정 온실가스 배출을 평가하는 것을 목적으로 한다. 특히 시나리오 기반 접근을 통해 현황 진단과 미래 전망을 통합하고, 정책 개입 효과를 비교·분석함으로써 한국의 플라스틱 순환성과 탄소중립 목표 달성을 지원할 수 있는 실증적 근거를 제공한다.

2. 본론

1) 플라스틱 물질흐름분석

한국의 플라스틱 전 생애주기를 포괄적으로 재현하기 위해 Python 기반의 유입 주도형 고해상도 동적 MFA 모형을 구축하였으며, 1962년부터 2022년까지 약 60년간의 연간 플라스틱 유입·유출 및 재고를 정량화하였다. 분석 대상은 전 세계적으로 가장 많이 사용되는 수지 10종으로, LDPE, EVA, HDPE, PP, PS, EPS, ABS, PVC, PC, PET을 포함한다. 시스템 경계는 국내 플라스틱 가치사슬 전 과정을 포함하며, 투입물은 화석기반 원료, 화학적 재생원료, 산업부산 재생수지(PCR), 소비자 재활용 수지(페쇄루프 및 개방루프; PIR)를 고려하였다. 또한 국내 생산·소비뿐 아니라 반제품, 최종제품, 폐기물에 대한 국제 무역흐름도 반영하였다. 소비 단계는 포장재, 섬유, 건설, 자동차, 전자제품, 가정용품, 농업, 수산 등 8개 부문으로 구분하고, 이를 다시 49개 제품군으로 세분화하였다. 사용 후 폐기물은 매립, 소각, 재활용, 기타 처리의 4개 경로로 분류하며, 재활용은 열적·화학적·기계적 방법으로 구분하였다. 또한 환경 유출을 별도로 고려하여 미세플라스틱 배출 및 관리되지 않은 해양폐기물의 누출을 추적하였다. 결과적으로 본 모형은 5개 투입흐름, 3개 무역흐름, 8개 산업부문, 10개 최종 처리 경로를 포괄하며, 이를 바탕으로 VMC(버진소재소비량), CMUR(재생원료 사용률), CLCR(닫힌 고리 순환율), 실질 재활용률, 전 과정 온

실가스 배출, 환경 유출의 핵심 지표 산출을 가능하게 하였다.

2) 시나리오 분석

진행한 물질흐름분석을 토대로 2023년부터 2050년까지의 미래를 전망하고, 미래 정책 개입 효과를 평가하기 위해 시나리오 분석을 실시하였다. 우선 1인당 GDP와 인구를 기준으로 부문·제품·고분자별 소비 추세를 외삽하여, 추가적인 정책이 없는 경우를 가정한 기준선 시나리오(BAU)를 구축하였다. 이어 생산, 소비, 폐기물 관리, 환경 누출 등 다양한 영역의 가정을 반영한 7개의 개입 시나리오를 설계하였다. 여기에는 수요 억제, 친환경 설계 개선, 생산·소비 감축, 재활용 인프라 강화, 누출 방지 대책 등이 포함되며, 하나는 현행 국가정책을 반영하고 다른 하나는 복합적이고 강화된 개입을 가정한 야심적 경로를 나타낸다. 각 시나리오는 총 6가지 핵심 성과지표-VMC, CMUR, CLCR, 실질 재활용률, 전 과정 온실가스 배출량(CO₂ eq), 총 환경 유출량-를 통해 평가되었다. 이를 통해 시간에 따른 전환 경로를 비교·분석하고, 정책 옵션 간의 상충관계와 시너지 효과를 도출하였다. 본 분석들은 실증적 근거에 기반한 정책 설계와 의사결정을 지원하며, 한국의 순환적이고 기후 회복력 있는 플라스틱 경제 전환을 위한 전략 수립에 기여할 수 있다.

3. 결론

본 연구는 1962-2050년을 대상으로 한국의 플라스틱 전 생애주기를 고해상도·수지별·부문별 동적 MFA 모델로 추적하여, 순환성 성과, 온실가스 배출, 환경 유출을 정량화하였다. 분석 결과, 한국은 선진적인 재활용 인프라에도 불구하고 여전히 선형 구조에 머물고 있으며, 2022년 원료의 99.9%가 화석 기반에 의존하고 화학적 재활용은 0.1%에 불과하였다. CMUR과 CLCR은 각각 5.7%, 2.5%로 낮았으며, 플라스틱은 국가 온실가스 배출의 4.7%, 석유화학 부문 배출의 66%를 차지하였다.

시나리오 분석 결과, 현행 정책만으로는 화석 기반 의존을 근본적으로 줄이기에 부족하며, 재활용, 에코디자인, 수요관리 등 단일 조치의 효과는 제한적이었다. 반면, 수요 감축을 포함한 통합적 개입 시나리오는 플라스틱 소비 43% 감소, 폐기물 58% 감소, 온실가스 배출 60% 감축이라는 유의미한 효과를 보였다. 이는 시스템 전반에 걸친 다각적 접근만이 순환성과 기후 목표 달성에 효과적임을 시사한다. 다만 재생원료 품질, 개방형 재활용, 무역 구성, 미세플라스틱 유출 등은 불확실성이 큰 영역으로, 향후 데이터 정밀화와 투명성 확보가 필요하다. 본 연구는 한국의 플라스틱 전환 전략 수립을 위한 실증적 근거를 제공하며, 장기적이고 체계적인 데이터 시스템 구축이 순환경제 전환의 핵심임을 강조한다.

참고문헌

- An, Jiahui, Fan Wu, Dali Wang, and Jing You, 2022, Estimated material metabolism and life cycle greenhouse gas emission of major plastics in China: A commercial sector-scale perspective, *Resources, Conservation and Recycling* 180: 106161, DOI: 10.1016/j.resconrec.2022.106161
- Bauer, Fredric, Tobias D. Nielsen, Lars J. Nilsson, Ellen Palm, Karin Ericsson, Anna Frane, and Jonathan Cullen, 2022, Plastics and climate change - Breaking carbon lock-ins through three mitigation pathways." *One Earth* 5, no. 4, 361-376, DOI: 10.1016/j.oneear.2022.03.007
- Borrelle, Stephanie B., Jeremy Ringma, Kara Lavender Law, Cole C. Monnahan, Laurent Lebreton, Alexis McGivern, Erin Murphy et al, 2020, Predicted growth in plastic waste exceeds efforts to mitigate plastic pollution, *Science* 369, no. 6510: 1515-1518, DOI: 10.1126/science.aba3656
- Geyer, Roland, Jenna R. Jambeck, and Kara Lavender Law, 2017, Production, use, and fate of all plastics ever made, *Science advances* 3, no. 7: e1700782, DOI: 10.1126/sciadv.1700782
- Jambeck, Jenna R., Roland Geyer, Chris Wilcox, Theodore R. Siegler, Miriam Perryman, Anthony Andrady, Ramani Narayan, and Kara Lavender Law, 2015, Plastic waste inputs from land into the ocean, *Science* 347, no. 6223, 768-771, DOI: 10.1126/science.1260352
- Meng, Fanran, Miguel Brandao, and Jonathan M. Cullen, 2024, Replacing plastics with alternatives is worse for greenhouse gas emissions in most cases, *Environmental Science & Technology* 58, no. 6, 2716-2727, DOI: 10.1021/acs.est.3c05191
- Simon, Nils, Karen Raubenheimer, Niko Urho, Sebastian Unger, David Azoulay, Trisia Farrelly, Joao Sousa et al, 2021, A binding global agreement to address the life cycle of plastics, *Science* 373, no. 6550, 43-47, DOI: 10.1126/science.abi9010
- Smith, Elijah, Melissa M. Bilec, and Vikas Khanna, 2023, Evaluating the global plastic waste management system with markov chain material flow analysis, *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* 11, no. 6, 2055-2065, DOI: 10.1021/acssuschemeng.2c04270
- UNEP, 2022, Initial Considerations for the Intergovernmental Negotiating Committee on the UNEA Resolution 5/14 to End Plastic Pollution : Towards an Interantional Legally Binding Instrument.
- UNEP, 2024, What is the life-cycle approach and how can it help tackle plastic pollution?, <https://www.unep.org/news-and-stories/story/what-life-cycle-approach-and-how-can-it-help-tackle-plastic-pollution> (2025.08.27.)
- Vidal, Fernando, Eva R. van der Marel, Ryan WF Kerr, Caitlin McElroy, Nadia Schroeder, Celia Mitchell, Gloria Rosetto et al, 2024, Designing a circular carbon and plastics economy for a sustainable future, *Nature* 626, no. 7997, 45-57, DOI: 10.1038/s41586-023-06939-z
- Zhu, Xia, Matthew J. Hoffman, and Chelsea M. Rochman, 2024, A city-wide emissions inventory of plastic pollution, *Environmental Science & Technology* 58, no. 7, 3375-3385, DOI: 10.1021/acs.est.3c04348
- 관계부처합동, 2022, 전 주기 탈플라스틱 대책

사사

본 연구의 일부 내용은 “The 12th International Conference on Industrial Ecology (ISIE 2025)”에서 포스터 발표된 바 있음.

기후변화가 전동휠체어를 사용하는 아동의 이동성에 미치는 영향

GPS 데이터를 활용한 실증연구

이성규 고려대학교 비교거버넌스연구소 박사후연구원, 숲과나눔 학업장학생
홍종호 서울대학교 환경대학원 교수

1. 서론

기후변화는 전지구적 현상이지만 기후변화의 영향은 동일하지 않다. 기후변화로 인한 피해는 취약계층에 더 가혹하다는 것은 널리 알려진 사실이며 장애인도 취약계층 중에서도 가장 취약한 집단이다. 하지만 기후변화가 장애인에 미치는 영향을 분석한 연구는 많지 않으며 소수의 선행 연구는 대부분 인터뷰나 설문과 같은 self-reported data에 기반하고 있어 증거로서의 가치는 떨어진다. 이에 반해 본 연구는 GPS를 통해 수집한 데이터를 활용하여 여름 날씨가 전동휠체어를 사용하는 아동의 이동성에 미치는 영향을 분석하였다.

기후변화의 영향은 sudden-onset disaster와 slow-onset events로 구분할 수 있는데 대부분의 사람들은 sudden-onset disaster, 즉 재난에만 관심이 있고 대다수의 연구도 재난에 초점을 맞추고 있다. 하지만 기후변화는 매일의 날씨 역시 변화시킨다. 길어지는 열대야, 더 심각해지는 폭염, 국지성 호우와 같은 악천후는 매일의 일상에서 경험하는 것이며, 장애인은 이러한 변화로 인한 영향도 비대칭적으로 경험하게 된다. 하지만 기후변화가 초래할 일상의 영향에 대한 연구는 거의 진행되고 있지 않은데 본 연구는 여름 날씨가 전동휠체어를 사용하는 아동의 이동에 미치는 영향을 연구하였다.

본 연구가 이동성에 주목하는 이유는 자유롭게 이동할 수 없다는 것이 장애인이 기후변화에 취약하게 만드는 근본 원인이기 때문이다. 가장 직관적으로 기후재난에서 장애인이 더 큰 피해를 보는 이유가 위급한 상황에서 신속하게 대피하지 못하기 때문이다. 장기적 관점에서는 이동성 제약은 장애인이 적응능력(Adaptive Capacity)을 배양할 수 없게 만드는 근본 원인이다. 이동성은 교육을 받고, 경제 생활을 하고 사회에 참여하기 위한 기본 전제이다. 하지만 이동성이 제약되면 이러한 기회가 줄어들고 장기적으로 더 열악한 사회경제적 상황에 놓이게 될 가능성이 높다. 이렇게 되면 기후변화에 더 취약한 곳에 거주할 가능성이 높아지고, 폭염에 취약한 거주 형태에 거주하면서 에어컨과 같은 기후변화 대응 기제도 원활히 활용할 수 없는 상황에 놓여질 가능성이 높아지게 된다.

일상의 이동성 제약이 장기적인 효과로 귀결될 수 있는 시나리오는 현재로서는 소설과 같은 이야기이다. 하지만 각 단계를 입증할 수 있는 증거가 뒷받침된다면 이는 더이상 허황된 소설이 아니다. 따라서 그 첫번째 단계는 일상의 날씨에서 장애인이 경험하는 비대칭적 영향에 대한 실증연구일 것이다. 모든 장애인은 여하한 형태의 이동성 제약을 경험하지만 그 중에서 휠체어 사용자는 가장 대표적인 이동성에 제약을 받는 집단이다. 따라서 본 연구는 휠체어를 사용하는 연구 대상으로 하는 본 연구는 이동성 제약이 미치는 영향을 분석하는데 적합하다. 또한 기후변화를 몸으로 겪어내며 살아가야 할 미래 세대인 아동이 대상이라는 점도 시의적절한 연구 접근이라고 할 수 있다. GPS로 측정한 전동휠체어의 이동 데이터, 여름 날씨가 전동휠체어 사용에 미치는 영향, 그리고 아동 휠체어 사용자, 이 모든 요소는 선행연구가 존재하지 않는 요소이며 본 연구는 해당 분야의 초기 연구로서 중요한 의의가 있다.

2. 본론

1) 기후변화와 장애인 - 일상과 이동성의 중요성

(1) 일상의 중요성

빈번해진 기후 재난을 경험하면서 이제 기후변화의 실체에 대한 논쟁은 거의 사라졌다. 하지만 기후 변화의 결과는 재난에만 국한되지 않는다. 세계기상기구(WMO)의 정의에 따르면 기후는 30년간의 날씨의 평균이며 미국국립해양대기청(NOAA)는 날씨를 우리가 매일 경험하는 기상조건이라고 이야기 하고 있다. 결국 기후가 변화한다는 것은 필연적으로 우리가 일상에서 경험하는 기상조건이 변화하는 것이다. UN 역시 기후변화가 영향을 미치는 경로를 Sudden-onset Disaster와 Slow-onset Event로 구분하고 있다 (OHCHR, 2020). 표현에서도 알 수 있는 것처럼 Sudden-onset "Disaster"는 급박하게 진행되는 재난을 의미하고, Slow-onset "Event"는 점진적으로 진행되는 사건을 의미한다. 하지만 기후변화와 관련된 이미지는 태풍, 홍수, 산불과 같은 재난에 집중되어 있고 연구의 측면에서도 그러하다.

재난은 엄청난 피해를 야기하지만 그 확률은 상대적으로 낮다. 사건의 빈도도 낮고 개인이 그 사건의 현장에 존재할 확률이 조합되면 확률은 더 낮아진다. 하지만 일상의 날씨로 인한 영향은 훨씬 더 높은 확률로 더 큰 집단이 경험하게 된다. 반면에 날씨로 인한 영향의 크기는 아주 작다. 휠체어를 타는 한 학생은 비가 와서 하루 정도 학교를 가지 못할 수 있고 등교 일수가 하루 적어지는 것의 영향은 미미해서 계량이 불가능할 수도 있다. 하지만 일상의 영향이 중요한 이유는 이러한 사건은 반복되고, 그 영향은 누적된다는 것이다. 펜스테이트 와튼 스쿨의 박지성 교수 역시 기후변화가 유발하는 일상의 효과를 "slow burn" 이라고 표현하면서 기후변화가 초래하는 일상의 효과는 눈에 띄지 않지만 천천히, 그리고 오랜 시간에 걸쳐 우리 일상에 영향을 준다고 이야기 하고 있다 (Park, 2024).

IPCC는 기후변화로 인한 리스크를 위험(hazard), 노출, 취약성의 함수로 제시하고 있다. 이는 리스크 프로펠러라고도 하는데 날개가 클수록 더 위험이 높아진다. 위험은 인간이 통제할 수 없는 요인이라고 할 때 노출과 취약성을 구성하는 요소의 많은 부분이 적응(adaptation)의 영역임을 알 수 있다. 이는 취약계층을 대입해서 생각해 보면 더 직관적으로 알 수 있는데 예시에 나온 것처럼 쪽방촌이라는 주거 형태(housing quality), 홍수 취약 지역(location), 저소득층(socio-economic status) 등과 같이 리스크를 높이는 요인은 결국 경제력이나 교육 수준과 관련된 형태로서 이는 장기적으로 형성되는 개인의 능력이다. 기후변화 측면에서 일상이 중요한 이유는 이러한 적응 능력은 일상이 누적되면서 장기적으로 형성되기 때문이다. 따라서 매일의 일상에서 차별적인 영향을 받는다면 이러한 효과는 누적되어 장기적인 적응능력의 저하로 연결될 수 있다.

(2) 이동성의 중요성

이동성이 중요한 이유는 장애인이 기후변화에 취약하게 되는 근간에 이동성의 제약이 있기 때문이다. 가장 직관적으로는 기후변화로 인한 기후 재난이 닥쳤을 때 장애인의 사망률은 비장애인의 4배에 달한다는 연구 결과가 있다 (Stein, 2021). 그리고 이는 많은 부분 장애인이 스스로 대피할 수 없다는 사실에 기인한다 (National Council on Disability, 2006). 장기적 관점에서도 이동성이 제약되는 것은 기후위기에 더 취약할 수밖에 없는 요인이다. 앞서 언급한 것과 같이 적응 능력은 경제활동, 교육수준 등과 밀접히 연관되어 있는데 이동성은 경제활동에 참여하고, 학교에 가고, 사회활동에 참여하기 위한 전제 조건이다. 하지만 이동성이 제약되면 이러한 활동이 불가능해지고 이는 장기적으로 적응능력 배양에 실패하게 되는 원인이 된다.

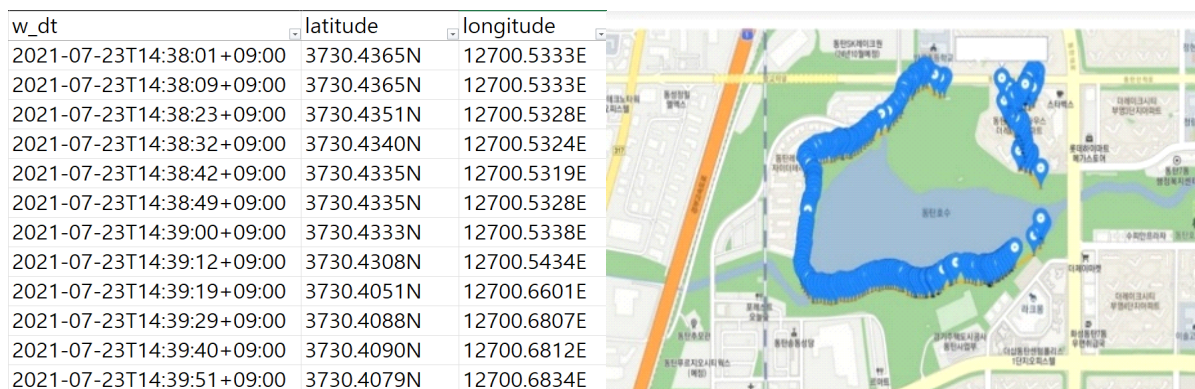
모든 장애인은 이동성의 제약을 가지고 있다. 걷는 것이 자유로운 청각장애인조차 비장애인에 비해 이동성이 떨어진다. 하지만 이동성이 제약되는 가장 대표적인 집단은 휠체어를 사용하는 장애인이다. 휠체어를 사용하는 집단은 뇌병변 장애인, 근육질환자, 척수 질환자 등 다양한 형태를 포함하며 전세계적

으로는 8천만명, 우리나라에서만 20만명 정도의 인구가 휠체어를 사용한다 (WHO, 2023, KOSIS, n.d.). 이렇게 많은 숫자의 사람들이 휠체어에 의존하여 생활하고 있는데 일상에서 날씨로 인해 비장애인보다 더 큰 영향을 받고 있고, 기후변화로 인해 이동을 제약하는 날씨가 더 빈번히 발생한다면 이들은 장기적으로 더 열악한 처지에 처하게 될 것이다. 따라서 날씨가 이들의 이동성에 미치는 영향을 더 면밀히 분석할 필요가 있다.

2) 선행연구가 부재한 영역의 연구

(1) GPS 데이터의 사용

기존의 장애 관련 연구는 거의가 다 당사자나 보호자의 진술(Self-reported statement)에 의존해왔다. 인터뷰나 설문에 근거한 데이터와 이를 활용한 연구는 귀중한 기초자료이다. 당사자의 이야기를 직접 청취함으로써 숫자 이면의 맥락을 파악할 수 있고, 이 자체로 귀중한 데이터원이다. 장애 분야와 같이 가용 데이터가 한정적이며 모집단 자체가 소수인 경우에는 더 그러하다. 하지만 진술에 근거한 데이터에는 몇 가지 약점이 있다. 가장 두드러지는 약점은 사람들이 말하는 것과 실제로 행동하는 것은 꼭 일치하지 않는다는 것이다. 기억에 의존하다보면 기억이 불확실할 수도 있고, 현실과는 다른 바람직한 행동을 이야기 할 수도 있다. 따라서 현실을 정확히 반영하지 못할 수 있다는 문제가 있다. 이에 반해 본 연구에서 사용한 GPS 데이터는 휠체어를 사용자의 실제 이동을 기록한다. 따라서 이를 활용하여 생성한 데이터는 실제 사용자의 행동(behavior)에 근거하여 날씨가 사용자의 이동성에 미치는 영향을 객관적으로 분석할 수 있다.



(2) 여름 날씨의 효과 분석과 아동을 모집단으로 한 분석

휠체어 사용과 관련한 선행연구는 거의 대부분이 겨울 날씨의 효과에 집중하고 있다 (Henje et al., 2021; Ripat et al., 2015). 이는 연구가 진행된 국가가 스웨덴, 캐나다와 같이 겨울이 길고 혹독한 국가인 것이 원인일 수 있는데 기후변화와 관련해서는 여름 날씨의 효과를 분석하는 것이 더 요구되는 시점이다.

본 연구는 휠체어를 사용하는 아동 50명의 데이터를 사용하여 아동의 이동성을 분석하였다. 야외 활동과 이동은 성장기 아동에는 더 특별한 의미가 있다. 이는 아동의 성장과 발달에도 영향을 미치며 이들의 이동 패턴은 성인의 이동 패턴과도 차이가 있기 때문이다. 더 나아가 기후변화로 인한 결과를 몸으로 경험하며 살아가야 할 미래세대라는 점에서 아동을 대상으로 한 연구는 더 의미가 있다.

3. 결론

장애인이 기후변화로 인해 더 큰 영향을 받는다는 것은 일반적으로 받아들여지지만 이를 뒷바침하는 실증연구는 거의 진행된 것이 없다. 하지만 이 연구는 GPS 데이터를 사용하여 이를 실증연구로 풀어냈다. 장애인이 오늘의 일상을 잘 살아내는 것이 임박한 기후변화를 위한 가장 근본적인 대비라는 측면에서 이 연구는 날씨가 휠체어를 사용하는 장애 아동의 이동에 미치는 영향을 분석하였다.

참고문헌

- KOSIS. (n.d.). 주요 장애인보조기구 필요 및 소지 현황
https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?sso=ok&returnurl=https%3A%2F%2Fkosis.kr%3A443%2FstatHtml%2FstatHtml.do%3FtblId%3DDT_11732S0113%26orgId%3D117%26
- OHCHR. (2020). Analytical study on the promotion and protection of the rights of persons with disabilities in the context of climate change. <https://wid.org/2018/09/25/ned-intro>
- Park, R. J. 『Slow Burn: The hidden costs of a warming world』 Princeton University. 2024
- Stein, Penelope, Stein, Michael. (2021), Climate change and the right to health of people with disabilities, The Lancet, vol 10, doi:10.1016/S2214-109X(21)00542-8
- World Health Organization. (2023). Wheelchair provision guidelines.

사사

이 연구는 2023년 하계 환경경제학회와, 2024년 동계 기후변화학회에서 발표되었습니다.

폭염기간 대학캠퍼스 건물 실내 온열환경 분석과 취약노동자를 위한 패시브건축 개선방안 연구

정혜원, 전형진, 강다현, 김정윤, 성혜민 계명대학교 건축학과 학부생
이종원 계명대학교 건축학과 조교수

1. 서론

기후변화로 인한 폭염 심화는 건물 실내 온열환경 관리의 중요성을 증대시키고 있다. 대구광역시 연평균 폭염일수가 30.3일에 달하는 국내 최고 폭염 지역으로, 여름철 실내 열환경이 거주자 건강에 미치는 영향이 특히 크다(현철승 외, 2018). ASHRAE Standard 55-2020은 여름철 실내 쾌적온도를 23-27°C, 상대습도를 30-60%로 제시하고 있으나, 이에 대한 국내 연구들은 오피스 건물에 집중되어 있으며 캠퍼스 대학 건물에 대한 연구는 미미하다.

대학 캠퍼스 건물에서 장시간 근무하는 환경미화원 등 취약노동자들은 열악한 실내 열환경에 지속적으로 노출되어 있다. 그러나 기존 연구들은 주로 기계설비 중심의 액티브 시스템에 의존하여 에너지 소비를 증가시키는 한계를 보였다. 패시브 건축 기술은 자연환기, 차양, 단열 등을 통해 에너지 소비 없이 실내 열환경을 개선할 수 있는 지속가능한 대안이다.

본 연구는 여름철 대학건물의 실내 온열환경을 정량적으로 분석하고, 취약노동자의 체감경험을 통합하여 패시브 건축 기술 기반의 실질적 개선방안을 도출하고자 한다. 구체적으로는 IoT 센서를 활용한 대규모 열환경 모니터링을 실시하고, 환경미화원의 참여형 조사를 통해 체감 건강영향을 파악하며, 건물 유형별 맞춤형 패시브 건축 개선전략을 제시한다.

2. 본론

1) 연구 대상 및 측정

대구시에 위치한 26개 캠퍼스 건물을 대상으로 2025년 7월 1일부터 8일까지 온습도를 측정하였다. Arduino 기반 센서 30대와 상용 센서 22대를 활용하여 총 52개 지점에서 983,426개의 데이터포인트를 수집하였다. 센서는 ASHRAE 62.1 기준에 따라 바닥으로부터 1.2-1.4m 높이에 설치하였다.

2) 건물 유형 분류 및 분석

K-means 클러스터링 알고리즘을 적용하여 건물을 3개 유형으로 분류하였다. Elbow method로 최적 클러스터 수를 결정하고, 실루엣 계수 0.68로 군집 품질을 검증하였다. ASHRAE 쾌적기준 대비 이탈도를 산출하여 각 클러스터의 온열환경 특성을 정량화하였다.

3) 취약노동자 참여형 조사

고온 건물과 온도변동이 큰 건물에서 근무하는 환경미화원 4명을 대상으로 심층인터뷰를 실시하였다. 5점 리커트 척도 14개 문항과 개방형 질문을 통해 온열환경 체감도, 건강영향, 건축적 개선요구사항을 조사하였다.

3. 결과 및 토의

1) 실내 온열환경 실태 분석

클러스터 1의 4개 건물은 평균온도 29.5°C로 ASHRAE 기준을 2.5°C 초과하였으며, 측정시간의 78%가 쾌적범위를 벗어났다. 클러스터 2의 8개 건물은 평균습도 76.2%로 기준을 16.2%RH 초과하여 곰팡이 증식 위험수준에 도달하였다. 클러스터 3의 11개 건물은 평균온도 30.8°C로 가장 열악하였으며, 공학관의 경우 최고온도 35°C를 기록하였다. 전체 26개 건물 중 23개가 ASHRAE 기준을 벗어나 88.5%의 부적합률을 보였다.

2) 취약노동자 체감경험

환경미화원들은 공통적으로 여름철 극심한 더위를 호소하였으며, 특히 공학관 근무자는 창문을 열어 도 공기가 통하지 않는 환기불량을 지적하였다. 음악공연예술대학 지하 근무자는 과도한 습도로 인한 호흡곤란과 관절통을 경험하였다. 이들의 체감경험은 측정된 기준 이탈도와 높은 상관성을 보였으며, 일반 재실자보다 4-8시간 더 긴 노출시간으로 건강위험이 가중되고 있었다.

3) 클러스터별 맞춤형 전략/패시브 건축 개선방안

클러스터 1의 중온 건물들은 외부차양 설치와 옥상녹화를 통해 일사획득을 감소시킬 필요가 있다. 남향 창호에 수평 루버를 설치하면 여름철 직달일사를 차단하면서도 자연채광은 유지할 수 있다. 클러스터 2의 고습 건물들은 자연환기 경로 확보가 시급하다. 맞통풍 창호 설치와 굴뚝효과를 활용한 수직환기 시스템을 도입하면 기계환기 없이도 습도를 감소시킬 수 있다. 특히 지하공간은 드라이에어리어 조성으로 자연환기를 유도해야 한다. 클러스터 3의 고온 건물들은 통합적 패시브 전략이 필요하다. 쿨루프 기술 적용시 옥상표면 온도를 낮출 수 있으며, 이중외피 시스템은 외벽 열부하를 감소시킨다. 아트리움 상부에 자동개폐창을 설치하면 열기 배출과 야간 냉각이 가능하다. 단기적으로는 차양막 설치, 반사필름 부착, 이동식 파티션을 통한 공간 재구성이 가능하다. 중기적으로는 창호 개선, 단열보강, 환기구 추가설치를 시행하고, 장기적으로는 외피 리모델링과 패시브 하우스 수준의 성능 향상을 목표로 해야 한다.

4. 결론

본 연구는 캠퍼스 대학건물 온열환경의 폭염시간 실태를 정량적으로 입증하고, 취약노동자 관점에서 패시브 건축 개선방안을 제시하였다. 88.5%에 달하는 ASHRAE 기준 부적합률은 실내 온열환경 개선 개입의 필요성을 시사한다. 제시된 패시브 건축 전략들은 탄소중립을 위한 에너지 소비 증가 없이 실내 온열환경을 개선할 수 있는 실질적 대안이다. 클러스터별 맞춤형 접근은 한정된 자원으로 최대 효과를 거둘 수 있게 하며, 단계별 개선안은 예산과 우선순위에 따른 유연한 적용을 가능하게 한다. 대학 건물 신축 및 리모델링 시 패시브 건축 설계 의무화, 취약노동자 근무공간 열환경 모니터링 제도화, ASHRAE 기준 준수 가이드라인 방안을 제안한다. 아울러, 계절별 장기 모니터링을 통한 연간 열환경 변화 추적, 패시브 기술 적용 전후 비교 실증연구, 비용편익분석을 통한 경제성 평가가 필요하다. 또한 거주자 참여형 POE(Post Occupancy Evaluation)를 통해 개선효과를 지속적으로 검증해야 한다.

본 연구는 기후위기 시대에 에너지 절감과 거주자 건강을 동시에 달성할 수 있는 패시브 건축의 가능성을 실증하였으며, 특히 취약노동자 보호를 위한 건축계획적 접근의 중요성을 강조한다.

참고문헌

- 김재경, 김원희, 김은일, 2020, 캠퍼스 내 녹지공간의 온도분석 및 온도영향요인 규명 실험, 한국산학기술학회 논문지, 21(2), 511-520
- 박용관, 고명진, 장재동, 김용식, 2014, 신축 대학건물의 하절기 실내 열환경 실태 측정 및 평가, 한국생활환경학회지, 21(2), 169-175
- 정승우, 이권형, 김인한, 추승연, 2013, Green BIM 기반 초기설계 단계에서 타입별 아트리움의 규모산정에 관한 연구, 한국 CDE 학회 논문집, 18(1), 58-70
- 정창현, 황석호, 박병용, 2014, 캠퍼스 건물 유형에 따른 중간기 실내 열쾌적성 분석, 대한건축학회연합논문집, 16(4), 187-194
- 현철승, 노상현, 김도형, 손수영, 백윤정, 김규량, 이주영, 2018, 서울과 대구 지역 거주 성인 남성의 여름철 폭염 인지 및 체온조절성 행동 비교, 한국지역사회생활과학회지, 29(1), 17-32
- Aqilah, N., Rijal, H. B., Zaki, S. A., 2022, A review of thermal comfort in residential buildings: comfort threads and energy saving potential, Energies, 15(23), 9012, <https://doi.org/10.3390/en15239012>
- ASHRAE, 2019, ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2019: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta
- ASHRAE, 2020, ANSI/ASHRAE Standard 55-2020: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta
- Asthana, A., Sethuramalingam, R., Weston, P., Goel, M., Kandasamy, S., 2017, Prediction of Thermal Performance of Glass Roof Atriums using CFD Modelling
- Bamdad, K., Cholette, M. E., Omrani, S., Bell, J., 2023, Integration of building energy simulation with multi-objective optimization: A case study of HVAC control strategies, Energy and Buildings, 278, 112598, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112598>
- European Committee for Standardization (CEN), 2019, EN 16798-1: Energy performance of buildings – Ventilation for buildings – Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics, CEN, Brussels
- Pereira, P. F., Ramos, N. M., 2022, Low-cost Arduino-based temperature, relative humidity and CO2 sensors –An assessment of their suitability for indoor built environments, Journal of Building Engineering, 60, 105151, <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.105151>
- Sanaye, S., Taheri, M., 2018, Modeling and multi-objective optimization of a modified hybrid liquid desiccant heat pump (LD-HP) system, Applied Thermal Engineering, 143, 956-969, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.07.003>
- Santamouris, M., 2017, Passive cooling of buildings, in Advances in Solar Energy: Volume 16, 295-344, (Springer, Cham). https://doi.org/10.1007/978-3-319-09707-0_8
- Vakilinezhad, R., Khabir, S., Assadi, S. M., 2023, Cool roof strategies for urban heat island mitigation in hot-dry climates, Energy and Buildings, 278, 112598, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112598>
- We, S., Lee, J., Kim, S., Kim, S., Chang, J. D., 2014, Indoors Thermal Environment by Vertical Temperature Differences in Atrium Space, Journal of the Korea Furniture Society, 25(2), 122-128
- Wolkoff, P., 2018, Indoor air humidity, air quality, and health - An overview, International Journal of Hygiene and Environmental Health, 221(3), 376-390, <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2018.01.015>

사사

본 과제(결과물)는 2025년도 교육부 및 대구광역시의 재원으로 RISE센터의 지원을 받아 수행된 지역혁신중심 대학지원체계(RISE)의 결과입니다.(과제관리번호: 2025-RISE-03-002)

구두발표 세션 3.

지속가능2

- 튀니지 올리브산업의 정의로운 전환을 위한 젠더 인지적 개선방안
이정성 전북대학교 프랑스아프리카 연구소 HK연구교수
- 마을자치 활성화를 위한 동 단위 중간지원조직의 성과와 과제: 광주 북구 용봉동 마을발전소 사례를 중심으로
장현규 전남대학교 일반대학원 호남학과 석사과정, 숲과나눔 학업장학생
- 다중밀집사고 방지를 위한 데이터 기반 도시계획: 10·29 이태원 참사로부터의 교훈
구한민 연세대학교 도시공학과 박사후연구원
김서영 연세대학교 도시공학과 석박사통합과정
정민승 연세대학교 도시공학과 박사 수료
- 한국의 녹색정치 담론 형성과 정치세력화 과정 연구
박제민, 박진영, 손어진 녹색정치연구소
- 나다운 삶을 찾아서? 고립 청년 지원의 딜레마
김미소 듣는연구소 협동조합, 숲과나눔 연구장학생

튀니지 올리브산업의 정의로운 전환을 위한 젠더 인지적 개선방안

이정성 전북대학교 프랑스아프리카 연구소 HK연구교수

1. 서론

최근 ‘정의로운 전환(Just Transition)’ 개념은 기후변화가 다양한 산업에 미치는 영향과 일자리의 재정의가 가속화됨에 따라 학계와 정책 현장에서 다시금 주요 의제로 부상하고 있다. 정의로운 전환은 1970년대 노동조합과 사회운동가들의 논의에서 비롯되었으나, 본격적으로 학문적 논의가 활발해진 것은 2000년대 이후이다. 이 개념은 에너지 및 기후 위기에 대응하는 과정에서 형평성과 정의의 원칙을 강조한다. 그러나 보편적 정의의 부재로 인해 해석과 활용에서 상당한 모호성이 존재하며, 실증적 분석을 마련을 위한 연구 역시 부족한 실정이다. 특히 노동 중심적 시각, 일관된 정의 프레임워크 사회 기술적 전환 이론, 거버넌스 전략, 그리고 대중 인식 등 다차원적 접근이 요구되고 있다(Wang, & Lo 2021).

농업 부문은 기후 변화, 기술혁신, 노동 역동성이 복합적으로 작용하는 대표적 영역이다. 특히 지능형 기술 도입 확산과 함께 고용구조가 크게 변화하고 있는데, 이러한 변화는 여성의 배제와 성별 불평등을 지속시키는 요인으로 작동하고 있다. 여성들은 직업훈련 및 기회에서 소외되고 있으며, 이는 전통적으로 남성 중심의 농업 부문에서 젠더 격차를 더욱 고착화시킨다. 따라서 기후 변화 대응뿐 아니라, 장기적으로 포용적이고 젠더 감수성이 반영된 정책 설계가 필수적이다.

본 연구는 튀니지의 올리브 오일 산업을 사례로 하여, 기후 변화 및 디지털 전환 과정에서 농업 부문의 정의로운 전환이 얼마나 젠더 대응적으로 이루어지고 있는지 실증적으로 고찰한다. 올리브오일 산업은 여성의 기여도가 높음에도 불구하고, 토지 소유, 임금, 자원 접근 등에서 여전히 구조적 불평등이 만연하다. 최근 ‘Mind the Gap’ 프로젝트와 같은 개입이 진전과 한계를 동시에 보여주고 있으나, 여성의 삶의 경험에 기반한 실증연구는 더욱 요구되고 있다. 연구의 주요 질문은 다음과 같다.

- (1) 튀니지 올리브오일 산업은 기후 적응 및 기술혁신을 전환 과정에서 젠더 대응 전략을 어느 정도 이행하고 있는가?
- (2) 올리브 산업 내 여성의 훈련·기술 수용·리더십 역량 강화에 있어서 주요 장벽과 기회는 무엇인가?
- (3) ‘Mind the Gap’ 프로젝트 등 현행 정책 개입이 성 불평등 해소 및 포용적 정의로운 전환에 미치는 효과는 무엇인가?

2. 본론

1) 연구방법론

본 연구는 구성주의적 접근을 바탕으로, 기후 행동과 젠더 규범이 정책과 실천에서 어떻게 상호 구성되는지 분석한다. 구성주의는 정의로운 전환을 고정된 기준이 아닌 사회적 행위자들에 의해 형성·재생산되는 규범과 담론의 집합으로 해석한다(Winkler 2020). 이에 따라 이념적 요인(구성적·운영적 규범, 담론, 인과적 신념 등)이 실질적 변화의 핵심임을 강조한다(Haas 2004; Moses & Knutsen 2007).. 또한 본 연구는 튀니지 농업 정책 문서, 정부 및 국제기구 통계, 주요 이해관계자(주한 튀니지 대사관, NGO, 학계) 심층 인터뷰, 그리고 ‘Mind the Gap’ 프로젝트 사례연구 등 혼합 연구 방법을 사용하였다.

2) 튀니지 올리브 오일 산업의 젠더 불평등 현황

튀니지 농업은 전통적으로 남성 주도적이거나, 여성 역시 노동력의 70%를 차지할 만큼 중요한 역할을 해왔다. 그러나 여성의 농지 소유율은 약 6%에 불과하며, 임금 역시 남성 대비 12~15디나르(여성)/20~25디나르(남성)로 현저한 격차가 존재한다(Najjar et al. 2019). <표 1>에서 보듯이 여성의 상당수는 계절노동자로 고용의 불안정성이 심각하며, 상시·정규직 진입은 제한적이다

<표 1> 올리브 오일 산업 내 고용구조 및 성별 분포

구분	전체 인원	여성(명)	여성 비율(%)
상시 노동자 (일반)	45,082	2,470	5.5
상시 노동자 (숙련)	2,948	597	20.3
임시 노동자	126,584	-	-

2023년 Gender Inequality Index(GII) 기준 튀니지는 62위로 비교적 높은 성평등 수준을 보이나, 여성 경제활동 참가율(26.7%)은 세계 평균(48.5%)에 한참 못 미친다(United Nations n.d.). 농업 내 여성의 역할이 사라지지 않음에도 자원에 대한 접근, 기술 훈련, 의사결정 참여 등에서 구조적 장벽이 지속되고 있다.

<표 2> 튀니지와 세계 평균의 주요 젠더 지표 비교

지표	튀니지	세계 평균
젠더 불평등지수(GII)	0.238	0.455
모성 사망률(10만 명당)	37	216
15~19세 출산율(천 명당)	4.3	39.1
국회 여성의원 비율(%)	16.2	26.5
중등교육 이상 인구(% , 25세 이상)	여성	62.0
	남성	70.2
경제활동 참가율(% , 15세 이상)	Female	48.5
	Male	74.1

3) 여성 농민의 도전과 기회

농촌 여성은 임금, 고용불안 외에도 장시간 무급 가사 노동, 소득 활동 접근 제약 등 다중적 어려움을 겪는다. 여성의 농업 기술교육 참여율은 남성의 절반 이하로, 이는 기술 도입 및 농가 생산성에 부정적 영향을 미친다. 자산(토지·가축) 소유의 제약은 대출, 기후충격 회복력 저하로 이어진다. ‘Mind the Gap’ 프로젝트는 남녀 동반 기술·경제·조직 역량 강화 교육을 시행해 긍정적 변화를 유도했다. 남녀가 함께 교육받을 때, 기술 채택(예: 신종종 보리, 백신, 비료 등) 확산 효과가 높았다. 그러나 자원·정보 접근의 불평등, 사회적 규범 등 구조적 제약은 여전히 존재한다.

3. 결론

본 연구는 튀니지 올리브 오일 산업에서 여성 노동의 비가시성과 구조적 불평등이 정의로운 전환과 기후회복력 제고를 동시에 저해하고 있음을 실증적으로 보여준다. ‘Mind the Gap’ 등 젠더 포용적 개입은 부분적 성과(기술 확산, 역량 증진 등)를 보였으나, 토지·자원 소유, 신용 접근, 의사결정 등 근본적 격차 해소 없이는 지속 가능한 성평등 달성에 한계가 있다. 구성주의적 접근은 기술적·제도적 개혁뿐 아니라, 젠더 규범과 권력구조 자체에 대한 도전이 병행되어야 함을 시사한다. 정의로운 전환의 실현을 위

해서는 모든 정책 과정에서 젠더 분석이 통합되어야 하며, 성별 분리 데이터에 기반한 모니터링, 자원·의사결정 참여의 평등 보장, 사회 규범 변화 노력이 병행되어야 한다. 결론적으로, 튀니지 농업 부문의 젠더 대응적 정의로운 전환은 기후 위기 대응의 실질적 효과성과 산업의 지속가능성을 위해 필수적이다. 향후 정책 및 사업은 젠더 관점을 출발점으로 삼고, 구조적 불평등 해소를 위한 포괄적 접근을 강화해야 할 것이다.

참고문헌

- Balima, H., & Gomes, D. (2022). Addressing Gender Gaps in MENA Labor Markets. Challenges and Opportunities in a Post-Pandemic World, 75.
- Blattner, C. (2020). Just transition for agriculture? A critical step in tackling climate change. *Journal of Agriculture, Food Systems, and Community Development*, 9(3), 53-58.
- Gaillard, C., Bosc, P. M., El-Ati, J., & Dury, S. (2022). Pathways leading women in farming households to food security: an empirical study in Central Tunisia. *Review of Agricultural, Food and Environmental Studies*, 103(1), 51-76.
- Galgóczi, B. (2020). Just transition on the ground: Challenges and opportunities for social dialogue. *European Journal of Industrial Relations*, 26(4), 367-382.
- Govind, A. (2022). Towards climate change preparedness in the MENA's agricultural sector. *Agronomy*, 12(2), 279.
- Haas, P. (2004). When does power listen to truth? A constructivist approach to the policy process. *Journal of European Public Policy*, 11(4), 569-592.
- Lamont, C. K., & Pannwitz, H. (2016). Transitional justice as elite justice? Compromise justice and transition in Tunisia. *Global Policy*, 7(2), 278-281.
- Maayoufi, D., Farkas, T., & Bruder, E. (2020). Empowerment through entrepreneurship: rural women in Tunisia. *Studia Mundi - Economica*, 7(4), 125-131.
- Malhi, G. S., Kaur, M., & Kaushik, P. (2021). Impact of climate change on agriculture and its mitigation strategies: A review. *Sustainability*, 13(3), 1318.
- Moses, J.W. and Knutsen, T.L. (2007). *Ways of knowing: competing methodologies in social and political research*. Basingstoke: Palgrave Macmillan.
- Mustapha Jouli, 2023, Olive Oil and Water: Moving towards sustainable agricultural trade between the EU and Tunisia, Transnational Institute, Issue brief No.1
- Najjar, D., Oueslati, D., Werner, J., Baruah, B. (2019). Gender and agriculture in Tunisia: A brief country report. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas.
- Namdar, R., Karami, E., & Keshavarz, M. (2021). Climate change and vulnerability: the case of MENA countries. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(11), 794.
- Özşuca, E. A. (2019). Gender gap in financial inclusion: Evidence from MENA. *Economics and Business Letters*, 8(4), 199-208.
- Sayer, A. (2010). *Method in social science: revised 2nd edition*. Routledge.
- Stone, K., Blinn, N., & Spencer, R. (2022). Mental health impacts of climate change on women: a scoping review. *Current environmental health reports*, 9(2), 228-243.
- United Nations. (n.d.). Documentation and downloads. Human Development Reports.
- Wang, X., & Lo, K. (2021). Just transition: A conceptual review. *Energy Research & Social Science*, 82, 102291.
- Wendt, A. (1999). *Social theory of international politics (Vol. 67)*. Cambridge University Press.
- Winkler, H. (2020). Towards a theory of just transition: A neo-Gramscian understanding of how to shift development pathways to zero poverty and zero carbon. *Energy Research & Social Science*, 70, 101789.
- Zaiabet, L. T., & Dunn, E. G. (1998). Land tenure, farm size, and rural market participation in developing

- countries: the case of the Tunisian olive sector. *Economic Development and Cultural Change*, 46(4), 831-848.
- “Gender Inequality Index (GII)”,
<https://hdr.undp.org/data-center/thematic-composite-indices/gender-inequality-index#/indicies/GII> (2025년 8월 19일)
 - “Mind the Gap: Bringing climate-smart solutions to the field in Tunisia”,
<https://icarda.org/media/blog/mind-gap-bringing-climate-smart-solutions-field-tunisia> (2025년 8월 19일)
 - “Towards a just agricultural transition in North Africa”,
<https://www.tni.org/en/article/towards-a-just-agricultural-transition-in-north-africa> (2025년 8월 19일)
 - “Tunisian Women Producers Making a Mark in a Man’s”,
 World<https://www.oliveoiltimes.com/world/tunisian-women-producers-making-a-mark-in-a-mans-world/64329>
 (2025년 8월 19일)

사사

이 논문 또는 저서는 2025년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임
 (NRF-2025S1A6B5A01003729)

마을자치 활성화를 위한 동 단위 중간지원조직의 성과와 과제

광주 북구 용봉동 마을발전소 사례를 중심으로

장현규 전남대학교 일반대학원 호남학과 석사과정, 숲과나눔 학업장학생

본 연구는 광주광역시 북구 용봉동에서 지난 2014년부터 약 11년 동안 지속적으로 활동해 온 마을발전소 사례를 중심으로 마을자치 활성화를 위한 동 단위 중간지원조직의 성과와 한계를 분석하고, 향후 발전 방향을 제시하고자 한다. 주민과 행정 사이를 연결하고, 자원과 정보를 매개하는 역할을 수행하고자 광주광역시와 5개 자치구에서는 총 6개의 중간지원조직을 운영하고 있다. 그러나 6개 중간지원조직 모두 광역 및 기초 단위를 관할 하도록 업무가 배정되어 있어 실질적인 주민생활 영역인 행정동 단위에 대한 지원은 역부족인 실정이다. 또한 대부분의 중간지원조직이 직영·위탁 형태로 운영됨에 따라 행정에 재정적, 정치적으로 예속되어 운영에 대한 자율성과 독립성이 제한될 수밖에 없다. 이런 상황에서 심지어 몇몇 중간지원조직은 자치구 정책기조를 주민들에게 강요하거나 자치구 행사에 주민을 동원하는 등 자치단체장의 선거조직으로 전락하기도 한다. 한편, 동별 주민자치회에는 해당 행정동의 주민대표기구 자격을 부여하며 마을활동의 중심 역할을 담당하도록 하는 등 동 단위의 중간지원조직 역할을 수행할 수 있도록 하는 여러 시도가 이어지고 있다. 그러나 주민자치회의 전신격인 주민자치위원회가 가지고 있던 행정예속적인 특성에서 여전히 자유롭지 못한 상황과 주민자치회가 동 전체 주민을 대표한다기보다 자치위원 간 친목모임 정도로 운영되는 등의 한계를 여전히 가지고 있다.

그러나 풀뿌리 자치분권을 통한 실질적인 주민주권 실현을 위해서는 주민의 일상적인 생활공간인 행정동 단위에서 주민이 주도하는 주민자치가 절실히 요구된다. 이에 본 연구는 마을발전소를 동 단위 중간지원조직으로 개념화하고, 문헌 분석, 현장 관찰, 인터뷰 등을 통해 성과와 과제를 살펴보았다. 분석 결과, 마을발전소는 주민 주도의 단체 설립, 다양한 주민공동체 활동 지원, 주민활동가 발굴 및 성장지원, 동 단위 지역 협치네트워크 구축 및 운영, 주민자치를 통한 마을계획 수립 등에서 성과를 거두었다. 그러나 동시에 재정적 자립 기반 부족, 제도적 위상의 불안정, 주민 참여의 편중, 기존 자생단체와의 갈등 등의 한계도 확인되었다. 이러한 성과와 한계를 종합적으로 고찰한 결과, 동 단위 중간지원조직은 주민 일상에 밀착되어 마을공동체적 감수성을 기반으로 주민 주도성을 통해 지역사회 문제 해결에 실효성 있는 개입이 가능하며, 제도적 기반과 지원 체계의 확립을 통해 그 역할을 강화할 필요가 있음을 확인하였다.

본 연구는 마을자치 활성화를 위한 동 단위 중간지원조직의 필요성과 제도적 인정, 안정적인 재정 및 인력 확보, 마을공동체적 감수성에 기반한 운영 방안 등을 제언하였다. 다만, 단일 지역 사례에 국한된 한계가 있으며 향후 연구에서는 다양한 지역과의 비교, 계량적 분석, 정책 실행 효과에 대한 종단적 연구가 필요하다.

다중밀집사고 방지를 위한 데이터 기반 도시계획

10·29 이태원 참사로부터의 교훈

구한민 연세대학교 도시공학과 박사후연구원

김서영 연세대학교 도시공학과 석박사통합과정

정민승 연세대학교 도시공학과 박사 수료

1. 연구 배경 및 목적

20세기 중반 급격한 산업화와 도시화로 인해 세계 대도시에서 인구가 밀집하고 있다. 2000년만 해도 47%였던 세계 도시화율은 2024년 현재 약 60%에 육박하고 있다. 도시화에 따라 도시 환경이 입체화·고밀화·복합화하면서 많은 도시민은 예측 불가능한 재난을 마주하게 되었다(Sawalha, 2023). 특히 세계 여러 도시에서는 군중 재난이 반복적으로 발생하고 있지만, 여전히 대도시들은 충분한 대비책을 마련하지 못하고 있다. 이미 수많은 사고를 통해 교훈이 제시되었음에도 불구하고, 그 경고가 정책으로 이어지지 못하고 있는 것이다. 실제로 2022년 우리나라의 10·29 이태원 참사 이후에도 예멘 사나, 엘살바도르 산살바도르, 콩고 브라자빌 등지에서 군중밀집사고가 연이어 발생하였다. 이는 군중 재난이 특정 국가나 지역에 국한된 문제가 아니라, 세계 대도시가 공통적으로 직면한 구조적 위험임을 시사한다.

군중밀집사고를 다룬 선행연구들은 대부분 일련의 사건 그 자체에만 시간적·공간적 범위를 맞추고 있어, 도시적 맥락의 상호작용에 대한 고려는 거의 이루어지지 않고 있다. 또한 군중 움직임의 동적 변화를 과학적 방법으로 정량적으로 분석한 시도는 극히 제한적이었다. 이러한 연구의 공백을 메우기 위해, 본 연구는 이태원 참사를 시간적·공간적 측면에서 나누어 분석하고 이를 통합적으로 이해하고자 한다. Barr et al.(2024)은 군중 재난의 핵심 원인을 짧은 시간 동안 수많은 인파가 제한된 공간에 집중하는 데서 찾고 있다. 본 연구 역시 이러한 관점을 토대로 하되, 도시적 맥락을 고려하여 이태원 참사의 원인을 규명하고자 했다. 이 참사는 선진국에서 발생한 21세기 최대 규모의 군중밀집사고로 기록되고 있어, 연구 결과는 세계 대도시의 데이터 기반 안전 관리에 중요한 자료를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 실증 분석 결과

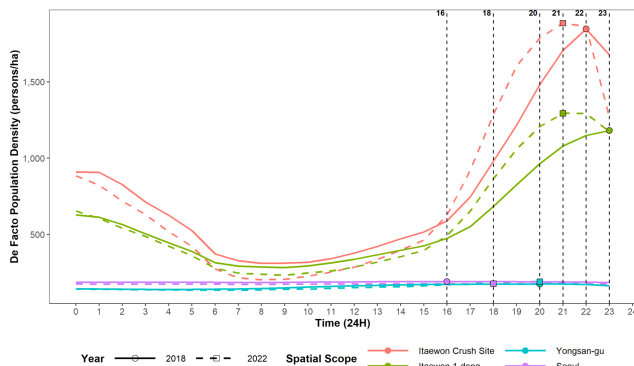
1) 시간적 맥락: 군중 밀도의 비정상적 급증

비교 기준연도인 2018년 핼러윈 축제 당일 10월 27일과 이태원 참사 발생일인 2022년 10월 29일의 생활인구밀도를 비교한 결과는 다음과 같다(그림 1). 첫째, 2018년에 비해 2022년의 일평균 생활인구밀도는 서울시에서 1.4명/ha, 용산구에서 0.4명/ha 감소하였다. 그러나 이태원1동에서는 오히려 13.2명/ha, 이태원 참사 발생 지점 인근 집계구에서는 0.8명/ha 증가하였다. 이는 2022년 이태원 참사 당일, 서울시 외부로부터의 생활인구 유입은 줄었지만 이태원 일대에는 핼러윈 축제로 인해 더 많은 인파가 집중되었음을 보여준다. 둘째, 2018년에는 생활인구밀도의 일일 최댓값이 참사 발생 지점 인근 집계구에서 21시에, 이태원1동에서는 23시에 나타났다. 반면, 2022년에는 두 지역 모두 21시에 최댓값이 기록되었다. 이는 2018년에는 이태원 세계음식거리로 모인 인파가 일정 시간 경과 후 주변으로 분산되었으나, 2022년에는 이러한 흐름이 나타나지 않았음을 의미한다. 셋째, 2022년에는 참사 발생 지점 인근 집계구와 이태원1동 모두에서 저녁 시간 인파 증가 속도가 2018년에 비해 훨씬 가팔랐다. 이는 2022년 이태원 참사 당일, 예

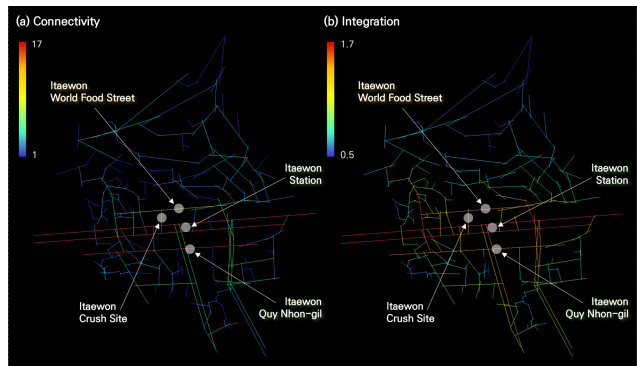
년보다 더 많은 인구가 세계음식거리 주변에 단기간에 집중되었음을 보여준다. 요컨대 2022년 이태원 참사 당일에는 평년과 달리 더 많은 인구가 세계음식거리 일대에 빠르게 몰렸고, 그 인파가 이태원1동 내 다른 지역으로 분산되지 못하였다. 따라서 이태원 참사의 시간적 맥락은 ‘군중 밀도의 비정상적 급증’으로 규정할 수 있다.

2) 공간적 맥락: 군중에 취약한 공간적 구조

이태원 참사의 공간적 맥락을 파악하기 위하여, 세 개 주요 도로를 기준으로 이태원 일대의 모든 보행로를 대상으로 공간구문론(space syntax)을 활용한 축선 분석을 실시하였다(그림 2). 그 결과, 이태원로와 이태원퀴논길의 연결도는 17로 가장 높았으나, 세계음식거리는 11에 불과했다. 특히 참사 발생 지점인 해밀턴 호텔 서쪽 골목은 3으로 이태원 평균 3.6보다도 낮았다. 즉, 세계음식거리 주변은 전반적으로 연결도가 낮아 보행자 친화성이 떨어지는 환경이었다. 반면, 통합도 분석에서는 이태원로가 가장 높았으며 세계음식거리와 이태원퀴논길도 비교적 높은 수준을 보였다. 더 주목할 점은 참사 발생 골목의 전역 통합도도 높게 나타났는데, 이는 이태원역 1번 출구와 세계음식거리를 직접 연결하는 주요 경로였기 때문이다. 결국 참사 현장은 높은 통합도로 인해 인파가 집중되기 쉬운 동시에 낮은 연결도로 인해 분산이 어려운 구조적 모순을 지니고 있었고, 이러한 공간적 맥락이 대규모 군중의 통행 장애와 위험을 증폭시킨 요인으로 작용했음을 알 수 있다.



<그림 1> 2018년과 2022년의 핼러윈 축제 당일 생활인구밀도



<그림 2> 축선 분석의 결과도

3) 시간적 맥락과 공간적 맥락의 상호작용

2022년 코로나19 팬데믹이 엔데믹으로 전환된 이후 처음 열린 핼러윈 축제에 의해 이태원에는 예년보다 훨씬 더 많은 인파가 몰렸다. 이 인파는 평년보다 빠른 속도로 집중되었으며 주변 지역으로 분산되지 못한 채, 이태원로와 세계음식거리를 오가던 수많은 보행자가 사고 지점에 과밀하게 모였다. 결국 어느 순간 도로의 수용 한계를 초과하면서, 알 수 없는 트리거 요인이 작동해 압사 사고가 발생하였다. 요컨대, 이태원 참사는 시간적 맥락에서의 비정상적 인파 급증과 공간적 맥락에서의 구조적 취약성이 결합되어 나타난 비극적 사건으로 확인되었다.

3. 결론 및 시사점

용산구는 2021년 전국 사회안전지수 평가에서 1위를 차지했지만, 불과 1년 뒤인 2022년 이태원 참사가 발생하며 354명의 사상자를 낸 비극의 현장이 되었다. 사고는 예측이 어려운 측면이 있었으나, 핼러윈 축제에 대비한 군중 통제와 위험 관리가 미흡했다는 점은 분명하다. 본 연구는 이 참사의 시간적·공

간적 맥락을 분석하여, 군중 밀집의 비정상적 급증과 공간구조의 취약성이 결합해 사고가 발생했음을 확인하였다. 이를 통해 도출된 교훈은 두 가지다. 첫째, 도시 내 이벤트 시 인파의 동적 흐름을 실시간으로 추적·관리할 수 있는 데이터 기반 시스템이 필요하다. 둘째, 공간구문론과 경사도 같은 공간적 속성을 활용해 보행로의 위험성을 사전에 파악하고, 군중을 안전한 경로로 유도할 체계적 계획이 요구된다. 향후 머신러닝 기법 등을 결합하면 잠재적 위험 공간을 조기에 식별할 수 있으며, 이는 특히 데이터와 자원이 제한된 도시에서도 효과적인 군중 안전 관리 프레임워크로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- Barr, D., Drury, J., Butler, T., Choudhury, S., & Neville, F. (2024). Beyond ‘stampedes’: Towards a new psychology of crowd crush disasters. *British Journal of Social Psychology*, 63(1), 52-69.
- Sawalha, I. H. (2023). Evolution of modern disaster management. *Foresight*, 25(6), 808-820.

사사

본 연구는 2023 4·16재단 생명안전 학술연구 지원사업의 일환으로 4·16재단과 사회복지공동모금회의 지원을 받아 수행되었음. 또한 본 연구는 공모 제출일인 2025년 8월 28일을 기준으로 “Data-driven urban planning for proactive crowd management: Lessons from the 2022 Seoul Halloween crowd crush”라는 제목의 논문으로 국제 학술지 *Cities*에 게재 확정을 받았으며, 포럼 발표 시점에는 출판이 완료되었을 수 있음.

한국의 녹색정치 담론 형성과 정치세력화 과정 연구

박제민, 박진영, 손어진 녹색정치연구소

1. 서론

1) 연구의 목적

이 연구의 목적은 한국에서 언제, 어떻게 녹색정치에 관한 담론이 형성되었으며 정치세력화로 이어졌는지 그 과정을 추적하는 것이다. 그동안 한국에서 환경운동의 정치세력화에 관한 연구는 매우 드물었는데, 세계적인 흐름 속에서 독특한 역사와 특성을 가진 채 진행되어 과정을 연구할 필요가 있다.

서유럽을 중심으로 1970년대 이후에 경제 성장주의에 대한 비판과 환경보호의 필요성이 제기되면서 신사회운동인 환경운동이 생겨났다. 환경운동단체들은 당초에 정부와 기성 정당을 통해 정치적 요구를 관철하려 했지만, 충분히 만족스럽지 못하자 독자적인 정치세력화를 시도하기 시작했다.

한국에서도 위와 같은 흐름 가운데 녹색정치에 관한 담론이 형성되고 정치세력화를 시도했다. 하지만 당연하게도, 한국만의 독자적인 역사와 특징이 존재하며 그 정치적 결과 또한 사뭇 다르다. 이 연구는 이 점에 천착하여 다음과 같이 한국의 녹색정치 담론 형성과 정치세력화 과정을 따라가 본다.

2. 본론

1) 환경운동의 태동과 녹색정치 담론 형성

(1) 반체제 운동으로서의 반공해운동

(2) 시민 환경운동으로의 전환과 정치 참여 시도

(3) 정당 창당과 정치세력화의 모색

1980년대까지 억압적인 정치체제가 이어지는 가운데 한국의 사회운동은 독재체제를 극복하는데 자원을 집중했고, 환경운동 역시 반체제 운동의 흐름에 있었다. 이 시기의 환경운동은 각종 단체의 이름에서 볼 수 있듯이 반공해운동에 집중했다.

1987년 민주화 이후에 1990년대의 환경운동은 체제 저항적 성격을 벗어나 시민 환경운동으로 변모했다. 특히 환경운동단체들은 지방선거에서 ‘환경 후보’를 선정하거나, ‘녹색 후보’를 출마시키는 적극적인 후보 전술을 채택하는등 직접 정치세력화를 모색하기 시작했다.

일부 활동가들은 더 적극적인 태도를 보여 정당 창당에 나섰지만, 당위성과 시기상조 및 한계를 놓고 논쟁과 갈등이 벌어졌음을 볼 수 있다. 결국 이들은 환경운동단체를 떠나 2002년 녹색평화당을 창당하지만 지속하지 못한 채 2004년에 해산되고 말았다.

2) 한국 정부 및 경쟁 정당의 환경정책 분석

(1) 한국 정부의 주요 환경정책

(2) 각 정부별 정당들의 주요 환경정책과 그 한계

(3) 진보정당에서의 녹색정치 움직임

(4) 기존 정부정책과 정당의 환경정책의 한계 속에서 등장한 녹색당

급속한 경제 개발과 산업화를 추진하며 환경문제가 점차 심각한 사회적 이슈로 떠올랐다. 정부는 공해방지법과 환경보전법을 제정하거나 환경청을 설치하고 환경처·환경부로 승격하는 등의 제도적 조치를 했지만, 경제성장과 개발의 논리를 초월하지는 못했다.

이 시기 보수적인 여당은 정부에 발맞췄고 보수적인 야당인 정부와 여당을 비판하는 정도 이상의 기조를 보여주지 못했다. 2000년 전후로 창당한 진보적인 야당은 녹색정치의 중요성을 인지했지만, 노동·분배·복지 등 전통적인 진보 의제보다 우선시되었다고 할 수는 없다.

2011년 3월 11일 일본 후쿠시마 핵사고는 녹색정치의 세력화에 관한 논의를 재가동시켰다. 일부는 기성 정당에 진입하고 의회에 진출하여 녹색정치 블록화를 형성하는 전략을 취했다. 또 일부는 독자적인 정당 창당에 나서 2012년 3월 4일에 녹색당을 창당했다.

3) 한국 녹색당의 창당과 전개 과정

(1) 창당과 성장

(2) 당내 갈등과 선거연합 사태

(3) 재정비

(4) 선거연합과 국회 진출 실패

녹색당은 창당 이후 2016년 제19대 총선까지 조금씩 성장을 거듭했고 2018년 제7회 지방선거에 크게 주목받으며 정치적 가능성을 기대하게 했다. 하지만 2019년 당내 갈등과 2020년 선거연합 사태를 겪으며 침체를 겪었다. 2022년 제8회 지방선거를 전후로 당을 재정비했지만 2024년 제22대 총선에서 또다시 선거연합을 하는 문제로 당내 갈등이 표출됐다. 녹색당은 정의당과 녹색정의당이라는 선거연합정당을 만들어 총선에 나섰지만, 국회 진출에는 실패하고 말았다. 이후 녹색당은 비상대책위원회를 거쳤지만, 정식으로 지도부를 구성하지 못한 채 임시 대표체제에 들어갔다.

3. 결론

- 시사점과 향후 과제

한국에서 녹색정치 담론의 확산과 정치세력화가 한계를 겪고 있는 원인은 다양하다. 물질주의 가치관의 강화, 독재 대 민주 정치적 균열 구도, 사회운동과 소수 정당에 불리한 선거제도, 정부와 기성 정당의 환경정책 수용성의 점진적 확대 등을 들 수 있다. 환경운동이 반제도화를 거치며 운동성과 대중성이 한계에 직면한 점, 녹색당의 정치적 역량이 부족하고 리더십이 부재한 점 등도 있을 것이다.

이 연구는 한국의 정부와 기성 정당의 환경정책을 중심으로 녹색정치 담론 형성과 정치세력화 과정을 살펴보는데 그 목적을 두었기 때문에 이러한 점들을 충분히 다루지 않았다. 여기서 정리한 과정을 토대로 향후 좀 더 깊이 있는 학문적 분석과 연구가 이뤄지길 희망한다.

참고문헌

논문

- 구도완. 1993. “한국 환경운동의 역사와 특성”. 『한국사회학회 사회학대회 논문집』, 83-91.
- 구도완. 1995a. “한국의 새로운 환경운동”. 『한국사회학 제29집 여름호』, 347-371.
- 구도완. 1995b. “환경운동과 녹색정치”. 『경제와사회 제25권』, 80-103.
- 김민정. 2012. “프랑스 환경운동의 정치세력화와 정치적 성과”. 『유럽연구』 제30권 제1호, 127-160.
- 김성진. 2011. “동유럽 녹색당과 정치적 생태주의”. 『동유럽발칸학』 제13권 제1호, 259-282.
- 김은경. 2013. “녹색운동의 정치 실험: 프랑스 사례를 중심으로”. 『EU연구』 제35호, 49-74.
- 문태훈. 2024. “한국 환경정책의 변화와 과제, 1960s~2020s”. 『환경정책』 제32권 제2호, 1-41.
- 민병기. 2017. “사회운동 기반의 정당 등장과 정치적 기회구조”. 『한국정치학회보』 제51집 제1호, 207-231.
- 박재묵. 2000. “한국 시민운동의 정치세력화 전망” 『한국사회과학』 제22권 제1호, 69-92.
- 박재민, 이현우. 2023. “한국 녹색당의 성장 조건에 관한 연구 - 정치적”. 『세계지역연구논총』 제41권 제4호, 145-176.
- 서영표. 2012. “기후에 선 영국녹색당: 운동과 제도정치, 녹색과 적색 사이의 긴장”. 『환경사회학연구 ECO』 제16권 제2호, 207-252.
- 손어진. 2014. 『녹색당의 성장에 관한 연구』. 한림국제대학원대학교 석사논문.
- 손우정. 2015. “한국 진보정당 내부 민주주의 제도 연구”. 『지역과전망』 제32권, 247-292.
- 송충기. 2008. “68운동과 녹색당의 형성”. 『독일연구-역사·사회·문화』 제16호, 51-75.
- 신지웅. 2018. 『한국정당의 환경정책에 관한 연구』. 경상대학교 박사논문.
- 유진숙. 2013. “사회운동의 의회정치 진입과 전략”. 『유럽연구』 제31권 제1호, 159-183.
- 윤형근. 2003. “한국의 생태담론과 생명운동”. 『사상』 2003년 겨울호(제59호), 96-126.
- 이현근. 2000. “유럽정치의 녹색화”. 『21세기정치학회보 제10집 제1호, 1-16.
- 장 훈. 1996. “후기 산업사회의 정당정치”. 『한국정치학회보』 제30집 제1호, 321-343.
- 정상호. 2007. “시민사회운동과 정당의 관계 및 유형에 관한 연구”. 『한국정치학회보』 제41집 제2호, 161-184.
- 정영신. 2023. “기후정의운동의 운동사적 맥락에 관한 연구”. 『Journal of Global and Area Studies』 7(3), 239-273.
- 정진웅. 2019. “한국 ‘신정치(New Politics)’ 정당의 한계”. 『동서연구』 제31권 제2호, 113-137.
- 정하윤, 신두철. 2012. “한국 녹색운동의 정치제도화의 기회구조에 관한 연구”. 『한국정치학회보』 제46집 제4호, 101-128.
- 조현옥. 2002a. “사회운동에서 정당으로” 『현상과인식』 제26집 봄여름호, 124-148.
- 구도완. 2002b. “환경운동의 정치세력화에 대한 평가와 과제”. 『사회이론』 제22호, 177-206.
- 주요섭. 2024. “생명력에게 권력을! 생명민회 30년에 생각하는 문명전환의 정치”. 『바람과물』 제11호, 34-43.
- 지충남. 2002. “한국 정당의 환경정책에 관한 비교 연구”. 『한국정책학회보』 제11권 제4호, 191-218.
- 홍덕화. 2024. “기후위기 시대, 갈림길에 선 한국 환경운동”. 『환경사회학연구 ECO』 제28권 제1호, 87-136.
- 홍덕화, 구도완. 2013. “한국 환경운동의 성장과 분화”. 『환경사회학연구 ECO』 제17권 제1호, 79-120.
- 홍덕화, 구도완. 2014. “민주화 이후 한국 환경운동의 제도화와 안정화”. 『환경사회학연구 ECO』 제18권 제1호, 151-186.
- Kitschelt, Herbert. 1986. “Political Opportunity Structures and Political Protest: Anti-nuclear Movements in Four Democracies”. British journal of political science 16(1), 57-85.
- Offe, Claus. 1985. New Social Movements: Challenging the Boundaries of Institutional Politics: Social Research 52(1), 817-868.

단행본

- 녹색당, 『제21대 국회의원 선거 평가 보고서』, 서울: 녹색당, 2021
- 녹색당, 『녹색당 조직진단 TF 보고서: 2019년 조직 내 갈등을 중심으로』, 서울: 녹색당, 2021
- 녹색당, 『녹색당 어제의 10년, 변화의 10년 연속 대토론회 자료집』, 서울: 녹색당, 2022.
- 녹색당, 『녹색당 2024 비상대책위원회 활동보고서』, 서울:녹색당, 2024.
- 충북녹색당(준), 『선거연합사태TF 보고서』. 충북: 충북녹색당(준). 2022.
- Grofman, Bernard, and Lijphart, Arend, 『Electoral Laws and Their Political Consequences』, New york: Agathon, 1986.
- Inglehart, Ronald, 『The Silent Revolution: Changing Values and Political Styles among Western Publics.』, Princeton: Princeton University Press, 1977.

- Lipset, Seymour Martin, and Stein Rokkan, 『Party Systems and Voter Alignments: Cross-National Perspectives.』, New York: Free Press, 1967

인터넷 자료

- 국가기후기술정보시스템, “지구온난화·교토의정서 대책법안 재추진”
<https://ctis.re.kr/en/selectBbsNttView.do?key=1574&bbsNo=312&nttNo=624082&searchCtgry=&searchCnd=all&searchKrwd=&pageIndex=1795&searchBbsType=&chgPage> (접속일: 2025.02.20.)
- 국가법령정보센터, “헌법” <https://www.law.go.kr/lsEfInfoP.do?lsiSeq=61603#> (접속일: 2025.02.20.)
- 그린피스, “더불어민주당·미래통합당, 기후위기 정책 ‘나몰라라’...정의당, 답변 진일보” (2020.03.12.)
<https://www.greenpeace.org/korea/press/12443/climate-crisis-suffrage-parties/> (검색일: 2025.02.19.)
- 글로벌 그린즈, <https://globalgreens.org/member-parties> (검색일: 2025.02.20.)
- 녹색당, 임시 전국위원회(2023.11.26) 회의 결과
<https://www.kgreens.org/documents/?q=YToyOntzOjEYOiJrZXI3b3JkX3R5cGUlO3M6MzoiYWxsIjtzOjQ6InBhZ2UiO2k6NDt9&bmode=view&idx=17077000&t=board> (접속일: 2025.02.07.)
- 녹색당, 당무위원회 입장문(2023.10.13.)
<https://www.kgreens.org/notice/?q=YToyOntzOjEYOiJrZXI3b3JkX3R5cGUlO3M6MzoiYWxsIjtzOjQ6InBhZ2UiO2k6NDt9&bmode=view&idx=16587638&t=board> (접속일: 2025.02.20.)
- 녹색당, 제106차 전국위원회(2024.04.28.) 회의 결과
<https://www.kgreens.org/notice/?q=YToyOntzOjEYOiJrZXI3b3JkX3R5cGUlO3M6MzoiYWxsIjtzOjQ6InBhZ2UiO2k6NDt9&bmode=view&idx=21044629&t=board> (접속일: 2025.02.20.)
- 녹색연합, “4대강 사업을 위하여? 환경부와 한나라당 국정감사 째짜미” 논평(2009.10.27.)
<https://www.greenkorea.org/activity/ecosystem-conservation/river/12859/> (접속일: 2025.02.19.)
- 숲과나눔, “문재인 정부 5년, 기후환경정책 추진 성과와 과제” https://blog.naver.com/korea_she/222727244145
(접속일: 2025.02.19.)
- 청소년기후행동, “‘탄소중립녹색성장기본법’ 의미와 한계” (2021.11.05.)
<https://youth4climateaction.notion.site/007767555660466ca283a9720a95bca6> .(접속일: 2025.02.19)
- 환경운동연합, 『1998 환경 운동』. <https://ecoarchive.org/items/show/9958> (접속일: 2025.02.14.)
- 환경운동연합, 『2002년 지방선거 참여를 위한 환경운동연합 활동가 토론회 자료집』.
<https://ecoarchive.org/items/show/12202> (접속일: 2025.02.14.)
- 환경운동연합, “노무현 새 정부가 반환경적 정권으로 끝날 것을 경고한다(2003.01.22.)”
<https://kfem.or.kr/environment/?bmode=view&idx=17905823> (접속일: 2025.02.25.)
- 환경운동연합, “저탄소 녹색성장기본법 의견서 제출(2009.02.04.)”
<https://kfem.or.kr/environment/?bmode=view&idx=17914415> (접속일: 2025.02.14.)
- 환경운동연합, “2023 석탄발전소, 원자력발전소 전국 현황 지도”
<https://kfem.or.kr/energy/?bmode=view&idx=17908539> (접속일: 2025.02.19.)

신문기사

- “2027년까지 火電 1천580만kW 증설…원전은 미정”, 연합뉴스, 2012.02.22.
- “3%를 넘어라”, 한겨레21(903호), 2012.03.22.
- “낙동강 폐놀유출 사건 <1991년 3월>”, 전자신문, 2012.09.17.
- “녹색당이 싹틔운 새정치”, 경향신문, 2013.03.17.
- “녹색이 진보통합에게”, 한겨레, 2011.10.11.
- “대안과 가치정당 표방 ‘녹색당’ 뜬다”, 참여사회, 2003.03.25.
- “문재인 대통령 ”2050년 탄소중립 선언“”, 뉴스핌, 2020.10.28.
- “문재인 정부 5년, 탈원전은 없었다” 뉴스타파, 2022.06.16.
- “배달과 녹색의 ‘결혼 전 동거’”, 뉴스메이커(697호), 2006.10.31.

- “불온해서 순수한 작은정당의 탄생”, 시사인(235호), 2012.03.21.
- “사라진 진보신당·녹색당 ‘재창당 진행’”, 경향신문, 2012.04.19.
- “성찰과 전망, 진보정당 안에서의 녹색정치①”, 레디앙, 2015.09.01.
- “안기부 압력으로 ‘녹색당’ 좌절됐다”, 오마이뉴스, 2001.12.25.
- “원전지역 두곳서 ‘녹색돌풍’ 일으킬 것”, 한겨레, 2012.03.04.
- “윤호중 “성소수자 등 소모적 논쟁 일으킬 당과 연합 어렵다”, 한겨레, 2020.03.17.
- “인간답게 살기 위해 선생이 보여준 ‘공생공락’의 삶 따르렵니다”, 한겨레, 2020.06.29.
- “전력정보 은폐로 유발된 ‘9.15 대정전’ 실상 드러나”, 연합뉴스, 2012.12.03.
- “초록의 도전, 여전히 길에 있다”, 시민사회신문, 2008.08.25.
- “환경과 생태주의”, 강원일보, 2007.09.04.
- “회한의 반세기 묻고 ‘화합의 땅’ 일궜다”, 울산신문, 2011.07.21.

사사

이 연구는 하인리히 뵐 재단 동아시아 사무소의 지원을 받아 2024년 10월 1일부터 12월 31일까지 수행했다.

나다운 삶을 찾아서? 고립 청년 지원의 딜레마

김미소 듣는연구소 협동조합, 숲과나눔 연구장학생

1. 서론

청년 정책은 오랫동안 청년의 ‘자립’을 지원하는 것을 핵심 목표로 삼아왔다. 2010년대 중반까지 자립은 주로 취업이나 경제적 생산성 회복을 통해 성인 시민으로 이행하는 과정으로 이해되었고, 청년수당을 둘러싼 정치적 갈등은 이러한 규범을 단적으로 드러낸다. 그러나 최근 몇 년 사이 자립의 의미는 단순히 노동시장 참여를 넘어, 청년 스스로 자신의 삶을 주체적으로 선택하고 설계하는 과정으로 재정의되고 있다. 「청년기본법」이나 「서울특별시 청년 기본조례」와 같은 제도적 변화, 청년 당사자 운동의 요구, 그리고 고립 청년 지원 단체들의 실천은 이러한 전환을 촉발하였다. 하지만 이러한 새로운 자립 개념은 현장에서 새로운 모순과 긴장을 수반한다. 고립 청년을 지원하는 공간은 청년들이 비교적 안전하게 머물며 삶을 탐색할 수 있는 제3의 공간으로 기능하지만, ‘사회 밖’과 ‘사회 안’을 구분하는 이분법을 강화한다. 결과적으로 청년들은 자신을 미완의 존재로 상정하고, 정상적인 사회성으로 복귀해야 한다는 과제를 부여받는다. 본 연구는 이러한 과제가 어떻게 지원 현장에서 구성되고, 청년들이 이를 어떻게 경험하는지를 참여관찰과 심층 인터뷰에 기반하여 분석한다.

2. 본론

1) ‘쉼터’와 ‘준비의 장’ 사이에서

고립 청년 지원 공간은 대체로 두 가지 기능을 동시에 수행한다. 하나는 오랜 고립으로 지친 청년들이 비교적 안전하게 머무를 수 있는 ‘쉼터’이고, 다른 하나는 사회로 복귀하기 전 다양한 경험을 축적하고 관계를 연습하는 ‘준비의 장’이다. 서울시가 운영하는 고립청년 지원센터를 포함하여 여러 지원 기관들이 모두 이러한 목표를 공유하며, 특히 연구자가 참여관찰한 고립 청년 쉼터 ‘아지트’(가명)는 일본에서 말하는 ‘이바쇼(居場所)’, 즉 단순히 존재 자체가 허용되는 장소로써 기능한다. 이곳에서 청년들은 조건 없이 공간에 머무를 수 있는 경험을 통해 위안을 얻고, 자기 존재가 존중받는 감각을 회복한다. 그러나 동시에 이러한 공간은 무한정 머물 수 있는 안식처가 아니라, 사회 복귀를 전제한 임시적 단계로 설정된다. 참여자들은 이곳에서 위안과 소속감을 얻는 동시에, ‘일반’과의 거리, 복귀에 대한 압박을 끊임없이 의식한다. 그 결과 지원 공간은 청년들에게 치유와 회복의 가능성을 제공하는 동시에, 정상성과 비정상 사이의 경계를 더욱 선명하게 드러내는 긴장의 장으로 작동한다.

2) 지도받고 싶은 청년들

한편, 고립 청년 지원 프로그램에 참여하는 청년 당사자들은 스스로를 이미 결핍된 존재로 인식하고 장에 들어오기 때문에, 사회에 적합한 성숙한 주체로 변화해야 한다는 압박을 강하게 내면화하고 있다. 이는 단순히 외부에서 부과되는 규범이 아니라, 청년들 스스로가 규율과 지도를 요청하는 방식으로 나타난다. 즉, 자유롭고 수평적인 공간을 지향하는 지원 공간조차, 몇몇 참여자들에게는 훈육과 규칙을 통해 사회 복귀를 준비해야 하는 곳으로 경험된다. 이러한 현상은 지원자들의 기대와도 긴장을 형성한다. 지원자들은 청년들이 기존의 경로를 그대로 답습하기보다 자기 기질을 수용하고, 주체적인 삶을 선택할 길 바라지만, 실제 현장에서는 ‘사회에 적합해지기 위한 훈육’에 더 큰 호응이 발생한다. 추상적인 자율

과 주체성의 이상보다, 규율과 책임이라는 익숙한 언어가 청년들에게 더 실질적이고 구체적인 지침으로 작동하기 때문이다. 결국 지원 공간은 대안적 가능성을 모색하는 장이면서 동시에 사회 복귀의 규범을 은연중에 재생산하는 이중적 장소가 되기도 한다.

3) '나다운 삶' 찾기가 여는 상상력과 간극

많은 고립 청년 지원 프로그램들이 참여자들에게 단순한 자기계발을 넘어, 서로 다른 삶의 방식과 사회적 관계를 마주할 기회를 제공한다. 좁은 환경 속에서 살아온 청년들에게 이러한 경험은 기존의 규범적 경로를 벗어나 더 넓은 사회를 상상하게 하고, '나다운 삶'을 탐색할 수 있는 계기가 된다. 다양한 만남과 활동은 삶의 참조 체계를 확장하며, 자신이 속한 세계의 한계를 넘어 새로운 가능성을 모색하도록 자극한다. 그러나 이러한 탐색은 모든 청년에게 동일한 의미로 다가오지 않는다. 어떤 이들에게는 자기 탐색이 새로운 도전의 동력으로 작용하지만, 또 다른 이들에게는 오히려 감당하기 어려운 과업으로 인식되기도 한다. 이는 '나다운 삶'이라는 이상이 일정한 역량과 태도를 전제하고 있으며, 그 기준에 미치지 못하는 이들을 다시 소외시킬 위험을 내포하고 있음을 보여준다. 결국 지원 현장은 새로운 삶을 상상하게 하는 가능성과, 그 가능성이 주는 압박 사이의 간극을 동시에 드러내는 공간으로 기능한다.

3. 결론

고립 청년 지원 프로그램은 근본적으로 주체적 시민을 양성하려는 통치의 기술(크룩생크 2014)로 작동한다. 자기 인식과 개선, 사회 복귀에 대한 요청은 청년들에게 강력한 과업으로 제시되며, 이미 내면화된 실패감과 결합해 새로운 형태의 규율과 자기관리로 이어진다. 그러나 이 과정은 일방적으로 수렴되지 않는다. 청년들은 규범에 순응하거나 탈락하는 존재에 머물지 않고, 때로는 회복 서사에 의심을 품고 저항하며, 때로는 적극적으로 응답하면서 자신만의 삶의 가능성을 탐색한다. 이는 지원 현장이 단순한 훈육의 장이 아니라 다양한 감응과 전환이 발생하는 복합적 실천의 장임을 보여준다. 그럼에도 불구하고, 이러한 실천들은 여전히 고립 청년을 '사회 밖'에서 '사회 안'으로 복귀시키려는 구도 위에 자리한다. 회복, 주체성, 탐색이라는 언어는 기존 사회가 요구하는 방식에서 자유롭지 않으며, 이는 다시금 청년들에게 적응과 연출의 압박을 전가한다. 결국 지원 프로그램은 '나다운 삶'을 강조하면서도 탐색 가능한 청년과 그렇지 않은 청년을 구분하고, 사회 생활에 필요한 규범과 경쟁력을 은연중에 재현한다. 본 글은 이러한 긴장과 역설의 지점에 주목하며, 고립 청년 지원이 구성하는 통치성과 그 틈에서 발생하는 다양한 실천을 드러냄으로써, 고립 청년 지원을 보다 입체적으로 이해할 수 있는 맥락을 제안하고자 했다.

참고문헌

- 김미소, 2025, '고립'을 통치하기: 고립 청년 지원 정책의 문화기술지, 연세대학교 문화인류학과 석사학위논문.
- 크룩생크, 바바라, 『시민을 발명해야 한다』, (심정보), 도서출판 갈무리, 2014

사사

본 글은 발표자의 문화인류학 석사학위논문 「'고립'을 통치하기: 고립 청년 지원 정책의 문화기술지」(김미소 2025)의 4장을 재구성한 내용이다.

구두발표 세션 4.

환경교육

- 전북 탄소중립교육 활성화를 위한 지원 방안
김태훈 전북교육청 미래교육정책연구소 연구위원
- 아동기 자녀 양육자의 기후행동 이해하기: 30·40대 양육자를 중심으로 한 혼합연구
박지연 서울대학교 협동과정 환경교육전공 박사과정
조유진 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 환경관리전공 박사과정
최민경 서울대학교 협동과정 환경교육전공 석사과정
- 1인가구 생활환경 건강권을 위한 특화 정보 플랫폼 제안에 관한 고찰: 서울 지역을 중심으로
김민아 성북문화재단
- 갯벌 되기의 존재론적 학습: 새만금시민생태조사단에 대한 질적 연구
신혜정 서울대학교 교육학과 박사과정, 숲과나눔 연구장학생

전북 탄소중립교육 활성화를 위한 지원 방안

김태훈 전북교육청 미래교육정책연구소 연구위원

1. 서론

전 세계는 기후변화 대응을 위한 국제적인 공동노력을 기울이고 있으며, 우리나라 역시 2050년 탄소중립 비전을 법제화하며 구체적인 전략과 실천계획을 수립하고 있다. 교육부와 환경부를 비롯한 중앙정부 및 시도교육청은 이에 발맞춰 교육 영역에서의 환경·기후위기 대응을 위한 전환적 교육을 추진 중이다. 전북특별자치도교육청은 2024년을 ‘탄소중립교육 원년’으로 선포하고, 전국 최초로 「탄소중립 교육과정 개발 및 기본교육 활성화 조례」를 제정하였으며, 이에 기반한 ‘탄소중립 기본교육 종합계획(2024~2026)’을 수립하였다. 그러나 탄소중립교육이 정책적 선언에 그치지 않고 학교 현장에서 실질적으로 실현되기 위해서는 수업 운영, 교사지원, 지역 네트워크 등 세부적이고 실천 가능한 지원 방안이 필요하다. 이에 본 연구는 국내외 탄소중립교육의 사례를 분석하고, 전북 지역의 교사 및 전문가들을 대상으로 심층 면담(FGI)을 실시하여 전북 탄소중립교육 활성화를 위한 구체적인 정책적 지원 방안을 도출하는 것을 목적으로 한다.

2. 본론

1) 연구 방법

본 연구는 질적 연구방법 중 FGI(Focus Group Interview)를 활용하여 정책 대안 도출의 기초자료를 수집하였다. 연구 참여자는 전북 도내 교사 4명과 도내외 전문가 5명으로 구성되었으며, 전북 지역의 탄소중립교육 실천 및 정책에 대한 경험과 전문성을 갖춘 이들로 선발되었다. 인터뷰는 사전질문지를 토대로 150분 간 실시되었고, 전사자료는 매트릭스 분석법으로 정리한 후 전문가 3인의 검토를 거쳐 신뢰도와 타당성을 확보하였다.

2) FGI 분석 결과

전북지역 탄소중립교육의 실질적 활성화를 위한 방안을 모색하기 위해 교사와 전문가를 대상으로 실시한 FGI 분석 결과 총 13개 주제와 4개 범주로 주요 논의가 정리되었다.

(1) 수업 지원

수업 지원 범주에서는 현장 교사와 전문가 모두 ‘지역 특성이 반영된 편집 가능한 교재의 필요성’을 강하게 인식하고 있었다. 특히, 타 지역에서 개발된 우수한 환경교과서가 전북의 지역성과는 맞지 않아 사용이 어렵다는 현장의 목소리가 반영되었고, 수업 자료는 교사가 즉시 활용 가능하면서도 재가공이 가능한 형태로 제공되어야 한다는 요구가 제기되었다. 교육과정 차원에서는 환경 관련 역량이 현재 교육과정 설계에서 배제되어 있어, 이를 반영한 실천 중심 교육과정의 개발이 요청되었다. 나아가 이러한 교육과정은 학생의 진로와 연계될 수 있도록 구성되어야 하며, 수업 방식에 있어서는 액션러닝과 같은 참여형·탐구형 수업 전략이 효과적임이 강조되었다.

(2) 교사 역량 강화

교사 역량 강화 범주에서는 교사의 환경교육 전문성을 높이기 위한 연수의 질적·양적 확대가 필요하다는 의견이 지배적이었다. 특히 체험형 연수를 통해 교사가 직접 지역의 환경 현장을 경험하고 이를 교육에 반영할 수 있는 기회가 중요하게 인식되었다. 연수는 기본과정과 심화과정으로 체계화되어야 하며, 교사 개인의 자율적 선택에만 의존하지 않도록 의무 연수로 제도화할 필요성도 제기되었다. 더불어, 교사 간 전문적 학습공동체와 환경 연계 수업을 중심으로 한 교사 모임의 조직과 지원도 중요하다는 의견이 나왔으며, 이러한 네트워크는 교사 개인의 실천을 지속 가능하게 하고, 외부 비관으로부터의 방패 역할을 할 수 있다는 점이 강조되었다.

(3) 학교 문화 조성

학교 문화 조성 범주에서는 학교 구성원의 전반적인 인식 개선과 참여 확대가 핵심 과제로 부각되었다. 관리자의 연수와 철학은 학교 차원의 실천문화 형성에 중대한 영향을 미치며, 관리자와 교사가 같은 방향성을 공유해야 지속적인 탄소중립 실천이 가능하다는 의견이 제시되었다. 또한 학생의 실천을 가정에서도 연계하기 위해 학부모 대상 교육이 필요하며, 이는 마을공동체와의 협력 속에서 실현될 수 있다는 방안이 논의되었다. 실천의 확산을 위해서는 학교 구성원들에게 자발적 참여를 유도할 수 있는 체크리스트, 평가 지표, 공문 제도 등이 병행되어야 하며, 포인트제나 인증제를 도입해 실천을 장려하고 지속가능성을 확보할 수 있다는 인식도 공유되었다.

(4) 조직 확대 및 네트워킹

조직 확대 및 네트워킹 범주에서는 행정적 기반을 확충하기 위한 다각적 방안이 제시되었다. 우선, 도 교육청의 전담 인력이 1인에 불과하다는 점에서 조직 확대의 시급성이 지적되었으며, 타 시도처럼 교육청 산하의 환경교육 전담 센터를 설치하여 지속적이고 일관된 사업 추진이 필요하다는 주장이 제기되었다. 예산 지원의 측면에서도 수요에 비해 공급이 부족하다는 현장의 인식이 강하게 나타났으며, 탄소중립 실천 중점학교 및 학급의 확대 운영을 위한 추가 예산 확보가 요청되었다. 마지막으로, 도, 교육청, 지자체, 민간단체 간 협력과 연계를 체계화하기 위한 협의체 운영이 활성화되어야 하며, 학교와 지역사회 간 유기적 관계를 바탕으로 한 실천적 연계가 강화되어야 한다는 점이 강조되었다.

3. 결론

1) 요약

본 연구는 탄소중립교육에 대한 국내외 동향을 비교 분석하고, 전북 현장의 교사·전문가의 의견을 토대로 실천 가능한 지원 방안을 제시하였다. 특히, 교육과정 중심의 접근에서 나아가 학교 구성원 전체가 참여하는 학교전체적 접근(whole-school approach)의 중요성을 강조하였다.

2) 정책 제언

FGI 분석을 토대로 본 연구는 전북 탄소중립교육의 실질적 확산과 정착을 위하여 ‘학교전체적 접근(whole-school approach)’에 기반한 네 가지 정책 방향을 제안하였다.

(1) 교육과정 시스템 조성

먼저 교육과정 기반의 전문적 지원 시스템을 강화할 필요가 있다. 탄소중립교육은 단일 과목이나 행사로 다루어질 성격이 아니라, 교과와 교육과정 전반에 걸쳐 통합적으로 구성되어야 하며, 이를 가능케

하기 위한 교육과정 재구성과 수업자료 개발이 체계적으로 이루어져야 한다. 특히 전북의 지역별 특성과 산업구조를 고려한 지역 맞춤형 수업자료가 개발되어야 하며, 교사 중심의 수업모델 개발과 자발적 실천 프로그램 공모 등을 통해 교육의 실효성을 높여야 한다. 탄소중립이라는 개념이 학생들의 일상에 구체적으로 녹아들 수 있도록 교육과정과 학교활동 전반에 연계되어야 한다.

(2) 학교 전체 구성원 참여

학교전체 구성원이 참여하는 운영 방식이 정착되어야 한다. 탄소중립교육은 교사나 일부 학급의 활동으로 국한되어서는 안 되며, 관리자, 학부모, 학생, 지역주민 등 모든 학교 구성원이 민주적으로 참여하는 학교 운영 방식을 통해 실현되어야 한다. 이를 위해서는 주요 실행 계획 수립 과정에서 다양한 구성원의 의견을 반영하고, 체크리스트나 가이드라인을 통해 실천 요소를 명확히 안내하는 제도적 장치가 마련되어야 한다. 또한 교사·관리자·학부모를 대상으로 한 맞춤형 연수가 의무화되고, 온라인·오프라인 방식으로 다양하게 제공되어야 하며, 이를 통해 각 주체의 인식 전환과 실천 동기를 강화해야 한다.

(3) 인적·물적 인프라 구축

지속가능성을 위한 인적·물적 인프라가 구축되어야 한다. 현재 전북교육청은 환경교육을 전담하는 인력이 한 명에 불과하여 실질적인 정책 추진에 한계가 있으며, 다른 시도처럼 전담팀 확대와 함께 탄소중립교육 거점센터 설립이 요구된다. 또한 지역 내 전문 강사 인력풀을 체계화하여 학교에 제공하고, 각종 교육 시설 및 기자재, 재생에너지 기반 시설 등을 갖춘 거점학교 지정 운영 방안도 검토되어야 한다. 탄소중립 실천의 성과를 정기적으로 모니터링하고, 정책의 현장 적용도를 분석할 수 있는 환류체계 마련도 병행되어야 한다.

(4) 학교와 지역사회 연계

학교와 지역사회 간의 연계가 보다 실질적이고 지속적으로 강화되어야 한다. 기존의 일회성 참여를 넘어 지역 시민단체, 환경 관련 기관, 마을공동체 등과의 파트너십을 통해 장기적이고 유기적인 협력체계를 구축해야 한다. 이를 위해 도교육청 차원의 연계 매뉴얼을 개발하고, 지역 교육지원청 중심의 실행체계를 마련해야 한다. 환경교육 통합정보시스템을 통해 각 지역의 교육 자원을 통합적으로 제공하고, 지역기관과의 MOU 체결, 공동 기획 프로그램 운영 등을 통해 연계 활동의 실효성을 제고할 수 있을 것이다. 나아가 지역 기반의 교육자원을 활용한 공동축제, 환경 캠페인, 에너지 진단 활동 등은 학생의 학습경험을 실천으로 확장하는 데 기여할 수 있다.

3) 연구의 한계 및 과제

이와 같은 학교전체적 접근은 단순한 교육활동의 범위를 넘어, 전북교육 전체가 탄소중립이라는 미래 사회적 목표를 달성하기 위한 체계적이고 지속가능한 실천의 기반을 마련하는 전략으로 기능할 것이다. 본 연구는 9명의 참여자를 대상으로 한 질적 분석에 기반하고 있어 일반화에 한계가 존재한다. 따라서 보다 많은 교사와 전문가를 대상으로 한 설문조사, 심층면담, 지역 간 비교연구 등 후속연구가 필요하다. 또한 실천적 정책 도입 후의 평가와 효과 분석이 병행되어야 지속가능한 탄소중립교육 체계를 설계할 수 있다.

참고문헌

- 교육부, 2021, 그린스마트 미래학교 종합 추진계획안, 교육부.
- 권순주, 김추령, 박찬열 외, 2022, 학교 탄소중립 실현을 위한 국제 컨퍼런스 자료집, 충청북도교육청.
- 남경희, 조의호, 2013, 호주 지속가능성 교육의 성립과 특징, 홀리스틱교육, 18(1), 29-48.
- 남신동, 이은주, 조정래, 2022, 학교 환경교육의 방향과 과제, 한국교육개발원.
- 박혜경, 정철, 2014, 기후변화 수업이 초·중학생의 기후소양 함양에 미치는 효과, 한국환경교육학회 학술대회 자료집.
- 윤순진, 2009, 학교 기후 변화 교육의 현황과 과제, 환경교육, 22(2), 1-22.
- 이선경, 김남수, 2016, 유네스코 이념의 교육과정 반영을 위한 연구: 지속가능발전 교육의 학교 전체적 접근을 중심으로, 유네스코한국위원회.
- 이선경, 김대희, 김인호, 이재영, 정철, 김남수, 김수연, 정수정, 조은정, 최인미, 2006, 체험환경교육 프로그램 및 환경보전시범학교 지원사업 개선 방안 연구, 환경부.
- 장남정, 라영, 양솔, 장진혁, 최효진, 2023, 기초지자체 온실가스 배출특성 분석 및 탄소중립 전략 연구, 전북연구원.
- 장미정, 임수정, 이성희, 이승민, 우영미, 지혜성, 2022, 국내외 기후위기 대응과 탄소중립 실현을 위한 학교 교육 동향, 사단법인 변화를 꿈꾸는 과학기술인 네트워크.
- 전북탄소중립지원센터, 2024, 전북특별자치도 탄소중립 녹색성장 기본계획, 전북특별자치도.
- 전북특별자치도교육청 민주시민교육과, 2024, 탄소중립교육 종합계획, 전북특별자치도교육청.
- 조천호, 이선경, 최규식, 송인근, 송병현, 김남수, 2023, 학교 탄소중립 실현을 위한 환경교육 리더십 워크숍 자료집, 교육부.
- 허성주, 이선영, 2004, 환경교육 매체 개념을 적용한 환경친화적 초등학교 시설 계획 방향에 관한 연구, 교육시설, 11(4), 25-34.
- 환경부, 2020, 지역환경교육계획 수립 및 이행평가 가이드라인, 환경부.
- ENSI, 2005, ECO-schools, trends and divergences: A comparative study on ECO-school development processes in 13 countries, Austrian Federal Ministry of Education, Science and Culture.
- Henderson, K. & Tilbury, D., 2004, Whole school approaches to sustainability: An international review of Sustainable School programs, Report prepared by the Austrian Research Institute in Education for Sustainability (ARIES) for The Department of the Environment and Heritage, Austrian Government.
- 김영순, 김진희, 강진숙, 정경희, 정소민, 조진경, 『질적연구의 즐거움』, 창지사, 2018.

사사

김태훈. (2024). 전북 탄소중립교육 활성화를 위한 지원 방안. 교육문화연구, 30(4), 127-147.

아동기 자녀 양육자의 기후행동 이해하기

30·40대 양육자를 중심으로 한 혼합연구

박지연 서울대학교 협동과정 환경교육전공 박사과정

조유진 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 환경관리전공 박사과정

최민경 서울대학교 협동과정 환경교육전공 석사과정

1. 서론

인간의 행동이 지구 환경에 미치는 영향은 매우 심각하며, 이로 인해 사회·경제·안보 문제들이 발생하고 있다(IPCC, 2014). 또한, 양육자 및 비양육자로 구성된 미국인 607명으로 대상으로 한 연구에서 응답자의 96.5%가 기후변화가 초래할 세상에서 자녀의 안녕에 대해 “극도로” 우려한다고 대답하여 기후위기 시대를 살고 있는 자녀의 미래 삶의 질에 대한 걱정이 매우 크다는 것을 시사한다(Schneider-Mayerson, Leong, 2020). 전 세계 온실가스 배출량의 72%가 가정의 소비에 책임이 있으며, 자동차와 비행기 같은 이동수단과 육류와 유제품, 난방이 가계 탄소발자국에서 큰 비중을 차지하고 있다(Dubois et al., 2019).

이 연구는 가정에서 양육자의 기후행동을 단순한 소비 이상의, 기후위기에 대한 성찰과 의사결정으로 정의하며, 가정의 탄소배출량을 줄일 수 있는 중요한 주체임을 강조한다. 따라서 양육자의 다양한 생활 영역에 관한 이해를 통해, 그들의 일상에서 나타나는 기후행동(친환경행동)과 기후행동 비실천 양상을 종합적으로 탐구하고자 한다. 이는 가정이 단순한 소비의 공간을 넘어, 지속가능한 삶을 실천하는 생활의 장으로 기능하도록 하는 데 기초 자료를 제공하며, 나아가 환경커뮤니케이션 전략 수립에도 유용한 근거를 마련하고자 한다.

2. 본론

1) 연구방법

이 연구는 아동기 자녀를 둔 30·40대 양육자의 기후행동을 심층적으로 이해하기 위하여 혼합연구 방법을 적용하였다. 질적연구와 양적연구를 순차적으로 수행하고, COM-B¹⁾ 모델과 이를 확장한 TDF²⁾를 분석틀로 삼아 행동 결정 요인을 구체적으로 분석하였다(Buchanan et al., 2021; Murphy et al., 2023; Teo et al., 2025). 이 연구의 질적연구 일부와 양적연구는 <풀씨12기> 사업 지원으로 수행되었다.

(1) 질적연구

아동기 자녀(만 3-12세)를 둔 30·40대(30대 6명, 40대 3명) 양육자인 연구참여자 9명을 대상으로 심층 인터뷰를 실시하였다. 인터뷰는 생활 영역(의, 식, 주, 에너지 및 쓰레기, 사회참여)을 중심으로 기후행동 및 비실천 경험을 탐색하도록 설계하였다. 수집된 자료는 전사 후 개방코딩(open coding) 과정을 거쳐 의미 단위를 도출하고, 이를 범주화하였다. 이후 도출된 범주들은 COM-B 모델과 TDF 도메인을 기반으로 촉진/저해요인을 맵핑하여 양육자의 기후행동에 영향을 미치는 요인을 체계적으로 해석하였다.

1) 개인의 역량(Capability), 환경적 여건(Opportunity), 동기(Motivation)가 상호작용하여 행동(Behavior)을 산출한다고 설명한다.

2) Theoretical Domains Framework이며, COM을 지식, 기술, 사회적 정체성, 환경적 맥락, 사회적 영향, 정서, 목표 등 14개 도메인으로 세분화하였다.

(2) 양적연구

설문도구는 COM-B 모델(능력, 기회, 동기, 행동)을 이론적 틀로 삼아 개발하였으며, 구체적인 문항 구성과 설문 대상 설정 과정에서 질적 분석 결과와 선행연구를 보완적으로 참고하였다. 설문지는 양육자의 기후행동 실천을 설명할 수 있는 다양한 변인을 포함하도록 체계적으로 구성하였다. 설문조사는 온라인 조사 전문 기관인 엠브레인에 의뢰하여, 아동기 자녀(만 7-12세, 여아 200명, 남아 200명)를 둔 30·40대(30대 70명, 40대, 330명) 양육자 400명을 대상으로 실시하였다. 수집된 자료는 **크론바흐 알파 신뢰도 분석을 통해 COM-B 각 하위요인(능력·기회·동기·행동)의 문항들이 내적 일관성을 갖췄는지 검증**하였다. 또한 상관분석과 다중회귀분석, 그리고 조절효과 분석을 통해 양육자의 기후행동 실천에 영향을 미치는 요인과 작동기제를 규명하였다.

2) 연구결과

(1) 질적연구

① 의생활(의류·패션)

유아용 의류에서는 기부와 관계망을 통한 순환 소비, 가족의 피부 건강을 고려한 합리적 소비가 나타났다. 그러나 성인 의류의 경우 기능 중심적 태도와 소재에 대한 무관심, 충동구매 및 스트레스 조절을 위한 소비, 사회적 관계가 얽힌 중고거래의 심리적 장벽이 주요 저해 요인으로 확인되었다. 결국 양육자의 의생활 기후행동은 피부 건강, 경제성, 부정적 정서, 가족 및 사회적 관계 제약, 양육자의 제한된 시간과 에너지 내에서 편의적인 실용성 추구 간의 줄다리기 속에서 형성되는 것으로 나타났다.

② 식생활

음식물 쓰레기 저감을 위한 예방적 소비, 일회용수저와 같은 배달 구성품 거절, 일회용품 최소화, 성분표 확인과 같은 실천이 나타났으며, 자녀 건강을 우선한 선택적 친환경 식품 소비, 육류 소비 절제 등 계획적이고 내면화된 행동도 포착되었다. 그러나 배달 음식의 편리성, 다회용기 사용에 대한 저조한 경험과 심리적 장벽, 육류 소비—기후위기 문제 연관성에 대한 취약한 인식은 주요 저해 요인으로 확인되었다. 또한 자녀의 기호와 가족의 식습관, 양육 부담에 따른 일회용품 사용은 기후행동을 제한하였다. 따라서 양육자의 식생활에서의 기후행동은 자녀에게 성장을 위한 골고루 먹기 권장, 식재료 및 식품 구입의 경제성 추구하고 배달 및 외식이 제공하는 시간 절약과 조리 부담 경감 같은 가사 노동에 대한 편의성, 자녀의 기호와 가족의 식습관으로 인한 관계적 제약이 맞물리는 상황 속에서 선택적으로 실천되는 것으로 드러났다.

③ 에너지·쓰레기

촉진 요인은 일반쓰레기 줄이기 위한 물티슈 사용 자제, 분리배출 습관화와 이면지 및 페트병 등 재사용, 중고거래와 에너지효율 1등급 가전 소비, 물·전기·도시가스 에너지 절약 습관 및 이를 지속적으로 실천하기 위한 가정 내 설득으로 나타났다. 반면, 저해 요인은 양육 편의로 인한 물티슈·일회용 기저귀 폐기물 발생, 제로웨이스트·업사이클 제품에 대한 낮은 관여, 종이팩 분리배출 혼란, 자녀 양육으로 인한 에너지 절감 실천의 어려움이 밝혀졌다. 또한, 재생에너지 확산에 동의하면서도 개념에 대한 정보·인식 부족, 원전의 위험성 인지와 전기 수요 충족을 위한 원전 수용, 재생에너지에 대한 회의감이 공존하였다. 이는 에너지 수요 절감의 필요성에 대한 인식 결여와 맞물려, 정보·인프라·제도적 조건에 따른 조건부 행동임을 보여준다. 나아가 명확한 분리배출 제도·지침, 리필·다회용 인프라, 재생에너지의 개념과 중요성 등에 대한 소비자 정보가 보완될 때 이러한 행동의 지속과 확장이 가능한 것으로 해석된다.

④ 이동

이동·교통 영역에서 아동기 양육자의 기후행동은 경제성과 실용성을 기반으로 한 합리적 선택과 대중교통 중심의 생활, 연료비 절감을 고려한 하이브리드·전기차 선호 등을 통해 촉진되었다. 또한 일부는 에코드라이빙 개념을 인지하고 부분적으로 실천하며, 가족의 필요를 고려한 차량 선택과 배우자 경험·충전 인프라 등의 환경적 조건이 전기차 선택을 뒷받침하였다. 반면, 양육·돌봄으로 인한 자가용 의존, 자동차 의사결정에서의 성별·역할에 따른 소외, 기후위기 때문이 아닌 경제적 이유의 친환경자동차 선택, 가족 해외여행과 같은 고탄소 활동의 지속은 주요 저해 요인으로 나타났다.

⑤ 사회참여

정치·사회 참여에서 아동기 양육자의 기후행동은 기후공약을 고려한 투표·의사표현, 온라인 청원·소수단체 정기후원, 지역사회 애착과 미래세대 책임감에 근거한 자발적 활동(플로깅 등), 개인 실천의 사회적 파급효과에 대한 신념과 자녀를 매개로 한 내면화에 의해 촉진되었다. 또한 일상적 온라인 노출과 미디어 경험은 기후감수성과 참여 동기를 보완했다. 반면 정치적 불신·무관심, 양육과 부동산·자녀 교육 우선으로 인한 기후·환경 의제의 주변화, 환경단체 기여와 청원 참여에 대한 낮은 효능감, 환경교육 부재가 주요 저해 요인이었다. 참여는 주로 온라인 청원 등 낮은 진입장벽의 경로에 편중되고, 효능감·정보 접근성·시간 자원에 따라 단편적으로 이루어졌다. 종합하면, 이 영역의 기후행동은 ‘책임감·공동체 애착’ 기반의 미시적 참여와 정치·제도권에 대한 불신으로 인한 거시적 참여의 위축 사이에서 효능감·정보·양육 부담이 참여에 영향을 주는 조건으로 해석된다.

(2) 양적연구

양적연구의 결과를 종합하면, 기후행동은 역량(Capacity), 동기(Motivation), 기회(Opportunity), 그리고 가족문화 및 자녀와의 상호작용과 같은 사회문화적 요인들이 복합적으로 작용하여 설명되었다.

① 역량

자기조절능력과 기후지식 수준이 높을수록 기후행동 전반이 강화되며, 특히 기후지식은 사회참여 영역의 행동을 촉진하는 데 긍정적인 영향을 미쳤다($p<0.05$).

② 동기

기후위기에 대한 자기효능감과 습관화된 행동 역시 중요한 기후행동 촉진 요인으로 작용하였다($p<0.01$, $p<0.05$).

③ 기회와 가족문화

가족 내 친환경적 문화가 강할수록 식습관과 사회참여와 같은 기후행동이 두드러지게 나타났으며($p<0.001$), 시간·재정·인프라 등 물리적 기회가 부족하더라도 이러한 가족문화가 존재할 경우 기후행동 촉진 효과가 배가되는 것으로 확인되었다.

④ 제약적 요인과 상호작용

역사회화(자녀의 태도·인식이 양육자에게 영향을 주어 양육자의 행동 변화를 이끄는 과정)된 환경인식(CPS)이 강한 경우에는 오히려 물리적 자원 부족이 더 큰 제약으로 작용하여 부정적 상호작용을 보였고($p<0.05$), 자녀와의 상호작용이 높은 상황에서도 기회가 부족할 때 기후행동 제약이 강화되는 양상이 나타났다($p<0.05$).

⑤ 기후불안(climate anxiety)

이 기후감정(climate emotions)은 단독으로는 부정적 요인일 수 있으나(Coppola & Pihkala, 2023), 자녀와의 상호작용을 통한 역사사회화된 기후의식과 결합될 경우 기후행동을 촉진하는 긍정적 요인으로 전환되었다($p < 0.05$).

3. 결론

이 연구는 아동기 양육자의 기후행동이 개인의 역량·동기·기회와 가족문화·자녀와의 상호작용 같은 사회문화적 맥락이 맞물려 형성되는 다층적 과정임을 확인하였다. 질적 분석은 경제성·편의성·양육자 역할에 따라 기후행동이 선택적으로 촉진·제약됨을 나타냈다. 즉, 특정 양육자가 일관되게 실천하거나 일관되지 않게 하지 않는 것이 아니라, 맥락과 조건에 따라 선택적으로 실천 양상이 달라진다는 점을 의미한다. 양적 분석은 자기조절능력·기후지식·효능감·습관화가 기후행동 핵심 강화 요인임을 입증하였다. 또한 가족 내 친환경 문화는 제약을 상쇄하는 반면, 역사사회화된 기후의식·기후불안은 조건에 따라 촉진·제약 요인으로 작동하는 복잡성을 드러냈다. 결론적으로, 양육자의 기후행동 촉진을 위해서는 개인 역량 강화와 함께 가족문화·사회적 신뢰·제도적 지원을 아우르는 다차원적 접근의 필요성을 시사한다. 나아가 이 연구는 양육자의 생활세계와 사회문화적 맥락에서 드러난 촉진·제약 요인을 통해 건강·경제성·가족 책임성을 강조한 메시지 설계나 가족 단위 참여를 기반으로 한 환경커뮤니케이션·환경교육 전략 수립에 기초 자료를 제공할 수 있다. 그 증거로, 가정에서도 환경교육이 이루어지도록 하기 위해 <풀씨12기> 사업 지원으로 수행된 이 연구의 결과는 기후행동 환경교육 보드게임 3종(게임명: 에코갭 챌린지) 개발에 적용되어 자연스럽게 기후행동을 체득하도록 돕는 도구로 구체화되었다. 이는 학술 연구가 실제 교육 콘텐츠 개발과 현장 활용으로 확장될 수 있음을 보여주는 사례이다.

참고문헌

- Buchanan, H., Newton, J. T., Baker, S. R., & Asimakopoulou, K., 2021, Adopting the COM-B model and TDF framework in oral and dental research: A narrative review. *Community Dentistry and Oral Epidemiology*, 49(5), 385 - 393, <https://doi.org/10.1111/cdoe.12677>
- Coppola, I., & Pihkala P., 2023, Complex dynamics of climate emotions among environmentally active Finnish and American young people. *Front. Polit. Sci.* 4, 1063741, 10.3389/fpos.2022.1063741
- Dubois, G., Sovacool, B., Aall, C., Nilsson, M., Barbier, C., Hermann, A., Bruyère, S., Andersson, C., Skold, B., Nadaud, F., Dörner, F., Möberg, K. R., Ceron, J. P., Fischer, H., Amelung, D., Baltrusiewicz, M., Fischer, J., Benevise, F., Louis, V. R., & Sauerborn, R., 2019, It starts at home? Climate policies targeting household consumption and behavioral decisions are key to low-carbon futures. *Energy Research & Social Science*, 52, 144 - 158, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.02.001>
- IPCC. (2014). *Climate change 2014 - impacts, adaptation, and vulnerability: regional aspects*. Cambridge University Press.
- Murphy, K., Berk, J., Muhwava-Mbabala, L., Booley, S., Harbron, J., Ware, L., Norris, S., Zarowsky, C., Lambert, E. V., & Levitt, N. S., 2023, Using the COM-B model and Behaviour Change Wheel to develop a theory and evidence-based intervention for women with gestational diabetes (IINDIAGO). *BMC Public Health*, 23(1), 894, 10.1186/s12889-023-15586-y
- Schneider-Mayerson, M., & Leong, K. L., 2020, Eco-reproductive concerns in the age of climate change. *Climatic Change*, 163(2), 1007 - 1023, <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02923-y>
- Teo, V., Weinman, J., & Yap, K. Z., 2025, Best fit framework synthesis of qualitative studies on factors associated with medication nonadherence in people with type 2 diabetes using the COM-B model. *British Journal of Clinical Pharmacology*, 91(6), 1675 - 1691, <https://doi.org/10.1111/bcp.70059>

1인가구 생활환경 건강권을 위한 특화 정보 플랫폼 제안에 관한 고찰

서울 지역을 중심으로

김민아 성북문화재단

1. 서론

본 연구는 우리 사회에서 차지하는 1인가구 중 청년, 노인 가구가 처한 생활환경의 당사자성과 연관성에 기인하여 건강권에 대한 고민을 하게 되었고, 1인가구는 전체 가구의 35.5%인 782만 9천가구인 사회적 상황들과 연결되는 지점이라고 사료된다.

1인가구 스스로 건강수명을 잘 관리하며 살 수 있을까. 이와 같은 의문에서 출발한 본 연구는 원가족이면서 성인인 청년과 노인인 홀몸어르신 가구가 따로 살면서도, 함께 연대하며 살아가는 당사자성에서 기인한다. 일상생활에서 건강을 위해 자발적 혹은 연대하여 실천할 수 있는 부분이 먹거리, 의약 복용과 같은 부분들이 문턱 없이 접근할 수 있는 생활환경 영역으로 사료된다.

본 연구는 1인가구 당사자성을 기반으로 '청년 마을부엌 활동'을 하며 얻게 된 느슨한 관계망과 함께 식재료를 나누면서 환경을 실천할 수 있는 일거양득의 경험과 더불어 이와 관련된 문헌 조사를 통해 정보 측면에서 실천적으로 확장할 수 있는 접근점을 모색하고자 한다.

모든 약국이 건강 상담을 상세히 할 수 있는 환경은 아니기에 시민사회를 위해 대안적으로 운영하는 2개소인 서울 관악구에 위치한 '늘봄가치', 성북구에 위치한 '건강한약국' 사례를 탐색하여 구술인터뷰를 진행하였고, 1인가구 당사자로서의 약사들과 접점을 통해 1인가구 건강권을 위한 정보망 형성의 근간 지점이 되었다.

지역사회 협력형 아카이브 플랫폼의 구축 사례 및 문헌을 토대로 지역주민, 더 나아가 시민들이 제한 없이 접근하는 문화시설인 도서관의 지역 특화 주제 정보서비스 방식을 주목하게 되었다. 사회적으로 서울시 전체 가구의 30%가 넘는 '1인가구 생활환경 건강권' 정보 플랫폼 제안에 관해 고찰하는 것이 이 연구의 주목적이다.

2. 본론

1) 1인가구 생활환경 건강권: 먹거리 활동

(1) 서울 지역 청년 마을부엌 활동 사례 및 분석

서울에 소재하고 있는 마을부엌 8개소의 문헌조사를 통해 경제적 형편과 사회 계층에 관계없이 모든 사람들이 굶주리는 것을 넘어 양적으로 질적으로 충분한 먹거리를 사회로부터 보장받아야 하고, 먹거리 문제는 개인이 선택한다는 시각에서 벗어나 사회적 환경과 구조에 지배를 받으므로 국가와 사회가 적극적으로 개입해야 근본적인 문제를 해결할 수 있는 것으로 사료된다. 먹거리의 생산, 가공, 유통, 소비, 폐기의 전 과정에서 시민들의 자발적 참여를 모아 자신과 가족, 지역공동체, 생태계의 건강회복을 만든다는 '먹거리 기본권' 의제에 1인가구 청년들의 필수적으로 해당된다고 사료된다.

(2) 1인가구 청년 당사자성을 기반으로 마포구 마을부엌 활동 사례

1인가구 당사자성을 기반으로 생활하는 반경에서 아플 때 진통제라도 건네줄 수 있는 이웃을 만들어

야겠다는 생각과 함께 혼자여도 건강하게 음식을 차려 먹고 싶은 건강권에 대한 욕구를 환경정의 소셜미디어 관계망을 통해 '식탁으로 꽃 피우다' 청년부엌 프로젝트에 직접 참여 활동하였다. 이 프로젝트는 2022년 9월부터 10월까지 총8회기 과정으로 진행하였다.

또한 지자체에서 청년가구가 많은 마을부엌 혹은 마을식당에 식재료를 지원해주고, 망원2동 경로당 사례처럼 월회비 구조로 저렴하게 납부하여 선배 먹거리 강사를 초대해서 조리기술을 참여자들이 배우고, 각자의 이야기를 나누는 관계성을 만들어 나간다면, 지역사회에서의 먹거리를 통한 돌봄, 건강, 환경 등 다층적인 효과가 있을 것이라 사료된다.

2) 1인가구 생활환경 건강권: 의약 활동 1인가구 생활환경 건강권: 의약 활동

(1) 의약 활동 연구 배경

1인가구 청년, 노인 등 당사자성 기반의 생활환경 건강권 관련, 앞에서 살펴본 먹거리 영역과 더불어 수월하게 접근할 수 있는 부분이 의약품 사용하기 등과 같이 자신의 건강상태를 문턱 없이 상담할 수 있는 동네약국과의 연결성이라고 사료된다.

유선 및 현장 사전조사한 약국 5곳 중에서 구술인터뷰에 승낙한 관악구 늘품가치(늘품약국, 박상원 대표약사), 성북구 건강한약국(이미선 약사)을 구술인터뷰 및 참여관찰을 통한 심층조사를 하였다.

의료 복지 사각지대에 있는 시민들이 문턱 없이 소통할 수 있는 의약기관인 '약국'이라는 공간에 주목하여 '의약품의 조제업무와 투약, 복약지도'와 같은 통상적인 약국 업무 이외에 1인가구 청년, 노인 등에게 필요한 사회적 돌봄, 커뮤니티케어가 형성되는 요인이 작동하는지 관련 문헌조사와 구술인터뷰를 근간으로, 약사와 피돌봄자 사이의 라포 형성, 방문 의약 활동 사항 등 사회적 매개 관계를 살펴보고 1인가구 생활환경 건강권과 관련하여 고찰하고자 한다.

(2) 관악구 의약협동조합 늘품가치 사례 구술인터뷰

늘품가치의 차별화는 마을약사 제도인 것으로 본다. 특히 독거노인 등을 위한 방문의약활동이 지역민들의 건강권을 세밀하게 관찰하고, 유대관계를 이어나갈 수 있는 적극 의약활동으로 보이며, 건강 약사회, 늘품가치와 같은 공익적인 의약단체들이 증가할 때 공공약료 더 나아가 공공의료 영역으로의 확장을 모색할 수 있고, 이는 나홀로 1인가구들에게 필수불가결한 시스템이 아닐 수 없다고 본다.

(3) 성북구 문턱 없는 약국, 건강한약국 사례 구술인터뷰

건강한약국은 1인가구인 독거노인뿐만 아니라 성매매여성 등 사회적으로 소외된 시민들을 위해 의약활동을 넘어 먹거리 나눔, 정서적 고립 완화 지원, 지자체와 연계하여 복지서비스를 받을 수 있도록 조력하는 활동 등 복합적인 사회연결망을 1인이 사회복지기관처럼 감당하고 있다.

문턱 없는 약국의 역할을 의식 있는 개인만의 감당을 넘어 공동체, 지자체와 협력하여 확장하는 방안을 마련하여 지속가능한 복지 활동으로 나아갈 수 있어야 한다.

3) 1인가구 생활환경 건강권 특화 정보망 형성을 위한 지역사회 플랫폼 사례 고찰

(1) 오픈플랫폼을 활용한 마을 기록 정보망을 구축한 'A마을기록단'

A마을기록단은 1인가구에 국한된 사례의 플랫폼은 아니지만, 오픈플랫폼 노선을 활용하여 기록 정보망 구성에 참고해 볼 수 있다고 사료된다. 1인가구 관련 네트워크 형성을 통해 마을의 일상을 함께 기록하는 의미로 생생한 이야기를 업로드할 수 있는 플랫폼 장치를 구성하고, 관련 정보원, 공론화할 수 있는 자리를 지속적으로 마련하여 지역에서 시민들이 담론을 형성하고, 축적하는 과정이 건강권 특화 정보 콘텐츠를 마련하는 중요한 부분일 것이라고 사료된다.

(2) 지역의 공공도서관 누리집에서 오픈플랫폼을 연동한 D도서관 'D아카이브'

D도서관의 D아카이브는 오픈 플랫폼 노선을 공공도서관 누리집과 연동하여 정보망을 구축할 때 참고해 볼 수 있을 것이라고 사료된다.

저출생 고령사회인 우리나라에서 1인가구는 40%이상 수치를 기록했기 때문에 사회적 차원에서 1인가구 관련 주제어를 도서관 누리집 등 공공정보 사이트에서 추진해 볼 수 있을 것이라 사료된다. 하위 정보는 노선과 같은 오픈 플랫폼을 활용하여 연동할 수 있을 것이다.

(3) 지식구조화 오픈 아카이브, K-KOS(Korean Knowledge Organization System)

문헌정보학적 지식구조화 체계에 따른 오픈 플랫폼임에도, 1인가구 관련 '건강권'에 주목하여 이 정보원에서 참고할 수 있는 부분은 플랫폼의 유기적인 관계망의 구조이다.

1인가구 건강권 정보 플랫폼을 도서관 누리집 등과 같은 공공재 플랫폼에 연동 시 1인가구 건강권의 특화된 정보원을 플랫폼과 누리집의 상호 간 경계 없이 보다 연결성 있게 확장하여 구성 지점을 모색해 볼 수 있고, 나아가 플랫폼을 누리집 이외에 위키플랫폼과도 연동해 볼 수 있을 것이다.

3. 결론

1) 요약·고찰

본 연구에서 고찰하는 '1인가구 생활환경 건강권을 위한 특화 정보 플랫폼 제안' 관련 지역 현장의 1인 청년, 노인을 위한 살아있는 정보원 구성이 필요한 부분이기 때문에 1인가구가 소홀하기 쉬운 식생활, 몸과 마음 건강, 돌봄 활동과 관련된 정보 플랫폼 형성에 있어 키워드 분류가 필요하다. 이에 따른 연관 도서, 기사 등 기본 정보원을 기반으로 관련 주제에 대한 대상자 구술인터뷰, 참여관찰, 더 나아가 1인가구 지역공동체 관계망이 형성되어야 한다.

이를 위해 1인가구 당사자성에 기인한 본 연구는 실제 먹거리 활동 관련 마을부엌에 참여하여 관찰하였고, 대안적인 의약 활동 관련해서 문헌조사만으로는 불가하여 사회적 가치로 대안적 약료를 실천하고 있는 약사 2인을 구술인터뷰, 참여관찰 하였다. 이와 같은 현장의 1차 정보를 1인가구 식생활, 의약 정보가 포함된 생활환경 건강권 정보로 가공하여 코너를 제작해 볼 수 있을 것으로 사료된다.

2) 추후 연구 필요성

환경 아카이브 풀숲에서 진행하는 1인가구 관련 주제 토론회와 같은 지속적인 담론화, 공론장을 추구하는 것뿐만 아니라 서울시 25개 자치구를 기반으로 공익적으로 민간에서 활동하고 있는 1인가구 사례 발굴이 필요하다. 1인가구 정책에는 건강, 범죄, 고립, 주거를 비롯하여 더 나아가 일자리창업, 사회안전망, 문화·예술, 기후·환경, 평등·인권 등 다양한 의제 활동이 내포되어 있다. 본 연구는 서울시 소재 기반의 1인가구 당사자성을 기반으로 이들이 손쉽게 밀착된 생활환경(먹거리, 의약) 건강권을 위한 특화 정보 플랫폼 제안 방안에 포커스하여 접근하였다.

1인가구 생활환경 건강권 정보가 그들의 현장 이야기 기록을 통해 온라인 플랫폼에 생성, 공유되고, 관련 정보원을 지속적으로 축적하는 아카이빙 플랫폼 제안을 토대로 시민들의 공공재 정보서비스와 연동한다면, 사회적 파급력과 관계망이 확산되어 건강권과 관련된 생활밀착 정보원을 찾는 시민들이 점진적으로 증가될 것으로 사료된다.

참고문헌

- 환경정의, "사회가 차리는 밥상의 공유와 확산을 위한 토론회", 2019.11.26, F-BA-1235.
- 환경정의, "서울시 마을부엌 구술사례 연구; 현장과 정책의 연결", 2018.03.29. F-T-0000659, 2017-CR-09-03.
- 환경정의, "2018년 마을부엌 가이드북", 2018.12.18. F-BA-1170.
- 환경정의, "2018년 서울시 식문화 혁신 심포지엄 자료집", 2018.11, F-BA-1168.
- 환경정의, "2018년 마을부엌 리플렛", 2018.5.16, F-BA-1171.
- 김명훈, 2010, 『기록학점 관점에서의 구술의 의미와 역할에 관한 연구』, 『한국기록학회 기록학연구』, 24, 73-112.
- 김화경, 조아라, 2023, 『민간 기록정보 네트워크 플랫폼 구축 및 운영 방안 연구』, 『한국기록학회 기록학연구』, 75, 177-212.
- 손동유, 2020, 『민간 아카이브 활성화의 의미와 과제: 마을공동체 아카이브를 중심으로』, 『한국기록학회 기록학연구』, 65, 89-108.
- 이영남, 2023, 『기록학과 읽기: '아카이브에서 기록읽기'라는 사건을 중심으로』, 『한국기록학회 기록학연구』, 75, 249-297.
- 이정연, 유종덕, 이종윤, 2011, 『여성구술생애기록물 맥락 표현을 위한 메타데이터 구조화에 관한 연구』, 『한국기록학회 기록학연구』, 30, 57-88.
- 전하은, 2024, 『1인가구의 사회자본과 건강관련 삶의 질 관계에서 미충족 의료 조절효과 검증』, 『이화여대 사회복지학과 석사논문』 1-77.
- 늘품약국, 『대한민국 동네 약국 사용 설명서』, 생각비행, 2020, 1-271페이지.
- 서울기록원, 『2022 제5회 서울기록페어』, 서울기록원, 2022, 1-178페이지.
- 이미션, 『미아리서신』, 이마고, 2012, 1-336페이지.
- 재단법인숲과나눔, 『증가하는 1인가구, 우리 사회는 어디까지 준비되어 있나?』, 재단법인 숲과나눔, 2022, 1-70페이지.
- 한윤정 외, 『기후돌봄』, 산현글방, 2024, 1-277페이지.
- "경로당에서 주5일 식사 제공... 치매관리주치의 도입", 경향신문, 2024.3.21., 사회면.
- "눈물의 여왕'과 '우리들의 블루스' 차이는?...미디어 속 '고아'의 공식", 경향신문, 2024년 5월 5일, 사회면.
- "소셜다이닝 '집밥', 오는 20일 문 닫아... 경영악화 때문?" 시장경제신문, 2018.5.8.
- "유퀴즈' 이문수 신부, 청년밥상 문간 "가난한 청년 위해 무료 아닌 3천원 받아""", 충청일보, 2021.4.21., 핫트렌드면.
- "증가하는 고립은둔 청년, 대책이 시급합니다", 오마이뉴스, 2024년 10월 14일, 사회면.
- "재개발 관련 이주 시작된 하월곡동 88번지 일대", 뉴시스, 2023년 12월 7일, 사회면
- "집창촌 '약사이모'의 새 약국..."더우면 들어오세요"", 데일리팝, 2024년 7월 20일, 주목이약국면.
- "절거돼야 할 것은 혁신파크가 아닌 오세훈 시장의 탐욕: 서울혁신파크 개발 계획 반대 시민들, 30일 결의대회 진행..."공공 공간 지켜야", 오마이뉴스, 2024.8.31., 사회면.
- 국립중앙도서관(2024. 11. 1. 검색기준). 국립중앙도서관의 'MZ서가'. <https://www.nl.go.kr/>
- 국립중앙도서관 사서지원서비스 '한국문헌자동화목록형식-통합서지용' <https://librarian.nl.go.kr/LI/contents/L1010200000.do>
- 네이버 지식백과, "생활환경" 키워드 검색 동네형들 소셜미디어 <https://www.facebook.com/dongnebrother>
- 비건플러스연대 "인스타그램 활동 개소" 소셜미디어 <https://www.instagram.com/vegan.plus.kr?igsh=OTBwNjFzMnh1ODJq>
- 서울 열린데이터 광장 사이트 '서울시 인허가 약국' 통계(2024.2.14. 검색기준) <https://data.seoul.go.kr/dataList/OA-16484/S/1/datasetView.do>
- 서울시1인가구포털 <https://1in.seoul.go.kr/front/sport/sportListPage.do>
- 서울시1인가구포털 https://1in.seoul.go.kr/front/intropage/intropageShow.do?page_id=f60880c6a3c2413bb2eaa0e4c8b92406
- 서울청년정책네트워크 <https://youth.seoul.go.kr/network/content.do?key=2309180012>
- 성북구립 달빛마루도서관 달빛 아카이브 시민 참여형 기록 활동 <https://www.sbib.seoul.kr/dblib/menu/11139/bbs/20030/bbsArticleDetail.do?currentPageNo=1&bbsArticleIdx=244669>
- 성북구립 달빛마루도서관 웹사이트 <https://www.sbib.seoul.kr/dblib/menu/11139/bbs/20030/bbsArticleList.do>
- 성북구립 달빛마루도서관 휴먼라이브러리 기록 <https://www.sbib.seoul.kr/dblib/menu/10718/bbs/20018/bbsArticleList.do?currentPageNo=13&bbsArticleIdx=18640>
- 성북구립도서관 성북사람책도서관 <https://www.sbib.seoul.kr/library/menu/10006/bbs/20034/bbsArticleList.do?currentPageNo=1&bbsArticleIdx=0>
- 숲과나눔재단 블로그 https://blog.naver.com/korea_she/222938047308

- 슬기로운 '나혼산' 생활을 위해 꼭 알아야 할 1인가구지원센터, 내 손안에 서울 <https://mediahub.seoul.go.kr/archives/2011276>
- 우리마을기록단 웹사이트 <https://www.maeularchive.kr/>
- 친구네식탁 소셜미디어 https://www.instagram.com/kwangjin_table/
- 청년문간, "홈페이지 카테고리 '사업-연결-문스토랑' 코너" 웹페이지 <https://youthmungan.com/68>
- 청춘빨당, "청년생활증진사업, 노랑식탁 1인가구 소셜다이닝" 웹페이지 <https://www.youthblg.org/NORANG>
- 통계청 사회통계기획과, "2023 통계로 보는 1인가구" (2023.12.12. 검색기준) https://kostat.go.kr/board.es?mid=a10301010000&bid=10820&list_no=428414&act=view&mainXml=Y
- 한국교육학술정보원 <https://riss.kr/index.do#thesis>
- 환경아카이브 풀숲 <https://ecoarchive.org/exhibits/show/ex-06/ex06-2>
- 환경아카이브 풀숲 <https://ecoarchive.org/simple-pages/page/introduce>
- 환경아카이브 풀숲 <https://ecoarchive.org/items/show/1085>
- 환경정의 [활동] 공유냉장고는 기후위기를 극복하기 위한 실천 <https://www.eco.or.kr/activity/?idx=20431848&bmode=view>
- 박상원, 2024. 4. 1., 관악구 소재 테이블1629 커피점에서 저자와의 면담.
- 이미선, 2024. 3. 29., 5. 16., 건강한약국에서 저자와의 면담.
- 손동유 (2020). 민간 아카이브 활성화의 의미와 과제: 마을공동체 아카이브를 중심으로. 기록학연구, 65, 89-108.
- 이영남 (2023). 기록학과 읽기: '아카이브에서 기록읽기'라는 사건을 중심으로. 기록학연구, 75, 249-297.
- 이정연, 유종덕, 이종운 (2011). 여성구술생애기록물 맥락 표현을 위한 메타데이터 구조화에 관한 연구. 기록학연구, 30, 57-88.
- 재단법인숲과나눔 (2022). 1인가구 연속 토론회, 1인가구 권리 시리즈: 증가하는 1인가구, 우리 사회는 어디까지 준비되어 있나. 59.
- 늘품약국 (2020). 대한민국 동네 약국 사용 설명서. 서울: 생각비행.
- 이미선 (2012). 미아리서신. 서울: 이마고.
- 한윤정 외(2024). 기후돌봄. 서울: 산현글방.
- 전하은 (2024). 1인가구의 사회자본과 건강관련 삶의 질 관계에서 미충족 의료 조절효과 검증. 석사학위논문, 이화여자대학교.
- 김송이 (2024. 5. 5). '눈물의 여왕'과 '우리들의 블루스' 차이는?...미디어 속 '고아'의 공식,
- 경향신문, 사회면. <https://www.khan.co.kr/article/202405050601001>
- 민서영 (2024. 3. 21). '경로당에서 주5일 식사 제공...치매관리주치의 도입. 경향신문. 사회면. <https://www.khan.co.kr/national/health-welfare/article/202403211414001>
- 박경호 (2021. 4. 21). '유퀴즈' 이문수 신부, 청년밥상 문간 "가난한 청년 위해 무료 아닌 3천원 받아", 충청일보, <https://www.ccdailynews.com/news/articleView.html?idxno=2052043>
- 엄윤주 (2024. 5. 28.). 슬기로운 '나혼산' 생활을 위해 꼭 알아야 할 1인가구지원센터, 내 손안에 서울. <https://mediahub.seoul.go.kr/archives/2011276>
- 이재완 (2024. 10. 14). 증가하는 고립은둔 청년, 대책이 시급합니다. 오마이뉴스, 사회면. https://www.ohmynews.com/NWS_Web/View/at_pg.aspx?CNTN_CD=A0003070150
- 정규호 (2018.5.8.), "소셜다이닝 '집밥', 오는 20일 문 닫아...경영악화 때문?" 시장경제신문, <https://www.meconomynews.com/news/articleView.html?idxno=13563>
- 정병혁 (2023. 12. 7). 재개발 관련 이주 시작된 하월곡동 88번지 일대, 뉴시스. https://mobile.newsis.com/photo_view.html? pict_id=NISI20231207_0020155070&type=main
- 정홍준 (2024. 7. 20). 집창촌 '약사이모'의 새 약국..."더우면 들어오세요", 데일리팜, 주목이 약국면. <https://www.dailypharm.com/Users/News/NewsView.html?ID=313791>
- "철거돼야 할 것은 혁신파크가 아닌 오세훈 시장의 탐욕: 서울혁신파크 개발 계획 반대 시민들, 30일 결의대회 진행..."공공공간 지켜야", 오마이뉴스, https://www.ohmynews.com/NWS_Web/View/at_pg.aspx?CNTN_CD=A0003059627
- 건강사회를위한약사회 (2024. 11. 11. 검색기준.). 환경아카이브풀숲. 출처: <https://ecoarchive.org/items/show/1085>
- 건강정보사전 (2024. 11. 11.). Open Archives: 건강정보사전. 출처: <http://openarchives.net/kos/%EA%B1%B4%EA%B0%95%EC%A0%95%EB%B3%B4%EC%82%AC%EC%A0%84>
- 건강정보사전 (2024. 11. 11.). Open Archives: 건강정보사전: 암의 정보. 출처: http://openarchives.net/kos/%EC%95%94%EC%9D%98_%EC%A2%85%EB%A5%98

- 국립중앙도서관 사서지원서비스 '한국문헌자동화목록형식-통합서지용' 화면(2023). 전자책 바로가기 '한국문헌자동화목록형식 - 통합서지용'. 국립중앙도서관. 출처: <https://librarian.nl.go.kr/LI/contents/L1010200000.do>
- 네이버어학사전 (2025. 8. 31. 검색기준.). '생활환경' 의미. 네이버. 출처: <https://dict.naver.com/dict.search?query=%EC%83%9D%ED%99%9C%ED%99%98%EA%B2%BD&from=tsearch>
- 네이버지식백과 (2024. 11. 11. 검색기준.) '개호보험' 의미. 네이버. 출처: <https://terms.naver.com/entry.naver?docId=4356777&cid=43665&categoryId=43665>
- 동네형들 (2022. 3. 29.). 동네형들 페이스북. 출처: <https://www.facebook.com/dongnebrother>
- 비건플러스연대 (2024. 11. 18). 비건플러스 공식 스케줄 공유. 출처: <https://www.instagram.com/vegan.plus.kr?igsh=OTBwNjFzMhh1ODJq>
- 서울시1인가구포털 (2024). 사업소개: 서울시 1인가구 특별대책이란. 서울시1인가구포털. 출처: https://lin.seoul.go.kr/front/intropage/intropageShow.do?page_id=f60880c6a3c2413bb2eaa0e4c8b92406
- 서울시1인가구포털 (2025. 9. 1.). 지원사업 안내. 1인가구 소셜 다이닝 '은빛SOL다이닝'. 출처: <https://lin.seoul.go.kr/front/sport/sportListPage.do>
- 서울시1인가구포털 (2025. 9. 1.). 지원사업 안내. 1인가구 간병비 지원 '은빛SOL케어'. 출처: <https://lin.seoul.go.kr/front/sport/sportListPage.do>
- 서울 열린데이터 광장 (2024. 2. 14.). 서울 열린데이터 광장 사이트 '서울시 인허가 약국' 통계. 출처: <https://data.seoul.go.kr/dataList/OA-16484/S/1/datasetView.do>
- 서울청년정책네트워크 (2023). 주요사업: 서울청년정책네트워크총회. 서울청년정책네트워크. 출처: <https://youth.seoul.go.kr/network/content.do?key=2309180012>
- 성북구립 달빛마루도서관 (2012). 1회~5회 휴먼 라이브러리. 달빛마루도서관. 출처: <https://www.sbib.seoul.kr/dblib/menu/10718/bbs/20018/bbsArticleList.do?currentPageNo=13&bbsArticleIdx=18640>
- 성북구립 달빛마루도서관 (2023. 6. 16.). [행사/모집] 다르게 실천하는 특별한 하루! <지구의 더위를 삽니다>. 달빛마루도서관. 출처: <https://www.sbib.seoul.kr/dblib/menu/10712/bbs/20001/bbsArticleDetail.do?currentPageNo=1&searchCondition=title&searchKeyword=%EC%A7%80%EA%B5%AC%EC%9D%98+%EB%8D%94%EC%9C%84%EB%A5%BC&bbsArticleIdx=229302>
- 성북구립 달빛마루도서관 (2024. 9. 5.). [전시] 2024 달빛마루도서관 <달빛 아카이브: 기억과 경험의 기록> 『응답하라, 하월곡동』. 달빛마루도서관. 출처: <https://www.sbib.seoul.kr/dblib/menu/11139/bbs/20030/bbsArticleDetail.do?currentPageNo=1&bbsArticleIdx=244669>
- 성북구립 달빛마루도서관 (2024). 달빛 아카이브. 달빛마루도서관. 출처: <https://www.sbib.seoul.kr/dblib/menu/11139/bbs/20030/bbsArticleList.do>
- 성북구립도서관 성북사람책도서관 (2018). 2016-2018 사람책도서관 활동. 성북구립도서관. 출처: <https://www.sbib.seoul.kr/library/menu/10006/bbs/20034/bbsArticleList.do?currentPageNo=1&bbsArticleIdx=0>
- 숲과나눔재단 블로그 (2022. 11. 25.). (재)숲과나눔 '증가하는 1인 가구, 한국 사회는 어디까지 준비되어 있을까?' 토론회 개최. 출처: https://blog.naver.com/korea_she/222938047308
- 우리마을기록단 (2016). 우리마을기록단 오픈 플랫폼. 출처: <https://www.maeularchive.kr/>
- 재단법인숲과나눔 (2022. 12. 9.). 1인가구 연속 토론회: 1인가구 권리 시리즈 자료. 숲과나눔재단. 출처: https://koreashe.org/board/?mode=view&post_id=93935
- 진진구네식탁 (2020. 8. 5.). 광진구 공유부엌 진진구네식탁. 출처: https://www.instagram.com/kwangjin_table/
- 청년문간 (2024). "홈페이지 카테고리 '사업-연결-문스토랑' 코너". 출처: <https://youthmungan.com/68>
- 청년문간 (2025). "홈페이지 카테고리 '사업-연결-세대공간 있다' 코너". 출처: <https://youthmungan.com/97>
- 청춘벨딩 (2024.). 청년생활증진사업, 노랑식탁 1인가구 소셜다이닝. 출처: <https://www.youthblg.org/NORANG>
- 통계청 사회통계기획과 (2025. 8. 31.). 2024 통계로 보는 1인가구. 출처: https://www.kostat.go.kr/boards?act=view&bid=1080&list_no=4340&mid=al030101000
- 한국교육학술정보원 (2024. 1. 3.). '커뮤니티케어 약국'으로 검색. 학술연구정보서비스. 출처: https://riss.kr/search/detail/DetailView.do?p_mat_type=1a0202e37d52c72d&control_no=f5e09aa68082cc61e9810257f7042666&keyword=%EC%A7%80%EC%97%AD%20%EC%95%BD%EA%B5%AD%EC%9D%98%20%EB%85%B8%EC%9D%B8%20%EC%A0%84%EB%AC%B8%20%EC%95%BD%EC%82%AC%20%EB%8F%84%EC%9E%85%20%EB%85%BC%EC%9D%98

- 환경정의 (2018. 3. 29.), 서울시 마을부엌 구술사례 연구; 현장과 정책의 연결
- (2017-CR-09-03). 환경아카이브 풀숲. 출처: <https://www.ecoarchive.org/items/show/17473>
- 환경정의 (2018. 5. 16.). 2018년 마을부엌 리플렛, 마을부엌의 주요 기능. 환경아카이브풀숲 출처: <https://ecoarchive.org/items/show/41562>
- 환경정의 (2018. 11.), 2018년 서울시 식문화 혁신 심포지엄 자료집. 환경아카이브풀숲. 출처: <https://www.ecoarchive.org/items/show/41559>
- 환경정의 (2018. 12. 18.), 2018년 마을부엌 가이드북. 환경아카이브 풀숲. 출처: <https://www.ecoarchive.org/items/show/41561>
- 환경정의 (2019. 11. 26.). 사회가 차리는 밥상의 공유와 확산을 위한 토론회: 청년 먹거리 대안을 위한 발전 방안(86). 환경아카이브풀숲. 출처: <https://www.ecoarchive.org/items/show/41626>
- 환경정의 (2024. 4. 24.). [활동] 공유냉장고는 기후위기를 극복하기 위한 실천. 환경정의. 출처: <https://www.eco.or.kr/activity/?idx=20431848&bmode=view>
- KOS 아카이브 블로그 (2024. 11. 12.). KOS의 수집과 조직, 공유: 건강정보와 KOS. 출처: <https://semantica.kr/2024/11/12/%ea%b1%b4%ea%b0%95%ec%a0%95%eb%b3%b4%ec%99%80-kos/>
- Glossary of health information (2024). BARTOC. Available: <https://bartoc.org/en/node/20275>
- 박상원 (2024. 4. 1.). 관악구 소재 테이블1629 커피점에서 저자와의 면담 [인터뷰].
- 이미선 (2024. 3. 29., 5. 16.). 건강한약국에서 저자와의 면담 [인터뷰].

일러두기

- 2.3.1. 오픈플랫폼을 활용한 마을 기록 정보망을 구축한 'A마을기록단'과 2.3.2. 지역의 공공도서관 누리집에서 오픈플랫폼을 연동한 서울 D 도서관의 'D 아카이브'의 이름을 영문자로 표기한 이유는 국내 특정 사이트를 부각하는 것을 방지하기 위함.

갯벌 되기의 존재론적 학습

새만금시민생태조사단에 대한 질적 연구

신혜정 서울대학교 교육학과 박사과정, 숲과나눔 연구장학생

1. 서론

그간 많은 연구자가 주류 지속가능성 교육이 기존 체계에 도전하기보다는 유지해왔음을 비판해왔고, 2000년대 이래 정보전달이나 인식론적 차원의 변화보다는 관계적인 존재 방식으로 되어가는 존재론적 전환으로서의 지속가능성 학습을 주장하는 연구들이 증가하였다(Lange, 2018; O'Neil, 2018 외). 이 연구는 새만금시민생태조사단(이하 '조사단')에 초점을 맞춘다. 조사단은 새만금 간척사업과 그에 맞서 갯벌을 보전하고자 했던 종교계·시민사회 운동이 한창이던 2003년 창단되어 현재까지 20여 년간 활동을 이어오고 있다. 연구에서는 조사단의 형성과 결속, 위기와 지속, 확장의 과정을 개인·사회·생태적 차원이 얹힌 집단학습의 과정으로, 특히 존재론적 전환의 지속가능성 학습의 과정으로 바라본다. 특히 인간과 비인간, 관념과 정동, 제도 등 이질적인 것들이 얹히는 사례의 학습 양상을 설명하기 위해, 보조적으로 배치(asmblage) 개념을 활용한다.

2. 연구방법

본 연구는 사례연구로, 사례의 맥락과 진화를 포괄하는 깊이 있고 풍부한 설명을 포함한다(Denzin.& Lincoln, 2011). 자료 수집은 조사단에 대한 심층 면접과 참여관찰을 주로, 보조적으로 조사단의 보고서와 보도자료 등 관련 문서, 조사단과 새만금 관련 각종 자료 탐독 등을 통하여 진행하였다. 연구자는 2025년 3월부터 조사단 활동에 참여관찰을 진행해왔으며, 2025년 8월에는 초기부터 활동해온 3인(J, L, K)과 각 2시간, 2시간 반, 4시간 반 가량의 면접을 진행하여 분석하였다.

3. 연구결과

1) 형성 및 결속 - 갯벌로의 흐름, 갯벌과의 연결

새만금 사업에 대항하는 움직임은 1990년대 중후반 이래 본격적으로 시작된다. 1998년에는 새만금간척사업백지화를 위한 시민위원회가 결성되어, 2001년의 새만금갯벌생명평화연대로 이어졌다. 시민사회단체들과 지역의 어민들은 시위와 성명, 국제 연대, 법적 대응 등 다양한 방식의 운동을 이어갔고, 새만금 시민생태조사단은 이러한 운동의 과정에서 2003년 탄생한다. 새만금갯벌생명평화연대에서는 “새만금갯벌에 기대어 살고 있는 무수한 생명들 - 농발게부터 백합, 도요물떼새, 오리, 기러기, 칠면초, 갈대, 그리고 어민들까지 그들의 목소리를 직접 듣고 기록할 수 있는 시민생태조사단원”을 모집한다. “새만금에 관심 있는 시민이라면 누구든지” 참여할 수 있었다.

그 모집에 응답한 이들 중에는 일간지의 환경 담당 기자로 취재를 다니던 J, 환경 운동을 하다 그림책 작가가 되어 90년대 활발했던 습지 운동에 함께하며 습지에 대한 그림책을 쓰기 위해 전국의 습지를 찾던 L, 환경단체에서 일하다가 마약 인류학 석사과정을 시작한 K도 있었다. 그들은 각자의 상황에서 필요에 의해, 지인들에 이끌려 “너무나 자연스럽게”(K) 활동을 시작한다. 그런 그들 각각의 역사로부터는,

전북 출신으로서 주민들을 소외시키는 국책사업에 대한 분노, 어린 시절을 보냈던 외가 동네의 갯벌이 간척되는 것을 알지도 지켜보지도 못했다는 아쉬움, 어린 시절 보았던 SF소설에서 그려진 지구 멸망에 대한 충격과 우려로 환경에 대해 무언가를 해야 한다는 의식이 함께 있었다.

조사단은 물새팀/저서생물팀/문화팀/야생동물팀/식물팀으로 나뉘어 매월 첫째주 주말 새만금 일대를 모니터링하기 시작했다. 새만금 방조제 안쪽을, 강 하구와 갯벌을 둘러보며 참가자들은 처음 보는 생명들을 만나고, 그들이 나름대로의 방식으로 살아가고 있음을 관찰하고 때로는 설명을 들으며 단원들은 갯벌을 살아가는 생명들이 행위성을 가짐을 체감한다. “살아있음을, 역동적인 삶을 살아가고 있는 생명체임”(N, 활동백서 중)을 느낀다. 그렇게 매월 모니터링을 반복하며 새만금 일대를 누비면서, “어느새 그 곳에서 만난 수많은 물새들과 갯벌의 생명들이 나의 가슴 속 깊이 들어와 자리 잡고 있었”(D, 활동백서 중)음을 고백한다. 조사단은 갯벌의 수많은 생명들과 연결되며 결속되어갔다.

2) 위기 및 변화 - 방조제 건설 및 갯벌의 변화

조사단 활동을 시작한지 3년차인 2006년 4월 새만금 방조제 물막이 공사가 완료되어 바닷물이 막히며 일어난 갯벌의 변화는 조사단의 개인과 집단 차원의 굴곡과 변화로 직결되었다. 가장 먼저 이동성이 제한된 계와 조개, 갯지렁이 등 저서생물들이 폐죽음을 당했고, 그에 따라 저서생물을 먹으러 왔던 새들이 굶어 죽고, 어류와 저서생물을 채취해 살아가던 어민들의 인심은 각박해졌고, 많은 경우 결국에는 직업을 바꾸거나 소수는 이주해갔다. 새와 저서생물이 줄면서, 그리고 그들의 이동 경로가 환경의 변화에 따라 변화하면서, 이들을 관찰하던 조사단도 변화했다. 물새 관찰지점이 변했고, 주요 관찰지점 수 자체도 20곳에서 10곳으로 감소하게 되었다. “새는 그래도 적은 숫자라도 오는데 조개는 확 죽”(L)어서, 저서생물팀의 활동은 감소하여 어업의 변화 양상을 좇는 문화 조사 형태에 가까워지게 되었다.

조사단의 분위기도 변했다. “물막이 전에는” “공유할 것도 많았고” “굉장히 활기찼”던 분위기였다면, 물막이 이후로는 “힘이 쏙 빠졌”(K)다. 살아있던 바다와 갯벌이 주던 “엄청난 그 활력”은, “상상도 할 수 없는 상황들”에 대한 “좌절”, “엄청난 분노”(K)로 바뀐다. 죽어가는 생명, 또는 일자리를 잃고 침잠해가는 어민들을 보는 우울과 절망에, 이전보다 내부 갈등도 많아졌다. 조사단의 주축이었던 환경단체도 공교롭게 이 시기 활동을 중단하게 되었다. 조사에 참여하는 멤버도 많이 줄어, 3-40명이었던 수가 10명도 안되는 때도 많았다. 그럼에도 활동을 이어가는 이들의 마음은 다양했다. 적어도 10년은 기록해보자던 약속이 공통적으로 힘이 되었다. “사람들이 다 여기 죽었다고 다 잊어버리고 떠나도, (...) 우리는 여기 잊지 않았고 그냥 늘 누가 듣든 말든 우리는 여기 와서 우리는 여기는 지켜야 된다. 이렇게 한마디 하고 또 간다”(J)는 마음, 조사단 활동을 통해 수혜를 입었다는 데 보답해야 한다는 책임감(K), 운동의 흐름은 끝이 없이 이어진다는 인식(L)이 각자의 활동을 지탱했다. 그렇게 모인 서로가 “서로서로 힘이 되니까”(J) 모일 수 있었고, 무엇보다 갈 때마다 얼굴이 다른 “새만금이라는 자연이”(L) 있기에 활동은 지속될 수 있었다. 그렇게 버티는 과정에서 조사단원들은 갯벌이 죽어가는 것만은 아니라는 것을 발견하게 된다. 물이 마른 갯벌에는 나문재, 칠면초와 같은 염생식물이 들어섰고, 염분이 더 빠진 자리에는 창질경이와 갯패랭이 같은 육상식물들이 번성했으며, 이를 따라 또다른 생물들이 자리를 잡았다.

3) 지속 및 확장 - 갯벌의 이어짐, 갯벌과 함께 만들기

현재에도 새만금 일대는 담론과 운동과 정책에 따라 끊임없이 변화하고 있으며, 조사단도 이 과정에서 함께 행위하고 있다. 2020년, 잼버리 행사장 진입도로 건설을 위해 부안에 남은 유일한 원형 갯벌인 해창갯벌의 일부인 장승벌을 매립한다는 계획이 세워지자, 조사단은 과거 새만금 갯벌 보전운동에 참여했던 종교환경단체에 이를 알려 함께 연대하여 계획을 바꾸어냈다. 한편 2020년 12월부터 새만금위원회는 방조제 안쪽의 악화된 수질 개선을 위해 하루에 두 번 방조제의 배수갑문을 열어 해수를 유통시킨다는 결정을 했다. 이 결정에는 꾸준히 새만금 해수 유통을 주장해온, 조사단을 포함한 전북 시민환경단체

들의 몫이 있었다.

현재 조사단은 군산에 유일하게 남은 갯벌 원형지인 수라갯벌을 지키기 위한 활동에 연대하고 있다. 이곳이 새만금신공항 부지로 선정되어 2025년 착공이 예정되어있기 때문이다. 조사단은 2021년 전북시민환경단체들로 구성된 새만금신공항백지화공동행동의 설립 단계에서부터 참여하여, 현재 새만금신공항 기본계획 취소 소송, 새만금신공항 환경영향평가 부동의를 위한 천막 농성과 시위, 행사 등에 연대하고 있다. 이 중에는 새만금 갯벌과 조사단의 활동을 담은 영화 ‘수라’를 보고 온 이들도 많다. 이 연대자들이 활동하는 텔레그램방 이름은 ‘수라갯벌의 친구들’이다.

4. 결론

연구결과를 통하여, 조사단의 형성과 지속에는 과거 새만금 보전 운동과 개인의 역사에서 비롯한 기억, 관념과 정동이 얹혀있음을 볼 수 있다. 조사단은 새만금 갯벌에서 처음 보는 생명들을 만나며 “이전에는 결코 사유되거나 느껴지지 않았던 자신, 타자, 그리고 세계에 대한 감각이 창발해가는 과정”(Ellsworth, 2005:16, 한승희와 최근정, 2023에서 재인용)”을 경험하며 새만금과 관계를 맺어갔다. 이러한 관계로 인해 방조제 완공으로 위기를 겪었고, 그럼에도 그 관계로 인해 활동을 지속하였다. 조사단은 정기조사와 보도자료 작성, 연대운동을 통해 새만금 일대의 정책 과정에 행위자로 참여하고 있으며, 그 결과로 나타나는 생태적 변화에 다시 영향을 받는다.

이렇듯 새만금 갯벌과 분리될 수 없이 얹히는 조사단의 형성 및 지속 과정은 인간과 비인간, 자연과 문화, 몸과 정신, 과거와 현재와 미래는 서로 얹히며, 생명 존재, 사건, 정동, 기억, 관념, 제도, 정책을 행위자로 매 순간 창발하는 일종의 배치(asmsemblage) 형성으로서의 학습 과정이라고 볼 수 있다. 이 배치를 특히 갯벌의 배치로 명명해보자면, 조사단이 갯벌 배치의 일부가 되어가는 것은, 또 영화 등을 보고 조사단을 따라 갯벌 배치로 편입되는 것은, 조사단이 집단적 차원에서 갯벌에 영향을 주고받으며 갯벌의 배치를 넓혀가는 과정은 “세계를 지어가는(world-building) 관계로부터 창발하는 감각과 얹의 복합적인 이벤트”(Smolander, W. & Pyry, N., 2023)로서의 학습으로, 존재론적 전환으로서의 지속가능성 학습으로 읽힐 수 있다. 이렇게 보면, 지속가능성 학습은 단순히 개인의 지식 습득이나 태도, 행동의 변화 차원이 아니라 인간과 비인간, 갯벌이 얹힌 배치로서 되어가는(becoming) 존재론적 전환의 과정으로 볼 수 있다. 이는 또한 성장과 개발 패러다임에 맞서는 운동이 단순한 저항이 아니라, 다른 존재방식의 가능성을 여는 학습 과정으로 이어짐을, 혹은 그 자체임을 시사한다.

참고문헌

- 새만금시민생태조사단 (2005). 새만금시민생태조사단 1주년 활동백서.
- 새만금시민생태조사단 (2006). 새만금시민생태조사단 2주년 활동백서.
- 새만금시민생태조사단 (2007). 새만금시민생태조사단 3주년 활동백서.
- 새만금시민생태조사단 (2009). 새만금시민생태조사단 5주년 활동백서.
- 한승희, 최근정. (2023). 포스트-휴머니즘적 접근과 회집체로서의 학습체계, 그리고 포스트-평생학습론 사유. 평생교육학연구, 29(3), 1-42.
- Denzin, N & Lincoln, Y. (2011). The SAGE Handbook of Qualitative Research. LA:SAGE.
- Ellsworth, E. (2005). Places of learning: Media, architecture, pedagogy. Routledge.
- Lange, E. A. (2018). Transforming transformative education through ontologies of relationality. Journal of transformative education, 16(4), 280-301.
- O'Neil, J. K. (2018). "Transformative sustainability learning within a material-discursive ontology." Journal of Transformative Education 16(4): 365-387.
- Smolander, W., & Pyry, N. (2023). Attuning to geostories: Learning encounters with urban plants. Educational Philosophy and Theory, 55(11), 1237-1252.

구두발표 세션 5.

생물다양성

- **시스템 디자인을 통한 도시지역 생태통로 문제 분석과 디자인 개입 전략**
김하은 연세대학교 대학원 통합디자인학과 박사과정
박소희 연세대학교 대학원 아동가족학과 박사과정
황찬수 연세대학교 대학원 통합디자인학과 박사과정
- **지속 가능한 시민 참여 중심 생태복원사업 평가 체계 연구: 고창 자연마당을 중심으로**
송주희 서울대학교 환경대학원 협동과정 조경학 박사과정
- **개발도상국 산림복원 성공을 이끄는 이해관계자 네트워크: 에티오피아 흥보 지역 주민주도경관복원 사례**
민수연 서울대학교 국제농업기술대학원 국제농업기술학과 박사과정
- **한반도 흑응애류의 분류학적 연구 및 고찰**
정재욱 경북대학교 첨단바이오융합학과 석사 수료, 숲과나눔 학업장학생

시스템릭 디자인을 통한 도시지역 생태통로 문제 분석과 디자인 개입 전략

김하은 연세대학교 대학원 통합디자인학과 박사과정

박소희 연세대학교 대학원 아동가족학과 박사과정

황찬수 연세대학교 대학원 통합디자인학과 박사과정

1. 서론

도로는 도시 내외의 접근성과 효율성을 향상시키지만, 동시에 녹지축과 생태적 연속성을 분절시키며 생물다양성 감소와 서식지 파편화를 초래하였다(Rigby & Jones, 2022). 이러한 문제에 대응하기 위해 국내외에서는 생태통로(Ecological Corridors)가 조성되기 시작했다. 그중 도시에 설치되는 생태통로는 산간 지역이나 교외 지역에 조성되는 생태통로와는 달리, 높은 인구밀도, 공간 제약, 시민 이용 행태 등의 다양한 사회기술적(socio-technical) 맥락과 얽힌다. 그러나 기존 연구는 이용 개체수나 설계적 결함 과 같은 단편적인 지표에 치우쳐 있어(Rozenau-Rybowicz & Baranowska-Janota, 2008) 사회적, 제도적, 문화적 맥락이 얽힌 다층적인 원인을 충분히 설명하지 못했다.

이에 본 연구는 시스템릭 디자인 접근을 통해 도시 생태통로의 복합적인 문제 구조를 진단하고, 레버리지 포인트(Leverage Points)에 기반한 개입 전략을 제안한다. 연구의 목적은 도시 생태통로의 문제점을 사회기술적 관점에서 체계적으로 진단하고, 인간-동물 공존형 기반시설로서의 기능 회복을 위한 하이(high)·로우(low) 레버리지 포인트 기반의 디자인 개입 전략을 제안하는 것이다. 본 연구의 문제는 다음과 같다:

연구문제 1. AcciMap 워크숍을 통해 도출된 도시 생태통로의 사회기술적 문제점과 레버리지 포인트는 무엇인가?

연구문제 2. 레버리지 포인트를 기반으로 도시지역의 생태통로를 위한 디자인 개입 전략은 무엇인가?

2. 방법론

분석 대상은 안산과 인왕산을 연결하는 서울 무악재 하늘다리 생태통로이다. 2017년 동식물의 이동과 도시민의 편익을 동시에 제공하고자 ‘자연과 인간의 공존’을 목표로 준공되었고, 인간 보행로와 동물 이동로를 겸용하는 구조를 갖추고 있다. 이 생태통로는 도심 고밀도 환경에 위치하면서도 멧돼지와 같은 야생동물의 이용이 잦고(환경부, 2024), 이로 인한 도시민의 피해와 관리 과제가 동시에 드러나는 대표적인 사례이다. 따라서 사회문화적·제도적·생태적 맥락을 통합적으로 고려한 다층적인 분석을 통해 문제점을 체계적으로 진단하고 개입 지점을 발견할 필요가 있다.

Jones와 Ael이 제안한 시스템 변화를 위한 7단계 여정은 디자인 프로세스를 진행하는데 유용하다. ① 시스템 프레이밍에서는 문헌연구와 현장조사로 범위와 경계를 설정하고, ② 시스템 경청에서는 생태통로 연구자, 국립기관 연구원, 구청 공무원 등 4인을 대상으로 설계·효과성·사회적 수용을 주제로 반구조화 인터뷰를 수행했다. ③ 시스템 이해 단계에서는 AcciMap(Rasmussen, 1997) 워크숍을 2회 진행했다. 먼저 내부 연구진 3인이 문헌과 보고서를 토대로 문제를 구조화했고, 이후 시민 6인이 층위별 심화 분

석과 레버리지 포인트 도출에 참여했다. 이어 ④ 바람직한 미래 구상에서 인간-동물 공존 비전을 정립하고, ⑤ 가능성 탐구에서 하이·로우 레버리지에 대응하는 디자인 아이디어를 구상했다. 마지막으로 ⑥ 변화 프로세스 계획과 ⑦ 전환 촉진 단계에서 실행과 지속가능성을 기반으로 확산 전략을 구상했다.

3. AcciMap 분석 결과

외부적 수준 분석 결과, 생태통로 조성에 있어 「생태통로 설치 및 관리지침(환경부, 2023)」과 「국립생태원 생태통로 관리·운영 세부 지침서(국립생태원, 2024)」 등 관리 규정이 존재함에도 불구하고, 인간 보행로와 동물이동로 사이 개방형 웬스 구조 등 일부 요소가 기준에 부합하지 않게 관리 및 운영되고 있었다. 이는 제도와 실제 운영 간의 간극으로 해석할 수 있다. 둘째, 조직적 수준에서는 관리 인력 부족 문제를 확인하였다. 또한 장기적인 모니터링 시스템 부재와 생태통로 효과성 평가 체계가 미비함을 확인하였다. 셋째, 행위/조건 요인에서는 교통 소음 등 동물 이용을 저해하는 요인이 발견되었다. 이는 동물의 통로 진입 회피, 예상치 못한 도심 출현으로 이어지는 문제를 제기할 우려가 있으며, 선행 연구가 지적한 문제와도 일치한다(심운진 외, 2018). 넷째, 행위자 수준에서는 시민들이 생태통로의 존재와 의미를 인지하지 못하는 문제가 있었으며, 생태통로를 ‘산책로’로 인식하는 경향이 강해 본래 목적이 간과되는 것을 발견하였다. 이상의 분석을 통해 도출된 주요 레버리지 포인트는 1)시민 인식의 부재와 2)유지·관리 체계의 미비였으며, 도출된 두 개의 개입 지점을 토대로 아래 디자인 개입 전략을 제안한다.

4. 토의

하이 레버리지 개입 전략인 ‘시민참여형 생태 모니터링단’은 생태문해력 교육을 이수한 시민이 주체가 되어 정기적인 관찰, 데이터 수집, 공유를 수행하는 거버넌스 모델이다. 관리구청은 운영 지침 수립, 수료증 발급 등을 통해 제도적 기반을 마련하고, 이를 통해 시민 참여의 지속성을 강화할 수 있다(Gregory et al., 2021). 또한 민간기관과의 연계 교육과 온라인 데이터 플랫폼 구축은 시민들이 수집한 정보를 정책에 환류시키는 장치가 된다. 이러한 체계는 기존 관리 시스템의 공백을 보완할 뿐 아니라 도시 생물다양성 보전, 지역 공동체의 생태 인식 증진, 시민 자부심 고취, 정책 수용성 확대 등 다층적 효과를 기대할 수 있다(Moussa & Mohan, 2024; Jansen et al., 2023; Greving et al., 2023).

로우 레버리지 개입 전략인 ‘발자국-스토리텔링 디자인’은 일상적 공간 경험을 통해 시민 인식을 변화시키는 개입이다. 인간 보행로에 동물 발자국과 짧은 이야기를 표시함으로써 비가시적 존재를 직관적으로 드러내고, 공존 윤리를 상기시키는 효과를 낳는다. 예를 들어, “이 길은 멧돼지도 이용합니다. 조용히 걸어주세요.”와 같은 문구는 소음·속도와 같은 구체적 행태 변화를 유도할 수 있다. 이러한 전략은 추가적인 구조물을 설치하지 않고도 디자인 개입을 통한 인지 전환을 촉발할 수 있는 장점이 있다.

전문가 인터뷰 결과는 이러한 디자인 개입 전략을 지지한다. 이들은 새로운 설계 지침 마련보다 기존 시설의 유지와 관리 정상화가 우선이라고 보았으며, 생태통로의 효과를 단순히 동물 이용 개체수로 환원하기보다 시민 인식 개선을 위한 개입이 필요하다고 강조하였다.

5. 결론

본 연구는 시스템적 디자인 접근과 AcciMap 분석 도구를 활용하여 도시지역 생태통로의 문제를 다층적인 맥락에서 진단하고, 실질적으로 적용 가능한 디자인 개입 전략을 제안했다는 점에서 의의가 있다. 기존 연구가 조경학적 개선이나 개체수 중심의 정량 평가에 국한되었다면, 본 연구는 사회기술적 맥락

에 얽힌 시스템적 분석을 시도했다는 점에서 차별성이 있다. 또한, 본 연구는 실행 가능성이 높은 전략을 제안했다는 점에서 의의가 있다. 시민 참여 모니터링단은 기존 행정 체계의 관리 공백을 보완하며, 데이터 축적 및 교육적, 정책적 환류를 통해 장기적 지속성을 확보할 수 있으며, 발자국 - 스토리텔링 디자인은 새로운 구조물 설치 없이 시민의 주의를 환기하고 행동 변화를 촉발할 수 있다는 점에서 즉각적인 효과를 창출할 수 있는 가능성이 있다.

그러나, 본 연구는 단일 사례(무악재 하늘다리)를 중심으로 수행되었고, 제안된 전략이 실제로 적용되었을 때의 효과성과 지속가능성에 대한 실증적 검토가 이루어지지 않았다는 한계가 있다. 후속 연구에서는 1) 디자인 시행 전·후의 비교를 통해 시민 인식 및 행동 변화의 정도를 측정하고, 2) 다양한 도시 생태통로 사례를 비교 분석하여 본 연구의 디자인 제언을 일반화할 필요가 있다.

참고문헌

- 국립생태원. (2024). 생태통로 관리·운영 세부 지침서. 국립생태원.
- 심윤진, 정규중, 어양준, 유윤진, 박현경, 장민호, 이태호, 김중권, 박수곤, 장은혜, 추연수. (2018). 환경영향평가 협의시 생물이동성 제고를 위한 법·제도적 고찰에 관한 연구. 한국환경복원기술학회지(환경복원기술), 21(1), 145-155. <https://doi.org/10.13087/kosert.2018.21.1.145>
- 피터 존스, 크리스텔 판아엘, 『시스템믹 디자인: 복잡 시스템 사이에서 시스템 변화를 꺾는 디자인 여정』, (강예진), 안그라픽스, 2025, 인용 페이지
- 환경부. (2023). 생태통로 설치 및 관리지침. 환경부.
- 환경부. (2025). 첨단기술을 이용한 멧돼지 서식지 분석 및 모니터링(2024년). 환경부.
- A. Rozenau-Rybowicz & M. Baranowska-Janota. (2008). Ecological Corridors in Spatial Planning. <https://www.semanticscholar.org/paper/f4e88326071386cb4e01598aac3d265270eb2843>
- Gregory, A., Spence, E., Beier, P., & Garding, E. (2021). Toward Best Management Practices for Ecological Corridors. Land, 10(2), 140. <https://doi.org/10.3390/land10020140>
- Greving, H., Bruckermann, T., Schumann, A., Stillfried, M., Börner, K., Hagen, R., Kimmig, S. E., Brandt, M., & Kimmerle, J. (2023). Attitudes toward engagement in citizen science increase self-related, ecology-related, and motivation-related outcomes in an urban wildlife project. BioScience, 73(3), 206-219. <https://doi.org/10.1093/biosci/biad003>
- Jansen, M., Beukes, M., Weiland, C., Blumer, M., Rudolphi, M., Poerting, J., Meißner, R., Weiß, M., Condori, Y., Aramayo-Ledezma, G., Grieb, J., Wolodkin, A., & Aramayo-Bejarano, J. L. (2024). Engaging Citizen Scientists in Biodiversity Monitoring: Insights from the WildLIVE! Project. Citizen Science: Theory and Practice, 9(1).
- Moussa, L. G., & Mohan, M. (2024). Exploring Citizen Science Applications for Wildlife Monitoring. Science, 1, 100005. <https://doi.org/10.70389/PJES.100005>
- Rasmussen, J. (1997). Risk management in a dynamic society: a modelling problem. Safety science, 27(2-3), 183-213. <https://doi.org/10.5334/cstp.665>
- Rigby, K., & Jones, O. (2022). Roadkill: Multispecies mobility and everyday ecocide. In T. van Dooren & M. Chrulaw (Eds.), Kin: *Thinking with Deborah Bird Rose*(pp. 112 - 134). Duke University Press.

사사

이 논문은 2025년도 숲과나눔 ‘카카오뱅크 에코실험실’ 지원을 받아 수행된 연구임.

지속 가능한 시민 참여 중심 생태복원사업 평가 체계 연구

고창 자연마당을 중심으로

송주희 서울대학교 환경대학원 협동과정 조경학 박사과정

1. 서론

생태복원은 훼손된 생태계를 기존의 모습으로 회복시키거나 유사한 생태계로 대체, 창출하는 것으로 (환경부, 2008; 2020), 자연환경뿐만 아니라 사회, 문화, 경제, 도덕, 정치적 의미 등을 포괄하는 개념으로 발전해왔다. 국내에서는 「자연환경보전법」에 근거하여 다양한 생태복원사업이 추진되고 있다. 생태 복원은 장기간의 시간이 소요되는 변화 과정이므로 유지관리 및 모니터링 단계가 특히 중요하다. 「자연환경보전법」에서는 이 과정에서 국가·지자체·지역 주민·시민단체·전문가 등 모든 이해관계자의 참여와 협력이 바탕이 되어야 함을 명시하고 있지만(박종원, 2022), 지금까지의 복원사업에서는 모니터링의 기반이 부재하여 유지 및 관리 미흡과 같은 문제가 발생했다(환경부, 2017).

따라서 본 연구는 시민 참여가 중심이 되는 지속 가능한 생태복원사업 평가 체계를 분석하고, 연구 대상지인 고창 자연마당에 적용하여 평가하고자 한다. 자연마당은 일반적인 도시공원과 조성 목적이 다른 생태복원사업이 이루어진 곳이므로 목적에 맞는 지속 가능한 모니터링과 관리 방안이 필요하다. 다양한 이해관계자의 인식을 반영한 평가와 개선 방안을 도출하는 것은 생태복원사업의 지속 가능한 관리 방안의 측면에서 의의가 있다.

2. 본론

1) 대상지 분석

고창 자연마당은 기존 곰솔·소나무림을 보전하면서 묘지와 폐경작지 등 훼손지를 초지, 관목지, 소나무 군락, 습지 등으로 복원하여 다양한 서식처를 조성하였다. 특히 문화재보호구역을 포함한 훼손지 약 2만 6천㎡가 복원되어 생태적 기능과 이용자 공간이 함께 마련되었다(송주희, 2024).

그러나 모니터링 결과, 용존산소 부족·부영양화·개방수면 부족 등 수환경 문제가 확인되었고, 주민 만족도 조사에서도 생태환경 항목의 인식과 평가가 낮게 나타났다(고창군, 2020). 현장 조사에서는 권고 기준보다 낮은 개방수면 비율, 외래종 황소개구리의 발견, 목표종의 서식 부적합 등이 드러났으며, 시민 참여 프로그램 또한 운영되지 않아 관리체계의 미비점이 확인되었다.

2) 시민 참여 중심 생태복원 평가 체계

본 연구에서는 국내외에서 제시된 다양한 생태복원 평가 체계를 검토하고, 그중에서도 시민 참여와 거버넌스를 강조하는 지표를 종합하여 분석하였다. 우선, FAO·SER·IUCN이 공동으로 제시한 「Standards of practice to guide ecosystem restoration(2023)」에서는 참여와 적응적 관리를 원칙으로, 평가·계획 및 설계·실행·유지관리·모니터링의 5단계를 제시하였다. 또한 UN Global Compact CEO Water Mandate와 Pacific Institute가 작성한 자연기반해법(NbS) 참여 가이드는 맥락 이해에서 모니터링까지 5단계·16개 지표를 통해 이해관계자의 참여 과정을 구체화하였다. 국제생태복원협회(SER)는 생태복원의 실무 표준을 계획, 실행, 모니터링, 유지관리의 4단계로 나누고, 20개 지표와 45개 세부 항목을

제시하였다. 이 중 5개 지표와 6개 항목이 이해관계자 참여와 직접적으로 관련된다. 국내에서는 국립공원연구원이 IUCN 녹색목록 지표를 한국형으로 적용·개발하였는데, ‘우수한 거버넌스’와 관련된 14개 지표를 포함해 총 21개 지표가 시민 참여와 연관된다. 마지막으로 미국 환경보호청(EPA)의 환경 정화 사업인 슈퍼펀드(Superfund)의 커뮤니티 가이드는 지역 사회 참여 방안을 규정하며, 인터뷰, 공청회, 정보 공개, 참여계획(CIP) 수립 등을 강조한다.

다섯 가지의 평가 체계 항목을 종합하기 위해 UN 생태복원사업 표준의 5단계(평가, 계획 및 설계, 실행, 유지관리, 모니터링 및 평가)를 기본 틀로 설정하고, NbS 참여 가이드, SER 국제 표준, 한국형 IUCN 녹색목록 지표, 슈퍼펀드 커뮤니티 가이드의 항목들을 통합하였다. 프로젝트의 특수한 단계는 제외하고, 유사 항목을 묶어 총 5단계·18개 지표·46개 세부 방법으로 지표를 도출하였다.

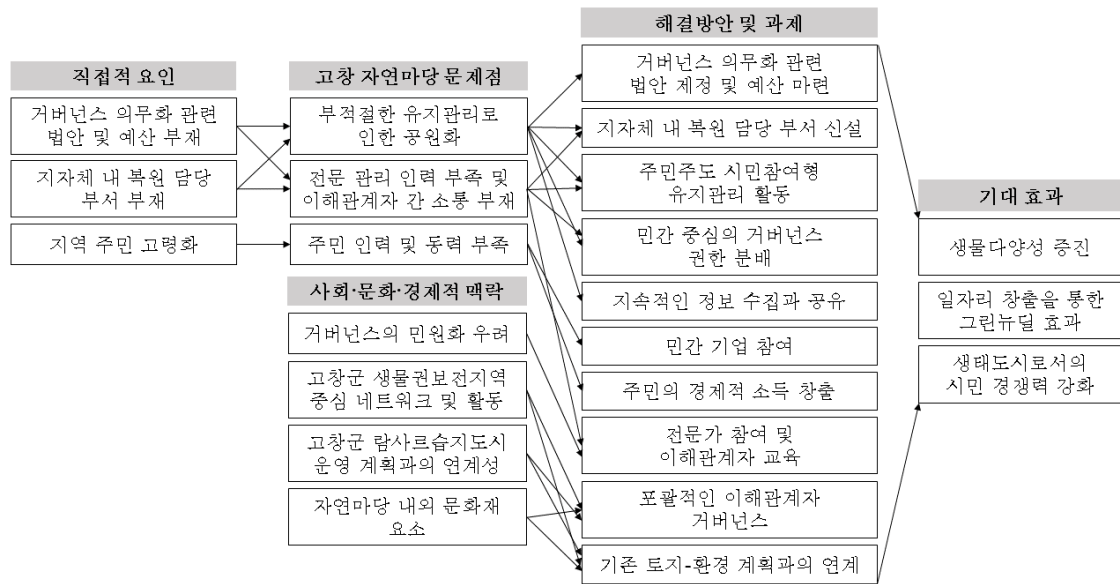
3. 결론

1) 고창 자연마당 평가 체계 재구성

‘이해관계자 참여 기반의 유지관리 부족’이라는 고창 자연마당의 문제에 초점을 맞추어, ‘거버넌스’와 ‘유지관리’를 핵심 키워드로 선정하였다. 그리고 앞서 총 5단계·18개 지표·46개 세부 방법으로 종합한 평가 체계를 바탕으로 고창 자연마당에 적용할 수 있는 평가 체계로 재구성한 결과, 거버넌스 지표는 △이해관계자 설정 및 관련 법안 확인 △거버넌스 구조의 정의와 문서화, 법적 근거 확인 △거버넌스 구조에 대한 정보 공개 △분쟁·고충 파악과 해결 프로세스 △거버넌스 활력과 역량 증진으로 구성된다. 유지관리 지표는 △지속적인 유지관리 △지역의 사회·경제적 맥락 이해를 통한 관리 △모니터링 및 평가 계획 수립 △거버넌스 활력과 역량 증진 △데이터 수집, 분석 및 평가 △이해관계자 소통으로 구성된다.

2) 심층 인터뷰를 통한 대상지 특징 및 과제 도출

고창 자연마당 이해관계자 심층인터뷰는 지자체 공무원, 환경부 산하 연구기관 연구자, 지역 환경 NGO 활동가, 생물다양성 모니터링 용역업체, 설계 및 시공 담당자, 행정·정책 전문가, 조경·생태 분야 교수, 지역 문화기관 담당자 등 총 12인을 대상으로 2024년 10월 12일부터 11월 25일까지 실시하였다. 재구성한 고창 자연마당 평가 체계를 바탕으로 심층 인터뷰 및 구술 분석을 진행한 결과, 문제점과 사회문화적 맥락의 10가지 범주, 해결 방안 및 과제의 10가지 범주가 도출되었다. 20개 범주의 상호 영향 관계와 기대 효과는 그림 1에 제시하였다. 이러한 결과는 고창 자연마당의 관리 한계와 개선 방향을 종합적으로 보여주며, 향후 지속 가능한 생태복원사업 관리 전략을 수립하는 데에 시사점이 있다.



<그림 1> 해석을 통한 범주 간 영향 관계 시각화 (연구자 작성)

참고문헌

- 고창군. 고창 자연마당 생물다양성 모니터링(2차년도). 2020.11
- 고창군. 고창 자연마당 조성사업 실시계획 보고서. 2017.
- 국립공원연구원. IUCN 녹색목록 재등재 추진 연구. 2019.
- 박종원(2022). 2021년 개정 「자연환경보전법」에 따른 자연환경복원제도 도입의 의의와 한계. 환경법연구 Vol. 44 Issue 2. pp. 161-194
- 송주희(2024). 농촌지역의 생태복원사업지에서의 인지된 생태계서비스 분석 - 고창 자연마당을 중심으로-. 농촌 계획학회 춘계학술대회 자료집
- 자연환경보전법. (2024). 환경부. <https://www.law.go.kr/법령/자연환경보전법>
- 환경부. 국토환경 녹색복원 마스터플랜 수립을 위한 연구. 2020
- 환경부. 생태복원사업 모니터링 및 유지관리 가이드라인. 2017.01
- 환경부. 자연환경복원법(가칭) 제정안 마련 연구 최종보고서. 2017
- 환경부 한국환경산업기술원. 훼손유형별 진단평가 체계 및 생태복원모델 개발 최종보고서. 2024.3.31.
- CEO WATER MANDATE, Pacific Institute. Stakeholder Engagement Guide for Nature-Based Solutions. 2022.11
- EPA. This is Superfund A community Guide to EPA's Superfund Program. 2011
- FAO, SER & IUCN CEM. Standards of practice to guide ecosystem restoration. A contribution to the United Nations Decade on Ecosystem Restoration. Summary report. 2023
- Society for Ecological Restoration(SER). INTERNATIONAL PRINCIPLES AND STANDARDS FOR THE PRACTICE OF ECOLOGICAL RESTORATION. 2019

사사

본 논문은 「생태복원사업의 지속 가능한 관리 방안 연구: 고창 자연마당을 중심으로」(서울대학교 석사학위논문, 2025)을 수정·보완하여 작성하였습니다. 또한 본 연구의 인터뷰 조사는 서울대학교 기관생명윤리위원회(IRB)의 승인(승인번호: 2410/003-023)을 받아 수행되었습니다.

개발도상국 산림복원 성공을 이끄는 이해관계자 네트워크

에티오피아 흙보 지역 주민주도경관복원 사례

민수연 서울대학교 국제농업기술대학원 국제농업기술학과 박사과정

1. 서론

기후변화와 생물다양성 손실에 대응하기 위한 전 세계적 노력에도 불구하고 매년 약 1,000만 헥타르의 산림이 소실되고 있어(FAO, 2022), 효과적인 산림복원 전략의 필요성이 절실한 상황이다. 지역사회 기반 산림복원은 환경보전과 지역 생계 개선을 동시에 달성할 수 있는 유력한 대안으로 주목받고 있으나, 실제 현장에서는 다양한 이해관계자 간의 복잡한 권력관계로 인해 정책 설계 의도와 다른 결과가 나타나는 경우가 빈번하다. 기존 환경 거버넌스 연구는 주로 제도적 설계나 환경영향 평가에 집중하여, 실제 산림복원 과정에서 누가 어떤 영향력을 행사하며 이해관계자들이 어떻게 상호작용하는지에 대한 체계적 분석이 부족한 실정이다. 본 연구는 에티오피아 흙보(Humbo) 지역의 주민주도경관복원 사업을 사례로 행위자 중심 권력(Actor-Centered Power, ACP) 이론과 사회연결망 분석을 결합하여 지역사회 기반 산림복원 거버넌스의 실제 작동 방식을 규명하고, 성공적인 환경운동 사례의 거버넌스 모델 구조를 조명하고자 한다.

2. 본론

1) 연구방법

(1) 연구대상

① 본 연구는 에티오피아 남서부 월라이트 지역(Wolayta Zone), 흙보 지역의 주민주도경관복원(Farmer Managed Natural Regeneration, FMNR) 사업을 연구 대상으로 선정하였다. 주민주도경관복원은 기존 식생의 체계적 관리를 통해 농업용지와 공동체 토지를 재생시키는 지역사회 주도의 환경복원 접근법이다(World Vision, 2008). 이 사업은 2005년부터 국제NGO가 추진한 에티오피아 최초의 대규모 산림 청정개발체제(Clean Development Mechanism, CDM) 사업으로, 2,728헥타르의 황폐화된 토지에서 181,000tCO₂ 감축을 달성하여 \$1,157,413의 탄소배출권 수익을 지역사회 개발에 재투자하였다. 지역주민들은 천연갱신된 나무를 관리하며 연료목, 목재, 양봉 등의 소득창출 활동을 수행하고 있다.

(2) 분석틀 및 자료수집

① Krott et al.(2014)의 행위자 중심 권력 이론을 기반으로 정보(주요 정보), 인센티브(유인/억제책), 강제력(규제/처벌)의 세 가지 권력 원천을 중심으로 이해관계자 관계를 분석하였다. 2024년 8-9월 현지 조사를 통해 지역협동조합(51.3%), 지역연구기관(16.7%), 지역 NGO(11.5%), 지방정부(11.5%), 국제기구(5.1%) 등 총 78명을 대상으로 구조화된 네트워크 설문조사를 실시하였다.

② 사회연결망 분석을 통해 연결중심성(직접 연결 수), 근접중심성(정보 전달 효율성), 매개중심성(흐름 통제력), 고유벡터중심성(영향력 있는 행위자와의 연결도)을 계산하고, 각 권력 원천별 네트워크 구조와 핵심 행위자를 식별하였다(Buckingham et al., 2021).

2) 주요 연구결과

(1) 국제 NGO의 네트워크 허브 기능

국제 NGO가 모든 네트워크에서 가장 높은 연결성을 보여 전체 네트워크를 연결하는 중심 기관으로 기능하고 있다. 이들은 사업관련 정보를 가장 많이 제공하고, 자금과 물자, 일자리를 공급하며, 사업 허가와 주요 의사결정에서 핵심적인 영향력을 행사한다.

(2) 지방정부의 지역 확산자 기능

에티오피아의 지방행정기관인 존(Zone)과 워레다(Woreda)는 중앙 정책을 지역 현장에 전달하는 핵심 역할을 수행하고 있다. 이들은 지역 수준에서 정보를 가장 효율적으로 확산시키는 기능을 담당한다. 워레다 정부는 현물 지원과 규제 정책을, 존 정부는 재정 지원을 통해 중앙과 지역을 연결하는 중간 매개 역할을 효과적으로 수행하고 있다.

(3) 전문 분야별 중개 역할 분화

각 네트워크별로 전문화된 중개자가 등장하고 있다. 정보 교환에서는 지역NGO와 연구기관이 서로 다른 이해관계자 그룹 간의 소통을 담당하며, 갈등 상황에서는 존 정부가, 의사결정 과정에서는 국제NGO가 각각 중개 역할을 맡는 분화된 구조를 보인다.

(4) 협동조합의 전략적 변화 주도

지역 산림관리협동조합은 직접적 자원 제공자가 아님에도 불구하고 모든 네트워크에서 변화를 주도하는 핵심 역할을 수행하고 있다. 이들은 정보 네트워크에서 현지 상황에 맞는 정보 해석을, 인센티브 네트워크에서 주요 수혜자 역할을, 강제력 네트워크에서는 영향력 있는 행위자들과의 전략적 연결을 통해 직접적 권한 없이도 실질적 영향력을 확보하고 있다.

3) 고찰

(1) 국제 NGO 허브 모델의 효과성

국제NGO는 본부-현지법인의 이원적 구조를 통해 효과적으로 사업을 운영하고 있다. 본부에서는 자금을 제공하고 현지법인에서는 실제 사업을 실행하는 역할 분담을 통해 협력 위험을 줄이면서도 주민주도 경관복원 기법 확산에 효과적으로 기여하고 있다. 이는 단순한 외부 지배가 아니라 상향식과 하향식 접근을 결합한 환경운동 모델로서 국제개발협력 사업의 새로운 가능성을 보여준다..

(2) 협동조합 중심 지역사회 참여의 혁신성

지역 산림관리협동조합들이 직접적 자원 제공 능력은 제한적이지만, 영향력 있는 행위자들과의 전략적 네트워크 구축을 통해 실질적 변화 주도 역할을 수행하고 있다. 이는 기존 연구들이 가정한 수동적 수혜자 모델과 다른 능동적 참여 양상으로, 환경복원과 더불어 주민역량 강화 모델을 제시한다.

(3) 상호보완적 네트워크 거버넌스 모델의 출현

본 연구에서 발견된 역할 분화 패턴은 복합적 환경 거버넌스 시스템을 보여준다. 국제 NGO의 허브 기능, 지방정부의 확산 기능, 전문 기관들의 중개 기능, 지역협동조합의 변화 주도 기능이 상호보완적으로 작동하여 단일 기관으로는 달성하기 어려운 복합적 목표를 동시에 추구하는 거버넌스 모델을 형성하고 있다. 이러한 네트워크 기반 환경 거버넌스는 기존 행위자 중심 권력 이론이 제시한 개별적 권력관계를 넘어서, 구조적 위치와 관계적 맥락이 권력 행사에 미치는 영향을 규명함으로써 환경 거버넌스 이론에 새로운 관점을 제공한다.

3. 결론

본 연구는 에티오피아 홍보 산림복원사업 사례를 통해 지역사회 기반 환경 거버넌스에서 나타나는 복합적 권력 네트워크의 구조와 작동 방식을 실증적으로 규명하였다. 국제 NGO의 네트워크 허브 역할, 지방정부의 확산자 기능, 전문 기관들의 분화된 중개 역할, 그리고 협동조합의 전략적 변화 주도 역할이 상호 연결되어 성공적인 환경복원과 지역사회 역량강화를 동시에 달성하는 거버넌스 모델을 형성하고 있음을 확인하였다. 연구 결과는 기후변화 대응을 위한 산림복원 정책이 기술적 접근을 넘어 이해관계자 간 영향력 관계와 네트워크 구조를 고려한 거버넌스 설계가 필요함을 보여준다. 특히 각 이해관계자의 고유한 역할과 전문성을 인정하고 상호보완적 관계를 구축할 때 환경보전과 지역사회 발전이라는 복합적 목표를 효과적으로 달성할 수 있으며, 향후 다양한 환경복원 사업에서 네트워크 기반 거버넌스 설계의 중요성을 제시한다.

참고문헌

- Buckingham, K., Arakwiye, B., Ray, S., Maneerattana, O., & Anderson, W., 2021, Cultivating networks and mapping social landscapes: How to understand restoration governance in Rwanda, Land Use Policy, 104, 104546, <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104546>
- FAO, 2022, The State of the World's Forests 2022: Forest pathways for green recovery and building inclusive, resilient and sustainable economies, Food and Agriculture Organization, Rome
- Krott, M., Bader, A., Schusser, C., Devkota, R., Maryudi, A., Giessen, L., & Aurenhammer, H., 2014, Actor-centred power: The driving force in decentralised community based forest governance, Forest Policy and Economics, 49, 34-42, <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2014.04.012>
- World Vision, 『Farmer Managed Natural Regeneration: A guide for practitioners』, World Vision Australia, 2008

사사

본 연구는 월드비전의 "REDD+ 활성화를 위한 시민사회 역할 및 협력 증진 방안 개발(2024)" 사업의 지원을 받아 수행된 결과물임.

한반도 흑응애류의 분류학적 연구 및 고찰

정재욱 경북대학교 첨단바이오융합학과 석사 수료, 숲과나눔 학업장학생

1. 서론

흑응애는 거미강 진드기아강 털진드기목 흑응애상과에 속하는 응애류를 통칭하며, 현재까지 4,000 여 종 이상이 보고된 종 다양성이 높은 분류군 중 하나이다^[1,2,3,4,5]. 세계적 서식 분포 범위는 온대지역(Temperate region)부터 아열대 및 열대지역(Subtropical and tropical region)이며, 다수의 종이 온대지역에서 보고되었다^[6]. 흑응애류는 식물에 기생하며 영양분을 얻는 식식성 응애이며, 기주식물(host plant)을 선호 경향성이 매우 강하여서 특정 과나 속, 심지어 종 수준의 기주식물로부터 새로운 종 또는 고유 종이 발견되기도 한다^[6].

형태적 특징으로는 방추형 또는 애벌레형 몸과 4개의 다리, 침형 입, 방사형으로 갈라진 발톱, 퇴화된 눈을 가지고 있으며^[7,8], 기타 거미류나 응애류와 구분이 된다. 이들의 생애는 기주식물의 잎이나 줄기, 열매를 배회하거나 잎눈 또는 꽃눈 인편 사이에서 영양분을 획득한다. 일부 종들은 다양한 형태의 흑(충영)을 형성하여 그 속에서 생활한다. 흑응애의 생활사는 일반적으로 알에서 유체, 님프(곤충은 약충이라 칭함), 성체의 단계를 거치며 서식 지역에 따라 휴면(하면과 동면)을 하기도 한다. 암컷의 경우, 휴면을 하는 암컷과 아닌 암컷으로 생태형이 달라지고 서로 다른 형태를 나타내기도 한다^[9].

전통적인 분류체계에 따르면, 흑응애상과 내에는 3개의 과—숲흑응애과, 흑응애과, 긴코흑응애과—가 포함되어 있다. 이들의 분류학 역사는 19세기부터 현재까지 150년 이상 지속되고 있으며, 형태 형질 기반의 분류학에서 유전체 데이터를 활용한 분자계통학적 연구가 수행되었다^[2,9,10]. 그 과정에서 상위 및 하위 분류체계가 추가되거나 개정되었고, 많은 종이 명명되고 재분류 되었다. 한국 흑응애의 분류는 형태 형질 기반으로 수행되었고, 그 결과 50여 종의 서식이 확인되었다^[11,12].

그러나 많은 연구자가 Amrine의 분류를 채택하고 있지만, 학자 간 의견이 달라 6개의 서로 다른 분류 체계가 존재하고^[11] 여전히 확립되지 않았다. 분자 형질을 활용한 계통학 연구도 여럿 수행되었지만, 흑응애과와 긴코흑응애과가 단계통성을 지지하지 않는 경향을 보인다. 이 외에 상위 분류체계 수준에서 흑응애상과의 계통학적 위치 또한 의문점을 보여 형태학적 계통학적 검토가 필요하다 사료되는 생물이다. 또한 대다수의 연구가 한정된 국가에서 수행되었고 흑응애를 연구하는 일부 국가에서는 그 연구가 미비한 실정이다. 한국에도 다양한 종이 보고되었으나 분자 데이터를 활용한 연구 사례의 부재로 한반도뿐만 아니라 전반적인 흑응애상과의 분류와 진화학 분야의 다각적 접근이 어려운 점이 있다.

반면 연구 방법론에서 흑응애류의 미소한 형태 구조를 관찰하기 위해서는 슬라이드 형식의 표본을 만들어 광학현미경으로 분석해야 한다. 슬라이드 제작 과정에서 표본을 고정 및 보존하기 위해서는 다양한 고정 용액을 사용한다. 흔히 학자들이 흑응애류를 고정할 때는 Hoyer's mounting media 또는 Berlese mounting media라는 것을 사용한다. 이 용액들은 내부를 투명하게 해서 외골격을 뚜렷하게 관찰할 수 있도록 하고, 사용법이 편리하여 다수의 응애 연구자가 채택하고 있다. 그러나 해당 용액들에는 클로랄수화물(Chloral hydrate)이 포함되어 있으며, 이 물질은 일부 국가에서 향정신성 물질로 취급되어 사용에 대한 허가 또는 제약이 존재한다. 하지만 이를 대체할 수 있는 용액을 활용한 제작법에 관한 연구가 미비하다.

따라서 본 연구자는 클로랄수화물 기반 고정 용액을 찾아 제작법을 체계화하고 이를 활용하여 흑응애류의 형태 동정을 하고자 한다. 이에 기반하여 한반도에 서식하는 흑응애류를 분류하고 미토콘드리아

및 핵 유전자 마커를 활용하여 추출한 염기서열 데이터를 기반한 흑응애상과의 전반적인 계통 양상을 재검토하고자 연구를 계획하였다.

2. 본론

1) 클로랄수화물 대체 고정용액을 활용한 흑응애 슬라이드 표본 제작법 확보

(1) Lactic acid 기반 고정 용액 검토 및 개선

선행연구 검토를 통해 modified Dioni's mounting media 용액을 발견하였으며, 해당 용액과 조성비를 바꾼 용액을 제작하여 실험 재현성을 확인한다.

(2) 슬라이드 표본 제작법 체계화

흑응애 표본 제작법은 전처리와 투명화, 고정, 건조 단계로 총 4개로 나누어 수행한다. 전처리는 살아있는 개체와 에탄올 처리를 한 개체로 실험하였다. 투명화 단계에서는 Lactic acid에 전처리 표본을 넣고 100도에서 가열 시간을 다르게 주어 여러 조건으로 실험하였다. 고정 단계에서 선행연구의 고정용액을 대조군으로 설정하고 개선된 용액을 주 실험군으로 실험하였다. 건조 단계는 36~37도 사이의 낮은 온도에서 장기간 건조하는 것과 56~57도 사이의 낮은 온도에서 단기간 건조하는 것으로 나누어 실험하였다. 위 단계에서 흑응애의 외골격 관찰에 적합한 조건을 선별하여 제작법을 정립한다.

2) 전반적인 흑응애상과의 분자계통수 분석

(1) 샘플 확보 및 형태 동정

선행 연구를 토대로 보고된 기주식물을 바탕으로 한국에 서식하는 동일 및 근연종의 잎이나 줄기, 눈 등을 식물에 손상이 가지 않도록 일부 채취한다. 밀봉이 가능한 지퍼백에 보관 후, 실험실에서 해부현미경 하에서 흑응애를 확인한다. 확인된 개체들은 슬라이드 표본 제작을 하여 광학현미경으로 형태 동정을 실시한다. 형태 동정은 Amrine(2006)의 분류체계를 따라 분류하였다.

(2) 분자 실험

분자 실험은 DNA 추출, 증합효소연쇄반응(PCR)로 진행되었다. QIAGEN 사의 DNeasy blood & tissue kit를 사용하여 흑응애 1개체로부터 DNA를 추출하였다. 추출한 DNA는 Nanodrop 2000c로 DNA 정량을 검사하였다. PCR은 pre-denaturation, denaturation, annealing, elongation 4단계로 진행되며, COI 유전자 증폭의 경우에는 pre-denaturation은 94도에서 2분간 진행하였다. denaturation 94도에서 20초, annealing 45~48도에서 30초, elongation 72도에서 1분 진행하며 30회 반복한다. 18S rRNA 유전자 증폭은 pre-denaturation 96도에서 5분 진행하며, denaturation 95도에서 30초, annealing 49도에서 1분, elongation 72도에서 1분 진행하고 30회 반복하였다. 마지막 elongation은 모두 72도에서 5분간 진행하였다. 획득한 PCR 산물은 전기영동법으로 증폭 여부를 파악한 뒤, 염기서열 확보 단계를 진행하였다.

(3) 염기서열 및 계통수 분석

염기서열은 생어 시퀀싱(Sanger sequencing method)으로 결정하였으며, 확보한 염기서열은 NCBI Blast search를 통해 유전자 데이터베이스 상의 종들과 유전적 근연도를 추정하여 분자 동정을 수행하였다. 획득한 분자 데이터와 선행 연구 데이터를 수집하여 염기서열을 정렬하였다. 정렬된 염기서열은 IQ tree web server로 최대우도법(maximum likelihood method) 기반 계통수를 추정하였다.

3. 결론

1) Lactic acid 기반 고정 용액 기반 슬라이드 표본 제작법 정립

11개 조건 하에서 슬라이드 표본을 제작한 결과, 투명화 단계에서 40~45초 동안 100도로 가열하는 것이 가장 효과가 있었던 것을 확인하였다. 또한, 살아있는 개체를 바로 사용하는 것보다 99% 에탄올 처리를 한 개체를 사용하는 것이 상대적으로 효과적이었다. 이를 하나로 정리하여 기준으로 설정하였고, 이후 슬라이드 제작 시 본 제작법을 따랐다. 하지만 사용하는 표본의 상태나 성장 단계, 분류군마다 각 조건이 달라지는 예외가 존재하여 기준에서 변화를 주기도 하였으며, 이에 대한 추가적인 보완이 필요할 것이다.

2) 한국 신·미기록 후보종 흑응애류 발굴

슬라이드 표본 제작 및 형태 동정을 통해 한반도에서 신미기록종으로 추정되는 흑응애류를 발굴하였다. 미기록 후보종의 경우, 당개나리 앞에서 발견되었으며 형태 동정을 통해 기존 종 목록에 없는 속인 것으로 추정된다. 이를 분자 동정까지 수행한 결과, 중국에서 처음 보고된 *Tetra suspensae*라는 종과 매우 높은 근연도를 보였고 계통수 내에서도 함께 묶이는 것을 확인하였다. 신종 후보종의 경우, 참나무과의 가시나무류의 앞에서 발견되었으며 이 또한 형태 동정으로 기존 종 목록에 없는 것으로 추정된다. 형태로는 *Araucariptes* 속으로 동정하였으나, 분자 동정으로는 *Acaricalus* 속과 더 근연도가 높은 것으로 확인되었다. 추가 확인을 위해 DIC microscopy, SEM 전자현미경 촬영을 통해 미세 구조를 분석한 결과 *Acaricalus* 속으로 확정하였다. 이를 바탕으로 *Acaricalus* 속 내 종들을 검토하여, 신종 가능성이 있음을 확인하였다.

3) 미토콘드리아 및 핵 유전자 마커를 활용한 흑응애상과의 분자계통수 재검토

미토콘드리아 COI 유전자와 핵 18S rRNA 유전자 데이터 기반의 ML 계통수를 각각 추정하였다. COI 유전자 계통수에서는 숲흑응애과는 단계통을 지지하며, *Trisetacus* 속이 포함된 계통과 *Phytoptus* 속이 포함된 계통으로 분지되는 양상을 보였다. 흑응애과+긴코흑응애과 계통은 다계통을 형성하였으며, 이 계통의 기저에는 *Cecidophyinae* 아과가 자매군으로 형성되었다. 18S rRNA 유전자 계통수에서는 숲흑응애과는 단계통을 지지하였으며, 흑응애과+긴코흑응애과 계통은 여전히 다계통성을 보였다. 다만, 세 부 계통의 관점에서 긴코흑응애과는 단계통을 보였으며, 흑응애과는 아과 및 족, 속과 같은 하위 분류군은 여전히 다계통성을 보이는 것을 확인하였다.

참고문헌

- [1] S.J. Bolton, P.E. Chetverikov, H. Klompen, 2017. Morphological support for a clade comprising two vermiform mite lineages: Eriophyoidea (Acariformes) and Nematalycidae (Acariformes). *Syst. Appl. Acarol.*, 22(8). 1096-1131. <https://doi.org/10.11158/saa.22.8.2>
- [2] S.J. Bolton, P.E. Chetverikov, R. Ochoa, P.B. Klimov, 2023. Where Eriophyoidea (Acariformes) belong in the tree of life. *Insects*, 14(6). 527. <https://doi.org/10.3390/insects14060527>
- [3] P.E. Chetverikov, T. Cvrković, A. Makunin, S. Sukhareva, B. Vidović, R. Petanović, 2015b. Basal divergence of Eriophyoidea (Acariformes, Eupodina) inferred from combined partial COI and 28S gene sequences and CLSM genital anatomy. *Exp. Appl. Acarol.*, 67. 219-245. 10.1007/s10493-015-9945-9
- [4] X.F. Xue, Y. Dong, W. Deng, X.Y. Hong, R. Shao, 2017. The phylogenetic position of eriophyoid mites (superfamily Eriophyoidea) in Acariformes inferred from the sequences of mitochondrial genomes and nuclear small subunit (18S) rRNA gene. *Mol. Phylogenet. Evol.*, 109. 271-282. 10.1016/j.ympev.2017.01.009

- [5] Z.Q. Zhang, 2017. Eriophyoidea and allies: where do they belong?. *Syst. Appl. Acarol.* 1091–1095. <https://doi.org/10.11158/saa.22.8.1>
- [6] Ozman Sullivan, S. K., & Sullivan, G. T. (2024). Global patterns of the species richness and distribution of eriophyoid mites: a response to Li et al. 2023. *Journal of Biogeography*, 51(1), 57–60. <https://doi.org/10.1111/jbi.14713>
- [7] P.B. Klimov, B.M. OConnor, P.E. Chetverikov, S.J. Bolton, A.R. Pepato, A.L. Mortazavi, A.V. Tolstikov, G.R. Bauchan, R. Ochoa, 2018. Comprehensive phylogeny of acariform mites (Acariformes) provides insights on the origin of the four-legged mites (Eriophyoidea), a long branch. *Mol. Phylogenet. Evol.*, 119, 105–117. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2017.10.017>
- [8] Q. Zhang, Y.W. Lu, X.Y. Liu, Y. Li, W.N. Gao, J.T. Sun, X.Y. Hong, R. Shao, X.F. Xue, 2024. Phylogenomics resolves the higher-level phylogeny of herbivorous eriophyoid mites (Acariformes: Eriophyoidea). *BMC Biol.*, 22(1), 1–14. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12915-024-01870-9>
- [9] E.E. Lindquist, J. Bruin, M.W. Sabelis. (Eds.). Eriophyoid mites: their biology, natural enemies and control (Vol. 6). *Elsevier*. 1996
- [10] J.J. Amrine, T.A. Stasny, C.H. Flechtmann, Revised keys to world genera of Eriophyoidea (Acari: Prostigmata), *Indira Publishing House, West Bloomfield, Michigan*. 2003.
- [11] Lee JH. 2006. Systematic Study on the family eriophyidae (Prostigmata: Eriophyoidea) in Korea. PhD Thesis. The Graduate School of Seoul National University, Entomology Program, School of Agricultural Biotechnology. 1–202.
- [12] 이종호, 조명래. 2013. 한국의 무척추동물, 먼지응애류, 혹응애류: 절지동물문: 거미강: 진드기아강: 전기문목: 먼지응애과, 혹응애과. 국립생물자원관. 제21권 24호.

사사

This work was supported by the National Research Foundation of Korea's Brain Korea 21 FOUR Program "KNU Center for Innovative One-Health Leaders" at the Graduate School of Kyungpook National University, funded by the Ministry of Education, Republic of Korea. It was also supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant to UWH funded by the Korean government (MSIT) [RS-2025-00561309]. We sincerely thank our profound appreciation to Dr. Jong Ho Lee from the Plant Quarantine Division, Animal and Plant Quarantine Agency (APQA, Gimcheon-si, Gyeongsangbuk-do, Korea), for generously sharing essential literature on eriophyoid mite research and providing expert guidance on specimen preparation and reagent utilization. Additionally, we are grateful to Professor Jong Soo Park and Mr. Dong Hyuk Jeong from the Microbial Oceanography Lab, Kyungpook National University, for granting us access to PC and DIC microscopy for imaging the eriophyoid mite slide specimens and for their invaluable assistance with microscopy techniques. Finally, thank you for being supported by a grant provided by the Human Resources Development Program of Korea's foundation (Seocho-gu, Seoul) and the Northern-east Asia Biodiversity Institute (NABI, Hanam-si, Gyeonggi-do).

구두발표 세션 6.

시민과학풀씨

숲과나눔, 동아사이언스 공동주최

- 해양산성화와 조개의 상관관계: 바다의 pH와 조개의 성장간의 상관관계 파악
정민주 국립부경대학교 지구환경시스템과학부 환경공학과
김나영 경북대학교 환경공학과
- 지속 가능한 모니터링을 위한 하천 조류상 연구
강다현, 정지우 강원대학교 생명과학과
김석현 강원대학교 생명과학과 조교수
- 시민과학 참여를 통한 노린재 향과 생애 주기 탐사 연구: 다양한 노린재 종마다 다른 향 특성 분석
진이수, 최유나 국민대학교 산림환경시스템학과
- 외래거북 시민 모니터링: 리버헬
이원재 경북대학교 생물학과
- 지역별 공원 및 가로수 왕벚나무(*Prunus yedoensis*)의 발생 해충 조사
원정운 원광대학교 곤충분류학과

해양산성화와 조개의 상관관계

바다의 pH와 조개의 성장간의 상관관계 파악

정민주 국립부경대학교 지구환경시스템과학부 환경공학전공
김나영 경북대학교 환경공학과

1. 서론

현재 해양 산성화 진행속도가 점차 빨라지고 있다. 현재 지구는 대기와 바다에 이산화탄소(CO_2)가 일정량 나누어져 존재하는데, 대기중으로 방출되는 이산화탄소(CO_2)의 양이 늘어나며 바다에 녹아드는 양이 증가하여 해양 산성화가 발생하고 있다. 이는 수온증가, 지구온난화 심화 등의 영향력을 가지며, 무엇보다 해양 생태계의 먹이사슬을 파괴시키고 있다.

한 조사에 따르면, 1929년에 8만여톤 수확되던 바지락이 2022년 15,000톤으로 급감하였다. 이러한 현상을 보아, 해양 산성화의 심각성을 느낄 수 있다. 또한 우리는 이를 해결하는 방법 대신, 해양 산성화의 발생 정도를 파악할 수 있도록 하는 지표를 만들고자 한다. 이는 조개껍질을 활용한 것으로, 바다에 이산화탄소(CO_2)가 녹아들 때, 조개껍질의 주 구성성분인 탄산칼슘(CaCO_3)과 화학반응이 일어나며 수소이온(H^+)이 방출되는데, 이로 인해 해양산성화가 일어나며 조개껍질은 점점 연약해지며 하얗게 변하는 백화현상이 발생하게 된다. 해양 산성화에 민감하게 반응하는 탄산칼슘의 광물인 ‘아라고나이트’ 중 위주로 연구를 진행한다. 따라서 본 연구는 조개껍질의 백화현상과 해양 산성화간의 상관관계를 파악하고 연구하여 이를 하나의 지표로 만들고자 한다. 현재 세계적으로 진행되고있는 여러 연구들과 더불어 이 지표가 이용된다면, 해양 산성화의 발생정도를 더욱 빠르게 파악할 수 있다는 점에서 유의미한 연구가 될 것으로 예상된다. 시민과학자와 함께하는 연구인만큼, 이번 연구를 통해 시민들의 해양 산성화에 대한 관심을 기대하고 있다.

2. 본론

1) 재료

시료는 아라고나이트성 이매패류에 한정하여 채집하였다. 대상 종은 꼬막(*Tegillarca spp.*), 새꼬막(*Anadara/Scapharca spp.*), 바지락(*Ruditapes philippinarum*), 동죽(*Mactra veneriformis*)이다.

조사는 4월·7월·10월(총 3회)에 실시하여 춘·하·추별 시료를 획득하였다. (4월: 다대포·사곡·창포만 / 7월: 다대포·광암·구룡포/ 10월: 다대포·사곡·구룡포). 채집 시 수온($^{\circ}\text{C}$)은 휴대 온도계로, pH는 pH 시험지로 현장에서 즉시 측정하였다(색상표 대조).

2) 연구 방법

(1) 연구방법

① 시료 세척 준비

패각은 수돗물로 세척 후 실온에서 자연 건조하였고, 균질화를 위해 분말화하였다.

② 마이크로웨이브 산 소화 및 회석

분말 시료 약 ~0.10 g에 질산(70%) 3 mL와 염산(37%) 1 mL를 가하여 Multiwave 7000 (Anton Paar GmbH) 로 소화하였다(약 280 °C, 100 bar, 가열·가압 15 min + 유지 60 min). 냉각 후 초순수로 질량 회석하였다.

③ ICP-OES 분석

소화·회석 용액의 Ca, Mg, Sr 농도는 Agilent 5800 ICP-OES (Agilent Technologies) 로 정량하였다. 측정 파장은 Ca 396.847 nm, Mg 279.553 nm, Sr 407.771 nm를 사용하였다.

(2) 지구사랑탐사대

① 정기탐사대

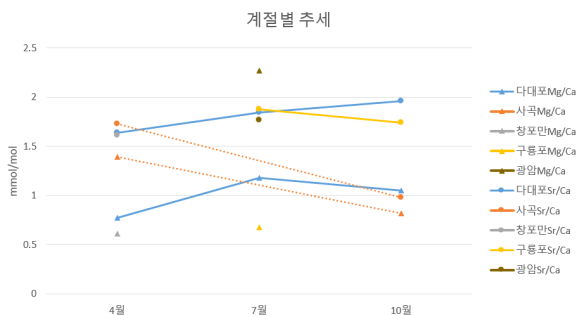
4월, 7월, 10월 총 3회 시행되었다. 각 팀별로 채집 가능한 지역을 조사받은 후 우편으로 키트를 배부 받아 활동하였다. 주어진 2주간의 개인탐사기간 내에 채집장소에서 조개껍질을 채집하고 키트 내의 pH 대조표를 통해 산성도를 측정하여 기록한다. 채집한 조개껍질을 깨끗이 씻어 말린 후 연구원에게 전달한다. 이는 후에 실험분석에서 사용된다. 당일 채집지역의 수온, 산성도, 백화현상 정도 등을 시민과학플 씨 어플에 기록한다.

② 상시탐사대

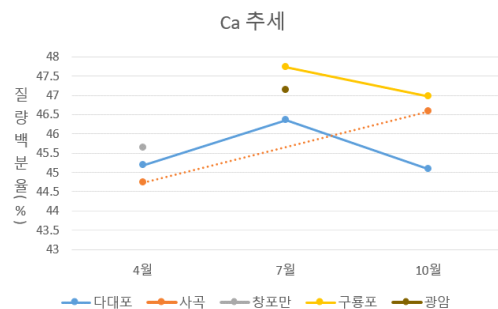
7월, 9월 총 2회의 신청을 통해 이루어졌다. 한 회차당 각팀이 탐구를 원하는 만큼의 키트를 전달받아 자율적으로 일정을 조율하여 개인탐사를 마치면 된다. 탐사방법은 정기탐사팀과 동일하나, 시료전달은 이루어지지 않았다.

3. 결과

1) ICP-OES 분석



<그림 1> Mg/Ca와 Sr/Ca의 계절별 추세



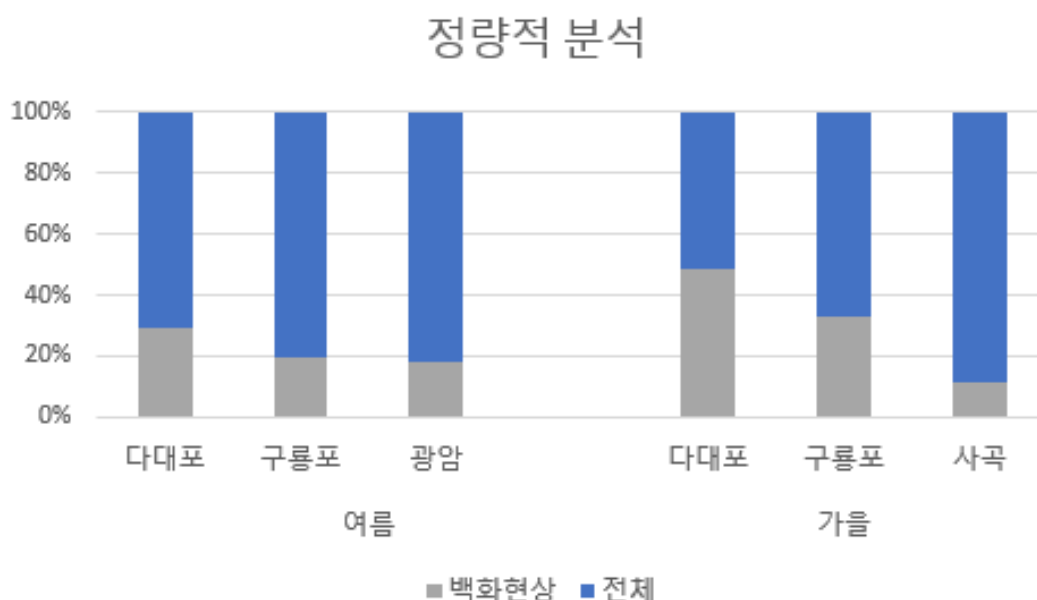
<그림 2> Ca의 계절별 추세

4·7·10월에 5개 정점(다대포, 사곡, 창포만, 구룡포, 광암)에서 채집한 아라고나이트성 이매패류 껍질을 ICP-OES로 분석한 결과, ▲(Mg/Ca)와 ●(Sr/Ca)가 정점별로 상이한 계절 변화를 보였다. 다대포는 ▲이 봄→여름에 상승 후 가을에 소폭 하강(약 0.8→1.2→1.1 mmol/mol)했고, ●은 봄→가을로 완만히 증가(1.6→1.8→2.0 mmol/mol)했다. 사곡의 경우, 7월 자료는 없지만 4→10월에 ▲과 ●이 모두 낮아지는 방향(완만한 감소)을 보였다. 구룡포의 ▲은 세척·전처리 미흡으로 분석치가 오차범위 내로 판단되어 전체

해석에서 제외하였고, ●은 여름 대비 가을에 소폭 감소했다. 광암은 7월 기준으로 ●이 중간 수준으로 나타났고 ▲은 상대적으로 높았다. 창포만은 4월 기준으로 ▲이 낮고 ●이 중간 수준으로 나타나, Mg과 Sr 치환의 계절 민감도가 서로 다르게 기록될 가능성을 시사한다. 전반적으로 ▲(Mg/Ca) 범위는 대략 0.6 - 2.3 mmol/mol, ●(Sr/Ca)는 0.9 - 2.0 mmol/mol에 분포했다.

Ca 함량(wt%)은 대체로 45 - 48% 범위에 분포했으며, 다대포·구룡포는 여름에 높아졌다가 가을에 소폭 낮아지는 경향, 사곡은(7월 결손) 봄보다 가을에 높아지는 경향이 확인되었다.

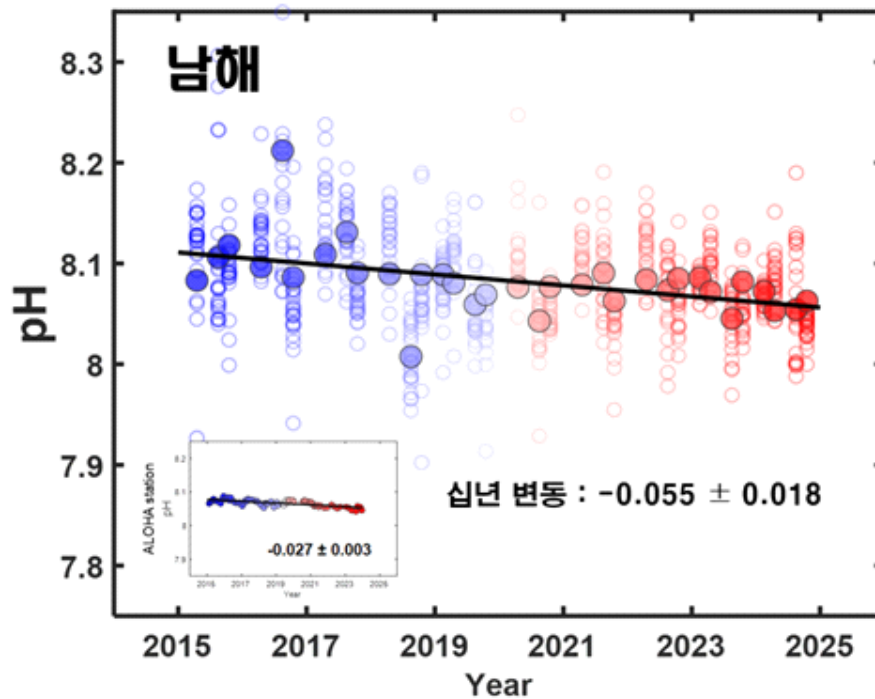
2) 정량적 분석 결과



<그림 3> 조개껍데기 백화현상의 정량적 분석

지구사랑 탐사대 소모임 백화현상 비율 탐사문항에 응답한 표에 따르면, 총 채집한 조개껍질 중 백화현상이 일어난 조개의 비율은 다대포 해수욕장, 구룡포 해수욕장, 광암 해수욕장, 사곡해수욕장 순으로 많으며, 계절별 차이는 가을이 미세하게 더 높다는 것을 알 수 있다. 여름에는 식물이 활발하게 성장해 이로 인한 광합성이 증가하여 대기중 이산화탄소 농도가 줄어들어 해양 산성화가 비교적 약하게 일어나는 반면, 가을에는 식물의 성장활동이 줄어들어 이로 인해 대기중 이산화탄소 농도가 늘어나게 되어 해양 산성화가 비교적 강하게 일어난다. 따라서 백화현상이 일어난 조개의 개수는 여름보다 가을이 조금 더 많은 것으로 조사되었다.

4. 결론



<그림 4> 국립수산과학원 “우리 바다 해양산성화, 북태평양보다 빠르게 진행”

국립수산과학원의 2015년부터 2025년까지 10년간의 해역별 측정데이터를 참고하면, pH는 매년 감소하는 것을 알 수 있다. 기존 연구에 따르면 산성화된 환경에서는 Sr/Ca 비율이 증가할 가능성이 있고, Mg/Ca 비율도 석회화 과정이 방해될 받아 상대적으로 증가하거나, 탄산칼슘 결정 구조(아라고나이트 vs. 방해석)가 변화할 수 있음. 계절에 따라 pH가 점점 감소한다고 가정했을 때, 본 자료에서 다대포의 연속 시계열을 기준으로 보면 Sr/Ca는 4→10월로 완만히 상승하고 7월 성장기에 스파이크가 나타났다. Mg/Ca는 성장에 따른 희석·미세환경 영향이 겹쳐 지점별 상반 추세를 보였으며, Ca는 7월에 공통 피크를 보였다. 중요한 것은 Ca 효과를 고려해도 Sr/Ca의 순증가가 유지된다는 점으로, 이는 계절적 pH 하강에 따른 산성화 신호로 해석된다.

참고문헌

- 조아영, 기후변화 시대의 해양산성화에 관한 법정책적 연구, 2023, 서울대학교 대학원, 박사학위 논문, 19-25
- 김미정 외 2명, 서해안 조개류의 껍질과 열수 추출물의 무기질 함량, 2001, 신성대학 호텔식품계열, 대구가톨릭대학교 식품공학과, 11(4), 289-293
- 이선용 외 4명, 온도와 포화도가 아라고나이트(CaCO_3)의 결정형상과 스트론튬(Sr)의 분배계수에 미치는 영향: 결정성장속도에 따른 아라고나이트 내 스트론튬 병합 특성 고찰, 2021, 고려대학교 지구환경과학과, 고려대학교 전략광물자원센터, 34(2), 133-138, 144
- 이경선, 해양산성화 및 수온상승 환경에서의 전복치패의 생존 및 성장, 2014, 47(2), 154-159
- C. Poulain, An evaluation of Mg/Ca, Sr/Ca, and Ba/Ca ratios as environmental proxies in aragonite bivalve shells, 2014, Chemical Geology, 1-5
- Jelena Mutic, Chemical Content of Five Molluscan Bivalve Species Collected from South Korea: Multivariate Study and Safety Evaluation, 2021, 10, 10
- Yuji Sano, Past daily light cycle recorde in the strontium/calcium ratios of giant clam shells, 2012, 2-5
- IPCC, 해양에 관한 특별 보고서의 정책결정자를 위한 요약(Summary for Policymaker, SPM), 2021
- “환동해산업연구원 해양산성화가 조개류에 미치는 영향”, https://www.mire.re.kr/sub4_3.php?type=read&id=660845&ckattempt=1 (2009년 5월 28일)
- “우리의 바다 해양산성화, 북태평양보다 빠르게 진행“, https://www.nifs.go.kr/news/actionNewsView.do?MENU_ID=&NEWS_SEQ=4685&NEWS_D_DATE_BEGIN=2010-01-01&NEWS_D_DATE_END=2025-11-01, (2025.06.20.)

사사

이 연구는 (재)숲과나눔과 동아사이언스가 함께 운영하는 「시민과학폴씨 4기」의 지원을 받았습니다.

지속 가능한 모니터링을 위한 하천 조류상 연구

강다현 강원대학교 생명과학과
정지우 강원대학교 생명과학과
김석현 강원대학교 생명과학과 조교수

1. 서론

수생태계는 물의 종류, 수체의 특성, 지형 및 생물상에 따라 다양하게 분류되며, 모든 생명에게 근원적인 생태적 서비스를 제공한다. 현대 사회에서 도시화와 산업화가 급격히 진행됨에 따라, 도심 내 하천과 같은 수생태계는 개발 압력에 노출되며 서식지 파편화와 생태적 기능 훼손이 빈번하게 발생하고 있다. 따라서 도심 내 잔존하는 하천 생태계를 보전하고 훼손된 부분을 복원하기 위한 장기적이고 체계적인 노력이 요구된다. 특히, 하천의 조류상은 종 다양성과 개체 수 변화에 민감하게 반응하는 지표종으로, 수변 생태계의 건강성을 평가하는 중요한 역할을 수행한다. 그러나 전문가 중심의 일회성 조사만으로는 장기적이고 광범위한 하천 모니터링이 어려우며, 시민들의 생태 인식 부족은 하천 생태계 보전의 사회적 공감대 형성을 제한한다.

이러한 한계점을 극복하기 위해, 시민과학(Citizen Science)은 일반 시민이 과학적 조사 과정에 참여함으로써 제약을 극복하는 데이터 수집을 가능하게 하고, 동시에 환경문제에 대한 이해와 책임감을 증진시키는 효과적인 접근법으로 주목받고 있다. 국내외 사례에서 시민과학 기반의 조류 관찰 기록과 개체군 조사 자료는 장기적이고 광범위한 지역 모니터링에 활용되어 조류 개체군 변화와 서식지 이용 양상을 분석하는 데 성공적으로 적용되었다.

이러한 시대적 요구에 부응하여, 시민과학자와 함께 도심 하천의 조류상을 조사하고, 조류 출현 양상과 환경 요인 간의 정량적 관계를 규명하는 것을 목표로 수행되었다. 이를 통해 시민들이 직접 참여하는 지속가능한 하천 생태 모니터링 모델을 구축하고, 수집된 데이터를 향후 하천 복원 및 생태 정책 수립의 기초 자료로 활용하고자 한다.

2. 본론

본 연구는 시민과학자 참여 기반으로 도심 및 인근 농업·자연형 하천의 조류상을 조사하고, 조류 출현과 환경 요인 간 관계를 분석하고자 수행되었다. 조사는 2025년 5월부터 10월까지 서울, 경기, 강원 지역 18개 site에서 개별 및 합동조사 형태로 진행되었으며, 각 site의 최대 조사 구간은 약 2km로 설정하였다.

조사 참여자를 대상으로 사전 OT 및 교육을 실시하여 조류 동정법, 조사표 작성법, 환경조사 방법 등을 숙지하도록 하였으며, 조사키트는 「한국의 새」, 「야생조류 필드가이드 개정증보판」, 「화살표 새도감」 등 도감을 배포하고, 조류조사표·기초환경조사표·환경조사표·조사정리표를 활용하여 체계적 자료 수집을 수행하였다. 조류조사표에는 관찰 종의 국명 및 학명, 개체수, 행동, 서식지, 이동 유형(resident, summer visitor, winter visitor, passage migrant) 등을 기록하였고, 환경조사표는 인접 건물, 제방, 교량, 가로등, 산책로, 보, 유동인구, 공사 발생 여부, 식생 변화, 수류 흐름 정도 등을 포함하였다.

합동조사는 공지천~의암호, 푸른수목원, 올림픽공원 일대에서 각각 1~3차에 걸쳐 수행되었으며, 개별 조사는 참여자 거주 인근 site에서 격주로 진행되었다. 전수조사를 통해 관찰 가능한 모든 새를 기록하

고, 조사지 주변 환경의 변화를 지속적으로 모니터링함으로써 장기적 데이터 확보가 가능하도록 하였다.

수집된 데이터는 팀별로 통합하여 엑셀 기반 데이터베이스로 구축하였다. 조류 데이터는 각 site별 common name의 총 개체수를 합산하여, 행렬로 변환 후 로그 변환($\log(x+1)$)을 실시하였고, site별 occasion 값 편차 영향을 최소화하였다. 환경 데이터는 정량화하여 integer 형식으로 표준화하였으며, 출현 여부, 수류 형태(pool/run/riffle) 등 변수별 코딩을 적용하였다.

군집 구조 분석 및 시각화를 위해 R 소프트웨어(R 4.3.1)와 RStudio를 활용하였으며, 비모수 다차원 척도법(nMDS)을 수행하여 site별 조류 군집 간 유사도를 평가하였다. Bray - Curtis 거리 기반의 분석을 통해 고차원 자료를 2차원 공간에 축소하고, stress value를 활용하여 분석 적합성을 확인하였다. 분석 과정에서 site, month 등을 기준으로 그룹화를 수행하여 공간적·시간적 패턴을 시각적으로 비교하였다.

3. 결론

분석 결과, 환경요인이 유사한 사이트에서는 사이트 간 유사한 군집 구조가 관찰되었고, 자연형 하천의 경우 계절에 따른 종 변화 경향성이 도심하천에 비해 뚜렷한 것으로 확인되었다. 정비된 도심형 하천에서는 특정 종이 밀집하며 계절 변화가 적은 경향을 보였고, 동일 조사자가 수행한 인접 지역에서는 유사한 군집 패턴이 나타났다.

또한, 본 연구는 시민참여형 조사에서 발생할 수 있는 자료 편향을 최소화하기 위해 조사 교육과 표준화된 조사표를 활용한 점에서 실용적 의의를 가진다. 이를 통해 수집된 장기적·공간적 데이터는 도시계 하천 조류 생태 모니터링의 기초 자료로 활용 가능하며, 향후 환경 관리 및 생태 복원 정책 수립에도 참고할 수 있다.

결론적으로, 도심 및 농업·자연형 하천의 조류 다양성은 주변 환경 요인과 밀접한 연관성을 가지며, 시민과학을 활용한 체계적 조사 방법은 생태계 관리와 환경 교육 모두에 기여할 수 있음을 본 연구를 통해 확인하였다. 향후 연구에서는 계절별 출현 패턴, 번식 성공률, 기후 변화와의 상관관계 등을 포함한 장기 모니터링이 필요하다.

참고문헌

- 김동원, 서하은, 이지윤, 조현우, 한얼, 정훈, 2020, 집비둘기(*Columba livia*)가 인간이 주는 먹이에 얼마나 친숙한가에 대한 실험, *Animalia*, 2(1), 15-20.
- 김은미, 민동원, 강창완, 2022, 신례천의 조류 현황 및 군집 분석, *한국조류학회지*, 29(2), 33-39.
- 남형규, 최승혜, 최유성, 유정철, 2012, 논습지에 도래하는 수조류의 서식지 이용과 개체군 특성, *한국환경농학회지*, 31(4), 359-367.
- 박성근, 황근연, 권영수, 2010, 광릉숲 일대 관람객이 조류분포에 미치는 영향 연구, *한국조류학회지*, 17(3), 217-226.
- 박용수, 한동욱, 김남신, 조동길, 심윤진, 차진열, 2015, 조류 서식지 보전을 위한 친환경적 계획 방안 연구 - 부산 강서지구를 중심으로 -, *환경복원논총*, 18(6), 151-165.
- 허위행, 박성진, 임신재, 박용수, 최서윤, 이창배, 이우신, 2003, 한강 유역에서 서식환경에 따른 조류군집의 특성 차이, *한국환경생태학회지*, 17(1), 83-91.
- 윤종호, 박희천, 박창언, 2022, 도심 하천 대구 신천의 조류 분포특성과 변화, *한국조류학회지*, 29(2), 155-165. 10.30980/KJO.2022.12.29.2.155
- 최은호, 서홍덕, 박찬열, 2023, 문헌 및 시민과학 자료 분석에 기반한 국내 야생조류의 먹이식물 목록화, *한국조류학회지*, 30(2), 151-174.
- 이인택, 2016, R과 Rstudio를 활용한 공간자료의 동적인 시각화, *대한지리학회 학술대회논문집*, 220-221.
- 고재경, 예민지, 2020, 환경문제 해결을 위한 국내 시민과학 유형과 특성 연구, *Journal of Environmental Policy and Administration*, 28(4), 181-213.
- Heonwoo Park, 2013, The Abundance and Distribution Status of the Great Cormorant (*Phalacrocorax carbo*) in Uiam Lake Region, Chuncheon City, Korea, *한국조류학회지*, 20(1), 23-31.
- 영문 문헌
- Adams, L. W. and L. E. Dove, 1989, *Wildlife reserves and corridors in the urban environment: a guide to ecological landscape planning and resource conservation*, National Institute of Urban Wildlife.
- Bonney, R., J. L. Shirk, T. B. Phillips, A. Wiggins, H. L. Ballard, A. J. Miller-Rushing, J. K. Parrish, 2014, Next steps for citizen science, *Science*, 343(6178), 1436-1437.
- Clarke, K. R., 1993, Non parametric multivariate analyses of changes in community structure, *Australian Journal of Ecology*, 18(1), 117 - 143.
- Ivana Novčić, 2022, Behavioural responses of grey herons *Ardea cinerea* and great egrets *Ardea alba* to human-caused disturbance, *Journal of Vertebrate Biology*, 71(2026), 22026.1-9.
- Kobori, H., J. L. Dickinson, I. Washitani, R. Sakurai, T. Amano, N. Komatsu, W. Kitamura, S. Takagawa, K. Koyama, T. Ogawara, A. J. Miller-Rushing, 2016, Citizen science: a new approach to advance ecology, education, and conservation, *Ecological Research*, 31, 1-19.
- Lee, A. T. K., P. Barnard, M. Fraser, C. Lennard, B. Smit, H. D. Oschadleus, 2020, Body mass and condition of a fynbos bird community: investigating impacts of time, weather and raptor abundance from long-term citizen-science datasets, *Ostrich*, 91(2), 142-157.
- Theobald, E. J., A. K. Ettinger, H. K. Burgess, L. B. DeBey, N. R. Schmidt, H. E. Froehlich, C. Wagner, J. HilleRisLambers, J. Tewksbury, M. A. Harsch, J. K. Parrish, 2015, Global change and local solutions: Tapping the unrealized potential of citizen science for biodiversity research, *Biological Conservation*, 181, 236-244.
- Kang, H. G., 2022, Biodiversity Citizen Science Platform- Naturing, *Proceedings of Korean Society of Environment and Ecology Conference*, 32(1), 3-5.

사사

이 연구는 (재)숲과나눔과 동아사이언스가 함께 운영하는 「시민과학폴씨 4기」의 지원을 받았습니다.

시민과학 참여를 통한 노린재 향과 생애 주기 탐사 연구

다양한 노린재 종마다 다른 향 특성 분석

진이수, 최유나 국민대학교 산림환경시스템학과

1. 서론

본 연구는 시민과학자들과 협력하여 한국의 육서 노린재의 다양한 생애 주기와 ‘노린내’ 특성을 기록하는 것을 목적으로 한다. 노린재의 방대한 향 정보가 제한적임에 따라, 시민 참여를 통한 향과 생애 주기 탐사는 과학적 가치뿐 아니라 교육적, 환경적, 사회적 중요성을 가진다. 본 연구는 노린재 살생과 같은 비윤리적 접근을 배제하며, 시민들의 직접 관찰과 기록을 통해 데이터베이스를 구축하고, 이를 토대로 도감 제작을 계획한다. 참여자들에게는 생태학적 지식과 현장 경험을 제공하는 교육적 기회가 되며, 다양한 노린재의 향 특성 연구와 함께 연령대와 성별에 따른 향 인지 차이도 함께 탐구한다.

일명 노린내라고 불리는 향이 항상 난다는 잘못된 인식으로 인해 기피되는 경향이 있는 노린재에 대해, 본 연구는 다양한 노린재의 생태와 풍부한 향 특성을 배우고 직접 관찰하며 기록하는 과정을 통해 참여자들에게 생태학적 지식과 체험을 제공하는 데 중점을 두었다. 특히, 시민과학자들이 직접 관찰하고 기록한 생물의 특징과 사진이 실제 도감에 수록되는 경험은 교육적 가치가 크며, 참여자들에게 특별하고 의미 있는 활동으로 기대된다. 이를 통해 노린재에 대한 부정적 인식을 개선하고, 생물 다양성 보전 및 환경 교육에 기여하고자 한다.

2. 본론

1) 노린재 향과 일대기 자료 수집

(1) 노린재 향 자료 수집

① 크게 자연향, 음식향, 인공향으로 나뉘 더 구체적으로 맡은 향을 체크하게 했고, 보기에 없는 향을 맡았을 경우 더 자세히 기록할 수 있도록 했다.

② 같은 노린재라도 연령대와 성별에 따라 다른 향을 맡는지를 알기 위해 참여자의 연령대, 성별도 함께 기록할 수 있도록 했다.

(2) 노린재 일대기 자료 수집

① 알부터 단계별 약충, 성충까지 모든 사진 자료가 있는 도감이 별로 없었기에 최대한 다양한 일대기 사진을 수집할 수 있도록 했다.

② 약충의 경우 기존 데이터가 부족한 경우가 많았기 때문에 주변에 노린재 성충들이 있다면 함께 기록할 수 있도록 했다.

2) 노린재 향과 일대기 자료 분석

(1) 노린재 동정

① 총 234건의 탐사 기록 중 육서 노린재가 아닌 2종을(꽃매미, 게아재비) 제외한 232종을 분석하였다.

② 80종의 노린재가 동정되었으며, 향 기록은 23종에서 이루어졌다.

(2) 사진과 향 정보가 함께 수록된 노린재는 14종으로 선정되어, 시민과학자들이 직접 촬영하고 기록한 데이터를 기반으로 노린재 도감이 제작되었다.

3) 자료 수집 및 분석 과정과 어려움

(1) 종 동정의 어려움

① 자료 수집 중 사진이 초점이 맞지 않거나 흔들렸으며, 동정 포인트가 촬영되지 않은 노린재의 동정이 어려웠다.

② 총 56개 종에 대한 재동정이 필요했으며, 오동정 된 개체들도 있었다.

③ 연령대와 성별에 상관없이 비슷한 향이 나는 노린재가 있었던 반면 너무 다양한 향이 기록된 노린재도 있었다.

3. 결론

연구 초반보다 후반기에는 더 상세하고 체계적인 향 기록이 축적되었으며, 시민과학자들이 적극적으로 노린재에 관심을 갖고 관찰 활동에 참여한 것이 확인되었다. 이는 노린재에 대한 부정적 인식을 개선하는데 일조했으며, 동시에 탐사 활동의 의미와 가치를 재확인하는 계기가 되었다. 이를 통해 이러한 탐사가 생태계 이해와 생물다양성 보전, 환경 교육에 어느 정도 기여했음을 기대한다.

우리의 연구 성과는 시민과학이 생태 연구 확장과 자연 이해 증진을 위한 유용한 도구임을 보여준다. 앞으로는 지속적 시민 참여와 데이터 정제, 지역별 및 기후별 노린재 특성 비교 연구가 필요하며, 더 많은 자료 축적과 정리 작업이 중요할 것이다. 이번 연구를 통해 노린재의 향과 생태 연구는 더욱 발전할 것이며, 대중의 자연에 대한 이해와 인식도 함께 높아질 것으로 기대된다.

참고문헌

- Serret, H.; Andersen, D.; Deguines, N.; Clauzel, C.; Park, W.-H.; Jang, Y. 한국 서울의 생태 관리 및 지속 가능한 도시 계획을 향하여: 시민 과학 데이터를 사용하여 야생 수분매개자 서식지 선호도 및 복도 매핑. *Animals* 2022 , 12 , 1469.
- 윤, S.; 강, W. Odonata 회귀성에 대한 지식과 데이터 격차 해소: 다중 점유 모델과 Rabinowitz 프레임워크를 사용한 한국 사례 연구. *곤충* 2024 , 15 , 887.
- 안수정 외 3인, 『한국 육서 노린재』, 자연과생태, 2018
- 안수정, 『노린재 도감』, 필통, 2010
- 백문기, 『한국 밤 곤충 도감』, 자연과생태, 2015

사사

이 연구는 (재)숲과나눔과 동아사이언스가 함께 운영하는 「시민과학폴씨 4기」의 지원을 받았습니다.

외래거북 시민과학 모니터링

리버셀

이원재 경북대학교 생물학과

1. 서론

도시화의 확산은 수생 생태계의 구조적 변화를 초래하고 있으며, 특히 도심 수계는 인간의 접근이 용이하고 교란 빈도가 높아, 그곳에 서식하는 야생동물의 행동에 직접적인 영향을 미친다. 외래거북류는 이러한 인간과 환경에 의한 상호작용에 민감하게 반응하는 대표적인 생물군으로, 전 세계적으로 도시 수계 내 정착이 빠르게 증가하고 있다 (Chilvers et al., 2016; Griffin et al., 2017). 한국에서도 붉은귀거북 (*Trachemys scripta elegans*)과 리버쿠터 (*Pseudemys concinna*) 등 북미계 외래거북이 도심 공원 연못부터 농촌 저수지까지 폭넓게 분포하며, 고유종 남생이 (*Mauremys reevesii*)의 서식지와 경쟁하는 사례가 보고되고 있다. 그러나 이들의 서식 확산이 단순한 생태적 점유를 넘어 인간과의 반복적 상호작용에 의해 적응하는 양상으로 이어지고 있음에도, 이에 대한 정량적 분석은 거의 이루어지지 않았다 (Mbise et al., 2019; Husby, 2025). 본 연구는 이러한 배경에서 출발하여 다음 두 가지 질문에 초점을 맞춘다. 1. 도심과 비도심 수계 간 외래거북의 출현 양상은 어떻게 다른가? 2. 인간 접근성 (Accessibility)과 인간 압력(Human pressure)은 거북이의 도주 행동(FID)에 어떤 영향을 미치는가? 이를 통해 외래거북의 도시 적응 행동을 실증적으로 분석하고, 장기적인 외래종 관리 전략의 기초 자료를 마련하고자 한다. 나아가, 외래종의 종 구성과 행동 변화 예측 모델로 확장될 수 있으며, 대다수의 민물 거북이 유사한 생태적 특성과 행동 양상을 공유한다는 점을 고려할 때, 이러한 결과는 거북류 전반의 보호 및 관리 대책 수립에 직접적으로 응용 가능한 기반 자료로 활용될 것이다 (Jacobi & Kahl, 2021; Blumstein, 2003)

2. 본론

1) 시민과학 기반 외래거북 출현 비교 연구

본 연구는 시민과학자 참여를 통해 도심과 비도심 수계 간 외래거북의 출현 양상과 서식 안정성의 차이를 파악하고자 하였다. 조사는 2025년 5월부터 7월까지 전국에서 이루어졌으며, 시민과학자들은 지구사랑탐사대 앱을 활용하여 관찰 지점의 GPS 좌표, 촬영 시각, 종 동정, 행동 상태, 서식 환경 특성등을 기록하였다. 앱을 통해 수집된 데이터는 자동으로 위치·시간 메타정보가 저장되며, 현장에서 직접 입력하는 항목은 관찰 상태(일광욕, 섭식, 유영 등)와 접근성 평가, 특이사항 기록 등 항목으로 구성되었다. 특히 접근성은 조사자가 현장에서 판단한 지형 구조(제방 형태, 수심, 수풀 분포, 인프라 접근성 등)를 기준으로 1~3단계 상대 척도로 평가하였다. 이러한 방법을 통해 수집된 시민과학 데이터는 광범위한 공간 범위에서 외래거북의 분포 패턴을 파악하는 데 활용되었으며, 조사자의 직접 경험과 지리적 다양성이 결합되어 도심과 비도심의 출현 차이를 뚜렷하게 확인할 수 있었다. 또한, 시민과학자들의 관찰 자료를 보완하기 위해 연구자가 직접 수행한 선조사 결과를 함께 분석하였다. 2025년 6월 4일, 경북 경산시 영남대학교를 중심으로 수로 및 하천 13곳을 조사한 결과 총 6종 139개체의 외래거북이 관찰되었으며, 도심 지역에서 멀어질수록 출현 종수가 뚜렷하게 감소하였다(도심 6종 / 비도심 2종) 이 결과는 시민과

학자 데이터에서 확인된 도심-비도심 간 종 조성 차이를 실증적으로 뒷받침하며, 시민과학 기반 모니터링이 실제 생태적 경향과 일치함을 보여주는 보조 지표로 활용되었다

2) 외래거북의 도주 행동(FID) 분석

거북이의 도주 거리(Flight Initiation Distance, FID)를 통해 인간 교란에 대한 행동 반응을 정량화하였다. 총 6개 지역에서 72개체(각 유형별 24개체씩)를 대상으로 DSLR 카메라와 이중 레이저 포인터 측정기를 이용하여 체장(PL, cm)을 비접촉 방식으로 측정하였으며, 일정한 속도로 접근해 도주 반응이 발생하는 순간의 거리를 기록하였다. FID는 두 가지 주요 요인인 접근성(Accessibility: High vs Low)과 인간 압력(Habituation: 인근 유동인구 평균값)에 따라 세 가지 유형(1-3유형)으로 구분하여 비교하였다.

3) 통계분석

분산분석(ANOVA) 결과, 유형 간 FID 차이는 매우 유의하였다($F(2,69)=198.5$, $p<0.001$). 1유형(접근성 높고 인간 압력 강함)의 평균 FID는 1.9m, 2유형(접근성 낮고 인간 압력 강함)은 9.7m, 3유형(접근성 낮고 인간 압력 약함)은 17.2m로 나타났다. 종 간 차이(붉은귀거북 vs 리버쿠터, $p=0.91$) 및 크기 효과($p=0.65$)는 유의하지 않아, 이러한 경향은 종이나 개체 크기보다는 환경적 요인에 의해 결정됨을 시사한다. 선형회귀모형 분석에서는 접근성($\beta = -0.58$, $p = 0.017$)과 인간 압력($\beta = -0.44$, $p < 0.001$) 모두 FID 감소에 유의한 영향을 미쳤으며, 상호작용항($\beta = -0.26$, $p = 0.049$) 역시 유의하였다. 즉, 접근성이 높은 지역일수록 인간 압력의 효과가 배가되어, 인간 접근 빈도가 누적될 때 FID가 극단적으로 짧아지는 비선형적 패턴을 보였다. 외래거북의 도주 행동이 단순히 지형적 조건이나 개체 특성에 의해서만 결정되는 것이 아니라, 인간의 반복적 존재와 경험적 익숙함이라는 사회적 환경 요인에 의해 크게 조절됨을 보여준다. 접근성이 높아도 인간 활동이 드문 지역에서는 거북이들이 여전히 높은 경계 반응을 유지하지만, 반대로 인간이 자주 오가는 공간에서는 반복적 노출을 통해 경계 반응이 약화된다. 이는 외래거북이 인간의 존재를 위협 자극으로 학습하기보다, 예측 가능한 환경 요인으로 인식하고 회피 행동을 최소화하는 방향으로 적응하고 있음을 시사한다. 결국 FID는 단순한 도주 거리의 수치가 아니라, 인간과 야생동물 상호작용의 누적 경험을 반영하는 행동적 지표로 해석될 수 있다. 또한 종 간 차이가 거의 없다는 점은, 이러한 행동 내성이 특정 종의 고유 특성이 아니라 민물거북류 전반의 보편적 행동 전략일 가능성을 제시한다. 따라서 인간 활동이 지속되는 도심 수계에서는 외래거북이 behavioral tolerance(행동내성)을 빠르게 형성하며, 이는 생태적 공존의 양상뿐 아니라 향후 도시 생태계 내 외래종 관리 및 멸종위기종 보전 전략 수립에도 중요한 근거가 된다. 외래거북의 행동 내성 분석을 통해 얻은 결과는 인간 활동에 적응하는 종의 행동적 반응을 이해하는 데 활용될 수 있으며, 이는 멸종위기종의 보호 대책 수립에도 직접적인 참고 자료가 될 수 있다.

<표 1> 외래거북의 FID에 영향을 미치는 요인별 통계 분석 결과. 접근성/익숙화 유형 간에는 유의한 차이가 있었으며($F(2,69)=198.5$, $p<0.001$), 접근성이 높고 인간 활동이 빈번한 지역(1유형)일수록 도주거리가 짧았다. 반면, 개체의 체장($r = -0.06$, $p=0.65$)과 종 차이($t(70)=0.12$, $p=0.91$)는 FID에 유의한 영향을 미치지 않았다.

Effect tested	Statistical test	Test statistic (df)	p-value	Interpretation
FID differences among types (1-3)	One-way ANOVA	$F(2, 69) = 198.5$	$p < 0.001$	FID differed significantly among accessibility-habituation types; Type 1 < Type 2 < Type 3
Effect of body size on FID	Pearson correlation	$r = -0.06$	0.65	No significant relationship between turtle size and FID
FID difference between species	Independent t-test	$t(70) = 0.12$	0.91	No significant difference between <i>Trachemys scripta</i> and <i>Pseudemys concinna</i>

3. 결론

본 연구는 외래거북의 도심 정착과 행동 적응을 규명하기 위해 시민과학적 관찰과 실험적 분석을 통합한 국내 최초의 연구이다. 시민과학자들의 참여를 통해 도심과 비도심 수계 전역에서 외래거북의 출현 양상을 조사한 결과, 도심 지역일수록 출현 빈도와 종 다양성이 높고, 비도심으로 갈수록 종수가 감소하는 뚜렷한 경향이 확인되었다. 이는 외래거북이 이미 도심 수계 내에 안정적으로 정착했음을 보여주며, 시민과학이 전국 단위의 외래종 감시와 장기적 생태 모니터링 체계로 확장될 수 있는 가능성을 제시한다. 한편, FID분석에서는 인간 압력이 단순한 접근정보보다 더 강력한 행동 조절 요인임이 입증되었다. 접근성이 높고 인간 활동이 잦은 지역일수록 도피 반응이 현저히 약화되었으며, 이는 외래거북이 인간의 반복적 존재에 행동적으로 적응하며 행동 내성을 형성하고 있음을 시사한다. 즉, 외래거북은 인간 활동을 단순한 위협이 아닌 예측 가능한 환경 요인으로 인식하고, 그에 맞추어 에너지 소모를 최소화하는 방향으로 행동을 재구성하고 있었다. 이러한 결과는 외래거북을 단순한 제거 대상으로 보기보다, 도시 생태계 속에서 인간과 동물 공존의 새로운 행동 모델로 이해해야 함을 보여준다. 특히 인간 압력에 의한 FID 단축 현상은 외래종의 행동 진화뿐 아니라, 멸종위기 토착 거북류의 보호 전략을 수립하는 데에도 중요한 생태적 자료로 활용될 수 있다. 향후 시민참여형 데이터 축적과 정밀한 행동 모니터링을 병행한다면, 도시화된 환경 속에서 인간 활동이 야생동물의 행동과 진화에 미치는 영향을 한층 더 명확히 규명할 수 있을 것이다.

참고문헌

- Chilvers, B. L., et al. (2016). Flight initiation distance in a freshwater turtle, *Chrysemys picta*.
- Griffin, L. P., Brownscombe, J. W., Gagne, T., & Danylchuk, A. J. (2017). Individual-level behavioral responses of immature green turtles to snorkeler disturbance.
- Mbise, F. P., Fredriksen, K.-E., Ranke, P. S., & Røskoft, E. (2019). Human habituation reduces hyrax flight initiation distance in Serengeti.
- Husby, M. (2025). Recommendations on how to use flight initiation distance data in birds.
- Jacobi, C., & Kahl, S. S. (2021). Grouped basking increases flight initiation distance in the Red-eared Slider (*Trachemys scripta elegans*)
- Blumstein, D. T. (2003). Flight-initiation distance in birds is dependent on intruder starting distance.

사사

이 연구는 (재)숲과나눔과 동아사이언스가 함께 운영하는 「시민과학폴씨 4기」의 지원을 받았습니다.

지역별 공원 및 가로수 왕벚나무(*Prunus yedoensis*) 발생 해충 조사

원정운 원광대학교 곤충분류학과

1. 서론

가로수란 우리 생활 주변에서 가장 쉽게 접할 수 있는 녹지로서 국토 녹화, 경관 조성, 공해 방지 등을 위하여 시가지, 전원, 산간, 해안, 강변 지역의 노변에 조화있게 식재하는 나무를 의미하고 도시 경관과 생활환경 개선 효과가 크고 탄소 흡수, 미세먼지 저감 등 도시숲의 핵심 요소이다(Korea Forest Service, 2020). 하지만 도시 가속화로 인해 이전보다 대기 오염이 점점 가중화되고 있다(Barbera et al., 2010; Baklanov et al., 2016; Larkin et al., 2016; Wang et al., 2020). 이와 같은 대기 오염은 도시 내 녹지 조성으로 완화하는데, 가로수가 중요한 역할을 하다(Nowak, 2002; Bottalico et al., 2016; Russo et al., 2016; Endreny et al., 2017; Fusaro et al., 2017).

산림청(Korea Forest Service)에서 발표한 2022년 가로수 조성, 관리 실적을 확인하면 2022년 기준 왕벚나무는 1,136,340그루(10.35%)로 가장 많이 식재되다. 국립산림과학원(National Institute of Forest Science)에서 발표한 2023년도 생활권 공공지원 수목 진료 컨설팅 처방전 분석 결과보고서에 따르면 민간나무병원에서 발행한 처방전에 생물적 피해는 12,297건 중 8,383건(68.2%)으로 2022년보다 약 7% 높아졌다. 충해의 비율은(5,790건, 47.1%)은 병해(2,525건, 20.5%)보다 약 2.3배 많았다. 세부진단 2,261건 중에 벚나무류가 2번째로 많은 해충의 피해를 받는 것이 확인되었으며, 21년도 기준으로 벚나무류에서 약 460여 종의 해충이 국내에서 발견되었다. 노린재목과 나비목의 피해가 심한게 확인되었고(National Institute of Forest Science, 2021; Ahn, S et al, 2022). 비교적 조사가 진행되지 않은 지역인 호남권에 서 왕벚나무를 가해하는 해충은 17과 25종으로 가장 많은 피해를 확인하였다(임종욱 et al., 2023). 앞으로 도심의 온화현상으로 인하여 기존 수목해충, 침입외래종의 피해가 더욱 극심해질 것으로 예측된다(Meineke et al., 2016; Park and Kim, 2015). 따라서, 왕벚나무에 대한 해충의 피해는 다양해지고 가속화가 진행되고 있어 가로수로서의 효율성이 온전하지 못하다고 할 수 있다. 2025년 농촌진흥청(Rural Development Administration)에서 국내 방제에 추정된 예산은 262억 1,000만원으로, 많은 예산이 방제에 투자되고 있다. 하지만, (Wan et al., 2025)에 따르면 농약의 사용은 육상과 수생 환경에 서식하는 비표적 종에 악영향을 끼치며 생물다양성과 생태계 보호를 위해 감축 정책이 필요하다. 환경파괴 외에도 농약을 대량으로 사용하거나 농약사용으로 생기는 건강장애와 급성 농약중독 또한 지속적으로 발생해왔다(정용, 1990).

본 연구에서는 전국적 조사로서 개인이 아닌 시민과학을 통해 새로운 문제를 발생시킬 가능성이 있는 돌발해충 및 외래침입해충에 대한 예찰 및 방제를 위한 데이터를 확보하고 지역별 왕벚나무에 발생하는 기존 곤충의 종과 피해양상을 확인하였으며, 왕벚나무에 대한 효과적인 방제전략 수립에 필요한 기초자료 확보하여 적절한 방제를 통한 환경오염의 최소화와 해충의 천적곤충을 확인하고자 하였다.

2. 본론

1) 조사지 선정

다른 벚나무류와 혼동되어 조사하는 것을 막기 위해 카카오맵(KakaoMap)과 네이버지도(NAVERMap)를 통한 위성사진과 로드뷰를 통한 수종의 외형적인 형태 및 꽃을 통한 동정, 산림 내부에 있지 않고 가로수로 식재된 조사지를 선정하였고 오동정을 최소화하기 위해 산림청(Korea Forest Service)에서 배포한 도시숲가로수관리 가로수 현황(2024.09)을 통한 수종확인하고 조사를 진행할 때 조사지의 전경사진과 수종의 잎맥, 줄기, 수피, 전체모습을 촬영하여 교차검증을 하였다.

2025년 4월부터 10월까지 총 6개월간 수행하였고 조사지역은 전국 13개 행정구역 내 26개 지점을 대상으로 하였으며, 서울·경기권에서는 시민과학자 참여를 중심으로 정밀조사(은평구, 서대문구, 강남구, 하남시)와 자율조사(중랑구, 관악구, 성북구 등)를 병행하였다. 모든 조사는 왕벚나무(*Prunus yedoensis*)가 가로수 형태로 식재된 구간에서 이루어졌으며, 각 조사지는 교통 접근성과 식별 용이성을 고려하여 선정하였다.

2) 재료 및 방법

조사는 시민과학자 교육(온라인 및 현장)을 거친 후 표준화된 절차에 따라 수행되었다. 조사기간 동안 각 지점에서 최소 30분간 7그루 이상의 왕벚나무를 대상으로 육안관찰과 포충망(망지름 50 cm)을 이용한 털어잡기법으로 해충을 채집하였다. 채집된 표본은 건조 처리 후 형태학적 특징을 기준으로 동정하였고, 필요한 경우 성충 우화를 통해 재확인하였다. 동정에는 국립산림과학원 해충도감과 국립생물자원관(2024)의 표준 목록을 활용하였다.

3) 사진자료 확보

현장에서 생태사진 확보를 우선적으로 진행하였고 디지털카메라(Nikon D5600), 렌즈(Tamron SP 90mm F2.8 Di MACRO 1:1 VC USD), 스피드라이트(GODOX V860III)을 이용하여 촬영하였고 현장에서 생태학적 모습이 촬영하기 어려운 경우와 표본의 사진은 원광대학교 생명환경학과 곤충분류학 및 생태학 연구실에서 실체현미경(Leica M205C)과 scientific CMOS 카메라 (Dhyana 400DC)을 사용하여 다초점 사진((Multi-focus)을 촬영하였다.

4) 시료 관리 및 사육

유충 및 약충은 곤충사육용기(SPL 310102)에 보관하였으며, 원광대학교 곤충분류학 및 생태학 연구실에서 사육하였다. 기주식물은 익산시에 있는 왕벚나무 가지를 사용하였고, 농약 피해를 방지하기 위해 3일 간격으로 교체하였다.

5) 데이터 확보 및 분석

시민과학자 데이터는 193건을 확보하였고 126건의 데이터가 사용되었다. 사용되지 않은 데이터는 균류의 피해와 곤충을 제외한 거미, 공벌레와 같은 데이터로 거미의 알집의 데이터가 많았다. 개인조사는 42회로 모든 조사지를 2회씩 조사는 진행하지 못하였다.

3. 결론

왕벚나무에서 발생한 해충은 4목 27과 48속 61종이 확인되었고, 나비목이 33종으로 가장 종 다양성이 높았으며 노린재목이 18종으로 2번째로 높았다. 종 다양성이 높았던 과는 밤나방과(Noctuidae)로 6종을

확인하였다. 천적곤충은 4목 5과 11종이 확인되었으며, 이 중 무당벌레과(Coccinellidae)가 6종으로 가장 많았다. 발견한 종에 대해서 발견시기, 가해방식, 분포와 같은 여러 생태학적 데이터를 확보하였다.

배나무방패벌레는 기존 기록보다 넓은 전국적 분포가 확인되었고, 어리줄풀잡자리가 해당 종의 유충을 포식하는 천적으로 기록되었다. 천공성 해충으로는 벚나무사향하늘소(서울, 인천, 청주)와 복숭아유리나방(대전, 청주)이 관찰되었다. 흡즙성 피해는 배나무방패벌레와 외점애매미충에 의해 가장 심각했으며, 4월부터 10월까지 지속적인 가해가 이루어졌다. 이들은 잎 뒷면에서 흡즙하며 배설물 흔적을 남겼다. 또한 미국흰불나방은 인천 노현동 지역에서 대발생하여 잎맥만 남기는 피해를 주었고, 니토베가이나방은 울산 굴화리에서 대규모 발생하였다. 새롭게 확인된 해충으로는 청주시와 춘천시에서 왕벚나무 잎을 가해하는 우리표주박장님노린재가 있었다.

흡즙성 해충 우점종으로 미국선녀벌레와 갈색날개매미충이 보고되었으나(국립산림과학원, 2022). 본 조사에서는 배나무방패벌레와 외점애매미충이 주요 우점종으로 확인되었다. 이는 연도별 주요 가해종이 변화하고 있다는 것을 알 수 있었고, 노린재목 해충은 장기간 지속적인 피해를 주며, 나비목은 특정 시기 대발생으로 피해가 집중되는 경향이 있는 것을 확인하였다. 따라서 연중 예찰체계 강화와 병행한 적기 방제가 필요하며, 천적 활용 및 비화학적 방제 적용을 통해 환경영향을 최소화하는 관리전략이 요구된다.

참고문헌

- Barbera E, Curro C, Valenti G. 2010;A hyperbolic model for the effects of urbanization on air pollution. *Applied mathematical modelling* 34(8):2192 - 2202.
- Baklanov A, Molina L.T, Gauss M. 2016;Megacities, air quality and climate. *Atmospheric Environment* 126:235 - 249.
- Larkin A, van Donkelaar A, Geddes J.A, Martin R.V, Hystad P. 2016;Relationships between changes in urban characteristics and air quality in East Asia from 2000 to 2010. *Environmental science & technology* 50(17):9142 - 9149.
- Wang S, Gao S, Li S, Feng K. 2020;Strategizing the relation between urbanization and air pollution:empirical evidence from global countries. *Journal of Cleaner Production* 243:118615.
- Nowak D.J. 2002;Brooklyn's urban forest. *USDA Forest Service* 290
- Bottalico F, Chirici G, Giannetti F, De Marco A, Nocentini S, Paoletti E, et al. 2016;Air pollution removal by green infrastructures and urban forests in the city of Florence. *Agriculture and agricultural science procedia* 8:243 - 251.
- Russo A, Escobedo F.J, Zerbe S. 2016;Quantifying the local-scale ecosystem services provided by urban treed streetscapes in Bolzano, Italy (2372-0344)
- Endreny T, Santagata R, Perna A, De Stefano C, Rallo R.F, Ulgiati S. 2017;Implementing and managing urban forests:A much needed conservation strategy to increase ecosystem services and urban wellbeing. *Ecological Modelling* 360:328 - 335.
- Fusaro L, Marando F, Sebastiani A, Capotorti G, Blasi C, Copiz R, et al. 2017;Mapping and assessment of PM10 and O3 removal by woody vegetation at urban and regional level. *Remote sensing* 9(8):791.
- Korea Forest Service, 2020. Street Tree Creation and Management Manual. ISBN 11-1400000-000827-14
- National Institute of Forest Science, 2023, Analysis Report on Tree Care Consulting Prescriptions for Public Support in Residential, (연구자료 제1126호)
- National Institute of Forest Science, 2021. Investigation on damages and ecological features of hemipteran insect pests from major tree species in living space, (연구자료 제975호)
- Ahn, S., Lee, S., Kim, J., Nam, Y., 최성환 S. C., & Jung, J.-K. (2022). Occurrence of Lepidopteran Insects in

Urban Forests. Korean Journal of Applied Entomology, 61(3), 481 - 496.

<https://doi.org/10.5656/KSAE.2022.05.0.028>

- Jongok Lim, Haneul Yu, Jeongwoon Won, Seokmoo Kang, Suyeon Shin, Yonghwan Park, Chansik Jung. (2023). Occurrence of Insect Pests from Street Trees in Six Urban and Suburban Parks of Honam Region, South Korea. Korean Journal of Applied Entomology, 62(4), 371-384. <https://doi.org/10.5656/ksae.2023.11.0.045>
- Meineke, E.K., Youngsteadt, E.K., Dunn, R.R., Frank, S.D. (2016). Urban warming reduces aboveground carbon storage. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 283(1840): 20161574. <https://doi.org/10.1098/rspb.2016.1574>
- Park, Y.H., Kim, J.W., 2015. Climate hange and Ecosystem-Based Management Strategies of Invasion Alien Species. Korea Enviroment Institute. Sejong, Republic of Korea.
- Wan, NF., Fu, L., Dainese, M. et al. Pesticides have negative effects on non-target organisms. Nat Commun 16, 1360 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41467-025-56732-x>
- 농촌진흥청(Rural Development Administration), 2025,01, Budget Overview
- 정용 (1990), "농약사용에 의한 환경오염과 그에 따른 건강상의 피해", 환경보전 = Bulletin of Korea environmental preservation association, 12권 9호, 2-7쪽
- National Institute of Forest Science, 2018~2022, Development for Growth Base and Pest Management of Urban Forest Trees
- Korea Forest Service, 2020. Street Tree Creation and Management Manual. ISBN 11-1400000-000827-14
- Korea Forest Service, 2024.09.09., Status of street trees in urban forests and street trees management

사사

이 연구는 (재)숲과나눔과 동아사이언스가 함께 운영하는 「시민과학폴씨 4기」의 지원을 받았습니다.

구두발표 세션 7.

산업보건

- 감정노동 및 직장폭력이 수면 전 인지적 각성을 매개로 불면증에 미치는 영향 분석
: 3개년 종단 구조방정모형과 반복측정 MANOVA를 통한 경로 안정성 검증
김서영 가톨릭대학교 일반대학원 의학과, 숲과나눔 학업장학생
강모열 가톨릭대학교 서울성모병원 직업환경의학과
- 비전문취업(E-9) 이주노동자 산업재해 대응과정의 구조적 한계: 활동가 현장경험을 중심으로
박정효 고려대학교 대학원 사회학과 석박사통합과정, 숲과나눔 연구장학생
- 한국어판 직장 내 가스라이팅 척도(Gaslighting at Work Scale, GWS-K) 타당도 및 신뢰도 검증 연구
이영주 연세대학교 대학원 교육연구소 연구원
이정은 홍익대학교 대학원 교육학과 석사과정

감정노동 및 직장폭력이 수면 전 인지적 각성을 매개로 불면증에 미치는 영향 분석

3개년 종단 구조방정모형과 반복측정 MANOVA를 통한 경로 안정성 검증

김서영 가톨릭대학교 일반대학원 의학과, 숲과나눔 학업장학생
강모열 가톨릭대학교 서울성모병원 직업환경의학과

1. 서론

서비스 산업의 확장과 더불어 직장 내 폭력 및 감정노동과 같은 직무 관련 스트레스 요인이 현대 근로자들의 정신건강 및 수면에 미치는 영향이 주요한 사회·산업 보건 이슈로 부상하고 있다. 기존 연구들은 이러한 스트레스 요인과 우울, 불안 등의 정신질환 간의 연관성에 초점을 맞춰왔으나, 수면장애, 특히 불면증과의 관계는 상대적으로 간과되어 왔다. 최근에는 수면 전 인지적 각성(pre-sleep cognitive arousal)이 스트레스와 불면 간의 핵심 심리적 매개기전으로 제안되고 있으며, 본 연구는 이를 반영하여 감정노동 및 직장폭력이 수면 전 인지적 각성을 경유하여 불면증에 미치는 경로적 영향을 3개년간 추적하였다. 나아가, 이들 관계가 시간 경과에 따라 얼마나 안정적으로 유지되는지를 검증하기 위해 구조방정식모형(SEM)을 비교 분석하였다.

2. 본론

1) 연구 방법

본 연구는 2022년부터 2024년까지 매년 3차례에 걸쳐 실시된 종단 설문조사 자료를 활용하였다. 대상자는 19세 이상 임금근로자 중 감정노동 또는 직장폭력 경험이 있는 자로, 최종 분석에는 1,492명이 포함되었다.

직장폭력은 한국형 직장폭력 평가도구(K-WVS®13), 감정노동은 한국형 감정노동 척도(K-ELS®11)를 사용하여 총점 및 하위영역 점수를 산출하였고, 정상군과 위험군으로 분류하였다. 불면증 증상은 ISI(Insomnia Severity Index) ≥ 15 로 정의하였다. 수면 전 인지적 각성은 Pre-Sleep Arousal Scale - Cognitive Subscale (PSAS-C)로 측정하였다. 보정 변수는 연령, 성별, 교육 수준, 동거인 여부, 직종, 고용형태, 주당 근무시간 등을 포함하였다. 종단적 인과 분석은 R 4.3 lavaan 패키지를 이용한 구조방정식모형(SEM)으로 수행되었으며, 자기회귀 경로, 교차지연 경로, 시점 내 공분산, 간접효과 및 정상성(stationary) 제약 유무에 따른 모델 비교가 포함되었다.

추가적으로, 직장폭력 및 감정노동 위험군과 정상군 간의 종속변수 수준 변화를 시간축에서 비교하기 위해 반복측정 MANOVA 분석도 실시하였다.

2) 연구 결과

감정노동 및 직장폭력은 모두 수면 전 인지적 각성을 유의하게 증가시키고, PSAS-C는 다시 불면증 점수(ISI)에 유의한 정적 영향을 미치는 간접경로를 형성하였다.

감정노동 $\rightarrow$ PSAS-C $\rightarrow$ ISI 경로는 세 시점 모두에서 통계적으로 유의하였고, 직장폭력 역시 PSAS-C를 매개로 불면증에 영향을 주는 정방향 및 역방향 경로를 모두 형성하여 쌍방향성

(bidirectionality)이 관찰되었다.

Stationary 제약을 적용한 모델은 비제약(non-stationary) 모델보다 적합도 저하 없이 AIC/BIC 기준에서 더 우수하여, 경로의 시간적 안정성이 지지되었다.

또한, Repeated MANOVA 분석 결과, 직장폭력과 감정노동 모두에서 위험군은 정상군에 비해 PSAS-C와 ISI 점수가 전 시점에 걸쳐 유의하게 높았으며($p < .001$), 이들 점수는 시간에 따라 유의한 변화 없이 안정적으로 유지되었다.

3. 결론

감정노동과 직장폭력은 모두 불면증에 직접적인 영향을 미칠 뿐 아니라, 수면 직전의 인지적 각성 상태를 통해 간접적으로도 영향을 준다는 점에서, 스트레스-수면 연계 구조 내에서 PSAS-C의 매개 역할이 이론적으로도 실증적으로도 중요함이 확인되었다. 반복 측정 MANOVA 분석과 구조방정식모형 결과 모두에서 위험군이 지속적으로 높은 수면 취약성을 보인다는 점은, 조직 차원의 스트레스 관리뿐만 아니라 인지행동기반 수면 개입의 병행 필요성을 강력히 시사한다.

참고문헌

- 장세진 등, 감정노동 종사자의 스트레스 평가도구 개선 및 활용방안 마련 연구. 한국산업안전보건공단 산업보건연구원. 2018년 연구보고서
- 윤진하 등, 직장인 정신건강 증진 방안 연구. 한국산업안전보건공단 산업보건연구원. 2017년 연구보고서
- Adelman, P. K. Emotional labor as a potential source of job stress. In S.L. Sauter & L. R. Murphy (Eds.), Organizational risk factors for job stress. Washington, DC: American Psychological Association; 1995.p.371-381

사사

본 연구는 한국연구재단(NRF-2022R1F1A1066498)의 지원을 받았습니다.

비전문취업(E-9) 이주노동자 산업재해 대응과정의 구조적 한계

활동가 현장경험을 중심으로

박정효 고려대학교 대학원 사회학과 석박사통합과정, 숲과나눔 연구장학생

1. 서론

이주노동자는 저출산과 고령화로 인해 국내 주요 산업에서 중요한 존재가 되었다. 정부는 제조업, 건설업, 농업, 어업 등 산업현장에서의 인력난 해결을 위해 E-9 비자 이주노동자 쿼터를 지속적으로 확대하고 있다(고용노동부, 2024). 하지만 한국의 산업재해 발생률은 여전히 높으며, 우리의 노동현장은 ‘위험의 외주화’, ‘위험의 이주화’가 일상이 되었다(최정규, 2024). 이주노동자는 내국인에 비해 익숙하지 않은 근로환경, 의사소통의 어려움 등으로 산업재해 위험에 더 많이 노출되어 있다(노지현, 강선경, 2016). 제도상 산업재해가 발생하면, 체류 신분에 상관없이 이주노동자의 경우 산업재해 보상을 보장받을 수 있지만(강민주, 2019) 현실 속 산업재해 신청은 쉬운 일이 아니며 저숙련 노동자로 일하는 이주노동자의 경우 산업재해 보상의 장벽은 더욱 높다(이창규, 2023). 또한 기존의 연구들은 대부분 산업 안전보건의 취약성을 이주노동자의 특성에서 기인하는 것으로 근본적 해결에 한계가 있다(신지원, 채준호, 2024). 활동가들은 이주노동자들과 직접적인 소통을 통해 그들이 직면한 문제를 보다 잘 이해하고, 전달하는 중요한 역할을 수행한다. 이러한 상황에서 E-9 이주노동자가 산업재해 경험 후, 직면하는 문제점을 활동가의 현장경험 사례를 통해 실제 어떠한 구조적, 제도적 문제점이 있는지 확인하고, 개선 방안을 제안하고자 한다.

2. 본론

본 연구는 다양한 자료를 통한 분석과 심층면접을 이용한 질적연구방법을 사용하여 수행되었다. 먼저 산업재해 및 산업안전 분야의 선행연구와 통계자료를 이용하여 현황을 파악하였다. 이후 활동가 인터뷰를 통해 자료수집을 보완하고 이를 분석하였다. 기존 인적 네트워크와 전문가 의견을 통해 인터뷰 대상을 구체화하고, 눈덩이 표집을 활용해 대상자를 확장하여 심층 면접을 하였다. 수집된 자료를 토대로 분석 단계를 진행하였다.

분석 결과, E-9 이주노동자의 산업재해 발생 후 대응 과정에서 다음과 같은 4가지 구조적 문제가 확인되었다. ‘드러나지 않는 산재, 공장처리’, ‘고용허가제 한계’, ‘미등록 체류자 양산구조’, ‘위험의 노출’과 같은 기존의 제도와 지원체계의 구조적 문제를 지적했다. 또한 지역과 산업에 따라 이들의 산업재해 피해 대응 과정에서 각기 다른 어려움이 있음이 드러났다.

3. 결론

본 연구는 국내 가장 많은 외국인 취업자인 E-9 체류자격 이주노동자가 산업재해 경험 과정에서 겪는 어려움이 제도적·구조적 차원에 있음을 심층적으로 살펴보았다. 특히 활동가 인터뷰 분석 결과 E-9 체류자격 이주노동자의 경우, 산업재해 대응과정에서 겪는 문제는 모두 현행 제도의 구조적 한계에서 비롯된 것으로, 개별 사업장 차원의 대응으로는 근본적 해결이 어려움을 보여준다. 이는 국내 취약한 산

업재해 문제에 대한 정부의 체계적 개입의 필요성을 인식하고 더욱 활발한 논의가 시작될 수 있는 기반을 다졌다는 점에서 의의가 있다. 이를 바탕으로 산업재해 은폐 방지를 위한 신고 의무 강화, 산업재해 치료 중 체류 기간 자동 연장 제도, 고용허가제 내 사업장 변경 사유 확대, 지역과 업종별 맞춤형 안전보건 지원체계 구축과 같은 개선 방안을 고려할 수 있다. 이를 토대로 E-9 체류자격 이주노동자의 안전망을 마련하기 위한 제도와 지원체계 개선에 실마리가 될 수 있기를 기대한다.

참고문헌

- 강민주, 2019, 외국인근로자의 산업재해와 실질적 균등대우. 공익과 인권, 19(0), 3-34
- 고용노동부, 2023.11.27., 보도자료_내년 외국인력(E-9) 16만5천명 도입 내국인 구인 어려운 음식점업 등 외국인력 허용, https://www.moel.go.kr/news/enews/report/enewsView.do?news_seq=15860(검색일: 2025.7.5.)
- 노지현, 강선경, 2016, 산업재해를 겪은 이주노동자들의 한국생활 경험과정에 관한 연구: 근거이론 접근, 사회복지정책, 43(1), 135-164
- 신지원, 채준호, 2024, 이주노동자의 산업안전보건과 위험의 이주화: 영국 건설업 사례를 중심으로. 한국경제지리학회지, 27(1), 18-37
- 최정규, 2024, 아리셀 사태에서 본 이주노동자 문제, 씨알의소리, 52-58

사사

본 연구는 (재)숲과나눔의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

한국어판 직장 내 가스라이팅 척도 (Gaslighting at Work Scale, GWS-K) 타당도 및 신뢰도 검증 연구

이영주 연세대학교 대학원 교육연구소 연구원

이정은 홍익대학교 대학원 교육학과 석사과정

1. 서론

직장 내 가스라이팅은 권력관계에서 발생하는 심리적 조작 행위로, 피해자가 자신의 인식과 판단을 의심하게 하여 정신건강과 직무성장에 부정적인 영향을 미친다. 이러한 현상은 산업보건 관점에서 중요한 심리사회적 위해 요인으로, 조직 내 갈등, 직무 스트레스, 번아웃 등 다양한 부정적 결과를 초래할 수 있다. 그러나 국내에서는 직장 환경에 특화된 가스라이팅 측정 도구가 부족하며, 실증 연구 또한 미비하다. 본 연구는 Katsiroumpa 등(2025)이 개발한 Gaslighting at Work Scale(GWS)을 한국어로 번안·타당화하여, 국내 직장인 대상 표준화된 측정도구를 마련하고자 한다. 이를 통해 직장 내 가스라이팅의 실태를 객관적으로 진단하고 예방·중재 전략 수립에 기초자료를 제공하고자 한다. 최근 직장 내 심리적 위협과 권력 불균형에 대한 관심이 높아지면서, 가스라이팅(Gaslighting)은 조직 내에서도 중요한 심리사회적 문제로 대두되고 있다. 특히 상급자 또는 동료에 의해 발생하는 현실 왜곡, 자기 신뢰 저하, 감정 무시와 같은 심리적 조작은 개인의 정신건강과 직무몰입, 조직 소속감에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 그러나 국내에서는 가스라이팅을 측정하기 위한 척도가 일부 존재함에도 불구하고, 직장 내에서의 가스라이팅 경험에 초점을 맞춘 측정도구는 아직 개발되지 않았으며, 이에 대한 실증 연구 또한 미비한 실정이다. 이에 본 연구는 최근 Katsiroumpa et al.(2025)이 개발한 Gaslighting at Work Scale(GWS)을 한국어로 번안하고, 국내 직장인 집단을 대상으로 타당도 및 신뢰도를 검증함으로써, 조직 내 심리적 위해를 측정할 수 있는 표준화된 도구를 제공하고자 한다. 본 척도는 가스라이팅 개념을 친밀한 관계에서 직무 환경으로 확장한 최신 도구로, 조직 내 가스라이팅 현상의 실태를 보다 정밀하게 평가하고 예방·중재 전략 개발에 기초자료를 제공할 수 있다는 점에서 학문적·실천적 의의가 크다.

본 연구는 한국 조직문화에 부합하는 한국어판 직장 내 가스라이팅 척도(Korean Gaslighting at Work Scale; 이하 K-GWS)를 개발하고, 이를 국내 성인 직장인을 대상으로 타당화하는 것을 주요 목적으로 한다. 원척도는 조직 내에서 발생하는 현실 왜곡, 심리적 조작, 감정의 무시, 자아 신뢰 훼손 등 가스라이팅의 핵심 요소를 측정할 수 있도록 고안되었으며, 본 연구에서는 원저작자의 사용 승인을 기반으로 척도를 번안한 후, 조직심리 및 상담 분야에서 20년 이상 실무 경력을 가진 전문가 집단의 자문을 통해 문항의 내용 타당성을 확보하고 최종 문항을 확정하였다. 척도의 타당화 과정은 일반 기업 및 공공기관에 재직 중인 성인 직장인 약 300명을 대상으로 실시되며, 탐색적 요인분석(EFA)과 확인적 요인분석(CFA)을 포함한 구조 타당도 검증, 내적 신뢰도 분석(Cronbach's α), 그리고 준거타당도(concurrent validity) 평가를 통해 수행될 예정이다. 준거 변인으로는 우울, 불안, 조용한 퇴사, 직무몰입, 번아웃 척도를 포함하여, 조직 내 가스라이팅의 심리사회적 영향력을 다각도로 검토하고자 한다. GWS는 원척도에서 2요인 구조('자기신뢰 상실'과 '권력 남용')로 구성되어 있으며, 국내 조직에서도 유사한 구조가 유지되는지를 실증적으로 검토함으로써, 한국 직장 환경에 적합한 척도로 정착시킬 수 있을 것이다. 특히 가스라이팅 개념이 그간 주로 친밀한 관계나 가정 내 맥락에서 논의되어 온 것과 달리, 본 연구는 이를 조직 심리학적 차원으로 확장하여 다룬다는 점에서 의의가 있다. 본 연구의 필요성은 다음 세 가지 측

면에서 강조된다. 첫째, 코로나19 팬데믹 이후 비대면 업무 증가, 정서적 거리감, 평가 압박이 강화되면서 직장 내 심리적 위협 경험, 특히 위계적 권력관계에서 유발되는 가스라이팅 현상이 더욱 빈번해지고 있음에도, 이를 측정할 수 있는 표준화된 도구는 국내에 전무하다. 둘째, 조직 내 가스라이팅은 단순한 갈등이나 스트레스 반응이 아니라, 자기신뢰 훼손, 회피적 방어, 감정적 위축, 이직 충동 등 다양한 부정적 결과와 직결되며, 심리상담과 조직개입의 주요 요인으로 작용할 수 있다. 셋째, 기존 국내 연구들은 가스라이팅을 개인적 경험이나 피해자 중심으로만 다뤄왔으며, 권력구조와 조직문화 맥락에서의 심리사회적 역동을 실증적으로 다룬 연구는 매우 부족한 실정이다. 결론적으로 본 연구는 조직 내 권력 불균형과 심리적 조작의 양상을 구조화된 방식으로 측정할 수 있는 한국어판 척도(GWS-K)를 개발함으로써, 국내 직장인의 심리적 건강과 조직문화 개선을 위한 실천적 기반을 제공하고자 한다. 이러한 결과는 향후 심리상담, 조직 코칭, 인사관리, 리더십 교육 등 다양한 분야에서 가스라이팅을 조기 탐지하고 예방·개입하는 데 유용한 진단 자료로 활용될 수 있다.

2. 방법

1) 연구대상 및 절차

본 연구는 만 20세 이상 근로 경험이 있는 성인 직장인 300명을 대상으로 온라인 자기보고식 설문을 실시하였다. 표본은 온라인 리서치 기관 패널을 통해 모집하였으며, 연구 목적·개인정보 보호·익명성 등에 대한 충분한 안내 후 자발적 동의가 이루어진 경우에만 참여가 허용되었다. 연구 참여자는 현재 기업이나 공공기관 등 실제 조직에 소속되어 근로 중인 사람으로 한정하였다. 만 20세 미만은 경제활동 경험이 제한적일 뿐 아니라 법적·윤리적 절차의 복잡성을 고려해 제외하였다. 또한 어떠한 형태로든 근로 경험이 없는 경우도 배제하여, 직장 내 경험을 기반으로 한 심리사회적 반응을 정확히 측정하고자 하였다. 성별, 학력, 결혼 여부, 소득 수준 등 사회인구학적 요인에 따른 제한은 두지 않았으며, 다양한 배경을 가진 참여자를 포함해 표본의 대표성과 분석의 포괄성을 확보하였다. 이러한 모집 기준은 연구 윤리를 준수하면서도 실질적 경험에 근거한 응답의 타당성을 보장하기 위함이다.

<표 1> 연구대상의 일반적 특성

변수	범위	표본1		표본2		변수	범위	표본1		표본2	
		n	(%)	n	(%)			n	(%)	n	(%)
성별	남성	78	52.0	72	48.0	학력	고등학교 졸업	35	23.3	16	10.7
	여성	72	48.0	78	52.0		대학교 졸업	101	67.3	123	82.0
연령	21~29세	55	36.7	45	30.0		대학원 졸업	14	9.3	11	7.3
	30~39세	48	32.0	52	34.7	거주지역	서울	44	29.3	31	20.7
	40~49세	35	23.3	36	24.0		부산	3	2.0	15	10.0
	50~59세	12	8.0	17	11.3		경기도, 인천	45	30.0	45	30.0
직업	경영/관리직	14	9.3	8	5.3		강원도	3	2.0	4	2.7
	자유/전문직	15	10.0	8	5.3		충청북도	5	3.3	1	0.7
	기능/작업/단순노무직	9	6.0	5	3.3		충청남도, 대전, 세종	14	9.3	14	9.3
	판매/서비스직	24	16.0	21	14.0		경상북도, 대구	6	4.0	14	9.3
	사무/기술직	85	56.7	105	70.0		경상남도, 울산	17	11.3	14	9.3
	자영업	3	2.0	3	2.0		전라북도	3	2.0	2	1.3
							전라남도, 광주	9	6.0	9	6.0
혼인 상태	미혼(교제 중)	79	52.7	80	53.3		제주도	1	0.7	1	0.7
	미혼(동거 중)	5	3.3	7	4.7	거주 형태	혼자 거주	23	15.3	31	20.7
	기혼	66	44.0	57	38.0		가족과 함께 거주	123	82.0	116	77.3
	이혼	0	0	6	4.0		동거인과 거주	4	2.7	3	2.0
직장내 신뢰도	전혀 신뢰받고 있지 않다	1	0.7	5	3.3	성과 평가	매우 낮음	1	0.7	4	2.7
	신뢰받고 있지 않다	3	2.0	6	4.0		낮음	8	5.3	3	2.0
	보통이다	57	38.0	59	39.3						

	신뢰받고 있다	71	47.3	66	44.0		보통	70	46.7	76	50.7
	매우 신뢰받고 있다	18	12.0	14	9.3		높음	61	40.7	54	36.0
고용 형태	정규직	104	69.3	118	78.7	월평균 소득	매우 높음	10	6.7	13	8.7
	계약직	22	14.7	18	12.0		소득없음	8	5.3	5	3.3
	프리랜서	9	6.0	4	2.7		1원~200만원	25	16.7	26	17.3
	아르바이트	15	10.0	10	6.7		200~400만원	74	49.3	87	58.0
직무 형태	개인 중심	50	33.3	51	34.0	조직 규모	400~600만원	28	18.7	24	16.0
	팀 중심	42	28.0	37	24.7		600~800만원	8	5.3	3	2.0
	혼합형	58	38.7	62	41.3		800만원 이상	2	1.3	5	3.3
근무 기간	1년 미만	33	22.0	27	18.0	조직 규모	10명 미만	47	31.3	40	26.7
	1~3년 미만	52	34.7	45	30.0		10명~50명 미만	48	32.0	54	36.0
	3~5년 미만	18	12.0	26	17.3		50명~100명 미만	18	12.0	19	12.7
	5년 이상	47	31.3	52	34.7		100명 이상	37	24.7	37	24.7

주. N = 300. 성과평가는 응답자가 스스로 인식한 업무 성과 수준을 5점 척도(1=매우 낮음, 5=매우 높음)로 평가한 값임.

2) 측정 도구

본 연구는 온라인 자기보고식 설문을 통해 자료를 수집하였으며, 참여자는 제공된 링크를 활용해 자택·사무실 등 개인 공간에서 자유롭게 응답하였다. 설문은 총 59문항으로, 인구사회학적 변인과 5개의 심리·조직 관련 척도로 구성되었다. 첫째, 인구사회학적 문항은 연령, 성별, 직업, 근무형태, 학력, 근속연수 등 18문항으로, 표본 특성 및 집단 간 비교에 활용되었다. 둘째, 한국어로 변환된 Gaslighting at Work Scale(GWS) 18문항을 사용하여 조직 내 현실 왜곡, 감정 무시, 자기신뢰 상실, 권력 남용 등 가스라이팅 경험을 측정하였다. 셋째, 정신건강 수준은 K-PHQ-4의 4문항으로 우울과 불안을 평가하였다. 넷째, Quiet Quitting Scale(QQS) 9문항을 통해 직무몰입 저하와 정서적 거리두기를 측정하였다. 다섯째, 직무몰입은 UWES-9 한국어판 9문항으로, 활력·헌신·몰입의 세 차원을 포함하였다. 여섯째, 번아웃은 Single Item Burnout Measure(SIB) 1문항으로 파악하였다. 모든 문항은 평균 10분 내외에 응답 가능하도록 설계되었으며, 참여 전 연구 목적과 개인정보 보호, 권리에 대한 설명이 제공되었고 동의 절차를 거친 경우에만 참여가 가능하였다. 이를 통해 시간과 공간의 제약을 최소화하면서도 자발적이고 윤리적인 참여를 보장하였다.

(1) 인구학적 특성

본 연구에서는 직장 내 가스라이팅에 영향을 미치는 다양한 심리사회적 요인을 고찰하기 위해, 선행 연구(Katsiroumpa et al., 2025)에서 제시된 관련 변인을 참고하여 총 18개의 인구학적 문항을 설계하였다. 포함된 주요 항목은 성별, 연령, 최종 학력, 혼인 여부, 현재 연애 관계 유무 및 해당 관계의 지속 기간, 직업군, 수행 중인 직무 유형, 재직 연수, 조직의 규모, 고용 형태, 직무 만족도 수준, 직무 스트레스 인식 정도, 자아 인식 관련 자기평가 등이다. 특히 직장 내 가스라이팅은 성별과 연령, 자아개념, 성과에 대한 압박감, 대인관계에서의 긴장감 등 다양한 인구학적 및 심리적 요소들과 유의미한 연관성을 보이는 것으로 보고되어 왔으며, 이에 따라 본 연구에서 수집되는 인구학적 자료는 향후 군집 분석 및 변수 간 차이 검정 시 주요 통제변수로 활용하려 한다.

(2) K-PHQ-4(Patient Health Questionnaire-4)

본 연구에서는 우울 및 불안 수준을 간편하게 선별하기 위해 K-PHQ-4(Patient Health Questionnaire-4)를 사용하였다. PHQ-4는 Kroenke, Spitzer, Williams, and Löwe(2009)가 개발한 초간단 선별도구로, 2문항의 불안 항목(GAD-2)과 2문항의 우울 항목(PHQ-2)으로 구성되어 총 4문항으로 이루어져 있다. 각 문항은 0점(전혀 아님)부터 3점(거의 매일 그림)까지의 4점 Likert 척도로 응답하며,

하위척도별 합산 점수는 0점에서 6점 사이이다. 점수가 높을수록 불안 및 우울 수준이 더 높음을 의미한다. PHQ-4는 짧은 응답 시간과 높은 신뢰도, 타당성으로 인해 임상 및 연구 현장에서 광범위하게 활용되고 있으며, 불안과 우울을 동시에 신속하게 선별할 수 있다는 장점이 있다. 원척도의 개발자인 Kroenke et al.(2009)의 연구에서는 PHQ-4가 불안과 우울 모두에 대해 우수한 내적 일관성과 타당도를 보였으며, 총점과 하위요인 점수는 각각의 정신건강 지표들과 유의미한 상관을 나타냈다. 본 연구에서 사용된 한국어판 K-PHQ-4는 Kim, Shin, Lee, and Han(2021)에 의해 표준화되었으며, 원척도의 구조를 유지하면서도 한국 문화와 언어적 특성을 반영하였다. 본 연구에서 측정된 내적 신뢰도는 불안 하위척도에서 Cronbach's $\alpha=.802$, 우울 하위척도에서 Cronbach's $\alpha=.843$ 으로 나타나, 양호한 신뢰도를 확보한 것으로 확인되었다. 따라서 K-PHQ-4는 한국 성인을 대상으로 불안 및 우울 수준을 신속하게 평가할 수 있는 신뢰도 높은 간이 선별 도구로 활용될 수 있다.

(3) QQS(Quiet Quitting Scale)

본 연구에서는 직장 내 조용한 이직 성향(quiet quitting tendency)을 측정하기 위하여 Quiet Quitting Scale(QQS)을 사용하였다. 이 척도는 Galanis et al.(2023)이 개발한 자기보고형 측정도구로, 조직 구성원이 본인의 직무 역할 이상으로 일하지 않으려는 성향, 즉 정해진 업무 범위 내에서 최소한의 노력을 기울이려는 태도를 평가하기 위해 고안되었다. QQS는 총 9개 문항으로 구성되어 있으며, “나는 최소한의 업무만 하고, 그 이상은 하지 않으려 한다.”, “가능한 한 자주 휴식을 취하려고 한다.” 등의 진술을 포함하고 있다. 응답은 1점(전혀 그렇지 않다)에서 5점(매우 그렇다)까지의 5점 Likert 척도로 이루어지며, 점수가 높을수록 조용한 이직 성향이 강함을 나타낸다. Galanis et al.(2023)의 개발 연구에 따르면, QQS는 단일 요인 구조로 확인되었으며, 내적 신뢰도 지수는 Cronbach's $\alpha=.851$ 로 양호한 수준의 신뢰도를 보여주었다.

(4) UWES-9(Utrecht Work Engagement Scale)

본 연구에서는 직무 몰입(work engagement) 수준을 측정하기 위하여 Utrecht Work Engagement Scale 9문항 버전(UWES-9)을 사용하였다. UWES는 Schaufeli, Salanova, González-Romá, & Bakker(2002)가 개발한 자기보고형 척도로, 개인이 직무에 대해 느끼는 활력(vigor), 헌신(dedication), 몰입(absorption)의 세 가지 요소를 평가한다. 9문항으로 구성된 간편 버전은 원척도(UWES-17 또는 UWES-15)의 타당한 축약형으로 개발되었으며, 국내에서는 조운성, 홍아정, 정채윤(2020)에 의해 타당화되었다. 응답자는 각 문항에 대해 0점(전혀 그렇지 않다)에서 6점(항상 그렇다)까지의 7점 Likert 척도로 답하며, 점수가 높을수록 직무에 대해 에너지 넘치고 몰입된 상태를 더 강하게 경험하고 있음을 의미한다. 예시 문항으로는 “나는 내가 하는 일에 열정을 느낀다.”, “나는 일할 때 힘이 나고 활기차게 느껴진다.” 등이 있으며, 이는 각각 ‘헌신’과 ‘활력’ 요인에 해당한다. 실제 본 연구에서 사용된 UWES-9의 내적 신뢰도는 Cronbach's $\alpha=.796$ 으로, 양호한 수준의 내적 일관성을 보였다.

(5) 한국판 단일 문항 번아웃 척도 (Korean Version of the Single-Item Burnout Measure)

본 연구에서는 직무 소진 수준을 간단하고 신뢰성 있게 평가하기 위하여 Hansen & Pit(2016)가 제안한 Single Item Burnout Measure(SIB)를 기반으로 구성된 한국판 단일 문항 번아웃 척도(Korean Version of the Single-Item Burnout Measure)를 사용하였다. 이 척도는 직무로 인해 발생하는 신체적·정서적 탈진 상태를 단 하나의 문항으로 측정하는 간결한 평가 도구로, 단일 문항임에도 불구하고 다양한 직업군을 대상으로 심리측정학적 신뢰도와 타당도가 입증되어 널리 활용되고 있다. 응답 문항은 다음과 같다.“최근 나는 얼마나 번아웃(심리적 소진)을 경험하고 있다고 느끼시나요?” 응답자는 본인의 현재 직무 소진 상태에 대해 가장 적절하다고 판단되는 진술을 다음의 5점 Likert 척도를 바탕으로 선택

한다. 한국판 SIB는 Song, Yun, Ahn, & Choi(2023)에 의해 타당화되었으며, 국내 직장인을 대상으로 한 연구에서 우울, 스트레스, 건강 관련 삶의 질과 유의미한 상관관계를 나타내며 충분한 동시타당도와 수렴타당도를 입증하였다.

3) 분석 방법

본 연구는 한국판 직장 내 가스라이팅 척도(GWS-K)의 신뢰도와 타당도를 검증하기 위해 SPSS 27.0과 Jamovi 2.6.2를 활용하였다. 우선 인구사회학적 특성을 기술하기 위해 빈도분석을 실시하고, 각 척도의 내적 일관성은 Cronbach's α 로 산출하였다. 또한 주요 심리 변인 간 관계를 파악하기 위해 Pearson 상관분석을 수행하였다. 척도의 구조적 타당도 검증은 2단계로 진행되었다. 연구 1에서는 전체 표본 300명 중 150명을 무선추출하여 탐색적 요인분석(EFA)을 실시하였다. 문항은 원저자의 사용 승인을 받은 뒤 전문가 자문과 예비조사를 거쳐 한국 문화에 적합하게 조정하였다. 연구 2에서는 나머지 150명을 대상으로 확인적 요인분석(CFA)을 수행하였으며, 최대우도추정법을 적용하고 CFI, RMSEA, SRMR 등 적합도 지표와 AVE, CR을 통해 수렴타당도를 평가하였다. 또한 준거타당도 검증을 위해 K-PHQ-4(우울·불안), QQS(조용한 퇴사), UWES-9(직무몰입), SIB(번아웃)과의 상관관계를 분석하였다. 표본을 탐색적·확인적 요인분석에 각각 분리하여 사용함으로써 통계적 독립성과 내적 타당성을 확보하였다. 이러한 일련의 절차를 통해 GWS-K의 구조 타당성, 신뢰도, 수렴 및 준거타당도를 종합적으로 검토하고, 한국 조직환경에 적합한 표준화 척도로서의 활용 가능성을 평가하였다.

3. 결과

1) 탐색적 요인분석

K-GWS 척도의 18개 문항에 대한 요인 구조를 확인하기 위해 150명의 자료를 바탕으로 탐색적 요인분석을 실시하였다. 적합성 검증 결과, KMO=.969로 매우 우수하였고, Bartlett의 구형성 검정도 $\chi^2=5117$, $df=153$, $p<.001$ 로 요인분석 조건을 충족하였다. 요인 추출은 최대우도법을 적용하고, 회전 방식은 베리맥스(Varimax)를 사용하였다. 요인 수는 고유치 1 이상 기준과 스크리 도표를 종합하여 결정하였으며, 분석 결과 2요인 구조가 도출되었다. 누적 설명 변량은 56.73%로, 이는 사회과학 분야에서 일반적으로 수용 가능한 수준(50~60%)에 해당하며, 기존 연구(Hair et al., 2014; Peterson, 2000; Williams, 2010)의 권고 범위와도 부합한다. 따라서 본 연구에서 확인된 요인 구조와 설명 변량은 직장 내 가스라이팅을 측정하는 도구로서 타당성을 지닌다고 볼 수 있다.

<표 2> K-GWS의 탐색적 요인 분석에서의 요인부하량, 공통성 및 신뢰도 계수

번호	문항	요인부하량		α
		요인1	요인2	
요인 1 (자기신뢰상실 8문항)				
6	상사는 나의 걱정이나 불만을 무시하거나 중요하지 않게 여긴 적이 있다.	.793	.370	.763
4	상사는 내가 상황을 잘못 이해하고 있다고 느끼게 만들었다.	.790	.339	
7	상사는 내가 기억하는 일을 잘못 기억하고 있다고 느끼게 했다.	.777	.419	
2	상사는 나에게 사실과 다른 말을 하거나 거짓말을 한 적이 있다.	.749	.361	
1	상사는 자신이 한 말을 하지 않았다고 부인한 적이 있다.	.743	.319	
5	상사는 내 자격이나 능력을 의심하게 만들었다.	.725	.472	
9	상사는 내가 하지 않은 실수나 문제에 대해 나를 탓한 적이 있다.	.703	.446	
14	상사는 업무에 대해 구체적이고 명확한 지시를 주지 않았다.	.516	.474	
요인 2 (권력남용, 10문항)				
10	상사는 나를 예민하거나 “미쳤다”는 식으로 표현한 적이 있다.	.274	.820	.895
16	상사는 내 말이나 아이디어를 왜곡하거나 과장해 나를 무능하거나 어리석게 보이게 했다.	.394	.803	

15	상사는 나를 업무와 관련된 중요한 회의나 논의에서 제외시킨 적이 있다.	.389	.746	
11	상사는 동료들에게 나에 대한 부정적인 이야기를 퍼뜨린 적이 있다.	.339	.740	
17	상사는 내 아이디어나 결과물을 자신의 것처럼 발표한 적이 있다.	.489	.695	
12	상사는 내 생각이나 행동을 조종하려 했던 적이 있다.	.531	.608	
8	상사는 의견이 다를 때 내가 거짓말을 하고 있다고 비난했다.	.558	.593	
13	상사는 업무와 관련된 결정을 스스로 내리지 못하게 하고 자신에게 의존하게 만들었다.	.522	.579	
3	상사는 내가 경험한 일을 "그건 네가 상상한 거야"라고 말한 적이 있다.	.535	.576	
18	상사는 자신의 의견과 다른 의견이나 비판을 받아들이지 않았다.	.555	.570	
회전 고유치		5.14	2.98	
회전 설명변량(%)		25.68	14.88	.920
누적 설명변량(%)		56.73		(전체)

주. $N = 150$

2) 확인적 요인분석

탐색적 요인분석에서 확인된 K-GWS의 2요인 18문항 구조를 검증하기 위해 확인적 요인분석을 실시하였다. 모형 적합도 평가는 CFI, TLI, RMSEA, SRMR 지수를 활용하였다. 일반적으로 CFI와 TLI는 .90 이상일 때 양호하고, RMSEA와 SRMR은 .05~.08 범위일 때 수용 가능한 수준으로 간주된다(Browne & Cudek, 1993; Hu & Bentler, 1999). 분석 결과, $\chi^2=375.000(df=134, p<.01)$, RMSEA=.110(90% CI: .096~.123), SRMR=.053, CFI=.903, TLI=.889로 나타났다. CFI와 SRMR은 기준을 충족하였으며, RMSEA는 다소 높게 나타났으나 하한값이 .10에 근접해 부분적으로 수용 가능한 수준으로 해석할 수 있다. 따라서 K-GWS의 2요인 구조는 전반적으로 적합한 모형으로 확인되었으며, 척도의 구조적 타당성을 지지하였다.

<표 3> K-CIPS의 확인적 요인분석 결과

요인	문항	β	b	$S.E$	AVE	개념신뢰도
Factor 1	Q1_6	0.846***	0.964	0.075	.654	.938
	Q1_4	0.860***	0.973	0.074		
	Q1_7	0.900***	1.028	0.072		
	Q1_2	0.797***	0.878	0.075		
	Q1_1	0.741***	0.847	0.080		
	Q1_5	0.858***	0.990	0.075		
	Q1_9	0.809***	0.891	0.074		
	Q1_14	0.690***	0.780	0.082		
Factor 2	Q1_10	0.602***	0.691	0.062	.616	.942
	Q1_16	0.880***	0.903	0.066		
	Q1_15	0.818***	0.879	0.072		
	Q1_11	0.751***	0.781	0.073		
	Q1_17	0.849***	0.928	0.072		
	Q1_12	0.787***	0.804	0.070		
	Q1_8	0.808***	0.896	0.075		
	Q1_13	0.835***	0.946	0.075		
	Q1_3	0.768***	0.773	0.070		
	Q1_18	0.790***	0.926	0.080		
모형 적합도						
χ^2 (p)	df	TLI	RMSEA (90% CI)		SRMR	CFI
375.000***	134	.889	.110 (.096~.123)		.053	.903

주. $N = 150$. *** $p < .001$

3) K-GWS의 동시타당도

본 연구에서는 K-GWS의 동시타당도를 검증하기 위하여, 우선 K-GWS 하위 요인들 간의 상관관계를 산출하였다. 더 나아가 K-GWS와 우울, 불안, 자아존중감, 부정평가 두려움, 자기비판 척도와와의 상관계수를 확인하였다. 이를 통하여 K-GWS가 심리적 부적응 및 성격 특성과 어떤 관련성을 갖는지를 검토하였다. 또한 연구에 포함된 주요 변인들의 특성을 제시하기 위해 평균, 표준편차, 왜도, 첨도를 산출하였으며, 그 결과는 표 4에 제시하였다.

<표 4> K-GWS 척도와 다른 척도와의 상관계수

	직장내가스 라이팅	직장내가스 라이팅1	직장내가스 라이팅2	불안	우울	조용한 사직	직무열의	변아웃
1	-							
2	.957**	-						
3	.968**	.853**	-					
4	.559**	.518**	.556**	-				
5	.490**	.466**	.476**	.729**	-			
6	.300**	.310**	.269**	.356**	.316**	-		
7	.078	.027	.117*	-.083	-.086	-.592**	-	
8	.453**	.422**	.449**	.524**	.536**	.367**	-.158**	-
평균	1.98	2.22	1.80	0.73	0.77	2.80	2.85	2.72
표준편차	0.89	0.96	0.89	0.80	0.83	0.70	1.24	1.06
왜도	0.98	0.67	1.19	0.97	0.96	0.22	-0.12	0.55
첨도	0.86	-0.32	0.43	0.22	0.12	0.18	-0.10	-0.48

주. $N = 300$. * $p < .05$, ** $p < .01$ 직장인가스라이팅1= 자기신뢰상실, 직장인가스라이팅2=권력남용

4. 논의

첫째, 본 연구에서 개발한 한국어판 직장 내 가스라이팅 척도(GWS-K)는 Katsiroumpa 등(2025)이 제시한 원척도와 동일하게 ‘자기신뢰 상실’과 ‘권력 남용’이라는 두 요인 구조를 유지하면서도, 문항 수에서는 차이를 보였다. 원척도는 초기 32문항에서 전문가 검토, 인지 면담, 탐색적 요인분석을 거쳐 최종적으로 11문항으로 축약된 반면, 본 연구에서는 한국적 직장문화의 특수성을 반영하여 18문항을 유지함으로써 보다 포괄적인 직장 내 가스라이팅 경험을 담아내고자 하였다. 이는 가스라이팅의 핵심 개념이 문화권을 넘어 공통적으로 나타나지만, 구체적인 경험 양상은 문화적 맥락에 따라 달라질 수 있음을 시사한다. 둘째, 두 척도 모두 높은 수준의 신뢰도와 타당도를 확보했다는 점에서 공통점을 가진다. 원척도에서는 Cronbach's α 와 McDonald's ω 가 모두 .93 이상으로 보고되었으며, 확인적 요인분석 결과에서도 우수한 모형 적합도가 제시되었다. 본 연구의 K-GWS 역시 Cronbach's α 가 유사한 수준으로 나타났고, 우울·불안(K-PHQ-4), 조용한 퇴사(QQS), 직무몰입(UWES-9), 번아웃(SIB)과의 상관을 통해 준거타당도가 확보되었다. 이러한 결과는 직장 내 가스라이팅이 직무 스트레스, 정서적 소진, 이직 의도와 긴밀히 연관된다는 점을 국제적으로 일관되게 보여주며, 두 척도가 동일한 심리사회적 기제를 포착하고 있음을 확인시켜 준다. 셋째, 한국어판 척도는 번역·적용 과정에서 국내 직장문화에 특화된 요소들이 반영되었다는 점에서 의의를 가진다. 예를 들어, 상사의 불명확한 지시, 중요 회의에서의 배제, 감정 표현을 억제하는 조직 분위기 등은 한국 직장인들이 권력 남용을 경험하는 전형적 장면으로 지목되었으며, 이러한 문항들은 한국적 맥락에서 가스라이팅을 보다 정교하게 측정할 수 있도록 기능하였다. 반면 원척도는 그리스 직장인을 대상으로 개발되어 서구적 직무환경과 권력관계의 특징을 기반으로 하고 있기에, 동일한 요인 구조를 지니더라도 실제 응답자가 경험을 해석하는 방식에는 문화적 차이가 존재할 수 있다. 따라서 GWS-K는 단순한 번역본을 넘어, 한국 조직문화의 맥락에 맞추어 직장 내 권력 불균형과

심리적 조작을 보다 실질적으로 반영하는 도구로서의 가치를 지닌다. 넷째, 이러한 비교 결과는 직장 내 가스라이팅이 보편성과 문화특수성을 동시에 지니는 현상임을 보여준다. 가스라이팅의 핵심 요인인 자기신뢰 상실과 권력 남용은 문화권을 막론하고 공통적으로 나타나지만, 그 구체적 발현 방식은 각국의 직장문화, 위계 구조, 권력관계의 작동 방식에 따라 다르게 나타날 수 있다. 따라서 K-GWS는 국내 조직환경에서의 심리적 위해 요인을 정밀하게 측정할 수 있는 실천적 도구로서, 상담 현장에서는 피해자의 심리적 어려움 평가와 개입 설계에, 조직 차원에서는 예방·중재 전략 수립과 리더십 교육에 활용될 수 있다. 다섯째, 본 연구의 K-GWS는 원척도보다 문항 수가 많아 포괄성을 확보했다는 장점이 있으나, 동시에 실제 현장에서 사용될 때 응답자의 시간적 부담이 커질 수 있다는 한계도 지닌다. 따라서 향후 연구에서는 단축형 K-GWS의 개발, 직업군별·세대별 교차타당도 검증, 다양한 문화권과의 비교연구 등을 통해 척도의 활용성을 높이는 후속 작업이 필요하다. 이를 통해 직장 내 가스라이팅이라는 심리사회적 위해 요인을 국제적으로 비교·분석할 수 있는 학문적 토대가 마련될 것이며, 궁극적으로는 직장인의 심리적 안전망 구축에 기여할 수 있을 것이다.

본 연구의 한계점 및 제언은 다음과 같다. 첫째, 본 연구는 국내 직장인을 대상으로 표본을 수집하여 척도의 신뢰도와 타당성을 검증하였으나, 일부 산업군에 집중된 자료를 사용하였다는 점에서 결과의 일반화에 한계가 존재한다. 따라서 후속 연구에서는 다양한 직종과 조직 규모, 그리고 공공·민간 부문을 포괄하는 보다 광범위한 표본을 확보하여 한국판 직장 내 가스라이팅 척도(K-GWS)의 외적 타당도를 재검증할 필요가 있다. 둘째, 원척도는 문항 축소 과정을 통해 최종적으로 11문항으로 구성된 간결한 척도를 제시한 반면, 본 연구에서는 문화적 맥락을 반영하고 포괄성을 유지하기 위해 18문항을 그대로 유지하였다. 그러나 문항 수가 많아질 경우 응답자의 피로도를 높이고 실제 현장에서의 활용성을 저해할 수 있으므로, 향후 연구에서는 단축형 한국어판(GWS-K-SF)을 개발하고 그 타당도를 검증하는 과정이 요구된다. 셋째, 본 연구는 횡단적 연구 설계를 바탕으로 직장 내 가스라이팅과 심리사회적 변인들 간의 상관관계를 확인하는 데에 그쳤다는 점에서 인과관계를 밝히는 데에는 한계가 있다. 따라서 후속 연구에서는 종단적 설계나 실험적 접근을 통해 가스라이팅 경험이 시간의 흐름에 따라 불안, 우울, 직무 소진, 이직 의도 등에 어떠한 영향을 미치는지 검증하는 것이 필요하다. 넷째, 본 연구는 한국이라는 특정 문화적 맥락 속에서 타당화가 이루어졌기 때문에, 결과를 다른 문화권에 일반화하는 데 한계가 존재한다. 따라서 향후에는 원척도와 한국어판을 포함한 다국적 비교연구를 수행함으로써, 직장 내 가스라이팅의 보편적 차원과 문화적 특수성이 어떻게 변별되는지 규명하는 것이 바람직하다. 다섯째, 본 연구에서 활용한 자료는 자기보고식 설문에 기반하였다는 점에서 사회적 바람직성 편향이나 응답자의 주관적 해석에 영향을 받을 수 있다는 한계가 있다. 향후 연구에서는 동료나 상사의 평가, 면담 자료, 조직 차원의 객관적 지표 등을 병행하는 다원적 측정 접근을 통해 척도의 타당성을 입체적으로 검증할 필요가 있다. 여섯째, 직장 내 가스라이팅은 개인의 심리적 경험에 국한되지 않고 조직 내 권력관계, 리더십 유형, 산업 특성 등 구조적 요인과 밀접히 연관되어 있는 만큼, 후속 연구에서는 개인 수준의 심리적 변인뿐 아니라 조직문화 및 제도적 요인을 포괄하는 구조방정식 모형 연구를 통해 가스라이팅 발생의 조직적 조건을 규명하고, 이를 바탕으로 예방 및 중재 전략을 구체화하는 노력이 필요하다.

참고문헌

- 안현의, 안창규. (2017). 한국 성인용 성격 5요인 검사 개발 및 타당화. *한국심리학회지: 상담 및 심리치료*, 29(1), 29 - 52.
- 양병화. (1998). SPSS 통계분석 방법. 청람출판사.
- 유연재. (2011). 심리측정에서 요인분석의 활용과 문제점. *한국심리학회지: 일반*, 30(4), 887 - 905.
- 유연재, 김완석. (2014). 문항 분석 시 요인 부하량과 공통성에 따른 문항 제거 기준에 대한 고찰. *한국심리학회지: 일반*, 33(2), 495 - 510.
- 조운성, 홍아정, 정채윤. (2020). Rasch 모형을 이용한 직무몰입 척도(UWES-9) 타당성 검토. *역량개발학습연구 (구 한국HRD연구)*, 15(1), 111-139. 10.21329/khrd.2020.15.1.111
- 조재임. "우울의 두 차원에 관한 연구." *국내석사학위논문 고려대학교*, 1997. 서울
- 홍세희. (2000). 구조방정식모형의 적합도 지수에 대한 고찰. *한국심리학회지: 사회 및 성격*, 14(1), 247 - 261.
- Bjureberg, J., Ljótsson, B., Tull, M. T., Hedman, E., Sahlin, H., Lundh, L. G., ... & Gratz, K. L. (2016). Development and validation of a brief version of the Difficulties in Emotion Regulation Scale: The DERS-16. *Journal of Psychopathology and Behavioral Assessment*, 38, 284 - 296. <https://doi.org/10.1007/s10862-015-9514-x>
- Browne, M. W., & Cudeck, R. (1993). Alternative ways of assessing model fit. In K. A. Bollen & J. S. Long (Eds.), *Testing structural equation models* (pp. 136 - 162). Sage.
- Cammann, C., Fichman, M., Jenkins, D., & Klesh, J. (1983). Assessing the attitudes and perceptions of organizational members. In S. Seashore, E. Lawler, P. Mirvis, & C. Cammann (Eds.), *Assessing organizational change: A guide to methods, measures, and practices* (pp. 71 - 138). New York: Wiley.
- Cattell, R. B. (1966). The scree test for the number of factors. *Multivariate Behavioral Research*, 1(2), 245 - 276.
- Conway, J. M., & Huffcutt, A. I. (2003). A review and evaluation of exploratory factor analysis practices in organizational research. *Organizational Research Methods*, 6(2), 147 - 168.
- Diekhoff, G. M. (1992). *Statistics for the social and behavioral sciences: Univariate, bivariate, multivariate*. Wm. C. Brown Publishers.
- Galanis, P., Katsiroumpa, A., Vraha, I., Siskou, O., Konstantakopoulou, O., Moisoglou, I., ... & Kaitelidou, D. (2023). The quiet quitting scale: Development and initial validation. *AIMS Public Health*, 10(4), 828.
- Gorsuch, R. L. (1983). *Factor analysis* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.
- Hansen, V., & Pit, S. (2016). The single item burnout measure is a psychometrically sound screening tool for occupational burnout. *Health Scope (Zahedan)*, 5(2).
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2006). *Multivariate data analysis* (6th ed.). Pearson Education.
- Harvey, J. C. (1981). *The impostor phenomenon and achievement: A failure to internalize success*. Temple University.
- Hu, L. T., & Bentler, P. M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 6(1), 1 - 55.
- Judge, T. A., & Klinger, R. (2008). Job satisfaction: Subjective well-being at work. In M. Eid & R. J. Larsen (Eds.), *The science of subjective well-being* (pp. 393 - 413). New York: Guilford Press.
- Kaiser, H. F. (1960). The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 141 - 151.
- Katsiroumpa, A., Moisoglou, I., Konstantakopoulou, O., Tsiachri, M., Kolisiati, A., & Galanis, P. (2025, January 8). The Gaslighting at Work Scale: Development and initial validation (Version 1) [Preprint]. Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-5791246/v1>
- Kim, H. W., Shin, C., Lee, S. H., & Han, C. (2021). Standardization of the Korean version of the Patient Health Questionnaire-4 (PHQ-4). *Clinical Psychopharmacology and Neuroscience*, 19(1), 104.
- Kroenke, K., Spitzer, R. L., Williams, J. B., & Löwe, B. (2009). An ultra-brief screening scale for anxiety and depression: the PHQ - 4. *Psychosomatics*, 50(6), 613-621.
- Mael, F., & Ashforth, B. E. (1992). Alumni and their alma mater: A partial test of the reformulated model of organizational identification. *Journal of Organizational Behavior*, 13(2), 103 - 123.
- Peterson, R. A. (2000). A meta-analysis of variance accounted for and factor loadings in exploratory factor

analysis. *Marketing Letters*, 11(3), 261 - 275. <https://doi.org/10.1023/A:1008191211004>

- Rubin, Z. (1970). Measurement of romantic love. *Journal of personality and social psychology*, 16(2), 265.
- Schaufeli, W. B., Salanova, M., González-Romá, V., & Bakker, A. B. (2002). The measurement of engagement and burnout: A two sample confirmatory factor analytic approach. *Journal of Happiness studies*, 3, 71-92.
- Song, H. I., Yun, J. A., Ahn, Y. S., & Choi, K. S. (2023). Validating a Korean Version of the Single-Item Burnout Measure for Evaluating Burnout Among Doctors. *Psychiatry Investigation*, 20(7), 681.
- Williams, B., Onsman, A., & Brown, T. (2010). Exploratory factor analysis: A five-step guide for novices. *Journal of Emergency Primary Health Care*, 8(3), 1 - 13.
- Yücel, İ. (2012). Examining the relationships among job satisfaction, organizational commitment, and turnover intention: An empirical study.

사사

본 연구는 25년 한국심리학회 서던포스트 심리학 후원 사업에 선정되어 리서치 회사를 통해 통계자료 수집이 이루어졌습니다.

포스터발표 세션 1.

기후위기

- **한국과 미국 캘리포니아 기후재난 정책과 거버넌스 비교: 산불 대응을 중심으로**
윤순진 서울대학교 환경대학원 교수
박현지 서울대학교 대학원 환경계획학과 박사수료
박정원 서울대학교 대학원 환경계획학과 박사과정
최효정 서울대학교 대학원 환경계획학과 석사과정
심유미 서울대학교 대학원 환경계획학과 석사과정
심혜영 그린피스 기상기후 선임연구원
- **인간 활동과 산불: 임도와 산림경영이 산불 발생에 미치는 영향**
윤여창 자연과공생연구소 연구소장, 서울대학교 명예교수
이수진 자연과공생연구소 객원선임연구원
이세음 동국대학교 학부 재학생
김효린 동국대학교 학부 재학생
- **가족이 된 동물들: 반려동물 돌봄 실천의 잠재적 환경 영향**
류호재 서울대학교 환경대학원 박사 수료

한국과 미국 캘리포니아 기후재난 정책과 거버넌스 비교

산불 대응을 중심으로

윤순진 서울대학교 환경대학원 교수

박현지 서울대학교 대학원 환경계획학과 박사 수료

박정원 서울대학교 대학원 환경계획학과 박사과정

최효정 서울대학교 대학원 환경계획학과 석사과정

심유미 서울대학교 대학원 환경계획학과 석사과정

심혜영 그린피스 기상기후 선임연구원

1. 서론

인간 활동으로 인해 발생한 기후위기는 폭염, 홍수, 가뭄 등 각종 기후재난의 발생을 증가시키고 있다. 특히 기후변화로 인해 고온건조 현상이 나타나면서 이로 인한 산불의 대형화·연중화·동시다발화는 미국을 비롯한 전 지구적 문제가 되고 있다. 고온과 건조한 날씨가 복합적으로 작용해 산불 날씨(fire weather)가 증가하고, 그에 따라 연료 수분이 감소하여 극단적 일일 산불 확산의 위험이 증가하였기 때문이다(IPCC, 2023). UNEP(2022)은 기후변화 진행에 따른 산불 위험은 현재 대비 2030년에 14%, 2050년에 30%, 2100년에 50%까지 증가할 것으로 예측했으며, 산불로 인한 탄소 배출과 그에 따른 기후변화 가속화 문제도 지적하였다. 국내도 예외는 아니다. 올해 3월, 10만 ha 이상의 산림을 불태우며 역대 최대 피해를 일으킨 경북·경남·울산 산불의 대형화 영향 요인으로도 기후변화가 지목되었다(WWA, 2025).

기후변화로 인한 대형산불의 심각성이 더욱 커짐에 따라 해외 주요국은 산불 대응 정책을 기후변화 대응 정책의 맥락에서 개선 및 강화하고 있다. 예를 들어 산불관리의 역사가 깊은 미국은 ‘기후변화 지표: 산불(Climate Change Indicators: Wildfire)’ 데이터 생성, 산불위기관리전략(Confronting the Wildfire Crisis: A Strategy for Protecting Communities and Improving Resilience in America’s Forests, 2022) 수립 등을 통해 산불과 기후변화 정책을 통합하였다고 평가되고 있다(OECD, 2024). 반면, 우리나라의 경우, 대형산불의 증가와 역대급 산불 발생에도 불구하고 여전히 산불 대응 체계가 개선되지 못하고 있다는 지적이 계속되고 있다. 특히, 올해 3월의 역대 최대 산불로 인해 한국 산불 대응 체계 변화의 필요성이 크게 대두되었으며, 산불 대응 정책 개선에 대한 국민들의 관심과 요구가 거세게 일고 있다.

따라서 이 연구는 대형산불의 대응과 관리에 있어 경험이 풍부하며, 기후재난 대응 차원의 거버넌스 구조가 체계적으로 구축되어 있다는 미국 연방정부 및 캘리포니아주의 산불관리 정책과 거버넌스 구조를 한국 중앙정부와 지방자치단체의 체계와 비교·분석함으로써 한국 산불 대응 정책 개선방안을 제시할 수 있는 근거를 제공하고자 수행되었다.

2. 본론

1) 연구 방법

(1) 자료수집 방법: 문헌조사와 전문가 면접

한국과 미국의 산불 대응 정책과 거버넌스를 조사하기 위해 기본적으로 양국의 법·제도, 주요 정책문서, 부처 및 유관기관의 웹사이트에 대한 문헌조사를 수행하였다. 또한 언론보도, 관련 선행연구와 서적

을 검토하여 산불 대응 정책의 특징과 변화 과정을 파악하고, 이를 통해 연구의 이론적·정책적 기반을 마련하였다. 특히, 산불재난 주관기관인 산림청과 책임기관인 광역지방자치단체에 대한 자료요구를 통해 미공개 자료를 확보하여 분석에 활용함으로써, 기존 공개자료만으로는 파악하기 어려운 정책의 집행 과정과 현장 운영의 특성을 심층적으로 검토하였다.

문헌조사만으로 알 수 없는 현장 매커니즘의 작동방식을 파악하기 위해 행정안전부, 국회 입법조사처, 소방청, 경기도청, 수원시청 관계자가 참석하는 토론회를 개최하였다. 또한 산림청 산불방지과, 산림청 산림정책과 관계자와 녹색연합 산불 담당자, 내일신문 기자에 대한 심층면접을 실시하여 정책 결정 과정, 제도적 한계, 현장 대응의 실제 경험과 인식을 심층적으로 수집하였다.

(2) 분석 방법

분석 방법은 정책사례 비교연구이다. 기후재난 대응 정책 수립의 배경, 기후재난 관련 법·정책 및 대응 조직체계, 산불재난 관련 법·정책 및 대응 조직체계, 산불재난 대응 거버넌스 구조와 정책 실행, 주민 당사자 및 지역공동체 참여의 다섯 가지 분석 틀을 설정해, 한·미 양국을 비교·분석하였다.

2) 세부 연구내용

비교·분석을 통해 다음의 아홉 가지 주요 분석 결과를 도출하였다. 첫째, 한·미 산불 기후재난 인식 전환의 역사와 속도의 차이가 존재하며, 한국의 기후재난 전환은 상대적으로 느리게 이루어졌다. 둘째, 양국의 산불재난 대응 조직체계에 뚜렷한 차이가 존재하며, 한국의 체계는 명령의 일원화가 부족한 상황이다. 셋째, 한국의 경우 단기·장기적 예방을 ‘예방’ 한 단계로 구성하나, 미국의 경우 단기적 ‘예방’과 장기적 재난 영향 감소를 위한 ‘완화’ 단계를 구분하여 별도로 두고 있다. 넷째, 산불재난 대응 거버넌스 실행 방식에 있어 미국에서는 주정부가 주체로 활약하고 필요시 연방정부가 지원하는 반면, 한국의 경우 지자체가 주체적 의사결정을 수행하기보다 중앙으로부터 하달된 명령과 지침을 수행하는 수직적 거버넌스 체계가 작동한다. 다섯째, 미국은 산불재난 대응 상시 거버넌스 기구를 설치하였으나, 한국에는 이러한 조직이 부재하다. 여섯째, 미국의 경우 주민, 지역공동체와 시민사회를 재난 매뉴얼상 공식적 협력 주체로 명시하였고, 민간협력 네트워크가 체계적이고 장기적으로 구축되어있으나 한국은 그렇지 못하다. 일곱째, 미국은 한국보다 상대적으로 높은 비율의 예산을 예방에 투입하고 있으며, 더욱이 캘리포니아의 경우 예방예산 최소 투입 예산 기준을 법으로 정하고 있다. 여덟째, 미국 연방은 산불에 대한 재난 구분을 하지 않고 있으며, 캘리포니아는 일부 문서를 통해 자연재난으로 정의하고 있으나, 한국은 여전히 산불을 사회재난으로 구분하고 있다.

3. 결론

양국은 산불에 대한 기후재난 인식, 대응 체계 정비 속도, 재난 분류, 거버넌스, 법·정책 구조, 예산 배정 등에서 본질적인 차이를 보인다. 특히 미국은 연방주의를 기반으로 주정부의 자율성을 보장하면서 연방-주-지방정부 간 일원화된 지휘체계를 운영하고, 예방적 투자와 NGO·지역공동체 참여, 상시 협력 기구를 통해 유기적 대응체계를 구축하고 있다. 반면 한국은 중앙집권적 구조에서 중앙정부 주도의 정책과 예산 편성이 이루어지며, 일원화된 지휘체계 부재, 지방정부 권한 미흡, 민간 협력 거버넌스 제도화 부족 등의 구조적 한계가 존재한다. 특히 예방·완화보다 사후 대응 중심의 정책과 상시 협력 기구 부재는 대형산불 대응 체계의 구조적 취약성을 심화시킬 수 있다. 이러한 결과는 한국의 산불대응 정책에 있어 기후위기와 연계성을 통한 통합적 체계 구축, 지휘체계의 일원화, 지자체 역량 강화를 통한 분권적 산불재난 관리 체계로의 이행, 진화와 대응에서 예방으로의 패러다임 전환, 재난분류체계 개선을 통한

산불의 ‘복합재난’ 혹은 ‘기후재난’ 분류의 필요성 등을 시사한다.

참고문헌

- IPCC, 2023, Sections, In H. Lee & J. Romero (Eds.), Climate change 2023: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, pp. 35-115.
- IPCC, 2023, Summary for policymakers, In H. Lee & J. Romero (Eds.), Climate change 2023: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, pp. 1-34.
- OECD, 2024, Taming wildfires in the context of climate change: The case of the United States (OECD Environment Policy Papers, No. 40), OECD Publishing, <https://doi.org/10.1787/ef69cc94-en>
- UNEP, 2025, Number of wildfires to rise by 50 per cent by 2100 and governments are not prepared, UN Environment Programme, <https://www.unep.org/news-and-stories/press-release/number-wildfires-rise-50-cent-2100-and-governments-a-re-not-prepared>
- “불타는 한반도 기후위기 시대, 산불은 끝나지 않는다(WWA 관련)”, 한겨레, 2025년 6월 10일, <https://www.hani.co.kr/arti/society/environment/1201930.html>

사사

이 연구는 그린피스 연구용역 과제인 「한국과 미국 캘리포니아의 기후재난 정책 비교연구: 산불 대응을 중심으로」를 기반으로 수행되었다.

인간 활동과 산불

임도와 산림경영이 산불 발생에 미치는 영향

윤여창 자연과공생연구소 연구소장, 서울대학교 명예교수

이수진 자연과공생연구소 객원선임연구원

이세음 동국대학교 학부 재학생

김효린 동국대학교 학부 재학생

1. 서론

국립산림과학원에 따르면 2015~2024년 국내 산불 발생의 99%가 인위적 요인에 의한 것으로 나타났다. 주요 원인은 입산자의 화기 사용, 영농 부산물 쓰레기 소각, 담배꽂초 투기, 화목보일러 재처리 부주의, 성묘 활동, 용접 작업 등이다. 대한민국 역사상 가장 규모가 크고 가장 큰 인명피해를 일으킨 2025년 3월 경상북도 의성군 산불 또한 성묘객의 실화로 발화되었다. 현재 산림청의 산불예보시스템은 기상(DWI), 연료(FMI), 지형(TMI) 요인에 기반한 산불위험지수(FFDRI)를 통해 산불 위험을 예측하고 있으나, 기상 조건에 편중되어 있다는 한계점을 지닌다. 산불 발생의 대부분이 인위적 요인에 의해 발생하는 것을 고려하였을 때 인위적 요인의 영향을 반영하는 예측 시스템의 필요성이 대두되고 있다. 기존 예측 모델은 인간의 활동이 산불에 미치는 복잡한 영향을 충분히 설명하지 못하여 실제 산불 발생 위험 지역과 시점을 정밀하게 예측하는 데 한계를 가진다. 따라서 본 연구는 이러한 문제의식을 바탕으로 산불 발생 확산에 영향을 미치는 기상, 산림 연료에 인위적 변수를 추가하여 새로운 산불 예측 모델을 개발하는 것을 목적으로 한다.

2. 본론

1) 연구 대상 및 방법

본 연구의 시간적 범위는 2022년 7월부터 2025년 7월까지 발생한 산불 피해지 정보를 포함하였다. 공간적 범위는 산불 발생 위험이 높은 강원도와 경상북도로 설정하였다. 분석 단위는 200m 격자로 설정하였으며, 산림청 산불 발생 통계와 기상청 동네예보 자료를 기반으로 패널 데이터를 구축하였다. 주소지 정보는 지오코딩을 통해 공간 데이터로 변환하였고, QGIS를 활용해 데이터 처리 및 공간 분석을 수행하였다.

2) 연구 가설

본 연구는 산불 발생에 영향을 미치는 핵심 요인들의 관계를 규명하기 위해 다음과 같이 연구 가설을 설정하였다.

- 가설 1: 강우가 많을수록 산불이 덜 날 것이다.
- 가설 2: 침엽수림보다 활엽수림이 산불에 더 취약하다.
- 가설 3: 임도를 더 많이 개설할수록 산불이 더 날 것이다.
- 가설 4: 산림경영활동은 산불을 덜 나게 할 것이다.

3) 분석 모형

본 연구는 종속변수인 산불 발생 여부(Y)에 독립변수인 기상 요인(X1), 산림 연료 요인(X2), 인위적 요인(X3)이 미치는 영향을 분석하기 위해 로지스틱 회귀분석(Logistic Regression Analysis)을 이용하였다. 산불 발생 여부를 예측하는 본 연구의 분석 모형은 다음과 같은 함수 형태로 표현할 수 있다.

$$Y = f(X_1, X_2, X_3) + \epsilon$$

여기서 산불 발생(1) 또는 미발생(0)의 이진적인 값을 갖는 종속변수(Y)의 예측을 위해 로지스틱 함수를 사용하였으며, 구체적인 모델 식은 다음과 같다.

$$P(Y = 1) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3)}}$$

P = 특정 조건에서 산불이 발생할 확률 (0과 1 사이의 값)

X₁ = 기온, 풍속, 습도 등 기상 요인관련 독립변수들의 집합

X₂ = 침엽수 여부, 임분 밀도 등 산림 연료 요인관련 독립변수들의 집합

X₃ = 임도 밀도, 등산로 근접성, 인구 밀도 등 인위적 요인관련 독립변수들의 집합

β₀ = 상수항 (절편)

β₁, β₂, β₃, = 각 독립변수들이 산불 발생 확률의 로그 오즈(log-odds)에 미치는 영향을 나타내는 회귀계수

ε = 오차항

4) 변수 설정

종속변수(Y)는 산불 발생 여부(더미 변수)이며, 독립변수는 세 가지로 구분된다. 이 가운데 인위적 요인은 인간의 접근성 및 활동성을 반영하여 기존 모델의 한계를 보완하는 핵심 변수로 설정되었다.

- 기상 요인(X₁): 기온, 평균 풍속, 풍속, 풍향, 상대습도, 실효습도, 강우 효과 지수
- 산림 연료 요인(X₂): 침엽수 여부, 경급, 영급, 임분 밀도, 임분 구조
- 인위적 요인(X₃): 임도 밀도, 산림 경영 여부, 요일, 명절 여부, 활동 시간대, 일가중치, 주말·연휴 여부, 등산로 근접 여부, 인구 밀도

3. 결론

본 연구는 산불 발생의 주요 원인인 인위적 요인을 기존 산불 예측 모델에 통합함으로써 예측의 정확도를 향상시키고자 하였다. 기상 조건 외에 인간의 활동이 산불에 미치는 영향을 정량적으로 분석하고 이를 바탕으로 산불 취약 지역의 특성을 규명하는 데 중요한 기반을 마련했다는 점에서 학술적 의의를 지닌다. 이러한 결과는 산불 예방 및 진화 정책 수립에 실질적인 통찰력을 제공하여 산림 재해 대응 역량을 강화하는 데 기여할 수 있을 것이다.

그러나 본 연구는 특정 지역과 기간에 국한되어 있으므로 향후 연구에서는 전국 단위로 범위를 확장하여 모델의 일반성을 검증할 필요가 있다. 또한 인위적 요인을 더욱 세분화하고 기상 및 인위적 요인 간의 복합적인 상호작용 효과를 심층적으로 분석하는 후속 연구가 필요하다. 본 연구는 산불 예측 시스템을 고도화하고 과학적 근거에 기반한 효과적인 산림 관리 방안을 모색하는 데 중요한 시사점을 제공

할 것으로 기대된다.

참고문헌

- 강유진, 박수민, 장은나, 임정호, 권춘근, 이석준. 2019. 기상 예보 및 위성 자료를 이용한 우리나라 산불위험지수의 시공간적 고도화. *Journal of the Korean Association of Geographic Information*, 22(4), 116-130.
- 홍석환, 안미연, 황정석. 2024. 도로 밀도와 식생 유형이 대형산불 피해에 미치는 영향: 2023년 홍성산불을 중심으로. *한국환경생태학회지*, 38(6), 634-645.
- Corning, S., Krasovskiy, A., Kiparisov, P., San Pedro, J., Viana, C. M., & Kraxner, F. Anticipating future risks of climate-driven wildfires in boreal forests. *Fire*, 7(4), e144. <https://doi.org/10.3390/fire7040144>
- Jo, H.-W., Krasovskiy, A., Hong, M., Corning, S., Kim, W., Kraxner, F., & Lee, W.-K. Modeling historical and future forest fires in South Korea: The FLAM optimization approach. *Remote Sensing*, 15, 1446. <https://doi.org/10.3390/rs15051446>
- Kim, J., Kim, T., Lee, Y.-E., & Im, S. Spatial and temporal variability of forest fires in the Republic of Korea over 1991 - 2020. *Natural Hazards*, 121, 9801 - 9821. <https://doi.org/10.1007/s11069-025-07169-4>

가족이 된 동물들

반려동물 돌봄 실천의 잠재적 환경 영향

류호재 서울대학교 환경대학원 박사 수료

1. 서론

2022년 기준 국내 전체 가구의 25.7%인 552만 가구가 반려동물을 양육하고 있으며(황원경, 이신애, 2023), 이는 1인 가구 증가와 가족 문화 변화 속에서 반려동물을 가족의 일원으로 받아들이는 인식이 보편화된 결과로 볼 수 있다(Vänskä, 2014). 이러한 사회적 변화는 반려동물을 '소유물'이 아닌 '가족'으로 여기는 '펫팸족'의 등장으로 대표된다(강정구, 2016; 이정민, 장민아, 2021). 반려동물의 사회적 지위가 격상됨에 따라(이용숙, 2017), 맞춤형 사료, 호텔, 장례 등 과거 인간 중심의 서비스가 반려동물에게도 확대되었다. 관련 시장은 2027년 15조 원 규모로 성장이 예측되며(Buelva, 2023), 반려동물 동반 식당 허용 등 공공정책의 변화 또한 이러한 사회적 인식을 반영하고 있다. 반려동물 양육 가구의 양적 증가와 더불어, 개별 동물의 삶의 질 향상과 기대수명 증가를 위한 소비 역시 꾸준히 늘고 있다(황원경, 이신애, 2023; Montoya et al., 2023). 그러나 이렇게 가족으로서 반려동물을 받아들이는 사람들의 반려동물을 위한 소비와 생활 방식은 필연적으로 일정 부분 환경적 영향을 야기할 것임에 분명하지만 이에 대한 기초 연구는 미흡한 실정이다. 이러한 배경에서 이 연구는 반려동물을 가족으로 맞이한 시민들의 이야기를 질적으로 분석하여 반려동물 돌봄의 생활방식에는 어떤 것들이 있으며, 그러한 생활방식이 잠재적으로 환경에 어떤 영향을 미칠 수 있는지 분석하여 지속가능한 반려동물 양육 문화를 위한 정책적 함의를 도출하고자 한다.

2. 본론

1) 연구방법

기존 연구가 사료 섭취 등 생물학적 특성의 환경 영향에 집중한 것과 구분되게 이 연구는 반려동물을 가족으로 양육하는 사회·문화적 실천의 잠재적 환경 영향을 탐색하고자 하였다. 질적 연구 방법 중 포커스 그룹 인터뷰(FGI)를 주된 자료수집 방법으로 활용하였다. 총 12명의 FGI 참여자는 모두 현재 반려동물을 돌보고 있는 일반인이며, FGI 중 참여자 간 상호작용을 통해 일상 반려동물 돌봄 실천들을 파악하였다. FGI 참여자 대부분이 여성이었는데, 부족한 남성 보호자의 의견을 얻기 위해 2번의 심층면접을 추가로 시행했다. 인터뷰는 에너지 소비와 폐기물 배출에 기여하는 돌봄 실천에 초점을 맞추는 한편, '반려동물의 가족화'라는 사회·문화적 현상을 이해하기 위해 해당 실천의 근본적인 동기와 이유에 대해서도 질의하는 방식으로 진행되었다.

2) 반려동물 돌봄의 환경적 영향

FGI와 심층면접 자료를 분석하여 다양한 범주에서 반려동물 돌봄 실천을 분류하였다. 보호자들에게 반려동물 돌봄은 단순히 반려동물의 생명 유지를 넘어 정서적 행복감을 주는 것에도 깊은 책임감을 주는 것임을 알 수 있었다. 책임감을 가진 돌봄 실천은 잠재적으로 에너지 소비와 폐기물 배출 영역에서 환경에 영향을 줄 것으로 분석되었다.

먼저, 에너지 소비 측면에서는 보호자들은 냉난방 기기를 필요하지 않을 때에도 반려동물의 상태를 고려하여 지속적으로 사용하며, 특히 보호자가 부재중인 경우에도 냉난방 에너지를 계속 소비한다. 또한, 정기적인 외출과 자가용 이용은 교통 에너지 소비를 높이며, 반려동물의 건강과 기호에 맞춘 식단 관리와 간식 제공은 온실가스 배출을 증가시킨다. 가전제품의 사용 빈도도 높아지는데, 털 관리와 실내 위생을 위해 청소기, 건조기, 세탁기 등을 활용하며, 외출 시에는 홈캠이나 자동 급식기 등 전기로 구동되는 돌봄 제품에 의존하여 가구 전기 사용량이 늘어난다. 더불어, 외출 중에도 반려동물의 심심함이나 불안감을 해소하기 위해 TV나 조명을 켜놓는 경우가 많아 추가적인 전력 소비를 초래한다.

다음으로 폐기물 배출 측면에서도 반려동물 돌봄이 다양한 종류의 폐기물 배출과 연결됨을 알 수 있었다. 일회용 배변패드나 배변 봉투와 같이 반려동물의 대사 활동 처리를 위해 사용되는 소모품은 매일 지속적으로 배출된다. 인간이 거주하는 실내 공간의 특성이 반려동물의 신체적 특성에 맞지 않는다는 문제가 배변 처리용 일회용품에 의존하여 해결하는 것이다. 이와 더불어, 스크래처, 장난감 등 반려동물의 정서적 안정을 위해 소비되는 각종 제품들 역시 주기적인 폐기와 구매를 반복하게 되므로 잠재적으로 생활 폐기물을 가중할 것으로 예상된다. 더 장기적으로는 반려동물을 위해 마련한 각종 가전제품이나 가구류 또한 반려동물 돌봄에서 비롯된 대형 폐기물들이 될 것이다.

3. 결론

본 연구의 기대효과와 정책적 함의는 다음과 같다. 첫째, 현행 가구에너지패널, 전국폐기물통계조사 등 국가 패널데이터는 반려동물을 가구원으로 집계하지 않아 환경 영향 파악에 한계가 있었다. 반려동물 역시 에너지 소비의 주체이므로, 최소한 가구원 조사 문항에 ‘반려동물 보유 여부’와 같은 문항을 추가할 필요가 있다. 이를 토대로 다양한 국가 패널데이터 분석에서 반려동물 존재를 변수화한 연구가 나타날 수 있을 것이다. 둘째, 일회용품 폐기물 문제 해결을 위해 세척이 편리한 재질의 다회용품으로의 전환을 유도하는 정책 지원이 필요하다. 특히 반려동물의 배변 처리와 같은 부분에서 배변패드나 화장실 모래와 같은 일회성 용품이 매일 반복적으로 소비되고 있음을 확인할 수 있는데, 배변활동 자체는 생리현상으로서 줄이거나 막을 수 있는 것이다. 따라서 다회용품 이용을 장려하면서도 보호자의 일상 생활에 불편이 없도록 관련 소비재가 개발되어야 할 것이다. 셋째, 보호자 외출 중 발생하는 에너지 소비를 줄이기 위해 일종의 반려동물 공동 육아 시설이나 제도가 실현 가능한지 검토해볼 필요가 있다. 특히 1인 가구 비중이 나날이 높아지는 현 시대에 반려동물 다수는 보호자가 출근할 경우 혼자 집에 있는 경우가 많다. 냉난방 에너지 소비 뿐만 아니라 반려동물의 정서적 안정을 위해서도 공동 돌봄이 가능한지 가능성을 열어야 할 것이다. 넷째, 자가용 의존도가 외출 상황에서 두드러지게 높게 나타나는 바, 자가용 의존을 줄이기 위한 방안이 필요하다. 서유럽 다수 국가에서는 반려동물로부터 대중교통 요금을 징수한다. 이는 단순히 보호자에게 금전적 부담을 주려는 것이 아니라, 반려동물을 엄연한 대중교통 승객으로 인정하고, 탑승할 권리를 인정하는 것으로 보는 것이 타당하다. 반려동물과 대중교통을 이용하는 것에 주변의 눈치를 살피지 않아도 된다는 장점이 반려동물 대중교통 이용 요금을 상회한다면 보다 자가용 의존을 줄여 에너지 소비를 절감할 수 있을 것이다.

반려동물이 현대 사회 가족 실천에서의 존재감이 매우 커진 시대이다. 동시에 기후위기와 같은 환경 문제는 인류 문명 자체를 위협하고 있다. 반려동물을 가족으로 받아들이고 아낌없는 애정을 주는 따뜻한 마음이 반드시 에너지 집약적이거나 폐기물 다배출적인 생활방식으로 연결될 필요가 없다. 그러기 위해 이 연구를 통해 반려동물 돌봄 과정에서 환경 영향을 만드는 상황이 무엇인지 규명하고, 지속가능한 돌봄 실천을 찾고 알리고자 한다. 이것이 결과적으로 기후위기와 폐기물 대란을 막고 사람과 반려동물이 더 행복하고 지속가능하게 공존할 수 있는데 일조할 것이기 때문이다.

참고문헌

- 강정구, 2016, 펫팸족의 출현과 반려동물의 재인식-2000년대 이후 한국문학과 영화 작품을 중심으로, 세계문학 비교연구, 54, 5-27.
- 이용숙, 2017, 가족으로서의 반려동물의 의미와 반려동물로 인한 구별 짓기, 한국문화인류학, 50(2), 337-403.
- 이정민, 장민아, 2021, 반려동물 용품 및 화장품 산업 현황, The Journal of the Convergence on Culture Technology (JCCT), 7(4), 833-844.
- 황원경, 이신애, 2023, 2023 한국 반려동물 보고서- 반려동물 맞이 준비와 건강관리, KB금융지주 경영연구소, 2023년 6월
- Buelva, A., 2023. Thailand pet food market update: Market growth and sustainability are trending positively for this Southeast Asian country. Petfood Industry, 65(8), 22-24.
- Montoya, M., Morrison, J. A., Arrignon, F., Spofford, N., Charles, H., Hours, M. A., & Biourge, V. 2023, Life expectancy tables for dogs and cats derived from clinical data. Frontiers in Veterinary Science, 10, 1082102.
- Vänskä, A., 2014, New kids on the mall: Babyfied dogs as fashionable co-consumers. Young Consumers, 15(3), 263-272.

사사

이 논문은 2024년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 ‘인문사회분야 박사과정생연구장려금’ 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2024S1A5B5A19044050)

포스터발표 세션 2.

탄소경제

- 전과정평가(LCA)를 통한 수소차, 하이브리드차, 전기차의 환경성 비교 연구
김준영 연세대학교 일반대학원 융합의학과 석사과정
장선호 인하대학교 일반대학원 기계공학과 박사 수료
- 고해상도 환경산업연관분석 모델을 활용한 가계 소비 탄소발자국 연구
이성규 (사)한국기후환경원 연구위원
이주희 세종대학교 대학원 기후에너지융합학과 조교수
전의찬 세종대학교 대학원 기후에너지융합학과 교수
- 환경비용을 고려한 국내 공항 건설의 비용편익분석: 제주 제2공항 건설사업
정민영 서울대학교 대학원 환경관리학과 석사과정, 숲과나눔 학업장학생
이한결 서울대학교 대학원 환경계획학과 석사과정
- 에너지 효율 향상을 위한 지그재그 적층 구조 이미지 센서 연구
하지상 서울대학교 대학원 화학생물공학부 박사 수료, 숲과나눔 학업장학생

전과정평가(LCA)를 통한 수소차, 하이브리드차, 전기차의 환경성 비교 연구

김준영 연세대학교 일반대학원 융합의학과 석사과정
장선호 인하대학교 일반대학원 기계공학과 박사 수료

1. 서론

현대 사회는 심화되는 기후위기와 에너지 고갈 문제에 직면하고 있으며, 탄소중립 사회로의 전환은 전 세계적인 주요 과제로 부상하고 있다. 특히 교통 부문은 전 세계 온실가스 배출의 주요 원인 중 하나로 지목됨에 따라, 친환경 자동차 기술에 대한 관심이 급증하고 있다. 전통적인 내연기관차(ICE)를 대체하기 위한 기술로 수소연료전지차, 하이브리드차, 전기차 등이 개발되었으며, 이들 차량은 각기 다른 에너지 변환 방식과 구동 구조를 지니고 있다.

그러나 이러한 차량이 ‘진정한 친환경’인지에 대한 논쟁은 여전히 존재한다. 차량의 생산, 사용, 폐기 전 과정에서 발생하는 환경영향을 종합적으로 평가하기 위해 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA) 기법이 널리 활용되고 있으며, 이는 기술의 환경적 적정성을 과학적으로 검증하는 중요한 도구이다.

본 연구는 LCA 방법론(ISO 14040/14044 기준)을 활용하여 수소연료전지차, 하이브리드차(PHEV 포함), 전기차(EV)의 전과정 환경성과를 비교·분석하고, 특히 한국의 전력 생산 구조와 배터리 재활용 가능성 등 핵심 변수에 따른 환경영향의 차이를 정량적으로 분석하고자 한다. 이를 통해 탄소중립 실현을 위한 미래 교통수단의 방향성을 제시하고, 지속가능한 모빌리티 정책 수립에 필요한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 본론

1) 친환경 자동차의 유형 및 구동 원리

(1) 친환경 자동차의 유형 및 구동 원리

① 수소차(Hydrogen Vehicle)

연료전지 시스템을 기반으로 수소와 산소의 전기화학 반응을 통해 전기를 생산하여 모터를 구동한다. 주행 중 물만 배출하는 이상적인 무공해 차량으로 여겨지지만, 수소 생산 방식에 따라 전과정 환경성에 큰 차이가 있다. 천연가스를 개질하는 방식은 온실가스 배출이 높고, 반면 재생에너지를 이용한 전기분해 수소는 탄소 배출이 적다.

② 하이브리드차(HEV/PHEV)

내연기관과 전기모터를 함께 사용하는 이중 동력 시스템으로, 주행 효율을 극대화한다. PHEV는 외부 충전을 통해 무배출 주행이 가능하나, 배터리 생산 과정에서의 환경 부담과 재활용 문제가 중요한 변수이다. 차량 운행 중에는 배터리의 효율과 전환 전략에 따라 온실가스 배출량이 변화하며, 전기차와 비교할 때 부분적인 환경성이 보장된다.

③ 전기차(Electric Vehicle)

배터리에 저장된 전기로 모터를 구동하며, 주행 중 오염물질을 배출하지 않는다. 하지만 전력 생산 방식, 특히 석탄 기반 전력 비중이 높은 지역에서는 환경성이 저하될 수 있으며, 배터리 제조 및 폐기 과정에서 환경영향도 고려해야 한다. 특히 배터리의 재활용 기술 수준과 정책이 환경 성과에 큰 영향을 미친다.

2) LCA 기반 환경성 비교 분석

본 연구는 ISO 14040/14044 기준에 따라 LCA 분석을 수행하고, 각 차량의 전과정 온실가스 배출량(GWP)을 중심으로 정량 비교했다. 기본 분석에는 한국의 전력 생산 구조(2025년 기준, 재생에너지 비율 약 10%)를 반영했다. 이 조건에서 전기차는 1km당 약 0.21kg CO₂-eq을 배출하며, 이는 천연가스 개질 수소를 사용하는 수소차 대비 약 5~10% 낮은 수치이다. 반면, 태양광 또는 풍력 기반의 전기분해 방식으로 수소를 생산하는 '그린 수소'가 상용화될 경우, 수소차의 환경성이 전기차보다 우수해질 수 있으며, 이는 수소차의 전력 유래 배출이 거의 0에 가까운 조건에서 가능해진다. 하이브리드차는 내연기관 효율 향상을 통해 기존 ICE 대비 평균 20% 가량 온실가스 배출이 감소했으나, 배터리의 생산 및 수명주기 내 영향으로 인해 여전히 전기차 및 수소차보다 높은 배출량을 기록할 것으로 보인다. 또한, 본 연구는 배터리 재활용 시나리오에 따른 환경성 개선 효과를 분석했다. 기존 연구에 따르면 재활용률이 50%를 초과할 경우 전기차의 전체 GWP는 약 15% 감소하며, 특히 ECU(전자제어장치) 회수 시 14.7%, 플라스틱 회수 시 2.7%의 환경적 이득이 추가적으로 발생한다는 분석이 존재한다.

에너지 믹스의 변화에 따른 영향도 주목할 만하다. 미국의 경우 화석연료 중심에서 점진적으로 재생 에너지로 전환되고 있으며, 브라질은 수력 및 바이오에너지 비중이 높아 전기차 및 하이브리드차의 LCA 성능이 더욱 향상된다. 반면 석탄 비중이 높은 지역에서는 전기차의 상대적 친환경성이 감소할 수 있다. 이외에도 산성화 가능성(ACP), 자원 고갈 가능성(ADP), 인체 독성(HTP) 등의 보조 지표에서도 차량 간 상이한 결과가 도출되었으며, 이는 각 기술의 자재 구성 및 생산 프로세스 차이에 기인한다. 이러한 다차원적 비교를 통해 각 기술의 실질적인 친환경성을 더욱 입체적으로 분석할 수 있다.

3. 결론

본 연구는 전과정평가를 기반으로 수소연료전지차, 하이브리드차, 전기차의 전과정 환경영향을 비교·분석함으로써, 각 기술의 장단점을 객관적으로 도출하고 탄소중립 사회 실현을 위한 시사점을 제안했다. 분석 결과, 단순히 주행 중 온실가스 배출량만으로 친환경성을 판단하는 것은 제한적이며, 에너지 생산 방식의 차이, 배터리 및 연료 생산에서의 환경 부담, 재활용 체계의 성숙도 등 수명주기 전반의 요인들을 통합적으로 고려해야 신뢰성 있는 기술 평가가 가능하다는 점이 확인되었다.

이러한 분석을 바탕으로, 본 연구는 다음과 같은 정책적 시사점을 도출했다. 첫째, 전기차의 친환경성은 전력 생산 구조의 탄소 배출 수준과 밀접하게 연관되어 있다. 따라서 전기차 보급 정책은 재생에너지 확대 전략과 반드시 병행되어야 하며, 이를 위한 구체적인 에너지 전환 로드맵이 국가적 차원에서 수립되어야 한다. 둘째, 수소차의 경우 수소 생산 방식에 따라 전과정 배출량이 극명하게 달라지므로, 그린 수소 생산 인프라 구축과 수소 유통 시스템의 효율화가 환경성과를 결정짓는 핵심 변수가 된다. 셋째, 배터리 생산에 따른 환경부하를 줄이고 자원 효율성을 제고하기 위해 배터리 회수 및 재활용 기술 투자와 제도적 기반 마련이 시급하다.

한편, 하이브리드차는 내연기관에 의존하는 구조적 특성으로 인해 장기적인 관점에서는 탄소중립 목표 달성에 제한적인 역할에 머무를 가능성이 크다. 따라서 하이브리드차는 과도기적 기술로서 일정 수

준의 환경효과를 기대할 수 있지만, 중장기적 모빌리티 전략은 전기차 및 수소차 중심의 전환을 목표로 하되, 각 기술의 지역별 적합성과 에너지 인프라 조건을 종합적으로 고려하는 맞춤형 접근이 요구된다.

향후 연구에서는 배터리 기술의 진보, 수소 생산의 탈탄소화, 전력망의 재생에너지 전환율 변화 등 기술적·정책적 변수들을 반영한 통합 시나리오 기반 평가가 이루어져야 한다. 본 연구는 친환경 차량 기술의 환경성과를 객관적이고 종합적으로 비교함으로써, 지속가능한 교통수단의 선택과 국가 차원의 탄소 중립 전략 수립에 유의미한 기초자료를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- Granovskii, M., Dincer, I., Rosen, M.A., 2006, Life cycle assessment of hydrogen fuel cell and gasoline vehicles, International Journal of Hydrogen Energy, 31, 337 - 352
- Rosen, M.A., 1996, Comparative assessment of thermodynamic efficiencies and losses for natural gas-based production processes for hydrogen, Energy Conversion and Management, 37, 359 - 367
- Amos, W.A., 1998, Costs of storing and transporting hydrogen, NREL/TP-570-25106, U.S. Department of Energy
- Spath, P.L., Mann, M.K., 2004, Life cycle assessment of renewable hydrogen production via wind/electrolysis, NREL/MP-560-35404, U.S. Department of Energy
- White, S.W., Kulcinski, G.L., 2000, Birth to death analysis of energy payback ratio and CO2 emission rates, Fusion Engineering and Design, 48, 473 - 81
- Meier, P.J., 2002, Life-cycle assessment of electricity generation systems and applications for climate change policy analysis, PhD Thesis, University of Wisconsin-Madison
- Samaras, C., Meisterling, K., 2008, Life cycle assessment of GHG emissions from plug-in hybrid vehicles, Environmental Science & Technology, 42(9), 3170 - 3176
- Cihat, N., Murat, O., Kucukvar, B., Tatara, O., 2015, Comparative carbon and energy footprint of vehicle types in the US, Applied Energy, 150, 36 - 49
- Souza, L.L.P. et al., 2018, Comparative environmental life cycle assessment for vehicles in Brazil, Journal of Cleaner Production, 203, 444 - 468
- Belboom, S. et al., 2016, Life cycle assessment of hybrid vehicles recycling, Waste Management, 50, 184 - 193
- Cusenza, M.A. et al., 2019, Energy and environmental assessment of a traction lithium-ion battery pack, Journal of Cleaner Production, 215, 634 - 649
- Unterreiner, L. et al., 2016, Recycling of battery technologies - Ecological impact analysis using LCA, Energy Procedia, 99, 229 - 234
- Deng, Y. et al., 2017, LCA of high-capacity molybdenum disulfide lithium-ion battery, Energy, 123, 77 - 88
- Bobba, S. et al., 2018, LCA of repurposed EV batteries: energy flow modeling, Journal of Energy Storage, 19, 213 - 225
- Burchart-Korol, D. et al., 2020, LCA of EV battery charging in the EU, Journal of Cleaner Production, 257, 120476

고해상도 환경산업연관분석 모델을 활용한 가계 소비 탄소발자국 연구

이성규 (사)한국기후환경원 연구위원

이주희 세종대학교 대학원 기후에너지융합학과 조교수

전익찬 세종대학교 대학원 기후에너지융합학과 교수

1. 서론

기후위기에 대응하기 위해 평균기온 상승을 산업화 이전 대비 1.5℃ 이내로 억제하기로 한 파리협정에 따라 당사국은 2030년까지 달성하고자 하는 온실가스 감축 계획을 담은 NDCs(Nationally Determined Contributions)를 UNFCCC에 제출하였다. NDCs 달성을 위해 당사국들은 재생에너지 확대, 에너지 효율 향상 등 생산 측면 감축 정책을 통한 온실가스 감축에 노력하고 있다. 감축 노력에도 불구하고 전 세계 온실가스 배출량은 늘고 있으며, 생산 측면 감축 정책은 리바운드 효과로 그 한계가 드러났다(York et al., 2022). 1970년 두 차례 석유파동, 2009년 글로벌 경제위기, 2020년 코로나19 팬데믹으로 인한 소비감소로 온실가스 배출량이 예외적으로 감소하였다(York, 2008; Kilian et al., 2023). 경기침체 시 온실가스 배출량이 감소하는 현상이 반복적으로 관찰되면서, 소비 측면의 감축에 대한 정책적 관심과 연구가 증가하고 있다. 전 세계 온실가스 배출량의 약 58~72%가 가계 소비와 직간접적으로 연관되어 있어 소비변화를 통한 소비 측면 온실가스 감축의 중요성이 대두되었다(IPCC, 2023). 소비 측면 온실가스 감축을 위해서는 가계 소비 탄소발자국에 대한 정량적 평가가 선행되어야 한다. 설문조사와 배출계수를 이용해 탄소발자국을 산정한 국내 연구가 있으나(김태현, 김태현, 2023; 명수정, 2023). 제한된 인원을 대상으로 연구를 수행하여 소비 탄소발자국을 체계적으로 산정하지 못했다는 한계가 있다.

선행연구의 한계를 개선하고 탄소발자국 분석의 신뢰도를 높이기 위해 본 연구는 고해상도 환경산업연관분석 모델을 활용하여 가계 소비로 인한 탄소발자국을 분석하였다. 가계 소비지출을 주거에너지, 교통, 상품·서비스 소비, 식품·외식으로 분류하여 각 소비 영역별 소비지출로 인한 탄소발자국을 분석하였다. 또한, 국가 단위 탄소발자국 중 가계 소비의 탄소발자국을 평가하였다. 분석 결과를 종합하여 소비 기준 온실가스 감축을 위한 정책적 시사점을 도출하였다.

2. 연구 방법과 사용 데이터

1) 연구 방법

소비 탄소발자국 분석을 위하여 환경산업연관분석을 활용하였다. 산업연관분석은 일정 기간 한 지역에서 발생하는 재화와 서비스의 생산 및 처분과 관련된 모든 거래 내역을 일정한 원칙과 형식에 따라 기록한 통계표인 산업연관표를 이용하여 산업 간의 상호연관 관계를 수량적으로 분석하는 방법이다(권태현, 2020). 환경산업연관분석은 산업연관분석을 활용하여 경제활동에 따른 환경영향을 평가하는 방법이다(Leontief, 1970; 최정운, 2008; Miller and Blair, 2022). 본 연구에서는 380개 기본부문으로 이루어진 고해상도 환경산업연관분석 모델(식 (1))을 사용하여 소비 탄소발자국 분석의 정확도와 신뢰도를 높이고자 하였다(이성규 등, 2024; Lindner et al., 2012; He et al., 2021).

$$E = \hat{c}(I - A^d)^{-1}Y^d + \hat{c}A^m(I - A^d)^{-1}Y^d + \hat{c}Y^m + E_{dir} \quad (1)$$

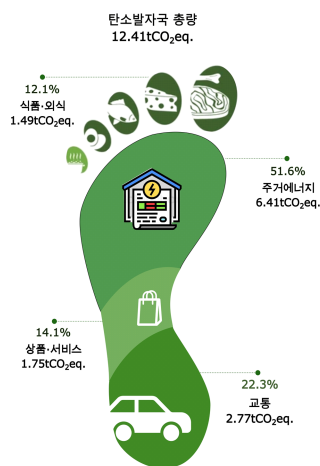
여기서, E : 소비 탄소발자국, $\hat{c}$: 부문별 온실가스 배출 강도 대각행렬, $(I-A^d)^{-1}$: 국산품 거래의 레온티에프 역행렬, A^m : 수입품 거래 투입계수 행렬, Y^d : 국산품 최종수요, Y^m : 수입품 최종수요, E_{dir} : 가정 내 에너지 직접소비에 의한 온실가스 직접배출량이다.

2) 사용 데이터

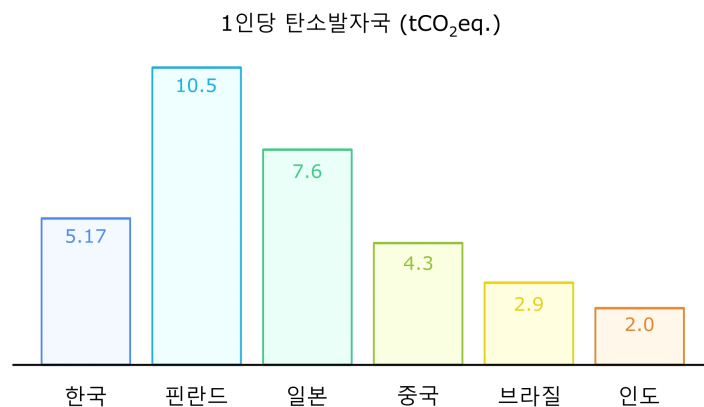
고해상도 환경산업연관분석 모델 개발을 위해 한국은행이 발표한 생산자가격 기준 2020년 기본부문 산업연관표를 사용하였고, 환경계정 구축을 위해 에너지경제연구원에서 발표한 확장 에너지 밸런스, 온실가스종합정보센터의 2022 국가 온실가스 인벤토리 보고서의 온실가스 배출량을 사용하였다. 가계 소비 탄소발자국 산정을 위해서 통계청의 2020년 가계동향조사 결과를 입력 자료로 활용하였다.

3. 결과 및 토의

2020년 우리나라 가계 평균 탄소발자국은 $12.41\text{CO}_2\text{eq.}$ 이었다. 소비영역별로는 주거에너지 탄소발자국이 $6.41\text{CO}_2\text{eq.}$ 으로 비중이 가장 컸고, 교통 $2.77\text{CO}_2\text{eq.}$, 상품·서비스 $1.75\text{CO}_2\text{eq.}$, 식품·외식 $1.49\text{CO}_2\text{eq.}$ 순이었다<그림 1>. 주거에너지와 교통의 탄소발자국이 전체의 73.9%를 차지하여 에너지 사용에 따른 탄소발자국 비중이 매우 높음을 확인할 수 있었다. 1인당 탄소발자국¹⁾은 $5.17\text{CO}_2\text{eq.}$ 으로 핀란드나 일본보다는 낮고, 중국, 브라질, 인도 등 개발도상국보다는 높았다<그림 2>.



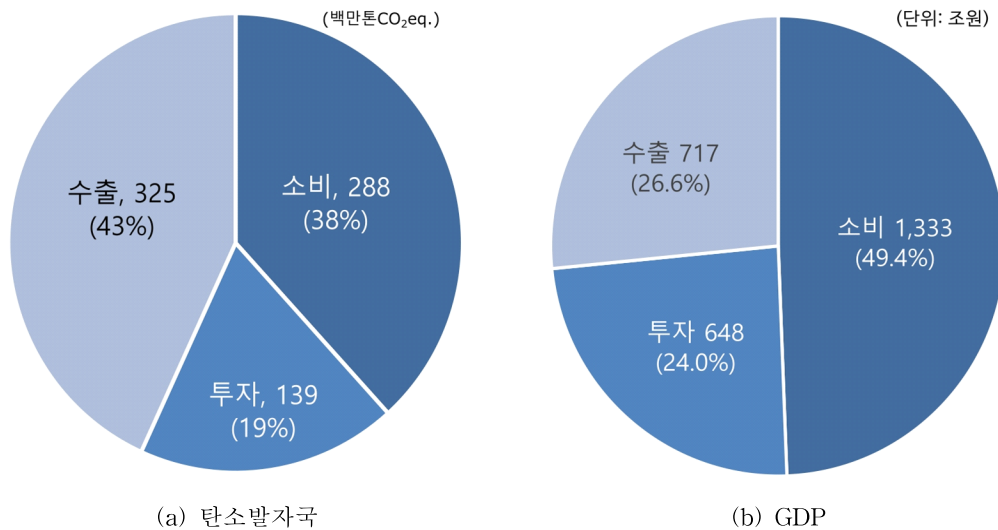
<그림 1> 2020년 가계 탄소발자국 산정결과



<그림 2> 나라별 1인당 탄소발자국 비교
출처: 본연구와 IGES(2019)

국가 단위 탄소발자국 분석 결과 소비 탄소발자국 비중은 38%로 GDP 기여도 49.4%보다 작은 반면, 수출의 탄소발자국 비중은 43%로 GDP 기여도 26.6%보다 컸다<그림 3>. 이는 한국 경제가 철강, 석유화학, 반도체 등 에너지를 다소비 산업의 수출의존도가 높기 때문으로 보인다. 따라서 온실가스 감축을 위해서는 소비 탄소발자국 감축만으로는 충분치 않으며 에너지 시스템과 산업의 탈탄소화를 병행해야 함을 시사한다.

1) 가계 탄소발자국을 2020년 평균 가구원 수 2.4명(통계청, 2021)으로 나눈 값이다.



<그림 3> 소비, 투자, 수출의 탄소발자국과 GDP 기여도

4. 결론

본 연구는 기존 모델의 부문 통합 문제를 해결하기 위해 고해상도 환경산업연관분석 모델을 개발하여 탄소발자국 분석의 신뢰도를 높였다. 또한, 산정이 쉬운 난방, 전력, 수도, 생활폐기물, 교통 등 제한적 소비 영역만을 평가한 기존 국내 선행연구와 달리 모든 영역의 탄소발자국을 국가 통계 데이터를 이용하여 체계적으로 평가하였다는 데 연구 의의가 있다.

참고문헌

- 김태현, 김태현, 2023, 주거 부문 탄소발자국 결정요인 분석: 1인가구와 다인가구 비교를 중심으로, 환경정책 제 31권 제4호, pp. 115-137
- 명수정, 2023, 시민 설문조사를 통한 생활계 온실가스 배출 특성 분석, 기후변화학회지 제14권 제5호, pp. 611~618
- 이성규, 권태현, 이주희, 전의찬, 2024, 소비기준 온실가스 배출량 산정을 위한 고해상도 환경산업연관분석 모델 개발, 한국기후변화학회지 제15권 제5-1호, pp. 735-746
- 최정윤, 2008, 최근 우리나라의 산업별 온실가스 배출구조 분석, 계간 국민계정 2008년 제3호 통권 제34호
- 통계청, 2021, 2020년 연간 지출 가계동향조사 결과
- He, Fan, Yang Yang, Xin Liu, Dong Wang, Junping Ji, and Zhibin Yi, 2021, Input - Output Analysis of China's CO₂ Emissions in 2017 Based on Data of 149 Sectors, Sustainability 13, 4172.
- IGES, Aalto University, and D-mat ltd., 2019, 1.5-Degree Lifestyles: Targets and Options for Reducing Lifestyle Carbon Footprints. Technical Report. Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Japan.
- IPCC, 2022, Creutzig, F., J. Roy, P. Devine-Wright, J. Diaz-Jose, F.W. Geels, A. Grubler, N. Maizi, E. Masanet, Y. Mulugetta, C.D. Onyige, P.E. Perkins, A. Sanches-Pereira, E.U. Weber, 2022, Demand, services and social aspects of mitigation. In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Kilian, Lena, Anne Owen, Andy Newing, Diana Ivanova, 2023, Achieving emission reductions without

furthering social inequality: Lessons from the 2007 economic crisis and the COVID-19 pandemic, Energy Research & Social Science 105, 103286.

- Leontief, W., 1970 Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach, The Review of Economics and Statistics 52(3), 262-271.
- Lindner, S., J. Legault, D. Guan, 2012, Disaggregating the electricity sector of China's input-output table for improved environmental life-cycle assessment, Economic Systems Research 25(3), 300-320.
- York, Richard, 2008, De-carbonization in former Soviet republics, 1992 - 2000: The ecological consequences of de-modernization, Social Problems 55, 370-390.
- York, Richard, Lazarus Adua, and Brett Clark, 2022, The rebound effect and the challenge of moving beyond fossil fuels: A review of empirical and theoretical research, WIREs Clim Change 13, e782.
- 권태현, 『산업연관분석』, 도서출판 청람, 2020, 10
- Miller, R. E. and P.D. Blair, 2022, Input-output analysis: foundations and extensions, 3rd ed., Cambridge University Press.

사사

본 연구는 환경부 「기후변화특성화대학원사업」의 지원을 받았습니다.

환경비용을 고려한 국내 공항 건설의 비용편익분석

제주 제2공항 건설사업

정민영 서울대학교 대학원 환경관리학과 석사과정, 숲과나눔 학업장학생

이한결 서울대학교 대학원 환경계획학과 석사과정

1. 서론

국내 15개 공항 중 11개(73.3%)가 적자임에도 불구하고, 신규 공항 건설사업이 지속적으로 추진되고 있다. 공항 건설에는 막대한 재정 투자와 중대한 환경영향이 수반되기에 사업의 타당성을 철저히 평가할 필요가 있다. 예비타당성조사 수행 총괄지침에 따르면, 정책성 분석 중 환경성 평가를 통해 사업 추진에 따른 환경 영향을 검토하게 되어 있지만, 실제로는 환경 피해로 인한 비용을 구체적으로 산정하지 않고 있다. 후속 단계인 환경영향평가에서도 환경피해 가능성과 대안을 제시하도록 규정하지만, 피해를 정량적으로 평가하지 않는다는 한계가 있다. 나아가 예비타당성조사 단계에서 사업 추진 여부가 결정되기 때문에, 이후 환경영향평가에서는 결론을 뒤집기가 어렵다는 근본적 문제가 있다. 제주 제2공항 건설사업은 1990년에 논의되기 시작해 2016년 사업 적격 판정을 받았다. 2019년 환경부가 전략환경영향평가서를 반려하였으나 2023년 조건부 협의의견을 통보하여, 본 사업이 재개되었고 2024년에는 국토부가 기본계획을 고시함으로써, 구체적인 실행단계로 진입하였다. 본 연구는 제주 제2공항 건설사업 사례를 중심으로 분석을 수행하였으며, 이를 통해 환경비용을 포함한 비용편익분석의 필요성을 도출하였다.

2. 본론

1) 연구방법

본 연구는 한국개발연구원(KDI, 2016)의 예비타당성조사에서 제시된 편익 분석 결과를 그대로 수용하되, 비용 항목 중 누락되거나 과소 추정된 부분을 재분석하였다. 분석 기간은 제주 제2공항의 개항 예정 연도인 2034년부터 2063년까지 30년으로 설정하였으며, 본 연구에서는 KDI의 편익 분석 결과를 수용하는 만큼, 분석의 일관성을 유지하기 위해 비용 분석에서도 동일하게 5.5%의 사회적 할인율을 적용하였다. KDI의 분석에 따르면 제주 제2공항 건설로 항공기 지체시간이 단축되면서 항공기 운항비용 절감, 탑승객 지체 절감, 화물 지체 절감 편익이 발생하며, 청사 내 혼잡 완화로 여객 통행시간 절감 편익도 산출된다. 본 연구는 이러한 KDI의 편익 분석 결과를 인정하는 한편, 비용 부분을 재검토하였으며 특히 환경비용을 중심으로 심층적인 분석을 수행하였다. KDI의 분석에서 누락되었던 비용항목인 탄소배출비용, 철새도래지 피해비용, 조류충돌 피해비용을 추가하고 기존의 분석에도 포함되어있었으나 과소추정되었던 소음피해 보상비를 수정하여 반영하였다.

(1) 탄소배출비용

건물 부문에서 상당한 탄소배출이 발생하는데 건설단계에서 30%가 발생하고 운영단계에서 70%가 발생한다. 한국공항공사의 제주 제 1공항 운영단계 탄소배출량 데이터로부터 건설단계와 운영단계의 탄소배출량을 추정하고 탄소의 사회적 비용을 곱하여 탄소배출비용을 산출하였다.

(2) 철새도래지 피해비용

제주 제2공항 예정지는 종달리, 오조리, 성산 - 남원 해안 등 주요 철새도래지와 인접해 있다. 특히 오조리는 해양수산부가 지정한 습지보호구역으로, 멸종위기종인 노랑부리저어새와 물수리의 주요 서식지로 알려져 있다. 공항 건설로 인한 철새도래지 훼손 우려에 대해 국토교통부는 대체 서식지 조성을 대안으로 제시하였으나, 조류의 종별 서식 특성상 그 효과는 제한적일 가능성이 크다. 이에 본 연구에서는 철원 철새도래지에 대한 선행 연구 결과를 토대로 가치이전법을 적용하여 피해비용을 산정하였다.

(3) 조류충돌 피해비용

제주 제2공항은 조류의 이동이 활발한 지역으로 항공기와 조류가 충돌하는 사고인 일명 버드 스트라이크가 발생할 가능성이 높다. 제주 제1공항 조류 충돌 발생확률과 제주 제2공항 연간예상운항 횟수, 조류충돌 발생에 따른 비용을 곱하여 피해비용을 산정하였다.

(4) 소음 피해 보상비

사업의 예상 지속기간은 30년인데 KDI의 분석에는 22년에 해당하는 피해보상비만 포함되어있어서 30년에 해당하는 피해보상비로 수정하였다.

2) 환경비용 분석 및 경제성 분석 결과

소음피해보상비를 재산정한 결과 120억 원(현재가치로 환산한 금액, 이하 동일)으로 수정되었고 공항 건설 및 운영에 따른 탄소의 사회적 비용은 220억 원, 철새도래지 피해비용은 5,678억 원, 조류충돌로 인한 피해비용은 5조 9,617억 원으로 나타났다. KDI의 분석에서 비용이 4조 320억 원이었는데 본 연구 결과 9조 8936억 원으로 두 배 이상 증가했음을 확인하였다

위의 환경비용 항목들을 반영하여 종합적으로 평가한 결과, 제주 제2공항 건설사업의 순현재가치(NPV)는 -4조 9,395억 원으로 나타났으며, 비용편익비율(B/C)은 0.5로 분석되었다. 이는 본 사업이 경제적으로 타당하지 않음을 시사한다.

3) 민감도 분석 결과

환경비용 추정의 불확실성을 고려하여, 비용 항목별 변동과 할인율 및 비용·편익 변화에 따른 결과의 민감도를 추가적으로 분석하였다. 모든 시나리오에서 NPV는 음수(최소 -7조 1,622억 원, 최대 -2조 9,608억 원), B/C는 1 미만(최소 0.4, 최대 0.63)으로 나타나 분석 결과가 강건함을 확인하였다.

<표 1> 민감도 분석 결과

	철새도래지 피해비용		조류충돌 피해비용		건설 및 운영 탄소비용		할인율		비용		편익	
민감도	-20%	20%	-20%	20%	-20%	20%	-20%	20%	-20%	20%	-20%	20%
총 할인 비용	97904	99969	90561	117363	98899	98974	153715	69744	79149	118724	98936	98936
총 할인 편익	49541	49541	49541	49541	49541	49541	82092	30816	49541	49541	39633	59449
B/C	0.51	0.50	0.55	0.42	0.50	0.50	0.53	0.44	0.63	0.42	0.40	0.60
NPV	-48363	-50428	-41020	-67822	-49358	-49433	-71623	-38928	-29608	-69183	-59304	-39487

3. 결론

본 연구는 탄소배출, 철새도래지 훼손, 조류충돌의 환경비용을 정량적으로 반영하여 비용편익분석을 재진행하였다. 한편, 환경비용 산정 과정에서 조류 충돌 및 생태계 훼손에 대한 국내 정량 연구가 부족하여 해외 연구와 유사한 지형의 연구를 가치 이전하여 산정하였다. 그 결과, 모든 시나리오에서 기존 예타조사 결과와 달리 경제적으로 타당하지 않다는 결과가 나왔다. 이를 통해 예비타당성 평가에 환경영향 또한 고려되어야 함을 알 수 있다. 따라서 예비타당성조사 수행 지침에 기후·생태 기반 환경비용 분석 기준을 도입하여 공공사업 추진 시 탄소·생태 비용을 포함한 사회적 비용편익분석을 강화할 필요가 있다. 공항 건설은 단순한 교통 인프라 확충이 아닌 기후변화 대응과 생태계 보전이 함께 고려되어야 할 정책 과제로 향후 공항을 비롯한 공공사업평가에서 환경외부효과를 정량화하고 통합적으로 반영하는 체계가 마련되어야 한다.

참고문헌

- 박정희 외, 2013, 기러기류의 서식지 이용 패턴과 보전 방안, 생태학회지, 26(1), 45-55.
- 이광춘 외, 2015, 두루미의 서식지 이용과 서식지 관리 방안 연구, 한국조류학회지, 22(3), 233-244.
- 이윤정, 2016, 제주 제2공항 건설을 둘러싼 갈등 사례 분석, 한국갈등학회보, 2(2), 75-105.
- 이윤희 외, 2023, CVM을 이용한 철원 철새도래지의 보존가치 평가, 관광연구저널, 37(6), 5-18.
- 국토교통부, 2024, 제주 제2공항 건설사업 기본계획 및 지형도면.
- KDI, 2017, 제주공항 인프라 확충사업 예비타당성 조사보고서.

사사

이 논문은 한국기후변화학회 2025년 상반기 학술대회에서 발표한 논문임.

에너지 효율 향상을 위한 지그재그 적층 구조 이미지 센서 연구

하지상 서울대학교 대학원 화학생물공학부 박사 수료, 숭과나눔 학업장학생

1. 서론

에너지 효율성은 기후위기 대응과 지속 가능한 사회 구현을 위해 반드시 해결해야 할 과제 중 하나다. 전 세계적으로 에너지 수요가 증가하는 가운데, 정보통신기술(ICT) 기기의 전력 소비는 점점 더 큰 비중을 차지하고 있다. 스마트폰, 자율주행차, 드론, IoT 기반 센서 네트워크 등은 현대 생활에서 핵심적인 역할을 담당하지만, 동시에 이들 기기의 에너지 사용은 무시할 수 없는 환경적 부담으로 이어진다. 따라서 ICT 기기의 전력 소모를 줄이고 효율을 높이는 것은 사회 전반의 에너지 절약과 직결되는 중요한 문제다.

현대 이미지 센서는 자율주행 비전 시스템, 드론 기반 탐색, 환경 모니터링 장치 등에서 핵심적으로 활용된다. 그러나 대부분의 이미지 센서는 센싱 유닛과 프로세싱 유닛이 분리된 전통적인 폰 노이만 구조를 기반으로 한다. 이 구조에서는 센서가 수집한 대규모 데이터를 외부 프로세서로 전송해야 하며, 이 과정에서 연산 지연과 불필요한 전력 소모가 발생한다. 특히 배터리 기반 기기에서는 이러한 비효율이 더욱 치명적이다.

이를 해결하기 위해 인-센서 컴퓨팅(in-sensor computing) 기술이 등장하였다. 인-센서 컴퓨팅은 데이터 취득과 처리를 센서 내부에서 직접 수행함으로써 데이터 전송 부담을 줄이고 전력 소모를 감소시킬 수 있는 혁신적 방식이다. 그러나 기존 인-센서 컴퓨팅은 여러 픽셀을 묶어 곱셈-누산(MAC, multiply-and-accumulate) 연산을 수행하기 때문에 출력 해상도가 급격히 저하되는 근본적 한계를 가진다. 본 연구는 이러한 문제를 해결하기 위해 픽셀 어레이를 지그재그 형태로 어긋나게 적층한 구조, 즉 지그재그 적층 구조를 제안한다. 이 구조는 입력 해상도를 유지하면서 고속의 연산을 수행할 수 있도록 하며, 이를 통해 저전력·고효율 영상 처리 시스템 구현을 가능하게 한다.

2. 본론

1) 실험 방법

(1) 디바이스 제조 공정

단일 픽셀 소자는 도핑이 되어 있지 않은 실리콘 기판 위에 산화 알루미늄 유전체층을 형성한 뒤, 그 위에 듀얼 게이트 전극을 증착하여 제작하였다. 각 픽셀은 듀얼 게이트, 소스, 드레인으로 구성되며, 소스 전극은 공통 전극으로 연결하였다. 이를 통해 키르히호프 법칙에 따라 개별 픽셀의 광전류가 합산되도록 설계하였다.

(2) 커널 가중치 설정

듀얼 게이트에 서로 다른 전압을 인가하여 커널의 가중치를 부여하였다. 예를 들어 -1 V와 $+1$ V를 인가하면, 픽셀별로 상반된 응답도가 형성된다. 본 연구에서는 2×2 커널을 구성하여 $\begin{bmatrix} -1 & -1 \\ +1 & +1 \end{bmatrix}$ 의 가중치를 부여하였으며, 이를 통해 y방향으로 이동하는 빛에 민감하게 반응하는 커널을 구현하였다. 광원으로는 빔프로젝터를 사용하였고, 빛의 위치에 따른 광전류 변화를 측정하였다.

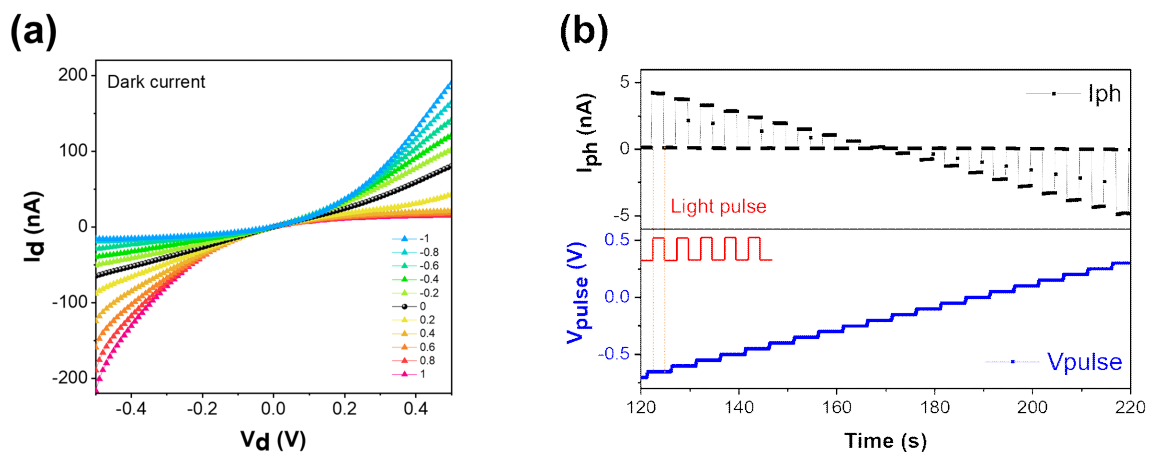
(3) 측정 방법

게이트 전압 조건에 따른 광전류를 측정하여 응답도(R)를 산출하였다. 광전류는 $I = RP(P$: 빛의 세기)로 표현되며, 공통 전극에서는 $I_{out} = \sum RP$ 로 나타난다. 단일 픽셀은 게이트 전압에 따른 응답도 곡선을 측정하였고, 단일 커널은 빛 이동에 따른 출력 펄스를 확인하였다. 적층 커널의 경우 실제 제작의 어려움으로 파이썬 시뮬레이션을 수행하여 단일 레이어 커널과 비교하였다.

2) 실험 결과 및 분석

(1) 단일 소자 측정 결과

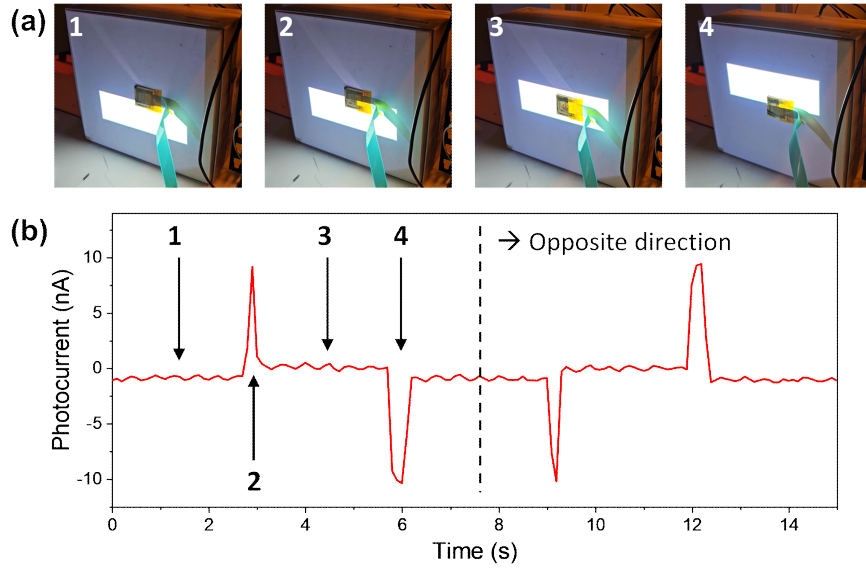
게이트 전압에 의해 페르미 준위가 변하며 정전기적 도핑 효과가 발생하였다. 듀얼 게이트 구조에서는 한쪽은 p형, 다른 한쪽은 n형으로 도핑되어 정전기적 포토다이오드가 형성되었다. 게이트 전압 세기가 증가할수록 도핑 강도가 강화되어 응답도가 증가하는 결과를 얻었다.



<그림 1> 단일 소자 측정 결과. (a) 전압에 따른 다이오드 특성 (b) 전압에 따른 광 응답도

(2) 단일 커널 측정 결과

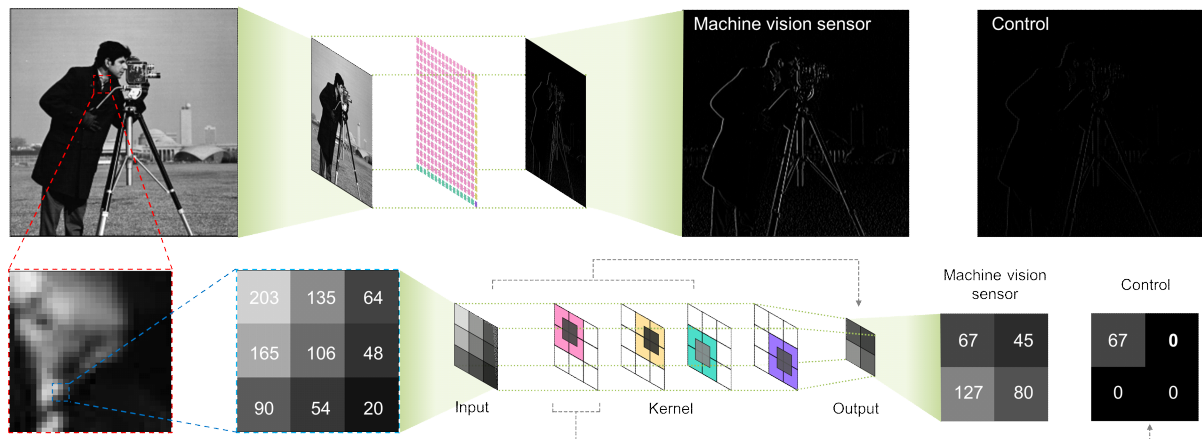
가중치를 부여한 커널을 이용해 빛의 이동 방향에 따른 출력 특성을 확인하였다. y방향 감지 커널을 사용했을 때, 빛이 커널에 진입하는 순간 광전류 합이 0이 아니게 되어 출력 펄스가 형성되었다. 빛이 커널 전체를 덮으면 광전류가 상쇄되어 출력이 0이 되었고, 커널을 빠져나가는 순간에는 반대 방향의 펄스가 나타났다. 이를 통해 커널 연산과 MAC 동작이 정상적으로 수행됨을 검증하였다.



<그림 2> 단일 커널 측정 결과. (a) 빔프로젝터로 쏘아준 빛의 위치 (b) 각 위치에 따른 광전류

(3) 적층 커널 시뮬레이션 결과

Python 기반 시뮬레이션을 통해 단일 레이어 커널과 지그재그 적층 커널을 비교하였다. 단일 레이어 커널은 커널 크기에 비례하여 해상도가 감소하는 현상이 나타났으나, 지그재그 적층 커널은 해상도 손실 없이 모서리 검출이 가능하였다. 이는 제안된 구조가 기존 인-센서 컴퓨팅의 한계를 극복할 수 있음을 보여준다.



<그림 3> 적층 커널 시뮬레이션 결과. 단일 레이어 커널과 지그재그 적층 커널의 모서리 탐지 기능 비교

3. 결론

본 연구는 지그재그 적층 구조를 기반으로 한 4층 커널 어레이를 제안하고, 단일 소자 및 커널 특성 측정을 통해 정전기적 도핑 효과와 커널 연산 동작을 검증하였다. 또한 Python 시뮬레이션을 통해 지그재그 적층 구조가 기존 인-센서 컴퓨팅 기법의 해상도 손실 문제를 해결하고, 고해상도 모서리 탐지를 구현할 수 있음을 확인하였다.

이 연구는 실험과 시뮬레이션을 종합하여, 제안된 구조가 향후 초고속 연산과 저전력 동작을 동시에

달성할 수 있는 잠재력을 지님을 보여준다. 특히 드론, IoT 기기, 자율주행 시스템과 같은 배터리 기반 응용 분야에서 전력 소모 절감에 기여할 수 있으며, 간접적으로 탄소 배출 저감에도 긍정적 효과를 가져올 수 있다. 따라서 본 연구는 에너지 효율 개선을 핵심 가치로 하면서, 기후위기 대응과 지속 가능한 사회를 위한 기반 기술로 발전할 가능성을 제시한다.

참고문헌

- Merolla, Paul A., et al. (2014). A million spiking-neuron integrated circuit with a scalable communication network and interface. *Science*, 345(6197), 668–673. <https://doi.org/10.1126/science.1254642>
- Roy, Kaushik, Jaiswal, Akhilesh, & Panda, Priyadarshini. (2019). Towards spike-based machine intelligence with neuromorphic computing. *Nature*, 575(7784), 607–617. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1677-2>
- Park, Jinhong, et al. (2025). Next-Generation Flexible and Stretchable Vision Systems for Advanced Image Acquisition and Processing. *FlexTech*, 2(3), 175–192. <https://doi.org/10.1002/fle2.70003>
- Feng, Xin, et al. (2019). Computer vision algorithms and hardware implementations: A survey. *Integration*, 69, 309–320. <https://doi.org/10.1016/j.vlsi.2019.07.002>
- Zhou, Feichi, & Chai, Yang. (2020). Near-sensor and in-sensor computing. *Nature Electronics*, 3(11), 664–671. <https://doi.org/10.1038/s41928-020-00501-9>
- Chai, Yang. (2020). In-sensor computing for machine vision. *Nature*, 579, 32–33. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-00592-6>
- Choi, Changsoon, et al. (2024). Inspiration from visual ecology for advancing multifunctional robotic vision systems: bio-inspired electronic eyes and neuromorphic image sensors. *Advanced Materials*, 36(48), 2412252. <https://doi.org/10.1002/adma.202412252>
- Tang, Jianshi, et al. (2019). Bridging biological and artificial neural networks with emerging neuromorphic devices: fundamentals, progress, and challenges. *Advanced Materials*, 31(49), 1902761. <https://doi.org/10.1002/adma.201902761>
- Mennel, Lukas, et al. (2020). Ultrafast machine vision with 2D material neural network image sensors. *Nature*, 579(7797), 62–66. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2038-x>
- Jang, Houk, et al. (2022). In-sensor optoelectronic computing using electrostatically doped silicon. *Nature Electronics*, 5(8), 519–525. <https://doi.org/10.1038/s41928-022-00819-6>
- Wang, Chen-Yu, et al. (2020). Gate-tunable van der Waals heterostructure for reconfigurable neural network vision sensor. *Science Advances*, 6(26), eaba6173. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aba6173>

사사

본 연구는 2024 IUMRS-ICEM 학회에서 일부 결과가 발표되었으며, 현재 추가 연구를 진행하여 논문 투고를 준비하고 있음.

포스터발표 세션 3.

탄소중립/에너지

- SLAM-UAV LiDAR 기반 묵논습지 버드나무 Height-DBH 회귀식 도출 및 UAV기반 탄소저장량 산정 모델 구축
제갈갑성 서울대학교 환경대학원 환경설계학과
양영은 서울대학교 환경대학원 협동 과정 조경학
이승현 서울대학교 환경대학원 협동 과정 조경학
송영근 서울대학교 환경대학원 환경설계학과 교수
- 제주도 태양광의 수분 생태계서비스 가치 추정
권연우, 남기윤, 최준서, 김도훈 그린핑거스제주
- 지속가능한 농업을 위한 초분광 원격탐사 기반 엽록소 함량 추정 및 질소비료 효율화 연구
류수현 서울대학교 농업생명과학대학 농림생물자원학부 석사, 숲과나눔 학업장학생
박한비 서울대학교 농업생명과학대학 농림생물자원학부 석사
김형석 서울대학교 농업생명과학대학 조교수
- 태양광 발전 경제성 평가에서 공간 데이터 통합의 필수성
송다영 동덕여자대학교 경영학과 학사
- 인도네시아의 탈탄소화 경로 평가: 석탄화력발전소에서 태양광 발전과 탄소포집저장의 탄소감축비용 비교
Alland Dharmawan 연세대학교 국제대학원, 숲과나눔 글로벌리더십 장학생
- 탄소포집과 법: 아세안 에너지·기후 정책에서 CCS 거버넌스에 관한 검토
Alland Dharmawan 연세대학교 국제대학원, 숲과나눔 글로벌리더십 장학생

SLAM-UAV LiDAR 기반 묵논습지 버드나무 Height-DBH 회귀식 도출 및 UAV기반 탄소저장량 산정 모델 구축

제갈갑성 서울대학교 환경대학원 환경설계학과
양영은 서울대학교 환경대학원 협동 과정 조경학
이승현 서울대학교 환경대학원 협동 과정 조경학
송영근 서울대학교 환경대학원 환경설계학과 교수

1. 서론

습지는 지구 표면의 약 6%를 차지하지만, 육상 생태계 중 가장 높은 탄소 격리율을 보이는 중요한 탄소 흡수원이다. 특히 농경지가 방치되어 형성되는 묵논습지는 토양 유기탄소 집적도가 높아 탄소 저장 잠재력이 크며, 초기 천이 과정에서 버드나무(*Salix* spp.)가 빠르게 확산하여 탄소 격리에 기여한다. 그러나 묵논습지의 수위 변동, 불규칙한 지형, 연약한 지반은 대규모 현장조사를 어렵게 하며, 특히 DBH(Diameter at Breast Height) 측정에 큰 제약이 따른다. 기존의 전통적 조사 방식은 파괴적이거나 효율성이 낮고, 라이다(LiDAR) 기반 원격 탐사가 대안으로 주목받고 있다.

SLAM-LiDAR는 저비용·고효율로 다수 개체의 DBH를 확보할 수 있으나 수고 추정에는 한계가 있으며, UAV-LiDAR는 수고 추정에는 강점을 가지지만 DBH 추정에는 제약이 있다. 이에 따라 본 연구는 두 시스템을 융합하여 묵논습지 버드나무림을 대상으로 정밀한 탄소저장량 산정 방법론을 구축하고자 하였다. 구체적으로 (1) SLAM-DBH 추정 정확도 검증, (2) UAV 수고 - DBH 회귀 모델 평가, (3) 다양한 DBH 기반 탄소저장량 산정 결과 비교를 주요 목표로 설정하였다.

2. 본론

1) 연구 방법

(1) 연구 대상지

① 본 연구는 전북 고창군 운곡습지를 대상으로 수행되었다. 해당 지역은 람사르 습지이자 UNESCO 생물권보전지역으로, 왕버들과 선버들 군락이 우세하게 분포하고 있다. 연구 대상지는 묵논습지의 대표적인 특성을 보여 탄소저장량 산정 모델 검증에 적합하다.

(2) 자료 수집 및 전처리

① SLAM-LiDAR 자료는 2025년 3월에 leaf-off 조건에서 수집하였고, UAV-LiDAR 자료는 2025년 5월 leaf-on 조건에서 취득하였다. 현장검증을 위해 20×20 m 방형구 4개를 설정하고 55개체의 DBH를 직접 측정하였다. 이후 두 자료를 LiDAR360 및 CloudCompare를 통해 정합 및 보정하였다.

(3) 분석 방법

① UAV-LiDAR로 수고를, SLAM-LiDAR로 DBH를 추출하였다. 수고 - DBH 관계는 멱함수 회귀식($DBH = a \times Height^b$)으로 모델링하여 Prediction-DBH를 산출하였다. 세 가지 DBH 값(Field, SLAM, Prediction)을 적용하여 버드나무 상대생장식 기반 탄소저장량을 산정하고 방형구 단위로 비교하였다.

2) 연구 결과 및 토의

(1) SLAM-DBH 정확도

① SLAM-DBH는 Field-DBH와 높은 상관성($R = 0.957$, $R^2 = 0.915$)을 보였으며 RMSE는 0.023 m에 불과하였다. 이는 SLAM-LiDAR가 현장조사를 대체할 수 있는 수준의 정밀도를 제공함을 입증한다.

(2) UAV 수고-DBH 회귀 모델

① UAV 수고와 SLAM-DBH 간 먹함수 회귀식은 $R^2 = 0.551$, $RMSE = 0.050$ m로 도출되었다. Prediction-DBH는 평균 오차율(MAPE 37.8%)로 개체 단위 정확도는 낮았으나, 일정 수준의 추정 가능성을 확인하였다.

(3) 탄소저장량 분석

① SLAM-Carbon은 Field-Carbon과 매우 높은 일치도($R^2 = 0.962$)를 보였다. Prediction-Carbon은 개체 단위에서는 과대·과소 추정이 혼재하여 변동성이 컸으나, 방형구 단위 합산에서는 Field-Carbon(1,984.73 kgC)과 Prediction-Carbon(2,118.06 kgC)이 유사한 결과를 보여 오차 상쇄 효과가 나타났다. 이는 UAV-LiDAR가 대규모 모니터링에서는 일정한 활용 가능성을 가진다는 점을 시사한다.

3. 결론

본 연구는 묵논습지 버드나무림을 대상으로 SLAM-LiDAR와 UAV-LiDAR를 융합하여 DBH 추정과 탄소저장량 산정의 가능성을 평가하였다. SLAM-LiDAR는 습지 환경에서 현장조사에 준하는 정확도를 제공하였으며, UAV 기반 Prediction 모델은 개체 단위에서는 보정이 필요하지만 방형구 단위에서는 유효성을 확인하였다. 이러한 결과는 묵논습지의 탄소저장 기능을 국가 온실가스 인벤토리에 반영하고 복원 효과 평가에 기여할 수 있으며, 향후 종별 생장식 보정 및 대경목 표본 확충을 통해 모델의 신뢰도를 높일 수 있을 것이다.

참고문헌

- Dalla Corte, A. P., et al. (2020). "Forest inventory with high-density UAV-Lidar: Machine learning approaches for predicting individual tree attributes." Computers and Electronics in Agriculture 179: 105815.
- Nahlik, A. M. and M. S. Fennessy (2016). "Carbon storage in US wetlands."
- Nature communications 7(1): 13835.
- Riegel, J. B., et al. (2013). "Estimating above-ground carbon biomass in a newly restored coastal plain wetland using remote sensing." Plos one 8(6): e68251.
- 조광진, et al. (2021). "습지보호지역 버드나무림의 식물군락 특성." 한국습지학회지 23(3): 201-212.

사사

본 연구는 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 습지생태계 가치평가 및 탄소흡수 가치증진 사업의 지원을 받아 수행되었습니다. 또한, 본 연구는 국토교통부의 스마트시티 혁신 인재 육성 사업으로 지원되었습니다. (2022003630004).

제주도 태양광의 수분 생태계서비스 가치 추정

권연우, 남기윤, 최준서, 김도훈 그린핑거스제주

1. 서론

자연자본회계(Natural Capital Accounting, NCA)는 생태계가 경제와 인간의 복지에 기여하는 바를 정량화하는 틀이다(SEEA, 2024). 이는 유엔의 System of Environmental-Economic Accounting - Ecosystem Accounting(SEEA-EA)에 기반하여, 전통적인 국민계정체계(SNA; a System of National Account)를 보완해 생태계서비스의 자산(stock)과 흐름(flow)을 체계적으로 기록 및 평가하는 것이다(SEEA, 2024). 전통적인 GDP 지표는 자원 고갈과 환경 훼손으로 인한 피해 비용을 반영하지 못하는 한계가 있다. 이를 해결하기 위해 NCA는 생태자산을 정책 관련 지표에 포함시켜, 지속가능발전을 위한 경제성 근거 기반 의사결정을 가능하게 한다(SEEA, 2024). 이러한 체계는 현재 의무화되고 있으며, 회원국들은 2026년부터 생태계 보고를 시작해야 한다. 이는 생태계를 국가 경제의 핵심 자산으로 보는 세계적 패러다임의 전환을 의미한다.

생태계 서비스(ES) 계정 가운데, 농작물 수분(crop pollination)은 최근 수십 년간 가장 주목받는 분야 중 하나이다. 이는 농업 생산성, 생물다양성 보전, 기후 회복력에서 핵심적 역할을 하기 때문이다. 예컨대 아일랜드 중앙통계청(CSO)은 야생 수분 매개체 서식지의 감소와 동시에 수분 의존 작물 수요 증가라는 현실 속에서, 지속가능한 수분 서비스와 그렇지 못한 서비스를 구분하는 운영 모델을 개발했다(CSO, 2025). 생태학적 수분 공급과 사회경제적 수요의 균형을 맞추는 일은 점차 중요한 국가 정책이 되고 있다.

최근 수분 매개체 서식지의 악화가 심화되면서 지역 식량 체계와 생물다양성이 위협받고 있다. 예를 들어, 제주도에서만 수분매개자가 4년간 약 2억 4천마리가 감소한 것으로 보고되었다(제주일보, 2025). 해외에서는 에너지 생산과 수분매개체 번식을 동시에 지원하는 이중 목적 공간으로, 태양광에 대한 인식을 전환하고 있다. 태양광 패널 사이 혹은 아래에 자연 식생을 유지하면, 벌·나비 등 주요 수분매개자에게 필수적인 먹이 자원, 번식지, 보호 서식지를 제공할 수 있기 때문이다. 예초, 제초제 사용, 자갈 덮개와 같은 기존 관리 방식 대신 지역에서 흔히 자라는 자연식생을 유지하는 것 만으로도, 곤충 성장과 번식을 지원하는 안정적 서식지를 만들어낼 수 있는 셈이다. 이는 결과적으로 생물다양성을 증진하고, 농작물 수분을 강화하며, 보다 회복력 있고 지속가능한 농업 생태계를 조성하는 데 기여한다.

하지만 한국, 특히 제주에서 기존 태양광 연구는 주로 에너지 효율성이나 토지 경쟁에 초점을 맞추며, 생태계 서비스 가치를 추정한 연구는 없다. 태양에너지 사용을 확대하려는 노력이 지속되고 있음에도 불구하고(제주뉴스, 2025), 태양광에 대한 단편적 인식은 재생에너지 인프라와 생태계 복원을 연결하는 태양광의 잠재력을 과소평가하는 것이다(Walston et al., 2018). 태양광의 생태계 서비스를 경제적 가치로 추정하고, 그에 대응하는 보조금을 건설업자에게 지급하는 등의 정책이 실시된다면, 건설업자로서는 생태적으로나 농업적으로나 균형잡힌 건설부지를 선정하고 관리할 동기를, 주민들은 그러한 효용을 누리는 상생을 유도할 수 있으며, 정부 또한 재생에너지 확대에 따르는 갈등을 최소화하여 보다 빠르게 탄소 중립 목표를 달성할 수 있다. 본 연구는 이러한 정책 방향을 안내하기 위해, 제주 태양광이 지역 농경지에 제공하는 잠재적 수분서비스 총량과 경제적 가치를 추정하는 방법을 제안하고, 이를 유엔 자연자본회계 양식에 맞춰 제시함으로써, 정책에 반영할 수 있도록 하였다.

2. 방법론

본 연구는 Penn State University가 개발한 Beescape 모형을 제주도 제주의 기후·생태계를 반영하도록 현지화하여, 제주도 태양광이 수분매개자에게 제공하는 먹이 및 둥지자원을 정량화함으로써 수분 생태계 서비스를 추정하였다. Beescape 모형은 특정 경관 (본 연구에서는 태양광)의 1) 먹이 자원 지수 (해당 토지피복이 제공하는 먹이 자원(꿀, 화분)의 양을 나타냄), 2) 계절별 개화계수 (그 자원이 각 계절에 어느 정도 이용 가능한지를 나타냄), 3) 둥지 적합도 지수 (벌의 둥지 형성에 대한 적합성을 나타내며 계절과는 독립적임)가 필요하다.

- 먹이 자원 지수 (계절_i): 벌에게 유용한 식물과 작물 자원의 풍부도를 계절별로 정량화함.
- Forage Index = $\sum (\text{land\_area}_i \times \text{usefulness\_weight}_i \times \text{flowering\_coefficient}_i)$
- 둥지 적합도 지수: 둥지에 적합한 환경의 면적과 가중치를 합산하여 계산함.
- Nesting Index = $\sum (\text{area}_i \times \text{nesting\_suitability\_coefficient}_i)$

각 지수 계산에 필요한 매개변수는 다음을 통해 얻었다. 첫째, 문헌을 통해 야생화당 일일 평균 꿀 생산량 등 정량치를 집계하여 태양광에 지역의 자연식생을 유지할 경우의 평균 먹이 자원 공급량을 추정했다(예: 자연초지의 평균 먹이자원 지수를 0.45로 설정). 여기에는 태양광 패널의 음영효과에 의한 성장 억제 지수도 가중되었다. 둘째, 국가 토지피복 분류체계(예:NLCD)를 활용해 토지피복을 대표 식생/작물과 매핑했다(예: 관목지(shrubland) → 흔한 관목종 목록 → 평균 밀원값 산출). 정량 자료가 부족한 경우에는 전문가 판단이나 문헌 기반 추정으로 정성 가중치(예: 낮음=0.2, 보통=0.5, 높음=0.8)를 부여했다.

계절별 개화계수는 작물별 개화 시기를 구분해 적용했다 (예: 토마토는 여름 0.9, 봄 0.2, 가을 0.1). 작물별로 고유 프로파일을 부여하되, 야생화 우점 지역은 지역 평균을 사용했다. 정확도를 높이기 위해 적산온도(GDD)나 지역 PRISM 기후 데이터를 이용해 개화 일정을 지역 기상 조건에 맞춰 조정했다. 이후 제주에서 가장 재배면적이 넓고 경제성이 높은 15개 경제 작물을 선별하고, 이들에 대해 재배 면적, 경제적 비중, 수분 의존도(%)를 기준으로 태양광의 수분 매개 서비스를 수여받는 7개 농작물 유형을 선별했다. 마지막으로 태양광 시설을 중심으로 반경 1.5km 내 각 경작지 면적을 사용하여, 수분 서비스에 기인한 작물 수확량 증가분을 추정하였다. 이후 추정된 수확량 증가(kg)에 단위 시장가격(KRW/kg)을 곱해 수분매개 곤충의 경제적 가치를 산정하였다.

3. 결과

제주도에서 태양광 도입으로 인한 연간 작물 수확량 증가는 연간 67,172톤으로 추정되었다. 해당 증가는 태양광 설치 지점으로부터 반경 1.5km 이내 농지에서 수분 조건이 개선된 데 따른 효과를 반영한다. 수분 서비스 지수는 태양광 설치 후 58,812,078 단위 증가한 것으로 계산되었다. 유사하게, 수분매개자를 위한 계절별 식량 자원(화분·꿀 자원) 지수는 250,308,543 단위 증가하여 계절적 자원 가용성이 크게 향상된 것으로 나타났다. 또한 둥지 자원 지수는 2,903,353 단위 증가하여 지상 및 지하의 둥지 장소가 수분매개자에게 더 많이 제공되었음을 의미한다.

Table 1. Physical Account Summary Table

작물	수분 의존도	반경 1.5km 내 재배 면적 (ha)	태양광 기반 수확량 증가 (톤)	단가 (₩/kg)	경제적 가치 (₩)
감귤 & 한라봉	60%	2,113,465,215	67,172	1,800	120,510,893
무	77-99%	601,124,843	33,197	800	59,755,194
양배추	5-100%	12,354,299	43,632	800	78,537,809
브로콜리	28-100%	232,859,724	50,159	1,500	90,286,343
당근	15-100%	112,239,712	4,942	1,200	8,896,381
양파	8-87%	139,749,080	12,071	1,000	21,729,578
단호박	45-90%	285,067,885	40,435	2,000	72,783,989
합계		2,810,000,000	251,608		430,773,644

4. 논의

제주에서는 이미 재생에너지로의 대전환이 일어났다. 2025년 4월 14일, 제주는 사상 처음으로 수 시간 동안 태양광과 풍력만으로 전력의 100%를 생산하는 데 성공했다. 현재 재생에너지 발전은 전체 전력 시스템의 약 20%에 도달했다. 태양광이 제공하는 수분, 기후 조절, 서식지 제공과 같은 생태적 ‘공동편익(co-benefits)’의 가치를 계량화한다면 RE100 이니셔티브에 대한 지속적인 투자 및 정책적 지원의 근거를 마련하고, 생태계에 영향을 최소화 하는 방향으로 발전을 유도할 수 있다.

그러나 현재 태양광 부지의 내부 식생 관리 상태는 만족스럽지 않다. 본 연구팀이 조사한 바, 제주도 태양광의 상당수에서 제초제 사용, 콘크리트 도포 등 인위적 개입이 관찰되었다. 보조금 등을 지급해 부지 조성후 자연히 나타나는 자연 식생을 있는 그대로 유지하는 것만으로도 태양광의 수분 서비스를 창출할 수 있기 때문에, 이를 홍보하고 소정의 보조금을 지급하는 것으로도 큰 효과를 기대할 수 있다. 이러한 정책에 앞서, 생물다양성 증진, 토양·수질 건강 개선과 같은 생태계 편익을 지표화하는 작업이 선행되어야 할 것이다. 이를 통해 농업 수확량 증가, 생물다양성 확대를 체감케 해 공공 수용성을 높일 수 있을 것이다.

이러한 정책이 도입된다면, 최근의 가파른 수분매개자 감소로 인한 제주 농작물 수분 부족 문제는 태양광 설비의 전략적 배치를 통해 해결할 수 있다. 수분 매개자가 결핍된 지역에서 태양광 농장은 수분 매개체 집단을 재도입하고 유지할 수 있는 서식지 역할을 할 수 있다.

5. 결론

본 연구는 제주도에서 태양광 기반 수분매개자 서식지가 생태계 서비스와 농업 생산성을 크게 향상시킬 수 있음을 입증한다. 연간 작물 수확량은 약 67,172톤, 경제적 가치는 430,773,644원으로 추정되며, 지역 수분매개자를 위한 화분·꿀 자원 및 둥지 자원도 상당히 증가하였다. 이러한 새로운 결과는 지속 가능한 발전에 태양 서비스 전략을 통합할 필요가 시급함을 강조한다. 즉, 태양광 인프라를 청정에너지 구현, 서식지 복원, 그리고 태양광 단지에 서식하는 수분매개자 및 기타 종의 유지 관리를 위한 구체적인 해결책으로 위치시켜야 한다.

참고문헌

- Baveye, P. C., Baveye, J., & Gowdy, J., 2013, Monetary valuation of ecosystem services: it matters to get the timeline right, *Ecological Economics*, 95, 231-235.
- Jones, L., Norton, L., Austin, Z., Browne, A. L., Donovan, D., Emmett, B. A., ... & Willis, G. F., 2016, Stocks and flows of natural and human-derived capital in ecosystem services, *Land Use Policy*, 52, 151-162.
- La Notte, A., Czucz, B., Vallecillo, S., Polce, C., & Maes, J., 2022, Ecosystem condition underpins the generation of ecosystem services: an accounting perspective, *One Ecosystem*, 7, e81487.
- La Notte, A., Vallecillo, S., Grammatikopoulou, I., Polce, C., Rega, C., Zulian, G., ... & Maes, J., 2022, The Integrated system for Natural Capital Accounting (INCA) in Europe: twelve lessons learned from empirical ecosystem service accounting, *One Ecosystem*, 7.
- Walston, L. J., Mishra, S. K., Hartmann, H. M., Hlohowskyj, I., McCall, J., & Macknick, J., 2018, Examining the potential for agricultural benefits from pollinator habitat at solar facilities in the United States, *Environmental Science & Technology*, 52(13).
- “제주형 생태계서비스지불제’에 기업 첫 참여”, *경향신문*, 2025년 5월 12일.
- “제주가 쏘아올린 생태계서비스지불제, 전국 확산한다”, *헤드라인제주*, 2024년 8월 13일.
- “기후위기로 사라져 가는 꿀벌... 제주서 4년간 2억4천만 마리 실종”, *제주일보*, 2024년 2월 14일,
- “Ecosystem Services Accounts: 2015 - 2017 - Crop Pollination”, Central Statistics Office, 2018, Government of Ireland, <https://www.cso.ie/en/releasesandpublications/ep/p-esa/ecosystemservicesaccounts2015-2017> (2025년 6월 참고).
- “제주 100개 생태자산 생태계 서비스 지도 리플릿”, 국립생태원, 2020, <https://www.nie.re.kr/nie/bbs/BMSR00026/view.do?boardId=37353736&menuNo=200066> (2025년 6월 참고).
- United Nations, “Natural Capital Accounting and Valuation of Ecosystem Services Project”, <https://seea.un.org/home/Natural-Capital-Accounting-Project> (2025년 6월 참고).

지속가능한 농업을 위한 초분광 원격탐사 기반 엽록소 함량 추정 및 질소비료 효율화 연구

류수현 서울대학교 농업생명과학대학 농림생물자원학부 석사, 숲과나눔 학업장학생
박한비 서울대학교 농업생명과학대학 농림생물자원학부 석사
김형석 서울대학교 농업생명과학대학 조교수

1. 서론

기후 변화 대응을 위한 탄소중립 목표 달성은 산업 전반에 걸친 온실가스 감축 노력이 요구된다. 농업 부문은 주요 온실가스 배출원 중 하나로, 특히 질소질 비료의 사용과정에서 발생하는 아산화질소(N_2O)는 이산화탄소(CO_2)보다 온실효과가 273배 높은 온실가스(IPCC, 2024), 농경지 유래 온실가스 배출량의 상당 부분을 차지한다(Ma et al., 2025). 따라서 지속가능한 농업 시스템을 구축하고 탄소중립을 실현하기 위해서는 질소 비료의 사용 효율을 극대화하고, 이를 통해 N_2O 배출을 저감하는 재배 관리법 도입이 필수적이다.

이러한 문제의 해결 방안은 작물의 실제 질소 요구도에 기반한 정밀 시비 기술의 확립에 있다. 작물의 생육 상태와 영양 요구량을 시공간적으로 정확하게 진단하여 필요한 만큼의 질소를 적기에 공급함으로써 비료의 과잉 투입으로 인한 경제적 손실과 N_2O 를 포함한 환경 영향을 최소화할 수 있다. 작물의 질소 영양 상태를 반영하는 핵심 생리적 지표 중 잎의 엽록소 함량이 있다(Wang et al., 2024; Wang et al., 2023). 엽록소 함량은 광합성 능력과 직결될 뿐만 아니라 식물체의 질소 함량과 높은 양의 상관관계를 가지므로, 엽록소 함량을 신속하고 비파괴적인 방식으로 정밀하게 측정할 수 있다면 이는 효과적인 질소 관리의 과학적 토대가 된다.

초분광 원격탐사 기술은 식생의 분광 반사 특성 차이를 감지함으로써 엽록소 함량과 같은 생화학적 변수를 효율적으로 추정할 수 있다(Gitelson & Merzlyak, 1998). 그러나 밀, 옥수수 등 타 주요 작물에 비해 벼의 잎수준 엽록소 함량을 초분광 기술로 추정하는 연구는 상대적으로 부족하며, 특히 논외 환경 복잡성으로 인해 모델의 강건성 확보에 어려움이 존재한다. 따라서 본 연구는 다양한 질소 시비 조건 하에서 재배된 벼의 잎 수준 초분광 반사율 데이터를 직접 취득하고, 이를 파괴적 분석을 통해 얻은 실측 엽록소 함량 데이터와 연계하여 벼 잎수준 엽록소 함량 추정 모델을 개발하고자 한다. 본 연구의 결과는 벼의 엽록소 함량과 초분광 반사율 간의 정량적 관계를 탐구하고, 나아가 원격탐사 기반의 정밀 질소 관리 전략을 고도화함으로써 농업 부문의 탄소중립 달성에 기여하고자 한다.

2. 본론

1) 연구 재료 및 방법

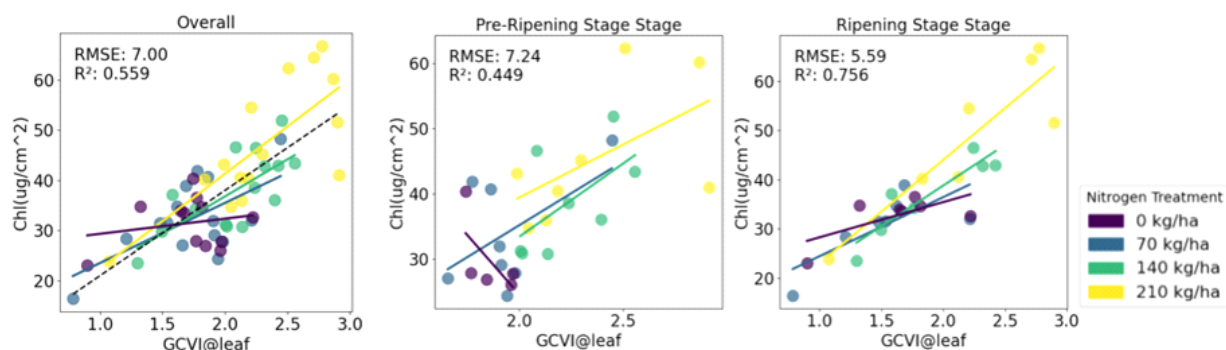
(1) 실험 설계 및 데이터 수집

서울대학교 수원 부속농장에서 4개의 질소 처리구 실험포장을 조성하여 이앙 후 35일부터 수확기까지 전 생육단계에 걸쳐 반사도 데이터를 수집하였다. 초분광 데이터는 소형분광기(HR Pro 2000+, QE Pro, Ocean Optics Inc., USA)로 수집하였으며 이후 잎 샘플링을 통해 파괴적 분석을 거친 엽록소 함량 정보를 획득하였다.

(2) 데이터 분석 방법

잎 및 군락 수준의 엽록소 함량을 대변하는 식생지수 Green Chlorophyll Vegetation Index(GCVI)와 실질 엽록소 함량과의 상관성 분석, 변수 간 선형 관계를 분석하는 통계 기법으로 부분 최소 제곱 회귀(Partial Least Square Regression, PLSR), 광학적 원리에 기반하여 반사도로 엽록소 함량을 추정하는 PROSPECT inversion을 사용했다.

2) 결과



<그림 1> 생육단계에 따른 GCVI와 엽록소 함량의 상관성

<표 1> 추정 방식에 따른 생육단계별 추정 성능

	전 생육단계	등숙기 전	등숙기 후
GCVI	R^2 0.56 (RMSE 7)	R^2 0.45 (RMSE 7.24)	R^2 0.76 (RMSE 5.59)
PLSR	R^2 0.32 (RMSE 9.7)	R^2 0.32 (RMSE 8.86)	R^2 0.36 (RMSE 10)
PROSPECT inversion	R^2 0.41 (RMSE 7.89)	R^2 0.22 (RMSE 7.46)	R^2 0.51 (RMSE 8.3)

분석 결과, 반사도 데이터는 생육단계보다는 질소 시비에 따른 엽록소 함량 차이를 더 잘 반영했다. 생육 단계 중, 식생지수와 엽록소 함량의 상관성, PLSR, 그리고 PROSPECT inversion 모두 등숙기 후에서 가장 높은 추정 성능을 보였다. 전체 기간에서는 GCVI와 엽록소 함량의 상관계수(R^2)가 0.56이었으나, 등숙기 전·후로 나눠 분석한 결과 등숙기에서는 0.76으로 향상되었다. PLSR 분석에는 주성분 분석(Principal Component Analysis, PCA)을 통해 반사도 차이를 유발하는 주요 파장대를 선별해 사용했다. PCA로 선별한 파장대를 적용한 결과, 등숙기 이전에는 PCA를 적용하지 않았을 때보다 예측 성능이 향상되었으나 등숙기 이후에는 오히려 감소했다. 이는 생육 후기에는 엽록소 이외의 요인이 반사도에 더 큰 영향을 준다는 것을 보여준다. 한편, PROSPECT inversion 분석에서는 엽록소 함량이 높을수록 추정값이 과소평가되는 경향이 나타났다.

3. 결론

본 연구는 정밀 질소 관리를 통한 농업 부문 탄소중립 기여의 기반 기술로서, 초분광 데이터를 활용한 벼 잎의 엽록소 함량 정밀 추정 모델을 개발하고자 수행되었다. 질소 시비 수준과 생육 단계를 달리한 조건에서 잎 단위 분광 반사율 데이터를 수집하였으며, 식생지수(GCVI), 통계 모델(PLSR), 물리 기반 모델(PROSPECT inversion)의 성능을 비교 분석하였다. 분석 결과, 잎수준 엽록소 함량과 분광 반사도 간의 관계 및 추정 모델의 정확도는 생육 단계에 따라 뚜렷한 차이를 보였으며, 특히 등숙기를 전후하여 그 양상이 변화하는 것을 확인하였다. 이처럼 생육단계에 따라 반사도에 반영되는 엽록소 정보의

양상이 달라지며, 이를 고려하는 것이 엽록소 함량 예측의 정밀도 향상에 중요함을 확인할 수 있었다. 최종적으로 본 연구는 생육 단계에 따른 분광 특성 변화를 규명함으로써, 원격탐사 기반의 벼 질소 영양 상태 진단 기술을 고도화하고 저탄소 농업 실현에 기여할 수 있는 중요한 과학적 근거를 제시한다.

참고문헌

- Gitelson, A. A. and Merzlyak, M. N.: Remote sensing of chlorophyll concentration in higher plant leaves, *Advances in Space Research*, 22, 689-692, [https://doi.org/10.1016/S0273-1177\(97\)01133-2](https://doi.org/10.1016/S0273-1177(97)01133-2), 1998.
- IPCC: Global Warming Potential Values from AR6, *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*, Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report, Cambridge University Press, [https://doi.org/\[specific_doi\]](https://doi.org/[specific_doi]), 2021.
- Ma, J., Arneth, A., Smith, B., Anthoni, P., Xu-Ri, Eliasson, P., Wårlind, D., Wittenbrink, M., and Olin, S.: Soil nitrous oxide emissions from global land ecosystems and their drivers within the LPJ-GUESS model (v4.1), *Geosci. Model Dev.*, 18, 3131 - 3155, <https://doi.org/10.5194/gmd-18-3131-2025>, 2025.
- Wang, Y., Tan, S., Jia, X., Qi, L., Liu, S., Lu, H., Wang, C., Liu, W., Zhao, X., He, L., Chen, J., Yang, C., Wang, X., Chen, J., Qin, Y., Yu, J., & Ma, X. (2023). Estimating relative chlorophyll content in rice leaves using unmanned aerial vehicle multi-spectral images and spectral - textural analysis. *Agronomy*, 13(6), 1541. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061541>
- Wang, Z., Zhou, W., Wang, C., Ma, X., & Liu, J., 2024, Synergistic effects of biochar and microbial agents on nitrogen transformation and greenhouse gas emissions in saline-alkali soil, *Carbon Research*, 3(1), 2, <https://doi.org/10.1007/s44246-024-00109-x>

사사

본 논문은 2025년 한국영양식물학회 학술대회에서 발표한 내용을 수정·보완한 것임.

태양광 발전 경제성 평가에서 공간 데이터 통합의 필수성

송다영 동덕여자대학교 경영학과 학사

1. 서론: 태양광 경제성 분석의 현황

탄소 중립 목표 달성을 위한 핵심 전략으로서 태양광 발전은 전 세계적으로 빠르게 확산되고 있다. 특히 정부의 지원 정책과 기술적 진보에 힘입어 개인 주택, 상업용 건물, 산업 단지 등 다양한 형태의 분산형 전력원으로서 그 역할이 커지고 있다. 이러한 확산의 주요 동력은 전력 요금 절감이나 전력 판매를 통한 수익 확보라는 경제적 인센티브에 있으며, 이 과정에서 투자수익률(ROI)은 최종 의사결정을 좌우하는 가장 중요한 지표로 기능한다.

그러나 현재까지의 ROI 분석은 분석적 간극을 내포하고 있다. 대다수의 경제성 평가 모델은 설치 환경의 실제 물리적 제약을 간과한 채, 이론적 최대 용량이나 단순 면적을 기준으로 산정되는 경향이 있다. 이는 지붕의 경사, 환기구, 배관, 유지관리 통로와 같은 구조물, 그리고 주변 건물이나 지형으로 인한 그림자(음영) 등 실제 설치를 제한하는 다양한 요소를 반영하지 못한다.

본 보고서는 이러한 문제의식을 바탕으로, 전통적인 경제성 평가 방식의 한계를 비판적으로 검토하고, 이를 극복하기 위한 새로운 패러다임을 제안한다. 기존 방식이 간과했던 ‘유효 설치 공간’을 정밀하게 탐지하고 정량화하는 공간 분석 기술을 경제성 평가의 핵심 변수로 통합하는 것이다.

2. 본론

1) 유효 설치 공간을 고려하지 않은 경제성 분석의 한계

(1) 공간 분석 기술의 혁신과 적용

최근 들어 태양광 발전 부지의 잠재력을 평가하기 위한 정밀 공간 분석 기술이 비약적으로 발전했다. 항공 LiDAR(Light Detection and Ranging) 데이터는 0.5m 격자의 초고정밀 DSM(Digital Surface Model)과 DEM(Digital Elevation Model)을 생성하여 현실의 지형과 시설을 정확하게 구현할 수 있는 기반을 제공한다. 이러한 데이터는 건물, 시설, 지형으로 인한 음영 환경을 정밀하게 분석하는 데 활용된다. GIS(Geographic Information System) 분석 도구는 이러한 데이터를 활용하여 태양광 시설 설치에 적합한 지역을 선정하는 연구에 이미 적용되고 있다.

(2) 통합 프레임워크의 부재

현재 학계와 산업계는 경제성 분석 연구와 공간 분석 연구를 각각 별개의 영역으로 다루는 경향이 있다. 대부분 경제적 효과 분석에 초점을 맞추거나 GIS를 활용한 입지 선정에 집중하는 것처럼, 두 분야는 독립적으로 발전해 왔다. 경기기후플랫폼 사례와 같이 일부 지역에서 두 기술을 결합하려는 시도가 있었으나, 이는 특정 지역에 한정된 시범 서비스이며, 전국적인 표준 방법론이나 제도적 프레임워크로 확산하지는 못했다. 즉, 태양광 발전의 경제적 신뢰도를 근본적으로 개선하기 위한 두 영역의 포괄적이고 체계적인 통합은 아직 연구의 공백으로 남아 있다. 본 보고서가 제안하는 프레임워크는 이러한 간극을 메우는 데 중대한 기여 할 수 있다.

2) 유효 설치 공간과 공간 데이터를 반영한 경제성 평가

(1) 위성 이미지 기반 설치 가능 공간 파악

태양광 패널 설치 가능성을 평가하기 위해 먼저 위성사진과 항공사진을 활용하여 건물 지붕의 형태와 면적을 추출한다. 이 과정에서 환기구, 굴뚝, 배관과 같은 지붕 위 구조물은 패널 설치가 불가능하므로 인공지능 기반 객체 탐지 기술을 이용해 제외한다. 또한, 주변 고층 건물이나 산지로 인해 발생하는 그림자 영역은 실제 발전량에 직접적인 영향을 주기 때문에, DSM(수치표고모델)과 음영 분석을 통해 걸러낸다. 이러한 과정을 통해 산출된 유효 설치 공간은 단순 면적과 달리 실제 패널 설치가 가능한 공간을 정밀하게 반영한다.

(2) 기상 데이터 결합을 통한 발전량 예측

유효 설치 공간이 확보되면, 해당 지역의 기상 자료를 결합하여 발전량을 예측한다. 기상청이 제공하는 연간 일사량 데이터, 평균 기온, 강수량, 적설량 등의 자료는 패널 효율에 큰 영향을 미친다. 예를 들어 고온 지역에서는 패널의 성능 저하가 발생할 수 있으며, 적설량이 많은 지역에서는 발전량이 계절별로 편차를 보일 수 있다. 따라서 이러한 기상 데이터를 반영함으로써 단순한 평균값이 아닌, 지역 맞춤형 연간 발전량을 추정할 수 있다.

(3) 경제성 분석 및 ROI 산출

마지막 단계에서는 설치 가능한 패널 용량을 기반으로 한 경제성 분석을 수행한다. 초기 투자비용(패널, 인버터, 시공비 등), 유지관리 비용, 전력 판매 수익을 고려하여 ROI, NPV, IRR 등의 지표를 산출한다. 기존의 총면적 기반 이론적 계산은 과도하게 낙관적인 수익률을 제시하는 경우가 많았으나, 본 연구의 접근은 유효 설치 공간과 기상 데이터를 반영하기 때문에 보다 현실적인 투자 회수 기간과 수익성을 도출할 수 있다. 이러한 접근은 투자자와 정책 결정자에게 실질적인 판단 근거를 제공하며, 태양광 프로젝트의 지속가능성을 높이는 데 기여한다.

3. 결론

본 연구는 위성사진 기반 유효 설치 공간 탐지와 기상 데이터 결합, 그리고 경제성 분석을 통합하고자 한다. 이는 투자자의 합리적 판단을 지원하고, 정부 정책의 실효성을 높이며, 궁극적으로는 태양광 설비의 사회적 수용성과 에너지 전환 목표 달성에 기여할 수 있을 것이다. 향후 연구는 공공데이터와 민간 위성영상의 표준화, 다양한 건축 유형에 대한 적용 검증, 그리고 장기 운영 데이터 기반의 성능 분석으로 확장될 필요가 있다.

참고문헌

- 서미자, 2016, 「대체투자(태양광발전)의 경제성 평가」, 건국대학교 부동산대학원 석사학위논문.
- 박민수·홍길동·이철수, 2019, 「GIS를 이용한 태양광시설 설치를 위한 적정지역 선정에 관한 연구」, 한국산업공학회지, 45(2), 123-134.
- 이준호, 2023, 「태양광발전 시스템의 경제성 분석」, 대한산업공학회지, 39(1), 55-70.
- 김태희·박성민·최다혜, 2024, 「RETScreen 기반 유효공간 태양광 발전 시스템의 경제성 평가 연구」, 에너지정책학회지, 28(4), 201-219.

인도네시아의 탈탄소화 경로 평가

석탄화력발전소에서 태양광 발전과 탄소포집저장의 탄소감축비용 비교

Alland Dharmawan 연세대학교 국제대학원, 숲과나눔 글로벌리더십 장학생

1. 서론

기후변화는 세계 8위 온실가스 배출국인 인도네시아에 가장 시급한 도전 과제 중 하나로 다가오고 있다. 인도네시아는 **2060년 또는 그 이전까지 넷제로(Net Zero)**를 달성하겠다고 공표했으나, 전력 생산의 60% 이상을 석탄화력발전소에 의존하는 구조적 제약으로 인해 탈탄소화가 쉽지 않다.

정책 논의에서 두 가지 주요 감축 경로가 주목받고 있다. 첫째, 대규모 태양광 발전(PV) 보급, 둘째, 기존 석탄화력발전소에 탄소포집저장(CCS) 설비를 적용하는 방식이다. 태양광은 재생 가능하고 저비용이며 확장 가능한 대안이지만, 간헐성과 저장 설비 통합 문제는 여전히 과제로 남아 있다. CCS는 기존 석탄 인프라를 활용하면서 배출을 줄일 수 있는 방안이지만, 높은 비용, 불확실한 규제, 제한적인 시범 적용이 장애 요인이다.

본 연구는 탄소감축균등비용(LCCA) 분석을 통해 두 경로의 비용 효율성을 비교하고, 인도네시아 에너지 전환의 경제적·제도적 함의를 제시한다.

2. 본론

1) 방법론 및 시나리오

100 MW 규모 석탄화력발전소를 대상으로 두 가지 시나리오를 설정하였다.

- 시나리오 1: 조기 폐쇄 후 617.65 MW 규모의 유틸리티 태양광 발전소로 대체.
- 시나리오 2: 기존 발전소에 후연소(post-combustion) CCS 기술을 적용한 개조.

주요 가정은 에너지광물자원부(MEMR), 전력개발계획(RUPTL 2025 - 2034), 그리고 **필수서비스개혁 연구소(IESR)**의 타당성 연구 자료를 기반으로 하였다. 또한, 비용 하락, 정책 변수, 기술 학습 효과를 고려한 민감도 분석을 수행하였다.

2) 연구 결과

분석 결과 두 경로 간의 감축 비용 차이가 뚜렷하게 나타났다. 태양광의 LCCA는 25.87달러/tCO₂ 인 반면, CCS 개조는 90.83달러/tCO₂ 로 훨씬 높게 산출되었다. 낙관적인 비용 하락을 가정하더라도 CCS는 태양광보다 경쟁력이 떨어졌다. 또한 국산화 비율(Local Content Requirement)과 같은 정책 요인은 태양광 프로젝트 비용을 증가시키지만, 상대적 우위를 뒤집지는 못한다.

비용 외에도 거버넌스 과제가 중요하다. RUPTL은 야심찬 재생에너지 목표를 제시하지만, 이행은 일관성이 부족해 투자자의 회의감을 키우고 있다. 태양광은 금융 지원과 에너지 저장 연계가 필요하며, CCS는 장기 책임, 모니터링, 국경 간 CO₂ 저장 문제에서 제도적 불확실성이 커 민간 참여가 쉽지 않다.

3) 정책적 시사점

연구 결과는 세 가지 정책 방향을 제안한다.

- 규제 명확화 및 금융 메커니즘 강화를 통해 태양광과 CCS 투자 불확실성을 줄여야 한다.
- 전력망 현대화와 저장장치 통합을 우선시하여 대규모 재생에너지 보급을 뒷받침해야 한다.
- 아세안 차원의 협력과 국제 파트너십, 특히 **정의로운 에너지 전환 파트너십(JETP)**을 통해 자원, 지식, 기술을 동원하여 전환 속도를 가속화해야 한다.

3. 결론

본 연구는 CCS가 보완적 역할을 수행할 수 있지만, 현재 인도네시아의 탈탄소화에서 태양광 발전이 더 비용 효율적이고 확장 가능한 경로임을 보여준다. 태양광의 LCCA가 크게 낮다는 점은 경제적 이점을 강조하며, CCS는 높은 비용과 미비한 거버넌스 구조에 발목을 잡고 있다.

인도네시아가 2060년 넷제로 목표를 달성하기 위해서는 기술 선택을 정책 일관성, 규제 명확성, 국제 협력과 결합해야 한다. 태양광을 우선적으로 추진하면서, CCS를 산업 등 **감축이 어려운 부문(hard-to-abate sectors)**에서 전략적으로 활용한다면, 정의롭고 경제적이고 지속 가능한 에너지 전환을 달성할 수 있을 것이다.

참고문헌

- Agnolucci, P., & Makarenko, N. (2025, June 2). Weakening demand, steady supply: What's driving coal's price decline in 2025? World Bank Blogs. Retrieved June 9, 2025, from <https://blogs.worldbank.org/en/opendata/weakening-demand--steady-supply--what-s-driving-coal-s-decline-i>
- KarbonKorea. (2025). Activity 2: Challenges, opportunities, and benefits of using CCS/CCUS as a decarbonization technology in the power sector [Unpublished report].
- Pertamina. (2025). Unlocking potential CCS hub Asri Basin implementation [Unpublished report].
- PLN. (2025a, June 2). Diseminasi RUPTL PLN 2025 - 2034: Beyond the greenest RUPTL. Retrieved June 2, 2025, from https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/06524-bahan-dirut-pln.pdf
- Rezzouk, H., & Mellit, A. (2015). Feasibility study and sensitivity analysis of a stand-alone photovoltaic - diesel - battery hybrid energy system in the north of Algeria. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 43, 1134 - 1150. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.103>
- Yuan, Y., Zhang, W., Aini, L. K., Budianto, K. F., Winayo, M. F., Jie, Y., Sulaeman, J., Lee, K. W. F., & Hamdani, J. (2024, October). Early retirement of coal-fired power plants in Indonesia: A JETP case study (SGFIN Industry Report No. 2). National University of Singapore, Sustainable and Green Finance Institute (SGFIN). Retrieved June 6, 2025, from https://sgfin.nus.edu.sg/wp-content/uploads/2024/10/241009_JETP_Industry_Report.pdf

사사

본 논문은 연세대학교 국제대학원 석사학위 논문(Graduate Thesis)으로 발표되었으며, 논문 심사(Defense)를 통과하였음을 밝힌다.

탄소포집과 법

아세안 에너지·기후 정책에서 CCS 거버넌스에 관한 검토

Alland Dharmawan 연세대학교 국제대학원, 숲과나눔 글로벌리더십 장학생

1. 서론

탄소포집·저장(CCS)은 전 세계 에너지·기후 전략에서 핵심적인 감축 기술로 점차 인식되고 있다. 화석연료가 여전히 에너지 믹스를 지배하고 수요가 계속 증가하는 아세안에서는, CCS가 경제성장과 탈탄소화를 연결하는 잠재적 다리로 자리매김하고 있다. 인도네시아, 말레이시아, 싱가포르의 배출 규모가 크고 CCS에 대한 관심이 높은 국가들로, 배치(deployment)를 가능하게 하는 법적·제도적 틀을 마련하기 시작하였다. 그러나 정책적 선언에도 불구하고 대부분의 아세안 국가들은 인허가, 책임, 금융, 국경 간 운영에 관한 일관된 규칙을 갖추지 못하고 있다. 이러한 법적 공백은 투자자의 불확실성을 심화시키고 기술 도입 속도를 늦추며, 아세안이 글로벌 CCS 혁신에서 뒤처질 위험을 낳는다. 본 연구는 아세안에서 현행 거버넌스 구조가 CCS 개발을 얼마나 촉진하거나 제약하는지를 검토하며, 인도네시아·말레이시아·싱가포르 세 국가를 비교 분석의 대상으로 한다.

2. 본론

1) 국가별 비교 분석

인도네시아에서는 CCS가 정의로운 에너지 전환 파트너십(JETP) 아래 국가 에너지 정책에서 주목받고 있다. 그러나 규제 체계는 여전히 분절적이며, 에너지광물자원부와 환경산림부 간의 권한 중첩이 존재한다. 저장된 CO₂의 장기적 책임 문제는 명확히 규정되지 않아 투자자 위험 요인이 된다.

말레이시아에서는 CCS가 국가 석유·가스 전략과 연계되어 있으며, 페트로나스가 시범 사업을 주도하고 있다. 일부 초기 규제 지침은 마련되었으나 행정적 성격에 머물고 있으며, 입법적 구속력은 부족하다. 모니터링·검증 책임과 CCS가 국가 재생에너지 목표와 어떻게 조화를 이루는지에 대한 의문이 남아 있다.

싱가포르는 작은 국가이지만 야심찬 접근을 하고 있으며, CCS를 국가 탈탄소화 로드맵의 일부로 보고 있다. 국내 저장 능력이 제한적이라는 점을 인식하고 해외 저장 및 탄소 서비스 정책을 마련하고 있다. 그러나 이는 CO₂의 국경 간 수송·저장에 대한 법적·외교적 도전을 야기한다.

2) 아세안 차원의 시사점

세 사례에서 공통적으로 세 가지 과제가 드러난다:

- 인허가 절차가 일관되지 않고 투명성이 부족하여 민간 참여를 저해한다.
- 장기 책임 제도가 불분명하여 누출 발생 시 재정적 책임 주체가 명확하지 않다.
- 국경 간 거버넌스가 미흡하지만 필수적이다. 어떤 아세안 국가도 대규모 CCS에 필요한 모든 자원을 단독으로 보유하지 못하고 있기 때문이다.

이러한 거버넌스 문제는 지역 차원에서 심각한 함의를 지닌다. 규칙이 조화되지 않는 한 아세안에서 CCS 투자는 제한될 것이다. 더구나 싱가포르에서 인도네시아나 말레이시아 저장 부지로 CO₂ 를 수송하는 파이프라인과 같은 초국경 프로젝트는 현재 존재하지 않는 국제 협정이 필요하다.

3. 결론

본 연구는 아세안이 기후 목표를 달성하고 글로벌 탄소 시장에서 경쟁력을 유지하려면 CCS 관련 법·정책 틀을 조속히 강화해야 함을 보여준다. 세 가지 조치가 중요하다. 첫째, 국가 규제를 조화시키고 책임 체계를 명확히 하여 투자자의 불확실성을 줄여야 한다. 둘째, 아세안 차원의 국경 간 CCS 프로토콜을 마련해 안전하고 법적으로 확실한 CO₂ 저장을 보장해야 한다. 셋째, 정부·산업·국제기구 간의 협력을 강화하여 최선의 사례를 공유하고 역량을 구축하며 CCS를 기후·에너지 정책 전반에 통합해야 한다.

이러한 거버넌스 공백을 해소함으로써 CCS는 시범 단계에서 대규모 배치로 나아갈 수 있으며, 아세안의 넷제로 전환을 지원하면서도 에너지 안보를 유지할 수 있다. 궁극적으로 본 연구는 CCS가 단순한 기술적 도전이 아니라 법적·제도적 과제를 강조한다. 견고한 거버넌스 체계는 CCS가 기후 정의, 경제 회복력, 그리고 동남아시아 지역 협력에 기여하도록 할 수 있다.

참고문헌

- Agarwal, R, et al. (2025, February 13). CCS in Southeast Asia: An opportunity or distant reality? McKinsey & Company. Retrieved from <https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-asia/ccs-in-southeast-asia-an-opportunity-or-distant-reality?>
- ASEAN Centre for Energy. (2024, September). ASEAN CCS Deployment Framework and Roadmap. ASEAN Centre for Energy. Retrieved from <https://www.aseanenergy.org/wp-content/uploads/2024/09/Report-CCS-Deployment-Framework-and-Roadmap.pdf?>
- Asian Development Bank. (2023, March 22). ADB SEADS 2023: Imagining a Net-Zero ASEAN. Asian Development Bank. <https://www.adb.org/news/features/adb-seads-2023-imagining-net-zero-asean>
- Azmi & Associates. (2025). Carbon Capture, Utilisation and Storage Bill 2025: A Bold Step Toward a Cleaner, Greener Future for Malaysia. Retrieved from <https://www.azmilaw.com/insights/carbon-capture-utilisation-and-storage-bill-2025-a-bold-step-toward-a-cleaner-greener-future-for-malaysia/>
- Havercroft, I., et al. (n.y.). Legal and Policy Framework for Deployment of CCUS in Asia Region, Focused on ASEAN (Chapter 3). ERIA. Retrieved from https://www.eria.org/uploads/3_Chapter-3-Study-on-Financial-Framework-for-Deployment-of-CCUS.pdf
- Ng, G. (2024, October 21). Singapore to co fund CCS studies at some power plants to aid net zero emissions target. Reuters. Retrieved from <https://www.reuters.com/business/energy/singapore-co-fund-ccs-studies-some-power-plants-aid-net-zero-emissions-target-2024-10-21/>
- Sandra Seah. (2024, March 25). Carbon Capture, Utilisation and Storage (CCUS): A Singapore Perspective. Bird & Bird. <https://www.twobirds.com/en/insights/2024/singapore/carbon-capture-utilisation-and-storage-ccus-a-singapore-perspective>

사사

본 논문은 2025년 아세안 법·정책 아카데미(ASEAN Law and Policy Academy)(싱가포르국립대학교 국제법센터 주관)에 제출되었으며, 또한 2025년 아세안 법 아카데미 학술대회(Online)에서 발표되었음을 밝힌다.

포스터발표 세션 4.

도시생태

- 서울 도시숲 백련산의 식물다양성
김항경산, 김종민, 최영철 서대문은평시민연대 백련산생태지킴이
차두원 동국대학교 대학원 바이오환경과학과 이학박사
- 숲 과정(Forest as Process): 봉산 도시숲 조성을 둘러싼 마찰과 충돌
김흥준 연세대학교 문화인류학과 석사과정
- 문화경관으로서 비보숲: 비인간 행위성의 관점에서
박소영 서울대학교 협동과정 조경학 박사 수료
- 환삼덩굴의 하천변 침입에 따른 토양과 식생 특성 비교
신혜지 광주과학기술원 환경에너지공학과 박사과정
김태민 광주과학기술원 환경에너지공학과 박사과정
김은석 광주과학기술원 환경에너지공학과 부교수

서울 도시숲 백련산의 식물다양성

김황경산, 김종민, 최영철 서대문은평시민연대 백련산생태지킴이
차두원 동국대학교 대학원 바이오환경과학과 이학박사

1. 서론

도시숲은 사전적 의미로 도시 내부에서 도시의 기능이 원활히 발휘되도록 환경을 보전하는 숲을 말하며(최지원, 2024) 경관구성기능, 재난방제기능, 역사·문화기능, 생태보전기능 등 도심지의 쾌적한 환경을 위한 다양한 기능을 수행하고 있다(이상철, 2018). 또한 도시숲은 인간이 밀집하여 거주하는 지역과 그 주변 지역의 산림식생, 물, 토양, 야생동물로 구성된 도시생태계의 일부이다(Shafer & Moeller, 1979). 그러나 도시숲은 대부분 도시 중심지역에 위치하고 있어 이용객 증가로 인한 답압, 수목뿌리노출, 섯길 등 피해와 각종 개발, 대기오염, 소음 등으로 인해 자연환경은 물론 고유의 생태계가 교란·파괴되고 있는 실정이다(유주리 등, 2017).

본 연구대상지인 백련산은 서대문구와 은평구 경계에 위치하며 도로로 인해 파편화되거나 아파트와 주택단지에 둘러싸여 고립된 숲을 보여주고 있다. 특히 백련산은 숲 내부 산책로를 따라 서대문구에서 추진한 맨발길이 조성되었고 이로 인해 섯길, 토양 답압, 수목뿌리노출, 무분별한 수목 식재, 수목 생육 불량·고사, 숲 내부 외래식물 이입 등 생태계 피해가 발생되었다. 이에 백련산의 식물다양성 및 생태계 교란, 훼손이 높아질 것으로 예상되어 생태계 보전이 요구되며 이를 뒷받침할 수 있는 식물 조사 자료가 필요하다.

따라서 본 연구는 서울 도시숲 백련산에서 출현한 식물을 조사, 분석하여 백련산의 식물다양성 현황과 분포, 생태적 특성을 규명하고 백련산 식물다양성 및 생태계 보전을 위한 기초자료로 수행되었다.

2. 재료 및 방법

백련산 식물 조사 시기는 2025년 4-8월에 총 13회 진행하였다. 조사 장소는 백련산 전역으로 수행하였다. 식물의 동정과 분류는 현장에서 하였고 종 동정이 불가능한 식물은 김진석 등(2018), 김진석과 김태영(2021), 김진석 등(2025)을 참고하여 동정하였다. 식물 배열순서 및 학명의 기재는 국가표준식물목록(2022) 기준으로 정리하였다. 분석은 조사된 식물 목록을 토대로 분류군별 현황과 생육(자생종/식재종/이입종) 현황, 주요 식물의 분포, IUCN 적색목록·한국특산식물 등 보호식물 현황 및 특성, 침입외래식물 현황 및 특성으로 규명하였다.

3. 결과 및 고찰

백련산의 식물은 85과 229속 346종으로, 양치식물이 6과 8속 8종, 나자식물이 4과 8속 12종, 쌍자엽식물이 67과 174속 264종, 단자엽식물이 8과 39속 62종으로 구성되었다. 종이 많은 상위 5개 과는 국화과가 40종으로 높으며 벼과 31종, 장미과 26종, 콩과 19종, 백합과 16종 순으로 확인되었다. 생육 현황은 자생종 237종, 식재종 89종, 이입종 20종으로 확인되었다. 주요 식물의 분포는 주거지, 도로와 인접한 숲 가장자리의 경우 명아주, 쇠무릎, 사위질빵, 애기똥풀, 냉이, 뱀딸기, 호제비꽃, 배풍등, 질경이, 개망초,

망초, 뿌리뱅이, 쑥, 서양민들레, 지칭개, 개밀, 새포아풀, 청사초 등 터주식물과 은행나무, 느티나무, 백목련, 왕벚나무, 단풍나무, 사철나무, 산수유, 감나무, 이팝나무, 쥐똥나무, 좁쌀살나무 등 조경수목(유실수 포함)이 확인되었다. 숲 가장자리와 습지 경계부에는 습지성식물인 고마리가 집중적으로 확인되었다. 숲 내부는 뱀고사리, 소나무, 은사시나무(조림), 신갈나무, 개별꽃, 땃대이덩굴, 국수나무, 산딸기, 아까시나무(조림), 참싸리, 산초나무, 붉나무, 담쟁이덩굴, 남산제비꽃, 큰까치수염, 누리장나무, 맑은대쑥, 애기나리, 새, 가는잎그늘사초 등 척박한 토양 환경에 생육하는 식물이 확인되었다.

보호식물 중 IUCN 적색목록식물은 관심대상(Least Concern)으로 지정된 측백나무, 이팝나무 2종이 식재종으로 확인되었다. 한국특산식물은 은사시나무, 외대으아리, 서울제비꽃, 개나리, 섬초롱꽃, 별개미취, 백운산원추리 등 7종이 확인되었다. 이 중 은사시나무, 개나리, 섬초롱꽃, 별개미취를 제외한 나머지는 자생종이다. 외대으아리, 백운산원추리는 숲 내부에서 산발적으로 나타나며 서울제비꽃은 주거지와 인접한 숲 가장자리에서 다소 적게 관찰되었다. 침입외래식물은 미국자리공, 별꽃, 토끼풀, 팽이밥, 달맞이꽃, 개망초, 단풍잎돼지풀, 돼지풀, 망초, 서양등골나물, 큰방가지똥 등 43종이 확인되었으며 주거지, 도로와 인접한 숲 가장자리에 다수 분포하고 있었다. 귀화율(Naturalization Index)은 12.4%로 확인되었다.

4. 결론

본 연구는 백련산의 식물다양성과 생태계 보전을 위해 수행되었으며 이를 위해 백련산에서 출현한 식물을 조사, 분석하였다. 백련산에서 출현한 식물은 85과 229속 346종으로 확인되었다. 백련산의 주요 식물은 숲 가장자리 경우 주거지, 도로가 인접함에 따라 인간 간섭이 높은 교란지에서 생육하는 터주식물(침입외래식물 포함)이 관찰되었으며 곳곳에 조경식물(유실수 포함)이 식재되어 있었다. 숲 내부는 척박한 토양 환경에서 생육하는 식물이 확인되었다. 보호식물 중 IUCN 적색목록식물은 2종, 한국특산식물은 7종으로 확인되었다. 침입외래식물은 43종으로 귀화율은 12.4%로 확인되었다. 백련산은 숲 내부를 중심으로 떡갈나무, 신갈나무, 개별꽃, 외대으아리, 남산제비꽃, 백운산원추리, 애기나리 등 자생식물이 고루 분포하며 숲 가장자리에 비해 자연성이 양호한 것으로 확인되었다. 그러나 셋길 발생, 편백·산수국·황매화·중국단풍·좁사철나무 등 무분별한 조경수목 식재, 조경수목 생육 불량 및 고사, 조경수목 식재 시 발생한 침입외래식물 이입, 과도한 숲 정비 및 관리, 각종 시설물 조성 등으로 인해 숲 내부 생태계가 훼손되었다. 따라서 백련산 숲 생태계 보전을 위해 자연식생을 활용한 셋길 방지 생물타리 도입, 조경수목 식재 지양, 자연식생 천이 유도, 숲 정비 및 관리 최소화, 시설물 조성 지양 등 대책을 수립하는 것이 필요하다.

참고문헌

- 유주리, 박지혁, 허경호, 박종민. 2017. 전주시 도시공원 탐방로 연결부 식물상에 관한 연구. 한국환경생태학회 학술대회지. 17(2). 103-104.
- 이상철. 2018. 도시숲의 식생구조와 식물사회네트워크 분석을 활용한 생태적 식재모델 연구. 부산대학교 대학원 박사학위논문. 9-10.
- 최지원. 2024. 비오톱지도 기반 도시숲 생태계서비스 평가 및 적용에 관한 연구. 동국대학교 대학원 박사학위논문. 51.
- Shafer, E.L. and Moeller, G.H. 1979. Urban Forestry : Its Scope and Complexity. JArbor 5(9). 206-209.

숲 과정(Forest as Process)

봉산 도시숲 조성을 둘러싼 마찰과 충돌

김흥준 연세대학교 문화인류학과 석사과정

이 연구는 다중적 관점으로 한국의 도시 숲 개발 정책의 과정을 추적하며, 정부 주도의 개발 현장에서 구축되는 다중적 연결과 그 단절을 살핀다. 한국에서 숲이 국가 주도의 발전주의 개발 정책을 비롯한 인간의 인위적 개입이 만들어낸 자연문화일 때, 인간과 비인간 존재가 어떻게 숲에서 관계 맺거나 단절되며, 그 과정에서 숲이라는 경관을 만들어가는지 알아보고자 한다. 서울시 은평구와 경기도 고양시에 걸쳐 있는 봉산에서 은평구청은 편백나무 숲 조성사업을 진행하고 있다. 지역시민단체는 해당 사업이 기존의 숲을 모두 베기 후 진행되었던 점을 비판하고, 숲 모니터링과 탐조 활동을 통해 기존의 숲에 존재했던 다중적 연결을 추적하며 개발에 대응하고 있다. 이러한 양상이 펼쳐지는 봉산이라는 현장에 연구자는 세 가지 질문을 던진다. 첫째, 현재 봉산의 자연문화적 경관은 한국의 치산 녹화 및 숲가꾸기 정책의 역사적 맥락 속에서 어떻게 형성되었는가? 둘째, 현재 은평구가 추진하고 있는 편백숲 조성사업은 어떻게 등장했으며, 사업을 가능케 하는 정책 합리성은 무엇인가? 셋째, 봉산생태조사단은 봉산 편백숲 조성사업을 어떻게 문제화하고, 어떠한 다중적 서사를 구축하고 있는가? 마지막으로, 봉산 편백숲을 둘러싼 서로 다른 의지와 의미화 속에서 진행되는 편백숲 조성사업이 봉산의 자연문화적 경관을 어떻게 변화시키고 있는가? 이와 같은 연구 질문에 응답하기 위해 연구자는 봉산 숲을 둘러싼 다양한 차이를 가로지르며, 서로 어긋나고 불평등한 집단을 쫓았다. 다현장 민족지적 방법을 통해 봉산생태조사단의 다중적 서사를 쫓는 동시에, 산림과학자들이 생산해냈던 한국의 산림과학 지식의 계보를 쫓았다. 봉산 편백숲의 생태적 연결망을 집중적인 참여관찰과 탐조활동을 통해 살피고, 심층 인터뷰와 주민 민원 문의, 지방의회 회의록과 정부 공식 자료 등을 통해 정책 집행 과정을 들여다 보는 위로의 연구(studying up)를 수행했다. 봉산이라는 울퉁불퉁한 자연문화적 경관의 조각들을 쫓았던 이 연구의 결과는 다음과 같다.

먼저 봉산은 한국의 민둥산이 숲이 되는 과정에 거쳐 온 치산 녹화 10개년 계획과 같은 국가 주도의 정책적 맥락과 무관하지 않았다. 박정희 정권 당시 집중적으로 조림되었던 아까시나무가 현재 봉산을 구성하고 있는 주요 수종으로 파악되기 때문이다. 대규모 조림 이후 50년이 흐른 지금, 과거 인위적인 조림 정책을 통해 형성된 봉산은 산림의 탄소 흡수 능력 저하라는 새로운 문제 앞에 또다시 인간의 개입과 관여를 맞이했다. 은평구청은 탄소 흡수 능력 저하 해결을 위한 산림의 영급개선을 편백숲 조성 정책의 주요한 근거로 제시하는데, 이는 과거 산림 정책의 결과가 현재의 새로운 산림 개발 정책의 원인이 되었음을 보여준다. 또한 편백숲 조성사업은 공식과 비공식 영역의 얽힘 속에서 등장했다. 봉산의 시흥지에 자발적으로 편백나무를 심어온 한 주민이 자신의 인적 네트워크를 활용하여 당시 서울시장과 서울시의원과 연결되어 편백숲 조성사업이 서울시의 시범사업으로 선정되었고, 봉산 편백숲 조성은 이후 제도적이고 행정적인 틀 안에서 추진되기 시작하였다. 봉산 편백숲 조성사업은 다양한 사람과 사건, 담론, 법, 제도, 사물 등 다양한 행위자가 번역과 매개를 통해 연결되어 실행되는 ‘정책-연결망’ 속에서 가능했다.

두 번째로, 봉산생태조사단이라는 지역의 환경 단체는 편백숲 조성사업에 대응하며 봉산에 존재하는 다종의 연결망과 서사를 구축했다. 이들은 새를 관찰하는 탐조 활동과 베어진 나무의 수를 세고, 새로 심겨진 편백나무의 성장 상태를 꾸준히 관찰하는 모니터링 활동을 통해 다중적 서사를 쫓았다. 이들에

게 탐조와 현장 모니터링 활동이 단순한 생태 정보의 수집을 넘어, 숲에 대한 감각적·정서적 접촉을 가능케 하는 통로였다. 모니터링은 숲을 알게 되는 인식의 통로였고, 숲의 문제적 상황을 자신의 문제로 감각하고 책임 있게 대응하게 하는 관계적 실천이었다. 또한 관계적 실천을 통해 제작한 자료들은 개발 반대 활동의 주요한 근거로 활용되었다. 다시 말해, 숲 모니터링은 숲을 대상이 아닌 관계 속의 존재로 전환시켜주는 감응의 과정이었고, 인간과 비인간, 숲과 정책 사이의 접점을 형성케 했다. 또한 이들의 활동은 과거 개발에 대응했던 환경 단체의 문법과는 달랐다. 개발로 인해 사라지는 천연기념물이나 멸종위기종, 깃대종에 초점을 맞추고 대응하는 방식이 대다수였다면, 봉산생태조사단은 특정 종에 집중하는 것이 아니라, 다양한 생명 종들 간의 상호작용과 관계망을 중심으로 봉산 생태계를 포착했다. 나아가 이러한 다종적 세계를 타인과 공유하고, 그들이 봉산이라는 장소로 함께 접속될 수 있도록 하였다. 이들의 이러한 실천은 인간과 비인간 생명의 생계와 필요가 고려되는 공동의 세계를 구성하는 다종 정의의 실천이라 볼 수 있다.

하지만 봉산생태조사단의 다종적 실천에 대한 의지는 숲에 대한 다른 의지와 끊임없이 충돌하고 마찰했다. 특히 산림과학자들이 만들어내는 산림 정책의 합리성은 봉산 편백숲 조성을 가능케 하는 또다른 의지였다. 산림과학자들은 현재 한반도 산림의 구조적 노쇠화를 문제화하며, 고령화된 숲의 일부를 벌채하고 어린 나무를 조립하는 것이 장기적으로 건강하고 지속 가능한 산림을 조성하는 길이라며 구조 개선에 대한 강력한 의지를 내보였다. 그리고 이러한 의지는 봉산 숲에서도 동일하게 적용되고 있었으며, 구청은 이러한 산림과학의 의지를 편백숲 조성의 정책적 근거로 동원하며 지역 개발과 경제 활성화를 꾀하려 하는 의지를 적극적으로 정책의 장 안에서 펼치고 있었다. 이 과정에서 주목해야 하는 점은 편백숲 조성 과정 내에 존재하는 다양한 의지들의 마찰이 예산을 계획하고 집행할 수 있는 구청의 단일한 의지로 귀결된다는 점이다. 따라서 봉산은 복수의 숲이 충돌하는 와중에, 특정한 진실과 의지가 절대적 우위에 놓이는 정치적 장이다.

그렇다면 다종에 대한 고려를 바탕으로 인간 내부의 불평등뿐 아니라 인간과 비인간 간의 불평등을 모두 포괄하는 형태의 숲 개발은 가능한 것일까? 이 연구는 봉산 편백숲 조성 현장을 하나의 정치적 장으로 규정하며, 이를 통해 ‘숲 정치(forest politics)’라는 개념을 제안하고자 한다. 이때 숲 정치란, 숲 혹은 산림과 그 안에 존재하는 수많은 존재들을 중심으로 다양한 정치 행위자들이 이해당사자로 얽혀 협력과 갈등을 겪는 상황 속에서, 산림 자체와 그것의 활용 및 보전에 대한 과학적 원리와 사회적 맥락을 결합해 조정과 통합의 작동 원리를 탐색하는 과정(Clawson 1975)을 말한다. 간단히 말해, 숲 내부의 다양한 존재들과 숲을 둘러싼 여러 이해당사자들의 정치적 행위로 인해 발생하는 갈등과 그 해결 과정 전반을 숲 정치라고 부를 수 있다.

이러한 숲 정치의 주요 이해당사자로 숲 내부의 거주자들, 즉 비인간 존재들을 고려할 필요가 있다. 지금까지 숲 정치 논의에서 주요 행위자는 주로 숲 인근의 인간 주민, 숲의 법적 소유자, 그리고 행정 주체인 구청과 같은 조직, 산림청 및 산림과학원 같은 정부부처였다. 그러나 앞으로는 숲 내부에 거주하는 다양한 비인간 존재들 역시 주요한 정치적 행위자로 상정될 필요가 있다. 봉산생태조사단의 모니터링과 탐조 활동에서 볼 수 있듯, 숲의 역동은 그 안에 존재하는 다양한 생태종들로부터 기인하기 때문이다. 물론 이 과정에서 “누가 이러한 비인간 존재들을 배표할 수 있는가”라는 정치적 질문은 여전히 남는다. 하지만 최근 비인간 동물에게도 인격성을 부여하고 자연인과 동일하게 권리의무의 주체가 될 수 있는 생태법인(eco-legal personhood)에 대한 논의가 제도 정치 내에서 본격적으로 제기되고 있다는 점에서, 비인간 다종을 숲 정치의 주요한 행위자로 간주하는 시도가 더욱 필요한 시점이다. 더 나아가 숲 정치의 주요한 결정 과정, 다시 말해 숲 관련 정책의 계획, 집행, 운영 등의 전 과정을 주요 이해당사자들의 참여를 바탕으로 하는 숙의적 과정으로 구성될 필요가 있다. 이러한 정치적 과정의 변화를 통해서, 숲에 존재하는 다양한 삶들을 보다 사려 깊게 고려하는 다종의 숲 개발이라는 상상력을 실현해볼 수 있을 것이다.

문화경관으로서 비보림

비인간 행위성의 관점에서

박소영 서울대학교 협동과정 조경학 박사 수료

1. 서론

비보림은 한반도의 전통 경관 속에서 독특한 지위를 차지하는 숲이다. 마을의 배후나 입구에 조성되어 지형적 결함을 보완하고 기맥을 이어주며, 바람과 물길을 조정하는 역할을 맡았다. 마을의 안녕과 재해 예방을 위해 보존된 공간이자 공동체의 금기와 의례의 장소였던 비보림은, 단순한 풍수 신앙의 부산물이 아니라 수백 년간 이어진 경관 실천의 한 양식이었다. 그러나 지금까지 비보림에 관한 연구는 주로 풍수적 의미나 민속적 기능에 집중되어, 경관이 형성되는 물질적 과정과 비인간적 요소의 작동에는 충분히 주목하지 못했다. 본고는 비보림을 문화경관이자 해러웨이적 의미에서 ‘자연문화 경관’으로 재위치시키고, 역사 사료 속 서술을 통해 산과 숲의 행위성을 분석하고자 한다.

2. 본론

비보림은 고려와 조선의 국가적 기록 속에서 일찍이 등장한다. 『고려사』 예종 1년(1106) 기록에는 송악산이 토사 유실로 황폐해졌음을 일관이 보고하며, 나무를 재식하여 비보해야 한다는 건의가 실려 있다. 이는 풍수적 의미와 더불어 토사 유출 방지라는 실질적 목적이 결합된 사례로, 이미 고려 시기부터 비보림이 국가적 차원에서 거론되었음을 보여준다. 조선에 들어와 『경국대전』은 제언과 더불어 비보하는 숲을 훼손하는 자를 형벌에 처하도록 규정하였다. 이는 비보림이 특정한 지역의 특수한 조치가 아니라 전국적으로 존재한다고 전제된 범주였음을 뜻하며, 개인이 임의로 이용할 수 없는 국가적 보호 공간으로 위치지어진 것을 보여준다. 법전 속에 보통명사로서의 ‘비보하는 숲’이 등장했다는 점은, 비보림이 이미 사회 전반에 일반적으로 존재하는 경관 유형이었음을 방증한다. 『세종실록』에는 음양학훈도 전수온의 상소가 실려 있다. 그는 『명산론』을 인용해 산을 흙은 살, 돌은 뼈, 초목은 모발에 비유하며, 초목이 쇠잔하면 사회와 정치가 쇠약해진다고 하였다. 이어 신라 왕조가 천 년을 이어온 것은 산을 조성하고 나무를 심어 결핍된 곳을 보충했기 때문이라 강조하였다. 여기서 산과 숲은 단순한 배경이 아니라 사회와 국가의 흥망에 직접 관여하는 행위자로 제시된다. 이러한 서술은 산림이 국가적 통치의 기반으로 인식되었음을 보여주며, 동시에 경관 요소들이 인간의 운명과 정치 질서에 능동적으로 개입한다고 보는 풍수적 세계관을 드러낸다. 이처럼 고려사, 경국대전, 세종실록을 비롯한 초기 사료에 나타난 비보림은, 국가적 제도와 지역적 실천이 교차하는 지점에서 제도화된 문화경관으로 자리매김하였다. 동시에 사료의 언어 속에서 산과 숲은 능동적 행위자로 묘사되며, 인간과 비인간이 함께 경관을 형성하는 관계망을 드러낸다.

3. 결론

비보림은 풍수적 숲이라는 민속적 범주에 머물지 않는다. 그것은 고려·조선 시기 국가 기록 속에서 제도적으로 보호되고, 지역의 생활세계 속에서 실천되며, 오늘날까지도 마을 단위의 숲으로 전승되어 온 문화경관이다. 특히 사료 속 서술은 산과 숲을 단순한 배경이 아니라 능동적으로 작동하는 존재로 위치시

키며, 인간과 비인간의 얽힘 속에서 경관이 형성된다는 사실을 보여준다. 따라서 비보림을 연구하는 일은 단순히 전통 경관의 기원을 밝히는 작업을 넘어, 동아시아의 풍수적 사유와 현대의 비인간 행위성 담론을 연결하는 통로가 될 수 있다. 이는 문화경관 개념을 인간 중심적 유산의 범주에서 관계적·물질적 장소로 확장시키는 계기가 되며, 한국의 산림·마을숲 연구를 세계적 문화경관 논의와 접목하는 토대를 제공할 것이다.

참고문헌

- 고려사(高麗史), 1451
- 동경잡기(東京雜記), 1845
- 세종실록 30년 (1448)
- 경국대전, 1485
- 경상도읍지, 1832
- Haraway, Donna. The Companion Species Manifesto: Dogs, People, and Significant Otherness. Chicago: Prickly Paradigm Press, 2003.
- Haraway, Donna. When Species Meet. Minneapolis: University of Minnesota Press, 2008.
- Haraway, Donna. Staying with the Trouble: Making Kin in the Chthulucene. Durham: Duke University Press, 2016.
- Ingold, Tim. The Perception of the Environment: Essays on Livelihood, Dwelling and Skill. London: Routledge, 2000.
- Ingold, Tim. Being Alive: Essays on Movement, Knowledge and Description. London: Routledge, 2011.
- Meyer, Elizabeth K. "The Post-Earth Day Conundrum: Translating Environmental Values into Landscape Design." In Environmentalism in Landscape Architecture, edited by Michel Conan, 187 - 244. Washington, D.C.: Dumbarton Oaks Research Library and Collection, 2000.
- Corner, James. "Ecology and Landscape as Agents of Creativity." In Ecological Design and Planning, edited by George F. Thompson and Frederick R. Steiner, 81 - 108. New York: John Wiley & Sons, 1997.
- Rees, Amanda. "Animal Agents? Historiography, Theory and the History of Science in the Anthropocene." BJHS Themes 2 (2017): 1 - 12.
- Sauer, Carl O. "The Morphology of Landscape." University of California Publications in Geography 2, no. 2 (1925): 19 - 54.
- UNESCO World Heritage Centre. Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention. Paris: UNESCO, 2021.
- 김학범. 「마을숲 연구」. 서울: 집문당, 2003.

사사 표기

본 연구는 재단법인 숲과나눔의 지원으로 수행되었습니다.

환삼덩굴의 하천변 침입에 따른 토양과 식생 특성 비교

신혜지 광주과학기술원 환경에너지공학과 박사과정

김태민 광주과학기술원 환경에너지공학과 박사과정

김은석 광주과학기술원 환경에너지공학과 부교수

1. 서론

하천변은 육지와 수생태계 사이의 전이 지역으로 다양한 생물들에게 중요한 서식지를 제공합니다(Richardson et al. 2007). 이 공간은 시간적, 공간적으로 역동적이며 수문학적, 구조적 교란의 영향을 받아 높은 이질성을 보여줍니다(D'Antonio and Vitousek 1992; Naiman et al. 2005). 이러한 교란은 잡초들의 침입 성공을 자극하는 것으로 알려져 있습니다(Lozon and MacIsaac 1997). 교란이 하천변에서 식물의 침입에 영향을 주는 주요 생태적 요인으로 여겨져 왔지만, 이에 대한 자세한 생태적 연구와 이를 바탕으로 한 기초적인 정보는 부족합니다.

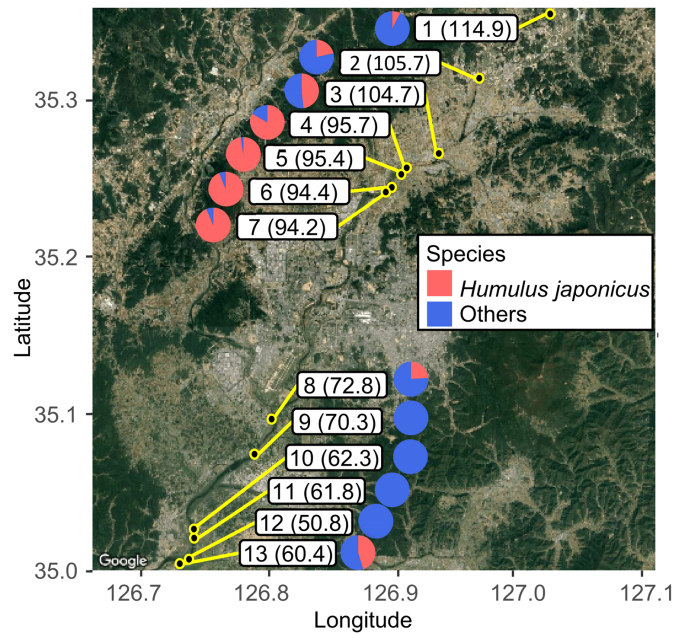
환삼덩굴(*Humulus japonicus* Siebold & Zucc.)은 일년생 암수딴그루 덩굴식물이며, 동아시아 원산으로 우리나라에 널리 분포하고 있습니다(Oh et al. 2008). 하천변에서 강둑과 제방 경사면을 따라 울창한 피도를 형성하며(Kim and Yang 2007; Park and Kang 2010), 갈대나 물억새 같은 주변 식물을 오르거나 덮어 생장을 방해하는 것으로 알려져 있습니다(Ju et al. 2006; Balogh and Dancza 2008). 환삼덩굴의 출현이 주변 자생 식물종들의 다양성을 감소시키고 꽃가루 알레르기 등의 원인으로 알려져 환경부에서 생태계교란생물로 지정하였습니다. 하지만 환삼덩굴의 생태적 특성에 관한 연구는 미비합니다. 따라서 우리는 환삼덩굴이 침입한 지역과 침입하지 않은 지역 간의 비교 연구를 통해 환삼덩굴의 침입성을 높이거나 제한하는 환경 요인을 파악하였습니다. 추가로 암수딴그루의 일년생 덩굴식물이라는 특성을 고려하여, 기존 개체군의 종자 은행과 성비를 조사하였습니다. 우리는 다음의 질문에 따라 연구를 진행하였습니다: (1) 환삼덩굴이 침입한 지역과 침입하지 않은 지역 사이에 토양 및 식생 특성에 차이가 있는가? (2) 환삼덩굴의 피도와 토양 및 식생 특성 사이에 상관관계가 있는가? (3) 종자 은행과 성비는 환삼덩굴의 우점과 상관관계가 있는가?

2. 재료 및 방법

1) 연구 장소 및 현장 조사

(1) 연구 장소

현장 조사는 2020년부터 2021년까지 대한민국 전라남도 영산강 유역의 하천변에서 진행되었습니다. 환경부 물환경정보시스템에서 제공하는 2015년부터 2019년까지의 생물측정망 정보를 바탕으로 연구 지점을 선택했으며, 총 13개의 지점 중 9개 지점은 환삼덩굴이 침입하였고, 4개 지점은 침입하지 않았습니다(그림 1). 모든 지점은 인위적으로 관리되지 않았으며, 강의 좌안에 위치합니다.



<그림 1> 영산강 내 연구 지점. 누가거리 (km) 및 지점별 환삼덩굴과 다른 식물종의 피도 제시

(2) 현장 식생 조사

2020년 10월 초, 각 장소에 $2 \times 5 \text{ m}^2$ 의 방형구를 두 개 설치했습니다. 각 방형구는 사이트의 식생을 대표하는 서로 다른 군집에 설치하여, 구획 내의 모든 식물을 식별하고 이미지화하여 피도를 측정하였습니다.

(3) 토양 샘플링

2021년 5월 토양 시료를 채취하여 질산태 질소, 암모니아태 질소, 총질소, 유효인, 총인, 치환성 칼륨 및 pH를 분석하였고, 현장에서 토양 수분 함량과 토양 경도를 측정하였습니다.

(4) 종자 은행

2021년 3월 직경 20mm의 토양 샘플러를 이용하여 토양 코어를 채취한 후 환삼덩굴 종자를 분리하고, 발아 및 활성 테스트를 통해 종자 은행 분석을 진행했습니다.

2) 환삼덩굴의 성별 구별

침입지에서 30개체의 환삼덩굴 잎을 무작위로 채취하여 DNA를 추출해 RAPD 기반 수그루 특이 마커인 OPJ09 (Mizia et al. 2016)를 사용해 PCR하여 암수 구별을 진행했습니다.

3) 통계 분석

모든 통계 분석은 R 4.2.1(R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria)을 사용하여 수행했습니다. 일원 분산 분석(ANOVA)은 'car' 패키지를 사용하여 침입한 사이트와 침입되지 않은 사이트 간의 토양 및 식생 특성을 비교하고, 성비는 1:1 성비에 대한 카이 제곱 적합도 검정을 사용하여 분석하였습니다. 비생물학적 환경 요인과 식물종 구성 간의 관계를 파악하기 위해 'vegan' 패키지를 사용하여 정준 대응 분석(CCA)을 수행했으며, 스피어만의 순위 상관계수는 'corrplot' 패키지를 사용하여 침입지

에서 환삼덩굴의 피도와 측정된 생물학적 및 비생물학적 환경 요인 간의 상관관계를 계산했습니다.

3. 결과 및 토의

1) 결과

(1) 환삼덩굴이 침입된 지역과 침입되지 않은 지역 사이의 식생 및 토양 특성 차이

환삼덩굴이 침입되지 않은 지역의 토양 수분 함량은 침입된 지역보다 유의미하게 높았습니다($P < 0.01$). 두 지역 간의 다른 토양 성분들은 크게 차이가 없었습니다. 침입된 9개 장소 전체에서 환삼덩굴의 평균 피복률은 57%로, 침입된 지역에서는 1, 2년생 식물종의 피복률이 유의하게 높았고($P < 0.01$), 침입되지 않은 지역에서는 다년생 식물 종이 유의하게 더 풍부했으며 피도 범위는 44~98.7%였습니다($P < 0.01$).

(2) 환삼덩굴의 종자 은행과 성비

침입된 지역의 토양 코어에서 생존가능한 환삼덩굴 종자가 소수만 발견되었고, 침입되지 않은 지역에서는 생존가능한 종자가 존재하지 않았습니다. 환삼덩굴 개체군은 수컷 편향 성비를 보였으며, 침입된 지역 간에는 뚜렷한 성비 차이가 관찰되었습니다($P < 0.05$).

(3) 환삼덩굴 피도와 환경 요인 간의 연관성

CCA 분석 결과에서 종 구성은 pH, 질산성 질소, 유효인, 총인 및 토양 수분과 관련이 있는 것으로 나타났습니다($P < 0.05$). 상관 분석 결과에서는 환삼덩굴의 피도가 1, 2년생 식물종의 피도와 양의 상관관계를, 다년생 식물과는 음의 상관관계를 보였습니다($P < 0.05$).

2) 토의

(1) 환삼덩굴이 침입된 지역의 토양 특성

본 연구에서 대부분의 토양 특성이 침입에 따른 차이가 없는 것으로 나타났지만, 이는 2020년 대홍수로 인한 강의 범람으로 토양 조건이 균질화되었을 가능성이 있음을 시사합니다. 토양 수분 함량의 차이는 습지 식물의 물 가용성에 따른 중요한 환경 요인으로, 환삼덩굴이 과도한 토양 수분에 취약할 수 있음을 시사합니다.

(2) 환삼덩굴이 침입된 지역의 식생 특성

교란 지역에 빠르게 정착하고 확산하는 일년생 식물과 환삼덩굴이 함께 출현하며, 다년생 식물이 군집을 이룰 때에는 환삼덩굴의 정착을 제한받을 수 있음을 시사합니다.

(3) 환삼덩굴 개체군의 성비 및 종자 은행

대부분의 침입 지역에서 환삼덩굴의 성비는 수그루 편향적이었습니다. 이는 암수딴그루 덩굴 종에서 수컷 편향적 성비를 보고한 기존 연구 결과와 일치하며, 암컷 식물이 큰 씨앗을 생산하는데 더 큰 번식 비용을 부담하기 때문일 가능성이 높습니다(Sinclair et al. 2012). 침입된 지역의 종자 은행에서 소수의 환삼덩굴 종자만 발견되었습니다. 대부분의 종자는 이미 발아했거나 2020년 대홍수로 유실되었을 가능성이 있습니다.

4. 결론

우리는 생태적으로 문제가 있는 환삼덩굴의 침입지와 비침입지의 비교 연구를 수행했습니다. 두 지역 간의 주요 차이점은 토양 영양소가 아니라 토양 수분과 다년생 식물의 피도였습니다. 또한 환삼덩굴 개체군은 수컷 편향된 성비와 얇은 토양 종자 은행을 보였습니다. 본 연구 결과는 토양 수분과 종간 경쟁이 침입 성공에 미치는 상호 작용 영향을 밝히기 위해 추가 연구가 필요함을 시사합니다. 본 연구는 생태계교란생물로 지정된 환삼덩굴의 침입과 비침입에 관한 생태학적 정보를 비교한 첫 연구이며, 이를 토대로 환삼덩굴의 생태 정보를 반영한 효과적인 관리 방안 개발의 유용한 기초 정보가 될 것입니다.

참고문헌

- Balogh L, Dancza I (2008) *Humulus japonicus*, an emerging invader in Hungary, In B Tokarska-Guzik, JH Brock, G Brundu, L Child, CC Daehler, P Pyšek editors, eds, Plant invasions: human perception, ecological impacts and management Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, pp 73 - 91
- D'Antonio CM, Vitousek PM (1992) Biological invasions by exotic grasses, the grass/fire cycle, and global change. *Annu Rev Ecol Syst* 23(1):63 - 87
- Ju E-J, Kim J-G, Lee Y-W, Lee B-A, Kim H-T, Nam J-M, Kang H-J (2006) Growth rate and nutrient content changes of *Humulus japonicus*. *J Ecol Environ* 29(5):461 - 467
- Kim C, Yang H-S (2007) The riparian vegetation of close-to-nature river · streams in Korea. *Korean J Plant Resour* 20(3):234 - 241
- Lozon JD, MacIsaac HJ (1997) Biological invasions: are they dependent on disturbance? *Environ Rev* 5(2):131 - 144
- Mizia P, Cygan M, Denysenko M, Kwolek D, Chramiec-Głębik A, Grabowska-Joachimik A, Joachimik A (2016) Development of a RAPD-based male-specific molecular marker in Japanese hop (*Humulus japonicus* Siebold & Zucc.). *Acta Biologica Cracoviensia s Botanica* 58
- Naiman RJ, Bechtold JS, Drake DC, Latterell JJ, O'Keefe TC, Balian EV (2005) Origins, patterns, and importance of heterogeneity in riparian systems, In GM Lovett, MG Turner, CG Jones, KC Weathers, eds, *Ecosystem function in heterogeneous landscapes* Springer New York, New York, NY, USA, pp 279 - 309
- Oh Y-J, Yoo J-H, Moon B-C, Sohn S-I, Oh S-M, Kim S-C (2008) Habitat characteristic and community structures of *Humulus japonicus* in Korea's middle region. *Korean J Environ Agric* 27(1):72 - 79
- Park S, Kang H (2010) Impact of invasive plant and environmental conditions on denitrification potential in urban riparian ecosystems. *Chem Ecol* 26(5):353 - 360
- Richardson DM, Holmes PM, Esler KJ, Galatowitsch SM, Stromberg JC, Kirkman SP, Pyšek P, Hobbs RJ (2007) Riparian vegetation: degradation, alien plant invasions, and restoration prospects. *Divers Distrib* 13(1):126 - 139

사사

이 연구는 2025년 7월 *Journal of Plant Biology*에 게재되었으며, 대한민국 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(RS-2024-00456189)과 2025년 GIST 연구 프로젝트의 지원을 받아 수행되었습니다.

포스터발표 세션 5.

환경정책

- 친환경적 기피시설이 아파트 가격에 미치는 영향: 마포자원회수시설 사례 분석
한성우 연세대학교 도시공학과 석사과정
김서영 연세대학교 도시공학과 박사과정
구한민 연세대학교 도시공학과 박사후연구원
김갑성 연세대학교 도시공학과 교수
- 국가산업단지의 대기오염물질에 의한 건강 영향 사례: 복잡계 이론(Complexity Theory)의 적용 방안 연구
한종택 고려대학교 국제대학원 국제학 박사 수료
- 강의 권리 부여와 한국 법제에의 도입 가능성
임진아 지구와사람 연구원, Global Alliance for the Rights of Nature(GARN) 아시아 태평양 지부 담당자
- 시민과학형 증거기반정책 모형의 개발 및 적용에 관한 연구: 해양 플라스틱 쓰레기 저감정책과 익산시 악취 저감정책을 중심으로
현지우 단국대학교 공공정책학과 박사
윤상오 단국대학교 공공정책학과 교수
- 비배기 미세먼지 규제 법제화 및 기술 상용화 방안 연구: 지속가능한 '무공해자동차' 시대를 향한 로드맵
김재욱 아주대학교 기계공학과 학사
피윤아 아주대학교 행정학과 학사
- 공공성 실천에 관한 재고: 마을 교류에서 공적 실천으로
이흥범 전남대학교 대학원 호남학과 박사과정

친환경적 기피시설이 아파트 가격에 미치는 영향

마포자원회수시설 사례 분석

한성우 연세대학교 도시공학과 석사과정

김서영 연세대학교 도시공학과 박사과정

구한민 연세대학교 도시공학과 박사후연구원

김갑성 연세대학교 도시공학과 교수

1. 서론

최근 기피시설을 단순한 회피 대상이 아니라 도시 내 필수 기반시설로 인식하고 친환경적 전환과 공공 기능 강화를 통해 주민 수용성을 높이는 방안이 제안되고 있다(조유정 외, 2015; 한동경·이상훈, 2020). 그러나 현재까지의 연구는 설문조사를 통한 조건부가치측정법(이승용·김동성, 2024) 등 간접적 접근 방식에 치우쳐 있으며, 실증적 자료에 기반한 분석은 상대적으로 부족한 실정이다.

본 연구는 기피시설의 친환경적 전환이 인근 지역 부동산 가격에 미치는 영향을 실증적으로 분석한다. 특히 자원회수시설과 도시공원이 복합적으로 조성된 마포자원회수시설 사례에 주목한다. 본 연구에서 정의하는 ‘친환경적 기피시설’이란 기존 시설의 본래 기능을 유지하면서도 친환경적 요소를 접목함으로써 기피시설에 대한 부정적 인식을 개선하고 주민의 수용성을 제고하는 형태의 시설이다.

2. 재료 및 방법

1) 연구 범위 및 변수 설정

본 연구의 공간적 범위는 마포자원회수시설 기준 반경 3,000m이며, 시간적 범위는 마포자원회수시설의 가동 시작 시기인 2005년 6월부터 해당 시설의 신규화 고시가 이루어진 2023년 8월까지이다. 이상의 시공간적 범위에 부합하는 총 22,577건의 거래 데이터를 확보하였다.

종속변수는 전용면적당 아파트 실거래가이며, 핵심설명변수는 마포자원회수시설 거리밴드이다. 외부효과가 어느 거리 범위까지 영향을 미치는지를 확인하기 위해 마포자원회수시설 이격거리를 300m 단위로 구분해 거리밴드 더미변수를 생성하였다. 이때, 가장 인접한 아파트 단지가 시설로부터 약 610m 떨어진 지역에 위치하고 있어 0-300m와 300-600m 구간은 분석에서 제외하였다. 이외에도 전용면적, 층수 등 주택 가격에 영향을 미치는 다양한 입지 요인을 통제변수로 설정하였다.

2) 분석모형 설정

본 연구는 주택 가격 결정 요인을 분석하는 데 널리 활용되는 Rosen(1974)의 헤도닉 가격 모형을 이론적 기반으로 하며, 실증 분석 모형의 함수 형태는 세미로그(semi-log)로 설정하였다. 본 연구의 자료 구조는 개별 거래(1수준)가 특정 단지(2수준)에 속하는 위계적 특성을 가진다. 하여 분석 틀로 다층모형(multilevel model)을 활용했다.

3. 결과 및 토의

분석 결과는 <표 1>과 같다. 독립변수를 포함하지 않은 무제약모형(null model)과 개별 거래 수준 변수와 단지 수준 변수를 모두 포함한 완전 모형의 모형적합도를 비교 결과, 완전 모형이 무제약모형보다 적합도가 높아 최종 분석모형으로 채택하였다.

완전 모형인 거리밴드 모형의 핵심 설명변수에 대해 밴드별 통계적 유의성을 검토한 결과, 핵심 설명변수인 마포자원회수시설 거리밴드 중 600-900m 구간만이 통계적으로 유의하게 나타났다.($p < 0.001$) 다음으로 핵심 설명변수의 밴드별 회귀계수의 부호를 검토한 결과, 통계적으로 유의한 것으로 확인된 600-900m 구간의 추정 계수는 0.3261로, 2,700-3,000m 기준밴드 대비 전용면적당 실거래가격이 $38.56\% (= (e^{0.3261} - 1) \times 100)$ 높게 나타났다.

<표 1> 분석 결과

구분		무제약모형		완전 모형(거리밴드 모형)	
		Coef.	SE	Coef	SE
Intercept		15.4789***	0.0170	15.9805***	0.2352
단지 수준					
마포자원회수시설 거리밴드	Band 600-900			0.3261***	0.1248
	Band 900-1,200			0.2065	0.1572
	Band 1,200-1,500			-0.0347	0.1178
	Band 1,500-1,800			-0.1089	0.0899
	Band 1,800-2,100			0.0612	0.0640
	Band 2,100-2,400			0.0139	0.0569
	Band 2,400-2,700			-0.0399	0.0521
	Band 2,700-3,000 (reference group)			-	
세대 수		-		-0.0000	0.0000
세대당 주차 대수		-		0.0750	0.0739
용적률		-		-0.0127	0.0332
건폐율		-		-0.2287	0.1596
난방방식		-		-0.2194***	0.0666
건설사 상위 10위 여부		-		0.2238***	0.0492
서울 여부		-		-0.1413	0.1406
초등학교 접근성		-		0.3366**	0.1474
중학교 접근성		-		0.1428*	0.0840
고등학교 접근성		-		-0.0810	0.0672
지하철 접근성		-		-0.1489*	0.0791
공원 접근성		-		-0.0630	0.0845
한강 접근성		-		-0.0748***	0.0234
개별 거래 수준					
층수		-		0.0036***	0.0002
전용면적		-		-0.0036***	0.0001
건축 경과 연도		-		0.0115***	0.0004
(건축 경과 연도) ²		-		0.0004***	0.0000
모형적합도					
개별 거래 수준 분산(잔차 분산)		0.0290		0.0162	
단지 수준 분산(절편 분산)		0.0656		0.0572	
ICC		0.6934		-	
AIC		-14,860.76		-27,711.52	
BIC		-14,836.68		-27,486.83	

주: *, **, ***은 각각 유의수준 10%, 5%, 1%에서 통계적으로 유의함을 의미

4. 결론

본 연구는 마포자원회수시설 기준 반경 3,000m 내에 위치한 아파트를 대상으로 친환경적 기피시설이 인근지역 부동산시장에 미치는 외부효과를 실증 분석하였다. 분석 결과, 긍정적 외부효과는 시설로부터 반경 900m 이내에서만 통계적으로 유의하게 나타났으며, 특히 600-900m 구간의 아파트는 2,700m 이상 떨어진 아파트에 비해 전용면적당 실거래가격이 38.56% 높게 형성된 것으로 확인되었다.

기피시설이 인근 부동산에 부정적인 영향을 미친다는 점은 여러 선행연구에서 일관되게 보고됐다(김병조·정수연, 2012; 김철중·송명규, 2012). 그러나 본 연구는 시설 반경 900m 이내, 특히 600-900m 구간에서 실거래가가 오히려 상승한 것으로 나타났다. 이는 기피시설이 수반하는 부정적 외부효과가 제거되었다기보다는 공원 조성 등 친환경적 요소로부터 발생한 긍정적 외부효과가 일정 거리 내에서 상대적으로 더 크게 작용했을 가능성을 시사한다

본 연구는 실거래가라는 시장 기반 자료를 활용하여 기피시설의 긍정적 외부효과를 실증한 점에서 기존 연구들과 차별성을 가진다. 다만, 분석 대상이 자원회수시설로 한정되고 결합된 환경 요소 또한 월드컵공원이라는 단일 사례에 국한되어 있다는 점에서 결과의 일반화에는 한계가 존재한다. 향후 연구에서는 다양한 기피시설 유형과 환경 조성 방식 간의 효과 차이를 비교 분석함으로써 보다 보편적이고 실효성 있는 정책적 시사점을 도출할 필요가 있다.

참고문헌

- 김병조, 정수연, 2012, 비선호시설로서의 울산시 온산쓰레기매립장이 주변 토지가격에 미치는 영향에 관한 연구, 도시행정학보, 25(3), 161-175
- 김철중, 송명규, 2012, 도시 비선호시설이 주변 아파트 가격에 미치는 낙인효과에 관한 연구 - 서울 노원구 상계동 주공 7, 9, 10단지를 사례로 -, 환경영향평가, 21(2), 297-314
- 이승용, 김동성, 2024, 조건부가치추정법(CVM)을 이용한 자원회수시설지하화 사업의 경제적 가치 추정:노원 자원회수시설을 중심으로, 환경정책, 32(4), 95-118
- 조유정, 이형석, 김도년, 2015, 혐오·기피도시자원의 활용에 관한 사례연구. 한국도시설계학회지, 16(3), 161-172
- 한동경, 이상훈, 2020, 기피시설에서 주민친화적 디자인 요소를 적용한 친환경 에너지타운 계획, 건설기술논문집, 45-52
- Rosen, S, 1974, Hedonic prices and implicit markets: product differentiation in pure competition, Journal of political economy, 82(1), 34-55

사사

본 논문은 국토교통부의 스마트시티 혁신인재육성사업으로 지원되었다. 본 논문은 2025년 한국지역개발학회 동계학술대회에서 발표된 내용을 대폭 수정·보완한 것이며, 현재 한국주택학회 학술지에 투고된 상태다.

국가산업단지의 대기오염물질에 의한 건강 영향 사례

복잡계 이론(Complexity Theory)의 적용 방안 연구

한종택 고려대학교 국제대학원 국제학 박사 수료

1. 서론

한국의 산업단지는 국가 주도형 도시 계획 및 개발의 결과물에 해당한다. 경제발전 5개년 계획의 일환으로서 지역개발과 경제발전이라는 두 마리 토끼를 잡기 위하여 한국 정부는 서울, 부산, 울산, 군산 등에 국가산업단지를 개발하였고, 각 국가산업단지들의 원활한 운영을 지원할 수 있는 거버넌스를 구축하였다. 제조업과 중화학 공업 중심으로 구성된 국가산업단지는 한국의 경제발전을 주도하는 동력 중 하나로서 역할을 수행하였지만, 시간이 흐르면서 쇠퇴와 환경 오염의 원인이 되고 있다.

이런 맥락에서, 정부는 산업단지 재생사업을 통해서 산업단지 녹지화를 추진하고 있다. 하지만 산업단지 입주 기업의 경쟁력 약화 등을 이유로 녹지 비율을 감소 혹은 관련 규정을 폐지하면서 산업단지 재생 사업의 목적은 유명무실화 되는 것이 현실이다.

비록 국가산업단지 입주 기업의 경쟁력 약화는 녹지 조성 외에 다른 변수들이 영향을 미치겠지만, 다수의 산업체와 공장이 입주 및 운영 되고 있는 국가산업단지의 녹지 조성은 근로자 및 국가산업단지 인근 지역에 거주하는 사람들의 건강과 깨끗한 환경에 필수 불가결한 요소이다. 문난경 외(2017)의 연구는 국가산업단지 인근 주변 주민들이 산업단지에서 배출 되는 대기오염 물질로 인하여 조기 사망률이 증가한다고 밝혔다. 특히 화력발전소에 비하여 산업단지의 산업활동을 통해서 생성 되는 대기오염 물질이 인근 주민의 건강에 영향을 미치는 것은 경제발전의 상징으로 간주 되었던 산업단지의 변화가 필요하다는 것을 시사한다.

이런 점에서, 본 연구는 복잡계 이론(Complexity Theory)을 한국의 국가산업단지의 대기오염물질 배출 사례로 인한 건강 영향 연구에 적용하는 방안을 탐색해본다. 복잡계 이론은 각각의 구성 요소들이 서로 독립적이지 않다는 가정에서 출발한다. 모든 구성 요소들은 자발적으로 상호작용하며, 각 구성 요소의 상호작용은 적응, 임계점 도달, 임계치의 변화를 통하여 새로운 질서를 지닌 시스템을 구축한다. 이 과정은 여러 유기체의 복잡한 관계를 통해서 이루어지는 현상으로서 일종의 질서를 유지하며 나타나는 변화이며, 혼돈(Chaos)과 반대 되는 개념이다. 베티(M. Batty)는 도시라는 공간(Space) 안에서 다양한 행위자(Agent)의 상호작용이 경제 및 사회적 변화를 완성한다고 주장한다. 그는 도시는 상향적 접근을 통해서 조직되는 하나의 공간으로서 평형 상태를 유지하기 위하여 변화를 진정 시키지만, 복잡계 이론의 관점에서 도시는 자발적인 상호작용을 통하여 되먹임 고리(Feedback loop)를 형성하여 변화를 증폭 시키는 Positive Feedback Loop를 형성할 수 있다. 이것은 하나의 공간이 하나의 임계 지점에 도달할 때 새로운 변화로 이어짐을 의미한다.

이런 맥락에서, 국가산업단지의 대기오염 문제는 복잡계 이론을 통해서 접근이 필요한 영역이다. 국가산업단지는 경제발전, 수출 진흥을 목적으로 정부의 상향식 접근을 통해서 완성된 결과물이다. 하지만 일정 수준의 경제발전을 달성하면서 각 개인은 환경의 질, 건강, 보건 등에 대한 관심이 높아지는 시점에서 국가산업단지와 인근 주거 지역의 정주여건 개선은 필수 불가결한 변화이다. 특히 산업활동으로 인한 환경 오염은 인근 지역의 주민뿐만 아니라 입주 기업의 근로자들의 건강에도 영향을 미칠 수 있다. 이 현상은 국가산업단지라는 공간에서 근로자, 인근 지역 주민으로 정의되는 행위자들의 하향적 접근이 국가산업단지의 환경 변화에 어떤 영향을 미칠 수 있는가에 대한 분석이 필요하다.

이를 위하여, 본 연구는 복잡계 이론을 통해서 상향식 접근의 행위자(정부)와 하향식 접근의 행위자(근로자, 지역 주민)가 국가산업단지라는 공간과 시스템에 어떤 영향을 줄 수 있는지 탐색한다. 또한, 복잡계 이론은 지속적인 변화가 이루어지는 이론이며, 사회과학 연구에서 정립된 방법론이 부재한 것이 이론의 한계이다. 이런 점에서, 이론적 틀로서 복잡계 이론을 차용하면서 분석 방법론은 행위자 기반 모델을 제시하고자 한다.

이를 바탕으로, 국가산업단지의 대기오염배출로 인한 건강 영향에 대한 연구는 단순히 대기오염물질과 건강 영향(예: 조기 사망률)의 인과 관계를 넘어서 국가산업단지에 관련된 행위자(예: 중앙정부, 지자체, 입주 기업, 근로자, 지역 주민 등)의 이해관계가 국가산업단지의 대기오염 배출 감소 및 환경 개선을 위한 활동에 어떤 영향을 주는지 파악하기 위한 연구 방향을 제시할 것으로 예상된다.

2. 본론

1) 복잡계 이론과 도시

(1) 시스템으로서 도시

① 영국의 도시학자 마이클 베티는 도시란 하나의 시스템으로 접근함. 그의 접근은 포레스터가 제시한 도시 동태론(Urban Dynamics)와 다르게 시간과 공간을 고려함.

② 도시는 선형적인 관계가 아니라 비선형적 관계의 집합이라는 점을 고려하는 접근이 중요함. 르윈의 장 이론은 인간의 행태(Behavior)는 개인 혹은 개체(Person)의 특성과 환경(Environment)의 상호작용으로서 얻어진 결과로서 단일 주체의 특성, 환경의 특성을 파악한다면 행태 예측이 가능하다고 정의함. 이것은 도시를 디자인 하는 관리자적 관점에 의한 접근에 불과하여 다수의 개체와 환경(Setting)의 상호 작용을 통해서 발생하는 현상을 설명하지 못함.

③ 이에, 수정된 장이론은 시스템 다이내믹스(System Dynamics)에서 사용 되는 인과지도(Causal Loop Diagram)를 활용하여 다양한 개별 행위자 사이의 상호작용부터 환경과 행위자 사이의 상호작용까지 파악하는 것으로 확대됨.

④ 이승재(2009)는 르윈의 장이론을 통해서 도시-건축은 공간에 관여하는 다양한 행위자(사용자, 설계자, 전문가 시공자, 정책 입안자 등)와 사회·문화 요소 상호작용의 결과물이라는 점으로 접근함. 특히 그는 도시-건축 구성요소의 상호작용은 비선형적이라는 점을 감안하면서 개별 행위자의 미세한 행동이 예상하지 못한 결과를 가져오는, 이른바 나비효과와 같은 현상으로 이어질 수 있음을 제시함.

⑤ 조성권, 류중석(2013)은 복잡계 이론은 도시 계획을 시간의 범위를 바탕으로 동태적으로 분석 가능하나, 미래를 예측하기 어려우므로 사회적 요구에 따라서 단계적으로 도시 계획의 일부는 정부가 수립하고, 그 외 부분은 시민들의 사회적 의식 수준과 요구에 맞추어서 유연하게 변화하는 것이 필요함을 제시하였다.

⑥ 베티는 도시를 시간의 흐름에 따라서 지식과 부가 축적 되면서 변화를 만드는 공간으로 정의함. 이 과정에서 도시에 거주하는 사람들은 사회적 관계를 형성하면서 도시 내에서 다양한 행위자들이 질서를 부여하고, 형성함. 이 현상은 각각의 개별 요소(예: 지식, 경제 성장, 인구 등)들이 다양화 되면서 복잡성은 증가하지만 시스템 전체로 보았을 때 질서가 존재하기 때문에 혼돈(Chaos)이 발생하지 않음.

⑦ 베티의 접근도 복잡계 이론을 바탕으로 도시를 바라보았을 때 질서가 없는 패턴처럼 보이지만, 도시의 성장과정은 자기 조직화를 통해서 이루어진 과정인 점을 제시함.

⑧ 결국 복잡계 이론을 바탕으로 정의되는 도시는 다양한 행위자들의 상호작용이 하나의 창발 현상으로서 변화를 만드는 공간으로 정의됨. 또한, 도시라는 공간을 정적 공간이 아니라 시간의 흐름에 따라서 변화가 발생하는 동태적 공간으로서 접근함. 이 과정에서 다양한 행위자 사이의 상호작용과 외부 환경의 상호작용을 동시에 고려하는 접근이 필요함을 제시함.

⑨ 이런 점에서, 복잡계 이론을 통해서 바라본 도시는 자기 조직화 기능을 지니는 하나의 시스템으로서 다양한 행위자들의 상호 작용이 새로운 방향으로 변화를 완성하게 됨.

2) 복잡계 이론을 통해 바라본 국가산업단지

(1) 단지의 역사

① 단지(Site 혹은 Cluster)는 특정 목적을 달성하기 위하여 토지와 시설에 관한 결정이 통일적으로 이루어 지도록 단일한 결정 주체를 갖고, 하나의 단위로 구분된 공간점 범위를 지닌 토지로 정의됨(대한 국토·도시계획학회, 2014).

② 이에, 단지의 구성 요소는 물리적 요소(건축물, 도로 등)과 비물리적 요소(근로자, 주민 등)으로 구성됨. 이런 맥락에서, 케빈 린치(Kevin Lynch)는 단지 계획은 건조물을 배치하는 예술이며 동시에 공간을 형성하는 건축, 공학, 조경, 도시 계획의 연결이라고 지칭함.

③ 단지의 형성은 구석기부터 시작된 것으로 볼 수 있음. 일반적으로 생각하는 단지의 형태가 등장한 시기는 신석기 문명 시기에 약 1천명이 군집 생활을 시작하는 마을이 등장하면서 시작됨. 이후 중시 시대 대규모 수도원들이 노동력을 징발하고, 교육, 의료를 제공하면서 현대의 단지 등장의 단서를 제공함.

④ 본격적인 현대적 단지는 산업혁명 이후 등장하게 되었음. 산업혁명은 새로운 공장 건설과 노동자들이 정주 할 수 있는 부속 건물, 학교, 탁아소 등 다양한 부속 시설을 제공하면서 현대의 산업단지의 모습이 등장하게 되었음.

(2) 한국 국가산업단지의 등장과 환경 문제

① 한국의 국가산업단지는 경제발전과 수출 진흥을 동시에 달성하기 위하여 정부 주도로 추진된 국가 프로젝트임. 서구의 단지 등장은 산업혁명을 통해서 민간이 주도한 형태라면, 한국의 단지 계획은 정부가 주도한 형태로서 서로 구분됨.

② 한국의 국가산업단지의 개발 목표는 산업의 발전과 지역 개발, 도시화를 동시에 달성하기 위하여 특정 지역을 거점 도시로 지정하여 수행 되었음. 이런 점에서, 국가산업단지는 일종의 수위 도시(Primate City)로서 역할도 수행할 수 있었음.

③ 국가산업단지는 경제 발전, 산업 활동 증진이 최우선 목표였기 때문에 상대적으로 환경 문제에 대한 관심은 적었음. 대표적인 사례는 울산 산업단지(울산미포 국가산업단지, 온산 국가산업단지)는 중화학, 석유화학, 비철금속 산업단지로서 태화강에서 산업 용수를 확보함. 그러나 중화학, 석유, 비철금속

등 산업체에서 발생 되는 폐수가 태화강으로 흘러들어가면서 태화강 오염 문제가 대두 되었음.

④ 이에, 울산시, 중앙정부 및 환경 운동가들의 협력을 통해서 실시된 태화강 살리기 운동은 다양한 행위자의 참여가 국가산업단지라는 공간에 유의미한 변화를 가져온 사례로 볼 수 있음. 즉, 복잡계 이론을 통해서 설명한다면 기존의 시스템(오염된 태화강)에서 새로운 변화를 창발하기 위하여 내부의 다양한 행위자들 사이의 상호작용이 임계 지수(태화강 살리기 운동)에 도달하여 새로운 현상(태화강 복원)을 창발한 것으로 해석할 수 있음.

⑤ 이 외에도, 문난경 외(2017)에서 발표한 국가산업단지에서 배출되는 초미세먼지는 화력 발전소, 경유 자동차에서 발생하는 대기오염 물질만큼 인근 거주자의 조기 사망률 증가에 영향을 줄 수 있다고 발표함.

3) 국가산업단지의 환경 문제와 건강 영향

(1) 국가산업단지의 유해대기오염물질의 배출 문제

① 채종성 외(2024)의 연구는 미세먼지와 같은 일상 생활에서 영향을 미치는 대기오염 물질에는 국민적 관심도가 높은 편이지만, 산업단지에서 배출 되는 유해대기오염물질(Hazardous Air Pollutants, 이하 HAPs)에 대한 관심은 낮은 편이라고 지적함. HAPs의 노출은 단기적으로 메스꺼움, 눈 따가움 등의 증상부터 장기적으로 신경계 손상, 선천적 기형 등 치명적인 질환으로 발전할 수 있음. 특히 채종성 외(2024)의 연구는 5개의 대형 산업단지(여수·광양 산업단지, 포항 산업단지, 대산 산업단지, 울산·오산 산업단지, 시화·반월 산업단지)의 HAPs를 분석한 결과 각 산단 인근 주민들은 휘발성 유기 화합물(Volatile Organic Compounds, 이하 VOCs)에 지속적으로 노출 되고 있음을 발견함.

② 채종성 외(2024)의 연구에서 수행한 산업단지 중 시화·반월, 대산은 문난경 외(2017)의 연구에서도 분석 대상으로 지정한 국가산업단지에 해당함. 즉, 2017년 연구 결과가 발표된 시점부터 7년이 지난 시점에도 불구하고 국가산업단지에서 배출되는 대기오염으로 인한 건강 영향과 방지 대책은 유효하지 않은 것으로 파악됨.

③ 주영경(2014)은 주요 국가산업단지 7개 지역에 대한 메타분석을 통해서 전체 연령과 65세 이상 고령 인구의 총 사망률에서 일산화탄소(CO)로 인한 호흡기 계통 질환의 사망률이 증가한 것을 발견함. 마찬가지로 류하주 외(2022)의 연구도 시화국가산업단지에서 배출되는 대기오염물질이 경기도 시흥시의 대기질에 영향을 미치고 있으며, 미세먼지 및 염화 티오닐의 농도와 높은 상관성을 보이는 점을 발견함.

④ 환경부는 2025년 우리동네 맑은공기 종합지원 사업을 통해서 5개 지역(인천 남동 국가산업단지, 대구 성서 일반산업단지, 안산 반월 국가산업단지, 김해 진영·본사리 준공업지역, 양산 덕계소주 일반산업단지)을 대상으로 대기오염 저감 지원 사업을 실시함. 이 사업은 주거지 주변에 소규모 사업장이 형성된 지역을 대상으로 지원 사업을 실시함.

(2) 산업단지 내의 녹지 형성의 필요성

① 도시 환경의 문제는 다른 환경 문제의 발생의 원인이자 결과에 해당함. 도시 환경 문제는 지리적 특성, 산업적 특성, 사회적 특권, 환경 정책의 문제로 개괄 할 수 있으며, 국가산업단지의 환경 문제는 지리적 특성(예: 산업단지의 입지, 주거 지역, 지형 등)과 산업적 특성(예: 석유화학공업, 제조업)에 기반하고 있음. 이런 맥락에서, 도시 환경의 문제는 복합적인 접근이 요구됨.

② 도시 환경의 문제는 독립적인 요인에 의하여 발생 되지 않음. 산업단지는 산업 시설, 공장, 부속 건물(예: 근로자 기숙사), 근로자의 출퇴근을 위한 도로 등 물리적 요소와 근로자, 인근 주거지역의 주민 등 비물리적 요소가 혼합된 공간으로서 접근이 필요함. 또한, 서로 상이한 공간에 있더라도 대기오염에 대한 인식은 동일한 변수이므로 산업단지에서 발생하는 오염 문제는 포괄성이란 특징을 배제할 수 없음.

③ 입지 고정적 특징도 보유하고 있음. 한국의 국가산업단지는 수출 진흥을 위하여 서울, 울산, 부산, 여수 등을 중심으로 개발이 되었음. 이로 인하여, 국가산업단지 인근 주변에 배출 되는 대기오염 물질도 VOCs를 포함하여 다양한 화학 물질들이 측정 되었고, 인근 주민들에게 영향을 미치고 있음(채종성 외 2024). 또한, 기후 요인(예: 풍향)도 고려해야 하는 요인이기 때문에 공간을 고려한 접근이 필요함.

④ 궁극적으로 국가산업단지에서 배출 되는 HAPs가 주거 지역을 넘어서 인근 도시까지 확대 될 수 있는 오염 현상의 광역화 문제까지 고려해야 함. 한국산업단지공단 에 따르면, 2025년 1분기 기준 전국의 산업단지는 1,331개, 입주 업체는 12만 9천 119개 기업들이 운영되고 있음. 이 중에서 국가산업단지에 입주한 기업은 6만 7천 399개로서 50% 이상의 기업들이 국가산업단지에 입주함. 이 중에서 5,155개를 제외한 6만 2천 244개의 업체들이 가동 되는 점을 감안하면 국가산업단지에서 배출 되는 대기오염물질의 양은 상당한 양에 해당 될 것으로 추정됨.

⑤ 이 문제를 방지하기 위하여, 정부는 산업단지 재생사업을 통해서 완충 녹지 조성을 추진하였으나 입주 기업들의 반대, 녹지 공간 훼손 등으로 인하여 완충 녹지가 형성 되지 못함. 남진보, 배현미(2021)의 연구는 산업단지 내의 행위자의 녹지에 대한 이해, 파트너십 형성, 커뮤니티 참여가 국가산업단지의 녹지 공간 형성과 관리에 긍정적인 영향을 줄 수 있다고 분석함.

⑥ 이 연구를 통해 알 수 있는 것은 중앙 정부 주도의 국가산업단지 완충 녹지 조성을 위한 접근도 중요하지만, 핵심은 국가산업단지라는 공간에서 상호작용하는 행위자(예: 지자체 공무원, 입주기업 관계자, 지역 시민) 사이의 관계라는 점으로 볼 수 있음.

⑦ 이런 맥락에서, 본 연구는 복잡계 이론을 이론적 틀(Theoretical Framework)로 설정하고, 국가산업단지의 완충녹지 조성이 국가산업단지라는 공간과 시스템의 변화에 어떻게 영향을 줄 수 있는가에 대하여 탐색해보고자 함.

4) 행위자 기반 모델을 통한 접근법

(1) 행위자 기반 모델(Agent-Based Model)의 정의

① 본 연구는 국가산업단지라는 입지 공간에 대한 연구에서 행위자 기반 모델(이하 ABM)을 적용하는 방안을 모색하고자 함. 이에, 김동한(2021)이 제시한 정의를 참고하여 ABM을 정의하였음.

② 도시 모형은 과거에는 이념적·정치적으로 경제적·사회적 문제를 해결하기 위한 사회운동으로서 거시적 공간 단위에 집중하였음. 이로 인하여, 도시 모형은 정태적 모형을 유지함. 이후 제2차 세계 대전 종전과 산업 혁명을 겪으면서 경제 활동, 복지국가 건설, 환경 의제의 대두와 세계화로 인하여 미시적 공간 단위에 집중하고, 도시 분석 모형도 동태적 모형으로 변화를 꾀하게 되었음.

③ 김동한(2021)은 도시 연구를 위한 모형으로서 ABM은 하향식 관점에서 도시를 구성하는 행위자의

의사결정 행위를 통하여 도시의 변화를 조명할 수 있게 만드는 방법론적 틀로서 정의함. 에릭 보나보(Eric Bonabeau)도 ABM은 개별 행위자의 관점에서 시스템을 기술하는 방식으로 행위자가 마주한 상황을 인식하고, 그 상황에 맞추어 각자의 규칙에 맞추어 행동할 수 있다고 가정함. 비록 ABM의 한계는 도시를 구성하는 행위자의 유형, 의사결정 행위를 구체적으로 설명하는 이론 및 방법론은 아니지만, 시간의 흐름에 따라서 변화하는 시스템(예: 도시, 산업단지)을 분석할 수 있는 동태적 모형으로서 의의를 지님.

<표 1> 복잡계 방법론 분류

분석 초점	시스템의 미시적 메커니즘	계산적	해석적
		행위자 기반 모형 예) 다중 행위자 모형, 복잡 네트워크 모형	합리적 선택 모형 예) 게임 이론적 모형
	시스템 변수	메크로 시뮬레이션 예) 시스템 다이내믹스	해석적 메크로 모형 예) 비선형시계열 모형

출처: 이승재(2009), 140쪽

(2) 행위자 기반 모델 적용의 타당성

① 홀란드와 밀러(Holland & Miller)는 복잡계의 구성 요소로서 적응계(Adaptive System) 개념을 정립함. 복잡계(Complex System)는 개방된 시스템으로서 각 영역 사이의 경계가 불분명함. 오히려 복잡계의 경계는 자연적으로 결정되는 것이 아니라 관찰자의 의도에 따라서 변경 가능하므로 상호작용을 통해서 적응하고, 변화하는 속성을 지니고 있음.

② ABM은 복잡계에서 시스템의 미시적 메커니즘을 계산적으로 분석 가능한 모델임(김민석, 2010). 즉, 경제발전 초기 단계부터 개발 되어온 국가산업단지는 다양한 행위자의 경험, 시간의 흐름에 따른 산업의 변화, 대외 환경의 변화에 영향을 받은 공간으로서 다양한 지식과 경험이 축적된 공간에 해당함. 그리고 국가산업단지는 인근 주거 지역의 주민들의 경제적 삶이 나아지면서 환경과 건강에 대한 관심증가로 인하여 더 깨끗하고, 안전한 정주 여건 개선이라는 욕구에 맞추어 변화가 필요한 공간이 되었음.

③ 결국 산업단지라는 공간에 대한 변화는 상향식 접근을 주도한 정부의 의도도 반영 되었지만, 환경변화에 따른 개인(하향식 접근 행위자)의 기억, 학습, 경험 등이 축적 되어서 새로운 임계 지점에 도달하기 위한 행태로 분석할 수 있음. 이 현상을 파악하는 모델로서 ABM이 타당한 방법론에 해당함.

(3) 행위자 기반 모델 분석 방법(안)

① 분석 대상은 산업단지 재생사업 대상 지역 중 국가산업단지에 한하여 진행함. 산업단지 재생사업은 노후된 산업단지의 기반시설 확충, 창업생태계 구축, 고부가 가치 공간으로 기존의 산업단지를 개편하는 사업임. 산업단지 재생사업의 참여자는 정부, 지자체, 기업, 공공기관(예: 한국토지주택공사)가 참여하여 다양한 행위자가 참여하는 사업으로서 대표성을 지니는 사례에 해당함.

② 산업단지 재생사업은 도시재생을 연계한 사업도 포함 되었으며, 환경문제가 심각한 업종(예: 소음, 악취, 미세먼지 등)의 부정적 영향을 최소화 하는 방안도 포함 되었음. 이런 점에서, 산업단지 재생사업 대상지에 대한 분석은 상향식 접근 대상자(정부)의 접근 방법이 실질적으로 산업단지와 인근 지역(주거 지역 포함)의 환경의 질을 개선하였는지 파악 할 수 있음. 또한, 정부, 지자체 주도의 상향식 접근법이

노후 국가산단의 변화를 만들 수 있는지, 아니면 기업, 근로자와 지역 주민(하향식 접근 대상자)과 상호 작용이 노후 국가산단이라는 시스템의 변화를 이룰 수 있는지 파악할 수 있음.

③ 분석 기간은 산업단지 재생사업이 실시된 시기를 대상으로 진행함. 대기오염으로 인한 사망 요인은 심혈관 질환, 호흡기 계통 질환, 폐암, 당뇨 등으로 분류 됨. 또한, 호흡기가 완전히 발달하지 않은 어린이(5세 미만)의 사망률과도 연관성이 있음. 그러나 대기오염으로 인한 5세 미만의 아동 사망은 주로 환경 규제와 대기오염 예방책이 수립 되지 않은 개발도상국을 중심으로 발생함. 이에, 본 연구에서 아동 사망률을 고려하는 것은 의미가 없음. 또한, 한국은 인구 고령화가 진행 중이기 때문에 분석 대상의 연령을 중고령층(45세 이상)으로 설정하는 것이 유의미 할 것으로 판단됨.

④ 이에, 사망 요인은 호흡기 계통, 심혈관 질환, 폐암으로 분류하며 연령은 45세 이상(고령자 55세, 65세 이상)을 포함하여 진행함.

⑤ 다만, 행위자는 계량적으로 분석이 불가능한 질적 변수에 해당하므로 해당 변수는 더미 변수로 치환하여 반영하는 것이 적절함.

⑥ 그러나 본 연구에서 제시하는 모형은 기본적인 접근에 불과하며, 이승재(2009)가 제시한 것처럼 다중 행위자 기반 모델을 적용하여서 모형의 정합성을 높이는 방안을 모색하는 것이 요구됨.

<표 2> 분석 대상 개요

구분	주요 내용
분석 공간(시스템)	국가산업단지: 구미(제1국가산단), 남동(인천), 익산(전북), 시흥시화(경기), 창원(경남), 군산2 국가산단, 한국수출(부평, 부안), 구미(제2, 제3 국가산단), 여수
분석 시기(시간)	2014년-2022년 *분석 기간 근거: 산업단지 재생사업 기간을 기준으로 지정
분석 요소(변수)	- 종속변수(Y): 질병 사망률(호흡기, 폐암, 심혈관 질환) - 독립변수(B): 대기오염물(미세먼지 배출량), 녹지 비율, 산업 형태, 업종별 생산량, 고용률, 연령(45세 이상 인구)
행위자	- 중앙 정부 및 지자체 - 입주 기업 - 지역 주민 ※행위자는 더미변수로 적용

3. 결론

현재 복잡계 이론을 적용한 공간에 대한 연구는 도시, 건축물을 중심으로 진행 되었음. 이런 맥락에서, 국가산업단지에 초점을 맞춘 연구로서 기존의 연구에 비하여 다양한 행위자(정부, 지자체, 입주 기업, 지역 주민) 사이의 상호 작용에 대하여 파악할 수 있는 접근법으로서 타당성과 산업단지 재생사업 기간 동안 각 행위자들 사이의 상호 작용이 산업단지의 환경(Environment) 변화에 어떤 영향을 주었는지 파악이 가능할 것으로 예상됨.

또한, 본 연구에서 정의하는 환경은 단순히 환경(Setting)의 관점에서 접근하는 것이 아니며, 근로자, 지역 주민의 건강에 영향을 미치는 환경의 질에 초점을 맞춘 연구에 해당함. 즉, 산업단지 초기의 목적은 공동의 부를 달성하기 위한 경제 활동이었으나, 시간이 흐르면서 동일한 공간 내에서 발생하는 기업

들 사이의 경쟁이 환경의 질에 부정적인 영향을 줄 수 있다는 것은 실제 사례(태화강 재생 운동)로 밝혀졌음. 동시에, 산업단지라는 공간 내의 행위자들의 상호 작용이 훼손된 환경을 실질적으로 개선이 가능하다는 것도 밝혀졌으므로, 본 연구에서 제시하는 복잡계 이론의 적용은 현재 국가산업단지를 중심으로 발생하는 대기오염 문제의 해소 방안이 무엇인지 제시할 수 있는 접근법이 될 수 있음을 제시함.

다만, 본 연구는 복잡계 이론을 바탕으로 ABM의 계산적 모델을 제시하지 않았기 때문에 개별 행위자의 상호작용과 관련 변수가 대기오염으로 인한 질병 사망률 감소에 유의미한 관계를 갖는지 파악하기 어려운 것이 한계임. 이 부분은 향후 연구 내용의 보완을 통하여 각 변수의 관계가 유의미한 결과(+)를 보이는지 아니면 다소 의미는 있겠지만 통계적으로 관계가 적은가(-)를 제시하고자 함.

참고문헌

- 권용우, 2015, 도시와 환경, 박영사
- 김민석, 2010, 복잡계로서의 건축.도시 공간에 관한 연구 : 공간 네트워크와 공간 지각.행태 체계를 중심으로, 서울대학교 대학원, 박사학위논문
- 남진보, 배현미, 2021. 산업단지 미세먼지 저감을 위한 녹지 조성 및 관리에 대한 공공부문의 인식 분석 - 여수 국가산단 미세먼지 저감 숲 조성사업을 중심으로 -, 한국도시연구, 통권 76호, 173-188
- 대한국토·도시계획학회, 2014, 단지계획, 보성각
- 류하주, 최민석, 김진섭, 임문순, 김용현, 2022, 국가산업단지 사업장 배출 오염물질과 대기질 상관성 연구: 시흥시를 중심으로, 한국대기환경학회 2022년 제65회 정기학술대회 발표논문집 [초록집]
- 문난경, 김순태, 하종식, 김유미, 서지현, 2017, 환경평가 지원을 위한 지역 환경현황 분석 시스템 구축 및 운영 : 주요 국가산업단지와 지자체별 대기오염물질이 인접 지역에 미치는 기여도 평가, 사업보고서 2017-04-01, 세종: 한국환경연구원
- 이승재, 2009, 도시-건축연구의 복잡계 연구방법론 적용에 대한 고찰, 대한건축학회논문집, vol.25, No.8, 135-144
- 정환용, 2006, 도시계획학 원론 제3판, 박영사
- 주영경, 2014, 메타 분석을 이용한 국내 국가 산업단지 대기오염과 호흡기 및 심혈관계 사망간의 관련성, 한양대학교 대학원 보건학과 석사논문
- 조성권, 류중석, 2013, 복잡계 이론을 적용한 도시계획 및 설계 프로젝트의 특징에 관한 연구 : yo2 그룹의 도시계획 프로젝트를 중심으로, 한국도시설계학회지, 제14권 제3호, 5-16
- 채종성, 채정석, 전준민, 강병욱, 김종호, 문광주, 박규태, 강대일, 2024, 대규모 산업단지에서 발생하는 가스상 유해대기오염물질의 배출특성 조사 연구, 한국대기환경학회지 제40권 제1호, 27-47
- 한국산업단지공단, 2025, 전국산업단지 현황통계(요약), 대구: 한국산업단지공단
- Michael Batty. 2017. The New Science of Cities. MIT Press.
- "10년이나 지났는데"... 여수산단 대기오염 실태조사 감감무소식, <https://www.hankookilbo.com/News/Read/A2025052809310005438>, (2025.8.30.)
- "산업단지 유해대기, 대기중금속 측정소 추가 설치하고, 주민 노출, 건강영향 지속적으로 파악해야", <https://m.usjournal.kr/news/newsview.php?ncode=1065619605785644>, (2025.8.30.)
- [단독]달성군 산단 주변 주택가서 '고농도 벤젠' 검출, <https://www.tbc.co.kr/news/view?pno=20240919144905AE06988&id=190078&c1=code&c2=>, (2025.8.30.)

강의 권리 부여와 한국 법제에의 도입 가능성

임진아 지구와사람 연구원,

Global Alliance for the Rights of Nature(GARN) 아시아 태평양 지부 담당자

1. 서론

최근 낙동강에서 멸종위기종 I 급 흰수마자가 10년 만에 다시 발견되었다는 반가운 소식이 있었다. 흰수마자는 깨끗하고 얇은 모래 하천에만 서식하는 우리나라 고유종으로, 4대강 사업 이후 자취를 감추었으나 일부 구간의 수질·서식 환경 개선으로 되돌아온 것이다. 그러나 여전히 보(洑) 건설로 흐름이 차단된 본류에서는 매년 심각한 녹조와 메탄가스가 발생해 수생 생태계는 물론 주민들의 식수 안전과 여가 활동권마저 위협받고 있다. 만약 강 자체가 법적 권리를 주장할 수 있었다면, 오늘날과 같은 환경 파괴가 발생하지 않았을지도 모른다.

이처럼 자연에 고유한 권리를 인정하자는 ‘자연의 권리(Rights of Nature)’ 운동은 전 세계적으로 빠르게 확산되고 있으며, 인간 중심의 법체계와 인식에서 벗어나 생태 중심주의로 나아가려는 흐름 속에서 등장하였다. 우리나라에서도 최근 제주특별법 개정을 통해 멸종위기종인 남방큰돌고래를 생태법인으로 인정할 수 있는 법안이 발의되면서 관련 논의가 시작되었다. 본 논문은 해외 강 권리 제도의 실제 이행 사례와 한계를 검토하고, 한국 법제의 현실 속에서 강의 권리 제도 도입 가능성과 과제를 탐구하며, 마지막으로 시민사회와 거버넌스의 역할을 논의하고자 한다.

2. 본론

1) 해외 강의 권리 제도 이행 사례

자연의 권리를 제도화하는 방식은 크게 두 가지로 구분된다. 첫째, 특정 자연물에 법인격을 부여하는 방식이며, 둘째, 자연 일반의 권리를 인정하는 방식이다. 또한 제도의 운영은 국가나 공동체가 지정한 후견인이 법적 대리권을 행사하는 구조로 나타난다. 대표적으로 뉴질랜드는 「Te Awa Tupua (Whanganui River Claims Settlement) Act 2017」을 제정하여 특정 자연물인 왕가누이강에 법인격을 부여하고, 국가와 마오리 부족이 공동 후견인 역할을 담당하게 하였다. 방글라데시는 2019년 대법원 판결을 통해 전국 모든 강에 법적 지위를 인정하였으며, 콜롬비아 헌법재판소 역시 아트라토강을 권리 주체로 선언하고 지역 원주민들과 정부가 참여하는 공동 관리 기구 설치를 명령하였다. 이처럼 강의 권리 제도는 법적 선언을 넘어 구체적 운영 구조와 사회적 합의가 뒷받침되어야 실질적 효과를 발휘한다.

2) 한국 법제 및 현실과 강의 권리 적용 가능성

우리나라 「하천법」은 홍수 예방과 수자원 이용 등 관리적 성격에 치중하고 있으며, 「환경정책기본법」은 인간의 환경권을 매개로 자연 보전을 규정하고 있다. 또한 「자연환경보전법」은 특정 보호구역과 생물종 보전을 중심으로 규제하지만, 강 자체가 권리 주체로서 소송을 제기하거나 권리를 주장할 수 있는 법적 근거는 부재하다. 또한 헌법 제35조 환경권 역시 인간의 권리를 강조할 뿐, 강이나 자연의 고유한 권리를 인정하는 근거를 두고 있지 않다. 이로 인해 이전의 도룡뇽 소송과 산양 소송에서 보듯 자연물 자체의 권리 구제는 제도적으로 불가능한 상황이다.

그럼에도 최근 국회의 행정안전위원회에서 제주특별법 개정을 통한 생태법인 제도 도입 법안 심사 논

의가 시작되었고, 이는 특정 생물종뿐 아니라 장차 강과 같은 자연물로 확대될 수 있는 입법적 가능성을 열었다. 특히 4대강 사업으로 인한 심각한 환경 훼손과 그 회복 과정은 한국에서도 강의 권리 제도를 도입해야 할 필요성을 강하게 시사한다.

이를 위해 이를 위해 기존 법률 개정 및 입법 방안을 검토할 수 있다. 첫째, 「하천법」을 개정하여 하천을 단순한 수자원의 이용 대상이 아니라 살아있는 생태적 전체로 규정하고, 존재·순환·회복의 권리를 부여하는 방식이 가능하다. 나아가 하천의 권리 침해에 대응할 수 있도록 국가, 지자체, 지역 주민, 전문가가 함께 참여하는 ‘하천권리위원회’를 설치하여 후견인 역할을 담당하도록 할 수 있다. 둘째, 「환경정책기본법」의 기본원칙에 자연의 권리를 존중한다는 조항을 추가하고, 환경단체와 주민이 강을 대리해 공익소송을 제기할 수 있도록 근거를 마련한다면 권리 구제의 실효성이 확보될 수 있다. 셋째, 「자연환경보전법」을 개정하여 특정 생물종, 보호구역, 또는 강과 같은 자연물을 법인격을 가진 생태법인으로 지정하고, 후견인 제도를 통해 권리를 대리·보호하도록 규정할 수 있다. 이를 통해 생태계 보전, 권리 침해 예방, 공익소송 도입이 가능해지며, 법적·제도적 근거가 보다 구체화된다. 마지막으로, 특정 유역을 대상으로 한 특별법, 예컨대 「낙동강법」이나 「4대강 생태복원 및 권리 보장법」을 제정하여 해당 강을 권리 주체로 선언하고, 독립적 권리위원회를 통한 관리·복원 체계를 명문화하는 방법도 있다.

3) 시민사회와 거버넌스의 역할

강의 권리 제도는 단순한 법률 조항만으로는 작동하기 어렵다. 해외 사례에서 보듯, 시민사회와 지역 공동체의 적극적인 참여가 제도의 지속 가능성을 보장한다. 뉴질랜드는 원주민 공동체를 강의 후견인으로 지정하였고, 호주는 지역 사회 대표와 전문가가 참여하는 아라강 위원회를 설치하였다.

한국에서도 환경단체, 지역 주민, 학계, 법조계가 참여하는 유역 단위의 거버넌스 체계가 필요하다. 강의 권리 보장을 위한 모니터링, 데이터 공개, 시민 과학(citizen science) 활동은 국가의 책임을 보완하며, 공익소송과 정책 제안 활동은 제도의 실질적 집행력을 강화할 수 있다. 결국 제도의 성패는 법률적 선언이 아니라, 이를 지탱하는 사회적 기반과 집행력에 달려 있다.

3. 결론

강은 인류 문명의 근원이자 생태계의 핵심 축이다. 한국의 현실은 아직 자연을 권리 주체로 인정하는 단계에 이르지 못했지만, 4대강 사업 이후의 환경적 교훈은 강을 단순한 관리 대상이 아니라 권리의 주체로 인식하고, 이를 보장하는 법적·제도적 체계로 전환할 필요성을 보여준다. 해외의 다양한 강 권리 제도는 그 적용 가능성을 입증했으며, 개발 위주의 정책에 제동을 걸고 생태계 보전과 복원을 위한 새로운 틀을 제공하고 있음을 보여준다.

이를 위해서는 후견인 제도, 사전예방주의 원칙의 실질화, 환경공익소송의 도입, 그리고 시민사회의 적극적 참여가 동반되어야 한다. 강의 권리 제도는 결국 인간과 자연의 관계를 재정립하고, 생태적 정의와 사회적 정의를 아우르는 새로운 거버넌스 모델이며, 이를 통해 단순한 환경 보호를 넘어 지구의 모든 생명체의 공존을 제도적으로 보장하는 새로운 패러다임을 열 수 있을 것이다.

참고문헌

- 강금실 외, 『지구를 위한 법학-인간중심주의를 넘어 지구중심주의로』, 서울대학교출판문화원, 2020, 84-105
- 김선희, 2023, '자연의 권리에 관한 비교법적 연구', 연구보고서, 1, 76-102
- 김왕배, 2022, '인간너머' 자연의 권리와 지구법학: 탄생과 전망, 사회사상과 문화, 25(1), 21-25
- 박태현, 『좋은 삶과 자연의 권리』, 알렙, 2025, 87-100
- 박태현, 2019, 에콰도르 헌법상 자연의 권리, 그 이상과 현실, 환경법연구, 41(2), 120-141
- 박규환, 2025, 자연의 권리를 위한 헌법이론적 고찰, 연세법학, 48, 113-145
- 송정은, 2020, 자연의 권리와 동물의 권리 담론의 법적 고찰. 환경법과 정책, 25, 12-15
- 이광윤, 2011, 한국 하천법제의 문제점에 대한 고찰 - 한강을 중심으로 -, 성균관법학, 23(3), 469-494
- 윤중우, 2010, 자연의 권리와 생태학적 법학의 가능성 -도롱뇽 사건을 중심으로-, 법학연구, 20(2), 137-140
- 조희문, 2025, 자연 권리 인정기준에 관한 비교법적 연구 - 에콰도르 Los Cedros사건과 콜롬비아 Atrato사건을 중심으로 -, 외법논집, 49(2), 145-174
- 조희문, 2022, 한국법원판례에 나타난 자연권리와 법원의 역할, 강원법학, 68, 445-479
- O'Donnell, E. L., Talbot-Jones, J., 2018, Creating Legal Rights for Rivers: Lessons from Australia, New Zealand, and India. Ecology and Society 23(1):7, 4, <https://doi.org/10.5751/ES-09854-230107>
- Kramm, M, 2020,. When a River Becomes a Person. Journal of Human Development and Capabilities, 21(4), 309-310, <https://doi.org/10.1080/19452829.2020.1801610>
- Kahui V, Claire W. Armstrong, Margrethe Aanesen, 2024, Comparative analysis of Rights of Nature (RoN) case studies worldwide: Features of emergence and design, Ecological Economics, 221, <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2024.108193>
- Mosquera-Guerrero, L., Krueger, T., 2024, Struggling for the recognition of river rights: A case of hydrosocial territorialization of the Atrato River in Colombia. Geoforum, 15, <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2024.104000>

시민과학형 증거기반정책 모형의 개발 및 적용에 관한 연구

해양 플라스틱 쓰레기 저감정책과 익산시 악취 저감정책을 중심으로

현지우 단국대학교 공공정책학과 박사

윤상오 단국대학교 공공정책학과 교수

1. 서론

기후위기와 같은 사회적 난제 해결을 위해 실효성 있는 접근 방안이 요구되고 있다. 증거기반정책은 엄밀하게 도출된 증거에 기반한 의사결정 방식으로 적용이 논의되고 있다. 하지만, 증거는 항상 객관적이지 않고 외부 영향으로 왜곡될 수 있으며, 과정 통제 요소로 활용될 위험이 있다. 또 다른 방안인 시민과학은 비전문가인 시민이 과학연구에 참여하는 활동으로 기존 과학연구가 진행하지 못한 광역 데이터 수집과 정책 수용자가 참여할 수 있는 민주적 방안으로 대두되고 있다. 하지만, 시민의 비전문성, 정책과정에 활용되지 못하고 있다. 시민과학과 증거기반정책은 상호보완적이며, 기후위기 대응을 위한 방안으로 연계 가능성이 제시되고 있으나, 실질적인 논의는 소극적으로 진행되고 있다. 본 연구는 증거기반정책과 시민과학 연계 방안을 도출한 뒤, 환경난제 대응정책 적용 가능성을 살펴보았다.

2. 본론

1) 이론적 논의

(1) 증거기반정책과 시민과학

증거기반정책은 ‘과학적 방법론을 통해 생산된 증거를 정책과정에 합리적으로 활용하려는 노력’을 의미한다. 주요 행위자는 과학적 검정을 통해 신뢰할 수 있는 증거를 생산하는 전문연구자와 생산된 증거를 정책과정에 활용하는 정책담당자로 구성된다. 증거기반정책은 크게 증거를 수집하고 공급하는 생산 단계와 합리적 의사결정을 위해 이용하는 활용단계로 분류할 수 있다. 증거는 의제설정, 대안 탐색, 정책결정, 집행 및 평가 등 전반적인 정책과정에 활용될 수 있다. 하지만, 증거의 낮은 적실성과 현장성, 의사결정 과정 중 시민 의견 배제 가능성이 한계점으로 제시되고 있다. 시민과학은 ‘시민이 과학연구에 자발적으로 참여하여 문제해결에 기여하는 활동’을 의미한다. 주요 행위자는 과학 활동에 자발적으로 참여하여 데이터를 수집하는 시민과학자와 데이터를 기반으로 성과를 창출하는 전문과학자로 구성된다. 데이터를 통해 나타난 성과는 의사결정을 위한 근거로 활용되며, 증거의 역할과 유사하다. 하지만, 비전문가 시민에 의해 수집된 데이터의 신뢰도와 정책과정에서 낮은 활용도가 한계점으로 제시되고 있다.

(2) 시민과학형 증거기반정책

시민과학과 증거기반정책은 일부 유사성을 공유한다. 주요 행위자는 자발적으로 현장 정보를 제공하고 광역 데이터를 수집하는 비전문가인 시민과학자, 연구문제를 정의하고 데이터를 활용해 증거를 생산하는 전문연구자, 정책과정에서 증거를 활용하는 정책담당자 등으로 정리할 수 있다. 정책과정과는 첫 번째 사회적 문제해결 수요와 제도적 배경이 조성되는 문제의식 공유 및 의제설정 단계, 두 번째 실태 파악을 위해 데이터를 수집하는 문제분석 및 대안탐색 단계, 세 번째 실현 가능성 분석 및 정책 구체화가 진행되는 정책결정 단계, 네 번째 정책집행, 성과평가, 정책변화가 나타나는 정책집행·평가·환류 단계

등으로 연계될 수 있다. 이때 신뢰도를 높이기 위한 과학성과 참여를 보장하는 민주성을 지향하게 된다.

2) 분석 대상 및 방법

(1) 분석 대상

분석 대상은 해양 플라스틱 쓰레기 저감정책과 익산시 악취 저감정책으로 설정하였다. 해양 플라스틱 저감정책은 지역 시민단체가 수집한 해양쓰레기 데이터를 민간전문단체가 활용하여 해양쓰레기 분포 증거를 생산한 뒤, 중앙부처가 저감정책을 수립·집행한 결과 해양 플라스틱 쓰레기가 감소한 ‘과학적 접근을 통한 성과 도출’ 사례이다. 익산시 악취 저감정책은 App을 사용한 익산시민의 악취 민원 데이터와 악취발생원 데이터를 학계전문가가 활용하여 악취 지도 증거를 생산한 뒤, 익산시청이 민관협의회를 거쳐 저감계획을 수립한 결과 악취 민원 수가 감소한 ‘정책 수용자 맥락을 반영한 만족도 제고’ 사례이다.

(2) 분석 방법

본 연구는 도출한 시민과학형 증거기반정책 이론적 모형을 각 정책에 적용한 뒤 비교·분석을 통해 시사점을 도출하는 사례분석을 진행하였다. 이를 통해 환경문제 대응을 위한 시민과학형 증거기반정책을 적용하기 위한 구성 요인들을 살펴보았다.

3) 분석 결과

(1) 환경적 요인

사회문화적 배경은 ① 문제해결에 대한 수요 및 시급성, ② 기존 방식의 한계와 새로운 접근의 필요성으로 나타났다. 제도적 배경은 ① 과학적·체계적 접근 명시, ② 문제해결 과정 중 시민과학자의 연계·협력·참여에 관한 명시로 나타났다.

(2) 주요 행위자

시민과학자의 역할은 ① 정책 수요 표출 및 데이터 수집, ② 문제분석 데이터 수집 및 대안 의견 제시, ③ 실현 가능성 분석 데이터 수집 및 정책결정과정 참여, ④ 성과평가 데이터 수집 및 개선 방안 제시 등으로 나타났다. 전문연구자의 역할은 ① 문제해결 필요성 인식 및 증거 생산, ② 데이터 수집 체계 설계 및 대안 증거 생산, ③ 정책대안 실현 가능성 분석, ④ 성과평가 증거 생산 등으로 나타났다. 정책담당자의 역할은 ① 증거 활용 문제해결 시급성 파악, ② 증거 활용 정책문제 실태분석 및 대안 조율, ③ 정책 구체화 및 증거기반정책결정, ④ 정책집행, 성과평가, 환류 등으로 나타났다.

(3) 지원체계

과학성은 ① 시민과학자가 수집하는 데이터의 수준, ② 문제해결을 위해 활용하는 증거의 수준 등으로 확인할 수 있었다. 민주성은 ① 시민과학자의 참여 수준, ② 주요 행위자 간 상호작용 수준 등으로 확인할 수 있었다.

3. 결론

시민과학형 증거기반정책은 중앙부처 정책수립 과정에서 객관적·체계적 데이터 수집을 통한 문제해결 방안(과학성), 시민과학자 주도 참여를 통한 지역사회 문제 해결 방법론(민주성) 적용 가능성을 살펴볼 수 있었다. 하지만, ① 데이터의 수집·관리·활용을 위한 플랫폼의 배제, ② 기존 문헌에 근거하여 고정된 주요 행위자 역할, ③ 정책집행 대상자(예 : 어업인, 환경기술인)의 미반영, ④ 불명확한 적용 가능한 문

제 특성 정의 등의 한계점이 있다. 따라서, 후속 연구에서는 ① 데이터 및 증거의 품질 및 관리체계 분석, ② 고정된 역할이 아닌 주요 행위자 간 다양한 상호작용, ③ 정책집행 대상자 및 주요 이해관계자의 반영, ④ 시민과학자의 활동과 기여에 대한 보상 등이 논의되어야 한다.

참고문헌

- 김정은·손호성, 2024, 증거기반정책과 증거 위계 수준: 이론·쟁점·실제·연구방향, 한국행정학보, 58(5), 435-463
- 윤건, 2021, 지능형 정부의 적극행정: 증거기반 의사결정, 적극행정포럼, 22-29
- Marston, G. & Watts, R., 2003, Tampering With the Evidence: A Critical Appraisal of Evidence-Based Policy-Making, The Drawing Board: An Australian Review Of Public Affairs, 3(3), 143-163
- Parsons, W., 2002, From Muddling through to Muddling up. Evidence Based Policy Making and the Modernisation of British Government, Public Policy Administration, 17, 29-48, <https://doi.org/10.1177/095207670201700304>
- Shirk, J. L., Ballard, H. L., Wilderman, C. C., Phillips, T., Wiggins, A., Jordan, R., McCallie, E., Minarcheck, M., Lewenstein, B. V., Krany, M. E., & Bonney, R., 2012, Public participation in scientific research: A framework for deliberate design, Ecology and Society, 17(2), 29-48, <http://dx.doi.org/10.5751/ES-04705-170229>
- 양현채·이혁·백대현·김민정·박병원, 『과학기술혁신 정보 분석을 통한 증거기반정책의 활용 기반 구축』, STEPI, 2021
- 현지우, 『시민과학형 증거기반정책과정 모형의 개발 및 적용에 관한 연구』, 단국대학교 공공관리학과 박사학위 논문, 2025
- Notermans, I., Montanari, M. C., Janssen, A., Holscher, K., Wittmayer, J., & Passani, A., 『Recommendations to mainstream citizen science in policy』, Zenodo, 2022, <https://doi.org/10.5281/zenodo.5901843>
- “City Research Online - Citizen science in supporting food policy making”, <https://openaccess.city.ac.uk/id/eprint/28221/1/CFP%20Webinar%20Sustainable%20and%20healthy%20living%20environments%2025052022.pdf>, (2025.01.10)

사사

이 자료는 현지우의 박사학위논문 「시민과학형 증거기반정책과정 모형의 개발 및 적용에 관한 연구(2025)」의 일부를 수정·요약하여 작성하였습니다.

비배기 미세먼지 규제 법제화 및 기술 상용화 방안 연구

지속가능한 '무공해자동차' 시대를 향한 로드맵

김재욱 아주대학교 기계공학과 학사

피윤아 아주대학교 행정학과 학사

1. 서론

산업 발전과 더불어 심화된 환경오염 문제는 전 지구적 과제로 부상했으며, 이에 대한 대중의 관심 증대는 국제 사회의 적극적인 대응을 촉구하는 동력이 되었다. 1972년 UN인간환경회의를 시작으로 2015년 UN 지속가능개발목표(SDGs) 채택에 이르기까지, 국제 사회는 환경 문제를 공동의 책임으로 인식하고 구체적인 해결 방안을 모색해왔다. 특히 ESG(Environmental, Social, Governance)가 기업 경영의 핵심 가치로 자리 잡으면서, 자동차 산업은 기존의 내연기관 중심에서 '친환경 자동차'로의 패러다임 전환을 가속화하고 있다.

과거 자동차 산업의 환경 규제는 내연기관의 연소 과정에서 발생하는 배기가스, 즉 HC(탄화수소), CO(일산화탄소), NOx(질소산화물) 등 유해물질 저감에 집중되었다. 유럽연합(EU)의 유로(EURO) 규제와 같이 점차 강화되는 배출가스 기준을 충족시키기 위해 자동차 제조사들은 DPF(매연저감장치), SCR(선택적 촉매 환원법) 등 다양한 후처리 기술을 개발하고 적용해왔다. 이러한 노력은 배기가스로 인한 대기오염을 상당 부분 개선했으나, 완전한 해법이 되지는 못했다. 결국 배기가스 배출이 전혀 없는 전기자동차(EV)와 수소연료전지자동차(FCEV)가 궁극적인 대안으로 주목받으며 빠르게 보급되고 있다.

그러나 배기관이 사라진 전기차가 진정한 의미의 '무공해 자동차(Zero-Pollution Vehicle)'인지에 대해서는 심각한 질문이 제기된다. 전기차는 내연기관차보다 무거운 배터리 팩을 탑재하기 때문에 필연적으로 차량 중량이 증가한다. 이로 인해 타이어와 브레이크 패드의 마모가 가속화되어 더 많은 미세먼지를 발생시키는 역설적인 상황이 발생한다. 타이어와 브레이크 마모로 발생하는 이러한 입자상 물질을 '비배기(Non-Exhaust) 미세먼지'라 칭하며, 이는 기존의 배기가스 중심 규제 체계가 간과해온 새로운 오염원으로 부상하고 있다. 이는 특정 환경 문제를 해결하려는 노력이 예기치 않은 다른 문제를 악화시키는 전형적인 '문제 전환(Problem Shifting)' 현상이다. 따라서 본 연구는 전기 동력화 시대의 숨겨진 환경 문제인 비배기 미세먼지의 심각성을 조명하고, 이를 효과적으로 관리하기 위한 통합적 프레임워크를 제안하고자 한다. 이 프레임워크는 정책적 강제성, 정량적 배출 기준 설정, 그리고 혁신적 포집 기술 개발이라는 세 가지 축이 유기적으로 연계되는 선순환 구조를 핵심으로 한다.

2. 본론

1) 비배기 미세먼지의 유해성과 규제 공백

비배기 미세먼지는 단순한 먼지가 아닌, 인체에 심각한 위협을 가하는 유해물질의 복합체이다. 세계보건기구(WHO) 산하 국제암연구소(IARC)는 미세먼지를 1군 발암물질로 지정했으며, 이는 비배기 미세먼지 역시 동일한 위험성을 내포하고 있음을 시사한다. 특히 타이어는 합성고무, 카본블랙, 그리고 다양한 화학 첨가제로 구성된다. 타이어의 주성분 중 하나인 '솔루션 스타이렌 부타디엔 고무(S-SBR)'와 같은 물질은 마모 과정에서 미세입자로 분해되어 대기 중에 부유하며, 호흡기와 피부를 통해 인체에 침투할

수 있다. 실제로 1990년대 합성고무 제조업 노동자들을 대상으로 한 역학 연구에서는 타이어 성분 노출이 백혈병 등 혈액암 발병률을 높인다는 결과가 보고된 바 있다.

문제의 심각성은 배출량에서도 드러난다. 한 연구 결과에 따르면, 자동차 타이어 마모로 발생하는 미세먼지의 양이 배기가스를 통해 배출되는 양보다 최대 1,850배 많을 수 있다는 충격적인 사실이 보고되었다. 이는 현재의 환경 정책이 '빙산의 일각'에 불과한 배기가스 문제에만 집중하고 있으며, 거대한 잠재적 위협인 비배기 미세먼지를 완전히 방치하고 있음을 보여준다. 현재의 대기오염 규제는 대부분 배출되는 미세먼지의 총량을 질량($\mu\text{g}/\text{m}^3$ 또는 $\mu\text{g}/\text{km}$) 기준으로 관리한다. 그러나 이러한 방식은 입자의 화학적 구성과 독성을 고려하지 못하는 명백한 한계를 가진다. 발암물질과 중금속을 포함한 타이어 마모 입자는 동일한 질량의 일반 토양 먼지 입자보다 인체에 훨씬 치명적일 수 있다. 따라서 비배기 미세먼지의 특수성을 반영한 새로운 규제 접근법, 즉 입자의 성분과 독성까지 고려하는 질적 평가 기준의 도입이 시급하다.

2) 통합적 저감 프레임워크: 정책, 표준, 기술의 선순환 구조

비배기 미세먼지 문제를 해결하기 위해서는 단편적인 접근을 넘어 정책, 표준, 기술이 상호보완적으로 작동하는 체계적인 전략이 필요하다. 이 세 가지 요소는 독립적으로 존재하는 것이 아니라, 하나의 목표를 향해 서로를 촉진하고 강화하는 역동적인 선순환 구조를 형성해야 한다.

(1) 정책적 강제성의 필요성 환경보호를 위한 기술 개발은 필연적으로 제품의 원가 상승을 동반한다. 가격 경쟁이 치열한 자동차 시장에서 개별 기업이 자발적으로 비용 부담을 감수하며 환경 기술을 선도하기란 현실적으로 어렵다. 따라서 강력하고 명확한 정책적 강제성이 시장의 변화를 이끌어내는 핵심 동력이 된다. 이에 대한 가장 효과적인 선례는 과거 자동차 브레이크 패드에 사용되던 석면 규제 사례에서 찾을 수 있다. 석면은 1급 발암물질로 인체 유해성이 명확히 입증되었음에도 불구하고, 자동차 업계는 원가 상승과 성능 저하를 이유로 비석면 부품으로의 전환에 소극적이었다. 그러나 정부가 국민 건강 보호를 위해 석면 사용을 법적으로 전면 금지하자, 모든 제조사는 결국 대체재를 개발하고 적용할 수밖에 없었다. 이처럼 비배기 미세먼지 문제 역시 사회적 합의를 바탕으로 한 법적 규제를 통해 모든 시장 참여자가 공정한 조건에서 기술 개발 경쟁에 나서도록 유도해야 한다.

(2) 정량적 기준 설정의 선결 과제 효과적인 정책은 측정 가능하고 달성 가능한 목표, 즉 정량적 기준 위에서만 수립될 수 있다. 내연기관 NOx 배출 규제의 발전 과정은 이를 명확히 보여준다. EU는 유로 3 규제에서 $500\text{mg}/\text{km}$ 였던 디젤 승용차의 NOx 배출 허용 기준을 유로 6에서 $80\text{mg}/\text{km}$ 까지 단계적으로 강화했다. 이처럼 명확한 수치 목표가 있었기에 자동차 제조사들은 기술 개발의 방향성을 설정하고 R&D 자원을 집중할 수 있었다. 비배기 미세먼지 역시 이와 같은 접근법이 필요하다. 차량이 특정 거리를 주행할 때 발생하는 타이어 및 브레이크 마모 미세먼지(PM10, PM2.5)의 양을 $\mu\text{g}/\text{km}$ 단위로 측정하고, 이에 대한 허용 기준을 설정하는 것이 규제의 첫걸음이 될 것이다. 다가오는 유로 7 규제에서 브레이크 분진을 규제 대상에 포함시키려는 움직임은 이러한 변화가 이미 국제적인 표준이 되어가고 있음을 시사하며, 우리에게 선제적 대응의 시급성을 알리고 있다.

(3) 기술적 해결 방안의 구체화 엄격한 정책과 표준이 수립되더라도 이를 준수할 수 있는 기술이 없다면 규제는 실효성을 잃는다. 따라서 비배기 미세먼지 문제를 해결하기 위한 구체적인 기술 개발 로드맵이 병행되어야 한다. 이 로드맵은 다음 세 가지 핵심 연구 분야로 구성된다. 첫째, '입자 특성 규명 및 측정 기술'이다. 규제의 과학적 근거를 마련하기 위해서는 타이어 마모로 발생하는 미세먼지의 양과 물리화학적 특성을 정확히 측정하는 기술이 선행되어야 한다. 한국기계연구원의 타이어 마모 시뮬레이터

는 외부 환경 요인을 통제된 상태에서 정량적인 데이터를 확보할 수 있는 대표적인 연구 인프라로, 신뢰성 있는 배출 기준을 설정하는 데 핵심적인 역할을 할 수 있다.

둘째, ‘유동 해석을 통한 포집 효율 최적화’ 연구이다. 타이어 주변에서 발생하는 미세먼지는 차량의 주행 속도와 형태에 따라 복잡한 공기역학적 거동을 보인다. 포항공과대학교 연구팀이 수행하는 전산유체역학(CFD) 시뮬레이션 연구는 이러한 미세먼지의 움직임을 예측하고, 포집 효율을 극대화할 수 있는 집진 장치의 최적 위치와 형상을 설계하는 데 필수적이다.

셋째, ‘차량용 포집 장치 상용화’이다. 최종적으로는 실험실 수준의 기술을 넘어, 실제 차량에 장착 가능한 소형 고효율 포집 장치를 개발해야 한다. 전기집진기(ESP) 기술을 차량 환경에 맞게 소형화하고 내구성을 확보하는 연구가 핵심이며, 이는 자동차 제조사와 부품사, 연구기관 간의 긴밀한 협력을 통해 달성할 수 있다.

이 세 가지 요소는 ‘기술이 표준을 가능하게 하고(Technology → Standards), 표준이 정책의 근거가 되며(Standards → Policy), 정책이 다시 기술 혁신을 위한 시장을 창출하는(Policy → Technology)’ 역동적인 선순환 관계를 형성한다. 이러한 통합적 접근만이 비배기 미세먼지라는 복잡한 문제를 근본적으로 해결할 수 있다.

3. 결론

전기차로의 전환은 인류의 지속가능한 이동성을 향한 중요한 진전이지만, 동시에 배기가스라는 익숙한 문제에서 비배기 미세먼지라는 낯선 문제로 우리의 시선을 돌리게 만들었다. 기존의 미세먼지 대책이 내연기관 배기가스 저감에만 집중되었던 만큼, 이제는 비배기 미세먼지 저감 방안을 선제적으로 모색해야 할 결정적 시점이다.

본 연구에서 제안한 정책, 표준, 기술의 통합적 프레임워크는 이 새로운 도전에 대응하기 위한 구체적인 로드맵이다. 강력한 정책적 의지로 시장의 변화를 유도하고, 과학적 데이터에 기반한 정량적 표준으로 기술 개발의 목표를 제시하며, 혁신적인 포집 기술로 이를 구현하는 선순환 구조를 구축해야 한다. 이를 위해 전기집진기 소형화 및 효율 향상과 같은 핵심 기술 분야에 대한 연구개발 지원을 확대하고, 관련 분야의 석·박사급 전문 인력을 체계적으로 양성하는 정책적 투자가 시급하다.

비배기 미세먼지 문제는 단순히 해결해야 할 환경 규제가 아니라, 미래 자동차 산업의 기술 주도권을 확보할 수 있는 전략적 기회이다. 가장 먼저 효율적이고 경제적인 비배기 미세먼지 저감 기술과 표준을 확립하는 국가나 기업은 차세대 ‘진정한 무공해 자동차’ 시장을 선도하게 될 것이다. 이는 곧 글로벌 시장에서의 경쟁 우위로 이어질 뿐만 아니라, 궁극적으로는 대기환경 개선을 통해 모든 사회 구성원의 삶의 질을 향상시키는 결과로 귀결될 것이다.

참고문헌

- 김남옥. (2019). 미세먼지 저감을 위한 법적 검토. 토지공법연구, 85, 281-312.
- 白南園. (1989). 우리나라 石綿産業場 勤勞者의 石綿暴露 實態에 關한 研究. 보건학논집, 26(1), 115-121.
- 유동현. (2017). 자동차 운행 중 타이어 및 브레이크에서 발생하는 미세먼지 집진 장치의 개발. 포항공과대학교.
- 이성욱, 박병주. (2019). 무공해 자동차 기술의 현 상태와 발전방향. 문화기술의 융합, 5(1), 377-384.
- 정홍열. (2006). EU 환경정책의 발전과 우리나라 산업에 주는 영향. 유럽연구, (24), 263-285.
- Carlos Santos-Burgoa, Genevieve M. Matanoski, Scott Zeger, Linda Schwartz. (1992). Lymphohematopoietic Cancer in Styrene-Butadiene Polymerization Workers. American Journal of Epidemiology, 136(7), 843-854.
- "배기가스보다 오염물질 1850배 많아" 발암물질 흩뿌리는 마모된 타이어, 뉴스핌권, 2022.06.07.
- '석면' 1급 발암물질, 당신을 노리는 침묵의 살인자, 홍주일보, 2017.08.07.
- 승용차 석면부품 사용금지, 연합뉴스, 1991.11.26.
- "이걸 사람 타라고 만들어 놓은거냐" 포터 디젤 단종소식 전해지자 네티즌들 분노한 이유, AUTOPOST, 2022.03.23.
- '유로6'가 뭐길래?, 일요신문, 2015.04.14.
- 전기차, 비배기 미세먼지 배출 엔진차보다 많아. 한국기계연구원 측정, M투데이, 2022.10.12.
- EU, 자동차 배기가스 기준에 브레이크 미세먼지 규제 포함 예정, 한국무역신문, 2022.05.24.
- 자동차 미세먼지 '배기가스'보다 '타이어, 도로마모', KBS, 2022.10.11.
- "Sustainable Development Goals", United Nation, (2022.10.03 접속)
- "자동차 배출가스 누리집", <https://www.mecar.or.kr/info/airMatter.do>, (2022.12.03 접속)

공공성 실천에 관한 재고

마을 교류에서 공적 실천으로

이홍범 전남대학교 대학원 호남학과 박사과정

1. 서론

오늘날 한국 사회에서 많은 이들이 더 이상 타인에게 도움을 요청하지 않고 스스로 문제를 해결하고자 한다. 또한 안전을 위해 학교 담장을 높이고 외부인의 출입을 엄격하게 차단한다. 이는 단순한 현상이 아니다. KOSIS 국가통계포털에 따르면 “대인 신뢰도”는 2013년부터 2024년에 이르기까지 극히 감소하는 추세에 있다.¹⁾ 이와 더불어 한국사회의 “정치적 역량감”도 잇따라 감소하고 있다. 이는 무엇을 시사하는 것일까?

도시적 삶은 여러 층위의 사람들의 삶을 수단으로 삼으며 각자의 필요와 욕구를 공유하는 공간이다. 그런데 현대 사회에서는 도시적 삶의 교류는 현저하게 감소하고 있다. 사회학자이자 정치학자인 퍼트남(Robert D. Putnam)의 분석은 바로 ‘TV’라는 기술과 그 기술을 통한 콘텐츠였다. 기술과 콘텐츠는 1960년대 융성했던 미국 시민사회를 쇠퇴시킨 주범, 즉 시민들이 활동에서 정치적 발언은 하나 시민사회에의 실질적인 참여를 부재하게 한 주범이었다. 퍼트남의 분석은 역사학자 로젠(Christine Rosen)이 경고한 경험의 소멸과도 맞물린다. 그녀는 홀로서 노는 문화, 타자와의 만남과 대화 없이 혼자 여가를 보내는 문화가 주류로 등극한 이래 사람들은 사람을 겪는 “경험”이 소멸했다고 지적한다. 디지털 기술이 일상에 은밀하게 스며들면서 가상공간에서의 교류가 점점 본래적인 의미에서의 사회적으로 접촉하는 체험과 경험을 대체할 수 있다고 착각하고 있다는 것이다. 실제로 “비선거 정치활동 참여율”을 보면 불매운동과 같이 자신의 일상에서 혹은 기술을 통한 가상 공간에서의 참여도는 활성화되지만 직접적인 활동으로서 참여도는 저조한 편이라는 사실이 확인된다.

기술은 한없이 우리의 삶을 편리하게 접속시키고 연계시킨다. 그러나 그 접속하는 수단은 인간이 사회적 교류를 갖춰가는 데, 신뢰를 쌓는 데, 자발적인 참여를 촉발하는 데 방해하는 셈이다. 자발적 참여에 기반한 진정한 시민사회란 자신이 소속된 사회에서의 사건, 타인과의 협력을 통해 마련된 사회적 자본, 즉 신뢰하는 경험이 축적될 때 가능하다.

미국사회에 대한 퍼트남의 언급처럼 한국사회도 시민의식은 높아졌으나 시민단체에 참여하고 활동하는 직접적인 실천은 점점 어려워지고 있다. “시민 없는 시민사회”에 봉착한 것이다. 서로를 매개하고 만나고 욕구와 이슈를 논의하는 장소의 부재, 서로 의사를 교류하는 것은 고사하고 감각의 사회화 과정마저 매우 어려워진 오늘이다. 더구나 신뢰를 쌓아갈 중간지대이자 충돌을 완화할 완충장치로서 “준(準)사적 공간(semi private space)”과 “준(準)공적 공간(semi public space)”은 발견하기 어렵고 이를 보완하기 위한 비즈니스 형태의 공유공간은 늘어가는 추세다. 그러나 공간을 늘리는 것이 중요한 것이 아니다. 우리의 관건은 그 공간에서 관계를 맺으며 서로의 신체가 만나고 접촉을 늘리는 것이다.

그러나 공적 관심사에 관한 경험이 디지털 기술로 매개되면서 우리는 사람에 대한 체감과 신뢰가 실질적으로 불가능하다. 따라서 실천을 촉구하게 할 맥락 또한 부재한 상태다. 사회에서 쏟아지는 수많은 시사 이슈는 사람들을 반응하게 하나, 실제 현장으로 이동하여 연대하고 실천하는 이는 매우 드물다. 이러한 폐쇄와 단절된 대인 관계가 과연 건전한 사회로 가는 길인가? 냉소적이고 무감각한 사회가 이상하

1) “정치적 역량감” <https://www.index.go.kr/unity/potal/indicator/IndexInfo.do?cdNo=2&clasCd=10&idxCd=F0269&upCd=11>

다고 치부하여 넘어가야 하는 것인가? 이는 주관적이며 자의적인 의구심이 아니다. 그것은 소위 ‘공공’을 담지한 문제의식과 결코 무관하지 않다. 특정 세대에게 불평하거나 혹은 막연한 희망을 거는 것이 아니라 모든 세대가 서로 교류하여 자기 욕구와 의미가 반영되어 가는, 이른바 공공성을 구축하기 위한 구체적 지향점을 고려해야 한다.

필자는 가상공간이 아닌, 물질적 신체로 서로 접촉하고 교류하는 장소를 기점으로 한 공공성 마련을 제언하며 마을연구를 진행한다. 마을이라는 장소는 준사적 영역과 준공적 영역이 중첩되어 있다. 신체에 기반한 감정적 교류가 일어나는 마을공동체는 준사적 영역이라면 마을공동체에서 진행되는 사업은 준공적 영역이다. 필자는 마을에서 준사적, 준공적 영역의 교류가 공적 실천으로 나아가기 어떠한 맥락들이 마련되고 있는지 혹은 실제 실천으로 나아갈 수 있는 방향성을 살펴본다.

2. 본론

1) 연구대상과 연구방법

연구 대상은 광주광역시에 2013년부터 2024년까지 마을(공동체)사업에 참여한 마을단체이다. 그중 마을인권사업 자료를 연구 대상으로 삼아 이를 중점적으로 조사한다. 마을인권사업에 참여한 마을공동체들의 양상과 현황을 정리한다. 인권마을네트워크의 인권마을아카이빙팀의 수집 문헌 및 구술자 구술내용을 대상으로 해당 마을의 구술자, 즉 활동가들과 나눈 인터뷰를 분석함으로써 위 가설이 유효한지 타진한다.

본 연구의 방법론은 문헌연구와 질적연구를 병행하며 디지털 인문학적으로 접근할 것이다. 기존의 참고문헌과 구술연구는 현상에서 발견되는 연속적인 사건을 나열하고, 이를 해석함으로써 개념적, 이론적 논의의 기초를 마련했다면 디지털 인문학은 해당 마을공동체 활동에 참여하는 관계자들 간에 연결되고 공유되는 방대한 공통의 맥락을 도출함으로써 “멀리서 읽기”를 직관적으로 방증해낼 수 있다. 구체적으로 마을인권 사업에 참여한 마을활동간의 활동과 구술내용을 인문DB로 수록하여 정리하고 시멘틱 온톨로지와 SQL 등 데이터선상을 클래스(class), 속성(attribute), 관계(edge) 데이터베이스로 구축한 다음, Neo4j 분석으로 시각화 작업을 거침으로써 준사적, 준공적 교류의 장소로서 마을공동체의 공적 실천의 추이를 도출하고자 할 것이다. 또한 이를 의미화 작업으로서 공동체와 장소이론 그리고 ANT(행위자네트워크이론)을 통해 해석을 시도하고자 한다.

2) 개념검토

(1) 사회적자본 상실 : 로버트 퍼트남

① 홀로서 콘텐츠를 즐기는 문화가 사람들의 시민활동의 쇠퇴

(2) 경험 부재 : 크리스틴 로젠

(3) 공공 실천의 상실

3) 자료검토와 분석 그리고 해석

(4) 준사적 영역의 관심사 매개 : 장소

(5) 준공적 영역의 활성화와 주제 추진: 새로운 의제경험과 관계망

3. 결론

본 연구에서 결론은 다음과 같다. 준사적 영역으로서 마을이라는 장소(place)이자 프로젝트(project)에서 참여자는 마을사업이라는 준공적영역에서의 경험이 여성, 인권, 환경 등의 테마의 주제와 상응하며 공공성 실천 행위가 연계되며 극대화 되었다. 이에 전제는 마을이라는 로컬 사회가 구성원에게 참여를 촉발하고 그들이 참여 마을사업 주제에 참여하며 사적 관심사를 연계하고 유지하는 경향을 보였다. 이는 장소를 기반한 관계망이 공공성을 실천하는데 충분 조건에 준하는 요소임을 드러내었다. [이하 생략]

참고문헌

- 유인태, 2020, 디지털 인문학은 인문학이다, 인문논총, 77(3)
- 유인태, 2022, 디지털 고전학에 관한 시론(試論), 한국고전연구학회, 57
- 이홍범, 2023, 마을공동체의 사회적 자본 형성조건에 관한 연구, 전남대학교 석사학위논문
- 김성도, 『도시 인간학』, 안그라픽스, 2014
- 렐프, 에드워드, 『장소와 장소상실』, (김덕현·김현주·심승희), 논형, 2005
- 로젠, 크리스틴, 『경험의 멸종』, (이영래), 어크로스, 2025
- 마페줄리, 미셸, 『부족의 시대』, (박정호·신지은), 문학동네, 2017
- 모레티, 프랑코, 『멀리서 읽기』, (김용규), 현암사, 2021
- 박인석, 『아파트 한국사회』, 현암사, 2016
- 브루노 라투르, 『인간·사물·동맹』, (홍성욱), 이음, 2018
- 세넷, 리처드, 『무질서의 효용』, 유강은), 다시봄, 2014
- 오제, 마르크, 『비장소』, (이윤영·이상길), 아카넷, 2017
- 올든버그, 레이, 『제3의 장소』, (김보영), 풀빛, 2019
- 짐멜, 게오르크, 『짐멜의 모더니티 읽기』, (김덕영·윤미애), 새물결, 2005
- 투안, 이-푸, 『공간과 장소』, (윤영호·김미선), 사이, 2020
- 퍼트넘, 로버트 D., 『나홀로 불링』, (정승현), 페이퍼로드, 2009
- 프롬, 에리히, 『건전한 사회』, (김병익), 범우사, 1999
- 하비, 데이비드, 『반란의 도시』, (한상연), 에이도스, 2014
- KOSIS, 한국행정연구원, “사회통합실태조사”, https://kosis.kr/statisticsList/statisticsListIndex.do?menuId=M_01_01&vwcd=MT_ZTITLE&parmTabId=M_01_01&parentId=B.1;B.8.2;D2_002_001.3;&outLink=Y#D2_002_001.3(2025년 8월 21일)
- 통계청, 『2024 한국의 사회지표』, 통계청, 2025
- “비선거 정치활동 참여율”, <https://www.index.go.kr/unity/potal/indicator/IndexInfo.do?cdNo=2&clasCd=10&idxCd=F0253&upCd=11>, (2025년 9월 1일)
- “정치적 역량감”, <https://www.index.go.kr/unity/potal/indicator/IndexInfo.do?cdNo=2&clasCd=10&idxCd=F0252&upCd=11>, (2025년 9월 1일)
- “고독사 발생 현황: 지역별”, https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=117&tblId=DT_117111_A001&conn_path=I2(2025년 9월 1일)

포스터발표 세션 6.

생태/생물다양성

- 시민과학자 데이터를 활용한 딥러닝 기반 국내 맞춤 생태계교란 거북 종 분류 모델 개발
백종원 상명대학교 대학원 생물정보학 박사 수료, 숲과나눔 연구장학생
- 통합적인 보호지역 제도의 도입을 위한 법제도적 개선방안 연구: 「생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률」을 중심으로
최민규 국립부경대학교 일반대학원 법학과 박사과정
- 중서부태평양 해양환경 변동에 따른 가다랑어 어획량 변동
임다혜 서울대학교 지구환경과학부 물리해양학 석사과정, 숲과나눔 학업장학생
나한나 서울대학교 지구환경과학부 부교수
이미경 국립수산물과학원 원양자원과
김창신 국립수산물과학원 기후변화연구과
- 중간 지속가능성 제고를 위한 전략적 틈새로서의 동물대체시험법의 가능성과 과제 : 국내 오가노이드 전환실험을 중심으로
박아름 서울대학교 대학원 환경계획학과 석사, 숲과나눔 학업장학생
- 한국산 사초속 식물의 웹 기반 대화형 검색시스템 개발
정민경 성신여자대학교 생물학과 석사과정, 숲과나눔 학업장학생

시민과학자 데이터를 활용한 딥러닝 기반 국내 맞춤 생태계교란 거북 종 분류 모델 개발

백종원 상명대학교 대학원 생물정보학 박사 수료, 숲과나눔 연구장학생

1. 서론

외래종 침입은 생물다양성 감소의 주요 원인 중 하나로써 국내에서는 민물거북을 중심으로 문제가 되고 있어 관리가 필요하다 (Havel et al, 2015). 외래 민물거북 관리에는 광범위한 조사지역에 대한 실시간 모니터링이 포함되며, 최근 시민과학자의 참여 확대가 이를 지원하고 있다 (Suzuki-Ohno et al., 2022). 다만, 이러한 관리가 효과적으로 수행되기 위해서는 정확한 종 분류가 필수적이며, 이는 각 종의 생태적 특성에 기반한 적절한 관리 전략을 적용하기 위해 반드시 선행되어야 한다. 그러나 시민과학자가 현장에서 정확한 종 분류를 수행하기에는 어려움이 따른다. 딥러닝 기반의 You Only Look Once(YOLO) 모델은 빠르고 정확하게 종을 분류할 수 있으며 시민과학자들이 쉽게 사용할 수 있도록 애플리케이션으로 배포가 가능하다 (Baek et al., 2023). 따라서, YOLO 기반의 종 분류 모델은 현장 모니터링에서 외래 민물거북에 대해 신속하고 정확한 종 판별을 지원할 수 있다.

2. 본론

국내에 서식하는 외래종 거북 중 생태계교란 거북 지정 6종과 오분류 가능성이 있는 자생거북 2종을 대상으로 학습되었으며 시민과학자들이 수집한 데이터를 활용하여 데이터셋을 구축하였다. 모델학습은 YOLO11모델을 사용하였으며 과적합 방지를 위해 조기 종료 기능과 데이터 증강이 적용되었다. 모델 최적화를 위해 optimizer selection을 적용하여 6개의 optimizer 중 가장 좋은 모델 성능을 보인 optimizer를 사용하였다. 개발된 모델의 성능은 3가지의 손실 함수, mean Average Precision(mAP), confusion matrix를 통해 평가하였다. 학습 과정에서 손실 함수 분석을 통해 과적합 현상 없이 안정적으로 수렴하였음을 확인하였다. 모델의 성능 평가 결과 inference time은 9.1ms로 측정되었으며 mean Average Precision(mAP)는 0.965로 나타났다. Confusion matrix를 통해 확인한 평균 분류 정확도는 92.5%로 나타났다.

3. 결론

본 연구에서 개발된 생태계교란 거북 종 분류 모델은 mAP 0.965로 1에 가까운 높은 성능을 보였으며, 1장의 결과를 도출하는데 소요되는 시간은 0.01초 미만으로 신속하였다. 이러한 결과는 시민과학자들이 현장에서 실질적으로 활용할 수 있는 수준의 거북 종 분류 모델을 제공함을 보여주며, 시민과학자들의 현장 대응 능력을 향상시키고 조기 탐지 및 신속 대응(EDRR) 전략의 성공률을 높일 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

- Havel, J. E., Kovalenko, K. E., Thomaz, S. M., Amalfitano, S., & Kats, L. B., 2015, Aquatic invasive species: challenges for the future., *Hydrobiologia*, 750, 147-170.
- Suzuki-Ohno, Y., Westfechtel, T., Yokoyama, J., Ohno, K., Nakashizuka, T., Kawata, M., & Okatani, T., 2022, Deep learning increases the availability of organism photographs taken by citizens in citizen science programs. *Scientific Reports*, 12(1), 1210.
- Baek, J. W., Kim, J. I., & Kim, C. B. 2023. Deep learning-based image classification of turtles imported into Korea. *Scientific Reports*, 13(1), 21677.

통합적인 보호지역 제도의 도입을 위한 법제도적 개선방안 연구

「생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률」을 중심으로

최민규 국립부경대학교 일반대학원 법학과 박사과정

1. 서론: GBF라는 새로운 목표

2022년 196개국은 생물다양성협약 제15차 당사국총회에서 ‘쿤밍-몬트리올 GBF’라는 전 지구적 전략계획을 채택하였다. 이는 육지 및 해양 면적의 30%를 보호지역이나 자연공존지역으로 지정하여 보전·관리하는 ‘30X30’을 핵심으로 삼고 있고, 우리 정부도 이에 맞춰 보호지역의 지정 확대 및 효과적인 관리 노력을 기울이고 있다. 하지만 우리나라 보호지역 제도는 분산된 법체계에 근거하고 있어 자칫 실효적이지 아니할 수 있는바 통합적인 제도의 도입이 필요하다. 따라서 이 글에서는 현행법상 법체계를 중심으로 생물다양성법의 기본법적 성질을 살펴보고, 그 한계와 법제도적인 개선방안을 도출하고자 한다.

2. 본론: 보호지역에 관한 법체계와 생물다양성법의 기본법적 성격

1) 보호지역에 관한 현행 법체계

우리나라에서는 보호지역의 지정·관리에 관한 법적 근거를 각 개별법에 두고 있다. 그에 따라 보호지역은 입법목적 및 적용대상을 기준으로 달리 정해지게 되었고, 적극적으로 자연환경을 보전하는 지역과 국토관리 차원에서 용도상 보전적인 성격이 상대적으로 강한 지역으로 구분된다. 현행 법체계에 따르면 5개 중앙행정기관(환경부, 해양수산부, 국토교통부, 산림청, 국가유산청)이 17개 근거 법률을 소관하고 있으며 지정·관리 권한이 부여된다.

2) 생물다양성법 제정 배경

생물다양성협약이 1992년 5월 채택된 후 158개국이 서명하여 1993년 12월 29일 국제적으로 발효되었다. 우리나라는 1994년 10월 3일 동 협약에 가입하였는데, 헌법 제6조 제1항에 따라 국내 법체제로 편입되면서 국내적인 이행 의무가 발생하였고 1994년 8월 「자연환경보전법」을 개정하였다. 동법은 자연환경 보전에 관한 일반법적 지위를 얻게 되었지만, 별도의 영역에서의 분법이 이루어지거나 새로운 분야에서 법률이 제정되면서 생물다양성에 관한 법체계는 분산되었다. 결국 국가 통합적인 차원에서 총괄적으로 정책을 추진할 수 있는 체계를 마련할 필요가 발생하였고, 생물주권을 강화하려는 국제적인 추세까지 대응하여야 하면서 신법의 제정을 준비하였다. 그에 따라 2012년 2월 「생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률」을 제정하면서 범정부 차원에서 종합적·체계적으로 규율할 수 있는 법제를 마련하였다.

3) 생물다양성법의 기본법적 성질

생물다양성법은 제정 배경에서 찾아볼 수 있듯 종합적·체계적인 규율과 생물다양성협약의 이행에 관한 사항을 정하는 것을 목적으로 한다. 그리고 반드시 준수되어야 할 6가지 기본원칙에서 6가지 원칙을 정한다. 또한 국가와 지방자치단체는 기본원칙에 따른 조치를 적극적으로 마련하고 시행하고, 계획과 사업이 기본원칙과 국가생물다양성전략에 부합하도록 노력할 것을 책무로 정한다. 다른 법률과의 관계에

서는 생물다양성 보전에 관해 다른 법률에 특별한 규정이 없으면 일반법적인 지위를 가지고, 이에 관한 다른 법률을 제·개정하는 경우 동법의 목적과 기본원칙에 부합하여야 하므로 기본법적인 지위를 가진다. 또한 분산된 법체계를 하나로 통합하여 5년마다 정하는 국가생물다양성전략의 수립 근거와 여러 행정기관의 장과 민간 전문가를 위원으로 하는 국가생물다양성위원회의 설치 근거도 두고 있다. 이는 전형적인 기본법에서 볼 수 있는 입법형식인 점, 여러 행정기관의 이해관계를 조정하고자 하는 근거를 두고 있는 점을 종합적으로 고려할 때 동법은 비록 제명이 기본법이 아닐지라도 기본법적 성질을 가진다고 할 수 있다.

3. 결론: 생물다양성법의 한계와 통합적인 제도 도입을 위한 개선방안

1) 자연환경보전 사무의 일원화

우리나라는 「정부조직법」과 ‘직제’에 근거하여 중앙행정기관의 설치와 직무범위가 정해지는 행정조직 법정주의는 ‘공간’이라는 영역을 기준으로 직무범위를 구분하고 있다. 그렇다 보니 규제기관인 환경부가 아니더라도 자연환경보전에 대한 규제 사무를 관장할 수 있는 것인데, 문제는 개발사업·산업진흥에 관한 사무도 함께 관장하고 있어 객관성이 부족하다. 그러므로 기후·물관리·자연보전·자원순환·환경보전 등 여러 분야를 관장하여 연계성을 고려하기 유리하고 조사·연구 기능을 수행하는 기관도 환경부장관 아래에 설치하고 있어 전문성을 갖추고 있는바, 환경부로 자연환경보전사무를 일원화하는 것이 바람직하다. 다만, 환경부도 하천이나 수자원의 건설공사를 추진할 수 있으므로 엄격한 의미에서 보전과 진흥을 구분하기 어려울 것이기에 사회적 합의를 거쳐 장기적인 방향에서 논의할 필요가 있다.

2) 보호지역 정의와 유형화

생물다양성법이 기본법적 성질을 가짐에도 보호지역 제도에 대해서는 그 기능을 충분히 다하지 못하고 있는데, 보호지역에 대한 일반적인 정의 및 분류 체계를 전혀 반영하지 아니하기 때문이다. 「자연환경보전법」에서 이를 정하는 개정이 이루어지기는 하였으나, 자연환경과 생물다양성의 정의에서 해양과 해양생태계를 제외하여 통합적인 규율이 불가하다. 따라서 공간에 구분 없이 폭넓게 규율할 수 있는 생물다양성법에서 보호지역을 정의하고, 국제기준에 부합하는 ‘한국형 분류 체계’를 개발하여 유형화하여야 한다. 이때 GBF 실천목표 1에서 공간계획에 생물다양성을 고려할 것을 요구하고 있으므로 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 따른 용도지역을 고려하는 등을 통해 정보망을 구축하여야 한다.

3) 국가생물다양성위원회의 법적 위상 격상 및 기능 강화

합의제 행정기관의 형태를 갖춘 국가생물다양성위원회는 정책 추진 과정에서 이해관계의 차이를 조정하기 유리하지만, 환경부 소속으로 설치된 점과 자문의 기능을 수행한다는 점에서 법적 위상이 현저히 낮다. 특히 이 경우 중립적·객관적인 조정이 이루어지지 못할뿐더러 위원회를 수동적인 지위에 놓이게 한다. 따라서 시행령이 아닌 법률에서 근거를 정하고, 관련 법률상 위원회와 비교하여 대통령 소속으로 설치하면서, 그 기능을 심의·의결로 격상하여야 한다. 다만, 여전히 학문상 자문위원회에 불과하여 실제적인 구속력은 부재할 수 있으므로 위원회의 의결에 구속력을 부여하여 대외적인 표시권을 구축하는 방안을 생각해 볼 필요가 있다.

4) 국가생물다양성전략과 관련 행정책획의 연계성 강화

국가생물다양성전략은 생물다양성에 대한 최상위 법정계획이고, 중앙행정기관의 장이 그 시행계획에서 구체적인 내용을 정하지만, 통보에 그치는 절차로 연계되지 아니하는 실정이다. 보호지역에 관한 개

별법에 따른 행정계획(전문계획)도 동 전략의 목표를 전혀 반영하고 있지 아니하고 그 기간이 달라서 마찬가지다. 따라서 중앙행정기관이 시행계획을 수립 시 환경부장관과 협의하도록 하고, 구속적 협의로 정하여 절차적인 구속력을 담보하여야 한다. 또한 전문계획의 경우 동 전략과의 부합을 법적 의무로 정하고, 국가생물다양성위원회의 심의·의결을 통해 그 여부를 판단하며, 기간을 일률적으로 설정해 나가는 것이 바람직하다. 단, 이는 전략이 제대로 수립되었음은 전제로 하는바, 일률적인 정책 추진을 위해 국회에 보고하고 동의받도록 하는 방안도 고민해 볼 수 있을 것이다.

5) 지방자치단체의 역할 강화

최근 지방자치단체는 지역의 차원에서 생물다양성협약의 의무를 이행하는 주체로 급부상하고 있다. 그 역할 중 하나로 지역생물다양성전략의 수립을 생각할 수 있는데, 정작 이에 관한 법적 근거가 전무하여 아예 수립하지 아니하거나 설령 수립하더라도 보호지역에 관한 내용을 정하지 아니하기도 하는 등 통일성이 부족하다. 비록 생물다양성법 제4조의 책무규정에서 묵시적 위임에 의해 간접적인 근거를 도출하기도 하지만, 강제성이 없어 선언적·유도적인 성격에 그치게 된다. 따라서 동법에서 수립 근거를 직접 정하고, 동법의 목적과 기본원칙에 부합하도록 하여 일관성이 유지되도록 하여야 한다. 하지만 지역마다 지리적 특성이 달라 자연환경과 이해관계자 유형이 모두 다를 것이므로 조례로 구체적인 사항을 정할 수 있도록 위임하여야 한다. 이때 전문성과 객관성이 부족할 수밖에 없는 지방자치단체의 특성을 고려하여 국가생물다양성위원회로부터 부합성 여부를 심의·의결을 거치도록 하는 것도 생각할 수 있다.

참고문헌

- 박영도, 2014, “목적규정의 입법학적 고찰”, 법제, 통권 제667호, 2014, 70면.
- 박종원, 2021, “하천생태계의 건전성 복원을 위한 법적 과제”, 『환경법연구』, 제43권 제1호, 273-274면.
- _____, 2021, “環境法, 分權이 答인가”, 『환경법연구』, 제43권 제3호, 132-133면.
- _____, 2024, “EU 자연복원규칙의 제정의 의의와 우리나라 자연환경복원의 법적 과제”, 『환경법연구』, 제46권 제2호, 227면.
- 안기수, 2016, “생활환경으로서 해양환경 보전을 위한 해양환경의 개념정립 및 법체계 개선방향에 관한 연구”, 『환경법과 정책』, 제16권, 247면.
- 윤익준, 2023, “인류세(별종시대)에서 생물다양성 보전을 위한 국가의 역할과 공법의 과제”, 『한양법학』, 제34권 제4집, 99-100면.
- 이현우, 2012, “한국 생물다양성정책의 현상과 대응방안”, 환경법과 정책, 제9권, 14면.
- 주동진, 2024, “비오톱 조례의 법률상 위임근거-이른바 ‘묵시적 위임’에 의한 침익적 조례의 허용과 한계-”, 『행정법연구』, 제74호, 146-153면.
- 차은지·구경아·김다빈, 2021, “CBD Post-2020 글로벌 생물다양성 프레임워크에 따른 국가생물다양성전략 및 관리지표의 개선방안”, 『환경법과 정책』, 제27권, 107-108면.
- 최민규, 2024, “탄소중립 실현을 위한 해상풍력특별법의 쟁점과 개선방안 연구”, 『해양정책연구』, 제39권 제1호, 2024, 209-210면.
- 함태성, 2006, “한국의 자연환경법제의 현황 및 발전방향”, 『환경법연구』, 제28권 제2호, 36-37면.
- 김명수·최영국·전대윤·박정은·서연미, 『국토자원의 효율적인 관리를 위한 보호지역의 위계정립 및 관리방안』, 국토연구원, 2007, 24-25면.
- 김홍균, 『환경법』 제6판, 홍문사, 2022, 277면.
- 박영도, 『기본법의 입법모델연구』, 한국법제연구원, 2006, 24-25면.
- 전재경, 『보호구역 관리 실태 및 법제정비 방언연구』, 한국법제연구원, 2005, 23면.
- Decision Adopted by the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity, “Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework”, CBD/COP/DEC/15/4, 19 December 2022.

사사

이 논문은 정부(환경부)의 재원으로 국립생물자원관의 지원을 받아 수행되었습니다(NIBRE202501).

중서부태평양 해양환경 변동에 따른 가다랑어 어획량 변동

임다혜 서울대학교 지구환경과학부 물리해양학 석사과정, 숲과나눔 학업장학생

나한나 서울대학교 지구환경과학부 부교수

이미경 국립수산물과학원 원양자원과

김창신 국립수산물과학원 기후변화연구과

1. 서론

기후변화가 해양생태계와 수산자원에 미치는 영향이 커지면서 지속 가능한 어업을 위한 해양 환경 변동성 고려의 중요성이 대두되고 있다 (FAO, 2003). 특히 가다랑어 (*Katsuwonus pelamis*)는 전 세계적으로 중요한 어종으로, 중서부태평양 적도 해역에서 가장 많이 어획된다. 이 해역은 엘니뇨-남방 진동 (ENSO)과 같은 기후 변화에 따라 해수 온도와 해류의 변화가 크며, 이는 가다랑어의 서식지와 분포에 직접적인 영향을 미친다 (Lehodey et al., 1997). 가다랑어 어장 분포의 동서 변화는 엘니뇨 시기에는 동쪽으로, 라니냐 시기에는 서쪽으로 이동하는 경향이 뚜렷하게 나타난다. 이와 더불어, 표층에서 유영하는 어군을 대상으로 한 부상군 조업 (Unassociated set)과 자연 유목물체나 인공 집어장치 (FAD)에 유집된 어군을 대상으로 한 유목군 조업 (Associated set)은 어획 방식에 따라서도 어장 분포 및 어획량에 각기 다르게 작용할 가능성을 시사한다 (Lee et al., 2016). 이처럼 해양 환경이 해양 생태계에 미치는 영향은 이미 널리 알려져 있지만, 기후변화로 인한 해양 환경 변동성과 어획 방식의 복합적인 상호작용에 대한 장기적 연구는 부족한 실정이다. 따라서 효과적인 수산 자원 관리를 위해서는 단순한 환경 변화뿐 아니라 어획 방식과 환경 변동이 어떻게 상호작용하는지 심층적으로 분석할 필요가 있다. 본 연구는 1980년부터 2024년까지의 장기간 자료를 활용하여 중서부태평양 적도 해역에서 가다랑어 어획량과 해양 환경 변수 간의 관계를 분석하는 데 중점을 둔다. 특히 어획 방식에 따른 어획량의 변화를 여러 기후 지수 및 환경 변수와 연관 지어 조사하였다. 이 분석을 통해 어획량 변동의 잠재적 예측 가능성을 평가하고, 기후변화에 따른 가다랑어 어장 관리 방안을 모색하고자 한다.

2. 자료 및 방법

1) 해양환경 자료

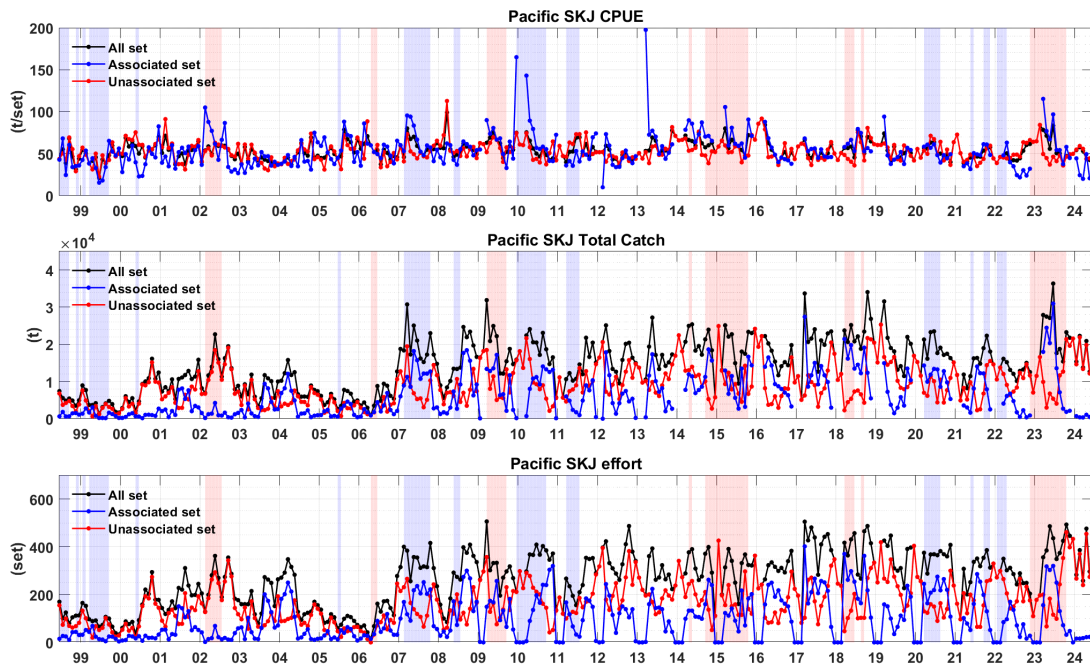
본 연구에서 사용된 해양환경 자료는 SODA 3.15.2(Simple Ocean Data Assimilation)으로부터 생성된 월평균 수온이다. 자료의 기간은 1980년부터 2024년까지이며 연직 21개 층을 사용하였다. 기후변동 지수는 엘니뇨/라니냐 감시구역인 열대 태평양의 해역(5°S~5°N, 170°W~120°W)에서 해수면 온도 편차를 나타내는 Nino 3.4 지수가 사용되었다.

2) 어획량 자료

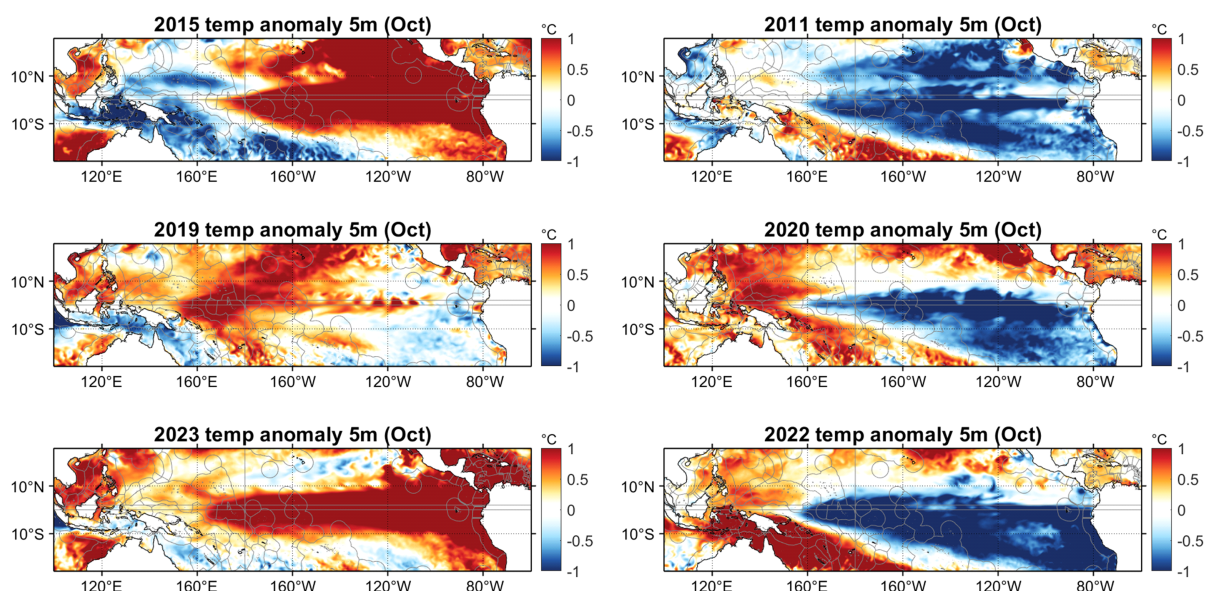
어획량 자료는 국립수산물과학원에서 1980년대 초부터 수집하여 기록한 우리나라 선망 어업자료를 사용하였다. 초기의 낮은 자료 수집율과 불분명한 조업 형태를 고려하여 본 연구에서는 1999년부터 2024년까지 총 26년 자료를 분석하였다. 어획량과 어획 노력량을 통해 월별 단위 노력당 어획량 (catch per unit effort, CPUE, 어획일수당 어획량)이 산출되었으며, 위도 20°S-20°N 와 경도 120°E-120°W 내에서 (1°x1°) 도시하여 어장분포 및 변동 경향을 파악하였다.

3. 결과 및 토의

태평양 가다랑어(SKJ)의 CPUE는 평균적으로 50~100 t/set 범위 내에서 뚜렷한 연도별 변동성을 보였다 (그림 1). 유목군 조업에서 간헐적으로 급격한 증가를 보이는데, 이는 2010년 이후 적용된 중서부태평양수산물위원회 (WCPFC)의 여름철 유목군 조업 규제로 인한 반등 효과의 가능성을 시사한다. 규제 직후 10월의 CPUE가 높았던 해와 낮았던 해의 해수면 온도의 공간 분포를 확인해본 결과, CPUE가 높았던 해에는 동쪽의 수온이 평년보다 높은 값을 보이며 CPUE가 낮았던 해에는 반대의 공간 분포를 보인다 (그림 2).

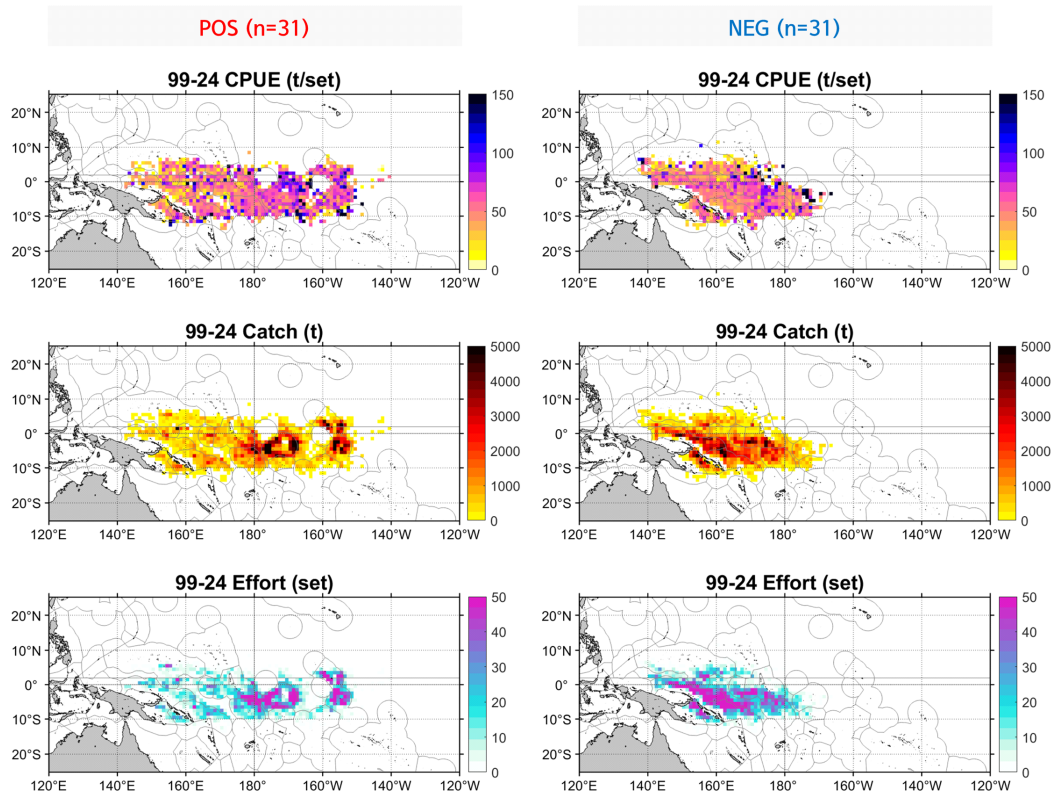


<그림 1> 위에서부터 차례대로 월별 CPUE, 총 어획량, 총 노력량 시계열 (plot)과 Nino 3.4 지수 (shading)



<그림 2> 각각 유목군 조업 CPUE가 높았던 (좌) 해와, 낮았던 (우) 해의 해수면 온도 편차

표준편차 1을 기준으로 Nino 3.4 지수가 각각 높았을 때와 낮았을 때를 구분하여 어획량 자료의 공간 변동을 분석한 결과, CPUE와 총 어획량, 총 노력량 모두에서 동서로 뚜렷하게 구분되는 분포를 보였다 (그림 3). 주목할 점은 총 노력량 또한 Nino 3.4 지수에 의한 변동 패턴이 보인다는 것인데, 이는 조업 당시 이미 해양환경에 대한 정보가 반영된 결과임을 암시한다.



<그림 3> Nino 3.4 지수에 따른 composite analysis

4. 결론

가다랑어 (*Katsuwonus pelamis*)는 다랑어 선망어업의 핵심 어종으로, 중서부태평양 해역에서 가장 많이 어획된다. 가다랑어 분포와 어획 가능성은 해양 및 대기 대규모 변동성과 밀접하게 관련되어 있는데, 특히 엘니뇨 - 남방진동(El Nino-Southern Oscillation; ENSO)은 수온을 비롯한 해양 환경과 일차생산력에 큰 영향을 미쳐 가다랑어의 행동과 서식지에 변화를 일으킨다. 본 연구에서는 1980년부터 2024년까지 월별 가다랑어 단위노력당 어획량(Catch Per Unit Effort; CPUE)의 시·공간적 변화를 분석하였다. 분석 결과, CPUE의 분포가 엘니뇨 시기에는 동쪽으로, 라니냐 시기에는 서쪽으로 이동하는 경향이 뚜렷하게 나타나며 이러한 경향은 부상군 조업 (Unassociated set)과 유목군 조업 (Associated set) 모두에서 공통적으로 확인되었다. 다만, 부상군 조업에 비해 유목군 조업은 상대적으로 안정적인 시간 변동성을 보이며 수온 변동과 더 밀접한 관계를 보였다. 이러한 비교는 어획 효율이 기후 변동성뿐 아니라 어획 방식과 같은 인위적 요인에도 민감하게 반응함을 시사한다. 따라서 중서부태평양 가다랑어 어업의 변동을 평가할 때는 ENSO와 같은 대규모 해양-대기 환경 요인과 함께 어획 전략의 효과도 고려하는 것이 중요할 것이다. 향후 이러한 연구는 미래 어장 분포를 예측하고, 궁극적으로 지속 가능한 수산 자원 관리 전략을 수립하는 데 중요한 기초 자료를 제공할 것으로 기대된다.

참고문헌

- 2003, FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries. No. 4, Suppl. 2, P.112
- Lehodey P, Bertignac M, Hampton J, Lewis A, Picaut J, 1997, El Nino Southern Oscillation and tuna in the western Pacific, Nature, Vol.386 P.715-718
- LEE, M.-K., LEE, S.-I., LEE, C.-W., KIM, Z.-G., & KU, J.-E. (2016, May 30). Changes in fishing characteristics and distributions of Korean tuna purse seine fishery by oceanographic conditions in the Pacific Ocean. Journal of the Korean Society of Fisheries Technology. The Korean Society of Fisheries and Ocean Technology. <https://doi.org/10.3796/ksft.2016.52.2.149>

사사

본 연구는 2025년도 국립수산물과학원 연구 사업 (기후변동에 따른 원양 다량어류 어장 변동 연구) 및 숲과나눔 재단 장학사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

중간 지속가능성 제고를 위한 전략적 틈새로서의 동물대체시험법의 가능성과 과제

국내 오가노이드 전환실험을 중심으로

박아름 서울대학교 대학원 환경계획학과 석사, 숲과나눔 학업장학생

1. 서론

최근 유럽연합(EU)과 미국 환경보호청(EPA) 등에서는 동물실험을 점진적으로 폐지하는 방향으로 정책을 전환하는 노력을 기울이고 있다. 반면, 지난 몇 년 간 한국의 동물실험은 오히려 증가해 왔기에 이에 대한 성찰적 검토가 요청된다. 이 연구에서는 중간 지속가능성(interspecies sustainability)이라는 관점에서 기존의 동물실험 레짐을 대체할 수 있는 오가노이드(organoid) 기술의 등장에 주목하고, 이 새로운 기술이 레짐 변화의 성공적인 틈새로 작용할 수 있을지 고찰한다. 여기서 전제되는 중간 지속가능성이란 지속가능성 개념에 중간 윤리(interspecies ethics)를 포함시킨 관점으로, 이를 통해 파악된 동물실험 레짐의 변화에 대해 사회기술체계(socio-technological system) 이론의 다층적 관점(Multi-Level Perspective: MLP)을 적용하여 분석한다.

연구의 주요 질문은 다음과 같다. 첫째, 동물 비이용 레짐은 어떤 과정을 통하여 형성되고 있는가? 둘째, 동물 비이용 레짐에서 오가노이드 기술이 주목받게 된 이유는 무엇인가? 셋째, 오가노이드 기술은 중간 지속가능성 제고를 위한 전략적 틈새로 기능할 수 있는가?

2. 본론

1) 연구 방법

이 연구는 동물실험과 중간 관계에 대한 논의를 다룬 문헌연구와, 오가노이드 전환실험 참여자를 대상으로 한 심층면접으로 구성된다. 이를 통해 동물실험 대체기술로 주목받는 오가노이드 연구가 동물실험을 둘러싼 사회제도, 관습, 윤리의 변화 과정에 어떤 역할을 수행하는지 드러내고자 하였다.

2) 연구 결과

(1) 전략적 틈새로서의 오가노이드

연구 결과, 오가노이드 전환실험은 동물대체시험법의 하나로서 동물 비이용 레짐을 향한 기대와 비전의 설정, 사회적 네트워크의 형성, 학습의 요소를 갖추어 전략적 틈새로서 작동하고 있었다. 또한 오가노이드 관련 프로젝트들이 복제, 축적되고 있었고, 전환실험의 참여자와 자원을 불러모으는 구성적 프로젝트를 통해 확대되고 있었다. OECD 시험지침과 ISO 인증 등 표준화 시도를 통해 주류로 번역될 가능성 역시 높이고 있었다.

오가노이드 기술을 비롯한 동물대체시험법이 보다 성공적인 전략적 틈새로서 작동하기 위해서는 오가노이드와 여타 동반 기술 연구에 투자하고 관련 규제를 조율하는 정부의 전환 관리와 동물 비이용 레짐으로의 안정적 전환을 위한 국제 협력과 정보 공유가 필요함을 발견하였다.

3. 결론

이 연구는 중간 지속가능성의 관점에서 동물실험 레짐의 균열을 다루고, 동물대체시험법 기술, 그 중에서도 특히 '오가노이드'의 등장과 동물 비이용 레짐으로의 변화 과정에서 어떠한 틈새로 작용하고 있는지를 전환이론의 다층적 관점을 적용하여 분석하고자 하였다. 그럼으로써, 중간 지속가능성 제고를 위해 동물 비이용 레짐으로의 전환이 필요한 상황을 조명하고, 이와 관련된 우리사회의 변화 양상과 정책적 시사점을 제시하고자 하였다.

그동안 동물대체시험법에 대한 연구가 주로 일반적인 기술적 성취나 동물실험에 대한 윤리적, 기술적 문제제기의 측면에서 다루어져 온 것과는 다르게, 이를 사회기술체계의 전환의 문제로 새롭게 조명하는 시도를 하였다는 점에서 이 연구는 의의를 갖는다.

덧붙여 경관에서 부상하는 가치에 부합하는 방향을 향하는 틈새의 경우 내재적 한계를 돌파하는 데에만 집중할 수 있는 데 비해, 새로이 중요시되는 가치에 부합하지 않는 기술은 내재적 한계뿐 아니라 외재적 요소와의 갈등을 맞이할 수 있음에 주목함으로써 향후 사회기술의 전환에 있어 틈새의 '가치부합성 관리'라는 개념을 제안하고자 하였다. 경관의 가치에 부합하는 틈새의 경우 그렇지 않은 경우에 비하여 경관에서 일어나는 변화로 인한 압력을 추진력으로 활용할 수 있는 기회를 더 얻을 수 있음에 주목함으로써 향후 전환이론에서 가치의 중요성을 새로이 제기하였다는 면에서 이론적 기여를 할 수 있을 것이다.

마지막으로, 지속가능성의 개념이 기존의 인간중심적 한계를 넘어, 중간 윤리를 포함하는 중간 지속가능성으로 확장되어야 할 필요성을 동물실험의 사례를 들어 제기한다는 점에서 지속가능성과 관련된 환경 분야 연구의 지평을 확장하였다는 데에서도 유의미한 성과를 주장할 수 있을 것이다.

참고문헌

논문/단행본

- 권복규, 최훈, 목광수, 이민구, & 모효정, 2014, 동물실험윤리. 로도스.
- 박미혜, 2023, 윤리적 채식주의 소비자의 채식소비 경험에 관한 질적연구: 근거이론 방법의 적용. 소비자학연구, 34(5), 157-188. <https://doi.org/10.35736/JCS.34.5.8>
- 송위진 & 황혜란, 2009, 기술집약적 중소기업의 탈추격형 기술혁신 특성 분석. 기술혁신연구, 17(1), 49-67.
- 오수빈, 신수민, & 윤순진, 2021, 에너지전환과 지속가능한 농촌사회를 위한 전략적 틈새로서 영농형 태양광: 가능성과 쟁점들. 공간과 사회, 31(4), 122-170. <https://doi.org/10.19097/kaser.2021.31.4.122>
- 윤순진 & 심혜영, 2015, 에너지 전환을 위한 전략적 틈새로서 시민햇빛발전협동조합의 가능성과 제도적 한계: 서울시 사례를 중심으로. 공간과 사회, 51, 140-178.
- 이성은, 2023, 화장품 원료의 안전성 평가를 위한 동물실험대체법 연구 동향. 한국화장품미용학회지, 13(2), 359-368.
- 이영석 & 김병근, 2014, 사회-기술 전환이론 비교 연구 -전환정책 설계와 운영을 위한 통합적 접근. 한국정책학회, 23(4), 179-210.
- 이유진, 2016, 에너지전환을 위한 주민주도 에너지자립마을의 틈새전략-성대골 에너지자립마을을 중심으로 - [Ph.D., 서울대학교]. <https://s-space.snu.ac.kr/bitstream/10371/124942/1/000000137268.pdf>
- 전수연, 이성인, 안선주, 권다연, & 박지혜, 2024, 오가노이드를 이용한 동물대체시험법 표준동향과 전망. 표준인증안전학회지, 14(1), 59-75.
- 정재성, 최진희, 임창원, & 정다운, 2019, 화학물질 독성고속대량스크리닝 프로그램 ToxCastTM 분석. 환경분석과 독성보전, 22(2), 77-83.
- 조중현, 2013, 동물의 고통에 대한 공감과 은폐를 통해 본 인간중심주의. 생명연구, 29, 155-185.
- 천명선, 2008, 근대 수의학의 역사. 한국학술정보.
- 최낙원, 차상훈, 최치훈, 조영재, & 김세중, 2021, 3D 생체 조직 칩 기술 소개 및 동향. 산은조사월보, 784.

- 최명애, 2022, 응답의 정치: 동물권 너머의 동물 정치 The Politics of Response: Animal Politics Beyond Animal Right. *Society and Theory*, 42, 87-132. <https://doi.org/10.17209/st.2022.07.42.87>
- 최훈, 2016, 동물실험은 윤리적으로 옹호 가능한가? 한국실험동물학회 학술발표대회 논문집, 54-54.
- 하대청, 2024, 실험 쥐는 관대한 존재가 될 수 있을까?: 동물실험, 다종 이야기하기, 응답과 돌봄의 과학. *경제와 사회*, 272-308. <https://doi.org/10.18207/criso.2024..141.272>
- Akhtar, A, 2015, The Flaws and Human Harms of Animal Experimentation. *Cambridge Quarterly of Healthcare Ethics*, 24(4), 407-419. <https://doi.org/10.1017/S0963180115000079>
- Balls, M., Combes, R., & Worth, A. P, 편집자), 2019, The history of alternative test methods in toxicology. Academic Press. https://research-ebsco-com-ssl.libproxy.snu.ac.kr/c/oezed3/ebook-viewer/pdf/zudfwr3w3f/page/pp_iv
- Basalay, M. V., Wiart, M., Chauveau, F., Dumot, C., Leon, C., Amaz, C., Bolbos, R., Cash, D., Kim, E., Mechtouff, L., Cho, T.-H., Nighoghossian, N., Davidson, S. M., Ovize, M., & Yellon, D. M, 2020, Neuroprotection by remote ischemic conditioning in the setting of acute ischemic stroke: A preclinical two-centre study. *Scientific Reports*, 10(1), 16874. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74046-4>
- Begley, C. G., & Ellis, L. M, 2012, Raise standards for preclinical cancer research. *Nature*, 483(7391), 531-533. <https://doi.org/10.1038/483531a>
- Bergmann, I. M, 2019, Interspecies Sustainability to Ensure Animal Protection: Lessons from the Thoroughbred Racing Industry. *Sustainability*, 11(19), 5539. <https://doi.org/10.3390/su11195539>
- Boelsterli, U. A, 2009, Mechanistic Toxicology: The Molecular Basis of How Chemicals Disrupt Biological Targets (2nd Ed, Informa Healthcare.
- Bossert, L. N, 2024, Interspecies Justice within a Normative Sustainable Development Framework-Animal-Friendly Energy Systems as a Test Case. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 37(3), 14. <https://doi.org/10.1007/s10806-024-09933-1>
- Broom, D. M, 2011, A history of animal welfare science. *Acta Biotheoretica*, 59(2), 121-137. <https://doi.org/10.1007/s10441-011-9123-3>
- Caloni, F., Link to external site, this link will open in a new tab, De Angelis, I., & Hartung, T, 2022, Replacement of animal testing by integrated approaches to testing and assessment (IATA): A call for in vivitrosi. *Archives of Toxicology. Archiv F?r Toxikologie*, 96(7), 1935-1950. <https://doi.org/10.1007/s00204-022-03299-x>
- Cox, J., & Bridgers, J, 2019, Why is animal welfare important for sustainable consumption and production? *Perspectives*, 34. <https://apo.org.au/node/225921>
- Damoiseaux, D., Schinkel, A. H., Beijnen, J. H., Huitema, A. D. R., & Dorlo, T. P. C, 2023, Predictability of human exposure by human?CYP3A4?transgenic mouse models: A meta?analysis. *Clinical and Translational Science*, 17(1), e13668. <https://doi.org/10.1111/cts.13668>
- Dawkins, M. S, 2021, The science of animal welfare: Understanding what animals want (First edition, Oxford University Press.
- Derda, R., Laromaine, A., Mammoto, A., Tang, S. K., Mammoto, T., Ingber, D. E., & Whitesides, G. M, 2009, Paper-supported 3D cell culture for tissue-based bioassays. *Proceedings of the National Academy of Sciences - PNAS*, 106(44), 18457-18462. <https://doi.org/10.1073/pnas.0910666106>
- Earnshaw, G. I, 1999, Equity as a Paradigm for Sustainability: Evolving the Process toward Interspecies Equity. *Animal Law Review*, 5. <https://www.animallaw.info/article/equity-paradigm-sustainability-evolving-process-toward-interspecies-equity>
- Ettayebi, K., Kaur, G., Patil, K., Dave, J., Ayyar, B. V., Tenge, V. R., Neill, F. H., Zeng, X.-L., Speer, A. L., Di Rienzi, S. C., Britton, R. A., Blutt, S. E., Crawford, S. E., Ramani, S., Atmar, R. L., & Estes, M. K, 2024, Insights into human norovirus cultivation in human intestinal enteroids. *mSphere*, 9(11), e0044824. <https://doi.org/10.1128/msphere.00448-24>
- Eudey, A. A, 2008, The Crab-Eating Macaque (*Macaca fascicularis*): Widespread and Rapidly Declining.

Primate Conservation, 23(1), 129-132. <https://doi.org/10.1896/052.023.0115>

- Fleetwood, G., Chlebus, M., Coenen, J., Dudoignon, N., Lecerf, C., Maisonneuve, C., & Robinson, S., 2015, Making Progress and Gaining Momentum in Global 3Rs Efforts: How the European Pharmaceutical Industry Is Contributing. *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science*?: JAALAS, 54(2), 192-197.
- Franco, N., 2013, Animal Experiments in Biomedical Research: A Historical Perspective. *Animals*, 3(1), 238-273. <https://doi.org/10.3390/ani3010238>
- Garcez, P. P., Loiola, E. C., Madeiro da Costa, R., Higa, L. M., Trindade, P., Delvecchio, R., Nascimento, J. M., Brindeiro, R., Tanuri, A., & Rehen, S. K., 2016, Zika virus impairs growth in human neurospheres and brain organoids. *Science*, 352(6287), 816-818. <https://doi.org/10.1126/science.aaf6116>
- Geels, F. W., 2011, The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 1(1), 24-40. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2011.02.002>
- Geels, F. W., 2019, Socio-technical transitions to sustainability: A review of criticisms and elaborations of the Multi-Level Perspective. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 39, 187-201. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.06.009>
- Greek, C. R., & Greek, J. S., 2001, Sacred cows and golden geese: The human cost of experiments on animals. *Continuum*.
- Greek, C. R., & Greek, J. S., 2002, Specious science: How genetics and evolution reveal why medical research on animals harms humans. *Continuum*.
- Greek, C. R., & Greek, J. S., with 김익현 & 안기홍 2005, 탐욕과 오만의 동물실험: 의사와 수의사가 밝히는 의학혁명?: 생명과학·생명윤리의 새로운 지평. 다른세상.
- Greek, C. R., Greek, J. S., & 윤미연, 2006, 가면을 쓴 과학 동물실험: 질병퇴치를 위한 의학혁명. 다른세상.
- Grimm, D., 2019, U.S. EPA to eliminate all mammal testing by 2035. *Science*. <https://doi.org/10.1126/science.aaz4593>
- Groff, K., Bachli, E., Lansdowne, M., & Capaldo, T., 2014, Review of Evidence of Environmental Impacts of Animal Research and Testing. *Environments*, 1(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/environments1010014>
- Gruenewald, D. A., 2004, A Foucauldian Analysis of Environmental Education: Toward the Socioecological Challenge of the Earth Charter. *Curriculum Inquiry*. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1111/j.1467-873X.2004.00281.x>
- Haraway, D., 2016, *Staying with the trouble: Making kin in the Chthulucene*. Duke University Press.
- Hartung, T., 2017, Evolution of toxicological science: The need for change. *International Journal of Risk Assessment and Management*, 20(1/2/3), 21. <https://doi.org/10.1504/IJRAM.2017.082570>
- Hoogma, R., Kemp, R., Schot, J., & Truffer, B., 2002, *Experimenting for Sustainable Transport*. Taylor & Francis.
- Ineichen, B. V., Furrer, E., Gr?ninger, S. L., Z?rrer, W. E., & Macleod, M. R., 2024, Analysis of animal-to-human translation shows that only 5% of animal-tested therapeutic interventions obtain regulatory approval for human applications. *PLOS Biology*, 22(6), e3002667. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3002667>
- Kemp, R., Schot, J., & Hoogma, R., 1998, Regime shifts to sustainability through processes of niche formation: The approach of strategic niche management. *Technology Analysis & Strategic Management*, 10(2), 175-198. <https://doi.org/10.1080/09537329808524310>
- Kinter, L. B., & DeGeorge, J. J., 2016, Scientific Knowledge and Technology, Animal Experimentation, and Pharmaceutical Development. *ILAR Journal*, 57(2), 101-108. <https://doi.org/10.1093/ilar/ilw027>
- Kinter, L. B., DeHaven, R., Johnson, D. K., & DeGeorge, J. J., 2021, A Brief History of Use of Animals in Biomedical Research and Perspective on Non-Animal Alternatives. *ILAR Journal*, 62(1-2), 7-16. <https://doi.org/10.1093/ilar/ilab020>
- LaFollette, M. R., Riley, M. C., Cloutier, S., Brady, C. M., O'Haire, M. E., & Gaskill, B. N., 2020, Laboratory Animal Welfare Meets Human Welfare: A Cross-Sectional Study of Professional Quality of Life, Including Compassion Fatigue in Laboratory Animal Personnel. *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 114. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00114>
- Loorbach, D., & Rotmans, J., 2010, The practice of transition management: Examples and lessons from four

distinct cases. *Futures*, 42(3), 237–246. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2009.11.009>

- Mamzer, H., Zok, A., Białas, P., & Andrusiewicz, M, 2021, Negative psychological aspects of working with experimental animals in scientific research. *PeerJ*, 9, e11035. <https://doi.org/10.7717/peerj.11035>
- Markard, J., & Truffer, B, 2008, Technological innovation systems and the multi-level perspective: Towards an integrated framework. *Research Policy*, 37(4), 596–615. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2008.01.004>
- Marshall, L. J., Bailey, J., Cassotta, M., Herrmann, K., & Pistollato, F, 2023, Poor Translatability of Biomedical Research Using Animals–A Narrative Review. *Alternatives to Laboratory Animals*, 51(2), 102–135. <https://doi.org/10.1177/02611929231157756>
- Maschmeyer, I., & Kakava, S, 2022, Organ-on-a-Chip. In J. Bahnemann & A. Gr?nberger (편집자), *Microfluidics in Biotechnology* (pp 311–342, Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/10_2020_135
- Maxwell, J. A, 2013, *Qualitative research design: An interactive approach* (3rd ed, SAGE Publications.
- Meigs, L., Smirnova, L., Rovida, C., Leist, M., & Hartung, T, 2018, Animal testing and its alternatives – the most important omics is economics. *ALTEX – Alternatives to Animal Experimentation*, 35(3), Article 3. <https://doi.org/10.14573/altex.1807041>
- Noske, B, 1997, *Beyond Boundaries: Humans and Animals*. Black Rose Books.
- Pedrosa, T. do N., Catarino, C. M., Pennacchi, P. C., Assis, S. R. de, Gimenes, F., Consolaro, M. E. L., Barros, S. B. de M., & Maria-Engler, S. S, 2017, A new reconstructed human epidermis for in vitro skin irritation testing. *Toxicology in Vitro*, 42, 31–37. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2017.03.010>
- Platt, J, 2012, The history of interview. In J. F. Gubrium (편집자), *The Sage handbook of interview research: The complexity of the craft* (2nd ed, SAGE.
- Prinz, F., Schlange, T., & Asadullah, K, 2011, Believe it or not: How much can we rely on published data on potential drug targets? *Nature Reviews Drug Discovery*, 10(9), 712–712. <https://doi.org/10.1038/nrd3439-c1>
- Probyn-Rapsey, F., Donaldson, S., Ioannides, G., Lea, T., Marsh, K., Neimanis, A., Potts, A., Taylor, N., Twine, R., Wadiwel, D., & White, S, 2016, A Sustainable Campus: The Sydney Declaration on Interspecies Sustainability. *Animal Studies Journal*, 5(1), 110–151.
- Ramsey, J. L, 2015, On Not Defining Sustainability. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 28(6), 1075–1087. <https://doi.org/10.1007/s10806-015-9578-3>
- Reddy, N., Lynch, B., Gujral, J., & Karnik, K, 2023, Alternatives to animal testing in toxicity testing: Current status and future perspectives in food safety assessments. *Food and Chemical Toxicology*, 179, 113944. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2023.113944>
- Rotmans, J., Kemp, R., & Van Asselt, M, 2001, More evolution than revolution: Transition management in public policy. *Foresight*, 3(1), 15–31. <https://doi.org/10.1108/14636680110803003>
- Rotmans, J., & Loorbach, D, 2009, Complexity and Transition Management. *Journal of Industrial Ecology*, 13(2), 184–196. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2009.00116.x>
- Russell, W. M. S., & Burch, R. L, 1959, *The Principles of Humane Experimental Technique*. Methuen.
- Schmeisser, S., Miccoli, A., von Bergen, M., Berggren, E., Braeuning, A., Busch, W., Desaintes, C., Gourmelon, A., Grafstr?m, R., Harrill, J., Hartung, T., Herzler, M., Kass, G. E. N., Kleinstreuer, N., Leist, M., Luijten, M., Marx-Stoelting, P., Poetz, O., van Ravenzwaay, B., ... Tralau, T, 2023, New approach methodologies in human regulatory toxicology – Not if, but how and when! *Environment International*, 178, 108082. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108082>
- Schot, J., & Geels, F. W, 2008, Strategic niche management and sustainable innovation journeys: Theory, findings, research agenda, and policy | Request PDF. *ResearchGate*. <https://doi.org/10.1080/09537320802292651>
- Seyfang, G., & Haxeltine, A, 2012, Growing Grassroots Innovations: Exploring the Role of Community-Based Initiatives in Governing Sustainable Energy Transitions. *Environment and Planning C: Government and Policy*, 30(3), 381–400. <https://doi.org/10.1068/c10222>
- Shariati, L., Esmaeili, Y., Haghjooy Javanmard, S., Bidram, E., & Amini, A, 2021, Organoid Technology:

Current Standing and Future Perspectives. Stem Cells, 39(12), 1625-1649. <https://doi.org/10.1002/stem.3379>

- Silva, R. J., & Tamburic, S, 2022, A State-of-the-Art Review on the Alternatives to Animal Testing for the Safety Assessment of Cosmetics. Cosmetics, 9(5), 90. <https://doi.org/10.3390/cosmetics9050090>
- Swaters, D., Van Veen, A., Van Meurs, W., Turner, J. E., & Ritskes-Hoitinga, M, 2022, A History of Regulatory Animal Testing: What Can We Learn? Alternatives to Laboratory Animals, 50(5), 322-329. <https://doi.org/10.1177/02611929221118001>
- Taylor, K., & Alvarez, L. R, 2019, An Estimate of the Number of Animals Used for Scientific Purposes Worldwide in 2015. Alternatives to Laboratory Animals, 47(5-6), 196-213. <https://doi.org/10.1177/0261192919899853>
- Wadman, M, 2023, FDA no longer needs to require animal tests before human drug trials. Science, 379(6628), <https://doi.org/10.1126/science.adg6264>
- Weiss, R. S, 1994, Learning from strangers: The art and method of qualitative interviewing. Free Press.

신문 기사

- 고은경, 2025, 동물 대신 인공장기로 실험...대통령 약속한 동물대체시험법, 부처 간 이견 넘을까. 한국일보. <https://www.hankookilbo.com/News/Read/A2025070316000004842>
- 김가람, 2024, 오가노이드 기술, 재생 치료제 한계 극복할까... 국내 최초 임상 '돌입'. 바이오타임즈. <http://www.biotimes.co.kr/news/articleView.html?idxno=13669>
- 백지원, 2022, 美 동물실험 2035년에 중단한다는데... 국내선 5년간 1300만 마리 실험에 이용. 더나은미래. <https://www.futurechosun.com/archives/68914>
- 양민철 (2022, [단독] '동물 복제' 이병천 교수 파면...징계 요청 3년 만 [Broadcast]. In 뉴스7. KBS. <https://news.kbs.co.kr/news/pc/view/view.do?ncd=5558985>
- 윤신영, 2019, "동물실험 안 한다" 세계적 英 연구소 두 곳 동물실험실 폐쇄 추진. 동아사이언스. <http://m.dongascience.com/news.php?idx=30264>
- 이병욱, 2015, 국내 초·중·고교 동물실험 "무법지대". 뉴스1. <https://www.news1.kr/articles/?2449332>
- 이한기, 2025, 美 FDA, 의약품 개발서 동물실험 단계적 폐지 계획. 의학뉴스. <http://www.newsmj.com/news/articleView.html?idxno=246178>
- 진진경, 2018, 돼지농장 죽이고 돼지공장 키우는 나라. 한겨레21. https://h21.hani.co.kr/arti/cover/cover_general/45943.html
- 조현, 2022, 왜 같은 불교인데도 어디선 육식 급하고 어디선 허용할까. 한겨레. <https://www.hani.co.kr/arti/well/news/1052633.html>
- 최우리, 2017, 서울대 수의대 일반 개농장에서 실험견 구매했다. 한겨레. https://www.hani.co.kr/arti/animalpeople/companion_animal/822100.html

인터넷 자료

- 국회사무처, 2024, 제22대국회 제420회 (임시회) 제1차 법제사법위원회(2024.12.24.) 회의록. 국회사무처. <https://record.assembly.go.kr/assembly/viewer/minutes/xml.do?id=52628&type=summary>
- 농림축산식품부, 2023, 2022년도 동물실험윤리위원회 운영실적 및 실험동물 사용실태. 농림축산식품부. <https://www.animal.go.kr/aec/community/show.do?boardId=boardID03&page=1&pageSize=10&keyword=&column=&menuNo=3000000016&seq=100741>
- 대한민국 정부, 미상, 정보공개포털. 정보공개포털. 2023년 12월 21일 조회, <https://www.open.go.kr/>
- 보건복지부, 2023, 「제3차 제약산업 육성·지원 종합계획」에 따른 2023년 제약산업 육성·지원 시행계획. 보건복지부. https://www.mohw.go.kr/board.es?mid=a10401000000&bid=0008&act=view&list_no=378652&tag=&nPage=1
- 서울대학교병원, 미상, 한국 최초 근대식 의사 | 서울대학교병원. 2023년 12월 20일 조회, <https://dept.snuh.org/dept/HHCC/content.do?menuId=003020009>
- 식품의약품안전평가원, 2023a, 대체기술의 규제적용 및 연구. 식품의약품안전평가원.
- 식품의약품안전평가원, 2023b, 오가노이드 (식의약 R&D 이슈 보고서, 식품의약품안전평가원.
- 한국바이오협회, 2024, 바이오 국가첨단전략산업 국가첨단전략산업 및 첨단기업 범위 고시 (이슈브리핑, 한국바이오협회 바이오경제연구센터. https://www.koreabio.org/board/board.php?bo_table=report&idx=327
- 환경부, 미상, CITES란. 환경부. 2023년 12월 21일 조회, <https://me.go.kr/hg/web/index.do?menuId=7104>
- 환경부, 2022, 환경부 보도·설명-동물의 희생 없는 새로운 화학물질 평가체계 마련. 환경부.

<https://www.me.go.kr/home/web/board/read.do?menuId=10525&boardMasterId=1&boardCategoryId=39&boardId=1546880>

- 환경부, 2025, 화학물질 안전과 동물복지 함께 지킨다... 동물대체시험시설 첫삽. 환경부.
- ALTEX, 2021, EPA drops target date to end mammalian toxicity testing by 2035 | ALTEX - Alternatives to animal experimentation. Alternative to Animal Experimentation. <https://www.altex.org/index.php/altex/announcement/view/358>
- Animal Welfare Act, Pub. L. No. 89-544. <https://www.govinfo.gov/content/pkg/COMPS-10262/pdf/COMPS-10262.pdf>
- Bybel, O., & Hug, C, 2023, Animal testing: ESG funds' big blind spot. Citywire. <https://citywire.com/funds-insider/news/animal-testing-esg-funds-big-blind-spot/a2414121>
- Charalambakis, N, 2023, NIH Council of Councils Approves New Initiative to Study Extrinsic Factors. Federation of American Society for Experimental Biology. <https://www.faseb.org/journals-and-news/washington-update/ni-h-council-of-councils-approves-new-initiative-to-study-extrinsic-factors>
- Commission Delegated Regulation (EU) 2023/2772 of 31 July 2023 Supplementing Directive 2013/34/EU of the European Parliament and of the Council as Regards Sustainability Reporting Standards (2023, https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2023/2772/oj
- Cruelty to Animals Act 1835, 2025, In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Cruelty_to_Animals_Act_1835&oldid=1274200647
- Dinan, S, 2023, Trump put EPA on course to end animal testing; Biden has started it up again. The Washington Times. <https://www.washingtontimes.com/news/2023/dec/13/trump-put-epa-on-course-to-end-animal-testing-bide/>
- DIRECTIVE 2010/63/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 22 September 2010 on the Protection of Animals Used for Scientific Purposes (2010, <http://data.europa.eu/eli/dir/2010/63/2019-06-26>
- EARA, 미상, EU regulations on animal research. EARA. 2025년 6월 1일 조회, <https://www.eara.eu/animal-research-law>
- European Chemicals Agency, 2023, The use of alternatives to testing on animals for the REACH Regulation. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2823/805454>
- European Commission, 미상, Computational Methods-European Commission. European Commission. 2023년 12월 21일 조회, https://joint-research-centre.ec.europa.eu/eu-reference-laboratory-alternatives-animal-testing-eurl-ecvam/alternative-methods-toxicity-testing/computational-methods_en
- European Commission, 2023, Commission acts to accelerate phasing out of animal testing [Text]. European Commission. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_3993
- European Commission, 2024, 2022 COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT Summary Report on the statistics on the use of animals for scientific purposes in the Member States of the European Union and Norway in 2022 (Staff Working Document, European Commission. <https://circabc.europa.eu/ui/group/8ee3c69a-bccb-4f22-89ca-277e35de7c63/library/051e5787-7746-46cf-8a0d-310f84fd1900/details>
- European Union, 미상, Save Cruelty Free Cosmetics-Commit to a Europe Without Animal Testing [Text]. European Union. 2025년 7월 13일 조회, https://citizens-initiative.europa.eu/save-cruelty-free-cosmetics-commit-europe-without-animal-testing_en
- FDA, 2025, FDA Announces Plan to Phase Out Animal Testing Requirement for Monoclonal Antibodies and Other Drugs. FDA; FDA. <https://www.fda.gov/news-events/press-announcements/fda-announces-plan-phase-out-animal-testing-requirement-monoclonal-antibodies-and-other-drugs>
- Future Market Insights, 2024, Organoids Market Size, Growth & Forecast 2024-2034. <https://www.futuremarketinsights.com/reports/organoids-market>
- Hulatt, L, 2024, Mechanistic Toxicology: Explained & Principles. Vaia. <https://www.vaia.com/en-us/explanations/medicine/pathology-histology/mechanistic-toxicology/>
- Low, P., Panksepp, J., Reiss, D., Edelman, D., Van Swinderen, B., & Koch, C, 2012, The Cambridge Declaration on Consciousness. Francis Crick Memorial Conference. <https://fcmconference.org/img/CambridgeDeclarationOnConsciousness.pdf>
- Markets, R. and, 2024, \$23.8 Bn Organoids Global Market Opportunities and Strategies to 2033: Custom Organoid Line Services for High-Throughput Applications, Organoid Solutions for Biotherapeutic Research and to Expand Solutions. GlobeNewswire News Room. <https://www.globenewswire.com/news-release/2024/11/22/2985803/28124/en/23-8-Bn-Organoids-Global-Market-Opportunity>

rtunities-and-Strategies-to-2033-Custom-Organoid-Line-Services-for-High-Throughput-Applications-Organoid-Solutions-for-Biotherapeutic-Research-a.html

- Mary Lyon Centre, 2022,. A celebration of the MRC Mammalian Genetics Unit. Mary Lyon Centre at MRC Harwell. <https://www.har.mrc.ac.uk/news/a-celebration-of-the-mrc-mammalian-genetics-unit/>
- Meadowcroft, J, 2025, Sustainability | Description, Theories, Examples, & Practices | Britannica. Britannica. <https://www.britannica.com/science/sustainability>
- OECD, 2023, The OECD QSAR Toolbox. <https://www.oecd.org/chemicalsafety/risk-assessment/oecd-qsar-toolbox.htm>
- OECD, 2024, Work plan for the OECD Test Guidelines Programme (TGP, OECD.
- ProCon, 2025, Animal Testing-Pro Quotes | Britannica. Britannica. <https://www.britannica.com/procon/animal-testing-debate/Pro-Quotes>
- Prophecy Market Insights, 2024a, Biopharmaceutical and Biomedicine Market Size, Trends and Forecast to 2034. Prophecy Market Insights. https://www.prophecymarketinsights.com/market_insight/Global-Biopharmaceutical-and-Biomedicine-Market-116
- Prophecy Market Insights, 2024b, Organoids and Spheroids Market Size is USD 10.92 billion by 2034 with CAGR of of 19.8% Prophecy Market Insights. <https://www.prophecymarketinsights.com/ko/PressRelease/Organoids-and-Spheroids-Market-2253>
- Steinfeld, H. & FAO (편집자), 2006, Livestock's long shadow: Environmental issues and options. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/4/a0701e/a0701e00.htm>
- Straits Research, 2024, Organoids Market Size, Trends & Demand By 2033. <https://straitsresearch.com/report/organoids-market>
- The Four Stages of Cruelty, 2024, In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=The_Four_Stages_of_Cruelty&oldid=1257007925
- The Jackson Laboratory, 미상; Our History. The Jackson Laboratory. 2025년 5월 22일 조회, <https://www.jax.org/about-us/history>
- Twine, R, 2010, Animals as biotechnology: Ethics, sustainability and critical animal studies. Earthscan.
- UK Home Office, 2023, Annual Statistics of Scientific Procedures on Living Animals, Great Britain 2022. UK Home Office. <https://www.gov.uk/government/statistics/statistics-of-scientific-procedures-on-living-animals-great-britain-2022>
- USDA, 2024, Research Facility Annual Report Summary (FY2022, USDA. <https://www.aphis.usda.gov/awa/research-facility-report/annual-summary>
- Wellcome Sanger Institute, 미상; Animals in research. 2025년 4월 7일 조회, <https://www.sanger.ac.uk/about/research-policies/animals-in-research/>
- Willett, C, 2014, Interspecies ethics. Columbia university press.
- World Commission on Environment and Development (편집자), 1987, Our common future. Oxford University Press.

한국산 사초속 식물의 웹 기반 대화형 검색시스템 개발

정민경 성신여자대학교 생물학과 석사과정, 숲과나눔 학업장학생

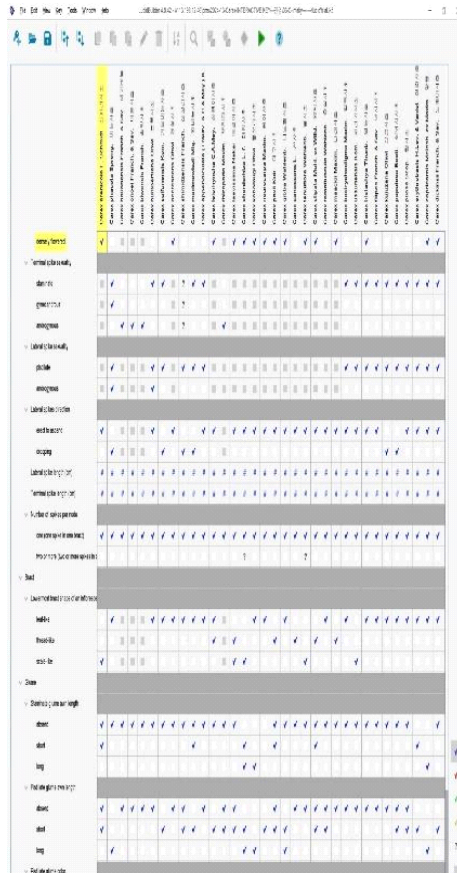
사초과에 속하는 사초속(*Carex* L.)은 전 세계 약 2,000여 종이 분포하고 있으며(박수현 외, 2016), 우리나라에서는 피자식물들 중 가장 큰 속으로 222 분류군의 사초속 식물이 보고되어 있다(NIBR, 2023). 사초속 식물은 환경적응도가 뛰어나 습지부터 건조한 지대까지 서식하며 연약지반 고정, 야생동물의 서식처 및 먹이 제공, 토양 정화, 원예 자원 등 다양한 생태·사회적 가치를 가진다(Bruhl, 1995; Mishra et al., 2016). 그러나 사초속 식물은 분류군 간 형태적 유사성이 높고 동정에 중요한 소수화서의 크기가 작아 전통적인 이분법 검색표로는 정확한 동정이 어렵다. 본 연구는 이러한 한계를 극복하고 현장에서도 사용할 수 있는 웹 기반 대화형 검색시스템을 한국산 사초속을 대상으로 구축하는 것을 목표로 한다.

전통적으로 식물의 동정을 위해서 문자 기반의 이분법적인 검색표를 사용해왔다(De and Dey, 2019; McNaughton, 2012). 이는 나열된 중요 특징을 검색표에 제시된 순서에 따라 양자택일하는 방식이다(Tofilski, 2018). 사용자는 저자가 미리 정해놓은 고정된 질문 순서를 따라야하기 때문에 자신이 원하는 형질을 먼저 선택할 수 없으며(Finger et al., 2022). 검색표에 제시된 형질을 동정자가 관찰할 수 없는 경우에는 동정이 중단된다는 한계점이 있다(Hagedorn et al., 2010). 이와 달리, 대화형 검색시스템은 동정 과정에서 식별에 필요한 형질이 나열되어 있다. 이 중 어떤 순서로든 사용자가 자유롭게 형질을 선택하여 동정을 진행할 수 있으며 선택한 입력 값과 일치하는 하나의 분류군이 남을 때까지 원하는 형질의 선택을 반복한다(Dallwitz, 1974, 1980). 또한 형질에 대한 시각 자료를 추가하여 용어에 대한 이해도를 높일 수 있다(Martellos, 2010; Zuquim et al., 2017). 따라서 높은 형태적 유사성을 보여 일반 검색 방법으로는 동정이 쉽지 않은 사초과 식물들의 연구는 다수의 형질 자료를 종합하여 축적할 수 있는 기술인 대화형 검색시스템의 활용이 필수적이다. 이에 본 연구에서는 Lucid 4.0 프로그램을 이용하여 한국산 사초속 식물의 웹 기반 대화형 검색시스템을 개발하였다.

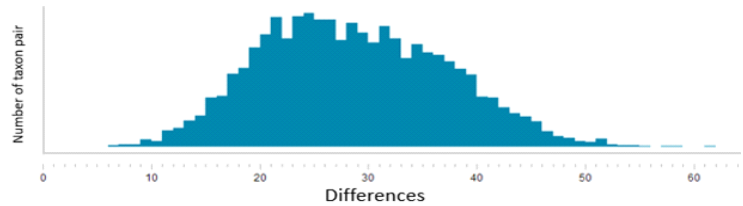
본 연구에 포함하는 분류군의 학명은 국립생물자원관에서 출판된 국가생물종목록을 기준으로 하였다. 보고된 222 분류군 중 한반도 북부지방에 자생하는 66 분류군, 분류학적 문제 혹은 분포가 불명확한 29 분류군, 그리고 귀화종인 네 분류군을 제외하였으며, 모든 중요 형질을 관찰할 수 있는 바우처 표본의 선정이 가능한 117 분류군을 대화형 검색시스템의 대상으로 하였다. 문헌 검토를 통하여 6개의 양적인 형질과 33개의 질적인 형질을 포함하는 총 39개의 형태학적 식별 형질을 선정하였고 서식지를 선택할 수 있는 형질과 아속을 선택할 수 있는 형질을 추가하였다. 효율적인 동정을 위하여 한가지 형질에 대한 형질상태는 최대 네 개로 제한하였다.

대화형 검색시스템에 필수적인 분류군 별 형질 테이블의 완성에는 기존에 출판된 사초속 문헌의 기재를 바탕으로 하였다. 특정 형질에 대하여 해당 분류군의 형질상태 정보가 없는 경우에는 표본 관찰을 통해 얻은 정보를 입력하거나 정보 공백이 있는 항목은 'Uncertain', 해당 형질이 존재하지 않는 집단에는 'Not scoped'를 적용하였으며 이들을 Lucid 데이터 형식에 맞게 변환하여 입력하였다(그림 1). 각 분류군에는 성신여자대학교와 국립수목원에서 제공받은 바우처 표본을 한 점 이상 첨부하였으며 이외에도 서식지 사진과 화서 해부 사진을 추가하여 동정 과정에서 참고할 수 있도록 하였다. 형질과 형질상태를

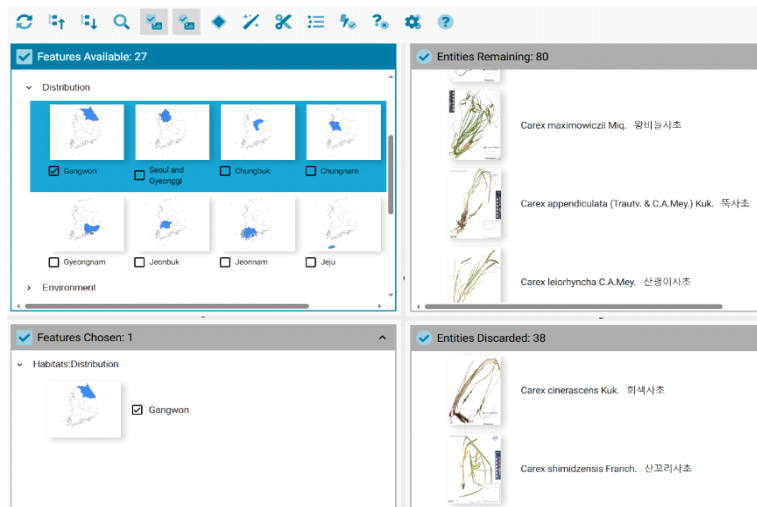
설명하는 사진 자료는 해부현미경(Leica MZ APO, Germany)을 이용해 촬영하였으며 간단한 설명을 부여하여 사용자의 용어 이해도를 높였다. 대화형 검색시스템 화면에서 보이는 형질의 나열은 아속을 선택하는 형질, 서식 형질, 영양형질, 생식형질 순으로 하였으며 분류군은 사초속의 최신 분자계통학 연구인 Roalson et al., (2021) 의 분류체계에 따라 subgenus *Siderosticta*, subgenus *Euthyceras*, subgenus *Vignea*, subgenus *Carex* 순으로 나열하였다. 위 과정에 따라 한국산 사초속의 대화형 검색시스템을 개발하였으며(그림 3) 분류군끼리 평균적으로 약 30개의 형질 차이를 보인다는 것을 확인하였다(그림 2).



<그림 1> Lucid scoring spreadsheet 패널 모습. Lucid 형식에 맞게 분류군 별 형질상태가 입력되었다.



<그림 2> Lucid Builder의 점수 분석기(Score analyzer)를 이용본 연구에서 개발한 대화형 키에 포함된 모든 분류군 쌍 사이의 형질 차이 수를 나타낸 막대그래프.



<그림 3> 한국산 사초속의 대화형 검색시스템

본 연구에서는 전통적 이분법 검색표가 갖는 한계점으로 인해 정확한 동정이 어려운 한국산 사초속 분류군을 대상으로, 누구나 손쉽게 사초를 동정할 수 있는 웹 기반 대화형 검색시스템을 구축하였다(그림3). 사용자가 동정 과정에서 사초속 식물의 형태학적 용어에 대한 설명과 분류군의 형태를 시각적으로 참고할 수 있도록 형질에 대한 사진 자료를 포함하였다. 검색표는 현재 웹에 임시 공개되어있는데, 사용자 테스트를 거쳐 동정의 정확도를 높일 계획이며 Lucid mobile을 활용해 모바일 앱으로 구현하고자 한다. 이를 통해 본 연구는 그간 어려웠던 사초과 식물 동정에 대하여 비전문가들의 신속하고 정확한 사초 동정을 가능하게 하고, 앞으로 사초속 식물의 보전 관리 및 활용 연구를 위한 기초자료로 활용되기를 기대한다.

참고문헌

- 박수현, 이유미, 김혁진, 양종철, 장창석, 이강혁, 이정심, 한준수, 김현준, 정금선, 손동찬, 이동혁, 주민정, 선은미, 신창호, 최경, 오승환, 장계선, 정수영, 지성진, 『한국식물 도해도감 4 사초과: Illustrated Cyperaceae of Korea』, 국립수목원, 2016, 3 - 339.
- Bruhl, J.J., 1995, Sedge genera of the world: Relationships and a new classification of the Cyperaceae, *Australian Systematic Botany*, 8(2), 125 - 305, <https://doi.org/10.1071/SB9950125>
- Dallwitz, M.J., 1974, A flexible computer program for generating identification keys, *Systematic Zoology* (now *Systematic Biology*), 23(1), 50 - 57, <https://doi.org/10.1093/sysbio/23.1.50>
- Dallwitz, M.J., 1980, A general system for coding taxonomic descriptions, *Taxon*, 29(1), 41 - 46, <https://doi.org/10.2307/1219595>
- De, M., & Dey, S.R., 2019, An overview on taxonomic keys and automated species identification (ASI), *International Journal of Experimental Research and Review*, 20, 40 - 47, <https://doi.org/10.52756/ijerr.2019.v20.004>
- Finger, A., Groß, J., & Zabel, J., 2022, Plant Identification in the 21st Century – What Possibilities Do Modern Identification Keys Offer for Biology Lessons?, *Education Sciences*, 12(12), 849, <https://doi.org/10.3390/educsci12120849>
- Hagedorn, G., Rambold, G., & Martellos, S., 2010, Types of identification keys, in Nimis, P.L. & Vignes Lebbe, R. (eds.), *Tools for Identifying Biodiversity: Progress and Problems*, EUT, Trieste, 59 - 64.
- Martellos, S., 2010, Multi-authored interactive identification keys: The FRIDA (FRiendly IDentificAtion) package, *Taxon*, 59(3), 922 - 929, <https://doi.org/10.1002/tax.593020>
- McNaughton, J.R., 2012, Generating user friendly identification tools from high resolution images of herbarium specimens, (학위논문), Royal Botanic Garden Edinburgh
- Mishra, S., Tripathi, A., Tripathi, D.K., & Chauhan, D.K., 2015, Role of sedges (Cyperaceae) in wetlands, environmental cleaning and as food material: Possibilities and future perspectives, in Azooz, M.M. & Ahmad, P. (eds.), *Plant-Environment Interaction: Responses and Approaches to Mitigate Stress*, Wiley, 327 - 338, <https://doi.org/10.1002/9781119081005.ch18>
- Tofilski, A., 2018, DKey software for editing and browsing dichotomous keys, *ZooKeys*, 735, 131 - 140, <https://doi.org/10.3897/zookeys.735.21412>
- Zuquim, G., Tuomisto, H., & Prado, J., 2017, A free-access online key to identify Amazonian ferns, *PhytoKeys*, 78, 1 - 15, <https://doi.org/10.3897/phytokeys.78.11370>
- National Institute of Biological Resources(NIBR). 2023. National List of Species of Korea. National Institute of Biological Resources, Incheon, Korea. Accessed 30 Jan 2023, <<https://kbr.go.kr/>>.

사사

본 연구의 내용이 2025년 한국식물분류학회 정기 학술대회에서 발표되었습니다.

본 연구는 정부(환경부)의 재원으로 국립생물자원관의 지원을 받아 수행하였습니다(NIBRE202501).

포스터발표 세션 7.

일/환경/건강

- Chemical exposure from the Hebei spirit oil spill accident and its long-term effects on mental health
김리따 고려대학교 보건안전융합과학과 박사 졸업
허다안 고려대학교 보건과학연구소 연구교수
강민성 순천향대학교 천안병원 환경의학연구소 센터장
박강연 고려대학교 보건안전융합과학과 석사 졸업
이지윤 고려대학교 보건환경과학부 석사과정
황세현 베일러대학교 환경과학과 박사과정
최현정 서울대학교 환경보건학과 석사과정
임우현 고려대학교 보건환경과학부 학부 졸업
문경환 고려대학교 보건환경과학부 교수
이용진 순천향대학교 천안병원 직업환경의학과 교수
- 데이터 시각화를 활용한 서울지역 건강민감군 다중이용시설 실내 공기질 오염도 평가
이진효, 홍주희, 오석률, 권승미 서울시보건환경연구원 생활환경연구부
- 실내 SVOC의 다경로 노출 및 건강 위해성 평가: 집 먼지와 유기 필름을 활용한 이중 매트릭스 접근법
이지윤 고려대학교 일반대학원 보건안전융합과학과 석사과정, L-HOPE 건강공간 기반 러닝헬스시스템 교육연구단
최윤희 원광대학교 안전보건학과 조교수
서지훈 고려대학교 보건과학연구소 연구교수
- 반도체 펌프-스크러버 구간의 부식 환경 모사 조건에서 스테인리스 벨로우즈 부식 및 대기 배출 평가
김동현 서울대학교 대학원 환경보건학과 박사과정, 숲과나눔 학업장학생
- 보건·사회복지 서비스업 종사자의 직장 혁신 경험과 프리젠테이션의 관련성
정 현 연세대학교 의료원 안전관리자
이학선 연세대학교 의료원 사무부처장
이성찬 연세대학교 의료원 중대재해전담
박인철 연세대학교 의료원 사무처장

- 외국인 임금근로자의 근무여건 자가평가와 작업 중 부상의 관련성

정 현 연세대학교 의료원 안전관리자

김치년 연세대학교 보건대학원 연구교수

윤병윤 연세대학교 의과대학 예방의학교실 연구조교수

윤진하 연세대학교 보건대학원 주임교수

- 타이어 화재 대응 소방관들의 휘발성유기화합물 노출 평가

김 원 노동환경건강연구소 소장

최인자 노동환경건강연구소 팀장

조영환 노동환경건강연구소 연구원

정혜영 노동환경건강연구소 연구원

권지운 국립소방연구원 연구관

이소연 국립소방연구원 연구관

Chemical exposure from the Hebei spirit oil spill accident and its long-term effects on mental health

김리따 고려대학교 보건안전융합과학과 박사 졸업
허다안 고려대학교 보건과학연구소 연구교수
강민성 순천향대학교 천안병원 환경의학연구소 센터장
박강연 고려대학교 보건안전융합과학과 석사 졸업
이지윤 고려대학교 보건환경과학부 석사과정
황세현 베일러대학교 환경과학과 박사과정
최현정 서울대학교 환경보건학과 석사과정
임우현 고려대학교 보건환경과학부 학부 졸업
문경환 고려대학교 보건환경과학부 교수
이용진 순천향대학교 천안병원 직업환경의학과 교수

Abstract

2007년 12월 7일, 대한민국 태안 앞바다 약 10km 해상에서 약 10,900톤의 원유가 유출되는 대규모 유류유출 사고가 발생하였다. 이 사고는 과거 대형 유류유출과 달리 주거지와 매우 가까운 해안에서 발생하여 불과 14시간 만에 해안선에 도달하였고, 지역 주민들에게 심각한 피해를 초래하였다. 유류유출 사고 노출이 정신건강에 영향을 미칠 수 있다는 근거는 다수 보고되어 있으나, 이러한 영향이 사고 자체에 기인한 것인지, 혹은 사고와 관련된 화학물질 노출에 기인한 것인지는 명확히 규명되지 않았다. 원유에는 정신건강에 영향을 미칠 수 있는 다양한 화학물질이 포함되어 있으며, 이들 물질은 환경 내에서의 지속성으로 인해 장기적인 영향을 초래할 가능성이 있다. 이에 본 연구에서는 ‘허베이 스피리트호 유류유출 사고 건강영향조사’에 참여한 태안 지역주민 성인을 대상으로, 간접 및 직접 노출이 정신건강에 미치는 단면적·종단적 영향을 확인하고자 하였다.

유류유출에 따른 화학물질 노출은 유류오염 해안선으로부터 거주지까지의 거리와 방제 작업 기간을 간접지표로, 휘발성유기화합물(volatile organic compounds, VOCs) 및 다환방향족탄화수소(polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs) 대사산물의 노출 바이오마커를 직접 노출지표로 고려하여 평가하였다. 정신건강 평가는 외상후스트레스장애(posttraumatic stress disorder, PTSD), 우울증, 상태불안(state anxiety), 특성불안(trait anxiety)을 포함하였다. PTSD는 한국어판 외상 후 진단 척도(PDS), 우울증은 한국어판 우울척도(CES-D), 상태불안과 특성불안은 상태-특성 불안 검사(STAI 및 STAI-X1)를 사용하여 측정되었다. 각 척도의 점수가 기준점(PTSD: 15점, 우울증: 21점, 상태불안: 52점, 특성불안: 54점)을 초과할 경우 정신건강 문제가 있는 것으로 분류하였다. 단면 분석에서는 2009년 1차 조사자료를 활용하여 인구학적 특성과 노출지표 분포를 비교하고, 지역 및 노출 수준별 정신건강 차이를 카이제곱 검정으로 평가하였다. 또한 다변량 로지스틱 회귀분석을 통해 유류유출 노출지표와 정신건강 간의 연관성을 확인하였다. 전향 분석에서는 반복 조사자료를 고려한 선형혼합효과모형(linear mixed-effects model)을 적용하였고, 장기적인 정신건강 영향을 평가하기 위해 콕스 회귀분석을 수행하였다. 비례위험 가정이 충족되지 않는 경우 가중 콕스 회귀모형을 활용하여 평균 위험비를 산출하였다. 추가적으로, 방제작업 30일 이상 참여한 고노출 집단을 대상으로 민감도 분석을 실시하여 결과의 강건성을 검토하였다.

단면 분석 결과, 네 가지 정신건강 지표 모두 유류오염 해안선과의 근접성과 유의한 연관성을 보였으며 ($p < 0.05$), 방제 작업 기간과도 양의 연관성을 나타냈다 ($p < 0.05$). 콕스 회귀분석에서는 소변 내 t,t-뮤코닉산 농도가 높을수록 우울증 발생 위험이 증가하였고 (Hazard Ratio [HR] = 1.55, 95% Confidence Interval [CI] = 1.05 - 2.28), 1-하이드록시피렌 농도가 높을수록 PTSD 발생 위험이 증가하였다 (HR = 1.60, 95% CI = 1.03 - 2.48). 또한, 소변 내 2-나프톨 농도 증가는 상태불안 (HR = 1.39, 95% CI = 1.00 - 1.93)과 특성불안 (HR = 1.64, 95% CI = 1.15 - 2.32)의 발생 위험을 높였다. 이러한 연관성은 심리사회적 노출과 관련된 거리 및 기간 변수를 통제한 이후에도 유지되었다.

본 연구 결과는 환경재난 대응 계획 수립 시 정신건강 영향의 지속 기간과 특성을 고려함과 동시에 화학물질 노출 저감을 우선적으로 반영할 필요성을 시사한다.

참고문헌

- Alameda, L., Trotta, G., Quigley, H., Rodriguez, V., Gadelrab, R., Dwir, D., Dempster, E., Wong, C. C. Y., Forti, M. D., 2022. Can epigenetics shine a light on the biological pathways underlying major mental disorders? *Psychological Medicine*. 52 (9), 1645 - 1665.
- Aquilina, N. J., Delgado-Saborit, J. M., Meddings, C., Baker, S., Harrison, R. M., Jacob III, P., Wilson, M., Yu, L., Duan, M., Benowitz, N. L., 2010. Environmental and biological monitoring of exposures to PAHs and ETS in the general population. *Environment international*. 36 (7), 763 - 771.
- Charlson, M. E., Carrozzino, D., Guidi, J., Patierno, C., 2022. Charlson Comorbidity Index: A Critical Review of Clinimetric Properties. *Psychotherapy and Psychosomatics*. 91 (1), 8 - 35.
- Chatterjee, N., Jeong, J., Park, M.-S., Ha, M., Cheong, H.-K., Choi, J., 2020. Cross-sectional and longitudinal associations between global DNA (hydroxy) methylation and exposure biomarkers of the Hebei Spirit oil spill cohort in Taean, Korea. *Environmental Pollution*. 263, 114607.
- Chen, D., Lawrence, K. G., Pratt, G. C., Stenzel, M. R., Stewart, P. A., Groth, C. P., Banerjee, S., Christenbury, K., Curry, M. D., Jackson, W. B., 2022. Fine particulate matter and lung function among burning-exposed Deepwater Horizon oil spill workers. *Environmental Health Perspectives*. 130 (2), 027001.
- Chen, D., Sandler, D. P., Keil, A. P., Heiss, G., Whitsel, E. A., Edwards, J. K., Stewart, P. A., Stenzel, M. R., Groth, C. P., Ramachandran, G., 2023. Volatile Hydrocarbon Exposures and Incident Coronary Heart Disease Events: Up to Ten Years of Follow-up among Deepwater Horizon Oil Spill Workers. *Environmental Health Perspectives*. 131 (5), 057006.
- Cho, M. J., Kim, K. H., 1998. Use of the Center for Epidemiologic Studies Depression (CES-D) Scale in Korea. *The Journal of Nervous and Mental Disease*. 186 (5).
- Choi, K.-H., Lim, M.-H., Ha, M., Sohn, J. N., Kang, J.-W., Choi, Y.-H., Cheong, H.-K., 2016. Psychological vulnerability of residents of communities affected by the Hebei Spirit oil spill. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*. 10 (1), 51 - 58.
- Choi, K.-H., Park, M.-S., Lim, M. H., Hur, J.-I., Noh, S. R., Jeong, W.-C., Cheong, H.-K., Ha, M., 2021. Who has sustained psychological symptoms nine years after the Hebei Spirit oil spill?: The Health Effect Research on Hebei Spirit oil spill (HEROS) study. *Journal of Environmental Management*. 294, 112936.
- Choi, Y.-H., Huh, D.-A., Kim, L., Ji Lee, S., Moon, K. W., 2024a. Health risks of pest control and disinfection workers after the COVID-19 outbreak in South Korea. *Journal of Environmental Sciences*. 139, 350 - 363.
- Choi, Y.-H., Kim, L., Huh, D.-A., Moon, K. W., Kang, M.-S., Lee, Y.-J., 2024b. Association between oil spill clean-up work and thyroid cancer: Nine years of follow-up after the Hebei Spirit oil spill accident. *Marine Pollution Bulletin*. 199, 116041.
- Croissant, Y., Millo, G., 2008. Panel data econometrics in R: The plm package. *Journal of statistical software*. 27 (2), 1 - 43.

- Denic-Roberts, H., Engel, L. S., Buchanich, J. M., Miller, R. G., Talbott, E. O., Thomas, D. L., Cook, G. A., Costacou, T., Rusiecki, J. A., 2023. Risk of longer-term neurological conditions in the Deepwater Horizon Oil Spill Coast Guard Cohort Study - Five years of follow-up. *Environmental Health*. 22 (1), 12.
- Dunkler, D., Ploner, M., Schemper, M., Heinze, G., 2018. Weighted Cox regression using the R package coxphw. *Journal of Statistical Software*. 84, 1 - 26.
- Fontham, E., Harrington, D. J., Oral, E., Peters, E. S., Rung, A. L., Trapido, E. J., 2019. The Long-Term Effects of the Deepwater Horizon Oil Spill on Women's Depression and Mental Distress. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*. 13 (2), 183 - 190.
- Gallacher, J., Bronstering, K., Palmer, S., Fone, D., Lyons, R., 2007. Symptomatology attributable to psychological exposure to a chemical incident: A natural experiment. *Journal of Epidemiology & Community Health*. 61 (6), 506 - 512.
- Genuis, S. J., 2009. Toxicant exposure and mental health—Individual, social, and public health considerations. *Journal of Forensic Sciences*. 54 (2), 474 - 477.
- Goldmann, E., Galea, S., 2014. Mental health consequences of disasters. *Annual Review of Public Health*. 35, 169 - 183.
- Goldstein, B. D., Osofsky, H. J., Lichtveld, M. Y., 2011. The Gulf oil spill. *New England Journal of Medicine*. 364 (14), 1334 - 1348.
- Grattan, L. M., Roberts, S., Mahan Jr, W. T., McLaughlin, P. K., Otwell, W. S., Morris Jr, J. G., 2011. The early psychological impacts of the Deepwater Horizon oil spill on Florida and Alabama communities. *Environmental Health Perspectives*. 119 (6), 838 - 843.
- Ha, M., Cheong, H.-K., 2017. Oil spill clean-up: A trade-off between human health and ecological restoration? *The Lancet Public Health*. 2 (12), e534 - e535.
- Ha, M., Kwon, H., Cheong, H.-K., Lim, S., Yoo, S. J., Kim, E.-J., Park, S. G., Lee, J., Chung, B. C., 2012. Urinary metabolites before and after cleanup and subjective symptoms in volunteer participants in cleanup of the Hebei Spirit oil spill. *Science of the Total Environment*. 429, 167 - 173.
- Ha, M.-N., Lee, W.-J., Lee, S.-M., Cheong, H.-K., 2008. A literature review on health effects of exposure to oil spill. *Journal of Preventive Medicine and Public Health*. 41 (5), 345 - 354.
- Hwang, S. H., Lee, Y.-J., Choi, Y.-H., Huh, D.-A., Kang, M.-S., Moon, K. W., 2024. Long-term effects of the Hebei Spirit oil spill on the prevalence and incidence of allergic disorders. *Science of The Total Environment*. 912, 168801.
- Jacobson, M. H., Ghassabian, A., Gore, A. C., Trasande, L., 2022. Exposure to environmental chemicals and perinatal psychopathology. *Biochemical Pharmacology*. 195, 114835.
- Keverne, J., Binder, E. B., 2020. A Review of epigenetics in psychiatry: Focus on environmental risk factors. *Medizinische Genetik*. 32 (1), 57 - 64.
- Khan, A., Plana-Ripoll, O., Antonsen, S., Brandt, J., Geels, C., Landecker, H., Sullivan, P. F., Pedersen, C. B., Rzhetsky, A., 2019. Environmental pollution is associated with increased risk of psychiatric disorders in the US and Denmark. *PLOS Biology*. 17 (8), e3000353.
- Kim, M., Jung, J.-H., Ha, S. Y., An, J. G., Shim, W. J., Yim, U. H., 2017. Long-Term Monitoring of PAH Contamination in Sediment and Recovery After the Hebei Spirit Oil Spill. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 73 (1), 93 - 102.
- Kim, Y.-M., Park, J.-H., Choi, K., Noh, S. R., Choi, Y.-H., Cheong, H.-K., 2013. Burden of disease attributable to the Hebei Spirit oil spill in Taean, Korea. *BMJ Open*. 3 (9), e003334.
- Kwok, R. K., McGrath, J. A., Lowe, S. R., Engel, L. S., Jackson, W. B., Curry, M. D., Payne, J., Galea, S., Sandler, D. P., 2017. Mental health indicators associated with oil spill response and clean-up: Cross-sectional analysis of the GuLF STUDY cohort. *The Lancet Public Health*. 2 (12), e560 - e567.
- Laffon, B., Aguilera, F., Ríos-Vázquez, J., García-Lestón, J., Fuchs, D., Valdiglesias, V., Pasaro, E., 2013. Endocrine and immunological parameters in individuals involved in Prestige spill cleanup tasks seven years after the exposure. *Environment International*. 59, 103 - 111.

- Laffon, B., Pásaro, E., Valdiglesias, V., 2016. Effects of exposure to oil spills on human health: Updated review. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*. 19 (3-4), 105-128.
- Lindqvist, D., Dhabhar, F. S., James, S. J., Hough, C. M., Jain, F. A., Bersani, F. S., Reus, V. I., Verhoeven, J. E., Epel, E. S., Mahan, L., 2017. Oxidative stress, inflammation and treatment response in major depression. *Psychoneuroendocrinology*. 76, 197 - 205.
- Lövhelm, H., 2012. A new three-dimensional model for emotions and monoamine neurotransmitters. *Medical Hypotheses*. 78 (2), 341 - 348.
- Mangotra, A., Singh, S. K., 2024. Volatile organic compounds: A threat to the environment and health hazards to living organisms - A review. *Journal of Biotechnology*. 382, 51 - 69.
- Nam, B., Ho-In, K., Jung-Hye, K., 2010. Psychometric Qualities of the Korean Version of the Posttraumatic Diagnosis Scale(PDS-K). *Korean Journal of Clinical Psychology*. 29 (1), 147 - 167.
- Noh, S. R., Cheong, H.-K., Ha, M., Eom, S.-Y., Kim, H., Choi, Y.-H., Paek, D., 2015. Oxidative stress biomarkers in long-term participants in clean-up work after the Hebei Spirit oil spill. *Science of The Total Environment*. 515, 207 - 214.
- Noh, S. R., Kim, J.-A., Cheong, H.-K., Ha, M., Jee, Y.-K., Park, M.-S., Choi, K.-H., Kim, H., Cho, S.-I., Choi, K., 2019. Hebei Spirit oil spill and its long-term effect on children's asthma symptoms. *Environmental Pollution*. 248, 286 - 294.
- Osofsky, H. J., Osofsky, J. D., Hansel, T. C., 2011. Deepwater horizon oil spill: mental health effects on residents in heavily affected areas. *Disaster medicine and public health preparedness*. 5 (4), 280 - 286.
- Park, M. S., Choi, K.-H., Lee, S.-H., Hur, J.-I., Noh, S. R., Jeong, W.-C., Cheong, H.-K., Ha, M., 2019. Health effect research on Hebei Spirit Oil Spill (HEROS) in Korea: A cohort profile. *BMJ Open*. 9 (8), e026740.
- Parker, A. M., Finucane, M. L., Ayer, L., Ramchand, R., Parks, V., Clancy, N., 2020. Persistent risk related worry as a function of recalled exposure to the deepwater horizon oil spill and prior trauma. *Risk Analysis*. 40 (3), 624 - 637.
- Pruneda Álvarez, L., Pérez Vázquez, F., Salgado Bustamante, M., Martínez Salinas, R., Pelallo Martínez, N., Pérez Maldonado, I., 2012. Exposure to indoor air pollutants (polycyclic aromatic hydrocarbons, toluene, benzene) in Mexican indigenous women. *Indoor Air*. 22 (2), 140 - 147.
- Sarigiannis, D. A., Hansen, U., 2012. Considering the cumulative risk of mixtures of chemicals - A challenge for policy makers. *Environmental Health*. 11 (1), 1 - 12.
- Schemper, M., Wakounig, S., Heinze, G., 2009. The estimation of average hazard ratios by weighted Cox regression. *Statistics in Medicine*. 28 (19), 2473 - 2489.
- Soares, M. d. O., Teixeira, C. E. P., Bezerra, L. E. A., Paiva, S. V., Tavares, T. C. L., Garcia, T. M., de Araújo, J. T., Campos, C. C., Ferreira, S. M. C., Matthews-Cascon, H., Frota, A., Mont'Alverne, T. C. F., Silva, S. T., Rabelo, E. F., Barroso, C. X., Freitas, J. E. P. d., Melo Júnior, M. d., Campelo, R. P. d. S., Santana, C. S. d., Carneiro, P. B. d. M., Meirelles, A. J., Santos, B. A., Oliveira, A. H. B. d., Horta, P., Cavalcante, R. M., 2020. Oil spill in South Atlantic (Brazil): Environmental and governmental disaster. *Marine Policy*. 115, 103879.
- Song, M.-K., Hong, Y.-C., Cheong, H.-K., Ha, M.-N., Kwon, H.-J., Ha, E.-H., Choi, Y.-Y., Jeong, W.-C., Hur, J.-I., Lee, S.-M., 2009. Psychological health in residents participating in clean-up works of Hebei Spirit oil spill. *Journal of Preventive Medicine and Public Health*. 42 (2), 82 - 88.
- Spielberger, C. D., 2010. State Trait Anger Expression Inventory. *The Corsini Encyclopedia of Psychology*. 1-1.
- Tang, L., Liu, M., Tian, J., 2024. Volatile organic compounds exposure associated with depression among U.S. adults: Results from NHANES 2011 - 2020. *Chemosphere*. 349, 140690.
- Therneau, T., 2015. A package for survival analysis in S. R package version. 2 (7).
- Vignet, C., Trenkel, V. M., Vouillarmet, A., Bricca, G., Bégout, M.-L., Cousin, X., 2017. Changes in Brain Monoamines Underlie Behavioural Disruptions after Zebrafish Diet Exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Environmental Mixtures. *International Journal of Molecular Sciences*. 18 (3),560.

- Wang, F., Jia, T., Wang, Y., Hu, H., Wang, Y., Chang, L., Shen, X., Liu, G., 2023. Polycyclic aromatic hydrocarbons exposure was associated with microRNA differential expression and neurotransmitter changes: a cross-sectional study in coal miners. *Environmental Science and Pollution Research*. 30 (6), 14838 - 14848.
- Zhen, H., Zhang, F., Cheng, H., Hu, F., Jia, Y., Hou, Y., Shang, M., Yu, H., Jiang, M., 2023. Association of polycyclic aromatic hydrocarbons exposure with child neurodevelopment and adult emotional disorders: A meta-analysis study. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 255, 114770.

사사

This research was supported by the Regional Environmental Health Center of Soonchunhyang University Cheonan Hospital. D.-A.H. was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MIST) (No. 2021R1C1C2012667).

데이터 시각화를 활용한 서울지역 건강민감군 다중이용시설 실내 공기질 오염도 평가

이진호, 홍주희, 오석률, 권승미 서울시보건환경연구원 생활환경연구부

1. 서론

현대 사회에서 대부분의 사람들은 주거, 교육, 근로, 여가 등 다양한 활동을 수행하는 과정에서 하루 80% 이상의 시간을 실내환경에서 생활하고 있으며, 따라서 오염된 공기에 장기간 노출되는 경우, 호흡기 질환 등 건강 문제가 발생할 수 있다. 특히 일반인들뿐만 아니라 어린이, 노약자 등 건강민감군에 해당하는 계층에게 있어서는 단기간의 오염된 공기 노출로 인해 호흡기 질환 등 건강 문제가 유발되거나 악화될 수도 있다. 이에 따라 실내 공기질은 시민건강과 복지에 중요한 요인으로 인식되고 있으며, 최근에는 쾌적한 환경에 대한 관심 증대로 관리 대상이 신축 공동주택까지 확대되는 등 현대인의 건강 보호와 삶의 질 향상을 위해 실내환경의 공기질 관리와 그 영향을 규명하는 연구의 중요성이 점차 강조되고 있다.

이에 본 연구에서는 데이터 시각화(data visualization)를 통해 어린이집, 노인요양시설 등 건강민감군이 이용하는 다중이용시설의 유형별 실내 공기질 수준을 분석하고, 이를 토대로 자료체계를 구축하여 서울시 실내 공기질의 적정 관리방안을 제시하는 것을 목적으로 하였다.

2. 본론

1) 연구대상 및 분석방법

(1) 2024년 1년 동안 서울지역 다중이용시설 중 대표적 건강민감군 다중이용시설인 실내어린이놀이시설(ICP, indoor children's playground) 14개소, 산후조리원(PCC, postnatal care center) 38개소, 노인요양시설(ECF, elderly care facility) 37개소, 의료기관(HCF, health care facility) 144개소, 어린이집(CCC, child care center) 69개소 등 총 5개 시설 유형별 302개소를 대상으로 실내오염물질 농도 분포를 조사하였다.

(2) 「실내공기질공정시험기준」에 따라 시료채취 및 평가(측정지점 평균값)를 진행하였으며, 검사항목은 실내공기질 유지기준 항목인 미세먼지(PM₁₀), 초미세먼지(PM_{2.5}), 이산화탄소(CO₂), 총부유세균(TAB, Total Airborne Bacteria), 폼알데하이드(HCHO) 총 5항목을 분석하였다.

2) 데이터 시각화

(1) 그래픽 기능에 강점을 지닌 오픈소스 언어인 R (version 4.4.3)을 활용하여 다양한 시각화를 수행하였다. 우선 시설 유형 및 측정항목별 특성을 비교하기 위해 실내오염물질에 대한 정규성 검정($p < 0.05$)을 실시하였으며, 분포 특성을 보다 직관적으로 파악하기 위하여 Ridgeline plot, Cullen and Frey graph, 히스토그램 및 분포밀도 함수 등 다양한 형태의 시각화를 적용하였다.

(2) K-means 군집분석을 통해 시설 유형별 특성을 군집화하여 시각적으로 분류하였으며, 시설 유형별 측정항목에 따른 실내오염도 수준의 분포와 상대적 크기를 파악하기 위하여 박스플롯(boxplot)과 함께 별그림(star plot)을 통해 다차원적 지표 간 비교를 시각화하였다. 아울러 시설 유형별 평균농도의 유의

한 차이를 검정하기 위하여 Kruskal-Wallis 검정과 Pairwise Wilcoxon 검정 등 비모수 통계기법을 병행하였다.

3. 결론

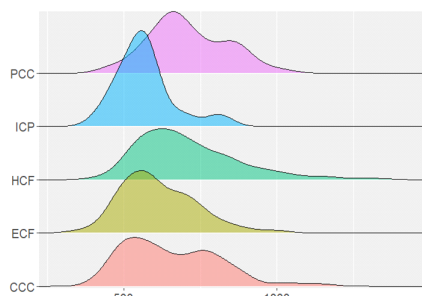
1) 실내공기질 오염도 분석결과

(1) 실내오염물질 계절별 분석결과, (초)미세먼지 평균농도는 봄(PM10 20.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM2.5 11.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)·겨울(PM10 16.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM2.5 10.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)에 높고 여름(PM10 14.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM2.5 9.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)에 낮은 경향을 보였다. 이산화탄소 평균농도는 여름(714.8 ppm)에 가장 높았고, 봄(616.3 ppm)에 가장 낮았으며 전반적으로 국가기준(1,000 ppm) 이내로 나타났다. 폼알데하이드는 봄(9.0 ppm), 겨울(9.0 ppm) 대비 여름(19.7 ppm), 가을(18.9 ppm)에 2배 이상 상승하였고, 총부유세균 또한 겨울(124.8 CFU/ m^3) 대비 여름(246.7 CFU/ m^3), 가을(266.3 CFU/ m^3)에 크게 높아졌다.

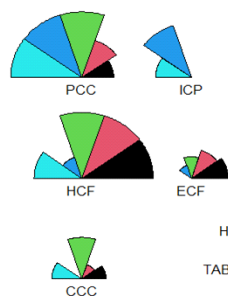
(2) 실내오염물질 시설 유형별 분석결과, (초)미세먼지 최대값(박스플롯 상)이 5개 모든 시설 유형에서 기준 이내로 나타나 건강 위해 우려는 낮은 것으로 판단된다. 의료기관(HCF) 미세먼지, 초미세먼지 평균농도는 17.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 10.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높았고, 산포(dispersion)가 넓어 변동성도 큰 반면 실내어린이놀이시설(ICP)은 12.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 8.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 낮게 나타났다. 이산화탄소의 경우 의료기관(HCF), 산후조리원(PCC)에서 중앙값 자체가 높고(674.1 ppm, 690.8 ppm) 최대값이 기준선을 초과하여 단기적 고농도 노출 가능성을 확인하였다. 폼알데하이드 및 총부유세균은 최대값이 모두 기준 이내로 나타나, 건강 위해 가능성이 낮고, 위생학적 관리 수준도 전반적으로 양호하였다.

(3) 전반적으로 2024년 서울지역 5개 건강민감군 다중이용시설의 실내오염물질 농도 수준은 양호한 것으로 나타났으며, 특히 다양한 형태의 데이터 시각화를 통해 서울지역 건강민감군 다중이용시설의 실내공기질 오염도 평가에 대한 전반적인 농도 현황 및 중요 사항을 쉽게 도출할 수 있었다.

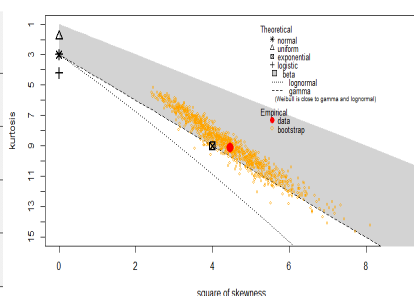
2) 데이터 시각화 결과



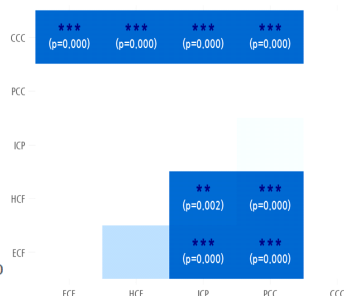
Ridgeline plot - CO₂



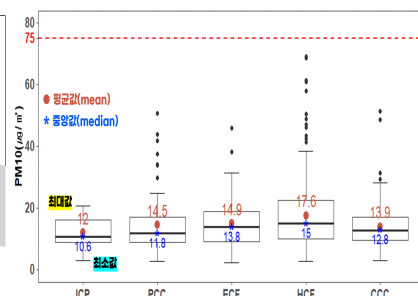
Star plot of 5 facility types



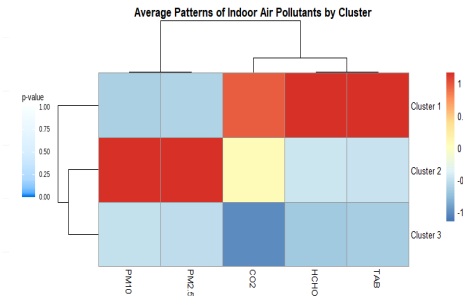
Cullen and Frey graph - TAB



Pariwise Wilcoxon Test - HCHO



Boxplot - PM10



Indoor Air Pollutants by Cluster

참고문헌

- 이진호 외 6명, 2022, A Study on Air Quality Characteristics of Seoul Urban Area through Data Visualization, 한국대기환경학회 학술대회논문집(제65회), 299
- 양원호, 『실내공기질 및 위해성 관리』, 집문당, 2024, 21-29
- 이태림 외 3명, 『데이터 시각화』, 한국방송통신대학교출판문화원, 2015, 195-197

실내 SVOC의 다경로 노출 및 건강 위해성 평가

집 먼지와 유기 필름을 활용한 이중 매트릭스 접근법

이지윤 고려대학교 일반대학원 보건안전융합과학과 석사과정,

L-HOPE 건강공간 기반 러닝헬스시스템 교육연구단

최윤희 원광대학교 안전보건학과 조교수

서지훈 고려대학교 보건과학연구소 연구교수

1. 서론

실내 환경은 사람들이 대부분의 시간을 보내는 화학물질의 주요 노출 환경으로, 특히 주거 공간에서는 건축 자재, 소비자제품, 가구 등이 프탈레이트, 다환방향족탄화수소(PAHs), n-alkanes 등을 포함한 반휘발성 유기화합물(SVOCs)을 지속적으로 방출한다. 이러한 화합물은 급성 독성, 발암성과 같은 건강 유해영향과 관련이 있으며, 낮은 휘발성과 실내 표면 및 입자상 물질에 강하게 결합하는 특성상 실내 공간에서 장기간 축적되어 복잡한 재방출 과정을 거친다.

전통적인 노출 평가도구인 단기 공기 샘플링은 급성 흡입노출 평가 시에는 효과적이지만, 만성노출 혹은 다경로 노출을 과소평가하는 한계가 있다. 이를 극복하기 위해 실내 장기 SVOC 오염을 통합적으로 반영하는 도구로써 집먼지와 유기 표면 필름이 주목받고 있다. 그러나 기존 연구에서는 먼지 혹은 유기 필름 각각을 개별적으로 조사해왔으며, 샘플링 물질과 분석 방법이 상이하여 직접적인 결과 비교가 어려웠다. 또한 두 매트릭스를 통해 다경로 노출과 인간 건강위해성평가를 관찰한 연구는 거의 없었다. 따라서 본 연구에서는 한국 서울의 주거 환경에서 집먼지와 유기 필름 샘플을 동시에 수집하고 SVOCs 농도를 측정하여 아동과 성인을 대상으로 흡입, 경구, 경피 경로에 대한 노출 용량을 추정하고, 이를 바탕으로 확률적 건강 위해성평가를 진행하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

서울의 주거지 60곳에서 먼지와 유기 필름 샘플을 수집하여 총 55종의 SVOC (8종의 프탈레이트, 16종의 PAHs, C10-C40의 n-alkanes) 물질을 GC-MS를 이용하여 분석하였다. 검출률이 60% 이상이며 독성참고치(RfD)가 존재하는 21종 SVOC 물질을 대상으로 하여 가스상, 입자상, 먼지상 농도를 계산하였으며, 19세 이상 성인과 0-6세 아동의 흡입, 경피, 경구 노출 경로를 통한 일일평균노출량(ADD)을 추정하였다. 또한 SVOC 노출원을 확인하기 위해 건물 연식, 보수 상태, 사용하는 안생제 수, 실내 환기 빈도 및 자녀 유무 등 노출 특성에 대한 설문조사를 진행하였다.

건강 위해성 평가는 21종의 SVOC 물질을 대상으로 비발암성 위해성 평가를, 6가지 물질에 대해 발암성 위해성 평가를 수행하였다. 비발암성 위해성은 ADD를 RfD로 나눈 값인 위해지수(HQ)를 이용하여 평가하였으며 $HQ \geq 1$ 이면 위해성이 존재하는 것으로 판단했다. 발암 위해성은 평생일일평균노출량(LADD)와 발암 기율기(CSF)의 곱으로 계산한 초과발암위해도(ECR)를 이용하여 평가하였고, $ECR > 10^{-4}$ 이면 발암 위해 우려가 있고 $ECR \leq 10^{-6}$ 이면 수용가능한 것으로 판단하였다. 통계적 분석으로는 매체 간 SVOC 농도를 비교하기 위한 피어슨 상관분석, 노출 형태에 따른 농도 차를 검정하기 위한 Mann-Whitney U test와 Kruskal-Wallis test를 수행하였다. 또한 SVOC의 잠재적 노출원을 결정하기

위해 주성분 분석(PCA)을 수행하였으며, 확률론적 건강 위해성 평가를 수행하기 위해 몬테카를로 시뮬레이션을 이용하였다.

3. 결과 및 토의

55개의 표적 SVOC 물질 중 검출률이 60% 이상인 물질은 52종이었다. 먼지에서는 DEHP, 벤조[g,h,i]페릴렌, C23H48이 가장 높은 농도로 검출되었고, 유기 필름에서는 DEHP, 나프탈렌, C11H24가 가장 높은 농도로 검출되었다. 두 매트릭스 모두 건물 연식이 20년 이상, 청소 빈도가 주당 1~2회, 자녀가 없는 가구에서 SVOC 농도가 유의하게 높게 나타났다. 먼지와 유기 필름 간 SVOC 물질의 상관관계는 일반적으로 낮았는데, 이는 각 매트릭스의 SVOC가 서로 다른 노출원에서 유래되고 다른 축적 메커니즘을 거치기 때문일 수 있다. PCA 분석 결과, 먼지의 물질 분포는 상대적으로 분산되어 있어 먼지 SVOC에 다양한 노출원이 기여함을 시사한 반면, 유기 필름의 경우 물질 분포가 상대적으로 밀집되어 있어 조리 과정, 흡연 등과 같은 일반적인 공통 노출원에서 유래되었을 가능성을 보여준다.

노출평가 결과, 먼지 샘플에서 흡입 경로는 나프탈렌, 경피 경로는 DBP, 경구 경로는 DEHP의 ADD가 가장 높았다. 유기 필름 샘플에서도 각 노출경로에 대한 ADD는 먼지 샘플과 동일한 패턴을 보였지만 전반적으로 더 낮게 나타났다. 노출 기여도 분석에 따르면, 먼지 섭취는 DEHP, DNOP와 같은 고분자량 프탈레이트의 주요 노출경로이며, 흡입은 나프탈렌, 안트라센 등 저분자량 PAHs의 주요 노출경로였다. 경피 노출은 전반적으로 기여도가 낮았다. 건강 위해성 평가 결과(Fig.1, Fig.2), 나프탈렌이 주요한 비발암 위해 우려 화합물로 나타났으며, 성인과 아동 모두에서 흡입 HQ가 1을 초과했다. 발암 위해도 평가에서는 DEHP와 벤조[a]피렌 등의 특정 PAHs가 아동의 경구 섭취 경로를 통해 임계값을 초과하는 것으로 나타났다. 비발암 및 발암 위해도 평가 모두 유기 필름이 먼지에 비해 전반적으로 낮은 위해 추정치를 나타냈으며, 아동이 성인에 비해 더 지속적인 노출과 큰 위해 추정치를 나타냈다.

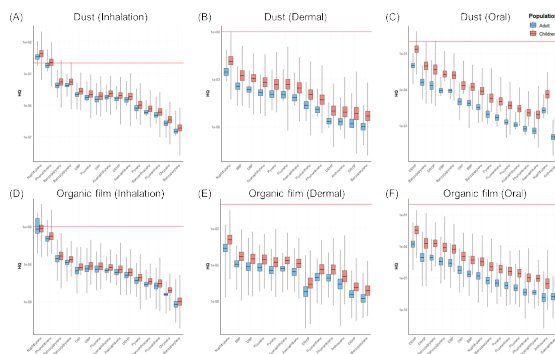


Fig.1. 비발암 위해성 평가 결과

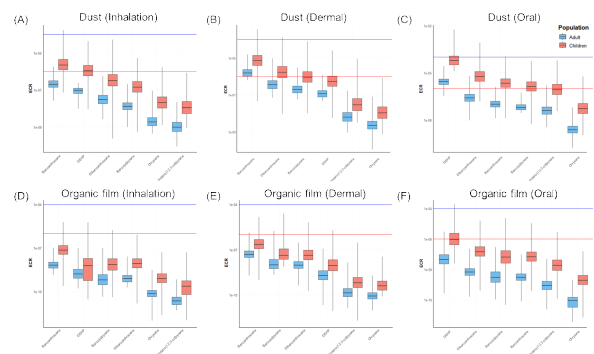


Fig.2. 발암 위해성 평가 결과

4. 결론

본 연구는 주거 환경에서 수집된 집먼지와 유기 필름을 동시에 분석하여 55개의 SVOCs 오염 특성을 규명하고, 다경로 노출을 추정하며, 잠재적인 건강 위험을 평가했다. 연구 결과, 두 매트릭스 모두에서 프탈레이트, PAHs, n-alkanes에 대한 광범위한 오염이 관찰되었으며, 각 매트릭스별로 상이한 노출원과 축적 특성을 나타냈다. 먼지는 입자 결합 상태로 존재하거나 주로 섭취를 통해 노출되는 SVOC를 더 민감하게 반영하는 반면, 유기 필름은 표면 침착 후 재방출되어 경피 및 흡입 경로로 노출되는 SVOC 오염을 더 효과적으로 포착할 수 있다.

이러한 두 매트릭스의 상호 보완적 특성은 실내 장기간 SVOC 오염 평가에서 통합 샘플링 전략의 필요성을 시사한다. 이중 매트릭스 접근법은 실내 SVOC의 전체적인 스펙트럼을 포착할 수 있으며 이를 모니터링 및 위해성 평가에 통합할 경우 주거 환경에서의 노출을 보다 완전하고 대표적으로 평가할 수 있다. 나아가 노출원 제어, 환기 관리 및 맞춤형 청소 전략과 같은 표적 개입을 위한 과학적 근거를 제공할 수 있다.

참고문헌

- Ait bamaï, Y., Araki, A., Kawai, T., Tsuboi, T., Saito, I., Yoshioka, E., Kanazawa, A., Tajima, S., Shi, C., Tamakoshi, A. Kishi, R., 2014. Associations of phthalate concentrations in floor dust and multi-surface dust with the interior materials in Japanese dwellings. *Sci. Total Environ.* 468,147 - 157.
- Aronold, K., Teixeira, J. P., Mendes, A., Madureira, J., Costa, S. Salamova, A., 2018. A pilot study on semivolatile organic compounds in senior care facilities: Implications for older adult exposures. *Environ. Pollut.* 240,908 - 915.
- Ataei, Y., Sun, Y., Liu, W., S. Ellie, A., Dong, H. Ahmad, U. M., 2022. Health effects of exposure to indoor semi-volatile organic compounds in Chinese building environment: a systematic review. *Int. J. Environ. Res. Pub. Health* 20,678.
- Balci, E., Genisoglu, M., Sofuoglu, S. C. Sofuoglu, A. 2020., Indoor air partitioning of Synthetic Musk Compounds: Gas, particulate matter, house dust, and window film. *Sci. Total Environ.* 729,138798.
- Bohlin, P., Jones, K.C. Strandberg, B., 2007. Occupational and indoor air exposure to persistent organic pollutants: A review of passive sampling techniques and needs. *J. Environ. Monit.* 9,501 - 509.
- Cao, J., Zhu, Y., Huang, X., Zhang, L., Wang, X., Geng, C. Huang, H., 2023. Role of dust loading in dynamic transport of semi-volatile organic compounds (SVOCs) into house dust: From multilayer to monolayer. *Build. Environ.* 233,110084.
- Cao, S., Wen, D., Chen, X., Duan, X., Zhang, L., Wang, B., Qin, N. Wei, F., 2022. Source identification of pollution and health risks to metals in household indoor and outdoor dust: A cross-sectional study in a typical mining town, China. *Environ. Pollut.* 293,118551.
- Chen, Z., Gao, Y., Xia, F., Bi, C. Mo, J. 2024. Formation kinetics of SVOC organic films and their impact on child exposure in indoor environments. *Sci. Total Environ.* 912,168970.
- Choi, H., Seo, J.H. Weon, S. 2023a. Visualizing indoor ozone exposures via o-dianisidine based colorimetric passive sampler. *J. Hazard. Mater.* 460, 132510.
- Choi, Y.-H., Kim, H.J., Sohn, J.R. Seo, J.H., 2023b. Occupational exposure to VOCs and carbonyl compounds in beauty salons and health risks associated with it in South Korea. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 256, 114873.
- Cummings, B.E., Lakey, P.S., Morrison, G.C., Shiraiwa, M. Waring, M.S., 2024. Composition of indoor organic surface films in residences: simulating the influence of sources, partitioning, particle deposition, and air exchange. *Environ. Sci. Processes. Impacts*, 26,305 - 322.
- Dong, X., Yang, C., Zhang, R., Tao, S., Han, W., Wang, Y., Xie, Q., Chen, J. Li, X., 2022. Occurrence, exposure and risk assessment of semi-volatile organic compounds in Chinese homes. *Environ. Pollut.* 307,119550.
- Fan, G., Xie, J., Yoshino, H., Zhang, H., Li, Z., Li, N., Liu, J., Lv, Y., Zhu, S., Yanagi, U., Hasegawa, K., Kagi, N., Zhang, X. Liu, J., 2018. Common SVOCs in house dust from urban dwellings with schoolchildren in six typical cities of China and associated non-dietary exposure and health risk assessment. *Environ. Int.* 120,431 - 442.
- Fan, L., Wang, L., Wang, K., Liu, F. Wang, G., 2022. Phthalates in Glass Window Films of Chinese University Dormitories and Their Associations with Indoor Decorating Materials and Personal Care Products.

Int. J. Environ. Res. Pub. Health 19,15297.

- González-Martín, J., Kraakman, N. J. R., Pérez, C., Lebrero, R., Muñoz, R., 2021. A state - of - the-art review on indoor air pollution and strategies for indoor air pollution control. *Chemosphere* 262,128376.
- Huang, J., Wang, X., Guo, J., Wang, X., Ji, M. Huang, L., 2022. Partition of phthalates among air, PM2.5, house dust and skin in residential indoor environments. *Indoor Air* 32,e13176.
- Huo, C.-Y., Sun, Y., Liu, L.-Y., Sverko, E., Li, Y.-F., Li, W.-L., Ma, W.-L., Zhang, Z.-F. Song, W.-W., 2019. Assessment of human indoor exposure to PAHs during the heating and non-heating season: Role of window films as passive air samplers. *Sci. Total Environ.* 659,293 - 301.
- Joen, J.-I., Lee, H.-W., Lee, S.-H., Lee, J.-I. Lee, C.-M., 2022. Exposure assessment of phthalates from house dust and organic films in the indoor environment. *J Environ Health Sci* 48(2), 75 - 85.
- Kanazawa, A., Saito, I., Araki, A., Takeda, M., Ma, M., Saijo, Y. Kishi, R., 2010. Association between indoor exposure to semi-volatile organic compounds and building-related symptoms among the occupants of residential dwellings. *Indoor Air* 20,72 - 84.
- Kim, M.-K., Kim, T., Choi, J., Joo, Y.-E., Park, H., Lee, H., Lee, C., Jang, S., Vasseghian, Y. Joo, S.-W., 2022a. Analysis of semi-volatile organic compounds in indoor dust and organic thin films by house type in South Korea. *Environ. Res.* 214,113782.
- Kim, M.-K., Kim, T., Choi, J., Joo, Y.-E., Park, H., Lee, H., Lee, C., Jang, S., Vasseghian, Y., Joo, S.-W., Lee, J.I.L. Zoh, K.-D., 2022b. Analysis of semi-volatile organic compounds in indoor dust and organic thin films by house type in South Korea. *Environ. Res.* 214,113782.
- Król, S., Zabiegała, b. Namieśnik, J., 2011. Monitoring and analytics of semivolatile organic compounds (SVOCs) in indoor air. *Anal. Bioanal. Chem.* 400,1751 - 1769.
- Li, H.-L., Liu, L.-Y., Zhang, Z.-F., Ma, W.-L., Sverko, E., Zhang, Z., Song, W.-W., Sun, Y. Li, Y.-F., 2019. Semi-volatile organic compounds in infant homes: Levels, influence factors, partitioning, and implications for human exposure. *Environ. Pollut.* 251,609 - 618.
- Li, L., Hughes, L., Arnot, J.A. 2021. Addressing uncertainty in mouthing-mediated ingestion of chemicals on indoor surfaces, objects, and dust. *Environ. Int.* 146,106266.
- Little, J.C., Weschler, C.J., Nazaroff, W.W., Liu, Z. Cohen Hubal, E.A., 2012. Rapid methods to estimate potential exposure to semivolatile organic compounds in the indoor environment. *Environ. Sci. Technol.* 46,11171 - 11178.
- Liu, X., 2022. Understanding semi-volatile organic compounds in indoor dust. *Indoor. Built Environ.* 31,291 - 298.
- Ma, Y. Harrad, S., 2015. Spatiotemporal analysis and human exposure assessment on polycyclic aromatic hydrocarbons in indoor air, settled house dust, and diet: A review. *Environ. Int.* 84,7 - 16.
- Moradnia, M., Attar, H.M., Hajizadeh, Y., Lundh, T., Salari, M., Darvishmotevalli, M. 2024. Assessing the carcinogenic and non-carcinogenic health risks of metals in the drinking water of Isfahan, Iran. *Sci. Rep.* 14(1), 5029.
- National Institute of Environmental Research, 2021. Standards for testing and inspection of household chemical products subject to safety confirmation, National Institute of Environmental Research, Incheon.
- Roberts, J. W., Wallace, L. A., Camann, D. E., Dickey, P., Gilbert, S. G., Lewis, R. G. Takaro, T. K., 2009. Monitoring and reducing exposure of infants to pollutants in house dust. *Re. Environ. Contam. Toxicol.* Vol 201,1 - 39.
- Schlink, U., Rehwagen, M., Damm, M., Richter, M., Borte, M. Herbarth, O., 2004. Seasonal cycle of indoor-VOCs: comparison of apartments and cities. *Atmos. Environ.* 38,1181 - 1190.
- Seo, J.H., Kim, P.-G., Choi, Y.-H., Shin, W., Sochichiu, S., Khoshakhlagh, A.H. Kwon, J.-H., 2025. Evaluation of personal exposure to volatile organic chemicals (VOCs) in small-scale dry-cleaning facilities using passive sampling. *Atmos. Environ.* 353, 121235.

- Shi, S., Zhao, B. Zhang, J.J., 2018. Effect of residential air cleaning interventions on risk of cancer associated with indoor semi-volatile organic compounds: a comprehensive simulation study. *The Lancet Planetary Health*, 2,e532 - e539.
- Sukiene, V., Gerecke, A.C., Park, Y.-M., Zennegg, M., Bakker, M.I., Delmaar, C.J., Hungerbühler, K. Von Goetz, N., 2016. Tracking SVOCs' transfer from products to indoor air and settled dust with deuterium-labeled substances. *Environ. Sci. Technol.* 50,4296 - 4303.
- Sun, Y., Liu, L.-Y., Lv, L.-L., Zhou, X.-X., Luo, Y.-Y., Qu, J.-Z., Ma, W.-L., Zhang, Z.-F., Song, L., Wang, L., Li, Y.-F., 2023. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in indoor/outdoor window films and the indoor film/air partition of northeastern Chinese college dormitories. *Chemosphere* 322,138136.
- Thompson, K.M., Burmaster, D.E., Crouch, E.A. 1992. Monte Carlo techniques for quantitative uncertainty analysis in public health risk assessments. *Risk Anal.* 12(1), 53-63.
- US EPA, 1992. Guidelines for exposure assessment. Fed. Reg. Wash. 57, 22888 - 22938.
- US EPA, 1992. Dermal Exposure Assessment: Principles and Applications, United States Environmental Protection Agency (US EPA), Washington, DC.
- US EPA, 2001. Risk Assessment guidance for superfund: volume III-part a. Process for Conducting Probabilistic Risk Assessment. United States Environmental Protection Agency (US EPA), Washington, DC.
- US EPA, 2014. Method 8270E (SW-846): semivolatile organic compounds by gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS), United States Environmental Protection Agency (US EPA), Washington, DC.
- Wang L, Zhao A, Wang K, Liu F. 2021. Phthalates in glass window films in university dormitories in Beijing, China, and exposure implications. *Build Environ.* 196: 107813.
- Weschler, C.J., Nazaroff, W.W., 2008. Semivolatile organic compounds in indoor environments. *Atmos. Environ.* 42(40), 9018 - 9040.
- Weschler, C.J., Nazaroff, W.W., 2010. SVOC partitioning between the gas phase and settled dust indoors. *Atmos. Environ.* 44,3609 - 3620.
- Weschler, C.J., Nazaroff, W.W., 2012. SVOC exposure indoors: fresh look at dermal pathways. *Indoor Air* 22,356 - 377.
- Weschler, C.J., Nazaroff, W.W., 2017. Growth of organic films on indoor surfaces. *Indoor Air* 27,1101 - 1112

사사

이 연구는 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원(KEITI)의 가정용 화학제품 안전관리 기술개발사업의 지원을 받아 수행되었으며 (1485017563), 한국 과학기술정보통신부(MSIT)의 재원으로 한국연구재단(NRF)의 지원을 받아 수행되었다 (RS-2024-00406500, RS-2025-00561448).

반도체 펌프-스크러버 구간의 부식 환경 모사 조건에서 스테인리스 벨로우즈 부식 및 대기 배출 평가

김동현 서울대학교 대학원 환경보건학과 박사과정, 숲과나눔 학업장학생

1. 서론

반도체 공정은 펌프 - 스크러버 사이의 벨로우즈는 진동·열팽창 완충의 역할을 하지만, 얇은 벽과 주름 구조로 틈새 부식이 쉽게 발생한다. 배기 라인의 할로젠화물(HF, HCl 등)은 금속 부품의 Pitting corrosion과 Crack을 유발해 금속 입자 방출과 성능 저하를 초래할 수 있다. 반면, Alloy 926은 Mo·Cr·N함량이 높아 316Ti 대비 부식 저항이 우수하나, 공정 가동 조건에서의 노출 평가는 부족하다.

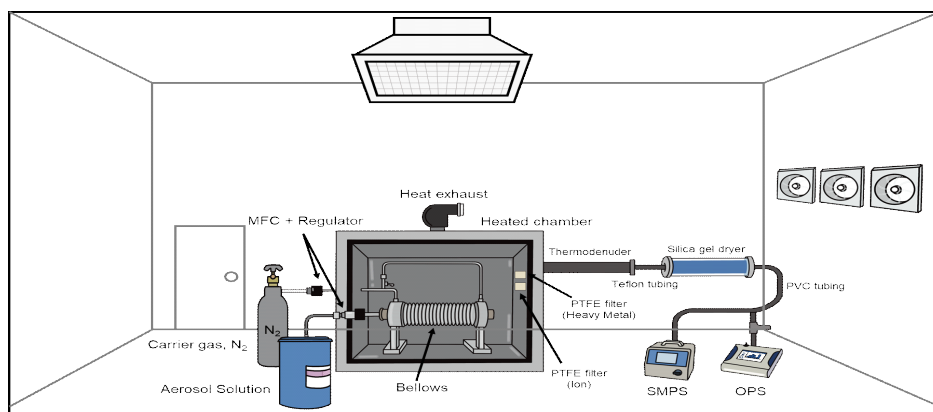
본 연구는 반도체 공정의 할로젠 에어로졸 환경을 모사하여 부식에 발생에 따른 입자·금속·이온 배출과 표면을 분석한다. 결과를 통해 작업 중 유해물질 노출과 환경 영향 그리고 대책 마련에 기여한다.

2. 본론

1) 실험 설계

(1) 시편·환경 조건

- ① 대상: AISI 316Ti, Alloy 926 벨로우즈(동일 형상)
- ② 챔버: 200 ± 2 °C, 약 100 L 급 밀폐 챔버에 할라이트 농도 유지. NaF/NaCl(1:1, 0.5 M) 용액을 3-jet Collision Nebulizer로 분사해 할라이트-풍부 공기를 연속 공급한다.
- ③ 노출기간·채취시점: 1 - 72 h(1, 6, 12, 24, 36, 48, 60, 72 h). 해당 시간은 현장 예방 정비를 고려한 누적 할로젠 유해물질 노출을 가정한 모사 값이다. 1.2 - 1.5 m에서 시료 채취한다.



<그림 1> 펌프 - 스크러버 할로젠 에어로졸 모사 조건에서 벨로우즈 부식 노출 시스템 개략도

(2) 계측·분석

- ① 입자: SMPS(10 - 500 nm)와 OPS(0.3 - 10 μ m) 동시 운전으로 크기 분포(dN/dlogDp) 연속 확보, 300 - 500 nm 중첩 구간을 교정·병합한다.

② 공기시료: 3단 캐스케이드 임팩터+37 mm PTFE 필터(1.0 μm)로 금속·이온 동시 포집한다.

③ 정량: ICP-MS(Fe, Cr, Ni, Mo)와 IC(F^- , Cl^-) 분석한다.

④ 표면: 실체현미경(손상·변색)과 SEM-EDS(Pit 직경·깊이·부착물 성분)로 부식 형태학 평가한다.

⑤ 입자분포: 시간 적분 면적(AUC)로 누적 입자 산정, 입자 정점 농도는 72 h 시점 값으로 한다.

(2) 입자 방출 특성

2) 결과

(1) 입자 방출 특성

① 72 h 기준 316Ti의 주 입자 지름은 850 nm, Peak 농도 $(3.861 \pm 0.772) \times 10^7$ particles/cm³. 누적 방출(AUC)은 1.71×10^{14} particles·h/cm³로 매우 큼. 24 h 이후 급증, 48 - 72 h에서 두드러졌다.

② 반면, Alloy 926은 950 nm, $(5.913 \pm 1.183) \times 10^6$ particles/cm³, 및 3.30×10^9 particles·h/cm³로 316Ti 대비 상대적 낮았다(누적 기준 10^4 배 이상 차이).

③ 셀제 공정의 벨로우즈 교체 후 약 1.5년부터 부식이 나타나는 것으로 예측할 수 있었다.

(2) 금속·이온 방출

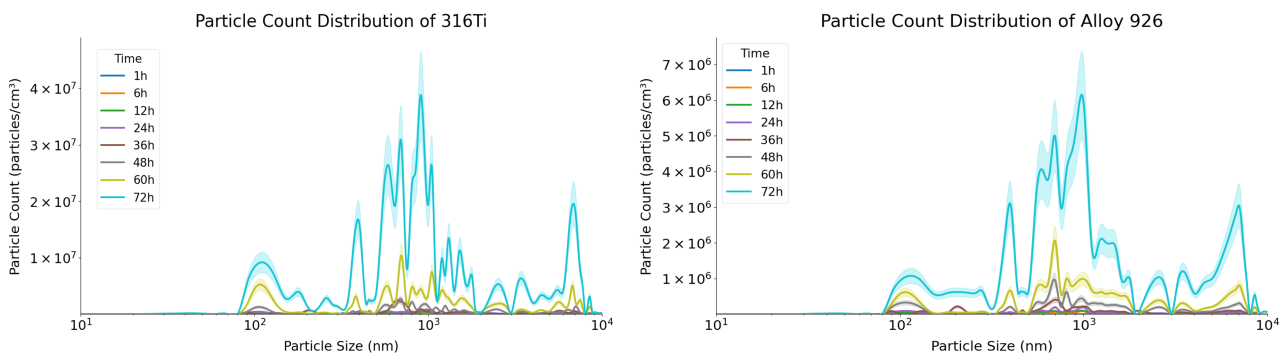
① 316Ti의 총 Cr는 $(1.168 \pm 0.189) \times 10^4$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 도달. Fe, Ni도 상대적으로 높은 수준이었다.

② F^- , Cl^- 는 안정적으로 유지되나, 금속 방출은 표면 열화 누적으로 시간에 따른 증가 뚜렷하였다.

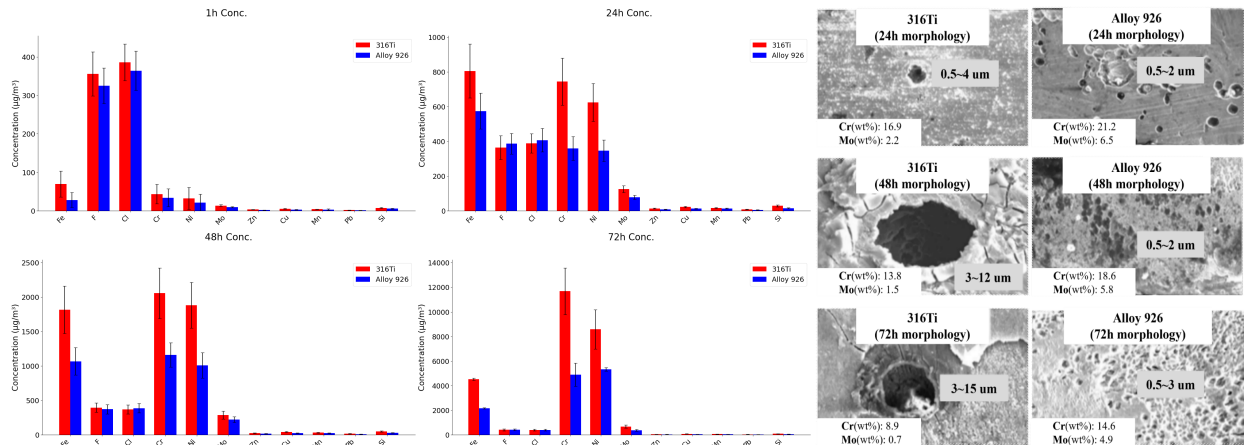
(3) 표면 열화

① 316Ti: 24 h 이후 Pitting이 뚜렷, 72 h에 Pitting 3 - 15 μm , 표면 파편화·미세균열 관찰되었다.

② Alloy 926: 비교적 균일하고 얇은 Pitting (0.5 - 3 μm), 구조적 붕괴 양상이 경미하였다.



<그림 2> 316Ti와 Alloy 926의 입자 크기에 따른 입자 수 방출 분포



<그림 3> 316Ti와 Alloy 926의 국부 표면 형상 변화(SEM) 및 대기 중 방출 특성

3. 결론

316Ti는 Fe·Cr·Ni 방출이 크게 증가하였으며, 100 - 200 nm 입자 비중이 높아 호흡기 노출 위험이 컸다. Alloy 926은 방출량이 상대적 낮고 Mo 함량과 PREN이 높아 표면 열화가 경미하였다. 따라서, 316Ti는 점검·교체 주기 강화를, Alloy 926은 예측 모니터링과 조기 대처를 통해 배출 저감과 안전 확보가 가능하다. 향후 연구는 실제 반도체 공정 조건에서의 열사이클·혼합 화학종 노출을 포함한 수명·배출 예측 모델 개발로 확장될 필요가 있다.

참고문헌

- Cadwallader, L. C., Vacuum bellows, vacuum piping, cryogenic break, and copper joint failure rate estimates for ITER design use, Idaho National Laboratory, INL/EXT-10-18973, 2010.
- Peng, Y., Xue, S., Yang, T., Ren, Y., Failure analysis of 316L stainless steel bellows serving in steam tube, International Journal of Pressure Vessels and Piping, 203, 104718, 2022.
- Panda, B., Sujata, M., Bhaumik, S. K., Stress corrosion cracking in 316L stainless steel bellows of a pressure safety valve, Engineering Failure Analysis, 40, 258-267, 2014.
- Wang, J., Zhao, X., Liu, H., Chen, S., Research on stress corrosion cracking behavior of stainless steel bellows expansion joints, Journal of Physics: Conference Series, 2760(1), 012066, 2024.
- Wang, Z.-B., Seyeux, A., Wiame, F., Zanna, S., Maurice, V., Marcus, P., Chloride-induced alterations of the passive film on 316L stainless steel and blocking effect of pre-passivation, Electrochimica Acta, 301, 123-132, 2020.
- Kappes, M. A., Localized corrosion and stress corrosion cracking of stainless steels in halide solutions other than chlorides: A review, Corrosion Reviews, 38(1), 1-24, 2020.
- Zatkálíková, V., Markovičová, L., Oravcová, M., The effect of fluoride on corrosion behaviour of austenitic stainless steel, Materials Science: Non-Equilibrium Phase Transformations, 2(4), 56-58, 2016.
- Leiva García, R., Muñoz Portero, M. J., García Antón, J., Influence of sensitization on corrosion behavior of Alloy 926 in concentrated aqueous lithium bromide solutions at different temperatures, International Journal of Electrochemical Science, 6(2), 442-460, 2011.
- Leiva-García, R., Akid, R., Greenfield, D., Gittens, J., Muñoz-Portero, M. J., García-Antón, J., Study of the sensitisation of a highly alloyed austenitic stainless steel, Alloy 926 (UNS N08926), by means of scanning electrochemical microscopy, Electrochimica Acta, 70, 105-111, 2012.

- Li, B., Lang, Y., Chen, H., Feng, H., Qu, H., Sun, X., Tian, Z., Combined role of molybdenum and nitrogen in limiting corrosion and pitting of super-austenitic stainless steel, *Heliyon*, 10(4), e25964, 2024.
- Tian, H., Wang, J., Liu, Z., Han, P., Effect of nitrogen on the corrosion resistance of 6 Mo super austenitic stainless steel, *Metals*, 14(4), 391, 2024.
- Li, A. R., Hornus, E. C., Bhatti, F., Parapurath, S., Sapanathan, T., Iannuzzi, M., Impact of minor changes in molybdenum content on the localized corrosion resistance of austenitic stainless steels, *Materials and Corrosion*, 76(S1), e202414703, 2025.
- Mo, Y., Zhang, Y., Zhang, Q., The pulmonary effects of nickel-containing fine particles: cytotoxicity, genotoxicity, carcinogenicity, and their underlying mechanisms, *Environmental Science: Fine*, 11(7), 1817-1845, 2024.
- D'Agostini, F., Ferrazzi, E., Casalini, A., Pignata, C., Gualtieri, G., Izzotti, A., Induction of apoptosis in the lung but not in the liver of rats after intratracheal instillation of hexavalent chromium, *Carcinogenesis*, 23(4), 587-592, 2002.
- Brenner, S. A., Neu-Baker, N. M., Caglayan, C., Zurbenko, I. G., Occupational exposure to airborne fine materials: An assessment of worker exposure to aerosolized metal oxide fine particles in a semiconductor fab and subfab, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 13(9), D138-D147, 2016.

사사

본 연구는 개인 과제 연구로 수행되었으며, 연구비 지원은 받지 않았음.

※ 본 연구 결과의 일부는 한국산업보건학회 2025 하계학술대회에서 발표되었음.

보건·사회복지 서비스업 종사자의 직장 혁신 경험과 프리젠티즘의 관련성

정 현 연세대학교 의료원 안전관리자
이학선 연세대학교 의료원 사무부처장
이성찬 연세대학교 의료원 중대재해전담
박인철 연세대학교 의료원 사무처장

1. 서론

1) 연구배경

프리젠티즘(Presenteeism)은 근로자가 건강 문제로 업무 수행 능력이 저하되었음에도 불구하고 출근하는 현상으로, 개인의 건강 악화는 물론 조직의 생산성 저하를 유발하는 주요 요인으로 지적된다. 이에 대한 해결책으로, 근로자가 업무 절차 및 조직 개선 과정에 참여하는 ‘직장 혁신(Workplace Innovation)’이 조직 성과와 근로자 건강을 동시에 증진시키는 핵심 전략으로 주목받고 있다. 특히 필수인력 비중이 높은 보건·사회복지 서비스업은 프리젠티즘 발생 위험이 높아, 직장 혁신을 통한 예방 전략의 중요성이 더욱 크다.

2) 연구 필요성

지금까지 프리젠티즘 관련 연구는 주로 직무 스트레스나 사회적 지지 등 전통적인 심리·사회적 요인에 집중되어 왔다. 반면, 근로자의 참여를 기반으로 하는 직장 혁신 경험이 프리젠티즘에 미치는 직접적인 영향을 규명한 국내 연구는 매우 제한적이었다. 본 연구는 대규모 국가승인통계인 「제7차 근로환경조사」 자료를 활용하여, 보건·사회복지 서비스업 종사자의 직장 혁신 경험과 프리젠티즘 경험의 관련성을 실증적으로 분석하고자 한다. 이를 통해 프리젠티즘 고위험군을 파악하고, 근로자 참여 중심의 효과적인 건강 보호 정책을 수립하는 데 필요한 기초자료를 제공하는 것을 목적으로 한다.

2. 본론

1) 연구방법

(1) 연구설계 및 대상

① 본 연구는 「제7차 근로환경조사(2023)」의 원시자료를 활용한 단면 연구로, 분석 대상은 보건·사회복지 서비스업에 종사하는 임금근로자 2,606명으로 한정하였다.

(2) 변수 정의 및 분석 방법

① 종속변수는 ‘프리젠티즘 경험’으로, ‘지난 12개월간 질병이나 건강 문제로 아팠음에도 불구하고 출근하여 근무한 경험 유무’를 기준으로 정의하였다.

② 주요 독립변수는 ‘직장 혁신 경험’으로, ¹작업 목표 결정 전 의견 수렴 참여, ²업무 절차 및 조직 개선 참여, ³동료 선택 과정에 의견 반영 등 세 가지 문항을 통해 측정하였다.

③ 통제변수로는 성별, 연령, 교육수준, 근속연수, 사업장 규모 등 인구사회학적 및 직업적 특성을 포함하였다.

④ 자료 분석은 R 4.3.3 프로그램을 이용하여 카이제곱 검정 및 다변량 로지스틱 회귀분석을 실시하였으며, 직장 혁신 경험이 프리젠티즘에 미치는 영향을 오즈비(Odds Ratio, OR)와 95% 신뢰구간(Confidence Interval, CI)으로 제시하였다.

2) 연구결과

(1) 직장 혁신 경험의 영향

① 직장 혁신 경험의 세 가지 항목 모두 프리젠티즘 위험을 유의하게 낮추는 보호 효과를 보였다. 구체적으로, ‘업무 절차 및 조직 개선’에 참여한 근로자는 그렇지 않은 근로자보다 프리젠티즘을 경험할 위험이 46% 낮았고(OR 0.54, 95% CI 0.38 - 0.76), ‘작업 목표 설정 전 의견 수렴’ 경험이 있는 경우 위험이 40% 감소했으며(OR 0.60, 95% CI 0.41 - 0.88), ‘동료 선택 과정 의견 반영’ 경험이 있는 경우에도 위험이 37% 유의하게 낮았다(OR 0.63, 95% CI 0.44 - 0.89).

(2) 프리젠티즘 경험의 취약집단

① 성별 분석 결과, 여성은 남성보다 프리젠티즘을 경험할 위험이 2.32배 높게 나타나 주요 취약집단으로 확인되었다.

② 근속연수별로는 6개월 미만 신규 입사자에 비해 5년 이상 10년 미만(OR 2.33) 및 15년 이상 20년 미만(OR 3.12)의 중·장기 근속자에게서 프리젠티즘 위험이 유의하게 높았다.

③ 사업장 규모별로는 5인 미만 사업장에 비해 5인 이상 100인 미만의 중·소규모 사업장에서 근무하는 근로자의 프리젠티즘 위험이 2.7배에서 3.3배까지 유의하게 높은 것으로 분석되었다.

<표 1> 직장 혁신 경험에 따른 프리젠티즘 영향

주요 변수	OR (95% CI)	해석
직장 혁신 참여 여부 (vs. 미참여)		
① 작업목표 결정 전 의견 수렴 참여	0.60 (0.41 - 0.88)	참여 시 프리젠티즘위험 40% 감소
② 부서·조직 절차 개선 참여	0.54 (0.38 - 0.76)	참여 시 프리젠티즘위험 46% 감소
③ 동료 선택 과정 의견 반영 경험	0.63 (0.44 - 0.89)	경험 시 프리젠티즘위험 37% 감소
성별 (vs. 남성)		
여성	2.32 (1.28 - 4.20)	여성이 남성보다 프리젠티즘위험 약 2.3배 증가
근속연수 (vs. 6개월 미만)		
5년 이상 - 10년 미만	2.33 (1.09 - 4.94)	중·장기 근속자(5 - 10년) 위험 약 2.3배 증가
15년 이상 - 20년 미만	3.12 (1.10 - 8.88)	중·장기 근속자(15 - 20년) 위험 약 3.1배 증가
사업장 규모 (vs. 5명 미만)		
5명 이상 - 30명 미만	3.28 (1.63 - 6.61)	중·소규모 사업장(5 - 30명)에서 위험 약 3.3배 증가
30명 이상 - 100명 미만	2.68 (1.25 - 5.73)	중·소규모 사업장(30 - 100명)에서 위험 약 2.7배 증가

3. 결론

본 연구는 보건·사회복지 서비스업 종사자가 직장 혁신 과정에 참여하는 경험의 프리젠티즘 위험을 37%에서 46%까지 유의하게 감소시키는 보호 요인임을 실증적으로 밝혔다. 이는 근로자의 재량권 확대가 병가 사용의 심리적·조직적 장벽을 낮춘 결과로 해석되며, 반면 여성, 일부 중·장기 근속자, 중·소규모 사업장 종사자는 프리젠티즘 위험이 높은 취약집단으로 확인되었다.

이러한 결과는 ‘근로자 참여 확대’라는 정부 정책이 건강 보호 측면에서도 실효성이 있음을 뒷받침한다. 따라서 보건·사회복지 분야 사업장은 근로자의 의사결정 과정 참여 통로를 제도적으로 마련하고 참여 문화를 활성화해야 한다. 특히 필수인력 특성상 결근이 어려워 프리젠티즘에 취약한 중·소규모 사업장과 여성 근로자 비율이 높은 조직을 대상으로 맞춤형 예방 전략을 수립하고 지원을 강화할 필요가 있다. 향후 중단 연구를 통해 프리젠티즘의 장기적 손실과 정책 효과를 검증하는 노력이 요구된다.

참고문헌

- 김태형, & 이소연, 2022, 직무요구-통제-지원 틀에서 프리젠티즘 결정요인, 한국산업보건학회지, 32(4), 301-312.
- Aronsson, G., Gustafsson, K., & Dallner, M., 2000, Sick but yet at work. An empirical study of sickness presenteeism, Journal of epidemiology and community health, 54(7), 502 - 507.
- Eurofound, 『European Company Survey 2019: Work organisation and innovation』, Publications Office of the EU, 2020.
- Park, J., Lee, S., & Kim, H., 2024, Workplace innovation and employee outcomes: evidence from Korean enterprises, Journal of Occupational Health, 66, e12345.
- Totterdill, P., Dhondt, S., & Milsome, S., 『Partners at work? A report to the European Commission on the promotion of employee participation in workplace innovation』, European Work and Employment Research Centre, 2002.
- van der Voordt, T. J. M., & Jensen, P. A., 2023, The impact of workplace innovation on employee well-being and performance, Journal of Corporate Real Estate, 25(1), 1-17.

사사

본 논문은 2025년 한국산업보건학회 하계 학술대회에서 포스터 발표된 내용을 수정 및 보완하였음.

외국인 임금근로자의 근무여건 자가평가와 작업 중 부상의 관련성

정 현 연세대학교 의료원 안전관리자
김치년 연세대학교 보건대학원 연구교수
윤병윤 연세대학교 의과대학 예방의학교실 연구조교수
윤진하 연세대학교 보건대학원 주임교수

1. 서론

1) 연구배경

국내 산업 현장에서 외국인 근로자의 역할이 중요해지고 있으나, 이들은 열악한 근무여건과 높은 산업재해 위험에 노출되는 경우가 많다. 정부의 고용허가제 확대 등 정책적 노력에도 불구하고, 현장에서는 안전보건 문제가 지속적으로 제기되고 있어 이들의 노동 환경에 대한 심층적인 이해가 요구된다.

2) 연구 필요성

기존 연구들이 주로 임금, 근로시간 등 객관적 지표에 집중한 반면, 근로자가 스스로 체감하는 근무여건의 불리함이 실제 산업재해로 이어지는지에 대한 분석은 부족했다. 이에 본 연구는 대규모 국가승인통계를 활용하여, 외국인 근로자의 주관적 근무여건 평가가 작업 중 부상 경험에 미치는 영향을 규명하고자 한다. 이를 통해 산재 고위험군을 조기에 식별하고, 실효성 있는 예방 정책의 근거를 마련하는 데 기여할 수 있다.

2. 본론

1) 연구방법

(1) 연구설계 및 대상

① 본 연구는 법무부와 통계청의 「2023년 이민자 체류실태 및 고용조사」 원시자료를 활용한 이차자료 분석 연구이다. 연구 대상은 해당 조사에 참여한 임금근로자 중, 주요 변수에 결측치가 없는 13,085명을 최종 분석 표본으로 선정하였다.

(2) 변수 정의 및 분석 방법

① 종속변수는 ‘최근 1년간 작업 중 부상 또는 작업으로 인한 질병 경험 유무’로 설정하여 이분형 변수(1=경험 있음, 0=경험 없음)로 구성하였다.

② 주요 독립변수는 ‘비슷한 일을 하는 한국인 근로자와 비교했을 때 본인의 급여, 근로시간, 업무량에 대한 주관적 평가’로, 각 문항에 대해 ‘많음’, ‘비슷함’, ‘적음’의 세 범주로 재분류하여 분석에 사용하였다.

③ 통제변수로는 성별, 연령, 교육수준 등 인구사회학적 특성과 근속연수, 사업장 규모, 산업군(농업·

임업·어업, 광업·제조업, 건설업, 도소매·숙박·음식점업, 사업·개인·공공서비스업) 등 직업적 특성을 포함하였다.

④ 자료 분석은 R 4.4.3 프로그램을 사용하였으며, 카이제곱 검정(Chi-squared test)을 통해 변수 간 관련성을 확인하고, 다변량 로지스틱 회귀분석(Multivariate Logistic Regression)을 실시하여 근무여건 자가평가가 작업 중 부상에 미치는 영향을 오즈비(Odds Ratio, OR)와 95% 신뢰구간(Confidence Interval, CI)으로 산출하였다. 또한, 성별 및 5개 산업군별로 층화 분석을 수행하여 집단 간 차이를 비교하였다.

2) 연구결과

(1) 전체 분석 결과

① 한국인 대비 업무량이 ‘많다’고 응답한 근로자는 ‘비슷하다’고 응답한 근로자에 비해 작업 중 부상을 경험할 위험이 2.26배 유의하게 높았다(95% CI 1.79 - 2.86). 또한, 급여가 ‘적다’고 인식하는 경우(OR 1.60)와 근로시간이 ‘많다’고 인식하는 경우(OR 1.35)에도 부상 위험이 유의미하게 증가하였다. 특히 ‘업무량 과다’ 인식은 다른 모든 변수를 통제한 후에도 가장 강력한 단일 위험요인으로 나타났다.

(2) 성별 분석 결과

① 남성 근로자의 경우, 급여(적음), 근로시간(많음), 업무량(많음) 세 가지 자가평가 모두가 부상 위험을 유의하게 높이는 요인이었다. 특히 광업·제조업과 건설업에 종사하는 남성에게서 위험도가 두드러졌다. 반면, 여성 근로자에게서는 업무량이 ‘많다’는 인식이 부상 위험을 3.53배로 매우 크게 증가시키는 핵심 요인이었으며, 급여나 근로시간의 영향력은 남성에 비해 뚜렷하지 않았다.

(3) 산업군별 분석 결과

① 산업군별 분석에서도 업무량 과다 인식은 모든 산업군에서 공통적으로 부상 위험을 높이는 가장 일관된 요인이었다. 특히 도소매·숙박·음식점업에서는 그 위험이 4.67배(95% CI 2.79 - 7.83)에 달해 가장 높은 연관성을 보였다.

② 근로시간과 급여의 영향은 산업별로 상이했다. 광업·제조업과 건설업에서는 ‘근로시간이 많다’는 인식이 주요 위험요인이었으며(각각 OR 1.61, 2.02), 광업·제조업과 도소매·숙박·음식점업에서는 ‘급여가 적다’는 인식이 부상 위험을 유의하게 높였다(각각 OR 1.77, 1.83). 한편, 도소매·숙박·음식점업의 30~49인 규모 사업장에서 부상 위험이 특징적으로 높게 나타나, 중규모 사업장의 안전관리 공백 가능성이 시사되었다.

3. 결론

본 연구는 외국인 근로자가 주관적으로 체감하는 ‘업무량 과다’가 산업군이나 성별과 무관하게 작업 중 부상 위험을 예측하는 가장 강력하고 일관된 지표임을 실증했다. 이는 근로자의 주관적 평가를 산재 예방을 위한 조기 경고 신호로 활용할 수 있음을 의미한다. 반면 근로시간과 급여의 영향은 산업별로 상이하여, 산재 예방을 위해서는 각 산업의 특수성을 고려한 맞춤형 접근이 필수적이다.

이러한 연구 결과를 바탕으로 몇 가지 정책적 방안을 제언할 수 있다. 먼저, ‘근무여건 자가평가’를 산재 예방 정책에 적극적으로 도입할 필요가 있다. 정부는 고용허가제 사후관리나 사업장 안전 감독 과정

에서 간단한 근무여건 자가평가 설문 문항을 포함함으로써, 잠재적인 산재 고위험군을 비용 효율적으로 선별하고 예방적 개입을 집중할 수 있을 것이다. 더 나아가, 산업별 특성을 고려한 맞춤형 안전보건 전략을 수립하는 것이 중요하다. 예컨대 광업·제조업 및 건설업에 대해서는 장시간 근로를 실질적으로 규제하고 적정 임금체계를 확립하는 정책이 시급하며, 도소매·숙박·음식점업의 경우에는 업무 강도가 높은 시간대의 인력 충원과 휴게시간 보장, 그리고 안전보건 감독이 취약한 중규모 사업장에 대한 관리 강화가 핵심 과제가 될 것이다.

다만 본 연구는 횡단면 자료를 사용하였으므로 향후 종단 연구를 통해 인과성을 명확히 하고, 산재보험 데이터 연계로 보고 편향을 보완할 필요가 있다. 아울러 미등록 근로자 등 통계 사각지대에 대한 심층 연구를 병행하여 보다 실효성 있는 정책 근거를 축적해야 할 것이다.

참고문헌

- 고용노동부, 2023, 『외국인근로자의 산재현황 파악 및 제도개선 연구』, 고용노동부.
- 고용노동부, 2023, 『제40차 외국인력정책위원회 결정사항 공고』, 고용노동부.
- 고용노동부, 2024, 『외국인 근로자 및 소규모 사업장 안전 강화 대책』, 고용노동부.
- 김기태, 2021, 이주노동자의 노동 여건 및 정책 과제, Health Welf Policy Forum, 295, 8-24.
- 김린, 2024, 외국인근로자 정책의 현황과 입법과제, 노동법논총, 62, 93-119.
- 송다숨, 2025, 외국인근로자 관련 국내법제의 국제법적 함의-UN 이주노동자권리협약과 고용허가제의 비교·분석을 중심으로, 국제법평론, 77-98.
- 신지원, 채준호, 2024, 이주노동자의 산업안전보건과 위험의 이주화: 영국 건설업 사례를 중심으로, 한국경제지리학회지, 27(1), 18-37.
- 안도희, 2022, 『이주 노동자의 차별경험이 주관적 건강상태에 미치는 영향』, 서울대학교 대학원.
- 이영주, 이승민, 김영환, 2017, 이주노동자 산업안전보건 연구동향 네트워크 분석, 지역발전연구, 26(3), 101-25.
- 이주연, 2024, 『Characteristics of Occupational Injuries among Migrant Workers in South Korea』, 서울대학교 대학원.
- 정연, 이나경, 2022, 이주노동자 산업안전보건 현황과 정책 과제, Health Welf Policy Forum, 304, 51-65.
- 한정훈, 2019, 이주노동자의 안전보건 불평등에 관한 연구, Soc Sci Res Rev, 58(1), 123-59.
- Chae D, Kim J, Asami K, Kim J, 2019, Factors associated with the self-rated health of migrant workers in Korea, Korean J Health Educ Promot, 36(3), 37-50, doi: 10.14367/kjhep.2019.36.3.37.
- International Labour Organization, 2014, 『Fair migration: Setting an ILO agenda』, International Labour Office.
- International Labour Organization, 2025, 『ILO agenda and action on fair migration』, International Labour Office.
- International Organization for Migration, 2021, 『World Migration Report 2022』, International Organization for Migration.
- Kwan-Hyung YI, Hm-Hak CHO, 2012, The survey study on working conditions and industrial safety & health of foreign workers, J Korea Saf Manag Sci, 14(1), 53-63.
- Moyce SC, Schenker M, 2018, Migrant Workers and Their Occupational Health and Safety, Annu Rev Public Health, 39, 351-65, doi: 10.1146/annurev-publhealth-040617-013714.

사사

본 논문은 2025년 한국산업보건학회 하계 학술대회에서 구연발표된 내용을 수정 및 보완하였음.

타이어 화재 대응 소방관들의 휘발성유기화합물 노출 평가

김 원 노동환경건강연구소 소장
최인자 노동환경건강연구소 팀장
조영환 노동환경건강연구소 연구원
정혜영 노동환경건강연구소 연구원
권지운 국립소방연구원 연구관
이소연 국립소방연구원 연구관

1. 서론

소방관들은 화재 진압 활동 중에 다양한 유독 화학물질에 노출될 수 있다. 타이어가 연소할 때 휘발성 유기화합물(VOCs)을 포함한 여러 유독 화학물질이 배출될 수 있다. 2023년 3월 12일 오후 10시에 대전에 소재한 타이어 공장에서 대응 3단계까지 발령된 대형 화재가 발생했다. 이 연구에서는 생체 모니터링을 통해 타이어 화재 진압 시 소방관들의 VOC 노출을 평가했다.

2. 연구방법

1) 대상자

대형 타이어공장의 화재진압 참여 소방관들 중에서 ○○소방서에 재직하고 있는 14명의 소방대원들이 본 연구에 참여했다. 참여 대상자들은 평균 연령 41세의 대원들로서 모두 남성이었다. 화재진압에 직접 참여한 대원들(9명)과 지원 역할(5명)을 담당한 대원들로 구성되었다.

2) 소변채취

2023년 3월 13일 기준으로 화재현장에 출동했던 소방공무원 14명을 대상으로 3월 14일 아침에 소변을 채취했다(출동 직후 상황을 반영한 소변). 화재 진압 후 약 일주일의 경과한 3월 22일 아침에 두 번째 소변을 받았다. 두 번째 소변시료는 2일 동안의 휴무가 2회 포함된 일상적인 상태의 환경이 반영된 소변이었다. 소변은 받은 즉시 냉장상태로 보관했다. 아이스박스를 이용해 분석실로 시료를 운반했으며 분석 전까지는 -20℃로 냉동보관하였다. 본 연구는 녹색병원으로부터 인체유래물연구에 관한 심의위원회의 승인(IRB No. 1253-202301-BR-002-01)을 받았다.

3) 소변 중 VOC 대사산물 분석

소변 중 VOC 대사체로써 분석된 물질들은 소변 중 벤젠, 톨루엔, 크실렌 및 스타이렌의 대사체 7종이었다. 분석 대상 대사체인 t,t-MA(98%), HA(98%), PGA (98%), MA(98%), 그리고 o,m,p-MHA(97~99%)의 표준시약은 Sigma-Aldrich(St. Louis, MO, USA)사의 제품을 이용해 분석하였다. VOC 대사체 7종은 LC/MS/MS(LC/MS/MS(Liquid chromatography-tandem mass spectrometer, LCMS-8050, SHIMADZU, Japan)를 이용하여 동시분석 하였다.

4) 공기중 벤젠 농도 추정

VOC 중에서 Cui et al.(2022)이 제안한 공식(수식 1과 2)을 이용하여 벤젠의 뇨중 대사산물 농도를 기반으로 노출 당시의 공기중 농도를 추정하였다.

$$DI(\mu\text{g}/\text{day}) = \frac{UE(\mu\text{g}/\text{g}) \times CE(\text{mg}/\text{kg}/\text{day}) \times M(\text{kg})}{F_{UE} \times 1000(\text{mg}/\text{g})} \times \frac{MW_d}{MW_m} \quad (1)$$

$$BCABL(\text{mg}/\text{m}^3) = \frac{DI}{10\text{m}^3 \times 1,000 \times 50\%} \times k \quad (2)$$

3. 결과 및 결론

각 시점에 채취된 소변에서 벤젠, 톨루엔, 스티렌, 자일렌 대사산물의 검출률은 각각 43%–64%, 100%, 86%–100%, 100%였다. Figure 1에서 알 수 있는 것과 같이, 톨루엔, 스티렌, 그리고 크실렌의 대사산물 농도는 화재진압 직후에 채취된 소변에서의 농도가 일주일 후에 채취된 소변에서의 농도에 비해 모두 통계적으로 유의하게 낮았다. 벤젠 대사산물의 경우는 화재진압 직후에 채취된 소변에서의 농도(중위값 34.2 $\mu\text{g}/\text{g}$ crea.)가 일주일 후에 채취된 평상시 소변에서의 농도(중위값 10.9 $\mu\text{g}/\text{g}$ crea.)에 비해 약 3 배 정도 더 높았다. 그러나 통계적으로 유의하지는 않았다. 화재 대응 전후로 벤젠과 다른 VOC의 농도 차이의 패턴이 다른 이유는 뇨중 대사산물 분석결과대로 혹은 Fent et al.(2018)의 연구결과에서처럼 작업 당시 공기 중에 벤젠 농도는 높았으나 다른 휘발성유기화합물의 농도는 낮았을 수도 있다. 화재 진압 당시 공기중 VOC 측정값이 없어서 농도분포 차이에 대한 구체적인 원인을 단정적으로 찾기는 어렵다.

소변 내 대사산물 수치를 통해 추정된 공기 중 벤젠 농도는 0.16 ppm으로, 이는 미국 국립직업안전보건연구원(NIOSH)이 권고하는 노출 기준을 초과하는 수준이었다.

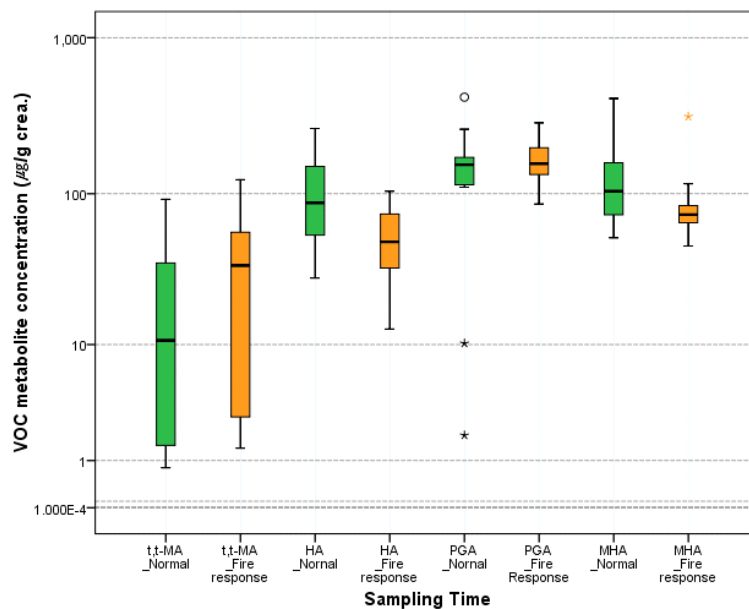


Figure 1. Distribution of VOC metabolite concentration based on sampling time.

Table 1. Estimated benzene exposure concentration of firefighters during firefighting and off-duty(ppb)

VOC	N*	Sampling time	Min	Max	Median	Mean±SD†	GM(GSD)‡
Benzene	14	After firefighting	ND	502.06	160.13	176.16±157.37	76.54(5.43)
		After off-duty	ND	487.51	51.03	103.39±134.49	36.10(5.61)

*N : Number of samples † Mean±S.D. : Arithmetic mean±Standard Deviation

‡ GM(GSD) : Geometric Mean(Geometric Standard Deviation) §ND : Not detected

벤젠은 백혈병 등을 일으킬 수 있는 발암물질이다. 물론, 벤젠의 공기중 농도는 추정된 것이므로 이 결과를 토대로 노출기준을 밑돌거나 권고기준을 초과했다고 단정할 수는 없다. 다만, 당시 작업상황에서 경험될 수 있는 벤젠 노출 농도 수준이 일상적인 환경에서 노출 가능한 것보다는 높았을 것이라는 것과 그것이 NIOSH에서 권고하고 있는 기준을 웃도는 수준에까지 이를 수 있다는 추정이 가능한 연구 결과라고 할 수 있다. 이 연구는 소방관들이 화재 진압, 특히 타이어 화재 진압 중에 벤젠을 포함한 고농도의 VOC에 노출될 수 있음을 보여준다. 이러한 결과는 소방관들이 직무 수행 중 유해 화학물질에 노출된다는 것을 입증하는 귀중한 자료로 활용될 수 있다.

참고문헌

- Adolfson Associates, Inc. in association with Kim Coble, "Tire Fire Contingency Plan - Toxicology Aspects," prepared for Tacoma-Pierce County Health Department, Tacoma, WA, September 1994.
- Austin, C.; Wang, D.; Ecobichon, D.J.; Dussault, G. Characterization of volatile organic compounds in smoke at municipal structural fires. *Journal of Toxicology and Environmental Health Part A*. 2001;63(6):437-458.
- Bardodej, Z.; Bardodejova, E.V.A. Biotransformation of Ethyl Benzene, Styrene, and Alpha-Methyl styrene in Man. *American Industrial Hygiene Association Journal*. 1970 1970/03/01;31(2):206-209.
- Boogaard, P.; Van Sittert, N. Biological monitoring of exposure to benzene: a comparison between S-phenylmercapturic acid, trans, trans-muconic acid, and phenol. *Occupational and environmental medicine*. 1995;52(9):611-620.
- Cui, S.; Pang, B.; Yan, H.; Wu, B.; Li, M.; Xing, C.; Li, J. Using Urinary Biomarkers to Estimate the Benzene Exposure Levels in Individuals Exposed to Benzene. *Toxics*. 2022;10(11):636.
- Downard, J.; Singh, A.; Bullard, R.; Jayarathne, T.; Rathnayake, C.M.; Simmons, D.L.; Wels, B.R.; Spak, S.N.; Peters, T.; Beardsley, D. Uncontrolled combustion of shredded tires in a landfill - Part 1: Characterization of gaseous and particulate emissions. *Atmospheric Environment*. 2015;104:195-204.
- Fent, K.W.; Evans, D.E.; Babik, K.; Striley, C.; Bertke, S.; Kerber, S.; Smith, D.; Horn, G.P. Airborne contaminants during controlled residential fires. *Journal of occupational and environmental hygiene*. 2018;15(5):399-412.
- Fent, K.W.; Mayer, A.C.; Toennis, C.; Sammons, D.; Robertson, S.; Chen, I.C.; Bhandari, D.; Blount, B.C.; Kerber, S.; Smith, D.L.; Horn, G.P. Firefighters' urinary concentrations of VOC metabolites after controlled-residential and training fire responses. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2022 2022/05/01/:242:113969.
- Fent, K.W.; Toennis, C.; Sammons, D.; Robertson, S.; Bertke, S.; Calafat, A.M.; Pleil, J.D.; Wallace, M.A.G.; Kerber, S.; Smith, D.; Horn, G.P. Firefighters' absorption of PAHs and VOCs during controlled residential fires by job assignment and fire attack tactic. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*. 2020 2020/03/01;30(2):338-349.
- JANKOVIC, J.; JONES, W.; BURKHART, J.; NOONAN, G. ENVIRONMENTAL STUDY OF FIREFIGHTERS. *The Annals of Occupational Hygiene*. 1991;35(6):581-602.
- Johnson, E.S.; Langård, S.; Lin, Y.-S. A critique of benzene exposure in the general population. *Science of The Total Environment*. 2007 2007/03/15/:374(2):183-198.

- Laitinen, J.; Mäkelä, M.; Mikkola, J.; Huttu, I. Fire fighting trainers' exposure to carcinogenic agents in smoke diving simulators. *Toxicology letters*. 2010;192(1):61-65.
- Louis, L.M.; Kavi, L.K.; Boyle, M.; Pool, W.; Bhandari, D.; De Jesús, V.R.; Thomas, S.; Pollack, A.Z.; Sun, A.; McLean, S.; Rule, A.M.; Quirós-Alcalá, L. Biomonitoring of volatile organic compounds (VOCs) among hairdressers in salons primarily serving women of color: A pilot study. *Environment International*. 2021 2021/09/01;154:106655.
- Ogata, M. Indices of biological monitoring, with special reference to urinalysis of metabolites of organic solvents. *Sangyo igaku Japanese Journal of Industrial Health*. 1985;27(4):229-241.
- Ogata, M.; Tomokuni, K.; Takatsuka, Y. Urinary excretion of hippuric acid and m-or p-methylhippuric acid in the urine of persons exposed to vapours of toluene and m-or p-xylene as a test of exposure. *Occupational and Environmental Medicine*. 1970;27(1):43-50.
- Reisman, J.I. Air emissions from scrap tire combustion. 1997.
- Seidelt, S.; Müller-Hagedorn, M.; Bockhorn, H. Description of tire pyrolysis by thermal degradation behaviour of main components. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 2006;75(1):11-18.
- Tokunaga, R.; Takahata, S.; Onoda, M.; Ishi-i, T.; Sato, K.; Hayashi, M.; Ikeda, M. Evaluation of the exposure to organic solvent mixture. *Internationales Archiv für Arbeitsmedizin*. 1974 1974/12/01;33(4):257-267.
- Weaver, V.M.; Buckley, T.; Groopman, J.D. Lack of Specificity of trans,trans-Muconic Acid as a Benzene Biomarker after Ingestion of Sorbic Acid-preserved Foods¹. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*. 2000;9(7):749-755.

사사

이 논문은 2023년도 국립소방연구원의 재원으로 지원을 받아 수행된 연구임(FRI-2023-SR-04)

포스터발표 세션 8.

환경교육/커뮤니케이션

- 중고등학생을 위한 식물 관찰 동기 척도 개발과 타당화
한재윤 시민되다 대표
- 지속가능한 농업 전환을 위한 대안 농업 교육의 심리적 효과: 라오스 농민의 환경 일체감 변화 분석
박수정 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 도시사회혁신전공 수료
김다령 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 도시사회혁신전공 재학
- 직장 내 가스라이팅이 자기개념 명확성을 통해 불안에 미치는 영향: 자기효과와 상대방효과
이정은 홍익대학교 대학원 교육학과 석사 과정
이영주 연세대학교 대학원 상담코칭학과 박사 과정
- Leave No Trace(LNT) 원칙 기반 유아환경체험교육 프로그램 개발 연구
이문오 한국LNT 교육위원장
- “청정 제주”가 만드는 인종화: 제주국제자유도시 프로젝트 사례
신경준 제주대학교 대학원 사회학과 박사 수료

중고등학생을 위한 식물 관찰 동기 척도 개발과 타당화

한재윤 시민되다 대표

1. 서론

식물은 인간 생존을 위해서는 물론이고 지구 생태계 유지에 있어서 매우 중요한 기초로서 역할을 하지만 식물에 대한 보전 노력은 현재 충분하지 못한 상황이다(IUCN, 2024). 게다가 미래 세대인 학생들 대부분은 식물이 생태계에서 수행하는 역할의 중요성 뿐만 아니라 가까운 주변에 함께 살고 있는 식물의 존재조차 제대로 인식하지 못하는 식물맹(plant blindness) 또는 식물 인식 불균형(plant awareness disparity, PAD) 상태에 처해 있다(Stagg and Dillon, 2022). 종에 대한 부족한 지식과 태도는 그 보전 노력과 지지에 부정적 영향을 미칠 수 있다(Martín-López, Montes and Benaya, 2007).

식물 인식 불균형 상태를 개선하기 위해서는 무엇보다 학생들이 식물과 실제 상호작용할 수 있는 기회를 주는 것이 효과적이다(Fančovičová and Prokop, 2011). 하지만 국내에서 야외 자연체험 교육은 학교 교육과정과 제대로 연계되지 못하고 있고(엄옥진 · 이명환, 2015), 환경교육 교재에서도 식물에 대한 내용은 빈약한 상황이다(박수진 · 김재근, 2024). 무엇보다 교사들은 안전이나 경비 문제, 통솔의 어려움이나 돌발변수 발생에 대한 불안 등으로 야외 자연체험 교육 진행을 주저한다(엄옥진 · 이명환, 2015; 정완호 외, 1996; 주은정, 2016).

이러한 어려움을 해결하기 위해 교사들에게 접근성이 좋은 학교숲 활용 방법이 제안되지만 학교숲을 활용한 교육 방법에 대한 구체적인 연구는 충분하지 않은 상황이다(주은정, 2018). 게다가 학교숲 활용 교육 연구를 진행했더라도 그런 교육 효과로서 식물 자체에 대한 학생의 태도가 어떻게 변화했는지에 대한 평가는 거의 찾아보기 힘든 상황이다. 이러한 상황에 대한 이유는 다양할 수 있겠지만 무엇보다 식물에 대한 태도를 측정하기 위해 연구자가 활용할 만한 도구가 충분하지 않았다는 점이 영향을 미쳤을 가능성이 있다. 관련 측정 도구로 국외에서는 Fančovičová and Prokop(2010)가 개발한 식물 태도 척도(Plant Attitude Scale, PAS) 설문지와 Parsley, Daigle and Sabel(2022)이 개발한 식물 인식 불균형 지수(Plant Awareness Disparity Index, PAD-I) 설문지를 찾아볼 수 있다. 국내에서는 정선희 외(2015)가 번역하여 신뢰도를 확인한 식물 태도 척도 설문지가 있고, 유지영(2009)이 개발한 식물 친숙도 설문지가 있다. 그리고 최근 들어 한재윤 · 윤순진(2024)이 야외 식물 관찰 체험을 유도하는 애플리케이션 개발 연구 과정에서 개발한 식물 관찰 동기 측정 설문지가 있다.

식물 인식 불균형 상태는 주의, 태도, 지식, 상대적 흥미라는 네 가지 구성 요소로 파악할 수 있다(Parsley, 2020). 특히 주의의 개선을 통해 식물에 대한 흥미가 개선되고 더 많은 학습으로 이어질 가능성이 높아서 주의는 태도, 지식, 상대적 흥미에 연쇄적인 영향을 미치는 핵심 요소이다(Mrkva, Westfall and Van Boven, 2019; Lindemann-Matthies, 2005). 따라서 식물 인식 불균형 상태를 개선하기 위해서는 일차적으로는 식물의 존재를 의식하고 주의를 기울이는 행동을 증진하는 것이 필요하다.

행동을 일으키고 증진하는 근원적인 내재적 힘이 동기이다(김국현, 2016). 그러므로 행동 증진 여부를 추론할 때는 해당 행동에 대한 동기 증진 여부를 알아볼 필요가 있다. 식물 관찰 동기를 측정하는 것이 직접적 목적인 설문지는 현재 국내에서 한재윤 · 윤순진(2024)의 설문지 외에는 찾아보기 힘들다. 하지만 해당 설문지는 탐색적으로 개발되어 중학교 남학생 대상으로만 검증했다는 한계점이 있었다. 따라서 이 연구는 해당 설문지의 이론적 타당성을 확인하고 추가적 개선작업을 진행한 후 적용 대상을 중·고등학교 및 남녀 학생으로 확대하며 그 구인타당도(construct validity)를 검증하고자 한다.

2. 본론

1) 연구 방법 및 절차

(1) 기존 문항 검토 및 설문지 재구성

한재윤·윤순진(2024)이 개발한 설문지는 리커트(Likert) 5점 척도로 된 식물에 대한 흥미 2문항과 식물 관찰 자기효능감 2문항으로 구성되었다. 식물에 대한 흥미 문항들은 Dewey (1913)의 직접적 흥미와 간접적 흥미 이론을 반영했고, 식물 관찰 자기효능감 문항들은 Bandura(1997)의 자기효능감 이론을 반영하여 개발되었음을 확인하였다. 이 연구에서는 Dewey(1913)의 사회적 흥미 이론을 추가로 반영하여 식물에 대한 흥미 문항 1개를 추가하였고, 식물 관찰 자기효능감 문항에 있어서도 사회적 맥락의 영향력을 고려하는 이론적 자원을 바탕으로 1개 문항을 더 추가하였다(Gecas and Schwalbe, 1983). 이러한 과정을 통해 이 연구에서는 식물에 대한 흥미 3문항, 식물 관찰 자기효능감 3문항의 총 6문항으로 식물 관찰 동기 척도를 재구성하였다. 재구성한 설문지는 야외 자연체험 교육 진행 경험이 있는 환경교육 전문가 3인의 검토를 받아 설문 문항들의 내용 타당성과 현장 적용 적합성을 확인하였다.

(2) 예비 조사 및 탐색적 요인분석 실시

이 연구에서 재구성한 설문지의 구인타당도를 검증하고자 2023년과 2024년에 걸쳐 중학생과 고등학생을 대상으로 예비 조사와 본 조사를 실시했다. 이 조사는 환경교육 비영리단체 ‘태양의학교’가 사회복지공동모금회 사랑의열매와 (재)숲과나눔의 ‘초록열매’ 2~3기 사업 지원을 받아 진행한 학교숲 게임 공간화 사업에 참여한 학교들을 대상으로 이루어졌다. 예비조사에는 중학교와 고등학교에서 각 1개교씩 총 2개교가 참여했고, 본조사에는 중학교와 고등학교에서 각 2개교씩 총 4개교가 참여했다. 이 연구에서 개발한 설문지의 구인타당도를 검증함에 있어서 중학생과 고등학생 모두에게 설문지를 적용하여 이 설문지가 중·고등학교 청소년들에게 보편적으로 적용 가능한지도 확인하고자 했다.

예비 조사에서는 중학생과 고등학생 204명을 대상으로 설문 조사를 진행했다. 불성실한 설문지를 제외하여 174부의 설문지를 정리했고, 정리한 설문 자료가 요인분석에 적합한지 여부를 알아보기 위해 자료의 정규성을 확인했다. 이후 탐색적 요인분석(Exploratory Factor Analysis)을 실시하여 설문지의 각 문항들이 어떤 요인 구조로 구성되는지 확인했고, 해당 요인 문항들 간의 신뢰도를 검증하였다. 이 예비조사 결과 분석 절차에서는 SPSS 29 버전이 사용됐다.

(3) 본 조사 및 확인적 요인분석 실시

탐색적 요인분석을 통해 재구성 설문지의 유효한 요인 구조 형태를 확인한 후 이 연구에서 적용한 이론 대로 설문지가 타당하게 구성되는지 검증하고자 확인적 요인분석(Confirmatory Factor Analysis)을 진행했다. 이를 위해 581명의 학생들에 대한 본 조사 설문을 진행했고 불성실한 설문지를 제외하여 유효한 472부의 설문지를 정리했다. 분석에 앞서 수집한 자료의 정규성을 확인하여 자료가 분석에 적합한지 확인했고, 확인적 요인분석을 실시하여 모델 적합도(model fit)를 확인하고 관측변수들의 집중타당도(convergent validity)와 잠재변수 사이의 판별타당도(discriminant validity)를 확인했다. 또한 이 연구의 설문지가 중·고등학생 모두에게 적용될 것을 기대하는 만큼 중·고등학생 모두 설문지 자체에 대해 서로 큰 차이 없이 받아들여 응답했는지 여부를 확인하기 위해 다중집단 확인적 요인분석(Multi-group Confirmatory Factor Analysis)을 실시하여 측정동일성(measurement invariance)을 확인하였다. 본조사의 분석 절차에서는 구조방정식 모형 분석을 실시해야 하므로 AMOS 26 버전을 사용하였다.

2) 연구 결과

(1) 척도 구성 문항

연구 결과, 표 1과 같이 식물 관찰 동기 측정 설문지를 재구성하였다. 리커트 5점 척도의 총 6문항이며, 식물에 대한 흥미와 식물 관찰 자기효능감에 대해 각각 3문항씩 구성되었다. 문항 순서는 분류를 교차하여 같은 분류로 인식된 설문 문항에 대해 일관적으로 답변하려는 일치효과를 최소화하고자 했다.

표 1. 식물 관찰 동기 척도 문항

문항 번호	내용	분류
문항1	나는 식물을 관찰하는 것이 재밌다.	식물에 대한 흥미
문항2	나는 식물의 종류를 구별할 줄 안다.	식물 관찰 자기효능감
문항3	나는 식물을 더 잘 알고 싶다.	식물에 대한 흥미
문항4	나는 식물을 관찰하는 방법을 안다.	식물 관찰 자기효능감
문항5	나는 친구들이 식물에 관심을 더 많이 가지면 좋겠다.	식물에 대한 흥미
문항6	나는 친구에게 식물 관찰 방법을 잘 알려줄 수 있다.	식물 관찰 자기효능감

(2) 정규성 검토 및 기술통계량

예비 조사 자료와 본 조사 자료 모두 왜도와 첨도가 절대값 1보다 작은 양호한 정규성을 보여주어 이들 자료가 요인분석에 적합한 자료임을 확인했다(표 2와 표 3 참조).

표 2. 예비 조사 자료의 기술통계량 분석 결과

(n=174)				
문항 번호	평균	표준편차	왜도	첨도
문항1	3.21	1.071	-0.194	-0.343
문항2	2.49	0.911	0.342	0.060
문항3	3.17	1.072	-0.122	-0.578
문항4	2.57	0.976	0.238	-0.432
문항5	3.28	0.896	-0.232	0.399
문항6	2.56	1.099	0.247	-0.692

표 3. 본 조사 자료의 기술통계량 분석 결과

(n=472)				
문항 번호	평균	표준편차	왜도	첨도
문항1	3.10	1.114	-0.143	-0.468
문항2	2.51	0.960	0.325	-0.049
문항3	3.25	1.090	-0.277	-0.488
문항4	2.58	0.990	0.401	-0.044
문항5	3.17	1.035	-0.148	-0.112
문항6	2.38	1.048	0.527	-0.143

(3) 탐색적 요인분석 및 신뢰도 분석 결과

예비 조사 자료에 대한 탐색적 요인분석에서 요인추출은 최대우도법을 사용했고, 요인회전은 요인간의 상관관계를 전제하는 직접 오블리민(direct oblmin) 사각회전을 선택했다. Bartlett 구형성 검정 결과 유의확률은 0.001 미만으로 나왔고, Kaiser-Meyer-Olkin(KMO) 값은 0.789로 적합 기준 0.6을 초과하여 이 연구의 관측 자료가 요인분석 모형에 적합함을 확인하였다(표 4 참조).

표 4. 탐색적 요인분석 및 신뢰도 분석 결과

분류	문항 번호	1	2	Cronbach's alpha
식물 관찰 자기효능감	문항4	1.083	-0.162	0.762
	문항2	0.528	0.181	
	문항6	0.515	0.186	
식물에 대한 흥미	문항5	-0.080	0.809	0.834
	문항3	0.075	0.783	
	문항1	0.121	0.729	
	고유값	3.354	0.978	
	설명분산(%)	55.901	16.301	
	누적분산(%)	55.901	72.203	

KMO=0.789, Bartlett's $\chi^2=428.308(p<0.001)$

추출방법: 최대우도법.

회전방법: 카이저 정규화가 있는 오블리민.

유효한 요인의 개수는 평행분석(Parallel Analysis)을 실시하여 무작위로 1,000회 생성한 자료의 백분위 95 기준 고유값보다 큰 요인을 2개 확인했다(표 5 참조). 각각의 요인은 ‘식물에 대한 흥미’, ‘식물 관찰 자기효능감’으로 명명했다. 각각의 문항들의 요인적재량(factor loading)은 최소값이 0.515로 모두 유효 기준 0.4를 초과하는 양호한 수치를 나타냈다(표 4 참조). 개별 요인별로 신뢰도를 분석한 결과 모든 요인들의 크론바흐 알파(Cronbach's alpha) 값이 양호 기준 0.7을 넘었다(표 4 참조).

표 5. 실제 자료 고유값과 무작위 자료 고유값

요인	실제 자료 고유값	무작위 자료 평균 고유값	무작위 자료 백분위 95 고유값
1	2.850710	0.297356	0.422376
2	0.478053	0.158095	0.240915
3	0.052017	0.057259	0.122085
4	-0.080662	-0.027902	0.026963
5	-0.131542	-0.108804	-0.059163
6	-0.233393	-0.201267	-0.139163

무작위 자료 1,000회 생성.

(4) 확인적 요인분석 및 측정동일성 검증 결과

① 모형 적합도

본 조사 설문 자료에 대한 확인적 요인분석 과정에서는 먼저 절대 적합도 지수(absolute fit index)와 증분 적합도 지수(incremental fit index)를 통해 모형 적합도를 확인했다. 절대 적합도 지수로는 카이제곱(χ^2) 검정값, SRMR(standardized root mean square residual) 값, RMSEA(root mean square error of approximation) 값을 확인했고, 증분 적합도 지수로는 CFI(comparative fit index)와 TLI(Turker-Lewis index) 값을 확인했다. 분석 결과 카이제곱 검정값만 빼고 다른 모든 지수들이 적합 기준을 만족하여 이 연구에서 설정한 모형이 수집된 자료에 근거했을 때 양호하게 적합함을 확인하였다(표 6 참조).

표 6. 모형 적합도 검증 결과

χ^2	SRMR	RMSEA	CFI	TLI
26.590 (df=8, p<0.001)	0.028	0.070	0.986	0.974

주. 적합 기준 $p > 0.05$, SRMR < 0.08, RMSEA < 0.08, CFI > 0.9, TLI > 0.9

② 집중타당도와 판별타당도

모형 적합도 확인 후에는 측정변수들의 집중타당도와 잠재변수들의 판별타당도를 검증했다. 분석 결과 개별 측정변수들에 대한 표준화회귀계수가 모두 유의하게 유효 기준 0.5를 초과함을 확인했다. 평균 분산추출 값도 유효 기준 0.5를 초과하는 것을 확인했고, 개념신뢰도 값 역시 유효 기준 0.7을 모두 초과하여 이 연구에서 개발한 설문지가 양호한 집중타당도를 갖고 있음을 확인했다(표 7 참조).

이 연구의 잠재변수들에 대한 판별타당도를 검증한 결과, 상관계수 제곱값이 모든 요인에 대한 평균 분산추출값보다 작아서 양호한 판별타당도를 확인하였다. 자세한 분석 결과는 표 8 및 그림 1과 같다.

표 7. 집중타당도 검증 결과

잠재변수	측정변수	표준화회귀계수	평균분산추출(AVE)	개념신뢰도
식물에 대한 흥미	문항1	0.790	0.622	0.831
	문항3	0.892		
	문항5	0.738		
식물 관찰 자기효능감	문항2	0.722	0.619	0.829
	문항4	0.831		
	문항6	0.798		

주. 적합 기준: 표준화회귀계수 > 0.5, AVE > 0.5, 개념신뢰도 > 0.7

표 8. 판별타당도 검증 결과

	식물에 대한 흥미	식물 관찰 자기효능감
식물에 대한 흥미	0.622	
식물 관찰 자기효능감	0.482*	0.619

주1. 대각선 수치는 AVE 값

주2. *는 식물에 대한 흥미 요인과 식물 관찰 자기효능감 요인의 상관계수(0.694)의 제곱값

주3. 적합 기준: AVE > 상관계수²

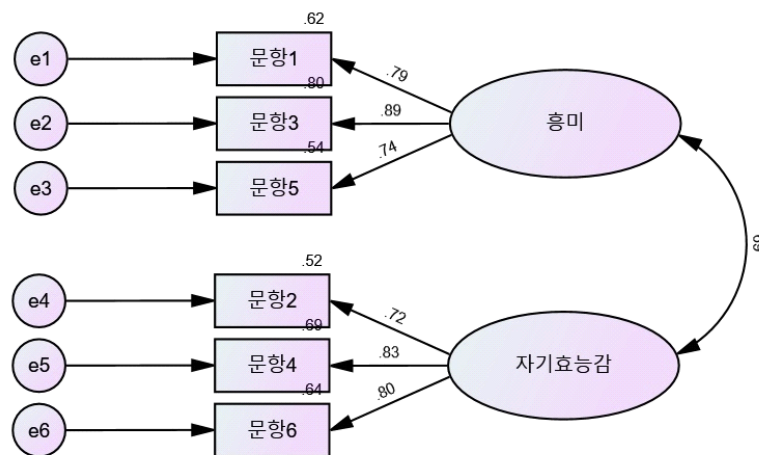


그림 1. 확인적 요인분석 모형도

③ 측정동일성

이 연구에서 개발한 설문지는 중학생과 고등학생 모두에게 보편적으로 적용될 것을 기대하므로 다중 집단 확인적 요인분석을 실시하여 중학생과 고등학생에 대한 측정동일성을 확인했다. 측정동일성 검증을 어느 단계까지 진행할 것인지는 해당 연구가 어떤 목적으로 이 절차를 진행하는지를 판단하여 결정하는 것이 필요하다(Emerson et al., 2017). 이 연구에서는 잠재평균 비교 목적이 있다면 절편동일성 검정이 필요하지만, 구인타당도 목적인 경우에는 절편동일성 검정이 필요하지 않다는 입장을 수용하였다

(김수영, 2016; 이정희·성태제, 2018). 따라서 이 연구에서는 요인계수동일성 검정 후 절편동일성은 확인하지 않고 곧바로 오차분산동일성 검정을 진행하였다.

형태동일성을 검증한 결과, 카이제곱 검정값은 부적합했지만 SRMR, RMSEA 값은 각각 0.031, 0.067로 모두 0.08보다 작았고, CFI와 TLI 값은 각각 0.975와 0.953로 0.9보다 크게 나와 양호한 형태동일성을 확인했다. 그리고 형태동일성 확인 모형과 두 집단의 요인적재값이 동일하다고 제약을 한 모형을 비교했을 때 유의확률이 0.44로 0.05보다 크게 나와 그 차이에 대한 유의성이 없음을 확인하여 요인계수동일성을 검증했다. 다음으로 요인계수동일성이 검증된 모형과 측정오차의 분산도 동일하다고 제약을 한 모형을 비교했을 때 유의확률이 0.19로 0.05보다 크게 나와 양호한 오차분산동일성도 확인하였다. 자세한 분석 결과는 표 9와 같다.

표 9. 측정동일성(중학생/고등학생) 검정 결과

	χ^2	df	SRMR	RMSEA	TLI	CFI	모형 비교		
							$\Delta\chi^2$	Δdf	p
형태동일성	49.882 (p<0.001)	16	0.031	0.067	0.953	0.975			
요인계수동일성	53.610	20	0.031	0.069	0.963	0.975	3.727	4	0.444
오차분산동일성	62.326	26	0.033	0.055	0.969	0.973	8.716	6	0.190

주. 적합 기준: SRMR < 0.08, RMSEA < 0.08, TLI > 0.9, CFI > 0.9, p > 0.05

3. 결론 및 제언

이 연구의 결과는 환경교육 연구와 실천 현장에 다음과 같은 시사점을 제공한다. 첫째, 학생들의 식물에 대한 태도와 행동을 측정할 수 있는 척도가 부족한 상황에서 중학생과 고등학생 모두에게 적용가능한 타당하고 신뢰할만한 식물 관찰 동기 척도를 개발하였다는 점에서 학술적 의의가 있다. 둘째, 현재까지 국내에서 식물 관찰 동기 측정을 목표로 하는 척도는 극히 드물며 이 연구는 드문 기존 도구를 체계적으로 보완하고 엄격하게 타당화하였다는 점에서 또한 학술적 의의가 있다. 셋째, 식물에 주의를 기울이는 행동을 증진하는 것은 식물에 대한 태도 및 지식 향상으로 이어질 수 있으며 이러한 행동을 유발하는 핵심 요인은 동기이다. 따라서 이 연구에서 개발한 식물 관찰 동기 측정 척도는 향후 식물 인식 불균형 개선을 목적으로 한 연구에 유용하게 활용되며 관련 연구들을 촉진할 수 있을 것으로 기대된다.

한편, 이 연구는 수업 전후 다소 어수선하고 제한된 시간 내에 설문조사가 이루어지는 점을 고려하여 설문지 문항 수를 최소화하여 현장 적합성을 높이려고 하였다. 따라서 흥미 문항 구성시 듀이의 이론에 따라 직접적 흥미와 간접적 흥미, 사회적 흥미를 각각 1문항씩만으로 반영하였다. 그러나 각 흥미의 하위 요인들은 그 자체로도 독립적인 연구 주제로 충분한 의미가 있으므로 향후에는 식물에 대한 직접적 흥미, 식물에 대한 간접적 흥미, 식물에 대한 사회적 흥미를 개별 측정하는 다수의 문항들을 더 세부적으로 구성하여 개발할 필요가 있을 것이다. 또한 자기효능감의 경우에도 수준, 강도, 일반성 등의 차원을 반영하여 학생의 경험 수준에 따른 정교한 측정이 가능하도록 확장하는 것이 필요하다. 향후 이러한 후속 연구를 통해 식물 관찰 동기 척도의 구조를 더욱 정교화하는 노력이 이어지기를 기대한다.

참고문헌

- 김국현, 『교육학개론 (2판)』, 2016, 교육과학사.
- 김수영, 『구조방정식 모형의 기본과 확장』, 2016, 학지사.
- 박수진, 김재근, 2024, 환경교육 교재에서 나타난 식물과 동물 예시 불균형, 환경교육, 37(1), 32-50.
- 엄옥진, 이명환, 2015, 초등학교 자연체험교육에 대한 교사의 인식, 홀리스틱융합교육연구, 19(3), 165-185.
- 유지영, 2009, 교구용 플랜터의 활용이 아동의 식물친숙도에 미치는 영향, 서울교육대학교 대학원 석사학위논문.
- 이경희, 성태재, 2018, 종합진로직업적성검사 직업선호도 척도의 성별에 따른 측정동일성 검증, 진로교육연구, 31(2), 223-238.
- 정선희, 김형득, 이상미, 2015, 초등학생의 식물에 대한 태도 연구, 인간식물환경학회지, 18(1), 67-71.
- 정완호, 권치순, 김재영, 임채성, 1996, 초등학교 자연과에서의 야외수업실태와 개선방안 및 지도방략, 초등과학교육, 15(1), 151-165.
- 주은정, 2016, 초등교육에서 생태적 소양의 의미, 한국초등교육, 27(2), 417-432.
- 주은정, 2018, 초등교사들의 학교 안 자연 기반 생태교육 실행연구에서 나타난 생태교육 PCK 확장 과정, 환경교육, 31(1), 1-22.
- 한재윤, 윤순진, 2024, 야외 식물 관찰 체험을 유도하는 게임화 기반 모바일 애플리케이션 개발과 환경교육 적용 효과, 환경교육, 37(1), 126-152.
- Bandura, A., 1997, Self-Efficacy : The Exercise of Control, W.H. Freeman and Co, New York.
- Dewey, J., 1913, Interest and Effort in Education. Houghton Mifflin Company, Boston.
- Emerson, S. D., Guhn, M., and Gadermann, A. M., 2017, Measurement Invariance of the Satisfaction with Life Scale: Reviewing Three Decades of Research, Quality of Life Research, 26, 2251-2264.
- Fančovičová, J. and Prokop, P., 2010, Development and Initial Psychometric Assessment of the Plant Attitude Questionnaire, Journal of Science Education and Technology, 19, 415-421.
- Fančovičová, J. and Prokop, P., 2011, Plants have a Chance: Outdoor Educational Programmes Alter Students' Knowledge and Attitudes towards Plants, Environmental Education Research, 17(4), 537-551.
- Gecas, V. and Schwalbe, M. L., 1983, Beyond the Looking-Glass Self: Social Structure and Efficacy-Based Self-Esteem, Social Psychology Quarterly, 46(2), 77 - 88.
- IUCN, 2024, IUCN Red List of Threatened Species (Version 2024-2, Table 1a) (<https://www.iucnredlist.org/resources/summary-statistics#Summary%20Tables>, 2025년 4월 1일 접속).
- Lindemann-Matthies, P., 2005, 'Loveable' Mammals and 'Lifeless' Plants: How Children's Interest in Common Local Organisms can be Enhanced through Observation of Nature, International Journal of Science Education, 27(6), 655-677.
- Marín-López, B., Montes, C., and Benayas, J., 2007, The Non-Economic Motives behind the Willingness to Pay for Biodiversity Conservation, Biological Conservation, 139(1), 67-82.
- Mrkva, K., Westfall, J., and Van Boven, L., 2019, Attention Drives Emotion: Voluntary Visual Attention Increases Perceived Emotional Intensity, Psychological Science, 30(6), 942-954.
- Parsley, K. M., 2020, Plant Awareness Disparity: A Case for Renaming Plant Blindness, Plants, People, Planet, 2(6), 598-601.
- Parsley, K. M., Daigle, B. J., and Sabel, J. L., 2022, Initial Development and Validation of the Plant Awareness Disparity Index, CBE-Life Sciences Education, 21(4), ar64.
- Stagg, B. and Dillon, J., 2022, Plant Awareness is Linked to Plant Relevance: A Review of Educational and Ethnobiological Literature (1998~2020), Plants, People, Planet, 4(6), 579-592.

사사

이 연구는 『중고등학생을 위한 식물 관찰 동기 척도 개발과 타당화』라는 제목으로 한국지리환경교육학회지 (KCI 등재 학술지) 제33권 2호(2025)에 게재됐다.

지속가능한 농업 전환을 위한 대안 농법 교육의 심리적 효과

라오스 농민의 환경 일체감 변화 분석

박수정 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 도시사회혁신전공 수료

김다령 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 도시사회혁신전공 재학

1. 서론

라오스 북부 비엡캄 지역에서는 오랜 기간 수행된 화전농업(slash-and-burn agriculture)으로 인하여 산림 황폐화, 토양 침식, 생물 다양성 감소 등 심각한 생태학적 위기가 나타나고 있으며, 농민들의 생계 안정성에도 중대한 위협이 되고 있다. 이러한 문제에 대응하여 현지 정부 및 국제개발기구들은 화전농업을 줄이기 위한 대안 농법의 도입을 추진하고 있다. 특히 단순한 기술 전달을 넘어서, 농민의 인식과 태도, 행동 변화를 유도하는 교육 프로그램이 핵심 수단으로 주목받고 있다.

이와 같은 행동 전환 과정에서 중요한 심리적 요인으로 ‘환경 일체감(connectedness to nature)’ 개념이 부각되고 있다. 그러나 화전농업이 주된 생계 기반인 지역에서 환경 일체감 개념이 어떻게 작동하며, 이를 증진하기 위한 교육 개입이 어떤 효과를 가져오는지에 대한 분석은 거의 이루어지지 않았다. 이에 본 연구는 라오스 비엡캄 지역에서 시행된 커피 농업 기반 대안 농법 훈련 프로그램이 농민들의 환경 일체감에 미치는 영향을 실증적으로 분석하였다. 본 연구는 환경심리학 이론을 바탕으로 개발도상국 농업 전환 현장에서의 교육 개입 효과를 평가하고, 지속가능한 농업 전환을 위한 정책 설계 및 교육 프로그램 개발에 기초 자료를 제공하는 것을 목적으로 한다.

2. 본론

1) 연구 방법

본 연구는 라오스 비엡캄 지역에서 시행된 대안 농법 훈련이 농민들의 환경 일체감 수준에 어떠한 영향을 미치는지를 실증적으로 분석하는 것을 주요 목적으로 한다. 본 연구의 조사 대상은 라오스 북부 비엡캄 지역에서 대안 농법 훈련(커피 농업 기술 교육)에 참여한 93명의 농민으로, 이들은 모두 이전에 전통적인 화전농업(화전민)을 주된 생계 방식으로 삼아 왔다. 자료는 2024년 1월부터 3월까지 현지에서 활동중인 NGO(Wonders International)의 협조를 받아 설문 조사를 통해 수집되었다.

설문은 현지 언어로 번역된 후 역번역(back-translation)을 거쳐 타당성과 일관성을 확보하였다. 설문지는 환경 일체감, 대안 농법 훈련 참여 경험, 인구통계학적 특성 등을 포함하여 구성되었으며, 모든 항목은 5점 리커트 척도(1점=전혀 그렇지 않다 ~ 5점=매우 그렇다)로 응답받았다. 자료 분석에 사용한 변수는 아래와 같으며, STATA 18 통계 패키지를 활용하여 수집된 설문 자료를 분석하였다. 기술통계를 통해 표본의 인구통계학적 특성과 주요 변수의 기초 분포 및 상관관계를 파악하고, 이후 대안 농법 훈련 횟수가 환경 일체감에 미치는 영향을 검증하기 위해 다중 회귀분석을 실시하였다.

변수명	설명
connect	환경 일체감: 자연과의 정서적 유대감을 나타내는 주요 종속변수로, Mayer & Frantz(2004)의 척도를 바탕으로 일부 항목을 현지화하여 구성함
training	대안 농법 훈련 참여 횟수: 교육 프로그램에 참여한 총 횟수
edu	교육 수준: 무학, 초등, 중등, 고등, 대학 이상으로 분류된 학력 수준
seedling	배분받은 커피 묘목 수: NGO를 통해 지급받은 묘목의 수량
co_ha	커피 재배 면적(ha): 커피 농사를 실제로 운영하고 있는 면적

2) 분석 결과

Variable	Obs	Mean	Std. dev.	Min	Max
edu	93	3.387097	1.251367	1	7
training	93	3	1.681097	0	8
connect	93	3.956989	.5881803	2	5
seedling	93	759.0753	387.7448	0	2700
equip	93	2.236559	2.092418	0	6
age	93	44.55914	10.75363	22	75
gender	93	1.268817	.4457477	1	2
co_ha	93	.3253763	.1749507	.03	1.17
to_ha	93	4.717204	3.820927	0	22
co_ratio	93	11.82035	11.47093	.25	52

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	93
Model	6.38142365	5	1.27628473	F(5, 87)	=	4.36
Residual	25.4465333	87	.292488889	Prob > F	=	0.0014
Total	31.827957	92	.345956054	R-squared	=	0.2005
				Adj R-squared	=	0.1545
				Root MSE	=	.54082

	connect	Coefficient	Std. err.	t	P> t	[95% conf. interval]
edu		-.1334273	.0527339	-2.53	0.013	-.2382417 -.028613
training		.0893433	.0377094	2.37	0.020	.0143918 .1642949
co_ha		.688865	.3646012	1.89	0.062	-.0358193 1.413549
age		-.0004512	.0059545	-0.08	0.940	-.0122864 .011384
gender		.061572	.1409994	0.44	0.663	-.2186794 .3418235
_cons		3.858732	.4917003	7.85	0.000	2.881425 4.83604

(1) 기초통계

사업 참여 농민들의 총 분석대상 데이터는 93개로, 기초 통계는 다음과 같다. 평균 44.5세이며 남성의 비율이 조금 더 높았다. 평균적으로 4.7ha의 농지를 보유하고 있으며(to_ha), 이 중 약 0.3ha를 커피 재배에 사용하고 있다(co_ha). 전체 농지 비율 중 커피 농지 비율은 평균 11.8% 가량이다(co_ratio). 사업 참여 농민들은 평균 초등학교 졸업 수준의 학력을 가지고 있다(edu). 농민들은 평균 3회 정도의 농법기술 훈련을 받으나(train), 아예 훈련에 참가하지 않은 농민도 있었으며 최대 8번의 훈련을 받은 농민도 존재했다. 농민들이 평균적으로 사업에서 수령한 묘목은 약 759개였으며(seedling), 평균 2.2개의 장비 종류를 지원받았다(equip). 또한 농민들은 자연과의 일체감을 묻는 질문에 평균적으로 3.9점이라고 답했는데(connect), 이는 자연과 본인의 동일시 이전의 단계로 다소 높은 수준의 일체감이라 볼 수 있다.

(2) 회귀분석

단순회귀분석을 실시한 결과 농민들이 기존 보유한 학력 수준이 높을수록 환경 일체감이 하락하며($\beta = -0.11$, $p = 0.028$), 교육 참여 횟수가 증가할수록 환경 일체감이 유의미하게 향상됨을 확인하였다($\beta = 0.11$, $p = 0.003$). 이는 농업 기술 연수 중심으로 진행된 커피 농업 교육 과정 중, 농업부 공무원 및 다른 참가자들과 자연스럽게 경험하게 되는 기후위기 및 환경 보호 필요성에 관한 대화가 사업 참여 농민에게 긍정적 영향을 미친것으로 추정된다. 또한 커피 재배 면적이 증가할수록 환경 일체감 간의 긍정적 관계가 강화되었는데($\beta = 0.88$, $p = 0.011$), 이를 통해 교육뿐 아니라 실제 농법실천이 자연과의 정서적 친밀감을 증가시키는 데에 기능함을 알 수 있다. 단순회귀분석에서 유의한 주요 변수들을 중심으로 다중회귀분석을 실시한 결과 농법 교육 횟수($\beta = 0.09$, $p = 0.02$)와 개인의 교육 수준($\beta = -0.13$, $p = 0.01$)은 통계적으로 유의한 영향을 미쳤으며, 커피 재배 면적은 유의하지 않았다.

3. 결론

본 연구는 라오스 비엡캄 지역 농민들을 대상으로 대안 농법 훈련 프로그램이 환경 일체감에 미치는 심리적 효과를 실증적으로 규명하였다. 그 결과, 훈련 참여 횟수와 실제 농법 실천 정도가 자연과의 정서적 유대감인 환경 일체감과 긍정적인 상관관계가 있음을 확인하였다. 그러나 개인 교육 수준은 부적 상관을 나타내었다. 이는 단순한 지식 전달을 넘어서 농민들이 자연과의 직접적 경험과 긍정적 정서 형성을 바탕으로 지속가능한 농법을 내면화할 수 있도록 하는 교육 설계의 필요성을 보여준다.

참고문헌

- Despotović, A., Marušić, Z., & Vučković, M. (2021). Farmers' environmental awareness: Construct development, measurement, and use. *Journal of Environmental Psychology*, 76, 101631.
- Inoue, T., Sanematsu, S., & Ota, T. (2010). Assessing land-use and carbon stock in slash-and-burn ecosystems in tropical mountain of Laos based on time-series satellite images. *Agricultural Systems*, 103(4), 197 - 204.
- Dunlap, R. E., Van Liere, K. D., Mertig, A. G., & Jones, R. E. (2000). New trends in measuring environmental attitudes: Measuring endorsement of the New Ecological Paradigm: A revised NEP scale. *Journal of Social Issues*, 56(3), 425 - 442.
- Mayer, F. S., & Frantz, C. M. (2004). The connectedness to nature scale: A measure of individuals' feeling in community with nature. *Journal of Environmental Psychology*, 24(4), 503 - 515.
- Schultz, P. W. (2002). Inclusion with nature: The psychology of human-nature relations. In P. Schmuck & W. P. Schultz (Eds.), *Psychology of sustainable development*(pp. 61 - 78). Springer.
- Kals, E., Schumacher, D., & Montada, L. (1999). Emotional affinity toward nature as a motivational basis to protect nature. *Environment and Behavior*, 31(2), 178 - 202.

사사

이 논문은 2025년도 원더스 인터내셔널의 지원을 받아 수행된 연구임.

직장 내 가스라이팅이 자기개념 명확성을 통해 불안에 미치는 영향

자기효과와 상대방효과

이정은 홍익대학교 대학원 교육학과 석사 과정
이영주 연세대학교 대학원 상담코칭학과 박사 과정

1. 서론

본 연구는 한국 사람들의 직장 내 가스라이팅을 분석하여 대인관계를 유연하게 하고, 정서적 안정을 통해 직업 만족도와 업무 효율을 높일 수 있는 개입의 기초자료를 제시하려 한다. 가스라이팅(gaslighting)은 타인의 심리를 교묘하게 조작해 판단력을 흐리게 하고, 통제와 지배력을 강화하는 행위로, 이는 정서적 학대로서 '심리지배'라고 한다. 가스라이팅을 심리치료의 범위로 재정의할 때, 이는 가해자와 피해자의 상호관계에서 발생하는 쌍방향성적 특성을 지닌다. 따라서 가스라이팅을 한쪽이 일방적인 행위로만 정의하기에는 한계가 있다. 자료 분석 시 상호의존적 특성을 고려해 쌍을 이루어 분석 단위로 삼아야 하며(Kenny, 1995), 자기-상대방 상호의존모델(APIM)을 활용해 상호작용을 분석하는 것이 적절하다. 본 연구는 직장 내 상사와 부하의 관계 역동을 이해하기 위해 자기-상대방 효과를 중심으로 진행되었다.

2. 연구방법

1) 연구대상

본 연구의 대상자는 전국 일반 사회에 거주하는 직장인으로 2023년 12월 온라인 카페에서 모집한 후 구글폼을 통해 설문조사를 진행하였다. 설문조사는 직장인이 활발히 활동할 것으로 예상되는 인터넷 카페를 중심으로 약 2달간 실시되었으며, 연구 목적을 이해하고 참여에 동의한 사람들이 대상자였다.

2) 측정도구

- (1) 가스라이팅 척도(K-GQ)
- (2) 불안 척도(BSI-18)
- (3) 자기개념 명확성 척도(SCCS)

3) 자료분석

본 연구에서는 직장상사와 부하의 가스라이팅, 자기개념 명확성, 불안감의 관계를 분석하기 위해 SPSS 27.0와 Amos 21.0을 사용하여 자기-상대방 효과(APIM)를 분석하였다. 연구 대상이 비슷한 환경에 노출되어 서로에게 영향을 미치는 경우 변수 간 독립성을 가정하기 어려우므로, APIM 모형을 사용하여 개인이 아닌 집단 단위로 분석하는 것이 적합하다고 판단하였다(Kenny, Kashy, & Cook, 2006; Cook & Kenny, 2005).

3. 결론

1) 기술통계 및 상관분석

구조모형 검증에 앞서 측정모형 검증을 실시하였다. 주요 변수들의 기술통계 및 상관분석 결과, 측정 변인들의 왜도(skewness)와 첨도(kurtosis)는 기준치(Curran, West, & Finch, 1996)를 벗어나지 않았으며, 자료 수집의 정상성을 확인되었다. 직장상사와 부하의 가스라이팅, 불안, 자기개념 명확성 척도간의 상관관계를 살펴본 결과, 가스라이팅은 불안($r=.668$, $p<.01$)과 강한 양의 상관관계를 보였으며, 성별($r=.161$, $p<.05$)과도 양의 상관관계가 있었다. 반면, 가스라이팅은 자기개념 명확성($r=-.600$, $p<.01$) 및 나이($r=-.139$, $p<.05$)와 음의 상관관계를 보였다.

2) 연구모형 경로 분석

APIM을 활용해 연구모형을 검증한 결과, 직장 상사와 부하의 자기개념 명확성이 높을수록 가스라이팅 경향이 감소하는 부적 영향을 보였다. 특히, 상사의 자기개념 명확성이 높을수록 불안이 감소하는 경향이 있었다. 또한, 부하가 가스라이팅을 많이 경험할수록 상사의 자기개념 명확성이 낮아지는 부적 영향을 받는 것으로 나타났다($\beta=-.365$, $p<.05$). 상사의 자기개념 명확성이 높을수록 부하의 불안이 감소하는 유의한 경향도 확인되었다($\beta=-.532$, $p<.05$).

이 연구 결과는 직장 상사와 부하 모두 자기개념 명확성이 높을수록 가스라이팅 경향이 감소하는 긍정적인 요인임을 보여준다. 또한, 상사의 자기개념 명확성이 높을수록 자신과 부하의 불안이 낮아지는 긍정적인 효과가 나타났다. 그러나 부하가 가스라이팅을 많이 경험할수록 상사의 자기개념 명확성이 낮아지는 결과도 확인되었다. 이는 자기개념 명확성이 가스라이팅에 대한 보호 요인으로 작용하며, 특히 상사의 자기개념 명확성이 불안을 줄이는 데 중요한 역할을 한다는 것을 시사한다. 반면, 부하의 가스라이팅 경험은 자기개념 명확성에 큰 영향을 미치지 않았다.

4. 논의

첫째, 직장 상사와 부하의 가스라이팅과 불안, 자기개념 명확성의 자기효과를 살펴본 결과, 직장 상사의 가스라이팅은 자기개념 명확성을 저하시켜 불안을 유발할 수 있음을 시사한다. 반면, 직장 부하의 가스라이팅은 자기개념 명확성과 관련이 있지만, 불안과는 유의한 관계를 보이지 않았다. 둘째, 상대방효과에서는 직장 부하의 가스라이팅 경험이 많을수록 상사의 자기개념 명확성이 낮아지는 부정적 영향을 미쳤다. 또한, 상사의 자기개념 명확성이 낮을수록 부하의 불안이 높아져, 가스라이팅이 상호작용적으로 부정적 영향을 주고받을 수 있음을 시사한다.

본 연구의 의의는 직장 내 가스라이팅이 개인의 심리적 건강에 미치는 복잡한 영향을 이해하는 데 중요한 시사점을 제공한다는 점이다. 이는 조직 내 대인관계와 직장 상사의 리더십의 중요성을 강조하며, 가스라이팅 예방과 심리적 지원을 통해 건강한 직장 환경 조성에 상사의 역할이 중요함을 시사한다. 연구의 한계점으로는 첫째, 횡단 연구방법을 사용했기 때문에 인과 관계를 명확히 규명하기 어렵다는 점이 있다. 추가 연구가 필요하다. 둘째, 연구 참여자의 수와 유형이 제한적이어서 결과의 일반화에 한계가 있을 수 있다. 후속 연구에서는 다양한 산업 분야와 조직을 포함해야 한다. 셋째, 가스라이팅의 개념 정의와 측정의 모호성이 연구 결과 해석과 일반화에 제한을 줄 수 있다.

본 연구는 향후 조직 내 대인관계 연구와 조직 문화 개선에 중요한 시사점을 제공한다. 특히, 직장 상사의 리더십 강화와 조직 내 공정성, 존중을 증진시키는 방향으로 조직 문화를 개선할 필요가 있다. 이를 위해 상사는 리더십 역량을 강화하고, 직원들 간의 건강한 상호작용을 지원하는 교육을 받아야 한다. 또한, 부정적 상호작용 발생 시 심리적 지원 체계가 중요한 자원을 제공해야 하며, 이는 조직 내 건강한

대인관계 유지와 심리적 건강 증진에 기여할 것이다.

참고문헌

- Cook, W. L., & Kenny, D. A. (2005). The actor-partner interdependence model: A model of bidirectional effects in developmental studies. *International Journal of Behavioral Development*, 29(2), 101-109. <https://doi.org/10.1177/0165025405050660>
- Curran, P. J., West, S. G., & Finch, J. F. (1996). The robustness of test statistics to nonnormality and specification error in confirmatory factor analysis. *Psychological Methods*, 1(1), 16-29. <https://doi.org/10.1037/1082-989X.1.1.16>
- Kenny, D. A. (1995). The effect of nonindependence on significance testing in dyadic research. *Personal Relationships*, 2(1), 67-75. <https://doi.org/10.1111/j.1475-6811.1995.tb00078.x>
- Kenny, D. A., Kashy, D. A., & Cook, W. L. (2006). *Dyadic data analysis*. Guilford Press. New York, NY, US. <https://doi.org/10.1037/10722-000>

사사

이 논문은 연세대학교 미래융합연구원(ICONS) 지원으로 작성되었다.

Leave No Trace(LNT) 원칙 기반 유아환경체험교육 프로그램 개발 연구

이문오 한국LNT 교육위원장

1. 서론

기후 위기·생물다양성 감소가 심화하는 가운데 유아기부터의 책임 있는 자연 이용과 환경윤리를 체계적으로 가르치는 교육 모델의 필요성이 커지고 있다(UNESCO, 2005). 환경에 대한 교육 이론 및 실천 프로그램이 부족한 우리 사회에 유아들을 위한 환경 프로그램의 개발이 너무나 절실한 상황임을 확인하게 된다(허정무 외, 2016). 특별히 유아기는 직관·감각 기반의 경험학습이 핵심인 발달단계이므로(Piaget, 1952), 안전한 사회적 지지와 상호작용 속에서 진행되는 놀이·탐구 경험이 학습을 촉진한다(Vygotsky, 1978). 이에 유아기 시기 자연과의 정서적 유대는 성인기의 지속가능 행동으로 이어질 수 있다는 장기 추적 근거로 작용하기에 환경윤리에 대한 인식이 부재한 우리 사회내 유아들을 대상으로 LNT 7원칙에 기반한 환경 책임성 및 윤리 교육을 위한 프로그램의 개발은 너무도 필요한 상황임을 확인하게 된다(Wells & Lekies, 2006).

본 연구는 야외 활동에 있어 최소 영향 윤리인 Leave No Trace(LNT)의 7원칙을 5-7세 유아 발달에 맞게 재구성하여, 환경 책임성을 길러주는 교수·학습 프로그램을 설계하고, 국가 수준 교육과정인 2019 개정 누리과정과 연계한 운영 프로그램을 제시하는데 그 목적이 있다(교육부, 2019; North et al. 2023). LNT는 전 연령을 대상으로 환경교육이 진행될 수 있도록 준비된 교육이기에 대상 적용가능한 최소 영향 행동의 보편적 프레임을 제공해(Leave No Trace, 2014), 유아·아동 대상 모듈(PEAK: Promoting Environmental Awareness in Kids) 형태로 프로그램을 설계해 유아들의 태도·행동 변화 등에 대한 효과를 확인하고자 한다(Schwartz et al., 2018; Leave No Trace Center, 2014).

2. 본론

1) 이론적 배경

(1) 유아 발달 특성과 환경교육

유아기(만 3~5세)는 인지·정서·사회 발달이 급속한 시기로, 전조작기의 아동은 구체적 경험을 통해 학습한다(Piaget, 1952). 이에 따라 직접 경험 중심의 학습이 효과적이며(Dewey, 1938), 모델링과 관찰학습을 통해 친환경 행동이 내면화될 수 있다(Bandura, 1977; 조형숙, 2004). 정서적으로는 자연과의 긍정적 교감이 생태감수성을 형성하고 (Wilson, 1984), 과도한 위기 담론은 회피를 유발할 수 있어 발달에 맞는 즐거운 경험 제공이 중요하다(Sobel, 1996; 김숙자, 2014). 사회발달 측면에서 규칙 놀이·역할놀이를 통해 공동체 규범을 익히며, 이를 환경보호 규범과 연결하면 놀이 속 실천으로 이어진다(박희숙, 2010).

(2) 체험중심 학습이론

듀이는 학습을 경험-성찰-의미구성의 과정으로 보았고(Dewey, 1938), Kolb(1984)는 경험→반성→개념화→실험의 순환을 제시했다. 유아는 경험이라는 환경 속에서 교사의 스캐폴딩을 통해 반성과 개념화가 매우 빠르게 촉진된다. 혼자서는 할 수 없지만 도움을 받으면 할 수 있다는 근접발달영역(Zone of

Proximal Development, ZPD) 개념(Vygotsky, 1978)에서 출발한 교육의 기법인 스캐폴딩은 교사가 ① 모델링(교사가 먼저 과제 수행을 시범 보임) ② 질문하기(단서나 유도 질문을 통해 학습자가 스스로 답을 찾도록 유도) ③ 피드백 제공(오류를 수정하거나 강화하는 즉각적 반응) ④ 과제 단순화(복잡한 과제를 작은 단위로 나누어 접근) ⑤ 공동 문제 해결(교사와 학습자가 함께 과제를 수행하다가 점차 학습자에게 책임을 이양) 등의 단계를 거치며, 학습자가 독립적으로 학습에 참여할 수 있도록 돕는 전략이 교육의 방법론으로 등장하였다(Wood, Bruner & Ross, 1976). 이러한 흐름 속에서 우리 사회 내에도 유아를 위한 숲 체험·생태 놀이 등의 프로그램이 확산되며, 유아의 환경태도·정서·탐구 능력 향상 등에 대한 관심이 증가하였다(강영식, 2013; 송순옥, 2018; 김은정, 2018). 체험 중심으로 진행되는 교육 속 놀이를 통해 규칙의 강요가 아닌 놀이가 진행될 수 있도록 즐겁게 지켜야 하는 규범으로 받아들여져 행동 지속성을 높여주는 효과가 확인되며 여러 분야에서 활용되기 시작하였다(양윤숙, 2014).

(3) 환경교육 이론과 유아환경교육

환경교육은 환경에 대한 지식·태도·행동이 교육을 통해 삶의 자리에서 통합되어 삶의 패턴으로 자리 잡는 것을 목표로 하며(Hungerford & Volk, 1990), 특별히 유아에게는 생활세계 내 자연 현상을 이야기가 반영된 환경 경험 교육으로 진행하는 것이 적합하다(박성혜, 2009). 유네스코의 정부간 환경 교육 회의 중 트빌리시 선언 이후 ESD(Education for Sustainable Development: 지속가능 발전 교육)가 확산되며(UNESCO, 2005), 국내에서도 생태유아교육·숲유치원·가정연계 프로그램이 빠르게 보급되기 시작했고, 긍정적 효과가 보고되고 있다(김숙자, 2015; 박노의, 2016; 구혜현, 2017; 주시연, 2018; 박희숙, 2010). 유아환경교육은 놀이·체험 중심, 정서적 유대, 생활 실천의 누적에 토대이며(김숙자, 2014; 조형숙, 2011), 이러한 맥락에서 LNT 교육과 연계는 자연 속 구체적인 약속을 제공하는 교육 틀로 형성될 것이라 이해된다.

(4) 관련 선행연구

국내 유아환경교육 연구는 1990년대 후반 이후 양적·질적으로 성장하며, 실태·인식 조사에서 프로그램 개발·효과 검증으로까지 확장되었다(허정무 & 박현진, 2016; 조형숙, 2004; 박노의, 2016). 생태놀이·숲체험·전통문화 연계 프로그램은 환경태도·자연감수성·창의성 향상에 기여했고, 가정연계형은 부모 인식과 가정 실천까지 확장되도록 하였다(강영식, 2013; 주시연, 2018; 박희숙, 2010; 임예지, 2011; 지성애, 2012). 이러한 흐름은 유네스코에서 강조하는 ESD 관점의 프로젝트 활동 기반으로 지역사회 맥락 속 지속가능성 이해를 돕고는 있지만, 구체적인 내용의 재구성에 있어 난점이 보고되고 있다(지옥정, 2013; 김숙자, 2014; 허정무 & 박현진, 2016).

본 연구에서 기본 자료로 활용하고자 하는 LNT 교육은 미국 LNT를 중심으로 진행되는 PEAK 프로그램은 게임·역할놀이 등으로 7원칙을 아동에게 교육하며, 환경에 대한 태도·행동 개선 등의 효과가 탁월한 것으로 확인되었다(Schwartz et al., 2018). 국내 유아교육에 LNT 직접 도입 연구는 드물지만, 숲유치원 지침의 탐방로 준수·자연물 채집 자체·쓰레기 되가져오기 등은 LNT 원칙과 상통한다(강소영, 2016). 최근에는 LNT를 지속가능성 교육과 접목해 비판적 성찰과 가치 판단 학습으로 확장하려는 논의도 확인되고 있다(North et al., 2023).

2) 연구 방법

(1) 문헌에 대한 내러티브 분석

본 연구는 관련 문헌을 질적연구 방법인 내러티브 연구 방법을 기반해 진행한 문헌연구이다(Booth et al., 2016). 연구 질문은 ① 유아기 체험·놀이 기반 환경교육의 방향성은 무엇이어야 하는가, ② LNT 7원칙을 누리과정과 연계한 유아교육 프로그램의 개발이다.

자료수집은 RISS, KISS, DBpia, ERIC, Scopus 등에서 “유아 AND 환경교육 AND 숲체험”, “Leave No Trace AND children” 검색하여 진행하였다. 수집된 자료는 ① 제목 및 내용 중복 제거 ② 초록 내용을 분석 ③ 원문 검토 ④ 최종 자료 활용의 과정을 거치며 내러티브 분석을 진행하였다. 내러티브 분석을 통해 확보된 자료를 주제분석을 통해 코딩화 작업을 진행하였고, 유아교육을 위한 LNT 기반 체험형 환경교육 프로그램을 구성할 수 있었다.

3) 연구 결과

LNT의 7가지 원칙을 기반으로 진행된 본 연구의 기본 자료는 “유아 AND 환경교육 AND 숲체험”, “Leave No Trace AND children”으로 키워드 검색을 진행하여 약 130개의 논문 자료를 확인하였고, 실효성 있는 자료의 선별 결과 논문 자료 26건, 정책 및 관련 자료 13건 등이 확인되었다. 이렇게 수집된 자료와 기존의 LNT 자료와 유아교육 자료 등을 기반으로 내러티브 분석을 진행하여 LNT 7원칙에 기반한 유아대상 체험형 생태교육 프로그램을 표 1과같이 구성하여 예시를 제시하였다.

<표 1> Leave No Trace 7원칙의 유아교육 적용 내용 및 활동 예시

LNT 원칙 (한국어)	유아교육 적용 내용	활동 예시
1. 미리 계획하고 준비하기	자연 경험 전에 스스로 계획 세우기와 준비물 챙기기를 연습한다. 날씨와 장소에 맞는 복장·물품을 알아보고 준비한다.	- 소풍 전날 함께 체크리스트 만들기 (모자, 물통, 돗자리 등 그림카드로 준비물 확인) - 오늘의 날씨 알아보기 놀이 (일기예보 확인 후 “무엇을 입을까” 토의) - 근교 숲 탐방 계획 세우기 활동 (지도로 동선 그려보기)
2. 내구성 있는 표면에서 활동하기	흙길, 나무데크 등 정해진 길을 따라 걸으며 연약한 풀밭이나 꽃밭을 밟지 않는다. 지정된 장소에서만 식사하거나 쉬도록 한다.	- 역할놀이: “길을 따라 숲속 여행” (줄 따라 이동하며 벗어나면 ‘삐삐’ 신호음) - “무궁화 꽃이 피었습니다” 변형 게임: 길 위에서만 움직이기 - 운동장에 허들 놓고 길 따라 걷기 연습 (줄 밖으로 나가면 다시 시작)
3. 올바르게 쓰레기 처리하기	쓰레기는 반드시 되가져오거나 휴지통에 버린다. 자연에서는 음식찌꺼기도 남기지 않으며, 용변 시 휴지와 배설물은 규칙에 따라 처리한다 (유아의 경우 화장실 이용 학습 중심).	- “쓰레기 탐정” 놀이: 소풍 후 주변에 남은 쓰레기 찾기 경쟁 - 색칠활동: 올바른 분리수거 색칠하기 (쓰레기 그림 맞춰쓰레기통 색) - 실외 배변은 다루지 않고 화장실 예절 교육으로 대체 (숲 속 화장실 이용 시 줄 서기, 휴지는 휴지통 등)
4. 발견한 것은 그대로 두기	자연에서 발견한 돌, 꽃, 열매, 곤충 등은 집으로 가져가지 않고 제자리에 둔다. 대신 사진이나 그림으로 기록한다. 문화유산이나 시설물도 손상시키지 않는다.	- 자연물 액자 만들기: 모은 자연물을 종이에 놓고 사진 찍은 후 원위치에 돌려놓기, 사진으로 작품 완성하기 - 보물찾기 놀이: 잎, 솔방울 등을 찾되 바구니에 잠시 담았다가 모두 제자리 두고오기 - 돋보기 관찰 활동: 곤충이나 식물을 손대지 않고 관찰한 뒤 그림 그리기
5. 모닥불 사용 최소화하기	야외에서 불 사용을 자제하고, 필요 시 안전한 시설(모닥불터, 버너 등)만 이용한다. 유아에게는 불의 위험성과 절차를 배운다.	- 촛불 끄기 실험: 촛불을 유리컵으로 덮어 산소 없으면 꺼짐 관찰 → 불은 통제 필요성 토의 - 가상 모닥불 놀이: 종이로 불꽃 만들어 캠프파이어 흉내, 실제 불 없이 노래와 이야기만으로 캠핑 - 소방관 방문 안전교육: 불장난 위험 이야기 듣기
6. 야생동물 존중하	야생동물은 거리 두고 조용히	- “동물 잠자요” 게임: 숲 속에서 작은 소리로 이동하기

기	관찰하며, 먹이를 주거나 집으로 데려오지 않는다. 동물을 놀라게 하거나 서식지를 훼손하지 않는다.	시합 (시끄럽게 하면 탈락) - 먹이사슬 역할극: 숲속 동물 가장하여 먹이 찾기 놀이 (임의로 먹이 주기 금지) - 애완동물 vs 야생동물 토의: 길러도 되는 동물과 안되는 동물 이야기하기
7. 다른 방문객 배려하기	자연 공간을 함께 이용하는 다른 사람들을 방해하지 않도록 예의를 지킨다. 큰 소리로 떠들지 않고, 단체 이동 시 길을 양보한다.	- 산책 예절 배워요: 인형극으로 조용히 걷기, 인사하기, 앞지르지 않기 상황극 보여주기 - 에코랜드 보드게임: 말판 게임으로 다양한 상황 카드 뽑아 예절 지키면 앞으로 이동 - 칭찬 스탬프: 야외활동 동안 서로 예절 지키는 모습 발견하면 스티커 주기, 돌아와 칭찬나무 붙이기

최근 North 등(2023)이 주장하는 것처럼 LNT 교육을 지속가능성 교육에 접목하는 방안을 제시하며 비판적 사고와 가치판단을 가르치는 맥락 안에서 환경 교육을 진행해야 한다고 주장하는 것처럼 경험을 토대로 유아들과 이야기를 진행하는 수업을 진행함으로써, 단순한 준수 여부를 넘어 지속가능한 삶의 방식에 대한 성찰을 이끌어낼 수 있기에 본 프로그램의 중요성을 확인할 수 있다(North et al., 2023). 유아 대상 환경교육을 위해 LNT 원칙을 융통성 있고 창의적인 방식으로 활용해 환경에 대한 책임을 배울 수 있도록 했다는 점에서 매우 적절한 방향임을 확인 할 수 있었다.

3. 결론

본 연구는 문헌연구를 통해 유아체험환경교육에서 LNT 7대 원칙을 기반으로 유아기 체험·놀이 기반 환경교육의 방향성과 LNT 7원칙을 누리과정과 연계해 유아교육 프로그램을 개발하는데 그 목적이 있었다. 이러한 목적에 따라 첫째, 유아기의 환경교육은 자연에 대한 애정 형성과 책임 의식을 키우는 것을 최우선 목표로 삼아야 하며, 이를 위해 유아의 일상 경험과 놀이 속에서 실천 가능한 행동지침을 제공하는 것이 효과적임을 여러 선행연구와 이론을 통해 그 방향성을 확인하였다. 특별히, LNT 원칙이 “계획과 준비”, “쓰레기 처리”, “자연 존중” 등 환경윤리의 핵심 요소들을 망라하고 있어, 유아들에게 환경보호 습관을 길러주는 교육내용의 틀로서 활용 가치가 높은 것을 확인할 수 있었다.

둘째, 본 연구를 통해 제안한 LNT 원칙 기반 프로그램들은 현재 국내 유아교육 현장에서 쉽게 접목할 수 있는 수준의 것들로 구성하였다. 예를 들어 특별한 기자재나 시설 없이도 교사와 유아의 상호작용 속에서 놀이 형태로 실천할 수 있는 아이디어들을 담았다. 이러한 프로그램을 실행한다면 유아들은 자연스럽게 놀이하며 배우기를 통해 환경친화적 태도와 행동을 익힐 것으로 기대된다. 나아가 이 경험은 유아들의 전인적 발달을 도우며, 장기적으로 지속가능한 사회의 시민으로 성장하는 밑거름이 될 것이다.

그러나 본 연구는 실제 프로그램을 개발하여 적용한 실험연구가 아닌 문헌을 통한 개념적 제안에 그치고 있다는 한계가 있다. 따라서 후속 연구로서 제안된 프로그램을 유치원이나 어린이집에서 일정 기간 운영해보고, 유아들의 태도와 행동 변화를 관찰·분석하는 실증 연구가 필요하다. 이를 통해 이 프로그램의 효과성을 검증하고 개선점을 피드백 받을 수 있을 것이다. 또한 LNT 원칙 각각에 대해 유아의 이해도와 수용 양상이 어떻게 다른지도 탐구할 필요가 있다. 혹시 유아들이 어렵게 느끼는 원칙이 있다면 보다 쉬운 교육방법으로 보완해야 할 것이다.

추가적으로, 교사와 부모를 대상으로 본 프로그램의 수용도와 만족도를 평가하는 연구도 고려할 수 있다. 교사들이 현장에서 느끼는 애로사항이나 요구를 파악하면 프로그램의 현실 적합성을 높일 수 있을 것이며, 부모 교육 연계 방안도 더 효과적으로 마련할 수 있을 것이다.

참고문헌

- 강영식 (2013). “숲체험을 통한 환경오염예방교육이 유아의 자연친화적 태도 및 과학적 문제해결력에 미치는 효과.” 한국산학기술학회논문지, 14(3), 1604-1611.
- 광노의 (2016). “지속가능발전교육 관점에서 본 유아숲교육의 전망.” 초등교육연구, 27(2), 151-171.
- 교육부. (2019). 2019개정 누리과정 해설서.
- 구혜현 (2017). “지속가능발전교육에 근거한 유아 원예활동 프로그램 개발.” 유아교육연구, 37(2), 5-27.
- 김숙자 (2014). 지속가능발전교육으로의 공존지향적 유아교육의 개념, 목적 및 목표, 교육내용에 대한 델파이 연구. 한국열린유아교육학회지, 19(6), 393-422.
- 김숙자 (2015). 지속가능발전교육으로의 공존적 접근에 기초한 유아 교육내용 분석 - 3, 4, 5세 누리과정 교사용 지도서를 중심으로 -. 미래유아교육학회지, 22(3), 333-354.
- 김은정 (2018). “지속가능발전교육 관점의 자연환경 교육이 유아의 환경친화적 태도와 과학적 탐구능력에 미치는 영향.” 미래유아교육학회지, 25(2), 227-248.
- 박성혜 (2009). “생태그림책을 활용한 자연친화교육 프로그램을 통한 유아의 자연에 대한 태도 변화 탐색.” 한국영유아교원교육학회지, 13(3), 291-317.
- 박희숙 (2010). “유아의 환경소양 증진을 위한 가정연계 중심 환경교육 프로그램 개발 및 적용 효과.” 한국유아교육학회지, 30(5), 215-237.
- 송순옥 (2018). “실천·체험 중심의 환경교육활동이 유아의 환경 친화적 태도 및 감성지능에 미치는 영향력.” 한국아동교육학회지, 27(5), 47-64.
- 양윤숙 (2014). “루트번스타인의 ‘생각도구’를 활용한 통합미술프로그램 연구.” 서울교육대학교 교육전문대학원 석사학위논문.
- 임예지 (2011). “생태 그림책 만들기 활동이 유아의 환경친화적 태도에 미치는 영향.” 한국열린유아교육학회지, 16(2), 85-107.
- 조형숙 (2004). “유아 교사의 환경친화적 태도에 관한 연구.” 한국영유아교원교육학회지, 8(2), 33-50.
- 조형숙 (2011). “유아 환경교육의 연구 동향.” 한국영유아교원교육학회지, 15(3), 419-445.
- 주시연 (2018). “지속가능발전교육 관점의 숲 체험활동이 유아의 환경보전지식과 환경친화적 태도에 미치는 영향.” 유아교육연구, 20(5), 301-325.
- 지성애 (2012). “미술표상과 연계한 유아 환경교육프로그램 개발 및 효과.” 한국유아교육학회지, 32(5), 389-420.
- 지옥정 (2013). “지속가능발전교육을 위한 ‘공원 프로젝트’ 참여 유아들의 공원 인식 변화 분석.” 한국어린이미디어학회지, 12(3), 373-396.
- 지옥정 (2014). “유아기 지속가능발전교육을 위한 ‘종이 프로젝트’에서 지역사회와의 연계가 연계 주체들에게 미친 영향.” 한국어린이미디어학회지, 13(4), 199-225.
- 허정무, 박현진 (2016). “유아 환경교육 관련 연구 경향 분석.” 한국영유아보육학, 96, 101-127.
- Bandura, A. (1977). Social Learning Theory. New York: General Learning Press.
- Booth, A., Sutton, A., & Papaioannou, D. (2016). Systematic approaches to a successful literature review. SAGE.
- Dewey, J. (1938). Experience and Education. New York: Macmillan.
- Hungerford, H. R., & Volk, T. L. (1990). Changing learner behavior through environmental education. The Journal of Environmental Education, 21(3), 8-21.
- Kolb, D. A. (1984). Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Leave No Trace Center for Outdoor Ethics (2014). PEAK Program Manual: Promoting Environmental Awareness in Kids. Boulder, CO: LNT.
- North, C., Berning, H., Karaka-Clarke, T. H., & Taff, B. D. (2023). Leave No Trace and sustainability education: Taking a dialectical approach. Journal of Outdoor Recreation, Education, and Leadership, 15(1).

(Special Issue: Fostering a Culture of Sustainability through Outdoor Recreation and Education).

- Piaget, J. (1952). *The Origins of Intelligence in Children*. New York: International Universities Press.
- Schwartz, F., Taff, B. D., Lawhon, B., Hodge, C., Newman, P., & Will, E. (2018). Will they leave what they find? The efficacy of a Leave No Trace education program for youth. *Applied Environmental Education & Communication*, 17(1), 1-11.
- Sobel, D. (1996). *Beyond Ecophobia: Reclaiming the Heart in Nature Education*. Great Barrington, MA: Orion Society.
- UNESCO (2005). *UN Decade of Education for Sustainable Development 2005-2014: The DESD at a Glance*. Paris: UNESCO.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*. Harvard University Press.
- Wells, N. M., & Lekies, K. S. (2006). "Nature and the life course: Pathways from childhood nature experiences to adult environmentalism." *Children, Youth and Environments*, 16(1), 1-24.
- Wilson, E. O. (1984). *Biophilia*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Wood, D., Bruner, J. S., & Ross, G. (1976). The role of tutoring in problem solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 17(2), 89 - 100.

“청정 제주”가 만드는 인종화

제주국제자유도시 프로젝트 사례

신경준 제주대학교 대학원 사회학과 박사 수료

1. 서론: 존재를 다르게 배치하는 청정 제주

이 연구는 청정 제주라는 거대한 관광 인프라가 바라는 구체적인 구상이 무엇인지, 그리고 관광 제주의 작동에 복무하게 할 대상이 무엇인지, 누가 청정을 누릴 수 있는 존재가 될 것인지를 분류하고 다르게 의미화하는 인종화 기제를 살펴본다. 그리고 “제주국제자유도시”(이하 “자유도시”) 만들기라는 프로젝트 문서와 관련 하위 문서를 분석함으로써 보이고자 한다. 인종화는 푸코(Michel Foucault)가 제시하는 개념으로, 어떤 집단을 분류하여 다르게 삶의 양식을 부여하는 통치성의 작동 방식을 뜻한다(푸코, 2011). 램케(Thomas Lemke)는 특히 환경으로 취급받는 것, 다시 말해, 사람과 사람이 아닌 사물로서의 ‘환경’을 나누는 것, 그리고 환경으로서의 여러 사물을 ‘올바르게’ 배치하는 권력 작용을 푸코가 언급한 바 있는 ‘사물의 통치’로 구체화하여 설명한다(램케, 2024). 램케의 이와 같은 접근은 왓모어(Sarah Whatmore)가 제시하는 인간-너머 존재론을 통해 물질과의 상호관계성 및 다중적 존재에 대한 윤리적 논의를 촉구하는 논의 조류와 푸코의 개념이 맞닿을 수 있도록 한다(Whatmore, 2002). 자연을 어떻게 인간에게 유용한 방식으로 활용할 것인가라는 문제는 개발에 관한 정책뿐만 아니라 ‘청정’과 같이 어떻게 자연환경을 보전할 것인가에 관한 담론도 포괄한다. 자연보전에 관한 비판적 접근은 환경 통치성(environmental governmentality)으로 구체화된 바 있으며 어떠한 친환경 실천이 누구에게 권력적 효과를 낳는가, 환경에 미치는 다층적 효과에 관한 질문을 던질 수 있게 한다(Luke 2016; Rutherford, 2017).

2. 제주국제자유도시 프로젝트와 청정 프로젝트

청정이라는 단어가 관광지로서 제주를 표상하는 방식은 한국에서 환경 오염에 대한 위기감이 본격적으로 고조되던 1990년대에 빈번하게 등장하기 시작한다. 청정은 유구하게 내려오는 관광지로서의 ‘유토피아’ 제주를 비교적 현대적 방식으로 브랜드화하는 것으로서, 이상적인 깨끗함 그 자체를 향하는 것만 의미하지 않는다. 그보다, 누구를 향하여, 어떻게 통치를 작동시킬 것인가에 관한 새로운 기표이다. 청정 담론 위에서 김대중 정부는 “제주국제자유도시” 프로젝트로 2003년 출범시킨다.

10년을 주기의 계획을 발행하는 제1차(2003), 제2차(2011), 제3차(2021) “자유도시” 종합계획은 제주 개발이 중앙정부나 외국과 같은 외부에 크게 의존하고 있다는 사실을 드러낸다. “제1차 계획”은 외부와의 물류와 사람의 이동을 위한 물리적 모빌리티 인프라 설치에 주안점을 두었으며, “2차 계획”의 시기에는 중국 자본에 강조점을 두어 중국과의 관계 맺기가 중요한 문제로 부상하였다. 특히 이 시기에 “세계적 트렌드인 웰빙과 자연주의, 脫스트레스에 대한 현대인의 욕구가 증가함에 따라 스트레스 산업이 동반 성장”(제주특별자치도, 2011: 174-175)할 것이라는 분석이 등장하고 영리법인 헬스케어타운 사업 진행도 탄력을 받는다. 대-스트레스를 산업화하는 힐링 관광 구상은 2020년대에 들어서서도 계속된다. “3차 계획”에서의 거주민 대상 설문조사에서는 제주의 새로운 성장동력으로 “청정자연보존을 통한 힐링산업(39%)” 육성이 1위를 차지하는 모습이 나타난다(제주특별자치도, 2021d: 624).

외국인 대상 영리 병원이자 대규모 중국 자본이 투입된 헬스케어타운 사업은 “자유도시”가 청정을 어떻게 의미화하고, 청정이 누구를 향하고 있으며, 어떻게 실체화하려 하였는가 보여주는 대표적인 사례이다. 청정을 대-스트레스 사업의 콘텐츠로 만들려던 헬스케어타운 건립이 중국적으로 좌초됨으로써 서귀포 중산간 지역에는 대단지 규모의 방치된 곳이 생겼다. 이곳은 미디어에서 재현되는 청정 제주의 전형적인 장면과 대비를 이루며 청정 제주 투사가 실패하는 거대한 언저리를 노출한다. 제주의 자연으로 관광객을 힐링하게 만드는 이같은 계획은 자연을 대규모 소비 공간으로 다시금 생산해야 하는 구도에 있다는 점에서 청정 담론이 가진 역설과 도달 불가능성을 보여준다.

3. ‘제주다움’을 청정하게 채색하기

「경관법」과 「제주특별자치도 경관 조례」는 공적인 토목, 건축 사업뿐만 아니라 시민이나 기업 등 사적 주체가 공사를 진행함에 있어서도 준수해야 하는 심의 기준이 되기 때문에 “자치도”가 어떠한 경관 구상 위에서 행정적 강제력을 행사할 것인지 볼 수 있는 문서이다. 이 장에서는 이 법률의 하위 행정 규칙을 봄으로써 “자유도시”가 어떠한 청정 경관을 구성하고자 하고, 어떻게 비인간 존재를 상이하게 배치하는지 검토한다.

“3차 계획”에서 등장하는 “제주다운 서사적 풍경”은 2009년 “경관관리계획”의 다음과 같은 서술을 원본으로 한다. “서사적 풍경이란 시간과 공간이 서사적으로 연결된 풍경을 말한다. [...] 이는 과거가 지속적으로 땅에 새겨온 기억들을 존중하고 보전하면서, 새로운 욕망이 덧씌워져 가는 과정이 총체적으로 드러나는 풍경이다”(제주특별자치도, 2009: 5). 정체성을 스스로를 인식하는 방식이자 자신을 외부에 나타내는 방식이라고 본다면, 제주 정체성은 제주의 ‘원형’이나 제주에서의 그 모든 것을 말하는 것이 아니라, 오히려 과거로부터 있었던 궤적을 선별하는 것이자, 미래로 진행될 수행을 특정하게 정렬하는 기준이자 규범이 된다. 한때 권위주의 정부의 주도 아래에 이국적 풍광을 만들기 위하여 식재된 야자수는 이제 별목되는 과정에 있다. 한편, 해안변 양식장은 제주 수산업에 연관되는 한편으로는 제주다운 시설이자 거주민이 생업을 영위하는 공간인데 2021년 “경관관리지침”에 의하면 청정한 제주다움이라는 정체성에는 맞지 않는 것으로 분류된다. 이러한 사례가 보여주는 바는 제주가 지향하는 “누적된 시간”이라는 제주 정체성이란 언제나 특정한 정치·경제적인 요구 속에서 선택된다는 점, 그리고 어떤 시간 위에서 ‘제주다움’은 이미 제주에 있는 것을 제거하는 실천을 이끌기도 한다는 점이다.

또 청정한 제주다움은 청결한 것과 불결한 것, 내부와 외부를 경계 설정하는 데에 기준이 되기도 한다. 봄철 제주 해안가에 떠밀려와 경관을 해치고 악취를 풍기는 등의 이유로 제주 사회에서 골칫거리로 여겨지는 뽕생이모자반은 중국에서 밀려오는 외래 침입종으로 취급이 된다. 뽕생이모자반이 해안면에서 악취를 풍기는 것은 중국의 방치 때문이라거나, 중국 당국이 원인 규명에 협조하지 않는다면 결론적으로 중국이 ‘민폐’를 끼친다는 식의 언론 기사들이 등장하기도 한다. 청정은 제주가 이전부터 가지고 있다고 상상된 원형 자체를 보존하고자 하는 것보다도, 오히려 청정한 투사에 의하여 적절하게 존재들로 채우고 또 교체하면서 재구성하는 일이다. 그렇다면 반복되는 재배치에는 어떤 욕망이 개입하는지, 어떤 삶을 증진하고 또 어떤 것에 고통을 부여하는지 사고하는 것이 중요한 문제가 된다.

4. 청정을 소비하는 인간과 인프라 인간

이 장에서는 중앙정부와 지방정부뿐만 아니라 개별 인간 행위자들도 이 청정 담론적 실천에 참여하면서 인간에 대한 서로 다른 의미화가 미시적 효과로 편재하여 나타난다는 점을 지적할 것이다. 보호받거나 초대되어 마땅한 존재와 통제해야 할 침입·외래·교란·질병·위해한 외부라는 이분법은 행정 주체에 의

하여도, 그와 더불어 제주와 연루하는 다양한 위치의 사람들에게도 차용되고 그 위력을 발휘한다. 예를 들어, 외국인 거주민을 위한 음악축제의 홍보물에 서구인들의 모습만 등장하거는 모습, 국적별 밀집 거주 지역이 ‘불법노동자 밀집 지역 문제적 지역’이나 영어 교육 도시로서 정책적 성과로 다르게 의미화되는 모습은 다양한 층위에서 인종화 양상을 드러낸다. 이와 더불어 같은 출신국에서 온 사람들이라도 다른 인종화된 의미를 부여받는다. 대표적인 예로 중국에서 온 사람들이 어떻게 다른 방식으로 의미화되는가에 대하여 살펴볼 수 있다. 관광 소비자로서 중국인과 청정 인프라에 복무하는 중국인이 다르게 위치하는데, 2002년 도입된 제주 무비자 입국 정책은 소비자 중국인 입국과 “불법노동자” 양산을, 2019년 “준전문인력” E-7-2 비자 역시 중국인을 비롯한 다양한 외국인 노동자가 입도하는 통로가 되어 결과적으로 제주의 경제를 뒷받침하는 불법적이고 위험한 노동 환경을 생산하는 효과로 이어진다. 농번기에 계절근로자 제도를 통해 농업 현장에 부족한 노동자를 고용하는 것, 어업 현장에서 “내국인 일손이 턱없이 부족”하다는 언급이나 제주의 이주 노동자 인구에 관하여 법무부에서 파악한 “불법노동자”의 수가 등록 노동자 수보다 6배가량 많은 사실은 외국인 노동자가 제주 경제에 중요한 역할 맡고 있다는 사실을 방증한다. 불법화된 노동자를 활용함으로써 낮아지는 노동자 보호 조치 비용은 의료 보험을 받을 수 없는 미등록 이주민에게 전가되고, 제주에서 나온 무언가를 소비하는 사람들이 경제적 이득을 누린다.

이 장의 서두에서 밝혔듯, 청정 실천은 정책적 주체에 의하여 실천되는 것만이 아니다. 오히려 그에 연루하며 다양한 위치에 있는 사람들이 청정 만들기엔 동참한다는 사실을 들여다볼 필요가 있다. 예컨대, 예멘 난민이 제주로 입국한 사건을 둘러싸고 벌어진 찬반 논쟁을 들 수 있다. 이 난민 사건 이후로는 예멘은 무비자 입국 가능국에서 제외되었다. 쟁쟁이모자반이 제주 연안에 들어와 악취를 풍기는 것이 중국의 탓이라는 기사들, 외래 침입종을 막아야 한다는 ‘상식적인’ 기사들, 제주 쿼어문화축제를 반대하며 동성에 때문에 “천혜의 자연경관 제주가”, “청정 제주의 우리 아이들이 타락으로 물든다”와 같은 문구는 자연의 외양을 띤 ‘청정 통치성’의 다양한 장면을 점묘화처럼 그린다.

5. 결론

지금까지 청정 제주를 만드는 실천을 다중 스케일 과정들이라는 관점을 통하여 살펴보았다. 청정 담론과 그 실천의 인종화 양상이 단순히 중앙이나 제주 지역의 공적 주체에 의해서 하달식으로 이루어지는 것만이 아니라는 점, 오히려 청정이라는 담론이 제주에서 지배적인 위치를 차지함으로써 미시적 규모에서의 다양한 행위자에게 서로 다른 효과를 가져온다는 점을 검토하였다. 이에 따라 인간과 비인간 존재는 ‘제주다움’, 소비자, 인프라, 침입종으로 다르게 의미화되고 또 상이한 배치를 겪는다는 점을 짚었다. 특히 제주에서 나타나는 이러한 방식의 ‘청정 통치성’이 “자유도시”라는 거대하고 기나긴 프로젝트를 통하여 투사되고 있는 장면을 그리고자 하였다.

이 연구는 제주국제자유도시 만들기 사례를 통하여 지역에서의 삶을 증진하려는 계획, 그것을 뒷받침하는 당위적 관념 및 다층적 실천이 사실은 특정한 존재에 대한 손상과 침식을 유발하는 것을 조건으로 작동한다는 지적하였고, 이에 대한 비판적 논의를 열고자 하였다. 그러나 연구 자료가 대부분 공적 문헌이라는 한계에서 청정의 언저리에 남겨진 폐허와 손상이 어떻게 다른 가능성을 열어가는가에 대한 논의를 다루지 못하였다. 이러한 장면들에서 기존의 인종화를 빗겨서 나가는 다른 의미화를 독해할 가능성을 앞으로 열어두고자 한다.

참고문헌

- 김태연. 2024. 제주도는 어떻게 ‘대한민국 관광 1번지’가 되었나?: 1960-70년대 ‘제주개발체제’ 형성과 작동. 인문논총 65, 167~191.
- 더글라스, 메리. 1997. 『순수와 위험』. 유제분·이훈상 옮김. 현대미학사.
- 램케, 토마스. 2024. 『사물의 통치』. 갈무리.
- 백영경. 2018. 태평양 지역 섬의 군사화와 탈식민, 그리고 커먼즈. 탐라문화 58, 93~122.
- 스미스, 닐. 2017. 『불균등발전』. 이상헌 옮김. 한울.
- 신혜란·권민지, 2020. 제주 지역성 연구-별도공간 개념의 적용. 한국지역지리학회지 26(2), 140~158.
- 제주연구원. 2024. 『제주의 미래를 보다』.
- 제주특별자치도. 2003. 『제주국제자유도시종합계획』.
- . 2009. 『제주특별자치도 경관 및 관리계획, 경관관리지침』.
- . 2011. 『제2차 제주국제자유도시 종합계획』.
- . 2015. 『제주특별자치도 경관관리 재정비, 경관 가이드 라인-』.
- . 2021a. 『제주특별자치도 경관가이드라인』.
- . 2021b. 『제주특별자치도 경관관리계획 재정비(안) 의견제시의 건』.
- . 2021c. 『제주특별자치도 경관계획 재정비』.
- . 2021d. 『제3차 제주국제자유도시 종합계획』.
- 진종현. 2023. 제주를 보는 근대적 시선의 형성 -‘낙원제주’ 담론에 대한 비판적 고찰-. 문화역사지리 35, 49~68.
- 푸코, 미셸. 2011. 『안전, 영토, 인구』. 심세광·전혜리·조성은 옮김. 난장.
- Luke, T., 2016. “Environmental Governmentality”. The Oxford Handbook of Environmental Political Theory. Oxford: Oxford University Press UK.
- Rutherford. S., 2008. “Manufacturing the Wild: Nature, Power, and Green Governmentality”. York University(Canada) Doctoral dissertation.
- . 2017. “Environmentality and Green Governmentality”. The International Encyclopedia of Geography. New Jersey: Wiley-Blackwell.
- Whatmore, S., 2002. Hybrid Geographies: Natures, Cultures, Spaces. California: Sage.

사사

한국공간환경학회 학술지 공간과사회 35권 3호(2025년 9월 30일 발행)에 게재 예정.

42nd International Visual Sociology Association Conference in Suwon, South Korea(2025. 6. 25-28.)에서 발표하였음.

이 논문은 2023년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2023S1A5A2A03085931).

포스터발표 세션 9.

문화/예술/스포츠

- 팬덤 기반 환경행동 공동체는 어떻게 실천공동체로 작동하는가?: 야구 팬덤 기반 환경 행동 공동체를 중심으로
김소현 서울대학교 대학원 환경교육전공 석사
- AI 생태예술과 감각 회복을 통한 생태전환교육 연구: 백남준의 〈TV 정원〉에서 현대 AI 생태예술까지
김 선 숙명여자대학교 문화예술교육학과 박사과정
- 축정을 넘어 참여로: 환경 예술 전시 공간에서 다중 해석성을 위한 감정-실천 의지 분석 도구
임채연 유니버시티 칼리지 런던 대학원 휴먼 컴퓨터 인터랙션 석사
- 생태스포츠 참여자에서 환경활동가로의 변화 과정 연구
김태엽 서강대학교 교육대학원 석사

팬덤 기반 환경행동 공동체는 어떻게 실천공동체로 작동하는가?

야구 팬덤 기반 환경 행동 공동체를 중심으로

김소현 서울대학교 대학원 환경교육전공 석사

1. 서론

기후위기 대응을 위한 형식적 환경교육은 시민들의 자발성을 이끌어내는 데 한계를 보여왔다 (Sterling, 2010). 이에 따라 정서적 유대와 상호작용을 기반으로 한 참여적 접근이 주목받고 있으며 (Brosch & Steg, 2021), 팬덤은 비형식 학습의 잠재력을 지닌 영역으로 볼 수 있다.

팬덤은 강한 정서적 몰입을 토대로 유대와 정체성을 형성하며, 반복적 상호작용 속에서 자발적 학습이 발생한다(Gee, 2004; Livingstone, 2001). 이 과정에서 특정 이슈에 공감한 팬덤 내 소집단은 정서적 유대와 공유된 문제의식을 바탕으로 실천공동체로 발전할 가능성을 지니며, 정서적 애착은 학습의 몰입을 가능케 하는 핵심 요인으로 작용한다(Wenger, 1998; Jenkins et al., 2009).

스포츠 팬덤은 경기장이라는 물리적 공간을 매개로 실천공동체 형성에 유리하다. 특히 프로야구의 경우, 팬들은 폭염, 폭우 등으로 인한 경기 취소, 대규모 관중 동원에 따른 쓰레기 문제 등을 체감하며 기후위기를 문화의 지속가능성과 연결해 인식한다. 이러한 경험은 정서적 동기로 작용해 일상적 참여와 가치관 변화를 촉발한다(Aragón et al., 2017).

이 연구는 ‘KBO Fans for Planet(크보플)’ 사례를 통해 팬덤 기반 환경행동 공동체가 어떻게 실천공동체로 작동하는지를 탐구한다. 크보플은 야구 팬덤을 기반으로 한 환경행동 공동체로, 연구자는 공식 SNS 검토와 직접 참여를 통해 이들이 실천공동체의 특성을 지니고 있음을 확인하고 사례로 선정하였다. 나아가 관심집단이 단순한 취향의 공유를 넘어 학습과 실천이 순환하는 실천공동체로 전환되는 조건과 가능성에 주목하여 분석하였으며, 이를 통해 시민 참여와 환경교육의 새로운 방향을 제시한다.

2. 본론

1절에서는 실천공동체의 핵심 요소인 공통 관심사, 상호작용, 호혜적 관계, 공유된 실천이 크보플 내부에서 어떻게 구체화되는지를 살펴본다(Wenger, 1998). 2절에서는 개방 코딩을 통해 도출한 인적·환경적·성과적 요인을 중심으로, 크보플이 실천공동체로 지속될 수 있었던 조건과 작동 구조를 분석한다.

1) 크보플의 실천공동체적 특성

(1) 크보플의 공동의 문제의식: “죽은 지구 위에서는 야구도 존재할 수 없으니까요”

크보플은 기후위기 속 야구의 지속가능성을 문제의식으로 형성되었다. 창립자는 경기장에서 반복적으로 목격한 일회용품 문제를 개인의 불편이 아닌 팬덤이 함께 해결해야 할 공동의 문제로 재정의했다. 이 인식은 온·오프라인을 통해 확산되었고, 뒤늦게 합류한 구성원들 역시 가치에 공감하며 참여했다. 그 결과 문제의식은 ‘주어진 것’이 아니라 ‘함께 정한 것’으로 자리 잡았으며, 이는 자발적 참여와 공동의 문제 정의라는 비공식 실천공동체의 핵심 특성을 보여준다(Wenger, 1998).

(2) 크보플의 상호작용: “좋아하는 팀은 다르지만, 서로 이야기하며 배워요.”

크보플은 서로 다른 팀을 응원하던 팬들이 모여, 이질적 경험과 시각을 공유하며 배움의 계기를 만들어냈다. 일반적으로 팬덤은 팀 간 경계가 강하지만, 크보플은 공동의 목표 덕분에 차이가 관계의 장벽이 되지 않았다. 팬들은 “문학구장엔 이런 문구가 붙어 있어요”, “대전구장에선 다회용 컵만 도입됐더군요” 처럼 현장 경험을 공유했고, 이러한 상호작용은 “이걸 카드뉴스로 만들어볼까요?”와 같은 제안으로 확장되었다. 이를 통해 팬들을 단순한 문화 수용자가 아닌 학습자이자 실천가로 자리매김하게 했다.

(3) 크보플 구성원들의 관계: “다 같은 야구 팬이라는 게 뚜렷한 공통 분모가 되어줘요.”

크보플은 ‘야구팬’이라는 정체성을 공통 기반으로 관계를 형성했고, 실천 과정에서 신뢰와 응원이 축적되며 강한 소속감을 만들어냈다. 초기에는 창립자 중심으로 실천이 이루어졌으나 점차 역할이 분산되며 자율적 구조로 전환되었고, 구성원들은 카드뉴스 제작이나 인터뷰 참여 등 작은 과업을 수행하면서 공동체의 일원임을 체감했다. 이러한 경험은 공동체 내부의 지지와 조언을 통해 강화되었다.

(4) 크보플의 실천: “함께 만든 흐름이 쌓여 크보플만의 실천이 되었어요.”

크보플의 실천은 논의와 참여 속에서 조직되며, Reed 외(2010)가 제시한 세 차원-상호 관여, 공유된 표현양식, 실천의 체계-으로 설명될 수 있다. 첫째, 상호 관여는 아이디어를 제안하고 실행을 조율하는 과정으로, 채팅방·정기회의·성과공유회를 통해 이루어졌다. 둘째, 공유된 표현양식은 카드뉴스, 공동 문서 등을 통해 일관된 언어와 기록 체계를 만들며 신규 참여자의 적응을 돕고 정체성을 강화했다. 셋째, 실천의 체계는 서명운동, 다회용기 커피차, 응원도구 ‘대짜이’처럼 ‘기획-실행-평가’ 과정을 거쳐 정형화된 활동으로 발전했다. 이처럼 크보플은 아이디어가 자유롭게 제안되는 공간과, 축적된 고유한 표현양식, 그리고 반복된 실천이 쌓이며 단발적 행동을 넘어서는 공동체로 발전해 갔다.

2) 실천공동체를 가능하게 하는 요소들

(1) 인적 요소

크보플의 실천공동체적 작동 배경에는 구성원들의 개인적 특성이 있었고, 이는 크게 두 가지로 정리된다. 첫째, 야구팬으로서의 정체성은 환경 문제를 ‘지속가능한 야구’라는 공동의 과제로 전환하게 만들며, 팬덤의 열정을 실천으로 이어가는 기반이 되었다. 둘째, 진취적이고 자발적인 성향은 새로운 시도와 적극적인 개입을 가능하게 했고, 이는 공동체 내 신뢰와 개방적 소통 문화를 형성하는 원동력이 되었다.

(2) 환경적 요소

크보플이 실천공동체로 작동한 환경적 배경은 물리적 요인과 제도적 요인으로 구분된다. 물리적 측면에서 약 30명 내외의 소규모 구성은 의견 공유와 반응을 용이하게 하여 참여와 학습의 동력을 높였다. 제도적 측면에서 최근 확장된 시민 주도형 지원 제도는 크보플의 아이디어 실행을 가능하게 했을 뿐 아니라, 실천 과정에서의 실험과 피드백을 가능하게 하여 학습과 실천이 순환하는 장을 제공하였다.

(3) 성과적 요소

크보플은 야구 팬덤을 기반으로 환경 문제를 다른 드문 사례로, 주제의 희소성이 고유한 정체성과 상징성을 형성했다. 언론·SNS 노출로 높은 가시성을 확보했고, 응원도구 ‘대짜이’와 다회용 커피차 같은 실천은 사회적 주목을 받으며 성과로 이어졌다. 이러한 경험은 활동의 가치가 인정받는다는 확신을 주었고, 공동체가 학습과 실천을 지속할 수 있게 하는 기반이 되었다.

3. 결론

크보플의 경험은 비형식적 모임이 자동으로 실천공동체로 이어지는 것이 아님을 보여준다. 그렇다면, 다른 비형식적 모임들이 학습과 실천을 반복하며 실천공동체로 발전하기 위해서는 어떤 조건이 필요한가? 실천공동체로의 전환에는 정서적 유대, 반복적 상호작용, 제도적 기반, 외부의 인정과 같은 조건이 필요했으며, 크보플은 그 교차 지점을 잘 드러낸 사례라 할 수 있다. 이는 기후위기 대응이라는 환경 영역을 넘어 다른 사회적 의제에서도, 비공식 공동체가 어떻게 학습과 변화를 만들어갈 수 있는지를 탐색할 필요성을 제기한다. 따라서 이 연구는 제도적 교육만으로는 설명되지 않는 사회적 학습의 가능성을 드러내며, 비형식 실천공동체에 대한 학술적 관심을 환기시킨다는 점에서 의의를 지닌다.

참고문헌

- 김희경, 윤순진. (2011). ‘에코맘’의 삶과 의미에 관한 질적 사례 연구. 교육인류학연구, 14(2), 91-127.
- 조미성, 윤순진(2016). 에너지전환운동과정에서의 생태시민성 학습:서울시 관악구 에너지자립마을에 대한 질적 사례 연구를 바탕으로. 공간과 사회, 26(4), 191-229.
- 조형미, 김진희, 나지연, 김유정(2019). 단위학교 교사공동체의 실행공동체 특성 및 참여의 기제. 교원교육 35.3 : 203-248.
- 송진웅, 정용재, 마틴산야, 나지연, 장진아, 강다연(2018). 교실과 문화: 동아시아 과학 교실문화의 이해. 북스힐.
- Aragón, F. M., Martín, V., & de Vreese, C. H. (2017). Who is the environmentalist? Political identity and support for climate change policies. Environmental Politics, 26(2), 249 - 269.
- Brosch, T., & Steg, L. (2021). Leveraging emotion for sustainable action. One Earth, 4(12), 1693 - 1703.
- Gee, J. P. (2004). Situated language and learning: A critique of traditional schooling. Routledge.
- Jenkins, H. (2006). Convergence Culture: Where Old and New Media Collide. New York: NYU Press.
- Jenkins, H. (2006). Fans, bloggers, and gamers: Media consumers in a digital age. New York: NYU Press.
- Livingstone, S. (2001). Young people and new media: Childhood and the changing media environment. Sage.
- Reed, M. S., Evely, A. C., Cundill, G., Fazey, I., Glass, J., Laing, A., Newig, J., Parrish, B., Prell, C., Raymond, C., & Stringer, L. C. (2010). What is social learning? Ecology and Society, 15(4), 1 - 10.
- Sterling, S. (2010). Transformative learning and sustainability: Sketching the conceptual ground. In R. M. C. Filho (Ed.), The future of sustainability: Re-thinking environment and development in the twenty-first century (pp. 81 - 96). Peter Lang.
- Wenger, E. (1998). Communities of practice: Learning, meaning, and identity. Cambridge University Press.

AI 생태예술과 감각 회복을 통한 생태전환교육 연구

백남준의 <TV 정원>에서 현대 AI 생태예술까지

김 선 숙명여자대학교 문화예술교육학과 박사과정

1. 서론

디지털미디어와 기술발전 환경에서 인간의 감각 소진과 생태 감수성 저하라는 특유의 사회적 현상에 직면하고 있다. 인공적인 정보 자극의 홍수 속에서 현대인은 점차 신체적·정서적 감각에서 멀어지고, 자연과의 관계 또한 단절되는 경험을 겪는다. 이러한 상황에서, 예술은 감각 회복과 생태적 인식 확장을 촉진하는 대안적 실천으로 주목받고 있다. AI 기술의 도입은 예술 창작의 패러다임에 변혁을 가져왔다. 대표적으로 미디어아트와 생성형 AI 기반 예술은 이전에 없던 데이터 분석과 표현 방식, 그리고 관객과의 상호작용 경험을 제공한다. 본 연구에서 사례를 제시할 백남준의 <TV 정원>, 레픽 아나돌의 인터랙티브 아트처럼 자연과 기술, 인간의 감각이 융합되는 실천이 지속적으로 예술 창작이 확장되어 가고 있다. 본 연구는 감각 소진과 생태 감수성 저하 현상에 주목하며, AI 생태예술의 실천이 감각 회복과 생태 인식 확장에 어떻게 기여할 수 있는지 탐구한다. 이를 위해 백남준, 레픽 아나돌 등 주요 작가·작품사례를 검토하고, AI 예술이 교육 현장 및 사회에 제시할 수 있는 생태전환교육 모델의 교육적·문화적 의의를 분석하고자 한다.

2. AI 생태예술 사례 분석 및 생태전환교육 모델 실천

1) 국내외 AI 생태예술 사례 및 사회적 현상

AI 생태예술은 예술창작에서 교육과 사회적 참여를 통해 생태전환을 촉진하는 중요한 문화적 실천으로 감각 회복과 시민 참여를 촉진하는 교육 모델로 발전하고 있다. 예를 들어, AI 모니터링과 인터랙티브 체험을 결합한 전시들이 자연과 기술의 융합 공간에서 몰입적 감각 경험을 제공하며, 환경 감수성 회복에 기여한다. 국외에서도 AI 기술을 활용해 복잡한 생태계 데이터를 시각화하거나, AI와 인간 간 협업을 기반으로 새로운 생태적 표현을 창출하는 사례가 증가하고 있다. 이러한 작품들은 공통적으로 AI와 생태예술의 융합이 감각 회복과 생태 인식 확장에 실질적 효과가 있음을 보여준다.

2) 주요 작가 및 작품 사례 분석 : 감각 회복과 생태적 메시지와 관객 참여와 몰입 경험

백남준의 <TV 정원>(1974)은 자연과 전자매체가 융합된 초기 미디어아트 작품으로, 살아있는 식물과 TV 모니터를 결합하여 새로운 생태적 공간을 협업한 사례이다. 이 작품은 자연과 기술의 상호작용을 시각적으로 표현하며, 전통적인 자연 이미지에서 벗어난 디지털 생태 공간을 경험하도록 한다. 백남준은 이를 통해 기술이 생태계와 공존할 수 있음을 보여주었으며, 환경과 매체의 관계를 재해석하는 중요한 예술적 시도를 하였다. <TV 정원>은 관람자에게 다층적인 감각 경험을 제공함으로써 감각 소진 현상을 극복하고 자연과 인간의 연결을 회복할 수 있는 공간을 제시한다. 자연적인 생명력과 전자매체의 인공성이 공존하며, 생태적 감수성 회복과 함께 탈감정사회의 ‘탈감각’ 문제를 극복하는 예술방안으로 평가된다. 관람객은 전통적인 시각 경험을 넘어서 자연과 기술이 융합된 새로운 감각 환경을 체험하며 생태적 윤리의식을 환기하게 된다.

또 하나의 사례 레픽 아나들은 대규모 자연 데이터를 AI로 분석하고 시각화하는 인터랙티브 미디어 아트 작업으로 알려져 있다. 그의 작품은 인공지능의 데이터 처리 능력을 활용하여 자연환경의 복잡한 패턴과 변화를 디지털적으로 재현한다. 대표적인 작업으로 <Machine Hallucinations>(2019)가 있으며, AI가 수집한 자연 이미지 및 소리를 바탕으로 디지털 자연을 창조한다. 아나들의 작업은 미학적 뿐만 아니라 생태적 의미도 함축하고 있어, 인간과 자연, 기계 사이의 경계를 재설정하는 역할을 수행한다. 아나들의 작품은 관람객의 신체적 참여와 감각적 몰입을 유도하는 인터랙티브 요소를 포함한다. 관람객은 AI가 만들어낸 디지털 자연 속에서 시각, 청각적 경험을 통해 자연과의 새로운 연결성을 체험한다. 이처럼 몰입적 감각 경험은 수동적 관람을 넘어 생태적 네트워크의 일부로서 자신을 인식하도록 돕는다. 이를 통해 환경위기에 대한 정서적 공감과 생태적 윤리 의식을 증진시키는 체험을 경험하게 된다.

3) AI 생태예술 기반 생태전환교육 적용

1) 교육프로그램 설계와 학습자 중심 몰입 경험

AI 생태예술 기반 교육 프로그램은 학습자의 감각적 몰입과 적극적 참여를 극대화하도록 설계되어야 한다. 프로그램은 다감각적 경험을 제공하는 인터랙티브 미디어 아트, AI 데이터 시각화, 공동 창작 활동 등을 포함한다. 학습자들은 AI가 생성하는 생태 데이터 시각화와 설치 작품을 직접 체험하며, 자연과 기술의 융합에 대한 깊은 이해와 감각적 경험을 얻는다. 이와 같은 몰입 경험은 생태문제에 대한 정서적 공감과 인식을 증진시키며, 학습자의 주체적 학습과 협력적 문제 해결 능력을 강화한다.

2) 앨런 카프로우 협업적 예술교육 철학적용

미술교육자 앨런 카프로우는 예술을 통해 학습자들이 능동적으로 참여하고 상호작용하는 협업적 교육 방식을 강조한 바 있다. 그의 철학은 기술 습득이 아니라, 집단적 창조과정을 통해 감각과 인식, 사회적 관계를 확장하는 데 중점을 둔다. 이러한 협업적 예술교육 철학은 AI 생태예술 기반 생태전환교육에 적합한 프레임워크를 제공한다. AI와 생태예술이 결합된 프로젝트에서는 학습자들이 AI 도구 및 미디어 예술 매체를 활용하여 자연과 환경 문제를 탐구, 협력적 방식으로 문제 해결과 표현에 참여한다. 이는 학습자 중심의 몰입적 체험을 촉진하며, 생태적 태도와 실천을 내면화하는 데 중요한 역할을 한다.

3) 감각·인식·윤리를 통합한 교육 모델

이를 바탕으로 생태전환교육 프로그램의 밀도있는 개발과 적용을 토대로 감각 회복, 생태적 인식, 그리고 환경 윤리를 통합하는 데 중점을 둔다. 학습자는 AI와 생태예술을 매개로 생태계의 복잡성과 상호 연결성을 체험하며, 이를 통해 환경 문제에 대한 인지적 이해뿐 아니라 윤리적 태도까지도 함께 함양한다. 감각적 몰입은 정보 전달을 넘어 생태적 감수성의 근간을 형성하며, 인식과 윤리의 통합은 학습자가 환경 문제를 실천적으로 수용하고 행동에 이르게 하는 교육적 효과를 높인다.

3. 결론

AI 생태예술 기반 생태전환교육은 몰입형 체험을 통한 감각적 인식을 증진시키고 학습자의 인지·정서적 공감과 협력적 경험을 기반으로 실천적 역량과 의지를 키우도록 설계되어, 환경 문제 인식에서 개인적 실천으로 이어지는 과정에 실질적인 도움을 준다. 이에 따라 환경 문제에 대한 실천적 대응 역량을 강화하는 이 시대의 생태전환교육의 패러다임으로 부상할 것이다. 협업적이고 몰입적인 학습 경험을 중심으로 한 이 교육 모델은 학습자들이 직접 체험과 참여를 통해 환경 감수성을 높이고 지속 가능한 실

천 의지를 확립하도록 돕는다. 특히, 다양한 연령, 배경의 학습자들이 환경문제에 적극적으로 접근하고 행동하는 기반을 조성하는 데 효과적임을 증명한다. 학교와 지역사회 차원에서는 AI와 예술 융합 교육 모델을 확산하여 생태감수성을 고양하고, 지역사회 참여를 촉진하는 노력이 이루어지고 있다. 정책적으로는 AI 생태예술 교육에 대한 체계적인 지원과 더불어 교육, 환경, 기술 분야의 다학제적 협력을 촉진하는 것이 중요하다. 이를 통해 교육 혁신의 지속가능성을 확보하고, 글로벌 환경 위기 대응에 필요한 교육 표준과 협력체계를 구축할 수 있다. 이로써 AI 생태예술 기반 생태전환교육은 학문적 연구와 기술 혁신을 넘어, 사회 전반의 감수성과 윤리성을 제고하며 건강한 지구 공동체 구축에 기여하는 문화적·교육적 전환점이 될 것이다.

참고문헌

- 김민선, 신동훈, 2024, 초등학교의 생태적 감수성 향상을 위한 인공지능 기반 해양 생태전환교육 프로그램 개발, 한국초등과학교육학회, 43(1), 148-157
- 남미자 외3인, 생태문명을 향한 교육원리, 학이시습, 2024
- 노희정, 2013, 생태학적 자아의 정립과 생태학적 감수성 증진을 위한 교육. 환경철학, 16, 61-81.
- 변정호(2022). 인공지능을 활용한 해안사구 식물 탐구 프로그램이 초등 과학영재의 정의적 영역에 미치는 영향. 과학교육연구지, 46(1), 53-65. <https://doi.org/10.21796/JSE.2022.46.1.53>
- 박윤진, 김순식, 2025, AI 생태 전환 교육이 초등학교의 기후변화에 대한 인식·지식·태도와 환경 소양에 미치는 영향, 대한지구과학교육학회지, 18(2), 181-192
- 손형우, 2017, 莊子와 백남준의 TV정원에 드러난 시공간적 특성 연구 - 백남준의 비디오설치작품<TV부처>, <TV정원>, <비디오춧불>을 중심으로 -, 한국동양예술학회, 36, 133-158
- 심지영, 생태전환교육, 학교에서 어떻게 할까, 살림터, 2023
- 정규리, 2023, 인공지능 시대의 융합 예술 : 레픽 아나돌(Refik Anadol)의 작품을 중심으로, 한국과학예술융합학회, 41(3), 383-394
- 조선령, 2023, 스크린 기반 인공지능 예술과 포스트휴먼 관람성 - 레픽 아나돌의 <감독받지 않은 Unsupervised>을 중심으로, 현대미술학회, 27(2), 33-56
- 주은정(2018). 초등교사들의 학교 안 자연 기반 생태교육 실행연구에서 나타난 생태교육 PCK 확장 과정. 환경교육, 31(1), 1-22. <https://doi.org/10.17965/KJEE.2018.31.1.1>
- 한국과학창의재단(2022). 초·중등 인공지능(AI)교육 학교 적용 방안 연구보고서(SW.AI). 한국과학창의재단
- 홍선욱, 이종명, 장용창, 홍수연, 이종수, 이미정(2014). 해양환경교육 활성화 방안 연구. 해양환경관리공단.
- Petra Jaaskelainen, 2022, On the Environmental Sustainability of Ai Art(s), 8th Workshop on Computing Within Limits, 0.21428/bf6fb269.c46375fa
- Wilson, H. J., & Daugherty, P. R. (2018). Collaborative intelligence: Humans and AI are joining forces. Harvard Business Review, 96(4), 114-123
- Lisa FitzGerald, Digital Vision and the Ecological Aesthetic (1968-2018)
- 예술가의 붓이 된 인공지능, 살아 움직이는 산수화도 쓱쓱, <https://www.joongang.co.kr/article/25214601>, 2025.8.25.
- 레픽 아나돌 홈페이지, <https://refikanadol.com/> (2025.8.11)
- 앨런 카프로우 홈페이지 <http://www.allankaprow.com/> (2025.8.10)
- Allan Kaprow, https://monoskop.org/images/1/18/Allan_Kaprow_Art_as_Life_2008.pdf(2025.8.10)

측정을 넘어 참여로

환경 예술 전시 공간에서 다중 해석성을 위한 감정-실천 의지 분석 도구

임채연 유니버시티 칼리지 런던 대학원 휴먼 컴퓨터 인터랙션 석사

1. 서론

오늘날 많은 문화예술기관들이 지속가능성 교육의 중요한 장으로 자리잡고 있음에도 불구하고, 기존의 연구 중심 측정 도구는 환경 예술에 대한 관람객의 다양한 해석과 정서적 교감 방식을 제대로 포착하지 못하고 있다. 수치화에 의존하는 전통적 정량 평가 방식은 다면적 미적 경험을 단순화고, 관람 중 조사는 몰입 방해로 자연스러운 미적 경험을 훼손해 환경 문제 인식이 행동 변화로 이어지는 과정을 파악하기 어렵다. 이에 본 연구는 전시 공간에서 관람 경험의 몰입을 방해하지 않으면서도 감정의 유의성, 강도, 실천 의지 간 관계를 포착할 수 있는 새로운 질적 도구인 '감정-실천 의지 분석 도구'를 개발하고, 실제 환경 예술 전시 환경에 적용해보고자 했다.

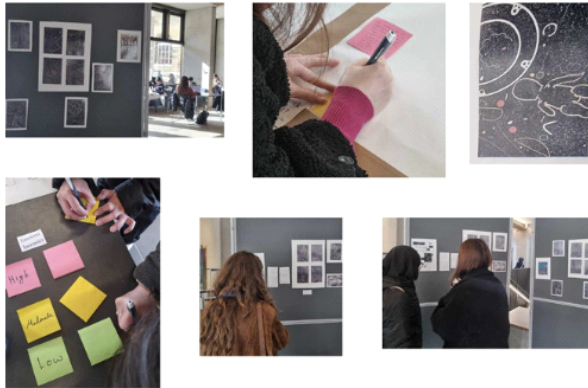
2. 재료 및 방법

1) 참여형 전시회 사례 연구

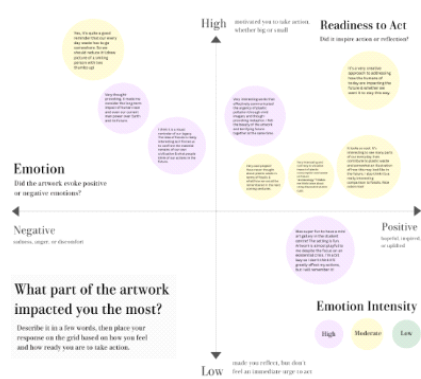
유니버시티 칼리지 런던 (University College London)에서 한 달간 진행된 지속가능성 프로그램 일환으로 "ArtScape: 예술, 데이터, 지속가능성의 만남" 전시회를 기획하고 참여형 연구 현장으로 선정했다. 핵심 작품인 네덜란드 작가 Driessens & Verstappen의 <화석은 남는다 (Fossil Remains, 2024)>는 3억4천5백만년 석석탄기에 형성된 벨기에 청석에 박힌 해양생물(크리노이드, 완족류, 산호 등)의 화석과 현대 플라스틱 폐기물의 표현을 나란히 배치함으로써, 수억 년의 자연사와 수십 년의 인류 활동을 하나의 시공간에 병치시킨 설치 미술 작품이다. 생명의 흔적인 화석과 생명을 위협하는 플라스틱의 대조는 인류세의 의미를 묻는 동시에, 현재를 미래의 지질학적 관점에서 바라보게 한다. 화석의 유기적 형태와 폐기물의 인공적 형태가 만드는 감각적 대비를 통해 우리는 어떤 흔적을 남기고 있는가? 현재의 선택이 먼 미래에 어떻게 기억될 것인가?와 같은 긍정/부정의 이분법을 넘어서는 미묘한 감정적 반응과 다양한 행동 의지를 이끌어내고자 했다.

2) 감정-실천 의지 분석 도구 설계, 데이터 수집 및 분석

개발한 '감정-실천 의지 분석 도구'는 감정 차원 (Circumplex) 모델과 행동 변화 (behavioral change) 이론을 결합한 것으로, (1) 감정의 긍정-부정 정도(세로축: 강한 부정적 감정 하단 ~ 강한 긍정적 감정 상단)와 (2) 환경 친화적 실천 의지 (가로축: 낮은 준비도 좌측 ~ 높은 준비도 우측)를 기준으로 한 격자형 측정 도구다. 관람객은 감정의 강도에 따라 세 가지 색상의 입력지(높음-분홍, 중간-노랑, 낮음-초록)를 선택해 자신의 감정과 생각을 적어 격자 위 적절한 위치에 자유롭게 배치했다. 격자에는 다양한 감정 단어(예: 불안, 죄책감, 희망, 영감)가 예시어로 제시되었다. 하루 동안 진행된 전시에 대학 구성원 20명이 방문했다. 수집된 입력지의 공간적 위치와 텍스트 내용을 성찰적 주제분석(reflexive thematic analysis)으로 살펴보고, 감정 유의성-강도-실천 의지의 관계 패턴도 함께 분석했다.



사례 연구 현장 사진



감정-실천 의지 분석 도구 예시

3. 결과 및 토의

분석 결과 두 가지 주요 주제가 도출되었다. 첫째, '물질과 시간의 교차'라는 주제에서 태3억년 전 생명의 흔적과 현대 소비문화의 잔재가 만나는 지점이 관객은 불안부터 경이에 이르는 폭넓은 정서적 스펙트럼을 경험했다. 한 참여자는 "인류가 지구에 남기는 흔적의 무게를 체감하게 됐다"며 높은 강도의 불안과 중간 정도의 실천 의지를 보였고, "우리 문명의 물질적 유산을 성찰하는 시각적 장치"라며 지적 호기심과 미적 경이로움을 동시에 드러낸 참여자도 있었다. 주목할 점은 부정적 감정이 곧바로 환경 문제에 대한 무력감과 회피로 이어지지 않았다는 것이다. 작품이 유발한 지질학적 및 인간적 시공간의 병치는 관객에게 현재 행동의 장기적 결과를 구체적으로 상상하게 만들었고, 불편함은 "생산적 긴장"을 형성하여, 환경 문제에 대한 깊은 성찰과 행동 의지를 자극하는 촉매가 되었다. 둘째, '개인과 공동체적 책임'이라는 주제에서 "우리의 일상용품이 먼 미래의 지층에 화석처럼 남을 것"이라는 죄책감, 또는 "지금의 선택이 미래 세대의 삶을 결정한다"는 희망과 책임감 모두 높은 실천의지로 연결될 수 있음을 발견했다. 동일한 작품이 개인 소비 습관 변화, 지역사회 환경 운동 참여, 정책 변화 지지 등 관객마다 각기 다른 방식으로 환경 실천 의지를 활성화시키는 것이다. 전시가 진행되면서 격자 도구 위에 축적된 개인적 감상 및 성찰이 공동체적 의미 공유와 형성으로 진화했다. 후반부 참여자들은 선행 참여자들의 감정과 생각을 읽으며 자신의 위치를 상대적으로 조정하고, 다른 관점에 공감을 표하거나 대안적 시각을 제시하며 의미 형성 과정에 적극적으로 참여했다.

4. 결론

본 연구는 미적 경험과 환경 실천 간의 관계 이해에 필요한 깊이 있는 질적 자료를 수집하는 새로운 방법론을 제시했다. 개발된 도구는 연구 도구를 넘어 관객 참여를 유도하는 참여적 전시물처럼 기능하여, 데이터 수집과정 자체가 전시 경험의 일부가 되도록 하는 연구와 환경 예술 및 교육 간의 협력 가능성을 창의적으로 탐구했다. 이 도구의 핵심 강점은 다중해석성(multi-interpretability)을 적극 수용한다는 점이다. 환경 문제에 대한 단일한 정서적 반응이나 규범적 행동을 전제하지 않고, 개인의 고유한 감정 반응과 실천 방식을 존중하는 열린 접근은 더 많은 이들이 자신만의 방식으로 환경 담론에 참여할 수 있는 포용적 공간을 만들어낸다. 연구 결과는 기후위기 시대 지속가능성 의미 구성과 공동체적 대화를 촉진하는 플랫폼으로 기능하는 문화예술기관들의 실제 영향력을 이해하고 증진하는 데 실질적 도구를 제공한다. 한계로는 단기 전시, 소규모 자발적 표본, 중단 연구 부재가 있다. 향후 연구에서는 디지털

기술을 활용한 대규모 데이터 수집과 시각화, 그리고 장기 추적연구를 통해 미적 경험이 지속가능한 삶의 실천으로 전환되는 과정을 더욱 면밀히 규명해야 할 것이다.

참고문헌

- Roy Bendor, David Maggs, Rachel Peake, John Robinson, and Steve Williams. 2017. The imaginary worlds of sustainability: Observations from an interactive art installation. *Ecology and Society* 22, 2 (2017), 17. <https://doi.org/10.5751/ES-09240-220217>
- Stephen Bitgood. 2013. *Attention and Value: Keys to Understanding Museum Visitors*. Left Coast Press, Walnut Creek, CA.
- Nicolas Bourriaud. 2002. *Relational Aesthetics*. Les Presses du réel, Dijon.
- Emily Brady. 2014. Aesthetic Value, Ethics, and Climate Change. *Environmental Values* 23, 5 (2014), 551 - 570. <https://doi.org/10.3197/096327114X13947900181112>
- Virginia Braun and Victoria Clarke. 2019. Reflecting on Reflexive Thematic Analysis. *Qualitative Research in Sport, Exercise and Health* 11, 4 (2019), 589 - 597. <https://doi.org/10.1080/2159676X.2019.1628806>
- Virginia Braun and Victoria Clarke. 2021. One Size Fits All? What Counts as Quality Practice in (Reflexive) Thematic Analysis? *Qualitative Research in Psychology* 18, 3 (2021), 328 - 352. <https://doi.org/10.1080/14780887.2020.1769238>
- Florian Cova and Sébastien Réhault. 2019. *Advances in Experimental Philosophy of Aesthetics*. Bloomsbury Academic, London.
- D. J. Curtis, N. Reid, and I. Reeve. 2014. Towards Ecological Sustainability: Observations on the Role of the Arts. *S.A.P.I.E.N.S. Surveys and Perspectives Integrating Environment and Society* 7, 1 (2014), Article 7.1. <https://journals.openedition.org/sapiens/1655>
- Heather Davis and Etienne Turpin. 2015. *Art in the Anthropocene: Encounters Among Aesthetics, Politics, Environments and Epistemologies*. Open Humanities Press, London.
- John Dewey. 1934. *Art as Experience*. Minton, Balch & Company, New York.
- Ryan Preston Doran. 2023. Thick and Perceptual Moral Beauty. *Australasian Journal of Philosophy* 101, 3 (2023), 704 - 721. <https://doi.org/10.1080/00048402.2022.2090420>
- Julie Doyle. 2020. Creative Communication Approaches to Youth Climate Engagement: Using Speculative Fiction and Participatory Play. *International Journal of Communication* 14 (2020), 2749 - 2772.
- Erwin Driessens and Maria Verstappen. 2014. *Fossil Remains*. Installation, St-Laurens Church, Alkmaar, Netherlands. <https://notnot.home.xs4all.nl/fossilremains/fossilremains.html> Accessed: 2025-03-09.
- Umberto Eco. 1989. *The Open Work*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- John H. Falk and Lynn D. Dierking. 2016. *The Museum Experience Revisited*. Routledge, New York.
- Jennifer Gabrys and Kathryn Yusoff. 2012. Arts, Sciences and Climate Change: Practices and Politics at the Threshold. *Science as Culture* 21, 1 (2012), 1 - 24. <https://doi.org/10.1080/09505431.2010.550139>
- Hans-Georg Gadamer. 2004. *Truth and Method*. Continuum, London.
- Greg Garrard, Gary Handwerk, and Sabine Wilke. 2014. Introduction: Imagining Anew: Challenges of Representing the Anthropocene. *Environmental Humanities* 5 (2014), 149 - 153. <https://doi.org/10.1215/22011919-3615451>
- William W. Gaver, Jacob Beaver, and Steve Benford. 2003. Ambiguity as a Resource for Design. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. 233 - 240. <https://doi.org/10.1145/642611.642653>
- Gabriella Giannachi. 2022. *Environmental Participation: Practices Engaging the Natural World*. Bloomsbury Academic, London.
- Patrick Colm Hogan. 2016. *Beauty and Sublimity: A Cognitive Aesthetics of Literature and the Arts*. Cambridge University Press, Cambridge.

- Rachel A. Howell, Catrina Simon, and Simon Parkin. 2019. Positive Energy: Harnessing Local Communities for Carbon Reduction in England and France. *Environmental Science & Policy* 102 (2019), 99 - 109. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.10.008>
- Dacher Keltner and Jonathan Haidt. 2003. Approaching awe, a moral, spiritual, and aesthetic emotion. *Cognition and Emotion* 17, 2 (2003), 297 - 314. <https://doi.org/10.1080/02699930302297>
- Helmut Leder, Benno Belke, A. Oeberst, and D. Augustin. 2004. A Model of Aesthetic Appreciation and Aesthetic Judgments. *British Journal of Psychology* 95, 4 (2004), 489 - 508. <https://doi.org/10.1348/0007126042369811>
- Shen-yi Liao, Aaron Meskin, and Jay Fletcher. 2020. The Vanity of Small Differences: Empirical Studies of Extrinsic Factors and Artistic Value. *Aesthetic Investigations* 4, 1 (2020), Article 1. <https://doi.org/10.58519/aesthinv.v4i1.11922>
- Andrés Lucero. 2015. Using Affinity Diagrams to Evaluate Interactive Prototypes. In *Human-Computer Interaction - INTERACT 2015 (Lecture Notes in Computer Science, Vol. 9297)*, Julio Abascal, Simone Barbosa, Mirko Fetter, Tom Gross, Philippe Palanque, and Marco Winckler (Eds.). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-22668-2_19
- Lambros Malafouris. 2013. *How Things Shape the Mind: A Theory of Material Engagement*. MIT Press, Cambridge, MA.
- E. S. Mikalonyt'e, J. Stevanov, R. P. Doran, K. A. Symons, and S. Schnall. 2025. Transformed by Beauty: Aesthetic Appreciation Increases Abstract Thinking and Self-Transcendent Emotions in an Art Museum. *Empirical Studies of the Arts* (2025). <https://doi.org/10.1177/02762374251337699>
- C. Muth, V. M. Hesslinger, and C.-C. Carbon. 2015. The Appeal of Challenge in the Perception of Art: How Ambiguity, Solvability of Ambiguity, and the Opportunity for Insight Affect Appreciation. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts* 9, 3 (2015), 206 - 216. <https://doi.org/10.1037/a0038814>
- Matthew Pelowski, Patrick S. Markey, Jon Luring, and Helmut Leder. 2017. Visual art processing beyond beauty: Aesthetic judgment of art concepts in paintings with and without meaning. *Frontiers in Psychology* 8 (2017), 1 - 15. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00993>
- Paul K. Piff, Pia Dietze, Matthew Feinberg, David M. Stancato, and Dacher Keltner. 2015. Awe, the Small Self, and Prosocial Behavior. *Journal of Personality and Social Psychology* 108, 6 (2015), 883 - 899. <https://doi.org/10.1037/pspi0000018>
- James A. Russell. 1980. A Circumplex Model of Affect. *Journal of Personality and Social Psychology* 39, 6 (1980), 1161 - 1178. <https://doi.org/10.1037/h0077714>
- Wolfram Schlotz, Rainer Greifeneder, and Vered Halamish. 2021. Individual Differences in Aesthetic Responsiveness: Measurement, Antecedents, and Consequences. *Personality and Social Psychology Bulletin* 47, 3 (2021), 361 - 375. <https://doi.org/10.1177/0146167220928487>
- Paul J. Silvia. 2009. Looking Past Pleasure: Anger, Confusion, Disgust, Pride, Surprise, and Other Unusual Aesthetic Emotions. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts* 3, 1 (2009), 48 - 51. <https://doi.org/10.1037/a0014632>
- Dirk Vom Lehn. 2010. The body and situated interactions in museums. *Sociology Compass* 4, 9 (2010), 606 - 618. <https://doi.org/10.1111/j.17519020.2010.00302.x>

사사

Lim, C. (2025). Beyond Measurement: The Emotion & Behavioral Intent Grid for Multi-interpretability in Environmental Art Exhibitions. *Proceedings of the 2025 Conference on Creativity and Cognition*, 465 - 471. <https://doi.org/10.1145/3698061.3734404>

생태스포츠 참여자에서 환경활동가로의 변화 과정 연구

김태엽 서강대학교 교육대학원 석사

1. 서론

지속가능한 발전은 오늘날 인류가 직면한 가장 절박하고도 보편적인 과제 중 하나이다. 1987년 UN 브룬트란트 위원회 보고서 우리 공동의 미래에서 정의된 이후, 지속가능성은 경제 성장과 사회 안정, 그리고 환경 보존의 균형적 조화를 강조하는 개념으로 자리매김했다. 특히 기후변화가 인간 활동의 결과임이 과학적으로 자명해진 지금, 국제 사회는 환경 문제 해결을 위한 다층적 대응을 모색하고 있다. COP21 파리협정, UN SDGs(지속가능발전목표), 각국의 탄소중립 선언 등은 이러한 흐름을 제도적으로 뒷받침하고 있다.

이 과정에서 ‘스포츠와 환경’의 관계는 주목할 만한 새로운 지평을 열고 있다. 스포츠는 본질적으로 신체 활동과 여가, 문화적 실천을 포괄하는 영역으로, 참여자들에게 즐거움과 성취감을 제공할 뿐 아니라 환경과의 교감을 매개할 수 있는 독특한 사회적 장치이다. UN은 「Agenda 2030」에서 스포츠를 지속가능한 발전의 주요 원동력으로 규정했으며, IOC는 기후 행동 프레임워크를 제시하여 스포츠가 환경 문제 해결에 실질적으로 기여할 수 있음을 강조했다. 그러나 동시에 ‘카타르 월드컵’과 같은 그린워싱 사례는 스포츠와 지속가능성이 긴장 관계 속에 놓여 있음을 보여주며, 진정한 환경적 전환의 필요성을 더욱 부각시킨다.

국내에서도 교육부의 2022 개정 교육과정은 생태전환교육을 핵심 기조로 삼아 체육과에 생태형 스포츠를 도입할 것을 명확히 했다. 생태스포츠는 단순한 신체 훈련이 아니라 자연과의 교감, 환경에 대한 민감성 함양, 그리고 지속가능한 사회로의 전환을 촉진하는 교육적 수단으로 정의된다. 마라톤, 산악스키, 트레일러닝, 플로깅 등 다양한 종목들이 그 예가 된다. 이는 여가를 단순한 휴식 차원을 넘어 사회적·생태적 책임이 결합된 실천적 활동으로 확장시키는 중요한 사례라 할 수 있다.

그러나 지금까지의 학문적 연구는 주로 양적 접근에 머물러 스포츠 참여와 친환경 행동 간의 상관관계를 통계적으로 규명하는 데 집중하였다. 참여자가 어떤 계기를 통해 단순 참여자에서 적극적 환경활동가로 전환되는지, 그 과정에서 어떠한 심리적·사회적 경험을 하는지에 대한 질적·과정적 탐구는 부족했다. 이에 본 연구는 여가 전문화 모형을 이론적 틀로 삼아, 생태스포츠 참여자가 환경활동가로 변화하는 전환 과정을 면밀히 분석하고, 그 속에서 드러나는 공통적 경험과 의미를 규명하는 것을 목적으로 한다.

2. 본론

본 연구는 질적 연구 방법에 기반하여 생태스포츠를 3년 이상 친환경 행동을 1년 이상 실천해온 참여자 5인을 대상으로 심층 면담을 진행하였다. 연구 참여자들은 달리기, 산악스키, 트레일러닝, 클라이밍 등 다양한 종목에서 활동하며, 개인적 차원의 환경 실천을 넘어 사회적 확산 활동에 참여하는 경험을 공유하였다. 면담은 전사 후 체계적으로 분석되었고, 이를 통해 생태스포츠 전문화와 친환경 행동 전문화의 단계적 구조가 도출되었다.

1) 생애스포츠 전문화 과정

참여자들의 경험은 관심 단계, 진입 단계, 유지 단계, 전환 경험을 통한 활성화 단계, 전문화 유지 단계로 구분되었다. 흥미로운 점은 ‘전환 경험’이 단순한 기술적 숙련을 넘어 자연과의 감각적 교류, 환경의식의 확장, 사회적 영향력 발휘 등으로 이어졌다는 것이다. 일부 참여자들은 직업적·사회적 변화와 맞물려 활동이 감소하는 ‘쇠퇴’ 국면을 경험하기도 했으나, 다수는 오히려 지속적 동기를 강화하며 전문성을 심화시켰다.

2) 친환경 행동 전문화 과정

친환경 행동은 관심 단계, 진입 단계, 유지 단계, 자율적 전문화 단계, 확산적 전문화 단계로 전개되었다. 초기에는 쓰레기 줄이기, 일회용품 사용 자제 등 개인적 차원의 행동에서 시작했지만, 점차 플로깅, 환경 캠페인, 지역사회 환경 프로젝트 등으로 확장되었다. 특히 일부 참여자는 대중에게 환경 메시지를 전파하거나 제도적 변화를 요구하는 수준으로 나아가며 ‘활동가적 정체성’을 형성하였다.

3) 걸림돌과 극복 요인

변화 과정에는 장애 요인도 있었다. 주변인들의 냉소적 반응, 환경운동가라는 꼬리표로 인한 사회적 저항, 설득 실패에 대한 두려움 등이 대표적이었다. 그러나 이러한 걸림돌을 극복한 참여자들은 오히려 자기결정적 동기와 생태적 감수성을 강화하며 다음 단계로 도약했다. 봉사 정신, 타자에 대한 연민, 자연 공간에 대한 애착, 그리고 활동 자체에서 오는 즐거움은 공통적으로 확인된 핵심 요인이었다.

4) 모형의 재해석

연구 결과는 이문진 & 정성한(2022)의 수정된 여가 전문화 순환 모형과 상당 부분 일치했지만, ‘전환 경험’과 ‘전이 경험’을 단순한 단계가 아닌 결정적 계기로 규정해야 한다는 점을 강조한다. 즉, 스포츠 참여에서 환경활동으로의 확장은 직선적 발전이 아니라, 개인적 감수성과 사회적 맥락이 교차하며 촉발되는 과정임을 보여주었다.

3. 결론

본 연구는 생애스포츠 참여자들이 어떻게 환경활동가로 성장하는지를 심층적으로 탐구하여, 스포츠가 개인적 즐거움을 넘어 사회적·환경적 변화를 견인할 수 있는 중요한 매개체임을 밝혀냈다. 연구의 주요 결론은 다음과 같다.

첫째, 생애스포츠는 참여자에게 단순한 체력 단련이나 여가의 차원을 넘어, 자연과의 교감과 생태적 감수성을 고양시키는 경험을 제공한다. 이러한 경험은 참여자가 환경문제에 대한 문제의식을 형성하고, 자발적으로 친환경 행동을 실천하도록 촉진한다.

둘째, 환경활동가로의 변화는 ‘여가 전문화’와 ‘진지한 여가’의 심화 과정 속에서 일어난다. 즉, 지속적 참여와 몰입, 성취감이 결합되며, 환경을 지키는 행동이 단순한 선택이 아니라 개인의 정체성과 가치관의 핵심으로 자리 잡는다.

셋째, 사회적 걸림돌에도 불구하고 봉사 정신, 연민, 자연 공간에 대한 애착, 활동에서의 즐거움은 변화를 지속시키는 원동력으로 작용한다. 이 과정에서 참여자들은 개인적 차원을 넘어 공동체와 미래 세대를 고려하는 확장된 윤리적 주체로 성장한다.

넷째, 본 연구는 생애스포츠 참여자의 경험을 토대로 수정된 여가 전문화 순환 모형을 보완하였다. 특히 ‘전환 경험’과 ‘전이 경험’이 환경활동가로의 성장을 촉발하는 핵심적 계기임을 실증적으로 보여줌

로써, 기존 이론에 새로운 함의를 제공한다.

따라서 본 연구는 스포츠와 환경교육을 연결하는 기초자료로서 중요한 의의를 가진다. 향후 연구는 참여 종목과 집단을 확대하여 일반화를 도모할 필요가 있으며, 교육과정 및 평생학습 현장에서 생태스포츠를 활용한 환경활동가 교육 프로그램을 개발에 적용할 수 있을 것이다. 이러한 노력을 통해 스포츠가 지속가능한 사회와 미래 세대를 위한 실질적 변화를 만들어내는 강력한 도구가 될 수 있을 것이다.

참고문헌

- 교육부(2022), 2022 개정 교육과정 총론 교육부 고시 제2022-33호.
- 김민규, 김승환(2020), 아웃도어레크리에이션참여자의 진지한 여가, 환경태도 및 친환경 행동의 관계, 교육문화연구, 26(4), 753-763.
- 김원정(2023), 다학문적 ‘생태’ 관점 고찰과 해석을 통해 본 스포츠교육 현장에서의 적용 방향 탐색, 한국스포츠교육학회지, 30(1), 21-47.
- 김원정(2024), 지속가능발전(SD) 연구 동향을 통해 본 스포츠교육 영역의 확장가능성 탐색, 한국스포츠교육학회지, 31(1), 1-29.
- 김재우(2023), 「생태형」 스포츠 의미 이해와 실천: 마라톤 수업 적용을 중심으로, 한국스포츠교육학회 우리체육, 30, 16-25.
- 김종순(2010), 등산경험과 친환경행동을 통해본 한국적 등산의 의미, 미간행 박사학위논문, 이화여자대학교 대학원.
- 김현정, 유광민, 김남조(2014), 캠핑객의 레크리에이션 전문화 수준과 친환경 행동 간의 관계, 관광학연구, 38(7), 13-33.
- 김형룡, 박순문, 장은정(2004), 친환경적 여가스포츠활동과 환경의식 및 친환경적 소비행동의 관계, 한국학교체육학회지, 14(1), 57-67.
- 박상봉(2023), 초등학교 예비교사의 생태형 스포츠 실행 경험과 생태형 스포츠교육의 정착을 위한 제언, 서울교육대학교 한국초등교육, 34(4), 83-100.
- 박선기(2007), 모험스포츠 참가자의 친환경적 행동에 관한 연구, 환경교육, 20(4), 132-144.
- 박재암(2022), 아웃도어 레크리에이션 몰입 친환경태도 미세먼지위협인지, 친환경제품 구전의도 친환경제품 구매의도의 관계, 문화와 융합, 44(7), 527-538.
- 대한민국 관계부처 합동(2023), 탄소중립 녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획, 2.
- 성정희, 정수현(2017), 그린캠퍼스 활동에 나타난 내면화 수준분석과 대학 환경교육의 과제, 환경교육, 30(1), 103-120.
- 손영곤, 이병관(2012), 계획된 행동이론을 적용한 사회 인지적 행동 모델의 유용성에 대한 메타분석, 한국언론학보, 56(6), 127-161.
- 송영민(2010), 여가 전문화 과정에서 제약과 축진의 의미 분석: 남시채널 전문인 인터뷰 내용을 중심으로, 관광학연구, 34(3), 237-260.
- 염정윤, 강선아(2023), 2023 국민환경의식조사, 한국환경연구원.
- 이문진(2017), 스키 참여자의 여가 전문화 과정, 한국체육학회지, 56(1), 543-552.
- 이문진(2023), 여가활동 참여과정 모형제안: 여가 전문화와 진지한 여가를 중심으로, 한국융합과학회지, 12(1), 1-15.
- 이문진, 정성환(2022), 테니스 동호인의 여가 전문화 과정, 한국융합과학회지, 11(11), 151-167.
- 이유진(2020), 진지한 여가로서의 수영을 통한 수영 참여자의 삶의 변화, 미간행 석사학위논문, 서강대학교 교육대학원.
- 장대갑, 박선기(2015), 야외스포츠 참가 대학생의 환경에 대한 인식과 참여 만족, 친환경적 태도의 관계, 환경교육, 28(2), 146-162.
- 정철, 김윤지(2024), SDGs 연계 교육에서 미래의 지구 환경에 대한 예비 지구과학 교사들의 인식, 교육과학연구,

26(1), 111-132.

- 정철, 임수정, 김윤지, 박종근, 이규철, 조성화, 남영숙, 이상원, 신지혜, 주형선, 이재영(2018), 지속가능한 사회와 환경, 서울: 시그마프레스.
- 지규원, 배귀희, 유병욱(2017), 다항로짓(Multinomial logit)을 이용한 퇴직공무원의 사회공헌활동 선호유형 결정 요인 분석, 국가정책연구, 31(4), 59-85.
- General Assembly(2005), 2005 World Summit Outcome, 12.
- Karami, S., Shobeiri, S. M., Jafari, H., Hendi, G. H.(2017), Assessment of knowledge, attitudes, and practices (KAP) towards climate change education(CCE) among lower secondary teachers in Tehran, Iran, International Journal of Climate Change Strategies and Management, 9(3), 402-415.
- Nussbaum, M. C., 조형준 역(2015), 감정의 격동.

사사

김태엽(2025), 생태스포츠 참여자에서 환경활동가로의 변화 과정 연구. 한국여가레크리에이션학회지, 49(1), 133-149.



제7회 숲과나눔 환경학술포럼

2025. 11. 11.(화) ~ 12.(수)

연세대학교 백양누리

전화 02-6318-9000

이메일 koreashe@koreashe.org

홈페이지 koreashe.org

블로그 blog.naver.com/korea_she

페이스북 fb.com/koreashe

인스타그램 instagram.com/korea.she

유튜브 youtube.com/c/숲과나눔



재단법인 숲과나눔
Korea Safety Health Environment Foundation