

NIGT BRIEF

국외 에코트론 기술개발 동향

하수진, 박미라, 전은진





하수진 / 제도혁신센터

박미라 / 기술분석센터

전은진 / 제도혁신센터

하이라이트

- 기후변화 피해를 대비하기 위한 사전적 조치로서 기후변화 영향, 취약성 등을 통합적으로 평가·예측할 수 있는 수단을 마련하고 있으나, 예측평가 모델은 실제 외부 환경과의 차이로 정확성이 낮고 실제로 일어나는 다양한 반응을 포함하기에는 한계가 존재
- 이를 보완하기 위해서, 국외에서는 에코트론 등 실제 자연과 유사하게 변수를 제어하거나, 인공 환경을 조성하여 생태계의 영향을 파악하기 위한 실험 장치를 개발하여 데이터를 축적하고 있는 상황
- 에코트론 연구는 유럽권에서 활발히 추진되고 있는 경향을 보이며, 'ESFRI Roadmap'에 기반하여 구축·운영중
- 미국 등 비유럽권 국가는 유럽권과는 달리 심토(Deep soil) 등 그간 미처 연구가 충분히 수행되지 못했던 영역을 중심으로 에코트론을 구축하는 경향
- 우리나라는 흑한-흑서, 가뭄과 폭우와 같은 극한 기상이 빈번히 출현하는 상황이므로 이러한 기후 특성을 최대한 모사할 수 있는 방향으로 초점에 맞춰 에코트론 개발을 추진할 필요성이 있음

키워드

- 기후 모사, 에코트론, 연구인프라, 기후변화, 유럽연구인프라로드맵

배경 및 목적

- 기후변화로 인해 폭염, 홍수 등 이상기후의 발생빈도 및 강도가 점차 증가 추세이며, 이에 따라 세계적으로 부정적인 영향이 확대¹⁾
 - 유엔 산하 재난위험경감사무국의 '2000년 ~ 2019년 세계 재해 보고서'에 따르면, 최근 20년 동안 발생한 재해는 앞선 20년 동안 발생한 재해의 1.7배에 해당²⁾
- 이에 대응하기 위해 정부에서는 기후변화 피해를 대비하기 위한 사전적 조치로서 기후변화 영향, 취약성 등을 통합적으로 평가·예측할 수 있는 수단을 마련
 - 한국환경연구원 국가기후위기적응센터에서는 한국형 기후변화 영향 및 취약성을 통합 평가하기 위한 모델 연구 'MOTIVE'를 개발함³⁾

1) 한국기상산업기술원(2022), 기후변화적응을 위한 국내·외 도시 기상 연구동향 및 시사점.

2) <https://www.undrr.org/publication/human-cost-disasters-overview-last-20-years-2000-2019>

3) https://kacc.kei.re.kr/home/archive/researchAchieve_view.do?bseq=9786

- 기후변화 시나리오에 따라 기후변화 적응을 위한 대책을 마련하기 위한 연구가 건강, 물관리, 농업 및 산림, 생태, 해양·수산 등 다양한 분야에서 추진 중
 - * (예시) 국립원예특작과학원(2023), 기온상승에 따른 참다래 생산, 품질, 재배적지 변동 평가⁴⁾
- 그러나, 예측·평가 모델은 실제 외부 환경과의 차이로 정확성이 낮고, 실제로 일어나는 다양한 반응을 다 포함하지 못하는 단점이 존재⁵⁾
 - 기후변화는 다양한 요소가 복잡다단하게 상호 작용하는 특성이 있으므로 이론적 모델만으로는 실제 상황과 격차가 발생할 수밖에 없는 상황
- 이를 보완하기 위해서, 국외에서는 에코트론 등 실제 자연과 유사하게 변수를 제어하거나, 인공 환경을 조성하여 생태계의 영향을 파악하기 위한 실험 장치를 개발하여 데이터를 축적하고 있는 상황
 - 과거 미국에서 '바이오스피어 2(Biosphere 2) 프로젝트'를 통해 열대우림, 해양, 사막, 사바나, 습지 등 다양한 생태계를 모사한 인공생태계 구축을 시도하였으나 실패*로 끝나, 생태계 모사의 기술적 난이도가 매우 높음을 부각
 - 아직 인간이 자연생태계에 대한 이해가 여전히 부족한 상태임을 확인한 점에서 의의가 있는 것으로 평가됨
- 주로 유럽권을 중심으로 에코트론 기술개발 및 관련 데이터 축적이 활발하게 운영되고 있으며, 비유럽권에서는 상대적으로 소수의 프로젝트 수준으로 운영 중
 - 유럽권에서는 'ESFRI Roadmap'에 에코트론 개발 및 운영에 관한 정책적 근거를 제공하고 있으며, 연구 컨소시엄을 운영하는 형태로 국가간 협력도 공고히 추진하는 중
 - 비유럽권에서는 개별 프로젝트 형태로 소수 운영하고 있으나, 미국 국립과학재단에서 심토(沈土; Deep soil) 연구에 초점을 둔 새로운 에코트론인 'Deep Soil Ecotron' 구축에 대한 지원을 발표⁶⁾하여 주목*
 - * 심토는 표토(Surface soil) 아래 존재하는 토양층(Subsurface soil)을 지칭하는 용어로, 해당 토양층 부분에서 발생하는 생물적·비생물적 요인들에 관해 조작하여 토양-식물-대기 연속체에 미치는 영향을 분석
- 최근 우리나라에서도 도시 기후변화 예측 및 피해 최소화 사업의 일환으로 도시 기후변화 실험 모사(U-Ecotron) 기술개발에 착수
 - 물리-가상 센서 융합 디지털 트윈 및 기후영향 저감 기술 개발과 그 효과를 실질적으로 평가 및 검증할 수 있는 실험 모사 시스템 구축·운영을 추진⁷⁾
- 이를 계기로 에코트론의 개념과 정의, 국외 에코트론 기술개발에 관한 최근 동향을 분석하여 향후 우리나라에서의 에코트론 연구개발에 관한 시사점을 발굴하고자 함

4) 서형호 외.(2012), 기후변화에 따른 주요 작물별 재배적지 변동 연구.

5) Doussin et al.(2023), "A Practial Guide to Atmospheric Simulation Chambers", Springer Nature.

6) https://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD_ID=2131837

7) 과학기술정보통신부(2023), 2023년도 디지털 기반 기후변화 예측 및 피해 최소화 사업 신규과제 공고문.

에코트론의 개념

- (어원) 물리학 분야 초대형 연구 인프라인 '사이클로트론(Cyclotron)'에 비견될 수 있도록 생물학자들이 작명한 '파이토티론(Phytotron)'에서 비롯되었으며, 다양한 환경인자를 제어할 수 있는 더 발전된 형태의 실험장치로서의 '에코트론(Ecotron)' 용어는 1950년대에 출현
 - 에코트론과 유사한 대형 실험 장치의 개발로, 현재 파이토티론이란 용어는 단일 기후 제어 실험실 또는 이로 이뤄진 인프라 시설을 지칭하며 대부분 식물의 성장을 관찰하는 용도로 활용되고 있음
- (정의) 에코트론은 자연 또는 인공의 생태계 환경을 동시에 조절하고 이러한 생태계에 존재하는 생명체가 생성하는 물질과 에너지 흐름의 과정을 측정하는 실험 및 생태학적인 계측 장치를 지칭⁸⁾
 - Jacques(2021)에 따르면, 에코트론은 생태계 샘플을 수용하도록 설계된 인클로저(Enclosures) 세트에 구성된 실험 시설로 정의⁹⁾
 - 기본적으로 온실, 성장실 같은 제어된 환경 시설(Controlled Environment Facilities; CEFs)을 의미하되, 실제 자연과 유사하게 제어하거나 인공의 환경을 조성하여 생태계 영향을 파악하기 위한 도구
 - 특히, 생태계 구획(토양 등)과 대기 사이의 분자 교환(분자의 유량 측정) 등에 특화하여 장기간 그 변화를 측정하는 시설로써 기존 CEFs와 차별됨

에코트론의 중요성

- 기후변화에 실제 생태계가 어떻게 작동하고 대응하는지 이해 가능¹⁰⁾하도록 지원하는 연구 장비
 - 에코트론은 주로 기온, 강수량, CO₂ 농도 및 질소 침착 등 다양한 변수를 높은 수준으로 제어할 수 있으며 이의 공정 측정 능력을 갖추고 있어, 일반적으로 온도 등 단일 변수를 제어하는 CEFs 대비 실제 생태계를 현실적으로 구현
 - 또한, 실제 외부 환경에서는 확인할 수 없는 유기체와 환경 사이의 다양하고 복잡한 상호 작용 연구가 가능하고, 이를 통해서 기후변화와 같은 환경 변화에 생태계가 어떻게 작동하고 대응하는지 이해 가능
- 과거의 데이터에 의존하지 않고 다양한 변인을 조작하여 예측하기 어려운 미래 환경 변화의 영향을 사전에 가능¹¹⁾하여 대응 전략을 세울 수 있다는 점에서 다른 기후변화 평가 및 예측 기술과는 차이가 있음
 - 실제 농작물의 경우에는 더 효과적인 보존 및 관리 관행 개발에 도움이 됨
- 그러나, 실제 환경 또는 완전히 인공의 기후환경을 제어해야 하는 만큼 연구 난이도가 높으며, 관련 시설을 갖춰 연구에 경제적 제약이 많음
 - 국내 에코트론 연구는 전무한 상황이며, 우리나라는 한국건설기술연구원 등에서 옥상녹화 등 일부 기후적응 관련 CEFs 구축 및 연구를 수행
 - 2010년대 전후하여 도시 미기후 영향 실험구 조성 및 장기 모니터링 수행중임

⁸⁾ <https://www.ecotron.cnrs.fr/en/terms-of-use/>

⁹⁾ Jacques et al.(2021), "Ecotrons: Powerful and versatile ecosystem analysers for ecology, agronomy and environmental science", *Global Change Biology*, 27, p.1387.

¹⁰⁾ Karasti et al.(2016), "Knowledge Infrastructures: Part III", *Science & Technology Studies*, 29(3), p.1.

¹¹⁾ <https://www.uidaho.edu/research/news/research-reports/archive/2022/earths-subsoil>

표1 국내·외 유사연구(CEFs) 추진 현황

대상	국가	시설 개요 ¹²⁾
AURA	덴마크	-15℃~26℃까지 구현할 수 있는 스모그 챔버
Cloud, CERN	스위스	우주 광선의 핵생성 영향 시험을 위한 대기 시뮬레이션 챔버
EUPHORE	스페인	처음으로 구축된 고도로 계속된 대형 챔버
CESAM	프랑스	Coll et al.(2018) 대기 혼합물의 건강 영향 실험을 수행
SAPHIR	독일	-90℃ ~ 60℃에서 미량 가스, 에어로졸 및 클라우드 공정 연구
RvG-ASIC	영국	해빙의 성장과 붕괴 시뮬레이션 챔버
EUROCHAMP	유럽	유럽의 대기 시뮬레이션 챔버를 통합하는 연구 커뮤니티 인프라
ACEF	일본	기상 조건에 따른 식물성장 영향 시험, 최대 200℃까지 구현 가능
CRAES	중국	대기오염 형성 메커니즘 연구를 위한 실외 대기 시뮬레이션 챔버
칭화대	중국	10℃ ~ 60℃까지 구현 가능한 대기질 시뮬레이션 챔버
한국건설생활환경시험연구원	한국	건축 자재, 설비 및 실물 규모의 건축물 실증 실험센터 ¹³⁾
한국기계연구원	한국	-90℃ ~ 60℃를 구현할 수 있는 에어로졸 및 클라우드 챔버
한국건설기술연구원	한국	옥상녹화 등 일부 적용 기술 모사 수행

※ 자료: Doussin et al.(2023); 한국건설생활환경시험연구원(2018)

국외 에코트론 프로젝트 현황

유럽권

- 유럽권의 에코트론 연구는 EU차원의 연구장비 인프라 로드맵에 해당하는 ‘ESFRI* Roadmap’을 기반으로 하여 추진되고 있음
 - * 정식명칭 : 유럽연구인프라전략포럼(European Strategy Forum on Research Infrastructure; ESFRI)
 - ‘ESFRI Roadmap’은 2006년 최초 수립된 이후 현재 제7차 로드맵이 수립된 상태¹⁴⁾이며, 동 로드맵상의 6대 부문¹⁵⁾ 중 특히 환경 부문의 연구 인프라 프로젝트*들이 에코트론과 연관이 깊음
 - * 생태계에 관한 분석 및 실험(Analysis and Experimentation on Ecosystem; AnaEE), 통합적 탄소 관측 시스템(Integrated Carbon Observation System; ICOS) 프로젝트에 해당
 - 동 ESFRI Roadmap’은 EU 회원국에게 동 로드맵과 연계된 자체 로드맵을 수립하도록 권고하고 있음
- (AnaEE) 유럽에서의 기후변화와 토지 이용의 잠재적 영향*을 실험하는 연구자를 지원하기 위한 연구 인프라로, 관련 실험·분석 및 모델링 시설을 운영¹⁶⁾
 - * 토지이용변화, 오염, 생물학적 침입, 대기 중 온실가스 농도 증가, 가뭄·폭염 기상이변 증가 등 다양한 환경 요인 시뮬레이션 가능

¹²⁾ Doussin et al.(2023), “A Practical Guide to Atmospheric Simulation Chambers”, Springer Nature;

¹³⁾ 한국건설생활환경시험연구원(2018), 기후변화 대응 다환경 실험시설 구축 최종보고서.

¹⁴⁾ Ministry of Higher Education and Science, ESFRI and the European roadmap for research infrastructures.
<https://ufm.dk/en/research-and-innovation/cooperation-between-research-and-innovation/research-infrastructure/esfri-and-the-european-roadmap-for-research-infrastructure>

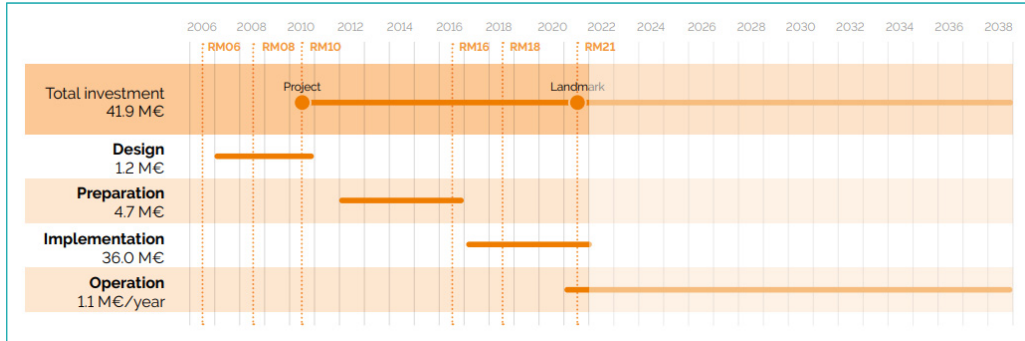
¹⁵⁾ ‘유럽연구인프라로드맵’은 ①디지털·컴퓨팅 및 디지털 연구 인프라, ②에너지, ③환경, ④건강 및 식품, ⑤물리 과학 및 공학, ⑥사회 및 문화혁신 6대 부문으로 구분됨

¹⁶⁾ <https://www.anaee.eu/>

- 2006년 ~ 2010년간 기획 단계를 거친 후 2010년부터 구축 프로젝트가 시행되었으며, 준비 및 시행 단계를 거쳐 2021년부터 본격적인 운영을 개시* (총 4,190만 유로 투입)¹⁷⁾

* 2021년 ESFRI의 랜드마크 프로젝트로 지정되었으며, 2022년 ‘유럽연구인프라컨소시엄(European Research Infrastructure Consortium; ERIC)’ 형태로 구성된 이후 ‘AnaEE-ERIC’으로 지칭되고 있음¹⁸⁾

그림1 AnaEE 시행 타임라인 및 투입 비용 추정



※ 자료: 유럽연구인프라로드맵(2021)

- 프랑스가 연구인프라 컨소시엄을 주관하고 있으며 벨기에, 체코, 덴마크, 이탈리아는 회원국으로*, 벨기에는 옵저버, 핀란드는 예비 회원국 형태로 참여하고 있으며, 이외 국제기구 국제지중해권 첨단농업연구센터(CIHEAM)도 참여

* 특히 덴마크, 체코, 이탈리아는 각각 기술센터, 데이터 및 모델링센터, 인터페이스·합성 센터를 관장함

- 가장 대표적인 에코트론으로 거론되는 프랑스 국립학술원(CNRS)의 에코트론 2개소 ‘몽펠리에(Montpellier)’와 ‘일 드 프랑스(Ile de France)’는 ‘AnaEE-ERIC’이 운영하는 인클로저 플랫폼의 일환으로 구축·운영

그림2 몽펠리에 에코트론과 일 드 프랑스 에코트론



※ 자료: la depeche(2016): CEREEP Ecotron IDF 홈페이지

¹⁷⁾ <https://roadmap2021.esfri.eu/projects-and-landmarks/browse-the-catalogue/anaee/>

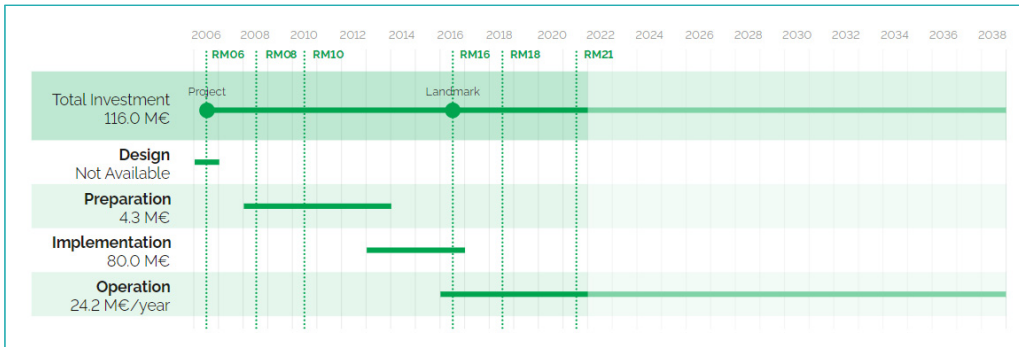
¹⁸⁾ European Commission, Commission Implementing Decision (EU) 2022/289 of 22 February 2022 setting up the Analysis and Experimentation on Ecosystems ERIC (AnaEE-ERIC).
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32022D0289>

¹⁹⁾ <https://www.ladepeche.fr/article/2016/05/23/2350214-secheresse-canicule-extremes-etonnante-decouverte-ecotron-montpellier.html>

²⁰⁾ <https://www.cereep.bio.ens.psl.eu/spip.php?article9>

- (ICOS) 환경 변화 예측 및 영향 저감을 위해 대기·생태계·해양 등에서의 온실가스 플럭스 및 글로벌 탄소 순환을 모니터링하기 위한 고해상도·표준화된 데이터를 생성하는 장기(Long-term) 관측 연구 장비 구축 및 운영²¹⁾
 - 기획 단계에서 제1차 '유럽연구장비인프라로드맵(2006)'에 포함되었으며, 2015년 유럽 연구 컨소시엄 형태로 구성(이후 ICOS-ERIC으로 지칭)된 후 2016년 'ESFRI'에 의해 랜드마크 프로젝트로 지정
 - 2006년 기획 이후 준비 단계를 거쳐 2013년부터 실제 추진되었으며, 2021년까지 준비-추진-운영비(매년 2,420만 유로) 포함하여 총 11,600만 유로가 투자

그림3 ICOS 시행 타임라인 및 투입 비용 추정



※ 자료: 유럽연구인프라로드맵(2021)

- 동 프로젝트는 핀란드가 주도하고 있으며, 벨기에, 체코, 독일, 에스파냐, 프랑스, 헝가리, 이탈리아, 네덜란드, 노르웨이, 스웨덴, 영국 등이 회원국으로, EU 비회원국인 스위스는 옵저버 국가 형태로 참여 중
- 'AnaEE-ERIC'에 속하는 하셀트 대학의 에코트론 '유하셀트(UHasselt)'는 'ICOS-ERIC'의 분석 시스템과 연계 체계를 유지²²⁾
- (주요 프로젝트) 프랑스, 독일, 벨기에 등 'AnaEE'와 'ICOS' 회원국에서 에코트론 구축이 활발한 것으로 나타나고 있으며, 주로 생태계·농업 관련 기후변화 영향을 평가하기 위한 목적으로 수행되는 경우가 많음

표2 유럽권 주요 에코트론 프로젝트 추진 현황

에코트론 약칭	소유기관(국가)	출범년도	프로젝트 주요내용 ²³⁾
ExpoSCREEN, München	헬름홀츠 센터 뮌헨 (독일)	'85	지구온난화-툰드라 생태계 변화 시험 대기 CO ₂ 와 생물합성 영향 실험
Montpellier Ecotron, Macrocoms	CNRS (INEE) (프랑스)	'10	가뭄, 폭염-초원 영향 평가 실험
IledeFrance Ecotron EcoLab, Nemours	CNRS (INEE) (프랑스)	'17	일주기 리듬-나뭇잎 가스교환 영향 실험 육상-수생 탄소 이동의 미생물 군집 영향
iDiv Ecotron, Leipzig	iDiv, 라이프치히 대학교 (독일)	'17	지상-지하 먹이 그물망의 생태계 영향 실험 무척추 동물 감소에 식물종영향 실험

²¹⁾ <https://roadmap2021.esfri.eu/projects-and-landmarks/browse-the-catalogue/icos-eric/>

²²⁾ <https://www.uhasselt.be/en/instituten-en/cmk-centre-for-environmental-sciences/infrastructure/ecotron/connection-between-ecotron-and-icos>

²³⁾ Jacques et al.(2021), "Ecotrons: Powerful and versatile ecosystem analysers for ecology, agronomy and environmental science", Global Change Biology, 27, p.1387.

에코트론 약칭	소유기관(국가)	출범년도	프로젝트 주요내용
TUMmesa, München	뮌헨 공과 대학 (독일)	'17	기후변화-곡물 작물 영양 변화 실험 기후변화-곤충 진화적 도시 기능 평가
Uhaselt Ecotron, Hasselt	하셀트 대학교 (벨기에)	'18	건조 황무지 생태-기후변화 영향 평가 미래 한계 토지에서 식량 작물 재배 평가
TERRA Ecotron, Gembloux	리에주 대학교 (벨기에)	'18	기후변화-육상농업 생태계 영향 실험
Montpellier Ecotron, Mesocosms	CNRS (INEE) (프랑스)	'18	생태계 가스 교환-CO ₂ 영향 실험
TerraXcube, Bolzano	유라크리서치 (이탈리아)	'20	고산환경-생태학 영향 평가
AGRASIM, Jülich	율리히연구 센터 (독일)	'21-'22	기후변화-농산물 생산 영향 평가
Antwerp Ecotron	앤트워프 대학교 (벨기에)	'21-'22	22년 운영 시작하여 프로젝트 내용 확인 어려움 초원, 농작물 같은 작은 생태계 구현 설비 마련 ²⁴⁾

※ 자료: Jacques et al(2021); AnaEE-platforms 홈페이지

비유럽권

- ‘유럽연구인프라로드맵’ 등 정책에 근거하여 상대적으로 활발하게 에코트론 개발을 추진하고 있는 유럽과는 달리, 비유럽권은 에코트론 개발 프로젝트 개수 자체가 매우 적은 편임
 - 현재 호주의 산림 관련 에코트론 프로젝트 1건 및 미국의 토양 관련 에코트론 2건이 존재하는 것으로 파악됨
 - 미국은 ‘95년 출범한 ‘리노 에코셀(EcoCELLs, Reno)’ 이후 신규 프로젝트 출범이 미진하였으나, 최근에 새롭게 ‘Deep Soil Ecotron’을 구축 중
 - 주관은 아이다호 대학으로, 세계 최초로 심토 연구에 초점을 둔 실험장비로서 구축되고 있음²⁵⁾
- * 통상적으로 육상 혹은 수생 생태계에 초점을 두는 타 에코트론과는 큰 차이를 보임

표3 비유럽권 주요 에코트론 프로젝트 추진 현황

에코트론 약칭	소유기관(국가)	출범년도	프로젝트 주요내용
EcoCELLs, Reno	사막연구소 (미국)	'95	폭염-토양 생물상호흡 영향 실험
Whole Tree Chambers, Richmond	웨스턴 시드니 대학교 (호주)	'06	폭염-숲의 생리적 성능 실험
Deep Soil Ecotron	아이다호 대학교 (미국)	'21	토양-식물-대기 영향 분석

※ 자료: Jacques et al(2021)

²⁴⁾ <https://anaee-platforms.azurewebsites.net/research-platform-index/20002/>

²⁵⁾ <https://www.uwyo.edu/news/2021/09/uw-part-of-consortium-developing-worlds-first-deep-soil-ecotron-facility.html>

시사점

- 에코트론은 복잡다단한 요인들이 연계되어 발생하는 기후변화에 대응하여, 다인자가 작용하는 환경 변화에 대한 측정 수단으로 효율적으로 사용 중이며, 특히 기초·원천 데이터 구축에 중점을 두어 활용되고 있음
 - 에코트론은 환경제어 및 변화에 대한 측정을 동시에 실행하기 위한 인클로저(enclosure) 내에서 생태학적 연구를 수행 가능
 - 기후변화 시나리오 예측 모델을 능가하는 실제 외부 환경에 매우 유사하게 실험 진행이 가능하며, 생태계 환경 변화를 실시간으로 측정할 수 있는 특성상 육지-대지-토양-생물 사이의 교환 과정도 파악할 수 있는 이점이 있음
- 이러한 실험 모사 시스템을 바탕으로 농업, 생명공학, 의학 등 다양한 분야에서 성과를 도출하고 있는 상황이며, 시설 장치별로 동일한 목적으로 운영되는 것이 아닌 각 에코트론별로 생태계, 농업 등 특정 분야에 초점을 맞추어 특화된 시설을 구축·운영 중
 - 미국 등에서는 심토 등 새로운 분야에 초점을 맞춘 에코트론을 운영하고 있으며, 우리나라에서도 도시 내에서의 기후변화를 모사하여 도시에 활용되는 첨단 재료의 특성 등을 실험하는 새로운 형태의 에코트론을 시도
- 지구 온난화로 인한 생태계 환경 변화에 불확실성이 증대하고 있는 상황을 감안할 때, 에코트론과 같은 다양한 환경 요소 제어 및 예측이 가능한 실험 인프라 구축이 중요함
- 그러나, 국내에는 이러한 실험 모사 기술이 구축 초기 단계이기 때문에 관련 연구 장비를 활용하기 위해서는 해외에 의존하여야 함
- 특히 우리나라는 폭한-혹서, 가뭄과 폭우와 같은 극한 기상이 빈번히 출현하는 상황이므로 이러한 기후 특성을 최대한 모사할 수 있도록 개발을 진행할 필요성이 있음

참고문헌

- 1) 과학기술정보통신부(2023), 2023년도 디지털 기반 기후변화 예측 및 피해 최소화 사업 신규과제 공고문.
- 2) 서형호 외.(2012), 기후변화에 따른 주요 작물별 재배적지 변동 연구.
- 3) 한국건설생활환경시험연구원(2018), 기후변화 대응 다환경 실험시설 구축 최종보고서.
- 4) 한국기상산업기술원(2022), 기후변화적응을 위한 국내·외 도시 기상 연구동향 및 시사점.
- 5) Doussin et al.(2023), "A Practical Guide to Atmospheric Simulation Chambers", Springer Nature
- 6) Jacques et al.(2021), "Ecotrons: Powerful and versatile ecosystem analysers for ecology, agronomy and environmental science", Global Change Biology, 27, p.1387.
- 7) Karasti et al.(2016), "Knowledge Infrastructures: Part III", Science & Technology Studies, 29(3), p.1.
- 8) <https://anaee-platforms.azurewebsites.net/research-platform-index/20002/>
- 9) <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32022D0289>
- 10) https://kaccc.kei.re.kr/home/archive/researchAchieve_view.do?bseq=9786
- 11) <https://roadmap2021.esfri.eu/projects-and-landmarks/browse-the-catalogue/anaee/>
- 12) <https://roadmap2021.esfri.eu/projects-and-landmarks/browse-the-catalogue/icos-eric/>
- 13) <https://ufm.dk/en/research-and-innovation/cooperation-between-research-and-innovation/research-infrastructure/esfri-and-the-european-roadmap-for-research-infrastructures>
- 14) <https://www.anaee.eu/>
- 15) <https://www.cereep.bio.ens.psl.eu/spip.php?article9>
- 16) <https://www.ecotron.cnrs.fr/en/terms-of-use/>
- 17) <https://www.ladepeche.fr/article/2016/05/23/2350214-secheresse-canicule-extremes-etonnante-decouverte-ecotron-montpellier.html>
- 18) https://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD_ID=2131837
- 19) <https://www.uhasselt.be/en/instituten-en/cmk-centre-for-environmental-sciences/infrastructure/ecotron/connection-between-ecotron-and-icos>
- 20) <https://www.uidaho.edu/research/news/research-reports/archive/2022/earths-subsoil>
- 21) <https://www.undrr.org/publication/human-cost-disasters-overview-last-20-years-2000-2019>
- 22) <https://www.uwyo.edu/news/2021/09/uw-part-of-consortium-developing-worlds-first-deep-soil-ecotron-facility.html>

본 발간물은 한국연구재단 수탁과제인 “(RS-2023-00259403) 도시 기후변화 영향 실험모사(U-Ecotron) 기술개발 : 기후변화 적응 중점기술 현황 및 성과조사, 기술발굴, R&D발굴” 연구의 일환으로 수행한 연구결과를 정리한 것입니다.

NIGT BRIEF

본 NIGT BRIEF의 내용은 필자의 개인적 견해이며,
연구소의 공식적인 의견이 아님을 알려드립니다.



07328 서울특별시 영등포구 여의나루로 60 여의도포스트타워 14층
TEL 02)3393-3900 FAX 02)3393-3919~20 www.nigt.re.kr