

NIGT BRIEF

EU의 환경 분야 연구인프라 운영
현황 및 시사점 : ESFRI
Landscape Analysis 2024를
중심으로

하수진 / 전은진 / 조민선 / 오지현



국가녹색기술연구소
NATIONAL INSTITUTE OF
GREEN TECHNOLOGY





하수진 / 국가기후기술협력센터
조민선 / 제도혁신센터

전은진 / 제도혁신센터
오지현 / 제도혁신센터

하이라이트

- EU는 일찍부터 지구 시스템의 총체적 이해를 위한 환경 연구인프라(RI)의 중요성을 인식하고, 수권, 대기권 등 지구 세부 시스템에 상응하는 RI를 구축하여 운영 중임
- 개별 세부 시스템을 구현하는 것에 그치지 않고, 연관 분야와의 상호작용의 해석을 강조하는 추세가 두드러짐
- 최근 우리나라에서도 에코트론 구축 등 RI에 관한 관심이 높아지고 있으나, 아직 EU 대비 환경 RI의 규모 및 다양성은 다소 부족한 상황임
- 아직 우리나라는 기후변화 적응과 R&D 측면에서 부문간 연계에 대한 논의가 부족하므로, EU의 환경 RI 프로젝트와의 협력을 통해 관련 경험을 축적할 필요가 있음
- 우리나라가 최근 획득한 EU 'Horizon Europe' 프로그램 준회원국 지위를 활용하여 정부 차원의 효율적인 협력 방안을 모색할 필요가 있음

키워드

- 기후변화 적응(Climate Adaptation), 연구 인프라(Research Infrastructure), 유럽연합(European Union), 유럽연구인프라전략포럼(ESFRI)

분석 배경 및 목적

- EU의 연구인프라(Research Infrastructures; 이하 RI)는 '유럽 단일 연구 공간(European Research Area: 이하 ERA)'¹⁾ 정책의 틀 내에서 운영 중
 - * EU 공동체 관점에서의 연구 활동 협력 지원 정책¹⁾
- 최근 EU에서 발표한 ERA 잠재력 평가 보고서에서는 ERA의 기여도를 높이 평가하면서도 RI의 지속가능성 및 접근성을 강화하기 위한 추가적인 노력²⁾ 필요성을 지적
- EU 권역 내 산포되어 있는 대규모 RI의 운영 효율성을 제고하기 위해 설립된 "유럽 연구인프라 전략 포럼(European Strategy Forum on Research Infrastructures; 이하 ESFRI)"이 관련 정책에서 중추적인 역할을 수행³⁾

1) 신용대(2005). EU의 유럽연구지대 형성촉진 정책방향. 접속일: 2024.12.04.

<https://www.reseat.or.kr/portal/cmmn/file/fileDown.do?menuNo=200019&atchFileId=b263113558844bcba120121c0600b74f&fileSn=1&bbsId=>

2) EC(2024). Implementation of the European Research Area(ERA) : Strengthening Europe's Research and Innovation: The ERA's Journey and Future Directions, Strasbourg, 22.10.2024, COM(2024) 490 final,

- (추진체계) ESFRI는 운영위원회와 사무처, 회원국 대표로 구성된 대표단으로 구성되어 있으며, 대표단은 회원국/준회원국³⁾이 각기 선정한 약 2명의 고위급 R&D 분야 공무원(R&D 주무부처 장관을 대리함)들이 참여
 - * 현재 오스트리아, 벨기에, 불가리아, 체코, 크로아티아, 키프로스, 덴마크, 에스토니아, 핀란드, 프랑스, 독일, 그리스, 헝가리, 아일랜드, 이탈리아, 라트비아, 리투아니아, 룩셈부르크, 몰타, 네덜란드, 폴란드, 포르투갈, 루마니아, 슬로바키아, 슬로베니아, 에스파냐, 스웨덴 (이상 회원국), 알바니아, 아르메니아, 보스니아-헤르체고비나, 페로 제도, 조지아, 아이슬란드, 이스라엘, 몰도바, 몬테네그로, 북마케도니아, 노르웨이, 세르비아, 터키, 우크라이나, 영국(이하 준회원국) 27개국의 대표들로 구성⁴⁾
- (주요 활동) 유럽 내 RI 정책 수립을 지원하기 위해 EU의 RI 전략 로드맵, 백서 작성 등의 활동을 수행
 - ※ ESFRI에서 생산된 정책 문헌들은 EU의 ERA 등 관련 정책에도 환류되어 반영
- 현재까지 ESFRI 로드맵은 2006년에 최초 수립된 이후 현재까지 총 6회에 걸쳐 수립되었으며, 현재 ‘ESFRI 로드맵 2026’ 작성에 착수한 상태
 - 2016년 로드맵부터 EU 전반의 RI를 조감하는 제반환경 검토(Landscape Analysis)를 로드맵 내 한 부분으로서 포함⁵⁾하여 수립하였으나, 최근 제반환경 검토 부분을 로드맵과 분리하기로 결정
 - * ESFRI 로드맵 2021의 경우, 전략 보고서(Strategy Report) - 제반환경 검토(Landscape Analysis) - 프로젝트 및 랜드마크 등 3개 부문으로 구성
 - 최근 차기 로드맵의 방향성을 제시하는 ‘Landscape Analysis 2024’가 공개됨에 따라, 동 보고서의 주요 내용과 정책적 함의를 짚어 향후 우리나라의 기후변화 적응 분야의 RI 정책에 활용가능한 시사점을 발굴
 - 본 보고서에서는 이 중 기후변화 적응과 밀접한 환경 분야의 RI 관련 내용에 중점을 두어 검토

ESFRI Landscape Analysis 2024 - 개요⁵⁾

- (개념) RI는 연구와 과학기술 혁신을 수행에 필요한 시설과 자원, 이를 운영·지원하는 서비스의 총체적 집합
 - 대규모 장비(예: 에코트론 등), 데이터베이스(예: 데이터 관리 시스템 등), 서비스(예: ZEUS 등) 등을 포함
- (구성) 동 보고서는 분야별 현황을 다루는 주제 영역(Thematic Areas)과 특정 분야를 넘어서는 주제를 다루는 횡단영역(Cross-domain) 등 2개 부문(Section)으로 구성
- (주제 영역) 데이터·컴퓨팅·디지털 연구인프라, 에너지, 환경, 보건·식량, 자연과학 및 공학(Physical Sciences & Engineering), 인문·사회과학 등 6개 부문으로 구분하여 현황 분석 및 시사점 도출
 - 각 부문의 현재 상태, RI 서비스 현황, 영역 내 RI의 경향성, 분야 연계적 양상 및 미래 수요 등 5개 항목을 다룸
- (횡단영역) 주제 영역에서의 논의를 확장하여 EU의 연구혁신 차원에서 RI가 수행해야 하는 변혁적 역할을 고찰하고, 향후 혁신적인 EU 내 RI 생태계 구축을 위한 방향성 제시
 - ESFRI 워킹그룹과 클러스터는 일찍이 횡단영역의 필요성을 인지하여, 유럽 전자 인프라 그룹(European e-infrastructure reflection group; 이하 e-IRG)과 연구 데이터 얼라이언스(Research Data Alliance; 이하 RDA)를 통해 잠재적인 횡단영역을 인지하고 촉진하고자 함
- (미래 수요) 천연자원에 대한 장기 접근성 확보를 통해 EU의 경제 경쟁력 제고를 위해, Horizon Europe 파트너십을 통해 분야 간 연구 혁신과 연구 인프라의 통합·공동개발 구축이 요구되고 있음

³⁾ ESFRI 홈페이지. ESFRI Background. 접속일: 2024.12.04.
<https://www.esfri.eu/background>

⁴⁾ ESFRI 홈페이지. ESFRI Delegates. 접속일: 2024.12.04.
https://www.esfri.eu/sites/default/files/Current_ESFRI_Membership.pdf

⁵⁾ ESFRI(2024). ESFRI Landscape Analysis 2024.

- (환경 RI 의의) 지구 시스템에 대한 총체적 이해를 위한 다학제 연구전략의 구심점으로, 암석권(Geosphere)-수권(Hydrosphere)-생물권(Biosphere)-대기권(Atmosphere)의 기능과 이들 간 상호작용을 심층적으로 이해하기 위한 토대를 제공
 - 특히, 환경과 사회적 과제 사이의 유사점과 연관성을 고찰하고, 보호 및 예방 조치를 위한 솔루션 및 이를 구현하기 위한 최적의 메커니즘 구축에 핵심적인 역할
 - 주요 목적은 ① 지구 시스템 프로세스의 동인과 영향에 대한 이해 심화 및 과학-정책 간 연계성 강화, ② 회복력 있는 사회, 지속가능한 경제, 건강한 환경을 위한 국내외 목표 달성, ③ 혁신과 협업을 통한 새로운 경제적 기회 창출 및 공공부문 예산 효율화이며, 환경 연구의 통합적 플랫폼으로써 지속가능한 미래 구현을 위한 과학적 기반 구축의 의미를 가짐
- (환경 RI 현황) 현재 ESFRI 환경 분야에는 8개의 랜드마크*, 3개의 프로젝트**로 구성
 - * EPOS ERIC, EISCAT_3D, IAGOS, ACTRIS ERIC, ICOS ERIC, EMSO ERIC, LifeWatch ERIC, Euro-Argo ERIC
 - ** DiSSCo, eLTER RI, DANUBIUS-RI
 - 대부분의 RI는 범유럽 분산형 인프라로 운영되며, EISCAT_3D만 단일 사이트 형태
 - 일부 랜드마크*는 정부간 협약된 별도 법인(European Research Infrastructure Consortium, ERIC)로 운영되고, IAGOS는 벨기에 법률에 따른 국제비영리협회(AISBL)로, EISCAT_3D는 국제과학협회로 운영
 - * 이하 6개 랜드마크: EPOS ERIC, ACTRIS ERIC, ICOS ERIC, EMSO ERIC, LifeWatch ERIC, Euro-Argo ERIC
 - ※ 이외, DANUBIUS-RI는 2024-25년 운영 개시를 목표로 이행 단계에 있으며, eLTER RI와 DiSSCo는 준비단계 진행 중
- (연구 범위) 지구 시스템(암석권, 수권, 생물권, 대기권) 기능과 상호작용에 대한 이해 증진에 초점을 두며, 에너지, 물, 탄소 순환, 기후변화, 오염, 생물다양성 영역뿐만 아니라 지구 시스템 영향을 고려한 우주(태양-지구 물리학, Solar-Terrestrial Physics) 상호작용 연구도 포함
 - 현재 시행되고 있는 이탈리아 ITINERIS*, 프랑스 Data Terra** 사례는 유럽 수준에서 RI를 구현하는데 모델이 될 수 있는 국가적 사례임
 - * ITINERIS: 암석권, 수권, 대기권, 생물권 등을 포괄하는 학제 간 환경연구 허브
 - ** Data Terra: 지구관측 데이터·서비스를 위한 글로벌 시설 구축에 중점을 두며, 지구 시스템 구성 요소별 데이터 허브로 구성
- (암석권) 지구 시스템의 복잡성 규명하기 위해 물리적(판구조론, 지진, 화산 등), 기계적(단층, 저단, 압축 등), 화학적(암석 순환, 마그마 형성 등) 생물학적(탄소 순환, 생물 유전 등) 과정의 상호 연결성을 분석할 수 있는 과학적 기반, 자연재해와 인위적 위험 등을 모니터링·분석 기능을 제공
 - 주요 과제는 지구 시스템과 기후, 생태계, 자원 보존*과 같은 학문 간의 상호 연결고리 구축임
 - * 광물 및 희토류 원소의 수요 증가에 따른 광업·오염·토지 사용의 영향, 에너지 및 광물 안보 등
 - 이외, 해당 분야에서는 고준위 및 중저준위 핵폐기물의 안전한 관리를 위한 RI가 요구되고 있음
- (수권) 기존 관리의 목적과 체계에 따라 구분하여 연구되었던 담수(지표수, 지하수)와 해수를 통합적으로 접근하고자 하는 시도 확대
 - 일부 RI(DANUBIUS-RI, JERICO network)에서만 통합적 접근에 대한 과도기적 영역에서 운영되거나, 전체 수문순환 통합 연구를 위해 활용됨
 - 수권 연구에서 오염과 서식지 파괴 문제는 여전히 해결되어야 할 과제이며, 이를 위해 수중 생태계 변화를 분석하기 위해 해양 디지털트윈(Digital-Twin)과의 통합적 접근이 요구되고 있음

- (생물권) 유전자, 종, 생태계 등 모든 수준의 생물학적 시스템 다양성 연구를 통해 생물다양성 손실 요인 규명, 생태계 서비스 정량화, 보전·복원 방법론 개발 등을 위한 과학적 기반을 제공
 - 건강, 식량, 에너지 등 관련 분야와 밀접하게 연계되어 있으며, 육상, 해양, 담수 생태계의 생물다양성 구성요소와 이들 간의 상호작용 및 인간 활동과의 관계 이해가 중요
 - 주요 기능에 따라 관측·모니터링, 현장·생체 내 실험, 생물자원 수집 및 데이터 인프라 제공으로 구분
 - 기존 RI로는 보호구역 확대, 생태계 복원, 수분 매개체 감소 방지, 농경지 생물다양성 증진 등 당면 과제 해결에 한계가 있으며, 서식지 단편화, 토지 이용 변화, 외래종 등 생물다양성 위협요인 연구 지원이 미흡한 상황
 - 환경오염과 기후변화, 독성물질의 위험성, 인간 활동의 생태계 영향 등에 대한 다양한 분야(건강 및 식품, 에너지, 사회과학)에서 행동-환경에 대한 이해력을 높이려는 접근도 중요
- (대기권) 기후, 날씨, 화학물질(가스 등)의 장거리 이동 등 지구환경에서 중요한 역할을 하는 물리·화학적 과정의 관측과 모델링을 통합적으로 수행할 수 있는 과학적 기반을 제공
 - 대기 연구는 대기화학, 물리, 역학, 방사 등 다학제적 접근이 필요하며, 지표면 근처의 행성 경계층에서 중간권까지 전체 고도 범위를 포괄하므로 이에 맞는 규모의 인프라 구축이 필요
- (다학제적 접근 현황) 환경 RI는 다학제적 접근의 커뮤니티 역할을 수행하면서 사회적 이슈의 해결 방안 모색

표1 하위 영역별 주요 RI 추진 현황

암석권	수권	생물권	대기권
SoWa RI 지속가능한 토지 이용을 위한 토양-수자원 생태계 연구	Euro-Argo ERIC 해양 현장 관측 데이터 수집 및 해양기후를 연구	EMBRC-ERIC 해양 생물다양성 관측 · 모니터링	EISCAT_3D 북극 상공의 대기-우주 환경 관측용 비간섭 레이더 시스템
ESDAC 유럽 토양 데이터 센터의 유럽 토양 지도 구축 프로젝트	EMSO ERIC 극지-열대 환경의 관측소 통합, 자연-인위적 영향 연구	DiSSCo 자연사 생물자원 수집 · 데이터 인프라	ACTRIS ERIC 에어로졸, 구름, 미량 기체 관측을 위한 시스템 네트워크
IODP 국제 해양 탐사 프로그램	Marinerg-i 재생에너지 운반체 연구	ELIXIR 유전체 수집 · 데이터 인프라	IAGOS 상용 항공기 기반의 대기 모니터링 연구
ICDP 대륙 간 과학시추 프로그램	ESA, EUMETSAT 위성 관측 연구	MIRRI-ERIC 미생물 수집 · 데이터 인프라	EIRENE RI 기후변화 불확실성 해소 목적의 화학 오염물질 등 연구
EPOS ERIC 지진, 단층 화산, 위성 등 관련 개별 RI를 통합, 유럽 자원의 운영 서비스 제공		LifeWatch ERIC 데이터 분석 · 모델링	EMEP, GAPS, MONET 등 국제 대기 모니터링 네트워크와 연계하여 유럽 및 국제 정책 지원
	DANUBIUS-RI 하천-해양 시스템 통합적 연구, 기후변화 등 사회적 리스크의 관리 지원		
	eLTER RI 생태계 장기 관측 · 모니터링		
	JERICO network 연안 시스템의 통합적 접근 연구		
	AnaEE-ERIC, 현장 · 생체 내 실험 연구		
	ICOS ERIC 온실가스 배출-흡수와 지구 탄소 순환 모니터링		
다학제적 접근			
환경과 건강: ACTRIS ERIC, ICOSERIC, EIRENE RI 농업 · 식품생산과 건강: METROFOOD-RI, SHARE ERIC, EIRENE RI, BBMRI-ERIC 생태계와 건강: AnaEE-ERIC, EMPHASIS: 사회생태학적 접근을 통해 인간-자연 통합시스템: eLTER RI			

※ 자료: ESFRI(2024)

정책적 함의 및 시사점

- EU는 일찍부터 지구 시스템의 총체적 이해를 위한 환경 연구 인프라의 중요성을 인식하고 이를 각 수권, 대기권 등 지구 내 세부 시스템에 상응하는 RI를 구축하여 운영 중
 - 기후계를 구성⁶⁾하는 5대 요소(암석권, 수권, 생물권, 대기권, 빙하권^{*})의 대부분에 상응하는 환경 RI의 구축은 원활한 기후변화 적응 연구의 기반이 될 수 있음
 - * 수권 관련 RI 프로젝트 중 극지에 관한 내용도 포함하고 있으므로 사실상 빙하권도 포함
- 특히 개별 세부 시스템을 구현하는 것에 그치지 않고, 연관 분야와의 상호작용의 해석을 강조하는 추세가 두드러짐
 - 수권-대기권 등 세부 시스템 간 상호작용뿐만 아니라, 환경 이외 건강, 에너지 등과의 연계에 관한 연구까지 포함하여 연구를 진행할 수 있도록 구성
 - 디지털트윈 등의 유망 기술을 환경 RI 프로젝트에 적극적으로 활용하고, 횡단영역 인프라로서 구축된 디지털 인프라를 통해 다른 분야 간 원활한 연계를 지원
- 이는 최근 기후변화 대응(적응, 감축) 전반에서 부상하고 있는 부문간 상호 연결성/의존성에 관한 연구를 추진하기 유리한 상황임을 의미
 - 서로 다른 권역-부문간 상호 연결성/의존성에 주목하는 RI의 구축·운영은 자연히 다학제 연구를 촉발시키는 기반으로서 기능
- 최근 우리나라에서도 에코트론 구축 등 RI 구축에 착수하고 있으나, 아직 EU 대비 환경 RI의 규모 및 다양성은 다소 부족한 것으로 보임
 - 프랑스는 이미 AnaEE의 일환으로 에코트론을 운영하고 있으며, 이외에도 메타트론(육상/수상), PEARL, PLANAQUA 등 환경통제실험이 가능한 다양한 인프라를 보유·운영 중⁷⁾
 - 기후계 대부분을 구현할 수 있도록 보다 관련 RI를 다양화하고 확장하여야 하며, 이 과정에서 그 이후 추진될 다른 권역/주제와의 상호 연계 연구 등을 고려하여야 함
- 아직 우리나라는 기후변화 적응 및 R&D 상으로도 부문간 연계 등에 관한 논의가 부족한 상황이므로, 관련 경험 축적을 위하여 EU의 환경 RI 프로젝트와의 협력을 검토할 필요
 - ESFR1 회원국에 이스라엘 등 EU 회원국 이외의 국가들이 준회원국으로 포함되어 있어, 동 분야는 호라이즌 유럽 프로그램 중에서도 국제협력에 개방적일 가능성이 높은 영역으로 보임
 - 최근 우리나라는 EU의 'Horizon Europe' 프로그램 준회원국의 지위를 획득하였으므로, EU의 연구인프라 프로젝트에 대한 접근이 이전보다 원활해질 것으로 전망되므로 이러한 기회를 활용할 필요
 - 관련하여 정부 차원의 EU의 환경 RI 프로젝트와의 협력 방안 마련을 검토할 시점인 것으로 사료됨

⁶⁾ UCAR 홈페이지. The Climate System. 접속일: 2024.12.04.

<https://scied.ucar.edu/learning-zone/earth-system/climate-system>

⁷⁾ AnaEE 홈페이지. Experimentation en milieu controle. 접속일: 2024.12.04.

<https://www.anaee-france.fr/service/experimentation-en-milieu-controle/>

참고문헌

- 1) 신용대(2005). EU의 유럽연구지대 형성촉진 정책방향. 접속일: 2024.12.04.
<https://www.reseat.or.kr/portal/cmmn/file/fileDown.do?menuNo=200019&atchFileId=b263113558844bcba120121c0600b74f&fileSn=1&bbsId=>
- 2) EC(2024). Implementation of the European Research Area(ERA) : Strengthening Europe's Research and Innovation: The ERA's Journey and Future Directions, Strasbourg, 22.10.2024, COM(2024) 490 final
- 3) ESFRI 홈페이지. ESFRI Background. 접속일: 2024.12.04.
<https://www.esfri.eu/background>
- 4) ESFRI 홈페이지. ESFRI Delegates. 접속일: 2024.12.04.
https://www.esfri.eu/sites/default/files/Current_ESFRI_Membership.pdf
- 5) ESFRI(2024). ESFRI Landscape Analysis 2024.
- 6) UCAR 홈페이지. The Climate System. 접속일: 2024.12.04.
<https://scied.ucar.edu/learning-zone/earth-system/climate-system>
- 7) AnaEE 홈페이지. Experimentation en milieu controle. 접속일: 2024.12.04.
<https://www.anaee-france.fr/service/experimentation-en-milieu-controle/>

본 발간물은 한국연구재단 수탁과제인 「(N2400002) 기후변화 적응 중점기술 현황 및 성과조사, 기술발굴, R&D발굴」 과제의 연구 결과를 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