

KISTI changes the World with S&T Infrastructure, Data  
과학기술인프라, 데이터로 세상을 바꿉니다.



## KEY THEME

**기후 데이터가  
선도하는 미래**

## SPECIAL ISSUE

기후위기 극복을 위한  
기후 데이터의 실천적 활용 방안은?

왜 전 세계는 온실가스 관측 위성을  
발사하려 하는가?

## DEEP INSIGHT

국내 기후변화 대응을 위한  
정책 현황 및 시사점

예측, 시뮬레이션을 통한  
기후위기 모니터링 기술 연구

# Contents

# S&T DATA

2024 Summer vol.6

KEY THEME

## The Future Through Climate Data



발행일  
2024년 6월 30일



발행인  
김재수

발행처  
한국과학기술정보연구원  
www.kisti.re.kr

편집/기획  
정책연구센터

편집위원(가나다순)  
곽재원 이재진  
김정환 정용찬  
박문수 최광남  
박성욱 최선희  
윤종민 최희석  
윤호식

대전 본원  
대전광역시 유성구 대학로 245  
T. 042-869-1234

서울 본원  
서울특별시 동대문구 회기로 66  
T. 02-3299-6114

디자인/제작  
(주)늘품플러스

ISSN 2951-1062

## OPINION

- 04 21세기는 기후테크 산업의 시대  
최용상 이화여자대학교 교수, 기후·환경변화예측연구센터 소장

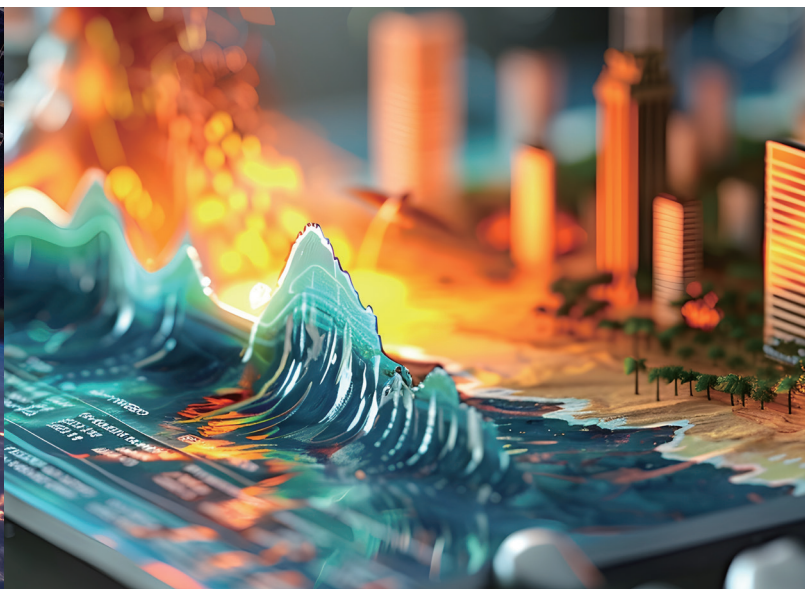
## LEADERS

- 06 자연을 살리는 데이터, 숲으로 잘사는 대한민국  
남성현 산림청장

## SPECIAL ISSUE

- 14 기후위기 극복을 위한 기후 데이터의 실천적 활용 방안은?  
정수종 서울대학교 환경대학원 교수
- 18 왜 전 세계는 온실가스 관측 위성을 발사하려 하는가?  
이동원 국립환경과학원 환경위성센터장
- 22 위성 자료를 활용한 기후변화 감시  
김윤재 국가기상위성센터장
- 28 해수면 상승 원인과 이로 인한 기후위기의 잠재적 파급 효과  
이원상 극지연구소 책임연구원





- 
- 34** 해양 분야에서의 인공지능과 빅데이터 활용:  
해수 온도 예측과 기후변화 대응  
양현 한국해양대학교 해양과학융합과 교수
  
  - 38** 기후위기와 함께하는 해양 산성화:  
생태계의 위협과 대응 전략  
유태우 오키나와과학기술대학 과학기술연구소 그룹리더

## DEEP INSIGHT

---

- 44** 국내 기후변화 대응을 위한 정책 현황 및 시사점  
박철호 국가녹색기술연구소 정책연구본부장
  
- 50** 예측, 시뮬레이션을 통한 기후위기 모니터링 기술 연구  
박상진 한국행정연구원 부연구위원
  
- 54** 기후변화 대응을 위한 자연재해 예방과 데이터 활용:  
산불, 홍수, 가뭄  
변영화 국립기상과학원 기후변화예측연구팀장
  
- 58** 날씨 산업 시장에서의 데이터 활용  
김동식 케이웨더 대표이사

## GLOBAL TRENDS

---

- 64** 국내외 데이터 정책 동향  
KISTI 정책연구센터

## BIZ INSIDE

---

- 70** 위성 데이터로 재난 예측과 예방의 효율성을 극대화  
레인버드지오(주)
  
- 72** 고해상도 위성 영상과 인공지능(AI) 기술의 결합  
(주)에스아이에이(SIA)
  
- 74** 인공지능(AI)을 기반으로 한 신속·정확한 기후위기 감지  
디아이랩
  
- 76** KISTI+  
도시 침수 예측에서 대응까지 원스톱 솔루션(KUDS)



## 21세기는

# 기후테크 산업의 시대

기후위기가 심화되면서 기후 데이터의 중요성이 나날이 높아지고 있다. 친환경 에너지 생산과 탄소 저감, 지속가능한 사회(SDGs, Sustainable Development Goals)에 대해 사회의 관심이 커지며 학계뿐 아니라 전 분야의 산업에서 데이터를 필요로 하는 지금은, 데이터 활용에 대한 고민이 우리 모두에게 요구되는 시점이다. 기후변화 대응은 크게 두 가지 측면이 있다. 기후변화 피해를 줄이는 '적응(Adaptation)'과 온실가스 배출을 줄이는 '완화(Mitigation)'이다. 첫 번째, 적응의 측면에서는 기후변화로 인한 재난·재해가 인류 사회를 크게 위협하고 있는 상황에서 솔루션을 모색하기 위해 기후 데이터 활용이 요구된다. 다음으로 완화의 측면에서는 기후변화의 원인 물질인 온실기체를 줄이고, 재생 에너지 활용 비율을 늘리기 위한 계획 수립에 기후 데이터를 요한다.

## 최용상

이화여자대학교 교수, 기후·환경변화예측연구센터 소장

### 기후테크 산업의 밑바탕은 사람 중심의 데이터

현재의 기후 데이터는 전 세계적으로 적응 측면보다는 완화 측면에서 더 많은 투자가 이루어지고 있는 게 사실이다. 재생 에너지 활용 비율을 늘리고 탄소 배출량을 줄여 기후변화를 완화시키는 측면은 공시 의무화 등 정책 규제가 현실화되고 및 배출권 거래가 더욱 활발해질 것으로 전망되기 때문이다. 이를 위해서는 무엇보다 재생 에너지 수요와 공급에 대

한 정확한 예측이 필수적이며, 때문에 최근 기후 데이터 기반 AI 기술이 적극 활용되고 있다. 그러나 아직은 예측 결과가 기대만큼 좋지 않다. 그 이유는 기존 데이터가 현재 에너지 분야 사용자의 목적에 부합하지 않기 때문이다.

데이터를 최초 생산하는 사람부터, 분석·처리하는 사람, 소비하는 사람까지 마치 구슬을 꿰듯 데이터에 대한 목적과 지식 공유가 이어져야 빛을 볼 수 있다. 목적에 맞는 데이터를 선택하는 것은 사실상 AI 기술 자체의 향상보다도 우선한다.



예컨대 구름의 양은 전통적으로 기상예보에서 매우 유용한 데이터이지만, 태양 에너지를 전기 에너지로 바꾸는 태양광 에너지 분야에서는 그대로 활용할 수 없다. 구름이 하늘에 차지하는 단순 면적으로 정의된 구름의 양은 태양광 패널 위에 도달하는 일사량과의 관계가 선형적이지 않기 때문이다. 사실상 구름의 위치, 두께도 모두 일사량에 영향을 준다. 따라서 일사량 예측에 필요한 새로운 구름 데이터가 다시 요구된다. 이처럼 데이터를 원래 목적이 아닌 다른 목적으로 활용해서 겪는 난제가 비일비재하다. 목적에 부합한 데이터가 있어야 에너지 효율 증대, 지능형 농업, 스마트 도시 계획 등 다양한 산업 분야에서 적재적소에 활용할 수 있다.

기후 분야에서 데이터의 목적은 반드시 사용하는 사람이 중심이 되어야 한다. 과거에는 학술 연구나 기상예보에 있었다면, 이제는 에너지 수요나 금융 손실 계산 등 사용자가 다변화되고 있다. 최근 많이 논의되고 있는 재해보험을 예로 들자면, 해안가의 건물이 담보물일 때 해수면 상승에 대한 정보를 데이터로 증명해 미래 침수 리스크 전망치를 확보해야 한다. 기술이 사람이 사용할 때 의미가 있듯, 데이터 생산 역시 사용자가 만족하는 수준으로 이뤄져야 데이터 활용이 늘어나고 데이터에 사회경제적 임팩트가 생긴다.

공공기관의 데이터는 중장기적인 계획에 따라 생산되기 때문에 그 데이터가 활용될 때에는 이처럼 수많은 민간 수요의 파악과 변화 추이에 기민하게 반응하기 어려운 부분이 있다. 그러기에 민간 기업에서 다시 사용자의 수요에 따라 별도로 데이터를 생산하거나 공공 데이터를 가공해서 솔루션화, 상품화하는 중간 역할을 해야 한다. 즉 공공기관에서는 백화점식 데이터 생산보다 원천 데이터의 품질을 객관화하고 향상시키는 데 집중하고, 민간 기업에서는 그 데이터를 사람에게 연결하여 원천 데이터의 부가가치를 만드는 일종의 분업화가 이상적일 것이다. 다만, 민간 기업에서 전문성을 확보하고 서비스 데이터 품질을 잘 관리하는 것이 필수적이다.

### **고품질 데이터로 세계 시장 석권해야**

특히 강조하고 싶은 부분은 기후 데이터 시장이 우리나라에만 국한되지 않는다는 점이다. 수요자는 전 세계에 있다. 이 때문에 데이터의 품질 향상에 대한 각고의 노력이 필요하

다. 글로벌 시장에서 데이터는 가격보다 '질'이 선택의 우선순위에 있다. 1등 데이터를 만들기 위한 국가 간 경쟁이 치열한 이유다. 이미 국내 산업계에서 기후 리스크를 파악하기 위해 외산 기후 데이터를 사용하는 건 공공연한 비밀이다. 우리의 공공 데이터는 국내를 넘어 세계적으로 고품질 데이터를 만들어야 민간 시장에서 활용될 수 있다. 미국 나사(NASA)의 모든 위성 데이터가 무료인 것은 잘 알려져 있다. 게다가 구글과 같은 빅테크 기업의 플랫폼을 통해 공급되고 있는데, 고품질 데이터는 개방성을 통한 시장과의 긴밀한 교감으로 이루어지는 듯하다. 우리도 공공기관이 민간 기업과 긴밀히 협력해 우리 국민을 포함한 세계 시민에게 와 닿고 전 세계 데이터 시장을 석권할 수 있을 만큼의 양질의 데이터 생산이 이뤄지기를 바란다.

이미 정부에서는 공공 데이터의 비즈니스적 가치를 높이기 위해 민간 기업들에 많은 지원을 하고 있다. 그런데 앞으로 글로벌 시장 공략을 위한 더 많은 투자와 전략적 지원이 필요하다. 세계 최고 수준의 데이터를 생산해 민간 기업에서 비즈니스 모델로 활용할 수 있어야 산업의 규모가 더 커질 수 있기 때문이다.

양질의 데이터를 생산하기 위해서는 무엇보다 대학에서의 고급 인재 양성이 중요하다. 특히 인공지능과 수치 모델의 기초 기술이나 원천 데이터를 연구할 수 있는 인재가 많이 부족한 상황이다. 지식과 기본이 탄탄한 인재, 그리고 그런 인재가 모여 경제적 가치를 만들어 내는 좋은 대학 연구팀과 벤처기업에 대한 지원과 투자가 아낌없이 이뤄지기를 바란다. 우리나라는 개발도상국을 이해하며 선진국 반열에 올라와 있는 만큼, 개발도상국의 기후 적응과 선진국의 기후 완화 시장이 확보되면 앞으로 최소 50년은 성장하는 분야가 될 것이라는 기대가 있다. ESG의 측면에서 모든 산업 분야가 기후 분야와 얽여 있기에 더욱 그렇다.

현재의 기후테크 종사자들은 시장을 개척하는 프론티어의 역할을 하고 있기에 힘든 일도 많겠지만, 지속가능한 사회를 만드는 자부심과 미래의 비전을 보고 많은 도전이 이뤄지길 바란다. 20세기에 증공업이 우리나라 산업의 주역이 되었다면, 21세기는 기후테크 산업이 그 뒤를 이을 것이라고 믿는다. 인류 공영의 문제인 기후테크 분야에서 선두주자가 되는 우리나라가 되길 바라며, 집중적인 투자로 빠르게 시장을 성장시키고 새로운 부가가치를 창출하길 기대한다.

# 자연을 살리는 데이터, 숲으로 잘사는 대한민국

남성현 산림청장

우리 일상 속에서 당연하게 누리는 자연은 어떻게 지키고 활용하느냐에 따라 소중한 가치가 될 수도, 끔찍한 재앙이 될 수도 있다. 전 세계가 기후위기의 해결책으로써 데이터와 인공지능에 기대를 모으는 지금, 산림청은 다양한 방면에서 첨단 기술을 활용하여 산림 보호와 활용에 앞장서고 있다. “국민에게 도움이 되고, 글로벌 경쟁력을 갖추며, 더 나아가 산림의 가치를 지키는 산림청”을 기치로 내건 남성현 청장을 만나 대한민국 산림의 미래를 들어보았다.







## 디지털 대전환의 시대,

## 기후 데이터 연구개발과 최신 기술로 적극 대응

### 사회 전반에 데이터 활용도가 높아졌습니다. 기후 데이터 활용 및 연구개발 현황은 어떤가요?

기후변화가 야기한 이상기상 현상으로 다양한 인적·경제적·사회적 피해가 나타나고 있습니다. 대표적으로 봄철 건조 현상으로 산불의 발생 위험이 증가하고 있으며, 여름철 집중호우와 태풍의 영향으로 산사태 피해가 대형화되는 양상도 보입니다. 또한, 우리나라 대표 수목들이 폭염과 건조로 서식 환경이 위협받고 있는 등 다양한 문제가 발생하고 있습니다. 산림청에서는 이러한 다양한 현안을 해결하고 산림·임업 현장을 지원하기 위해 산악 지역 기상기후 데이터를 활용하고 있습니다.

현재 전국 주요 산악 지역을 대상으로 기상 관측 시설 480개소를 운영해 기후 데이터를 수집하고 있으며, 2027년까지 620개소로 확대해 나갈 계획입니다. 이러한 자료는 유관 기관의 기상 관측 자료와 융합해 전국 산림 지역에 대한 기상분포도를 만들어낼 수 있습니다. 또한 고성능 컴퓨팅 시스템을 활용해 지형적으로 매우 복잡한 우리나라 산악 지역의 날씨를 정확하게 예측하는 연구도 수행 중에 있습니다. 최근에는 장기간 관측한 과거 데이터와 미래 기후변화 시나리오로 산림·임업의 6개 분야와 17개 세부 분야에 대한 '산림·임업분야 기후변화 영향평가 종합보고서'를 발간했습니다.

### 빅데이터와 AI를 통해 기후 예측이 가능한 시대가 왔는데 산림청에서는 어떻게 준비하고 계시나요?

산림청에서는 디지털트윈 기술을 활용해 산림의 종류, 나이, 크기 등을 현실과 비슷한 형태로 가상 환경에 구축하고 있습니다. 이를 통해 탄소 저장량을 예측하고 다양한 상황을 시뮬레



산림청에서는 우리 산이 임업인에게는 돈이 되는 보물산으로, 국민에게는 힐링과 문화의 자산으로 활용되도록 보존과 이용이 조화되는 산림 정책을 속도감 있게 추진하여 국민께서 체감할 수 있는 성과를 창출해 나가겠습니다.





이선함으로써 기후변화에 대응하고자 합니다.

활용 사례로, 산림청 국립산림과학원에서는 최신 라이다(LiDAR) 기술로 우리나라에서 가장 키가 큰 나무인 용문사 은행나무의 정확한 생장 정보를 확인하였습니다. 그 결과 높이는 38.8m, 나이는 1,018살로 추정됨을 확인하였습니다. 이를 바탕으로 계산한 결과, 용문사 은행나무의 총 탄소 저장량은 31.4tonC이었으며, 연간 이산화탄소 흡수량은 113kgCO<sub>2</sub>로 이는 50년생 신갈나무(10.7kg/yr.) 11그루가 연간 흡수할 수 있는 양과 같음을 확인하였습니다.

### 산림 분야 산업이나 일자리 창출 측면에서는 기후 데이터가 어떻게 활용되고 있나요?

산림청에서는 산림 빅데이터 플랫폼을 통해 기업 기후공시 대응 수요에 부합하는 데이터 생산·수집을 강화하고 있으며 교통, 환경, 해양 등 타 분야 플랫폼과 탄소중립 등 국가 현안 과제에 대응하기 위해 협업하고 있습니다. 최근 ESG에 관한 관심으로 환경·사회적 책임 이행 요구가 높아짐에 따라 기후 데이터를 활용한 친환경적이고 혁신적인 비즈니스 모델 발굴에 대한 수요가 높아지고 있습니다. 이에 적극적인 공공 데이터 개방을 통해 민간 기업에서 이를 활용한 서비스 및 상품 개발이 가능하도록 지원하고 있습니다.

### 디지털 산림 관리 체계를 구축하기 위한 농림위성은 어떻게 진행되고 있나요?

농림위성은 2019년부터 과학기술정보통신부, 농촌진흥청과 함께 개발 중인 우리나라 최초의 식물 특화 광역 관측 위성입니다. 하루에 한 번 이상 한반도를 지나가기 때문에 3일이면 한반도의 산림 전체를 우주에서 빠짐없이 관측하는 또 다른 눈이라고 생각하시면 될 것 같습니다. 2025년에 발사될 수 있도록 만반의 준비를 하고 있으며, 발사 이후 안정적인 운영과 효율적인 활용을 위한 다양한 연구도 동시에 진행하고 있습니다.

이를 위해 '국가산림위성정보활용센터'를 오는 7월 완공하고 위성 운영 프로그램을 미리 개발하여 발사 후 즉시 활용

할 수 있도록 준비하고 있습니다. 또한 대국민 서비스와 산림 정책을 지원할 수 있도록 36종의 활용 기술도 함께 개발하고 있습니다. 발사 후 다양한 활용 방안으로는 산불, 산사태 등 사람의 접근이 어려운 산림 재난을 빠르게 발견하여 대응할 수 있고, 피해 정도를 정밀하게 산정할 수 있을 것으로 기대하고 있습니다. 또한 기후변화로 인한 산림 생태계의 이상 현상을 신속하게 탐지하고, 실시간으로 모니터링할 예정입니다. 아울러, 고도 888km에서 운영하는 농림위성의 특성상 하루 14번 지구를 돌며 세계 여러 곳을 촬영할 수 있어 농림위성 데이터 제공을 통한 국제협력을 확대할 예정입니다.

### 산림 재난 예측과 산림 자원 보호로

### 국민의 생명과 재산을 지키는 과학 기술

### 최근 기후위기와 환경 오염이 화두인데, 이에 대응하는 기술의 발달도 이루어지고 있는지 궁금합니다.

산불과 같은 산림 재난으로부터 국민의 생명과 재산을 지키기 위해 빅데이터와 ICT 기반의 예방·감시·예측 체계를 구축하고 있습니다. ICT를 활용하여 산불 관련 정보를 빠르게 생산-가공-전파할 수 있는 기술을 가지고 있으며, 이를 통해 세계를 선도할 수 있는 수준의 '산불정보시스템'을 구축해 예방-대비-대응의 단계별로 산불 정보를 지속적으로 생산하여 제공하고 있습니다. 예방·대비 단계에서 활용하는 '국가산불위험예보시스템'은 각 지역의 산불 발생 위험 등급을 실시간으로 안내해주는 시스템으로 올해에는 인공지능 학습 결과를 반영해 산불 위험 정보를 일주일 전으로 확대하여 예보를 진행하고 있습니다. 대응·진화 단계에서는 '산불확산예측시스템'을 운영하여 산불 확산 영역을 빠르게 예측해 시간대별로 산불 도달 위치 정보를 알려주고 있습니다.

또한 산불·산사태 등으로 훼손된 산림을 원형과 가깝게 복원하기 위해 산림의 입지 환경, 토양의 물리·화학적 성질, 식생 현황, 동·식물 현황 등을 종합적으로 조사하고 있으며, 탄소중립 실현과 녹색성장에 기여하고자 2030년 국가 온실가스 감축 목표(291백만 톤) 중 11%인 3,200만 톤 흡수

를 목표로 제시하였습니다. 구체적인 달성 방안으로 '제3차 탄소 흡수원 증진 종합계획'을 수립하고 ① 산림의 탄소 흡수 능력 강화, ② 신규 산림 탄소 흡수원 확충, ③ 목재 및 산림 바이오매스 이용 활성화, ④ 산림 탄소 흡수원 보전 및 복원, ⑤ 국제협력 기반 감축량 확보, ⑥ 산림 탄소 정책 지원 체계 등 6대 추진 전략에 따라 적극적인 정책 추진 및 이행 실적 점검으로 기여하고자 합니다.

### 산림르네상스 추진 전략에 포함되어 있는 '산림과학·기술연구 촉진'을 위해 어떤 과제를 실천하고 계신가요?

크게 두 가지로 실천하고 있습니다. 첫째로, 산림청은 산림 바이오 산업 활성화를 위해 산림 자원을 보다 고부가가치로 활용하기 위한 연구개발 사업을 꾸준히 지원하고 있습니다. 현재는 '산림생물소재 활용 기반 기술개발' 사업으로 총 45억 원을 지원하고 있으며, 이를 통해 산림 자원으로부터 유망 기능성 원료를 발굴하고 고부가가치 제품화를 지원함으로써 산림 자원의 활용도를 높일 수 있을 것으로 기대하고 있습니다. 또한 산재되어 있는 산림바이오 소재 연구 자원과 연구 데이터들을 통합하여 수요자 맞춤형 플랫폼을 구축함으로써 향후 연구 기반을 더욱 탄탄하게 다져나갈 계획이며, 산림 생명 산업 활성화 및 자급률 제고를 위한 스마트 산림바이오 혁신성장거점 및 산림바이오 공공지원단지를 조성 중에 있습니다.

둘째로는 선진국형 산림 관리를 위해 산림공간 데이터, 농림위성, 산림주제도 등을 융·복합하여 데이터 기반의 과학적인 산림 관리가 가능하도록 '산림공간 디지털 플랫폼'을 구축하고 있습니다. 산림공간 디지털 플랫폼은 디지털트윈 기반의 3차원 공간 정보를 활용하여 신속·정밀하게 산림을 관리할 수 있도록 구축하며, 올해에는 디지털트윈 기술 검증과 플랫폼의 면밀한 설계를 추진하고 있습니다. 향후 농림위성 영상과 라이더 등의 디지털 기술을 활용하여 보다 과학적이고 정밀한 산림 행정이 가능해질 것으로 기대합니다.

### 산림 분야의 빅데이터와 기술 혁신이 우리 일상을 어떻게 변화시킬까요?

기후기상 예측 등 일상에 도움을 주는 사례로 최근 산을 이용하는 인구가 증가함에 따라 꽃나му의 개화 시기 예측과 가을철 단풍 시기 예측 서비스 같은 맞춤형 콘텐츠를 생산하여 제공하고 있습니다. 대부분의 날씨 정보는 생활권을 중심으로 제공되고 있어 산악 지역과는 다소 차이가 있기에 산림청에서는 전국 주요 산에서 관측한 자료를 바탕으로 등산패적지수를 개발하여 100대 명산과 자연휴양림 지역을 대상으로 시범 서비스하고 있습니다.

한편 산림은 지구 최대의 탄소 흡수원으로서 기후변화를 완화하는 데 핵심적인 역할을 하고 있어 기후위기 상황 속에서도 산림이 건강하게 유지되고 변화하는 환경에 적응할 수 있는 대책이 만들어져야 합니다. 국립산림과학원에서는 천연·재생 에너지 등 자연 보호에 도움을 주기 위해 1990년대부터 기후변화가 생태계에 미치는 영향과 미래 변화 예측 연구를 수행해 왔습니다. 이에 2017년부터 고산 지역 기후변화 취약 7개 침엽수종을 대상으로 전국적인 분포 현황을 파악하고 지속적으로 생육 현황 변화를 모니터링하고 있습니다. 그리고 이를 기반으로 해당 수종들에게 어떤 산지가 생육 피해의 위험성이 높거나 낮은지, 생육에 영향을 주는 요인은 무엇인지, 고산 침엽수종의 현지 복원이 가능한 지역이 어디인지 등을 파악하는 연구를 수행하고 있습니다.

### '자연'과 '자원'의 가치를 모두 지니는 산림 활용을 극대화해야

### "숲은 21세기의 반도체"라는 말이 있습니다. 산림이 갖는 가치는 어느 정도인가요?

현재 우리 산림의 가치는 420조 원으로 경제적 가치는 산림 산업 매출액 161조 원, 산림 일자리 61만 명 등이며 공익적 가치는 맑은 물, 깨끗한 공기 등 259조 원입니다. 국토의 63%인 산림은 경제·환경·사회문화적 자산으로, 이를 잘 관리하고 활용하는 것이 국가 경쟁력으로 직결됩니다. 또한 산림은 UN이 인정하는 탄소저장고로, 산림 분야는 2030 국가 온실가스 감축 목표 흡수원 분야의 95.5%(총 감축 목표의 11%)를 담당하고 있습니다. 그리고 국민 82%



가 찾는 최고의 휴식, 힐링 공간이자 국민건강자산으로 숲을 통해 인구 구조 변화에 따른 사회 문제 해결에 기여가 가능합니다. 특히 강원, 전북 특별자치도 출범에 따라 '산림이용진흥지구' 등 숲을 활용한 지역발전 방안이 '살기 좋은 지방시대'의 핵심 과제로 부상했습니다.

### 산림이 지닌 '자연'과 '자원'의 가치를 모두 지키기 위해 어떤 노력을 하고 계신가요?

경제와 환경의 조화, 공익과 사익 간의 갈등 조정을 위해 글로벌 스탠다드에 맞게 산림 정책을 추진 중입니다. 임업인과 청년들이 숲에서 소득과 일자리를 얻을 수 있도록 각종 규제와 제도를 개선하고, 산림보호구역으로 지정되어 재산권 행사에 제약이 있는 산주에게 가치를 환원하는 '산림공익가치 보전지불제' 도입을 위해 노력 중입니다. 앞으로도 국민소득 3만 불 시대에 걸맞은 선진국형 산림 경영관리를 통해 숲으로 잘사는 대한민국을 만들겠습니다.

### 우리나라의 63%는 산림인 만큼, 산림의 활용을 극대화하는 것이 중요할 것으로 보입니다. 산림청의 향후 계획에 대해 소개해주세요.

산림청에서는 올해 산림의 경제·환경·사회문화적 기능을 더욱 강화하고 다양한 가치를 국민 여러분들께 돌려드리기 위해 '숲으로 잘사는 글로벌 산림강국 도약'이라는 비전하에 5대 전략을 중점적으로 추진하고자 합니다.

첫째, 산불 원인별 예방 활동을 강화하고 AI를 활용한 고성능 산불 감시 체계를 확대하며, 산불 진화능력이 높은 대형 헬기를 도입하여 산불에 빈틈없이 대응하겠습니다. 둘째, 임업인의 소득과 권익을 향상시키기 위해 임업 분야 체계를 개선하고 임업직불제 지급 기준을 유사 산업 수준으로 완화할 계획입니다. 셋째, 건강하고 지속가능한 산림 경영으로 저탄소·녹색성장에 기여하겠습니다. 넷째, 산림 재난 대응과 산림 산업 경쟁력 강화를 위해 '디지털 산림 플랫폼'을 중심으로 산림, 임업의 디지털화를 추진하겠습니다. 마지막으로 국익에 기여하고 국가 위상을 높이는 국제 산림협력을 확대할 계획입니다.

이렇듯 올해 산림청에서는 우리 산이 임업인에게는 돈이



되는 보물산으로, 국민에게는 힐링과 문화의 자산으로 활용되도록 보존과 이용이 조화되는 산림 정책을 속도감 있게 추진하여 국민께서 체감할 수 있는 성과를 창출해 나가겠습니다.

---

전 인류가 직면한 가장 심각한 도전 중 하나인 기후위기. 지구온난화로 극지방의 빙하가 빠르게 녹고, 가뭄과 홍수로 세계 식량 안보를 위협받는 등 직접적인 피해를 받고 있다. 이에 S&T DATA 6호 Special Issue에서는 지속가능한 우리 삶을 위한 필수적인 도구, 기후 데이터에 대해 자세히 알아본다.

기후위기 극복을 위한 기후 데이터의 중요성과 활용 방안을 소개하는 것을 시작으로, 기후변화의 심각성을 보여주는 4대 핵심 지표인 온실가스 농도, 해수면 상승, 해수 온도, 해양 산성화를 기후 데이터와 과학 기술의 관점에서 살펴본다. 그리고 더 나아가 인공지능, 슈퍼컴퓨터, 인공지능 등 첨단 기술을 통한 데이터 수집과 분석이 기후위기에 어떤 해결책을 줄 수 있는지 논의하는 시간을 갖는다.

---

## Special Issue

---

- 정수종** 기후위기 극복을 위한 기후 데이터의 실천적 활용 방안은?
- 이동원** 왜 전 세계는 온실가스 관측 위성을 발사하려 하는가?
- 김윤재** 위성 자료를 활용한 기후변화 감시
- 이원상** 해수면 상승 원인과 이로 인한 기후위기의 잠재적 파급 효과
- 양 현** 해양 분야에서의 인공지능과 빅데이터 활용
- 유태우** 기후위기와 함께하는 해양 산성화









## 기후위기 극복을 위한 기후 데이터의 실천적 활용 방안은?

정수종 서울대학교 환경대학원 교수

### 1 데이터로 확인한 온실가스 농도

매일같이 휘몰아치는 이상기후는 이제 일상이 되었다. 겨울이 끝나기도 전에 봄꽃은 만개하고 여름이면 아스팔트를 녹일 것만 같은 폭염이 찾아온다. 더위가 채 가시기 전에 모든 길 삼킬 것만 같은 폭우가 몰아쳐 예측할 수 없는 홍수를 일으키기도 한다. 기후변화는 우리가 알던 사계절과 날씨의 패턴을 모두 바꾸어 버린 것이다. 그리고 그 변화의 중심에는 바로 온실가스가 있다. 지난 수십 년간 수많은 과학자의 연구 결과, 지금 우리가 경험하고 있는 기후변

화는 여러 가지 요인의 영향을 받고 있지만 가장 중요한 원인은 인간 활동으로 인한 이산화탄소와 메탄 같은 온실가스의 인위적 배출로 인한 것이라 밝혀졌다.

여기서 인위적 배출이란 예를 들어 인간이 에너지를 만들기 위해 땅속에 묻혀 있던 탄소를 일부러 꺼내어 그것을 태우고 에너지를 얻지만, 그 과정에서 탄소가 연기가 되어 대기 중으로 이동하는 것을 의미한다. 쉽게 말해 인간이 억지로 땅속의 탄소를 대기로 옮겨 놓은 것이다. 그래서 지금 대기 중 탄소의 농도 즉, 온실가스의 농도가 진해지고 있다. 그리고 우리는 이렇게 인간 활동의 증가로 인해 농도가

진해지고 있다는 증거를 '데이터'를 통해 확인하고 있다. 현재 우리가 매일같이 확인할 수 있는 대기 중 이산화탄소 농도 데이터는 1958년 한 과학자로부터 시작되었다. 미국 캘리포니아에 있는 스크립스 연구소의 찰스 데이비드 킬링 박사가 하와이 마우나로아 섬 관측소에 대기 중 온실가스를 측정할 수 있는 관측 장비를 설치한 것을 시작으로, 현재까지 매초 측정을 통해 기후변화 유발 물질에 대한 데이터가 쌓이기 시작한 것이다. 그리고 이렇게 쌓인 데이터를 통해 실시간으로 인간의 영향을 확인할 수 있게 되었다. 지금은 이런 대기 중 이산화탄소 농도 데이터를 확보할 수 있는 관측소가 전 세계적으로 늘어나서 지구 곳곳의 다양한 지역에서 대기 중 이산화탄소 농도 변화를 확인할 수 있는 데이터가 확보되고 있다.

전 세계적으로 늘어나는 이산화탄소 농도 데이터는 실제 우리가 생각하는 것보다 많은 의미를 담고 있다. 사실 많은 사람들이 이산화탄소는 화학 반응을 통해 변하지 않는 안정적인 물질이고 대기 중 매우 잘 섞여 있는 물질이라고 배웠기 때문에 하와이 마우나로아 섬에서 측정한 대기 중 농도가 전 세계를 대표하는 값이라 생각했다. 하지만 그것은 큰 착각이다. 전 세계 다양한 곳에서 측정된 데이터를 통해 분명히 알 수 있는 사실은 대기 중 이산화탄소 농도의 지역 차이가 매우 크다는 것이다.

## 2 온실가스 농도를 측정하는 다양한 인공위성

전 세계 대기 중 이산화탄소 농도의 지역 차이는 분명 존재하는 것이 당연하다. 한번 생각을 해보자. 예를 들어 서울에 이산화탄소를 배출하는 차가 100대가 있고 평창에는 10대가 있다면 100대와 10대의 차에서 대기 중으로 빠져나오는 이산화탄소의 양은 분명히 다를 것이다. 이뿐만 아니라 공장이나 발전소가 있는 지역에서는 지속해서 굴뚝에서 이산화탄소가 나올 것이지만, 울창한 숲으로 둘러싸인 지역은 땅에서 유기물이 분해되어서 나오는 미량의 탄소 배출이 전부다. 즉 세상 모든 지역에 분포하는 배출원이 다르므로 전 세계 모든 지역의 대기 상황이 당연히 틀린 것이다. 좀 더 쉬운 예를 들어보면 다음과 같다. 요즘 한국인들이 아주 사랑하는 음료인 아이스 아메리카노를 생각해보자.

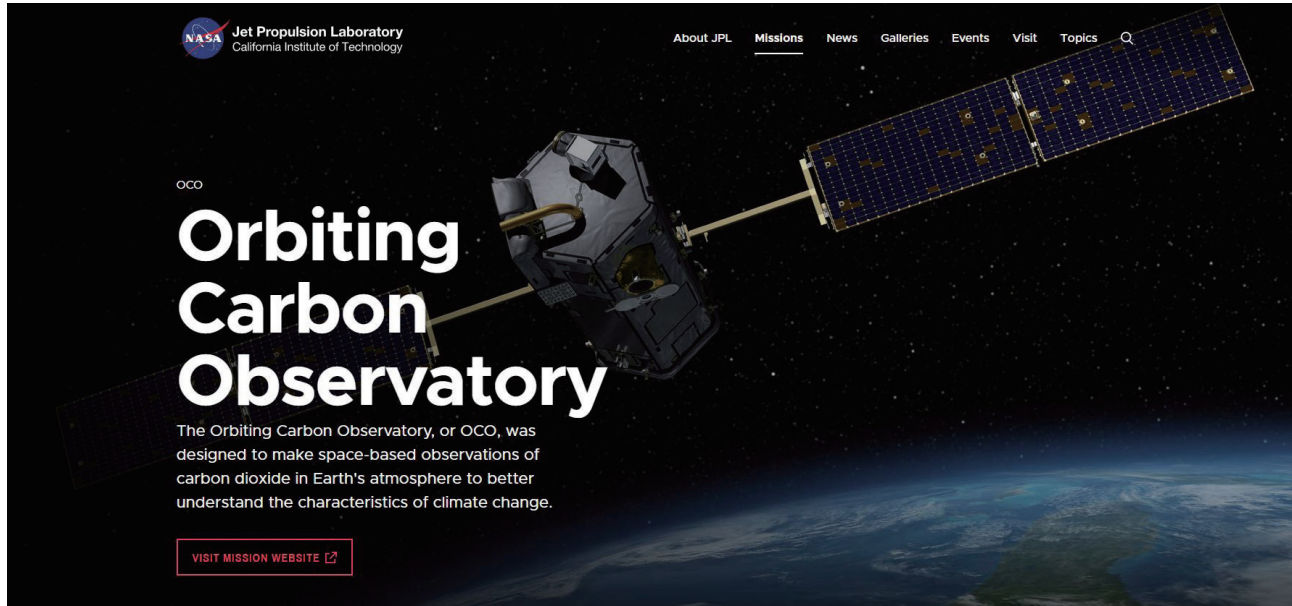
카페에서 아이스 아메리카노를 주문하면 아주 맑은 얼음 물에 커피의 원액을 부어준다. 원액을 붓는 순간에는 얼음 잔이 아주 얼룩덜룩하게 여기저기 다른 색깔을 보이다 모 든 원액이 부어지고 잘 저어지면 얼음 잔이 하나의 색깔로 변하게 된다. 즉 현재 지구상의 대기는 아직 얼음 잔에 커피 원액이 부어지고 있는 상태라고 생각하면 된다. 그것도 아주 지속적으로 부어지고 있기 때문에 지구 전체적으로 잘 섞일 수가 없다. 지속해서 원액이 들어가고 있기 때문이다. 우리가 지구의 다양한 곳에서 데이터를 쌓기 전에는 하나의 웰 믹스(Well Mix) 상태라고 착각한 적도 있다. 그러나 전 세계 여러 지역의 데이터가 확보되면서 지구 대기 중 이산화탄소의 농도 차이에 대해 분명한 이해를 하게 된 것이다.

최근 들어 이러한 지구 대기 중 이산화탄소의 지역 이질성은 지상 측정 데이터가 아닌 새로운 인공위성 기반 이산화탄소 측정 데이터를 통해 더 선명하게 알 수 있게 되었다. 기후위기 대응을 위해 기후변화 유발 물질에 대한 모니터링, 규제, 관리 등 여러 과학적, 사회적, 경제적 이슈가 대두되면서 더 많은 온실가스 측정 데이터의 필요성이 강조되었다. 그리고 이러한 세상의 수요 증가에 맞추어 미국, 일본, 유럽 등은 대기 중 온실가스 농도를 측정할 수 있는 다양한 인공위성을 개발하기 시작한 것이다.

먼저 미국과 일본은 2009년 세계 최초로 대기 대류권에서의 이산화탄소 농도를 측정할 수 있는 인공위성을 개발하고 발사하였다. 미국은 미국항공우주국(NASA, National Aeronautics and Space Administration)에서 OCO-1 (Orbiting Carbon Observatory-1)을 그리고 일본은 일본우주항공연구개발기구(JAXA, Japan Aerospace Exploration Agency)에서 GOSAT-1(Greenhouse gases Observing SATellite)을 하늘에 쏘아 올렸다. 그런데 불행히 미국의 위성은 발사 도중 폭발하여 현재는 2014년에 쏘아 올린 OCO-2가 미국 최초의 온실가스 위성이라는 기록이 있다. 2024년 현재는 미국과 일본에 이어 유럽연합, 중국 등에서 이산화탄소와 메탄을 측정하는 인공위성을 운영하고 있다. 이뿐만 아니라 최근에는 국가기관이 아닌 민간 기업에서 다양한 온실가스 위성을 개발하고 운용하면서 민간 시장에 온실가스 농도 데이터를 상품으로 내놓는 새로운 우주 산업으로도 발전하고 있다.



<그림 1> 미국항공우주국 OCO 홈페이지 화면



출처: <https://www.jpl.nasa.gov/missions/orbiting-carbon-observatory-oco>

### 3 온실가스 데이터, 정확성 높일 방법은?

그렇다면 왜 이렇게 많은 온실가스 측정 위성이 개발되고 발사되고 있는 것일까. 바로 온실가스 데이터의 가치, 즉 시장성이 높아졌기 때문이다. 기후변화의 비밀을 풀 수 있는 과학적 가치를 넘어 민간 시장에서 경제적 수익을 창출할 수 있는 새로운 부가가치가 생긴 것이다. 그동안 온실가스와 관련한 국제사회의 규범은 거의 모두 온실가스 배출량에 대한 인벤토리 데이터, 즉 국가통계에 기반한 데이터로 일원화되어 있었다. 하지만 이제는 시대가 변해 인벤토리 데이터뿐만 아니라 대기 농도를 측정한 데이터 또한 필요해졌다. 여기서 탄소 배출량을 파악할 수 있는 인벤토리 데이터와 대기 중 농도 데이터에 대한 차이를 먼저 이해할 필요가 있다. 궁극적으로 온실가스를 이해할 수 있는 데이터라는 점에서는 같지만, 성격이 매우 다르다. 화력발전소에 대한 예를 들어 설명하면 온실가스 인벤토리 데이터는 에너지를 생산할 때 사용한 석탄의 양을 기준으로 한 배출량이고, 대기 중 온실가스 농도 데이터는 석탄을 태우고 나온 연기를 측정한 데이터라고 보면 된다.

최근 들어 다양한 연구에서 기존 인벤토리 데이터가 가진

문제점이 지적되고 있다. 사실 문제점이라기보다는 약점이라는 표현이 좀 더 맞을 것이다. 먼저 인벤토리 기반 탄소 배출량 데이터는 배출계수와 활동도를 곱하는 개념이다. 여기서 활동도는 화력발전소의 예에서 보자면 태운 석탄의 양이고 배출계수는 단위 질량의 석탄을 태웠을 때 대기로 빠져나갈 수 있는 이산화탄소의 양이다. 그래서 둘을 곱하면 태운 석탄이 얼마나 이산화탄소가 되어 대기 중으로 갈 것인가를 산정할 수 있다. 나름 매우 단순하면서도 직관적인 방법이다.

하지만 여기서 활동도, 즉 석탄의 양이 정확하지 않다거나, 배출계수, 즉 연소하는 시설의 연소 특성이 정확히 맞지 않아 발생하는 이산화탄소의 양이 실제 발전소의 특성을 반영하지 못하면 배출량은 잘못 산정될 수 있다. 둘 중의 하나라도 문제가 생기면 배출량이 틀어지는 문제가 발생할 수 있는 것이다. 이에 반해 발전소의 연소 시설에서 직접 배출된 대기를 실측한 이산화탄소 데이터는 거의 100%에 가까운 참값이라 볼 수 있다. 다만 연소가 일어나는 모든 시설을 파악할 수 있을 만큼 완벽히 측정하기 어려운 단점 또한 존재한다. 그래서 최근 들어 많은 인공위성이 발사되고 지상에서의 온실가스 측정이 늘어나고 있다. 전 지구 곳

곳의 일반 대기를 측정해서 다양한 지역의 이산화탄소 농도를 계산하고 이를 기반으로 지역의 탄소 배출량을 파악하려고 하는 노력이 진행 중인 것이다.

궁극적으로 가장 이상적인 온실가스 관리를 위한 방법은 활동도 통계 기반 인벤토리와 대기 중 농도 실측값을 결합한 하이브리드 형태의 탄소 배출량 데이터를 만들어 서로의 약점을 보완하고 강점을 살리는 것이다. 그래서 2019년 새롭게 개정된 국가간기후변화협약의 온실가스 배출량 산정 지침에서는 기존의 국가통계 기반 탄소 배출량 인벤토리 데이터와 관측을 통해 인벤토리를 검증한 데이터를 추가로 산정할 것을 권고하고 있다. 이에 맞추어 2022년 미국국립과학원(National Academy of Sciences)에서는 국가 온실가스의 정확한 산정, 보고, 검증(MRV, Measuring·Reporting·Verification)을 위해서 하이브리드 형태의 온실가스 인벤토리 데이터를 구축하는 것이 필요하다는 국가 보고서를 출판하였다. 유럽 또한 이렇게 실측 및 관측에 기반한 온실가스 MRV 체계 강화의 중요성을 깨닫고 미국보다 앞선 2018년부터 VERIFY(Observation-based system for monitoring and verification of greenhouse gas)라는 거대한 프로젝트를 진행 중이다.

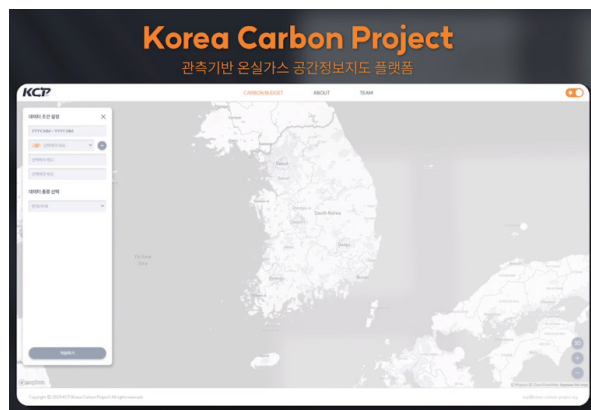
결국 기후변화 연구를 선도하고 온실가스 감축 실현을 위한 과학 기술 개발 및 연구 역량 강화를 진행 중인 국가들은 기존의 인벤토리뿐만 아니라 지상, 모바일, 항공, 인공 위성 등 다양한 실측 자료를 활용하여 국가의 온실가스 배출량 데이터의 정확도를 높이는 작업을 진행하고 있다. 그

리고 이렇게 국가의 배출량 산정에 대한 정확도가 높아질수록 민간 기업, 지자체, 개인 모든 분야에서 온실가스 배출량 산정에 대한 정확도 이슈가 중요해질 수밖에 없는 것이다. 이것이 대기 온실가스 측정 데이터가 민간 시장에 까지 들어오게 된 근본적인 배경이다.

다소 늦은 감이 있지만 2023년 한국 또한 하이브리드 인벤토리의 중요성을 인지하고 국가연구개발사업으로 '관측 기반 온실가스 공간정보지도 구축 플랫폼 기술개발사업'이 환경부를 통해 시작되었다. 전 국토의 1km 공간 규모 월별 탄소 배출량을 산정하여 한국 전체적으로 읍, 면, 동 수준까지 매달 온실가스의 배출과 흡수를 파악할 수 있는 데이터를 만드는 프로젝트이다. 한국에서는 도전적으로 처음 시도되는 온실가스 데이터 생산 프로젝트이며 'Korea Carbon Project'라는 이름으로 다양한 국내의 연구기관들과 협력을 진행하고 있다. 특히 프로젝트에서 구축한 지상 온실가스 측정만으로는 전 국토를 커버할 수 없기에 국립환경과학원을 중심으로 한 국가온실가스협약체에서 구축 중인 여러 지역의 온실가스 농도 측정값을 활용하고 있다. 이뿐만 아니라 현재 한국은 온실가스 위성이 없기에 미국 NASA와 일본 JAXA의 협조를 통해 한반도 다양한 지역의 위성 측정 온실가스 농도 데이터를 받고 있다. 다양한 지상 및 위성 측정을 통해 얻은 대기 중 온실가스 농도 실측값은 통계 기반 인벤토리를 검증하거나 보완하는 역할을 하게 될 것으로 기대한다.

지금 전 세계가 주목하고 있는 가장 보편적 이슈 중 하나가 기후위기 대응일 것이다. 진정성 있는 기후위기 대응을 위해서는 실효성 있는 온실가스 감축이 이루어져야 한다. 그러기 위해서는 과학적이고 객관적인 데이터가 필요한 상황이다. 대기 중 온실가스 농도를 측정하고 기록한 데이터는 지금 우리의 배출 현실을 보여주는 실시간 정보이며 우리가 앞으로 얼마나 많은 양의 탄소를 줄여야 할지를 알려주는 지시자의 역할을 할 것이다. 앞에서 언급한 것처럼 전 세계 어디를 둘러봐도 대기 중 온실가스 농도가 균질한 지역은 없다. 서울과 부산이 다르고 서울과 뉴욕이 다르다. 그곳의 배출원이 다르기 때문이다. 우리는 지역의 차이가 존재한다는 것을 데이터로 확인하고 그 데이터를 이용하여 객관적으로 그 지역의 탄소 배출량을 줄여 나가야 한다. 그래서 우리에게 온실가스 농도 데이터가 필요한 것이다.

〈그림 2〉 Korea Carbon Project 홈페이지 화면



출처: <https://www.korea-carbon-project.org/>



## 왜 전 세계는 온실가스 관측 위성을 발사하려 하는가?

이동원 국립환경과학원 환경위성센터장

온실가스 관측 위성의 중요성과 세계 각국의 온실가스 관측 위성 발사 및 운영 현황을 소개하고, 한국이 도전하는 초소형 온실가스 관측 위성에 대해 알리고자 한다.



## 1 온실가스 관측 위성의 중요성 대두

탄소중립 달성을 위해 IPCC(The Intergovernmental Panel on Climate Change) 등 국제사회는 온실가스 감시 및 감축 검증을 위한 위성 자료의 중요성을 강조하고 있다. 이를 위해 IPCC에서는 2019 가이드라인을 제시한 바 있다. 위성 관측은 시공간적 제약 없이 균질한 자료 생산이 가능한 유일한 방법이며 최근 MRV(Measuring·Reporting·Verification)를 강화하기 위한 위성 활용이 강조되고 있다. 이에 따라 이미 일본에서는 위성 기반의 온실가스 인벤토리 평가를 위한 가이드북을 마련해 놓은 상태이다. 기후위기와 관련한 각국의 무역장벽 또한 현실화되고 있다. 유럽의 탄소국경조정제도 도입에 이어 미국은 메탄 수수료와 같은 제도의 도입을 추진하고 있다. 한편 온실가스 배출량을 산정하는 데에는 2가지의 방식이

있다. 첫 번째 방식은 국가 온실가스 배출량 산정과 같이 연료 사용량 등의 활동도 자료에 온실가스 배출계수를 곱하여 산정하는 방식으로, 연료 사용량 등의 통계 자료 확보에 많은 시간이 소요되어 전년도의 온실가스 배출량 산정은 곤란하다. 그리고 연료 사용량과 배출계수의 정확도에 따라 오차가 유발된다.

두 번째 방식은 직접적으로 온실가스 배출을 관측하고 농도를 산정해 배출량을 계산하는 방법이다. 모든 배출원에 대한 관측은 불가능하지만 첫 번째 온실가스 배출량 산정 방식을 보완하면서 누락되는 배출량을 파악할 수 있다는 장점이 있다. 두 번째 방식을 적용하고, 우주에서 광범위한 지역의 관측이 가능한 방법이 바로 위성을 통한 온실가스 관측이다. 하지만 이 방식 또한 절대적인 참값은 아니다. 우주에서 관측하기에 넓은 지역을 한 번에 관측할 수 있지만 구름에 의한 영향, 관측된 농도를 배출량으로 재계산하

〈표 1〉 국외 저궤도 온실가스 관측 위성 현황

	GOSAT 위성(일본)		OCO 위성(미국)		Sentinel-5P(유럽)
	GOSAT	GOSAT-2	OCO-2	OCO-3	TROPOMI
발사	2009.1.	2018.10.	2014.7.	2019.5.	2017.10.
수명	5년	5년	2년	3년	7년
해상도	11km <sup>2</sup>	10km <sup>2</sup>	2.3×1.3km <sup>2</sup>		5.5×7km <sup>2</sup>
관측/주기	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> 등	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> 등	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> 등
	3일	6일	16일	16일	1일
관측 시간	13:00±0:15hr	13:00±0:15hr	13:30	-	13:30
자료 배포	월자료 (’09.6.~’21.11.)	시범 자료 (제한된 기간 및 사용자)	일자료 (’14.9.~’21.9.)	일자료 (’19.8.~’21.12.)	일자료 (’19.6.~현재)

	AIRS(미국)	IASI(유럽)	CrIS(미국)	TanSat(중국)
(탑재 위성) 발사 년도	(Aqua) 2002	(Metop-A, B) '06, '12, '18	(Suomi-NPP)'11 (NOAA-20)'17	2016
관측 항목	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> 등	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> 등	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> 등	CO <sub>2</sub>
관측 주기 (관측 시간)	1일(13:30)	1일(9:30)	1일(13:30)	16일(13:30)
자료 배포	(CO <sub>2</sub> )'02.5.~'17.2. (CH <sub>4</sub> )'02.9.~현재	제한적	제한적	Level 1 자료만 공개 (’17.3.~’20.1.)



〈표 2〉 국외 저궤도 초소형 온실가스 관측 위성 현황

	GHGSat(캐나다)	Carbon Mapper(캐나다)	MethanSAT(미국)
발사년도 (탑재 위성)	(GHGSat-D, C1, C2) '16, '20, '21 (GHGSat-C3, C4, C5) 2022	2023	2024.3.
관측 항목	메탄	이산화탄소, 메탄	메탄
관측	목표 지역 설정	목표 지역 설정	목표 지역 설정
자료 배포	유료 구매	미정	공개 예정

는 과정에서 오차가 포함되기 때문이다. 하지만 전 세계와 IPCC에서 주목하는 점은 첫 번째 방식으로 산정되어 보고되는 전 세계 온실가스 배출량만을 가지는 현재 발생하는 기후변화를 설명할 수 없다는 것이다. 제26차 유엔기후변화협약 당사국총회(COP26)에서 옐고어 전 미국 부통령 등이 제기한 것은 전 세계 국가로부터 보고된 온실가스 배출량이 위성 등을 통해 산정된 전 세계 온실가스 배출량보다 30억 톤 정도 누락되었다는 것이다. 또한 옐고어 전 미국 부통령 등의 자료에 따르면 한국의 2022년 국가 배출량은 1억 톤 정도가 누락되었다고 한다.

## 2 세계 각국의 온실가스 관측 위성 발사 및 운영 현황

일본·미국·유럽 등은 이미 독자적인 저궤도 온실가스 관측 위성으로 온실가스인 메탄과 이산화탄소를 관측하고 있다. 일본의 GOSAT 위성, 미국의 OCO·AIRS·IASI·CrIS 위성, 유럽의 TROPOMI 위성, 중국의 TanSat 위성들이 있으며, 저궤도 위성의 특성상 자료 활용은 다소 제한적이다. 최근 기술의 발전에 따라 개발 비용이 비싼 중형 위성을 대체할 초소형 위성의 개발이 주목받고 있다. 중형 위성 대비 저렴한 비용으로 개발이 가능해 민간에서도 위성을 개발하여 온실가스를 관측하고 있다. 캐나다의 탄소 배출량 모니터링 그룹이 발사한 최초의 상용 위성인 GHGSat과 Carbon Mapper, 미국 환경보호기금이 주도한 MethanSAT 등이 있다. 캐나다의 GHGSat 위성 관측 자료는 1회 관측 영상이 2천만 원 정도에 판매되고 있는 것으로 알고 있다. 이것이 가능한 이유는 석유

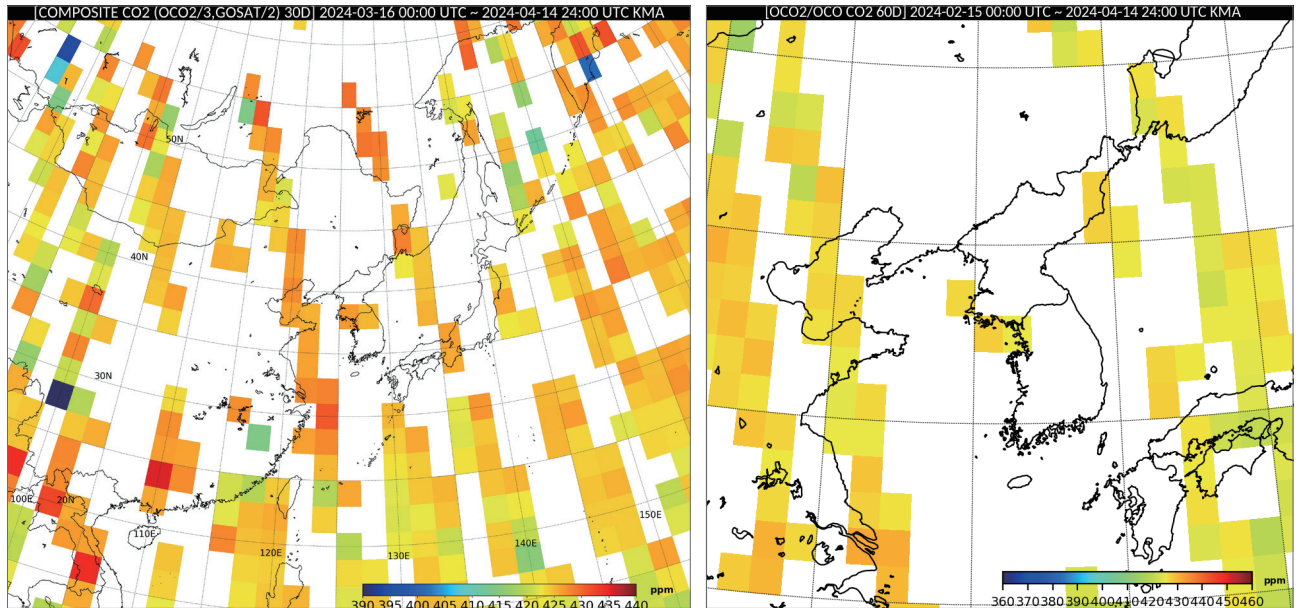
정제 및 이송과 관련된 거대 기업에서는 메탄 배출을 신고해야 하기 때문에 위성 영상의 판매가 가능한 것으로 추정된다.

## 3 환경위성센터의 초소형 온실가스 관측 위성 개발 추진

국립환경과학원 기후대기연구부 환경위성센터에서는 「대기환경보전법」 제3조의2와 제11조 2항, 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」, 제23차 한·아세안 정상회담 결과, 제4차 우주개발진흥기본계획 및 시행계획에 근거하여 국정 과제로서 초소형 온실가스 관측 위성 개발 사업을 수행하고 있다. 이에 따라 초소형 온실가스 관측 위성 기



〈그림 1〉 OCO2+3호 및 GOSAT2 30일 누적 CO<sub>2</sub> 영상(좌), OCO1+2호 60일 누적 CO<sub>2</sub> 영상(우)



출처: 기상위성센터 자료 영상

획 연구를 2023년에 완료하고, 2024년부터 실제 위성 개발에 착수하였다. 최종적으로 2027년 위성 1기 발사, 2028년 위성 4기 발사를 목표로 사업을 추진하고 있다.

혹자는 이미 발사된 국외 저궤도 온실가스 관측 위성을 이용하면 되지, 왜 굳이 우리가 온실가스 관측 위성을 운영하려고 하는지 이해하기 힘들 수도 있다. 국외 저궤도 온실가스 관측 위성은 관측할 수 있는 폭이 넓지 않아 수개월에서 1년 동안의 관측 자료를 모아서 영상화시켜야 관심 지역이 부분적으로 보이는 영상을 만들 수 있다. 특정 시기에만 관측을 할 수 있고, 그 외의 시기에는 관측할 수 없다는 의미이다. 또한 공간 해상도가 낮으며, 우리나라 국토 전체가 누락 없이 관측되지 않아 결과적으로 그 활용도는 떨어진다. 그러므로 한반도가 빠짐없이 관측되는 최소 5기의 온실가스 관측 위성의 운영이 필요한 것이다.

#### 4 초소형 온실가스 관측 위성의 활용 계획

국립환경과학원 기후대기연구부 환경위성센터에서는 초소형 온실가스 관측 위성을 통한 데이터 기반 온실가스 배

출 현황 파악으로 온실가스 농도 수준별 지자체 단위의 기후변화 적응 대책 수립 지원, 기존의 관측 체계에서 파악하지 못한 누락 배출원 탐지를 통해 온실가스 배출 제어(저감)와 국가 인벤토리 정확도 향상을 이룰 예정이다. 또한 향후 국내에 구축될 세계 최대 규모의 CO<sub>2</sub> 저장소(Carbon Capture Storage 사업)의 누출 감시, 효율적인 대기 오염 물질 및 온실가스 동시 감측 정책 지원, 초소형 온실가스 관측 위성으로 관측된 타 국가와의 협력 사업을 통해 국가 온실가스 감축 실적을 창출하여 실용적이고 국가 위상을 높일 수 있게 활용할 예정이다.

#### 참고문헌

- 관계부처 합동(2023), 「탄소중립 녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획」
- Park C., S. Jeong, H. Park, J.H. Woo, S. Sim, J. Kim, J. Son, H. Park, Y. Shin, S.M. Kwon, W. Lee(2020), Challenges in Monitoring Atmospheric CO<sub>2</sub> Concentrations in Seoul Using Low-Cost Sensors, Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences.



# 위성 자료를 활용한 기후변화 감시

김윤재 국가기상위성센터장



## 1 위성 관측: 기후변화 감시의 핵심 도구

지구의 기후변화는 미래 인류의 생존을 위협하는 심각한 사회 문제의 하나이며, 그 영향이 전 지구적으로 나타나고 있다. 이러한 지구의 변화를 감시하기 위해, 위성 관측 자료의 활용은 광범위하게 나타나는 환경 변화를 감시하고 이해하는 데 중요한 도구가 되었다. 대기, 해양, 빙하, 그리고 육지의 시·공간적 변동성을 감지할 수 있는 위성 관측 자료는 과학적 연구뿐만 아니라 기후위기를 경감하기 위한 정책의 수립과 추진 과정의 점검에도 중요한 역할을 한다. 기상위성의 관측 자료는 기후 모델을 개선하고, 지구의 장기적인 환경 변화를 추적 감시하며, 기후변화에 대한 전 지구적인 대응 전략을 수립하는 데 필수적인 근거 자료로 활용될 수 있다. 위성은 광범위한 영역을 동일한 방식으로 관측하므로, 지구 전체를 대상으로 다양한 기후변수를 측정할 수 있고, 장기간 관측된 위성 자료는 기후변화 연구에 핵심 자료로 활용될 수 있다.

## 2 위성 관측 자료: 핵심기후변수(ECV, Essential Climate Variable) 생산의 핵심

세계기상기구(WMO, World Meteorological Organization), 유엔환경기구(UNEP, UN Environment Programme) 등은 지구의 기후변화와 관련된 문제를 해결하기 위해 지구기후관측시스템(GCOS, Global Climate Observing System)을 설립하고, 지구 환경의 변화를 구체적이고 정확하게 파악하기 위해 55종의 핵심기후변수를 정의하였다. 지상, 항공, 선박 등에서 관측되는 핵심기후변수들 중 약 60%는 위성으로 관측이 가능하며, 위성 운영국들은 지표면 온도, 해수면 온도, 대기 중 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 농도 등 위성 핵심기후변수를 생산·저장하고, 이를 공유하기 위한 국제인벤토리(ECV Inventory)를 운영하고 있다. 위성 핵심기후변수는 기후 시스템의 복잡한 상호작용을 이해하고, 기후변화의 미묘한 징후를 조기에 탐지하는 데 중요하게 활용될 수 있다. 예를 들어, 위성으로 산출한 전

〈그림 1〉 GCOS 선정 핵심기후변수 55종 목록

Atmosphere		Land		Ocean	
<b>Surface</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Precipitation</li> <li>Pressure</li> <li>Radiation budget</li> <li>Temperature</li> <li>Water vapour</li> <li>Wind speed and direction</li> </ul>	<b>Hydrosphere</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Groundwater</li> <li>Lakes</li> <li>River discharge</li> <li>Terrestrial water storage</li> </ul>	<b>Cryosphere</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Glaciers</li> <li>Ice sheets and ice shelves</li> <li>Permafrost</li> <li>Snow</li> </ul>		<b>Physical</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ocean surface heat flux</li> <li>Sea ice</li> <li>Sea level</li> <li>Sea state</li> <li>Sea surface currents</li> <li>Sea surface salinity</li> <li>Sea surface stress</li> <li>Sea surface temperature</li> <li>Subsurface currents</li> <li>Subsurface salinity</li> <li>Subsurface temperature</li> </ul>	<b>Biogeochemical</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Inorganic carbon</li> <li>Nitrous oxide</li> <li>Nutrients</li> <li>Ocean colour</li> <li>Oxygen</li> <li>Transient tracers</li> </ul>
<b>Upper-air</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Earth radiation budget</li> <li>Lightning</li> <li>Temperature</li> <li>Water vapor</li> <li>Wind speed and direction</li> <li>Clouds</li> </ul>	<b>Biosphere</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Above-ground biomass</li> <li>Albedo</li> <li>Evaporation from land</li> <li>Fire</li> <li>Fraction of absorbed photosynthetically active radiation (FAPAR)</li> <li>Land cover</li> <li>Land surface temperature</li> <li>Leaf area index</li> <li>Soil carbon</li> <li>Soil moisture</li> </ul>	<b>Biosphere</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Above-ground biomass</li> <li>Albedo</li> <li>Evaporation from land</li> <li>Fire</li> <li>Fraction of absorbed photosynthetically active radiation (FAPAR)</li> <li>Land cover</li> <li>Land surface temperature</li> <li>Leaf area index</li> <li>Soil carbon</li> <li>Soil moisture</li> </ul>		<b>Biological/ecosystems</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Marine habitats</li> <li>Plankton</li> </ul>	
<b>Atmospheric Composition</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aerosols</li> <li>Carbon dioxide, methane and other greenhouse gases</li> <li>Ozone</li> <li>Precursors for aerosols and ozone</li> </ul>	<b>Anthroposphere</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Anthropogenic Greenhouse gas fluxes</li> <li>Anthropogenic water use</li> </ul>				

출처: GCOS Website



세계적의 정밀한 지표면 온도는 지구의 에너지 균형과 대기와의 상호작용을 이해하는 데 직접적으로 활용될 수 있으며, 수치 모델의 입력 자료로 활용되어 정확성을 높이는 데 기여할 수 있다.

### 3 극지방 위성 감시를 통한 지구온난화 추적

지구온난화의 직접적인 영향을 가장 잘 보여주는 지역 중의 하나가 극지역이다. 가시광선 영역, 적외 영역, 마이크로파 영역의 채널들을 탑재한 7~8기의 극궤도 기상위성들은 각각 하루에 14회 이상 극지역을 통과하며, 하루에도 100회 이상의 관측을 수행한다. 이들 위성을 통해 수집된 빙하의 면적 및 두께 자료는 지구온난화의 진행 상황을 파악하고 이해하는 데 필수적인 정보를 제공한다. 이는 과학자들이 기후변화에 대응하기 위한 정책을 제안하는 데 있어 중요한 근거 자료가 된다. <그림 2>는 국가기상위성센터에서 운영 중인 북극 해빙 감시 시스템으로 실시간 북극 해빙 면적 및 변화의 정보를 제공함으로써 극지역에서의 태양복사 유입과 대기 순환 과정의 이해와 예측, 중위도 지역의 한파, 북극 항로의 이용 등 경제적 분야에 활용할 수 있다.

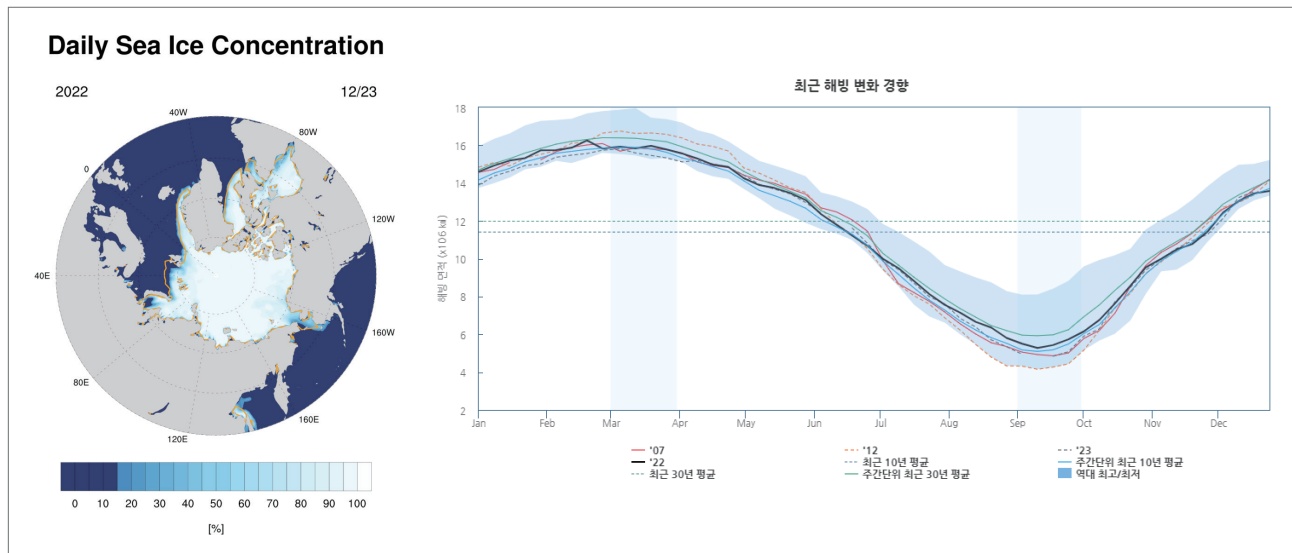
### 4 위성 관측을 통한 계절 변화 감시 및 에너지 산업 지원

장기간의 기후변화는 농작물이나 산림의 변화에 영향을 미치게 되지만, 해마다 계절의 변화 시기를 다르게 하기도 한다.

천리안 기상위성의 가시채널을 활용한 천연색 RGB 영상(<그림 3>)을 통해 식물의 성장 상태와 활력을 쉽게 분석할 수 있으며, 계절과 식생의 변화를 파악할 수 있다. 최근의 연구는 개화 시기가 점차 앞당겨지고, 여름이 더 길어지며, 가을의 단풍 시기는 더 늦어지는 경향을 보여준다. 이러한 변화는 농작물 재배 주기, 야생 동물의 이주 및 번식 경향, 그리고 물과 영양소 순환에 직접적인 영향을 미친다. 기후변화로 인해 계절의 길이와 강도가 변화하고 있는 지금, 위성에서의 관측 기술을 이용하여 자연의 변화를 지속적으로 모니터링하는 것은 기후변화에 적응하고 대응하는 과정에서 필수적인 역할을 한다.

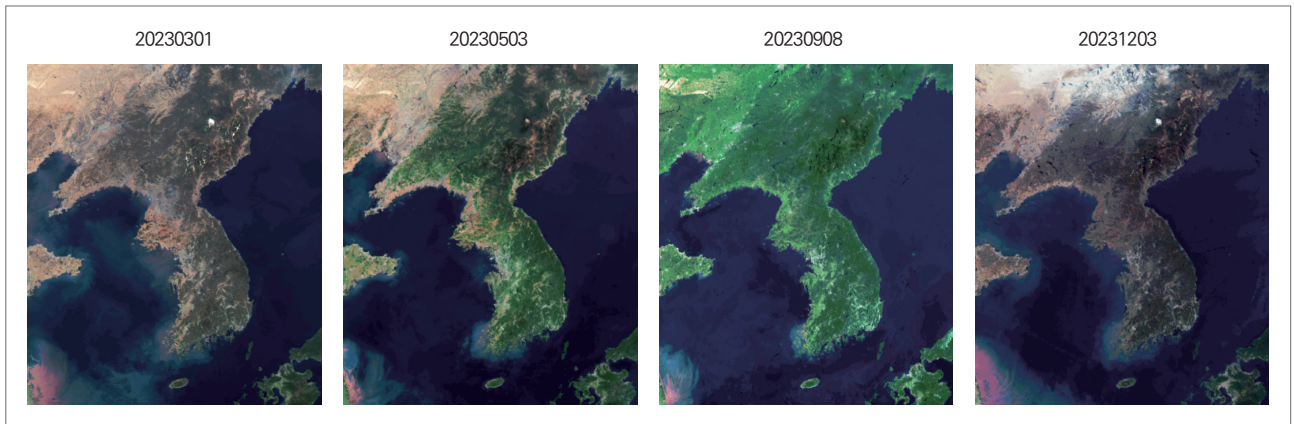
한편, 고해상도 일사량 자료를 이용한 전력량 관리와 농업 등 산업계 활용을 위한 요구가 증가하고 있는 추세이다. 이에 국가기상위성센터는 고품질 천리안 기상위성 일사량을 생산하고 있으며 장기적인 추세 분석을 통해 기후변화에 따른 일사량과 일조 시간의 변화를 감시하고 있다. 수십 개의 특정 지점들에 한정된 지상 관측의 한계를 극복

<그림 2> 위성 자료를 이용한 북극 해빙 면적과 최근 변화 경향



출처: 국가기상위성센터 북극 해빙 감시 시스템

〈그림 3〉 천리안 기상위성의 천연색 RGB 합성 영상, 가시채널 30일 최소 반사도값 합성



출처: 국가기상위성센터

하여 빈틈없이 제공되는 천리안 위성 일사량 자료는 태양 복사 에너지로 전기를 생산하는 발전소의 부지 선정과 실시간으로 태양 에너지 생산량을 예측하고 관리하는 데 사용되어 효율적인 전력 생산을 가능하게 할 수 있다. 또한 농업에서는 작물의 성장에 필요한 광합성 활동을 위해 일사량 자료가 중요한데, 위성 일사량 자료를 통해 작물의 성장 단계에 맞는 최적의 재배 전략을 수립할 수 있다. 예를 들어, 특정 지역의 일사량 변화를 모니터링하여 개화 시기, 작물의 수확 시기를 관리하거나 물 사용량을 조절할 수 있다.

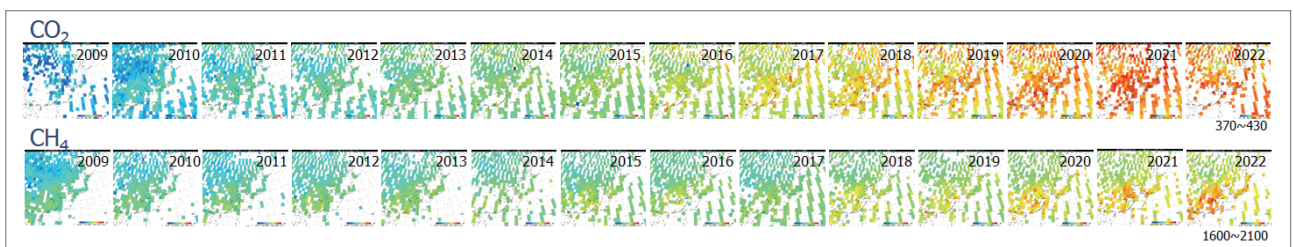
### 5 지구온난화의 원인 물질 온실가스 감시

온실가스 감시는 지구온난화의 주요 원인을 파악하고, 국제적인 기후 협약에 따른 각국의 책임과 진행 상황을 평가

하는 데 중요한 역할을 한다. 하지만, 지상 관측 자료만으로는 온실가스의 지역적 분포와 시간에 따른 변화를 추적하여 환경 정책과 전략을 수립하는 데 한계가 있다. 위성은 대기 중의 이산화탄소, 메탄(CH<sub>4</sub>)과 같은 기후변화의 주범인 온실가스 농도의 시·공간적인 변동성을 감시할 수 있는 강력한 관측 수단이다. 〈그림 4〉와 같이 위성 관측 자료를 활용하여 온실가스의 시·공간적인 변동성을 감시하고 있으며, 자료 분석을 통해 동아시아 지역 이산화탄소의 농도는 매년 약 2ppm, 메탄의 농도는 약 7.5ppb 정도씩 증가함을 확인하였다. 이러한 정보는 인간 활동으로 인한 지구 온난화의 영향을 평가하고, 정부의 온실가스 감축 목표 달성의 과학적 근거 자료로 활용될 수 있다.

한편 미국과 일본의 4기의 위성 관측으로는 충분한 양의 관측이 이루어지지 않고 있어, 유럽과 우리나라 기상청에서도 더 많은 온실가스 감시 자료의 확보를 위하여 온실가스를 관측하는 소형 위성의 개발을 준비하고 있다.

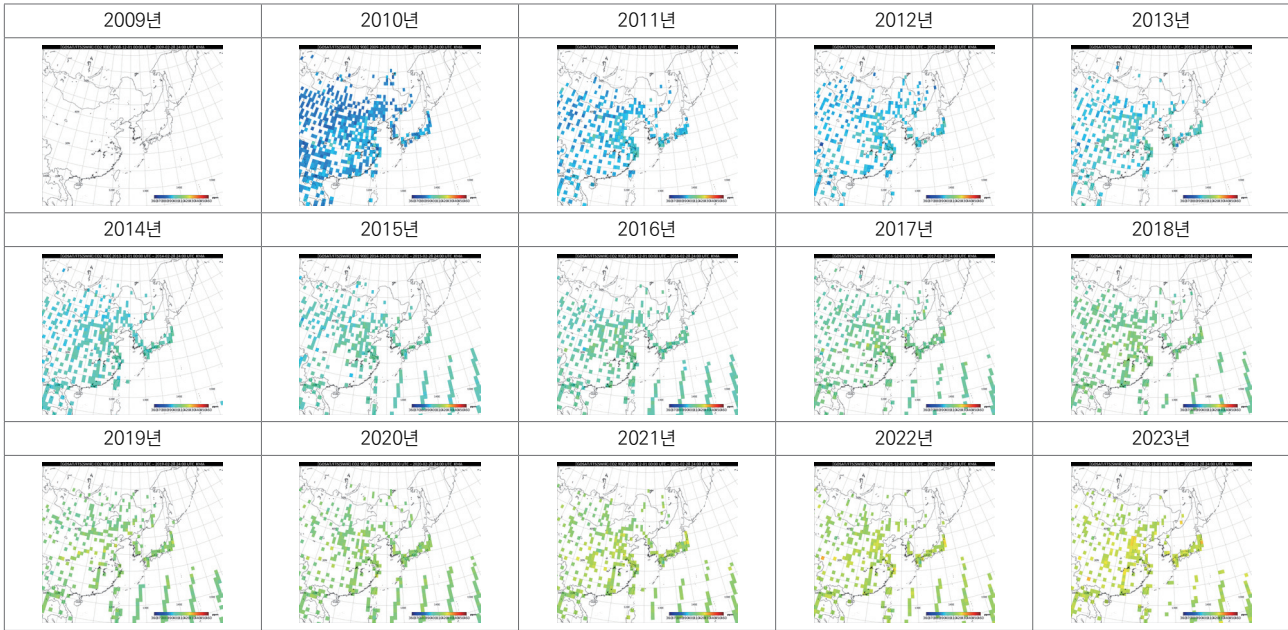
〈그림 4-1〉 위성으로 산출한 2009년부터 2022년까지 봄철 동아시아 지역의 온실가스(CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>) 농도 변화



출처: 국가기상위성센터 온실가스 감시 시스템

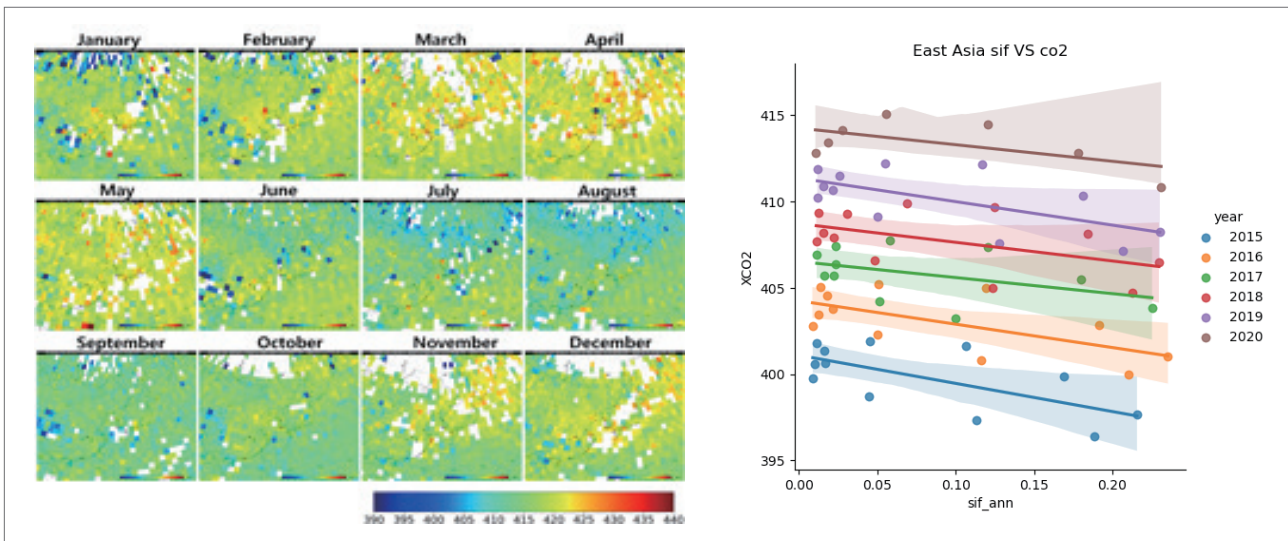


〈그림 4-2〉 위성에서 관측된 2010년부터 2023년까지 봄철 동아시아 지역의 온실가스(CO<sub>2</sub>) 농도 변화



출처: 국가기상위성센터 온실가스 감시 시스템

〈그림 5〉 2022년 동아시아 지역 이산화탄소 농도의 월별 변화(좌)와 2015~2020년 월별 이산화탄소 농도와 식생의 성장과 관련된 광합성반응지수와의 상관관계(우)

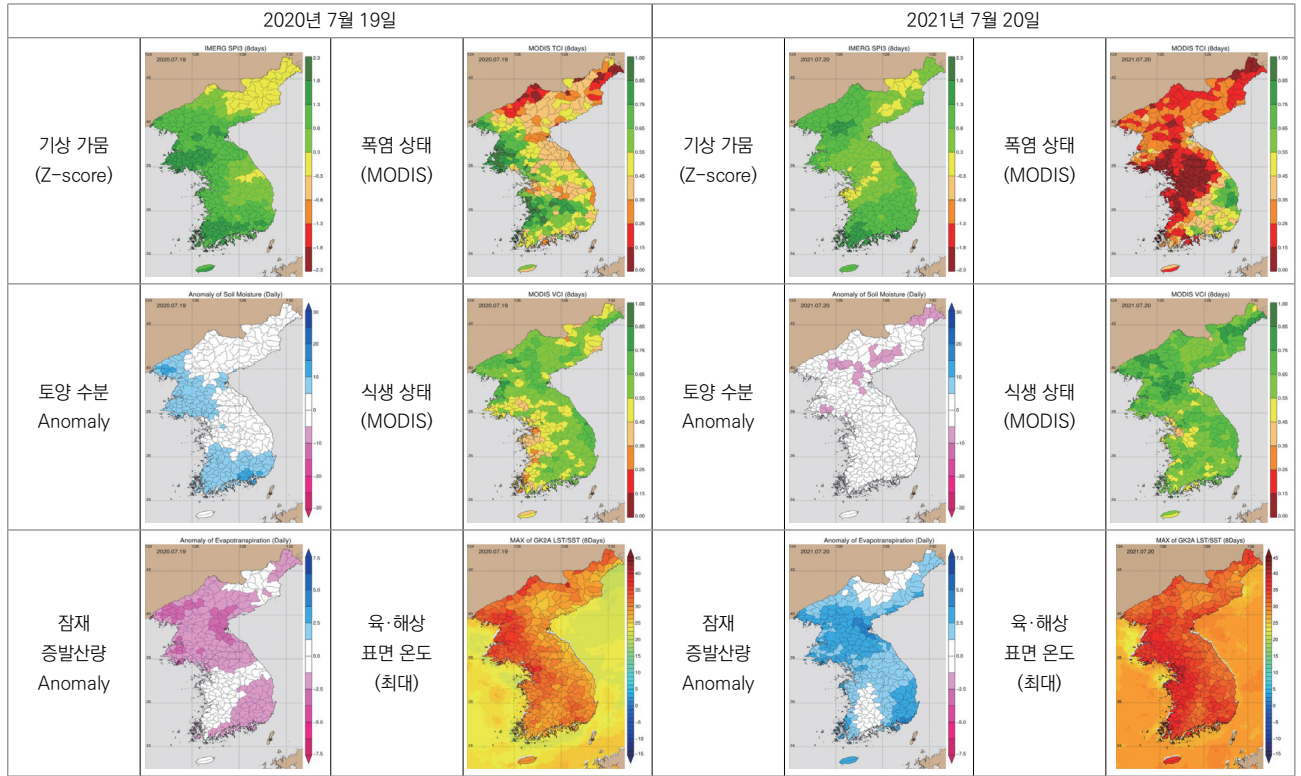


출처: 국가기상위성센터

〈그림 5〉는 동아시아 지역 이산화탄소 농도의 월별 변화와 식생 성장에 따른 광합성반응지수인 태양유도엽록소형광(SIF, Solar-Induced Fluorescence)과의 상관관계를 나타내는 그래프이다. 겨울철 난방 등으로 배출된 이산화탄소가 누적되어 3~4월에 최댓값을 나타내며, 〈그림 5〉의 오른쪽 그림에서 확인할 수 있는 바와 같이 식생의 성장이

시작되면서 감소하기 시작하여 8월에 최소를 나타낸다. 이러한 분석을 시작으로 기상청에서는 관측과 수치 모델을 통한 전 지구적인 탄소 순환을 이해하고 감시하기 위하여 이산화탄소 농도의 흡수, 배출과 관련된 탄소 추적 시스템 개발을 추진하고 있다.

〈그림 6〉 천리안 기상위성을 활용한 가뭄 감시 요소들, 2021년 여름철은 잠재증발산량 Anomaly가 양의 값으로 폭염에 의한 급성가뭄 현상이 발생함



출처: 국가기상위성센터 가뭄 감시 시스템

## 6 기후위기 대응을 위한 수문/가뭄 감시

마지막으로 위성은 강수 정보, 해수면의 고도, 토양의 습도와 같은 수문학적 변수를 관측할 수 있다. 이 정보는 홍수, 가뭄 및 기타 극단적 기후 조건에 대한 예측과 위기 대응을 위한 계획 수립에 매우 중요하다. 수자원 관리자들은 위성 데이터를 활용하여 물 자원의 효율적인 배분과 사용을 계획할 수 있으며, 재난 발생 시 신속하게 대응할 수 있는 기반을 마련할 수 있다. 또한, 수문 감시는 농업, 도시 계획, 에너지 생산과 같은 여러 분야에서 중요한 의사결정을 내릴 때 필요한 데이터로 제공될 수 있다. 예시로 〈그림 6〉처럼 비록 2020년과 2021년 여름철의 기상학적인 가뭄 지수는 유사했지만 2021년 여름철은 폭염과 잠재증발산량 증가로 인한 가뭄 현상이 나타났음을 천리안 기상위성으로 산출한 수문과 관련 가뭄 지수, 토양 수분, 잠재증발산량 등의 정보로 확인할 수 있다.

## 7 위성 기술의 발전과 미래 기후변화 대응 전략

위성 관측 기술은 지속적으로 발전할 것이며, 다양한 지상 관측과 수치 모델을 통한 분석으로 극한 기상현상과 기후변화의 연구와 대응에 더욱 중요한 역할을 할 것이다. 새로운 세대의 위성들은 더 넓은 범위와 더 높은 해상도로 지구의 변화를 감시할 수 있을 것이며, 이는 과학자들이 더욱 정밀한 데이터에 기반해 기후변화의 원인과 영향을 이해하도록 할 것이다. 아울러 전 세계 정책 입안자들이 보다 효과적인 기후변화 대응 전략을 수립하는 과정에 결정적 도움을 줄 것이다. 지속가능한 미래를 위한 글로벌 노력의 일환으로, 위성 기술의 활용과 개발은 지구 환경의 보호 및 인류 복지 증진에 기여할 핵심 요소로 자리 잡을 것이다.

### 참고문헌

- 김홍중(2023), 「공공부문 산업데이터 활용을 통한 문제해결 및 부가가치 창출 전략」, 공공부문 산업데이터 기반 문제해결 및 가치 창출을 위한 리빙랩 활용 전략 포럼 발제자료, 산업통상자원부.
- Bassi, L(2011), Raging debates in HR analytics, People & Strategy, Vol.34, No.2, pp.14-18.



# 해수면 상승 원인과 이로 인한 기후위기의 잠재적 파급 효과

이원상 극지연구소 책임연구원



## 1 가속화되고 있는 기후위기

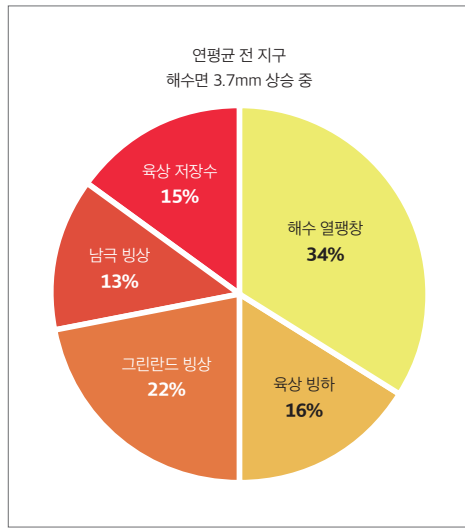
최근 '기후변화'보다 '기후위기'라는 표현을 뉴스 매체에서 더욱 자주 접하고 있다. 전 세계 각지에서 빈번하고 격렬하게 발생하고 있는 폭염, 해안 홍수, 가뭄 등이 악화되고 있는 기후변화의 대표적인 사례로 거론된다. 혹자는 겨울철 혹한을 겪고 나니 과학자들이 '지구 온난화'라는 표현을 '기후변화'로 두루뭉술하게 바꿔 쓴다고 의심하지만, 사실 이미 수십 년 전부터 두 용어는 함께 사용되어왔다. 급격한 지구 온도 상승은 시공간적으로 매우 불규칙한 기상현상들을 발생시킨다. 예를 들면, 극단적으로 비가 많이 오거나 적게 오는 날들이 동시에 증가할 것으로 전망된다는 것이다. 이와 같은 극한 현상의 발생 가능성과 피해 증가는 필연적으로 큰 폭의 사회적 비용 증가를 유발한다.

지금 일어나고 있는 온난화는 자연 변동성의 일부이기 때문에 가만히 내버려두면 언젠가 제자리를 찾을 것이라는 막연한 믿음을 가지던 때가 있었다. 하지만 제6차 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change) 종합보고서에 의하면(IPCC, 2023) "기후변화는 전적으로 인간 활동에 의해 초래됐다"고 과학적인 결론을 내렸다. 산업혁명 이후 인간의 활동이 자연 변동성을 넘어선 온난화의 주범이라는 사실을 분명히 한 것이다. 화석 연료를 사용하던 기존 에너지 정책을 대체하는 재생 에너지로의 전환을 서두르지 않으면 되돌릴 수 없는 기후재앙이 펼쳐질 것으로 예견되기까지 한다. 자연이 더 이상 자연스럽지 않은 상태가 된다는 말이다.

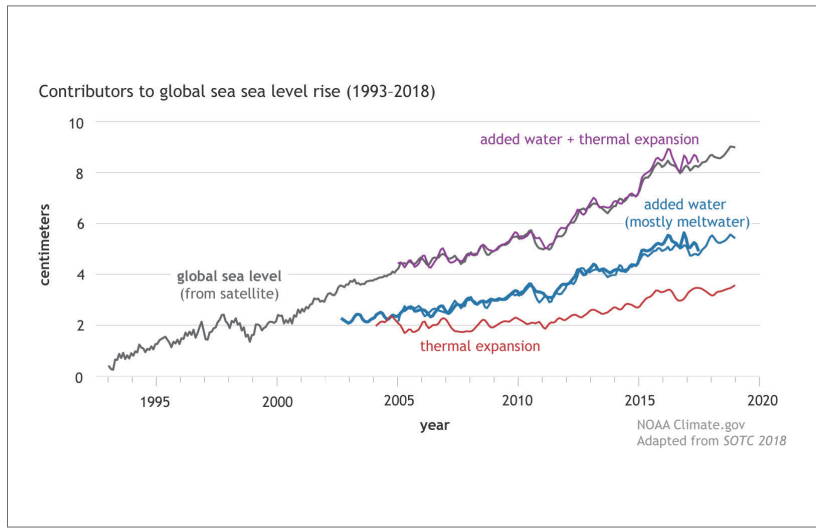
제6차 IPCC 보고서에서 눈여겨봐야 할 만한 사실 몇 가지를 들어보면, 현재 대기 중 이산화탄소 농도가 과거 200만 년 사이 가장 높은 수준을 나타내고 있고, 북극의 해빙 면적은 근래 1,000년간 가장 낮은 수준이다. 전 지구 빙하 감소의 특성 역시 지난 2,000년과 비교할 때 전례 없는 상황을 보이고 있다고 한다. 특히 전 지구 해수면은 과거 3,000년 사이 가장 빠른 상승률을 보고하고 있다. 더 큰 문제는 이러한 현상이 최근 가속화되고 있고 앞으로도 지속될 가능성이 높다는 사실이다.



〈그림 1〉 전 지구 평균 해수면 상승에 기여하는 다양한 요인 〈그림 2〉 2000년대 초반 이후 육빙의 융해가 해수면 상승을 주도



출처: IPCC, 2023



출처: NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration), 2022

## 2 경제적, 사회적 손실을 초래하는 해수면 상승

전 세계적으로 뉴욕, 시드니, 상하이와 같은 대도시가 연안에 위치해 있고, 해수면 기준 저지대에 상당한 인구가 거주하고 있다. 이 때문에 앞서 언급한 기후변화로 발생하는 여러 자연재해 가운데 해수면 상승은 가장 광범위한 지역에 막대한 경제적, 사회적 손실을 초래하게 된다. 특히 해수면이 약 0.1m만 상승하더라도 전 지구 인구 1천만 명가량이 추가적인 영향을 받을 것으로 추정되고 있다(IPCC, 2018). 또한, 2050년까지 기후변화로 연안에 거주하고 있는 1억 5천만 명의 삶의 터전이 물에 잠기고 3억 명이 해마다 한 번 이상 홍수 피해를 겪을 것으로 예측된다는 보고도 잇따르고 있다(Kulp and Strauss, 2019). 우리나라도 같은 기간 약 65만 명이 기후변화로 침수 피해를 볼 것으로 예측된다(이원상 외, 2022).

해수면 높이는 해류, 바람, 해저 지형, 육상에 있는 물의 유입 등 여러 가지 요소에 의해 변화가 일어난다. 이 중 해수온 상승에 의한 열팽창과 육상 얼음의 융해에 의한 효과가 가장 크게 작용한다. 특히 2000년대 초반까지는 해수 열팽창이 해수면 상승을 주로 일으켰다면, 그 이후로는 남극의 얼음과 더불어 육상 빙하가 빠르게 녹아내려 해수면

상승을 2배 가까이 주도하고 있다. 주목할 만한 사실은 2007~2016년 남극에서 얼음의 질량 손실은 1997~2006년에 비해 3배 늘었고, 그린란드에서는 2배로 증가하여 이 두 지역에서의 얼음 손실이 해수면 상승을 가속화하고 있다는 것이다(IPCC, 2023).

제6차 IPCC 종합보고서에 따르면 2100년의 전 지구 평균 해수면이 1900년과 비교할 때 크기는 1.1m(RCP8.5 시나리오 가정 시; 거의 일어나지 않을 최악의 시나리오)까지 상승할 것으로 예측되는데, 여기에는 현재 일어나고 있는 남북극의 급격한 얼음 질량 감소에 관한 영향이 배제되어 있다. 여전히 많은 불확실성을 가지고 있지만, 이를 고려한다면 약 2m까지 해수면이 상승할 가능성이 예상되고 있다. 많은 과학자들은 미래 해수면 상승 예측 불확실성을 완화하기 위해 극지 연구에 많은 노력을 기울여야 한다고 입을 모은다.

바다는 특성상 많은 열을 함유할 수 있지만, 한편으로는 열을 많이 저장하고 있기 때문에 넘치는 열 에너지를 해소하는 데도 오랜 기간이 소요될 수밖에 없다. 지금 당장 지구 온난화를 멈추더라도 해수면 상승 추세는 향후 100여 년간 지속된다는 말이다. 특히 극지역 얼음이 녹아 바다에 많은 물이 유입되면 열팽창과 더불어 더욱 가파른 해수면 상

승을 일으키기 때문에 갈수록 상황은 심화될 것으로 보인다.

전 지구 표면의 70%가량을 차지하는 바다는 지구의 기후를 조절하는 가장 중요한 요소이다. 특히 해수 열팽창을 이해하려면 바다의 특성을 면밀히 이해할 필요가 있다. 역사적으로 바다의 온도를 측정하기 위해서는 선박에서 센서 등을 물속에 내려 측정해야 했다. 상당한 인력, 시간과 예산을 소요함에도 불구하고 광대한 바다의 일부분에서만 자료 획득이 가능하기 때문에 최근에는 보다 완전한 해양 열 함량(Ocean heat content)을 다양한 깊이에서 파악하기 위해 다양한 기기들을 개발하여 활용하고 있다. 대표적으로 아르고 부유기(Argo floats)로 알려진 로봇식 장비는 지난 20여 년간 전 세계 바다에서 온도를 성공적으로 측정하고 있다. 현재 약 4,000여 대의 장비가 운용 중이며 생산된 자료는 체계적으로 저장, 분석되어 공개적으로 제공되고 있다(<https://argo.ucsd.edu>).

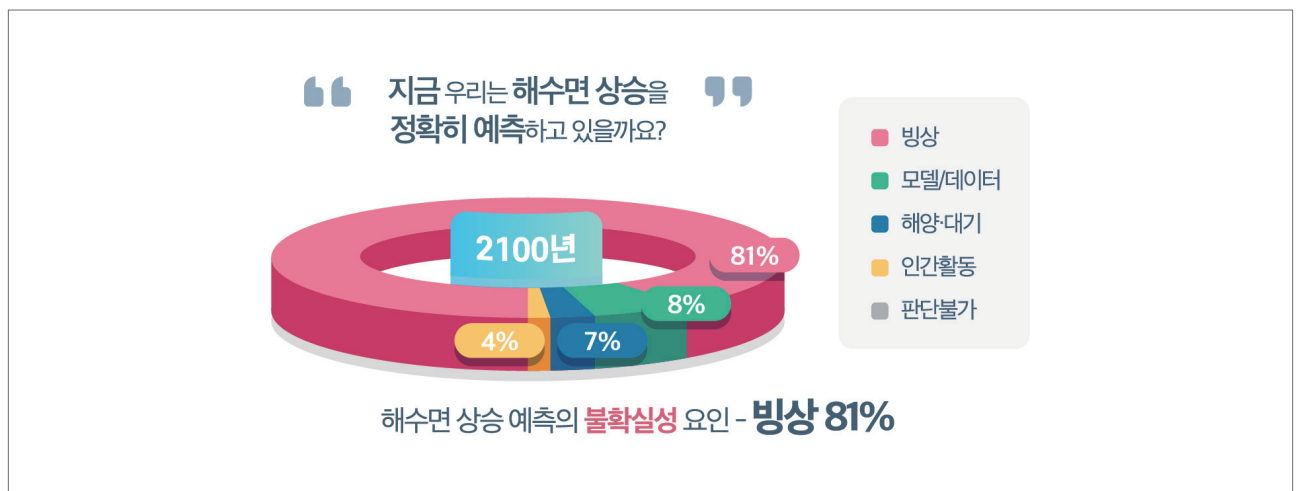
일반적으로 얼음의 질량 변화는 인공위성과 항공기를 활용한 원격 탐사를 통해 관찰이 이루어지고 있다. 인공위성 고도계로 남극과 그린란드의 얼음 높이를 정밀하게 측정하고, 얼음투과 항공레이더 탐사를 수행하여 얼음 바닥 압반의 해발 고도를 측정하게 되면 얼음 두께 계산이 가능하다. 얻어진 두께로부터 부피를 계산하고 밀도를 고려하여

질량으로 환산하게 되면 얼음이 녹아 해수면이 얼마나 상승할지 간단히 계산할 수 있다. 이를 통해 남극과 그린란드 얼음이 다 녹게 되면 각각 58m, 7m 해수면이 상승할 것으로 추정 가능하다. 하지만 정작 중요한 것은 이 엄청난 양의 얼음이 수천수만 년에 걸쳐 다 녹는 상황을 인지하는 것이 아니라, 얼마나 많은 얼음이 얼마나 빨리 녹아서(How much, how fast) 지금을 비롯한 가까운 미래에 얼마나 우리 생활에 직접 영향을 미치는지 정확히 예측하는 것이다.

### 3 다양한 극한지 탐사 방법

현재 남극에서 가장 빨리 얼음이 사라지고 있는 서남극 스웨이츠 빙하(Thwaites Glacier, 일명 '운명의 날' 빙하)를 대상으로 국제적인 협력 연구가 활발히 진행되고 있다. 이 빙하는 상류에 있는 서남극 빙상의 흐름을 효과적으로 제어하고 있는데, 만약 사라지게 되면 그 자체로 65cm 해수면 상승을 초래하고, 코르크 마개가 뚫린 와인 병의 와인처럼 서남극 빙상도 결국 무너져 내려 5m 이상의 해수면이 상승할 것으로 과학자들은 예상하고 있다. 미국과 영국은 이 빙하를 대상으로 2018년부터 남극 과학연구 역사상 가장 큰 규모의 연구(ITGC, International Thwaites Gla-

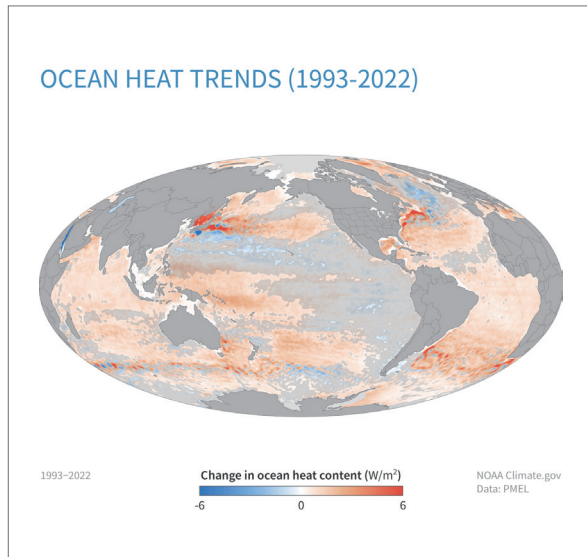
〈그림 3〉 미래 해수면 상승 예측 불확실성의 요인



출처: Horton 외, 2020



〈그림 4〉 급상승하고 있는 한반도 주변 바다 온도



출처: Ocean Heat Content, 2023, NOAA

cier Project)를 수행 중이다. 우리나라는 2019년부터 해양수산부 지원으로 한국해양과학기술원 부설 극지연구소에서 협력 연구(LIONESS K-NOW)를 수행하고 있다. 급격한 얼음 질량 감소의 원인 규명을 위한 관측이 매우 다양한 학제 간 연구를 통해 진행되고 있다.

특히 우리나라의 경우 세계 수준의 쇄빙연구선 아라온을 기반으로 헬리콥터를 활용하여 접근이 매우 제한적이고 빠르게 움직이는 스웨이트 빙하 지역 탐사를 성공적으로 수행해 남극 얼음-해양 상호작용 탐사 분야 ‘퍼스트 무버(First Mover)’로 인정받고 있다. 얼음이 빠르게 녹는 원인을 규명하기 위해 얼음 주변 해양의 물리적 변화를 면밀히 관찰하고자 연구선 장비 활용을 비롯하여 물범 부착 센서 탐사 활동도 수행하고 있다. 얼음 위에는 정밀 GPS 관측소와 두께 변화를 정확히 측정하는 레이더 시스템을 구축하여 관찰하고 있다.

인공위성을 활용하여 얼음의 고도와 중력의 변화도 면밀히 관찰 중이다. 이 연구에는 얼음의 중력 변화 관측에 있어 얼음 자체의 질량이 감소하는지, 아니면 상부의 얼음 질량 감소로 얼음 아래 암반이 솟아오르는 영향 때문에 변화가 일어나는지 구분하기 위한 별도의 작업이 필요하다. 이를 위해 주변 암반 노출 지역에 정밀 GPS 관측소를 설치하

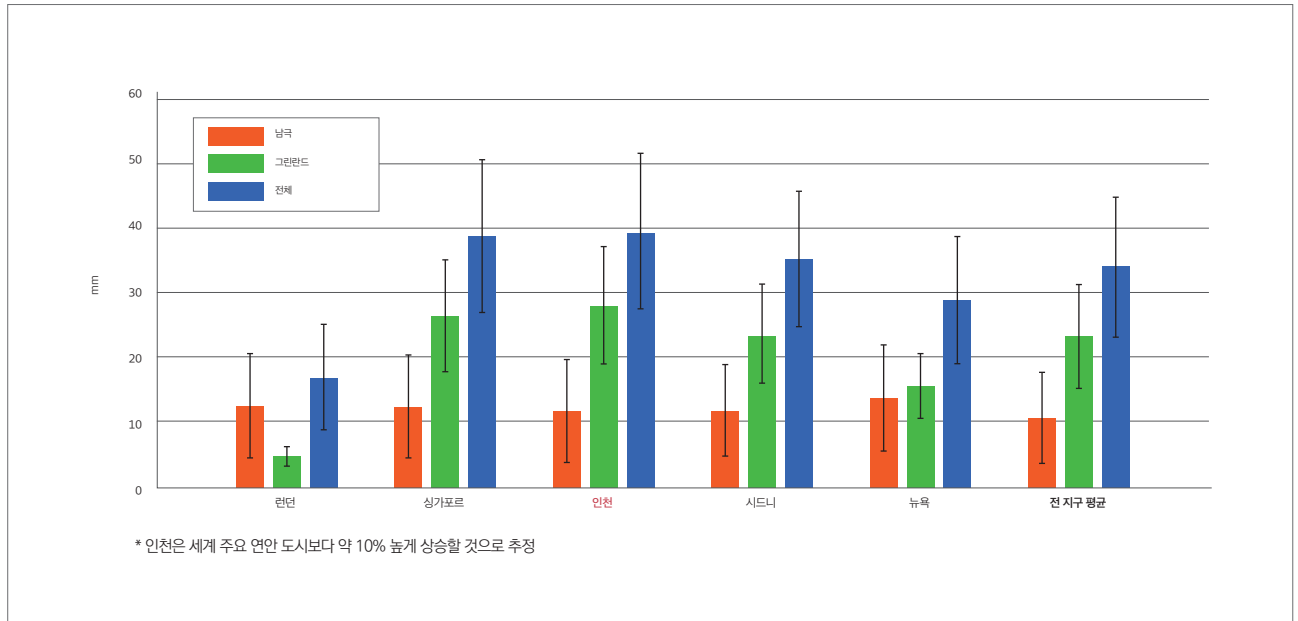
여 이 문제를 해결하고 있다. 남극 대륙 얼음과 연결되어 있는 물에 떠있는 약 100~900m 두께의 얼음 덩어리인 빙붕의 안정도를 정량화하려면 얼음 아래 해양의 물리적 특성을 정확히 파악해야 한다. 쇄빙선과 인공위성으로는 얼음 하부 탐사가 불가능하기 때문에 쇄빙선에서 무인잠수정을 투입하거나 90°C가량의 뜨거운 물을 얼음에 고압으로 분사해 구멍을 뚫어 얼음 아래로 관측 센서를 투입하는 반영구적 관측도 함께 수행하고 있다.

다양한 극한지 탐사 방법으로 획득된 자료는 수치 모델의 입력변수와 경계값으로 활용되어 보다 현실적이고 정확한 예측 결과를 도출하는 데 도움이 되고 있다. 결국 이러한 연구를 통해 미래 전 지구 해수면 상승에 극지역 얼음 질량 변화가 얼마만큼 기여할지에 관한 상세한 정보를 제공할 수 있을 것이라 기대한다. 관측 자료는 매우 다양한 변수를 제공하고 크기 면에서도 방대한 양이므로 대용량 저장소와 고속 자료 처리를 위한 고성능 컴퓨팅 시스템 확보가 선결되어야 한다. 대부분의 연구 기관에서 자체 고성능 컴퓨팅 시스템을 활용하고 있지만, 국가적으로 잘 운영되고 있는 시스템을 체계적으로 활용하는 방법이 지속가능한 연구를 보장할 수 있을 것이라 생각한다.

#### 4 해수면 상승 대응에 대한 제언

우리나라는 국토의 삼면이 바다로 둘러싸인 나라다. 해양 기후변화에 직접적인 영향을 받을 수밖에 없다. 특히 연안에 국가산업단지 및 원자력발전소 등 국가기반시설이 집중되어 있어, 해수면 상승과 연계된 연안재해 발생 시 막대한 경제적, 사회적 손실을 입을 가능성이 높다. 이미 우리나라 연안 해양에서는 뜨거워진 해수온의 영향으로 연평균 해수면 상승률이 전 지구 평균값을 상회하는 관측 결과가 보고되고 있다(국립해양조사원, 2023; NOAA, 2023). 그동안 우리나라는 남극과 북극이 지리적으로 매우 멀리 떨어져 있어서 극지역 얼음 용해에 따른 해수면 상승 영향이 매우 제한적일 것이라 인식하고 있었다. 하지만 최근 연구 결과에 따르면 2050년 인천 앞 바다 해수면(4cm 상승)이 전 지구 평균 해수면(3.6cm 상승)보다 약 10% 높을 것으로 예측되었다(Lee 외, 2024). 언뜻 이해가 안 갈 수도

〈그림 5〉 2050년 남극과 그린란드 얼음 용해에 따른 전 지구 해수면 상승 예측



출처: Lee et al, 2024

있겠다. 이는 빙하가 많은 남극과 그린란드 주변은 빙하가 줄어들어는 만큼 만유인력의 감소로 해수면이 오히려 하강하는 반면, 여기서 멀리 떨어진 바다는 반작용으로 평균보다 해수면 상승 폭이 크기 때문에 일어나는 현상이다. 해수면 상승은 평균 수치 상승의 심각성뿐만 아니라 이로 인한 여파에도 주의를 기울여야 한다. 일단 상승한 해수면은 월파(越波)와 같은 극한 해수면 현상을 크게 증폭할 수 있어 기존의 연안 방제시설 설계 기준을 변경해야 할 필요성까지 제기된다. 결국 해수면 상승 예측 정확도를 높이는 것이 국민 생활 안전에 직결되어 있음을 인식하여야 한다. 극지방이 멀리 있다고 관망하고 있을 시기는 지났다. 해양과 극지에서 벌어지고 있는 급격한 변화를 면밀히 관측하고 새로운 물리현상을 이해하여 보다 정확한 미래를 예측하는 것이 급선무다. 2023년 10월 제정된 「기후·기후변화 감시 및 예측 등에 관한 법률」과 해양수산부에서 신설한 기후환경국제전략팀이 구상하고 있는 체계적인 기후변화 관련 정보 생산 및 활용 방안 마련은 해양 기후위기에 대한 대응 체계 구축이라는 차원에서 매우 고무적이다. 정책결정자들은 이와 같은 과학적 근거를 바탕으로 예상되는 연

안 재해에 선제적으로 대응할 수 있는 올바른 대책 수립에 온 힘을 기울여야 할 것이다.

참고문헌

- 이원상 외(2022), 「급격한 극지 빙상 용융에 의한 해수면 변동예측에 관한 기획연구」, 극지연구소, 499pp.
- Horton, B. P., Khan, N. S., Cahill, N. et al.(2020), "Estimating global mean sea-level rise and its uncertainties by 2100 and 2300 from an expert survey", npj Climate and Atmospheric Science, Vol.3, 18.
- The IMBIE team.(2018), "Mass balance of the Antarctic Ice Sheet from 1992 to 2017", Nature, Vol.558, pp.219-222.
- IPCC(2018), Global Warming of 1.5°C: An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty, [Masson-Delmotte, Zhai, V., P., Pörtner, H. -O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P. R., Pirani, A., Moufouma-Okia, W., Péan, C., Pidcock, R., Connors, S., Matthews, J. B. R., Chen, Y., Zhou, X., Gomis, M. I., Lonnoy, E., Maycock, T., Tignor, M., and Waterfield, T. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 616pp.
- IPCC(2023), 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, [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)], IPCC, Geneva, Switzerland, 184pp.
- Kulp, S. A. and Strauss, B. H.(2019), "New elevation data triple estimates of global vulnerability to sea-level rise and coastal flooding", Nature Communications, Vol.10, 4844.
- Lee, D., Kim, B. -H., Seo, K. -W., Lee, W. S., Lee, C. -K., Jeon, T., and Jin, E. K.(2024), "Empirical projection of global sea level in 2050 driven by Antarctic and Greenland ice mass variations", Environmental Research Letters, Vol.19, No.1, 014058.



# 해양 분야에서의 인공지능과 빅데이터 활용: 해수 온도 예측과 기후변화 대응

양현 한국해양대학교 해양과학융합과 교수

## 1 기후변화와 해양 예측의 중요성

해양은 지구의 기후를 조절하고, 지구의 온도를 안정시키는 데 매우 중요한 역할을 하고 있다. 우선, 해양은 대기 중의 이산화탄소와 같은 온실가스를 흡수하는 역할을 한다. 해양 식물인 조류와 식물성 플랑크톤은 광합성을 통해 이산화탄소를 흡수하여 산소를 생성하고, 이 과정에서 탄소가 저장된다. 이는 대기 중 이산화탄소 농도를 줄이고, 기후가 급변하는 것을 방지해 준다. 다음으로 해양은 지구 온도를 안정화하는 것에도 중요한 역할을 한다.

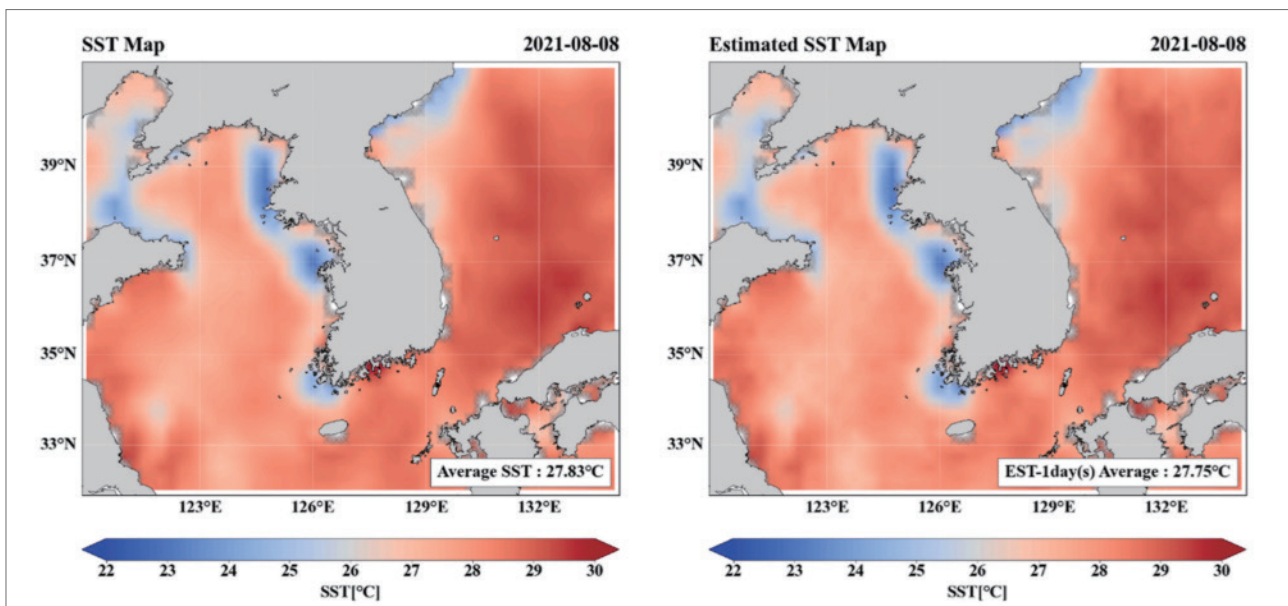
이처럼 바다는 열 용량이 높아 지구의 열을 흡수하고 저장하는 데 크게 기여하고 있으며, 이는 기후변화가 일으키는 급격한 온도 상승을 완화하는 역할을 한다. 그밖에 해양은

대기와 밀접하게 상호작용하면서 기후 시스템에 관여한다. 해수의 증발은 수증기를 대기로 방출하고, 이는 강수량과 기후 패턴에 영향을 준다. 또한, 해수 염분의 변화와 열 운반에 의해 해양의 대류가 형성되고, 이는 지구 대기 순환에 영향을 준다. 이렇게 해양은 기후변화에 많은 영향을 미치고 있으며, 특히 해수 온도의 변화가 기후변화에 큰 영향을 줄 수 있다.

## 2 해수 온도 예측 기술의 역사

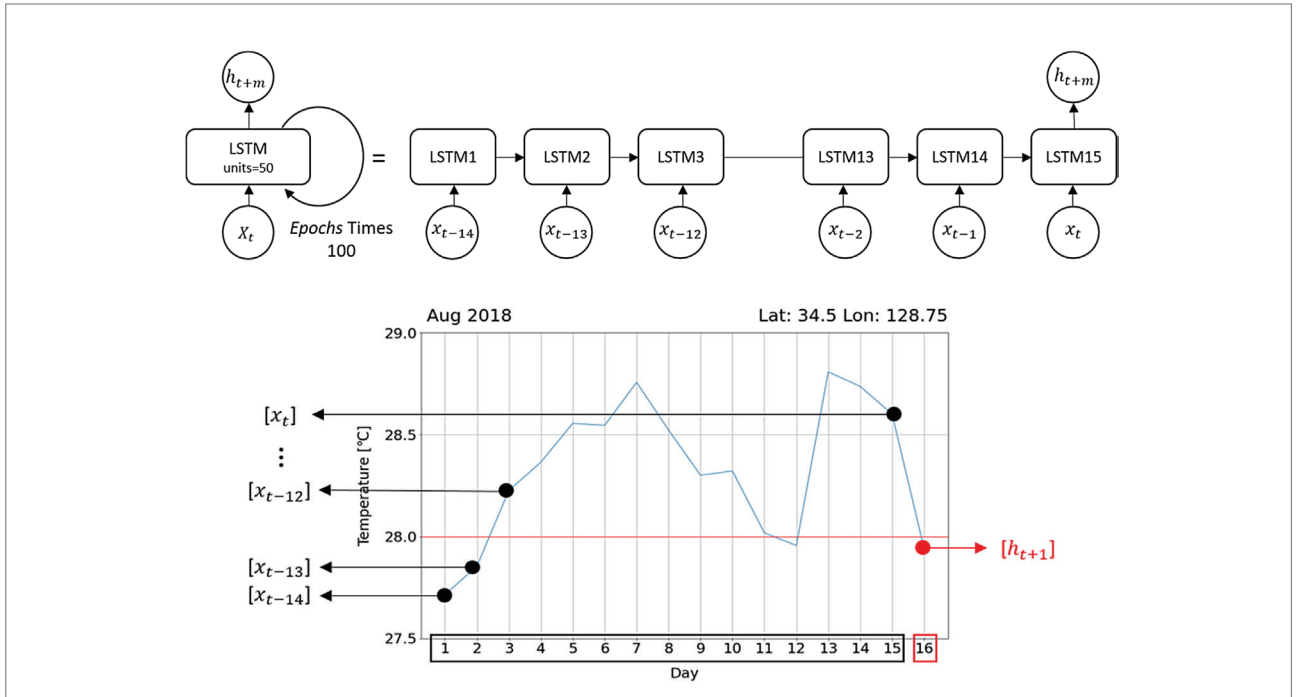
오래전부터 전 지구의 해수 온도를 정확히 측정하고 나아가 예보하기 위한 기술이 발전해 왔다. 해수 온도 예보 기술

〈그림 1〉 2021년 8월 8일 한반도 주변의 해수 온도 지도(좌)와 2021년 8월 7일에 하루 이후인 2021년 8월 8일 한반도 주변의 해수 온도를 예측한 지도(우) 예시



출처: Choi, 2023

〈그림 2〉 LSTM 딥러닝 모델을 이용하여 m일 이후의 수온을 예측하는 방법



출처: Choi, 2023

이 개발되기 이전에도 선원들은 항해 중에 해수 온도의 변화를 지속적으로 관찰하며 그 변화에 대한 지식을 쌓아 왔고, 이러한 경험은 해수 온도의 지역적인 변화 및 계절적인 변동성을 이해하는 데 중요한 역할을 하였다.

19세기 후반부터 20세기 초반에는 기상 관측망이 발전하면서 해수 온도를 포함한 해양 환경에 대한 데이터 수집이 시스템화 되었다. 즉, 해양 및 연안 지역에 부이 혹은 기상 관측소가 설치되어 해수 온도가 체계적으로 수집되기 시작하였다. 20세기 중반부터 후반부에는 수치 모델링 기술이 발전하면서, 해수 온도를 관측하는 데서 더 나아가 예보에 활용되기 시작하였다. 해수 온도는 열역학적 및 해양학적 요인에 의해 영향을 받으며, 이러한 요인들을 모델링하여 미래 수온을 예측하는 모델들이 개발되어 왔다. 20세기 후반부터는 위성 관측 기술이 발전함에 따라, 해수 온도 측정 및 예보의 정확도를 향상시키기 위해 위성 데이터가 활용되었다.

위성은 광범위한 해양 지역을 실시간으로 관측할 수 있으며, 이를 통해 해수 온도의 시공간적 변화를 모니터링할 수

있게 되었다. 최근에는 인공지능 및 빅데이터 기술이 발전하면서 해수 온도 예측의 정확성이 더욱 높아지고 있으며, 이를 통해 기후변화를 예측하고 대응하는 연구개발도 활발히 진행되고 있다.

### 3 인공지능 기반 해수 온도 예측

LSTM(Long Short-Term Memory)과 Transformer는 자연어 처리 및 시계열 데이터와 같은 시퀀스 형식의 데이터를 다루는 데 널리 사용되는 인공지능 기반 딥러닝 모델이다. LSTM은 순환 신경망(RNN, Recurrent Neural Network)의 한 종류로, 시퀀스 데이터를 모델링하고 긴 의존 관계를 학습하는 데 사용될 수 있다. LSTM은 입력, 출력 및 삭제 게이트를 통해 정보의 흐름을 조절함으로써 장기 의존성 문제를 해결한다. 이를 통해 오랜 기간에 걸쳐 관련 정보를 기억하고 다음 단계에 전달할 수 있다.

Transformer는 “Attention is All You Need” 논문



(Vaswani, 2017)에서 소개된 모델에서 유래한 구조로, 시퀀스를 처리하기 위한 새로운 접근 방식을 제안했다. Transformer는 자가 주의 메커니즘(Self-Attention Mechanism)을 사용하여 입력 시퀀스의 각 요소 간의 관계를 동시에 고려한다. 이는 단어 간의 의미적, 구문적 상호작용을 파악할 수 있게 해주며, 병렬화와 긴 거리 종속성에 대한 더 나은 처리를 가능하게 한다. Transformer는 본래 기계 번역, 문장 생성 및 언어 이해와 같은 다양한 자연어 처리 작업에서 효과적으로 사용될 수 있으나, 최근에는 해수 온도 등 시계열 과학 데이터를 예측하는 데도 많이 활용되고 있다.

최근 연구 결과에 따르면 해수 온도와 같은 시계열 데이터를 예측하는 데 LSTM과 Transformer가 높은 성능을 나타내고 있다(Alerskans, 2022; Choi, 2023; Kim, 2020). 여기서는 LSTM을 이용하여 해수 온도를 예측하는 방안에 대해 주로 다루고자 한다. <그림 1>은 LSTM 모델을 이용하여 1일 이후의 해수 온도를 예측한 예시 지도를 나타낸 것이다.

LSTM을 이용하여 해수 온도를 예측하는 방법에는 크게 2가지 방법이 있다, 첫 번째 방법은 <그림 2>와 같이 기준일로부터 특정일(예, 15일) 이전까지의 해수 온도 데이터를 입력으로, 기준일 m일 이후의 해수 온도 데이터를 출력으로 LSTM 모델의 입/출력 데이터를 각각 설정함으로써 m일 이후의 수온을 직접적으로 예측하는 방법이다.

LSTM을 이용하여 해수 온도를 예측하는 두 번째 방법은, 위에 설명한 첫 번째 방법을 이용하여 1일 이후의 수온을

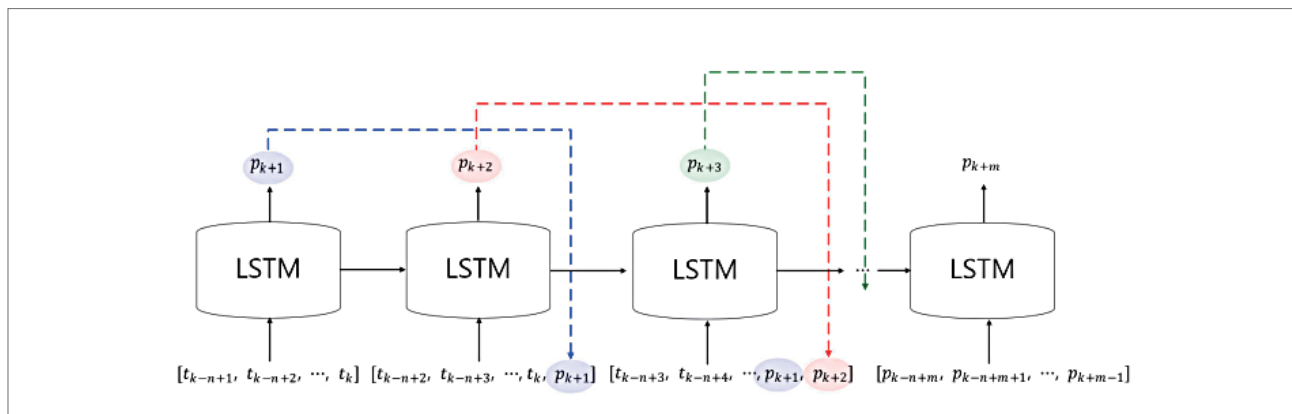
예측하는 모델을 만든 후, <그림 3>과 같이 1일 이후의 수온을 예측하여 산출된 데이터를 다시 2일 이후의 수온을 예측하는 입력 데이터에 포함하는 기능을 재귀적으로 반복하여 최종적으로 m일 이후의 수온을 예측하는 방법이다.

<그림 4>의 해수 온도 예측 결과와 같이 두 방법 모두 우수한 성능을 나타낸다는 것을 알 수 있다. 여기서 X축은 2022년 1월 1일~2022년 12월 31일에 해당하는 날짜, SST는 Sea Surface Temperature(단위  $^{\circ}\text{C}$ ), Real은 정답 값, Est-2-day는 2일 이후의 예측 해수 온도 데이터를 각각 나타낸다. 해당 시계열 해수 온도가 예측된 해역은 동해 일부 지점(130.025 $^{\circ}\text{E}$  37.025 $^{\circ}\text{N}$ )이며 해수 온도 데이터로는 ECMWF(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)가 제공한 데이터가 활용되었다. 모델 트레이닝을 위해 2013년 1월 1일~2021년 12월 31일 동안의 해수 온도 데이터가 사용되었으며, 성능 평가는 트레이닝에 활용되지 않은 2022년 1월 1일~2022년 12월 31일에 해당하는 해수 온도 데이터를 대상으로 하였다.

첫 번째 방법(m일 이후의 해수 온도를 직접 예측하는 방법)은 m일 이후의 해수 온도를 예측하기 위해 m일에 해당하는 각각의 모델을 만들어야 하는 반면, 두 번째 방법은 1일 이후의 해수 온도 예측 모델만 있으면 m일 이후의 해수 온도를 예측하기 위한 모델들을 따로 만들 필요가 없다는 특징이 있다.

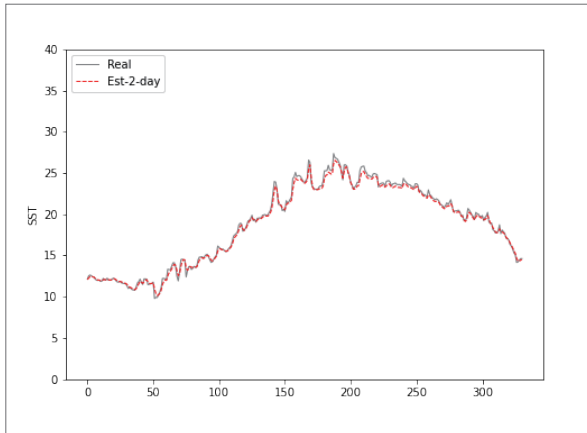
앞서 제시한 해수 온도 예측 방법들은 1~7일 정도 이후의 해수 온도를 예측할 경우 비교적 좋은 성능을 나타내고 있

<그림 3> LSTM 디러닝 모델을 이용하여 1일 이후의 수온을 예측하는 방법을 재귀적으로 반복하여 m일 이후의 수온 예측하는 방법

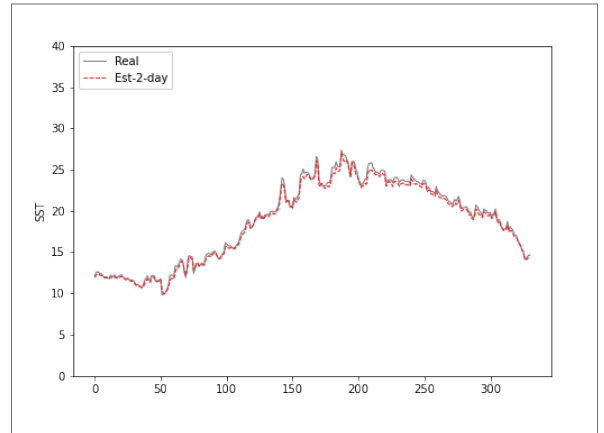


출처: Kim, 2020

〈그림 4-1〉 첫 번째 방법으로 2일 이후의 해수 온도를 예측한 결과 예시



〈그림 4-2〉 두 번째 방법으로 2일 이후의 해수 온도를 예측한 결과 예시



으나, 그 예측 기간이 7일 이상 길어질 경우 불확실성이 누적되어 예측 정확도가 낮아질 수 있다는 것을 쉽게 파악할 수 있다. 따라서 최근에는 예측 기간이 길어지더라도 최대한 정확도가 떨어지는 폭을 줄이기 위한 연구가 이루어지고 있다. 이를 위해 해수 온도 데이터뿐만 아니라 해상풍, 조류 등 다양한 해상 기후 데이터를 모델 트레이닝 입력 데이터로 활용하는 연구가 진행된다.

#### 4 해수 온도 예측 활용 분야

해수 온도 예측 서비스는 해양 및 수산업 분야에서 핵심적인 역할을 하고 있으며, 해수 온도에 대한 정확한 예측은 해양 생태계 및 어로 자원 관리에 큰 도움이 될 수 있다. 해수 온도는 어종의 분포와 이동, 먹이의 생산량, 어류의 번식 등 어로업에 영향을 미치는 중요한 요소 중 하나이기 때문에, 해수 온도 예보를 통해 어종의 분포 및 이동을 예측하고 어로 조업에 활용함으로써 어로업계의 생산성을 향상시키고 지속가능한 어로 자원 관리에 기여할 수 있다. 어로업계 분야에서는 특정 어종이 주로 분포하는 수온 범위를 파악하여 해당 지역에서 어로 조업을 수행할 수 있으며, 특정 어종의 활동이 활발해지는 수온 범위를 예측하여 어로 조업을 계획할 수 있다. 특히, 어종이 활발히 활동하는 지역에 어로 장비를 집중 배치하면 어로 조업의 효율성을 향상시킬 수 있다.

해수 온도 예측 기술은 해양 생태계 및 기후변화를 예측하고 모니터링함으로써 해양 보전 활동을 지원하고 해양 환경 변화에 대응하는 데도 도움을 줄 수 있다. 어업의 효율성을 향상시켜 어민들을 지원하는 것도 중요하지만, 동시에 어종의 서식지를 파악하고 그 어류 자원을 보전하는 것도 매우 중요한 일이다. 해수 온도 예측 기술은 정확한 어로 조업 계획을 통해 지속가능한 관리를 가능하게 해주며, 과잉 어로 및 환경 파괴를 예방하는 데 활용할 수 있다.

한편, 해양 에너지 산업 분야에서는 수온 예측 서비스를 이용하여 해수 열원, 해수 온도 프론트 등을 분석하고 해양 에너지 발전 시스템의 설계 및 운영에 활용할 수 있으며, 해양 운송 및 해양 안전 분야에서는 해수 온도의 변화를 예측하여 해양 운송 경로를 최적화하고 해양 환경 변화에 따른 안전 조치를 취하는 데 활용할 수 있다. 해양 관광 및 레저 분야에서도 해수 온도 예측 서비스를 이용하여 해수욕장의 수온을 예측하고 관광객들에게 정보를 제공하는 데 활용할 수 있으며, 다양한 해양 레저 활동을 계획하고 안전하게 즐길 수 있도록 지원하는 데 사용될 수 있다.

#### 참고문헌

- Ashish Vaswani, Noam Shazeer, Niki Parmar, Jakob Uszkoreit, Llion Jones, Aidan N. Gomez, Łukasz Kaiser, Illia Polosukhin(2017), Attention is all you need, Advances in neural information processing systems, Vol.30, No.1.
- Emy Alerskans, Joachim Nyborg, Morten Birk, Eigil Kaas(2022), A transformer neural network for predicting near-surface temperature, Meteorological Applications, Vol.29, No.5.
- Hey-Min Choi, Min-Kyu Kim, Hyun Yang(2023), Deep-learning model for sea surface temperature prediction near the Korean Peninsula, Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, Vol.208.
- Minkyu Kim, Hyun Yang, Jonghwa Kim(2020), Sea surface temperature and high water temperature occurrence prediction using a long short-term memory model, Remote Sensing, Vol.12, No.21.



## 기후위기와 함께하는 해양 산성화: 생태계의 위협과 대응 전략

유태우 오키나와과학기술대학 과학기술연구소 그룹리더

### 1 기후변화의 evil twin, 해양 산성화

바다는 대기로부터 상당량의 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)를 흡수하며, CO<sub>2</sub> 농도를 조절하는 중요한 역할을 수행한다. 그러나 산업화 이후 화석 연료의 사용으로 인한 대기 중 CO<sub>2</sub> 배출량이 크게 증가하고, 산림 파괴 등으로 인한 온실가스 흡수량이 감소함에 따라 바다가 흡수하는 CO<sub>2</sub> 양이 증가하고 있다. 반면, 해양 산성화 현상은 점차 심각한 문제로 부상하고 있다. 1990년부터 2022년까지의 기간 동안, 해양 산성화는 연평균 0.019의 속도로 악화되었다. 산성화된 물은 pH가 비교적 균일한 환경에서 살아온 종들에게 화학적인 균형을 깨뜨려 북극에서 남극까지의 해양 생태계에 치명적인 영향을 미칠 것으로 예상된다. 따라서 해양 산성화는 종종 기후변화의 evil twin으로도 불리며, 해양 및 연안 지역의 생태계에 큰 위협이 될 것으로 우려된다.

조개류나 산호와 같은 생물들에게 특히 심각한 영향을 미칠 것으로 예상되는데, 이는 이러한 생물들이 산성화로 인해 골격을 형성하는 데 어려움을 겪어 골다공증(osteoporosis)과 유사한 영향을 미치게 되고, 발생 과정, 생식, 생존, 그리고 서식지 조성의 실패 등으로 이어질 수 있기 때문이다. 더 나아가, 이는 먹이사슬의 붕괴 및 4,000종 이상의 어류를 비롯해 수많은 해양 생물들의 보금자리인 산호초의 파괴와 새 군락 형성 실패로 이어질 수 있다. 미국에서 진행된 연구에 따르면 해양 산성화로 인해 최소 10억 달러 및 10만 개 이상의 일자리가 위협을 받을 것으로 예상된다.

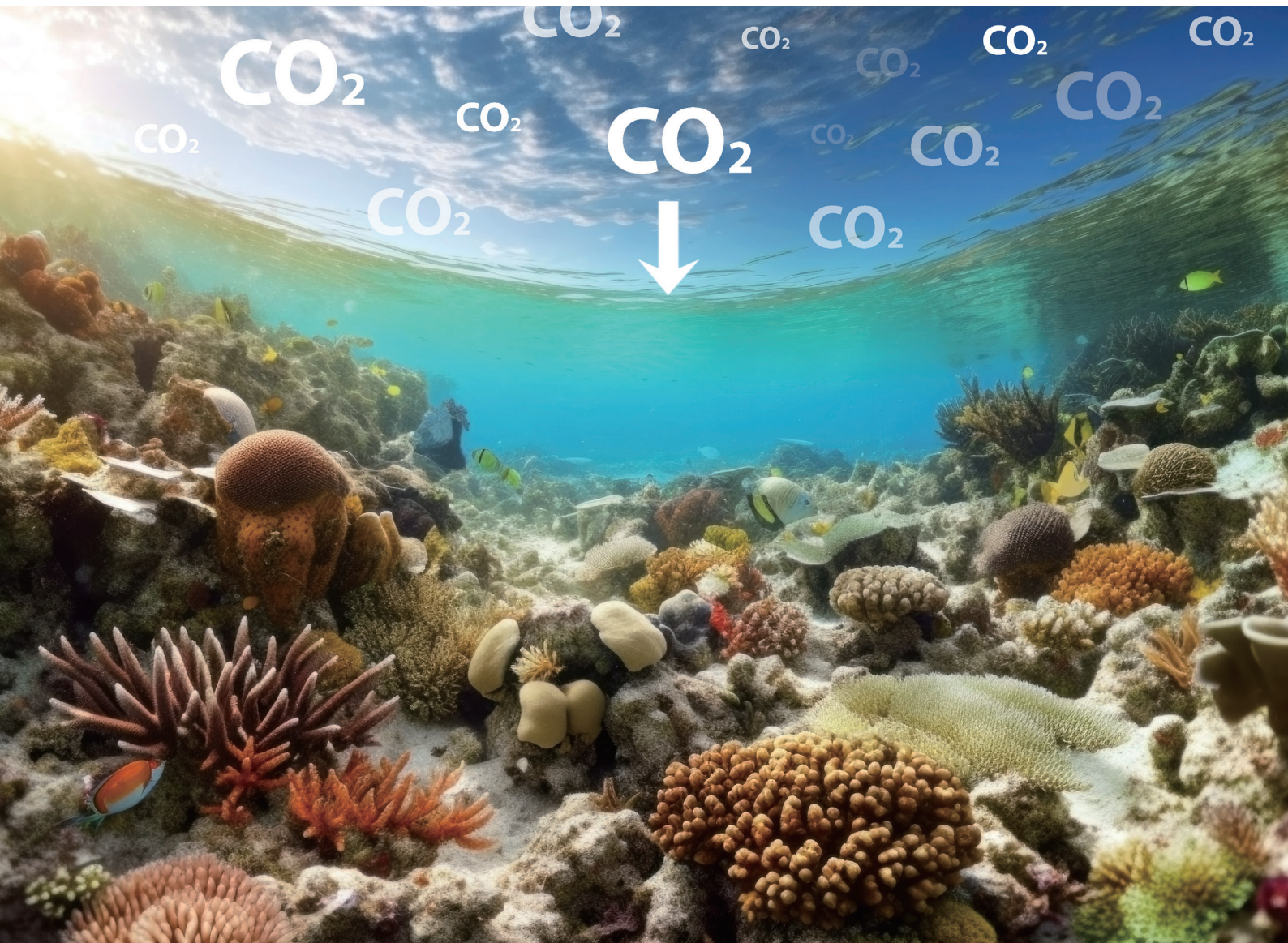
어류도 행동 양식에 영향을 받을 것으로 보고되고 있다. 호주 James Cook 대학의 연구에 따르면 '니모'로 널리 알려진 흰동가리 같은 어류는 산성화된 물에서 후각 등 감각 기관에 영향을 받아 귀소성에 실패하고, 포식자-피식자 반응이 무력화 될 수 있다. 독성 해조류는 연구실 환경에서 실험

결과 산성화된 물에서 더 강한 독소를 생성하고 빠르게 번식하기 때문에, 실제 바다 환경에서 같은 현상이 발생한다면 오염된 어패류를 섭취한 인간의 건강에도 나쁜 영향을 미칠 것으로 예상된다. 더욱이, 산성화로 인한 해양 생물에 대한 예상 위협은 온난화나 저산소증과 같은 다른 동시적인 환경 변화와의 상호작용으로 인해 더욱 증폭될 것으로 예상된다. 반면, 광합성에 의존하는 해조류의 경우처럼 풍부해진 탄소로 인해 오히려 번식이 수월해지는 등 해양 산성화에 의해 이득을 얻는 생물군도 있을 것으로 예상된다. 그러나 이러한 경우에도 기존 해양 생태계 및 산업의 큰 변화로 인해 전혀 예기치 못한 결과로 이어질 수 있다.

### 2 해양 산성화 예방 및 피해 완화 방법은?

해양 산성화가 게임 체인저가 되는 것을 예방하고 피해를 완화하기 위해서는, 견고한 기후 환경 예측 능력, 해양 환경과 주요 생물에 대한 모니터링, 실험을 통한 산성화 반응 연구, 데이터 축적을 통한 체계적인 수산 자원의 통계 및 관리가 필수적이다. 그리고 이러한 과학 기술에 대한 투자가 긴급하게 이루어져야 한다.

우선, 해양 및 연안 환경 조건을 예측하고 개별 생물종 및 먹이사슬을 따라 동적으로 변화하는 생태계의 영향을 이해하기 위해서는 관측이 우선적으로 진행되고 체계적인 수집과 관리가 이루어져야 한다. 미국 국립해양대기청(NOAA)에서 개발한 Ocean Carbon and Acidification Data System(OCADS)은 이러한 목적으로 구축된 해양 산성화 연구를 위해 수집한 데이터를 관리하는 대표적인 시스템이다(Jiang, 2023). 이 시스템은 연구선 관측, 생물 실험, 모델링 등의 결과로부터 얻은 생물, 화학, 물리적 관측치와 같은 탄소량, 산소량, 영양분, 산성화와 같은 필수



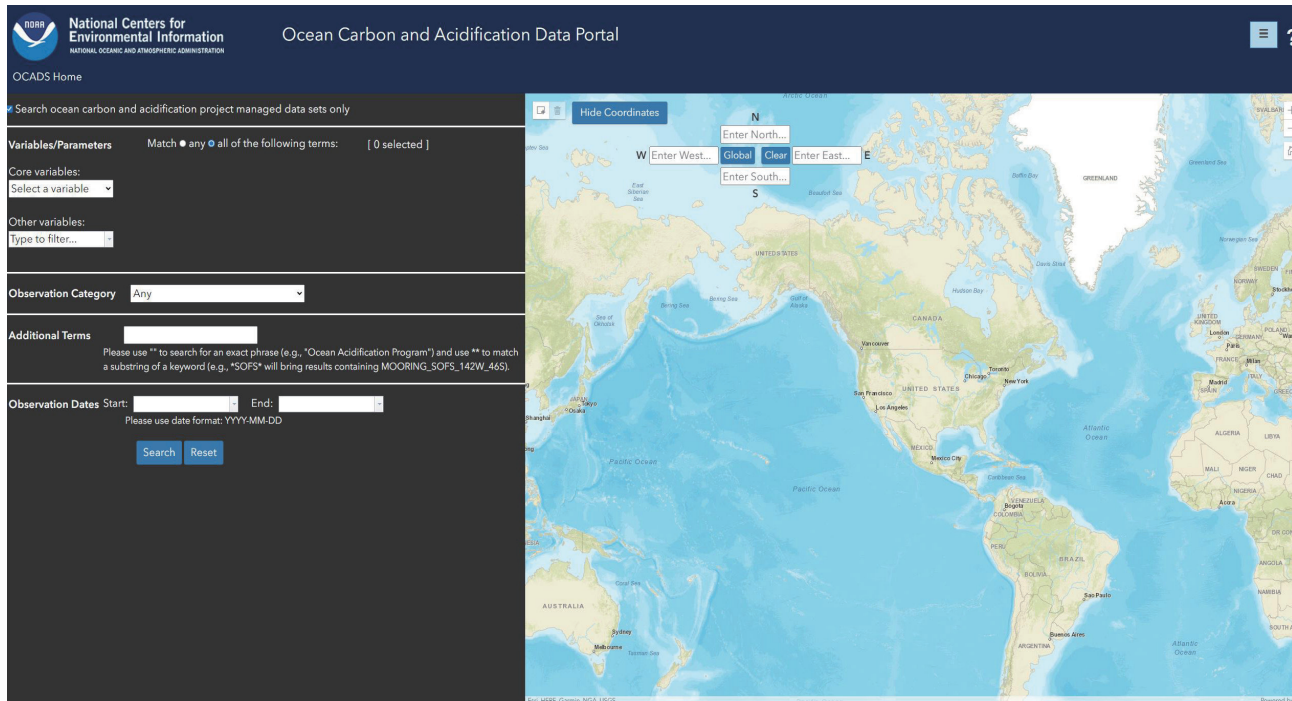
해양 데이터를 관리한다. 또한 원본 및 가공 데이터의 장기간 보관(75년 이상), 강력한 버전 관리, 연구자 주도 데이터 처리, 표준화된 전문 연구 용어인 Controlled Vocabulary 등 선도적 데이터베이스 포털에 걸맞은 서비스를 제공한다.

이렇게 체계적으로 수집된 데이터는 시뮬레이션 및 조기경보 시스템의 구축에 활용되어 해양 산업 종사자들에게 유용하게 사용될 수 있다. 2000년대 초반, 해양 산성화로 인해 미국 서부 해안의 조개류 산업이 1억 달러 이상의 대

규모 피해를 입었고, NOAA 해양 산성화 프로그램과 미국 통합 관측 시스템에서 제공된 연안 사진 및 부표의 실시간 데이터를 활용하여 연안의 파트너들을 위한 조기경보 시스템을 개발하게 된 것이 한 예이다. 이 시스템은 산성화된 해수가 접근할 때 경보를 발송하여 양식장 관리자 등이 수질에 따라 해수 유입 및 생산 일정을 조정하는 데 도움이 되었다. 각 지역 및 개별 환경 예측 모델의 변이가 크기 때문에, 나라별로 특화된 정밀한 데이터를 기반으로 한 이러한 시스템이 해양 생태계의 피해를 완화하기 위해 필수적



〈그림 1〉 OCADS에서 운영 중인 Ocean Carbon and Acidification Data Portal



출처: <https://www.ncei.noaa.gov/access/ocean-carbon-acidification-data-system-portal/>

으로 구축되어야 하며, 실제 연구자 및 현장 산업 종사자들에게 제공되어야 한다.

### 3 더 깊은 탐구를 위해 유전체학과 같은 최신 기술의 융합 필요

체계적으로 구축된 물리, 화학, 생물 데이터와 환경 모델을 활용하여 개별 생물종의 미래 분포를 예측하는 방법으로 여러 가지의 Species distribution modelling 기법들이 있다. 그중에서 생태학적 측면에서 가장 적합한 방법으로 꼽히는 것이 Dynamic Bioclimatic Envelope Model (DBEM)로, 이 방법은 과거의 분포 및 기후 등 환경 데이터를 기반으로 개별 생물종의 미래 시점에서의 지역적 분포를 동적으로 예측하는 모델이다. 기후변화 모델 등 주어진 환경 데이터를 기반으로, 이 방법은 특정 생물종의 현재 서식 환경과 유사한 환경 조건을 찾아내고, 이를 토대로 그 생물종이 발견될 수 있는 지역을 예측한다. 이 모델은 시간

대별로 환경 변화에 따라 생물종의 분포가 변화하는 동적인 특성을 반영하여 개별 생물종의 미래 시점에서의 생태학적 반응을 이해하고 예측하는 데 유용하다(Tai, 2021). 예를 들어, 특정 지역에서 폭염, 산성화, 혹은 저산소증이 빈번해질 것으로 예상된다면, 이 지역에 현재 서식 중인 생물들의 피해 및 적응 여부를 대략적으로 예상할 수 있으며 다른 지역에 서식 중인 생물들의 침입을 통한 서식지 이동과 정착 여부를 추정할 수 있다. 이를 통해 주요 생물종들의 보전 및 관리 계획에 필요한 정보를 제공할 수 있다. 또한 농림수산업 등 1차 산업에서도 정확한 기후 환경 예측 데이터와 결합한 DBEM은 중요한 정보를 제공할 수 있다. 특정 작물이나 어종의 재배 및 양식 가능 지역을 예측하거나, 기존 작물 및 어종의 지속가능성과 피해 여부를 평가하여, 기후변화로 인한 잠재적인 위험을 완화하는 등의 중장기적 전략을 수립하는 데 활용될 수 있다. 환경 데이터와 다양한 기계학습 기법을 이용한 시뮬레이션 방법은 해양 생물종의 미래 분포를 대략적으로 예측할 수 있으나, 이러한 방법은 생물의 특성인 적응(adaptation

혹은 acclimation)이나 유전적 다양성을 전혀 고려하고 있지 않아 정밀한 미래 분포의 이해나 예측은 불가능하다. 해양 산성화 혹은 온난화 등의 환경 스트레스에 따라 동적으로 변화하는 생체 정보를 생태 및 분자생물학 실험, 대규모 시퀀싱, 유전자 발현량 분석 등의 최신 기술을 통해 융합, 분석, 이해하는 최신 유전체학 연구들은 해양 생물의 기후변화 연구 방식을 혁신적으로 바꾸었다(Ryu, 2018). 예를 들어, 미국 산타바바라 대학의 연구진은 붉은 성게의 전사체 연구를 통해 해양 산성화가 성게의 스트레스 반응, 세포막 간 분자 수송 등에 영향을 미치는 구체적인 분자생물학적 과정을 밝혀냈다(Wong, 2021). 독일 GEOMAR의 연구진은 발트해와 북해의 홍합의 다세대 실험과 전사체 비교를 통해 다른 산성화 수준에서 적응하는 조개류의 생물학적 과정을 밝혀냈다(Thomsen, 2017). 또한 필자가 포함된 국제 공동 연구진은 산성화된 물에 노출된 물고기가 위협을 감지하고 다른 개체들에게 위협을 알리기 위해 방출하는 화학 물질에 반응하지 못해 포식자를 피하는 반응을 하지 못하는 이유를 전사체 연구를 통해 밝혀내었고, 추가 연구도 진행하고 있다(Schunter, 2016). 해저의 volcanic seep과 같은 CO<sub>2</sub> 분출 구역에 서식하는 생물들을 분석해 미래의 산성화 환경에서 생물들의 적응 여부를 알아보려는 연구도 활발히 진행 중이다(Kang, 2022). 생명체의 세밀한 화학적 균형과 효소 역학이 산성화된 해양 환

경으로 인해 큰 영향을 받게 되고, 산-염기 균형 유지 실패로 인해 항상성이 유지되지 못하면, 이는 결과적으로 해양 생물의 서식지 선택, 정착, 소화, 포식자 반응 등 특정 행동에 변화를 줄 수밖에 없다. 유전체학과 같은 최신 기술이 융합된 고급 생물학 기술은 해양 산성화의 영향을 더 깊게 탐구할 수 있는 유망한 방법을 제공한다.

선진 연구에서 얻어진 물리학, 화학, 생물학의 복합적 정보를 바탕으로 다양한 해양 생물들이 해양 산성화에 어떤 양상으로 반응하는지, 피해를 완화하고 생태계를 보전하기 위한 필요한 환경 데이터는 무엇인지, 그리고 효율적인 모델링 및 데이터 공유 시스템에 대해 고민하고 필요한 과학 기술 정책 프로그램을 시작해야 한다. 대부분의 생물들은 서식 지역에 특화된 생체 프로그램을 지니고 있기 때문에, 다른 지역에서 얻어진 연구 결과가 아닌, 한국 및 동북아시아의 해양 환경에 적합한 실험 결과와 모델이 필요하다. 마지막으로 생물들의 변화하는 환경에 대한 반응과 적응은 수년~수십 년에 걸쳐 이루어지기 때문에, 단기 영향뿐 아니라 당장 드러나지 않는 장기간의 생태계 반응 또한 관찰 및 예측 연구가 수행되어야 한다. 해양 산성화와 온난화와 같은 기후위기의 피해가 임계점을 넘기기 전에 학계와 산업계의 관심과 선도 연구가 시급하다.



#### 참고문헌

- Jiang, L. et al.(2023), "The Ocean Carbon and Acidification Data System", Scientific Data, Vol.10, pp.136.
- Kang, J. et al.(2022), "Rapid evolution fuels transcriptional plasticity to ocean acidification", Global Change Biology, Vol.28, pp3007-3022.
- Ryu, T. et al.(2018), "The epigenetic landscape of transgenerational acclimation to ocean warming", Nature Climate Change, Vol.8, pp.504-509.
- Schunter, C. et al.(2016), "Molecular signatures of transgenerational response to ocean acidification in a species of reef fish", Nature Climate Change, Vol.6, pp.1014-1018.
- Tai, TC. et al.(2021), "Modelling ocean acidification effects with life stage-specific responses alters spatiotemporal patterns of catch and revenues of American lobster, Homarus americanus", Scientific Reports, Vol.11, pp.23330.
- Thomsen, J. et al.(2017), "Naturally acidified habitat selects for oceanacidification-tolerant mussels", Science Advances, Vol.3, pp.e1602411.
- Wong, JM. And Hofmann, GE.(2021), "Gene expression patterns of red sea urchins (Mesocentrotus franciscanus) exposed to different combinations of temperature and pCO<sub>2</sub> during early development", BMC Genomics, Vol.22, pp.32.



온도, 강수량, 바람의 패턴 등 기후 요소를 측정하고 분석하여 기후변화의 증거를 제공하는 기후 데이터는 지속가능한 미래를 위한 지침이 된다. 또한 정확하고 신뢰할 수 있는 기후 데이터는 국제 기후 협약과 탄소 배출 감축 목표 등에 기반이 되어 기후 정책 마련에 큰 영향을 미치고, 전 지구적인 협력을 얻어낸다.

이에 S&T DATA 6호 Deep Insight에서는 국내 기후변화 대응을 위한 정책 현황 및 시사점을 필두로, 기후위기 모니터링 기술과 자연재해 예방을 위한 데이터의 활용 방법을 살펴보고자 한다. 더 나아가 산업적 측면에서 기후 데이터가 구체적으로 어떻게 활용될 수 있을지 관련 종사자들에게 인사이트를 제공하고, 전 사회적으로 기후인식 향상 및 기후행동 촉진이 이뤄질 수 있도록 데이터의 시선으로 제안한다.

---

## Deep Insight

---

**박철호** 국내 기후변화 대응을 위한 정책 현황 및 시사점

**박상진** 예측, 시뮬레이션을 통한 기후위기 모니터링 기술 연구

**변영화** 기후변화 대응을 위한 자연재해 예방과 데이터 활용

**김동식** 날씨 산업 시장에서의 데이터 활용











## 국내 기후변화대응을 위한 정책 현황 및 시사점

박철호 국가녹색기술연구소 정책연구본부장

## 1. 국내 기후변화 대응을 위한 법·제도 현황

최근 주요 선진국들은 기후위기의 심각성을 인식하고, 기후변화 대응을 위한 다양한 법률을 제정 및 개정하는 한편, 관련 제도를 마련하고 있다. 우리나라 정부도 「기후변화대응 기술개발 촉진법」, 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」, 「수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률」, 「이산화탄소 포집·수송·저장 및 활용에 관한 법률」 등 기후변화 대응을 위한 다양한 법적 근거를 마련하고 있다.

### 1.1 「기후변화대응 기술개발 촉진법(기후기술법)」

2021년 4월, 우리나라 정부는 「기후변화대응 기술개발 촉진법」을 제정하였다. 이 법은 교토 의정서의 만료와 파리협정의 적용 등을 배경으로, 국제사회와의 공동 목표인 온실가스 감축과 기후변화 적응을 뒷받침하는 기후변화 대응 기술개발을 촉진하고자 제정되었다. 이에 따라 동법은 탄소중립 실현과 국민경제 발전에 기여하는 것을 목적으로, 기술개발 활동 조사, 기술개발 사업의 추진, 기술지원 체제와의 협력, 전문 인력의 양성 등 연구 기반을 조성하고 국제사회와 협력을 증진하기 위한 조문으로 구성되어 있다.

### 1.2 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법 (탄소중립기본법)」

2020년 10월, 우리나라 정부는 2050 탄소중립 목표를 선언하고, 이에 대한 법적 기반을 마련하기 위해 2010년에 제정된 「저탄소 녹색성장 기본법」을 폐지하고 2021년 9월에 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」을 제정하였다. 정부는 동법을 통해 중장기 온실가스 감축 목표 설정과 이를 달성하기 위한 체계적인 기후위기 대응 체계를 구축하고자 하였으며, 궁극적으로 기후위기의 예방과 온실가스 감축, 탄소중립 사회 및 녹색성장을 통해 경제와 환경의 조화로운 발전을 이루고, 삶의 질 향상, 생태계와 기후 체계 보호, 국제사회의 지속가능 발전에 기여하고자 하였다. 「탄소중립기본법」은 기후변화 대응 시책에 있

어 두 개의 큰 축인 온실가스 감축과 기후위기 적응 시책에 관한 조문을 포함하여, 정의로운 전환, 녹색기술 및 녹색산업 육성을 통한 녹색성장 등에 관한 조문으로 구성되어 있다.

### 1.3 「수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률(수소법)」

2020년 2월, 우리나라 정부는 수소경제에 관한 단독 법률인 「수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률」을 세계 최초로 제정하였다. 이 법률은 수소경제 이행을 촉진할 수 있는 기반을 조성하고 수소 산업을 체계적으로 육성함과 동시에, 수소의 안전 관리 사항을 체계적으로 규정함으로써 국민경제의 발전과 공공의 안전을 확보하는 데에 그 목적이 있다. 동법은 세계 최초의 수소경제 이행을 위한 법률로서 상징적인 의미가 있지만, 구체적인 시책의 부재로 입법 목적 달성 여부에 대한 논란이 발생하였으며, 이로 인해 2022년 6월 개정법에는 청정 수소의 정의와 등급별 인증제 도입 등의 조문을 신설하여 수소 산업에 대한 투자 유인을 제공하고, 정책 불확실성을 해소하며 수소 생태계를 구축하는 방안이 제시되었다.

### 1.4 「이산화탄소 포집·수송·저장 및 활용에 관한 법률 (이산화탄소저장활용법)」

2024년 2월 우리나라 정부는 산업 활동 등에서 배출되는 이산화탄소를 효과적으로 처리하기 위해 「이산화탄소 포집·수송·저장 및 활용에 관한 법률」을 제정하였다. 동법의 목적은 산업 활동 등에서 배출되는 이산화탄소를 효율적으로 포집하여 지중에 저장하거나 산업적·생활적 활용에 필요한 기술개발과 산업화에 필요한 사항을 정함으로써 기후위기의 심각한 영향을 예방하고, 국민경제의 지속가능한 발전에 이바지하는 것이다. 이와 같은 목적 아래, 「이산화탄소저장활용법」은 이산화탄소 포집·수송·저장·활용에 관한 기본 계획의 수립, 이산화탄소 포집·수송 시설 등의 설치, 이산화탄소 저장 후보지의 탐사·선정·폐쇄 등 다양한 내용을 담고 있다.



## 2. 국내 기후변화 대응을 위한 정책 현황

기후위기 대응을 위한 국제사회의 강도 높은 노력이 요구됨에 따라, 주요 선진국들은 탄소중립 사회로의 전환을 위한 다양한 정책과 R&D 추진 전략을 발표하고 있다. 우리나라 또한 2050 탄소중립 목표 달성을 위해, 「탄소중립 녹색성장 기술혁신 전략」, 「제1차 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획」, 「제1차 기후변화대응 기술개발 기본계획」, 「한국형 탄소중립 100대 핵심기술 선정」, 「탄소중립 기술혁신 전략로드맵」, 「세계를 선도하는 글로벌 R&D 추진전략」, 「글로벌 R&D 전략지도」 등 다양한 정책 및 전략을 제시하고 있다.

### 2.1 「탄소중립 녹색성장 기술혁신 전략」

2022년 10월, 우리나라 정부는 「탄소중립 녹색성장 기술혁신 전략」을 수립했다. 이 전략은 2030년까지의 국가결정기여(NDC, Nationally Determined Contribution) 및 2050년까지의 탄소중립을 달성하기 위한 기술혁신 측면의 국가 전략을 마련하였다. 「탄소중립 녹색성장 기술혁신 전략」은 3가지 기본 정책 방향으로 “한국형 탄소중립 100대 핵심 기술 전략 고도화”, “탄소중립 핵심기술에 대한 R&D 신속 투자”, “탄소중립 기술 사업화 촉진 시스템 구축”을 설정하고, 이에 상응하는 3대 세부 추진 방안과 11개의 세부 과제를 마련하였다.

### 2.2 「제1차 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획」

2023년 4월, 한국 정부는 「제1차 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획」을 수립하였다. 이 계획은 「탄소중립기본법」에 근거한 법정계획으로서, 20년을 계획기간(1차 계획기간: 2023~2042년)으로 하는 기후위기 대응 및 지속가능 발전 관련 국가 최상위 계획이다.

「제1차 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획」의 내용은 크게 “부문별 감축 정책”과 “이행 기반 강화 정책”으로 구성되어 있다. 부문별 감축 정책에는 전환, 산업, 건물, 수송 등 10개 부문별 온실가스 감축 정책과 온실가스 흡수·처리 정책이 포함되어 있으며, 이행 기반 강화 정책에는 기후위기 적

응, 녹색성장, 정의로운 전환 등 국가 목표를 효과적으로 달성하기 위한 6개 부문의 정책이 포함되어 있다.

### 2.3 「제1차 기후변화대응 기술개발 기본계획」

2022년 12월, 우리나라 정부는 「기후기술법」에 의거하여, 「제1차 기후변화대응 기술개발 기본계획」을 수립하였다. 이 계획은 기후변화 대응 기술개발 관련 최상위 법정계획으로서, 향후 10년간 기후변화 대응 기술개발 관련 부처의 연구개발 정책 및 사업을 체계화하고, 추진 방향을 제시한다는 의의하에, “과학기술 혁신을 통한 기후위기 대응과 신시장 선점”을 비전으로 설정하고 “온실가스 감축”, “기후변화 적응”, “혁신 생태계 조성” 등 3대 추진 전략 및 15대 세부 전략을 수립하였다.

### 2.4 「한국형 탄소중립 100대 핵심기술 선정(안)」 및 「탄소중립 기술혁신 전략 로드맵」

2023년 우리나라 정부는 한국의 지리적 여건, 고탄소 제조업 중심의 국내 산업 구조, 국내외 기술 수준 등을 종합적으로 고려하여 “17대 탄소중립 기술 분야”와 “한국형 탄소중립 100대 핵심기술”을 확정했다. 그리고 이를 통해 탄소중립 기술개발의 청사진을 제시하고, 전략적인 연구개발 투자를 강화하고 있다. 아울러 2023년 12월까지 철강, 석유화학, 시멘트, 수소, CCUS(이산화탄소(Carbon)를 포집(Capture)하여 활용(Utilization)하거나, 저장(Storage)하는 기술을 총칭), 태양광 등 17대 기술 분야 중 10대 분야에 대한 「탄소중립 기술혁신 전략 로드맵」의 수립을 완료하였다.

### 2.5 「세계를 선도하는 글로벌 R&D 추진전략(안)」

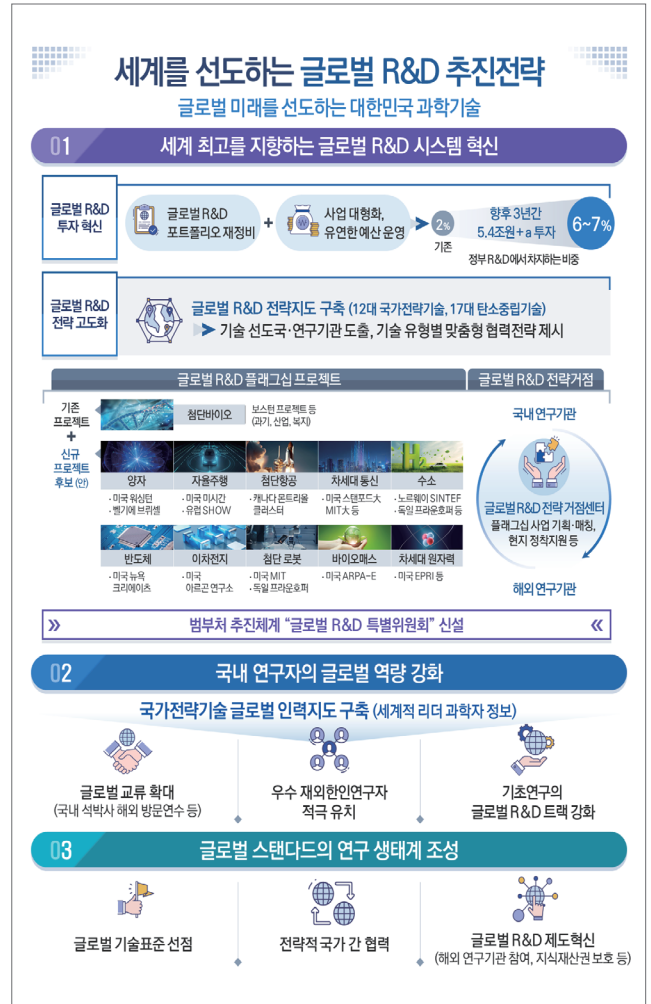
2023년 우리나라 정부는 기술패권 경쟁에 따른 기술 블록화 대응 및 국내 R&D의 글로벌 역량을 제고하기 위해, 「세계를 선도하는 글로벌 R&D 추진전략(안)」을 수립하여 발표하였다. 이 전략은 “글로벌 미래를 선도하는 대한민국 과학기술”을 비전으로 설정하고, “세계 선도형 R&D 협력”, “미래를 위한 투자 강화”, “글로벌 R&D 활성화 생태

〈그림 1〉 「한국형 탄소중립 100대 핵심기술 선정(안)」 주요 내용



출처: 과학기술정보통신부 보도자료(2023.5.18.)

〈그림 2〉 「세계를 선도하는 글로벌 R&D 추진전략(안)」 비전 및 전략



출처: 과학기술정보통신부 보도자료(2023.11.27.)

계 조성” 등 3대 정책 방향과 3개의 세부 추진 방안을 마련하였다. 본 전략의 세부 추진 방안 중 “세계 최고를 지향하는 글로벌 R&D 시스템 혁신”에는 세부 과제로서 “글로벌 R&D 전략지도 수립”이 포함되었으며, 해당 과제는 반도체·디스플레이, 첨단 모빌리티 등 12대 국가전략기술과 태양광, 풍력 등 17대 탄소중립 기술 분야의 데이터 기반 기술 협력 전략을 모색하기 위한 것이다.

2.6 「글로벌 R&D 전략지도(안)」

2024년 2월 우리나라 정부는 「세계를 선도하는 글로벌

R&D 추진전략(안)」의 후속 조치로, 상대국과의 협업이 필요한 국제협력의 특성을 고려하여 글로벌 R&D의 전략성을 높이기 위해, 이차전지, 수소공급, 무탄소 신전원, CCUS 등 4개 분야의 「글로벌 R&D 전략지도(안)」를 발표하였다. 본 전략지도는 “글로벌 기술수준 지도”, “중점협력국 지도”, “기술 유형별 협력전략 지도” 등 3단계로 구성되어 있으며, 연내에 17대 탄소중립 전 분야에 대한 지도 구축을 완료할 예정이다. 또한 17대 탄소중립 기술 분야의 지도를 관리하는 전담 기관(국가녹색기술연구소)을 통해, 온라인 정보 서비스를 제공하고 매년 업데이트를 실시할 계획이다.



〈그림 3〉 수소공급 분야의 「글로벌 R&D 전략지도(안)」



출처: 과학기술정보통신부 보도자료(2024.2.27)



### 3. 요약 및 시사점

우리나라 정부는 탄소중립 사회로의 전환을 촉진하고, 글로벌 기술패권 경쟁에서 우위를 확보하고자 기후기술 정책을 수립하여, 연구개발 투자를 확대하고 있다. 우리나라는 2021년 4월에 제정된 「기후변화대응 기술개발 촉진법」에 근거하여 「제1차 기후변화대응 기술개발 기본계획」을 수립하였다. 이어서 2021년 9월에는 탄소중립·녹색성장 최상위 법률인 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」을 새롭게 제정하고, 이에 근거하여 「제1차 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획」을 발표하였다. 아울러 「탄소중립 녹색성장 기술혁신 전략」, 「한국형 탄소중립 100대 핵심기술 선정(안)」, 「탄소중립 기술혁신 전략 로드맵」 등을 통해 기후기술 개발에 대한 정부의 방향성을 제시하고, 세계 최고를 지향하는 혁신적이고 도전적인 R&D 추진을 위해 「세계를 선도하는 글로벌 R&D 추진전략(안)」을 발표하였다. 그 후속 조치로써 올해 탄소중립 핵심 기술 17개 분야에 대한 「글로벌 R&D 전략지도(안)」 수립에 착수하였다.

이처럼, 우리나라는 글로벌 기후변화 대응을 위한 법, 제도, 계획 및 전략 등 다양한 정책을 수립하여 이행하고 있다. 이러한 국가 정책을 더욱 효율적으로 관리하기 위해서는 국가 계획 및 전략의 점검 체계를 강화하고, 국내외 환경 변화에 능동적으로 대응하여 탄소중립 분야의 기술혁신 전략 로드맵 등 국가 전략을 주기적으로 수정 및 보완할 수 있는 체계를 마련할 필요가 있다. 특히 올해 새롭게 추진 중인 「글로벌 R&D 전략지도(안)」의 경우는 온라인에서

정보를 공개하고 매년 업데이트함으로써, 정부의 R&D 사업 기획 및 예산 배분·조정과 민간의 자발적인 국제협력 추진 시 참고할 수 있도록 활용성을 제고할 필요가 있다.

또한, 최근 제·개정된 기후변화 대응 관련 법률 및 시행령의 후속 조치로, 탄소중립 분야의 기술개발 촉진을 위한 규정을 개선하고 다양한 유인책을 마련할 필요가 있다. 특히 초기 시장 진입 단계에서 경제성 확보가 불투명하여 민간 기업의 참여가 어려운 기술 분야의 경우, 참여를 촉진할 수 있는 지원 정책의 마련이나 규제 개선 등과 함께 클러스터 조성 등 정부 주도의 실효성 있는 정책 수단을 적극적으로 모색할 필요가 있다.

끝으로 향후 기후변화 대응 기술개발 촉진을 위해, 테스트 베드 설비 구축, 매칭 펀드 및 보조금 제도, 이산화탄소 감축량에 대한 표준화 산정 방식 개발 등의 정책 방안과 세부 추진전략에 관한 연구가 산업 생태계 관점에서 보다 체계적으로 이루어져야 할 것이다.

#### 참고문헌

- 「기후변화대응 기술개발 촉진법」.
- 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」.
- 「수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률」.
- 「이산화탄소 포집·수송·저장 및 활용에 관한 법률」.
- 과학기술정보통신부(2023a), 「한국형 탄소중립 100대 핵심기술 선정 본격적인 탄소중립 기술개발 청사진 제시」, 과학기술정보통신부 보도자료.
- 과학기술정보통신부(2023b), 「세계를 선도하는 과학기술 글로벌 허브로 도약」, 과학기술정보통신부 보도자료.
- 과학기술정보통신부(2024), 「글로벌 R&D 범부처 컨트론타워 출범」, 과학기술정보통신부 보도자료.
- 관계부처 합동(2022a), 「탄소중립 녹색성장 기술혁신 전략」.
- 관계부처 합동(2022b), 「제1차 기후변화대응 기술개발 기본계획」.
- 관계부처 합동(2023a), 「제1차 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획」.
- 관계부처 합동(2023b), 「세계를 선도하는 글로벌 R&D 추진 전략(안)」.



# 예측, 시뮬레이션을 통한 기후위기 모니터링 기술 연구

박상진 한국행정연구원 부연구위원



## 1. 기후위기의 심각성

현재 전 지구는 기록적인 기온 상승을 경신하고 있다. 지난 4월 14일, 우리나라 전국 대부분의 낮 기온은 역대 4월 최고 기온을 경신하였다. 이미 세계기상기구(WMO)는 1.5°C 붕괴의 위험을 경고하였으며, 해를 거듭할수록 그 가능성이 앞당겨지고 있는 것이 사실이다.<sup>1</sup>

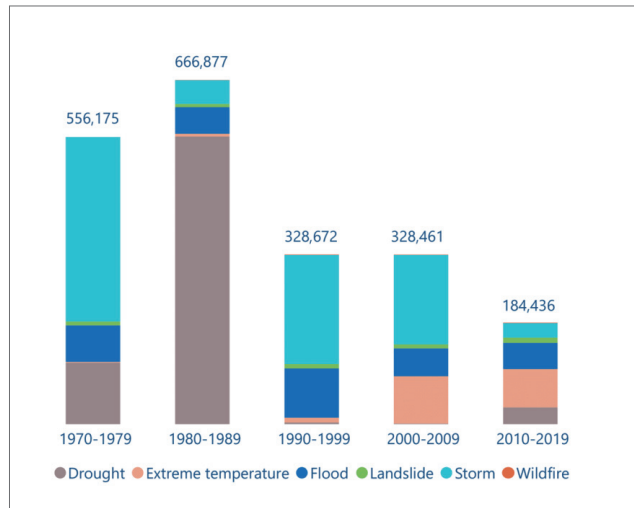
2015 파리기후변화협약(Paris Agreement)을 통해 국제 사회가 합의한 지구 기온 상승의 제한선인 1.5°C가 중요한

이유는 궁극적으로 2°C를 저지하기 위한 최소한의 수준이기 때문이다. 1.5°C를 넘는 순간, 2°C를 돌파하는 것은 자연 시스템에 의해 불가항력으로 발생하게 된다. 1970년부터 2021년까지 약 12,000건의 기후재해가 발생하여 200만 명이 사망하고 4조 3천억 달러의 경제적 손실이 발생했다.<sup>2</sup> 이 사실을 감안하면 1.5°C를 넘고 이후 인류가 겪게 될 기후위기의 위험 수준은 정확하게 예측하기 힘들지만, 대부분 지역의 사람들이 다양한 영향으로 인해 심각한 고통을 받게 된다는 것은 확실하다.

<sup>1</sup> WMO(2021)는 2025년까지 1.5°C 붕괴 확률 40%라고 추정하였으나, WMO(2023)에서는 2027년까지 1.5°C 붕괴 확률 66%라고 발표함

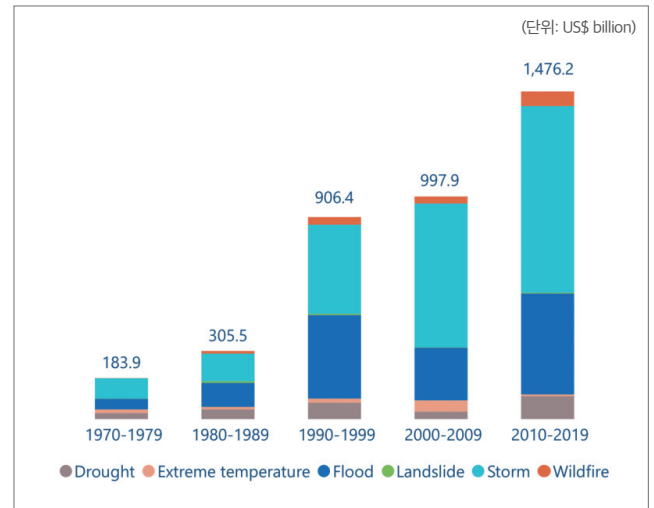
<sup>2</sup> <https://wmo.int/news/media-centre/economic-costs-of-weather-related-disasters-soars-early-warnings-save-lives>, 검색일: 2024.4.30.

〈그림 1〉 재해 요인별 사망자 수



출처: WMO

〈그림 2〉 재해 요인별 경제적 손실



출처: WMO

## 2. 기후위기 예측 및 시뮬레이션 기술의 중요성

기후위기에 대비하기 위해서는 관련 기술 개발이 필수적이다(Meng Qin et al., 2024). 공공의 역할뿐 아니라 민간 기업에서도 기업의 성장을 위해 기후위기 모델링이 주목을 받고 있다. 실제로 점점 더 많은 기업들이 기후위기를 평가하고, 적응 및 완화의 방법을 찾기 위해 자신들의 비즈니스에 적합한 기후위기 모델링은 무엇인가에 대한 답을 찾고 있다.<sup>3</sup>

우리나라는 이에 대해 〈표 1〉과 같이 기후기술 분류체계를 두고 있으며, ‘기후위기에 대한 예측, 시뮬레이션 등 모니터링 기술’은 크게 적응 기술로 분류된다. 세부적으로 대기과학 분야의 대기, 해양, 지표면, 식생 등을 포함한 지구시스템의 모델을 이용하여 인위적인 요소의 기후변화 영향을 분석하고, 미래 기후변화 예측 시나리오를 개발하는 파트와 이러한 모델을 바탕으로 지역별 취약성을 고려한 정보 기술에 대한 개발로 크게 나뉘볼 수 있다(Deloitte, 2022).

3 <https://www.pwc.com/us/en/services/esg/library/climate-risk-modeling.html>, 검색일: 2024.4.30.

4 기후기술 분류체계는 과학기술정보통신부·녹색기술센터가 수립하여 국가과학기술자문회의의 기후기술협력 중장기 추진계획을 바탕으로, [감축], [적응], [용·복합]의 3개 분야의 45개 기술분류로 구분되어 활용되고 있다 (<https://www.ctis.re.kr/ko/contents.do?key=1141>, 검색일: 2024.4.30).

특히, UNFCCC(United Nations Framework Convention on Climate Change, 기후변화협약)는 조기경보 시스템(Early-warning system)을 기후변화에 적응하도록 돕는 검증되고 실행 가능한 수단으로서 그 중요성을 강조하였다. 실제 경보 시스템을 통해 점점 더 강렬하고 빈번해지는 폭풍과 홍수와 같은 극단적인 기상 현상이 발생하는 경우 생명과 생계를 구함으로써 최대 10배의 투자 수익을 제공할 수 있다고 하였다. 유엔 사무총장(António Guterres)도 WMO가 주도하는 가운데 “모든 사람을 위한 조기경보” 계획을 우선순위로 삼고 있다고 했다. 그리고 이를 위한 스마트 혁신 기술들은 이를 효과적으로 만드는 데 점점 더 중요한 역할을 하고 있다.<sup>5</sup>

## 3. 떠오르는 기후위기 예측 및 모니터링 기술

기후위기에 적응하고 대응하는 것은 기후위험을 이해하는 것에서부터 시작한다. 기후위험을 이해하기 위해 필요한 기술 개발들은 결국 대응 능력을 구축하고 더 길게는 지역 사회의 회복력을 높이는 데 필수적이다. 물론 기후위기에

5 <https://unfccc.int/news/early-warning-technologies-can-be-game-changers-for-climate-adaptation>, 검색일: 2024.4.30.



〈표 1〉 우리나라 기후기술 분류체계

대분류	중분류		소분류	
감축	에너지 생산&공급	발전 & 전환	비재생 에너지	원자력, 핵융합 등
			재생 에너지	수력, 태양광/열, 지열, 풍력 등
			신에너지	수소 제조, 연료 전지
	에너지 저장&운송		에너지 저장	전력 저장, 수소 저장
			송배전&전력IT	송배전 시스템, 전기저능화 기기
			에너지 수요	수송, 산업, 건축 효율화
	온실가스 고정		CCUS, Non-CO <sub>2</sub> 저감	
적용		농업&축산	유전자원/개량, 작물 재배/생산, 가축 질병 관리, 가공/저장/유통	
		물 관리	수계/수생태계, 수자원 확보/공급, 수처리, 수재해 관리	
		기후변화 예측 및 모니터링	기후 예측 및 모델링, 기후 정보&경보 시스템	
		해양, 수산&연안	해양 생태계, 수산자원, 연안재해 관리	
		건강	감염 질병 관리, 식품 안전 예방	
		산림&육상	산림 생산 증진, 산림 피해 저감, 생태 모니터링&복원	
감축 적용 융복합		다분야 중첩	신재생 에너지 하이브리드, 저전력 소모 장비, 에너지 하베스팅, 인공 광합성, 분류체계에 다루기 어려운 기후변화 관련 기타 기술	

대응하기 위한 기술적 만병통치약은 없으나, 위기를 기회로 창출하는 데 충분한 도움이 될 것이다. 세계경제포럼(WEF, World Economic Forum)에서 발간한 보고서에 따르면, 최근 기후 영향과 관련된 위험들을 관리하고 적응하는 데 필요한 예측, 시뮬레이션 모델링, 모니터링 등에 대한 핵심기술들을 6가지로 제시하고 있다(WEF, 2024). 인공지능(AI), 지구 관측(Earth observation), 사물인터넷(IoT) 등은 정보를 수집, 처리, 분석하는 방식을 변화시키면서, 지구 시스템이 어떻게 변화하고 있고, 우리가 어떠한 영향을 겪게 될 것인지 등 기후 위험에 대한 이해를 돕도록 유용한 정보를 제공하고 있다. 또한, 이미 활용되고 있는 슈퍼컴퓨터와 더불어 양자컴퓨터는 훨씬 더 복잡한 시뮬레이션 모델링을 가능케 하여 실시간 위험 관리에 중요한 지원 역할을 할 것으로 기대된다. 나아가, 드론(Drones) 기술을 통해 기상이변의 여파로 접근이 어려운 지역에 대한 시야를 제공할 수 있으며, 특히 긴급구호품 전달과 수색 구조 활동 지원에도 활용된다. 마지막으로 VR/AR기술은

실제 몰입되는 경험을 간접 체험하게 함으로써 기후 영향들에 대한 이해와 적응을 위한 행동 변화에 긍정적인 효과를 줄 수 있다. 〈표 2〉는 기후위기에 적응하기 위해 필요한 예측, 시뮬레이션 모델링, 모니터링 기술 등의 핵심기술들에 대한 설명이다.

특히, AI 기술은 엄청난 양의 데이터를 처리할 수 있는 힘이 있어 다른 기술과 접목하면 더 효율적인 기후위기 대응에 기여함으로써 인간의 의사결정에 도움을 줄 수 있는 잠재력이 많다. 예를 들어, 지구 관측 기술(위성 기술 포함)과 접목하면 해빙과 같은 현상을 기존보다 10,000배 더 빠르게 관측이 가능하며, 생태학 분야에서도 산림벌채를 탐핑하고 저장된 탄소량을 측정하는 데 있어 그 속도와 범위에 큰 도움이 된다. 또한, 날씨 패턴 예측은 물론이고, 바다의 플라스틱을 수집하고 제거하는 것에도 효율적이다.<sup>6</sup>

6 <https://www.weforum.org/agenda/2024/02/ai-combat-climate-change/>, 검색일: 2024.4.30.

〈표 2〉 기후 적응에 중요한 핵심기술 6가지

기술	활용	예시 및 분야
인공지능 (AI)	이전보다 훨씬 더 정교하고 정밀한 기상 및 기후 모델링	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해수면 온도 데이터를 해양 모델에 추가를 통해 해류 속도에 대한 과학계 이해 향상</li> <li>• 폭우 시 홍수 방지 스마트 하수 시스템과 가뭄에 강한 작물 모델링</li> </ul>
드론 (Drones)	이상 현상 감지(시각 데이터 수집 포함), 정확한 위치 추적 및 정교한 장비 운반 등	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 드론을 사용한 수자원 모니터링</li> <li>• 기후재해 발생 후 접근하기 어려운 지역에서 피해 식별을 통해 수색 및 구조 상황에 도움</li> </ul>
지구 관측 (Earth observation)	위성 및 기타 원격 감지, 위치 기반 기술 등을 활용한 지구 시스템 변화 정보 수집	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해빙과 담수 자원 관측</li> <li>• 허리케인이 발생하기 전에 발견</li> </ul>
고급 컴퓨팅 (Advanced computing)	컴퓨터 파워, 정확성, 속도를 향상시킴으로써 기후 예측, 모델링/시뮬레이션 등 강화	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유체역학과 같이 일기예보에 필수적인 과정 예측을 통해 기후 모델링 발전</li> </ul>
사물인터넷 (IoT)	모니터링 센서 또는 휴대용 장치로 데이터 공유	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 공기질, 기온 변화 등 새로운 종류의 데이터 수집 및 공유</li> <li>• 산불 감지 센서로 피해 지역에 조기경보(휴대폰 경보 포함)</li> </ul>
증강현실& 가상현실 (AR/VR)	몰입형 경험을 제공함으로써 기후적응 옵션들에 대한 의사결정, 적응에 관한 우리의 행동 변화에 활용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 날씨 패턴 변화, 생물 다양성 손실, 북극 해빙과 같은 기후 영향 및 도미노 효과를 3D 시뮬레이션으로 경험</li> </ul>

출처: WEF, 2024

#### 4. 향후 과제 및 제언

이렇듯, 앞으로의 예측과 시뮬레이션, 모니터링 기술 등을 통한 기후위기 대응은 데이터 기반의 디지털 기술이 중요한 역할을 할 것이며, 그에 따른 기술 혁신은 필수불가결하게 되었다. 세계 각국은 기후 기술 분야의 연구개발(R&D) 예산을 증가시킴으로써 정부 차원에서 기후 기술 분야의 성장을 장려하고 있다. 우리나라 또한 기후 기술의 육성과 발전을 위해 2021년 4월 「기후변화대응 기술개발 촉진법」을 제정함으로써 기후 기술 시장 성장을 위해 노력하고 있다. 올해 우리나라 정부에서 소개한 기후위기 예측 및 모니터링 관련 정책 및 제도에는 인공지능 기술을 도입한 홍수 예보 체계 개선, 기상청에서 생산하는 모든 기후 정보를 한 눈에 볼 수 있는 대시보드 형태의 서비스 제공 등이 있다(기획재정부, 2024).

하지만, 예측과 시뮬레이션, 모니터링 기술 분야에서 빠르게 높아지고 있는 기후위기의 위험성에 선제적으로 대응하기 위해서는 몇 가지 측면에서 개선점들이 여전히 남아 있다. 첫째, 데이터 기반 기술의 신뢰성 및 신속성을 향상

시키는 것이다. 이를 위해 데이터 소스에 대한 검증, 결과에 대한 불확실성 평가 및 관리 시스템의 고도화가 필요하다. 또한, AI 등 핵심기술을 이용한 실시간 정보의 생산·공공·제공 등을 위해 데이터의 시·공간적 해상도 개선이 필수적이다. 둘째, 거버넌스 차원에서 전반적인 기후위기 및 적응을 위한 인지를 높이고, 위험에 대한 피해를 저감하기 위해 효율적인 의사결정 체계 구축 및 지역 사회의 대응 역량을 강화해야 한다. 마지막으로 국가 간 기후변화 및 위험에 대한 정보의 원활한 공유를 통해 협력을 강화해야 한다.

#### 참고문헌

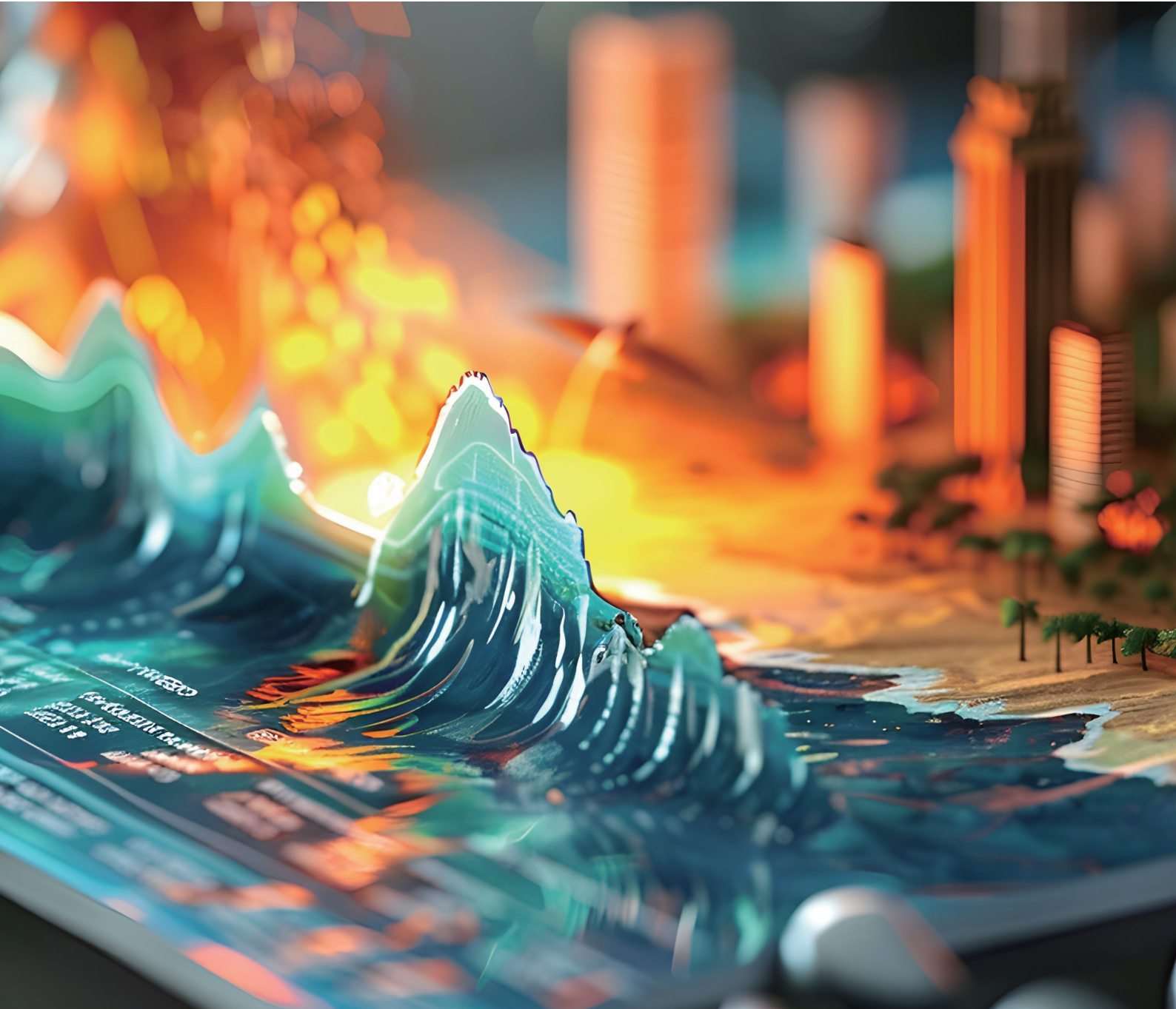
- 기획재정부(2024), 「2024년부터 이렇게 달라집니다」.
- Deloitte(2022), Deloitte Insights 2022 No.24.
- Meng Qin, Yujie Zhu, Xin Xie, Xuefeng Shao, Oana-Ramona Lobont(2024), "The impact of climate risk on technological progress under the fourth industrial era", Technological Forecasting and Social Change, Vol.202, 123325.
- WEF(2024), Innovation and Adaptation in the Climate Crisis: Technology for the New Normal.
- WMO(2021), WMO Global Annual to Decadal Climate Update: a synthesis report for 2021-2025.
- WMO(2023), WMO Global Annual to Decadal Climate Update: a synthesis report for 2023-2027.



## 기후변화 대응을 위한 자연재해 예방과 데이터 활용:

산불, 홍수, 가뭄

변영화 국립기상과학원 기후변화예측연구팀장



## 1. 전 세계가 인지하고 있는 가장 큰 위협, 기후변화

2024년 초에 세계경제포럼이 발표한 「The Global Risk Report 2024」에 따르면 향후 10년간 우리가 직면할 가장 큰 위협 요소는 “극한 기상현상”, “지구 시스템의 심각한 변화”, “생물종 다양성의 손실과 생태계 붕괴”, “자연 자원 고갈” 등이다. 이로써 최근 전 세계가 인지하고 있는 가장 큰 위협인 기후변화는 지구 기후 환경의 변화뿐만 아니라 인간 사회와 경제 활동에 큰 영향을 주는 요소임을 다시 한 번 확인하게 하였다. 사실, 기후변화는 식량, 수자원, 생태, 보건 및 생활 환경의 변화, 그리고 더 나아가 국가 안보 및 인간 사회 경제의 변화를 야기할 만큼 매우 중요한 문제가 되어 가고 있다. 전 지구적으로 폭염 및 홍수, 가뭄, 산불, 강풍 등으로 인한 피해는 매해 지속되고 있으며, 이렇게 전 세계적으로 보고되고 있는 수많은 이상기후 사례들은 기후변화로 인한 극한 현상의 발생 변화가 우리 삶에 얼마나 스며들어 와 있는지를 실감하게 한다.

지구온난화는 극한 현상으로 인한 재해를 더욱 증폭시키는 역할을 한다. 실제로 세계기상기구(WMO, World Meteorological Organization)에서 발간한 기후 서비스 보고서에 의하면 홍수, 폭풍, 폭염, 가뭄, 산불 및 산사태 등에 의한 자연재해는 1970년대 이후 현재까지 지속적으로 증가한 것으로 나타난다(WMO, 2020). 본 보고서에 따르면 전 세계적으로 인명과 재산 피해의 대부분은 홍수로 인한 피해 및 폭풍으로 인한 피해인 것으로 나타나며(〈그림 1〉 a), 유럽의 경우에는 2000년대 이후 극한 고온의 출현이 잦아지면서 가장 많은 인명 피해의 원인이 폭염인 것으로 나타났다. 연대별로 집계된 재해 발생 건수를 살펴보면, 1970년대만 하더라도 전 세계적인 재해 보고 건수가 약 7백여 건이었던 것에 반해 2010년대 이후엔 3천여 건이 넘는 재해 발생이 기록되어 지속되는 온난화로 인한 재해가 과거 대비 무려 5배 증가된 것으로 집계되었다(〈그림 1〉 b). 이러한 재해는 말 그대로 극한의 기상 상황에서 발생한다. 즉, 일 최고 기온의 상승은 폭염과 관련이 깊고 강수량의 증가는 홍수, 산사태와 연계되어 있다. 또한 고온건조라는 복합적 상황은 가뭄과 산불 발생의 원인이 되며 태풍과 같은 강한 폭풍은 강풍과 호우로 인한 복합 재난을 일으키는 주요 원인이기도 하다. 이렇듯 기상재해는 기온, 강수,

바람 등의 요소가 양극단에 위치할 때 우리에게 다가오는 것이기 때문에 지구온난화라는 평균의 변화 속에 내포된 극한 현상들의 변화를 함께 이해하는 것이 필요하다.

## 2. 기후변화로 인한 수문학적 변화

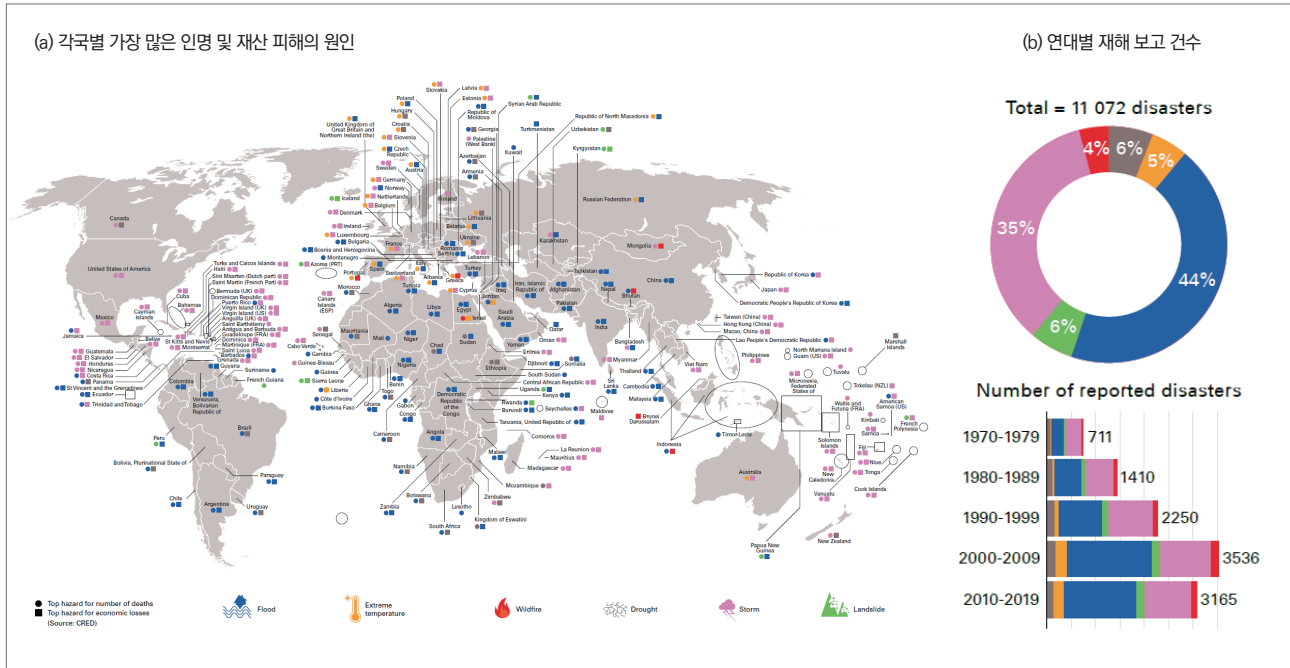
온난화는 특히 인간 생존과 삶의 질을 결정하는 필수 요소인 물의 변화와 관계가 깊다. 식량 안보 및 보건, 에너지 생산, 산업 개발, 경제 성장 등 인간 사회의 지속가능 발전뿐만 아니라 자연 생태계의 유지는 모두 물에 의존적이기 때문에 기후변화로 인한 물 순환의 변화는 필히 물의 가용성 및 수질, 수량에 영향을 미치게 되어 물 관리를 통한 기후변화의 적응과 완화는 인류 생존에 필수적일 수밖에 없다. 전 세계 물 사용량은 지난 100여 년간 꾸준히 증가하여 약 6배가량 상승하였고 지금도 매년 약 1%씩 늘어나고 있다(UNESCO WWAP, 2020). 하지만 기후변화는 서로 다른 지역마다 서로 다른 계절에서 물 공급 상황을 변화시키고 있어 수자원이 풍부했던 곳이라 할지라도 향후 물 부족 현상을 걱정할 필요가 있다.

기후변화로 인한 수문학적 변화는 1950년대 이후 그 변화가 점차 뚜렷해지면서 인간 활동의 영향이 전 세계 모든 곳에서 많은 극한 현상에 기여하고 있음이 확인되는데, 2021년에 발간된 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 제6차 평가보고서의 제1실무그룹보고서는 산불 및 가뭄, 홍수와 관련한 극한 고온 및 강수의 변화를 다음과 같이 요약하였다(IPCC, 2021). 과거 기후변화의 특징으로서 IPCC는 전 세계 동시다발적인 폭염과 가뭄, 인간이 거주하는 모든 대륙 중 일부 지역의 산불에 취약한 날씨, 그리고 일부 지역의 복합적 홍수의 빈도 증가 등 복합적인 극한 현상 확률이 증가하였다고 보고한다. 특히 관측 자료가 풍부한 육지 대부분에서 1950년대 이후 호우의 빈도가 많아지고 강도가 높아졌으며, 온난화로 인한 육지 증발산량 증가는 일부 지역의 농업가뭄 및 식생가뭄 증가에 기여했음을 지적하였다.

또한 미래 변화에 대한 전망에서도 심화되는 온난화에 따라 극한 현상의 악화를 예상한다. 예를 들어, 지구온난화로 온도가 0.5℃ 증가할 때마다 폭염을 포함한 극한 고온의



〈그림 1〉 1970년~현재까지의 기상 관련 재해 통계



강도와 빈도, 호우, 일부 지역의 농업가뭄 및 식생가뭄이 뚜렷하게 증가할 것으로 보고 있다. 지구온난화로 온도가 0.5℃ 높아질 때마다 일부 지역에서 기상학적 가뭄의 강도와 빈도가 뚜렷하게 변화하여 감소보다 증가하는 지역이 더 많아질 것이며, 이와 동시에 대부분의 지역에서는 호우의 빈도와 강도가 높아질 가능성이 매우 높은 온도가 1℃ 높아질 때마다 전 지구 규모에서 일일 극한 호우 강수량이 약 7% 증가할 것으로 전망하고 있다. 기후변화에 따른 강수 패턴의 변화는 호우와 가뭄이라는 양극의 현상을 모두 포함하며 동아시아 지역은 가뭄과 호우의 위험이 상존하는 지역으로서, 2℃ 이상의 온난화가 이뤄진다는 미래 기후변화 시나리오들은 대부분의 아시아 지역에서 집중호우의 강도와 빈도가 증가할 가능성이 아주 높을 것으로 전망하고 있다. 한편, 동아시아 지역에서 광범위한 건조 지역이 전망될 신뢰도는 호우에 비해 낮은 편이나 봄철의 경우 가뭄 빈도가 중국을 중심으로 다소 증가함에 따라 동아시아 지역의 건조도 증가 가능성이 높아질 수 있다. 특히 4℃ 이상의 온난화를 가정한 기후변화 시나리오는 강수량의 증가와 함께 고온으로 인한 증발산량의 증가를 함께 전망하

면서 미래 동아시아의 농업 부분의 가뭄 발생 증가 확률이 높을 수 있다고 예상한다(IPCC, 2021).

### 3. 기후변화로 인한 한국의 호우/가뭄 전망

이러한 변화는 우리나라의 경우도 유사하다. 국립기상과학원에서 생산한 남한상세 시나리오를 사용한 온난화 수준별 미래 전망에서 20년 재현 수준의 극한 고온 및 극한 강수는 2℃ 이상의 온난화 상황에서 각기 1.7년 및 7.5년 마다 한 번씩 일어날 것으로 예상되며 그 강도도 현재 대비 각각 14% 및 32% 정도 증가할 것으로 보인다(김진욱 등, 2023). 또한 남한상세 시나리오를 바탕으로 계산된 독립 호우사상의 최대 강수량은 현재 241mm 대비 2℃ 온난화에서 275mm로, 1.5℃ 온난화 시 244mm에 비해 90% 이상의 온난화 추가 영향이 나타나는 것으로 분석되었다(국립기상과학원, 2024). 그 외 우리나라 유역별 극한 강수량의 변화 전망을 살펴본 또 다른 연구에서는 100년 재현 빈도의 극한 강수량(현재 187~318mm)이 저탄소/고탄소 시나리오

를 가정 시, 21세기 말에 각각 29%와 53%가 증가할 것으로 전망하여(김선태 등, 2023) 온난화 심화에 따른 우리나라의 호우 증가는 여러 상황을 살펴보다도 불가피할 것으로 판단되어진다.

한편 호우와는 반대로 우리나라 가뭄이 현재 대비 증가할 것으로 전망하는 연구도 또한 존재한다. 최근 APEC 기후센터(APCC)가 발표한 보도자료에서는 국립기상과학원이 생산한 동아시아 지역기후모형의 25km 해상도 기후변화 시나리오를 사용하여 표준강수지수(SPI, 누적 강수량만을 이용한 기상가뭄지수)와 표준증발산부족량지수(SEDI, 대기와 토양의 상호작용인실증발산량을 고려한 표준증발산부족지수)와 관련된 대기 순환 패턴을 분석하였다. 이 결과 고탄소 시나리오상에서의 미래 가뭄은 봄철과 가을철 모두 심화되는 것으로 나타나며 특히 가을철 가뭄이 봄철보다 더욱 강화되는 것으로 나타났다(APCC, 2023). 가뭄 및 건조 현상의 미래 변화는 일 10mm 미만의 강수량에 대한 1년 총합과 일수로 정의되는 건조강도지수에서도 변화가 감지된다. 국립기상과학원의 분석에 의하면, 현재 우리나라 평균 건조강도지수는 2.88임에 반해 1.5℃ 및 2℃ 온난화에서는 각각 3.05와 3.16의 값을 보여 호우 못지않게 가뭄과 같은 건조 현상이 또한 증가할 것으로 전망된다. 특히 건조강도지수가 큰 곳은 해안을 제외한 중부 내륙 및 강원 산간이어서 고온 건조로 인한 산불 영향의 확대가 우려된다(국립기상과학원, 2024).

#### 4. 기후변화의 과학적 연구 통한 혁신 필요

이렇듯 기후변화로 인한 물의 변화는 기후위험의 한 요소로서 점점 더 상황이 악화될 것이라는 우려를 낳고 있다. 세계기상기구에 따르면 2018년에는 23억 명의 사람들이 물 스트레스를 받고 있는 국가에 살고 있었고 36억 명의 사람들이 매년 최소 한 달 동안 물에 대한 접근이 부족했으며, 2050년까지 후자는 50억 명 이상이 될 것으로 예상된다 하였다(WMO, 2021). 특히 전 세계적으로 재해의 44%와 경제적 손실의 31%가 홍수와 관련이 있기 때문에 물 관련 재해와 관련된 부정적 영향을 줄이고 수자원 관리 결정 및 개선된 결과를 지원하는 것이 우선이다. UNFC-

CC(United Nations Framework Convention on Climate Change)에 따르면 물은 파리협정의 국가 결정 기여(NDC) 중 79%에서 적응 우선순위이다(UNFCCC, 2021). 때문에 물과 위생의 공급 가능성과 지속가능한 관리 보장을 목표로 하는 유엔의 지속가능발전목표(SDG 6)를 달성하기 위해서는 극한기상 및 기후변화의 영향을 이해하는 것이 매우 중요하다(WMO, 2023).

기상기후에 대한 과학적 자료는 수량과 수질에 대한 통찰력을 제공하고 수자원과 수자원 관리에 대한 통합적 이해를 가질 수 있게 한다. 그리고 기후 모델링 및 수문학에 대한 이해도의 증진은 기후변화가 물의 가용 공급량과 수요에 미치는 영향, 기후변화가 극한 현상에 미치는 영향, 전 세계적으로 그리고 지역적으로 수자원의 배분을 어떻게 바꾸는지에 대해 평가할 수 있게 한다. 따라서 심화되는 온난화에의 적응 전략을 세우고, 신기술 개발을 통한 통합 수자원 관리 활동과 정책을 개발하여 지속가능한 발전을 지원하기 위해서는 기후변화의 과학적 연구 및 자료의 강화와 활용을 통한 혁신이 지속되는 것이 필수적이다.

#### 참고문헌

- 국립기상과학원(2024), 「우리나라 온난화 수준별 기후변화 영향정보 전망보고서」
- 김선태, 이우섭, 정일원, 한정민, 변영화, 김진욱(2023), 「미래 기후변화 시나리오에 따른 한반도 유역별 극한 강수 변화 전망」, 한국기후변화학회지, 14(2), 083-093.
- 김진욱, 김민해, 정주용, 변영화, 김태준(2023), 「SSP 기반 남한상세 기후변화 시나리오를 활용한 온난화 수준(1.5, 2.0, 3.0℃)별 우리나라 기후변화 전망」, 한국기후변화학회지, 14(4), 501-520.
- APEC Climate Center(2023), 「APEC기후센터, 국내 가뭄에 대한 미래 전망 분석 결과 발표」, APCC 보도자료(2023.12.19.)
- IPCC(2021), Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- UNESCO World Water Assessment Programme(2020), 「Water and Climate Change」, The United Nations World Water Development Report 2020.
- UNFCCC(2021), 「Nationally Determined Contributions under the Paris Agreement, Synthesis Report」.
- World Economic Forum(2024), 「The Global Risks Report 2024」.
- WMO(2020), 「2020 State of Climate Services. Risk Information and Early Warning Systems」.
- WMO(2021), 「2021 State of Climate Services. Water」.
- WMO(2023), 「United in Science 2023. Sustainable Development Edition」.



## 날씨 산업 시장에서의 데이터 활용

김동식 케이웨더 대표이사

### 1. 날씨 산업의 현황과 중요성

날씨는 대체로 각국 GDP의 약 42~51% 정도 영향을 미치고 있다. 우리나라도 GDP의 약 52%가 직간접적으로 날씨에 영향을 받고 있는데, 이는 국내 산업 전반에 걸쳐 약 70~80%가 날씨에 따라 생산과 소비가 달라진다는 것을 뜻한다.

지구온난화로 인한 기후변화로 기상이변과 이상기후 현상이 빈번히 발생하는 등 날씨 패턴이 과거와는 다르게 나타나고 있다. 때문에 날씨와 관련된 활동을 계획하면서 과거의 경험에 의존하여 행동하게 된다면 예상치 못한 위험에 처할 가능성이 매우 높다. 기후변화로 인한 피해 횟수와 규모가 증가함에 따라 날씨 데이터는 경제 활동뿐만 아니라

국민의 안전과 직결된 필수적인 정보가 되었다.

또, 날씨 정보에 관한 관심이 실외의 기상 데이터 중심에서 실외·실내의 공기질 데이터로 확장되고 있다. 하루 중 90% 이상을 실내에서 생활하고 있는 일반인에게는 바깥의 날씨 못지않게 실내의 공기질 오염에 관한 정보가 더욱 중요한 것은 당연한 일이며, 이에 따라 '공기질'에 관한 정보는 새로운 산업 데이터로서 그 가치가 점차 높게 인식되고 있다.

공기질은 모든 질병과 업무 효율, 생산성과 학습능력 등 여러 분야에 영향을 미치며 현대인의 실내 공간에서의 생활에도 영향을 미치기 때문에 공기질 오염에 대한 관심이 증가하였다. 실내 공기질 오염은 미세먼지만만 아니라 건물



의 밀폐화에 따른 오염, 새집증후군을 일으키는 가스와 벽지에서 나오는 화학 물질 등으로 인하여 실외보다 10배에서 100배 이상까지 위험성이 높은 것으로 평가된다. 공기는 모든 질병에 영향을 미치며 생산성과 학습능력 등 여러 분야에 영향을 미치기에 사람이 생활하는 실내 공기질을 효과적으로 관리하기 위해 정확한 데이터 기반의 솔루션 및 서비스의 필요성이 증가하고 관련 산업 시장이 빠른 속도로 발전하고 있다.

## 2. 데이터를 활용한 날씨 산업의 발전과 혁신

최근 데이터를 활용한 기상 산업은 빠르게 발전하고 있다. 기상 데이터의 수집·분석·활용 기술이 발달함에 따라 다양한 산업군에서 기상 관련 서비스와 제품이 등장하고 있으며, 건설, 유통, 항만, 항공, 에너지 등 다양한 산업 분야에서 기상 데이터를 활용한 혁신이 일어나고 있다.

- **건설:** 건설 현장의 안전 관리 대비와 효율적인 공정 관리를 위한 작업 일정을 조정하는 데 기상 데이터가 활용되고 있으며, 실제로 건설 작업을 위한 공정 관리의 45.4%, 시공 관리의 36.4%, 품질 관리의 18.2%에 기상 데이터가 활용되고 있다.

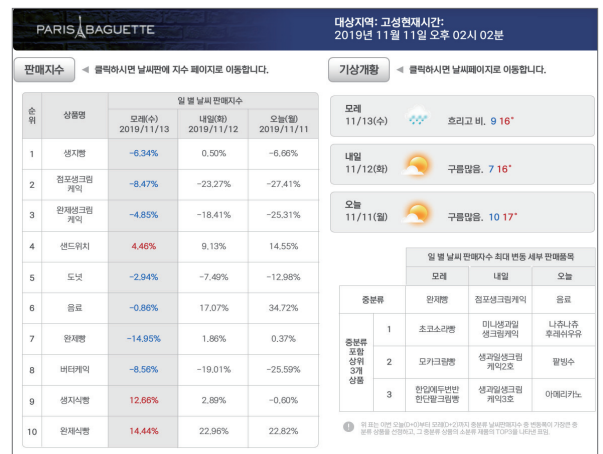
〈그림 1〉 GS건설의 건설 기상 정보 시스템



출처: GS건설 건설 기상 정보 시스템

- **유통:** 유통업은 과거 기상 데이터와 각 상품별 판매량, 매출량 분석을 통해 개발된 판매지수를 활용하고 있다. 판매지수를 통해 기상예보에 따른 각 상품별 판매량, 매출량을 예측할 수 있다. 이를 통해 각 상품의 생산량 및 주문량을 조절해 재고 회전율을 감소시키고, 판매량을 극대화하여 이익을 증대시킬 수 있다.

〈그림 2〉 파리바게트에서 POS를 통해 제공하는 기상 데이터



출처: SPC그룹

- **배달 및 배송:** 최근 1인 가구의 증가 등으로 인해 배달 및 배송의 증가세가 뚜렷하며, 해당 업종은 기상 상황에 큰 영향을 받는다. 합리적이고, 효율적인 요금 체계 구축과 최적의 경로 제공을 위한 목적으로 기상 관측 데이터와 기상예보 데이터를 통합 관리할 수 있는 기상 정보 모니터링 시스템을 구축 운영하는 사례가 증가하고 있다.

〈그림 3〉 쿠팡이츠 기상 정보 모니터링 시스템

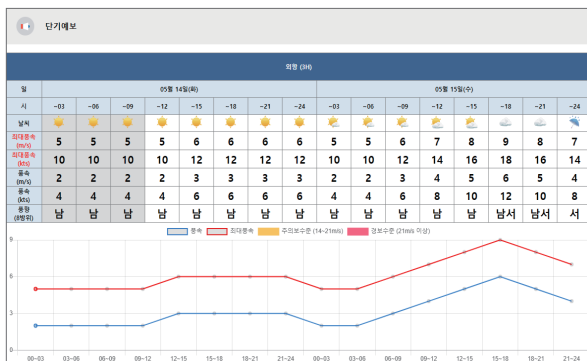


출처: 쿠팡이츠



- **항만, 항공:** 항만, 항공 분야에서도 기상 데이터가 폭넓게 활용되고 있다. 안전한 항만과 공항 운영을 위한 방재의 목적으로 자체 기상 관측망을 구축 운영하고, 국지 기상예보 서비스를 제공받기도 한다. 또, 선박과 항공기의 안전 운항과 연료 효율을 높이기 위해 최적의 항로, 경로를 예측 제공하기도 한다.

**〈그림 4〉 울산항만공사의 항만 기상 국지 예보 서비스**



출처: 울산항만공사 홈페이지

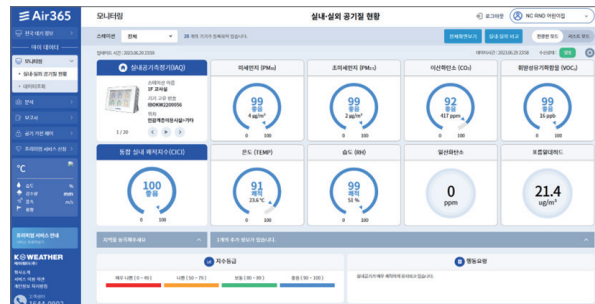
- **보험:** 보험 분야에서는 기상 데이터를 활용하여 자연재해의 발생 가능성을 예측하고 보험료 산정을 위한 기초 자료로 활용한다. 기상 데이터를 활용하여 태풍이나 홍수 등의 자연재해 발생을 예측하고 보험료를 조정할 수 있다. 또한, 기상 데이터를 활용하여 자연재해로 인한 피해를 보상하는 보험 상품을 개발할 수 있다.
- **에너지:** 최근 신재생 에너지의 전환이 가속화되고 그 비중이 확대됨에 따라, 에너지 분야에서 기상 데이터의 중요성도 더욱 커지고 있다. 풍력, 태양광 등 신재생 에너지는 날씨에 따라 그 발전량이 좌우되는 에너지이기 때문에 사전에 발전량을 예측하고, 안정적으로 공급해 운영하기 위해 기상 데이터가 매우 중요하다.

공기질 관리 및 개선을 위한 산업과 연구에도 공기 데이터 기반의 혁신이 활발히 일어나고 있다.

- **실외·실내 공기질 관리:** 미세먼지 및 이산화탄소 등으로 인해 유발되는 질병, 업무 효율 저하 등으로 공기질 관리에 대한 수요가 꾸준히 증가하고 있는 가운데 실외·실내

공기 빅데이터를 활용한 공기질 개선 노력이 이루어지고 있다. 집·사무실 등의 실내 공기질을 과학적으로 분석하고, 데이터를 기반으로 환기 장치를 조절할 수 있도록 하는 서비스형 소프트웨어가 개발되고 운영되고 있다. 실외·실내 공기측정기를 통해 실시간으로 수집되는 공기 데이터를 분석하고 이를 바탕으로 환기청정기를 가동해 24시간 365일 청정한 공기질을 유지할 수 있다.

**〈그림 5〉 실외·실내 공기질 소프트웨어**



출처: 케이웨더 '빅데이터플랫폼 Air365'

- **건물 관리 및 시설 관리 기업(FM, Facility Management):** 공조, 전기, 기계, 소방, 승강기 등의 전문 분야들을 유지·관리하는 시설 관리 기업들은 일찍이 효과적인 실내 공기질 관리를 위해 실내 공기 데이터를 적극 활용하여 효과적인 운영을 하고 있다. 실시간 실내 공기 데이터를 수집·관측하고 분석하며 실내 공기조화 시설을 데이터 기반으로 제어함으로써 최상의 실내 공기질을 유지하면서 에너지를 가장 효과적으로 사용할 수 있다.
- **다중이용시설:** 국내에서는 2004년부터 실내 공기질 관리법 등 다양한 법령 및 규제를 통해 국민의 건강을 보호하기 위해 다중이용시설의 미세먼지, 라돈 등 오염 물질을 관리하고 있다. 일정 규모 이상의 어린이집, 영화관, 의료시설, 장례시설 등 24,000여 개의 다중이용시설, 실내 공연장, 업무 시설, 복합 용도 건축물 등 27,000여 개의 공중 시설과 지하철, 철도 등 대중교통의 제반 시설 현황뿐만 아니라 실내 공기질 상태를 측정하고 데이터베이스화하여 관리하고 있다.

〈그림 6〉 서울시설공단의 지하역사 공기 데이터



출처: 서울시설공단 관리자용 웹페이지

그러나 현재 공기질 데이터는 1~6시간 단위의 단발성 측정 방식으로 공기질의 실시간 변화를 측정하지 못하며, 장기간 데이터 축적이 가능하지 않아 빅데이터와 AI(인공지능)를 활용한 부가가치 창출이 곤란하다. 이에 많은 다중이용시설에서는 실질적이고 효과적인 실내 공기질 관리를 위해 IoT 기반의 실시간 공기 데이터 수집 기술을 적극적으로 활용하여 시설을 이용하는 고객들에게 정확한 실내 공기 정보를 제공하고 있다. 이를 통해 공기질 데이터를 수집할 수 있을 뿐만 아니라 시계열로 누적되는 빅데이터를 실시간으로 공공 데이터와 융복합하여 효과적으로 분석함으로써 최상의 실내 공기질을 유지하면서도 에너지 사용량의 절감을 꾀하고 있다.

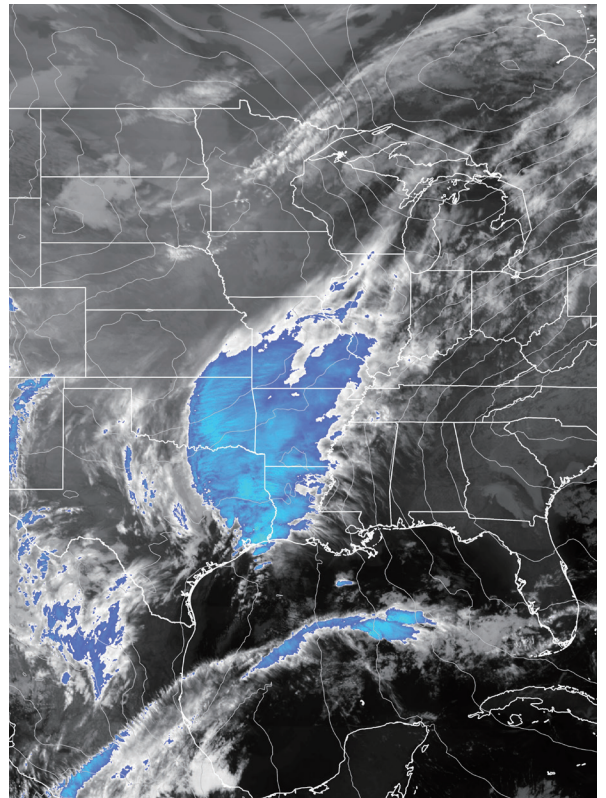
### 3. 빅데이터를 활용한 날씨 산업 전망

기상 데이터와 공기 데이터를 활용하여 부가가치 창출을 도모하는 날씨 경영은 해당 빅데이터 활용의 인프라 확대와 함께, 그에 수반된 고용 창출이 기대되는 등 경제 활동의 시발점이 될 것으로 기대된다.

기상 데이터는 산업 활용의 측면뿐만 아니라 재난안전관리의 측면에서도 그 중요성이 높는데 급작스러운 폭우 및 폭설 등 자연재해에 대비하는 시스템 구축은 결국 데이터 활용의 한 분야로서 설명될 수 있다. 뿐만 아니라 날씨 정보의 활용 분야가 공공, 민간 등 전방위로 확대될 경우 그 파급 효과는 더욱 클 것으로 예상된다. 미국 등 날씨 경영 선진국들은 다양한 방안을 마련한 결과 축적된 데이터를

수많은 기관과 회사에서 활용하고 있다. 궁극적으로 날씨 정보의 활용 극대화는 경영 전반에 효율성을 배가시킬 뿐만 아니라 국가나 기업의 재해 예방에 큰 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

공기 데이터 시장은 수요 고객들의 요구사항에 맞춤형의 상세한 데이터를 재생산하여 제공하며 이를 통해 데이터 정보 활용의 폭이 넓어지는 특성을 가지고 있어 지속적으로 성장하고 있는 시장이다. 공기 데이터 시장을 선점하기 위해서는 신뢰성 있는 공기 데이터를 수집해야 하며 이를 위해서는 정확하게 공기를 측정할 수 있는 공기측정기를 설치하여 공기 데이터를 수집해야 한다. 단순히 공기를 측정할 수 있는 기능만을 제공하는 하드웨어 중심의 공기측정기는 데이터의 수집, 저장, 분석 등 공기 데이터 기능을 제공하지 못해 고객들의 다양한 니즈를 충족하기 어렵다. 따라서 다양한 공간의 공기 데이터를 수집, 분석하고 실외, 실내 공기 데이터를 기반으로 환기청정기를 운영하는 등 공기 개선 솔루션을 제공하는 것이 공기 데이터 시장 선점에 중요한 요소가 될 것으로 전망된다.





오늘날 전 세계 주요 국가들은 기후위기에 대해 과학 기술과 데이터를 기반으로 한 대응책을 내놓고 있다. S&T DATA는 해외 각국의 기후 데이터 관련 정책과 주요 동향을 정리해 전달한다.

또한 데이터, 인공지능 등 첨단 기술을 활용해 기후 산업에서 가치를 창출하는 우리나라 기업의 사례를 전한다. 이번 호에서는 레인버드지오(주), (주)에스아이 에이, 디아이랩을 통해 기후 데이터로 산업을 선도하는 사례를 소개한다.

## Global Trends & BIZ Inside

### Global Trends

국내외 데이터 정책 동향

### BIZ Inside

기업탐방1 레인버드지오(주)

기업탐방2 (주)에스아이에이(SIA)

기업탐방3 디아이랩

### KISTI+

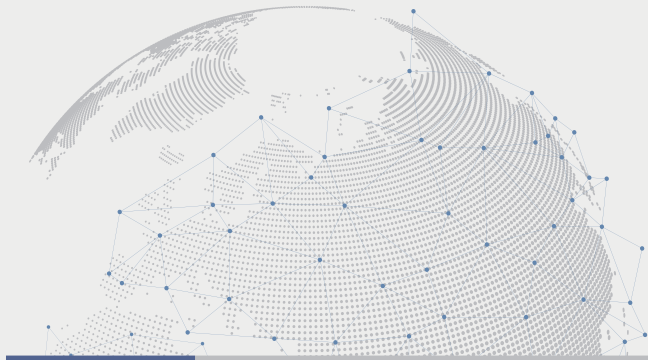
도시 침수 예측에서 대응까지 원스톱 솔루션(KUDS)











## 국내외 데이터 정책 동향

### 일본

#### 온실가스 감축을 위한 IT 활용 방안 모색

전 세계적인 친환경 흐름에 따라 일본 정부와 기업들 역시 탄소중립을 위한 녹색 전환(GX, Green Transformation)의 중요성이 강조되고 있다. 일본 정부는 지난 2020년 10월, 2050년까지 온실가스 배출을 사실상 제로로 만드는 ‘탄소중립’ 달성을 선언한 바 있으며, 일본 기업들은 이 정책에 따라 온실가스 배출량의 산정과 감축에 나서고 있다. 특히 최근 제조업계를 중심으로 스코프(Scope)3에 대한 규제가 강화되고 있으나, 온실가스의 배출량을 정확히 측정하는 것은 어렵기 때문에 일본 정부와 민간에서 온실가스 배출량 산출을 지원하는 데이터베이스가 공개되고 있다.

#### 온실가스 산출 범위인 스코프의 개념

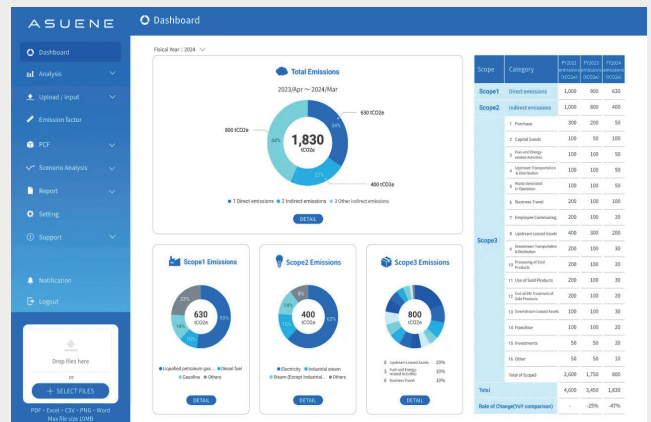
스코프1	회사가 소유하거나 통제하는 원천에서 발생하는 직접 배출
스코프2	회사가 구매한 전기, 열 또는 증기 생성으로 인한 간접 배출
스코프3	회사의 가치 사슬에서 발생하는 모든 기타 간접 배출

보다 정확한 스코프3 산출을 위해 온실가스 배출량 측정, 공개, 분석에 특화된 SaaS(서비스형 소프트웨어)가 일본 기업들에 도입되고 있다. SaaS는 일본 환경성의 스코프3 가이드라인에 맞는 배출량 계산 로직을 활용하거나, LCA활용추진컨소시엄(LCAPC)의 ‘IDEA(Integrated Development of Environment and Architecture)’ 데이터베이스와 연동해 온실가스 배출량을 계산한다. 일본의 소프트웨어 개발사 아스에네(ASUENE)의 클라우드 서비스 ‘ASUENE’와 통신 대기업 자회사인 NTT 데이터 사의 ‘C-Turtle’이 대표적인 SaaS 사례다. ‘ASUENE’는



온실가스 및 CO<sub>2</sub> 배출량의 산출부터 감축량 관리, 보고서 작성 기능을 제공하며, 'C-Turtle'은 독자적으로 구축한 데이터베이스를 기반으로 업종별로 개별적인 배출량을 계산할 수 있게 한다.

뿐만 아니라 서버를 재생 가능 에너지를 이용한 데이터 센터로 전환하거나, 절전 기능을 갖춘 제품을 적극적으로 도입하는 등의 하드웨어 측면의 노력도 보이고 있다. 시스템 측면에서도 챗



'ASUENE' 화면

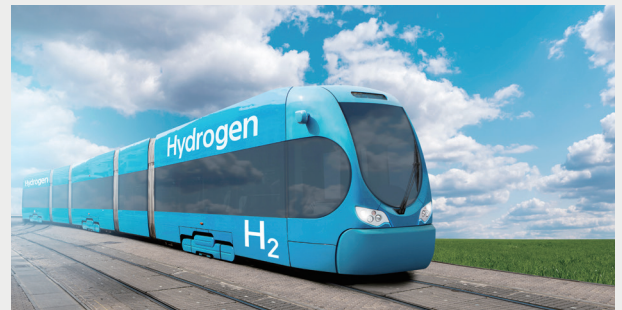
봇 등의 시스템 도입을 통해 CO<sub>2</sub> 감축과 업무 개선 효과를 독려하고 있다. 일본 내에서 GX에 관한 관심이 높아지는 만큼, 온실가스 감축을 위한 IT 활용 방안은 점점 더 다양해질 전망이다.

출처: <https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/02724/>

## 중국

### 수소 에너지 도시열차 시험 운행 성공

지난 3월 21일, 중국이 독자적으로 개발한 수소 에너지 도시열차가 지린성 창춘에서 시속 160km 속도로 시험 운행하는 것에 성공했다. 수소 에너지 열차는 대기 오염을 줄이고 에너지 효율성을 높이는 친환경 열차로, 세계 각국에서 적극적인 개발에 나서고 있다. 중국에서 시험 운행에 성공한 수소 에너지 도시열차 역시 환



경 보호, 짧은 건설 기간, 낮은 투자 비용, 간단한 유지 관리 등의 장점을 가지고 있다고 관계자는 말했다.

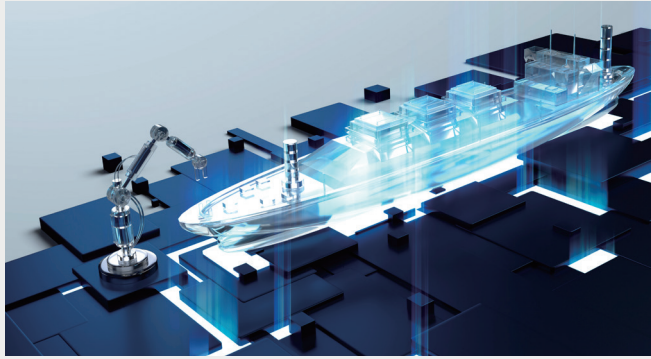
이날 시험 운행을 통해 수소 에너지 도시열차에 대한 다방면의 성능 검증이 이루어졌다. 평균 에너지 소비량은 1km당 5kWh로 세계 최고 수준이었으며, 최대 운행 거리도 1,000km를 상회한다. 또한 기존 열차가 화석 연료나 전기 케이블을 통해 전력을 공급받는 것과 달리 수소 에너지 도시열차는 강력하고 장시간 지속가능한 수소 전력이 내장되어 있다. 관계자는 이번 시험 운행이 성공적으로 마무리됨으로써 중국이 철도 운송 분야에서 획기적인 돌파구를 마련했다고 전했다.

출처: [http://www.ce.cn/cysc/ny/gdxw/202403/22/t20240322\\_38943842.shtml](http://www.ce.cn/cysc/ny/gdxw/202403/22/t20240322_38943842.shtml)

### 조선업 분야 친환경 발전 추진

해운 및 조선업 분야에서 역시 전 세계적으로 친환경 발전이 요구됨에 따라, 중국은 최근 '조선 산업 친환경 발전 개요(2024-2030)'를 발표했다. 개요에 따르면 중국은 2030년까지 조선업의 친환경 발전 시스템을 구축하고 친





환경 기자재의 공급 역량을 강화하는 것을 목표로 한다.

이를 실현하기 위해 중국은 네 가지 실행 방안을 제시했다. 첫 번째는 친환경 조선 기자재 공급 시스템 구축이다. 즉, LNG, 메탄올, 암모니아, 수소 등의 친환경 에너지 추진 배터리 엔진을 개발하고 응용하는 것을 의미한다. 두 번째 방안은 친환경 선박

생산 라인의 구축으로, 이를 위해서는 5G·사물인터넷 같은 디지털 기술과의 접목이 필요하다. 세 번째 방안은 친환경 공급 체계 구축이다. 조선업과 선박에 필요한 원자재, 부품 등에 대한 탄소 발자국을 추적해 탄소 배출량을 줄이겠다는 것이다. 마지막 방안은 조선 산업 단지 간의 협력 및 국제협력 강화로, 글로벌 조선업의 친환경 발전에 동참하고 선도하겠다는 것을 의미한다.

이에 따라 향후 중국에서는 전통 기자재를 친환경 기자재로 대체하기 위한 연구·개발 및 응용, 부품 교체·재활용 분야에서의 친환경화, 저탄소 기술 응용 분야 확대 등에 지속적인 연구가 이뤄질 것으로 보인다.

출처: <https://www.cenews.com.cn/news.html?aid=1104961>

## 한국·싱가포르 무탄소 에너지 기술 협력 논의

2024년 1월 31일~2월 2일, 한국과 싱가포르 간 기후변화 대응 협력 강화를 위한 '제9차 한-싱가포르 기후변화 대화'가 싱가포르에서 개최되었다. 한국과 싱가포르는 2023년 두바이에서 개최된 제28차 유엔기후변화협약 당사국총회(COP28)에서 채택된 전 지구적 이행점검 결정문에 대한 평가를 교환하고, 감축, 적응, 손실과 피해, 파리협정 제6조(국제탄소시장) 등 주요 협상 의제에 대해 의견을 나누었다. 또한 양국은 국내 기후변화 대응 정책, 국가 온실가스 감축 목표(NDC) 이행 동향을 소개하고, 올해 말 제출할 제1차 격년투명성보고서(BTR) 준비 상황을 공유했다.

특히 2050 탄소중립 및 파리협정 1.5℃ 목표 달성을 위해 COP28에서 재생 에너지뿐 아니라 원자력, 수소, CCUS(Carbon Capture, Utilization & Storage) 등 저탄소·무탄소 기술 가속화에 합의한 것에 주목하고, 관련 협력을 강화해나가



제9차 한-싱가포르 기후변화 대화(출처: 외교부)

기로 했다. '제10차 한-싱가포르 기후변화 대화'는 한국과 싱가포르가 수교 50주년을 맞는 내년에 한국에서 개최할 예정이며, 무탄소 에너지 확대 등 기후변화 대응을 위한 양국의 실질적 협력을 지속 강화해나가기로 하였다.

출처: [https://overseas.mofa.go.kr/www/brd/m\\_4080/view.do?seq=374621](https://overseas.mofa.go.kr/www/brd/m_4080/view.do?seq=374621)

## 대만

### 태양광 설치에 관한 환경영향평가 기준 강화 검토

2024년 3월, 대만 환경부는 태양광 발전에 대한 환경영향평가 인정기준을 강화할 것이라고 밝혔다. 대만은 현재 이웃 나라인 일본의 표준에 따라 약 40헥타르에 달하는 40,000kW로 개발 규모를 검토하고 있다. 그러나 이는 대만 현지 사정에 따라 조정될 가능성이 있으며, 태양광뿐 아니라 지열, 소수력 및 기타 재생 에너지원을 포함하여 환경영향평가 기준을 포괄적으로 검토할 예정이라고 전했다.



지금까지 대만은 신재생 에너지 개발 사업 관련 환경영향평가가 대부분 해상 풍력 발전 위주로 진행되어 왔으며, 지상형 태양광 발전 사업에 대한 일부 우려에 대처하기 위해 인정기준 강화에 대한 필요성이 불거졌다. 이에 대만은 설치 면적 또는 용량이 일정 수준을 넘거나 산비탈 등 특정 부지에 설치할 경우에도 환경영향평가를 실시하는 방향으로 관련 규정을 개정할 방침이다. 법률 개정을 위해 대만 환경부는 관련된 해외 국가들의 법률 및 규정을 검토하고 있으며, 6월 말에 법률 개정안을 발표할 계획이다.

출처: [https://money.udn.com/money/story/7307/7847926?from=edn\\_subcatelist\\_cate](https://money.udn.com/money/story/7307/7847926?from=edn_subcatelist_cate)

## 이집트

### 친환경 미래에 다가선 알렉산드리아 메트로 프로젝트 1단계 진행

이집트는 지난 4월 친환경적이고 지속가능한 교통 네트워크인 알렉산드리아 메트로(Alexandria Metro) 프로젝트 1단계의 진행 상황을 점검했다. 알렉산드리아 시는 이집트에서 두 번째로 큰 도시로, 인구 밀도가 높고 교통 체증이 심한 도시이다. 이에 이집트는 환경에 대한 부담을 줄이고, 대중교통 수단을 개선하기 위해 알렉산드리아 메트로 프



젝트를 진행하고 있다. 알렉산드리아 메트로는 지하철과 유사한 형태의 철도 시스템으로, 도시의 주요 지역을 연결하고 친환경적인 기술과 솔루션을 도입하여 에너지 효율성 증가 및 탄소 배출 감소에 중점을 두고 있다.

이집트 교통부 장관은 알렉산드리아 메트로 프로젝트 1단계에 대해 “도시 대중교통 시스템의 중요한 도약”이라고 강조하였으며, 완공 시 “알렉산드리아 시의 경제 및



사회 발전 목표에 크게 기여"할 것이라고 밝혔다. 한편 알렉산드리아 메트로 프로젝트는 이집트 오라스콤 건설(Orascom Construction)과 프랑스 콜라스 레일(Colas Rail)의 컨소시엄이 개발을 주도하며, 2026년 완공 예정이다.

**알렉산드리아 메트로 프로젝트 1단계의 주요 장점**

환경적 이점	청정 전기 에너지 사용으로 대기 오염 및 온실가스 배출 감소에 기여
향상된 안전성	건널목 및 기타 위험 요소를 제거해 승객과 운전자에게 안전한 환경 조성
이용객 증가	시간당 이용객 2,850명에서 60,000명으로 대폭 증가
이동 시간 단축	Abu Qir 역과 Misr 역 사이의 이동 시간이 50분에서 25분으로 절반으로 단축
향상된 속도	작동 속도가 시속 25km에서 시속 100km로 증가
운행 간격 감소	열차 간 대기 시간이 10분에서 2.5분으로 크게 단축

출처: <https://www.dailynewsegyp.com/2024/04/04/alexandria-embraces-green-future-with-phase-1-of-metro-project/>

**EU**

**탄소중립산업법 유럽의회 최종 통과**

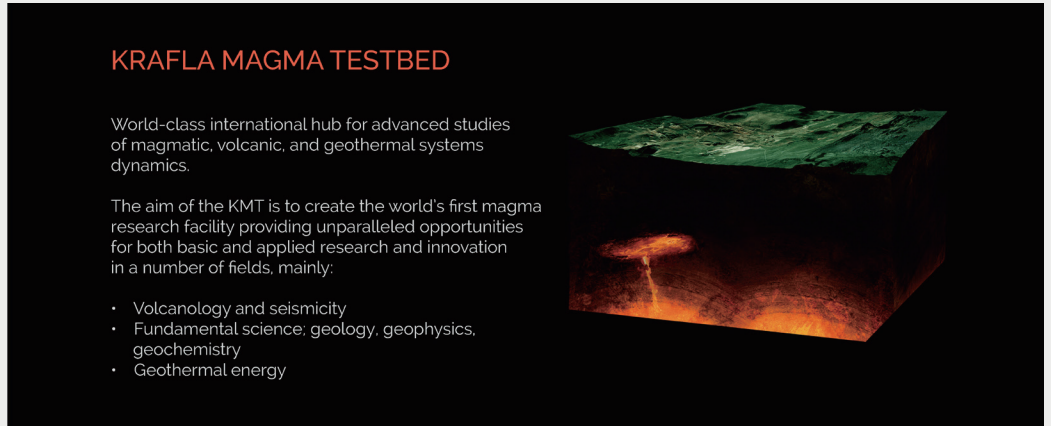
유럽연합(EU)의 친환경 산업 역량 확대를 목표로 한 '탄소중립산업법(NZIA, Net-Zero Industry Act)'이 유럽의 회를 통과하며 입법의 최종 관문을 넘었다. 지난 2월 EU 상반기 순환의장국인 벨기에 정부는 이사회, 유럽의회, 집행위원회 간 NZIA에 관한 3자 협상이 잠정 타결됐다고 밝혔다. 미국 인플레이션감축법(IRA)과 역대 청정 산업의 경쟁력 제고를 위한 그린딜 산업 계획 일환으로 EU가 마련한 NZIA는 ① 탄소중립과 관련된 역내 산업 제조 역량을 2030년까지 40% 끌어올리는 것, ② EU의 탄소중립 기술 제품의 세계 시장 점유율 15%를 달성하는 것을 주요 목표로 한다.

'메이드 인 유럽'을 육성하겠다는 구상으로 유럽판 IRA로 불리는 NZIA 타결에 따라 태양광, 배터리, 탄소 포집·저장 등 친환경 산업과 관련된 주요 분야가 '전략적 탄소중립 기술'로 지정돼 패스트트랙 허가, 보조금 지급 요건 완화 등 각종 혜택을 받게 된다. 전략적 탄소중립 기술에 원자력 발전 관련 기술도 포함돼 눈길을 끌기도 했다. NZIA가 직접적인 금전적 인센티브를 지원하는 법안은 아니지만, 엄격한 규제에 의해 유럽에 투자를 꺼렸던 기업들을 점차 유인하는 효과가 있을 것으로 EU는 기대하고 있다.

출처: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20240419IPR20568/meps-adopt-plans-to-boost-europe-s-net-zero-technology-production>, <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2024/02/06/net-zero-industry-act-council-and-parliament-strike-a-deal-to-boost-eu-s-green-industry/>



출처: European Commission



출처: KMT

아이슬란드의 북쪽에 위치한 Krafla 화산지대는 지열 활동이 매우 활발한 지역 중 하나로, 고온의 지열 자원이 풍부하게 존재하는 곳이다. 이에 아이슬란드는 Krafla 화산 활동을 활용해 지열 에너지를 산출하기 위한 혁신적인 방법으로 2017년부터 Krafla 마그마 테스트베드 프로젝트(KMT, Krafla Magma Testbed project)를 진행하고 있으며, 2026년 첫 시추 작업을 예정하고 있다.

KMT 프로젝트는 높은 온도의 마그마에서 직접적으로 열을 추출하고 이를 이용해 전기를 생산하는 방식으로, 기존의 지열 발전보다 더욱 효율적인 에너지 생산이 가능하다. 특히나 아이슬란드가 전체 주택 난방의 90% 이상을 지열 에너지로 활용하고 있는 만큼, 이 프로젝트를 통해 재생 가능하고 무한한 에너지원을 얻을 수 있을 것이라 기대하고 있다.

KMT 프로젝트의 과학자들은 2026년 첫 시추 작업을 준비하며 새로운 기술과 방법으로 지열 에너지의 활용 가능성을 더욱 확장시키는 것을 목표로 하고 있다. 또한 프로젝트를 진행하는 데 있어 지구 환경 보호와 에너지 지속가능성을 증대시키는 것에 중점을 두고 있다. 이를 위해 화산을 지속적으로 모니터링하고, 지열 및 지구과학에 대한 연구 방법을 혁신하겠다는 사명을 지니고 있으며, 성공 시 아이슬란드뿐 아니라 전 세계적으로 지열 에너지 산업에 새로운 가능성을 제시할 것으로 전망된다.

출처: <https://www.zmescience.com/science/news-science/iceland-geothermal-magma-chamber/>, <https://kmt.is/>



출처: KMT



레인버드지오(주)

# 위성 데이터로 재난 예측과 예방의 효율성을 극대화

울음소리로 비를 알리는 뚝구기처럼 재난재해를 빠르게 예측하고 효율적으로 예방하기 위해 정보를 제공하는 레인버드지오(주). 위성 데이터를 활용한 정보로 국내뿐 아니라 전 세계 기후위기 대응에 기여하는 레인버드지오(주)는 첨단 기후테크 기업으로서 오늘도 힘차게 날갯짓을 하고 있다.

## 첨단 위성 데이터로 기후변화와 위험을 감지

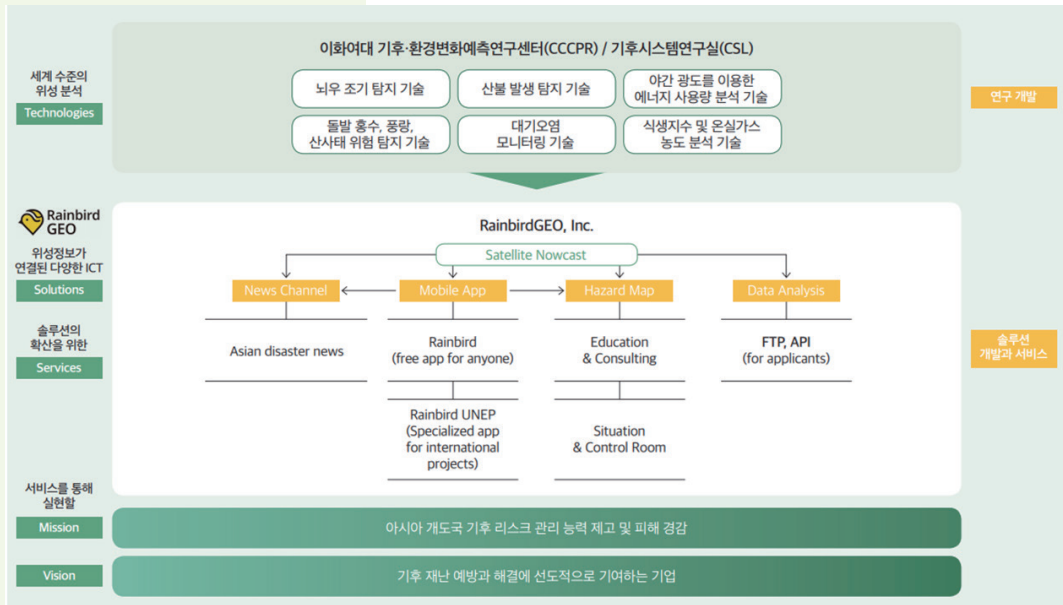
기상위성 분석 기술을 기반으로 아시아-태평양 지역의 기후리스크 조기경보 시스템을 구축하고 운영하는 레인버드지오(주)는 이화여자대학교 기후에너지시스템공학과 최용상 교수가 2017년 공과대학 교원 창업 1호로 설립한 첨단 기후테크 기업이다. '뚝구기(Rainbird)'와 정지위성을 뜻하는 '지오(GEO)'의 합성어로 이루어진 사명처럼 재난재해를 신속하게 예측하고, 효과적으로 정보를 알리고 있다.

레인버드지오(주)의 조기경보 시스템은 2018년에 발사된 정지기상위성(GK2A)의 자료를 분석하여 예측하고, 이 정보를 모바일 앱의 형태로 해당 국가의 주민들에게 맞춤형으로 전달한다. 특히 이화여자대학교 기후시스템연구실 및 기후·환경변화예측연구센터와의 긴밀한 협력을 통해 개발도상국이 기후변화에 따른 기상이변과 재난에 대응할 수 있도록 정보를 제공하여 재난 예측과 예방의 효율성을 극대화하고 있다.

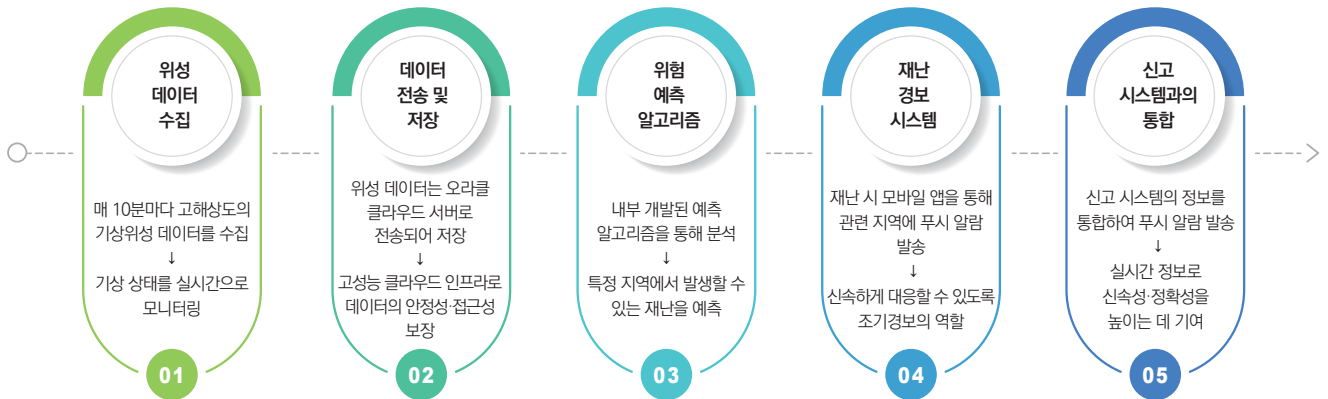
## 레인버드지오(주)의 기술 및 목표

기후는 지역별로 다른 특성을 지니고 있어 각 지역의 기후 특성과 재난 형태를 면밀히 분석할 필요가 있다. 레인버드지오(주)는 특정 지역과 시기에 맞는 재난 예측과 알람을 제공하기 위해 인공지능 기술을 연구 과정에서 적극적으로 활용하고 있다. 또한

| 레인버드지오(주)의 기술 및 목표 |



## | 레인버드지오(주) 재난 조기경보 시스템의 데이터 흐름 과정 |



인공지능 기술이 예측 알고리즘에 실시간으로 통합될 경우, 지역 특성에 맞춰 알람의 정확도를 더욱 향상시킬 것으로 기대하고 있다. 현재는 일부 지역의 폭우 예측 정확도 향상을 위해 인공지능 기술이 사용되고 있으며, 향후에는 더 확장된 지역에 지역별 최적화를 위해 적용할 예정이다.

한편 위성 데이터는 지상 관측으로는 어려운, 매우 넓은 지역에 일관된 고해상도의 정보 수집을 가능하게 한다. 특히 천리안 정지궤도 위성은 적도 위 태평양에서 한반도를 향한 반구의 지역에 대해 매 10분마다 2km의 해상도로 대기와 지표, 해양을 관측한다. 이를 통해 관심 지역의 상태와 변화를 정밀하고 신속하게 감지할 수 있어 상당한 사회·경제적 가치를 창출할 수 있다. 위성 데이터의 유지보수 비용 또한 상대적으로 적어 경제적으로도 효율적이다.

### 인공위성-ICT융합기술의 다양한 활용 사례

레인버드지오(주)는 국내뿐만 아니라 전 세계 고객을 대상으로 위성 기술과 ICT를 융합한 컨설팅 서비스를 제공하고 있다. 위성 기술을 이용한 실시간 리스크 모니터링을 통해 발생 가능한 위험을 신속하게 감지하고 대응하며, 현재 적용 중인 아시아-태평양 지역뿐만 아니라 유럽 기상위성을 활용하여 아프리카 지역에도 확대하는 서비스를 준비 중이다. 또한 기업과 정부 기관을 대상으로 농업, 산업, 금융 및 보험업 등에 다한 기후변화와 관련된 각종 리스크를 평가하고, 이에 대한 전략적 기후 리스크 관리 컨설팅을 제공한다.

한편 레인버드지오(주)가 보유한 GK2A 위성 자료 활용 기술은 열

대 지역에서 발생하는 폭우를 1~3시간 전에 탐지하여 조기경보를 제공함으로써 뇌우 발달이 잦은 열대 지역에서 높은 탐지율(80~90%)을 보이고 있다. 이 기술은 유엔환경계획(UNEP) 및 녹색기후기금(GCF)의 지원을 받아 2026년 완성을 목표로 태평양의 다섯 개 도서국(팔라우, 니우에, 마셜제도, 쿡제도, 투발루)에 적용 중이다. 국제적인 NGO인 세이브더칠드런의 지원으로 홍수 피해가 심각한 인도네시아의 반둥 지역에서도 2025년부터 이 기술을 사용할 수 있게 된다.

2024년 4월부터는 한국환경산업기술원(KEITI)의 지원으로 네 팔의 산사태를 실시간으로 예측하여 모바일 앱으로 제공하는 프로젝트를 진행하고 있다. 또한 아시아개발은행(ADB)의 지원으로 캄보디아 여성 등 폭염 취약 계층에 맞춤형 기상특보를 모바일 앱으로 제공하는 프로젝트를 진행 중이다. 이 기술들은 기상 및 기후 기술과 인프라가 상대적으로 부족한 재개발국과 개발도상국에서 저비용으로 고효율의 결과를 제공하게 한다. 뿐만 아니라 한국수자원공사의 K-Water 협력 스타트업 회원으로 선정되어 레인버드지오(주)의 위성 기반 폭우 탐지 및 예측 기술로 하천의 유량을 미리 예측하고 하류 지역의 홍수를 사전에 대비하는 것에도 성과를 기대하고 있다.

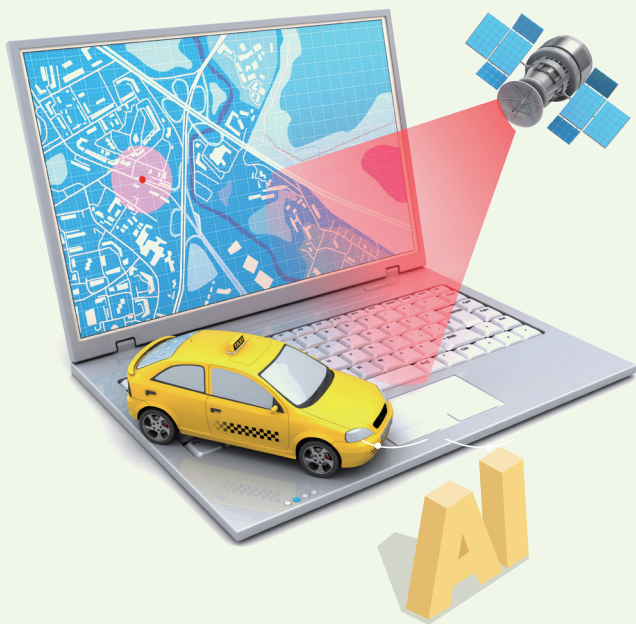
첨단 기후테크 기업으로서 레인버드지오(주)는 환경, 농업, 산림 등 다양한 위성 자료와 기상위성 자료가 자동으로 연계되는 통합형 기술을 개발하기 위해 연구개발에 힘쓰고 있다. 향후 세계적 수준의 기상위성 자료 분석 기술 보유, 기상기후 콘텐츠 플랫폼 구축, 맞춤형 융복합 콘텐츠 제공을 위한 “글로벌 위성콘텐츠 경영시스템” 완성을 위해 오늘도 날개를 힘차게 펼치고 있는 레인버드지오의 눈부신 비상이 기대된다.



(주)에스아이에이(SIA)

## 고해상도 위성 영상과 인공지능(AI) 기술의 결합

인공지능이 각종 산업에서 혁신을 불러일으키고 있다. 고해상도 위성 영상과 인공지능 기술의 결합으로 자연재해 피해 검출에 유의미한 결과를 제공하고 있는 (주)에스아이에이가 앞으로 가져올 혁신이 궁금하다.



### 위성 영상과 (주)에스아이에이의 기상기후 AI 솔루션

2018년에 설립된 (주)에스아이에이는 인공지능 기반의 위성 영상을 활용한 지리공간 정보(GEOINT, Geospatial Intelligence) 분석 솔루션을 제공하고, 고해상도 위성 영상과 인공지능 기술을 결합한 분석 결과로 차량, 항공기, 선박 등 여러 산업 분야에 유용한 분석 결과를 내놓는다. 예컨대 차량 분석을 통해 위성 영상에서 도로의 흐름을 모니터링하고 차량 혼잡도를 확인하여 도시 교통 관리에 필요한 자료를 생산하고, 항공기 분석을 통해서 공항 및 항로상의 항공기를 탐지하고 항공기의 위치를 분석하여 공항 내 항공기 추적이 가능하도록 하는 등 그야말로 우리 생활에 전방위적 활용이 가능하다.

특히, GEOINT 솔루션을 활용하여 자연재해 피해를 검출할 수 있어 기상기후 분야에서의 적극적인 활용이 기대를 모으고 있다. (주)에스아이에이의 기술을 통해 재난 지역의 인프라(건물, 도로 등)의 피해 정도를 정확하고 신속하게 평가하는 것이다. 이 기능은 재난 관리 당국과 구호 기관이 재난 대응과 복구 작업을 효율적으로 수행할 수 있도록 중요한 정보를 제공한다. 또한 위성 영상 분석을 통하여 자연재해로 인한 피해 지역을 식별하고 다양한 재난 유형에 대한 피해 범위를 빠르게 파악할 수 있으며, 재난 전후의 위성 영상을 비교하여 변화된 구조물을 탐지해 피해 전후 상황을 정확히 비교해볼 수 있다.

(주)에스아이에이가 제공하는 대표적인 서비스로는 크게 네 가지가 있다. 위성 영상의 분석을 위한 'AI Pack(Object Detection, Classification, Segmentation, Change Detection)'과 위성 영상 분석 'Platform SW(Ovision Earth, Ovision Int)', 위성 영상의 해상도를 향상시키는 'SuperX', 그리고 운량 이동 예측, 위성 센서를 통한 정밀 강우량 측정, 태풍 경로 예측을 위한 'WeathO'가 바로 그것이다. 이 서비스들은 모두 인공위성 영상과 AI 기술을 결합하여 기후 변화 대응을 비롯한 다양한 분야에서 데이터를 분석하고 유용한 정보를 제공하는 데 초점을 맞추고 있다.

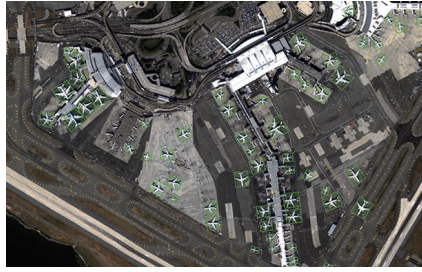
### AI 기반 딥러닝 기술로 미래 날씨 예측

(주)에스아이에이는 AI 기반의 딥러닝 기술을 활용하여 날씨 예측 서비스를 제공한다. 위성 영상을 통해 구름 이동 예측과 강수량 정보를 제공하며, 전 지구적 커버리지와 고해상도 데이터를 통해 기후 정보의 불균형을 해소하는 것이다. 이 서비스는 재난 취

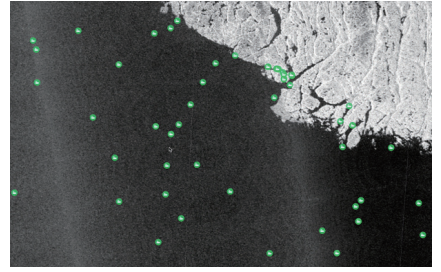
| AI Native GEOINT Solution |



차량 탐지



항공기 탐지



선박 탐지



건물 검출



도로 검출



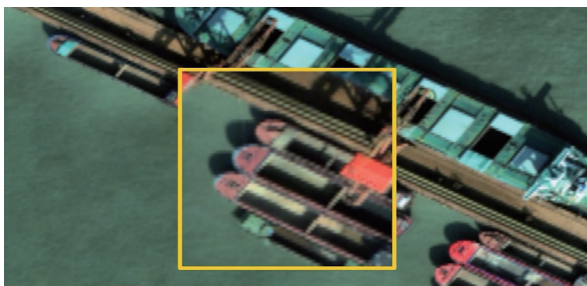
자연재해 피해 검출

약 지역을 포함한 모든 지역에 동일한 수준의 기후 정보를 제공하여 재난 대비와 대응을 강화할 수 있도록 지원한다. 또한 기존의 통계적 단기 예측 성능을 넘어, AI 모델을 통해 구름과 강수 패턴을 정밀하게 예측하여 초단기 예보의 정확도를 높인다. 이러한 기술을 인정받아 2022년 기후 변화를 주제로 한 'AI 학

회 뉴립스 웨더포캐스트 경진대회'에서 강수량 예측과 관련해 1등을 차지했다. 2023년에는 COP28에 초청되어 UNESCO로부터 혁신상을 수상하기도 했다. 그러나 이 성과에 안주하지 않고 강수 예측 모델에서 더 나아가 현재는 태풍 예측 모델과 구름 이동 예측 모델을 개발하여 관련 서비스를 준비하고 있다. 곧 출시될 WeathO 서비스는 이러한 모델들을 통합하여 종합적인 기후 예측 솔루션을 제공할 예정이며, 이를 통해 재난 적응 부문에 기여할 것이라고 기대하고 있다.

인공지능 재해 관리 솔루션을 통해 신속하고 정확한 정보를 제공함으로써 재난 취약 지역의 피해를 줄이는 것을 목표로 삼고 있는 (주)에스아이에이. 이를 위해 AI와 딥러닝 기술을 지속적으로 발전시키고, 기후 예측의 정확성을 높여 나갈 예정이다. 또한, 이러한 기술을 전 세계로 확장하기 위해 국제기구 및 다양한 국가와 협력하여 재난 관리 역량을 강화하고, 글로벌 기후 변화 대응에 기여해나가고자 연구개발에 힘을 쏟고 있다.

재난 관리뿐 아니라 인프라, 식량, 자원 관리에 필요한 의사결정을 지원하는 데이터 제공 서비스를 개발하여 인공지능 솔루션으로 지구 공동의 문제를 해결하는 것을 목표로. 그리고 더 나아가 전 세계가 직면한 다양한 도전 과제에 대해 효과적인 대응과 지속가능한 발전을 지원하는 것을 궁극적 과제로 삼아 (주)에스아이에이는 오늘날 GEOINT 솔루션을 주도하고 있다.



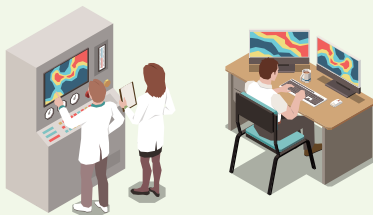
(주)에스아이에이의 영상 화질 개선 서비스(개선 전(상), 개선 후(하))



디아이랩

# 인공지능(AI)을 기반으로 한 신속·정확한 기후위기 감지

최근 이상기후로 인한 기후 리스크가 커지고 있다. 데이터와 인공지능은 어떤 해결책을 줄 수 있을까? 최고의 Data Intelligence 서비스 제공을 목표로, 디아이랩은 데이터로 건강한 사회를 만들고 인공지능 기술로 기후위기 시대에 탄소 중립과 ESG 경영을 함께하는 성공 파트너가 되길 꿈꾸고 있다.



## 인공지능 기반으로 최적의 서비스를 제공

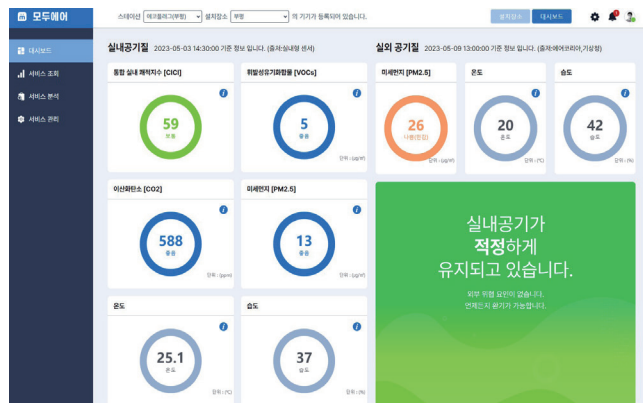
이상기후로 인한 기후 리스크의 피해를 줄이고자 2020년 3월에 설립된 디아이랩은 한국기상산업기술원에서 운영하는 기상기후 성장지원센터에 입주해 기후 환경 분야의 도메인 전문성과 인공지능 기술을 바탕으로 기후위기 대응을 위한 기후 Intelligence 서비스를 하고 있는 기업이다. 디아이랩에서 제공하고 있는 핵심 솔루션인 ‘디아이크래스트(DI CAST)’는 미세먼지, 온·습도, 일사량, 소음, 진동 등의 센서 데이터를 분석하여 인공지능 기반의 이상 감지 및 예측 기술을 활용한다.

디아이크래스트의 “인공지능 기반 IoT 센서 이상 감지 기술”은 통계 및 인공지능 기술을 이용한 센서 데이터의 장애, 외부 영향 요인, 이상 패턴 등을 탐지한다. 그리고 이를 통해 오류 데이터를 제거하거나 위험 상황에 알람을 줄 수 있는 이상 감지 기능을 제공한다. “하이브리드 예측 기술”은 이상 감지 기술을 통해 정제된 센싱 데이터와 기상·환경 수치 모델 데이터에 인공지능 기술을 적용하여 데이터를 정제·융합 분석해 학습 데이터를 구축하고, 이를 통해 타깃 지점에 대한 정확도와 정밀도를 높은 예측 데이터를 제공한다.

그리고 이 솔루션을 기반으로 ‘모두솔라(Modoo Solar)’와 ‘모두에어(Modoo Air)’ 서비스를 운영하고 있다. 각 서비스 이름에서 알 수 있듯, 두 개의 서비스는 ‘태양광’과 ‘공기질’을 관리하는 데 도움을 준다. 모두솔라는 태양광 발전 설비의 안정적 운영과 정확한 발전량 예측 정보를 제공하며, 모두에어는 인공지능이 실

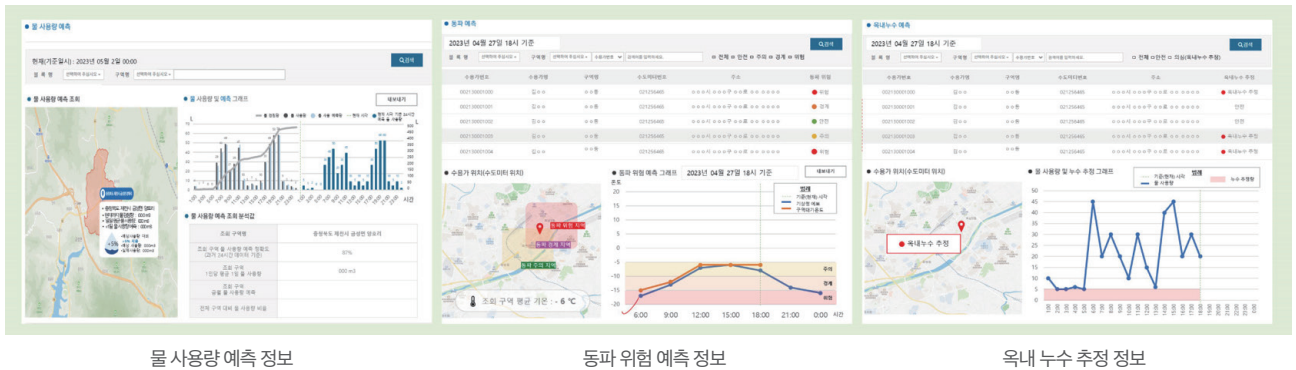


모두솔라



모두에어

**| SI 기반 예측 정보 제공 |**



내 공기질과 외부 기상 빅데이터를 학습해 패턴을 예측하고 실내 공기질을 최적으로 관리한다. 특히 모두에어는 공장이나 급식조리실, 어린이집, 노인복지시설 등 실내 공간에서의 활동이 많은 현대인에게 꼭 필요한 서비스다.

이 외에도 다이어랩은 인공지능과 IoT 센싱 기술을 활용해 기상 기후 위험 정보를 모니터링하고 예측하여 의사결정에 필요한 정보를 제공한다. '초단기 강수 예측 및 침수 위험 조기감지 서비스'가 바로 그 대표적인 사례. 기존의 기상청의 강수 관측 자료와 추가적인 IoT 센싱 데이터를 통해 국지성 강수를 촘촘히 관측하고 위성, 레이더, 수치 모델 데이터와 함께 인공지능 모델로 학습하여 침수 위험을 실시간 모니터링해 사전에 탐지하여 대응할 수 있도록 도와주는 서비스다. 과거 있었던 강남 침수, 오송 지하차도 사고에서처럼 돌발적인 국지성 호우는 앞으로 더 많이 발생할 것이기에 이러한 시스템이 기업이나 지자체, 공공시설 등에 꼭 필요할 것으로 보인다.

**정밀한 예측으로 건강한 사회에 한 발 더 가까이**

최근에는 날씨에 따른 프랜차이즈 판매량 예측 및 냉난방 최적화를 통한 에너지 효율화 서비스와 SI 기반 원격 점검 이상 감지 및 예측 서비스 등 신규 서비스를 선보였다. 프랜차이즈 판매량 예측 및 에너지 효율화 서비스는 인공지능 기반 매출 데이터와 외부 기상 빅데이터의 학습을 통해 패턴을 예측하는 솔루션이다. 날씨에 따른 매출 및 메뉴별 판매량 예측 서비스를 제공하여 식자재 발주나 재고 관리, 인력 관리 등을 돕고, 기상기후 데이터

와 매장 내 IoT 센싱 정보를 통해 냉난방 기기 제어를 최적화하여 전력 사용량과 탄소 배출을 최소화해주는 에너지 효율화 서비스를 제공하는 것이다. 최근에는 범위를 더 넓혀 무인매장에 최적화된 서비스도 개발 중이다.

SI 기반 원격 점검 이상 감지 및 예측 서비스는 원격 점검 데이터에서 발생하는 다양한 오류 데이터를 제거하여 고품질 데이터를 만들고, 생산된 고품질 데이터를 활용해 다양한 사용자 패턴을 분석하고 인공지능 모델로 학습하는 솔루션이다. 이를 통해 물 사용량 예측이나 옥내 누수 추정, 사회적 약자 이상 징후 탐지, 동파 위험 예측 등의 정보를 제공하고 있다.

우리나라는 기상 관측 지점이 약 3,400개나 존재하지만, 기상청을 제외하고는 품질 관리에 한계가 있어 기후 리스크 분석에 제대로 활용하지 못하고 있다. 이에 다이어랩은 다이어캐스트를 적용해 고품질의 촘촘한 관측 데이터를 만들고, 이 데이터를 이용해 현재까지 분석에서 많이 놓쳤던 국지성 강수를 정밀하게 분석하는 것을 목표로 한다. 이렇게 되면 다이어랩의 기후 Intelligence 서비스를 통해 기업들은 폭염·집중호우·미세먼지 등 기후 리스크를 파악해 효과적으로 대응할 수 있고, 자산가치 하락을 막아 기후공시에서도 손실을 줄일 수 있게 된다.

“데이터를 통해 기후위기 문제를 해결하고 건강한 사회를 만들어가는 것”이 기업의 미션이라고 이야기하는 다이어랩. 기후 문제는 단순히 먹고사는 문제가 아니라 전 세계 모든 사람의 생명과 재산이 영향을 받는 문제인 만큼, 정부와 기업 그리고 국민 모두가 관심을 갖고 함께하기를 바란다는 그들의 바람처럼 건강한 사회가 이뤄지기를 바란다.



# 도시 침수 예측에서 대응까지 원스톱 솔루션

## 도시 침수 솔루션(KUDS)의 핵심 기술 및 활용 사례

KISTI 정책연구센터

인명 및 재산 피해, 교통 혼잡, 환경 오염 등 다양한 문제를 초래하는 도시 침수는 강우량 증가, 해수면 상승, 지반 침하 등과 같은 다양한 요인으로 인해 발생한다. 특히나 지난 수십 년간 기후변화와 도시화가 급격하게 진행됨에 따라 전국의 불투수 면적은 매년 증가하고 있고, 국지성 집중호우로 인해 갑작스러운 폭우나 짧은 시간 동안 특정 지역에 대해 많은 강우가 내리는 현상이 증가해 도시 곳곳에 침수가 발생하는 사례가 늘고 있다.

### 도시 침수 솔루션 및 침수 예측 시뮬레이션

한국과학기술정보연구원(KISTI)은 도시 침수 피해 예측을 위해 사전 피해 예측 시뮬레이션을 수행하고, 피해 정

도를 빠르게 파악하기 위해 도시 전체를 3차원 GIS 기반 가시화 기술로 표출, 데이터 기반의 의사결정을 지원하는 도시 침수 솔루션(KUDS)을 개발했다. 기존의 재난 시스템은 실시간 침수 피해 계산의 결과 값이 늦게 나와 즉각적 대응에 어려움이 있었다. 이에 반해 KUDS 도시 침수 솔루션은 6개의 핵심기술(① GIS 기반 자동 가시화 기술, ② 재난 데이터 표준화 및 융합 기술, ③ 재난 데이터 간 자동 연계 탐색 기술, ④ 최적 안전 대피로 탐색 기술, ⑤ 재난별 자동 대응 프로세스 기술, ⑥ 도시 침수 높이 센서 탐지 기술)로 구성되며, 이를 활용하여 실시간 도시 침수 상황을 파악해 시민들의 대피 여부를 빠르게 결정할 수 있다.

〈그림 1〉 KUDS 도시 침수 솔루션



출처: <https://uds.kisti.re.kr>

〈그림 2〉 도시 침수 시뮬레이션 결과 관리



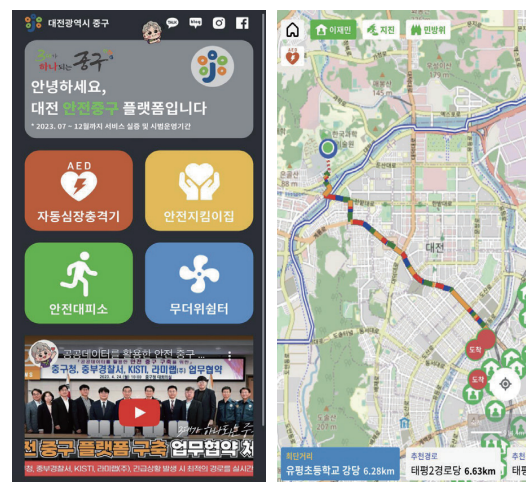
출처: <https://uds.kisti.re.kr>

도시 침수 피해 예측을 위해서는 사전에 피해 예측 시뮬레이션을 수행하고 피해 정도를 빠르게 파악하는 것이 중요하다. 이를 위해 하수관망도, 토지피복도, 건물의 높이 및 넓이 등 다양한 침수 관련 데이터들을 디지털 전환할 수 있도록 데이터 표준화 작업을 수행하였으며, 건물이 많은 도심 특성을 반영하기 위해 수치표면모형(DSM, Digital Surface Model)을 수치표고모형(DEM, Digital Elevation Model)과 결합하여 인공적인 지형을 고려해 정확도를 높였다. 또한 도시 전체 또는 배수 분구 단위로 도시 침수 시뮬레이션을 수행할 수 있고 구/동 단위 시뮬레이션 수행이 가능하도록 설계했다. 하수관망도 데이터를 수작업으로 수정할 수 있도록 지형, 배수관, 맨홀 및 원본 관거 등을 동시에 볼 수 있으며, 시뮬레이션 결과에 대해서는 2차원 시뮬레이션 표출과 과거 침수 지도 비교 기능을 활용하여 자체 검증할 수도 있다.

도시 침수 솔루션은 부산 KBS에서 호우 기간 동안 침수 대비 재난방송 도입에 활용되어 사전에 위험 지역 안내 및 안전대피소로 피할 수 있도록 하고 있으며, 지방자치단체에서도 침수 위험 지역에 대해 시민 안전 대피 기술로 활용하고 있다. 특히 대전 중구청과 서구청에서는 침수 위험 지역에 있는 시민들에게 대피 장소 정보를 제공

하는 기술로 도시 침수 솔루션을 활용하며 제세동기, 안전지킴이, 무더위 쉼터 등의 콘텐츠와 결합하여 지역별로 다양한 서비스를 제공한다. 이처럼 도시 침수 솔루션은 시민 안전을 위해 중요한 과제로, 향후 지속적이고 적극적인 확산 보급이 필요할 것으로 보인다.

〈그림 3〉 대전 중구청 모바일 앱을 통한 안전대피소 안내 활용 사례



출처: 대전 중구청 모바일 앱

참고문헌

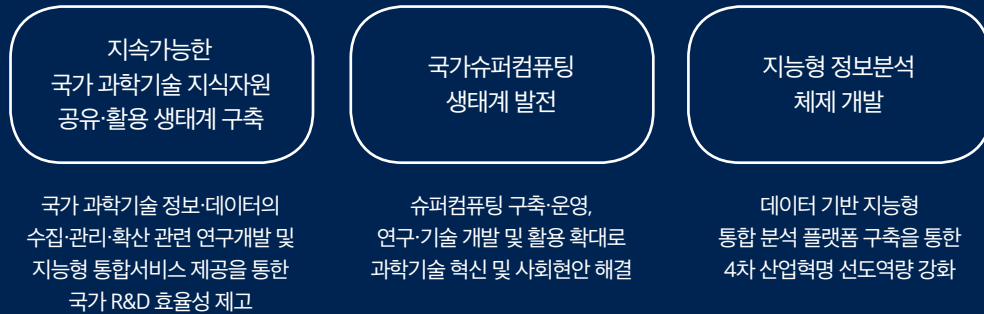
김광영·양명석(2023), “도시 침수 예측에서 대응까지: 솔루션 핵심기술 및 활용 사례 중심”, KISTI 이슈브리프 61호, <https://www.kisti.re.kr/post/issuebrief/6167?l=1718704959176>.



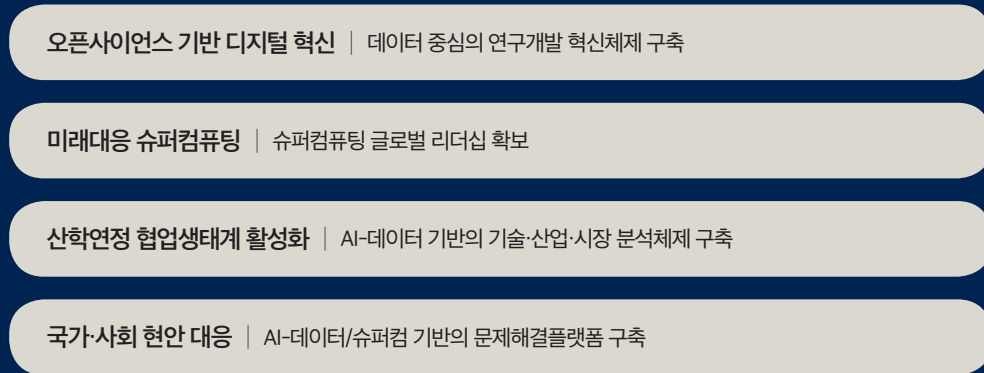
# 과학기술인프라, 데이터로 세상을 바꾸는 KISTI

## MISSION 역할

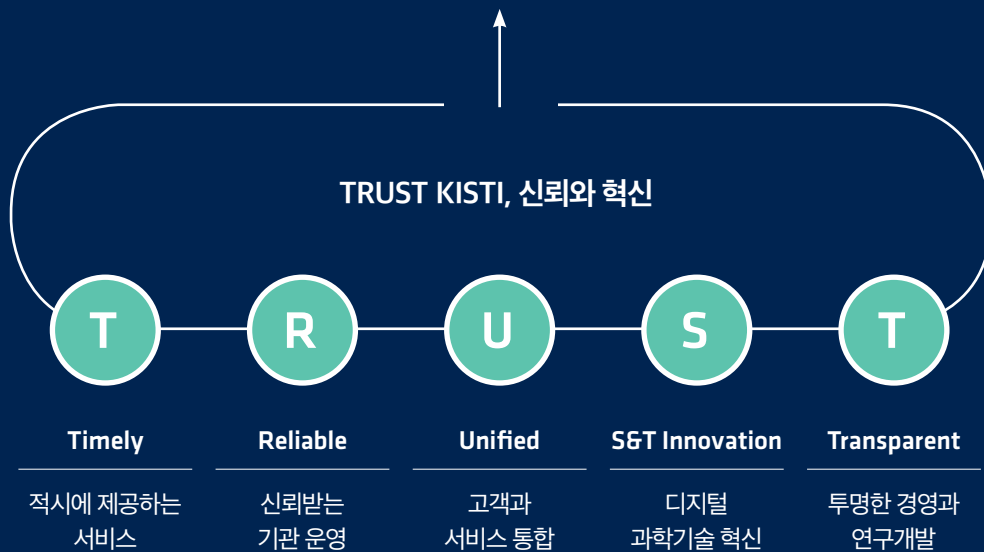
과학기술 핵심 정보자원 및 지식인프라 개발·지원  
개방·공유 기반의 데이터 생태계 조성함으로써 국가 혁신성장과 국민 삶의 질 향상

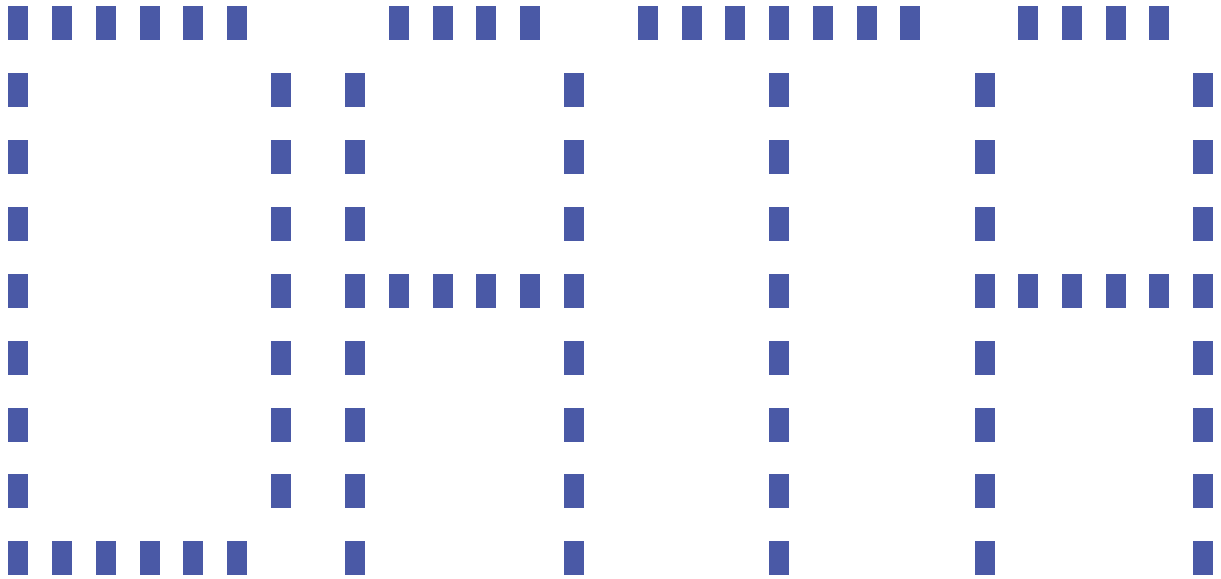


## GOAL 발전 목표

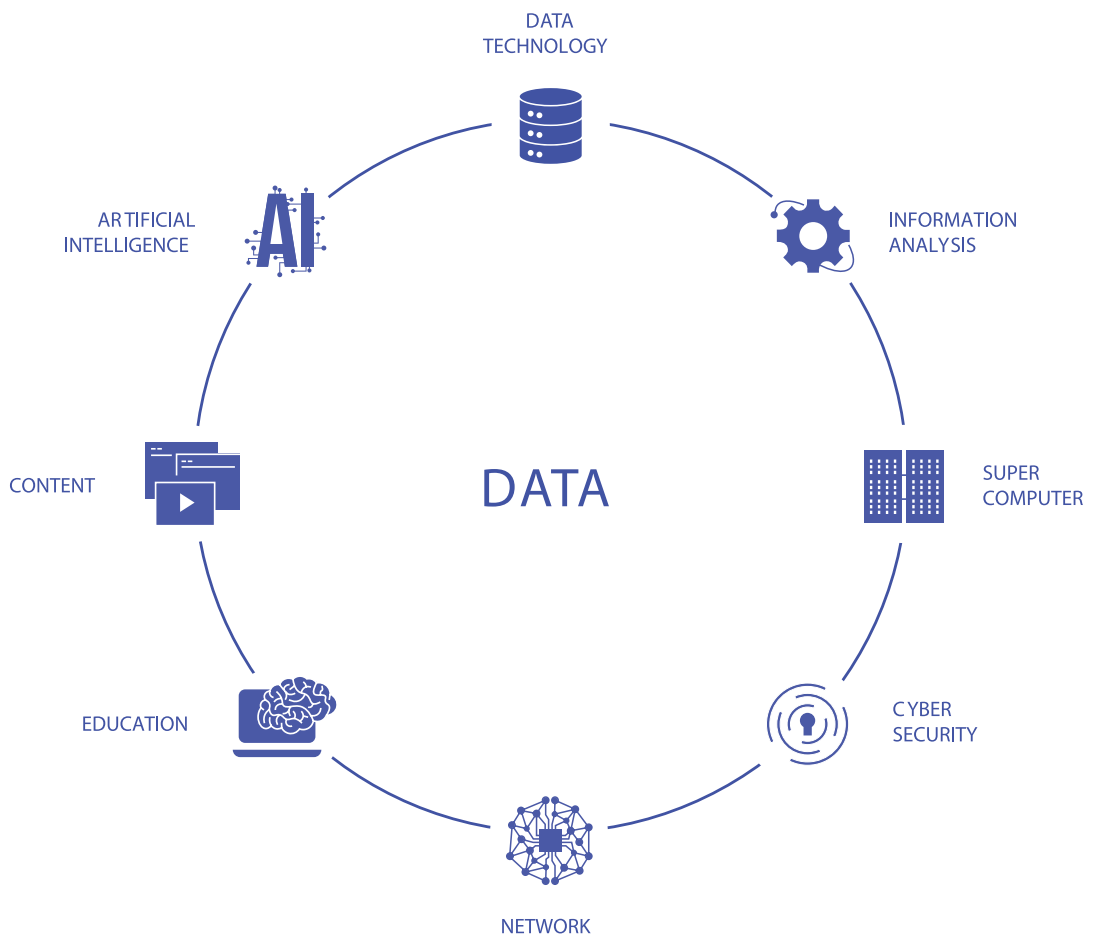


## CORE VALUE 추진 전략





KISTI가 지향하는 DATA 란,  
 전 세계의 '신뢰할 수 있는' 과학기술정보·연구데이터뿐만 아니라  
 데이터 처리·유통, 슈퍼컴퓨팅, 초고속연구망, 지능형 데이터분석과  
 데이터의 안전한 관리를 위한 사이버 보안, 데이터기술 등을 아우르는 것으로  
 모든 분야에서 혁신의 지평을 넓히는 데 기여하는 '혁신의 근간'이 되고 있습니다.





# S&T DATA

SCIENCE & TECHNOLOGY, DATA

개방과 공유를 철학으로 삼아 발간하는  
S&T DATA는 데이터 기술, 데이터 경제에 대한  
이해도를 제고하고 국가 과학기술 데이터 정책 방향을  
수립하는 지침서가 되겠습니다.