

# 2021년도 기상 R&D 우수성과 사례집



# 목 차

## 【기상·지진 See-At 기술개발연구】

우수성과명	주관연구기관	연구책임자	페이지
레이더 및 지상관측 자료를 활용한 초단기 강수 사전 인지 및 강수량 산출 SI 알고리즘 개발	한국과학기술원	신기정	1
항공기의 안전한 항행을 위한 우리나라 공역 맞춤형 위험기상(착빙, 대류) 예측시스템 개발	서울대학교	김정훈	5

## 【미래유망 민간기상서비스 성장기술 개발】

우수성과명	주관연구기관	연구책임자	페이지
도로기상정보에 기반한 전기자동차 특화형 운행정보 제공	(주)에코브레인	이영미	9
기상정보를 활용한 곡물가격분석시스템 “WATCH” 상용서비스	(유)나노웨더	허모랑	16

## 【자연재해 대응 영향예보 생산기술 개발】

우수성과명	주관연구기관	연구책임자	페이지
상세 시공간 폭염·한파 영향 예측 모델 고도화 및 기상청 영향예보 현업 적용	한국환경연구원	채여라	20

## 【한반도 지하단층·속도구조 통합모델 개발】

우수성과명	주관연구기관	연구책임자	페이지
한반도 남부 및 주변 지역 상부 맨틀 3차원 지진파 속도 모델 개발	서울대학교	이준기	24
미소지진 관측을 통한 영남권 지하 단층구조 모델 개발	부산대학교	김광희	27

## 【기후 및 기후변화 감시·예측정보 응용기술 개발】

우수성과명	주관연구기관	연구책임자	페이지
전지구 대기 모델에서 대기-해양 상호작용을 고려할 수 있는 해양 혼합층 물리과정 개발	공주대학교	장은철	31

## 【스마트시티 기상기후 융합기술 개발】

우수성과명	주관연구기관	연구책임자	페이지
도시 에너지관리, 헬스케어 지원을 위한 상세 기상환경 예측시스템	한국외국어대학교	이채연	34

## 【기상관측장비 핵심기술 및 관측자료 활용기법 개발】

우수성과명	주관연구기관	연구책임자	페이지
자동항공기상관측을 위한 영상기반 시정 및 전천(全天, all sky)관측 시스템 개발	(주)지오시스템리서치	김무건	38

## 【지진·지진해일·화산 감시 응용기술 개발】

우수성과명	주관연구기관	연구책임자	페이지
영상 기반 해수위 관측 방법 및 시스템	(주)해양정보기술	문종윤	42



## 【연구책임자】



신기정

한국과학기술원

✉ kijungs@kaist.ac.kr

## 레이더 및 지상관측 자료를 활용한 초단기 강수 사전 인지 및 강수량 산출 AI 알고리즘 개발

## 【과제 개요】

**과제명** : AI 및 IoT를 활용한 강수 관측 기술 분야

**총 연구기간** : 2020.05.01. ~ 2022.12.31.

## 【연구목적 및 목표】

기후변화로 인해 한반도 연 강수량은 점차 증가하고 있으며, 이는 주로 여름철 국지성 집중호우의 빈도와 강도 증가로 설명되고 있다. 여름철 국지성 집중호우는 단속적이고 빠르게 발달하기 때문에 심각한 물적, 인적 피해를 초래한다. 일례로 2011년 7월 말 수도권에서 발생한 국지성 집중호우는 수 시간 동안의 강수량이 해당 지역 연 평균 강수량의 1/4을 기록하며 우면산 산사태, 지하철역 침수 등을 일으킨 바 있다. 따라서 여름철 국지성 집중호우에 의한 피해를 줄이기 위해서는 초단기 강수 예측 능력의 향상이 필수적이다.

최근 인공지능 기술을 초단기 강수예측에 활용한 연구들이 보고되고 있다. 세계의 현업기관들은 이미 인공지능 기술을 활용하여 강수 강도와 강수량을 산출하고, 이에 기반한 강수 발생 사전 인지(예측) 기법을 개발하고 있다. 매우 높은 계산 비용이 요구되는 수치모델과 달리, 인공지능 알고리즘은 이미 훈련된 모델을 이용하여 즉각적인 고해상도 예측을 할 수 있다는 장점이 있다. 한반도의 기후와 지형을 고려한 정확도 높은 강수 예측은 단순히 해외 기관이 개발한 AI 기반 모델을 사용하는 것으로는 불충분하다. 국내에서 수집된 데이터를 이용한 심층학습 모델의 학습, 평가 및 선택이 필수적이다.

본 과제는 레이더 자료와 더불어, AWS에서 얻어지는 지상관측 자료를 종합적으로 활용할 수 있는 인공지능 알고리즘을 개발하여 강수 산출 및 예측의 성능을 개선하는 것을 목표로 한다. 이를 위해서는 이질적인 종류의 데이터(레이더 자료와 지상 관측 데이터)를 함께 활용할 수 있는 심층학습 기법에 관한 연구가 필요하다.

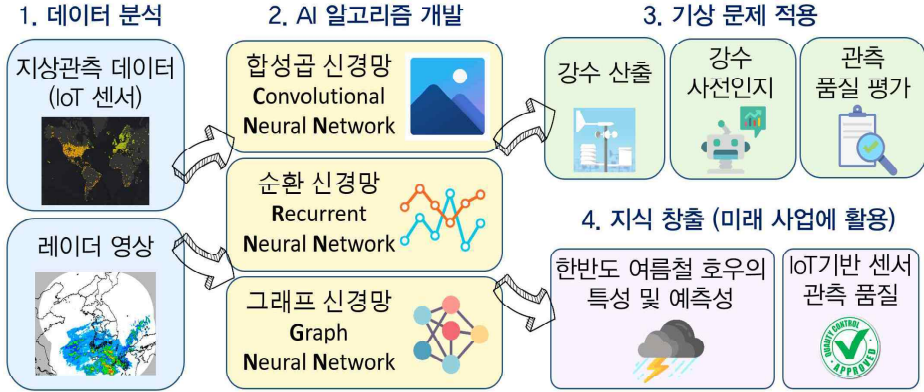
또한 개발한 인공지능 알고리즘의 강수 유형, 예측 선행시간 등에 따른 예측성을 진단 및 평가한다.

## 【성과 주요내용 및 창출과정】

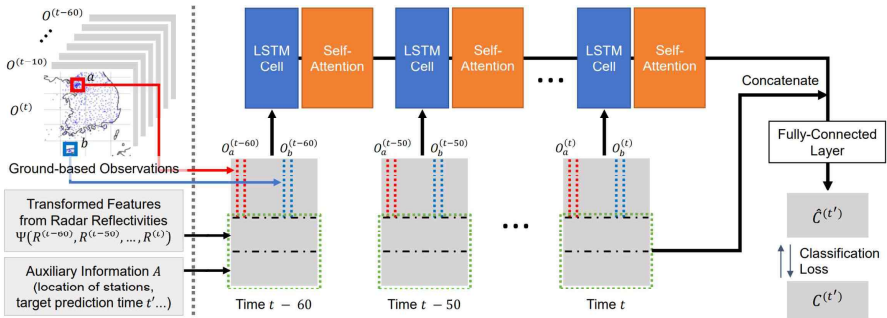
상기 연구를 통해 레이더와 지상관측 자료를 종합적으로 활용할 수 있는 초단기 강수 사전 인지 AI 알고리즘을 개발하였다. 또한 레이더와 지상관측 자료를 종합적으로 활용할 수 있는 강수량 산출 AI 알고리즘과 지상관측 자료의 신뢰도를 추정하는 AI 알고리즘을 개발하였다.

이를 통해 레이더 기반의 강수 사전 인지 AI 알고리즘에 대해 군집 및 사례를 분석하였으며, 최종적으로 레이더 기반의 강수 사전 인지 AI 알고리즘을 다양한 강수 사례에 대해 검증하고 개선점을 제시하였다.

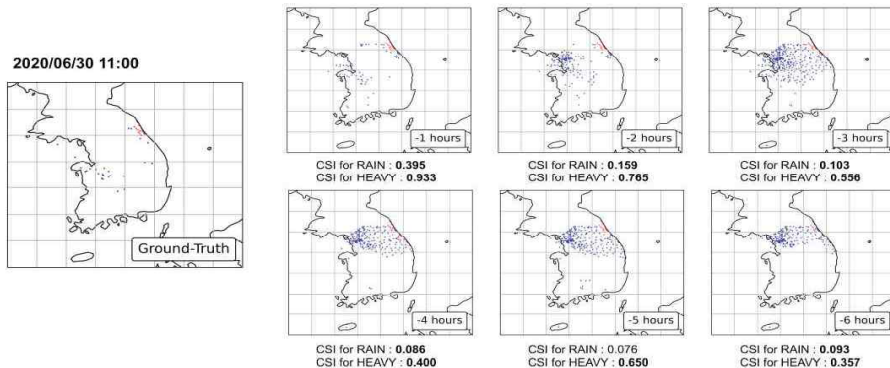
성과는 레이더 자료와 지상관측 자료를 수집하여 레이더 자료와 지상관측 자료 분석 및 전처리 작업과 합성곱 신경망, 순환 신경망, 그래프 신경망을 기반으로 하는 심층학습 모형 설계과정을 통해 창출되었다. 또한 강수 사전 인지와 강수 산출 문제에 적용하였으며 심층학습 모형 평가 및 고도화, 심층학습 모형을 활용한 한반도 여름철 호우의 특성 및 예측성 평가를 진행하였다. 상기 노력을 통해 2021년 논문, 특허 및 S/W 등록 성과를 창출하였다.



【강수 사전 인지 및 강수량 산출 AI 알고리즘 개발 과정】



【레이더 관측 데이터 및 지상 관측 데이터 기반의 강수 사전 인지 및 강수량 산출 AI 알고리즘 모델 구조】



【제한된 AI 알고리즘을 활용한 강수 사전 인지 결과. 강한 강수와 약한 강수를 각각 붉은색과 푸른색으로 표시】

### 【성과의 우수성·차별성】

본 연구과제는 세계 최고 수준의 획기적인 기술을 확보하여, 최고 상위에 속하는 학술지(mrnIF 96.55)에 논문을 게재하고 S/W를 등록하여 성과의 우수성을 입증하였다. 또한 기존 모델은 레이더 자료만 활용하기에 사전 인지 및 강수량 산출 성능이 제한적이었으나 지상 관측 자료를 함께 활용할 수 있는 심층학습 기술을 개발하여 성능을 크게 향상시켰다.

본 연구과제를 통해 창출한 신규 기술은 Persistent 모델 대비 목표 수치(10mm/hr 이상, 5시간 선행시간, CSI score 기준)에 대해 약 147%의 성능 향상을 달성하였다. 이는 Google의 최신 논문의 성능을 상회한다. Google은 Persistent 모델 대비 목표 수치(1mm/hr 이상, 5시간 선행시간, F1 score 기준)에 대해 약 112%의 성능 향상을 달성하였다. 또한 심층학습모델의 학습을 저해하는 IoT 기반 지상 관측 장비별 신뢰도가 크게 차이나는 문제를 데이터의 신뢰도를 추정해 모델이 정확한 학습을 할 수 있도록 개선하였다.

최종적으로 집중호우 유형에 무관하게 안정적인 성능을 보임을 검증하였다. 향후 기상 예측의 정확도 향상을 위하여 본 연구의 성과를 실제 기상청 현업 운영에 활용될 수 있으며, 여름철 국지성 집중호우에 의한 피해를 줄이고 기상 예측 수행에 필요한 컴퓨팅 비용을 절감할 수 있을 것으로 예상된다.

### 【성과의 활용현황 및 계획】

본 연구과제의 성과인 ‘초단기 강수 사전 인지 모델’은 후속 과제를 통해서 기상청 현업에 활용할 수 있는 형태로 시스템화되었으며, 추후 몇 번의 개선 과정을 거쳐 기상청 현업 운영에 활용될 예정이다.

### 【파급효과】

연구성과 활용 시 국지성 호우를 포함한 강수 사전 인지(예측) 정확도 개선으로 위험기상에 의한 사회·경제적 피해 비용 감소가 예상되며, 초단기 예측의 속도 단축으로 물리모형 기반 예측 대비 컴퓨팅 비용 절감 효과가 나타날 것이다.

또한 국지성 호우를 포함한 강수 사전 인지(예측) 정확도 개선을 통해 생활 편익 및 안전 개선과 국지성 호우와 관련된 수자원 관리, 경보시스템 구축 등 대응대책 수립에 기여하고, AI 알고리즘을 기상 관측 및 예측에 활용한 선진 연구방법론을 제시하며, 이질적인 형태의 데이터를 함께 다룰 수 있는 선진 심층학습 기술을 제시할 수 있다.

### 【관련 주요성과】

#### 대표 특허 ▼

- 심층학습 기반 초단기 강수 예측 및 추정을 위한 효과적인 훈련 방법 및 장치 (10-2021-0105149)

#### 대표 S/W ▼

- 레이더 합성장 자료 및 지상 관측 자료 기반 한반도 누적 강수량 산출 (C-2021-049792)
- 지상 관측 자료 신뢰도 추정 기반 한반도 초단기 강수량 예측(C-2021-049755)
- 레이더 합성장 자료 및 지상 관측 자료 기반 한반도 초단기 강수량 예측(C-2021-049792)
- 강수 예측 검증지수 계산 및 표출 프로그램(C-2021-033919)

**대표 논문 ▼**

- Deep learning for bias correction of MJO prediction, Nature communications, 2021

**【우수성과 도출 히스토리】**

본 연구는 서울대학교 지구환경과학부 손석우 교수 연구팀과의 협업으로 진행되었다. 인공지능 연구팀과 대기과학 연구팀의 밀접한 협업, 그리고 국립기상과학원의 적극적인 지원을 통해 의미 있는 결과를 얻을 수 있었다. 향후 초단기 강수 사전 인지의 정확도를 더욱더 높이기 위해, 다양한 측면에서 인공지능 알고리즘을 고도화할 예정이다.

**【용어설명】**

**레이더 관측 데이터**

- 기상청에서 운영하는 현업용 기상레이더의 자료를 이용하여 생산한 자료

**지상 관측 데이터**

- 기상청의 관측소, 개인이 설치한 IoT 자료 등을 통해 지점별로 취합된 기상 데이터

**국지성 호우**

- 특정 지역에서 비가 집중적으로 내리는 것

## 【연구책임자】



김정훈

서울대학교

✉ jhkim99@snu.ac.kr

## 항공기의 안전한 항행을 위한 우리나라 공역 맞춤형 위험기상(착빙, 대류) 예측시스템 개발

## 【과제 개요】

**과제명** : 수치모델 기반의 공역 위험기상(착빙, 대류 영역) 예측기술 개발

**총 연구기간** : 2020.06.25. ~ 2022.12.31.

## 【연구목적 및 목표】

항공기 운항 시 착빙 및 대류에 의한 난기류 영역을 조우할 경우 탑승객 부상, 항공기 파손, 실속에 의한 추락 등의 심각한 인적·물적 피해가 발생할 수 있다. 최근 COVID-19의 영향으로 항공 운항 횟수가 대폭 감소했지만, 국제항공운송협회(IATA)는 2025년 이후 항공 수요가 완전히 회복되며 기존보다 더욱 증가할 것으로 전망하고 있다.

이에 따라 항공 위험기상 예측 정보 수요도 증가할 것으로 보이나, 현재 우리나라 항공기상청에서는 현업 예보에 이용되는 착빙과 대류 영역 예측시스템이 존재하지 않는 실정이다.

본 연구에서는 우리나라에 적합한 한반도 공역 맞춤형 예측시스템을 개발하여 위험기상을 사전에 대비함으로써 항공기 운항 중에 발생하는 피해를 경감하고자 한다. 또한 기상 예측 수치모델의 불확실성을 줄이기 위해 앙상블 확률 예측기법을 적용하여 공역예보의 정확도 향상과 함께 예보자의 효율적이고 과학적인 의사결정 지원을 도모한다.

## 【성과 주요내용 및 창출과정】

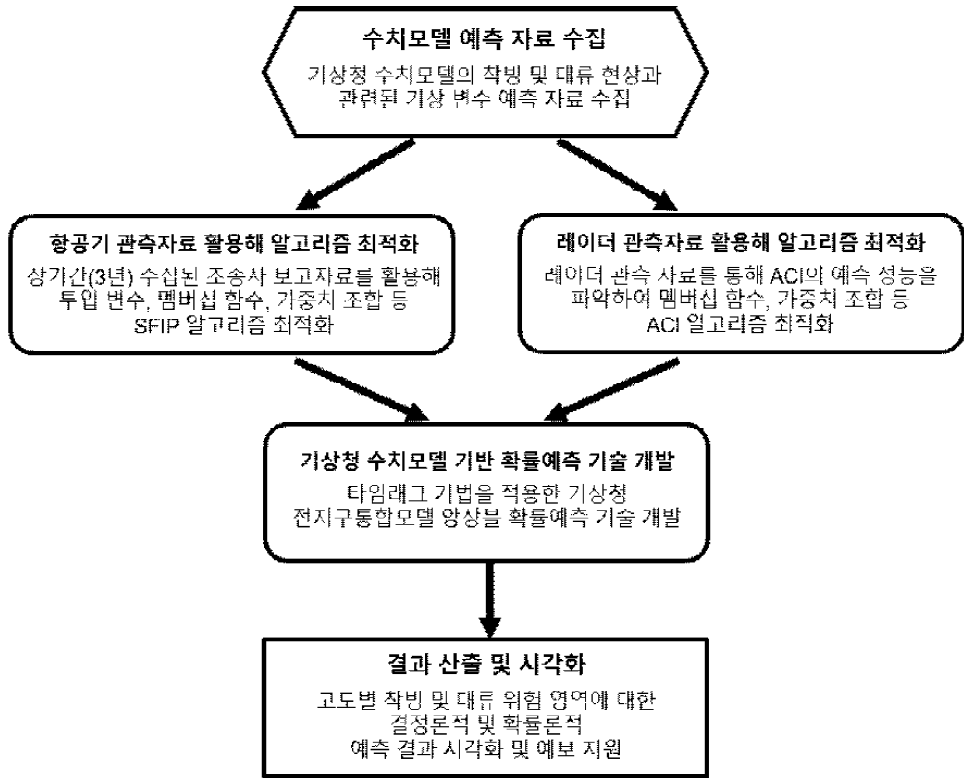
본 연구는 3년간 세분야(국외 공역 위험기상 예측 기술 연구 개발 동향 분석 및 적용방안 연구, 수치모델 기반의 착빙, 대류 영역 예측 기술 개발 및 최적화, 확률 예보 생산 및 개발된 위험기상(착빙, 대류) 예측기술의 사례 분석 및 정확도 검증)으로 나누어 추진되었다. 과

착빙 및 대류 영역 예측기술은 현재 선진국(미국, 영국, 포르투갈 등)의 항공기상 예보 현업에서 활용 중인 알고리즘을 벤치마킹하여 기상청 현업 기상 예보모델 기반의 예측시스템이 개발되었다.

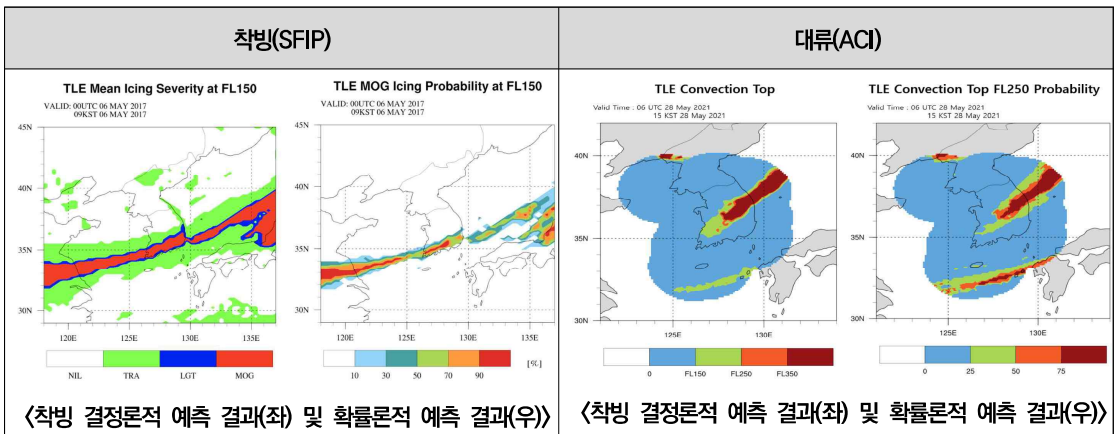
1년 이상의 장기간 관측자료(조종사 보고자료, 레이더, 위성)를 이용해 최적화 과정을 수행하여 기상 예측모델의 고유한 예측 오차와 한반도 영역의 위험기상 발생 특성을 동시에 반영함으로써 예측성을 향상시켰다.



착빙에 대한 예측성능을 통계적으로 검증한 결과, 최적화 이전 대비 평균적으로 6% 이상 예측성이 향상하였다. 또한 중강도 이상의 착빙에 대해 약 75%의 예측 성공률을 보였으며, 대류 영역 예측시스템도 70% 이상의 예측 성공률을 보였다. 현재 착빙 예측시스템을 항공기상청에 기술이전하여 시험 운영 중이며, 최종적으로 2022년 하반기에 착빙, 대류 영역 앙상블 확률 예측시스템이 기술이전 되어 현업에 활용할 계획이다.



【착빙 및 대류 영역 예측기술 개발과정 흐름 모식도】



【착빙 및 대류 영역 결정론적 및 확률론적 예측 결과 시각화 예시】

### 【성과의 우수성·차별성】

본 연구는 선진국에서 사용하는 예측 알고리즘을 벤치마킹하여 기상청 현업 예보모델 기반의 예측기술을 개발함으로써 선진 연구를 추격하였다. 레이더 자료를 이용해 대류에 의한 항공난류 영역을 탐지하는 방법론을 개발하고 이를 Impact Factor 상위에 속하는 학술지에 게재하였다. 결과적으로 예측시스템 검증의 기틀을 마련하였으며 선진 연구와의 경쟁력을 갖추었다.

또한 착빙, 대류 예측 알고리즘 최적화 과정에는 선진연구에서 적용한 방법론뿐만 아니라, 현재까지 국내외에서 시도된 적 없는 수치모델 고유의 예측 경향성과 지역적 특성까지 고려하는 방법론이 최초로 적용되어 예측성이 향상하였다. 이를 통해 국내 예측시스템이 선진 연구와 경쟁할 수 있는 수준에 도달하였다.

성과 혜택의 관점에서는 기상청 현업에서 활용되는 착빙, 대류 영역 예측시스템이 최초로 개발 및 기술 이전 되어 기존에 제공하지 못하던 혜택을 제공할 수 있다.

### 【성과의 활용현황 및 계획】

본 연구에서 개발한 착빙 및 대류 영역에 대한 예측시스템은 향후 항공기상청 현업 예보에 활용될 계획이다. 또한 항공운항지원 기상서비스(<https://global.amo.go.kr>)에도 예측 결과가 제공될 것이다.

향후 가용 가능한 관측정보가 최대한 많이 확보된다면, 실시간 또는 준 실시간으로 착빙 및 대류 영역 예측에 대한 검증 부분도 제공됨으로써 예보관들이 예보에 대한 의사결정을 하는 데 큰 도움이 될 것으로 기대된다. 이는 궁극적으로 과학적이고 객관적이며 일관된 체계적인 공역 위험기상 예측 정보 생산 시스템 구축으로 이어져 안전하고 효율적인 항공 운항 지원에 기여하게 될 것이다.

### 【파급효과】

본 연구과제에서 개발되는 위험기상 예측시스템은 안전하고 효율적인 항행 시스템을 위한 공역예보의 신뢰도 향상 및 항공기상 공역예보 자동화를 위한 원천기술 확보에 기여할 것으로 기대된다.

과학적이고 객관적인 알고리즘 개발을 통해 연구개발이 현업 예측시스템에 기여(Research to Operation; R2O)하는 부분과 함께 수치모델 기반의 예측정보 활용 및 객관적 검증체계 구축을 통해 현업 시스템에서 연구개발(Operation to Research; O2R)으로의 피드백 기틀도 마련할 것이다. 이러한 양방향 선순환은 연구-현업 사이의 차이를 최소화하고, 상호협력적 기상예보 원천기술 개발 및 발전에 이바지할 것이다.

또한 해당 예측시스템이 제공하는 신뢰도 높고 일관적인 위험기상 예측 정보는 안전하고 효율적인 항공 운항 및 차세대 스마트 항행 시스템 개발을 위한 원천 기술 확보에 도움이 된다. 이를 통해 항공 위험기상에 의한 인적·물적 피해를 경감시킬 수 있을 것으로 기대되며, 정확한 항공기상 정보제공을 통해 항공기 우회 및 정체 감소에 따른 항공기 연료 배출 및 온실 기체량 절감을 기대할 수 있다. 이는 궁극적으로 2050년 탄소중립국 선언에 발맞추어 탄소세에 대한 정책 문제에 대한 과학적 근거로 활용될 것이다.

본 연구 성과는 자동화된 공역예보기술 확보를 통해 친환경 스마트 국가건설에 이바지할 수 있다. 향후 국제적 기준에 부합하는 항공기상 예보기술 확보를 통해 친환경 스마트 국가 이미지를 제고할 것으로 기대된다.

### 【관련 주요성과】

#### 대표 사업화 ▼

- 기상청 현업 수치모델 기반의 착빙 영역 예측 시험운영을 위한 시스템 설치 및 관련 분석 기술이전

#### 대표 S/W ▼

- 수치모델기반 기상예측자료를 이용한 항공 위험기상 (착빙) 예측 알고리즘의 검증 프로그램 (C-2021-047013)
- 수치모델기반 기상예측자료를 이용한 항공 위험기상 (대류) 예측 프로그램(C-2021-047014)

#### 대표 논문 ▼

- A Detection of Convectively Induced Turbulence Using in Situ Aircraft and Radar Spectral Width Data, Remote Sensing, 2021.

### 【우수성과 도출 히스토리】

항공 운항의 수요가 높아짐에 따라 공항 및 공역에서 발생하는 위험기상으로 인한 피해 빈도가 증가할 수 있다. 이는 승객의 부상, 항공기 결함과 같은 경제적, 사회적 손실을 발생시킬 수 있기에 위험기상을 정밀하고 정확하게 예측할 필요가 있다. 이에 본 연구진은 기상청 현업 수치모델을 활용하여 우리나라 공역의 예측 특성이 반영된 한반도 특화 착빙, 대류 영역 예측 시스템을 개발하였다.

특히 본 기술에서는 수치모델의 불확실성을 해소하고자 앙상블 확률예측 방법론 중 타임래그 앙상블 기법을 도입해 결정론적, 확률론적 결과 모두를 제공하게 되었다. 두 예측 결과 제공을 통해 기상예보관, 항공사 등 수요자의 효율적이고 과학적인 의사결정을 지원하고 우리나라 및 세계 공항·공역에서의 안전한 항행이 이루어지기를 기대한다. 본 연구진은 후속적으로 다중 수치모델 기반의 더욱 정밀한 확률예측 기술 개발에 대한 연구를 수행하며 계속해서 본 예측기술을 발전시킬 계획이다.

### 【용어설명】

#### 착빙

- 항공기가 구름을 통과할 때 구름 내의 물방울들이 동체에 충돌하여 표면에 얼음을 얼게 하는 현상으로, 착빙 발생 위치와 정도에 따라 항공기 계기 시스템에 영향을 주며 엔진 고장을 유발할 수 있음

#### 대류

- 지형이나 지표 가열 등에 의해 공기가 연직 방향으로 혼합되는 현상을 의미하며, 난기류, 낙뢰, 급변풍과 같은 항공 위험기상을 유발할 수 있음

#### SFIP(Simplified Forecast Icing Potential)

- 영국, 포르투갈 등 선진국에서 현업 예보에 활용 중인 착빙 영역 예측시스템

#### ACI(Aviation Convective Index)

- 본 연구에서 최초로 개발한 대류 영역 예측시스템

【연구책임자】



이영미

(주)에코브레인

✉ leeym@ecobrain.net

## 도로기상정보에 기반한 전기자동차 특화형 운행정보 제공

【과제 개요】

**과제명** : 전기자동차 차량 특성과 도로기상정보를 융합한 충전 정보서비스 개발  
**총 연구기간** : 2019.04.01. ~ 2021.12.31.

【연구목적 및 목표】

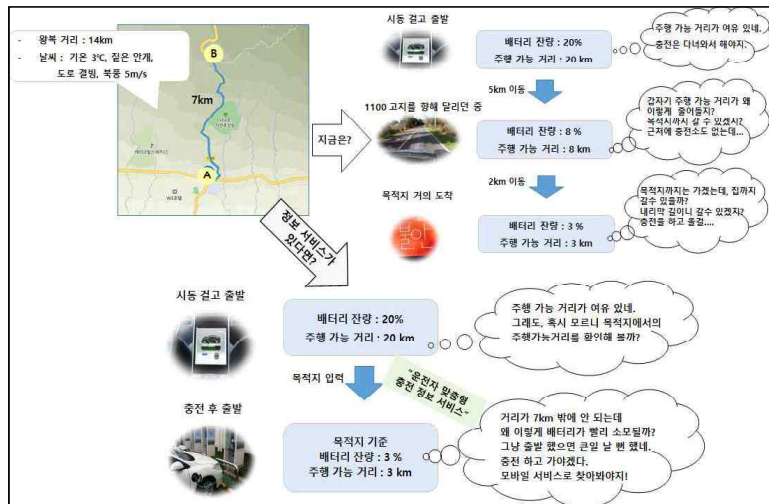
도로기상정보를 활용한 전기자동차 특화형 운행정보 콘텐츠 개발 및 서비스 설계와 전기자동차 충전 정보서비스 제공을 위한 솔루션 개발을 목표로 하였다.

목표 달성을 위해 전기자동차 최적 운행 정보서비스 설계와 전기자동차 최적인행 정보·충전 서비스 모니터링 및 서비스 실증을 진행하였다.

【성과 주요내용 및 창출과정】

본 연구과제는 ‘운전자가 전기자동차 운전 시 의사결정을 하기 위한 정보서비스’를 제공하며, 충전정보 제공을 위한 주행가능거리 예측정보를 제공한다.

또한 운전자 위치를 기반으로 실시간 전기자동차 충전정보를 제공하며, 기상정보(기온, 강수)와 차량용 레인센서의 수집정보를 활용하여 도로의 결빙, 안개, 강우 등의 기상정보를 생산한다. 뿐만 아니라 도로 기상 상황에 따른 주행가능거리 예측성능 개선을 위해 차량용 레인센서를 활용하여 실시간 강우 정보수집 및 차별화된 도로기상 정보를 제공한다. 기본 서비스의 주행가능거리 예측정보는 운전자의 실시간 외부환경과 이에 따른 운전패턴 및 차량별 배터리 정보를 기반으로 생산하여 운전자 맞춤형 정보 제공한다.



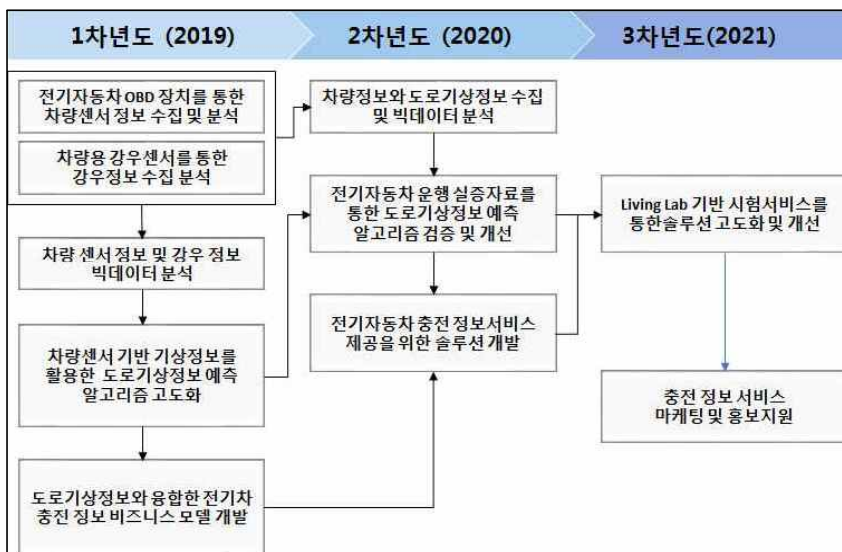
【운전자 맞춤형 충전정보 서비스 활용】



【솔루션 구성도】

정부는 오는 2025년까지 미래차 133만대 보급을 위해 내년에는 전기자동차 보급과 충전 기반시설 구축에 집중하고 있다. 전기자동차의 주행가능거리가 기상과 지형 특성과 같은 환경에 직접적인 영향을 받고, 제조사별 설정에 따라 주행가능거리가 소량 남아있음에도 불구하고 주행 중 멈추는 현상이 발생한다. 제조사에서 설정하는 주행가능거리는 도로 노면, 고도가 입력된 시뮬레이션 프로그램을 통해 테스트 된 주행가능거리이며, 갑작스러운 배터리 부족으로 주행 중 가동정지 상황이 발생할 경우 운전자의 안전이 위험하다. 전기자동차 관련 기술개발은 전기자동차 개발 및 배터리, 충전시설 등을 중심으로 이루어지고 있으나 전기자동차 운전자를 위한 서비스는 부족한 상황이다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 플랫폼이 필요하다.

본 연구과제는 실증을 통한 구체적 사업화 전략 수립 및 사용자 니즈분석을 위한 설문조사를 진행하였다. 기상 및 차량 센서 데이터 수집 및 레인센서 고도화와 차량센서 기반 기상정보를 활용한 전기자동차 주행 가능거리 예측 알고리즘 고도화 작업을 수행하였다. 또한 모바일 화면을 기반으로 한 전기자동차 최적 운행 솔루션 개발하였으며 전기자동차 최적운행 정보, 충전 서비스 실증을 진행하였다.



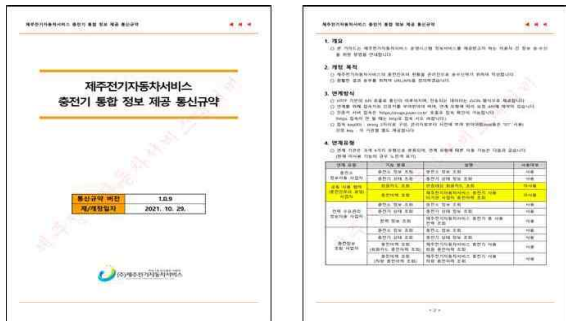
【연구개발내용 흐름도】

**[성과의 우수성·차별성]**

본 과제에서는 도로기상 예측 기술 고도화를 위한 결빙·안개 알고리즘을 개선하여 기상예측 정확도 향상 하였다. 연구결과물은 사업 추진 중 총 3차례 전문가 검토를 통해 타당성을 확인받았다. 또한 전기차 충전 인프라 서비스 고도화를 위한 통합정보 제공 통신규약을 개발하였다.

도로기상정보 예측 오차		결빙·안개		도로기상정보 예측 오차		결빙·안개			
전문가 검토의견 및 검토를 보고서	<p><b>검토사항</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>인간 중심을 위해 예측하는 기상정보로 인해 예측 오차 발생 가능성에 대한 언급이 필요하다</li> <li>인간 중심을 위해 예측하는 기상정보로 인해 예측 오차 발생 가능성에 대한 언급이 필요하다</li> </ul> <p><b>검토사항</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>인간 중심을 위해 예측하는 기상정보로 인해 예측 오차 발생 가능성에 대한 언급이 필요하다</li> <li>인간 중심을 위해 예측하는 기상정보로 인해 예측 오차 발생 가능성에 대한 언급이 필요하다</li> </ul>	<p><b>내용</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>인간 중심을 위해 예측하는 기상정보로 인해 예측 오차 발생 가능성에 대한 언급이 필요하다</li> <li>인간 중심을 위해 예측하는 기상정보로 인해 예측 오차 발생 가능성에 대한 언급이 필요하다</li> </ul>	<p><b>담당자</b></p> <p>김민준</p>	<p><b>검토사항</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>인간 중심을 위해 예측하는 기상정보로 인해 예측 오차 발생 가능성에 대한 언급이 필요하다</li> <li>인간 중심을 위해 예측하는 기상정보로 인해 예측 오차 발생 가능성에 대한 언급이 필요하다</li> </ul> <p><b>검토사항</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>인간 중심을 위해 예측하는 기상정보로 인해 예측 오차 발생 가능성에 대한 언급이 필요하다</li> <li>인간 중심을 위해 예측하는 기상정보로 인해 예측 오차 발생 가능성에 대한 언급이 필요하다</li> </ul>	<p><b>내용</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>인간 중심을 위해 예측하는 기상정보로 인해 예측 오차 발생 가능성에 대한 언급이 필요하다</li> <li>인간 중심을 위해 예측하는 기상정보로 인해 예측 오차 발생 가능성에 대한 언급이 필요하다</li> </ul>	<p><b>담당자</b></p> <p>김민준</p>	<p><b>검토사항</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>인간 중심을 위해 예측하는 기상정보로 인해 예측 오차 발생 가능성에 대한 언급이 필요하다</li> <li>인간 중심을 위해 예측하는 기상정보로 인해 예측 오차 발생 가능성에 대한 언급이 필요하다</li> </ul> <p><b>검토사항</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>인간 중심을 위해 예측하는 기상정보로 인해 예측 오차 발생 가능성에 대한 언급이 필요하다</li> <li>인간 중심을 위해 예측하는 기상정보로 인해 예측 오차 발생 가능성에 대한 언급이 필요하다</li> </ul>	<p><b>내용</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>인간 중심을 위해 예측하는 기상정보로 인해 예측 오차 발생 가능성에 대한 언급이 필요하다</li> <li>인간 중심을 위해 예측하는 기상정보로 인해 예측 오차 발생 가능성에 대한 언급이 필요하다</li> </ul>	<p><b>담당자</b></p> <p>김민준</p>
<p><b>과제번호</b></p> <p>000000-0001</p> <p><b>주요내용</b></p> <p>도로기상정보 예측 오차 최소화</p> <p><b>과제명</b></p> <p>도로기상정보 예측 오차 최소화</p> <p><b>발행 일자</b></p> <p>2021년 11월 11일</p> <p><b>발행처</b></p> <p>한국도로공사</p>	<p><b>과제번호</b></p> <p>000000-0001</p> <p><b>주요내용</b></p> <p>도로기상정보 예측 오차 최소화</p> <p><b>과제명</b></p> <p>도로기상정보 예측 오차 최소화</p> <p><b>발행 일자</b></p> <p>2021년 11월 11일</p> <p><b>발행처</b></p> <p>한국도로공사</p>	<p><b>과제번호</b></p> <p>000000-0001</p> <p><b>주요내용</b></p> <p>도로기상정보 예측 오차 최소화</p> <p><b>과제명</b></p> <p>도로기상정보 예측 오차 최소화</p> <p><b>발행 일자</b></p> <p>2021년 11월 11일</p> <p><b>발행처</b></p> <p>한국도로공사</p>	<p><b>과제번호</b></p> <p>000000-0001</p> <p><b>주요내용</b></p> <p>도로기상정보 예측 오차 최소화</p> <p><b>과제명</b></p> <p>도로기상정보 예측 오차 최소화</p> <p><b>발행 일자</b></p> <p>2021년 11월 11일</p> <p><b>발행처</b></p> <p>한국도로공사</p>	<p><b>과제번호</b></p> <p>000000-0001</p> <p><b>주요내용</b></p> <p>도로기상정보 예측 오차 최소화</p> <p><b>과제명</b></p> <p>도로기상정보 예측 오차 최소화</p> <p><b>발행 일자</b></p> <p>2021년 11월 11일</p> <p><b>발행처</b></p> <p>한국도로공사</p>	<p><b>과제번호</b></p> <p>000000-0001</p> <p><b>주요내용</b></p> <p>도로기상정보 예측 오차 최소화</p> <p><b>과제명</b></p> <p>도로기상정보 예측 오차 최소화</p> <p><b>발행 일자</b></p> <p>2021년 11월 11일</p> <p><b>발행처</b></p> <p>한국도로공사</p>	<p><b>과제번호</b></p> <p>000000-0001</p> <p><b>주요내용</b></p> <p>도로기상정보 예측 오차 최소화</p> <p><b>과제명</b></p> <p>도로기상정보 예측 오차 최소화</p> <p><b>발행 일자</b></p> <p>2021년 11월 11일</p> <p><b>발행처</b></p> <p>한국도로공사</p>	<p><b>과제번호</b></p> <p>000000-0001</p> <p><b>주요내용</b></p> <p>도로기상정보 예측 오차 최소화</p> <p><b>과제명</b></p> <p>도로기상정보 예측 오차 최소화</p> <p><b>발행 일자</b></p> <p>2021년 11월 11일</p> <p><b>발행처</b></p> <p>한국도로공사</p>		

**[전문가 검토결과]**



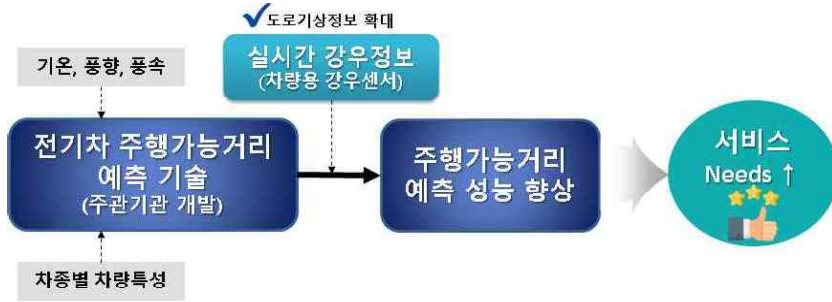
**[제주전기자동차서비스 통합정보 제공 통신규약]**

상기 과정을 통해 최종적으로 “차량 센서를 활용한 전기차용 정보제공 서비스 시스템”의 특허 출원 및 등록 하였다. 추가로 특허출원 1건, S/W 등록 1건, 비SCI 논문 1건을 통해 성과의 우수성을 입증하였다. 사용자용/운전자용 솔루션에 주행가능거리 및 도로기상 예측정보가 원활히 표출되는지에 대해 한국건설생활환경 시험연구원의 일반소프트웨어 시험을 의뢰하였고, 이를 통해 모든 항목에 “적합”으로 평가받았다.



**[KCL 일반소프트웨어시험 성적서 (모든 항목에 적합)]**

국지성 호우, 도로결빙 등 도로상의 국지적으로 발생하는 위험기상이 교통사고를 유발하고 있으나 제공되는 정보는 미비한 수준이다. 본 연구과제를 통해 전기자동차에 레인센서를 부착하여 강우 정보를 수집 이를 다시 운전자에게 전송하여 국지성 호우 및 기타 도로 위험기상에 보다 확실하게 대처할 수 있도록 하고, 안전운전을 위한 도로 기상정보 제공을 확대하였다.



【도로기상정보 확대를 통한 정보서비스 성능 향상】

또한 전기차 자체에서 제공하는 주행가능거리를 믿지 못하는 운전자들이 증가하고 있으며, 기온 및 경사에 따른 주행가능거리 편차가 심하게 나타난다. 이는 기존 주행가능거리 예측기술에는 도로기상 요소 중 기온과 풍향-풍속은 적용되어 있으나, 운전에 매우 중요한 강우 정보는 적용되어 있지 않았기 때문이다. 이를 개선하기 위해 2015년부터 2018년까지 3년간 ‘운전자 환경 반응형 CEV(Connected Electricity Vehicle) 서비스 개발’ 사업을 진행하여 전기자동차 주행가능거리 예측 알고리즘을 개발하였다.

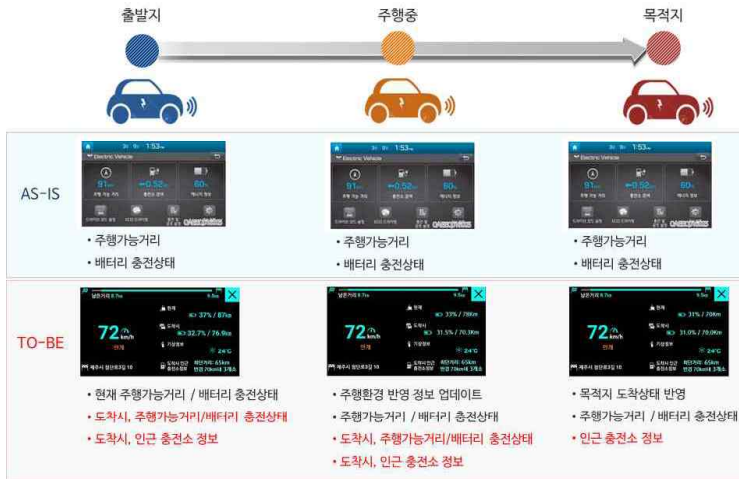
운전 중 강우 정보는 안전 운행뿐만 아니라, 운전자의 차량 제동 등과 직접적으로 연관되어 있다. 이는 전기차 배터리 소모와 관련이 있으므로 차량용 강우센서를 통해 실시간 도로기상 정보를 상세하게 적용한다면 고품질의 도로기상 정보는 물론, 전기차의 주행가능거리 예측 성능이 향상할 수 있다고 예상된다.

본 연구에서는 실시간 도로기상 강우 정보를 통해 주행가능거리 예측 성능을 향상하고 고객에게 더욱 정확한 정보를 제공함으로써 서비스 수요를 확대할 것으로 예상된다.

본 연구를 통해 Connected Car 기반의 도로기상정보를 활용한 정보서비스 패러다임, 전기자동차 차량센서 및 레인센서 정보를 활용한 정보서비스, 빅데이터 기반의 신규 도로기상 융합서비스, 전기자동차와 기상의 결합을 통한 도로기상 정보서비스 신규시장을 창출할 수 있다.

기술혁신	정책지원	경제효과 창출
<b>신기술 출현</b> ☑ 커넥티드 자동차 센서기반의 차량 정보 모니터링 뿐만 아니라 레인 센서를 통한 강우량 정보 센싱기술 확보 <b>기술수준 및 개발성공 가능성</b> ☑ 전 세계적으로도 초기 도입 기술로 선정 시 경쟁우위 가능 ☑ C-ITS, 유무선 네트워크 등 핵심 요소 기술이 해외와 동일한 수준으로 확보되어 있음	<b>4차 산업혁명 대응</b> ☑ 빅데이터, IoT, 자율주행차 및 인공지능 등의 4차 산업 기술을 통한 기상, 도로, 교통이 융합된 신규 서비스 창출 ☑ 도로상황, 주행정보 등에 적시성 있고 선제적인 도로기상정보 기반 의사결정 및 정책 집행체계를 마련 <b>글로벌 니즈의 선제적 대응</b> ☑ 자율주행차, 커넥티드 자동차의 도래로 인해 도로기상 분야의 활발한 연구 진행	<b>신산업 육성과 민간산업 활성화</b> ☑ 스마트 자동차 및 정보통신과 기상의 결합을 통한 도로기상 환경관리의 융복합 신영역 창출과 이를 통한 신규 시장 확대 <b>국민 생활 편의성 향상</b> ☑ 배터리 충전관리의 선제적 대응과 이에 따른 관리 비용 절감 ☑ 최적운행을 통한 에너지 효율 향상 ☑ 도로 기상 상태로 인한 교통사고 발생 비용 및 교통 혼잡 비용 손실 감소 기여

강우 및 기온정보가 전기자동차 운행에 미치는 영향정보 서비스 개발 전략과 주행환경을 반영한 주행가능거리 및 배터리 충전상태 정보서비스 개발 전략을 통해 안전운전 및 최적운행을 위한 도로기상정보의 활용 서비스 전략을 수립하였다.



**【성과의 활용현황 및 계획】**

지식재산권의 국제 출원 및 미국진출을 위한 특허 출원 진행하고 있으며, 전기자동차 차량 특성과 도로기상 정보 융합 충전서비스 개발을 통해 개선된 기상예측기술과 빅데이터 분석기술 적용한 사업화를 진행하고 있다.

사업화명	사업화연도	업체명	성과내용
지역단위 기상 및 재생에너지 발전출력 예측기술 개발	2021	한국전력공사	지역별 맞춤형 기상예측기술 개발
	2022	한국전력공사	지역별 맞춤형 기상예측기술 개발
지역단위 기상 및 재생에너지 발전출력 예측기술 개발	2021	한국전력공사	지역별 맞춤형 기상예측기술 개발
	2022	한국전력공사	지역별 맞춤형 기상예측기술 개발
전국계통 재생에너지 통합관제(예측)시스템 구축	2021	한국전력거래소	기상예측 기술과 빅데이터 분석기술 활용
인업스 에너지서비스플랫폼 구축	2021	주식회사 인업스	기상예측기술과 빅데이터 분석기술을 활용한 태양광발전량, 풍력 발전량 예측 학습 모듈 개발 및 시스템 구축
전기차 급속충전시설 지점 선정 프로그램 개발 컨설팅	2022	(주)에코데이터	전기차 급속충전시설 지점 데이터 분석 및 선정 프로그램 개발

또한 실증지역을 확장하여 다양한 환경의 데이터 수집 연구를 수행하고 있으며, 실증 범위 확장을 위한 후속 연구개발을 진행하고 있다. (중소벤처기업부, 2022.08.22.~2024.08.21., 전기차 운행정보를 적용한 주행가능거리 예측 기술 및 서비스 개발)



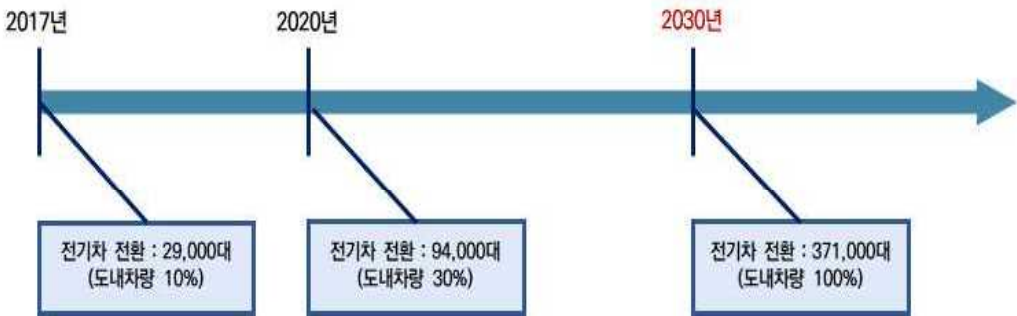
**【파급효과】**

실시간 도로기상 상태/변화 감지 및 대응기술 확보, 선진국 수준의 전기자동차 주행가능거리 예측기술 확보, 국내 전기자동차 및 IV(In-Vehicle Infotainment) 시장 확대에 크게 3가지의 기술적 파급효과가 기대된다. 먼저, 실시간 도로기상 상태/변화 감지 및 대응기술은 차량용 OBD 장치를 통해 전송되는 센서정보 및 레인센서를 통해 수집되는 도로기상 및 운행정보를 바탕으로 도로의 기상현황, 변화를 실시간 감지 및 대응할 수 있으며, 해당 지역의 도로기상 정보를 인근 차량으로 전달하여 사고 예방, 피해 감소 등에 기여할 수 있다.

또한 선진국 수준의 전기자동차 주행가능거리 예측기술은 차량 운행정보 및 도로기상정보 빅데이터 분석 기술을 확보할 수 있다. 또한 운전자의 운전 습관, 운전환경(기상, 지형) 영향을 반영한 주행가능거리 예측기술을 개발할 수 있다.

마지막으로 본 연구과제에서 창출된 기술은 전기자동차 제조사, 네비게이션 제조사 등 다수의 사업분야에 접목이 가능하며, 전기자동차 및 IV 산업계와 기반기술 연계를 통하여 국내 전기자동차 및 IV 시장의 확대 및 활성화에 기여할 수 있다.

국내의 경우 제주도 내 자동차 운영사업자는 차량임대(렌트)업체 76개, 운수(택시)업체 37개가 존재하며, 2030년까지 도내 자동차 전부를 전기자동차로 바꾸는 프로젝트를 추진하고 있어 이들 자동차 운영사업자는 보유차량을 전기자동차로 전환해야 한다. 따라서 사전영업을 통해 업체들을 대상으로 멤버십 서비스, 플랫폼 판매 등 사업화 진행하여 국내 매출을 기대할 수 있다. 또한 전기차 보급량이 증가함에 따라 법인 운영차량이 많은 회사는 전기차 관제 시스템이 필요할 것으로 사료되며 이들 법인 자동차의 관제시스템 납품 및 유지 보수를 통한 매출 발생할 것으로 예상된다.



【제주 Carbon Free Island 2030 계획】

국외의 경우 현재 미국, 유럽을 중심으로 전기자동차와 IV 산업에 대한 투자와 개발, 사업화가 활발히 진행되고 있으나 대부분 장비, 인프라 등 H/W에 국한되어 있기에 본 사업에서 개발하고자 하는 솔루션은 S/W 중심의 지식 기반 서비스로 이들과 차별화된다. 일본, 중국은 물론 미국, 유럽 등의 선진국에서도 이러한 서비스가 아직 보편화 되어 있지 않으므로, 우리나라가 IV S/W 분야 시장을 선도할 수 있는 기회가 될 수 있다.

특히 전기자동차 및 그와 관련된 인프라의 구축이 활발하게 진행되고 있는 미국 및 유럽과 같은 선진국의 공략은 수출 효과를 극대화할 수 있는 주요 상징이 될 것으로 예상된다. 2013년 기준 국내 교통사고의 사회적 비용은 24조 4,000억 원으로 추산된다. 그리고 이는 연간 GDP의 1.7%, 국가 예산의 10.2%에 해당한다. 또한 한국교통안전공단 교통사고 통계에 따르면, 흐림, 비, 안개, 결빙 등 악기상 발생 시 사고 발생 건수 대비 부상자와 사망자가 맑은 날 대비 높게 나타난다. 따라서 본 사업의 성과를 통해 교통사고의 부상자와 사망자가 줄어들게 된다면 교통사고의 사회적 비용을 크게 절감할 수 있을 것이다.(1인 기준 중상 4,849만원, 사망 4억 3,923만원)

### 【관련 주요성과】

#### 대표 사업화 ▼

- 2021, 한국전력거래소, 전국계통 재생에너지 통합관제(예측)시스템 구축
- 2021, (주)인업스, 인업스 에너지서비스플랫폼 구축
- 2021~2022, 한국전력공사, 기상 및 재생에너지 발전출력 예측기술 개발
- 2021~2022, 한국전력공사, 지역단위 기상 및 재생에너지 발전출력 예측기술 개발

#### 대표 특허 ▼

- 차량센서를 활용한 전기차용 정보제공 서비스 개발(10-2309268)

#### 대표 S/W ▼

- 도로기상정보 기반 전기자동차 모니터링 시스템- (EVIEW+사용자용)(C-2021-055639)
- 도로기상정보 기반 전기자동차 모니터링 시스템- (EVIEW+관리자용)(C-2021-055640)

#### 대표 논문 ▼

- 광학센서를 이용한 강우정보 생산기법 개발(최적 강우강도 기법을 이용한 실시간 강우정보 산정), 한국 환경과학회지, 2021

### 【우수성과 도출 히스토리】

본 연구진은 다년간 기상 관련 연구 및 빅데이터 분석 수행 전문성을 기반으로 도로위험기상정보 및 주행가능거리 예측정보를 생산 제공하였으며, 전기차 운전자를 위한 전용 플랫폼을 개발하여 운전자 편의성을 높였다.

연구를 진행하면서 COVID-19로 인해 전기차 운전자와 사업자의 의견을 듣고 반영하는 데 어려움이 있었지만, 온라인설문, 전화 연락 등을 이용한 비대면 응대를 통해 의견 수렴하여 연구에 반영하였다. 이러한 연구 및 노력으로 특허 출원 및 등록, 소프트웨어 등록, 공인시험성적서 발급 등을 진행하였고 이를 통해 연구 및 기술의 우수성을 입증할 수 있었다.

【연구책임자】



허모랑

(유)나노웨더

✉ morangher@  
nano-weather.com

## 기상정보를 활용한 곡물가격분석시스템 “WATCH” 상용서비스

【과제 개요】

과제명 : 해외 농작물 가격 전망을 위한 기상정보 제공서비스 개발

총 연구기간 : 2019.04.01. ~ 2021.12.31.

【연구목적 및 목표】

본 연구개발은 맞춤형 기상, 기후정보를 국제 원자재 시장분석과 전망 정보 시스템에 적용하여 국제 곡물 원자재 가격 전망 상품을 고도화하는 비즈니스 모델을 개발하고 본 연구에서 제안된 기상기업과 수요기업의 융합서비스 솔루션을 사업화하여 최종적으로 고객서비스를 시험 운영하는 것을 목표로 한다.

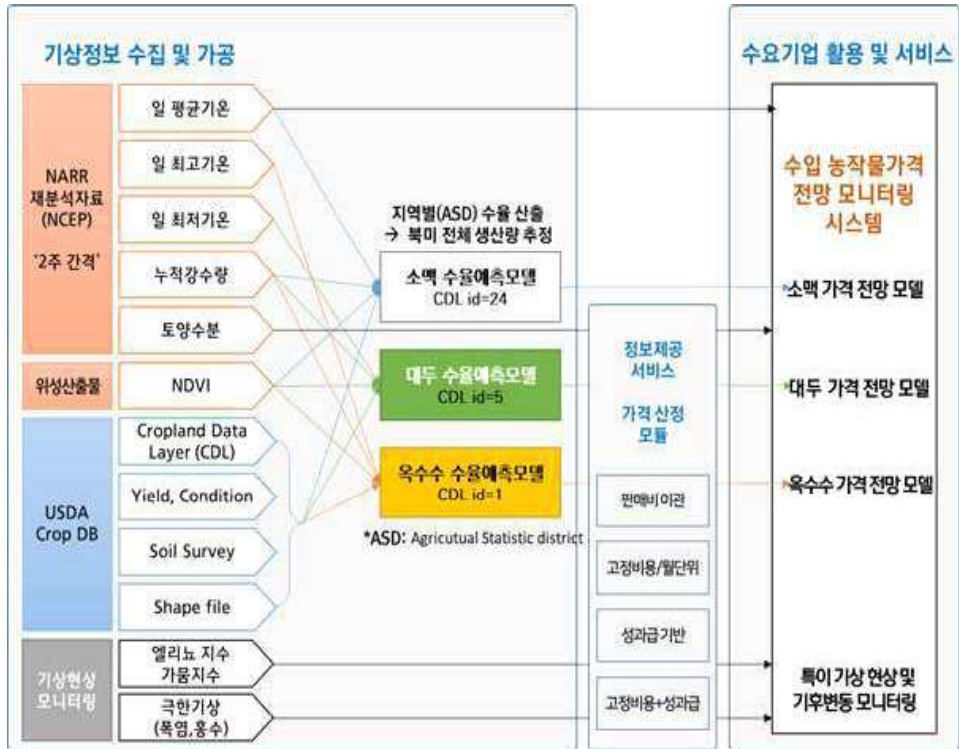
곡물의 작황 및 수확량을 좌우하는 결정적인 자연 요인은 기상현상으로 극심한 가뭄과 같은 기상이변으로 인해 국제 원자재 시장의 가격변동을 촉발하며, 곡물의 가격을 결정하는 데는 환경요인 이외에 공급 측면에서 파종 면적의 증감, 농부의 기술력, 정부의 재고량 등 수많은 내외부 요인이 존재한다. 그러나 파종기 이후 수확 시기까지의 공급량 예측 요인에는 가뭄, 홍수, 폭염, 냉해와 같은 기상현상이 가격의 변동에 중요 변수가 된다.

본 연구에서 도출된 서비스 상품은 작물의 파종 이후 지속적인 기상현상 모니터링 및 예측정보를 가격 분석 틀에 적용하여 곡물 가격 변동에 대한 리스크를 관리하는 정보서비스를 제공을 목적으로 한다.

【성과 주요내용 및 창출과정】

기상정보 기반 대두 수율정보 비즈니스 모델은 기존 기상정보 판매를 통한 부가 가치 창출의 비즈니스 모델과 차별화된 비즈니스 모델로 기상정보의 직접적인 활용을 통한 부가가치의 창출이 아닌, 각 곡물의 특성에 따라 필요한 기상요소를 기상정보로 예측하고, 이를 기반으로 각 곡물의 수율정보를 예측하여 상품으로 제공/판매하는 비즈니스 모델로서, 기상정보의 활용적인 측면에서 각 산업에 필요한 실질적 정보제공 방법으로서 큰 차이가 있다.

또한 기상정보 기반 대두 수율정보 비즈니스 모델은 수요점검, 시장점유율 추정, 상품 확정, 비용 추정, 가격 산정방식 확정, 가격산정의 구성 요소로 프레임워크가 구성되어 있으며, 연구기간 동안 순차적으로 이행하여 비즈니스 모델을 완성하고 특허 등록을 완료하였다.



【BM 특허 내용 모식도】

단계적인 비즈니스 모델의 개발 방향에 따라 미국의 대두를 중심으로 곡물 가격 시장에 영향을 미치는 기상정보 서비스 상품(서비스 상용화를 위한 솔루션 구축 및 기상정보 상품 개발: “WATCH”)을 개발하였다. 기상정보 활용한 곡물 가격분석시스템(WATCH)의 주요 콘텐츠는 ① Yield Forecasting: 지역별 대두 수물 데이터와 수물 예측개발, ② Crop & Weather Map: 기상 빅데이터와 기상예측 정보 개발, ③ WPM & Target: 기상 빅데이터 기반의 곡물 가격 예측 정보 개발로 구성되어 있다.



【WATCH 서비스 주요 생산지역 기상도】

<p><b>Yield Forecasting 서비스</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•美 대두수출 실적 DB와 시각화</li> <li>•美 대두수급 현황 및 전망 DB 제공</li> <li>•전년도 수출 실적 대비 미래 예측 수출 비교하여 선제적 수출 파악 정보 제공</li> </ul>		<p><b>Crop &amp; Weather Map 서비스</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•美 대두 주요 생산지(10개주) 기상과 예측 수출 DB 제공</li> <li>•Z-Score 방법으로 지역별 기상변수 수준과 일간/주간 기상상황 비교 분석 정보 제공</li> </ul>	
<p><b>WPM &amp; Target 서비스</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•최근 기상흐름과 과거 유사했던 기상 시기를 도출하여 비교 분석</li> <li>•유사 기상시기별 가격 흐름 비교 분석 하여 미래의 가격 움직임을 예측</li> <li>•기상 등 주요 변수 반영하여 주간 곡물 가격 예상 범위 제공</li> </ul>			

【WATCH 주요 Contents】

시카고상품거래소(CBOT) 곡물 선물 시장의 의사결정 지원을 위한 WATCH 시범서비스 운영을 통해 서비스의 가능성, 사용성, 상품 경쟁력을 만족도 조사결과 4.7점(5점 만점)을 통해 입증하였다. 또한 시범서비스 고객사 주요 요구 및 개선사항을 Contents에 반영하여 최종 비즈니스모델 확립 및 상품 출시를 완료 하였다.



【WATCH 시범서비스 개선 결과】

**【성과의 우수성·차별성】**

미국 농무부(USDA)는 미국의 대두, 옥수수, 소맥의 수확량을 예측하여 이를 시장의 정보로 제공하기 위해 파종이 끝난 후 주요 플랜트의 Survey 정보를 기반으로 자체 예측 시스템에서 매년 8월 11일부터(대두 기준) 11월까지 매월 11일에 월 단위의 수출예측 정보를 제공하고 있다. 이와 차별된 서비스를 위해 2020년 프로토타입으로 기계학습 기반의 나노웨더 미국 대두 수출 예측모델을 개발하였다. 이후 이를 개선하여 2021년 파종 이후 6월 3주 차부터 2주 간격으로 미국 주요 대두 산지 상위 15개 주의 county 단위 다중모델 앙상블 모델기반의 수출예측 정보를 시험 제공하였다. 이를 통해 나노웨더의 미국 대두 수출예측모델의 우수성을 입증 하였다.

“곡물가격분석시스템(WATCH)” 서비스는 공공기관, F&B업체, 사료업체 등 시범서비스 회원사 대상 활용 성/만족도 설문조사 결과 4.7점(5점 만점)을 달성하였다. 현재 “WATCH” 정식 출시 후 매출 실적 1건 (취삼양사)이 발생하였으며, 향후 3년 내 연 매출 3억원 달성을 목표로 하고 있다.

### 【성과의 활용현황 및 계획】

후속 연구개발을 통해 북미 대두를 시작으로 옥수수과 소맥의 가격전망을 위한 기상정보 제공 시스템으로 더 넓은 범위를 관리할 수 있게 확장이 예정되었으며, 동 기술은 남미와 대규모 플랜트 농업으로 경작되는 국가와 지역에 활용성이 높을 것으로 예상된다. 또한 미국 대두, 옥수수 품목 예측 서비스가 2022년 정식 출시 되기 때문에 그에 맞춰 추가 개발을 진행 중이며, 남미 국가에는 2023년 이내 출시를 목표로 진행하고 있다.

### 【파급효과】

국내 주요 곡물의 높은 수입 의존도 및 수급 불확실성이 증가하는 환경 속에서 효과적이고 체계적인 대응을 위하여 상시로 국제 곡물 시장을 모니터링하고 기상 상황을 분석하여 위기 상황에 대응할 수 있는 해외 주요 작황지의 기상정보를 제공하는 체계를 동 사업을 통해 갖췄다. 국제 곡물 수입의존도가 높은 국내 특성상 해외 현지 기상정보분석 통한 수입업체들의 가격경쟁력 확보와 新 분석정보 판매시장 개척에 기여할 수 있다.

범용적 기상정보를 업종별로 특화된 기상 콘텐츠화하여 관련 업종 및 산업(곡물 수출입 및 관련 금융투자 시장) 발전 기회로 제공할 수 있으며, 고가의 해외 정보처의 의존에서 벗어나 상대적 저렴한 국내 기업의 서비스로 맞춤형 정보서비스 제공이 가능하다.

### 【우수성과 도출 히스토리】

곡물자급률이 21%(2019년 기준)인 우리나라는 수입에 의존하는 밀, 콩, 옥수수 등 중요한 식량 가격이 세계 곡물 시장 상황에 민감하게 반응한다. 특히, 올해는 라니냐 영향과 우크라이나 전쟁이 더해져 글로벌 시장의 상승세가 이어졌다.

본 연구가 시작될 때, 기상 전문 스타트업인 나노웨더와 국제 원자재 시장 정보를 제공하는 코리아피디에스는 작물의 파종이 끝나고 수확이 시작될 때까지 가격에 영향을 끼치는 요소는 시장의 여러 인위적인 요인들을 제거하면 거의 기상현상이 전부라는 점에 주목하였다. 주 교역국인 미국의 대두 시장을 시작으로 전 세계의 농작물 가격변동에 빠르게 대처하고자 연구개발을 시작하였고 올해 미국 대두 시장을 시작으로 남미를 포함한 가격 전망 서비스가 가능한 상품을 성공적으로 론칭하였다. 앞으로는 옥수수, 밀의 주요 교역국으로 서비스를 확대할 계획이다.

### 【관련 주요성과】

#### 대표 사업화 ▼

- “기상정보 활용한 곡물가격분석시스템(WATCH)”

#### 대표 특허 ▼

- 북미지역의 대두 수확량 예측정보 제공 방법(10-2344761)
- 기상요인을 고려한 북미지역의 대두 수확량 예측 방법(10-2253347)

【연구책임자】



채여라  
한국환경연구원  
✉ yrchae@kei.re.kr

## 상세 시공간 폭염·한파 영향 예측 모델 고도화 및 기상청 영향예보 현업 적용

【과제 개요】

과제명 : 상세 시공간단위 빅데이터 기반 폭염·한파 분야 영향예측모델 고도화  
총 연구기간 : 2021.03.01. ~ 2022.12.31.

【연구목적 및 목표】

본 연구는 영향예보 현업에 활용 가능한 폭염·한파 재해영향모델 고도화를 최종 목표로 한다. 또한 폭염·한파 재해영향모델의 정량적, 정성적 검증 및 예측성능을 개선하고 취약성·노출을 고려한 고해상도 폭염·한파 영향정보 고도화, 폭염·한파 재해 영향 데이터베이스 개선 및 최신화, 폭염·한파 영향예보 생산·운영체계 최적화 및 실시간 자료와 연계한 재해영향모델 시험 운영을 위한 연구를 수행한다.

【성과 주요내용 및 창출과정】

본 연구를 통해 최신 자료를 반영한 부문별 영향예측 함수, 기준 업데이트 및 지역별 특성을 반영한 기상요소를 선별하였고 취약 집단별 기온 외 기상요소 가중치를 적용할 수 있는 알고리즘을 개발하여 영향예측모델을 고도화하였다. 또한 플랫폼 구축을 통해 폭염 및 한파와 같은 재해영향 및 대응정보를 직관적으로 제공하여 기상 서비스 만족도가 높아질 수 있도록 하였다.



### 【성과의 우수성·차별성】

지자체별 사회(연령, 직업, 가구형태, 만성질환), 경제(소득), 환경(기후, 기상) 여건을 고려하여 차별적인 폭염·한파 영향을 예측하는 모델과 부문별 피해 지표 확장 및 자료 최신화를 반영한 모델을 고도화하였다. 또한 부문별 영향예측 결과의 정량적, 정성적 평가, 보건 부문 준수시간 검증체계 구축, 데이터베이스 활용 도구 개발하여 사회·경제·환경 여건을 고려한 폭염·한파 영향예측모델 고도화하였다.

뿐만 아니라 빅데이터 기반 상세 시·공간(100m~1km, 시간 단위) 폭염·한파 핫스팟 분석 및 예측 기술과 상세 시·공간 영향분석 보고서 산출 기술 고도화를 통해 빅데이터 기반 상세 시·공간 단위 핫스팟 분석 및 예측 기술을 고도화하였으며, 보건, 산업, 농업, 축산업, 교통, 전력 등 부문별 폭염·한파 영향 예측 결과를 제공하는 플랫폼 개선과 영향예측 데이터베이스 정보제공체계 개발을 통해 사회 전반의 재해 영향 예측정보를 제공하는 플랫폼을 고도화 및 안정화하였다.

취약집단별 차별화된 폭염·한파 영향예측 제공, 시군 단위 차별화된 영향단계 기준과 빅데이터 기반 상세 시·공간 폭염 핫스팟 분석 및 예측기술 제시, 보건 외 다양한 부문의 영향예측 정보 제공하는 국내외 첫 사례를 도출하였다.

향후 표출 플랫폼의 기상청 내 시범 운영 및 개발 모델의 기상청 영향예보 현업 적용, 재해영향 데이터베이스의 기상청 현업 활용 및 공공기관 기술이전, 상세 시·공간 단위 폭염·한파 및 영향 예측 정보를 활용한 맞춤형 현장 대응, 폭염·한파 대응 정책 수립에 활용, 폭염·한파 영향예측을 위한 원천기술 확보 등 성과의 혜택이 기대된다.

### 【성과의 활용현황 및 계획】

기상청 내 플랫폼 시범서비스를 제공하고 본 사업의 실무 담당 부서인 기상청 영향예보 추진팀에서 현업에 활용(2019년 2개 부문, 2020년 3개 부문, 2021년에도 활용 중)하고 있으며 폭염 재해영향 위험 수준에 관해 현업에 적용 중이다. 경희대학교, 대구경북연구원에 영향예측 DB 및 영향예측 방법론 기술 이전 계약을 진행하였으며, 공공기관 대상 무상으로 계약을 진행하였다.(2021년 12월 계약) 2021년부터 영향예측 알고리즘과 노출 및 피해 데이터베이스를 기상청 현업화 사업에 제공하고 있다.

### 【파급효과】

세계기상기구(2015)는 수문기상학적 재해의 피해 저감과 이를 위한 의사결정을 위해 MIFWSs의 중요성을 강조하는 상황에서 보건의료·통신 빅데이터, 사회·경제·인문 분야의 텍스트 기반 비정형 빅데이터, 국가공간 정보체계를 통해 생산된 GIS 공간 데이터 등 다양한 데이터의 융·복합을 통한 기상재해 영향 예측 기반 기술을 확보하였다. 또한 이종 데이터 융·복합을 기반으로 한 폭염 및 한파 영향분석을 통해 재해 영향 예측에 대한 원천 및 선도적 기술을 확보하였다. 기후변화 하에서 폭염과 한파에 관한 관심이 증가하고 있는 해외 국가로 해당 기술의 수출 및 지원이 기대된다.

수치예보모델이 산출하는 지표 및 대기 최하층 고도의 기상정보부터 건물-거리규모의 보행자 높이의 상세 기상자료를 산출하는 통계적 접근 기술개발 및 항공라이다·수치지도·위성영상 등을 이용한 도시 입체구조를 정량화하고, 이로부터 기인하는 열 플럭스·바람(난류) 등 미기후환경 요소의 모델링 및 검증 기술을 개발하여 지역 특성이 반영된 상세 기상모델 개발 및 도시상세 지표 모델의 신뢰도 평가 기술을 확보하였다.



시군/격자 기반 영향예보 및 위험지역 가시화 기술개발로 위치기반의 폭염 및 한파에 대한 상황판단 및 의사결정 지원을 통한 재난상황관리 플랫폼과 상세 시·공간 단위 기상서비스 개발의 원천기술을 확보하였다. 인구·사회·경제·환경적 특성에 따른 맞춤형 폭염 및 한파 대응 전략 수립을 지원하며 폭염 및 한파 재해 영향에 취약한 핫스팟 정보를 제공하여 인적·물적 자원의 배분에 대한 의사결정을 지원한다. 그뿐만 아니라 지역별 취약 부문 파악을 통한 효율적인 재해 관리 계획 및 예방정책 수립에 기여하여 폭염 및 한파 재해에 대한 효과적인 대응 정책 수립을 통한 사회적 비용 저감을 기대할 수 있다.

기후변화로 인한 미래 건강 영향의 총 질병 부담 중 폭염의 영향이 큰 비중을 차지할 것으로 예상(정해관 외 2014)되며, 기후변화로 인한 기후 변동성의 증가로 인해 한파에 대한 위험이 증가(전미성 외 2015)하고 있는 것으로 분석된다. 또한 65세 이상 노인층의 경우 폭염에 따른 심뇌혈관 질환의 질병부담이 1,000명당 34.9명 이상이 될 것으로 전망(The Science Times 2018.FEB)되는 상황에서 영향예보에 기반한 효과적인 인명피해 예방을 통해 사회적 비용 저감이 예상된다. 또한 취약성 저감 시설 구축, 우선관리 지역/부문 선정을 통해 재난관리 시스템 구축에 투여되는 예산의 효율적인 사용에 기여할 수 있다.

그리고 표출 플랫폼을 통해 폭염 관련 기상정보 외 요소를 반영한 영향 및 대응정보를 직관적인 형태로 제공하고, 100m 공간 해상도, 3시간 단위로 제공되는 정보를 토대로 사회적 특성과 지리적 산업구조 특색에 따른 맞춤형 폭염 대응 전략을 수립·시행 가능하며, 이에 따른 합리적인 대응으로 폭염피해를 줄임으로써 사회적 비용을 절감할 수 있을 것으로 기대된다. 최종적으로 지역 맞춤형 예측 정보생산으로 체감형 기상 예보 제고에 기여하며, 플랫폼 구축을 통해 폭염 및 한파 재해영향 및 대응정보의 직관적 제공으로 기상 서비스 만족도 수준을 제고할 수 있다.

### 【관련 주요성과】

#### 대표 특허 ▼

- 한파시기 화재 발생 위험 핫스팟 분석 장치 및 방법(10-2021-0159563)
- 과거 유사 기상에 대한 피해 정보 제공 서버, 및 이를 이용한 과거 유사 기상에 대한 피해 정보 제공 방법(10-2021-0189647)

#### 대표 S/W ▼

- 노출 데이터베이스 구축도구 v.2021(C-2021-024265)
- 기상재해 피해 DB 구축도구 v.1(C-2021-024265)
- 한랭질환 응급실감시체계 운영결과 통계 정보 자동 수집 프로그램(C-2021-024265)
- 한파 영향함수 시각화 프로그램(C-2021-024265)

#### 대표 논문 ▼

- Spatial Temperature Differences in Local Climate Zones of Seoul Metropolitan Area During a Heatwave, Urban Climate, 2021
- Heatwave impacts on traffic accidents by time-of-day and age of casualties in five urban areas in South Korea, Urban Climate, 2021
- Analyzing climate change impacts on health, energy, water resources, and biodiversity sectors for effective climate change policy in South Korea, Scientific Reports, 2021

**기술 이전▼**

- 영향예측 DB 및 영향단계 기준 설정 방법, 경희대학교, 2021
- 영향예측 DB 및 영향단계 기준 설정 방법, 대구경북연구원, 2021

**DB 저작권 등록▼**

- 폭염 및 한파 노출 데이터베이스 2021(D-2021-000029)
- 폭염 및 한파 영향예측 데이터베이스 2021(D-2021-000075)

**【우수성과 도출 히스토리】**

기후변화와 함께 고령화, 사회적 양극화에 따른 취약계층의 증가는 폭염 및 한파로 인한 피해를 가속화시키고 있다. 기후변화로 인한 피해와 영향을 저감하기 위해 맞춤형 영향 예보의 중요성이 대두되고 있지만, 계층별, 지역별 특성을 고려한 차별화된 영향예보를 위한 핵심기술은 부족한 실정이다.

기상청이 제공하는 기준과 같은 온도에 노출되더라도 거주환경, 직업, 연령, 소득에 따라 체감되는 기온과 영향은 다르다. 본 연구는 취약계층별 맞춤형 경보체계를 제안하기 위한 영향분석을 통한 예측모형을 개발하였다. 이 예측모형으로 폭염 경보 이전에도 심각한 영향이 나타날 수 있는 야외노동자, 고령자에 대한 폭염 대응 활동을 통해 기후변화가 미치는 영향을 저감할 수 있다.

본 연구진은 현업에 활용 가능한 수준으로 재해영향모델을 고도화하기 위해 맞춤형 폭염·한파 대응을 위한 사회·경제적 취약집단별 영향예측모델과 제한된 인적, 물적 자원의 효과적 배분을 위한 상세 시공간 영향예측 모델을 개발하였다. 또한 보건 외 농업, 축산, 전기화재, 교통 부문의 영향예측 및 종합적인 정보제공을 위한 선도적 플랫폼을 개발하였다. 이를 통해 기존 예·경보 체계와 다른 계층별, 지역별 분석을 토대로 한 차별화된 대응전략 및 정책을 수립할 수 있다.

【연구책임자】



이준기

서울대학교

✉ rhie@snu.ac.kr

## 한반도 남부 및 주변 지역 상부 맨틀 3차원 지진파 속도 모델 개발

【과제 개요】

과제명 : 천부/모호면 지진파 속도 모델 개발

총 연구기간 : 2019.03.15. ~ 2021.12.31.

【연구목적 및 목표】

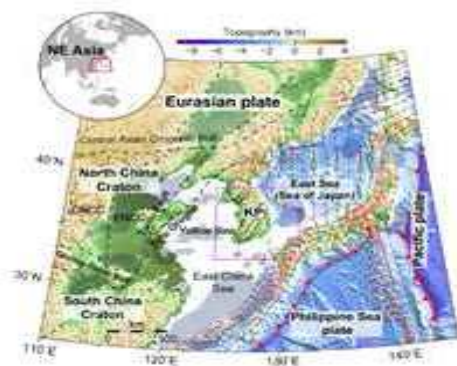
한반도는 유라시아판의 동쪽 경계부에 있다. 이 지역은 대륙 충돌과 여러 해양판의 섭입이 발생한 지역으로 대륙판 경계부의 지구조적 진화를 연구하기에 매우 적합한 지역이다. 지구조적 진화를 이해하기 위해서는 다양한 정보들을 수집/분석하여야 한다. 여러 정보 중에 맨틀의 현재 상태를 직접적으로 보여주는 상세한 3차원 지진파 속도구조 모델은 가장 중요한 정보 중의 하나이다.

한반도 및 주변 지역 맨틀의 지진파 속도구조 연구들은 많이 수행되었지만, 지금까지 발표된 모델들은 대부분 한반도를 포함한 넓은 지역을 대상으로 개발되었고 많은 경우 한반도에서 관측된 지진자료를 사용하지 않았기 때문에 한반도 지역 맨틀에 대한 상세한 지진파 속도 분포에 대한 정보를 제공하는 데는 한계를 가지고 있다.

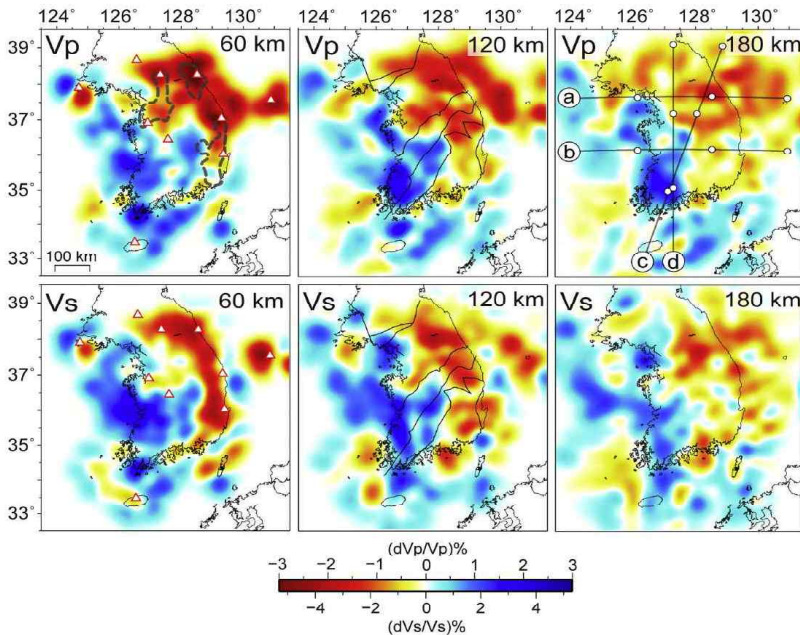
본 연구는 한반도 남부에 설치된 조밀한 지진 관측망에 기록된 원거리 지진 자료를 활용하여 상세한 3차원 속도 구조 모델을 개발하였다.

【성과 주요내용 및 창출과정】

본 연구에서는 한반도 남부에 설치된 조밀한 지진관측망에 기록된 원거리 지진의 P파, S파의 상대 도달 시간을 정밀하게 측정하고 이를 역산하여 해당 지역 하부 상부 맨틀의 P파와 S파의 3차원 속도 분포 모델을 개발하였다. 지진파 속도의 공간적 변화는 온도 분포, 성분 변화, 부분 용융 등에 의해 변화하기 때문에 역산된 모델을 다양한 방법을 이용하여 분석하면 해당 지역의 지구조적 진화 과정과 지표면에서 관찰되는 여러 지질학적 현상들의 원인에 대한 해석을 가능하게 한다.



【연구지역】



【한반도 하부 깊이별 P파/S파 속도 분포】

**【성과의 우수성·차별성】**

최초의 한반도 남부지역 하부 지각, 상부 맨틀의 고해상도 3차원 속도구조 구축 연구에 해당하며, 기존에 밝혀지지 않았던 새로운 한반도 하부 심부 구조에 대한 영상화 자료제공으로 추후 한반도 지질에 대한 이해와 지체구조 연구 발전에 이바지할 것으로 기대된다.

**【성과의 활용현황 및 계획】**

정밀한 한반도 하부 3차원 심부 구조를 반영한 지진동 시뮬레이션에 필요한 모델로서 자료 공개 및 관련 웹 페이지 개발 및 운영(<https://tomo.snu.ac.kr/seism2/>). 한반도에서 발생한 중규모 지진들에 대한 정밀한 지진동 시뮬레이션 자료에 활용되었다. 3차원 속도 모델의 공개로 추후 다양한 지질학적, 지구물리학적 연구 자료와의 연계 연구에 진행하여 활용할 예정이다.

**【파급효과】**

본 연구에서 개발된 한반도 및 주변 지역 하부의 상부맨틀 3차원 지진파 속도 구조 모델은 다른 방법을 통하여 개발된 지각/모호면 모델과 결합하여 한반도 하부 3차원 통합모델로 발전하였으며, 개발된 3차원 통합모델은 지진 분석과 지진 파형 계산에서 이전 모델들보다 효과적인 것으로 평가된다. 또한 개발된 모델을 활용하면 한반도에서 발생할 수 있는 지진피해에 대한 정량적 예측 능력향상에 도움을 줄 수 있으며 이를 통해 결과적으로 지진 위험 저감이 가능할 것으로 기대한다.

최초의 한반도 심부 구조에 대한 상세한 속도구조 개발로 기존 지질 자료 분석에 주로 기반하였던 한반도 형성사 및 지체구조사에 대한 학문 분야에 새로운 지구물리학 자료의 추가함으로써 한반도를 포함한 동아시아 지역의 지구구조 운동 및 지진 발생에 대한 종합적인 학문적 이해에 기여할 것으로 기대한다.

### 【관련 주요성과】

#### 대표 논문 ▼

- Deformation Microstructures of Phyllite in Gunsan, Korea, and Implications for Seismic Anisotropy in Continental Crust, Minerals, 2021
- Lattice-Preferred Orientation and Seismic Anisotropy of Minerals in Retrograded Eclogites from Xitieshan, Northwestern China, and Implications for Seismic Reflectance of Rocks in the Subduction Zone, Minerals, 2021
- Twin induced reduction of seismic anisotropy in lawsonite blueschist, Minerals, 2021

### 【우수성과 도출 히스토리】

한반도는 현재 판내 안정 대륙 권역에 놓여있지만, 지난 역사기록을 포함해 최근까지 인근 해역과 대륙판 지역에서 발생한 중규모 지진에 의한 지진동에 노출되었으며, 상세한 지각구조를 연구하는 것은 이러한 유사한 지진으로부터 지진동을 정밀하게 예측하고 평가하는 것에 중요하다.

본 연구는 한반도 남한(southern Korean Peninsula)지역에 설치된 조밀한 지진관측망 자료를 활용하여 상세한 지각 및 상부 맨틀의 3차원 속도구조를 구축하고, 해당 모델을 기반으로 한반도의 지구조 진화를 이해하고, 한반도와 인근 해역에서 발생한 지진에 의한 지진파 전파를 이해하고자 한다.

한반도에는 지난 1998년 이래 다수의 지진관측망이 설치되었으며 현재 200여 개 이상의 광대역 및 단주기 속도계 지진계와 가속도계 지진계가 조밀하게 분포한다. 해당 지진계들은 한반도 내륙과 인근 해역에서 발생한 지진들의 지진파 신호를 감지하고, 정밀한 지진 발생 위치와 지진 메커니즘을 이해하는데 중요한 자료를 제공한다. 또한 전 지구적으로 발생하는 지진 신호를 감지하고, 연속 자료에 기록된 배경 잡음 데이터는 정밀한 한반도 지각 및 맨틀 속도구조를 연구하는데 필요한 자료를 제공한다. 본 연구에서는 이러한 자료를 활용하여 한반도 하부의 상세한 지각 및 상부 맨틀 구조를 구축한다.

### 【용어설명】

#### 지진파 토모그래피 (Seismic Tomography)

- 지진파 자료의 파형 분석을 통해 지구 내부 구조의 물리적 특성을 영상화하는 기법

#### 원거리 지진 주시 토모그래피 (Teleseismic Traveltime Tomography)

- 지진계로부터 진앙 거리가 약 3,000km 이상인 지진 신호 기록 자료의 파형 유사성을 기반으로 정밀하게 측정된 상대적 지진파 도달 시간 차이 자료를 이용하여 지진관측 어레이 하부의 상세한 3차원 심부 구조를 영상화하는 방법

#### 대륙 암석권 (Continental Lithosphere)

- 대륙판을 구성하는 지각과 상부 맨틀의 일부를 포함한 지구 외곽부의 점도가 비교적 높은 부분.

#### 대륙외 변두리 (Craton Margin)

- 지구 형성의 비교적 이른 시기(20억년 이상)에 형성되었으며, 대륙판의 중심부를 구성하는 부분을 대륙외라 하고, 이러한 대륙외의 변두리 부분을 대륙외 변두리라 함. 대륙외 변두리는 판 구조 운동에 의한 지각의 변형 및 지진 활동이 비교적 활발한 지역에 해당

## 【연구책임자】



김광희

부산대학교

✉ kwanghee@pusan.ac.kr

## 미소지진 관측을 통한 영남권 지하 단층구조 모델 개발

## 【과제 개요】

과제명 : 영남권 지하 단층구조 모델 개발

총 연구기간 : 2018.04.01. ~ 2021.12.31.

## 【연구목적 및 목표】

한반도 남부에서 발생하는 규모 2.0 이상의 지진은 상시지진관측망을 통해 모두 감지할 수 있다. 규모 2.0 미만의 미소지진은 사람이 지진동을 감지하거나, 구조물 등에 피해가 발생하기 어려워 관측의 중요성이 상대적으로 낮은 것처럼 보인다. 그러나 미소지진 관측자료를 기반으로 한 지하 단층 연구는 현재 지진이 발생하고 있는 수 km ~ 수십 km 깊이의 심부 단층의 모습을 확인할 수 있다. 이러한 심부 단층의 모습은 실제적인 지진 위험성 및 위해성 평가와 대규모 지진이 발생할 가능성이 있는 지역의 사전 연구 등에 효과적으로 활용할 수 있어 규모가 작은 지진의 정밀한 분석을 수행할 필요가 있다.

본 연구에서는 영남권과 동해 남부해역에서 지진분포가 집중적으로 확인되는 지진 다발지역(해역)을 식별하고 해당 장소의 효과적인 지진관측을 수행하기 위해 광대역 육상지진계 20조, 이동식 해저지진계 20조 및 필요시 단주기 육상지진계를 추가하여 임시지진관측망을 운영하였다. 임시지진관측망은 2018년 10월부터 운영되었으며, 영남권과 동해 남부해역에서 식별된 지진다발지역 5개소(포항, 밀양단층, 속리산, 거창, 안동)와 지진다발해역 2개소(영덕, 포항-경주)를 중점적으로 관측하였다. 수집된 임시지진관측망 자료에 미소지진 검출, 정밀 위치 분석, 지진원 분석 등의 방법을 적용하여 지하 단층 구조 모델 연구를 수행하였다.

## 【성과 주요내용 및 창출과정】

지진관측자료 기반 지하 단층구조 모델을 개발하기 위해서는 많은 수의 지진을 관측할 필요가 있다. 이를 위해 영남권 전역에 걸쳐 규모가 작은 미소지진의 관측 능력을 높이고자 광대역 임시지진관측망을 운영하였다. 관측망 운영 과정에서 자료의 질을 향상하고자 관측환경 관련기술을 개발하여 특허 3건을 등록하였다.

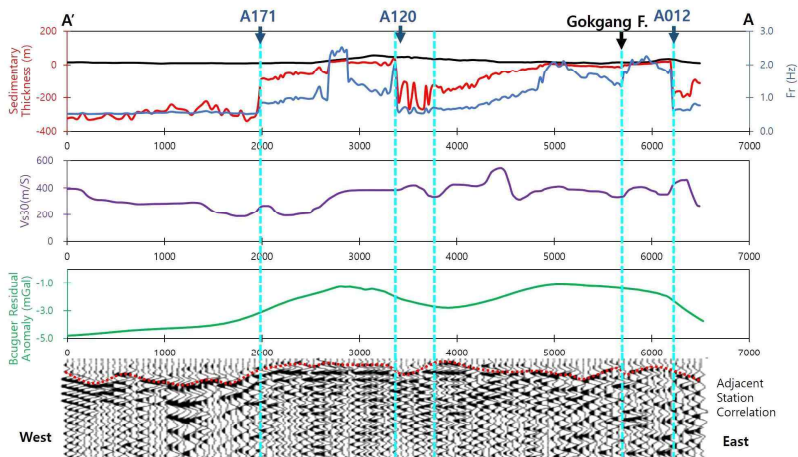
임시지진관측망을 통한 미소지진 관측으로 2017년 포항지진이 발생한 지하 단층을 규명하였으며, 영남권에서 미소지진이 많이 발생하는 밀양단층, 속리산, 거창, 안동 지역의 지하 단층 구조를 규명하였다.

연구기간 동안 영남권 및 국내 주요 지진(상주지진, 창녕지진, 밀양지진, 해남지진, 제주지진) 발생 시 임시지진관측망 운영 노하우를 통해 신속한 여진 관측을 수행하여 해당 지진의 지진원 단층 연구를 수행하였다.

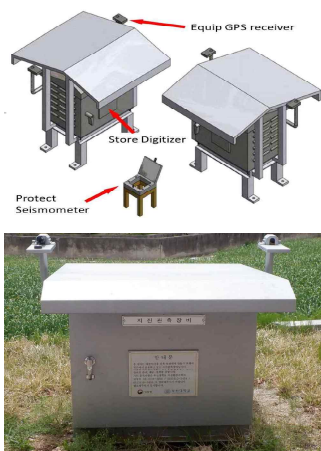
## 한반도 지하 단층·속도구조 통합모델 개발

바다에서 발생하는 지진은 육상의 지진관측소를 통한 근접 관측이 불가능한 경우가 많아 미소지진에 대한 관측자료 분석이 어렵다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 이동식 해저지진계를 도입하여 동해 남부해역에서 해저지진 관측망을 운영하고, 해저지진 관측망을 통해 확보한 미소지진 관측자료를 활용하여 동해 남부해역 중에서 지속적인 지진발생을 보이는 영덕 해역과 포항-경주 해역의 해저단층 구조를 규명하는 연구를 수행하였다.

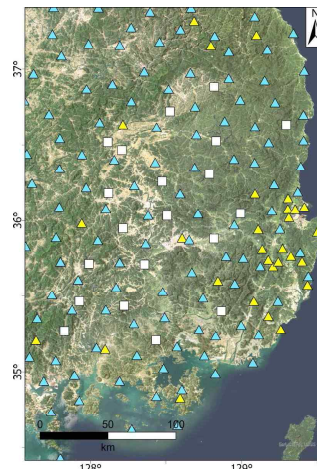
지표조사로 발견되는 활성단층은 수직 방향의 연장성을 파악하기 어려워 지진관측으로 식별된 지하의 지진발생 단층과 직접 연관을 지어 해석하기 어렵다. 본 연구에서는 이러한 문제에 대해 고찰하고자 중력탐사, 자력탐사, 다중채널탄성파탐사(MAS/W), 수직 대 수평 스펙트럼 비(HVSR), 공간자기상관법(SPAC)과 같은 지구 물리탐사 방법을 진원 깊이가 비교적 얇은 포항지역에 적용하여 각 방법의 결과를 통합 해석하였다. 모든 방법의 해석 결과에서 단층 혹은 이상대의 존재가 유사한 장소에서 나타나는 모습을 확인하였으며, 이를 통해 천부 지하구조 지하 연장성 연구의 기초적인 방법을 제시하였다.



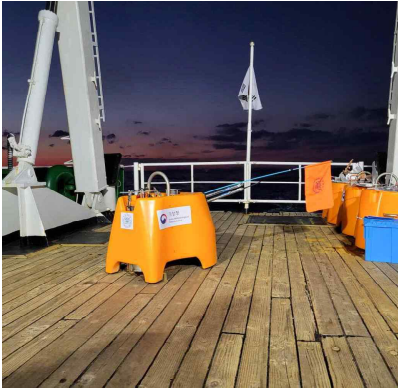
【지구물리 방법을 이용한 천부 지하구조 연구】



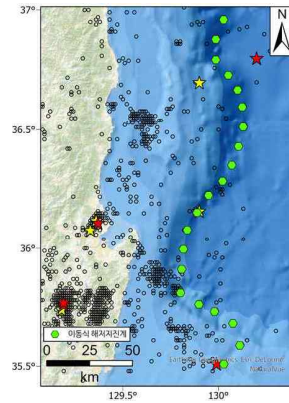
【임시 지진관측소】



【영남권 임시 지진관측소 분포】



【이동식 해저지진계】



【동해남부해역 해저지진 관측망】

### 【성과의 우수성·차별성】

이전에 국내에서 시도되지 않았던 미소지진 관측자료를 통한 단층 연구를 수행하기 위해 임시지진 관측망을 운영하고, 이를 바탕으로 영남권에서 현재 지진이 자주 발생하는 5개 지역(포항, 밀양단층, 속리산, 안동, 거창)의 3차원 지하 단층 구조를 제시하였다.

육상 지진관측망으로 한계가 있는 해저지진의 분석을 위해 이동식 해저지진계를 이용한 지진관측망을 운영하여 해양에서 발생하는 미소지진을 관측하여 영덕해역 및 포항-경주 해역의 3차원 단층구조를 제시하였다. 전반적인 지진자료 분석 결과는 영남권 전체로 기상청 발표와 비교하여 54% 증가하였다.

지역	기상청	본 연구	처리기간
포항	723	3,297	2017년 11월 ~ 2021년 4월
밀양단층	67	324	2009년 1월 ~ 2021년 4월
속리산	147	427	2007년 1월 ~ 2021년 4월
거창	126	451	2012년 1월 ~ 2021년 4월
안동	152	365	2007년 1월 ~ 2021년 4월
영덕 해역	178	1,053	2007년 1월 ~ 2021년 4월
포항-경주 해역	98	315	2009년 1월 ~ 2021년 4월

### 【성과의 활용현황 및 계획】

본 연구는 기상청의 한반도 지하 단층·속도 구조 통합모델 개발계획에 따라 2022년 12월 31일 1단계 사업을 종료하였다. 기상청은 이 연구를 통하여 얻은 결과와 성공적으로 개발된 단층 구조 모델의 중요성을 고려하여 영남권에 대한 단층 모델 갱신을 포함한 추가연구를 결정하였으며, 기상청 한반도 지하 단층·속도 구조 통합모델 개발 2단계 사업에서 영남 지역 연구 업무를 계속해서 수행 중이다. 또한 향후 기상청의 영남지역에 추가 설치할 지진관측망 계획수립(2022~2024)에 이 연구의 결과가 바탕이 되었다.

### 【파급효과】

상시지진관측망보다 많은 예산을 들이지 않고 조밀하게 지진관측망을 구성하여 기존의 광대역 지진계로 관측이 어려운 부분을 보완하여 미소지진을 관측하여 지진이 발생하는 지역의 지하 구조에 대한 이해가 향상되었으며, 영남지역과 동해 남부지역의 지진관측역량 및 주요 지진 발생 시 대응능력을 제고할 수 있다.



또한 지하 단층구조 모델은 지진피해가 예상되는 대도시, 산업시설 등의 실제적인 지진 위험성과 위해성 평가 자료의 기초로 활용하며, 천부-심부 지하구조의 연결성 파악을 위해 미소지진 분석과 다양한 지구물리 탐사 방법을 병행하면 대도시 지진재해도 작성 및 건축, 토목의 기초 설계 자료로 활용될 수 있다.

### 【관련 주요성과】

#### 대표 특허 ▼

- 침수방지를 위한 지진계 설치방법(10-2265689)

#### 대표 논문 ▼

- Magnitude and nucleation time of the 2017 Pohang Earthquake point to its predictable artificial triggering, Nature communications, 2021, mrnIF=95.833

### 【우수성과 도출 히스토리】

2016년 7월 5일 울산해역에서 규모 5.0에 해당하는 지진이 발생하였으며, 경주지진('16.09.12., 규모 5.8), 포항지진('17.11.15., 규모 5.4)으로 인하여 인명피해 및 재산상의 피해가 발생하였다. 지진위험은 크게 단층 파열면이 지표면까지 연장되면서 발생하는 피해와 지진으로 발생하는 지진동으로 인한 피해로 나눌 수 있으나, 경주지진과 포항지진은 단층 파열면이 지표면까지 도달하지 않아 그 실체를 지표조사만으로는 확인할 수 없다.

또한 사업의 연구 대상 지역이 경주지진 발생 지역 또는 일부 특정 지역으로 한정되어 있어 지진이 비교적 자주 발생하는 동해 남부 해역을 포함한 영남권에 분포하는 많은 제4기 단층 혹은 활동성 단층의 특성을 분석하기에는 어려움이 있다. 따라서 이들 지역에 대한 정밀한 지진관측과 이를 통한 지진발생단층에 관한 연구 필요성이 대두되었다.

먼저, 기상청에서 발표한 지진을 분석하여 동해 남부 해역과 영남권에 지진이 자주 발생하는 지역을 선정하고 선정된 지역에 대하여 고밀도 임시지진관측망을 구성하였다. 기상청, 한국지질자원연구원 등 국내 지진 관계기관에서 운영하는 상시지진관측망에 미소지진을 관측 고밀도 임시지진관측망을 더하여 현재 발생하고 있는 미소지진을 정밀 관측할 수 있었다.

그다음 관측된 자료를 바탕으로 기상청에서 발표한 지진을 포함하여 기상청 관측 한도 이하 수준으로 규모가 너무 작아 지금까지 지진목록에서 제외되었던 지진까지 관측 및 분석하였다. 이러한 고밀도 임시지진관측망 자료의 분석을 통하여 미소지진 발생 현황과 3차원 입체지진분포도를 작성하였다. 또한 현재의 응력장 하에서 활동할 수 있는 단층 구조 모델을 제시하고 향후 발생할 수 있는 지진에 의한 지진동 예측과 우리나라 지진 위험성 평가 등에 필요한 자료를 제공할 수 있는 바탕을 마련하였다.

### 【용어설명】

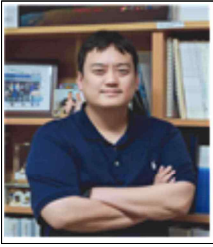
#### 미소지진 (micro earthquake)

- 지진 규모가 1 이상 3 미만인 지진. 이러한 지진이 피해를 낳는 것은 아니지만, 그것을 관측함으로써 대지진 발생의 패턴을 예측할 수가 있어 중요함

#### 지진발생단층 (seismogenic fault)

- 지진자료 분석을 통해 획득한 진원 분포가 군집을 이루며, 이를 통해 특별한 기하가 식별 가능한 단층

## 【연구책임자】



장은철

공주대학교

✉ echang@kongju.ac.kr

## 전지구 대기 모델에서 대기-해양 상호작용을 고려할 수 있는 해양 혼합층 물리과정 개발

## 【과제 개요】

**과제명** : GRIMs 지역기후모델을 이용한 SSP 시나리오 기반 동아시아 상세 기후변화 정보 산출

**총 연구기간** : 2020.05.01. ~ 2022.12.31.

## 【연구목적 및 목표】

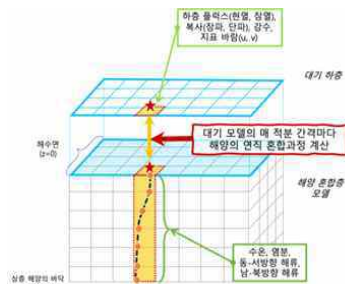
대기-해양 상호작용은 대기과 해양 사이의 에너지 교환과정을 의미한다. 해양은 대기보다 열용량이 크기 때문에 해수면 온도를 통해 해수면에 접한 하층 대기의 온도를 직접적으로 가열시키거나 냉각시킬 수 있으며, 해양 표층에 바람이나 플렉스를 통해 해수면 온도 변화에 영향을 주고 해양 혼합층을 발달시킨다.

해양 표면의 강한 응력(Wind Stress)은 해양 혼합층의 깊이를 발달시킬 뿐만 아니라 해수의 용승을 유도하며, 해수면 온도의 냉각을 이끌어 낼 수 있고 대기로부터의 강수는 해수면 온도를 냉각시키는 요인이 될 수 있다.

따라서 대기과 해양의 경계조건에 해당하는 해수면 온도는 대기-해양 상호작용으로 인해 변화하게 된다. 특히 대기 모델에서 해수면 온도는 계절적 몬순 순환과 강수 예측에 영향을 주기 때문에 대기-해양 상호작용 과정이 포함된 해수면 온도의 모의는 중요한 요인으로 작용한다. 이러한 대기해양 상호작용은 대기-해양 결합 모델 시스템을 통해 고려할 수 있다.

하지만 이러한 결합 모델 시스템은 더욱 많은 계산자원과 모델 내의 균형을 맞추기 위해 적응기간(Spin-up Time)이 필요하다. 또한 결합 모델 시스템을 통해 생산된 결과는 대기-해양의 상호작용 이외에도 해양 내부의 역학 과정까지 포함되어 대기-해양의 상호작용만을 독립적으로 분석하는 것에 한계를 지닌다. 이러한 이유로 본 연구에서는 결합모델이 아닌 대기모델에서 대기-해양의 상호작용을 계산하는 물리과정을 개발하고 이를 대기모델에 추가하였다.

## 【성과 주요내용 및 창출과정】

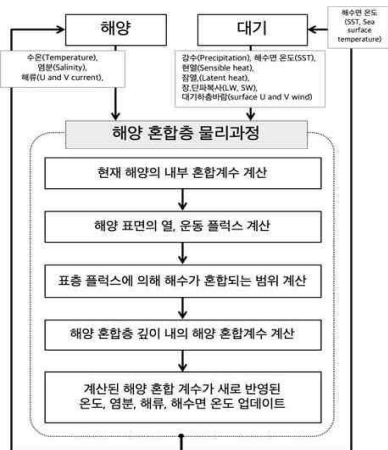


【대기모델에서 구현된 해양 혼합층 모델의 모식도】

본 연구에서 고안한 해양 혼합층 물리과정의 모식도이다. 대기 모델에서는 하층플렉스(현열, 잠열, 태양 복사(장, 단파), 강수, 지표 바람(동-서바람, 남-북바람))을 해양으로 전달한다. 대기에서 해양으로 전달받은 대기 변수는 해양 표층의 열, 운동 플렉스로 형태로 해양으로 에너지가 전달된다. 표층 열, 운동 플렉스는 해수 온도, 염분, 해류에 영향을 주고, 해양의 연직 혼합을 유도하여 표층의 해수와 혼합층 모델 하부의 해수가 혼합된다.

또한 해수의 온도, 염분, 해류 등이 변화하게 되고 해양 최상층에 해당하는 해수면 온도 역시 변화하게 된다. 변화된 해수면 온도는 다시 대기 모델로 전달되어 대기 하층의 물리과정 계산에 사용되며, 계산과정은 대기 모델이 적분(예측)되는 간격마다 계산된다.

대기모델에서 해양 모델로 전달되는 대기 변수는 현열, 잠열, 하향 장파 복사, 상향 장파 복사, 하향 단파 복사, 강수, 지표면 바람(동-서 바람, 남-북 바람) 총 8개이며, 해양 혼합층 물리과정에 사용되는 해양 변수는 해양 온도, 염분, 동-서 방향 해류, 남-북 방향 해류 총 4개이다. 해양 혼합층 모델에서 대기모델로 전달되는 변수는 해수면 온도이며 이는 최상층 해양 온도가 해수면 온도를 같음한다. 해양 혼합층 모델은 해수면으로부터 수심 약 500m까지 아우르는 깊이로 22개의 층으로 구성된다.



【해양 혼합층 물리과정의 계산 과정】

두 번째 단계는 해양 표면의 열, 운동 플럭스를 계산하는 단계이다. 이 단계에서는 대기에서 해양으로 전달되어 오는 플럭스 값을 활용하여 계산한다. 표층 온도 플럭스, 표층 염분 플럭스, 표층 부력 플럭스, 표층 동-서 속도 플럭스, 표층 남-북 속도 플럭스, 태양복사 플럭스 등이 계산되며 이때 계산되는 값은 다음 단계의 계산에 사용된다. 세 번째 단계는 표층 플럭스에 의해 해수가 혼합되는 범위를 계산하는 단계이다. 해수면을 통해 전달되는 에너지가 해양 내부로 전달되어 해양이 혼합되는 범위를 계산하는데, 이때의 범위를 해양 경계층이라고 하며 해양 경계층 깊이라고 한다. 경계층 깊이는 리차드슨 수를 이용하여 계산된다.

네 번째 단계는 앞 단계에서 계산된 해양 혼합층 깊이 내에서의 해양 혼합계수를 계산해 주는 단계이다. 해수면 강제력(열, 운동 플럭스)에 따른 해양 경계층 내의 혼합계수와 비국지 수송을 계산하여 혼합계수를 계산한다. 마지막 단계는 계산된 혼합계수를 반영하여 해양 정보를 갱신한다. 수온, 염분, 해류(동-서방향, 남-북방향)를 갱신하며 첫 번째 층의 온도를 해수면 온도로 설정하고 이 값을 대기 모델로 전달한다. 이러한 과정을 대기모델이 적분되는 간격마다 계산을 해주게 된다.

【성과의 우수성·차별성】

본 연구에서는 해양 혼합층 물리과정에 대한 국내 특허를 출원하여 등록을 준비 중으로 기존의 전지구 모델에 물리과정을 추가하여 대기-해양의 상호작용을 파악하는 것에 큰 도움을 준다. 해당 성과는 다른 모델에서 활용하는 대기모델에서 해수면 온도의 처방 방법 대비 효율적이며, 이를 통해 신뢰도 높은 미래 기후변화 시나리오 생산이 가능하리라 판단된다.

기존 모델은 대기와 해양의 경계조건인 해수면 온도를 재분석한 자료 등을 입력하여 활용하였다.

좌측은 해양 혼합층 물리과정의 계산과정을 정리한 그림이다. 해양 혼합층 물리과정은 해양을 해수면에서 약 500m 수심에 해당하는 상층 해양을 대상으로 하며, 총 23개 층으로 구성된다. 즉, 대기와 해양 경계에 해당하는 해수면을 통해 에너지를 교환하고 그 과정을 통해 해양 내부의 혼합을 계산하여 해양 내부의 변화가 다시 해수면으로 에너지가 전달되도록 하는 과정을 계산한다. 이러한 일련의 과정은 혼합계수로 표현되며 확산계수(Diffusivity)와 점성계수(Viscosity)로 계산된다.

해양 혼합층 물리과정 계산은 다섯 단계로 구분된다. 첫 번째, 현재 해양의 내부 혼합계수를 계산한다. 현재 해수의 혼합정도를 진단하는데 리차드슨 수를 활용하여 계산한다. 이때 계산된 혼합계수는 배경 값(background value)으로 설정된다.

대기에 해양의 열용량이 강제력으로 주어지며, 반응은 매우 낮다. 그리고 해양의 열용량은 무한하지만, 해수면 온도는 대기의 변화에 영향을 받아 반응하지 않는 가정을 한다. 그러나 이러한 방법은 대기-해양 상호작용 과정이 포함되지 않는다.

이에 대기-해양 상호작용의 효과를 대기모델에 포함하도록 모델의 바닥 경계조건을 좀 더 상세히 표현하기 위하여 대기 하층의 바람세기에 따라 해수면 온도가 경험식으로 계산되도록 단층 해양 혼합층 모델이 구성되었으나, 이 방법은 해수 표면의 플럭스에 의한 효과보다 바람에 의한 효과가 커 해수면을 냉각시키는 효과가 주도적으로 나타났다. 또한 기존 전지구 대기 모델에서는 과거 재분석 자료의 해수면 온도를 읽어 들여 대기 모델에 전달되도록 구성되어 해수면 온도가 대기에 주는 영향만 고려할 수 있게 구성되어 있다. 따라서 동 연구를 통해 대기모델에서 기존에 제공하였던 모델의 결과자료 대비 향상된 결과자료를 제공할 수 있으리라 판단된다.

### 【성과의 활용현황 및 계획】

본 연구는 공주대학교에서 운영중인 GRIMs(Global Regional Integrated Model system) 모델에 적용되어 차후 해당모델을 이용한 다양한 연구분야에 활용될 계획이다. 본 특허를 진행한 연구과제에서는 GRIMs 모델을 활용하여 미래기후변화 시나리오를 바탕으로 역학적 상세화를 수행, 동아시아지역의 상세 미래기후변화 시나리오를 생산하였다. 차후 유사과제 수행 시 대기-해양 상호작용의 효과를 포함하는 모델을 수행하여 전지구 및 동아시아 지역의 미래기후변화 시나리오에 기여할 수 있다. 연구결과는 한국기상과학원을 통해 외부로 공개되어 필요한 사람들은 누구나 다운로드를 통해 활용할 수 있다.

### 【파급효과】

미래기후변화 시나리오는 단순히 과제의 결과자료로서의 의미일 뿐만 아니라, 미래 기후 예측을 바탕으로 수행되는 농업, 건축, 재해방지, 식량자원 확보 등 사회경제적 기반 기술 설계에 큰 영향을 미친다. 실제 공개된 동아시아 지역의 미래기후변화 시나리오 자료를 활용하여 다수의 연구논문과 대규모 국가과제가 수행되었다.

- 기후변화에 따른 풍수해 대응 지역별 방재역량 강화연구 개발(2014-2017, 18.5억원, 행정안전부)
- 기후변화 대비 수자원 적응기술 개발(2014-2019, 192억원, 국토교통부)
- 기후변화 적응을 위한 연안도시지역별 복합원인의 홍수 취약성 평가기술 개발 및 대응 방안 연구(2015-2018, 88.5억원, 행정안전부)

본 특허는 미래기후 생산의 기반이 되는 대기모델의 성능 향상에 매우 중요한 영향을 미치는 대기-해양 상호작용 물리과정 개발로, 우리나라의 관련기술 수준 향상과 원천기술 확보라는 측면에 큰 의미가 있다.

### 【관련 주요성과】

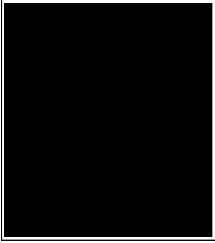
#### 대표 특허 ▼

- 전지구 대기 모델에서 대기-해양 상호작용을 고려한 해양 혼합층 물리과정 모델링 방법(10-2021-0139540)

### 【우수성과 도출 히스토리】

본 연구에서는 IPCC 6차 평가보고서를 위한 기후변화 전망자료 중 중간 단계 온실가스 경로에 대한 역학적 상세화를 수행하였고, 동아시아 지역의 기후변화 전망자료를 생산하였다. 공주대학교를 비롯해 부산대학교, 울산과학기술원, 포항공과대학교의 연구진들에 의해 다양한 지역규모 모델을 활용한 결과를 생산하였고, 단일모델 결과자료에 비해 신뢰도 높은 기후변화 전망자료를 생산할 수 있었다. 또한 관련연구를 수행하며 미래 기후에서 나타나는 태풍 및 온대 저기압의 특성 변화나 한반도의 상세기후변화 전망자료들을 생산하였다.

【연구책임자】



이채연

한국외국어대학교

✉ prpr.chaeyeon@gmail.com

## 도시 에너지관리, 헬스케어 지원을 위한 상세 기상환경 예측시스템

【과제 개요】

과제명 : IoT기반 도시 상세 열/바람 정보 및 스마트에너지 활용기술 개발  
총 연구기간 : 2021.05.01. ~ 2024.12.31.

【연구목적 및 목표】

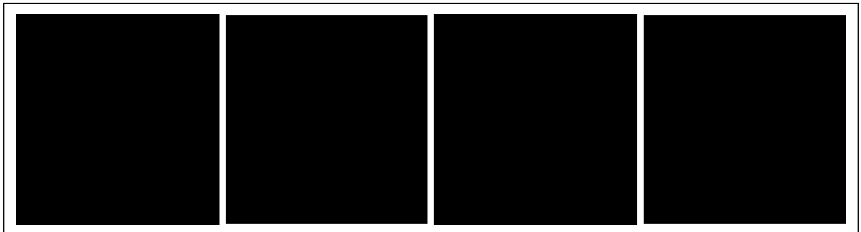
도시의 인구집중과 과밀화에 따라 대도시를 중심으로 한 기상재해와 환경오염에 대한 민감도가 증대되고 있다. 도시에서는 복잡한 구조로 인해 열이 축적되어 열섬현상이 발생할 수 있고, 바람 흐름이 원활하지 않아 특정지역에 오염물질이 정체되거나, 돌풍이 형성되는 미규모 재해가 발생하고 있다. 이에 도시 특정지역에서 반복적으로 발생하는 기후환경재해에 대해서 실질적이고 과학적으로 분석가능한 솔루션이 필요하다.

본 연구에서는 도시지역에서의 대기환경오염 문제를 진단·예측하고자 실제 도시지역을 대상으로 건물 이외 수치화된 식생 조건들을 적용하여 큰에디모사 모델을 구축한다. 수치실험 시나리오에 따른 분석 대상의 특정 지역에서 오염물질 저감 정도를 도출하여, 대기환경 개선 효과를 더욱 효율적으로 분석할 수 있는 방법론을 제안하고자 한다. 수치실험 시나리오는 기상, 도시구조, 배출지점 등의 조건과 식생지역 형태 조건을 구성하고, 이들 시나리오에 의한 대기환경 개선효과를 제시하는 것을 본 연구과제의 목표로 한다.

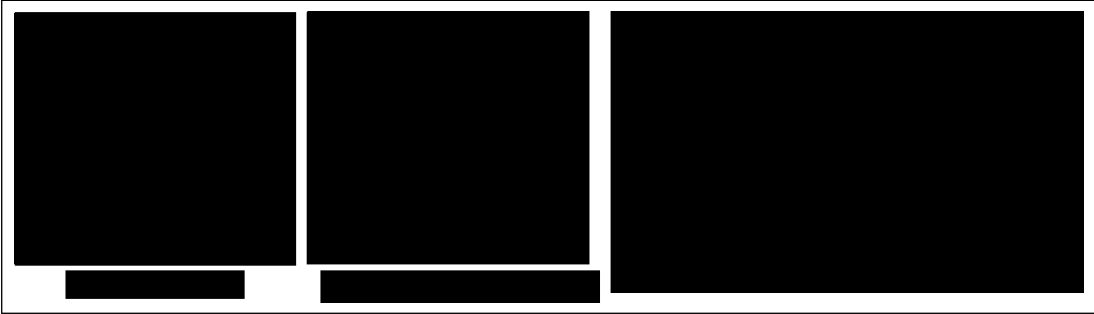
【성과 주요내용 및 창출과정】

분석대상 도시지역의 기상정보(풍향, 풍속, 기온 등), 지표면 정보, 건물정보, 도로 정보 등을 이용하여 수치모의 경계 입력자료를 구축하였으며, 도시계획 도면과 식생의 추가확장 계획안을 바탕으로 시나리오 형태로 수치모의 입력자료를 구축하였다.

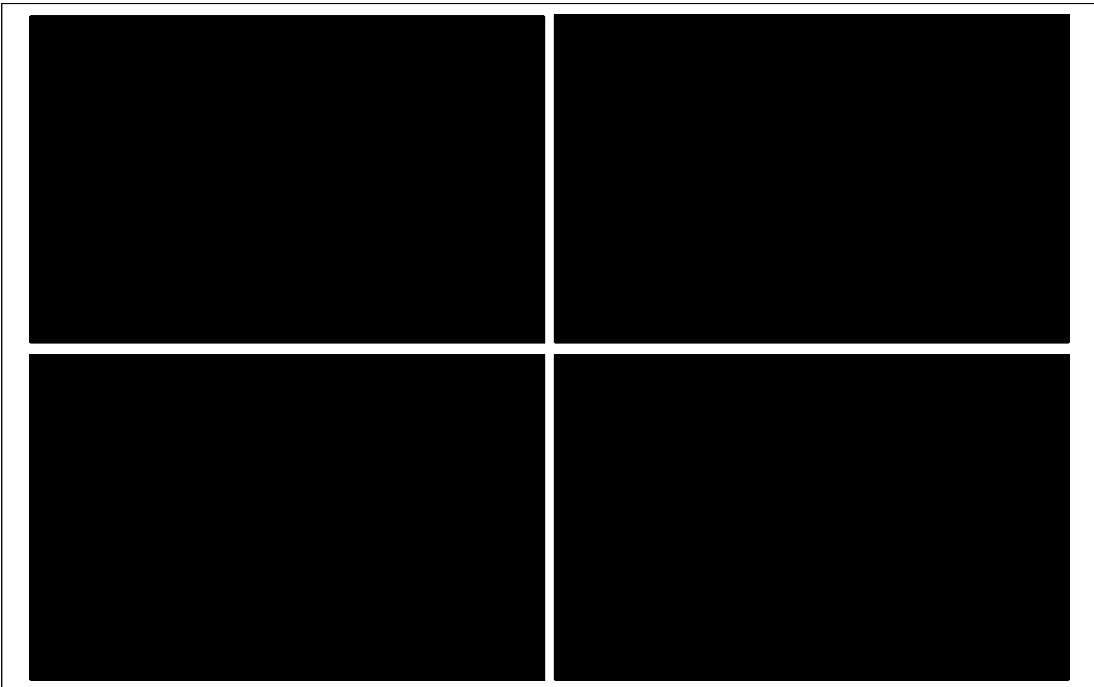
또한 대상 도시지역에 대하여 식생모듈(연직 잎면적밀도 함수, 식생에 의한 그림자, 증산, 대기침적)을 적용한 수치모델을 구성하고, 대상지의 연직별 대기의 흐름, 오염물질 확산 등 도시 대기환경을 진단하고 예측하였다. 식생지역의 형태(면적 단위, 선 단위)와 바람이 유입되는 속도, 방향 등의 기상조건에 따라 오염물질이 저감되는 효과를 분석하고, 최대로 저감되는 조건들을 찾아내는 기술을 시스템화하여 구축하였다.



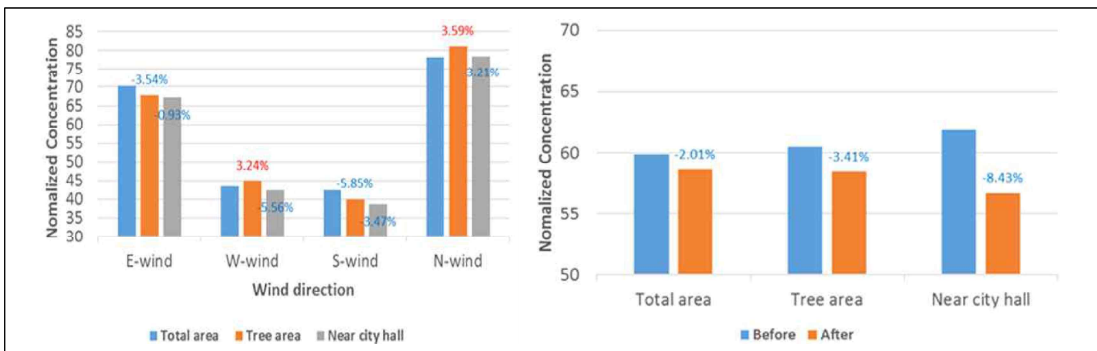
【도시지역 지표경계 입력자료(지형고도, 건물정보, 토지피복, 식생정보)】



【모델입력자료 형태로 변환된 인공피복(좌)과 자연피복(중), 3차원 도시입력자료(우)】



【도시지역 식생적용 후 바람흐름과 미세먼지 농도지수 분포(상)와 식생적용 전후의 풍속차이 분포와 농도지수차이 분포(하): 북풍유입 시나리오】



【전체영역, 식생영역, 식재인근지역 등의 정규화농도지수(좌)와 식생적용 전후 정규화농도지수(우)】

### 【성과의 우수성·차별성】

상세 기상환경 예측시스템은 도시의 기상조건 등 동적인 요소와 지형, 건물, 식생 등 고정적인 요소를 고려하여 실제 환경을 가상의 공간으로 구축하였다. 산출되는 결과는 실제공간에 적용이 가능하도록 정보를 제공하고 있으며, 이와 같은 기술의 형태인 '디지털 트윈'의 개념을 유럽국가를 중심으로 기후변화, 자연재난, 에너지, 농업, 산업 등 다양한 분야에 적용되어 미래 도시계획에 활용방안으로 제시되고 있다.

본 연구에서도 세계적 추세에 따라 제안된 시스템을 활용하여 국내 도시계획에 활용이 가능한 정보를 생산할 수 있으며, 도시규모에서 거리 및 건물규모 까지 모델 적용이 가능한 다중규모 도시기후 관측-모델링-분석기술은 도시의 열, 바람 요소 관측을 통해 캐노피층 내 상호작용을 분석하고, 진단 및 예측모델을 이용하여 건물규모 미기상 또는 미기후 정보를 산출할 수 있다. 따라서 상세공간의 온도와 바람 변동성과 관련된 매개변수를 적용하는 기술은 기상 및 대기오염 개선 효과분석에서 우수한 성능을 나타내고 있다.

기존의 도시지역 식생계획은 심미적 요소 등의 추상적 정보가 계획에 적용됐으나, 본 성과를 통해 제안된 분석기술과 방법을 통하여 중점 관리지역을 시범적으로 선정하여 대기환경 개선효과를 정량적으로 정보화하는데 기여하였으며, 본 성과는 '국가 기후변화 적응대책(21~25) 중 '지역단위 기후탄력성 제고 사업' 추진과 관련한 도시환경의 공간정보(식생의 형태와 배치 등) 효율성 향상에 기여할 수 있다.

### 【성과의 활용현황 및 계획】

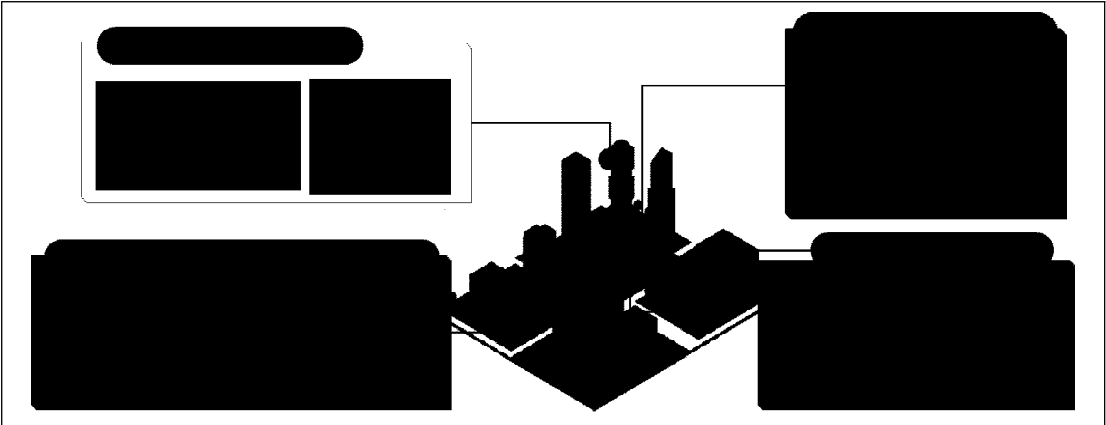
도시 열스트레스 취약공간, 바람정체지역, 오염물질 농도분포 등이 산정가능하며 도시의 기후환경 탄력성 향상을 위한 시나리오 설계안에 활용할 수 있다. 그리고 산출되는 건물규모 열 및 바람정보 등은 에너지관리(건물 용도별 전력 부하 예측, 건물 단위 상세일사량), 시민 헬스케어(폭염한파 체감온도 및 대기오염 취약지역)에 활용이 가능하다.

스마트시티는 '시민주도형' 기반으로 도시가 운영되는데, 디지털트윈 플랫폼을 통하여 시민들이 생활 밀착형 정보를 받고, 리빙랩을 통하여 도시의 환경 개선을 위한 피드백을 할 수 있다. 이러한 시민주도 도시운영 결과는 해당 지자체와 연계하여 도시계획을 수립·개선하거나, 기후회복 탄력성이 높은 도시를 위한 대책 마련에 활용이 가능하다.

### 【파급효과】

연구성과 활용 시 도시계획에서 식생배치 및 구성 정보를 사전에 획득할 수 있으며 이를 통해 적용지역과 규모를 결정하는 시간 및 비용 절감이 가능하다. 또한 중앙 정부 및 지자체의 의사결정 지원과 시가화 지역 뿐만 아니라 도로 등 다른 분석 지역으로의 확장, 도시계획과 국토계획분야 전반에 걸친 분석방법으로 확장이 가능할 것으로 기대된다.

이 연구성과는 도시 대기환경관리를 위한 정책 의사결정과 계획을 지원할 주요한 도구로 사용될 것이다. 또한 식생과 더불어 다양한 요소에 대한 적용 전후 분석이 가능한 다기능성이 확보된다면, 도시계획 등을 통한 대기환경 문제를 해소하는 매개체 역할이 가능할 것으로 기대된다. 사회 패러다임의 동력인 과학기술, 정책, 시민사회의 중심을 유도하는 데 기여하고 열저감, 바람순환, 대기오염 감소 정책의 추진을 위한 중요한 도구로 활용될 것이다. 그리고 그린 인프라 사회로의 진입이 용이한 사회적 구조가 조성되는데 기여할 것으로 보여진다.



【기상·도시환경·IoT 관측자료 연계된 에너지·생활건강기상정보】

### 【관련 주요성과】

#### 대표 특허 ▼

- 실험 시나리오 및 식생 조건에 따른 대기환경 개선효과 분석 시스템 및 방법(10-2021-0174591)

### 【우수성과 도출 히스토리】

연구진은 도시 기상·기후 관측과 모델링 분야에서 다년간 지속적인 연구를 수행하고 경험이 풍부한 전문가로 구성되어 있다. 최근 동향에 맞추어 인공지능 기법으로 수치모델을 후보정하는 체계를 도입하여 복잡한 도시구조 환경에서 발생할 수 있는 열, 바람, 대기오염 등을 빠르게 진단 및 예측하고 취약지역 관리 서비스 시스템을 구축하고 있다.

도시마다 현안을 근본적으로 해결하기 위해서 각 도시의 국지적 지형과 상세한 기상특성을 정확히 아는 것이 매우 중요하며, 이는 가장 기본적인 요소이다. “상세 기상환경 예측시스템”은 타 분야 자료와 연계하여 일상 생활에서 매일 필요한 정보, 위험 및 안전을 위한 정보, 여가 레저를 위한 정보 등으로 융합 가공될 수 있으며, 이를 컴퓨터 공간에서 해결할 수 있도록 개발되었다.



【연구책임자】



김무건

(주)지오시스템리서치

✉ mkkim@geosr.com

## 자동항공기상관측을 위한 영상기반 시정 및 전천(全天, all sky) 관측 시스템 개발

【과제 개요】

과제명 : 항공기상 자동관측기술 개발

총 연구기간 : 2021.04.01. ~ 2023.12.31.

【연구목적 및 목표】

항공사고는 지속적으로 감소하고 있으나 기상 영향이 큰 이·착륙 시 사고 발생률이 높으며, 특히 시정, 낮은 운고와 강수로 인해 주로 발생한다. 현재 목측(유인) 관측에 의존하고 있는 공항 관측은 목측과 관측값이 비융합 되므로 자동관측 확대 적용으로 상대적 객관성을 가진 관측값과 융합을 통한 자동화가 필요하다.

현재 주로 목측 및 국소 지점의 자동 관측기기에 의존하고 있는 공항의 시정 및 공항 상부 기상관측을 자동화하기 위해 주기적으로 수집된 영상을 분석하여 시정, 운량, 운고, 운형을 자동으로 판별하는 자동항공 기상관측 시스템 구축이 필요하다. 이에 공항 내 주요 지점에 수평 360° 전 방향을 관측할 수 있는 카메라를 제작·설치하고 주기적으로 각 방향의 영상 이미지를 원격지 서버로 전송한 다음 각 방향의 시정 값을 자동 산출하는 소프트웨어를 개발한다.


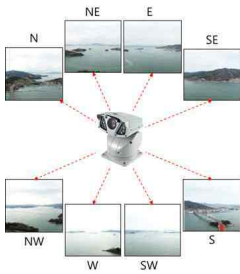
공항 내 주요 지점에 수직상부 360° 전방향의 구름을 관측하는 전천 카메라(All Sky Camera)를 개발·제작·설치한 후 주기적으로 관측한 영상정보를 원격지 서버로 전송한 다음 운량, 운고 및 운형을 자동 산출하는 소프트웨어 개발하고 최종적으로 전국의 공항마다 전천 카메라로 구성된 자동 항공 기상관측 시스템을 구축하고 관측된 자료를 통합한 후에 수집된 영상자료 및 판별된 운량, 운고 및 운형 데이터를 기반으로 웹 기반 항공기상 자동관측 표출시스템을 구축한다.



【연구개발 개요】



**【성과 주요내용 및 창출과정】**

먼저 ‘관측기술 개발(관측장비 개발) 연구’는 선정한 PTZ 카메라(IP Camera)의 위치 프리셋(Preset) 기능을 활용하여, 미리 설정한 8방향(방위)으로 주기적 회전구동 수행하면서 각 방향의 동영상에서 스틸 컷 이미지를 자동 추출하도록 원격서버에 설치된 자료수집 S/W를 개발하여 적용하였다. 원격지 서버에서 현장의 시정관측 카메라(IP Camera)에 유선네트워크(Ethernet)로 회전명령, 정지명령 및 영상캡처 명령 등을 송신하고 영상관측자료(8방향 시정촬영 이미지) 수집하였다. 8방향 시정관측 자료는 원격지 서버에서 주기적(2분 간격) 자동으로 수집했으며 카메라 렌즈 앞에는 우천 시 자동으로 와이퍼가 자동 동작하도록 적용되어 있다.

시정관측 장비(PTZ 카메라 (IP Camera))	주기적(매2분) 8방향 관측 수행
	

**【시정관측 장비】**

전천관측 카메라는 공항 상부 구름관측을 위해 24시간 하늘을 향해 영상을 촬영하며 태양의 직사광이 360° 촬영을 위한 어안렌즈를 통해 내부로 장시간 유입될 경우 카메라 내부의 센서 등에 불량 및 수명감소 우려가 크기 때문에 영상 캡처를 위한 최단 시간만 태양광에 노출하도록 자동 차폐판을 적용하여 개발하고 제작하였다.

전천관측 장비(전천카메라 (IP Camera))	360° 방향 구름관측 수행
	

**【전천카메라(All Sky Camera)】**

2021년도 시험 관측을 위하여 인천국제공항에 다음과 같은 수량의 관측장비를 설치 운영 중이다. 인천공항 항공기상청 정보지원센터에 네트워크 장비 및 서버시스템을 구축하여 영상관측자료수집 소프트웨어와 웹 기반 표출소프트웨어 개발하고 구축하였다. 1차 연도에 개발된 장비 및 소프트웨어의 보완 후, 2차 연도와 3차 연도에 전국 공항(7개 공항)에 확대하여 구축하고, 기상청 네트워크를 경유하여 인천공항에서 전국 공항의 관측현황을 통합 관찰할 예정이다.

【항공기상관측(시정, 운고·운량) 시스템 설치 및 운영 현황】

설치지점	품명	규격	단위	수량
제1활주로 15R	운량·운고관측 시스템	Full HD, DC 12V	대	2
	시정관측 시스템	PTZ Full HD 카메라, DC 12V	대	1
	Junction Box	DC12V 전원공급, 공유기 내장, 광컨버터 내장	대	2
제1활주로 15R MID	운량·운고관측 시스템	Full HD, DC 12V	대	1
	시정관측 시스템	PTZ Full HD 카메라, DC 12V	대	1
	Junction Box	DC12V 전원공급, 공유기 내장, 광컨버터 내장	대	1
제1활주로 33L	운량·운고관측 시스템	Full HD, DC 12V	대	1
	Junction Box	DC12V 전원공급, 공유기 내장, 광컨버터 내장	대	1
정보자원센터	광스위치	4port SFP, 24port TP	대	1
	자료처리 서버	DELL PowerEdge R440	대	1

‘시정/구름/현천 자동산출 기술개발 연구’는 영상기반의 가시거리 산출 선행연구를 분석하고 최신 관련 기술 동향 분석을 통해 인공지능 신경망을 이용한 영상기반 시정 산출 모델을 개발하였다. 이후 운량 및 운고를 산출하기 위해 전천 카메라 이미지를 활용하여 색채 분석 및 스테레오 매칭 기법을 활용하여 데이터를 산출하였다. 최종적으로 ‘웹기반 자동관측 운영시스템 구축 연구’는 시정관측 및 구름관측 카메라로부터 관측된 영상을 수집하여 실시간으로 시정 값을 산출한 다음 웹기반 표출할 수 있도록 S/W를 개발하고 구축하였다.



【웹기반 자동관측 운영시스템 홈페이지】

【성과의 우수성·차별성】

기존 목적 유인관측에서 자동화된 무인관측으로 객관적인 자료 산출과 항공기상 관측시설에 대한 신속한 장애 대응체계 구축에 활용하여 항공기상 관측업무를 개선하였다. 정책지원 및 관련업무 확대지원, 도서 지역 공항/비행장에 대한 무인 관측 업무를 지원할 수 있다. 그리고 영상기반 시정 관측기술을 이용한 도로 및 해양 시정 관측에 활용할 수 있다. 실시간 운량 판별 기술은 실시간 태양광 발전량 산출과 같은 분야에서 활용 가능하고 현천 판별 기술을 이용한 도로 기상(블랙아이스) 관측 등에서 활용하고 있다.

본 연구는 공항 주변 기상사고 예방을 위한 공항 주변의 기상상황에 대해 정확한 분석이 가능하므로 항공 이착륙에 대한 신속한 판단에 활용하며, 효과적이고 효율적인 자동관측 기술은 공항 주변 기상상황 여건에 따른 초기 대응 계획 수립에 활용하여 우수성을 입증할 수 있다. 또한 미래원천 기술 확보와 공항관측 자동화 핵심기술의 국산화로 해외공항 수출 등 글로벌 경쟁력 확보를 할 수 있으며, 항공기상 자동관측/산출기술은 창의적이고 진보적인 기술로 다양한 기상관측에 적용 가능한 효율적인 기술이다.

### 【성과의 활용현황 및 계획】

공항관측 자동화 핵심기술의 국산화는 해외공항 수출 등 글로벌 경쟁력 확보, 항공기상 관측업무 개선(목적 유인관측 → 무인관측), 향후 울릉공항, 흑산도 공항 등 소형공항 건설 계획에 따라 도서지역 공항/비행장에 대한 무인관측업무 지원에 활용될 수 있다.

또한 영상기반 시정 관측 기술은 도로 및 해양 시정 관측체계에 활용, 현천(어는비) 판별 기술을 이용한 도로 기상(블랙아이스) 관측, 항공기상 관측시설에 대한 신속한 장애 대응체계 구축, 장비 운영 및 항공기상 자료 처리 상황을 통합 감시하여 항공기상 관측시설 장애 대응, 항공기상 관측장비의 통합운영 기반 시스템 구성 등으로 공항 및 항공 관련 기술에 적용하여 활용할 수 있다.

### 【파급효과】

전방위 카메라, 인공지능 등 신기술을 활용한 항공기상 관측자동화 기술개발, 항공기상 관측장비의 핵심기술인 알고리즘 개발 및 분석기술 확보, 유인관측에서 계기 기반 관측으로의 전환을 통한 관측의 객관성 및 일관성 확보 등의 파급효과를 창출할 수 있다. 또한 상대적으로 저렴한 영상기반 관측 기반 기술 확보를 통한 국내 기상관측 능력 제고와 항공기상의 시정/구름의 실시간 감지하여 위험 통보 및 항공기상업무 효율성 제고가 가능하다.

항공정보 관리체계 기능 강화를 통한 항공시스템 의사결정 기반 마련, 국제기준의 항공기상 정보관리시스템 구축을 위한 정보기술 인프라 확충, 산업기상 서비스 콘텐츠 개발 및 국가기상산업 견인차 효과, 장기간 고품질자료 확보 및 국제 기술교류를 통한 기상청 위상 제고 등 파급효과를 창출할 수 있다.

### 【관련 주요성과】

#### 대표 특허 ▼

- 전천 카메라 및 이를 포함하는 항공 기상 관측 시스템(10-2404602)

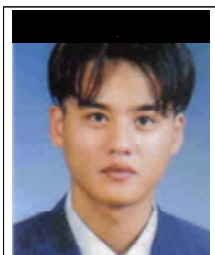
#### 대표 S/W ▼

- 항공기상영상 관측프로그램(C-2021-052726)

### 【우수성과 도출 히스토리】

본 연구진은 관측장비 및 AI 모델링 연구분야에서 20년 이상 다양한 경험이 축적된 전문가 집단으로 구성되어 있습니다. 특히 1차 연도 2개의 경쟁 연구진이 동시에 과업을 시작하여 연말에 상대평가 후 계속 수행 여부를 결정하는 형식으로 1차 연도 과제를 수행하는 과정에서 단시간 내 항공기상 자동영상관측 장비를 개발하여 많은 영상관측 자료를 확보하는 것이 중요했습니다. 확보한 자료를 다양한 AI 모델로 분석하고 검증하여 자동판별 모델을 도출하기까지 약 8개월 동안 연구진의 신속한 협동연구가 수행되었으며 그 결과 2차, 3차 연도에 사업을 계속 수행할 수 있었습니다.

【연구책임자】



문중윤  
 (주)해양정보기술

✉ perz@mitkorea.com

## 영상 기반 해수위 관측 방법 및 시스템

【과제 개요】

과제명 : CCTV를 활용한 지진해일 자동 관측 기술 개발

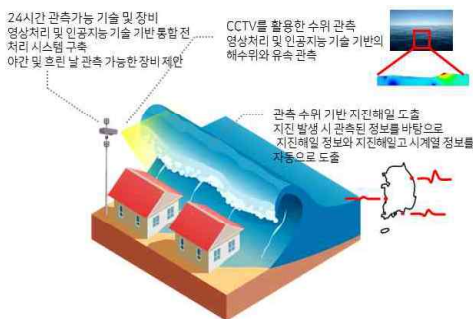
총 연구기간 : 2021.04.01. ~ 2022.12.31.

【연구목적 및 목표】

지진해일은 바람으로 인해 발생하는 해양파와는 성격이 다르다. 해저지형이나 해수의 부피를 단시간에 변화시키는 충격파의 영향으로 대량의 해수 덩어리가 육지에 밀려와 각종 재해를 발생시켰다. 현재 소수의 기상 관서만이 해안지역에 분포하여 광범위한 지역으로 유입되는 지진해일을 관측하기에는 불충분하며, 지진해일을 광범위하게 관측하기 위해서는 설치 및 자료 확보가 용이하고 저렴한 가격으로 다량의 설치가 가능한 장비가 활용되어야 한다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로, 저비용·고효율이며 광범위한 지역에서 쉽게 설치 및 유지보수가 용이한 CCTV를 이용하는 지진해일 자동관측 기술이 필요하다.

현재 연안 지역에는 CCTV가 많은 지역에 설치되어 있고 관측이 필요한 지역에 쉽게 설치가 가능한 CCTV 영상을 활용하여 해수위를 관측할 수 있는 기술개발이 필요하다. 연안을 모니터링하고 있는 CCTV 영상에 인공지능 기술과 최적의 장비를 활용하여 24시간 해수위를 관측하고 지진발생 시 지진해일 분석 시스템이 자동 운영되어 실시간으로 지진해일고, 지진해일 도달 시간, 유속 분포를 관측하는 신기술을 개발해야 한다.

본 연구에서는 인공지능 기술을 활용하여 주야간을 포함하여 24시간 동안 해수위를 CCTV 영상으로 실시간 관측하는 기술을 개발하여 조석, 기상, 태풍, 지진 등에 의해서 발생하는 연안의 해수위 변화를 모니터링 가능한 영상관측 기술을 개발한다.



【CCTV를 활용한 지진해일 자동관측 기술 개요】

또한 24시간 및 악기상 시에도 해수위를 관측하는 영상관측 기술을 이용하여 지진해일 발생시 자동으로 지진해일고, 도달 시간, 유속 등을 분석할 수 있는 영상 분석 시스템을 개발하고 지진해일 및 해수위 변화 자동관측을 위한 CCTV 설치조건 및 환경기준 마련한다.

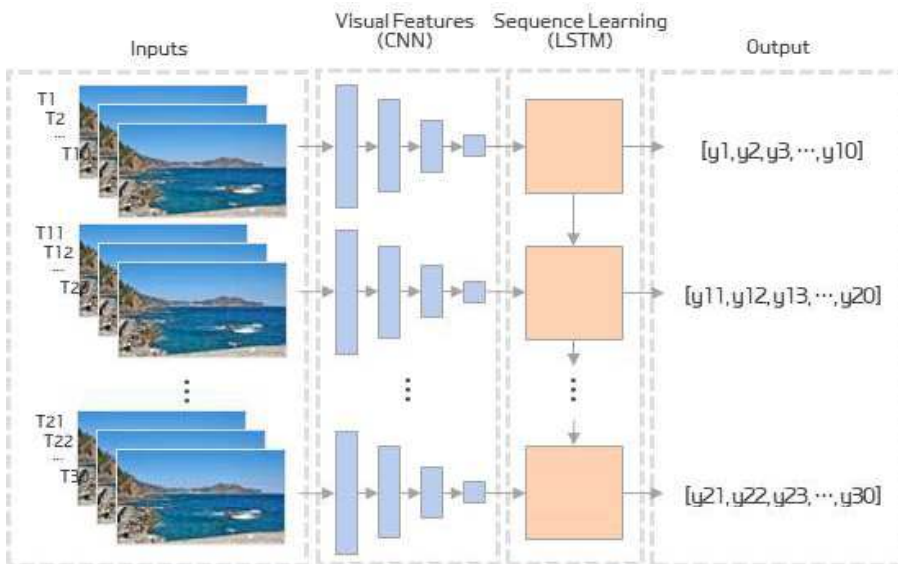
**【성과 주요내용 및 창출과정】**

지진해일을 관측하기 위해서는 해수면의 높이를 관측해야 하며, 영상을 기반으로 해수면의 높이를 관측할 경우 효율적이고 높은 확장성의 조위관측이 가능할 것으로 판단된다. CCTV를 통해 촬영된 연안 지역의 영상과 해수위 관측자료를 결합하여 인공지능망 모델에 입력 가능한 형식으로 변환하여 영상기반 해수위 관측데이터를 구축하였다.

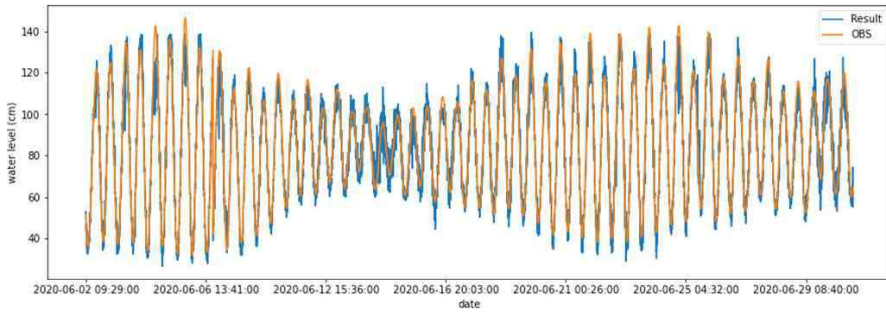


해수위의 경우 대상이 정해진 것이 아닌 연속된 값을 가지므로 분류모델이 아닌 회귀모델로 학습모델을 구축하며, 해수위를 관측하기 위해서는 크게 영상과 연속된 시간 정보를 고려해야 한다. 일반적으로 영상 정보를 추정하기 위해서는 합성곱신경망(Convolutional Neural Network, CNN) 모델을 사용하고, 연속적인 시간 정보를 고려한 시계열 정보를 추정하기 위해서는 순환신경망(Recurrent Neural Network, RNN) 모델을 사용한다. 관측 모델의 경우 두 가지 모두를 고려해야 하므로, 두 모델을 결합한 구조로 사용한다.

하단의 해수위 관측모델 구조는 해수위 관측 모델의 입력자료로 연속된 1분 간격의 10개 프레임이며, 해당 기간의 1분 간격의 10개의 해수위 관측 결과가 나타난다. 또한 영상기반 해수위 관측모델 학습 결과, 상관관계는 0.98, 평균 제곱근 편차(RMSE)는 4.9cm로 나타났다.



**【해수위 관측모델 구조】**



【해수위 관측모델 학습 결과 (파랑: 모델의 해수위 관측 결과, 주황: 해수위 관측 값)】

【성과의 우수성·차별성】

(As-Is) 기존 지진해일 관측 체계	(To-Be) CCTV를 활용한 지진해일 자동관측 체계
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해안지역 기상 관서에서 지진해일 관측기준도 등을 활용하여 육안으로 지진해일 도착시간과 해일높이 관측</li> <li>• 광범위한 지역으로 유입되는 지진해일 관측 불가</li> <li>• 해일파고계, 조위계 등 수위관측장비 활용으로 많은 유지보수 비용 발생</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해안가에 설치된 CCTV를 통한 관측으로 지진해일 실시간 자동 관측</li> <li>• 다수위 CCTV 활용으로 광범위한 지역 관측 가능</li> <li>• 가설치된 CCTV 활용 가능 및 저렴한 유지보수 비용으로 경제적인 관측체계 마련 가능</li> </ul>

【성과의 활용현황 및 계획】

지진해일 자동관측을 위한 CCTV 영상관측 기술 및 영상분석 시스템을 확보하였으며, 해수위 변동(조석, 기상해일, 폭풍해일, 지진해일) 및 해수유동 변화를 연안에서 관측할 수 있는 CCTV 영상관측 기술을 확보하였다. 영상분석 기술을 이용한 지진해일에 의한 침수범위 및 침수심 등 관련 정보를 취득하였고, 해수위 자동관측을 위한 CCTV 설치조건 및 환경기준을 마련하였다.

지진해일 피해 위험성이 높은 지역 등에 대한 관측망 확충으로 지진해일 대응 역량을 강화시켰다. 기존 설치된 CCTV 활용하여 확장 가능성이 큰 관측체계 기술 마련 및 저렴한 유지보수 비용으로 경제적인 지진해일 관측망 체계를 구축할 수 있다.

【파급효과】

기존 설치된 촬영장비(CCTV)를 이용하여 연안지역의 공간적 지진해일 분포를 관측한다면 보다 저렴한 비용으로 넓고 많은 지역의 지역별 지진해일 특성 자료를 취득하는 것이 용이해지며, 지진해일이 전파되어 직접적인 피해를 주는 연안역의 장기적인 모니터링 체계를 구축할 수 있다. 지진해일의 비선형성, 불규칙성 등에 의해 발생하는 천수 변형과 파랑 변형에 대한 관측자료 확보를 통한 지진해일 방재 및 대응의 기초자료 확보가 가능하며, 지진해일 자동관측기술 적용을 통해 목적 관측에 따른 정보의 불확실성 및 관측자의 위험 노출에 대한 우려를 없앨 수 있다. 또한 영상분석을 통한 해수위 및 지진해일 감지 기술개발로 미래 원천 기술을 확보하여 지진·폭풍해일 경보 시스템 등에 활용을 기대할 수 있다.

그리고 안전 데이터 댐 구축과 연계하여 해일고 예측, 침수 예측, 이상고파 예측, 월파 등에 활용할 수 있으며, 주요 항만 및 연안의 해양자료 수집에 활용하여 기후변화 적응을 위한 시스템 개발로 연안재해 취약 계층 보호가 가능해진다. 해역별 지진해일 특성 및 해역별 연안 방재 대응·계획 수립의 주요한 자료를 구축하여 많은 지점의 관측값을 확보함으로써 해역별·지역별 지진해일 특성 및 해역별 지진해일 방재 대응·계획 수립에 이바지할 수 있다.

또한 국민의 생명과 재산을 보호하는데 일차적으로 기여할 뿐만 아니라 연안의 친수성 강화, 해양 레크레이션 및 관광 레저 산업 활성화, 항만 운영 및 시공 효율성 제고 및 안정성 확보 등으로 관련 신산업 창출 및 지역경제 활성화에 기여할 수 있다.

### 【관련 주요성과】

#### 대표 특허 ▼

- 실시간 수위 관측 데이터로부터 지진해일을 검출하는 방법 및 시스템(10-2021-0160790)
- 영상 기반 해수위 관측 방법 및 시스템(10-2021-0160789)

### 【우수성과 도출 히스토리】

본 연구에서는 지진해일을 효율적으로 관측하기 위해 영상으로부터 해수위를 관측하는 시스템을 개발하였다. 연구 초기에는 단일 이미지를 통해 단일 해수위를 관측하는 모델로 구성하였으나, 수위 변화의 연속적인 특성을 반영하지 못하여 노이즈가 다소 발생하였다. 이를 해결하기 위해 데이터의 연속성을 반영할 수 있도록 순환신경망과 합성곱신경망을 결합한 모델로 구축하여 정확도를 향상하였다.

### 【용어설명】

#### 지진해일(Tsunami)

- 해저지형이나 해수의 부피를 단시간에 변화시키는 충격파에 의해 대량으로 해수 덩어리가 육지에서 밀려와 각종 재해를 발생시키는 현상

#### 조위(Tidal Height)

- 조석에 의한 해수면 높이를 말하며, 조고라고도 함

#### 해수위(Sea Level)

- 해수면의 높이

#### 합성곱신경망(Convolutional Neural Network, CNN)

- 합성곱 연산을 사용하는 인공신경망(Artificial Neural Network, ANN) 중 하나로, 3차원 데이터의 공간적인 정보를 유지한 채 다음 레이어로 보내는 특성이 있어 시각적 이미지를 분석하는 데 주로 사용

#### 순환신경망(Recurrent Neural Network, RNN)

- 인공신경망의 한 종류로, 유닛간의 연결이 순환적 구조를 갖는 특징이 있어 시퀀스 형태의 입력을 처리하는데 주로 사용





# 2021년도 기상R&D 우수성과 사례집

---

인 쇄 : 2022년 10월  
발 행 : 2022년 10월  
편집 및 발행 : 기상청, 한국기상산업기술원  
기획 및 제작 : (주)에이탑컨설팅

---

※ 사례집에 수록된 내용 중 문의사항이 있으시면 아래로 연락하여 주시기 바랍니다.

(03735) 서울특별시 서대문구 통일로 135 총정빌딩 13~15층 한국기상산업기술원  
Tel. 02-736-7365

(04795) 서울특별시 성동구 아차산로 7나길 18, 성수에이팩센터 410~411호  
Tel. 02-538-5963

---

# 2021년도 기상 R&D 우수성과 사례집

