

국외 출장 결과보고서

결	담당자	팀장	실장	사업단장
	1월 15일	1월 16일	1월 16일	1월 19일
재	선대현	설경희	김정한	박훈

1. 출장개요

출장목적	AGU2025 (American Geophysical Union) 참석 및 발표		
출장일정	2025.12.14~2025.12.21 (6박 8일)		
성명	소속		직급(직위)
김은규	검증진단팀		원급연구원
선대현	검증진단팀		원급연구원
방문기관 (또는 회의장소)	미국, 뉴올리언스, 뉴올리언스 모리얼 컨벤션센터(New Orleans Morial Convention Center)		
출발지	서울, 인천	도착지	미국, 뉴올리언스

2. 업무수행내용

가. 출장 배경 및 목적

- 2025년 12월 15일 - 12월 19일 미국 뉴올리언스에서 개최되는 'AGU2025 (American Geophysical Union)'는 매우 큰 규모의 지구물리학회로 대기과학, 지질학, 기상학, 천문학 등의 다양한 분야의 발표들이 진행된다. 학회에 참석하여 사업단의 연구 성과를 발표하고, 다양한 분야의 최신 연구 동향을 파악하고자 한다. 또한 관련 분야의 전문가들과 교류를 통해 새로운 지식을 습득하고, 수집한 유용한 기술 및 정보를 사업단 연구 계획에 반영하여 연구 성과를 보다 발전시키고자 한다.

나. 주요 업무 수행 사항

- KIM-LIS 기반 SMAP 위성 토양수분 해상도(36km vs 9km) 영향 분석
 - 통상적인 고해상도 자료의 이점(비균질성 반영)과 달리, SMAP 9km 산출물(S09)이 상세화(Downscaling) 과정에서 포함하게 되는 미세 변동성 및 노이즈가 모델 예측 성능에 미치는 영향을 규명하기 위해 36km 실험(S36)과 비교 검증 수행
 - 2023년 7월 실험 결과, S36은 전반적인 성능 향상을 보인 반면, S09는 고위도(북미 북부, 시베리아 등) 및 자료동화 경계 지역에서 성능 저하 확인
 - 9km 상세화 과정에서 증폭된 노이즈가 대표성 오차를 유발하여 분석장 안정도를 저하시킨 것으로 분석되었으며, 동결토 등 고위도 지역 산출물의 불확실성 또한 주요 원인으로 지목

- S36은 토양수분 증가가 현열 플럭스 증가로 이어져 대기 예측에 기여한 반면, S09는 잠열 플럭스를 억제하며 불안정성을 야기함
 - 9km 자료의 현업 도입을 위해서는 단순 해상도 증가보다 정교한 오차 모델링, 스케일링, 품질 관리(QC) 기술의 고도화가 선행되어야 함을 제시
- AI/ML 융합을 통한 지구과학 예측 기술의 패러다임 전환 확인
- 물리 기반 모델링의 한계 극복을 위한 AI 도입 추세 확인 (RIKEN 'Fugaku Next', NASA LIS 대리 모델 등)
 - AI 기술을 통해 연산 비용을 획기적으로 절감하면서도 물리 모델 수준의 정확도 확보 가능성 입증
- 3D 프린팅 기술을 활용한 저비용·고효율 관측망(3D-PAWS) 분석
- 3D 프린팅 자동 기상 관측소의 WMO Tier 2 기준 충족(온도 96% 정확도) 및 저비용(\$500) 구축 가능성 확인
 - 케냐 사례를 통해 저비용 관측 장비와 AI 예보 모델을 결합한 솔루션이 개도국 기상 인프라 문제의 실질적 대안임을 확인 및 벤치마킹 필요성 도출
- 차세대 레이더 위성 NISAR(2025.7. 발사) 정보 습득
- L-밴드/S-밴드 동시 활용을 통해 구름 및 식생 투과가 가능한 전천후 관측 위성으로 산악 적설당량(SWE) 및 농업 수문 모니터링 활용성 주목
 - 향후 제공될 고해상도 토양수분 자료의 연구 활용 가능성 확인
- 기후 변화에 따른 극한 현상 변화 분석
- 다중 시나리오 실험 결과, 평균 기온 상승과 함께 폭염 발생 빈도가 크게 증가하는 경향을 보였으며, 강수는 지역적으로 다르게 나타났으나 집중호우 강도가 증가하는 지역도 나타남
- 해양 열용량(OHC) 변화와 해빙 감소가 전지구 기후에 미치는 영향 분석 및 대기-해양-육상 구성 요소간 상호작용이 기후시스템에 미치는 영향 분석 연구
- 장기 기후 모의 결과 및 GRIMs-NEMO 결합모델 활용한 각각의 연구 결과, 두 발표에서 공통적으로 시사하는 내용은 아래와 같음
 - 해양이 대기 중 열의 상당 부분을 흡수하며 지표 기온 상승을 지연시키는 역할을 하고, 극지방에서는 해빙 감소로 인한 알베도 변화가 온난화를 유도하기도 하였으며, 고위도에서 그 효과가 크게 나타남

- 대기-화학 결합모델 기반, 대기 화학 과정이 기후시스템에 미치는 영향 분석
 - 에어로졸 및 화학 반응이 복사 강제력에 미치는 영향 평가 결과, 에어로졸은 지역별 지표 기온과 강수 패턴에 유의미한 영향을 줌
 - 산업 활동이 활발한 지역에서는 에어로졸 증가에 의한 냉각 효과가 나타났으며, 상대적으로 활발하지 않은 지역에서는 온실가스 증가 효과가 더 지배적으로 나타나, 기후 변화 영향 분석에서 대기 화학 과정 고려의 필요성을 제시

- OCO-2 위성 관측 자료를 기반으로 한 지표 탄소 플럭스 추정 및 역모델링 기법의 성능과 오차 평가
 - OCO-2 v11 MIP 자료를 여러 탄소 순환 모델과 비교하여 공간적·계절적 차이를 분석한 결과, 대규모 탄소 흡수 및 배출 패턴은 일관성 있게 재현하였으나, 열대 및 중위도 일부 지역에서는 모델 간 편차가 크게 나타남
 - 위성 기반 탄소 플럭스 추정의 강점과 약점을 동시에 제시하며 향후 탄소 순환 연구의 개선 방향을 제안함

- Bayesian Method를 활용한 온실가스 배출량의 불확실성 및 편향 개선 방안 제시
 - Bayesian Method는 관측 자료와 사전 정보(prior distribution)를 결합하여 새로운 정보를 추정하는 기법으로, 이를 활용해 지역 및 시설 단위의 배출량 분포를 산정할 뿐만 아니라, 관측이 어려운 배출원도 고려될 수 있도록 함
 - 기존에 과소 추정되던 배출량이 다수 식별되었으며, 숨은 배출원의 기여도를 정량적으로 평가하고 불확실성 범위를 함께 제시하며 배출량 추정 결과의 신뢰도를 확보하고 관련 정책 수립의 방향성을 제시

- CO₂ 농도 변화가 홍수 발생 규모와 빈도에 미치는 영향 분석 연구
 - CO₂ 농도를 산업화 이전 대비 단계적으로 증가시켜 강수량 및 홍수 규모를 통계적 홍수 지표와 회귀 모델을 이용하여 정량적으로 평가함. 이때, 관측의 한계를 보완하기 위해 여러 기후모델 결과를 활용함
 - CO₂ 증가에 따른 강수 반응은 지역별로 증가와 감소 패턴이 각기 다르게 나타나고 홍수 발생 계절성 또한 변화함. 특히, 북반구에서는 여름철 홍수의 비중이 감소하고 다른 계절의 비중이 증가하는 특징을 보임
 - 기후 변화에 따른 홍수 위험이 지역 특성과 대기 조성 변화의 복합적 결과임을 시사함

3. 출장성과·시사점 및 향후 업무 활용 계획

가. 출장성과·시사점

○ 김은규

- 학회 전반에서 공간 해상도 자체보다 '데이터 품질 관리(QC)'와 '물리적 대표성 오차 제어'가 모델 성능의 핵심임을 강조함에 따라, 본인 연구 결과(9km 노이즈 영향 규명)의 논리적 근거 확보
- 물리 과정 및 자료동화 영역의 AI 대체 가능성이 증대됨에 따라, 전 세계 연구 동향에 부합하는 인공지능 관련 지식 습득 및 역량 강화 필요

○ 선대현

- 기후 변화를 반영한 모델의 기후학적 입력자료 최신화가 예측 성능에 미치는 영향을 살펴본 연구 내용을 발표 및 모델 입력자료 개선과 관련되어 사업단에서 수행되고 있는 노력을 공유
- 토의를 통해 모델 해상도 증가 및 지역별 상세 분석 수행을 통해 극한 기상 현상에 대한 예측성을 기대해 볼 수 있을 것이라는 제안받음
- 토의를 통해, 모델 해상도 증가, 지역별 상세 분석 수행, 물리 과정과의 연관성 고려 등 여러 요소의 종합적인 분석 필요성을 제안받음

나. 향후 업무 활용 계획

○ 김은규

- SMAP 9km 자료동화 고도화: 모델 격자(8km)에 최적화된 스케일링 필터 적용 및 지표면 특성에 따른 자료동화 변화 연구를 통해 노이즈 제어 및 KIM 모델 성능 향상 추진
- 예측 성능 저하 원인 규명: S36 실험의 3일 이후 예측 성능 저하 원인을 파악하기 위해, 지표-대기 상호작용(PBL 교환 과정 등) 상세 분석 및 물리 과정 튜닝 수행
- 차세대 위성(NISAR) 활용 체계 구축: 구름 투과가 가능한 L-밴드 레이더 위성 활용에 대비하여, 산란 특성-토양수분 변환 알고리즘 선행 연구 및 KIM 모델 입력 인터페이스 구축 준비

○ 선대현

- CO₂ 증가에 의한 복사수지 변화 상세 분석: 성능평가뿐만 아니라 대기 반응, 물리과정 등 관련 요소들과의 종합적인 분석 추진, 학회 참여를 통해 수집한 분석 방법의 적용 가능성 파악
- 고해상도 실험에서의 영향 평가 및 지역별 상세 분석 계획수립: 추가 실험 세트 구성 및 실험 일정 조율, 해상도별 영향평가 수행에 활용 가능
- 보다 다양한 위성자료 조사 및 수집, 입력자료 구축 활용방안 모색