

국외 출장 결과보고서

결 재	담당자	팀장	실장	사업단장
	8월 28일 김원호	8월 29일 권용환	8월 29일 권인혁	8월 29일 박훈

1. 출장개요

출장목적	AOGS 2025 22 th Annual Meeting 참석 및 발표		
출장일정	2025. 7. 26.~2025. 8. 2. (7박 8일)		
성명		소속	직급(직위)
권용환		결합동화팀	책임급연구원
김원호		동화기법팀	원급연구원
방문기관 (또는 회의장소)	싱가포르, Sands Expo & Convention Centre		
출발지	서울(인천국제공항)	도착지	싱가포르

2. 업무수행내용

가. 출장 배경 및 목적

- 2025년 7월 27일부터 8월 1일까지 싱가포르에서 개최한 2025년 AOGS 22nd annual meeting은 지면관측, 지면 및 기상 자료동화, 기상 예측 등과 관련된 아시아 다양한 분야의 많은 전문가들이 참석하는 학회로서 연구성과의 공유 및 토의 뿐만 아니라, 해당분야 전문가들과 공동연구를 추진할 수 있는 중요한 장으로서 기능한다. 관련 전문가들의 조언을 통해 사업단 대기, 지면, 해양 결합 자료동화 체계의 성능을 더욱 개선하고, 새롭게 연구되고 있는 최신 자료동화 기술과 자료에 대한 정보를 습득함으로써, 사업단의 연구개발에 중요하게 활용하고자 한다.

나. 주요 업무 수행 사항

※ 학술회의에서의 연구개발성과 발표 내용, 최신 연구개발 기술동향 습득 내용, 외부 전문가와의 토의 내용 등 기술, 기관 방문 시 회의내용에 대한 기술

○ 권용환

- KIM의 대기 예측 성능 개선을 위한 KIM-LIS 기반의 대기-지면 약한결합 자료동화 체계의 최근 개발 현황을 공유함. KIM-LIS 기반의 토양수분 자료동화에 의한 대기 성능 개선 효과를 강화하기 위해서 현재 시도하고 있는 세 가지 전략은 1) 토양수분 자료의 편차 보정 방법 개선, 2) 다중 센서 토양수분 자료동화, 3) 토양수분-증발산 결합 강도 개선임. 이러한 최신 전략을 발표하고

토의함. 대기 예측 성능을 검증하기 위한 한참조 자료(즉, ECMWF IFS자료)의 신빙성에 대한 지적이 있었음.

- 위성기반 토양수분 자료의 gap-filling과 지면자료동화 적용을 위한 딥러닝 기반 dry-down 모델링 연구: 위성 궤도 한계, 센서 이상, radio frequency interference (RFI), 유도 알고리즘 오류 등에 의해서 발생하는 위성기반 토양수분 자료의 누락은 지면 자료동화에서의 활용성을 저하시킴. 이러한 문제를 극복하기 위한 방안으로 로딥러닝 기반의 토양수분 dry-down 모델링 프레임워크를 제안함. 이 연구는 위성 마이크로파 관측, 현장 관측, 기상자료 등을 이용하여 구축된 long short-term memory (LSTM) 모델을 이용하여 위성 기반 토양수분 자료를 보완함으로써, 모델링 및 자료동화 시스템에서의 자료 활용성을 증대시킬 수 있음을 보여줌.
- SWOT 기반의 하천유출량 자료동화 연구: SWOT은 높은 시공간 해상도로 하천 너비 정보를 제공함. 이 연구에서는 SWOT 자료가 기존의 Landsat 기반의 자료에 비해서 자료동화 체계에서 더 좋은 성능을 보이며, 두 개의 다른 자료를 함께 동화할 경우 시너지 효과를 나타내는 것을 확인함. 내륙의 큰 하천의 경우, 지면과 대기 사이의 에너지 및 물 순환에 크게 기여하기 때문에, 향후 사업단 결합모델 체계의 하천 및 저수지 모의 성능을 개선하기 위한 자료동화 체계를 구축하고, 그로 인한 대기 성능 개선을 연구할 필요가 있음.
- 토양수분 변화 예측과 자료동화 인자 민감도 분석을 위한 surrogate 모델 개발 연구: 현재 자료 동화 체계는 여러가지 가정(특히, 모델과 관측의 불확실성)을 전제로 구축되고 있음. 이러한 인자들에 의한 자료동화 체계의 민감도를 분석하고, 개선하기 위해서는 synthetic 실험이 유용함. 그러나, 전통적인 지면 모델은 매개변수의 보정이 쉽지 않고, 반복적인 수행을 위해서는 계산 소요가 크기 기때문에 실험에 이용하기 쉽지 않음. 이를 보완하기 위해서, 이 연구에서는 딥러닝 기반의 surrogate 모델을 구축하여, 관측오차와 모델 배경장 오차의 설정에 따른 자료동화 성능 영향을 여러 실험을 통해서 확인함.

o 김원호

- hybrid-4DEnVar 시스템에 새로운 recentering 기법을 적용하는 내용을 공유함. recentering이 앙상블 분산의 과소 추정을 완화하는 데 효과적임을 보였다는 논의가 있었고, LETKF 앙상블 분석 평균장이 4DEnVar의 분석장을 반영하도록 조정될 때 안정성과 신뢰도가 향상 됨. 다만, 사이클 시스템에서 앙상블 자료동화를 지속해서 수행하면 앙상블 스프레드가 줄어드는데 이를

해결하기 위한 여러 팽창기법도 같이 논의됨. 또한, 전구 모델 뿐만 아니라 지역 모델에서 recentering 기법을 적용할 수 있는지 확장 가능성에 대한 후속 연구 필요성도 제기됨.

3. 출장성과·시사점 및 향후 업무 활용 계획

가. 출장성과·시사점

○ 권용환

- 지면 수문 현상에 대한 위성관측, 모델링, 자료동화, 딥러닝/머신러닝과 관련된 최신 연구 동향을 확인하고 토의함으로써, 향후 사업단의 대기-지면 결합자료동화 체계 개선에 활용하기 위한 방안을 모색해 볼 수 있었다. 특히, 현재 사업단 지면자료동화 체계에서는 적용하고 있지 않은 하천 자료동화, 딥러닝 기법을 이용한 위성 자료 보강 자료동화 기법의 인자 민감도 분석 등에 정보는 사업단 지면 자료동화 체계를 개선하기 위한 방안 연구에 유용할 것으로 판단된다.

○ 김원호

- hybrid-4DEnVar 시스템의 recentering 기법에 대한 연구와 머신러닝을 이용한 위성의 bias correction 기법, 태풍 경로 예측에서의 배경오차 공분산 localization 기법 분석 등 다양한 분야에서 최신 연구 동향을 파악하고 토의하였다. 해외 연구진으로 부터 다양한 실험적 접근과 후속 연구 방향에 대한 피드백을 확보하고 연구의 확장 가능성을 토의할 수 있었다. 특히, recentering 기법은 국제적 수준의 동화 기법 개발에 있어서 여전히 좋은 효과에 기여할 수 있음 을 알았고, recentering 적용 범위와 빈도를 최적화하는 추가 연구가 필요하다고 하였다. 이는 추가 실험 및 민감도 분석등을 통하여 사업단 앙상블 자료동화 시스템의 고도화에 유용하게 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

나. 향후 업무 활용 계획

○ 권용환

- 딥러닝기반 토양수분 자료 gap-filling 방법을 적용함으로써 토양수분 자료의 양과 질을 개선하여, 전 지구 지면 자료동화와 KIM 대기 예측 성능을 향상 시킬 방안을 모색할 계획이다. 또한, 결합모델 내에서 하천 모델의 성능에 따른 대기 예측 성능의 민감도를 확인하고, 자료동화를 통한 하천 모델 분석장 개선이 KIM 성능 개선에 기여하는 정도를 평가해 보고자 한다.

○ 김원호

- 전문가들과의 토의를 통해 추가 민감도 실험 및 설정을 통해 recentering 기법의 앙상블 안정성과

분석 신뢰를 높일 예정이다. 또한 머신러닝을 이용한 bias correction의 기법을 자료동화 전처리에 적용하여 관측과 모델 간 오차를 줄임으로써 분석 증분이 줄어들어 자료동화의 안정성 및 균형을 맞출 수 있을 것으로 기대한다. 태풍과 같은 극한 현상에서 배경오차 공분산의 localization 기법을 적용하여 경로 예측의 정밀성을 개선할 수 있을 것으로 기대한다. 이러한 시도는 전지구 및 지역 모델 예보 시스템에 적용 가능성을 지니며, 향후 고도화에 중요한 기여를 할 것으로 기대한다.