

국외 출장 결과보고서

결	담당자	사업단장
	9월 17일	9월 18일
재	권인혁	박훈

1. 출장개요

출장목적	International Symposium on Data Assimilation (ISDA) 2026		
출장일정	2026. 8. 30.~2026. 9. 5. (6박 7일)		
성명	소속	직급(직위)	
권인혁	자료동화실	책임급연구원(실장)	
방문기관 (또는 회의장소)	Nanjing University International Conference Center, Nanjing, China		
출발지	인천	도착지	Nanjing, China

2. 업무수행내용

가. 출장 배경 및 목적

- 2026년 개최된 제12회 국제 자료동화 심포지움(International Symposium on Data Assimilation, ISDA 2026)은 세계기상기구(WMO)가 주관하는 제8회 WMO 자료동화 심포지움(The 8th WMO Symposium on Data Assimilation)과 공동 개최되어, 전 세계 자료동화 및 수치예보 전문가들이 참여한 국제 학술행사임
- 본 심포지움에서는 위성·레이더·GNSS 등 다양한 관측 자료의 활용과 품질관리, 결합자료동화, 고해상도·초단기 자료동화, 비선형·비가우시안 자료동화, AI·ML 기반 자료동화 및 진단기법 등 자료동화 분야의 최신 연구성과와 운영 적용 사례가 폭넓게 발표됨
- 출장자는 「Towards AI-assisted Observation Impact Diagnostics in Data Assimilation」을 주제로 발표하여, AI를 활용한 관측영향 진단 방법의 연구 방향과 가능성을 소개하고 관련 분야 전문가들과 기술적 논의를 수행함. 또한 ECMWF 등 주요 수치예보 연구기관의 자료동화 및 AI 관련 연구성과를 파악하고, KIAPS 자료동화 기술의 향후 개발 방향에 활용할 수 있는 최신 기술 동향을 조사함
- 또한, 사업단 성과의 홍보를 위해서 「Next-generation NWP modeling: Status and Plans for the Korean Integrated Model (KIM)」이라는 제목의 포스터 발표를 통해 성과의 우수성을 해외 연구진에 알렸음

나. 주요 업무 수행 사항

- 발표를 통해 AI 기반 관측영향 진단 연구를 소개하고, 관측영향 진단의 물리적 해석 가능성, 기존 FSOI/EFSOI와의 일관성 및 검증 방법 등에 대해 참석자들과 기술적 의견을 교환함
- 자료동화 방법론, 관측자료 활용, AI·ML 기반 자료동화, 고해상도 자료동화, 지구시스템 결합자료 동화 등 주요 세션에 참석하여 최신 연구성과를 조사하고, KIAPS 자료동화 시스템과의 연계 가능성을 검토함
- AI·ML 기술이 기존의 자료 전처리 및 품질관리뿐만 아니라 관측연산자, 배경오차공분산, 모델오차, 자료동화 알고리즘 및 관측영향 진단 등 자료동화의 핵심 구성요소로 확대 적용되고 있음을 확인함. 특히 직접관측예측(AI-DOP), 잠재공간 자료동화, 미분가능 자료동화, 생성형 AI 및 확산모형 기반 비가우시안 자료동화 등 AI와 자료동화의 융합을 위한 다양한 접근법을 조사함
- 레이더 관측을 활용한 수분 단위 또는 분 단위 자료동화, 1 km 이하의 고해상도 자료동화, 대규모 앙상블 및 효율적인 병렬화 기법 등 고해상도·초단기 예측을 위한 자료동화 기술의 개발 현황을 파악하고 KIM-LAM 자료동화 개발과의 연계 가능성을 검토함
- 대기-해양-해빙-육면체계의 결합자료동화 및 재분석 시스템 구축 사례를 조사하여, KIM의 지구 시스템 자료동화 체계 발전 방향과 관련된 기술적 시사점을 도출함

다. 기타

- 사업단 성과의 홍보를 위해 추가로 포스터를 제작하여 전체 학회기간 동안 게시하고, 과학자들에게 성과를 알리고 토의하였음. 여러 연구진들이 관심을 가지고 방문하였으며, 특히 대류규모 자료동화에 대한 질의와 기대를 받았음.

3. 출장성과·시사점 및 향후 업무 활용 계획

가. 출장성과·시사점

- AI와 자료동화의 융합 확대
 - AI·ML 기술이 관측자료 품질관리 및 전처리 단계에서 나아가 관측연산자, 배경오차공분산, 모델 오차, 자료동화 알고리즘 및 관측영향 진단 등 자료동화 전 과정으로 적용 범위가 확대되고 있음을 확인함
 - 특히 AI-DOP, 잠재공간 자료동화, 미분가능 자료동화 및 생성형 AI 기반 자료동화 등 AI를 자료 동화 시스템의 핵심 구성요소로 활용하려는 연구가 활발히 진행되고 있음
- 비선형·비가우시안 자료동화 방법의 발전
 - 확산모형, score-based particle flow, measure transport 등 기존의 가우시안 가정과 선형화에

대한 의존성을 줄이기 위한 새로운 자료동화 방법이 다양하게 연구되고 있음을 확인함

- 강수·구름·레이더 반사도 등 비가우시안 특성이 강한 관측 및 분석변수에 대한 자료동화 성능 개선이 주요 연구 주제로 다루어지고 있음

○ 고해상도·초단기 자료동화 기술의 중요성 확대

- 레이더 등 고빈도 관측 자료를 수분 단위로 동화하고, 1 km 이하의 고해상도 수치예측모델에 적용하기 위한 자료동화 기술 및 계산 효율화 연구가 활발히 진행되고 있음
- 이는 향후 1 km급 KIM-LAM 및 고해상도 악기상 예측체계 구축을 위한 자료동화 기술 개발과 직접적으로 연계할 수 있는 분야임

○ 결합자료동화 및 지구시스템 자료동화로의 확대

- 대기뿐만 아니라 육지·해양·해빙을 포함한 지구시스템의 상태를 함께 고려하는 결합자료동화가 연구단계를 넘어 운영 및 재분석 시스템에도 적용되고 있음을 확인함
- 장기적으로 KIM의 결합예측체계 발전과 함께 대기-지면 및 대기-해양-해빙 자료동화의 일관성 있는 연계가 중요할 것으로 판단됨

○ 관측자료의 지속적인 중요성 확인

- AI 기반 예측 및 자료동화 기술이 확대되고 있음에도 위성·레이더·GNSS 등 다양한 관측 자료의 품질관리, 편향보정, 관측오차모형 및 관측영향 평가가 여전히 자료동화 성능을 좌우하는 핵심 요소로 다루어지고 있음을 확인함
- 따라서 AI 기술의 도입과 함께 관측자료 자체의 품질 및 자료동화 활용성 향상을 병행할 필요가 있음

나. 향후 업무 활용 계획

- 심포지움에서 확인한 AI·ML 기반 자료동화 및 진단 기술 동향을 바탕으로 KIAPS 자료동화 시스템의 AI 활용 분야를 구체화하고, 기존 자료동화 체계와의 연계 가능성을 검토할 계획임
- 특히 AI 기반 관측영향 진단 연구는 기존 FSOI/EFOSI의 계산비용 및 적용 범위 측면의 한계를 보완할 수 있는 방향으로 발전시키고, 다양한 관측종 및 고해상도 자료동화 환경에서의 적용 가능성을 단계적으로 검증할 계획임
- 전문가들과의 기술 논의를 통해 확보한 의견을 반영하여 AI 기반 관측영향 진단 알고리즘의 설계 및 검증 방법을 보완하고, 기존 FSOI/EFOSI와의 비교를 통해 물리적 일관성과 진단 결과의 신뢰성을 검토할 계획임
- 또한 AI 기반 배경오차공분산 및 자료동화 가중치 조정, 비가우시안 자료동화, 고해상도 레이더 자료동화 등 국제적으로 연구가 확대되고 있는 분야에 대한 후속 검토를 수행하여 향후 자료동화

기술개발 과제 및 연구로드맵 수립에 활용할 계획임

- 심포지움에서 파악한 최신 연구성과와 기술적 시사점을 사업단 내 연구진과 공유하고, 향후 KIM 전지구 및 KIM-LAM 자료동화 체계의 개발 방향과 AI 기술 접목을 위한 연구기획에 반영할 계획임