

국외 출장 결과보고서

결	담당자	실장	사업단장
	11월 26일	12월 1일	12월 1일
재	오테진	김정한	박 훈

1. 출장개요

출장목적	Working Group on Numerical Experimentation (WGNE) 40th Annual Meetings 참석		
출장일정	2025. 11. 2. ~2025. 11. 8. (6박 7일)		
성명		소속	직급(직위)
오테진		자료응용팀	책임급연구원(팀장)
방문기관 (또는 회의장소)	중국 베이징 중국기상청(CMA) 지구시스템 모델링예측 센터(CEMC)		
출발지	인천	도착지	중국 베이징

2. 업무수행내용

가. 출장 배경 및 목적

o Working Group on Numerical Experimentation (WGNE)는 세계기상기구(WMO)와 세계기후연구프로그램(World Climate Research Programme, WCRP) 산하의 국제 협력 그룹으로, 기상 예측과 기후 연구를 위한 지구 시스템 모델의 개발을 촉진한다. WGNE의 주요 임무는 모델의 체계적 오류 진단, 해결 방안 모색, 그리고 날씨·기후·수자원·환경 예측 분야의 국제적 협력을 통해 모델 정확성을 높이는 데 있으며, 특히 최근 들어서는 인공지능(AI) 기반 기술을 통합한 모델 혁신을 강조한다. 차세대수치예보모델개발사업단은 2024년 WGNE 회원으로 가입하여 2028년까지 활동하며, 후속 상설 기관에서는 AI를 활용한 수치예보 모델 개발을 중점으로 할 예정이므로 WGNE를 통해 각 회원국의 AI 관련 연구동향을 파악하기에 적합하다. WGNE 연례회의는 모델 개발의 체계적 오류 분석과 최신 기술 공유를 목적으로 매년 열리며, 올해 WGNE 40은 중국 베이징에서 개최되어 인공지능 기반 수치예보 등 첨단 주제를 다루었다. 사업단의 첫 대면 참석으로서, 이번 회의를 통해 AI 통합 모델의 글로벌 추세를 관찰하고, 사업단의 AI 연구 방향을 강화하며, 국제 네트워크를 확대하여 장기적인 모델 개발 협력을 모색하였다.

나. 주요 업무 수행 사항

o 11월 3일 - 7일 1주일간 WGNE Meeting 참석 및 토의. 미팅 아젠다는 다음과 같음.

o 월요일 (11월 3일): 개최식, 주최측 환영 및 미팅 전반에 대한 소개

- CMA 환영식 (Baogui Bi, Jiandong Gong)
- ESMO 활동 소개 (Fanny Adloff)
- Research Board 활동 보고 (Ariane Frassoni)
- WGNE 연혁 소개 (Ariane Frassoni, Tim Graham)
- 전 의장단 Lightning talks (Christian Jakob, Nils Wedi, Keith Williams)
- WIPPS 업데이트 보고 (David Richardson)
- GAW 업데이트 보고 (Sara Basart)
- WWRP 업데이트 보고 (Shipra Jain)

o 화요일 (11월 4일): 센터별 업데이트 및 WGNE / 파트너 활동 사항 공유

- NCEP 센터 업데이트 (Fanglin Yang)
- ECCO 센터 업데이트 (Ron McTaggart-Cowan)
- CMA 센터 업데이트 (Xingliang Li)
- IITM 센터 업데이트 (Ankur Srivastava)
- CSIR 센터 업데이트 (Jacob Mohau Mateyisi)
- UK Met Office 센터 업데이트 (Tim Graham)
- Meteo-France 센터 업데이트 (Romain Roehrig)
- ECMWF 센터 업데이트 (Inna Polichtchouk)
- DWD 센터 업데이트 (Martin Kohler)
- NSF NCAR 센터 업데이트 (Peter Lauritzen)
- KIAPS 센터 업데이트 (이은희 실장)
- JMA 센터 업데이트 (Masashi Ujiie)
- INPE 센터 업데이트 (Ariane Frassoni)
- WGNE 테이블 논의 (Martin Kohler)
- 앙상블 예측성 업데이트 (Tim Graham)
- WGNE Blue Book 소개 (Fanny Adloff)
- 편향 보정(Bias Correction) 리뷰 (Inna Polichtchouk)
- 모델 불확실성 모델 상호비교 프로젝트 (Hannah Christensen)
- GLASS/GEWEX 업데이트 (Volker Wulfmeyer)
- UK Met Office 고해상도 모델링 (Richard Jones)

o 수요일 (11월 5일): WGNE / 파트너 활동 사항 공유

- JWGFVR 활동 및 남미 지역 검증 파일럿 프로젝트 (Ramon de Elia)
- 해양 초기화 프로젝트 (Baylor Fox-Kemper)
- 지구 시스템 모델 물리-역학 결합 및 에너지 수지 (Peter Lauritzen, Romain Roehrig)
- HPC/엑사스케일 컴퓨팅 업데이트 (Sarat Sreepathi)
- EW4All 설문조사 (Ariane Frassoni)
- GASS/GEWEX 업데이트 (Shaocheng Xie)
- 태풍 검증 및 초기화 개요 (Masashi Ujiie)
- WCRP Digital Earths Lighthouse Activity (DE-LHA) 업데이트 (Andrew Gettelman)
- 단체 자금성 투어

o 목요일 (11월 6일): 인공지능, 고해상도, 물리 모수화 및 CMA 연구 상황 공유

- ECMWF AI/ML (Inna Polichtchouk)
- ACE2 업데이트 (Oliver Watt-Meyer)
- WP-MIP 업데이트 (Ron McTaggart-Cowan)
- AI 검증 관련 JWGFVR 워크숍 요약 (Barbara Casati)
- AI Research Board 태스크 팀 (Catherine de Burgh-Day)
- NCEP AI/ML (Fanglin Yang)
- UK Met Office AI/ML (Tim Graham)
- IITM AI/ML (Ankur Srivastava)
- DWD AI/M (Martin Kohler)
- JMA 고해상도 모델링 (Masashi Ujiie)
- IITM 고해상도 모델링 (Ankur Srivastava)
- Meteo-France AI/ML (Corentin Seznec)
- Meteo-France 고해상도 모델링 (Sylvie Malardel)
- ECMWF 고해상도 모델링 (Benoit Vanniere)
- CMA 재분석장 생산 진행상황: CRA-40에서 CMA-RA2 Suite까지 (Lipeng Jiang)
- km 규모 해양 대순환 모델 개발 (Hailong Liu)
- C-Coupler3: 지구 시스템 모델링을 위한 통합 결합 인프라 (Li Liu)
- 자료 동화를 위한 AI: 진행상황 및 전망 (Wei Han)

o 금요일 (11월 7일): 폐회식

- 제8차 WMO 몬순 국제 워크숍 요약
- 신규 프로젝트 및 활동 아이디어 검토
- 조치 목록(Actions list) 검토
- 계통 오차(Systematic Error) 워크숍 계획

3. 출장성과·시사점 및 향후 업무 활용 계획

가. 출장성과·시사점

o 사업단 성과 홍보 및 글로벌 기술 동향 파악

- WGNE 전문가 회원들을 대상으로 사업단의 인공지능 연구개발 현황을 홍보하였으며, 전 세계 선진 기관들이 기상/기후 예측성 개선을 위해 인공지능을 어떻게 활용하고 실질적인 성과를 내고 있는지 파악함.

o WGNE 회의의 성격 파악 및 네트워크 구축

- 사업단은 작년부터 WGNE 회원국으로 활동 중이나, 금번 회의를 통해 처음으로 대면 참석함. 본 회의는 수치 모델링과 다양한 시간 규모의 수치 모의실험 전반에 대해 심도 있는 기술적 논의가 이루어지는 자리임. 각국 모델 개발 현황을 개략적으로 공유하는 심포지엄과 달리, WGNE는 1주일에 걸쳐 상세한 기술적 방법론을 논의하는 특징이 있음. 특히 금번 회의에서는 인공지능을 활용한 모델 개발 현황이 집중적으로 논의되어 관련 기술 동향을 파악하는 데 큰 도움이 됨.

o 수치 모델링 기술 이슈 교류

- 수치 모델의 예측 성능 개선을 위한 기술적 난제들이 해외 기관들과 유사함을 확인하고 해결 방안을 공유함.
- (UKMO) 국지성 호우(point storm) 문제를 해결하기 위해 대류 과정에 "Fountain Buster" 스킴을 도입함.
- (JMA) km 스케일 모델링 발표에서 연직 수송 계산 시 Reynolds 항에 Leonard 항을 추가하여 국지성 호우 문제 해결 및 강수 예측 성능을 향상함.
- (ECMWF) 2.8km 해상도에서도 정역학 체계가 대부분 유효하며 계산 비용 절감 효과가 큼을 발표함. 또한 고해상도 모의 시 지형 필터링 적용, 심층 대류 과정의 유입(entrainment) 증가, 아격자 산악 항력 조정이 유효함을 밝혀, 향후 사업단의 고해상도 모의실험 시 참고 가능성이 높음.

o AI 기반 예측 성능 개선 기술 동향

- 인공지능 활용 연구는 크게 1. 자료동화 내 편향보정, 2. 예보 온라인 편향보정, 3. 적응형 파라미터 튜닝, 4. 스펙트럴 넛징(Spectral Nudging)으로 분류됨.
- 주요 기관(ECCC, CMA, ECMWF, Meteo France, UKMO) 대부분이 스펙트럴 넛징을 활용하여 예측성을 개선하고 있음을 확인함.
- 프랑스(Meteo France)의 경우 예측 초반에는 성능이 다소 저하되나 예측 시간이 길어질수록 성능이 개선되는 경향을 보였으며, 산악 지역에서의 성능 하락에 대해서는 추가 연구가 필요한 것으로 분석됨.
- 중국(CMA)은 완전 AI 기반 자료동화 시스템(FuXi-DA)과 예측 시스템(FuXi-Weather)을 결합한 End-to-End 시스템을 개발하여 ECMWF HRES와 대등한 수준의 성능을 확보하는 등 AI 기술력이 급격히 발전했음을 확인함.

o HPC 및 프로그래밍 방법론:

- GPU 활용을 위한 방법론으로 C++ 기반(Kokkos), 포트란 및 디렉티브 기반(OpenACC/OpenMP), DSL 등이 논의됨. 미국 에너지부(DOE)의 E3SM 모델은 Kokkos를 적용하여 엑사스케일 시스템에서 우수한 병렬 확장성을 입증함.
- IO 라이브러리 성능: 입출력(IO) 성능 비교 실험 결과, ADIOS가 PnetCDF 대비 우수한 성능을 보이는 것으로 나타남.

나. 향후 업무 활용 계획

- o 회의를 통해 수집된 AI 기반 모델 개발 사례와 최신 동향을 사업단 전체회의를 통해 공유하였으며, 주요 발표 자료를 내부망 wiki 시스템에 등재하여 연구원들이 상시 참고할 수 있도록 조치함.
- o WGNE에서 논의된 각국의 AI 연구 업데이트 및 WP-MIP 관련 사항을 분석하여 차세대 수치예보 시스템의 AI 통합 전략에 반영할 예정임. 특히 AI/ML Research Board Task Force의 논의 내용을 바탕으로 후속 사업단의 하이브리드 모델 개발 방향성을 정립하는 데 활용하고자 함.