

국외 출장 결과보고서

결	담당자	사업단장
	12월 5일	12월 10일
재	이은희	박훈

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)	
이은희	수치모델실	책임급연구원(실장)	
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(World Meteorological Organization, WMO) 내의 활동그룹으로 전 세계기상기후 예측 모델의 발전과 평가에 대한 전문 그룹이다. WGNE는 기상 및 기후 모델의 정확성과 신뢰성을 향상시키기 위해 다양한 연구, 평가 및 표준화를 추진하며 국제 협력을 통해 최신 기술과 방법론을 공유하고 발전시키는 역할을 한다. 차세대사업단은 2024년 신규 회원으로 승인(수치모델실 이은희 책임연구원)되어 2024년 8월 ~ 2028년 7월까지 4년간 회원으로 활동하게 되었다.
- o WGNE의 연례회의는 매년 연말에 개최되어, 각 기관의 개발 성과와 계획을 공유하고, 관련 분야의 주요 주제에 대한 토의, 공동 연구 등 연구활동에 대한 논의 및 계획을 수립한다. 올해는 WGNE40으로 중국 베이징 소재 기상연구소에서 주관한다. 이번 회의가 사업단으로서는 첫 번째 대면참석으로, 본 WGNE40 회의 참석을 통해 WGNE의 주 활동내용과 활용에 대해서 파악할 기회가 되었다. 한편 전세계 우수기관의 회원들에게 사업단의 개발 현황을 공유하고 성과를 홍보하고자 하였으며, 전세계 현업 기관 및 수치모델 관련 연구 활동과 최신 연구 성과에 대한 정보를 수집하고자 하였다. 또한 워킹 그룹 내의 주요 현안에 대하여 토의하고, 진행중인 다양한 활동에 대한 정보를 수집함으로써 향후 활발한 국제 연구교류의 발판으로 삼고자 하였다.

나. 주요 업무 수행 사항

o 11월 3일 - 7일 1주일간 WGNE Meeting 참석 및 토의

< 아래 주요 프로그램 >

- 월요일 (11월 3일): 개회식, WGNE 소개와 WMO 연계 프로그램 요약 보고
(ESMO, WMO Research Board, WGNE history, WGNE reports, WIPPS, GAW, WWRP)
- 화요일 (11월 4일): 센터별 업데이트 및 WGNE / 파트너 활동 사항 공유
센터: NCEP, ECCC, CMA, IITM, CSIR, UKMO, Meteo-France, ECMWF, DWD, NCAR, KIAPS, JMA, INPE
기본활동: WGNE 테이블, 양상블 예측성, WGNE blue book
핵심이슈: 고해상도 모델링, 편향 보정, 모델 불확실성 상호비교 프로젝트
- 수요일 (11월 5일): WGNE / 파트너 활동 사항 공유
- 목요일 (11월 6일): 인공지능, 고해상도, 물리 모수화 및 CMA 연구 상황 공유
- 금요일 (11월 7일): 신규 프로젝트, 국제워크숍 계획 및 일정 논의, 조치목록 토의

o 사업단 모델 개발 현황 발표(화요일 center update 세션)

- 2025년 당해연도의 주요 업데이트를 소개하는 세션이나, 우선 사업단의 개발 히스토리를 지난 한국형모델 개발과 함께 배경설명하였고, 2024년도에 완료한 8km 모델 현업화에 대한 리뷰, 그리고 올해 진행되고 있는 가변격자 및 제한지역모델 개발 현황 및 시험운영결과, 물리과정과 역학과정의 개선 연구, 그리고 사업단 결합모델의 완성 및 최적화 결과들을 공유하였다. 짧은 시간 안에 많은 개발이 진행되었다는 평가와 함께 결합모델의 성능 개선의 주된 요소에 대한 질문을 받았으며, 향후 계획 등에 논의하였다.

o WGNE 활동 및 협력활동 정보 수집

- WGNE는 지구시스템모델의 개발 및 개선을 위한 전세계 회원국의 조정 역할이며 기상과 기후 구분은 없고, AI 모델까지 포함하고자 하고 있다. 각 국의 개발은 기상에보를 수행하는 현업기관이 주도하고 있으므로 자연스럽게 현업 업데이트 현황 공유는 기본 활동이다. 24년도에는 WGNE에 한국(KIAPS), 중국, 인도 등 신규 국가 회원이 포함되었고, 향후 신규 회원 오픈의 계획은 미정이나 WMO가 회원국 지역 간의 균형 등을 고려하고 있음을 알게되었다. KIAPS에서는 모델 개발의 최신 정보를 습득할 수 있을 뿐만 아니라 각 기술의 구체적 정보까지 알수 있는 유익한 활동임에 분명하나, 국내의 다양한 연구 그룹으로의 확장 그리고 현업센터(기상청)의 정보 전달 등의 역할도 같이 수행해야 할 것으로 보인다.

o 다양한 협력 활동에 대한 정보 수집

- MUMIP (모델 불확실성), GLASS/GEWEX (지면 연구), High RES (DYAMOND, 고해상도 모델링), JWGFVR + SA Verf (pilot project) (검증) 등의 활동에 대한 정보를 수집하였다. 그 중 WMO의 표준검증지역이 아닌(ECMWF의 검증연구에서도 제외됨) SA 지역의 검증을 해보는 pilot project 결과에서는 각 지역의 특수한 상황을 고려한 검증 목표가 설정되어 있음을 알 수 있었으며, 이에 따라 지상바람(wind gust), 극한기상에 대한 모니터링 및 검증이 핵심 사안이었다. 이러한 것은 향후 사업단의 극한 기상 검증에 활용해 볼 수 있을 것이다. GASS/GEWEX의 경우 대기의 물리과정과 지면 교환과 대기 역학으로의 연결(coupling)을 이해함으로써 기상 기후에 대한 이해와 예측을 향상하려는 목적으로 진행되어 왔다. 주된 활동으로 위와 관련한 관측, 과정 연구, 모델의 활용 프로젝트 코디네이션(DCP, LS4P) 새로운 관측 캠페인(예: ORCESTR, 2024~), 위성기반자료(예: EarthCARE) 소개, AI/ML 기술 소개, 모델 연구 등을 포함하고 있다. 사업단의 지면모델 개발 수준을 고려해볼 때 향후 공동연구에 참여해볼 수 있을 것으로 생각된다.

o TC verification 결과 공유

- JMA에서 장기간에 걸쳐 태풍성능 비교를 수행해오고 있으며, 이번에도 2024년 case로 성능비교 하였다. 주요 사례에 대한 성능 검증을 수행한 후 큰 경로오차를 보인 산산 사례에 대해 집중 분석을 하였다. 추가분석 결과 두 개의 이니셜 타임에 대해서 큰 오차를 보이는 현상에 집중하였는데, 첫번째의 경우 후지와라 효과 관련성이 있으며 초기화 등으로 개선할 수 있다고 보았고. 두 번째 오차 요인인 빠른 전향에 대해서는 중위도 제트의 영향이 있을 것으로 판단하였다. 장기간 경로 오차 감소 경향에 대해서 자료동화 효과 강조하였으며, 강도오차에 대해서는 모델 개선 등이 영향을 많이 줄 수 있음을 토의하였다.

o AI/ML 개발 현황, HPC 및 프로그래밍

- 인공지능 활용 연구를 크게 자료동화 내 편향보정 예보, 온라인 편향보정, 적응형 파라미터 튜닝 스펙트럴, Spectral Nudging(스펙트럴 넷징)으로 분류하였고, ECCC, CMA, ECMWF, Meteo France, UKMO 등 주요 기관 대부분이 스펙트럴 넷징을 활용하여 예측성을 개선하고 있음을 확인하였다. 적용 결과로 개선되는 성능 향상의 정도는 각국의 물리모델 연구의 수년 또는 수십년 성과를 능가하는 것이라고 평가하였다. 중국(CMA)은 AI 기반 자료동화 시스템(FuXi-DA)과 예측 시스템(FuXi-Weather)을 결합한 End-to-End 시스템을 개발하였음을 보고하였고, AI 기술력이 급격히 발전했음을 확인할 수 있었다. 사업단의 운영체계실 오태진 연구원과 동행하여 관련 논의를 수행할 수 있었으며 GPU 활용 방안, IO 라이브러리 성능 등에 대한 정보를 수집하였다.

o WP-MIP, JWGFVR 활동 보고

- WP-MIP은 기존의 모델 비교연구 DIMOSIC을 AI 모델로 비교대상을 확장하였으며, 대부분의 현업/연구센터가 참여하고 있고, 자료의 수집이 거의 완료되었다. JWGFVR에서는 Special issue in Forecast Verification Research (Meteorological Application, ~2025)를 소개하였으며, 지난 달 있었던 VerAIops workshop (VerAI)의 주요 결과를 소개하였다. 기본적으로 AI모델들도 표준 검증을 수행해야 하는 것에 동의하고 있으며 특히 규모 분리 검증을 수행할 필요가 있음을 제시하였다. 한편 WP-MIP의 비교 결과로부터 AI 모델들에 대한 검증 방향에 대한 새로운 시각을 가질 수 있을 것으로 보인다. Extreme event 검증에 대한 제언으로, 트레이닝 데이터 확보, 극한검증지수를 소개하고 현업검증에도 기본검증이 되어야 할 것으로 제안하고 있다.

o 고해상도 모델링

- Km-resolution 개발에서는 공통으로 convection 방안의 처리, 아격자 산악 과정, 경계층 과정 등에 대하여 최적화하고 있다. JMA의 경우 vertical transport를 고려함으로서 Km 모델링에서 나타나는 grid point storm 문제를 해결하려고 하였다. 타 기관에서도 CPS 방안을 여전히 사용하고 있는 이유는 격자강수의 조직화가 완전하지 않기 때문인 것으로 보인다. 일부 결과에서는 TODP의 효과를 MCS 강수모의 개선으로 확인하고 있었다. 따라서 사업단의 아격자 산악 개선의 결과가 악기상 모의 개선으로 나타날 수 있을지 확인해볼 필요가 있을 것이다.

o 그 외 국제학회, 재분석 자료 등

- CMIP community workshop March 2025 (일본 교토), Pan-GLASS 2026, WGNE systematic error workshop in 2027 등이 예정이다. ERA6 예상일정이 공유되었다. CAMS2.0의 계획(40km, 137L, 1h 간격, 개선된 성층권 모델, 대기모델 2026-2028 기간에 생산)이 공유되었다. 독일은 ICON Dream(Global 6 km, 2010-2025, a service is planned for 2026, 2km Regional Reanalysis)을 계획하고 있다.

o 그 외 활동 논의

- WGNE Table update에 AI model을 포함하는 것, High resolution reanalysis - half day workshop으로 공유해보는 의견, AI WIPPS guideline 계획, DCMIP을 WGNE과 조인하는 것, MJ0 Task Force의 활동 상황에 대한 의문 등을 공유하였다.

3. 출장성과·시사점 및 향후 업무 활용 계획

가. 출장성과·시사점

- 수치모델링 각 분야의 최신 연구 동향을 파악하고, 각 현업 기관의 개발 성과와 향후 계획에 대한 교류를 통해 사업단 모델개발 연구의 방향 설정에 실질적인 도움을 얻을 수 있었다. 특히 극한기상 예측을 위한 고해상도 모델링과 인공지능 활용 예측은 당해연도 WGNE40에서 각각 별도 세션을 할당하여 집중 토의되었으며, 이는 사업단의 후속 연구 계획(2027-2031)의 구체화하는데 많은 도움이 될 것으로 생각된다. 그 외 AI 및 하이브리드 모델 그리고 NWP 모델의 성능 비교 연구인 WP-MIP (Model Inter-comparison Project for Weather Prediction)의 진행 상황과 초기 결과를 공유받고, 성능 비교 결과에 대해 토의함으로써 예측성능 개선방향 수립을 기대할 수 있다. 또한 예측모델 성능평가를 위한 검증의 표준화 및 새로운 방법론에 대한 다양한 정보를 수집하여 사업단 개발에 활용하고자 한다. 그 외 WGNE의 주요 활동에 대해 파악하고자 하며, 향후 국제협력 강화의 기회로 삼을 수 있다.

나. 향후 업무 활용 계획

- WGNE 활동에 대하여 구체적으로 파악하였으며, 향후 지속적으로 활동을 유지하고 최신 모델 개발 기술에 대하여 교류할 예정이다. 이를 계기로 국내 수치모델 개발 활동의 거점으로서의 역할도 도모해 볼 수 있을 것이다. 활동 그룹의 주요 워크샵이나 공동 연구에 대한 정보들을 바탕으로 사업단의 연구를 확장해 볼 수 있는 여지가 있을지 검토해 볼 예정이다.
- 각국의 연구개발 동향은 사업단의 향후 개발과 일치하고 있다. 본 회의 참석을 통해서 얻은 정보들을 신규 R&D 계획의 주된 방향인 AI 모델 개발, 극한기상 예측향상의 계획 구체화에 활용할 것이다.
- 각국의 고해상도 모델링의 경험들은 사업단의 연구개발 요소와 일치하는 부분이 많으며, 대류, 아격자산악, 경계층 등 아격자 물리과정의 처리에 대해서 참고할 수 있을 것으로 보인다.
- 태풍 검증 활동, WP-MIP 활동에서 사업단 모델의 성능을 타 기관 모델과 비교할 수 있으며 리딩 그룹의 경험으로부터 개선의 방향에 대한 실질적인 조언을 얻을 수 있을 것으로 보인다. 향후 현업 모델의 성능 개선으로 환류할 수 있도록 할 예정이다.