

국외 출장 결과보고서

결	담당자	실장	사업단장
	5월 9일	5월 11일	5월 11일
재	남현	박래설	이우진

1. 출장개요

출장목적	EGU General Assembly 2023 참석 및 발표		
출장일정	2023. 4. 23.~2023. 4. 30. (6박 8일)		
성명		소속	직급(직위)
남현		모델역학팀	책임급연구원
박자린		모델역학팀	선임급연구원
방문기관 (또는 회의장소)	오스트리아 센터 비엔나		
출발지	인천	도착지	비엔나

2. 업무수행내용

가. 출장 배경 및 목적

- 2023년 4월 23일 ~ 4월 28일에 오스트리아 비엔나에서 개최되는 EGU General Assembly 2023에 참석을 통해 KIM에서의 양성-보존 리미터 적용 및 수치적 개선 효과 분석, KIM 고해상도 모델 성능 예측 평가 결과 등 사업단의 연구성과를 공유하고자 한다. 또한, 각국의 전문가들과 연구 교류를 통해 최신 기술 동향을 파악하고 유용한 의견들을 수집하여 사업단에 환류함으로써 사업단의 연구 계획에 활용하고자 한다.

나. 주요 업무 수행 사항

- Apply a positivity-preserving limiter of spectral elements method to KIM (남현 연구원 포스터 발표)
 - 분광요소법 기반의 KIM에 양성-보존 리미터를 적용하여 얻어지는 수치적 개선 효과 소개
 - 기존에 적용 된 리미터(부호-보존 리미터) 및 양성-보존 리미터를 소개하고 KIM에 적용했을 때 얻어지는 수치적 결과들을 이상실험 및 실제사례 실험들을 통해 비교 분석
 - 이상실험을 통해 불필요한 잡음 제거 및 질량의 증가 등 수치적 결과들 분석
 - 물리 과정을 고려한 실제사례 실험의 결과들을 통해 누적 강수량 및 비습 등의 수치적 결과 및 개선 효과 등 소개
 - 타 전문가들은 tracer 수송 방정식에 준라그랑지안 기법 적용을 추천받았으며 분광요소법에서의 잡음

(음수) 제거 및 질량 보존에 대한 지속적 연구가 필요함을 강조함

o Effects of increasing horizontal and vertical resolution in Korean Integrated Model (KIM) (박자린 연구원 포스터 발표)

- KIM의 수평(8km) 및 연직(137층) 고해상도 중기 성능 결과와 해상도 증가에 따른 모델 변화에 대한 분석 결과 발표
- 해상도 증가는 적도지역의 대류권 하부 및 대류권계면 부근 온도를 감소시키는데, 이는 현재 KIM의 물리과정 내에 dt , dx , dz 에 대한 의존성이 있는 것으로 보여짐
- 본 연구 결과에 대해 타 전문가들은 고해상도에 대한 물리과정의 최적화의 필요성 언급
- 물리과정 중 복사나 구름 미세물리 과정 외에도 GWD와 같은 중력과 물리과정에서도 격자간격에 대한 민감도가 있을 것이며, 이것이 간접적으로 온도변화에 영향을 줄 수 있다는 조언을 받음

o Advancing Operational Modeling Systems at NOAA's Environmental Modeling Center: Transitioning to Unified Forecast System Applications

- NOAA's Environmental Modeling Center (EMC; 환경 모델링 센터)에서는 진보된 operational 모델링 시스템으로 Unified Forecast System (UFS), 대기-해양-해빙-파동-에어로졸-지면이 결합된 지구모델링 시스템 개발을 진행 중이며 수 시간에서부터 계절 예측에 활용
- 결합 모델: FV3GFS-WW3, FV3GFS-CHEM, ADCRIC-WW3-NWM, DATM-MOM6-CICE6, FV3HAFS-HYCOM
- 향후 5년(2023-2027)간 모든 모델이 결합된 UFS 지구 시스템을 개발할 계획: FV3(Atmosphere)-MOM6(Ocean)-CICE6(Sealce)-WW3(Waves)-NOAH-MP(Land)-GOCART(Aerosols)

o Prototyping Convection-Permitting Global Weather Forecast and the Representation of Aerosol-Cloud-Radiation interaction in the NOAA Unified Forecast System

- Global medium-range weather forecasting을 위해 convection-permitting 해상도에서 UFS 모의 가능성을 실험한 연구결과 발표
- 대류모수화의 유무에 따른 민감도 실험 수행: 3km 와 13km 모의 결과를 비교하여 강수와 구름-복사 상호 관계에 미치는 영향에 대해 살펴봄
- 에어로졸 간접 효과: 에어로졸이 구름 내에서 구름 응축핵 및 얼음핵으로 작용하여 구름 복사의 특성과 구름 수명을 변경시킬 때 발생. 이러한 에어로졸 간접 효과 유무에 따른 강수와 구름-복사 상호관계 실험 진행

o A feature based perspective on upscale error growth

- 대기의 예측성은 초기의 소규모, 소진폭 오차의 증가에 의해 근본적으로 제한 됨. 그 중에서도 upscale 오차 증가 분석은 비국소적인 스펙트럴 분석에 기반. 그러나 오차 증가를 분석하기 위해서는 국소적 분석이 바람직함

- 본 발표에서는 스펙트럴 분석에 대한 보완적인 접근 방식을 도입하여 국소적 영역에서 연구 진행: 독일 기상청의 글로벌 예측 모델 ICON을 사용하여 potential vorticity (PV) 오차와 대류권계면 근처에서의 오차 고려
- 오차는 3단계 접근 방법에 따라 먼저 잠열 방출의 차이에 의해 작은 규모에서 생성. 다음 상부 대류권의 발산 유출의 관련 차이에 의해 대류권계면 지역에 투영. 최종적으로 비선형 Rossby 파동 역학에 의해 증폭됨을 확인
- o Recent progress and outlook for the ECMWF Integrated Forecasting System
 - ECMWF에서의 IFS 주요 개발 현황 및 공식적인 업그레이드 소개와 계획 발표
 - 2021년에는 2번의 공식 업데이트가 진행됨: 앙상블 시스템의 연직 해상도 업데이트(91층→137층)와 모델 물리과정의 변화(boundary layer turbulence, new deep convection closure, cloud microphysics; IFS Cycle 47r3) 업데이트
 - 2022년에는 ECMWF 고성능 컴퓨팅(HPC) 시설이 영국 레딩에서 이탈리아 볼로냐에 있는 새로운 데이터 센터로 이전
 - 2023년 업데이트 계획: 앙상블모델의 수평 해상도 업데이트(IFS Cycle 48r1 on 13so June 2023). 현재 HRES와 같은 해상도를 가지도록 18km에서 9km로 높일 예정이며, 앙상블 수를 100개의 멤버로 확장할 계획
- o Docker container in DWD's Seamless INtegrated FOrecasiNg sYsten (SINFONY)
 - DWD에서 SINFONY 프로젝트: 최대 12시간의 예측 범위로 대류 규모 예측을 위한 완벽한 앙상블 예측 시스템 개발
 - seamless 방법으로 NWC(Nowcast) 기술과 NWP(Numerical Weather Prediction)을 결합. 두 인프라 사이의 데이터 전송을 하는데 있어서 이러한 분리는 SINFONY를 느리고 복잡하게 함
 - 이를 해결하기 위해 SINFONY의 상호 연결된 부분을 Docker Container를 사용하여 하나의 단일 아키텍처에 적용
- o Earth Works
 - 미국 NSF의 지원으로 NCAR와 협력하여 진행되는 "EarthWorks" 프로젝트 소개
 - 이 프로젝트는 날씨 및 기후 응용 프로그램에 필요한 구름 허용 및 해양 와류 허용 해상도에서 실행할 수 있는 Community Earth System Model을(CESM) 기반으로 고해상도 결합 모델 개발
 - 프로젝트 목표: 2025년까지 전구적으로 3.75km 해상도에서 대기, 해양, 지면에 대해 잘 작동하도록 만드는 것
 - 다양한 시공간 규모에 대해 날씨 및 기후 현상에 대한 예측이 잘 모의될 수 있도록 모수화를 향상시키고 해상도에 따른 전구 강수와 전구 대류 강수 비교를 통한 물리과정 개선 등에 노력을 기울임
 - 3.75km 및 100km 해상도에서 모두 잘 작동하도록 개선 된 매개 변수를 개발하고 저해상도 버전의 모델

을 사용하여 centry-scale의 기후 변화를 연구하고자 함

o An integrated coupling framework for Atmospheric dynamics and physics

- FV3 역학코어 기반의 GFDL(Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) 기상-계절 예측 시스템인 SHiELD(System for High-resolution prediction on Earth-to-Local Domains)의 새로운 역학-물리 커플링 기법 소개
- 열역학적인 과정을 더 고려하고 역학과정과의 상호작용을 더 향상시키기 위해, 순차적으로 분리하여 계산하였던 방법을 역학과정내 각 물리과정을 고려하여 계산
- 이는 예측 성능, 강수 예측 오차, 태풍에서의 구름 구조 등 상당한 개선을 가짐
- 그러나, 더 비싼 계산 비용 요구

o EURO1k: A high-resolution European weather model developed by Meteomatics

- 대류운이나 국지 바람 패턴과 같은 작은 규모의 기상현상을 예측하는데 있어 전구 모델의 한계와 지역모델이 가지는 경계조건에 대한 의존성을 극복하고자, 1km의 해상도의 지역모델 개발
- EURO1k는 유럽 전지역과 북 아프리카 영역에 대한 1km 해상도와 80개의 연직층으로 구축. 24개의 앙상블로 운영
- 모델은 WRF를 기반으로 개발 & 경계조건은 ECMWF-IFS를 사용

o ECMWF-OpenIFS Climate Sensitivity to Horizontal Resolution and Time Step

- 수평 해상도 및 시간 간격에 대한 ECMWF-OpenIFS 기후모델의 민감도 조사
- 고정된 적분 시간 간격(15분)에서의 수평해상도(100,50,25km)에 대한 민감도 및 수평해상도 100km에서의 적분 시간 간격(60,30,15분)에 대한 민감도 조사
- 25km 수평 해상도에서 남반구 해양 지역에 대한 동서바람 오차가 상당히 감소하였고, 북반구 중위도 서풍제트에 있어서도 상당한 개선을 보임
- 파동 속도나 파동 진폭에 있어서는 모델 시간 간격이 줄어들거나, 수평 해상도가 증가할 때 바이어스가 감소. 가장 높은 수평 해상도(25km) 시뮬레이션의 개선은 항상 된 수평 해상도와 더 짧은 시간 간격의 조합임이 분명
- 지표 동서 바람 바이어스는 15분+100km 모의에서 가장 개선됨을 보임. 이는 더 짧은 시간 간격의 사용으로 인한 shallow convection의 강화로 인한 것임
- 해상도가 높고 시간 간격이 더 작을 때 표면 공기 온도가 개선됨을 발견. 그러나 강수 바이어스는 모델의 수평 해상도나 시간 간격에 의존하지 않음
- openIFS 모의 시 coarse 해상도에서 시간 간격을 줄임으로서 아열대 적도 영역의 surface-wind 바이어스를 줄일 수 있음을 제안

o Implementation of the Novel Duo-Grid Within the GFDL FV3 Dynamical Core

- 육면체구 격자에서의 새로운 격자 처리 방법 소개
- GFDL의 FV3역학코어에서 발생하는 육면체구 격자의 grid imprinting 문제를 개선하기 위하여 새로운 모서리/코너 처리 방법 제시
- duo-grid 방법을 확장하여 staggered 변수의 HALO 업데이트 지원
- 라그랑지안 다항식 보간법을 사용하여 육면체구의 한쪽면의 코너 영역을 처리하는 새로운 알고리즘을 제시하였고, 이는 수치 해에서 나타나는 grid imprinting을 상당히 제거 가능함
- shallow water 실험의 결과에서 새로운 HALO 업데이트 방법은 가장자리/모서리에서 수치적 잡음을 줄일 수 있음을 보여줌
- 이 개선 사항은 기후모델과 같은 coarse 격자 모델에 특히 유용

o Storm-and eddy-resolving simulations with IFS-FESOM/NEMO at the kilometre scale

- 유럽에서의 전구 결합모델에 대한 연구 소개
- 차세대 지구 모델링 시스템(nextGEMS) 프로젝트를 위해 NEMO와 FESOM2 해양-해빙 모델과 결합된 IFS에 대한 모의 결과 소개
- 프로젝트의 목표는 소용돌이와 폭풍을 해결하는 글로벌 결합 지구 시스템 모델의 차세대 구축
- Cycle1은 초기 폭풍 해결 결합 시뮬레이션 세트에서 IFS는 75일 동안 진행
- Cycle2의 경우 IFS는 9km 해상도에서 기본적으로 실행되었으며, 최대 1년의 시뮬레이션 동안 4.4km 및 2.8km 전역 공간 해상도에서 실행
- 다양한 형태의 Cycle을 통해 결합모델의 성능 및 개선을 보임

o Facilitating the development of complex models with the Common Community Physics Package and its Single-Column Model

- Common community physics package(CCPP): 대기 물리 매개변수 패키지
- 지구 시스템 모델에서 물리 모수화의 연구 및 개발을 촉진하고 NOAA의 연구 및 현업 모델에서 사용하기 위한 목적으로 개발
- NEPTUNE, CESM 등에서 활용
- 오픈 소스 코드로 개발되어 광범위하게 사용되고 업데이트 되고 있으며, 이를 위한 공개 문서, 사용자 개발자를 위한 워크숍 등이 예정

o Towards a Performance-Portable Finite-Volume Dynamical Core for Numerical Weather Prediction

- ECMWF에서는 NWP를 위한 유한체적법 기반 비정역학 역학코어의 파이썬 구현에 대한 지속적인 개발이 진행 중
- global moist baroclinic wave 실험을 통해 계산 효율 향상의 가능성을 보임

- Coupling simple dry physics to a dynamically adaptive global atmosphere model
 - 적응형 전지구 순환모델(Adaptive Global circulation model; GCM)은 지정된 수치 허용 오차를 보장하거나 관심 있는 기능을 추적하기 위해 국소적 격자 해상도를 동적으로 조정함으로써 기후 시뮬레이션의 계산 효율성과 정확성을 크게 향상
 - 이러한 모델의 강점과 약점을 조사하기 위해 WAVETRISK(adaptive wavelet hydrostatic dynamical core) 및 WAVETRISK OCEAN을 개발. 이를 물리와 적절하게 결합하고자 함
 - 현재는 물리적 부분에 대해서 국소적 해상도 기반으로 필요에 따라 매개 변수화를 조정. SCALE-AWARE 물리 매개변수화는 앞으로 해결해야 할 부분
 - 해당 발표에서는 간단한 건조 물리에 대한 일련의 테스트 사례에 대한 초기 결과만을 발표

3. 출장성과 · 시사점 및 향후 업무 활용 계획

가. 출장성과 · 시사점

- EGU 2023에서는 미국 및 유럽의 기상청 및 연구소에서 현재 진행하고 있는 프로젝트를 소개하는 발표들이 있었고, 기관 대부분에서 초단기부터 연장중기에 이르는 시간 규모와 대기뿐만 아니라 해양, 해빙 등을 고려한 지구 시스템 개발에 주력하고 있음을 알 수 있었다. 그중에서도 다양한 컴포넌트들을 포함한 지구 모델링 (결합) 시스템을 개발하는 연구가 활발히 진행 중이며, 현재 사업단의 연구 개발 방향과 이러한 연구 동향이 부합함을 확인하였다.
- 초단기부터 연장중기에 이르는 시간 규모에 대한 모의가 가능하도록 계산 효율성을 높이기 위한 새로운 시도들도 이루어지고 있었으며, 대상으로 하는 시공간 규모에 적합한 설정으로 모델을 구축하고자 하는 노력이 있었다.
- 지구 모델링 시스템으로서 고해상도의 결과를 얻기 위해 적응형 격자 체계 또한 지속적으로 연구되고 있음을 확인하였으며, 고해상도에서의 계산 효율 개선을 위한 수치해의 계산 방법뿐만 아니라 프레임 워크 구조에 대한 시도들도 계속되고 있다.

나. 향후 업무 활용 계획

- 타 기관들의 지구 모델링 시스템 개발 성과 및 계획을 향후 사업단에서 결합 모델 및 앙상블 관련한 프레임 설계와 운용에 활용할 수 있다.
- 고해상도에 따른 효과에 대한 분석과 관련한 다양한 연구들의 연구 방법 및 연구 결과들을 비추어볼 때, 고해상도 모델 개발에 있어서 물리 과정에 대한 이해력을 더 높일 필요가 있다.
- 유한체적법 기반 FV3 역학코어 관련 연구 결과들을 KIM의 분광요소 기반의 비정역학 역학코어에 적절히 적용하는 부분에 관해서 관련 연구에 대한 추가 조사 및 활용 가능 여부를 파악할 계획이다.