

국외 출장 결과보고서

결	담당자	실장	사업단장
	10월 14일	10월 14일	10월 14일
재	조희제	김정한	박훈

1. 출장개요

출장목적	EMS 2025 Annual Meeting 참석 및 발표		
출장일정	2025. 9. 6.~2025. 9. 14. (6박 9일)		
성명		소속	직급(직위)
조희제		모델체계팀	선임급연구원(팀장)
방문기관 (또는 회의장소)	슬로베니아 류블리아나, Cankarjev dom		
출발지	서울(인천국제공항)	도착지	슬로베니아, 류블리아나

2. 업무수행내용

가. 출장 배경 및 목적

- o EMS (European Meteorological Society) Annual Meeting은 매년 9월에 개최되는 유럽 기상학회이다. 기상-기후 모델링을 다루는 세부 세션이 항상 다수 열리고 있으며 예보 시스템의 운영 및 기상학의 공동체 내 역할에 관한 논의를 비중 있게 다루기 위해 Engagement with Society, Operational Systems and Applications, Understanding Weather & Climate Processes 세 개의 주제로 묶어서 세션을 편성하고 있다. 학회 참여를 통해 학계 및 현업 기관들의 최신 동향을 파악하고자 한다. 또한 사업단에서 개발하고 있는 차세대 초단기 모델의 개발 현황을 소개하고 피드백을 얻고자 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
- o 예보/경보 시스템 관련
 - 독일기상청: KONRAD3D nowcasting 시스템과 NWP 예보를 혼합하는 SINFONY 프로젝트에 대한 진행사항을 보고하였음, 레이더 자료의 신경망 기반 nowcasting 시스템을 가지고 있으며 현재 1.5시간 정도의 lead time에서 crossover가 있음, hail을 2-moment 구름미세물리과정으로 모의하고 이를 LEFKF 시스템에 넣어서 직접 동화하는 노력을 진행 중이며 독일 입장에서도 계산 부담이 큰 작업임, 직접 개발한 radar 연산자를 활용하여 프로젝트를 진행

- MeteoSwiss: 알프스 지역 2-km 해상도의 data-driven 예보 산출물 생산
- DWD/MPI: Digital Twin 관련, 전구 4.4 km 해상도의 10개 멤버 앙상블의 정확도를 보고하였으며, diffusion method를 통해 해상도간 비교 수행
- Barcelona Supercomputing Center: generative model 이용한 계절예측 연구, 적도 부근에서 눈에 띄게 skill 저하됨, 영역 masking 실험을 통해 원격상관 연구 진행
- ECMWF (Jonathan Day): Land surface seasonal forecast에서의 land-atmosphere coupling 관련 연구, Dry regime에서 wet regime으로 넘어가는 중간 상태의 영역에서 더 dry한 곳보다 coupling이 강하고, Over-coupling이 예보 quality 저하에 영향, 동부 미국, 동부 유럽, 북인도 등 soil-moisture-limited regime가 아니라 실제로는 energy-limited (wet) regime임에도 불구하고 dry하게 모의하는 곳이 많은데, 경우는 초기장/DA로 해결하려는 노력을 보고함
- Etienne Dunn-Sigouin (Norway): sub-seasonal prediction에서 Accuracy vs. precision 관련 발표, 실제로 필요한/유의미한 것보다 더 고해상도의 정보가 주어지는 경우가 있고, Neighbourhood method에서 하는 것처럼 forecast 정보를 유의미한 level까지 가져올 수 있을 것

o AI 패널 토론

- ECMWF: direct observation prediction 생각하고 있음, 협업 및 컨소시엄 활성화가 AI revolution의 중요한 측면임
- WMO: 기상 agency의 역할은 유용한 자료에 접근할 수 있도록 service하는 것, AI 시대라고 크게 다르지 않을 것
- UK: global medium range forecast가 시급한 문제인지, 이를 위한 고해상도 재분석인 필요한지에 대한 의문을 제기, 위험/극한 기상 및 재해 관련 application의 개발에 더 중점을 주어야 한다고 주장
- Swiss: AI 예보는 해상도를 높이고 앙상블을 늘리기에 압도적으로 효율적
- Ireland: AI 기술을 통해 자료의 품질은 당연히 좋아질 것이고, 방대한 정보 속에서 정책 결정 입장에 유용한 정보를 제공할 수 있는 서비스를 갖추는 것이 중요

o 개방형 데이터 관련

- EUMETNET의 RODEO 프로젝트: EU가 후원, PSI directive를 계승, MeteoGate는 2026 1월부터 현업 예정
- ECMWF open data programme: 2020년부터 단계적으로 시행 중, IFS와 AIFS 결과 포함, 충분히 기관에 이득이 되는 것을 입증하지 못하면 결국 예산입장에서 유지불가능함을 시사

- MeteoSwiss: 2026년 말에 free & open 포맷으로 배포, 인터페이스를 구성할 때 기상학 지식 및 자료처리 수준에 따라 사용자를 범주화하여 (novice/power user/expert) 서비스의 형식을 고민
- EUMETNET: E-AI Data Working group 성과 보고

o 인공지능 관련

- ANEMOI 프레임워크: 예보모델 생산이 궁극적 목적, Command-line interface를 기본으로 개발, 경량의 unit test를 구성, Anemoi를 활용해서 AICON 13-km 개발, 31-5.5 km stretched 격자 활용
- Austria: ANEMOI 활용, graph 기반 모델로 지역 예보모델 구성, Local 2.5 km reanalysis와 ERA5 사용하여 학습
- Tobias Selz (LMU Munich): AI 모델의 "Effective resolution"에 관한 발표, 학습할 때 kinetic energy의 손실을 loss function에 포함

o 구름 및 복사 관련

- Digital Twin의 hydrology-precipitation 산출물: Gauge 관측, 모델 결과, 위성 자료를 low-latency로 수집/merge하여 1 km 해상도 daily 산출물 생산
- CMSAF: SARA-H-3 (5 km), HANNA (1 km), CLARA 자료의 업데이트 현황 소개
- Martin Wild: 10개 재분석 이용한 복사수지 점검, 청천 단파 흡수는 CMIP generation에 따라 점점 커지고, Net budget도 서로 다르며 cooling하는 경향성이 있음, 각각의 component로 나누어 보면 산출물 간 spread가 매우 큼
- C3SAR: Cloud 3d effect 연구, 실제 구름을 재구성하여 TOA 및 surface 관측과 비교하고 CRE의 regime/scale 의존성을 identify, EarthCare profile과도 비교
- 50 m 해상도의 LES 실험을 통한 구름3D효과의 잠재적 효과를 진단

3. 출장성과 · 시사점 및 향후 업무 활용 계획

가. 출장성과 · 시사점

- o 패널토의, 기조발표 등이 모두 AI 예보 관련된 주제로 구성되었고, AI 주제의 세션이 아니더라도 다양한 세션에서 관련 연구들을 찾아볼 수 있을만큼 예보 및 기상 연구에서 AI의 비중이 높아진 것을 실감할 수 있었다. ECMWF의 open source AI 프레임워크 ANEMOI는 배포한지 얼마되지 않았음에도 불구하고 다양한 응용분야들에서 성과를 내고 있다. 이는 EUMETNET의 자료 배포 프로그램과 결합하여 학계 및 일반의 참여를 더욱 쉽게하고 있다. 이와 더불어 독일의 ICON 모델,

특히 지역버전은 유럽각국의 고해상도 예보 및 관련 예보/경보 산출물 생산에 참여하는 비중이 더욱 높아졌다. 특히 독일의 SINFONY 프로젝트에서 역학예보와 인공지능 산출물을 혼합하여 정보를 생산하는 방식은 설계 및 개발에 관한

- o "Challenges in Weather and Climate Modelling: from model development via verification to operational perspectives" 세션에서 "Toward Operational High-Resolution Forecasting: First Application of a Spectral Element Limited-Area Model"라는 제목의 발표를 하였고, 연구 목적의 지역모델 개발을 위해서 매우 안정적인 configuration에서 출발하여 점진적으로 조건들을 relax하는 방식이 필요하다는 조언을 얻었다.

나. 향후 업무 활용 계획

- o KIM 지역모델 및 KIM 범용모델을 개발 과정에서 AI 예보에서의 활용성을 충분히 고려해야 함을 재차 확인하였다. 특히 범용모델을 개발할 때 KIM 자료의 배포에 대한 고려가 필요하며, 고해상도 지역모델을 개발 과정에서 고해상도 관측자료의 장점을 충분히 살릴 수 있는 자료동화 과정을 포함하여 고해상도 지역 재분석장을 생산하게 된다면 모델 및 자료의 경쟁력이 동시에 높아질 수 있을 것으로 생각한다.

(재) 차 세 대 수 치 예 보 모 델 개 발 사 업 단