

국외 출장 결과보고서

결	담당자	팀장	실장	사업단장
	12월 13일	12월 18일	12월 20일	12월 20일
재	홍자영	설경희	권인혁	이우진

1. 출장개요

출장목적	ECMWF Training course: Predictability and ensemble forecast systems 참석		
출장일정	2023. 11. 26. ~ 2023. 12. 3. (6박 8일)		
성명	소속	직급(직위)	
설경희	결과진단팀	책임급연구원(팀장)	
홍자영	결과진단팀	선임급연구원	
방문기관 (또는 회의장소)	유럽중기예보센터 (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts; ECMWF)		
출발지	대한민국 인천	도착지	영국 레딩

2. 업무수행내용

가. 출장 배경 및 목적

- o ECMWF의 Training Course 중 하나인 Predictability and ensemble forecast systems는 중기 및 연장중기 앙상블예측시스템 개발에 있어서 세계 최선두를 달리고 있는 ECMWF에서 직접 전수하는 연수 과정으로 앙상블 예측시스템은 기본적으로 많은 계산 자원과 자료저장 공간이 요구되어 개인 연구만으로 습득할 수 없는 전문적이고 방대한 연구 정보를 Training course 아래에서 전문가의 교습을 통해 습득할 수 있어 매우 유용하다. 해당 교육과정에서는 카오스와 예측성 한계에 관한 이론적 배경부터 모델 초기자료와 모델 자체의 불확실성을 고려하는 앙상블 방법, 연장중기 시간규모의 예측성에 중대한 영향을 미치는 해양, 해빙, 성층권 및 지면 관련 연구, 그리고 확률예측시스템의 초기화, 모델링 및 평가와 검증까지 앙상블예측시스템의 전반적인 영역을 다룬다. 이를 통해 습득한 내용은 사업단에서 구축 중인 중기 및 연장중기 앙상블예측시스템의 설계, 운영, 앙상블 멤버 구성 방법, 모델 내 불확실성 표현 방법, 확률 예측 체계 구축, 앙상블 예측 검증체계 구축 등 광범위한 범위로 적극 적용 및 활용하고자 한다.

나. 주요 업무 수행 사항

- o 강의 참석 (11월 27일~12월 01일)
 - 11월 27일(월): 교육에 대한 소개 및 참가자 자기소개를 통해 교육 기간 동안 누구와 어떤

주제를 토의할 수 있을지에 대한 대략적인 정보를 얻을 수 있었다. 이후, ECMWF 중기 및 연장중기 앙상블예측시스템 전반에 대한 소개, 카오스와 예측성에 대한 이론적인 고찰, 초기자료의 불확실성을 표현하기 위한 방법, 모델 예측 오차의 근본적인 원인을 밝히고 모델 성능을 평가하기 위해 열대파동(wave)과 원격상관 등 현상에 기반한 진단 사례 소개까지 총 4개의 강의를 있었고, 이후 실습에 필요한 컴퓨터 세팅도 수행했다. 전체 포스터 발표자들의 내용 구두 소개 이후 한 시간가량 포스터 발표 세션이 진행되었다.

- 11월 28일(화): 둘째 날은 연장중기 및 계절 시간 규모의 예측에 큰 영향을 미치는 해빙, 해양, 지면 과정이 왜 중요한지, 대기와 상호작용하여 예측성에 어떤 역할을 하는지 등을 주제로 해빙-대기 변동성, 해양-대기 변동성, 지면-대기 변동성에 대한 세 개의 강의와 특별히 MJO와 ENSO를 특화한 두 개의 강의를 진행되었고, 포스터 세션이 한 번 더 진행되었다.
- 11월 29일(수): 이음새 없는 예측을 위해 결합모델을 초기화할 때 고려해야 할 점을 해양 초기화 방법을 예로 설명한 강의, 모델 불확실성을 표현하는 방법으로 ECMWF에서 개발 및 사용 중인 물리과정 변화 추계섭동방법(SPPT, Stochastically Perturbed Parametrization Tendencies))과 물리과정 모수화 추계섭동(SPP, Stochastically Perturbed Parametrizations) 방법에 대한 개발과정 및 효과에 대한 강의, 기본적인 앙상블 검증(1) 강의, 연장중기 예측성 향상을 위한 중위도 로쓰비 파동 분석과 앙상블의 flow-dependent 예측 성능 향상을 위한 진단 소개, 그리고, 연장 중기 및 장기 예측시스템에 대한 소개 강의를 진행되었다.
- 11월 30일(목): 앙상블 평균장과 앙상블 예측의 통계적 검증에 활용되는 다양한 검증지수 및 방법에 대한 강의, 중기 앙상블 예보의 약점을 보완하기 위해 사용되는 다양한 모델 자료 후처리 및 보정 방법 소개, 연장중기 앙상블 예보에 weather regime를 활용하여 예측시스템을 검증/진단하는 과정 소개하는 강의를 진행되었다.
- 12월 01일(금): 2017년에 현업화된 ECMWF 계절예측시스템인 SEA5의 예측성능을 이전 시스템과 비교하여 검증하고 해양모델 수평해상도 증가에 따른 영향, Nino3.4, NAO, AO 등의 기후 모드 모의 성능 평가 등을 소개하였고, 마지막으로 ECMWF에서 진행하고 있는 기계학습 기반 앙상블 후처리 과정 연구에 대한 강의를 진행되었다.

o 포스터 발표 (11월 27일~28일, 월~화)

- 교육 첫째 날(11월 27일, 월)과 둘째 날(11월 28일, 화)의 포스터 세션에서 “Extended-medium-range reforecasts with the Korean Integrated Model (KIM): skill assessment of an early version for weekly prediction”이라는 제목으로 사업단의 현재 연장중기 재예측 시스템으로 생산된 자료의 특징과 향후 계획을 소개하였고, 포스터에 관심을 보인 사람들과 더 자세히 얘기를 나누었다.

○ 토론 (11월 29일, 수)

- 교육에 참석한 수강생들을 5개 그룹으로 나누어(한국인 참석자들은 같은 그룹에 소속되지 않음) 그룹별로 '수치모델의 미래(10년 후) 개발 및 발전 방향'에 대해 자유로운 토의를 진행, 다양한 아이디어를 공유하였고, 논의된 내용은 교육 마지막 날 그룹별 대표자에 의해 전체적으로 소개되었다.

○ 실습 수행 (11월 30일, 목)

- 1995년에 교육을 위해 개발된 모델인 Lorenz-96 모델 (40개 앙상블 멤버)을 이용하여 앙상블 멤버수, 초기 조건의 정확도, 모델 불확실성 고려 여부에 따른 민감도 실험을 수행하고, 강의에서 배운 앙상블 검증지수를 이용하여 성능을 비교, 그 영향을 평가하였다. 또한, 현재 사업단에서 수행하고 있는 앙상블 개발 과제 중 추계섭동 기법 관련하여 강사 중 1인인 Sarah-Jane Lock 박사에게 기법의 구체적인 적용 방법 및 개발 방법에 대한 자문을 구하였다.

3. 출장성과·시사점 및 향후 업무 활용 계획

가. 출장성과·시사점

○ 설경희

- 앙상블 예측의 근간이 되는 예측 불확실성에 대해 이론부터 현업으로 운영되는 중기 및 연장중기 결합 앙상블예측시스템까지 전반적인 내용을 배움으로써 사업단에서 구축해야 할 앙상블예측시스템의 참고자료로 지속적으로 활용할 수 있을 것이다. 또한, 예측시스템의 개선을 위한 진단이 단순히 검증 지수만을 비교하는 것이 아닌 물리 현상에 기반하여 예측시스템 구성 성분(대기, 해빙, 해양, 지면)이 예측성에 미치는 영향을 분석하여 각각의 현상을 개선하기 위한 진단이 되어야 하며, 그 예로 열대지역 파동이나 기후 모드 등을 활용하는 연구 등을 배울 수 있었다.

○ 홍자영

- 대기를 예측하기 위해 필수적으로 인지해야 할 특성인 카오스 이론과 나비효과 등에 대한 개념을 다시 한번 배울 수 있었으며, 연장중기 예측성을 평가하는 지표 중 하나인 MJO(Madden-Julian Oscillation)의 특징과 모델로 모의된 MJO를 분석하기 위해 고려해야 할 해상도나 대류 모수화 등에 대한 정보를 습득하였다. 그리고 모델 불확실성을 표현하는 방법인 SPPT의 수평규모, 시간규모, 표준편차를 다르게 설정하였을 때 나타나는 섭동의 크기를 확인하였으며, ECMWF에서 차후 SPPT를 대신할 SPP의 특징에 대해 알 수 있었다.

ECMWF에서 운영 중인 연장기 및 장기 예측 시스템의 최신 운영 형태와 계획 등 연구 동향을 파악할 수 있었으며, 이 정보들을 활용하여 향후 연구 계획 수립에 반영할 예정이다.

나. 향후 업무 활용 계획

○ 앙상블 멤버수 및 해상도에 따른 민감도

- 사업단에서 2022년에 LETKF stand-alone 기반으로 앙상블 멤버수에 따른 중기 예측성을 평가한 적이 있다. 이번 출장시 Met Office의 Charlotte Wynn 연구원이 우리의 실험과 유사하게 UM 모델을 활용하여 10km 해상도에서의 멤버수 실험 결과를 단기 예측성으로 포스터 발표한 결과를 보고, 두 실험을 확대하면 좋을 것으로 판단하였다. 향후 KIM 기반 연장중기 재예측 시스템을 활용하여 앙상블 멤버수 및 해상도에 따른 민감도 실험을 수행하여 연장중기 시스템에 적절한 멤버수와 해상도를 확인할 수 있을 것으로 기대한다.

○ 모델 불확실성 민감도

- ECMWF에서 수행한 SPPT 민감도 실험 결과에서 영감을 받아 현재 KIM에 ECMWF와 동일한 모수(시간 및 수평장 규모, 표준편차)를 적용하여 민감도를 평가하고자 한다. 2021년과 2022년에 수행하였던 SPPT 민감도 실험에서는 앙상블 예측일이 10일(중기)이었지만, 향후엔 앙상블 멤버수를 축소하고 예측일을 연장중기로 확대하고자 한다. SPPT가 해상도에 민감하지 않다는 조언(Sarah-Jane Lock 박사, ECMWF 모델 불확실성 담당자)을 받았기에 이전과 동일하게 저해상도로 수행할 예정이다.
- 현재 사업단에서는 SPPT의 시공간규모를 하나의 값으로 고정하여 사용하고 있으나 ECMWF에서 사용하고 있는 개선된 방안인 SPPT3 (3개의 시공간 규모를 가지는 추계섭동 사용)을 KIM 모델에도 적용, 각 물리과정별 반응을 살펴보고 KIM 물리과정에 적합한 시공간 규모를 선정할 수 있을 것으로 기대한다.
- 추계섭동은 모델의 불확실성을 표현하고자 하는 것으로 앙상블 모델의 스프레드를 크게 하는 것으로 표현된다. 이번 교육 실습 과정에서 추계섭동의 영향이 초기장(분석장)의 정확도에 따라 달라질 수 있음(스프레드의 차이가 거의 없음)을 확인하였다. 사업단에서 수행한 연구에서 추계섭동의 영향이 작은 것의 원인이 이와 관련될 수 있으므로, 초기장 정확도 평가와 함께 초기장의 스프레드가 적절한지 여부에 대한 평가를 수행할 예정이다.