

국외 출장 결과보고서

결	담당자	팀장	실장	사업단장
	9월 25일	10월 4일	10월 4일	10월 4일
재	여새림	설경희	권인혁	권인혁

1. 출장개요

출장목적	The 2024 Annual Meeting of the European Meteorological Society 참석 및 발표		
출장일정	2024. 9. 1.~2024. 9. 8. (6박 8일)		
성명		소속	직급(직위)
여새림		검증진단팀	선임급연구원
조수정		검증진단팀	원급연구원
방문기관 (또는 회의장소)	스페인, 바르셀로나		
출발지	서울, 인천	도착지	스페인, 바르셀로나

2. 업무수행내용

가. 출장 배경 및 목적

- 2024년 9월 2일 - 9월 6일 스페인 바르셀로나에서 개최되는 'The 2024 Annual Meeting of the European Meteorological Society'에 참석하여 관련 분야의 최신 연구 동향을 파악하고, 사업단의 연구 성과를 발표하고자 한다. 또한 각국의 전문가들과 교류를 통해 사업단에서 활용할 수 있는 유용한 정보 및 의견들을 수집하여 추후 사업단의 연구 계획에 활용하고자 한다.

나. 주요 업무 수행 사항

- 북대서양과 유럽지역의 Weather Regime에 관한 논의
 - Weather Regime에 대한 동적 시스템 변동성을 살펴봄으로서, 이것이 단순한 통계적 분류에 불과한 것이 아니라, 물리적으로 의미있는 패턴이라는 증거를 제시함
 - 또한, 이 분석 방법은 본질적인 예측 가능성에 대한 정량적 정보를 제공하므로, 연장 중기 예측에서 예측 가능성이 높은 기간을 식별하는데 활용될 수 있음
- Forecast bust의 평균적 특성과 다양한 유형에 대한 연구
 - 유럽 지역에서 6일 예보에 대한 다양한 Forecast bust 사례들을 선정하고 군집 분석을 통해 주요 원인으로 북미에서 발생하는 중규모 대류 시스템, Rossby wave의 반사, 대서양의 wave guide와의 상호작용에 대한 모의 성능등이 제시됨

○ 인공지능(AI)기반 기상예측 모델

- AI 기반 예보모델인 PANGU, FourCastNet, NeuralGCM의 경우 나비 효과를 모의하지 못함. 즉, 초기조건의 작은 변동에 따른 오류 성장률을 재현하는데 실패하였고, 이는 대기의 근본적인 물리 원칙을 재현하는데 실패할 수 있음을 제시함

○ 유럽 지역에서의 heatwave onset에 대한 중기 예측에 weather regime이 미치는 영향 분석

- 폭염의 시작은 영국과 스칸디나비아 지역에서는 주로 blocking pattern과 연관있는 반면, 중부 유럽에서는 레짐 없음 상태가 더 빈번하였음
- 10일 예보에서 중부 유럽 폭염의 예측성이 나쁜 경우, 대규모 대기의 baroclinicity가 높고, 북대서양 제트기류가 강화된 상태를 나타냈으며, 예측성이 좋은 경우, 대체로 평년과 비슷한 초기 상태를 나타냄
- near surface temperature의 예측성의 경우 대규모 순환장 보다는, 토양수분 anomaly에 영향을 받음

○ 2023/24 엘니뇨 예측성 관련

- 2023/24 엘니뇨 발달에 있어서 2022년 겨울철 상층 해양의 heat content의 영향이 제시됨
- 범열대 지역의 온난화는 엘니뇨의 영향을 완화시키고 주로 동부 해역에 국한 시킴

○ 2023/24 성층권 돌연 승온 (Stratospheric sudden warming)

- 2023/24 겨울철에 SSW 세 사례가 발생하여 이례적으로 많은 사례가 나타남. 1월 사례의 경우 유럽-대서양 지역의 상층 blocking의 영향 2월 사례의 경우 대기 하층 우랄 산맥 지역의 눈 덮임으로 인한 meridional heat flux의 영향임을 확임함. 3월초에 발생한 SSW의 경우 전형적인 장기간 대규모 SSW였음

○ 미래 기후에서 폭염 발생 빈도

- 미래 기후에서 블로킹은 감소할 것으로 모의 되었으나 폭염과 블로킹의 관련성이 증가함으로서 폭염이 증가할 것으로 나타남. 즉, 미래의 폭염 빈도 증가가 블로킹 빈도의 변화 때문이 아니라 블로킹이 폭염을 유발할 수 있는 능력을 강화시키는 열역학적 요인 등 다른 요소들에 의해 발생함

○ 강수 검증 자료와 방법에 관한 연구

- 전구 물 순환 연구과 강수 검증에 널리 사용되고 있는 GPCC(Global Precipitation Climatology

Centre)를 산출하기 위한 자료 수집 과정과 품질관리 과정을 소개. GPCC는 0.25도부터 2.5도까지의 해상도로 일 강수, 월 강수, 가뭄 지수를 제공. 126,000 이상의 육상 관측소에서 관측한 자료, WMO를 통해 얻은 지상과 기후 기상 전문, 국제 관측 프로젝트(GEWEX-related), 과거 기후 자료 등을 활용하여 산출함

- ECMWF에서 2026년까지 새로운 Open Data Portal을 통해 고해상도의 IFS dataset, AIFS 모델의 전체 산출물 제공과 제공하는 변수의 확장에 대한 계획 소개. IFS dataset의 경우 0.4도 해상도는 2024년 11월로 중단할 예정. 중기부터 연장 중기 예측 결과를 이용한 일기도 외에 검증에 활용할 수 있는 다양한 skill score 그래프를 표출할 수 있는 Open Chart Service 소개. 해당 서비스는 IFS, AIFS 외에 다른 ML 모델을 포함하여 일기도와 그래프 표출 가능
- 기존의 point-by-point 강수 검증은 모델이 강수 분포를 관측과 유사하게 모의하더라도 위치를 다르게 모의하여 오히려 성능이 더 낮아지는 double penalty 문제가 존재. 고해상도 모델이 아니더라도 예측 시간이 길어지면 large-scale에서도 double penalty 문제가 존재. 따라서 예측한 강수의 위치에 따른 오차를 고려한 강수 검증의 필요성을 제시. 예측 강수 위치에 따른 오차를 측정하기 위해 Wasserstein distance를 이용한 방법 제안.
- 해안에 인접한 산악지형은 바다와 대기의 상호작용으로 인한 집중호우가 빈번하게 발생. 해당 지역에 대한 결합 모델과 비결합 모델의 강수 모의 성능 비교. 강수 모의 성능을 검증하기 위해 SAL(Wernli et al., 2008) 방법 적용. SAL은 S(structure), A(Amplitude), L(Location)의 세 가지 항목에 대해 오차를 계산하며 세 가지 모두 0이면 강수 모의 성능이 우수하다고 평가. 결합 모델은 비결합 모델에 비해 강수가 넓게 퍼지는 형태로 모의하며 강수 강도를 강하게 모의하여 위치 오차가 나쁘게 나타나는 결과를 보임.
- FSS(Fraction Skill Score)를 통해 고해상도 모델의 double penalty 문제를 강수 사례 검증을 통해 분석. 기상청은 12 km 전구 모델과 3 km 지역 모델의 한반도 강수 예측 성능을 비교. FSS는 한 지점에서 검증하는 기존의 검증 기법과 다르게 이웃하는 지점까지 포함하여 검증하는 방법. 국지적인 강수 사례에서 CSI는 12 km 전구 모델이 좋은 성능을 보였으나, FSS로 비교했을 때는 3 km 지역 모델이 좋은 성능을 보임.

o 강수 사례 분석에 관한 연구

- 도플러 레이더, 라디오 존데, 윈드 프로파일러를 포함한 지상 관측망을 조성하고, 집중호우 사례를 분석. 특히 레이더를 이용해 산출한 고해상도의 3차원 바람 자료는 대류 현상의 구조 분석에 효과적. 레이더 자료의 nudging을 통한 강수 사례 모의 성능을 확인.
- 일 강수가 100 mm 이상의 극한 강수를 일으키는 종관 구조의 계절에 따른 변화를 분석하기

위해 우크라이나를 중심으로 40년 동안의 악기상 사례를 비교. 강수의 역학적 구조를 분석하기 위해 ERA5 재분석장 이용. 봄, 여름, 가을의 경우 상층의 골이 유럽의 동/남쪽으로 확장하고 동쪽에 블로킹이 있을 때 강수가 주로 발생. 겨울은 서풍을 따라 이동하는 저기압에 의해 강수가 주로 발생.

3. 출장성과 시사점 및 향후 업무 활용 계획

가. 출장성과 시사점

- 여새림 : KIM의 연장 중기 과거 재예측 자료를 기반으로 우리나라 한파에 대한 예측 특성을 살펴본 연구 내용을 발표하였다. 특히, 우리나라 한파사례를 지속적인 한파와 급격한 한파로 분류하여 각각의 영향 요소를 확인하였으며 KIM에서의 재현도를 분석하였다. 포스터 발표를 통해 사업단의 연장중기 예측을 위한 노력을 공유하였고 토의를 통해 한파 메커니즘 및 예측성 검증 방법에 대한 제안을 받았다. Weather regime의 관점에서 폭염, 한파, 집중호우등의 이상기후 사례에 대한 예측성 검증이 활발하게 진행되고 있다는 점을 파악하고, 검증 방법 등의 정보를 수집하였다.
- 조수정 : 고해상도 모델의 현실화를 위해 사업단에서 개발하고 있는 물리과정과 점성에 따른 한반도에 대한 강수 예측 성능 검증을 주제로 발표하였다. 집중호우 사례 분석을 통해 강수와 연관된 종관 구조의 모의가 중요함을 밝혔다. 발표를 통해 사업단에서 개발하고 있는 모델을 타 기관에 소개하고, 한반도 집중호우 사례에 대한 모델의 예측 성능에 대한 연구 결과를 공유하였다. 기존에 사용하고 있는 강수 검증 통계 지수 외에 다양한 방법을 활용하여 강수를 검증하는 연구가 진행되고 있었으며, 향후 고해상도 모델의 개발에 따라 검증 방법을 확장할 필요성이 있는 것으로 생각된다.

나. 향후 업무 활용 계획

- 유럽지역의 weather regime과 blocking, 그리고 극한 기상 현상에 대한 역학적 특성과 모델에 대한 검증 및 분석 방법들을 습득하여, 동아시아 및 우리나라 지역에 대해서도 비슷한 방식의 연구를 계획 할 수 있을 것으로 보인다. 또한, ENSO, SSW등 다양한 기후 현상에 대해서도 다양한 연구 결과들이 제시되었고 더 나아가 기후 변화와의 관련성도 활발히 논의되었다. 이러한 현상에 대한 KIM의 재현도 역시 의미있는 연구 주제가 될 것이다. EMS 학회 참석을 통해 KIM의 연장 중기 예측에 대한 검증 요소 및 검증 방안에 대한 다양한 아이디어를 접할 수 있었고 이를 향후 연구 계획수립에 반영할 계획이다.

- 기존의 강수 검증 통계 값(Bias, ETS 등)은 강수 사례가 적으면, 활용하기 어려웠으나 공간 검증 지수를 활용하여 강수 사례에 대한 보다 정량적인 정보의 제공이 가능할 것으로 기대된다. 다양한 검증 지수에 대한 자료를 수집하고 현재 연구에 적용 가능한지 검토가 필요할 것으로 생각된다.