

국외 출장 결과보고서

결	담당자	팀장	실장	사업단장
	10월 26일	10월 28일	10월 28일	10월 28일
재	김원홍	배수야	박래설	이우진

1. 출장개요

출장목적	ECMWF annual seminar 2022 참가 및 발표		
출장일정	- (사업단장) 2022. 9. 11.~2022. 9. 17. (5박 7일) - (수치모델실) 2022. 9. 11.~2022. 9. 18. (6박 8일)		
성명	소속	직급(직위)	
이우진	사업단	단장	
김원홍	물리과정팀	선임급연구원	
김현주	결합모델팀	선임급연구원	
방문기관 (또는 회의장소)	유럽중기예보센터(ECMWF CENTER)		
출발지	서울(ICN)	도착지	레딩, 영국

※ 사업단장 출장 일정 변경 사유: 9월 18일(금) 학회 미참석으로 일정변경(기존 2022.9.11.~17→변경 2022.9.11~16)

2. 업무수행내용

가. 출장 배경 및 목적

o ECMWF annual seminar 2022 참가

- ECMWF annual seminar는 매년 수치모델의 한 분야를 정해 국제적으로 최신 연구 결과를 공유하는 국제적 규모의 행사임으로써, 관련 기술 동향을 파악하는 데 적합하다.
- 금년 주제는 “challenging physics in seamless prediction”로서, 사업단이 추진 중인 이음새 없는 격자 적응 물리 과정 개발과 긴밀하게 관련된 주제임으로 사업단 기술의 현주소를 점검하고 발전 방향을 모색하는데 좋은 기회로 생각된다.
- 가변격자 체계에서 물리 과정 개발의 도전적인 문제뿐만 아니라 사업단의 경계층 물리 과정과 지면 결합모델의 연구 결과에 대한 유럽 각국의 기상청과 대학연구실 소속으로 참가한 전문가들과 소통을 통해 사업단의 연구 방향의 적합성을 논의하였다.

나. 주요 업무 수행 사항

- o ECMWF annual seminar에서의 경계층, 깊은/얕은 대류, 미세물리 등의 물리 과정 모수화에 대한 최신 연구 동향

- ECMWF의 경계층 물리과정 개선을 위해 Ivan vastak는 난류운동에너지(TKE)와 난류대류 에너지 부분을 구분하여 총 난류에너지를 예단하여야 하고, 총 난류에너지를 이용해서 난류수직확산을 모수화하여야 정확한 수치예보가 가능하다는 연구 결과를 발표하였다.
- 프랑스 기상청의 Rachel honnert는 기존의 기동형 난류 확산 모수화 과정에 3차원 난류를 고려하기 위해 수평 난류 효과를 추가하였으며 이러한 3차원 난류 확산 효과를 개발하는 여러 기관들은 각자의 모형을 통해 예측성 향상을 보였다.
- 유럽의 연구 기관들 중 체코 수문 기상 연구소(CHMI)에서는 Single band approach를 사용하여 기존의 복사 방안의 예측 정확도를 유지하며 급격한 계산적 효율을 증가시켜 모델의 계산 비용을 줄이는 연구 결과를 보였다.
- 미국 국립대기연구센터(NCAR)에서는 계산 비용이 크고 수상체의 예측 정확도가 높은 Bin microphysics 방안을 에뮬레이터로 구축하기 위하여 autoconversion과 accretion과정에 AI 방법을 적용하였다. 기존 Bin microphysics 방안의 결과와 유사하면서도 계산 비용은 크게 줄이는 연구 결과를 선보였다.
- 독일 기상청에서는 얇은/깊은대류 모수화 과정에서 아격자 내 구름 분포 확률은 비대칭성이 크므로 정규분포가 아닌 이중 정규분포 등 다양한 처방의 필요성을 제시했다
- 경계층 난류의 모사에 있어서, 산악처럼 복잡한 환경에서는 수평 방향의 바람시어에 따른 난류 에너지가 크고, 이를 모수화에 반영할 필요가 있는데, 이와 같은 이유로 3차원 난류를 고려하여야 한다고 주장하였다.
- 물리과정은 지배방정식에서 강제력으로 작용하여 시간 적분과정에서 간접적으로 역학 변수에 영향을 미치게 되는데, 이러한 물리-역학 상호작용을 직접적으로 조절하여 그 반응을 분석하였다.
- Thompson 구름미세물리방안에서는 얼음입자의 눈 전환률이 더디게 작동하며 구름에 잔여 얼음입자가 과대모의하며 강한 강수를 약하게 모의하고 약한 강수는 강하게 모의하는 경향을 보이는 것은 주로 증발효과로 인한 한기풍의 모의 특성에 따른 것임을 보였다.
- 성층권 오존 농도를 직접 예측하여, 열대 상부의 중장기 예측성이 향상되는 것을 보였다.
- 풍속이 강한 지역에서 지면 마찰 속도(u^*)가 과소모의되며, 이로 인해 적절한 태풍 모의를 실패할 수 있음을 보였다.

○ 지면모델 및 지면자료동화 개발에 따른 수치모델 예측성에 대한 최신 기술 파악

- 중·장기 예측을 위해 필수적인 지면모델과 대기모델의 결합에 대한 해외 연구 기관의 지면모델의 고도화 및 대기모델의 예측성 특징 분석과 최적의 접합 방법에 관한 여러 연구 결과를

파악하였다.

- 지면자료동화를 통한 지면모델의 예측성 개선에 관한 연구 결과를 ECMWF 뿐만 아니라 유럽의 여러 연구 기관에서 선보였다.
- 지면의 열수지에서는 통상 수평 열 이류과정을 무시하는데, 현실에서는 이 이류효과가 상당하므로 분석이나 지면 모델링에 유의 필요성을 주장하였다
- 지면모델에서 지면 첫번째 층의 물 분포가 국지기상에 큰 영향을 주는 것을 보였으며, 이러한 물 분포의 정확한 예측을 위해 지면모델의 토양 연직 격자를 늘려 지면 부근의 표피를 얇게함으로써 모델의 예측성이 향상됨을 보였다.
- 지면모델에서 식생의 계절적 변화(ex. 잎면적지수 위성자료를 이용하여 자료동화) 및 얼음 위에 쌓인 눈을 일반 적설과 다르게 처방하여 모델의 성능을 개선하는 결과를 보였다.
- 전지구 모델에서 물수지와 에너지 수지에 균형을 통해 강수예측성 등의 모델 성능개선의 결과를 보였다.
- ECMWF 자료동화 연구팀에서는 구름레이더의 단파 산란이나 마이크로파 채널을 구름지역 복사동화에 활용한 결과를 보였다.
- 모델의 물리과정의 불완전성을 임의 강제력으로 처방하는 방안에서, 물리모수화의 세부 과정별로 tendency 섭동을 취하는 결과를 보였다.
- SPPT 물리섭동 방식은 비정상적으로 큰 연직 상승류를 유발할 수 있음을 보였다.
- 다양한 물리과정에서 사용하는 경험식의 계수 최적화를 위해 자료동화 기법을 사용하는 연구를 선보였다.
- 저해상도의 앙상블 spread를 사용하여 모델의 변동성 모의에 대한 적정성을 검증할 수 있음을 보였다.
- 수치모델의 전반에서 AI 전적으로 사용하는 것은 어려우나, 모델의 일부과정을 선별하여 활용한다면 모델 개발에 있어서 강력한 도구로써 사용될 수 있음을 주장하였다.

o 사업단의 경계층 물리과정과 지면 결합모델의 연구 결과 발표

- 지면 마찰 속도(u^*)에 따른 경계층 내의 연직 난류확산에 관한 연구를 발표하였으며, u^* 의 연직 분포에 따른 난류확산이 시어에 의한 TKE 생성에 미치는 영향에 대해 질문하였으며 이에 대해 시어에 의한 TKE 변화에 대한 논의를 하였다.
- KIM 모델에 고도화된 지면 모델을 새롭게 접합한 과정 및 결과를 발표하였다. 새롭게 접합된 지면 모델의 모의 특성 및 관측 대비 편차 원인의 가능한 후보군을 제시하였다. 이에는 보조 자료 및 모수값 최신화, 모듈 최신화 및 개발, 지면 에너지/물 교환 흐름도 개선 등이 포함된

다. 최종적으로, 지면 모델 개선에 따른 지면 및 대기 모의 개선을 제시하였다.

3. 출장성과·시사점 및 향후 업무 활용 계획

가. 출장성과·시사점

○ 고해상도 모델을 위한 물리 과정 모수화의 격자 적응

- 고해상도의 모델에서 직접적으로 계산되는 부분과 물리 과정에서 모수화하는 부분의 중첩으로 인해 나타나는 오차를 줄이기 위해 사용하는 격자 적응 방법들은 각각의 물리 과정에서의 연구가 진행 중이며 특히 연직 속도(w)의 중첩에 영향을 받는 경계층 방안과 깊은/얕은 대류 방안에서 중점적으로 해외 연구 기관들의 연구가 진행되고 있다.
- 경계층 방안에서의 국지적 난류 확산(Eddy-Diffusion) 과정에서 격자 적응이 필요한 수평 해상도는 약 1 km ~ 800 m라고 알려져 있다. 하지만 비국지적 난류 확산 과정에서는 국지적 수정항을 사용하는 대신 깊은/얕은대류 방안에서 사용하는 질량속(Mass flux) 방법을 사용하였을 때 격자 적응이 필요한 수평 해상도는 기존의 국지적 난류 확산 과정과 같은 약 1 km ~ 800 m임을 해외 여러 연구 기관에서 보였으며 격자 적응은 현재 사업단에서 사용하는 경계층 방안과 비슷하게 격자간격과 경계층 고도의 비율의 함수로 표현하는 것으로 파악하였다. 이러한 결과를 미루어 볼 때, 사업단의 경계층 방안의 격자 적응 방법에 관한 연구 방향의 적절성을 확인 및 현재 현업화를 진행 중인 모델에서의 경계층 방안의 격자 적응의 효과는 명확하지 않을 것으로 판단된다.
- 격자적응 방법은 깊은/얕은대류 물리과정에서 가장 활발하게 연구되고 있었다. 해외의 여러 연구 기관들에서는 깊은대류와 얕은대류를 구분하여 격자적응 방법을 연구하고 있었다. 고해상도 모델에서 직접적으로 계산되는 부분과 깊은/얕은대류 모수화 부분에서 중첩이 서로 다르며 얕은대류의 경우 경계층 모수화와 비슷한 수평 격자 구간에서 격자 적응이 필요하다고 판단하고 있었다. 하지만 깊은대류의 경우 수평 격자가 약 10 km ~ 1 km의 구간에서 격자적응이 필요하며 격자적응 대상이 되는 여러 변수를 제안하였다. 이를 기반으로 현재 사업단에서 개발 중인 격자적응의 연구방법과의 차이를 고려할 필요가 있어 보인다.
- 격자적응 연구에서 고해상도 모의 시, 깊은대류 물리과정을 쓰지 않고 얕은대류 물리과정만 활성화 시키면 열대수렴대에서 강수는 과대모의하고, 깊은대류 물리과정을 작동시키면 과소 모의하는 경향을 이해할 필요가 있어 보인다.
- 종력과 항력의 모수화는 수평해상도 1 km 까지는 여전히 필요한 것으로 판단되고 있으며, 아격자 산악항력 물리과정의 경우 바람의 회전성 시어까지 고려하여야 할 것으로 보인다.

○ 장기 예보를 위한 지면 모델 및 결합 방법

- 수치 모형에서 대기 모형의 외부 강제력으로 쓰이는 수면, 지면, 해빙 등의 변수들은 기후값을 사용하거나 아주 단순한 계산과정을 사용한다. 이러한 방법은 수치 모형의 단기 예측에서는 합리적으로 사용할 수 있으며 계산 비용을 감소시킨다. 하지만 장기 예측에서는 외부 강제력에 대한 영향이 누적되면서 예측성에 명확한 영향을 미친다. 이러한 이유로 사업단에서는 고도화된 지면 모델(Noah-MP)을 결합하여 장기 예측성에 개선을 시도하였다. 이러한 과정에서 Noah-MP의 지면 에너지 수지 평균 오차 관련 해외 연구 기관들의 결과들을 파악하였으며 이에 따른 지면 모듈 개발 요소 발굴하였다.
- 지면모델 결합으로 인해 지면 자료에 대한 초기장 생성 및 초단기 예측 정확도를 위한 자료 동화 방법의 중요성이 강조되면서 해외 여러 연구 기관들에서도 해당 연구를 활발히 수행 중이다. 이러한 지면 자료 동화에 대한 최신 연구 결과 및 기술을 파악하였으며 이를 사업단에서 KIM 모델에 적용함에 있어 정당성과 적용에 따른 예측성 특징을 분석할 필요가 있어 보인다.

나. 향후 업무 활용 계획

○ 경계층 물리과정 개선

- 사업단에서 사용하는 경계층 방안은 기동형 난류 확산 모수화 과정으로 연직에 대한 영향만을 고려한다. 하지만 해외 여러 연구소에서 3차원 난류의 영향을 고려하여 의미있는 개선을 보였다. 따라서 사업단에서도 수평 난류 효과를 추가하여 이러한 3차원 난류 확산 효과를 고려하는 방안을 시도해볼 필요가 있으며 이에 따른 연구가 KIM 모형의 예측성에 미치는 영향을 분석해 볼 예정이다.

○ 지면모델 및 결합 방법에 대한 개선

- ECMWF annual seminar의 참가를 통해 파악된 해외 연구 기관의 지면 모듈들과 사업단의 KIM 모델과의 일관성을 판단하고 적절한 적용에 대한 방법을 모색할 계획이며 적용에 따른 모델의 예측성 분석을 기존의 중기 검증뿐만 아니라 계절 검증을 통해 모형의 특징을 파악할 예정이다.
- 국내에서의 지면 모델에 연구는 매우 한정적인 기관에서 진행되고 있다. 이러한 상황에서 이번 출장을 통한 타 기관과의 연구 교류는 한정적인 연구 교류를 극복하는 좋은 기회로 활용될 것이며, 이를 발전적으로 진행하여 해외 기관들과의 공동 개발을 위한 초석이 마련될 것으로 기대한다.