

국외 출장 결과보고서

결	담당자	팀장	실장	사업단장
	9월 30일	10월 4일	10월 11일	10월 11일
재	김현주	구명서	이은희	권인혁

1. 출장개요

출장목적	EMS Annual Meeting 2024 참석 및 발표		
출장일정	2024. 9. 1.~2024. 9. 8. (6박 8일)		
성명	소속	직급(직위)	
남현	역학물리팀	책임급연구원	
이은정	결합모델팀	책임급연구원	
박자린	역학물리팀	선임급연구원	
김현주	결합모델팀	선임급연구원	
방문기관 (또는 회의장소)	스페인, 바르셀로나, The historic building of the University of Barcelona		
출발지	서울, 인천	도착지	스페인, 바르셀로나

2. 업무수행내용

가. 출장 배경 및 목적

- 2024년 9월 2일~9월 6일 스페인 바르셀로나에서 기후 중립 유럽 달성을 위한 기상 및 기후 연구의 역할이라는 주제로 EMS Annual Meeting 2024가 개최하였다. 본 학회 참석을 통해 최신 연구 동향을 파악하고, 각국의 전문가들과 논의를 통해 사업단에 활용할 수 있는 유용한 정보 및 의견들을 수집하여 사업단에 환류함으로써, 사업단의 연구 계획에 활용하고자 한다.
- 현재까지 사업단에서 수행한 연구 성과를 발표하고, 수치예보모델 역학코어 및 물리과정 개발 및 예측오차 분석 전문가들과 논의를 통해 시공간 통합형 모델 개발에 성공적으로 활용할 수 있는 유용한 정보와 의견들을 수집하여 추후 사업단 연구 계획에 적극적으로 활용하고자 한다.

나. 주요 업무 수행 사항

- 남 현
 - 본 학회에서 차세대모델의 가변격자 시스템을 소개하고 실제 사례에 대해서 균일격자 시스템 대비 가변격자 시스템의 계산 효율성 및 예측 성능을 비교 분석한 내용을 포스터 발표하였다.

많은 전문가들이 지역모델과 다르게 격자 크기의 변화 구간 및 관심 영역의 경계조건에 대해서 수치결과의 특이점이 없다라는 이점에 많은 관심을 보였으며, 가변격자 생성과정에서 육면체구 격자의 코너에서의 수치적 결과 분석 및 가변격자 시스템에서 격자크기가 변화하는 경계 부분에서의 물리적 현상의 분석이 추가적으로 필요하다는 조언이 있었다.

- 본 학회에서의 가변격자 시스템과 관련되어 가변격자 시스템에 IMEX-DG 방법을 적용한 연구가 발표되었다. 우리의 경우는 슈미트 변환(Schmidt Transform)을 이용하여 수평 격자에만 가변격자를 고려한 반면, 이 연구에서는 연직 및 수평에 대해 각각 다른 해상도의 가변 격자를 적용하는데 수치방법으로 DG (Discontinuous-Galerkin) 방법을 적용하여 격자간의 연속성을 보장할 필요가 없으며, 유한요소법에서 고해상도 균일격자 모델보다 작은 자유도를 가지기 때문에 계산량이 적게 들며 고해상도 영역에서 보다 정확한 수치결과가 나타남을 보였다.
- 그 외에도 지난 2년 동안 카탈루냐 지역에서 거대한 우박들로 인해 심각한 도시 피해와 부상자가 발생했기 때문에 우박에 대한 실질적인 연구가 관심연구 영역 중 하나였다. 현장 조사를 통해 최대 지름 10~12cm의 거대한 우박을 수거하여 여러 샘플을 수집하고 표본의 대축, 중축, 단축의 크기, 무게, 구형도 지수 등을 계산하고 컴퓨터 단층 촬영 스캐닝 기술을 도입하여 우박 내부의 다양한 층과 밀도를 3차원적으로 분석하였다. 이론을 근거로 실제 실험 진행방법 등이 흥미로웠다. 또한, 화학분석을 통해 주요 구성 요소와 바다와의 근접성 사이의 명확한 상관관계를 보여주었다.

○ 이은정

- 학회에 참석하여 결합모델 내 해양 연직혼합 물리모수화의 난류 운동 에너지(turbulent kinetic energy; TKE) 모델을 개선한 결과를 발표하였다. 파랑모델로부터 산출된 파쇄(wave breaking; WB)에 따른 표면 TKE와 WB 효과를 일정 깊이까지 고려한 혼합/소산 길이규모, 랭뮤어 순환(Langmuir circulation)의 모수화를 수정한 결과, 전반적으로 상층해양의 연직혼합이 증가되나 해양 성층에 따라 확산계수가 결정되어 지역별로 연직혼합이 적절히 모의됨을 확인하고 그로 인해 해수면온도와 해양혼합층 깊이의 오차가 완화되고 기존보다 관측 Argo에 가까운 상층해양구조를 재현한 결과를 공유하였다. Meteo-France의 Jonathan Beuvier 박사와 제주대학교 문재홍 교수는 본 연구에 대해 수정된 물리모수화가 다른 해양모델의 중위도 계통오차 완화에 도움이 될 수 있다는 의견과 추가로 겨울철 상층해양 모의성능 향상을 위해 바람에 따른 연직혼합 물리모수화의 검토가 필요하다는 조언을 하였다.
- 열대와 극지역의 해수면온도 원격상관에 관한 연구에서는 인도양-해양대륙-태평양에 나타나는 온도 아노말리인 Pacific-Indian Ocean temperature anomaly mode (PIM)로 인해

double-loop 워커순환이 나타나며 tripolar 대류 아노말리를 통해 두 개의 로스비파 트레인이 형성되어 서남극에 따뜻한 대기온도, 동남극에 차가운 대기온도가 형성됨을 보였다. AGCM-CESM 결합모델 민감도 실험을 통해 인도양과 태평양에 모두 온난 아노말리가 존재해야 두 개의 로스비파가 발생하며 어느 한 지역이라도 온난 아노말리가 존재하지 않으면 남극에 영향이 미치지 못하는 결과를 제시하였다.

- 남극 해양상태에 따른 해빙면적에 관한 연구에서는 최근 남극지역 해빙면적 추세를 분석하여 2007년 이후 증가하다가 2016-2017년에 해빙면적이 크게 감소한 후 현재까지 감소하는 추세이며 급감한 시기 직전에 해양에 표층 온난 아노말리가 존재함을 확인하였다. 빙상-해양-해빙-대기 결합모델을 통해 초기자료 민감도 실험 결과, 해빙면적의 급감은 초기자료와 무관하게 모든 실험에서 나타났다. 해빙면적을 상대적으로 적게 모의한 2004년 초기자료 실험과 상대적으로 많이 모의한 2010년 초기자료 실험을 비교하였을 때, 이전 기간 50-150m 해양 잠재온도 아노말리에 따라 해빙면적이 결정됨을 제시하였다.
- 북반구 중위도 해수면온도에 따른 블로킹 메커니즘 연구에서는 북대서양 온난 아노말리와 그린란드 남측에 차가운 아노말리가 나타날 때 블로킹이 발생하여 편서풍이 억제됨을 보였다. 이와 관련하여 많은 기후모델에서 북대서양 온난경향(North Atlantic warming Hole; WH)를 과소모의하는 경향이 있어 블로킹이 잘 모의되지 못하며 이는 관련 물리과정이 부재하기 때문으로 해석하였다. 그렇기에 현재 기후모델을 활용한 시나리오에 따른 블로킹 분석은 한계가 있다고 이해할 수 있다.
- 파랑의 교환계수 관련 연구에서는 파랑은 일반적으로 거칠기를 증가시켜 표층 바람을 감소하는 역할이나 바람의 매우 센 경우에는 거칠기 영향이 수렴하여 롤오버(roll over) 형태의 마찰항력 계수를 가짐을 보이고 수평해상도가 커지거나 파랑모델이 결합되면 최대바람이 감소하며 파령이 작으면 항력이 감소되나 파령이 크면 항력이 한 방향으로 결정되지 않아 바람에 복합적 영향을 주는 결과를 발표하였다.
- 그 외에도 해수면온도에 따른 하층대기 변화에 대한 연구에서는 WRF 실험을 통해 해수면온도와 대기경계층 이하/이상에서의 온도/비습과의 관련성을 분석하였는데 해수면온도가 증가하면 대기경계층 내 온도는 증가되나 비습은 유지되었으며 오히려 그 이상의 층에서의 비습이 증가하는 결과를 보였다. 이는 대기경계층 물리모수화에 따라 다를 수 있으며 일부 모수화에서 대기경계층 내 온도와 비습의 연직혼합과정이 다를 수 있음을 시사한다.

○ 박자린

- 본 학회 포스터 세션에서 차세대모델의 연직 해상도에 대한 온도 민감도를 진단한 내용을 발표하였다. 연직 격자 간격 크기를 늘리면 어떠한지 살펴보았냐는 질문이 있었으며, 최하층 및 최

상층 변화없이 연직 격자 간격에 대한 민감도 수행시 대류권 상부 및 하부의 냉각 편차에 대한 반응이 동일하였음을 공유하였다. 민기홍 교수(경북대학교)는 KIM모델이 수상량을 과대 모의하는 경향이 있는 것으로 보이며, 모델 내 수상량 분배과정에 대한 검토가 필요할 것으로 보인다는 의견을 제안하였다.

- 본 학회에서는 유럽 연합에서 추진하고 있는 지구의 디지털 모델(Destination Earth Digital Twins)와 관련한 다양한 연구들이 발표되었다. km 규모의 글로벌 고해상도 예보를 제공하는 전구모델(Global continuous Extremes DT)과 1km 미만의 규모에서 극한 현상 예측을 위한 지역 모델(On-Demand Extremes DT) 두 가지 구성 요소로 개발되고 있었다. 그 외 현업 모델 개선을 위한 운영체계 업데이트와 관련된 연구, 지형 위의 흐름에 대한 정확한 모의를 위해 IMEX_DG 방법을 이용한 가변해상도 격자 개발 연구가 발표되었다. 또한 포트란 코드 기반의 대기 모델의 계산 효율 향상을 위한 GPU 이식에 관련한 연구도 진행되고 있었다.

○ 김현주

- 학회에 참석하여 지면모델의 토양수분과 난류 속 간 결합강도를 현실화한 실험에 대하여 소개하였다. 강수에 의한 토양수분 조절과 이에 대한 반응으로 나타나는 난류 속의 변화 및 대기 변화는, 대기 하부 경계대기-지면 간 상호작용의 주요한 과정으로 알려져 있다. 위성 관측자료를 활용한 연구들에서는 많은 지면모델들이 토양수분과 난류 속 간 결합강도를 과대 모의하는 경향이 있는 것으로 알려져 있고, KIM 역시 과대모의 경향이 나타났다. KIM의 결합강도 과대모의 경향과 이를 완화하기 위해 수행한 난류 속의 모수 조절에 대해 소개하고, 해당 조절이 반영된 KIM의 모의 특성을 토의하였다. 결합강도의 과대모의가 완화된 KIM에서는 난류 속이 기온이나 토양수분보다 지면입사단파복사량에 조절되었다. 이는 지면 에너지의 현열/잠열 분배가 구름 변화에 조절될 수 있음을 의미한다. 이러한 연구 결과에 대한 의견으로, 기존 KIM 모델의 구름 모의 성능에 대한 검증과 해당 모수 조절을 통한 성능 개선 가능성을 타진할 필요성이 제시되었다.
- 토양수분과 기온에 대한 결합 강도를 검증한 연구 발표에 따르면, 계절 예측에 활용되는 모델들은 대체로 관측에 비해 큰 결합 강도를 갖는다. 그리하여 토양 수분에 대한 민감도가 다소 크게 나오는 경향이 있다. 따라서 토양 수분을 조절하는 물리과정들인 증발산과 하천/지하수 유출에 의해 가뭄이나 폭염의 예측이 지대한 영향을 받을 수 있는 가능성이 제시되었다. 계절 예측 모델들에서 해당 결합 강도를 현실화 할 수 있는 모델 개발에 대한 필요성을 시사되었다.

3. 출장성과·시사점 및 향후 업무 활용 계획

- 남 현 : 지역모델과 다르게 전구모델에서 현재 가변격자 시스템 접근 방법에 많은 사람들이 관심을 가졌으며 격자 크기의 변화 구간 및 관심 영역의 경계조건에 대해서 수치결과의 특이점이 없다는 것과 균일격자에서의 역학 코어에 대해서 다른 수정 보완 없이 모델을 수행한다는 점이 연구의 큰 장점임을 인정받는 자리였다. 가변격자 시스템에서 격자크기가 변화하는 경계 부분에서의 물리적 현상의 분석이 추가적으로 필요하다는 조언에 따라 그 부분에 대한 검토를 추후 진행할 예정이다.
- 이은정 : 관련 전문가와의 토의와 타 연구 결과 발표를 통해 현재까지 수행되어 온 결합모델 내 해양/해빙/파랑 모델의 개발 방향이 적절함을 확인하고 관련 메커니즘을 파악할 기회가 되었다. 향후 결합모델의 남반구 겨울철 해양/해빙 모의성능과 관련하여 대기모델의 표층 단파/장파복사 영향 분석과 함께 전문가의 조언에 따라 해양/해빙모델 대류 물리모수화를 검토할 예정이다. 또한 열대-극지역 해수면온도 원격상관 연구와 해양 상태에 따른 해빙 면적 연구를 참고하여 결합모델 CPL24.02에 존재하는 웨델해 한랭오차와 인도양-동태평양 온난오차 연관성 여부, 남극지역 해양 온도의 영향, 빙상 적용 효과 분석이 해빙 오차 원인 진단에 활용 가능하다.
- 박자린 : 본 학회에서는 지구 시스템 개발 현황과 관련한 연구들이 많이 발표되었다. 그 중, 수평 해상도를 9km에서 4.4km로 향상시켰을 때 지형 중력파가 더 많이 발생함에 따라 전구 순환에 영향을 미치게 되어 예측 성능이 오히려 저하되었고, 이를 개선하기 위해 지형자료 필터링 및 아격자 산악 모수화의 매개변수 최적화가 필요함을 제안한 발표가 있었다. 이는 향후 고해상도 KIM 예측 성능 향상을 위해 살펴봐야할 요소인 것으로 보인다. 또한, 연직 해상도 증가에 따른 민감도와 관련하여 PBL 및 CPS과정 외 물리과정 내의 연직 격자 간격에 대한 민감도를 면밀히 살펴볼 예정이다.
- 김현주 : 본 학회에서 토양수분-잠열 속 간 결합강도를 관측에 가깝도록 현실화하는 작업을 소개하여 이 연구의 방향의 타당성에 대해 확인받을 수 있었다. 더불어, 이 연구의 차후 진행에 있어, 구름에 관련된 예측성 향상이라는 주제를 탐구해야 할 필요성을 다시 확인하였다. 결합강도의 조절 및 현실화라는 모델 특성의 변화가 모델의 중기 및 계절 예측 성능에 미치는 영향에 대한 분석이 필요한 것으로 사료된다. 이를 위하여 해당상호작용에 관련되어 있는 현장 및 위성 관측자료 확보를 확보하고 이를 활용한 검증을 수행할 계획이다. 특히, 구름 상태의 변화가 지면 수증기 속의 변화에 끼치는 영향에 대해 수일 규모와 계절 규모 예측에 미치는 영향에 대해 조사할 예정이다.