

국외 출장 결과보고서

결	담당자	팀장	실장	사업단장
	1월 6일	1월 8일	1월 9일	1월 9일
재	박준성	구명서	이은희	박훈

1. 출장개요

출장목적	AGU Fall Meeting 2024 참석 및 발표		
출장일정	2024. 12. 8. ~2024. 12. 15. (6박 8일)		
성명		소속	직급(직위)
박래설		수치모델실	수석연구위원
구명서		결합모델팀	책임급연구원(팀장)
박준성		결합모델팀	선임급연구원
송재영		결합모델팀	선임급연구원
함재희		역학물리팀	원급연구원
방문기관 (또는 회의장소)	미국, 워싱턴 D.C, 워싱턴 컨벤션 센터(Washington Convention Center)		
출발지	서울, 인천	도착지	미국, 워싱턴 D.C

2. 업무수행내용

가. 출장 배경 및 목적

- 2024년 12월 9일~12월 13일에 미국 워싱턴 D.C. Convention center에서 개최되는 미국 지구물리 학회(AGU) 참석을 통해 구름 및 강수과정, 열대 순환, 성층권-대류권 상호작용, 대기-해양-해빙 상호작용, 물리/역학과정 개발, 모델 불확실성, 계통오차 개선 방안 등 시공간 통합형 모델 개발 관련 최신 연구 동향을 파악하고, 각국의 전문가들과 교류함으로써 사업단의 연구성과 및 비전 등을 공유하고자 한다.
- 현재까지 사업단에서 수행한 연구 성과를 발표하고, 모델 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

- 박래설
 - 본 학회에서 차세대수치예보모델의 전체 사양과 개별 구성에 대한 간략한 소개를 하였다. 단기

예측을 위한 가변격자모델과 가변격자에 적합한 격자적응 물리과정의 개발 현황을 소개하였다. 연장중기 예측을 위해서 결합모델 기반의 앙상블 시스템을 개발하였으며, 간략한 성능을 제시하였다. 개발 범위의 확장으로 인한 검증 및 진단 시스템의 다양한 구성에 대해서도 소개하였다. 이러한 시스템은 향후 한국 기상청 현업에 활용할 계획임을 알렸고, 이에 대해 국외 전문가들은 매우 긍정적인 반응을 보였다.

- 사업단의 구름양 방안으로 최근 개발된 수상양 기반의 구름양 진단방안 개발 현황을 소개하였다. 기존의 구름양 예단방안의 한계점을 일관성 관점에서 설명하였다. 구름양 방안의 성능 극대화를 위해 구름물량(수상양) 산출과정의 최적화를 먼저 수행한 결과를 제시하였다. 구름의 시간규모에 따른 아격자 수상양 산출과정에 대한 이해를 다소 어려워하였다. 구름양 진단방안의 개념과 최적화 방안을 설명하였고, 연직 변동성에 대한 의견에 동의하며 관심을 보였다. 상대습도의 영향성에 대한 의견을 나누기도 하였다.
- 최근 기후변화와 관련하여 모델의 기후자료 유효성을 진단하고 있는데, 서울대학교 김상우 교수와 에어로졸의 변동성에 관한 논의를 하였다. 김상우 교수는 최근 보고되는 미세머닛 또는 에어로졸의 급격한 감소 추세는 기후변화에 큰 영향을 미쳤지만, 이러한 경향성은 당분간 정체될 것으로 전망하며, 이는 중국의 대기오염 저감 정책이 제자리 걸음을 유지할 것으로 판단하기 때문이라고 설명하였다. 따라서 에어로졸 농도는 더 이상 감소하지 않고 현재의 농도를 유지할 것으로 전망하였다. 한편 서울연구원의 이소진 박사는 이산화탄소의 증가양상은 당분간 지속될 것이며, 이러한 부분이 모델 기후값에 반영되는 것은 적절하다는 의견을 주었다.
- 미세물리 관련하여 전문가인 광주과학기술원 윤진호 교수와 논의한 결과에 따르면, 현재 구름의 혼합비를 진단하여 개선하면 극지 예측성이 개선될 수 있으며, 추가로 freeze-dry 효과에 대한 적절한 적용을 통해 극지 물리과정을 최적화 할 수 있을 것이라고 의견을 제시하였다. 한편, NOAA의 Vijay Tallapragada 박사는 가변격자모델이 지역모델과 어느 정도 활용성에 있어서 겹치는 듯 하며, 두 모델의 활용성에 대해 고민할 필요가 있다는 의견을 제시하였다.

○ 구명서

- 아격자산악 : 사업단에서 개발 중인 ‘격자적응 아격자 산악항력 물리과정 개발’ 연구 내용을 발표하였고 차세대모델에서 개선된 아격자산악 모수화 방안을 소개하였다. 본 연구내용은 아격자 산악 모수화 뿐만 아니라 지표층/지면모델에 대한 개선사항을 담고 있으며 현업모델 예측성능 개선에 도움이 됨을 보여주어 현업에서 관련내용을 연구하는 개발자들과 구체적 이야기를 나눌 수 있었다. 모델마다 상이한 철학과 접근법을 사용하고 있기 때문에 많은 불확실성이 존재하여 통계적 예측 성능 개선을 위해서는 튜닝과 같은 최적화가 필수적임을 확인하였고 관련 현업기관에서는 해상도

적응력 개선에 많은 노력을 기울이고 있음을 확인하였다.

- 지면모델 : 지면모델에 대한 다양한 검증과 진단, 오차 완화를 위한 물리과정 고도화, 그리고 자료동화 연구동향을 살펴보았다. 지면모델 개발을 위한 체계적 진단과 모델간 상호 검증 방안, 그리고 필수 요소를 확인하였고(David Mocko 박사, NASA) Noah-MP 지면모델의 계통적 적설지 오차 개선을 위한 최신 연구를 배울 수 있었다(Mahsa Moradi 박사, New Hampshire 대학). Noah-MP 지면모델에서 한반도 지역을 대상으로 37년 오프라인 실험을 수행하여 잎면적지수(Leaf Area Index; LAI) 자료동화가 미치는 긍정적 효과를 확인하였으며(정한철 교수, 연세대) NCEP 연구팀에서 발표한 UFS/Noah-MP 모델의 LAI 자료동화와 지표층모수화 개선 연구는 사업단 지면모델 개발 방향 수립에 도움이 될 것으로 보인다. 한편, LAI를 모수화에 추가하여계층 바람과 난류 모의 성능이 개선될 수 있음을 알 수 있었다.
- 해양모델 : 대기-해양 결합모델에서 대기와 해양모델 해상도 증가는 각기 다른 효과가 있음을 보여주었는데 이는 사업단 연구 결과와 크게 유사함을 확인하였다. 해양모델에서 100 km eddy-parameterized, 50~25 km는 eddy-permitting, 그리고 10 km 는 eddy-resolving 규모로 분류되며 대기-해양 상호작용은 해양모델 해상도 보다 물리과정 정교화에 더 큰 노력을 기울여야 할 수 있다. 한편, 대기-해양모델 속도 개선을 위해 Fortran 코드를 C++ 코드로 변경하였을 때 GPU 환경에서 약 4~5배 속도개선이 가능함을 확인하였다(강현규 박사, Oak Ridge 국립연구소)
- 해빙모델 : CESM 지구시스템 모델은 해빙위에서 얼음이 녹아 형성된 웅덩이 효과와 파랑과의 상호 작용 연구에 많은 노력을 기울이고 있었다. CMIP 모델들을 비교하였을 때 해빙 반사도 모수화에 큰 불확실성이 있고 ERA5 재분석자료도 최근 해빙 반사도 변화를 관측 대비 과대 모의함을 확인하였다. 대서양 한랭오차와 AMOC 모의성능 저하는 해양모델들이 대체로 가지고 있는 계통 오차이며 이를 개선하기 위한 많은 노력을 기울이고 있었다.
- 파랑모델 : E3SM은 MPAS-O 해양모델(30~60 km)과 WW3 파랑모델(30~225 km)을 결합하였고 표층 난류속 모수화 방안이 MJO 모의 성능에 미치는 영향력을 살펴보았을 때, 파랑모델/난류속 변화에 의한 민감도가 상당히 크게 나타남을 진단하였다.
- 하천유수모델 : 담수 유입이 극지역 빙붕(ice shelf) 변화에 미치는 효과가 크다는 연구 결과를 볼 수 있었다(심효은 박사, Hanover 대학). UFS 모델은 WRF-Hydro 하천모델을 결합하여 계절 모의성능 개선을 시도하고 있다.
- 모델체계/진단 : UFS 모델은 V17 업데이트를 거치면서 물리과정과 자료동화 개선 뿐만 아니라 결합 모델링시스템으로 완벽히 전환하였고 EPIC, JEDI 등 다양한 협력 업무를 통해 체계적 모델 성능 개선을 계획하고 있다. CESM/CAM6-7 모델에서 QBO 모의성능은 연직 해상도 증가에 따라 개선됨을 확인하였으나 수평 해상도 증가는 오히려 성능 저하를 유발할 수 있음이 지적되었다.

AMIP/CMIP 모델들의 성능 진단을 효율적으로 수행할 수 있는 방안이 개발되어 오픈소스로 개방되어 있으므로 사업단에서 적극 활용해볼 수 있다(이자우 박사, LLNL). 그리고 곧 CMIP7 프로토콜이 발표되어 모의 성능을 비교할 예정이다.

- 국제협력(Noah-MP) : Noah-MP 개발자 오찬 모임에 참여하여 Noah-MP 개발현황과 향후 방향성에 대한 이야기를 나누었다. Noah-MP 개발을 주도하고 있는 Cenlin He 박사(NCAR)로부터 버전 5.1 업그레이드가 계획되어 있고 적설관련 개선사항이 상당부분 도입될 예정이라고 전해들었다. David Mocko 박사(NASA)로부터 Land Information System (LIS) 내에 Noah-MP 버전 5.0 결합이 거의 완료되었고 마무리 단계에 있음을 알 수 있었다.
- 국제협력(LS4P) : 지면온도 섭동에 의한 S2S 예측성 분석 공동연구를 주관하고 있는 Yongkang Xue (UCLA)와 오찬 모임을 가지면서 향후 협력방안을 논의하였다. 사업단에서는 Noah 와 Noah-MP 지면모델 비교 연구에서 LS4P 프로토콜을 활용하고 있는데(송재영 박사) 논의 결과, 사업단에서의 분석과 개발 방향성이 적절함을 확인할 수 있었다. 향후 LS4P에서 요구하는 기본 자료를 제공하면서 더 많은 진단 방안을 적용해볼 계획이다.

o 박준성

- 학회에 참석하여 결합모델 내 해빙 모델의 모의 성능 및 개선 결과들을 발표하였다. 단독 모델 장기 적분을 통해 대기 강제력에 따른 해양-해빙 모델의 계통오차 특징 파악 및 빙붕과 빙산에서 유출되는 담수효과 적용을 통해 남극대륙 근처 성층화가 심화되면서 남극 순환 심층수의 유입이 약화 되어 표면 해수면 온도의 감소로 인해 해빙의 면적 모의 성능이 개선될 수 있음을 보였다. 중기 및 계절 실험에서 양극 겨울철 한랭 오차를 개선하기 위해 모델 간 표층 교환계수 일관화 및 해염입자에 의한 극지역 온난화 효과를 적용하기 위해 하향장파복사의 방출률을 높여 줌으로써 온도 오차를 완화하였고 북극 지상 온도 관측자료와도 유사한 결과를 보여줌을 공유하였다. 타 결합모델에서도 북대서양 한랭 오차 및 염분 과소 모의로 인해 대서양 자오선 역전 순환류의 강도가 약하게 모의되는 특징을 가지며 이는 해양 모델들이 가지는 계통오차로 파악되고 해상도 증가 이외에 다른 모수화 방안 개선이 필요함을 파악하였고, 겨울과 여름철 해빙 표면 온도를 결정하는 장파 및 단파복사 분석 및 관측자료와의 비교 검증이 필요하다는 조언이 있었다.
- 그린란드의 가속화된 용빙수 유입이 대서양 자오선 역전 순환류(AMOC)를 약화시킬 수 있다는 기존 연구들과 달리, 남극에서의 담수 유입이 이러한 AMOC 약화를 방지할 수 있음을 보여주었다. 모델 시뮬레이션 결과, 남극에서의 담수 유입은 북반구와 남반구 간 열 순환(양극 시소)을 활성화하여 북대서양을 냉각시키고 남반구를 가열하는 효과를 나타냈다. 특히, 담수 유입량이 3,000 Gt/yr에서 최대 5,000 Gt/yr에 이를 때 AMOC 약화가 억제되며, 이는 비선형적인 기작을 통해

이루어진다. 이러한 기작은 남극 담수 유입이 그린란드 용빙수로 인해 발생하는 불안정성을 상쇄할 수 있음을 시사한다. 이 연구는 빙하 해빙과 해양 순환 변화가 전 지구적 기후 시스템에 미치는 영향을 이해하는 데 중요한 단서를 제시하였다.

- 남극 해빙 면적의 변동성을 대기에서 기인한 영향과 관련하여 수치 모델을 통해 평가한 내용의 발표가 있었다. 남극 해빙의 연간 평균 면적 변화와 계절적 변동성은 남극 순환 기후(남극진동, Southern Annular Mode, SAM) 및 남방진동(Southern Oscillation, SO)과 같은 대규모 대기현상에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다. 연구에서는 해빙 면적과 대규모 대기현상 간의 관계를 분석하기 위해 CMCC-CM2 모델을 사용하여 실험을 수행했으며, 다양한 대기 조건에서 해빙 농도(SIC)의 반응을 평가하였다. 연구 결과, SAM이 양의 값을 보이는 경우 남극 해빙은 감소하는 경향을 보였고, SO는 지역적으로 해빙 증가 및 감소 모두를 유발하는 상반된 반응을 보였다. 이러한 변화는 대기와 해양 간의 에너지 전달 및 순환 변화에 의해 설명될 수 있다. 특히, 특정 대기 조건에서 해빙이 증가하거나 감소하는 패턴은 남극 해빙의 공간적 분포와 연계되어 있으며, 이는 대기 강제력(예: SAM과 SO)의 지역적 특성과 밀접하게 연결되어 있음을 시사한다.
- Community Earth System Model version 3 (CESM3)에서는 해빙 용해 웅덩이와 파랑-해빙 상호작용을 개선하기 위해 새로운 매개변수화를 도입하였다. 용해 웅덩이는 해빙의 반사율에 큰 영향을 미치며, CESM3의 개선된 모델은 이를 더 정확히 재현하고 있다. 다만, Floe Size Distribution(FSD) 매개변수를 통해 파랑이 해빙에 미치는 영향을 분석하였지만, 장기적 관측 데이터 부족으로 여전히 도전 과제가 남아 있다. 향후 연구는 관측 데이터와의 검증을 통해 모델 신뢰도를 높이고 기후 변화 예측에 기여할 것이라는 연구가 진행되고 있었다.
- 그 이외에도 북극에서 눈바람(blowing snow)으로 발생하는 해염 에어로졸(Sea Salt Aerosol, SSA)의 생성 매개변수를 개선하는 연구가 발표되었다. 북극 MOSAiC 탐사를 통해 눈바람 입자가 SSA의 자연적 기원으로 작용한다는 점이 확인되었으며, 연구는 SSA 생성에 중요한 두 가지 요소로 눈바람 입자의 크기 분포와 눈의 염도를 지목했다. 또한, 북극 지역 눈의 염도는 SSA 생성량에 큰 영향을 주며, 염도가 높을수록 SSA 생성이 증가하는 경향이 관측 데이터를 통해 확인되었다. 이에 따라, 염도와 SSA 질량 생성률의 관계를 바탕으로 개선된 매개변수를 제안하였다. 새로운 매개변수화를 기반으로 설계된 SSA 생성 모델은 북극의 특수성을 잘 반영하며, 기존 모델보다 관측 데이터와 더 잘 부합하는 결과를 보였다. 특히, 미세 입자와 큰 입자의 생성률 차이를 명확히 분석하여 각각의 기여도를 평가하였고, 이러한 개선은 SSA 생성의 불확실성을 줄이고, 모델의 신뢰성을 높이는 데 중요함을 알 수 있었다.

○ 송재영

- 본 학회에서 차세대모델의 개발 현황 및 중장기 예측을 위해 개발해 온 결합모델을 포스터 발표를 통해 소개했다. 특히, 최근 새로 결합된 Noah-MP 지면 모델에 대해 다루고 중장기 예측 오차를 완화시키기 위한 개발내용을 담아 우리모델의 우수성을 알렸다. 발표중 몇몇 모델 개발자들과의 소통을 통해 Noah-MP결합 후 나타나는 계통오차는 다른 기관 모델에서도 존재하고 있음을 알게 되었고 이번 우리 개선사항에 많은 관심을 보였다. 특히, LS4P(장기 예측)프로젝트를 수행중인 주요기관 개발자들이 우리모델과 다르게 로키산맥지역 섭동실험이 잘 수행되지 않고 있었다.
- 본 학회 참석 중 LS4P프로젝트 리더인 Dr. Xue와 미팅을 가져 지금까지 수행해온 티벳과 로키산맥지역 섭동 실험 결과를 공유했으며 긍정적인 평가를 받았다. 포스터 발표를 통해 보여주었던 내용을 토대로 논문 작성이 필요하다는 권유를 받았고 최근 밝혀지고 있는 LS4P 결과분석 방식에 대해서 공유받았다. 또한, 향후 LS4P프로젝트 방향과 앞으로 수행할 연구에 대해 논할 시간을 가졌고 다음 미팅을 약속했다.
- 또한, Noah-MP개발 리더 및 기관 그리고 세계 각국의 개발자들과의 미팅 시간을 가지게 되었다. NCAR에서 Noah-MP를 어떻게 관리하고 있는지, 그리고 앞으로 버전 업데이트를 어떻게 언제 할지 공유받았으며 우리 기관에서 어떠한 방식으로 개발에 참여할지 조율하기로 했다.
- 본 학회에서 호수 모델에 대한 연구가 발표되었다. 호수는 기후나 지역 날씨에 지대한 영향력이 있으나 아직 정확히 모의하는 데 어려움이 있다. 큰 호수중에 하나인 Great Lake관련된 연구에서는 주변 Hydrologic Unit을 포함한 호수지역 격자가 상세화 되어야 한다고 밝혔다.
- 그 외에도 CESM2의 온도 한계점에 대한 연구가 있었다. 이 연구는 CESM2 모델에서 나타나는 온난화 runaway 문제와 기후 민감도 변화를 분석했다. 고농도 CO₂ 환경에서 CESM2는 지구 평균 표면 온도가 비정상적으로 상승을 멈추고 냉각되는 현상을 보였다. 문제를 단순화하기 위해 슬랩 해양 모델을 사용해 동일한 임계 온도(GMST $\approx 35^{\circ}\text{C}$)를 확인했으며 이는 복사 강제력 및 수증기 피드백의 문제로 나타났다. CAM6 모델의 복사 강제력 제한 요소(RRTMG)와 클라우드 피드백이 runaway 현상의 원인으로 지목되었고, 이를 통해 매개변수화 수정이 필요함 밝혔다. 또한 기후 민감도는 GMST가 $25\sim 43^{\circ}\text{C}$ 구간에서 최대화되며 클라우드 피드백이 온난화에 비선형적으로 기여함을 보였다.
- Noah UFS에서는 LAI 관측자료를 적용한 Noah-MP실험이 소개되었다. LAI가 낮은 지역(예: 남서부 미국)에서 2미터 온도 편향이 감소했다. 위성 기반 LAI는 예측 성능을 개선했지만, 일부 조건에서 지표 온도 예측의 패턴 불일치가 여전히 존재했다. 특히 LAI가 희박한 지역에서는 모델의 성능이 다소 저하되었으며, 기후 조건의 불확실성도 확인되었다. 또한, 추가적으로 단일 루프(Single-Loop) 방식을 도입하여 열 및 수분 플럭스 계산을 개선하는 방법을 도입했다. 단일 루프는

특히 식생 캐노피가 있는 지역에서 현열과 잠열을 정확히 예측했다.

○ 합제회

- 본 학회에서 “High-Resolution Earth System Modeling on Large Supercomputers I Poster” 세션을 통해 사업단의 차세대모델의 가변 격자 시스템을 소개하고 실제 사례를 통한 사례 분석과 중기 예측 성능 결과에 대해 균일 격자 시스템에 대비하여 비교 분석한 내용을 포스터로 발표했으며 이완/수축 비율의 개념과 예측 시간 대비 실제 수행 시간에 대해 설명했다. 가변 격자 시스템의 이완/수축 비율 설정에 기반한 고해상도 영역에서 한반도 집중호우 사례 결과에 대해 높은 이완/수축 비율로 인한 분해능의 효과가 잘 반영된 결과를 공유하였다. 다만 이완/수축 비율이 높아짐에 따라 저해상도 영역에서 발생하는 noise가 고해상도 영역까지 영향을 미쳤을 때의 오차는 피할 수 없음을 시사했다. 현재까지 결과를 기반으로 저해상도 영역에서 발생하는 noise까지 고려했을 때 이완/수축 비율을 최대로 설정 시 사업단에서 수행한 최대 적분 시간과 그에 따른 차세대 모델의 안정성도 검토가 필요하다는 조언을 받았다.
- 이번 학회 중 Air Pollution Interactions with Extreme Weather and Climate 세션에서 연산 자원을 효율적으로 사용하기 위해 기후 및 지역 규모 가변 격자 시스템을 이용한 연구가 발표되었다. 사업단에서 사용하는 가변 격자 시스템의 기법은 슈미트 변환(Schmidt transform)을 이용하여 수평 격자에 적용하고있는 반면, 이 연구에서는 CAM-MPAS(Model for Prediction Across Scales)를 이용하여 북서태평양의 태풍에 대해 분석했으며 강도가 강한 태풍 강도를 균일 격자 시스템보다 더 현실적으로 모의했다. 높은 등급의 태풍 발생 수는 낮게 재현했으며 이러한 원인은 해당 기간 에어로졸 감소와 온실가스 증가로 인한 것이라고 추정하였다.

3. 출장성과 • 시사점 및 향후 업무 활용 계획

- 박래설 : 사업단에서 개발 중인 차세대 수치예보시스템 및 개발 현황을 소개함으로써 사업단의 연구 결과를 홍보할 수 있었다. 구름양진단방안에 개발 내용을 소개하는 과정에서 아격자수상양의 고려 방법에 대한 관심을 보이는 연구자들과 논의하였으며, 다양한 구름관측에 대한 정보를 획득하였다. 획득한 구름관측 정보를 활용하여 구름의 면밀한 진단이 가능할 것으로 사료된다. 에어로졸 기후 자료의 최신 경향과 미래전망에 대한 전문가 그룹과의 심도있는 논의를 하였으며, 현재 진행 중인 이산화탄소 기후값의 최신화 이후에 에어로졸 기후값의 최신화 영향성 역시 실험해 볼 필요가 있음을 확인하였다. 구름물리 전문가와의 논의 과정에서 극지 예측성 개선을 위한 구름물리과정 수정 방안에 대한 조언을 획득하였으며, freeze-dry 효과를 어떤 방식으로 적용하는 것이 모델 성능에 이로운지에 대한 고민이 필요할 것 같다.

- 구명서 : 발표 내용을 기반으로 현업기관 전문가 의견을 받아 아격자 산악항력 물리과정 개발 적절성을 확인하였고, 향후 격자적응 관련 모수화 개선, 역학 및 물리과정 상호작용 고도화, 그리고 모델 항력 진단을 위한 체계적 검증 방안에 대한 구체적 자문을 구할 수 있었다. 결합모델 개발과 관련하여 타 현업 및 연구기관의 개발 동향을 검토할 수 있었는데 특히, 현업모델에서 사용하는 결합모델의 상세 구조, 구체적 개발 현황과 계획 정보를 획득할 수 있었고 이는 차세대 결합모델의 효율적 개발을 위한 참고자료로 활용할 계획이다.

- 박준성 : 중장기 예보의 예측성능을 개선을 위한 대기(KIM)-해양(NEMO)-해빙(SI3) 결합모델 개발 과정 및 모의 성능을 평가하고 개선 방안 적용 결과들을 발표하여 사업단의 결합모델 현황을 공유하였고 타 기관에서의 결합모델 개발 방향과 검증방안을 확인하여 사업단 대기-해빙 결합모델 개발 적절성을 진단하였다. 많은 연구들에서 북대서양 예측성능 저하로 인해 AMOC을 약하게 모의하고 있으며 이로 인해 북극 해빙에 미치는 영향이 미래기후에서 크게 작용할 것으로 보고 있어 현재 결합모델 결과와 관련되어 연구가 좀 더 필요해 보이며, 해빙 면적 감소 및 빙권 변화에 융빙호 및 빙상의 역할이 중요하며 적절한 모수화 방안 적용을 통해 여름철 해빙 표면 온도 예측 성능을 개선할 수 있을 것으로 기대된다. 남극 담수 유입이 그린란드 융빙수로 인해 발생하는 불안정성을 상쇄하고 AMOC 강도 감소를 줄일 수 있는 기작으로 작용할 수 있다는 연구 결과를 바탕으로 현재 결합모델에도 융빙수의 양에 따른 민감도 실험을 수행해 볼 수 있을 것으로 기대된다. 또한 해빙의 눈 두께를 검증하기 위한 위성자료로 ICESat-2가 널리 사용되고 있음을 파악하였고, 추후 자료를 확보하여 결합모델 검증에 적극 활용할 수 있도록 기대된다. 남극의 경우 위치에 따라 남극순환해류, 웨델 환류, 로스 환류가 존재하며 각각의 특징을 파악하고 분해능과 수심에 따라 어떤 특징을 가지고 있으며 남극 해빙에 어떠한 영향을 미치는지 추가적인 연구가 가능할 것으로 기대된다.

- 송재영 : 관련 전문가와의 토의를 통해 현재까지 수행되어 온 결합모델 내 지면모델의 개발 방향이 적절함을 확인하였고 우리모델의 우수성을 알게 되었다. 또한, LS4P리더와의 소통을 통해 진행 중인 LS4P 프로젝트가 순조롭게 진행되고 있음을 알게 되었고 차후 결과 공유와 논문재개를 통해 프로젝트 Phase 2를 잘 마무리할 수 있을 것으로 보인다. 그리고, Noah-MP 개발자들과의 직접적인 만남을 통해 기관들과의 색깔과 방향성을 더 잘 알게 되었고 앞으로 Noah-MP 기술 개발에 있어서 협업, 개발속도조율, 기타소통 등이 더욱 매끄럽게 이루어질 수 있을 것으로 보인다. 마지막으로, 아직 개발 전단계에 있는 호수 모델에 대한 현황을 알 수 있었고, Noah USF에서 도입한 관측 LAI적용이 우리 개발 방향과 비슷함에도 불구하고 결과가 상이해 추가 소통이 필요해 보이며 이를

통해 차세대모델에 관측 LAI적용 방향을 확립할 수 있을 것으로 기대된다.

- 함재희 : 사업단의 이완/수축 배율별 가변 격자 시스템의 성능 분석에 대한 주제로 포스터 발표를 수행했으며 높은 이완/수축 배율 사용 시 고해상도 영역에서의 강수 모의 결과에 대해 긍정적인 반응을 보였다. 다만, 장기 적분 시 저해상도 영역에서 발생한 noise가 고해상도 영역으로 유입되어 오차로 작용할 수도 있기에 가변 격자 시스템에서 신뢰할 수 있는 예측 시간은 어느정도인지 명확하게 파악해야 함을 지적하였다. 많은 발표 내용들이 현재 사업단에서 적용한 기법 이외에 다른 지역 및 기후 모델의 기법을 이용하여 가변 격자 시스템 연구를 수행 중임을 확인했으며, 차후 사업단의 가변 격자 시스템 예측 성능 향상을 위한 연구 수행 방안을 논의할 예정이다.