

# 국외 출장 결과보고서

|   |        |        |        |        |
|---|--------|--------|--------|--------|
| 결 | 담당자    | 팀장     | 실장     | 사업단장   |
|   | 7월 18일 | 7월 19일 | 7월 20일 | 7월 20일 |
| 재 | 백성혜    | 배수야    | 박래설    | 이우진    |

## 1. 출장개요

|                   |                                                      |       |           |
|-------------------|------------------------------------------------------|-------|-----------|
| 출장목적              | IRS 2022 (International Radiation Symposium 2022) 참석 |       |           |
| 출장일정              | 2022. 7. 3~2022. 7. 9. (4박 7일)                       |       |           |
| 성명                |                                                      | 소속    | 직급(직위)    |
| 배수아               |                                                      | 물리과정팀 | 책임급연구원    |
| 백성혜               |                                                      | 물리과정팀 | 책임급연구원    |
| 방문기관<br>(또는 회의장소) | 그리스 테살로니키 콘서트홀                                       |       |           |
| 출발지               | 인천                                                   | 도착지   | 그리스 테살로니키 |

## 2. 업무수행내용

### 가. 출장 배경 및 목적

- 2022년 7월 4일~7월 8일 5일간 그리스 테살로니키 콘서트홀에서 개최되는 국제 복사 심포지엄 2022 (International Radiation Symposium 2022)에 참석하였다.
- 국제 복사 위원회(IRC, International Radiation Commission)와 기상 및 대기과학 국제 조직(IAMAS, International Association of Meteorology and Atmospheric Sciences)이 4년마다 개최하는 국제적 규모의 행사이다.
- 수치모델, 관측, 자료동화 분야를 모두 망라하는 복사에 관련된 전 세계 전문가들이 모여 최신 연구 성과 및 문제점 등을 공유하고 해결하기 위해 개최되는 심포지엄이다. 복사에 집중된 학회로 학계와 다양한 관련 기관에서 수행되는 기초 복사 모수화 수치모델 개발을 비롯하여 새로운 기술 개발에 관한 전문가들이 한자리에 모이는 기회가 되고 있다. 미국 항공우주국(NASA, National Aeronautics and Space Administration), 유럽중기예보센터(ECMWF, European Centre for Medium-Range Weather Forecast), 미국 해양대기청(NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration), 영국 기상청(Met Office) 및 전 세계 현업기관, 학계 및 기관의 전문가들이 참여하였다.
- 사업단 연구성과 홍보, 향후 계획에 대한 전문가 의견 청취, 개발 방향 및 기술에 관한 다양한 전문과들과 논의를 통해 사업단 개발 연구에 활용하고자 하였다.

## 나. 주요 업무 수행 사항

- o Weather, Climate and Environment Applications 세션에서 이중모멘트 구름미세물리과정과 복사 간 일관성 확보에 대한 주제로 발표하였고, Radiation Budget and Forcing 및 Weather, Climate and Environment Applications 세션에 참석하여 최신 연구 동향을 파악하였다.
- 에어로졸에 의한 기상 및 기후에 미치는 영향을 모의하기 위해서는 에어로졸모델 및 구름 수 농도를 모의할 수 있는 구름미세물리과정이 필요하다. 이를 위한 첫 번째 단계로 이중모멘트 구름미세물리과정을 전구모델에 적용하였고, 구름물리-복사과정 간 일관성을 위하여 아격자규모 및 격자규모 수상에 대한 유효반경식 개발을 필요로 하였다. 변경된 구름미세물리과정에 따른 수상량 변화를 비교하였고, 개발된 유효반경식에 의한 복사량 변화량 비교·분석한 내용으로 발표하였다.
- 다양한 위성 관측값에 대한 진단 및 검증에 대한 연구들이 많이 이루어지고 있으며, 주로 대기외로 나가는 장파복사에 대한 연구가 많이 이루어지고 있었다. 2028년에 NASA에서 새로 올릴 위성에 대한 소개가 있었고, 단파복사에 대한 정확한 복사량 측정을 위해 기존 파장대(0.3~5  $\mu\text{m}$ ) 외에 가시광선을 제외한 파장대(0.7~5  $\mu\text{m}$ )를 추가할 예정이라고 하였다.
- 최근 우리나라에서 올라간 환경위성에 대한 에어로졸 광학크기 알고리즘에 대한 설명 및 결과에 대한 검증/진단에 대한 연구가 다양하게 이루어졌고 모델 내 구름 관련 변수에 관한 민감도 실험 및 구름-에어로졸 모의 과정에 관한 연구들이 소개되었다.
- o Radiation Budget and Forcing 세션에서 Subgrid-Scale Topographic Effects on Radiation for Global Forecast Models을 주제로 하여 발표하였다.
- 복사의 지형효과는 선행연구에서 지역모델 등에 주로 적용되던 것과 달리 사업단에서 현업모델을 목적으로 전구모델에서 아격자규모로 개발되었으며, 고해상도 지형정보에 대한 손실 없이 지형효과를 고려하면서 계산시간이나 메모리의 증가가 거의 없다는 점을 주 내용으로 하여 발표하였다.
- Met Office의 Jame Manner와 ECMWF의 Robin Hogan 박사는 방안 적용 후 전체 복사속의 밸런스가 어떠했는지에 대해 질문하였고, 태양의 위치에 따라 단파가 지구 표면에 닿는 가장자리(일몰 일출지역)가 얼마나 심한 경사도의 지형에 위치하느냐에 따라 변화가 있지만 전체적으로 1% 미만이라고 답하였다. 또한 추가적으로 지면 온도의 변화에 대한 질문에는 리소스상의 문제로 한달 중기 실험에 대한 검증은 25 km 수평해상도에서만 모델 수행하였으며 사업단에서 수행하는 전반적인 변수에 대한 관측자료와 분석장 대비 변화를 살펴보았을 때 가장 민감한 변수인 지위고도의 이상 상관 계수에 대해서만 효과를 나타냈었고 나머지 변수들에 대해서는 중립

적인 영향을 확인하였다고 답하였다. NOAA의 Venkatachalam Ramaswabmy 박사는 KIM의 현업모델에 대해 관심을 보이고 현업모델에 해양모델이 포함되어 있는지 질문하였다.

### 3. 출장성과 · 시사점 및 향후 업무 활용 계획

### 가. 출장성과 · 시사점

- 장기간 위성관측값에 대한 검증 및 진단 연구들이 다양하게 이루어지고 있었고, 새로 올려질 위성에 대한 정보를 알 수 있었다. 타 기관들에서도 위성자료 및 모델 모의값 검증 시 CERES (Clouds and the Earth's Radiation Energy System)를 많이 이용하고 있었고, 가을에 CERES 자료를 EBAF Ed4.2로 업데이트하여 공개될 예정임을 알 수 있었다. 타 모델에서 사용하고 있는 유효반경식에 대한 정보와 얼음 구름에 대해 장파 산란 고려에 대한 여부 정보를 얻을 수 있었다.
- 많은 위성 결과들에 대해 진단하기 위해서 CERES 위성 자료를 사용하고 있었고, CERES 자료에 대한 업데이트 시기 및 업데이트 내용에 대한 정보를 얻을 수 있어 향후 위성자료 사용함에 있어서 자료 간 차이나는 원인을 미리 숙지할 수 있었다. 업데이트될 CERES 지표 복사속은 MERRA-2 (Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, version 2) 재분석장을 가지고 계산하기 때문에 CERES 지표 복사속과 비교할 때 MERRA-2 자료도 같이 활용할 필요가 있어보인다.
- 대기 모델 내 복사과정에서 최근 구름관련 연구들(구름 수직겹침, 얼음구름 광학특성 변경, 아격자 비균질성 고려, 얼음구름 장파 산란 등)이 이루어지고 있는데 KIM에서 아직 고려하고 있지 않은 내용들이 있어서 복사속 모의성능 향상에 도움이 될 지 살펴 볼 필요가 있다고 생각되었다.
- 이번 국제 복사 심포지움은 코로나19의 세계적 대유행의 여파로 4년이 아닌 6년만에 열리게 되어 참가자들 모두 적극적이고 활발한 태도로 학회에 참여하는 분위기를 느낄 수 있었다. 오전의 짧은 기조연설을 제외하고는 세 개의 병행 세션으로 나누어져 있어서 관심있는 모든 세션에 참가할 수 없는 아쉬움이 있었다. 사업단의 1단계 과제를 마무리하고 2단계 과제를 계획함에 있어 연구의 방향을 설정하는데 도움이 되었다.
- Radiative Transfer Theory and Modeling 세션에서는 복사모듈이 가지는 근본적인 한계인 계산 시간 단축과 그로 인해 생기는 정확도에 대한 다양한 시도가 소개되었다. 전구모델이 허용할수 있는 오차의 범위 안에서 기존의 Correlated-k 분포 방법을 유지하면서 시간 단축을 모색하거나 대안적인 방법을 사용해서 복사계산을 시도하는 연구가 진행되고 있었다. 또한 복사모수화에 기초적으로 사용되는 흡수 스펙트럼 데이터 자체에 대한 업데이트도 보고되어 향후 복사의 계

통오류 감소에 기여할 것으로 보인다. 또한 Lopez-Puertas 박사의 중간대기에서 일어나는 CO<sub>2</sub>의 non-LTE (Local Temperature Equilibrium) 냉각에 대한 발표는 기존의 근본적인 가정에 대한 의문점을 제기한 것으로 복사 모수화가 상세화됨에 있어서 복사 커뮤니티에서 앞으로 고려해야 할 또 하나의 새로운 주제로 여겨졌다.

- Radiative Budget and Forcing 세션에서는 전체 복사량의 밸런스에 초점을 맞추어 주로 CERES 위성 관측과 데이터를 활용한 연구들이 자주 언급되었다. CERES 위성자료는 현 사업단에서도 복사량 검증을 위한 중요한 지표로 사용하고 있는 자료로 자료가 가지는 오차나 업데이트 유무를 주시할 필요가 있어 보인다.

## 나. 향후 업무 활용 계획

### o 유효반경식 개선 및 복사량 검증에 최신 위성 자료 및 다양한 자료 활용

- 구름물 유효반경식(Martin et al., 1994)에서 사용되는 상수(유효반경과 평균 부피 반경 간 관계를 나타냄)는 모델마다 다양하게 사용되고 있다(0.36~0.8). ECMWF에서 공유한 코드 비교를 통해 유효반경식 수정을 모색할 예정이고, 유효반경 계산할 때 사용되는 구름물 수농도 정보를 수집해서 적절한 값이 무엇인지 모색할 예정이다.
- 추후 현재 사용하고 있는 CERES CBAF Ed4.1자료를 Ed4.2자료로 갱신하는 것이 필요해 보인다. 모델 결과 진단에 CERES 자료 외에도 MODIS/CALIPSO 자료들을 활용함으로써 다각적 진단을 통해 복사속 및 온도 모의성능 향상에 도움이 될 것으로 생각된다.

### o 사업단 2단계 다차원 물리과정 복사 모수화 개발 및 검증에 활용

- Radiative Transfer Theory and Modeling 세션에서는 복사의 3차원 효과에 대한 발표가 다수 있었고 그 중에서 2-stream이나 4-stream 근사를 사용하거나 몬테카를로 광선 추적 방법을 활용한 연구도 소개되었다. 사업단의 2단계에 계획된 다차원 물리과정의 복사모수화를 개발하기 위해서는 벤치마킹을 위한 참고모델이 필요하다. 계산시간은 더 걸리더라도 정확한 산란을 모의하기 위해 언급된 모델들을 활용해 오프라인 모듈을 사용할 수 있을 것으로 여겨진다. 그리고 3차원 복사효과를 적용한 사례들을 통하여 전구모델에서 활용할 수 있는 방법을 모색할 계획이다.
- 중간대기의 CO<sub>2</sub> 냉각으로 인한 효과는 1단계 중간대기 온도 오차 개선을 연구하면서 그 효과나 민감도를 확인한 바 있는 주제이나 LTE 가정아래 CO<sub>2</sub> 변화로 인한 민감도가 크지 않을 것으로 예상되었다. 그러나 중간대기의 희박한 공기밀도를 가정할 때 온도 냉각에 가장 큰 기여를 하는 CO<sub>2</sub> 기체의 상태가 LTE에 있지 않다고 가정할 때 그 정도는 크게 달라질 수 있다. 선형모델을 도입하는 것 외에도 non-LTE 효과를 중간대기 온도 오차 개선 연구에 활용할 수 있을 것으로 여겨진다.