

## 중간복잡도 지구시스템모델 LOVECLIM을 이용한 과거 6천년 기후 변화 모의

전상윤<sup>1\*</sup>, 김성중<sup>2</sup>

<sup>1</sup>극지연구소 북극해빙예측사업단

<sup>2</sup>극지연구소 극지기후과학연구부

\*E-mail: syjun@kopri.re.kr

### 1. 서론

기후모델은 미래 기후의 예측, 과거 기후의 재현 연구에서 널리 사용되고 있는 중요한 연구 도구의 하나이다. 일부 기후모델은 해상도를 낮추고 물리 과정들을 간소화하여 긴 시간 규모의 기후 실험을 수행하여 왔다. 중간복잡도 지구시스템모델 (earth system model of intermediate complexity; EMIC)은 최신의 기후 모델에 비하여 간소화된 과정과 낮은 해상도를 갖지만 전구 규모의 외부강제력이 고려되는 고기후 연구등 장기간의 기후 변화 모의가 필요한 연구에서 유용한 도구로 활용되고 있다. 특히 상대적으로 정교한 중간복잡도 지구시스템모델들의 경우 자오선 역전순환, 몬순 등 주요 지역적 기후 현상의 장기 변화 연구에도 널리 활용되고 있다. 이렇듯 과거 기후 재현, 미래 기후 예측 등의 기후 연구, 교육 등에서 다양하게 활용될 수 있음에도 불구하고 중간복잡도 지구시스템을 이용한 국내 연구는 매우 부족한 실정이다. 이에 중간복잡도 지구시스템모델 중 대기 모의 과정이 상대적으로 정교한 모델의 하나인 LOVECLIM (LOch-Vecode-Ecbilt-CLio-agIsm Model)을 이용하여 과거 6천년간의 기후변화 실험을 수행하고 지면온도 모의 특성을 살펴보았다.

### 2. LOVECLIM 소개

LOVECLIM은 대기, 해양, 지면, 해양탄소순환, 육빙모델로 구성된 중간복잡도 지구시스템모델이다 (Goosse et al., 2010). 준지균 근사방정식에 근거한 3차원 대기모델 ECBILT와 3차원 정역학계 해양 및 열역학 해빙 모델 CLIO, 지면식생모델 VECODE, 육빙모델 AGSIM, 해양 탄소 및 생지화학모델 LOCH를 구성모델로 가지며, 과거 주요 기후 모의, Heinrich 이벤트, 제4기 기후 변동 복원 등의 다양한 고기후 연구에 활용되어 왔다.

### 3. 홀로세 중기-현세 점진적 기후실험 결과

LOVECLIM을 이용하여 홀로세 중기부터 현재까지의 점진적 기후변화 실험을 수행하였다. 홀로세 중기와 현세는 지형조건의 변화가 거의 없으며, 지구공전궤도에 의한 태양복사량은 홀로세 중기부터 산업혁명기 이전까지는 북반구 여름철의 경우 북극지역을 중심으로 지속적으로 감소하고 남반구 여름철의 경우 남반구 고위도 지역에서 약 2,000 BP까지는 증가하다가 이후 감소하는 것으로 알려져 있다 (Lorenz and Lohmann, 2004). 이에 따라 산업혁명기 이전 지형 조건을 전 기간에 사용하고, 홀로세 중기 (6,000 BP)부터 서기 1950년 (0 BP)까지 지구공전궤도 변화에 따른 태양복사량의 변화를 Berger (1978)에 따라 계산하였다.

LOVECLIM의 6천년간의 지면온도 변화의 분포 특성을 CMIP5/PMIP3에 참여한 6종의 모델들이 모의한 홀로세 중기 기후와 산업혁명기 이전 기후의 차이와 비교하여 살펴보았다 (Fig. 1). 먼저 LOVECLIM의 경우 북반구 겨울철 (December-January-February; DJF)의 강한 감소 경향은 북극지역에서 기인하는 것으로 나타나는데, 이러한 북극지역 DJF의 한랭화 경향은 CMIP5/PMIP3 모델들이 모의하는 두 시기의 차이에서도 나타난다. 특히 LOVECLIM의 경우 모든 계절에 북극지역은 온도가 감소하는 경향성을 보이며, 특히 북반구 가을철 (September-October-November; SON)에도 매우 강한 한랭화 경향성이 나타난다. 한편 이러한 LOVECLIM의 북극지역 모의 경향성은 북반구 봄철 (March-April-May; MAM)에 CMIP5/PMIP3 모의 결과와 다소 다르게 나타나는데 (Figs. 1b, f), CMIP5/PMIP3 모델들의 경우 MAM의 북극 모의에서 모델간 모의 편차가 존재한다.

북극해를 제외한 지역에서는 육지 지역에서 해양 지역에 비하여 큰 경향성이 나타난다. DJF 육지 지역의 경우 LOVECLIM과 CMIP5/PMIP3 평균에서 모두 대부분 지역에서 온난화 경향이 나타난다. 해양의 경우 LOVECLIM은 적도 동태평양 지역과 쿠로시오 지역에서 온난화 경향과 남극해 지역에서 한랭화 경향을 모의하는데, 이러한 분포 특성은 CMIP5/PMIP3 평균에서도 동일하게 나타난다. MAM의 경우 LOVECLIM은 북아프리카 일부와 중동 지역, 알래스카를 제외한 대부분 지역에서 지면온도의 증가를 모의하는데, CMIP5/PMIP3의 평균에서는 육지 전 지역에서 증가가 나타나고 있다. 해양 지역의 경우 LOVECLIM의 변화 경향은 CMIP5/PMIP3 평균에 비하여 약하게 나타나지만, 적도 서태평양 지역과 쿠로시오 남쪽의 강한 해수면온도 증가지역은 잘 모의되고 있다. 북반구 여름철 (June-July-August; JJA)의 경우 북반구 전 대륙지역에서의 한랭화 경향성이 LOVECLIM과 CMIP5/PMIP3에서 공통적으로 나타나고 있으며, 아프리카와 중동 지역의 온난화도 공통적으로 나타나고 있다. 한편 해양지역의 경우 북태평양과 남극해 지역의 한랭화는 동일하게 나타나나, 적도 지역의 경향성은 약간 다르게 나타난다. SON의 경우 북극과 남극지역의 강한 한랭화 경향성이 LOVECLIM과 CMIP5/PMIP3에서 동일하게 나타나고 있으

며, 남반구 전지역의 변화 경향성 역시 매우 유사하게 모의되고 있다. 북반구 육지의 경우 LOVECLIM에서는 유라시아 동안과 북아프리카 지역에서 온난화 경향성을 모의하지만 CMIP5/PMIP3 평균에서는 이러한 특성이 나타나지 않는다. 한편 LOVECLIM이 온난한 모의 특성을 보이는 이 육지 지역은 CMIP5/PMIP3에서도 모델마다 다양한 모의 특성을 보이는 지역이다.

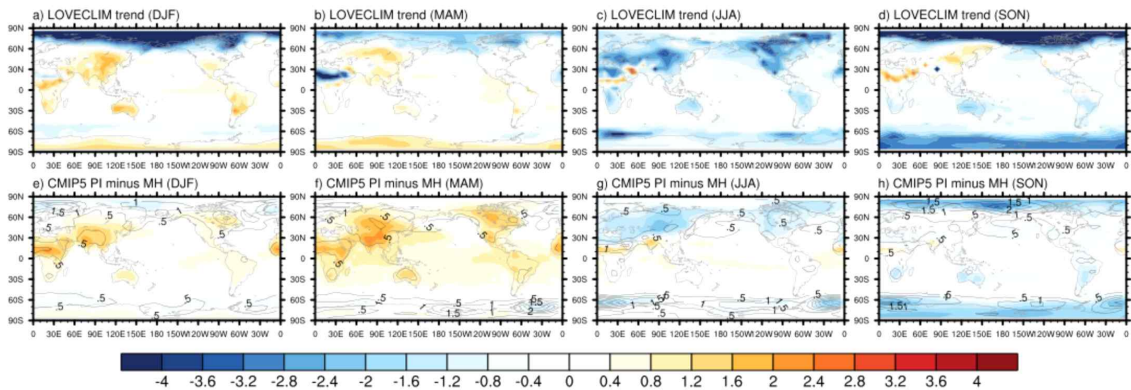


그림 1. LOVECLIM에서 모의한 과거 6천년간의 계절별 지면온도 변화경향 [ $K \text{ year}^{-1} \times 6,000$ ]과 CMIP5/PMIP3에 참여한 모델들이 모의한 6천년전 홀로세 중기 평형 기후 후 실험과 산업혁명기 이전 평형기후 실험의 다중모델 평균 지면온도 [K] 분포

### 참고문헌

- Berger, A. L., 1978: Long-term variations of daily insolation and quaternary climatic changes. *J. Atmos. Sci.*, 35, 2362-2367.
- Goosse, H., and Coauthors, 2010: Description of the Earth system model of intermediate complexity LOVECLIM version 1.2. *Geosci. Model Dev.*, 3, 603-633, doi:10.5194/gmd-3-603-2010.
- Lorenz, S. J., and G. Lohmann, 2004: Acceleration technique for Milankovitch type forcing in a coupled atmosphere-ocean circulation model: method and application for the Holocene. *Clim. Dynam.*, 23, 727-743.