

관측 및 예보 분과 [P-125]

## GNSS RO 관측연산자 굴절률 계수 개선을 통한 한국형수치예보모델 성능 향상

김은희, 전형욱, 김창환, 이용희

수치모델링센터 수치자료응용과

한국형수치예보모델(Korean Integrated Model, KIM)은 2020년 4월부터 현업 운영되고 있으며 다양한 위성 관측자료를 활용한다. 이 중 전파음폐(Global Navigation Satellite System Radio Occultation, GNSS RO) 자료는 대기 상층의 온도와 수증기 분석에 중요한 역할을 담당하고 있다. 현재 KIM은 Smith and Weintraub (1953)의 굴절률 계수를 적용하여 GNSS RO 굴절각을 동화하고 있으나, 대류권에서의 온도 예측 정확도에는 개선의 여지가 있다. 선행연구에 따르면 굴절률 계수의 선택이 수치예보모델의 온도 분석과 예측에 상당한 영향을 미치며, 특히 건조공기항 굴절률 계수( $k_1$ ) 변화는 대류권 온도 분포에 직접적인 영향을 준다. Healy (2011)는  $k_1$  증가시 대류권 냉각 효과가 나타나며, 비이상기체 근사 도입이 이를 완화할 수 있음을 보였다. 본 연구에서는 KIM 4.0의 대류권 온도 예측 성능 향상을 위해 GNSS RO 1차원 관측연산자의 굴절률 계수에 대한 민감도 실험을 수행하였다. KIM 4.0은 성층권에서는 한랭 편차를, 대류권 하층에서는 지역별로 한랭/온난 편차가 혼재하는 특성을 보인다. 이러한 모델 편차 특성을 고려하여  $k_1$  계수를 기준값 대비  $\pm 0.1\%$ ,  $+0.3\%$ ,  $+0.5\%$ 로 조정하는 실험을 설계하였다. 이상기체 근사를 가정한 실험과 비이상기체 근사를 적용한 실험을 별도로 수행하여 비교하였다. 실험 기간은 2023년 6월 25일부터 8월 10일까지이며, 유럽중기예보센터 분석장(ECMWF IFS)을 기준으로 검증하였다. 실험 결과, 이상기체 근사를 적용한 실험에서는 대기 온도를 상승시키는 방향의 계수 조정( $k_1$  감소)이  $k_1$  증가 실험보다 우수한 성능을 보였다. 특히,  $k_1$  계수를  $-0.3\%$  조정된 실험에서는 북반구 3일 예측부터 온도 예측 성능이 개선되는 결과를 보였는데, 이는 대류권 온도 편차의 보정에 있어 계수 조정이 효과적임을 보여준다. 비이상기체 근사를 적용한 실험은 북반구와 아시아 지역의 중층 온도 예측 성능이 가장 안정적으로 개선되었으며, 북반구 5일 예측에서는 1.22%의 개선율을 기록하여 가장 큰 향상을 보였다. 이 결과는 GNSS RO 자료의 효과적 활용을 통해 KIM의 대류권 온도 예측 성능을 개선할 수 있음을 시사한다.

**Keywords:** 한국형수치예보모델, GNSS RO, 관측연산자, 굴절률 계수

※ 이 연구는 수치모델링센터 『수치예보 및 자료응용 기술 개발』 과제(KMA2018-00721)의 일환으로 수행되었습니다.