

지구시스템 모델을 위한 KIAPS 자료동화

권인혁, Adam Clayton, 강전호, 권용환, 전상희, 장혜영, 김지연, 고은별, 최다영

차세대수치예보모델개발사업단 (KIAPS)

차세대수치예보모델개발사업단(KIAPS)의 목표는 초단기(~6시간)부터 중기 연장(~30일)까지 향상된 기상 예보를 위해 지면, 해양, 해빙 등 다양한 지구 시스템 구성 요소와의 결합한 전지구 예측 시스템 프레임워크 개발이다. KIAPS 프로젝트의 첫 번째 단계에서 개발한 전지구 한국형수치예보모델 KIM은 2020년 4월부터 기상청에서 현업으로 운영되고 있다. KIM은 비정역학 전지구 모델로, 육면체구 격자(cube-sphere grid)에서 스펙트럼 요소 방법을 역학 코어로 사용한다. KIM의 전지구 자료 동화(DA) 시스템은 결정론적 분석을 위한 하이브리드 4D-EnVar 시스템과 앙상블 섭동 업데이트를 위한 국지앙상블변환칼만필터(LETKF)를 기반으로 하며, 현업에서 안정된 분석 성능을 보이고 있다. 첨단 위성복사자료를 포함한 전지구 관측자료가 관측처리패키지(KPOP)를 통해 품질관리되어 자료동화에 전달된다.

현재의 개발 계획은 다음을 포함한다: 1) 단기 악기상 예보를 위한 모델 초기장을 생성하는 대류 규모 DA 개발. 이것은 레이더 및 기타 고해상도 관측 사용에 중점을 둔 LETKF의 제한 영역 버전이다; 2) 대기-해양 결합 DA를 위한 NEMO 해양 모델의 변분 자료 동화(NEMOVAR) 구축. 결합 모델의 예측 결과를 배경장으로 사용하는 약결합 DA가 테스트 중이다; 3) 8km 해상도의 KIM을 위한 NASA-LIS를 이용한 지면 자료 동화가 구축되었으며, ASCAT을 사용하여 토양 수분 분석을 생성한다. SMAP 및 SMOS 데이터를 사용한 토양 수분 DA 연구도 진행 중이며, LIS 대신 LETKF를 사용하는 지표면 자료 동화 시스템도 개발 중이다.

Key words: 한국형수치예보모델(KIM), 결합 자료동화, 대류규모 자료동화

※ 본 연구는 기상청 출연사업인 차세대수치예보모델개발사업단의 4차원 고품질 기상분석을 위한 최신 자료동화기술 개발 (KMA2020-02211)의 지원을 받아 수행되었음

KIM 자료동화를 위한 관측자료 전처리체계(KPOP) 병렬 효율성 개선 연구

강전호¹, 이영수², 김정환², 권인혁¹

¹차세대수치예보모델개발사업단 자료동화실

²차세대수치예보모델개발사업단 운영체계실

기상청에서는 한국형수치예보모델개발사업단에서 9년(2011-2019년)의 프로젝트를 통해 독자 개발한 KIM (Korean Integrated Model)을 2020년 4월부터 현업으로 운영하고 있다. 자료동화 체계는 결정론적 분석(deterministic analysis)과 앙상블 섭동 업데이트를 위한 LETKF (Local Ensemble Transform Kalman Filter)를 조합한 하이브리드 4차원 앙상블-변분 (Hybrid four-dimensional ensemble-variational, Hybrid-4DEnVar)기법으로 개발하였으며, 관측자료 전처리 및 품질검사 체계(KIM Package for Observation Processing, KPOP)를 통해 자료동화에 최적화된 양질의 관측자료를 제공한다. KPOP은 현업 수치예측 체계에서 총 19개 관측종에 대해 품질검사 및 편차보정을 수행하고 있으며, 총 관측자료 수를 코어 개수로 균등하게 배분하여 처리하는 구조로 개발함으로써 부하균형(load balance)이 잘 유지되도록 하였다. 그러나, KPOP의 분산처리 구조에도 불구하고 모델의 격자값을 관측지점으로 공간 내삽한 프로파일을 구하는 배경장산출(background ingest) 과정은 KPOP의 전체 처리 시간의 약 90%를 차지할 정도로 무거운 문제가 있다. 병렬통신 양을 줄이고 메모리 부하 문제를 해결하기 위해 두 차례의 구조적 개선을 수행하였지만, KIM과 자료동화 체계의 수평해상도가 증가함에 따라 추가적인 개선이 요구되었다.

관측지점의 시공간 정보를 바탕으로 배경장산출에 필요한 모델 격자를 결정하여 해당 격자값만을 직접 취하도록 하는 병렬 입출력 방안(KIM-IO)을 적용하고 효과를 분석하였다. 동일 격자에 대한 중복 접근 방지 방안을 추가로 적용함으로써 효율성을 더 증가시킬 수 있고 계산 코어의 활용에 제한이 없게 됨으로써, 관측종에 따라 차이가 있지만, 기존 대비 최대 10배 이상의 빠른 처리 속도를 확인하였다. 본 발표에서는 KIM-IO를 비롯한 KPOP의 개발 현황과 향후 개선 계획을 소개하고자 한다.

Key words: 한국형수치예보모델(KIM), Hybrid-4DEnVar, KPOP, KIM-IO

※ 본 연구는 기상청 출연사업인 차세대수치예보모델개발사업단의 4차원 고품질 기상분석을 위한 최신 자료동화기술 개발 (KMA2020-02211)의 지원을 받아 수행되었음

2024년 한국형수치예보모델의 자료동화 개선 현황 및 계획

하지현¹, 송효종², 이용희¹

¹수치모델링센터 수치자료응용과

²명지대학교 환경에너지공학과

기상청은 2020년 4월부터 한국형수치예보모델(Korean Integrated Model, 이하, 한국형모델)을 현업 운영하고 있으며, 융합형 4차원 앙상블-변분자료동화(Hybrid 4D-Ensemble Variational, hybrid)로 하루에 4번 초기자료를 제공하고 있다. 현업 운영 이후 예보지원을 위해 빠른 갱신 주기로 자료동화와 물리과정을 개선하고 있으며 자료동화는 총 5번의 개선이 있었다(KIM3.6(2020년 10월), KIM3.6a(2021년 4월), KIM3.7(2021년 12월), KIM3.8(2023년 2월), KIM3.9(2024년 5월)). KIM3.6에서는 모델의 물리과정 개선에 따라 신규 정적 배경오차공분산을 산출 및 최적화하였고, 위성 변분편차보정기법을 기존 2종에서 5종으로 확대 적용하였다. KIM3.6a에서는 관측오차와 배경오차공분산 등을 개선하였으며, KIM3.7에서는 모델(~12km)과 자료동화(~50km)의 수평해상도 차이를 줄이기 위해 자료동화 분석해상도를 50km에서 32km로 증가하였고, 해상도 증가에 따라 배경오차공분산을 새롭게 산출하여 개선하였다. KIM3.8에서는 분석해상도 증가에 따른 초기자료 성능을 개선하기 위해 정적 오차의 파수를 증가시켜 아시아지역 예측성능 향상에 기여하였다. 또한, 차세대수치예보모델개발사업단(이하, 차세대사업단)에서 개발한 4차원 분석증분갱신(4D-IAU) 초기화 과정을 적용하였고, 32km 분석해상도 자료동화의 모델 오차를 최적화하기 위해 정적 오차와 앙상블 오차의 비율 조절에 따른 예측성능을 평가하였다. 최근 개선된 KIM3.9에서는 위성 변분편차보정기법의 오류를 수정하여 고위도 지역 하층 온도 분석장의 오차 감소에 기여하였다. 기상청에서는 차세대사업단에서 개발한 24km 분석해상도의 자료동화체계를 차기 버전 자료동화에 활용하고자 계획하고 있다. 이에 24km 자료동화체계를 현재 현업시스템에 적용하여 자료동화 해상도 개선에 따른 모델의 예측성능을 분석하였다. 또한 위성 관측자료의 활용을 개선하기 위해 IASI 위성의 채널 상관 관측오차를 한국형모델에 적용하여 그 효과를 분석하였다. '24년 한국형모델의 자료동화 개선 현황, 24km 분석해상도의 자료동화-위성 관측오차 개선에 따른 결과 및 향후 계획에 대해 발표하겠다.

Key words: 한국형수치예보모델, 자료동화, 융합형 4차원 앙상블-변분자료동화, 오차

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

한국형모델(KIM) GNSS-RO 활용 및 개선 현황

김은희, 전형욱, 이용희

기상청 수치모델링센터

기상청은 한국형모델(Korean Integrated Model, KIM)을 2020년 4월부터 현업 운영 시작한 이후로 신규자료 활용 및 관측자료 전처리 개선 등을 꾸준히 수행해오고 있다. 여러 관측자료 중에서 전지구위성항법시스템 전파임페(Global Navigation Satellite System Radio Occultation, GNSS-RO)는 대류권 상층부터 성층권 중하층의 온도에 영향을 미치며 전구에 고르게 분포하고 위성 복사량 자료의 편향보정에 영향을 주는 앵커 자료의 역할을 하므로 현업 기관에서 주로 활용하는 자료이다. KIM 버전별 전파임페자료의 신규 활용에 대해 살펴보면 KIM3.6('20.10.) KOMPSAT-5와 FY-3C/D, KIM3.7('21.12.) COSMIC-2, KIM3.8('23.2.) GRACE-C 자료가 추가로 활용되었다. 최근 KIM3.9('24.5.)에서는 GRACE-D, Sentinel-6A, Spire(EUMETSAT) 3종의 전파임페 자료가 현업에서 실시간 활용되고 있다. 한편, NOAA로부터 생산된 Spire 전파임페 자료가 2024년 1월 18일부터 세계기상통신망을 통해 실시간 수집되고 있어 해당 자료에 대한 활용 필요성이 대두되었다. 본 연구에서는 최신 KIM에서 수행한 Spire(NOAA) 신규자료에 대한 영향을 분석하였다. 영향평가 실험은 KIM3.9 저해상도(25km)에서 수행하였고, 실험 기간은 2024년 1월 18일부터 2월까지이며, 유럽중기예보센터의 수치예보모델인 IFS (Integrated Forecasting System) 분석장을 활용하여 2024년 2월에 대해 검증하였다. 실험 결과, 관측자료의 영향이 주로 나타나는 상층 중에서 100hPa 고도의 온도에서 전 지구적으로 분석장에서는 4%, 3일 예측에서는 1% 예측성능이 개선되는 것을 확인하였다. 수치예보모델의 대표 성능지표인 북반구 500hPa 지위고도는 분석장에서 -3% 저하된 성능이 3일 예측에서는 0.4%의 중립적인 성능을 보였다. 신규자료 확대에 따른 대기 중층에서의 지위고도 분석장 성능 저하를 개선하기 위해 대류권에 한정하여 관측오차를 증가하는 실험과 전 층의 관측오차 증가하는 실험을 추가로 수행 중이다.

Key words: 한국형모델, GNSS-RO, 관측오차, 신규 활용, 예측성능

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

전지구 앙상블 모델을 활용한 강수 최적병합 수치예보 가이드스 개발

김준수¹, 김연희², 조은주¹, 이영곤¹, 이용희¹

¹기상청 수치모델링센터

²기상청 지진화산국

기후변화로 인해 빈번해진 집중호우는 주택, 지하철, 도로 등 여러 인프라를 침수시켜 많은 인명과 재산 피해를 초래하고 있다. 이러한 재해에 대비하기 위해 정확하고 선제적인 강수 예보의 필요성이 강조되고 있다. 강수 수치예보 가이드스의 정확도 향상을 위하여 전지구 단일 및 앙상블 모델을 통합 활용한 기계학습(AI) 기반의 중기(15일 예측) 기간까지의 강수 최적병합 기법을 개발하였다. 유전알고리즘 기법을 적용하여 계절과 6종(KIM/UM/ECMWF(단일·앙상블))의 현업 가용한 모델별로 최적 가중치를 산출하여 3시간 누적 강수량에 대한 최적 병합(BEST) 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 학습 및 검증 자료는 2022년 3~5월(봄) 및 2023년 3~5월(봄)이다. 모든 계절에 대해 앙상블 모델이 단일 모델보다 최적 병합 가중치가 높았으며 최적병합 모델의 성능이 가장 우수하였다(2023년 봄 00UTC CSI 0.373). 전지구 단일 모델과 앙상블 모델의 조합에 따른 예측성 민감도 실험에서는 병합모델 종류(① 단일 모델(3종), ② 앙상블 모델(3종), ③ 단일+앙상블(6종))에 따른 최적 병합 예측 성능은 모든 모델이 활용되었을 때, 앙상블 모델의 확률범주 단계(① 평균/중앙, ② 25·50·75·90 퍼센타일)별로는 앙상블 모델의 중앙값 조합이 가장 우수하였다. 또한, 모델 계열 별로 자료가 입력되지 않았을 때 가용 자료의 최적 병합 가중치를 재산출하여 예측 정확도를 비교한 결과, KIM 계열(단일+앙상블) 자료 미입력 시 예측 성능에 가장 적은 영향을 미쳤으며, ECMWF 계열 예측 자료가 미입력되었을 때 예측 정확도가 가장 크게 하락했다. 이 연구는 기후변화로 인해 증가하는 기상 재해에 대비하기 위해 전구 앙상블 모델과 AI 기술을 활용한 정교한 강수 예측이 필수적임을 시사하며, 다양한 모델과 조합을 통해 예측 성능을 극대화함으로써 재해 대응의 효율성을 높일 수 있음을 보여준다.

Key words: 강수 병합, 최적화, 유전 알고리즘, 수치예보 가이드스, 앙상블

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

동아시아 여름철 고유 대기순환 모드 분석 및 예측성능 평가

이준리¹, 이명인¹, 송찬영²

¹울산과학기술원 지구환경도시건설공학과

²국립산림과학원 산림재난환경연구부 산사태연구과

계절내-계절(subseasonal to seasonal) 규모 예측은 예측성의 사막(predictability desert)이라고 언급될 정도로 단기 및 계절예측에 비해 낮은 예측성능을 보이는 특징이 있다. 특히, 동아시아 기온·강수에 대한 기후모델의 예측성은 일반적으로 2~3주로 제한되며, 대부분의 높은 예측성은 적도에만 제한되어 나타나고 있다. 동아시아를 포함한 북반구 중위도 지역의 계절내-계절 규모 예측성 향상을 위해서는 해당 시간 규모의 예측성의 원천인 계절안진동(Intraseasonal oscillation, ISO)에 대한 이해가 필요하다. 대부분의 ISO 연구는 적도에서의 ISO인 매든-줄리안진동(Madden-Julian oscillation, MJO)과 여름철 계절안 진동(boreal summer intraseasonal oscillation, BSISO) 등에 집중되었다. 그러나 최근 동아시아 지역의 극한 기상 및 기후는 북반구 중·고위도의 ISO에 영향을 받는 것으로 알려지고 있으며, 역학모델에서의 낮은 예측성 역시 낮은 중·고위도 ISO 재현성으로부터 비롯될 수 있음을 선행연구에서 제시하고 있다. 이처럼 중위도 지역의 고유한 ISO 역시 중요한 예측성의 원천이 될 수 있음에도 불구하고 아직 많은 연구가 수행되지 않았으며, 현 역학모델에서의 예측성을 분석하는 연구도 부족한 실정이다. 본 연구에서는 재분석자료기반으로 여름철 고유한 ISO 모드를 분석하고, 이를 바탕으로 기상청의 최신 기후예측시스템인 GloSea6(Global Seasonal forecasting system version 6)에서 동아시아 지역의 고유한 대기순환 모드의 예측 가능성을 평가하고자 한다. 본 연구를 통해 동아시아 지역의 고유한 대기순환 모드에 대한 이해를 심화시키고, 이를 기반으로 이상기상 및 기후 예측성능을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

Key words: GloSea6, ERA5, Clustering, 계절내예측, 여름철 대기순환모드

※ 이 연구는 기상청 국립기상과학원 「기후예측 현업시스템 운영 및 개발」(KMA2018-00322)의 지원으로 수행되었습니다.