

Enhancing Ocean Surface Wind Assimilation in the KIM DA System Using HY-2B and HY-2C

Hyemin Shin, Jeon-Ho Kang, In-Hyuk Kwon

Korea Institute of Atmospheric Prediction Systems, KIAPS

The Advanced Scatterometer (ASCAT) onboard the Meteorological Operational satellite (MetOP) series has been assimilated in the Korean Integrated Model (KIM) to improve low-level winds. However, ASCAT's observational coverage is limited due to its narrow swath and the insufficient number of satellites. To address this limitation, Haiyang-2B and 2C (HY-2B and HY-2C) scatterometer (HSCAT) data, with their wider swath and complementary orbital configuration relative to ASCAT, were integrated into the KIM data assimilation system. This integration increases ocean surface wind observations by 83.5% compared to ASCAT data alone, promising significant improvements in analysis and forecast accuracy. To evaluate the impact of HSCAT assimilation, cycle experiments were conducted for summer (July 1–September 5, 2023) and winter (January 1–March 5, 2024), which showed substantial improvements in zonal mean fields, particularly in low-level u and v wind analyses. However, in regions such as the Southern Hemisphere, degraded performance was shown in geopotential height. To address this issue, a quadratic regression bias correction was applied to SCAT wind data, which improved both analysis and forecast performance, with particularly notable improvements in the Southern Hemisphere (up to 3.16%). In addition, when analyzing the case of KHANUN (2306), this correction led to enhanced forecasts of its track and intensity. Therefore, this study suggests that the expanded use of HSCAT observations and the SCAT wind bias correction can contribute to improving numerical weather prediction performance

Keywords: SCAT wind, KIM, Data assimilation, HY-2B, HY-2C

※ This work was carried out through the R&D project "Development of a Next-Generation Data Assimilation System by the Korea Institute of Atmospheric Prediction Systems (KIAPS)", funded by the Korea Meteorological Administration (KMA2020-02211).

한국형수치예보모델의 위성관측 활용 및 효과

전형욱, 이나미, 김은희, 손지영, 조영준, 김창환, 이용희

수치모델링센터 수치자료응용과

기상청은 수치예보 정확도 향상을 위해 위성자료동화 기술을 지속적으로 개발하고 있으며, 다양한 위성관측자료의 효과적 활용은 예보 성능 개선의 핵심 요소이다. 본 연구에서는 한국형수치예보모델(KIM4.0, ne180 약 25km 해상도)에서 주요 위성관측자료의 예보 영향도를 정량적으로 평가하기 위해 관측시스템실험(OSE)을 수행하였다. 2023년 여름철(7월 11일-8월 10일)을 대상으로 하이브리드 변분자료동화 시스템(ne090 약 50km)을 이용하여 마이크로파(AMSU-A, MHS, ATMS, MWHS2, AMSR2), 적외파(IASI, CrIS, CSR-GK2A, Himawari, MSG), 전파염폐(GPSRO-GRAS, TGRS, GNOS 등), 위성바람(AMV-GK2A, Himawari, MSG, GOES, ASCAT 등) 관측을 각각 제거한 거부실험을 수행하였다. 모든 실험의 예보 성능은 ECMWF IFS 분석장 대비 RMSD를 산출하고, 대조군(CTL) 대비 개선율을 계산하여 평가하였다. 실험 결과, 마이크로파 관측은 전구 규모에서 습도(Q) 예측을 3-5% 개선시켰으며, 특히 북반구 중위도와 아시아 지역의 지위고도(GPH) 예측에서 최대 7%의 개선율을 보였다. 그러나 열대 지역 200-300hPa 고도의 온도(T) 예측에서는 2-3%의 성능 저하가 나타났다. 적외파 관측은 예보 초기 24-48시간에서 온도장 개선에 기여하였으며, 특히 성층권 하부에서 일관된 긍정적 영향을 보였으나, 전체적인 영향은 다른 관측 대비 제한적이었다. GNSS 전파염폐 관측은 예보 초기(0-72시간)에 모든 대기 변수에서 강한 개선 효과를 보였으며, 특히 대류권계면 부근의 온도와 습도 구조 표현에 크게 기여하였다. 그러나 예보 4일 이후부터는 영향이 급격히 감소하여 중립 수준에 수렴하였다. 위성바람 관측은 전 예보 기간에 걸쳐 바람장(Wind) 예측 정확도를 5-10% 향상시켜 가장 큰 기여를 보였으나, 열대 지역 500-700hPa 고도에서 지위고도와 온도 예측에 약간의 부정적 영향을 미쳤다. 이는 위성바람 산출 알고리즘의 고도 할당 오차와 관련이 있을 것으로 추정된다. 본 연구는 KIM 모델에서 각 위성관측 자료의 상대적 중요도와 지역별·연직층별·예보시간별 영향 특성을 종합적으로 정량화하였으며, 이는 향후 위성자료동화 시스템 최적화와 차세대 위성관측 활용 전략 수립을 위한 과학적 근거를 제공한다.

Keywords: 한국형수치예보모델(KIM), 위성자료동화, 마이크로파, 적외파, GNSS RO, 위성 바람

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

다중 위성 센서를 융합한 1DVAR 전천 대기 프로파일 개선

염다빈¹, 안명환¹, 송윤영¹, 이수정², 김태명³, 허준형⁴, 박혜인⁴

¹이화여자대학교 기후에너지시스템공학과

²공주대학교 미세먼지연구관리센터

³국립농업과학원 농업위성센터

⁴기상청 국가기상위성센터

대기의 정확한 온도 및 습도 프로파일은 수치예보모델의 초기장 구축과 예보 성능 향상에 중요한 역할을 한다. 정지궤도 위성 GK-2A에 탑재된 AMI (Advanced Meteorological Imager)는 10분 간격의 고해상도 적외선 관측을 제공하지만, 구름이 존재할 경우 복사 신호가 오염되어 정확한 대기 정보 산출에 제약이 따른다. 이를 보완하기 위해 본 연구에서는 전천 조건에서 다중 위성 센서를 사용한 1차원 변분법(1 Dimensional VARIable Retrieval, 1DVAR)을 이용한 대기의 온습도 프로파일 산출 기술을 개발하였다. AMI의 적외선 자료와 더불어 마이크로파 센서인 AMSU (Advanced Microwave Sounding Unit), ATMS (Advanced Technology Microwave Sounder) 자료를 융합하여 사용하였다. 마이크로파는 구름에 의한 영향이 상대적으로 적기 때문에 전천 영역에 대해 대기 정보를 효과적으로 관측할 수 있다. 이를 통해 물리적으로 일관되고 정확한 전천 조건 대기 프로파일 산출이 가능하다. 1DVAR 시스템의 정확도는 주로 복사전달모델의 정확도와 오차공분산 행렬에 의존한다. 이를 개선하기 위해, 본 연구에서는 RTTOV(v14)를 사용하여 위성 관측 각도의 기하학적 특성을 반영한 경사경로(slant-path) 보정을 적용하였다. 위성 천정각이 크거나 수증기 변동성이 큰 영역에서 보정 효과가 크게 나타나, 모의된 휘도온도와 관측된 휘도온도의 차이가 감소하였다. 또한, 구름에 의한 관측 오차를 보다 정확하게 반영하기 위해, 관측값과 배경장의 구름 정보를 동시에 고려하는 대칭 구름 오차(symmetric cloud error)를 사용하여 관측 오차공분산을 조정하였다. 이를 통해 구름 영역에서도 높은 정확도의 온습도 프로파일 산출이 가능해졌다. 본 연구는 향후 전천 조건 하에서의 대기 프로파일 정확도 개선 및 수치예보 성능 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

Keywords: 1DVAR, All-Sky, RTTOV, Slant-Path

※ 이 연구는 기상청 「기상위성 융합 활용 기술개발 사업」 (과제번호(RS-2025-02221093))의 지원으로 수행되었습니다.

관측 및 예보 분과 / 관측 및 예보 2-4

종관패턴 기반 한반도 여름철 극한호우 앙상블 예측 시스템

김주현¹, 김백민^{1,2}, 심지한¹, 한광희¹, 김하림², 김은정³, 윤숙경³

¹부경대학교 지구환경시스템과학부 환경대기과학전공

²부경대학교 슈퍼컴퓨터센터

³기상청 수치모델링센터 수치모델개발과

최근 수십년 동안 한반도 여름철(JJAS) 극한호우가 더욱 빈번해지고 강해지면서, 극한호우의 정확한 예측이 매우 중요하다. 그러나 모델에서 산출된 예측 자료만을 활용하는 것은 극한호우 사례의 정보를 직접적으로 전달하는데 한계 있다. 본 연구에서는 과거 42년(1979-2020년) 간 극한호우 사례들의 850 hPa 지위고도장으로 분류된 5개 Class를 이용한 앙상블 예측 진단도구를 개발하고, 최근 사례 분석으로 예측 성능을 확인하였다. 각 Class는 Class 1: WNPSH 확장, Class 2: 남서저기압 침투, Class 3: 정체전선, Class 4: 동고서저 기압, Class 5: 상층 한랭저기압형으로 분류된다. 극한호우 사례를 Class에 매칭하는 방법으로 경험적 직교함수(EOF)의 복원 패턴을 활용하여 각 Class와의 RMSE 계산을 통해 가장 낮은 RMSE 값을 보이는 Class를 선정하도록 하였다. 또한, 극한호우 예측의 정확성을 높이기 위해 앙상블 강수와 Class 매칭 예측 결과를 사용하여 진단도구 On/Off 기준을 설정하였다. 구성된 진단도구를 한국형수치예보모델(KIM) 앙상블 자료와 2025년 한반도 여름철 극한호우 사례에 적용하였다. 6시간 간격 최대 120시간 예측 중 모든 극한호우 사례가 목표 시점 96~120시간 이전부터 특정 Class가 매칭되어 약 4~5일 전부터 극한호우에 대한 Class 정보를 안정적으로 제공하였다. 이 결과는 극한호우의 조기 경보 및 수문기상재해 대응 체계 개선에 크게 기여할 것으로 기대된다.

Keywords: 극한호우, 종관규모, 앙상블 예측, Korea Integrated Model (KIM)

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

ECMWF AIFS 자료를 활용한 2025년 여름철 예보 사례 분석

이창재, 임윤진, 우재훈, 강혜미, 변가영, 이상우, 김병권, 인희진

기상청 예보국

기상청은 최근 기상분야의 다양한 AI 기반 예측 모델 개발 및 활용 분위기에 적극 동참하여 기존 수치예보모델 뿐만 아니라 AI 기반 예측자료를 초단기부터 중기예보에 적극적으로 활용 중이다. 본 발표에서는 2025년 여름철 집중호우 및 태풍 진로 분석에 있어 ECMWF의 AI 모델인 AIFS(Lang et al., 2024) 자료를 적용한 사례 분석을 통해 AI 기상예측 모델의 활용성 및 시사점을 공유하고자 한다.

여름철 한반도에 영향을 미치는 북태평양 고기압, 티베트 고기압 등의 발달 및 약화, 주기적으로 영향을 미쳤던 상층 기압골의 예측 경향성에 대한 정성적인 분석 뿐만 아니라, 2025년 서태평양 지역에서 빈번하게 발생하였던 열대 요란들의 예측 성능에 대하여 분석하였다. 이를 위해 전통적인 수치모델 및 앙상블 모델 결과와의 비교 분석을 통해 AI 모델의 동아시아 기압계에 대한 전반적인 예측 성능을 확인하고자 한다. 또한, 태풍의 발달/이동등에 영향을 미쳤던 열대 상층 대류권 저기압(Tropical Upper Troposphere Trough, TUTT)의 위상 및 이동 경향에 대한 재현 등도 추가될 예정이다.

현재까지 분석 결과, 동아시아 기압계 예측에 있어 AIFS 자료의 성능은 종관계 흐름의 일관성 뿐만 아니라 수치예보모델 대비 태풍 발생 및 이동 경로에 대한 선행 예측 시간 확보 등의 장점을 보이는 것으로 확인되었으나 강한 불안정이나 정체전선등과 연계된 중규모 기상 현상의 예측에 있어서는 약점이 있었다. 이러한 여름철 사례 분석 결과를 바탕으로 종관 규모 기압계 예측에서 AI 기상예측 모델이 가지는 향후 예보 활용 가능성과 시사점을 발표하고자 한다.

Keywords: AI 모델, ECMWF AIFS, 여름철 집중 호우 및 태풍 예측

Few shot 학습을 이용한 한국 여름철 S2S 기온 예측

양서희¹, 오설희², 박창현¹, 손석우³

¹서울대학교 기초과학연구원

²한국과학기술원 정보전산연구소

³서울대학교 자연과학대학 지구환경과학부

최근 한반도에서는 여름철 폭염의 빈도와 강도가 뚜렷하게 증가하며, 이로 인한 인명 피해와 사회·경제적 손실이 커지고 있다. 이러한 위험에 대응하려면 수 주에서 수 개월 앞을 내다보는 계절내-계절 (S2S) 예측이 필요하다. 그러나 S2S 예측은 대기 초기 조건의 영향이 빠르게 약화되는 반면 해양·육지 경계 요인의 신호는 아직 충분히 나타나지 않아, 흔히 ‘예측 가능성의 사막’으로 불리며 성능이 낮은 구간으로 알려져 있다. 이러한 한계로 수치모형만으로는 한국 여름철 기온을 안정적으로 예측하기 어렵다. 최근에는 관측 기반 자료와 인공지능을 활용한 새로운 접근이 제안되며 예측 성능 향상의 가능성을 보여주고 있다. 본 연구에서는 few-shot 학습을 적용한 딥러닝 모델을 이용하여 한국 여름철 표면 기온의 S2S 예측을 수행하였다. 본 연구에서는 ERA5 재분석 자료에서 5-7월의 2주 평균 기상장을 입력으로 사용하고, 6-8월 월평균 한국 기온을 예측하였다. 훈련은 1950-2004년, 검증은 2005-2025년 자료를 활용하였으며, 한정된 데이터 수의 문제를 보완하기 위해 한국 여름철 기온에 영향을 미치는 기후 인자를 활용한 데이터 증강 기반 초기훈련을 수행하였다. 그 결과 6월 예측에서 높은 예측 성능을 보였으며, 이는 현업 기후 예측 모델인 GloSea6보다 우수하였다. 이는 한국 폭염에 영향을 미친다고 보고된 북대서양 삼극 패턴을 모델이 포착하면서 예측 정확도가 향상된 것으로 해석된다. 반면, 장마로 대기와 기상 조건이 복잡해지는 7-8월에는 성능이 현업 모델보다 낮았고 기온 변동성 예측 범위도 제한적이었다. 따라서 6월 예측은 현업 활용 가능성을 보였으나, 7-8월 예측은 개선이 필요함을 확인하였다.

Keywords: 계절내-계절 예측 (S2S), Few-shot 학습, 딥러닝, 여름철 표면 기온, GloSea6

※ 이 연구는 기상청 「기후 및 기후변화 감시·예측정보 응용 기술개발 사업」 (RS-2025-02307979)의 지원으로 수행되었습니다.