

발간번호  
11-1360709-000085-01



# 관측 공백 해소를 위한 한국형모델 신규 위성 관측자료 활용 영향평가 - 2023년 -

2023. 8.

김은희 · 손지영 · 석수현 · 김창환 · 전형욱 · 김승범

수치자료응용과



수치모델링센터  
Numerical Modeling Center

# 차례

차례 .....	i
표 차례 .....	iii
그림 차례 .....	iii
1. 서론 .....	1
2. 실험 개요 .....	3
2.1 소스 코드 .....	3
2.2 실험 구성 .....	3
2.3 실험 환경설정 .....	5
2.3.1 모듈 설정 .....	5
2.3.2 수행 스크립트 .....	5
3. 신규 마이크로파 복사량 .....	7
3.1 관측 개요 .....	7
3.2 신규 위성 활용을 위해 필요한 코드 수정 .....	7
3.3 관측자료 공간분포 및 품질분석 .....	9
3.4 분석 증분과 모델 편차 .....	11
3.5 영향평가 결과 .....	12
3.5.1 분석장 .....	12
3.5.2 타 관측 대비 초기 예측장 .....	14
3.5.3 예측장 .....	14
3.5.4 예측 시간별 동서 평균 오차 .....	15
3.5.5 예측 시간별 오차 시계열 .....	18
4. 신규 극바람 .....	20
4.1 관측 개요 .....	20
4.2 신규 위성 활용을 위해 필요한 코드 수정 .....	21
4.3 사전 자료품질 평가 .....	23
4.3.1 관측자료 수평 및 연직 분포 .....	23
4.3.2 품질분석 .....	23
4.4 영향평가 결과 .....	26
4.4.1 모델 편차와 분석 증분 .....	27
4.4.2 분석장 .....	28
4.4.3 타 관측 대비 초기 예측장 .....	29
4.4.4 예측 초반(0~2일) .....	30
4.4.5 예측 후반(3~5일) .....	33

5. 신규 전파업무	34
5.1 관측 개요	34
5.2 신규 위성 활용을 위해 필요한 코드 수정	34
5.3 관측자료 공간분포 및 품질분석	36
5.4 분석 증분과 모델 편차	38
5.5 영향평가 결과	39
5.5.1 분석장	39
5.5.2 타 관측 대비 초기 예측장	41
5.5.3 예측장	42
5.5.4 예측 시간별 동서 평균 오차	43
5.5.5 예측 시간별 오차 시계열	46
6. 요약 및 결론	49
7. 참고문헌	51

## 표 차례

표 1. 시스템 구성 및 버전(KIM3.8) .....	2
표 2. 실험 구성(센서/위성) .....	3

## 그림 차례

그림 1. KIM 실험수행 흐름도(KIM3.8 이후 추가 과정을 빨간색으로 표시) .....	5
그림 2. 실험별 MWHS-2의 자료 분포 .....	9
그림 3. 신규 MWHS-2/FY-3C, D 자료의 O-B 통계 분포('22.7.) .....	10
그림 4. 온도/비습 분석 증분과 모델 편차(2022061606UTC, 700 hPa) .....	11
그림 5. CTL 대비 EXP의 분석장 오차 시계열(2022062600UTC~2022073118UTC) .....	12
그림 6. CTL 대비 EXP의 동서 평균 분석장 오차(2022070100UTC~2022073112UTC) ...	12
그림 7. ATMS, MHS, IASI 대비 초기 예측성능(C-B) .....	13
그림 8. IFS 분석장을 활용한 CTL 대비 EXP의 오차 개선율(%). (양: 개선, 음: 저하) .....	14
그림 9. IFS 분석장 대비 동서 평균 평균제곱근오차의 차이(00UTC, EXP-CTL). (음: EXP 개선, 검은 점: 95% 신뢰수준, 회색 점: 68% 신뢰수준) .....	15
그림 10. IFS 분석장 대비 동서 평균 평균제곱근오차의 차이(12UTC, EXP-CTL). (음: EXP 개선, 검은 점: 95% 신뢰수준, 회색 점: 68% 신뢰수준) .....	16
그림 11. IFS 분석장 대비 CTL과 EXP의 700 hPa 비습 RMSD 시계열 .....	17
그림 12. IFS 분석장을 활용한 CTL 대비 EXP의 700 hPa 비습 예측 시간별 오차 개선율(%). (양: EXP 개선, 검은 막대: 90% 신뢰수준, 파란 막대: 68% 신뢰수준) .....	17
그림 13. IFS 분석장을 활용한 CTL 대비 EXP의 500 hPa 지위고도 예측 시간별 오차 개선율(%). (양: EXP 개선, 검은 막대: 90% 신뢰수준, 파란 막대: 68% 신뢰수준) .....	18
그림 14. 대기운동벡터 수평 자료 분포도 .....	19
그림 15. 극바람 신규 2종 (a) 수평 및 (b, c) 연직 분포 .....	22
그림 16. AVHRR/MetOp-C(적색)와 AVHRR/MetOp-B(흑색) 자료 수 시계열 및 차이 비교	23
그림 17. VIIRS/NOAA-20(적색)과 VIIRS/SNPP(흑색) 자료 수 시계열 및 차이 비교 .....	24
그림 18. IFS 분석장을 활용한 CTL 대비 EXP의 오차 개선율(%). (양: 개선, 음: 저하) .....	25
그림 19. 신규 관측자료 및 남북 바람 분석 증분 변화량, 모델 편차 수평 분포(250 hPa, 500 hPa)	26
그림 20. 신규 관측자료 및 동서 바람 분석 증분 변화량, 모델 편차 수평 분포(250 hPa, 500 hPa)	26
그림 21. CTL 대비 EXP의 동서 평균 분석장 오차 .....	27
그림 22. 라디오존데 동서 바람(a), 남북 바람(b)의 O-B 평균(좌)과 표준편차의 차(우) ...	28
그림 23. ALADIN 남극(a) 및 북극(b)의 바람 O-B 평균(좌)과 표준편차의 차(우) .....	28
그림 24. IFS 분석장 대비 동서 평균 평균제곱근오차의 차이(00UTC, EXP-CTL). (음: EXP 개선, 검은 점: 95% 신뢰수준, 회색 점: 68% 신뢰수준) .....	30

그림 25. IFS 분석장을 활용한 신규 관측의 500 hPa 풍속 예측 시간별 오차 개선율(%). (양: EXP 개선, 검은 막대: 90% 신뢰수준, 파란 막대: 68% 신뢰수준) .....	31
그림 26. IFS 분석장을 활용한 신규 관측의 500 hPa 지위고도 예측 시간별 오차 개선율(%). (양: EXP 개선, 검은 막대: 90% 신뢰수준, 파란 막대: 68% 신뢰수준) .....	31
그림 27. 실험별 GNSS RO 자료 분포 .....	35
그림 28. 신규 3종 GNSS RO 자료의 O-B 통계 분포('22.7.) .....	36
그림 29. 온도 분석 증분과 모델 편차(2022061606UTC, 50 hPa, 250 hPa) .....	37
그림 30. CTL 대비 EXP의 분석장 오차 시계열(2022061606UTC~2022081518UTC) .....	38
그림 31. CTL 대비 EXP의 동서 평균 분석장 오차(2022070100UTC~2022073112UTC) .....	38
그림 32. 라디오존데 대비 초기 예측성능(O-B) .....	39
그림 33. ATMS 대비 초기 예측성능(C-B) .....	40
그림 34. IFS 분석장을 활용한 CTL 대비 EXP의 오차 개선율(%)(양: 개선, 음: 저하) .....	41
그림 35. IFS 분석장 대비 동서 평균 평균제곱근오차의 차이(00UTC, EXP-CTL). (음: EXP 개선, 검은 점: 95% 신뢰수준, 회색 점: 68% 신뢰수준) .....	42
그림 36. IFS 분석장 대비 동서 평균 평균제곱근오차의 차이(12UTC, EXP-CTL). (음: EXP 개선, 검은 점: 95% 신뢰수준, 회색 점: 68% 신뢰수준) .....	43
그림 37. IFS 분석장 대비 CTL과 EXP의 50 hPa 온도 RMSD 시계열 .....	44
그림 38. IFS 분석장을 활용한 CTL 대비 EXP의 50 hPa 온도 예측 시간별 오차 개선율(%). (양: EXP 개선, 검은 막대: 90% 신뢰수준, 파란 막대: 68% 신뢰수준) .....	45
그림 39. IFS 분석장을 활용한 CTL 대비 EXP의 500 hPa 지위고도 예측 시간별 오차 개선율(%). (양: EXP 개선, 검은 막대: 90% 신뢰수준, 파란 막대: 68% 신뢰수준) .....	46

## 부록 차례

부록 1. 약어표 .....	52
-----------------	----

# 1. 서론

수치예보모델에 최초로 Nimbus-3 위성의 적외 분광 자료를 활용(1969~1970년)한 이후로 전 지구적인 관측 공백 해소를 위해 위성 관측자료가 꾸준히 활용되어왔다. 1970년대부터 1980년대 초에는 위성 관측과 자료동화 체계의 제약으로 인해 위성 활용 연구가 느리게 진행됐음에도 불구하고 특히 남반구에서 위성 자료의 역할이 매우 크다는 것을 확인하였다. 그러나 1980년대 후반에 북반구에서 중립 이하의 성능이 나타나서 위성 자료 활용에 대한 위기가 있었다. 북반구 성능 하락의 원인은 위성자료로 온습도 연직 분포를 산출하여 자료동화에 사용하는 방식에 기인한 것임을 확인하고, 문제 해결을 위해 1990년대에 복사량을 직접 자료동화에 활용하는 기술 개발이 추진되었다. 일부 수치예보센터에서 직접 자료동화에 성공하게 되면서 남반구와 북반구에서 둘 다 긍정적인 영향을 보였다(Eyre et al., 2019). 이러한 노력으로 인해 2000년대 이후에는 전 지구 수치예보모델의 정확도 향상에 위성 관측자료의 기여가 종관 관측자료를 넘어서게 되었다(Gelaro et al., 2010).

기상청에서도 한국형수치예보모델(Korean Integrated Model, KIM; 이후 한국형모델)을 2020년 4월에 도입한 이후 예측성능 향상을 위해 지속적으로 신규 위성 관측자료의 활용 확대를 추진해 오고 있다. 2020년 하반기(KIM3.6)에는 GK-2A 위성의 대기운동벡터(AMV)와 청천복사량(CSR), 전지구위성항법시스템 전파염폐(GNSS RO; 이후 전파염폐) 3종(KOMPSAT-5, FY-3C, FY-3D)을 추가로 활용하였고, 2021년(KIM3.7)에는 마이크로파 3종(AMSU-A/Metop-C, MHS/MetOp-C, ATMS/NOAA-20), 청천복사량 3종(Himawari-8, MSG-1, MSG-4), COSMIC-2 전파염폐, ALADIN/Aeolus 바람 자료를 추가하였다. 2022년(KIM3.8)에서는 ASCAT/MetOp-C 해상바람, GRACE-C 전파염폐, 적외초분광 복사량(IASI/MetOp-C, CrIS/NOAA-20), 지상 기반의 전지구 위성항법시스템(GNSS) 자료를 추가하였다. 꾸준히 신규 위성자료를 추가해온 노력으로 세계 1위인 유럽중기예보센터(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF) 모델에 대비한 위성 관측종 활용률은 2020년 66.7%에서 2021년 77.8%, 2022년에는 83.9%로 점진적으로 증가하였다. 2023년에는 86.0% 달성을 목표로 마이크로파 복사량, 극 지역 바람, 전파염폐를 확대하는 계획을 수립하여 영향평가 실험을 수행하였다.

본 기술노트에서는 2023년 관측 공백 해소를 위해 한국형모델에 신규 위성 관측자료의 활용 확대를 추진한 내용을 기술하였다. 2장에서는 신규 위성 활용 실험에서 사용하는 소스 코드와 기준을 포함한 각 신규 위성 실험 구성 시 활용된 자료를 기술하였다. 3장에서는 신규 마이크로파 복사량, 4장에서는 신규 위성 극바람, 5장에서는 신규 전파염폐 자료를 활용한 실험 결과에 대해

자료의 품질, 분석장에서의 자료 효과, 타 관측을 통한 초기 예측장 성능, 예측 5일까지의 성능을 기술하였다. 앞으로도 한국형모델의 예측성능 향상 및 관측 공백 해소를 위한 신규 위성 활용 확대 연구를 지속적으로 추진할 계획이다.

## 2. 실험 개요

### 2.1 소스 코드

실험체계 구축을 위해서는 우선 KIM의 다양한 구성요소에 대한 소스 코드 준비가 필요하다. 소스 코드는 fcm 명령어를 이용하여 내려받거나 이미 내려놓은 소스 코드를 사용하면 된다. 2023년 신규 위성 활용 확대 실험은 KIM3.8 기반에서 수행되었다. 표 1에서와 같이 KPOP을 제외한 나머지 컴포넌트는 현업과 동일하나 KPOP은 현업과는 몇 가지 차이가 있다.

표 1. 시스템 구성 및 버전(KIM3.8)

요소	리비전	비고
관측자료 전처리 (KPOP)	trunk@332	- 존데 연직층 확대 - AWS 숨아내기 과정 수정 - 기타 수정 3종
자료동화 (KVAR)	kvar@120	- 표준실험
	kvar@125	- 신규 위성 추가 실험
지면동화 (KGLDS)	trunk@100	-
예측 모델 (KIM)	trunk@361	-
양상불 자료동화 (LETKF)	trunk@108	현업 실행파일 링크

### 2.2 실험 구성

실험은 한국형모델(KIM3.8) 기반 저해상도(ne180, 약 25 km)로 수행하였다. 표준실험(CTL)과 각 신규 위성 추가 실험(EXP; 마이크로파, 극바람, 전파업폐)에서 활용된 관측자료를 표 2에 나타내었다. 실험은 2022년 7월 한 달에 대한 신규자료 품질평가와 KIM3.8의 순환실험에 대한 영향평가를 통해 한국형모델에의 자료 추가 가능성을 검토하였다. 마이크로파와 전파업폐 추가 실험의 경우, 순환실험은

2022년 6월 16일부터 7월 31일에 대해 수행하고 7월에 대해 검증하였다. 극바람의 경우, 수행 기간 초반에 자료 누락 이슈가 있어 8월까지 수행한 뒤, 7월 및 8월 두 달에 대해 검증하였다.

표 2. 실험 구성(센서/위성)

실험		내용
기준 (CTL)	종관	라디오존데, 지상, 항공기(SONDE, SURFACE, AIRCRAFT)
	위성	마이크로파(AMSUA, ATMS, MHS, AMSR2, MWHS-2): AMSUA/MetOp-B, MetOp-C, NOAA-15, NOAA-18, NOAA-19, ATMS/NOAA-20, SNPP, MHS/MetOp-B, MetOp-C, NOAA-18, NOAA-19, AMSR2/GCOM-W, MWHS-2/FY-3C 바람(AMV, SCATWIND, ALADIN): AVHRR/MetOp-B, NOAA-15, NOAA-18, NOAA-19, VIIRS/SNPP, MODIS/Aqua, SEVIRI/MSG-2, MSG-4, AHI/Himawari-8, ABI/GEOS-16, AMI/GK-2A, ASCAT/MetOp-B, MetOp-C, ALADIN/Aeolus 적외파(IASI, CrIS): IASI/MetOp-B, MetOp-C, CrIS/NOAA-20, SNPP 청천복사량(CSR): CSR/GK-2A, Himawari-8, MSG-2, MSG-4 전파염폐(GPSRO): COSMIC-2, FY-3D, GRACE-C, KOMPSAT-5, MetOp-B, MetOp-C, TanDEM-X, TerraSAR-X 지상 GNSS(GRNDGNSS)
	태풍	보거싱(TCBOGUS)
실험 (EXP)	마이크로파	MWHS-2/FY-3D
	극바람	AVHRR/MetOp-C, VIIRS/NOAA-20
	전파염폐	Sentinel-6A, SPIRE, GRACE-D

## 2.3 실험 환경설정

### 2.3.1 모듈 설정

현재 수치모델링센터에서 수행하는 영향평가 체계는 `cylc`를 기반으로 하며 2022년 슈퍼컴퓨터 5호기에서 `cylc` 수행체계를 구축한 바 있다(김은희 등, 2022). KIM3.8 버전으로 실험을 수행하기 위해서는 아래와 같은 모듈로 설정해야 한다. 개발자들은 개인 home 디렉터리의 `.bashrc` 파일에 본인이 사용하는 환경에 맞게 `alias`로 아래 환경설정을 추가하면 편리하게 사용할 수 있다. 이때, `$KIMDIR`은 실험에 필요한 KIM 소스 코드의 경로를 설정해주며 `$PYTHONPATH` 역시 동일한 KIM 소스 코드를 적용해야 한다.

```
alias mod='module purge ; \  
    module load intel/18.4 impi/2021.2.0 krb5/1.14.3 netcdf/4.6.1_v2  
    module load netcdf-fortran/4.4.4_v2 pnetcdf/1.8.1_v2 zlib/1.2.11 libpng/1.2.51  
    module load jasper/1.900.1 grib_api/1.28.0 lapack/3.9.0 libffi/3.3 geos/3.4.2  
    module load proj/4.9.2 python/2.7.14-lenovo gtk/2.20.1 bison/3.5  
    module load gd/2.2.5 graphviz/2.28.0 rose/2019.01.5 cylc hdf5/1.10.2_v2  
    module load hdf5-parallel hdfEOS5 libiconv gcc nco openssl emos  
    module load perl/5.30.1 grib_api/1.28.0 netcdfpack/4.7.3  
    module list'  
  
alias pyiau='export PYTHONDONTWRITEBYTECODE=1  
    export PYTHONPATH=$HOME/Src/3.8/r347_br355_iau_kiaps/tools:/opt/kma/kma_lib/apps/  
        python/2.7.14-lenovo/lib/python2.7/site-packages  
    export KIMDIR=~/.Src/3.8/r347_br355_iau_kiaps'
```

### 2.3.2 수행 스크립트

앞서 언급한 모듈 설정과 동일하게 `cylc` 내 스크립트들도 대부분 김은희 등(2022)과 일치한다. 그림 1은 신규 전파업체 활용 실험의 수행 과정을 보여주고 있다. 각 과정은 정해진 스케줄링에 따라 수행된다. 모델 수행 후 예측 파일을 백업하고 나서 예측성능을 분석하고 검증하는 과정인 “GET\_SCORE”가 추가되었다. 이 과정에 대한 자세한 정보는 손지영 등(2022)을 참고하면 된다.

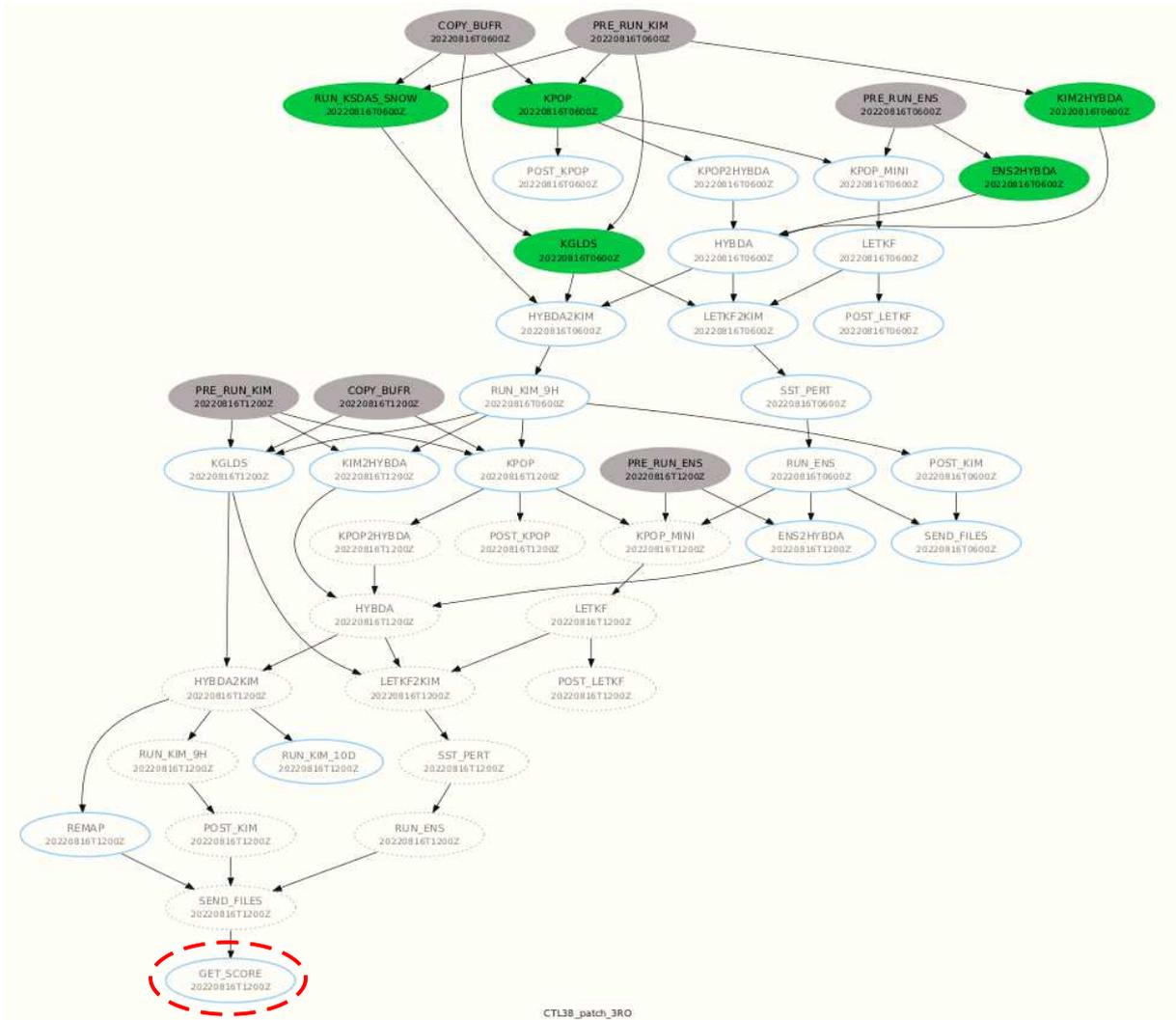


그림 1. KIM 실험수행 흐름도(KIM3.8 이후 추가 과정을 빨간색으로 표시)

### 3. 신규 마이크로파 복사량

#### 3.1 관측 개요

신규 수증기 관측자료 1종은 중국 FY-3D 위성에 탑재된 MWHS-2 센서의 마이크로파 복사량 자료로, 183 GHz를 중심주파수로 하는 11~15번 수증기 채널(단, 14번은 모니터링 채널)이 동화에 사용된다. 참고로 유럽중기예보센터(ECMWF)는 2023년 8월 기준 FY-3C, D, E의 MWHS-2를 현업에 활용하고 있으며, 기상청 또한 현업에 쓰이고 있는 MWHS-2/FY-3C 자료와 더불어 FY-3D의 자료를 추가로 활용함으로써 관측 공백을 해소하고 예측성능의 향상을 목표를 꾀하려 한다. 본 장에서는 MWHS-2/FY-3D의 본격적인 현업 활용에 앞서 해당 자료의 영향평가 실험 전반에 관한 사항 및 그 결과를 소개할 것이다.

#### 3.2 신규 위성 활용을 위해 필요한 코드 수정

KIM3.8 버전을 기반으로 신규 MWHS-2/FY-3D 자료를 활용하기 위해서는 `assimilate_MWHS2_FY3D` 파일을 만들고 채널별 사용 여부, 관측오차 등을 입력해야 한다. 현재 실험 구성에서는 `assimilate_MWHS2_FY3C`와 같은 내용의 파일을 사용하고 있다. 이와 더불어 소스 코드 `general_constants.f90`와 `satrad_module.f90`에서 FY-3D 위성에 관한 정보를 추가하면 정상적으로 신규자료를 처리할 수 있다.

① KPOP버전/`controls/assimilate_cards/assimilate_MWHS2_FY3D`

monitor	8.000	MWHS	Ch	1
monitor	8.000	MWHS	Ch	2
monitor	8.000	MWHS	Ch	3
monitor	8.000	MWHS	Ch	4
monitor	8.000	MWHS	Ch	5
monitor	8.000	MWHS	Ch	6
monitor	8.000	MWHS	Ch	7
monitor	8.000	MWHS	Ch	8
monitor	8.000	MWHS	Ch	9
monitor	8.000	MWHS	Ch	10
assimil	5.000	MWHS	Ch	11
assimil	5.000	MWHS	Ch	12
assimil	5.000	MWHS	Ch	13
monitor	8.000	MWHS	Ch	14
assimil	5.000	MWHS	Ch	15

② KPOP버전/src/common/general\_constants.f90

```

!
! flags for satellite platform
!
...(중략)...
    integer, parameter      :: flagfy3c      = 522
    integer, parameter      :: flagfy3d      = 523
...

```

③ KPOP버전/src/satrad/satrad\_module.f90

```

use general_constants, only : flagmetopa, flagmetopb, flagmetopc,      &
                             flagnoaa15, flagnoaa18, flagnoaa19,      &
                             flagnoaa20,                             &
                             flagdmsp16, flagdmsp17, flagdmsp18,      &
                             flagdmsp19, flagdmsp20, flagggcomw1,      &
                             flaggcoms1, flagnpp,   flagmeghatr,      &
                             flaggoes16, flaggoes17,                 &
                             flagmeteosat8, flagmeteosat11,           &
                             flagmeteosat9, flagmeteosat10,           &
                             flaghimawari8, flaghimawari9,           &
                             flagfy3c, flagfy3d, flaggk2a
...
...(중략)...

!
! mwhs2
!
integer, parameter           :: nsats_mwhs2 = 2
integer, parameter, dimension(nsats_mwhs2) :: sat_id_mwhs2 = (/flagfy3c, flagfy3d/)
character(4),parameter,dimension(nsats_mwhs2):: sat_name_mwhs2 = (/ "FY3C", "FY3D" /)
integer, parameter, dimension(3,nsats_mwhs2) :: instrument_mwhs2 =      &
                                                                    (/ 23, 3, 73, 23, 4, 73 /)
...

```

### 3.3 관측자료 공간분포 및 품질분석

신규 FY-3D 자료 추가로 FY-3C와 함께 전구 해상에서 균등한 MWHS-2 활용을 기대할 수 있다(그림 2). 자료의 개수 또한 첫 사이클인 2022년 6월 16일 06UTC 기준 약 1.9배 늘어났다. 이러한 자료 분포 및 개수 증대는 관측 공백 해소에 기여할 것으로 여겨진다.

다음으로 관측 증분(O-B)의 통계 정보로 MWHS-2/FY-3D 자료의 품질을 분석하였다(그림 3). 사용한 배경장은 2022년 7월 한 달의 현업 고해상도 배경장이며, MWHS-2/FY-3C의 통계 정보를 비교군으로서 그림에 함께 표시했다. MWHS-2/FY-3D는 모든 채널에서 음의 편차(-1.93~-0.71K)가 존재하나 편향 보정 후에는 모두 해소되었다. 또한 두 위성 자료 사이의 C-B의 평균과 표준편차의 차이가 관측오차(5K) 수준에서 무시할 만했다. 따라서, 신규 FY-3D의 자료

는 FY-3C 자료와 유사한 품질을 가져 현재 적용된 관측 전처리과정의 수정 없이 한국형모델에 추가 활용이 가능할 것으로 보인다.

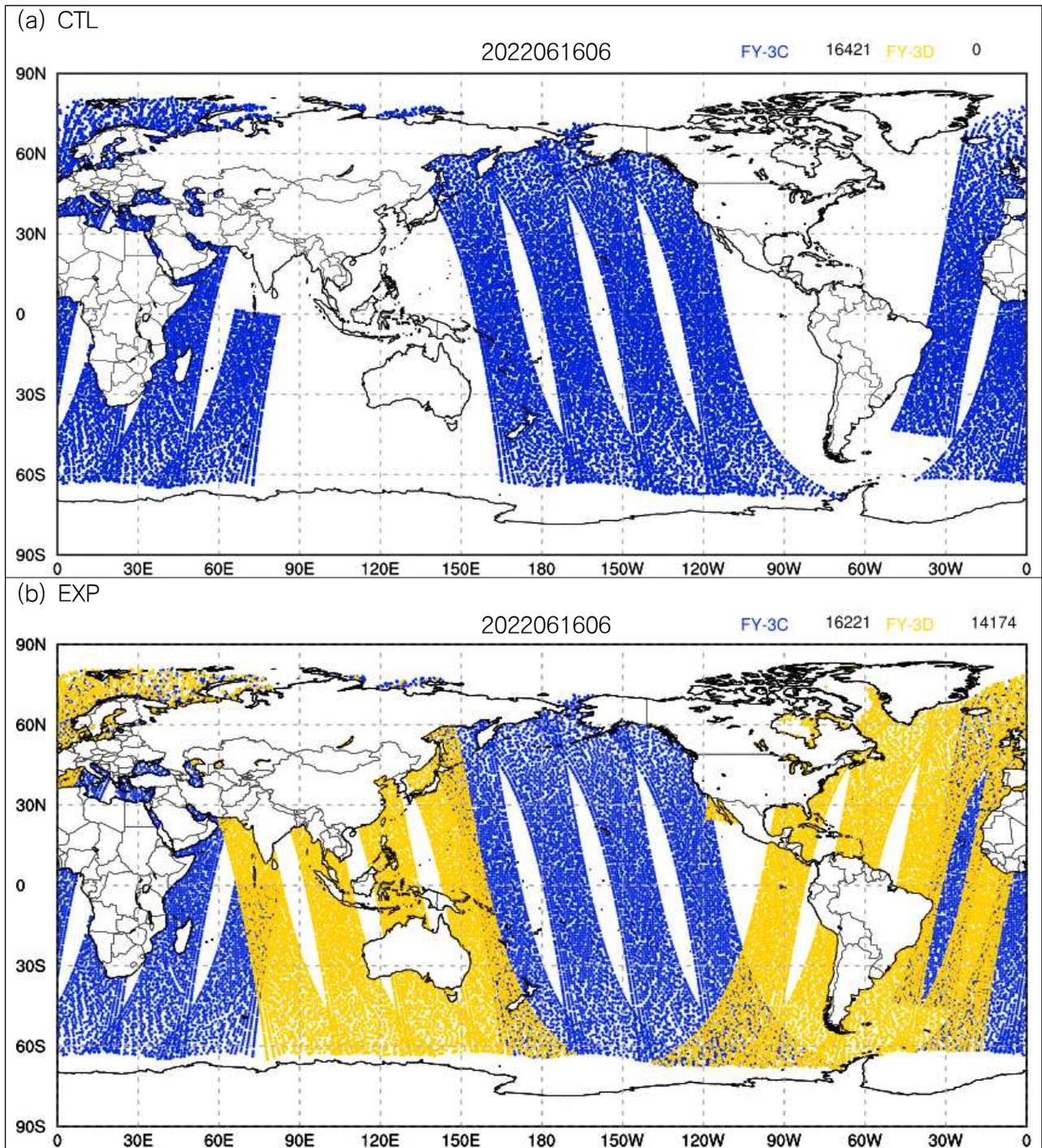


그림 2. 실험별 MWHS-2의 자료 분포

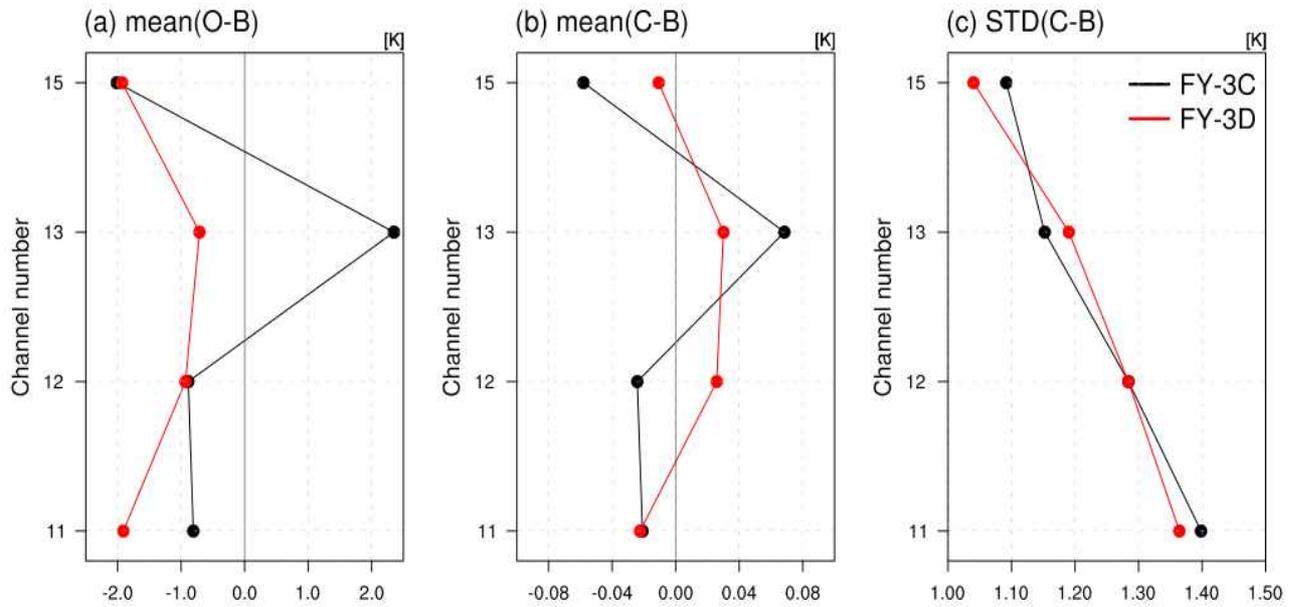
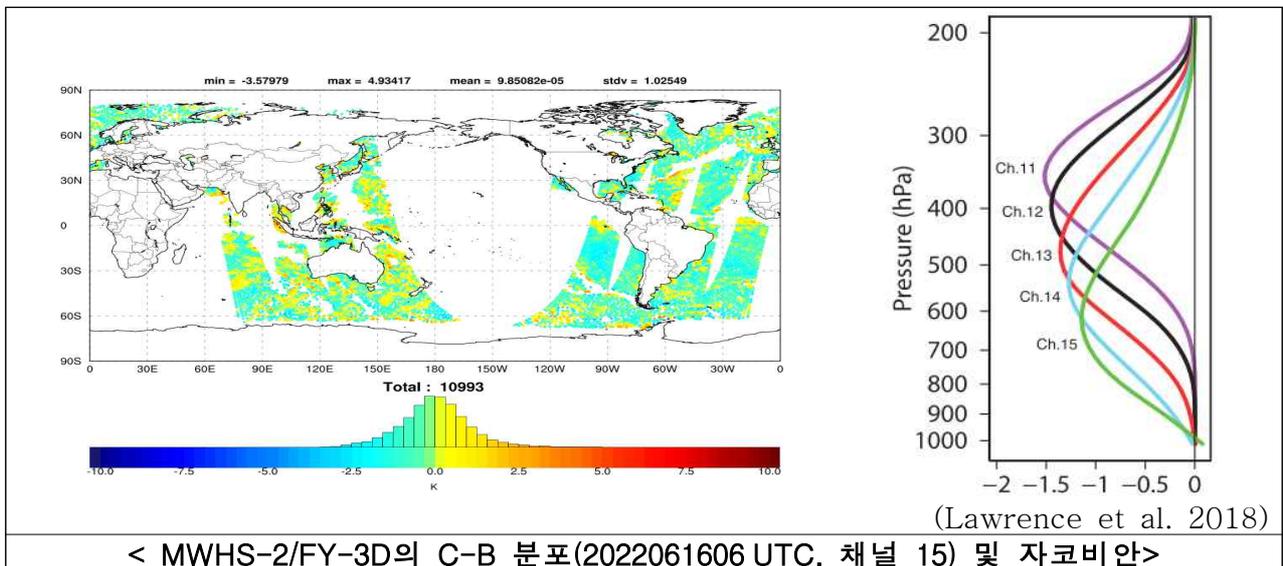


그림 3. 신규 MWHS-2/FY-3C, D 자료의 O-B 통계 분포('22.7.)

### 3.4 분석 증분과 모델 편차

관측자료의 효과를 살펴보기 위해 실험 첫 사이클에서의 분석 증분과 모델 편차를 살펴보았다 (그림 4). 분석 증분은 실험(EXP)과 기준(CTL) 간 차이(EXP-CTL)를 나타낸 것이고, 모델 편차는 기준과 ECMWF의 IFS(Integrated Forecasting System) 간 차이(CTL-IFS)를 나타낸 것이다. 관측이 추가된 해양 지역에서는 모델의 온도 및 비습 편차를 개선하는 방향으로 분석 증분이 나타났으며, 이를 통해 자료동화에 있어 신규자료의 긍정적인 영향을 확인할 수 있다.



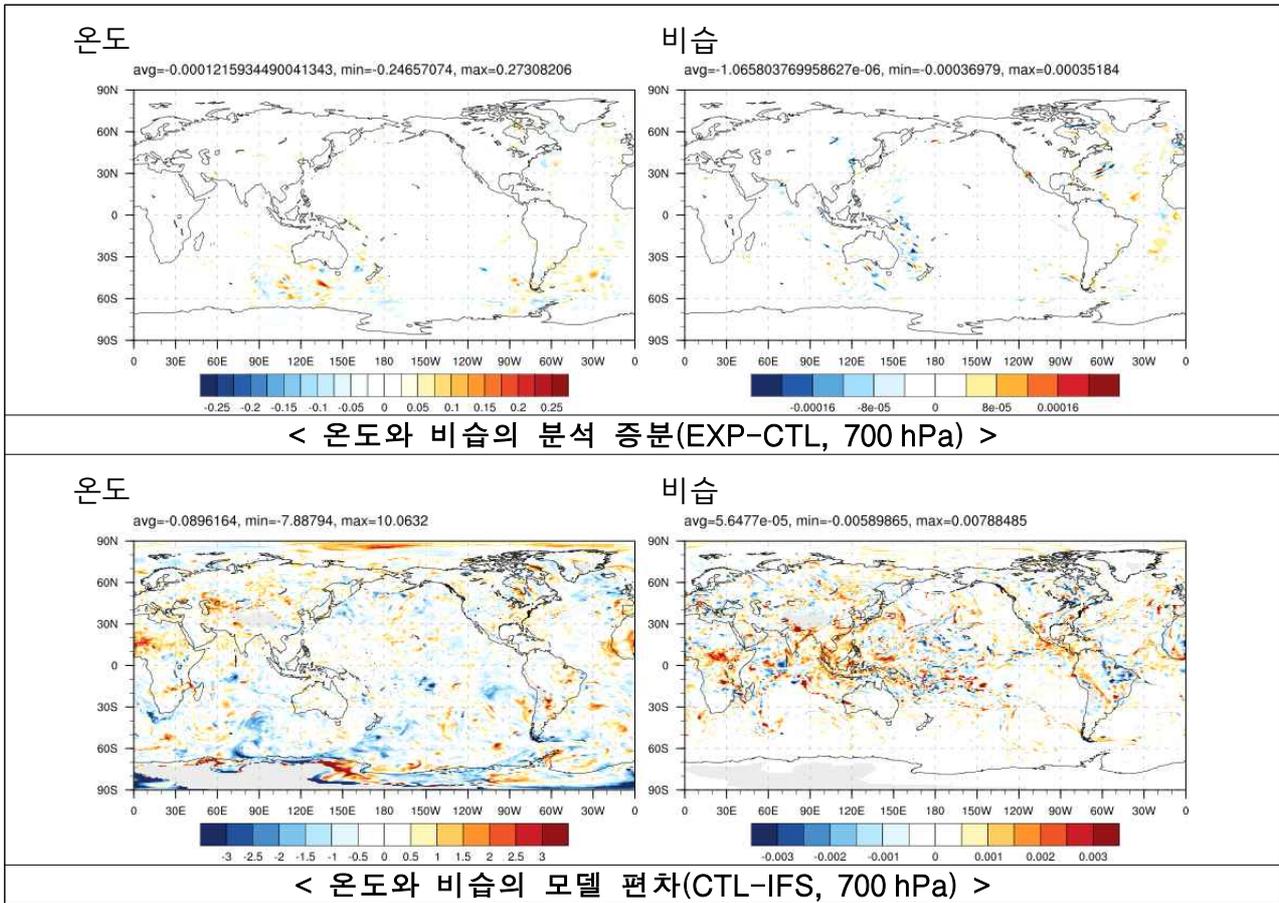


그림 4. 온도/비습 분석 증분과 모델 편차(2022061606UTC, 700 hPa)

### 3.5 영향평가 결과

#### 3.5.1 분석장

IFS 분석장을 참(true)으로 가정하고, CTL 대비 EXP의 분석장 성능을 시계열 및 공간분포로 나타냈다(그림 5, 6). 분석장의 시계열을 살펴보면 7월 중순까지 상층 동서 바람의 저하가 나타난다. 또한 7월 초반부터는 상층 지위고도에서의 성능 저하가 일부 나타나기도 한다. 본 영향평가 실험의 핵심 변수가 되는 비습은 검증 기간 전반에서 개선이 있었고 특히 700 hPa 이하의 하층에서 뚜렷했다.

이러한 개선은 분석장의 위도-고도 분포에서도 살펴볼 수 있다. 분석장의 비습 개선은 특히 남반구 중위도~북반구에 걸쳐 나타났고 전구에 대해서 평균 0.3%의 개선율을 보였다. 바람의 경우에는 적도 상층(200 hPa 이상)에서 동서 바람의 저하는 있었지만, 그 외 지역에서는 대체로 중립 영향이었다. 남극에서는 하층 온도의 개선이 있었고 300 hPa 이상에서는 지위고도 개선과 저하가 함께 나타났다.

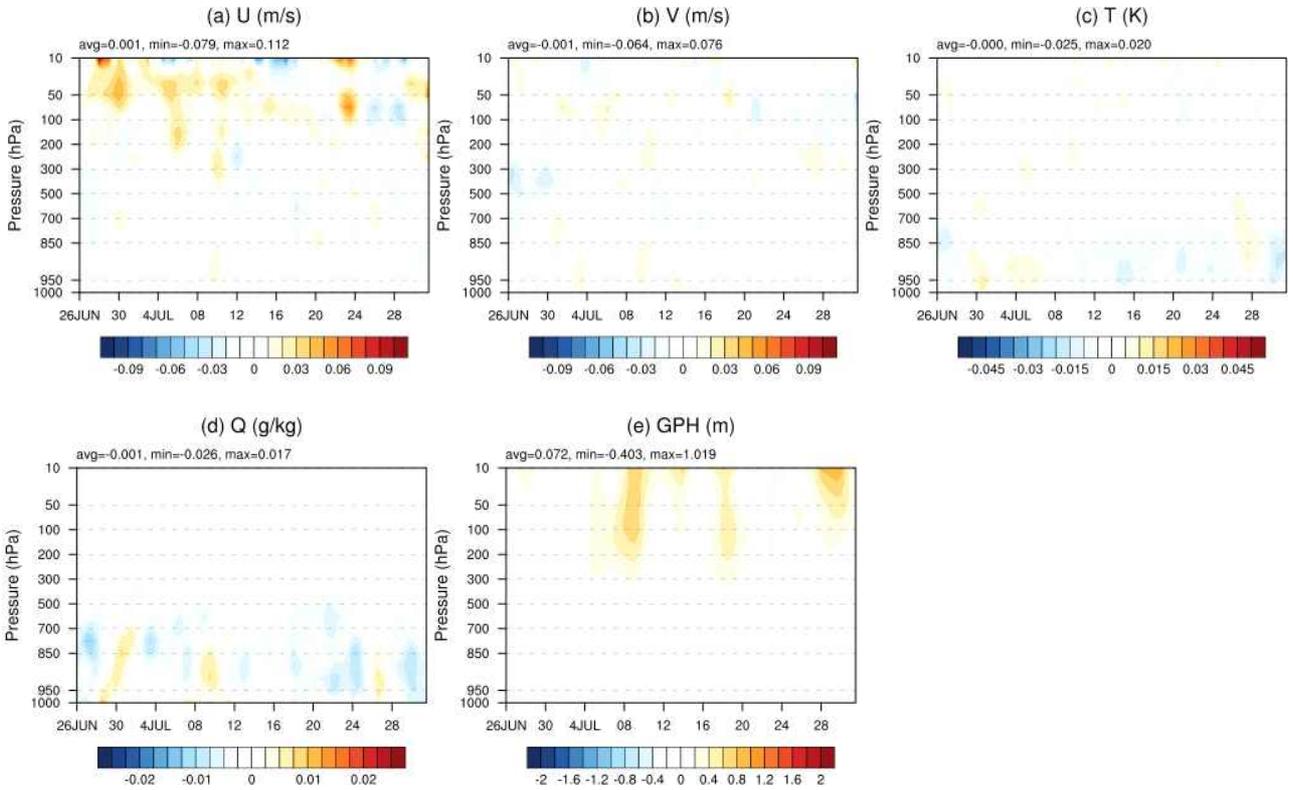


그림 5. CTL 대비 EXP의 분석장 오차 시계열(2022062600UTC~2022073118UTC)

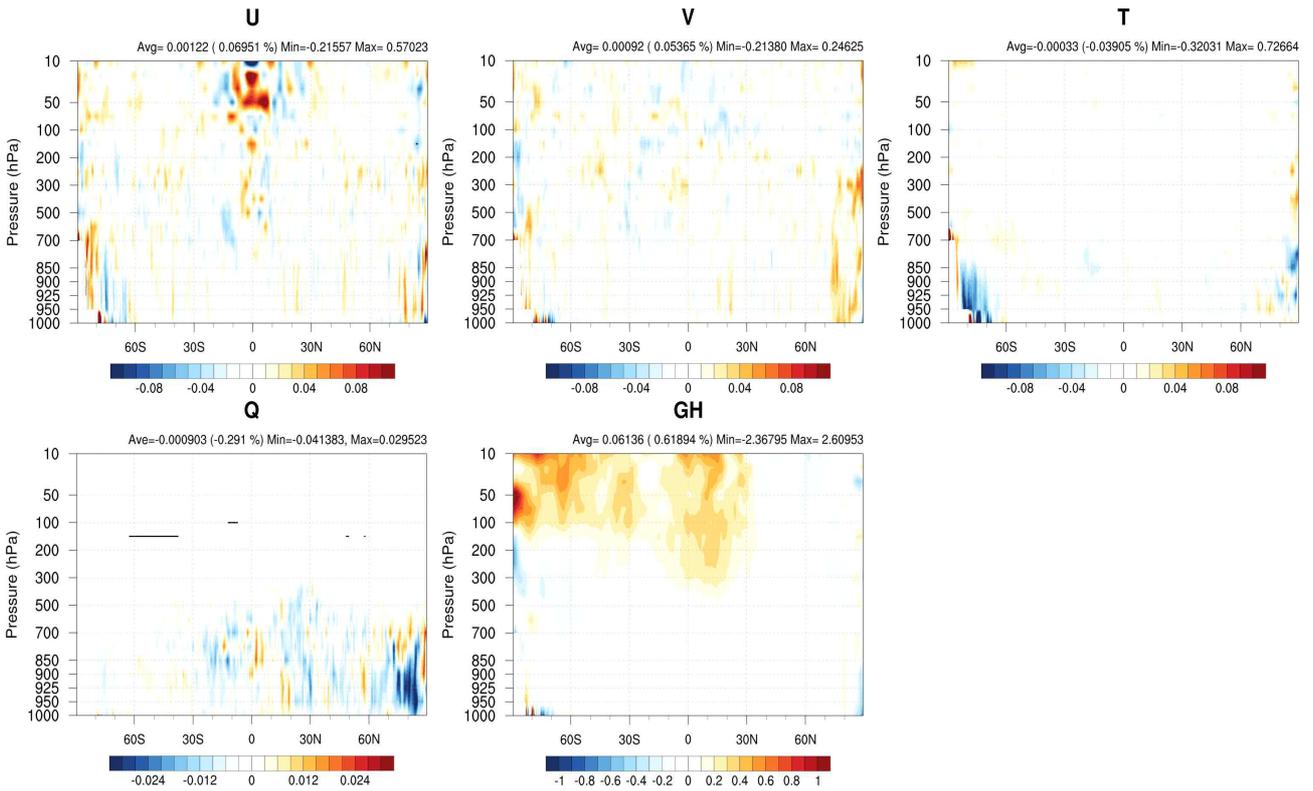


그림 6. CTL 대비 EXP의 동서 평균 분석장 오차(2022070100UTC~2022073112UTC)

### 3.5.2 타 관측 대비 초기 예측장

타 관측의 O-B를 활용하여 초기 예측(배경장) 성능을 평가하였다(그림 7). 사용한 관측은 ATMS, MHS, IASI의 수증기 채널이며 분석 기간은 7월 한 달이다. 배경장의 성능은 ATMS, MHS, IASI의 수증기 채널에서 정규화된 C-B의 표준편차(EXP/CTL)가 100% 이하로 나타남에 따라 개선되었다고 할 수 있다. 각 관측종 대비 배경장 개선율은 0.5%(0.3~0.7%, ATMS), 1.2%(1.1~1.4%, MHS), 0.7%(0.1~1.0%, IASI)이다.

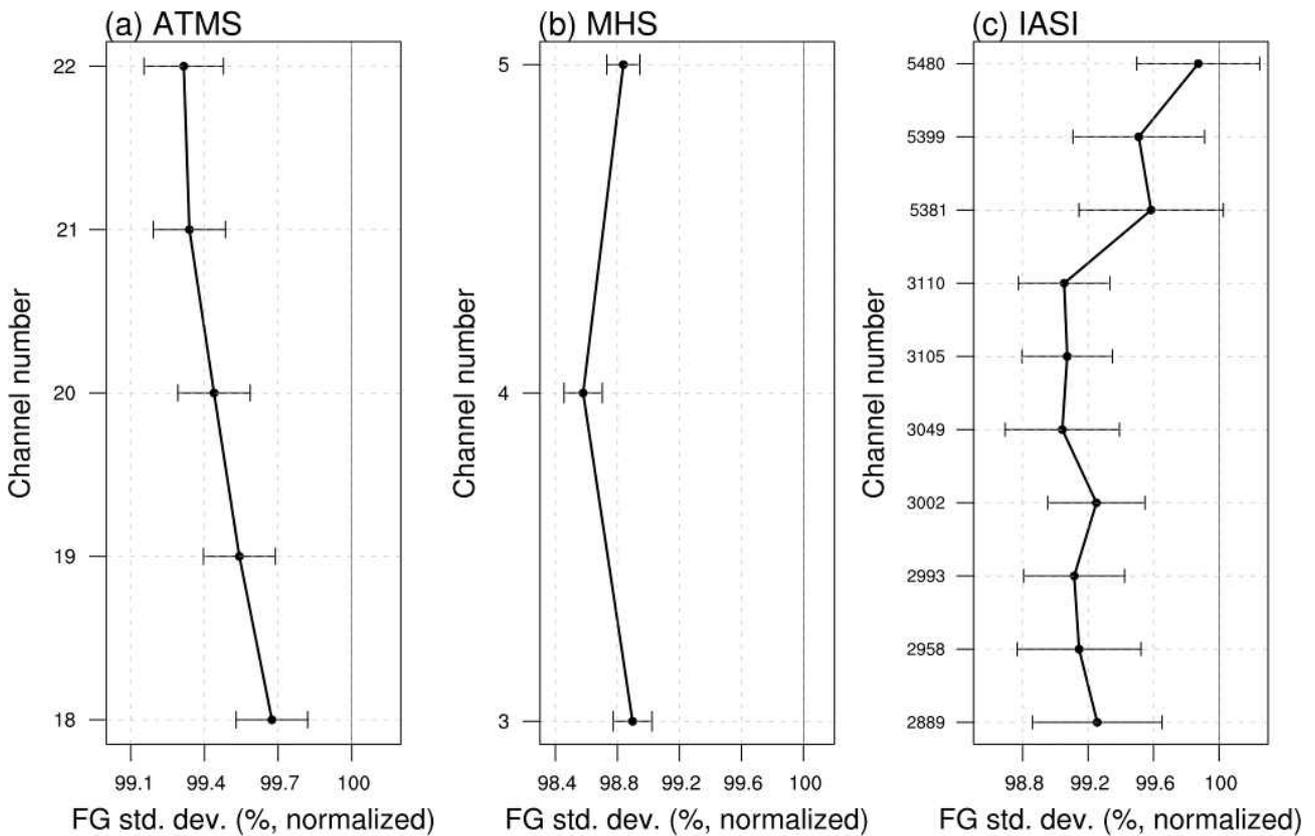


그림 7. ATMS, MHS, IASI 대비 초기 예측성능(C-B)

### 3.5.3 예측장

그림 8은 IFS 분석장을 활용하여 CTL 대비 EXP 예측장의 평균제곱근오차(Root Mean Square Error, RMSE) 개선율을 나타낸 스코어카드이다. 본 실험에서 개선을 목표로 하는 예단 변수인 비습은 700 hPa에서 약 -1~1%의 개선율을 보여 중립 성능이었다. 예측성능의 주요 지표인 500 hPa 지위고도 또한 영역별로 상이하나 대체로 중립 또는 약간의 개선이 나타났다.



그림 8. IFS 분석장을 활용한 CTL 대비 EXP의 오차 개선율(%). (양: 개선, 음: 저하)

### 3.5.4 예측 시간별 동서 평균 오차

IFS 분석장을 활용한 EXP와 CTL 예측장의 평균제곱근오차(Root Mean Square Error, RMSE)의 차이를 위도-고도 공간분포로 살펴보았다(그림 9, 10). 00UTC부터 살펴보면 비습의 개선율은 분석장에서 0.3%로 가장 높았다. MWHS-2/FY-3D 추가의 영향은 예측 초기에는 중위도 남반구~북반구에 한정되지만, 예측 시간이 길어질수록 남반구 고위도까지도 퍼져나갔다. 그러나 비습이 아닌 다른 예단 변수는 자료의 추가에 의해 크게 영향을 받지 않았다. 이는 극지역을 제외하고는 대체로 작은 편차가 나타나는 바람, 온도, 지위고도장을 통해 알 수 있다. 12UTC에 대해서도 이러한 해석은 동일하다.

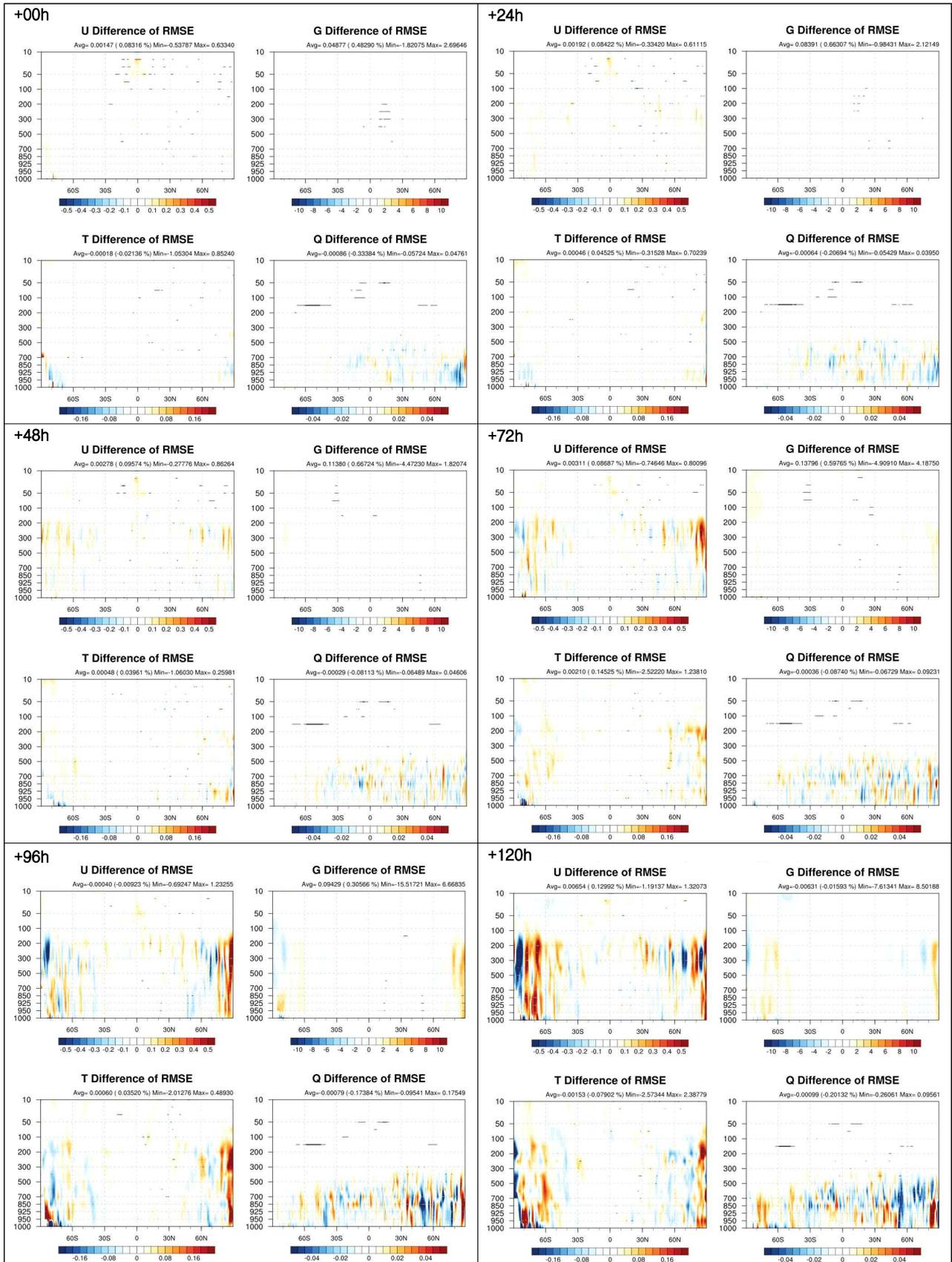


그림 9. IFS 분석장 대비 동서 평균 평균제곱근오차의 차이(00UTC, EXP-CTL). (음: EXP 개선, 검은 점: 95% 신뢰수준, 회색 점: 68% 신뢰수준)

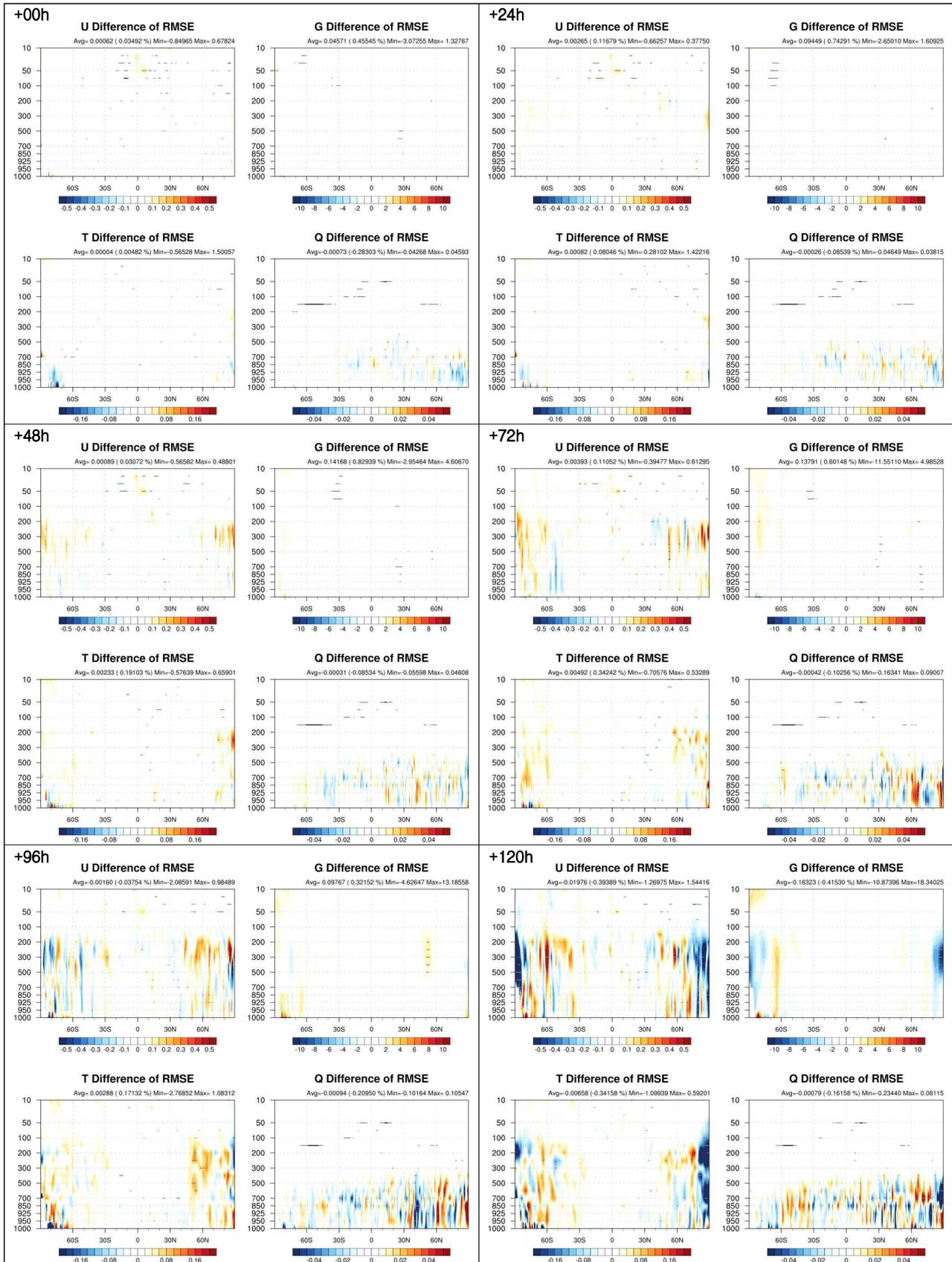


그림 10. IFS 분석장 대비 동서 평균 평균제곱근오차의 차이(12UTC, EXP-CTL). (음: EXP 개선, 검은 점: 95% 신뢰수준, 회색 점: 68% 신뢰수준)

### 3.5.5 예측 시간별 오차 시계열

그림 11은 700 hPa 비습에 대해 IFS 분석장 대비 CTL과 EXP 예측장의 RMSD 시계열을 함께 나타낸 것이다. MWHS-2/FY-3D의 추가로 인한 비습 예측장(분석장 포함)은 CTL 대비 중립 성능 또는 미미한 개선을 보였다.

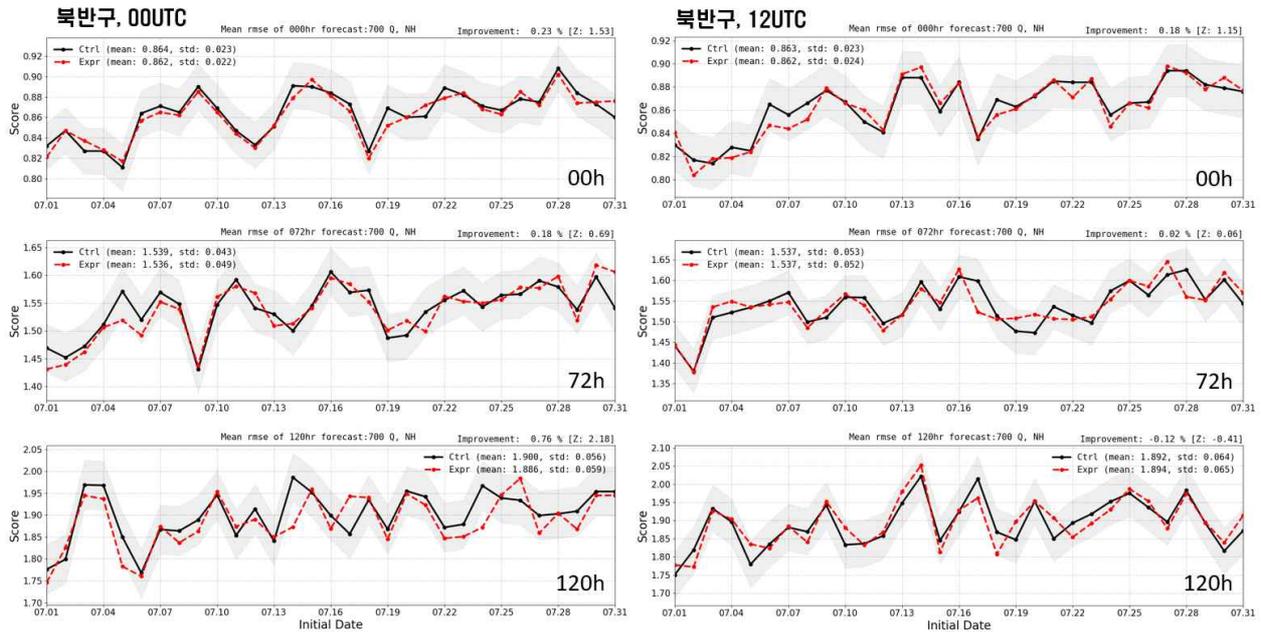


그림 11. IFS 분석장 대비 CTL과 EXP의 700 hPa 비습 RMSD 시계열

위 그림을 종합하여 예측시간별 700 hPa 비습 개선율을 아래 그림 12와 같이 나타내었다. 비습은 대체로 중립 또는 약간의 개선 성능을 보였는데, 신뢰수준(68%)을 고려했을 시에는 00UTC에서는 분석장과 1일/5일 예측장의 개선이 있었고 12UTC에서는 분석장의 개선이 있었다.

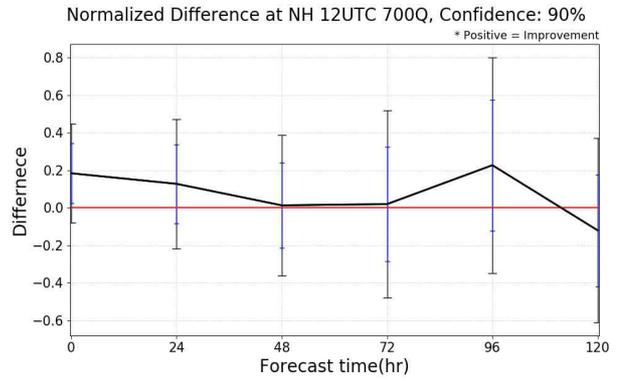
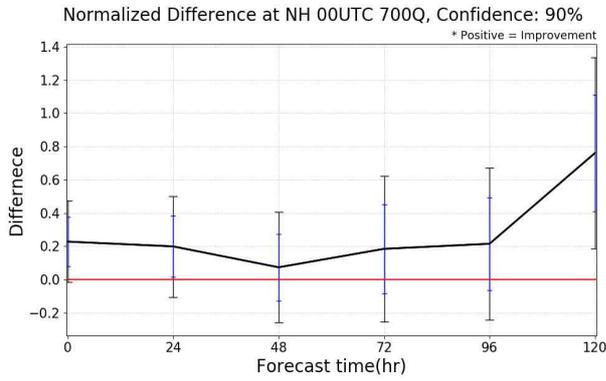


그림 12. IFS 분석장을 활용한 CTL 대비 EXP의 700 hPa 비습 예측 시간별 오차 개선율(%). (양: EXP 개선, 검은 막대: 90% 신뢰수준, 파란 막대: 68% 신뢰수준)

수치모델의 성능 판단에 주로 활용되는 예측시간별 500 hPa 지위고도 개선율을 그림 13에 나타내었다. 지위고도 또한 비습과 마찬가지로 대체로 증립 또는 약간의 개선 성능을 보였으며, 분석장을 포함하여 예측 초기(~2일)까지 68% 신뢰수준에서 유의한 개선이 있었다.

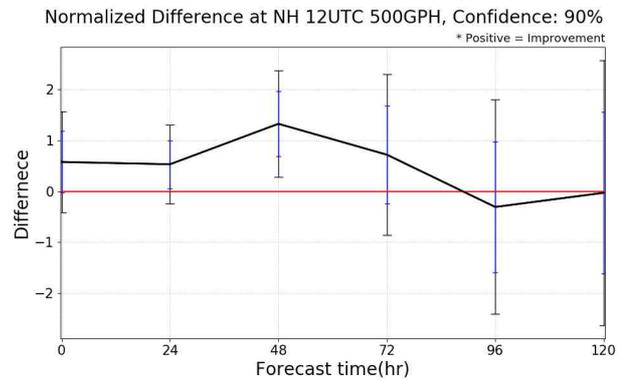
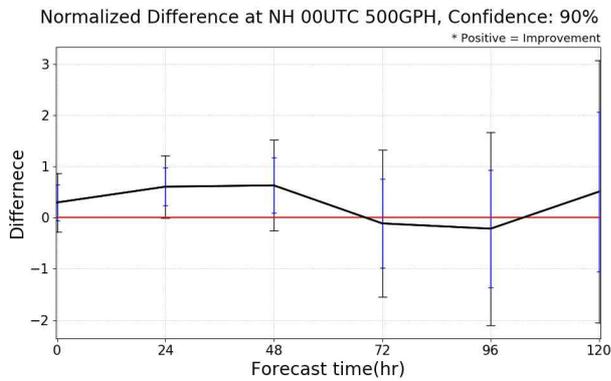


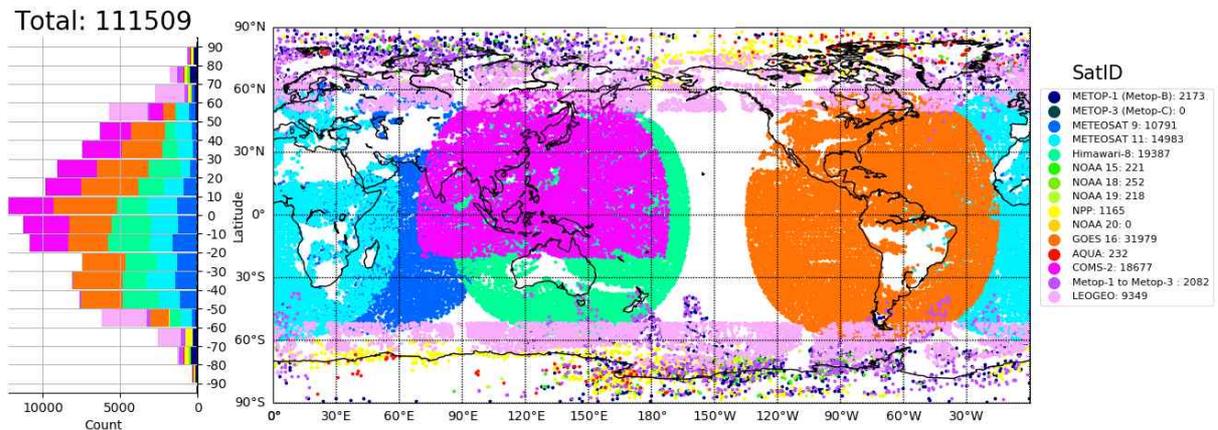
그림 13. IFS 분석장을 활용한 CTL 대비 EXP의 500 hPa 지위고도 예측 시간별 오차 개선율(%). (양: EXP 개선, 검은 막대: 90% 신뢰수준, 파란 막대: 68% 신뢰수준)

## 4. 신규 극바람

### 4.1 관측 개요

현업(2023년 7월) 기준 한국형모델에서 활용하는 대기운동벡터(Atmospheric Motion Vector, AMV)는 극궤도 위성에서 산출되는 극바람 6종, 정지궤도 위성에서 산출되는 5종, 총 11종을 이용하고 있으나, 자료공백 해소를 위한 관측종 확대가 요구된다. 추가 실험의 대상이 되는 VIIRS/NOAA-20과 AVHRR/MetOp-C는 선진기관인 ECMWF 등에서 이미 활용 중인 극바람 관측으로 그 유용성을 인정받았다. 또한, 동일한 관측기를 이용하는 자매 위성들이 존재하여 자료의 품질을 쉽게 비교할 수 있다는 장점이 있다. 더욱이, 해당 관측종을 추가할 경우, 자료는 남극 및 북극에 위치하게 되는데, 이는 한국형모델의 분석장 및 배경장의 개선을 기대할 수 있다. 따라서 해당 2종을 이번 추가 실험의 대상으로 선정하였다(그림 14).

(a) 기준



(b) 신규 2종 추가 실험

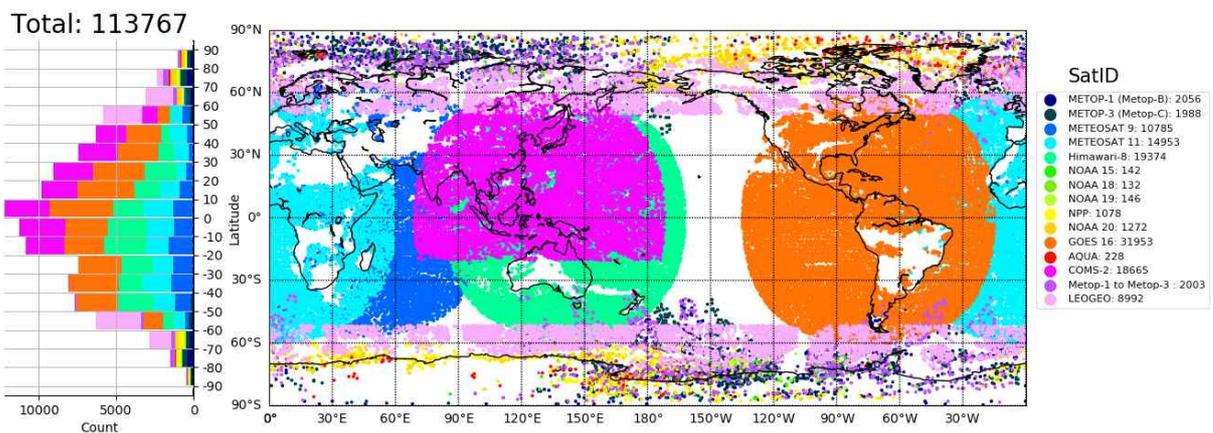


그림 14. 대기운동벡터 수평 자료 분포도

## 4.2 신규 위성 활용을 위해 필요한 코드 수정

KPOP 소스에서 이용하는 위성 번호와 새로운 자료의 전처리 정보가 추가되어야 하며, 이는 코드 스크립트와 보조 자료 양 쪽에서 갱신되어야 한다. 자료 이용을 위해 코드 스크립트를 수정하였으며(bufrdc\_observation.f90, amv\_check\_stationlist.f90), 4.3을 통해 얻은 정보를 바탕으로 새로운 전처리 정보를 amv\_stlist.n1에 기입하였다. 변경된 사항은 다음과 같다.

### ① KPOP버전/src/amv/bufrdc\_observation.f90

구분	bufrdc_observation.f90
설명	자료 입력단에서 추가된 위성을 이용할 수 있도록 위성 번호(MetOp-C:5, NOAA-20:225) 추가(적색)
변경 내역 (593 ~ 603)	<pre>! check new satellite select case(bufr_satid)   case(54,55,56,57,70,171:174,810,257:259,270,783,784,206,207,209, &amp;     223,3,4,854,852,224,271,811, 225, 5)     continue   case default     write(*,*) '[check] BUFR: new satellite id = ',          &amp;       observation(iobscnt)%satid end select</pre>

### ② KPOP버전/src/amv/amv\_check\_stationlist.f90

구분	amv_check_stationlist.f90
설명	자료 전처리에서 추가된 위성을 이용할 수 있도록 위성 번호(MetOp-C:5, NOAA-20:225) 추가(적색)
변경 내역 (320~331)	<pre>CASE(783,784,206,207,209,223,224,852,3,4, 225, 5) ! MODIS,NOAA,METOP SELECT CASE(master_amv(iobs)%chid)   CASE( 1) ! IR     master_amv(iobs)%obtyp = obtyp_modisir   CASE(0,3) ! WV     master_amv(iobs)%obtyp = obtyp_modiswv   CASE( 5) ! CSWV     master_amv(iobs)%obtyp = obtyp_modiscswv   CASE DEFAULT     master_amv(iobs)%obtyp = obtyp_missing END SELECT</pre>

### ③ KPOP버전/controls/coefs/amv\_stlist.n1

구분	amv_stlist.n1
설명	추가된 위성(MetOp-C:5, NOAA-20:225)에 대한 전처리 정보 작성(적색)
변경 내역 (265~321)	<pre>!----- ! g) NOAA AVHRR IR winds from NOAA-15, NOAA-16, NOAA-17, NOAA-18, NOAA-19 ! and MetOp-A.</pre>

```

!-----
! Infrared
&station Ids(1:9)='784','783','206','207','209','223','852','224',
'225',
ObsType='801',
ConfThres=70., RejRep='F',
ThinRound='SATW2' /

! Water vapour
&station
Ids(1:9)='784','783','206','207','209','223','852','224','225',
ObsType='803',
RejRep='F', ConfThres=70.,
ThinRound='SATW2' /

! Clear sky water vapour
&station Id='784',
ObsType='804',
ConfThres=70., RejRep='F',
PressureBottom=40000.0,
ThinRound='SATW2' /

! reject low level data over polar region
&station
Ids(1:12)='784','783','206','207','209','223','004','003','852','224',
'225','005',
ObsTypes(1:2)='801','803',
PressureTop=85000., RejRep='T',
ThinRound='SATW2' /

&station
Ids(1:12)='784','783','206','207','209','223','004','003','852','224',
'225','005',
ObsType='803',
PressureTop=60000., RejRep='T',
ThinRound='SATW2' /
!-----
! h) LEOGEO Satellites (854)
!-----
! Infrared: all levels
&station Ids='854',
ObsType='711',
ConfThres=70.,
RejRep='F', ThinRound='SATW2' /
!-----
! f) EUMETSAT MetOp AVHRR IR10.8 winds from MetOp-A & MetOp-B
!-----
! Thin data to QI threshold 80.
&station Ids(1:3)='004','003','005',
ObsType='801',
hamethod=1,
ConfThres=90.,
RejRep='F',RejUV='F' /

```

## 4.3 사전 자료품질 평가

### 4.3.1 관측자료 수평 및 연직 분포

2종 자료 추가를 통해 전지구 기준 0.2%, 극지역 기준으로 15% 바람 증대를 기대할 수 있다. 추가되는 자료는 수평적으로 60° 이상인 극지역에, 연직적으로는 200 hPa에서 500 hPa에 주로 분포하여, 관측공백 지역에서의 긍정적인 효과를 기대할 수 있다(그림 15).

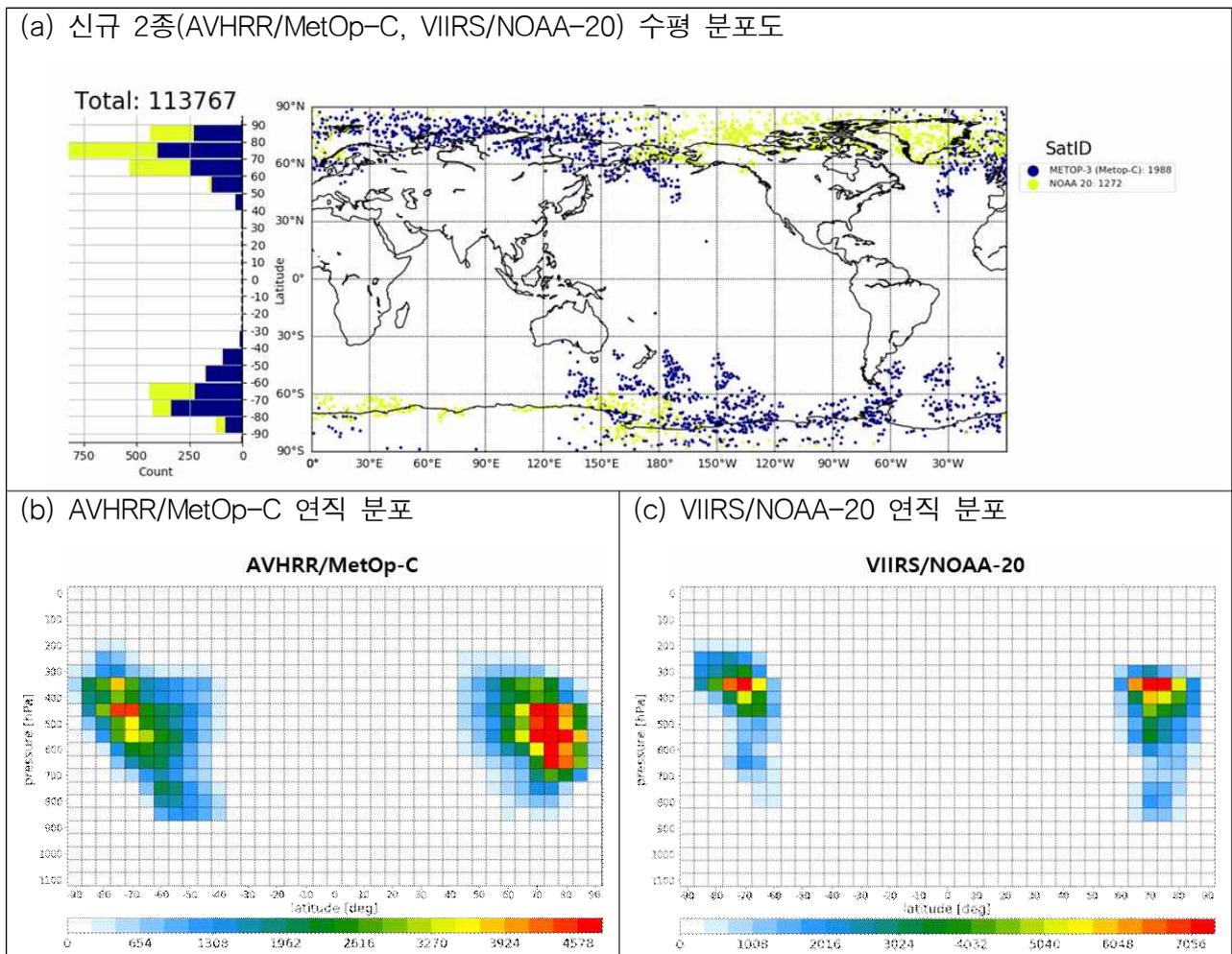


그림 15. 극바람 신규 2종 (a) 수평 및 (b, c) 연직 분포

### 4.3.2 품질분석

자료가 모델에 미칠 영향을 가늠하기 위해 2022년 7월에 대해 관측 품질검사를 진행하였다. 이는 현업 고해상도 배경장을 활용한 관측 증분(O-B)의 통계 정보를 활용한 것으로, 기존에 이용하는 유사 관측종과의 O-B 통계 정보 비교를 통해 모델에 미칠 영향도를 확인할 수 있다. 2종 자료

모두 같은 목적의 극궤도 위성과 동일한 관측기를 보유한 정보를 이미 이용하고 있어 각각 유사 관측종에 대해 비슷한 전처리를 적용해 비교, 분석하였다. O-B의 통계 정보를 통해, 신규 관측에 기존 관측과 동일한 전처리 기준을 적용할 경우, 두 관측의 영향이 비슷한 수준이며, 자료 수 확대의 측면에서의 긍정적인 영향을 기대할 수 있을 것으로 판단하였다.

#### 4.3.2.1 AVHRR/MetOp-C

현업 활용 중인 AVHRR/MetOp-B 기존 관측과 동일한 전처리 기준을 신규 관측인 AVHRR/MetOp-C에 적용, 기존 관측과의 품질을 비교하였다. 자료 입전 시 문제가 발생한 날짜를 제외하고 두 관측에 양적인 차이가 없어 통계 분석에 큰 영향이 없을 것으로 판단하였다. 신규 및 기존 자료의 O-B의 평균과 표준편차는 각각 5%, 0.6%로 기존 관측과의 일치성을 담보할 수 있는 범위인 10%, 1% 이내 값임을 확인하였다.

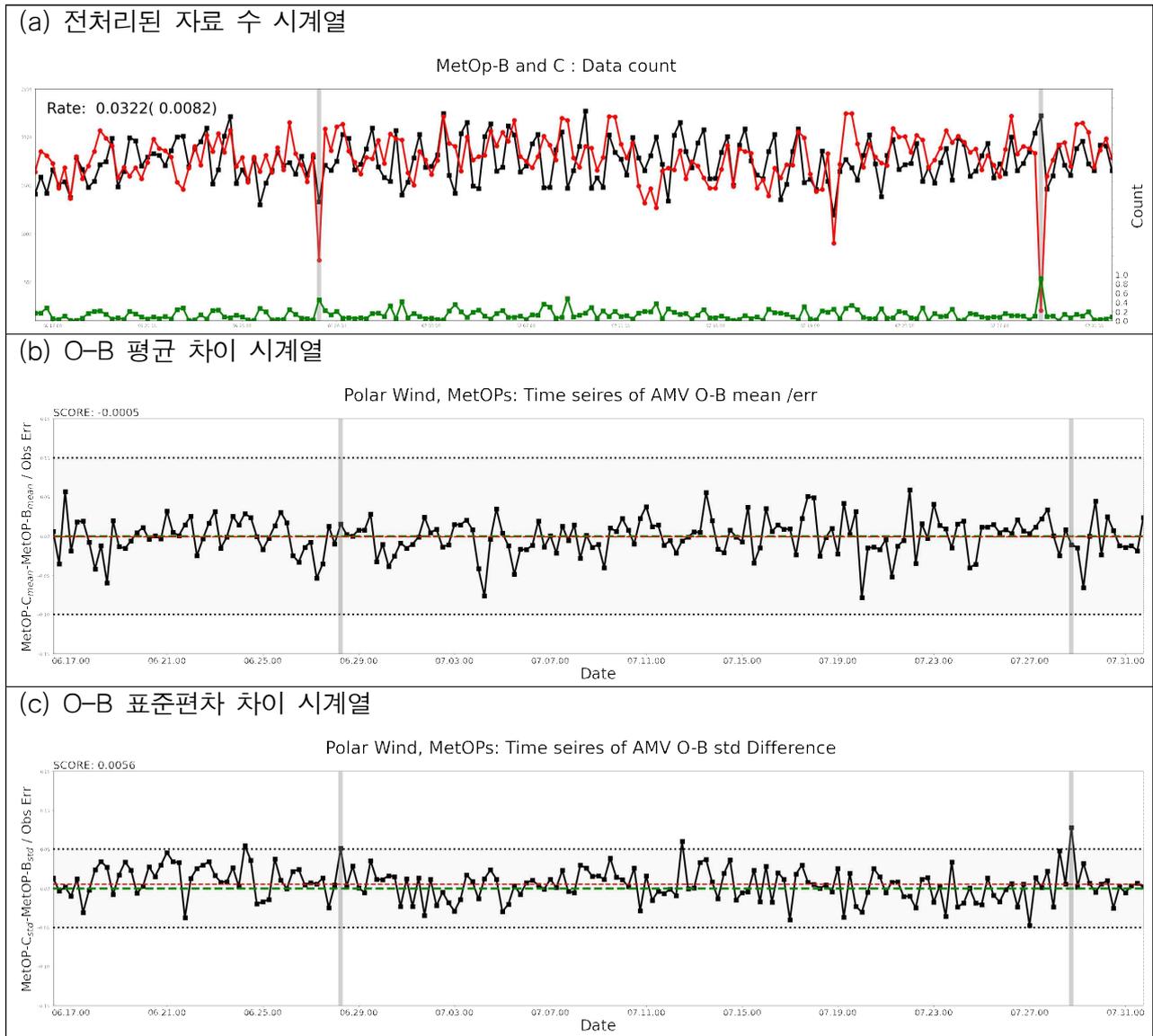


그림 16. AVHRR/MetOp-C(적색)와 AVHRR/MetOp-B(흑색) 자료 수 시계열 및 차이 비교

#### 4.3.2.2 VIIRS/NOAA-20

현업 활용 중인 VIIRS/SNPP 기존 관측과 동일한 전처리 기준을 신규 관측인 VIIRS/NOAA-20에 적용, 품질을 비교하였다. 자료 입전 시 문제가 발생한 날짜를 제외하였을 때 신규 관측이 기존 대비 1.3배 많음을 확인하였다. 한편, 관측오차 대비 O-B의 평균 차이는 3.5%, 표준편차의 차이는 0.4%로 기존 관측에 대해 신규 관측이 일치성을 가진다고 할 수 있다(그림 17).

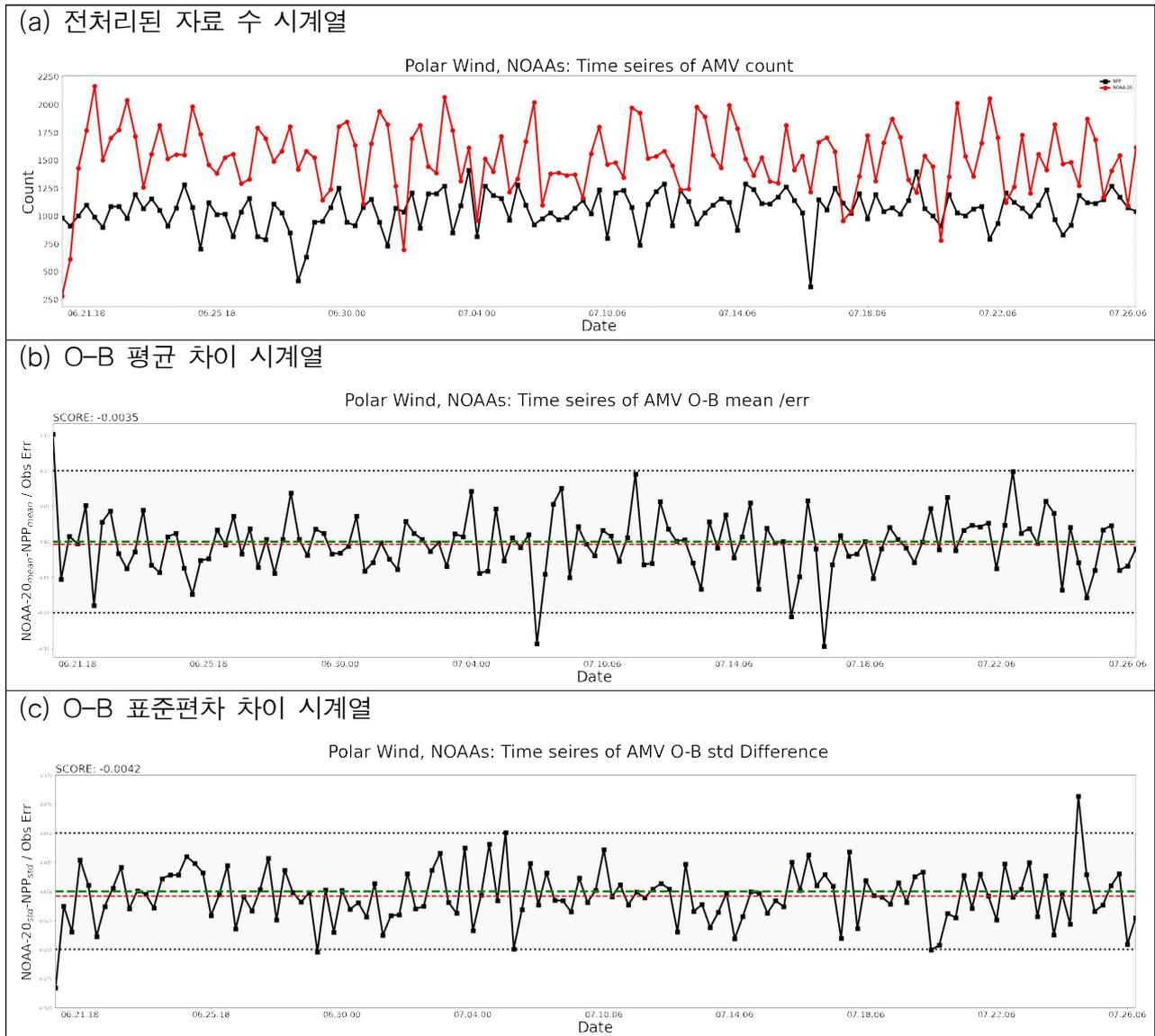


그림 17. VIIRS/NOAA-20(적색)과 VIIRS/SNPP(흑색) 자료 수 시계열 및 차이 비교

#### 4.4 영향평가 결과

4.3에서 확인한 바와 같이, 기존 유사 관측과 동일한 전처리를 적용하여 수치모델에서의 신규 자료 민감도 평가를 수행하였다. 2022년 6월 16일부터 2022년 8월 31일까지 순환실험을 진행하였으며, 6월 16일에서 30일까지를 모델 수행이 안정화되는 스피업 기간으로 생각하여 7월과 8월 2개월에 대해 예측의 영향도를 평가하였다. 예측의 영향도는 1. 입력된 자료가 모델이 가지는 편차를 해소해 분석장에 긍정적인 영향을 미칠 수 있는지, 2. 생성된 분석장을 통해 배경장이 개선되었는지 3. 그리하여 초반 예측이 개선되었으며 후반까지 영향이 가는지 확인하였다. 신규 관측은 극지역에 추가되었기 때문에 극지역의 바람 변수를 중요하게 살폈고, 모델의 개선 여부를 판단하

는 500 hPa의 지위고도 또한 확인하였다. 모델의 개선 정도는 ECMWF의 IFS 분석장 대비 오차 감소율을 통해 계산하였다. 2개월에 대한 신규 관측 추가의 영향은 그림 18로 요약할 수 있다.

(a) 00UTC

By IFS RMSE improvement rate || Polar Wind

2022062600 - 2022082500, TARGET INIT, KATSTYLE

	Globe					North Hemisphere					Tropics					South Hemisphere					North Pole					South Pole										
	0	24	48	72	96	120	0	24	48	72	96	120	0	24	48	72	96	120	0	24	48	72	96	120	0	24	48	72	96	120	0	24	48	72	96	120
Q 700hPa	0.01	0.12	0.07	-0.09	-0.07	0.29	0.14	0.13	-0.04	-0.28	-0.31	0.13	-0.12	0.03	0.07	0.07	0.16	0.45	0.23	0.56	0.38	-0.06	-0.12	0.24	1.04	0.87	-0.22	0.55	-0.42	-0.32	0.31	-0.05	0.55	1.09	0.26	-0.24
MS 250hPa	0.12	0.19	0.17	-0.23	-0.35	0.10	0.09	0.23	0.18	-0.39	-0.90	0.31	-0.33	-0.13	-0.35	-0.02	0.60	0.21	0.63	0.49	0.51	-0.25	-0.21	-0.07	0.90	0.11	0.10	0.12	-0.43	1.46	0.91	0.37	0.70	0.67	1.00	-0.16
MS 500hPa	0.34	0.37	0.28	0.11	-0.21	-0.08	0.33	0.44	0.15	0.06	-0.08	0.10	0.01	-0.12	-0.14	-0.11	0.13	0.06	0.60	0.60	0.51	0.19	-0.35	-0.19	1.56	0.57	0.13	0.15	0.04	1.15	1.92	1.28	0.71	0.82	-0.08	0.08
MS 850hPa	0.04	0.27	0.26	0.13	-0.44	-0.17	0.03	0.01	0.16	-0.37	-0.70	-0.06	-0.02	0.27	0.37	0.23	-0.26	-0.46	0.11	0.48	0.27	0.36	-0.36	-0.14	0.39	0.24	-0.53	-0.30	-0.17	1.16	0.80	0.67	0.43	1.23	0.28	0.30
GPH 250hPa	-0.39	0.36	0.75	0.19	0.08	0.47	0.06	0.54	0.65	0.08	-0.40	0.37	-0.51	-0.42	-0.49	-0.39	-0.01	-0.06	-0.48	0.51	0.93	0.22	0.18	0.58	0.50	0.36	0.89	2.02	1.41	2.30	-1.51	0.03	1.97	1.95	1.76	0.63
GPH 500hPa	0.76	1.04	0.94	0.81	0.46	0.49	-0.01	0.41	0.52	0.08	-0.65	0.35	0.17	0.64	-0.23	0.01	-0.23	0.48	1.31	1.38	1.18	1.02	0.59	0.59	2.33	0.05	0.58	1.38	1.32	2.20	1.79	1.85	1.70	2.39	1.34	0.76
GPH 850hPa	0.60	0.66	1.01	0.94	0.14	0.08	-0.24	-0.11	0.33	-0.68	-0.75	0.08	0.06	0.04	0.35	0.68	0.60	0.14	1.12	1.21	1.30	1.46	0.45	0.15	1.47	-0.37	-0.37	0.10	0.84	2.53	1.57	1.54	1.40	2.07	0.34	-0.63
T 250hPa	-0.81	0.16	0.26	0.02	-0.18	0.06	-0.04	0.08	0.22	-0.12	-0.18	0.40	-0.23	-0.13	-0.45	-0.37	-0.31	-0.28	0.20	0.45	0.66	0.29	-0.13	-0.17	0.52	-0.14	0.01	0.49	0.70	1.40	1.00	0.92	1.26	0.76	0.12	-0.56
T 500hPa	-0.92	0.01	0.09	0.13	0.42	0.40	0.27	0.03	0.04	0.48	0.52	0.41	-0.41	-0.61	-0.03	0.16	0.22	0.28	0.04	0.46	0.17	-0.07	0.37	0.38	0.56	0.18	-0.04	1.93	1.93	1.58	0.01	0.47	1.15	0.92	1.95	0.32
T 850hPa	0.33	0.21	0.06	0.18	0.63	0.07	0.24	0.20	-0.15	-0.21	-0.32	0.01	0.31	0.16	0.28	0.21	-0.19	0.04	0.37	0.26	0.07	0.35	0.26	0.13	0.33	0.33	-0.25	0.17	-0.14	0.41	0.91	0.66	0.71	0.97	1.44	0.34

(b) 12UTC

2022062612 - 2022082512, TARGET INIT, KATSTYLE

	Globe					North Hemisphere					Tropics					South Hemisphere					North Pole					South Pole										
	0	24	48	72	96	120	0	24	48	72	96	120	0	24	48	72	96	120	0	24	48	72	96	120	0	24	48	72	96	120	0	24	48	72	96	120
Q 700hPa	-0.14	-0.15	-0.07	0.06	0.12	0.10	-0.12	-0.17	0.03	-0.03	0.14	-0.01	-0.26	-0.23	-0.15	0.13	0.12	0.21	0.31	0.29	0.05	0.04	-0.01	0.05	0.97	0.36	-0.02	0.71	0.05	-0.21	0.13	0.08	-0.66	0.38	0.30	-0.18
MS 250hPa	0.21	0.06	0.09	0.02	0.07	0.25	0.27	0.06	0.01	0.19	0.09	0.06	-0.15	-0.46	-0.27	-0.31	-0.32	-0.05	0.55	0.38	0.42	0.02	0.24	0.49	1.15	0.45	0.72	0.06	0.34	0.42	1.50	0.46	0.21	-0.02	0.67	1.13
MS 500hPa	0.41	0.30	-0.03	0.03	-0.00	-0.03	0.26	0.24	0.14	0.11	0.09	-0.26	-0.02	-0.00	-0.20	-0.20	-0.03	0.13	0.84	0.51	-0.04	0.07	-0.01	0.06	1.27	0.34	0.56	0.04	0.01	0.39	1.87	1.21	-0.01	0.37	0.39	0.21
MS 850hPa	0.16	0.05	0.14	0.04	-0.01	-0.10	0.04	-0.26	0.07	-0.13	0.14	-0.21	0.06	-0.09	0.13	-0.05	-0.20	-0.09	0.32	0.39	0.18	0.20	-0.01	-0.06	0.34	0.08	-0.16	-0.19	0.17	0.43	1.01	0.40	0.25	-0.18	-0.52	0.00
GPH 250hPa	-0.16	0.01	0.28	-0.38	0.17	0.34	0.93	-0.10	-0.29	0.05	0.60	-0.18	-0.40	0.13	0.34	-0.73	-0.71	-0.65	-0.62	0.09	0.57	-0.52	0.03	0.65	1.88	0.09	0.68	0.75	1.56	-0.07	-1.45	0.74	1.20	-0.65	-0.16	-0.18
GPH 500hPa	1.04	0.71	0.48	0.12	0.22	0.44	1.19	0.66	0.34	-0.31	-0.12	-0.33	0.45	-0.06	0.03	-0.50	-0.26	0.35	1.19	0.94	0.57	0.34	0.43	0.68	3.44	0.94	0.37	0.02	-0.22	0.06	1.46	1.37	0.83	-0.22	0.05	-0.37
GPH 850hPa	1.07	0.67	0.54	0.35	0.12	0.54	0.71	0.04	0.22	-0.39	-0.37	-0.56	0.64	0.11	0.57	0.35	0.15	0.26	1.37	1.23	0.65	0.62	0.34	0.93	1.22	0.05	-0.14	-1.32	-1.43	-0.46	1.67	1.15	-1.33	-0.84	0.25	
T 250hPa	0.12	0.49	0.18	-0.11	-0.23	0.03	0.02	0.59	0.02	-0.37	-0.33	0.13	-0.19	0.14	0.11	-0.20	-0.59	-0.73	0.41	0.62	0.40	0.25	0.00	0.07	0.71	0.84	0.19	-0.86	-0.80	0.57	0.92	0.87	0.27	0.39	-0.01	-0.44
T 500hPa	-0.86	0.08	-0.07	-0.14	0.11	0.16	0.10	0.15	-0.02	0.62	0.30	0.12	-0.20	-0.37	-0.12	0.32	-0.04	0.60	-0.10	0.35	-0.09	-0.36	0.06	0.10	0.04	0.05	0.35	0.05	0.63	0.16	-0.30	0.70	0.13	-0.29	-0.59	-1.28
T 850hPa	0.37	0.25	0.02	-0.14	-0.09	-0.08	0.25	0.01	0.03	-0.33	0.09	0.13	0.45	0.38	-0.02	-0.03	0.15	0.11	0.38	0.32	0.07	-0.11	-0.29	-0.25	0.57	0.42	0.10	-0.53	-0.26	0.04	0.54	1.00	0.22	-0.01	0.15	-0.18

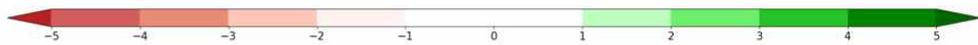


그림 18. IFS 분석장을 활용한 CTL 대비 EXP의 오차 개선율(%). (양: 개선, 음: 저하)

#### 4.4.1 모델 편차와 분석 증분

신규자료의 예측영향평가를 수행하기 앞서, 실제 자료가 원하는 위치에서 수치모델의 분석장에 긍정적으로 작동하는지 확인하였다. 신규자료가 이용되었을 때, 신규자료의 주 분포 위치인 극지역 250 hPa과 500 hPa에서 동서 및 남북 바람의 분석 증분이 변화함을 확인할 수 있었으며, 이는 주로 수치모델에서의 편차를 개선하는 방향이다. 따라서, 신규 관측은 모델의 분석장에 긍정적인 영향을 보인다(그림 19, 20).

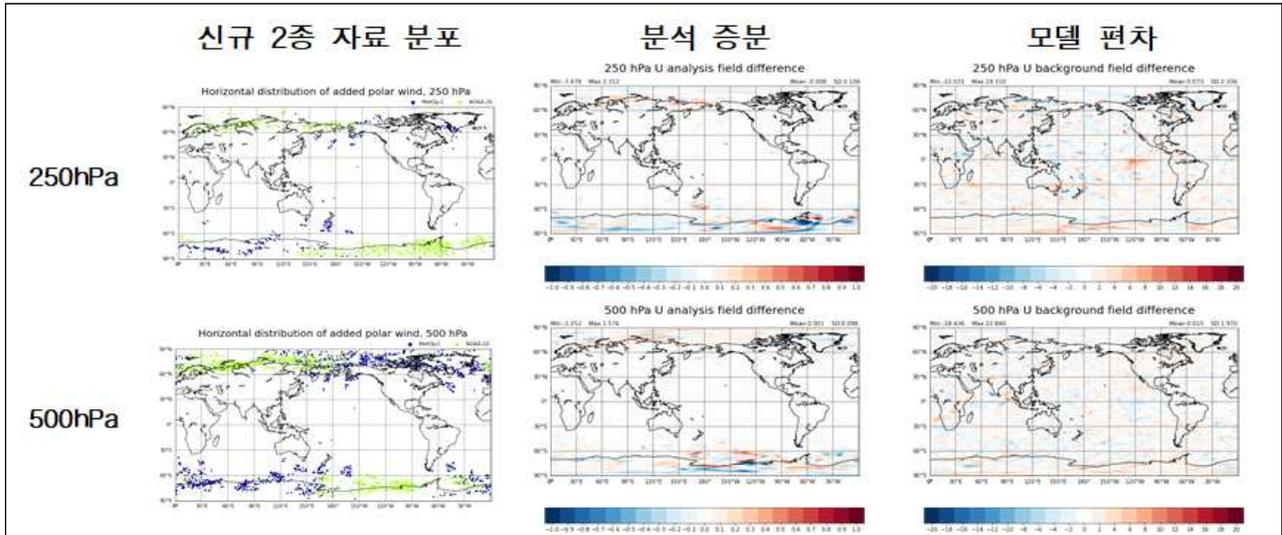


그림 19. 신규 관측자료 및 남북 바람 분석 증분 변화량, 모델 편차 수평 분포(250 hPa, 500 hPa)

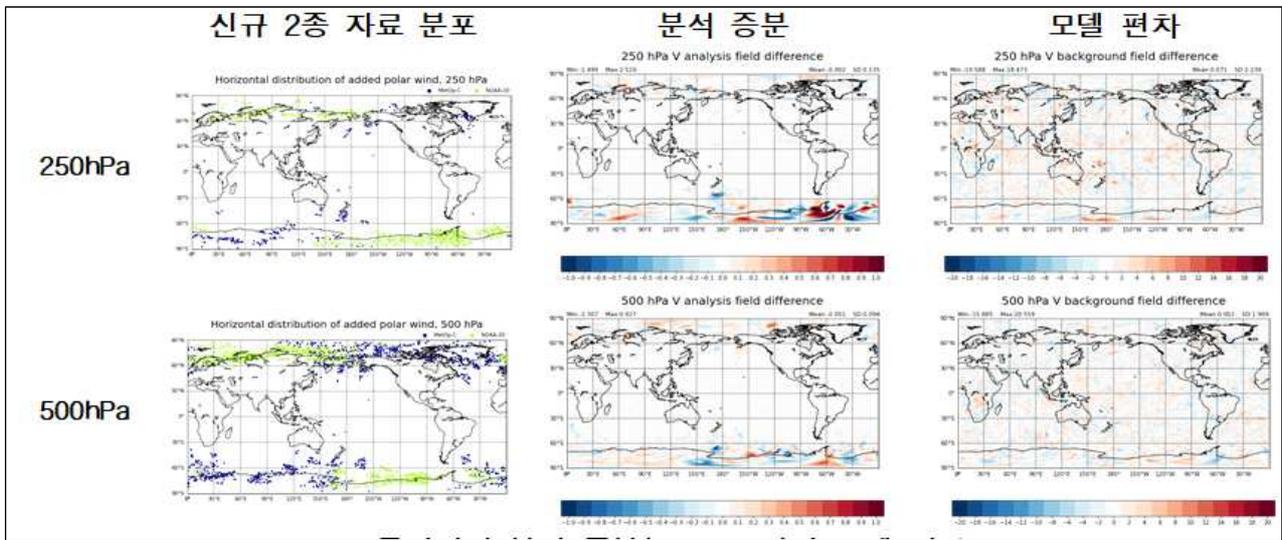


그림 20. 신규 관측자료 및 동서 바람 분석 증분 변화량, 모델 편차 수평 분포(250 hPa, 500 hPa)

#### 4.4.2 분석장

가장 정확하다고 알려진 ECMWF의 IFS 분석장을 참으로 가정해 관측 추가 시 분석장의 성능이 어떻게 달라지는지 확인하였다(그림 21). 동서 바람(a)과 남북 바람(b)은 신규자료가 주로 위치하는 양극 200~600 hPa(그림 15(b, c))에서 개선(파랑)이 확인된다. 이 바람 정보의 개선은 양극 뿐 아니라 북반구 전반에 걸쳐서 나타남을 확인할 수 있다. 온도(c)와 지위고도(e)의 경우 양극 하층에서 오차가 증가되어 모델 성능을 저하(빨강)하나, 해당 위치를 제외하고 전반적인 개선이 있음을 확인할 수 있다. 비습(d)의 경우, 북극 영역을 제외하고 대체로 개선되는 영향을 보여, 신규 관측은 IFS 분석장에 보다 가깝게 한국형모델을 움직이는 것으로 여겨진다.

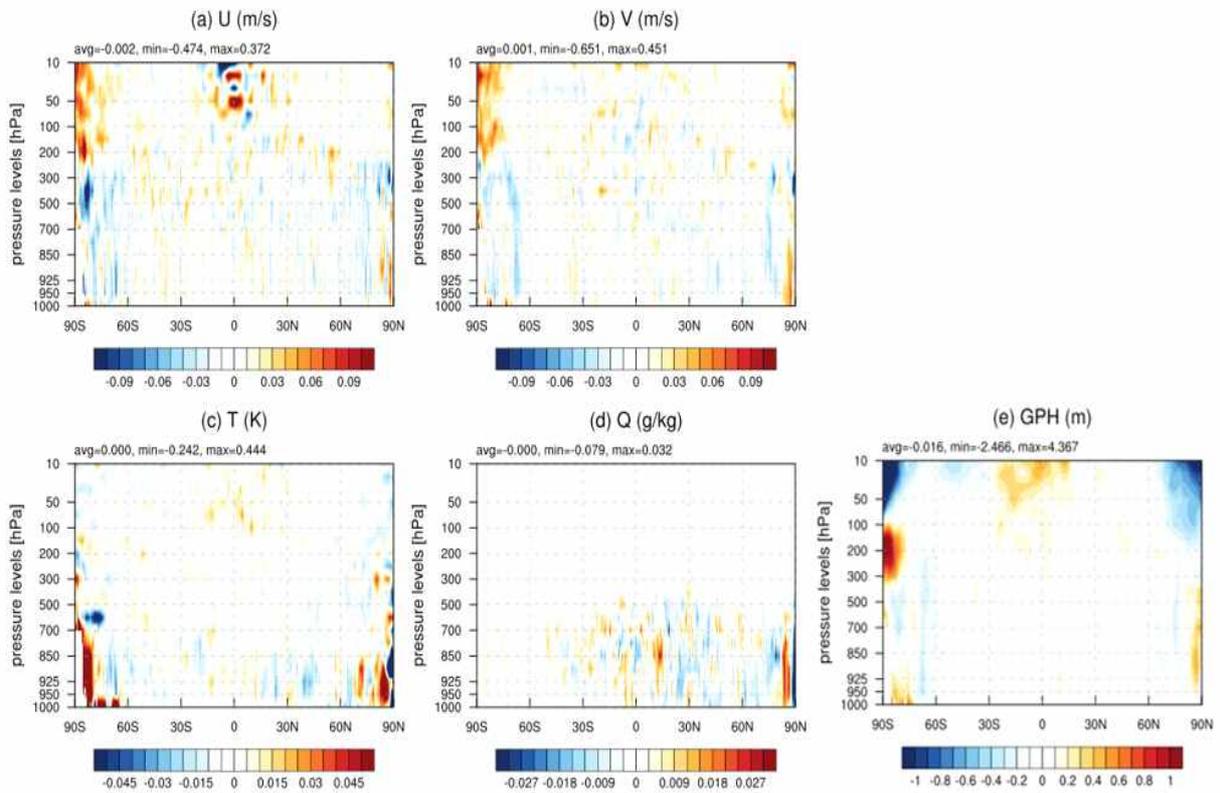


그림 21. CTL 대비 EXP의 동서 평균 분석장 오차

#### 4.4.3 타 관측 대비 초기 예측장

경쟁 관측을 통해 신규 관측이 수치모델 배경장에 미치는 영향을 확인하였다. 대기운동벡터와 경쟁 관계에 있는 타 바람 자료의 O-B 평균 및 표준편차가 감소한다면 추가된 자료가 긍정적인 영향을 주었을 것으로 기대할 수 있다. 라디오존데와 Aeolus/ALADIN 자료를 통해 그 영향을 평가하였으며, 신규 관측자료가 수치모델 배경장에 긍정적인 영향을 미치는 것을 확인하였다.

##### 1) 라디오존데 동서 및 남북 바람

신규 관측을 추가하였을 경우, 250 hPa에서 500 hPa 사이의 중상층 영역에서 동서 바람 및 남북 바람의 O-B 평균이 0에 가까워짐을 확인하였다. 이는 신규 관측이 배경장을 관측에 가깝게 만들었음을 뜻한다. 또한, 남북 및 동서 바람의 500 hPa에서 O-B의 표준편차가 0.3% 감소하였음을 확인할 수 있다. 이는 신규 관측이 해당 고도에서 배경장을 개선시켰다고 할 수 있으며, 이는 4.4에서 신규 관측이 긍정적인 영향을 미칠 것이라고 기대한 고도와 일치한다(그림 22).

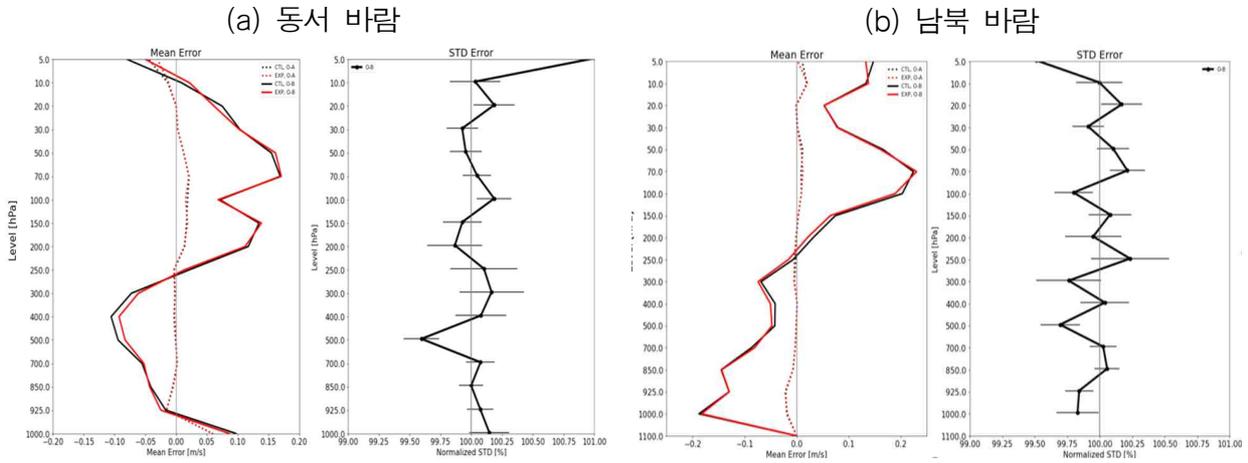


그림 22. 라디오존데 동서 바람(a), 남북 바람(b)의 O-B 평균(좌)과 표준편차의 차(우)

## 2) Aeolus/ALADIN 바람

신규 관측을 추가하였을 경우, 남극 영역에서는 모든 고도에 대해, 북극 영역에서는 200 hPa에서 600 hPa 사이의 중상층 영역에서 바람의 O-B 평균이 0에 가까워짐을 확인하였으며, 남극 400 및 500 hPa에서 표준편차 오차가 감소되었다(그림 23).

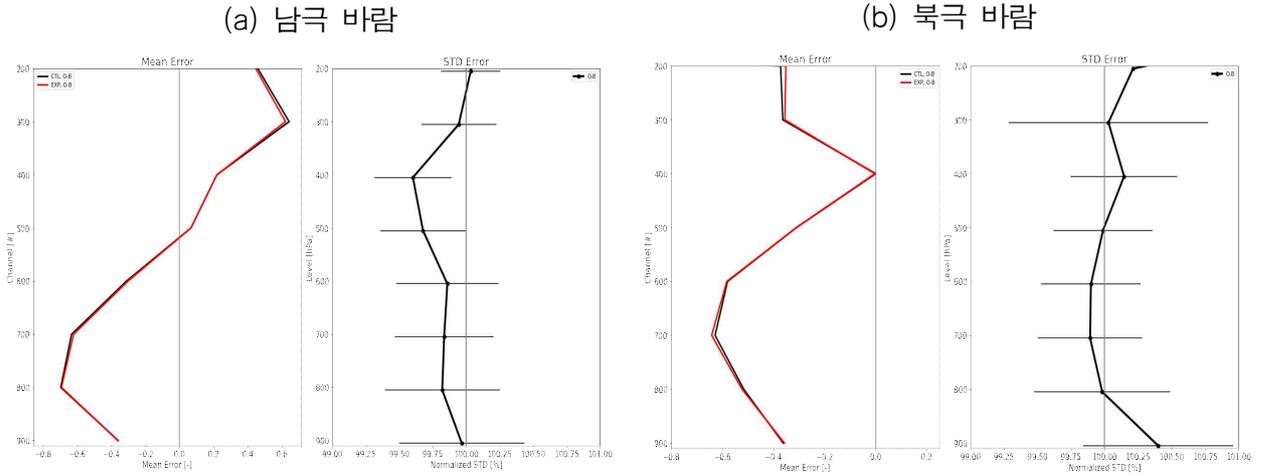


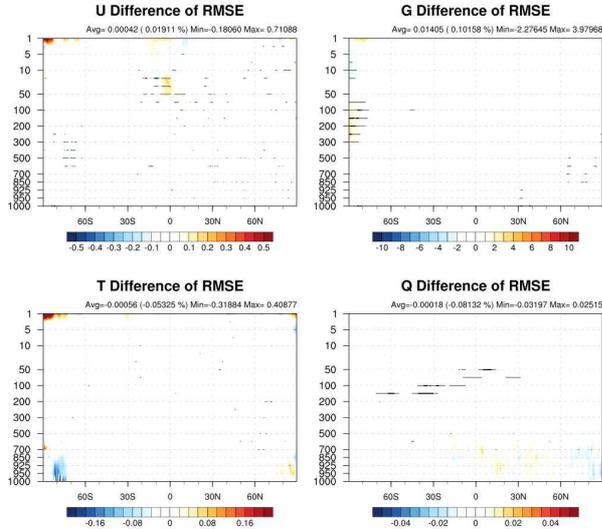
그림 23. ALADIN 남극(a) 및 북극(b)의 바람 O-B 평균(좌)과 표준편차의 차(우)

### 4.4.4 예측 초반(0~2일)

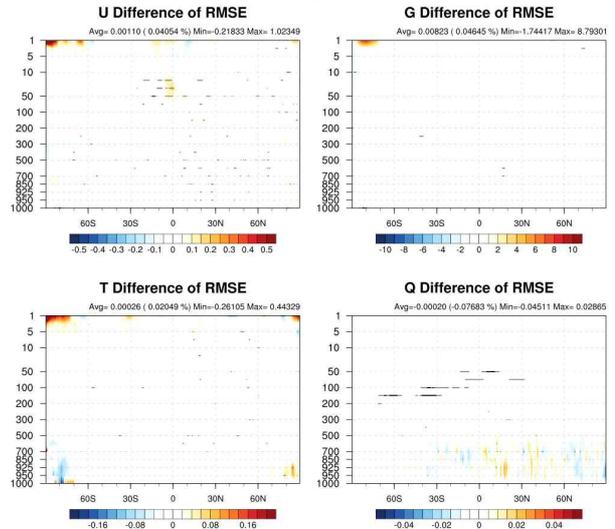
신규 관측의 효과를 IFS 분석장 대비 오차 감소율을 이용하여 확인하였다(그림 18, 24, 25, 26). 적도 지역을 제외하고 풍속 분석장이 전반적으로 개선되었으며, 특히 자료가 추가된 극지역 중상층에서 뚜렷하였다. 북극의 경우 상층(250 hPa) 1.1%, 중층(500 hPa) 1.4%, 하층 (850 hPa)

0.4%의 개선을 보였으며, 남극은 각각 1.2%, 1.9%, 0.9% 임을 확인하였다. 더욱이, 바람 자료의 개선을 통해 전 지역 중하층(500 hPa, 800 hPa)에서 지위고도 초기 예측장이 개선됨을 확인할 수 있었다. 북반구 및 남반구의 500 hPa 지위고도는 각각 0.6%, 1.3% 개선되었다. 북극의 경우 500 hPa에서 2.9%, 850 hPa에서는 1.4%의 개선이 남극에서는 모두 1.6% 정도의 개선을 보였다. 초반 예측 개선 정도는 1~2일 정도 유의미한 값을 보임을 확인하였다.

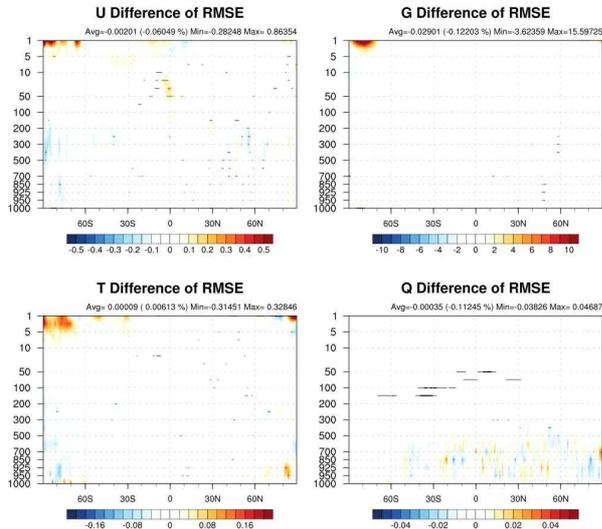
+00h



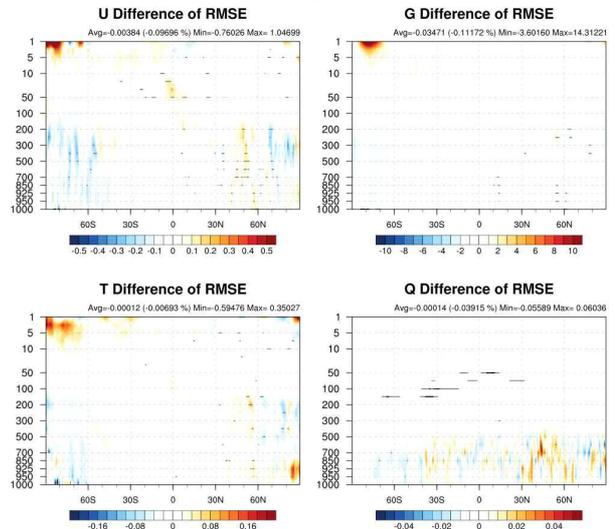
+24h



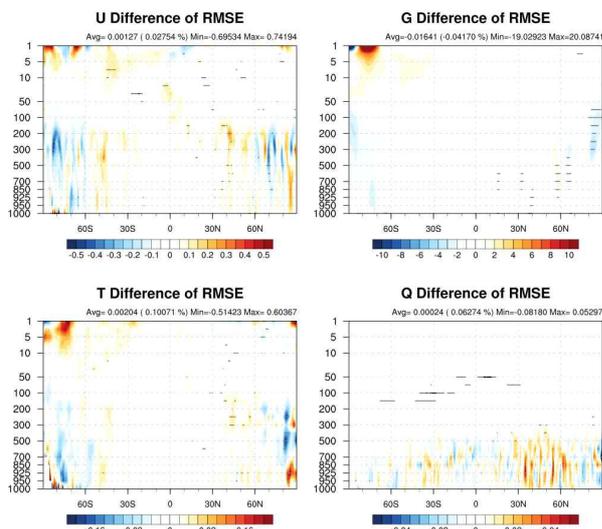
+48h



+72h



+96h



+120h

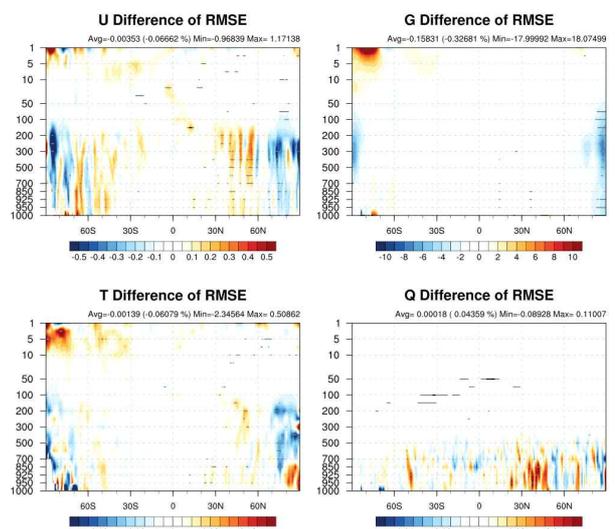


그림 24. IFS 분석장 대비 동서 평균 평균제곱근오차의 차이(00UTC, EXP-CTL). (음: EXP 개선, 검은 점: 95% 신뢰수준, 회색 점: 68% 신뢰수준)

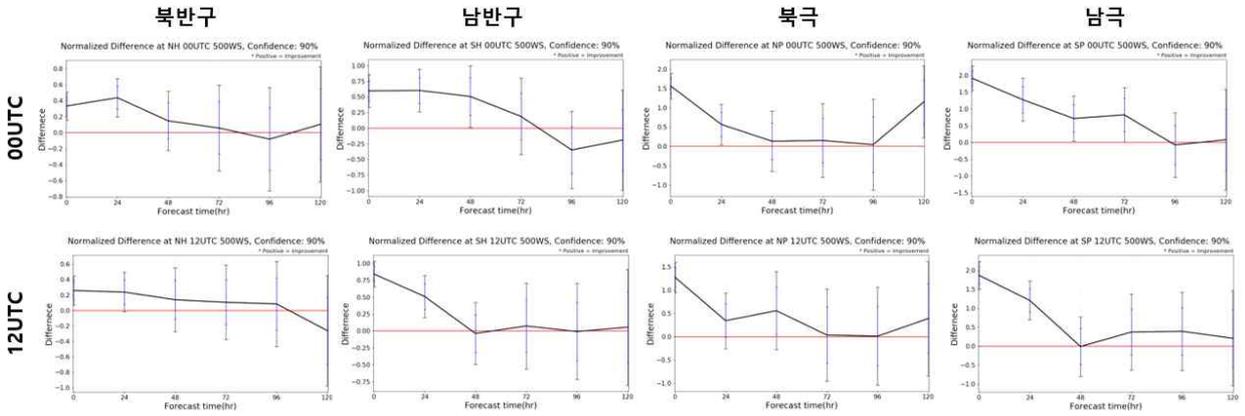


그림 25. IFS 분석장을 활용한 신규 관측의 500 hPa 풍속 예측 시간별 오차 개선율(%). (양: EXP 개선, 검은 막대: 90% 신뢰수준, 파란 막대: 68% 신뢰수준)

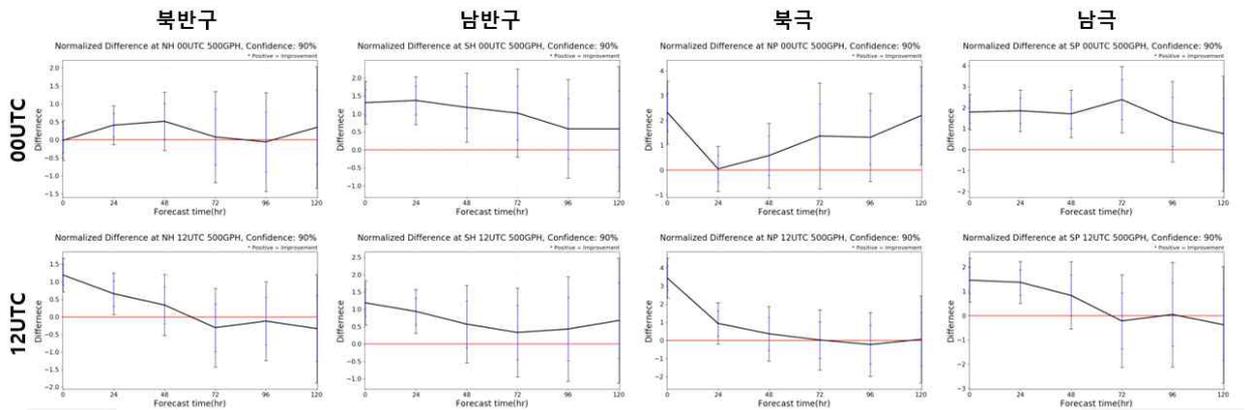


그림 26. IFS 분석장을 활용한 신규 관측의 500 hPa 지위고도 예측 시간별 오차 개선율(%). (양: EXP 개선, 검은 막대: 90% 신뢰수준, 파란 막대: 68% 신뢰수준)

#### 4.4.5 예측 후반(3~5일)

남극과 극지역에서는 초반의 개선 효과가 예측 후반까지 이어짐을 확인할 수 있었다. 중층(500 hPa)의 풍속은 남극에서 3일 예측오차 개선율이 90% 신뢰수준으로 0.23%, 북극에서 5일 예측오차 개선율 1.15%로 개선이 유지됨을 확인할 수 있었다.

## 5. 신규 전파엄폐

### 5.1 관측 개요

기상청에서 2023년 신규로 활용이 가능한 GNSS RO는 아래와 같이 3종이다. ECMWF에서는 이미 Sentinel-6A와 SPIRE 자료를 현업에 활용하고 있고 GRACE-D는 자료 개수가 언급한 두 위성에 비해 현저히 개수가 적기 때문에 활용하지 않고 있다. Sentinel-6A와 GRACE-D는 실험 기간 이전부터 자료가 수집되고 있어서 향후 현업에 활용할 때 어려움이 없는 상황이다. 하지만, 미국에서 발사한 상용 위성인 SPIRE의 경우, 수집 지연으로 계절실험에는 문제가 없으나 향후 현업에 활용하게 될 때는 늦은분석에서만 사용할 수 있는 상황이었으나 2022년 10월부터 ROM SAF(Radio Occultation Meteorology Satellite Application Facility)에서 실시간으로 자료를 배포하여 이른분석에도 활용할 수 있게 되었다.

위성	프로젝트 기간	자료 수집 시작
Sentinel-6A	2020~2027(발사: '20.11.21.)	'21.9.8.03UTC
SPIRE	2015~2040	'22.3.8.04UTC → '22.10.28. ROM SAF에서 실시간 자료 수집
GRACE-D	2018~2023(발사: '18.5.22.)	'22.1.7.12UTC

### 5.2 신규 위성 활용을 위해 필요한 코드 수정

KIM3.8 버전을 기반으로 신규 GNSS RO 자료를 추가로 활용하기 위한 코드 수정 내역을 정리하였다. 신규 GNSS RO를 추가하기 위해서는 위성의 활용 여부(assimil/reject), 위성 번호, 활용 고도(min~max)를 정의하는 `assimilate_GPSRO_ALL` 파일에 새롭게 추가할 위성의 정보를 추가해야 한다. 추가 위성의 정보는 `define_gpsro.f90`, `summary_observation.f90` 소스 코드에서도 정의해주어야 신규 자료처리를 정상적으로 수행할 수 있게 된다.

① KPOP버전/controls/assimilate\_cards/assimilate\_GPSRO\_ALL

```

#-----
# Assimilate card for GPSRO ("action" can be set as assimil, reject or monitor)
#=====
# instrument  action    satellite    satid    zmin    zmax    OrgCt
#-----
Sentinel-6A  assimil  Sentinel-6A  066     0.0E3   6.0E4   UCAR
GRACE        assimil  GRACE-C      803     0.0E3   6.0E4   GFZ
GRACE        assimil  GRACE-D      804     0.0E3   6.0E4   GFZ
SPIRE        assimil  SPIRE        269     0.0E3   6.0E4   GFZ

```

② KPOP버전/src/gpsro/define\_gpsro.f90

```

if (act == 'on') then
  if (allocated(platform)) deallocate(platform)
  allocate(platform(minid:maxid))
  platform(:) = ''

  platform(066) = 'Sentinel-6A'
  platform(269) = 'SPIRE'
  platform(804) = 'GRACE-D'

elseif (act == 'off') then
  if (allocated(platform)) deallocate(platform)
endif

```

③ KPOP버전/src/gpsro/summary\_observation.f90

```

use general_constants,          only: c255, c80,          &
                                basegroup,          &
                                flag_graced,        &
                                flag_sentinel6a,     &
                                flag_spire,         &
...(중략)...

do iobs = 1, nobs
  iplatform = master_gpsro(iobs)%satid
  select case(iplatform)
    case(flag_sentinel6a)
      isidx = sidx_sentinel6a
    case(flag_spire)
      isidx = sidx_spire
    case(flag_graced)
      isidx = sidx_graced
    case default
      print*, 'Warning:: Un-known platform ', iplatform
      isidx = sidx_others
  end select

```

### 5.3 관측자료 공간분포 및 품질분석

신규 3종 자료 추가로 육상 및 양극 지역의 관측 공백 해소에 기여하는 것을 볼 수 있다(그림 27). 자료 개수를 실험 첫 사이클인 2022년 6월 16일 06UTC에 살펴보면 CTL은 408,964개이고 EXP는 811,875개로 약 1.9배 증대되었다.

또한, 2022년 7월 한 달에 대해 현업 고해상도 배경장을 활용해서 관측 증분(O-B)의 통계 정보로서 신규 3종 GNSS RO 자료의 품질을 분석하였다. 10~35 km 고도에서 MetOp-B 대비 신규 3종의 O-B 표준편차가 유사하게 나타났다. GRACE-D는 0.02% 작고, 나머지 2종은 0.02% 크게 나타났다. 신규 3종 상하층 품질이 타 위성과 비교하여 우수 또는 유사하여 현재 적용된 관측 전처리과정의 수정 없이 한국형모델에 추가 활용이 가능하였다.

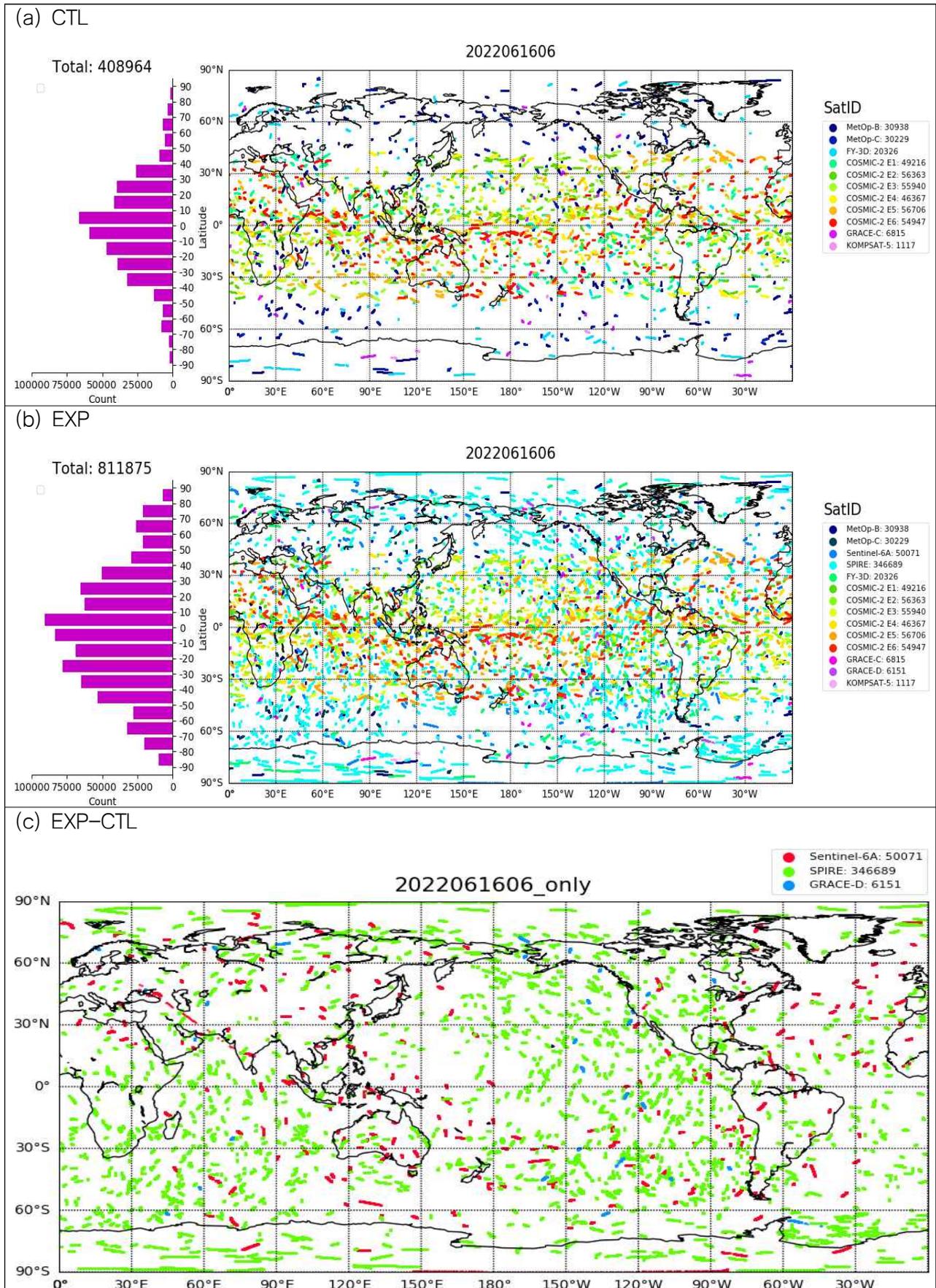


그림 27. 실험별 GNSS RO 자료 분포

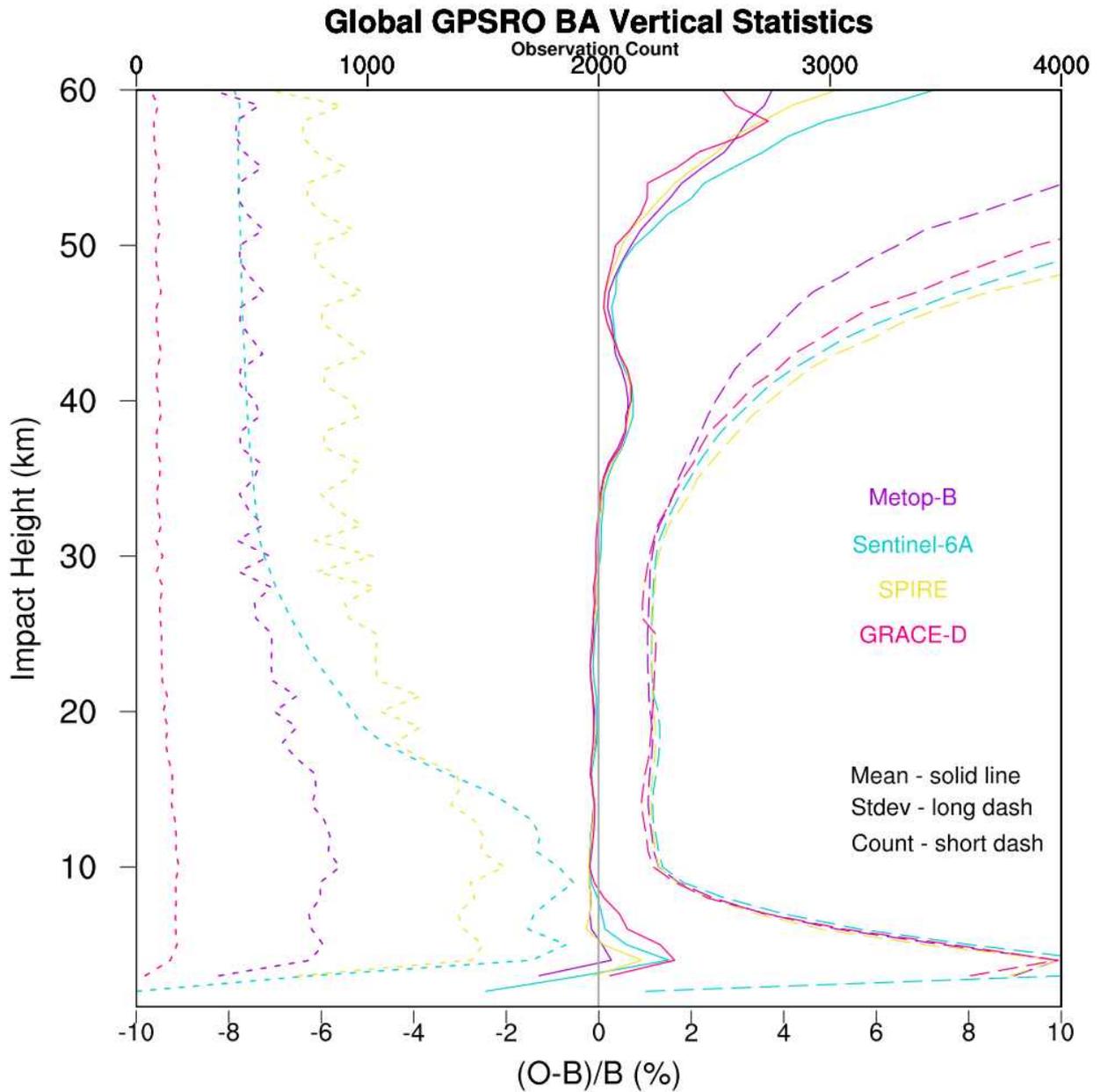


그림 28. 신규 3종 GNSS RO 자료의 O-B 통계 분포('22.7.)

#### 5.4 분석 증분과 모델 편차

관측자료의 효과를 살펴보기 위해 실험 첫 사이클에서의 분석 증분과 그때 모델의 편차를 살펴 보았다(그림 29). 자료가 주로 활용되는 400 hPa 이상 임의의 두 개 고도(250 hPa, 50 hPa)에서 신규자료가 위치한 영역에서 분석 증분이 나타난 것을 볼 수 있다. 또한 50 hPa 모델에서 남반구 해양에서의 한랭 편차가 신규자료 활용으로 온도 편차를 개선하는 방향으로 분석 증분이 나타나서 신규자료가 자료동화에 긍정적인 영향을 미치고 있다는 것을 확인할 수 있다.

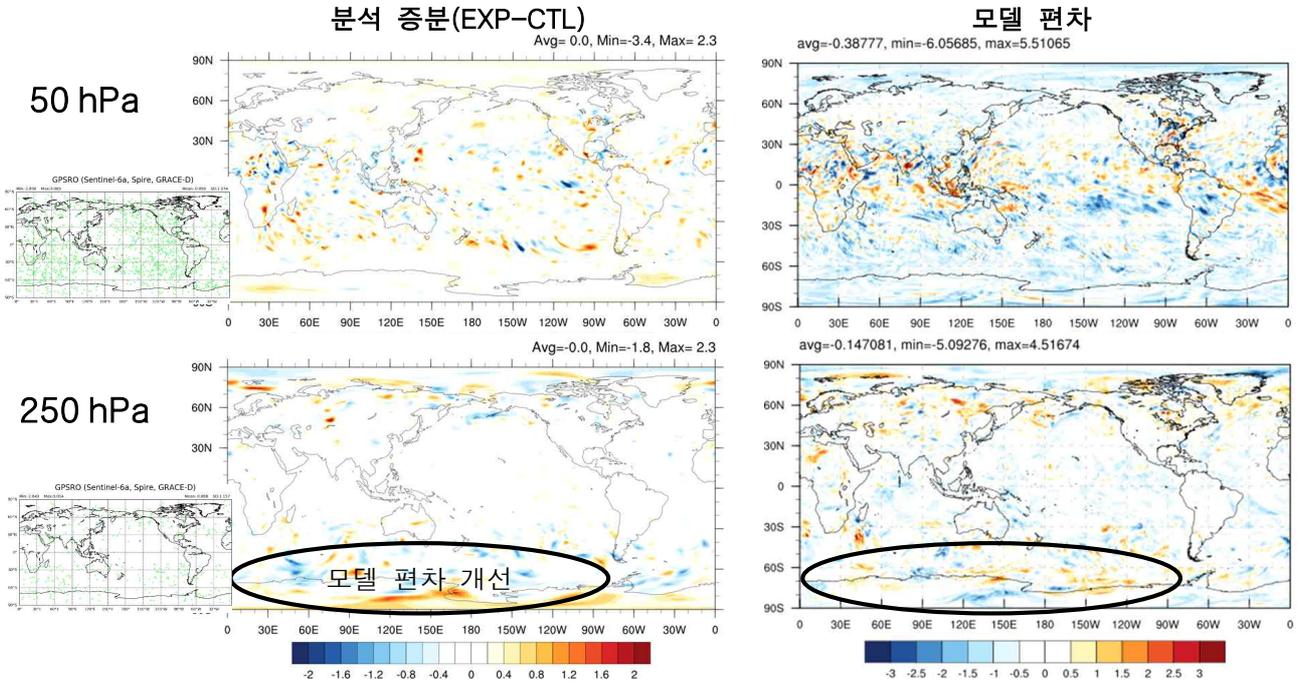


그림 29. 온도 분석 증분과 모델 편차(2022061606UTC, 50 hPa, 250 hPa)

## 5.5 영향평가 결과

### 5.5.1 분석장

IFS 분석장을 참(true)으로 가정하고, CTL 대비 EXP의 분석장 성능을 시계열 및 공간분포로 나타냈다(그림 30, 31). 분석장의 시계열을 살펴보면 온도는 700 hPa 이상에서 전반적으로 개선되는 경향을 보였고 특히 100 hPa 이상 전파염페 자료가 주로 활용되는 고도에서는 개선 정도가 크게 나타났다. 온도와 밀접한 관련이 있는 지위고도의 경우, 300 hPa 이상에서 전반적인 개선을 보였다가 7월 22일 이후 300 hPa 고도 주변으로 성능이 저하되기 시작하여 8월 8일 최대 성능 저하가 나타났지만 이후 성능 저하가 완화되는 것을 확인하였다. 동서·남북 바람에서는 500 hPa 이상 상층에서 전반적인 성능 개선을 보였다. 비습은 850-700 hPa에서 시간에 따라 약한 개선, 이하 고도에서는 약한 저하의 성능이 혼재되어 나타났다. 이러한 개선은 분석장의 위도-고도 분포에서도 살펴볼 수 있다. 분석장의 온도는 전 지구적으로 약 5.7%의 개선율을 보였다. 400 hPa 이상 전 영역, 남극은 500 hPa 이하 영역에서도 개선율이 크게 나타났다. 지위고도에서는 남극 300 hPa 이상, 양 반구의 중위도 중상층에서 성능 저하를 보였다. 바람의 경우에는 양 반구의 중위도 중층(500 hPa) 이하에서 동서·남북 바람의 일부 저하를 제외하고는 대체로 개선되었다.

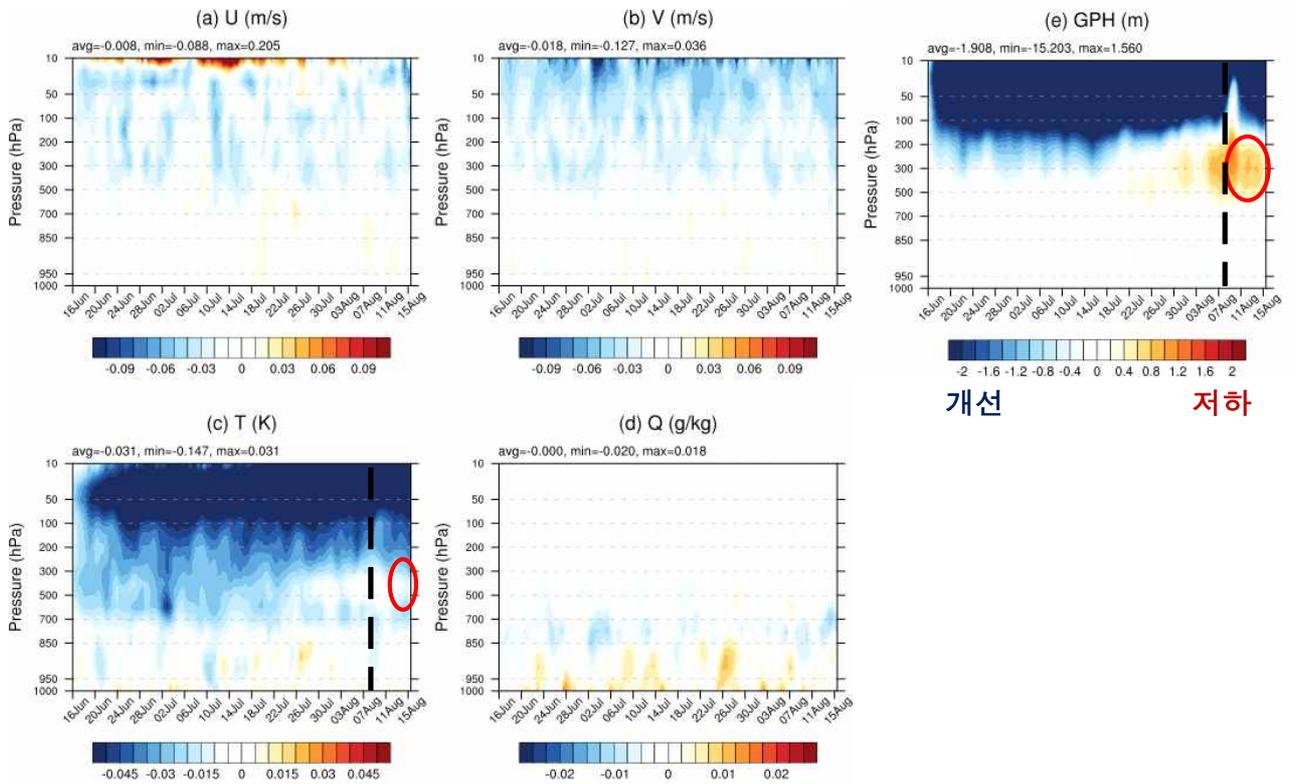


그림 30. CTL 대비 EXP의 분석장 오차 시계열(2022061606UTC~2022081518UTC)

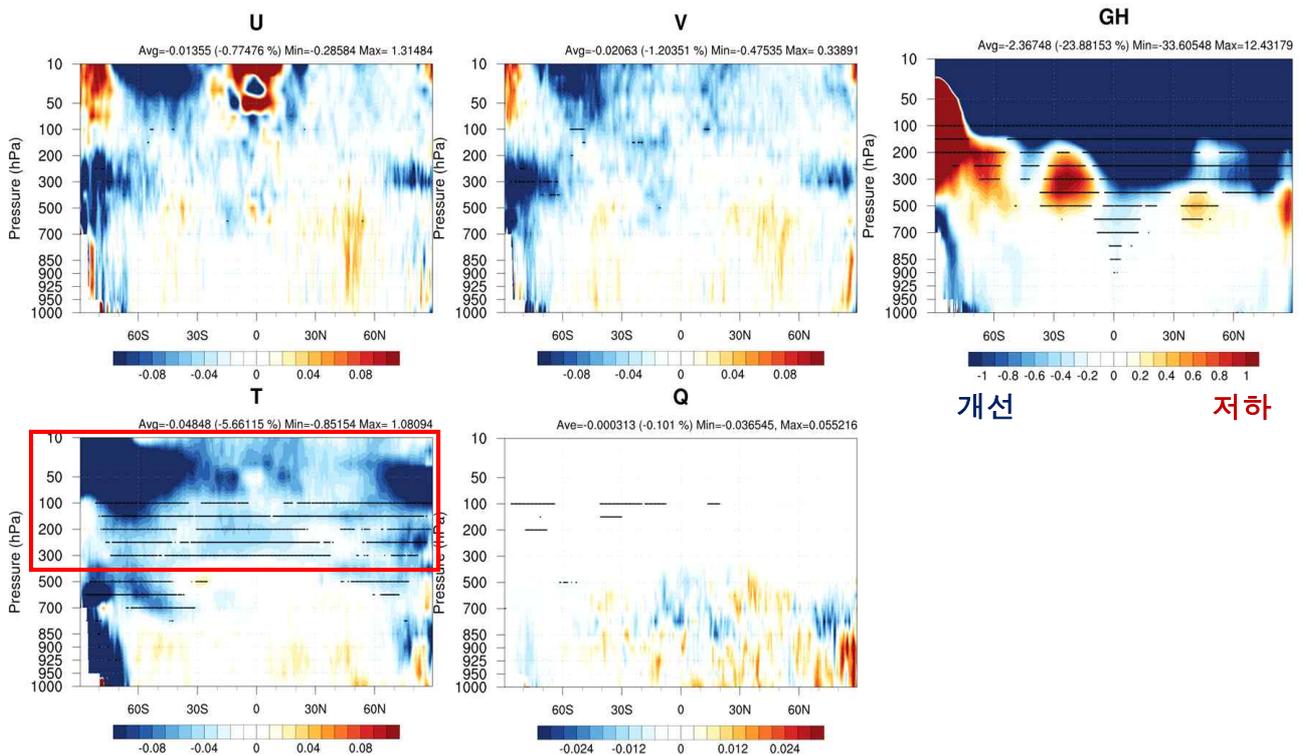


그림 31. CTL 대비 EXP의 동서 평균 분석장 오차(2022070100UTC~2022073112UTC)

### 5.5.2 타 관측 대비 초기 예측장

타 관측의 관측 증분(O-B)을 활용하여 6시간 예측장의 성능을 분석하였다. 분석한 기간은 스피업(202206160600UTC~063018UTC)을 포함한 7월 한 달이다. 그림 32는 라디오존데 대비 O-B의 평균과 정규화(EXP/CTL)한 표준편차이다. 대류권 상부부터 성층권 하부(핵심 영역, core region)까지의 온도의 O-B 평균이 CTL에 비해 EXP에서 0에 더 뚜렷하게 근접하는 것을 확인할 수 있고, 동서 바람보다는 남북 바람에서도 차이가 발생하는 것을 볼 수 있다. 표준편차에서는 100을 기준으로 이보다 작으면 EXP의 성능이 개선이라는 것을 의미한다. 동서 바람, 남북 바람, 온도, 비습 총 4개 모든 변수에서 대부분 핵심 영역에서 O-B의 표준편차가 100% 이하의 값을 보여 EXP의 성능이 개선되는 것을 확인하였다.

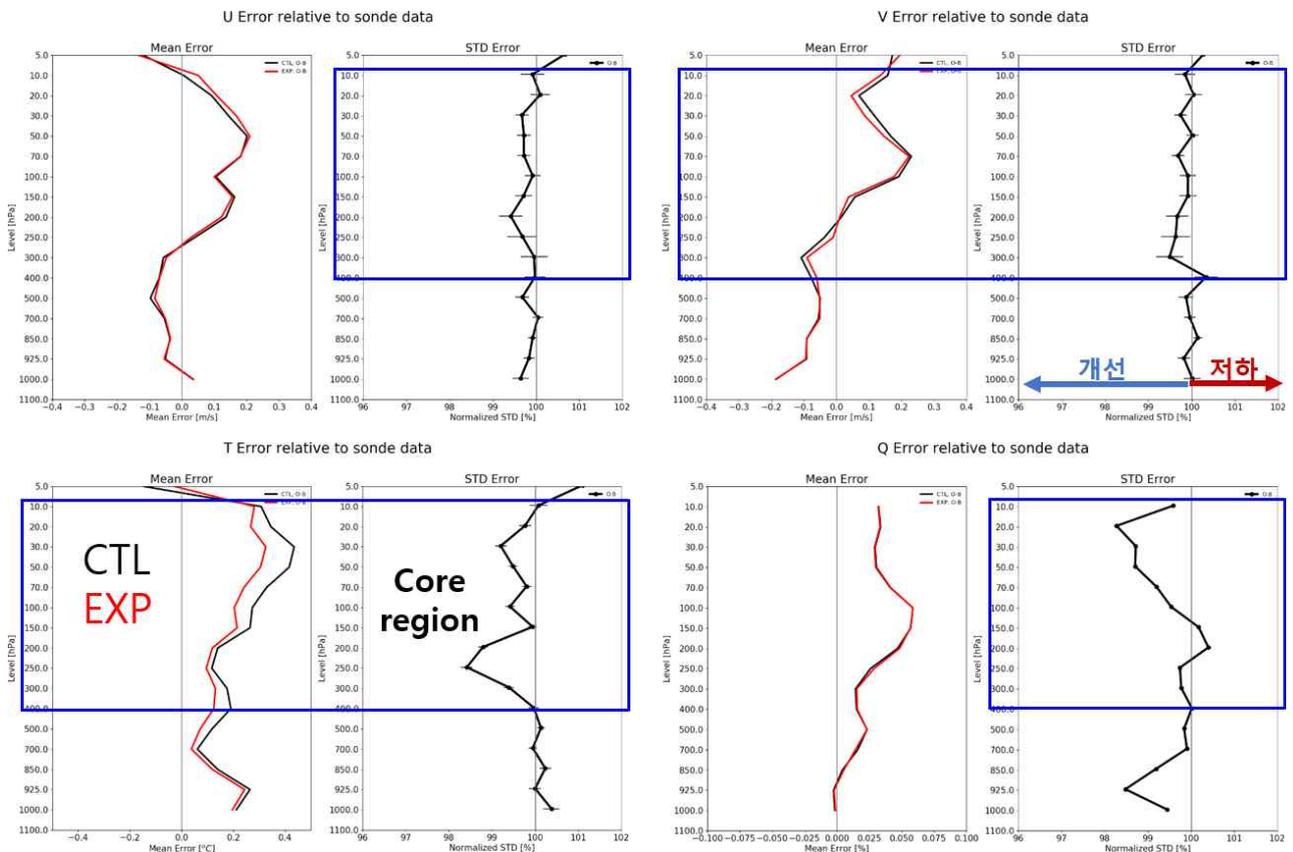


그림 32. 라디오존데 대비 초기 예측성능(O-B)

그림 33은 NOAA-20과 SNPP 위성의 ATMS(Advanced Technology Microwave Sounder) 대비 C-B를 정규화(EXP/CTL)한 표준편차이다. ATMS 채널 중 6~15번은 약 700~1 hPa에 대응하며 이 중에서 채널 7번은 400 hPa에 해당하므로 최하층 채널을 제외하면 대부분 GNSS RO의 핵심

영역과 일치한다. 두 위성의 대기 상층에서의 C-B 표준편차가 채널 12번을 제외한 대부분 채널에서 CTL과 비교하여 EXP에서 약 1% 감소하여 EXP에서의 상층 배경장의 품질이 개선된 것을 볼 수 있다.

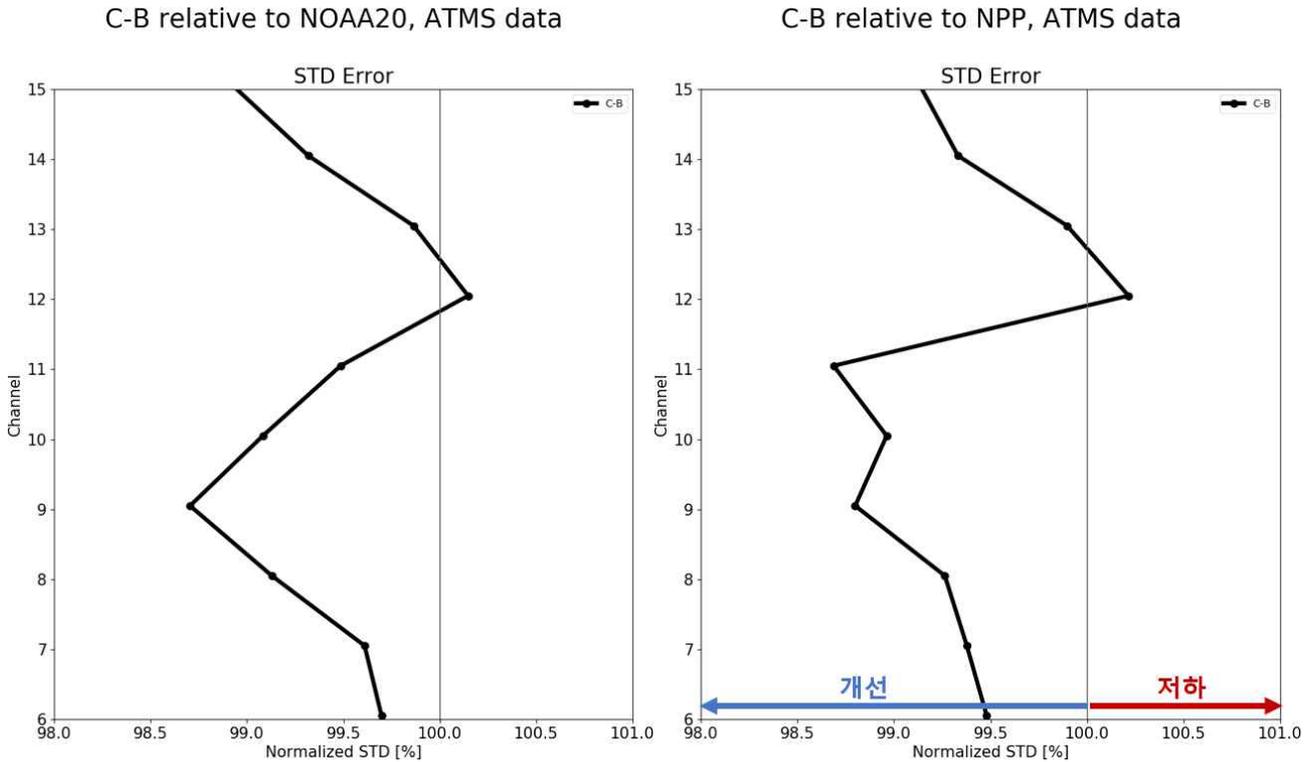


그림 33. ATMS 대비 초기 예측성능(C-B)

### 5.5.3 예측장

IFS 분석장 대비 EXP 예측장의 평균제곱근오차(Root Mean Square Error, RMSE)의 개선율을 살펴보았다. 중상층(500, 250 hPa) 온도 분석장과 예측 초반(~2일) 성능 향상이 뚜렷하며, 3~5일 예측은 대부분 중립 영향을 보였다. 상층 지위고도는 예측기간 전반적으로 개선되나, 중층은 지역에 따라 분석장 성능저하가 나타나지만 5일 예측에서는 대부분 중립 영향이 나타났다. 중상층 바람은 전반적으로 대부분 영역에서 중립 성능이나 남극과 북극의 예측 초반까지는 개선되는 경향을 보였다.

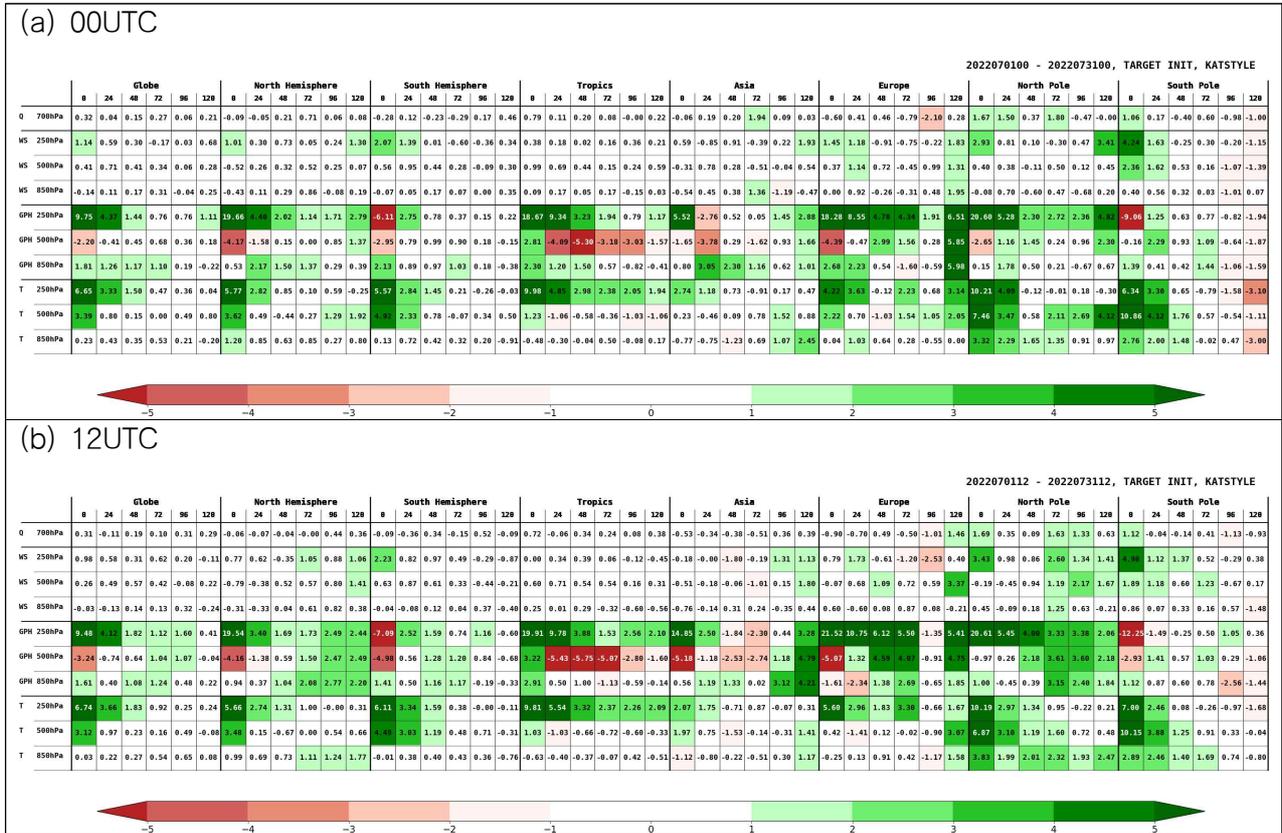


그림 34. IFS 분석장을 활용한 CTL 대비 EXP의 오차 개선율(%) (양: 개선, 음: 저하)

### 5.5.4 예측 시간별 동서 평균 오차

IFS 분석장 대비 EXP 예측장의 평균제곱근오차(Root Mean Square Error, RMSE)의 개선율을 위도-고도의 공간으로 살펴보았다(그림 35~36). 신규 GNSS RO 실험의 경우, 00UTC와 12UTC의 예측 경향이 유사하게 나타났다. 분석장부터 5일 예측까지 고도별 위도평균 RMSD 개선율로 성능 개선(저하) 영역을 파랑(빨강)으로 나타내었으며, 개선율의 신뢰수준을 점으로 표시하였는데 회색은 신뢰수준 68%, 검정색은 신뢰수준 95%를 나타낸다. 온도는 3일 예측까지 대부분 영역에서 개선되었으나, 4일 이후 중하층 일부 지역에서의 미미한 성능 저하가 나타났다. 남극 100 hPa 이하에서 성능 저하가 나타나지만, 이는 통계적으로 유의하지 않은 수준이었다. 지위고도는 5일 예측까지 상층에서 대부분 영역에서 개선이 보였는데 남반구 중상층에서 분석장의 성능 저하를 보이나 예측이 진행됨에 따라 성능 저하가 해소되는 양상을 보였고, 4일 예측 이후에 남극 하층으로 저하 영역이 확대되나 유의하지 않은 것으로 나타났다. 동서 바람은 분석장부터 예측 3일까지 큰 변화가 없고 예측 4일부터 남극 100 hPa 이하에서 저하되며 5일 예측에서 신뢰수준 68%에서 유의한 것으로 나타났으며 수증기는 중립 수준의 영향을 보였다.

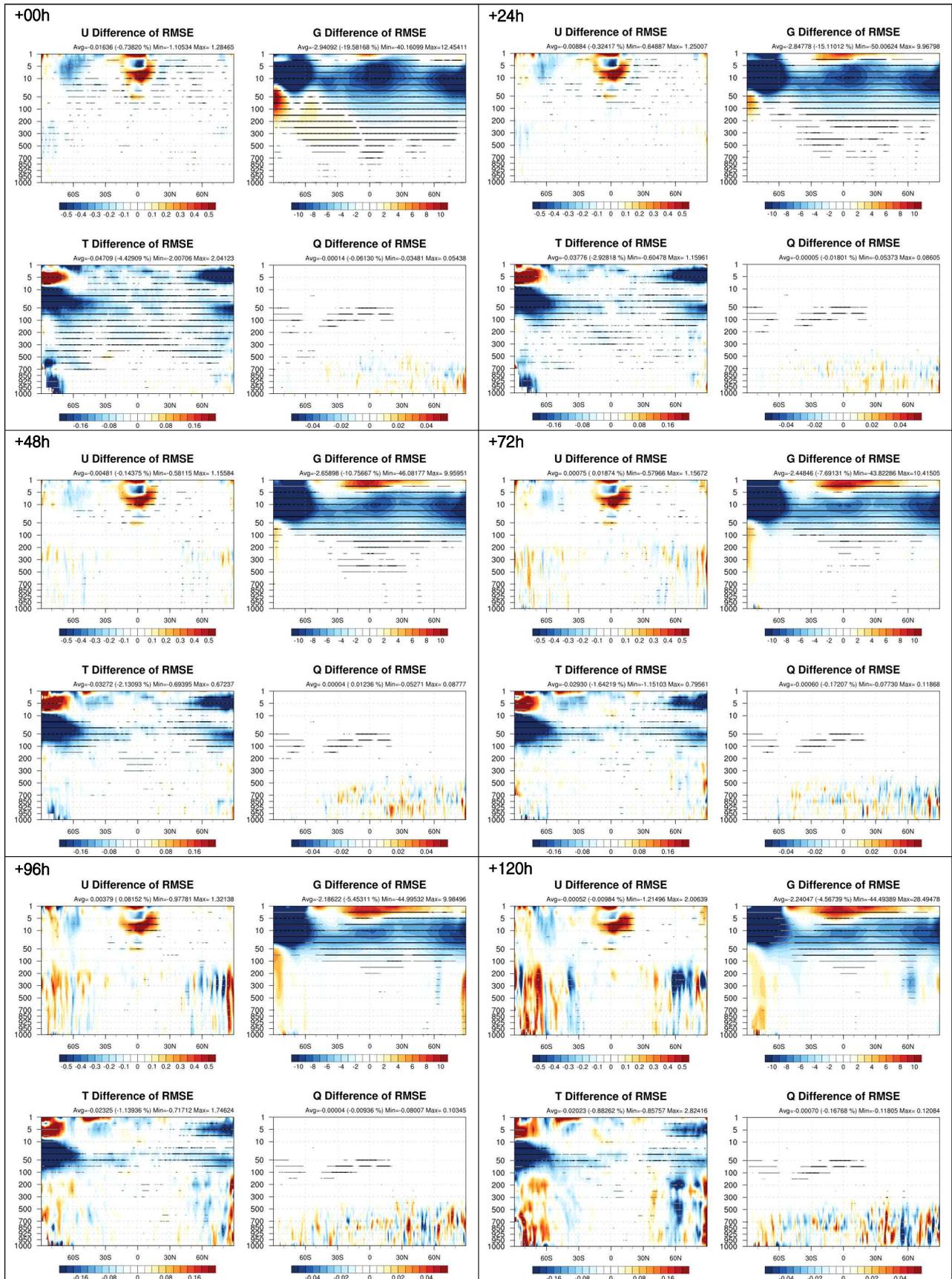


그림 35. IFS 분석장 대비 동서 평균 평균제곱근오차의 차이(00UTC, EXP-CTL). (음: EXP 개선, 검은 점: 95% 신뢰수준, 회색 점: 68% 신뢰수준)

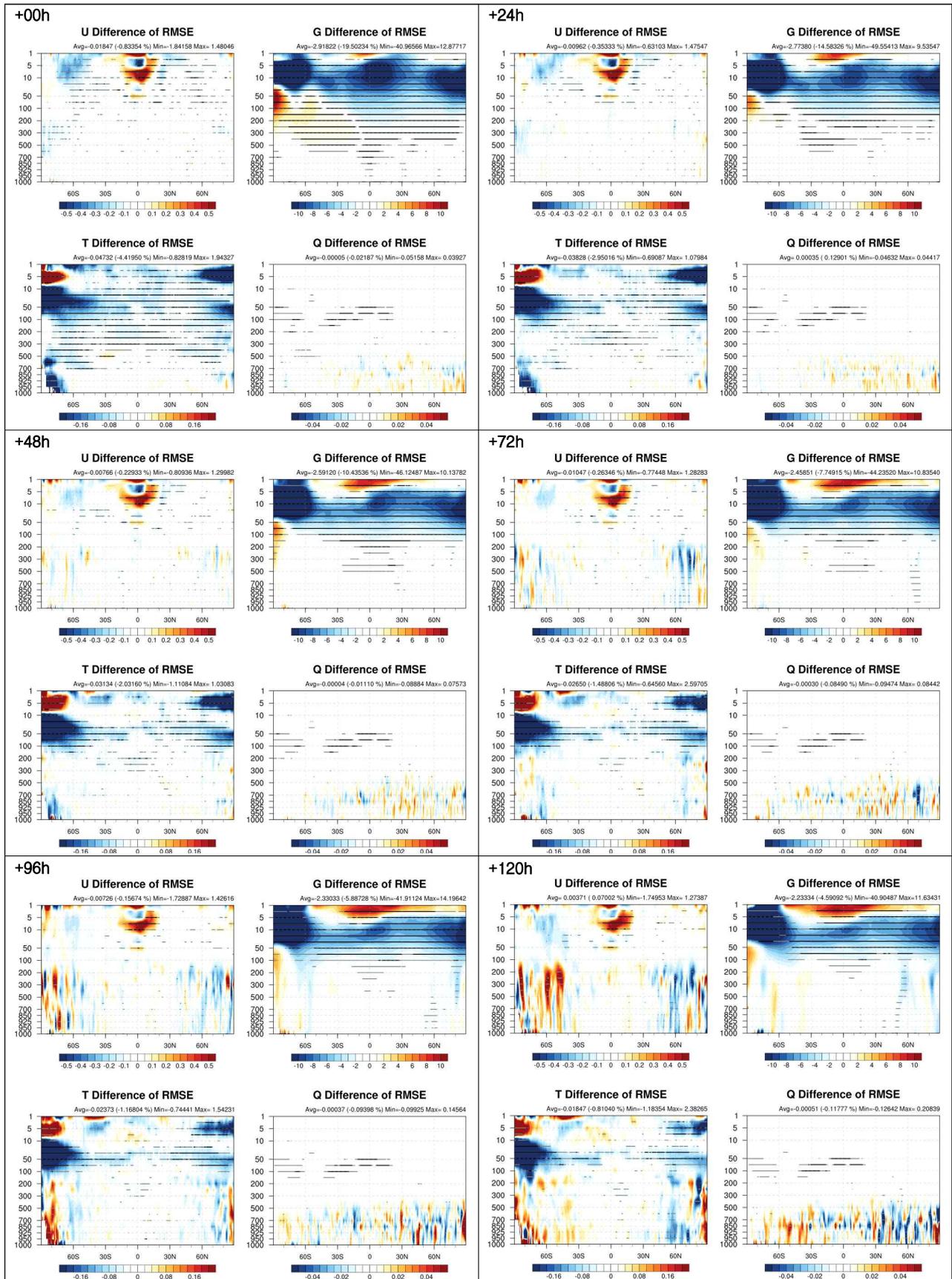


그림 36. IFS 분석장 대비 동서 평균 평균제곱근오차의 차이(12UTC, EXP-CTL). (음: EXP 개선, 검은 점: 95% 신뢰수준, 회색 점: 68% 신뢰수준)

### 5.5.5 예측 시간별 오차 시계열

신규 3종 GNSS RO 추가로 성층권 하부(50 hPa) 온도 분석장과 예측 5일까지 성능 향상 뚜렷하게 나타나는 것을 확인하였다. 5일 예측 평균제곱근오차의 개선율은 북반구 4.37%, 남반구 8.48%이며 신뢰수준 99%에 해당하는 Z-score 2.58 이상 값을 보여 개선이 유의함을 확인하였다.

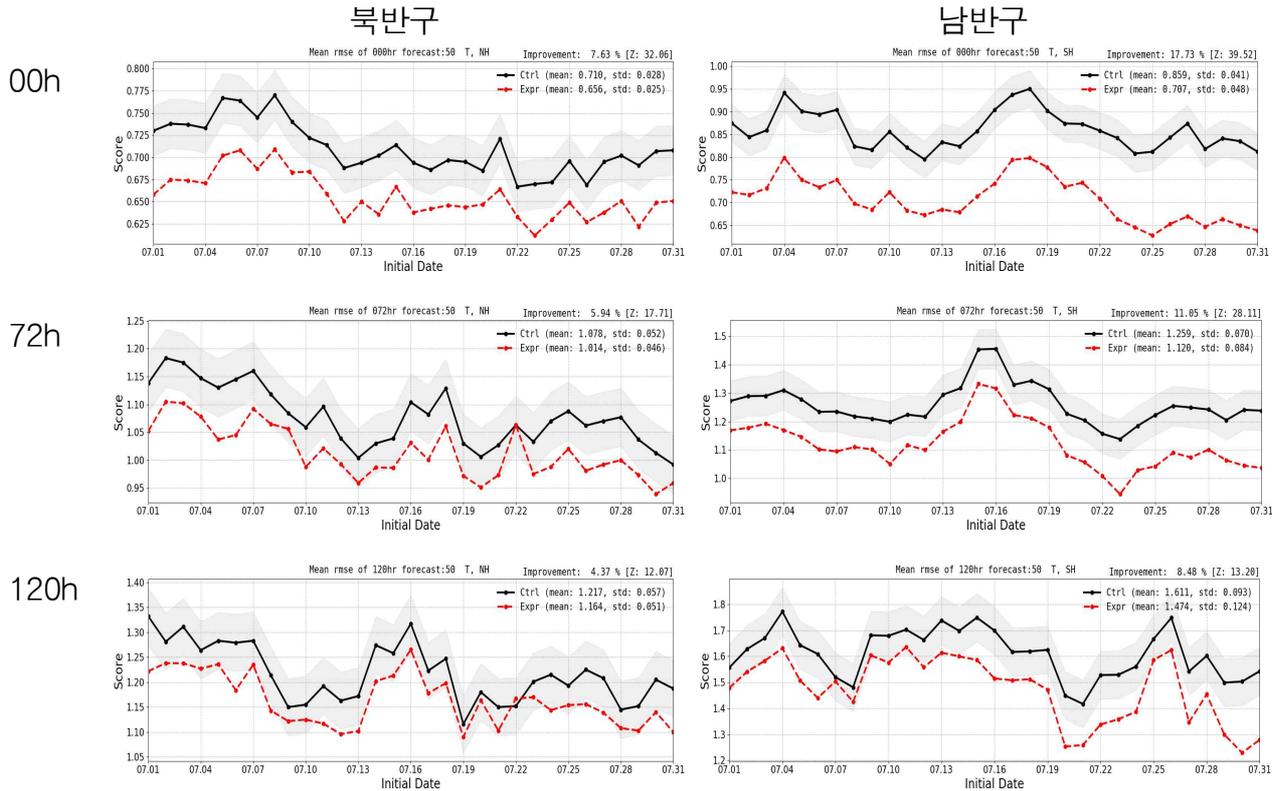


그림 37. IFS 분석장 대비 CTL과 EXP의 50 hPa 온도 RMSD 시계열

위 그림을 예측시간별로 종합하여 그림 38에 나타내었다. 50 hPa 온도는 00UTC와 12UTC 모두에서 분석장부터 예측 5일의 예측성능 개선이 뚜렷하게 나타나고 있는 것을 볼 수 있다. 북반구에 비해 관측의 공백 지역이 더 많은 남반구에서 예측 개선율이 더 높은 것을 확인할 수 있다. 즉, 00UTC와 12UTC 순서대로 북반구의 개선율은 4.37%, 5.02%이나 남반구에서는 8.48%, 8.96%이다. 그림으로 나타내지는 않았지만, 북극은 10.97%, 11.48%의 개선율을 보여 성능 향상이 매우 뚜렷하게 나타나는 것을 확인하였다.

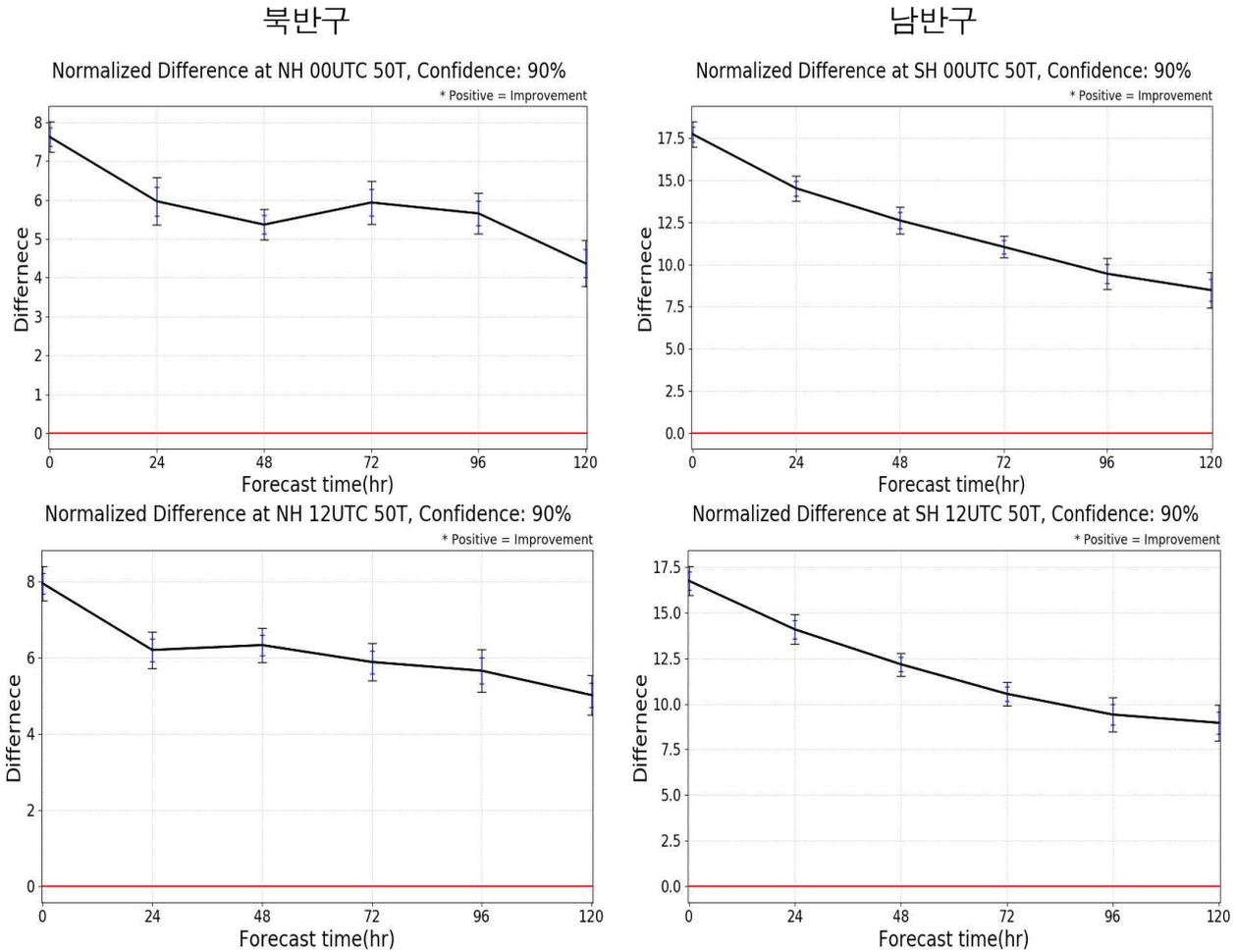
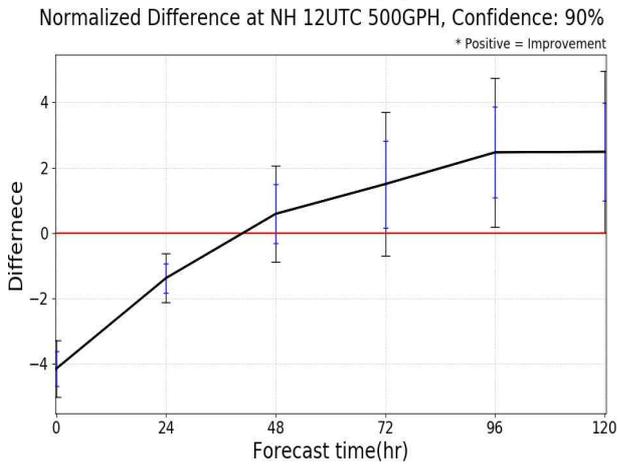
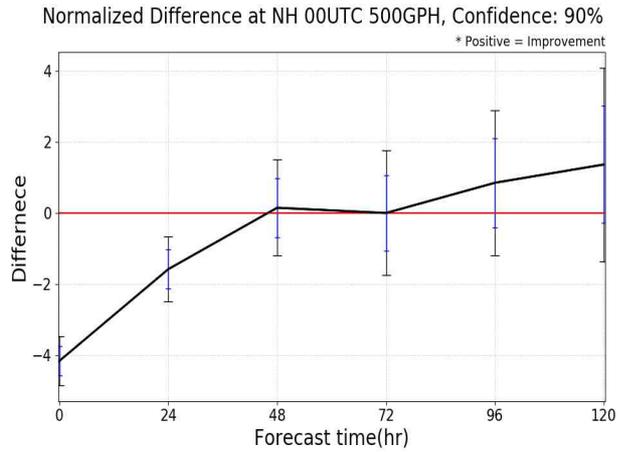


그림 38. IFS 분석장을 활용한 CTL 대비 EXP의 50 hPa 온도 예측 시간별 오차 개선율(%). (양: EXP 개선, 검은 막대: 90% 신뢰수준, 파란 막대: 68% 신뢰수준)

수치모델의 예측성능 판단에 주로 활용되는 500 hPa 지위고도에 대해서도 그림 39에 나타내었다. 500 hPa 지위고도에서도 00UTC와 12UTC의 예측 경향이 유사하게 나타나고 분석장에서 성능 저하가 보이거나, 예측이 진행되면서 개선되어 5일 예측에서 중립 이상의 성능을 보였다. 북반구 12UTC의 경우 5일 예측에서 2.49% 개선은 신뢰수준 90%에서 유의한 수준을 보였다.

### 북반구



### 남반구

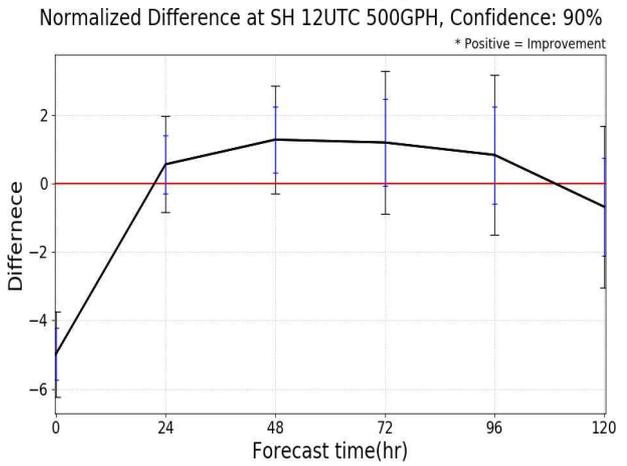
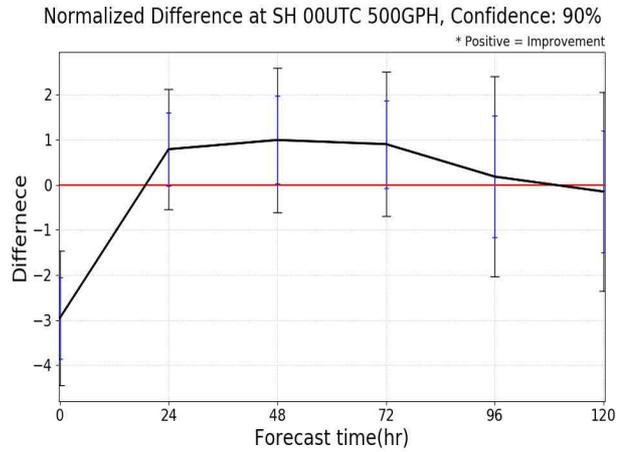


그림 39. IFS 분석장을 활용한 CTL 대비 EXP의 500 hPa 지위고도 예측 시간별 오차 개선율(%).  
(양: EXP 개선, 검은 막대: 90% 신뢰수준, 파란 막대: 68% 신뢰수준)

## 6. 요약 및 결론

기상청에서는 2020년 4월부터 한국형수치예보모델(Korean Integrated Model, KIM)을 현업 운영해오고 있으며 신규 위성 활용으로 양적 확대를 통한 관측 공백 해소에 기여하며, 자료의 품질 및 자료동화 기법 개선으로 질적 개선 연구를 통한 한국형모델의 예측성능을 향상시키고 있다. 예측성능은 고품질의 초기장에 많은 영향을 받기 때문에 수치모델에 활용하는 관측자료를 꾸준히 늘이는 노력을 기울이고 있다. 이 기술노트에서는 2023년 현업모델을 개선하기 위해서 기존에 활용하고 있는 여러 위성 관측자료에 마이크로파 복사량 1종(MWHS-2/FY-3D), 극바람 2종(AVHRR/MetOp-C, VIIRS/NOAA-20), 전지구위성항법시스템 전파염폐 3종(Sentinel-6A, SPIRE, GRACE-D)의 신규 위성 자료를 추가하는 실험을 수행한 결과를 상세히 기술하였다. 각기 다른 위성 관측의 추가 자료에 대한 품질을 우선적으로 분석하였고 각 실험에 대한 분석 증분을 모델의 편차와 비교하여 자료 추가로 인한 효과를 살펴보았다. 신규자료 추가로 인한 모델 내 영향은 분석장 성능, 타 관측 대비 관측 증분을 통한 초기예측 성능, 예측장 성능을 살펴보았다.

신규 마이크로파 위성자료 1종(MWHS-2/FY-3D) 활용으로 비습의 분석장에서 0.3% 개선을 보였다. 유사한 특성을 보이는 위성자료인 ATMS, MHS, IASI 관측 대비 배경장의 품질이 각각 0.5%, 1.2%, 0.7% 개선되는 것을 확인하였다. 북반구 하층 비습에서 약한 개선 및 중층 지위고도는 중립 성능을 보였다. 북반구 700 hPa 비습 예측장의 개선율은 1일 예측 0.2%, 5일 예측 0.3%로 나타났다. 북반구 500 hPa 지위고도의 예측에서는 1일 예측 0.6%, 5일 예측 0.2%의 개선되는 것으로 나타났다.

신규 극바람 2종(AVHRR/MetOp-C, VIIRS/NOAA-20) 활용으로 극지역의 바람 관측은 약 15% 증대되어 관측 공백 해소에 기여하였다. 중층 바람 분석장이 북극에서 1.4%, 남극에서 1.9% 개선되었으며 이는 추가된 자료가 주로 위치한 영역과 일치해, 신규자료가 분석장에 긍정적인 영향을 미침을 확인하였다. 또한, 라디오존데 대비 중층 바람 배경장의 품질이 0.3% 개선되는 것을 확인하여, 분석장 개선이 이후 배경장에 영향을 미침을 확인하였다. 예측성능은 전반적으로 중립 수준이나, 관측이 직접 추가된 북극 중층 풍속 예측장은 1일 예측 0.5%, 5일 예측 0.8%의 오차 개선율을, 남극의 경우 1일 예측 1.2%, 5일 예측 0.1% 개선을 보였다. 한국형모델 개선 지표로 이용하는 북반구 500 hPa 지위고도의 오차 개선율은 1일 예측 0.5%, 5일 예측 0.0%로 중립 성능을 보였다.

신규 전파염폐 위성자료 3종(Sentinel-6A, SPIRE, GRACE-D) 활용으로 기존 대비 관측의 개수는 약 2배 가까이 증대되어 육상 및 극 지역의 관측 공백 해소에 기여하였다. 관측이 추가된 상층(400~10 hPa)에서의 분석장이 전반적으로 개선되었는데 특히 북극 250 hPa 온도에서 약 10% 개선

되었다. 라디오존데와 ATMS 관측 대비 상층 배경장의 품질이 약 1% 개선되는 것을 확인하였다. 상층 온도는 예측 초반부터 5일까지 개선이 뚜렷하고 중층에서는 중립적인 수준을 보였다. 북반구 5일 예측 50 hPa 온도에 대한 오차 개선율은 00UTC에 4.37%, 12UTC에 5.02%로 유의미한 결과를 보였고, 500 hPa 지위고도의 오차 개선율은 00UTC에 1.37%, 12UTC에 2.49%로 중립 이상의 개선을 보였다.

이 기술노트는 KIM3.8 버전을 기반으로 2023년 관측 공백 해소를 위한 마이크로파 복사량 MWHS-2/FY-3D, 극 바람 AVHRR/MetOp-C와 VIIRS/NOAA-20, 전파업페 Sentinel-6A, SPIRE, GRACE-D의 신규 위성자료를 추가로 활용하는 일련의 과정 즉, 코드 수정 내역, 추가 자료의 품질 및 공간분포, 수치모델 예측성능에 대해 기술하였다. 위에서 정리한 총 6종의 신규 위성자료는 자료가 추가된 영역에서 분석장이 개선되어 자료의 추가 효과를 확인하였고 예측 결과에서도 중립 이상 성능이 개선되어 KIM3.8 기반에서 종합평가를 거쳐 2024년 KIM4.0 현업에 활용될 예정이다.

## 7. 참고문헌

- 김은희, 조영순, 이은희, 이용희, 2020: KIM 저해상도 실험체계 구축 및 수행(cylc 기반). 수치 모델링센터 기술노트. 51p.
- 김은희, 조영순, 이은희, 이용희, 2020: GNSS-RO 위성자료의 한국형모델 활용체계 개선. 수치 모델링센터 기술노트. 52p.
- 김은희, 조영순, 이은희, 이용희, 2021: 한국형모델의 신규 GNSS RO 자료 활용과 품질검사 개선에 관한 연구. *대기*, **31**, 251-265.
- 김은희, 손지영, 조영순, 하지현, 김승범, 2022: 슈퍼컴퓨터 5호기 기반 한국형모델 순환실험 체계구축. 수치모델링센터 기술노트. 46p.
- 손지영, 전형욱, 김승범, 2022: 슈퍼컴퓨터 5호기 기반 한국형모델 순환실험 예측성능분석도구 매뉴얼. 수치모델링센터 기술노트. 59p.
- Eyre, J. R., S. J. English, and M. Forsythe, 2020: Assimilation of satellite data in numerical weather prediction: Part I: The early years. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **146**, 49-68.
- Gelaro, R., R. H. Langland, S. Pellerin, and R. Todling, 2010: The THORPEX observation impact intercomparison experiment. *Mon. Wea. Rev.*, **138**, 4009-4025.
- Lawrence, H., N. Bormann, A. J. Geer, Q. F. Lu, and S. J. English, 2018: Evaluation and assimilation of the microwave sounder MWHS-2 onboard FY-3C in the ECMWF numerical weather prediction system. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, **56(6)**, 3333-3349, <https://doi.org/10.1109/TGRS.2018.2798292>.

## 부록 1. 약어표

구분	약어	영문 표기	용어 설명
바람	ABI	Advanced Baseline Imager	GOES 탑재, 대기운동벡터 산출
	Aeolus	Aeolus	ALADIN 탑재, 바람 연직분포
	AHI	Advanced Himawari Imager	Himawari 탑재, 대기운동벡터 산출
	AMI	Advanced Meteorological Imager	GK-2A 탑재, 대기운동벡터 산출
	AMV	Atmospheric Motion Vector	대기운동벡터
	ASCAT	Advanced Scatterometer	MetOp-B,C 탑재, 해상풍 산출
	AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer	NOAA-15~19, MetOp-B,C 탑재 대기운동벡터 산출
	MODIS	Moderate-resolution Imaging Spectro-radiometer	Aqua 탑재, 대기운동벡터 산출
	SEVIRI	Spinning Enhanced Visible Infra-Red Imager	MSG 탑재, 대기운동벡터 산출
	VIIRS	Visible Infrared Imaging Radiometer Suite	NOAA-20 탑재, 해상풍 산출
복사량	AMSR2	Advanced Microwave Scanning Radiometer-2	GCOM-W 탑재, 다목적 마이크로파 영상기
	AMSU-A	Advanced Microwave Sounding Unit-A	NOAA-15~19, MetOp-B,C 탑재 온도 연직분포
	ATMS	Advanced Technology Microwave Sounder	SNPP, NOAA-20~21 탑재 온습도 연직분포
	CrIS	Cross-track Infrared Sounder	SNPP, NOAA-20~21 탑재 온습도 연직분포
	CSR	Clear sky radiance	청천복사량
	IASI	Infrared Atmospheric Sounding Interferometer	MetOp-B,C 탑재, 온습도 연직분포
	MHS	Microwave Humidity Sounding	NOAA-18~19, MetOp-B,C 탑재 습도 연직분포
	MWHS-2	Micro-Wave Humidity Sounder-2	FY-3D 탑재, 습도 연직분포
전파염폐	GNSS RO	Global Navigation Satellite System Radio Occultation	전지구위성항법시스템 전파염폐
위성	ALADIN	Atmospheric Laser Doppler Instrument	유럽 R&D 위성(2018-2023) 바람 연직분포
	Aqua	Earth Observation System-Aqua	미국 저궤도 위성(2002-2025) 첨단 기상변수 산출
	COSMIC-2	Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere & Climate-2a	미국 저궤도 위성(2019~2026) 온습도 연직분포
	FY-3C	Feng-Yun 3C	중국 저궤도 위성 FY-3C(2013~2023) FY-3D(2017~2024)
	GCOM-W	Global Change Observation Mission for Water	미국 저궤도 위성(2012-2023)

GK-2A	Geostationary Korea Multi-Purpose Satellite-2A	대한민국 정지궤도 위성(2018-2029)
GOES-16	Geostationary Operational Environmental Satellite-16	미국 정지궤도 위성 GOES-16(2016~2027) GOES-17(2018~2029), 2023~대기 GOES-18(2022~2033)
GRACE-C	Gravity Recovery and Climate Experiment-Follow-on	미국 저궤도 위성(2018~2023) GRACE-C,D
Himawari-8	Himawari-8	일본 정지궤도 위성 Himawari-8(2014-2030) Himawari-9(2016-2030)
KOMPSAT-5	Korea Multi-Purpose Satellite-5	대한민국 저궤도 위성(2013-2023)
MetOp-B,C	Meteorological operational satellite-B,C	유럽 극궤도 위성 MetOp-B(2012~2024) MetOp-C(2018~2027)
MSG	Meteosat Second Generation	유럽 정지궤도 위성 MSG-1(2002-2022) MSG-2(2005-2025) MSG-3(2012-2030) MSG-4(2015-2033)
NOAA-20	National Oceanic and Atmospheric Administration-20	미국 극궤도 위성(2017~2027)
Sentinel-6A	Sentinel-6A	유럽 저궤도 위성(2020~2027)
SNPP	Suomi National Polar-orbiting Partnership	미국 극궤도 위성(2011~2025)
SPIRE	Spire Global Inc.	미국 상용 저궤도 위성(2015~2040)
TanDEM-X	TerraSAR-X Add-oN for Digital Elevation Measurement	유럽 저궤도 위성(2010-2026)
TerraSAR-X	TerraSAR-X	유럽 저궤도 위성(2007-2024)

제 목 관측 공백 해소를 위한 한국형모델 신규 위성 관측자료 활용 영향평가 - 2023년 -  
발행인 김은희, 손지영, 석수현, 김창환, 전형욱, 김승범  
발행처 기상청 수치모델링센터 수치자료응용과  
발행일 2023년 8월  
주 소 35208 대전광역시 서구 청사로 189 정부대전청사 1동 11층  
연락처 042-481-7553



Numerical Modeling Center

35208 대전광역시 서구 청사로 189 정부대전청사  
기상청 수치모델링센터 수치자료응용과  
(☎) 042-481-7553

본 기술노트의 저작권은 수치모델링센터에 있습니다.



ISBN 979-11-6988-099-2