APCC 기후정보 활용성 강화를 위한 고해상도 MME 계절내-계절예측시스템 기반구축 및 웹 콘텐츠 다양화

Establishment of High-resolution Multi-Model Ensemble (MME) Subseasonal to Seasonal (S2S) Prediction Framework and Diversification of Web Contents to Strengthen the Usability of APCC Climate Information

김유진, 김형진, 송봉근, 이현주,

임아영, 임창묵, 정다은, 정임국, 최재원

기후사업본부 예측운영과

2022.12.

APEC기후센터

평문 초록

APEC 기후센터(APCC, APEC Climate Center)는 2005년 설립 이후 다중모델앙상블 (MME, Multi Model Ensemble)을 활용한 장기 계절예측 및 계절내예측, 기후감시 정보 등을 생산하여 '기후예측정보를 통한 아시아·태평양 지역에의 공헌'이라는 기관의 미션을 수행하고 있습니다. 앙상블(Ensemble) 예측은 주어진 조건하에서 모델의 불확실성에 의해 나타나는 예측결과가 다양하게 존재하는 경우 여러 번 수행된 예측결과의 분포를 바탕으로 최적의 예측정보를 생산하는 방법으로 APCC에서는 세계 유수의 다양한 기후예측모델에 앙상블 기법을 적용하여 MME 예측정보를 생산합니다. 일반적으로 중기 혹은 장기 예측의 경우 MME의 성능이 단일 모델보다 우수하고, 참여하는 모델이 많고 다양할수록 MME 기법의 장점이 적용된다고 알려져 있어 APCC는 설립 이후 보다 많은 기관, 다양한 모델을 참여시키기 위해 노력해왔으며, APCC MME의 예측력은 꾸준하게 향상되었습니다.

수년 전 사용자들의 수요조사 결과를 토대로 기존 기후예측시스템을 개선 및 확장하여 고해상도 MME 예측정보를 2022년 9월부터 제공하고 있습니다. 개별모델의 수집과 전처리가 효율적으로 처리되어 20일에 제공되던 예측정보를 닷새 앞당겨 15일에 조기제공이 가능하도록 시스템을 개선하였고 2.5도와 1도의 해상도별 MME 예측정보를 생산하여 홈페이지를 통해 제공하고 있습니다. 이와 더불어 여름철 계절내진동(BSISO, Boreal Summer Intra-Seasonal Osillation) 계절내예측시스템의 운영 효율성과 예측결과 그림의 가시성을 높이는 등의 개선이 이루어졌습니다. 그리고 동아시아 지역에 대한 선별된 모델 확률예측 정보를 2022년 6월부터 새롭게 홈페이지를 통해 제공하고 있으며, 동남아시아 지역 산불 조기경보를 위한 산불예측시스템의 지역을 인도네시아 보르네오 섬에서 말레이시아까지 확장하였습니다. 지역 확장된 산불 예측 정보는 2023년에 제공될 예정입니다.

온난화 현상이 전지구적으로 나타나면서 기온 계절예측 또한 그 영향을 받고 있습니다. 한 예로 APCC에서는 2012년 이후 2-m 기온의 계절예측자료를 매월 생산하고 있는데, MME 예측결과는 전지구 기준으로 실제 온난화 경향을 따라가긴 하지만 지역별, 시기별로 다양한 계절 기온변화를 예측하지는 못하였습니다. 따라서 기온의 계절예측경향을 분석하였고 이를 토대로 기후예측 자료에 대한 보정기법을 소개하였습니다. 향후 이를 적용하여 기온 예측성을 향상시키도록 노력할 계획입니다.

APCC는 2011년부터 MME 전문 기술력을 바탕으로 기상청과 함께 세계기상기구(WMO, World Meteorological Organization) 장기예보 선도센터를 운영하여 WMO 회원국의 요구에 부합하는 고품질 기후예측 서비스를 제공하고 있습니다. 이와 함께 기후예측 분야 국제 협력에서 국제적 위상 확보와 협업체계 구축을 위해 WMO 2개월 장기예측(계절내-계절예측, S2S, Subseasonal-to-Seasonal Predcition) 국제조정사무소(ICO, International Coordination Office)를 운영함과 동시에 기후변화에 관한 정부 간 패널(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change), 지역기후포럼 등의 국제회의에 참석하여 기후분야 전문가 그룹과 지속적으로 소통하고 있습니다.

Executive Summary

Since its establishment in 2005, APCC (APEC Climate Center) has made great efforts to develop and improve the long-term seasonal forecast technology using the Multi-Model Ensemble (MME) and as a result, it has established a climate prediction system using various global models of the world' s leading climate forecast operating and research institutes to provide climate monitoring information and long-term forecast and verification information on its website and platform every month.

Starting from April 2022, APCC has changed the official seasonal climate outlook release date from the 20th to the 15th of every month by courtesy of the contribution of the APCC MME Producing Centres (PCs). The release date was already moved up 5 days (25th to 20th) in 2019. Going one step further to meet the user needs and promote our competitiveness, APCC started issuing its climate outlook on the 15th which is 10 days earlier in total than before. Along with the earlier outlook release, seasonal climate forecast information in higher spatial resolution is one of the top priorities of user needs according to the results of the APCC's user survey conducted in 2020. The spatial resolution of APCC's forecast data has been 2.5° in latitude × 2.5° in longitude until recently, which was not highly resolved enough to meet user needs. Accordingly, APCC officially launched higher resolution (1° in latitude × 1° in longitude) MME forecast system in September 2022.

The new MME probabilistic forecast from selected models for East Asian region based on the relationship between ENSO-western Pacific precipitation and East Asian climate has been also provided from June 2022. The region of APCC FHEWS (Fire and Haze Early Warning System) was expanded to Malaysia in 2022, and its extended forecast is planned to be available in 2023.

In 2022, 4 out of 15 individual models were upgraded and applied to the APCC MME forecast system: ECCC CanSIPSv2.1, HMC SL-AV-072L96, JMA MRI-CPS3, and KMA GloSea6GC3.2. Improvements of these new models include upgraded atmospheric and ocean models, bigger ensemble size, and hindcast period shifted to more recent years. Also, CWB's model data were produced by their new HPC.

APCC improved BSISO information by reflecting recent climate characteristics and their influence. To do this, the climatological reference period has been updated from 1981-2010 to 1991-2020 for all BSISO information, following the World Meteorological Organization's recommendation to use the most-recent 30-year period as the climatological standard. Graphical representations on the BSISO website were also improved to increase readability and visibility. We expect that this improvement will help enhance user experience.

Under the global warming, seasonal forecast of temperature at 2-m during the APCC MME's hindcast period (1991-2010) are analyzed to understand the dynamical forecast models' ability to resolve the global warming trend. Most dynamical models have similar warming linear trend with the real world's one in the view of globally averaged temperature. However, in the regional scale, dynamical models could not simulate the specific warming or neutral trend and tend to forecast a bit warmer temperature roughly in the globe, regardless the variation of regions. Futher, it is introduced two methods to correct the temperature forecast; one is applying the research results about linear trend and tendency of the APCC MME and the other is bias correction using quantile mapping of temperature distribution, that can improve temperataure predictability in the future.

APCC has been opearting the WMO (World Meteorological Organization) Lead Center for Long Range Forecast (WMO LC-LRFMME) with KMA (Korea Meteorological Administration) since 2011 to provide climate forecast services. The WMO LC-LRFMME collects forecast data from 14 Global Producing Center (GPC) and standardizes forecast and hindcast data and displaying the MME results including deterministic and probabilistic method through the website on a monthly basis. Also the WMO LC-LRFMME provided the seasonal forecast information to Regional Climate Outlook Forums (RCOF), Global Seasonal Climate Updates (GSCU) and KMA to a consensus on the state of the global and regional climate outlook. In 2022, the WMO LC-LRFMME' s seasonal forecast system improvements have been performed to provide customized seasonal prediction information and improve system management.

APCC is also operating the WMO ICO (International Coordination Office) to establish an international collaboration in the fileld of climate prediction and continuously communicating with a group of experts in the climate filed by attending international conferences susch as IPCC and regional climate forums.

국문 요약

APEC 기후센터(APCC, APEC Climate Center)는 2005년 설립 이후 MME 를 활용한 장기 기후예측기술 개발 및 개선에 많은 노력을 기울여왔으며 그 결과 세계 유수현업기관 및 연구기관의 다양한 전지구모델을 활용한 기후예측시스템을 구축하여 매월 홈페이지를 통해 기후감시와 장기 계절예측(3/6개월) 및 검증정보, 계절내예측정보를 제공하고 있습니다.

MME 계절예측에 있어 주요 개선사항으로는 예측정보 조기제공과 고해상도 MME 계절예측정보 제공입니다. 국내외의 APCC 모델제공기관의 협력을 통해 과거 20일에 제공되던 예측정보를 닷새 앞당겨 15일에 조기제공이 가능하도록 시스템을 개선하여 2022년 4월부터 현업화하여 홈페이지를 통해 예측정보를 제공하고 있습니다. 이와 더불어 2020년 사용자 수요조사 결과 중 우선순위에 있었던 고해상도 MME 예측정보를 2022년 9월부터 현업화하였습니다. 기존 2.5도 예측정보와 함께 고해상도 1도 예측정보를 홈페이지를 통해 제공하고 있습니다.

또한 2022년 6월부터 동아시아 지역에 대해 선별된 모델을 적용한 MME 확률예측정보를 제공하고 있으며, 동남아시아 지역 산불 조기경보를 위한 산불예측시스템의 지역을 말레이시아까지 확장하였습니다. 지역 확장된 산불예측 정보는 2023년에 제공될 계획입니다.

APCC MME 계절예측 참여모델은 해마다 개선이 이루어지고 있는데 2022년에는 15개 참여모델 중 ECCC (CanSIPSv2.1), HMC (SL-AV-072L96), JMA (MRI-CPS3), KMA (GloSea6GC3.2)의 총 4종 모델의 개선되어 MME에 참여하게 되었습니다. 각 모델의 예측성을 검증한 후 MME 예측 현업에 적용한 결과 MME 예측력이 향상됨을 볼 수 있었습니다.

세계기상기구(WMO, World Meteorological Organization)의 기후 평년값 권고 기준에 따라 APCC의 BSISO (BSISO, Boreal Summer Intra-Seasonal Osillation) 계절예측시스템의 평년 기간을 1981~2010년에서 1991~2020년의 30년으로 변경하여 BSISO 정보를 생산하여 제공하였고, 이와 함께 홈페이지를 통해 제공되는 그림의 가독성과 가시성을 높였습니다.

APCC에서 생산 중인 2-m 기온예측에 대한 온난화 경향을 분석하기 위하여 장기적으로 기온의 경향을 1991-2010년 hindcast 기간의 선형추세로 정의하여 관측과 모델을 비교 분석하였습니다. MME 예측결과는 전지구 기준으로 실제 온난화 경향을 따라가긴 하지만 지역별, 시기별로 다양한 계절 기온변화를 예측하지는 못하였습니다. 따라서 기온의 계절예측경향을 분석하여 이를 토대로 향후 기후예측 자료에 대한 보정기법을 적용하여 기온 예측성을 향상시키도록 노력할 계획입니다.

APCC는 2011년부터 기상청과 함께 WMO 장기예보 선도센터를 운영하여 WMO 회원국의 요구에 부합하는 고품질 기후예측 서비스를 제공하고 있습니다. WMO 장기예보 선도센터는 전세계 14개 Glboal Producing Center (GPC)에서 생산되는 장기예보 자료를 수집하여 표준화하며, DMME와 PMME 기법을 적용하여 얻은 MME 계절예측 결과와 검증 결과를 홈페이지를 통해 디지털 및 그래픽 형태의 자료로 WMO 회원국 및 일반 사용자에게 지속적이고 안정적으로 제공하고 있습니다. 또한 국제적 협업 체계 강화를 위해 WMO에서 주관하는 다양한 지역 기후

포럼에 맞춤형 MME 예측정보를 제공하고 있으며, 2022년에는 WMO 장기예보 선도센터 사용자 맞춤형 기후정보 제공 개선, 현업자료 처리 기능 개선, 웹서비스 편의성 개선 및 관리기능 개선이 수행되었습니다.

이와 함께 APCC는 기후예측 분야 국제 협력에서 국제적 위상 확보와 협업체계 구축을 위해 WMO 2개월 장기예측(계절내-계절예측, S2S, Subseasonal-to-Seasonal Predcition) 국제조정사무소(ICO, International Coordination Office)를 운영함과 동시에 IPCC, 지역기후포럼 등의 국제회의에 참석하여 기후분야 전문가 그룹과 지속적으로 소통을 하고 있습니다.

목 차

평문 초록 ····· i

Executive Summary ····· ii

국문 요약 ····· iv

목차 ····· vi

표 차례 ····· viii

그림 차례 ····· x

1. 서론 ····· 1

2. 방법 및 자료 ····· 2

3. 결과 ····· 4

가. MME 계절예측시스템 운영 및 개선 ····· 4

(1) MME 계절예측시스템 운영 체계 및 현황 ····· 4

(2) MME 참여 모델 개선 ····· 8

(3) ENSO 경보시스템 개선 ····· 24

(4) 신규 홈페이지 구축을 위한 기후정보 웹 콘텐츠 구성 계획 수립 ····· 29

나. BSISO 계절내 예측시스템 운영 및 예측정보 제공 ····· 32

(1) APCC BSISO 감시 및 예측정보 제공 ····· 32

(2) BSISO 계절내예측시스템 개선 및 통합 구동시스템 구축 ····· 33

다. APCC 자체예측모델(SCoPS) 운영 및 예측정보 제공 ····· 53

(1) SCoPS 운영 및 예측정보 제공 ····· 53

(2) 기상청 슈퍼컴 5호기를 활용한 SCoPS 운영체계 구축 ····· 53

라. 예측정보 활용성 증대를 위한 시스템 확장 ····· 64

(1) 고해상도(1도) MME 계절예측시스템 현업화 ····· 64

(2) MME 예측정보 조기제공(20일→15일) ····· 69

마. 개별예측모델 및 MME 온도의 계절예측 경향 및 특성분석 ····· 72

(1) Hindcast 기간의 온도의 계절예측 경향 및 특성 분석 ····· 73

(2) 실시간 예측 기간의 온도 계절예측 경향 및 특성 분석 ····· 79

(3) 기온 계절예측 보정방법 후보 ····· 92

(4) hindcast, 실시간 예측 기간의 계통적 오차 분포 ····· 95

바. 산불예측시스템 운영 및 지역확장 ····· 97

(1) 산불예측시스템 운영 및 개선 ·····97
(2) 말레이시아 지역확장을 통한 시스템 개선 ·····109
(3) 지역확장 및 입력자료 개선 적용을 위한 패키지 개선 ·····117
사. 동아시아 지역 확률계절예측시스템 현업화 ·····119
(1) 현황 및 필요성 ·····119
(2) 동아시아 지역 확률계절예측시스템 현업화 ·····119
아. 기후분야 국제협력 및 정책지원 ·····124
(1) WMO 장기예보 선도센터 운영 및 개선 ·····124
(2) WMO S2S 국제조정사무소(ICO) 운영 ·····151
(3) IPCC 등 기타 활동 ·····151
4. 요약 및 결론 ·····153
사사 ·····156
References ·····157
부록 A. JMA MRI-CPS3 과거예측자료 전처리 방식 ·····158
부록 B. BSISO 계절내예측 통합구동시스템 개선 기술 보고 ·····160
부록 C. BSISO 계절내예측 통합구동시스템 운영 매뉴얼 ·····167
부록 D. APCC 고해상도 계절예측시스템 운영매뉴얼 ·····175
부록 E. APCC 예측 그래픽 내 예측정보 발표일 자동입력 기능 ·····183
부록 F. 동아시아 지역 확률계절예측시스템 운영 매뉴얼 ·····187

표 차례

Table 1. List of participating models in APCC MME. ·····5
Table 2. Methods of APCC MME. ·····6
Table 3. List of APCC MME participating models: ECCC, HMC, JMA, and KMA. ·····8
Table 4. Comparison of before and after KMA model. ·····22
Table 5. Definition of APCC ENSO Alert categories. ·····24
Table 6. List of codes for graphics improvement. ·····40
Table 7. List of codes for improvement of the inefficient storage management. ·····41
Table 8. Status of time and storage before and after improvement of the inefficient storage management. ·····43
Table 9. List of codes changed for apply climatological base period to 1991-2020. ·····44
Table 10. Status of codes for development of new BSISO operating system. ·····50
Table 11. Directory of products for each part in BSISO operating system. ·····52
Table 12 Configuration settings of APCC HPC and KMA supercomputer. ·····54
Table 13. ACC between before and after AFS system for real-time forecast. ·····67
Table 14. RMSD between before and after AFS system for real-time forecast. ·····67
Table 15. Climate period upon APCC MME hindcast generation. ·····73
Table 16. Regions and latitude and longitude. ·····76
Table 17. Compositions of APCC MME's individual model. ·····78
Table 18. Regional correlation analysis results of GFED3.1 and GFED4.1. ·····100
Table 19. Day-of-year(DOY) of the first day of each calendar month. ·····105
Table 20. MODIS C6 Burned Area pixel definition. ·····107
Table 21. Precipitation criteria for Malaysia FHEWS forecasting information. ·····113
Table 22. Characteristics of seasonal forecast model from GPCs (2022. 11). ·····125
Table 23. Reanalysis data used for verification of real-time forecast. ·····126
Table 24. Reanalysis data used for verification of hindcast. ·····126
Table 25. Date of data collection from GPCs. ·····127
Table 26. Yearly Relative Operating Characteristic (ROC) score aggregated over globe of probabilistic real-time forecast of 2m temperature and precipitation. ·····130
Table 27. Yearly Relative Operating Characteristic (ROC) score aggregated over East Asia of

probabilistic real-time forecast of 2m temperature and precipitation. ·····131
Table 28. Model descripition of long-range forecast system from GPC Tokyo. ·····136
Table 29. Model descripition of long-range forecast system from GPC Seoul. ·····139
Table 30. Model descripition of long-range forecast system from GPC Moscow. ·····142
Table 31. The list of RCOF in 2022. ·····144

그림 차례

Figure 1. Operation procedures of APCC climate forecast systems. ·····2
Figure 2. Forecast procedures at WMO LC-LRFMME. ·····3
Figure 3. Flowchart of APCC MME forecast system. ·····4
Figure 4. Schedule of prediction data collection by participating model in APCC MME. ·····5
Figure 5. APCC Climate Outlooks for the Globe and the Pacific Islands Countries. ·····7
Figure 6. Difference between before CWB HPC (FX100) and after CWB HPC (FX1000). ·····10
Figure 7. Structure of Environment and Climate Change Canada. ·····11
Figure 8. Difference between ACC of CanSIPSv2.1 and CanSIPSv2. Positive values indicate that the skill of CanSIPSv2.1 is better than that of CanSIPSv2. ·····12
Figure 9. ROC score of CanSIPSv2.1 (solid line) and CanSIPSv2 (dashesd line). ·····12
Figure 10. Niño3.4 forecast skill of CanSIPSv2.1 and CanSIPSv2. ·····13
Figure 11. ACC of individual models (symbols), mean ACC of them (black solid line), and ACC of MME (bar) of global temperature (left) and precipitation (right). ·····14
Figure 12. Difference between ACC of MME including CanSIPSv2.1 and CanSIPSv2. Positive values indicate that the skill of MME including CanSIPSv2.1 is better than that of CanSIPSv2. ·····14
Figure 13. ROC score of MME including CanSIPSv2.1 (solid line) and MME including CanSIPSv2 (dashesd line). ·····15
Figure 14. Comparison of ACC before (HMC-old/SCM-old) and after (HMC-new/SCM-new) HMC's model and MME. ·····15
Figure 15. Experiment design for comparing effects of model's improvement and effects of selection of model's data. ·····16
Figure 16. Old method: Selection of two dates created two months prior to the first target month. ·····17
Figure 17. New method: Selection of two dates created two months and one month prior to the first target month. ·····17
Figure 18. Comparison of hindcast skills of JMA MRI-CPS models bassed on how to select initial dates. ·····18
Figure 19. Niño3.4 forecast skill of JMA MRI-CPS3-2 and MRI-CPS2. ·····18
Figure 20. Difference between ACC of MRI-CPS3 and MRI-CPS2. Positive values indicate that

the skill of MRI-CPS3 is better than that of MRI-CPS2. ·····19
Figure 21. ROC score of MRI-CPS3 (solid line) and MRI-CPS2 (dashesd line). ·····19
Figure 22. Difference between Niño3.4 forecast skill of MRI-CPS3 (solid line) and MRI-CPS2 (dashesd line). ·····20
Figure 23. ACC of individual models (symbols), mean ACC of them (black solid line), and ACC of MME (bar) of global temperature (left) and precipitation (right). ·····20
Figure 24. Difference between ACC of MME including MRI-CPS3 and MRI-CPS2. Positive values indicate that the skill of MME including MRI-CPS3 is better than that of MRI-CPS2. ·21
Figure 25. ROC score of MME including MRI-CPS3 (solid line) and MME including MRI-CPS2 (dashesd line). ·····21
Figure 26. Comparison of ACC before and after KMA' s model. ·····23
Figure 27. Comparison of ACC before (KMA-old/SCM-old) and after (KMA-new/SCM-new) KMA' s model and MME. ·····23
Figure 28. History of monthly ENSO Alert for APCC including before and after improvement and other centers, NINO3.4 and SOI from 2015 to January 2022. ·····27
Figure 29. ENSO alert information before and after improvement displayed on the Pacific Regional Climate Center' s ENSO Tracker webpage. ·····28
Figure 30. Sample structures of static and dynamic web pages in new APCC homepage. ·····30
Figure 31. Sample dynamic web contents using MME temperature forecast and NINO3.4 climate index. ·····30
Figure 32. Functional requirements of dynamic web contents in APCC homepage request for propsal (RFP). ·····31
Figure 33. Example of BSISO phase diagram before (top) and after (bottom) improvement displayed on BSISO website. ·····35
Figure 34. Same as Figure 33 but for BSISO timeseries. ·····36
Figure 35. Same as Figure 33 but for anomaly field of OLR and 850hPz zonal wind. ·····37
Figure 36. Same as Figure 33 but for reconstructed OLR anomaly field. ·····38
Figure 37. Same as Figure 33 but for OLR anomaly forecasts. ·····39
Figure 38. T-test for mean field of both climatological base period 1981-2010 and 1991-2020 of OLR (top) and 850hPa zonal wind (bottom). ·····46
Figure 39. MV-EOF fields by climatological base period 1981-2010 (left) and 1991-2020 (right). ·····47
Figure 40. BSISO index (line) and time correlation coefficients (value) by climatological base

period 1981-2010 (black line) and 1991-2020 (green line). Bar is difference between 1981-2010 and 1991-2020. ····47
Figure 41. KS-test and P-value (value) for distribution of BSISO index by climatological base period 1981-2010 (green line) and 1991-2020 (black line). ····48
Figure 42. Example of BSISO composite map displayed on APCC BSISO website. ····49
Figure 43. Example of SCoPS job status on KMA5 ····54
Figure 44. Relative difference (%) of T2M, PREC, SST, SLP, and Z500 between climatological base period 1981-2010 and 1991-2020 for 2020 JJA forecasts and RMSE for hindcast. ····55
Figure 45. Same as Figure 44, but for 2020 DJF. ····56
Figure 46. Same as Figure 44, but for 2021 JJA. ····56
Figure 47. Same as Figure 44, but for 2021 DJF. ····57
Figure 48. Same as Figure 44, but for 2022 JJA. ····57
Figure 49. PCC (Bar) and DF (Dot) of T2M, PREC, SLP, and Z500 for 2020 JJA forecasts. ···58
Figure 50. Same as Figure 49, but for 2020 DJF. ····58
Figure 51. Same as Figure 49, but for 2021 JJA. ····58
Figure 52. Same as Figure 49, but for 2021 DJF. ····59
Figure 53. Same as Figure 49, but for 2022 JJA. ····59
Figure 54. PCC (Bar) and DF (circle) of T2M, PREC, SLP, and Z500 produced APCC (gray bar and open circle) and KMA5 (red bar and close circle) for 2020 JJA forecasts. ····60
Figure 55. Same as Figure 54, but for T2M. ····60
Figure 56. Same as Figure 54, but for PREC. ····61
Figure 57. Same as Figure 54, but for SLP. ····61
Figure 58. Same as Figure 54, but for Z500. ····62
Figure 59. Example of 2020 ONDJFM forecasts contents produced by APCC (left) and KMA5 (right). ····63
Figure 60. Structure of High-Resolution AFS. ····65
Figure 61. Temporal RMSD between before and after AFS system for hindcast FMA season: (a) precipitation, (b) 2m temperature, (c) temperature at 850hPa, (d) sea level pressure, and (e) geopotential height at 500hPa. ····68
Figure 62. The structure of data receive alarm and automated pre-processing system process. ····70
Figure 63. The report on the 4th APCC MME Model Providers' Meeting. ····70
Figure 64. APCC MME seasonal forecast page updated on 15th April 2022. ····71

Figure 65. Time series of 3-month seasonal mean 2-m temperature during 1980-2021. Black solid line is the observation; and colored small-x and large asterisks present the individual model's prediction during hindcast and real-time forecast, respectively. Each color presents each year. ····72
Figure 66. Seasonal probability density distributions of global mean 2-m temperature anomalies for 1991-2010 for MME and observation. The climate mean period is 1991-2010. Black solid is the observation and colored lines are for MME anomalies. Each color present each hindcast year. ····74
Figure 67. Linear trend of seasonal 2-m temperature of (upper) observation and (lower) averaged individual models' hindcast. (a) linear trend for 1991-2010 and (b) 1991-2020. Unit is ° C/yr. ····75
Figure 68. Seasonal and regional mean linear trend of (a) observation and (b) APCC MME hindcast during 1991-2010. Forecasts are 1-month-leading 3-month-mean forecast and regions are explained at Table 2. ····76
Figure 69. Individual model's linear trend (a) of each region averaged in seasons and (b) of each season averaged in the globe. The hindcast generated at 2021 is used. The gray x mark represent the uncollected season. ····77
Figure 70. Regional linear trend for Europe family models (ERA, green), North America Family models (NCEP, purple), and etc (black). 1991-2010 hindcasts are used and all seasons are averaged. ····78
Figure 71. Anomaly averaged spatial pattern during real-time forecast (2013-2021) from observation. Climate period is 1991-2010. (a) 2-m temperature, (b) seasurface temperature, (c) middle-level (500-hPa) geopotential height, (d) middle-level geopotential height eddy, (e) low-level (850-hPa) zonal wind, and (f) upper-leve (200-hPa) zonal wind. Assumed a standard distribution for anomalies distribution and extreme values over 10% both are represented as black dots. ····80
Figure 72. Averaged circulation patterns during climate period (1991-2010) from observation. (a) middle-level (500-hPa) geopotential eddy, (b) upper-level (200-hPa) zonal wind, and (c) low-level (850-hPa) zonal wind. ····81
Figure 73. Same as the Figure 71 but for the MME. ····82
Figure 74. Probabilistic seasonal forecast of global 2-m temperature since 2013. ····83
Figure 75. Normalized anomalies of global 2-m temperature from observation since 2013.

Anomalies are based each hindcast period as in table 1. Anomalies are assumed as a standard distribution, and define 0.43 sigma and -0.43 sigma as thresholds for above normal, near normal, and below normal. ·····83
Figure 76. East Asian normalized 2-m temperature from (a) observation (ERA 5) and (b) APCC MME. Same as Figure 74 and 75 but for East Asia. ·····84
Figure 77. Probabilistic forecast of East Asian 2-m temperature. ·····85
Figure 78. Regional and seasonal averages of normalized temperature anomalies of 2-m temperature from (a) observation (ERA5) and (b) deterministic MME forecast, and (c) probabilities of a dominant category of probabilistic forecast for 2-m temperature. ·····86
Figure 79. Composite of normalized anomalies of (a) 2-m temperature, (b) sea surface temperature, (c) middle-level geopotential height eddy, and (d) low-level zonal wind when the East Asian temperature is near normal since 2013. Climate period is hindcast period. Anomalies are assumed as standard distribution and extreme values over 10 percentiles both are represented as black dots. ·····87
Figure 80. Same as Figure 79 but for APCC MME. ·····88
Figure 81. Normalized anomalies of 2-m temperature forecasts of individual models averaged for the globe. ·····89
Figure 82. Sane as Figure 81 but for East Asia. ·····90
Figure 83. Time series of global mean normalized anomalies of 2-m temperature forecast of individual models. North American (NCEP) models are purple and Europe (ERA) models are green. Other models are black. ·····91
Figure 84. Same as Figure 83 but for East Asia. ·····92
Figure 85. Averaged pattern of 2-m temperature of MME forecast anomalies during real-time forecast (2013-2021). Anomalies are based the MME' s hindcast period. ·····93
Figure 86. An example of temperature forecast correction of East Asian spring season. ·····93
Figure 87. Probabilistic density distribution of anomalies from the observation (black) and one individual model (red). Same season and space as in Figure 86 but use 4 more spatial grids to East and North, totally use 5x5 grids. ·····94
Figure 88. Bias distribution for (left) hindcast period and (right) real-time forecast period. ·····95
Figure 89. Seasonal bias distribution for hindcast period. ·····96
Figure 90. Seasonal bias distribution for real-time forecast period. ·····96
Figure 91. Change individual model lead time information. ·····98

Figure 92. Changes in the storage structure of the FHEWS. ·····99
Figure 93. Comparison results of GFED3.1 and 4.1 (July, 1998). ·····100
Figure 94. Comparison of GFED3.1 and GFED4.1 and precipitation by region. ·····101
Figure 95. FHEWS Operational results (2022, April and May). ·····102
Figure 96. FHEWS Operational results (2022, June and July). ·····102
Figure 97. NASA MODIS C6 Burned Area provided homepage. ·····104
Figure 98. MODIS tiling scheme. ·····104
Figure 99. QA 8-bit quality assurance bit field. ·····106
Figure 100. MODIS C6 Burned Area data pre-processing results. ·····106
Figure 101. FHEWS and MODIS C6 results in 2019. ·····108
Figure 102. FHEWS and MODIS C6 results in 2020. ·····108
Figure 103. FHEWS and MODIS C6 results in 2021. ·····108
Figure 104. Regional definition results using seasonal prediction and aphrodite. ·····110
Figure 105. Results before and after bias correction in 3 regions in Malaysia. ·····111
Figure 106. Monthly carbon and precipitation information for malaysia. ·····112
Figure 107. FHEWS Malaysia pilot operation results (October, November 2021). ·····114
Figure 108. FHEWS Malaysia pilot operation results (October, November 2021). ·····115
Figure 109. Forecasting of precipitation in Malay Peninsula. ·····115
Figure 110. Forecasting of precipitation in Sabah. ·····116
Figure 111. Forecasting of precipitation in Sarawak. ·····116
Figure 112. Result of change of input data of FHEWS. ·····117
Figure 113. Production result management by year. ·····118
Figure 114. Process for East Asian customized probabilistic forecast system. ·····119
Figure 115. Structure of East Asian customized probabilistic forecast system (green). ·····120
Figure 116. Examples of East Asian customized probabilistic forecast contents. ·····122
Figure 117. Examples of East Asian customized probabilistic forecast web-page. ·····123
Figure 118. Relative Operating Characteristic (ROC) score aggregated over globe of probabilistic real-time forecast of 2m temperature for three terciles, i.e., a) the above normal, b) near normal and below normal for the period JFM2017-ASO2022. ROC score for PMME prediction is indicated by red line. The grey dots indicate the ROC score of the WMO LC-LRFMME individual GPCs and the blue dot indicates ECMWF. ·····128
Figure 119. Relative Operating Characteristic (ROC) score aggregated over globe of

probabilistic real-time forecast of precipitation for three terciles, i.e., a) the above normal, b) near normal and below normal for the period JFM2017-ASO2022. ROC score for PMME prediction is indicated by red line. The grey dots indicate the ROC score of the WMO LC-LRFMME individual GPCs and the blue dot indicates ECMWF. ·····129
Figure 120. ACC of (a) 2m temperatue and (b) precipitation of the retrospective (1981~2009) and real-time(2013~2021) forecasts for JJA and DJF. ·····132
Figure 121. Improvements of operational system at WMO LC-LRFMME in 2022. ·····133
Figure 122. Global average of temporal correlation coefficient of (a) 2m temperature and (b) precipitation between GPCs and CPS3 from GPC Tokyo and difference of TCC between CPS3 and CPS2. ·····134
Figure 123. Global ROC score of (a) 2m temperature and (b) precipitation of CPS2, CPS3, and MME. ·····134
Figure 124. NINO3.4 forecast from CPS2 and CPS3 for the periods of 1993-2009. ·····135
Figure 125. Difference of climatology for (a) 2m temperature and (b) precipitation in AMJ from GPC Seoul' s seasonal forecast. ·····137
Figure 126. (a) PDF distribution and (b) the difference of standard deviation of SST in AMJ from GPC Seoul' s seasonal forecast. ·····137
Figure 127. ACC aggregated over globe and spatial distribution of ACC of (a, c) 2m temperature and (b, d) precipitation for GPC Seoul' s seasonal forecast system in AMJ season for the periods 1993-2009. ·····138
Figure 128. Difference of climatology for (a) 2m temperature and (b) precipitation in NDJ season for GPC Moscow' s seasonal forecast system. ·····140
Figure 129. (a) PDF distribution and the difference of standard deviation of SST in NDJ season for GPC Moscow' s seasonal forecast system. ·····141
Figure 130. ACC aggregated over globe and spatial distribution of ACC of (a, c) 2m temperature and (b, d) precipitation for GPC Moscow' s new seasonal forecast system in NDJ season for the periods 1993-2009. (e) and (f) are the same except for GPC Moscow' s previous seasonal forecast system. ·····141
Figure 131. Examples of the use of seasonal climate information from WMOLC-LRFMME (I). ·····144
Figure 132. (a) Official photo from the ASEANCOF-19 and (b), (c), and (d) are examples of presentation that were delivered on ASEANCOF-19. ·····145
Figure 133. Examples of the use of seasonal climate information from WMOLC-LRFMME (II). ·····145

Figure 134. The number of monthly visitors of WMO LC-LRFMME website in 2022. ·····146
Figure 135. Samples of (a) Lambert Conformal projecion and (b) Stereographic projection. ·····148
Figure 136. Web design of map projection menu in WMOLC-LRF website. ·····148
Figure 137. Samples of individaul forecast time series by (a) NCL and (b) Python. ·····149
Figure 138. Web design of the definition of cliamte indices in WMOLC-LRF website. ·····150

1. 서론

APCC(APEC Climate Center)는 2005년 설립 이후 MME를 활용한 장기 계절예측기술 개발 및 개선에 많은 노력을 기울여왔으며 그 결과 세계 유수 현업기관 및 연구기관의 다양한 전지구모델을 활용한 기후예측시스템을 구축하여 매월 홈페이지를 통해 기후감시 정보와 장기 계절 예측(3/6개월) 및 검증정보를 제공하고 있다(Min et al. 2014; Min et al. 2017).

효율적 현업운영을 위해 과거 3차년도(2018~2020)에 걸쳐 설립 초기에 개발된 자동예측시스템(AFS, Automated Forecast System) 개선이 이루어졌으며, 2019년 새로운 서버 도입 및 개선된 AFS의 운영으로 현업 효율성이 증가되고(운영시간 49% 감축) 이로써 예측정보 제공시기를 앞당길 수 있었다(25일->20일). 그리고 2021년에는 고해상도 MME(Multi-Model Ensemble) 계절예측시스템을 구축하고 2022년부터 현업화를 추진하여 MME 예측정보의 활용성 및 경쟁력 강화에 노력하고 있다.

2022년에는 크게 다음의 4가지 주제로 분류하여 1) APCC 기후예측시스템의 운영 및 예측정보 제공, 2) APCC 기후예측시스템 개선, 3) 개별예측모델 및 MME 온도의 계절예측경향 및 특성분석, 4) 기후분야 국제협력 및 정책지원에 대한 과제를 수행하였다.

그 중의 기후예측시스템 개선에서는 동아시아 지역 확률계절예측시스템 현업화, APCC ENSO 경보시스템 개선, BSISO(Boreal Summer Intra-Seasonal Oscillation) 계절내예측시스템 개선, APCC 자체예측모델(SCoPS) 운영체계 개선, 고해상도 MME 계절예측시스템 현업화, MME 예측정보 조기제공, 동남아시아 산불예측시스템 개선 과제가 수행되었다.

또한 개별예측모델 및 MME 온도의 계절예측경향 및 특성분석 과제에서는 개별모델과 MME 온도의 계절예측경향 및 특성을 hindcast 기간, 실시간 예측기간으로 나누어 지역별, 계절별로 살펴보았다. 또한 개별모델의 특성 및 다중모델앙상블 기법에 따른 특성의 차이를 비교하였으며 이러한 연구 결과를 토대로 기온 예측 보정을 위한 두 가지 방법을 소개하였다. 하나는 모델의 기온 예측 선형 추세를 반영한 보정방법, 다른 하나는 기온 분포 개별모델의 온도 예측경향이 다중모델앙상블기법을 통해 계절예측에 어떤 영향을 끼치는 지 특성을 파악하여 향후 온도 예측성을 향상시킬 수 있는 보정 방법을 적용할 계획이다.

APCC는 2011년부터 MME 전문 기술력을 바탕으로 기상청과 함께 WMO 장기예보 선도센터를 운영하여 WMO 회원국의 요구에 부합하는 고품질 기후예측 서비스를 제공하고 있으며, 기후예측 분야 국제 협력에서 국제적 위상 확보와 협업체계 구축을 위해 WMO S2S ICO 운영함과 동시에 IPCC, 지역기후포럼 등의 국제회의에 참석하여 기후분야 전문가 그룹과 지속적으로 소통하고 있다.

본 보고서에서는 현재까지 운영 중에 있는 현업에 대해 간략히 기술하고 개선 및 연구, 국제협력 및 정책지원 과제를 중심으로 3절에서 가. MME 계절예측시스템 운영 및 개선, 나. BSISO 계절내 예측시스템 운영 및 예측정보 제공, 다. APCC 자체예측모델(SCoPS) 운영 및 예측정보 제공, 라. 예측정보 활용성 증대를 위한 시스템 확장, 마. 개별예측모델 및 MME 온도의 계절예측 경향 및 특성분석, 바. 산불예측시스템 운영 및 지역확장, 사. 동아시아 지역 확률계절예측시스템 현업화, 아. 기후분야 국제협력 및 정책지원 순으로 기술하였다.

2. 방법 및 자료

본 연구에서 사용된 운영 방식과 자료 관점에서 보면 APCC 기후예측시스템 운영 및 개선과 WMO 장기예보 운영 및 개선의 두 가지로 크게 나눌 수 있다. 사용된 방법 및 자료는 3장 결과의 세부과제에서 각 과제에 대해 다시 기술하고 있다. 여기에서는 두 가지 현업 운영에 대해 기술한다.

APCC 기후예측시스템 운영은 MME 계절예측시스템, 동아시아 지역 확률계절예측시스템, 자체모델(SCoPS) 계절예측시스템, BSISO 계절내예측시스템, 동남아시아 산불예측시스템 등이 포함된다. Figue 1과 같이 MME 계절예측시스템은 매월 15일에 생산된 예측정보와 함께 기후전망을 배포하고 있고 동아시아 지역 확률계절예측시스템에서도 매월 15일에 예측정보가 제공된다. 또한 SCoPS 계절예측시스템은 매월 예측자료를 생산하여 MME에 참여모델로 사용되고 BSISO 계절내예측시스템은 5~10월 기간 동안 매일 정보 제공, 산불예측시스템은 4~7월 매월 정보가 제공된다.

WMO 장기예보 선도센터는 각 GPC에서 생산하는 장기예보 자료를 수집하고, MME 기법을 개발하여 서비스하고, 각 GPC의 예측자료와 MME 예측자료를 일관된 형태로 제공하는 ‘one-stop shop’ 이 되는 것을 궁극적인 목표로 하여 운영되고 있다(Graham et al., 2011). 매달 ‘one-stop shop’ 으로서의 WMO 장기예보 선도센터 역할을 수행하기 위해 각 GPC들로부터 기후예측자료를 수집하고 MME 예측자료를 생산하여 WMO 선도센터의 회원국에 홈페이지를 통해 디지털 자료와 그림 형식으로 제공하고 있다. 또한 WMO 장기예보 선도센터에서 생산된 계절예측 정보는 WMO의 공식 계절예측정보로 실시간으로 WMO 누리집과 기상청 누리집을 통해 사용자에게 제공되고 있다. WMO 장기예보 선도센터에서 한달 동안 주기적으로 수행되는 계절예측자료 수집에서부터 최종 계절예측정보를 회원국에게 제공하는 일련은 과정은 Figure 2와 같다.

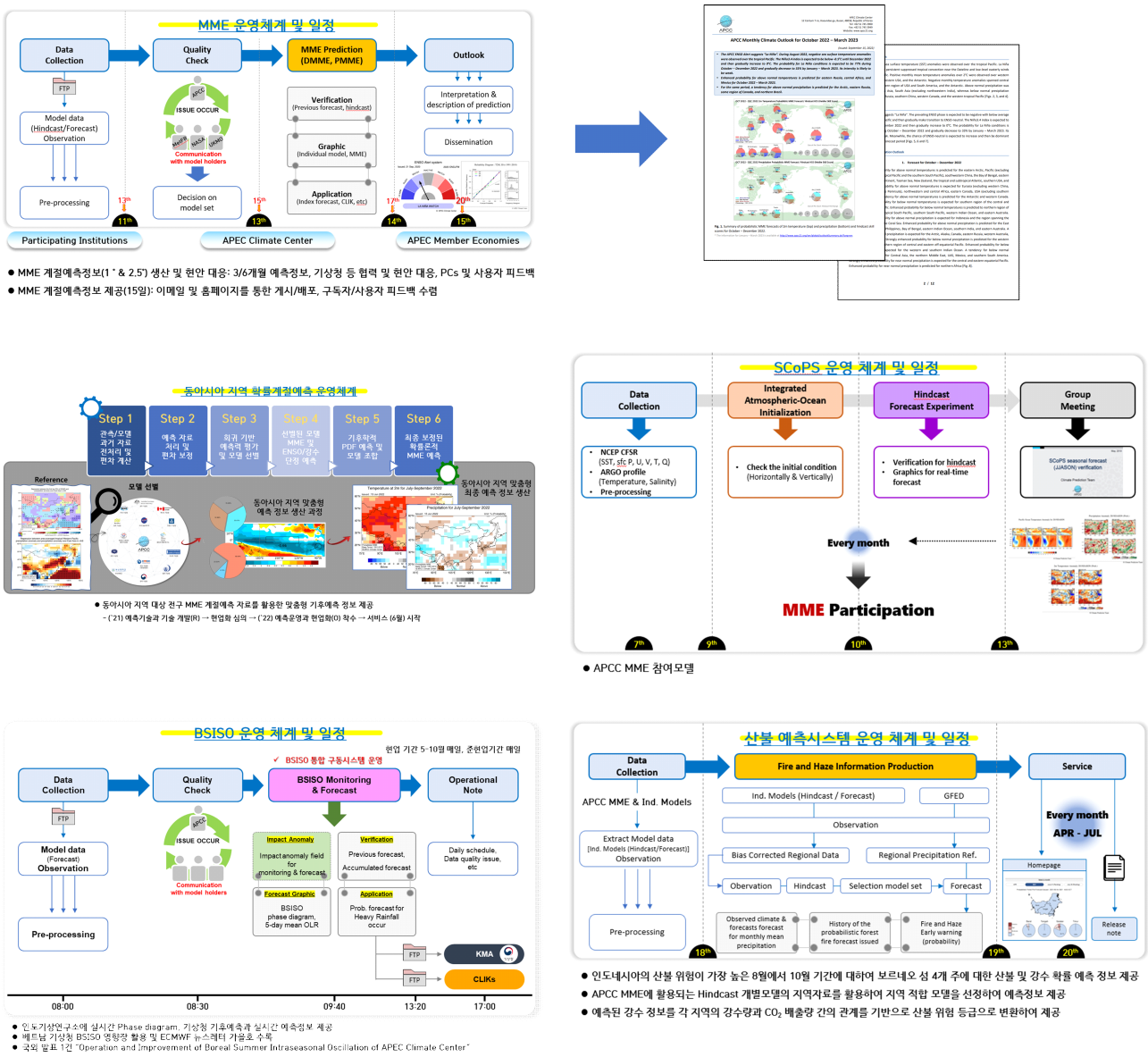


Figure 1. Operation procedures of APCC climate forecast systems.

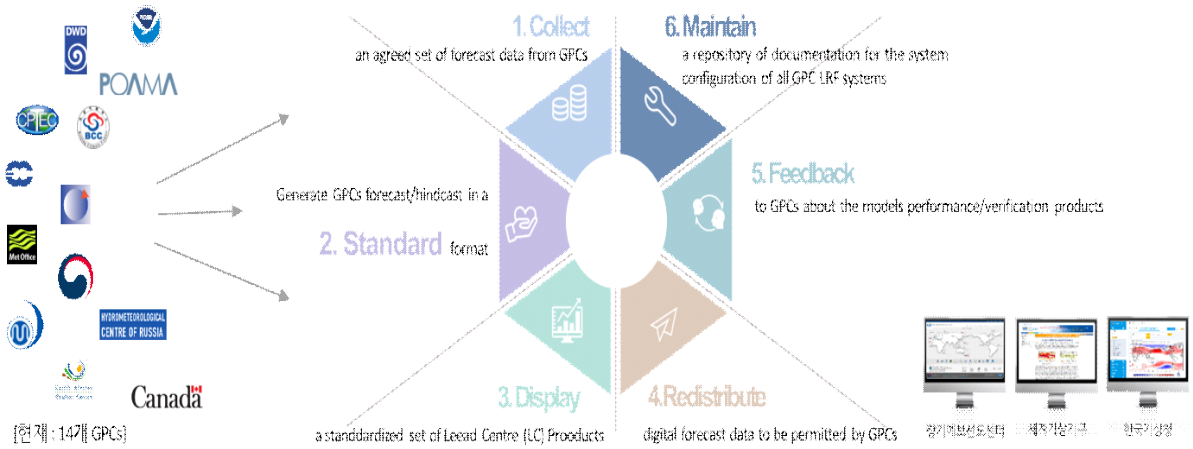


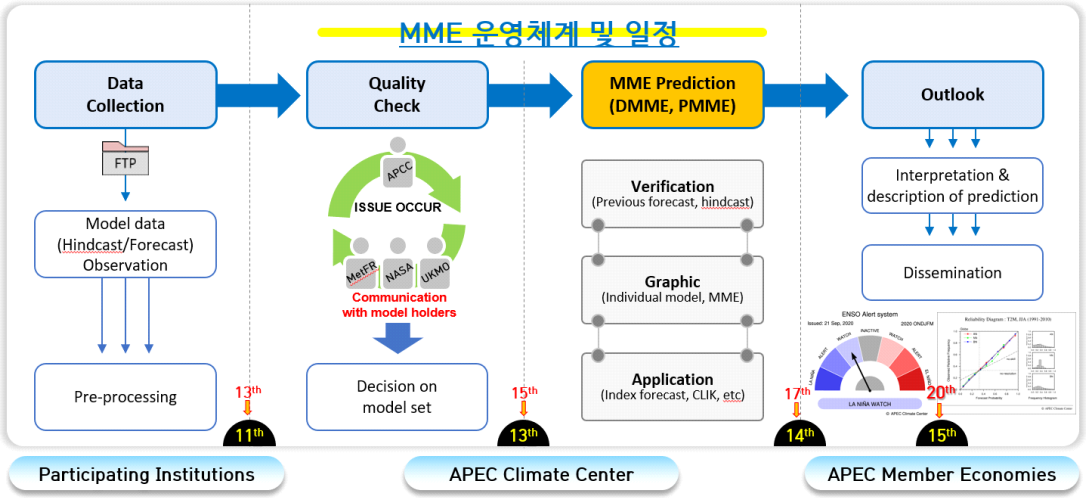
Figure 2. Forecast procedures at WMO LC-LRFMME.

3. 결과

가. MME 계절예측시스템 운영 및 개선

(1) MME 계절예측시스템 운영 체계 및 현황

Figure 3과 같이 매월 초부터 중순까지 계절예측 개별 모델 자료 수집 및 전처리, MME 계절예측 및 검증 시스템 운영, 기후전망 배포, 기후 감시 시스템 운영이 유기적으로 이루어지고 있다.



● MME 계절예측정보(1 ° & 2.5°) 생산 및 현안 대응: 3/6개월 예측정보, 기상청 등 협력 및 현안 대응, PCs 및 사용자 피드백
● MME 계절예측정보 제공(15일): 이메일 및 홈페이지를 통한 게시/배포, 구독자/사용자 피드백 수렴

Figure 3. Flowchart of APCC MME forecast system.

(가) 계절예측 모델 자료 수집 및 전처리

APCC는 11개국(한국, 일본, 호주, 중국, 대만, 영국, 미국, 캐나다, 이탈리아, 러시아, 프랑스) 15개 기관의 협조를 통해 매월 15종의 모델 예측 자료를 수집하고 있다(Table 1). 수집 방식은 참여 기관에서 직접 APCC로 전송하는 방식과 참여 기관에서 관리하는 데이터 서버에서 접근하여 내려받는 방식으로 나뉘며, 각각 모델별로 자료 수집 체계를 구축하여 운영하고 있다. 각 기관(모델)별 자료 제공/수집 시기는 Figure 4와 같다.

Table 1. List of participating models in APCC MME.

기관(국가)	모델명	모델해상도	앙상블 개수 (F/H)	Hindcast 기간
APCC (한국)	SCoPS	T159L31	10/10	1982-2013
BCC (중국)	CSM1.1m	T106L26	24/24	1991-2015
BOM (호주)	ACCESS-S2	N216L85	11/27	1981-2018
CMCC (이탈리아)	SPS3.5	0.5x0.5, L46	50/40	1993-2016
CWB (대만)	TCWB1Tv1.1	T119L40	30/30	1982-2019
ECCC (캐나다)	CanSIPSv2	T63L35	20/20	1980-2020
HMC (러시아)	SL-AV	0.72lat*0.9lon, L96	41/11	1991-2015
JMA (일본)	JMA/MRI-CPS3	T319L100	50/10	1991-2020
KMA (한국)	GloSea6GC3.2	N216L85	84/28	1993-2016
MetFR (프랑스)	Sys 8	T359L127	51/25	1993-2016
NASA (미국)	GEOS-S2S-2.1	0.5x0.5, L72	10/4	1981-2016
NCEP (미국)	CFSv2	T126L64	20/20	1982-2010
PNU (한국)	CGCM v2.0	T42L18	35/35	1980-2021
UKMO (영국)	GloSea6	N216L85	42/28	1993-2016
MGO (러시아)	MGOAM-2	T42L14	10/6	1979-2004

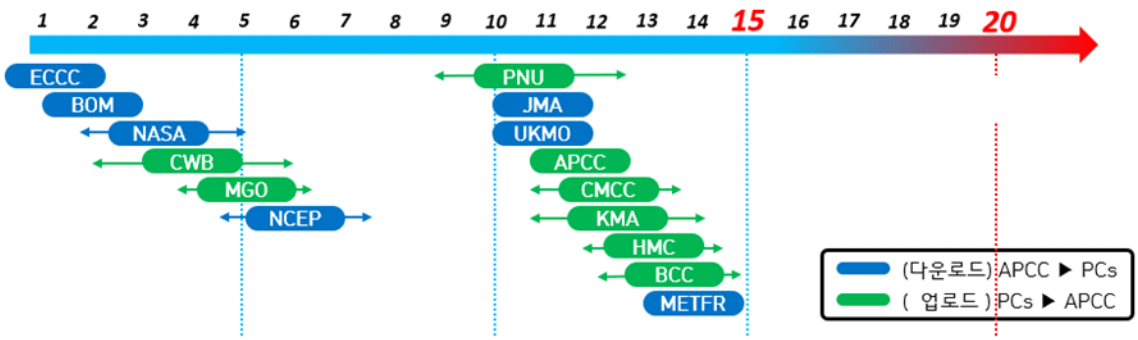


Figure 4. Schedule of prediction data collection by participating model in APCC MME.

수집된 예측 자료는 계절예측시스템의 전처리 시스템을 통해 일정한 형식의 표준화된 자료로 가공 처리한다. 표준화된 예측 자료는 APCC 자료제공 서비스를 통해 제공되며, APCC MME

에 참여하여 다양한 예측 정보를 생산하는데 활용된다.

(나) MME 계절예측 기법 및 운영

전처리 시스템을 통해 표준화된 15종의 참여모델 예측자료를 활용하여 다중모델앙상블(Multi-Model Ensemble, MME) 기법을 적용한 예측정보를 생산한다. 여기서 사용되는 MME 기법은 결정론적(deterministic) 예측과 확률론적(probabilistic) 예측 기법으로써 Table 2와 같다.

Table 2. Methods of APCC MME.

기법		설명
Deterministic	SCM	Simple average of individual model forecasts with equal weighting
Probabilistic	GAUS	Non-calibrated probabilistic MME with model weights being inversely proportional to the random error in the forecast probability (Min et al. 2009)

AFS의 MME 예측시스템을 통해 두 가지 기법을 적용한 3개월 및 6개월 예측정보를 산출하고, 이를 활용하여 매월 1만여 장의 다양한 예측정보를 생산 및 제공하고 있다. 2022년 12월 기준으로 매월 15일, 총 12회의 예측정보를 제공하였으며, 해당 예측정보 제공 이력에 대해 별도의 현업일지를 작성하여 관리하고 있다.

(다) 전지구・동아시아・태평양도서국 기후전망 게시・배포

MME 계절예측 및 검증 정보 생산이 완료되면 매월 15일경 홈페이지 및 이메일을 통해 예측정보를 게시・배포한다. 9개 지역에 대해 다양한 변수의 월별 및 계절별 예측정보를 그래픽으로 제공하고 있으며 지역별로 요약된 예측 정보, 예측 및 검증 정보를 한눈에 볼 수 있는 형식의 지도 등도 홈페이지에서 제공하고 있다. 기후 감시, ENSO 예측, 기온 및 강수 예측, 검증 정보와 관련 설명을 포함한 기후전망문 또한 이메일을 통해 배포하고 있다(Figure 5). 2022년 11월 말 기준 전지구 기후전망은 1천여 명의 구독자가, 태평양도서국은 100여 명의 구독자가 구독 중이다.

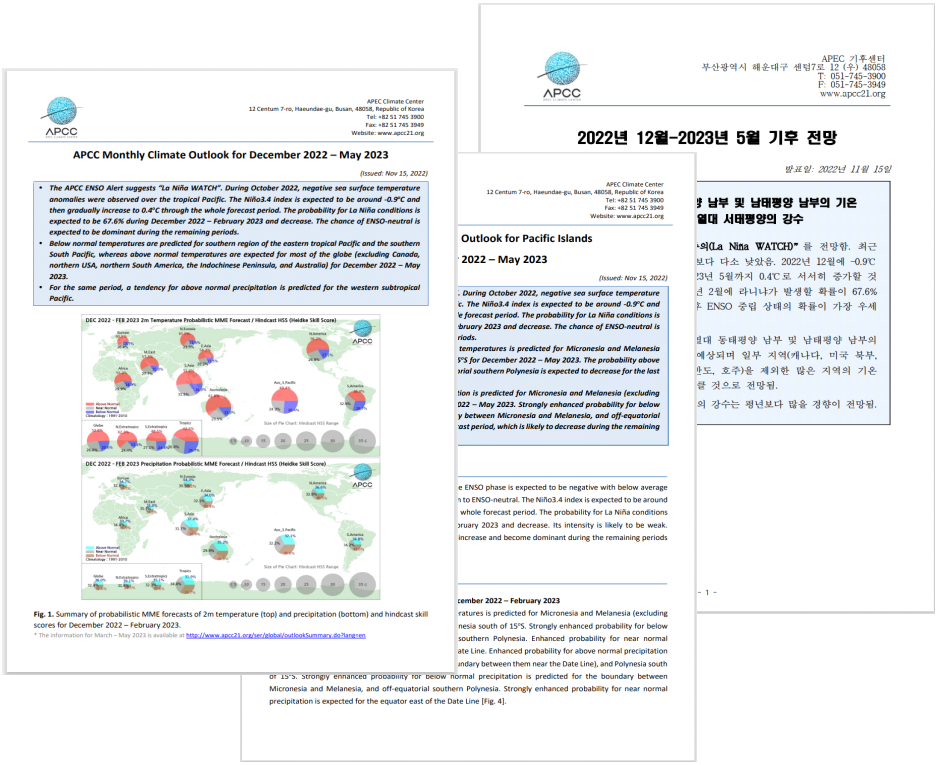


Figure 5. APCC Climate Outlooks for the Globe and the Pacific Islands Countries.

특히 ENSO 예측 정보는 APCC 홈페이지 제공에 그치지 않고 기상청 기후정보포털에 월 2회 제공함으로써 사용자의 활용성을 도모하고 있으며 Pacific Meteorological Desk & Partnership 홈페이지에서 다른 기관들과 함께 ENSO Tracker 정보에도 기여하고 있다.

(라) 기후 감시 시스템 운영

주별・월별・계절별 기후 감시 정보, 기후 지수, 가뭄 지수 정보를 홈페이지를 통해 제공하고 있다. 주별・월별・계절별 기후 감시 정보는 2m 기온, 상향장파복사, 강수량, 해수면 온도, 10m 바람, 500hPa 지위고도에 대해 NCEP 재분석 자료, NOAA 상향장파복사 자료, CPC 강수량 자료, OISST[1] 자료를 사용하고 있다. 기후 지수는 해양・대기・몬순에 대해 제공하고 있으며 Niño3.4 등 태평양 해수면 온도 관련 지수 뿐만 아니라 TNA, TSA, DMI 등 대서양 및 인도양 해수면 온도 관련 지수도 감시하고 있다. 전지구 가뭄 지수 현황은 지난 1, 3, 6, 12개월 기간에 대한 표준강수지수(SPI, Standardized Precipitation Index)에 기반하여 제공하고 있다.

(마) 기후예측정보 활용 실적 관리

2020년부터 APCC의 기후 정보 활용도를 관리하기 위하여 관련 연구, 논문, 기사, 뉴스 등을 조사 및 수집하고 있다. 2022년 11월 기준 APCC의 기후 정보를 활용한 논문은 올해 Weather and Forecasting에서 1건이 출판되었으며 국내 기사는 4건, 국외 기사는 7건이 쓰였다. 이뿐만 아니라 지역기후포럼(Regional Climate Outlook Forum, RCOF) 등에서도 APCC의 예측 정보가 직접적으로 사용되고 있다.

1) Optimal Interpolation Sea Surface Temperature

(2) MME 참여 모델 개선

2022년에는 HMC, JMA, KMA 총 3개의 모델이 개선되었으며 HMC SL-AV-072L96는 11월에, JMA MRI-CPS3과 KMA GloSea6GC3.2는 4월에 현업 적용되었다(Table 3). ECCC CanSIPSv2.1은 2021년 하반기에 도입되어 2022년 1월-6월 예측(2021년 12월 발표)부터 적용되었다. CWB는 6월부터 새로운 머신에서 생산된 TCWB1Tv1.1의 예측자료를 APCC에 제공하고 있다.

Table 3. List of APCC MME participating models: ECCC, HMC, JMA, and KMA.

Organization	ECCC		HMC	
System name	CanSIPSv2	CanSIPSv2.1	SL-AV	SL-AV-072L96
Spatial resolution	- T63L35 (1hPa) - ~1.4x1.4 deg(L79)(0.075hPa)	- T63L35 (1hPa) - ~1x1 deg(L85)(0.1hPa)	1.125lat *1.40625lon L28 (10mb)	0.72lat*0.9lon L9.6 (0.04mb)
Ensemble size (F/H)	20/20	20/20	20/10	41/11
Lead time	12 months	12 months	3 months	3 months
Hindcast period	1981-2010	1991-2020	1990-2015	1991-2015
Atmospheric model	- CanAM4 - GEM 4.8-LTS13	- CanAM4 - GEM 501	-	-
Ocean model	- CanOM4 - NEMO 3.6	- CanOM4 - NEMO 3.6	-	-
Land surface model	- CLASS 2.7 - ISBA	- CLASS 2.7 - ISBA	-	-
Sea-Ice model	- Cavitating fluid approach - CICE 4	- Cavitating fluid approach - CICE4	-	-
Atmospheric initial conditions	- Nudging to CMC GDPS analysis - CMC GEPS from EnKF	- Nudging to CMC GDPS analysis - CMC GEPS from EnKF	NCEP Reanalysis 2	Operational HMCR 3D-Var Analysis
Ocean initial conditions	- CMC GIOPS analysis - CMC GIOPS analysis	- CMC GIOPS analysis - CMC GIOPS analysis	reynolds-Smith OI	-

Land surface initial conditions	- Response of land variables to atmospheric nudged runs - SPS forced by CMC analysis	- Response of land variables to atmospheric nudged runs - SPS forced by CMC analysis	HMC data spec.proc.atm.for c	OI for T2m, RH2m, skin temperature
SST boundary conditions	-	-	Persistent anomaly	Persistent SST anomaly
Sea-Ice initial conditions	- CMC GIOPS analysis, SMv3 statistical model thickness for NH thickness - CMC GIOPS analysis	- CMC GIOPS analysis, SMv3 statistical model thickness for NH thickness - CMC GIOPS analysis	Reynolds-Smith OI with local adjustment	Persistent SST anomaly
Organization	JMA		KMA	
System name	MRI-CPS2	MRI-CPS3	GloSea5GC2	GloSea6GC3.2
Spatial resolution	TL159L60 (0.1hPa)	TL319L100 (0.01hPa)	N216L85	N216L85
Ensemble size (F/H)	52/10	50/10	42/12	84/28
Lead time	5 months	6 months	6 months	6 months
Hindcast period	1979-2014	1991-2020	1991-2010	1993-2016
Atmospheric model	JMA-GSM	JMA-GSM	UM 8.6	UM 11.5
Ocean model	MRI.COMv3	MRI.COMv4.6	NEMO 3.4	NEMO 3.6
Land surface model	JMA SiB	JMA SiB	JULES 8.6	JULES 5.6
Sea-Ice model	Interactive sea ice model	Interactive sea ice model	CICE 4.1	CICE 5.1.2
Atmospheric initial conditions	JRA-55	JMA Global Analysis	KMA WNP	KMA NWP
Ocean initial conditions	MOVE/MRI.COM-G2	MOVE/MRI.COM-G3	UKMO NEMOVAR	KMA GODAPS2
Land surface initial conditions	JRA-55 land analysis	Offline model runs (forced by JRM-3Q and JMA Global Analysis)	KMA NWP	KMA-NWP

SST boundary conditions	Persistent anomaly	Persistent SST anomaly	-	-
Sea-Ice initial conditions	Reynolds-Smith OI with local adjustment	Persistent SST anomaly	MOVE/MRI.COM-G2	MOVE/MRI.COM-G3

(가) CWB TCWB1Tv1.1

TCWB1Tv1.1 모델은 2022년 5월, CWB에서 운영하는 HPC가 개선됨에 따라 개선된 HPC 환경으로 예측 자료를 재생산하여 제공하였으며, 기존 예측 자료와의 차이를 비교한 결과, 다소 큰 차이가 있음을 확인하였다 (Figure 6).

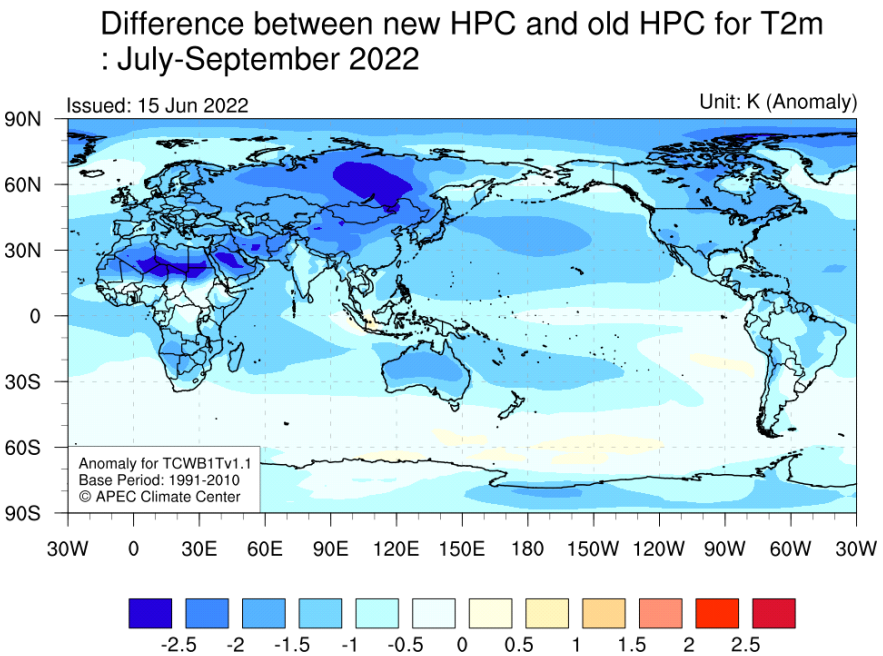


Figure 6. Difference between before CWB HPC (FX100) and after CWB HPC (FX1000).

이러한 차이에도 CWB는 모델명 및 버전을 분리하지 않고, 기존과 동일하게 제공한다는 방침에 따라 APCC 계절예측정보 사용자에 별도의 안내를 통해 혼돈을 방지하고자 하였다.

(나) ECCC CanSIPSv2.1

CanSIPSv2.1 모델은 MSC(RPN/CMC)의 GEM5-NEMO 모델과 CCCma의 CanCM4i 모델을 아우르는 모델이므로 캐나다 기상청 명칭은 MSC와 CCCma의 상위 기관의 이름인 ECCC를 사용하기로 하였다(Figure 7).

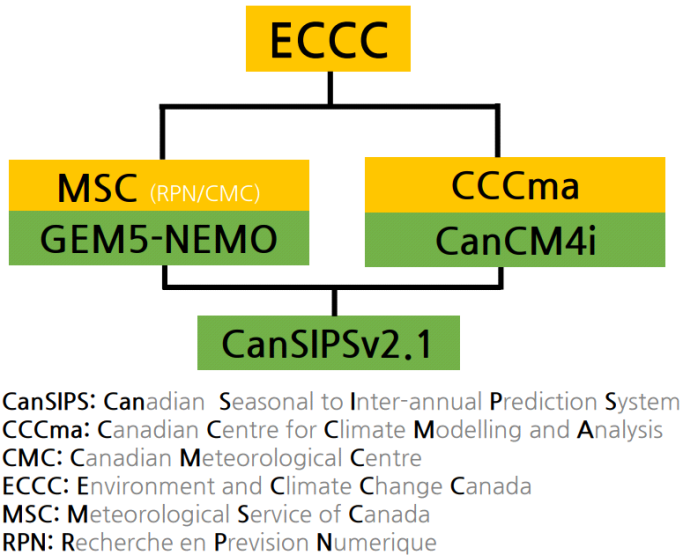


Figure 7. Structure of Environment and Climate Change Canada.

① 이전 버전과의 예측력 비교

ACC[2]의 경우 지역 및 계절별로 예측력 증감이 골고루 나타난다(Figure 8). 특히 2m 기온의 예측력 향상은 과반의 계절과 지역에서 나타난다. 해수면 온도를 제외한 나머지 변수의 예측력은 전지구에서 대부분의 계절에서 상승하였다. 해양 면적이 넓은 남반구와 열대 지역의 해면기압, 해수면 온도, 2m 기온, 850hPa 기온, 500hPa 지위고도의 예측력 상승이 두드러진다. ROC[3] score의 경우 해수면 온도 및 해면기압을 제외하고 CanSIPSv2.1의 카테고리별 예측력 향상이 모든 변수에서 나타난다(Figure 9). 또한 1개월부터 11개월 선행시간 모두에서 CanSIPSv2.1의 Niño3.4에 대한 예측력이 더 좋으며 특히 Niño3.4의 예측력이 떨어지는 북반구 여름철에서의 향상은 선행시간이 길어지면서 더 두드러진다(Figure 10).

2) Anomaly Correlation Coefficient
3) Relative Operating Characteristics

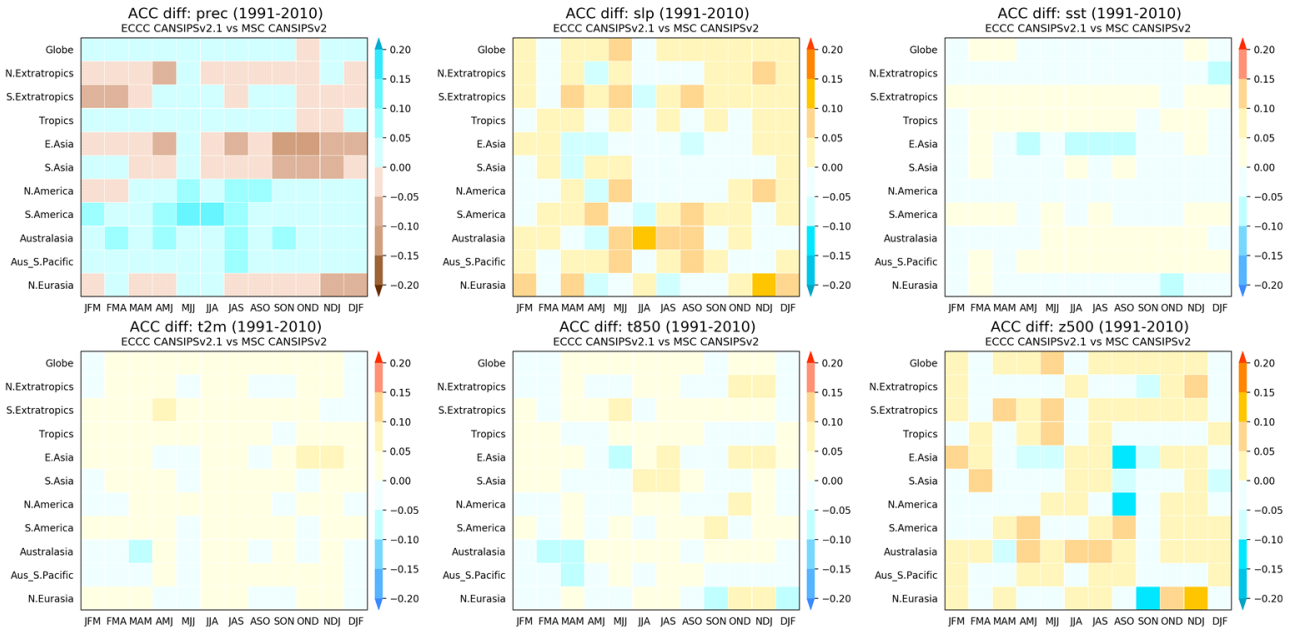


Figure 8. Difference between ACC of CanSIPSv2.1 and CanSIPSv2. Positive values indicate that the skill of CanSIPSv2.1 is better than that of CanSIPSv2.

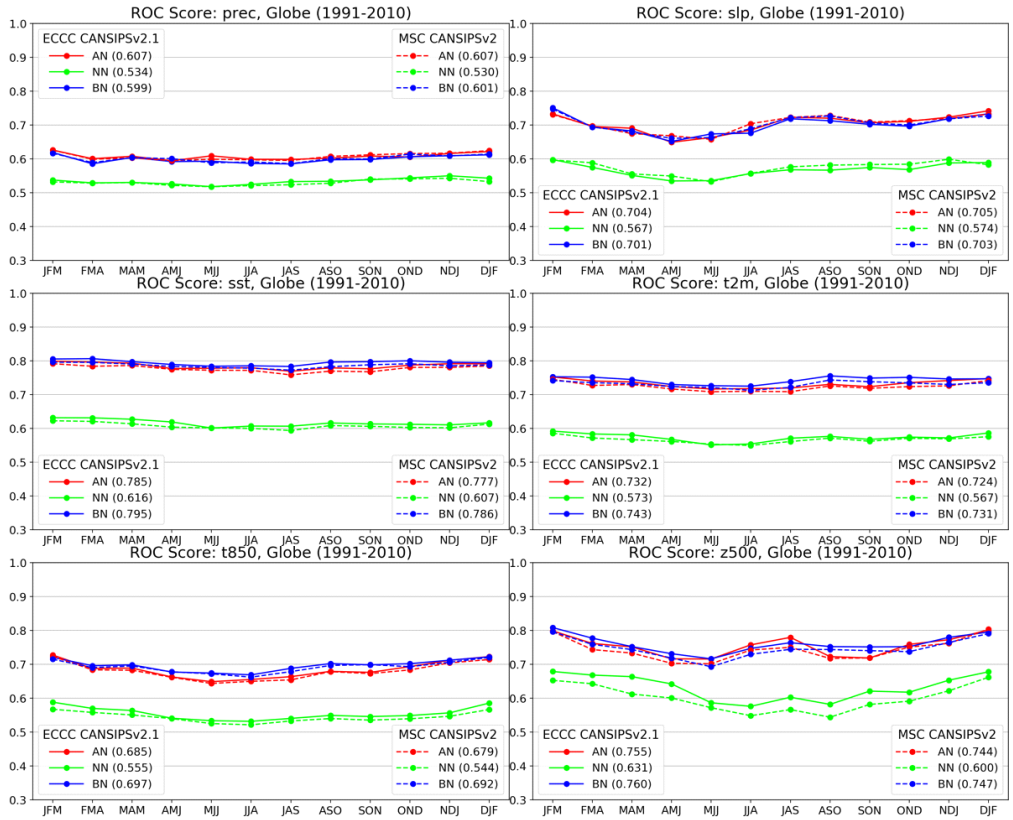


Figure 9. ROC score of CanSIPSv2.1 (solid line) and CanSIPSv2 (dashesd line).

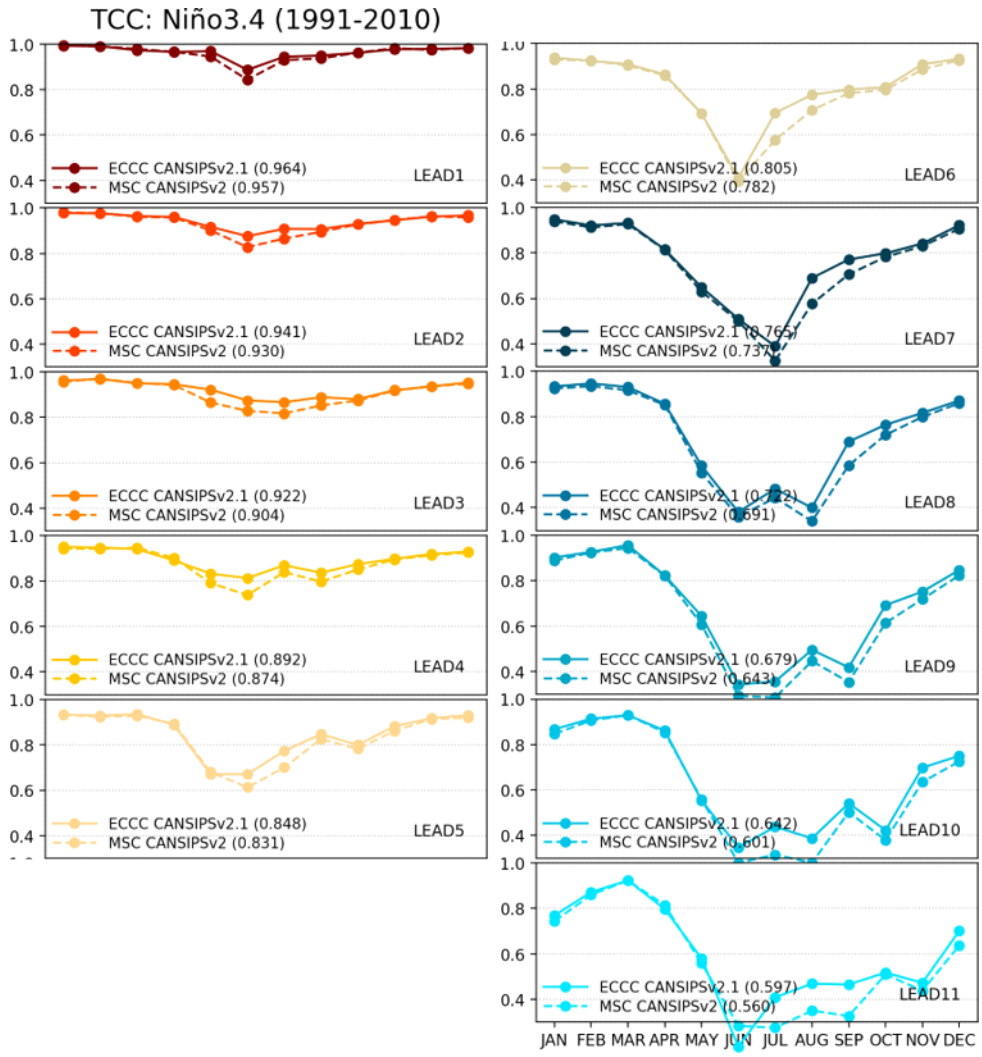


Figure 10. Niño3.4 forecast skill of CanSIPSv2.1 and CanSIPSv2.

② 기존 모델과의 예측력 비교

CanSIPSv2.1의 전지구 기온에 대한 예측력은 MME에 참여하는 14개 모델 중 상위권에 위치하며 전지구 강수에 대한 예측력 또한 타 모델과 비교하여 상위권이다(Figure 11).

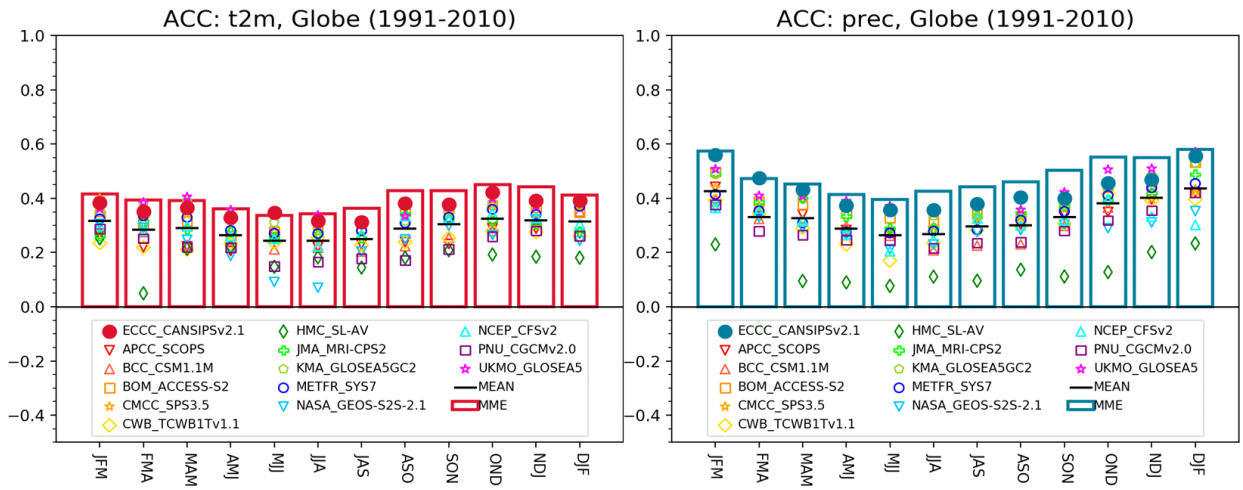


Figure 11. ACC of individual models (symbols), mean ACC of them (black solid line), and ACC of MME (bar) of global temperature (left) and precipitation (right).

③ MME 예측력의 변화

지역 및 계절별로 예측력 증감이 골고루 나타나며 2m 기온의 예측력 향상은 과반의 계절과 지역에서 나타난다(Figure 12). ROC score 또한 CanSIPSv2와 v2.1의 비교에서와 마찬가지로 해수면 온도 및 해면기압을 제외하고 CanSIPSv2.1을 포함한 MME의 예측력 향상이 모든 변수・계절・카테고리에서 나타난다(Figure 13).

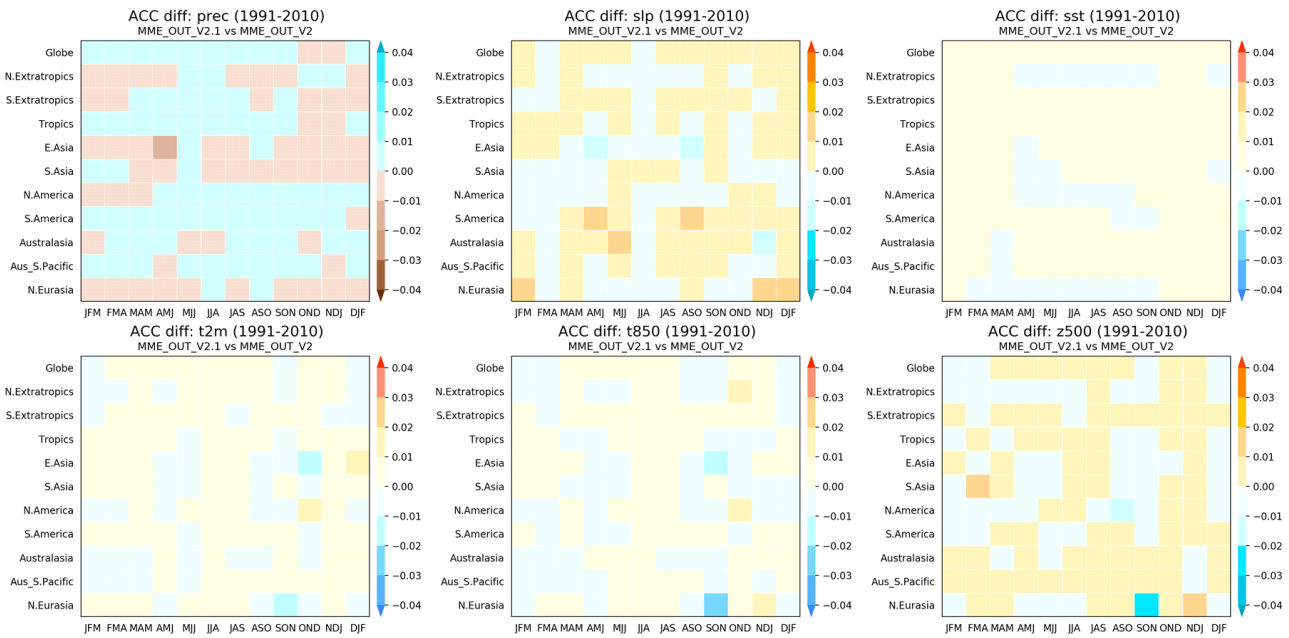


Figure 12. Difference between ACC of MME including CanSIPSv2.1 and CanSIPSv2. Positive values indicate that the skill of MME including CanSIPSv2.1 is better than that of CanSIPSv2.

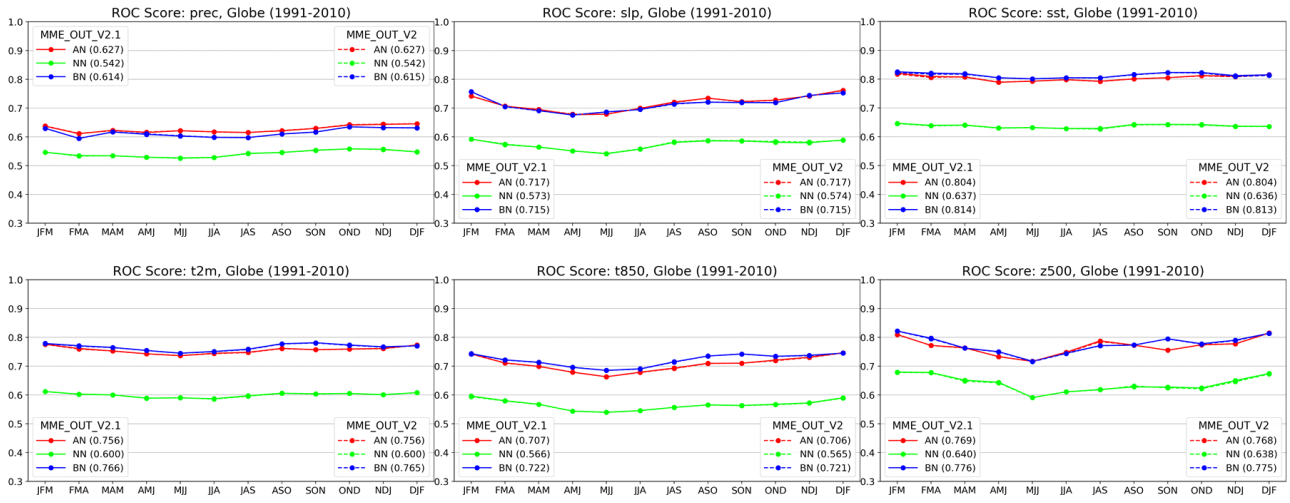


Figure 13. ROC score of MME including CanSIPSv2.1 (solid line) and MME including CanSIPSv2 (dashesd line).

(다) HMC SL-AV

HMC의 SL-AV 모델은 수평/수직 해상도의 개선, 앙상블 멤버 확대, 초기/경계 조건, hindcast 기간 등이 변경되었으며, HMC 모델 변경 전/후의 예측력을 평가하기 위해 가용가능한 NDJ 계절의 hindcast에 대해서 예측력 변화를 분석하였다(Figure 14).

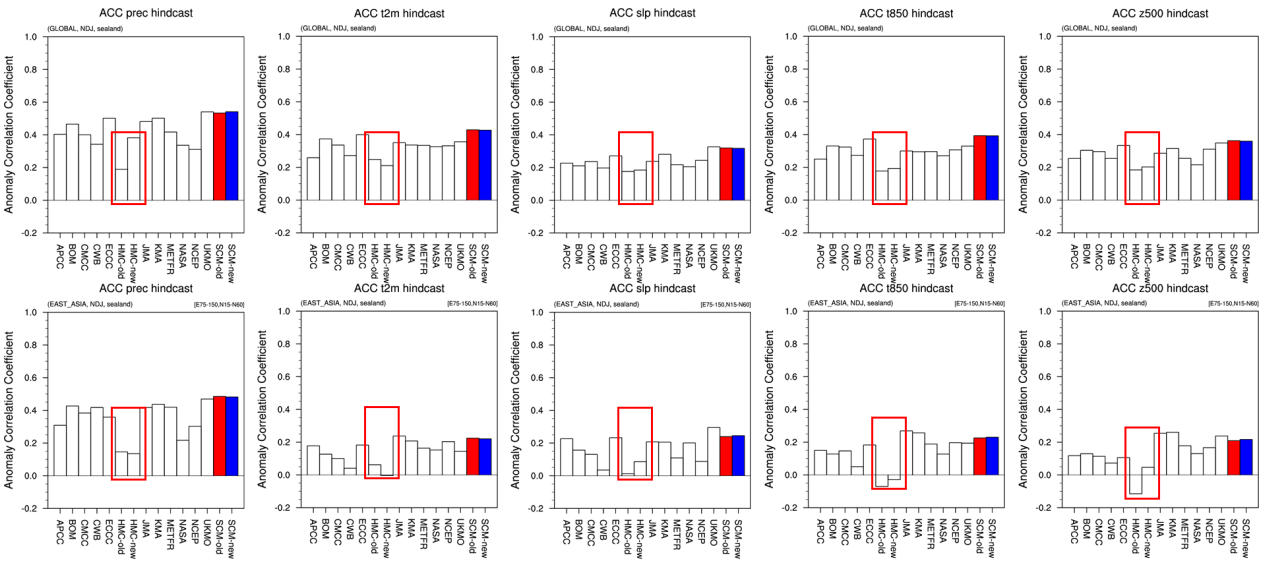


Figure 14. Comparison of ACC before (HMC-old/SCM-old) and after (HMC-new/SCM-new) HMC's model and MME.

그 결과, 기온을 제외한 대체로 모든 변수에서 예측력의 향상이 나타나며, 특히 전 지구 강수의 예측력이 두드러지게 향상됨을 알 수 있다. 이는 타 모델 대비 비교적 낮은 예측력을 보였던 HMC의 SL-AC는 타 모델 평균 예측 수준까지 도달하였다. 향후 12개월 전 계절에 대한 예측 자료의 수집이 완료되면 전 계절에 대한 예측력을 다시 평가할 예정이다.

(라) JMA MRI-CP3

① 초기 자료 입력 시기에 따른 예측력 비교

㉮ 실시간 예측(forecast) 자료 선정

MRI-CPS3의 forecast 자료는 매일 생산되는데 APCC의 MME 예보 일정을 고려하되 충분한 앙상블 멤버 확보를 위해 매월 1일에서 10일에 생산된, 총 10일 치의 자료를 사용하여 총 50개(10일*5개/1일)의 앙상블을 취하도록 하였다.

㉯ 과거 예측(hindcast) 자료 선정 및 선정 방식에 따른 예측력 비교

MRI-CPS3의 hindcast 자료는 1990년 12월 12일~2020년 12월 27일까지 15일 간격으로 존재하며 이 중 사용자가 원하는 일자를 선택해야 한다. 기존 MRI-CPS2에서는 예측 타겟의 첫 월 보다 두 달 전에 생산된 자료 두 개를 선택하여 hindcast 자료 세트를 구성하였다. 하지만 ㉮의 설명과 같이 forecast의 경우 예측 타겟의 첫 월 보다 한 달 전에 생산된 자료를 선택하여 자료 세트를 구성하기로 했으므로 이에 대응하여 hindcast 자료 세트 구성 시 적절한 일자를 선정하는 전략이 필요하며 이를 위한 비교 실험을 설계하였다(Figure 15).

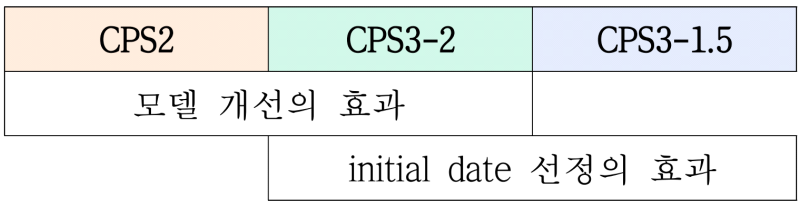


Figure 15. Experiment design for comparing effects of model's improvement and effects of selection of model's data.

CPS2는 기존 모델(CPS2)을 처리한 방식으로서 예측 타겟의 첫 월 보다 두 달 전의 일자에 생산된 두 개의 자료를 선택하여 모델 자료를 처리하는 방식이다(Figure 16). CPS3-2는 CPS3을 처리할 때 CPS2에서 사용했던 방식을 그대로 사용한 것이다. CPS3-1.5는 CPS3을 처리할 때 예측 타겟의 첫 월 보다 한 달 및 두 달 전의 일자에 생산된 두 개의 자료를 선택하는 방식이다(Figure 17). 예를 들어 ASO(8-10월) 계절을 예측하기 위해 기존에는 6월 15일 및 30일에 생산된 예측 자료를 사용했다면(CPS2, CPS3-2), CPS3-1.5는 예측 타겟과 조금 더 가까운 날짜에 생산된, 즉 6월 30일과 7월 15일에 생산된 예측 자료를 사용하는 방식이다(부록 A).

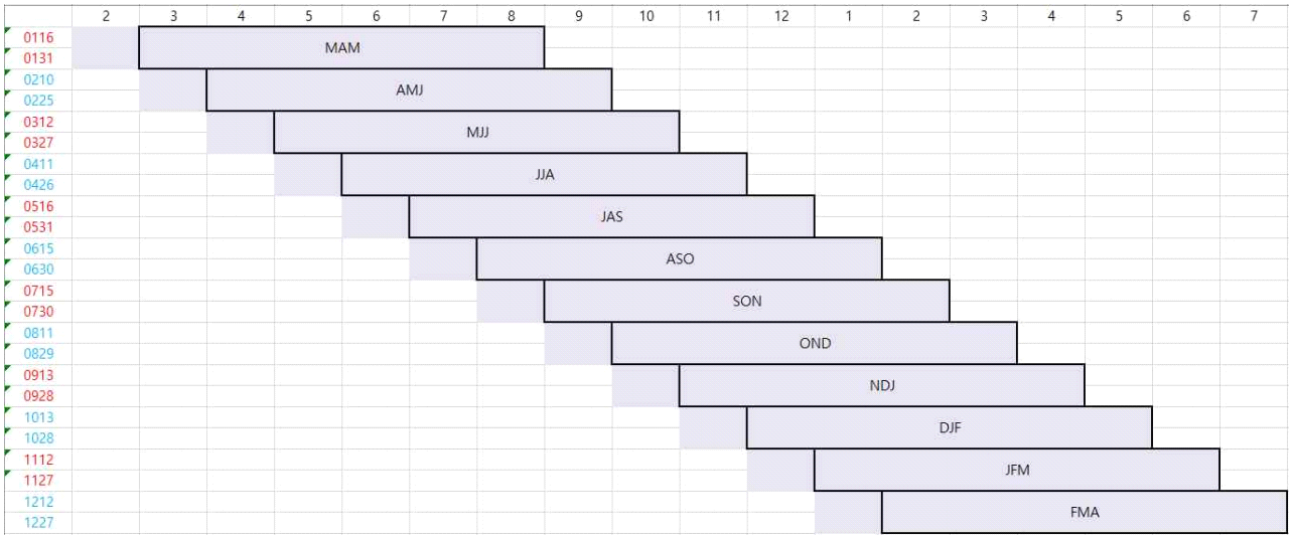


Figure 16. Old method: Selection of two dates created two months prior to the first target month.

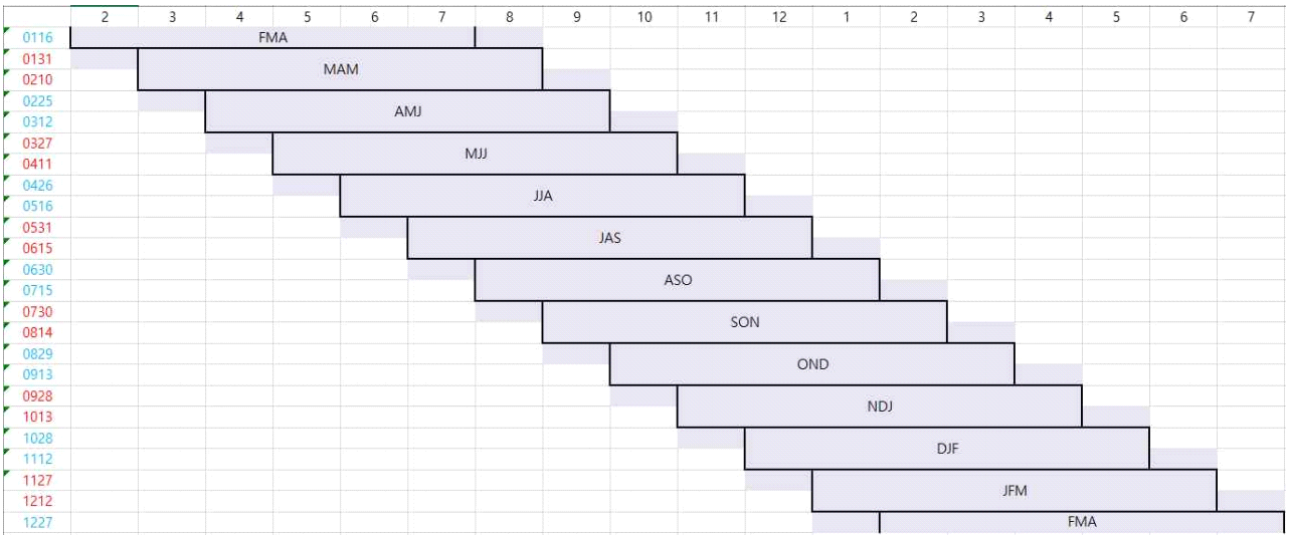


Figure 17. New method: Selection of two dates created two months and one month prior to the first target month.

각 방식에 따른 예측력 차이를 비교해 보면 CPS2, CPS3-2, CPS3-1.5 순으로 예측력이 높고 CPS3-2의 경우 예측 선행 시간 3개월부터 Niño3.4의 예측성이 CPS2보다 오히려 낮다(Figure 18, Figure 19). CPS3-1.5는 모델 개선 및 자료 생산 일자의 적절한 선정의 효과가 합쳐져 가장 높은 예측 성능을 보인다. 그러므로 CPS3-1.5 방식, 즉 forecast 자료의 생산 일자와 가장 가까운 두 개의 일자에 생산된 hindcast 자료를 선택하면 보다 큰 예측력 향상을 기대할 수 있다. 이에 APCC 현업에서는 CPS3-1.5 방식을 채택하여 이전 버전(CPS2)과의 예측력을 비교하였다.

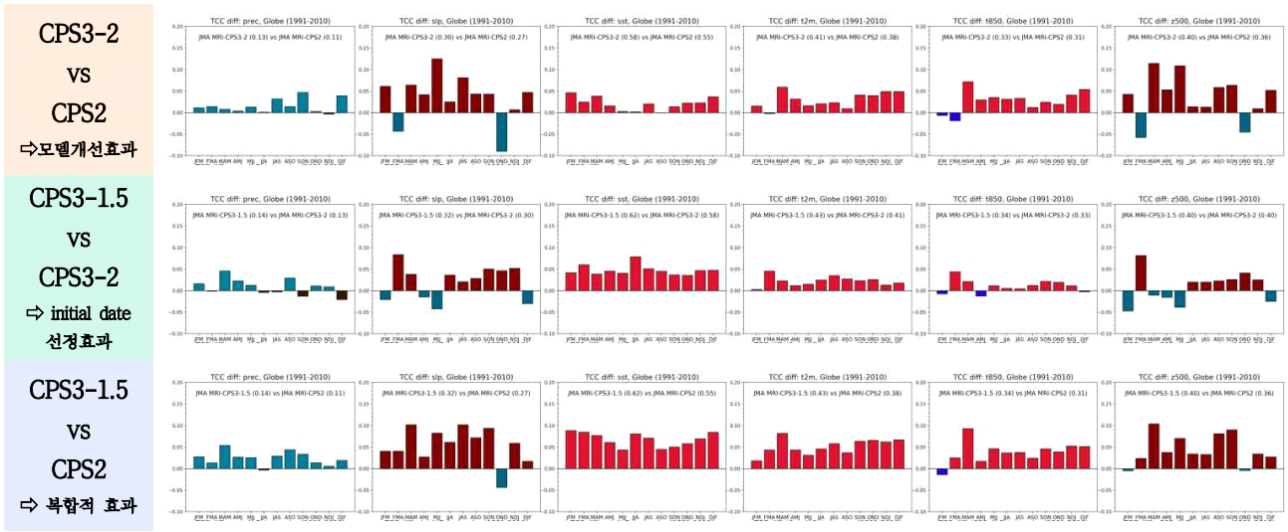


Figure 18. Comparison of hindcast skills of JMA MRI-CPS models bassed on how to select initial dates.

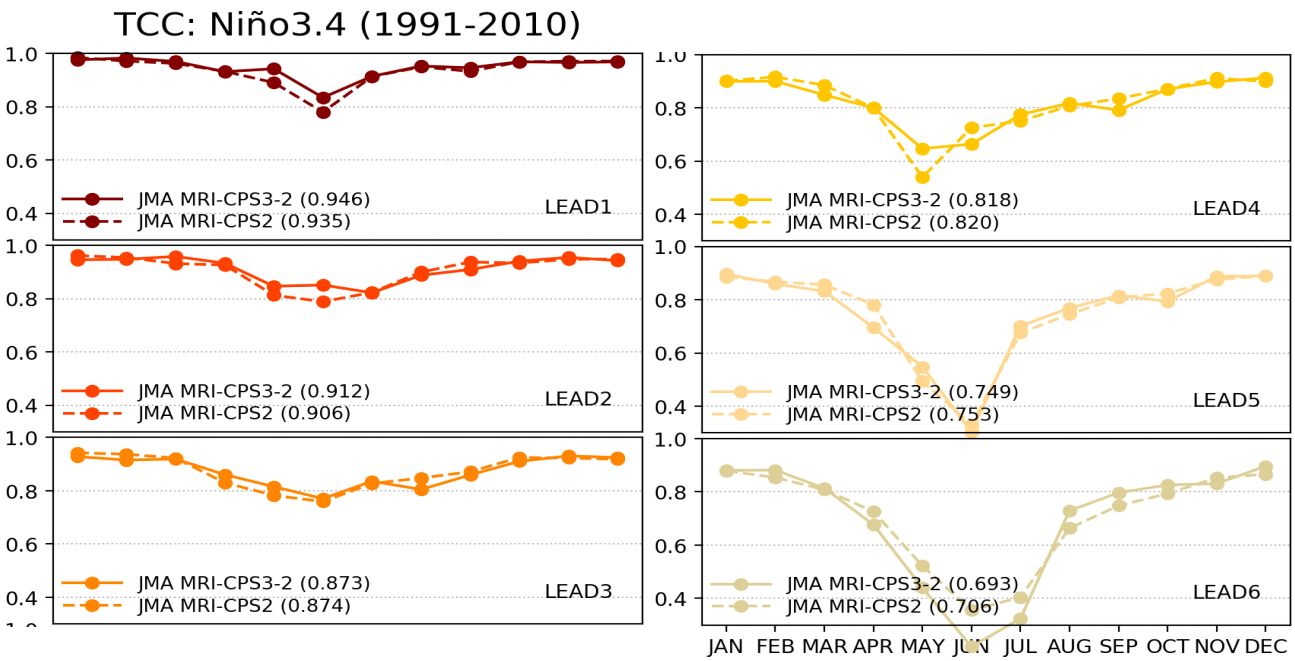


Figure 19. Niño3.4 forecast skill of JMA MRI-CPS3-2 and MRI-CPS2.

② 이전 버전과의 예측력 비교

ACC의 경우 대부분의 지역 및 계절에서 예측력이 향상되었다(Figure 20). ROC score는 모든 변수·계절·카테고리에서 향상되었다(Figure 21). Niño3.4의 경우 1-6개월 모든 선행 시간에서 MRI-CPS3의 예측력이 더 높으며 Niño3.4의 예측력이 낮은 시기인 북반구 여름철에서 예측력 향상이 두드러진다(Figure 22).

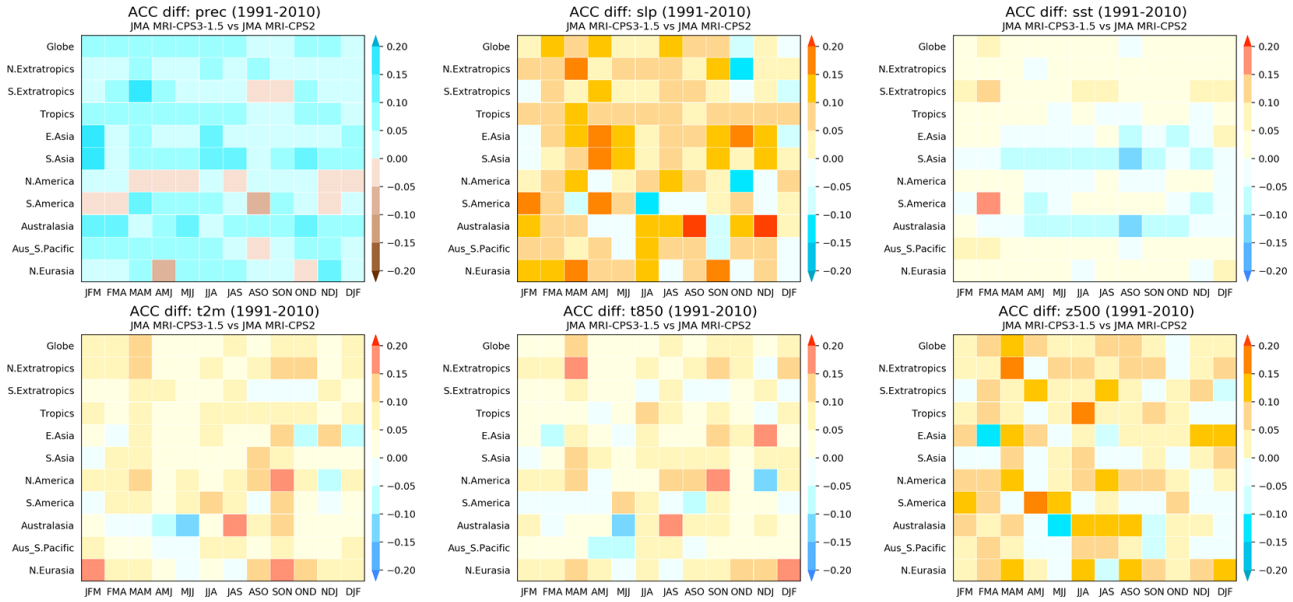


Figure 20. Difference between ACC of MRI-CPS3 and MRI-CPS2. Positive values indicate that the skill of MRI-CPS3 is better than that of MRI-CPS2.

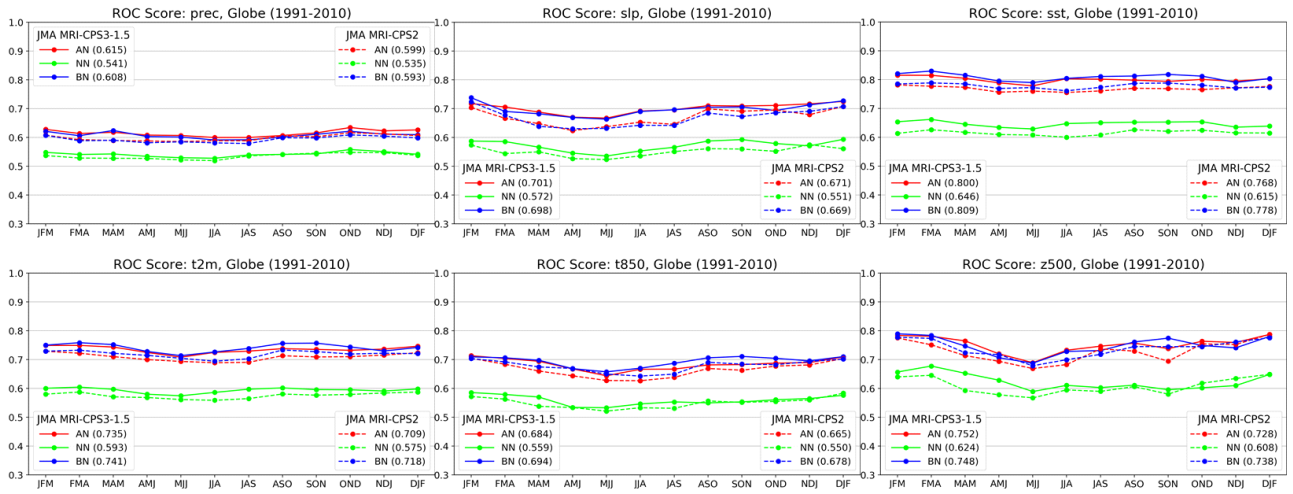


Figure 21. ROC score of MRI-CPS3 (solid line) and MRI-CPS2 (dashesd line).

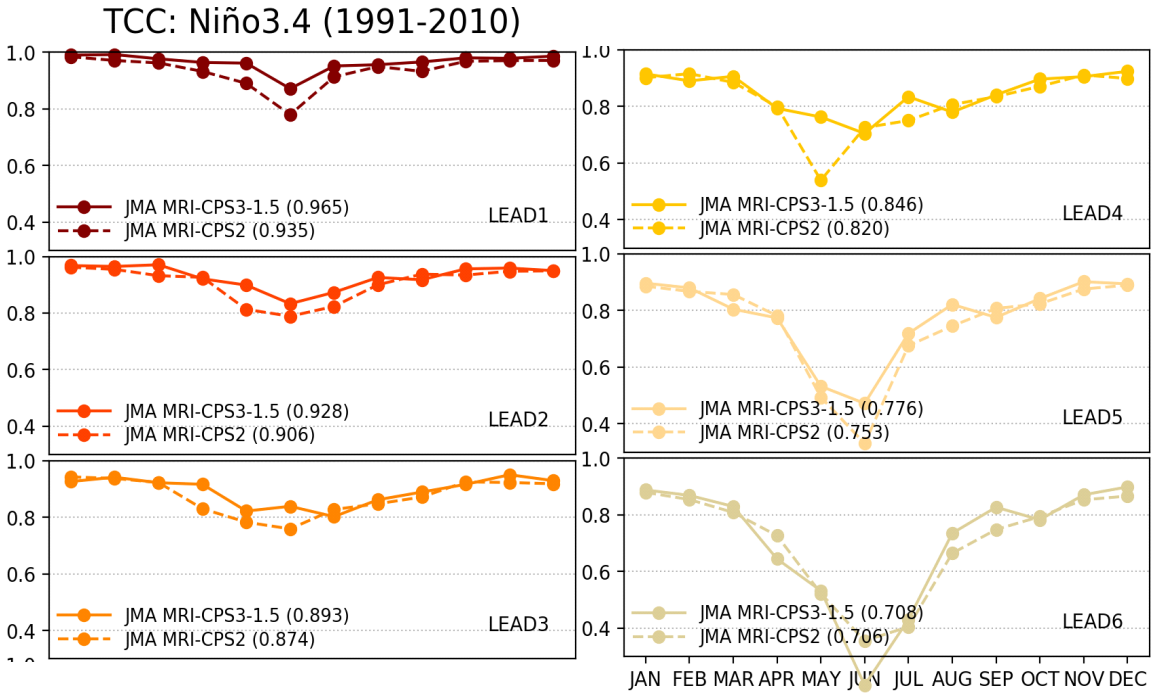


Figure 22. Difference between Niño3.4 forecast skill of MRI-CPS3 (solid line) and MRI-CPS2 (dashesd line).

③ 기존 모델과의 예측력 비교

MRI-CPS3의 전지구 기온 및 강수에 대한 예측력은 MME에 참여하는 14개 모델 중 평균 이상이다(Figure 23). 특히 FMA(2-4월), MAM(3-5월) 계절에서는 개별모델 중 1위의 예측력을 보일 뿐만 아니라 MME 예측력보다 높거나 그에 준하는 예측력을 보인다.

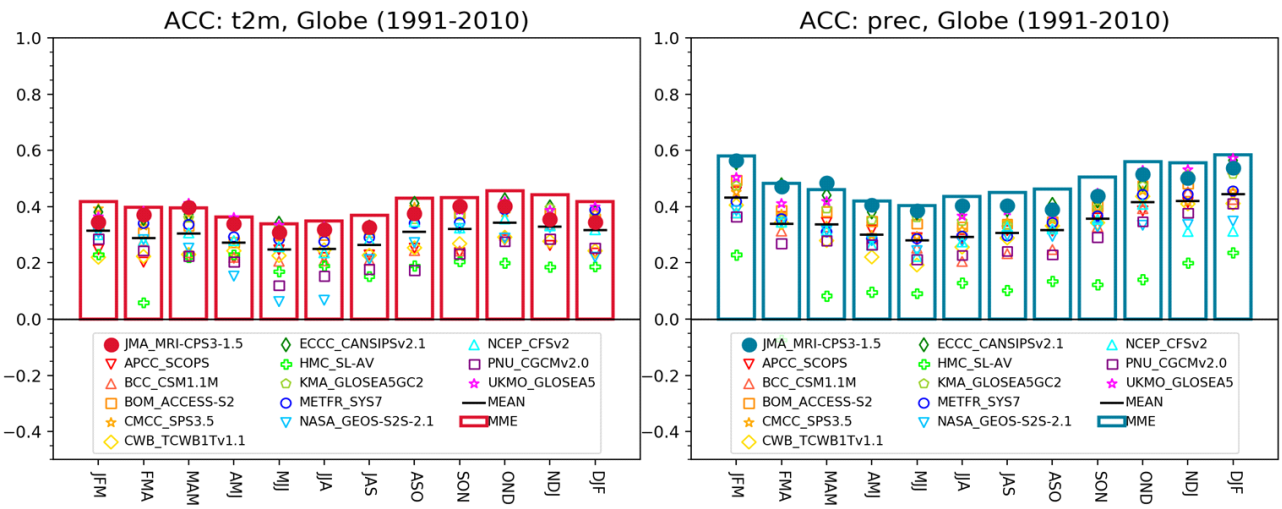


Figure 23. ACC of individual models (symbols), mean ACC of them (black solid line), and ACC of MME (bar) of global temperature (left) and precipitation (right).

④ MME 예측력의 변화

ACC, ROC Score의 경우 대부분 지역 및 계절에서 예측력이 향상되므로 MME에 대한 JMA MRI-CPS3의 참여는 MME 예측력 향상에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 보인다(Figure 24, Figure 25).

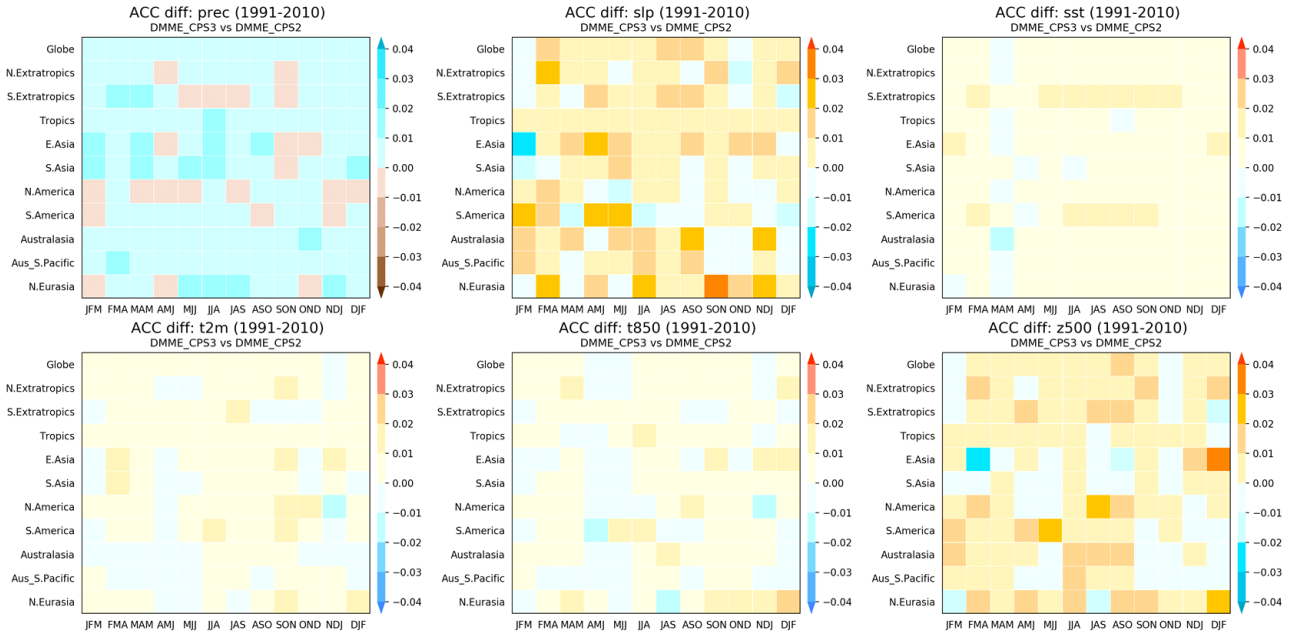


Figure 24. Difference between ACC of MME including MRI-CPS3 and MRI-CPS2. Positive values indicate that the skill of MME including MRI-CPS3 is better than that of MRI-CPS2.

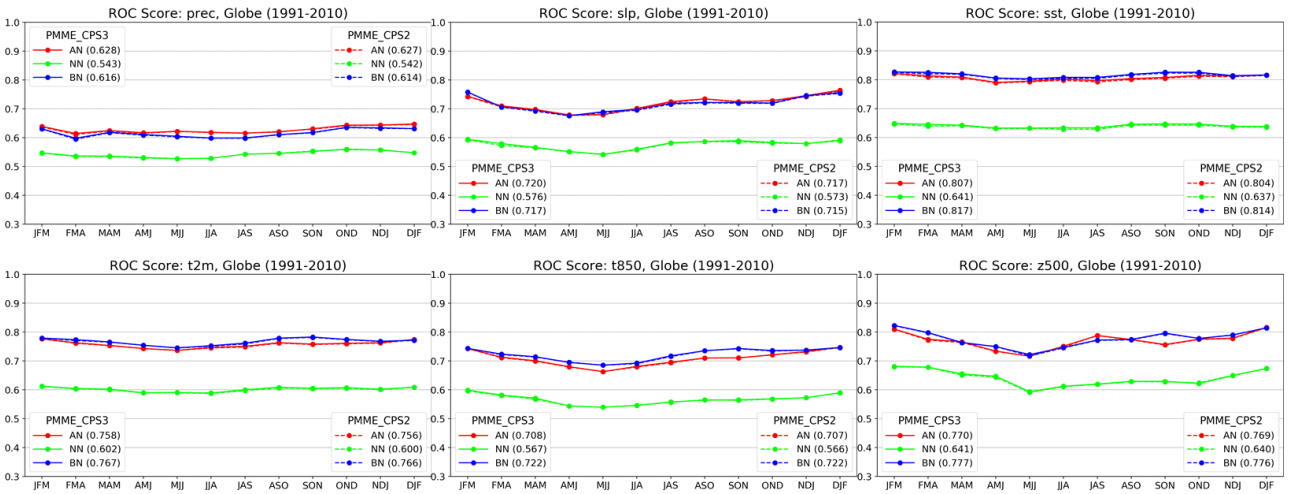


Figure 25. ROC score of MME including MRI-CPS3 (solid line) and MME including MRI-CPS2 (dashesd line).

(마) KMA GloSea6GC3.2

KMA는 2022년 2회의 모델 변경이 있었다. 우선 2022년 3월, Table 4와 같이 기존 GloSea5GC2에서 GloSea6GC3.2로 개선됨에 따라 전처리 프로그램의 수정과 가용가능한 계절에 대한 예측력 비교를 수행하였다(Figure 26).

Table 4. Comparison of before and after KMA model.

기관명	KMA	
모델명	(변경 전) GloSea5GC2	(변경 후) GloSea6GC3.2
해상도	N216L85 (provided 2.5° ×2.5°)	N216L85 (provided origin resolution)
앙상블(F/H)	42/12	42/12
선행시간	1-6 months	1-6 months
hindcast 기간	1991-2016	1993-2016
대기모델	UM 8.6	UM 11.5
해양모델	NEMO 3.4	NEMO 3.6
지면모델	JULES 8.6	JULES 5.6
해빙모델	CICE 4.1	CIEC 5.1.2
대기초기조건	KMA NWP	KMA NWP
해양초기조건	UKMO NEMOVAR	KMA GODAPS2
지면초기조건	KMA NWP	KMA NWP
SST초기조건	-	-
해빙초기조건	UKMO NEMOVAR	KMA GODAPS2

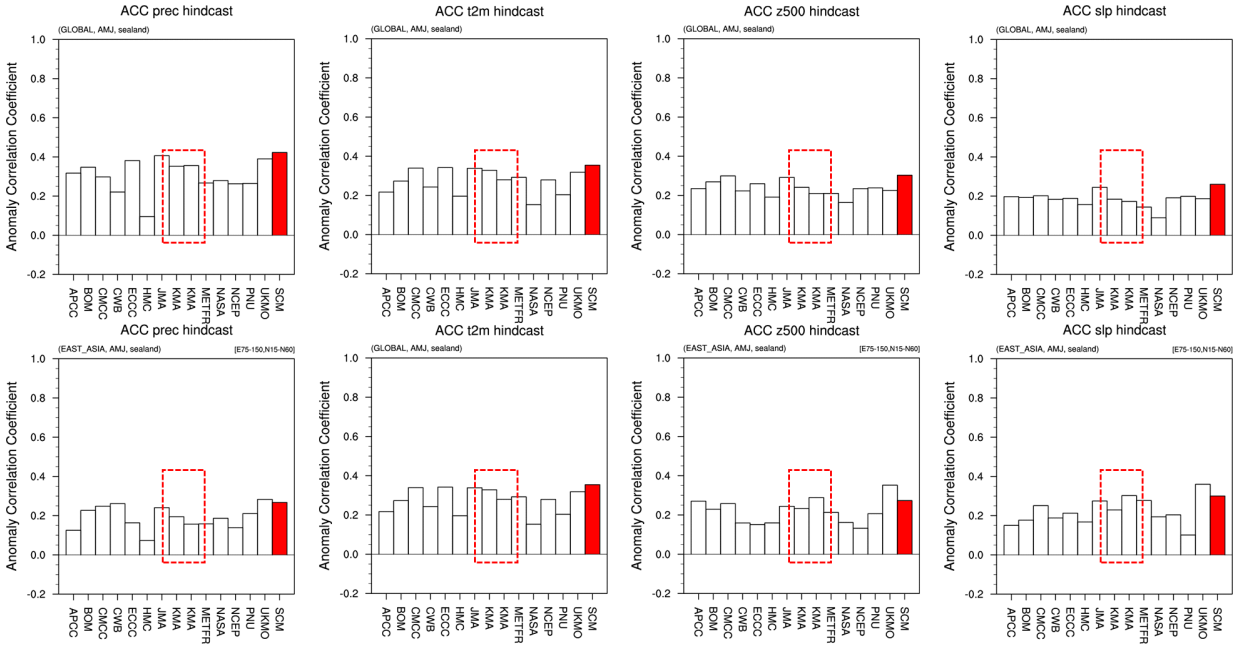


Figure 26. Comparison of ACC before and after KMA's model.

GloSea5GC2와 GloSea6GC3.2는 hindcast 기간과 선행시간이 서로 상이하고, 가용가능한 한 계절(AMJ)에 대해서 예측력을 비교한 결과이므로 해석에 유의해야 한다. AMJ 계절의 전구 강수는 기존에 비해 예측력이 향상되었으며, 특히 동아시아 지역의 500hPa 지위고도와 해면기압의 예측력이 가장 많이 향상된 것으로 나타났다.

또한, 2022년 11월 GloSea6GC3.2는 앙상블 멤버의 확대가 있었다. 위와 유사하게 변경 전/후 예측 자료에 대해 예측력을 평가한 결과, 대체로 모든 변수에서 예측력이 향상된 것으로 나타났으며, 전구와 동아시아 모두 유사한 향상 경향을 보였다(Figure 27). 다만 변경 전/후 예측 자료가 참여한 SCM의 경우 큰 변화는 없는 것으로 나타났다. HMC와 유사하게 KMA의 12개월 전 계절 예측 자료가 수집되면 전 계절에 대한 예측력 평가를 수행할 예정이다.

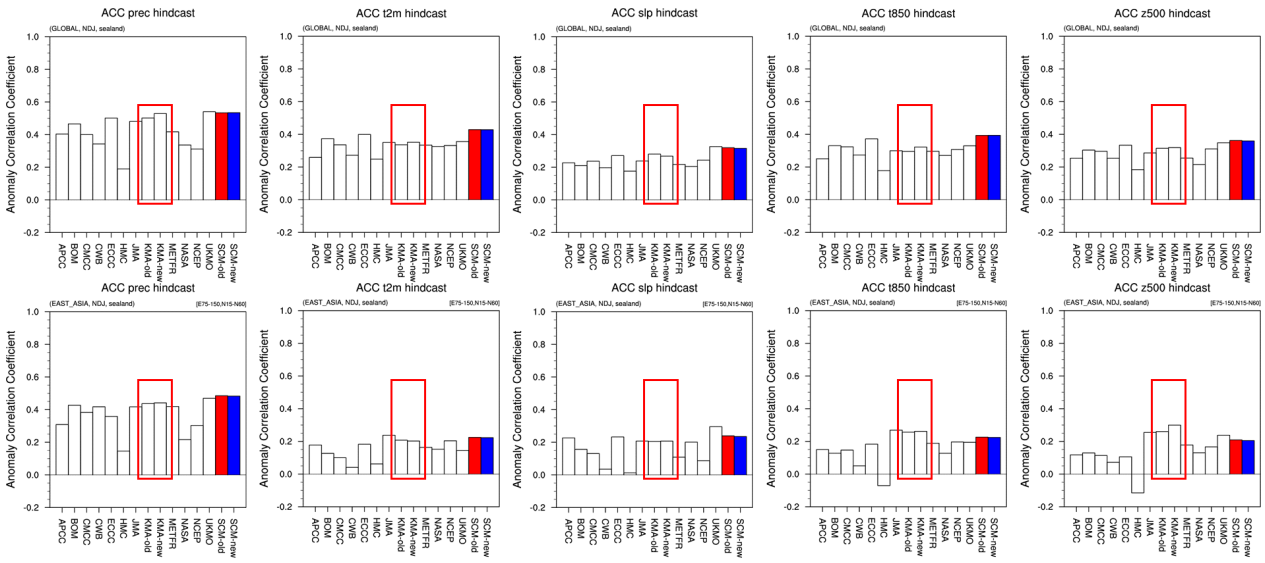


Figure 27. Comparison of ACC before (KMA-old/SCM-old) and after (KMA-new/SCM-new) KMA's model and MME.

(3) ENSO 경보시스템 개선

(가) 배경 및 목적

APCC는 최근 관측된 SST (Sea Surface Temperature)와 ONI (Oceanic NINO index) 지수를 활용 및 지속 기간에 대한 다양한 민감도 실험을 거쳐 현업상황(전문가의 주관적 해석을 배제하고 객관적인 정보만 활용) 내에서 가장 적절한 방법의 ENSO (El Nino-Southern Oscillation) 상황에 대한 기준(Criteria)을 정의하여 2020년 11월부터 APCC ENSO 경보를 공식 제공하고 있다.

기존 APCC ENSO 경보 시스템의 기준은 관측의 3개월 평균 NINO3.4 지수인 ONI 지표를 포함하고 있고, ONI의 특성상 ENSO 경보의 단계별로 Watch는 3개월, Alert는 4개월, 주의/경보는 5개월간까지의 관측 기간 조건이 필요하였다. 따라서 ENSO 상황의 사전 경보라기보다는 감시의 특성이 강한 결과가 도출되었고, 이에 APCC ENSO 조기 경보 정보의 활용성을 높이기 위해 ENSO 경보 시스템의 기준 조건 변경을 시도하였다.

(나) 주요 내용

APCC ENSO 경보시스템 개선의 주요 내용은 관측의 NINO3.4와 ONI 지수의 감시 기간을 축소 조정하고 확률 예보의 예측 조건을 완화하여 객관적인 정보만을 이용하여 기존보다 ENSO 상황의 조기 경보가 가능해지도록 하였고 이를 통해 사용자가 직감할 수 있는 경보 정보를 생산하고자 하였다.

Table 5는 APCC ENSO 경보시스템의 7개 카테고리별 조건을 나타낸 것이다. 카테고리별 조건이 변경됨에 따라 일부 카테고리의 국문 명칭 및 정의 또한 변경하였다. 발달은 주의(Watch)로, 주의/경보(El Niño/La Niña)는 엘니뇨/라니냐로 변경하였다. 예를 들어 기존 엘니뇨 주의/경보 단계에서는 관측의 NINO3.4와 ONI 지속 조건이 각각 5개월, 3개월이었지만 이를 2개월, 1개월로 축소 조정하고 예측의 ONI 지속 조건을 4개월에서 3개월로 축소 조정하였다. 그리고 경계 및 주의 조건을 위한 예측 확률 조건을 각각 70%, 55%에서 60%, 50%로 완화하였다. 이로 인해 기존보다 ENSO 진행 단계를 좀 더 관측과 유사한 상태로 사용자가 직관적으로 범주화해서 알 수 있게 되었다. 자세한 내용은 Table 5에서 확인할 수 있다.

Table 5. Definition of APCC ENSO Alert categories.

	기존	변경
El Niño Watch (**발달 → 주의**)	(관측) 최근 1개월간 NINO3.4 구역의 SST가 평년보다 0.5℃ 이상, 최근 1개월간 ONI가 중립 (예측) 향후 **6개월** 중 **1개월**이라도 NINO3.4 구역의 SST가 0.5℃ **이상이고**, 연속 3개월간 **55%** 이상의 확률로 엘니뇨 상태 전망	(관측) 최근 1개월간 NINO3.4 구역의 SST가 평년보다 0.5℃ 이상, 최근 1개월간 ONI가 중립 (예측) 향후 **4개월** 중 **2개월**이라도 NINO3.4 구역의 SST가 0.5℃ **이상이거나**, 연속 3개월간 **50%** 이상의 확률로 엘니뇨 상태 전망

	Definition: 향후 6개월 이내에 엘니뇨가 발생할 수 있고 그 확률이 55% 이상	**Definition: 최근 1개월에 SST가 0.5℃ 이상 상승, 향후 3-4개월 이내에 엘니뇨 발생 가능성이 50% 이상**
El Niño Alert (**경계**)	(관측) 최근 **3개월간** NINO3.4 구역의 SST가 평년보다 0.5℃ 이상, 최근 1개월간 ONI가 0.5℃ 이상 (예측) 향후 2개월간 ONI가 0.5℃ **이상이고**, 연속 3개월간 **70%** 이상의 확률로 엘니뇨 상태 전망	(관측) 최근 **2개월간** NINO3.4 구역의 SST가 평년보다 0.5℃ 이상, 최근 1개월간 ONI가 0.5℃ 이상 (예측) 향후 2개월간 ONI가 0.5℃ **이상이거나**, 연속 3개월간 **60%** 이상의 확률로 엘니뇨 상태 전망
	Definition: 향후 2개월간 ONI가 0.5℃ 이상이고, 그 확률이 70% 이상	**Definition: 최근 2-3개월에 SST가 0.5℃ 이상 상승, 향후 3-4개월 이내에 엘니뇨 발생 가능성이 60% 이상**
El Niño (**주의/경보 → 엘니뇨**)	(관측) 최근 **5개월간** NINO3.4 구역의 SST가 평년보다 0.5℃ 이상, 최근 **3개월간** ONI가 0.5℃ 이상 (예측) 향후 연속 **4개월간** ONI가 0.5℃ 이상	(관측) 최근 **2개월간** NINO3.4 구역의 SST가 평년보다 0.5℃ 이상, 최근 **1개월간** ONI가 0.5℃ 이상 (예측) 향후 연속 **3개월간** ONI가 0.5℃ 이상 전망
	Definition: 현재 엘니뇨가 진행중이고, ONI가 예측기간 동안 지속적으로 0.5℃ 이상	**Definition: 최근 2-3개월에 SST가 0.5℃ 이상 상승, 향후 3개월 동안 엘니뇨 지속 전망**
Inactive 중립	(관측) NINO3.4 구역의 SST가 평년과 비슷, ONI가 중립** (예측) 향후 엘니뇨 및 라니냐 발달 상황 나타나지 않음	향후 3-5개월 이내에 엘니뇨/라니냐 발달에 대해 설정된 경보 기준을 만족하지 않을 것으로 전망
	Definition: 향후 **6개월** 이내에 엘니뇨 혹은 라니냐의 발달 가능성이 없음	Definition: 향후 **3-5개월** 이내에 엘니뇨 혹은 라니냐의 발달 가능성이 없을 것으로 전망
La Niña Watch (**발달 → 주의**)	(관측) 최근 1개월간 NINO3.4 구역의 SST가 평년보다 -0.5℃ 이하, 최근 1개월간 ONI가 중립 (예측) 향후 **6개월** 중 **1개월**이라도 NINO3.4 구역의 SST가 -0.5℃ **이하이고**, 연속 3개월간 **55%** 이상의 확률로 라니냐*** 상태 전망	(관측) 최근 1개월간 NINO3.4 구역의 SST가 평년보다 -0.5℃ 이하, 최근 1개월간 ONI가 중립 (예측) 향후 **4개월** 중 **2개월**이라도 NINO3.4 구역의 SST가 -0.5℃ **이하이거나**, 연속 3개월간 **50%** 이상의 확률로 라니냐 상태 전망
	Definition: 향후 6개월 이내에 라니냐가 발생할 수 있고 그 확률이 55% 이상	**Definition: 최근 1개월에 SST가 0.5℃ 이상 하강, 향후 3-4개월 이내에 라니냐 발생 가능성이 50% 이상**
La Niña Alert (**경계**)	(관측) 최근 **3개월간** NINO3.4 구역의 SST가 평년보다 -0.5℃ 이하, 최근 1개월간 ONI가 -0.5℃ 이하 (예측) 향후 2개월간 ONI가 -0.5℃ **이하이고**, 연속 3개월간 **70%** 이상의 확률로 라니냐 상태 전망	(관측) 최근 **2개월간** NINO3.4 구역의 SST가 평년보다 -0.5℃ 이하, 최근 1개월간 ONI가 -0.5℃ 이하 (예측) 향후 2개월간 ONI가 -0.5℃ **이하이거나**, 연속 3개월간 **60%** 이상의 확률로 라니냐 상태 전망
	Definition: 향후 2개월간 ONI가 -0.5℃	**Definition: 최근 2-3개월에 SST가 0.5℃ 이상**

	이하이고, 그 확률이 70% 이상	**하강, 향후 3-4개월 이내에 라니냐 발생 가능성이 60% 이상**
La Niña (**주의/경보 → 라니냐**)	(관측) 최근 **5개월간** NINO3.4 구역의 SST가 평년보다 -0.5℃ 이하, 최근 **3개월간** ONI가 -0.5℃ 이하 (예측) 향후 연속 **4개월간** ONI가 -0.5℃ 이하	(관측) 최근 **2개월간** NINO3.4 구역의 SST가 평년보다 -0.5℃ 이하, 최근 **1개월간** ONI가 -0.5℃ 이하 (예측) 향후 연속 **3개월간** ONI가 -0.5℃ 이하 전망
	Definition: 현재 라니냐가 진행중이고, ONI가 예측기간 동안 지속적으로 -0.5℃ 이하	**Definition: 최근 2-3개월에 SST가 0.5℃ 이상 하강, 향후 3개월 동안 라니냐 지속 전망**

* 엘니뇨: 3개월 평균 Nino3.4 지수 (ONI) ≥ 0.5°C
** 중립: 3개월 평균 Nino3.4 지수, -0.5°C < ONI < 0.5°C
*** 라니냐: 3개월 평균 Nino3.4 지수 (ONI) ≤ -0.5°C

Figure 28은 ENSO 경보시스템을 제공하고 있는 타기관 및 APCC의 ENSO 경보와 검증을 위해 NINO3.4, SOI (Southern Oscillation Index)를 나타낸 것이다. Figure 28에서 APCC (기존 APCC 경보시스템)는 2018-2019 엘니뇨 당시 NINO3.4 지수가 엘니뇨로 진행됨과 동시에 엘니뇨 주의(Watch) 단계를 나타낸다면 APCC_NEW (개선된 APCC 경보시스템) 보다 1개월 전에 엘니뇨 주의를 나타낸다. 또한 2020-2021 라니냐에서도 APCC 보다는 APCC_NEW에서 2개월 앞서 라니냐 주의(Watch) 단계를 나타내어 엘니뇨와 라니냐가 발달되기 이전에 경보를 하는 것을 알 수 있다. 또한 주관적인 해석이 포함된 타기관의 ENSO 경보 결과와 비교했을 때도 APCC_NEW는 비슷한 시기 혹은 좀 더 앞선 기간에 ENSO 경보가 가능해졌음을 확인하였다.

Figure 29는 실제로 태평양지역 기후센터(Pacific Regional Climate Center) 홈페이지에서 수집 및 표출되는 4개 기관의 ENSO tracker를 나타낸 것이다. 타기관에 비해 라니냐를 과소 범주화하는 변경 전과 비교했을 때 변경 후에는 라니냐 경보의 기간과 강도가 강해진 것을 확인할 수 있다.

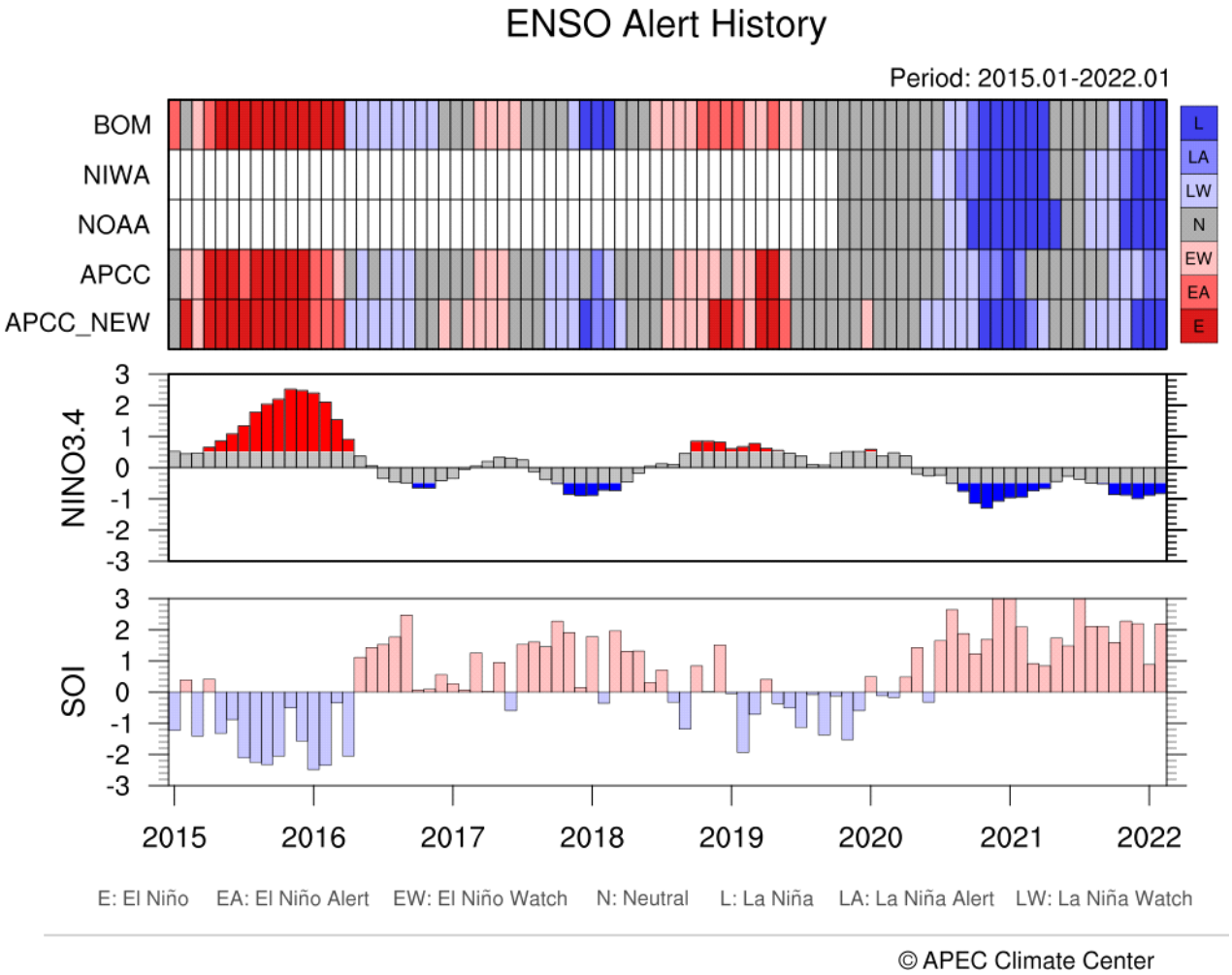
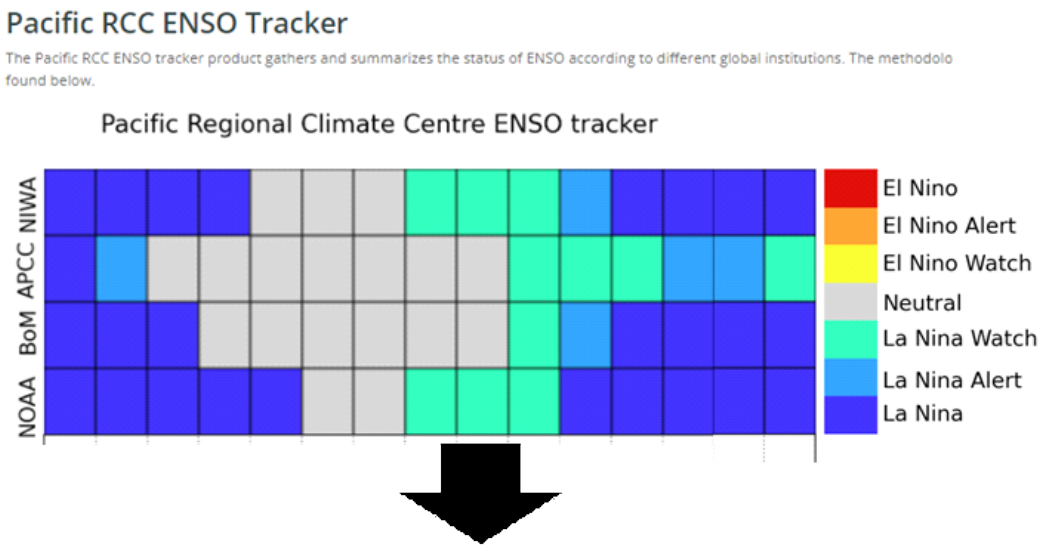


Figure 28. History of monthly ENSO Alert for APCC including before and after improvement and other centers, NINO3.4 and SOI from 2015 to January 2022.

변경 전



변경 후

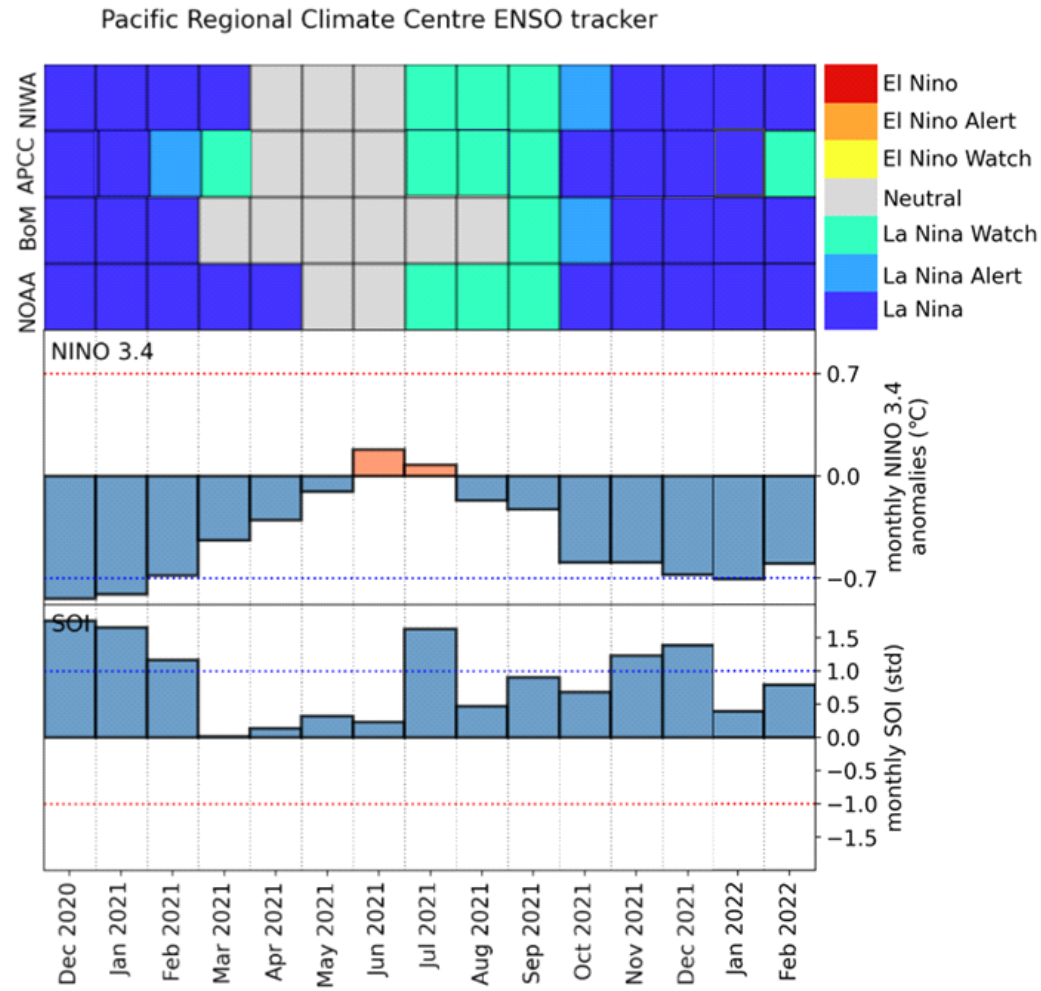


Figure 29. ENSO alert information before and after improvement displayed on the Pacific Regional Climate Center’s ENSO Tracker webpage.

(다) 활용 방안

2022년 4월부터 변경된 기준을 적용한 APCC ENSO 경보를 홈페이지 및 기후전망을 통해 제공하고, ENSO 경보를 발행하는 월(issued month)의 관측 해수면 현황을 최대한 반영하여 기존 월 1회 15일 제공에서 월 2회 15일 및 30일에 제공하고 있다. 또한 대외로는 태평양지역 기후센터 홈페이지 및 기상청 포털에 매월 ENSO 경보 정보를 제공하고 있다.

(4) 신규 홈페이지 구축을 위한 기후정보 웹 콘텐츠 구성 계획 수립

(가) 배경 및 목적

APCC 홈페이지는 2015년 기존 웹 메뉴구조 개선, 공공정보 개방 및 공유를 위한 보완 등의 이유로 홈페이지에 대한 전체 개선사업이 이루어졌다. 2019년에는 기후예측정보 메뉴(영문)에 대한 국문화를 진행하였고, 2020년에는 동아시아 계절예측 신규 메뉴(국문)를 추가하여 우리나라 사용자 대상 정보제공을 확대하였다.

하지만 2015년에 구축된 웹 시스템으로 인해 신규 정보의 추가 및 웹 구조 변경, 사용자 편의를 위한 그림 기반의 기후예측 정보 웹 표출 등 개선에 있어 어려움이 있었다. 따라서 본 과제에서는 기존 및 새로운 기후정보 웹 콘텐츠를 신규 홈페이지에 이관 및 적용할 수 있는 최신의 웹 서비스 기술을 적용한 시스템 구축을 위한 구성 계획을 수립하고자 하였다.

APCC 신규 홈페이지 구축을 위해서는 사업발주를 위한 제안요청서를 작성하게 되는데 본 과제에서는 기후정보 웹 콘텐츠에 대한 내용으로 특히 동적 기후정보서비스를 중심으로 기술하였다.

(나) 주요 내용

APCC 홈페이지의 기후예측 정보는 Figure 30의 왼쪽 그림과 같이 그림 기반의 정적 웹 콘텐츠로 구성되어 있다. 신규 홈페이지에서는 Figure 30의 오른쪽 그림과 같이 기존의 정적 웹 콘텐츠와 함께 동적 서비스 구현을 위한 Single Page Application (SPA)을 적용하여 구성하게 된다. SPA는 최초 한번 전체 페이지를 불러오고 필요 시 응답 데이터를 사용해 페이지 특정부분을 렌더링해서 변경해주는 방식으로 동적 웹 서비스에 일반적으로 사용되는 기술이다.

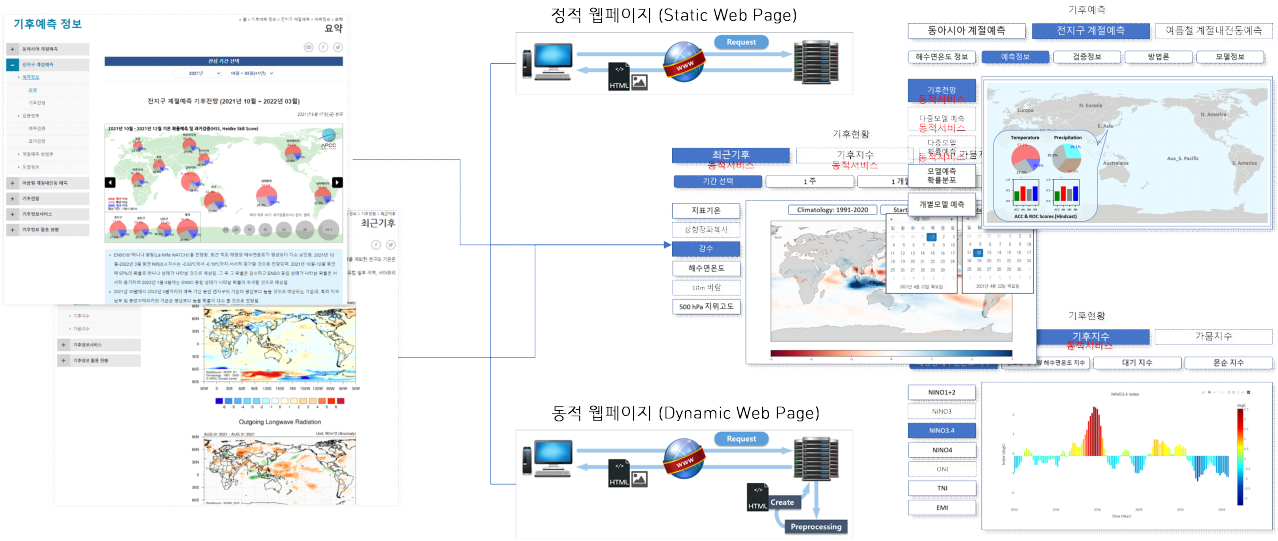


Figure 30. Sample structures of static and dynamic web pages in new APCC homepage.

동적 웹 콘텐츠 구현을 위해서는 기후예측, 기후감시 정보 산출물(NetCDF 파일 형식)을 텍스트 형식(CSV 파일)의 자료로 변환하여 관리 데이터베이스에 저장하고 이와함께 SPA를 적용하에 최종적으로 웹에서 표출되게 된다. Figure 31은 MME 기온 예측과 Nino3.4 기후지수 자료를 이용해 동적 서비스를 적용하여 웹으로 표출한 테스트 예를 보여준다.

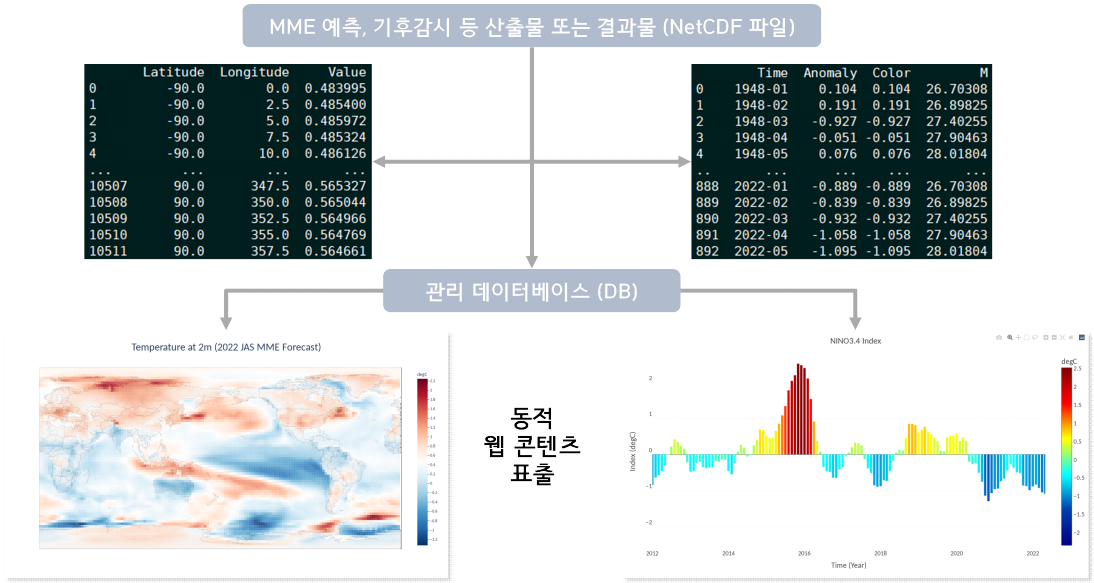


Figure 31. Sample dynamic web contents using MME temperature forecast and NINO3.4 climate index.

신규 홈페이지의 제안요청서는 APCC 대외협력과 및 예측운영과가 협업으로 수립을 하였으며, 본 과제에서 다루고 있는 동적 서비스 관련 기능 요구사항은 Figure 32와 같다. 주로 기후예측, 기후감시, 기후지수 3가지 항목에 대한 세부메뉴로 구성되어 있으며 모두 앞에서 언급한 SPA에 의해 구현될 수 있도록 요구사항을 작성하였다.

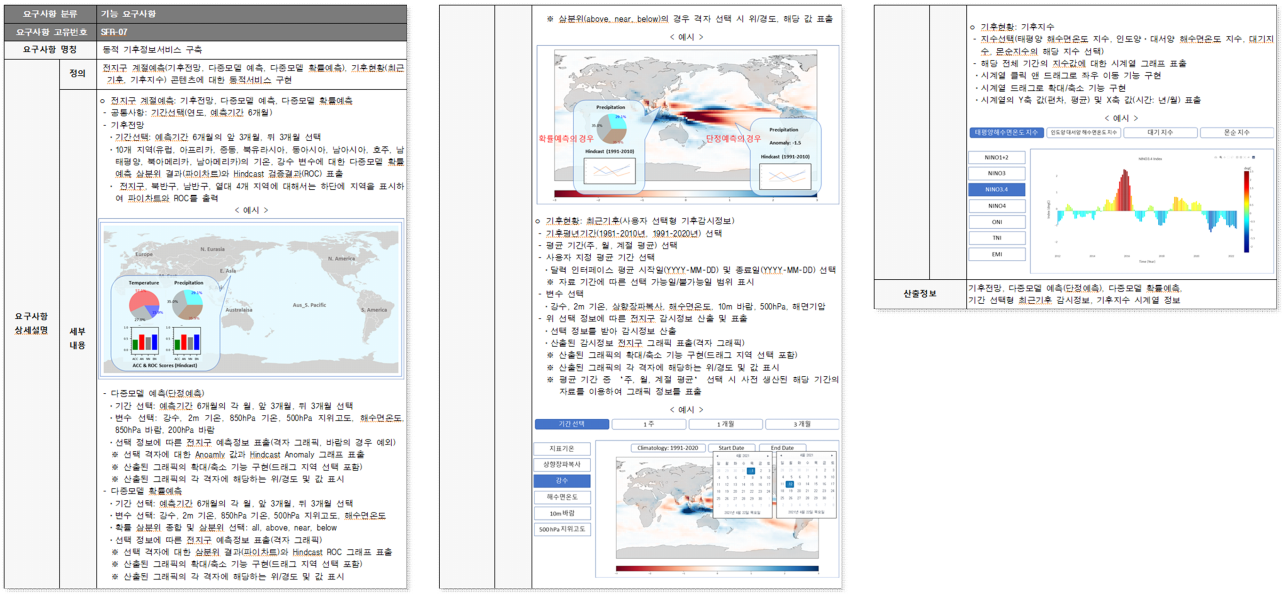


Figure 32. Functional requirements of dynamic web contents in APCC homepage request for propsal (RFP).

나. BSISO 계절내 예측시스템 운영 및 예측정보 제공

(1) APCC BSISO 감시 및 예측정보 제공

(가) 현황 및 필요성

여름철 계절내 진동(BSISO, Boreal Summer Intraseasonal Oscillation)은 15~60일 주기로 적도 인도양에서 발생하여 점진적으로 북동진하며 아시아지역의 여름 몬순과 대기 순환, 날씨에 영향을 주는 대규모 대류현상이다. APCC는 아시아지역의 BSISO 지수의 감시 및 예측정보를 매년 5~10월의 기간에 홈페이지를 통해 제공하고 있다. 예측운영과에서는 2022년 5월부터 10월까지 매일 BSISO 현업시스템을 운영하고 실시간 현업 모니터링을 통해 안정적인 서비스를 제공하였다.

또한 세계기상기구(WMO)의 기준에 따라 BSISO 감시, 예측, 영향장에 기후 평년기간을 1991~2020년으로 변경 적용하여 이를 시운영하고, BSISO 현업시스템 개선을 통해 개선된 그래픽 이미지를 서비스하였다.

(나) 주요 내용

① BSISO 감시정보

감시정보는 실시간 BSISO의 입력자료가 되는 가장 최신의 재분석자료의 날짜를 기준으로 현재 날짜보다 3일 전의 감시 자료가 생산되며, 생산되는 감시 컨텐츠로는 BSISO 지수를 포함하여 BSISO 위상도, 시계열, 재구성장, BSISO 영향 편차장, 상향장파복사 및 850hPa 수평바람 편차장이 있다. 생산된 모든 감시 정보는 홈페이지를 통해 실시간 제공되고 있다.

② BSISO 예측・검증정보(Forecast) 제공

BSISO 예측정보는 BSISO 감시날짜를 기반으로 생산되며 예측에는 총 4개 기관(NCEP, BOM, ECMWF, CWB)의 5개 개별 모델 자료가 이용된다. 생산되는 예측 컨텐츠로는 BSISO 예측 지수를 포함하여 BSISO 위상도, 상향장파복사 편차장, BSISO 영향 편차장, 극한강수 발생확률, 검증이 있다. 생산된 모든 예측 정보는 홈페이지를 통해 실시간 제공되고 있다.

③ BSISO 합성장 정보

BSISO 합성장은 과거 30년 기간(1991-2020년, 단 강수의 경우 1997-2020년 자료를 사용) 동안 BSISO 강도가 강했을 때에 대해 2개 모드 및 8개 위상과 관련된 주요 변수를 합성한 것이다. BSISO 합성장은 같은 기후 기간 사용중에는 동일하며 BSISO에 대한 일반적인 변수들의 특징을 보여준다. BSISO 합성장은 BSISO 정의 페이지에 표출되고 있다.

④ BSISO 디지털 자료 제공

과거 BSISO 감시 및 예측 지수는 CLIK (CLimate Information toolKit; http://cliks.apcc21.org)을 통해 홈페이지에 제공되고 있고 실시간 BSISO 지수는 홈페이지 BSISO 메뉴 내 실시간 제공되고 있다.

(다) 활용

BSISO 준현업 운영은 2022년 4월 20일부터 2022년 4월 27일까지 8일간 운영되었고 현업 운영 및 서비스 기간은 2022년 4월 28일부터 2022년 11월 3일까지이다. BSISO 정보는 인도 기상연구소에서 예측정보를 실시간 활용하여 홈페이지에 제공하고 있고 기상청 기후예측과에 매일 제공하고 있다. 또한 베트남 기상청에서도 BSISO 영향장을 활용하고 있다.

(2) BSISO 계절내예측시스템 개선 및 통합 구동시스템 구축

(가) 현황 및 필요성

APCC BSISO 계절내예측시스템은 각 파트별 코드의 개발 시기와 개발자가 다르고 이로 인해 계산 및 그래픽 코드 언어 또한 각각 다르게 작성되어 있다. 특히 그래픽 코드의 언어는 NCL, GrADS로 혼재되어 있는데, BSISO 감시와 상향장파복사(OLR) 편차장은 GrADS, 그 외는 NCL로 작성되어 있어 BSISO 현업시스템의 최종 결과물인 홈페이지 표출 이미지에 통일성이 없다.

따라서 감시 파트와 예측파트 중 GrADS로 작성된 그래픽 언어를 NCL로 전면 변환하여 코드 일원화를 시키고, 파트별 그래픽 코드들은 이미지 속성과 현재 BSISO 영향장 그래픽 코드의 모듈을 공유하여 각 파트별로 통일감 있는 이미지를 생산하고 가시성을 높이고자 한다.

기존 BSISO 현업시스템 코드 구성은 각 파트별로 계산 세부 단계에 따라 코드가 구분되어 있고 세부 단계에서의 결과들이 파일로 저장되는 형태인데 이는 직관적으로 코드마다의 계산 구문이나 입/출력물을 확인할 수 있는 장점이 있지만, 매일 각 세부 단계에서 생산되는 중복 출력물이 현업시스템 내 불필요한 저장공간을 차지한다는 단점이 있고 이러한 저장 공간 자원 문제는 BSISO 현업 수행 기간이 길어질수록 기하급수적으로 증가하고 있다.

따라서 세부 단계에서 불필요하게 중복적으로 저장되는 체계를 수정하고 유효 결과물만 저장하여 공간 자원 활용성을 높이고자 한다.

기존에 적용되어 있는 기후값은 과거 BSISO 현업시스템 개발 당시에 사용되었던 평년 기간으로 1981~2010년까지의 비교적 과거 30년 기후를 반영하고 있기 때문에 현재의 기후 패턴과 경향성, 가까운 미래 기후 상태와 괴리 가능성이 있다. 기후 평년값은 세계기상기구의 기준에 따라 10년에 한번씩 갱신하는 것을 권고하여 기상청 또한 2021년부터 신평년 기후값인 1991~2020년을 적용하여 기후 감시 자료를 생산하고 있다.

따라서 BSISO의 현재 상태를 좀 더 객관적으로 파악하기 위해서는 그 기준이 되는 평년기간을 1991~2020년으로 변경 및 적용할 필요가 있다.

APCC BSISO 계절내예측시스템은 크게 4개 파트로 감시, 예측, 검증, 영향장으로 구성되어

있고 현업 기간(5월~10월) 동안 매일 감시, 예측, 영향 예보, 검증 순으로 파트별 통합 쉘(Shell)이 순차적으로 실행되는데, 이는 크론탭에 의해서 각 현업자가 지정한 시간에 수행되게끔 설정되어 있다. 그래서 현업자가 각 파트별 계산 시간을 고려하여 임의로 시간을 설정하게 되어 각 파트별 코드가 불연속적으로 구동되어 파트 간 구동 시간 틈이 발생하기 때문에 현업의 효율적 시간 관리에는 한계가 있었다. 또한, 현재 현업시스템의 도입부 환경 설정에서 가장 중요한 현업 날짜 및 경로 설정부가 가장 최신의 재분석자료의 경로와 파일명으로부터 cut 명령어를 통해 날짜를 추출하기 때문에 경로나 자료 특성에 매우 의존적으로 코드가 작성되어 있다.

따라서 2021년 수행한 “BSISO 예측시스템 진단” 연구를 토대로 장기적인 측면에서 효율적인 BSISO 현업시스템 운영과 현업 자료 관리를 위해 필요한 개선을 수행하고자 하였다. 그리고 개선의 효과 및 중요도와 사용자의 수요를 고려하여 선제적으로 개선되어야 하는 내용을 위주로 관련 코드를 단계별로 수정 및 개발하고, 개발된 코드는 BSISO 현업시스템 내에 안정적으로 적용하고자 모든 개선 건수에 대해 시범 운영을 수행한 이후 현업에 적용하였다.

(나) 주요 내용

① BSISO 현업시스템 그래픽 코드 일원화 및 이미지 개선

BSISO 현업시스템 내 그래픽 표출부의 코드 언어를 모두 NCL로 변경 작성하여 홈페이지에 표출되는 이미지의 통일성을 높이고자 하였다. 동일한 컨텐츠는 지도의 모양이나 위/경도축, 폰트, 색상 등 그래픽 속성을 통일시켰다.

㉮ Monitoring 컨텐츠

위상도(Phase Diagram) 이미지는 언어 변환 과정에서 복수(2개) 코드를 단일 NCL 코드로 통합하고 시간에 따른 phase (위상) 변화를 나타내는 선의 색상을 변경하였다. 기존에는 5일씩 동일한 색상으로 나타내 phase 시간적 변화를 알아보기 힘들었기 때문에 개선 후에는 붉은색 계열의 색상을 시간의 흐름에 따라 옅은색에서 진한색으로 음영을 넣어 phase 변화 해석이 좀 더 용이하게 개선하였다(Figure 33).

BSISO 시계열(Time Series) 이미지는 언어 변환 과정에서 복수(2개) 코드를 단일 NCL 코드로 통합하고, 기후 평년값 변경으로 재계산된 표준편차(고정값) 및 기후 기간을 변경 적용하였다(Figure 34).

장파복사와 850hPa 수평바람장(OLR&U850 Anomaly) 이미지는 영향장과 동일하게 이미지 내 OLR 단위 위치를 재배치하고 변수별 컬러맵을 통일시켰다(Figure 35).

BSISO EOF 회귀장(Regression Map)은 영향장과 동일하게 변수별 컬러맵을

통일시켰다(Figure 36).

㉮ Forecast 컨텐츠

모델 예측 OLR 편차장(Anomaly) 이미지는 모델별로 작성되어 있던 복수(5개) 코드를 단일 NCL 코드로 통합하고 변수별 컬러맵을 통일시켰다. 또한 지도 내 지형선과 contour line의 혼돈을 줄이고 가시성을 높이기 위해 contour line은 제거하였고, 이미지에 필수 정보를 주는 문구를 수정 및 재배치하였다(Figure 37).

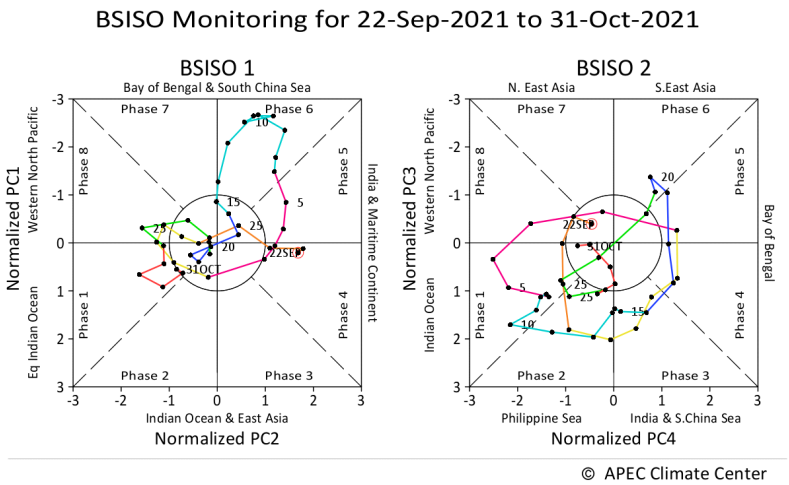
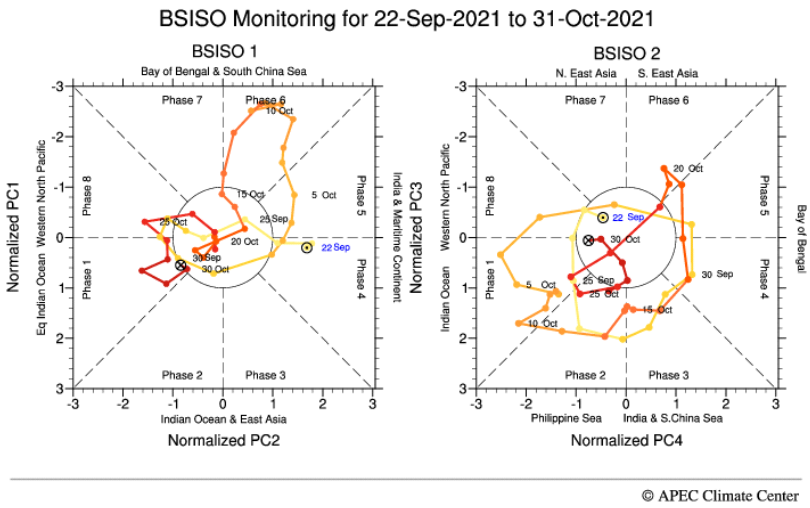
개선 전	
개선 후	

Figure 33. Example of BSISO phase diagram before (top) and after (bottom) improvement displayed on BSISO website.

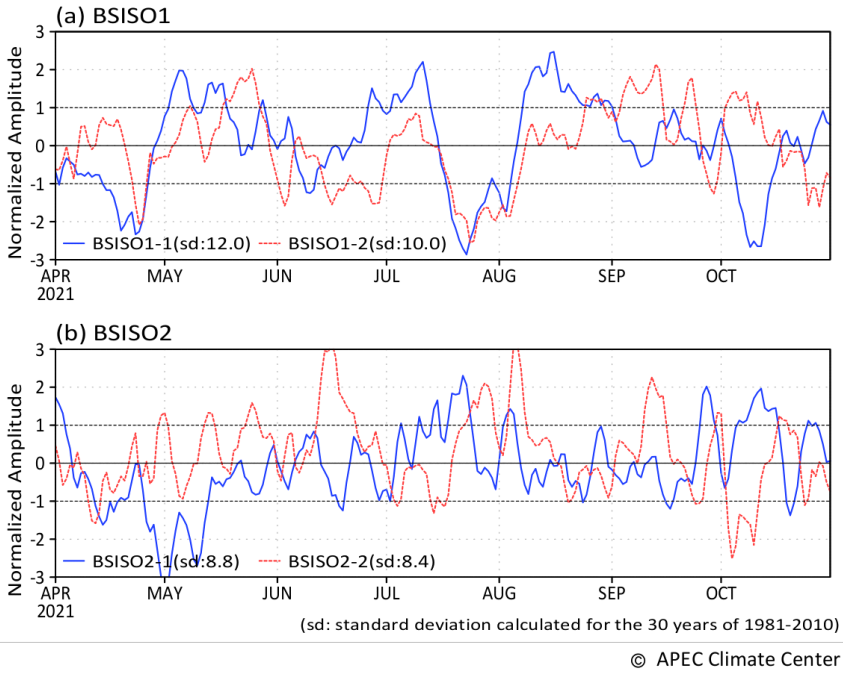
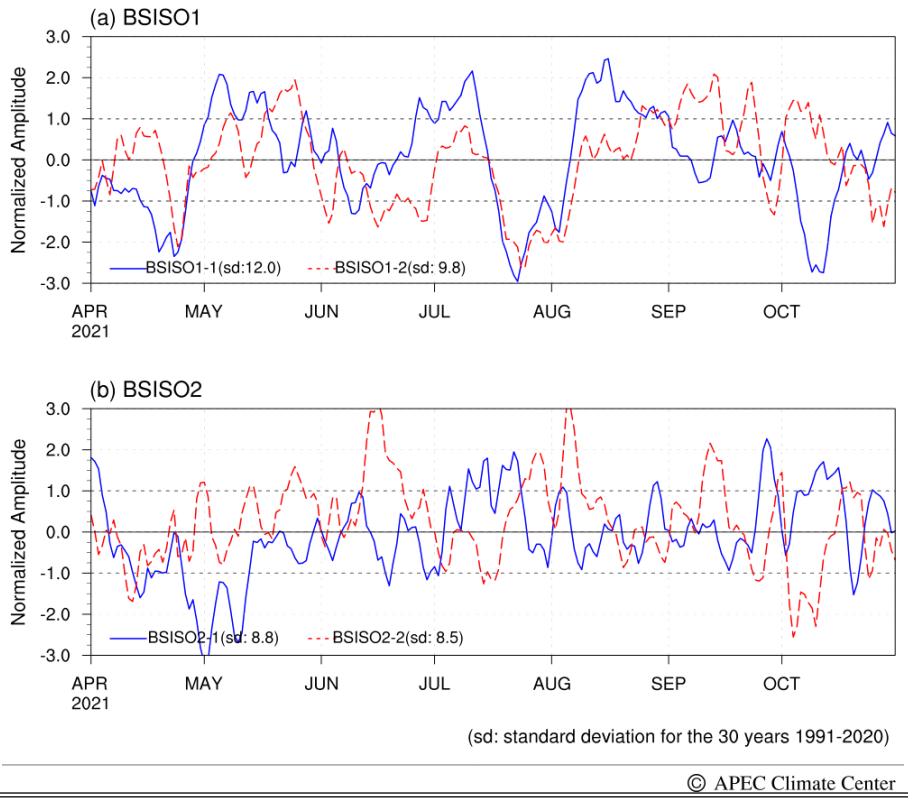
개선 전	
개선 후	

Figure 34. Same as Figure 33 but for BSISO timeseries.

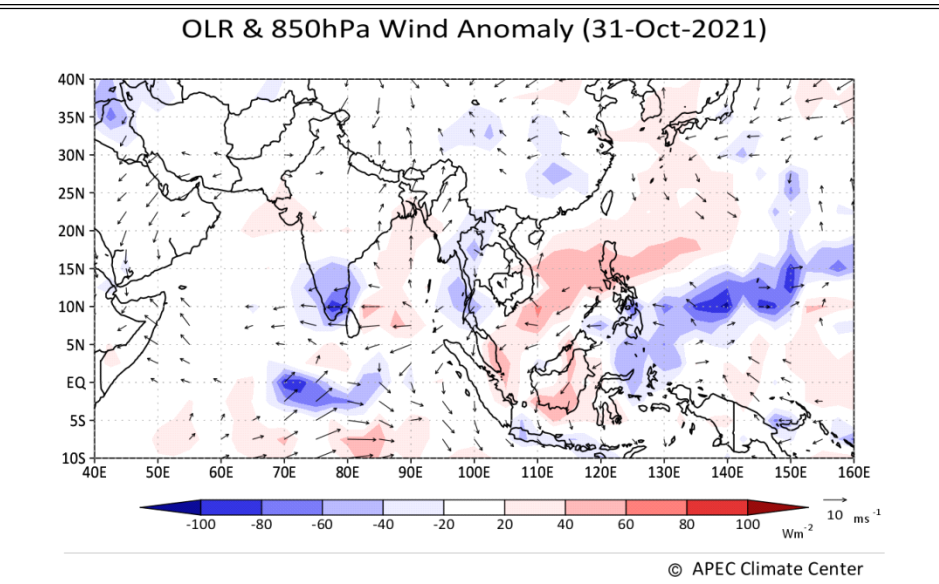
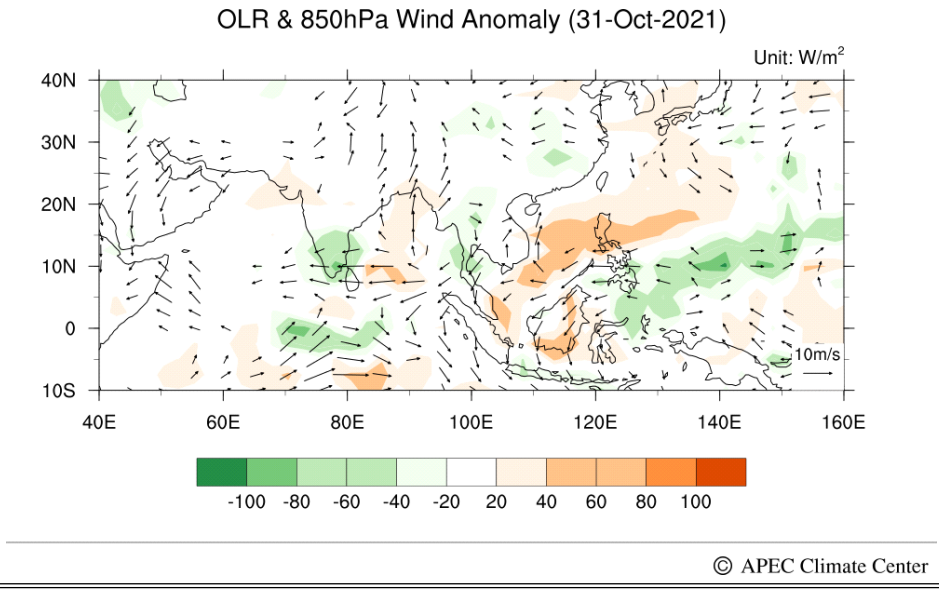
개선 전	
개선 후	

Figure 35. Same as Figure 33 but for anomaly field of OLR and 850hPz zonal wind.

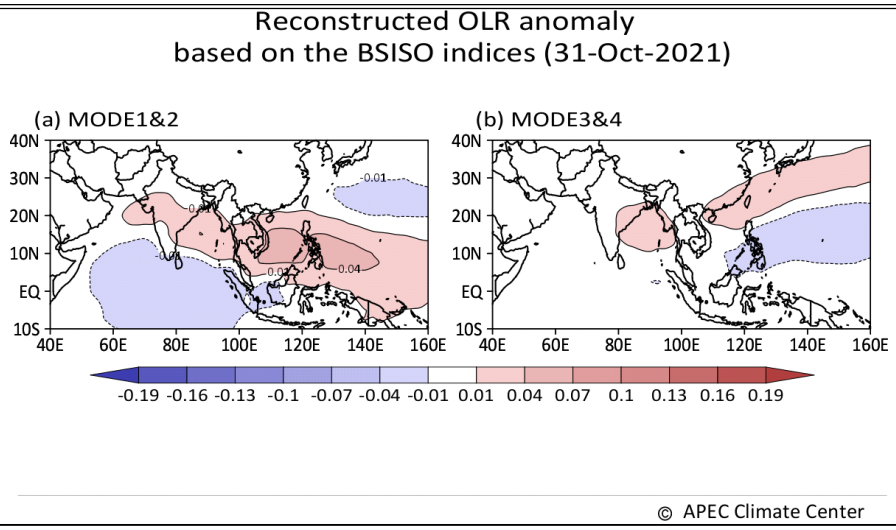
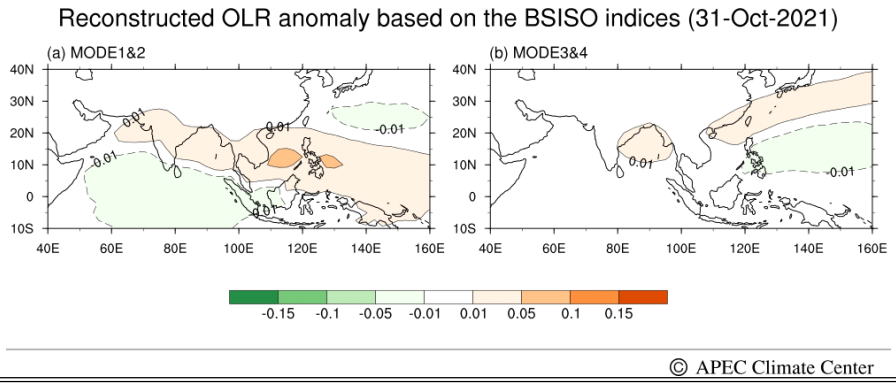
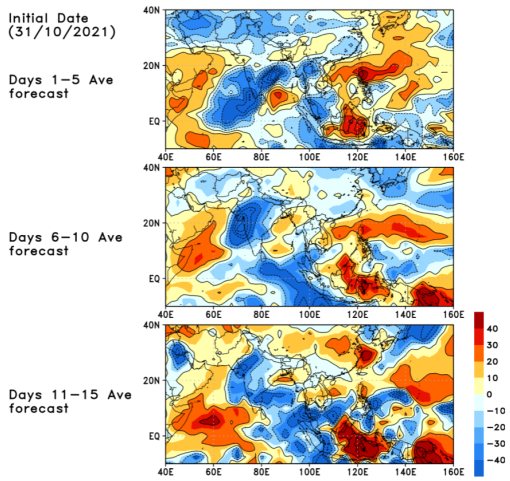
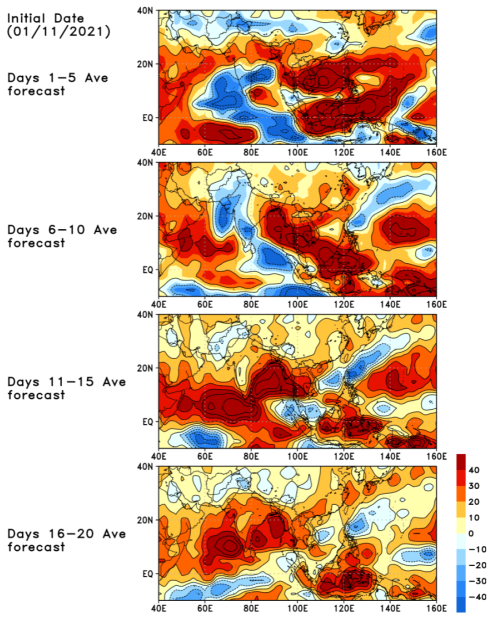
개선 전	
개선 후	

Figure 36. Same as Figure 33 but for reconstructed OLR anomaly field.

개선전

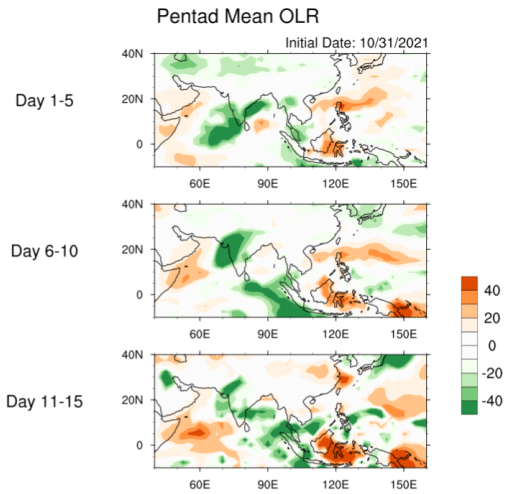


© APEC Climate Center

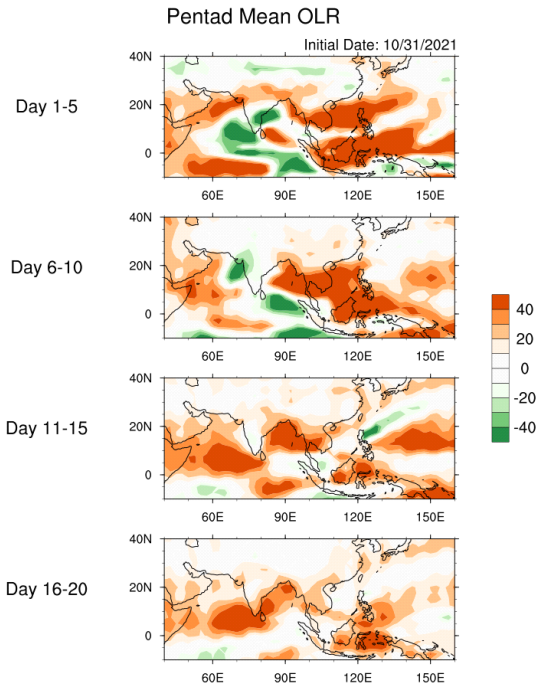


© APEC Climate Center

개선후



© APEC Climate Center



© APEC Climate Center

Figure 37. Same as Figure 33 but for OLR anomaly forecasts.

㉰ 개선 코드 현황

그래픽 개선을 위해 변경 및 개발된 코드 리스트는 Table 6과 같다. 기존에 GrADS로 작성되어 있던 감시 및 예측 컨텐츠의 코드 전부를 진단하고 해당 코드를 NCL로 재작성하였다. 해당 개선 코드들은 아래의 경로에서 자세히 확인할 수 있다.

㉱ 개선 적용 및 결과

그래픽 개선 및 코드 개발은 3월에 완료하여 4월에 안정성 확인 및 현업 코드 적용을 수행하였고, 5월(현업 개시 월)부터 현업은 해당 코드로 운영되었다. 개선된 이미지는 APCC 홈페이지 표출되고 APCC BSISO 자료를 수집하는 기상청 제공 및 인도 기상연구소(MOL) 홈페이지에 실시간 활용되었다.

Table 6. List of codes for graphics improvement.

구분	컨텐츠	기존 코드	개선 코드
		GrADS	NCL
감시	Phase Diagram	traj.bsiso.oper.ly.gs traj.oper.missing.gs	traj.bsiso.oper.ly.ncl
	경로	/lfs/data19/BSISO_R1/MONI/05.STEP5	
	Timeseries	bsiso.oper.ly.gs pc.oper.gs	bsiso.oper.ly.ncl
	경로	/lfs/data19/BSISO_R1/MONI/05.STEP5	
	OLR&U850 Anomaly	anomaly_map_ly.gs	anomaly_map_ly.ncl
	경로	/lfs/data19/BSISO_R1/MONI/06.STEP6	
	EOF Regression Map	eof_recon_map_ly.gs	eof_recon_map_ly.ncl
		eof_recon2_map_ly.gs	eof_recon2_map_ly.ncl
	경로	/lfs/data19/BSISO_R1/MONI/07.STEP7 /lfs/data19/BSISO_R1/MONI/08.STEP8	
예측	OLR Anomaly	59.CFS_OLR_DRAW_LY.gs 59.GFS_OLR_DRAW_LY.gs 59.ECM_OLR_DRAW_LY.gs 59.BOM_OLR_DRAW_LY.gs 59.CWB_OLR_DRAW_LY.gs	59.OLR_DRAW_LY.ncl
	경로	/lfs/data19/BSISO_R1/FCST/05.STEP5	

② BSISO 현업시스템 비효율적 저장 공간 관리 체계 개선

BSISO 감시시스템의 수행시간은 약 2분으로 누적된 input/output 결과들이 반복적으로 쌓여 대용량의 파일이 매 과정에서 read/write 됨에도 불구하고 실제 계산 시간은 길지 않았다. 그러나 기존의 감시시스템 체계는 계산 시간을 줄이는 대신 매일 중복된 결과물이 저장되어 그 파일을 읽고 쓰는 형태로 개발되어 있어 저장 공간 측면에서는 시간이 지남에 따라 결과물의 용량이 기하급수적으로 증가하는 형태이다. 따라서 본 개선은 감시시스템의 운영 시간이 현업 운영에 지장이 없을 정도에서 다소 증가하더라도 불필요한 저장 공간 사용을 최대한 줄이고자 하였다. 그리고 기존 체계에서 생산된 자료의 중요도에 따라 장기적인 저장이 필요한 자료에 대해서는 별도의 하드디스크를 구입하여 일괄 백업하고 기존 자료는 현업 폴더에서 모두 삭제하였다.

㉮ 주요 코드 수정

저장 공간 관리 체계 개선을 위해 변경된 코드 리스트는 Table 7과 같다. 기존 코드 형식은 최대한 유지한 채 개선에 필요한 부분만 일부 수정하였고, 현업 코드 버전 관리를 위해 기존 코드는 해당 경로 하위 ORG라는 폴더에 별도 저장하였다.

Table 7. List of codes for improvement of the inefficient storage management.

구분	상위 쉘	개선 코드	비고
감시	update.$VAR.ly.csh	update.${VAR}.ly.f90	기존 코드는 해당 경로 하위 'ORG' 폴더에 별도 백업
	경로	/lfs/data19/BSISO_R1/MONI/00.PREPR/$VAR	
	update.$VAR.ly.csh	olr.read.day.ly.gs update.olr.ly.f90	
	경로	/lfs/data19/BSISO_R1/MONI/00.PREPR/OLR/ORG	
	update.anos1.ly.csh	update.anos1.ly.f90	
	경로	/lfs/data19/BSISO_R1/MONI/01.STEP1	
	update.anos2.ly.csh	update.anos2.missing.ly.f90	
	경로	/lfs/data19/BSISO_R1/MONI/02.STEP2	
	update.asm-norm.day.ly.csh	update.asm-norm.day.missing.ly.f90	
	경로	/lfs/data19/BSISO_R1/MONI/03.STEP3	
		proj.pc.missing.ly.f90	
	경로	/lfs/data19/BSISO_R1/MONI/04.STEP4	

update.$VAR.ly.f90는 1979. 1. 1.부터 현재까지 6시간 자료를 일 평균하는 코드로 변경사항은 없다. 기존에 과거부터 전 날까지 일 평균이 계산되어 있는 전날 결과 파일을 해당 날짜 파일명으로 복사해서 그 자료를 읽고 해당(당일) 날짜에 해당하는 record 만큼만 추가 계산해서 해당 결과값으로 저장하였다. 전날 생산된 결과 파일에 의존하는 방식을 바꾸기 위해서는 매일

코드 내에서 전체 time 개수(1979. 1. 1. ~ 현재)에 해당하는 record length를 읽어서 일 평균을 계산하면 되는데 이는 줄어드는 저장 공간 대비 소요되는 계산 시간이 매우 크기 소요되기 때문에 기존 방식을 유지하는 것이 효율적이라 판단하였다.

update.anos1.ly.f90은 기후값 연 순환에서 1-3 harmonics 제거 및 아노말리 계산하는 코드로 기존에 전 날 파일을 해당 날짜 파일명으로 복사하고 최근 2년에 해당하는 record length 만큼 만 계산 후 해당 날짜 파일에 이어쓰기를 하였지만, 개선 이후 전 날 파일 유무 관계없이 전체 기간 record length 계산 후 해당 날짜 파일만 생산되도록 하였다.

update.ano2.ly.f90은 120일 평균 제거한 아노말리 계산하는 코드로 기존에 전 날 파일을 해당 날짜 파일명으로 복사하고 최근 2년에 해당하는 record length 만큼 만 계산 후 해당 날짜 파일에 이어쓰기를 하였지만, 개선 이후 전 날 파일 유무 관계없이 전체 기간 record length 계산 후 해당 날짜 파일만 생산하였다.

proj.pc.missing.ly.f90는 MV-EOF 10개 모드를 투영한 수평장 계산하는 코드로 변경사항은 없다.

㉯ 기존 생산된 결과물 임시 폴더 이동

개선된 코드로 자료 재생산 및 결과 비교를 위해 기존 생산된 결과물은 임시 폴더에 이동하였다.

㉰ 자료 재생산 및 일치성 확인

개선된 코드를 이용하여 일정 기간 시운영을 수행하였고 재생산된 결과와 임시 폴더에 옮겨둔 기존 결과와의 차이를 비교하였을 때 두 결과가 일치하였다.

㉱ 기존 결과물 백업 및 저장 공간 정리

개선된 코드의 안정성을 우선 확보하였고 그 이후 개선된 코드 체계에서 제거해도 무관한 자료를 산정했을 때 약 40TB이다. 기존 현업에서 생산된 자료의 관리 차원에서 해당 자료는 파일 삭제보다는 외장하드디스크에 백업을 수행하기로 하였고 외장하드디스크 구매 후 백업을 진행하였다. 그리고 기존에 현업시스템에 저장된 자료는 모두 삭제 처리하였다.

㉲ 개선 적용 및 결과

저장 공간 관리체계 개선은 3월에 코드 개발 및 안정성 확인을 완료하고, 5월(현업 개시월)부터 현업은 해당 코드로 운영되었다. 기존 자료는 백업을 위해 새로 구입한 외장하드디스크 42TB (6TB*7개)와 기존에 구비된 외장하드디스크(3TB*2개)를 이용하여 연도별로 백업하여 관리 중이다.

Table 8은 저장 공간 관치 체계 개선 결과를 계산 시간 및 저장 공간 측면에서 나타낸 것이다. 계산 시간 측면에서는, 저장 공간 관리 체계 개선을 위해서 대부분 코드 내 파일을 읽고 쓰는 부분에서의 수정이 필요했고 이 과정에서 기존에 비해 긴 record length를 읽어야 하는 코드에서는 계산 시간은 소폭 증가하여 총 감시시스템의 구동 시간이 약 3분에서 13분으로 기

존 대비 약 4배 증가했다. 그러나 저장 공간 측면에서는 매일 유효하게 저장되는 파일 용량이 기존에 약 23GB이고 매일 조금씩 증가했다면 개선한 이후는 매일 약 2.5GB가 고정적으로 저장되어 기존 대비 저장 공간이 약 10배/일 절감되었다. 최종적으로 기존에 누적 저장된 파일 용량은 약 46TB였는데 개선 이후 잔여 파일 용량은 약 6TB로 약 40TB의 저장 공간을 확보하였다.

Table 8. Status of time and storage before and after improvement of the inefficient storage management.

구분	계산 시간			
	개선 코드		기존	개선
감시	STEP0	update.$VAR.ly.csh	10초/변수	동일
	STEP1	update.anos1.ly.csh	5초/변수	동일
	STEP2	update.anos2.ly.csh	25초/변수	2분 20초/변수
	STEP3	update.asm-norm.day.ly.csh	약 1분	약 3분
	STEP4	proj.pc.missing.ly.f90	약 7초	동일
	STEP5	지수, 이미지 생산	약 13초	동일
			약 3분	약 13분
	저장 공간			
			기존	개선
	매일 유효 저장되는 파일		약 23 GB	약 2.5 GB
	현재까지 누적 저장된 파일		약 46 TB	약 6 TB

③ BSISO 현업시스템 신 평년기간(1991~2020년) 적용

기후 평년값은 세계기상기구의 기준에 따라 10년에 한번씩 갱신하는 것을 권고한다. 이에 따라 APCC BSISO 현업시스템에서 아노말리 계산을 위해 이용되는 재분석자료의 기후값을 1981~2010년에서 신 평년 기간인 1991~2020년으로 조정하여 기후값을 재생산하여 최신의 기후 패턴과 경향성을 반영하여 BSISO를 생산하고 평년 기후값에 따른 BSISO 지수 차이를 살펴보았다.

신 평년기간 적용을 위해 변경된 코드 리스트는 Table 9와 같다. 기존 코드 형식은 최대한 유지한 채 개선에 필요한 부분만 일부 수정하였고, 현업시스템 내 부재 코드(MV-EOF 생산, 일별 영향장 입력자료)는 직접 개발하고 자료를 재생산하였다.

㉮ 감시

VNAME.DAY.CLIM.H.LY.f90 코드는 기후 기간 재설정(1981-2010년에서 1991-2020년으로 수정) 및 조건부 변경하였다.

update.anos1.ly.f90는 기후값 연 순환에서 1-3 harmonics 제거 및 아노말리 계산 코드로

기후 자료 읽는 부분 조건부 변경하였다.

MV_EOF_10mode_9120.f, eof.day.ev.f90는 MV-EOF 10개 모드 생산 및 파일 형식 변경하는 코드로 U850과 OLR의 MV-EOF 생산 및 ascii에서 binary로 파일 형식 변경하였다. 해당 계산 코드 현업시스템 내 부재로 하와이대 IPRC 홈페이지를 참고하여 직접 개발하였다.

proj.pc.missing.ly.f90는 MV-EOF 10개 모드를 투영한 수평장을 계산하는 코드로 기후 기간 재설정 및 조건부 변경하였다.

Table 9. List of codes changed for apply climatological base period to 1991-2020.

구분		기존 코드	개선 코드
감시	STEP1	VNAME.DAY.CLIM.H.LY.f90	VNAME.DAY.CLIM.H.LY_2022.f90
	경로	/lfs/data19/BSISO_R1/MONI/01.STEP1/${VAR}/	
	STEP1	update.anos1.ly.f90	
	경로	/lfs/data19/BSISO_R1/MONI/01.STEP1	
	STEP4	X	MV_EOF_10mode_9120.f
		X	eof.day.ev.f90
	경로	/lfs/data19/BSISO_R1/MONI/04.STEP4/MVEOF	
	STEP4	proj.pc.missing.ly.f90	
	경로	/lfs/data19/BSISO_R1/MONI/04.STEP4	
합성장	STEP0	nc2bin_$VAR_noLY.gs	
	경로	/lfs/data19/ANOS2/noLY/STEP0/$VAR	/lfs/data19/ANOS2_ORG/noLY/STEP0/$VAR
		COMPOSITE.csh	
	경로	/lfs/data19/COMPOSITE_ORG/SHEL	/lfs/data19/COMPOSITE/SHEL
영향장		X	20.BSISO.PhaseCycle.amplitude.f90 21.BSISO.PC.amp.sig.f90 compile2.csh
	경로	/lfs/data19/BSISO_R1/IMPACT/SRC	

㉰ 합성장

nc2bin_${VAR}_noLY.gs는 평년 기간의 일별 자료를 nc에서 binary 형태로 변환하는 코드로 기후 기간 재설정 및 binary 형태의 일별 자료 재생산하였다.

COMPOSITE.csh은 합성장 생산을 위한 상위 쉘스크립트로 기후 기간 재설정 및 변수/기간별 BSISO 합성장 일괄 재생산하였다.

㉰ 영향장

20.BSISO.PhaseCycle.amplitude.f90는 기간 및 변수에 따른 일별 phase 합성하는 코드로 평년 기간 동안의 일별 BSISO 합성장 재생산하였다. 그리고 해당 계산 코드 현업시스템 내 부재로 인해 직접 개발하였다.

21.BSISO.PC.amp.sig.f90는 유효 강도 BSISO 일수를 추출하는 코드로 1.5 표준편차 이상의 BSISO 강도만 추출 및 재생산하였다. 그리고 해당 계산 코드 현업시스템 내 부재로 직접 개발하였다.

compile2.csh은 20.BSISO.PhaseCycle.amplitude.f90, 21.BSISO.PC.amp.sig.f90 구동을 위한 상위 쉘로 최종적으로 일별 합성장인 ${GROUP}.${VAR}.BSISO.MMDD.amp1.5.sig 파일을 생산하기 위해 새로 개발되었다.

㉱ 개선 적용 및 결과

신 평년기간 적용은 3월에 완료하여 4월에 안정성 확인 및 현업 코드 적용을 수행하였고, 5월(현업 개시 월)부터 현업은 해당 코드로 운영되었다.

Figure 38은 평년기간(1981-2010년에서 1991-2020년) 변경에 따른 OLR과 U850에 대한 평균장 차이의 통계적 유의성 검증(T-test) 결과이다. 검증 대상 기간은 BSISO 현업 운영 기간인 5~10월이다. 해당 기간에서 BSISO 대상 지역에서는 대부분 평년값 변경에 따른 유의한 값 차이가 나타나지 않았다.

Figure 39는 평년기간에 따른 OLR과 U850의 MV-EOF 결과이다. BSISO에 활용되는 EOF 주요 4개 모드에서 두 평년 기간의 주요 EOF 패턴이 대부분 비슷하게 나타나고 세 번째와 네 번째 모드에서는 조금의 강도 차이가 있는 것을 확인하였다.

Figure 40은 평년기간에 따른 BSISO 지수 및 두 지수간 시간 상관계수를 나타낸 것이다. 평년 기간이 변경되어도 EOF 1, 2번째 모드인 BSISO1 지수는 거의 일치하고 상대적은로 EOF 3, 4번째 모드인 BSISO2 지수는 일별로 강도의 차이를 보였으나 그 차이가 통계적으로 유의한 수준은 아니었다.

Figure 41은 평년기간에 따른 BSISO 지수 분포 차이의 통계적 유의성 검증(KS-test)을 나타낸 것이다. BSISO2-1 지수를 제외하고는 지수 분포(PDF) 차이가 거의 없었고 BSISO2-1 또한 통계적으로 유의한 수준의 분포차이를 나타내지는 않았다.

결과적으로 기후 평년기간이 10년 shift 되었지만 EOF 기반의 BSISO의 패턴이나 지수 특성 등은 크게 변하지 않은 것을 통해, 최근 기후값에 포함된 온난화 경향이나 decadal 변동 등이 BSISO의 Intraseasonal 변동을 변화시키지 않는 것을 확인하였다. 따라서 변경된 기후값을 현업 시스템에 바로 적용하여 각 변수별 아노말리 및 MV-EOF를 추출하여, 최신의 기후 특성이 반영된 BSISO 정보를 생산하였다.

또한 영향장의 배경장이 되는 신 평년 기간의 BSISO 합성장을 재생산하였다. 합성장은

BSISO 해당 기간인 5월부터 10월까지 BSISO 관련 변수 10개(상향장파복사&850hPa바람, 강수, 2m 기온, 해면기압, 850hPa 수분수렴, 600hPa 상대습도, 500hPa 지위고도, 500hPa 연직속도, 200hPa 속도퍼텐셜, 200hPa 유선함수)에 대한 월별 합성으로 생산된다. Figure 42는 BSISO 해당 기간(5~10월)에 대한 10개 변수의 월별 평균 합성장 이미지가 표출되는 홈페이지 정의 페이지의 예시이다.

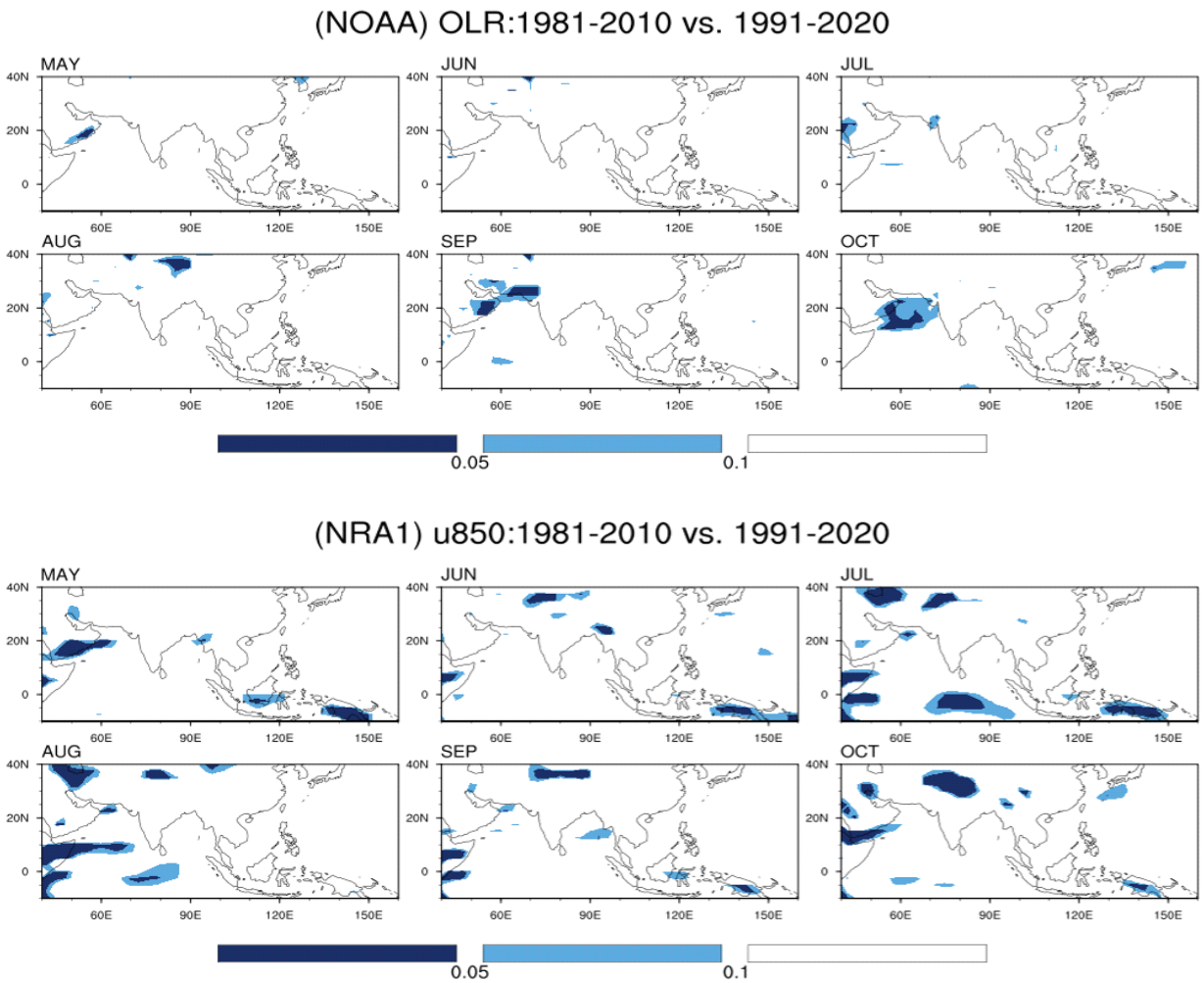


Figure 38. T-test for mean field of both climatological base period 1981-2010 and 1991-2020 of OLR (top) and 850hPa zonal wind (bottom).

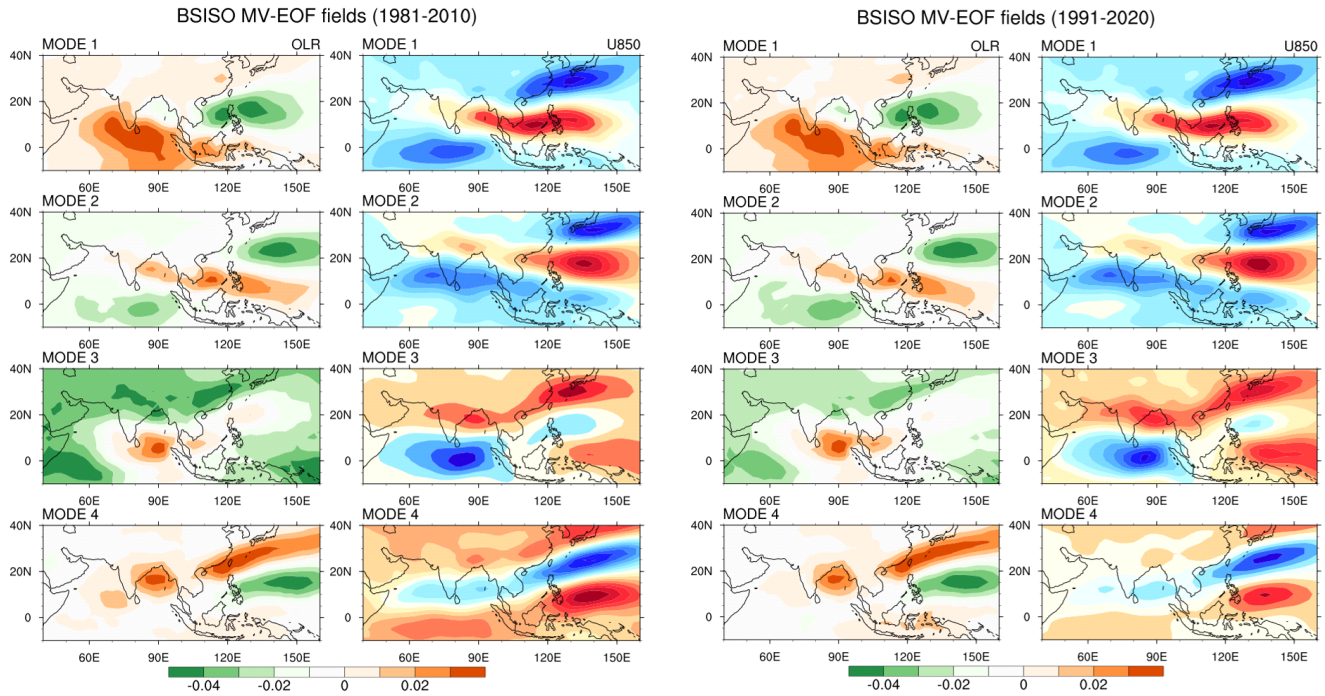


Figure 39. MV-EOF fields by climatological base period 1981-2010 (left) and 1991-2020 (right).

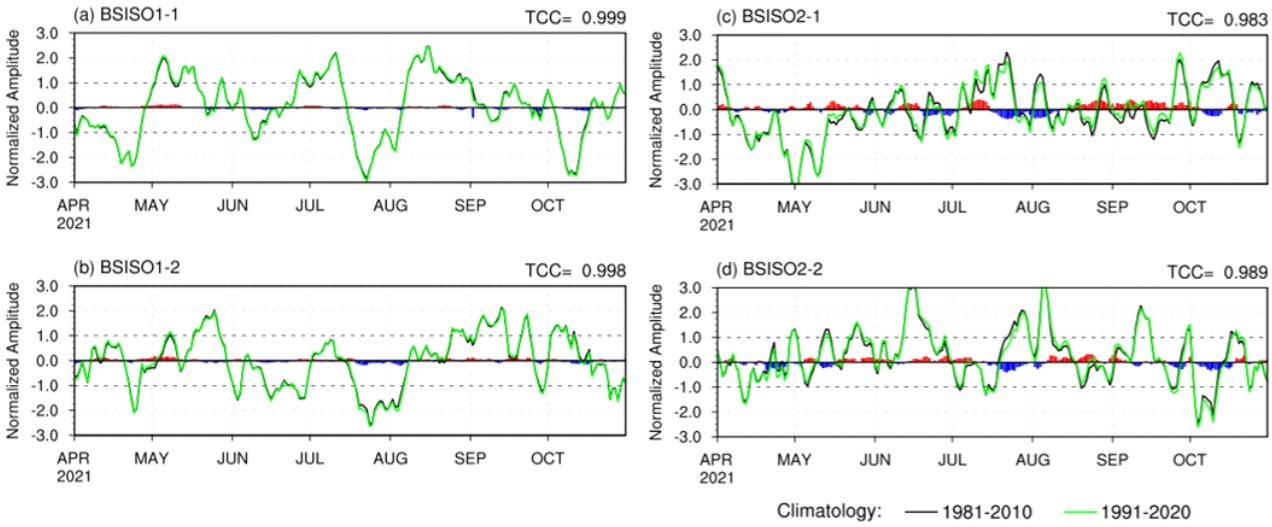


Figure 40. BSISO index (line) and time correlation coefficients (value) by climatological base period 1981-2010 (black line) and 1991-2020 (green line). Bar is difference between 1981-2010 and 1991-2020.

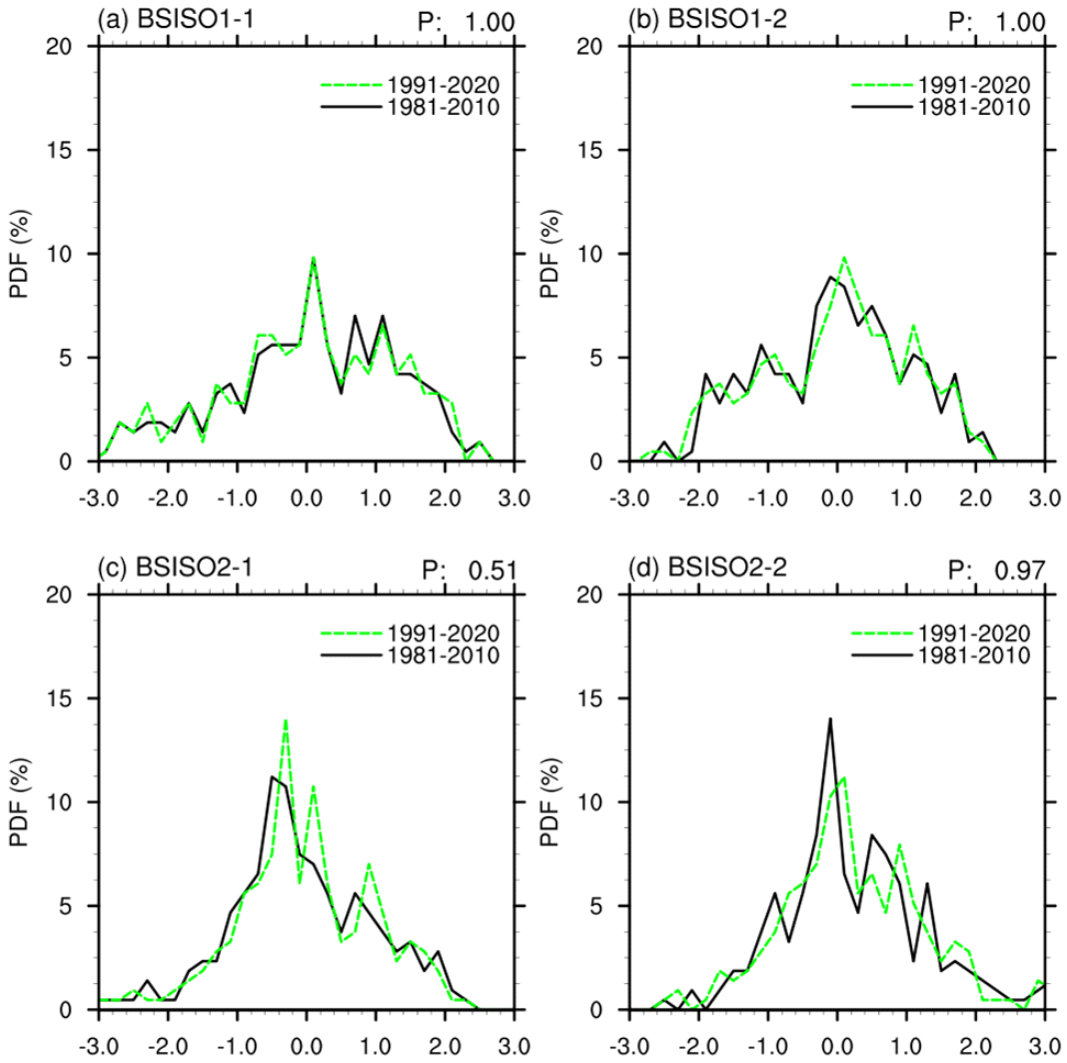


Figure 41. KS-test and P-value (value) for distribution of BSISO index by climatological base period 1981-2010 (green line) and 1991-2020 (black line).

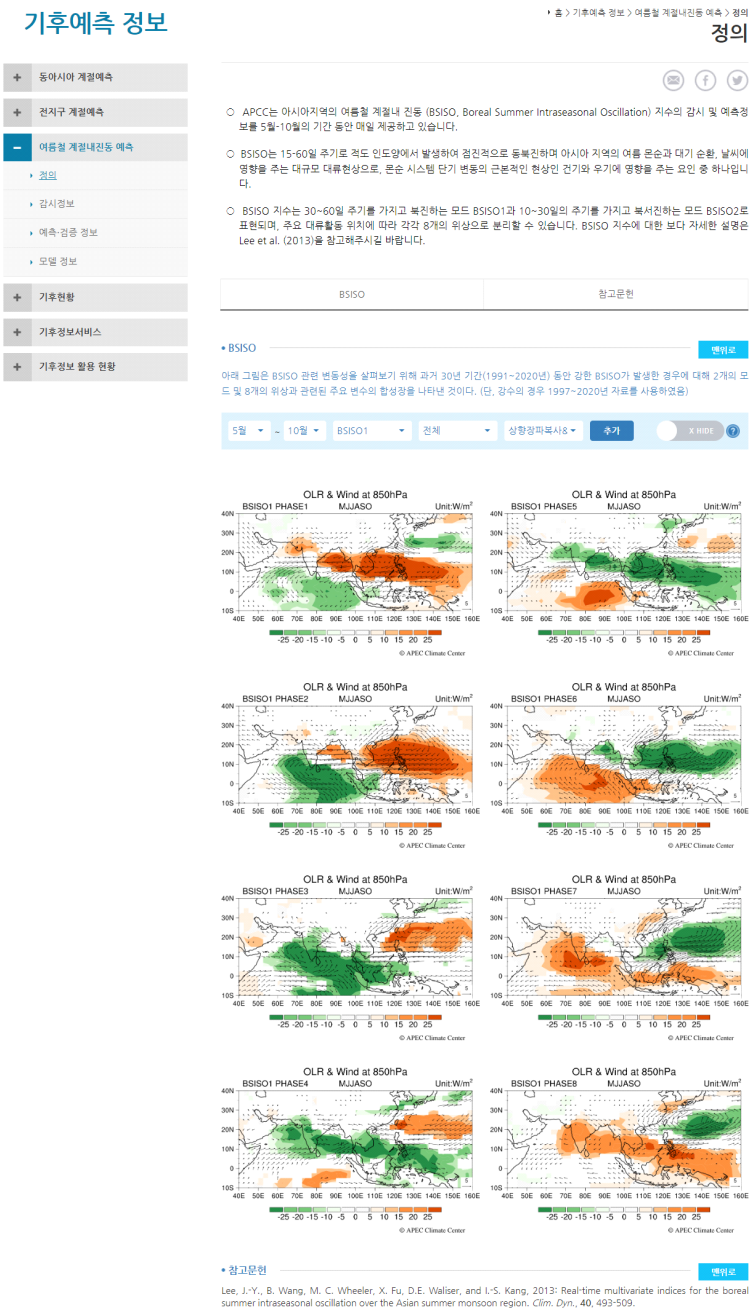


Figure 42. Example of BSISO composite map displayed on APCC BSISO website.

개선과 관련한 후속 조치로 현업 개시 전 모델 Provider 및 아웃룩 수신자에게 메일 발송을 통해 기후값 변경 정보를 전달하였고, BSISO 홈페이지의 모델 정보 탭 상단에 있는 개선 이력 정보에 개선 항목을 추가하였다.

④ BSISO 통합 구동시스템 개발

기존 BSISO는 각 파트가 개별 쉘 스크립트로 작성되어 크론탭을 이용하여 지정한 시간에 구동이 되었는데 이를 순차적으로 통합 구동할 수 있는 통합구동시스템(감시-예측-검증)을 개발하였다. 이때 통합 구동시스템 및 각 개별 쉘 스크립트의 코드 언어는 파이썬으로 변경 및 개발하고, 경로, 파일명 변경 등의 시스템 환경과 무관하게 입력자료의 속성값을 읽어 감시 기준 날짜가 설정되는 등 시스템 환경에 독립적으로 운영될 수 있는 시스템을 구축하였다.

BSISO 통합 구동시스템 구축을 위해 개발된 코드는 Table 10과 같다. 영향장을 제외한 감시-예측-검증 파트별 쉘 스크립트는 모두 파이썬 코드로 변환하였고, 자세한 개선 코드 내용 및 구동 매뉴얼은 부록에 작성되어 있다. 그리고 감시-예측-검증-영향장을 구동하는 시스템은 기존에 크론탭 스크립트 방식에서 'MAIN_BSISO.py' 에서 순차적으로 통합 구동되게끔 개발하였다.

Table 10. Status of codes for development of new BSISO operating system.

구분		기존 코드	개선 코드
감시	현업	MONI_RUN_LY.CSH	MONI_RUN_LY.py
	백업	BACKUP_MONI_RUN_LY.CSH	BACKUP_MONI_RUN_LY.py
	경로	/lfs/data19/BSISO_R1/MONI/01.STEP1	
예측	현업	FCST_RUN_LY.CSH	FCST_RUN_LY.py
	백업	BACKUP_FCST_RUN_LY.CSH	BACKUP_FCST_RUN_LY.py
	경로	/lfs/data19/BSISO_R1/FCST/99.RUN	
확률	현업	R.Prob.FCST_RUN_LY.CSH	R.Prob.FCST_RUN_LY.py
	백업	BACKUP_R.Prob.FCST_RUN_LY.CSH	BACKUP_R.Prob.FCST_RUN_LY.py
	경로	/lfs/data19/BSISO_R1/FCST/99.RUN	
검증	현업	UPDATE.LY.CSH UPDATE.VERI.LY.CSH UPDATE.VERI.TOTA.LY.CSH	UPDATE.LY.py UPDATE.VERI.LY.py UPDATE.VERI.TOTA.LY.py
	백업	BACKUP_UPDATE.LY.CSH BACKUP_UPDATE.VERI.LY.CSH BACKUP_UPDATE.VERI.TOTA.LY.CSH	BACKUP_UPDATE.LY.py BACKUP_UPDATE.VERI.LY.py BACKUP_UPDATE.VERI.TOTA.LY.py
	경로	/lfs/data19/BSISO_R1/VERI/99.RUN	
통합	현업	X	MAIN_BSISO.py
	백업	X	BACKUP_MAIN_BSISO.py
	경로	X	/lfs/data19/BSISO_R1/MAIN

㉮ 각 세부 시스템별 독립적 운영 체계 개선

BSISO 각 단계별 작업 수행에 있어 기존 crontab 기반의 순차 구동 체계를 제거하고 통합 구동시스템 내에서 각 세부 파트가 순차적·일괄적 작업 수행 및 제어 가능해졌다.

㉯ 시스템 환경에 따른 의존성 개선

Python 및 CDO (Climate Data Operators)를 활용하여 입력자료에서 시간정보를 읽는 등 시스템 환경과 무관하게 감시 날짜가 설정되도록 개선하였다.

㉰ 감시 자료 수신 여부에 따른 현업 수행

감시 자료 수집 여부를 확인하여 수집 자료 현황을 로그파일에 기록하고 가장 최신의 재분석자료 수집 시 현업이 구동되고 반면, 미수집 시 flag 파일을 생성하여 BSISO 통합 구동시스템이 중단되어 불필요한 현업시스템 구동을 없애고 이 경우 홈페이지에 가장 최신의 감시자료 이미지가 대체 표출된다.

㉱ BSISO 통합 구동시스템 개발

감시, 예측, 검증 각 단계별 구동 시스템을 C-Shell 기반에서 Python으로 전환하였고, 가장 최근 개발된 영향장의 경우 이미 세부 파트별 코드가 유기적으로 구동되게끔 작성되어 있기 때문에 개선에서 제외하고 감시-예측-검증 통합 구동시스템을 구축하였다. 그리고 과거 회귀 생산(Backup) 또한 Python 구동시스템으로 일괄 처리 및 재생산 가능하다.

㉲ 개선 적용 및 결과

새로 개발된 BSISO 통합 구동시스템은 공식 현업 종료 기간(10월) 이후에 감시 날짜 기준 10월 1일~31일까지 30일간 자료를 회귀 생산함으로써 시운영하였다. 그리고 통합 구동시스템을 통해 감시, 예측, 검증 각 세부 단계에서 재생산된 자료(Table 11)를 기존 결과와 비교했을 때, 차이가 없음을 확인하였다.

안정성 평가가 완료된 BSISO 통합구동시스템은 2023년 5월 현업 개시일부터 사용될 예정이다. 개발된 통합구동시스템을 이용하면 입력자료 수집 여부 및 시간 속성을 불러오기 때문에 비정상적인 감시시스템 구동이 줄어들고 이로 인해 홈페이지 이미지 미표출 사례, 에러값 표출 사례가 현저히 감소할 것으로 예상된다. BSISO 통합구동시스템의 상세 개선 사항(부록 B) 및 운영 매뉴얼(부록 C)은 별도로 작성하여 관리하고자 한다.

Table 11. Directory of products for each part in BSISO operating system.

구분	경로
감시	/lfs/data19/BSISO_R1/MONI/09.STEP9
	/lfs/data19/BSISO_R1/MONI/10.READY/2022
	/lfs/data19/BSISO_R1/MONI/11.BINAR
예측	/lfs/data19/BSISO_R1/FCST/06.FIGUR
	/lfs/data19/BSISO_R1/FCST/07.FIGUR.OLR
	/lfs/data19/BSISO_R1/FCST/09.FIGUR.Prob
	/lfs/data19/BSISO_R1/FCST/10.READY
	/lfs/data19/BSISO_R1/FCST/11.BINAR
	/lfs/data19/BSISO_R1/FCST/11.BINAR/wPHS
	/lfs/data19/BSISO_R1/FCST/11.BINAR/LYEAR
	/lfs/data19/BSISO_R1/FCST/38.R.ext/DATA
검증	/lfs/data19/BSISO_R1/VERI/01.STEP1
	/lfs/data19/BSISO_R1/VERI/02.STEP2
	/lfs/data19/BSISO_R1/VERI/03.FIGUR

다. APCC 자체예측모델(SCoPS) 운영 및 예측정보 제공

(1) SCoPS 운영 및 예측정보 제공

SCoPS (Seamless Coupled Prediction system)는 APCC 자체 계절예측모델로 2017년 11월부터 매달 APCC MME의 참여모델로 활용되고 있다. SCoPS의 초기조건은 NCEP CFS (National Centers for Environmental Prediction Climate Forecast System) 재분석자료와 Argo 자료를 이용하고 대기 초기조건은 3차원 넛징(nudging), 해양 초기조건은 EAKF (Ensemble Adjustment Kalman Filter) 기법을 이용하여 3차원 넛징으로 생산된다. 매달 1, 5일에 생산된 총 10개 앙상블을 이용하여 매월 6개월 계절 예측자료를 생산한다.

매달 현업 운영 일정은 매월 7일경 초기장을 위한 재분석자료를 다운로드하고 자료 전처리를 거쳐 3차원 넛징 및 초기화 기법을 적용시킨다. 그리고 생산된 초기자료를 이용하여 6개월 계절 예측자료를 만들고 이는 후처리를 거쳐 매월 10~12일경 APCC MME에 제공된다. 또한 SCoPS 자체 예보토의 자료 생산을 위해 계절별 예측 자료 검증 및 주요 변수의 결정론 및 확률론적 예보 공간장을 생산하여 센터 내부에 공유하고 있다.

(2) 기상청 슈퍼컴 5호기를 활용한 SCoPS 운영체계 구축

(가) 현황 및 필요성

SCoPS의 현업 운영 중 APCC HPC 노후화에 따른 불규칙한 시스템 오류와 계산시간 지연 등의 문제가 있어왔다. 이로 인해 현업의 안정적인 운영을 위한 대체 전산자원의 필요성이 꾸준히 대두되었고 현실적으로 대체 가능한 계산 자원으로 기상청 슈퍼컴퓨터가 언급되어 왔다. 이에 따라 지난 몇 년간 기상청 슈퍼컴퓨터가 구축되면 SCoPS 모델을 포팅하고 hindcast 자료를 생산하여 안정성 테스트 및 대체자원을 준비했다. 올해 초부터 일반 사용자에게 슈퍼컴퓨터 5호기 공동활용분 시스템(두루) 사용이 공식화됨에 따라 SCoPS 운영 시스템을 이식하고 시운영하여 시스템 안정성을 확보하고 현업 운영 대체자원 활용을 위한 사전 준비를 하였다.

(나) 주요 내용

APCC HPC와 슈퍼컴퓨터에 구축한 SCoPS의 포팅 환경설정을 Table 8과 같고 주요 차이점으로는 기상청 슈퍼컴퓨터 4호기부터는 PGI 컴파일러가 도입되지 않아서 Intel 컴파일러로 대체하였다.

Table 12 Configuration settings of APCC HPC and KMA supercomputer.

	APCC	KMA	
	HPC (2015~현재)	4호기 우리(2016~2021)	5호기 두루(2022~)
컴파일러	PGI 11.0	Intel 14.0	Intel 21.0
포트란	pgf90	ftn	Ifort
MPI	openMPI	mpich	Intel MPI

(다) 시운영 결과

슈퍼컴퓨터 5호기에 구축된 SCoPS 운영시스템을 시험 운영하고 일부 기간에 대한 예측장을 생산하였다. 시운영 기간은 2020~2022 JJA (June-July-August), 2020~2021 DJF (December-January-February)로 최근 2~3년간 여름, 겨울철 예측이다. 본 시험 운영에서 초기자료는 기존 APCC 현업시스템에서 생산된 자료(APCC)를 사용하여 동일하고, 시운영을 통해 시스템 및 포팅 환경설정에 따른 예측 민감도를 확인하고자 하였다. 그리고 현재 SCoPS 초기장이 순차적으로 슈퍼컴퓨터 5호기(KMA5)로 이전되고 있으며 Hindcast부터 Forecast까지 Figure 43과 같이 엑셀 테이블을 이용하여 작업 현황을 관리할 예정이다.

R: running O: complete

	Issued month																							
	JAN		FEB		MAR		APR		MAY		JUN		JUL		AUG		SEP		OCT		NOV		DEC	
	01-01	01-05	02-01	02-05	03-01	03-05	04-01	04-05	05-01	05-05	06-01	06-05	07-01	07-05	08-01	08-05	09-01	09-05	10-01	10-05	11-01	11-05	12-01	12-05
2014																								
2015																								
2016																								
2017																								
2018																								
2019																								
2020									O	O											O	O		
2021									O	O											O	O		
2022									O	O							O	O						

Figure 43. Example of SCoPS job status on KMA5

본 시운영 자료 분석은 일부 기간에 대한 예측자료 검증이므로 그 기간이 짧아 활용할 수 있는 검증기법에 한계가 있었다. 그래서 주로 기존과 새로 생산된 결과 간 공간 상관계수(Pattern Correlation)와 상대적 차이값(Relative Difference)을 이용해서 민감도를 살펴보고자 하였다.

① Relative Difference (DF) 패턴

$$DF(\%) = \frac{KMA5 - APCC}{APCC} * 100$$

시험 운영을 한 5개 사례(2020~2022 JJA, 2020~2021 DJF)에 대해 기존 결과와의 차이를 살

펴보기 위해 DF 패턴을 각 예측시기 및 변수별로 Figure 44 ~ Figure 48과 같이 살펴보았다. 분석에 사용된 변수는 2m 기온(T2M), 강수(PREC), 해수면 온도(SST), 해수면 기압(SLP), 500hPa 지위고도(Z500)이다. DF를 살펴본 결과, 각 예측시기 및 변수별로 차이가 나타났다. 그러나 특징적인 점은 변수별, 계절별로 주로 RMSE가 높게 나타나는 지역에서의 DF가 높게 나타나는 것을 확인하였다. 이를 통해 예측성이 낮은 지역에서 시스템 및 컴파일러에 따른 모델 결과의 민감도가 큰 것을 알 수 있었다.

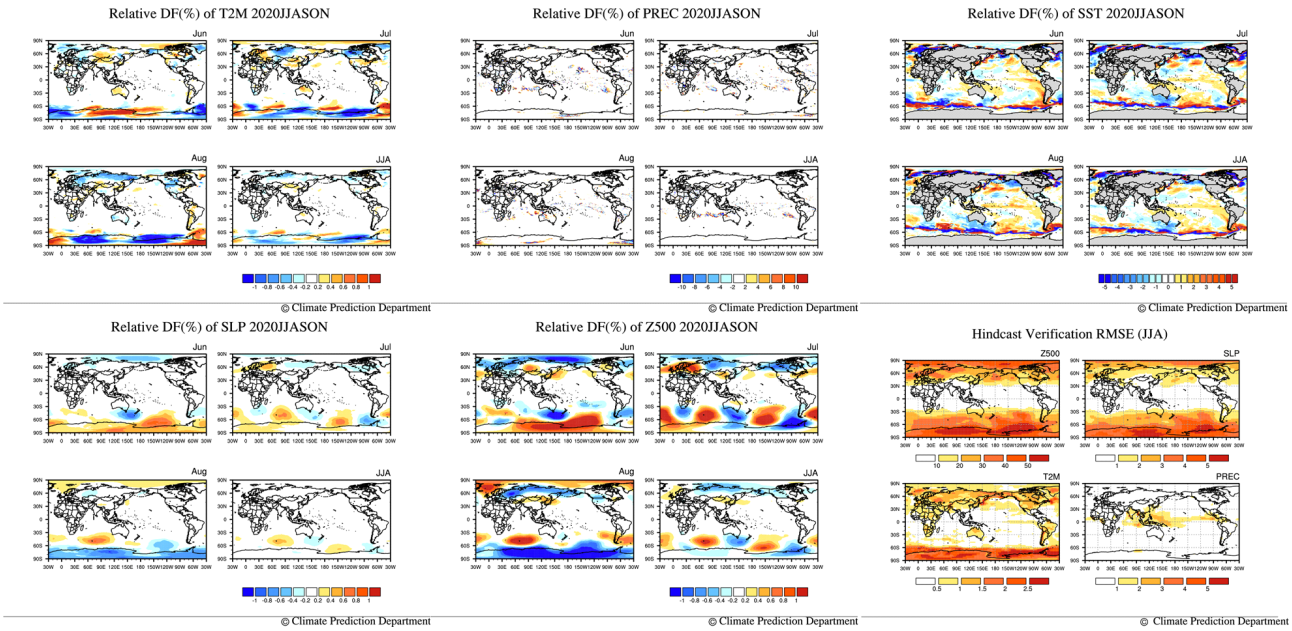


Figure 44. Relative difference (%) of T2M, PREC, SST, SLP, and Z500 between climatological base period 1981-2010 and 1991-2020 for 2020 JJA forecasts and RMSE for hindcast.

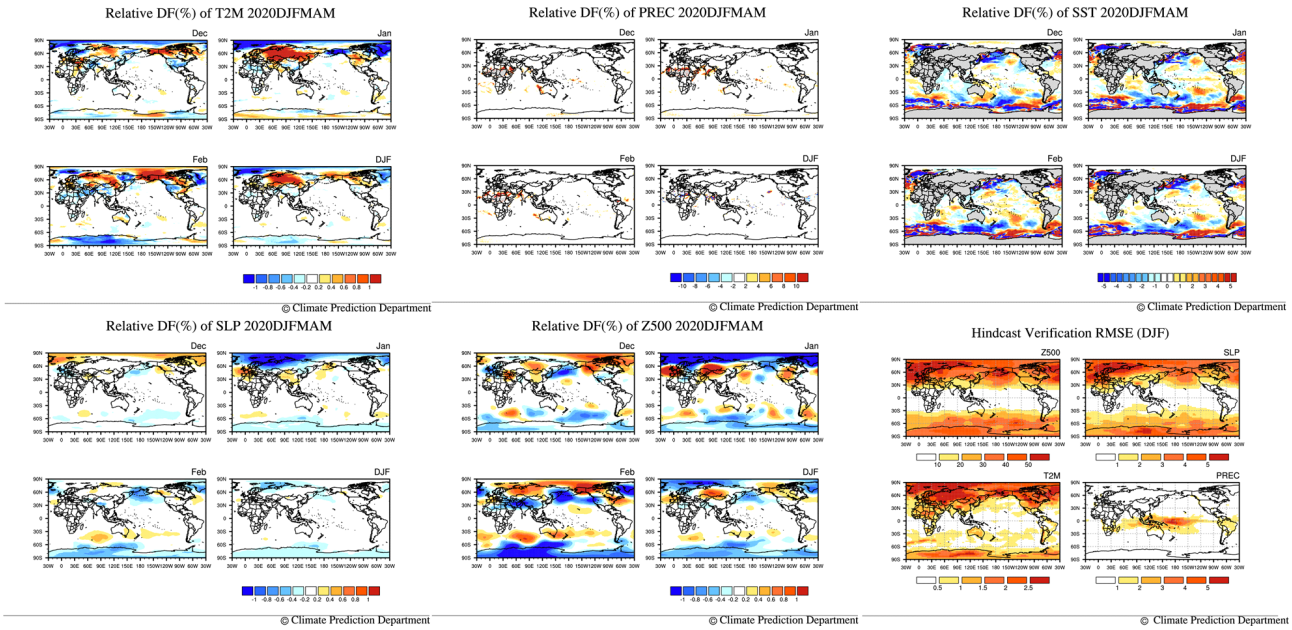


Figure 45. Same as Figure 44, but for 2020 DJF.

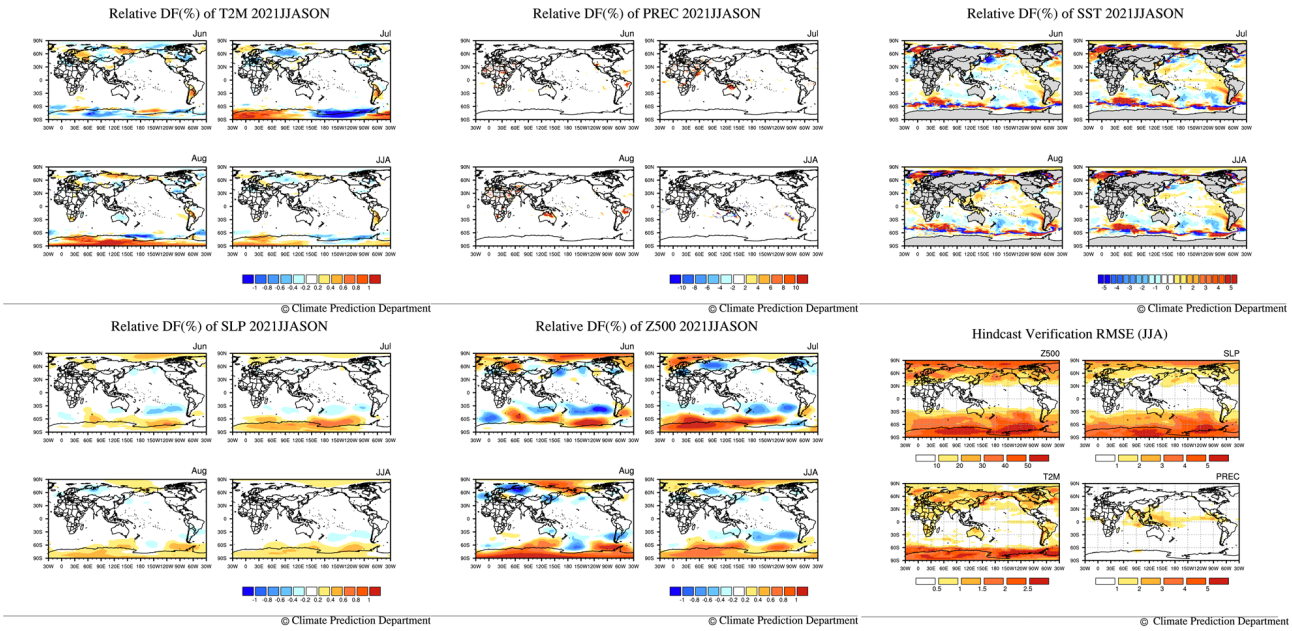


Figure 46. Same as Figure 44, but for 2021 JJA.

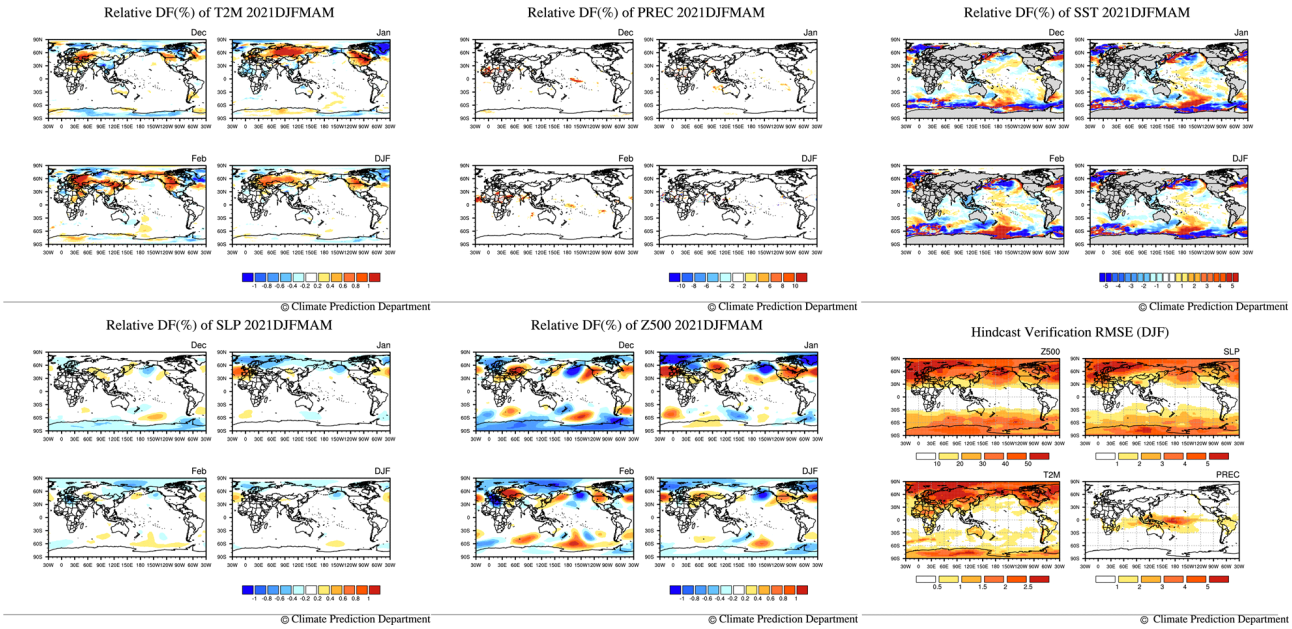


Figure 47. Same as Figure 44, but for 2021 DJF.

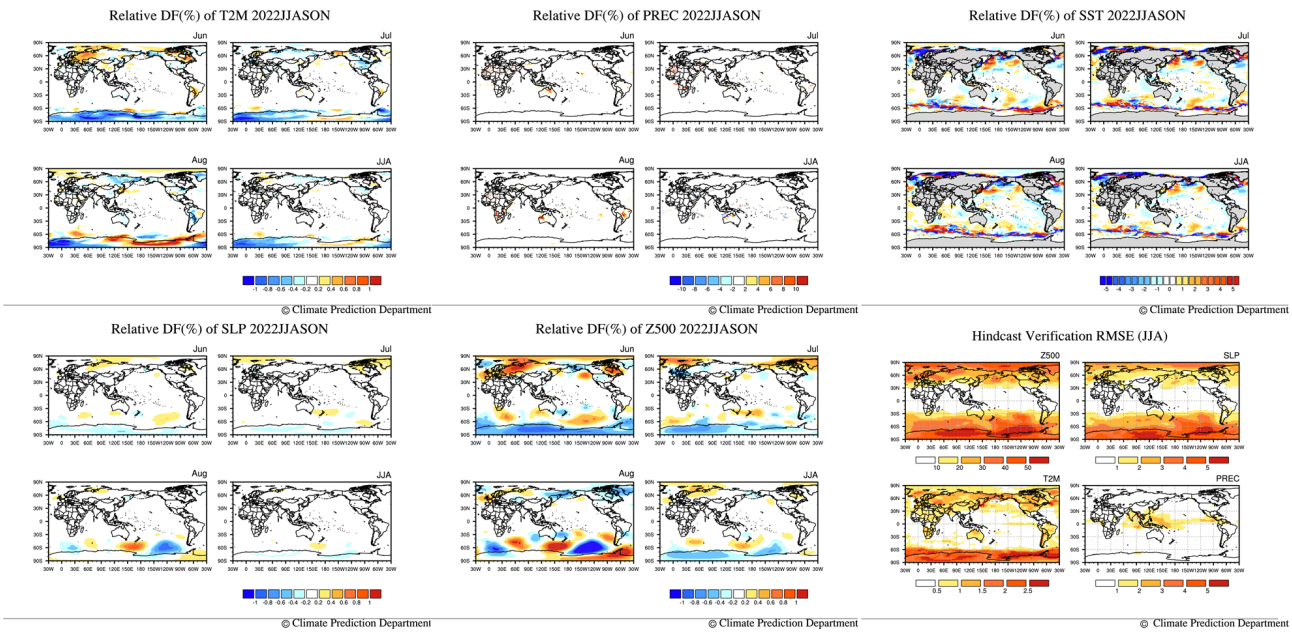


Figure 48. Same as Figure 44, but for 2022 JJA.

② 공간 상관관계(PCC)와 Relative Difference (DF) 분석(기존 결과 vs. 슈퍼컴퓨터 5호기)

Figure 49 ~ Figure 53은 각 사례에 대한 PCC와 DF 검증 결과로 계절별, 변수별로 일관된 결과 차이가 나타나지는 않았다. 그러나 T2M, SLP, Z500의 경우 기존 결과와의 Total 값의 차이가 약 1% 미만으로 나타나는 반면 강수의 경우 예측성이 높은 열대지역(TR)을 제외하면 기존 결과와의 값 차이가 10% 이상으로 민감도가 크게 나타난다. 그리고 PCC의 경우 특히 기압장에서 전 계절에 거쳐 기존 결과와의 패턴 일치성이 낮은 편이다.

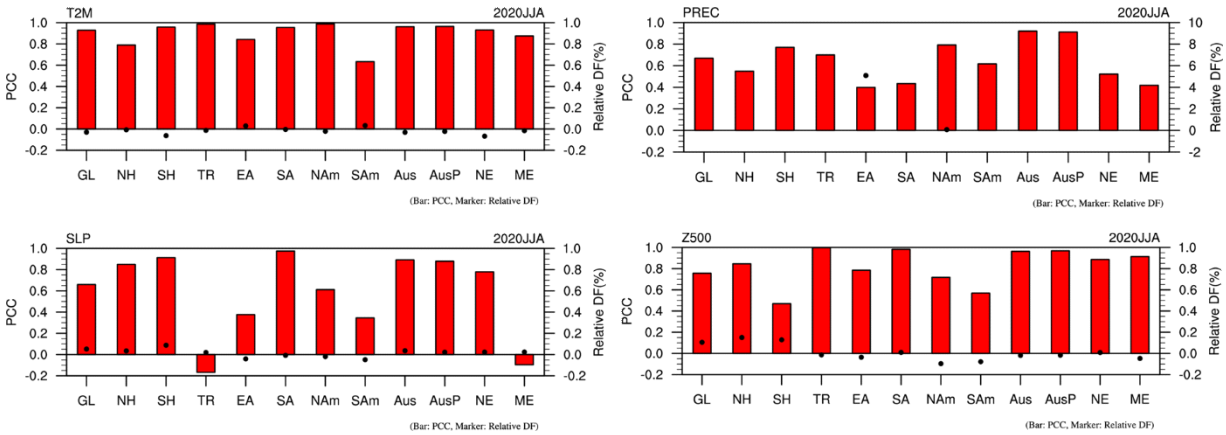


Figure 49. PCC (Bar) and DF (Dot) of T2M, PREC, SLP, and Z500 for 2020 JJA forecasts.

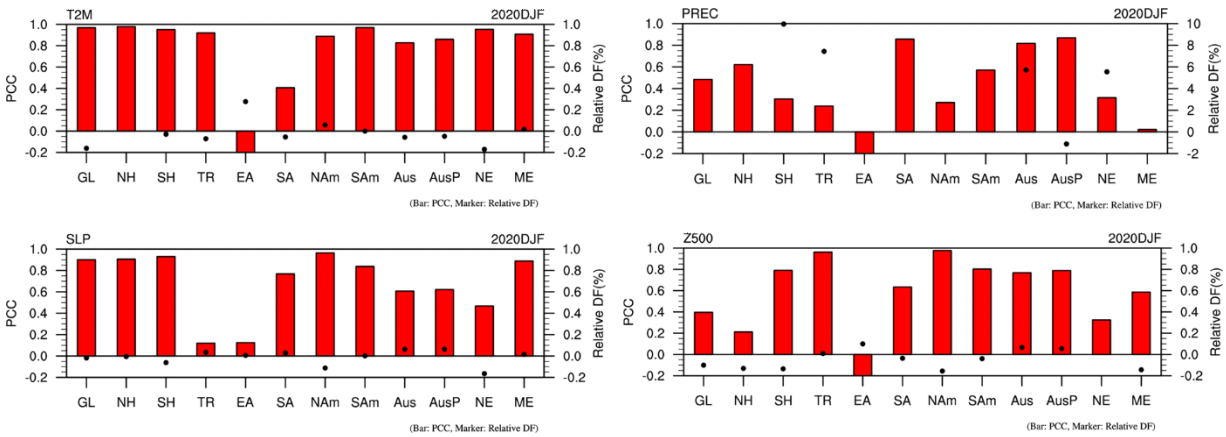


Figure 50. Same as Figure 49, but for 2020 DJF.

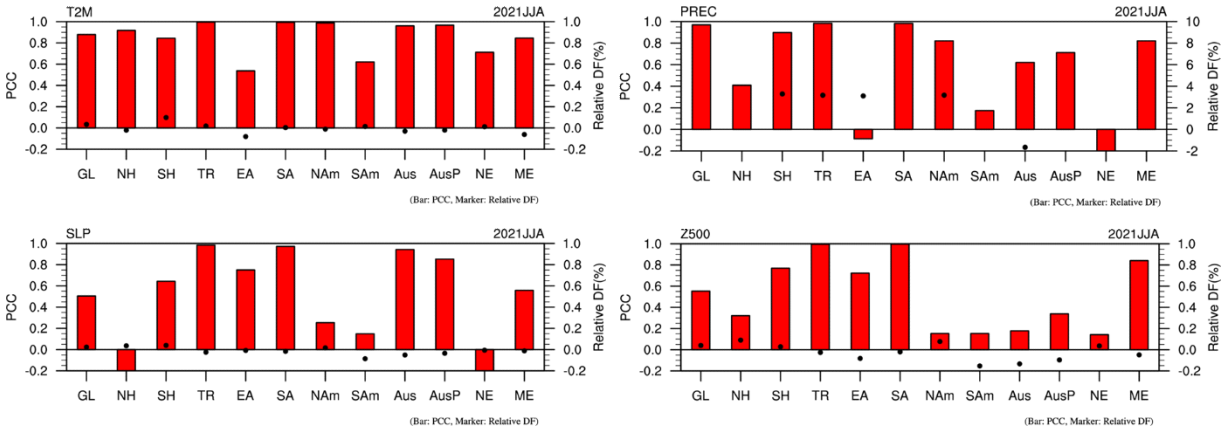


Figure 51. Same as Figure 49, but for 2021 JJA.

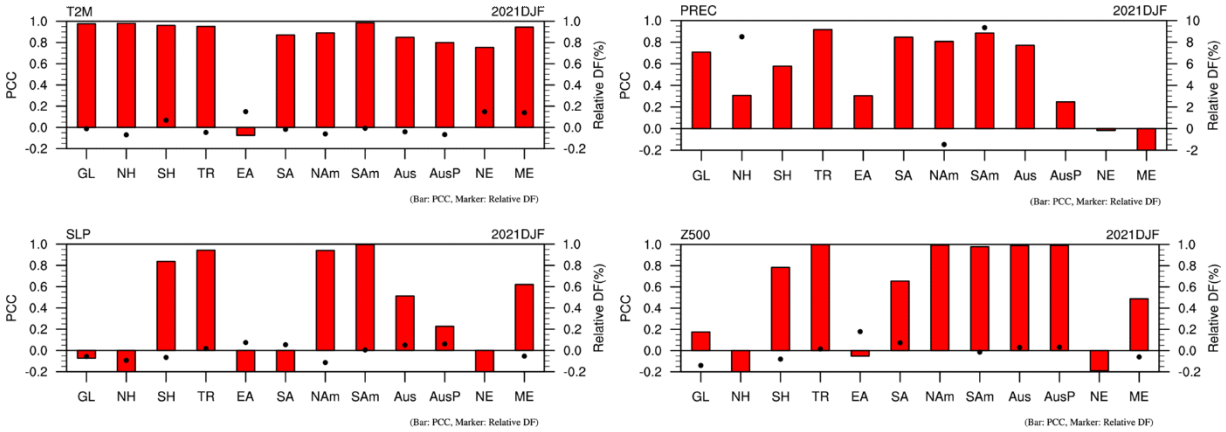


Figure 52. Same as Figure 49, but for 2021 DJF.

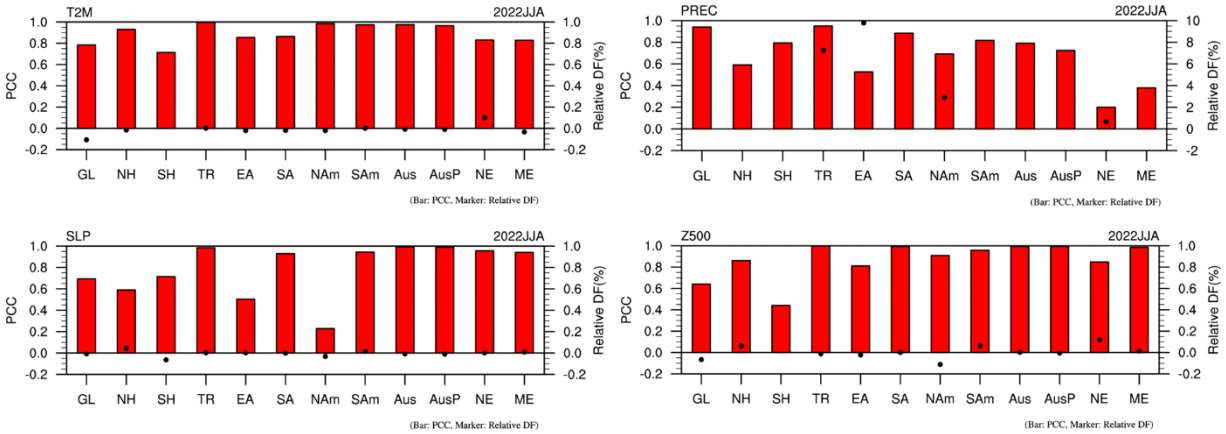


Figure 53. Same as Figure 49, but for 2022 JJA.

③ 공간 상관관계(PCC)와 Relative Difference (DF) 분석(재분석자료 vs. 예측자료)

Figure 54 ~ Figure 58은 재분석자료를 이용하여 APCC와 KMA5의 계절별, 변수별 예측성능을 비교한 것이다. 계절별 변수별로 일관된 결과가 나타나지 않았다. 그러나 DF를 통해 두 결과간 지역적 성능 차이가 크지 않음을 확인하였다. 그리고 사례가 극히 적기 때문에 기존 결과와 새로 구축된 기상청 슈퍼컴퓨터 5호기에서 생산된 결과와의 객관적인 예측성이 비교하기는 힘들다. 따라서 두 결과간 예측성의 상대적 비교보다는 본 시 운영을 통해 Hindcast 및 Forecast 전 기간을 생산하기 전에 두 결과간 예측성이 어느 정도 차이가 나는지 가늠할 수 있었다.

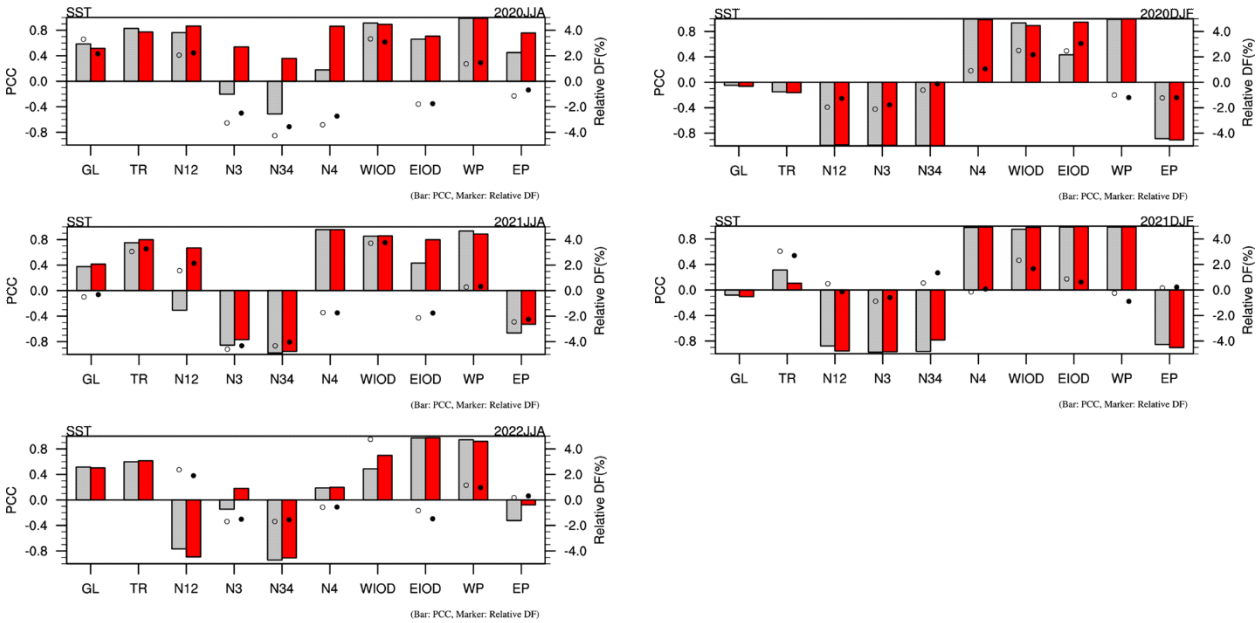


Figure 54. PCC (Bar) and DF (circle) of T2M, PREC, SLP, and Z500 produced APCC (gray bar and open circle) and KMA5 (red bar and close circle) for 2020 JJA forecasts.

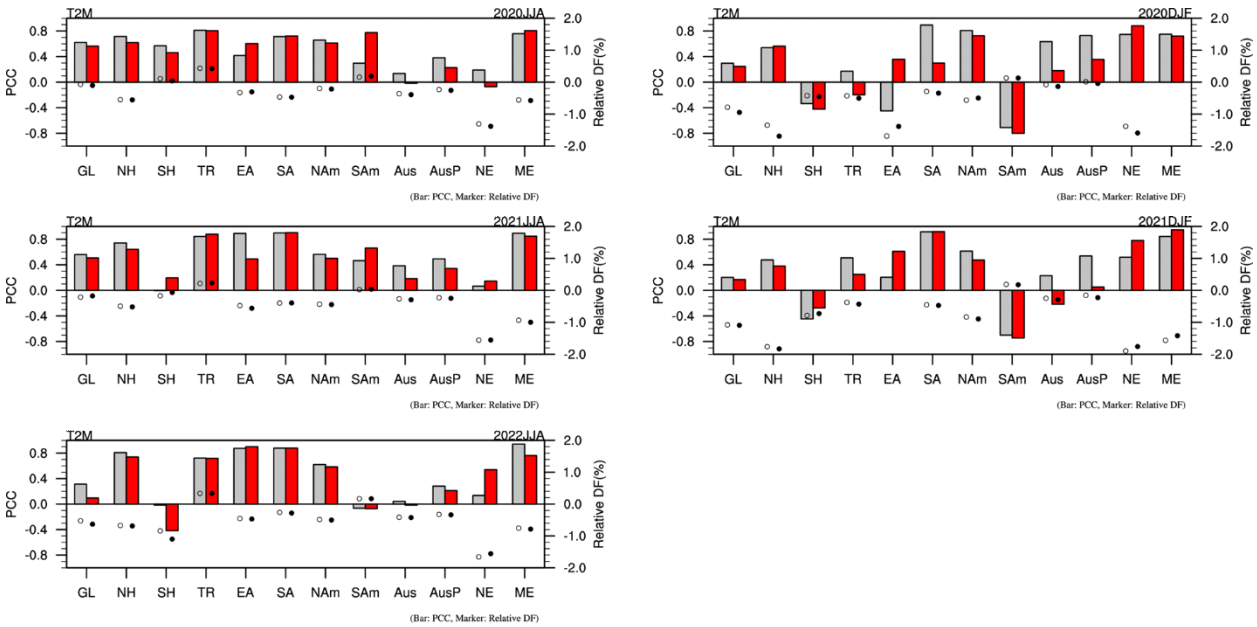


Figure 55. Same as Figure 54, but for T2M.

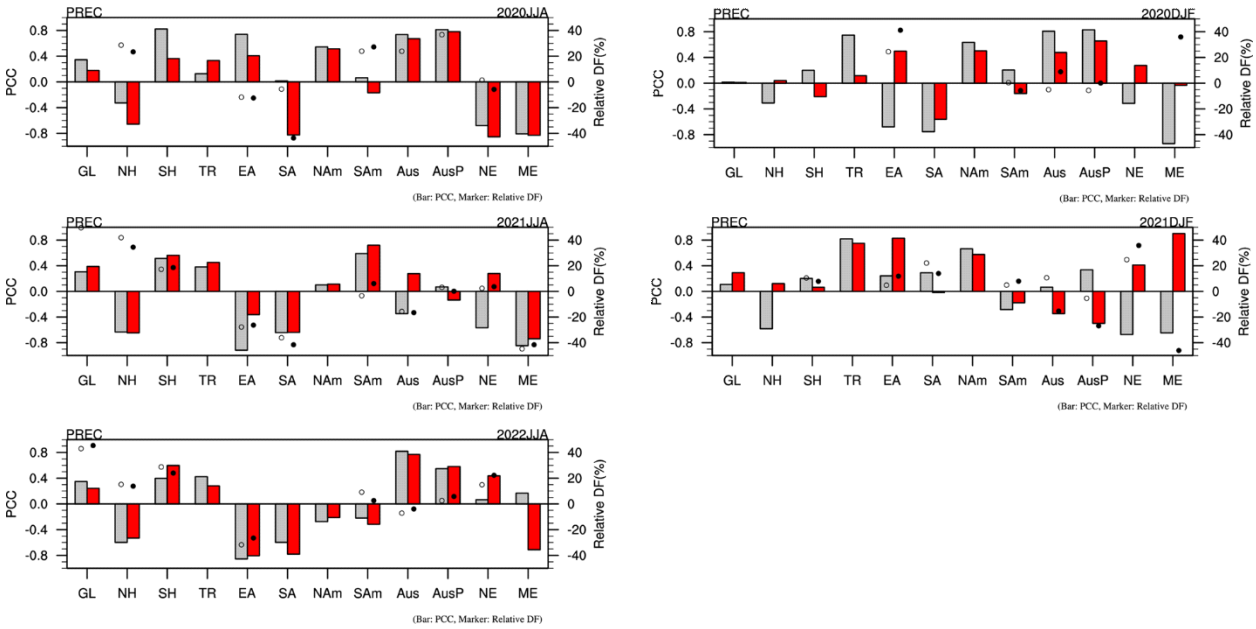


Figure 56. Same as Figure 54, but for PREC.

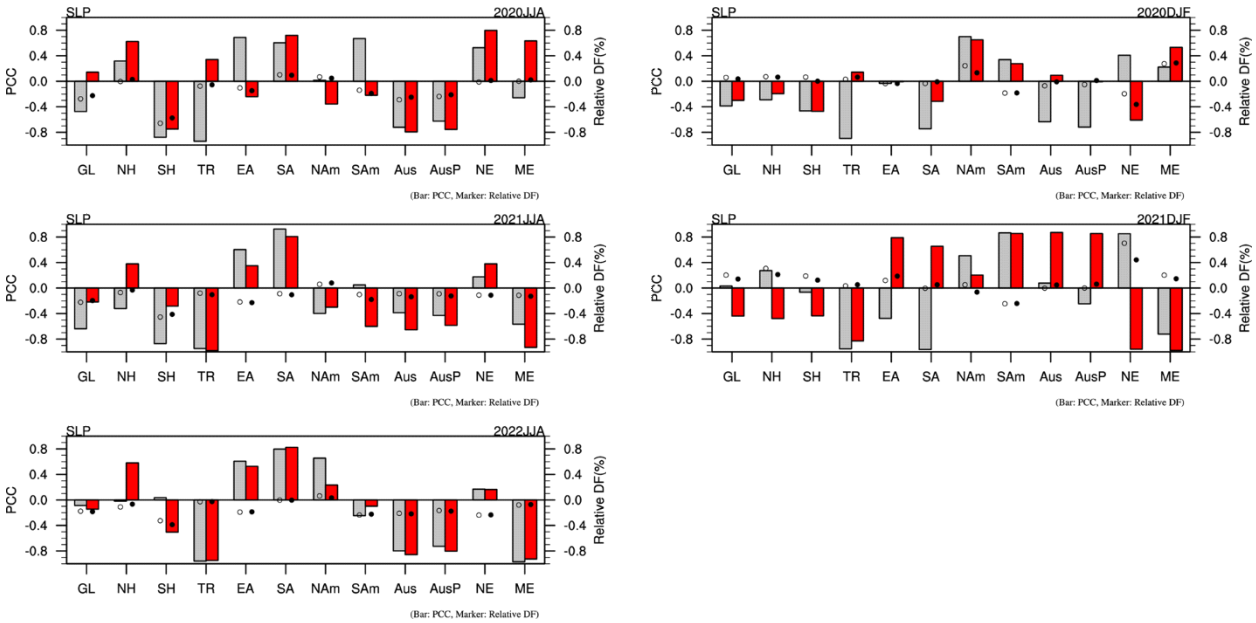


Figure 57. Same as Figure 54, but for SLP.

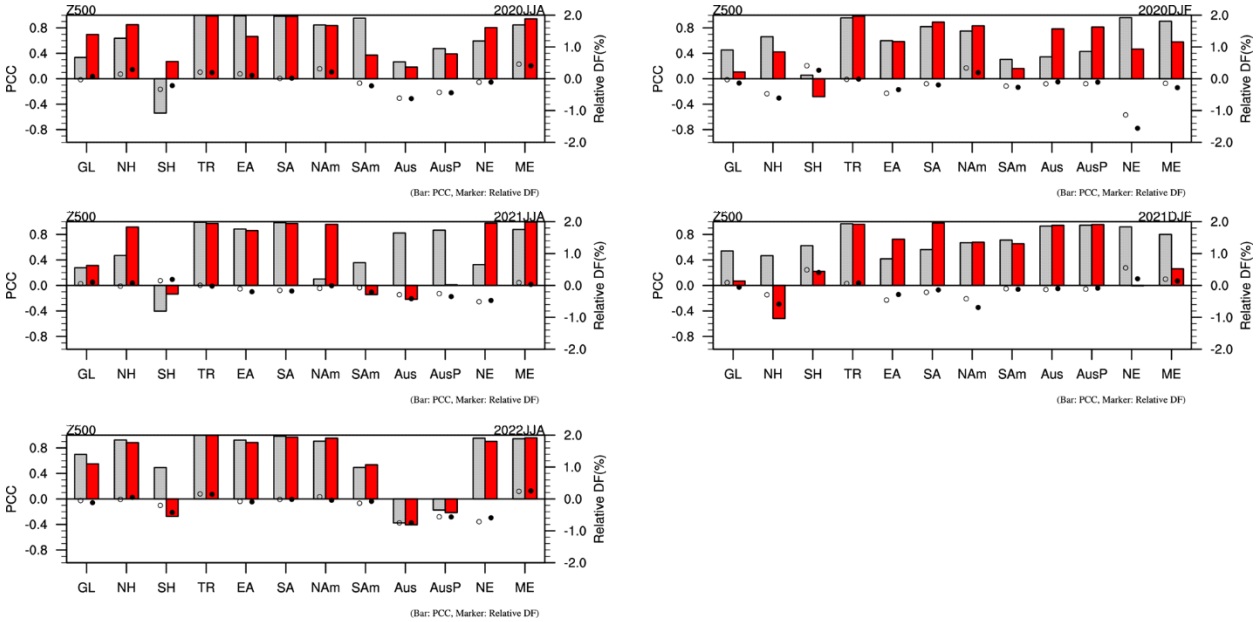


Figure 58. Same as Figure 54, but for Z500.

④ 최신 예측자료 생산 예시

2022년 OND 예측자료를 APCC와 슈퍼컴퓨터 5호기에서 각각 생산하였고, 각 예측장에 APCC에서 생산된 기존 기후값을 제거하여 아노말리를 만들고 이를 이용하여 예보토의 자료를 Figure 59와 같이 생산하였다. 그 결과, 두 결과간 열대태평양 해수면 온도 차이는 크게 나타나지 않았다. 그러나 대기에서는 상층 순환장, 2m 기온, 강수에서 차이가 나타났다.

최근 3년간의 예측자료 사례 분석에서도 두 결과간 차이가 유의한 수준으로 나타났기 때문에 슈퍼컴퓨터 5호기에서 Hindcast 및 Forecast 전 기간을 생산하여 기후장 및 아노말리 비교 분석을 통해 최종적으로 두 예측자료의 활용 방향을 모색할 필요가 있다.

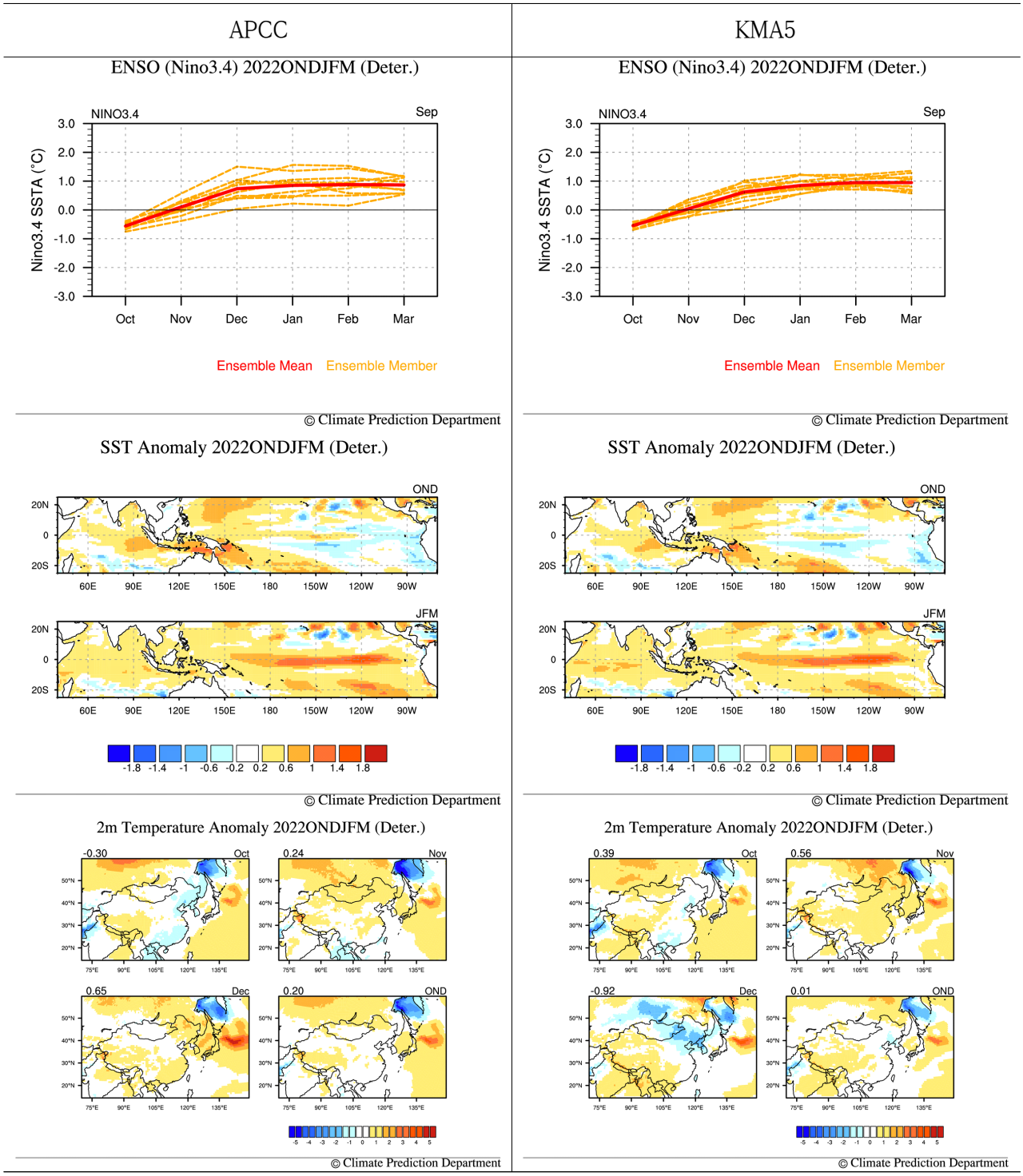


Figure 59. Example of 2020 ONDJFM forecasts contents produced by APCC (left) and KMA5 (right).

라. 예측정보 활용성 증대를 위한 시스템 확장

(1) 고해상도(1도) MME 계절예측시스템 현업화

(가) 필요성

전 세계 계절예측 모델들은 점점 진화됨에 따라 공간 해상도가 점점 고해상도화 되어가고 있으나, APCC MME 계절예측정보는 여전히 2.5도의 해상도를 유지하고 있는 실정이다. 이에 따라 아시아·태평양 작은 섬을 비롯한 면적이 좁은 규모의 국가에서 활용가능한 예측 정보는 제한적일 수 밖에 없다. 2020년 APCC는 예측정보의 활용도 조사 일환으로 사용자들에 APCC 요구사항에 대해 설문조사를 실시한 바 있으며, 이 중에서 약 73%의 응답률로 고해상도의 예측정보가 제공되길 바라는 사용자가 가장 많았다. APCC 계절예측정보의 한계점을 개선하고, 사용자의 수요를 충족과 함께 활용성을 증대하기 위하여 고해상도 계절예측시스템을 구축하고자 한다.

(나) 시스템 구축 및 현업화

① 고해상도 MME 계절예측시스템 구축

고해상도 MME 계절예측시스템 현업화를 위해 개발 완료된 전처리 시스템, MME 예측시스템을 실제 현업이 운영되고 있는 서버에 이전하고, 시스템 환경에 맞게 구축하였다. 현업화 시스템 환경 정보는 아래와 같다.

- CPU
  - model : Intel(R) Xeon(R) Gold 6137
  - 쿨럭 : 3.90GHz
  - 코어 : 물리코어 16개, 논리코어 32개
- 메모리
  - 192GB
- OS 운영체제
  - Linux CentOS-7.0
- Fortran compiler
  - GNU 7.3.0
- Python
  - anaconda 3.7 / anoaconda 3.7-plot
- NCL
  - version 6.6.2 (in python)

또한 2020년에 구축한 AFS 통합(감시-예측-검증) 시스템과 연계하여 예측자료의 생산을 위한 각종 설정부와 연동하고, 일괄적으로 처리될 수 있도록 모듈화를 실시하였다. 시스템 내 각각의 프로그램은 기존 AFS 디렉터리 구조와 유사하게 구성하여 기존 현업 운영과 유기적으로 수행할 수 있도록 구성하였다(Figure 60).

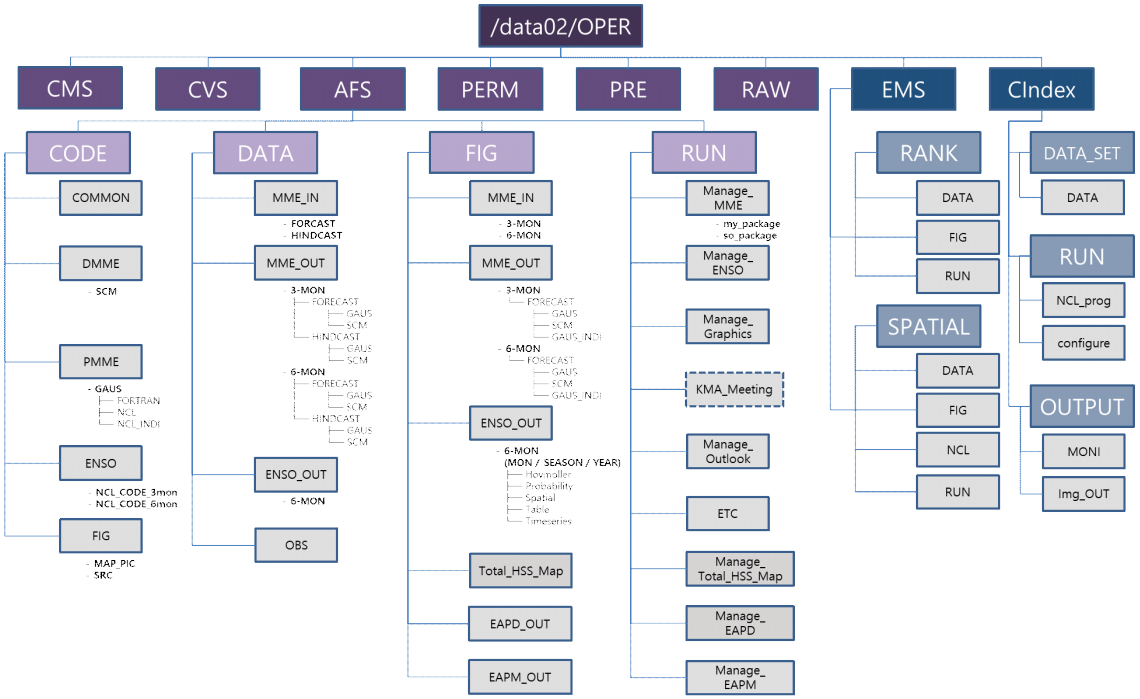


Figure 60. Structure of High-Resolution AFS.

고해상도 전처리 시스템 및 MME 프로그램의 상세 구축 사항은 아래와 같다.

■ 고해상도 개별모델 전처리 프로그램

- /data02/OPER/PRE/모델명/모델명.py

■ 고해상도 MME 계절예측시스템 메인 프로그램

/data02/OPER/AFS/RUN/Manage_MME/FCST_GAUS_IND_3month.py
FCST_GAUS_IND_6month.py
FCST_GAUS_MME_3month.py
FCST_GAUS_MME_6month.py
FCST_SCM_MME_3month.py
FCST_SCM_MME_6month.py
HCST_GAUS_MME_3month.py
HCST_GAUS_MME_6month.py
HCST_SCM_MME_3month.py
HCST_SCM_MME_6month.py

■ 고해상도 MME 계절예측시스템 소스 프로그램

/data02/OPER/AFS/RUN/Manage_MME/my_model/calc_GAUS_MME_IN.py
calc_SCM_MME_IN_NCEP_SST.py
calc_SCM_MME_IN.py
make_season_month_name.py

	nc_out_1_0_deg_DMME.py nc_out_1_0_deg_PMME.py nc_out_2_5_deg_DMME.py nc_out_2_5_deg_PMME.py read_MODEL_HIND_TIME.py

디지털 및 그래픽 최종 산출물은 현업 운영의 연속성을 위해 동일한 디렉토리를 사용하며, 고해상도와 저해상도는 따로 분리하여 저장하는 체계이다. 최종 산출물이 생산되기까지의 작업 소요 시간은 전처리 시스템 (모델별) 평균 30분 내외, MME 예측시스템 2.5도 및 1도 해상도 각각 약 3시간, 7시간 정도가 소요된다.

② 고해상도 MME 계절예측시스템 안정성 평가

고해상도 MME 계절예측시스템을 현업에 적용하기 이전에 기존 계절예측시스템에서 생산된 예측 자료와 동일한 결과를 산출하는지 검증이 선행되어야 한다. 이에, 동일한 조건에 대하여 기존 계절예측시스템과 고해상도 계절예측시스템에서 산출된 예측 결과를 상호 비교하여 안정성을 평가하고자 한다. 단, 고해상도(1도)와 저해상도(2.5도)의 생산 메커니즘은 동일하고, 고해상도 예측자료의 비교군이 없기 때문에 저해상도(2.5도) 예측자료를 대상으로 비교하였다.

기존 계절예측시스템(이하 AFS)과 고해상도 AFS 시스템 모두 동일한 조건으로 실시간 예측자료(forecast)와 과거 예측 자료(hindcast)를 각각 전 계절에 대하여 생산하였다. 생산된 두 예측자료에 대해 시공간적인 오차 크기를 평가하였고, 평가지표로는 ACC (anomaly correlation coefficient), TCC (temporal correlation coefficient), RMSD (root mean square difference)가 사용되었다. 단, 전 계절에 대해 안정성 평가를 수행하였으나, 본 보고서에는 무작위로 선별한 계절을 대상으로 평가 결과를 기술하였다.

Table 13과 14는 각각 SCM과 GAUS의 실시간 예측 자료에 대한 ACC와 공간적 RMSD를 변수, lead time 별로 나타낸 표이다. ACC의 경우 SCM과 GAUS 모두 1로써 두 시스템간 생산된 예측 결과가 공간적으로 동일한 변동성을 나타냄을 의미하고, RMSD의 경우 SCM은 모두 0으로써 두 시스템간 절대적인 값 차이 또한 없는 것으로 나타났다. 다만 GAUS는 소수점 3~7자리 수에 해당하는 오차가 발생하였는데, 본 오차는 실제값(0~100) 대비 상당히 작은 오차로써 프로그램 언어 및 소프트웨어 기능 차이에서 비롯한 오차일 것으로 추론된다. 따라서 본 고해상도 AFS 시스템의 실시간 예측자료는 기존과 동일한 결과를 나타내어 안정적으로 구축됨을 확인할 수 있었다.

Table 13. ACC between before and after AFS system for real-time forecast.

	SCM				GAUS			
	LT1	LT2	LT3	Mean	LT1	LT2	LT3	Mean
prcp	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
t2m	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
slp	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999
t850	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
z500	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
u850	1.000	1.000	1.000	1.000	-	-	-	-
v850	1.000	1.000	1.000	1.000	-	-	-	-
u200	1.000	1.000	1.000	1.000	-	-	-	-
v200	1.000	1.000	1.000	1.000	-	-	-	-

Table 14. RMSD between before and after AFS system for real-time forecast.

	SCM				GAUS			
	LT1	LT2	LT3	Mean	LT1	LT2	LT3	Mean
prcp	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.28E-06
t2m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.47E-04
slp	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.28E-04
t850	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.10E-07
z500	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.09E-05
u850	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-	-	-
v850	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-	-	-
u200	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-	-	-
v200	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-	-	-

과거 예측 자료(hindcast)에 대해서도 시공간적 안정성 평가를 하기 위하여 실시간 예측 자료의 안정성 평가와 유사하게 TCC와 시공간적 RMSD를 통해 분석하였다. 그 결과, 실시간 예측 자료와 동일하게 SCM과 GAUS 모두 공간적 RMSD는 0에 수렴하고, 공간적 ACC도 1에 수렴함으로써 공간 변동성이 일치하는 것으로 나타났다. 그러나 GAUS의 경우 시간적 RMSD가 작은 오차들이 산발적으로 나타나는데, 이는 소수점 4~5자리의 값으로써 앞서 기술한 바와 같이 실제값인 0~100의 값에 비해 상대적으로 유의하지 않은 차이라고 할 수 있다(Figure 61). 이러한 결과는 다른 계절에서도 유사하게 나타났으며, 이는 프로그램 언어 및 소프트웨어 기능 차이에서 나타나는 오차인 것으로 사료된다,

③ 고해상도 MME 계절예측시스템 운영 매뉴얼

현업 시스템 환경에 맞게 구축된 고해상도 MME 계절예측시스템을 안정적으로 운영하기 위하여 수행 방법을 상세히 기술한 운영 매뉴얼을 별도 작성하여 관리하고자 하였다. 이는 부록 D에서 확인할 수 있다.

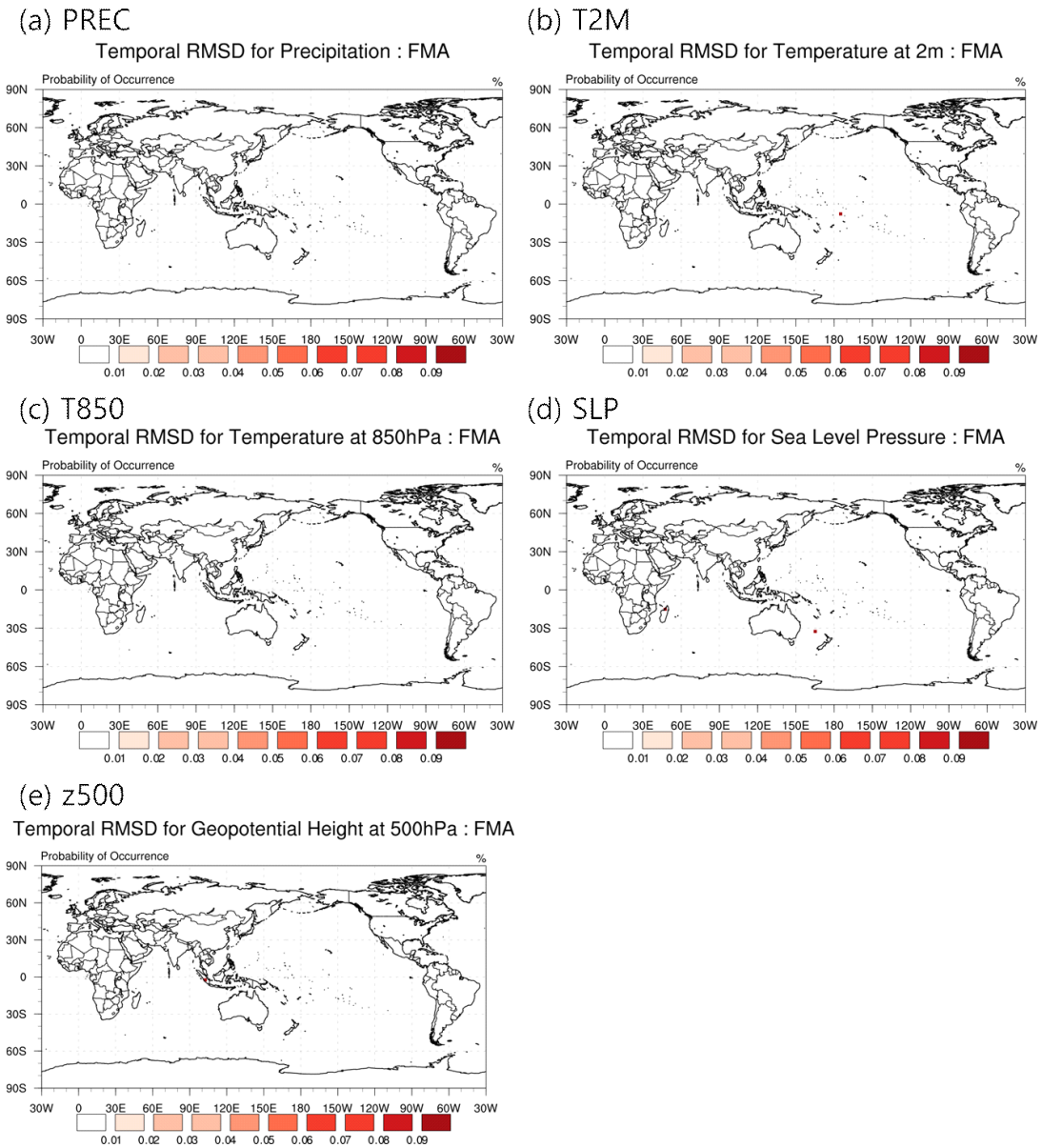


Figure 61. Temporal RMSD between before and after AFS system for hindcast FMA season: (a) precipitation, (b) 2m temperature, (c) temperature at 850hPa, (d) sea level pressure, and (e) geopotential height at 500hPa.

(2) MME 예측정보 조기제공(20일→15일)

(가) 필요성

APCC는 AFS 개선을 통한 예측 시스템 효율성 향상과 다양한 MME 기법들의 효용성 점검 후 2019년 11월부터 예측정보 제공 시기를 매월 25일에서 닷새 앞당긴 20일에 홈페이지와 이메일을 통해 전지구・태평양도서국・동아시아 지역에 대한 기후전망을 영문 및 국문으로 게시 및 배포하고 있다.

CPC NMME[4]는 9일, C3S[5]는 13일, IRI[6]는 16일경에 예측정보가 발표되는데 APCC의 20일은 여전히 늦은 편이었다. 또한 2020년에 수행한 APCC 예측정보 활용도 조사에 따르면 예측정보의 조기제공은 사용자 요구의 우선순위 중 하나였다. 이에 APCC MME 예측정보를 조기에 제공함으로써 이러한 상황을 해결하고 사용자 요구를 충족하여 정보의 활용성을 높이고자 하였다.

(나) 예측정보 조기제공을 위한 내・외부적 사전 작업

① 내부: 모델자료 수집 알림 및 전처리 시스템을 통한 자료처리 시간 단축

2021년에 개발된 모델자료 수집 여부 알림 기능을 통해 담당자의 수동적인 모니터링 작업 과정이 단축되었으며 이 기능과 연계된 개별모델 전처리 자동화 시스템을 통해 담당자의 전처리 작업 과정 또한 단축되었다(Figure 62). 이로써 자료 수집 및 전처리에 소요되는 시간을 단축하여 APCC의 예측정보를 조기에 제공하기 위한 사전 준비 시간을 확보할 수 있게 되었다.

이뿐만 아니라 APCC의 예측정보 중 그래픽 형식의 생산물에는 예측정보 발표 일자가 표시되어 있는데 이를 위해서 기존에는 수동으로 발표일을 설정 후 그래픽을 생산해야 했다. 기존보다 효율적인 작업 수행을 위하여 시스템 날짜 기반의 발표 일자 자동 입력 체계로 전환하였다(부록 E).

4) Climate Prediction Center North American Multi-Model Ensemble
5) Copernicus Climate Climate Service
6) International Research Institute for Climate and Society

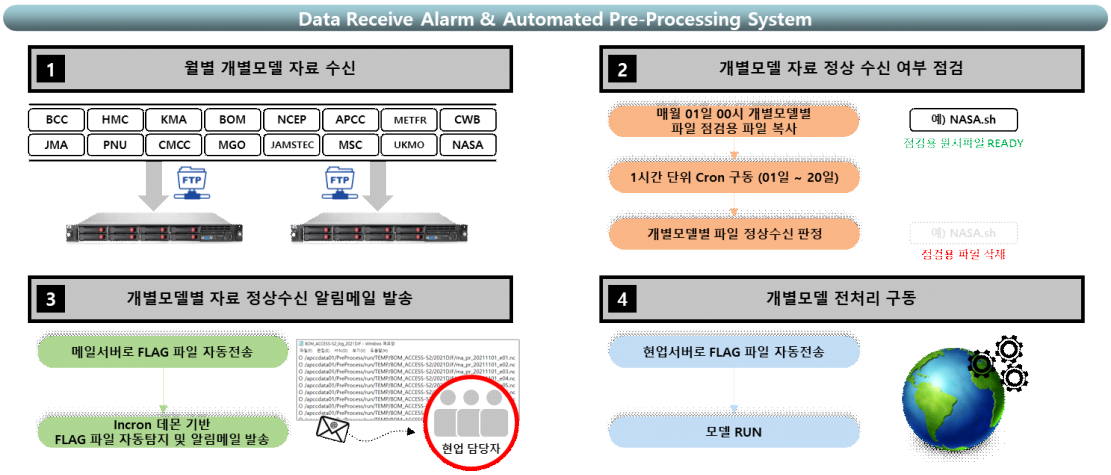


Figure 62. The structure of data receive alarm and automated pre-processing system process.

② 외부: 자료제공기관 협조 요청 및 개별모델 예측자료 조기 수집을 통한 자료처리 시간 확보

2021년에 개최된 모델자료 제공기관 회의(Model Providers' Meeting, MPM)에서 APCC의 예측정보 조기제공의 필요성을 역설하고 각 기관들의 예측자료를 기존보다 조기에 APCC에게 제공해 줄 것을 요청하였다(Figure 63). 또한 이메일을 통한 요청도 수행하였다. APCC의 MME 예측 수행 및 예측 발표일은 참여 기관들의 자료 수집일에 의존하기 때문에 그들의 협조가 선행되어야 하기 때문이다. 기관들의 적극적인 협조를 통해 이탈리아 기상청 및 한국 기상청은 기존보다 수일 앞서 자료 제공을 시작하였다.

members to provide original resolution model data to APCC. In regards to the issue of reference observation data in the new system with 1-degree resolution data, Dr. Kim shared that ERA5 for temperature and other atmospheric variables, and CPC or MERRA2 data for precipitation, would be used as reference observation data. With new system, APCC could provide finer forecast data which would be more beneficial to the users although a few issues still existed such as inconsistency issues. APCC plans to provide discrepancy information and accumulate forecast data and skills in order to overcome the issues and from next year of 2022, the pilot system would be operated.

Lastly, Dr. Kim introduced APCC's plan on early release of APCC MME forecast from 20th of each month to the 15th. Currently, APCC has been generating MME prediction data twice at the 15th for Korea seasonal forecast and at 20th for the global official MME outlook. The early release of APCC MME forecast would be more useful for climate forecasters and APCC would like to begin to release the data on the 15th in 2022. Dr. Kim highlighted the importance of member participation and cooperation on the issue.

Figure 63. The report on the 4th APCC MME Model Providers' Meeting.

(다) 예측정보 조기제공 개시

2022년 4월부터 매월 15일에 APCC MME 예측정보를 발표하고 15일이 휴일인 경우 다가오는 평일에 홈페이지와 이메일을 통해 발표하기 시작했다. 또한 홈페이지 및 이메일을 통해 구독자에게 홍보하였으며 홈페이지 내의 기후전망 발표일 안내문도 변경하였다(Figure 64). 기존보다 닷새 앞당겨 예측정보가 발표됨에 따라 국내외 기상청, 학계 등 여러 분야에서 유용하게 활용되고 있다.

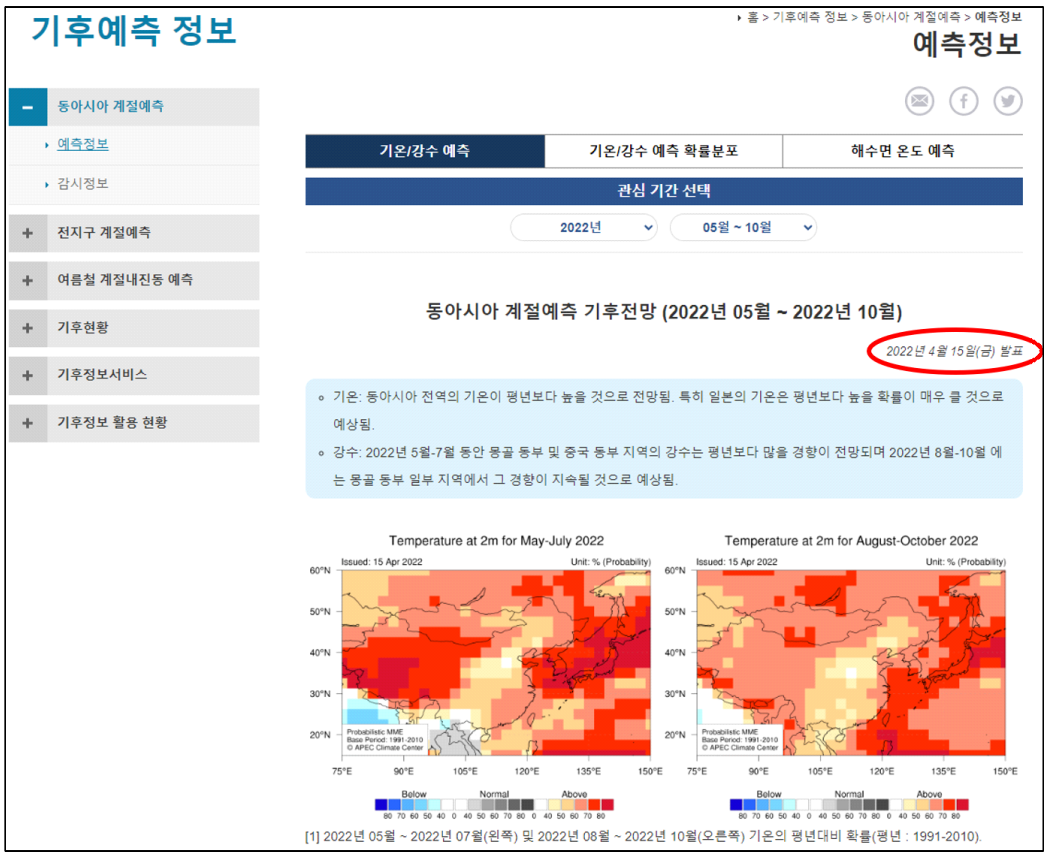


Figure 64. APCC MME seasonal forecast page updated on 15th April 2022.

마. 개별예측모델 및 MME 온도의 계절예측 경향 및 특성분석

APCC(APEC Climate Center)는 2012년 이후로 매월 다중모델앙상블(Multi Model Ensemble; MME)를 활용한 2-meter(m) 기온 장기계절예측(3/6 개월)를 생산하고 있다. 최근 전지구 온난화의 영향으로 많은 지역이 기후기간(1991-2010)에 비해 2013년 이후 평년 이상의 기온을 보여주기는 하지만 실제 기온 분포는 지역별, 시기별로 다양한데 기후예측모델은 북반구 많은 지역을 대체로 일관되게 평년 이상으로 예측하고 있어 괴리가 있다.

APCC MME는 hindcast 기간을 기후예측모델 공통기간으로 설정하기에 단일 모델보다는 hindcast 기간이 짧을 수 있다. 2005년 이후 APCC MME의 실시간 예측을 실시한 이래로 hindcast 기간은 당시 가용한 자료를 활용할 수 있도록 변화되어왔는데 특히 2020년에는 최신 모델을 활용할 수 있도록 hindcast 기간을 비교적 최근으로 이동하고 참여 모델을 확대하면서 예측력이 크게 향상되었다(양유빈 등 2020). 2020년, 개선을 통해 이동된 hindcast 기간은 1991-2010이다. 다만, 개선을 하였음에도 불구하고, 1991-2010년은 현재 2022년과는 상당히 떨어져 있는데, 특히 최근 2015년 이후로 전지구 기온의 온난화 현상이 더욱 두드러져서 새로운 hindcast 기간에 대해 아쉬움이 있다(Figure 65).

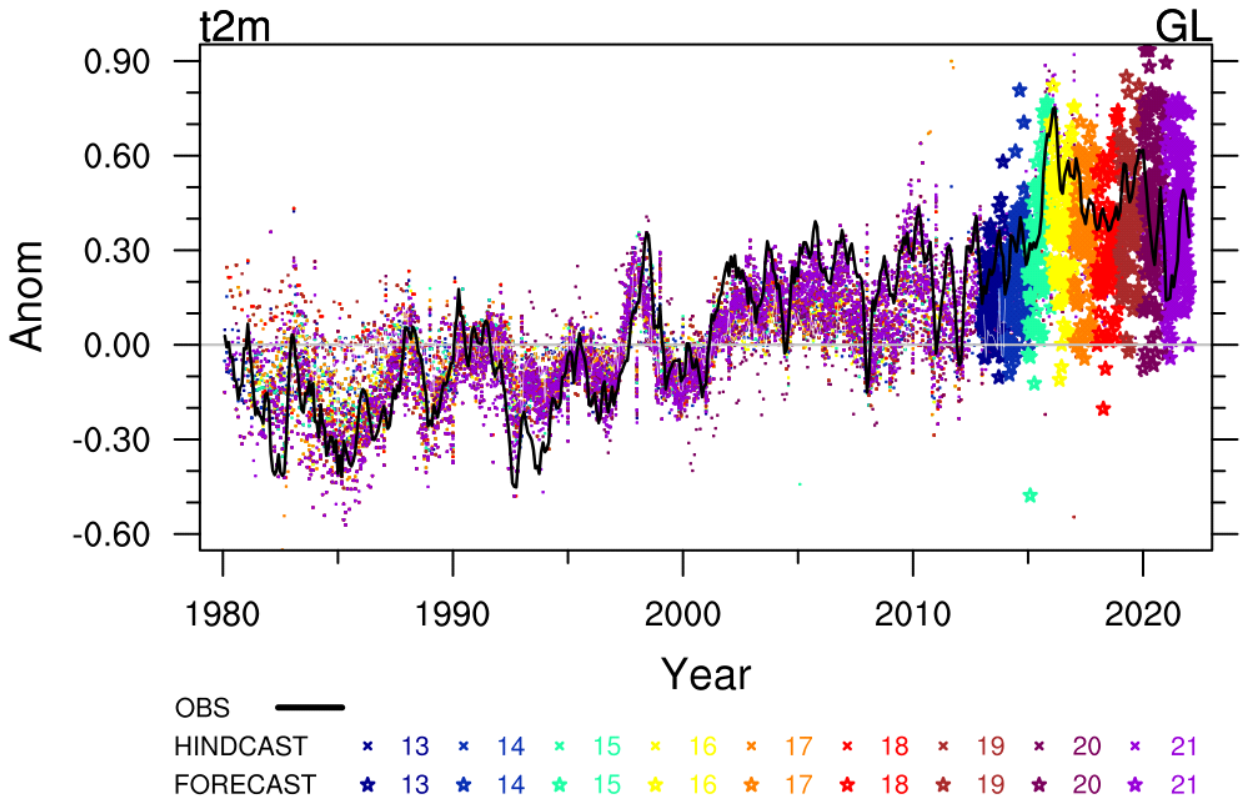


Figure 65. Time series of 3-month seasonal mean 2-m temperature during 1980-2021. Black solid line is the observation; and colored small-x and large asterisks present the individual model's prediction during hindcast and real-time forecast, respectively. Each color presents each year.

본 연구에서는 hindcast, 실시간예측기간의 기후예측모델 기온 예측 경향(선형 추세, linear trend), 분포를 살펴보고 실제 관측 자료와 비교를 하여 기온의 계절예측성에 미치는 영향, 개선을 위한 보정 방향 등을 논할 것이다. 또한 이러한 결과가 보정에 반영된다면 비교적 짧은 APCC MME의 hindcast 기간을 보완하는 역할도 할 것이다. 관측 자료는 NCEP R2 (Kanamitsu et al., 2002), ERA5(Hersbach et al., 2020)을, 해수면 자료는 Optimal Interpolation (OI) Sea Surface Temperature (SST) (Reynolds et al., 2007)을 사용하였다.

(1) Hindcast 기간의 온도의 계절예측 경향 및 특성 분석

(가) MME hindcast의 온도예측 경향

APCC MME는 매월 계절예측과 이에 대한 hindcast를 함께 생산한다. 이 hindcast 자료는 모델자료에서 기후기간자료의 역할을 하며 이것을 바탕으로 평년과 평년 이상, 이하의 예측 카테고리를 설정한다. 2012년 이후 2-m 기온 계절예측을 시작하면서 이에 대한 hindcast 자료가 축적되었는데, Figure 66은 2013년 이후 전구 평균 기온의 계절별 확률분포도이다. 참고로 hindcast 기간은 Table 15에 제시된 것처럼 계속 바뀌었는데, 여기서는 1991-2010으로 기간을 고정하여 평균을 구하고, 이에 대한 anomaly에 대한 분포도를 표현하였다. 생산년도 별로 hindcast 자료의 분포도가 크게 다르지 않음을 확인하였고, 2021년 분포를 기준으로 ks-test를 하여 각 년도의 자료가 분포의 차이가 있는지 계절별로 확인하였는데, 대부분 95% 수준에서 유의미하지 않았고, 특히 2017년 이후에는 유의미한 차이가 없었기에 hindcast 생산 시기에 따른 차이가 없다고 할 수 있다. 따라서 최근의 2021년 hindcast 자료를 이용하여 과거 기온 계절예측 자료를 분석하였다.

Table 15. Climate period upon APCC MME hindcast generation.

Generation	Start	End
2013	1983	2005
2014	1983	2005
2015	1983	2005
2016	1983	2005
2017	1983	2005
2018	1983	2005
2019	1983	2010
2020	1991	2010
2021	1991	2010

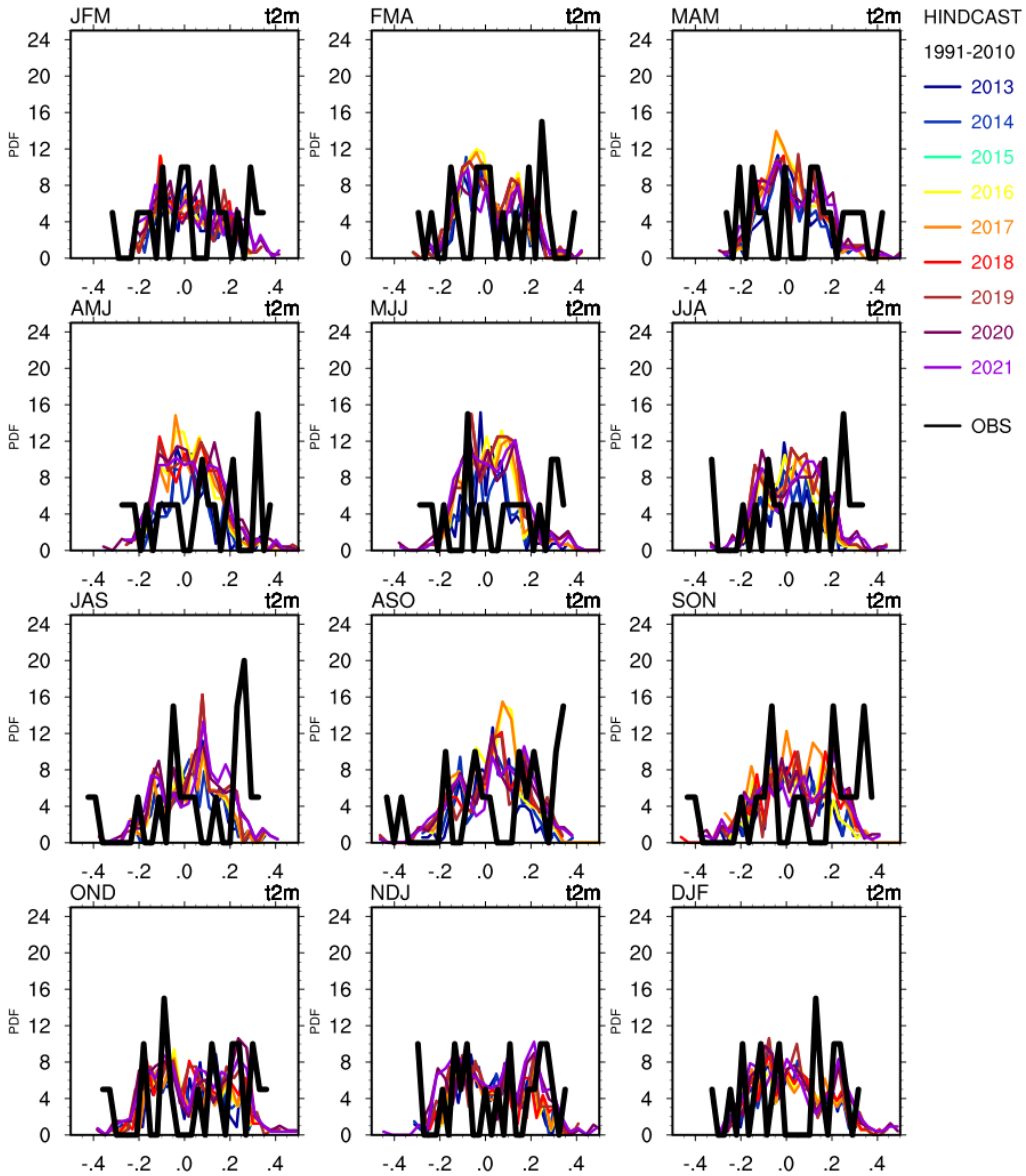


Figure 66. Seasonal probability density distributions of global mean 2-m temperature anomalies for 1991-2010 for MME and observation. The climate mean period is 1991-2010. Black solid is the observation and colored lines are for MME anomalies. Each color present each hindcast year.

먼저 과거 기후자료의 기온 경향을 확인하기 위해 관측자료의 실제 기온, 모델예측의 기온 예측값의 선형추세(linear trend)의 공간 분포를 Figure 67에 표현하였다. 관측 자료는 모델의 hindcast와 동일한 1991-2010 기간, WMO에서 기후기간으로 권장하는 최근 30년, 1991-2020 기간을 산출하였고, 예측값은 개별모델들의 1991-2010 기간 선형추세를 모델 간 평균하였다. 선형추세가 10% 수준에서 유의미한 격자는 점으로 표현하였다.

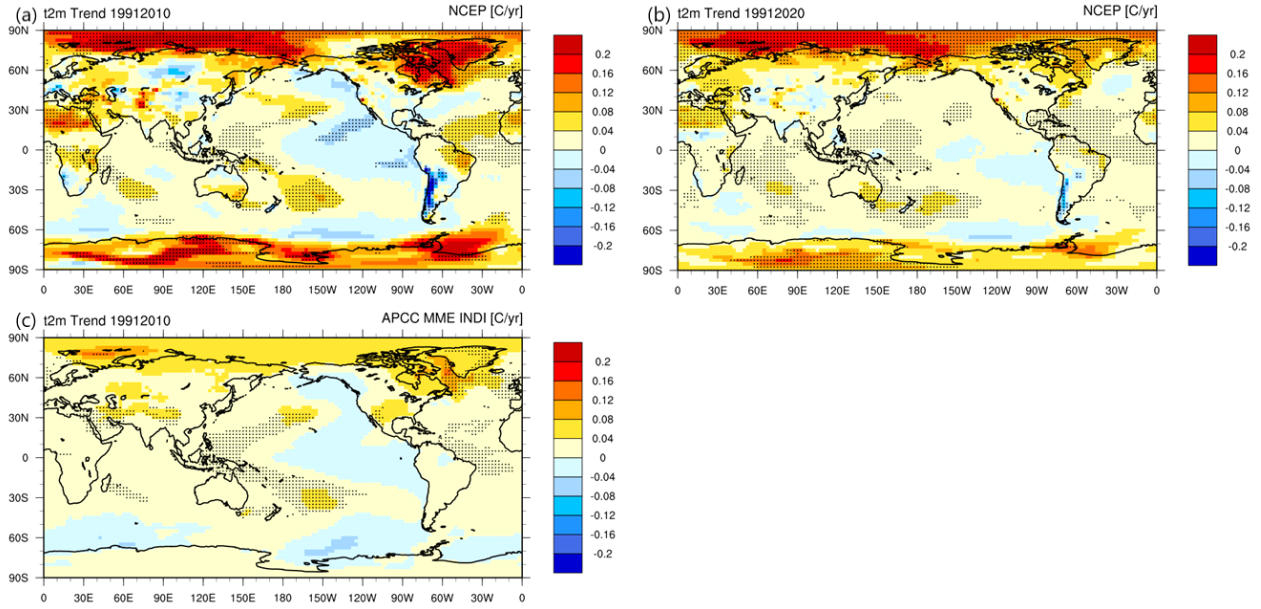


Figure 67. Linear trend of seasonal 2-m temperature of (upper) observation and (lower) averaged individual models' hindcast. (a) linear trend for 1991-2010 and (b) 1991-2020. Unit is ° C/yr.

1991-2010 기간, 관측자료에서는 태평양 동편을 제외한 대부분 지역에서 양의 선형추세가 나타나는데 특히 북반구 극지역에서 양의 선형추세가 유의미하게 강하게 나타난다 (Figure 67 a). 이 외에도 열대 서태평양은 양의 선형추세 값은 크지 않지만 유의미하며, 이것은 상대적으로 온난화가 작은 것 같지만 지역 온도 변동성에 비해 온난화가 유의미하게 진행되고 있다는 것을 시사한다. 대륙에서도 많은 지역이 양의 선형추세가 나타나는데 동유라시아 내륙 일부(동아시아, 시베리아) 지역은 유의미하진 않지만 음의 추세가 나타나는 지역도 있어 지역별로 기온의 경향성이 크게 차이나는 것을 알 수 있다.

관측자료에서 1991-2010 기간과 (Figure 67a) 1991-2020 기간을 (Figure 67b) 비교하면, 선형추세가 크게 다르지는 않지만, 후자(1991-2020, Figure 67b)에서 유라시아 북극 지역의 온난화가 다소 약해지고 아메리카 북극 지역의 온난화가 좀 더 강해지며 그린란드 온난화는 다소 약해진 것을 볼 수 있다. 또한 태평양 동편 냉각화는 다소 약하고 무의미하다. 지역별로 이러한 세세한 차이는 있지만 전반적으로 1991-2010 기간과 1991-2020 기간은 크게 차이나지 않고 유사하다.

계절예측모델 MME 선형추세의 평균은 공간패턴에서 관측과 다소 차이가 보인다(Figure 67 a and 67c). 열대 서태평양에서의 온난화 패턴은 유사하지만 극지역에서는 다소 관측에 비해 온난화 현상이 약하고 유의미하지 않다. 중위도 유라시아에서는 관측에 비해 다소 온난화 현상이 과하게 모의되었고 특히 동아시아 지역에서 괴리가 크다. 이는 계절예측모델이 지역적으로 나타나는 온난화의 다양성을 모사하지 못하는 것을 의미한다.

선형추세의 공간패턴을 고찰하기 위해 관측과 계절예측모델의 지역별/계절별 평균 선형추세를 비교하였다(Figure 68). 각 지역의 정보는 Table 16에 정리한다. 전반적으로 전구 평균기준으로는 모델이 관측의 선형추세를 잘 따라가긴 하지만 지역별로, 특히 북극 지역에서 모델이

관측의 선형추세에는 크게 미치지 못하는 것을 알 수 있다(약 1/2배). 다만 이것은 모델에서 극지역 기온 변동의 분산이 작은 특성의 영향이 일부 있다고 판단된다. 계절적으로는 여름철에 비교적 선형추세가 약하고 가을, 겨울철 선형추세가 강하다. 동아시아 지역은 관측 자료에서는 가을철 선형추세가 비교적 강하고 겨울철 12월-2월은 오히려 음의 추세가 나타나지만 모델 자료에서는 봄철 3-5월을 제외하고는 비교적 강한 선형추세가 1년 동안 유지되어 관측 자료와는 괴리가 있다.

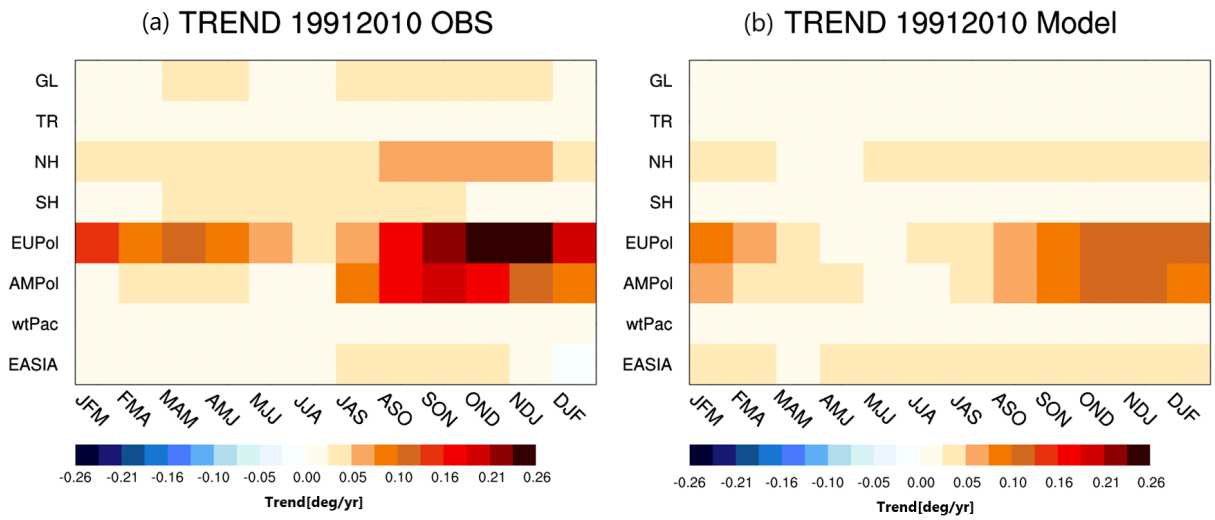


Figure 68. Seasonal and regional mean linear trend of (a) observation and (b) APCC MME hindcast during 1991-2010. Forecasts are 1-month-leading 3-month-mean forecast and regions are explained at Table 2.

Table 16. Regions and latitude and longitude.

Abbreviation	Region	Latitude	Longitude
GL	Global	90° S-90° N	0° -360° E
TR	Tropics	20° S-20° N	0° -360° E
NH	Northern Hemisphere	20° N-90° N	0° -360° E
SH	Southern Hemisphere	90° S-20° S	0° -360° E
EUPol	Eurasia Pole	70° N-90° N	0° -180° E
AMPol	America Pole	70° N-90° N	180° E-270° E
wtPac	western tropical Pacific	20° S-20° N	120° E-180° E
EASIA	East Asia	15° N-60° N	75° E-150° E

(나) 개별모델 hindcast의 온도예측 경향

APCC MME를 구성하는 개별모델들의 선형추세를 지역별, 계절별로 분석하였다(Figure 69). 개별모델은 전반적으로 MME와 마찬가지로 대부분 지역, 계절별로 양의 선형추세를 보인다. 지역별로 선형추세는 MME와 마찬가지로 극지역에서 특히 강하고, 남반구에서는 약하다(Figure 69a). 개별모델들의 차이는 있지만 모델 간 차이는 지역별 차이에 비해 크지 않고 PNU 모델의 남반구 예측을 제외하고 대부분 지역에서 양의 선형추세를 보인다. 지역별로 다르지만, 전구

기준에서 선형추세가 가장 작은 모델은 PNU이며, 가장 큰 모델은 BOM이다.

계절별로 개별모델들의 선형추세의 차이는 지역 간 차이보다 크지 않다(Figure 69b). 모델별로 다르긴 하지만 많은 모델이 여름철보다는 가을, 겨울철 선형추세가 여름보다 강하다. 극지역 기온의 선형추세가 특히 가을, 겨울철에 강하게 나타나는 모델의 특성이 개별모델에서도 드러나는 것이다. APCC 모델의 경우 2-4월에 약한 음의 추세가 나타나는데, 이를 제외하고 모든 모델이 전 계절에 양의 선형추세를 보인다.

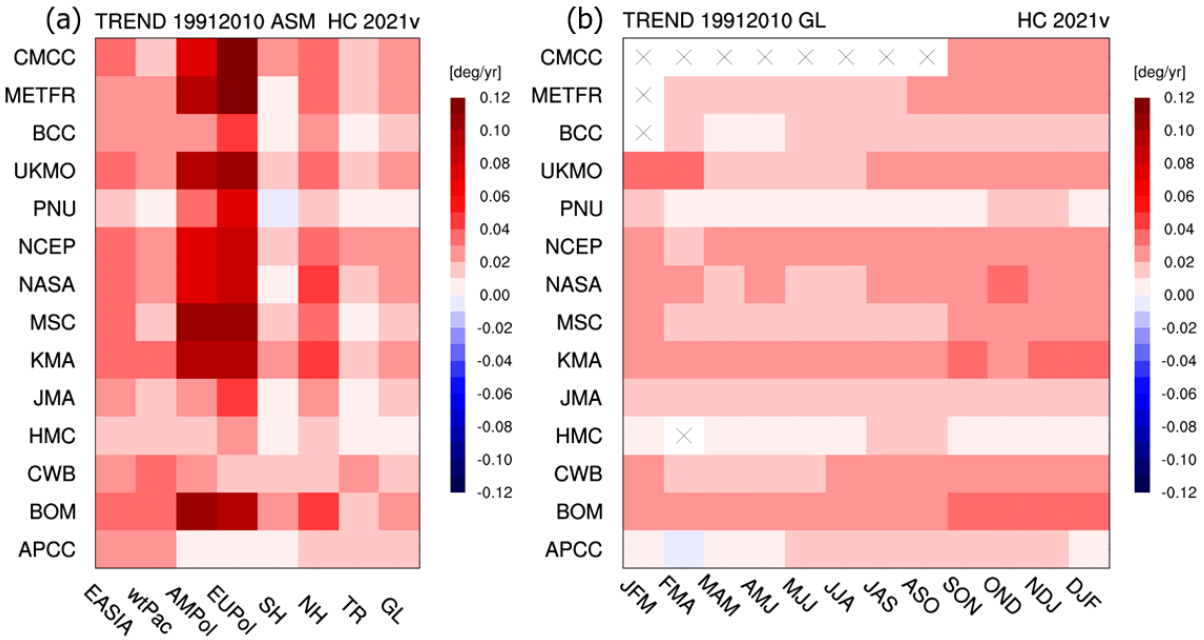


Figure 69. Individual model's linear trend (a) of each region averaged in seasons and (b) of each season averaged in the globe. The hindcast generated at 2021 is used. The gray x mark represent the uncollected season.

극지역에서 모델 간 차이가 크게 두드러지는데, 특히 METFR, UKMO, KMA, BOM 등의 유럽계열 모델들이 강한 양의 선형추세를 보인다(Figure 69a, 70). 유럽계열은, ERA5나 ERA-interim 재분석 자료를 초기장으로 쓰고, NEMO를 해양모델로 사용하는 모델들을 묶은 것이다. 또한 NCEP 재분석 자료나 CFSR(Climate Forecast System Reanalysis)을 초기장으로 쓰고, MOM을 해양모델로 사용하는 모델들을 미국계열 모델로 분류하였다(Table 17). Figure 70은 유럽계열과 미국계열, 그 외의 모델들을 분류하여 지역별로 선형추세를 나타낸 것으로, 전반적으로 모든 지역에서 유럽계열 모델들이 더 강한 선형추세를 보이는 것을 확인할 수 있는데 특히 극지역(아메리카 북극, 유라시아 북극)에서 그 차이가 크게 나타난다. 특히 유럽계열모델은 선행 연구에서도 같은 계열에서 모델 간 유사성이 크다고 분석하였는데(양유빈 외, 2020) 이러한 모델들의 특성이 선형추세에서도 반영되는 것으로 보인다.

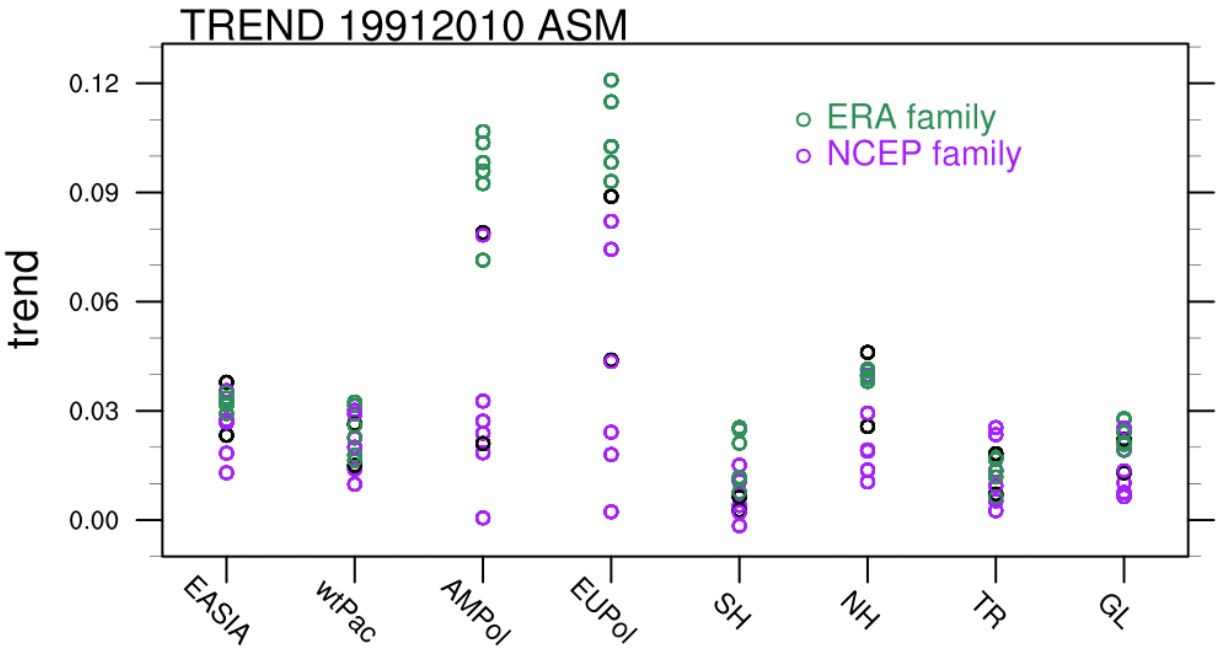


Figure 70. Regional linear trend for Europe family models (ERA, green), North America Family models (NCEP, purple), and etc (black). 1991-2010 hindcasts are used and all seasons are averaged.

Table 17. Compositions of APCC MME's individual model.

model	Atmosphere IC	Ocean IC	Atmosphere model	Ocean model
APCC	CFSR	CFSRSST ARGO T/S	ECHAM5.3	POP2.0.1
BOM	ERA-interim		UM6	NEMO ORCA25
CWB	CDAS/NCEP	CDAS/NCEP	GFS	MOM3
HMC	NCEP R2	Reynolds Smith OI		
JMA	JRA-3Q	MOVE/MRI.COM-G3	JMA-GSM	MRO.COM
KMA	ERA-interim	UKMO ODA reanalysis	UM11.5	NEMO3.6
MSC(ECCC)	ERA-interim	ORAP5 reanalysis	CanAM4 GEM 5.1	CanOM4 NEMO 3.6
NASA	MERRA2	GEOS ODAS	MERRA2	MOM5
NCEP	CFSR	CFSR	NCEP GFS	MOM4
PNU	NCEP R2	AMIP RUN with CCM3	CCM3	MOM3
UKMO	ERA-interim	UKMO-NEMOVAR	UM8.6	NEMO 3.4
BCC	NCEP	NCEP GODAS	BCC-AGCM2.2	MOM4
METFR	ERA5	Mercator	ARPEGE	NEMO3.6
CMCC	ERA5	CMCC analysis	CAM5.3	NEMO3.4

(2) 실시간 예측 기간의 온도 계절예측 경향 및 특성 분석

(가) MME 실시간 온도예측 경향

역학적 계절예측모델이 실제로 계절예측에 활용되기 시작한 시기는 2000년대 중후반이다. APCC에서는 MME를 활용하여 850-hPa 기온, 강수를 2005년부터 생산하였고, 2-m 기온의 경우 2012년부터 한 달 선행 계절예측자료를 생산하기 시작하였다. 안정적으로 자료가 수집된 2013년부터 2021년까지의 실시간예측 자료를 분석하였다.

2013년-2021년 시기 관측자료 기온, 해수면 온도, 중층(500-hPa) 지위고도, 상층(200-hPa) 동서방향바람의 편차 평균장을 분석하였다(Figure 71). 여기서 편차는 hindcast 기간을 기준으로 계산한 것이다. 기온과 해수면 온도는 대부분 hindcast 기간에 대비해 온난화를 보이고 있어 최근 들어 온난화가 착실하게 진행되고 있음을 보여준다. 특히 북반구, 유라시아 북극 지역에서 온난화가 크게 진행되고 있으며, 열대 서태평양에서도 온난화가 유의미하게 진행되었다. 이와 연관되어 중층 지위고도는 전반적으로 상승하여 특히 열대지역에서 유의미하다.

중층 지위고도 에디는 상층 동서바람과 특히 연관되어 있는데, 기후기간 이들의 연관성을 살펴보면(Figure 72a, b), 상층 북반구 중위도 제트류의 입구에 고기압성 흐름(기압능)이, 출구에는 저기압성 흐름(기압골)이 주요하게 자리잡고 있다. 동아시아에 이러한 제트류가 크게 보이고, 또한 북아메리카에도 관측된다. 이러한 상층 바람은 또한 편서풍과 무역풍의 흐름과 연관되어 있다. 하층 동서바람은 계절적 변화가 있겠지만, 중위도 해양위에는 서풍이, 열대 해양위에는 동풍을 주요하게 보여준다(Figure 72c).

2013-2021년 시기 관측 자료 순환장은 중층 동아시아 기압골을 강화시켰고, 북아메리카 서편의 기압능과 동편의 기압골 또한 강화시켰다. 이와 관련하여 상층 동아시아 제트류는 다소 북진하였고 북아메리카 제트류는 상당히 북진하였다(Figure 71d, f). 하층 바람장에서는 북태평양, 북대서양의 중위도 서풍바람이 전반적으로 약화하고 북진하였다(Figure 71e). 하지만 이러한 순환장의 변화는 온도나 지위고도에 비해서는 유의미한 변화를 보이진 않는데, 이는 열대 서태평양이나 북극이, 그리고 약하게는 중위도까지도 전지구적으로 온난화를 보이고 있기 때문에 순환장에는 큰 영향이 없다고 볼 수 있겠다.

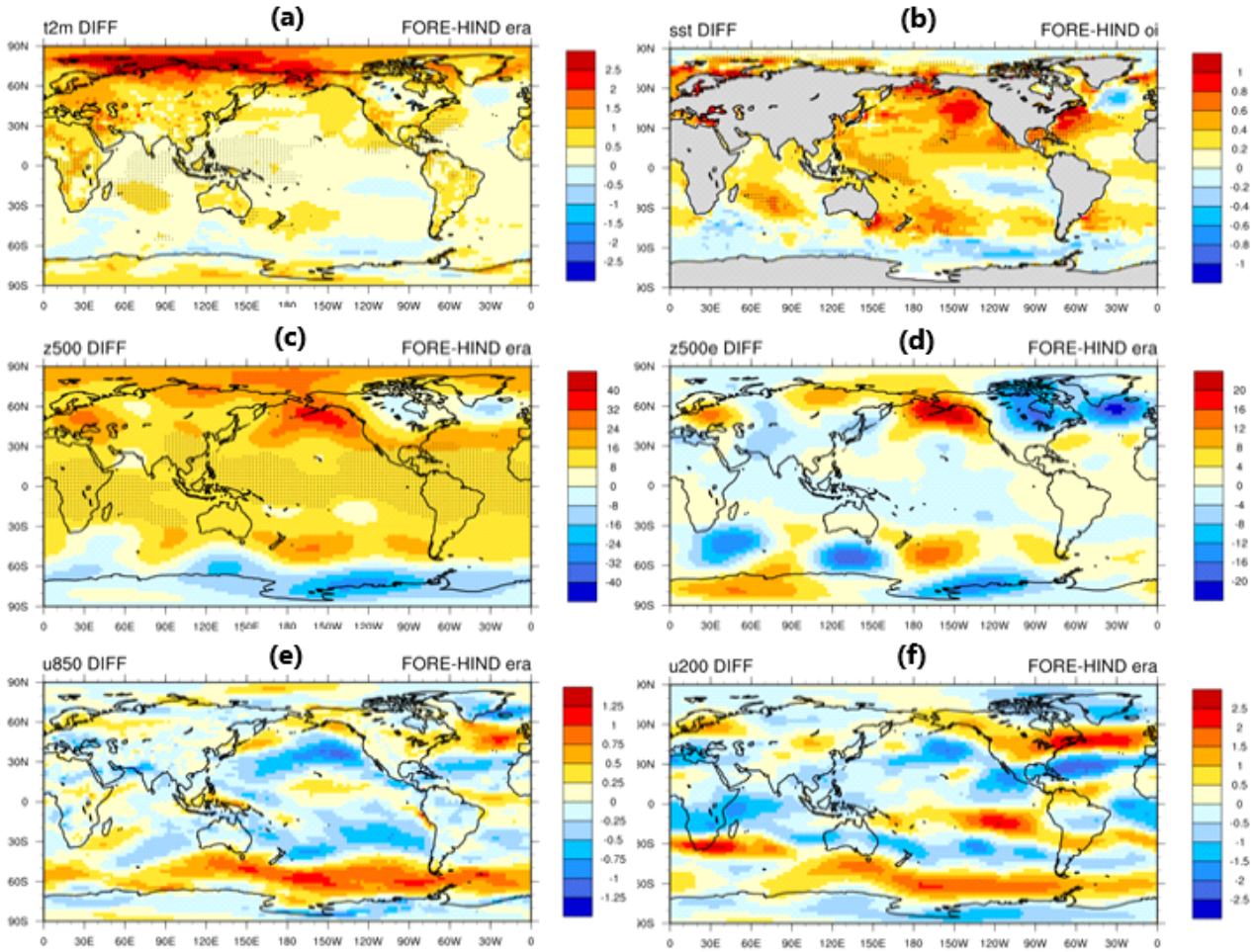


Figure 71. Anomaly averaged spatial pattern during real-time forecast (2013-2021) from observation. Climate period is 1991-2010. (a) 2-m temperature, (b) seasurface temperature, (c) middle-level (500-hPa) geopotential height, (d) middle-level geopotential height eddy, (e) low-level (850-hPa) zonal wind, and (f) upper-leve (200-hPa) zonal wind. Assumed a standard distribution for anomalies distribution and extreme values over 10% both are represented as black dots.

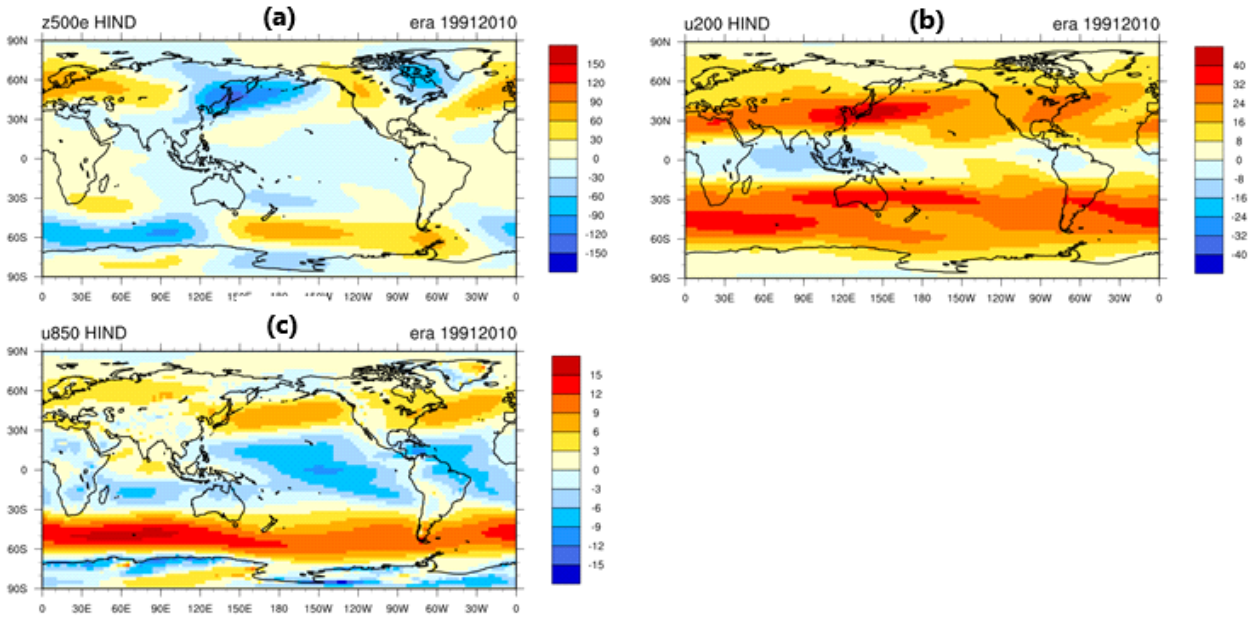


Figure 72. Averaged circulation patterns during climate period (1991-2010) from observation. (a) middle-level (500-hPa) geopotential eddy, (b) upper-level (200-hPa) zonal wind, and (c) low-level (850-hPa) zonal wind.

2013년부터 APCC MME의 계절예측편차장을 평균하여, 관측장과 비교해보았다(Figure 73). 기온은 관측과 유사한 분포를 보이나, 동아시아 지역이 온난화가 과하게 예측되었고, 북극 지역은 오히려 과소모의되었다. 하지만 북극 지역의 신호는 이 지역의 기온 변동성이 작게 모의되기에 나타나는 현상이라 할 수 있고, 오히려 10 퍼센타일을 넘는 유의미한 지역은 넓어졌다. 해수면 온도 또한 관측과 유사하게 보이나 북극 지역에서는 온난화가 강하게 진행되었다. 전반적으로 온난하게 예측되었기에, 중층 지위고도 또한 전반적으로 상승하였다. 순환장과 관련된 중층 지위고도 에디, 하층 동서바람, 상층 동서바람은 관측과는 괴리가 있어, 순환장은 모델에서 제대로 모사되지 못함을 알 수 있다.

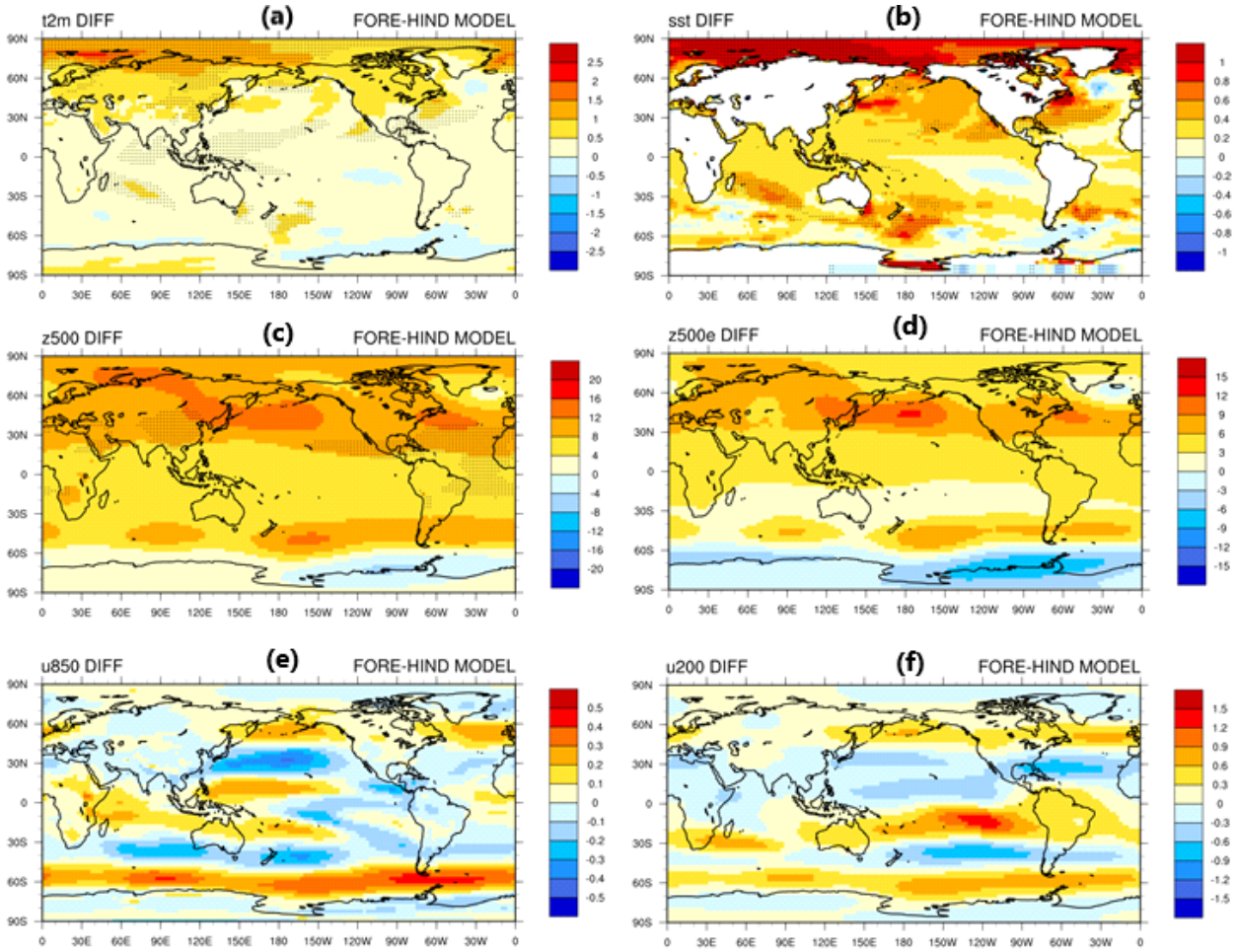


Figure 73. Same as the Figure 71 but for the MME.

2013년 이후 기온 편차의 전구 확률예측을 살펴보면 라니냐 시기 열대 태평양, 남태평양 지역을 제외하고 대부분의 시기에 대부분의 지역에서 평년 이상의 기온을 예측하였다(Figure 74). 하지만 관측 자료를 살펴보면 전지구 온난화의 영향으로 많은 경우 평년 이상을 기록하긴 하였지만, 때때로 많은 지역에서 한파를 겪기도 하고 평년 정도의 기온을 보여주기도 하기에 모델 예측자료와는 괴리가 있고 지역별 차이가 크다(Figure 75).

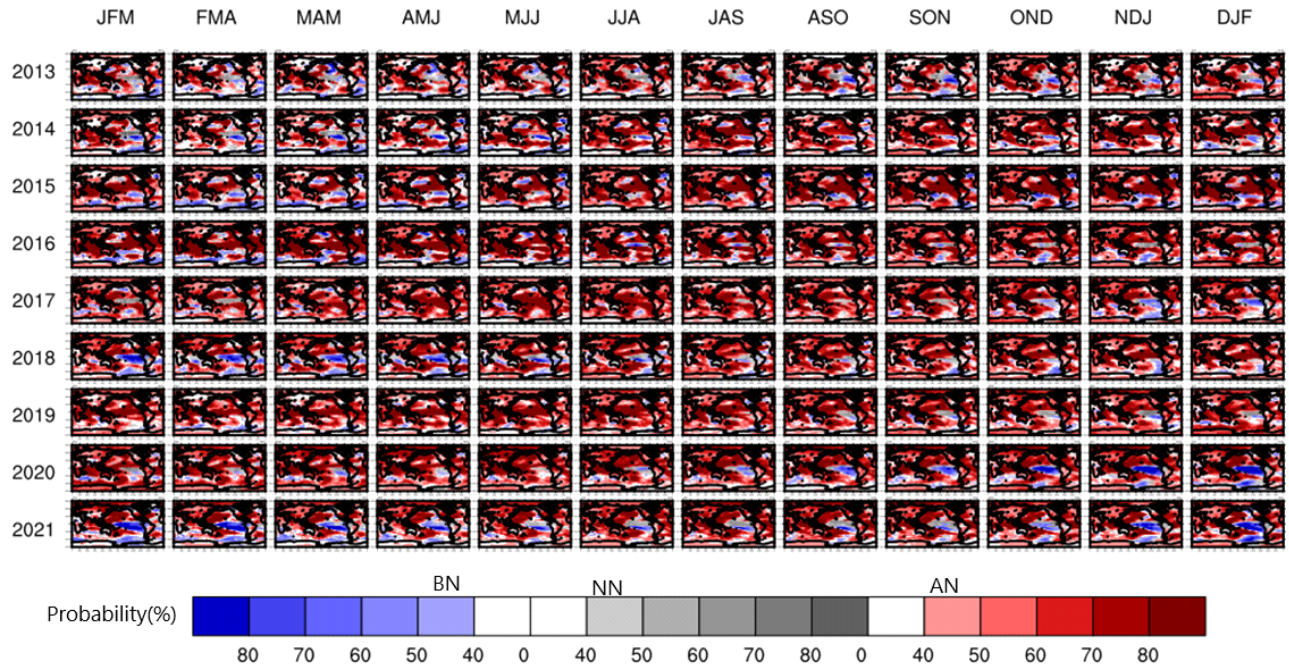


Figure 74. Probabilistic seasonal forecast of global 2-m temperature since 2013.

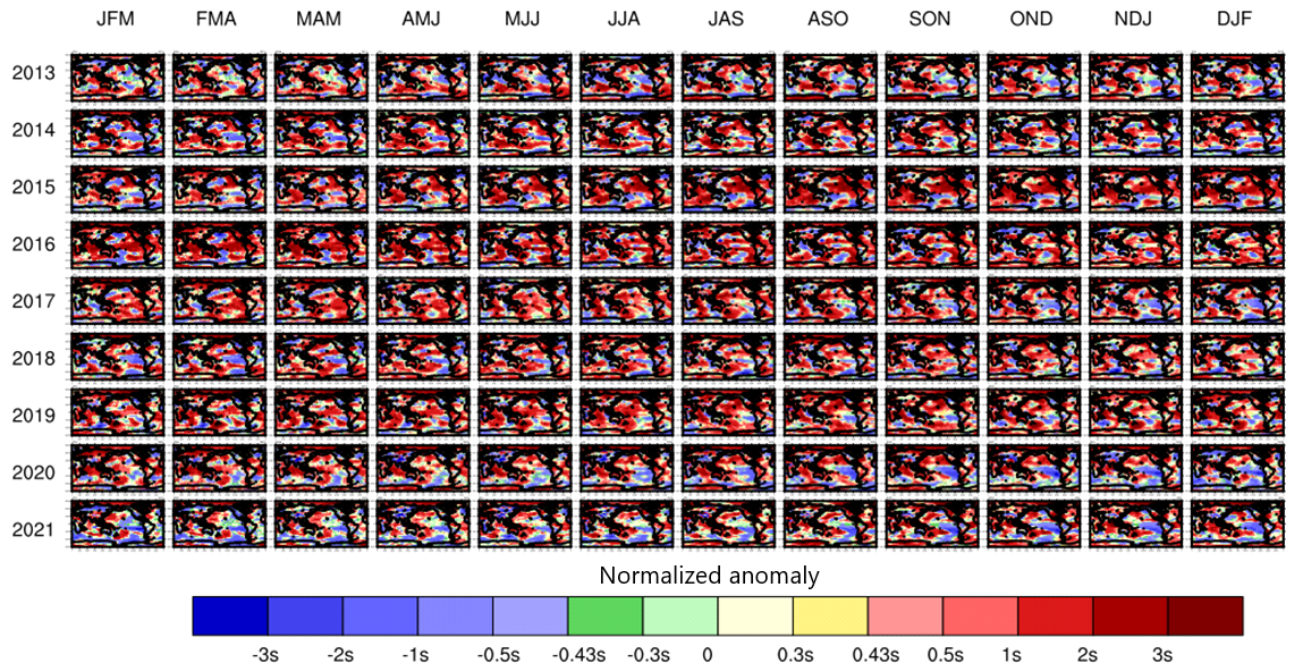


Figure 75. Normalized anomalies of global 2-m temperature from observation since 2013. Anomalies are based each hindcast period as in table 1. Anomalies are assumed as a standard distribution, and define 0.43 sigma and -0.43 sigma as thresholds for above normal, near normal, and below normal.

특히 동아시아 지역은 관측에서의 기온은 때때로 한파를 겪기도 하고, 평년 수준의 기온을 보여주어 온난화 현상이 크지 않지만(Figure 76a) 모델 예측자료는 대부분 시기에 평년 이상의 기온을 보여주어(Figure 76b) 이 지역에서 모델과 관측의 괴리가 큰 것을 볼 수 있다.

Figure 76. East Asian normalized 2-m temperature from (a) observation (ERA 5) and (b) APCC MME. Same as Figure 74 and 75 but for East Asia.

비슷한 방식으로 계절별, 연도별 동아시아 지역 2-m 기온의 확률예측을 비교하면, 평년 수준이 우세한 적이 없고, 일부 시기, 지역에 평년 이하를 우세하게 예측한 시기가 있고, 대부분 모델이 평년 이상이 우세하다고 예측하였다(Figure 77). 확률예측은 3분위 범주별로 예측한 개별모델의 백분위 갯수를 의미하기에, 대부분의 모델이 동아시아 지역에서 평년 이상의 기온을 예측한 것을 의미한다.

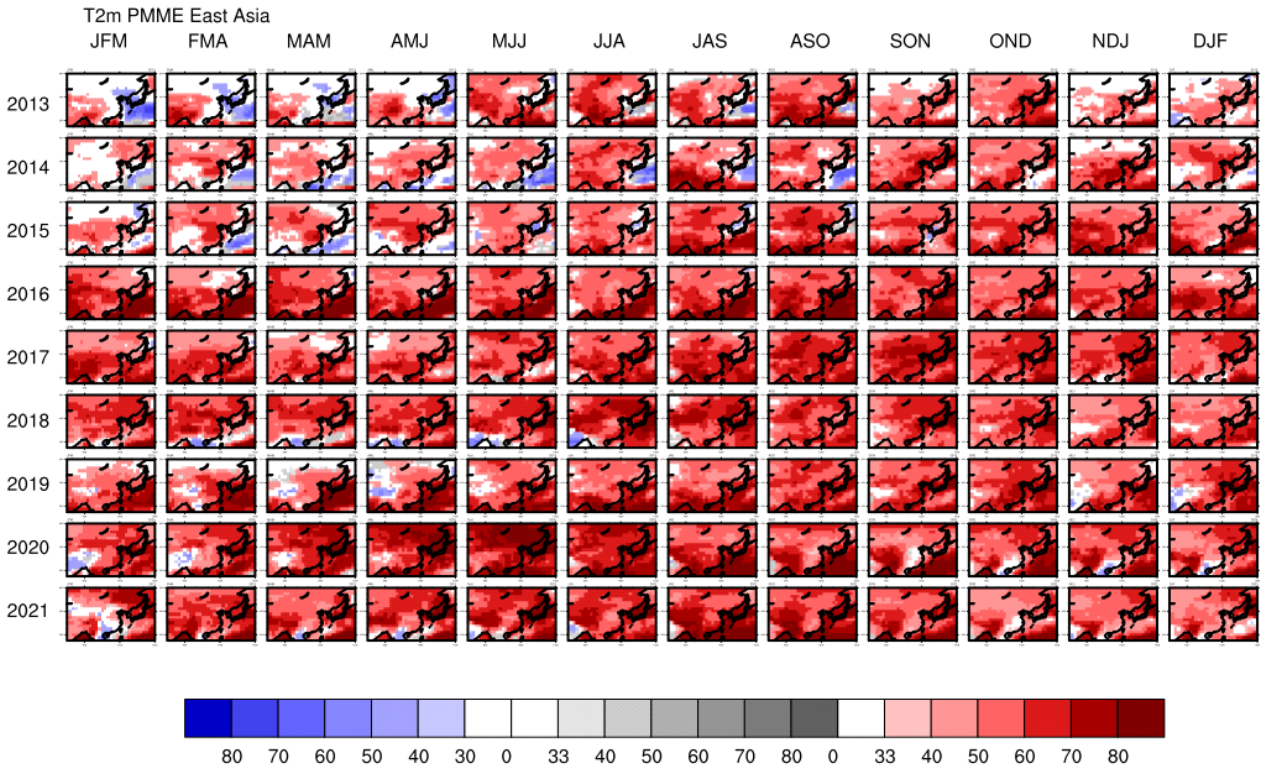


Figure 77. Probabilistic forecast of East Asian 2-m temperature.

DMME, PMME 예측을 심층 분석하고자 지역별/시간별 기온 관측과 예측 분포를 비교하였다(Figure 78). 관측은 전구, 남반구, 동아시아, 극 지역 등에서 때때로 평년 수준, 혹은 평년 이하의 기온을 기록하였지만 DMME는 관측에 비해 그 빈도가 낮다(Figure 78a, b). 전구, 열대지역, 열대 서태평양은 관측과 DMME가 비교적 유사하지만 남반구, 동아시아는 관측에 비해서 DMME의 온난화가 강한 편이다. PMME는 모든 지역에서 평년 이상의 예측이 우세하였는데(Figure 78c), 특히 열대 서태평양에서 대부분의 모델들이 평년 이상의 기온을 예측하여, 이 지역에서 나타나는 온난화가 대부분의 모델에서 안정적으로 예측됨을 알 수 있다. 하지만 PMME에서 동아시아 지역은 평년 수준의 기온을 예측하지 못하고 대부분의 모델이 평균적으로 평년 이상을 예측하였다.

요약하자면 2013년 이후 온난화는 실제로도 나타나는 현상이고 전구 기준으로 계절예측모델은 이를 잘 모의하는 것으로 나타나지만 지역별로 차이가 있다. 열대지역에서는 모델이 이를 준수하게 모의하지만 북반구 중위도 대륙 특히 동아시아 그리고 남반구 등에서 나타나는 다양한 온도 변화는 모델에서 잘 모의하지 못하고 대부분 평년이상의 기온을 예측한다. 즉, MME에서는 온난화 효과가 관측보다 더 확실히 나타난다.

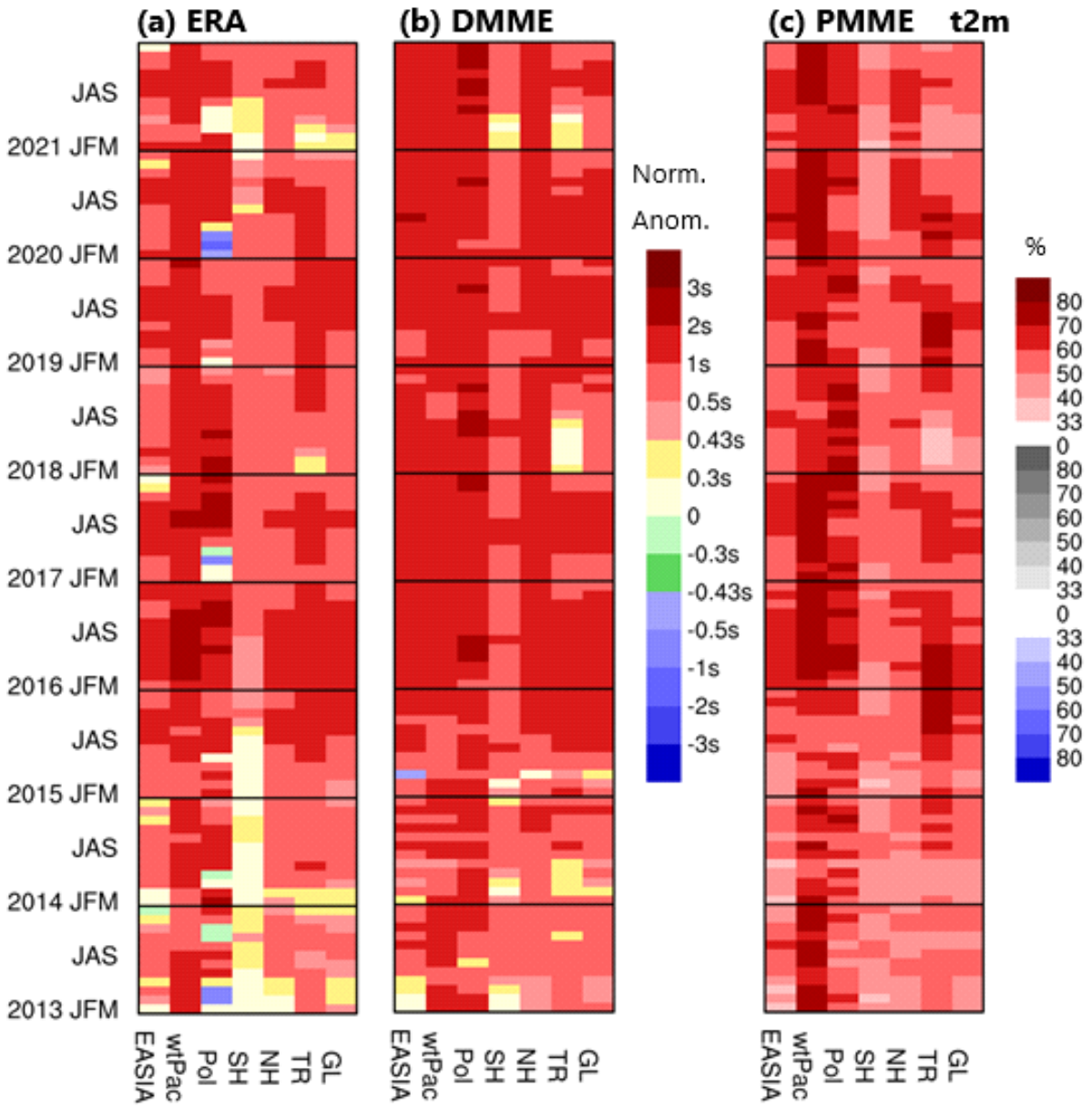


Figure 78. Regional and seasonal averages of normalized temperature anomalies of 2-m temperature from (a) observation (ERA5) and (b) deterministic MME forecast, and (c) probabilities of a dominant category of probabilistic forecast for 2-m temperature.

특히 우리가 관심있는 지역인 동아시아에서 모델과 관측에서의 온난화 차이가 왜 나타나는지 분석하기 위해 기온과 관련된 여러 물리적 변수들을 살펴보았다. 동아시아에서 기온이 평년 수준을 기록하였던 11 사례의 기온, 해수면온도, 중층지위고도 에디, 하층 동서바람 등의 표준편차장을 평균하여 합성장으로 표현하였다(Figures 79, 80). 동아시아 평년 수준 기온의 11 사례는 봄, 가을, 겨울철에 분포하여, 여름철은 항상 평년 이상의 기온을 보여준다.

관측 자료의 기온 합성장을 보면(Figure 79a), 기온은 동아시아 육지(중국)은 상대적으로

따뜻하나, 해양(동중국해, 한반도, 일본)은 상대적으로 차갑고, 열대 서태평양은 10 퍼센타일을 넘는 따뜻한 값을 보여준다. 북극 지역 또한 따뜻하여, 열대 서태평양 온난화, 북극 온난화가 동아시아의 평년 수준 기온과 연관될 수 있다. 해수면 온도 또한 기온과 비슷한 양상을 보여주어서 열대 서태평양과 북극은 따뜻하고, 중위도 북서태평양은 차갑다(Figure 79b). 중층 지위고도 에디는 동아시아와 중위도에서 저기압성 분포를 보여주는데, 이는 중위도 동아시아 상층 제트류 출구 쪽 기압골이 더 강화하는 것과 연관있다(Figure 79c). 또한 기압패턴과 관련하여 한국-일본 하층에서는 서풍이, 동중국해 하층에서는 동풍이 강화되어 북서태평양 고기압성 흐름은 강화되는 것을 확인할 수 있다(Figure 79d). 특히 순환장 패턴은 동아시아 기온이 하강할 때와 유사하다.

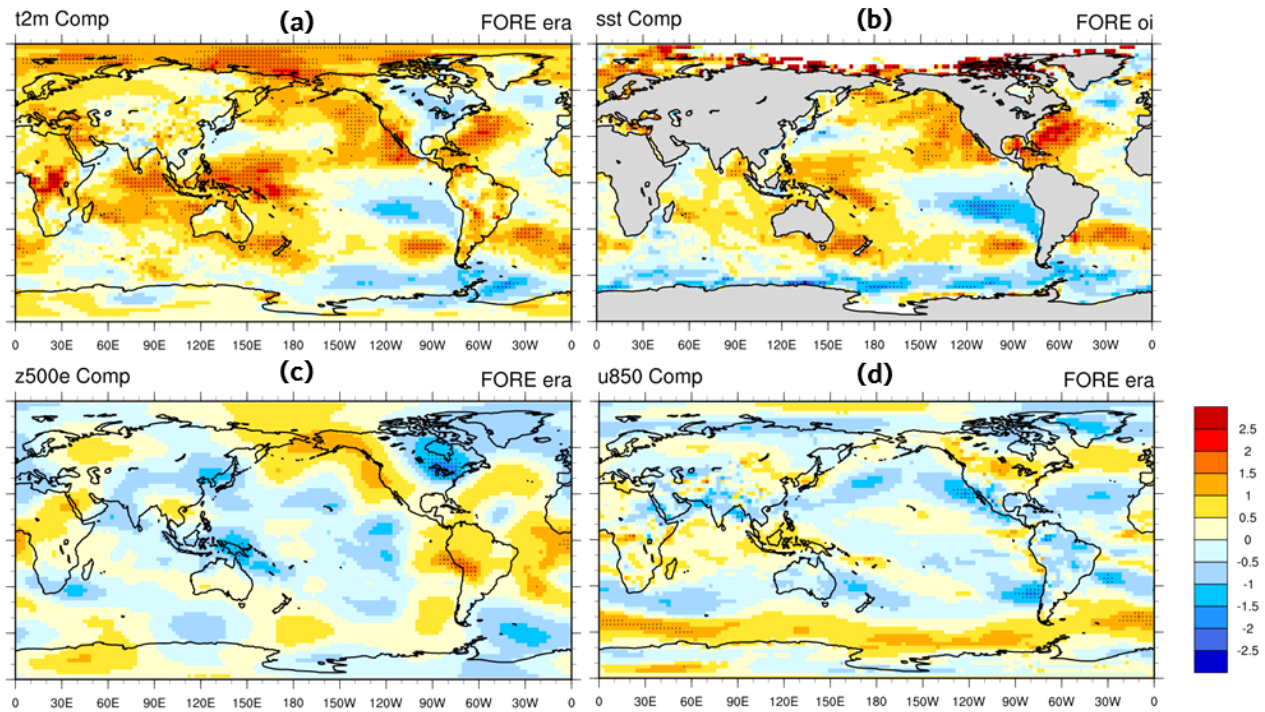


Figure 79. Composite of normalized anomalies of (a) 2-m temperature, (b) sea surface temperature, (c) middle-level geopotential height eddy, and (d) low-level zonal wind when the East Asian temperature is near normal since 2013. Climate period is hindcast period. Anomalies are assumed as standard distribution and extreme values over 10 percentiles both are represented as black dots.

하지만 모델 자료의 기온 합성장을 살펴보면(Figure 80a), 동아시아에서 기온은 평년 수준이거나 일부지역에서는 오히려 10 퍼센타일 이상으로 기온이 따뜻하다. 해수면 온도에서도 중위도 북서태평양에서 나타나는 냉각화는 크게 나타나지 않는다(Figure 80b). 그럼에도 열대 서태평양이나 북극 지역의 온난화는 관측과 유사하게 모의되기에 모델이 지역적으로 나타나는 기온의 다양성을 충분히 모의하지 못함을 추측할 수 있다. 중층 지위고도 에디나 하층 동서바람은 실제와는 괴리가 크게 나타나서(Figures 80c, d) 모델에서 기온과 관계되는 순환장이나 기압장 패턴의 물리적 과정이 실제와 유사하게 모의되지 못함을 알 수 있다.

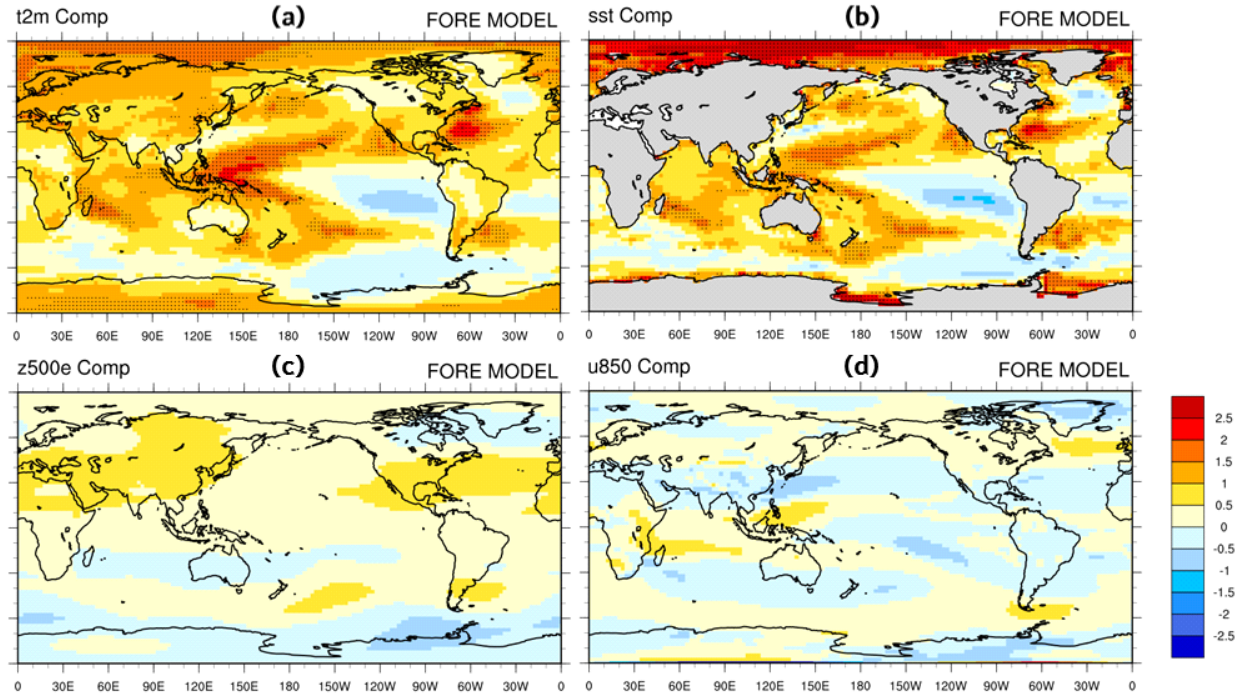


Figure 80. Same as Figure 79 but for APCC MME.

(나) 개별모델 실시간 온도예측 경향

2013년 이후 MME 참여 개별모델들은 전구적으로 평균하면 대부분 평년 이상을 예측한다(Figure 81). 2013년 이후 MME에는 총 18개의 모델들이 참여하였는데, 이 중 GDAPS_F는 2016년 이후, IRI-CA는 2017년 이후에 중단되었고, MSC-CANCM3, MSC-CANCM4는 2016년 이후 MSC 모델로 통합되어서 MME에 활용되고 있다. BOM 모델은 POAMA에서 ACCESS-S1으로 2020년에 교체되었고, 2020년 이후에 참여한 KMA, UKMO, 2021년 참여한 METFR 등의 모델은 온난화를 상당히 강하게 예측하여 MME의 예측에 평년 이상 기온의 예측 확률을 높이는 데 크게 기여한다.

마찬가지로 2013년 이후 참여 개별모델들은 동아시아 지역으로 평균하여 나타내면, 대부분의 모델들이 평년 수준 혹은 평년 이상을 예측하고 있다(Figure 82). 다만 전구에 비해 변동성이 크고, 일부 모델들은 평년 이하의 예측도 하였음을 관찰할 수 있다. 또한 전구와 유사하게 2020년 이후 참여한 모델들이 온난화를 강하게 예측하여 MME의 평년 이상 예측 확률에 크게 기여하였다.

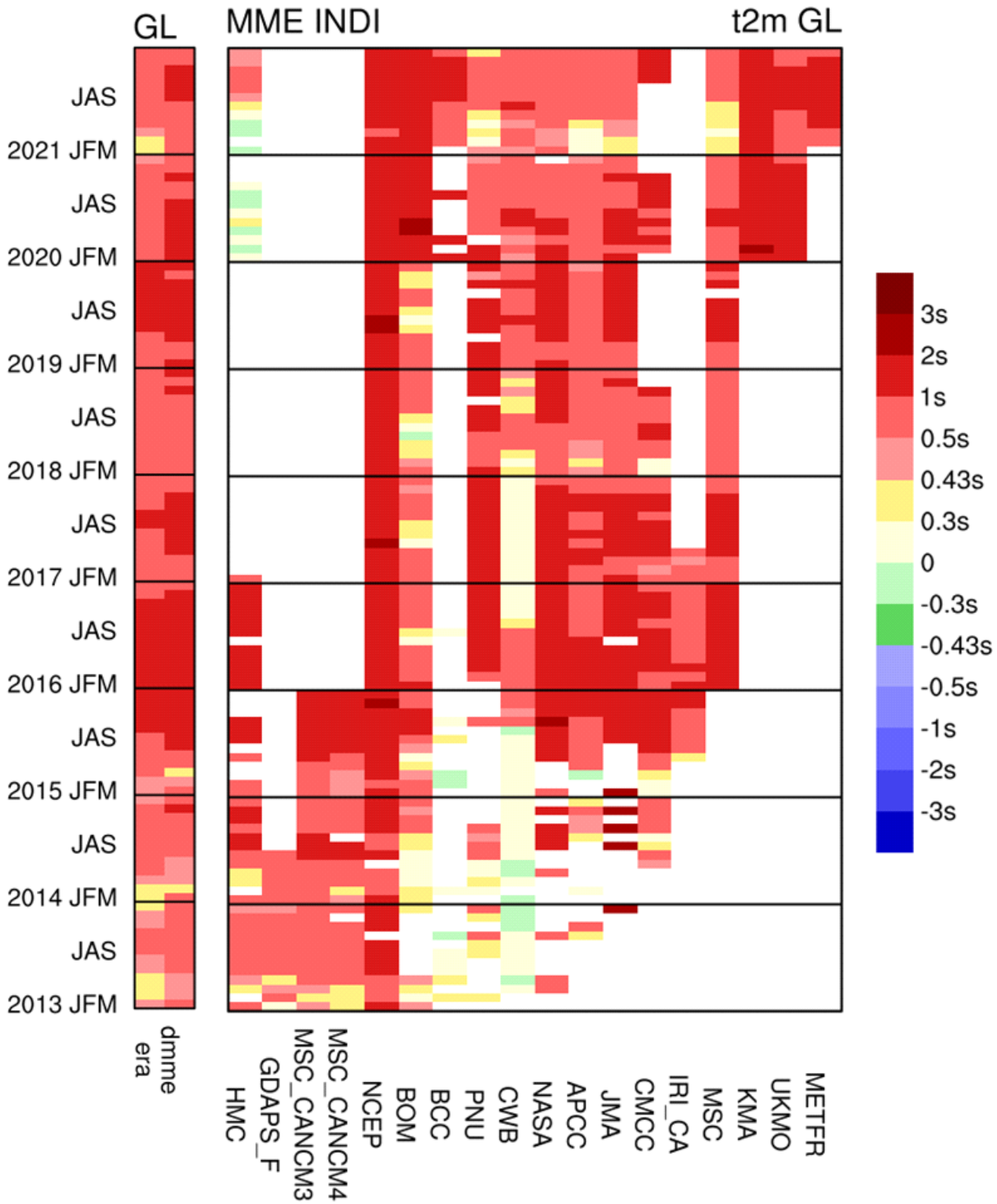


Figure 81. Normalized anomalies of 2-m temperature forecasts of individual models averaged for the globe.

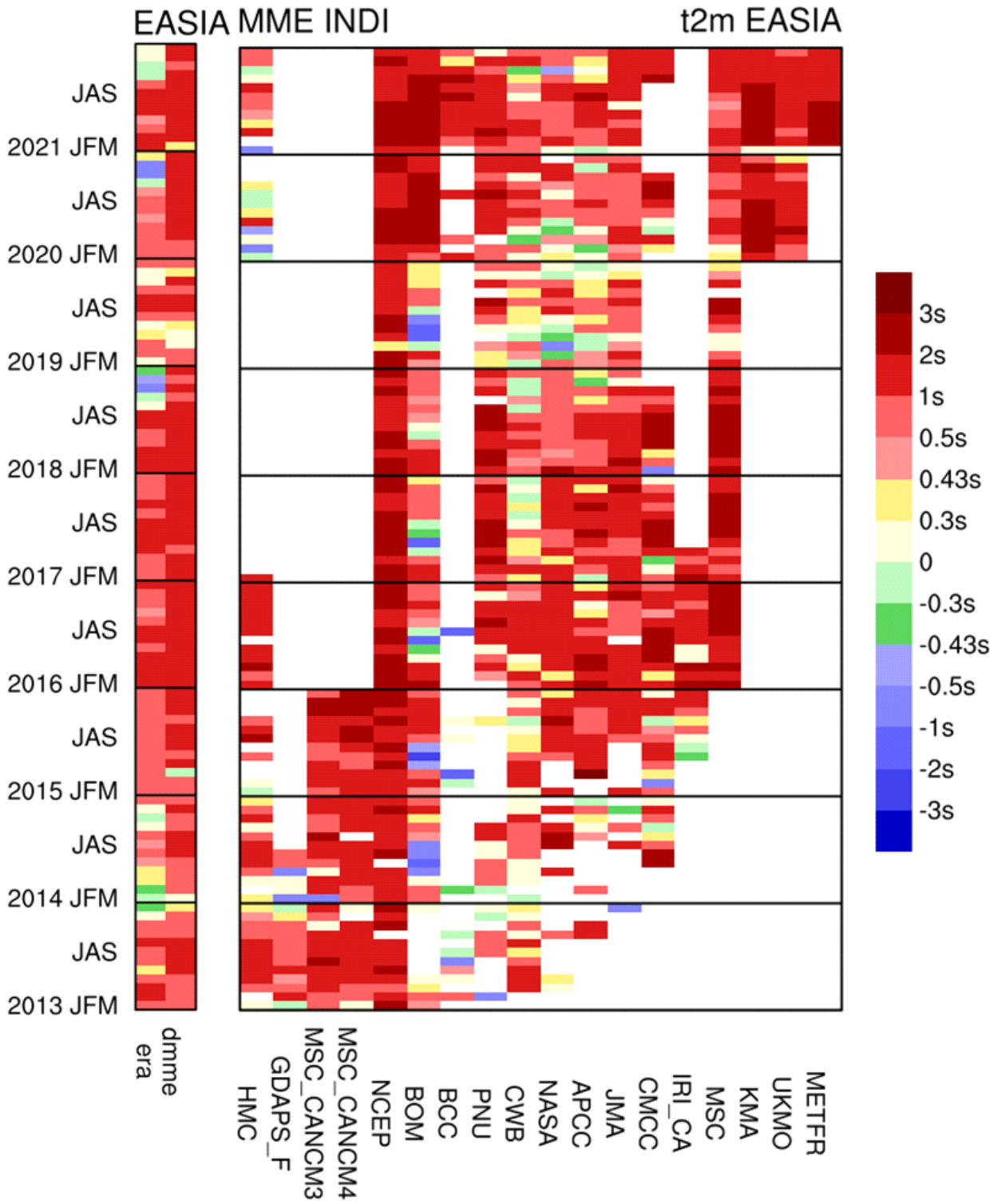


Figure 82. Sane as Figure 81 but for East Asia.

여기에서 ERA 계열 초기장을 사용하고 NEMO를 해양 모델로 사용하는 유럽계열 모델들이 크게 온난화를 강하게 예측하는 것을 볼 수 있는데 이를 구분하기 위해 유럽계열 모델과 NCEP 계열 초기장을 사용하고 MOM을 해양 모델로 사용하는 미국계열 모델들을 분리하여 표현하였다(Figure 83). 미국계열 모델들이 비교적 변동성이 크고, 유럽계열은 수렴하는 경향이 있는데, 특히 2020-2021년에는 유럽계열 모델들이 미국계열에 비해 온난하게 예측하는 경향이 두드러진다.

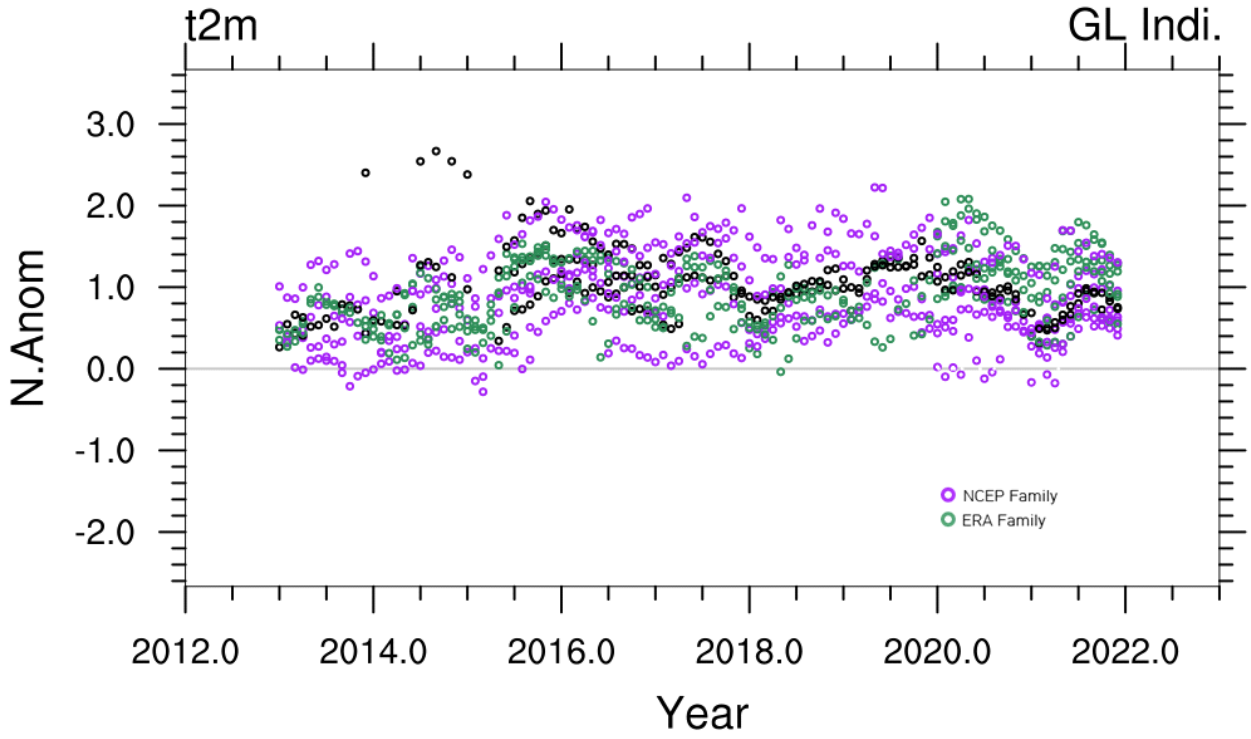


Figure 83. Time series of global mean normalized anomalies of 2-m temperature forecast of individual models. North American (NCEP) models are purple and Europe (ERA) models are green. Other models are black.

같은 방식으로 동아시아 지역에서도 계열별로 기온예측을 표현하였는데(Figure 84) 특히 2020-2021 시기에 유럽 계열 모델들이 미국 계열 모델들에 비해 온난화 경향이 강한 것으로 예측하여 이러한 경향이 전구 예측에도 영향을 준 것으로 보인다. 다만 여기에서 NCEP의 계절예측모델은 예외적으로 유럽계열 모델들에 견줄 정도로 온난화를 강하게 예측하는 것으로 보인다. NCEP 재분석자료가 2020-2021 시기에 북유라시아 대륙에서 비교적 낮은 기온을 산출하는데, 이의 영향으로 미국 계열 모델이 상대적으로 기온의 냉각화를 예측하는 것으로 추측한다.

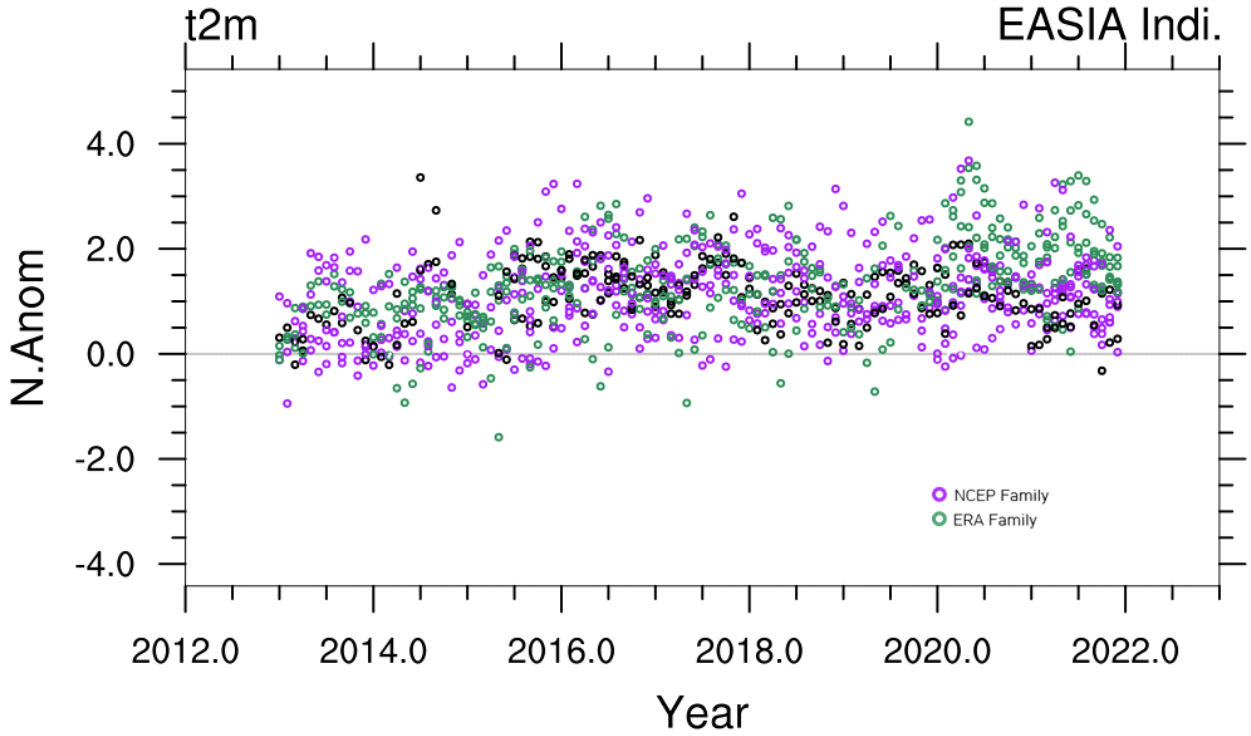


Figure 84. Same as Figure 83 but for East Asia.

(3) 기온 계절예측 보정방법 후보

앞서 분석한 내용을 요약하자면 2013년 이후 계절예측모델들은 대부분 온난화를 예측하는데 전구 기준으로 이는 합리적이나, 지역별로 살펴본다면, 특히 동아시아 지역에서 모델이 온난화를 과하게 예측하는 경향이 있어 이를 보정할 필요가 있다는 것이다. 이를 위해 두 가지 다른 방법을 제시한다.

하나는 앞에서 분석한 개별모델의 hindcast 기간의 선형추세를 이용하는 방법이고, 다른 하나는 지역모델이나 기후예측모델 보정에 많이 쓰이는 quantile mapping을 이용한 보정 방법이다. 두 방법 모두 공통적으로 hindcast 기간의 통계적 특성을 이용하고, forecast를 보정한다. 또한 격자별 자료를 분석하여 보정계수를 결정하고, 개별모델을 사용하여 모델 별 다른 보정계수를 사용한다. 격자별 자료를 분석하기에 샘플수가 적어 통계값을 얻는데 왜곡이 있을 수 있기에 해당 격자 주변도 활용하여 보정계수를 얻도록 한다.

앞에서 분석한 바에 따르면, hindcast 기간 선형추세 공간 분포(Figure 67c)는 실시간 예측기간(2013-2021) 편차 평균의 공간 분포(Figure 85)와 유사하다. 따라서, hindcast 기간 선형추세의 특성을 계절예측모델의 장기간 특성으로 파악하고, 이를 실시간 예측 기간의 보정에 대입할 수 있을 것으로 사료된다. 모델의 hindcast 기간 선형추세와 실제 선형추세의 관계식을 이용하여, 예측 전 기간까지의 선형추세를 추론하고, 보정하여 이를 이용하여 예측된 기온 값을 보정하도록 한다. 개별모델별로 기온을 보정하고 이를 다시 평균하여 MME 기온 예측값을 얻을 수 있다(Figure 86).

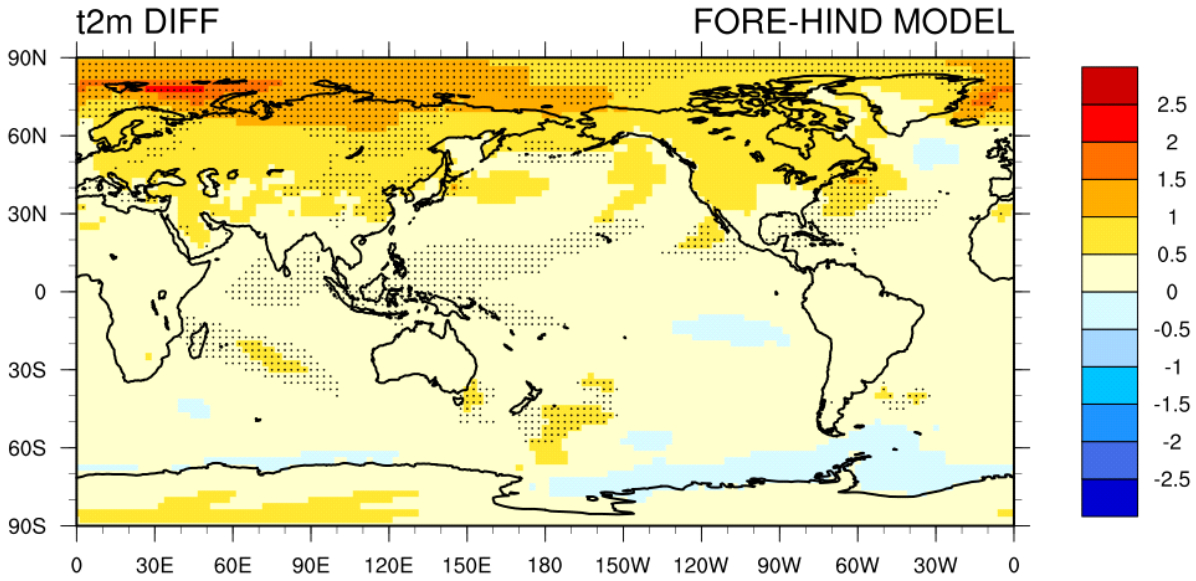


Figure 85. Averaged pattern of 2-m temperature of MME forecast anomalies during real-time forecast (2013-2021). Anomalies are based the MME's hindcast period.

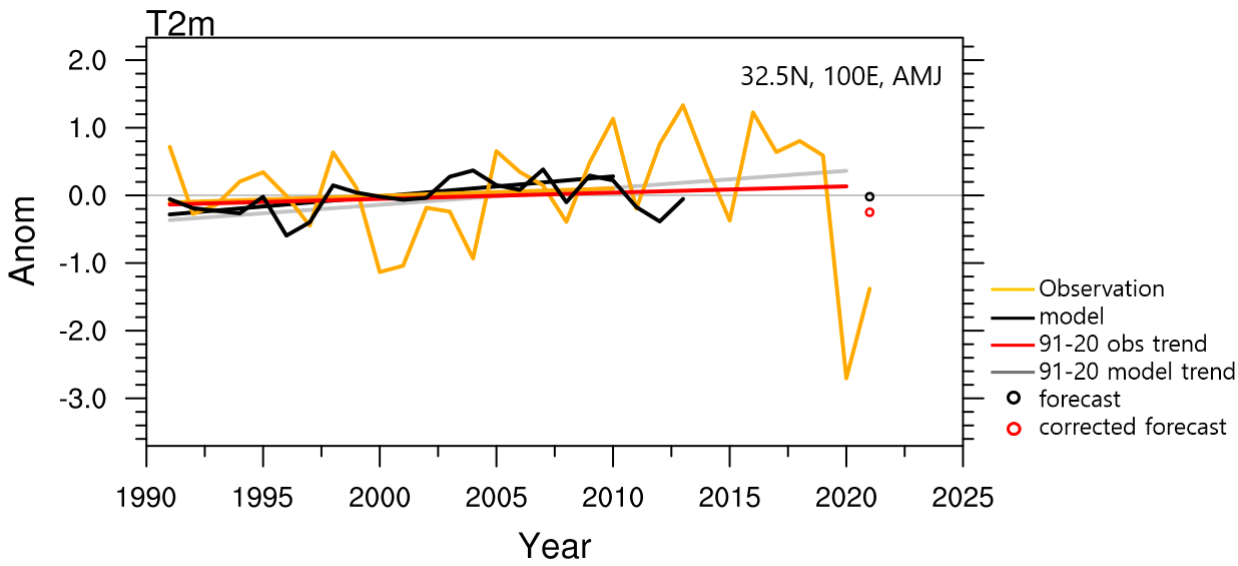


Figure 86. An example of temperature forecast correction of East Asian spring season.

quantile mapping은 자료의 분포 분위에 따른 위치를 보정하는 방법인데, 지역모델이나 기후투영모델 등에서 계통오차 등을 보정하기 위해 많이 사용하는 방법이다. 여기서는 계절예측에 활용할 수 있도록 이 방법을 응용할 계획이다. 여기에서 개별모델의 분포도와 관측자료의 분포도를 비교하여 보정하는데 짧은 hindcast 기간에 구애받지 않도록 보정 방법을 구상할 것이다. Figure 87은 실제 북위 32.5° N 경도 100° E 기온의 관측과 한 개별모델의 확률밀도분포도인데 한 격자만으로는 합리적인 분포도가 구현되지 않기에 경도 위도 방향으로 4개의 격자를 더 활용하여 그린 분포도이다. 이러한 관측의 분포도를 기준으로 하여 모델의 분포도를 적합화, 실시간 예측값을 보정할 계획이다.

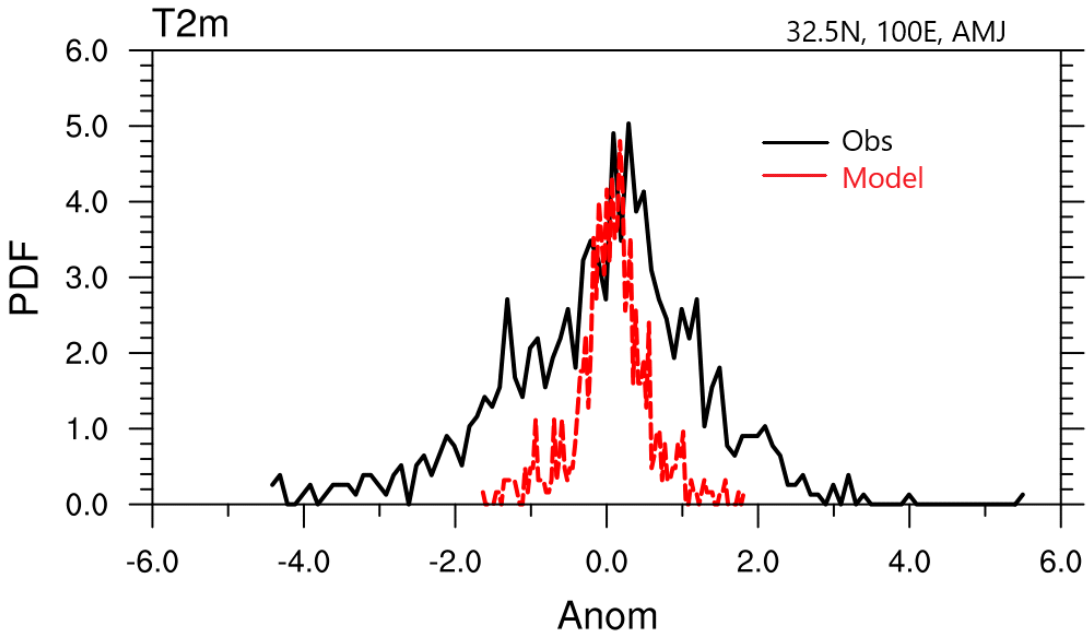


Figure 87. Probabilistic density distribution of anomalies from the observation (black) and one individual model (red). Same season and space as in Figure 86 but use 4 more spatial grids to East and North, totally use 5x5 grids.

(4) hindcast, 실시간 예측 기간의 계통적 오차 분포

앞서 기온의 온난화 예측 경향과는 별개로, 계절예측모델의 계통오차(bias)가 hindcast 기간과 2013년부터의 실시간 예측 기간에 서로 괴리가 있어 실제 계절예측에 영향을 줄 수 있을 것이란 의문이 제기되어 본 장에서는 두 기간의 계통오차 분포를 분석하였다. 계통오차는 각 시기별로 예측값에서 관측값을 뺀 값으로, 음의 계통오차는 모델이 관측보다 기온을 낮게 모의하는 것을 의미하며, 이는 앞서 분석한, 모델의 실시간 예측값에서 hindcast 기후기간 평균을 뺀 편차값과는 다르다.

Figure 88은 hindcast와 실시간 예측 기간의 계통적 오차의 공간 분포로서, 두 시기 모두 음의 계통적 오차를 보여준다. 이는 모델이 전반적으로 관측보다 온도를 낮게 모의하는 것을 의미한다. 다만 hindcast 기간에 음의 분포가 좀 더 강한데, 이는 hindcast 기간이 더 길기 때문에, 이에 대한 온도 편차가 클 수 있다는 특성이 반영된 것으로 보인다. 그리고 전반적으로 열대 해양에서는 모델이 관측보다는 기온을 높게 모의하는데, 이러한 패턴이 실시간 예측 기간에 좀 더 넓게 분포하는 것을 볼 수 있다. 중앙 아시아의 고원지대, 남아메리카 서부의 안데스 고원지대에서는 계통오차의 강도가 강하고 분포가 매우 복잡함을 보이는데 이는 고도가 높은 지역에서 모델의 예측이 복잡하기도 하고 변동성이 크며 괴리가 클 수 있음을 의미하는 것으로 판단된다.

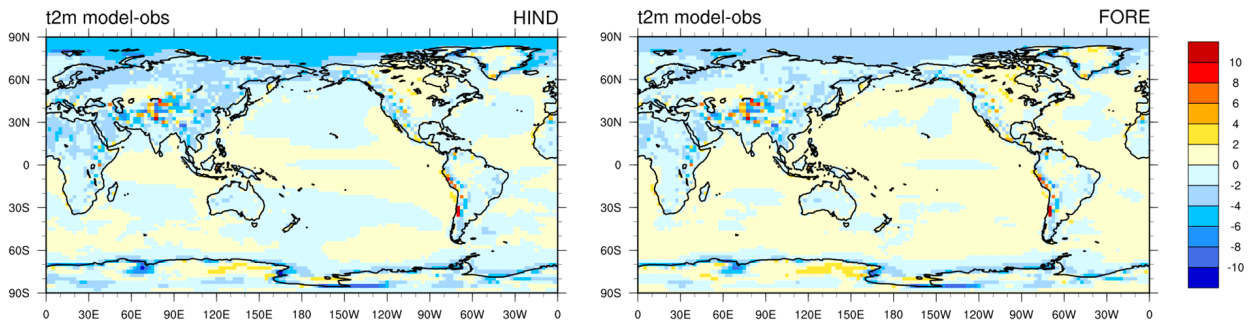


Figure 88. Bias distribution for (left) hindcast period and (right) real-time forecast period.

계절별로 hindcast 기간과 실시간 예측 기간의 계통오차 분포를 살펴보면(Figure 89, 90) 두 시기 공통적으로 겨울철에 특히 고위도에서 계통오차가 커짐을 볼 수 있다. 또한 봄철에는 전반적으로 계통오차는 줄어들지만, 유라시아 대륙의 동편에서 음의 계통오차가 비교적 커진다. hindcast 기간과 실시간 예측 기간의 계통오차는 공통적으로 보이며, 두 시기간의 괴리는 없는 것으로 판단된다.

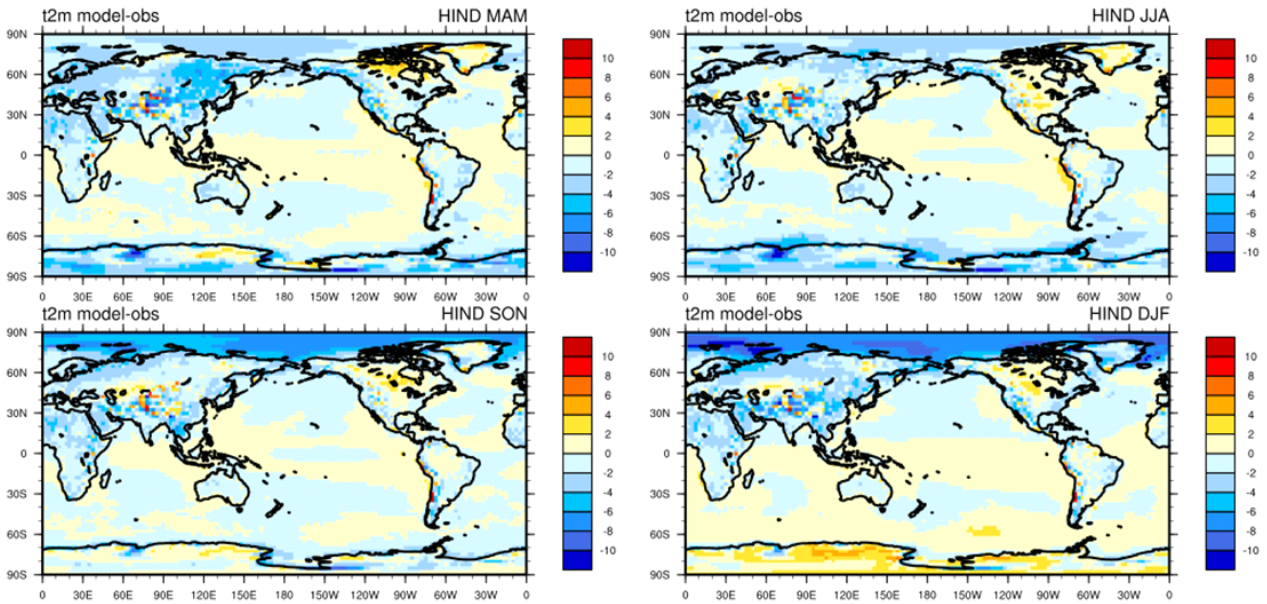


Figure 89. Seasonal bias distribution for hindcast period.

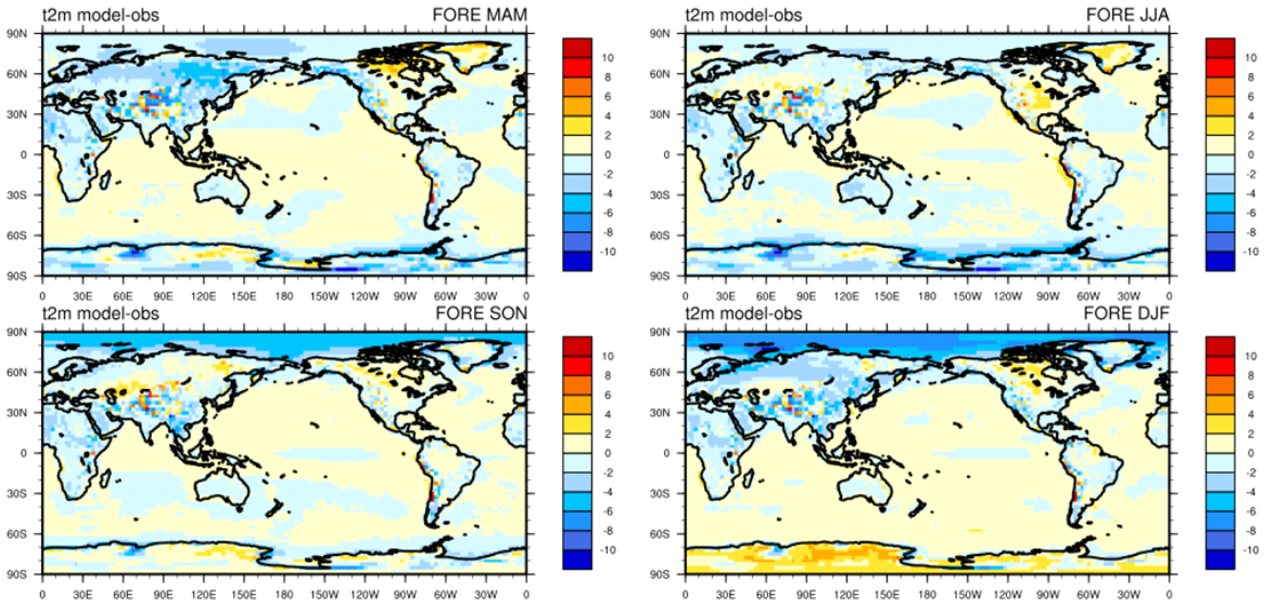


Figure 90. Seasonal bias distribution for real-time forecast period.

바. 산불예측시스템 운영 및 지역확장

(1) 산불예측시스템 운영 및 개선

(가) 현황 및 필요성

산불로 인한 연무는 동남아시아에서 가장 심각한 환경문제 중 하나로 화재 및 연구로 인한 피해를 완화하기 위한 조기경보시스템에 대한 필요성이 지속적으로 제기되어 왔음. APCC(APEC Climate Center)는 APN(Asia-Pacific Network) 국제연구 프로젝트를 통해 동남아 해양 국가들의 지리적 중심에 위치한 아시아 최대섬인 보르네오섬의 4개 지역(Barat, Selatan, Tengah, Timur)에 대한 화재 및 연무의 조기경보시스템(FHEWS, Fire and Haze Early Warning System)을 개발하여 2017년부터 보르네오 섬의 건기에 해당하는 8-10월 기간에 대한 가뭄상태를 예측하고 매년 4-7월 사이에 산불예측 조기경보 정보를 제공하고 있다. APCC에서 제공하는 MME(Multi Model Ensemble)가 지속적으로 개선되고 있는바와 같이, 산불예측시스템에서 활용하는 자료또한 최신의 질 좋은 정보를 활용하여 양질의 정보를 제공해야 할 것이다. 최근 APCC에서는 MME에 활용되는 개별모델의 리드타임 정보를 모두 원자료의 모든 정보를 제공하고 있으며 이를 적극 활용하기 위하여 산불예측시스템에서도 개별모델의 모든 정보를 활용하여 양질의 정보를 제공할 수 있도록 변경되었다. 추가로 전 지구의 화재 및 탄소의 배출정보를 제공하는 GFED(Global Fire Emission Database)가 GFED3.1에서 GFED4.1로 업데이트 되었다. 공간해상도가 GFED3.1에서는 0.25° 였으나 GFED4.1에서는 0.025° 로 향상되어 제공되고 있으므로 개별모델의 리드타임 정보와 함께 반영하여 양질의 정보를 제공하고자 하였다.

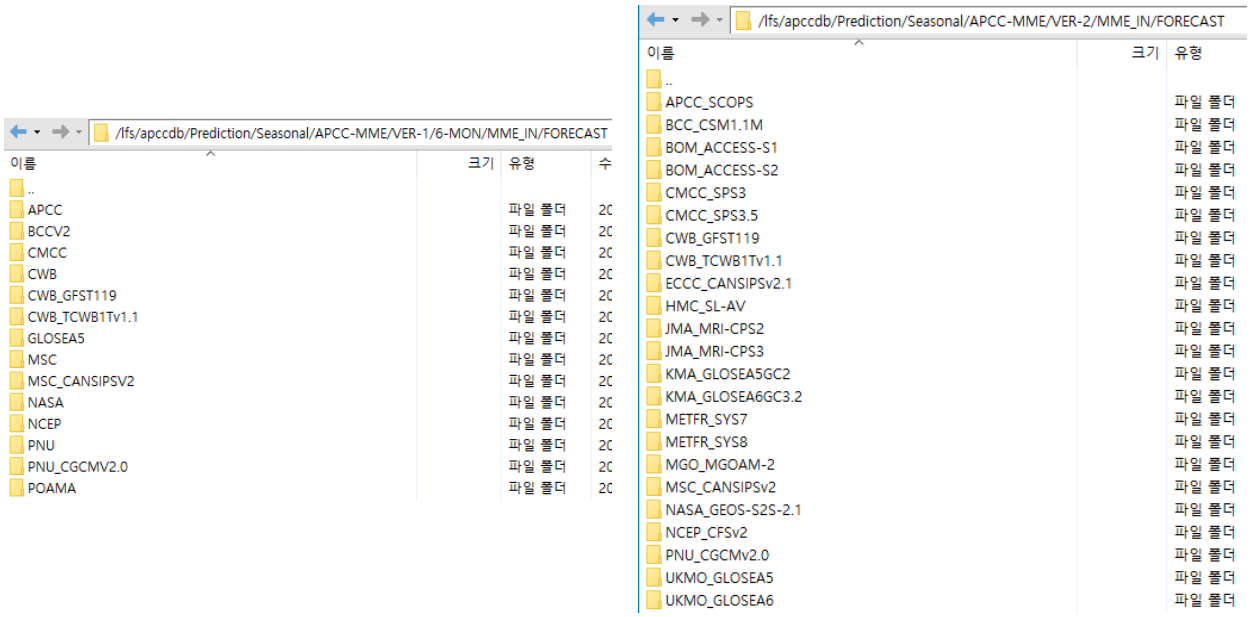
산불예측시스템을 통한 예측정보의 검증이 추가로 필요할 것으로 판단되며, 예측정보의 결과를 비교하기 위해 MODIS C6.1 Burned Area 자료를 활용하였다. 동남아시아 지역에서는 화재 및 연무에 대한 피해가 큰 지역으로 APCC의 인도네시아 산불예측 조기경보 시스템의 서비스 지역확장에 대해 요청을 지속적으로 해오고 있으며, 화재 및 연무의 조기경보가 인도네시아를 포함한 주변 지역으로 확장되어야 할 필요가 있다. 따라서 APCC에서는 현재 서비스 대상지역인 인도네시아의 보르네오섬 인근의 말레이시아를 선정하여 이에대한 조기경보 시스템을 확장하고자 하였다.

(나) 인도네시아 산불예측시스템 운영 및 개선

① 입력자료 개선

기존의 APCC의 개별모델 정보는 3개월과 6개월로 구분하여 해당 개월 이상되는 모델들을 두가지 카테고리로 구분하여 제공하였다. 현재 APCC에서는 개별모델의 리드타임을 원자료 그대로 제공하는 방식으로 바뀌었으며, 산불예측시스템 또한 APCC 개별모델의 모든 정보를 활용하여 시스템을 개선하고자 하였다. 기존의 3개월 개별모델 예측정보의 경우 3개월 이상 6개월 미만의 개별모델을 대상으로 모두 일괄 3개월에 대한 정보만 제공하였다. 6개월 개별모델의 경우 6개월 이상의 모든 개별모델의 정보 중 6개월의 정보만 제공하고 7개월 이상의 예측정보는 활용하지 않았다. APCC의 개별모델은 Figure 91과 같이, 기존에는 개별모델의 리드타임을 3개월과 6개월로 구분되어 있다가 현재에는 이를 삭제하고 개별모델의 고유 리드타임을 모두 제

공하는 방식으로 변경되었다. 이는 4개월 전에 예측을 시작하는 산불예측 시스템에서 활용할 수 있는 개별모델의 정보가 늘어날 수 있기 때문에 이를 반영하여 산불예측 시스템의 질적 향상을 기대한다.



Before After

Figure 91. Change individual model lead time information.

개별모델의 리드타임 뿐만 아니라 기존은 제공되는 기관의 이름으로 활용하던 APCC의 개별모델 정보가 현재는 기관_모델의 형태로 변경되어 제공되고 있다. 또한 다양해지고 있는 개별모델에 따라 '-'을 사용하는 모델도 확장되었다. 산불예측 시스템의 기존의 자료 저장 방식은 '지역-변수-모델-오차보정유무'로 구분하여 저장하였는데, 개별모델의 모델명에 '-'이 사용되면서 기존의 저장방식을 활용한 방식은 자동화 시스템의 오류로 이어졌다. 이에 따라 산불예측 시스템의 저장방식을 변경해야하는데 기존의 '-' 사용방식이 아닌 '=' 사용 방식을 적용하여 '지역=변수=모델=오차보정유무'의 형식을 적용하여 시스템적 오류를 해결하였다. Figure 92는 현재 '=' 로 구분되어 저장되어있는 산불예측 시스템의 결과 중 일부이다.

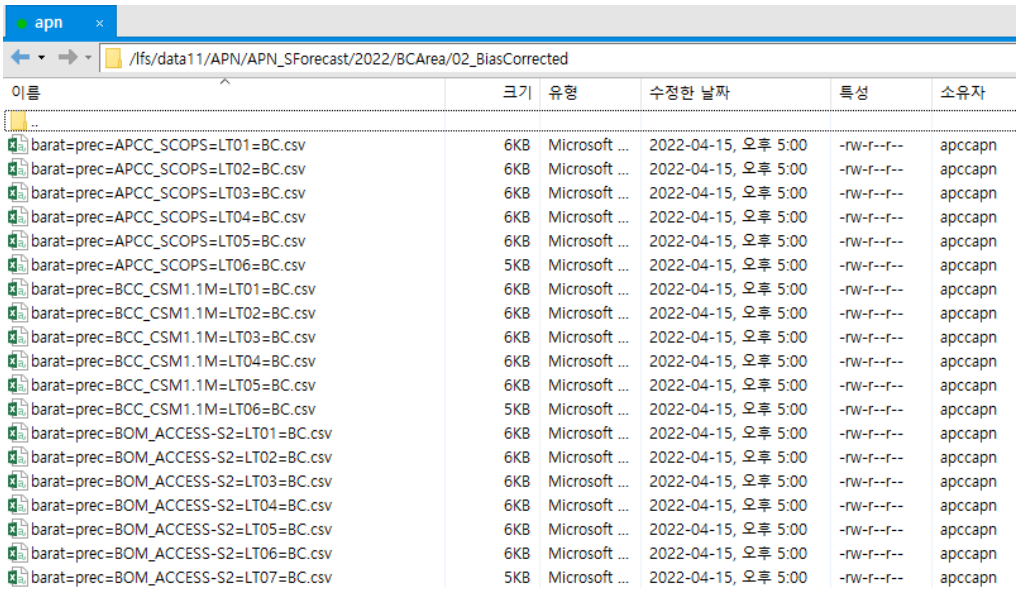
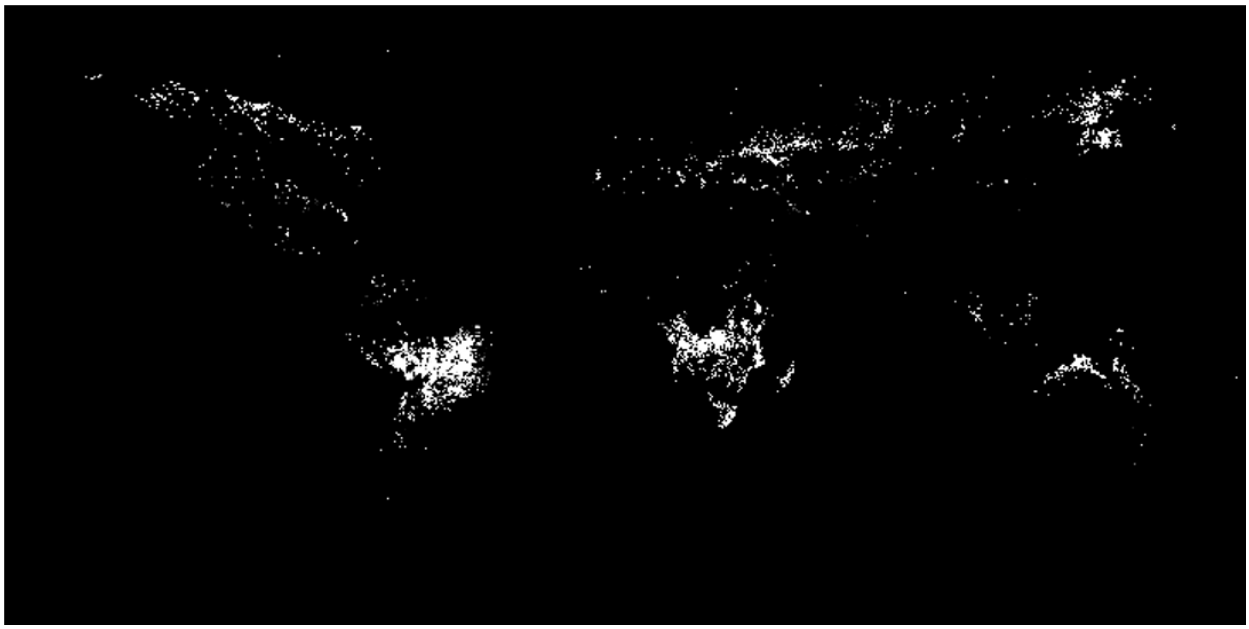
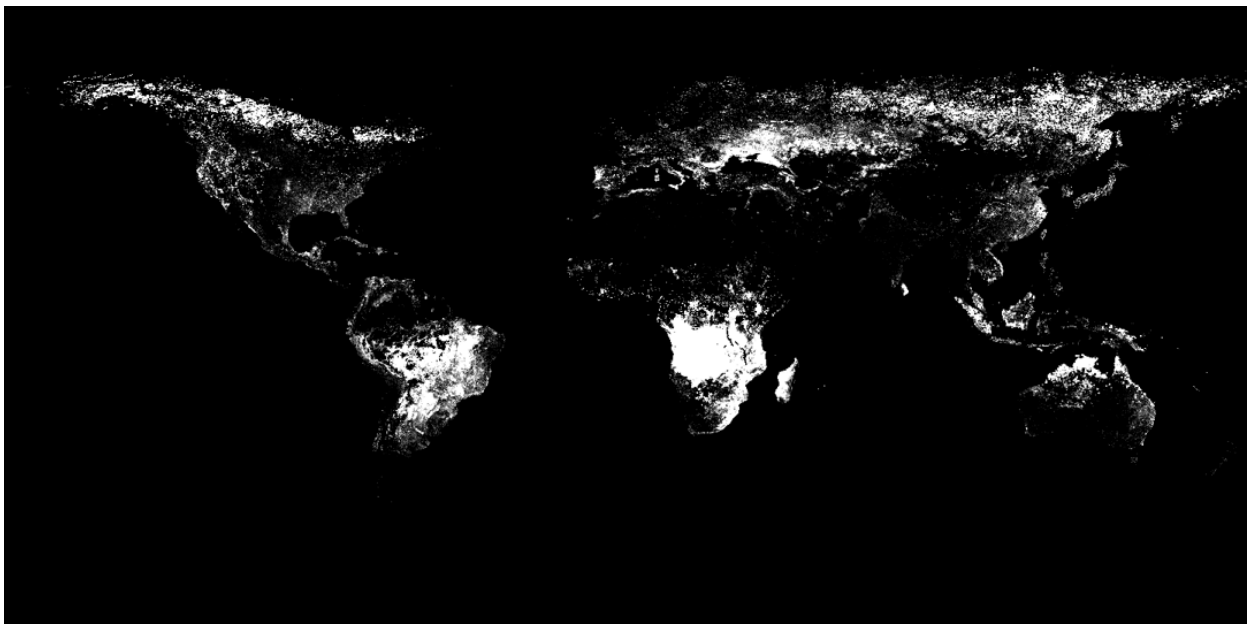


Figure 92. Changes in the storage structure of the FHEWS.

GFED는 전지구의 화재정보를 제공하는 자료로 월별로 자료를 제공하고 있다. GFED는 4.1 버전이 가장 최근 제공하고 있는 버전이었으나, 기존의 산불예측시스템에서는 GFED 3.1버전을 활용하여 예측정보를 제공하고 있었다. 질적 향상을 위해 최신정보를 활용하기 위해 GFED4.1을 수집하여 변경 적용할 수 있도록 하였다. GFED3.1은 공간해상도가 0.25° 였으며, 4.1 버전에 들어서는 공간해상도가 0.025° 로 고해상도로 제공되고 있다. Figure 93은 1998년 7월의 GFED3.1과 4.1을 표출한 결과이다. 공간해상도의 차이를 직접적으로 볼 수 있으며, 공간해상도의 향상으로 인해 더 좁은 지역의 화재정보를 활용할 수 있을 것으로 사료된다. Table 18은 GFED3.1과 GFED4.1을 인도네시아 산불예측 정보제공지역인 보르네오 섬의 4개 지역에 대해 상관관계분석을 한 결과이다. Barat지역의 경우 상관계수가 0.9494로 4개의 지역 중 가장 높은 것으로 나타났으며, Tengah 지역이 0,8774, Timur 지역이 0.8385로 나타났으며 Selatan 지역이 0.8242로 가장 낮게 나타났으나 전반적으로 매우 우수한 상관계수를 보여주고 있음을 알 수 있다. 공간해상도의 향상으로 인해 정확한 값의 일치는 없지만 저 정확한 지역별 수치를 제공할 수 있는 것으로 판단되며, 상관계수를 미루어보아 이를 확장하는데 문제가 없을 것으로 판단하였다. Figure 94는 산불예측 정보제공 지역을 기준으로 강수량과 GFED3.1, GFED4.1 정보를 한 번에 볼 수 있도록 표출한 결과이다. 추가로 인도네시아 보르네오섬 지역 2개 지역과 말레이시아 지역확장 대상지역 2개 지역을 보여주고 있다. 강수량이 줄어들면 GFED가 3.1과 4.1에서 모두 상승하는 것을 볼 수 있으며, 강수량이 일정이상인 경우 GFED는 3.1과 4.1에서 모두 낮은 것을 알 수 있다. GFED3.1과 4.1의 패턴차이를 보면 매우 유사한 것으로 판단할 수 있다. 이러한 전반적인 정보를 토대로 GFED의 버전을 3.1에서 4.1로 변경하는데 문제가 없는 것으로 판단하였으며 현재 산불예측 시스템에서 활용되는 GFED는 4.1을 활용하도록 변경하였다.



GFED3.1



GFED4.1

Figure 93. Comparison results of GFED3.1 and 4.1 (July, 1998).

Table 18. Regional correlation analysis results of GFED3.1 and GFED4.1.

Region	Correlation
Barat	0.9494
Selatan	0.8242
Tengah	0.8774
Timur	0.8385

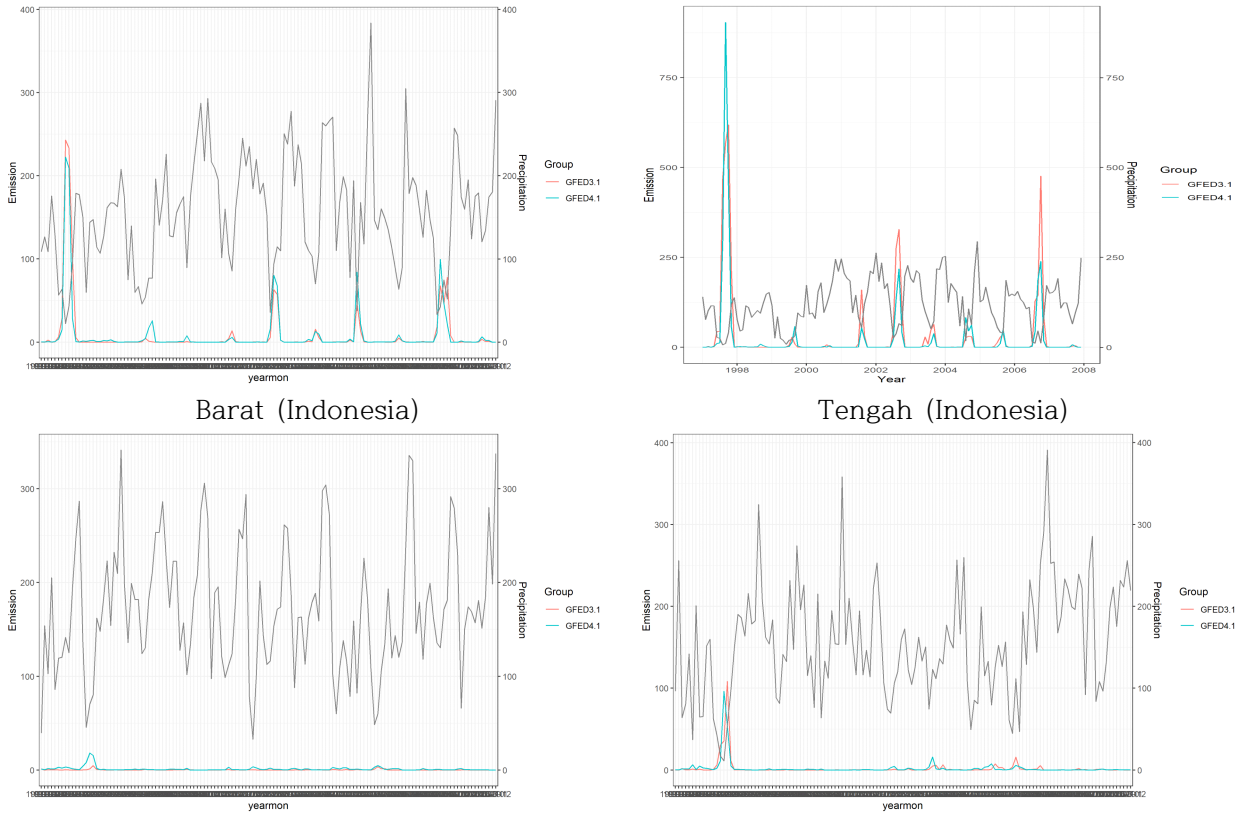
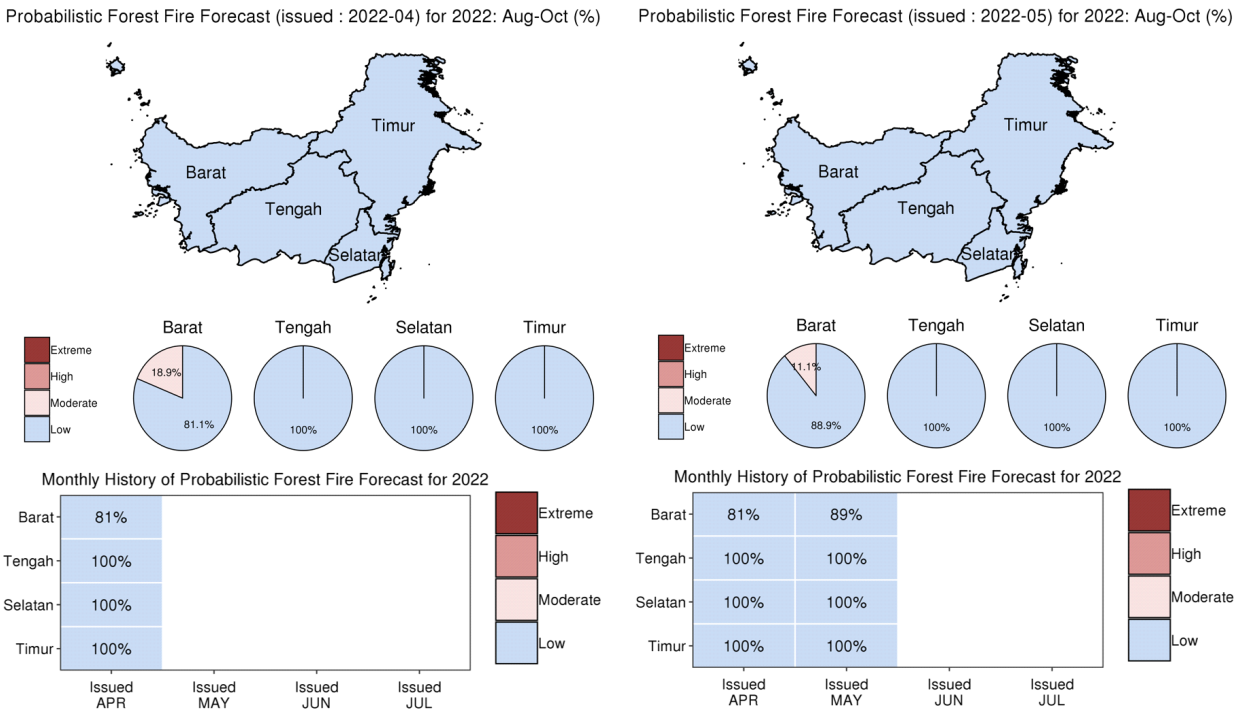


Figure 94. Comparison of GFED3.1 and GFED4.1 and precipitation by region.

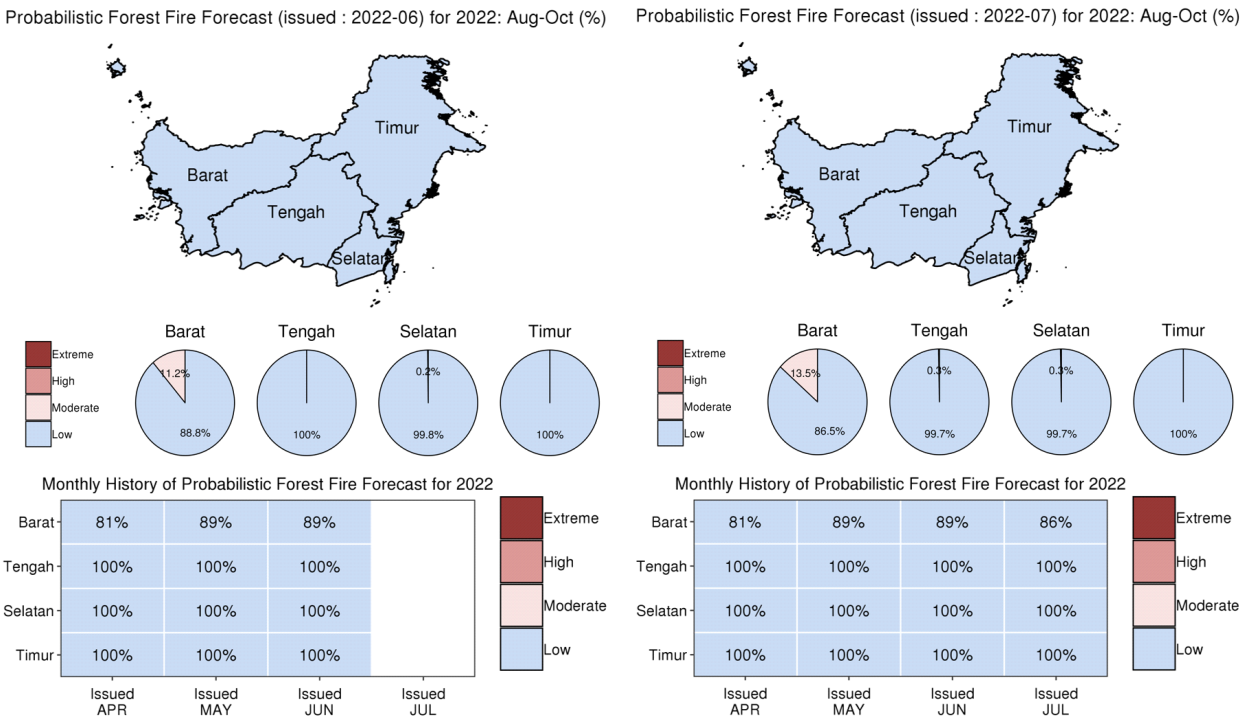
② 산불예측 시스템 운영 결과

산불예측시스템은 인도네시아 보르네오 섬의 건기인 8월에서 10월을 대상으로 매년 4월에서 7월까지 APCC의 홈페이지를 통해 예측정보를 제공하고 있다. 2022년의 산불예측 시스템 운영을 위한 예측자료는 앞서 설명한 바와 같이 개별모델의 리드타임 적용과 GFED 4.1버전 적용을 통한 산불예측정보를 생산하였으며, 4월에서 5월까지의 예측정보 생산 결과는 Figure 95, 6월에서 7월까지의 예측정보 생산 결과는 Figure 96과 같다. 모든 월에서 인도네시아 보르네오 섬의 4개 지역에 대해 산불확률은 '낮음'으로 예측하고 있음을 알 수 있다.



2022년 4월 2022년 5월

Figure 95. FHEWS Operational results (2022, April and May).



2022년 6월 2022년 7월

Figure 96. FHEWS Operational results (2022, June and July).

(다) 산불예측시스템 검증

산불예측시스템의 검증을 위해서는 인도네시아 보르네오섬의 화재정보를 새롭게 수집해야 한다. GFED가 대표적으로 화재에 대한 정보로 활용되고 있으나, 산불예측 시스템의 입력 자료로 사용되었기 때문에 비교를 위한 대조군으로 활용되는 데는 적절치 않다. 따라서 화재 정보로 활용할 수 있는 새로운 정보가 필요한 상황에서 본 연구에서는 월별로 화재일수를 고해상도로 제공하는 MODIS C6 Burned Area를 활용하기로 결정하였다.

① 자료수집

MODIS의 자료를 제공받기 위해서는 NASA의 EARTH DATA를 제공하는 USGS에서 제공받을 수 있다. Figure 97은 Burned Area 자료 제공 홈페이지를 나타내고 있다. Burned Area는 MODIS의 Terra와 Aqua를 기준으로 하루 2번 전구를 스캔하는 원격탐사 자료를 활용하여 월별 자료로 산출한 결과로 MCD64A1라는 이름으로 Version 6.1이 제공되고 있다. MODIS는 고해상도의 자료로 전 지구를 포함하고 있기 때문에, 이를 손쉽게 제공하기 위해서 MODIS Tilling 기법을 적용하고 있다. MODIS에서 활용하고 있는 Tilling 기법은 Figure 98과 같으며, 원하는 대상지역을 찾아서 해당 격자자료를 수집하여 활용해야 한다. 본 연구에서는 인도네시아의 보르네오 섬을 포함하는 지역의 6격자자료를 수집하여 전처리 후 화재 결과를 산출하였다.

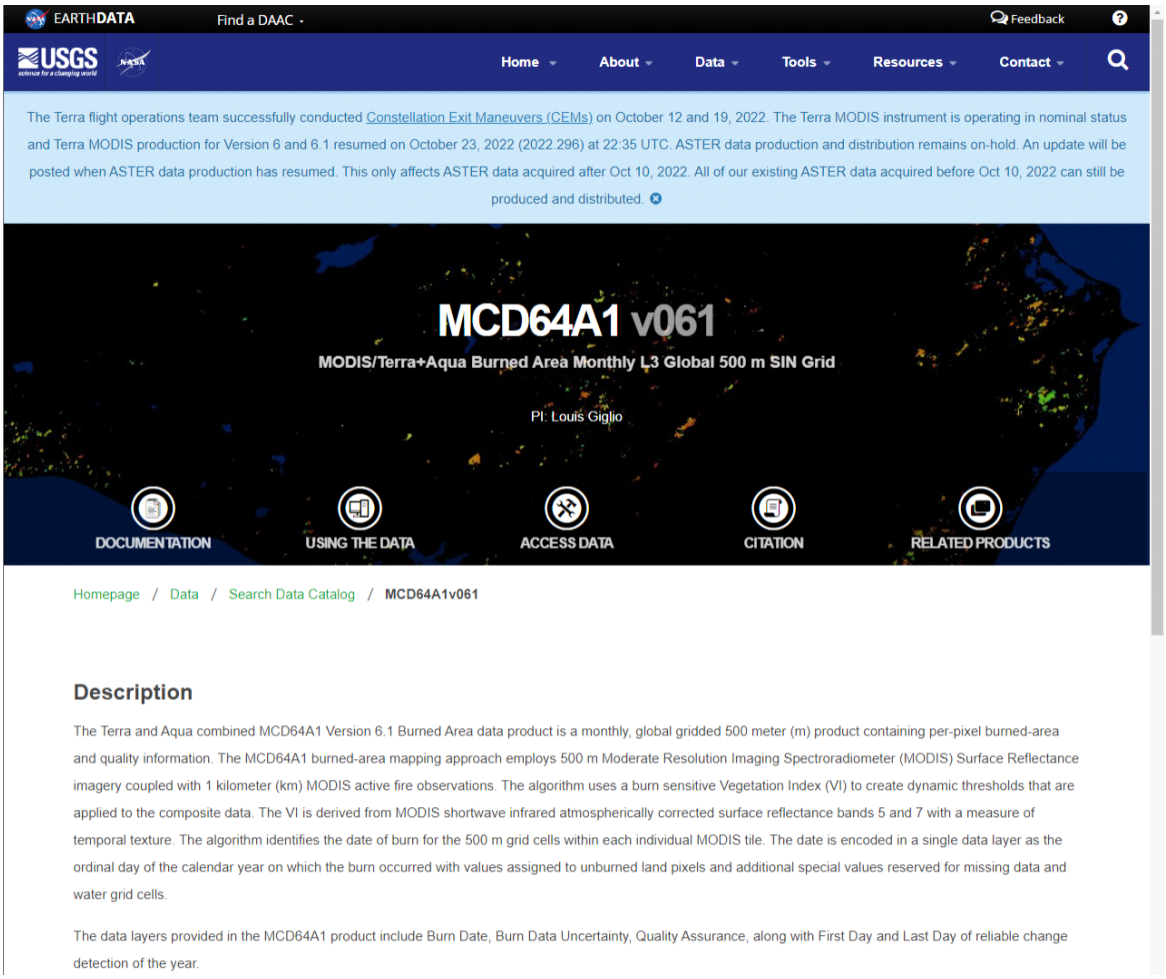


Figure 97. NASA MODIS C6 Burned Area provided homepage.

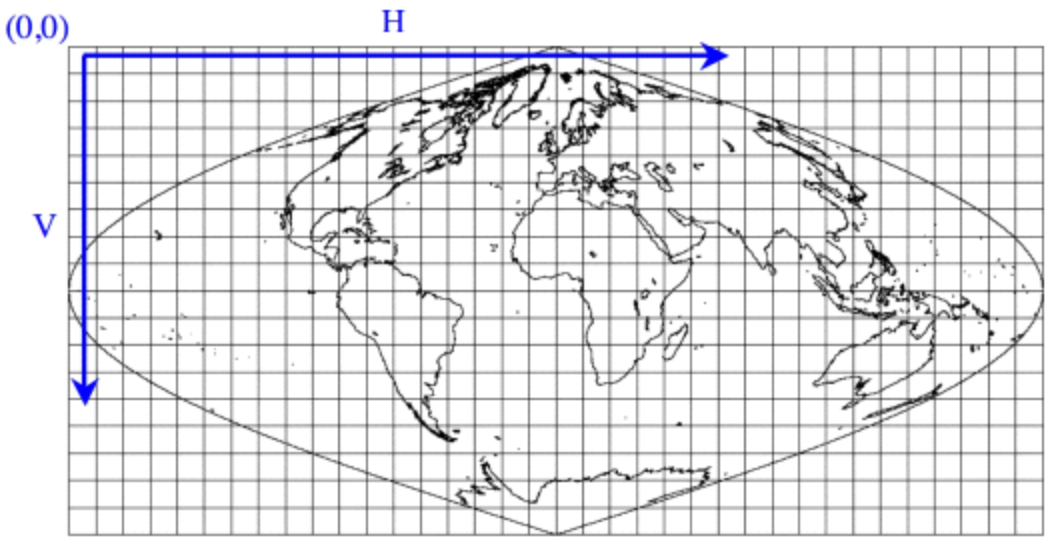


Figure 98. MODIS tiling scheme.

② 위성자료 전처리

MODIS C6 Burned Area자료는 Burn Date, QA를 활용하여 화재의 정도를 판단할 수 있다. 이러한 자료를 활용하기 위해서는 QA 값을 통해 해당 픽셀의 상태를 우선 파악하고, Burn Date자료를 통해 화재일수를 알 수 있게 되는데 MODIS에서 활용하는 날짜 정보는 Day-of-Year(DOY)를 활용하는데 해당 정보는 Table 19는 MODIS에서 활용하고 있는 DOY의 월별 첫 번째날에 대한 정의를 나타내고 있는데, 이는 Burn Date자료에서 활용된다. MODIS QA자료는 값은 8-bit 자료로 각 bit의 값에 의미가 있는 값으로 해당 값은 2진법으로 변환한 뒤에 8-bit 필드에 있는 값을 새롭게 해석하여 이를 전처리 작업을 해야 한다. QA 자료의 해당 bit별 필드 정의는 Figure 99와 같으며, 이를 전처리를 하여 해당 필드의 값의 의미를 찾아가는 작업이 필요하다. 또한 여러개의 격자로 구분되어 있던 자료를 하나의 격자로 위경도의 병합을 통해 넓은 지역을 포함할 수 있는 자료로 변환하여 월별 자료를 만들어 주어야 한다. 해당 월별 자료는 지역을 중심으로 자료를 추출하는 산불예측시스템에서 활용됮 위해서 지역을 포괄적으로 포함하는 넓은 범위의 자료를 만들어 주어야 한다. 결국 MODIS의 전처리 및 격자자료의 병합을 통해 자료를 월별로 NetCDF4 형태로 만들어서 전처리 하였으며 결과는 Figure 100과 같다.

Table 19. Day-of-year(DOY) of the first day of each calendar month.

Month	Non-Leap Year Start DOY	Leap Year Start DOY
January	1	1
February	32	32
March	60	61
April	91	92
May	121	122
June	152	153
July	182	183
August	213	214
September	244	245
October	274	275
November	305	306
December	335	336

QA: 8-bit quality assurance bit field.

bit 0: 0 = water grid cell, 1 = land grid cell.

bit 1: Valid data flag (0 = false, 1 = true). A value of 1 indicates that there was sufficient valid data in the reflectance time series for the grid cell to be processed. (NB. Water grid cells will always have this bit clear.)

bit 2: Shortened mapping period (0 = false, 1 = true). This flag indicates that the period of reliable mapping does not encompass the full one-month product period, i.e., burns could not be reliably mapped over the full calendar month.

bit 3: Grid cell was relabeled during the contextual relabeling phase of the algorithm (0 = false, 1 = true).

bit 4: Spare bit set to 0.

bits 5–7: Special condition code reserved for unburned grid cells. This code provides an explanation for any grid cells that were summarily classified as *unburned* by the detection algorithm due to special circumstances.

0: None or not applicable (i.e., burned, unmapped, or water grid cell).

1: Valid observations spaced too sparsely in time.

2: Too few training observations or insufficient spectral separability between burned and unburned classes.

3: Apparent burn date at limits of time series.

4: Apparent water contamination.

5: Persistent hot spot.

6: Reserved for future use.

7: Reserved for future use.

Figure 99. QA 8-bit quality assurance bit field.

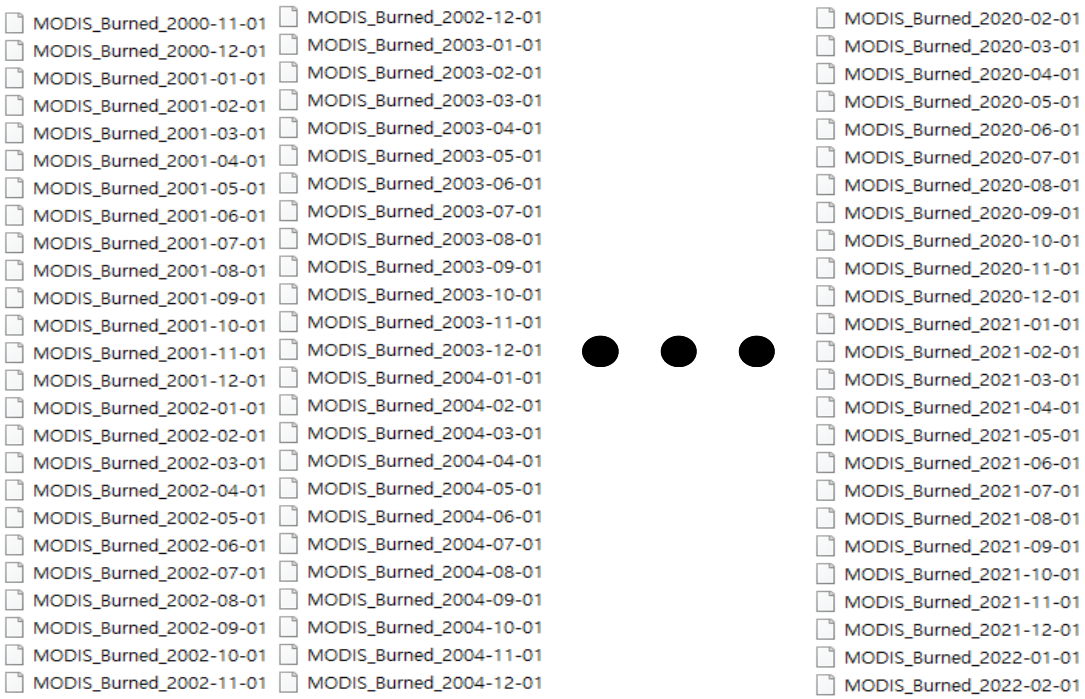


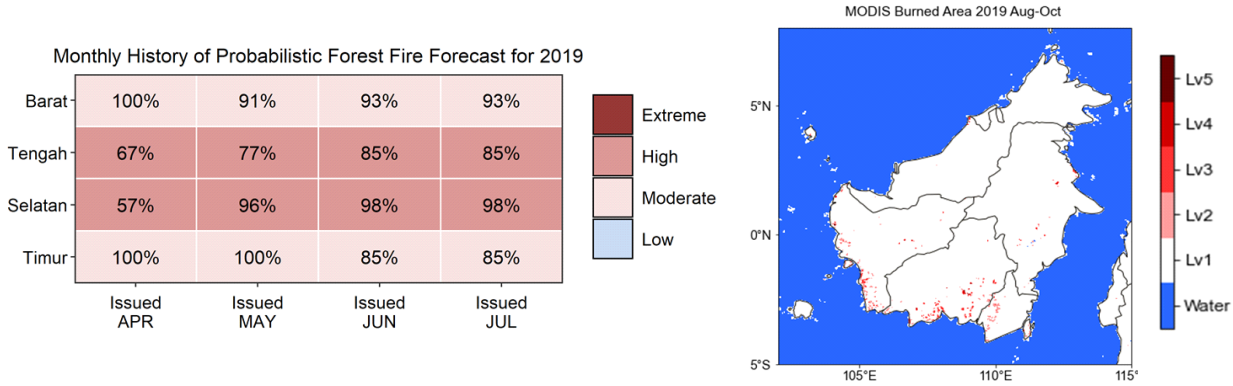
Figure 100. MODIS C6 Burned Area data pre-processing results.

③ 비교결과

앞선 전처리를 통해서 MODIS의 자료를 활용하여 인도네시아 보르네오 섬에대해서 Burned Level자료를 산출하였다. Table 20은 본 연구에서 MODIS자료를 변환하는 과정에서 활용한 정의를 정리한 결과이다. 해당 Table과 같이 3개월의 기간 동안 해당 픽셀이 어느 정도의 기간으로 화재가 발생했는지에 초점을 맞춰 결과를 산출하였으며, 해당 기간이 길수록 강도가 강해진다고 할 수 있다. Figure 101은 2019년도 인도네시아 보르네오 섬에대한 4개월의 산불예측 결과와 실제 2019년도 8월에서 10월기간의 보르네오 섬의 화재정보를 표출하고 있다. 2019년도의 4월예측에서 부터 7월까지 지속적으로 산불에대한 경보를 지속적으로 내고 있는데 실제 해당 기간 화재가 유의미하게 발생한 것을 알 수 있다. Figure 102는 2020년도의 인도네시아 산불예측 결과와 실제 MODIS의 화재결과를 보여주고, Figure 103은 2021년도의 인도네시아 산불예측 결과와 실제 MODIS의 화재결과를 보여준다. 2020년도와 2021년도에는 4월부터 7월까지 모두 산불이 발생할 확률을 낮게 예측하고 있으며 실제 해당기간 화재는 발생하지 않는 분포로 파악된다. 2022년도의 경우 MODIS의 제공기간이 2022년도 2월까지로 8월에서 10월의 자료가 제공되지 않아 평가대상 기간에 포함되지 않았다. 이러한 결과를 토대로 봤을 때 인도네시아를 대상으로 하는 산불예측 시스템의 예보 성능은 매우 정확하다고 판단할 수 있다.

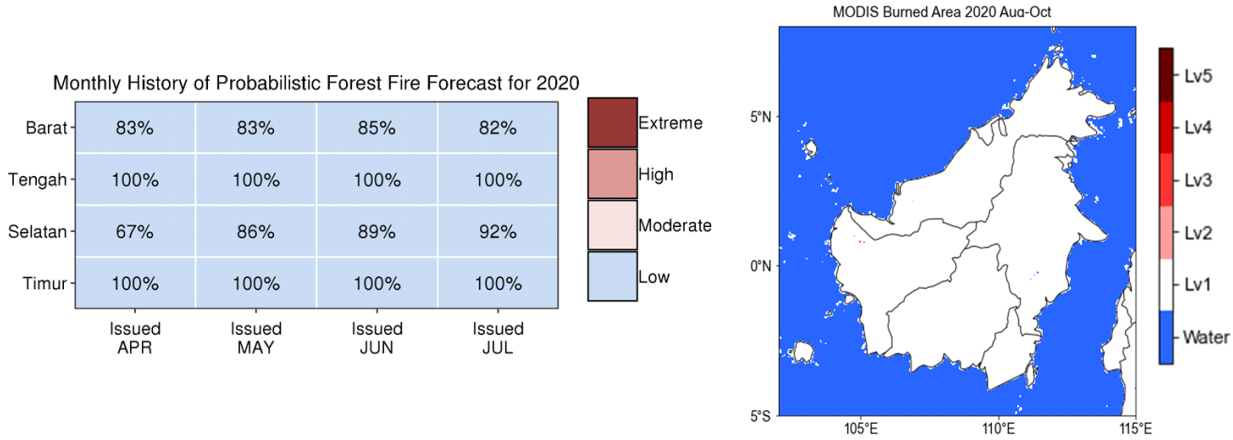
Table 20. MODIS C6 Burned Area pixel definition.

Name	Description
Water	Water grid cell
Lv1	Unburned cell
Lv2	Fire 1 to 7 days out of 3 months
Lv3	Fire 7 to 15 days out of 3 months
Lv4	Fire 15 to 21 days out of 3 months
Lv5	Fire occurred more than 21 days out of 3 months



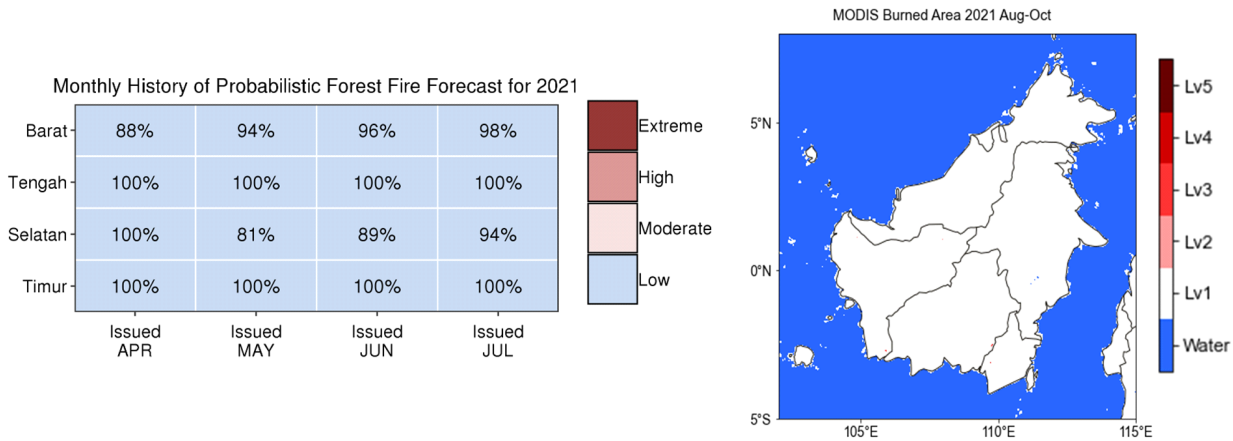
(a)산불예측 결과 (b)MODIS

Figure 101. FHEWS and MODIS C6 results in 2019.



(a)산불예측 결과 (b)MODIS

Figure 102. FHEWS and MODIS C6 results in 2020.



(a)산불예측 결과 (b)MODIS

Figure 103. FHEWS and MODIS C6 results in 2021.

(2) 말레이시아 지역확장을 통한 시스템 개선

동아시아에 대한 산불예측시스템의 지역 확장요청은 지속적으로 이루어지고 있다. 올해 APCC는 인도네시아 인근 국가인 말레이시아를 대상으로 선정하였으며 해당지역을 확장하기 위해서는 기존의 산불예측시스템의 새로운 지역에 대한 적용이 필요하다. 지역 확장을 위해서는 인도네시아의 산불예측 서비스에서 활용한 형태의 프로세스를 적용하여 예측정보를 생산하여야 한다. 전체적인 프로세스는 우선 새로운 지역에 대한 자료 수집 및 지역정의가 필요하며, 해당지역을 대상으로 Aphrodite 관측자료와 개별모델의 모델정보를 지역자료로 생산한다음 편의보정을 실시한다. 이후 통계적 임계치를 넘는 개별모델을 월별, 리드타임별로 선정하여 정의한다. 산불예측 정보는 APCC의 개별모델 강수예측값을 통해 산출되는데 이 기준은, Hindcast 기간을 대상으로 관측자료 GFED의 Segmented Regression을 통한 Carbon별 강수량의 기준을 정의한다. 이후 관측자료와 유사한 Hindcast의 개별모델을 선정하고 Forecast의 해당 개별모델의 강수량 정보를 확인한 뒤 예측정보를 생상한다. 자세한 프로세스별 결과는 이후에 설명하도록 하겠다.

① 지역자료 수집 및 전처리

말레이시아 지역의 산불예측정보 생산을 위해서는 해당지역의 대표정보를 생산해야 한다. 위성 및 개별모델의 정보가 전 지구를 대상으로 광범위한 자료를 제공하고 있지만, 대상지역의 정확한 정보제공을 위해서 산불예측 시스템에서는 Shape-file을 기준으로 지역을 추출하는 방식을 채택하고 있다. 이를 위해서 말레이시아 지역을 대상으로 Shape-file을 수집하였고, 이를 개별모델과 Aphrodite격자와 비교한 뒤, 지역을 병합하여 재정리 한 결과는 Figure 104와 같다. 개별모델의 해상도가 말레이시아의 모든 지역구에 적용하기에는 개별모델의 해상도가 크기 때문에, 인도네시아의 보르네오섬과 인접해 있는 2개의 지역인 Sabah와 Sarawak 지역으로 정의하였고, Malaysia 본토 지역은 Malay Peninsula로 정의하였다.

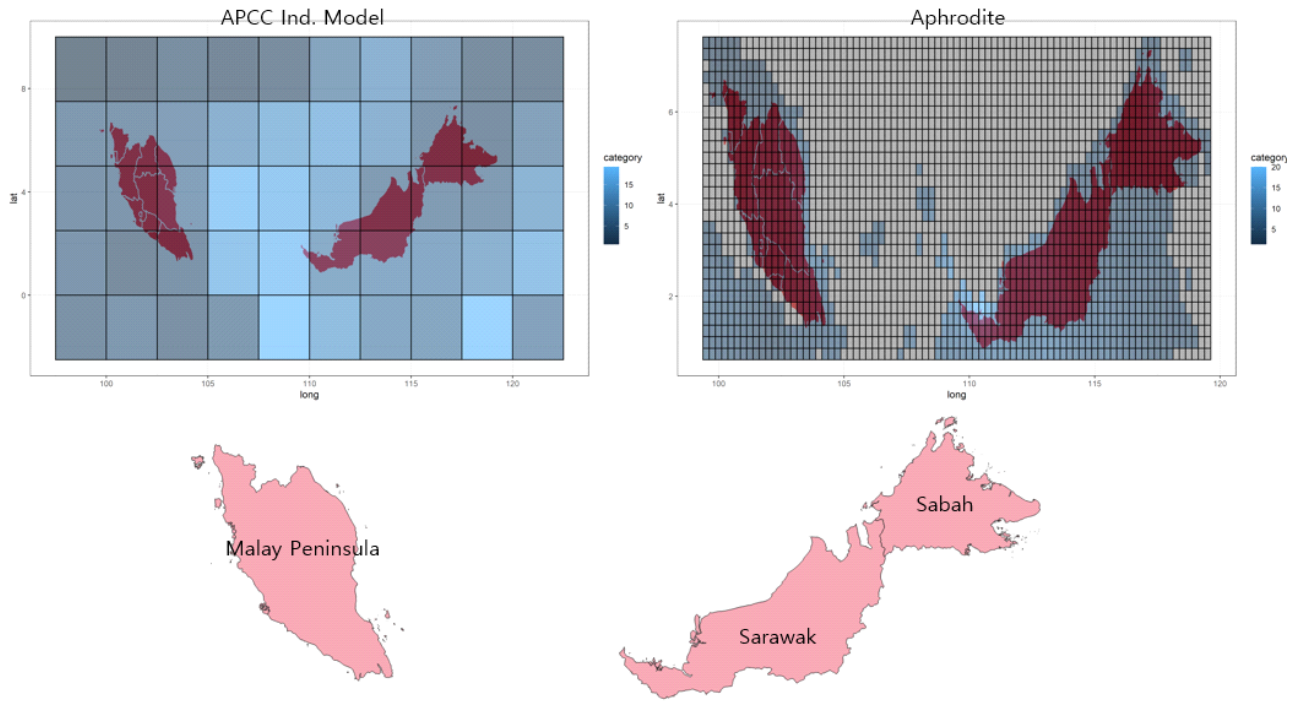
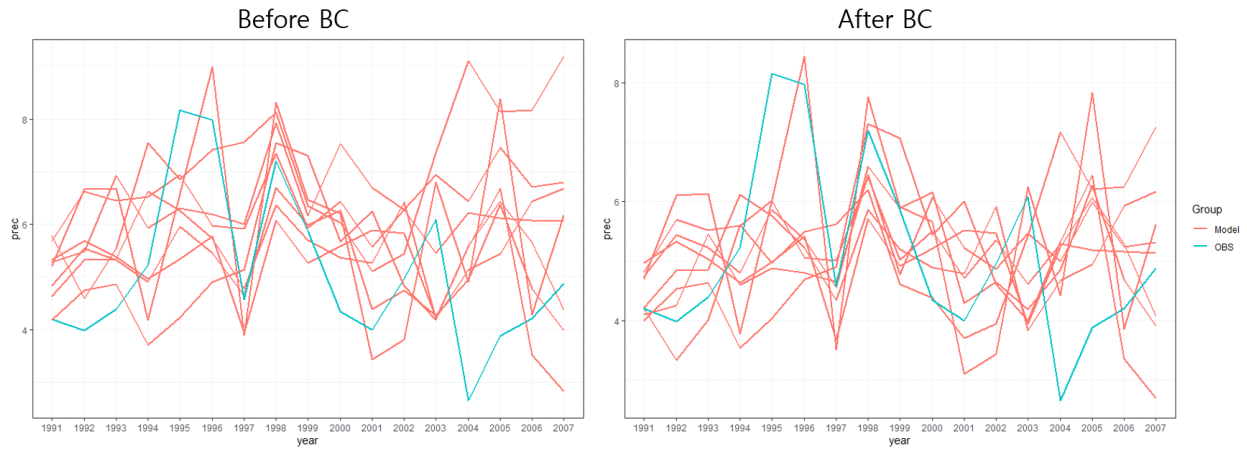


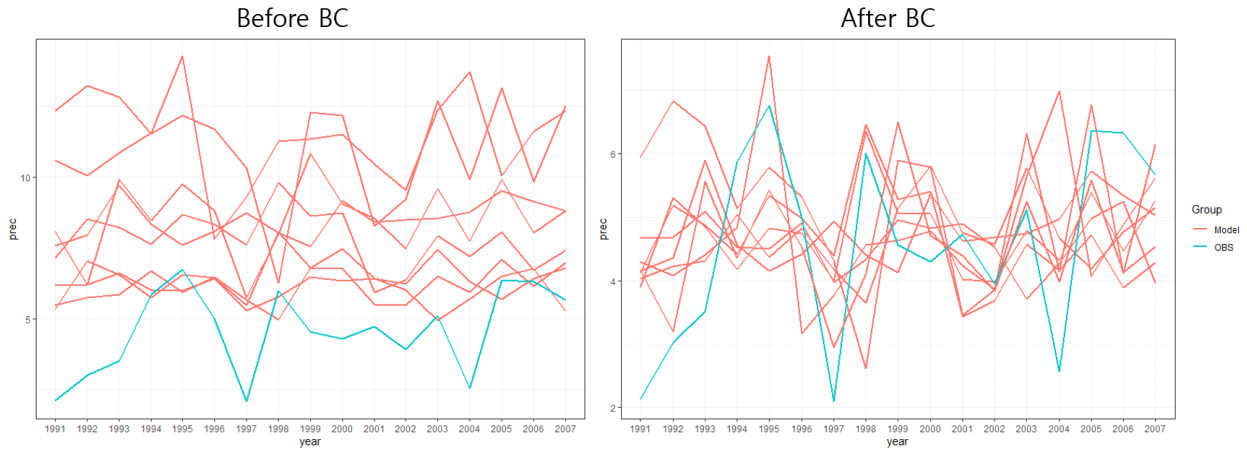
Figure 104. Regional definition results using seasonal prediction and aphrodite.

② 지역자료 생산

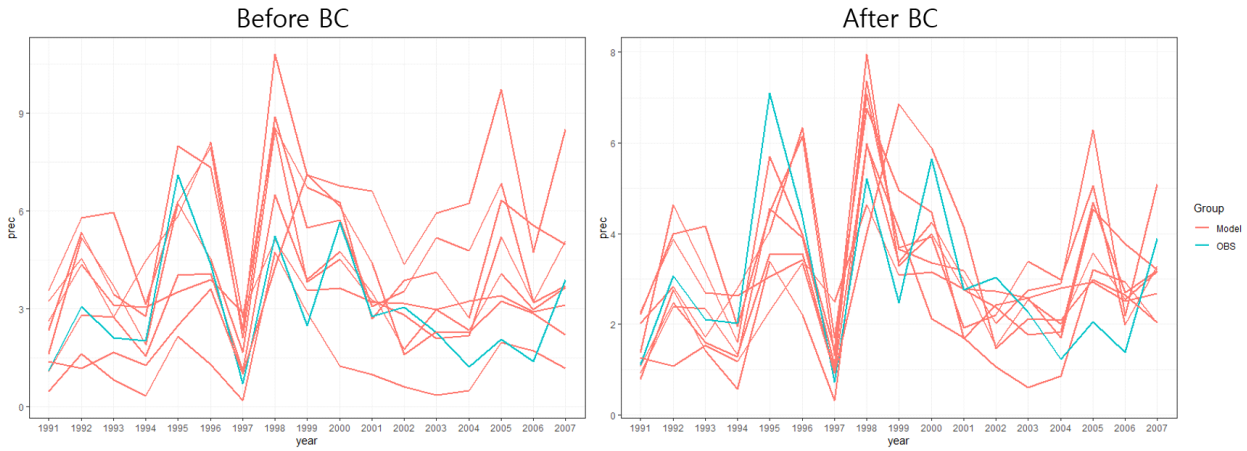
말레이시아 지역을 3가지의 정의하였고, 해당 지역을 대상으로 개별모델의 Hindcast, Forecast, Aphrodite, GFED자료를 모두 지역자료로 추출하여야 한다. 해당 자료의 생산을 위해서 앞에서 정의한 지역자료를 활용하여 지역별 자료를 산출하게 된다. 이를 통해 관측자료의 개별모델 자료의 오차보정을 진행하는데 오차보정을 통한 개별모델의 개선 결과는 Figure 105와 같으며, 오차보정 된 개별모델 자료의 수준이 좋아짐을 알 수 있다. 관측자료인 Aphrodite 자료를 활용하여 3개월의 강수량자료를 생산하고, GFED의 지역별 자료를 활용하여 3개월 Carbon 자료를 정의하였다. 3개월의 누적 강수량과 누적 Carbon의 결과는 Figure 106과 같으며, 이를 토대로 말레이시아의 우기와 건기를 정의할 수 있는데, 해당지역의 건기는 FMA로 볼 수 있으며 인도네시아는 ASO 기간을 대상으로 산불예측 정보를 생산하고, 말레이시아 지역은 FMA 기간을 대상으로 산불예측 시스템을 제공할 수 있도록 설계하였다.



Malay Peninsula



Sabah



Sarawak

Figure 105. Results before and after bias correction in 3 regions in Malaysia.

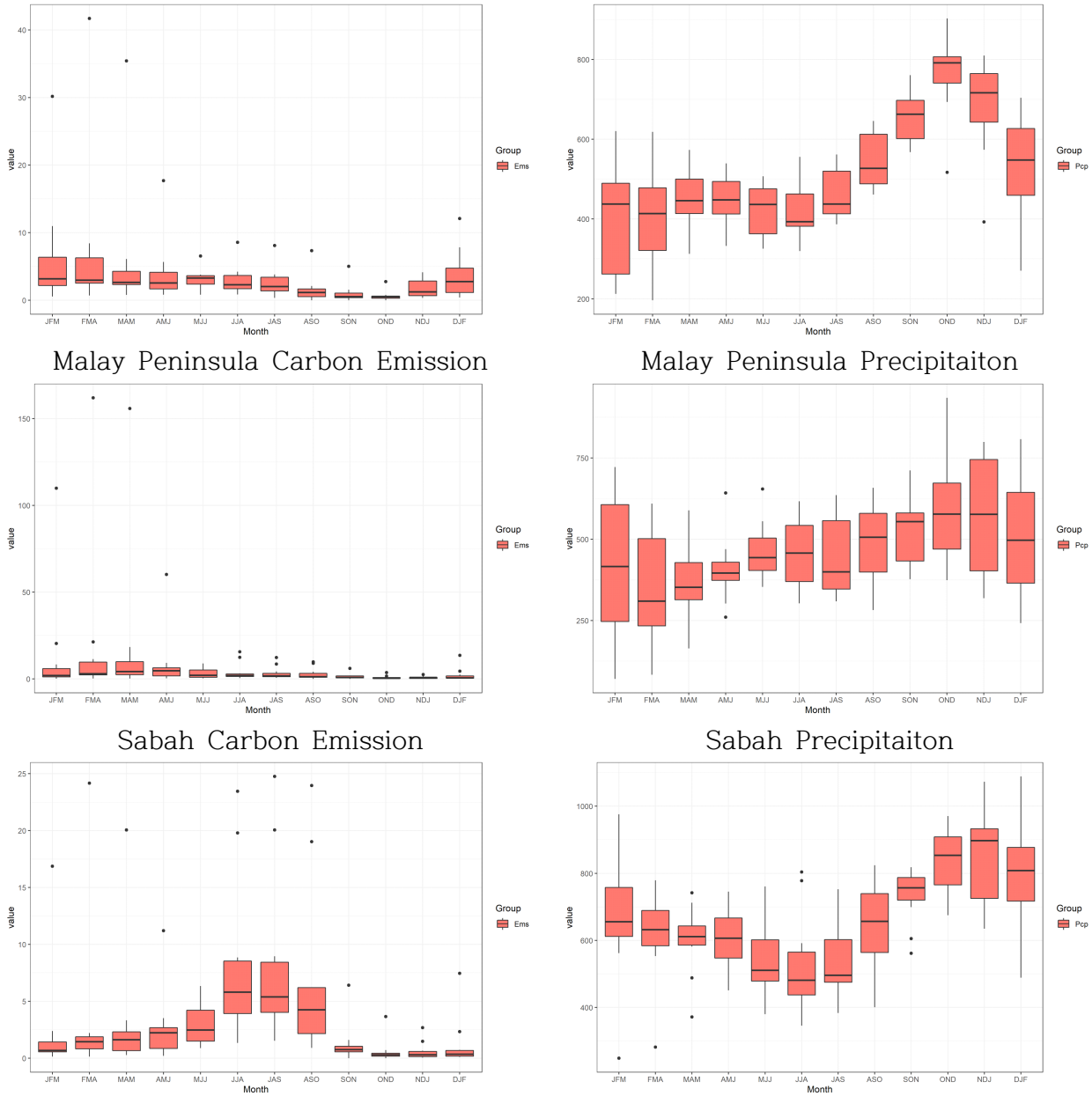


Figure 106. Monthly carbon and precipitation information for malaysia.

앞 절에서 설명한 바와 같이, 산불예측 시스템의 정보제공을 위해서는 강수량과 Carbon의 상관관계를 활용하여 강수량에 따른 산불경보정보를 생산한다. 말레이시아의 3개 지역의 강수량 기준은 다음과 같이 정의 되었다(Table 21). 예로 Malay Peninsula의 경우 2월에서 4월의 총 강수량이 246.11mm 미만인 경우 Extreme을 예보하고, 246.11mm 이상 270.24mm 미만인 경우 High, 270.24mm이상 이며 350.93mm 미만인 경우 Moderate를 예보하게 되며, 350.93이상인 경우 Low를 예보하게 된다.

Table 21. Precipitation criteria for Malaysia FHEWS forecasting information.

Region	Extreme	High	Moderate
Malay Peninsula	246.11	270.24	350.93
Sabah	84.09	140.76	299.14
Sarawak	300.56	400.12	500.71

③ 산불예측 시스템 말레이시아 시범운영 결과

말레이시아 산불예측 결과는 2021년 10월부터 2022년 1월까지의 결과를 생산하였다. Figure 107은 2021년 10월과 11월에 생산한 말레이시아 지역 예측결과를 보여주며, Figure 108은 2021년 12월과 2022년 1월에 생산한 말레이시아 지역 예측결과를 보여준다. 말레이시아의 2022년 2월부터 4월까지의 산불발생확률은 낮을 것으로 예측하고 있음을 알 수 있다. Figure 109는 Malay Peninsula 지역의 산불예측 정보생산에 활용한 개별모델 강수정보에 대해 보여주고 있으며, 회색은 Target Month 이전의 정보를, 분홍색은 Forecast 정보를 보여준다. Figure 110은 Sabah 지역에 대해서 예측정보를 보여주고 있으며 Malay Peninsula의 예측정보와 같이 낮은 산불확률을 예측하고 있다. Figure 111은 Sarawak 지역에 대해 산불예측정보를 제공하고 있으며, 다른 지역과 마찬가지로 산불발생확률은 낮을 것으로 사료된다. 각 지역의 산불예측 정보생산에 활용한 개별모델 강수정보를 통해 알 수 있는 정보는 Climatology에 비해 개별모델의 Forecast정보가 매우 낮게 나타난다면 산불이 발생할 확률이 늘어나고, Climatology와 유사하다면 Low에 가깝게 예측한다.

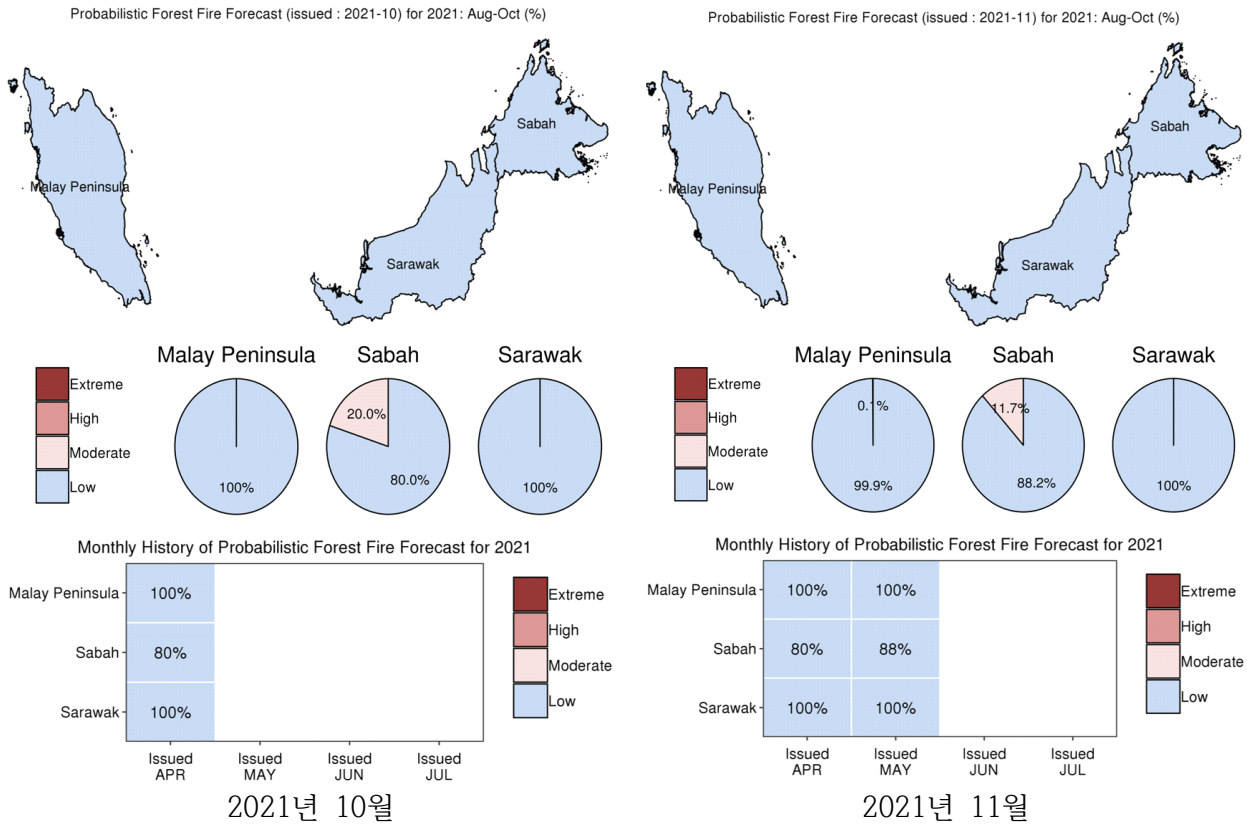
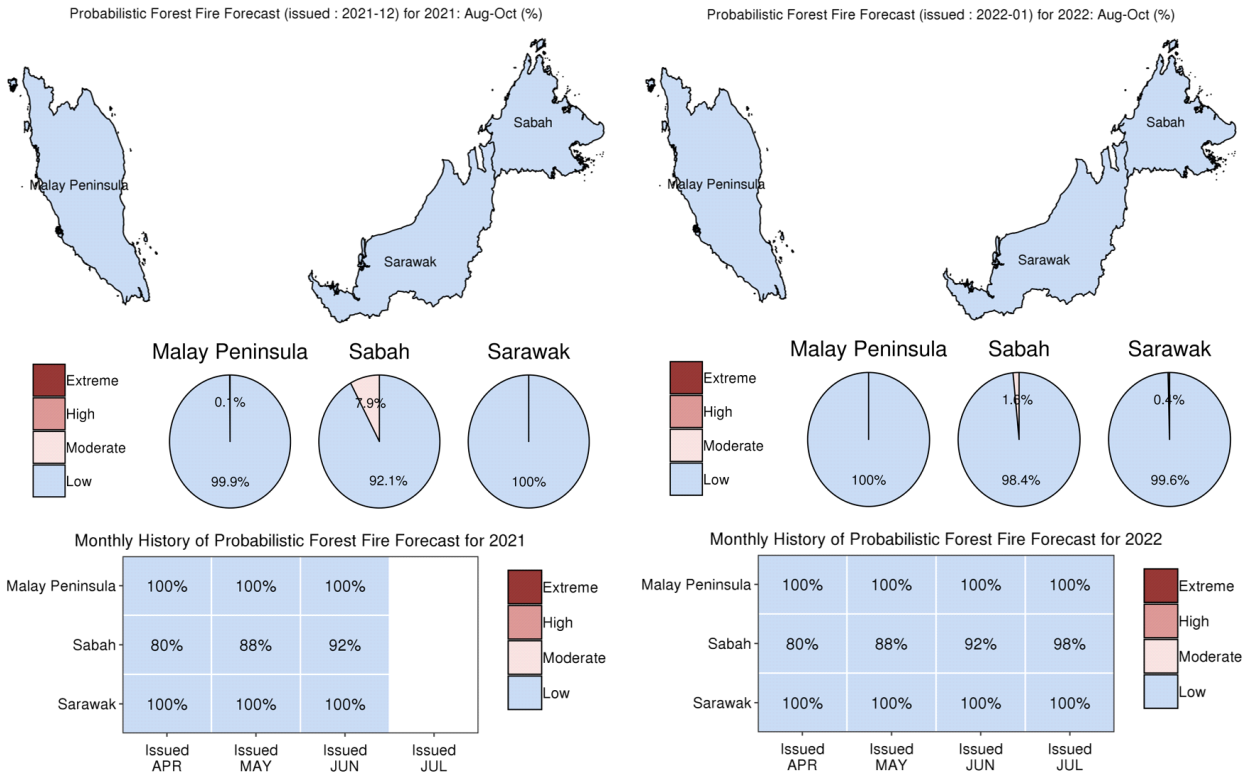
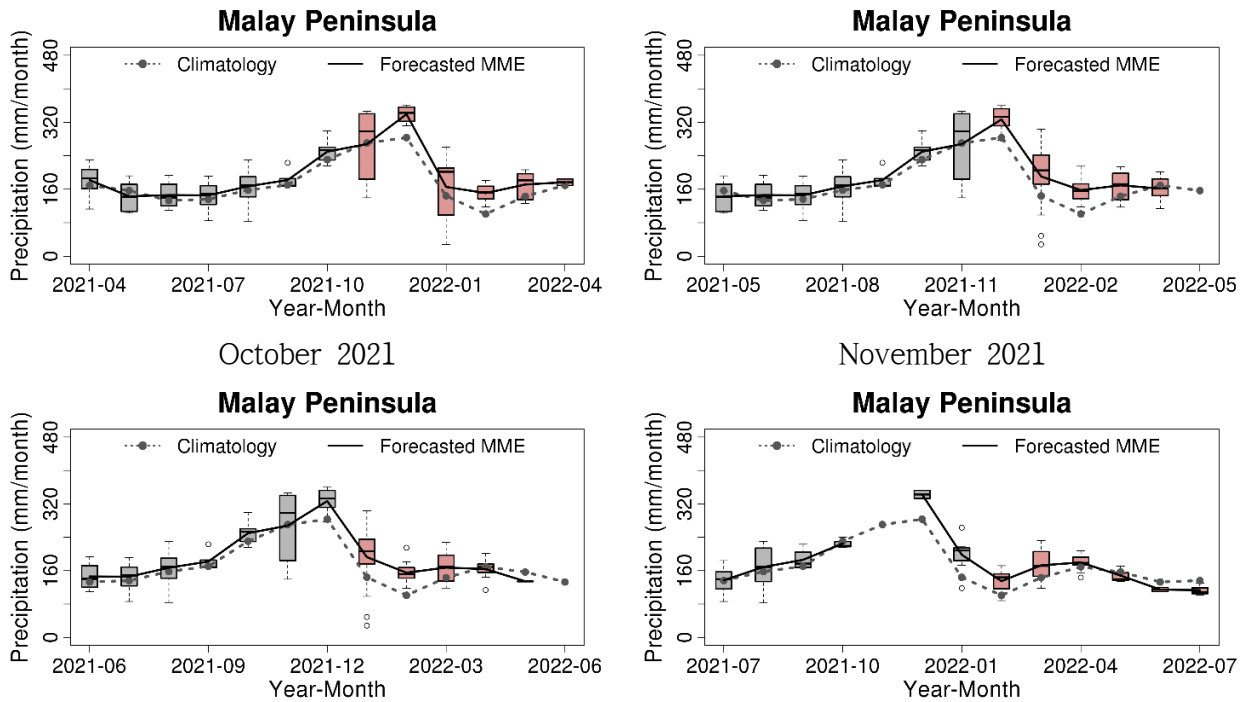


Figure 107. FHEWS Malaysia pilot operation results (October, November 2021).



2021년 12월 2022년 1월

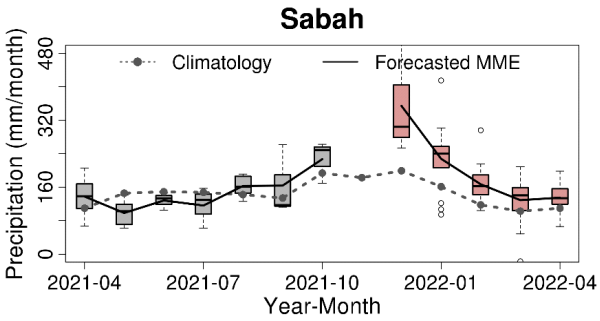
Figure 108. FHEWS Malaysia pilot operation results (October, November 2021).



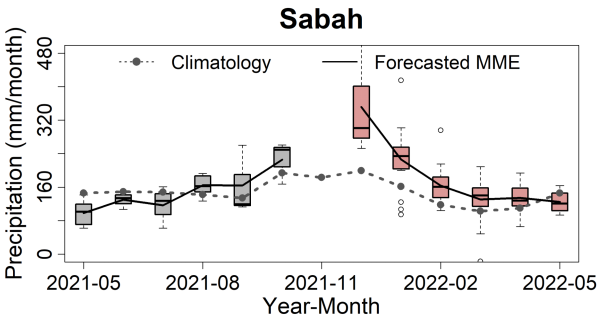
October 2021 November 2021

December 2021 January 2022

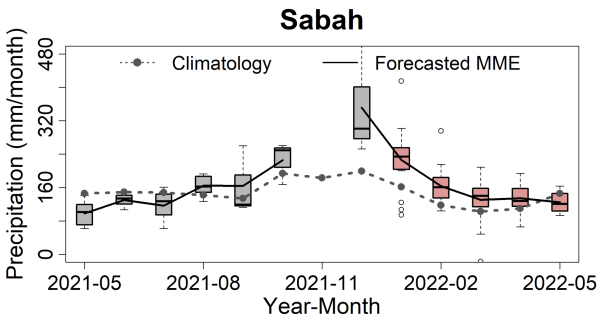
Figure 109. Forecasting of precipitation in Malay Peninsula.



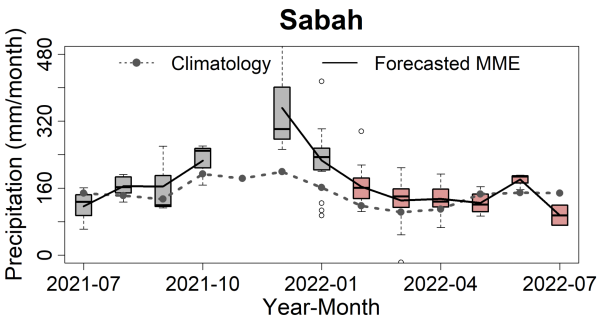
October 2021



November 2021

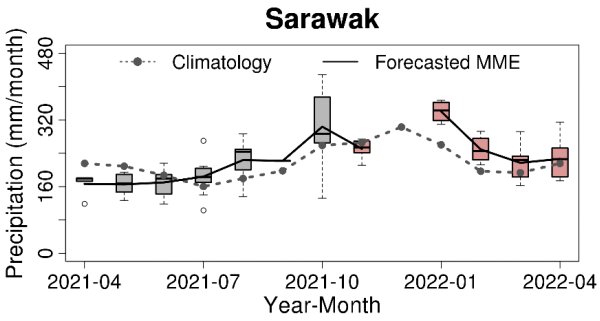


December 2021

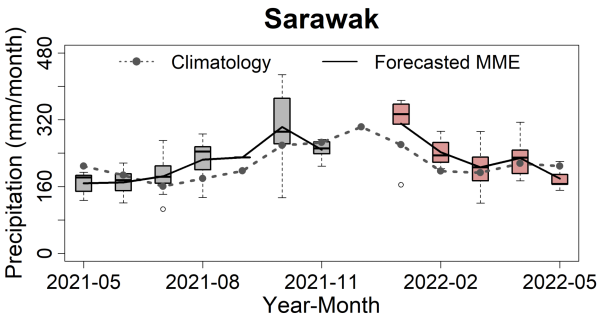


January 2022

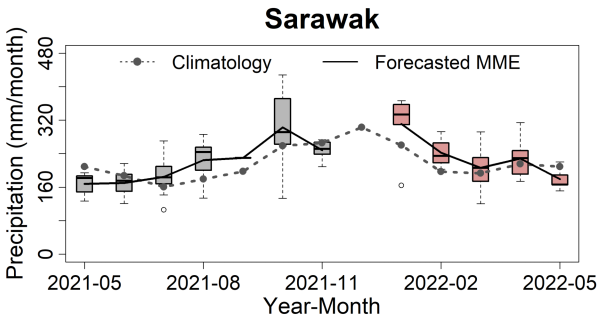
Figure 110. Forecasting of precipitation in Sabah.



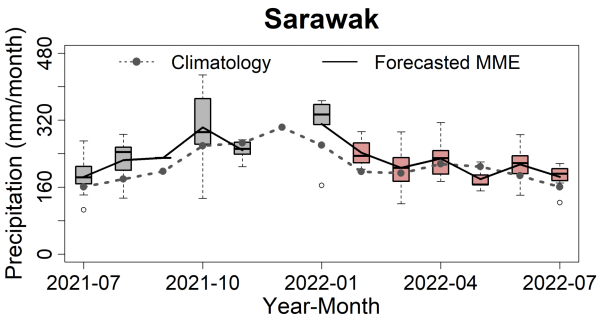
October 2021



November 2021



December 2021



January 2022

Figure 111. Forecasting of precipitation in Sarawak.

(3) 지역확장 및 입력자료 개선 적용을 위한 패키지 개선

① 산불예측 시스템 입력시스템 및 운영 개선

산불예측시스템은 기존의 3개월과 6개월로 구분되어 있는 개별모델의 정보를 txt파일에 작성하여 작성된 모델을 불러 사용하도록 설계되어있었다. 현재 APCC의 개별모델은 개별모델의 리드타임을 제공하기 위해서 기존의 경로 형식을 변경하고 많은 개별모델의 추가를 위해 노력하고 있음에 따라 모델의 변경내역이 자주 이루어지고 있다. 이에 따라 매월 개별모델의 정보를 수정하며 활용하는 현업시스템은 매우 비효율적이며 운영자의 실수를 유발할 수 있는 단점이 있다고 할 수 있겠다. 이를 해결하기 위해서 APCC에서 제공하는 개별모델의 정보는 APCC MME의 Netcdf4 파일을 통해 확인할 수 있는데, 본 현업시스템에서는 해당 기간의 APCC MME 자료의 Netcdf4 attribute에서 제공되는 개별모델의 정보를 불러와서 활용할 수 있도록 변경 적용되었다. 또한, 매월 년도와 월 정보를 수동 기입하는 방식을 시스템의 시간을 불러 적용하는 방식으로 변경 적용하였다. Figure 112는 산불예측 시스템의 입력자료 개선을 통한 간소화 결과이다. 개선 후의 입력자료의 경우 보르네오 섬을 대상으로 생산되는 인도네시아 산불예측에 활용되는 입력자료이고, 말레이시아의 경우 같은 형식의 다른 입력자료로 활용되도록 설계되었다.

```
mdlnms_3mon="JMA","UKMO","BOM_ACCESS-S1","METFR_SYS7"
mdlnms_6mon="APCC","BCCV2","CWB_TCWB1Tv1.1","NASA","NCEP","GLOSEA5","MSC_CANSIPSV2"

ptrnms="slp","sst","t850","u200","u850","v200","v850","z500"
NBest=1
cpcidxs="PNA","EP","WP","NAO","SOI","NINO3","TNA","TSA","WHWP","MEI","NINO12","NINO4","NINO34","AMO","QBO","ESL"
apccidxs="AAO","AO","ATLTRI","EOFPAC","NOI","NP","ONI","PACWARM","TNI"
minlat=-40
maxlat=40
MinGrdCnt=20
MaxGrdCnt=80
smonth=1
emonth=12
nrange=3
syear_obs=1979
eyear_obs=2007
syear_mme=1991
eyear_mme=2010
eyear_sim=2016
stnfile="Dummy.csv"
varfile="aphro_Borneo_month.csv"
idxfile="CIndex-Combined.csv"
ptrfile="ptrlist.csv"
bndfile="Borneo"
nrstfile="Dummy.csv"
BCPointOpt="Off"
BCAreaOpt="On"
CIRegOpt="Off"
MWRegOpt="Off"
MWRObsOpt="Off"
tscale="daily"
fcstmode="Cont"
combnmode=T
fiyearmode=T
AcuMonths=1
precopt=F
CRAdj=1.0
apccdb="/lfs/data11/OPER/AFS/DATA"
apccdbOLD="/lfs/data11/OPER/AFS/DATA"
```

```
smonth=1
emonth=12
nrange=4
syear_obs=1991
eyear_obs=2007
syear_mme=1991
eyear_mme=2010
varfile="aphro_Malaysia_Borneo_month.csv"
bndfile="Malaysia_Borneo"
AcuMonths=1
CRAdj=0.7
apccdb="/lfs/apccdb/Prediction/Seasonal/APCC-MME/VER-2/MME_IN"
apccmmedb="/lfs/data11/NEW_OPER/AFS/DATA/MME_OUT/3-MON/FORECAST/SCM"
EmissionVer="4.1"
dsmon=8
demon=10
```

Before　　After

Figure 112. Result of change of input data of FHEWS.

② 산불예측 시스템 출력시스템 개선

개별모델의 지속적인 개선과 변화, 그리고 산불예측 시스템의 확장으로 인해 과거에 생산된 예측정보를 활용하여 재현을 위한 그림을 생산하기 위해서는 매해 새롭게 정보를 저장하는 방식을 활용하였다. 이전의 방식은 결과 그림을 제외한 나머지 모든 생산되는 정보들은 같은

이름으로 저장되어 가장 최근의 정보만 남는 형식이었으나, 개별모델이 지속적으로 변화하고 개선되고 있는 현재의 산불예측 시스템에는 맞지 않는다는 결론을 내림에 따라 년도별, 월별 예측정보를 모두 저장할 수 있도록 변경하였다. 매월 생산되는 예측정보의 데이터양이 많지 않고 적은 20~30MB 수준으로 재현가능한 자료를 생산하기 위해 채택한 방식이다. Figure 113은 해당 시스템의 적용으로 년도와 월로 구분되어 생산되는 예측정보를 보여주고 있다.

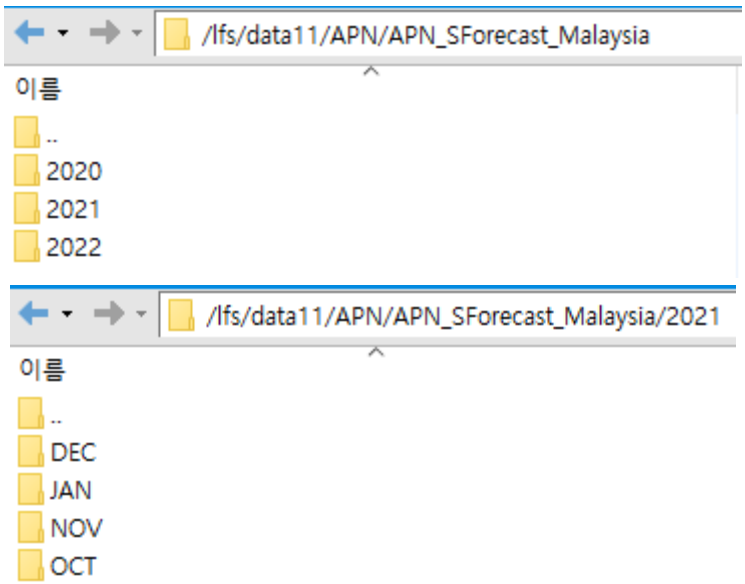


Figure 113. Production result management by year.

사. 동아시아 지역 확률계절예측시스템 현업화

(1) 현황 및 필요성

계절기후전망의 실질적인 활용성 증대를 위해서 세계기상기구(World Meteorological Organization, WMO)에서는 유사한 기후 특성을 기반으로 하는 지역 규모에서 기후전망이나 해석이 이루어져야 함을 권고하고 있으며, 지역 규모의 계절 예측을 개발하기 위해서는 적절한 전구 계절 예측 인프라(Seasonal Forecast Infrastructure, SFI) 활용 전략 수립이 필요하다. 이에 WMO의 지역 계절기후전망을 위한 권고 사항에 따라서 동아시아 지역맞춤형 예측 기술 개발에 대한 연구를 기반으로 동아시아 지역맞춤형 계절기후 예측정보 생산 및 표출기술을 개발하여 해당 정보를 제공함으로써 사용자에 보다 실질적인 활용성을 높이고자 한다.

(2) 동아시아 지역 확률계절예측시스템 현업화

(가) 동아시아 지역맞춤형 계절기후전망을 위한 물리기반 모델선별 다중모델앙상블 확률예측 시스템 구축

동아시아 지역 확률계절예측시스템은 계산부인 “물리기반 확률예측 정보 다중모델앙상블 예측시스템”과 표출부인 “동아시아 지역맞춤형 확률계절예측 정보 가시화 시스템”으로 구성되어 있다.

① 물리기반 확률예측 정보 다중모델앙상블 예측시스템

물리기반 확률예측 정보 다중모델앙상블 예측시스템은 매 계절별 동아시아 강수 변동에 영향을 줄 수 있는 주요 기후인자인 엘니뇨-남방진동(El nino Southern Oscillation, ENSO)과 열대 서태평양 강수 변동을 영향 기후인자로 하여, 기후인자와 동아시아 강수 변동 간 기후영향(climate impact)을 분석하고, 이를 활용하여 APCC MME 참여모델 간 성능을 평가함으로써 우수 모델을 선별하는 방식으로 수행된다. ENSO가 기후인자인 경우 ENSO 양 모드의 기후영향(climate impact)의 재현성에 대한 모델간 분포(spread) 가운데 중간값을 기준으로 모델을 선별하고, 서태평양 강수가 기후인자인 경우에는 강수 기후영향의 재현성에 대한 모델간 분포 중간값을 기준으로 모델을 선별하게 된다. 본 시스템은 Figure 114와 같은 과정으로 수행된다.

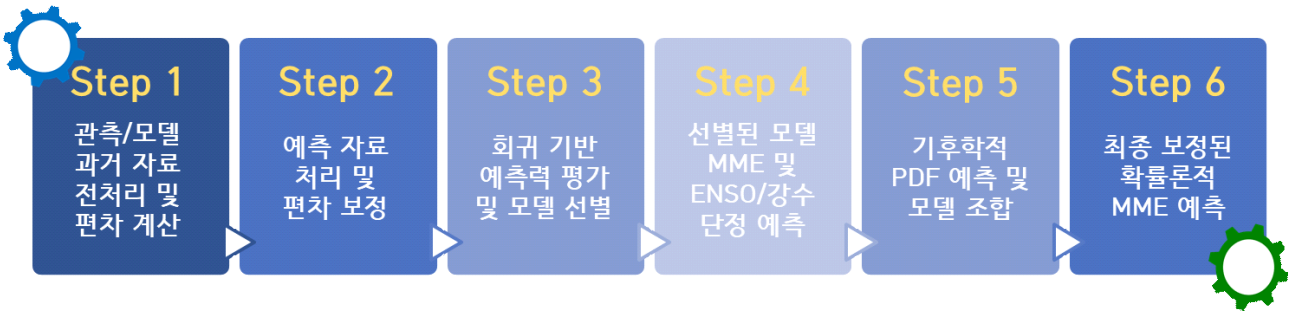


Figure 114. Process for East Asian customized probabilistic forecast system.

② 동아시아 지역맞춤형 확률계절예측 정보 가시화 시스템

“물리기반 확률예측 정보 다중모델앙상블 예측시스템”에서 생산된 자료를 입력자료로 하여 “동아시아 지역맞춤형 확률계절예측 정보 가시화 시스템”을 통해 각 선별 기준에 해당하는 기후인자에 대한 관련성 정보 등의 그래픽 자료를 산출하는 시스템을 구축하였다. 본 시스템은 선별 기준이 되는 관련성 분포도, 선별모델 다중모델앙상블 확률예측 정보, 검증 정보 등의 총 12단계의 과정을 거치며, 최종적으로 동아시아 지역에 대한 기온 및 강수의 확률계절예측 정보를 생산하여 홈페이지를 통해 제공하고 있다.

(나) APCC 예측시스템(AFS) 연계 적용 및 시범 운영

위에서 구축된 “물리기반 확률예측 정보 다중모델앙상블 예측시스템”과 “동아시아 지역맞춤형 확률계절예측 정보 가시화 시스템”을 APCC AFS 시스템과 연계하여 디렉터리 구조를 유기적으로 구성하였으며, 순차적이고 일괄적으로 처리할 수 있는 메인 프로그램을 작성하여 편의성을 증진시켰다. 본 시스템의 구조는 Figure 115와 같다.

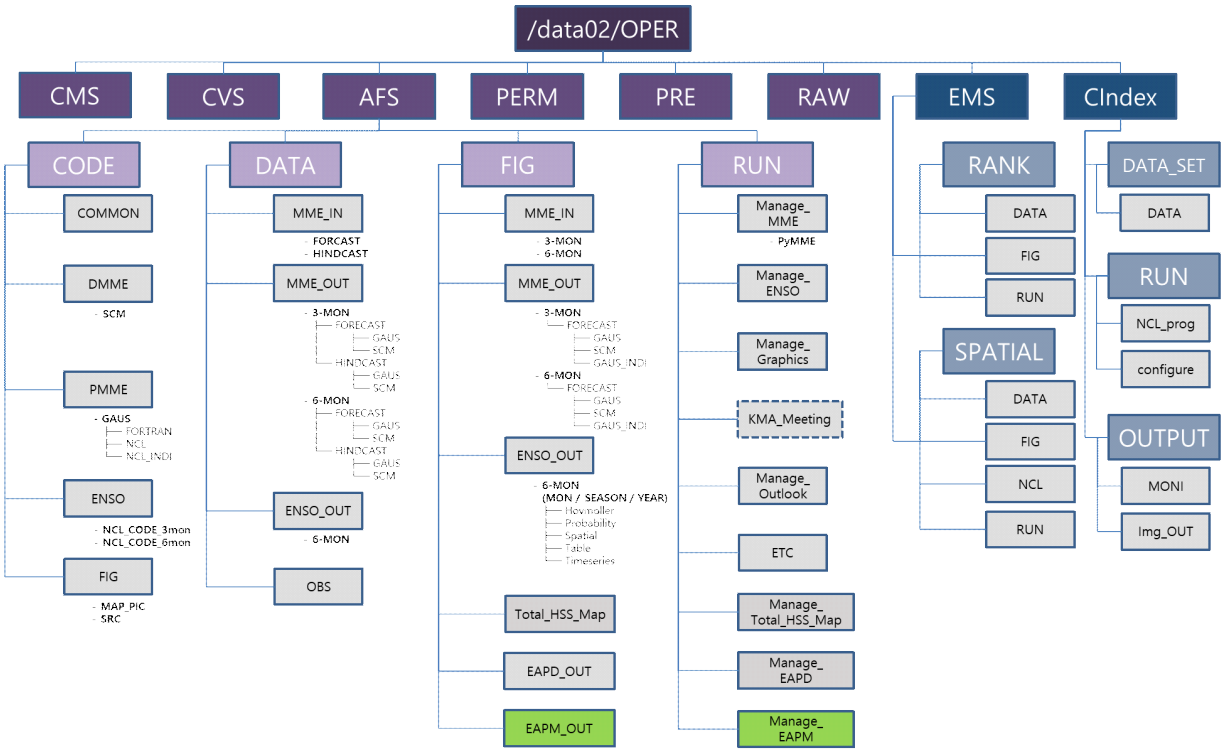


Figure 115. Structure of East Asian customized probabilistic forecast system (green).

본 시스템의 최종 산출물은 APCC MME와 동일한 해상도의(2.5도) 6개월 예측 자료(digital)이며, 그래픽 자료 목록은 아래와 같다.

· 동아시아 확률예측장
✓ 동아시아 영역 평균 삼분위 확률예측 pie chart
✓ 동아시아 영역 확률예측장
· 확률예측에 이용된 예측인자의 전망
✓ 열대지역 해수면 온도 및 ENSO 예측장
✓ 열대서태평양 강수 예측장
· 최근 기간의 과거 예측 및 관측 추이
✓ 최근 기간의 ENSO 과거 예측 및 관측 추이
✓ 최근 기간의 열대서태평양 강수 과거 예측 및 관측 추이
· 예측인자와 동아시아 기후 관련성 정보
✓ 동아시아 강수 편차와 ENSO의 첫 2개의 EOF PC 간 회귀장
✓ 열대서태평양 강수 및 동아시아 강수 편차간 회귀장
· 최근 기간의 과거 예측 검증
· 과거 재현기후 예측의 검증

본 시스템을 통해 최종 산출물이 생산되기까지 작업 소요 시간은 약 5분 내외이며, 선별된 모델 구성은 내부적으로 관리하여 최종 기온 및 강수 확률예측 정보와 기준이 되는 관련성 분포도가 홈페이지를 통해 제공된다(Figure 116).

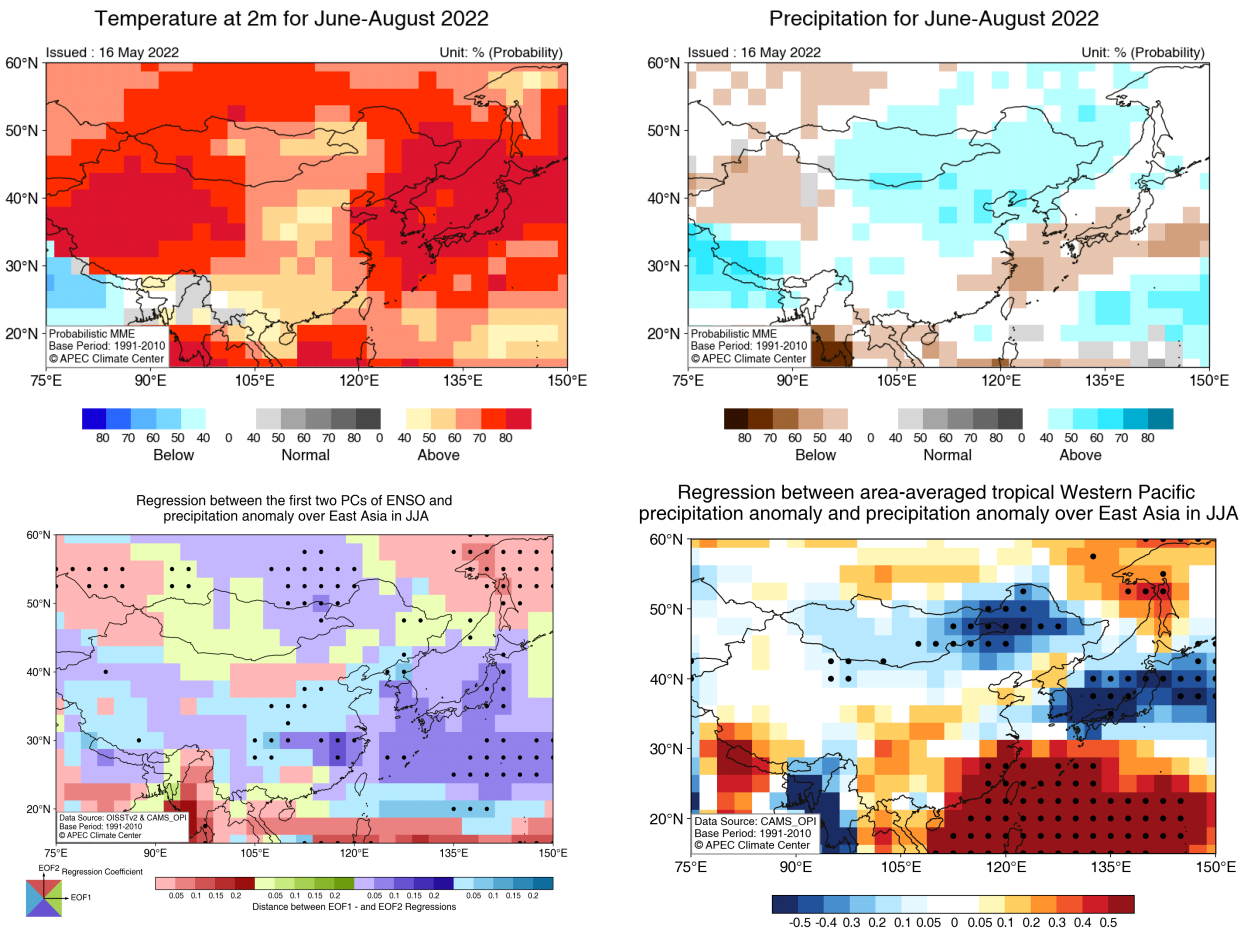


Figure 116. Examples of East Asian customized probabilistic forecast contents.

현업화를 완료한 뒤 2020년 1월~2022년 최신까지 시범 운영을 수행함에 따라 각종 버그를 수정하고 안정화하는 과정을 거쳐 2022년 6월부터 매월 APCC 국문 동아시아 홈페이지를 통해 제공하기 시작됨(Figure 117)에 따라 국내 사용자의 예측정보 활용성을 증진시킬 것으로 기대된다.

(다) 동아시아 지역 확률계절예측시스템 운영 매뉴얼

본 시스템을 안정적으로 운영하기 위하여 상세 작업 수행 방법을 별도의 운영 매뉴얼을 작성하였다. 해당 운영 매뉴얼은 부록 F에서 확인할 수 있다.

예측정보

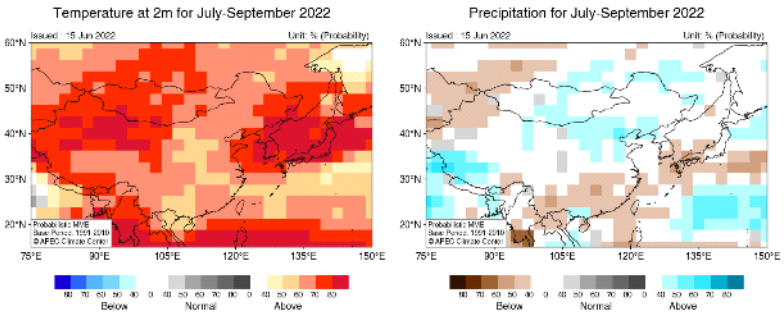
다중모델 예측 | 선별모델 확률예측 | 모델예측 확률분포 | 다중모델 해수면온도 예측

관심 기간 선택

2022년 | 07월 ~ 09월

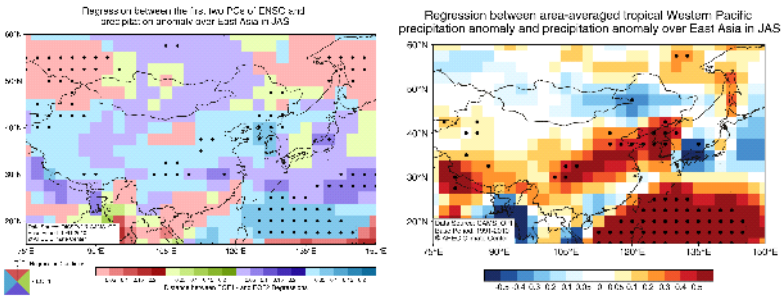
- 동아시아 기후 예측에 영향을 줄 수 있는 주요 기후인자로 엘니뇨-남방진동(El Nino and Southern Oscillation, ENSO)과 서태평양 강수변동을 선정하고, 선정된 기후인자(ENSO와 서태평양 강수)와 동아시아 기후 사이의 영향(climate impact)에 대한 기후예측 모델의 재현성을 평가한 후(그림 [2]) 우수한 재현성을 보이는 기후예측 모델을 선별하여 기온과 강수의 확률예측을 생산합니다(그림 [1]). 따라서 ENSO 및 서태평양 강수의 유무와 강도에 따라 계절적 및 연도별 변화가 발생할 수 있습니다.
- 본 정보는 시험운영 중으로 "다중모델 예측" 메뉴에서 제공하는 APCC 다중모델앙상블을 이용한 동아시아 계절예측의 보조자료로 활용하시기 바랍니다.

선별모델 기온 / 강수확률 예측



[1] 2022년 07월 ~ 2022년 09월 기온(왼쪽) 및 강수(오른쪽)의 평년대비 확률(평년: 1991-2010).

모델선별 기준



[2] 관측된 07월 ~ 09월 (평년: 1991-2010) 동아시아 강수 편차와 ENSO의 첫 두개의 EOF PC 간 회귀장(왼쪽), 열대 서태평양 강수 편차와 동아시아 강수 편차간 회귀장(오른쪽). 관측된 회귀장에 대해 유사성이 높은 모델을 선정함.

참고문헌

- 손수진, 김원무, 김광형, 2019: 다중모델 기반 지역특화 계절예측 기술 개발 (APEC기후센터 연구보고서 2019), APEC기후센터
- 손수진, 김광형, 김원무, 박경원, 박지훈, 정유란, 2020: 예측성 향상을 위한 다중모델기반 기후예측기술 개발 (APEC기후센터 연구보고서 2020), APEC기후센터
- Lee, R. W. K., Tam, C. Y., Sohn, S. J., and J. B., Ahn, 2018: Predictability of Two types of El Nino and their climate impacts in boreal spring to summer in coupled models. Clim. Dyn., 51, 4555-4571, (해당논문 바로가기)
- Sohn, S.J., and W., Kim, 2020: Toward a better multi-model ensemble prediction of East Asian and Australasian precipitation during non-mature ENSO seasons. Scientific reports, 10(1), 1-10.

Figure 117. Examples of East Asian customized probabilistic forecast web-page.

아. 기후분야 국제협력 및 정책지원

(1) WMO 장기예보 선도센터 운영 및 개선

(가) WMO 장기예보 선도센터 계절 예측 시스템 운영

WMO 장기예보 선도센터의 초창기에는 11개의 GPC로부터 계절예측자료를 수집하였다. 2010년 6월에 브라질의 CPTEC (Centre for Weather Forecasts and Climate Studies, GPC CPTEC)이 참여하면서 12개 GPC의 예측자료로 다년간 운영되어 오다가 2017년 독일 기상청 (Deutsche Wetterdienst, GPC Offenbach)이 추가되고, 2021년에는 CMCC (CenteroEuro-Mediterraneosui CambiamentiClimatici)가 GPC (Global Producing Centre)로 지정되면서 현재는 총 14개의 GPC로부터 계절예측자료를 제공받고 있다(Table 22). 14개 GPC의 forecast와 hindcast 자료에 대한 표준화를 완료한 후, 4개의 결정론적 MME 기법 (Simple Composite Method, SCM; Simple Linear Regression, SLR;Singular ValueDecomposition, SVD; Genetic Algorithm, GA)과 확률론적 MME 기법 (Min et al., 2009)으로 매월 3개월 계절예측자료를 생산하게 된다. Hindcast 기간은 GPC 간의 공통 hindcast 기간인 1993-2009년을 기준으로 한다. 각 기법에 대한 자세한 설명 WMO 장기예보 선도센터 홈페이지 (www.wmolc.org) 에서 확인 할 수 있어, 본 보고서에는 싣지 않는다. WMO 장기예보 선도센터 운영을 통해 생산된 각 GPC와 MME의 예측 성능을 파악하기 위해 6개 변수 (2m 기온, 강수, 해수면온도, 해면기압, 850hPa 온도, 500hPa 지위고도. 단, 해수면온도의 경우는 제공되는 GPC에 한함)의 hindcast 및 forecast 에 대한 검증을 매 달 수행하고 있다. 예측성능의 검증은 결정론적 예측과 확률론적 예측에 대해 수행하고 있다(결정론적 MME의 경우 SCM에 대한 검증만 수행함). 이 중 hindcast 에 대한 검증은 공통기준기간인 1993-2009년에 대해 계산된다. 검증에 사용되는 재분석 관측자료는 forecast와 hindcast에 따라 다르며, Table 23과 24에 자세히 나타내었다. WMO 장기예보 선도센터 자료의 검증은 WMO 장기예보 표준 검증 체계 (WMO Long-Range Forecast Standardised Verification System, WMO LRF-SVS)에 의거하여 수행되고 있다. 결정론적 예측 검증에는 아노말리 상관계수분석(Anomaly Correlation Coefficient, ACC), 평균제곱근오차(Root Mean Square Error, RMSE), MSSS와 Gerrity Skill Score (GSS)가 사용되고 확률 예측의 검증에는 Reliability Diagram, Roc Curve 및 Score, ROC map, Brier Score (BS), Brier Skill Score (BSS)가 이용하고 있다. 이렇듯 WMO 장기예보 선도센터에서는 WMO 회원국의 요구에 부합하는 고품질 서비스를 안정적으로 제공하는 역할과 함께 계절예측정보의 활용성 증대를 위한 국내·외 협력 업무를 수행하고 있다. 따라서 본 과제에서는 2022년 APCC가 수행한 WMO 장기예보 선도센터 운영의 결과인 개별모델의 검증결과를 토대로 전반적인 내용과 MME 시스템의 개선 사항, 그리고 계절예측정보의 활용성 증대를 위한 국내·외 협력업무 수행 결과를 정리하였다.

Table 22. Characteristics of seasonal forecast model from GPCs (2022. 11).

GPC	Beijing	CMCC	CPTEC	ECMWF	Exeter	Melbourne	Montreal	Moscow	Offenbach	Pretoria	Seoul	Tokyo	Toulouse	Washington
Institute	BCC	CMCC	CPTEC	ECMWF	UKMO	BoM	MSC	HMC	DWD	SAWS	KMA	JMA	MetFrance	NCEP/CPC
Country	China	Italy	Brazil	United Kingdom	United Kingdom	Australia	Canada	Russia	Germany	South Africa	Korea	Japan	France	United States
System Name	CSM1.1m	CMCC-SPS3.5		SEAS5	GloSea6-GC3.2	ACCESS-S2	CanSIPSv2.1	SL-AV	GCFS 2.1		Glosea6	JMA/MRI-CPS3	System8	CFSv2
System	Coupled	Coupled	2-tier	Coupled	Coupled	Coupled	Coupled	2-tier	Coupled	Coupled	Coupled	Coupled	Coupled	Coupled
Digital data download	o	o	o	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Data format	NetCDF	NetCDF	GRIB1	GRIB1	GRIB2	NetCDF	GRIB2	GRIB2	GRIB1	GRIB1	GRIB2	GRIB2	GRIB1	GRIB1
경로	FTP	FTP	FTP	Web	FTP	Web	Web	FTP	FTP	FTP	FTP	Web	Web	FTP
해상도	2.5°X2.5° (T106L26)	1.0°X1.0° (0.5° x 0.5°, L46)	2.5°X2.5° (T126L42)	1.0°X1.0° (Tco319L91)	1.0°X1.0° (N216L85)	N216L85 (N216L85)	2.5°X2.5° (T63L35, 1.1° x1.1° L85)	0.9°lonx0.72°lat L96	2.5°X2.5° (T127)	2.5°X2.5° (T42L19)	2.5°X2.5° (N216L85)	1.25°X1.25°' (TL319L100)	1.0°X1.0° (T359L137)	2.5°X2.5° (T126L64)
추가 변수	U850 V850 U200 V200 h200 h850	UV200 UV500 UV850 h200 h850 t200 t500 olr	U850 V850	U850 V850	U850 U500 U200 V850 V500 V200 H850 H200	U850 V850 U200 V200	U850 V850 U200 V200	U850 V850 U200 V200	U850 V850	-	U850 V850 U200 U300 icfrc	U850 V850 U200 V200	U850 V850	-
Forecast														
Forecast period	6month (13mon)	6month (6mon)	5month (6mon)	5month (7mon)	5month (6mon)	5month (6mon)	12month (12mon)	3month (4mon)	5month (6mon)	3month (9mon)	6month (6mon)	6month (7mon)	5month (7mon)	9month (9mon)
Ensemble size	24	50	15	51	42	11	20	41	50	40	82	50	51	40
Hindcast														
Hindcast Period	1991-2015	1993-2016	1981-2010	1993-2016	1993-2016	1981-2018	1980-2020	1991-2015	1993-2019	1982-2009	1993-2016	1991-2020	1993-2018	1982-2010
Ensemble size	24	40	10	25	28	3	20	11	30	10	28	10	25	20

음영: 하늘색-2Tier, 분홍색-1Tier

경로: FTP - 자료 서버(IP:210.98.49.66)를 통해 수신, Web - 해당 GPC의 홈페이지를 통해 수신

Forecast Period, 해상도: 수집되는 자료 정보이며, 괄호는 해당 GPC의 계절예측모델 정보

Table 23. Reanalysis data used for verification of real-time forecast.

	NCEP-DOE Reanalysis-1	CAMS OPI	OISST v2
Source	NCEP/CPC	NCEP/CPC	NCEP/CPC
Variable	50hPa GPH (gpm), Sea level pressure (hPa), 2m temperature (K), 850hPa temperature (K)	Precipitation (mm/day)	Sea surface temperature (K)

Table 24. Reanalysis data used for verification of hindcast.

	ERA-interim	GPCP	OISST v2
Source	ECMWF	NASA	NCEP/CPC
Variable	50hPa GPH (gpm), Sea level pressure (hPa), 2m temperature (K), 850hPa temperature (K)	Precipitation (mm/day)	Sea surface temperature (K)

WMO 장기예보 선도센터의 계절예측 현업은 앞서 언급한 바와 같이 한달에 걸쳐 수행된다. 매달 기상청 기후예측과에 WMO 장기예보 선도센터 운영에 관한 보고서를 제출하여 기상청 기후예측과와 현업 측면의 이슈에 대해 공유하고 있다. 22년에는 GPC Pretoria가 현지 시스템의 문제로 7월까지 계절예측 자료를 제공하지 않았으며, 다른 GPC의 계절예측 자료 제공일은 Table 25와 같다.

Table 25. Date of data collection from GPCs.

GPC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV
Beijing	14	14	15	14	12	14	14	12	14	18	11
CMCC	13	14	14	14	13	13	13	13	13	13	13
CPTEC	14	15	11	13	13	10	12	9	13	11	8
ECMWF	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
EXETER	11	11	11	11	11	11	11	11	13	11	11
Melbourne	4	11	7	6	4	7	6	6	7	7	7
Montreal	3	7	7	4	4	7	6	6	7	7	7
Moscow	13	12	13	8	12	14	13	11	14	11	12
Offenbach	7	4	4	4	4	4	4	4	13	4	4
Pretoria	–	–	–	–	–	–	–	25	16	20	18
Seoul	12	8	8	11	11	8	14	11	13	13	8
Tokyo	17	14	14	13	12	13	13	14	13	13	14
Toulouse	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Washington	11	12	12	12	12	12	12	12	14	14	12

WMO 장기예보 선도센터에 참여하는 개별 GPC과 PMME의 실시간 확률 예측 성능을 살펴보았다 (Figure 118, Figure 119). 각 카테고리별 ROC Score의 시계열 분석에 사용된 예측기간은 2017년 JFM부터 2022년 ASO이다. Figure 118과 Figure 119에서 붉은 실선은 MME를 나타내며, 각 점들은 개별 GPC를 의미한다. 파란색으로 표시된 점은 ECWMF의 예측 성능을 나타낸다. Table 26과 27은 전구영역과 동아시아 영역에 대한 연도별 ROC Score의 예측성능 (AN, NN, BN카테고리의 평균)을 나타내며, 전구에 비해 동아시아 영역의 예측성능이 낮게 나타난다. 2021년 전구영역의 개별 GPC와 MME의 기온 및 강수의 예측력을 살펴보면, MME는 기온의 경우 0.7, 강수는 0.58로 개별 GPC들에 비해 상대적으로 높은 ROC Score를 가진다. 개별 GPC 중 GPC Tokyo의 예측성능이 전구영역과 동아시아 영역 모두에서 높은 것으로 나타났다. 보다 상세한 분석을 통해 개별 GPC의 예측성능을 예측특성별로 평가하고 정보를 제공할 수 있다면 기상청 계절예측 정확도 향상에 기여 할 수 있을 것으로 보인다.

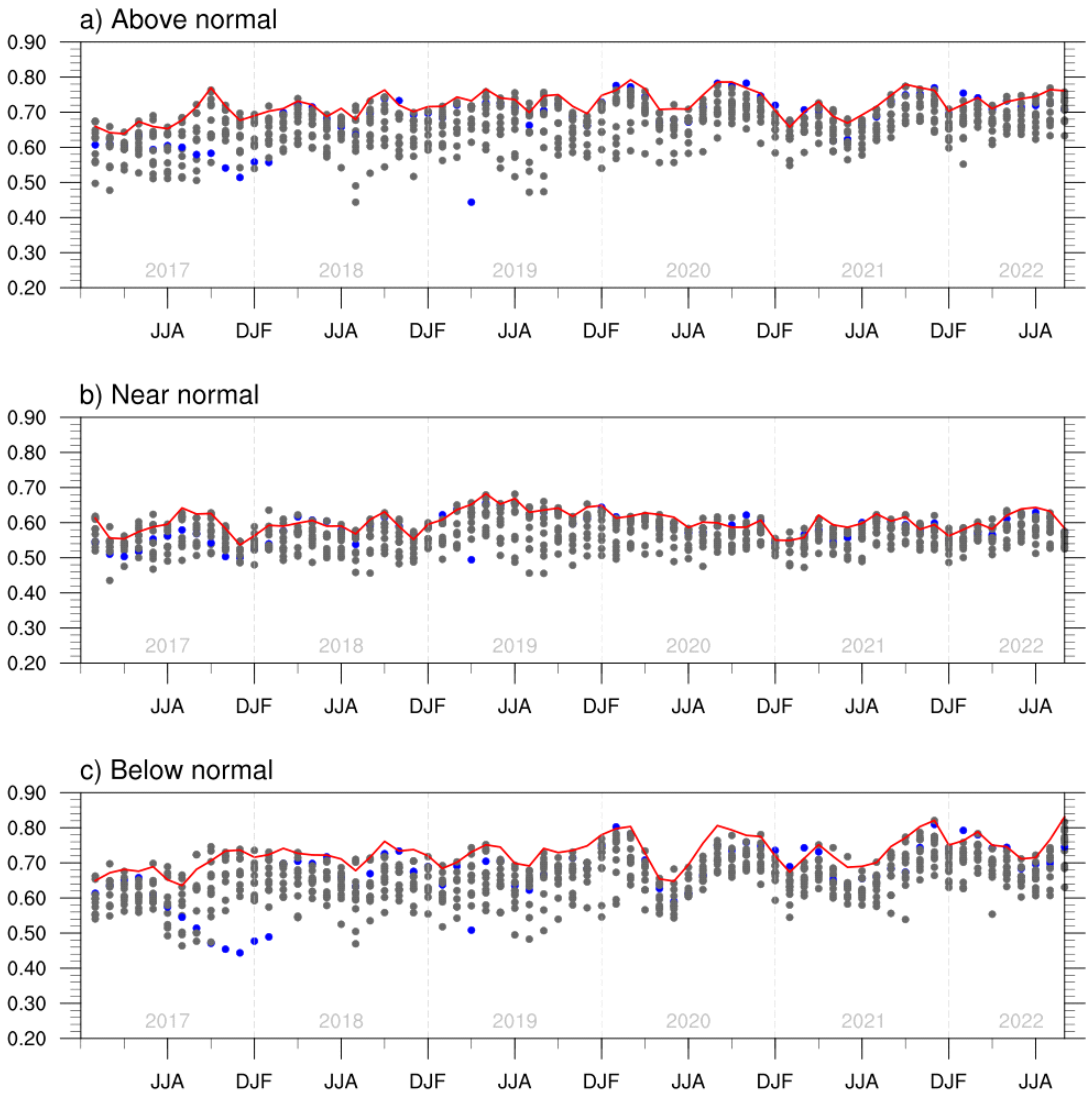


Figure 118. Relative Operating Characteristic (ROC) score aggregated over globe of probabilistic real-time forecast of 2m temperature for three terciles, i.e., a) the above normal, b) near normal and below normal for the period JFM2017-ASO2022. ROC score for PMME prediction is indicated by red line. The grey dots indicate the ROC score of the WMO LC-LRFMME individual GPCs and the blue dot indicates ECMWF.

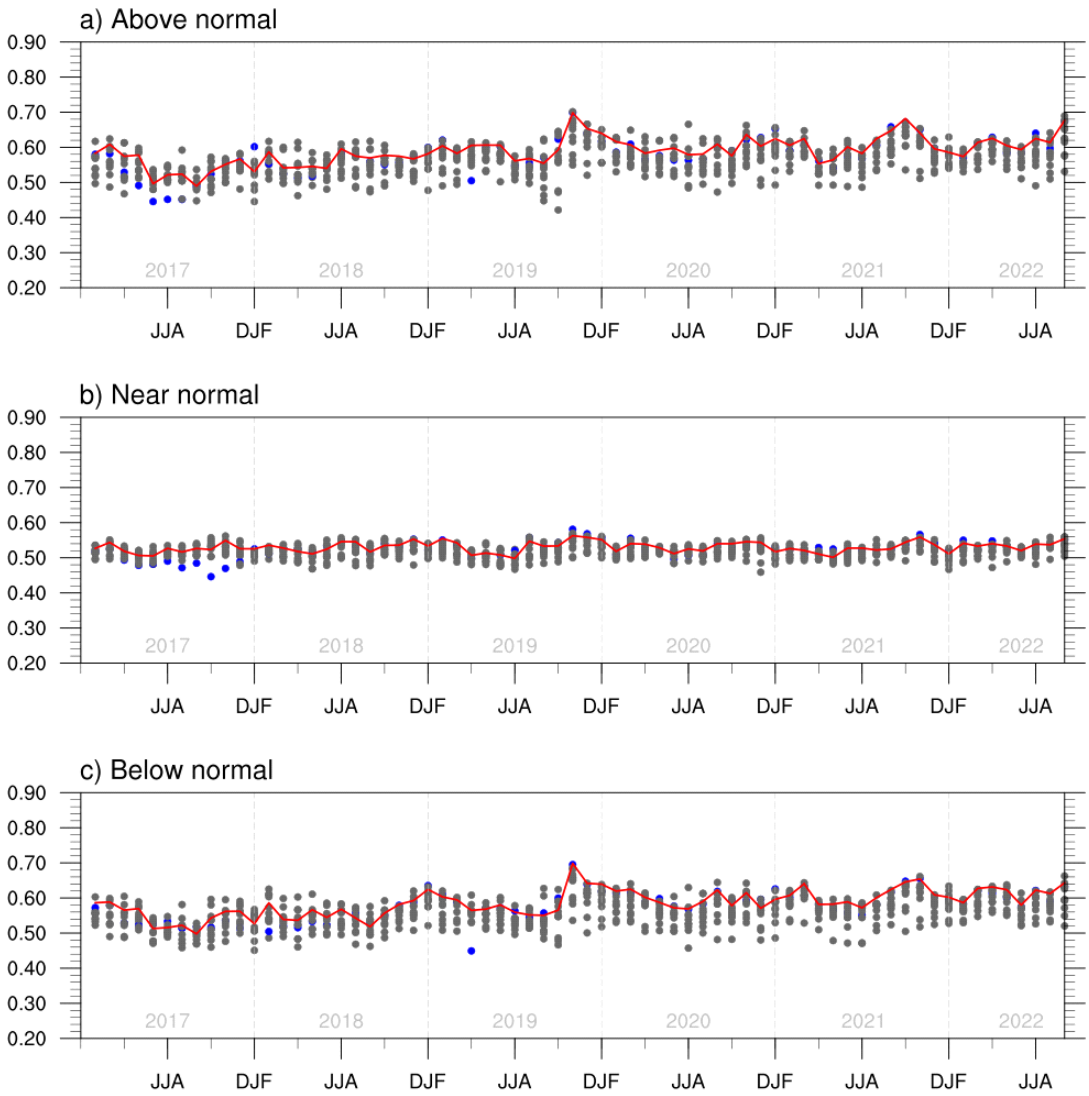


Figure 119. Relative Operating Characteristic (ROC) score aggregated over globe of probabilistic real-time forecast of precipitation for three terciles, i.e., a) the above normal, b) near normal and below normal for the period JFM2017-ASO2022. ROC score for PMME prediction is indicated by red line. The grey dots indicate the ROC score of the WMO LC-LRFMME individual GPCs and the blue dot indicates ECMWF.

Table 26. Yearly Relative Operating Characteristic (ROC) score aggregated over globe of probabilistic real-time forecast of 2m temperature and precipitation.

No.	GPC	2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022	
		T2M	PREC	T2M	PREC	T2M	PREC	T2M	PREC	T2M	PREC	T2M	PREC	T2M	PREC
1	Beijing	0.58	0.52	0.58	0.51	0.62	0.53	0.65	0.54	0.64	0.53	0.63	0.56	0.62	0.55
2	CMCC	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.66	0.57
2	CPTEC	0.56	0.52	0.55	0.51	0.57	0.50	0.56	0.51	0.60	0.52	0.60	0.53	0.63	0.55
3	ECMWF	0.65	0.57	0.56	0.52	0.65	0.54	0.66	0.57	0.68	0.57	0.66	0.58	0.69	0.58
4	Exeter	0.68	0.58	0.63	0.54	0.65	0.55	0.67	0.56	0.66	0.56	0.66	0.57	0.69	0.58
5	Melbourne	0.62	0.56	0.57	0.52	0.60	0.53	0.61	0.55	0.64	0.56	0.64	0.57	0.64	0.56
6	Montreal	0.64	0.57	0.61	0.53	0.64	0.55	0.66	0.57	0.65	0.57	0.63	0.57	0.67	0.58
7	Moscow	0.60	0.53	0.58	0.50	0.57	0.51	0.60	0.52	0.61	0.51	0.60	0.51	0.63	0.52
8	Offenbach	–	–	0.64	0.53	0.64	0.54	0.67	0.56	0.64	0.55	0.63	0.57	0.65	0.57
9	Pretoria	0.55	0.54	0.53	0.50	0.55	0.52	0.55	0.53	–	–	–	–	–	–
10	Seoul	0.68	0.58	0.63	0.54	0.64	0.55	0.66	0.56	0.65	0.56	0.65	0.56	0.66	0.57
11	Tokyo	0.69	0.59	0.66	0.55	0.66	0.56	0.69	0.59	0.69	0.58	0.68	0.58	0.68	0.59
12	Toulouse	–	–	–	–	–	–	0.68	0.56	0.65	0.56	0.64	0.56	0.64	0.57
13	Washington	0.65	0.58	0.62	0.53	0.63	0.56	0.64	0.57	0.64	0.58	0.61	0.57	0.66	0.58
	MME	0.69	0.59	0.65	0.54	0.68	0.55	0.70	0.58	0.70	0.58	0.68	0.58	0.70	0.59

※ Montreal : 2014JJA~2016DJF의 경우, Montreal3과 Montreal4의 ROC 평균값
※ CMCC: 2021OND이후자료
※ Offenbach:2017SON이후자료
※ Pretoria:2015AMJ이후자료
※ Observation:PREC/CAMS-OPI,T2M/NCEP-R1
※ 2016OND이전은개별hindcast사용
※ 2016OND예측부터공통hindcast기간(1993~2009)사용
※ 전체기간위도별가중치적용
※ ROC값은AN, NN, BN의평균값을의미

Table 27. Yearly Relative Operating Characteristic (ROC) score aggregated over East Asia of probabilistic real-time forecast of 2m temperature and precipitation.

No.	GPC	2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022	
		T2M	PREC	T2M	PREC	T2M	PREC	T2M	PREC	T2M	PREC	T2M	PREC	T2M	PREC
1	Beijing	0.50	0.50	0.54	0.50	0.56	0.56	0.59	0.56	0.62	0.53	0.58	0.51	0.51	0.52
2	CMCC	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.54	0.54
2	CPTEC	0.50	0.49	0.54	0.51	0.51	0.51	0.47	0.50	0.58	0.54	0.55	0.50	0.55	0.55
3	ECMWF	0.52	0.57	0.60	0.51	0.58	0.56	0.59	0.57	0.66	0.60	0.60	0.50	0.57	0.54
4	Exeter	0.54	0.56	0.58	0.49	0.62	0.58	0.60	0.56	0.63	0.57	0.58	0.51	0.55	0.54
5	Melbourne	0.55	0.54	0.53	0.50	0.58	0.53	0.58	0.54	0.59	0.55	0.53	0.52	0.54	0.53
6	Montreal	0.49	0.57	0.54	0.50	0.59	0.57	0.57	0.55	0.59	0.58	0.58	0.54	0.54	0.55
7	Moscow	0.51	0.52	0.56	0.50	0.51	0.52	0.50	0.51	0.57	0.55	0.55	0.52	0.55	0.52
8	Offenbach	–	–	0.56	0.51	0.59	0.57	0.60	0.56	0.64	0.58	0.58	0.50	0.54	0.54
9	Pretoria	0.48	0.55	0.50	0.50	0.50	0.56	0.54	0.56	–	–	–	–	–	–
10	Seoul	0.55	0.56	0.59	0.51	0.59	0.58	0.58	0.56	0.60	0.59	0.54	0.52	0.52	0.54
11	Tokyo	0.55	0.59	0.61	0.53	0.62	0.57	0.58	0.58	0.66	0.58	0.61	0.52	0.54	0.55
12	Toulouse	–	–	–	–	–	–	0.62	0.57	0.64	0.56	0.60	0.51	0.54	0.51
13	Washington	0.56	0.56	0.58	0.50	0.59	0.58	0.61	0.57	0.63	0.61	0.52	0.53	0.55	0.55
	MME	0.54	0.57	0.59	0.51	0.61	0.58	0.60	0.58	0.67	0.61	0.60	0.55	0.52	0.54

※ Montreal : 2014JJA~2016DJF의 경우, Montreal3과 Montreal4의 ROC 평균값
※ ECMWF:2015~2016년검증자료생산
※ CMCC: 2021OND이후자료
※ Offenbach:2017SON이후자료
※ Pretoria:2015AMJ이후자료
※ Observation:PREC/CAMS-OPI,T2M/NCEP-R1
※ 2016OND이전은개별hindcast사용
※ 2016OND예측부터공통hindcast기간(1993~2009)사용
※ 전체기간위도별가중치적용
※ ROC값은AN, NN, BN의평균값을의미

올해는 2013년부터 축적된 WMO 장기예보 선도센터 계절예측검증자료를 이용하여 각 GPC와 MME에 대해서 과거기간(hindcast)과 실시간 예측결과를 상호비교해 보았다. 실제 많은 통계적 예측모형에서는 과거기간의 검증결과를 바탕으로 모형을 구축하여 예측에 사용하는 경우가 많다. WMO 장기예보 선도센터의 실시간 계절예측검증 결과 (2013-2021)가 공통 과거기간인 1993-2009년 총 17년과 비교해 다소 짧은 경향은 있으나, 총 9년은 상호 비교할 수 있는 기간이라 생각된다. 기온과 강수의 과거기간과 실시간예측 ACC 검증 결과는 Figure 120과 같다. 선행연구들에서 언급한 것과 같이 기온과 강수는 겨울철 (DJF)이 여름철(JJA)에 비해 상대적으로 높은 예측력을 보였다. 기온의 경우, 과거기간의 ACC예측력이 실시간 예측에 비해 높은 반면, 강수는 그 반대 경향을 보인다. 특히 GPC CPTEC, Melbourne과 MME의 실시간 강수 예측력은 다른 GPC들과 비교해 크게 감소하는 특징을 보였다. 과거기간 검증에서 우수한 예측성능을 보이는 GPC 계절예측 모델이 실시간 예측에서 그렇지 않을 수 있음을 의미한다. 이는 일반적으로 과거기간의 예측력을 기반으로 구축하는 통계적 모형을 구성함에 있어 보다 주의가 필요함을 의미한다.

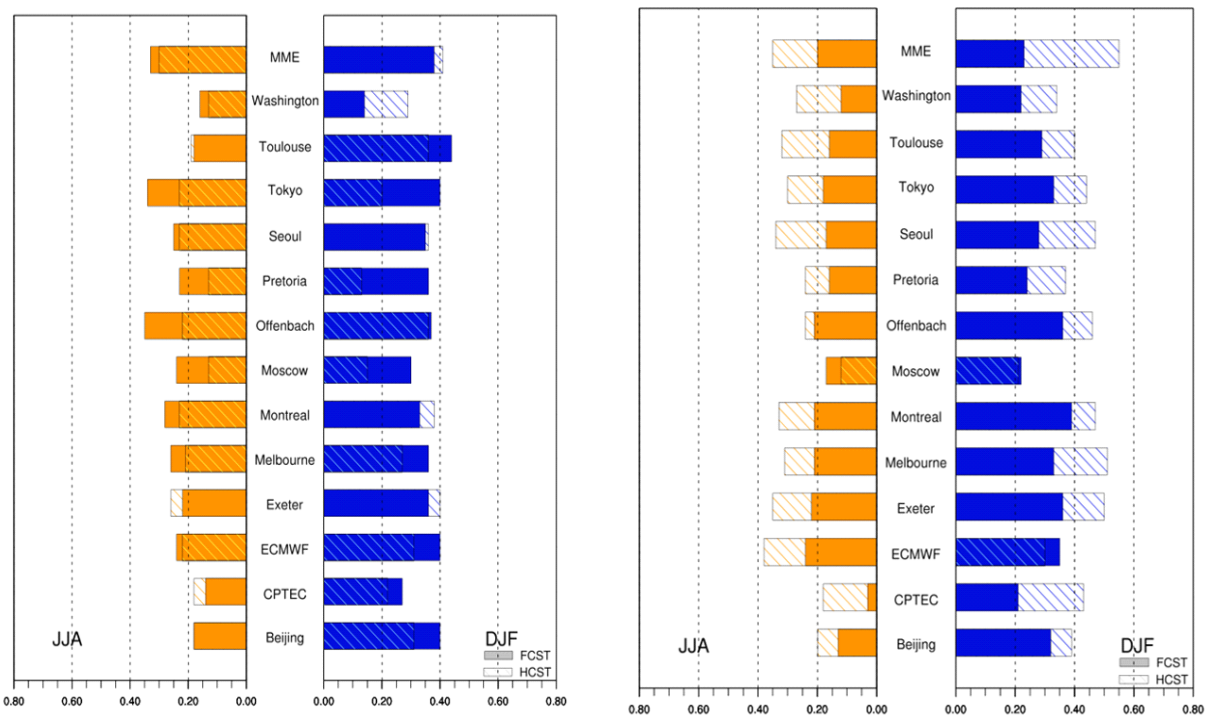


Figure 120. ACC of (a) 2m temperatue and (b) precipitation of the retrospective (1981~2009) and real-time(2013~2021) forecasts for JJA and DJF.

(나) WMO 장기예보 선도센터 계절 예측 시스템 개선

WMO 장기예보 선도센터에 참여하고 있는 GPC는 계절예측의 정확도 향상을 위해 지속적으로 계절예측시스템 개선하고 있다. 개선된 계절예측 시스템은 다른 GPC들과의 예측성 비교분석을 통해 적합성 판단과정이 필요하며, 각 GPC의 계절예측시스템 개선으로 인한 예측 성능 향상은 WMO 장기예보 선도센터 다중 모델 앙상블 예측성능 향상을 기대할 수 있다. 2022년에 GPC Tokyo, Seoul, Moscow의 계절예측 시스템이 개선되어 WMO 장기예보 선도센터 다중모델 앙상블 예측 시스템에도 반영되었다 (Figure 121). GPC Tokyo는 2022년 2월부터 CPS2에서 CPS3로 개선되었으며, GPC Seoul은 3월부터 GS5GC2에서 GS6GC3.2로 시스템을 업그레이드 하였다. 또한 GPC Moswco는 11월부터 계절예측모델이 변경되어 WMO장기예보 선도센터에 반영되었다. 그리고 GPC Seoul은 11월부터 앙상블 개수를 변경하였다. 이번 절에서는 GPC 계절예측 모델의 업데이트 현황과 이와 관련하여 수행되었던 내용을 기술하고자 한다.

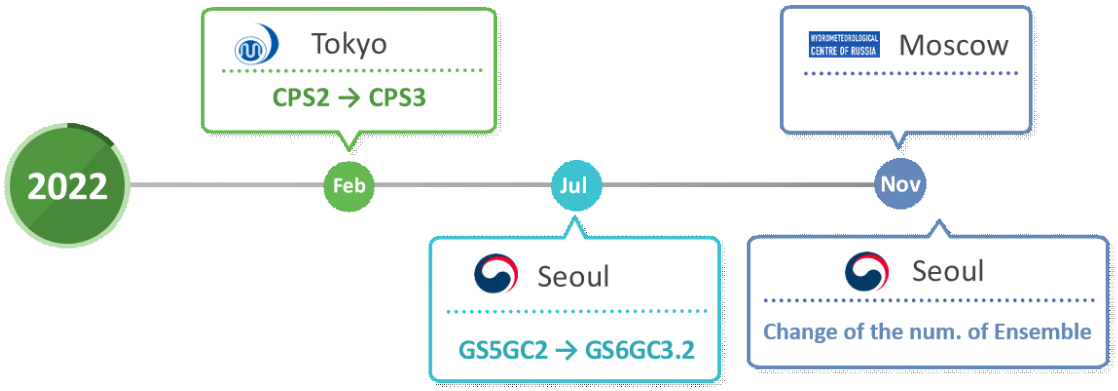
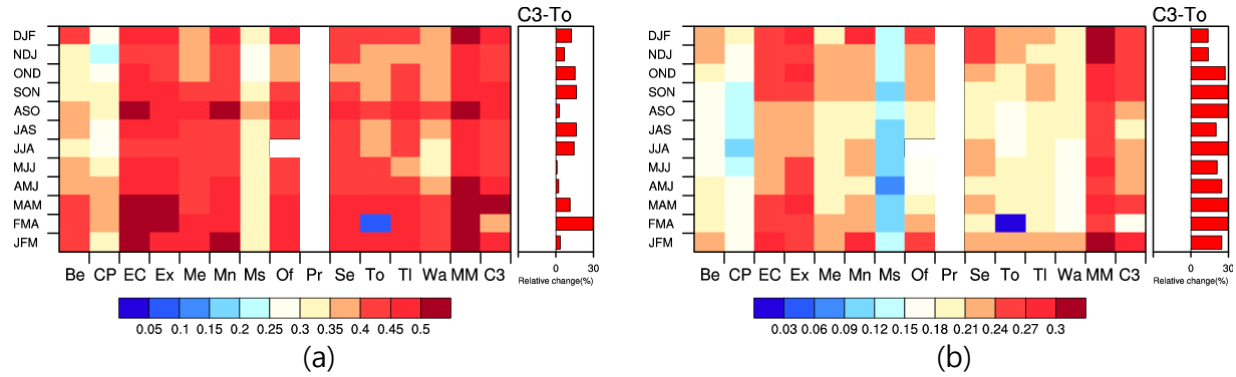


Figure 121. Improvements of operational system at WMO LC-LRFMME in 2022.

① GPC Tokyo 개선

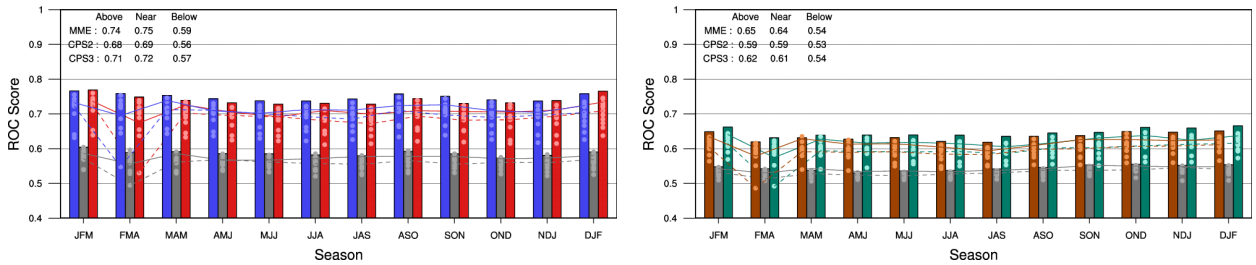
GPC Tokyo 계절예측 모델은 CPS2에서 CPS3로 변경되었으며, 2022년 2월 (2022MAM)부터 WMO 장기예보 선도센터 다중모델 앙상블 예측시스템에 적용되었다. 개선된 CPS3 계절 예측 시스템은 hindcast 기간이 1979~2010년에서 1991~2020년까지 확장되어 최근의 기후변동성을 반영하고자 하였으며 공간해상도도 기존 TL95L40에서 TL319L100으로 크게 증가 하였다. 기존에 GPC Tokyo는 선행시간 7개월까지 예측되는 CPS2 계절예측시스템에서 생산되는 계절예측자료 중 선행시간 3개월까지만 WMO장기예보선도센터에 제공해왔다. 그러나 CPS3 계절예측자료 제공시점부터 7개월 선행시간의 자료를 모두 WMO 장기예보 선도센터에 제공하기 시작했다. GPC Tokyo의 예측 선행시간이 확장됨에 따라 WMO 장기예보 선도센터 사용자는 보다 앞선 계절예측을 함에 있어 예전보다 많은 GPC의 계절예측자료를 사용할 수 있게 되어 계절예측력 향상을 기대할 수 있을 것이다. 개선된 계절예측 모델의 상세한 정보는 Table 28에서 확인 할 수 있다. 또한 개선된 계절예측모델과 이전버전의 모델의 hindcast 기간에 대한 ACC와 ROCS예측력 비교를 수행하여, 계절예측모델의 개선에 따른 실질적인 예측력 상승 정도 파악과 더불어 MME 참여 모델로서의 적합성을 판단하였다. Figure 122는 WMO 장기예보 선도센터에 참여하는 14개 GPC와 CPS3의 hindcast기간동안의 기온 및 강수에 대한 전지구 평균 ACC와 CPS3과 CPS2의 ACC 차이를 나타낸다. GPC3은 타 GPC에 비해 전계절에 걸쳐 전반적으로 우수한 ACC 예측력을 보이고 있으며, 강수의 경우, 기존 CPS2에 비해 전계절에 걸쳐 약 30% 정도의 예측

력을 보였다. Figure 123은 ROC Score를 나타낸다. bar는 MME를 실선은 CPS3의 ROC Score를 나타내며, 점선은 GPC Tokyo의 CPS2의 ROC score를 나타낸다. 기온의 경우, Above과 Near Normal 카테고리에서 CPS3이 CPS2보다 약 0.03 높은 값을 보였으며, Below Normal 카테고리는 0.01의 증가를 보였다. 강수의 경우도 각 카테고리별로 0.01~0.03의 ROC Score 증가를 보였다. 전 계절에 대한 평균적인 값임을 감안하더라도 CPS3이 CPS2에 비해 예측력이 증가하였음을 알 수 있다. 또한 Figure 124는 hincast 기간에 대한 GPC Tokyo의 CPS2와 CPS3에서 예측된 NINO3.4와 관측의 ONI이며, 그 상관계수는 0.78에서 0.87로 약 0.9의 큰 증가를 보였다.



(a) (b)

Figure 122. Global average of temporal correlation coefficient of (a) 2m temperature and (b) precipitation between GPCs and CPS3 from GPC Tokyo and difference of TCC between CPS3 and CPS2.



(a) (b)

Figure 123. Global ROC score of (a) 2m temperature and (b) precipitation of CPS2, CPS3, and MME.

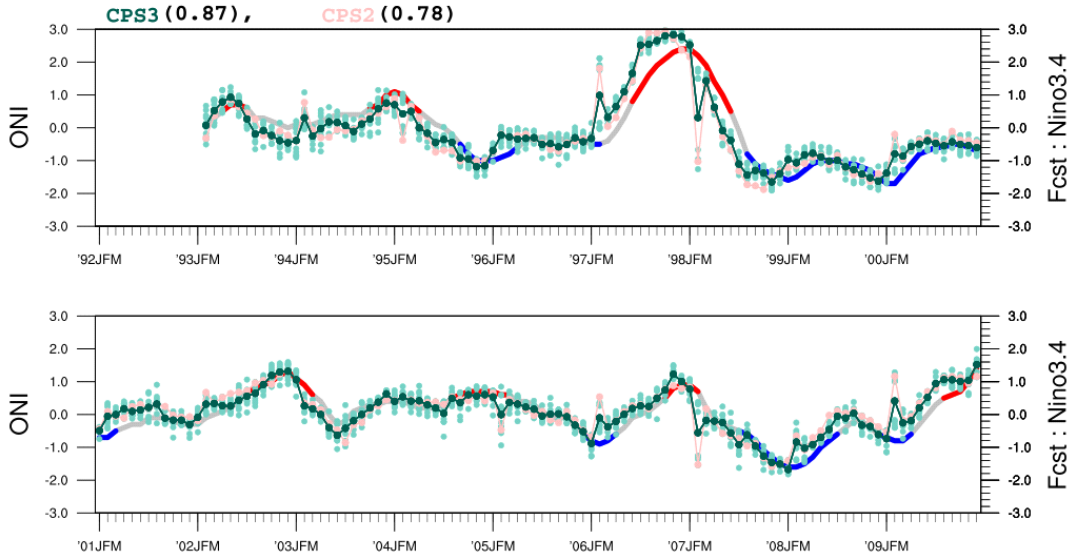


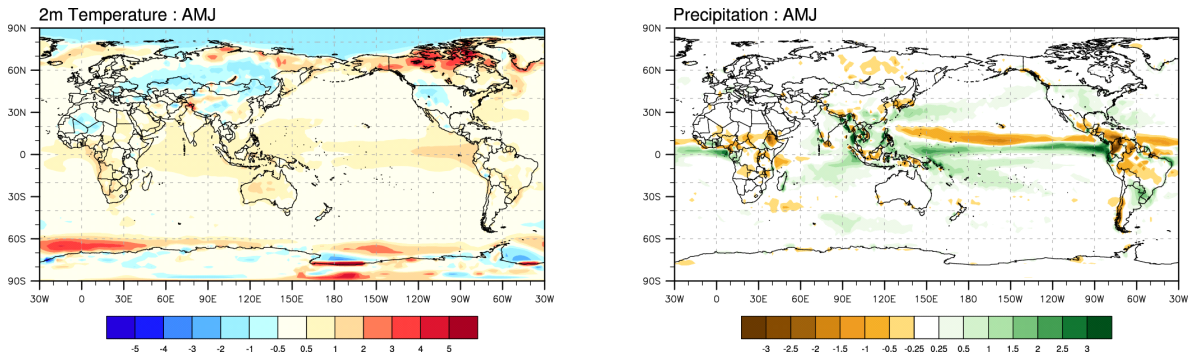
Figure 124. NINO3.4 forecast from CPS2 and CPS3 for the periods of 1993-2009.

Table 28. Model descripition of long-range forecast system from GPC Tokyo.

	February 2010	February 2022
Is it a coupled forecast system?	Yes	
Is it a Tier-2 forecast system?	No	
Atmospheric model resolution	TL95L40 (1.875°, 40 levels)	TL319 (approx. 55km), 100 vertical layers
Ocean model (if applicable)	MRI.COM:1.0° in longitude, 0.3°-1.0°in latitude, 50 levels	0.25ºx0.25º on a tripolar grid, 60 vertical layers
Source of atmospheric initial conditions	JRA-25/JCDAS (Japanese 25-year Reanalysis/JMA Climate Data Assimilation System)	Operational forecast: JMA's Global Analysis (Hybrid LETKF/4DVAR system) Hindcasts: JRA-3Q
Source of ocean initial conditions	MOVE/MRI.COM-G (Ocean Data Assimilation)	JMA's MOVE/MRI.COM-G3 (Ocean 4DVAR system)
If Tier-2, what is the source of SST predictions?	N/A	
Hindcast period	1979-2010	Dec1990-Dec2020
Ensemble size for the hindcasts	10 members (from 2 different initial dates, the middle and end of each month)	10 (5 members with 15-day Lagged Average Forecast)
How is the hindcast ensemble configured?	Combination of Breeding of Growing Modes (BGM) and Lagged Average Forecast (LAF) methods	Atmosphere: BGM and SPPT, Ocean: Ensemble perturbations approximating analysis error covariances using minimization histories
Ensemble size for the forecast	51 members (from 6 different initial dates, every 5 days)	5 per day
How is the forecast ensemble configured?	Combination of Breeding of Growing Modes(BGM) and Lagged Average Forecast (LAF) methods http://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/products/model/outline/longrange.html	Atmosphere: BGM and SPPT, Ocean: Ensemble perturbations approximating analysis error covariance using minimization histories
Length of forecasts	7 months	7 months
Data format	GRIB 2	Grib2
What is the latest date predicted anomalies for the next month/season become available?	About 25th of the current month	5 member ensemble is available everyday
How are the forecast anomalies constructed?	Departures from the model climate estimated by the hindcast integrations	Calculate anomalies against daily normal baseline data sampled from 30-year hindcast data with linear interpolation of nearest (before/after) 2 days.
URL where forecast(maps) are displayed	http://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/products/model/index.html	https://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/products/model/index.html
Point of Contact	Mr. Yuhei Takaya (ytakaya@met.kishou.go.jp)	Mr. Takuya KOMORI komori@met.kishou.go.jp

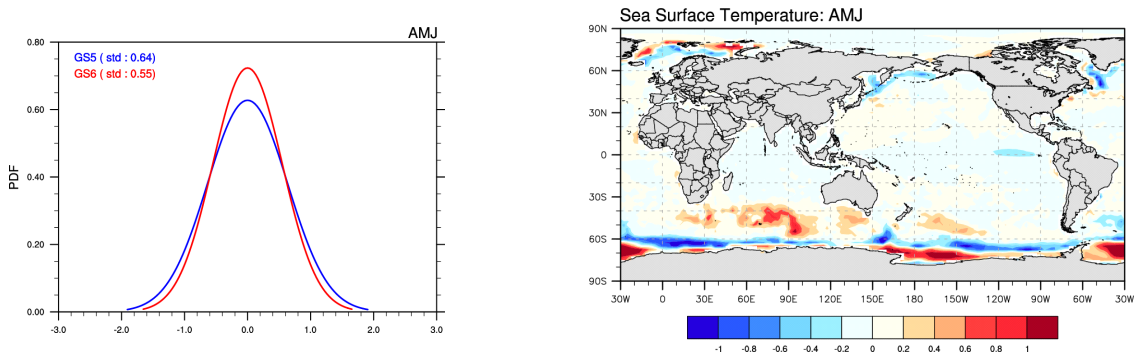
② GPC Seoul 개선

GPC Seoul은 2022월 3월 GS5에서 GS6GC3.2로 계절 예측 모델이 개선되었다. 개선된 GS6GC3.2는 기존 GS5와 대기모델과 해양모델은 동일하나 기존 해양 모델의 초기장은 Met Office의 NEMOVAR자료를 이용하였으나, GS6GC3.2의 경우 한국기상청의 GODAPS2자료를 하게 되었다. 또한 기존에 비해 hincast 기간의 변동(1991~2016→1993~2016)이 있다(Table 29). GPC Seoul은 2022년 12월 (2022DJF)부터 forecast와 hindcast 앙상블 개수를 변경하여 WMO 장기예보 선도센터에 제공하고 있다. hindcast의 경우, 1일, 9일, 17일, 25일 각 3개의 앙상블을 생산하던 것에서 각 4개의 앙상블을 생산하여 총 28개의 앙상블을 생산하고 있으며, forecast의 경우에는 기존 42개의 앙상블에서 84개로 두배 많은 앙상블 예측 자료를 생산하고 있다. Figure 125는 기온과 강수의 기후값(AMJ기간)의 차이를 나타낸다. GS5보다 시베리아 지역과 극지역에서 기온을 높게 모의하는 반면 알레스카지역과 적도지역은 낮게 모의하는 특징이 있다. 그리고 Figure 126은 GS5와 GS6GC3.2의 해수면온도 확률밀도분포와 표준편차의 공간적 차이를 나타낸다. GS6는 GS5보다 SST 및 기온의 표준편차가 작은 특징을 가지며 이는 Real-Time Forecast 확률예측에서 Above Normal과 Below Normal로 표현될 가능성이 높음을 의미한다.



(a) (b)

Figure 125. Difference of climatology for (a) 2m temperature and (b) precipitation in AMJ from GPC Seoul's seasonal forecast.



(a) (b)

Figure 126. (a) PDF distribution and (b) the difference of standard deviation of SST in AMJ from GPC Seoul's seasonal forecast.

GPC Seoul은 hindcast자료를 매달 생산하여 전 계절에 대한 hindcast자료를 수집할 수 없다. 따라서 AMJ에 한정하여 Hindcast 기간에 대한 ACC 예측력 검증을 수행하였다. GS6은 GS5에 비해 기온 및 강수 변수에 대해 AMJ 기간동안 전구 ACC는 0.01의 예측력 상승을 보였으나 (Figure 127), 여전히 MME에 비해 기온은 0.07, 강수량은 0.06 낮은 예측력을 보인다. Figure 127에 나타낸 GS6GC3.2의 ACC의 공간분포는 GS5 및 타 계절예측모델과 유사한 패턴을 보인다. 일반적으로 기온은 태평양 및 인도양 부근의 예측력이 높게 나타났으며, 강수량은 적도 태평양 일부지역에서 높은 예측력을 기대할 수 있다.

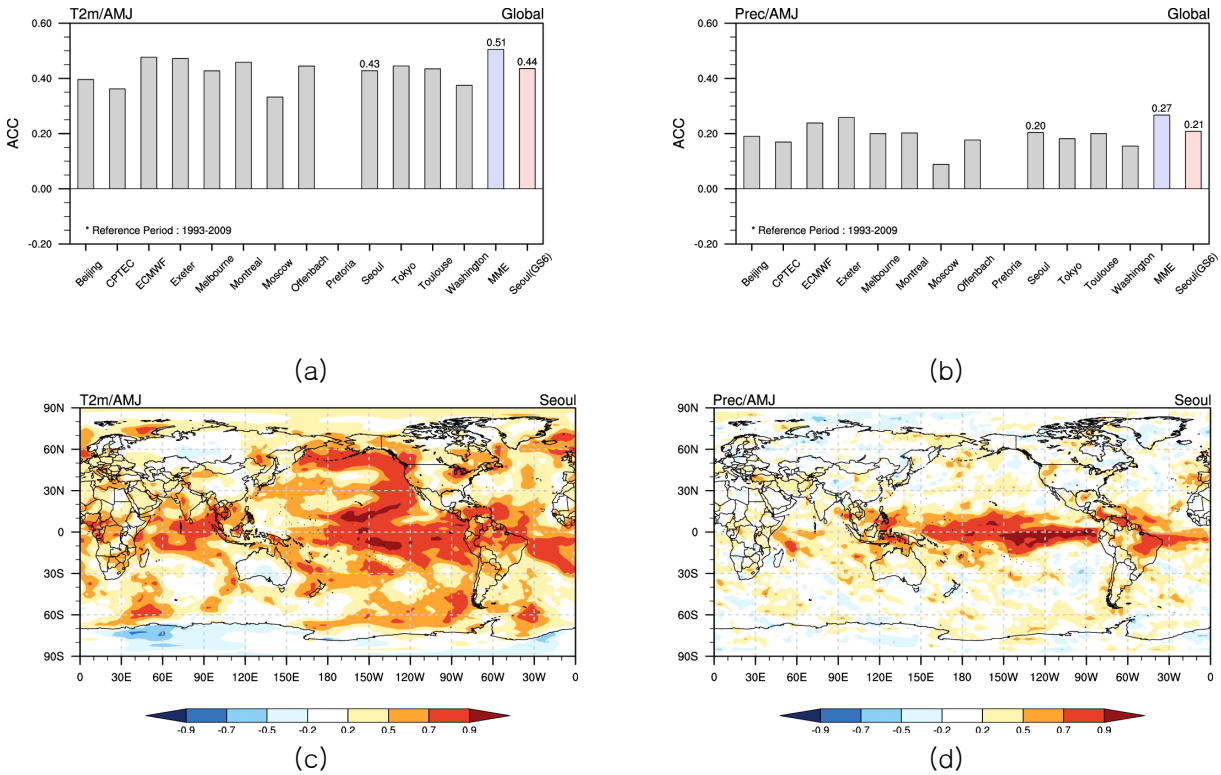


Figure 127. ACC aggregated over globe and spatial distribution of ACC of (a, c) 2m temperature and (b, d) precipitation for GPC Seoul's seasonal forecast system in AMJ season for the periods 1993-2009.

Table 29. Model descripition of long-range forecast system from GPC Seoul.

	Glosea5GC2 May 2016	Glosea6GC3.2 November 2022
Is it a coupled forecast system?	Yes	
Is it a Tier-2 forecast system?	No	
Atmospheric model resolution	UM: N216L85 0.83 lon x 0.56 lat x 85 levels	
Ocean model (if applicable)	NEMO: eORCA025L75 eORCA Tri-polar grid at 0.25, 75 levels	
Source of atmospheric initial conditions	Forecasts : KMA NWP Hindcasts : EAR-Interim	
Source of ocean initial conditions	Global Ocean Data Assimilation System(NEMOVAR) from Met Office	Forecasts : KMA GODAPS2 (Global Ocean Data Assimilation System v2) Hindcasts : UKMO ODA Reanalysis
If Tier-2, what is the source of SST predictions?	N/A	
Hindcast period	1993-2016	
Ensemble size for the hindcasts	12 members (from 4 different start dates)	28members (from 4 different start dates)
How is the hindcast ensemble configured?	Lagged approach, 3 members per start date on the 1st, 9th, 17th, and 25th, of each calendar month. All 3 member share the same initial conditions and differ only due to schemes to represent model uncertainties	Lagged approach, 7 members per start date on the 1st, 9th, 17th, and 25th, of each calendar month. All 7 member share the same initial conditions and differ only due to schemes to represent model uncertainties
Ensemble size for the forecast	42	84
How is the forecast ensemble configured?	Lagged approach, 2 members per each date	Lagged approach, 4 members per each date
Length of forecasts	6months	
Data format	Grib2	
What is the latest date predicted anomalies for the next month/season become available?	13th of the month	
How are the forecast anomalies constructed?	Departures from the model climate estimated by the hindcast integrations	
URL where forecast(maps) are displayed	http://www.wmolc.org/~GPC_Seoul	
Point of Contact	Dr. Suhee Park (suhee@korea.kr)	Ms. Juyon Lim (anisse@korea.kr)

③ GPC Moscow 개선

GPC Moscow는 2022년 11월부터 개선된 계절예측모델 자료를 제공하였다. 기존 계절예측 시스템에서 개선된 계절 예측 시스템은 hindcast 기간이 1981~2010년에서 1991~2015년까지 확장되어 최근의 기후변동성을 반영하고자 하였다. 대기모델의 hindcast 초기장은 NCEP Reanalysis 2에서 HMCR 3D 자료로 변경되었으며, 공간해상도는 1.125° lat × 1.40625° lon (28L)에서 0.9° lonx0.72° lat(L96)로 보다 상세화 되었다. hindcast의 앙상블 개수는 기존의 10개에서 11개로, forecast는 기존 20개에서 41로 변경되어 보다 많은 초기장 불확실성을 반영할 수 있게 되었다. 이에 대한 상세한 정보는 Table 30에 나타내었다. Figure 128는 기온과 강수의 기후값(NDJ기간)의 차이를 나타낸다. 개선된 GPC Moscow의 계절예측 모델은 기존 계절예측 모델에 비해 시베리아 지역과 알레스카 지역은 기온을 낮게 극지역은 기온을 높게 모의하는 특징이 나타났다. 그리고 강수는 서태평양과 인도양 부근에서 과대 모의하는 하였다. 그러나 이러한 특징은 NDJ기간에 한정될 수 있으므로 Hindcast fullset이 수집되는 시점 (2023년 11월경)에 전체 계절에 대해 재분석을 수행하여 그 특성을 파악할 필요가 있다. 그리고 Figure 129는 GPC Moscow의 계절예측 모델 개선 전후의 해수면온도 확률밀도분포와 표준편차의 공간적 차이를 나타낸다. 해수면 온도의 경우, 모델 개선 전·후 확률 밀도함수에서는 큰 차이가 없음을 알수 있다. Figure 130은 hindcast NDJ기간의 ACC 예측력 비교 검증 결과이다. 신규 계절예측 모델 기온 및 강수, NDJ 기간의 전구 ACC는 기존 모델에 비해 0.02, 0.03의 예측력 상승을 보였으며, MME에 비해 여전히 기온은 0.12, 강수량은 0.13 낮은 예측력을 보인다. 개선된 GPC Moscow 계절예측 모델의 ACC 공간 분포는 Figure 130에 나타낸 것과 같이, 기존 모델 및 타 계절예측모델과 유사한 패턴을 보이나 ACC가 증가하는 지역이 확장되었다. 기온은 알레스카만을 포함한 북태평양 지역과 극지역의 예측력 상승이 두드러져 나타난 반면, 강수량은 적도 동태평양에 한정되었던 높은 ACC지역이 중태평양까지 확장하여 나타났으며, 기존 계절 예측모델과 달리 Maritime Continent를 포함한 서태평양 지역 일부지역에서의 높은 예측력을 기대할 수 있을 것으로 보인다.

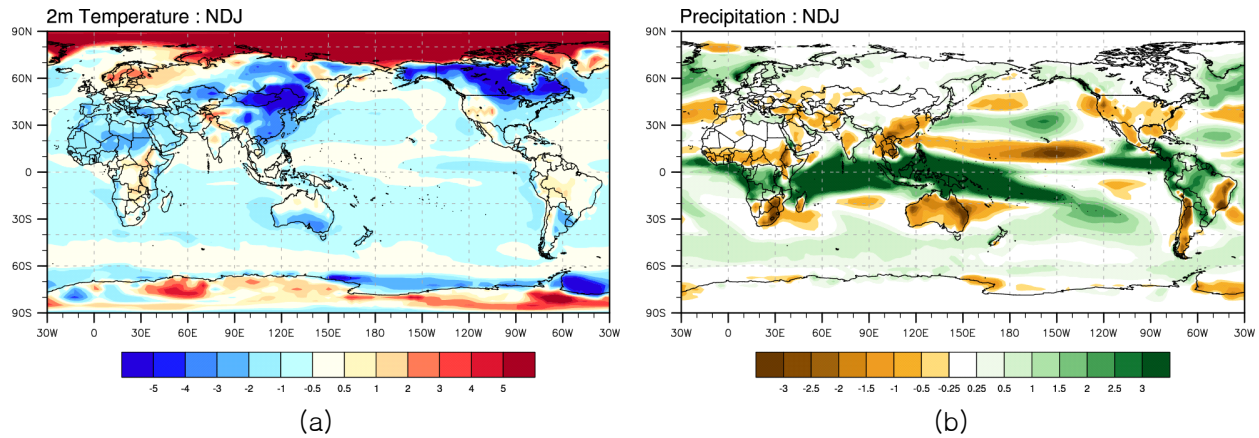


Figure 128. Difference of climatology for (a) 2m temperature and (b) precipitation in NDJ season for GPC Moscow's seasonal forecast system.

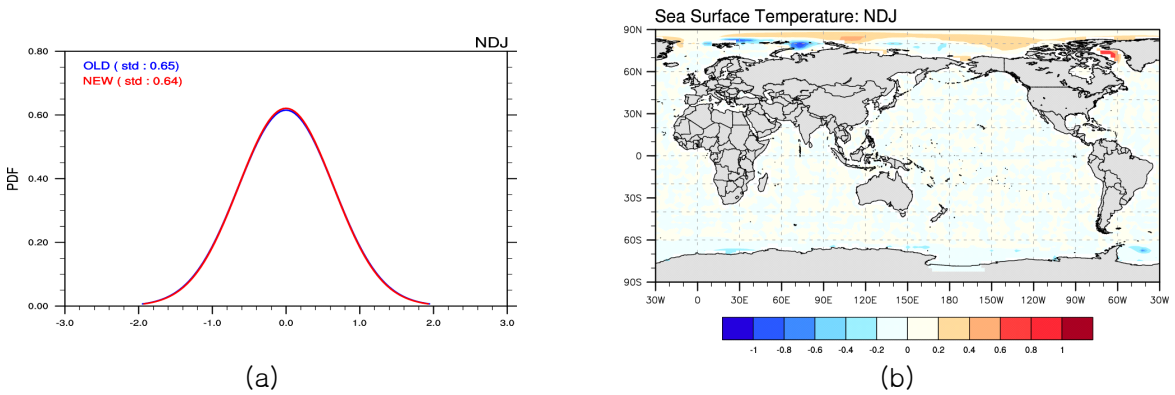


Figure 129. (a) PDF distribution and the difference of standard deviation of SST in NDJ season for GPC Moscow's seasonal forecast system.

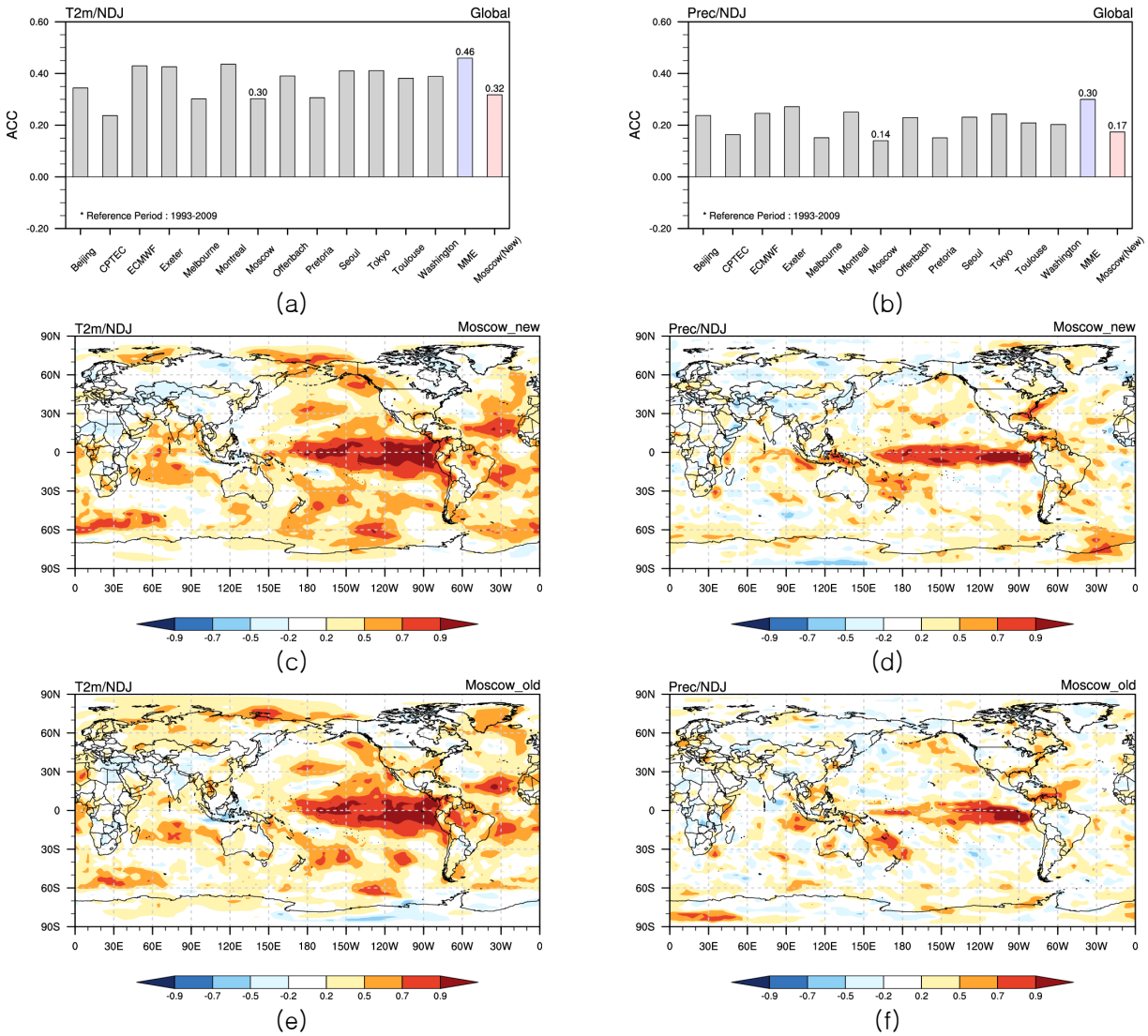


Figure 130. ACC aggregated over globe and spatial distribution of ACC of (a, c) 2m temperature and (b, d) precipitation for GPC Moscow's new seasonal forecast system in NDJ season for the periods 1993-2009. (e) and (f) are the same except for GPC Moscow's previous seasonal forecast system.

Table 30. Model descripition of long-range forecast system from GPC Moscow.

	April 2012	October 2022 (DJF2022 forecast in WMOLC)
Is it a coupled forecast system?	No	
Is it a Tier-2 forecast system?	Yes	
Atmospheric model resolution	Semi-Lagrangian, 1.125° lat × 1.40625°lon, 28 vertical levels	0.9°lonx0.72°lat, 96 vertical levels
Ocean model (if applicable)	N/A	
Source of atmospheric initial conditions	NCEP Reanalysis 2 (hindcast) / HMC data assimilation system (forecast)	Operational HMCR 3D-Var analysis for upper-air fields; OI analysis for screen-level temperature and humidity; simplified extended Kalman filter for soil moisture
Source of ocean initial conditions	N/A	
If Tier-2, what is the source of SST predictions?	persistent SST and sea-ice anomalies	
Hindcast period	1981-2010	1991-2015
Ensemble size for the hindcasts	10	11 members for each year (total number of hindcasts 275)
How is the hindcast ensemble configured?	2 per day	breeding; SPP in the model is partially activated
Ensemble size for the forecast	20	41
How is the forecast ensemble configured?	Original and perturbed (breeding of fast growing modes) analysis fields from the date 2 days prior to current month	breeding (the same procedure as for hindcast ensemble, only the number of members differs); SPP in the model is partially activated
Length of forecasts	4 months (seasonal/three month forecast with one month lead time)	135 days
Data format	GRIB 1	GRIB2
What is the latest date predicted anomalies for the next month/season become available?	30th of the month prior to current. For example, forecast for JJA is available on 30th of April	Friday
How are the forecast anomalies constructed?	Forecast minus model climatology from hindcasts	
URL where forecast(maps) are displayed	http://wmc.meteoinfo.ru	
Point of Contact		Mikhail Tolstykh (mtolstykh@mail.ru)

(다) WMO 장기예보 선도센터 기후예측자료 활용성 증대를 위한 국내·외 협력 업무

① 지역기후포럼 (Regional Climate Outlook Forum)

WMO 장기예보 선도센터는 기후예측자료 활용성 증대시키고 국제 협력을 통해 WMO 장기예보 선도센터의 국제적 입지를 강화시키기 위해 노력하고 있다. 그중 하나가 WMO 주관으로 지역별 기상청과 전문가들이 합의된 기후 전망을 제시하고, 이와 관련된 다양한 응용 분야(농업, 식량안보, 수자원, 공중보건 등)의 전문가와 의견을 교환하기 위해 마련되는 다양한 지역기후포럼 (Regional Climate Outlook Forum, RCOF)에 참석하는 것이다. 2012년부터 매년 다양한 지역기후포럼에 APCC와 기상청의 기후예측과에서 참석하여 WMO 장기예보 선도센터의 MME 예측결과를 지역 전문가들과 공유하고 있으며, 2022년에는 2019년부터 시작된 COVID-19의 전 세계적인 유행으로 인해 온라인 회의로 진행되었다. 올해 WMO 장기예보 선도센터는 총 3개의 지역기후포럼에 MME 기후 예측정보를 제공하였다(Table 31). 상반기에는 남아시아 지역의 여름철 기후전망을 위해 개최된 SASCOF-22 (22nd South Asian Climate Outlook Forum)에 참석하여 WMO 장기예보 선도센터 MME 예측정보와 그동안 진행된 WMO 장기예보 선도센터의 개선사항을 발표하였다. SASCOF는 Asian southwest와 northeast 몬순 기후의 영향을 받는 지역의 기후전망을 위한 회의로 2010년부터 매년 개최되고 있다. 제22차 SASCOF와 하반기에 개최된 제 23차 SASCOF는 인도기상청(IMD, Indian Meteorological Department), 세계기상기구(WMO, World Meteorological Organization), 영국기상청(UKMO, UK Met Office)와 Regional Integrated Multi-hazard Early-warning System(RIMES)이 공동으로 개최되었으며, 남아시아지역 9개국(Afghanistan, Bangladesh, Bhutan, India, Maldives, Myanmar, Nepal, Pakistan, Sri Lanka)의 기상청 관계자 뿐만 아니라 WMO 장기예보 선도센터, International Research Institute for Climate and Society(IRI), Japan Meteorological Agency(JMA), WMO Regional Climate Centre(RCC) Pune, Indian Institute of Tropical Meteorology(IITM) 등 약 50명이 참석하여 Southwest 몬순에 영향을 미치는 기후인자 (El Nino-Southern Oscillation(ENSO), Indian Ocean Dipole(IOD), 북반구 눈덮임)와 Southwest 몬순 시기 또는 Northeast 몬순 시기의 기후전망에 대한 의견을 공유하였다. SASCOF회의에서 주최측인 인도기상청은 남아시아 지역의 많은 국가에서 WMO 장기예보 선도센터 자료를 국가 장기예보 생산과정에 많이 활용하고 있으며, 홈페이지 또한 사용자가 계절예측자료에 쉽게 접근 할 수 있어 많은 도움을 받고 있다고 특별히 WMO 장기예보 선도센터에 감사인사를 전했다. Figure 131은 실제 SASCOF 참여 당시 미얀마, 네팔, 스리랑카 등의 국가에서 예보 전망을 발표할 때 WMO 장기예보 선도센터 계절예측 정보를 활용하고 있음을 나타내는 발표자료의 예시이다. 하반기에는 ASEANCOF-19 온라인 회의에 참석하여 WMO 장기예보 선도센터에서 생산된 MME 계절 예측정보를 발표하고 지역의 각국 기상청 참석자와 세계 유수의 계절 예측 생산 기관의 참석자와 지역의 기후전망에 대한 의견을 공유하고 계절예측 정보 활용 사례를 공유하고 의견을 교환하였다. ASEANCOF는 아세안 지역의 기후전망을 위한 회의로 2013년부터 매년 개최되고 있다. 제19차 ASEANCOF는 동남아시아 9개국(Brunei Darussalam, Cambodia, Lao PDR, Myanmar, Malysia, Singapore, Philippines, Thailand, Viet Nam) 기상청 관계자가 참석하였으며, 이외에도 Bureau of Meteorology(BOM), Japan Meteorological Agency(JMA), European Centre of Medium-Range Weather Forecasts(ECMWF), UK Met Office(UKMO), WMO 등 약 40명이 참석하여 Northeast 몬순에 영향을 미치는 기후인자 (El Nino-Southern Oscillation(ENSO), Indian Ocean Dipole(IOD))와

Northeast 몬순 시기의 기후전망에 대한 의견을 공유하였다. 회의 참가 영상과 WMO 장기예보 선도센터에서 발표한 기후전망 자료의 예시를 Figure 132에 나타내었다. 그리고 이번 ASEANCOF에서 말레이시아, 미얀마, 태국 등의 아세안 지역 기상청 또한 WMO 장기예보 선도센터 계절예측 정보를 참고자료로 활용하고 있음을 확인하였다 (Figure 133). UKMO는 ASEANCOF에서 기후전망 발표시 Glosea6 모델 자료가 아닌 WMO 장기예보 선도센터 다중모델 앙상블 예측결과를 활용하여 아세안 지역의 기후전망을 발표하였다.

Table 31. The list of RCOF in 2022.

RCOF	Place	Date
22nd South Asian Climate Outlook Forum(SASCOF-22)	Online	26, April
23rd South Asian Climate Outlook Forum(SASCOF-23)	Online	26, September
19th ASEAN Climate Outlook Forum (ASEANCOF-19)	Online	21, November

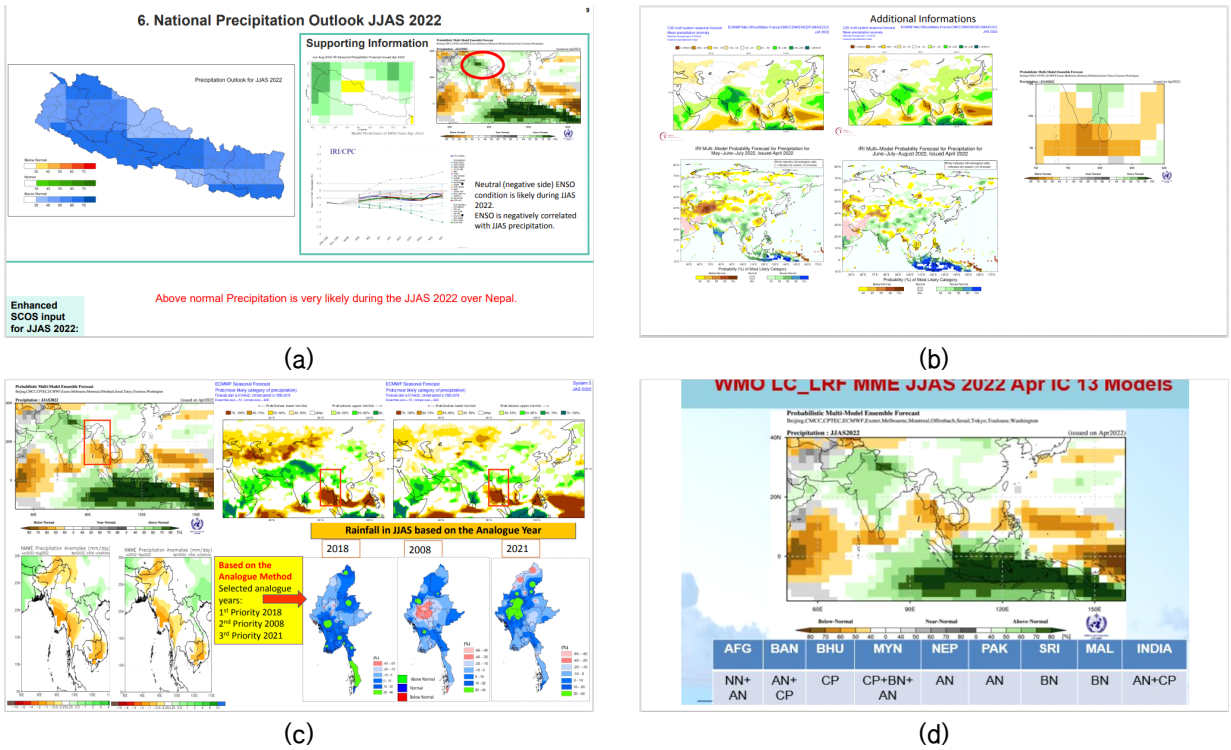
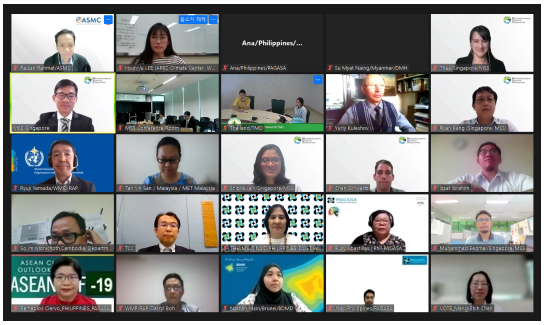
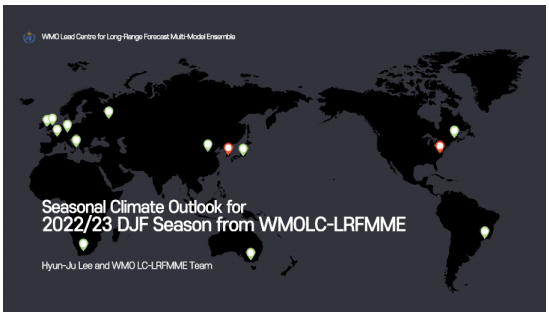


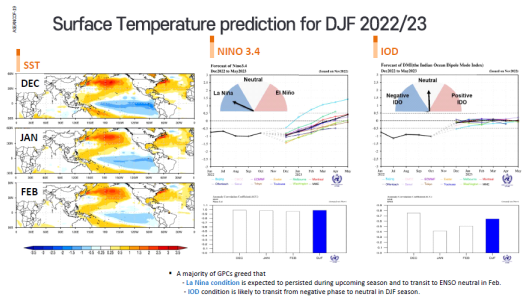
Figure 131. Examples of the use of seasonal climate information from WMOLC-LRFMME (I).



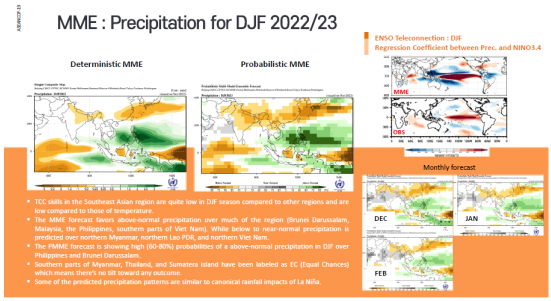
(a)



(b)

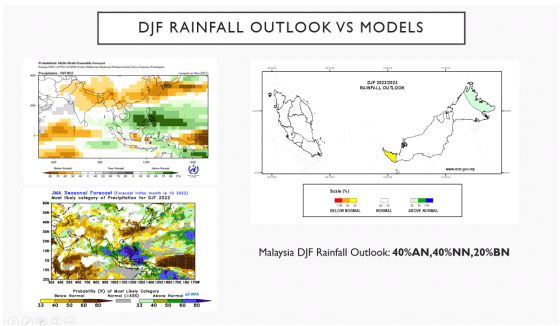


(c)

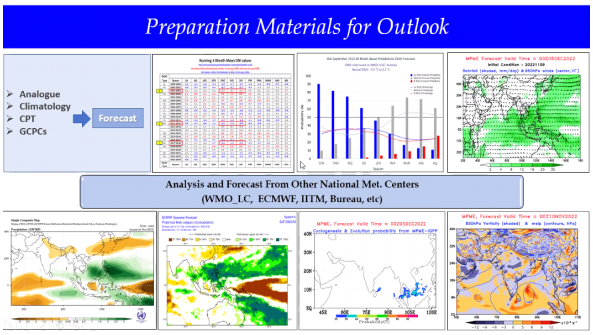


(d)

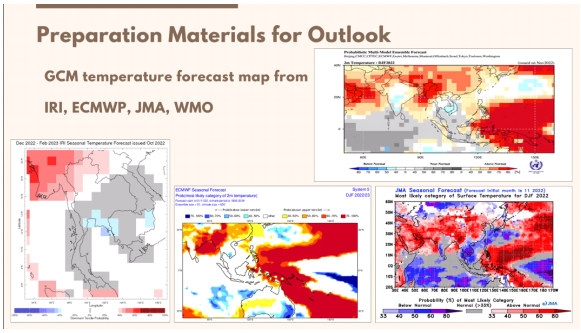
Figure 132. (a) Official photo from the ASEANCOF-19 and (b), (c), and (d) are examples of presentation that were delivered on ASEANCOF-19.



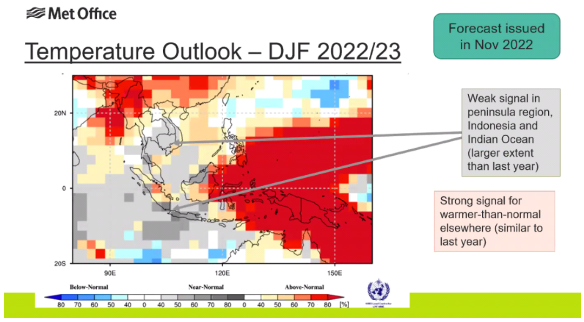
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 133. Examples of the use of seasonal climate information from WMOLC-LRFMME (II).

② 기타 기상청 기후예측과와의 협력 사항

APCC와 기상청 기후예측과 간의 원활한 업무 협력을 위해서 매월 초에 지난달 WMO 장기예보 선도센터 운영에 관한 운영 보고서를 작성하여 기상청 기후예측과 및 APCC 감독부서인 국립기상과학원 기후연구부에 제공하고 있다. 보고서에는 WMO 장기예보 선도센터 현업시스템 및 서버 운영상의 특이 사항, 홈페이지 이용 현황 및 WMO 장기예보 선도센터 예측자료 제공 실적 등을 포함하고 있다. 2022년 12월 현재 WMO 장기예보선도센터 홈페이지는 총 90개국에서 총 460명의 회원이 이용하고 있으며, 2021년과 비교해 21명의 신규회원이 추가되었다. 그 중 WMO 장기예보 선도센터 홈페이지의 2022년 월별 이용 현황을 Figure 134에 나타내었다.

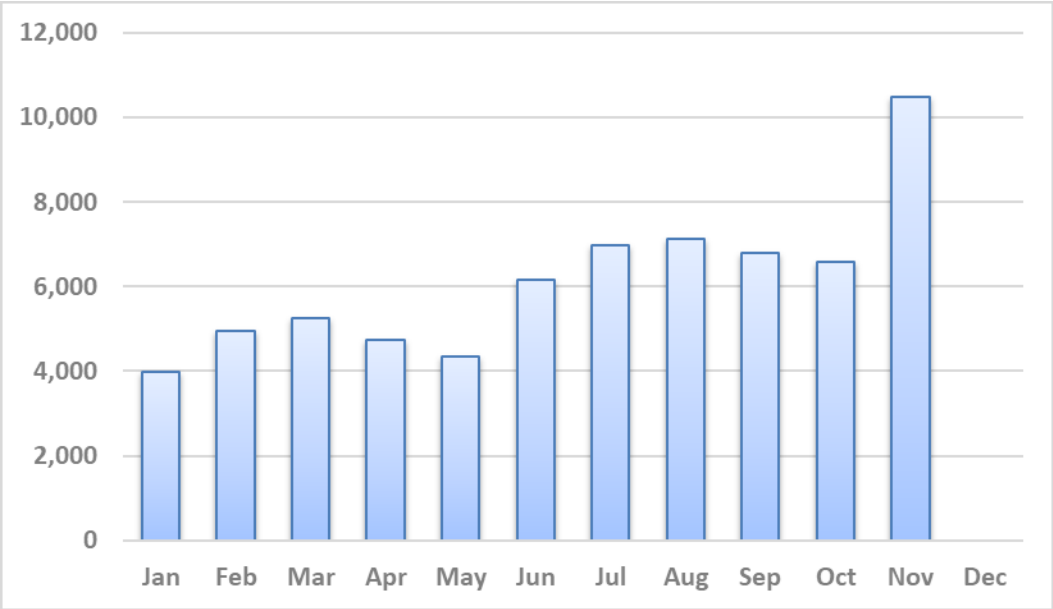


Figure 134. The number of monthly visitors of WMO LC-LRFMME website in 2022.

기상청에서는 「개인정보 보호법」 제 31조제2항제2호(개인정보 처리 실태 및 관행의 정기적인 조사 및 개선), 제6호(개인정보파일의 보호 및 관리·감독)에 따라 개인정보보호 수준 향상과 인식 제고를 위하여 기상청 및 산하기관의 개인정보 관리체계와 침해예방 활동 등을 주기적으로 점검하고, 개인정보처리시스템 등에 대한 접근권한이 없는자가 접근 통제 및 관리체계 강화를 통해 개인정보 분실, 도난, 유출, 위조, 변조 또는 훼손방지를 위해 개인정보처리시스템 접근 권한 관리 기준을 마련하여 정기적으로 점검하고 있다 (월, 분기별). 따라서 WMO 장기예보 선도센터 홈페이지의 개인정보처리시스템 접근 권한 및 사용자 정보 조회 및 변경 내역점검을 매월 그리고 반기별로 수행하여 개인정보 관리 실태를 자체적으로 점검하고 있으며 점검 결과는 기상청 기후예측과에 제공하고 있다.

또한 7월에는 WMO에서 진행중인 GDPFS(Global Data-processing and Forecasting System) 준수 가이드 마련을 위한 사전 준비로 체크리스트를 시험적으로 작성하여 기상청과 WMO측에 공유하였다. WMO 장기예보 선도센터는 기상청 기후예측과 및 WMO와의 서로 긴밀한 협력관계 형성를 통해 WMO 장기예보선도센터의 국제적 위상을 제고를 위해 노력하고 있다.

(라) WMO 장기예보 선도센터 예측 시스템 개선 용역 사업 지원

① 목적 및 기대효과

앞서 언급한 것과 같이, WMO 장기예보 선도센터는 2009년 4월 한국 기상청과 미국 기상청 (GPC Washington)의 공동 운영 형태로 지정되면서 2021년 현재 전 세계 14개 GPC가 생산하는 장기 예측자료를 수집・표준화하고, 표준화된 GPC 자료 및 다중모델앙상블 (Multi-Model Ensemble, MME) 예측자료를 WMO 회원국에 제공하는 역할을 수행해 오고 있다. 현재 WMO 장기예보 선도센터 예측시스템은 자료처리 기술, 웹 시스템 기술, 데이터베이스 기술을 종합적으로 적용하여 운영하고 있으며, 사용자 맞춤형 예측정보 제공 서비스 구현, 기후 모델의 추가 등에 따른 서비스 확대, 최신 기술 적용 및 관리 방안의 개선을 통해 전 세계 WMO 회원국에 장기예보 자료를 제공하는 기본 업무를 보다 안정적으로 수행할 필요성 요구됨에 따라 2017년부터 WMO 장기예보선도센터 시스템 개선을 위한 용역과제를 기상청에서 발주하고 있으며, APCC는 WMO장기예보선 도 시스템 개선 용역의 실무적인 기술적 지원을 수행하고 있다. 2022년에는 “WMO 장기예보 선도센터 시스템 기능강화 (I) 용역 사업이 4월부터 11월까지 약 7개월 동안 진행되었으며, 용역사업의 범위는 아래와 같이 크게 3개로 구분되어 진행되었다. 특히 올해는 WMO 장기예보 선도센터 홈페이지내에 표출되는 계절예측 정보의 가시화 개선을 통해 기후 정보를 보다 빠르게 해석하고 판단할 수 있도록 개선하였다. 상세한 내용은 다음절에 서술하였다.

- 사용자 맞춤형 기후정보 제공 개선
- 현업자료 처리 기능 개선
- 웹서비스 편의성 개선 및 관리기능 개선

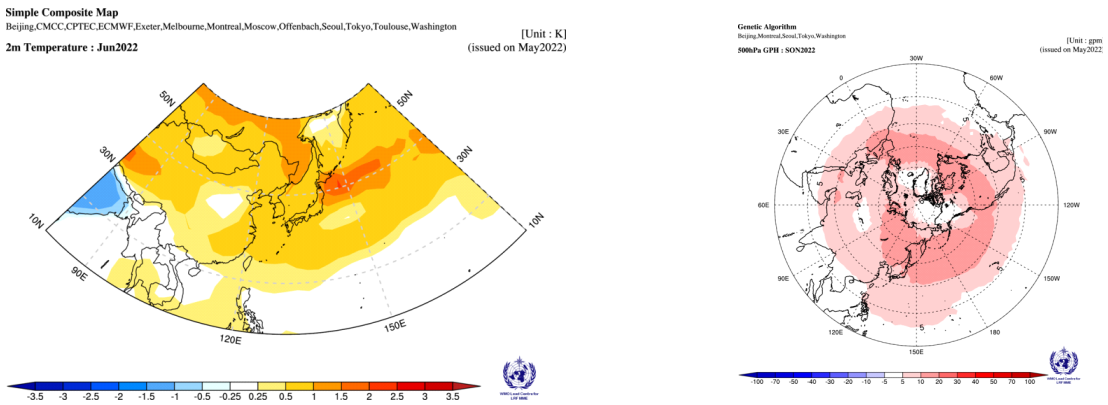
WMO 장기예보 선도센터 예측 시스템 기능강화 용역 사업 수행으로 WMO 장기예보 선도센터 시스템 개선에 따라 전세계 회원국 사용자에게 안정적으로 품질 높은 서비스를 제공할 수 있을 것으로 보이며, WMO 장기예보 선도센터 기후예측 자료 활용도 또한 증대시킬 수 있을 것으로 기대된다. 또한 WMO 장기예보 선도센터에 자료를 제공하는 GPC와의 국제적 협업 체계를 강화할 수 있을 것으로 기대된다.

② 사업 수행 내용

- 사용자 맞춤형 기후정보 제공 개선

WMO 장기예보 선도센터의 결정론적, 확률론적 다중모델 앙상블 계절예측정보 표출시스템은 Rectangular 형태의 Map projection에 대해서만 계절예측 정보를 제공하고 있으며, 다중모델 앙상블 계절예측에 참여하는 개별 GPC의 계절예측정보는 Stereographic과 Rectangular 두 Map projection으로 표출되었다. 보다 다양한 Map projection에 대해 계절 예측 정보를 표출하여 사용자 친화적인 웹서비스를 제공하기 위해 타 기관(ECMWF, NCEP)에서 제공하는 Map Projection을 참고하여 최종적으로 Lambert Conformal Conic, Polar Stereographic 방식의 Map projection 표출을 제안하였다. 이를 바탕으로 결정론적 다중모델 앙상블 예측 내 모든 메뉴(SCM, RMR, SVD, GA)에 대해서 Lambert Conformal Conic, Polar Stereographic를 추가하여 사

용자가 다양한 Map projection에서 원하는 Map projection을 선택하여 계절예측 정보를 표출할 수 있도록 하였다. 극 지역의 경우, 기존에 제공하고 있던 Rectagular 형태의 Map Projection은 위도에 따른 계절예측정보의 왜곡으로 정확한 계절예측 정보를 파악하는데 어려움이 있었다. 따라서 다중모델앙상블 계절예측 정보를 Stereographic 형태의 Map projection으로 제공함으로서 Arctic Regional Climate Cententre Network과 캐나다, 러시아 등 고위도 지역의 기후전망시 도움이 될 것 으로 보인다. Figure 135는 새롭게 추가된 Map projection에 대한 계절예측 그래픽 예시이다. 실제 WMO 장기예보 선도센터 홈페이지 표출 메뉴는 Figure 136과 같다.



(a) (b)

Figure 135. Samples of (a) Lambert Conformal projecion and (b) Stereographic projection.

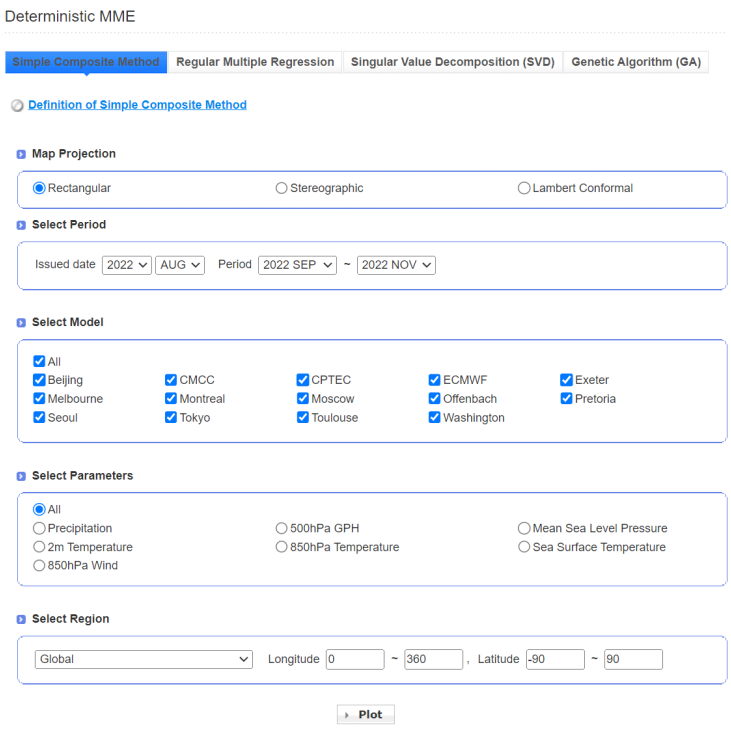


Figure 136. Web design of map projection menu in WMOLC-LRF website.

WMO 장기예보 선도센터에 참여하고 있는 개별 GPC의 계절예측모델은 3개월 이상의 선행시간을 가진다. 그러나 WMO 장기예보 선도센터 홈페이지에서 제공되는 개별 GPC의 기후예측 정보는 3개월고 고정되어 사용자들의 긴 선행시간의 예측정보를 확인 하지 못하는 불편함을 유발하였다. 이를 개선하기 위해 본 용역과제에서는 각 모델별 선행시간을 분석하고, 분석된 예측선행시간을 바탕으로 표출시스템을 개선하도록 하였다(Figure 137). 이때 개발 프로그램은 기존 NCL이 아닌 향후 개발 확장성을 고려하여 Python으로 하였다.

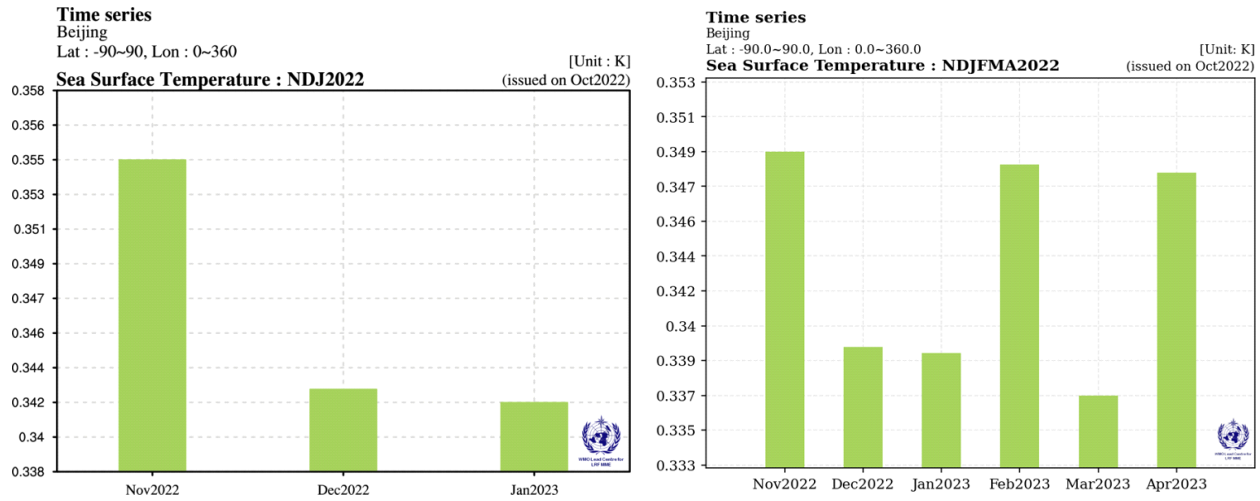


Figure 137. Samples of individaul forecast time series by (a) NCL and (b) Python.

· 현업자료 처리 기능 개선

WMO 장기예보 선도센터 계절예측 시스템은 기본적으로 기후분야에서 많이 사용하고 NCL(NCAR Command Language)과 Shell를 사용하여 개발되었다. 그러나 NCAR에서 개발된 NCL의 경우 2019년 NCL Version 6.6.2를 마지막으로 더 이상의 업데이트가 진행되지 않고 있으며, NCAR에서도 기후 자료의 분석과 표출을 위한 개발 언어로 Python을 채택하고 있다. Phython은 스크립트 언어로 컴파일 과정없이 인터프리터에 의해 실행 결과를 바로 확인하고 수정하면서 코드를 작성할 수 있는 장점을 가지며, 쉽고 간결한 문법 덕분에 빠르게 개발이 가능하면 더 적은 코드로 많은 작업을 수행할 수 있다는 장점을 가진다. 또한 다른 언어나 라이브러리에 쉽게 접근해 연동이 가능하여 높은 확정성과 이식성을 가지는 특징이 있다. 따라서 WMO 장기예보 선도센터 계절예측 시스템도 Python개발언어로 시스템을 변경하여 향후 개발의 용이성과 확장성을 확보하려 하였다. 그 일환으로 2022년에는 14개 GPC의 기후예측자료 표준화를 위한 전처리 프로그램을 Python으로 변경하였다. 표준화 계산 프로그램에서 공통되는 4가지 (forecast, hindcast, climate, anomaly) 기능별 프로그램을 설계하고 변수 정도와 표준화에 필요한 공통 모듈을 구성하여 시스템관리의 편의성을 확보하였다. 데이터 처리 속도를 개선하여 기존 NCL 프로그램 대비 Python 프로그램의 표준화 수행 시간이 약 2.7배 개선되었다.

· 웹서비스 편의성 개선 및 관리기능 개선

향후 WMO 장기예보 선도센터의 개선 방향 수립을 위해 WMO 장기예보 선도센터 홈페이

지 사용자 의견 및 요구 사항을 수렴하는 등 웹서비스 현황분석을 통한 개선방안을 제시하는 내용도 과업에 포함되었다. 이를 위해 과업에서는 홈페이지 사용자 의견 및 요구사항 수렴을 위해 기존의 서비스 수준 진단 설문 항목을 재검토하여 구체적인 서비스 만족도 파악을 위해 전반적인 만조도를 묻는 항목을 포함하여 6가지 (자료 사용 목적, 컨텐츠, 메뉴 레이아웃, 웹사이트 뒤로가기 기능, 컨텐츠 일관성, 사용자 편의성) 세부 만족도을 묻는 문항을 추가하여 웹서비스 만족도 조사 항목을 개선하였으며, 설문 문항의 순서 또한 재배열 하였다. 현재 WMO 장기예보 선도센터 웹페이지에서 제공하고 있는 메뉴별 사용도 파악을 위해 가장 많이 사용하는 정보를 묻는 항목을 추가 설문하였다. 2022년 WMO 장기예보 선도센터 홈페이지 서비스 만족도 조사에는 총 119명이 참여하하였으며, 전반적인 서비스 만족도는 100점 만점으로 환산시 83점으로 전년 대비 0.3점 증가하였다. 사용자 편의성 항목에서는 약 50.42%의 설문 참여자가 WMO 장기예보 선도센터의 서비스가 사용자가 이용하기 쉽게 구성되어 있다고 매우 만족하는 것으로 나타났다. 설문 참여자의 약 84%가 매우만족, 만족, 약간 만족의 긍정적인 반응을 보인 것으로 보아, 2017년부터 꾸준히 사용자 편의성 증대를 위해 용역과제을 통해 기상청과 APCC가 노력한 결과로 보여진다. 향후 WMO 장기예보 선도센터에서 개선되어야 하는 부문으로 사용자 가이드 필요, 예보 지역의 다양화와 추가 변수에 대한 자료 확보, 자료 다운로드 등 활용성 강화가 필요한 항목으로 꼽았다. 이에 따라 홈페이지 접근 개선 및 사용자 가이드 제작 등을 추후에 검토할 필요가 있다.

또한 기존 WMO 장기예보 선도센터 홈페이지에는 기후지수 예측정보는 제공하고 있으나, 기후지수의 정의에 대한 정보는 사용자에게 제공하지 않았다. 따라서 사용자의 WMO 장기예보 선도센터 홈페이지의 접근성과 편의성을 증대시키고자 개별 GPC 기후예측 모델의 변경 이력 정보와 기후지수 도움말 기능을 추가하였다(Figure 138).

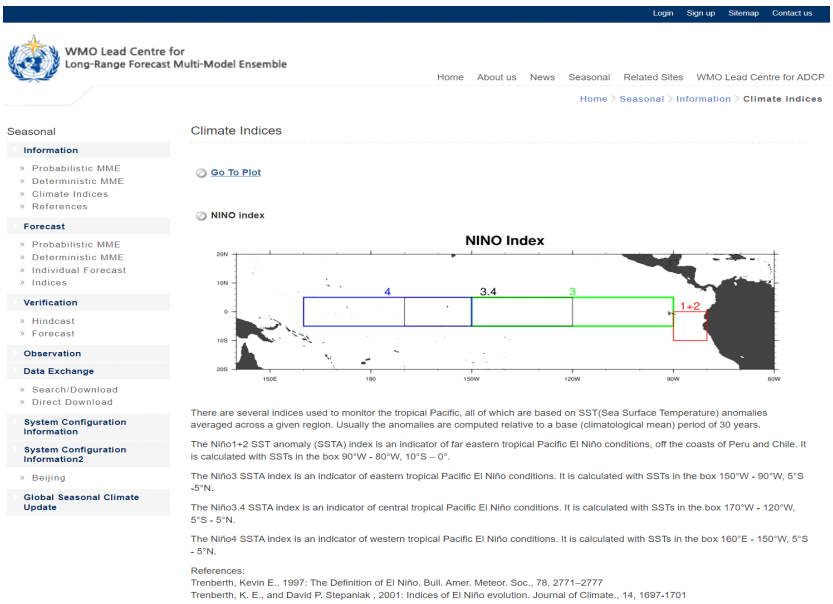


Figure 138. Web design of the definition of cliamte indices in WMOLC-LRF website.

(2) WMO S2S 국제조정사무소(ICO) 운영

세계기상기구(World Meteorological Organization, WMO)는 사회경제적 파급효과는 크지만 예측성이 취약한 계절내~계절(Subseasonal-to-Seasonal, S2S) 규모 예측능력 향상을 위해 세계기후연구프로그램 및 세계기상연구프로그램 공동으로 국제 연구 프로젝트인 S2S 프로젝트를 출범시켰다. 이에 우리나라 기상청/국립기상과학원은 S2S 예측 연구 분야의 국제 기여를 강화위해 WMO와 양해각서를 체결하고 2013년 11월부터 국립기상과학원에 WMO S2S 국제조정사무소(ICO)를 유치 · 운영하였다. 그 후 기상청, 국립기상과학원 및 APEC기후센터는 2020년 제2차 기후협력회의를 통해 WMO S2S ICO의 운영을 APEC기후센터로 이관하기로 결정하고 WMO와의 양해각서를 개정(’ 20.12.7)함으로써 APEC기후센터가 2021년 1월부터 WMO S2S ICO를 공식적으로 운영하게 되었다. 현재 S2S 프로젝트는 1단계 연구사업(’ 13~’ 18)을 성공적으로 완료하고 2단계 연구사업(’ 19~’ 23)을 추진 중에 있다.

(가) S2S 프로젝트 홈페이지 개선

S2S ICO는 S2S 프로젝트 공동 의장단 및 운영위원회의 요청에 따라 S2S 프로젝트를 보다 효율적으로 지원하기 위해 S2S 프로젝트 홈페이지를 개선하였으며, 주요 개선 사항은 다음과 같다

- 연구 수행 및 성과 활용에 적합한 다양한 코드 등을 수집하고 공유하기 위한 Github 구축
- S2S 프로젝트에 참여하는 기후모델 정보를 제공하기 위한 Model Reference Papers 메뉴 신설
- 운영위원들이 중요한 문서를 공유할 수 있는 SG/LG resources 메뉴 신설
- 8개 서브프로젝트 운영을 위한 Science Sub-project Wikis 재정비
- 지역 활동을 지원하기 위한 8개 Regional Activities Wikis 신설 및 지역 활동 관련자 전용 메일링 리스트 구축
- S2S 프로젝트 홈페이지 접속자 통계 산출을 위한 AWstats 도입

(나) 기타 S2S 프로젝트 지원 업무

S2S 관련 웨비나 지원(5회), 의장단/운영위원회/WMO 회의 주관 또는 참석(9회), 뉴스레터 발간(3회) 등을 통해 S2S 프로젝트 추진을 위한 정보교류, 네트워크 관리 및 홍보 활동 등을 활발히 수행함으로써 S2S 국제 연구활동의 허브로서 우리나라의 인지도를 제고하였다.

(3) IPCC 등 기타 활동

UN 기후변화협약 등 국제 기후 협상의 주요 근거자료로 활용되는 IPCC 제6차 평가보고서(AR6)의 종합보고서가 2022년 승인될 것으로 예상되어 우리나라 기상청은 보고서 승인 시 정부 의견을 적극 제시하는 등의 대응을 위해 종합보고서 대응 TF와 제1실무그룹 전문위원회를

구성하였다. APCC에서는 2명의 선임연구원이 전문위원회에 포함되어 종합보고서의 정책입안자를 위한 요약보고서(Summary for Policymakaers) 초안을 검토하고 가독성을 높이기 위한 편집상의 수정, 그림 수정 등의 검토의견을 제출하였다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 크게 다음의 4가지 주제로 분류하여 1) APCC 기후예측시스템 운영 및 예측정보 제공, 2) APCC 기후예측시스템 개선, 3) 개별예측모델 및 MME 온도의 계절예측경향 및 특성분석, 4) 기후분야 국제협력 및 정책지원에 대한 과제를 수행하였과 각 주제별 주요내용을 정리하면 다음과 같다.

1) APCC 기후예측시스템 운영 및 예측정보 제공

APCC는 MME 계절예측시스템 및 검증시스템과 기후감시시스템의 안정적이고 유기적인 운영을 통해 매월 중순에 홈페이지 및 이메일을 통해 전지구・동아시아・태평양도서국에 대한 기후 예측정보를 제공하고 있다. 또한 BSISO 계절내예측시스템, 동아시아 지역 확률계절예측시스템, 동남아시아 산불예측시스템을 운영 중이다.

APCC MME 계절예측 참여 모델은 해마다 개선되는데 올해는 ECCC, HMC, JMA, KMA, 총 4종의 모델 개선이 이루어졌다. 각 모델의 예측성을 검증한 후 MME 예측 현업에 적용하여 MME 예측력 향상을 도모하였다.

2) APCC 기후예측시스템 개선

BSISO 계절내예측시스템 통합 구동시스템을 구축하여 현업운영의 효율화를 높였고, 동아시아 지역 확률계절예측을 2022년 6월에 현업화하여 새롭게 운영 중이며, 동남아시아 산불예측시스템의 운영과 함께 말레이시아 지역 확장을 통해 보다 다양한 정보제공에 노력하고 있다.

APCC 예측정보 수요자의 요구를 충족시키고 활용성을 증대하기 위하여 고해상도 계절예측시스템을 구축하고 2022년 9월에 현업화하여 운영 중이다. 안정성 평가를 통해 고해상도 계절예측시스템의 안정적 구축을 확인하였고, 이로써 규모가 작은 지역에 대해 활용 가능한 예측정보가 많아짐에 따라 활용성이 높아질 것으로 기대한다.

APCC 예측정보의 활용성 강화의 일환으로 예측정보 조기제공을 실시하였다. 이는 APCC의 예측정보 제공 사용자 요구 우선순위 중 하나였으며 내・외부적인 시스템 개선 및 자료제공기관과의 협력 유도를 통해 기존보다 닷새 앞당긴 매월 15일경에 APCC 예측정보를 제공함으로써 정보의 활용성을 높이고 있다.

3) 개별예측모델 및 MME 온도의 계절예측경향 및 특성분석

온난화 현상이 전구적으로 나타나면서 계절 예측 또한 그 영향을 받고 있다. APCC에서는 2012년 이후 2-m 기온의 계절예측자료를 매월 생산하고 있는데, 본 연구에서 기온의 계절예측경향을 분석하였다.

장기적으로 기온의 경향을 1991-2010 hindcast 기간의 선형추세로 정의하여 관측과 모델을 비교 분석하였다. 먼저 MME는 전구 기준으로 실제의 온난화 경향을 따라가나, 지역별, 시기별로 다양한 계절 기온 변화를 예측하지는 못하였다. 대체적으로 열대지역은 잘 예측하였으나, 중위도에서는 실제보다 온난하게, 북극에서는 실제보다 약한 온난화로 예측하였다. 즉, 지역별

로 다양한 선형추세를 모델에서는 뭉뚱그려서 대체적으로 양의 선형추세로 예측하는 것이다. 계절별로 가을-겨울철에 선형추세가 강하게 나타나는데, 모델에서도 이러한 계절적 차이는 유사하게 예측하지만, 계절적 차이는 실제보다 약하다.

개별모델들은 모델별로 차이가 나긴 하지만 MME의 특성을 대체적으로 유사하게 담고 있다. 다만 극지역에서 모델 간 차이가 크게 나타나는데 대체적으로 ERA 계열의 재분석자료를 초기장으로 사용하고 NEMO를 해양모델로 접합시키는 유럽계열모델이 그렇지 않은 미국 계열모델(NCEP 계열 재분석자료, MOM을 해양모델로 접합)보다 선형추세가 강하게 나타난다.

2-m 기온의 실시간 예측기간인 2013년부터는 전지구적으로 기후기간에 비해 온난화 현상이 강하게 나타난 시기이다. 계절예측 또한 살펴보면 많은 기간에 평년 이상의 기온을 예측하였다. 특히 확률예측은 대부분의 지역에서 대부분의 모델이 평년 이상의 기온을 예측한 것을 보여준다. 동아시아 지역은 관측과 비교하여 다소 온난화를 과하게 모의하여 확률예측에서도 대부분의 모델이 모든 시기에 평년 이상의 기온을 예측하였다.

우리가 관심있는 지역인 동아시아 지역에서 온난화가 과하게 모의되는 계절예측모델의 물리적 특성을 파악하기 위해 실제로 평년 정도의 기온이 기록된 사례를 합성하여 여러 변수들을 분석하였는데, 이러한 시기에 모델들이 기온과 관련된 순환장을 모사하지 못하는 것을 알 수 있었다. 개별모델을 분석하면, 동아시아에서 대체적으로 유럽계열모델이 미국계열모델들보다 온난화를 다소 강하게 예측하는데, 특히 2020-2021 시기 미국계역모델들이 기온을 다소 차갑게 예측한다. 이 시기 NCEP 재분석 자료에서 유라시아 대륙에서 기온이 차갑게 분포하는데 이의 영향인 것으로 파악된다.

계절예측모델의 온난화 시기 기온 예측은 전구 기준으로 합리적이나, 지역별로 나타나는 다양한 기온 변화를 잘 예측하지는 못하는데 특히 동아시아 지역이 기온 예측 보정이 필요해 보인다. 이를 위해 기온의 선형추세를 이용한 보정 또는 quantile mapping을 이용한 보정 방법을 구상하여 2023년에 실행할 계획이다.

4) 기후분야 국제협력 및 정책지원

WMO 장기예보 선도센터는 전 세계 14개 Glboal Producing Center (GPC)에서 생산되는 장기예보 자료를 수집하여 표준화하며, DMME와 PMME 기법을 적용하여 얻은 MME 계절예측 결과와 검증 결과를 홈페이지를 통해 디지털 및 그래픽 형태의 자료로 WMO 회원국 및 일반 사용자에게 지속적이고 안정적으로 제공하고 있다.

WMO 장기예보 선도센터 시스템 개선 용역과제를 2018년부터 수행하여, 더욱 안정적인 시스템 운영과 사용자 맞춤형 고품질의 예측정보를 서비스하기 위해 노력하였다. 2022년에는 특히 WMO 장기예보 선도센터 사용자 맞춤형 기후정보 제공 개선, 현업자료 처리 기능 개선, 웹서비스 편의성 개선 및 관리기능 개선이 수행되었다.

또한 국제적 협업 체계 강화를 위해 WMO에서 주관하는 다양한 지역 기후 포럼에 맞춤형 MME 예측정보를 제공하고 있으며, 특히 올해 참석한 지역 기후 포럼에서는 WMO 장기예보선도센터의 계절예측자료가 각 국가의 기후전망 생산 과정의 중요한 참고 자료로 활용됨을 확인

하였다. 이와 같은 WMO 장기예보 선도센터의 국내·외 활동과 안정적인 시스템 개선 노력을 통해 WMO 장기예보 선도센터의 기후예측 자료 활용도가 향상될 것으로 기대되며, WMO 장기예보 선도센터의 국제 사회에서의 역할과 입지를 강화할 수 있을 것으로 기대된다.

WMO S2S ICO를 공식 운영하여 S2S 프로젝트의 효율적 지원과 홈페이지 개선을 수행하였다. 그 외에 S2S 관련 웨비나 지원(5회), 의장단/운영위원회/WMO 회의 주관 또는 참석(9회), 뉴스레터 발간(3회) 등을 통해 S2S 프로젝트 추진을 위한 정보교류, 네트워크 관리 및 홍보 활동 등을 활발히 수행함으로써 S2S 국제 연구활동의 허브로서 우리나라의 인지도를 제고하였다.

IPCC 제6차 평가보고서(AR6)의 종합보고서와 관련하여 제1실무그룹 전문위원회에 참여하여 정책입안자를 위한 요약보고서(Summary for Policymakaers) 초안 검토 등 활동을 통해 국제사회의 기후변화 대응 관련 정책지원에 기여하고 있다.

사사

연구에 사용된 다중모델 앙상블 자료는 APCC MME Producing Centres (PCs)에 의해 생산된 hindcast/forecast 자료를 바탕으로 APCC가 수집, 재가공하였으며 자료를 생산/제공해주신 APEC 기후센터에 감사드립니다.

References

양유빈, 송봉근, 신선희, 임창묵, 정다은, 임아영, 정임국, 최재원, 이현록, 2020: *APCC 기후예측 시스템 운영 및 개선*, APEC 기후센터 연구보고서 2020

Graham, R. J., and Coauthors, 2011: Long-range forecasting and the Global Framework for Climate Services. Climate Res., 47, 47–55, doi:https://doi.org/10.3354/cr00963.

Hersbach, H., et al. 2020: The ERA5 global reanalysis. *Q.J. Meteorol. Soc.* **146**, 1999–2049.

Kanamitsu, M., W. Ebisuzaki, J. Woollen, S.-K. Yang, J. J. Hnilo, M. Fiorino, and G. L. Potter, 2002: NCEP/DOE AMIP-II Reanalysis (R-2). *Bulletin of the American Meteorological Society*, **83**, 1631-1643, https://doi.org/10.1175/BAMS-83-11-1631.

Min, Y. M., V. N. Kryjov, and S. M. Oh, 2014: Assessment of APCC multimodel ensemble prediction in seasonal climate forecasting: retrospective (1983-2003) and real-time forecasts (2008-2013). J. Geo. Res., **119 (21)**, 12,132-12,150.

Min, Y. M., V. N. Kryjov, S. M. Oh, and H. J. Lee, 2017: Skill of real-time operational forecasts with the APCC multi-model ensemble prediction system during the period 2008–2015. Clim. Dyn., **49**, 4141-4156, doi:10.1007/s00382-017-3576-2.

Min, Y.-M., V. N. Kryjov, and C.-K. Park, 2009: A probabilistic multimodel ensemble approach to seasonal prediction. Wea. Forecasting, 24, 812–828, doi:10.1175/2008WAF2222140.1.

Reynolds, R., T. M. Smith, C. Liu, et al., 2007: Daily high-resolution-blended analysis for sea surface temperature. *Journal of Climate*, **20**, 5473-5496, https://doi.org/10.1175/2007JCLI1824.1.

부록 A. JMA MRI-CPS3 과거예측자료 전처리 방식

1990년 12월 12일~2020년 12월 27일까지 15일 간격으로 생산된 JMA MRI-CPS3의 과거예측자료(hindcast) 중 사용자는 원하는 일자에 생산된 자료를 선택해야 한다.

Figure A1과 같이 JFM(1월~3월) 계절 예측은 12월에 수행하기 때문에 실시간 예측자료(forecast)의 생산 일자는 12월 1일~10일일 것이므로 hindcast 자료는 그와 가장 가까운 11월 27일, 12월 12일에 생산된 자료를 선택해야 한다. 1991년 예측의 경우 사용자가 선택할 생산 일자는 1990년 11월 27일과 12월 12일일 것이나 1990년 11월 27일에 생산된 자료는 존재하지 않으므로 1991년 예측 앙상블 멤버 수는 5개이며 그 밖의 해의 앙상블 멤버 수는 10개이다. hindcast 기간은 1991년~2021년이다.

비슷한 방식으로 FMA(2월~4월) 계절 예측은 1월에 수행하기 때문에 forecast 자료의 생산 일자는 1월 1일~10일일 것이므로 hindcast 자료는 그와 가장 가까운 12월 27일, 1월 16일에 생산된 자료를 선택해야 한다. 2021년 예측의 경우 2020년 12월 27일, 2021년 1월 16일에 생산된 자료를 선택해야 하지만 2021년 1월 16일에 생산된 자료는 없으므로 2021년 예측 앙상블 멤버 수는 5개이고 그 밖의 해의 앙상블 멤버 수는 10개이다. hindcast 기간은 JFM과 동일하게 1991년~2021년이다. 다른 계절의 hindcast 기간은 1991년~2020년이며 앙상블 멤버 수는 모두 10개이다.

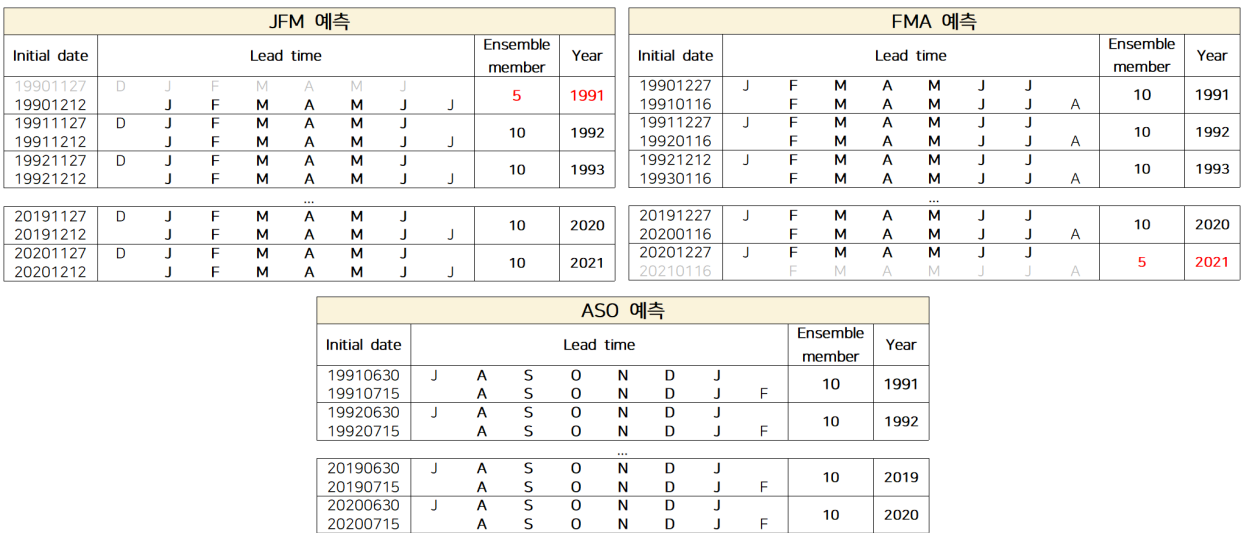


Figure A1. The strategy for selecting daily produced hindcast data of JMA MRI-CPS3.

JFM 계절의 1991년, FMA 계절의 2021년의 앙상블 멤버 수는 다른 해와 다르므로 이를 별도로 설정하였으며 다른 계절은 각 계절에 맞는 생산 일자를 설정하였다.

JMA_HCST.py

```
# season, initial date ------------------------------------------------------------

        if f_month == "JAN":
            if year == 1991:
                i_date = ["1212", "1212"]   # 2nd will be filled with FillValue.
            else:
                i_date = ["1127", "1212"]

        if f_month == "FEB":
            if year == 2021:
                i_date = ["1227", "1227"]   # 2nd will be filled with FillValue.
            else:
                i_date = ["1227", "0116"]

        if f_month == "MAR":
            i_date = ["0131", "0210"]
        if f_month == "APR":
            i_date = ["0225", "0312"]
        if f_month == "MAY":
            i_date = ["0327", "0411"]
        if f_month == "JUN":
            i_date = ["0426", "0516"]
        if f_month == "JUL":
            i_date = ["0531", "0615"]
        if f_month == "AUG":
            i_date = ["0630", "0715"]
        if f_month == "SEP":
            i_date = ["0730", "0814"]
        if f_month == "OCT":
            i_date = ["0829", "0913"]
        if f_month == "NOV":
            i_date = ["0928", "1013"]
        if f_month == "DEC":
            i_date = ["1028", "1112"]
```

부록 B. BSISO 계절내예측 통합구동시스템 개선 기술 보고

(1) 필요성 및 목적

(가) 필요성

① APCC BSISO 계절내예측시스템은 4개의 시스템인 감시, 예측, 검증, 영향장으로 구성되어 있고, 현업 기간 (5월~10월) 동안 매일 감시, 예측, 영향 예보, 검증 순으로 크론탭(crontab)을 활용하여 자동으로 실행되고 있다. 그러나 이러한 각 시스템은 개발 시기와 개발자가 다르며, 이로 인해 시스템 간 유기성 없이 독립적으로 운영됨에 따라 시스템 간 유기성 및 연계성 강화가 필요하다.

② 각 시스템은 개발 당시의 구축 환경에 맞추어 개발됨에 따라 시스템 환경이 변경되거나 작업 경로 등이 변경되는 경우 프로그램 내 관련 내용을 일일이 수정해야 하는 위험성이 있었다. 이에 따라 시스템 환경 및 작업 경로의 변경과 무관하게 최소의 프로그램을 수정할 수 있도록 안전성 강화가 필요하다.

③ 각 시스템이 독립적으로 운영되어오면서 관측자료의 미수집, 오처리 등의 이유로 감시자료가 생산되지 않았음에도 예측, 검증, 영향장 시스템은 강제적으로 수행되어 APCC BSISO 웹페이지에 빈 그림(blank)이 표출되는 문제점이 있었다. 이에 따라 감시자료 생산 여부를 감지하여 다음 작업의 실행 여부를 결정하는 기능 강화가 필요하다.

(나) 목적

위와 같은 문제점 및 필요성에 따라 4개의 시스템의 기존 C-Shell 프로그램을 python으로 대체하고, 문제점들을 개선하여 유기적이고 일괄적으로 작업 수행이 가능한 BSISO 통합구동시스템을 구축하였다. 이에 따라 문제점별 개선 사항 및 적용 기술에 대해 보고하고자 한다.

(2) 개선 내용

(가) BSISO 현업시스템 프로그램 일원화

① 기존 C-Shell 프로그램 대체: Python

기존 BSISO 현업시스템(감시-예측-검증-영향장)은 메인 프로그램이 C-Shell로 구축되어 있으며, C-Shell 프로그램의 특성상 기능이 제약되고, 많은 작업을 수행하기 위해 복잡한 코딩을 따르고 있다. 이에 BSISO 통합구동시스템은 최근 기술 동향을 파악하여 활용 가치가 높은 python으로 메인 프로그램을 대체하였다. 대체한 프로그램의 목록은 Table B1과 같다.

Table B1. Comparison between before and after BSISO system.

종류	구분	기존 BSISO 현업 시스템	개선된 BSISO 통합구동시스템
감시	경로	/lfs/data19/BSISO_R1/MONI/99.RUN	
	프로그램	MONI_RUN_LY.CSH	MONI_RUN_LY.py
예측	경로	/lfs/data19/BSISO_R1/FCST/99.RUN	
	프로그램	FCST_RUN_LY.CSH	FCST_RUN_LY.py
강수 확률	경로	/lfs/data19/BSISO_R1/FCST/99.RUN	
	프로그램	R.Prob.FCST_RUN_LY.CSH	R.Prob.FCST_RUN_LY.py
검증	경로	/lfs/data19/BSISO_R1/VERI/99.RUN	
	프로그램	UPDATE.LY.CSH UPDATE.VERI.LY.CSH UPDATE.VERI.TOTAL.LY.CSH	UPDATE.LY.py UPDATE.VERI.LY.py UPDATE.VERI.TOTAL.LY.py
통합	경로	/lfs/data19/BSISO_R1/MAIN	
	프로그램	-	MAIN_BSISO.py

② 통합구동 프로그램을 통한 순차・일괄적 작업

기존 BSISO 현업시스템은 C-Shell 기반으로 크론탭(crontab) 기능을 활용하여 각 세부 시스템이 독립적으로 수행하는 방식이었다. 이에 따라 각 시스템의 정상 처리 여부와 별개로 작업이 수행되면서 다소 비효율적 생산 체계로 운영되어 왔다. 이에 따라 각 세부 시스템을 통제할 수 있는 통합구동 프로그램을 작성하여 세부 시스템별로 지정 수행하거나 전 시스템을 순차・일괄적으로 수행할 수 있도록 하였다 (Table B1: MAIN_BSISO.py). 통합구동 프로그램의 내용은 아래와 같다.

■ BSISO 통합구동 프로그램 내용

```
#!/usr/bin/python

# ------------------------------------------------------------------------------------------#
# This Program is Main Program for BSISO Monitoring - Forecast - Impact BSISO - Verification  #
#                                                    Made by Chang-Mook Lim (2022.10.28) #
# ------------------------------------------------------------------------------------------#

import datetime
import calendar
import dateutil
import os
import glob
import shutil
from dateutil.relativedelta import relativedelta

#-------------------------------------------------------------------------#
# Set Path for BSISO Sub-Program : Monitoring / Forecast / Impact / Verification  #
#-------------------------------------------------------------------------#

ROOTHOME  = '/lfs/data19/BSISO_R1/'
##MONI      = '/lfs/data19/DEV/MONI/'
MONI      = ROOTHOME + '/MONI/99.RUN/'
FCST      = ROOTHOME + '/FCST/99.RUN/'
VERI      = ROOTHOME + '/VERI/99.RUN/'
IMPACT    = ROOTHOME + '/IMPACT/SHEL/'

#-------------------------------------------------------------------#
# Set Job Date for Monitoring                                       #
#-------------------------------------------------------------------#

RDATE    = '20221026'
#RDATE    = os.popen('date +%Y%m%d').read().split('\n')[0].strip()                          # Recent Date
JDATE    = os.popen('date -d "' + RDATE + ' 3 days ago" +%Y%m%d').read().split('\n')[0].strip() # Job Date for Actual Monitoring : RDATE - 3 days

os.environ['RDATE']    = RDATE
os.environ['JDATE']    = JDATE

#-------------------------------------------------------------------#
# Part 1. Run Monitoring                                            #
#-------------------------------------------------------------------#

os.chdir(MONI)

os.system('rm -f ' + MONI + '/OBS_No_Data.flag')
os.system('python ' + MONI + '/MONI_RUN_LY.py')

#-------------------------------------------------------------------#
# Part 2. Run Forecast                                              #
#-------------------------------------------------------------------#

os.chdir(FCST)

if not os.path.isfile(MONI + '/OBS_No_Data.flag'):
   os.system('python ' + FCST + '/FCST_RUN_LY.py')
   os.system('python ' + FCST + '/R.Prob_FCST_RUN_LY.py')
else:
   print( " === No OBS Data !! Stop Forecast Job === ")
   exit()

#-------------------------------------------------------------------#
# Part 3. Run Verification                                          #
#-------------------------------------------------------------------#

os.chdir(VERI)

if not os.path.isfile(MONI + '/OBS_No_Data.flag'):
   os.system('python ' + VERI + '/UPDATE.LY.py')
else:
   print( " === No OBS Data !! Stop Verification Job === ")
   exit()

#-------------------------------------------------------------------#
# Part 4. Run Impact BSISO                                          #
#-------------------------------------------------------------------#

os.chdir(IMPACT)

if not os.path.isfile(MONI + '/OBS_No_Data.flag'):
   os.system('csh ' + IMPACT + '/IMPACT_MONI.csh')
```

(나) 시스템 환경 의존성 개선

① 최신 자료 탐색 및 시간정보 추출 방식 개선

기존 BSISO 현업시스템은 C-Shell의 기능 한계에 의해 아래와 같이 자료 목록 출력 결과에 따른 문자열 자릿수 판별 방식으로 최신 자료의 시간정보를 추출하여 사용해왔다.

■ 기존 BSISO 현업시스템 시간정보 추출 방식 (예시: 감시시스템)

```
(MONI_RUN_LY.CSH)

(생략)
set ITIME = 2`ls -al ${MONDIR}/pgb.f0????????18 | tail -1 | cut -c 97-103`
set YEAR  = 2`ls -al ${MONDIR}/pgb.f0????????18 | tail -1 | cut -c 97-99`
set MONTH = `ls -al ${MONDIR}/pgb.f0????????18 | tail -1 | cut -c 100-101`
set DAY   = `ls -al ${MONDIR}/pgb.f0????????18 | tail -1 | cut -c 102-103`
(생략)
```

하지만 시스템 환경, 경로, 파일명 등이 변경될 경우 해당 방식을 사용한 모든 프로그램을 수정해주어야 하는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 python 및 CDO 프로그램 기능을 활용하여 자료 내 시간정보를 추출하는 방식을 활용하였다.

■ python 및 CDO를 활용한 시간정보 추출 방식 개선 (예시: 감시시스템)

```
(MONI_RUN_LY.py)

(생략)
FILES     = sorted(glob.glob(MONDIR + "/pgb.f0*"))
RECENT_F = FILES[-1]
FTIME     = os.popen("cdo showdate " + RECENT_F).read().strip()

YEAR      = FTIME.split('-')[0].strip()
MONTH     = FTIME.split('-')[1].strip()
DAY       = FTIME.split('-')[2].strip()
ITIME     = YEAR + MONTH + DAY
(생략)
```

python의 “glob” 기능을 활용하여 관측(재분석) 자료 목록을 정렬하고, 그 중에서 가장 최신의 자료를 기준으로 CDO의 “showdate” 명령어를 통해 해당 자료가 가지는 시간정보를 출력한다. 출력된 시간정보는 python의 “popen”, “read”, “strip” 기능을 활용하여 원하는 형식의 시간정보를 추출하고, 연도, 월, 일로 분리하여 해당 정보를 변수화하였다. 이를 통해 시스템 환경, 경도, 파일명이 변경되더라도 최소의 프로그램 수정으로 작업 수행이 가능해졌으며, 이로써 시스템 환경에 대한 의존성을 탈피하고 시스템 안전성을 높일 수 있게 되었다.

(다) 관측자료 수집 여부에 따른 작업 수행 체계 개선

① 관측자료 수집 여부 확인 및 알림(이력) 체계 개선

기존 BSISO 현업시스템은 독립적 작업 수행 방식에 따라 가장 먼저 수행되는 감시시스템에서 관측자료 미수신 등의 원인으로 감시 자료가 생산되지 않을 경우에도 예측-검증-영향장 시스템이 강제적으로 수행되어 왔다. 이로 인해 각 시스템별 마지막 단계인 홈페이지 전송 단계에서 무조건으로 오류 발생된 산출물을 전송하게 되면서 APCC BSISO 홈페이지에 내용이 없는 빈 그림(blank)이 표출되는 문제점이 있었다. 이에 수집되어야 하는 관측자료의 수신 여부를 확인하고, 수집 여부에 따른 알림 체계를 도입하였다.

■ 관측자료 수신 여부 확인 및 미수신 알림 방식

```
(MONI_RUN_LY.py)
(생략)
RDATE    = os.popen('date +%Y%m%d').read().split('\n')[0].strip()
JDATE    = os.popen('date -d "' + RDATE + ' 3 days ago"
+%Y%m%d').read().split('\n')[0].strip() # Job Date for Actual Monitoring : RDATE - 3 days
if JDATE == ITIME:
    os.system('echo "Recent Date : ' + RDATE + ' ,  Most recent OBS. Data : ' + ITIME
+ '" >> OBS_File_Check.log')
    os.system('rm -f OBS_No_Data.flag')
else:
    print(" == No OBS Data !! Stop Job == ")
    os.system('echo " Need ' + JDATE + ' OBS file, but it does not! Most recent OBS
Data: ' + ITIME + '" >> OBS_No_Data.flag')
    exit()
```

BSISO 감시시스템은 관측자료의 업데이트 특성에 따라 현 시간(RDATE) 기준 3일 이전의 시간(JDATE)을 대상으로 작업이 수행되고 있다. 위에서 정의한 ITIME과 JDATE가 일치할 경우(관측자료 정상 수신), 사용된 ITIME과 JDATE를 "OBS_File_Check.log" 이라는 로그파일에 저장하는 방식을 도입하였으며, ITIME과 JDATE가 불일치할 경우(관측자료 미수신), 관측자료가 미수신됨을 화면에 출력하고 "OBS_No_Data.flag" 라는 flag 파일을 생성하도록 하였다. 이를 통해 사용자는 생성되는 위 두 가지 파일을 통해 관측자료의 수신 여부를 쉽게 확인할 수 있다.

② 관측자료 미수집시 작업 중단 체계 도입

위에서 도입한 관측자료 수신 여부 확인 및 알림 체계를 통하여 관측자료가 미수신된 경우에 생성되는 flag 파일(OBS_No_Data.flag)를 탐지하여 감시시스템을 비롯한 모든 시스템의 작업을 수행하지 않도록 개선하였다.

■ 관측자료 미수신에 따른 flag 파일 탐지 및 작업 중단 방식

```
(MAIN_BSISO.py)
(생략)
# Part 2. Run Forecast                                                    #
#-------------------------------------------------------------------------#

os.chdir(FCST)

if not os.path.isfile(MONI + '/OBS_No_Data.flag')
    os.system('python ' + FCST + '/FCST_RUN_LY.py')
    os.system('python ' + FCST + '/R.Prob_FCST_RUN_LY.py')
else:
    print( '' === No OBS Data !! Stop Forecast Job === '')
    exit()
(생략)
```

위 내용은 관측자료 미수신에 따른 flag 파일 탐지 및 작업 중단 방식의 예시로써 예측시스템에 적용된 내용이다. 각 시스템을 통제하는 통합구동 프로그램(MAIN_BSISO.py)에서 가장 먼저 수행되는 감시시스템을 거쳐 관측자료가 미수신 되어 flag 파일이 생성되는 경우, 알림 출력과 함께 작업이 중단되며, flag 파일이 없는 경우(관측자료 정상 수집) 정상적으로 작업을 수행할 수 있도록 조건문을 추가하였다. 이로써 관측자료가 미수신되면 모든 작업이 중단됨에 따라 APCC BSISO 홈페이지에도 어떤 산출물도 전송되지 않도록 하여 현업 운영의 안정성을 강화하였다.

(3) 결과

(가) 개선된 BSISO 통합구동시스템 시범 운영

① 개선된 BSISO 통합구동시스템 시범 운영을 통한 안정성 평가

각종 문제점을 개선하고 기능을 추가한 BSISO 통합구동시스템을 최종 구축한 후, 약 한 달 기간(2022년 10월 1일~31일 감시 기준)을 대상으로 과거 회귀 생산 방식의 시범 운영을 실시하였다(Figure B1). 기존 결과와 시범 운영을 통해 생산된 결과를 디지털 및 그래픽 산출물에 대해 정성·정량 평가한 결과 모두 동일하게 나타났으며, 이는 개선된 BSISO 통합구동시스템이 안정적으로 구축되었음을 의미한다.

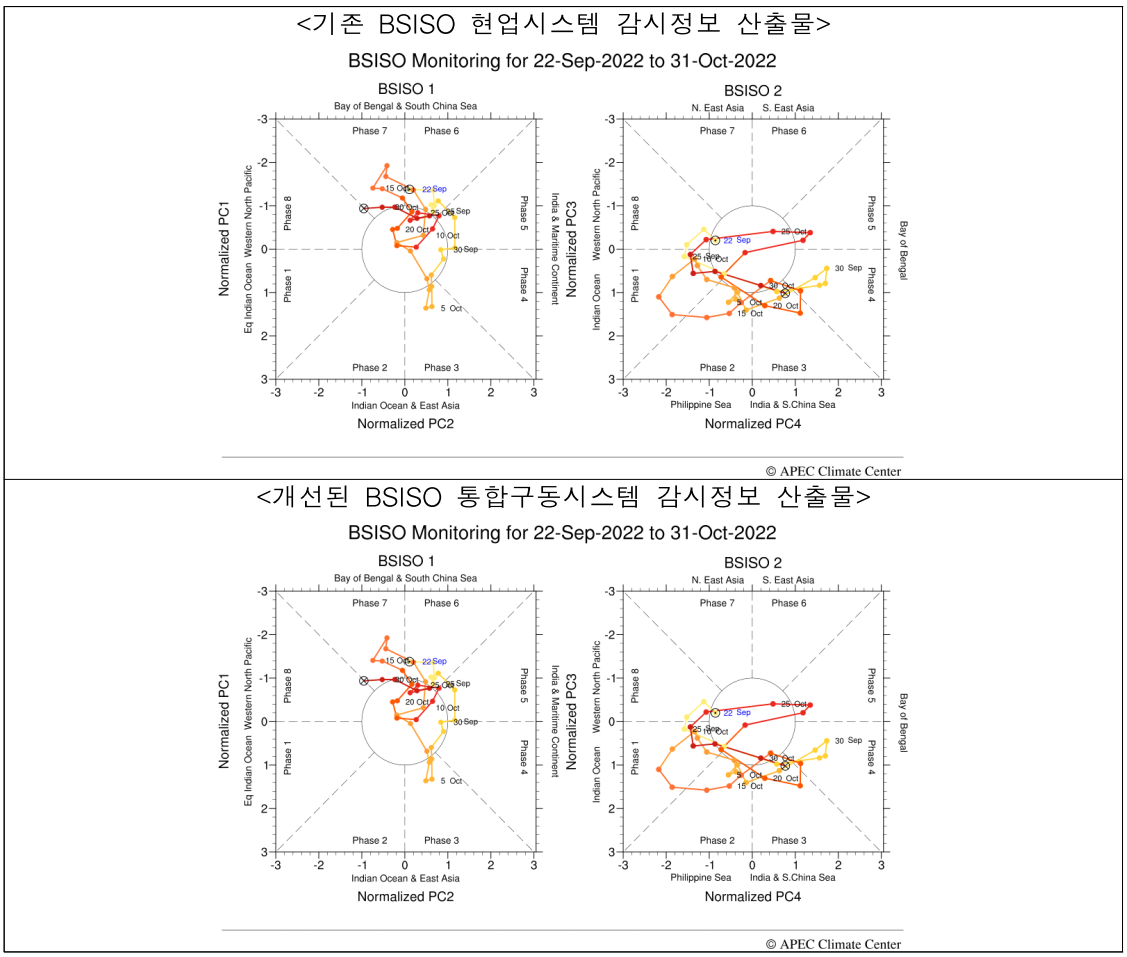


Figure B1. Comparison between before and after results (monitoring BSISO phase diagram) by BSISO system.

(나) 개선된 BSISO 통합구동시스템 운영 매뉴얼

① 개선된 BSISO 통합구동시스템 운영 매뉴얼 작성

최종 구축된 BSISO 통합구동시스템의 원활한 운영을 위해 운영 방법을 상세히 나열한 운영 매뉴얼 작성하여 예측운영과에 별도 비치하도록 하였다. 해당 운영 매뉴얼(부록 C)은 별도의 파일로 작성되었으며, 수정사항 발생 시 수시로 반영하고자 한다.

(다) 개선된 BSISO 통합구동시스템 운영 계획

② 개선된 BSISO 통합구동시스템 운영 계획

최종 구축된 BSISO 통합구동시스템은 2023년 5월 BSISO 현업 개시일부터 운영될 예정이다. 본 BSISO 통합구동시스템의 개선효과에 따라 효율적인 현업 운영이 가능해질 것이며, 홈페이지 BSISO 정보 오표출 사례 또한 현저히 감소하여 안정성이 강화될 것으로 기대된다.

부록 C. BSISO 계절내예측 통합구동시스템 운영 매뉴얼

(1) 필요성 및 목적

(가) 필요성

① APCC BSISO 계절내예측시스템은 4개의 시스템인 감시, 예측, 검증, 영향장으로 구성되어 있고, 현업 기간 (5월~10월) 동안 매일 감시, 예측, 영향 예보, 검증 순으로 크론탭(crontab)을 활용하여 자동으로 실행되고 있다. 그러나 이러한 각 시스템은 개발 시기와 개발자가 다르며, 이로 인해 시스템 간 유기성 없이 독립적으로 운영됨에 따라 시스템 간 유기성 및 연계성 강화가 필요하다.

② 각 시스템이 독립적으로 운영되어오면서 관측자료의 미수집, 오처리 등의 이유로 감시자료가 생산되지 않았음에도 예측, 검증, 영향장 시스템은 강제적으로 수행되어 APCC BSISO 웹페이지에 빈 그림(blank)이 표출되는 문제점이 있었다. 이에 따라 감시자료 생산 여부를 감지하여 다음 작업의 실행 여부를 결정하는 기능 강화가 필요하다.

③ 각 시스템은 개발 당시의 구축 환경에 맞추어 개발됨에 따라 시스템 환경이 변경되거나 작업 경로 등이 변경되는 경우 프로그램 내 관련 내용을 일일이 수정해야 하는 위험성이 있었다. 이에 따라 시스템 환경 및 작업 경로의 변경과 무관하게 최소의 프로그램을 수정할 수 있도록 안전성 강화가 필요하다.

(나) 목적

위와 같은 문제점 및 필요성에 따라 4개의 시스템의 기존 C-Shell 프로그램을 python으로 대체하고, 문제점들을 개선하여 유기적이고 일괄적으로 작업 수행이 가능한 BSISO 통합구동시스템을 구축하였다. 이에 따라 BSISO 통합구동시스템의 작업 수행 방법을 작성하고자 한다.

(2) 내용

(가) BSISO 계절내예측 현업시스템 구조 및 내용

APCC BSISO 계절내예측 현업시스템의 모식도 및 각 시스템 별 상세 작업 내용은 예측운영과에 비치된 “BSISO 현업시스템 운영매뉴얼(v2020)”에서 소개하는 내용과 동일하며, 각 시스템의 메인 프로그램인 C-Shell을 python으로 대체하였다(영향장 제외). 주요 변경 내용은 “BSISO 통합구동시스템 기술 보고서(부록 B)”에서 기술하였다.

(나) BSISO 통합구동시스템 운영(작업 수행) 방법

① APCC BSISO 현업서버 환경 설정

APCC BSISO 계절내예측 현업시스템은 APCC HPC 서버에서 운영하고 있으며, 이를 수행하기 위해서 필요 모듈을 설정해주어야 한다. 기본적으로 필요한 프로그램은 Python, CDO, NCL 이며, 각각 계산처리, 환경설정, 그래픽 표출 등에 사용된다.

우선 BSISO 현업 계정을 로그인한 후 해당 계정에서 아래와 같은 모듈을 로드한다.

■ 모듈 로드(module load)

```
]$ module load python/anaconda-3.7
]$ module load cdo/1.9.8
]$ module load ncl/6.5.0
```

② APCC BSISO 통합구동시스템 프로그램 종류

APCC BSISO 통합구동시스템 및 각 세부 시스템별 프로그램 종류는 Table C1과 같으며, “MAIN_BSISO.py” 프로그램을 통해 모든 시스템을 수행할 수 있다.

Table C1. Comparison between before and after BSISO system.

종류	구분	기존 BSISO 현업 시스템	개선된 BSISO 통합구동시스템
감시	경로	/lfs/data19/BSISO_R1/MONI/99.RUN	
	프로그램	MONI_RUN_LY.CSH	MONI_RUN_LY.py
예측	경로	/lfs/data19/BSISO_R1/FCST/99.RUN	
	프로그램	FCST_RUN_LY.CSH	FCST_RUN_LY.py
강수 확률	경로	/lfs/data19/BSISO_R1/FCST/99.RUN	
	프로그램	R.Prob.FCST_RUN_LY.CSH	R.Prob.FCST_RUN_LY.py
검증	경로	/lfs/data19/BSISO_R1/VERI/99.RUN	
	프로그램	UPDATE.LY.CSH UPDATE.VERI.LY.CSH UPDATE.VERI.TOTAL.LY.CSH	UPDATE.LY.py UPDATE.VERI.LY.py UPDATE.VERI.TOTAL.LY.py
통합	경로	/lfs/data19/BSISO_R1/MAIN	
	프로그램	-	MAIN_BSISO.py

③ APCC BSISO 통합구동시스템 실행

APCC BSISO 통합구동시스템은 최초로 각 세부 시스템의 위치(경로)를 지정하여주고, 기본적으로 시스템의 현 날짜를 기준으로 작업을 수행하나, 사용자가 수행하고자 하는 날짜 정보를 직접 입력하여 줄 수 있다.

■ 통합구동시스템 각 세부 시스템 경로 설정 및 수행 날짜 지정

```
- 통합구동시스템 위치 이동
]$ cd /lfs/data19/BSISO_R1/MAIN
- 통합구동시스템 메인 프로그램 수정
]$ vi MAIN_BSISO.py

(생략)

ROOTHOME   = '/lfs/data19/BSISO_R1/'
MONI       = ROOTHOME + '/MONI/99.RUN/'
FCST       = ROOTHOME + '/FCST/99.RUN/'
VERI       = ROOTHOME + '/VERI/99.RUN/'
IMPACT     = ROOTHOME + '/IMPACT/SHEL/'

#-----------------------------------------------------------------------#
# Set Job Date for Monitoring                                           #
#-----------------------------------------------------------------------#

RDATE      = '20221026'
#RDATE     = os.popen('date +%Y%m%d').read().split('\n')[0].strip()
JDATE      = os.popen('date -d "' + RDATE + ' 3 days ago"
+%Y%m%d').read().split('\n')[0].strip() # Job Date for Actual Monitoring : RDATE - 3 days

(생략)
```

여기서 RDATE는 작업을 수행하고자 하는 실제 날짜를 의미하며, 관측자료 업데이트를 고려하여 RDATE 기준 3일 전 날짜(JDATE; Job Date)의 관측자료를 사용하여 감시 시스템을 구동하게 된다. 사용자 지정 날짜가 아닌 시스템 현 날짜 기준으로 작업을 수행하려면 os.popen 기능을 활용한 RDATE 설정 부분을 활성화하여 주면 된다. 통합구동시스템의 실행 방법은 아래와 같다.

■ 통합구동시스템 실행

```
]$ python MAIN_BSISO.py
```

통합구동시스템은 각 시스템별로 파트를 나누어 작성되었으며, 감시, 예측, 검증, 영향장 순이다. 사용자가 작업 수행을 원치 않는 파트(시스템)는 주석 처리하여 수행하여 준다. 또한, 감시 자료가 생산되지 않은 경우 “OBS_No_Data.flag” 라는 파일이 생성됨과 동시에 감시 이외

의 시스템은 작동이 중단된다.

수행이 중단되거나 완료되었을 경우 각 시스템 별로 log 파일을 확인하여 재수행 혹은 생산물을 확인하여 준다.

(다) BSISO 각 시스템별 작업 수행 방법

① 감시시스템

BSISO 감시시스템은 아래와 같이 최초 각 단계별 수행 경로를 지정하여준다.

■ BSISO 감시시스템 각 단계별 최초 경로 설정

```
- 감시시스템 메인 프로그램 위치 이동
]$ cd /lfs/data19/BSISO_R1/MONI/99.RUN
- 감시시스템 메인 프로그램 수정
]$ vi MONI_RUN_LY.py
(생략)
ROOTHOME = '/lfs/data19/BSISO_R1/MONI/'
PREPR    = ROOTHOME + '00.PREPR/'
STEP1    = ROOTHOME + '01.STEP1/'
STEP2    = ROOTHOME + '02.STEP2/'
STEP3    = ROOTHOME + '03.STEP3/'
STEP4    = ROOTHOME + '04.STEP4/'
STEP5    = ROOTHOME + '05.STEP5/'
STEP6    = ROOTHOME + '06.STEP6/'
STEP7    = ROOTHOME + '07.STEP7/'
STEP8    = ROOTHOME + '08.STEP8/'
STEP9    = ROOTHOME + '09.STEP9/'
READY    = ROOTHOME + '10.READY/'
BINAR    = ROOTHOME + '11.BINAR/'
RUN_D    = ROOTHOME + '99.RUN/'
MONDIR   = PREPR + 'U850/ORG/'
(생략)
```

개선된 감시시스템은 수집된 관측자료 목록을 탐색하여 CDO 프로그램의 기능을 활용하여 가장 최신의 관측자료의 시간정보를 읽어들인 후 앞서 메인 프로그램에서 설정한 RDATE 및 JDATE의 시간정보와의 일치 여부를 확인하게 된다. 여기서 메인 프로그램이 아닌 감시시스템 단독으로 실행하는 경우 RDATE와 JDATE를 수정하여 준다. 이 때, JDATE는 RDATE에 3일 전 시간으로 설정해주어야 한다.

■ RDATE, JDATE 설정 (단독 실행일 경우)

```
#-------------------------------------------------------------#
# OBS File Check!!                                            #
#-------------------------------------------------------------#
RDATE = os.environ['RDATE']
JDATE = os.environ['JDATE']
```

관측자료 시간정보와 설정된 시간정보(RDATE, JDATE)가 불일치하는 경우 "OBS_No_Data.flag" 파일을 생성하며 작업을 중단하게 되며, 서로 일치하는 경우 "OBS_File_Check.log" 파일에 사용된 시간정보의 이력(log)을 누적하게 된다. 개선된 감시시스템의 수행 방법은 아래와 같다.

■ 개선된 감시시스템 실행

```
]$ python MONI_RUN_LY.py
```

단독 수행의 경우 log파일이 생성되지 않으며, log 파일을 생성하고 싶은 경우 별도로 지정하여 준다. 작업이 완료되면 자동으로 웹페이지 및 기상청 전송 서버에 최종산출물을 전송하게 되며, 각 단계별 최종산출물을 확인하여 준다.

② 예측시스템

BSISO 예측시스템은 아래와 같이 최초 각 단계별 수행 경로를 지정하여 준다.

■ BSISO 예측시스템 각 단계별 최초 경로 설정

```
- 예측시스템 메인 프로그램 위치 이동
]$ cd /lfs/data19/BSISO_R1/FCST/99.RUN
- 예측시스템 메인 프로그램 수정
]$ vi FCST_RUN_LY.py
(생략)
ROOTHOME   = '/lfs/data19/BSISO_R1/'
LOGDIR     = ROOTHOME + 'FCST/99.RUN/LOG/'
RUNDIR     = ROOTHOME + 'FCST/99.RUN/'
MONDIR     = ROOTHOME + 'MONI/00.PREPR/U850/ORG/'
RAWDIR     = ROOTHOME + '../11.BSISO/'
RDIR       = ROOTHOME + 'FCST/10.READY/'
CDIR       = ROOTHOME + 'FCST/00.PREPR/'
FILE_DIR   = ROOTHOME + 'FCST/11.BINAR/'
(생략)
```

BSISO 예측 모델별로 작업이 수행되며, 모델이 변경되거나 사용자가 원하는 모델만 작업 수행을 원하는 경우 아래의 부분을 수정하여 준다.

■ BSISO 예측 모델 수정

```
(생략)
MDL         = [ 'GFS', 'CFS', 'BOM', 'ECM', 'CWB' ]
VAR         = [ 'OLRA', 'U850' ]
(생략)
```

BSISO 예측 모델별로 최신의 예측자료 파일명의 시간 정보를 읽어들여 작업을 수행하는 방식이며, 각 모델별 로그파일 경로에 작업 이력이 저장된다. 개선된 예측시스템의 수행 방법은 아래와 같다.

■ 개선된 예측시스템 실행

```
]$ python FCST_RUN_LY.py
```

강수 확률 예측(R.Prob_FCST_RUN_LY.py)의 경우도 설정 및 수행 방법은 위와 유사하며, 아래와 같이 수행하여 준다.

■ 개선된 예측시스템 실행

```
]$ python R.Prob_FCST_RUN_LY.py
```

③ 검증시스템

BSISO 검증시스템은 메인 프로그램(UPDATE.LY.py)와 검증 종류에 따라 두 가지 부 프로그램(UPDATE.VERI.LY.py, UPDATE.VERI.TOTA.LY.py)으로 구성되어 있으며, 우선 부 프로그램별로 단계별 경로를 최초 지정하여 준다.

■ BSISO 검증시스템 부 프로그램 각 단계별 최초 경로 설정

```
- 검증시스템 위치 이동
]$ cd /lfs/data19/BSISO_R1/VERI/99.RUN
- 검증시스템 부 프로그램 수정
]$ vi UPDATE.VERI.LY.py
(생략)
ROOTHOME = '/lfs/data19/BSISO_R1/'
FIGUR    = ROOTHOME + '/VERI/03.FIGUR'
PREPR    = ROOTHOME + '/VERI/00.PREPR'
STEP1    = ROOTHOME + '/VERI/01.STEP1'
STEP2    = ROOTHOME + '/VERI/02.STEP2'
MONDIR   = ROOTHOME + '/MONI/00.PREPR/U850/ORG/'
(생략)

]$ vi UPDATE.VERI.TOTA.LY.py
(생략)
ROOTHOME = '/lfs/data19/BSISO_R1/'
FIGUR    = ROOTHOME + '/VERI/03.FIGUR/'
(생략)
```

여기서 종합 검증(UPDATE.VERI.TOTA.LY.py)의 경우 시작해와 종료해를 설정하여 준다.

■ BSISO 예측 모델 수정

```
(생략)
SYEAR    = '2013'
EYEAR    = '2021'
(생략)
```

BSISO 예측 모델별로 검증 작업이 수행되며, 모델이 변경되거나 사용자가 원하는 모델만 작업 수행을 원하는 경우 각 부 프로그램별 아래의 부분을 수정하여 준다.

■ BSISO 예측 모델 수정

```
(생략)
MDL      = [ 'GFS', 'CFS', 'BOM', 'ECM', 'CWB' ]
(생략)
```

부 프로그램의 설정을 마친 후, 마찬가지로 메인 프로그램의 최초 경로 설정을 해준다.

■ BSISO 검증시스템 메인프로그램 최초 경로 설정

```
- 검증시스템 메인 프로그램 수정
]$ vi UPDATE.LY.py
(생략)
ROOTHOME = '/lfs/data19/BSISO_R1/'
(생략)
```

검증시스템은 기본적으로 시스템 현재 시간 정보를 기준으로 검증을 수행하며, 사용자가 원하는 예측 시간에 대해 검증을 원할 경우 아래의 부분을 수정하여 준다.

■ 검증 시간 정보 수정

```
(생략)
YEAR  = NDATE.strftime("%Y")
MONTH = NDATE.strftime("%m")
DAY   = NDATE.strftime("%d")
(생략)
```

각 검증 종류별로 로그파일 경로에 작업 이력이 저장되며, 개선된 검증시스템의 수행 방법은 아래와 같다.

■ 개선된 검증시스템 실행

```
]$ python UPDATE_LY.py
```

④ 영향장 시스템

BSISO 영향장 시스템은 개발 당시 담당자의 요구에 따라 문제점 및 개선 사항을 고려하여 개발된 시스템으로써 “BSISO 현업시스템 운영매뉴얼 (v2020)”의 영향장 시스템 수행 방법과 동일하게 수행하여 준다.

부록 D. APCC 고해상도 계절예측시스템 운영매뉴얼

1. 개요

APEC 기후센터(APCC)는 2005년 개소 이후 중·장기 예측기술 향상을 위한 연구 및 현업을 위한 다중모델앙상블 예측기법 개발 및 개선을 위한 노력을 지속적으로 기울여 왔다. 그 결과, 홈페이지를 통해 동아시아 계절예측, 전지구 계절예측 정보를 제공하고 있으며, 이와 더불어 최근 기후현황에 대한 기후감시 정보도 함께 제공하고 있다.

APCC는 계절예측정보의 신뢰도와 활용성을 높이기 위해 2019년 사용자를 대상으로 수요조사를 실시한 결과, 대다수의 사용자가 고해상도 계절예측정보를 가장 우선으로 필요로 하였으며, 이에 2021년 11개국 15개 계절예측정보 참여 기관의 고해상도 기후예측 자료를 사용하여 새로운 고해상도(1° ×1°) 다중모델앙상블(MME) 계절예측시스템을 구축하였다.

이에 기존 계절예측정보(2.5° ×2.5° 해상도)와 고해상도(1° ×1°)를 하나의 시스템에서 선택하여 사용할 수 있도록 하였으며, 또한 향후에 발생될 수 있는 계절예측정보의 해상도 변경에도 즉시 적용할 수 있도록 해상도에 대한 확장성과 편의성을 강화하였다.

2. 자료 및 방법

현재 11개국(한국, 일본, 호주, 중국, 대만, 영국, 미국, 캐나다, 이태리, 러시아, 프랑스) 15개 현업 및 연구기관에서 매월 3개월 또는 6개월 예측 정보를 앙상블 형태로 제공해주고 있다(Table D1), APCC MME 계절예측 시스템은 각 개별모델 및 APCC 다중모델앙상블 예측정보에 대한 3개월 및 6개월 계절예측 자료 생산을 수행하게 되며, 개별모델들을 활용한 다중모델앙상블 기법은 결정론적(deterministic) 예측과 확률론적(probabilistic) 예측 기법으로써 고품질의 예측정보를 생산한다(Table D2). 단, MGO의 MGOAM-2 경우 hindcast 기간 불일치 이유로 현재 MME에 사용하고 있지 않다.

Table D1. List of participating models in APCC MME.

기관(국가)	모델명	모델해상도	앙상블 개수 (F/H)	Hindcast 기간	파일형식
APCC (한국)	SCoPS	T159L31	10/10	1982-2013	NetCDF
BCC (중국)	CSM1.1m	T106L26	24/24	1991-2015	NetCDF
BOM (호주)	ACCESS-S2	N216L85	11/27	1981-2018	NetCDF
CMCC (이탈리아)	SPS3.5	0.5x0.5, L46	50/40	1993-2016	NetCDF
CWB (대만)	TCWB1Tv1.1	T119L40	30/30	1982-2019	GRIB1
ECCC (캐나다)	CanSIPSv2	T63L35	20/20	1980-2020	GRIB2
HMC (러시아)	SL-AV	1.125x1.40625, L28	20/10	1990-2015	GRIB2
JMA (일본)	JMA/MRI-CPS3	T319L100	50/10	1991-2020	GRIB2 f err: Binary
KMA (한국)	GloSea6GC3.2	N216L85	42/12	1993-2016	GRIB2
MetFR (프랑스)	Sys 8	T359L127	51/25	1993-2016	GRIB1
NASA (미국)	GEOS-S2S-2.1	0.5x0.5, L72	10/4	1981-2016	NetCDF
NCEP (미국)	CFSv2	T126L64	20/20	1982-2010	GRIB1
PNU (한국)	CGCM v2.0	T42L18	35/35	1980-2021	Binary
UKMO (영국)	GloSea6	N216L85	42/28	1993-2016	NetCDF
MGO (러시아)	MGOAM-2	T42L14	10/6	1979-2004	f: GRIB1 h: NetCDF

Table D2. Methods of APCC MME.

기법		설명
Deterministic	SCM	Simple average of individual model forecasts with equal weighting
Probabilistic	GAUS	Non-calibrated probabilistic MME with model weights being inversely proportional to the random error in the forecast probability (Min et al. 2009)

이와 같이 15개 현업 및 연구기관에서 제공하는 3개월 또는 6개월 고해상도 개별 모델 예측 자료(Table D1)를 전처리시스템에서 표준화하여 이를 사용하여 2가지 예측기법에 대해 MME 기후예측을 수행한다.

3. 고해상도 MME 예측시스템의 구성, 환경설정, 실행

3.1 고해상도 MME 예측시스템 구성

고해상도 예측시스템에 사용된 언어는 Python version 3이다. python 언어를 사용하기 위해서는 여러 부가적인 Python 패키지가 요구되는데, 현 시스템에서는 일반적으로 많이 사용되는 numpy, netCDF4, xarray, pandas, os 패키지 등을 사용하였다.

고해상도 예측시스템의 구성은 크게 2가지로 나눌 수 있는데, 첫 번째는 개별모델 표준화 자료의 기관명, 모델명, 변수명, 예측월, hindcast 기간 등을 읽어 들이는 yaml 부분, 두 번째는 SCM, GAUS 예측기법을 이용한 MME 수행, nc 파일 쓰기 등을 위한 Python 모듈 부분이다.

이러한 예측기법별 예측 프로그램은 독립적으로 프로그램 수행이 가능하며, 사용자가 원하는 개별모델이나 전체 모델에 대해 일괄 처리 프로그램을 간단하게 작성하여 수행할 수 있다.

3.2 APCC 현업서버 환경 설정

고해상도 예측시스템은 APCC AFS 현업서버에서 실행이 되며 이를 위해서는 서버의 소프트웨어 모듈을 로드하여 사용하여야 한다. 기본적으로 필요한 것은 Python과 NCL 모듈이다. Python은 MME를 위한 계산처리, NCL은 MME 예측자료를 이용한 그래픽 표출에 사용된다.

사용자가 로그인 후 해당계정에서 python을 로드한다. NCL은 Python 자체 패키지에 포함된 버전으로 AFS 현업서버 모듈의 NCL 6.5.0도 사용가능하다.

■ 모듈 확인(module avail)

```
]$ module avail
---------------------------/opt/Modules/versions ------------------------------
3.2.10

------------------------ /opt/Modules/3.2.10/modulefiles --------------------------
dot             module-info  modules

-------------------------- /app/modulefiles/compiler -------------------------------
gnu/7.3.0(default)                python/anaconda-3.7-base
python/anaconda-3.7(default)  python/anaconda-3.7-plot

 ---------------------------- /app/modulefiles/util --------------------------------
cdo/1.9.8(default)                    java/1.8.0_112(default)         R-InstallPackages/3.6.3(default)
cmake/3.16.5(default)                 nco/4.9.2(default)              R-InstallPackages/4.0.3
grads/2.2.1(default)                  ncview/2.1.7(default)           wgrib2/1.9.5.1(default)
gv/3.7.4(default)                     R/3.6.3(default)                wgrib2/2.0.8
ImageMagick/7.0.8-67(default)         R/4.0.3
```

```
---------------------------- /app/modulefiles/library -------------------------------
emos/000382(default)        libarchive/3.4.2(default)      netcdf/4.6.3
grib_api/1.21.0(default)    libuv/1.34.2(default)          proj/5.1.0(default)
hdf5/1.10.5                 ncarg/6.5.0(default)           szip/2.1.1(default)
hdf5/1.8.18(default)        ncl/6.5.0(default)             udunits/2.2.26(default)
jasper/2.0.14(default)      netcdf/4.4.1.1(default)        zlib/1.2.11(default)
```

■ 모듈 로드(module load)

```
]$ module load python/3.7
```

3.3 고해상도 예측시스템 구조 및 프로그램 종류

고해상도 예측시스템이 실행되는 전체 디렉터리 구조는 아래의 Figure D1과 같다. 여기서 예측 정보를 생산하는 디렉터리는 “RUN” 하위 디렉터리인 “Manage_MME”에서 수행된다.

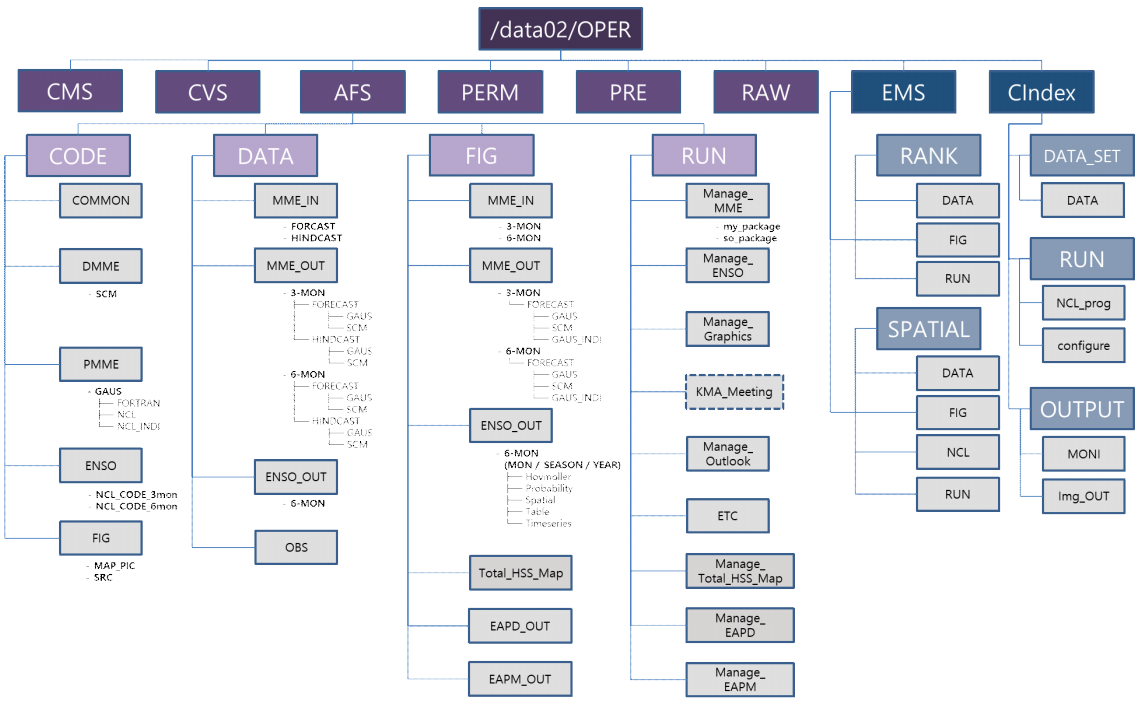


Figure D1. Structure of High-Resolution AFS.

“Manage_MME” 내의 상세 구조는 Figure B2와 같으며 본 디렉터리에는 실제 전처리를 하기 위한 소스프로그램이 있는 my_pakage 라는 디렉터리가 있으며, Table D3과 같이 forecast/hindcast, 예측기간, 예측기법별로 구분된 4개 예측 프로그램으로 구성되어 있다.

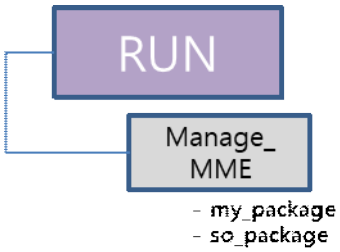


Figure D3. Structure of directory and programs in High-Resolution AFS.

MME 예측자료를 생산하기 위해 개별 모델 전처리/표준화된 예측자료를 입력자료로 하며 “/data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN” 의 경로를 활용한다.

Table D3. List of individual program and python modules in RUN directory.

RUN	개별 프로그램 실행 코드
MME 예측	FCST_SCM_MME_3month.py, FCST_SCM_MME_3month.yaml FCST_SCM_MME_6month.py, FCST_SCM_MME_6month.yaml HCST_SCM_MME_3month.py, HCST_SCM_MME_3month.yaml HCST_SCM_MME_6month.py, HCST_SCM_MME_6month.yaml
RUN/my_package	사용자 모듈 코드
아노말리, total 자료 처리 및 기타	calc_SCM_MME_IN.py, calc_GAUS_MME_IN.py calc_SCM_MME_IN_NCEP_SST.py make_season_month_name.py read_MODEL_HIND_TIME.py
nc 파일	nc_out_1_0_deg_DMME.py, nc_out_2_5_deg_DMME.py nc_out_1_0_deg_PMME.py, nc_out_2_5_deg_PMME.py
RUN/so_package	사용자 모듈 코드
포트란 파일	PMME.F, TERC_HIND.F, TERC.F
so 파일	PMME.so, TERC_HIND.so, TERC.so

3.4 고해상도 예측 프로그램 실행

고해상도 예측 프로그램을 실행하기 위해서는 먼저 해당 예측자료의 기관명, 모델명, 변수명, 예측월, hindcast 기간을 yaml 파일에 입력을 해주어야 한다. 사용자의 실행 디렉터리(RUN/)에 있는 Python 파일을 수정한다. 여기서는 APCC(SCoPS) forecast 자료에 대해 예시로 들었다.

(1) 실행 디렉터리로 이동 및 FCST_SCM_MME_3month.yaml 열기

```
]$ cd ${OPER}/AFS/RUN/Manage_MME
]$ vi FCST_SCM_MME_3month.yaml
```

(2) FCST_SCM_MME_3month.yaml 변경

```
DataList:

  - Model_name       : APCC_SCOPS
                       BOM_ACCESS-S2
                       CMCC_SPS3.5
                       CWB_TCWB1Tv1.1
                       ECCC_CANSIPSv2.1
                       HMC_SL-AV
                       JMA_MRI-CPS3
                       KMA_GLOSEA6GC3.2
                       METFR_SYS8
                       NASA_GEOS-S2S-2.1
                       NCEP_CFSv2
                       UKMO_GLOSEA6
    Variable_name   : prec
                       slp
                       t2m
                       t850
                       u200
                       u850
                       v200
                       v850
                       z500
    Forecast_month : OCT
    Forecast_year   : 2022
    Hindcast_syear : 1991
    Hindcast_eyear : 2010
    Resolution      : 2.5
    Issued_date     : 15 Sep 2022

# JAN: 1992-2011
# # # Other Seasons: 1991-2010

  - Model_name       : APCC_SCOPS
                       BOM_ACCESS-S2
                       CMCC_SPS3.5
                       CWB_TCWB1Tv1.1
                       ECCC_CANSIPSv2.1
                       KMA_GLOSEA6GC3.2
                       METFR_SYS8
                       NASA_GEOS-S2S-2.1
                       NCEP_CFSv2
                       UKMO_GLOSEA6
    Variable_name   : sst
    Forecast_month : OCT
    Forecast_year   : 2022
    Hindcast_syear : 1991
    Hindcast_eyear : 2010
    Resolution      : 2.5
    Issued_date     : 15 Sep 2022

# JAN: 1992-2011
# # # Other Seasons: 1991-2010
```

사용자가 처리를 원하는 변수를 선택하여(추가하거나 제외 가능) 형식에 맞게 수정한다(위 예제는 3개월 forecast SCM 예측 자료를 생산하기 위한 모든 리스트임). 본 yaml에서는 해수면 온도에 대해서 참여 목록이 다른 특성을 반영하여 별도의 모델 구성을 입력할 수 있으며, “Resolution” 란에서 저해상도(2.5도) 및 고해상도(1도) 해상도를 설정할 수 있다.

FCST_SCM_MME_3month.yaml 파일 수정 후, FCST_SCM_MME_3month.py 프로그램을 실행하면 3개월 forecast SCM 예측 자료가 생산된다.

(3) FCST_SCM_MME_3month.py 실행

```
]$ python FCST_SCM_MME_3month.py
```

나머지 프로그램에 대한 yaml 파일도 위와 유사하게 수정하여, 예측 프로그램을 수행할 수 있다. 또한, 개별모델이 추가되거나 변경될 시에도 유사하게 수행한다.

(4) 고해상도 MME 예측 자료 경로

```
- Forecast : ${OPER}/AFS/DATA/MME_OUT/FORECAST/
- Hindcast : ${OPER}/AFS/DATA/MME_OUT/HINDCAST/
```

4. 사용자 편의를 위한 기타 내용

4.1 저해상도(2.5° ×2.5°) 고해상도(1.0° ×1.0°) 선택형 예측

고해상도 예측(1.0° ×1.0°) 뿐만 아니라 기존의 2.5° ×2.5° 해상도의 예측자료를 생산할 수 있도록 확장성을 고려하였다. 아래와 같은 RUN 디렉터리의 Python 프로그램에서 해상도를 선택하여 지정할 수 있으며, 추후 예측 자료의 해상도 변경이 발생 시에도 동일한 설정 방식으로 사용 가능하다(프로그램 내에서 새로운 해상도에 대한 조건문 삽입 등의 수정은 필요함).

```
# MME output files path
mme_out_dir = "/data02/OPER/AFS/DATA/MME_OUT/"

# individual model directory path: hindcast

# 2.5 degree
#fcst_model_path = "/data02/OPER/AFS/DATA_lres/MME_IN/FORECAST/"
#hcst_model_path = "/data02/OPER/AFS/DATA_lres/MME_IN/HINDCAST/"
#resolution = 2.5

# 1.0 degree
fcst_model_path = "/data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/FORECAST/"
hcst_model_path = "/data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/HINDCAST/"
resolution = 1.0
```

4.2 해수면 온도 변수 참여 모델 목록 별도 지정

APCC MME 해수면 온도 변수는 참여 모델의 특성 및 자료 제공 정책상 이유로 참여 모델 목록이 타 변수와 상이한 특징이 있다. 기존 AFS는 해당 특성을 메인 프로그램 혹은 소스 프로그램 내에 조건문 형식으로 코드 수정이 불가피 하였으나, 본 고해상도 AFS는 yaml을 통해 해당 변수에 대해 별도로 참여 모델 목록을 지정해줄 수 있다.

부록 E. APCC 예측 그래픽 내 예측정보 발표일 자동입력 기능

리눅스 시스템 시간 정보 기반 발행일자 자동 입력을 위한 메인 프로그램의 수정 전후는 아래와 같다.

변경 전

```
# NCL : 5th block ------------------------------------------------------------

        if var_name == "uv850":
            ncl_anom_wind_monthly.F1st_block(ncin_fcst_fname, ncin_hcst_fname, var_name,
ncl_fname, hind_start, hind_end, nmonth)
            ncl_anom_wind_monthly.S2nd_block(ncl_ptype, png_fname, var_name, ncl_fname)
            ncl_anom_wind_monthly.T3rd_block(var_name, region, ncl_fname)
            ncl_anom_wind_monthly.F4th_block(region, ncl_fname)
            ncl_anom_wind_monthly.F5th_block(region, var_name, issued_day, issued_month,
issued_year, \
                                             forecast_month, forecast_year, nmonth, \
                                             hind_start, hind_end, \
                                             png_fname, png_fname, ncl_fname)
        elif var_name == "uv200":
            ncl_anom_wind_monthly.F1st_block(ncin_fcst_fname, ncin_hcst_fname, var_name,
ncl_fname, hind_start, hind_end, nmonth)
            ncl_anom_wind_monthly.S2nd_block(ncl_ptype, png_fname, var_name, ncl_fname)
            ncl_anom_wind_monthly.T3rd_block(var_name, region, ncl_fname)
            ncl_anom_wind_monthly.F4th_block(region, ncl_fname)
            ncl_anom_wind_monthly.F5th_block(region, var_name, issued_day, issued_month,
issued_year, \
                                             forecast_month, forecast_year, nmonth, \
                                             hind_start, hind_end, \
                                             png_fname, png_fname, ncl_fname)
        else:
            ncl_anom_monthly.F1st_block(ncin_fcst_fname, ncin_hcst_fname, var_name,
ncl_fname, hind_start, hind_end, nmonth)
            ncl_anom_monthly.S2nd_block(ncl_ptype, png_fname, var_name, ncl_fname)
            ncl_anom_monthly.T3rd_block(var_name, region, ncl_fname)
            ncl_anom_monthly.F4th_block(region, ncl_fname)
            ncl_anom_monthly.F5th_block(region, var_name, issued_day, issued_month,
issued_year, \
```

```
                                        forecast_month, forecast_year, nmonth, \
                                        hind_start, hind_end, \
                                        png_fname, png_fname, ncl_fname)
```

변경 후

```
# NCL : 5th block ------------------------------------------------------

        if var_name == "uv850":
            ncl_anom_wind_monthly.F1st_block(ncin_fcst_fname, ncin_hcst_fname, var_name,
ncl_fname, hind_start, hind_end, nmonth)
            ncl_anom_wind_monthly.S2nd_block(ncl_ptype, png_fname, var_name, ncl_fname)
            ncl_anom_wind_monthly.T3rd_block(var_name, region, ncl_fname)
            ncl_anom_wind_monthly.F4th_block(region, ncl_fname)
            ncl_anom_wind_monthly.F5th_block(region, var_name, issued_day, issued_month,
issued_year, \
                                        forecast_month, forecast_year, nmonth, \
                                        hind_start, hind_end, \
                                        png_fname, png_fname, ncl_fname, fcst_year,
fcst_month_n)
        elif var_name == "uv200":
            ncl_anom_wind_monthly.F1st_block(ncin_fcst_fname, ncin_hcst_fname, var_name,
ncl_fname, hind_start, hind_end, nmonth)
            ncl_anom_wind_monthly.S2nd_block(ncl_ptype, png_fname, var_name, ncl_fname)
            ncl_anom_wind_monthly.T3rd_block(var_name, region, ncl_fname)
            ncl_anom_wind_monthly.F4th_block(region, ncl_fname)
            ncl_anom_wind_monthly.F5th_block(region, var_name, issued_day, issued_month,
issued_year, \
                                        forecast_month, forecast_year, nmonth, \
                                        hind_start, hind_end, \
                                        png_fname, png_fname, ncl_fname, fcst_year,
fcst_month_n)
        else:
            ncl_anom_monthly.F1st_block(ncin_fcst_fname, ncin_hcst_fname, var_name,
ncl_fname, hind_start, hind_end, nmonth)
            ncl_anom_monthly.S2nd_block(ncl_ptype, png_fname, var_name, ncl_fname)
            ncl_anom_monthly.T3rd_block(var_name, region, ncl_fname)
            ncl_anom_monthly.F4th_block(region, ncl_fname)
            ncl_anom_monthly.F5th_block(region, var_name, issued_day, issued_month,
issued_year, \
```

```
                                    forecast_month, forecast_year, nmonth, \
                                    hind_start, hind_end, \
                                    png_fname,    png_fname,    ncl_fname,    fcst_year,
fcst_month_n)
```

리눅스 시스템 시간 정보 기반 발행일자 자동 입력을 위한 소스 프로그램의 수정 전후는 아래와 같다.

변경 전

```
# NCL : 5th block ------------------------------------------------------------

    plot1 = """
;=== 5th block ================================================================

    res@gsnRightString                = "Unit: "+fcst@units+" (Anomaly)"
    res@gsnLeftString                 = "Issued: " + "{0}" + " " + "{1}" + " " + "{2}"
""".format(issued_day, issued_month, issued_year)
```

*기존 프로그램은 발행일자(20일)가 주말인 경우, OPTION 파일에 사용자가 가까운 평일로 발행일자를 수동으로 수정

변경 후

```
# NCL : 5th block ------------------------------------------------------------

    plot1 = """
;=== 5th block ================================================================

    is_mon  = stringtoint(systemfunc("date -d '{4}-{3}-01 1month ago' +%m"))
    is_monS = systemfunc("date -d '{4}-{3}-01 1month ago' +%B | cut -c1-3")
    is_year = stringtoint(systemfunc("date -d '{4}-{3}-01 1month ago' +%Y"))
    is_week = systemfunc("date -d '"+is_year+"-"+is_mon+"-15' +%u")
    is_date = systemfunc("date -d '"+is_year+"-"+is_mon+"-15' +%d")

    if is_week .eq. 6 then
     is_date = stringtoint(systemfunc("date -d '"+is_year+"-"+is_mon+"-15 2day' +%d"))
    else if (is_week .eq. 7) then
     is_date = stringtoint(systemfunc("date -d '"+is_year+"-"+is_mon+"-15 1day' +%d"))
```

```
    end if
    end if

    res@gsnRightString                  = "Unit: "+fcst@units+" (Anomaly)"
    res@gsnLeftString                   = "Issued: " + is_date + " " + is_monS + " " +
is_year
""".format(issued_day, issued_month, issued_year, fcst_month_n, fcst_year)
```

*개선 프로그램은 발행일자(15일)가 주말인 경우, 사용자가 별도의 수정 없이 리눅스 시스템 날짜 정보 기반으로 돌아오는 월요일의 날짜로 자동 입력

부록 F. 동아시아 지역 확률계절예측시스템 운영 매뉴얼

□ 프로그램 구성 및 산출물

○ 현업 시스템 정보 : afsdev(10.100.9.166)[7)]

■ CPU
- model : Intel(R) Xeon(R) Gold 6137
- 쿨럭 : 3.90GHz
- 코어 : 물리코어 16개, 논리코어 32개

■ 메모리
- 192GB

■ OS 운영체제
- Linux CentOS-7.0

■ Fortran compiler
- GNU 7.3.0

■ Python
- anaconda 3.7 / anoaconda 3.7-plot

■ NCL
- version 6.5.0

○ 프로그램 구성 및 산출물

- 구성

동아시아 지역맞춤형 확률예측 시스템의 구성도는 아래와 같이 구동 디렉터리와 산출물 디렉터리로 구성됨

사용언어는 통합 구동 메인 프로그램은 shell, 계산 및 그림 부분은 각각 NCL 및 Python 언어를 사용

7) afsdev: APCC MME 현업 운영 시스템으로써 2020년 6월부터 신규로 구축된 최신 시스템

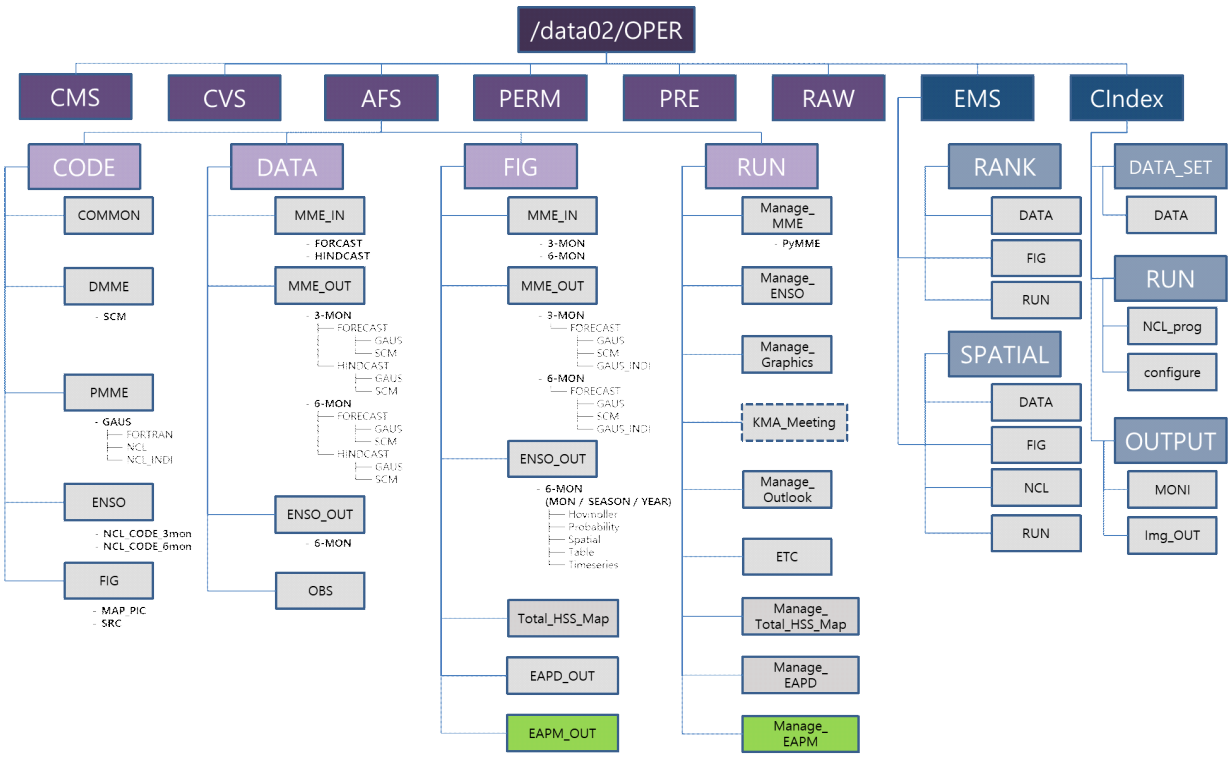


Figure F1. Structure of East Asian customized probabilistic forecast system (green).

○ 세부 프로그램 구축 사항

- 일괄 처리 프로그램

■ 동아시아 지역맞춤형 확률예측 시스템 일괄 처리 프로그램
- /data02/OPER/AFS/RUN/Manage_EAPM/run4EAPM.py

- 산출부 프로그램

■ 동아시아 지역맞춤형 확률예측 시스템 정보 산출 설정부
/data02/OPER/AFS/RUN/Manage_EAPM/Operationalizing/init.ncl
■ 동아시아 지역맞춤형 확률예측 시스템 정보 산출 메인 프로그램
/data02/OPER/AFS/RUN/Manage_EAPM/Operationalizing/run.csh
■ 동아시아 지역맞춤형 확률예측 시스템 정보 산출 소스 프로그램
/data02/OPER/AFS/RUN/Manage_EAPM/Operationalizing/Step.0 ~ Step.5
※ 소스 프로그램 상세 내용은 “자동 처리 프로그램 운영 매뉴얼” 참고

- 표출부 프로그램

■ 동아시아 지역맞춤형 확률예측 시스템 정보 표출 메인 프로그램
/data02/OPER/AFS/RUN/Manage_EAPM/Graphics/General.py
■ 동아시아 지역맞춤형 확률예측 시스템 정보 표출 소스 프로그램
/data02/OPER/AFS/RUN/Manage_EAPM/Fig*.py
※ 소스 프로그램 상세 내용은 “자동 처리 프로그램 운영 매뉴얼II” 참고

○ 산출물 세부사양

- 현업 업데이트 주기: 월 1회(매월 14일경)

- 시간 해상도: Monthly 자료

- 현업 소요시간(신속성): 5분 내외

- 필요 입력데이터

· 현업서버 내 관측자료 및 개별모델 표준화 예측 자료 (NetCDF 형식)

- 최종산출물 (상세 내용은 자동화 완료 보고서 I, II 참고)

1) 산출부 (NetCDF)

· 동아시아 확률예측

✓ 기온 및 강수 확률예측

✓ 두 가지 기후인자(ENSO, 서태평양 강수) 기반 모델선별 다중모델 확률 예측을 통한 합성 및 지역맞춤 계절기후예측

· 동아시아 확률예측장 영역 평균 (위도에 대한 가중치 없는 단순 평균)

· 최근 기간의 과거 예측 추이

· 기후인자 예측

✓ 두 가지 기후인자 및 관련 변수에 대한 편차 예측

✓ 기후인자 관련 지수 예측

· 예측인자와 동아시아 기후의 관련성

✓ 강수 및 기후인자(ENSO, 서태평양 강수)의 회귀

· 동아시아 계절기후 확률예측의 검증 정보

✓ 과거 재현기후 예측 검증

✓ 최근 기간의 과거 예측 검증

2) 표출부 (png)

· 동아시아 확률예측장

✓ 동아시아 영역 평균 삼분위 확률예측 pie chart

✓ 동아시아 영역 확률예측장

· 확률예측에 이용된 예측인자의 전망

✓ 열대지역 해수면 온도 및 ENSO 예측장

✓ 열대서태평양 강수 예측장

· 최근 기간의 과거 예측 및 관측 추이

✓ 최근 기간의 ENSO 과거 예측 및 관측 추이

✓ 최근 기간의 열대서태평양 강수 과거 예측 및 관측 추이

· 예측인자와 동아시아 기후 관련성 정보

✓ ENSO 2가지 PC의 EOF 첫 번째 모드와 동아시아 강수 관련성

✓ 열대서태평양 강수 및 동아시아 강수의 관련성 정보

· 최근 기간의 과거 예측 검증

· 과거 재현기후 예측의 검증

✓ 최근 기간의 과거 예측과 관측의 카테고리 비교 table

✓ 과거 재현기후 예측에 대한 검증

□ 운영 매뉴얼

○ 자동 처리 프로그램 수행 절차

- 현업서버 환경 설정(모듈 로드)

· 모듈 확인(module avail)

```
]$ module avail
------------------------------ /opt/Modules/versions -------------------------------
3.2.10

------------------------------ /opt/Modules/3.2.10/modulefiles ---------------------
dot             module-info  modules

------------------------------ /app/modulefiles/compiler ---------------------------
gnu/7.3.0(default)              python/anaconda-3.7(default)  python/anaconda-3.7.1-plot

------------------------------ /app/modulefiles/util -------------------------------
cdo/1.9.8(default)              ImageMagick/7.0.8-67(default)  wgrib2/1.9.5.1(default)
cmake/3.16.5(default)            java/1.8.0_112(default)          wgrib2/2.0.8
grads/2.2.1(default)            nco/4.9.2(default)
gv/3.7.4(default)               ncview/2.1.7(default)

------------------------------ /app/modulefiles/library ----------------------------
emos/000382(default)         libarchive/3.4.2(default)  netcdf/4.6.3
grib_api/1.21.0(default)   libuv/1.34.2(default)        proj/5.1.0(default)
hdf5/1.10.5                     ncarg/6.5.0(default)         szip/2.1.1(default)
hdf5/1.8.18(default)          ncl/6.5.0(default)             udunits/2.2.26(default)
jasper/2.0.14(default)       netcdf/4.4.1.1(default)     zlib/1.2.11(default)
```

· 모듈 로드(module load)

```
]$ module load python/3.7.-anaconda  ncl/6.5.0
```

- 프로세스 실행 순서

· 실행 디렉터리 이동

```
]$ cd /data02/OPER/AFS/RUN/Manage_EAPM/
```

본 메인 프로그램 run4EAPM.py는 서버 시스템 실제 시간을 기준으로 다음 달 예측을 타깃 계절로 기본 설정되어 있으며, 사용자가 원하는 예측 타깃 시간 정보를 직접 입력할 수 있다.

· run4EAPM.py 변경 (예측 시작 해/월, 모델목록 수정)

```
]$ vi run4EAPM.py

#----------------------------------------

NDATE    = datetime.datetime.now()
FDATE    = NDATE + relativedelta(months = 1)
FYEAR    = FDATE.year                    # Forecast Start Year : e.g. 2021
FMON     = FDATE.strftime("%b").upper()  # Forecast Start Month : e.g. DEC

MODEL    = "(/\"APCC_SCOPS\", \"BCC_CSM1.1M\", \"BOM_ACCESS-S2\",
\"CMCC_SPS3.5\", \"CWB_TCWB1Tv1.1\", \"HMC_SL-AV\", \"JMA_MRI-CPS3\",
\"KMA_GLOSEA6GC3.2\", \"MGO_MGOAM-2\", \"ECCC_CANSIPSv2.1\",
\"NASA_GEOS-S2S-2.1\", \"NCEP_CFSv2\", \"PNU_CGCMv2.0\", \"UKMO_GLOSEA6\"/)"

#----------------------------------------
```

본 메인 프로그램을 실행하면 설정한 예측 타깃 시간 정보와 모델 목록에 대해 NCL에 읽어 들일 수 있는 형태로 “EAPM.Parameters.Source”라는 파일을 생산한다. 본 파일은 설정부 프로그램인 “init.ncl”에서 해당 설정 정보를 불러오는데 활용된다.

“init.ncl” 은 자료 산출을 위한 타깃 예측해, 예측월, 예측계절, 동아시아 영역, hindcast 기간, 입력자료 경로, 참여모델 목록 등을 사용자가 직접 설정할 수 있다.

· init.ncl 변경 (입력/산출물 경로 변경, 영역 지정 등)

```
]$ vi init.ncl

; Main initialization
begin

;;   vfyear = stringtointeger(systemfunc("date -d '3 month ago' +%Y")) ; for verification
;;   vflmonth = str_upper(systemfunc("date -d '3 month ago' +%b")) ; for verification
   vfyear = 2022
   vflmonth = "FEB"

   vfsea = set_fsea(vflmonth)
   vseas = start_and_end_months_of_season(vfsea)

;;   fyear = stringtointeger(systemfunc("date -d '1 month' +%Y")) ; for verification
;;   flmonth = str_upper(systemfunc("date -d '1 month' +%b")) ; for verification

   fyear = 2022
   flmonth = "JUN"

   fsea = set_fsea(flmonth)
   seas = start_and_end_months_of_season(fsea)

;   root_dir = getenv("working_dir") ; modified ad of Jul 28, 2021
   root_dir = "/data02/OPER/AFS/RUN/Manage_EAPM/Operationalizing/"
```

```
; Setting East Asia Region

   slat = 15
   elat = 60
   slon = 75
   elon = 150

   lat = create_lat_coordinate(slat, elat)
   lon = create_lon_coordinate(slon, elon)

   if fsea .eq. "JFM" then
     hsyr = 1992
     heyr = 2011
   else
     hsyr = 1991
     heyr = 2010
   end if


(이하 중략)

   data_dir = root_dir + "/" + fyear + "/DATA" ; copied from
"/lfs/data11/NEW_OPER/AFS/DATA/OBS"
   veri_dir = root_dir + "/" + vfyear + "/DATA"

model = (/"APCC_SCOPS", "BCC_CSM1.1M", "BOM_ACCESS-S2", "CMCC_SPS3.5",
"CWB_TCWB1Tv1.1", "JMA_MRI-CPS3", "KMA_GLOSEA6GC3.2", "METFR_SYS8",
"ECCC_CANSIPSv2.1", "NASA_GEOS-S2S-2.1", "NCEP_CFSv2", "PNU_CGCMv2.0",
"UKMO_GLOSEA6"/)
```

여기서 fyear(예측해) 및 flmonth(예측월)와 vfyear(검증해) 및 vflmonth(검증월)은 관측자료 수집 여부에 따라 4개월의 차이를 두어야 한다. 그 다음으로 아래와 같이 산출부의 일괄 처리 쉘 프로그램의 작업 경로를 설정해준다.

· run.csh (작업 경로 설정 및 산출부 일괄 처리 쉘)

```
]$ vi run.csh

set working_dir = "/data02/OPER/AFS/"              * 작업 경로 (=AFS)
echo ""
echo ""
echo "============= START     ============="
echo ""
date


(이하 생략)
```

산출부 설정을 마친 뒤, 표출부 디렉터리로 이동하여 일괄처리 프로그램인 “General.py”를 수정한다. 본 프로그램은 입력/출력 자료 경로, hindcast 기간, 발행일, 세부 프로그램 실행 여부 등을 포함하고 있으며, 작업하고자 하는 환경으로 설정하여 준다.

· 표출부 디렉터리 이동 및 일괄처리 프로그램(General.py) 편집

```
]$ cd Graphics
]$ vi General.py

# -*- coding: utf-8 -*-
"""
Created on Tue Sep 24

@author: igjung
@objective: Calcuate East Asia's Ranks (Temperature and Precipitation)
"""

import os
import cartopy
#cartopy.config['data_dir']='/app/sw/anaconda/3.7/lib/python3.7/site-packages/cartopy'
#cartopy.config['pre_existing_data_dir']='/app/sw/anaconda/3.7/lib/python3.7/site-packages/carto
py'

yearnm = 2020              * 예측해
monthnum = 1               * 예측월
prjdir = '/data02/OPER/AFS/FIG/EAPM_OUT/'              * 산출물 경로
database = '/data02/OPER/AFS/RUN/Manage_EAPM/Operationalizing/'        * 입력물 경로
varnms = ['t2m', 'prec']
reghindcastfnm = 'prec.reg.hindcast.1991-2010.gl.nc'
twpfnm = 'prec.twp.reg.hindcast.1991-2010.gl.nc'
hissyear = 1992            * hindcast 시작해
hiseyear = 2011            * hindcast 종료해
Issuedate = 15             * 발행일
```

작업 환경에 대한 설정을 마친 뒤 메인 프로그램을 실행하여 준다.

· 메인 프로그램(run4EAPM.py) 실행

```
]$ python run4EAPM.py
```

본 프로그램을 수행하면 산출부 및 표출부 프로그램이 순차적으로 실행되며, 산출부에서 산출되는 출력물을 표출부에서 입력자료로 하여 아래의 경로에 최종 그림 파일을 산출하게 된다.

· 산출부 출력물 경로

```
]$ cd /data02/OPER/AFS/RUN/Manage_EAPM/Operationalizing/DATA/{YEAR}
※ YEAR: 예측해(e.g. 2022)
```

· 생산 그림 경로

```
]$ cd /data02/OPER/AFS/FIG/EAPM_OUT/{YEAR}/{MONTH}/
※ YEAR: 예측해(e.g. 2022), MONTH: 예측월(e.g. JUN)
```