

# APCC 기후예측시스템 운영 및 개선

## Operation and improvement of APCC climate prediction system

김유진, 임아영, 임창묵, 정다은, 최재원, 민영미, 양유빈  
기후사업본부 예측운영과

2021.12.

APEC기후센터

## 평문 초록

APCC(APEC Climate Center)는 2005년 설립 이후 다중모델앙상블을 활용한 장기 계절예측 및 계절내예측, 기후감시 정보 등을 생산하여 ‘기후예측정보를 통한 아시아·태평양 지역의 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 기후예측모델에 앙상블 기법을 적용하여 다중모델앙상블(Multi Model Ensemble; 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 꾸준히 향상되었습니다.

계절, 계절내 예측정보를 생산하기 위한 예측/검증 시스템, 기후감시 시스템은 APCC의 설립 당시 구축되어 지금까지 많은 개선을 거쳐왔는데 이를 좀 더 효율적이고 통합적으로 운영하기 위해 문제점을 진단하고 이를 해결하기 위한 시스템을 구축하였습니다. 신규/개선 MME 참여모델이 있을 때 이를 MME에 적용시키기 위한 예측력 평가 매트릭스를 구성하여 이를 시스템화하였고, BSISO 계절내예측시스템 운영의 효율성을 높이고 수요자들의 요구사항에 부응하여 예측일수를 늘리며 최근 기후변화상황을 적용할 수 있게끔 기후평년기간을 변경하기 위해 개선의 방향을 제시하였습니다. 기후감시 시스템의 평년기간을 최근 1991-2020으로 변경하여 최근 기후변화를 반영하도록 하였고 동아시아 지역 예측정보의 확률분포 표출 시스템(국문)을 구축하여 홈페이지를 통해 사용자들에게 다양하고 정확한 기후감시/예측정보를 제공하고자 하였습니다.

사용자들의 수요조사 결과, 고해상도 예측정보 조기제공의 가능성을 타진하기 위한 예측력 분석을 수행하여 기존 시스템을 개선 및 확장 구축하였습니다. 개별모델의 수집과 전처리가 효율적으로 처리되어 조기제공이 가능하도록 시스템을 개선하였고 2.5도와 1도의 해상도별 MME의 유연한 처리가 가능하도록 예측/검증 시스템을 확장하였습니다. 고해상도 검증정보를 생산하기 위해서는 기준검증데이터가 변경되고, 이에 따라 예측정보의 불연속성이 발생하기에 이를 사용자들에게 객관적으로 알리기 위한 예측력 분석을 수행하였습니다. 1-개월 선행 예측정보 생산을 매월 20일에서 15일로 앞당기고자 MME의 성능을 비교하고, 0.5-개월 선행 예측정보의 매월 10일 생산의 가능성을 진단하였습니다.

APCC 기후예측시스템 개선/운영 과제의 수행으로 통합시스템의 효율적인 운영을 통해 APCC MME의 예측력은 꾸준히 향상되고 있고 다양한 예측 콘텐츠도 제공되고 있습니다. 이를 통해 다음 단계에서는 보다 양질의 예측정보 생산과 사용자 친화적인 서비스 제공으로 세계적인 기후예측 기관으로서의 경쟁력을 확보할 것입니다.

## Executive Summary

Since its establishment in 2005, APCC 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.

The climate prediction system, a foundation of APCC, consists of seasonal forecast system and intraseasonal forecast system. The Seasonal forecast system consists of APCC MME, Fire and haze early warning system, and SCoPS (Seamless Coupled Prediction System), which is an in-house seasonal forecast model of APCC. Also, BSISO (Boreal Summer IntraSeasonal Oscillation) forecast system is operated as the intraseasonal forecast system.

The AFS (Automated Forecast System), APCC MME monitoring/forecast/verification system, was build with the establishment of APCC. It has been improved and advanced persistently but it needs more being efficient and systematic at that time, so this project was set at 2017. The AFS is progressed since then; the monitoring/verification system is improved in 2019, the monitoring/forecast/verification system is unified in 2020. Continuously in 2021, an unification of source code, improvement of efficiency, temporal and spacial expansion are performed to improve the AFS. Though this improvement, hindcast period of APCC MME was shifted from 1983-2003 to 1991-2010 then relatively newest climate forecast models with good-performance participated in MME and influence MME's performance positively.

The participating models of APCC MME have changed steadily. A new model is added and for models are upgraded in 2021, so MME's forecast skill is improved. When an individual model was changed or newly added, the forecast skills of new/old version of individual model and influence of the change to MME were analyzed every time but it would be consumptive and analysis range would be subjective by an analyst. Thus, more systematic analysis and management is necessary to run, so the metrics of forecast skill to compare new/upgraded individual models are configured and systematized. It is an automated system for calculation and also documentation, so expected to increase the efficiency of running the MME operating system.

For users in South Korea, new forecast and monitoring contents of East Asia region were launched at Korean homepage in 2019. But lack of forecast contents and probabilistic forecast information in Korean for domestic users were pointed out, so a new system is developed to display probabilistic spread of East Asian forecast data and added a new content to the Korean homepage in 2021.

In 2020, APCC monitoring system moved the climatology period to 1991-2010 consistent to

the forecast hindcast period. But the climatology period does not contain the recent climatological changes and the gap would grow by time goes so the climatology period shifted to recent 30 years, 1991-2020, which is recommended by WMO. The new climatology period is adapted to the climate monitoring system including ‘Current Climate’ , and ‘Climate Indices’ contents in APCC homepage this year.

The intraseasonal forecast system is operated since 2013 and BSISO index forecast/verification/monitoring information is displayed and serviced through APCC’s homepage and platforms. In 2020, the new ‘BSISO impact anomaly’ content is developed but the interior source code is not changed so an improvement is needed at this time; an extension of forecast lead time, changes to the new climatological period, etc. Therefore, BSISO system is diagnosed to run the system efficiently in a long-term period and direction of problems and possibility of improvement is presented in this year.

In 2020, the users of APCC MME demanded the high-resolution forecast information and early issuing of seasonal forecast information to lead the area of seasonal prediction by APCC MME. To meet the demand, the temporally and spaciouly expanded system is established and base research is performed this year. Many forecast institutes are running a higher resolution model than the current APCC MME’s resolution ( $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$  ). To make a common resolution of participating models, lower resolution is adapted to APCC MME; and yields a loss of forecast information of original model and usability in a part. Thus a new system is established to make the high-resolution ( $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  ) MME forecast data to overcome the loss of original forecast data. Also comparison and analysis contents of forecast skills depend of resolution are included in this report to deliver the related objective information to users.

In 2019, APCC MME release date is advanced from 25 to 20 through an improvement of AFS. But many operating institutes for climate forecast producing/utilizing are still need earlier forecast data release to meet their schedule, for example, Korean Meteorological Agency (KMA) produces the model data and analyze around 15<sup>th</sup> to release the seasonal forecast outlook every 20th. Climate forecast institutes in the world are running similar schedule with KMA, so the early release of APCC MME data would increase the usability of these institutes. Therefore the possibility of earlier issue around 15<sup>th</sup> are investigated in the sense of efficiency and forecast performance in this report. Also the possibility of producing the 0.5-month leading forecast data around 10th is also investigated.

Though three years, 2019-2021, APCC climate prediction system is improved its efficiency, usability, and expand the system temporally and spaciouly. Many researches and improvements through this project will be the foundation to the next level climate prediction system and drive up the APCC MME’s competitiveness.

## 국문 요약

APCC는 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 장기계절예측(3/6개월) 및 검증정보, 계절내예측정보를 제공하고 있습니다.

APCC의 근간이 되는 기후예측시스템은 계절예측시스템과 계절내예측시스템이 있습니다. 계절예측시스템은 APCC MME, 산불예측, APCC in-house 계절예측모델인 SCoPS (Seamless Coupled Prediction System)가 있습니다. 계절내예측시스템으로는 BSISO (Boreal Summer Intra Seasonal Oscillation)를 운영하고 있습니다.

APCC MME의 감시/예측/검증 시스템은 APCC의 설립 초기 AFS(Automated Forecast System)을 개발하여 구축하였고 이후 개선, 발전을 꾸준히 해왔으나 좀 더 효율적이고 체계적인 시스템으로의 개선의 필요성이 대두되었습니다. 이에 본 과제에서는 2019년 감시/검증 시스템의 개선, 2020년 감시/예측/검증 시스템의 통합 등의 과정을 거쳐 2021년은 감시/예측/검증 시스템의 효율성 개선 및 소스코드의 통일, 고해상도/조기제공으로의 확장 등 꾸준히 AFS을 발전시키고 있습니다. 이러한 과정에서 APCC MME의 hindcast 기간은 1983-2003에서 1991-2010으로 변경되었고, 최신모델이 참여하면서 예측력이 향상되었습니다.

APCC MME의 참여모델들은 꾸준히 변화합니다. 2021년에는 새로운 기관의 참여도 있으며, 4개 기관의 모델 개선이 있어 MME의 예측력에도 긍정적 영향이 있었습니다. APCC에서는 신규/개선 모델이 있을 때 참여모델의 예측력, MME에 미치는 영향 등을 분석하는데, 이는 소모적이기도 하고 담당자에 따라 분석 범위나 구체적 방법이 달라 이를 체계적으로 관리해야 할 필요가 있었습니다. 그래서 신규/개선 개별모델의 예측성 평가 매트릭스를 구성하고 시스템화 하였습니다. 이는 계산 프로그램뿐 아니라 문서화까지 자동화한 것으로 앞으로 현업 운영에 있어 효율성을 개선시켜 줄 것으로 기대합니다.

2019년에는 국내 이용자를 위해 동아시아 지역에 대한 예측 및 감시 정보를 제공하는 국문 홈페이지를 신설하였습니다. 국내 이용자 대상의 예측 콘텐츠를 보완하기 위해 국문으로 동아시아 예측정보의 확률분포를 추가로 제공하는 시스템을 구축하고 새로운 콘텐츠를 개발하였습니다.

2020년, APCC 기후감시 시스템은 예측과 동일하게 기후평년기간을 1991-2010으로 변경하였습니다. 이는 최근 기후변화 양상을 반영하지 못하고, 시간이 흐를수록 그 격차가 벌어질 수 있습니다. 그래서 WMO의 권고하는 평년기간인 1991-2020, 30년으로 기후평년기간을 변경하여 감시 시스템에 적용하였습니다. 신 기후평년기간은 전구 기후현황, 기후지수 콘텐츠에 적용하게 되고, 홈페이지에 변경된 기후감시 정보를 게재하였습니다.

계절내예측시스템은 2013년부터 운영되어 왔으며 BSISO 예측/검증/감시 정보를 APCC 홈페이지와 플랫폼을 통해 표출하고 배포하고 있습니다. 2020년 새로운 BSISO 영향예보를 신설하여 운영을 해왔으며, 예측일수를 확대하거나 기후평년기후기간 등을 변경하는 등 변화가 필요

한 시점이라고 판단하여 장기적인 측면에서 좀 더 효율적인 운영과 개선을 위해 문제점을 진단하고 개선 방향과 가능성을 제시하였습니다.

2020년 APCC 계절예측정보의 이용자들이 가장 우선적으로 개선되어야 할 점으로 주목한 것은 고해상도 예측정보와 조기제공이었습니다. 이에 부응하기 위해 2021년은 고해상도 예측정보 생산과 조기제공을 위해 시간, 공간적으로 확장된 시스템 구축과 기반 연구를 계획하고 진행하였습니다. 많은 참여기관들이 현재 APCC MME의 해상도( $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ) 보다는 고해상도의 개별 기후모델을 운영하고 있습니다. MME를 수행하기 위해 저해상도의 공통 해상도로 맞추다 보니 MME 예측정보를 생산함에 있어 여러 참여모델들의 고해상도 정보를 일정부분 잃어버리고 예측정보로서의 활용도가 다소 떨어지는 점이 있습니다. 이를 극복하기 위해 MME의 해상도를  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  로 변경하여 생산하는 시스템을 구축하였고, 변경되는 예측정보를 객관적으로 제공하기 위해 해상도에 따른 예측력을 비교하고 보고서에 담았습니다.

2019년 APCC 계절예측시스템은 AFS를 재정비하면서 기존의 25일 제공날짜를 20일로 앞당겼습니다. 하지만 계절예측정보를 생산/활용하는 기관에서는 이보다 이른 시기에 이를 필요로 하기에 이를 좀 더 앞당겨 15일에 1-개월선행 예측자료를 조기제공하는 가능성을 타진하였습니다. 예를 들어, 기상청은 20일 즈음 계절예측전망을 발표하는데, 이를 위해 15일 즈음부터 모델예측정보를 생산하고 분석하기에, MME 공식예보를 15일 즈음 제공한다면 APCC MME의 활용도가 더 높아질 것이고, 해외의 다른 기관에서도 계절예측전망에 이를 활용할 수 있을 것입니다. 또한 10일 즈음 0.5-개월선행 예측자료 생산의 가능성을 가늠해보고자 예측력 비교 분석을 하였습니다. 이는 MME의 예측력과 활용성, 그리고 예측시스템의 효율성을 높일 수 있는 방안입니다.

2019년-2021년, 3년 동안 본 과제에서 기후예측시스템의 통합, 시공간적인 확장을 통해 현업 운영의 효율성을 개선, 예측정보의 활용성을 증진하였습니다. 과제에서 수행 및 도출된 여러 가지 연구, 개선사항들을 바탕으로 다음 단계에는 보다 양질의 예측정보 생산과 사용자 친화적인 서비스 제공으로 APCC 기후예측정보의 경쟁력을 강화할 수 있을 것입니다.

# 목차

평문 초록 .....	i
Executive Summary .....	ii
국문 요약 .....	iv
목차 .....	vi
표 차례 .....	viii
그림 차례 .....	x
1. 서론 .....	1
2. 기후예측시스템 운영 및 자료 .....	4
가. 계절예측시스템 운영 .....	4
(1) APCC MME .....	4
(2) APCC 산불예측시스템 .....	4
(3) SCoPS .....	6
나. BSISO 계절내예측시스템 운영 .....	6
다. 검증기준자료 .....	6
(1) 고해상도 검증기준자료 .....	6
(2) 관측데이터들의 상관관계 .....	7
3. 결과 .....	16
가. APCC MME 계절예측시스템 개선 .....	16
(1) MME 참여모델 신규 및 개선 .....	16
(2) 신규/개선 개별모델의 예측성 평가 매트릭스 구성 및 시스템화 .....	29
(3) 동아시아 기온/강수 예측정보의 확률분포 및 불확실성 정보 제공 .....	51
(4) 전구 기후현황 및 대기/해양 기후지수 콘텐츠 개선 .....	55
나. BSISO 계절내 예측시스템 개선 .....	69
(1) BSISO 참여모델 개선 .....	69
(2) BSISO 예측시스템의 문제점 진단 및 개선 방향 마련 .....	69
다. 고해상도 MME 계절예측시스템 구축 및 예측력 평가 .....	81
(1) 고해상도 MME 계절예측시스템 구축 .....	82

(2) 해상도에 따른 예측정보의 예측력 비교분석 .....	84
라. 예측정보 조기제공 시스템 기반 구축 .....	106
(1) 모델수집 알림 및 전처리 시스템 .....	108
(2) 개별모델 자료 수집 시기에 따른 MME 조합 예측정보의 예측력 분석 .....	110
(3) 0.5-month lead를 가지는 MME와 기존 MME 예측정보의 예측력 분석 .....	119
마. 제 4차 모델제공기관 회의 .....	127
4. 요약 및 결론 .....	129
References .....	133
부록 A. 동아시아 지역 기온 및 강수 예측정보 확률 분포 및 불확실성 정보 생산 시스템 운영 매뉴얼 .....	135
부록 B. APCC 기후지수감시시스템 운영 .....	144
부록 C. 개별모델 고해상도 예측자료 전처리 시스템 운영매뉴얼 .....	159
부록 D. 고해상도 계절예측자료 시스템 운영매뉴얼 .....	167
부록 E. 모델제공기관 대상 연간 보고서 .....	187

## 표 차례

Table 1. Summary of reanalysis data .....	7
Table 2. Summary of precipitation data .....	7
Table 3. List of APCC MME participating models: BoM, CMCC, MetFR, and UKMO. ....	16
Table 4. Matrix for evaluating seasonal climate model' s performance. ....	29
Table 5. Terminology in the matrix for evaluating seasonal climate model' s performance. ..	30
Table 6. Subdirectories, programs, and their jobs in the directory "CODE" . ....	31
Table 7. Subdirectories of the directory "DATA" . ....	32
Table 8. Subdirectories of the directory "FIG" . ....	33
Table 9. Procedure for calculating climatology and anomaly of observation and model. ....	34
Table 10. Procedure for calculating ROC Curve and Score. ....	37
Table 11. Procedure for calculating verification scores and saving the figures. ....	40
Table 12. Procedure for calculating verification scores and saving the figures. ....	42
Table 13. Procedure for calculating verification scores and saving the figures. ....	44
Table 14. Procedure for calculating verification scores and saving the figures. ....	46
Table 15. Procedure for inserting figures on Power Point slides. ....	48
Table 16. Comparison of participating model (ACCESS-S1) information before and after system improvement. ....	69
Table 17. Date period of BSISO participating model .....	70
Table 18. Example of a list and capacity of intermediate outputs related to OLR in BSISO monitoring system. ....	73
Table 19. The status of intermediate output storage capacity in BSISO operation system. ....	74
Table 20. Part of the OLR data preprocessing shell script (update.OLR.ly.csh) in BSISO monitoring system. ....	75
Table 21. Schedule and running time of the BSISO operation system .....	77
Table 22. Current crontab script of the BSISO operation system. ....	79
Table 23. Part of the main shell script (MONI_RUN_LY.csh) in BSISO monitoring system. ....	80
Table 24. APCC MME individual model description of resolution at 2020 hindcast .....	81
Table 25. MME set name for forecast skill experiment .....	84

Table 26. Reference observation data for verification for MME set .....	84
Table 27. Early release of APCC MME in 2 ways .....	106
Table 28. APCC participating models and information .....	106
Table 29. APCC and other institutes MME forecast information .....	107
Table 30. Experiment on collection date of APCC MME participating models .....	110
Table 31. Analysis methods to examine the MME forecast skill .....	110
Table 32. Forecast skill of individual models and MME/PMME .....	111
Table 33. Forecast skill comparison to APCC public forecast (MME_20) .....	113
Table 34. KMA and APCC public MME forecast status since Jan, 2020 .....	117
Table 35. Experimental MME set for forecast skill comparision of APCC MME participating models collect time .....	119
Table 36. 0.5-month lead MME forecast skill analysis .....	120
Table 37. MME comparison depend on lead time .....	123
Table 38. Participating institutes to the MPM .....	127
Table 39. Agenda of MPM .....	128

## 그림 차례

Figure 1. APCC Climate prediction system .....	4
Figure 2. APCC Fire and Haze Early Warning System. (a) Probabilistic Forest Fire Forecast, (b) monthly history of probabilistic forest fire forecast and (c) -month precipitation forecast issued by July 2021 .....	6
Figure 3. Temporal correlation between NCEP2 and ERA5 of 2-m temperature in MAM, JJA, SON, and DJF. Values in parentheses are averaged temporal correlation over the globe. ....	8
Figure 4. Same as in Fig. 3 except for temperature at 850 hPa .....	9
Figure 5. Same as in Fig. 3 except for sea level pressure. ....	9
Figure 6. Same as in Fig. 3 except for geopotential height at 500 hPa. ....	10
Figure 7. Same as in Fig. 3 except for zonal wind at 850 hPa .....	10
Figure 8. Same as in Fig. 3 except for meridional wind at 850 hPa. ....	11
Figure 9. Same as in Fig. 3 except for zonal wind at 200 hPa. ....	11
Figure 10. Same as in Fig. 3 except for meridional wind at 200 hPa .....	12
Figure 11. Temporal correlation of 8 variables during 12 seasons over globe. ....	12
Figure 12. Anomaly correlation of 8 variables over the regions. ....	13
Figure 13. Temporal correlation between CAMS-OPI and CPC precipitation in MAM, JJA, SON, and DJF. ....	14
Figure 14. Anomaly correlation between CAMS-OPI and CPC precipitation over the regions .	14
Figure 15. Temporal correlation between CAMS-OPI and MERRA2 precipitation over the globe, tropics, northern extra-tropics, southern extra-tropics, and East Asia. ....	15
Figure 16. Anomaly correlation between CAMS-OPI and MERRA2 precipitation over the regions. ....	15
Figure 17. ACC difference between ACCESS-S1 and ACCESS-S2. Positive values represents that S2' s skill is better than S1' s skill. ....	18
Figure 18 ACC difference between ACCESS-S1 and ACCESS-S2. Positive values represents that S2' s skill is better than S1' s skill. ....	18
Figure 19. Global ROC Score of ACCESS-S1 (dotted line) and ACCESS-S2 (solid line). ....	19
Figure 20. Temporal correlation coefficient between observed and predicted Niño3.4 for each lead time. ....	20

Figure 21. Global ACC of 2m precipitation (left) and 2m temperature (right) of BOM ACCESS-S2 and the other models (symbols), averaged ACC (black line), and MME' s ACC (box). .....	21
Figure 22. ACC difference between MME1 and MME2. Positive values represents that MME2' s skill is better than MME1' s skill. ....	21
Figure 23. ACC difference between MME1 and MME2. Positive values represents that MME2' s skill is better than MME1' s skill. ....	22
Figure 24. Global ROC Score of MME1 (dotted line) and MME2 (solid line). ....	22
Figure 25. Temporal correlation coefficient (TCC) CMCC SPS3 (left), SPS3.5 (center), and difference between SPS3.5 and SPS3 (right) for MAM (a-c), JJA (d-f), SON (g-i), and DJF (j-l) temperature from 1993 to 2010. ....	24
Figure 26. Same as Figure 25 except for precipitation. ....	25
Figure 27. Anomaly correlation coefficient (ACC) of CMCC SPS3 (blue) and SPS3.5 (pink) for 12 seasons (JFM-DJF) temperature (left) and precipitation (right) from 1993 to 2010. ....	26
Figure 28. Anomaly correlation coefficient (ACC) of each individual models, CMCC SPS3 (CMCC-old), SPS3.5 (CMCC-new), SPS3 participating in DMME (SCM-old; red), and SPS3.5 participating in DMME (SCM-new; blue) for MAM, JJA, SON, DJF season temperature (a-d) and precipitation (e-h) from 1991-2010. ....	27
Figure 29. Relative operating characteristic score of SPS3 participating in PMME (GAUS_old; dash), and SPS3.5 participating in PMME (GAUS_new; line) for MAM, JJA, SON, DJF season temperature (a-d) and precipitation (e-h) from 1993-2010. ....	28
Figure 30. System flow chart of the matrix for evaluating seasonal climate model' s performance. ....	31
Figure 31. Directories for calculation and figures in "CODE" . ....	31
Figure 32. Subdirectories of the directory "DATA" . ....	32
Figure 33. Subdirectories of the directory "FIG" . ....	33
Figure 34. Directories for calculating climatology and anomaly of observation and model, and saving the data files. ....	34
Figure 35. Directories for calculating ROC Curve and Score, and saving the data files. ....	37
Figure 36. Directories for calculating verification scores and saving the figures. ....	40
Figure 37. Directories for calculating verification scores and saving the figures. ....	42
Figure 38. Directories for calculating verification scores and saving the figures. ....	44

Figure 39. Directories for calculating verification scores and saving the figures. ....	46
Figure 40. A document example showing the results of BoM ACCESS-S2' s hindcsat verification produced by the matrix. ....	50
Figure 41. Example of estimated probabilistic distribution from multi-model ensemble probabilistic prediction. ....	52
Figure 42. Probabilistic distribution and uncertainty of multi-model ensemble prediction for the temperature (top) and precipitation (bottom) from June to November 2021 over the East Asia. 53	
Figure 43. Same as Figure 42 except for individual model (APCC SCoPS). ....	54
Figure 44. T-test of difference 1991-2010 between 1991-2020 climatological mean for MAM, JJA, SON, and DJF precipitation (PREC), temperature (T2M), geopotential height at 500hPa (Z500), and sea surface temperature (SST). ....	56
Figure 45. Comparison before (left) and after (right) climate monitoring information about changing climatology period (1991-2010 to 1991-2020) and improvement graphic quality. ....	56
Figure 46. APCC Climate Indices service provided on the APCC website before the system improvement. ....	58
Figure 47. Shaded regions denotes 10% significant level of the difference according to the Student' s t-test. The difference are between 1971-2000 and 1991-2020 (top) and 1981-2010 and 1991-2020 (bottom) of SST climatological monthly mean. ....	59
Figure 48. P-values of KS test for distribution in climate indices calculated by previous and new base period (1991-2020). N means Niño. ....	60
Figure 49. PDF distribution for the monthly TNA indices. The base period is 1971-2000 (black line) and 1991-2000 (red line), respectively. And the value represents p value. ....	60
Figure 50. Timeseries of monthly mean TNA (top) and TNI (bottom). The base period is 1971-2000(black line) and 1991-2000(red line), respectively. The bar means index difference between base periods and top right value represents temporal correlation coefficient. ....	63
Figure 51. Temporal correlation coefficients of monthly mean climate indices between the previous base period and 1991-2020-2020). N means Niño. ....	64
Figure 52. The leading EOF 1st mode of monthly SLP for the previous base period (1950-2010), which means NAO pattren. ....	64
Figure 53. Same as Figure 8 but for new base period (1991-2020). ....	65
Figure 54. Same as Figure 6, but for NAO averaged by new base period (1991-2020). ....	65
Figure 55. Same as Figure 8 but for longterm base period (1960-2020). ....	66

Figure 56. Same as Figure 6, but for NAO averaged by new base period (1960–2020). .....	66
Figure 57. The status of climate indices after system improvement. ....	67
Figure 58. Example of the climate index monitoring image before (top) and after (bottom) system improvement displayed on the website. ....	68
Figure 59. BSISO phase diagram for forecast (top) and monitoring (bottom) on the website ..	72
Figure 60. Proportion of valid data of intermediate output capacity. ....	75
Figure 61. Seasonal global mean ACC skills for (left) temperature at 2-meter and (right) precipitation during hindcast period (1991–2010). Bars are for DMME SCM skill asterisks (red-high, black-low) are for individual models. Blue crosses are averaged skills of individual models .....	85
Figure 62. hindcast period (1991–2010) global mean ACC skills of (left) temperature at 2-meter and (right) precipitation for individual models. Red bars present high-resolution models and black bars are low-resolution models. ....	86
Figure 63. Seasonal global mean ACC skills for (a) zonal wind at 850 hPa, (b) meridional wind at 850 hPa, (c) sea level pressure and (d) geopotential height at 500 hPa during hindcast period (1991–2010). Bars are for DMME SCM skill asterisks (red-high, black-low) are for individual models. Blue crosses are averaged skills of individual models .....	86
Figure 64. hindcast period (1991–2010) global mean ACC skills of (a) zonal wind at 850 hPa, (b) meridional wind at 850 hPa, (c) sea level pressure and (d) geopotential height at 500 hPa. Red bars present high-resolution models and black bars are low-resolution models. ....	87
Figure 65. Global seasonal mean (bar) ACC differences and (asterisk) relative ACC differences of temperature at 2-meter. Differences between (left) MME_1H and MME_2.5; (right) MME_1A and MME_2.5 .....	88
Figure 66. Same as Figure 65 with (cross) ACC differences using same reference observation for MME_1 and MME_2.5, NCEP2 .....	89
Figure 67. total (1991–2010) regional mean (bar) ACC differences and (asterisk) relative ACC differences of temperature at 2-meter. Differences between (left) MME_1H and MME_2.5; (right) MME_1A and MME_2.5 .....	89
Figure 68. Global seasonal mean (bar) ACC differences and (asterisk) relative ACC differences of precipitation. Differences between (left) MME_1H and MME_2.5; (right) MME_1A and MME_2.5. MME_1A and MME_1H are verified by MERRA2 precipitation data .....	90
Figure 69. Total (1991–2010) regional mean (bar) ACC differences and (asterisk) relative ACC differences of precipitation. Differences between (left) MME_1H and MME_2.5; (right) MME_1A and MME_2.5 .....	90

Figure 70. (upper) Seasonal global mean and (lower) total (1991-2010) regional mean of (bar) ACC differences and (asterisk) relative ACC differences of precipitation. Differences between (left) MME\_1H and MME\_2.5; (right) MME\_1A and MME\_2.5. MME\_1A and MME\_1H are verified by CPC precipitation data .....91

Figure 71. (upper) Global total mean of ACC at each MME set for temperature at 2-meter, precipitation (MERRA2), precipitation (CPC), geopotential height at 500-hPa. Bars are SCM MME ACC skills, and (lower) ACC differences between low and high resolution MME set for each variable. ....92

Figure 72. (upper) Global total mean of ACC at each MME set for sea level pressure, zonal wind at 850 hPa, meridional wind at 850 hPa and zonal wind at 200 hPa. Bars are SCM MME ACC skills, and (lower) ACC differences between low and high resolution MME set for each variable. ....92

Figure 73. Total period (1991-2010) mean TCC skills of MME\_1A (a) temperature at 2-meter using ERA5, (b) precipitation using MERRA2 and (c) precipitation using CPC observation data 93

Figure 74. Total period (1991-2010) mean TCC skills of MME\_1A (a) geopotential height at 500 hPa, (b) sea level pressure (c) zonal wind at 850 hPa, (d) meridional wind at 850 hPa verified with ERA5 .....94

Figure 75. TCC differences between MME\_1A and MME\_2.5 of temperature at 2-meter. Reference observation data are ERA5 for MME\_1A and NCEP2 for MME\_2.5 .....94

Figure 76. TCC differences between MME\_1A and MME\_2.5 of precipitation. Reference observation data are (left) MERRA2 and (right) CPC for MME\_1A and CAMS-OPI for MME\_2.5 95

Figure 77. TCC differences between MME\_1A and MME\_2.5 of (a) geopotential height at 500 hPa, (b) sea level pressure, (c) zonal wind at 850 hPa and (d) meridional wind at 850 hPa. Reference observation data are ERA5 for MME\_1A and NCEP2 for MME\_2.5 .....96

Figure 78. (upper) Global total mean of TCC at each MME set for temperature at 2-meter, precipitation using MERRA2 and precipitation using CPC. Bars are SCM MME TCC skills, and (lower) TCC differences between low and high resolution MME set for each variable. ....97

Figure 79. (upper) Global total mean of TCC at each MME set for (a) geopotential height at 500-hPa, (b) sea level pressure, (c) zonal wind at 850 hPa and (d) meridional wind at 850 hPa. Bars are SCM MME TCC skills, and (lower) TCC differences between low and high resolution MME set for each variable .....97

Figure 80. Categorical, total period (1991-2010) mean ROC skills of MME\_1A (a) temperature at 2-meter, (b) geopotential height at 500 hPa. (c) precipitation using MERRA2, (d) precipitation using CPC data for verification and (e) sea level pressure .....98

Figure 81. ROC differences between MME_1A and MME_2.5 of (a) geopotential height at 2-meter, (b) sea level pressure, (c) precipitation using MERRA2 (d) precipitation using CPC and (3) sea level pressure. ....	99
Figure 82. Categorical, total period (1991–2010), global mean ROC skills of MME_1A (a) temperature at 2-meter, (b) precipitation using MERRA2, (c) precipitation using CPC data for verification (d) geopotential height at 500 hPa, and (e) sea level pressure .....	100
Figure 83. ROC differences between MME_1H and MME_2.5; MME_1A and MME 2.5. (a) temperature at 2-meter, (b) precipitation using MERRA2 for verification, (c) precipitation using CPC, (d) geopotential height at 500 hPa and (e) sea level pressure .....	100
Figure 84. Seasonal global mean real time forecast (2020) ACC skills of MME_2.5 of (a) temperature at 2-meter and (b) precipitation .....	101
Figure 85. Global annual mean of real time forecast (2020) ACC skills of (a) temperature at 20m, (b) geopotential height at 500 hPa, (c) precipitation verified with MERRA2 and (d) precipitation verified with CPC .....	101
Figure 86. Real time forecast ACC skill differences between MME_1H and MME_2.5; MME_1A and MME_2.5 of (a) temperature at 2-m, (b) geopotential height at 500 hPa, (c) precipitation verified with MERRA2 and (d) precipitation verified with CPC for MME_1 .....	102
Figure 87. DMME TCC skills of precipitation from (a) MME_2.5 and (b) MME_1A over East Asia during total period (1991–2010) verified with same MERRA2. Low resolution MME is also verified with regrided MERRA2 data .....	103
Figure 88. (a) Time series of South Korea February temperature monthly anomalies, (b) ERA5 temperature anomalies at 2-m observation, (c) MME_1A forecast of temperature anomalies and (d) MME_2.5 forecast anomalies at Feb 2007 .....	103
Figure 89. 1997 DJF tropical Pacific observation of (a) temperature (ERA5) and (b) precipitation (MERRA2), MME_1A PMME forecast of (c) temperature and (d) precipitation, and MME_2.5 PMME forecast of (e) temperature and (f) precipitation .....	104
Figure 90. APCC MME participating models collect time and lead time .....	106
Figure 91. The structure of data receive alarm and automated pre-processing system process.	109
Figure 92. 12-month averaged seasonal TCC skills of individual models and DMME .....	111
Figure 93. Seasonal and regional temperature and precipitation ACC of individual models and DMME (bar). Purple, red, blue dots are non-participating models (BCC, PNU, HMC); and grey are rest participating models and blue line is averaged ACC skills of individual models .....	112
Figure 94. Above-normal category reliability diagram of temperature and precipitation of	

individual models and PMME (black) for summer and winter. Purple, red, blue are non-participating models (BCC, PNU, HMC) and grey are rest individual models .....112

Figure 95. Seasonal and regional ROC Score relative differences (%) for (left) temperature and (right) precipitation .....113

Figure 96. Absolute TCC differences between MME20 and MME15-2T in ASO season. White dots are significant at 20% confidence level .....113

Figure 97. Total period mean (Left) ROC Scores, (middle) differences of ROC and (right) relative differences of ROC of four PMME set versus MME20 .....114

Figure 98. Global mean relative differences of ACC (%) of temperature and precipitation comparing other experiment (1991-2010 hindcast, 12 season mean) .....114

Figure 99. (upper) APCC PMME ROCs for each MME experimental set and public MME (blue: individual model ROC, red: PMME ROC, pink: number of participating models). (lower) Differences of ROCs of MME set versus public MME (blue: individual model mean, red: MME, pink: relative ROCs) (1991-2010 hindcast, 12 season mean) .....115

Figure 100. Global, East Asia, South Asia forecast skill relative differences of 6 verification method of experimeanal MME set versus original MME for (upper) temperature and (lower) precipitation .....116

Figure 101. Real time forecast skill differences of global temperature from ASO 2020 to NDJ (KMA MME - APCC public MME) .....117

Figure 102. (left) skill differences and (right) relative skill differences of temperature, precipitation and geopotential height at 500 hPa (KMA - APCC public MME) .....118

Figure 103. Conclusion of early release investigation .....118

Figure 104 Monthly mean ACC at each lead month (0-6) and ACC differences of temperature and precipitation from former lead month (1-5) for 10 individual models (colors) and MME (red) which are collectable before 10th every month at (left) June, (middle) December, and (right) annual mean. ....120

Figure 105. MME ACC relative differences (%) at each lead time from former lead lead month. Participating models are 10 which are collectable 0.5-month lead forecast before 10th every month .....121

Figure 106. 0.5-month lead MME ACC skill (+) and 0.5->1 month MME ACC relative differences (bar, %) of temperature and precipitation .....121

Figure 107. Monthly mean ACC at each lead month (0-6) and ACC differences from former lead month (1-5) of SST and Niño3.4 for 10 individual models (colors) and MME (red) which are collectable before 10th every month at (left) June, (middle) December, and (right) annual

mean. ....	122
Figure 108. (a) MME tropical SST and (b) Niño3.4 index TCC at lead month (1-5). (c) (dash line) MME TCC skill of 0.5-month lead forecast and (bar) TCC skill differences from 0-month to 1-month lead forecast of Niño3.4 index ....	122
Figure 109. Global mean MME ACC skills of five MME experimental set at each lead month of temperature in (a) June, (b) December and (c) annual mean ....	123
Figure 110. Global mean MME ACC skills of five MME experimental set at each lead month of Niño3.4 in (a) June, (b) December and (c) annual mean ....	124
Figure 111. Monthly ACC of global mean temperature for three MME set at lead time (1-5 month) ....	125
Figure 112. Conclusion of APCC seasonal forecast early release ....	126

# 1. 서론

APCC(APEC Climate Center)는 2005년 설립 이후 다중모델앙상블(Multi Model Ensemble; MME)를 활용한 장기계절예측(3/6 개월) 및 검증 정보를 생산하여 홈페이지 및 여러 서비스 플랫폼을 통해 제공하고 있다(Min et al. 2014, Min et al. 2017). APCC 설립 당시부터 이어져 온 기관의 미션은 ‘기후예측정보를 통한 아시아·태평양 지역에서의 공헌’을 기조로 하며, 이를 위하여 APCC MME와 계절/계절내 예측시스템은 기관의 근간이라 할 수 있다.

기후예측정보의 안정적인 생산을 위하여 APCC는 설립 초기에 AFS(Automated Forecast System)를 개발하였으며, 이를 근간으로 예측 기간의 확장(3개월->6개월), ENSO/SST 예측시스템 구축, 검증시스템 개발 등 기후예측 시스템을 확장하여 운영하여 왔다. 그러나 이러한 시스템 개선 작업들은 현업 일정 내에서 담당 연구자들의 편의에 의해 부분적으로 이루어졌으며, 이로 인해 개선이 부분적으로 비효율적으로 이루어졌고 소스 코드가 이질적이라는 문제점이 제기되었다. 또한 최신 소프트웨어의 개발로 인한 이전 소프트웨어의 단종도 커다란 문제점으로 대두되었다. 지속적으로 발전하고 있는 컴퓨팅성능에 비해 낙후된 현재 기후예측시스템은 낡아 발전하고 있는 최신의 자료 처리 기술들을 적용하기에 한계점이 많으며, 전체 시스템의 효율성 및 확장성이 부족하였다.

2019-2021 3년간 ‘APCC MME 운영과 개선’ 과제에서는 APCC 예측시스템의 효율적인 운영을 위해서 현 예측시스템의 문제점을 진단하고, 기술적인 측면에서 재정비하며 나아가 다음 단계의 예측시스템을 구축하는데 있어 용이하도록 확장성을 고려하여 AFS를 개선하였다. 또한 현업운영 작업 프로세스의 불필요한 과정을 최소화시킴으로써 현업 운영에 소비되는 물리적인 시간 단축을 기대하였다. 이와 더불어 새로운 콘텐츠 개발하고 예측성을 향상시키기 위한 기반 연구를 수행하였다.

2019년에는 크게 3개의 주제, 1) 기후예측시스템의 안정적인 운영 및 예측정보 제공, 2) 기후감시 및 검증시스템의 생산체계 개선, 3) MME 자료 개선 기반 연구를 수행하였다. 1) 기후예측시스템은 기후전망 발송 메일 전송, 형식 개선, ENSO 확률예측정보 추가 등 여러 가지 개선사항이 있었으며 참여모델들도 변경되면서 예측력 향상에 기여하였다. 또한 활용성을 높이기 위하여 AFS를 재정비하고 현업스케줄을 재조정하여 예측정보를 조기제공(25일 → 20일)하였다. MME 기법들의 효율성 분석에 대한 결과를 제시하였는데, 공식예보 SCM에 비해 다른 기법들(MRG, SSE, SPM)의 예측자료는 활용도가 상당히 낮은 편이고 SCM에 비해 45배 이상의 시간이 소요되는 등 효율성이 떨어지며 예측성에 있어서는 차이가 나지 않아 APCC 공식예보를 SCM과 PMME로 선택하여 현업의 효율성을 높였다. 2) 기후감시 및 검증시스템의 개선에서는 기후평년값 변경(1981-2003 → 1983-2010; APCC MME와 동일), 시스템의 유연성과 확장성 개선 등의 과제를 수행하였다. 또한 3) MME 자료 개선 기반 연구를 위해 APCC MME와 타 기관 MME를 동일한 조건에서 비교하였다.

2020년에는 1) 기후예측시스템의 운영 및 예측정보 제공, 2) 기후예측 정보 품질개선 및 콘텐츠 강화, 3) APCC 계절예측시스템 개선, 그리고 4) MME 자료 개선 기반 구축으로 크게 4개의 주제로 과제를 진행하였다. 1) 기후예측시스템에서 현업 운영 및 예측정보 활용 실적 관

리를 위한 체계를 마련하였고, 2) 기후예측 정보 품질개선과 콘텐츠 제공에서는 MME 개별모델 확률예측 결과를 홈페이지에 제공하는 시스템을 마련하고 BSISO 영향예보 콘텐츠 및 모델정보/예측지수를 제공하였으며 APCC 기후예측 콘텐츠를 강화하였다. 3) APCC 계절예측시스템의 개선을 위해 감시-예측-검증 통합시스템을 구축하고 효율적 운영을 위해 확률예측정보의 텍스트 자동생성 시스템 구축, 참여모델 품질검사 체계를 구축하였다. 4) MME 자료 개선 기반 연구를 위해 타기관 MME와 비교 분석하였으며 참여모델 수, 모델 구성성분, SCM 최적화 조합을 위한 예측민감도를 분석하였다.

일련의 과정에서 21년 과제의 주제를 선정하였으며 본 보고서는 21년 과제 내용을 주로 담고 있다. 2장에는 MME 기후예측시스템의 체계와 운영, 사용자료에 대한 내용을 담았으며 3장에는 연구 결과를 기술하였다. 3장에는 가) MME 계절예측시스템 개선, 나) BSISO 계절내 예측시스템 개선, 다) 고해상도 예측정보 제공을 위한 시스템 구축 및 예측력 비교, 라) 예측정보 조기제공 시스템 기반 구축의 4개 주제로 연구 결과와 마) 4차 모델제공기관 회의를 담았다.

MME 계절예측시스템은 꾸준히 개선되고 있다. 3장 가절에서는 MME 계절예측 시스템의 개선 내용을 기술한다. 21년에는 신규모델이 참여하였으며 4 종의 모델이 개선되면서 MME의 예측력 향상에도 긍정적 영향을 주었다. 이러한 참여모델의 신규/개선이 있을 때 MME에 참여시키기 위해 예측력 비교 평가가 이루어지지만 매년 시간이 소요되고, 분석의 범위가 다르기에 이를 시스템화하기 위해 신규/개선 개별모델의 예측성 평가 매트릭스를 구성하였다. APCC MME 계절예측정보 콘텐츠 다양화의 일환으로 20년 동아시아 지역 계절예측정보 국문 홈페이지를 새로 개설하였는데 확률 예측정보가 부족하다는 지적이 있었다. 이에 21년에는 동아시아 기온/강수 예측정보의 확률 분포 및 불확실성 정보를 표출하는 시스템을 구축하여 현업으로 운영한다. 또한 20년에는 계절예측시스템은 기후평년기간을 1991-2010으로 개선하였는데 이와 일관성을 맞추기 위해 21년에는 전구 기후현황 및 대기/해양 기후지수 콘텐츠의 기후평년기간 또한 1991-2010으로 개선하였다.

APCC 계절내 예측시스템에는 BSISO(Boreal Summer IntraSeasonal Oscillation)가 운영되고 있는데, 3장 나절에는 이의 개선에 관한 내용을 기술하였다. BSISO는 2013년부터 운영되어 예측/감시/영향장 정보를 APCC 홈페이지와 플랫폼(CLIK)을 통해 제공하고 있다. 20년까지 다년간 운영되면서 여러 문제점이 제기되어 개선의 필요성이 대두되었다. 이를 위해 BSISO 예측시스템의 문제점을 진단하고 개선방향을 마련하여 보고서에 담았다.

APCC MME 사용자들에게 경쟁력을 확보하기 위해 우선시해야 할 항목을 조사하였을 때 가장 우위에 있는 것이 고해상도와 조기제공이었다(2020년 수요조사). 이를 바탕으로 21년 시스템구축, 예측력 기반 연구, 22년 현업화를 계획하였다. 3장 다절에서 이의 일환으로 고해상도 MME 시스템 구축을 위한 AFS 시스템 개선과 확장, 해상도에 따른 DMME, PMME의 예측력 비교 평가를 하였다. 3장 라절에서는 조기제공을 위한 기반연구를 담았는데, 조기제공은 두 가지 방향에서 가능성을 분석하였다. 첫 번째는 현행 20일에서 15일로 MME 예측정보 게재를 앞당기는 조기제공, 그리고 두 번째는 10일 즈음 0.5개월-lead MME 예측정보를 게재하기 위한 가능성이다. 다절과 라절의 고해상도 시스템과 예측정보 조기제공은 특히 다음 단계의 MME 시스템으로 도약하기 위한 APCC MME의 확장이라 할 수 있다.

APCC MME의 성공적인 정보제공과 발전이 지속가능하기 위해서는 참여기관들의 적극적인 지지와 참여가 필수이다. APCC에서는 참여기관들과의 유대를 공고히하기 위해 격년에 한 번씩 회의를 개최하여 정보를 공유하고 자발적 참여를 유도하는데, 2021년에는 4차 모델제공기관 회의를 개최하였다. 이 내용은 마절에 담겨있다.

## 2. 기후예측시스템 운영 및 자료

본 과제에서는 APCC가 제공하고 있는 MME 계절예측정보와 BSISO 계절내예측정보를 활용한다. 예측력 평가를 위한 검증 기준데이터는 NCEP-DOE reanalysis II (Kanamitsu et al. 2002; NCEP2)와 CAMS-OPI (Janowiak and Xie 1999)를 기본으로 사용한다. 이에 더하여 고해상도 ( $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ) 검증 기준데이터로 ERA5 (Herbach et al. 2020), CPC (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/>), MERRA2 (Gelaro et al. 2017)를 사용하였다.

APCC 기후예측시스템에는 크게 계절예측시스템과 계절내예측시스템이 있다. 계절예측시스템은 APCC MME, 산불예측시스템, SCoPS (Seamless Coupled Prediction System)이 운영되고 있다(Figure 1).

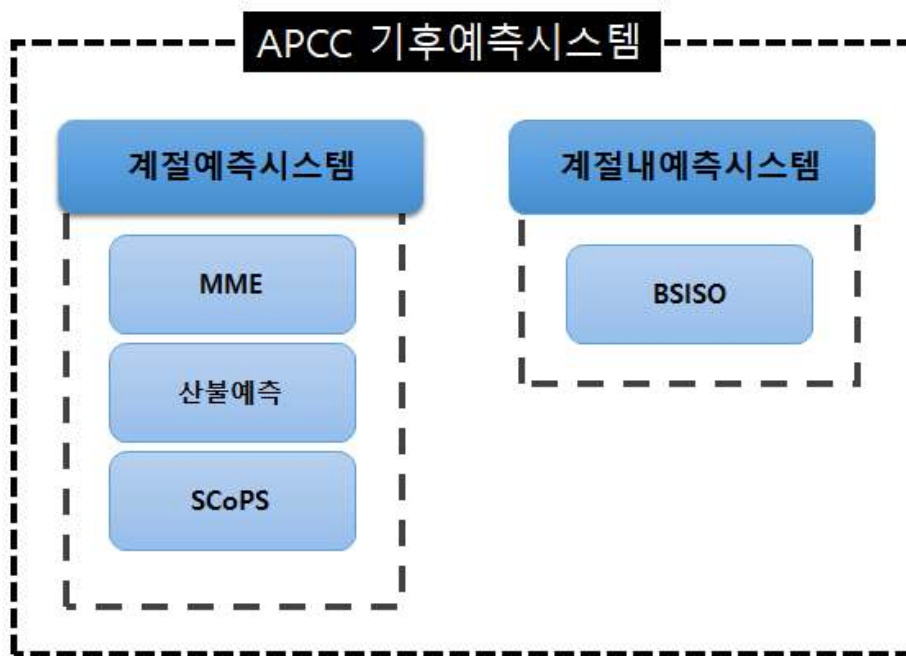


Figure 1. APCC Climate prediction system

### 가. 계절예측시스템 운영

계절예측시스템 중 MME의 ‘개선’ 그리고 계절내예측시스템의 ‘개선’에 대해서는 3장 결과에서 자세히 기술할 내용이고 2장에서 기본적인 운영 방법에 대해 서술하겠다.

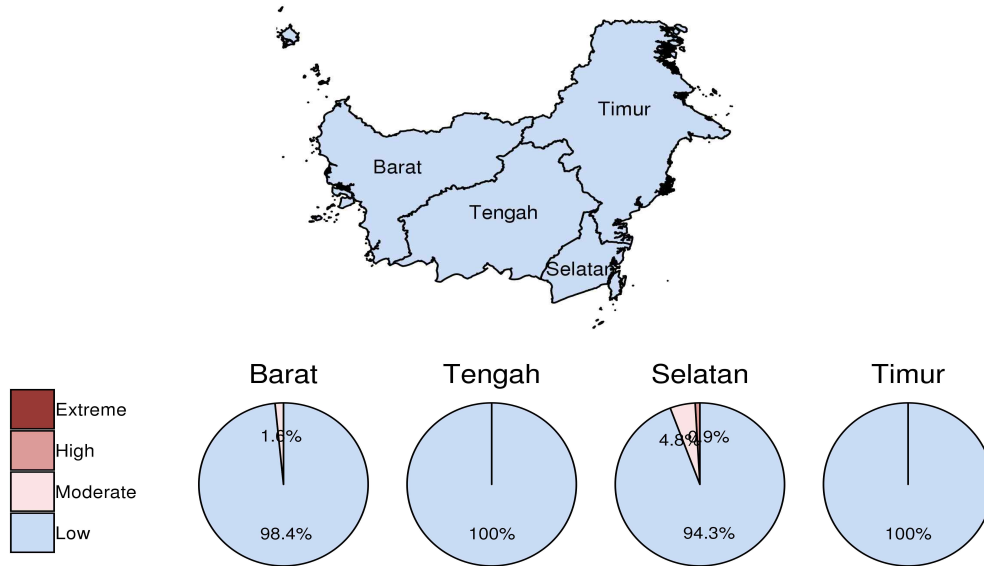
#### (1) APCC MME

예측운영과에서는 매월 3개월 리드, 6개월 리드 MME 계절예측시스템을 월 1회 운영하여 월평균, 계절평균 계절예측정보를 홈페이지, 플랫폼을 통해 배포하고 있다.

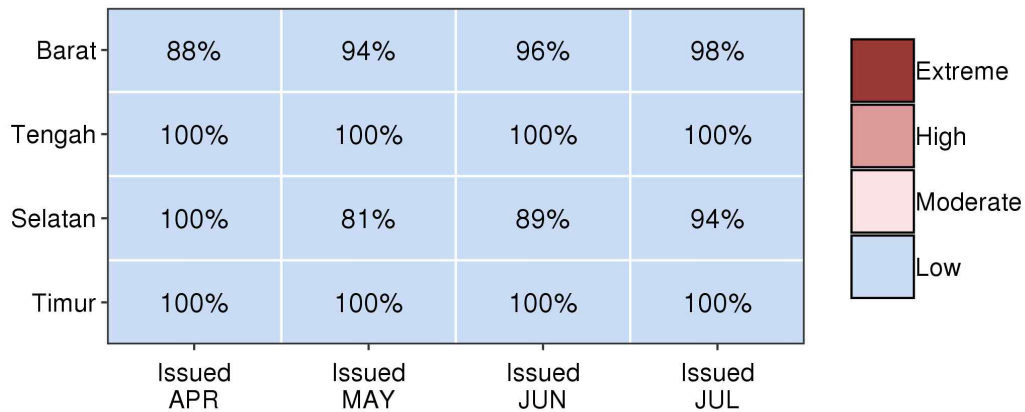
#### (2) APCC 산불예측시스템

예측운영과에서는 매년 4월부터 7월까지 보르네오 섬 4개지역의 APCC 화재/연무 조기경보 시스템을 월 1회 운영하고 있다. 이 지역의 산불발생 조기경보 예측 정보는 영문 홈페이지에서 제공중이다. 주요 현업 서비스 내용으로는 Fig. 1과 같이 산불 위험 확률 예측(산불 확률 예측 지도, 산불 확률 예측 표), 6개월 강수예측(4개 지역별 6개월 강수 예측 시계열)이 있다.

(a) Probabilistic Forest Fire Forecast (issued : 2021-07) for 2021 : AUG-OCT



(b) Monthly History of Probabilistic Forest Fire Forecast for 2021



(c) 6-month Precipitation Forecast for AUG 2021 - JAN 2021 (Issued : 2021-07)

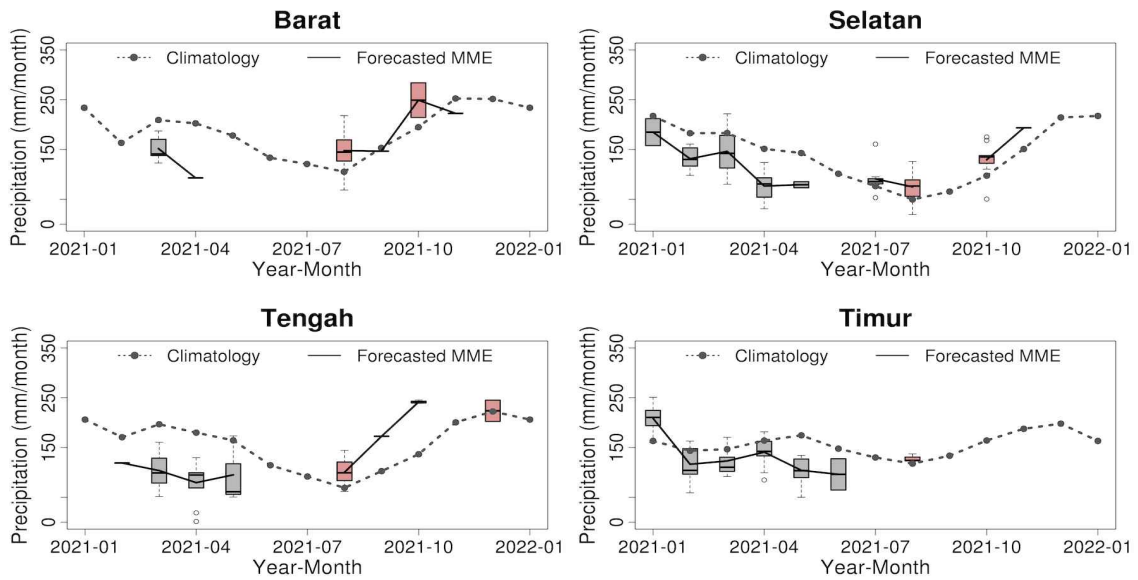


Figure 2. APCC Fire and Haze Early Warning System. (a) Probabilistic Forest Fire Forecast, (b) monthly history of probabilistic forest fire forecast and (c) -month precipitation forecast issued by July 2021

### (3) SCoPS

SCoPS 모델은 APCC in-house 계절예측모델로 2017년 11월부터 현재까지 APCC MME의 참여모델로 활용되고 있다. SCoPS 운영은 매일 10~12일경 6개월의 예측 자료를 생산하고 있고 후처리를 통해 APCC MME 입력자료 형식으로 변경 후 제공하고 있다. SCoPS 예측 자료는 APCC MME에 제공하기에 앞서 예측운영과 내부적으로 현업자가 진행하는 예보토의를 거쳐 당월 모델에서 나온 예보결과를 공유하고 예측 결과의 이상 여부를 파악하고 있다. 최종적으로 예보 토의에서 나온 의견을 토대로 수정 및 보완을 거친 예측자료를 APCC MME 참여모델로 제공하고 있다.

## 나. BSISO 계절내예측시스템 운영

BSISO 예측시스템은 5-10월 현업기간 매일 예측/검증 정보를 홈페이지와 플랫폼을 통해 표출/배포하고 있다. 2021년 현업에는 총 4개 기관 5개(CFS, GFS, ECM, BOM, CWB) 참여 모델 자료를 이용하였다.

## 다. 검증기준자료

### (1) 고해상도 검증기준자료

검증에 필요한 데이터는 크게 지표 기온 및 레벨 자료가 포함된 재분석 자료와 강수 자료로 나눌 수 있다. 현재 APCC에서 사용하고 있는 재분석 자료는 2.5° x2.5° 해상도로 제공되고 있는 NCEP-DOE reanalysis II (Kanamitsu et al. 2002; NCEP2)이며, 향후 1° x1° 의 예측자료를 제공할 경우 사용 가능한 자료들은 Table 1과 같다. Table 1은 재분석 자료의 제공 현황을

보여주는 것으로 해상도 순으로 나열한 것이다.  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  이상의 해상도를 가지고 있는 자료는 ERA5 (Herbach et al. 2020), CFSR (Saha et al. 2010), MERRA2 (Gelaro et al. 2017)로 조사되었고, 세 데이터 모두 현재 APCC가 사용하고 있는 hindcast 기간을 커버할 수 있을 것으로 보인다.

Table 1. Summary of reanalysis data

DATA	Resolution (degree)	Period	ETC
ERA5	0.25 x 0.25	1979~	
CFSR	0.5 x 0.5	1979~	
MERRA	0.625 x 0.5	1980~	
JRA55	1.25 x 1.25	1958~	
NCEP1	2.5 x 2.5	1958~	Using as monitoring data

현재 APCC에서는 강수 검증에 CAMS-OPI (Janowiak and Xie 1999)를 사용하고 있으며,  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$  해상도로 제공되는 데이터이다. Table 2는 강수에 대해 조사한 것으로 해상도만을 고려했을 때 CPC (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/>), CRU (Harris et al. 2020), GPCP(daily; Huffman et al. 2001) 자료가 사용 가능한 것으로 조사되었다. 그러나, CPC의 경우 육지에 대한 값만을 제공하고 있으므로, 검증데이터를 CPC로 교체할 경우 지금까지 육지와 해양에 대한 검증값을 제공하던 것과는 큰 불연속성을 야기할 우려가 있으며, 해양에 대한 검증이 이루어지지 않으므로 예측력이 저하될 수 있다. CRU의 경우에도 역시 육지에 대한 값만을 제공하며, 2015년 이후 데이터가 제공되지 않으므로 real-time forecast에 대해서는 검증이 힘들다는 문제점이 있다. 반대로 daily GPCP 자료는 1996년 10월부터 데이터가 제공되므로 hindcast 기간에 대한 검증에는 사용할 수 없다는 단점이 있다. 또한, 실시간 업데이트가 되지 않아 real-time forecast 검증에도 사용하기 어려울 것으로 예상된다. 이와 같이 강수의 경우  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  이상의 해상도를 가지면서 해양과 육지에 대해 forecast와 real-time forecast 검증에 모두 사용할 수 있는 자료를 찾는 것이 힘든 상황이다.

Table 2. Summary of precipitation data

DATA	Resolution (degree)	Period	ETC	
CPC	0.5 x 0.5	1979~	Daily, land only Using as monitoring data	
CRU	0.5 x 0.5	1901~2015	Land only	
GPCP	1 x 1	Oct 1996~2020	Daily	Not updated in real-time
GPCP	2.5 x 2.5	1979~2020	Monthly	
CMAP	2.5 x 2.5	1979~		

## (2) 관측데이터들의 상관관계

온도를 포함한 다른 변수의 경우 가장 최신 자료이고 정확도가 높다고 알려져 있는 ERA5를 사용하는 것이 타당하다고 판단되었으며 ERA5를 사용할 경우 원시자료의 해상도가  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$  이므로 추후  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  이상의 해상도를 제공하게 되더라도 지속적으로 검증에 활용할 수 있다는 장점이 있다. 따라서, ERA5와 현재 검증에 사용되고 있는 NCEP2 자료의 상관

성을 변수별, 지역별로 살펴보았다. 상관성 분석은 1991년부터 2010년의 hindcast 기간에 대해 이루어졌으며, 두 데이터를 1° x 1° 해상도로 변환하여 계산하였다.

Figure 3-10은 현재 APCC 홈페이지에서 검증 정보가 제공되고 있는 변수들에 대한 NCEP2와 ERA5의 시간적 상관관계수(temporal correlation coefficient; TCC)를 계절별로 나타낸 것이다. 모든 변수에서 공통적으로 나타나는 특징은 아프리카와 남아메리카, 서아시아 지역에서 두 데이터의 상관성이 낮게 나타난다는 것이다. 이는 온도 같은 변수는 관측지점에서의 데이터를 자료 동화하여 모델이 생산하는 값이므로, 관측치가 적은 곳에서는 모델이 모의하는 값에 의존하게 된다. 그러므로, 북반구보다는 상대적으로 관측지점이 많지 않은 남반구에서 재분석 자료들 사이의 상관성이 약한 것으로 보인다(Gleckler et al. 2008).

변수별로 비교했을 때는 T2M, T850, U850, V850과 같은 변수들의 상관관계가 상대적으로 낮은 편이었으나, 이들 변수에서도 0.7 이상의 상관계수를 보여 NCEP2와 ERA5의 상관성이 높다는 것을 보여주었다(Figure 11).

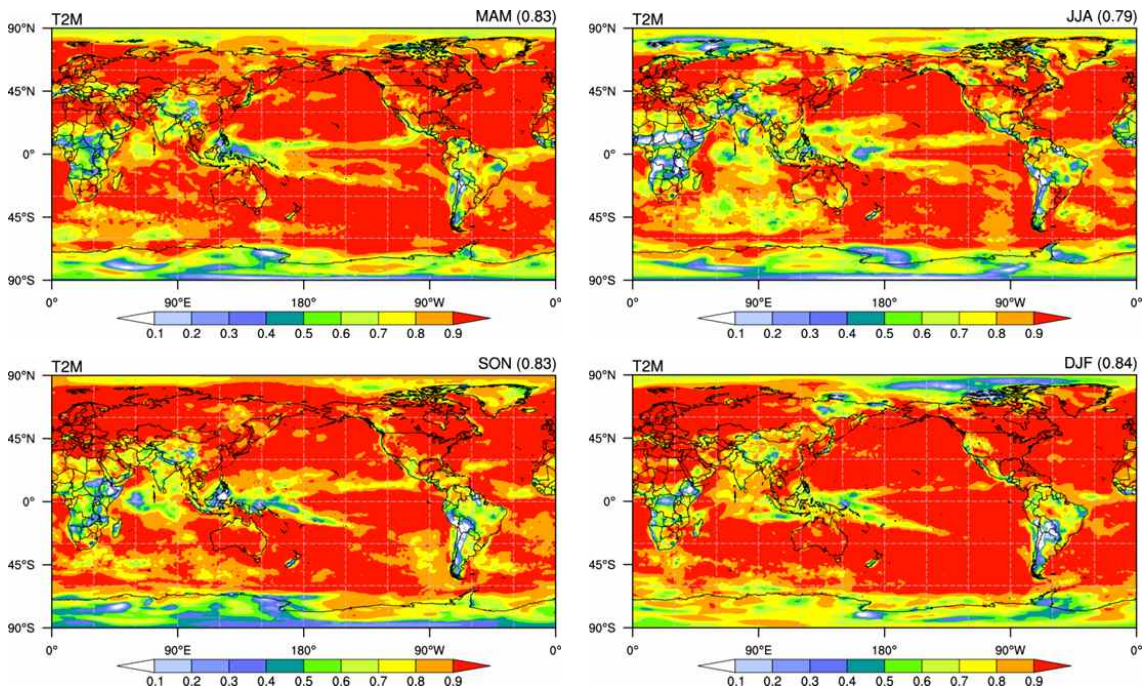


Figure 3. Temporal correlation between NCEP2 and ERA5 of 2-m temperature in MAM, JJA, SON, and DJF. Values in parentheses are averaged temporal correlation over the globe.

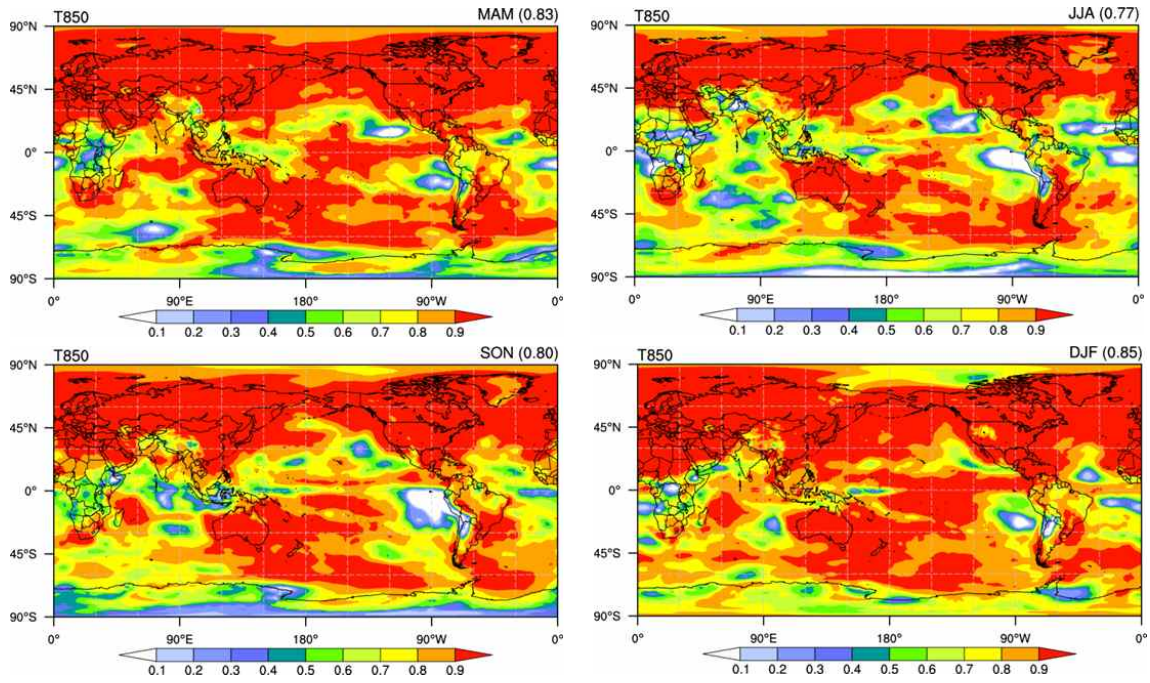


Figure 4. Same as in Fig. 3 except for temperature at 850 hPa

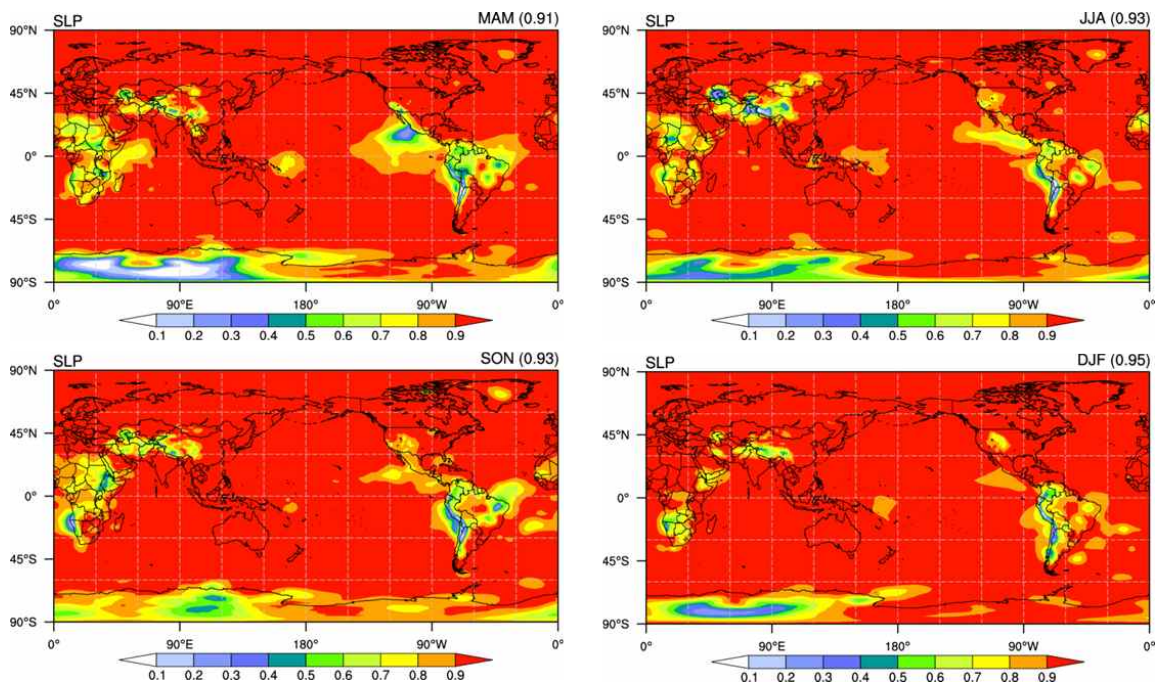


Figure 5. Same as in Fig. 3 except for sea level pressure.

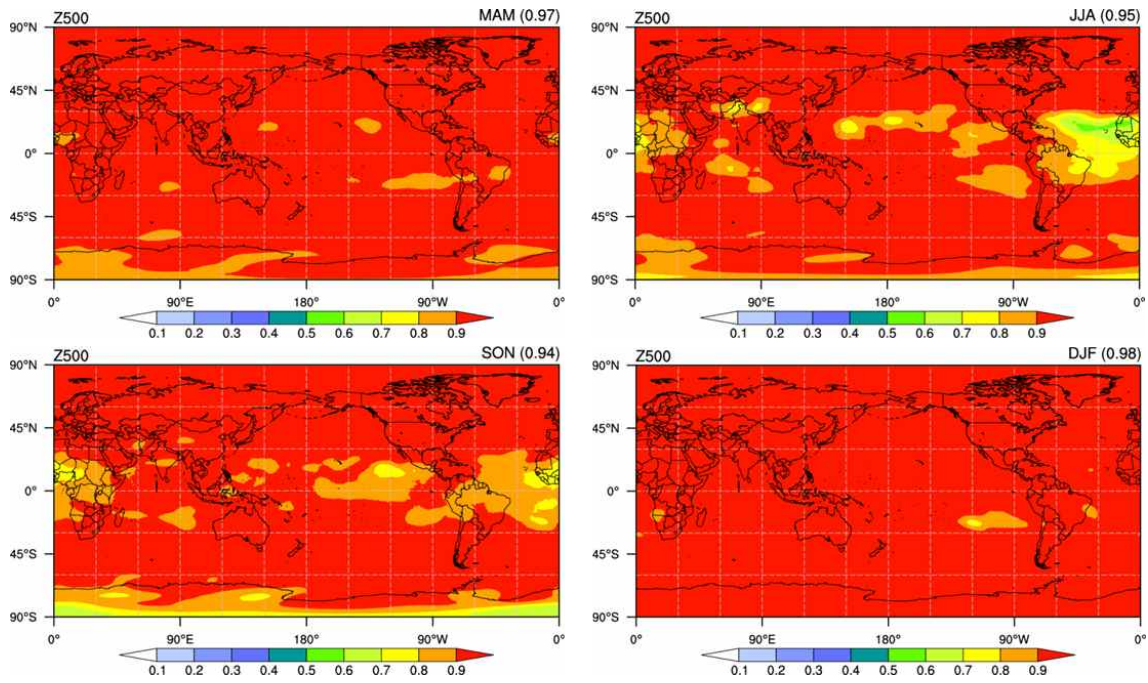


Figure 6. Same as in Fig. 3 except for geopotential height at 500 hPa.

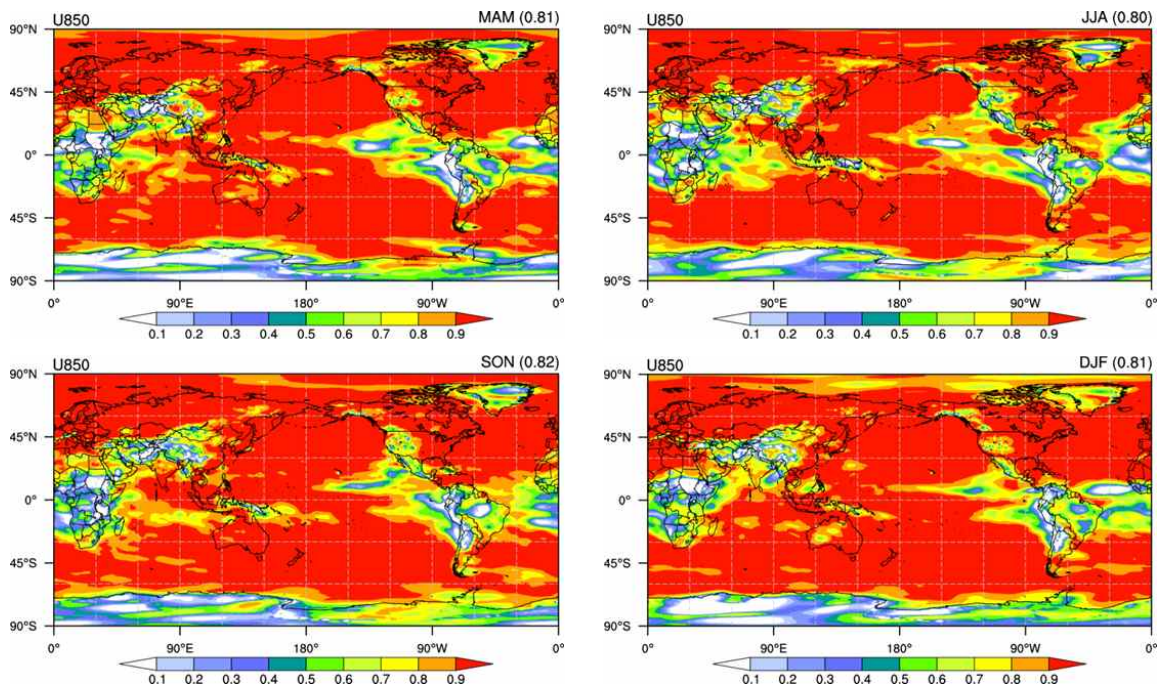


Figure 7. Same as in Fig. 3 except for zonal wind at 850 hPa

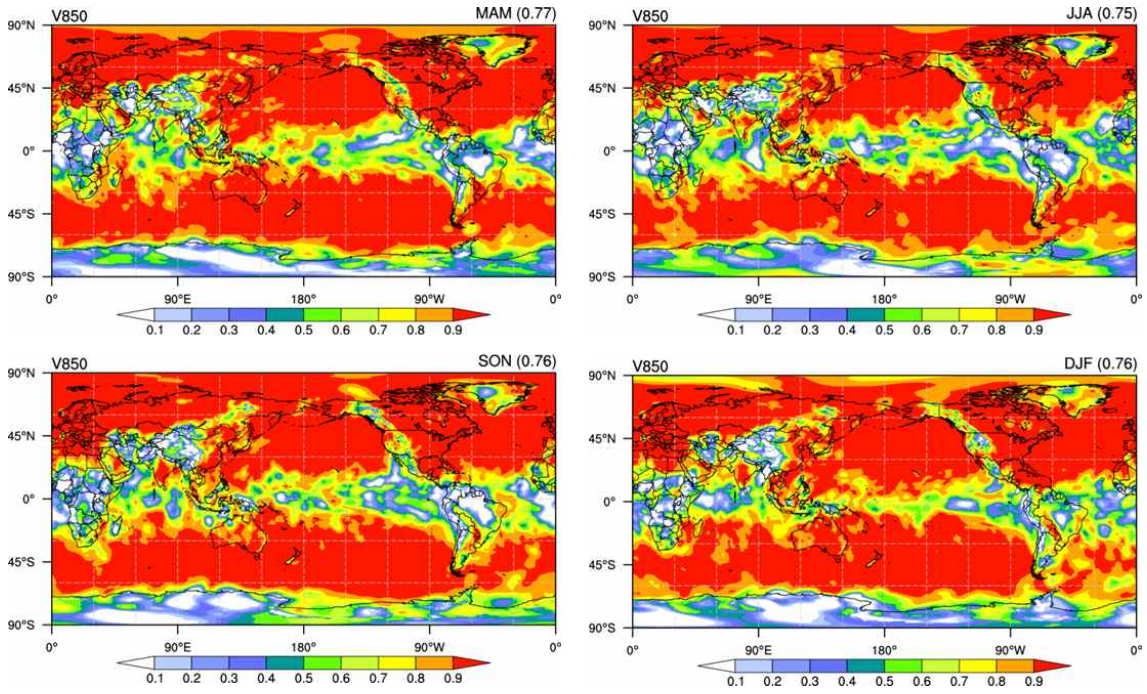


Figure 8. Same as in Fig. 3 except for meridional wind at 850 hPa.

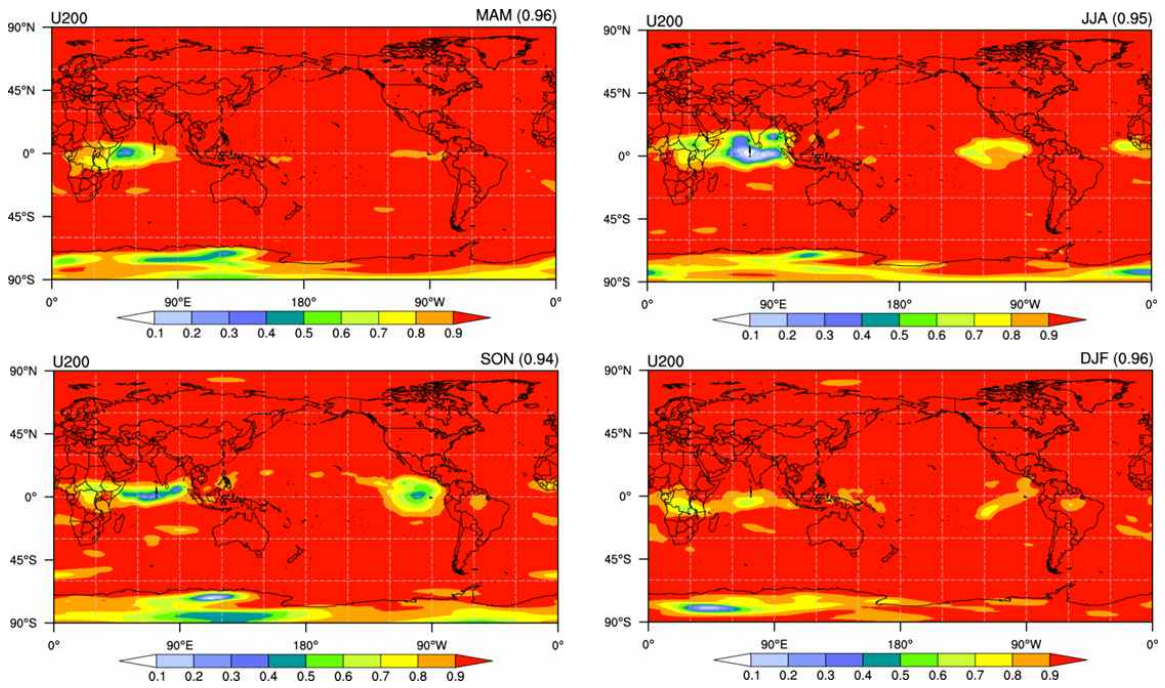


Figure 9. Same as in Fig. 3 except for zonal wind at 200 hPa.

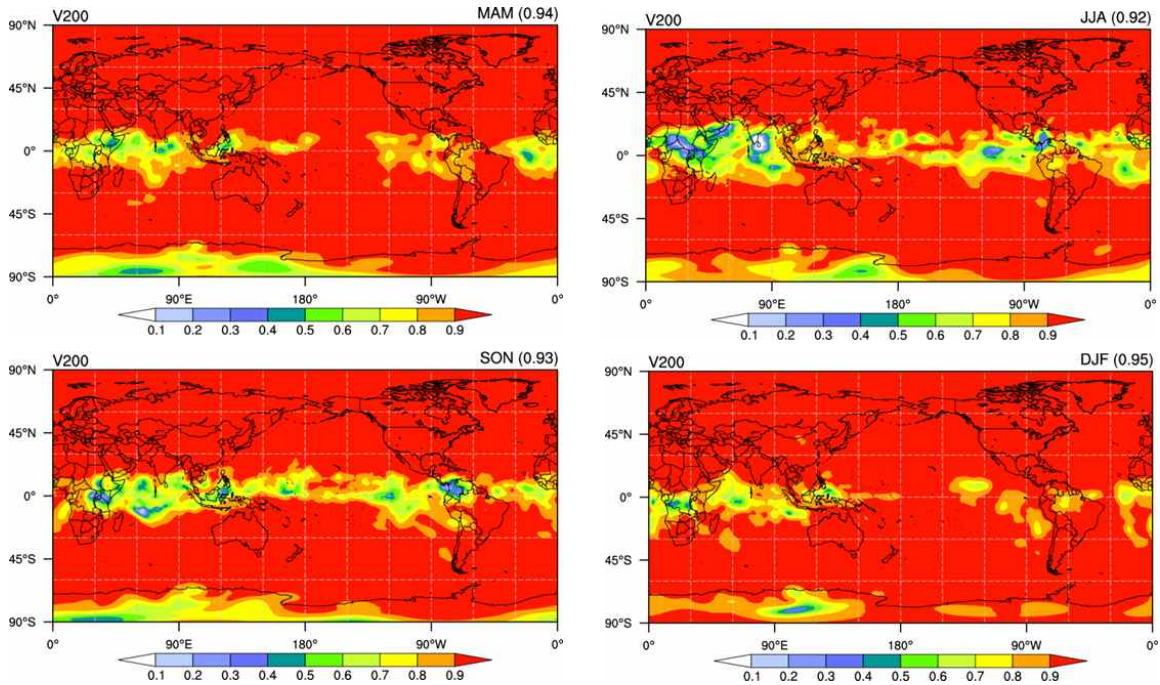


Figure 10. Same as in Fig. 3 except for meridional wind at 200 hPa

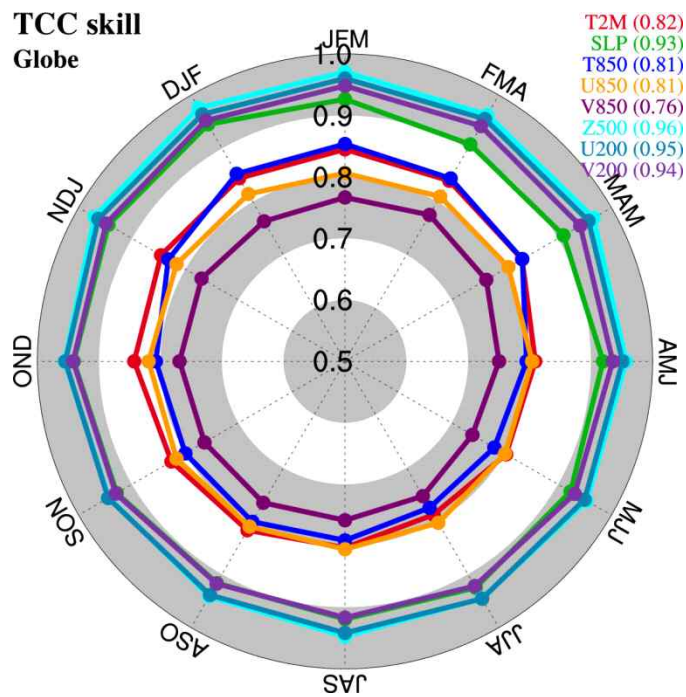


Figure 11. Temporal correlation of 8 variables during 12 seasons over globe.

변수별, 지역별 아노말리 상관관계(anomaly correlation coefficient; ACC)에 대해서도 분석해 보았다(Fig. 12). TCC와 마찬가지로 T2M, T850, U850, V850의 상관관계가 다른 변수에 비해 낮게 나타났으나 0.6 이상의 수치를 보였고, 지역적으로는 적도 부근, 남아시아, 남아메리카

에서 상대적으로 낮은 상관성을 보였다.

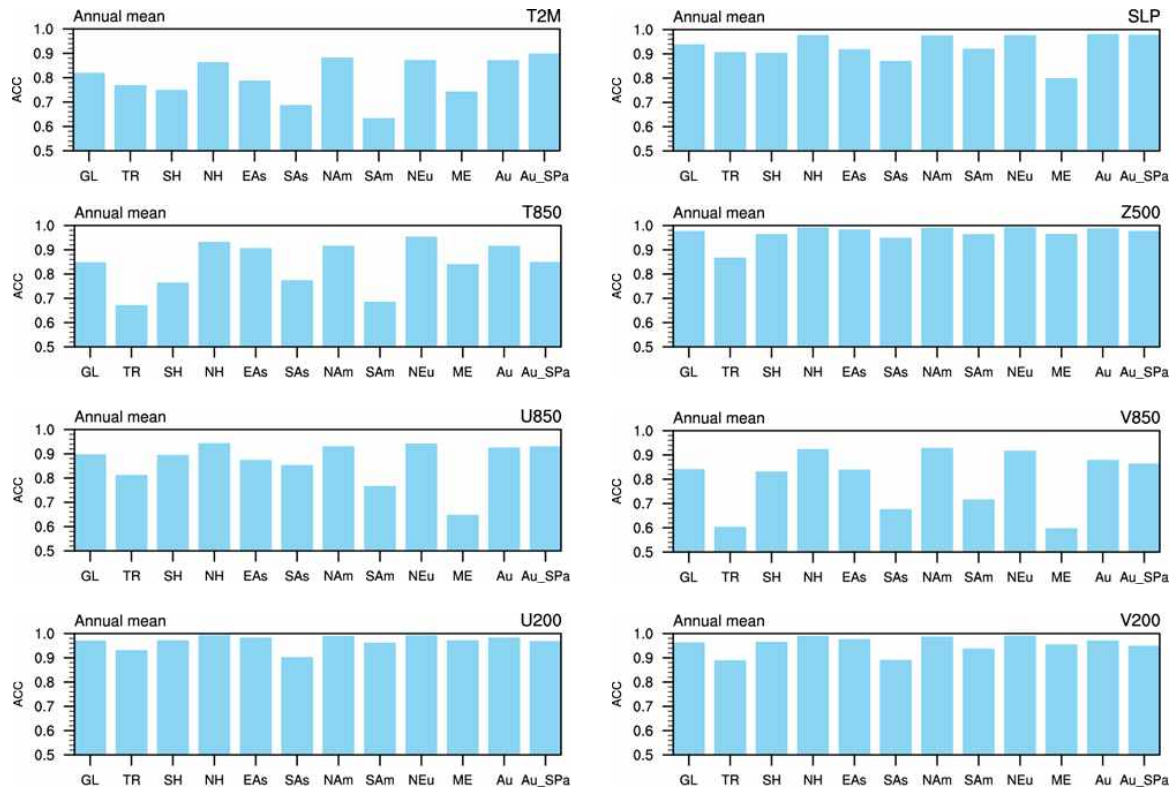


Figure 12. Anomaly correlation of 8 variables over the regions.

2장에서 언급한 바와 같이 강수의 경우  $1^\circ \times 1^\circ$  이상의 해상도를 가지면서 해양과 육지에 대해 hindcast와 real-time forecast 검증에 모두 사용할 수 있는 자료를 찾는 것이 힘든 상황이다. 차선책으로 실시간 업데이트가 되며  $1^\circ \times 1^\circ$  이상의 해상도를 가지지만 육지 강수만 제공하는 CPC 데이터와 재분석 자료이기는 하나 계산과정에서 관측값을 동화(assimilation)하여 강수값을 생산하는 MERRA2 강수를 사용하여 CAMS-OPI와의 상관성을 분석하였다. 상관성 분석은 1991년부터 2010년의 기간에 대해 이루어졌으며, 시간적/공간적 불연속을 가지고 있는 강수의 특성상 데이터의 왜곡을 피하기 위해 두 데이터를  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$  해상도로 변환하여 계산하였다.

Figure 13은 CAMS-OPI와 CPC의TCC를 계절별로 나타낸 것이다. 계절에 상관없이 공통적으로 나타나는 특징은 아프리카와 남아메리카, 서아시아 지역에서 두 데이터의 상관성이 낮게 나타난다는 것이다. 이러한 특징은 ACC 에서도 동일하게 나타난다(Fig. 14). CAMS-OPI는 매월 6000개의 관측소에서 나오는 관측치를 보정한 게이지 기반의 분석에 OLR 기반의 강수 지수 위성 추정치를 병합하여 실시간으로 생산되는 데이터이다. CPC는 이 외에도 다른 소스로부터 매일 강수량을 수집하여 만들어지는데, 이 때 수집되는 관측지점의 수는 지역에 따라 분포밀집도가 다르다(Chen et al. 2008). 미국, 멕시코, 브라질 동쪽 해안, 서유럽, 호주 지역에 대해서는 관측지점이 많은 반면 아프리카, 중국 서부, 호주 중부, 아마존 지역에 대해서는 관측 네트워크가 부족하기 때문에 이 지역에서의 상관성이 상대적으로 낮은 것이라 생각된다. 또한, 육지의 분포가 상대적으로 작은 남반구, 적도지역에 대해서도 CAMS-OPI의 상관성이 약한 것으로 나

타났다.

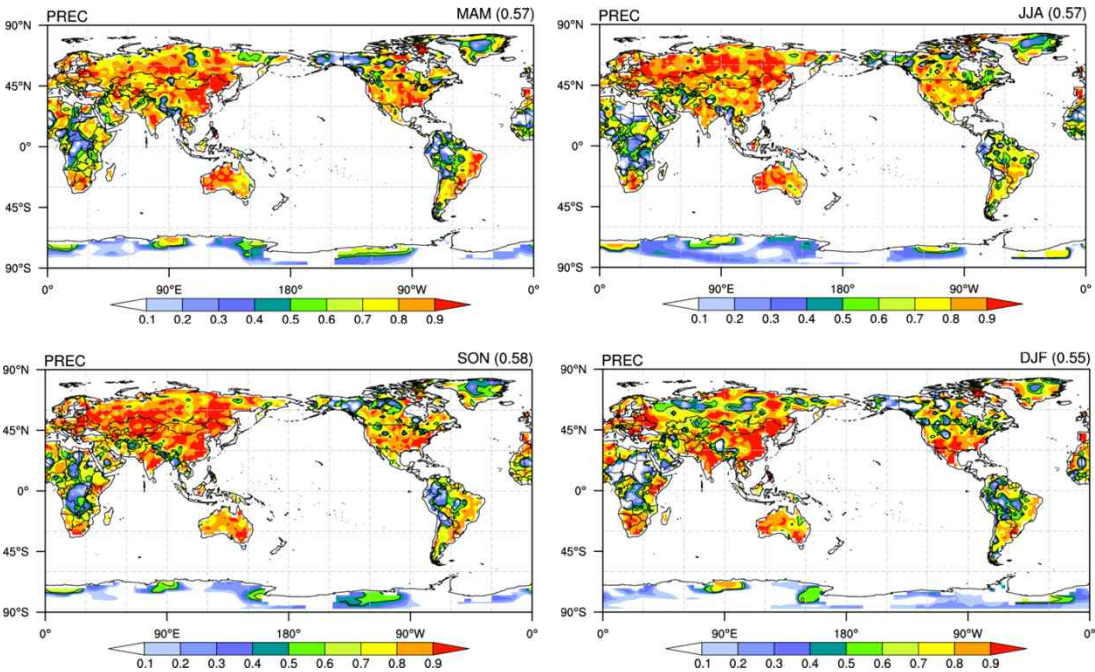


Figure 13. Temporal correlation between CAMS-OPI and CPC precipitation in MAM, JJA, SON, and DJF.

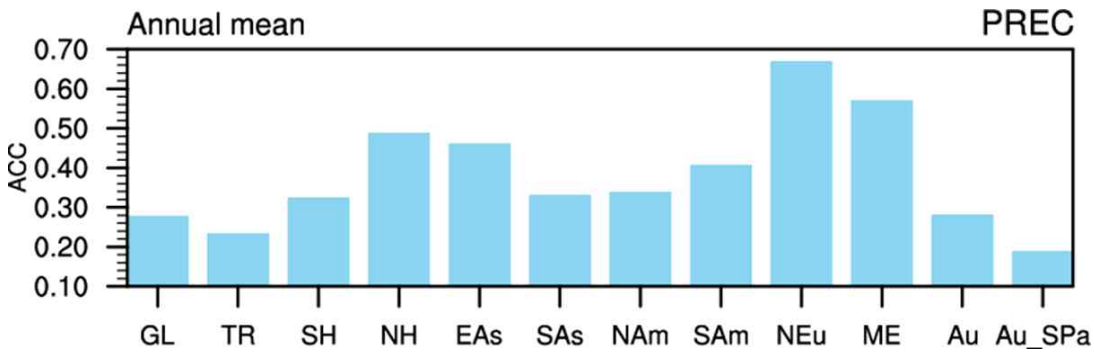


Figure 14. Anomaly correlation between CAMS-OPI and CPC precipitation over the regions

MERRA2에는 AGCM에서 생산된 강수와 에어로졸 습윤 침적(wet deposition)을 조절한 보정 강수 두 가지가 있다. MERRA2 강수에는 CPC Unified Gauge-Based Analysis of Global Daily Precipitation (CPCU)와 CMAP이 동화되며, CPCU는 전구의 육지에 대한 일일 총 강수량의 게이지 기반 추정치를 제공하고(Xie et al. 2007, Chen et al. 2008) CMAP은 게이지 기반 및 위성 추정치를 통한 전구 강수를 5일 간격(pentad)으로 제공한다(Xie and Arkin 1997). 따라서, 이 분석에서는 육지에서 생산된 강수와 강수 관측치 및 AGCM에서 생산된 강수가 병합된 보정 강수 값을 사용하였으며, 이 강수값은 AGCM에서 생산된 강수보다 관측 강수에 더 가깝다고 알려져 있다(Reichle et al. 2017).

MERRA2 강수와 CAMS-OPI의 상관성은 CPC와 CAMS-OPI의 상관성에 비해 높은 것으로

나타났다(Figs. 15, 16). 이는 MERRA2가 해양에서도 값을 제공하기 때문에 적도 강수대가 나타나는 지역에서의 상관성이 높은 것과 관계가 있으며, 반면 남반구에서는 상대적으로 낮은 상관성을 보였다.

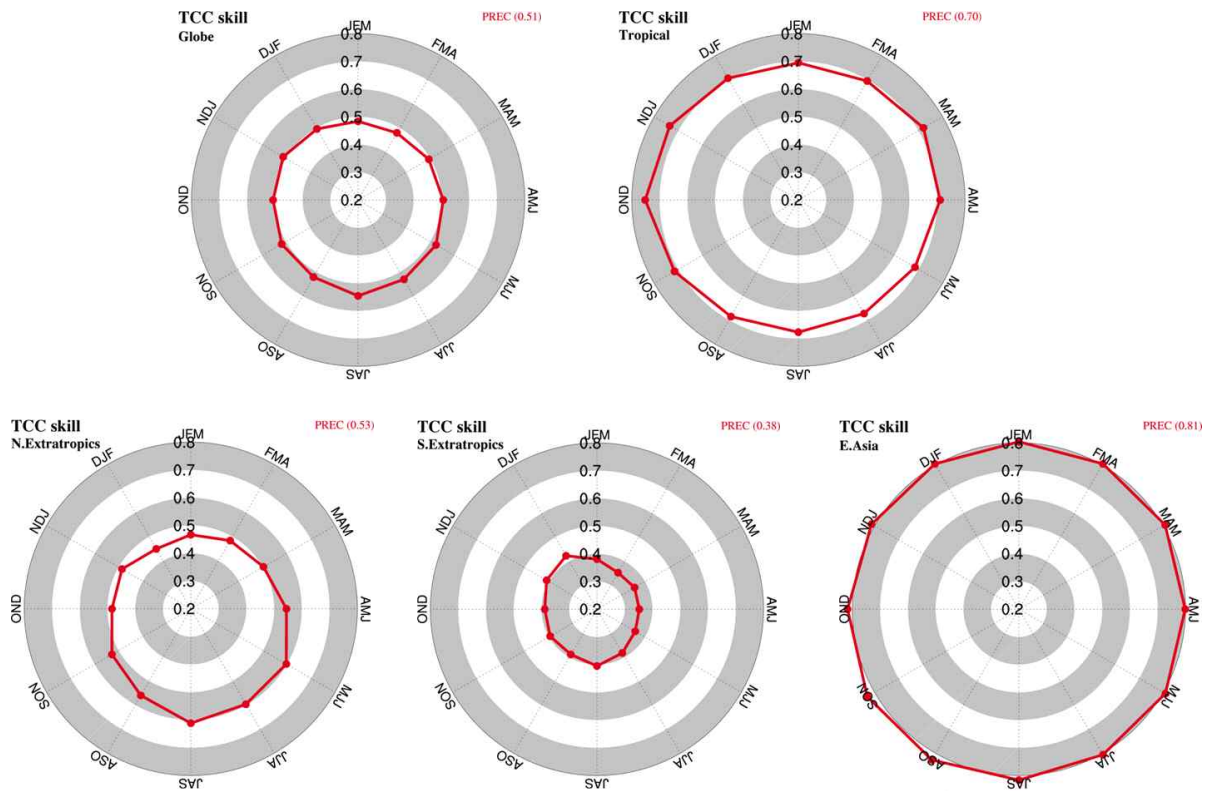


Figure 15. Temporal correlation between CAMS-OPI and MERRA2 precipitation over the globe, tropics, northern extra-tropics, southern extra-tropics, and East Asia.

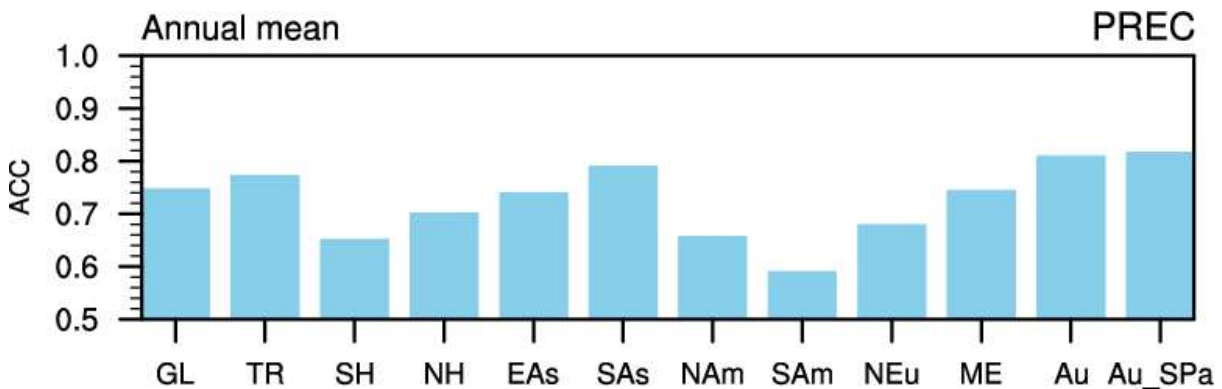


Figure 16. Anomaly correlation between CAMS-OPI and MERRA2 precipitation over the regions.

### 3. 결과

#### 가. APCC MME 계절예측시스템 개선

##### (1) MME 참여모델 신규 및 개선

2021년 1월 예측부터 Meteo France(MetFR)의 SYS7 모델이 합류하여 APCC MME 참여모델은 총 15개이다.

2021년에는 총 4개의 모델이 개선되었으며 BoM ACCESS-S2은 2021년 11월, CMCC SPS3.5는 8월, MetFR의 Sys 8은 7월, UKMO의 GloSea6는 2월에 현업에 적용되었다.

Table 3. List of APCC MME participating models: BoM, CMCC, MetFR, and UKMO.

Organization	BoM		CMCC		MetFR		UKMO	
	ACCESS-S1	ACCESS-S2	SPS3	SPS3.5	Sys 7	Sys 8	GloSea5	GloSea6
Spatial resolution	N216-60k and L85	N216-60k and L85	~1.0° × 1.0° L46 (provided 2.5° × 2.5°)	~0.5° × 0.5° L46 (provided 1.0° × 1.0°)	TL359; 91 levs; top 0.01 hPa	TL359; 127 levs; top 0.01 hPa	N216L85	N216L85
Ensemble size (F/H)	11/11	11/27	20/20	20/20 (original 50/40)	51/25	51/25	42/28	42/28
Lead time	0.5-5	0.5-5	0.5-5	0.5-5	0.5-5	0.5-5	0.5-5	0.5-5
Hindcast period	1990-2012	1981-2018	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016
Atmospheric model	UM6	UM6	CAMS5.3	CAMS5.3	ARPEGE-Climat v6.4	ARPEGE-Climat v6.4	UM 8.6	UM 8.6
Ocean model	NEMO ORCA25	NEMO ORCA25	NEMO3.4	NEMO3.4	NEMO 3.6	NEMO 3.6	NEMO 3.4	NEMO 3.4
Land surface model	JULES 6.0	JULES 6.0	CLM4.5	CLM4.5	SURFEX v8	SURFEX v8	JULES 8.6	ECHAM 5.3
Sea-Ice model	CICE6.0	CICE6.0	CICE4	CICE4	GELAT O v6	GELAT O v6	CICE 4.1	CICE 4.1

<b>Atmospheric initial conditions</b>	ACCESS-G	Data assimilation (ALI)	ECMWF operational atmospheric analysis	ECMWF operational atmospheric analysis	IFS operational analysis	Coupled integration of the System 8 coupled model constrained towards ERA5T	Met Office NWP global analysis	Met Office NWP global analysis
<b>Ocean initial conditions</b>	NEMO 3D VAR	Data assimilation	CMCC oceanic 3D-VAR analysis	CMCC oceanic 3D-VAR analysis	NEMO-GELATO	Mercator Ocean International operational analysis in the ocean	UKMO NEMOVAR	UKMO NEMOVAR
<b>Land surface initial conditions</b>	Clim.	Data assimilation	CMCC land-surface analysis	CMCC land-surface analysis	IFS operational analysis	Coupled integration of the System 8 coupled model constrained towards ERA5T	JULES analysis forced with JRA-55	JULES analysis forced with JRA-55
<b>SST boundary conditions</b>	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Sea-Ice initial conditions</b>	NEMO 3D VAR	Data assimilation	CMCC oceanic 3D-VAR analysis	CMCC oceanic 3D-VAR analysis	NEMO-GELATO	NEMO-GELATO	UKMO NEMOVAR	UKMO NEMOVAR

(가) BoM ACCESS-S2

① ACC 차이

지역 및 계절별로 예측력 증감이 골고루 나타나며 해수면온도의 예측력은 전반적으로 하락하였다 (Figure 17). 해수면온도 뿐만 아니라 열대 지역에서의 예측력이 대체로 좋은 변수인 500hPa 지위고도의 예측력 또한 감소하였다.

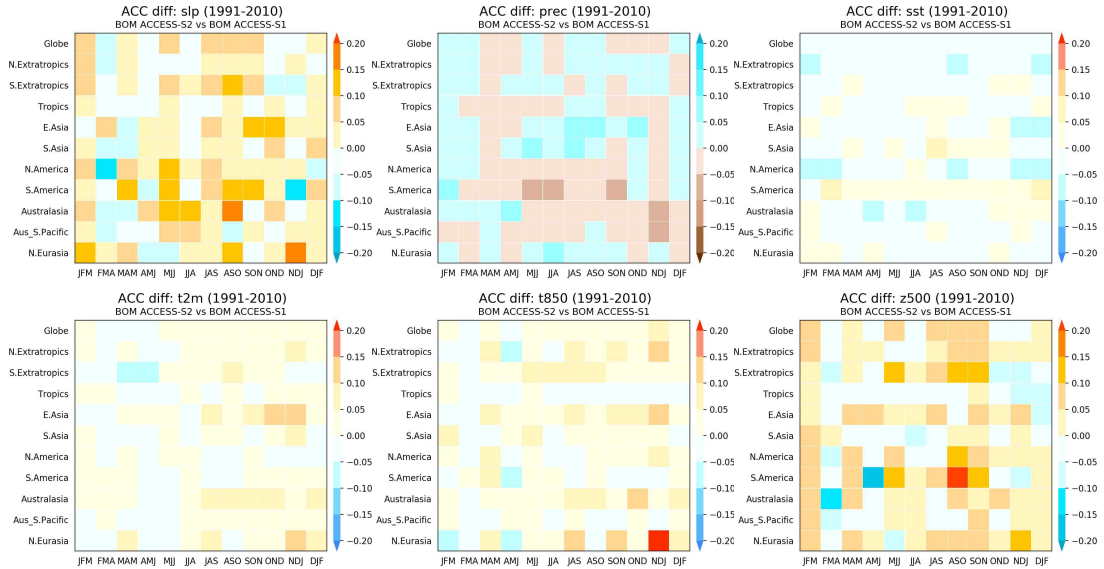


Figure 17. ACC difference between ACCESS-S1 and ACCESS-S2. Positive values represents that S2' s skill is better than S1' s skill.

하지만 12개월 중 하반기에, 전지구, 동아시아, 오스트레일리아(Figure 없음) 등에서 2m 기온 및 850hPa 기온의 예측력 상승이 나타났다 (Figure 18).

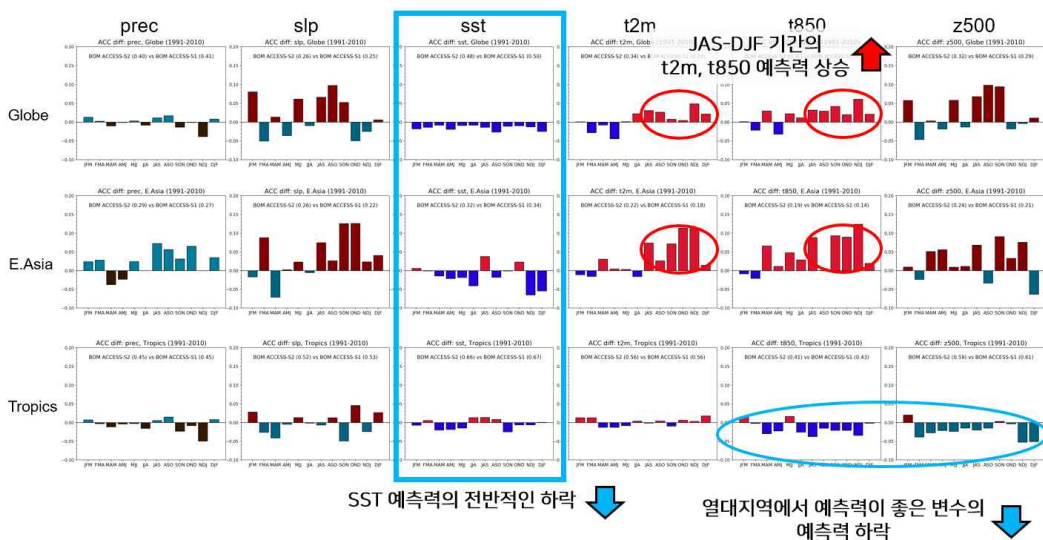


Figure 18 ACC difference between ACCESS-S1 and ACCESS-S2. Positive values represents that S2' s skill is better than S1' s skill.

## ② ROC Score 차이

Figure 19처럼 전지구의 경우 해수면온도를 제외하고 ACCESS-S2의 카테고리별 예측력 향상이 모든 변수에서 나타나며 그 값은 미미한 편이다(소수점 셋째 자리에서 변화).

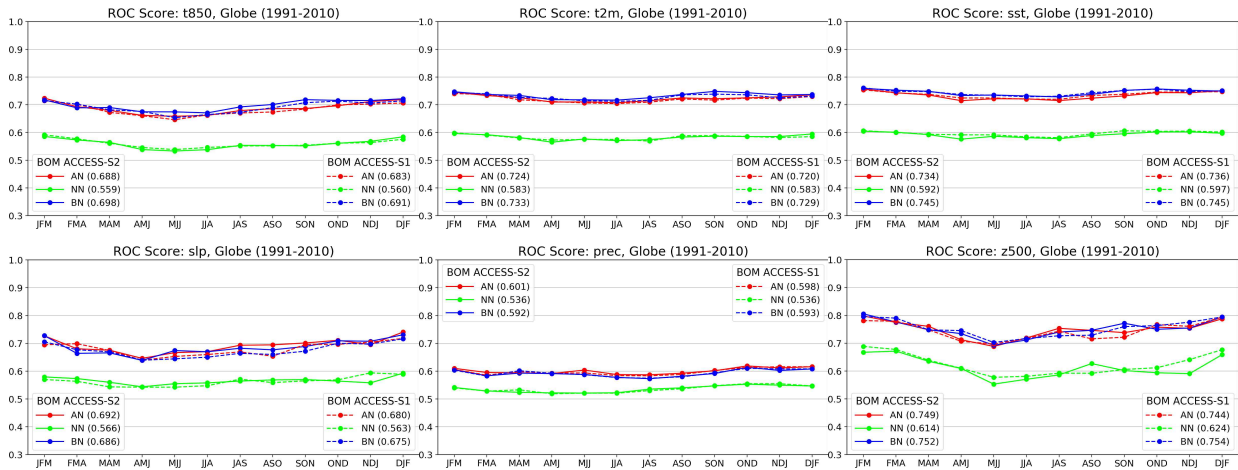


Figure 19. Global ROC Score of ACCESS-S1 (dotted line) and ACCESS-S2 (solid line).

## ③ niño3.4 시계열 상관성 차이

ACCESS-S1과 ACCESS-S2 모두 선행시간이 길어질수록 예측력이 감소한다(Figure 20). 1개월 선행시간에서는 ACCESS-S2의 예측력이 오히려 낮지만 2개월 선행시간부터는 ACCESS-S2의 예측력이 ACCESS-S1보다 높아진다. 월별로 살펴보면 ACCESS-S2의 상대적으로 높은 예측력은 1년 중 하반기인 7월에서 12월에 나타난다.

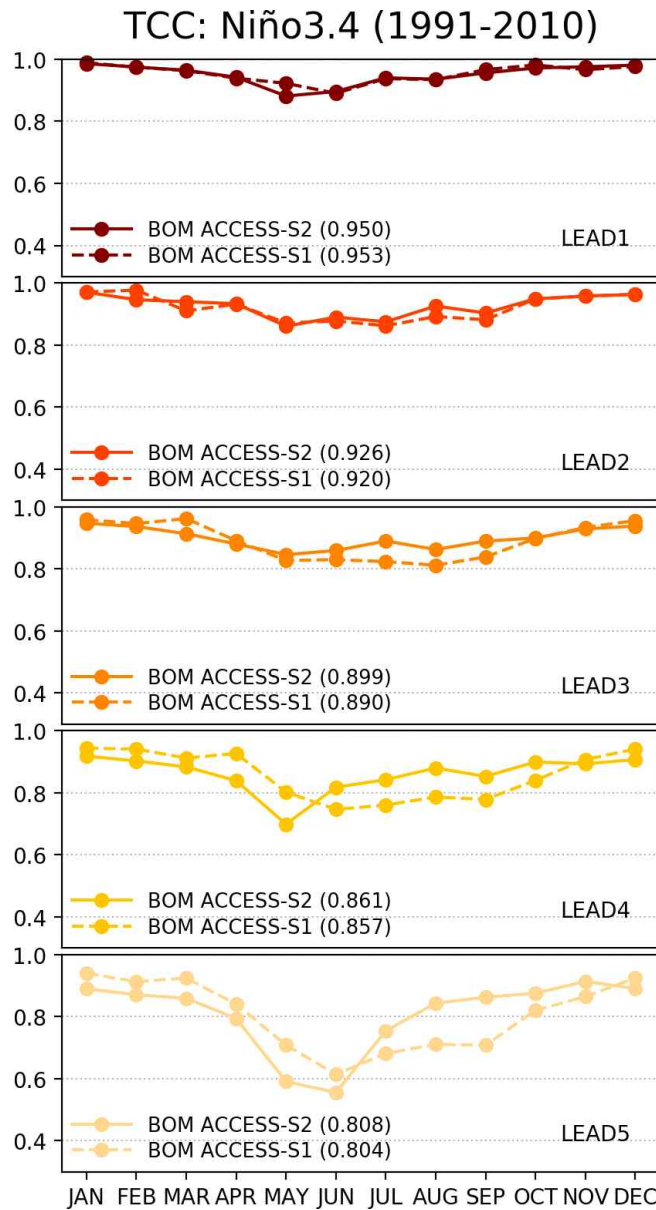


Figure 20. Temporal correlation coefficient between observed and predicted Niño3.4 for each lead time.

#### ④ 기존 모델들과의 성능 차이

ACCESS-S2의 전지구 기온에 대한 예측력은 MME에 참여하는 14개 모델 중 평균 이상이며 특히 JAS부터 NDJ 계절에는 상위권에 위치한다(Figure 21). 전지구 강수에 대한 예측력 또한 타 모델과 비교하여 평균 이상이다.

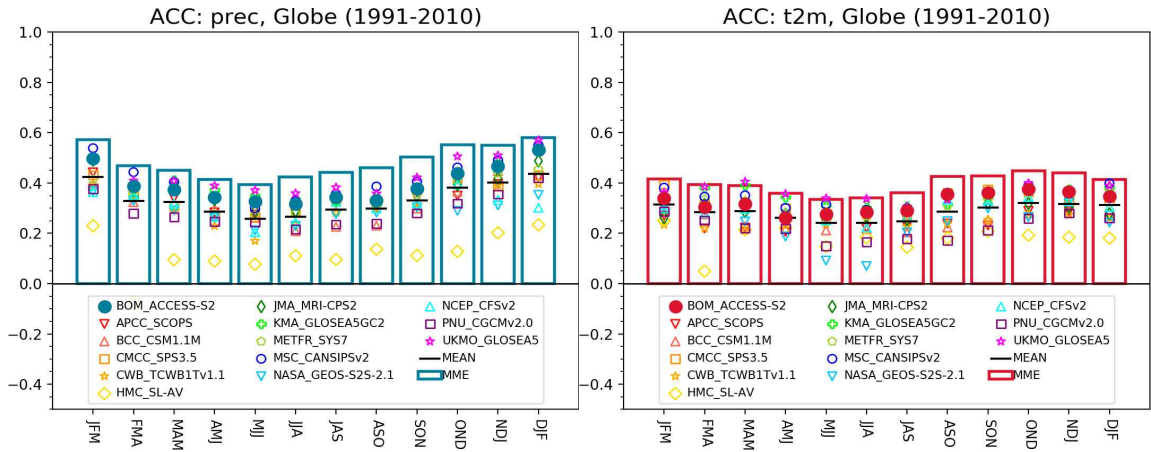


Figure 21. Global ACC of 2m precipitation (left) and 2m temperature (right) of BOM ACCESS-S2 and the other models (symbols), averaged ACC (black line), and MME' s ACC (box).

### ⑤ MME 참여 시 예측력 변화

ACCESS-S1(S2)를 포함하여 MME를 수행하고 각 결과를 MME1(MME2)라고 할 때, 지역 및 계절별로 ACC 증감이 골고루 나타난다(Figure 22).

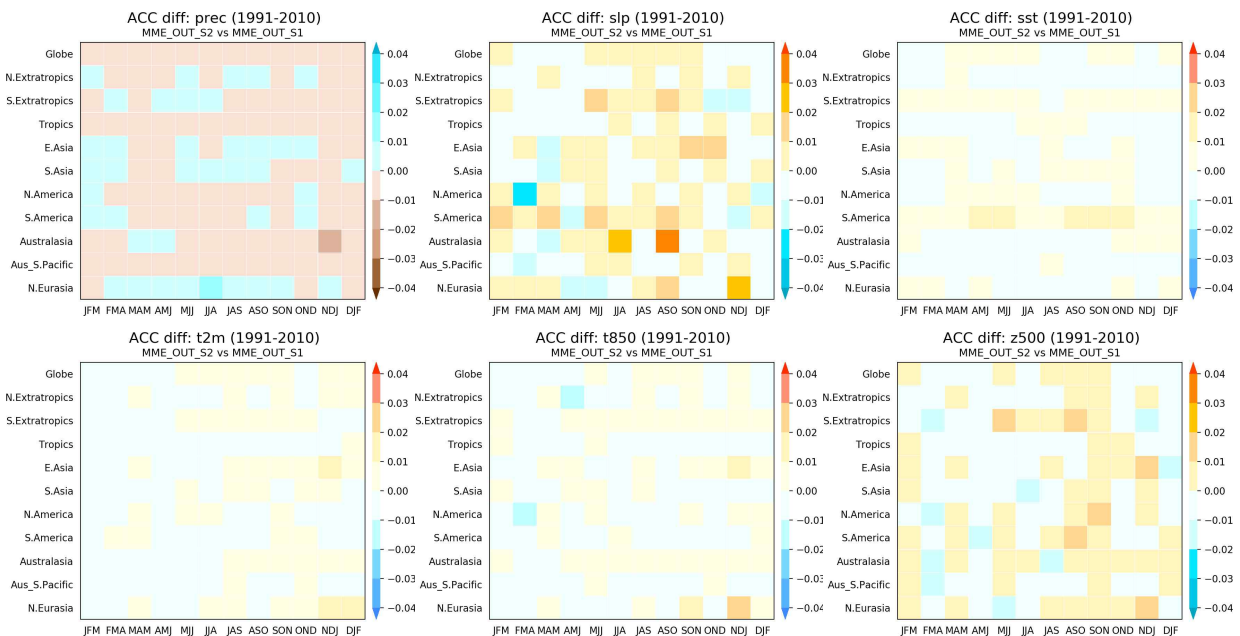


Figure 22. ACC difference between MME1 and MME2. Positive values represents that MME2' s skill is better than MME1' s skill.

ACCESS-S1과 ACCESS-S2를 비교한 경우와 마찬가지로 12개월 중 하반기에, 동아시아와 오스트레일리아(Figure 없음) 등에서 2m 기온과 850hPa 기온의 예측력 상승이 나타난다(Figure 23).

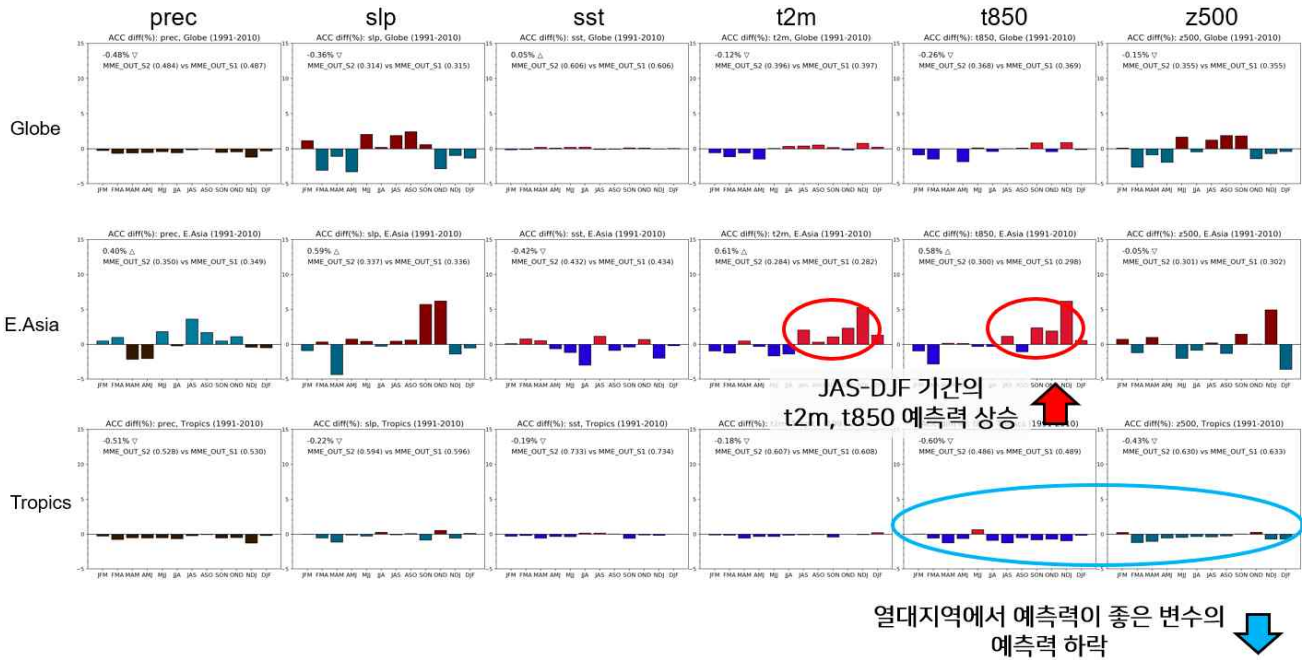


Figure 23. ACC difference between MME1 and MME2. Positive values represents that MME2' s skill is better than MME1' s skill.

전지구 ROC Score 차이의 경우, MME에 미치는 영향 면에서도 지역 및 계절별 차이를 보이며 주목할 만한 예측력 향상은 없다. 하지만 1개월 선행시간 이후의 예측성 향상을 기대해 볼 수 있다(Figure 24).

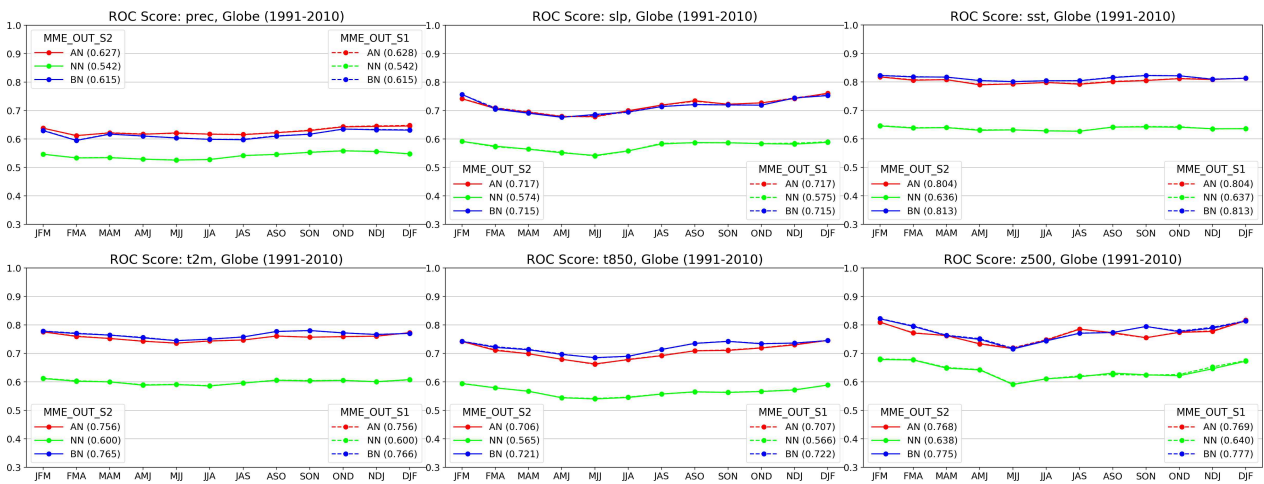


Figure 24. Global ROC Score of MME1 (dotted line) and MME2 (solid line).

## (나) CMCC SPS3.5

### ① TCC 차이

기존 모델인 SPS3 모델의 기온은 대체로 남위 60° ~90° 에서 낮은 예측력을 보였고, 특히 여름철에 이러한 특징이 두드러지게 나타났다 (Figure 25-(d)). 이로 인해 다중모델앙상블 참여 시 예측력에 부정적인 영향이 크게 나타났으며, 해당 문제점을 해결하기 위해 APCC 자체적인 후처리 방안을 고안하여 다중모델앙상블에 처방하여왔다. 개선된 모델의 SPS3.5의 예측력의 변화를 살펴보기 위해 우선 hindcast 기간(1993-2010년)에 대한 시간적 상관계수(temporal correlation coefficient, TCC)를 Figure 1에서와 같이 분석하였다. 그 결과, 개선된 SPS3.5는 SPS3의 남위 60° ~90° 에서 보였던 음의 상관계수가 나타나지 않았으며, SPS3.5와 SPS3의 TCC의 차이(Figure 25-(c), (f), (i), (l))에서도 해당 지역의 상관계수가 상당히 큰 양의 차이를 보였다. 이러한 분석 결과를 통해 기존 SPS3에서 수행하여 온 다중모델앙상블 처방시 후처리 방안을 SPS3.5에서는 적용하지 않도록 하였다. 다만 그 외 지역에서는 예측력의 증감이 부분적으로 나타나며, 북극해 지역과 겨울철(DJF) 아시아 대륙에서는 SPS3.5의 예측력이 SPS3에 비해 다소 낮으나, 대서양을 비롯한 유럽지역에 대해서는 예측력이 크게 향상됨을 알 수 있다.

기온과 유사하게 강수 변수에 대해서도 시간상관분석을 수행하였다(Figure 26). 강수의 경우 가장 높은 TCC가 나타나는 열대 지역에서 SPS3와 SPS3.5의 차이가 크지 않은 것으로 나타났다. 그 외 지역에서는 예측력의 크고 작은 차이가 나타났다. 이를 전구 평균하였을 때, 봄철(MAM) SPS3.5의 TCC가 SPS3의 TCC에 비해 0.012의 차이가 나타나는 등 통계적으로 유의하지 않은 차이로써 예측력의 큰 증감이 없는 것으로 나타났다. 다만 봄철과 겨울철의 북극해에서의 강수 예측력이 SPS3에 비해 크게 향상됨을 알 수 있다.

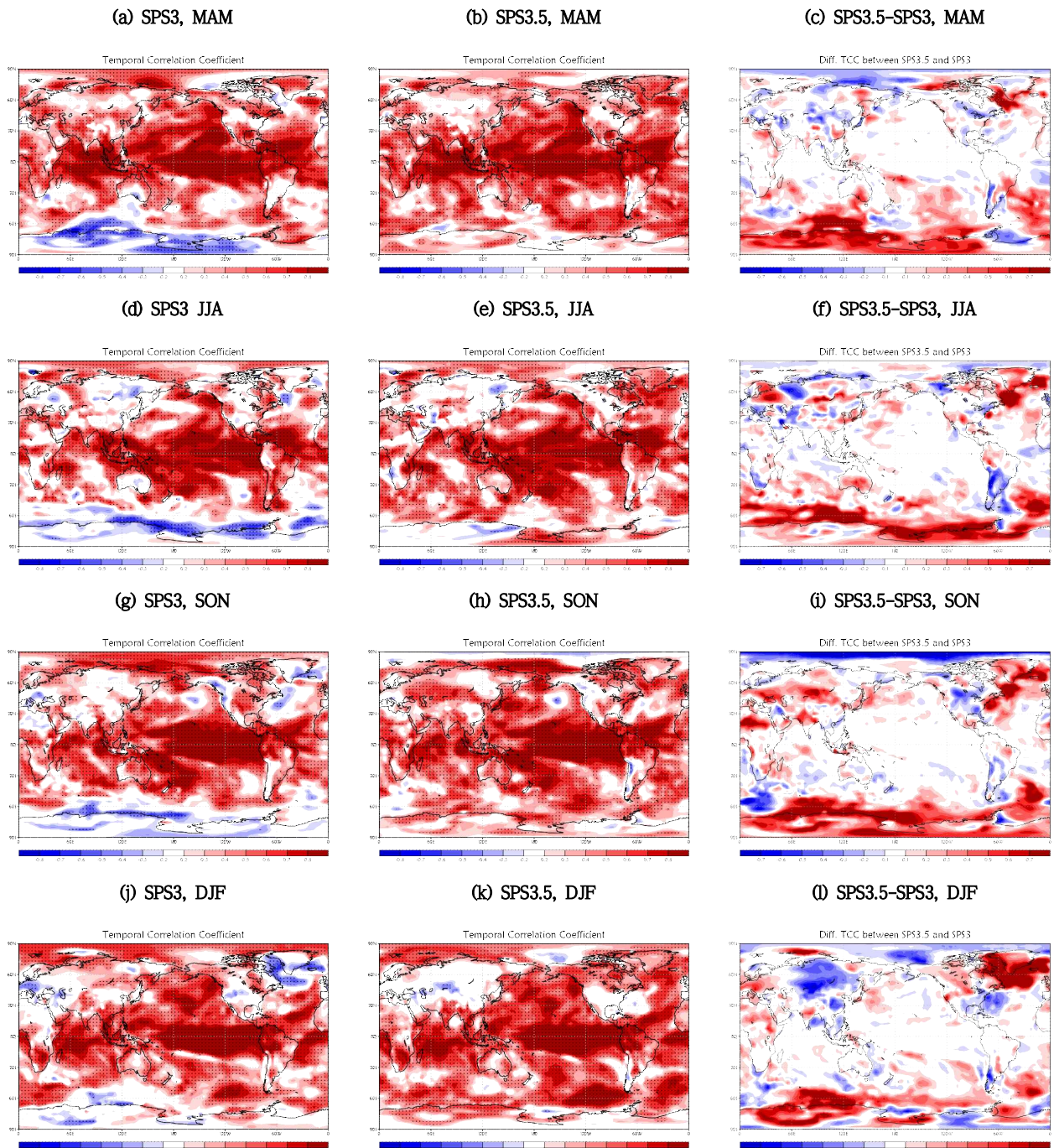


Figure 25. Temporal correlation coefficient (TCC) CMCC SPS3 (left), SPS3.5 (center), and difference between SPS3.5 and SPS3 (right) for MAM (a-c), JJA (d-f), SON (g-i), and DJF (j-l) temperature from 1993 to 2010.

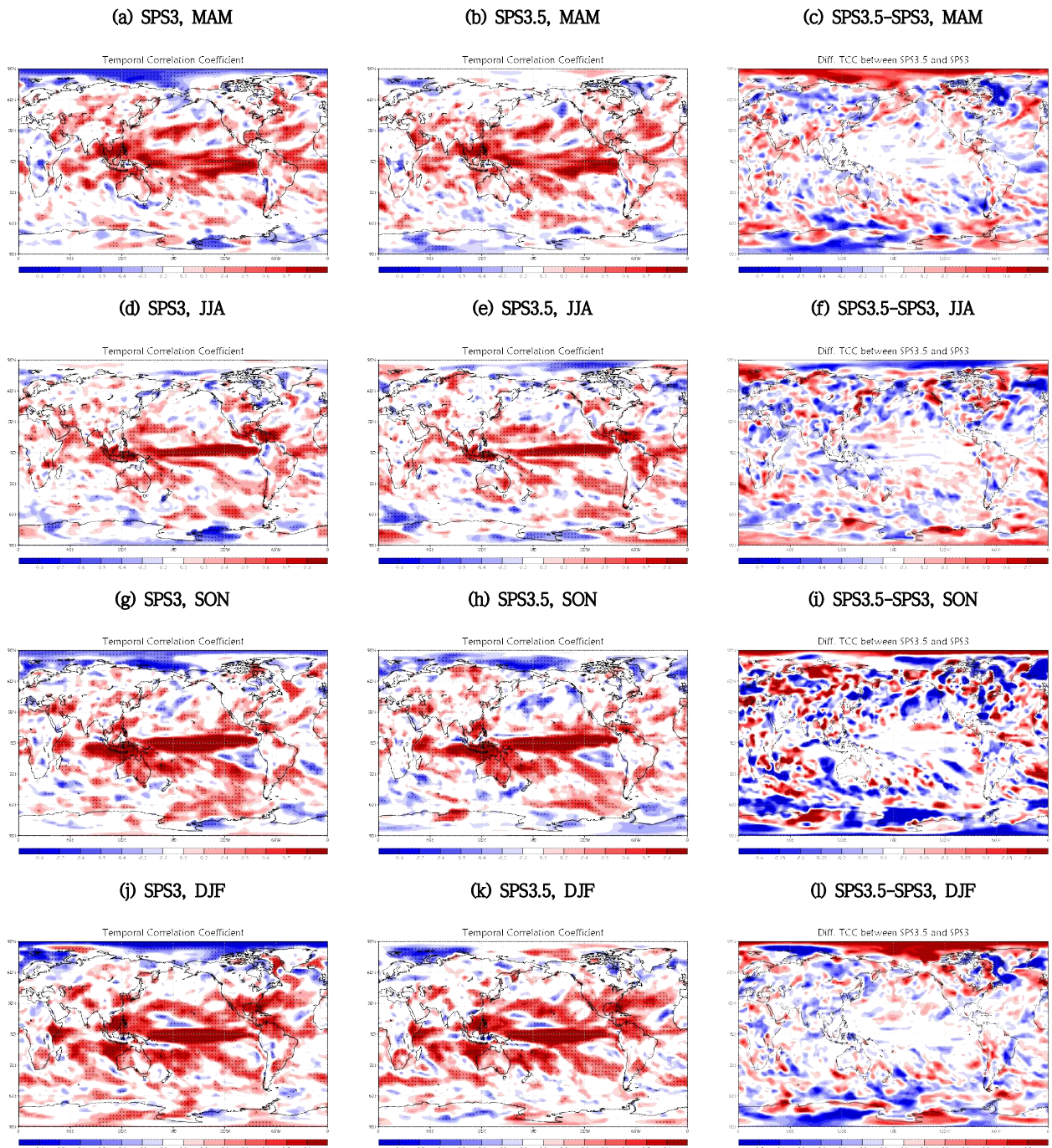


Figure 26. Same as Figure 25 except for precipitation.

## ② ACC 차이

시간적 상관관계를 더불어 공간적 상관관계 분석을 수행하기 위해 ACC(Anomaly Correlation Coefficient)를 아래 Figure과 같이 분석하였다 (Figure 27). SPS3의 경우 ①에서와 같이 남위 60° ~90° 의 예측력 저하 문제로 AMJ-ASO 기간 동안 타 계절에 비해 현저히 낮은 예측력을 보이고, 타 계절에 대해서도 0.3 미만의 ACC를 보인 반면, 개선된 SPS3.5 모델의 경우 AMJ-ASO 기간에 예측력이 대폭 향상되면서 전 계절 ACC가 0.34로써 SPS3의 0.15보다 약 2 배 이상의 예측력 향상이 나타났다. 기온과 달리 강수의 경우 SPS3와 SPS3.5의 예측력 차이가 크지 않으며 전 계절 평균값으로 비교해보아도 약 0.36으로써 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 SPS3.5로 개선됨에 따라 강수 보다 기온의 예측력이 두드러지게 향상되면서 다중모델앙상블 참여시 기온의 예측력 향상에 긍정적 영향을 미칠 것으로 기대된다.

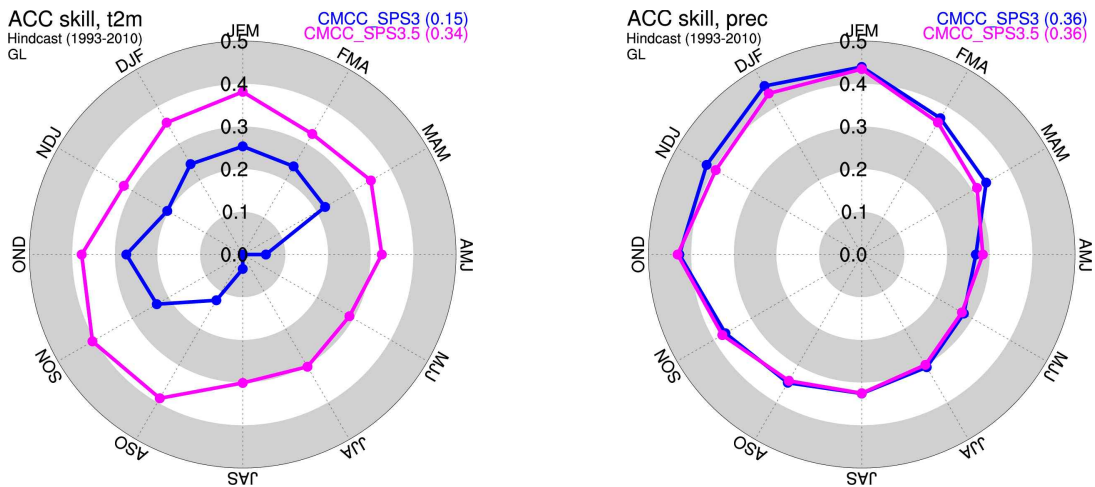


Figure 27. Anomaly correlation coefficient (ACC) of CMCC SPS3 (blue) and SPS3.5 (pink) for 12 seasons (JFM-DJF) temperature (left) and precipitation (right) from 1993 to 2010.

## ③ 개선 전/후 타 모델 및 MME 참여 시 예측력 비교

SPS3과 SPS3.5의 예측력 비교뿐만 아니라 타 모델과의 비교를 통해 개선 전/후 예측력의 변화를 상대적으로 평가하였고, SPS3과 SPS3.5가 각각 다중모델앙상블에 참여했을 때의 예측력도 함께 비교하였다 (Figure 28). 여기서 SPS3 단일 모델은 CMCC-old, SPS3.5는 CMCC-new로 표현하였으며, 두 모델 모두 별도의 후처리 없이 예측력을 산출하였다. 또한, SPS3와 SPS3.5가 각각 참여한 결정론적 다중모델앙상블(SCM)을 SCM-old(빨간색), SCM-new(파란색)으로 표현하였으며, 이 경우 SPS3는 후처리를 적용하였고, SPS3.5는 후처리 없이 예측력을 산출하였다. 그 결과, SPS3의 기온의 경우 타 모델과 비교 시 낮은 예측력을 보이는 군에 속해 있으나, SPS3.5의 기온의 경우 예측력이 향상되면서 타 모델과 비교시 높은 예측력을 보이는 군에 속하는 것으로 나타났다. 이러한 예측력 향상으로 SPS3의 가장 낮은 예측력을 보였던 여름철(JJA)에 대해 SPS3에 후처리를 하였음에도 불구하고 SPS3.5가 참여한 SCM이 SPS3이 참여한 SCM 보다 높

은 예측력을 보였다. 다만 강수의 경우 ②의 결과에서와 같이 계절별로 SPS3와 SPS3.5의 예측력 차이가 상이하며, 타 모델과 비교 시 두 모델 모두 비교적 준수한 예측력을 나타냈다. SPS3와 SPS3.5의 예측력 차이가 크지 않은 만큼 각 모델이 참여한 SCM-old와 SCM-new의 차이도 크지 않은 것으로 나타났다. 따라서, SPS3에서 SPS3.5로 개선하면서 강수 보다 기온에 대하여 다중모델앙상블에 참여 시 예측력 향상에 크게 기여하는 것으로 나타났다.

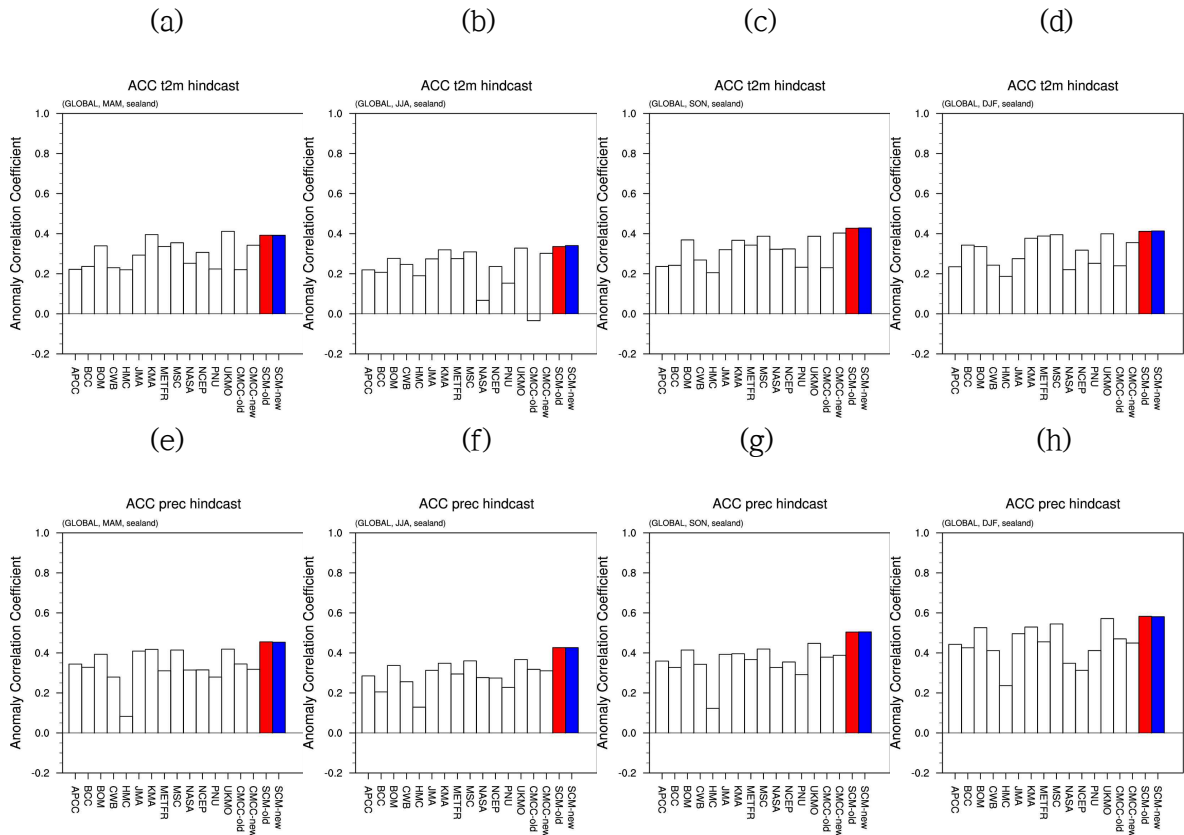


Figure 28. Anomaly correlation coefficient (ACC) of each individual models, CMCC SPS3 (CMCC-old), SPS3.5 (CMCC-new), SPS3 participating in DMME (SCM-old; red), and SPS3.5 participating in DMME (SCM-new; blue) for MAM, JJA, SON, DJF season temperature (a-d) and precipitation (e-h) from 1991-2010.

결정론적 다중모델앙상블을 더불어 확률론적 다중모델앙상블에 대해 모델 개선 전/후 예측력 비교도 수행하였다 (Figure 29). SPS3과 SPS3.5가 참여한 확률론적 다중모델앙상블(PMME; GAUS)를 각각 GAUS\_old (점선), GAUS\_new(실선)로 표현하였으며, ROC (Relative Operating Characteristic) Score을 기반으로 한 ROC Curve 분석을 통해 예측력을 상호 비교하였다. 그 결과, 개선 전/후 모델이 참여한 확률론적 다중모델앙상블의 예측력 차이는 크지 않은 것으로 나타났으며, 기온의 경우 소수점 단위로 SPS3.5가 참여한 PMME에서 ROC가 더 높게 나타났다. 따라서 통계적으로 유의하진 않으나 SPS3.5로 개선됨에 따라 강수 보다 기온에서 다중모델앙상블의 예측력 향상에 기여하는 것을 의미한다.

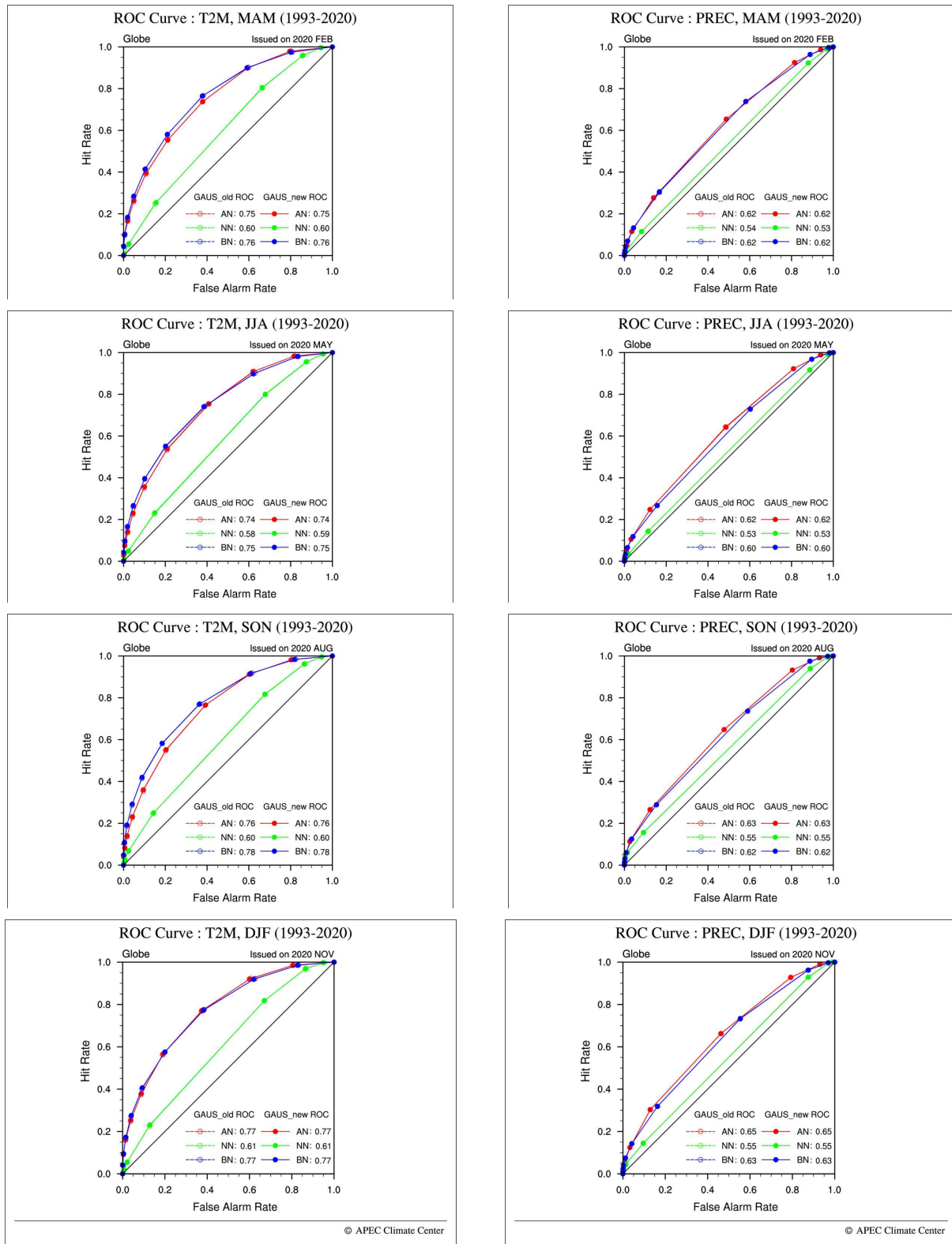


Figure 29. Relative operating characteristic score of SPS3 participating in PMME (GAUS\_old; dash), and SPS3.5 participating in PMME (GAUS\_new; line) for MAM, JJA, SON, DJF season temperature (a-d) and precipitation (e-h) from 1993-2010.

## (2) 신규/개선 개별모델의 예측성 평가 매트릭스 구성 및 시스템화

### (가) 필요성

2021년 하반기 기준, APCC의 다중모델앙상블(Multi-Model Ensemble, MME)에 11개국 15개 기관의 기후 예측 모델이 참여하고 있다. 이 모델들은 각 기관에 의해 꾸준히 개선되어 APCC에 제공되고 있으며 새로운 기관의 모델이 제공되기도 한다. APCC는 MME 예측력 향상을 위하여 이러한 모델의 예측 자료들을 즉각 수집하여 활용하고 있다. 또한 안정적인 예측력 확보를 위하여 새로운 모델의 예측력, 다른 모델들과의 예측력 비교, MME 예측력에 미치는 영향 등을 파악한 후 MME를 수행하고 있다.

하지만 1년 사이에도 수 개의 모델이 개선·개발되고 있으며 MME에 즉각 활용하기 위해서 각 모델의 담당자가 자료 처리 및 예측성 평가를 하고 있으나 그에 할애하는 시간이 상당하며 담당자에 따라 분석 종류, 계산 방식, 그래픽 형식 등이 다양하여 일관된 체계에서 관리가 필요한 상황이다.

“신규·개선 개별모델의 예측성 평가 매트릭스”를 운영함으로써 예측성 분석에 사용되는 시간을 줄이고 빠르게 변화하고 있는 기후 예측 모델의 예측성 결과를 체계적으로 관리할 수 있을 것이다.

### (나) 예측성 평가 방식

2021년 하반기 기준, APCC의 다중모델앙상블(Multi-Model Ensemble, MME)에 11개국 15개 기관의 기후 예측 모델은 Table 4과 같고 사용된 용어는 Table 5에 기술되어 있다.

Table 4. Matrix for evaluating seasonal climate model' s performance.

Verification		Score	Plot	Variable	Period	Temporal resolution	Spatial resolution
Self evaluation		ACC BIAS RMSE TCC ROC Score ROC Curve Niño3.4	map graph	prec slp sst t2m t850 z500	1991-2010	Monthly Seasonal	2.5° 1°
Comparison	New vs. old version						
	New vs. other models						
MME evaluation							

Table 5. Terminology in the matrix for evaluating seasonal climate model' s performance.

<b>Self evaluation</b>	Evaluate the new or upgraded model' s performance itself
<b>Comparison (New vs. old version)</b>	Compare the upgraded model' s performance to the previous one' s performance
<b>Comparison (New vs. other models)</b>	Compare the new or upgraded model' s performance to the current models' performance
<b>MME evaluation</b>	Compare performance of MME with new or upgraded model to MME without it
<b>ACC</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anomaly Correlation Coefficient</li> <li>• Pattern correlation between observation and model anomalies</li> <li>• Regional/monthly/seasonal graph</li> </ul>
<b>BIAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distribution of differences between observation climatological mean and model climatological mean</li> <li>• Monthly/seasonal map</li> </ul>
<b>RMSE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Root Mean Square Error between observation and model anomalies</li> <li>• Monthly/seasonal map</li> <li>• Monthly/seasonal graph of regional averaged values</li> </ul>
<b>TCC</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temporal correlation coefficient between observation and model anomalies</li> <li>• Monthly/seasonal map</li> <li>• Monthly/seasonal graph of regional averaged values</li> </ul>
<b>ROC Score</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relative Operating Characteristics Score</li> <li>• Monthly/seasonal map of each category of ROC Score</li> </ul>
<b>ROC Curve</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relative Operating Characteristics Curve</li> <li>• Monthly/seasonal graph of each category' s Hit Rate and False Alarm Rate of the model' s probability forecast</li> </ul>
<b>NINO34</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Graph of time series of observed and forecasted Niño3.4</li> <li>• Graph of correlation between observed and forecasted Niño3.4</li> </ul>

(다) 시스템 구조

두 가지 환경(HPC, PC)에서 세 가지 작업(계산, 그래픽 생산, 슬라이드 생산)이 이루어진다 (Figure 30). 계산 및 그래픽 생산은 파이썬을 사용하고 슬라이드 생산은 비주얼 베이직을 사용한다. 그래픽 생산 속도 향상을 위하여 계산 단계에서 ① 관측 자료 및 모델 자료의 기후값과 편차값, ② 모델의 확률 예측값 및 ③ 검증값, ④ 다중모델 단정예측 및 확률예측값과 ⑤ 확률 예측 검증값의 사전 계산을 수행한다. 그래픽 생산 단계에서는 각 검증 기법별로 PNG 형식의 Figure 파일을 생산하고 슬라이드 생산 단계에서는 그림 파일들을 자동으로 삽입하여 PPTX 형식의 문서를 생산한다.

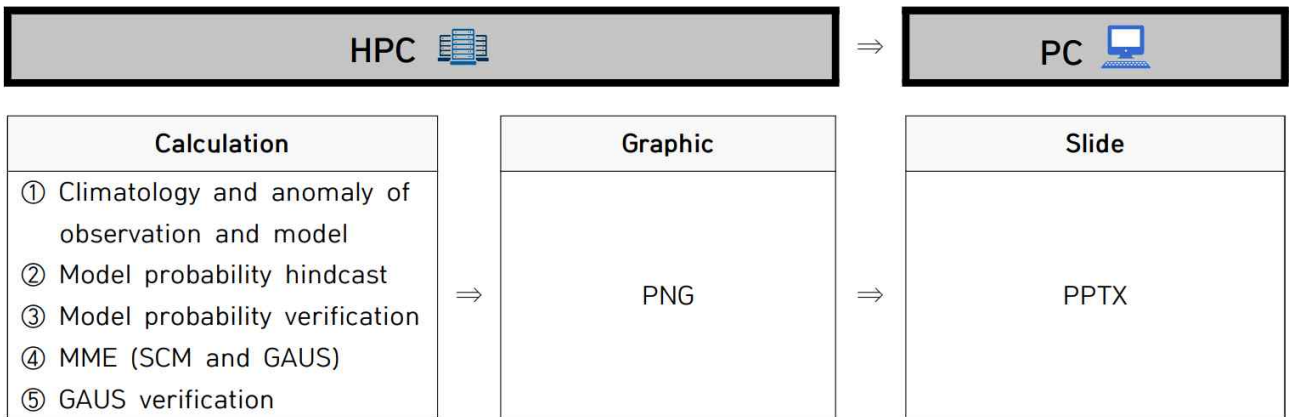


Figure 30. System flow chart of the matrix for evaluating seasonal climate model's performance.

### ① 프로그램 위치

Figure 31는 계산 및 그래픽 생산 프로그램이 저장되어 있는 “CODE” 디렉토리의 하위 디렉토리를 나타낸 모식도이며 {METRICS}는 /data01/cmlim/OPER/AFS/METRICS이다. 각 디렉토리에 저장된 프로그램의 역할은 Table 6과 같다.

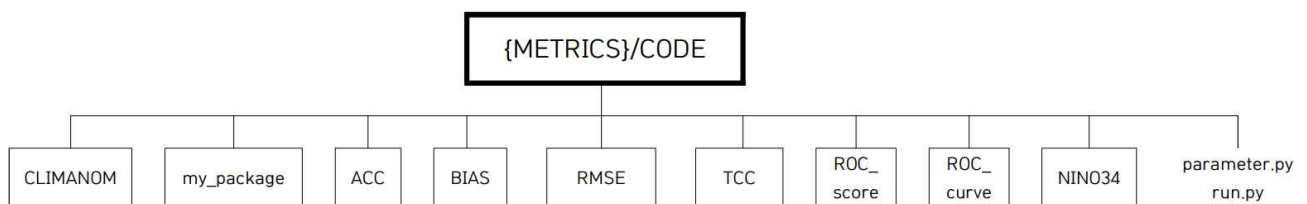


Figure 31. Directories for calculation and figures in “CODE” .

Table 6. Subdirectories, programs, and their jobs in the directory “CODE” .

Directory	Job
CLIMANOM	Calculate climatology and anomaly of observation and model and save data

my_package	Modules for calculating ROC Curve and Score, ACC, RMSE, and TCC
ACC	Calculate ACC and save figures
BIAS	Calculate bias and save figures
RMSE	Calculate RMSE and save figures
TCC	Calculate TCC and save figures
ROC_score	Calculate ROC Score with modules in my_package and then save data and figures
ROC_curve	Calculate ROC Curve with modules in my_package and then save data and figures
NINO34	Calculate Niño3.4 index and correlation between observed and forecasted index, and save figures
parameter.py	Configure file for setting variable, model information, temporal and spatial resolution, region, and input/output paths
run.py	Run file by which users can produce data and figures they want

② 자료 위치

Figure 32은 CODE 디렉토리에서 계산한 파일이 저장되어 있는 “DATA” 디렉토리의 하위 디렉토리를 나타낸 모식도이다. 각 디렉토리에 저장되는 자료는 Table 7에 기술되어 있다.

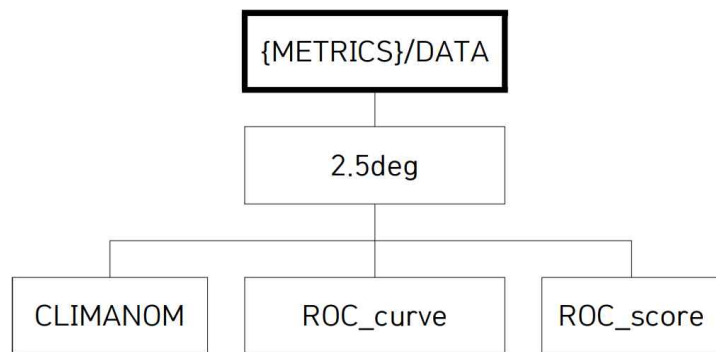


Figure 32. Subdirectories of the directory “DATA” .

Table 7. Subdirectories of the directory “DATA” .

Directory	File
-----------	------

CLIMANOM	Climatology and anomaly data files of observation and model
ROC_curve	ROC Curve data files
ROC_score	ROC Score data files

### ③ 그림 위치

Figure 33는 CODE 디렉토리에서 생산한 그림 파일이 저장되어 있는 “FIG” 디렉토리의 하위 디렉토리를 나타낸 모식도이다. 각 디렉토리에 저장되는 그림은 Table 8에 기술되어 있다.

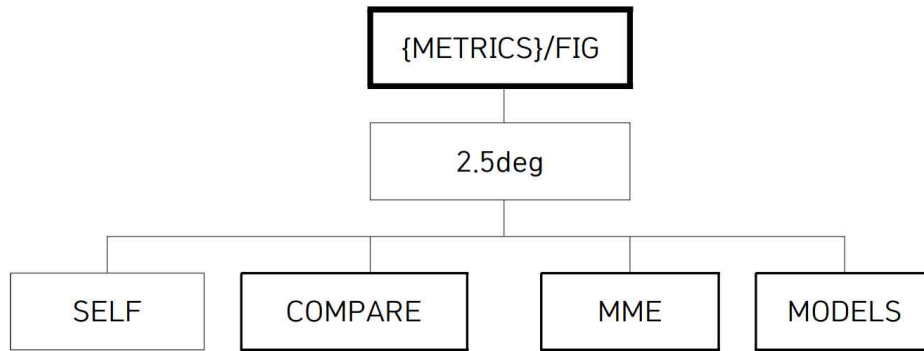


Figure 33. Subdirectories of the directory “FIG” .

Table 8. Subdirectories of the directory “FIG” .

Directory	File
SELF	Self evaluation figures
COMPARE	Performance comparison figures (New vs. old version)
MME	MME performance figures
MODELS	Performance comparison figures (New models vs. the other models)

### (라) 시스템 운영

#### ① HPC 접속 방법

IP는 10.100.9.116이고 계정명은 cmlim이며 비밀번호는 담당자들과 공유한다. 모든 그래픽 프로그램을 생산하는 상위 프로그램인 run.py를 수행하면 수 시간 내로 이루어진다.

자료 생산과 그래픽 생산은 따로 진행해야 한다. 아래의 ② 자료 생산, ③ 그래픽 생산에서는 상위 프로그램이 아닌 각 항목별 프로그램을 수행하는 방법을 설명한다.

② 자료 생산

㉞ 관측 및 예측의 기후값 및 편차값 자료 생산

프로그램 실행 위치와 자료 저장 위치는 Figure 34의 파란색으로 표시된 디렉토리다. CODE 디렉토리의 parameter.py 파일을 열어 데이터 저장 여부를 'O'로 설정 후 계산하고자 하는 변수 정보(변수명, 단위), 분석하고자 하는 모델 정보(기관 및 모델명, 선행시간), 공간해상도, 자료 경로 등을 설정하고 저장한다.

CODE 디렉토리 아래의 CLIMNOM 디렉토리에 있는 네 개 파일을 실행하면 DATA 디렉토리 아래의 CLIMANOM 디렉토리에 파일들이 저장되며 파일명 형식은 Table 9에 기술되어 있다.

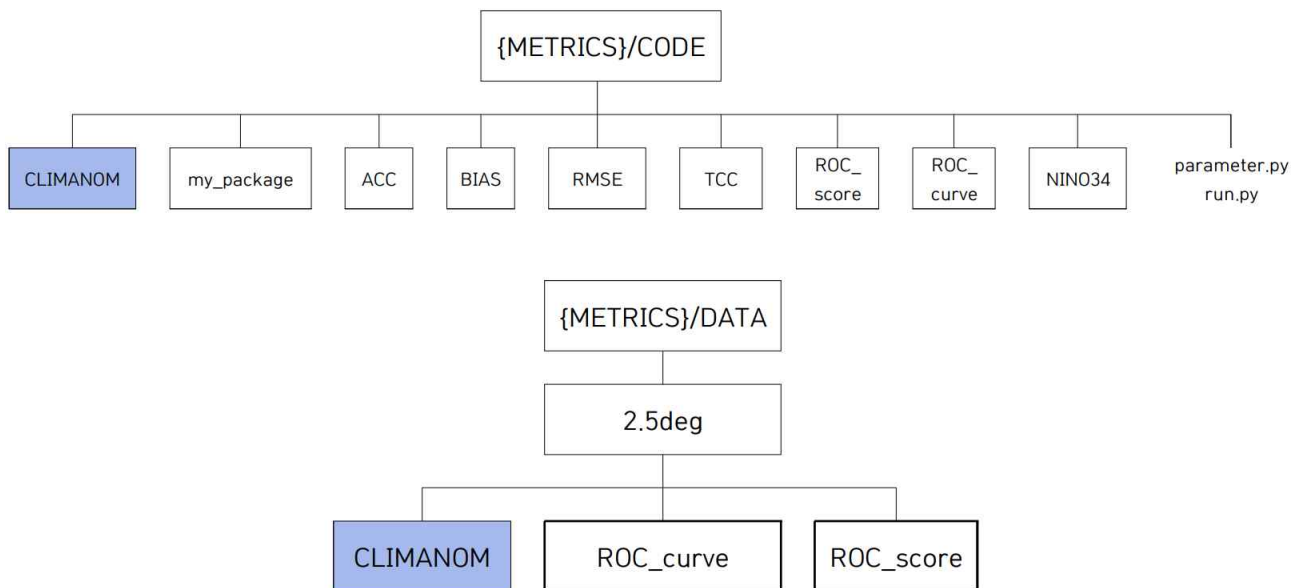


Figure 34. Directories for calculating climatology and anomaly of observation and model, and saving the data files.

Table 9. Procedure for calculating climatology and anomaly of observation and model.

<b>Configure</b>	Program	{METRICS}/CODE/parameter.py
	Edit	<pre># 데이터 저장 여부 OX DATA_SAVE = 'O' # 변수명, 메타정보 VAR      = ['prec','slp','sst','t2m','t850','z500'] long_name = ['Precipitation','Mean Sea Level Pressure','Sea Surface</pre>

```

Temperature','Air Temperature at 2m', 'Air Temperature at
850hPa','Geopotential Height at 500hPa']

units      = ['mm/day','hPa','degC','degC','degC','m']

# 타겟 모델 정보

INSTITUTE1 = 'BOM'

SYSTEM1    = 'ACCESS-S2'

LEAD1      = 7

# 공간해상도 1deg or 2.5deg

RES        = '2.5deg'

# 아웃풋 경로

DATA_DIR   = '/data01/cmlim/OPER/AFS/METRICS/DATA/'+RES

# 모델 자료 경로

MODEL_DIR  =
'/data01/cmlim/OPER/AFS/DATA/MME_IN/HINDCAST/'

# 공간해상도에 따른 관측자료 경로

if RES == '2.5deg':

    RAW_OBS_DIR = '/ifs/data11/CPT_DATA/OBS/STD_OBS_NEW'

else:

    RAW_OBS_DIR = '/ifs/data11/songbg_imsi/STD_OBS_1DEG'

# 기후값 기간 및 월명/계절명/숫자. 12개월 모두 계산해 두는 것이
# 좋음.

YEAR       = np.arange(1991,2010+1,1)

MONTH      =
['JAN','FEB','MAR','APR','MAY','JUN','JUL','AUG','SEP','OCT','NOV','DE
C']

SEASON     =
['JFM','FMA','MAM','AMJ','MJJ','JJA','JAS','ASO','SON','OND','NDJ','DJF']

```

		MONTHnum = [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12]
↓		
Run	Program	{METRICS}/CODE/CLIMANOM/model_monthly.py {METRICS}/CODE/CLIMANOM/model_seasonal.py {METRICS}/CODE/CLIMANOM/obs_monthly.py {METRICS}/CODE/CLIMANOM/obs_seasonal.py
	Run	<pre> <b>!\$ python model_monthly.py</b> <b>!\$ python model_seasonal.py</b> <b>!\$ python obs_monthly.py</b> <b>!\$ python obs_seasonal.py</b> </pre>
↓		
Output	Directory	{METRICS}/DATA/2.5deg/CLIMANOM
	File name	monthly_anom_syear-eyear_variable.nc seasonal_anom_syear-eyear_variable.nc institute_system_monthly_anom_syear-eyear_variable.nc institute_system_seasonal_anom_syear-eyear_variable.nc

#### ㉔ 모델의 ROC Curve 및 Score 계산하기

프로그램 실행 위치와 자료 저장 위치는 Figure 35의 주황색으로 표시된 디렉토리다. CODE 디렉토리의 parameter.py 파일을 열어 데이터 저장 여부를 'O'로 설정 후 계산하고자 하는 변수 정보(변수명), 분석하고자 하는 모델 정보(기관 및 모델명, 선행시간), 공간해상도, 자료 경로 등을 설정하고 저장한다.

CODE 디렉토리 아래의 ROC\_crue와 ROC\_score 디렉토리에 있는 네 개 파일을 실행하면 DATA 디렉토리 아래의 ROC\_crue와 ROC\_score 디렉토리에 파일들이 저장되며 파일명 형식은 Table 10에 기술되어 있다. mme\_roc\_curve\_calc.py와 mme\_roc\_score\_calc.py는 사전에 MME hindcast 자료를 생산한 후 실행해야 한다.

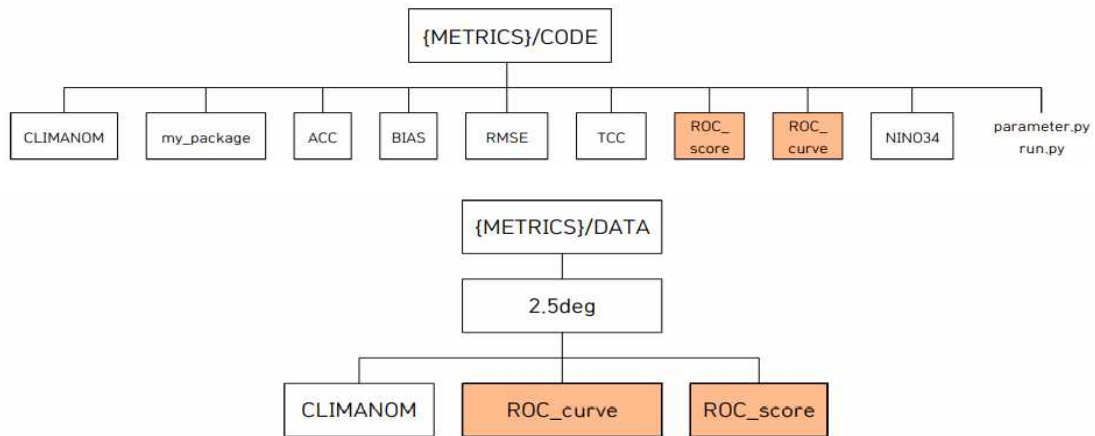


Figure 35. Directories for calculating ROC Curve and Score, and saving the data files.

Table 10. Procedure for calculating ROC Curve and Score.

<b>Configure</b>	Program	{METRICS}/CODE/parameter.py
	Edit	<pre> # 데이터 저장 여부 OX DATA_SAVE = 'O'  # 타겟 모델 정보 INSTITUTE1 = 'BOM' SYSTEM1    = 'ACCESS-S2' LEAD1      = 7  # 공간해상도 1deg or 2.5deg RES        = '2.5deg'  # 아웃풋 경로 DATA_DIR   = '/data01/cmlim/OPER/AFS/METRICS/DATA/'+RES  # 모델 확률예측자료 경로 MODEL_PROB_DIR1 = '/data01/cmlim/OPER/AFS/DATA/MME_OUT_'+INSTITUTE1+'_'+SYSTEM1+'/' '3-MON/HINDCAST'  # 공간해상도에 따른 관측자료 경로 </pre>

```

if RES == '2.5deg':
    RAW_OBS_DIR = '/ifs/data11/CPT_DATA/OBS/STD_OBS_NEW'
else:
    RAW_OBS_DIR = '/ifs/data11/songbg_imsi/STD_OBS_1DEG'

# 검증 영역. 확률예측검증은 4지역(전지구, 북반구, 남반구,
열대)에 대해서만 이루어짐.

REGION =
['Globe','N.Extratropics','S.Extratropics','Tropics','E.Asia','S.Asia','N.A
merica','S.America','Australasia','Aus_S.Pacific','N.Eurasia']#, 'M.East']

slat = [-90 , 20 , -90 , -20 , 15, -10, 10, -60, -50, -50,
40]#,10]

elat = [ 90 , 90 , -20 , 20 , 60, 35, 75, 10, 0, 20,
80]#,45]

slon = [ 0 , 0 , 0 , 0 , 75, 60,190,270,110,110,
25]#,25]

elon = [357.5,357.5,357.5,357.5,150,140,310,330,180,260,190]#,75]

# 기후값 기간 및 분석하고자 하는 월명/계절명/숫자 입력.

YEAR = np.arange(1991,2010+1,1)

MONTH =
['JAN','FEB','MAR','APR','MAY','JUN','JUL','AUG','SEP','OCT','NOV','
DEC']

SEASON =
['JFM','FMA','MAM','AMJ','MJJ','JJA','JAS','ASO','SON','OND','NDJ','DJ
F']

MONTHnum = [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12]

```



<p style="text-align: center;"><b>Run</b></p>	<p>Program</p> <pre> {METRICS}/CODE/ROC_curve/roc_curve_calc.py' {METRICS}/CODE/ROC_curve/mme_roc_score_calc.py' {METRICS}/CODE/ROC_score/roc_score_calc.py' {METRICS}/CODE/ROC_score/mme_roc_score_calc.py' </pre>
---	---

	Run	<pre> ]\$ python roc_curve_calc.py' ]\$ python mme_roc_score_calc.py' ]\$ python roc_score_calc.py' ]\$ python mme_roc_score_calc.py' </pre>
--	-----	--



Output	Directory	{METRICS}/DATA/2.5deg/ROC_curve/ <i>institute_system</i> or <i>mme</i>
	File name	ROC_curve_aggregated_variable_month/season_institute_system/mme_syear-eyear.nc
	위치	{METRICS}/DATA/2.5deg/ROC_score/ <i>institute_system</i> or <i>mme</i>
	파일명	ROC_score_variable_month/season_institute_system/mme_syear-eyear.nc

### ③ 그래픽 생산

#### ㉑ 자체 평가

프로그램 실행 위치와 그림 저장 위치는 Figure 36의 노란색으로 표시된 디렉토리다. CODE 디렉토리의 parameter.py 파일을 열어 데이터 그림 저장 여부를 'O'로 설정 후 계산하고자 하는 변수 정보(변수명), 분석하고자 하는 모델 정보(기관 및 모델명, 선행시간), 공간해상도, 자료 경로 등을 설정하고 저장한다.

CODE 디렉토리 아래의 검증 스코어별 디렉토리에 있는 파일 중 자체 평가 프로그램(파일명에 compare, models, mme가 없음)을 실행하면 FIG 디렉토리 아래의 SELF 디렉토리에 파일들이 저장되며 파일명 형식은 Table 11에 기술되어 있다.

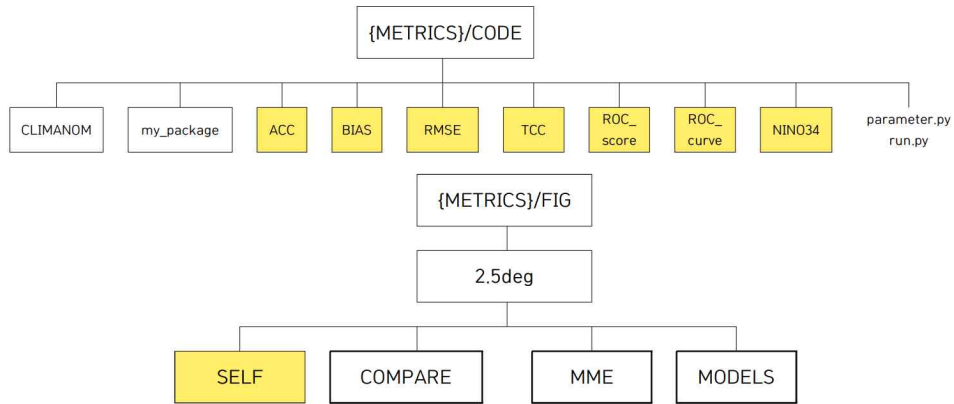


Figure 36. Directories for calculating verification scores and saving the figures.

Table 11. Procedure for calculating verification scores and saving the figures.

<b>Configure</b>	Program	{METRICS}/CODE/parameter.py
	Edit	<pre> # 그림 저장 여부 OX FIG_SAVE = '0'  # 타겟 모델 정보 INSTITUTE1 = 'BOM' SYSTEM1    = 'ACCESS-S2' LEAD1      = 7  # 공간해상도 RES        = '2.5deg'  # 관측 및 타겟 모델의 편차값 자료 경로, 확률예측검증 자료 경로 DATA_DIR   = '/data01/cmlim/OPER/AFS/METRICS/DATA/'+RES  # 아웃풋 경로 FIG_DIR    = '/data01/cmlim/OPER/AFS/METRICS/FIG/'+RES  # 검증 영역 REGION    = ['Globe', 'N.Extratropics', 'S.Extratropics', 'Tropics', 'E.Asia', 'S.Asia', 'N.America', 'S.America', 'Australasia', 'Aus_S.Pacific', 'N.Eurasia']#, 'M.East'] </pre>

```

slat      = [-90 , 20 , -90 , -20 , 15, -10, 10, -60, -50, -50, 40]#,10]
elat      = [ 90 , 90 , -20 , 20 , 60, 35, 75, 10, 0, 20, 80]#,45]
slon      = [ 0 , 0 , 0 , 0 , 75, 60,190,270,110,110, 25]#,25]
elon      = [357.5,357.5,357.5,357.5,150,140,310,330,180,260,190]#,75]

# 기후값 기간 및 분석하고자 하는 월명/계절명/숫자 입력.

YEAR      = np.arange(1991,2010+1,1)

MONTH     =
['JAN','FEB','MAR','APR','MAY','JUN','JUL','AUG','SEP','OCT','NOV','DE
C']

SEASON    =
['JFM','FMA','MAM','AMJ','MJJ','JJA','JAS','ASO','SON','OND','NDJ','DJF'
]

MONTHnum  = [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12]

```

↓

Run	Program	{METRICS}/CODE/scores/files without compare, models, and mme.py
	Run	<b>\$ python files without compare, models, and mme.py</b>

↓

Output	Directory	{METRICS}/FIG/2.5deg/SELF/scores
--------	-----------	----------------------------------

#### ㉔ 비교 평가 (구 버전 vs 신 버전)

프로그램 실행 위치와 그림 저장 위치는 Figure 37의 파란색으로 표시된 디렉토리이다. CODE 디렉토리의 parameter.py 파일을 열어 데이터 그림 저장 여부를 'O' 로 설정 후 계산하고자 하는 변수 정보(변수명), 분석하고자 하는 모델 정보(기관 및 모델명, 선행시간), 공간해상도, 자료 경로 등을 설정하고 저장한다.

CODE 디렉토리 아래의 검증 스코어별 디렉토리에 있는 파일 중 비교 평가 프로그램(파일명에 compare가 있음)을 실행하면 FIG 디렉토리 아래의 COMPARE 디렉토리에 파일들이 저장되며 파일명 형식은 Table 12에 기술되어 있다.

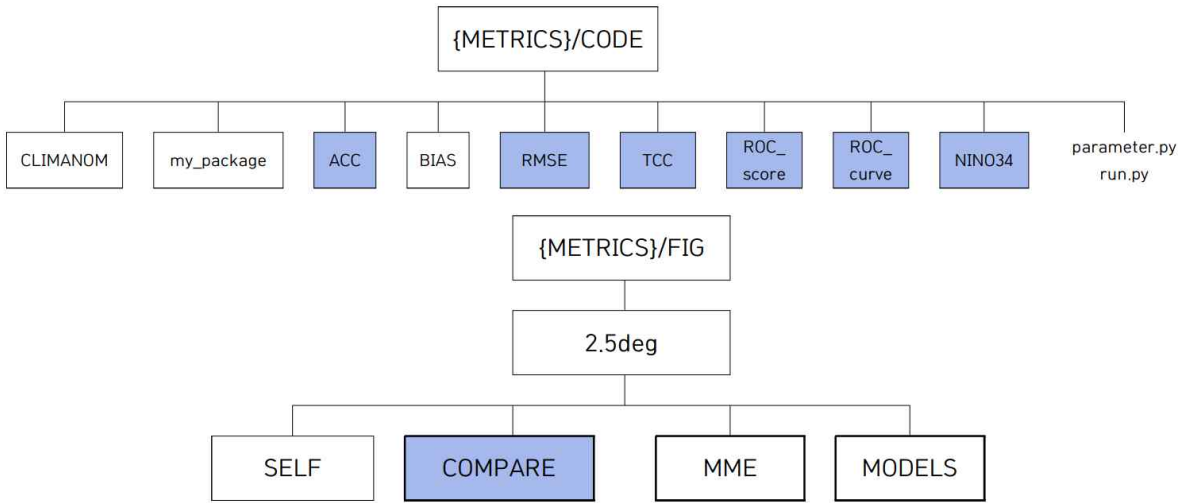


Figure 37. Directories for calculating verification scores and saving the figures.

Table 12. Procedure for calculating verification scores and saving the figures.

<b>Configure</b>	Program	{METRICS}/CODE/parameter.py
	Edit	<pre> # 그림 저장 여부 OX FIG_SAVE = 'O'  # 타겟 모델 정보, 비교 모델 정보 INSTITUTE1 = 'BOM' SYSTEM1    = 'ACCESS-S2' LEAD1      = 7  INSTITUTE1 = 'BOM' SYSTEM1    = 'ACCESS-S1' LEAD1      = 5  # 공간해상도 RES        = '2.5deg'  # 관측 및 타겟 모델의 편차값 자료 경로, 확률예측검증 자료 경로 DATA_DIR   = 'data01/cmlim/OPER/AFS/METRICS/DATA/'+RES  # 아웃풋 경로 </pre>

```

FIG_DIR      = '/data01/cmlim/OPER/AFS/METRICS/FIG/'+RES

# 검증 영역

REGION      =
['Globe','N.Extratropics','S.Extratropics','Tropics','E.Asia','S.Asia','N.A
merica','S.America','Australasia','Aus_S.Pacific','N.Eurasia']#, 'M.East']

slat        = [-90 , 20 , -90 , -20 , 15, -10, 10, -60, -50, -50,
40]#, 10]

elat        = [ 90 , 90 , -20 , 20 , 60, 35, 75, 10, 0, 20,
80]#, 45]

slon        = [ 0 , 0 , 0 , 0 , 75, 60, 190, 270, 110, 110,
25]#, 25]

elon        = [357.5, 357.5, 357.5, 357.5, 150, 140, 310, 330, 180, 260, 190]#, 75]

# 기후값 기간 및 분석하고자 하는 월명/계절명/숫자 입력.

YEAR        = np.arange(1991, 2010+1, 1)

MONTH       =
['JAN','FEB','MAR','APR','MAY','JUN','JUL','AUG','SEP','OCT','NOV','
DEC']

SEASON      =
['JFM','FMA','MAM','AMJ','MJJ','JJA','JAS','ASO','SON','OND','NDJ','DJ
F']

MONTHnum    = [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12]

```



<b>Run</b>	Program	{METRICS}/CODE/scores/compare_*.py
	Run	<b>!\$ python compare_*.py</b>



<b>Output</b>	Directory	{METRICS}/FIG/2.5deg/COMPARE/scores
---------------	-----------	-------------------------------------

㉔ 비교 평가 (신 모델 vs 타 모델)

프로그램 실행 위치와 그림 저장 위치는 Figure 38의 보라색으로 표시된 디렉토리다. CODE 디렉토리의 parameter.py 파일을 열어 데이터 그림 저장 여부를 'O' 로 설정 후 계산하고자 하는 변수 정보(변수명), 분석하고자 하는 모델 정보(기관 및 모델명, 선행시간), 공간해상도, 자료 경로 등을 설정하고 저장한다.

CODE 디렉토리 아래의 검증 스코어별 디렉토리에 있는 파일 중 비교 평가 프로그램(파일명에 models가 있음)을 실행하면 FIG 디렉토리 아래의 MODELS 디렉토리에 파일들이 저장되며 파일명 형식은 Table 13에 기술되어 있다.

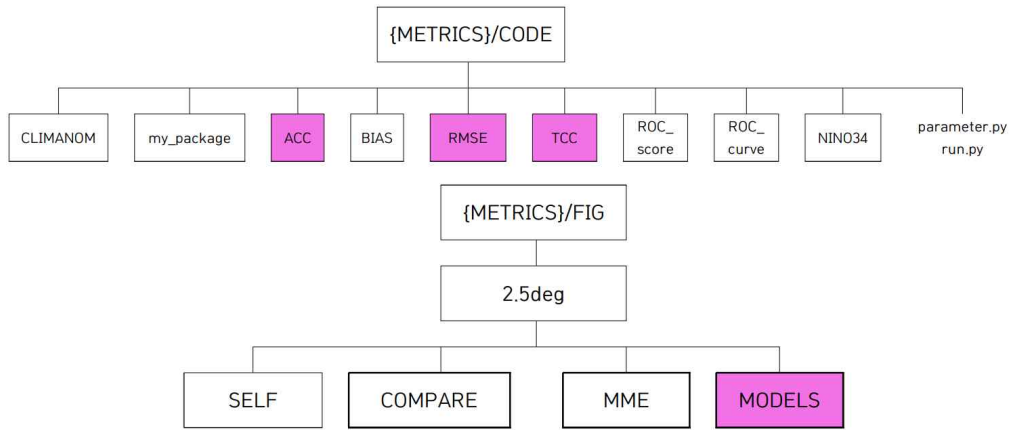


Figure 38. Directories for calculating verification scores and saving the figures.

Table 13. Procedure for calculating verification scores and saving the figures.

<b>Configure</b>	Program	{METRICS}/CODE/parameter.py
	Edit	<pre> # 그림 저장 여부 OX FIG_SAVE = 'O'  # 타겟 모델 정보 INSTITUTE1 = 'BOM' SYSTEM1 = 'ACCESS-S2' LEAD1 = 7  # 공간해상도 RES = '2.5deg'  # 타 모델 리스트 MODELS = ['BOM_ACCESS-S2', 'APCC_SCOPS', 'BCC_CSM1.1M', 'CMCC_SPS3.5', 'C WB_TCWB1Tv1.1', 'HMC_SL-AV', 'JMA_MRI-CPS2', 'KMA_GLOSEA5GC 2', 'METFR_SYS7', 'MSC_CANSIPsv2', 'NASA_GEOS-S2S-2.1', 'NCEP_CF Sv2', 'PNU_CGCMv2.0', 'UKMO_GLOSEA5'] </pre>

```

# 관측 편차값 자료 경로

DATA_DIR      =
'/data01/cmlim/OPER/AFS/METRICS/DATA/'+RES

# 아웃풋 경로

FIG_DIR       = '/data01/cmlim/OPER/AFS/METRICS/FIG/'+RES

# 검증 영역

REGION      =
['Globe','N.Extratropics','S.Extratropics','Tropics','E.Asia','S.Asia','N.A
merica','S.America','Australasia','Aus_S.Pacific','N.Eurasia']#,'M.East']

slat        = [-90 , 20 , -90 , -20 , 15,-10, 10,-60,-50,-50,
40]#,10]

elat        = [ 90 , 90 , -20 , 20 , 60, 35, 75, 10, 0, 20,
80]#,45]

slon        = [ 0 , 0 , 0 , 0 , 75, 60,190,270,110,110,
25]#,25]

elon        = [357.5,357.5,357.5,357.5,150,140,310,330,180,260,190]#,75]

# 기후값 기간 및 분석하고자 하는 월명/계절명/숫자 입력.

YEAR        = np.arange(1991,2010+1,1)

MONTH       =
['JAN','FEB','MAR','APR','MAY','JUN','JUL','AUG','SEP','OCT','NOV','
DEC']

SEASON      =
['JFM','FMA','MAM','AMJ','MJJ','JJA','JAS','ASO','SON','OND','NDJ','DJ
F']

MONTHnum    = [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12]

```



Run	Program	{METRICS}/CODE/스코어/models_*.py
	Run	<b>\$ python models_*.py</b>



Output	Directory	{METRICS}/FIG/2.5deg/MODELS/scores
--------	-----------	------------------------------------

㉔ MME에 미치는 영향 평가

프로그램 실행 위치와 그림 저장 위치는 Figure 39의 보라색으로 표시된 디렉토리다. CODE 디렉토리의 parameter.py 파일을 열어 데이터 그림 저장 여부를 'O'로 설정 후 계산하고자 하는 변수 정보(변수명), 분석하고자 하는 모델 정보(기관 및 모델명, 선행시간), 공간해상도, 자료 경로 등을 설정하고 저장한다.

CODE 디렉토리 아래의 검증 스코어별 디렉토리에 있는 파일 중 MME에 미치는 영향 평가 프로그램(파일명에 mme가 있음)을 실행하면 FIG 디렉토리 아래의 MODELS 디렉토리에 파일들이 저장되며 파일명 형식은 Table 14에 기술되어 있다.

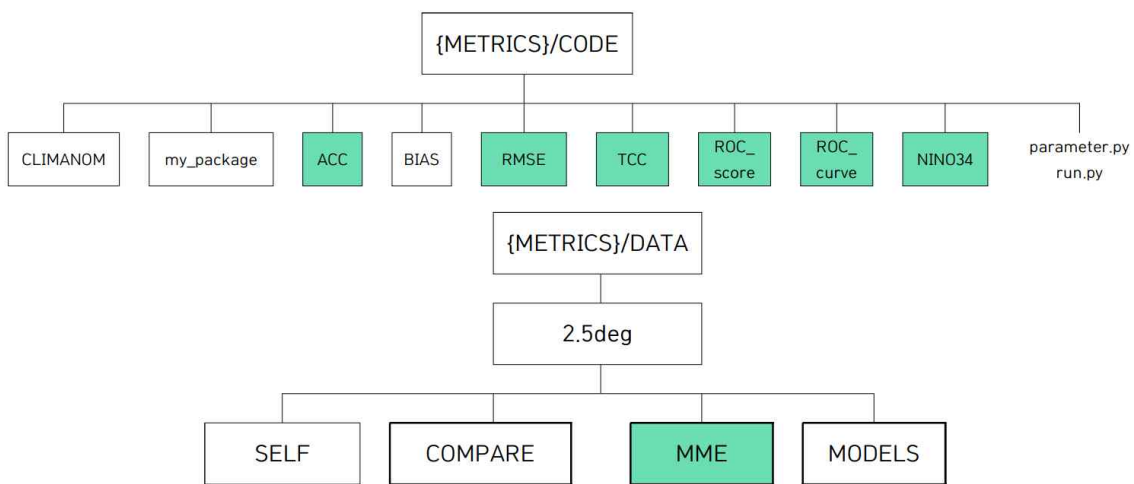


Figure 39. Directories for calculating verification scores and saving the figures.

Table 14. Procedure for calculating verification scores and saving the figures.

Configure	Program	{METRICS}/CODE/parameter.py
	Edit	<pre> # 그림 저장 여부 OX FIG_SAVE = 'O'  # 타겟 모델 정보 INSTITUTE1 = 'BOM' SYSTEM1    = 'ACCESS-S2' LEAD1      = 7  # 공간해상도 RES        = '2.5deg'           </pre>

```

# MME 이름

MME1      = 'MME_OUT_S2'

MME2      = 'MME_OUT_S1'

# 관측 편차값 자료 경로

DATA_DIR  =
'/data01/cmlim/OPER/AFS/METRICS/DATA/'+RES

# MME 자료 경로

MME_DIR1  =
'/data01/cmlim/OPER/AFS/DATA/'+MME1+'/3-MON/HINDCAST'

MME_DIR2  =
'/data01/cmlim/OPER/AFS/DATA/'+MME2+'/3-MON/HINDCAST'

# 아웃풋 경로

FIG_DIR   = '/data01/cmlim/OPER/AFS/METRICS/FIG/'+RES

# 검증 영역

REGION    =
['Globe','N.Extratropics','S.Extratropics','Tropics','E.Asia','S.Asia','N.A
merica','S.America','Australasia','Aus_S.Pacific','N.Eurasia']#,'M.East']

slat      = [-90 , 20 , -90 , -20 , 15, -10, 10, -60, -50, -50,
40]#,'10]

elat      = [ 90 , 90 , -20 , 20 , 60, 35, 75, 10, 0, 20,
80]#,'45]

slon      = [ 0 , 0 , 0 , 0 , 75, 60,190,270,110,110,
25]#,'25]

elon      = [357.5,357.5,357.5,357.5,150,140,310,330,180,260,190]#,'75]

# 기후값 기간 및 분석하고자 하는 월명/계절명/숫자 입력.

YEAR      = np.arange(1991,2010+1,1)

MONTH     =
['JAN','FEB','MAR','APR','MAY','JUN','JUL','AUG','SEP','OCT','NOV','
DEC']

```

		SEASON = ['JFM','FMA','MAM','AMJ','MJJ','JJA','JAS','ASO','SON','OND','NDJ','DJF']  MONTHnum = [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12]
↓		
Run	Program	{METRICS}/CODE/스코어/mme_*.py
	Run	<b>\$ python mme_*.py</b>
↓		
Output	Directory	{METRICS}/FIG/2.5deg/MME/scores

#### ④ 슬라이드 생산

슬라이드는 파워포인트의 매크로를 이용하여 생산한다. Table15와 같이 파워포인트 파일 “예측운영과] 신규개선 개별모델의 예측성 평가 시스템\_v1” 을 열어 보기 메뉴 중 매크로를 선택하면 4개의 매크로 프로그램이 나타난다. 각 프로그램을 실행하면 프롬프트 박스가 나타나며 분석하고자 하는 모델명, 분석 기간, 공간해상도 등의 정보를 입력하면 수 초에서 수 분 내에 그림이 자동으로 삽입되고 “[institute\_system] 예측성 분석.pptx” 라는 파일이 생성된다.

Table 15. Procedure for inserting figures on Power Point slides.

	Program	[예측운영과] 신규개선 개별모델의 예측성 평가 시스템_v1
	Menu	보기 > 매크로 > A_SELF, B_COMPARE, C_MODELS, D_MME > 편집
Configure	Edit	<pre># 타겟 및 비교 모델명, MME 이름, 기후값 기간, 공간해상도 (현재는 프롬프트에 입력된 값을 받아들이는 방식)  institute1 = "BOM"  system1 = "ACCESS-S2"  institute2 = "BOM"  system2 = "ACCESS-S1 "  mme1 = "MME_OUT_S2"  mme2 = "MME_OUT_S1"  syear = 1991  eyear = 2010</pre>

```

res = "2.5deg"

# 변수/계절/월/지역명

varName = Array("prec", "slp", "sst", "t2m", "t850", "z500")

season4Name = Array("MAM", "JJA", "SON", "DJF")

seasonName = Array("JFM", "FMA", "MAM", "AMJ", "MJJ", "JJA",
"JAS", "ASO", "SON", "OND", "NDJ", "DJF")

monthName = Array("JAN", "FEB", "MAR", "APR", "MAY", "JUN",
"JUL", "AUG", "SEP", "OCT", "NOV", "DEC")

regionName = Array("Globe", "N.Extratropics", "S.Extratropics",
"Tropics", "E.Asia", "S.Asia", "N.America", "S.America",
"Australasia", "Aus_S.Pacific", "N.Eurasia")

# 그림 위치

imgDir = "C:\Users\User\Desktop\FIG\" & res

```



Run	Program 보기 > 매크로 > A_SELF, B_COMPARE, C_MODELS, D_MME			
	<p>1. Select each Macro program and click on “실행(R)” button.</p> <p>2. Insert the information in the prmopt box as below:</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p><b>A_SELF</b></p> <p>① 타겟모델명: <i>institute_model</i></p> <p>② 분석 기간: <i>syear-year</i></p> <p>③ 공간해상도: 2.5 or 1</p> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p><b>B_COMPARE</b></p> <p>① 타겟모델명: <i>institute_model</i></p> <p>② 비교모델명: <i>institute_model</i></p> <p>③ 분석 기간: <i>syear-year</i></p> <p>④ 공간해상도: 2.5 or 1</p> </td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;"> <p><b>C_MODELS</b></p> <p>① 타겟모델명: <i>institute_model</i></p> <p>② 분석 기간: <i>syear-year</i></p> <p>③ 공간해상도: 2.5 or 1</p> </td> <td style="vertical-align: top;"> <p><b>D_MME</b></p> <p>① 타겟모델명: <i>institute_model</i></p> <p>② 타겟모델이 참여한 MME 자료명</p> <p>③ 비교모델이 참여한 MME 자료명</p> <p>④ 분석 기간: <i>syear-year</i></p> <p>⑤ 공간해상도: 2.5 or 1</p> </td> </tr> </table>	<p><b>A_SELF</b></p> <p>① 타겟모델명: <i>institute_model</i></p> <p>② 분석 기간: <i>syear-year</i></p> <p>③ 공간해상도: 2.5 or 1</p>	<p><b>B_COMPARE</b></p> <p>① 타겟모델명: <i>institute_model</i></p> <p>② 비교모델명: <i>institute_model</i></p> <p>③ 분석 기간: <i>syear-year</i></p> <p>④ 공간해상도: 2.5 or 1</p>	<p><b>C_MODELS</b></p> <p>① 타겟모델명: <i>institute_model</i></p> <p>② 분석 기간: <i>syear-year</i></p> <p>③ 공간해상도: 2.5 or 1</p>
<p><b>A_SELF</b></p> <p>① 타겟모델명: <i>institute_model</i></p> <p>② 분석 기간: <i>syear-year</i></p> <p>③ 공간해상도: 2.5 or 1</p>	<p><b>B_COMPARE</b></p> <p>① 타겟모델명: <i>institute_model</i></p> <p>② 비교모델명: <i>institute_model</i></p> <p>③ 분석 기간: <i>syear-year</i></p> <p>④ 공간해상도: 2.5 or 1</p>			
<p><b>C_MODELS</b></p> <p>① 타겟모델명: <i>institute_model</i></p> <p>② 분석 기간: <i>syear-year</i></p> <p>③ 공간해상도: 2.5 or 1</p>	<p><b>D_MME</b></p> <p>① 타겟모델명: <i>institute_model</i></p> <p>② 타겟모델이 참여한 MME 자료명</p> <p>③ 비교모델이 참여한 MME 자료명</p> <p>④ 분석 기간: <i>syear-year</i></p> <p>⑤ 공간해상도: 2.5 or 1</p>			



Output	File name	[institute_system] 예측성 분석.pptx
--------	-----------	--------------------------------

(마) 최종 결과물 예시

(라) ④의 과정을 통해 PPTX 형식의 파일이 생성되며 Figure 40는 BoM의 ACCESS-S2를 적용한 결과이다.

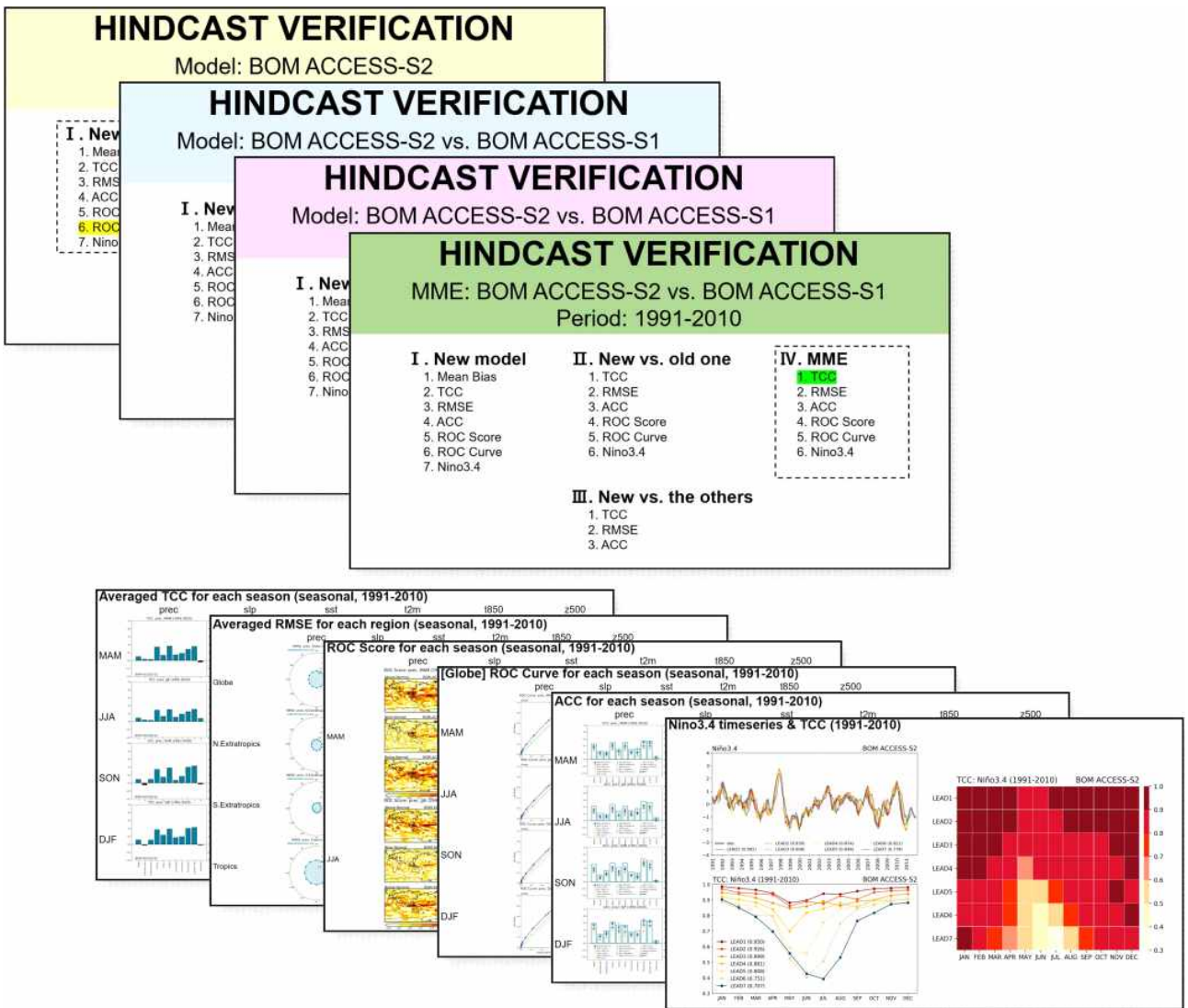


Figure 40. A document example showing the results of BoM ACCESS-S2's hindcast verification produced by the matrix.

### (3) 동아시아 기온/강수 예측정보의 확률분포 및 불확실성 정보 제공

#### (가) 필요성

APCC는 국내 이용자를 위하여 관심 지역인 동아시아 지역에 대한 예측 및 감시 정보를 제공하는 국문 홈페이지를 신설하는 등 (2019) 국내 기여 강화를 위한 매년 많은 노력들을 수행하고 있다. 하지만 여전히 국내 이용자 대상의 예측 콘텐츠가 부족하다는 지적이 있었으며, 확률예측정보에 대하여 일반인들이 이해하는데 다소 어려움이 있다는 문제점도 제기되어 왔다. 이에 해당 지적과 문제점을 보완하고 국내 기여도를 보다 강화하기 위하여 관심 지역인 동아시아 지역과 관심 변수인 기온 및 강수에 대해 확률예측정보에 기반한 확률분포 및 불확실성 정보를 종합적으로 제공하는 “동아시아 기온/강수 예측정보의 확률분포 및 불확실성 정보 제공 시스템”을 구축하였다.

#### (나) 산출 방식 및 시스템 개발

동아시아 기온/강수 예측정보의 확률분포 및 불확실성 정보를 생산하기 위해 APCC에서 생산하고 제공하는 확률론적 다중모델앙상블 및 개별모델 예측 자료를 활용하여 아래와 같은 산출 방식을 적용하였다.

① 확률론적 다중모델앙상블 예측정보는 정규 분포(normal distribution)의 확률분포를 전제로 하며, 평균값(mean;  $\mu$ ) 0, 표준편차(standard deviation;  $\sigma$ ) 1의 값에 대한 정규 분포를 기후평년에 해당하는 기준(reference) 확률분포로 가정한다.

② 확률론적 다중모델앙상블 실시간 예측자료를 활용하여 동아시아 지역<sup>1)</sup>의 기온 및 강수의 3분위 확률 평균값(below, near, and above normal)으로부터 z-score( $z$ )를 추정하고, below 및 above normal의 경계값을 통해 정규 분포의 보정된 평균값( $\mu_{FCST}$ )과 표준편차( $\sigma_{FCST}$ )의 추정치를 아래와 같이 산출한다 (Eq. [1]~[3]).

$$z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad [1]$$

$$\sigma_{FCST} = z_{P_{0.6667}} \sigma \div \left( \frac{z_{P_{(1-AN)}} - z_{P_{BN}}}{2} \right) \quad [2]$$

$$\mu_{FCST} = z_{P_{(1-AN)}} - z_{P_{(1-AN)}} \times \sigma_{FCST} \quad [3]$$

※ 여기서  $z$ 는  $X$ 값에 대한 z-score,  $z_{P_{0.6667}}$ 는 66.67% (above normal boundary) 확률값( $P$ )일 때의 z-score ( $\approx 0.43$ ),  $z_{P_{(1-AN)}}$  및  $z_{P_{BN}}$ 은 각각 above normal (AN), below normal (BN) 확률값에 대한 z-score를 의미함

③ 위에서 보정된 평균값과 표준편차로 ①에서 정의한 기준 확률분포와 투영시키고, below normal 경계값(boundary: -0.43), above normal 경계값(+0.43)이 서로 일치

1) 동아시아 영역: 75°E~150°E, 15°N~60°N 로써 AFS 계절 예측시스템에서 정의하는 영역과 동일함.

하도록 한다. 이 때, Figure 41에서와 같이 해당 각 면적은 3분위 확률값을 의미한다.

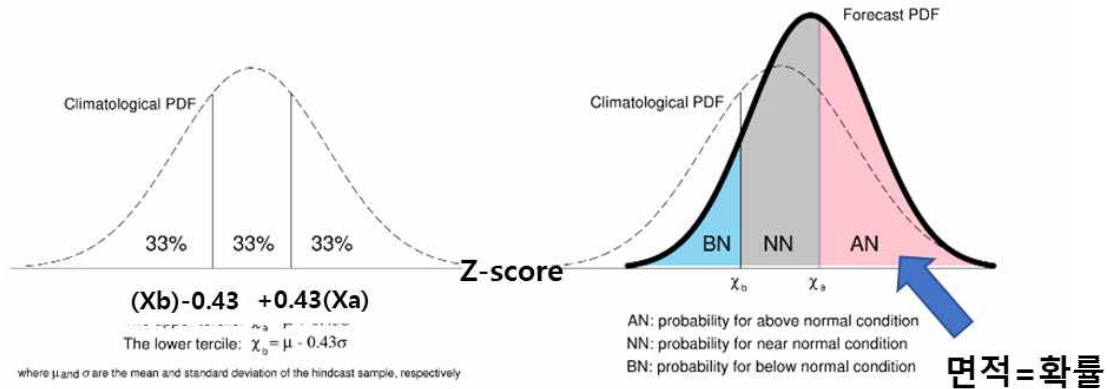


Figure 41. Example of estimated probabilistic distribution from multi-model ensemble probabilistic prediction.

④ 여기서 확률론적 다중모델앙상블에 참여한 개별모델의 확률예측 자료에 대해서도 위와 유사하게 확률분포를 산출하고, 모델별 확률분포를 다중모델앙상블 확률분포와 함께 표출함으로써 모델간 확률분포의 차이를 확인할 수 있도록 하였으며, 이러한 분포를 향후 6개월 예측에 대해 일렬로 표출하여 확률분포의 시간적 변화도 함께 제시하였다.

위와 같은 산출 방식으로 확률론적 다중모델앙상블 예측뿐만 아니라 개별모델 예측에 대한 확률분포 또한 유사하게 표출하는 시스템을 개발하였으며, APCC 내부적인 현업화 절차에 따라 이를 자동화하여 매월 정기적으로 생산하는 현업시스템을 구축하였다. 상세한 시스템의 구조 및 산출 과정, 작업 순서 등은 별도의 운영 매뉴얼(부록 A)에서 확인할 수 있다.

#### (다) 최종 산출물 및 해석

이러한 과정을 통해 최종적으로 산출된 결과물은 여기와 같다. 아래의 그림(Figure 42)은 다중모델앙상블 예측정보에 대한 동아시아 기온(위) 및 강수(아래)의 확률분포 및 불확실성 결과물로서 2021년 6월부터 11월까지 예측된 사례이다. 기온의 경우 기준이 되는 below와 above normal 경계값(boundary)을 각각 파란색과 빨간색 점선으로 모든 예측 시간(x축)에 나란히 표기하였으며, 검정 점선은 기후 평년에 해당하는 기준 정규 분포(historical PDF), 검정 실선은 예측에 대한 확률분포로서 예측시간별로 나타내어 분포의 변화를 확인할 수 있게 하였다. 각 경계값과 예측 확률분포가 교차하는 면적에 대하여 빨간색 면적은 평년보다 높은 확률(above normal)에 해당하는 동아시아 확률예측 평균값, 파란색 면적은 평년보다 낮은 확률(below normal)에 해당하는 동아시아 확률예측 평균값을 의미한다. 사용자의 편의를 위해 각 확률 평균값(%)은 해당하는 면적의 색상과 동일한 색상으로 표기하였으며, 각 예측시간에 대해 일렬로 정렬하였다. 또한, 다중모델앙상블에 참여한 개별모델들의 예측 확률분포를 회색 실선으로 표

시하여 개별모델 예측간 분포차이를 함께 비교할 수 있도록 나타내었다.

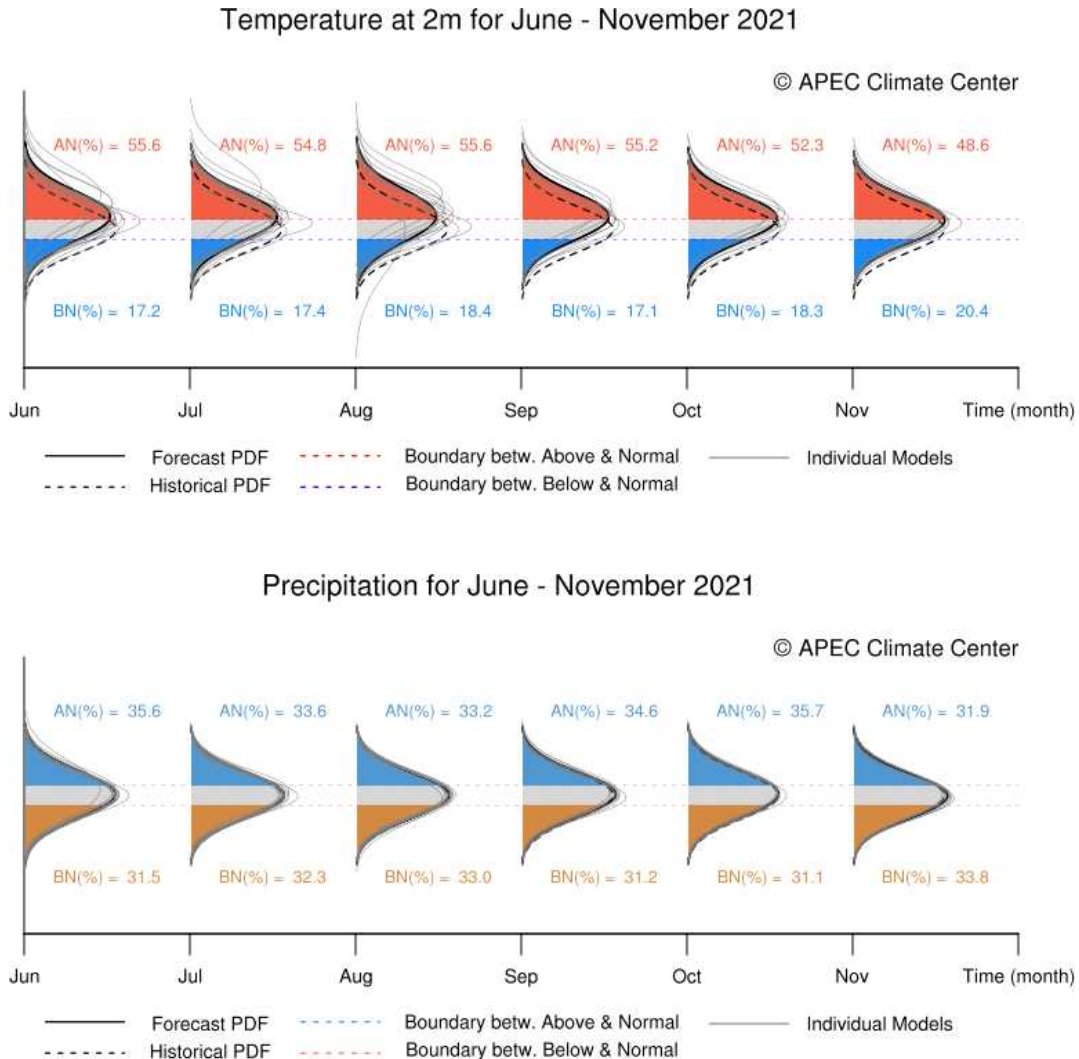
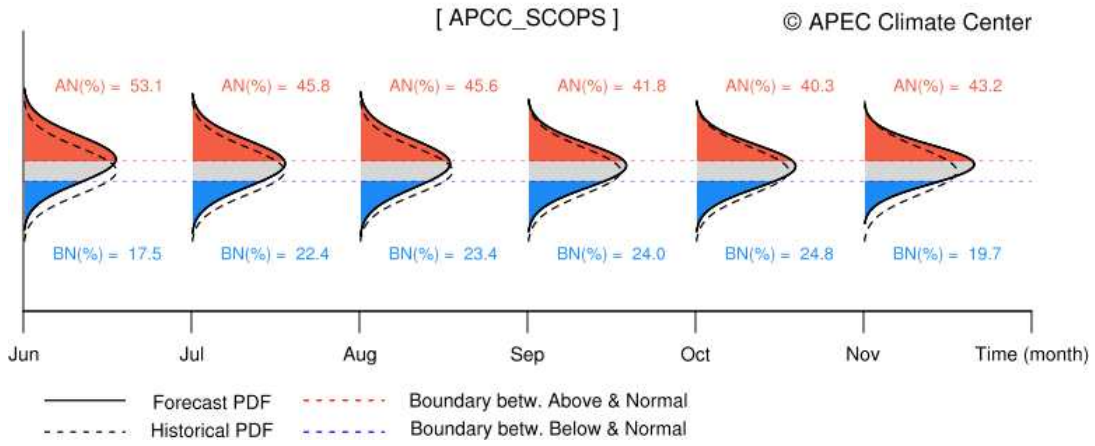


Figure 42. Probabilistic distribution and uncertainty of multi-model ensemble prediction for the temperature (top) and precipitation (bottom) from June to November 2021 over the East Asia.

기온과 유사하게 강수의 경우 below normal을 갈색, above normal은 푸른색으로 나타내었고, 나머지는 기온과 동일하다. 이 그림에서 각 확률 면적의 너비가 유사할수록 예측에 대한 불확실성이 크음을 의미하고, 개별모델 확률분포에 해당하는 회색 실선들이 유사한 분포로써 중첩될수록 참여한 개별모델(앙상블)간 예측 불확실성이 적음을 의미한다. 따라서 위의 사례는 기온에 비해 강수가 예측 및 참여모델간 불확실성이 크다는 것을 알 수 있다.

다음(Figure 43)은 다중모델앙상블과 유사하게 각 개별모델별 동아시아 기온 및 강수의 예측 확률분포 및 불확실성을 표현한 그림(APCC SCoPS 모델)이다. 단, 개별모델의 경우 앙상블 멤버에 대한 분포를 나타낼 수 없으므로 회색 실선이 제외되었다. 이 또한 기온 및 강수의 각 확률 면적의 너비가 유사할수록 예측에 대한 불확실성이 크음을 의미한다.

### Temperature at 2m for June - November 2021



### Precipitation for June - November 2021

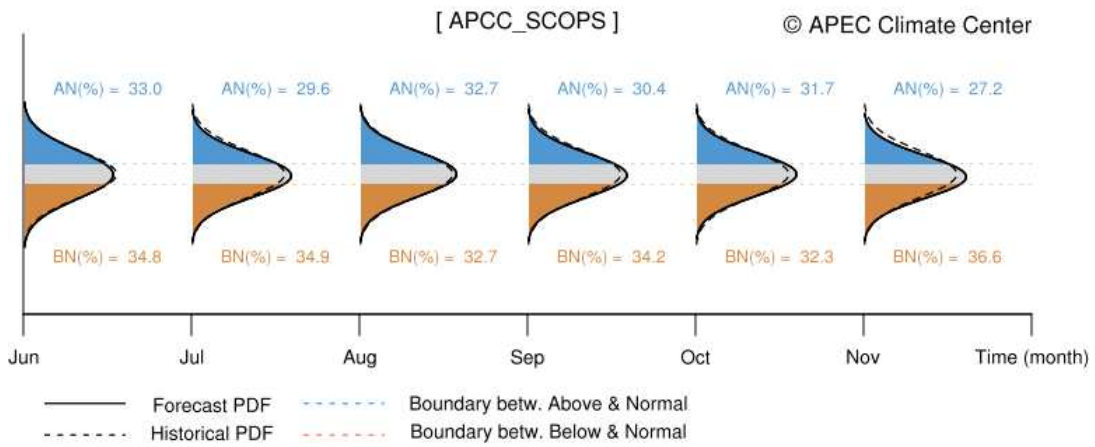


Figure 43. Same as Figure 42 except for individual model (APCC SCoPS).

#### (4) 전구 기후현황 및 대기/해양 기후지수 콘텐츠 개선

APCC는 편차 정보에 기반한 기후감시정보인 전구 기후 현황 및 대기/해양 기후지수를 제공하고 있다. 최근 WMO의 신 기후평년(1991-2020년) 사용 권고에 따라 기존의 과거 기후 평년기간(1981-2010년)에서 최근의 기후 특성이 반영된 기후 평년기간(1991-2020년)의 조정이 필요하였다. 이와 더불어 가시/가독성이 저하될 수 있는 그래픽 품질 개선을 통해 사용자들에 현 기후 상태의 이해도를 높이는 등 활용성 제고가 필요하였다. 또한 평년기간 변경에 따른 여러 가지 통계적 유의성 검증을 기반으로 기후 현황 및 대기/해양 기후 지수의 특성에 부합한 신 평년기후기간을 적용하여 현 기후 상태의 해석에 대한 왜곡을 줄이고자 하였다.

##### (가) 전구 기후현황

APCC는 최신의 기후 감시 정보를 제공하기 위하여 실시간으로 업데이트 되는 관측 및 재분석 자료를 기반으로 주, 월, 계절단위의 감시 정보를 홈페이지를 통해 제공하고 있다. 하지만 기존의 기후 감시 정보는 다중모델앙상블에서 활용되는 기후학적 평년기간(hindcast; 1991-2010년)과 동일 기간을 적용한 편차 정보를 제공하였으며, 이로 인해 WMO에서 권고하는 평년기간에 대한 편차 정보와 다소 해석의 차이가 발생하는 문제점이 있었다. 또한, 다중모델앙상블 평년기간에 의존하다 보니 다중모델앙상블 평년기간 정의 방식에 따라 평년기간이 변경될 때마다 기후 감시 정보의 평년기간 또한 함께 변경되면서 일관성이 없다는 지적이 있었다. 그리고 관측 및 재분석 자료를 제공하는 기관의 지속적인 업데이트 여부에 따라서 자료 제공 중단된 경우 일부 변수에 대해 공백(blank)의 정보를 표출하고 있는 문제점이 있었다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 WMO에서 권고하는 신 평년기간(1991-2020년)을 일괄적으로 적용하여 최신의 기후 특성을 반영한 감시 정보를 제공하고자 하였다. 이에 앞서, 기존에 제공하는 감시 정보와 변경하고자 하는 감시 정보의 consistency를 확보하기 위해 다양한 통계적 유의성 검증을 선행하였다.

우선 주요 대기 변수인 기온(T2M), 강수(PREC), 지위고도(Z500), 해수면온도(SST)에 대해 기존 평년기간인 1991-2010년의 평년값과 신 평년기간인 1991-2020년의 평년값과의 차이에 대한 t-test를 수행하였다 (Figure 44). 그 결과, 강수의 경우 북극해 일부 지역에서 두 평년값 차이에 대해 통계적으로 유의한 차이(0.05 유의수준)가 나타났고, 여름철(JJA)과 가을철(SON)의 적도 지역에서 Z500의 두 평년값 차이가 유의한 수준으로 나타났으나, 그 외 지역 및 계절에서는 통계적으로 유의한 차이가 크지 않은 것으로 나타났다. 즉, 기존 평년기간인 1991-2010년에서 신 평년기간인 1991-2020년으로 평년값을 변경 시에 앞서 기술한 유의한 차이가 나타나는 지역과 계절에 대해 해석에 주의한다면 대부분 지역과 계절에서 기존 정보와의 왜곡이 크지 않을 것으로 사료된다.

또한, 동일한 관측 및 재분석자료를 활용하여 과거(1991년~)부터 최신까지 신 평년기간을 적용한 감시 정보를 일괄적으로 생산함에 따라 자료 및 평년기간에 따른 일관성을 확보할 수 있게 되었다. 더불어 감시 정보의 그래픽 품질 개선을 통해 사용자들에 보다 가시/가독성을 증진시킴으로써 활용성 강화가 기대된다. 이에 따른 최종적인 감시 정보는 Figure 45에서와 같으며, 변경된 감시 정보는 홈페이지를 통해 제공하고 있다.

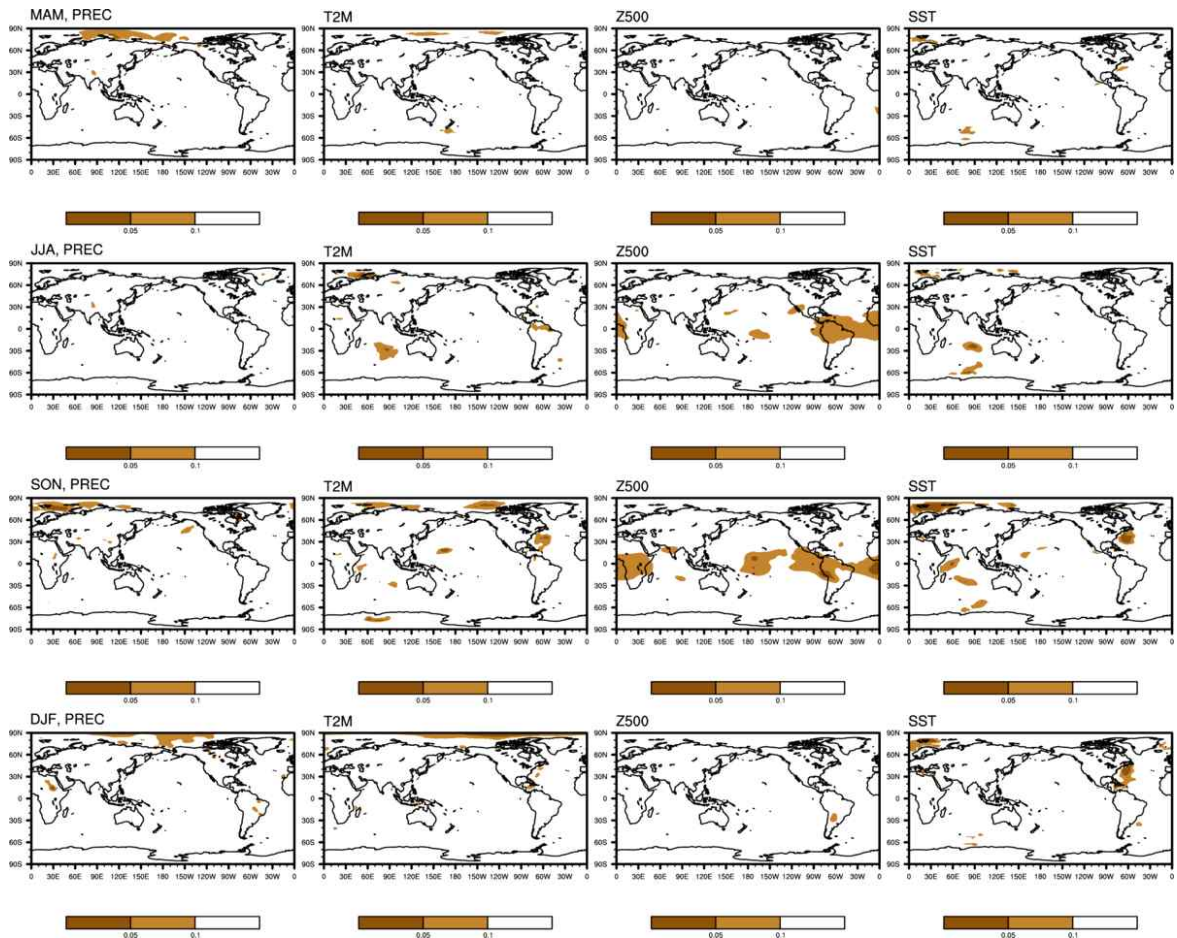


Figure 44. T-test of difference 1991-2010 between 1991-2020 climatological mean for MAM, JJA, SON, and DJF precipitation (PREC), temperature (T2M), geopotential height at 500hPa (Z500), and sea surface temperature (SST).

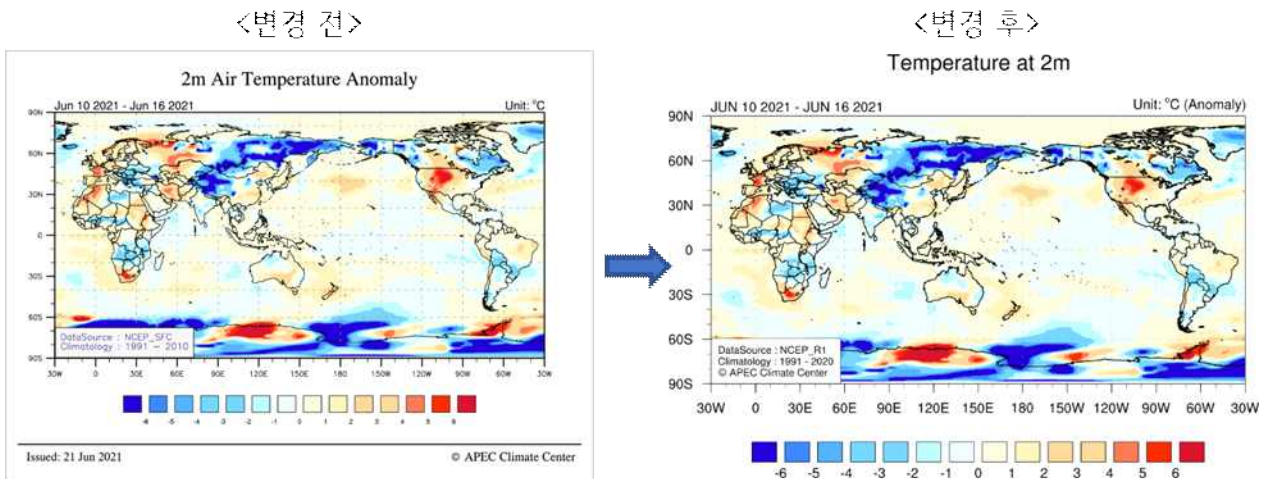


Figure 45. Comparison before (left) and after (right) climate monitoring information about changing climatology period (1991-2010 to 1991-2020) and improvement graphic quality.

## (나) 대기/해양 기후지수 콘텐츠 개선

Figure 46은 기존에 국/영문 APCC 홈페이지에서 표출되고 있는 기후지수 서비스로 월별 각 지수의 시계열 이미지와 지수 텍스트 파일을 제공 중이다. APCC 기후 감시지수시스템은 NOAA CPC 홈페이지를 기반으로 개발 당시에 내부 수요자의 수요에 따라 27개의 지수가 우선 선정되어 서비스되고 있었다. 그리고 기후 지수들은 NOAA CPC에서 적용하고 있는 평년기후값을 따라 계산되었기 때문에 기후 평년기간이 대서양 해수면 온도지수의 경우 1971년부터 30년간, 태평양 해수면 온도지수의 경우 1981년부터 30년간, 대기 지수 중 AO 관련 지수는 1979~2000년 등으로 매우 다양하게 적용되어 있었다. 그리고 일부 해양지수의 경우 자료 기간의 한계로 2개의 관측자료(ERSST, OISST)를 혼합 사용하여 지수계산을 하고 있었다. 본 연구에서는 대기/해양 기후지수 콘텐츠 개선을 위한 신 기후평년값 적용 뿐만 아니라 기간별/지수별 관측자료 및 재분석자료의 통일, 지수 재선별, 그래픽 개선 등을 중점적으로 개선하고자 하였다.

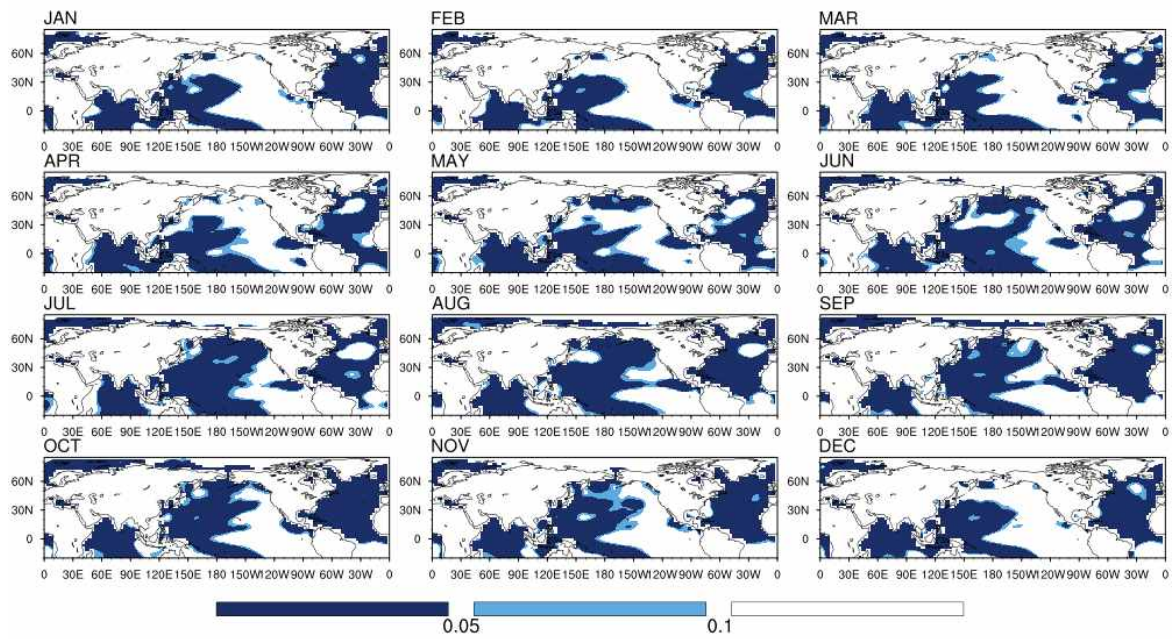
먼저 평년기간 변경에 따른 평균 기후장(mean field)의 차이는 기후지수 패턴 자체를 변화시킬 수 있는 요인으로 기후지수의 신 평년기간 변경에 앞서 변수별, 지수별로 평년기간의 기후장에 대한 통계적 유의성 검증을 실시하였다. 평년값 변경에 따른 기후 기간 차이의 통계적 유의성 검증을 위해 Student's T-test를 수행하였다. Figure46는 신 평년 기후기간(1990~2020년)과 각 과거 기후기간 간 T-test 결과이다. 1971~2000년에서 신 평년 기후기간으로 20년이 shift되면 인도양, 태평양 서부(Tropical warm pool), 대서양 지역에서 1981~2010년에서 10년이 shift 되면 그 차이는 상대적으로 감소하지만 대서양을 제외한 동일 지역에서 통계적으로 유의한 SST 차이가 나타나는 것을 확인하였다. 이러한 차이는 대서양 해수면 온도지수 TNA와 TSA, 서태평양 해수면 온도 지수 Niño4와 TNI에 영향을 미칠 수 있음을 시사할 수 있다.



Figure 46. APCC Climate Indices service provided on the APCC website before the system improvement.

그리고 Figure 48은 평년 기후기간 변경에 따른 지수 분포 차이의 통계적 유의성 검증을 위해 KS (Kolmogorov-Smirnov) test를 수행한 p value 값이다. p value는 통상 0.05이상이면 통계적으로 유의하지 않은 수준으로 판단하는데 평년 기간 변경에 따른 지수 분포의 차이는 대기 관련 지수에서는 통계적으로 유의하지 않은 수준이라고 나타났지만, 태평양 해수면 지수 중 서태평양 관련 지수인 Niño4, TNI의 경우 계절에 따라 유의성이 다르게 나타났는데 특히 TNI는 북반구 여름철, 가을철 통계적으로 유의한 차이가 나타나는 것으로 확인하였다. 또한 대서양 해수면 지수 중 TNA, TSA는 평년기간이 변동됨에 따라 기후지수 분포의 일관성이 거의 없는 것을 확인하였다.

(ERSST) sst:1971-2000.vs 1991-2020



(ERSST) sst:1981-2010.vs 1991-2020

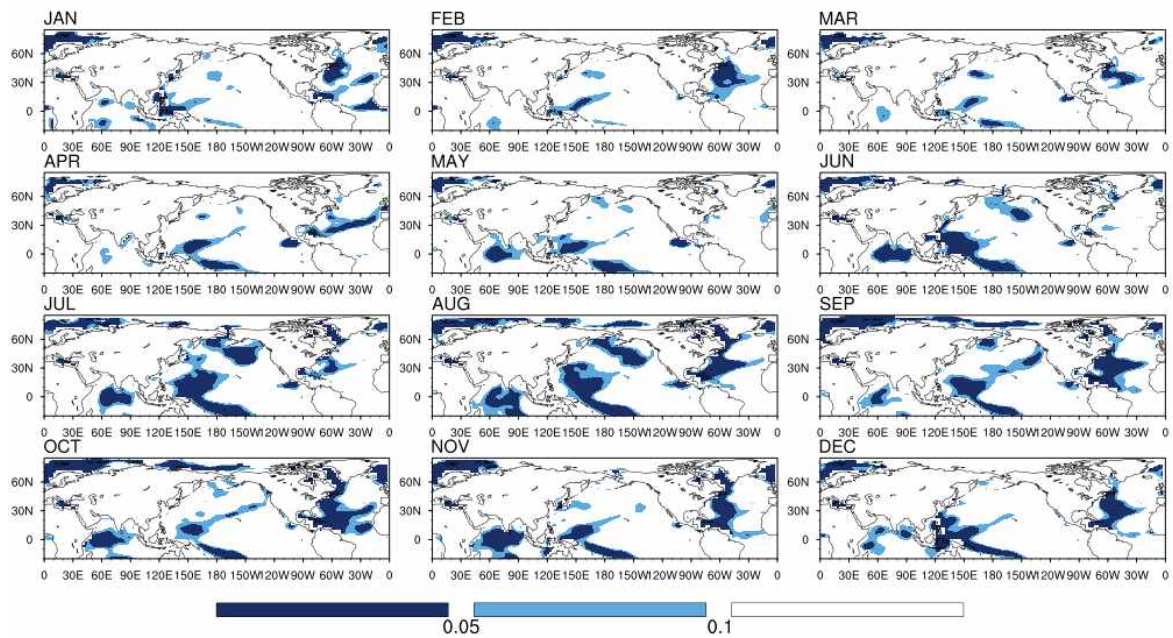


Figure 47. Shaded regions denotes 10% significant level of the difference according to the Student's t-test. The difference are between 1971-2000 and 1991-2020 (top) and 1981-2010 and 1991-2020 (bottom) of SST climatological monthly mean.

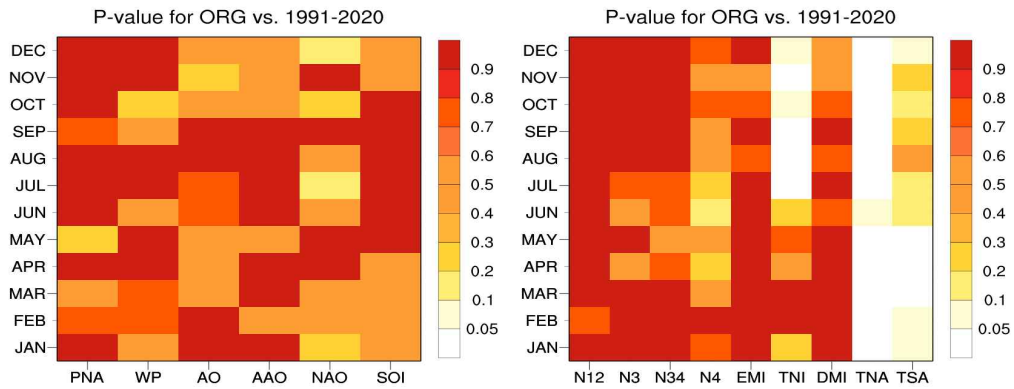


Figure 48. P-values of KS test for distribution in climate indices calculated by previous and new base period (1991-2020). N means Niño.

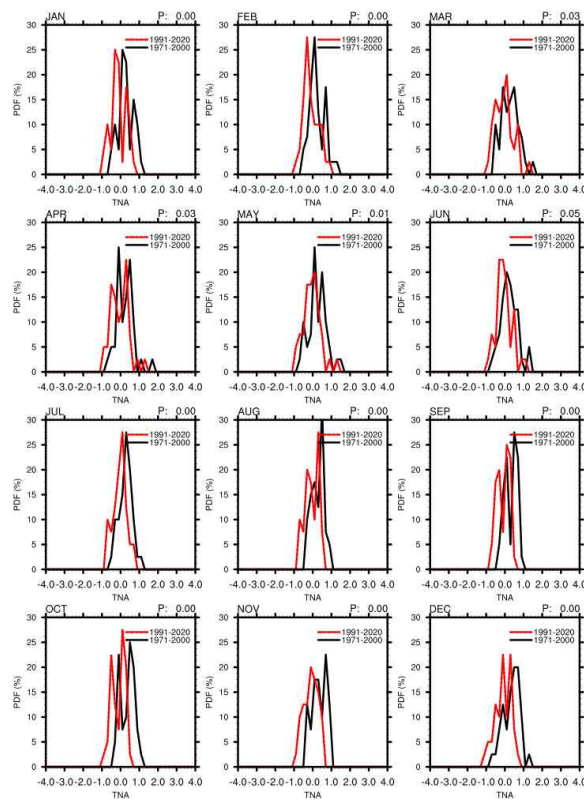


Figure 49. PDF distribution for the monthly TNA indices. The base period is 1971-2000 (black line) and 1991-2000 (red line), respectively. And the value represents p value.

Figure 49는 지수 별로 분포를 자세히 살펴보기 위해 TNA 지수의 월별 PDF (Probability Density Function) 분포를 평년 기후기간 별로 나타낸 것이다. PDF 분포를 자세히 보면, 기후

평년기간이 변경됨에 따라 TNA 지수의 분포가 차이 있는데 대부분 그 차이는 분포 모양의 차이보다는 지수 강도의 차이로 분포도가 좌우로 shift 되면서 나타나는 차이로 추정되었다. 해당 지수를 면밀히 살펴보기 위해 T-test와 KS test에서 통계적으로 유의한 차이를 보였던 지수인 TNA (대서양 해수면온도 지수)와 TNI (태평양 해수면 온도 지수)의 시계열 차이 분석을 실시하였다. Figure 50은 두 평년기간의 지수의 시계열과 지수간의 시간 상관관계수(TCC)를 나타낸 것이다. 앞선 분석에서 기후 평년 기간이 변경되면 지수의 강도에서 크게 차이가 났었지만 TCC는 0.99 이상으로 시간 변동성은 거의 동일하게 나타나는 것을 확인하였다. 그리고 기후기간이 변경되면서 지수의 차이가 지수의 절대값 그 이상일 때도 있어 변동성은 유사하나 지수의 부호변화가 나타나기도 했다. 마찬가지로 TNI에서도 평년기간에 따라 두 지수간 시간 변동성은 거의 동일하고 다만 계절에 따라 두 지수간 강도 차이가 크게 나타나기도 하였다.

Figure 51은 서비스되고 있는 해수면 온도 지수와 대기지수에 대한 기존 기후기간과 신 평년기후기간의 지수 TCC를 살펴본 것이다. 평년 기간 변경에 따른 시간 상관 분석에서 대부분의 기후지수는 0.95 이상의 시간 상관성을 나타내어 그 시간변동이 거의 동일하다고 나타났다. 반면, AO, AAO, NAO와 같이 EOF 패턴을 베이스로 한 지수들은 월별로 차이가 있었고 패턴의 phase 반전으로 인해 음의 상관이 나타나기도 하였다. 그 중에서 NAO 지수의 경우 평년기간에 따라 10월의 지수 상관성이 상대적으로 낮게 나타나는 것을 확인하였다. 그래서 NAO 지수의 기본 정의에 따라 해당 평년기간에 대한 EOF 패턴을 살펴보았다(Figure 52, Figure 53).

NAO 지수의 기본 패턴은 대서양 지역의 아이슬란드 부근에 위치하는 저기압대와 중위도 지역에 위치하는 고기압대를 일컫는데 Figure 52와 같이 기존의 기후평년기간인 1950~2010년(약 60년) 동안의 장기 기후 기간에서는 월별로 이 패턴이 EOF 첫 번째 모드에서 뚜렷하게 나타나고 있다. 반면, 신 평년기후기간인 1991~2020년(30년)을 적용하여 EOF분석을 수행했을 때, 10월에서 NAO의 전형적인 패턴이 나타나지 않는 것을 확인하였다. 이를 면밀히 살펴보기 위해 평년기간에 대한 NAO 지수의 시계열 분석에서 10월을 제외한 모든 월에서는 TCC가 높게 나타나고 지수의 강도변화도 크지 않았다. 그러나 10월의 경우 지수의 TCC는 0.75로 현저히 낮고, 시계열 차이(Difference)에서도 일정한 강도 변화가 나타나지 않는 것을 확인하였다. 기존 연구에 따르면 NAO는 상대적으로 짧은 기간에서는 SLP의 변동성이 다른 모드와 함께 나타날 수 있고 장기적 변동에서 공간적 패턴이 나타난다고 설명하고 있다. 따라서 지수가 가지는 기후 특성에 따라 NAO 지수의 기후기간은 신 평년 기후 기간이 아닌 신평년 기후기간 포함하여 1960~2020년인 최근 61년을 적용하였다. 그 결과, Figure 55와 같이 10월을 포함한 모든 월에서 EOF 첫 번째 모드인 NAO 패턴이 나타났다. 여기서 10월 NAO 패턴은 최근 평년 기후값이 반영될수록 동진(Eastward shift)하는 특징이 있다. 그리고 시계열 분석에서도 장기간 기후 평년기간을 적용했을 때 10월 NAO 지수의 시간 상관성이 높고 그 강도 변화도 일정한 것을 확인하였다(Figure 56).

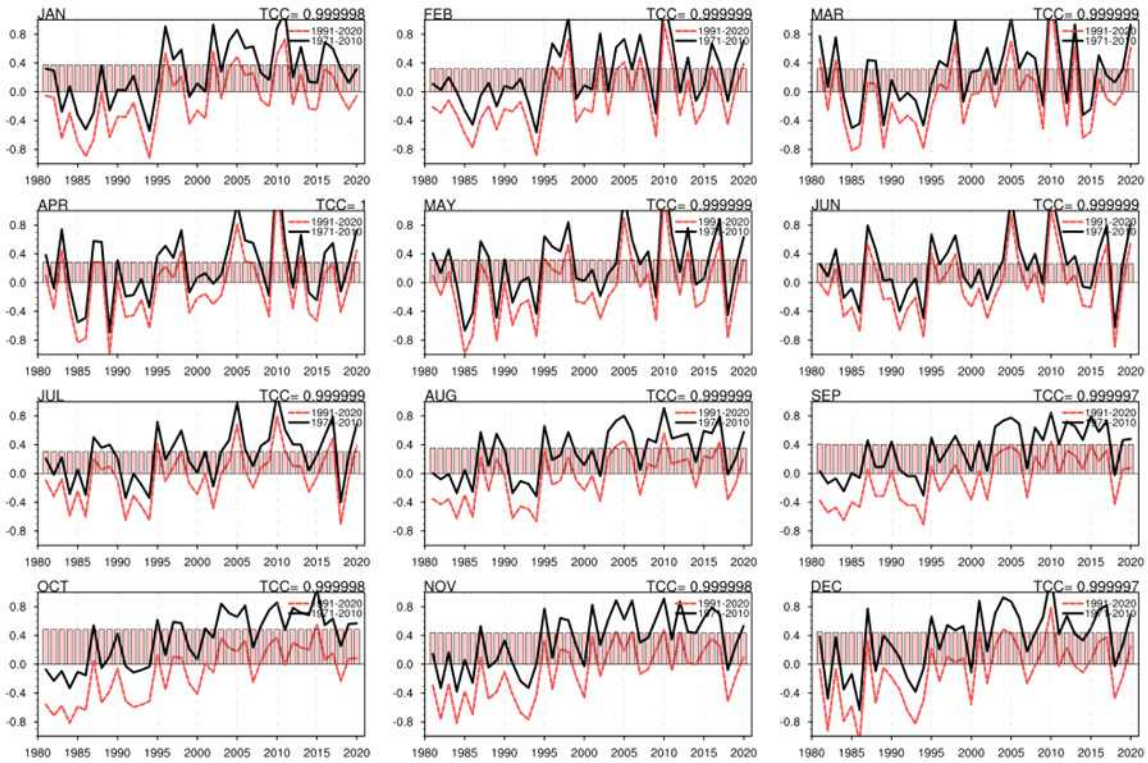
통계적 유의성 검증을 통해 결과적으로 최근 30년(1981~2010년)의 신평년 기후값을 적용했을 때 대부분의 Climate mean base의 기후 지수는 그 강도에 대한 영향을 강하지만 지수 분포나 변동성 자체에 대한 영향을 거의 없는 것을 확인하였다. 반면, 장기적 특징을

가지는 EOF base의 NAO는 기후지수 주요모드의 패턴을 고려했을 때 신평년 기후값을 포함한 최근 60년(1960~2020년)의 장기 기후값을 적용하는 것이 적절하다고 판단하였다.

최종적으로 APCC에서 제공하는 기후감시지수정보는 Figure 57과 같다. 각 지수별로 신평년 기후기간을 변경 적용하여 최근 기후패턴을 반영하였다. 또한 기존에 과거 기후 기간의 관측자료 부족으로 하나의 지수를 계산함에 있어 2개의 관측자료를 혼합해서 사용했었는데 이 부분을 수정하고 가장 최신의 관측 및 재분석자료를 활용하여 일괄적으로 해양자료는 ERSSTv5, 대기자료는 NCEP R1을 사용하여 모든 지수를 재계산하였다.

그리고 기존 홈페이지에 제공되는 그래픽에 대하여 다소 가시/가독성이 저하되는 부분을 개선하고, 대기/해양 기후지수의 경우 이미지 내에 사용된 자료 및 base period 정보를 표기함으로써 사용자의 이해도와 편의성을 강화하여 활용성을 증진시키고자 하였다(Figure 58). 새로운 기후지수 감시시스템의 운영의 방법은 부록(B)에서 확인할 수 있다.

### TNA(대서양)



### TNI(태평양)

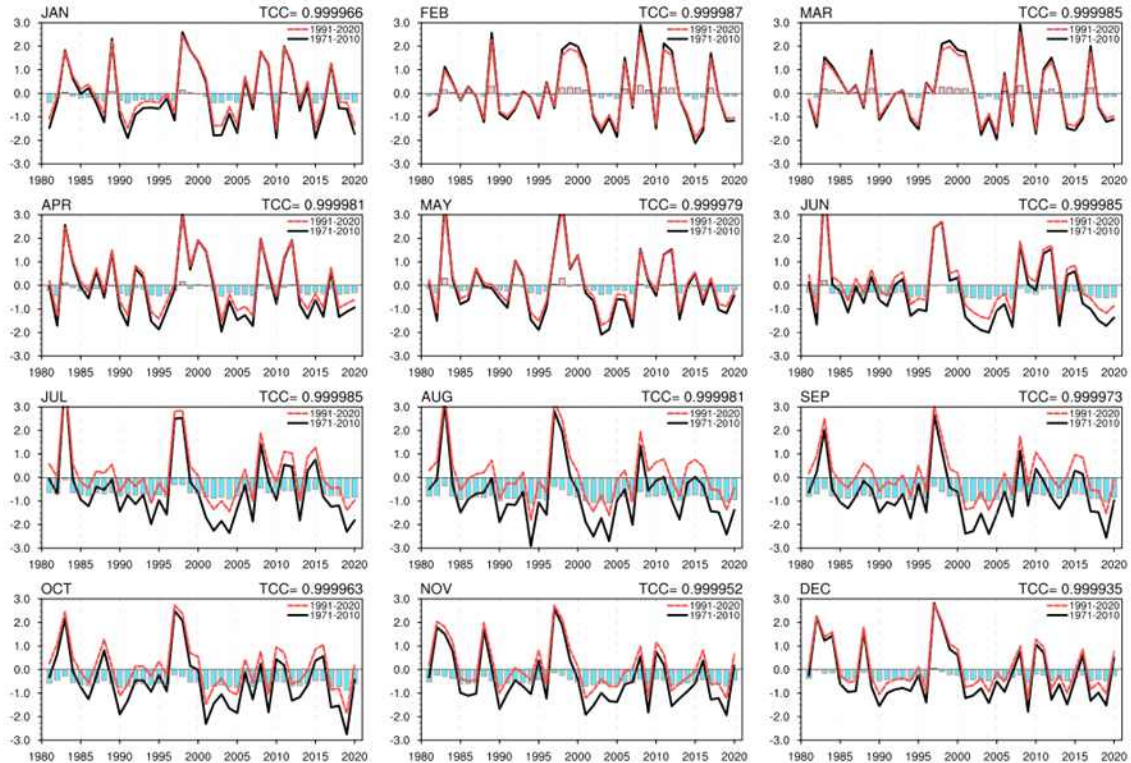


Figure 50. Timeseries of monthly mean TNA (top) and TNI (bottom). The base period is 1971-2000(black line) and 1991-2000(red line), respectively. The bar means index difference between base periods and top right value represents temporal correlation coefficient.

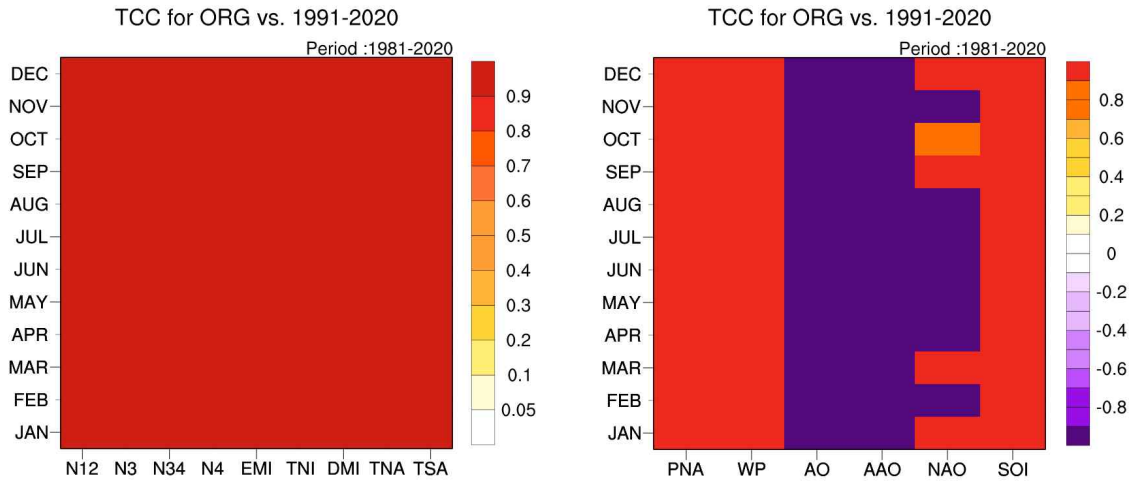


Figure 51. Temporal correlation coefficients of monthly mean climate indices between the previous base period and 1991-2020-2020). N means Niño.

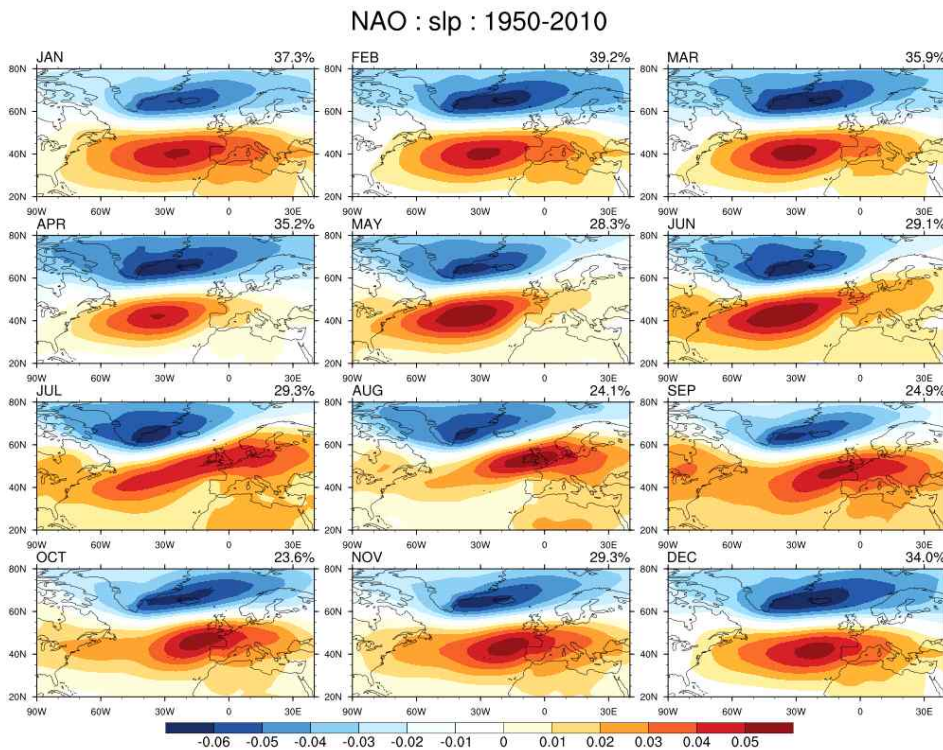


Figure 52. The leading EOF 1<sup>st</sup> mode of monthly SLP for the previous base period (1950-2010), which means NAO pattern.

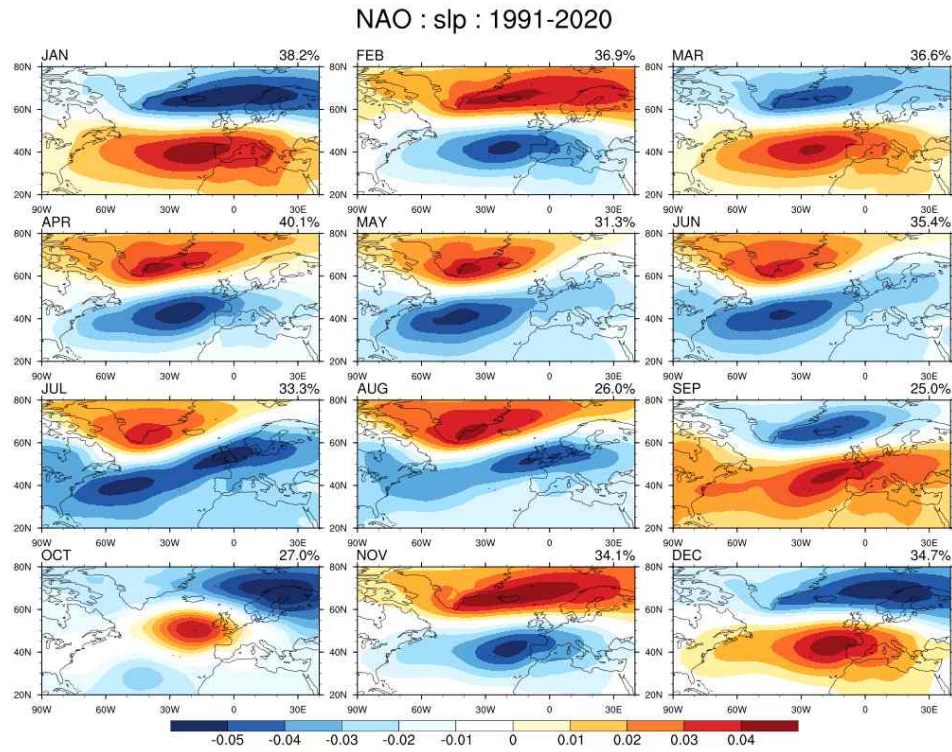


Figure 53. Same as Figure 8 but for new base period (1991-2020).

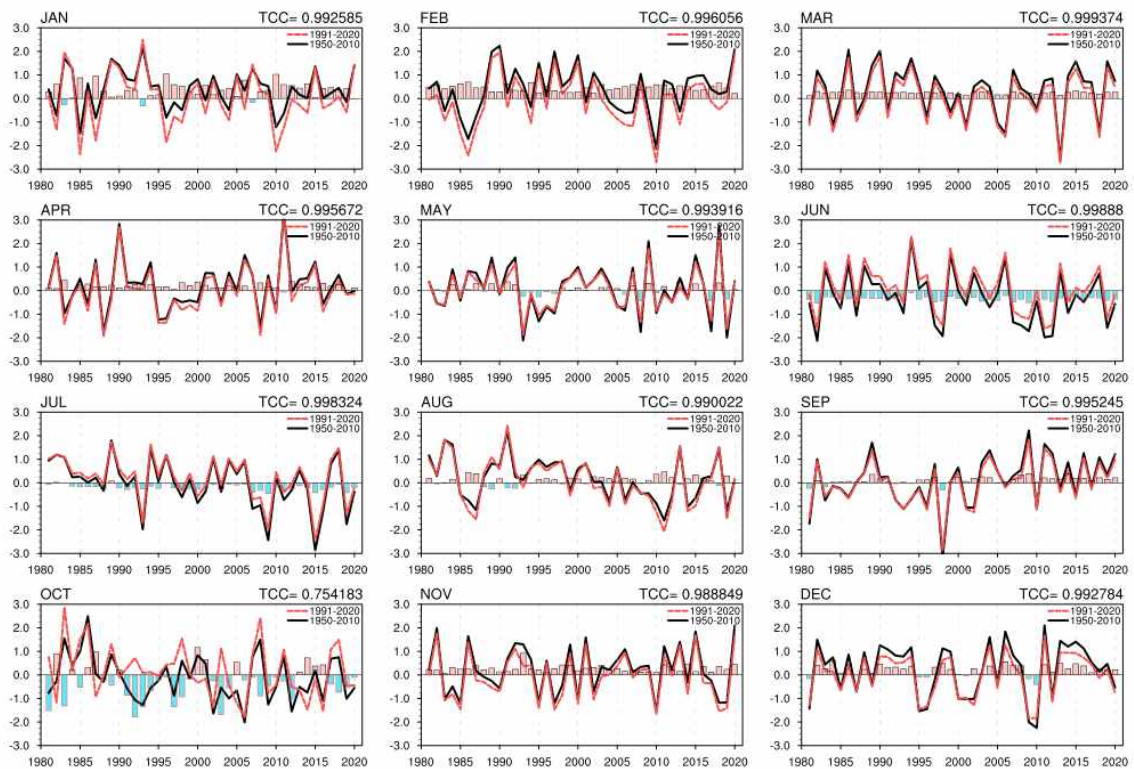


Figure 54. Same as Figure 6, but for NAO averaged by new base period (1991-2020).

NAO : slp : 1960-2020

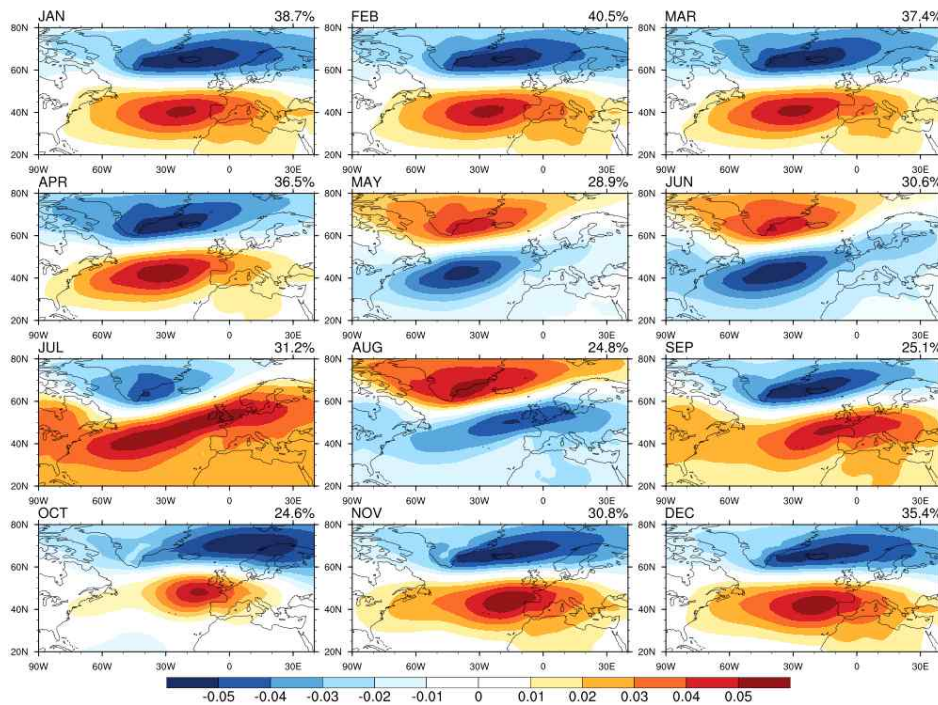


Figure 55. Same as Figure 8 but for longterm base period (1960-2020).

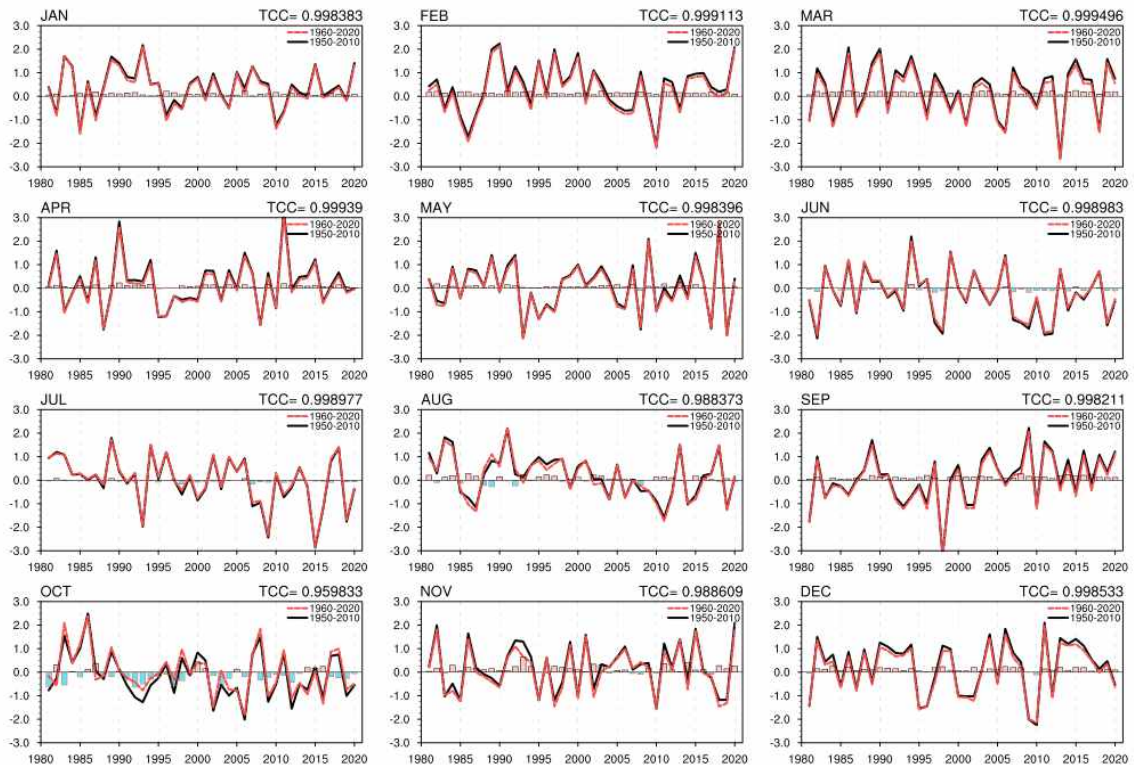


Figure 56. Same as Figure 6, but for NAO averaged by new base period (1960-2020).

약자		기후기간	관측자료	약자		기후기간	관측자료
태 평 양	NINO3.4	1991-2020	ERSST v5	대 기 지 수	PNA	1991-2020	NCEP R1
	NINO3				WP		
	NINO4				AO		
	NINO1+2				AAO		
	EMI				SOI		
해 수 면 온 도	ONI	30년 mv	ERSST v5	대 기 지 수	NAO	1960-2020	NCEP R1
	TNI	No anomaly			NP	No anomaly	
인 도 양 대 서 양	DMI	1991-2020	ERSST v5	지 수	QBO		1991-2020
	TNA				WYI		
	TSA				AUSMI		
	ATLTRI				SAMI		
					IMI		
	WNPMI						

Figure 57. The status of climate indices after system improvement.

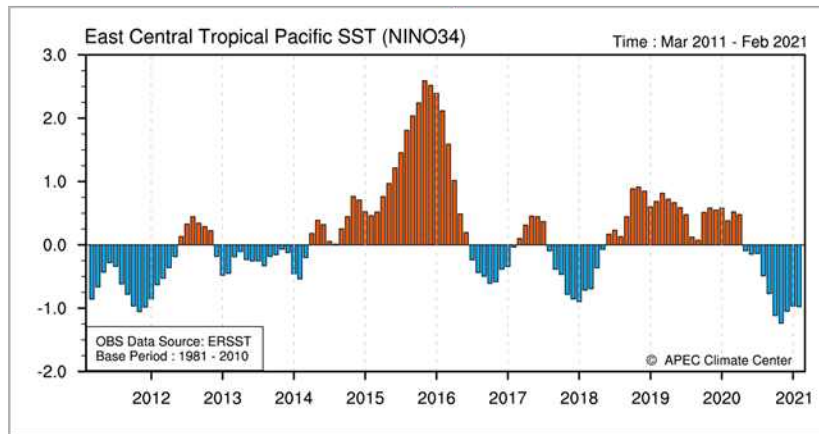
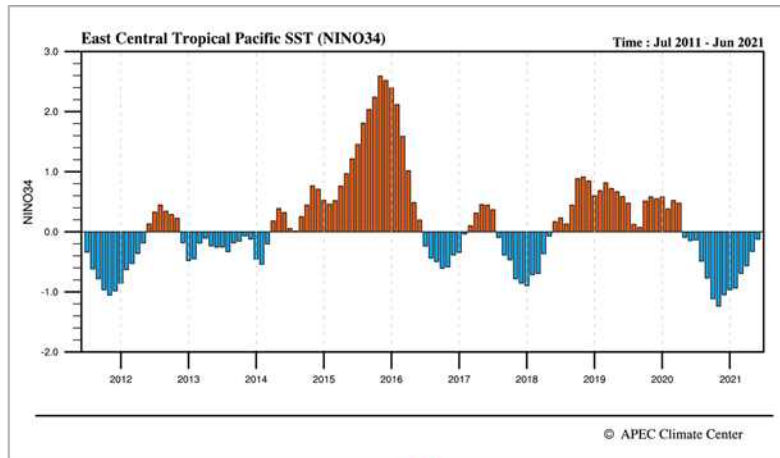


Figure 58. Example of the climate index monitoring image before (top) and after (bottom) system improvement displayed on the website.

## 나. BSISO 계절내 예측시스템 개선

### (1) BSISO 참여모델 개선

2021년 BSISO 현업 예측시스템 운영은 총 4개 기관 5개(CFS, GFS, ECM, BOM, CWB) 참여 모델 자료를 이용하였다. 이 중 BOM을 제외한 4개 모델 자료는 현업 운영 시작 시점인 4월 말부터 예측 서비스를 적용되었고 BOM은 모델 자료 참여기관 측 송/수신 서버 변경으로 인하여 자료 제공 시기가 늦어지고 코드에 수정이 필요함에 따라 8월 중 현업에 적용되었다.

BOM 예측 자료는 올해 자료 수신 방법, 자료 형식이 변경되었고(Table 16) 제공하는 예측일수도 기존 40일에서 30일로 변경됨에 따라 일부 기존의 전처리 코드의 수정 및 추가가 필요하였다. 수정된 코드는 참여기관에서 제공해준 샘플 자료를 이용하여 코드뿐만 아니라 자료의 이상 유무를 파악하였고 몇 번의 테스트 작업을 통해 코드와 자료에 이상이 없음을 확인하였다. 최종적으로 BOM 예측자료는 8월 12일부터 BSISO 현업시스템에 적용되어 홈페이지에 표출하였다.

Table 16. Comparison of participating model (ACCESS-S1) information before and after system improvement.

ACCESS-S1	전	후
자료 제공 시기	~2020.10.17	2021.8~
자료 예측 일수	40	30
자료 업로드 주기		매일
자료 제공 방법	BOM→APCC (put)	APCC→BOM (get) BOM FTP서버 (=MME 동일)
제공 파일명	YYYYMMDD_BOMA_VAR_BSISO	IDCK000089_YYYYMMDD_BOMA_VAR_BSISO.txt

### (2) BSISO 예측시스템의 문제점 진단 및 개선 방향 마련

#### (가) 필요성 및 목적

APCC BSISO 계절내 예측시스템은 크게 4개 파트로 감시, 예측, 검증, 영향장으로 구성되어 있고 현업 기간(5~10월) 동안 매일 감시, 예측, 영향 예보, 검증 순으로 파트별 통합 셸(Shell)이 순차적으로 실행된다. 각 파트별 통합셸은 각 현업자가 지정한 시간에 수행되게끔 크론탭으로 설정되어 있다. 현재 파트별 코드는 개발 시기와 개발자가 상이해 계산 및 그래픽 코드 언어는 NCL, 포트란, GrADS로 구성되어 있고, 각 파트별 계산 및 그래픽 코드를 통합한 가장 상위 프로그램은 셸 스크립트로 작성되어 있다. 특히, 그래픽 코드의 경우 감시와 상향장파복사(OLR) 편차장은 GrADS, 그 외는 NCL로 구성되어 있어 BSISO 예측 시스템의 최종 결과물인 홈페이지 표출 이미지에 통일성이 없다.

그리고 현 코드 구성은 각 파트내에 계산 단계에 따라 코드가 구분되어 있어 직관적으로 코드 내에 계산 구문이나 입/출력물을 확인할 수 있는 장점이 있지만, 반면 매일 산출되는

결과값이 이전 출력물에 누적되는 저장 방식에 따라 비효율적으로 Read/Write (읽기/쓰기)가 되어 계산 시간이 지연되고 불필요한 중복 출력물로 인해 저장 공간 확보에 어려움이 예견되고 있다.

그래서 본 연구의 실질적 목적은 현업 운영 시 즉각적으로 대처해야 하는 실무적 개선보다는 장기적인 측면에서 좀 더 효율적인 BSISO 현업시스템 운영과 현업 자료 관리를 위해 주요 개선이 필요한 사항들을 실제 개선작업을 수행하기 전에 먼저 정리하고자 한다. 그리고 개선의 효과 및 중요도와 사용자의 수요를 고려하여 선제적으로 진행이 되어야 하는 내용을 위주로 관련 코드를 단계별로 점검 및 진단하고, 현재 BSISO 시스템의 체계 내에서 개선 대비 효과를 고려하여 합리적인 범위에서 개선 가능성을 파악하고 개선 방향을 제시하고자 한다.

**(나) 주요 내용**

**① BSISO 제공 예측 일수 확대를 위한 코드 개선**

현재 APCC BSISO 모니터링 시스템에서 최근 관측자료로부터 40일 전까지의 BSISO 지수가 생산된다. 반면 예측 시스템의 경우, 참여기관에서 제공하는 각 모델의 예측자료(BSISO 예측 입력자료)를 이용하여 최대 3주차(20일)까지의 BSISO 예측 지수를 생산하여 제공하고 있다. 따라서 최근 동아시아 1개월 예측에 BSISO 예측 결과를 활용하고자 하는 수요가 있음에도 불구하고 제공 예측일수의 한계로 1개월 예보 활용이 불가능하고 이를 위해서는 최소 30일 이상 기간의 BSISO 예측 필요성이 대두되고 있다.

Table 17. Date period of BSISO participating model

참여 모델	모델 제공 예측 기간	BSISO 예측 기간
CFS	40	20
GFS	16	16
ECM	32	20
BOM	30	20
CWB	40	20

BSISO 예측에 참여하는 4개 기관 5개 모델 자료의 예측기간은 Table 17과 같이 각 CFS 40일, GFS 16일, ECM 32일 BOM 30일, CWB 40일로 GFS를 제외하면 모두 30일 이상의 예측자료를 제공하고 있다. 그러나 BSISO 예측 시스템의 전처리 과정에서 일괄적으로 모든 모델 자료는 최대 20일까지(GFS는 16일)의 예측 자료만을 전처리하여 지수를 생산한다.

참여기관으로부터 제공받는 모델 예측일수가 짧은 GFS를 제외한 4개의 모델에 대해서는 모델 예측기간을 최대한 활용할 수 있게끔 전처리 코드(현재 20일을 조건부로 처리)를 수정하고 최소 4주 고정 혹은 제공 모델별 예측기간을 최대한 활용하여 BSISO 예측지수를 생산할 수 있도록 기존의 현업코드를 수정한다. 이때 효율적인 현업 운영을 위해 현재

운영되는 현업코드와는 별개로 사용자의 필요에 따라 단독적으로 운영할 수 있도록 별도의 코드를 추가 구축하고자 한다.

대외적으로 제공 중인 홈페이지 콘텐츠(지수, 위상도)는 현재와 같이 20일 예측 제공을 유지하고 우선 내부적으로 예측기간이 확장된 BSISO 예측지수를 제공하고자 한다. 그리고 향후 외부기관에서도 수요가 있다면 공식 제공 콘텐츠의 대체 여부를 논의하고자 한다.

## ② BSISO 현업시스템 그래픽 코드 일원화 및 이미지 개선

BSISO 현업시스템의 그래픽 표출부는 크게 감시, 예측, 영향, 검증으로 구분된다. 4개의 파트의 그래픽 표출부 코드는 시스템 개발 당시 개발자나 개발 여건의 차이로 NCL과 GrADS언어로 작성되어 있다. 현재 그래픽 표출 코드의 언어는 감시는 GrADS, 그 외 파트는 NCL로 작성되어 있다. 그래서 지도의 모양이나 위/경도 축, 폰트, 색상 등 기본적인 언어의 차이에서 나타나는 그래픽 속성 차이로 인해 이미지의 통일감이 부족하다. 각 파트에서 생산되는 이미지는 BSISO 현업시스템의 최종 산출물이면서 APCC 홈페이지를 통해 사용자에게 실시간 제공되는 가시적인 결과물이기에 보다 정돈되고 통일감 있는 이미지가 필요하다.

예를 들어 Figure 59와 같이 시간에 따른 BSISO의 변화양상을 나타내는 위상도(phase diagram)의 경우, 같은 결과물이지만 그래픽 코드가 감시는 GrADS, 예측은 NCL 언어로 작성되어 있어 두 그림의 세부 특징이 다른 것을 확인할 수 있다. 특히 홈페이지상 같은 페이지에서 상하로 표출되고 있는 공간장(예. BSISO 영향 편차장, 재구성장)도 결과물의 표출 영역과 표출 방식은 같지만 그래픽 코드 언어의 차이로 contour, 색상, 폰트 등 이미지 특성이 큰 차이를 보여 이미지의 이질감이 있다. 현재 홈페이지에 표출되는 이미지 중 GrADS로 작성되어 코드 변환이 필요한 콘텐츠는 감시정보의 BSISO 위상도, 시계열, 재구성장, OLR 편차장과 예측정보의 OLR 편차장이 있다.

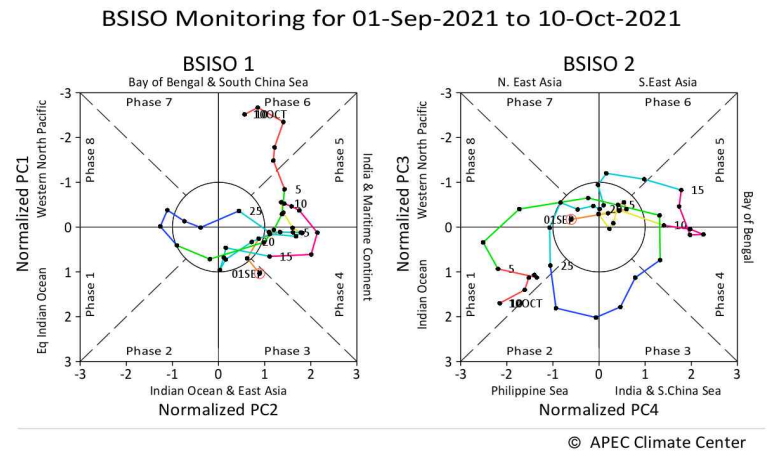
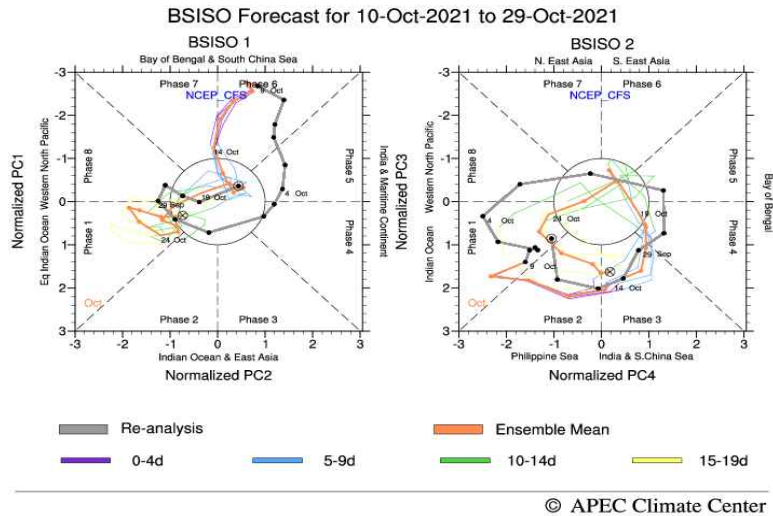


Figure 59. BSISO phase diagram for forecast (top) and monitoring (bottom) on the website

감시 파트와 예측파트 중 GrADS로 작성된 그래픽 언어를 NCL로 전면 변환하여 코드 일원화를 시키고, 파트별 그래픽 코드들은 이미지 속성과 모듈을 공유하여(현재 BSISO 영향장 그래픽 코드 체계) 각 파트별로 통일감 있는 이미지를 생산하고자 한다.

### ③ BSISO 현업시스템의 비효율적 저장 공간 관리 체계 개선

Table 18은 2021년 9월 기준으로 BSISO 현업 디렉토리의 저장 공간을 계산한 것이다. 현업이 운영되고 있는 /lfs/data19/BSISO\_R1의 현재 용량은 39TB로 그 중 대부분을 차지하는 37TB는 BSISO 감시시스템의 전처리와 중간 결과물이 저장되는 MONI/11.BINAR에 할당되어 있다. BSISO의 최종 산출물인 지수는 텍스트 파일, 홈페이지에 서비스되는 이미지들은 매일 생산되지만 상대적으로 매우 적은 용량을 차지한다. 반면 감시시스템의 전처리와 중간 계산 결과물은 주로 바이너리(binary) 파일 형태로 생산되고 있고 아래 Table 18와 같이 매일 매일의 누적된 결과를 새로운 파일에 저장하기 때문에 과거에 산출된 중복 자료가 누적되어 점진적으로 중간산출물의 파일의 용량은 증가하고 있다. 그리고 현재 모니터링 전처리 코드는

전날 결과물을 당일 결과물로 선 복사하고 그 복사한 파일에 당일 계산된 값을 덮어써서 저장하는 체계로 되어있어 전날 날짜로 된 파일이 없으면 코드 상단부에서 오류가 나서 전처리 코드가 구동되지 않는다.

Table 18. Example of a list and capacity of intermediate outputs related to OLR in BSISO monitoring system.

용량 (byte)	날짜		파일명	용량 (byte)	날짜		파일명
655738560	Sep	13	olr.day.19790101.20210911.ly.gdat	655780608	Sep	14	olr.day.19790101.20210912.ly.gdat
655738560	Sep	13	olr.day.int.19790101.20210911.ly.gdat	655780608	Sep	14	olr.day.int.19790101.20210912.ly.gdat
655696512	Sep	13	OLR.DAY.19790101.20210910.LY.GDAT	655738560	Sep	14	OLR.DAY.19790101.20210911.LY.GDAT
655696512	Sep	13	OLR.DAY.ANOS1.19790101.20210910.LY.GDAT	655738560	Sep	14	OLR.DAY.ANOS1.19790101.20210911.LY.GDAT
220	Sep	13	OLR.DAY.ANOS1.19790101.20210910.LY.CTL	220	Sep	14	OLR.DAY.ANOS1.19790101.20210911.LY.CTL
655696512	Sep	13	OLR.DAY.ANOS2.19790101.20210910.LY.GDAT	655738560	Sep	14	OLR.DAY.ANOS2.19790101.20210911.LY.GDAT
221	Sep	13	OLR.DAY.ANOS2.19790101.20210910.LY.CTL	221	Sep	14	OLR.DAY.ANOS2.19790101.20210911.LY.CTL
655696512	Sep	13	OLR.120MA.19790101.20210910.LY.GDAT	655738560	Sep	14	OLR.120MA.19790101.20210911.LY.GDAT

감시시스템의 주요 중간산출물은 크게 2가지 형태로 분류될 수 있는데 가장 최신의 6시간 간격 재분석자료가 누적되어 기존 파일에 통합 저장되는 파일과 이 재분석자료를 후처리 한 이후 매일 새 파일에 결과가 저장되는 파일로 나뉜다. 먼저 매일 누적 생산되는 변수별(OLR, U850, V850, U200) \*일 평균(DAY)값, \*연 변동에서 초기 3개 harmonics 제거한 아노말리(ANOS1), \*120일 이동 평균한 아노말리(ANOS2, 120MA), 정규화된 아노말리(DAY.NORM), MV-EOF 분석(PC.PROJ) 결과물이 있다. 이 중간 결과물 파일들은 매일 새로운 파일에 전날까지의 결과와 현재 날짜의 결과가 추가되어 재생산되기 때문에 BSISO 현업이 시작된 2014년 12월부터 지금까지 현업이 거듭될수록 매일 저장되는 파일의 용량은 조금씩 커지고 있다.

Table 19는 현재 감시시스템의 주요 중간산출물의 목록 및 용량을 나타낸 것이다. Table 19에서 두꺼운 테두리로 표시한 영역과 같이 여기서 매일 실질적으로 업데이트된 결과 포함해서 유효한 결과물의 용량은 약 16GB이다. 그러나 현재는 매일 거의 중복된 결과물들이 누적 저장되고 있기 때문에 이 결과물의 1개월 단위 저장공간을 계산해 보았을 때, BSISO 중간산출물의 용량은 약 480GB가 된다. 이는 예를 들어 APCC 계절예측모델인 SCoPS의 매달 7개월 계절 예측자료(daily) 용량이 약 363GB인 것과 비교했을 때 매우 큰 저장 공간임을 알 수 있다. 이렇게 현업 시작 이후로 지금까지 누적 저장된 중간산출물의 용량은 약 37TB에 육박한다(Figure 60). 추가로 재분석자료(OLR, U850, V850, U200)는 1979년부터 현재까지의 변수별 6시간 간격의 개별 grib 자료를 단일파일로 재생산하여 현재 기준 매일 6GB(시간이 지남에 따라 증가)의 단일파일이 매일 재생산되고 있다.

Table 19. The status of intermediate output storage capacity in BSISO operation system.

	변수	생산 주기별 실제 유효한 자료 용량			생산 파일 수	비고
		매일	전날	매년		
daily	olr (6)	3.7GB	+0.24MB	1337GB	변수별 매일 1개	매일 파일 생성
	u850 (4)	2.5GB	+0.16MB	892GB		
	v850 (4)	2.5GB	+0.16MB	892GB		
	u200 (4)	2.5GB	+0.16MB	892GB		
	S2.DAY, PC.PROJ	4.7GB	+0.32MB	1752GB		
합계		16GB	1GB	5.6TB	변수별 1개	1개 파일에 누적
6hourly	u850 (v850, u200)	6GB			변수별 1개	1개 파일에 누적
eof	eof_recon	52MB				

\*변수 옆 숫자는 생산되는 중간생산물의 개수

olr.day.19790101.YYYYMMDD.ly.gdat (재분석자료)

olr.day.int.19790101.YYYYMMDD.ly.gdat (내삽한 재분석자료)

\${VAR}.DAY.19790101.YYYYMMDD.LY.GDAT (일 평균)

\${VAR}.DAY.ANOS1.19790101.YYYYMMDD.LY.GDAT (연 변동에 초기 3개 harmonics 제거한 아노말리)

\${VAR}.DAY.ANOS2.19790101.YYYYMMDD.LY.GDAT (120일 이동평균)

\${VAR}.120MA.19790101.YYYYMMDD.LY.GDAT (120일 이동평균 제거한 아노말리)

현재까지 누적된 BSISO 중간산출물과 재분석자료의 재생산 자료의 용량은 약 37TB에 육박하고 이러한 파일들은 감시시스템의 가장 핵심이 되는 폴더인 /lfs/data19/MONI/11.BINAR에 모두 저장되어 있기 때문에 해당 경로에서는 기본적인 커맨드 명령어 작업조차 어려움이 있다.

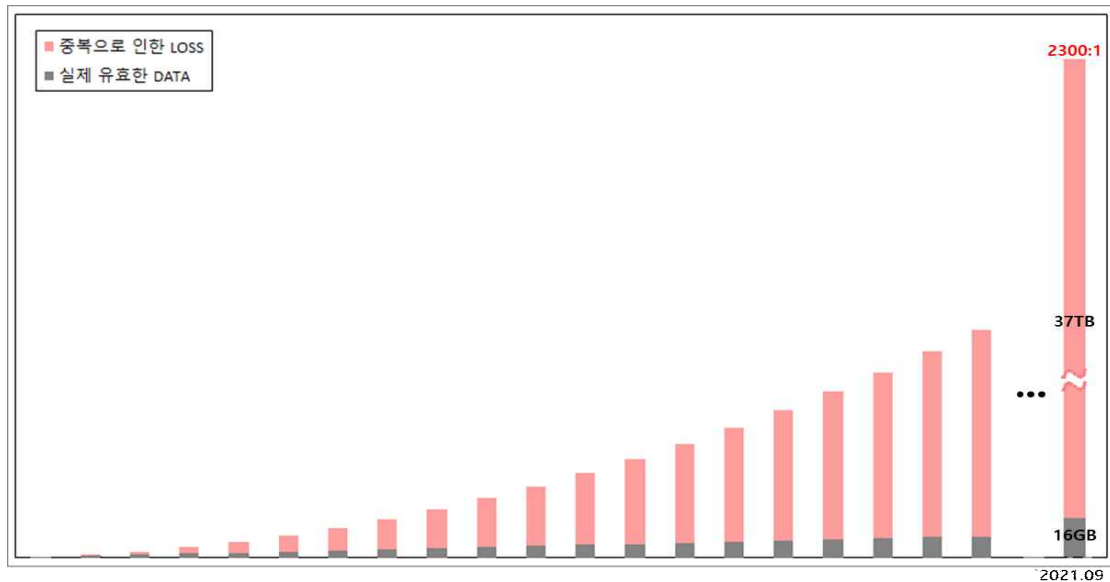


Figure 60. Proportion of valid data of intermediate output capacity.

효율적인 저장공간 관리를 위한 현업 코드 개선의 필요성은 크게 계산 시간과 저장 공간 절감의 측면으로 나누어 생각해보고자 한다. BSISO 감시시스템을 면밀히 살펴보면 수행시간은 약 2분 남짓으로 누적된 input/output 파일들을 반복적으로 read/write 함에도 불구하고 실제 계산 시간은 시스템에 부하가 될 정도로 길지 않았다. 반면 BSISO 현업시스템의 저장공간은 시간이 지남에 따라 기하급수적으로 증가하고 있기 때문에 계산 시간 절감을 위한 코드 개선의 방향보다는 실제 저장공간을 줄이기 위한 코드 개선을 하고자 한다.

Table 20. Part of the OLR data preprocessing shell script (update.OLR.ly.csh) in BSISO monitoring system.

```

...

/bin/cp ${BINAR}/OLR.DAY.19790101.${yy2}${mm2}${dd2}.LY.GDAT
${BINAR}/OLR.DAY.19790101.${yy1}${mm1}${dd1}.LY.GDAT

...

```

우선 매일 하나씩 누적되어 중복 생산되고 있는 중간 산출물 계산 코드를 개선하고자 한다. Table 20에서와 같이 코드별 상위 shell (하위 개선코드 1), 2), 3), 4)) 내에서 매일 전날 생산된 파일을 복사하여 파일명을 당일 기준 날짜로 바꾸고 이 바이너리 파일의 마지막 record number에 당일 결과를 추가 저장하는데 이 과정을 수정하고자 한다. 코드 수정 가능 여부를 파악하기 위해 코드를 임의 수정해서 테스트한 결과, 모니터링 전처리 코드 결과물은 매일 재분석자료에 의존해 전 과정이 매일 동일하게 수행되기 때문에 시스템의 초기 입력자료인 재분석자료만 있으면 이전 날짜의 중간산출물과는 독립적으로 생산이 가능한 것을

확인하였다. 따라서 연속적으로 과거의 중간 산출물 파일이 없더라도 연속적으로 매일 6시간 간격으로 누적 저장되고 있는 재분석자료(olr.day.19790101\*.gdat, \$VAR.6hr.ly.gdat)가 있으면 BSISO 감시자료 생산이 가능하다.

현업 운영시 불가피하게 이루어질 수 있는 수동 현업 자료 생산 등은 시간적으로 불연속적인 과거자료 생산 등이 이루어질 수 있는데 이 때 재분석자료만 존재한다면 과거의 중간산출물 생산이 가능하다. 따라서 재분석자료 생산체계는 현재와 같이 유지하는 것이 효율적이라고 판단하였다. 그리고 가장 최근 생산된 중간 산출물은 과거부터 현업 기준 날짜까지의 자료를 모두 포함하고 있기 때문에 중간 산출물 파일을 굳이 매일 저장(16GB/일)할 필요가 없다고 판단하였다. 따라서 현재까지 저장된 과거 중간 산출물은 삭제하고 전날 파일을 읽어서 현재 날짜를 처리하는 계산 코드의 수정을 통해 좀 더 합리적인 저장공간 관리 체계를 구축하고자 한다. 이렇게 되면 현재 약 39TB인 현업 저장공간을 약 3TB로 줄일 수 있고 현재 기준 1/10 수준의 저장공간 절감 효과를 볼 수 있을 예정이다.

#### ④ BSISO 현업시스템 신 평년 기후기간(1991~2020년) 적용

BSISO 현업시스템은 BSISO 감시자료의 입력값이 되는 NCEP R1 재분석자료의 1981~2010년 동안 평균된 기후값을 이용하여 감시자료의 아노말리를 생산한다. 또한 BSISO 예측자료의 생산을 위해 모델 예측자료의 total 값과 관측의 기후값을 이용하여 예측 아노말리를 추출하고 있다. 현재 현업시스템에 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 상태와의 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. 이와 더불어 APCC 기후 현황(감시) 및 지수시스템도 최근 기후 평년 기간을 1991~2020년으로 조정하여 제공중이다. 따라서 BSISO의 현재 상태를 좀 더 객관적으로 파악하기 위해서는 그 기준이 되는 평년기간을 1991~2020년으로 변경 및 적용할 필요가 있다.

BSISO 감시시스템 및 예측시스템에서 아노말리 계산을 위해 이용되는 재분석자료의 기후값을 현재 평년 기간인 1981~2010년에서 신평년 기간인 1991~2020년으로 조정하여 변수별로 \${VAR}.DAY.CLIM.H.LY.GDAT 파일을 재생산하고자 한다. 그리고 변경 생산된 기후값 파일을 이용하여 이 기간 동안의 장주기 변동을 제거하여 BSISO 감시 지수 및 예측 지수 계산에 활용할 예정이다. 평년 기후값 차이로 계산된 동기간의 BSISO 지수와 phase는 이전 기후값과 비교해 살펴볼 필요가 있을 것이다.

#### ⑤ BSISO 감시-예측-검증-영향장 통합구동시스템 개발

APCC BSISO 계절내예측시스템에서 실시간 현업 구동이 필요한 파트는 크게 4개로 감시, 예측, 검증, 영향장으로 구성되어 있다. 4개의 파트를 구성하는 소스 및 계산 코드는 각 파트별

통합 셸(shell) 스크립트가 실행된다. 이 통합 셸은 현업 기간(5~10월) 동안 매일 각 파트별(감시, 예측, 검증, 영향장)로 크론탭을 활용하여 현업자가 지정한 시간에 순차적으로 구동되게끔 되어 있다.

크론탭 내 지정 시간은 각 파트별 계산시간을 고려해서 현업자가 수동 지정하게 되어있다. 매일 감시 파트를 시작으로 오전 8시에 시작되며, 외부망에서부터 내부망으로 재분석자료(850hPa 수평바람장, 장파복사) 및 모델 예측자료를 수집하는 것으로 시작한다. 그리고 각 파트별 계산 및 결과물 산출과정을 거쳐 APCC 공식 홈페이지에 업로드되는 것까지 매일 오후 1시 30분경에 모든 작업이 완료된다.

예를 들어, Table 21에서와 같이 BSISO 현업시스템의 첫 번째 단계인 감시(Monitoring) 통합 셸은 오전 9시 40분에 구동되고 계산시간(3분)과 로그 파일 생성 시간 및 여분 시간을 고려하여 10분 뒤 오전 9시 50분에 다음 단계인 감시 영향장 통합셸이 구동된다. 각 파트 사이의 여분 시간은 로그 파일 생성시간 및 유동적인 시스템 계산시간을 고려한 것이다. 그리고 불특정한 이유로 셸이 구동이 되지 않거나 오류가 나면 즉각 대응이 가능하다. 그러나 현실적으로 실제 현업에서는 이 사이 시간 내에 실시간 대응은 하기란 쉽지 않기 때문에 결국 현업 완료 시간 이후 수동 대응을 하고 있다.

Table 21. Schedule and running time of the BSISO operation system

BSISO 현업시스템		계산 시간	현업 수행 시작 시간
감시		3분	9시 40분
예측		1시간 13분	10시 00분
영향	감시	1분	9시 50분
	예측	4분	11시 30분
검증		2분	12시 35분
극한강수 발생확률		1분	12시 55분

이렇게 현업자가 설정해놓은 각 파트별 계산시간과 여분시간을 고려하여 크론탭 스크립트(Table 22)에 따라 순차적으로 파트별 통합셸이 구동된다. 크론탭으로 현업 스케줄을 관리하는 것은 현업자가 유동적으로 상황에 맞게 현업 스케줄을 변경할 수 있다는 장점이 있지만, 각 파트별 코드 구동이 불연속적으로 시간간연이 발생하기 때문에 현업의 효율적 시간 관리를 위한 연속적인 one-click 자동화 시스템으로 보기에 한계가 있다.

그리고 현재 감시시스템 수행 시 기준이 되는 날짜 설정 부분은 각 개별 통합셸의 도입부에서 가장 최신의 재분석자료의 경로와 파일명으로부터 cut 명령어를 통해 날짜를 추출하여 현업 수행 기준 날짜가 지정된다. 그래서 만약 현업을 운영하는 시스템 경로나 파일명이 변경되면 Table 23과 같이 경로와 파일명의 글자수를 세어 날짜 부분이 추출되게끔 cut 명령어를 수동으로 수정해줘야 하는 번거로움이 있다.

현재 모든 파트별 프로그램 구동은 개별 셸 스크립트로 작성되어 있는데 이를 하나의 통합 코드로 수정 작성하고 BSISO 감시-예측-검증-영향장을 하나로 통합해서 운영할 수 있는 통합구동시스템을 개발하고자 한다. 이때 통합구동시스템의 코드 언어는 파이썬으로 작성할

예정이고, 현업 구동 경로가 변경될지라도 상단에 환경설정만 설정해주면 코드 내에서 기준 날짜 등을 독립적으로 불러올 수 있고, 하나의 통합 구동 파이썬만 구동하면 현업 운영이 되는 효율적인 시스템을 구축하고자 한다.

그리고 현업자의 경험상 현재 설정해둔 각 단계별 작업 구동시간에 더해진 여유시간은 실제 현업의 실시간 대응으로 활용되기에는 현실적으로 한계가 있다고 판단하였기 때문에, 매일 구동되는 현업 체계 내에서는 고려하지 않을 예정이다. 그래서 파트가 종료되고 로그파일이 생성된 이후 다음 파트가 지연없이 순차적으로 구동될 수 있도록 구축하고자 한다. 대신 각 단계별로 수행과정 및 세부 코드의 수행 여부를 확인할 수 있는 로그파일의 내용을 보완할 예정이다. 이렇게 설계된 파이썬 기반의 BSISO 통합구동시스템은 현업 시작 시간이 현재와 동일하다는 가정하에 오전 중으로 완료될 예정이다. 그리고 HPC 정기 점검이나 개선 등으로 불가피하게 현업이 제시기에 구동하지 못하거나 불특정한 이유로 작업이 실패하여 수동 구동으로 현업자료의 재생산이 필요할 때에는(이를 현재 백업 생산이라 함) 현재 운영방식대로 때마다 필요한 개별 쉘 스크립트를 이용할 예정이다.



Table 23. Part of the main shell script (MONI\_RUN\_LY.csh) in BSISO monitoring system.

```
.....  
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`  
  
    echo $YEAR  
    echo $MONTH  
    echo $DAY  
  
setenv TIME `date -d ${ITIME} +%d%b%Y`  
setenv MTIME ${ITIME}  
.....
```

## 다. 고해상도 MME 계절예측시스템 구축 및 예측력 평가

APCC는 2005년 설립 이후 MME를 활용한 장기계절예측(3/6 개월) 및 검증 정보를 생산하여 홈페이지 및 여러 서비스 플랫폼을 통해 제공하고 있다. 그간 참여모델들은 꾸준히 개선되어 점차 고해상도 예측정보를 제공하는 추세이나 MME 특성상 공통의 해상도를 적용하다보니, APCC의 예측정보는 처음의 2.5° x2.5° 해상도를 유지하고 있다. MME 참여모델 15종 중 80%가 2.5도 보다 높은 해상도를 가지고 있는 현황이어서 저해상도 MME의 유지는 모델이 가지고 있는 예측 정보를 모두 활용하지 못한다는 것을 의미한다(Table 24).

Table 24. APCC MME individual model description of resolution at 2020 hindcast

	Institute	Country	Model	Resolution APCC collect	Resolution (Atmospheric)	Resolution (Ocean)
1	APCC	Korea	SCoPs	1	T159L31	0.3-0.5x1.0 L40
2	BCC	China	CSM1.1m	2.5	T106L26	1x1/3
3	BoM	Australia	ACCESS-S1	1	N216L85	0.25 L75
4	CMCC	Italy	SPS3	2.5	1x1, L46	1/4x1/4, L50
5	CWB	Chinese Taipei	TCWB1Tv1.1	1	T119L40	1x1
6	HMC	Russia	SL-AV	2.5	1.125x1.40625 L28	
7	JMA	Japan	MRI-CPS2	2.5	TL159L60	0.3-0.5x1.0 L53
8	KMA	Korea	GloSea5GC2	2.5	N216L85	ORCA025L75
9	METFR	France	MF Sys7	1	TL359	0.25 L75
10	MGO*	Russia	MGOAM-2	2.5	T42 L18	
11	MSC	Canada	CanSIPsv2	1	1.4x1.4 T63L35	1.40x0.94
12	NASA	USA	GEOS-S2S-2.1	2.5	0.5	0.5
13	NCEP	USA	CFSv2	2.5	T126 L64	0.25-0.5x0.5 L40
14	PNU	Korea	CGCMv2.0	2.5	T42 L18	2.8125
15	UKMO	UK	GloSea5	1	N216L85	ORCA025L75
	*not available					

APCC 이외의 다른 MME 기관, NMME, C3S에서는 이보다 더 고해상도인 1° x1° 의 예측정보를 제공하고 있으며, 사용자들도 APCC MME의 저해상도 예측정보에 대한 아쉬움을 꾸준히 표해왔다. 2020년 APCC 예측정보 이용자들을 대상으로 한 수요조사에서도 고해상도 예측정보에 대한 요구가 1위로 조사되어, APCC 계절예측정보의 경쟁력을 높이기 위해서는 무엇보다 고해상도 예측정보가 제공되어야 하겠다.

또한 22년도 시범운영에 적합한 MME set을 선별하기 위한 예측력 비교를 하였다. 20년도 기준으로 MME 참여모델 중 우리 센터가 고해상도 모델로 수집하고 있는 것은 6종

(APCC\_SCoPS, BOM\_ACCESS-S1, CWB\_TCBW1Tv1.1, METFR\_SYS7, MSC\_CANSIPv2, UKMO\_GLOSEA5, 2020년 hindcast 기준)이고, 21년도에 여기에 CMCC\_SPS3을 더하여 7종이다. 이 보고서는 20년도 기준의 6개 고해상도 모델로 분석하였다. 참여모델이 모두 고해상도 자료를 제공하지 않고 있고 이것은 각 기관의 가용한 자원이나 상황에 따른 것이라, 모두 참여하기에는 시일이 걸릴 것이라 판단하여 22년도 시범운영에는 모든 기관이 고해상도 자료를 제공하지 않기에 현 상황에서 적합한 고해상도 MME를 찾기 위한 비교이다.

고해상도 MME로의 시스템 확장은 기존 검증 관측데이터의 변경을 동반한다. 고해상도 관측데이터는  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  이상이어야 하고, 실시간 업데이트가 되어야 하며 MME의 hindcast 기간(1991-2010)을 만족시켜야 한다. 이를 만족하는 관측데이터로 강수를 제외한 지표기온 및 레벨자료가 포함된 변수들은 ERA5 (Herbach et al., 2020), 강수는 CPC (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/>), MERRA2 (Gelaro et al., 2017)을 선정하여 비교하였다.

## (1) 고해상도 MME 계절예측시스템 구축

### (가) 필요성 및 목적

APCC는 계절예측정보의 신뢰도와 활용성을 높이기 위해 2019년 사용자를 대상으로 수요 조사를 실시한 결과, 대다수의 사용자가 고해상도 계절예측정보를 가장 우선으로 필요로 하였으며, 이에 2021년 11개국 15개 계절예측정보 제공 기관의 협조와 함께 고해상도( $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ) 계절예측시스템을 구축하고자 하였다. 고해상도 계절예측 정보를 생산하기 위해 15개 참여 기관의 모델 예측자료를 일원화된 규격으로 전처리 및 표준화를 수행이 선행되며, 해상도의 변환이 최초로 이루어진다. 이렇게 생산된 개별모델 고해상도 예측자료를 통해 APCC 다중모델앙상블 기법을 적용하여 최종적인 고해상도 계절예측정보를 생산하고, 마지막으로 고해상도 계절예측 정보에 대한 검증 자료를 생산하는 시스템을 구축하고자 하였다.

### (나) 개별모델 고해상도 예측자료 전처리 시스템

APCC는 15개 현업 및 연구기관에서 제공하는 3개월 및 6개월 고해상도 예측자료에 대하여 기관별 각기 다양한 형식과 속성에 따라 사용자들의 편의성을 증진시키고 자료 처리의 일관성을 확보하기 위해 일원화(표준화)된 규격으로 개별모델의 예측자료를 일괄적으로 동일한 형식에 대해 전처리하여 제공하고 있다. 고해상도 변환을 위해 원시 자료의 해상도가  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  인 경우 별도의 해상도 변환 없이 표준화하고, 해상도(격자정보)가 다를 경우 xesmf regrid 기법을 활용하여 동일한 고해상도 격자체계로 변환하였다. 또한, 기존에 제공하지 않은 당월예측(0.5 month lead time) 정보를 포함하여 사용자들에 보다 다양한 예측정보를 제공하도록 구축하였다. 개별모델 고해상도 예측자료 전처리 시스템의 상세한 시스템 구조 및 구축 내용, 작업 수행 방식 등은 운영매뉴얼(부록 C)을 통해 확인할 수 있다.

### (다) 고해상도 다중모델앙상블 계절예측 시스템

(나)에서와 같이 전처리된 개별모델별 고해상도 예측자료를 활용하여 결정론적 및 확률론적 다중모델앙상블 기법을 적용한 계절예측 시스템을 구축하였다. 생산 방식은 전처리 방식과

유사하며, 비교적 간단하게 모델 구성 및 타겟 계절을 입력하면 일괄적으로 처리할 수 있도록 하였다. 이 또한 자세한 내용은 운영매뉴얼(부록 D)을 통해 확인할 수 있다.

#### (라) 고해상도 계절예측 검증 시스템

(다)에서 생산된 결정론적 및 확률론적 다중모델앙상블 계절예측 자료는 실시간 예측(forecast)과 과거 예측(hindcast)에 해당하는 다양한 검증 기법을 적용하여 검증 자료를 생산하고 해당 정보를 홈페이지를 통해 제공한다. 기존 계절예측자료와의 연계성을 고려하여 기존 해상도  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$  와 고해상도  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  를 모두 검증할 수 있도록 구축하였으며, 사용자가 용이하게 설정을 변경하여 수행할 수 있도록 하였다. 상세한 내용은 내부적으로 관리하는 별도의 운영매뉴얼을 통해 확인할 수 있다.

(2) 해상도에 따른 예측정보의 예측력 비교분석

(가) 해상도에 따른 예측력 실험설계

해상도(2.5° x2.5° vs. 1° x1°)에 따라 예측력 비교 실험 설계를 다음 Table 25와 같이 하였다. 기존의 공식 MME를 MME\_2.5, 고해상도 모델만으로 이루어진 MME를 MME\_1H, 저해상도와, regrid를 통해 고해상도로 강제한 모델이 모두 참여한 MME를 MME\_1A라 하였다. 이 실험을 통해 22년 시범운영에서 MME\_1H와 MME\_1A 중 하나를 선택한다.

Table 25. MME set name for forecast skill experiment

MME set	description	Participating model number	memo
MME_2.5	2.5°	14	Official MME
MME_1H	1° <b>only: high resolution model</b>	6	
MME_1A	1° <b>all: high resolution + regrid low resolutin</b>	14	

해상도에 따라 기준 검증 관측데이터도 변경한다. 저해상도에서는 기존의 NCEP2 (Kanamitus et al. 2002), CAMS-OPI (Janowiak and Xie 1999)를 사용하고 고해상도에서는 ERA5, CPC, MERRA2를 검증 관측데이터로 사용한다(Table 26).

Table 26. Reference observation data for verification for MME set

variable	Low resol. MME	High resol. MME
T2m, SLP, leveled variables	NCEP2	ERA5
Precipitation	CAMS-OPI	CPC, MERRA2

(나) 참여모델들의 예측력 비교

해상도에 따른 예측력 실험을 비교하기 전에 저해상도 MME\_2.5 참여모델들의 예측력 차이를 살펴보았다. 이는 고해상도/저해상도 그룹에 따라 예측력 차이가 존재하는지 파악하기 위한 것이다. 온도의 SCM 단정예측 hindcast ACC를 계절별로 비교하였을 때, 여름철에는 0.3정도, 가을-겨울철에 0.45정도로 계절별 차이가 크지 않았다(Figs 61 and 62). 빨간색 별표가 고해상도, 검은색 별표가 저해상도 모델임을 감안할 때 고해상도 모델이 일반적으로 스킬이 좋기는 하나 개별 모델의 차이가 더 큰 분포를 보이므로, 고해상도 모델이 반드시 좋은 스킬을 담보하지는 않는다. 또한 개별모델들의 스킬들의 합보다 SCM MME의 스킬이 좋다.

강수의 경우, 일반적으로 온도보다 ACC skill이 좋으며 특히 가을-겨울철의 ACC skill이 0.5 이상으로 좋은 편이다. 강수도 온도와 마찬가지로 개별모델보다는 SCM MME의 스킬이 좋으며, 해상도에 따른 모델 그룹 간의 차이보다 개별 모델의 스킬 차이가 크다. 이는 APCC에서 수집하는 저해상도 모델은 실상은 고해상도 모델인 경우가 많고, 이를 regrid하여 저해상도로 수집/전처리하기 때문이기도 하다. 즉, 현재 보유하고 있는 모델들의 해상도를 구분하여 분석하는 것은 큰 의미가 없다.

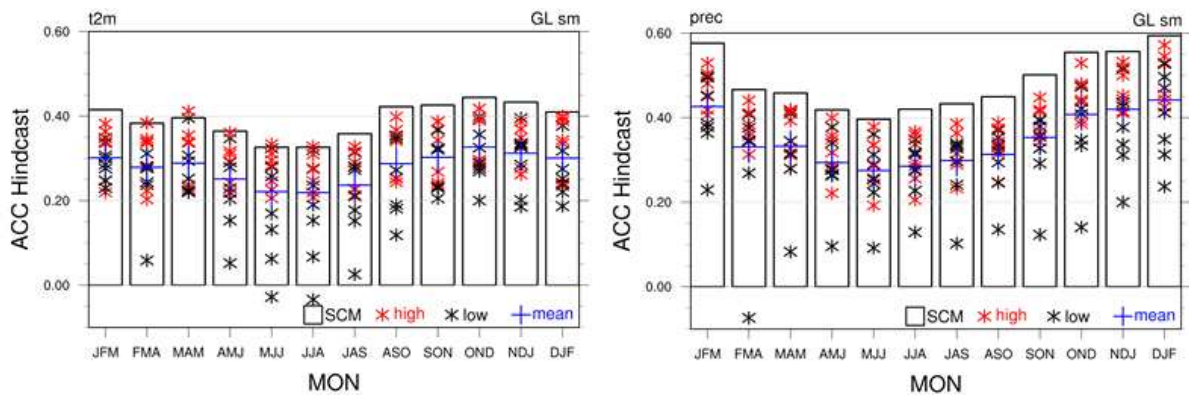


Figure 61. Seasonal global mean ACC skills for (left) temperature at 2-meter and (right) precipitation during hindcast period (1991-2010). Bars are for DMME SCM skill asterisks (red-high, black-low) are for individual models. Blue crosses are averaged skills of individual models

대기 순환 관련 다른 변수(하층 동서, 남북 바람, 해면 기압장, 중층 지위고도)들은 전구 평균 ACC는 하층 남북방향 바람이 0.2 내외로 낮고, 다른 변수들은 0.3 정도의 예측력을 가지며 온도나 강수보다는 예측력이 낮다(Figure 63, 64). 계절별로 살펴보면 대체적으로 여름철 ACC 스킬이 떨어지는 경향이 있지만 크게 차이나지 않는다.

또한 개별 모델의 차이가 크기에 모델 해상도를 구분하여 분석하는 것은 큰 의미가 없다고 판단되는데 이것은 온도, 강수와 같은 결과이다.

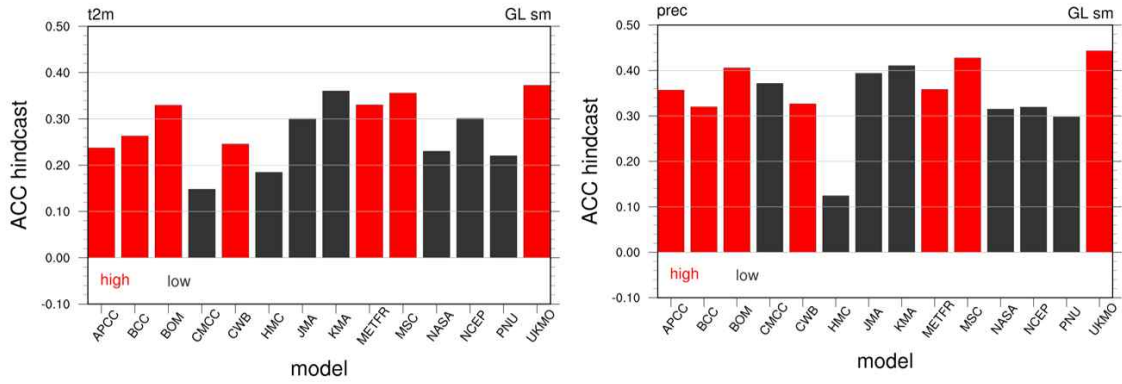


Figure 62. hindcast period (1991–2010) global mean ACC skills of (left) temperature at 2-meter and (right) precipitation for individual models. Red bars present high-resolution models and black bars are low-resolution models.

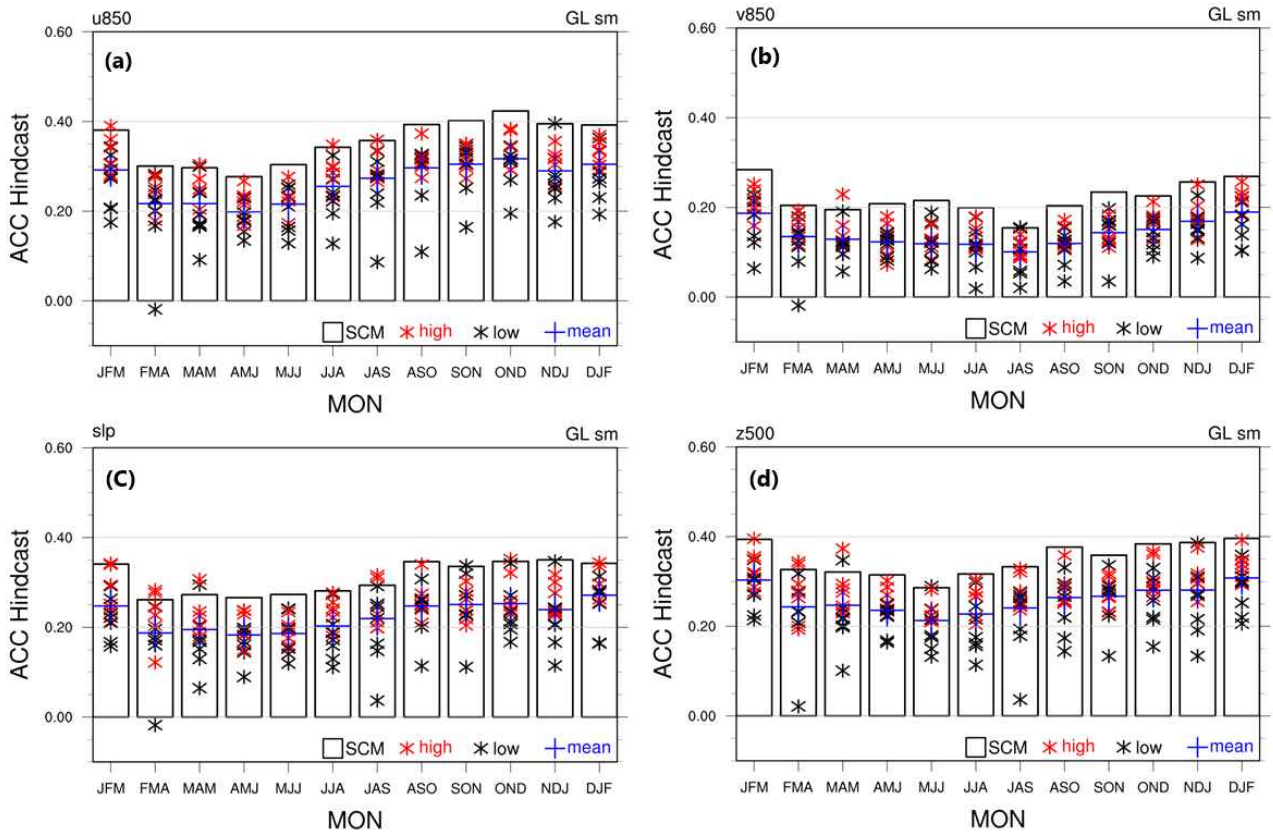


Figure 63. Seasonal global mean ACC skills for (a) zonal wind at 850 hPa, (b) meridional wind at 850 hPa, (c) sea level pressure and (d) geopotential height at 500 hPa during hindcast period (1991–2010). Bars are for DMME SCM skill asterisks (red-high, black-low) are for individual models. Blue crosses are averaged skills of individual models

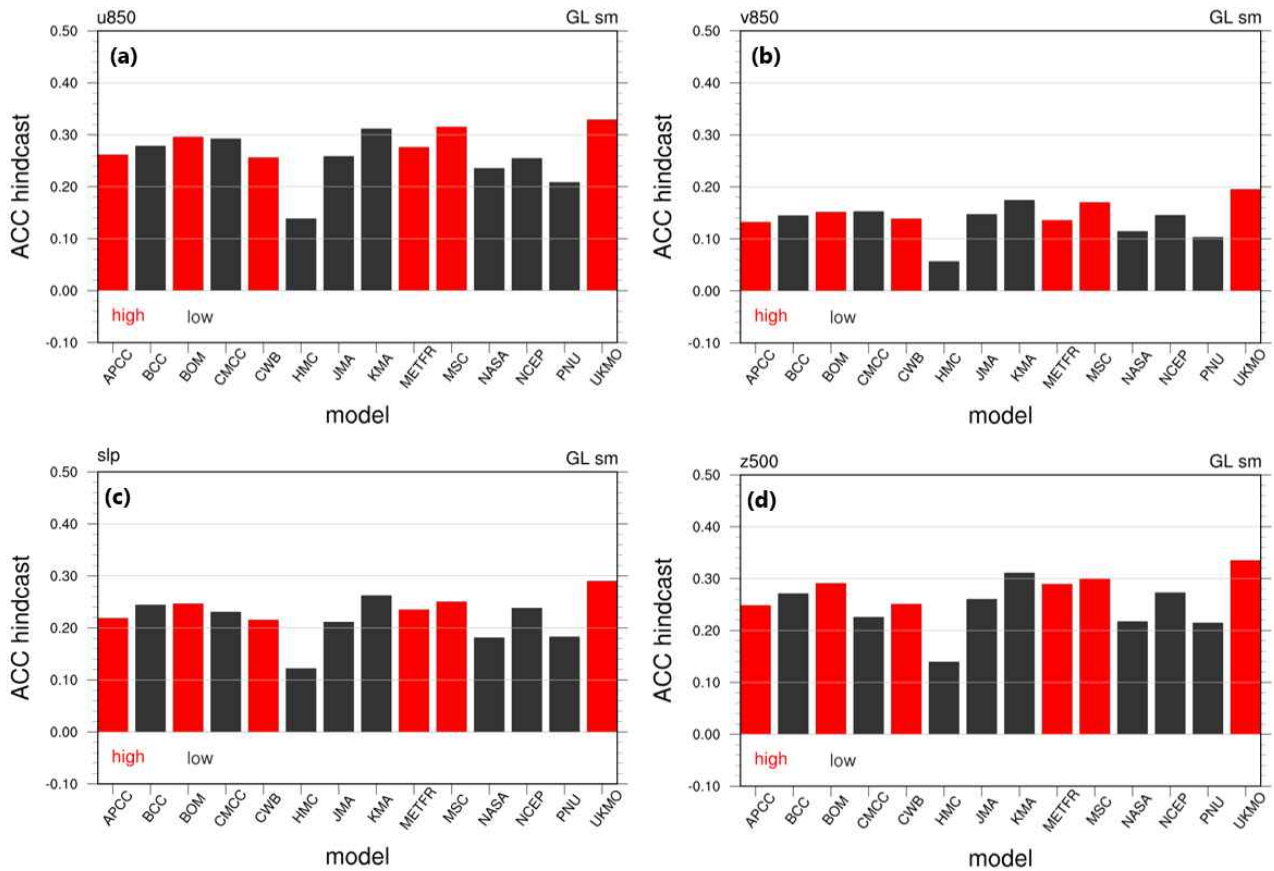


Figure 64. hindcast period (1991–2010) global mean ACC skills of (a) zonal wind at 850 hPa, (b) meridional wind at 850 hPa, (c) sea level pressure and (d) geopotential height at 500 hPa. Red bars present high-resolution models and black bars are low-resolution models.

(다) 해상도에 따른 예측력 비교 결과

① 단정예측 ACC

해상도에 따른 예측력 비교를 위해 Table 25에 있는 실험에 대한 단정예측 ACC 스킬의 차이(고해상도-저해상도)를 계산하였다. ACC 차이  $DF = ACC_1 - ACC_{2.5}$ 이고, 상대적 차이  $RDF = DF/ACC_{2.5} \times 100$ 이다. 온도의 ACC 차이를 계절별로 살펴보면 고해상도 MME가 여름철에 상승, 겨울철에는 대체적으로 감소 혹은 유지인 것을 알 수 있고, MME\_1A가 MME\_1H보다 예측력이 더 높다(Figure 65). 이는 참여모델 수가 14대 6으로 MME\_1A가 더 많아 다중모델앙상블 기법의 긍정적 영향을 받고, 고해상도/저해상도 모델 그룹간의 차이가 크지 않기 때문이다. 계절별 차이는 관측자료 NCEP2, ERA5의 차이에서 기인하는 것으로 사료된다. 다른 계절에 비해 여름철 열대 서태평양, 북극지역, 아프리카 등 일부 지역에서 1991-2010 TCC 상관관계가 약해져서, 겨울철 전구 평균 TCC가 0.84라면, 여름철은 0.79인데 이러한 검증자료간의 상관관계 차이, 여기서는 재분석자료 모델동화의 차이가 예측력의 차이를 유발하는 것으로 사료된다.

참고로, 같은 모델로, 관측데이터를 NCEP2로 선정하여 고해상도 모델을 검증하였을 때, 즉 관측데이터를 변경하지 않았을 때는 예측력 차이가 미미하여 전구 평균 기준으로 전체 예측력 차이 중 10% 정도를 차지한다(Figure 66).

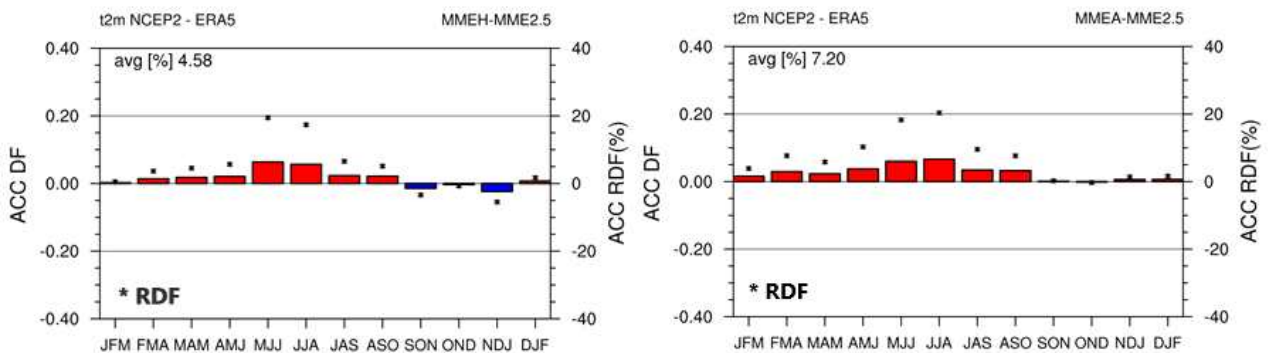


Figure 65. Global seasonal mean (bar) ACC differences and (asterisk) relative ACC differences of temperature at 2-meter. Differences between (left) MME\_1H and MME\_2.5; (right) MME\_1A and MME\_2.5

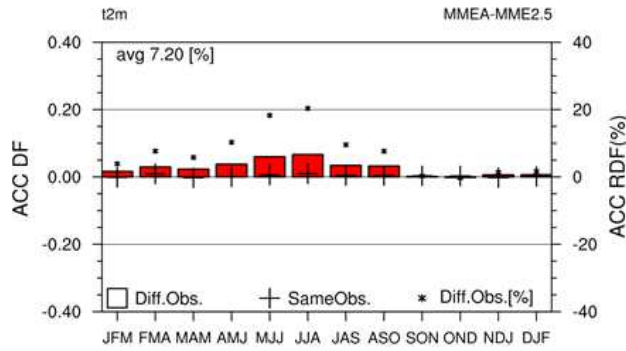


Figure 66. Same as Figure 65 with (cross) ACC differences using same reference observation for MME\_1 and MME\_2.5, NCEP2

지역별 ACC 차이를 살펴보면, 호주, 남태평양을 제외한 다른 지역에서는 대체적으로 고해상도 MME의 ACC 스킬의 상승이 나타난다(Figure 67). 특히 남아메리카, 남반구에서의 스킬의 상승이 두드러지는데, 이는 관측자료 NCEP2, ERA5의 차이가 큰 것에서 기인하는 것으로 분석된다. 재분석자료인 NCEP2와 ERA5는 관측값을 모델로 동화하여 생산하는데, 남반구, 남아메리카 산간 지역에서는 상대적으로 관측 지점이 적고, 모델 의존도가 높아져 두 자료 간 TCC 상관관계가 상대적으로 작다(Gleckler et al. 2008). 이러한 관측자료 차이에 의한 영향으로 남아메리카에서는 고해상도 MME 예측력의 상승이, 남태평양, 호주에서는 예측력의 감소가 나타나는 것으로 사료된다.

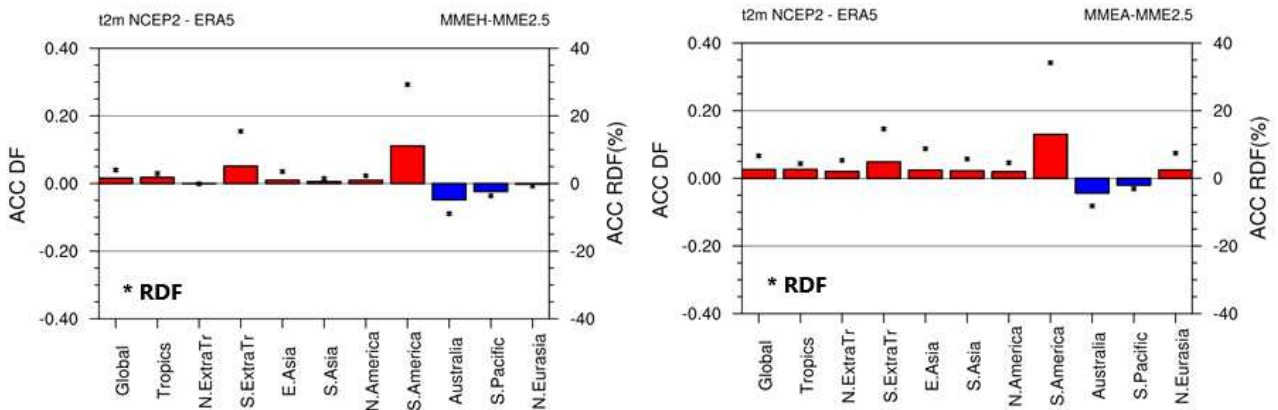


Figure 67. total (1991-2010) regional mean (bar) ACC differences and (asterisk) relative ACC differences of temperature at 2-meter. Differences between (left) MME\_1H and MME\_2.5; (right) MME\_1A and MME\_2.5

강수의 경우, MERRA2와 CPC를 이용하여 고해상도 MME를 검증한다. MERRA2를 기준으로 검증한 고해상도 예측력은 계절별로 살펴보면 저해상도 예측력에 비해 전반적으로 하락하고 변동폭이 크지 않다(Figure 68). 다만 고해상도 MME의 예측력 하락이 크진 않아서 상대적 차이가 10% 내외이다.

MERRA2를 기준으로 검증한 고해상도 예측력을 지역별로 살펴봐도 북유럽을 제외하고 저해상도에 비해 전반적으로 하락하는데 전반적으로 상대적 예측력의 차이는 10% 내외로 크기

는 작다(Figure 69). 강수의 예측력 차이 또한 82% 정도가 기준 검증관측데이터의 변경에서 기인하는 것으로 CAMS\_OPI와 MERRA2의 차이에서 유래되는 성분이 크다.

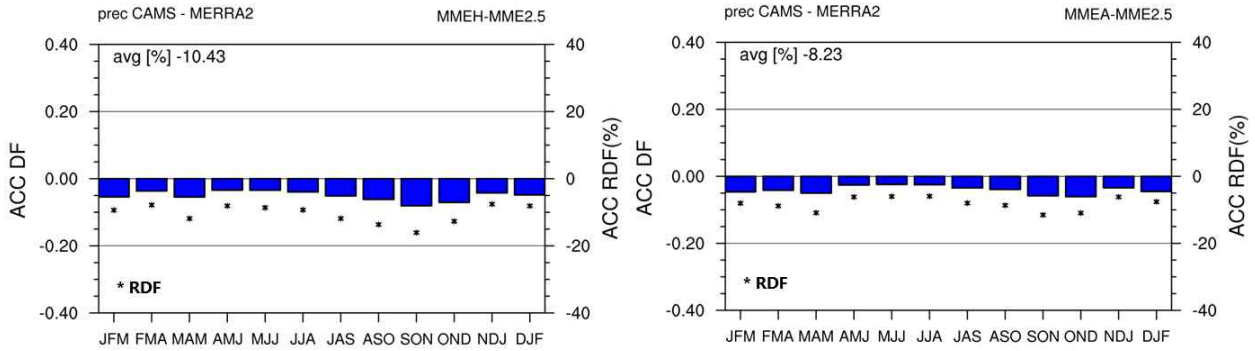


Figure 68. Global seasonal mean (bar) ACC differences and (asterisk) relative ACC differences of precipitation. Differences between (left) MME\_1H and MME\_2.5; (right) MME\_1A and MME\_2.5. MME\_1A and MME\_1H are verified by MERRA2 precipitation data

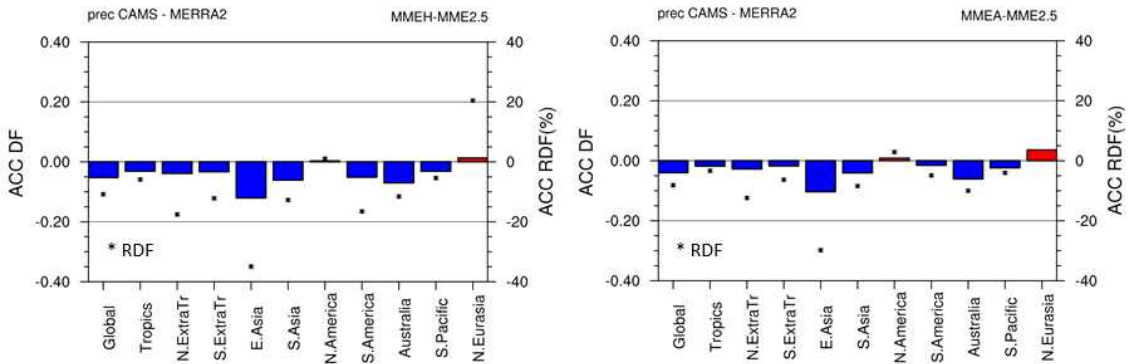


Figure 69. Total (1991-2010) regional mean (bar) ACC differences and (asterisk) relative ACC differences of precipitation. Differences between (left) MME\_1H and MME\_2.5; (right) MME\_1A and MME\_2.5

CPC를 고해상도 검증 기준으로 사용하였을 경우 육지 강수만을 사용하기에 해상도에 따른 예측력 차이가 크다. 비교를 위해 기준 저해상도 또한 육지 강수만을 사용하여 검증하기에 전구 평균 기준으로 0.2 정도 ACC 스킬의 하락이 있는데, 이를 기준으로 고해상도 강수 예측력은 하락률이 30% 내외이다. 이는 CAMS\_OPI와 CPC의 강수가 육지에서 큰 차이가 나기 때문으로, CPC를 검증 데이터로 사용한다면 기존의 APCC MME 강수 자료는 불연속성이 큰 것은 불가피하다(Figure 70).

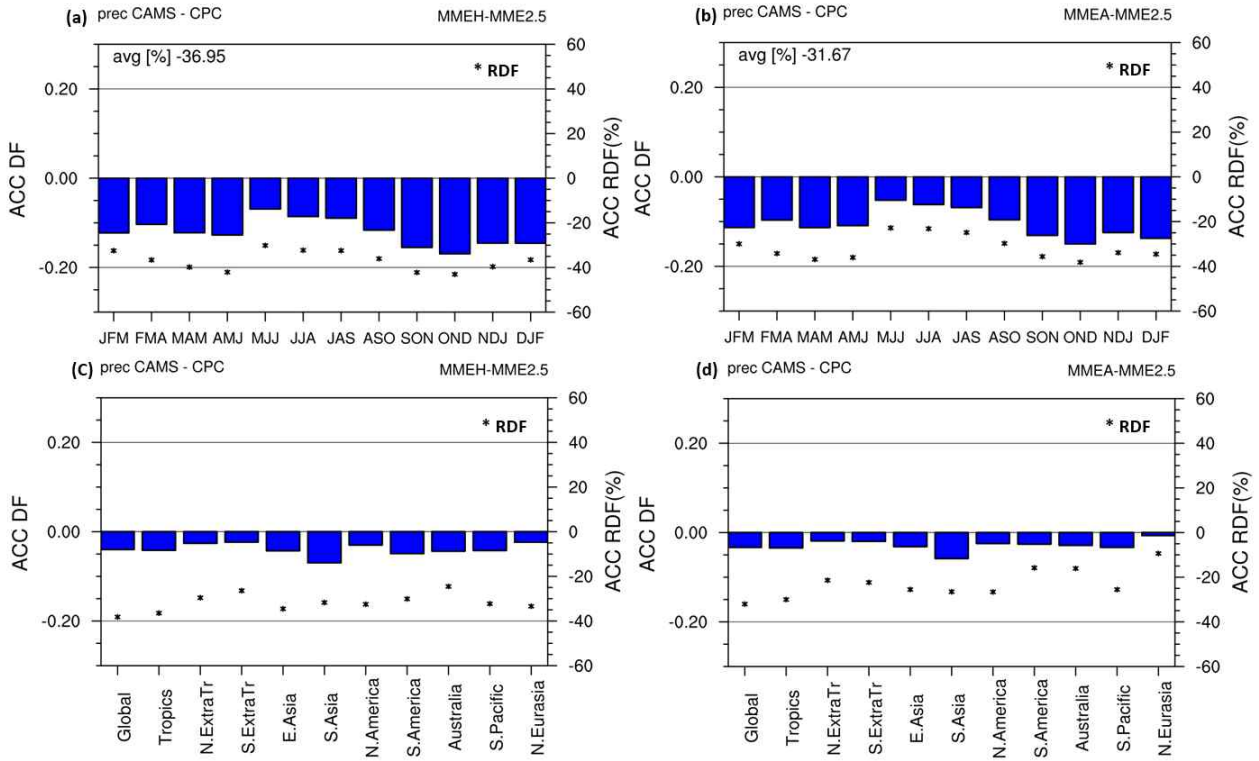


Figure 70. (upper) Seasonal global mean and (lower) total (1991-2010) regional mean of (bar) ACC differences and (asterisk) relative ACC differences of precipitation. Differences between (left) MME\_1H and MME\_2.5; (right) MME\_1A and MME\_2.5. MME\_1A and MME\_1H are verified by CPC precipitation data

온도, 강수, 중층 지위고도의 전구 전체기간 평균 ACC 스킬과 고/저해상도 MME ACC 스킬의 차이를 Figure 71에 정리하였다. 온도는 고해상도 MME의 예측력이 상승, 강수와 지위고도는 하락하지만 강수(CPC) 제외하고는 차이가 10% 내외로 크지 않아 전체적으로는 고해상도 MME가 기존의 저해상도 MME와 큰 차이는 나지 않는다고 판단한다. 강수는 MERRA2를 이용한 검증은 10% 내외의 고해상도 MME 예측력 하락이 있지만 CPC를 이용한 검증은 30% 정도의 예측력 하락이 나타난다.

개별모델들의 예측력은 모델별 차이가 있는데 MME의 예측력을 넘지 못한다. 고해상도 개별모델들의 예측력 평균은 MME\_1H가 MME\_1A보다 큰 경향이 있지만, MME의 예측력은 MME\_1A가 크기에 더 많은 모델을 포함한 MME 기법의 장점이 드러난다. 변수 별로 다르긴 하지만, MME\_1A에서 MME의 예측력이 더 좋은 경향이 있다.

대기순환관련 변수들에 대해서도 실험별 ACC 예측력과 차이를 정리하였다(Figure 72). 해면기압장과, 하층순환장, 상층 동서방향 바람 모두 저해상도에 비해 고해상도 MME에서 10% 내외의 예측력이 상승이 나타나서 기존의 저해상도 MME와의 연속성은 유지되는 것으로 판단한다. 또한 개별모델들의 예측력 합은 MME\_1H가 더 높지만, MME의 예측력은 MME\_1A가 더 높기에 다른 변수들에서도 MME 기법의 장점이 드러난다.

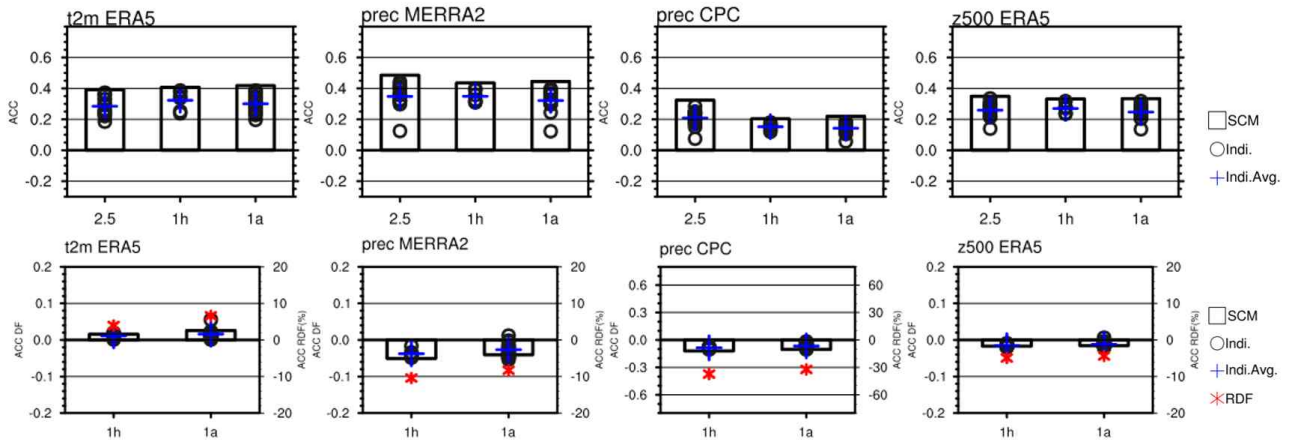


Figure 71. (upper) Global total mean of ACC at each MME set for temperature at 2-meter, precipitation (MERRA2), precipitation (CPC), geopotential height at 500-hPa. Bars are SCM MME ACC skills, and (lower) ACC differences between low and high resolution MME set for each variable.

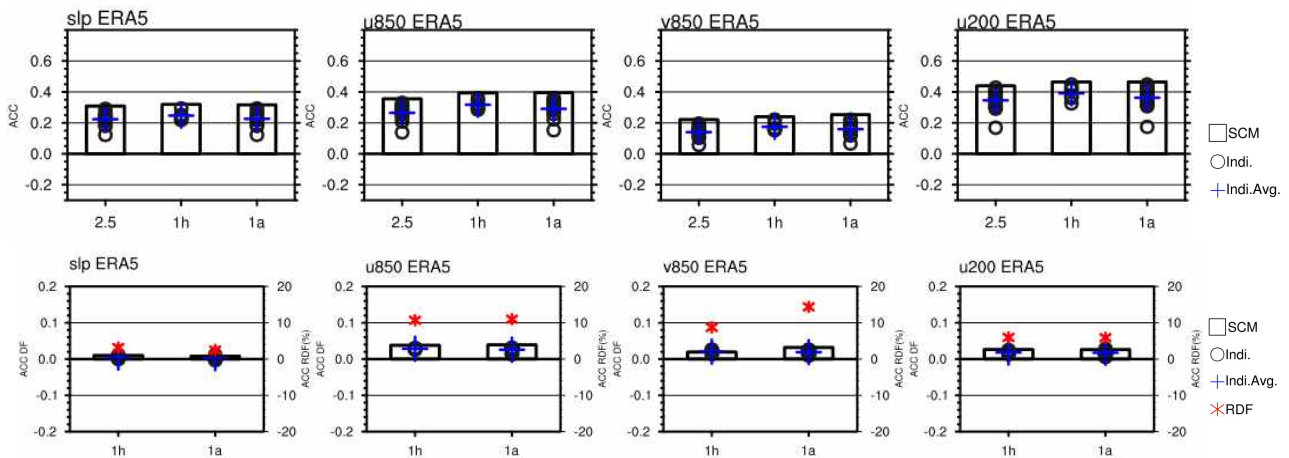


Figure 72. (upper) Global total mean of ACC at each MME set for sea level pressure, zonal wind at 850 hPa, meridional wind at 850 hPa and zonal wind at 200 hPa. Bars are SCM MME ACC skills, and (lower) ACC differences between low and high resolution MME set for each variable.

## ② 단정예측 TCC

단정예측의 TCC 스킬 또한 ACC 스킬과 같이 고려하기 위하여 TCC 공간 패턴, 고/저해상도 MME간의 차이를 분석하였다. TCC 스킬은 특히 시간적 예측력 차이를 파악할 수 있다. MME\_1A 온도 강수 모두 공통적으로 육지보다는 해양에서, 고위도보다는 저위도에서 예측력이 높는데 특히 열대 태평양에서 TCC skill이 높은 것이 역학모델의 공통적 특징이다(Figure 73). 다만 CPC를 이용한 강수 검증에서는 예측력이 높은 열대 해양에서의 자료가 없기에 예측력이 낮다.

대기순환관련 다른 변수들 또한 열대 특히 태평양 지역에서 TCC 스킬이 높고, 육지보다는 해양에서 스킬이 높다(Figure 74). 다만 하층 남북방향 바람은 다른 변수들에 비해 예측력이 한정적이다.

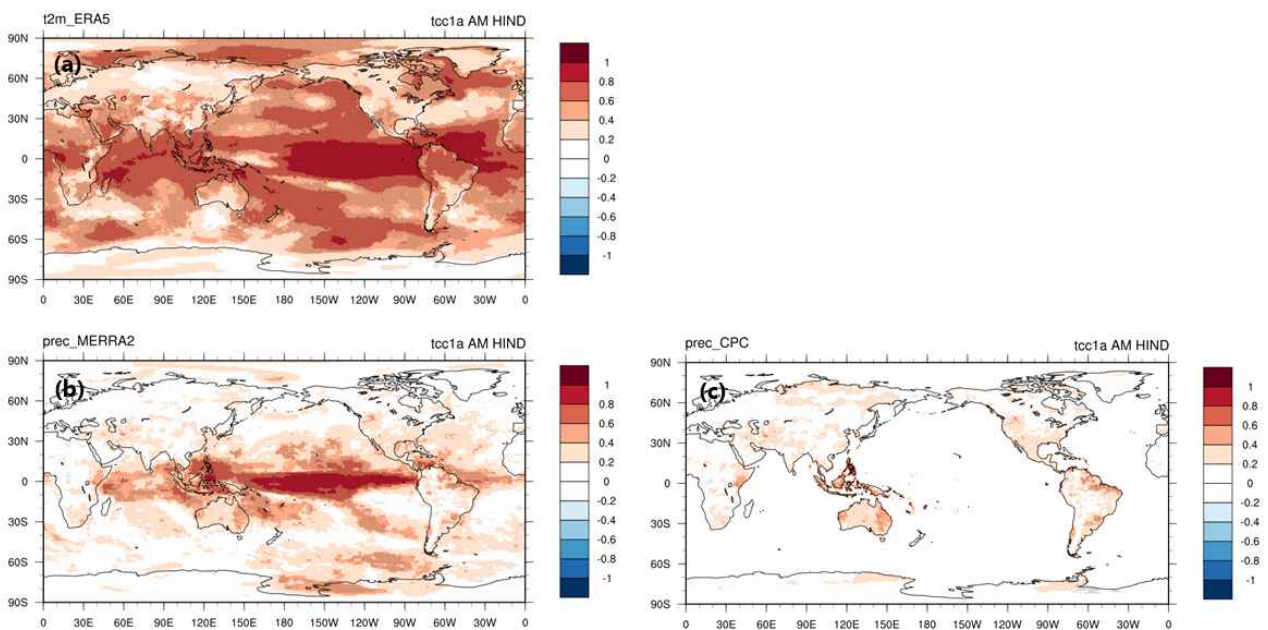


Figure 73. Total period (1991-2010) mean TCC skills of MME\_1A (a) temperature at 2-meter using ERA5, (b) precipitation using MERRA2 and (c) precipitation using CPC observation data

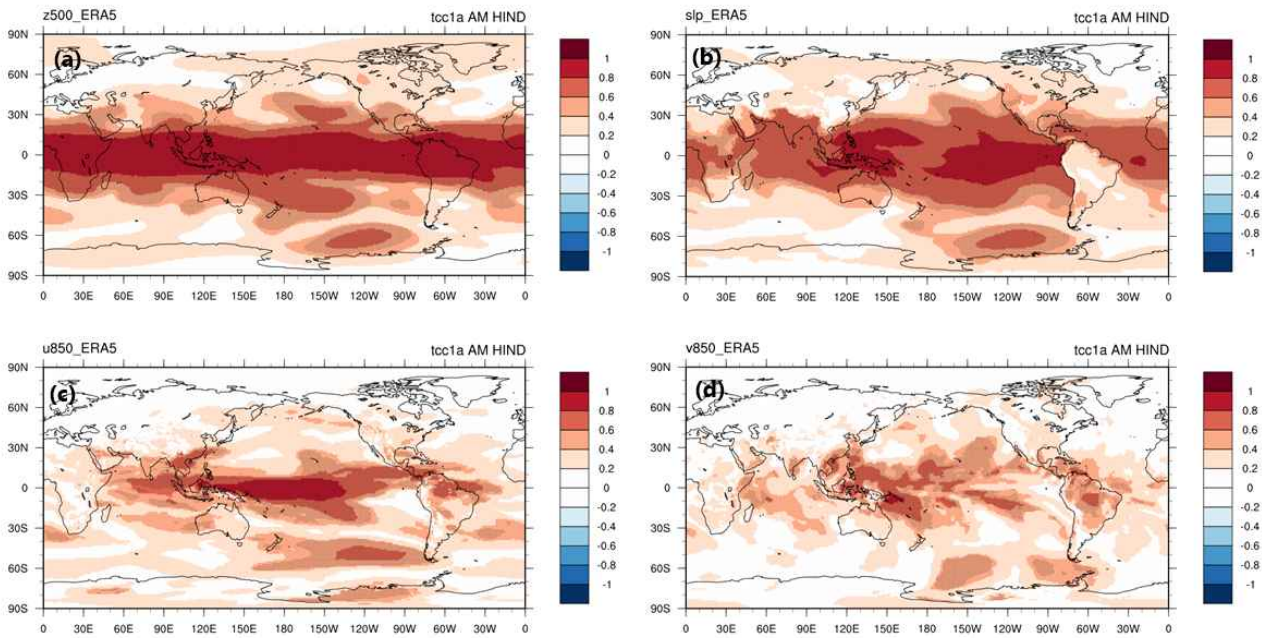


Figure 74. Total period (1991-2010) mean TCC skills of MME\_1A (a) geopotential height at 500 hPa, (b) sea level pressure (c) zonal wind at 850 hPa, (d) meridional wind at 850 hPa verified with ERA5

온도의 TCC 스킬 차이는 열대 서태평양에서는 감소, 아프리카, 서아시아, 중국고원, 남아메리카 안데스 산맥 등에서 대체적으로 증가한다(Figure 75). 이는 대부분 기준 관측데이터의 변경에서 기인하는 것으로, 해당 지역에서 NCEP2와 ERA5의 TCC의 차이가 크다. 지표온도 변수 같은 경우, 지표 관측지점에서의 데이터를 자료 동화하여 데이터를 생산하므로, 관측치가 적은 곳에서는 모델이 모의하는 값에 의존하게 되는데 해당지역은 관측치가 적은 곳이라, 모델 간의 차이가 여실히 드러나는 곳이라 할 수 있다 (Gleckler et al. 2008).

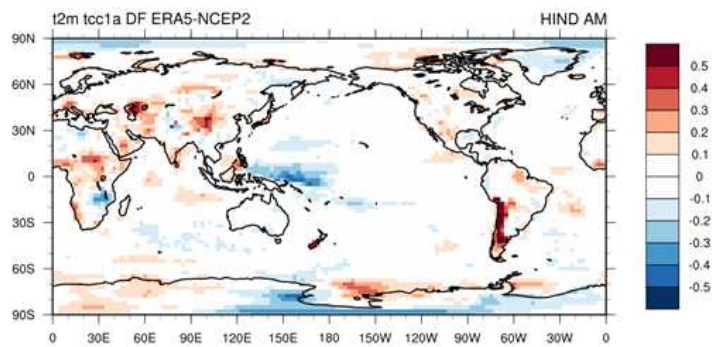


Figure 75. TCC differences between MME\_1A and MME\_2.5 of temperature at 2-meter. Reference observation data are ERA5 for MME\_1A and NCEP2 for MME\_2.5

강수의 TCC 스킬은 온도와 비교하자면 고/저해상도에 따라 큰 차이가 나타난다(Figure 76). MERRA2, CPC를 이용한 고해상도 MME의 검증은 저해상도 CAMS-OPI 강수에 비해 저위도에서는 예측력의 감소가, 고위도에서는 예측력의 상승이 나타난다. 게다가 MERRA2 고해상도

MME의 예측력은 해양지역까지 포함하기에 극지역 예측력이 상승이 크게 나타난다. 해상도에 따른 예측력 차이의 원인을 파악하기 위해, 관측 자료간의 TCC 차이를 계산하면 MERRA2, CPC 자료가 CAMS-OPI 자료와의 TCC 차이가 예측력 TCC 스킵과 매우 유사하다. 따라서, 강수 예측력의 차이는 관측자료의 변경에서 기인한다. 즉, MERRA2, CPC의 고위도에서의 예측력 상승은 이들 데이터가 고위도에서 CAMS-OPI보다 모델에서의 강수와 더 유사하다는 것을 의미한다

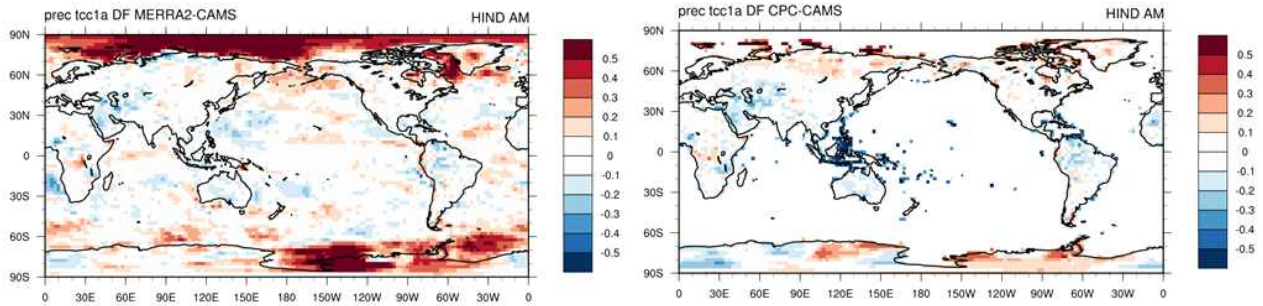


Figure 76. TCC differences between MME\_1A and MME\_2.5 of precipitation. Reference observation data are (left) MERRA2 and (right) CPC for MME\_1A and CAMS-OPI for MME\_2.5

중층 지위고도의 TCC 예측력은 다른 변수들에 비해서도 차이가 크지 않다. 이는 중층에서는 NCEP2과 ERA5 재분석 자료가 유사하다는 것을 의미한다(Figure 77). 다만 남극 지역에서 예측력의 상승이, 남태평양 일부에서 예측력의 하락이 광범위하게 나타난다. 해면기압장은 열대 동태평양 일부 지역에서 상승이, 남극 일부 지역에서 예측력의 하락이 나타난다. 하층 순환장에서는 남극 지역 예측력의 상승이, 그리고 남북방향 바람에서 열대 태평양 일부 지역에서 예측력의 상승이 나타난다. 특히 남극 지역의 예측력 상승은 강수의 예측력 상승과도 연관있는 것으로 판단할 수 있다. 고해상도의 예측력은 저해상도에 비해 예측력이 낮은 곳에서의 예측력 상승이 두드러지는 것으로 요약할 수 있다.

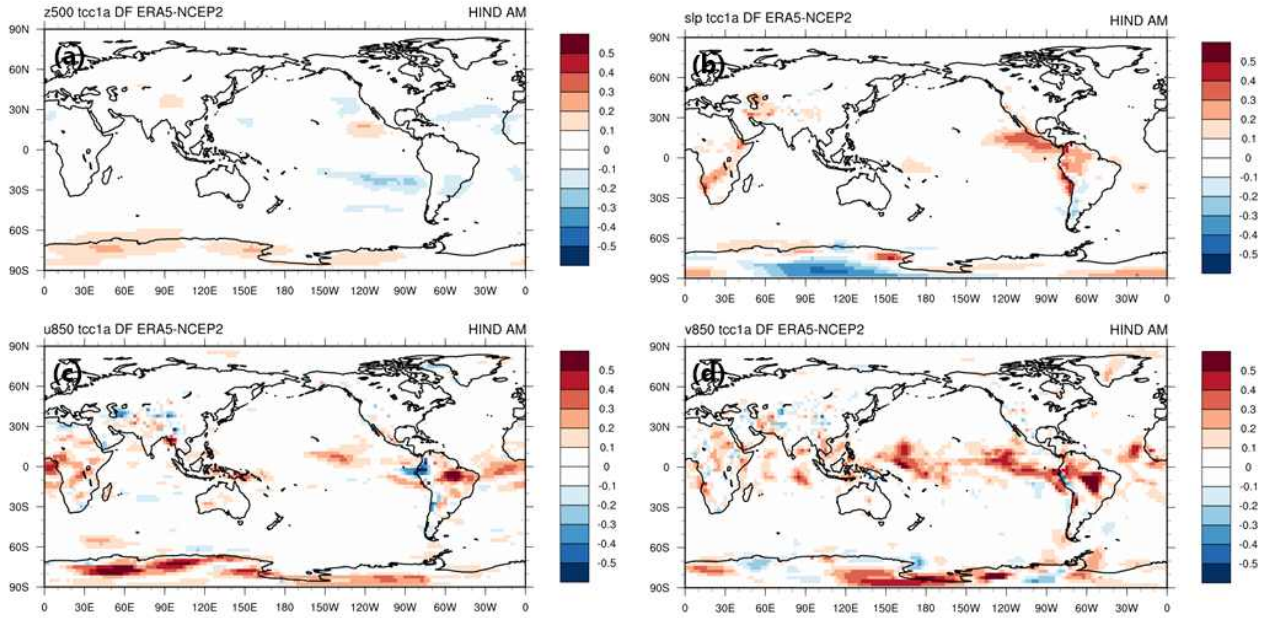


Figure 77. TCC differences between MME\_1A and MME\_2.5 of (a) geopotential height at 500 hPa, (b) sea level pressure, (c) zonal wind at 850 hPa and (d) meridional wind at 850 hPa. Reference observation data are ERA5 for MME\_1A and NCEP2 for MME\_2.5

전구 평균 온도와 강수 TCC 스킬 또한 전반적으로 고/저해상도에 따른 차이가 CPC 강수를 제외하고는 크게 나타나지 않는다 (Figure 78). 변수별로 MME\_1H와 MME\_1A의 단정예측의 TCC 스킬의 차이를 전구 평균하면, 고해상도 온도와 MERRA2 강수의 예측력 상승을, CPC 강수의 하락을 볼 수 있다. 하지만 CPC 강수 검증은 제외하고는 상대적 예측력 차이는 10% 내외로 작다. 또한 MME\_1A가 MME의 효과로 예측력이 더 우수하고 개별모델보다는 MME의 예측력이 우수하다는 것을 볼 수 있는데, 이는 ACC 예측력 비교에서 얻은 결과와 동일하다.

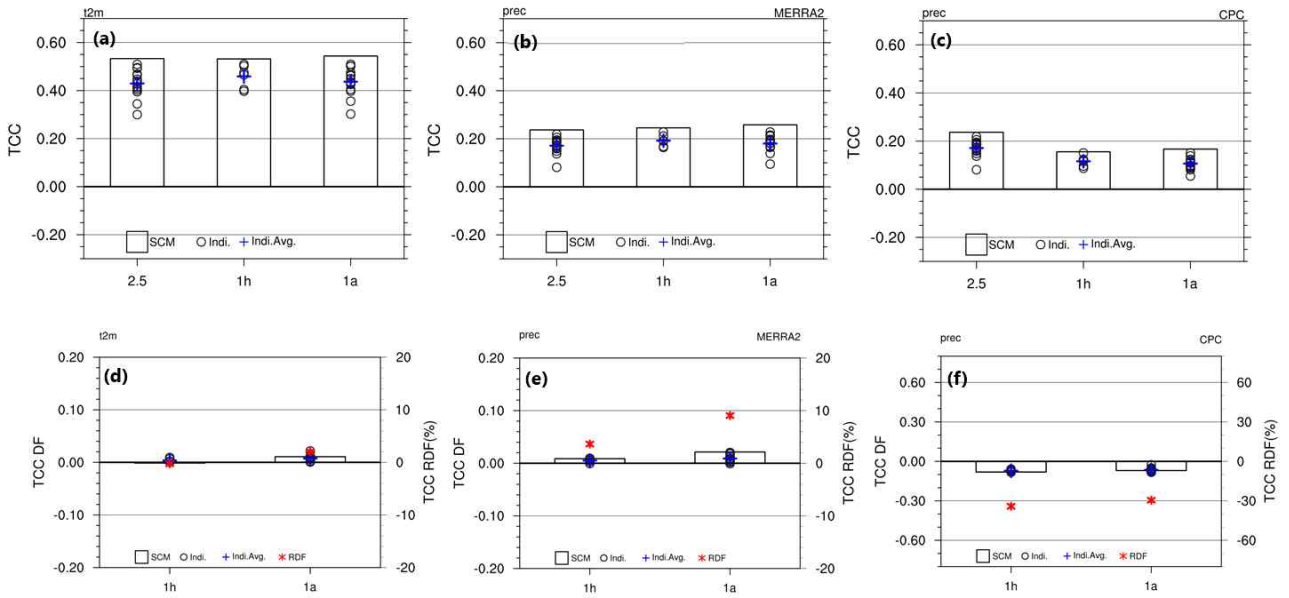


Figure 78. (upper) Global total mean of TCC at each MME set for temperature at 2-meter, precipitation using MERRA2 and precipitation using CPC. Bars are SCM MME TCC skills, and (lower) TCC differences between low and high resolution MME set for each variable.

대기 순환 관련 다른 변수들에 대해서도 전구 평균 TCC 스킬의 고/저해상도에 따른 차이를 살펴보면 전반적으로 중층 지위고도장, 해면기압장, 하층 동서바람은 10% 이내의 차이를 보이고, 하층 남북바람은 20%에 가까운 예측력의 상승이 나타난다. 공통적으로 MME\_1A가 MME\_1H에 비해 예측력이 우수하고, 개별모델의 예측력 평균보다는 MME의 예측력이 더 우수하여, ACC, TCC 모든 변수들에 대해 공통의 특성을 도출할 수 있다 (Figure 79).

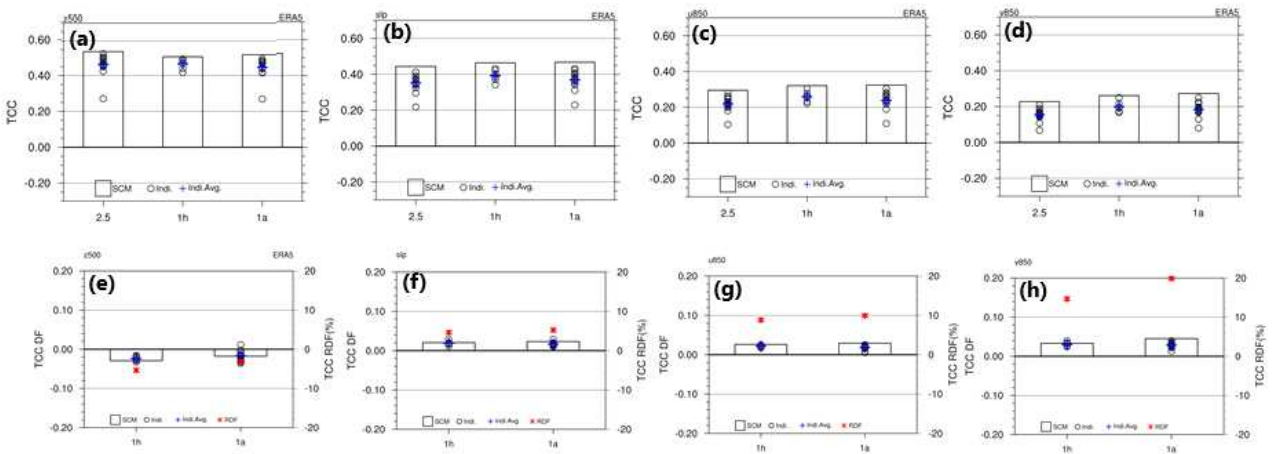


Figure 79. (upper) Global total mean of TCC at each MME set for (a) geopotential height at 500-hPa, (b) sea level pressure, (c) zonal wind at 850 hPa and (d) meridional wind at 850 hPa. Bars are SCM MME TCC skills, and (lower) TCC differences between low and high resolution MME set for each variable

### ③ 확률예측 ROC

확률예측은 단정예측과 더불어 MME 예측정보이고, 역학 예측의 분포를 설명할 수 있다. 확률예측의 ROC 검증은 해상도에 따라 비교하였다. ROC는 각 카테고리별 스킬을 평균한 것이다. 확률예측의 ROC 스킬 또한 단정예측에서 나타나는 역학모델의 예측력 특성과 비교해서 크게 다르지 않다. ROC는 0.5 이상에서 예측정보로서의 의미가 있다 할 수 있겠는데, MME\_1A 온도, 중층 지위고도, 강수, 해면기압장 모두 전반적으로 열대 해양에서 예측력이 높다(Figure 80). 특히 강수와 대기순환장 관련 변수는 육지보다 해양에서 예측력이 더 높으며, 따라서 육지만 검증하는 CPC 강수는 전반적으로 예측력이 높지 않다.

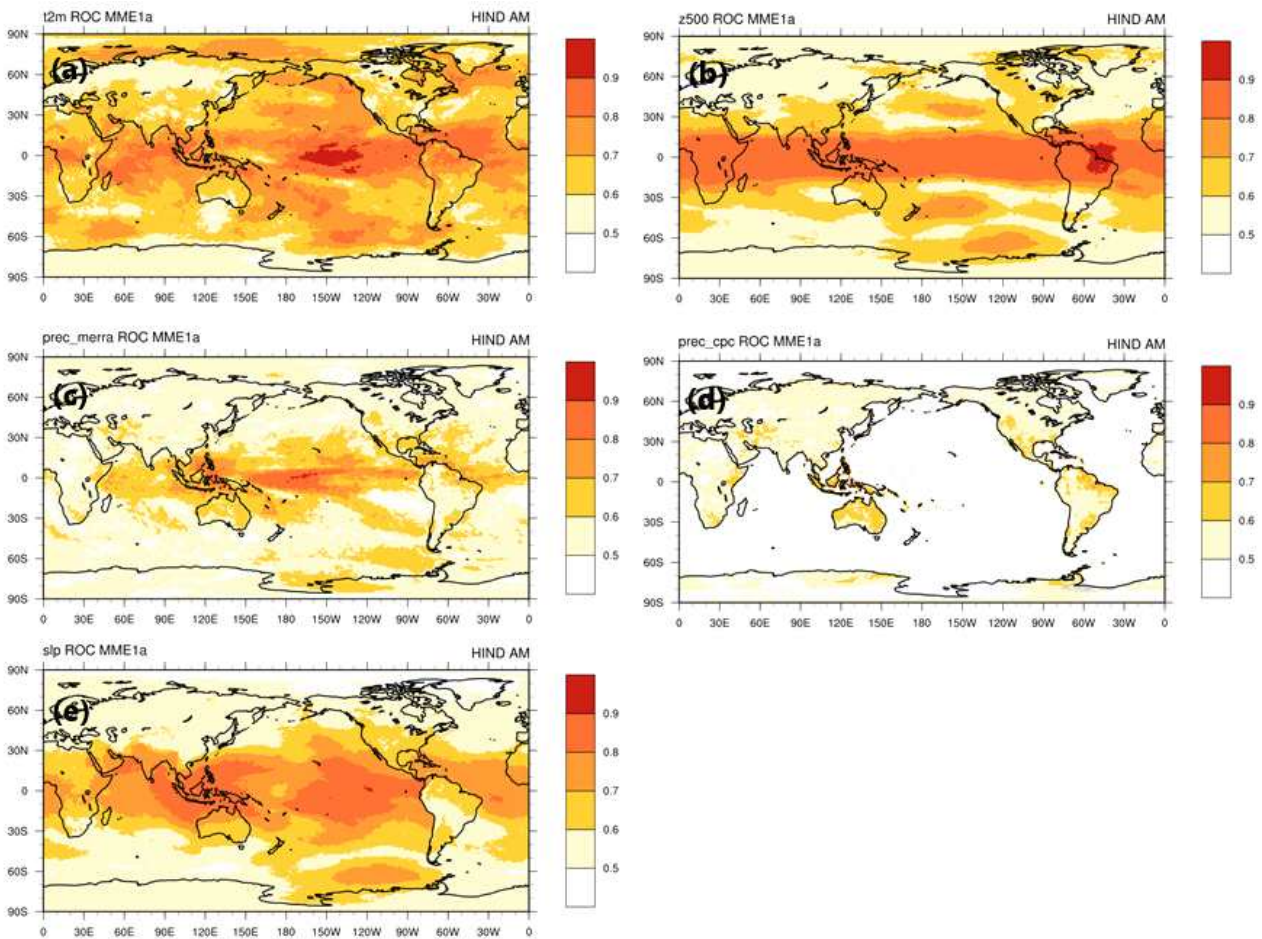


Figure 80. Categorical, total period (1991-2010) mean ROC skills of MME\_1A (a) temperature at 2-meter, (b) geopotential height at 500 hPa. (c) precipitation using MERRA2, (d) precipitation using CPC data for verification and (e) sea level pressure

고해상도와 저해상도의 ROC 차이는 온도의 경우 열대 서태평양에서 고해상도 MME 예측력의 하락이, 남아메리카 안데스 산맥 부근 예측력의 상승이 나타나고, TCC 차이의 공간 분포와도 닮았는데 TCC에 비해서는 예측력의 차이가 작다(Figure 81). 500 hPa 지위고도는 북/남태평양, 남인도양/호주 일부에서 예측력의 하락이 나타나지만 차이는 작다. 강수의 ROC 차이는 단정예측과 마찬가지로 고해상도는 MERRA2, CPC, 저해상도는 CAMS-OPI로 검증하였다. MERRA2는 고위도 지역에서 예측력의 상승이, CPC는 해안지역에서 예측력의 감소가 나타나지만 예측력의 차이가 크지 않다. TCC 스킬과 비교하여도 확률예측은 예측력의 지역별 차이가

크지 않다

전구 평균적으로 ROC의 차이를 비교해보면 온도, 강수(MERRA2), 500 hPa 지위고도, 해면 기압장은 상대적 차이가 5% 내로 매우 작다 (Figure 82. 88) CPC를 이용한 강수 검증은 고해상도의 예측력 하락이 5% 내외로 다른 변수에 비해서는 큰 편이지만, 단정예측의 ACC나 TCC에 비해 매우 작다. 이는 확률예측은 단정예측에 비해 기준 검증 관측데이터의 영향을 덜 받는 것을 의미한다. 차이는 미미하지만 확률 예측에서도 MME\_1H 보다는 MME\_1A의 예측력이 우수하여 다중모델앙상블 기법의 영향이 있음을 확인하였다.

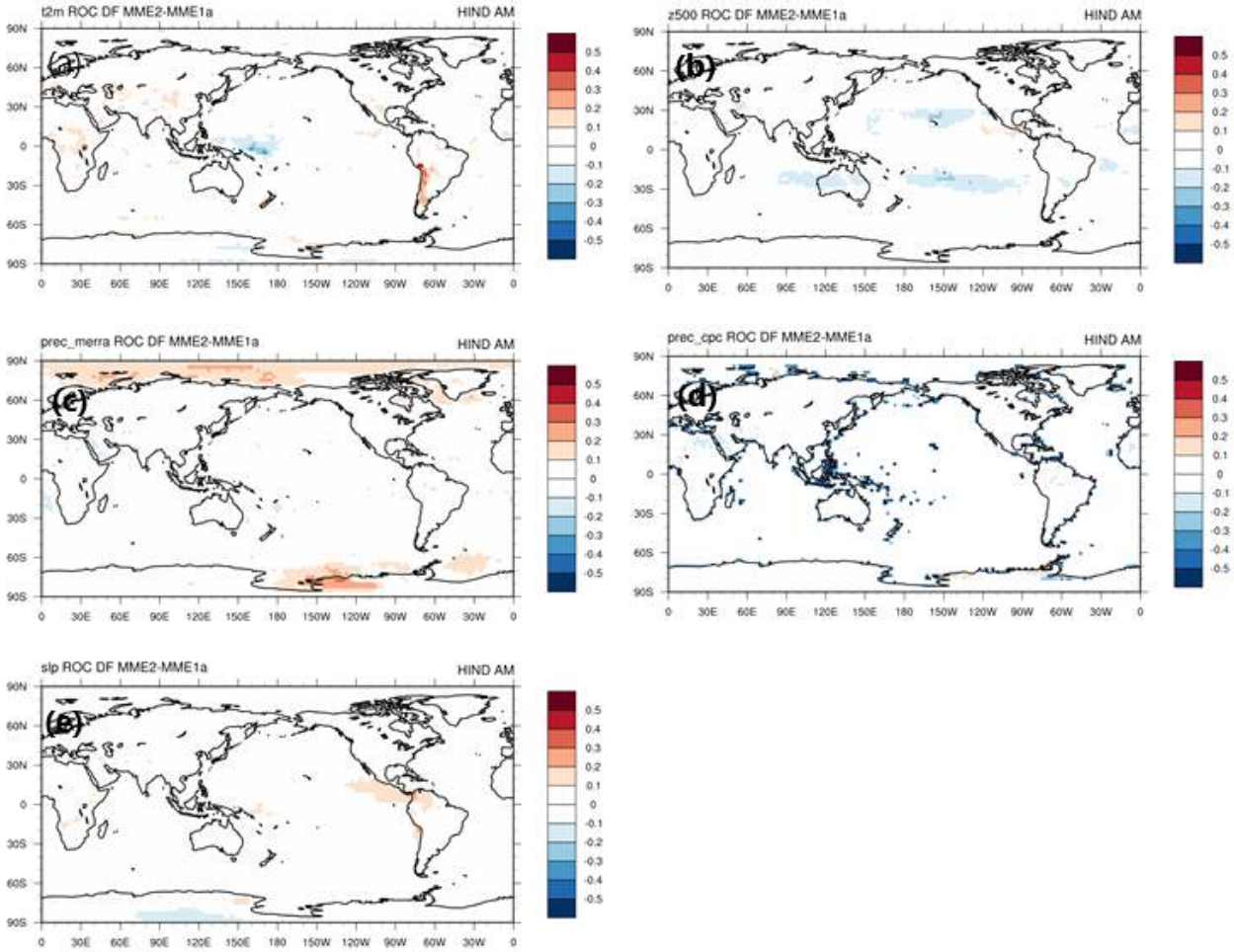


Figure 81. ROC differences between MME\_1A and MME\_2.5 of (a) geopotential height at 2-meter, (b) sea level pressure, (c) precipitation using MERRA2 (d) precipitation using CPC and (3) sea level pressure.

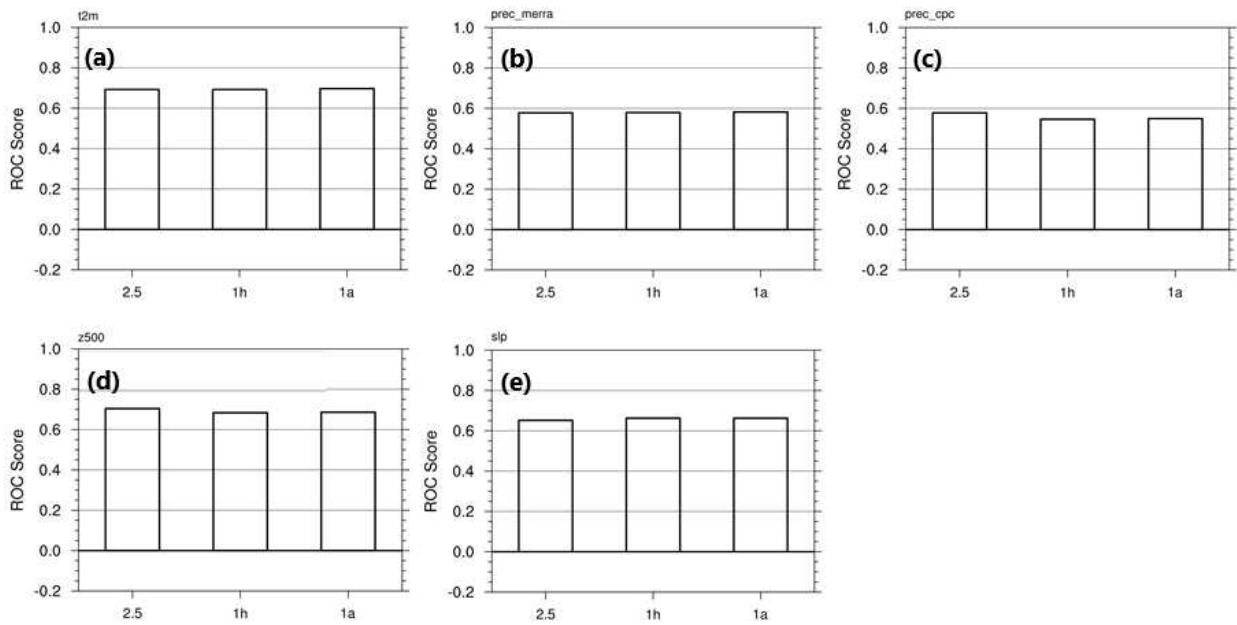


Figure 82. Categorical, total period (1991-2010), global mean ROC skills of MME\_1A (a) temperature at 2-meter, (b) precipitation using MERRA2, (c) precipitation using CPC data for verification (d) geopotential height at 500 hPa, and (e) sea level pressure

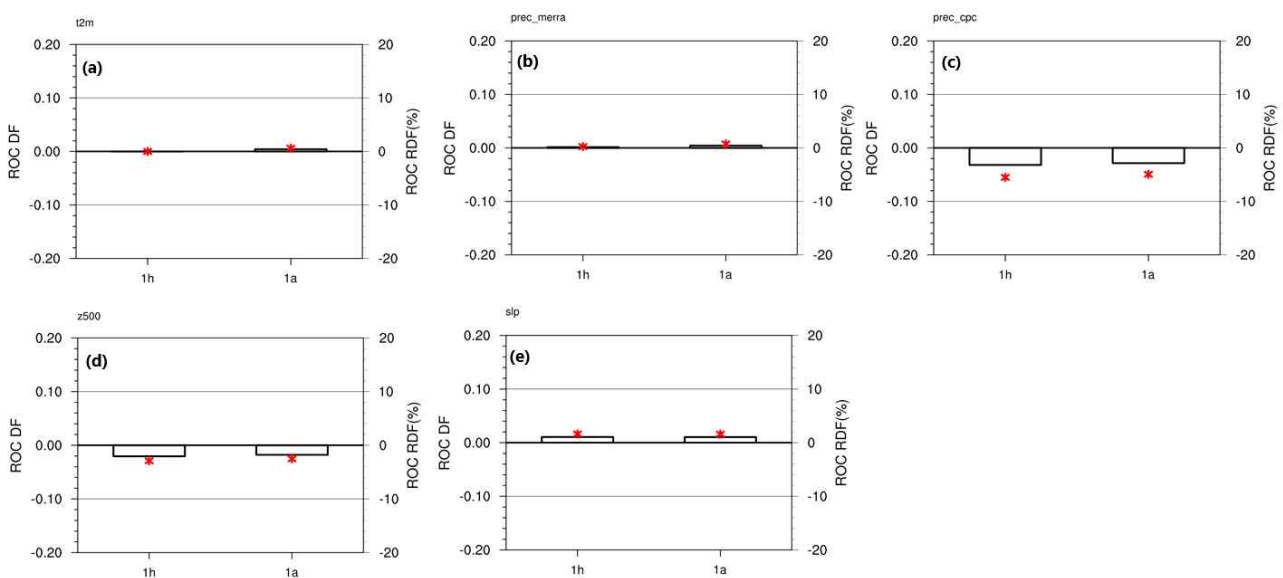


Figure 83. ROC differences between MME\_1H and MME\_2.5; MME\_1A and MME 2.5. (a) temperature at 2-meter, (b) precipitation using MERRA2 for verification, (c) precipitation using CPC, (d) geopotential height at 500 hPa and (e) sea level pressure

#### ④ 실시간예측 단정예측 ACC

과거검증은 모델의 일반적 예측력을 확인할 수 있지만 현재의 예측력과 일치하지는 않는다. 그래서 2020년 저해상도 MME의 실시간예측(real time forecast)의 ACC 스킬을 살펴보았다. 과거검증 ACC 스킬은 1991-2010 평균값이지만 한 해의 실시간예측 스킬은 다년간의 평균값이 아니기에 연도별, 계절별 변동폭이 크고, 해당하는 연도 예측특성의 영향이 있다. 원래의 저해상도 MME의 예측력을 살펴보자면, 2020년 온도의 실시간예측 ACC 스킬(0.47)은 과거검증(0.39) 보다는 예측력이 우수하지만 2019년 실시간예측 스킬(0.55)보다는 작다. 강수의 실시간예측 ACC 스킬(0.42)은 과거검증(0.43)와 유사하며, 2019년 실시간예측 스킬(0.39)보다는 크다(Figure 84).

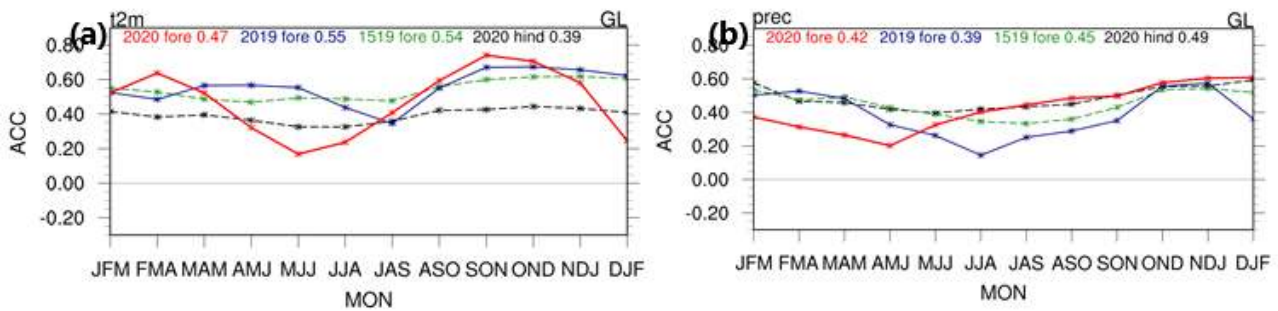


Figure 84. Seasonal global mean real time forecast (2020) ACC skills of MME\_2.5 of (a) temperature at 2-meter and (b) precipitation

저해상도와 고해상도의 ACC 스킬 차이를 살펴보면 온도, 500 hPa 지위고도의 ACC skill은 저해상도에 비해 고해상도에서 상승하고, 강수는 MERRA2, CPC 검증 모두 하락하였다. 강수는 CAMS-OPI를 사용하여 저해상도를 검증하였을 때, 평균 0.42이나, 같은 관측자료, 같은 모델이어도 육지만을 검증하면 스킬이 0.2정도로, 육지에서의 강수 예측력이 떨어지는 것을 볼 수 있다.

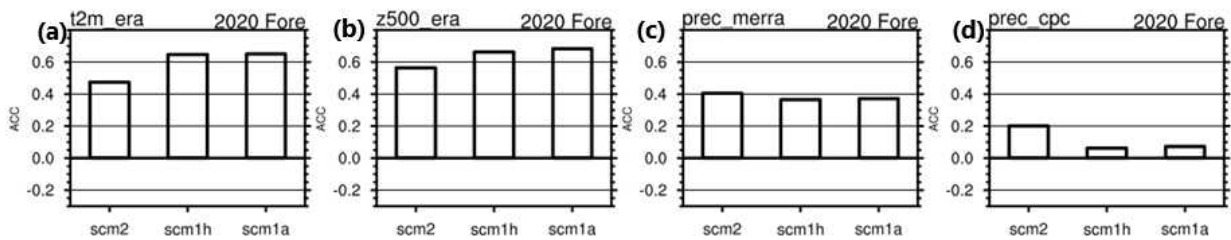


Figure 85. Global annual mean of real time forecast (2020) ACC skills of (a) temperature at 20m, (b) geopotential height at 500 hPa, (c) precipitation verified with MERRA2 and (d) precipitation verified with CPC

실시간예측에서의 예측력 차이는 과거검증과 비교해 보았을 때 크다. 온도, 500 hPa 지위고도는 30% 내외의 예측력 상승이 있고, 강수는 MERRA2를 비교했을 때는 10% 정도 하락하였으나 CPC를 비교했을 때는 40%정도의 큰 예측력 하락을 보여준다(Figure 86). 이는 2020년 재분석자료의 차이로 보여지는데 좀 더 분석이 필요한 부분이다. 또한 여기에서도 MME\_1H 보다

는 MME\_1A의 예측력 향상이 조금이나마 더 높다.

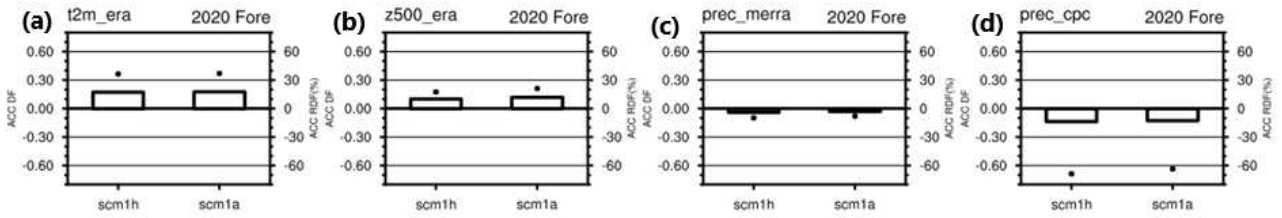


Figure 86. Real time forecast ACC skill differences between MME\_1H and MME\_2.5; MME\_1A and MME\_2.5 of (a) temperature at 2-m, (b) geopotential height at 500 hPa, (c) precipitation verified with MERRA2 and (d) precipitation verified with CPC for MME\_1

## (라) 고해상도 MME의 활용성

고해상도 MME의 전환은 무엇보다 사용자의 높은 요구사항에서 시작된 것이기에 사용자들에게는 활용성이 높을 것이라 예상된다. 고/저해상도의 예측성의 비교에서 변수별로, 검증기법별로 다양한 양상을 보이나 요약하자면 고해상도 MME의 예측정보가 반드시 예측력의 상승을 보이진 않는다. 예측력의 발전을 담보하지 않고 고해상도의 자원을 더 써야하기에 효율성에 있어서는 떨어진다고 할 수 있겠다. 그럼에도 고해상도 MME는 전세계적인 추세를 따라가고 MME의 경쟁력을 확보하기 위하여 그리고 고해상도 개별모델의 정보를 최대한 활용하기 위해서 꼭 필요하다.

무엇보다, 고해상도 MME는 지역 기후예측에 있어 활용할 수 있는 격자수가 확연히 늘어나는데, 한반도를 예를 들자면  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$  저해상도에서는 한반도 포함 격자수가 2개밖에 되지 않으나  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  고해상도에서는 한반도 포함 격자수가 약 15개로 늘어나 좀 더 상세한 예측정보를 사용할 수 있다. 고해상도/저해상도 TCC skill은 격자 정보와 예측력에 대한 정보를 여실히 드러낸다 (Figure 87). 같은 관측자료(MERRA2)를 사용하여 강수를 검증하였을 때 예측력이나 유효한 예측격자 수, 면적에서는 거의 변화가 없고, 활용할 수 있는 격자수는 증가한다. 따라서 고해상도의 장점은 무엇보다 활용성이라 하겠다.

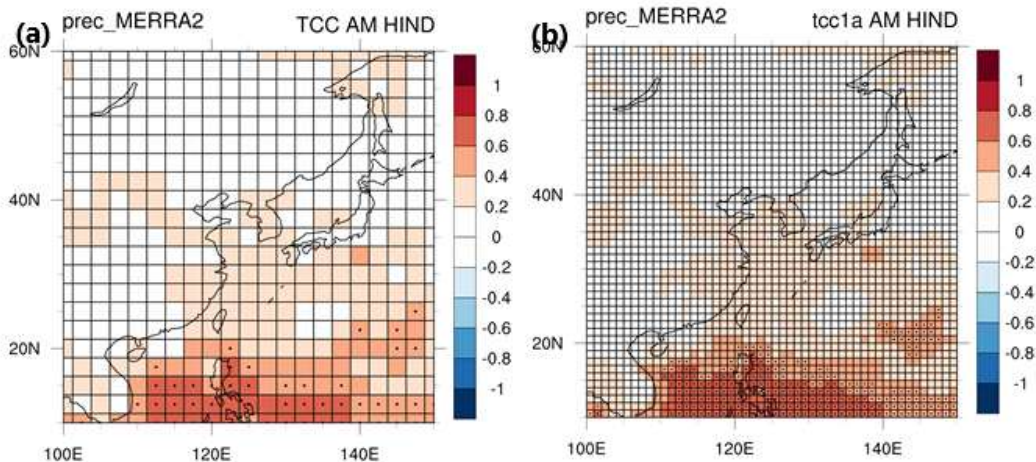


Figure 87. DMME TCC skills of precipitation from (a) MME\_2.5 and (b) MME\_1A over East Asia during total period (1991-2010) verified with same MERRA2. Low resolution MME is also verified with regrided MERRA2 data

한반도 온도가 따뜻하였던 2007년 2월 고해상도 온도 관측장, MME\_1A 예측장, 저해상도 MME\_2.5 예측장을 비교하면, 고해상도와 저해상도 MME는 예측 정보가 높은 예측력을 담보하지는 않지만 좀 더 정교한 예측 정보를 얻을 수 있다(Figure 88).

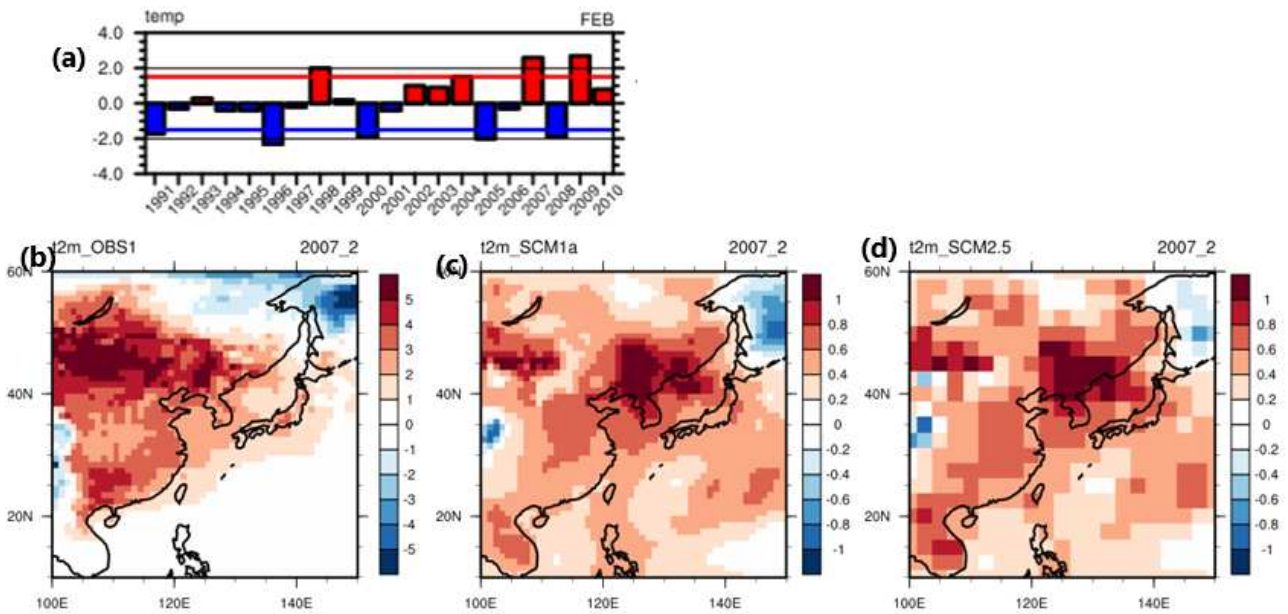


Figure 88. (a) Time series of South Korea February temperature monthly anomalies, (b) ERA5 temperature anomalies at 2-m observation, (c) MME\_1A forecast of temperature anomalies and (d) MME\_2.5 forecast anomalies at Feb 2007

태평양 도서국 또한 APCC MME의 계절예측정보를 꾸준히 활용하고 있는 사용자 중 하나이다. 하지만 이들 지역은 태평양에서 작은 섬이 흩뿌려져 있는 곳이 많기에 고해상도 MME 예측정보를 꾸준히 요구하고 있는 사용자이기도 하다. 고해상도 MME를 제공한다면 특히 태평양 도서국에서도 활용성이 증대되리라 기대한다.

태평양 도서국에 큰 영향을 끼치는 엘니뇨가 강했던 1997년 DJF 시기, 관측, 고해상도, 저해상도 온도와 강수의 예측장을 비교하면 예측 패턴이나 예측력에 있어서는 큰 변화가 없으나 고해상도에서 좀 더 정교한 예측정보를 얻을 수 있다 (Figure 89).

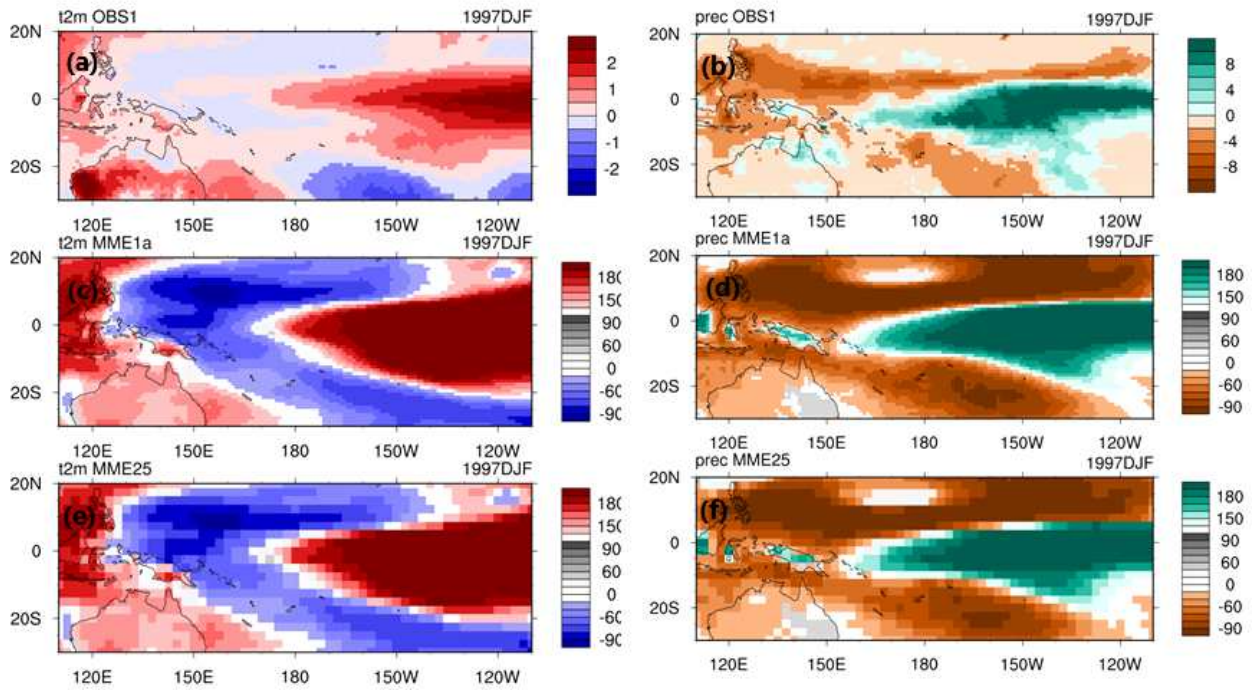


Figure 89. 1997 DJF tropical Pacific observation of (a) temperature (ERA5) and (b) precipitation (MERRA2), MME\_1A PMME forecast of (c) temperature and (d) precipitation, and MME\_2.5 PMME forecast of (e) temperature and (f) precipitation

## 라. 예측정보 조기제공 시스템 기반 구축

APCC MME 참여하는 개별모델(Table 28, Figure 90) 및 MME 계절예측정보를 제공하는 유수 현업기관(Table 29)의 현황 비교를 통해 APCC 계절예측정보 조기제공을 위한 2가지 방안의 연구 계획을 수립하였다.

Table 27. Early release of APCC MME in 2 ways

<p>[1안] 개별모델 예측자료 수집시기에 따른 MME 예측력 비교평가</p> <p>→ 1개월 리드 예측정보 조기제공 가능성 분석(20일→중순 경)</p> <p>※ 기상청 예보(사업본부 예보토의) 시점 고려</p> <p>[2안] 개별모델 예측자료 리드타임에 따른 예측력 비교평가</p> <p>→ 0개월 리드 예측정보를 활용한 조기제공 가능성 분석</p>
---

Table 28. APCC participating models and information

참여 기관 및 모델		초기조건	APCC 제공	제공시점	기타
APCC	SCOPS	매월 1, 5일	L1-L6 (6개월)	11-13일	1T
BCC	CSM1.1m	매월 1일	L1-L6 (6개월)	12-15일	1T
BOM	ACCESS-S1	매월 1일	L1-L5 (5개월)	3-5일	1T
CMCC	SPS3	매월 1일	L1-L5 (5개월)	10-13일	1T
CWB	TCWB1Tv1.1	매월 15일 전후 30일 (-1M)	L2-L7 (6개월)	3-8일	1T
HMC	SL-AV	매월 23-27일 (-1M)	L2-L4 (3개월)	10-15일	2T
JMA	MRI-CPS2	매월 중순-말까지 5일 간격 (-1M)	L2-L4 (3개월)	10-15일	1T
KMA	GloSea5GC2	매일 (3주전부터)	L1-L6 (6개월)	10-15일	1T
METFR	MFSys7	매월 1일, 전월 2주 목요일 (-1M)	L2-L6 (5개월)	14-15일	1T
MGO	GMOAM-2	매월 1-2일	L1-L3 (3개월)	5-15일	2T
MSC	CanSIPsv2	매월 마지막 날	L1-L11 (11개월)	3-5일	1T
NASA	GEOS-S2S-2.1	매월 10,15, 20, 25일 (-1M)	L2-L9 (8개월)	5-10일	1T
NCEP	CFSv2	이전 달 최근 5일 (-1M)	L2-L7 (6개월)	5-8일	1T
PNU	CGCMv2.0	매월 초-중순	L1-L6 (6개월)	15일	1T
UKMO	GloSea5	매월 초	L1-L5 (5개월)	12-15일	1T

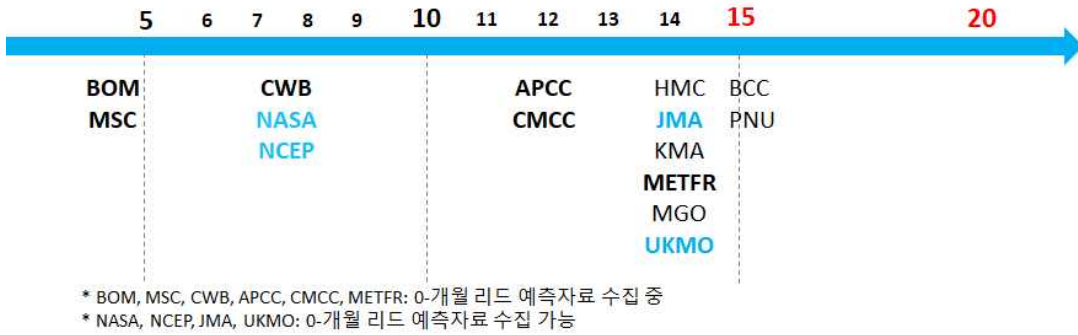


Figure 90. APCC MME participating models collect time and lead time

Table 29. APCC and other institutes MME forecast information

	제공시기/ 예측기간	Hindcast 기간/ 수령 해상도	참여 국가/ 기관/모델 수	예측 공간 범위	예측변수	예측기법	참고
APCC	20일/L1~L6	1991-2010 /2.5°	12/15/16*	전구, 8개 지역	T2M, PREC, T850, Z500, SLP, UV850, UV200, SST, Nino, IOD, ENSO 경보및강도확률	확률예측(가중치), 단정예측(단순평균)	• Nino, ENSO 경보 및 강도 예측; + JAMSTEC
WMO	15일/L1~L6	1993-2009 /2.5°	13/13/14*	전구, 9개 지역	T2M, PREC, T850, Z500, SLP, UV850, SST, Nino	(APCC 기법과 동일)	
NMME	9일/L1~L7	1982-2010 /1°	2/5/7*	전구, 북미	T2M, PREC, Nino (preview: Z200, Tmax, Tmin)	단정예측(단순평균)	• Nino 3.4 Plume 2가지 정보 제공(original, amplitude- corrected) • Experimental: 확률예측, calibrated 단정예측 • 예측자료 제공: L0~L7
IMME	9일/L0~L5	1982-2010 /1°	3/3/3	전구, 북미	T2M, PREC, Nino	단정예측(단순평균)	• Nino 3.4 Plume: + DWD, UKMO, CMCC (L0~L5)
C3S	13일/L1~L6	1993-2016 /1°	7**/7/7	전구, 12개 지역	T2M, PREC, T850, Z500, SLP, UV10, SST, Nino	Calibrated 확률 및 단정예측(단순평균)	
IRI***	15일/L1~L6	(NMME 모델 정보와 동일)		전구, 9개 지역	T2M, PREC, Nino, ENSO 확률	Re-Calibrated 확률 예측	• ENSO 확률예측 2번 제공 - 공식예보: 10-15일경, 모델 자료+해석(L1~L7) - 객관예보: 15-20일경, 통 계+역학모델자료(L0~L8) (Nino 3.4 Plume 동일)
BoM****	12일 /L1~L5	-	Nino: 7**/8/9* IOD: 7/6/7*	-	Nino, IOD, ENSO 경보	단정예측(단순평균)	• Nino, IOD 예측 2번 제공 - 월조(중): L0-L4 - 월말: L1-L5

\* MSC 2개 모델 참여(CanCM4i, GEM\_NEMO)

\*\* ECMWF 따로 국가로 표시함

\*\*\* 자체 모델 생산 중단, NMME 모델 활용(2017년 4월~)

\*\*\*\* Nino, IOD 에 대해서 MME 예측정보 제공(BoM 모델을 활용한 호주지역 기온, 강수 등의 정보는 표에 포함하지 않음)

## (1) 모델수집 알림 및 전처리 시스템

### (가) 개별모델 예측자료 수집 알림 시스템

APCC는 11개국 15개 계절예측 현업 기관의 협조를 통해 매월 기관(모델)별 예측자료를 수집하고 있다. 이 중 8개 기관(APCC, BCC, CMCC, CWB, HMC, KMA, MGO, PNU)은 APCC ftp 서버에 예측자료를 직접 업로드하며, 나머지 7개 기관(BoM, JMA, MetFR, MSC, NASA, NCEP, UKMO)은 특정 ftp 서버 등에 업로드하여 담당자가 해당 경로에서 직접 다운로드 하는 방식으로 이루어진다. 기관별로 예측자료의 제공 방식이 상이함에 따라 담당자는 수동적으로 자료 수집을 수행하고 있으며, 자료 수집 시기에 담당자가 해당 수집 경로를 수시로 모니터링하여 자료 여부를 판단한다. 그러나 이는 현실적으로 근무일에 한정하여 수행이 가능하며, 주말이나 공휴일에 예측자료가 업로드되는 경우 해당 시간만큼 작업 시간이 지연되는 실정이다. 또한, 담당자가 예측자료를 실시간으로 모니터링 하는데 어려움이 있다 보니 자료 제공/수집 시기에 대한 이력 관리가 명확하지 않으며, 전체 자료의 정상 수집 여부 또한 육안으로 판단하는데 한계가 있다. 이에, 개별모델별 예측자료의 특성 및 파일명 등을 분석하여 자료 수집 방식에 따라 개별모델 예측자료 수집 알림 시스템을 구축하였다.

먼저, 본 시스템을 구축하기 위하여 개별모델별 자료 수집 방식 및 환경을 파악하였다. 참여기관에서 직접 업로드하여 주는 경우와 담당자가 직접 다운로드 해야 하는 경우는 각각 자료 수집 서버(ftp)를 달리 운영하고 있으며, 직접 다운로드 해야 하는 경우는 각 개별모델별로 자료 수집 쉘 스크립트를 작성하여 운영하고 있다. 다음으로 15개 개별모델의 자료 제공 형태(디렉토리 구조, 파일명, 파일 수 등)를 분석하여 이를 list-up 하였다. 참여기관에서 직접 업로드하여 주는 경우는 incron 프로그램을 활용하여 분석된 내용을 기반으로 해당 예측정보 시간에 대한 지정된 디렉토리(실제 업로드 위치)에 자료의 생성(전송) 여부를 감지하도록 하고, list-up된 파일명과 파일 수가 일치하면 메일링 시스템을 활용하여 등록된 담당자에게 수집 결과(수집 시 'O', 미수집 시 'X')와 함께 알림 메일을 발송하도록 하였다. 이와 유사하게 담당자가 직접 다운로드 해야 하는 경우는 지정된 디렉토리에 자료 여부를 파악하고, 자료 수집이 되지 않은 경우 자료 수집 쉘 스크립트를 주기적으로 수행하도록 하였다. 또한, 쉘 스크립트로 다운로드된 파일 리스트와 list-up된 파일명 및 파일 수를 상호 비교하여 정상 다운로드 여부를 분석하고 전부 일치하면 담당자에 메일을 발송하도록 하였다 (Figure 91-**1**, **2**, **3**).

이를 통해 담당자의 별다른 작업 없이도 자료 수집 여부를 감지하고 알림으로써 담당자가 수동적으로 자료 수신 모니터링하는 과정을 단축시키고, 더욱 생산적인 업무를 수행할 수 있게 되었다. 단, 개별모델의 변경 및 신규 도입이 되는 경우 예측 자료의 특성 분석을 추가적으로 수행하여 시스템에 반영해주어야 한다.

### (나) 개별모델 전처리 자동화(연계) 시스템

기존의 개별모델 계절예측자료의 전처리 과정은 담당자가 직접 자료 수집 여부를 파악한 뒤 각 모델별로 수동적으로 처리하여 왔다. 이러한 문제로 2020년 기완료한 통합 AFS 시스템은 전처리 과정을 제외하여 구성되었으며, 여전히 전처리 과정은 자동화(일괄 처리)가 되지 않아 시간적·물리적 효율성의 제고가 지속적으로 제기되어 왔다. 특히 제공 기관 국가간 지역적

시차로 대한민국 시간(KST) 기준 업무 외 시간에 자료 전송 및 수집이 된 경우 최소 다음 업무 시작 시간까지 불가피한 처리 지연이 발생되며, 주말이나 공휴일이 포함된 경우에도 동일한 문제가 발생하는 실정이다. 이는 예측정보의 조기제공에 주요 장애 요소라 할 수 있다.

위의 문제를 해결하기 위해 위의 ①에서 소개한 개별모델 예측자료 수집 알림 시스템과 연계하여 전처리 자동화 시스템을 구축하였다. 우선, ①에서의 개별모델 예측자료 수집 알림 시스템은 개별모델 예측자료가 수집 완료되는 즉시 담당자에 처리 결과를 이메일로 발송하고, 전처리 시스템이 위치한 현업 서버(AFS 서버)에 수집 완료 신호(flag) 파일을 전송하게 된다. 이후 본 시스템은 현업 서버 내 수집 완료 신호 파일 감지 프로그램(crontab/incron)을 통해 신호 파일을 감지하고, 해당 모델에 대한 전처리 프로그램을 사용자의 별도 입력/작동 과정 없이 수행하게 된다. 이러한 방식을 도입하기 위해 15개 개별모델의 전처리 프로그램에 대하여 서버 내 시간 정보를 기반으로 파일명 및 소스 코드 등의 별도 수정 없이 한 번의 작업으로 실행할 수 있도록 개선하는 작업이 선행되었으며, 최종적으로 본 시스템을 통해 담당자는 전처리된 예측자료의 품질 평가만 수행하여 다중모델이상률 참여 여부를 결정하면 된다 (Figure 91).

이로써 개별모델 예측자료 전처리 또한 담당자의 별도의 수정 없이 일괄적으로 처리되는 체계를 마련하였으며, 개별모델 특성에 따라 모델별로 상이하긴 하지만 통상적으로 평균 2~3회의 물리적 작업 단계를 단축하고, 업무 시간 외에도 상시로 자료 수집 및 즉각적인 전처리가 수행됨에 따라 시간적인 작업 효율성(최대 2~5일 단축) 또한 크게 증진되었다. 이를 통해 궁극적으로 후술할 MME 계절예측정보의 조기제공에 큰 기여를 할 것으로 기대한다.

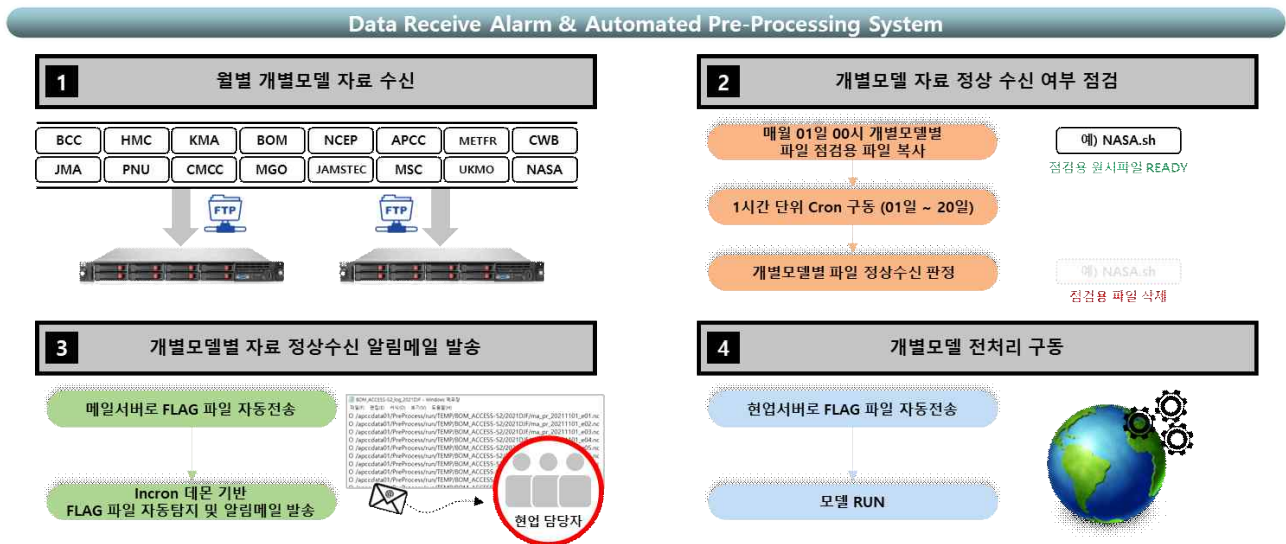


Figure 91. The structure of data receive alarm and automated pre-processing system process.

## (2) 개별모델 자료 수집 시기에 따른 MME 조합 예측정보의 예측력 분석

### (가) 실험 설계 및 분석 방법

현재 APCC MME에 참여하는 개별모델의 예측정보 수집시기를 고려한 3가지 실험(MME\_All, MME\_20, MME\_15) 및 대기-해양 접합모델만 활용한 추가 실험(MME\_20-2T) 설계하여 각 실험에 대한 단정(deterministic) 및 확률(probabilistic) MME 생산하였다(Table 30).

- 자료: 20년 Hindcast 기간(1991-2010)동안의 매월 3개월 계절 평균
- 방법: MME\_20(APCC 공식예보) 대비 각 실험에 대한 예측력 비교평가

※ 객관적인 결과도출을 위해 다양한 검증기법 및 통계기법 활용(Table 31)

Table 30. Experiment on collection date of APCC MME participating models

실험	참여모델	참여모델 수	비고
<b>MME_All</b>	APCC, BCC, BOM, CMCC, CWB, HMC, JMA, KMA, METFR, MSC, NASA, NCEP, PNU, UKMO	14개	모든 모델 참여 → 이론적 MME
<b>MME_20</b>	APCC, BOM, CMCC, CWB, HMC, JMA, KMA, METFR, MSC, NASA, NCEP, PNU, UKMO	13개	20일 예측정보 제공 (BCC 제외) → 현실적 MME
<b>MME_15</b>	APCC, BOM, CMCC, CWB, HMC, JMA, KMA, METFR, MSC, NASA, NCEP, UKMO	12개	15일 예측정보 제공 (BCC, PNU 제외) → 조기제공을 위한 모델참여
<b>MME_20-2T</b>	APCC, BOM, CMCC, CWB, JMA, KMA, METFR, MSC, NASA, NCEP, UKMO	11개	15일 예측정보 제공(HMC 추가 제외) → 1-tier 모델만 참여

\* 2020년 APCC 공식 실시간 MME 참여모델 고려한 현실적인 조합

Table 31. Analysis methods to examine the MME forecast skill

검증기법	단정예측: ACC, RMSE, TCC 확률예측: ROC curve/score, reliability diagram, HSS, BSS, RPSS
검증변수	T2M, PREC, Z500, SST
검증자료	1991-2010 Hindcast 매월 3개월 계절평균(12계절) 및 11개 지역(전구, 적도, 남/북반구, 동/남아시아, 북/남미, 오스트리아, 오스트리아+남태평양, 북유라시아)
통계적	TCC 예측력 차이: Z-score
유의성 검정	ROC/HSS/BSS/RPSS 예측력 차이: Monte-Carlo 실험

### (나) 개별모델 및 DMME/PMME 예측력 평가

개별모델 및 DMME/PMME 예측력 평가를 위해 변수별/지역별/계절별 전반적인 예측력 평가를 하였다(Figure 92, 93, 94. 이를 통해 Table 32과 같은 사실을 확인할 수 있다.

Table 32. Forecast skill of individual models and MME/PMME

✓ 개별모델에 비해 MME 예측력이 높게 나타나며(Palmer et al. 2004; Kirtman and Min 2009; Wang et al. 2009), 확률예측에서 MME 장점이 두드러지게 나타남(Dobals-Reyes et al. 2000; Hagedorn et al. 2005; Alessandri et al. 2011; Yang et al. 2016).

✓ 예측정보 제공 시기가 늦거나 실제 현업에 활용되지 못하고 있는 모델(PNU, BCC)의 경우 타 모델의 평균 예측력 또는 그 이하의 예측력을 보이고 있음

✓ 특히, APCC 실시간 MME 예측 참여 모델 중 유일한 2-tier 모델인 HMC의 경우 예측력이 없는 것으로 나타남

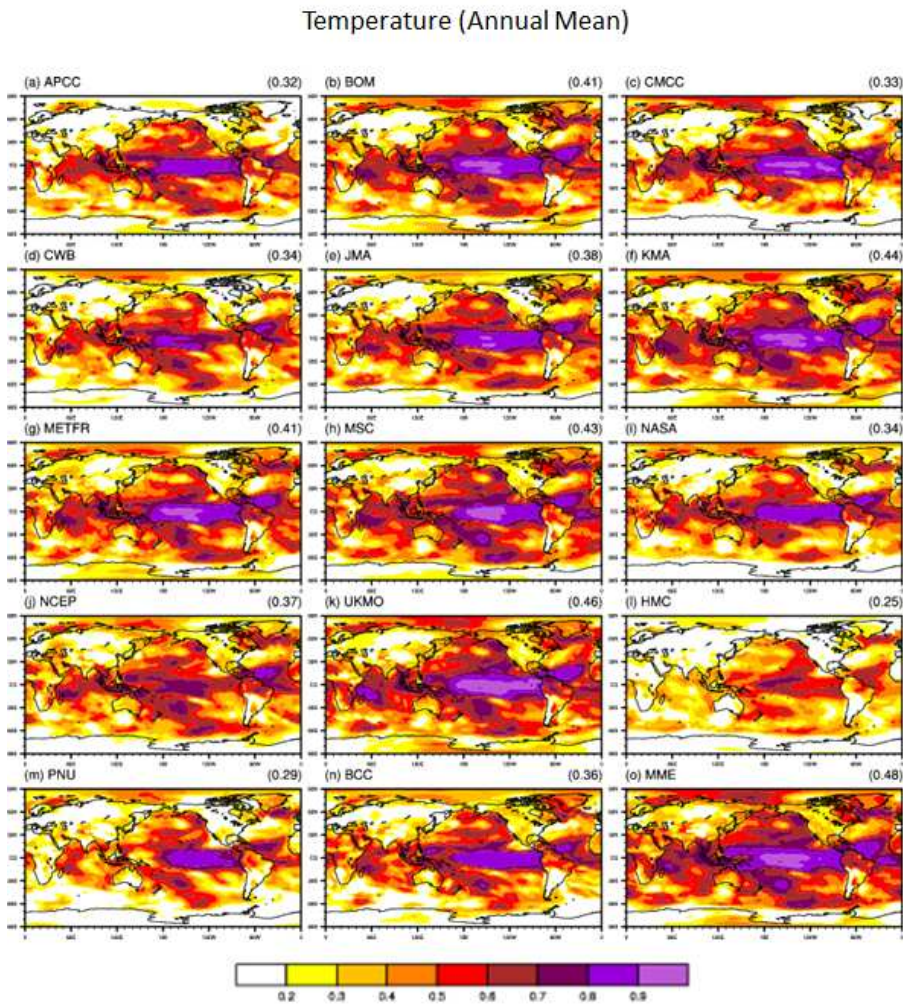


Figure 92. 12-month averaged seasonal TCC skills of individual models and DMME

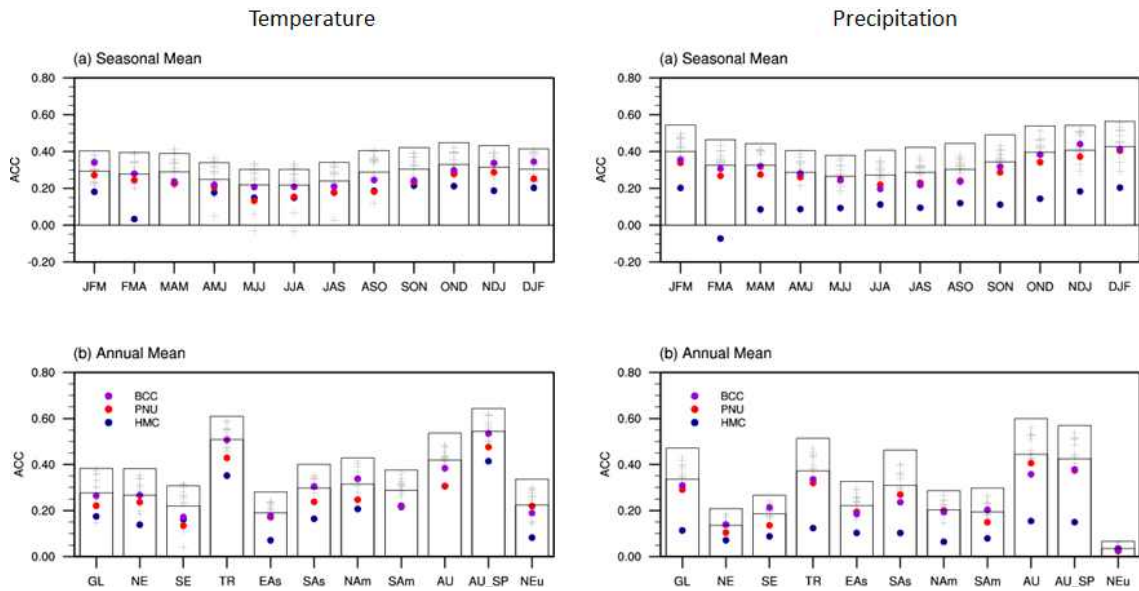


Figure 93. Seasonal and regional temperature and precipitation ACC of individual models and DMME (bar). Purple, red, blue dots are non-participating models (BCC, PNU, HMC); and grey are rest participating models and blue line is averaged ACC skills of individual models

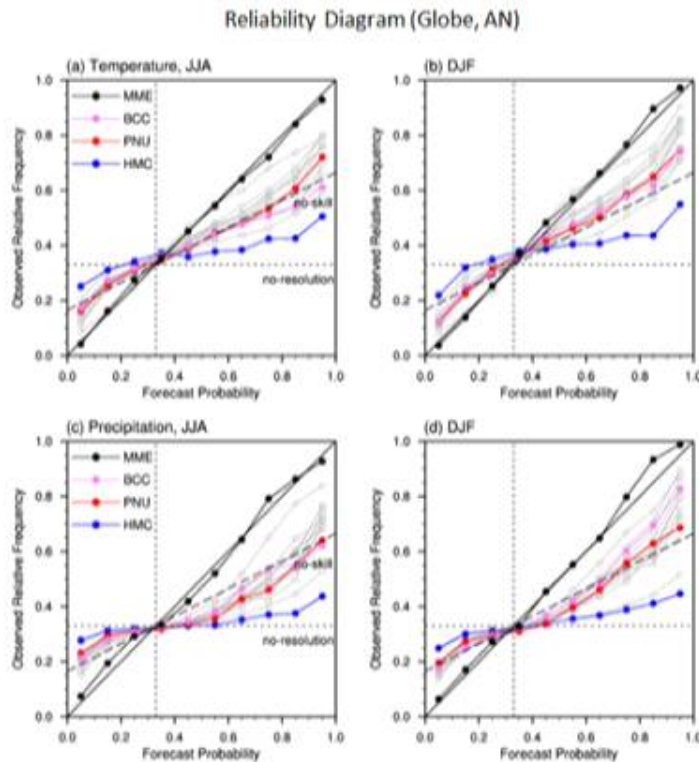


Figure 94. Above-normal category reliability diagram of temperature and precipitation of individual models and PMME (black) for summer and winter. Purple, red, blue are non-participating models (BCC, PNU, HMC) and grey are rest individual models

(다) 예측정보 제공시기에 따른 MME 예측력 평가

APCC 공식 예보 대비 예측정보 제공시기에 따른 MME 예측 평가 결과는 다음 Table 33와 같다.

Table 33. Forecast skill comparison to APCC public forecast (MME\_20)

√ 3개 실험 모두 12계절 평균 예측력 차이(DF)는 대부분 지역에서 ± 0.1 이하로 통계적으로 유의하지 않으나(MC test p-value: 0.2, 모든 변수/계절 동일) 전반적으로 미비하지만 대부분 지역/계절에서 예측력 상승을 보임(Figure 95,96)

- MME\_All: 다양한 모델 참여→MME 예측력 향상
- MME\_15: 조기제공으로 인해 예측력이 낮은 모델 제외→MME 예측력 향상
- MME\_15-2T: 예측력이 낮은 2-tier 모델 제외→MME 예측력 향상

√ 조기제공 및 2-tier 모델이 제외된 실험의 일부지역에서 상대적인 예측력 차이(R\_DF)가 4% 이상 보이기는 하나 대부분 예측력이 상당히 낮거나 없는 지역으로 그 의미가 크지 않음(통계적으로도 유의하지 않음)

√ 확률예측과 동일한 결과를 결정예측에서도 보임. 단, MME\_15-2T 실험의 극히 일부지역/계절 강수에서 예측력 차이가 유의한 결과를 보였으나(Figure 97) 일반적인 결론을 내리기는 어려움(unstable). 또한 해수면 온도 및 지위고도의 경우 기온 및 강수에 비해 예측력 차이는 미비함

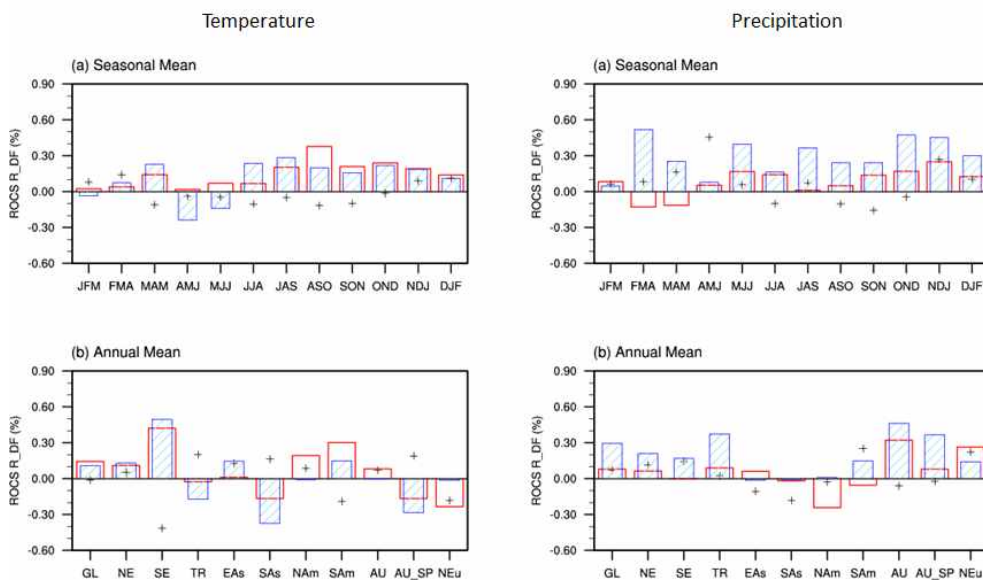


Figure 95. Seasonal and regional ROC Score relative differences (%) for (left) temperature and (right) precipitaton

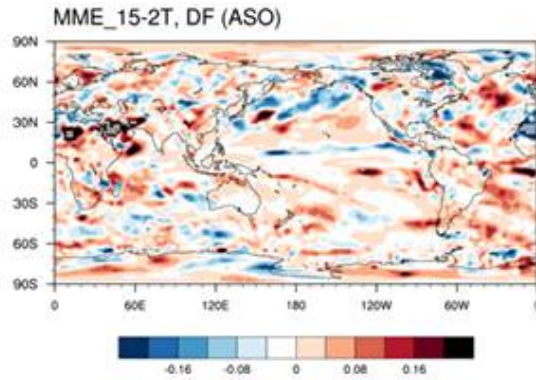


Figure 96. Absolute TCC differences between MME20 and MME15-2T in ASO season. White dots are significant at 20% confidence level

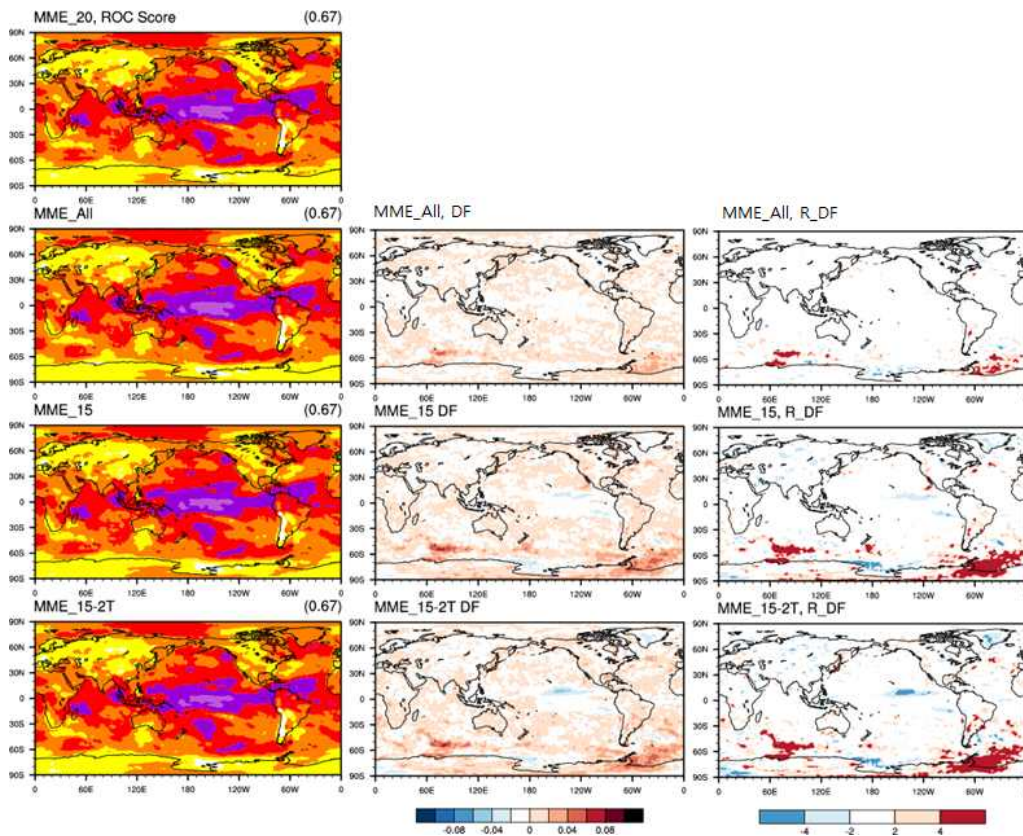


Figure 97. Total period mean (Left) ROC Scores, (middle) differences of ROC and (right) relative differences of ROC of four PMME set versus MME20

예측정보 조기제공(MME\_15)에 따른 예측력 차이(예, ACC 0.5%)의 상대적 비교를 위해, 동일기준의 기존 연구결과와의 비교 한 결과, 예측력의 차이는 상당히 미비한 것으로 나타난다 (Figure 98).

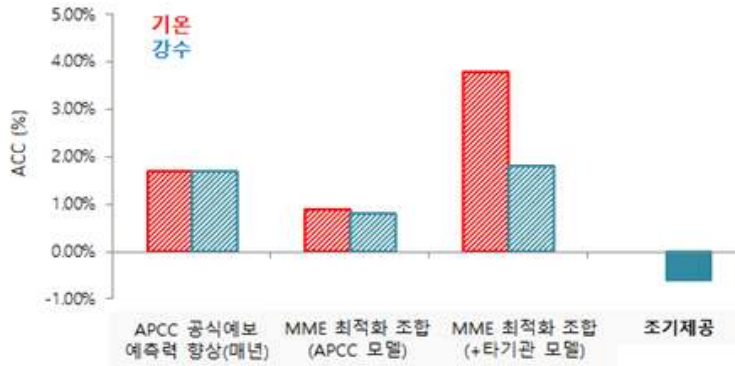


Figure 98. Global mean relative differences of ACC (%) of temperature and precipitation comparing other experiment (1991-2010 hindcast, 12 season mean)

예측정보 조기제공을 위해 상대적으로 예측력이 낮은 모델이 MME에 미 참여하면서 참여 모델 수는 줄지만 참여모델의 평균 예측력은 상승한다(Figure 99, . 하지만 MME의 경우, 기존 20일 공식예보와의 절대적인 예측력 차이가 통계적으로 유의하지 않으며, 상대적 예측력 차이 또한 검증기법에 따라 1~2% 미만으로 나타난다. 추가적 실험(MME\_15-2T)을 통해 1-tier 모델만 활용한 경우 예측력 상승이 일부 지역/계절에서 두드러지긴 하나 unstable 한 결과를 보이며, 모든 모델이 참여하는 이론적인 MME\_All의 경우 예측력의 변화가 stable한 것으로 나타났다.

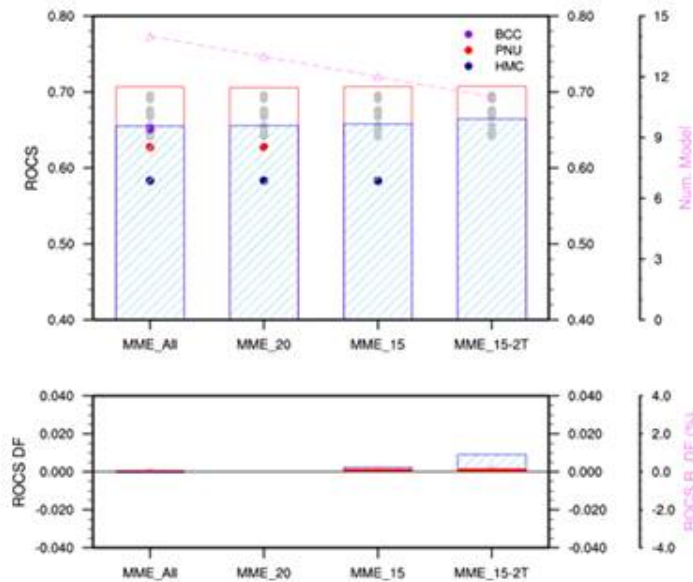


Figure 99. (upper) APCC PMME ROCs for each MME experimental set and public MME (blue: individual model ROC, red: PMME ROC, pink: number of participating models). (lower) Differences of ROCs of MME set versus public MME (blue: individual model mean, red: MME, pink: relative ROCs) (1991-2010 hindcast, 12 season mean)

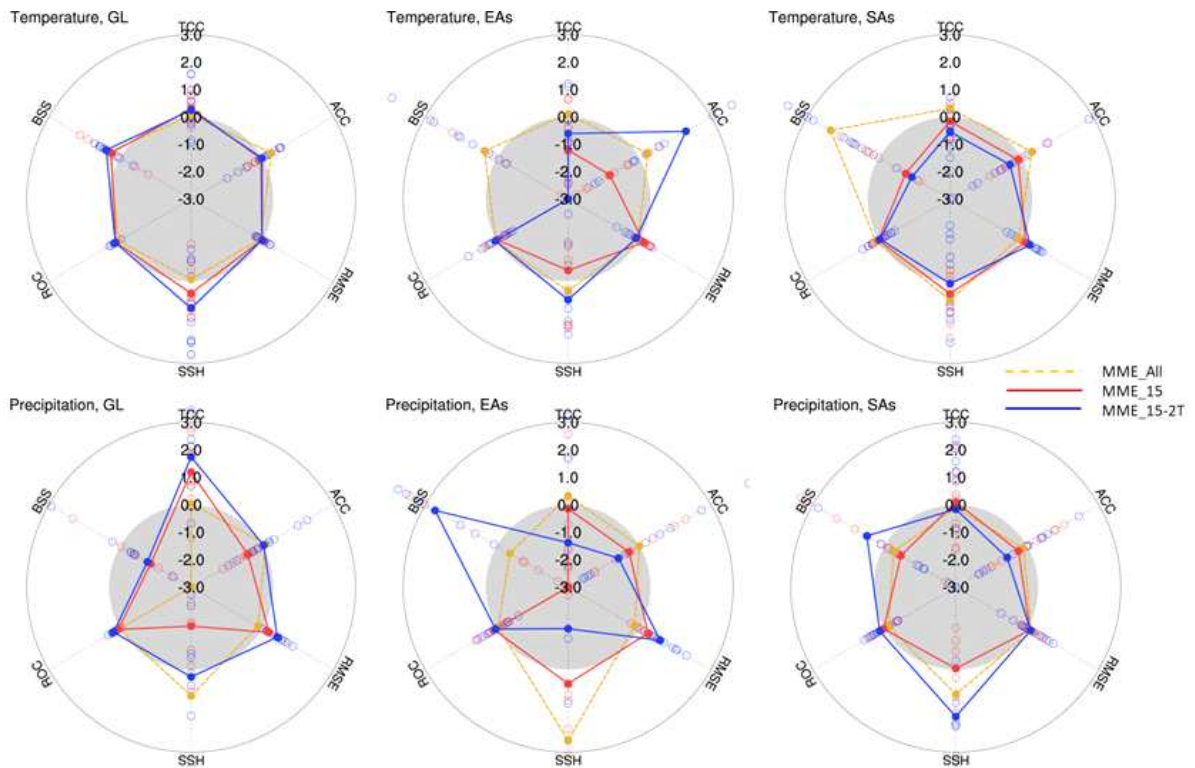


Figure 100. Global, East Asia, South Asia forecast skill relative differences of 6 verification method of experimeanal MME set versus original MME for (upper) temperature and (lower) precipitation

예측정보 조기제공에 따른 현업운영 효율성을 분석하였다. 2019년 이전, 기상청 및 APCC 공식예보는 기상청 예보 일주 이후, APCC 공식 예보를 생산한다. 이 때 참여모델 다수 추가 참여 하여 APCC 공식 예보는 25일 제공하였다. 2020년 JAS이후에는(NewAFS로 현업시스템이 개선된 이후부터(2020JAS~), 기상청 예보결과 저장) 기상청 예보 이후 평균 2-3일 이내, APCC 공식 예보를 생산한다(Table 34). 이 때 참여모델은 동일하거나 1-2개 추가 참여하여 20일 공식예보를 제공한다. 기상청 예보는 6시간 44분 소요되나 APCC 공식예보는 14시간 41분이 소요 된다. 만약 예측정보를 조기제공(기상청 예보를 위한 MME 1번 수행)시, 현업운영 효율성 31.4% 절감의 효과가 있다.

실시간 예측(2020JAS~현재) 분석 결과, 50%는 동일한 모델자료를 사용하였으며 그 외 계절에 대해서 예측 값의 차이는 크지 않으며(Figure101), 예측력 차이 또한 통계적으로 유의하지 않다(Figure 102).

조기제공은 특히 활용성을 향상시킬 것으로 기대한다. APCC 예측정보 이용자 대상 수요조사 결과(2020년), 조기제공 및 고해상도 예측정보 제공은 APCC 계절예측의 최우선 개선 항목으로 나타났으며 이는 예측정보를 조기제공 함으로써 APCC 계절예측정보 활용도를 증대시키는 긍정적 효과가 있을 것으로 예상된다

Table 34. KMA and APCC public MME forecast status since Jan, 2020

예측정보		KMA MME			APCC MME			기후전망 발표
		MME 생산	예보 토의	참여모델 수	MME 생산	+ 참여모델 (수)	MME 미 참여 모델	
2020	JFM	12/12	+4	11	-	-	BCC <sup>1</sup> , CMCC <sup>4</sup>	12/20
	FMA	1/15	+1	11	+2	+ UKMO (12)	BCC <sup>1</sup>	1/20
	<b>MAM</b>	<b>2/12</b>	+1	10	+5	+ CMCC, UKMO (12)	PNU <sup>3</sup>	2/20
	AMJ	3/13	-	10	+4	+ HMC, PNU (12)	BCC <sup>1</sup>	3/20
	MJJ	4/15	+1	12	-	-	BCC <sup>1</sup>	4/20
	JJA	5/13	-	10	+2	+ CMCC, PNU	BCC <sup>1</sup>	5/20
	JAS	6/12	+3	12	-	-	BCC <sup>2</sup>	6/19
	ASO	7/15	+1	12	+1	+ PNU (13)	-	7/20
	SON	8/13	+1	10	+5	+ JMA, PNU (12)	BCC <sup>2</sup>	8/20
	OND	9/14	+1	8	+3	+ CMCC, PNU, UKMO (11)	HMC <sup>3</sup>	9/21
	NDJ	10/15	+1	9	+4	+ PNU (10)	BCC <sup>2</sup> , CMCC <sup>4</sup> , HMC <sup>3</sup>	10/20
	DJF	11/13	+4	9	-	-	BCC <sup>2</sup> , CMCC <sup>4</sup> , HMC <sup>3</sup> , NASA <sup>1</sup>	11/20
2021	JFM	12/16	+1	11	-	-	BCC <sup>2</sup> , CMCC <sup>4</sup>	12/21
	FMA	1/15	+3	12	-	-	CMCC <sup>4</sup> , HMC <sup>1</sup>	1/20
	MAM	2/16	+1	13	-	-	CMCC <sup>4</sup>	2/19
	AMJ	3/15	+1	10	+1	+ PNU, UKMO, NCEP (13)	CMCC <sup>4</sup>	3/19

1. 늦게 자료 수집, 2. 자료 수집 x 3. 자료이상, 4. 모델변경으로 인한 자료수집 x

Temperature Forecast Difference: KMA - APCC MME

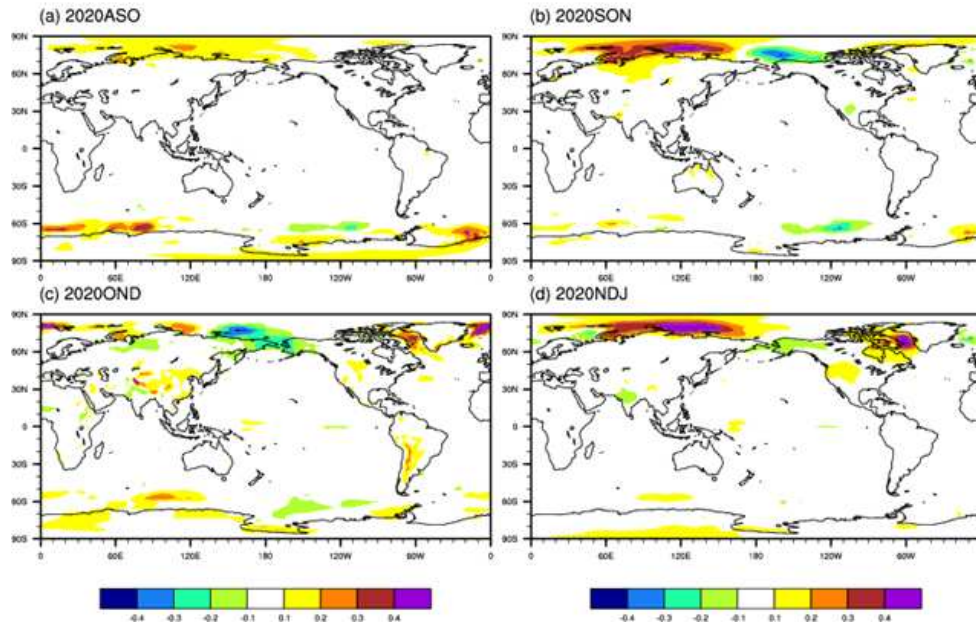


Figure 101. Real time forecast skill differences of global temperature from ASO 2020 to NDJ (KMA MME - APCC public MME)

Real-time Forecast: KMA vs APCC MME

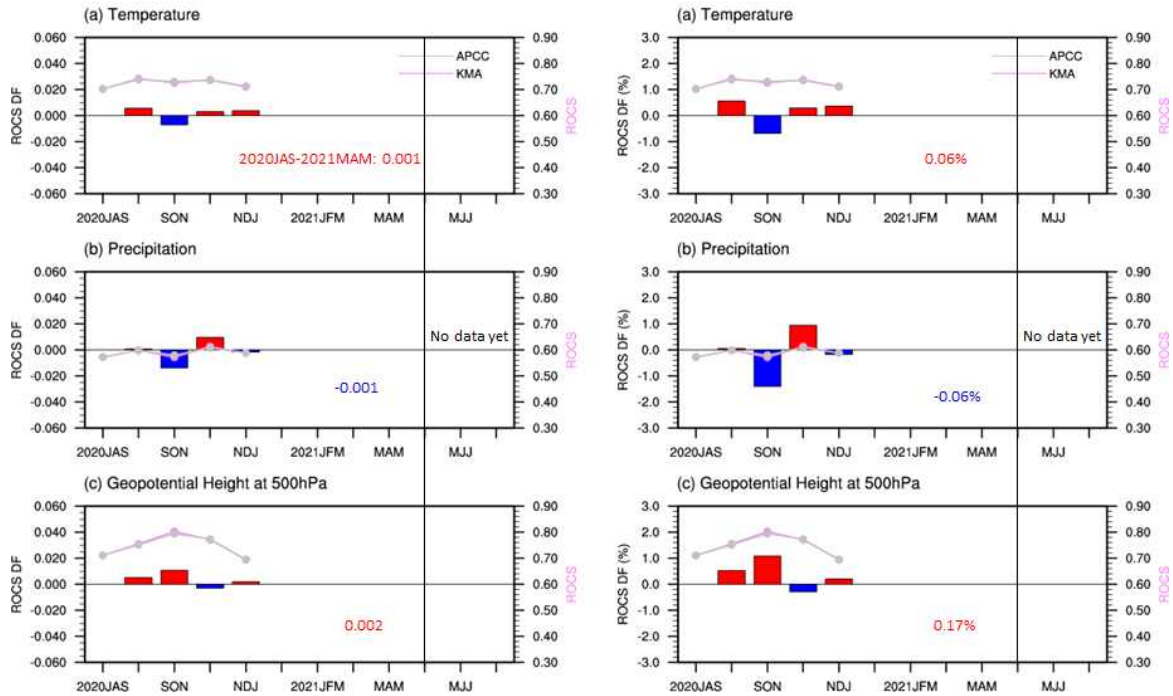


Figure 102. (left) skill differences and (right) relative skill differences of temperature, precipitation and geopotential height at 500 hPa (KMA - APCC public MME)

다만 많은 수의 모델을 포함시키기 위하여 제 4차 MPM 회의를 통해 APCC MME 참여기관에게 예측정보 조기제공을 독려하여 모든 모델을 포함시키는 것이 이상적일 것이다. 결론은 본 연구를 통해 현실적인 예측성/효율성/활용성을 고려하여 월 중반에(기상청 예보일정 고려) APCC 공식예보 MME를 생산하는 조기제공을 제안한다(Figure 103).

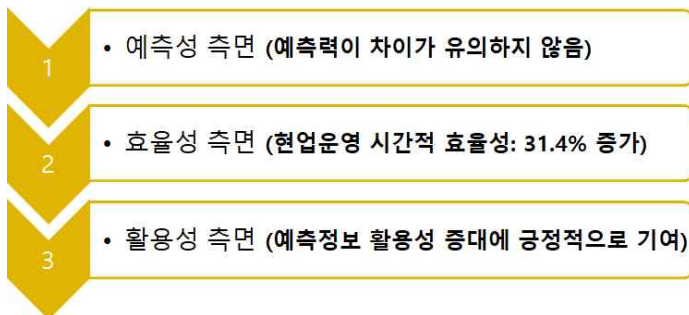


Figure 103. Conclusion of early release investigation

### (3) 0.5-month lead를 가지는 MME와 기존 MME 예측정보의 예측력 분석

#### (가) 실험 설계 및 분석 방법

APCC MME 참여모델의 현황(Table 28, Figure 90)분석 결과, 0개월 리드 예측정보를 현재 APCC 제공하는 6개 모델(APCC, BOM, CMCC, CWB, MSC, UKMO)과 다른 방법으로 현재 수집 가능한 4개 모델(JMA, METFR, NASA, NCEP)을 활용하여 실험 설계 하였다.

- 실험 및 참여모델 현황

- ① 0m: 0.5개월 리드 예측자료 수집 가능한 모델을 활용한 MME(이론적)
- ② 0m\_10: 0.5m 중 10일 이전에 예측자료 수집 가능한 모델을 활용한 MME (현실적)
- ③ 0m\_10\_pot: 초기자료를 앞당기거나 예측정보 조기제공을 통해 0.5개월 리드 예측자료를 10일 이전에 수집 가능한 모델을 활용한 MME(잠재적)
- ④ 1m\_3M: APCC 공식(1개월 리드) 3개월 MME
- ⑤ 1m\_6M: APCC 공식(1개월 리드) 6개월 MME

\* 각 실험의 참여모델은 아래 Table 35 참고

Table 35. Experimental MME set for forecast skill comparision of APCC MME participating models collect time

실험	참여모델(수)
0m	APCC, BOM, CMCC, CWB, JMA, METFR, MSC, NASA, NCEP, UKMO (10)
0m_10	BOM, CWB, MSC, NASA, NCEP (5)
0m_10_pot	<b>APCC</b> , BOM, CWB, <b>JMA</b> , MSC, NASA, NCEP, <b>UKMO</b> (8)
1m_3M	APCC, BCC, BOM, CMCC, CWB, HMC, JMA, KMA, METFR, MSC, NASA, NCEP, PNU, UKMO (14)
1m_6M	APCC, BCC, CWB, KMA, MSC, NASA, NCEP, PNU (8)

- ✓ APCC: 초기장 앞당김으로 가능
- ✓ JMA: 매 5일 초기장을 활용하여 앙상을 생산 중
- ✓ UKMO: 예측자료를 일찍 생산하나 APCC 자료제공이 늦음 → 조기제공 독려

#### (나) 개별모델 및 MME(0.5m) 예측력 평가

0.5개월 예측정보 수집 가능한 10개 모델의 0-6개월 예측력 분석하였다. 이를 통해 개별모델 자료처리 및 MME 자료를 확인하였다(Table 36).

⇒ 예측력 평가를 통해 개별모델 자료처리 및 MME 자료 확인

Table 36. 0.5-month lead MME forecast skill analysis

√ 리드가 증가할수록(0m→6m) 예측력은 감소, 0m→1m 증가 시 예측력 감소폭이 가장 큼(전구 연평균 기온/강수: 40/20% 이상의 예측력 감소; Figure 104, 104, )

√ 특히, 다른 변수에 비해(강수, 위고도, 해수면 온도 등) 기온, 평균 예측력이 낮은 계절에서 0.5m→1m 증가에 따른 예측력 감소폭이 가장 크게 나타남 (Figure 106,105)

√ 해수면 온도 및 niño3.4는 다른 변수에 비해 예측력 감소폭이 작게 나타남 (천천히 변동하는 external forcing 때문). niño3.4 지수의 경우 다른 월에 비해 ENSO 위상 변동하거나 또는 중립상태가 자주 나타나는(평균 예측력이 상대적으로 낮은) 5, 6월 이 0.5m→1m 증가에 따른 예측력 감소가 가장 크게 나타남 (Figure 107, 108, 16)

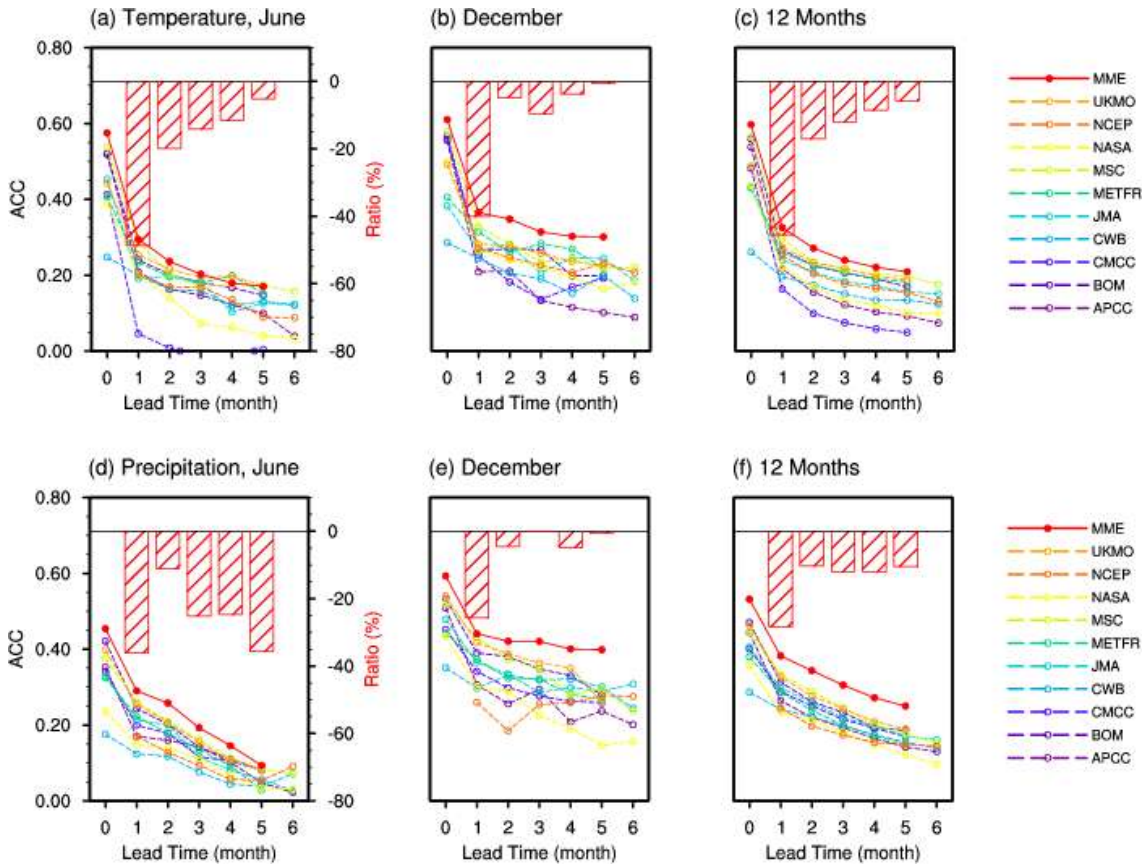


Figure 104 Monthly mean ACC at each lead month (0-6) and ACC differences of temperature and precipitation from former lead month (1-5) for 10 individual models (colors) and MME (red) which are collectable before 10<sup>th</sup> every month at (left) June, (middle) December, and (right) annual mean.

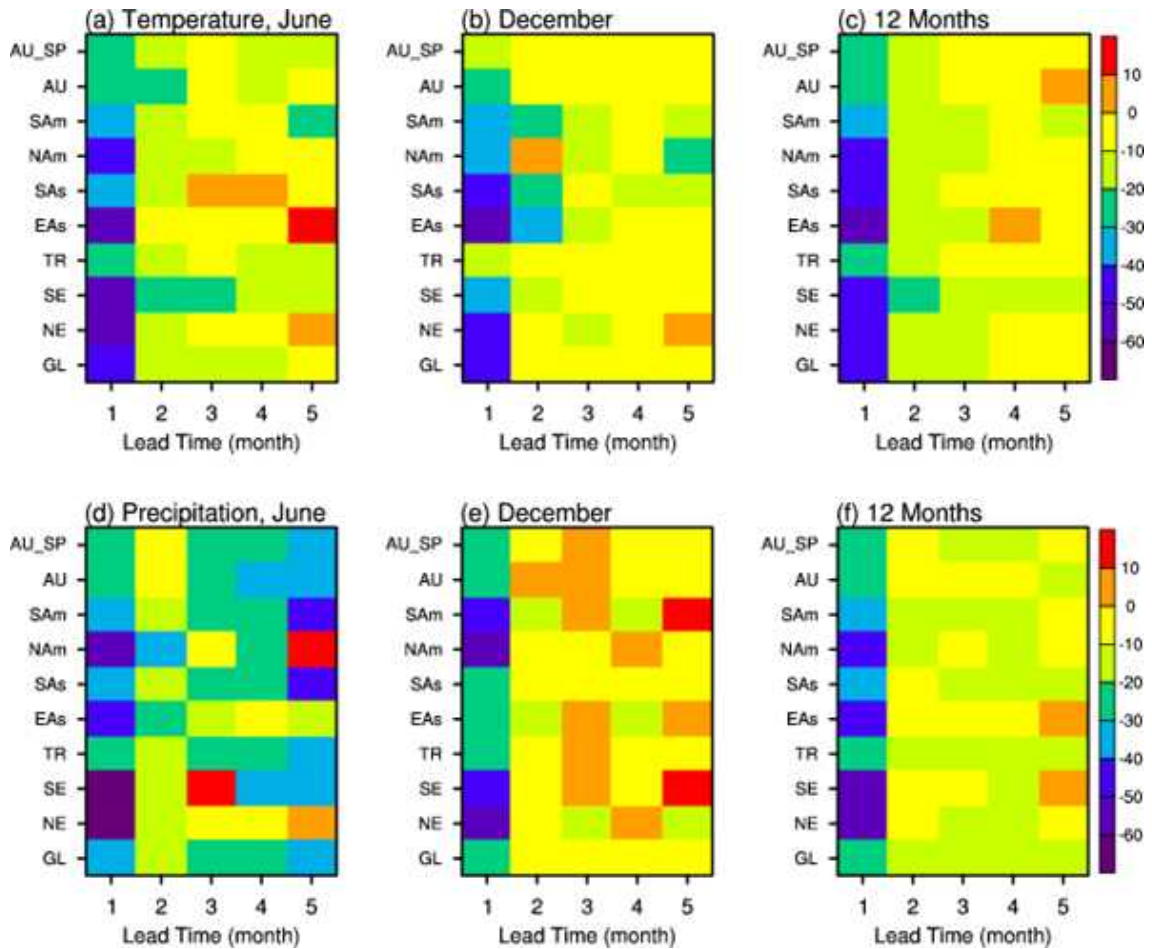


Figure 105. MME ACC relative differences (%) at each lead time from former lead lead month. Participating models are 10 which are collectable 0.5-month lead forecast before 10<sup>th</sup> every month

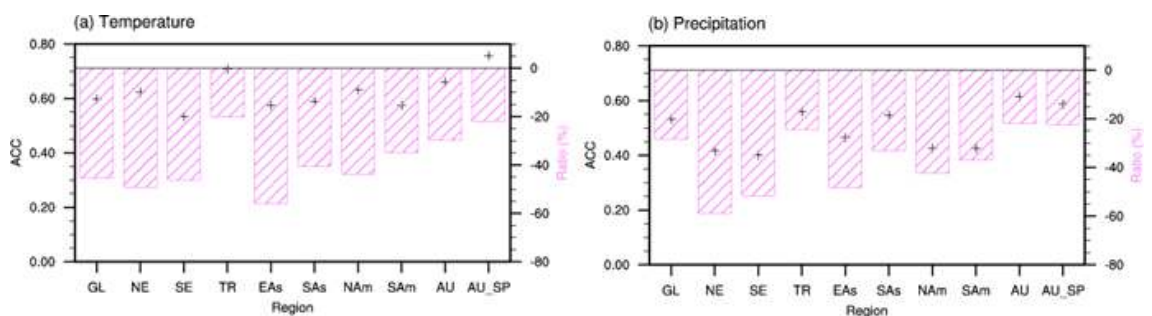


Figure 106. 0.5-month lead MME ACC skill (+) and 0.5->1 month MME ACC relative differences (bar, %) of temperature and precipitation

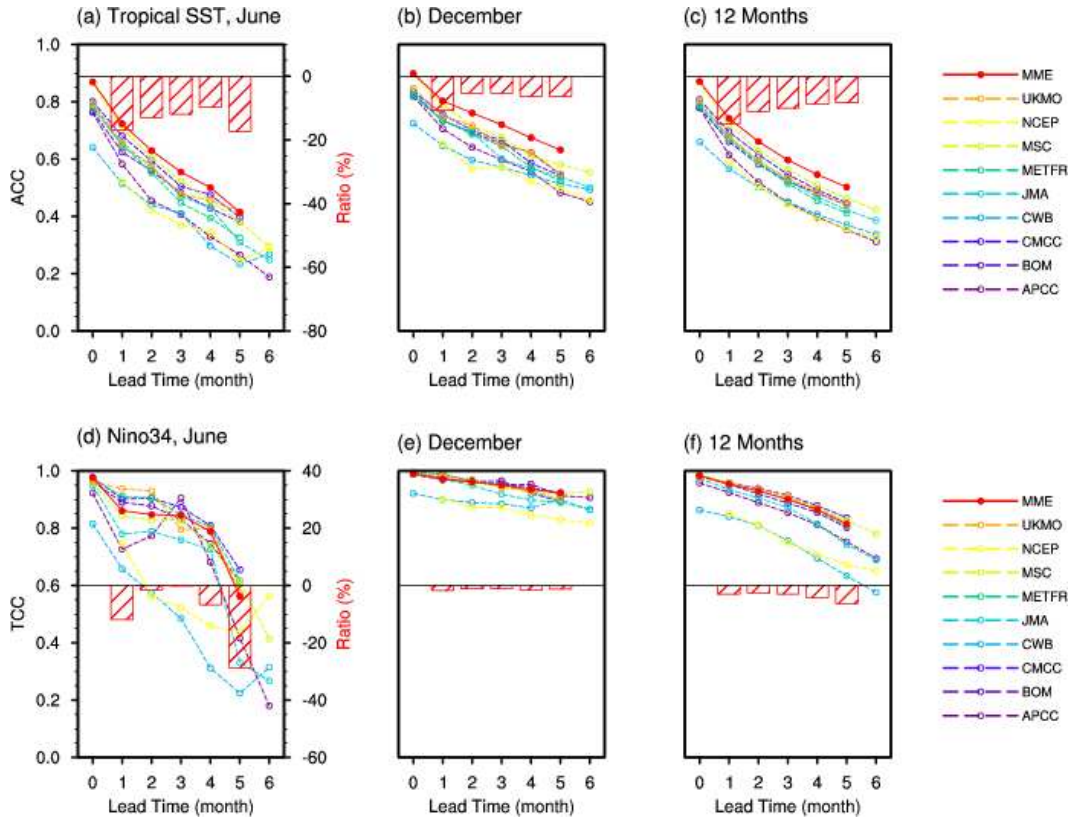


Figure 107. Monthly mean ACC at each lead month (0-6) and ACC differences from former lead month (1-5) of SST and Niño3.4 for 10 individual models (colors) and MME (red) which are collectable before 10th every month at (left) June, (middle) December, and (right) annual mean.

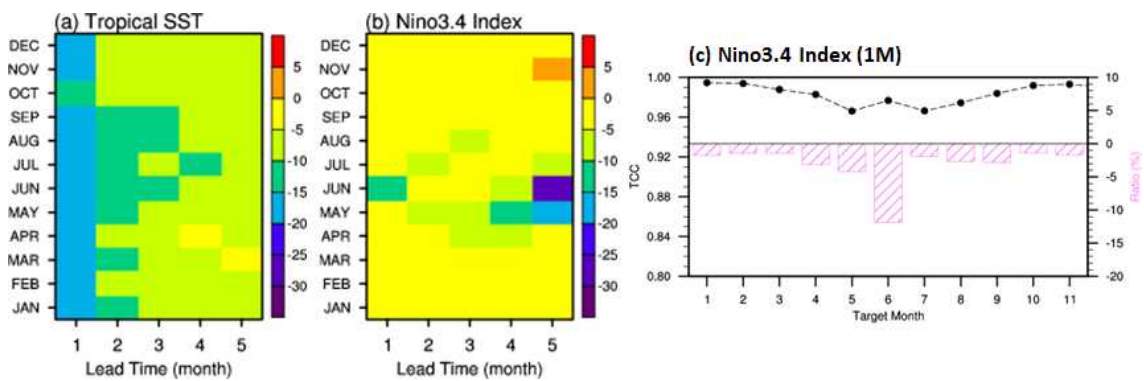


Figure 108. (a) MME tropical SST and (b) Niño3.4 index TCC at lead month (1-5). (c) (dash line) MME TCC skill of 0.5-month lead forecast and (bar) TCC skill differences from 0-month to 1-month lead forecast of Niño3.4 index

(다) 예측정보 리드에 따른 MME 예측력 평가

다양한 MME 예측력과의 비교평가(Table 35)를 통해 0.5m 리드 MME 현실 가능성 및 예측력 수준 판단을 위한 분석을 하였다(Table 37).

Table 37. MME comparison depend on lead time

√ 0m\_10: 현재 0.5개월 리드 예측자료를 10일 이전에 제공받을 수 있는 모델은 단 5개로 참여모델 수가 작아서 전반적으로 0-6개월 리드에 대한 예측력은 다른 MME에 비해 낮음 (모든 변수 동일, 현실적으로 예측력에 한계 존재; Figure 109, 110)

√ 0m\_10\_pot: APCC 및 자료제공기관의 협조로 0.5개월 리드 예측자료를 조기제공이 가능해진다면 0.5개월 리드 MME 예측력은 상승하는 것으로 나타남(참여모델 수 증가+참여모델의 평균 예측력 상승→MME 예측력 향상). 연평균적으로 살펴보면, 1-5개월 리드에 대해서도 APCC 공식예보(3개월, 6개월)와 유사하거나 높은 예측력을 보임(월별분석도 동일한 결과; Figure 111)

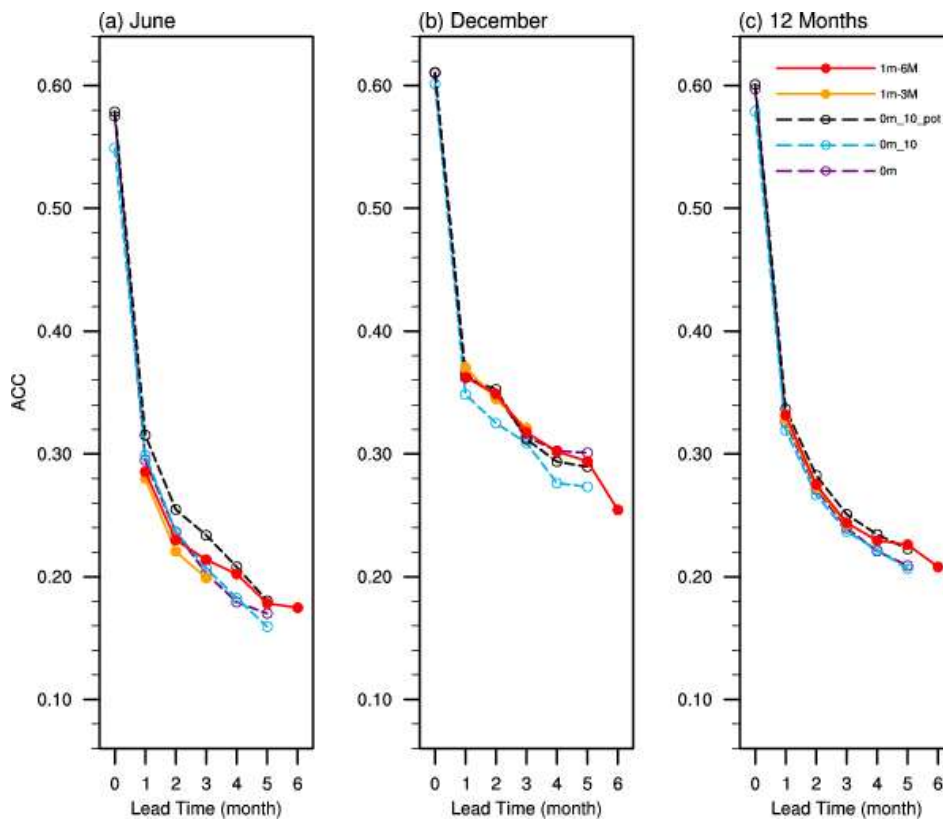


Figure 109. Global mean MME ACC skills of five MME experimental set at each lead month of temperature in (a) June, (b) December and (c) annual mean

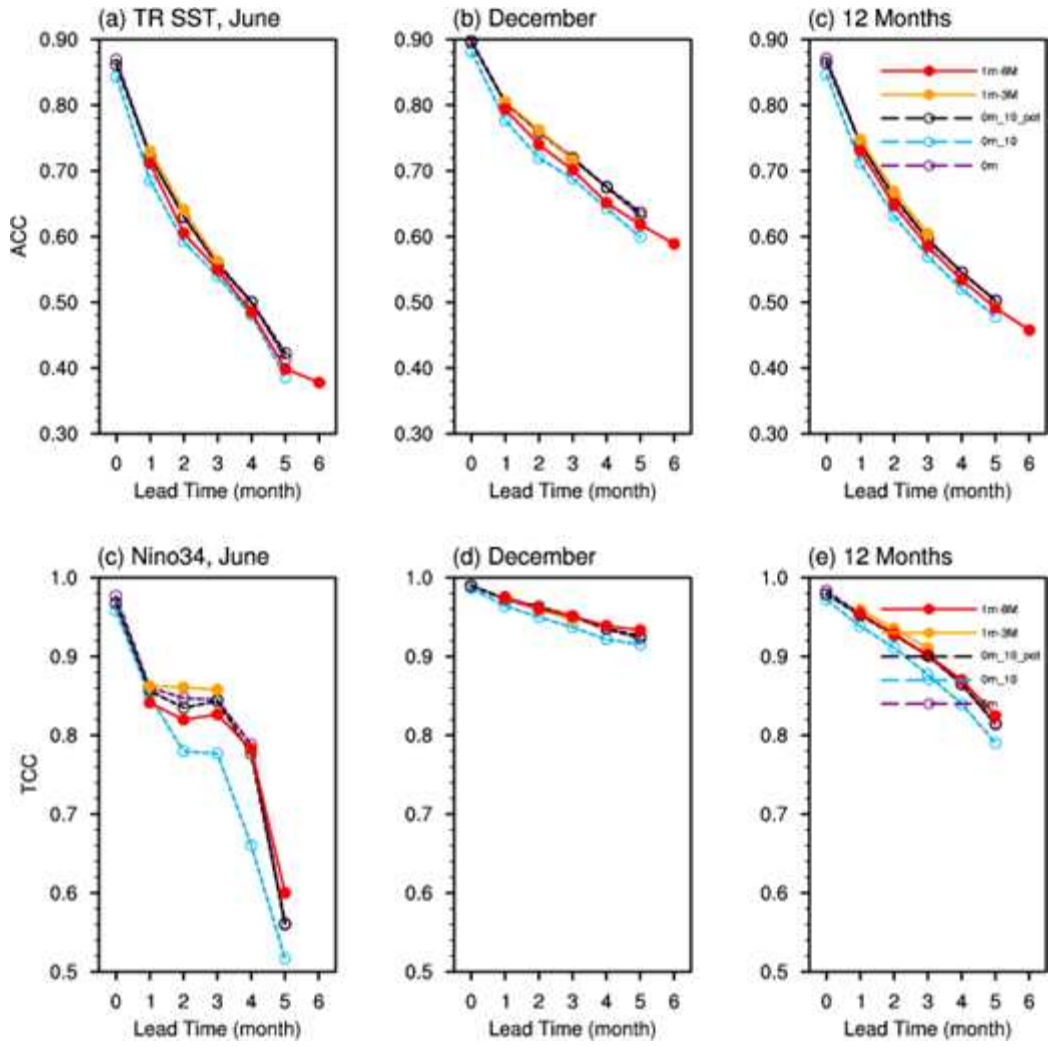


Figure 110. Global mean MME ACC skills of five MME experimental set at each lead month of Niño3.4 in (a) June, (b) December and (c) annual mean

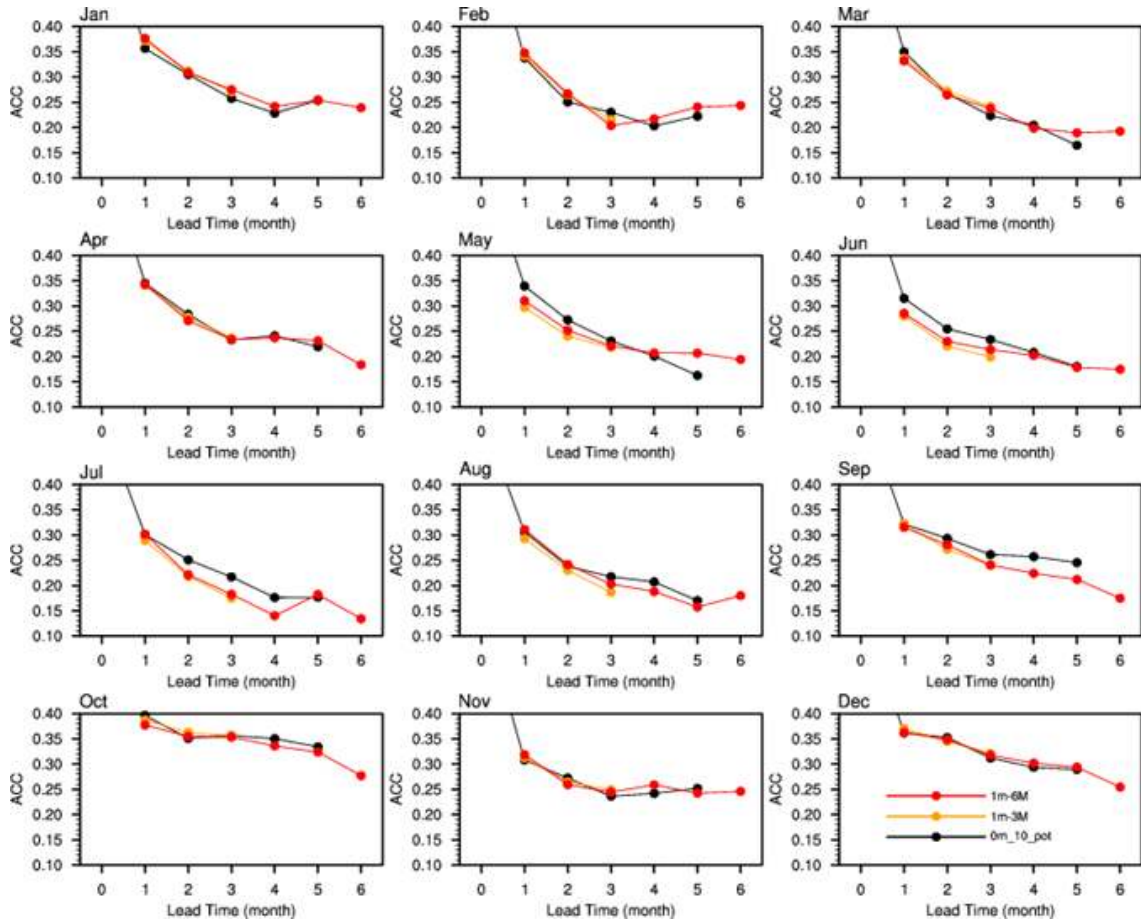


Figure 111. Monthly ACC of global mean temperature for three MME set at lead time (1-5 month)

종합하자면, 현재 0.5개월 리드 MME를 10일 조기 제공할 경우, 참여모델의 수의 한계로 기존의 APCC 공식 MME에 비해 예측력이 낮다. 추후 APCC 및 참여기관의 협조가 이루어진다면 0.5개월의 높은 예측력 뿐 아니라 1-5개월에 대해서도 APCC 공식 MME(1개월 리드, 20일 예측정보 제공)를 대체할 만큼의 고무적인 예측력 향상을 보인다. 또한 0-5개월 예측정보를 제공함으로써 현재 APCC 공식 6개월 예보에 참여하지 못하는 모델(BOM, CMCC, JMA, METFR 등)을 모두 활용할 수 있게 됨으로써 3/6개월 분리해서 2번 수행하던 현업운영 효율성을 증대할 수 있을 것으로 기대한다(Figure 112).

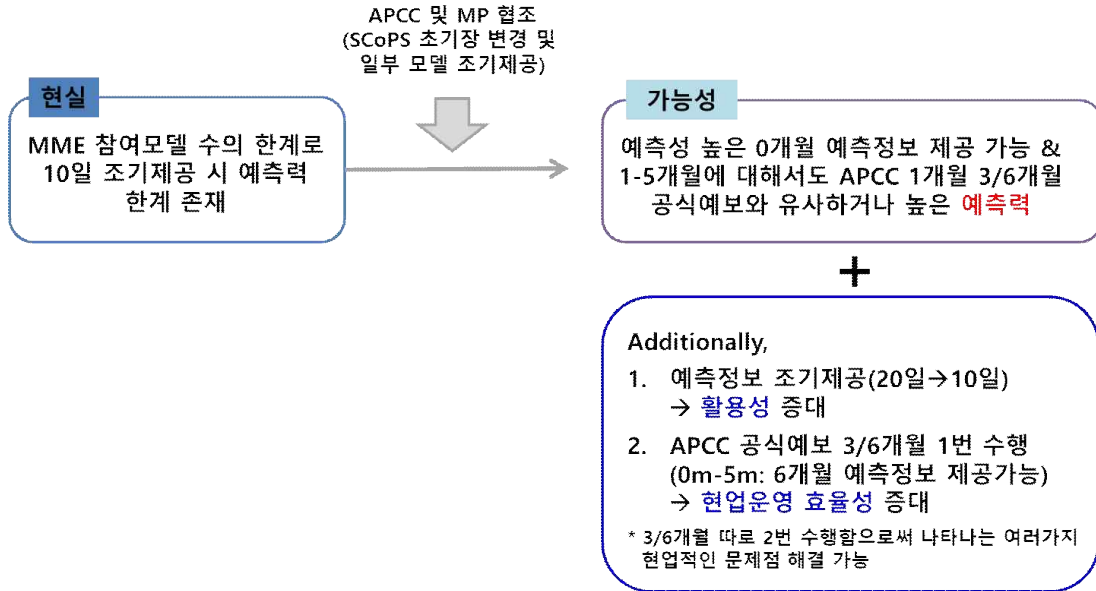


Figure 112. Conclusion of APCC seasonal forecast early release

## 마. 제 4차 모델제공기관 회의

2021년 9월 10일 제 4차 APCC MME 모델제공기관 회의(Model Provider's Meeting: MPM)가 있었다. MPM은 APCC MME 기후예측시스템에 참여하는 개별 참여기관의 자료 생산/제공 현황, 검증 결과 공유를 통해 개별 참여 모델을 정확히 파악함과 동시에, APCC MME 참여 기관에 대한 소속감 고취 및 자발적 참여 유도를 위해 2014년부터 격년에 한 번씩 개최하고 있다.

제 4차 MPM은 코로나 19 상황에 따라 온라인으로 개최하였고, 많은 기관의 참여를 독려하기 위하여 전 세계에 기관의 시간대를 고려하여 하루에 2번 개최하였다(KST: 14:00-16:00, 21:00-23:00). 참여기관은 APCC 포함 11개 기관이었으며(Table 38) 어젠다는 APCC 계절예측 현황과 계획, 각 멤버들의 현황소개, 그리고 앞으로 APCC MME의 발전을 위한 토론으로 구성되었다(Table 39). 특히 토론 세션을 통해 2022년 APCC 계획인 고해상도 MME와 조기제공을 위한 참여를 독려하고, 향후 subseasonal MME로의 확장을 고려하여 APCC의 계획을 미리 공지하였다.

Table 38. Participating institutes to the MPM

회의시간	참여기관
14:00-16:00	한국 기상청(KMA), 부산대학교(PNU), APCC, 일본 기상청(JMA), 호주 기상청(BOM), 대만 기상청(CWB)
21:00-23:00	러시아 기상청(HMC), 이탈리아 유럽지중해기후변화센터(CMCC), 영국 기상청(UKMO), 미국 기상청(NCEP), 캐나다 기상청(ECCC)

Table 39. Agenda of MPM

Time (KST)	Agenda
14:00 - 14:05	Opening - Dr. Won-Tae Kwon (APCC)
14:05 - 14:10	Introduction of the participants
14:10 - 14:30	APCC Presentation APCC MME Prediction System (Dr. Yoojin Kim, Dr. Soojin Sohn, APCC)
14:30 - 15:20	Member Presentation* (1) Overview of seasonal forecast system (2) Improvement of seasonal forecast system (or future plan)
15:20 - 15:55	Discussion* How to improve APCC MME prediction system
15:55 - 16:00	Closing - Dr. Won-Tae Kwon (APCC)

\*Meeting Chair

Session I Presentation: Dr. Jyh-Wen Hwu (CWB), Dr. Bong-Geun Song (APCC)

Session II Discussion: Dr. Jinho Yoo (APCC)

이러한 내용들은 또한 모델제공기관 대상 연간보고서에 수록되어 각 기관에 배포된다. 이 보고서는 APCC MME의 최근 소식을 비롯하여 발전사항, 계획등이 포함되어 있어 모델제공 기관들에게 APCC 계절예측 정보전달의 역할을 한다 (부록 E).

## 4. 요약 및 결론

효율적이고 안정적인 기후예측시스템 운영을 위하여 본 과제에서는 크게 4개의 주제로 과제가 수행되었다. 3장 가)에서 MME 계절예측시스템의 개선, 나) BSISO 계절내 예측시스템 개선을 담았으며 다) 고해상도 MME 계절예측시스템 구축 및 예측력 평가를 하였으며 라) 예측정보를 조기제공 하기 위한 기반 연구를 하였다.

MME 계절예측시스템의 참여 모델은 해마다 개선되며, 올해는 1종의 모델이 신규로 참여하고, 4종의 모델 개선이 이루어졌다. 이를 통해 MME 예측력이 향상되었다. 이러한 개별 모델의 신규/개선으로 인한 예측력 분석을 효율적으로 진행하기 위해 다양한 예측성 평가 매트릭스를 구버전/신버전, 신모델/타모델, MME에 미치는 영향 세가지 방면에서 분석하여 문서화하는 시스템을 개발하였다. 이로 인해 매년 수 번의 모델 개선이 이루어질 때마다 수행하였던 개별 모델/MME의 성능 평가 비교가 체계적으로 이루어지고 현업 운영의 효율성이 크게 향상되리라 기대된다.

계절예측정보 사용자들의 편의를 위한 예측 콘텐츠 다양화의 일환으로 동아시아 지역 예측정보의 확률분포를 표출하는 시스템을 개발하였다. 이는 국문으로 홈페이지에 표출되며, 국내 이용자 대상의 예측 콘텐츠가 부족하고, 확률예측정보에 대하여 일반인들이 이해하는데 다소 어려움이 있다는 문제점이 제기되어 수행된 것이다. 이에 기온/강수 예측정보의 시간에 따른 확률분포와 불확실성을 제공하는 시스템을 개발하고, 현업화하였다. 이는 기관의 기후정보 서비스 지표로도 활용되어 기관평가에 긍정적으로 적용된다.

또한 APCC에서는 기후감시 시스템을 운영하는데, 여기에서 MME와 공통으로 1991-2010이었다. 하지만 이는 기후감시에 있어서 최근기후현상을 반영하지 못하고, 일반적으로 기후평년기간을 최근 30년으로 책정하는 것과는 괴리가 있어 올해는 기후평년기간을 WMO에서 권고하는 1991-2020으로 변경하였다. 이를 전체 기후감시 시스템에 적용하고자 전구기후현황과 대기/해양 기후지수 시스템을 변경하여 콘텐츠를 개선하였다. 이를 위해 구평년기간과 신평년기간에 기후적 차이가 있는지 분석하여 변경에 통계적 문제가 없음을 확인하였다. 이 또한 기후정보 서비스 지표로 적용된다.

BSISO는 APCC의 계절내예측시스템으로 2013년부터 운영되어왔다. 현재는 총 4개 기관, 5개 모델이 참여하고 있으며 올해는 이 중 1종의 모델 개선이 있었다. BSISO 예측시스템은 현업기간(5월-10월) 매일 감시/예측/영향예보/검증 데이터를 생산하고 배포한다. 하지만 수년간 시스템의 개선 없이 운영되면서 효율적 운영을 위한 개선이 필요한 시점이고, 신평년기간 변경, 예측일수 확대 등 요구사항을 반영하고자 시스템 개선 가능성을 파악하고 개선 방향을 제시하였다. 개선방향은 크게 예측일수 확대를 위한 코드 개선, 그래픽 코드 일원화 및 이미지 개선, 비효율적 저장공간 관리 체계 개선, 신기후평년기간(1991-2020) 적용, 감시-예측-검증-영향장 통합구동시스템 개발 5가지 방향을 제시하였으며 내년 과제에서 적용할 예정이다.

APCC MME 계절예측시스템을 공간, 시간적으로 확장하기 위하여 시스템구축, 기반연구를 본 과제에서 수행하였다. 이는 무엇보다 사용자들이 APCC MME에 요구하는 우선순위 사항이다. 고해상도(1° x 1°) MME 시스템을 구축하기 위해 AFS의 확장성을 고려하여 개선하였으며

이 과정에서 전처리시스템, 예측, 검증 시스템을 구축하였다. 상세한 내용은 운영매뉴얼을 작성하였다.

고해상도 예측정보를 생산하기에 앞서, 기존 검증데이터의 변경으로 인한 해상도에 따른 예측력 차이를 비교, 분석하였다. 기존 검증데이터는 고해상도는 ERA5, CPC, MERRA2를 사용하였다. 이를 통해 고해상도/저해상도 MME의 예측력이 CPC 강수 데이터를 제외하고는 상대적인 예측력 차이가 크지 않음을 확인하였다. 강수 검증을 위해 1) CPC 강수 데이터를 기존 검증데이터로 채택한다면 기존의 MME와는 불연속성이 발생한다. 강수 검증을 위해 2) MERRA2 자료를 채택한다면 재분석자료이기에 정확성 이슈가 발생한다. 다른 방안은 3) 강수 검증은 기존의 CAMS-OPI로 계속하고, 예측은 고해상도로 생산하는 것이다. 시스템의 안정성과 효율성을 고려하여 세 번째 방안이 유력하다고 판단되는데 다만 내부적으로 고해상도 강수 관측자료 CPC나 MERRA2를 사용하는 검증은 계속되어야 할 것이다. 고해상도 MME 시스템 구축은 22년 현업화, 시범운영 계획이다.

APCC MME의 또 다른 시간적 확장 방향은 예측정보의 조기제공이다. 단기적으로는 매월 15일 전후로 수행되고 있는 기상청 예보토의 일정을 고려하여 1-개월 선행 MME 예측정보 조기제공(현재 20일→월 중순, 1-2개 모델 미참여)이 가능하고, 장기적으로는 APCC 및 MME 자료제공기관의 협력을 통해 0.5-개월 선행 MME 예측정보 조기제공(10일경)하는 방안에 대한 가이드라인을 제시하였다. 이를 통해 MME의 예측성, 현업운영 효율성을 증대시키고, 또한 예측정보 활용성 확장에 기여할 것으로 기대된다. 1-개월 선행 예측정보를 15일로 앞당겨 발표하는 것은 현시스템에서 바로 적용이 가능하고, 원래 제공하고 있는 20일 MME와도 예측력 차이가 미미하여 이를 22년 운영에 적용할 계획이다.

APCC MME 참여기관들의 소속감을 고취하고 계절예측의 정보를 공유하고자 APCC에서는 제 4차 모델제공기관회의를 개최하였다. 또한 일년에 한 번씩 모델제공기관 대상 연간보고서를 작성, 배포하여 APCC 계절예측의 발전과 새로운 뉴스, 계획등을 공유한다.

본 과제는 APCC 기후예측정보의 근간이 되는 기후예측시스템의 효율성 개선, 활용성 증진, 그리고 시간/공간에의 확장을 목표로 하여 진행하였다. 본 과제에서 수행한 여러 가지 연구, 시스템 개선을 바탕으로 차년도에는 고해상도 MME 시스템의 시범운영, 조기제공 (15일)이 계획되어 있으며 BSISO 계절예측시스템의 전반적 개선, MME의 효율적 관리가 이루어질 것이다. 이는 더 나아가 앞으로 기후예측시스템을 확장하고 고도화하여 APCC의 경쟁력을 확고하게 하는 밑바탕이 될 것이다.



## 사사

본 연구는 APCC의 지원을 통해 수행되었습니다. 연구에 사용된 다중모델 앙상블 자료는 APCC MME Producing Centres (PCs)에 의해 생산된 hindcast/forecast 자료를 바탕으로 APCC가 수집, 재가공하였습니다. 자료를 생산, 제공해주신 APEC 기후센터에 감사드립니다.

## References

- Alessandri, A., et al., 2011: Evaluation of probabilistic quality and value of the ENSEMBLES multi-model seasonal forecasts: comparison with DEMETER. *Mon Weather Review*, **139(2)**, 581–607, doi:10.1175/2010MWR3417.1.
- Chen, M., W. Shi, P. Xie, V. B. S. Silva, V. E. Kousky, R. W. Higgins, and J. E. Janowiak, 2008: Assessing objective techniques for gauge-based analyses of global daily precipitation. *J. Geophys. Res.*, **113**, D04110, doi:10.1029/2007/JD009132.
- Doblas-Rebes, F. J., D equ , M., and Piedelievre, J. P., 2000: Multi-model spread and probabilistic seasonal forecast in PROVOST. *Q. J. Meteorol. Soc.*, **126(567)**, 2069–2088.
- Gelaro, R. and co-authors, 2017: The Modern-Era Retrospective Analysis for research and applications, version 2 (MERRA-2). *J. Climate*, **30**, 5419–5454, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0758.1>.
- Gleckler, P. J., K. E. Taylor, and C. Doutriaux, 2008: Performance metrics for climate models. *J. Geophys. Res.*, **113**, D06104, doi:10.1029/2007/JD008972.
- Hagedorn, R., Doblas-Reyes, F. J., Palmer, T. N., 2005: The rationale behind the success of multi-model ensembles in seasonal forecasting: I. Basic concept. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, **57(3)**, 219–233. doi:10.1111/j.1600-0870.2005.00103.x
- Harris, L., T. J. Osborn, P. Jones, and D. Lister, 2020: Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. *Sci. Data*, **7**, 109. <https://doi.org/10.1038/s41597-202-2453-3>.
- Hersbach, H., and co-authors, 2020: The ERA5 global reanalysis. *Q. J. Meteorol. Soc.*, **146**, 1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>.
- Huffman, G. J., R. F. Adler, M. M. Morrissey, D. T. Bolvin, S. Curtis, R. Joyce, B. McGavock, and J. Susskind, 2001: Global precipitation at one-degree daily resolution from multisatellite observation. *J. Hydrometeorology*, **2**, 36–50, [https://doi.org/10.1175/1525-7541\(2001\)002<0036:GPAODD>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1525-7541(2001)002<0036:GPAODD>2.0.CO;2)
- Janowiak, J. E. and P. Xie, 1999: CAMS-OPI: A global satellite-rain gauge merged product for real-time precipitation monitoring applications. *J. Climate*, **12**, 3335–3342.
- 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). *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **83**, 1631–1643.
- Kirtman, B. P., Min, D., 2009: Multimodel ensemble ENSO prediction with CCSM and CFS. *Monthly Weather Review*, **137(9)**, 2908–2930. doi:10.3137/Ao1101.2009
- Min, Y.-M., Kryjov, V. N., Oh, S.-M., 2014: Assessment of APCC multi-model ensemble prediction in seasonal climate forecasting: retrospective (1983–2003) and real-time forecasts (2008–2013). *J. Geophys. Res.*, **119(21)**, 12,132–12,150
- Min, Y.-M., Kryjov, V. N., et al., 2017: Skill of real-time operational forecasts with the APCC multi-model ensemble prediction system during the period 2008–2015. *Clim. Dyn.*, **49(11)**, 4141–4156, doi:10.1007/s00382-017-3576-2
- Palmer, T. N., et al., 2004: Development of a European multi-model ensemble system for

- seasonal to inter-annual prediction. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **85(6)**, 853–872, doi:10.1175/BAMS-85-6-853
- Reichle, R. H., Q. Liu, R. D. Koster, C. S. Draper, S. P. P. Mahanama, and G. S. Partyka, 2017: Land surface precipitation in MERRA2. *J. Climate*, **30(5)**, 1643–1664, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0570.1>
- Saha, S. and co-authors, 2010: NCEP Climate Forecast System Reanalysis. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **91**, 1015–1057. <https://doi.org/10.1175/2010BAMS2001.1>.
- Wang, B., et al., 2009: Advance and prospectus of seasonal prediction assessment of the APCC/CliPAS 14-model ensemble retrospective seasonal prediction (1980–2004). *Clim. Dyn.*, **33(1)**, 93–117, doi:10.1007/s00382-008-0460-0
- Xie, P. and P. A. Arkin, 1997: Global precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **78**, 2539–2558.
- Xie, P., M. Chen, S. Yang, A. Yatagai, T. Hayasaka, Y. Fukushima, and C. Liu, 2007: A gauge-based analysis of daily precipitation over East Asia. *Journal of Hydrometeorology*, **8(3)**, 607–626.
- Yang, D., Yang, X. O., Xie, Q., Zhang, Y., Ren, X., Tang, Y., 2016: Probabilistic versus deterministic skill in predicting the western North Pacific–East Asian summer monsoon variability with multimodel ensembles. *J. Geophys. Res.*, **121**, 1079–1103.

# 부록 A. 동아시아 지역 기온 및 강수 예측정보 확률 분포 및 불확실성 정보 생산 시스템 운영 매뉴얼

## 가. 개요

APCC는 11개국 15개(2021년 11월 기준) 기후 관련 현업 기관의 협조를 통해 매월 다중모델앙상블 기법을 적용한 고품질의 계절예측정보를 생산 및 제공하고 있으며, 계절예측정보의 품질과 신뢰성을 향상시키고, 활용성을 증진시키기 위해 매년 많은 노력을 기울이고 있다. 이러한 노력의 일환으로 국내 기여 강화를 위하여 2019년 APCC 국문 홈페이지에 우리나라 국민을 대상으로 한 동아시아 예측 및 감시 페이지가 신설되었다. 하지만 동아시아 관련 예측 콘텐츠가 다소 부족하다는 지적이 있었으며, 우리나라 국민 대상의 확률 예측정보에 대한 해석의 어려움과 콘텐츠 부족으로 여전히 국내 기여도의 제고가 필요하다는 의견이 있었다. 이에 관심 지역인 동아시아 지역과 관심 변수인 기온 및 강수에 대하여 확률예측에 기반한 확률분포 및 불확실성을 종합적으로 전달하는 콘텐츠를 제공하기 위해 “동아시아 기온 및 강수 예측정보 확률분포 및 불확실성 정보 시스템”을 개발하였다.

## 나. 자료 및 방법

### (1) 자료

동아시아 기온 및 강수 예측정보 확률분포 및 불확실성 정보 시스템은 APCC 현업 계절예측 시스템인 AFS의 다중모델앙상블(GAUS) 및 참여(개별) 모델의 표준화된 실시간(real-time forecast) 확률 예측자료를 입력자료로 활용하여 확률분포 및 불확실성 정보를 생산한다. AFS 내의 다중모델앙상블 및 개별모델 확률 예측자료의 경로는 아래 Table A1과 같다.

Table A1. Pathway of probabilistic multi-model ensemble and individual prediction in AFS.

경로	
다중모델	· 3개월 2m 기온, 강수 - /data02/OPER/AFS/DATA/MME_OUT/3-MON/FORECAST/GAUS/
앙상블	· 6개월 2m 기온, 강수 - /data02/OPER/AFS/DATA/MME_OUT/6-MON/FORECAST/GAUS/
개별모델	· 3개월 2m 기온, 강수 - /data02/OPER/AFS/DATA/MME_OUT/3-MON/FORECAST/GAUS_INDI/{Model_Name}' · 6개월 2m 기온, 강수 - /data02/OPER/AFS/DATA/MME_OUT/6-MON/FORECAST/GAUS_INDI/{Model_Name}'

\* {Model\_Name}: 개별모델별 디렉터리명(기관명\_모델명)

(2) 방법

위와 같은 다중모델앙상블 및 개별모델 확률 예측자료를 활용하여 아래와 같은 산출 방법으로 동아시아 기온 및 강수 예측정보의 확률분포 및 불확실성 정보를 생산한다.

① 확률론적 다중모델앙상블 예측정보는 정규 분포(normal distribution)의 확률분포를 전제로 하며, 평균값(mean;  $\mu$ ) 0, 표준편차(standard deviation;  $\sigma$ ) 1의 값에 대한 정규 분포를 기후평년에 해당하는 기준(reference) 확률분포로 가정한다.

② 확률론적 다중모델앙상블 실시간 예측자료를 활용하여 동아시아 지역<sup>2)</sup>의 기온 및 강수의 3분위 확률 평균값(below, near, and above normal)으로부터 z-score( $z$ )를 추정하고, below 및 above normal의 경계값을 통해 정규 분포의 보정된 평균값( $\mu_{FCST}$ )과 표준편차( $\sigma_{FCST}$ )의 추정치를 아래와 같이 산출한다 (Eq. [A1]~[A3]).

$$z = \frac{X - \mu}{\sigma} \tag{A1}$$

$$\sigma_{FCST} = z_{P_{0.6667}} \sigma \div \left( \frac{z_{P_{(1-AN)}} - z_{P_{BN}}}{2} \right) \tag{A2}$$

$$\mu_{FCST} = z_{P_{0.6667}} - z_{P_{(1-AN)}} \times \sigma_{FCST} \tag{A3}$$

\* 여기서  $z$ 는  $X$ 값에 대한 z-score,  $z_{P_{0.6667}}$ 는 66.67% (above normal boundary) 확률값( $P$ )일 때의 z-score ( $\approx 0.43$ ),  $z_{P_{(1-AN)}}$  및  $z_{P_{BN}}$ 은 각각 above normal (AN), below normal (BN) 확률값에 대한 z-score를 의미함

③ 위에서 보정된 평균값과 표준편차로 ①에서 정의한 기준 확률분포와 투영시키고, below normal 경계값(boundary: -0.43), above normal 경계값(+0.43)이 서로 일치하도록 한다. 이 때, Figure A1에서와 같이 해당 각 면적은 3분위 확률값을 의미한다.

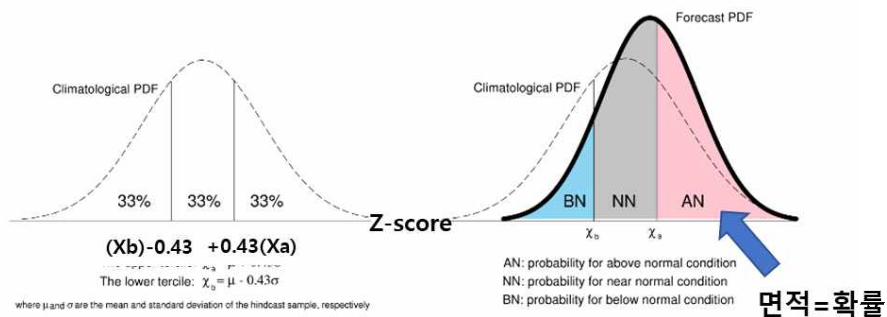


Figure A1. Example of estimated probabilistic distribution from multi-model ensemble probabilistic prediction.

2) 동아시아 영역: 75°E~150°E, 15°N~60°N 로써 AFS 계절 예측시스템에서 정의하는 영역과 동일함.

④ 여기서 확률론적 다중모델앙상블에 참여한 개별모델의 확률예측 자료에 대해서도 위와 유사하게 확률분포를 산출하고, 모델별 확률분포를 다중모델앙상블 확률분포와 함께 표출함으로써 모델간 확률분포의 차이를 확인할 수 있도록 하였으며, 이러한 분포를 향후 6개월 예측에 대해 일렬로 표출하여 확률분포의 시간적 변화도 함께 제시하였다.

## 다. 시스템의 구성과 환경설정

### (1) 시스템 구성

동아시아 기온 및 강수 예측정보 확률분포 및 불확실성 정보 시스템에 사용된 언어는 python version 3와 NCAR Command Language(NCL)이고 주 계산 및 그래픽 표출은 NCL, 통합적으로 구동하는 메인 프로그램은 python을 사용하였다. python 언어를 사용하기 위해서는 여러 추가적인 python 패키지가 요구되는데, 현 시스템에서는 일반적으로 많이 사용되는 datetime, calendar, dateutil, os, relativedelta 패키지를 사용하였다.

동아시아 기온 및 강수 예측정보의 확률분포 및 불확실성 정보 시스템의 구성도는 아래 (Figure A2)와 같이 구동 디렉터리(RUN)와 산출물(FIG) 디렉터리로 구성된다.

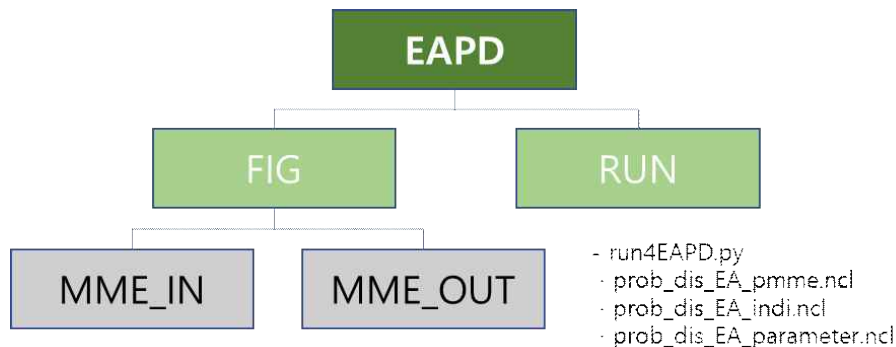


Figure A2. The structure of probabilistic distribution and uncertainty for predicted temperature and precipitation over East Asia.

- ※ EAPD : 동아시아 기온 및 강수 예측정보의 확률분포 및 불확실성 정보 시스템
- FIG : 동아시아 기온 및 강수 예측정보의 확률분포 및 불확실성 산출물 디렉터리
- RUN : 동아시아 기온 및 강수 예측정보의 확률분포 및 불확실성 구동 디렉터리

AFS 시스템과 연동하기 위해 “RUN” 과 “FIG” 디렉터리는 AFS에서 분류하는 디렉터리로 분리하여 아래(Figure A3)와 같이 지정할 수 있다. 여기서 “RUN” 은 AFS의 “RUN/Manage\_EAPD” , “FIG” 는 “FIG/EAPD\_OUT” 와 같다.

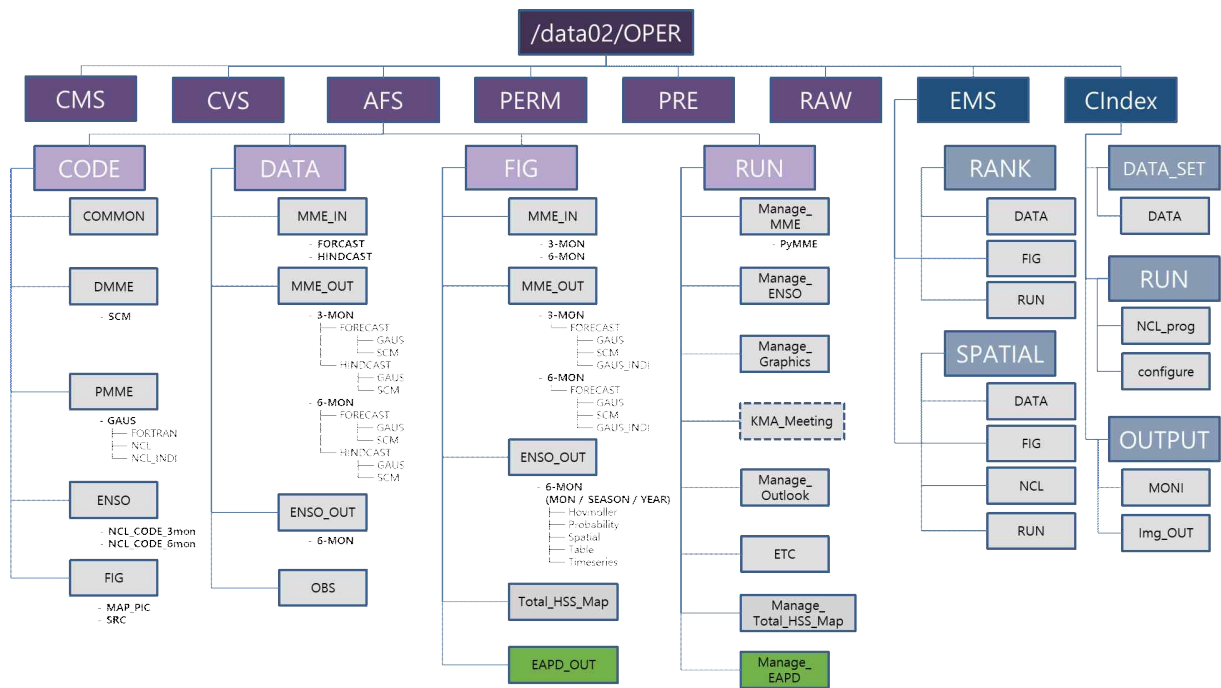


Figure A3. The structure of probabilistic distribution and uncertainty for predicted temperature and precipitation over East Asia in AFS.

## (2) 프로그램 구성

동아시아 기온 및 강수 예측정보의 확률분포 및 불확실성 정보 시스템은 Table A2와 같이 다중모델앙상블(GAUS)과 개별모델에 대한 각각의 확률분포 및 불확실성 정보 생산 프로그램으로 구성되며, 두 프로그램을 통합적으로 구동할 수 있는 메인(자동 처리) 프로그램으로써 구동된다.

Table A2. List of program for probabilistic distribution and uncertainty for predicted temperature and precipitation over East Asia.

구분	프로그램 명
메인 프로그램	run4EAPD.py
다중모델앙상블 처리	prob_EA_dis_pmme.ncl
개별모델 처리	prob_EA_dis_indi.ncl

본 시스템은 사용자가 원하는 예측 계절 및 모델 목록을 제어할 수 있는 설정부(EA\_dis\_parameter.ncl)를 따로 두어 단독으로 수행할 수 있도록 하였다. 설정부 프로그램을 통해 타겟 계절, 모델 목록, 변수, 동아시아 영역, 입력/출력자료 경로 등을 설정할 수 있다. 설정부의 별도의 수정 없이 메인 프로그램에서도 타겟 계절, 모델 목록을 설정할 수 있다.

### (3) APCC 현업서버 환경설정

본 시스템은 APCC 현업서버 또는 HPC 로그인 서버에서 실행이 되며 이를 위해서는 소프트웨어 모듈을 로드하여 사용하여야 한다. 기본적으로 필요한 것은 python과 NCL 모듈이다. 사용자 로그인 후 해당계정에서 python과 NCL 모듈을 로드한다(현업서버 기준).

#### ■ 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-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
```

## 라. 시스템 실행

### (1) 단독 프로그램 실행

동아시아 기온 및 강수 예측정보의 확률분포 및 불확실성 정보를 생산하기 위해 본 시스템에 대해 아래와 같은 순서로 실행한다. 본 순서(매뉴얼)는 다. 절에서 소개한 AFS 시스템에 이식되기 전의 단독 시스템을 기준으로 작성하였다.

#### ■ 실행 디렉터리 이동

```
]$ cd ${USER}*/EAPD/RUN
```

\* USER: 사용자 지정 디렉토리

본 메인 프로그램 run4EAPD.py는 서버 시스템 실제 시간을 기준으로 다음 달 예측을 타겟 계절로 기본 설정되어 있으며, 사용자가 원하는 예측 타겟 시간 정보를 직접 입력할 수 있다.

#### ■ run4EAPD.py 변경 (예측 시작 해/월, 모델목록 수정)

```
]$ vi run4EAPD.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-CPS2\",
\"KMA_GLOSEA5GC2\", \"MGO_MGOAM-2\", \"MSC_CANSIPSv2\",
\"NASA_GEOS-S2S-2.1\", \"NCEP_CFSv2\", \"PNU_CGCMv2.0\",
\"UKMO_GLOSEA6\"/)"

#-----
```

본 메인 프로그램을 실행하면 설정한 예측 타겟 시간 정보와 모델 목록에 대해 NCL에 읽어 들일 수 있는 형태로 “EAPD.Parameters.Source” 라는 파일을 생산한다. 본 파일은 설정부 프로그램인 “EA\_prob\_dis\_parameter.ncl” 에서 해당 설정 정보를 불러오는데 활용된다.

“EA\_prob\_dis\_parameter.ncl” 는 세 단계의 parameter로 구성되며, 첫 번째 단계는 타겟 예측 시간 정보 및 모델 목록(메인 프로그램에서 설정), 입력/출력물 경로를 설정한다. 두 번째 단계는 분석 변수, 입력자료 해상도, 분석 영역(동아시아), 예측 선행 시간(lead-time)을 설정하며, 변수 및 영역을 변경하지 않는 한 수정하지 않아도 무관하다. 마지막 세 번째 단계는 그래

픽 작업을 하기 위한 문구 설정이며, 이 또한 기본 설정 외 변동 사항이 없다면 수정하지 않아도 무관하다. 본 설정부 프로그램은 다중모델앙상블 및 개별모델 처리 프로그램에서 해당 설정 정보를 불러오는데 활용된다.

■ EA\_prob\_dis\_parameter.ncl 변경 (입력/산출물 경로 변경, 영역 지정 등)

```

]$ vi EA_prob_dis_parameter.ncl

;=====
; Parameters - I
;=====

fyear = YEAR
month = MON
models = MODEL

mme_3m_dir = "/data02/OPER/AFS/DATA/MME_OUT/3-MON/FORECAST/GAUS/"
mme_6m_dir = "/data02/OPER/AFS/DATA/MME_OUT/6-MON/FORECAST/GAUS/"
model_3m_dir = "/data02/OPER/AFS/DATA/MME_OUT/3-MON/FORECAST/GAUS_INDI/"
model_6m_dir = "/data02/OPER/AFS/DATA/MME_OUT/6-MON/FORECAST/GAUS_INDI/"

outdir = "{USER}/EAPD/FIG/MME_OUT/GAUS/" + fyear + "/" + month + "/"
model_outdir = "{USER}/EAPD/FIG/MME_IN/"

;=====
; Parameters - II
;=====

vars = (/ "t2m", "prec" /)

nvar = dimsizes(vars)
nmodels = dimsizes(models)
nlevel = 4

nlat = 73
nlon = 144
FillValue = 1e20

; for EA
s_lat = 15
e_lat = 60
s_lon = 75
e_lon = 150

ntime = 6
#-----
(이하 생략)

```

메인 프로그램 및 설정부 프로그램의 수정을 마친 후 메인프로그램을 실행하면 다중모델앙상블 및 개별모델 처리 프로그램을 일괄적으로 수행하게 된다.

■ run4EAPD.py 실행

```
]$ python run4EAPD.py
```

본 프로그램을 수행하면 설정부 프로그램(EA\_prob\_dis\_parameter.nc)에서 설정한 산출물 경로에 저장된다. 산출물 경로는 개별모델의 경우 “MME\_IN”, 다중모델앙상블의 경우 “MME\_OUT” 로 구분되며, 개별모델에 대한 산출물은 모델별로 구분된 디렉터리에 저장된다.

■ 생산 그림 경로

```
개별모델 : ${USER}/EAPD/FIG/MME_IN/{모델명}/{해당연도}/{해당월}
다중모델앙상블 : ${USER}/EAPD/FIG/MME_OUT/GAUS/{해당연도}/{해당월}
```

(2) 통합 AFS 시스템 메인 프로그램 수행

동아시아 기온 및 강수 예측정보의 확률분포 및 불확실성 정보 시스템의 효율성 및 AFS 시스템과의 유기성을 위해 통합 AFS와 연계되도록 구축하였다. 예측-감시-검증 정보를 생산하기 위한 통합 AFS 메인 프로그램의 설정값을 활용하여 모델 목록과 실행 여부를 입력하면 4.1 절의 모든 과정에 대해 자동 처리할 수 있다.

■ 통합 AFS 메인 프로그램 실행 디렉터리 이동

```
]$ cd ${AFS}
```

\* {AFS}: 통합 AFS 메인 프로그램 경로

■ Auto\_AFS.sh 변경 (모델 목록 수정)

```
]$ vi Auto_AFS.sh
#-----
#=====
# Setting for EAPD System
#=====
Model_list="\APCC_SCOPS\","BOM_ACCESS-S2\","CMCC_SPS3.5\","
\CWB_TCWB1Tv1.1\","HMC_SL-AV\","JMA_MRI-CPS2\","KMA_GLOSEA5GC2\","
\MSC_CANSIPsv2\","NASA_GEOS-S2S-2.1\","NCEP_CFSv2\","PNU_CGCMv2.0\","
\UKMO_GLOSEA6\""
(중략)
PART0=O # Processing for Standard OBS Data
PART1=O # Setting Model list in MME
PART2=O # Run MME : Forecast
PART3=O # Run MME : Hindcast
```

```

PART4=X      # Run Graphics : Individual
PART5=X      # Run Graphics : MME
PART6=O      # Run ENSO Prediction
PART7=X      # Run DMME Verification
PART8=X      # Run PMME Verification
PART9=X      # Run ENSO Verification
PART10=O     # Run East Asia Monitoring
PART11=O     # Run HSS Total Map processing
PART12=O     # Run EAPD processing
#-----

```

■ Auto\_AFS.sh 실행

```
]$ sh Auto_AFS.sh
```

본 프로그램을 수행하면 설정한 PART 순으로 실행되며, 예측자료가 생산된 이후 라-(1)절  
 에서와 동일한 프로세스가 수행된다.

(3) 장애 발생 대응

본 시스템 수행 시 발생하는 예상 장애 발생은 대체로 입력 자료 경로의 오설정, 입력 자  
 료 경로에 다중모델앙상블 및 개별모델 확률 예측자료가 없는 경우이며, 해당 장애를 해결하기  
 위해 설정부 프로그램의 입력 자료 경로 설정 부분을 올바른 경로로 수정하고, 해당 경로에 다  
 중모델앙상블 및 개별모델 확률 예측자료가 실제 존재하는지 점검해야 한다. 또한 그래픽 세부  
 적인 설정을 변경하기 위해 다중모델앙상블 및 개별모델 처리 프로그램(NCL)의 소스 코드를  
 수정하면 되며, 변동 사항이 없는 경우 별도의 수정 없이 수행 가능하다.

## 부록 B. APCC 기후지수감시시스템 운영

### 1. APCC 기후지수서비스 현황

#### 가. APCC 홈페이지 서비스 기후지수 현황 (v.2021년)

현재 APCC 홈페이지에 서비스되고 있는 기후감시지수로는 크게 태평양 해수면 온도 지수, 대서양 해수면 온도 지수, 대기 지수, 몬순 지수로 구분되고 있다. 대부분의 해수면 온도 지수와 대기 지수는 NOAA CPC (Climate Prediction Center)에서 현재 실시간 업데이트가 되고 있는 지수 위주로 선정하여 APCC 홈페이지에 서비스를 하기로 했다. 이 과정에서 기존(2021년 이전)에 제공되고 있었던 PACWARM (Pacific Warmpool Region), EOFAC (Tropical Pacific SST EOF), ATLTRI (Atlantic Tripole SST EOF), NOI (Northern Oscillation Index)는 제외되었다. 반면, 몬순 지수의 경우 화와이 대학교 몬순모니터링 홈페이지를 참고하여 선정하였다.

지수 계산 시 필요한 아노말리 값의 기후기간은 기본적으로 신평년 기간인 1991~2020년으로 설정하였고 기존에 평년 기간이 길어 2개의 관측자료를 사용했던 반면, 신평년 기후기간 변경 이후 해수면 온도는 ERSST의 가장 최신 버전인 ERSST v5로 통일, 대기와 몬순지수는 NCEP R1을 사용하였다.

지수	약자	Climatology period	관측자료	CPC 업데이트 현황
태평양 해수면온도	Niño3.4	1991-2020	ERSSTv5	0
	Niño3	1991-2020		0
	Niño4	1991-2020		0
	Niño1+2	1991-2020		0
	EMI	1991-2020		제공안함
	ONI	1936-30년		0
	TNI	1991-2020		0
대서양 해수면온도	DMI	1991-2020	ERSSTv5	제공안함
	TNA	1991-2020		0
	TSA	1991-2020		0

Table B1. The status of indices related on sea surface temperature

지수	약자	Climatology period	관측자료	업데이트 현황
대기 지수	PNA	1991-2020	NCEP RE1	0
	WP	1991-2020		0
	NP	1991-2020		0
	AO	1991-2020		0
	AAO	1991-2020		0
	NAO	1960-2020		0
	SOI	1991-2020		0
	QBO	1991-2020		0
몬순 지수	WYI	1991-2020	NCEP RE1	화와이대 몬순모니터링 홈페이지
	AUSMI	1991-2020		
	SAMI	1991-2020		
	IMI	1991-2020		
	WNPMI	1991-2020		

Table B2. The status of atmospheric and monsoon indices

## 나. 기후지수 Description

아래 Table B3는 각 지수별 계산 방법을 나타낸 것이다.

해수면 온도 지수			
1	NINO12	Tropical Pacific SST	Niño1+2 지수는 적도 동태평양(페루와 칠레 연안)의 엘니뇨 현상을 나타내는 지표이다. 계산 방법은 90°W - 80°W, 10°S - 0° 영역의 해수면 온도 평균을 기후값에 대한 편차로 구한다.
2	NINO3	Tropical Pacific SST	Niño3 지수는 적도 동태평양의 엘니뇨 현상을 나타내는 지표이다. 계산 방법은 150°W - 90°W, 5°S - 5°N 영역의 해수면 온도 평균을 기후값에 대한 편차로 구한다.
3	NINO34	Tropical Pacific SST	Niño34 지수는 적도 중앙태평양의 엘니뇨 현상을 나타내는 지표이다. 계산 방법은 170°W - 120°W, 5°S - 5°N 영역의 해수면 온도 평균을 기후값에 대한 편차로 구한다.
4	NINO4	Tropical Pacific SST	Niño4 지수는 적도 서태평양의 엘니뇨 현상을 나타내는 지표이다. 계산 방법은 160°E - 150°W, 5°S - 5°N 영역의 해수면 온도 평균을 기후값에 대한 편차로 구한다.
5	ONI	Oceanic Niño Index	ONI는 엘니뇨 현상을 감시하는데 중요한 지표 중 하나이다. 기본적으로 Niño34 지수와 동일한 영역(170°W - 120°W, 5°S - 5°N) 평균한 해수면 온도의 편차값을 계산하며, 이때 기후값 계산 기간을 지수를 계산하는 해당 년도에 따라 다르게 적용한다. 또한, 이렇게 계산된 결과 값을 3개월 이동 평균하여 최종적인 결과를 산출한다.
6	TNI	Trans Niño Index	TNI는 Niño1+2 지수와 Niño4 지수를 정규화 시킨 후 그 차이를 구한 값이다.
7	DMI	Dipole Mode Index	DMI는 인도양의 두지역(서쪽과 남동쪽)의 해수면 온도 편차의 차이를 나타내는 지수이다. 서쪽의 영역은 50°E-70°E, 10°S-10°N 이며, 남동쪽 영역은 90°E-110°E, 10°S-0° 이다.
8	TNA	Tropical Northern Atlantic Index	TNA 지수는 적도 북대서양 지역(15°W-57.5°W, 5.5°N-23.5°N)의 해수면 온도 평균을 기후값에 대한 편차로 구한다.
9	TSA	Tropical Southern Atlantic Index	TSA 지수는 적도 남대서양 지역(10°E-30°W, 0°-20°S)의 해수면 온도 평균을 기후값에 대한 편차로 구한다.

Table B3. Description of indices related on sea surface temperature

대기 지수

1	PNA	Pacific North American	NP는 30°N-65°N, 160°E-140°W 영역의 해수면 기압의 단순 평균값으로 구한다. 이는 정규화된 네 지점의 500hPa 지위고도 값을 가지고 아래 식을 통해서 구한다. 이때 기후값 계산기간은 1981년에서 2010년이다. $PNA = \frac{1}{4} [z^*(20^\circ N, 160^\circ W) - z^*(45^\circ N, 165^\circ W) + z^*(55^\circ N, 115^\circ W) - z^*(30^\circ N, 85^\circ W)]$
2	WP	Western Pacific	WP는 서태평양에서 나타나는 대기의 저주파 변동을 보여주는 지수이다. 계산 방법은 정규화된 두 지점의 500hPa 지위고도 값을 가지고 아래 식을 통해서 구한다. 이때 기후값 계산기간은 1981년에서 2010년이다. $WP = -0.5[z^*(60^\circ N, 155^\circ E) - z^*(30^\circ N, 155^\circ E)]$
3	NP	North Pacific Oscillation	Niño34 지수는 적도 중앙태평양의 엘니뇨 현상을 나타내는 지표이다. 계산 방법은 170°W - 120°W, 5°S - 5°N 영역의 해수면 온도 평균을 기후값에 대한 편차로 구한다.
4	AO	Arctic Oscillation	AO 지수의 계산 방법은 20°N-90°N 영역의 월평균 1000hPa 지위고도장을 경험적 직교함수(EOF)로 분석하여 나온 첫번째 모드를 사용하며, 지수를 구하고자 하는 해당월의 월평균 1000hPa 지위고도장을 이 패턴에 투영(projection)하여 구한다.
5	AAO	Antarctic Oscillation	AO 지수의 계산 방법은 20°N-90°S 영역의 월평균 700hPa 지위고도장을 경험적 직교함수(EOF)로 분석하여 나온 첫번째 모드를 사용하며, 지수를 구하고자 하는 해당월의 월평균 700hPa 지위고도장을 이 패턴에 투영(projection)하여 구한다.
6	NAO	North Atlantic Oscillation	NAO 지수는 북대서양지역(20°N-80°N, 90°W-40°E)의 해면기압을 경험적 직교함수(EOF)로 분석하여 나온 첫번째 모드(다만, 5월은 부호를 반대로 함)를 사용한다. 이때 해당 월을 기후 지수를 계산하기 위한 EOF분석 시 입력자료는 해당월과 그 전후 1개월의 자료를 추가로 사용한다. 이렇게 구해진 패턴에 해당월의 월평균 해면기압을 투영(projection)하여 지수를 구한다.
7	SOI	Southern Oscillation Index	SOI는 엘니뇨/라니냐 현상의 발생과 강도를 볼 수 있는 지수이며, Tahiti (18S,150°W)와 Darwin (10°S,130°E) 지역의 해면기압의 차이로 지수 값을 구한다. 이때 기후값 계산기간은 1981년에서 2010년이다.
8	QBO	Quasi-Biennial Oscillation	QBO는 적도 상공 성층권(30hPa)의 동서바람 평균으로 구하며, 매우 규칙적인 주기성을 가지고 있다.

Table B4. Same as Table B3, but for atmospheric indices.

몬순 지수

1	WYI	Webster and Yang Monsoon Index	WYI는 인도양 지역(0-20°N, 40°E-110°E)의 850hPa 동서바람 평균에 200hPa 동서바람 평균의 차이로 구하며, 기후값 계산기간은 1981년에서 2010년이다.
2	AUSMI	Australian Monsoon	AUSMI는 호주대륙 북쪽 지역(5°S-15°S, 110°E-130°E)의 850hPa 동서바람 평균값으로 구하며, 기후값 계산기간은 1981년에서 2010년이다.
3	SAMI	South Asian Monsoon Index	SAMI는 동인도양 지역(10-30°N, 70°E-110°E)의 850hPa 남북바람 평균에 200hPa 남북바람 평균의 차이로 구하며, 기후값 계산기간은 1981년에서 2010년이다.
4	IMI	Indian Monsoon Index	IMI는 서인도양 지역(5°N-15°N, 40°E-80°E)의 850hPa 동서바람 평균에 인도 북쪽 지역(20°N-30°N, 70°E-90°E)의 850hPa 동서바람 평균의 차이로 구하며, 기후값 계산기간은 1981년에서 2010년이다.
5	WNPMI	Western North Pacific Monsoon Index	WNPMI는 북서태평양 지역 A(5°N-15°N, 100°E-130°E)와 B(20°N-30°N, 110°E-140°E)의 850hPa 동서바람 평균 차이로 구하며, 기후값 계산기간은 1981년에서 2010년이다.

Table B5. Same as Table B3, but for monsoon.

## 나. 기후지수 참고문헌

해수면 온도 지수			
1	Niño12	Tropical Pacific SST	Trenberth, K. E., and David P. Stepaniak, 2001: Indices of El Niño evolution. <i>Journal of Climate.</i> , 14, 1697-1701
2	Niño3	Tropical Pacific SST	Trenberth, Kevin E., 1997: The Definition of El Niño. <i>Bull. Amer. Meteor. Soc.</i> , 78, 2771-2777
3	Niño34	Tropical Pacific SST	Trenberth, Kevin E., 1997: The Definition of El Niño. <i>Bull. Amer. Meteor. Soc.</i> , 78, 2771-2777
4	Niño4	Tropical Pacific SST	Trenberth, K. E., and David P. Stepaniak, 2001:Indices of El Niño evolution. <i>Journal of Climate.</i> , 14, 1697-1701
5	EMI	ENSO ModokiIndex	Ashok, K., S. K. Behera, S. A. Rao, H. Weng and T. Yamagata, 2007. El Niño Modokiand its possible teleconnection. <i>J. Geophys. Res.</i> , 112, C11007, doi:10.1029/2006JC003798
5	ONI	Oceanic Niño Index	Yu, J. Y. and Kim, S. T.: Identifying the types of major El Niño events since 1870, <i>Int. J. Climatol.</i> , 33, 2105-2112, doi:10.1002/joc.3575, 2013  <a href="http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_change.shtml">http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_change.shtml</a>
6	TNI	Trans Niño Index	Kevin E. Trenberth and David P. Stepaniak, 2001: Indices of El Niño Evolution. <i>J. Climate</i> , 14, 1697-1701.
7	DMI (IOD)	Dipole Mode Index	Saji, N. H., B. N. Goswami, P. N. Vinayachandranand T. Yamagata, 1999. A Dipole Mode in the tropical Indian Ocean. <i>Nature</i> , 401 (23): 360363.
8	TNA	Tropical Northern Atlantic Index	Enfield, D.B., A.M. Mestas, D.A. Mayer, and L. Cid-Serrano (1999), How ubiquitous is the dipole relationship in tropical Atlantic sea surface temperatures?, <i>JGR-O</i> , 104, 7841-7848
9	TSA	Tropical Southern Atlantic Index	Enfield, D.B., A.M. Mestas, D.A. Mayer, and L. Cid-Serrano (1999), How ubiquitous is the dipole relationship in tropical Atlantic sea surface temperatures, <i>JGR-O</i> , 104, 7841-7848

대기 지수			
1	PNA	Pacific North American	Wallace, J. M.D. S. Gutzler, 1981: Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter, <i>Mon. Wea., Rev.</i> , 109, 784-812.
2	WP	Western Pacific	Barnston, A.G., and R.E. Livezey, 1987: Classification, seasonality and persistence of low - frequency atmospheric circulation patterns. <i>Mon. Wea. Rev.</i> , 115, 1083-1126.  Wallace J.M., and D.S. Gutzler, 1981: Teleconnections in the geopotential height field during the Northern hemisphere Winter. <i>Mon. Wea. Rev.</i> , 109, 784-812.
3	NP	North Pacific Pattern	Trenberth, K. E. and J. W. Hurrell (1994): Decadal atmosphereoceanvariations in the Pacific. <i>Clim. Dyn.</i> , 9, 303-319.
4	AO	Arctic Oscillation	COHEN, J., and M. Barlow, 2005, The NAO, the AO, and Global warming: How closely related?, <i>J. Climate</i> , 18, 4498-4513.
5	AAO	Antarctic Oscillation	Abram, N, Mulvaney, R, Vimeux, F et al 2014, 'Evolution of the Southern Annular Mode during the past millennium', <i>Nature Climate Change</i> , vol. 4, no. 7, pp. 564-569.
6	NAO	North Atlantic Oscillation	Hurrell, J. W., and C. Deser, 2009: North Atlantic climate variability: The role of the North Atlantic Oscillation. <i>J. Mar. Syst.</i> , 78, No. 1, 28-41
7	SOI	Southern Oscillation Index	Trenberth, K. E., & Shea, D. J., 1987: On the evolution of the Southern Oscillation. <i>Monthly Weather Review</i> , 115, 3078-3096.
8	QBO	Quasi-Biennia l Oscillation	Baldwin, M.P. et al, 2001: The Quasi-Biennial Oscillation. <i>Reviews of Geophys.</i> , 39, 179-229

몬순 지수			
1	<u>WYI</u>	Webster and Yang Monsoon Index	Webster, P.J., and S.Yang, 1992: Monsoon and ENSO: Selectively interactive systems. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 118, 877-926.
2	<u>AUSMI</u>	Australian Monsoon	Kajikawa, Y., B. Wang and J. Yang, 2010: A multitime-scale Australian monsoon index, Int. J. Climatol, doi: 10.1002/joc.1955.
3	<u>SAMI</u>	South Asian Monsoon Index	Goswami, B. N., B. Krishnamurthy, and H. Annamalai, 1999: A broad-scale circulation index for interannual variability of the Indian summer monsoon. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 125, 611-633.
4	<u>IMI</u>	Indian Monsoon Index	Wang, B., R. Wu, K.-M. Lau, 2001: Interannual variability of Asian summer monsoon: Contrast between the Indian and western North Pacific-East Asian monsoons. J. Climate, 14, 4073-4090.
5	<u>WNPMI</u>	Western North Pacific Monsoon Index	Wang, B., R. Wu, K.-M. Lau, 2001: Interannual variability of Asian summer monsoon: Contrast between the Indian and western North Pacific-East Asian monsoons. J. Climate, 14, 4073-4090.

Table B6. Reference to the definition of climate indices

## 2. APCC 기후지수감시시스템 구조

### 가. 폴더 구조

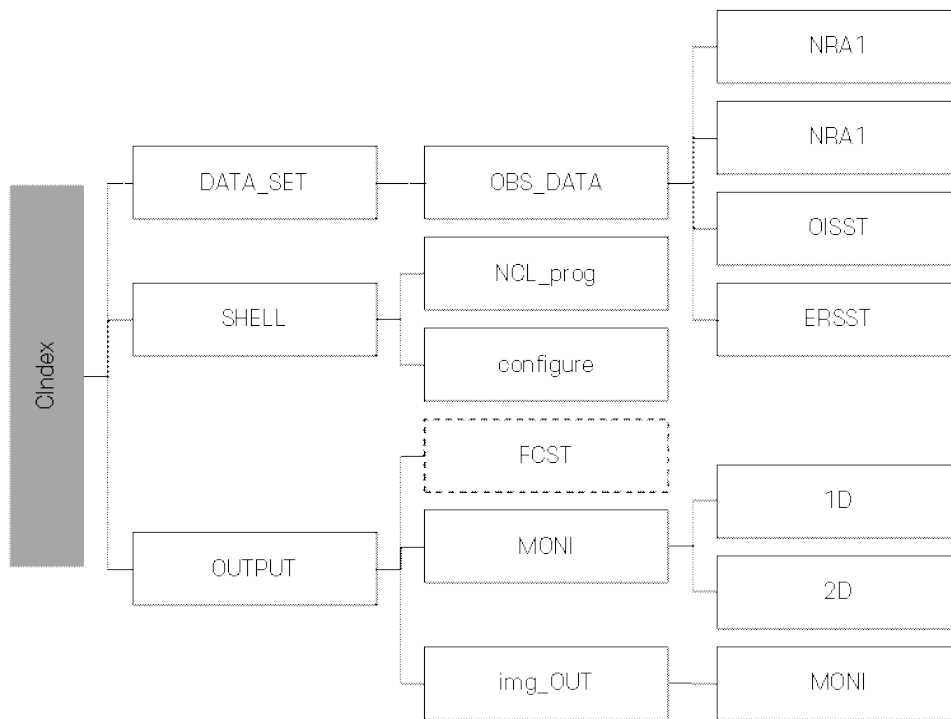


Figure B1. Directory structure of APCC climate index monitoring system.

기후지수 감시시스템 폴더 구조는 Figure B1과 같고 2021년 이후로 APCC 기후지수시스템은 기후 예측 지수 서비스는 중단하고 기후 감시 지수 서비스만 제공 중이다.

- (1) CIndex/DATA\_SET : 기후 지수 계산을 위한 변수별 관측자료의 원본(NetCDF) 파일과 격자 변환된 관측 자료 저장
- (2) CIndex/SHELL : 기후 지수 프로그램 실행을 위한 셸 스크립트 위치
  - (가) CIndex/SHELL/NCL\_prog : 기후 지수 계산 및 그래픽 NCL 코드
  - (나) CIndex/SHELL/configure : 각 프로그램 구동을 위한 경로 정보가 담긴 configure 파일
- (3) CIndex/OUTPUT : 기후 지수 시스템의 최종 결과물 저장
  - (가) CIndex/OUTPUT/MONI : 모니터링 지수 데이터 결과물(text 파일) 저장(1D는 1차 배열로 지수 표출, 2D는 년/월 2차 배열로 지수 표출)
  - (나) CIndex/OUTPUT/img\_OUT : 모니터링 지수 이미지 결과물(이미지 파일) 저장

## 나. 코드 흐름도

기후지수 시스템은 main.sh 실행 시 각 단계별 코드가 순차적으로 실행되게끔 구성되어 있다.

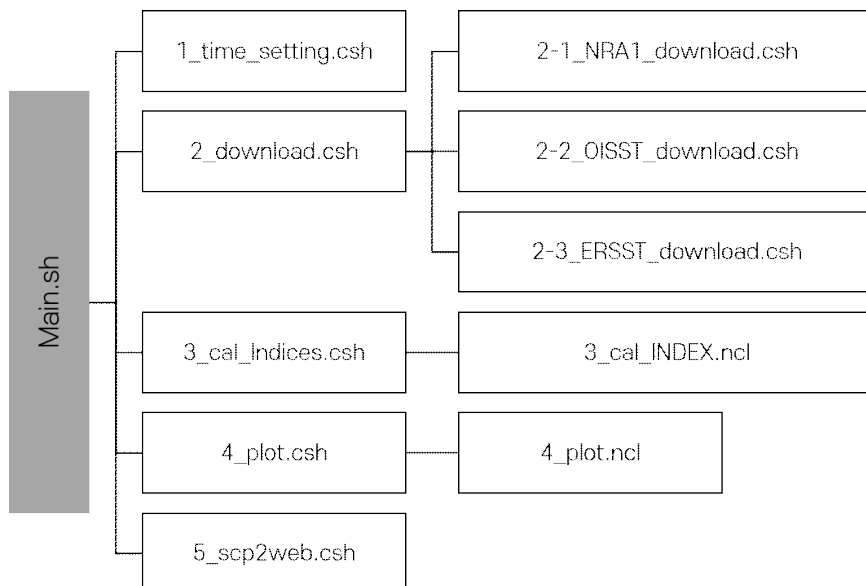


Figure B2. Flow chart of APCC climate index monitoring system.

main.sh

시간 정보 불러오기, 관측 자료 다운로드, 각 지수별 계산, 지수별 그래픽 코드, 홈페이지 서비스를 위한 전송을 실행하기 위한 최상위 통합 셸 스크립트

1\_time\_setting.csh

시간 정보 저장

2\_download.csh

APCCDB로부터 현업 폴더로 관측자료(R1, OISST, ERSST)를 복사하는 셸

3\_cal\_Indices.csh

모든 기후 지수(INDEX)의 개별 계산 NCL 코드를 수행하는 셸

[3\_cal\_Indices.csh]

```
... 중략 ...

set OBSscal=0
set MMEscal=1

${NCARG_ROOT}/bin/ncl ${ncl_prog_DIR}/3_cal_AAO.ncl time_set=${ini_date} optMONI=${OBSscal} optFCST=1 &
${NCARG_ROOT}/bin/ncl ${ncl_prog_DIR}/3_cal_AO.ncl time_set=${ini_date} optMONI=${OBSscal} optFCST=1 &

... 중략 ...
```

- 3\_cal\_Indices.csh 은 각 지수별로 개별적으로 만들어져 ncl 지수 계산 코드(ncl)를 실행하는 상위 셸이다. 여기서 OBSscal 과 MMEscal 은 감시지수와 예측지수 계산 유무를 결정하는 매개 변수로 True 일 때는 0, False 일 때는 1 을 입력하면 된다

4\_plot.csh

계산된 기후지수를 시계열 이미지로 작성하는 NCL 그래픽 코드를 수행하는 셸

5\_scp2web.csh

저장된 이미지 파일을 서비스를 위한 홈페이지 서버로 복사하는 셸

... 중략 ...

```
##=====##
## 02. Directory setting
##=====##
##-----##
set scr_DIR = "/ifs/data18/limay/CIndex"      ## for APCC
set data_DIR = "/ifs/data18/limay/CIndex"
##-----##
##-- Middle-level Directory setting -----##
set shell_DIR      = "${scr_DIR}/SHELL"
set configure_DIR = "${scr_DIR}/SHELL/configure"
set ncl_prog_DIR  = "${scr_DIR}/SHELL/NCL_prog"
set AFS_data_DIR  = "/ifs/data11/OPER/AFS/DATA"
set obs_data_DIR  = "${data_DIR}/DATA_SET/OBS_DATA"
set MODEL_out_DIR = "${data_DIR}/OUTPUT/MODEL"
set MONI_out_DIR  = "${data_DIR}/OUTPUT/MONI"
set FCST_out_DIR  = "${data_DIR}/OUTPUT/FCST"
set img_out_DIR   = "${data_DIR}/OUTPUT/img_OUT"
##-----##
.....
```

### 3. APCC 기후지수감시시스템 운영

#### 가. 수행 방법

기후지수 감시시스템은 Monthly 기반의 관측자료를 이용하여 실제 관측자료가 업데이트되는 스케줄을 고려하면 매월 초(5일 이후) 전월 기후지수 생산이 가능하다. 따라서 현업자는 매월 초 이후 관측자료가 업데이트되는 대로 기후지수 감시 시스템을 구동한다.

## (1) Configure 파일

Configure 파일은 기후지수 감시시스템 구동을 위한 환경설정을 수정하는 파일로 감시지수 시스템 구동에 필요한 모듈인 NCL 및 작업 경로를 세팅하는데 필수적인 파일이다

```
cd CIndex/SHELL/configure
vi CIndex.config
```

[CIndex.config]

```
... 중략 ...

##=====##
## 02. Directory setting
##=====##
##-----##
set scr_DIR = "/ifs/data18/limay/CIndex"      ## for APCC
set data_DIR = "/ifs/data18/limay/CIndex"
##-----##
##-- Middle-level Directory setting -----##
set shell_DIR = "${scr_DIR}/SHELL"
set configure_DIR = "${scr_DIR}/SHELL/configure"
set ncl_prog_DIR = "${scr_DIR}/SHELL/NCL_prog"
set AFS_data_DIR = "/ifs/data11/OPER/AFS/DATA"
set obs_data_DIR = "${data_DIR}/DATA_SET/OBS_DATA"
set MODEL_out_DIR = "${data_DIR}/OUTPUT/MODEL"
set MONI_out_DIR = "${data_DIR}/OUTPUT/MONI"
set FCST_out_DIR = "${data_DIR}/OUTPUT/FCST"
set img_out_DIR = "${data_DIR}/OUTPUT/img_OUT"
##-----##
.....
```

## (2) 최상위 셸 스크립트

CIndex/SHELL 로 이동 후 main.sh 를 실행하면 된다. main.sh 구동에 소요 시간은 약 40 분이다.

```
cd CIndex/SHELL/  
./main.sh
```

[main.sh]

```
#!/bin/bash  
  
shell_DIR="/ifs/data18/limay/CIndex/SHELL"  
cd ${shell_DIR}  
  
${shell_DIR}/configure/CIndex.config  
  
##-- Time setting -----##  
ini_date='date -u +%Y%m'  
echo "ini_date = "${ini_date}  
  
##-- manual setting-----##  
# ini_date=201503  
#-----##  
  
${shell_DIR}/1_time_setting.csh ${ini_date}  
${shell_DIR}/2_download.csh  
${shell_DIR}/3_cal_Indices.csh  
${shell_DIR}/4_plot.csh  
${shell_DIR}/5_scp2web.csh
```

main.sh 구동 가장 첫 단계에서 현재 시스템 날짜를 읽어 들여 가장 최신 날짜를 기준으로 감시 시스템 모든 단계를 세팅한다. 혹은 가장 최신 날짜가 아닌 날짜를 수동으로

세팅하고 싶으면 manual setting 에서 ini\_date 를 수정하면 된다(평상시에는 주석 처리되어 있음).

## 나. 코드 작업 로그

main.sh 에 대한 진행 상황은 로그 파일(job.log)을 통해 확인할 수 있다.

```
cd CIndex/SHELL/  
vi job.log
```

[job.log]

```
... 중략 ...  
2020-12-15 07:10:01 :      : 1.      : CIndex time setting (202012)  
2020-12-15 07:10:01 : Start : 2.      : DATA Download  
2020-12-15 07:10:01 : Start : 2-1.    : NRA1 data download  
2020-12-15 07:10:01 : Start : 2-3.    : ERSST data download  
2020-12-15 07:10:01 : Start : 2-2.    : OISST data download  
2020-12-15 07:10:04 : End   : 2-2.    : OISST data download (Elapsed time: 0m 3s)  
2020-12-15 07:10:06 : End   : 2-2.    : OISST data download (Elapsed time: 0m 5s)  
2020-12-15 07:10:07 : End   : 2-3.    : ERSST data download (Elapsed time: 0m 6s)  
2020-12-15 07:10:12 : End   : 2-1.    : NRA1 data download (Elapsed time: 0m 11s)  
2020-12-15 07:10:12 : End   : 2-1.    : NRA1 data download (Elapsed time: 0m 11s)  
2020-12-15 07:10:12 : End   : 2.      : DATA Download  
2020-12-15 07:10:12 : Start : 3.      : Calculate indices  
2020-12-15 07:10:23 : End   : 3.      : Calculate indices (Elapsed time: 0m 11s)  
2020-12-15 07:10:23 : Start : 4.      : Plot indices  
2020-12-15 07:10:51 : End   : 4.      : Plot indices (Elapsed time: 0m 28s)  
2020-12-15 07:10:51 : Start : 5.      : scp to web server  
2020-12-15 07:10:52 : End   : 5.      : scp to web server (Elapsed time: 0m 1s)
```

```

2020-12-15 07:49:15 : End      : 2-3.   : ERSST data download (Elapsed time: 39m 14s)
2020-12-15 07:49:15 : End      : 2.     : DATA Download
2020-12-15 07:49:15 : Start    : 3.     : Calculate indices
2020-12-15 07:49:26 : End      : 3.     : Calculate indices (Elapsed time: 0m 11s)
2020-12-15 07:49:26 : Start    : 4.     : Plot indices
2020-12-15 07:49:55 : End      : 4.     : Plot indices (Elapsed time: 0m 29s)
2020-12-15 07:49:55 : Start    : 5.     : scp to web server
2020-12-15 07:49:56 : End      : 5.     : scp to web server (Elapsed time: 0m 1s)
.....

```

로그파일은 main.sh 내의 각 서브 프로그램별 시작과 종료시간에 대한 정보가 기록되고 1 개의 로그파일 안에 누적형식으로 과거부터 현재까지 구동했던 main.sh 에 대한 모든 로그가 포함되어 있다.

## 다. 최종 산출물

기후지수 시스템의 최종 산출물로는 지수 텍스트 파일과 지수 시계열 이미지 파일이 있다.

### (1) 기후 지수 파일

기후 지수 자료의 확장자는 텍스트이고 ‘지수명.txt’ 한 파일에 과거부터 현재까지의 지수가 저장된다. 그리고 폴더명 1D 와 2D 로 구분되어 있으며 1D 는 시간별로 1 차원 배열로 작성되어 있고 2D 는 연도/월별 구분되어 2 차원 배열로 작성되어 있다.

```
cd CIndex/OUTPUT/MONI
```

[예시 Niño34.txt]

```
yearmon Niño34
```

```
1948-01 0.104
```

```
1948-02 0.206
```

```
1948-03 -0.875
```

```
... 중략 ...
```

```
2021-01 -0.967
```

```
2021-02 -0.977
```

[예시 2D/Niño34\_2D.txt]

```
YEAR JAN FEB MAR APR MAY JUN JUL AUG SEP OCT NOV DEC
```

```
1948 0.104 0.206 -0.875 0.057 0.195 -0.614 -1.074 -1.179 -1.312 -1.404 -1.448 -0.637
```

```
1949 -0.572 -0.708 -0.458 -0.338 -0.829 -1.087 -0.964 -0.829 -0.870 -1.163 -1.522 -1.895
```

```
1950 -1.854 -1.599 -1.325 -1.371 -1.567 -1.114 -0.900 -0.956 -1.011 -0.998 -1.147 -1.250
```

```
... 중략 ...
```

## (2) 기후 지수 시계열 이미지

기후지수는 홈페이지 서비스용으로 시계열 이미지 파일로 가공된다.

```
cd CIndex/OUTPUT/img_OUT/MONI
```

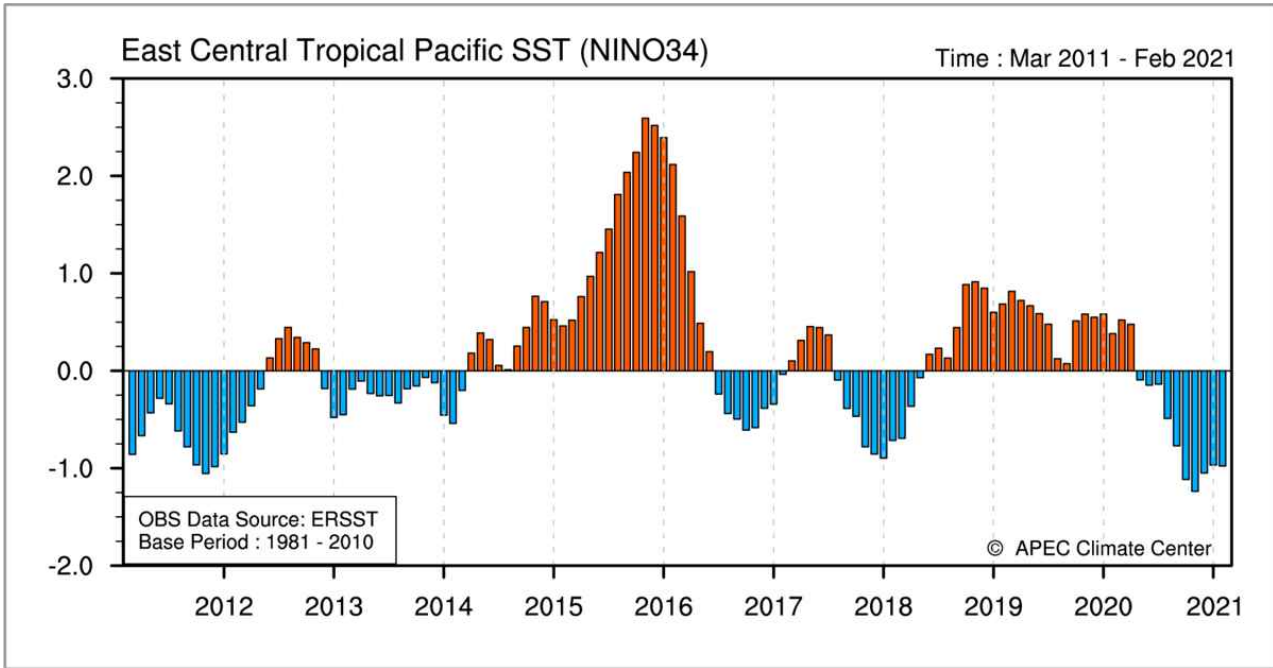


Figure B3. Example of climate index monitoring image after system improvement (Niño3.4)

기후 지수 시계열 이미지의 확장자는 png 이고 ‘Plot\_지수명.png’ 파일명으로 저장된다.

## 부록 C. 개별모델 고해상도 예측자료 전처리 시스템 운영매뉴얼

### 가. 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 수요 조사를 실시한 결과, 대다수의 사용자가 고해상도 계절예측정보를 가장 우선으로 필요로 하였으며, 이에 2021년 11개국 15개 계절예측정보 참여 기관의 협조와 함께 고해상도( $1^\circ \times 1^\circ$ ) 계절예측시스템을 구축하고자 하였다. 계절예측을 수행하기 위해 15개 기관의 예측자료를 일원화된 규격으로 전처리 및 표준화를 수행하고 있으며, 해상도의 변환도 함께 수행하고 있다. 또한, 활용 가치가 높은 당월 예측 정보를 포함함으로써 계절예측정보의 활용성 증진시키고자 하였다.

### 나. 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 C1), 이와 같은 개별모델 예측자료를 활용하여 APCC MME 계절예측 시스템을 통해 3개월 및 6개월의 다중모델앙상블 계절예측정보를 생산하고 있다. 개별모델들을 활용한 다중모델 앙상블 기법은 결정론적(deterministic) 예측과 확률론적(probabilistic) 예측 기법으로써 고품질의 예측정보를 생산한다(Table C2). 단, MGO의 MGOAM-2 경우 hindcast 기간 불일치 이유로 현재 MME에 사용하고 있지 않다.

Table C1. List of participating individual institute and model in APCC MME.

기관(국가)	모델명	모델해상도	앙상블 개수 (F/H)	Hindcast 기간	당월 예측유무
APCC (한국)	SCoPS	T159L31	10/10	1982-2013	O
BCC (중국)	CSM1.1m	T106L26	24/24	1991-2015	X
BOM (호주)	ACCESS-S1	N216L85	11/11	1990-2012	O
CMCC (이탈리아)	SPS3.5	0.5x0.5, L46	40/40	1993-2016	O
CWB (대만)	TCWB1Tv1.1	T119L40	30/30	1982-2019	O
HMC (러시아)	SL-AV	1.125x1.40625, L28	20/10	1990-2015	X
JMA (일본)	JMA/MRI-CPS2	T159L60	52/10	1979-2019	O
KMA (한국)	GloSea5GC2	N216L85	42/12	1991-2016	X
MetFR (프랑스)	Sys 8	T359L127	51/25	1993-2016	O
MGO (러시아)	MGOAM-2	T42L14	10/6	1979-2004	X
MSC (캐나다)	CanSIPsv2	T63L35	20/20	1981-2010	O
NASA (미국)	GEOS-S2S-2.1	0.5x0.5, L72	10/4	1981-2016	X
NCEP (미국)	CFSv2	T126L64	20/20	1982-2010	X
PNU (한국)	CGCM v2.0	T42L18	35/35	1980-2020	X
UKMO (영국)	GloSea6	N216L85	42/28	1993-2016	O

Table C2. Methods of APCC multi-model ensemble.

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 C1)는 기관별 각기 다양한 형식과 속성에 따라 사용자들의 편의성을 증진시키고 자료 처리의 일관성을 확보하기 위해 일원화(표준화)된 규격으로 개별모델의 예측자료를 일괄적으로 동일한 자료 형식에 대해 전처리하여 제공하고 있다.

고해상도 변환을 위해 원본 자료의 해상도가  $1.0^{\circ} \times 1.0^{\circ}$  도(위도 $\times$ 경도,  $180 \times 360$ )로 같을

경우는 해상도 변환 없이 자료를 표준화하고, 다른 경우에는 xesmf regrid 사용하여 변환하였다. 또한, 기존에 제공하지 않는 당월예측(0.5 month lead time) 정보를 포함하여 생산하도록 구축하였다.

여기서 Table C1과 같이 당월예측을 제공하지 않는 개별모델은 결측(missing value) 처리하여 생산하도록 하였다. 이러한 개별모델 고해상도 및 당월예측 자료는 다중모델앙상블 기법(Table C2)에 따라 MME 계절예측정보를 생산하는데 활용된다.

## 다. 개별모델 고해상도 및 당월 예측자료 통합 전처리 시스템의 구성, 환경설정, 실행

### (1) 개별모델 고해상도 및 당월 예측자료 통합 전처리 시스템 구성

개별모델 고해상도 예측자료 통합 전처리 시스템에 사용된 언어는 python version 3이다. python 언어를 사용하기 위해서는 여러 추가적인 python 패키지가 요구되는데, 현 시스템에서는 일반적으로 많이 사용되는 numpy, netCDF4, xarray, pandas, os 패키지를 사용하였고, regrid를 위해 xesmf 패키지를 사용하였다.

개별모델 고해상도 예측자료 통합 전처리 시스템의 구성은 크게 2가지로 나눌 수 있는데, 첫 번째는 “개별모델 예측자료 수집 현황 알림 및 자동 수집 시스템” 으로부터 수집된 개별모델의 원시 자료의 경로, 파일명, 변수명, 예측기간, hindcast 기간 등을 읽어 들이는 yaml 부분, 두 번째는 원시 자료의 압축해제, 자료 재배치, regrid 변환, nc 파일 쓰기 등을 위한 python 모듈 부분이다 (Figure C1).

이러한 개별모델별 전처리 프로그램은 독립적으로 프로그램 수행이 가능하며, 사용자가 원하는 개별모델이나 전체 모델에 대해 개별모델 고해상도 예측자료 통합 전처리 시스템(프로그램)에서 설정 가능하다. 따라서 통합 전처리 프로그램을 통해 사용자가 필요한 개별모델 정보를 입력하면 해당 모델의 예측자료의 전처리가 가능하며, 또한 “개별모델 예측자료 수집 현황 알림 및 자동 수집 시스템” 으로부터 자료 수집 알림을 통해 수집된 모델의 예측자료에 대해 별다른 수정 없이 자동으로 전처리가 수행될 수 있도록 하였다.

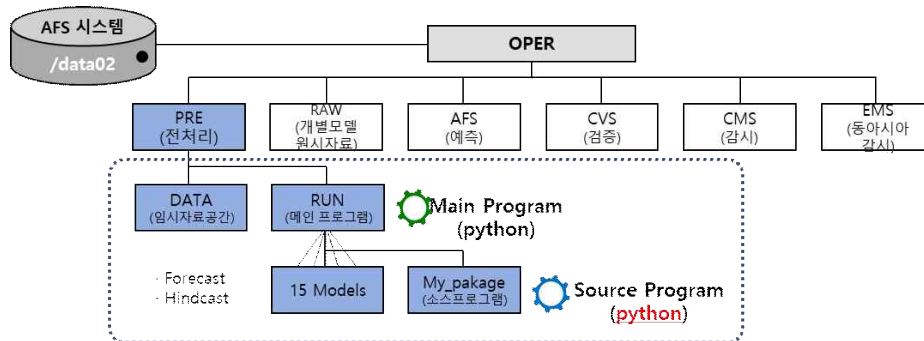


Figure C1. The structure of pre-processing system for individual high-resolution prediction data.

## (2) APCC 현업서버 환경 설정

개별모델 고해상도 예측자료 통합 전처리 시스템은 APCC HPC 로그인 서버 또는 현업서버에서 실행이 되며 이를 위해서는 HPC의 소프트웨어 모듈을 로드하여 사용하여야 한다. 기본적으로 필요한 것은 python과 NCL 모듈이다. 사용자가 현업 계정에 로그인 후 해당계정에서 python과 NCL 모듈을 로드한다.

### ■ 모듈 확인(module avail)

```
]$ module avail
----- /opt/Modules/versions -----
3.2.10
----- /opt/Modules/3.2.10/modulefiles -----
dot          module-git  module-info  modules

----- /app/modulefiles/compiler -----
gnu/4.9.0          intel/14.0          pgi/13.10          python/3.6.1(default)
intel/11.1(default) intel_mkl           pgi/14.6           python/3.7.1
intel/12.0         pgi/10.9(default)  pgi/9.0            python/3.7.1-anaconda
intel/12.1         pgi/11.10          python/2.7.15
intel/13.1         pgi/12.10          python/2.7.15-anaconda
...
----- /app/modulefiles/library -----
atk/2.7.5          libffi/3.2.1        ncl/6.2.0
atlas/3.10.2_GNU  libgd/2.2.2         ncl/6.3.0
atspi2/2.7.5      libjpeg/6c(default) ncl/6.4.0
```

### ■ 모듈 로드(module load)

```
]$ module load python/3.7.1-anaconda
```

### (3) 개별모델 고해상도 및 당월 예측자료 통합 전처리 시스템 구조 및 프로그램 종류

개별모델 고해상도 예측자료 통합 전처리 시스템이 실행되는 기본 디렉터리는 Figure C2의 RUN 디렉터리이며(실행 프로그램은 Table C3 참고), DATA 디렉터리는 전처리하고자 하는 개별모델의 예측자료를 처리하는 임시공간이다. RUN 디렉터리 아래에는 실제 전처리를 하기 위한 소스프로그램이 있는 my\_package 라는 디렉터리가 있으며, Table C3과 같이 15개 개별모델을 수동으로 수행할 수 있도록 각 모델별 전처리 프로그램과 통합 전처리 프로그램으로 구성되어 있다.

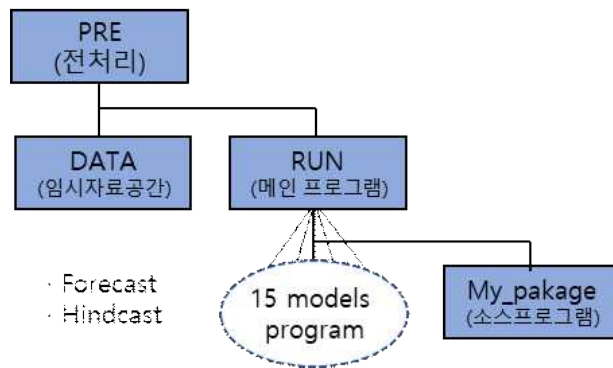


Figure C2. The structure of pre-processing system for observation data.

- RUN 디렉터리 : 통합 및 개별모델별 전처리 프로그램(python), yaml 파일, 자동화(crontab 용) 코드, 수동화 코드 등 존재

※ RUN/my\_package에는 python 사용자 모듈 코드 존재

- DATA 디렉터리 : 개별모델 원시 예측자료를 가공하기 위한 임시 처리 경로

Table C3. Lists of program and module files in RUN directory.

RUN	개별 프로그램 실행 코드
통합 전처리	run4user.py, model_list.yaml
개별모델별 전처리	기관명.py, 기관명.yaml (15개 기관)
crontab 용	run4crontab.py
기타	lsmask_OISST_180×360.nc
RUN/my_package	사용자 모듈 코드
regrid 변환	esmf_regrid.py
nc 파일	nc_out.py

아래와 같이 RUN 디렉터리의 개별 모델 전처리 프로그램(예, APCC.py)을 열어 작업 경로 및 원시자료가 위치하는 수집 경로의 수정이 가능하다. 현업 기본 디렉터리를 \${OPER}라고 하면, 실행 디렉터리는 아래와 같으며, data\_path (자료 임시 처리 경로), run\_path (실행 경로), raw\_path (원시자료 경로), hcst\_path (hindcast output 경로), fcst\_path (forecast output 경로)를 수정한다.

■ 실행 디렉터리

```
${OPER}/PRE/RUN
```

■ 자료 경로 변경(예, APCC.py)

```
#-----
# User defined

# Setting raw data & temporary data processing & run path
data_path = "/data02/OPER/PRE/DATA/"
run_path = "/data02/OPER/PRE/RUN/"
raw_path = "/data02/OPER/RAW/"
hcst_path = "/data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/HINDCAST"
fcst_pat = "/data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/FORECAST"
#-----
```

(4) 개별모델별 고해상도 및 당월 예측자료 전처리 프로그램 실행

개별모델별 고해상도 예측자료 전처리 프로그램을 실행하기 위해서는 먼저 해당 예측자료의 기관명, 모델명, 변수명, hindcast 기간, 예측(forecast) 년/월을 yaml 파일에 입력을 해주어야 한다. 사용자의 실행 디렉터리(RUN 디렉터리)에 있는 기관(모델)별 yaml 파일을 수정한다. 여기서는 APCC(SCoPS) 자료에 대해 예시로 들었다.

■ 실행 디렉터리로 이동 및 APCC.yaml 열기

```
]$ cd ${OPER}/PRE/RUN
]$ vi APCC.yaml
```

■ APCC.yaml 변경

```
DataList:
- Institute_name : APCC
  Model_name     : SCOPS
  Variable_name  : prec
                  slp
                  sst
                  t2m
                  t850
                  u200
                  u850
```

```
v200
v850
z500
Hindcast_syear : 1982
Hindcast_eyear : 2013
Forecast_year  : 2021
Forecast_month : DEC
```

사용자가 처리를 원하는 변수를 선택하여(추가하거나 제외 가능) 형식에 맞게 수정한다(위 예제는 APCC SCoPS 모델의 표준화된 고해상도 예측 자료를 생산하기 위한 모든 리스트임).

APCC.yaml 파일 수정 후, APCC.py python 코드를 실행하면 forecast 및 hindcast 표준화 자료가 생산된다.

#### ■ APCC.py 실행

```
]$ python APCC.py
```

나머지 개별모델에 대한 yaml 파일도 위와 유사하게 수정하여, 개별모델별 전처리 프로그램을 수행할 수 있다. 또한, 개별모델이 추가되거나 변경될 시에도 유사하게 수행한다.

#### (5) 개별모델 고해상도 및 당월 예측자료 통합 전처리 프로그램 실행

다수 혹은 전체 모델들의 고해상도 예측 자료에 대해서 일괄적으로 처리하기 위해서 통합 전처리 프로그램을 구축하였으며, 처리하고자 하는 모델들의 기관명, 모델명을 yaml 파일에 입력을 해주어야 한다. 사용자의 실행 디렉터리(RUN 디렉터리)에 있는 통합 전처리 프로그램에 해당하는 yaml(model\_list.yaml)을 아래와 같이 수정하여 준다. 단, 기관명과 모델명의 순서는 서로 일치하게 설정하며, 실제 개별모델 표준화 예측자료 디렉터리명에 맞추어 작성한다.

#### ■ 실행 디렉터리로 이동 및 model\_list.yaml 열기

```
]$ cd ${OPER}/PRE/RUN
]$ vi model_list.yaml
```

#### ■ model\_list.yaml 변경 (예시)

```
DataList:
- Institute_name : APCC
                  BCC
                  CMCC
                  KMA
                  METFR
                  PNU
                  UKMO
Model_name       : SCOPS
```

```
CSM1.1M
SPS3.5
GLOSEA5GC2
SYS8
CGCMv2.0
GLOSEA5
```

사용자가 원하는 모델(기관명 및 모델명) 선택하여(추가하거나 제외 가능) 형식에 맞게 수정한다. model\_list.yaml 파일 수정 후, run4user.py python 프로그램을 실행한다.

■ run4user.py 실행

```
]$ python run4user.py
```

위와 같이 통합 전처리 프로그램을 실행하면 설정한 개별모델별 고해상도 예측 자료의 표준화 자료가 생산되며, 모든 선행시간(lead-time) 및 앙상블 멤버에 대해서 아래와 같은 경로에서 확인할 수 있다.

■ 고해상도 표준화된 예측 자료 경로

```
- Forecast : ${OPER}/AFS/DATA/MME_IN/FORECAST/{기관명}_{모델명}
- Hindcast : ${OPER}/AFS/DATA/MME_IN/HINDCAST/{기관명}_{모델명}
```

위 시스템은 “개별모델 예측자료 수집 현황 알림 및 자동 수집 시스템” 과 연계되어, 개별모델 예측자료가 수집되는 즉시 담당자(메일 발송) 및 현업 시스템에 결과(flag file)를 알림에 따라 incron을 활용하여 해당 모델에 대한 즉각적인 처리가 가능하도록 구축하였다. 여기서, 개별모델의 경우 상시적으로 개선 및 변경됨에 따라 수시로 전처리 프로그램의 수정이 필요하므로 각 개별모델에 대한 상세 전처리 과정은 담당자가 별도의 시스템 매뉴얼을 작성하여 관리 및 운영하도록 하였다.

# 부록 D. 고해상도 계절예측자료 시스템 운영매뉴얼

## 가. 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 수요 조사를 실시한 결과, 대다수의 사용자가 고해상도 계절예측정보를 가장 우선으로 필요로 하였으며, 이에 2021년 11개국 15개 계절예측정보 참여 기관의 협조와 함께 고해상도(1° × 1°) 계절예측시스템을 구축하고자 하였다. 계절예측을 수행하기 위해 15개 기관의 예측자료를 일원화된 규격으로 전처리 및 표준화를 수행하고 있으며, 해상도의 변환도 함께 수행하고 있다. 고해상도 개별 모델 예측 자료를 통하여 APCC MME 기법을 적용하고, 최종적으로 고해상도의 다중모델앙상블 계절예측 자료를 생산하는 시스템을 구축하였다 (Figure D1).

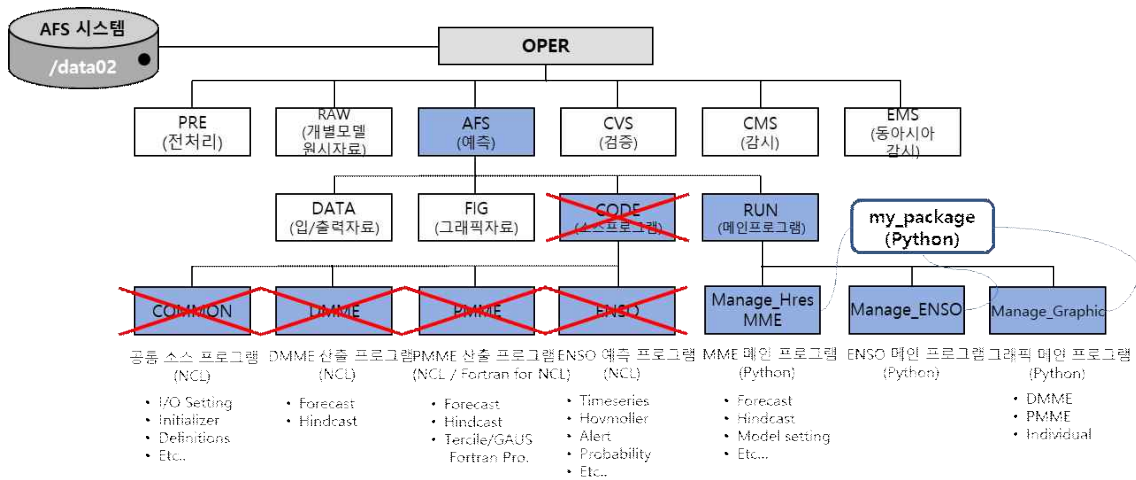


Figure D1. The structure of high-resolution seasonal prediction system.

## 나. 자료 및 방법

### (1) 모델 자료 개요

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), 이와 같은 개별모델 예측자료를 활용하여 APCC MME 계절예측 시스템을 통해 3개월 및 6개월의 다중모델앙상블 계절예측정보를 생산하고 있다. 개별모델들을 활용한 다중모델 앙상블 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 individual institute and model in APCC MME.

기관(국가)	모델명	모델 해상도	앙상블	Hindcast	당월
			개수 (F/H)	기간	예측유무
APCC (한국)	SCoPS	T159L31	10/10	1982-2013	O
BCC (중국)	CSM1.1m	T106L26	24/24	1991-2015	X
BOM (호주)	ACCESS-S1	N216L85	11/11	1990-2012	O
CMCC (이탈리아)	SPS3.5	0.5x0.5, L46	40/40	1993-2016	O
CWB (대만)	TCWB1Tv1.1	T119L40	30/30	1982-2019	O
HMC (러시아)	SL-AV	1.125x1.40625, L28	20/10	1990-2015	X
JMA (일본)	JMA/MRI-CPS2	T159L60	52/10	1979-2019	O
KMA (한국)	GloSea5GC2	N216L85	42/12	1991-2016	X
MetFR (프랑스)	Sys 8	T359L127	51/25	1993-2016	O
MGO (러시아)	MGOAM-2	T42L14	10/6	1979-2004	X
MSC (캐나다)	CanSIPsv2	T63L35	20/20	1981-2010	O
NASA (미국)	GEOS-S2S-2.1	0.5x0.5, L72	10/4	1981-2016	X
NCEP (미국)	CFSv2	T126L64	20/20	1982-2010	X
PNU (한국)	CGCM v2.0	T42L18	35/35	1980-2020	X
UKMO (영국)	GloSea6	N216L85	42/28	1993-2016	O

Table D2. Methods of APCC multi-model ensemble.

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)는 기관별 각기 다양한 형식과 속성에 따라 사용자들의 편의성을 증진시키고 자료 처리의 일관성을 확보하기 위해 일원화(표준화)된 규격으로 개별모델의 예측자료를 일괄적으로 동일한 자료 형식에 대해 전처리하여 제공하고 있다.

고해상도 변환을 위해 원본 자료의 해상도가  $1.0^{\circ} \times 1.0^{\circ}$  도(위도 $\times$ 경도,  $180 \times 360$ )로 같을 경우는 해상도 변환 없이 자료를 표준화하고, 다를 경우에는 xesmf regrid 사용하여 변환하였다. 또한, 기존에 제공하지 않는 당월예측(0.5 month lead time) 정보를 포함하여 생산하도록 구축하였다.

여기서 Table D1과 같이 당월예측을 제공하지 않는 개별모델은 결측(missing value) 처리하여 생산하도록 하였다. 이러한 개별모델 고해상도 및 당월예측 자료는 MME 기법(Table D2)에 따라 다중모델앙상블 계절예측정보를 생산한다.

## (2) SST/ENSO/IOD/EMI 예측 시스템 개요

SST/ENSO/IOD/EMI 예측시스템은 AFS MME 예측과 그래픽 시스템이 개발된 이후에 MME 시스템을 참조하여 개발되었으며, 점진적으로 ENSO 확률 예측 시스템 도입, JAMSTEC의 ENSO 예측 참여에 따른 시스템 개선 등의 다양한 개선이 있었다. 이러한 SST/ENSO/IOD/EMI 예측시스템은 매 계절별 수집 가능한 해양-대기 접합 모델의 장기기후예측 자료를 활용하여 아래와 같은 예측지수의 결정론적 및 확률론적 예측 정보를 생산한다.

- 예측지수 : Niño3, Niño3.4, Niño4, Niño1+2, IOD, WIOD, EIOD, EMI
- 예측지수의 시계열 분포 (개별 모델 모든 앙상블 포함)
- 예측지수의 수치값에 대한 표 그림
- 인도·태평양에서의 해수면 온도 아노말리 공간 분포
- 해수면 온도 아노말리의 Hovmoller diagram (경도-시간 cross section)
- ENSO(Niño3.4 기반) 확률 예측 정보

Table D3 . Definition of oceanic climate indices.

종류	영역
Niño 지수	Niño 1+2 (0-10°S, 80°-90°W)
	Niño 3 (5°S-5°N, 90°-150°W)
	Niño 4 (5°S-5°N, 150°-160°W)
	Niño 3.4 (5°S-5°N, 120°-170°W)
인도양 다이폴(IOD) 지수	IOD = WIOD - EIOD
	WIOD (10°S-10°N, 50°-70°E)
	EIOD (10°S-0°, 90°-110°E)
ENSO-Modoki 지수	EMI = A - 0.5 x (B + C)
	A (10°S-10°N, 165°E-140°W)
	B (15°S-5°N, 110°W-70°W)
	C (10°S-20°N, 125°E-145°E)

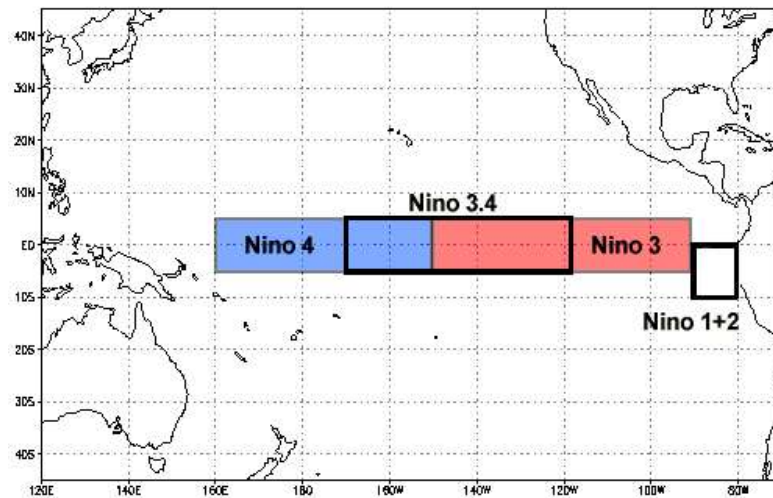


Figure D2. Region of Niño index.

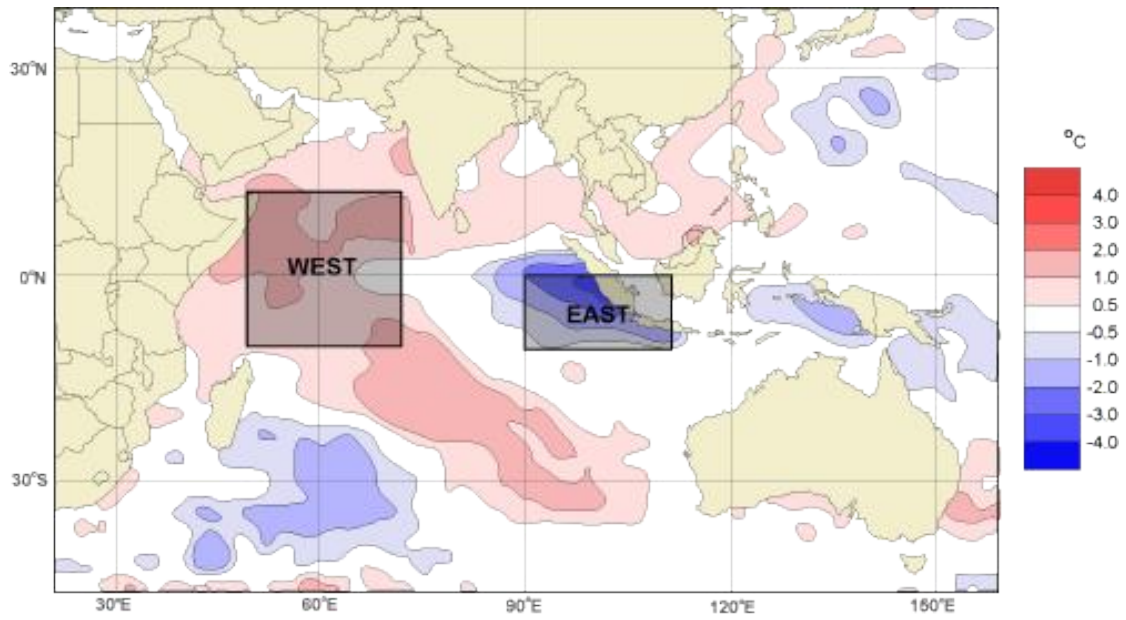


Figure D3. Region of WIOD and EIOD.

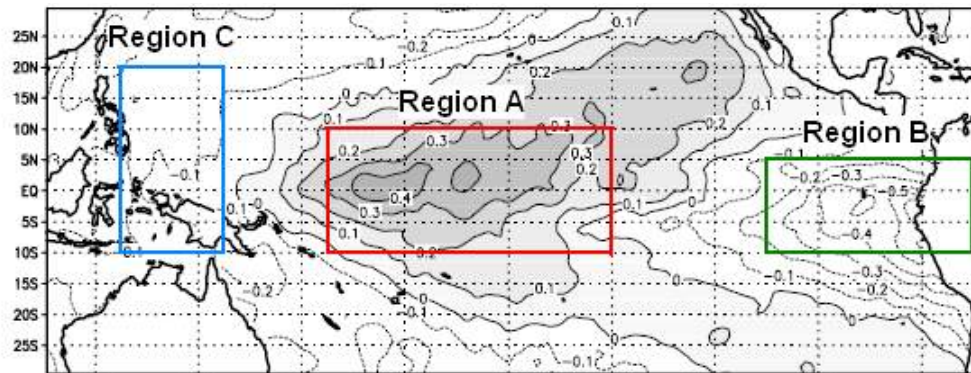


Figure D4. Region of EMSO-Modoki.

## 다. AFS 시스템 환경설정, 실행 방법

### (1) 3/6개월 계절예측자료 생산 일정 및 시스템

양질의 기후 예측 정보를 제공하기 위해서 APEC 기후센터에서는 세계 각 기후 기관의 기후예측 자료를 수집하고 예측자료를 가공하여 아래와 같은 일정으로 매달 다양한 예측정보를 제공하고 있다.

- ① (1일): 각 기관의 기후예측자료 요청 메일 발송
- ② (~12일): 기후예측자료 수집 및 전처리
- ③ (~17일): MME 예측자료 생산, ENSO 및 검증, 그래픽 작업 수행
- ④ (~20일): 홈페이지를 통한 예측자료 제공 및 Outlook 발송
- ⑤ (~31일): APCCDB, ADSS 등 예측자료 업데이트 관리

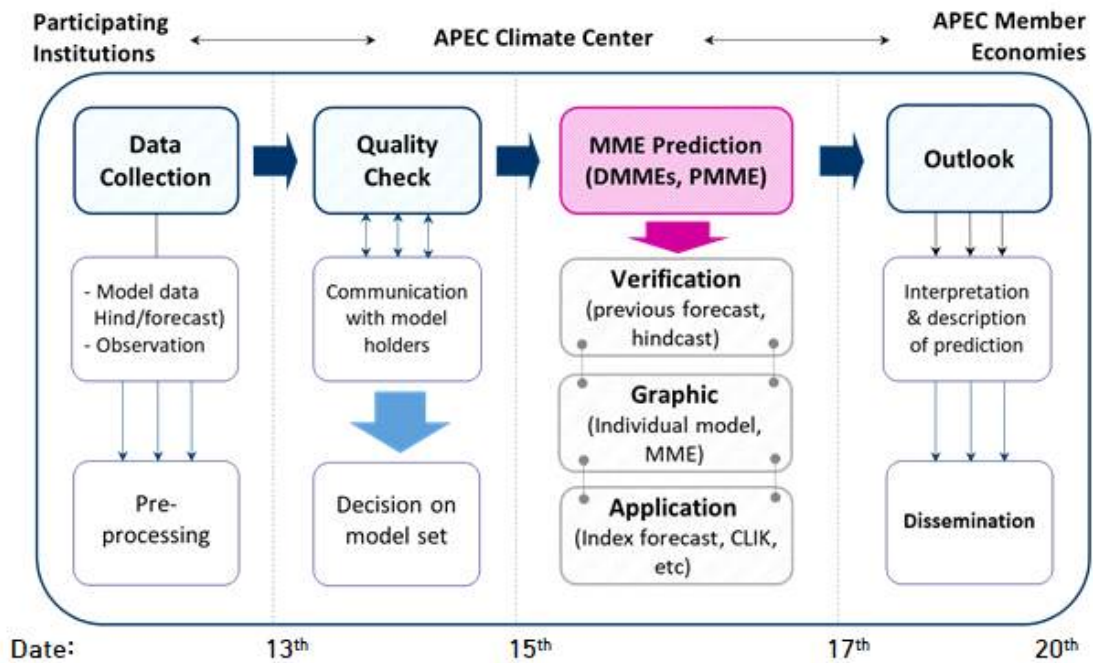


Figure D5. Schedule of providing process for the APCC MME seasonal prediction data.

Figure D5와 같이 APCC MME 최종 예측정보를 제공하기 위하여, ① 개별 예측 자료 및 관측 자료 수집, ② 예측 자료 및 관측 자료 전처리, ③ 자료 품질 평가 및 APCC MME 참여 모델 선정, ④ MME 예측 자료(DMME, PMME) 생산, ⑤ MME SST/ENSO 예측 자료 생산, ⑥ 개별 모델 및 MME 예측 자료 그래픽 자료 생산, ⑦ 과거 예측자료 및 실시간 예측자료 검증 및 그래픽 자료 생산, ⑧ 아웃룩 작성 및 발송, ⑨ 웹페이지 및 예측자료 데이터 업로드 과정 순으로 작업이 진행 된다.

APCC MME 예측 시스템은 현업의 안정성 및 효율성을 위하여 단독 서버 및 시스템으로 구성되어 있으며, 현업 담당자 및 개발자, 책임자(과장 및 팀장)만이 전체 시스템의 접속 권한을 부여함으로써 보안 정책을 강화하였다. 하지만 센터 내 APCC MME 예측자료를 서비스하거나 실시간으로 사용해야하는 예외적인 경우(기상청 예보도의 지원 등)에 한하여 예측 자료와 그래픽 자료가 위치한 디렉토리에 대해 접근 권한(읽기)이 있는 계정을 발급할 수 있다. APCC MME 예측 시스템과 현업 계정 정보는 아래와 같다.

■ MME 예측시스템 사양

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
NCL
- version 6.5.0 / 6.6.2

○ APCC MME 예측 시스템 현업 계정 정보

- 서버 IP 주소 : 10.100.9.116 (내부망)
- 계정: OPER
- 패스워드: 내부 공유

**(2) APCC MME 참여 모델 예측 자료 요청 메일 발송**

APCC MME에 참여하는 15개 기관의 예측 자료를 수집하기 위하여 매월 1일 각 해당 담당자에 메일을 발송한다. 또한, APCC MME를 운영하는 담당 과의 과장과 현업 관련 과원에게 참조한다. 메일 내용의 예시는 아래와 같다.

Thank you for your continuous support of the APEC Climate Center (APCC).

We would like to kindly request for your institution to provide prediction data on a monthly basis for each subsequent six-month period to contribute to the APCC MME prediction.

If the extended data is not available from your organization, we would still like to receive the 3-month hindcast/forecast datasets as in previous years for other applications.

We hope to start the process by collecting the **July-August-September(-October-November-December)** forecasts in 2020.

Details of data provision will be arranged through communications with the focal point at your center.

If you have any questions on our MME prediction, don't hesitate to contact either Ms. Daeun Jeong ([downy@apcc21.org](mailto:downy@apcc21.org))\* or Dr. Bong-geun Song ([songbg@apcc21.org](mailto:songbg@apcc21.org))\*\*.

(\*: APCC MME 현업 운영 담당자, \*\*: APCC MME 현업 운영 과장)

메일 수신인 목록은 아래의 Table D4와 같다.

Table D4. E-mail Lists for working group participating in APCC MME.

Institute	Country	Model Name	Representative	Working Staff
APCC	Korea	SCoPS	- Dr. Yoobin Yhang ( <a href="mailto:ybyhang@apcc21.org">ybyhang@apcc21.org</a> )	Ms. A-Young Lim ( <a href="mailto:limay@apcc21.or">limay@apcc21.or</a> )
BoM	Australia	ACCESS-S1	- Dr. Aihong Zhong ( <a href="mailto:a.zhong@bom.gov.au">a.zhong@bom.gov.au</a> )	Mr. Lixin Qi ( <a href="mailto:L.Qi@bom.gov.au">L.Qi@bom.gov.au</a> )
BCC	China	CSM1.1m	- Dr. Tongwen Wu ( <a href="mailto:twwu@cma.gov.cn">twwu@cma.gov.cn</a> ) - Dr. Zongjian Ke ( <a href="mailto:kezj@cma.gov.cn">kezj@cma.gov.cn</a> )	Mr. Xiangwen Liu ( <a href="mailto:xwliu@cma.goc.cn">xwliu@cma.goc.cn</a> )
CMCC	Italy	SPS3.5	- Dr. Silvio Gualdi ( <a href="mailto:silvio.gualdi@ingv.it">silvio.gualdi@ingv.it</a> )	- Dr. Stefano Materia ( <a href="mailto:stefano.materia@cmcc.it">stefano.materia@cmcc.it</a> ) - Dr. Andrea Borrelli ( <a href="mailto:andrea.borrelli@cmcc.it">andrea.borrelli@cmcc.it</a> ) - Others ( <a href="mailto:panos.athanasiadis@cmcc.it">panos.athanasiadis@cmcc.it</a> ) ( <a href="mailto:antonella.sanna@cmcc.it">antonella.sanna@cmcc.it</a> )
CWB	Chinese Taipei	TCWB1Tv1.1	- Dr. Jyh-Wen Hwu ( <a href="mailto:jwhwu@cwb.gov.tw">jwhwu@cwb.gov.tw</a> )	- Mr. Taun-Tang Lin ( <a href="mailto:hance@cwb.gov.tw">hance@cwb.gov.tw</a> )
HMC	Russia	SL-AV	- Dr. Dmitry Kiktev ( <a href="mailto:kiktev@mecon.ru">kiktev@mecon.ru</a> )	- Dr. Vladimir Kryjov ( <a href="mailto:krijov@yahoo.co.uk">krijov@yahoo.co.uk</a> ) - Other ( <a href="mailto:khan@mecon.ru">khan@mecon.ru</a> )

JMA	Japan	MRI-CPS2	- Mr. Takayuki Tokuhiro (tokuhiro@met.kishou.go.jp)	- Mr. Takayuki Tokuhiro (tokuhiro@met.kishou.go.jp)
KMA	Korea	GloSea5GC2	- Dr. Yu-Kyung Hyun (ykhyun@korea.kr)	- Ms. Hee-Sook Ji (sookkool@korea.kr)
MetFR	France	Sys 8	- Mr. Gilles Perret (gilles.perret@meteo.fr)	- Jean-Francois Gueremy - Laurent Dorel - Constantin Ardilouze - Lauriane Batte (contactmf_c3s-330_oper@meteo.fr)
MGO	Russia	MGOAM-2	- Dr. Vadim Matyugin (matyugin@main.mgo.rssi.ru)	- Dr. Vadim Matyugin (matyugin@main.mgo.rssi.ru)
MSC (ECCC)	Canada	CanSIPsv2	- Dr. Bertrand Denis (Bertrand.Denis@ec.gc.ca)	- Mr. Ryan Muncaster (ryan.muncaster@canada.ca) - Benoit Archambault (benoit.archambault@ec.gc.ca)
NASA	USA	GEOS-S2S-2.1	- Dr. Steven Pawson (steven.pawson-1@nasa.gov)	- Dr. Nakada Kazumi (kazumi.nakada@nasa.gov) - Other (andrea.m.molod@nasa.gov)
NCEP	USA	CFSv2	- Dr. Mingyue Chen (mingyue.chen@noaa.gov)	- Dr. Mingyue Chen (mingyue.chen@noaa.gov)
PNU	Korea	CGCMv2.0	- Prof. Joong-Bae Ahn (jbahn@pusan.ac.kr)	- Dr. Joonlee Lee (leejl@pusan.ac.kr) - Ms. Chan-Yeong Song (cysong@pusan.ac.kr)
UKMO (Met Office)	U.K	GloSea6	- Dr. Peter McLean (peter.mclean@metoffice.gob.uk)	- Dr. Peter McLean (peter.mclean@metoffice.gob.uk)

APCC MME에 참여하기 위하여 각 참여기관에 요청하는 자료의 형식을 아래와 같은 내용으로 작성된 첨부파일과 함께 발송한다.

<p><b>MODEL REQUEST FORM (Revised, July 2019)</b></p> <p><b>1. Forecast Data</b></p> <p>(1) Period: more than 6 months (3 months if 6 months is unavailable) for each month</p> <p>(2) Variables</p> <p><i>(All entries are strongly recommended. If possible, other available variables are welcome.)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Surface (2m) air temperature [K]</li> <li>- Sea surface temperature [K]</li> <li>- Total precipitation [kg/m2]</li> <li>- Mean sea level pressure [hPa]</li> <li>- 850hPa Temperature [K]</li> <li>- 200hPa geopotential height [m]</li> <li>- 500hPa geopotential height [m]</li> <li>- 850hPa geopotential height [m]</li> <li>- 850hPa zonal and meridional velocity [m/s]</li> <li>- 200hPa zonal and meridional velocity [m/s]</li> </ul> <p>(3) Data type</p>
---

- Monthly mean (**total**) data for individual ensemble members
- Daily mean (**total**) data for individual ensemble members

(4) Data format

- Resolution: 2.5° x 2.5° degree interval over global domain (144 x 73 grids)  
(if possible, original resolution of the data or 1.0° x 1.0° (360 x 180 grids) degree is also welcome.)
- GRIB (including data control file; e.g., ctl) and NetCDF formats are encouraged. Other formats are also acceptable.

**2. Hindcast Data**

- (1) Period: 1979-present (If this is not available, data from a shorter period are also welcome.)
- (2) Experimental design
  - Dynamical seasonal prediction with an atmospheric general circulation model using predicted sea surface temperature (i.e., SMIP-2/HFP type simulation)
  - Dynamical seasonal prediction with a coupled general circulation model (i.e., 1-tier simulation)
- (3) Data type
  - Hindcast monthly mean (total) data for individual ensemble members
- (4) Variables and data format should be consistent with forecasts.

**3. Requested Information**

- (1) Data description (Appendix I)
- (2) Data readme file

**4. APCC FTP server**

- (1) IP address of APCC FTP site: 210.98.49.14
- (2) Login ID & Password: **assigned to each model provider**
- (3) Directory: /apccdata01/{MODEL}/{YEAR}{MON}
  - \* YEAR: forecast year (e.g., 2010, 2011)
  - \* MODEL: name of system (e.g., BCCv2, CWB)
  - \* MON: (the first forecast) seasonal mean (e.g., MAM, AMJ)
  - \* We would greatly appreciate it if data could be submitted no later than the 15<sup>th</sup> of the month.

**5. APCC website**

- (1) Homepage: <http://www.apcc21.org>
- (2) The APCC website is now freely open to the public.

APCC MME에 신규로 참여하는 기관 및 모델의 경우 혹은 기존 모델에서 개선/변경되는

경우 해당 예측자료의 상세 정보를 파악하기 위하여 아래와 같은 형식의 문서(description)에 대해 작성 요청 메일을 발송한다.

Description of Seasonal Prediction System			
<b>1. Forecast System:</b>			
Organization			
System name <i>(Pls. specify the version of model)</i>			
First operational forecast run / First offered	e.g.) Jan, 2015 / Dec, 2017		
<b>2. Model Description:</b>			<b>Reference</b>
Atmospheric model and resolution (top)			
Ocean model and resolution			
Land surface model and resolution			
Sea-ice model and resolution			
<b>3. Initial /Boundary Condition:</b>		<b>Forecast</b>	<b>Hindcast</b>
Atmospheric initial conditions			
Land surface initial conditions			
Soil moisture initial conditions			
Snow initial conditions			
Ocean initial conditions			
Sea-ice initial conditions			
SST boundary conditions (# tier-2)			
<b>4. Data Specification:</b>		<b>Forecast</b>	<b>Hindcast</b>
Initial conditions for forecast and hindcast			
Ensemble size for forecast and hindcast (To APCC)			
Hindcast period (fixed or on-the-fly?)			
Forecast frequency and range (lead time)			
When is the earliest date of forecast data available for release?			
Data Format and resolution (To APCC)			
List of parameter for APCC			
<b>5. More information</b>			
URL or Main reference			
Focal point (name/e-mail)			
* The length of time between the issuance of a forecast and the occurrence of the phenomena that were predicted. (0.5 lead time means forecast issued for that month) e.g. 1) 2019JASON (1-6 month lead time) means 6 months forecast issued on May 2019 2) 2019JASON (0.5-5 month lead time) means 6months forecast issued on June 2019			

### (3) APCC MME 참여 모델 자료 수집 및 전처리

APCC MME에 참여하는 15개 기관의 예측 자료를 (구)ftp 와 (신)ftp 서버를 이용하여 수집하고 있다. 이 중 BCC를 포함한 8개 기관(BCC, CMCC, CWB, HMC, KMA, MGO, MSC, PNU)의 예측 자료는 해당 기관에서 직접 매달 자료를 업로드 해주고 있지만, APCC를 비롯한 8개 기관(APCC, BoM, JMA, MetFR, NCEP, NASA, UKMO)의 예측 자료는 직접 해당 기관의 ftp 서버에 접속하여 자료 업데이트 여부를 확인하고 다운로드 해야 한다. APCC 네트워크 보안 정책에 따라 직접 자료를 주는 8개 기관의 IP 정보(자료를 전송하는 시스템)를 사전에 수집하여 센터 내 네트워크/정보보안(최재원 연구원) 및 전산 담당자(이한세 연구원)에 제출 및 접근 허용 등록을 요청해야 하며, 보안을 위해 각 기관별 ftp 접속 계정과 패스워드를 발급하고, 형식과 구조를 갖춘 디렉토리를 마련하고 이에 관한 정보를 전달해주어야 한다. 해당 정보는 현업 담당자가 지속적으로 관리하며, 변경사항이 있는 경우 즉각적으로 반영 및 공유하여야 한다. (구)ftp 와

(신)ftp 서버의 주소와 계정 정보는 아래와 같다.

○ (구)ftp 서버 및 (신)ftp 서버 IP 주소와 계정 정보

- (구)ftp 서버 IP 주소: 10.200.111.14 (외부망; 외부에서는 210.98.49.14)  
(구)ftp 계정: apcc  
(구)ftp 패스워드: (내부 공유)
- (신)ftp 서버 IP 주소: 10.200.111.116 (외부망; 외부에서는 210.98.49.116)  
(신)ftp 계정: downy  
(신)ftp 패스워드: (내부 공유)

각 참여 모델별 전처리 작업의 상세 과정에 대한 매뉴얼은 별도의 “고해상도 전처리시스템 운영 매뉴얼 V1.2” 를 참고한다.

#### (4) APCC MME 개별모델 확률예측 자료 생산

(3)절에서 APCC MME에 참여하는 각 기관별 개별모델 전처리가 완료되면 개별모델의 확률예측 자료를 생산한다.

##### ① 개별모델 확률예측 자료 생산 작업 및 결과물 경로

APCC 개별모델 확률예측 자료를 생산하기 위한 작업 경로는 아래와 같으며, 모델, 3/6개월 예측기간 등을 설정 할 수 있다.

- APCC 개별모델 확률예측 자료 생산 작업 경로

/data02/OPER/AFS/RUN/Manage\_MME (이하 \$PATH\_MME)

- APCC 개별모델 확률예측 자료 생산을 위한 설정 파일

GAUS\_INDI\_forecast.py : APCC 개별모델 확률예측 자료 산출 메인 프로그램

위의 설정을 통해 생산된 최종 결과물은 아래의 경로에서 확인할 수 있다.

- APCC 개별모델 확률예측 자료 결과물 경로

/data02/OPER/AFS/DATA/MME\_OUT/3-MON/FORECAST/GAUS\_INDI (3개월 forecast)  
/data02/OPER/AFS/DATA/MME\_OUT/6-MON/FORECAST/GAUS\_INDI (6개월 forecast)

- APCC 개별모델 확률예측 자료 결과물 세부 경로

\$PATH/{MODEL}*/{MONTH}**/{YEAR}*** : 해당 년도의 월별 MME 예측 자료 \$PATH/{MODEL}/{MONTH}/{SEASON}****/{YEAR} : 해당 년도의 계절 평균 MME 예측 자료
--

※ \$PATH는 위의 결과물 경로를 의미함

\*: 기관 및 개별모델명 (e.g. APCC\_SCOPS, ... , UKMO\_GLOSEA5)

\*\* : 예측 시작 월 (e.g. JAN, FEB, ..., NOV, DEC)

\*\*\*: 예측 시작 년도 (e.g. 2019, 2020, ...)

\*\*\*\*: 예측 계절 (e.g. JFM, FMA, ... , NDJ, DJF)

## ② 개별모델 확률예측 자료 생산

본 과정에서는 3/6개월 forecast에 대하여 계절평균과 월 평균 산출 과정을 각각 수행한다. 메인 프로그램(GAUS\_INDI\_forecast.py)에서 기관 및 모델명, 예측 시작 년도, 예측 시작 월, 선행 시간(3/6개월), 예측 계절(계절 평균인 경우) 순으로 수정하여 수행하면 된다.

### ■ 3개월 개별모델 계절평균에 대한 확률 예측자료 생산 설정 수정

```

]$ vi $PATH_MME/GAUS_INDI_forecast.py
...
models = [ "APCC_SCOPS" ] # 수행하고자 하는 모델명 나열

os.environ['START_YEAR'] = "2020"
os.environ['START_MON'] = "FEB"
os.environ['LEAD_TIME'] = "3"
os.environ['SEASONAL'] = "O"
os.environ['SEASONNAME'] = "FMA"
os.environ['PREPOST'] = "PRE"
...

```

### ■ 3개월 개별모델 월 평균에 대한 확률 예측자료 생산 설정 수정

```

]$ vi $PATH_MME/GAUS_INDI_forecast.py
...
models = [ "APCC_SCOPS" ] # 수행하고자 하는 모델명 나열

os.environ['START_YEAR'] = "2020"
os.environ['START_MON'] = "FEB"
os.environ['LEAD_TIME'] = "3"
os.environ['SEASONAL'] = "X"

```

```
os.environ['SEASONNAME'] = "FMA"  
os.environ['PREPOST']    = "PRE"  
...
```

6개월의 경우도 위와 동일하며, 계절평균은 Lead time 1~3의 평균과 Lead time 4~6의 평균으로 나뉘므로 “PREPOST” 항목을 각각 “PRE”, “POST” 로 설정하고 그에 맞는 계절명을 “SEASONNAME” 에 설정하여 수행해 주어야 한다. 설정이 완료되면 아래와 같은 방법으로 개별모델 확률예측 자료 산출 프로그램을 수행한다. 단, 수행하기 전 각각 해당하는 결과물 디렉토리의 기산출된 자료를 삭제한 후 수행하여야 한다. (산출된 기파일이 있는 경우 오류 발생)

■ 개별모델 확률예측 자료 산출 프로그램 수행

```
]$ python $PATH_MME/GAUS_INDI_forecast.py
```

수행이 완료되면 위에서 언급한 각각 해당하는 결과물 디렉토리의 자료가 정상적으로 생산되었는지 확인한다. 생산되는 자료(변수)의 목록은 다음과 같다.

■ 개별모델 확률예측 자료 변수 목록

```
prec.nc slp.nc sst.nc t2m.nc t850.nc z500.nc
```

변수의 순서 및 목록, hindcast 기간의 강제 설정 등 소스 프로그램의 수정이 필요한 경우 아래 경로의 파일을 수정한다.

■ MME 예측시스템 소스 프로그램

```
/data02/OPER/AFS/CODE/PMME/GAUS/NCL_INDI/GAUS.ncl  
: 해당 프로그램에서 각종 소스 ncl 파일과 포트란(so 파일)을 load 한다.  
  
/data02/OPER/AFS/CODE/PMME/GAUS/NCL_INDI/GAUS_FCST.ncl (forecast 상세 소스 코드)  
※ 상세 소스 코드에서 산출 변수 목록, hindcast 기간 등 각종 상세 조건을 변경 가능
```

## (5) APCC MME 고해상도 예측자료 생산

### ① APCC MME 고해상도 예측자료 생산 환경 설정

APCC MME 고해상도 예측자료를 생산하기 위하여 시스템의 환경(소프트웨어 모듈 및 시스템 경로)을 설정해주어야 한다. 현업 담당자가 현업 계정으로 접속한 후 가장 먼저 python을 로드한다. (혹은 .bashrc 파일 등을 통해 접속 시 자동 load 할 수 있도록 한다.)

#### ■ 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/3.7-anaconda
----- /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)   jasper/2.0.14(default)        ncl/6.5.0(default)      szip/2.1.1(default)
grib_api/1.21.0(default) libarchive/3.4.2(default)      netcdf/4.4.1.1(default) udunits/2.2.26(default)
 hdf5/1.10.5           libuv/1.34.2(default)          netcdf/4.6.3           zlib/1.2.11(default)
 hdf5/1.8.18(default)  ncarg/6.5.0(default)          proj/5.1.0(default)
```

#### ■ 모듈 로드(module load)

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

또한, APCC MME 고해상도 예측시스템을 실행하기 위한 각종 기본 경로를 아래와 같이 설정해준다.

■ 기본 경로 설정 파일 (/home/oper/afs2.rc)

```
]$ vi ~/afs2.rc

alias afs2="cd /data02/OPER/AFS"
alias pre2="cd /data02/OPER/PRE"

# for MME
export AFS="/data02/OPER/AFS"
export MyAFS=$AFS
export AFS_NCL="/data02/OPER/AFS/CODE/COMMON/NCL"
```

■ 기본 경로 설정 실행 (/home/oper/afs2.rc)

```
]$ source ~/afs2.rc
```

② APCC MME 고해상도 예측 생산 작업 및 결과물 경로

APCC MME 고해상도 예측자료를 생산하기 위한 작업 경로는 아래와 같으며, 참여모델 구성설정, forecast/hindcast 3/6개월 예측기간 등을 설정 할 수 있다.

■ APCC MME 고해상도 예측자료 생산 작업 경로

```
/data02/OPER/AFS/RUN/Manage_HresMME (이하 $PATH_MME)
```

■ APCC MME 고해상도 예측자료 생산을 위한 설정 파일

```
run4PMME.py : APCC PMME 예측자료 산출 메인 프로그램
- HCST_GAUS_3m.yaml : 3개월 PMME Hindcast 실행 설정
- HCST_GAUS_6m.yaml : 6개월 PMME Hindcast 실행 설정
- FCST_GAUS_3m.yaml : 3개월 PMME Forecast 실행 설정
- FCST_GAUS_6m.yaml : 6개월 PMME Forecast 실행 설정
run4DMME.py : APCC DMME 예측자료 산출 메인 프로그램
- HCST_SCM_3m.yaml : 3개월 DMME 참여모델 Hindcast 실행 설정
```

- HCST\_SCM\_6m.yaml : 6개월 DMME 참여모델 Hindcast 실행 설정
- FCST\_SCM\_3m.yaml : 3개월 DMME 참여모델 Forecast 실행 설정
- FCST\_SCM\_6m.yaml : 6개월 DMME 참여모델 Forecast 실행 설정

위의 설정을 통해 생산된 MME의 고해상도 예측자료 최종 결과물은 아래의 경로에서 확인할 수 있다.

■ APCC MME 고해상도 예측자료 결과물 경로

```
/data02/OPER/AFS/DATA/Hres_MME_OUT/3-MON/FORECAST/SCM 및 GAUS (3개월 forecast)
/data02/OPER/AFS/DATA/Hres_MME_OUT/6-MON/FORECAST/SCM 및 GAUS (6개월 forecast)
/data02/OPER/AFS/DATA/Hres_MME_OUT/3-MON/HINDCAST/SCM 및 GAUS (3개월 hindcast)
/data02/OPER/AFS/DATA/Hres_MME_OUT/6-MON/HINDCAST/SCM 및 GAUS (6개월 hindcast)
```

■ APCC MME 고해상도 예측자료 결과물 세부 경로

```
$PATH/{MONTH}*/{YEAR}** : 해당 년도의 월별 MME 예측 자료
$PATH/{MONTH}*/{SEASON}***/{YEAR}** : 해당 년도의 계절 평균 MME 예측 자료
```

※ \$PATH는 위의 결과물 경로를 의미함

\*: 예측 시작 월 (e.g. JAN, FEB, ..., NOV, DEC)

\*\* : 예측 시작 년도 (e.g. 2019, 2020, ...)

\*\*\*: 예측 계절 (e.g. JFM, FMA, ... , NDJ, DJF)

③ APCC MME 고해상도 예측자료 생산 작업 수행 설정

수집된 참여 개별 모델 예측 자료를 기반으로 자료 품질 검사를 통해 MME 참여 모델이 선정되면 예측자료의 특성을 고려하여 3개월, 6개월 각각의 MME 참여 모델 구성 설정을 수행한다. 여기서 참여 모델 명, 변수명, 예측 시작 월, 예측 시작/종료 년도를 입력하여 준다.

■ (예시) 3개월 PMME Hindcast 실행 설정 파일 수정

```
]$ vi $PATH_HMME/HCST_3m_GAUS.yaml

DataList:

- Model_name      : APCC_SCOPS
                   BCC_CSM1.1M
                   BOM_ACCESS-S1
```

```
CMCC_SPS3.5
CWB_TCWB1Tv1.1
HMC_SL-AV
JMA_MRI-CPS2
KMA_GLOSEA5GC2
METFR_SYS8
MSC_CANSIPsv2
NASA_GEOS-S2S-2.1
NCEP_CFSv2
PNU_CGCMv2.0
UKMO_GLOSEA6
```

```
Variable_name : prec
               slp
               t2m
               t850
               z500
```

```
Forecast_month : DEC
```

```
Hindcast_syear : 1991
```

```
Hindcast_eyear : 2010
```

■ (예시) 6개월 PMME Hindcast 실행 설정 파일 수정

```
]$ vi $PATH_MME/model-6m.py
```

```
DataList:
```

```
- Model_name   : APCC_SCOPS
                BCC_CSM1.1M
                CWB_TCWB1Tv1.1
                KMA_GLOSEA5GC2
                MSC_CANSIPsv2
                NASA_GEOS-S2S-2.1
                NCEP_CFSv2
                PNU_CGCMv2.0
```

```
Variable_name : prec
               slp
               t2m
               t850
               z500
```

```
Forecast_month : DEC
Hindcast_syear : 1991
Hindcast_eyear : 2010
```

#### ④ APCC MME 고해상도 예측 자료 생산

③절에서 MME 참여 모델 구성을 설정한 후 APCC에서 생산하는 2가지 MME 기법(DMME; SCM, PMME; GAUS)의 예측자료를 생산한다. 본 과정에서는 최초로 MME 예측 자료 생산 경로, 참여모델 hindcast 자료 경로, 해상도를 설정해주면 되며, 이후 별도의 수정 없이 yaml의 설정 값으로부터 예측 자료를 생산할 수 있다. 여기서, 해상도는 고해상도인 1도 해상도를 더불어 기존의 2.5도 해상도 또한 설정 가능하다.

##### ■ (예시) 3개월 고해상도 PMME 생산 프로그램 수정

```
]$ vi $PATH_HMME/run4PMME.py

(중략)

#=====

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

# individual model directory path: hindcast

# 2.5 degree
#hcst_model_path = "/data02/AFS/OPER/AFS/DATA/MME_IN/HINDCAST/"
#resolution = 2.5

# 1.0 degree
hcst_model_path = "/data02/AFS/OPER/AFS/DATA/MME_IN/HINDCAST_1degree/"
resolution = 1.0

# select any year: one of hincast period
ref_year = "2000"

#=====

(생략)
```

DMME 및 6개월의 경우도 위와 유사하게 수정해주면 된다. 본 프로그램은 Hindcast 와 Forecast를 동시에 수행하며, 각각을 별도로 수행할 경우 수행 명령어 부분을 주석처리하면 된다. 완성된 프로그램을 아래와 같이 실행하면 고해상도 예측자료가 생산된다.

■ MME 고해상도 예측자료 산출 프로그램 수행

```
]$ python $PATH_HMME/run4PMME.py
]$ python $PATH_HMME/run4DMME.py
```

수행이 완료되면 위에서 언급한 각각 해당하는 결과물 디렉토리의 자료가 정상적으로 생산되었는지 확인한다. 생산되는 자료(변수)의 목록은 다음과 같다.

■ MME 기법별 예측자료 변수 목록

```
<SCM>

prec.nc slp.nc t2m.nc t850.nc u200.nc u850.nc v200.nc v850.nc z500.nc (sst.nc)

<GAUS>

prec.nc slp.nc t2m.nc t850.nc z500.nc (sst.nc)
```

예측자료를 생산하기 위한 세부적인 설정 및 계산 과정은 세부 소스 프로그램을 통해 이루어진다. 고해상도 예측 시스템의 세부 소스 프로그램은 “my\_package” 디렉터리에 위치하며, 세부사항의 수정은 해당 소스 프로그램을 수정하면 된다.

■ MME 고해상도 예측시스템 소스 프로그램

```
calc_GAUS_MME_IN_CMCC.py (CMCC 예측자료 처리 설정 프로그램)
calc_GAUS_MME_IN_NCEP_SST.py (NCEP 해수면온도 예측자료 처리 설정 프로그램)
calc_GAUS_MME_IN.py (참여모델 예측자료 처리 설정 프로그램)
calc_MME_IN_CMCC.py (CMCC 예측자료 처리 설정 프로그램)
calc_MME_IN_NCEP_SST.py (NCEP 해수면온도 예측자료 처리 설정 프로그램)
calc_MME_IN.py (참여모델 예측자료 처리 설정 프로그램)
ismask.nc (고해상도 land-sea mask 자료)
make_season_month_name.py (월, 계절명 설정 프로그램)
nc_out_1_0_deg_DMME_HCST.py (고해상도 DMME 산출 설정 프로그램)
nc_out_2_5_deg_DMME_HCST.py (저해상도 DMME 산출 설정 프로그램)
nc_out_1_0_deg_PMME_HCST.py (고해상도 PMME 산출 설정 프로그램)
nc_out_2_5_deg_PMME_HCST.py (저해상도 PMME 산출 설정 프로그램)
read_MODEL_HIND_TIME.py (참여모델 hindcast 시간 정보 설정 프로그램)
```

# 부록 E. 모델제공기관 대상 연간 보고서

2021

## APCC Annual Report on Seasonal Forecast

Climate Prediction Department  
Climate Services and Research Division  
APEC Climate Center



## 1. News and Notices

### 1.1. 4th APCC MME Providers' Meeting

APCC held the 4th APCC Model Providers' Meeting (MPM) online, due to COVID-19, twice on 10 September 2021 (afternoon and evening in Korean time). The meeting was held twice at different times to encourage the attendance of members in various time zones around the world. Both sessions of the APCC MPM were attended by total 10 participants and 7 observers from 10 organizations (Figure E1).

The two meetings were organized and conducted with the same agenda with the exception of the members' presentations. The meeting agenda included:

- APCC presentations on the APCC MME prediction system
- Member presentations on an overview of their seasonal forecast system including the operational forecast schedule and improvement of seasonal forecast system
- Discussions on how to improve the APCC MME prediction system

During the discussion session, APCC explained that in 2022, it plans to operate a pilot MME forecast system with  $1^\circ \times 1^\circ$  resolution and an early release of APCC seasonal climate outlook around the 15th of each month. For this, APCC requested for relevant model providers to please provide higher resolution models (for those currently providing  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$  resolution model data) and an earlier data sharing date (for those currently providing their data after the 15th of each month). Also, APCC introduced two requests by members: adding the OLR variable and a description of the CO<sub>2</sub> concentration in each model.

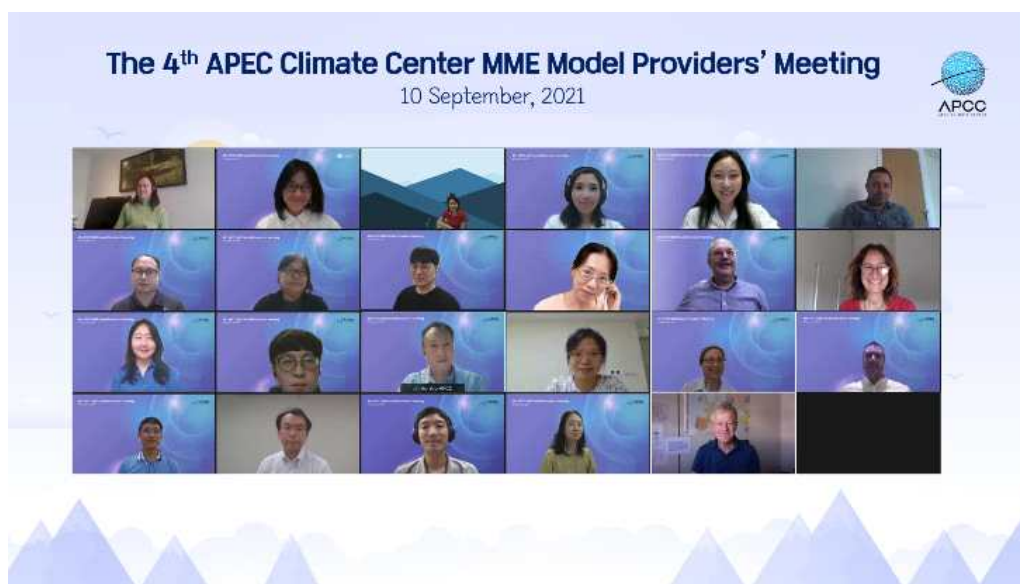


Figure E1. Official photo from the 4th APCC MME Model Providers' Meeting held online on 10 September 2021.

## 1.2 APCC CLimate Information toolKit (CLIK)

APCC is running a platform-based climate data service (Figure E2), named the CLimate Information toolKit (CLIK, <https://cliks.apcc21.org>) that allows you to download APCC climate information in various and convenient ways, including Open API, Script, and Web interface. The previous APCC Data Service System (ADSS; <http://adss.apcc21.org>) was terminated in 2021 and the data has been completely transferred. The new data service, CLIK, makes it easier and faster for users to handle APCC’s climate data.

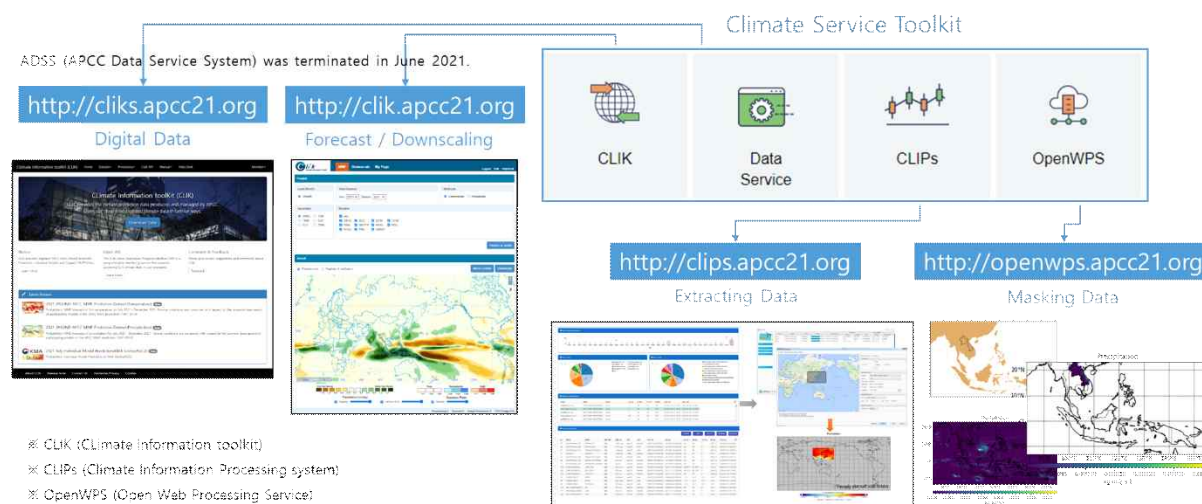


Figure E2. APCC’s current platform-based climate information services

## 2. Improved Contents

### 2.1. New Climatological Normals of ‘Current Climate Monitoring’

APCC is providing ‘Current Climate Monitoring’ services for temperature, outgoing longwave radiation, precipitation, etc., through <https://apcc21.ser/high.do?lang=en>. The climatological reference period was based on the hindcast period of APCC MME, 1991–2010. However, following the WMO recommendation to use the most-recent 30-year period as the climatological standard normal, in 2021, APCC changed the reference period to 1991–2020 (Figure E3).

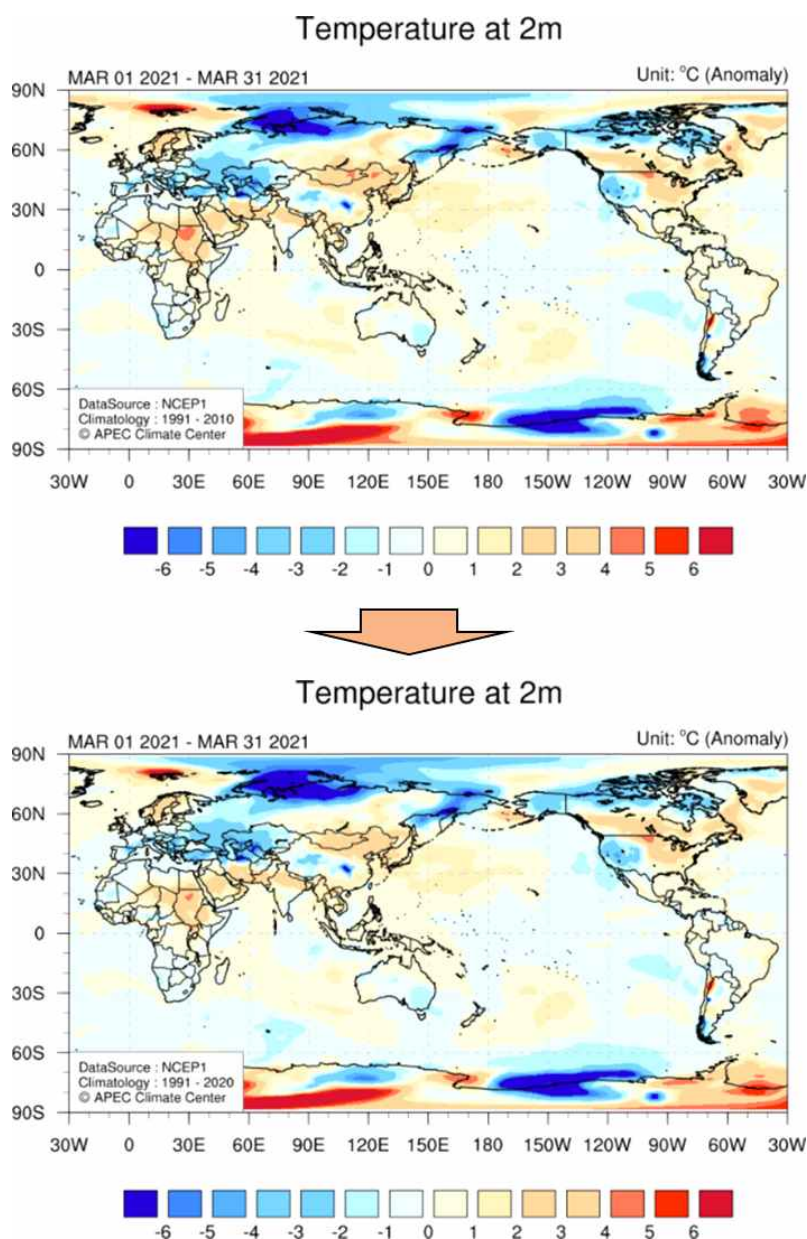


Figure E3. Change in climatological reference period for the temperature anomaly monitoring service

## 2.2. New Climatological Normal of ‘Climate Indices’

Following the above change to APCC’s Climate Monitoring Services, in 2021, APCC also changed the climatological reference period from 1981–2010 to 1991–2020 for the ‘Climate Indices’ service on the APCC homepage (<https://apccc21.ser/indic.do?lang=en>). APCC changed the reference period to 1961–2020 (longer than those of other indices) for the North Atlantic Oscillation (NAO), which is based on an Empirical Orthogonal Function (EOF) analysis, to consider the changes of the EOF base pattern. As a result, the new indices are statistically consistent to the old indices, which was based on the 1981–2010 climatological period, in terms of variability or spread, but adjusted intensity on the recent climate change. Also, the graphics on the homepage were slightly reformatted to increase readability (Figure E4).

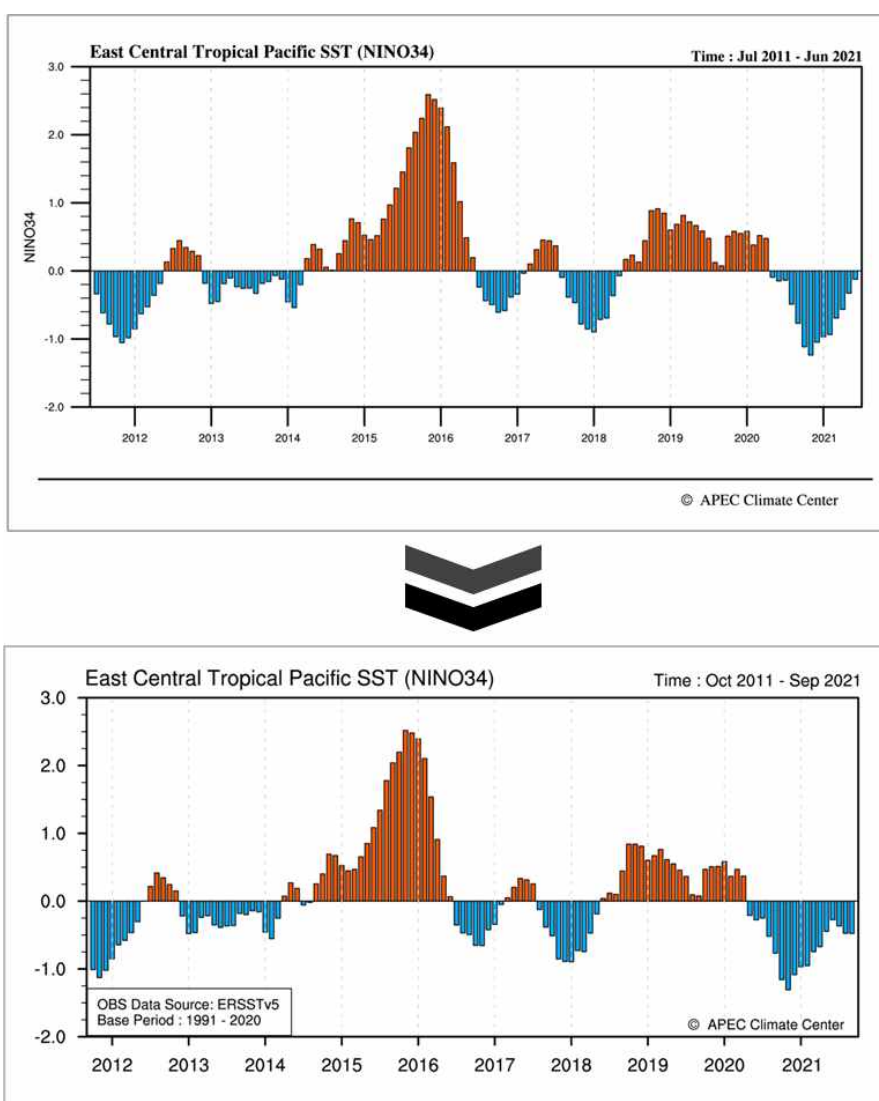


Figure E4. Changes in reference period of climate index, Niño3.4, from 1981–2010 to 1991–2020.

### 3. New and Improved Models for MME

Starting from the 2021 FMAMJJ seasonal forecast, the Météo-France (MetFR) seasonal forecast data from Sys 7 was added to the APCC MME. The Sys 7 is comprised of ARPEGE-Climate v6.4 (atmosphere), NEMO 3.6 (ocean), and etc. With the addition MetFR, 15 institutes from 11 countries are now participating in the APCC MME.

Also, 4 models from the UK Met Office (UKMO, UK), MetFR (France), Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC, Italy) and the Bureau of Meteorology (BoM, Australia) were upgraded in February, July, August and November 2021, respectively. The model resolution of CMCC and MetFR were updated to be higher resolution, and the hindcast period for the BoM model was shifted to more recent years (Table E1).

Table E1. Summary of upgraded individual models in 2021

Organization	BoM		CMCC	
System name	ACCESS-S1	ACCESS-S2	SPS3	SPS3.5
Atmospheric model/ Resolution	UM 6/ N216~60k, L85	UM 6/ N216~60k, L85	CAMS 5.3/ ~1.0°×1.0° L46 (provided 2.5°×2.5°)	CAMS 5.3/ ~0.5°×0.5° L46 (provided 1.0°×1.0°)
Ocean model	NEMO ORACA25	NEMO ORACA25	NEMO3.4	NEMO3.4
Ensemble size (forecast/hindcast)	11/11	11/27	20/20	20/20 (original 50/40)
Hindcast period	1990-2012	1981-2018	1993-2016	1993-2016
Organization	MetFR		UKMO	
System name	Sys 7	Sys 8	GloSea5	GloSea6
Atmospheric model/ Resolution	ARPEGE-Climate v6.4/ TL359, 91 levs, top 0.01 hPa	ARPEGE-Climate v6.4/ TL359, 127 levs, top 0.01 hPa	UM 8.6/ N216L85	UM 8.6/ N216L85
Ocean model	NEMO3.6	NEMO3.6	NEMO3.4	NEMO3.4
Ensemble size (forecast/hindcast)	51/25	51/25	42/28	42/28
Hindcast period	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016

BoM and CMCC provided hindcast data for the new models to APCC and APCC was able to confirm that both models have generally improved. ACC differences between ACCESS-S2 and ACCESS-S1 for various variables show positive tendency (improvement) (Figure 5). SST shows a slight negative tendency (regressive), but the Niño3.4 index shows skill improvement in longer than 2-month-lead forecast (Figure E6). ACC differences between SPS3.5 and SPS3 of various variables also show improvement tendency (Figure E7). Temperatures and geopotential height are largely improved especially in the Southern Hemisphere.

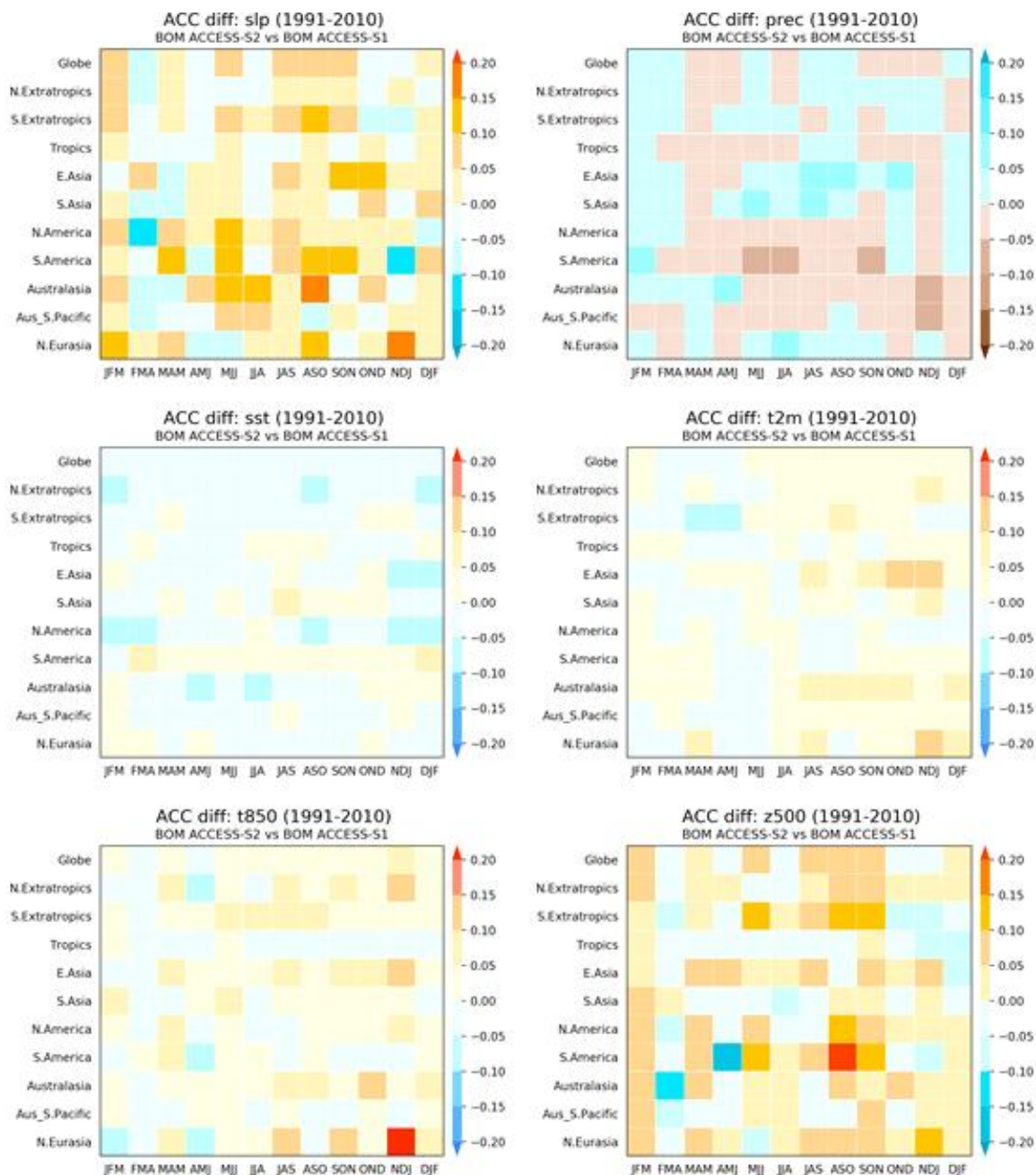


Figure E5. ACC differences between ACCESS-S2 and ACCESS-S1. Positive values indicate that S2's skill is better than S1's skill

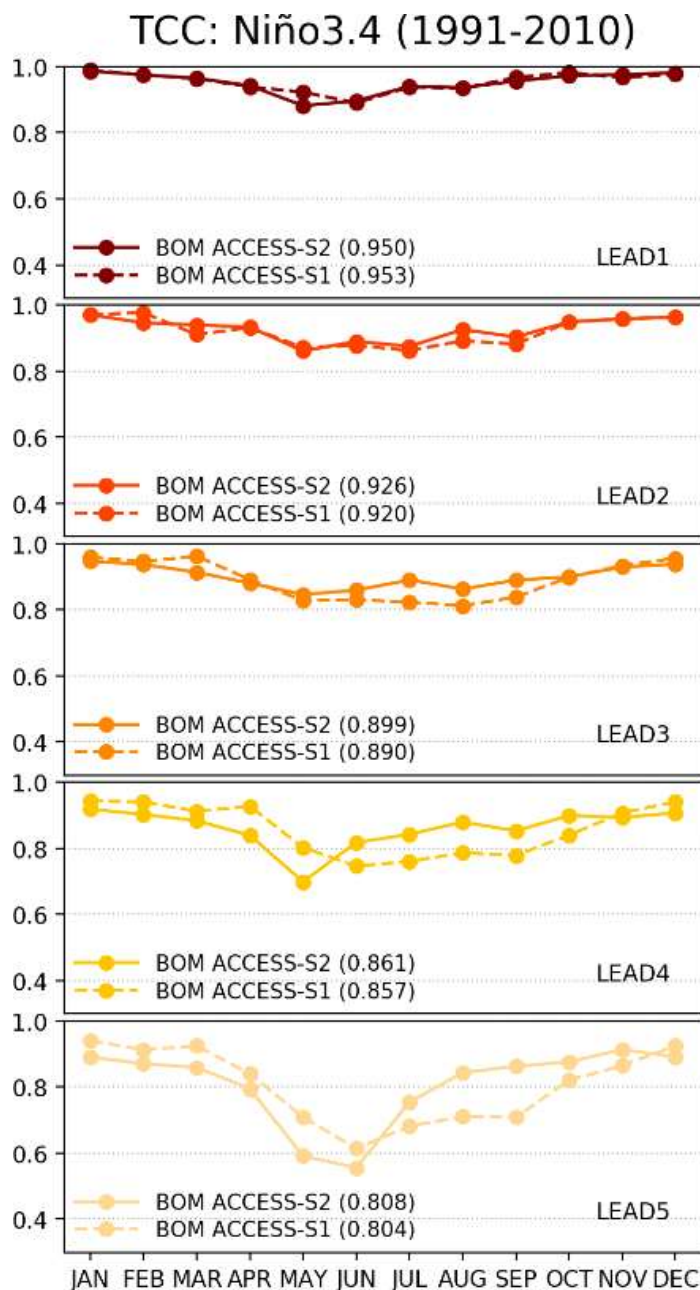


Figure E6. Temporal correlation coefficient between observed and predicted Niño3.4 for each lead time

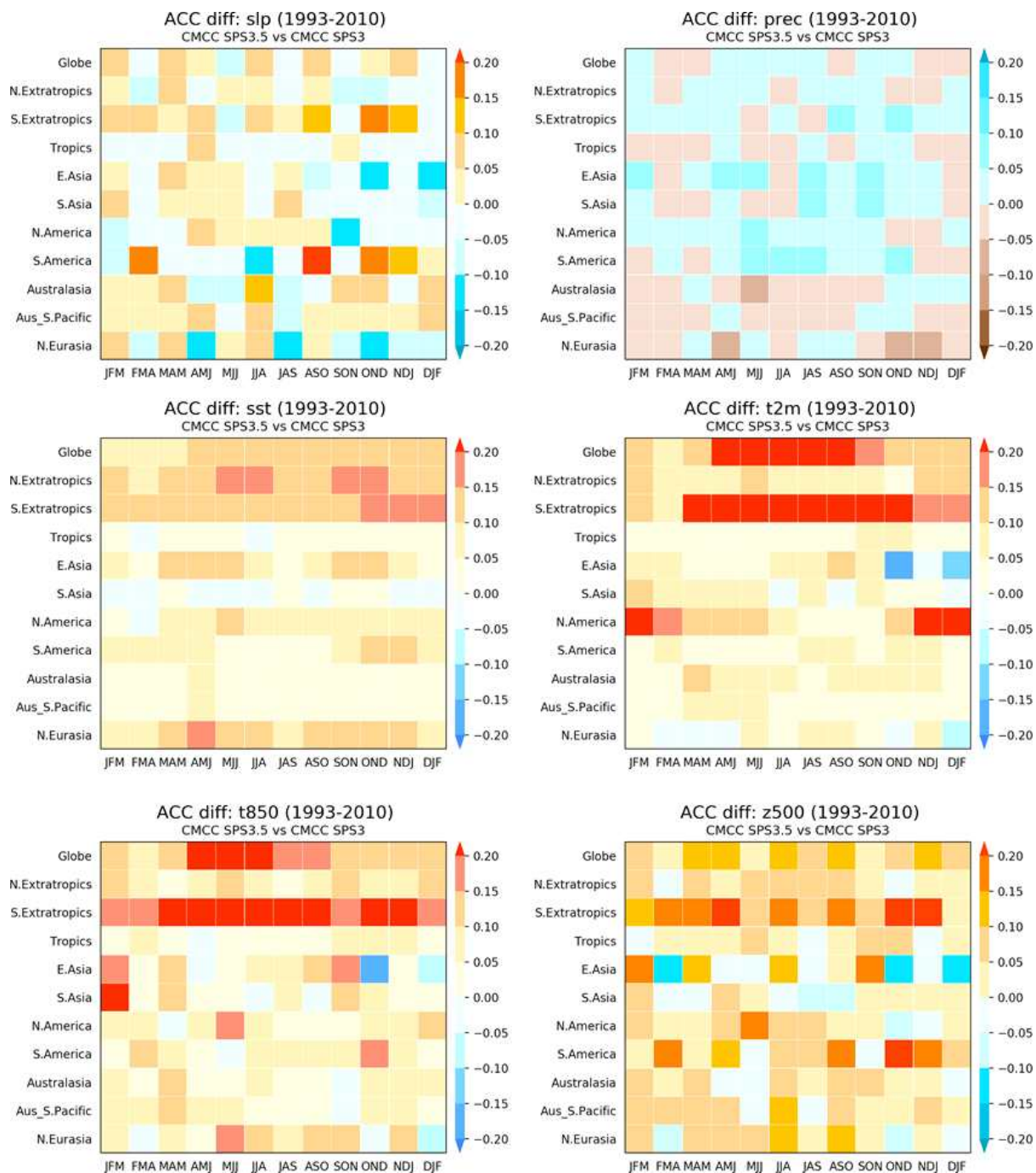


Figure E7. Same as Figure E5 but for SPS3.5 and SPS3

#### 4. Current Status of APCC MME

The ACC hindcast skill of APCC MME in 2021 has significantly improved compared to 2018, due to the change in hindcast period and model improvement (Figure E8). The hindcast period was changed in 2019 from 1983–2010 to 1991–2010 to include more recent upgraded models and skill improvement. In addition, new and improved individual model members in 2021 (MetFR, BoM, CMCC) increased the ACC skill of MME.

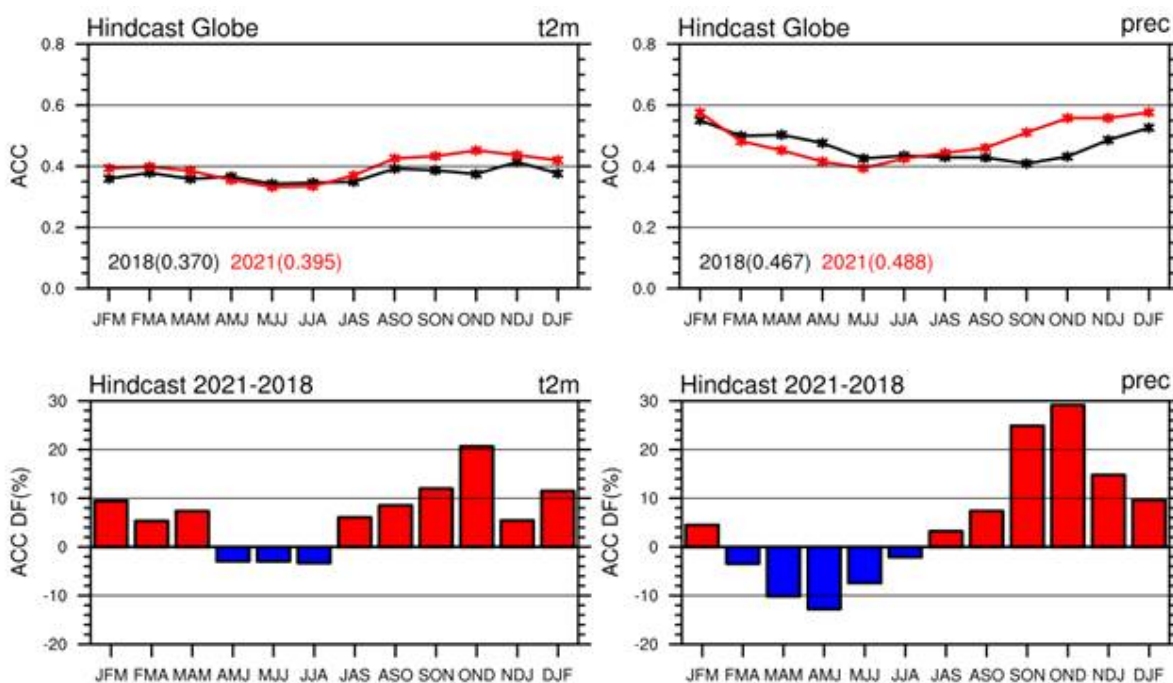


Figure E8. (upper) Seasonal mean and (lower) differences of ACC skill of hindcast of (left) temperature and (right) precipitation for the globe.

## 5. Upcoming New and Upgraded Services for APCC MME

### 5.1. Earlier Seasonal Climate Outlook Release (15th)

In 2022, APCC plans to move the official seasonal climate outlook release date from the 20th to the 15th of every month, thanks to the agreement at the 4th APCC MPM. The change of the official seasonal climate outlook release date is aimed to promote the utility of seasonal forecasts. Many users have previously requested earlier issue dates for the forecast data.

To facilitate the earlier release of the climate outlook, APCC has improved the pre-processing system for the models. Some parts of the system for collecting and pre-processing the MME data have been programmed to be automatic for faster calculation.

### 5.2. High-Resolution MME (Pilot System)

In 2022, APCC plans to launch a pilot system for higher resolution seasonal forecast data ( $1^\circ \times 1^\circ$ ). APCC MME's resolution is currently  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ , despite most individual models having been upgraded since 2005 with higher resolutions than the present MME. Unfortunately, APCC has not been able to have all of its participating models send high-resolution until now, so we analyzed two options for the high resolution MME: (1) including all of the models with re-gridded data or (2) including only the high-resolution models. Higher-resolution observations were newly selected for the verification of the new forecast data: ERA5 (Herbach et al. 2020) for various atmospheric variables, and CPC (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/>) and MERRA2 (Geralo et al. 2017) for precipitation. There is no perfect precipitation data for high-resolution MME verification for hindcast (1991–2010) and real-time forecast, so we selected two data sets in spite of their respective limitations: lack of ocean coverage in CPC and lack of accuracy in MERRA2 reanalysis data. The verification data used previously were NCEP2-DOE reanalysis II (Kanamitsu et al. 2002; NCEP2) and CAMS-OPI (Janowiak and Xie 1999).

ACC, TCC skills of the new DMME and ROC skill of the new PMME in the hindcast period were compared to the current MME in order to examine the continuity (Figure E9 and Figure E10). In conclusion, various atmospheric variables in the new MME using ERA5 are not different from the current MME, but precipitation in the new MME using CPC and MERRA2 are different from the current MME. In particular, the relative differences using CPC are over 30% due to the lack of data in the ocean where the forecast skill of precipitation is relatively high. The new MME including all of the models with high and low resolution, is slightly better than the MME including only high-resolution models, due to the large number of participating models, as demonstrated in previous research about MME size (Alessandri et al. 2018). Therefore, the new MME pilot system will include all of the models. The verification reference data will be ERA5 for atmospheric variables, but for precipitation we

are still considering to change the data to CPC or MERRA2; or keep the CAMS-OPI and verify as low grid.

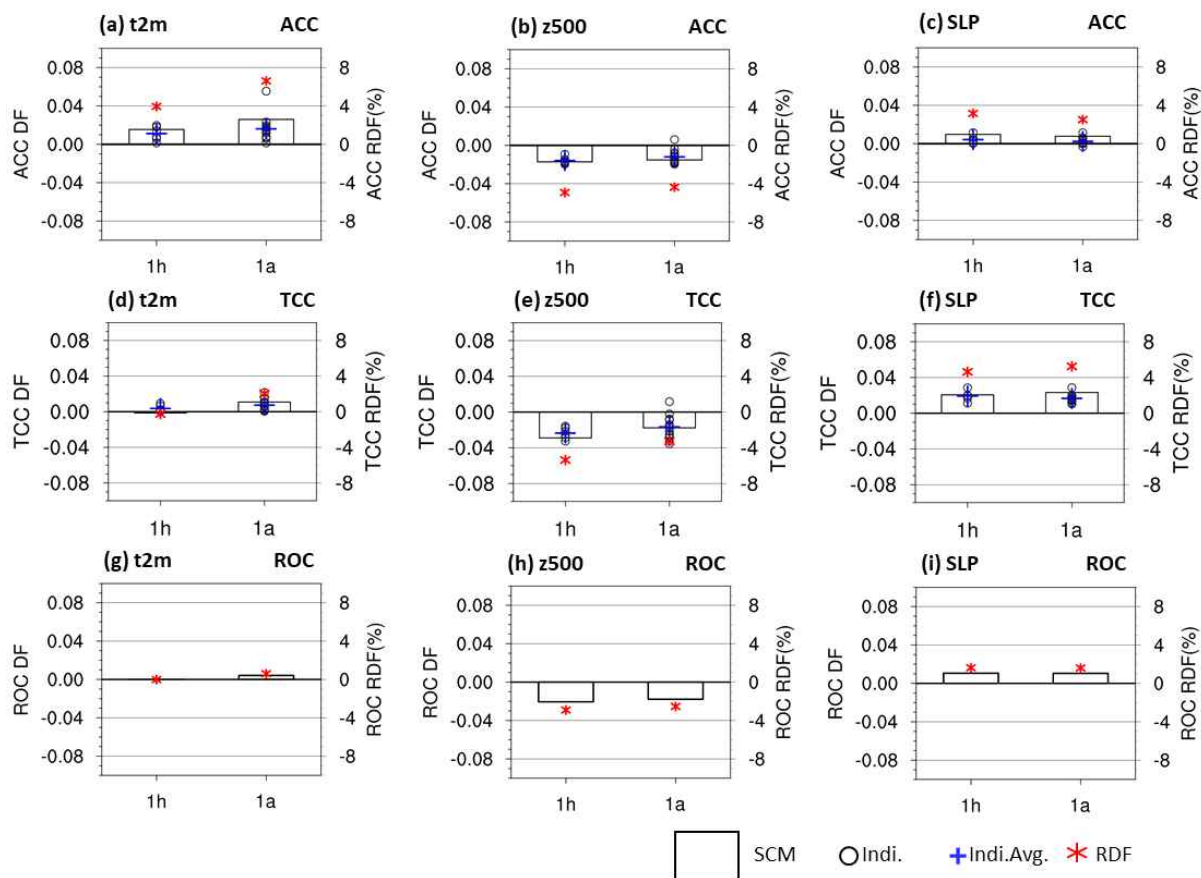


Figure E9. Differences of global mean (top) ACC, (middle) TCC, and (bottom) ROC skills of (left) temperature, (middle) geopotential height at 500-hPa, and (right) sea level pressure between high- and low-resolution MME. Relative differences are presented as red asterisks. 1h indicates the MME including only high-resolution models and 1a indicates the MME including all models with high-resolution grid.

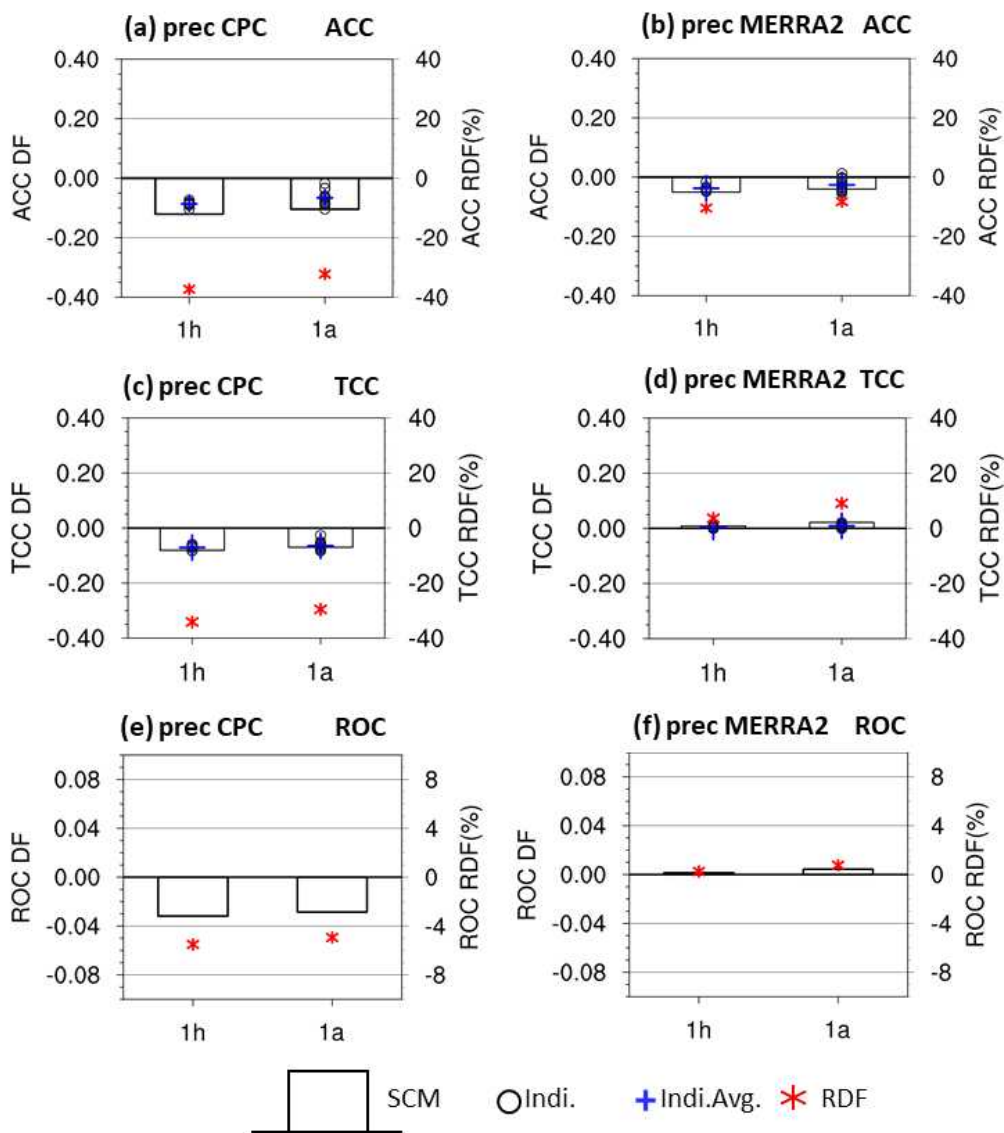


Figure E10. Same as Figure 9 but for precipitation, new MME verified to (left) CPC and (right) MERRA2

High-resolution MME seasonal forecasts has been the first priority of APCC user requests for a long time. Therefore, we expect this new service will increase the applicability of APCC MME’ s data when it is released to the public.

## References

- Alessandri, A., De Felice, M., Catalano, F., Lee, J.-Y., Wang, B., Lee, D.-Y., Yoo, J.-H., and Weisheimer, A., 2018: Grand European and Asian-Pacific multi-model seasonal forecasts: maximization of skill and of potential economical value to end-users. *Climate dynamics*, 50(7-8), 2719-2738, <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3766-y>
- Gelaro, R. and co-authors, 2017: The Modern-Era Retrospective Analysis for research and applications, version 2 (MERRA-2). *J. Climate*, 30, 5419-5454, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0758.1>.
- Hersbach, H., and co-authors, 2020: The ERA5 global reanalysis. *Q. J. Meteorol. Soc.*, 146, 1999-2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>.
- Janowiak, J. E. and P. Xie, 1999: CAMS-OPI: A global satellite-rain gauge merged product for real-time precipitation monitoring applications. *J. Climate*, 12, 3335-3342.
- 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), *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 83, 1631-1643.

## Acknowledgement

The authors acknowledge the APCC MME Producing Centers for providing their hindcast/forecast data for analysis, as well as the APEC Climate Center for collecting and archiving the data and for organizing the APCC MME prediction.