APCC 기후예측시스템 운영 및 개선

Operation and Improvement of the APCC Climate Prediction System

양유빈, 송봉근, 신선희, 임창묵, 정다은, 임아영, 정임국, 최재원, 이현록

기후사업본부 예측운영과

2020.12.

APEC기후센터

평문 초록

앙상블 예측은 주어진 조건(예측 초기조건 및 경계조건 등) 하에서 생산될 수 있는 예측결과가 다양하게 존재하는 경우 여러번 수행된 예측 결과의 분포를 바탕으로 최적의 예측정보를 생산하는 방법입니다. 모형에 포함된 불확실성의 영향을 고려하기 위해 서로 다른 모형의 결과를 사용해서 예측을 생산하는 방법을 다중모델앙상블(Multi-Model Ensemble; 이후 MME) 예측이라고 하며, 일반적으로 중기 혹은 장기 예보의 경우 다중모델 앙상블의 예측 성능이 단일 모델의 결과보다 우수한 것으로 나타나고 있습니다. APCC는 2005년 설립 이후 다중모델앙상블을 활용한 장기 계절예측기술 개발 및 개선에 많은 노력을 기울여왔으며, 그 결과 세계 유수현업기관 및 연구기관의 다양한 전지구모델을 활용한 기후예측시스템을 구축하여 매월 홈페이지를 통해 기후감시 정보와 장기 계절 예측(3/6개월) 및 검증정보를 제공하고 있습니다.

어느 특정 지역에서 기온, 강수량 같은 기상요소가 장기간의 평균값(기후값)으로부터 변화하는 차이값을 아노말리라고 하는데, 다중모델앙상블 예보에서는 각 모델들의 아노말리를 사용하고 있습니다. 아노말리를 구하기 위해 APCC는 다중모델앙상블에 참여하는 모델들의 공통된 기간을 기후값으로 설정하고 있으며 대체로 1980년대 초반부터 2000년대 중후반의 기간이 사용되었으나 최근 개선・개발된 신규 모델의 기후값이 이와 일치하지 않는 경우 MME 예측에 참여하지 못하는 한계가 있었습니다. 최근 개선・개발되는 기후예측 모델들의 기후값이 최근으로 이동되는 경향에 발맞추어 APCC의 MME 기후값을 변경하여 MME 참여모델을 확대하여 참여모델 축소로 인한 예측력 감소를 해결하는 한편, 국내 기여 강화를 위해 국문 홈페이지에서 제공되는 예측정보들을 확장하고 국내 이용자들을 대상으로 한 국문 기후전망을 신설하였습니다.

기후예측시스템의 개선 및 기후예측 콘텐츠 강화와 더불어 예측력 향상 방안을 위한 연구가 진행되었습니다. APCC MME 예측력의 원인과 한계점을 파악하기 위해 MME 예측정보를 제공하는 세계 유수 기관의 MME 예측정보와 비교평가 하였을 때 APCC MME의 예측력이 다른 기관들에 비해 뒤처지지 않으며, 지역별/계절별로 유사한 예측성 변동 추이를 보이는 것으로 나타났습니다. 특히, APCC MME는 MME의 효율성이 큰 것으로 분석되어 다중모델앙상블의 장점을 잘 살리고 있었으며 현업적인 측면에서의 안정성이 높은 것으로 나타났습니다. MME 예측력은 MME를 구성하는 모델 수가 증가하고 다양한 모델들로 구성될수록 높아지는 것으로 알려져 있습니다. 참여모델의 확대가 예측력 향상에 어떠한 영향을 미치는지를 살펴보기 위해 모델 수와 구성성분에 따른 예측력 변화를 분석하였으며, 나아가 개별모델의 예측성능 및 개별모델이 MME 예측력에 미치는 예측민감도를 평가하여 현재 APCC MME 시스템에서 달성 가능한 예측성능의 최대화 할 수 있는 MME 최적화 조합방안을 제시하였습니다.

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 businesses and research institutes to provide climate monitoring information and long-term forecast and verification information on its website every month.

The participating models in APCC MME have been constantly changing. Hindcast period of recently improved and developed climate models have been pushing up hindcast period to reflect recent climate trends, and have not been consistent with the hindcast period of APCC MME. As a result, the number of MME participation models has been decreasing. Therefore, to reflect the recent climate trends, we recently changed the hindcast period to improve predictibility.

In order to increase the utilization of APCC climate information, we developed new contents and improved various contents. Forecast from Individual model, which has been provided only with anomaly field, has been expanded to probability forecast in MME, and impact forecast based on BSISO forecast index has been added for more intuitive information. In the forest fire forecast for Indonesia, the forecast system was improved and graphics were improved. Moreover, various informations were added in monitoring part to provide expanding the information. In addition, we expanded East Asian monitoring/forecasting information provided on the Korean website by improving the quality of graphics. New and improved contents are applied to a new global climate outlook in Korean to distribute to domestic subscribers.

Starting with APCC MME forecasting system improvement in 2017, the three-year improvement in SST/ENSO forecasting system Integration and graphics system improvement in 2018 and climate monitoring and verification system improvement in 2019 have been advanced in order of operation. In 2020, we integrated three systems, monitoring-forecast-verification. This integrated prediction system resulted in shorter operating hours and increased reliability of the prediction system.

The participating models of APCC MME have changed steadily and predictability has been increasing. Therefore, it is needed to objectively understand the predictability of APCC MME by evaluating the APCC MME data with the other world's leading MME in the same conditions. We collected MME data from 3 agencies (WMOLC, NMME, C3S), which currently provide MME forecasting information, and analyzed the overall predictability of MMEs. To compare the MMEs of the APCC and other agencies under the same conditions, the MME set was constructed by applying Simple Composite Method (SCM) techniques to individual models

over 17 years from 1993 to 2009, the common period of the four agencies' hindcast. Comparisons were performed for 2m temperatures and precipitation. APCC and WMO MME with the same number of participating models showed similar predictability as expected, and NMME and C3S with relatively less models showed similar predictability and variability. This is because most of the dynamics models participating in MMEs have similar strengths or weaknesses, but APCC MME, which have a large number of participating models, have a high MME efficiency and stable predictability.

Sensitivity experiments show that the higher the number of participating models, the higher skill, but predictability converges with 10-12 participating models. The lower number of models, the greater the uncertainty in forecast skill. This suggests that there is a limit to extending the participating model beyond the number of participating models where forecast skill converges in order to improve predictability. Sensitivity test to components in a model showed different results for variables. In the case of temperature, the better the combination of good models, the better the MME skill, but in precipitation we could say that not only the superiority of individual models but also the diversity of models in MME also affected the MME prediction skill. It demonstrate that the effectiveness of MME is effective way to decrease uncertainty from individual model, especially in variables with more uncertainty such as precipitation.

Based on these results, we suggested methods to optimized and improve MME predictability. To this end, skill scores of individual models and the contribution of MME prediction of individual models were evaluated. It was shown that some of the participating models with low predictability undermines the averaged skill of the participating models, and that models with negative effects in terms of MME prediction contribution could be removed for combinations of models participating in the MME for better skill.

국문 요약

APCC는 2005년 설립 이후 MME를 활용한 장기 계절예측기술 개발 및 개선에 많은 노력을 기울여왔으며 그 결과 세계 유수현업기관 및 연구기관의 다양한 전지구모델을 활용한 기후예측시스템을 구축하여 매월 홈페이지를 통해 기후감시와 장기 계절 예측(3/6개월) 및 검증정보를 제공하고 있습니다.

APCC MME 참여모델들은 꾸준히 변화해 왔으며 최근 개선·개발되는 기후예측 모델들은 최근 기후를 반영한 기후값을 적용하여 APCC에서 설정한 공통 기후값 기간과 일치하지 않는 경우가 있었습니다. 이로 인해 MME 예측에 참여하지 못하는 한계가 있어 왔으며, MME 참여모델 수가 감소하는 추세였습니다. 따라서, 최근 기후 트렌드를 반영하기 위해 MME에 적용되는 기후값을 최근으로 변경하고 개선된 모델들을 MME에 적용하여 예측력 향상을 이끌었습니다.

APCC 기후예측정보의 활용성을 높이기 위해서 기후예측정보를 좀 더 효율적으로 전달하기 위한 방안이 모색되었으며, 다양한 콘텐츠를 통해 기후예측정보 서비스를 강화하였습니다. 그동안 편차 정보로만 제공되었던 개별모델 예측정보가 확률예측까지 확대되었으며, BSISO 예측지수를 기반으로 한 영향 예보 콘텐츠가 추가되어 보다 직관적인 정보를 전달할 수 있게 되었습니다. 인도네시아를 대상으로 한 산불예측정보에서는 시스템을 현행화 하고 그래픽의 가독성을 증진하였고, 예측에 비해 정보가 부족했던 기후감시 쪽의 정보를 확대하여 다양한 정보를 제공하게 되었습니다. 또한, 기후예측정보 제공의 국내 기여 강화가 요구되고 있던 상황에서 국문 홈페이지에서 서비스 되는 동아시아 감시/예측정보를 확대하고 그래픽의 품질을 개선하였으며, 국문 전지구 기후전망을 신설하여 국내 구독자를 대상으로 배포하게 되었습니다.

기후예측시스템 개선 사업은 2017년 ‘APCC MME 예측시스템 개선’을 시작으로 2018년 ‘SST/ENSO 예측시스템 통합 및 그래픽시스템 개선’, 2019년 ‘기후감시 및 검증시스템 개선’의 3년에 걸친 개선이 단계적으로 이루어졌으며, 2020년에는 기후감시-예측-검증을 아우르는 순차적인 통합 예측시스템 구축을 통해 현업 운영의 효율성과 안정성을 고도화하였습니다. 이를 통해 보다 능률적인 현업 업무가 가능하게 되었으며, 통합예측시스템의 구축을 통해 운영시간이 단축되고 예측시스템의 안정성을 증진되는 결과가 있었다.

기후예측시스템의 확장 및 개선과 더불어 APCC 기후예측을 위한 MME 참여 모델들 또한 꾸준히 변화하여 왔고 예측성 또한 꾸준히 증가하고 있으나 예측력의 실질적 원인분석은 미비한 실정이었습니다. 따라서, 지속적으로 변화하고 있는 참여모델들과 실시간 MME 예측정보의 객관적 분석을 통한 예측력의 실질적 원인분석과 참여모델들의 활용성을 높이기 위한 기반 마련 및 MME 예측력 향상을 위한 방안 수립이 요구되어 왔습니다.

이를 위해 현재 MME 예측정보를 제공하고 있는 3개 기관(WMOLC, NMME, C3S)의 MME 자료를 수집하여 MME의 동일한 조건에서 비교평가 함으로써 전반적인 예측성을 분석하였습니다. 지표기온과 강수에 대한 예측성 비교가 이루어졌으며, APCC와 다른 기관의 MME들은 지역별,

계절별로 유사한 예측성 변동 추이를 보이는 것으로 나타났습니다. 많은 수의 참여모델이 동일한 APCC와 WMO MME는 예상한 바와 같이 유사한 예측성을 보였고, 동일한 개별모델이 없는 NMME와 C3S의 경우에도 예측성 변동 양상은 유사한 것을 확인하였습니다. 이는 MME를 구성하고 있는 역학 모델의 대부분이 유사한 강점 혹은 약점을 가지고 있기 때문이라 생각되며, 참여모델 수가 많은 APCC MME가 MME 효율성이 크고 안정적인 예측력을 보이는 것으로 분석되었습니다.

민감도 실험 결과에서는 참여 모델 수가 많아질수록 MME 예측력도 함께 상승하지만 10~12개 참여 모델 구성에서 대체로 예측력이 수렴하는 것으로 나타났으며, 모델 수가 적을수록 예측력의 불확실성이 크고 모델 수가 많아질수록 예측 변동성은 줄어드는 것으로 나타났습니다. 이는 예측력 향상을 위하여 참여 모델을 예측력 수렴이 나타나는 참여 모델 수 이상으로 확대시키는 것에 한계가 있음을 시사하는 결과입니다. 모델 구성성분에 따른 예측력을 살펴보기 위한 민감도 실험에서는 변수 별로 다른 경향을 보이는 것을 알 수 있었습니다. 기온의 경우 우수한 모델의 조합일수록 MME 예측력도 향상되었지만, 강수에서는 개별모델의 우수성뿐 아니라 MME를 구성하는 모델들의 다양성 또한 MME 예측력에 영향을 준다는 것을 확인할 수 있었고, 이는 강수처럼 불확실성이 높은 변수 혹은 지역에 대한 MME의 효용성을 보여주는 것이라 할 수 있습니다.

이러한 결과를 바탕으로 MME 예측성 향상을 위한 MME 최적화 조합 방안을 제시하였으며, 이를 위해 개별모델의 예측성능 및 개별모델의 MME 예측기여도가 평가되었습니다. 참여모델들 중 일부 낮은 예측력을 가지는 모델들은 참여모델의 평균 예측력을 저해하며, MME 예측기여도 측면에서도 부정적인 영향을 보여 MME에 참여하는 모델 조합에 있어 MME 예측력을 저해하는 모델은 선별되어야 함을 보였습니다.

목 차

평문 초록 ····· i
Executive Summary ····· ii
국문 요약 ····· iv
목차 ····· vi
표 차례 ····· vii
그림 차례 ····· ix
1. 서론 ····· 1
2. 방법 및 자료 ····· 3
3. 결과 ····· 4
가. APCC 기후예측시스템의 운영 및 예측정보 제공 ····· 4
(1) 기후값 변경을 통한 참여모델 확대/운영 ····· 4
(2) MME 참여모델 개선 ····· 11
(3) BSISO 참여모델 개선 ····· 16
(4) 현업 운영 및 예측정보 활용 실적 관리를 위한 체계 마련 ····· 18
나. 기후예측정보 품질개선 및 콘텐츠 강화 ····· 31
(1) MME 개별모델 확률예측 결과 제공 ····· 31
(2) BSISO 영향예보 콘텐츠 및 모델정보/예측지수 제공 ····· 33
(3) 인도네시아 산불예측정보 개선 ····· 42
(4) APCC MME 기후예측 콘텐츠 강화 ····· 48
다. APCC 계절예측시스템 개선 ····· 58
(1) 기후감시-예측-검증 통합시스템 구축 ····· 58
(2) 기상청 슈퍼컴퓨터를 활용한 SCoPS 운영 체계 구축 ····· 91
(3) MME 확률예측정보의 텍스트 자동 생성 시스템 구축 ····· 92
(4) MME 참여모델 품질검사 체계 구축 ····· 100
라. 다중모델 앙상블 자료 개선 기반 구축 ····· 111
(1) APCC 및 타 기관 계절 예측 모델 ····· 111
(2) APCC MME 및 타 기관 MME의 예측력 비교 ····· 113
(3) 참여모델 수에 따른 예측민감도 분석 ····· 116
(4) 모델 구성성분에 따른 예측민감도 분석 ····· 119
(5) SCM 최적화 조합을 위한 예측민감도 분석 ····· 125
4. 요약 및 결론 ····· 146
사사 ····· 149
References ····· 150
부록 A. BSISO 영향예보 생산 매뉴얼 ····· 153
부록 B. 인도네시아 산불예측시스템 운영 매뉴얼 ····· 184
부록 C. 기후감시-예측-검증 통합시스템 운영 매뉴얼 ····· 193
부록 D. SCoPS ARGO 자료 전처리 관련 운영 매뉴얼 ····· 259

표 차례

Table 1. Model configuration of CWB, PNU, and METFR ·····12
Table 2. Summary of old (GEPS) and new (TCWB1T1.1) model of CWB ·····17
Table 3. List of climate contents provided by APCC ·····49
Table 4. Total number of page views of APCC climate contents for 3 years (2017-19). ·····49
Table 5. List of climate monitoring information provided by other climate centers. ·····49
Table 6. Definition of 14 regions for APCC MME prediction and verification. ·····53
Table 7. Definition of APCC ENSO alert system ·····56
Table 8. Definition of SST Index. ·····59
Table 9. Anomaly correlation coefficient (ACC) of each variable for real-time forecast of SCM and GAUS produced on old AFS and new AFS systems. ·····66
Table 10. Same as Table 9 except for root mean square difference (RMSD). ·····66
Table 11. Regional anomaly correlation coefficient (ACC) of temperature at 2m for individual models and SCM produced in old AFS and new AFS systems. ·····68
Table 12. Same as Table 11 except for precipitation. ·····68
Table 13. Same as Table 11 except for temperature at 850hPa. ·····69
Table 14. Same as Table 11 except for geopotential height at 500hPa. ·····69
Table 15. Regional relative operating characteristics (ROC) score of temperature at 2m for real-time forecast of PMME (GUAS) produced in old AFS and new AFS systems. ·····70
Table 16. Same as Table 15 except for precipitation. ·····70
Table 17. Same as Table 15 except for temperature at 850hPa. ·····70
Table 18. Same as Table 15 except for geopotential height at 500hPa. ·····70
Table 19. Regional relative operating characteristics (ROC) score of temperature at 2m for hindcast of PMME (GAUS) produced in old AFS and new AFS systems. ·····71
Table 20. Same as Table 19 except for precipitation. ·····71
Table 21. Same as Table 19 except for temperature at 850hPa. ·····71
Table 22. Same as Table 19 except for geopotential height at 500hPa. ·····71
Table 23. Reliability score of temperature at 2m for real-time forecast of PMME (GUAS) produced in old AFS and new AFS systems. ·····72
Table 24. Same as Table 23 except for precipitation. ·····72
Table 25. Same as Table 23 except for temperature at 850hPa. ·····73
Table 26. Same as Table 23 except for geopotential height at 500hPa. ·····73
Table 27. Reliability score of temperature at 2m for hindcast of PMME (GUAS) produced in old AFS and new AFS systems. ·····74
Table 28. Same as Table 27 except for precipitation. ·····74
Table 29. Same as Table 27 except for temperature at 850hPa. ·····75
Table 30. Same as Table 27 except for geopotential height at 500hPa. ·····75
Table 31. Ranked probability skill score (RPSS) of temperature at 2m for real-time forecast

of PMME (GUAS) produced in old AFS and new AFS systems. ·····76
Table 32. Same as Table 31 except for precipitation. ·····76
Table 33. Same as Table 31 except for temperature at 850hPa. ·····77
Table 34. Same as Table 31 except for geopotential height at 500hPa. ·····77
Table 35. Ranked probability skill score (RPSS) of temperature at 2m for hindcast of PMME (GUAS) produced in old AFS and new AFS systems. ·····78
Table 36. Same as Table 35 except for precipitation. ·····78
Table 37. Same as Table 35 except for temperature at 850hPa. ·····79
Table 38. Same as Table 35 except for geopotential height at 500hPa. ·····79
Table 39. Work flow and number of step to produce seasonal prediction data for old AFS and new AFS systems. ·····81
Table 40. Work flow and number of step to produce prediction graphics for old AFS and new AFS systems. ·····82
Table 41. Work run time to produce seasonal prediction, graphics and ENSO prediction data at old AFS and new AFS systems. ·····83
Table 42. Work run time to produce verification data at old AFS and new AFS systems. ·····84
Table 43. Improvement in ARGO pre-processing system. ·····92
Table 44. Directories of observation data in APCCDB ·····101
Table 45. Directories of individual model data in MME ·····101
Table 46. Codes and modules Directories of quality check system and codes/modules ·····106
Table 47. List of individual models participating in MMEs of different operation centers. ····112
Table 48. The information of 20 climate models participating in MMEs. ·····113
Table 49. Categorization of models based on (a) ocean model and (b) atmospheric initial condition of hindcast. ·····120
Table 50. Schedule of collecting individual model' s data ·····123
Table 51. Lists of models excluded from best combination of SCM ·····137
Table 52. Description of MME Experiments with different number of participating models. ·142

그림 차례

Figure 1. Description of participating models for APCC MME. ····4
Figure 2. Distribution of hindcast period for individual models participating in APCC MME ·5
Figure 3. Evolution of contributing models in APCC MME for the period 2012-2020. ····6
Figure 4. T-test between two climatologies for 1983-2010 (clim1) and 1991-2010 (clim2) of observed seasonal mean precipitation, 2m temperature, geopotential height at 500 hPa and sea surface temperature. ····7
Figure 5. Same as Figure 4 except for KS-Test. ····8
Figure 6. KS-test between two probability distribution for 1983-2010 (clim1; black line) and 1991-2010 (clim2; red line) of observed seasonal nino3.4 index. ····8
Figure 7. Design of prediction skill evaluation by MME method (SCM1; 1983-2010, SCM2; 1991-2010, SCM3; 1991-2010, SCM4; 1991-2010) used in this study. ····9
Figure 8. Changes of anomaly correlation coefficient (SCM1; black, SCM2; red, SCM3; blue) and difference (bar) between SCM3 and SCM2 for seasonal (MAM-DJF) 2-m temperature during the period 1983-2010. ····10
Figure 9. Averaged anomaly correlation coefficient of SCM2 (black; Mean_7M), SCM3 (red; 13M), and SCM4 (yellow; +6M) for seasonal mean global 2-m temperature and precipitation during the period 1991-2010. ····11
Figure 10. Temporal Correlation Coefficients of Nino3.4 index of CWB (left) and PNU (right) during hindcast period(1991-2010). Blue(red) lines indicate old(new) model, and upper(lower) panel shows 1(3) month(s) lead time. ····13
Figure 11. Anomaly Correlation Coefficients of global 2m temperature of CWB (left) and PNU (right) during hindcast period. ····14
Figure 12. Relative Operating Characteristics Curve of global 2m temperature of CWB (left) and PNU (right) during hindcast period for winter. Dotted (sold) lines indicate old(new) models. ····14
Figure 13. Anomaly Correlation Coefficients of global 2m temperature (left) and precipitation (right). ····15
Figure 14. Anomaly Correlation Coefficients of global 2m temperature (left) and precipitation (right). ····15
Figure 15. Anomaly Correlation Coefficients of global 2m temperature, precipitation, geopotential height at 500hPa, and sea level pressure of METFR. ····15
Figure 16. Difference of Anomaly Correlation Coefficients between MME with old models and MME with new models. Upper, middle, and lower panel shows CWB, PNU, and METFR, respectively. ····16
Figure 17. (a) Phase diagram, (b) probability of heavy rainfall, (c) anomlay of outgoing longwave radiation, and (d) real-time verification for predicted BSISO index in APCC BSISO website ····18

Figure 18. Example of model description. ·····19
Figure 19. Example of model history for APCC MME participating model in APCC website (www.apcc21.org). ·····20
Figure 20. Process of research to operation (R2O) ·····22
Figure 21. Example using APCC seasonal forecast in agriculture victoria. ·····26
Figure 22. Examples using APCC seasonal forecast in climate outlook in Australia (left) and monsoon forecast in India (right). ·····29
Figure 23. Papers (yellow bar) and news (gray bar) using APCC climate data from 2005 to 2020. ·····29
Figure 24. Example using APCC seasonal forecast in Kiribati outllok ·····30
Figure 25. Climate information publications in APCC homepage. ·····30
Figure 26. “Individual Model Prediction - Probabilistic Forecast” menu. ·····32
Figure 27. “Methodology” page. ·····33
Figure 28. Directories of APCC BSISO composite system. ·····34
Figure 29. Same as Figure 28 except for APCC BSISO impact system. ·····34
Figure 30. Configuration of APCC BSISO mornitoring and forecast impact system. ·····36
Figure 31. Composite anomaly field of the historical BSISO indices (1981-2018) for various variables in APCC BSISO website. ·····37
Figure 32. Reconstructed field related to observed BSISO impact based on composite of the historical BSISO index (1981-2018) for various variables in APCC BSISO website. ·····38
Figure 33. Same as Figure 32 except related to forecasted BSISO impact. ·····39
Figure 34. Provide BSISO index in APCC ADSS website. ·····40
Figure 35. Description and configuration of participant model in APCC BSISO website. ·····41
Figure 36. Description by contents in APCC BSISO website. ·····42
Figure 37. 6-month Precipitation Forecast in 2020 over Barat. ·····44
Figure 38. 6-month Precipitation Forecast in 2020 over Selatan. ·····45
Figure 39. 6-month Precipitation Forecast in 2020 over Tengah. ·····45
Figure 40. 6-month Precipitation Forecast in 2020 over Timur. ·····46
Figure 41. Probabilistic Forest Fire Forecast on 2020. ·····47
Figure 42. Monthly History of Probabilistic Forest Fire Forecast on 2020. ·····47
Figure 43. FHEWS Homepage information. ·····48
Figure 44 Monthly temperature anomaly normalized by standard deviation. ·····50
Figure 45. Monthly precipitation ratio (%). ·····51
Figure 46. Monthly mean temperature and precipitation anomalies. ·····51
Figure 47. Rank tables of monthly mean temperature and precipitation over East Asia. ·····52
Figure 48. Summary map of global climate outlook by APCC. ·····53
Figure 49. Summary maps of temperature and precipitation probabilistic MME forecast and hindcast Heidke Skill Score (HSS). ·····54
Figure 50. The status of real-time ENSO alert (left) and history (recent 5 years) of monthly ENSO alert (right). ·····57

Figure 51. Example of monthly outlook written in Korean. ····58
Figure 52. Region of ENSO index. ····59
Figure 53. Configuration of new AFS system. ····62
Figure 54. Changes to individual model forecasts for new AFS. ····63
Figure 55. Temporal correlation coefficient (TCC) of each variable for hindcast (1983-2010) of SCM and GAUS produced on old AFS and new AFS systems. ····67
Figure 56. Temporal correlation coefficient (TCC) and root mean square difference (RMSD) of sea surface temperature for hindcasts (1983-2010) of SCM and GAUS produced on old AFS and new AFS systems. ····67
Figure 57. Summary of efficiency assessments for AFS Integrated system. ····90
Figure 58. Land definition for text generation ····93
Figure 59. Ocean definition for text generation ····93
Figure 60. Generate algorithm for categorical data (precipitation). ····95
Figure 61. Generate algorithm for categorical data (temperature) ····96
Figure 62. Text generation process for precipitation ····97
Figure 63. Text generation process for temperature ····98
Figure 64. Text generation category for Outlook ····99
Figure 65. Text generation results for Outlook service ····99
Figure 66. Text generation results for global summary map service ····100
Figure 67. Samples of image similarity using phash method ····102
Figure 68. Step 1: Image similarity check ····103
Figure 69. Step 2: Models data check ····104
Figure 70. Step 3: Result table ····105
Figure 71. Structure of quality check system for invidual model data in MME ····106
Figure 72. Example of result for SST of CMCC_SPS3 using quality check system ····109
Figure 73. Example of result for temperature at 850hPa of CMCC_SPS3 using quality check system ····110
Figure 74. Example of result for 2m temperature of CWB_TCWB1Tv1_1 using quality check system ····110
Figure 75. Example of result for 2m temperature of HCM_SL-AV using quality check system ····
111
Figure 76. Anomaly correlation of (a) 2m temperature and (b) precipitation of APCC, (c) 2m temperature and (d) precipitation of WMO, (e) 2m temperature and (f) precipitation of NMME, and (g) 2m temperature and (h) precipitation of C3S over the globe. ····114
Figure 77. Anomaly correlation of (a) 2m temperature and (b) precipitation, and temporal correlation of (c) 2m temperature and (d) precipitation over the globe. ····115
Figure 78. Anomaly correlation of (a) 2m temperature and (b) precipitation for APCC, WMO, NMME, C3S, and their mean of 12 seasons over the globe. ····116
Figure 79. Anomaly correlation coefficient according to number of participating models in MME of (top) 2m temperature and (bottom) precipitation for MAM, JJA, SON, and DJF over

the globe. ·····118
Figure 80. Same as Figure 79 except for Tropics. ·····118
Figure 81. Same as Figure 79 except for East Asia. ·····119
Figure 82. Anomaly correlations of (a) 2m temperature and (b) precipitation between 20 models. ·····121
Figure 83. Anomaly correlations of (a) 2m temperature and (b) precipitation of 20 models. 121
Figure 84. Anomaly correlation differences of 2m temperature and precipitation for (a) seasons and (b) regions. ·····122
Figure 85. Anomaly correlation differences of 2m temperature and precipitation for (a) seasons and (b) regions. ·····123
Figure 86. (a) Anomaly correlation of MME and mean of individual models' anomaly correlation, and (b) anomaly correlation of MME and anomaly correlation between individual models. ·····124
Figure 87. Comparison of Anomaly Correlation Coefficients (ACCs) of 2-meter temperature and precipitation for EXP1 (black line) and EXP4 (red line). ·····126
Figure 88. ACCs difference of EXP4 2m temperature and precipitation as compared with EXP1 for each regions for hindcast (1981-2010) seasonal prediction from all 12 initial months and annual mean (AM). ·····127
Figure 89. ACCs difference of EXP2, EXP3, and EXP4 of 2-meter temperature and precipitation as compared with EXP1 for hindcast (1981-2010) seasonal prediction from all 12 initial months and annual mean (AM). ·····128
Figure 90. Same as Figure 89 except for the region. ·····129
Figure 91. Difference of temporal correlation coefficient between EXP4 and EXP1 of temperature and precipitation. ·····130
Figure 92. ACCs of individual models and ACCs difference depending on the participation of individual models. ·····131
Figure 93. ACCs difference of W2D, W3D, and W4D of 2-meter temperature and precipitation as compared with APCC MME for hindcast (1981-2010) seasonal prediction from all 12 initial months and annual mean (AM). ·····133
Figure 94. Scatter diagrams of hindcast skills of temperature and precipitation between (right) PCC and NRMSE, (middle) PCC and TCC, and (left) PCC DF and TCC DF over the globe. 134
Figure 95. Scatter diagrams of hindcast skills of temperature and precipitation between (right) PCC DF and PCC over the globe. ·····135
Figure 96. ACCs difference of Ref_SEA and Ref_AM of 2m temperature and precipitation as compared with APCC MME for hindcast (1981-2010) seasonal prediction from all 12 initial months and annual mean (AM). ·····136
Figure 97. Difference of temporal correlation coefficient between new SCM and reference SCM of temperature and precipitation. These skill difference contains the skill for all seasons. ·····
138
Figure 98. Same as Figure 95 except for the East Asia. ·····139

Figure 99. Same as Figure 96 except for the East Asia. ·····129
Figure 100. Difference of temporal correlation coefficient between EXP4 and EXP1 of temperature and precipitation. ·····140
Figure 101. Same as Figure 92, except for participating models. ·····141
Figure 102. Same as Figure 96 except for experiments. ·····143
Figure 103. ACCs difference of 9 experiments of 2-meter temperature and precipitation as compared with APCC MME and the number of participating models for each experiment. ··144

1. 서론

APCC 설립당시부터 이어져 온 기관의 미션은 ‘기후예측정보를 통한 아시아·태평양 지역에의 공헌’을 기조로 하며, 기후예측 업무는 센터내에서도 가장 오래된 연구분야로 센터 존립의 근간이라 할 수 있다. 따라서 기후예측과 관련된 연구들은 2005년 설립이후부터 현재까지 APCC의 가장 중요한 연구로써 꾸준히 진행되어 오고 있다(예, Min et al. 2014; Sohn et al. 2013; Min et al. 2017; Kim et al 2017; Shin and Moon, 2017). APCC는 다중모델앙상블(Multi-Model Ensemble, 이후 MME) 기법을 활용한 장기 계절예측기술 개발 및 개선에 많은 노력을 기울여왔으며, 그 결과 세계 유수현업기관 및 연구기관의 다양한 전지구모델을 활용한 기후예측시스템을 구축하고, 매월 정기적으로 홈페이지를 통해 기후감시 정보와 장기 계절예측(3/6개월) 및 검증정보를 제공하고 있다.

기후예측정보의 안정적인 생산을 위해서 APCC는 설립 초기에 AFS(Automated Forecast System; APCC 2008)를 개발하였으며, 이를 근간으로 예측기간의 확장(3개월->6개월), ENSO/SST 예측시스템 구축, 검증시스템 개발 등 기후예측 시스템을 확장하여 운영하여 왔다. 그러나, MME 계절예측 시스템은 지난 십여 년 동안 개발 및 개선 작업을 반복하면서 개별적으로 다양한 프로그래밍 언어(예, Shell, FORTRAN, Ruby, NCL 등)로 구성되어 있어 하나의 유기적인 현업 운영시스템으로 통일할 필요가 있었다. 또한 변화하는 환경 (예, 참여모델 변경 및 Hindcast 기간 변경 등)에 맞춰 시스템 변경 및 확장이 유연하도록 체계 개선이 필요한 상태였다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 현업운영 서버 신규 도입 및 개별 예측 시스템(감시, 예측, 검증) 개선 등의 노력을 기울였고 2020년에는 개선된 개별 시스템을 아우르는 통합운영 체계를 구축하여 자동화 현업운영 함으로써 운영 시간을 단축하고 예측시스템의 효율성과 안정성을 높이고자 하였다.

APCC MME의 기후값은 MME 참여모델의 공통 기후값으로 설정되며 대체로 1980년대 초반부터 2000년대 중후반의 기간이 사용되었으나 최근 개선·개발된 신규 모델의 기후값이 이와 일치하지 않는 경우 MME 예측에 참여하지 못하는 한계가 있었다. 최근 개선·개발되는 기후예측 모델들의 기후값이 최근으로 이동되는 경향에 발맞추어 APCC의 MME 기후값을 변경하여 MME 참여모델을 확대하여 참여모델 축소로 인한 예측력 감소를 해결하는 노력을 기울이는 한편, APCC 기후예측정보의 활용성 제고 및 기후예측정보제공의 국내 기여 강화를 위한 신규 예측정보 개발과 현재 제공되는 기후감시 및 예측정보의 가시성·가독성을 높이고자 하였다.

기후예측시스템의 확장 및 개선과 더불어, APCC 기후예측시스템을 구성하는 MME 참여 모델들 또한 꾸준히 변화하여 왔다. 설립 초기에는 아태지역 모델만이 MME 예측에 참여 하였지만, 2014년 유럽 모델들이 참여하면서 APCC는 MME를 구성하는 참여 모델들의 다양성 및 독립성을 점진적으로 확보하고 있다. APCC는 다중모델앙상블 예측정보의 예측력을 향상시키기 위해 보다 다양한 모델의 참여를 위하여 참여 모델의 확대에 많은 노력을 기울여왔으나, 참여모델의 확대가 예측력 향상에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 의문을 제기 받아 왔다. Alessandri et al. (2018)의 선행연구에 의하면 다중모델앙상블에 참여하는 모델 수가 증가할수록 예측력이 높아짐을 보이면서 일정 예측력 수준에서 수렴함을 밝혔으나, 분석에 활용된 모델은 비교적 과거에 개발된 모델이고, 활용된 모델의 수가 적다는 한계가 있으며, 비복원 방식의 모델 조합 방

법을 활용하여 모집단과 실제 유사도가 낮을 수 있는 문제점이 있다. 또한, 개별모델의 구성성분을 기반으로 MME를 구성하는 모델들의 다양성이 예측력에 미치는 영향을 분석하여 예측력의 원인과 한계점을 찾기 위한 기반을 마련하고자 하였다. 나아가 개별모델의 예측성능 및 개별모델이 MME 예측력에 미치는 예측민감도를 평가하여 현재 APCC MME 시스템에서 달성 가능한 예측성능의 최대화 할 수 있는 MME 최적화 조합방안을 제시하고자 하였다.

본 과제에서는 '고품질 예측정보 제공을 통한 기후정보서비스 경쟁력 강화'를 목표로 수행된 결과들을 크게 4개의 주제, APCC 기후예측시스템의 운영 및 예측정보 제공, 기후예측정보 품질개선 및 콘텐츠 강화, APCC 계절예측시스템 개선, 그리고 다중모델 앙상블 자료 개선 기반 구축로 나누어 제시하고자 한다. 기후예측시스템의 운영과 예측정보 제공 부분에서는 기후예측시스템을 운영하면서 수행되었던 여러 가지 개선 사항들과 참여모델 변경 등에 대해 기술하였으며, 기후예측 품질개선 파트에서는 2020년 새롭게 제공된 신규 콘텐츠들과 개선 사항들을 제시하였다. 예측시스템 개선에서는 기 개발된 예측시스템의 통합시스템 구축 결과와 자체 모델의 효율적 운영을 위한 체계 마련, 좀 더 효율적인 현업 운영을 위한 확률예측정보 텍스트 자동화 시스템 개발 및 참여모델 품질검사 체계 구축에 대한 결과가 제시되었다. 마지막으로 MME 자료개선을 위한 기반 연구에서는 APCC MME와 타 기관 MME를 동일한 조건에서 비교하였으며, 참여모델 수와 구성성분에 따른 예측민감도 분석과 SCM 최적화 조합을 위한 방안을 기술하였다..

2. 방법 및 자료

이 연구에서는 APCC가 제공하고 있는 MME 및 BSISO 예측자료를 활용하였다. APCC MME 참여모델은 Figure 1과 같으며, BSISO 예측에는 미국대기해양관리청(NOAA)의 2개 모델과 유럽중장기예보센터(ECMWF), 대만기상청(CWB)과 호주기상청(BOM)에서 각각 1개의 모형이 참여하고 있다.

다중모델앙상블(Multi-model ensemble; MME) 자료 개선 기반연구에서는 APCC MME 자료와 함께 현재 MME 데이터를 제공하고 있는 다른 기관들의 모델 자료들을 사용하였다 (Table 47). 현재 다중모델앙상블 기법을 적용한 예측 정보를 제공하는 기관은 NMME(North American Multi-Model Ensemble), WMOLC(World Meteorological Organization Lead Center), C3S(Copernicus Climate Change Service)가 있으며, 이들 세 기관의 개별모델자료를 수집하여 연구에 활용하였다. 예측력 평가를 위해 APCC에서 예측력 검증에 이용하고 있는 NCEP-DOE reanalysis II (Kanamitsu et al. 2002; NCEP2)와 CAMS-OPI (Janowiak and Xie 1999)를 사용하여 동일한 조건에서의 평가를 수행하였으며, 구체적인 연구 및 분석 방법은 각 단락에서 제시하였다.

3. 결과

가. APCC 기후예측시스템의 운영 및 예측정보 제공

(1) 기후값 변경을 통한 참여모델 확대/운영

(가) 현황 및 필요성

APCC MME 계절 예측정보는 기후 평년기간에 따른 편차값(anomaly)을 기반으로 제공하며, APCC MME에 참여하는 모델의 목록은 Figure 1과 같다.

Institute	Country	Model	Resolution	Ensembles	Hindcast period
APCC	Korea	SCoPS	T159L31	10	1982 - 2013
BCC	China	BCC_CSM1.1m	T119L40	24	1991 - 2015
BoM	Australia	ACCESS-S1	N216L85	11	1990 - 2012
CMCC	Italy	CMCC-SPS3	~1°x1°, L46	20	1993 - 2016
CWB	Chinese Taipei	GFST119L40	T119L40	30	1982 - 2016
HMC	Russia	SL-AV	1.125x1.40625,L28	10/20	1985 - 2010
JMA	Japan	JMA/MRI-CPS2	T159L60	10/51	1979 - 2014
KMA	Korea	GloSea5GC2	T63L35	12/42	1991 - 2010
MSC	Canada	CanSIPSv2	T63L35	20	1981 - 2010
NASA	USA	GEOS-S2S-2.1	288×181,L31	10/11	1982 - 2010
NCEP	USA	CFSv2	T126L64	20	1982 - 2010
PNU	Korea	CGCMv1.1	T42L18	5	1980 - 2015
UKMO	UK	GloSea5	N216L85	12/42	1993 - 2016
MSC	Canada	CanCM	T63L35	20	1981 - 2010
BOM	Australia	POAMA-M24	T47L17	33	1990 - 2012

Figure 1. Description of participating models for APCC MME.

여기서 사용되는 기후 평년기간은 MME에 참여하는 개별모델의 공통 과거기후 재현(hindcast) 기간 특성을 반영하여 결정되어왔다. 하지만 시간이 흐름에 따라 최근 기후 특성을 반영하기 위하여 모델 물리/역학적 과정의 개선을 비롯해 과거기후 재현 기간을 조정하는 기후 모델이 있는가 하면 개선 속도가 더디거나 과거 버전에서 정체되어 있는 기후 모델로 인하여 MME에 참여하는 모델간 과거기후 재현 기간의 차이가 점차 벌어지게 되었다. Figure 2는 2008년과 2018년 각각 APCC MME에 참여하는 개별모델들의 과거기후 재현 기간의 분포 및 밀도를 나타내는 그림으로써 색이 붉을수록 과거기후 재현 기간이 중첩되는 모델이 많음을 의미한다. 2008년의 경우 APCC MME 참여모델의 과거기후 재현 기간의 범위가 최소 1979년부터 최대 2007년이었지만, 모델별 개선 및 과거기후 재현 기간 조정이 부분적으로 진행됨에 따라 2018년에는 최대 기간이 2015년으로 최근과 근접하면서 범위가 늘어난 것을 알 수 있다. 그러나 2008년의 과거기후 재현 기간의 공통 기간은 1983년부터 2003년의 21년

기간인 것에 비해, 2018년의 경우 1993년부터 2003년의 11년 기간으로써 절반 가까이 줄어들었다.

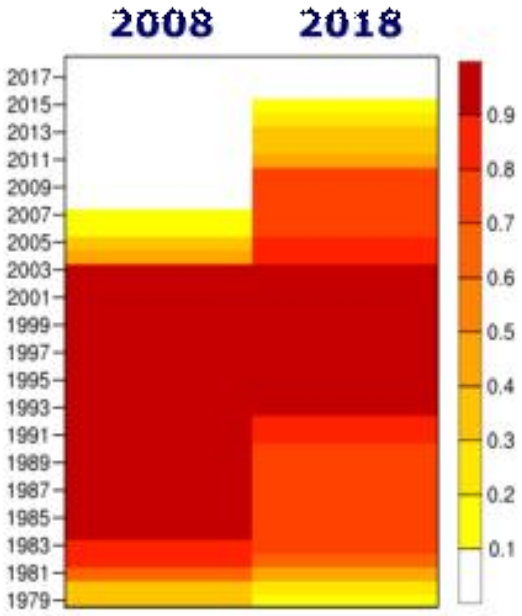


Figure 2. Distribution of hindcast period for individual models participating in APCC MME

즉, 기후 모델의 개선이 더욱 활발해지고 있고 과거 재현기간이 최근으로 조정되고 있는 시점에서 APCC MME 기후값을 기존 참여모델의 공통기간으로 유지할 경우 APCC MME에 참여하지 못하는 모델 수가 점차 증가하게 될 것이다. 그 결과, 2020년 개별 모델 전체 수 대비 50% 이상을 MME에 활용하지 못하게 될 것이며, 그 원인이 과거기후 재현 기간의 불일치가 약 82 %에 해당하게 된다(Figure 3). 참여모델 수의 감소(특히, 최근 개선/개발된 모델)는 결국 MME 예측력에도 영향을 미치게 되며 이러한 문제점을 해결하기 위해 다양한 통계적 분석 및 민감도 실험을 통해 APCC MME 현업에 가장 적합한 평년기간을 선정하고 조정하고자 한다.

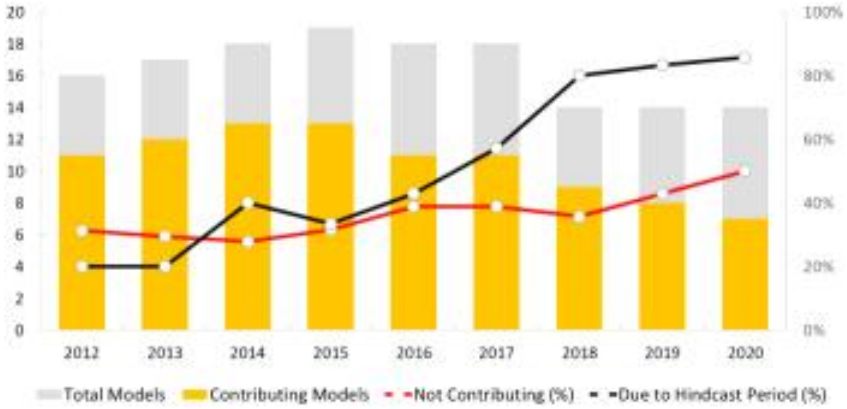


Figure 3. Evolution of contributing models in APCC MME for the period 2012-2020.

(나) 기후 평년기간에 대한 통계적 분석

현재 APCC MME에 참여하는 대부분의 모델을 활용할 수 있는 새로운 기후평년기간은 1991-2010년이며, 새로운 평년기간을 적용할 경우 MGO를 제외[1]한 13종의 모델이 APCC MME에 참여할 수 있게 된다. 하지만 기존의 기후평년기간(1983-2010, 이하 clim1)과 새로운 기후평년기간(1991-2010, 이하 clim2)에 따른 기후 평년값의 차이가 통계적으로 유의하다면, 기존의 예측 정보와 불일치로 인해 사용자가 혼란을 초래할 수 있다. 따라서 이를 확인하기 위해 두 기후기간에 대한 평년값 및 확률분포 차이를 통계적 분석(T-test, KS-Test[2])을 통해 유의성 검증을 수행하였다. 그 결과 강수 일부 남극지역에서 두 기후 평년값에 통계수준 5%에서의 미세한 차이를 보이긴 하지만 이를 제외한 모든 변수/지역에서는 두 평년기간에 대한 기후평년값의 차이는 없는 것으로 확인되었고(Figure 4), 확률분포 또한 모든 계절 및 변수에 대해 두 기간에 대해서 차이가 통계적으로 유의하지 않는 것으로 나타났다(Figure 5). 이러한 결과는 계절예측 규모에서 중요한 예측력의 원인 중의 하나인 외부 강제력(Nino3.4 지수)에서도 동일한 결과를 보였다(Figure 6). 기후예측 모델들에서도 관측과 동일한 특성이 나타나는지 알아보기 위하여 APCC-SCoPS 모델에 대해 동일한 통계적 유의성 검증을 수행하였다. 그 결과 관측과 동일하게 clim1과 clim2의 평년값 및 확률분포에 대해서 통계적으로 유의한 차이가 없음을 확인하였다. 이를 통해 clim2로 기후 평년기간을 조정하더라도 기존의 예측정보와 일관성이 유지되어 APCC MME 예측정보를 활용하는 사용자들 입장에서의 혼란은 없을 것으로 사료된다.

1) MGO의 MGOAM-2 경우 Hindcast 실험이 AIMP-type이므로 MME에서 제외함
2) Kolmogorov-Sminov 검증

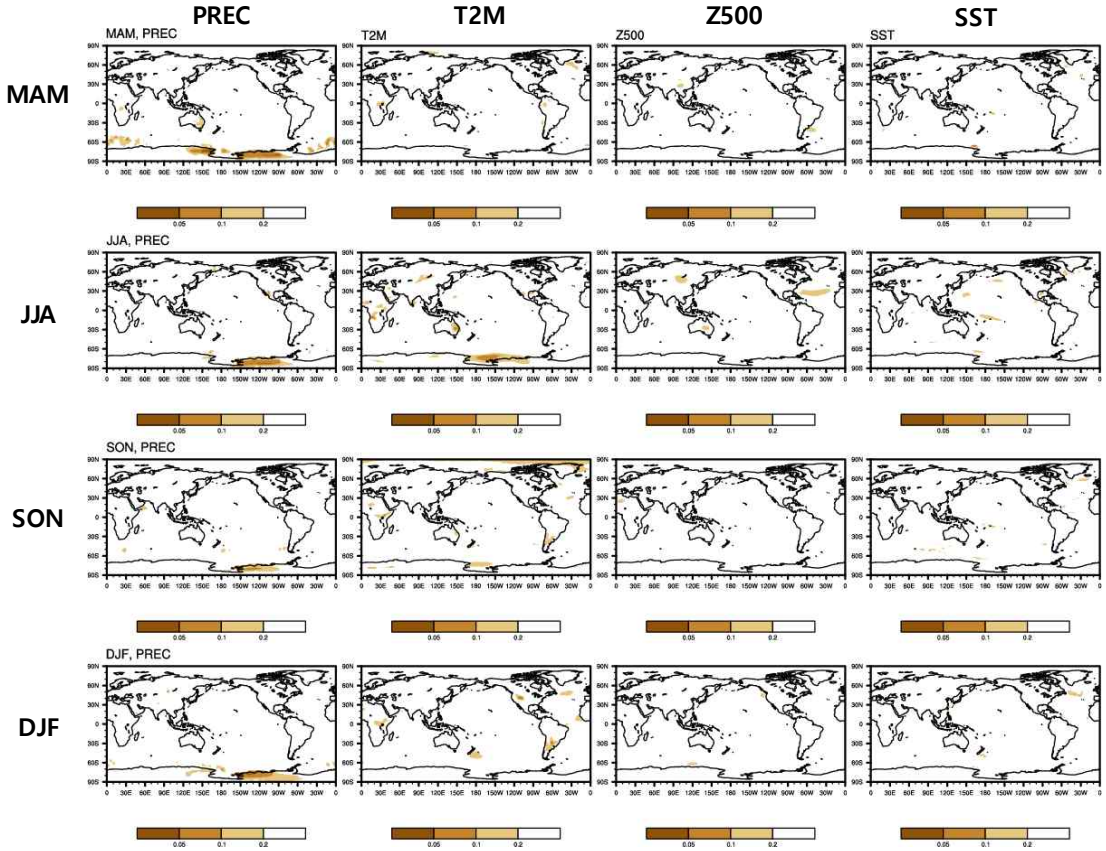


Figure 4. T-test between two climatologies for 1983-2010 (clim1) and 1991-2010 (clim2) of observed seasonal mean precipitation, 2m temperature, geopotential height at 500 hPa and sea surface temperature. Shaded areas are the regions where the clim1 and clim2 statistically differ at the 5%, 10%, and 20% significance levels.

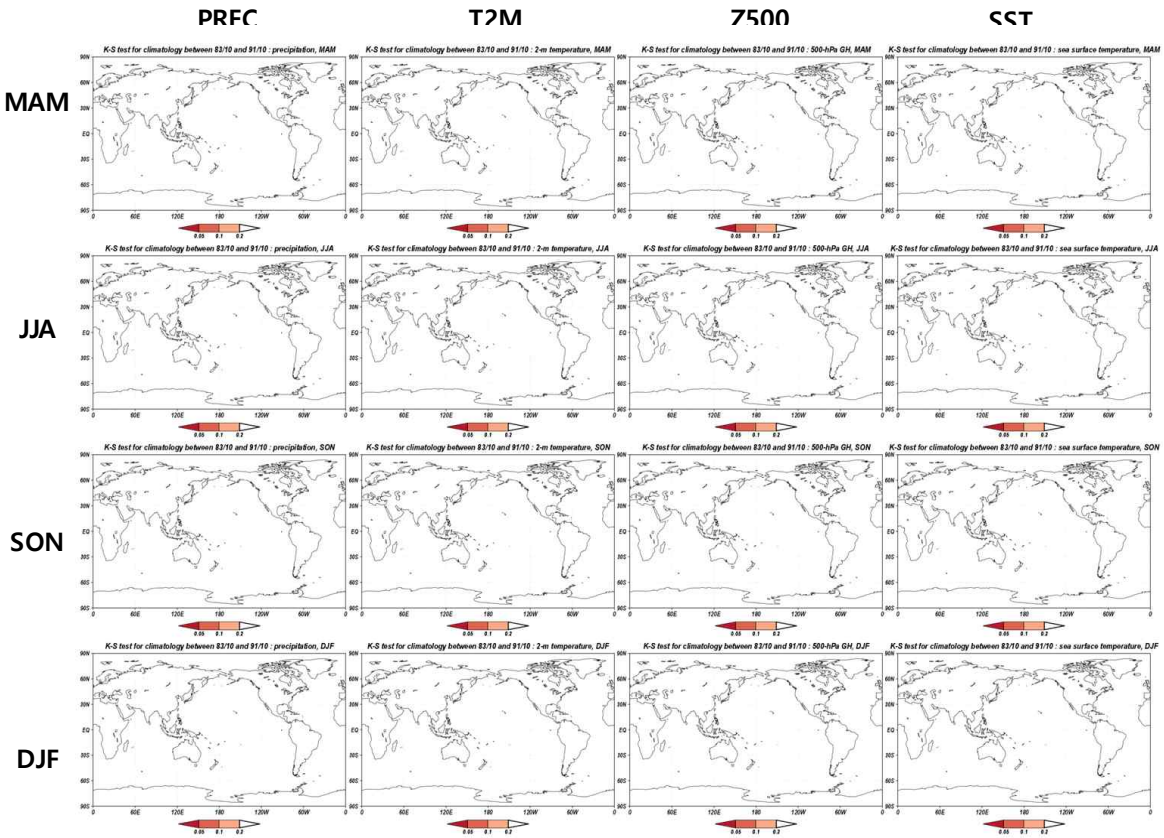


Figure 5. Same as Figure 4 except for KS-Test.

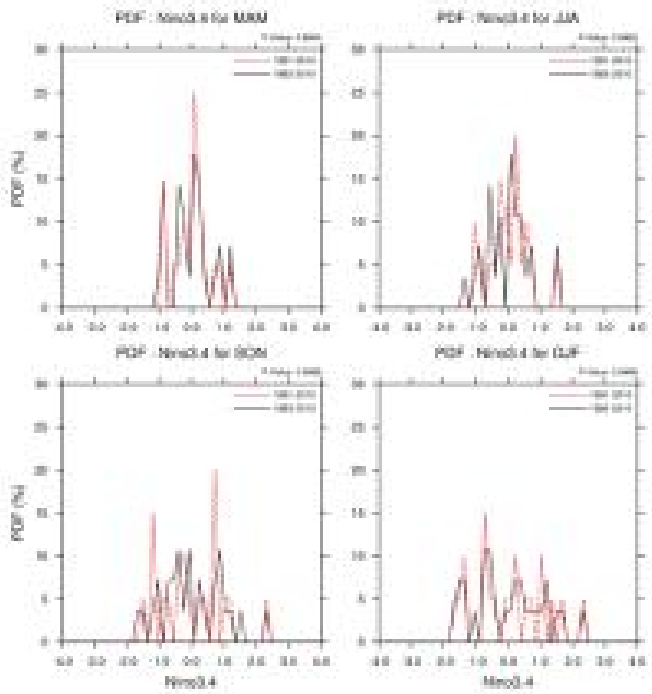


Figure 6. KS-test between two probability distribution for 1983-2010 (clim1; black line) and 1991-2010 (clim2; red line) of observed seasonal nino3.4 index.

(다) 기후값 변경으로 인한 MME 예측력 변화

① 분석 방법

(나) 절에서와 같이 새로운 기후 평년기간으로 변경함으로써 기존에 참여하지 못했던 모델들이 다수 참여할 수 있게 됨에 따라 APCC MME 예측력에 어떠한 영향을 미치는지 살펴보았다. 기존의 과거 평년기간(1983-2010년)을 고수하게 될 경우 APCC MME는 7개의 모델(APCC, CWB, JMA, MSC, NASA, NCEP, PNU)만 참여한 실험을 SCM1이라 정의하고, SCM1의 모델 구성에서 기후 평년기간만 새롭게 조정하고자 하는 1991-2010년으로 설정한 실험을 SCM2, 기후 평년기간 조정과 함께 전체 모델이 참여한 실험을 SCM3가 정의하였고, 기후 평년기간을 조정함으로써 참여할 수 있게 된 모델(BCC, KMA, CMCC, HMC, BoM, UKMO)이 참여한 실험을 SCM4라 정의하여 각각의 실험별 예측력을 비교 분석하였다(Figure 7).

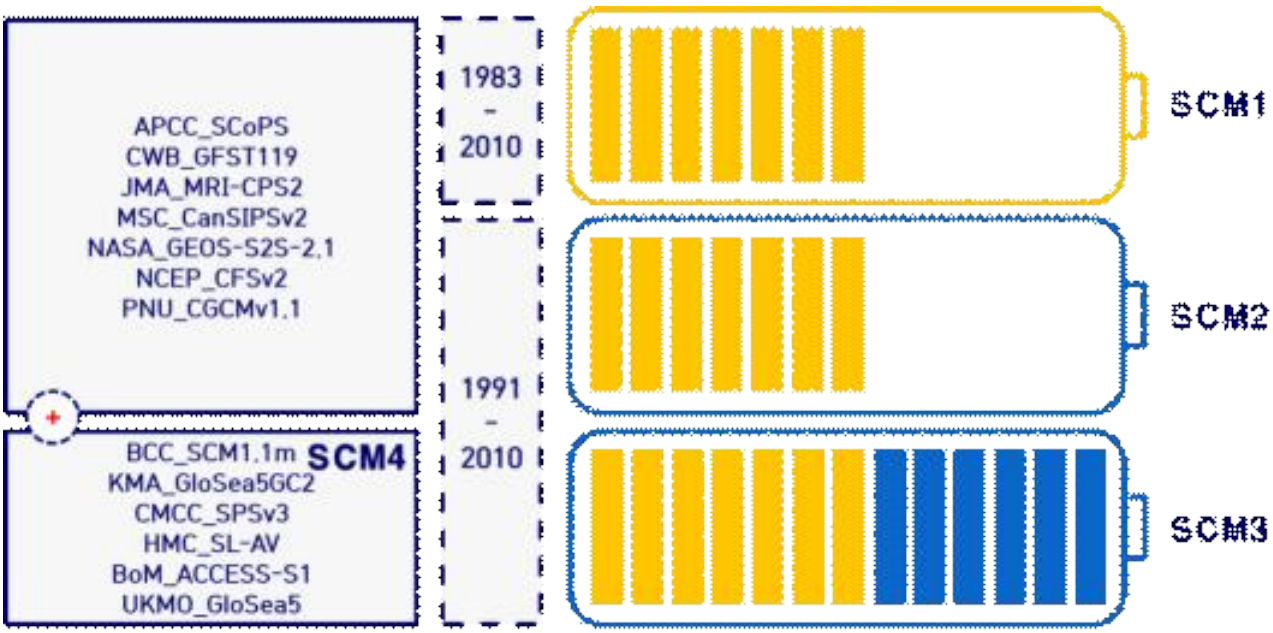


Figure 7. Design of prediction skill evaluation by MME method (SCM1; 1983-2010, SCM2; 1991-2010, SCM3; 1991-2010, SCM4; 1991-2010) used in this study.

우선 SCM1~3에 대하여 1983-2010년간 전구 계절별 기온의 공간적 예측력(ACC, anomaly correlation coefficient)을 비교하였다(Figure 8). 검정선은 SCM1(기후 평년기간을 고수할 경우), 파란선은 SCM2(SCM1 모델 구성으로 기후 평년기간만 1991-2010년으로 변경한 경우), 파란선은 SCM3(기후 평년기간을 1991-2010년으로 변경하고, 참여 가능한 13종의 모델 전부를 포함한 경우)을 의미하고, 막대선은 SCM3와 SCM2의 차이(비율)를 의미한다. SCM1과 SCM2의 예측력 차이는 계절별로 크지 않은 것으로 나타났고, 이는 기후 평년기간을 변경하더라도 예측력에 미치는 영향이 적은 것을 의미함으로써 기존의 MME의 검증과 일관성이 유지되어 이로 인한 혼돈이 적을 것을 시사한다. 하지만 여전히 예측력이 낮게 나타나면서 모델 구성이 변경(확대)되지 않으면 예측력에 한계가 있음도 함께 시사하고 있다. 기후 평년기간을 조정함으로써 기후 평년기간을 만족하는 모델 13종을 모두 참여시킨 경우(SCM3), SCM1과 SCM2보다 예측력이 높게 나

타났으며, 이는 기후 평년기간을 조정함으로써 MME 참여 모델 구성이 확대 및 다양화됨에 따라 예측력에 긍정적 영향을 미치는 것을 의미한다. 이러한 결론은 지역적으로도 동일한 결과를 보였으며 즉, 기후값 조정에 따른 참여모델 확대는 기온 및 강수에 대해서 대부분의 계절 및 지역에서 MME 예측력에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

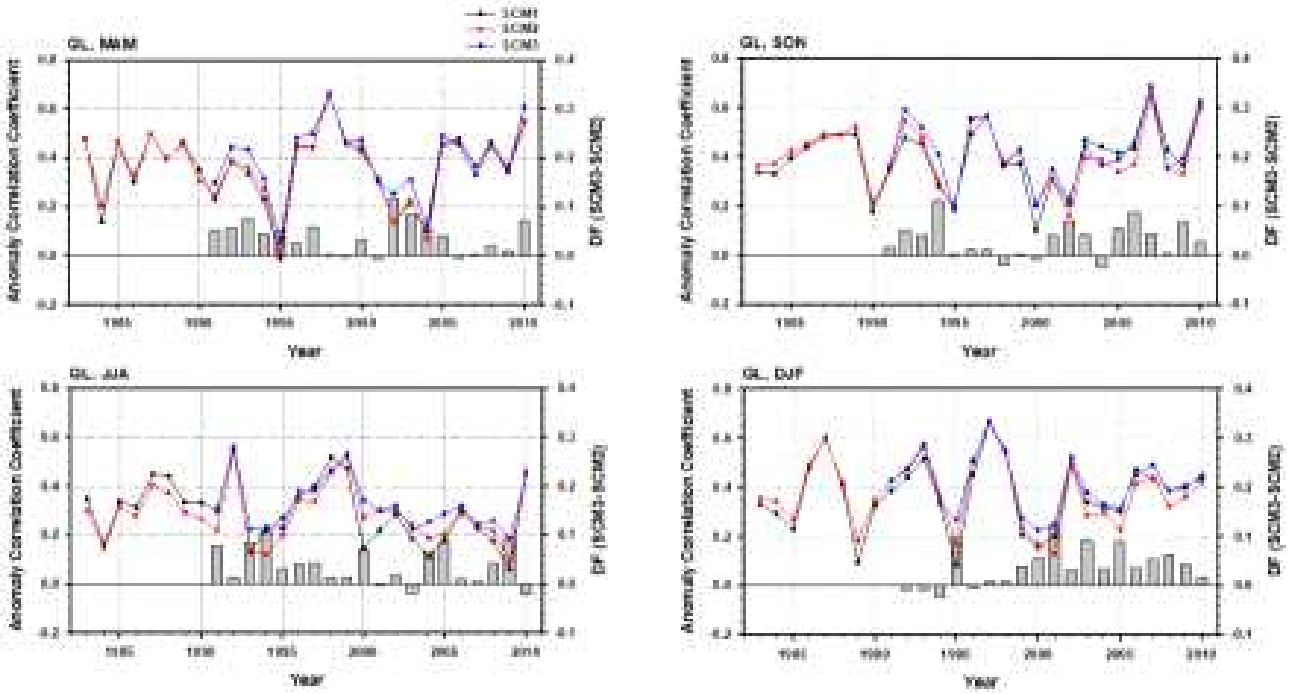


Figure 8. Changes of anomaly correlation coefficient (SCM1; black, SCM2; red, SCM3; blue) and difference (bar) between SCM3 and SCM2 for seasonal (MAM-DJF) 2m temperature during the period 1983-2010.

SCM3의 예측력에 기인하는 요인을 살펴보기 위하여 SCM1/SCM2 대비 SCM3에 추가되는 6종의 모델에 대한 예측력을 분석하였다. Figure 9는 기후 평년기간을 조정하면서 참여 가능한 모델 6종을 MME 한 경우(SCM4)와 SCM2 및 SCM3 간 계절별 기온 및 강수의 예측력을 비교한 결과이다. 각 실험 모델 구성별 개별 모델의 예측력 평균은 SCM2에 비해 SCM3와 SCM4가 더 높게 나타나며, 여기서 SCM4가 SCM3보다 전반적으로 높은 예측력을 보인 반면, MME를 했을 경우(좌) SCM3가 SCM4보다 높은 예측력을 보였다. 이는 기후 평년기간을 조정함으로써 참여 가능한 모델들의 평균 예측력이 기존의 모델들보다 우수함을 의미하며, 평균 예측력이 높은 모델들을 MME한 경우보다 다양한 모델들이 MME에 참여한 경우가 예측력이 높게 나타남으로써 우수한 예측력의 모델의 참여와 참여 모델의 다양성 확장이 MME 예측력 향상에 주요 원인임을 시사한다.

APCC MME는 기후 평년기간의 불일치로 인하여 최근 개선 및 개발된 모델들이 참여하지 못하는 이유로 MME 예측력에 부정적인 영향이 초래될 것이라는 전망에 따라 기후 평년기간을 조정(1991-2010년)함으로써 13개 모델이 MME에 참여할 수 있게 되었다. 이에 따른 통계적 유의성 분석을 통해 기후 평년기간 조정에 대한 타당성을 확보하였으며, 기후 평년기간을 조정함

으로써 비교적 예측력이 우수한 모델이 MME에 참여하게 됨에 따라 예측력이 향상됨을 알 수 있었다. APCC는 이러한 기후 평년기간 조정을 통해 2020년 1월부터 보다 고품질의 계절예측정보를 제공하고 있으며, 향후에도 예측력을 향상시키기 위한 노력을 기울여 세계적인 MME 계절예측기관으로 성장해갈 것으로 기대한다.

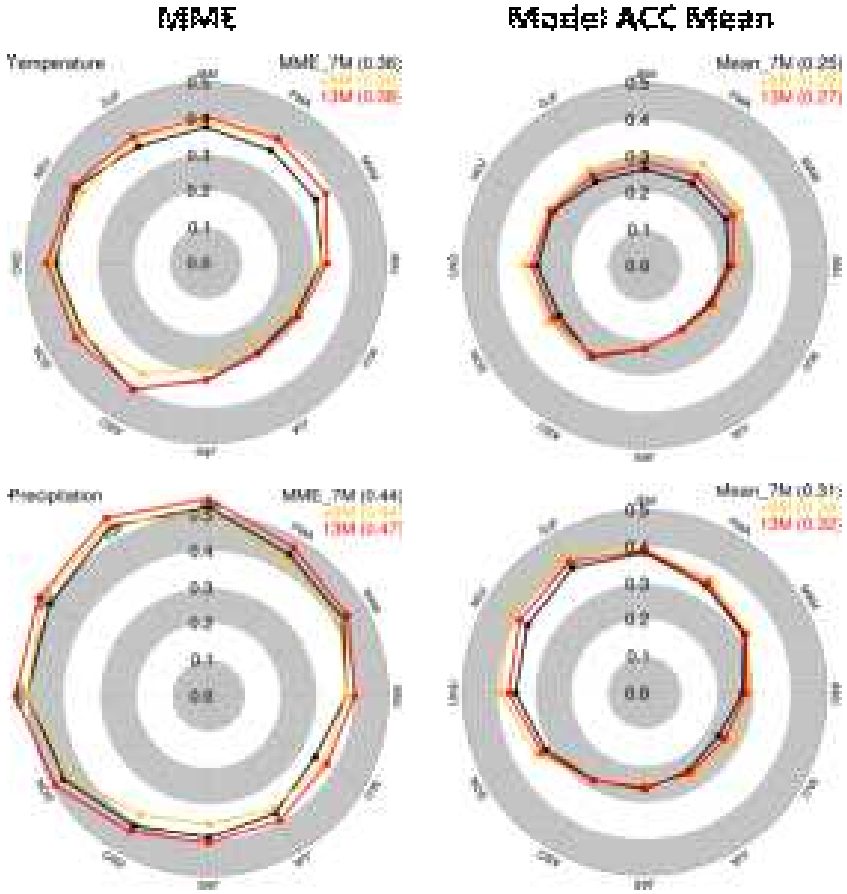


Figure 9. Averaged anomaly correlation coefficient of SCM2 (black; Mean_7M), SCM3 (red; 13M), and SCM4 (yellow; +6M) for seasonal mean global 2-m temperature and precipitation during the period 1991-2010.

(2) MME 참여모델 개선

(가) 현황 및 필요성

APCC는 현재 14종의 기후 모델 예측 자료를 수집하고 있으며 각 모델들은 지속적으로 개선 및 개발이 이루어지고 자료의 구조 또한 변경된다. 이에 대응하여 APCC는 개선된 모델에 적용할 수 있는 전처리 프로그램을 개발하고 해당 모델의 예측력 변화 및 MME 예측력에 미치는 영향을 분석하는 것이 필요하다.

2020년에는 대만 기상청(CWB)과 부산대학교(PNU)의 모델이 개선되었으며 프랑스 기상청

(Météo-France, 이하 METFR)은 APCC MME 참여 의사를 공식적으로 밝혔다.

(나) 참여 모델 개선 사항

CWB의 모델이 GFST119L40에서 TCWB1Tv1.1로 변경되었고 PNU의 모델이 CGCMv1.1에서 CGCMv2.0으로 변경되었다. 새로 도입될 예정인 METFR의 모델명은 SYS7이다. 각 모델의 구성 및 특징은 Table 1과 같다.

Table 1. Model configuration of CWB, PNU, and METFR

기관명	CWB		PNU		METFR
모델명	GFST119L40-OPGSSTv2	TCWB1Tv1.1	CGCMv1.1	CGCMv2.0	SYS7
해상도	T119L40	T119L40	T42L18	T42L18	TL359; 91 levels; top 0.01 hPa
앙상블 (F/H)	30/30	30/30	5/5	35/35	51/25
선행시간	0.5-6 months	0.5-6 months	1-6 months	1-6 months	0.5-6 months
hindcast 기간	1982-2011	1982-2019	1980-present	1980-present	1993-2016
대기모델	GFS	GFS	CCM3	CCM3	ARPEGE-Climat v6.4
해양모델	-	MOM3	MOM3	MOM3	NEMO 3.6
지면모델	NOAH	NOAH	LSM	LSM	SURFEX v8
해빙모델	-	-	LANL EVP	LANL EVP	GELATO v6
대기초기 조건	Interpolated from CDAS/NCEP	Interpolated from CDAS/NCEP	NCEP Reanalysis data 2	NCEP Reanalysis data 2	IFS operational anaylsis
해양초기 조건	-	Interpolated from CDAS/NCEP	OISST	OMIP run with the MOM3 & ODA with GODAS	NEMO-GELATO foreced run nudged (T,S) towards Mercator Ocean International operational anaylsis
지면초기 조건	Interpolated from CDAS/NCEP	Interpolated from CDAS/NCEP	-	AMIP run with the CCM3	IFS operational anaylsis

SST초기 조건	(BC: Interpolated from OPGSSTv2/CWB, 2-tier)	-	-	-	-
해빙초기 조건	-	-	-	OMIP run with the MOM3	NEMO-GELATO foreced run nudged (T,S) towards Mercator Ocean International operational anaylsis

(다) 예측력 평가

① 개선 전·후의 예측력 변화: CWB, PNU

CWB와 PNU의 개선된 모델 모두 해수면온도(Nino3.4)의 과거기후재현 성능에 있어서 이전 모델보다 예측력이 향상되었다(Figure 10). 특히 1개월 선행시간의 예측력 향상보다 4개월 선행시간의 예측력 향상이 두드러지게 나타났다. 단, CWB의 이전 모델은 2-tier 모델로서 해수면온도는 관측값을 기반으로 한 통계모델의 결과이다.

전구 기온의 과거기후재현 성능에서도 개선된 모델의 향상이 나타났다(Figure 11). CWB는 겨울철(DJF, JFM, FMA)과 봄철(MAM)을 제외한 모든 계절에서 예측력(Anomaly Correlation Coefficient, ACC) 향상이 두드러지고 PNU는 여름철(AMJ, MJJ, JJA)을 제외한 나머지 계절에서 예측력 향상이 나타났다.

확률 예측에 있어서 개선된 모델들의 과거기후재현 성능 또한 향상되었다(Figure 12). 이는 MME 확률예측 성능 향상에 긍정적인 기여를 할 수 있음을 보여준다.

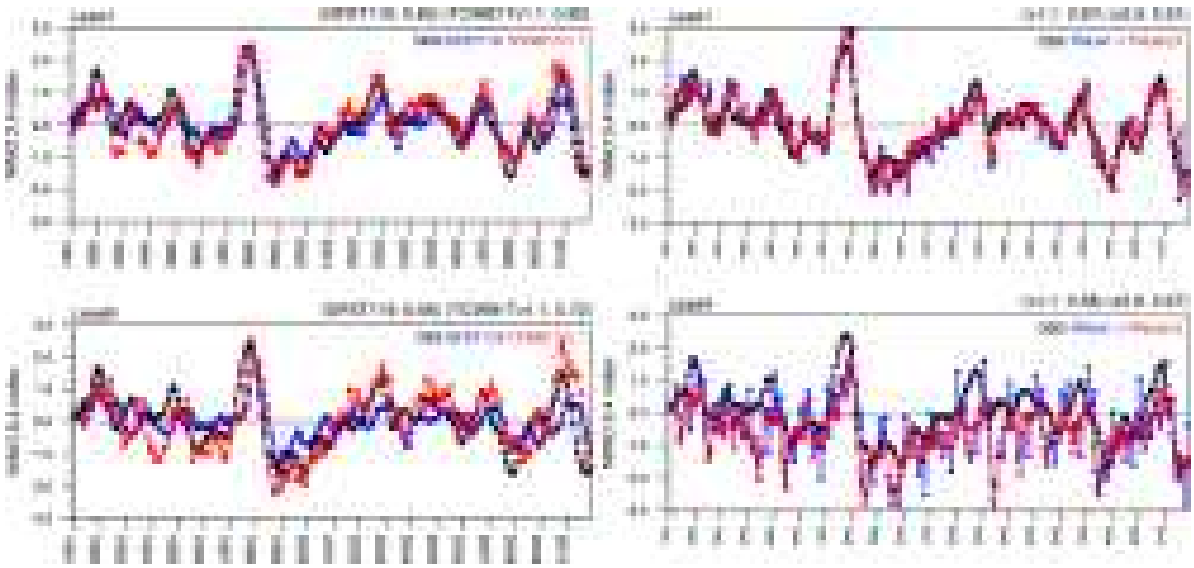


Figure 10. Temporal Correlation Coefficients of Nino3.4 index of CWB (left) and PNU (right) during hindcast period (1991-2010). Blue(red) lines indicate old (new) model, and upper (lower) panel shows 1 (3) month lead time.

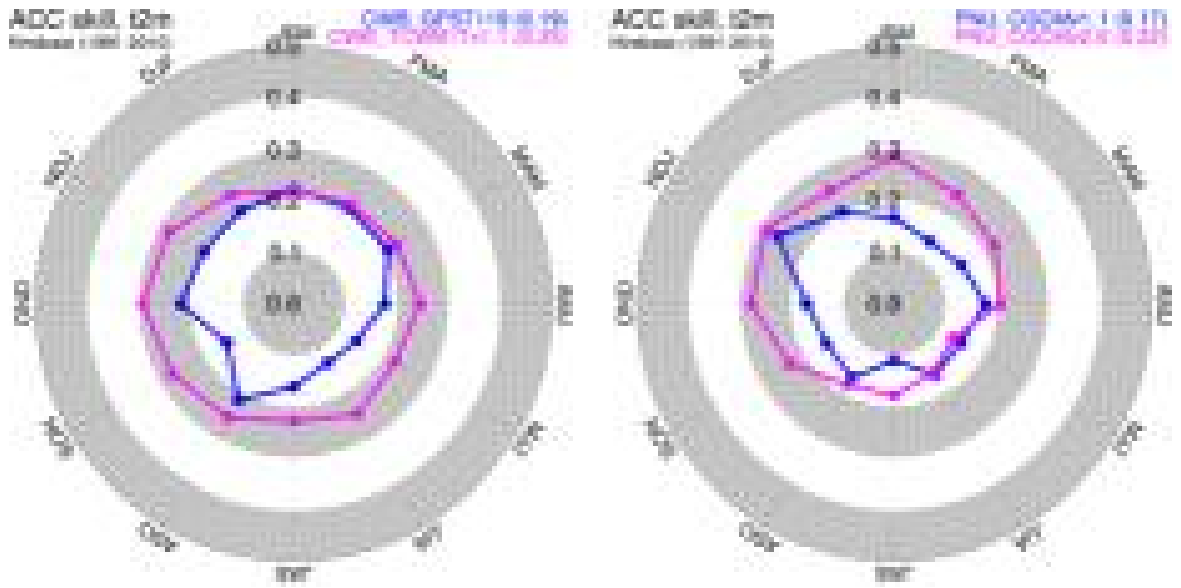


Figure 11. Anomaly Correlation Coefficients of global 2m temperature of CWB (left) and PNU (right) during hindcast period.

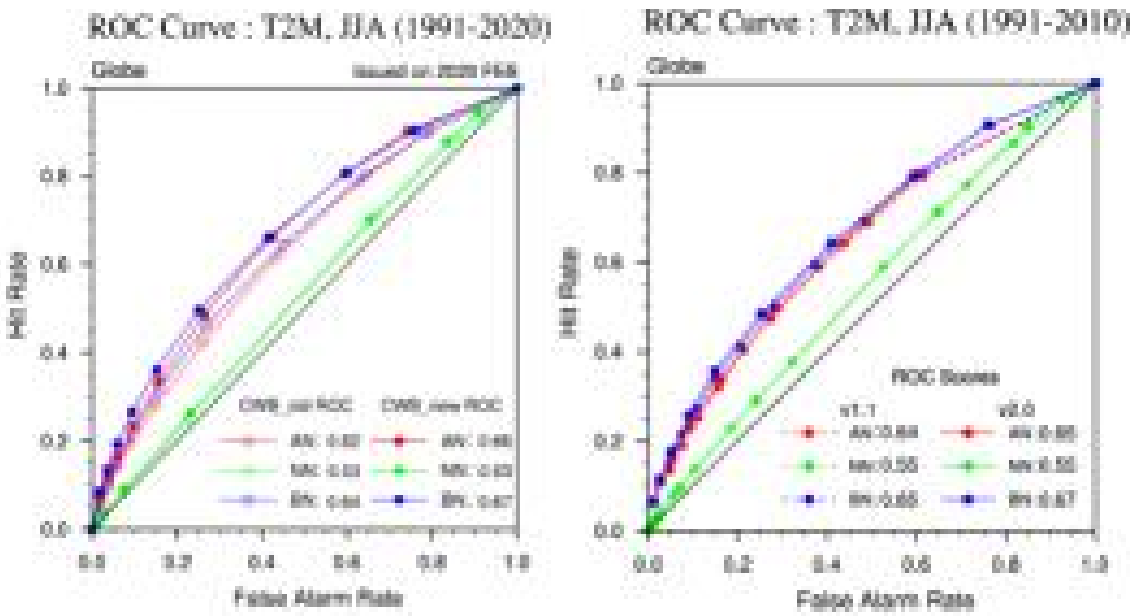


Figure 12. Relative Operating Characteristics Curve of global 2m temperature of CWB (left) and PNU (right) during hindcast period for winter. Dotted (sold) lines indicate old (new) models.

② 타 모델과의 예측력 비교: CWB, PNU, METFR

개별 모델들의 연평균 기온 및 강수의 과거기후재현 성능을 비교해 보면 CWB, PNU의 개선된 모델 성능이 타 모델들의 성능에 비해 준수한 것으로 확인된다(Figure 13, 14). METFR 또한 기온, 강수, 500hPa 지위고도, 해면기압에 대해 타 모델의 예측력과 비교하여 상위권에 위

치하며 개별 모델 성능의 평균치보다도 우위에 있다(Figure 15).

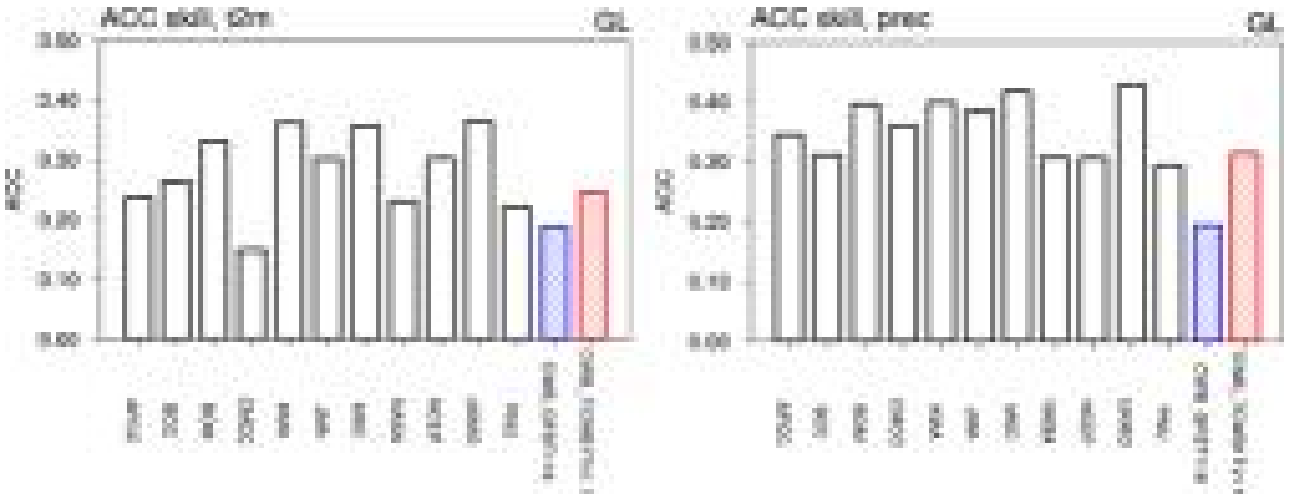


Figure 13. Anomaly Correlation Coefficients of global 2m temperature (left) and precipitation (right).

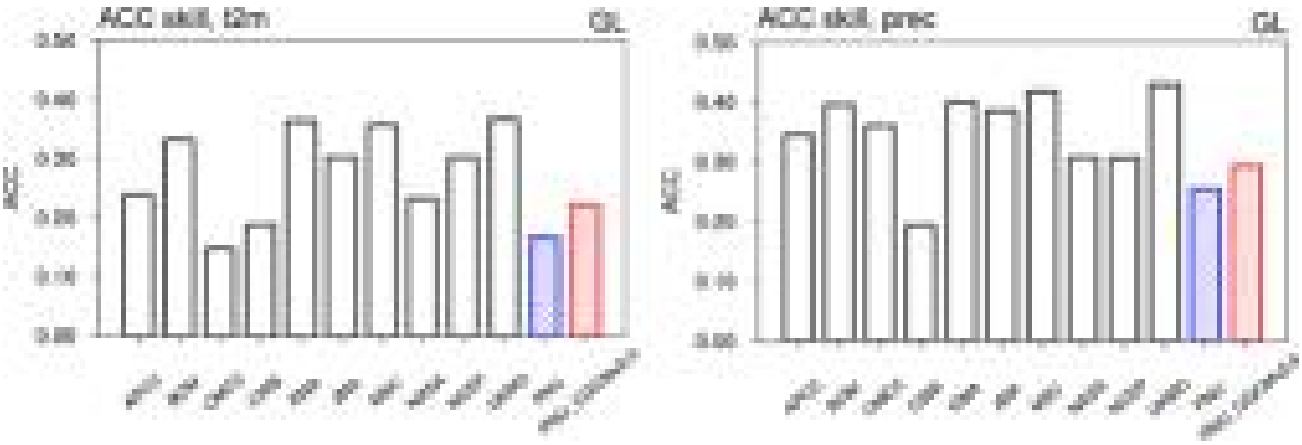


Figure 14. Anomaly Correlation Coefficients of global 2m temperature (left) and precipitation (right).

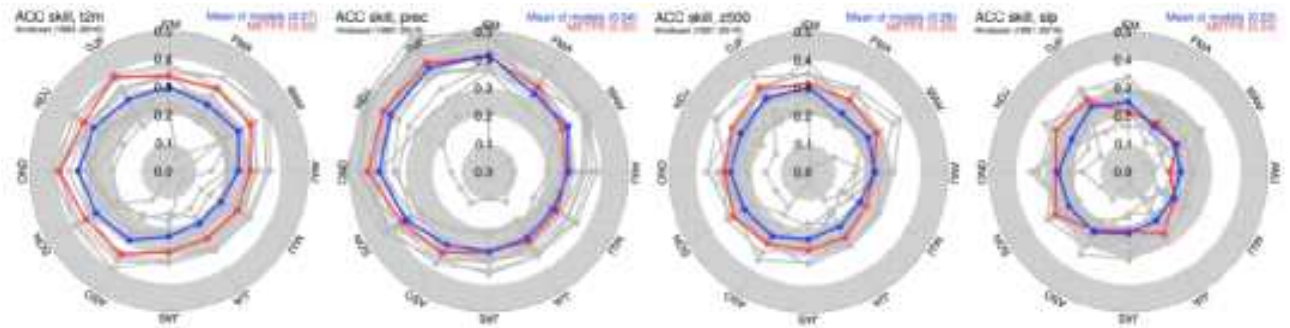


Figure 15. Anomaly Correlation Coefficients of global 2m temperature, precipitation, geopotential height at 500hPa, and sea level pressure of METFR.

③ MME의 예측력에 미치는 영향: CWB, PNU, METFR

개선/신규 모델이 MME에 참여하면 일부 계절을 제외하고 예측력이 향상된다(Figure 16). 특히 METFR는 모든 예측 영역에서 연평균적으로 MME 기온 예측력 상승을 유도한다.

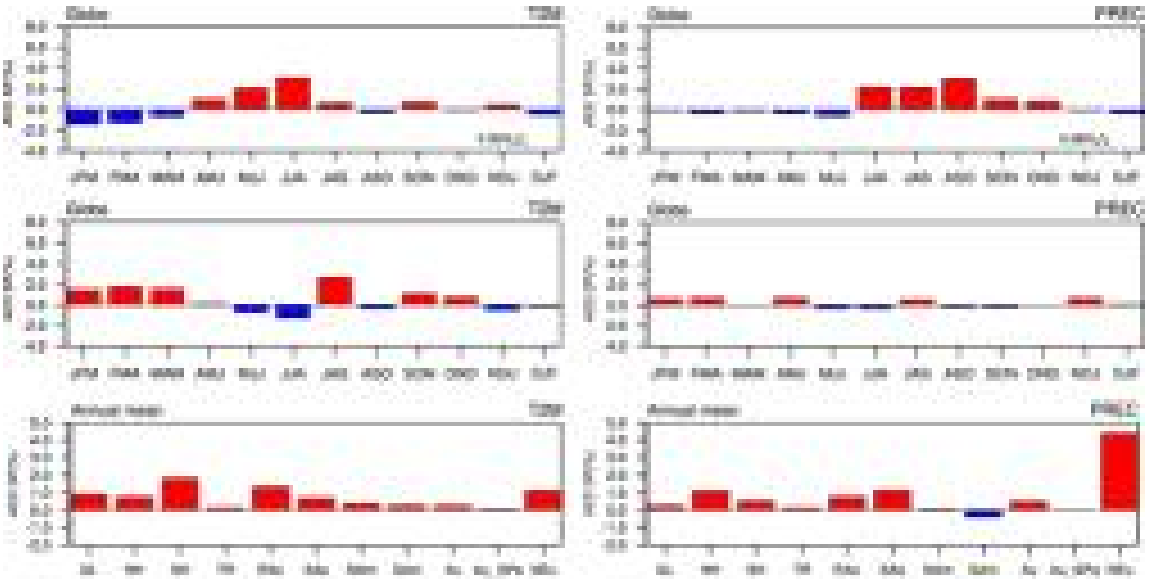


Figure 16. Difference of Anomaly Correlation Coefficients between MME with old models and MME with new models. Upper, middle, and lower panel shows CWB, PNU, and METFR, respectively.

(다) 적용 결과

① CWB: 2020년 10월(2020NDJFMA 예측)부터 적용 및 웹페이지 정보 제공 시작

② PNU: 2020년 3월(2020AMJJAS 예측)부터 적용 및 웹페이지 정보 제공 시작

③ METFR: APCC MME 참여에 대한 의사를 확인하였고 행정적인 절차를 모두 마무리 하였으며 모델자료제공기관(Model Providers)의 동의 의견 수렴 후 즉시 현업 적용 가능

(3) BSISO 참여모델 개선

(다) BSISO 모델 개선: CWB

① 현황 및 필요성

APCC에서는 매년 5월에서 10월까지 매일 실시간으로 모니터링 지수 및 4개 기관 5개 참여모델로부터 BSISO 예측 정보를 생산하고 있다. 각 참여기관에서도 현업 모델의 개선 혹은 수정이 활발히 이루어지고 있으며 이에 따라 참여모형이 새로운 모델로 개선 혹은 수정 운영되면 APCC BSISO 서비스 또한 최신 업데이트된 모델 정보를 수집하기 위한 노력을 하고 있다. 이에 따라 최신 모델의 새로운 예측 정보를 시간 지연 없이 수집하고, BSISO 현업 시스템에 적용 및 웹서비스하기 위해서는 현업 프로그램 수정 및 개선이 필요하다.

② 개선 사항

올해는 대만기상청(Chinese Taipei, Central Weather Bureau; CWB)의 참여 모델이 GEPS에서 TCWB1T1.1으로 변경됨에 따라 해상도 및 앙상블 개수가 기존과는 차이가 있다. 수평해상도는 T319에서 T119로 변경되었고, 앙상블 개수는 1개에서 3개로 증가하였으며 예측자료의 업데이트 간격은 기존과 동일하게 5일 간격으로 제공되었다(Table 2). TCWB1T1.1은 과거 2015~2017년동안 APCC BSISO 예측에 참여되었던 TCWB 모형의 개선된 버전이며 기존 2-tier에서 1-tier 모델로 변경된 것이 특징적이다. BSISO 준현업 기간(4월 중순~말)동안 TCWB1T1.1 모델 예시 자료를 수집하여 테스트 결과를 생산하였고, OLR이 flat-field 형태의 비이상적인 아노말리 값이 나타나 해당기관과 수차례 피드백을 주고받았다. 자료 품질 검사 이후 최종적으로 개선된 모델 자료를 BSISO 본 현업에 입력자료로 활용하였다. 또한 앙상블 개수가 달라졌기 때문에 이에 맞춰 현업 운영 코드를 수정 적용하였다.

Table 2. Summary of old (GEPS) and new (TCWB1T1.1) model of CWB

기관명	CWB	
모델명	GEPS	TCWB1T1.1
해상도 (수평/수직)	T319/L40	T119/L40
앙상블 (개)	1	3
업데이트 주기 (일)	5	5

③ 결과

최종적으로 변경된 CWB TCWB1T1.1 예측 정보는 올해 현업 시작일인 4월 27일부터 제공되었고 모델 변경 사항이 적용된 현업 운영 코드로부터 Phase diagram, 상향장파복사 아노말리 공간장, 호우 확률 예보, BSISO 지수, 예측 검증 등이 계산되어 APCC BSISO 홈페이지를 통해 Figure 17과 같이 표출되었다.

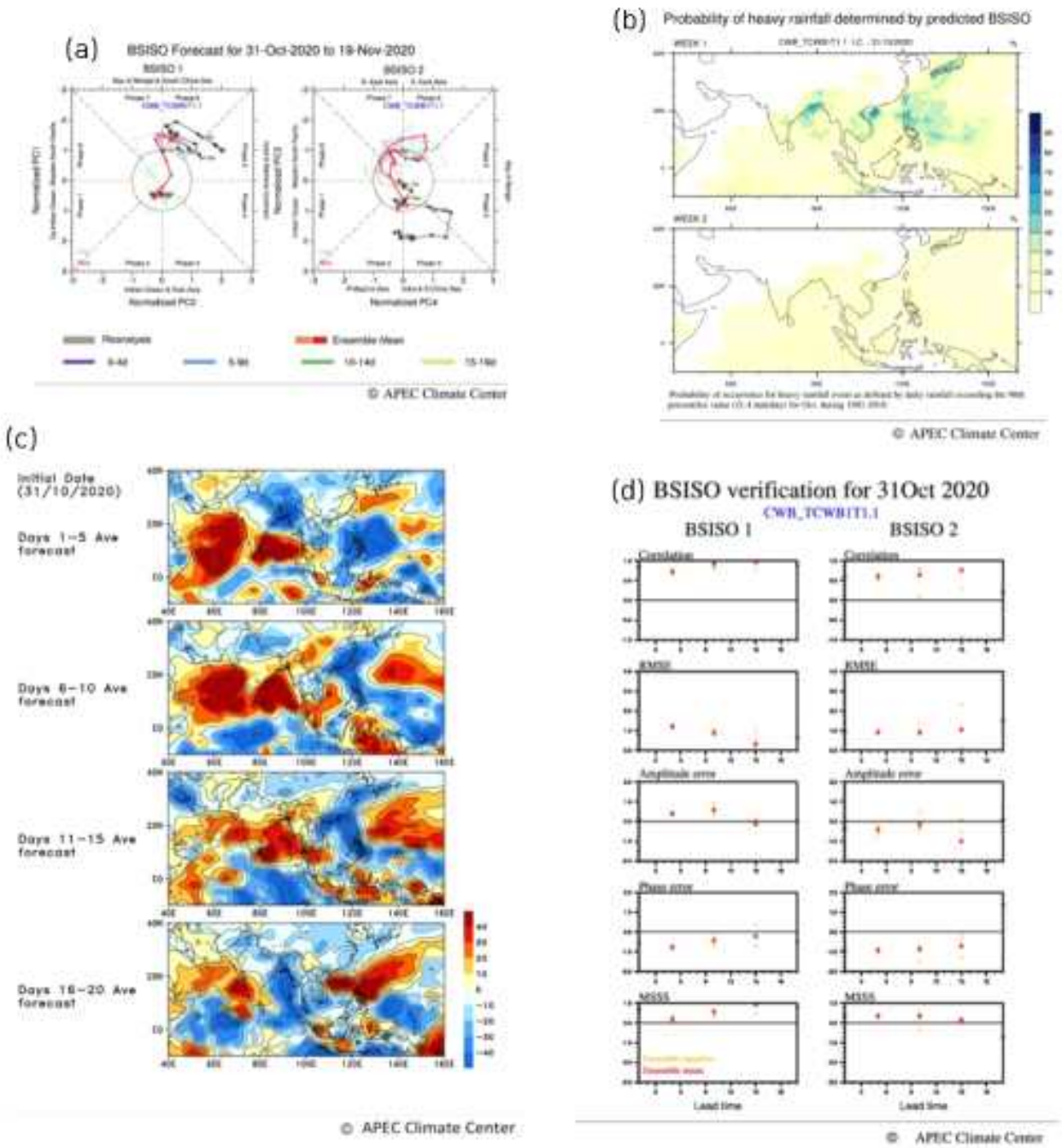


Figure 17. (a) Phase diagram, (b) probability of heavy rainfall, (c) anomlay of outgoing longwave radiation, and (d) real-time verification for predicted BSISO index in APCC BSISO website

(4) 현업 운영 및 예측정보 활용 실적 관리를 위한 체계 마련

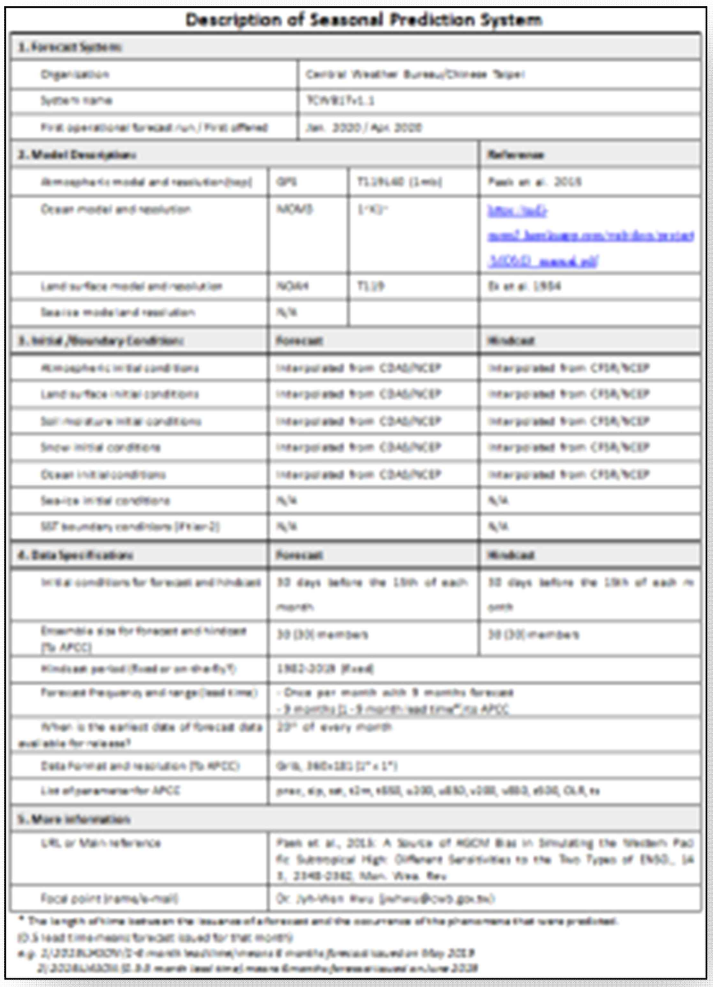
(가) MME/BSISO 연혁 및 참여모델 이력 정보 제공/관리

① 현황 및 필요성

APCC MME 및 BSISO는 각각 2006년 2013년부터 시스템이 개발되어 현재까지 예측정보를 제공해왔지만 APCC의 주요 예측 정보임에도 불구하고 모델 변경 및 시스템 개선 등의 과거 이력을 제공하지 않아 사용자는 과거 이력에 대한 정보를 파악할 수 없거나 추정할 수 밖에 없었다. 또한 현업 담당자에게도 형식적인 과거 이력 관리 체계가 미비하여 과거 정보를 비효율적으로 관리하여 왔다. 이에 따라 사용자들에게 각 서비스별로 보다 유용한 정보를 주기 위하여 과거 이력 체계를 마련하고 최종적으로 웹페이지를 통해 과거 이력 정보를 제공하고자 하였다.

② MME/BSISO 연혁 및 참여모델 이력 관리 체계 구축

APCC에서 제공하는 MME 전지구 예측에는 현재 기준 10개국 14개 모델이 참여하고 있으며, 신규로 참여하거나 운영 모델의 개선 및 변경이 있는 경우 해당 모델에 대한 정보를 APCC 공식적인 형식(Figure 18)에 따라 요청 및 수집하고 있다. 이러한 정보를 바탕으로 14개 모델에 대하여 최근 5년에 대한 과거 이력 정보를 수집하였다.



Description of Seasonal Prediction System

1. Forecast System:			
Organization	Central Weather Bureau/Chinese Taipei		
System name	TCWB1Tv1.1		
First operational forecast run / First offered	Jan. 2020 / Apr. 2020		
2. Model Description:			**Reference**
Atmospheric model and resolution (top)	GPS	T119L40 (1mb)	Pasch et al. 2015
Ocean model and resolution	MOM3	1°K)*	[illegible]
Land surface model and resolution	NOAH	T119	Ek et al. 1984
Sea-ice model and resolution	N/A		
3. Initial /Boundary Condition:	**Forecast**		**Hindcast**
Atmospheric initial conditions	Interpolated from CDAS/NCEP		Interpolated from CFSR/NCEP
Land surface initial conditions	Interpolated from CDAS/NCEP		Interpolated from CFSR/NCEP
Soil moisture initial conditions	Interpolated from CDAS/NCEP		Interpolated from CFSR/NCEP
Snow initial conditions	Interpolated from CDAS/NCEP		Interpolated from CFSR/NCEP
Ocean initial conditions	Interpolated from CDAS/NCEP		Interpolated from CFSR/NCEP
Sea-ice initial conditions	N/A		N/A
SST boundary conditions (Fixler-2)	N/A		N/A
4. Data Specifications:	**Forecast**		**Hindcast**
Initial conditions for forecast and hindcast	30 days before the 15th of each month		30 days before the 15th of each month
Ensemble size for forecast and hindcast (To APCC)	30 (30) members		30 (30) members
Hindcast period (fixed or on-the-fly?)	1982-2018 (fixed)		
Forecast frequency and range (lead time)	- Once per month with 9 months forecast - 9 months (1 - 9 month lead time*) to APCC		
When is the earliest date of forecast data available for release?	20th of every month		
Data Format and resolution (To APCC)	Grib, 360x181 (1° x 1°)		
List of parameter for APCC	prec, sip, sst, t2m, t850, u200, u850, v200, v850, z500, OLR, tx		
5. More Information			
URL or Main reference	Pasch et al., 2015: A Source of AGCM Bias in Simulating the Western Pacific Subtropical High: Different Sensitivities to the Two Types of ENSO., 143, 2348-2362, Mon. Wea. Rev.		
Focal point (name/e-mail)	Dr. Jyh-Wen Hwu (jwhwu@cwb.gov.tw)		

* 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) 2020 LAGCM (2-6 month lead time) means 6 months forecast issued on May 2019
2) 2020 LAGCM (0.5-3 month lead time) means 6 months forecast issued on June 2019

Figure 18. Example of model description.

과거 이력 정보 수집에는 APCC와 참여 기관간 공식적 자료 제공 관련 문서들과 개별모델별 예측 자료(원시 디지털 자료) 및 APCC에서 제공하는 표준화된 예측 자료 등을 비롯하여 이전 현업 담당자들의 인수인계 자료들을 활용하였다. 모델 변경 및 개선 시기에 대해 공식적인 문서가 미비하거나 불명확한 경우에는 원시자료 및 표준화된 자료의 변경 사항들을 종합하여 파악하였다. 수집한 정보들을 바탕으로 상세 내용은 현업 담당자가 별도의 관리 체계 형식을 갖추어 이력 정보를 누적하도록 하였고, 사용자에게 실질적으로 필요하다고 판단되는 모델 도입 및 개선/변경 사항에 대하여 웹페이지를 통해 제공하도록 하였다. 해당 정보는 Figure 19와 같이 APCC 홈페이지 - 전지구 계절예측 - 모델정보에서 확인할 수 있으며, 향후에도 계속해서 업데이트 할 예정이다(https://apcc21.org/ser/global/modelDescription.do?lang=ko).

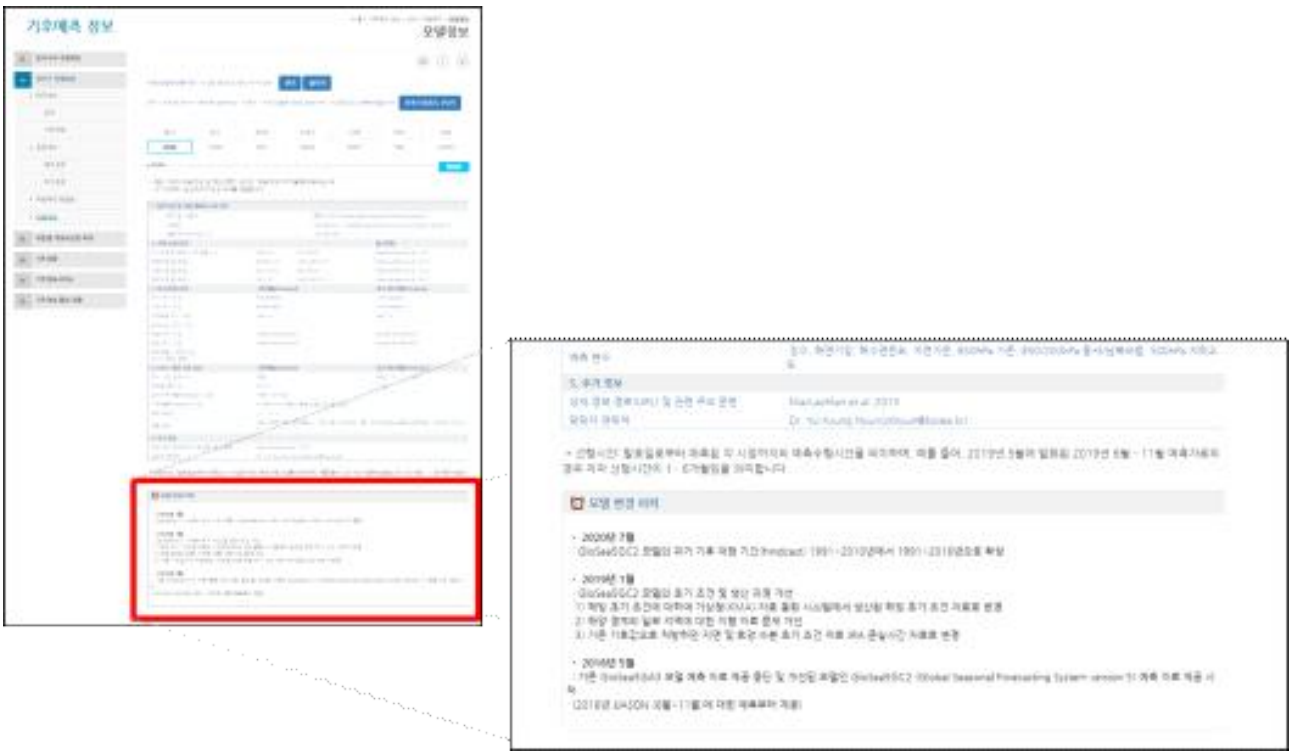


Figure 19. Example of model history for APCC MME participating model in APCC website (www.apcc21.org).

(나) 현업화 절차 제정

① 현황 및 필요성

각 과에서 해마다 우수한 연구 결과들이 나오고 있지만 실제 현업에 적용되는 사례는 그리 많지 않은 실정이었다. 이는 현업화를 하려 해도 어디에, 어떤 방식으로 신청해야 하는지에 대한 절차가 명확하지 않았기 때문이며, 따라서 절차를 마련하여 현업화에 대한 방법을 제시하고자 하였다. 현업화 절차를 통해 우수한 연구 결과물이 실질적인 현업에 활용되게 함으로써 우리가 가지고 있는 예측 콘텐츠를 풍성하게 하고 예측기술의 개발이 예측정보의 성능 향상으로 이어질 수 있는 길을 마련하였다. 현업화 절차는 지난 8월에 내부 지침으로 제정되었으며,

하반기에 3건의 기술에 대한 심의가 진행되어 2건의 기술이 현업화 되었다.

② 현업화 절차

현업화 절차는 크게 2 단계로 진행된다(Figure 20). 첫 번째 단계는 연구자가 현업화 하고자 하는 기술에 대한 현업화 기술 심의 신청을 하면 해당 기술에 대해 개발된 기술이 현업화 요건에 적합한지를 심의하는 단계이다. 이 단계에서는 현업화 목적의 타당성, 현업화 기술의 적합성, 현업화 범위의 적절성, 자동 처리 프로그램 개발 기간 및 필요 장비의 타당성을 중점적으로 평가하며, 연구자가 작성한 내용을 바탕으로 현업화 추진 시 필요한 기술적 요건과 자동 처리 프로그램 개발 기간을 제시하고 현업화 담당 부서를 결정하게 된다.

현업화 기술 심의 단계를 통과한 후 연구자는 예측기술 적합성 심의위원회가 제시한 심의의견의 필요 요건을 바탕으로 자동 처리 프로그램 개발하여 자동 처리 프로그램 개발 완료 후 이에 대한 관련 결과물과 매뉴얼을 완료보고서와 함께 1달 이내에 현업 부서(現 예측운영과)에 제출한다. 매뉴얼에는 개발된 기술, 프로그램 구성 및 구동 방법 등을 상세하게 기술하여야 한다.

자동화 프로그램 개발이 완료되었다면 두 번째 단계에서는 자동화 프로그램 개발이 잘 완료되었는지를 검토하게 된다. 자동 처리 프로그램 정확성, 자동 처리 프로그램 효율성, 적합성 검토의견 반영 여부를 판단하여 프로그램 보완 혹은 현업화 착수 결정을 내리게 되고, 이 단계에서 나온 검토의견은 프로그램 보완 혹은 현업화 착수 시 반영하여야 한다. 두 번째 단계는 현업화 기술 심의 신청 시 자동화 완료보고서 및 관련 결과물과 매뉴얼이 제출되어 심의결과 현업화 착수를 받은 경우 첫 번째 심의단계에서 동시 심의가 가능하다.

두 단계를 거쳐 현업화 착수가 결정된 기술에 대해서는 현업화 담당 부서에서 현업 시스템을 구축하게 된다. 현업화 대상 기술의 자동 처리 프로그램을 바탕으로 자동화 시스템을 개발하여 기존 현업 시스템과 연동 혹은 신규 현업 시스템을 구성하고, 현업 시스템 및 운영 매뉴얼을 작성하여 일정 기간 동안 준현업 운영을 실시한다. 준현업 기간 동안 특별한 문제가 없었다면 준현업 일지와 현업 매뉴얼을 포함한 현업화 완료 보고를 하여 현업화를 완료하고 추후 현업화 산출물(현업 시스템, 매뉴얼 등)을 운영하고 관리하는 역할을 하게 된다.

연구자는 현업화 하고자 하는 기술에 대하여 매년 7월에 정기적으로 신청할 수 있다. 단, 현업 적용 기한이 촉박한 경우 상시 제출할 수 있도록 하여 유연성을 두었다. 현업화 절차는 올해 8월 내부 지침화 되었으며, 하반기에 3건의 기술이 신청되어 현재 2건의 기술이 현업화 되었으며, 1건의 기술은 기술 적합성 심의를 통과한 상태이다.

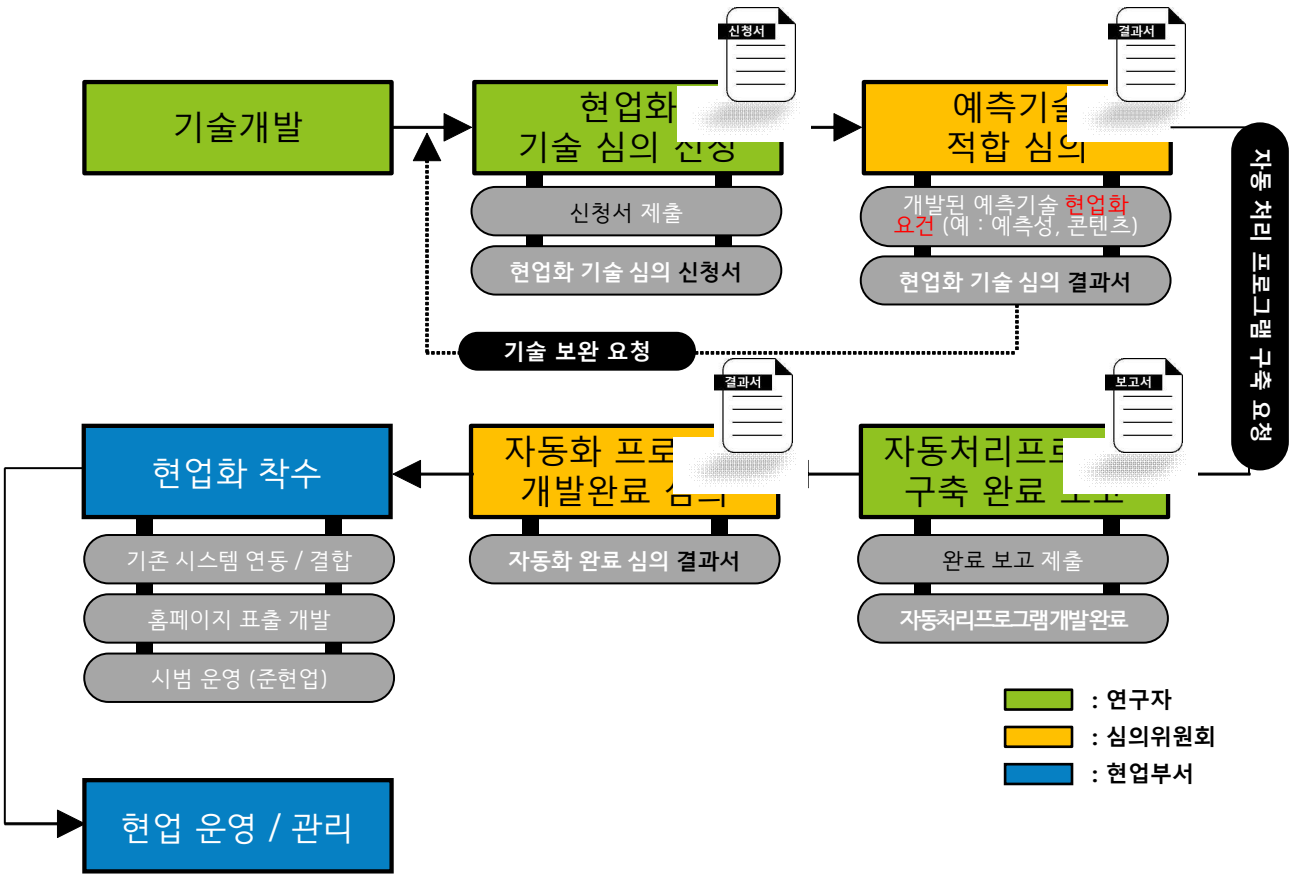


Figure 20. Process of research to operation (R2O)

(다) APCC 기후예측정보 활용 실적 조사 및 관리

① 현황 및 필요성

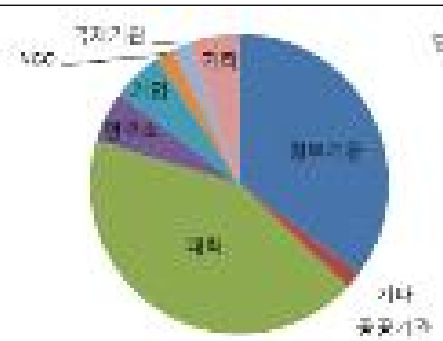
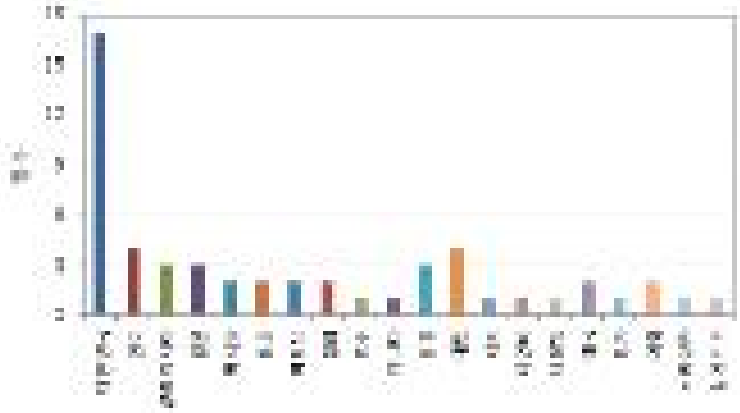
APCC가 MME 예측을 시작한 2005년 이후 APCC 기후정보는 다양한 분야에서 활용되고 있었으나, 어느 분야에서 어떻게 활용되고 있는지에 대한 조사가 이루어지지 않았다. 이에 정보 생산주체인 APCC에서 지금까지의 활용 실태를 조사하고 관리하는 체계를 마련할 필요성이 있다고 판단되었다. 또한, APCC 예측정보에 대한 사용자들의 의견을 취합하여 향후 기후정보의 발전 방향에 반영하고자 설문조사를 시행하였다.

② 조사 방법 및 대상

APCC 기후전망 구독자와 뉴스레터 구독자, working group 멤버 및 기술확산워크숍 및 CLIK(CLimate Information toolKit) 참가자를 대상으로 온라인/오프라인 설문조사를 실시하였으며, 총 응답자는 54명이었다.

설문 응답자의 소속 기관은 정부기관이 가장 많았으며 대학, 연구소 순으로 나타났다. 업무 분야로는 기상/기후 관련 업무를 하는 사람이 많았으며, 기술확산워크숍 대상자로 인해 한국인의 비율이 높은 것으로 나타났다.

문항	응답 결과

귀하의 소속기관은 다음 중 어디에 해당합니까?	
귀하께서 종사하시는 업무 분야는 다음 중 어디에 해당합니까?	
현재 귀하께서 거주하고 있는 국가를 적어 주십시오.	

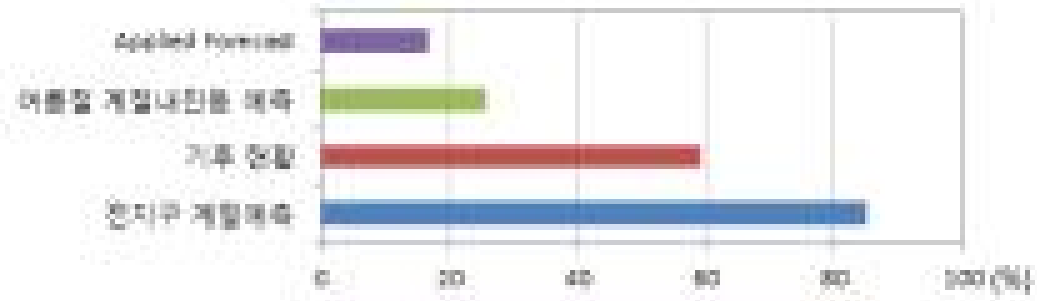
③ 설문 결과

본격적인 설문에서는 응답자가 경험해 본 기후정보 서비스와 사용 목적, 실제 활용 사례 등을 조사하였다.

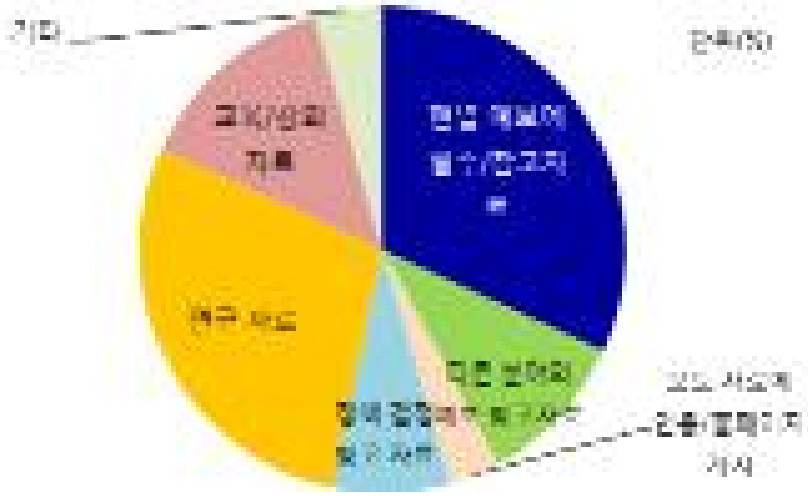
홈페이지 사용량 집계에서 나타난 것과 동일하게 기후정보를 이용해 본 사람들 중 전지구 계절예측 메뉴에서 제공하는 콘텐츠들을 사용해 본 이용자가 가장 많은 것으로 나타났으며, 뒤를 이어 기후 현황 이용자가 많았다. 여름철 계절내진동과 인도네시아 산불예측(applied forecast)의 경우 예측 범위가 국소적이라 사용자 수 역시 제한적인 것으로 보인다.

APCC 예측 정보의 활용 목적에 대한 응답으로는 예보에 사용한다는 응답이 가장 많았으며, 연구자료로 사용한다는 대답도 상당수인 것으로 조사되었다. 이는 응답자의 다수가 정부기관 및 대학에 있는 사람이기 때문이라 생각된다.

▣ 귀하께서 경험한 기후정보 서비스는 다음 중 무엇입니까? (복수선택 가능)



▣ 귀하께서는 APCC 기후정보를 어떤 목적으로 사용하십니까? (복수선택 가능)



구체적인 활용 사례를 기술해달라는 문항에 대해서는 주관식 설문이라는 특성상 많은 수의 응답을 얻지 못했으나, 정부기관 소속 응답자들은 주로 예측에 활용한다는 응답이 많았으며, 대학에서는 수업이나 과제 작성에 활용하는 사례가 많았다. 구체적인 사례를 제시한 호주 정부기관의 사이트를 살펴보면, MME 예측정보를 제공하는 타 기관의 자료와 더불어 Victoria 지역에 대한 기온/강수, 동인도양/NINO3.4 지수를 게시하고 있다(Figure 21).

▣ APCC 기후정보를 어떻게 활용하고 있는지 구체적으로 기술해 주십시오.

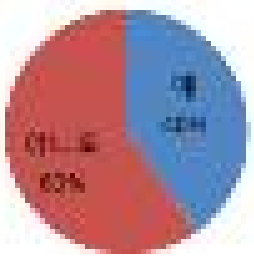
	응답내용	국가/분야/소속기관
국외사용자	I have been constructing a world model summary forecast every month since July 2006 and have been using APCC since 2007. https://agriculture.vic.gov.au/support-and-resources/newsletters/the-break/the-fast-break-victoria	호주/농업/정부기관
	We use as teaching materials.	몽골/기후/대학
	It's part of our group of models we look at before we agree on our forecast for the next 3months	태평양/기후/정부기관
	Distribute the forecast to Asean stakeholders on possibility of dry weather or wet weather	말레이시아/peat forest fire/NGO
	We use APEC forecast information product for our operational weather forecasting.	미얀마/기후/정부기관
	Use weather forecasting for agricultural activity plannings	통가/농업/정부기관
	As one of the references in formulating our long-term forecasts	홍콩/기후/정부기관

	As a result compared with different climate center	대만/기후/대학
	http://www.meteo.gov.lk/images/Seasonal-outlook-for-SON.pdf	스리랑카/기후/정부기관
	View climate forecast information by images, download data to see specific values. To make climate forecasts for the area under their management.	베트남/기후/정부기관
	Use APCC forecast as one of various forecast guidances used in CWB's climate forecast.	대만/기후/정부기관
	I use the information to have a global vision of reference in relation to the climatic situation and forecast for the decision-making process.	칠레/농업/정부기관
	My main interests and research focus on South Asian (in particular India) and East Asian (in particular Chian, South Korea) monsoons and their teleconnetions. Based on the APCC seasonal forecast outlooks and monthly/seasonal climate, I compare whether my earlier published results match with any of the information displayed in your outllok bulletins. On several occasions these match very well.	인도/기후/은퇴과학자
국내사용자	보통 학과 레포트 작성시 기후와 관련된 그래프나 데이터 자료를 찾고 이 자료를 참고하여 쓸 때 APCC 기후정보 활용	기후/대학
	지역별로 기후예측(전지구 계절예측)이 필요할 때 사용	기후/대학
	기후변화에 따른 하천 유출 예측	수자원/연구소
	과제 수행 시 기상청 자료포털 사이트에서 APCC의 엘리뇨, 라니냐 정보를 사용한 적 있음	기후/대학
WG	We utilizes APCC's seasonal forecast and BSISO as reference information for weekly and monthly forecasts We use as reference 3-month and second-season precipitation forecasts in briefing materials at Water Resource Agency's meetings for water resource management and drought adaptation decision making. We use seasonal forecast data to evaluate the forecast skill of CWB, NMME, and APCC individual models.	대만
	APCC's forecast is one of the references in formulating our seasonal forecasts.	홍콩
	Use in a seasonal outlook discussion for 6 months ahead.	말레이시아
	We use the three and one month (+1) forecasts to compare with other centres when generating national seasonal outlook. We have not used it yet, but we are planning to investigate the CLIK for MME development in Southeast Asia	싱가포르
	We used some of APCC products as reference for our outlook. Yes, in hydrology and agriculture Not yet used at present, but have a plan to use them for improving our long-range forecast in the future	태국

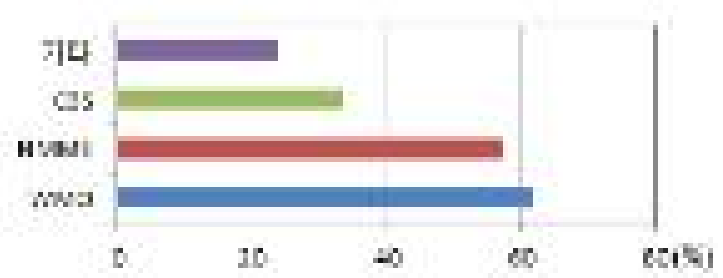
Figure 21. Example using APCC seasonal forecast in agriculture victoria.

APCC 예측정보의 활용분야와 더불어 타 기관 MME를 주로 사용하는 경우 그 이유가 무엇인지 조사하여 타 기관 제공 정보의 장점을 알아보았다. 타 기관의 예측정보를 주로 사용한다고 응답한 사람은 약 40%였으며, 사용하는 예측정보는 WMO, NMME 순으로 집계되었다. 응답자들이 선택한 타 기관 예측 정보의 장점으로는 예측 정보의 제공 시기, 다양한 콘텐츠, 데이터 다운로드의 용이함이 우세한 것으로 나타났다.

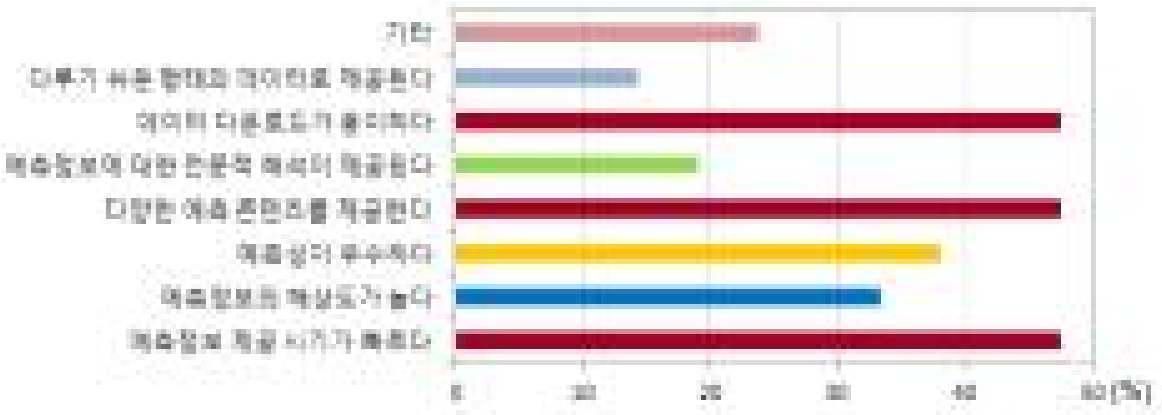
▣ 귀하께서는 APCC에서 제공하는 MME 예측정보 외에 다른 기관의 MME 예측정보를 “주로“ 사용하십니까?



▣ [타 기관 MME를 주로 사용한다고 응답한 경우] 귀하께서 주로 이용하는 MME 예측정보는 무엇입니까? (복수선택 가능)

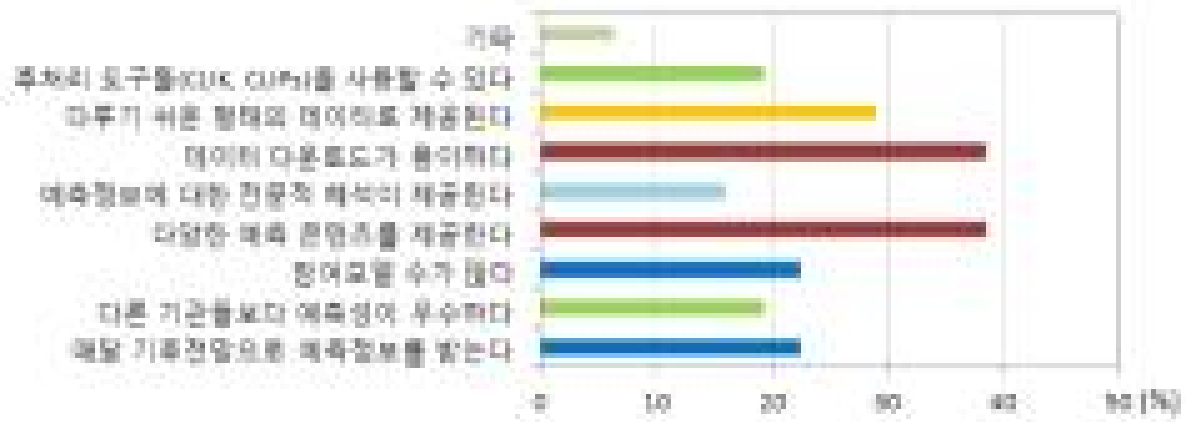


▣ [타 기관 MME를 주로 사용한다고 응답한 경우] 귀하께서 주로 이용하는 MME 예측정보를 선택한 이유는 무엇입니까? (최대 3개까지 선택)



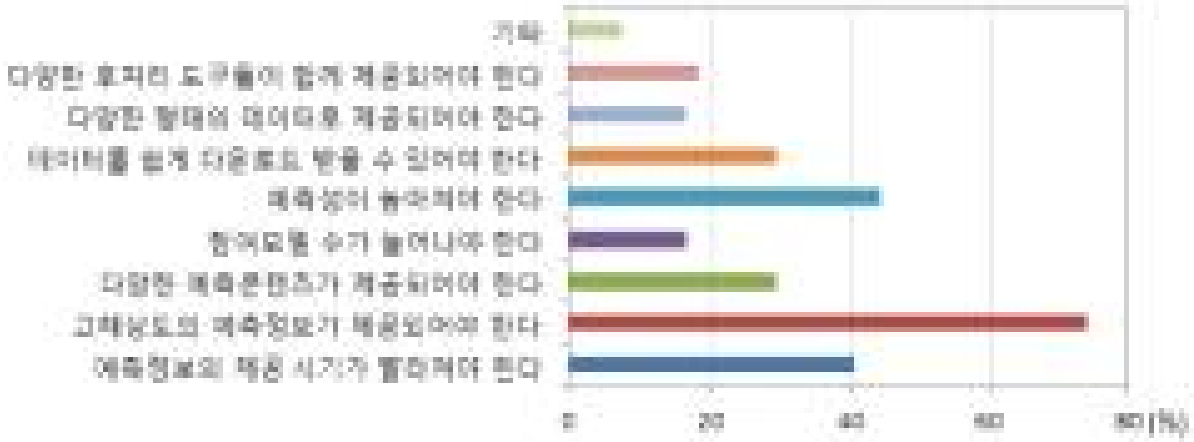
APCC MME를 주로 사용한다고 대답한 응답자들 역시 그 이유로 다양한 예측 콘텐츠와 데이터 다운로드의 용이함을 가장 많이 선택하였는데, 이는 기술확산워크숍의 성과라 할 수 있다. 10월 개최된 기술확산워크숍을 통해 APCC에서 제공하는 예측 콘텐츠들을 소개하고 데이터의 활용 방법 및 후처리 도구들에 대한 교육을 실시한 후 참가자들을 대상으로 설문 결과를 받은 것이 반영된 것이라 생각된다.

▣ [APCC MME를 주로 사용한다고 응답한 경우] 귀하께서 APCC MME 예측 자료를 주로 이용하는 이유는 무엇입니까? (최대 3개까지 선택)



마지막 문항은 APCC 예측 정보의 발전 방향을 묻는 질문으로 APCC MME가 경쟁력을 가지기 위해 가장 우선적으로 고려해야 할 부분에 대한 의견을 조사하였다. 응답자들은 고해상도 예측 정보가 제공되는 것이 최우선이라 생각하였으며, 이는 예측운영과의 중장기 계획과도 부합되는 부분으로 2021년부터 고해상도 예측 데이터 생산을 위한 시스템 구축 작업을 시작할 예정이다.

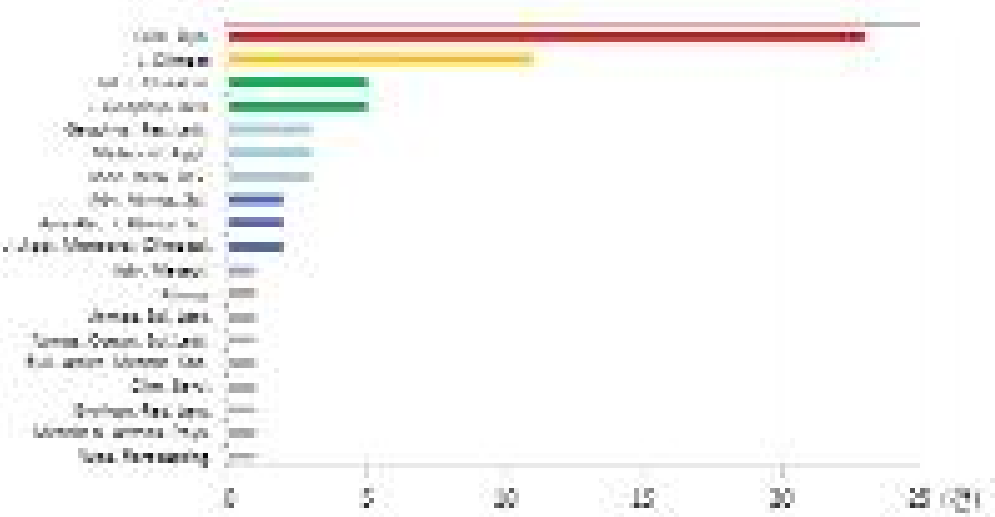
▣ APCC MME가 다른 기관들과 비교해서 경쟁력을 가지기 위해 가장 우선적으로 개선되어야 할 점은 무엇입니까? (최대 3개까지 선택)



④ 자체 조사 결과

▣ 논문

APCC가 제공하는 자료를 사용한 논문은 2005년부터 2020년까지 19개의 저널에서 68건이 출판되었다. 그 중 23건의 논문이 Climate Dynamics에서 출판되었으며 Journal of Climate에서 11건, Journal of Geophysical Research와 International Journal of Climatology에서 각 5건으로 그 뒤를 이었다.



▣ 기사

국내외 통틀어 46건의 기사에서 APCC의 예측 정보가 인용되었다. 특히 국외 기사는 특정 국가에 국한되지 않고 인도, 필리핀, 태국, 호주, 칠레 등 다양한 국가의 기후 전망 관련 기사에서 APCC의 예측 정보가 사용되었다. 그 중 APCC의 홈페이지를 통해 발표되는 기후전망 그

래픽을 직접적으로 인용한 기사도 다수 있었다(Figure 22).

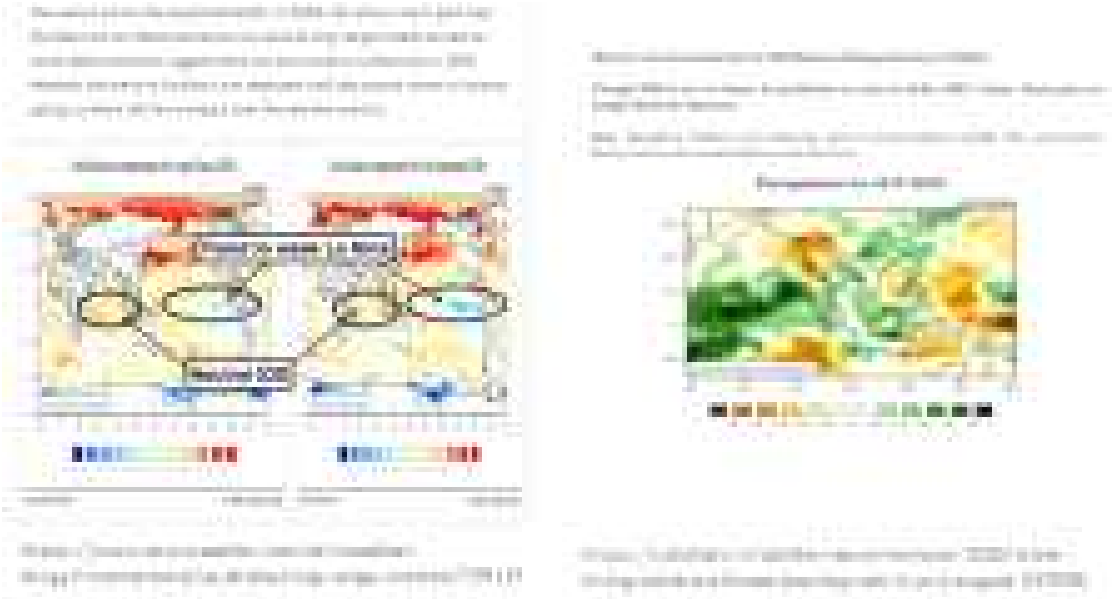


Figure 22. Examples using APCC seasonal forecast in climate outlook in Australia (left) and monsoon forecast in India (right).

연도별로 논문수가 증가하는 추이는 보이지 않았으나 꾸준히 발간되는 경향을 보이며, 기사 인용수는 최근 3년간 매우 증가하여 일반인을 대상으로 한 기사에 APCC의 연구 결과나 예측정보를 활용하는 사례가 늘어나고 있다는 것을 보여준다(Figure 23).

Figure 23. Papers (yellow bar) and news (gray bar) using APCC climate data from 2005 to 2020.

▣ 기후예측 현업

스리랑카, 태평양 도서국, 자메이카, CariCOF(Caribbean Climate Outlook Forum) 등 각 국

기상청 혹은 기후전망포럼에서 기후 전망을 위한 근거 자료로 APCC의 예측 정보가 사용되고 있다(Figure 24). 이는 과거 수 년 간 APCC의 예측 정보 확산을 위한 노력의 일환으로 기후전망포럼 참석, 기후정보서비스 교육 등을 실시한 결과로 생각된다.

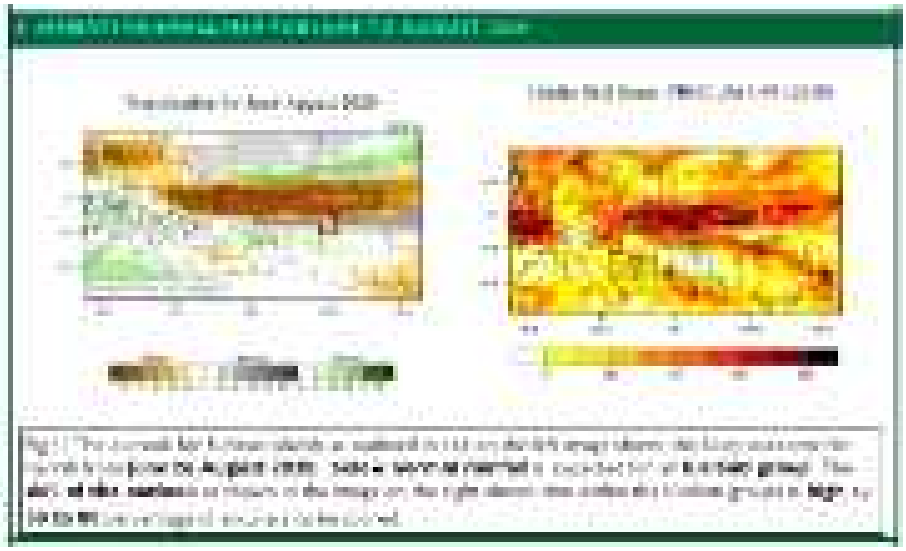


Figure 24. Example using APCC seasonal forecast in Kiribati outllok

▣ 홈페이지를 통한 정보 제공

자체 조사를 통해 얻은 논문과 기사 인용 현황은 홈페이지에 “기후정보 활용 현황” 페이지를 신설하여 제공하고 있다(Figure 25).

Figure 25. Climate information publications in APCC homepage.

⑤ 조사 결과 요약 및 활용 방안

이번 조사는 APCC 예측 정보의 활용 현황과 개선되어야 할 부분에 대한 의견을 취합하는 데에 목적이 있었다. 종합적인 결론을 내리기에는 응답자 수가 충분하지 않은 점이 있었으나, 이번 조사에서 얻은 결과와 활용 방안은 다음과 같다.

- **【타 기관 예측정보의 강점 활용】** 타 기관 예측정보를 주로 이용한다고 응답한 사람들이 선택한 타 기관 예측 정보의 장점으로는 예측 정보의 제공 시기, 다양한 콘텐츠, 데이터 다운로드의 용이함이 우세하였다. 이는 예측운영과의 중장기 계획에서도 고려하고 있는 부분으로 2020년 과제를 통해 콘텐츠를 다양화 하였으며, 2021년부터 예측정보 제공 시기를 당기기 위한 체계를 마련하는 계획을 세운 바 있다. 또한, 플랫폼(APCC CLIKs)의 개발을 통해 기존에 ADSS를 통해 제공되던 예측 데이터들을 좀 더 다양한 방법을 통해 다운받을 수 있게 하였으므로 응답자들이 타 기관의 장점으로 생각하고 있는 부분을 보완할 수 있을 것이라 생각된다.
- **【기술확산워크숍의 지속적인 국내 개최】** APCC MME를 주로 사용하는 응답자들 역시 그 이유로 다양한 예측 콘텐츠와 데이터 다운로드의 용이함을 가장 많이 선택하였는데, 이는 기술확산워크숍의 성과로 생각된다. 홈페이지 접속 통계를 보면 APCC 홈페이지에서 제공하는 예측정보에 접속하는 이용자들은 국내보다는 국외가 많은 현실과 APCC의 국내 기여도 향상에 대한 안팎의 요청이 있어왔던 점을 감안하면 향후 기술확산워크숍을 계획할 때 국외뿐 아니라 국내에서의 지속적인 개최를 고려하는 것이 활용도 향상에 많은 도움이 될 것이라 판단된다.
- **【고해상도 예측자료 제공】** APCC MME가 경쟁력을 가지기 위해 가장 우선적으로 고려해야 할 부분으로 고해상도 예측데이터의 제공이 가장 우세하게 나타났다. MME 예측정보를 제공하는 NMME, C3S의 예측정보 발행일이 각각 매달 10일, 13일인 것을 고려하면 현재 20일에 예측정보를 제공하는 APCC의 제공 시기를 앞당길 필요가 있으며, 이는 사용자의 needs에서도 우선 순위를 보이는 것으로 조사 되었으므로 차년도에는 고해상도 예측 데이터 생산을 위한 시스템 구축에 중점을 두고 과제를 수행해 갈 필요성과 당위성이 확보된 것이라 하겠다. 내년 과제를 통해 고해상도 예측 데이터의 확보 및 예측력 분석이 진행된다면 2022년에는 사용자에게 제공 가능할 것이라 생각된다.

나. 기후예측정보 품질개선 및 콘텐츠 강화

(1) MME 개별모델 확률예측 결과 제공

(가) 현황 및 필요성

APCC는 홈페이지를 통해 결정론적 MME 기법과 확률론적 MME 기법을 사용한 예측정보를 제공해 왔으며 개별모델의 예측정보는 과거 기후에 대한 편차로만 제공해 왔다. APCC 예측정보의 경쟁력을 높이고 서비스를 강화하기 위하여 개별모델의 편차정보뿐만 아니라 확률정보를 함께 제공하고자 하였다.

(나) 개선 사항

① 프로그램 개발

현재 수행 중인 PMME 방식과 마찬가지로 각 카테고리별 확률을 계산한 뒤 카이제곱 검정을 통해 3개 카테고리의 확률값의 차이가 통계적으로 유의한 경우 가장 큰 확률값을 가지는 카테고리 확률값만 표출하고 유의하지 않은 경우 “uncertain”으로 처리하여 미표출 하도록 프로그램을 구성하였다.

② 홈페이지 표출

국문(영문) 홈페이지의 기후전망(Outlook) 메뉴에 개별모델 확률예측(Probabilistic Forecast) 메뉴를 신설하고 13개 모델의 5개 변수를 표출하였으며(Figure 26) 국문(영문) 홈페이지의 계절예측 방법론(Methodology) 메뉴에 PMME 기법에 대한 상세 설명을 추가하였다(Figure 27).

(다) 적용 결과

① 적용일: 2020년 2월 20일

② 적용 결과: 2020MAMJJA 예보부터 홈페이지를 통해 13개 개별모델의 확률예측정보를 제공하였으며 이를 통해 APCC 예측정보의 경쟁력 강화에 기여할 것으로 기대한다.

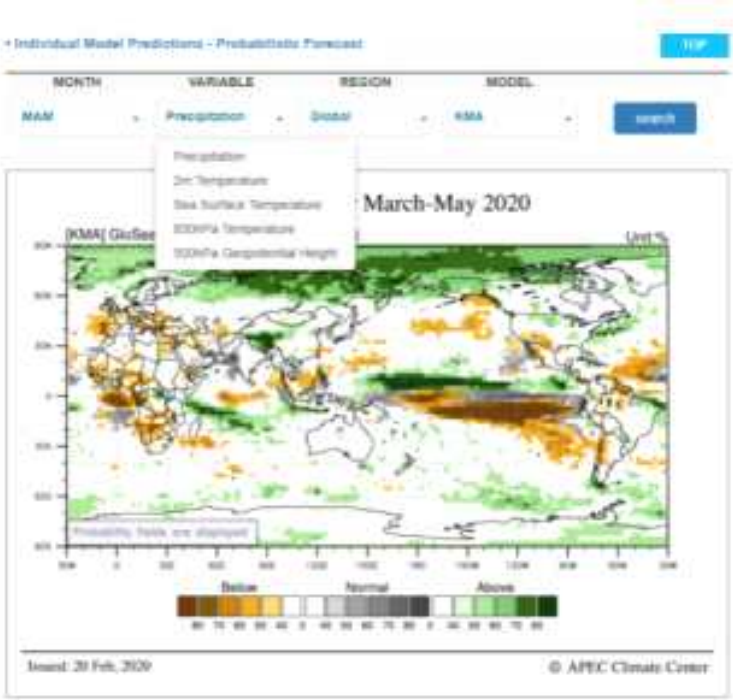


Figure 26. “Individual Model Prediction - Probabilistic Forecast” menu.

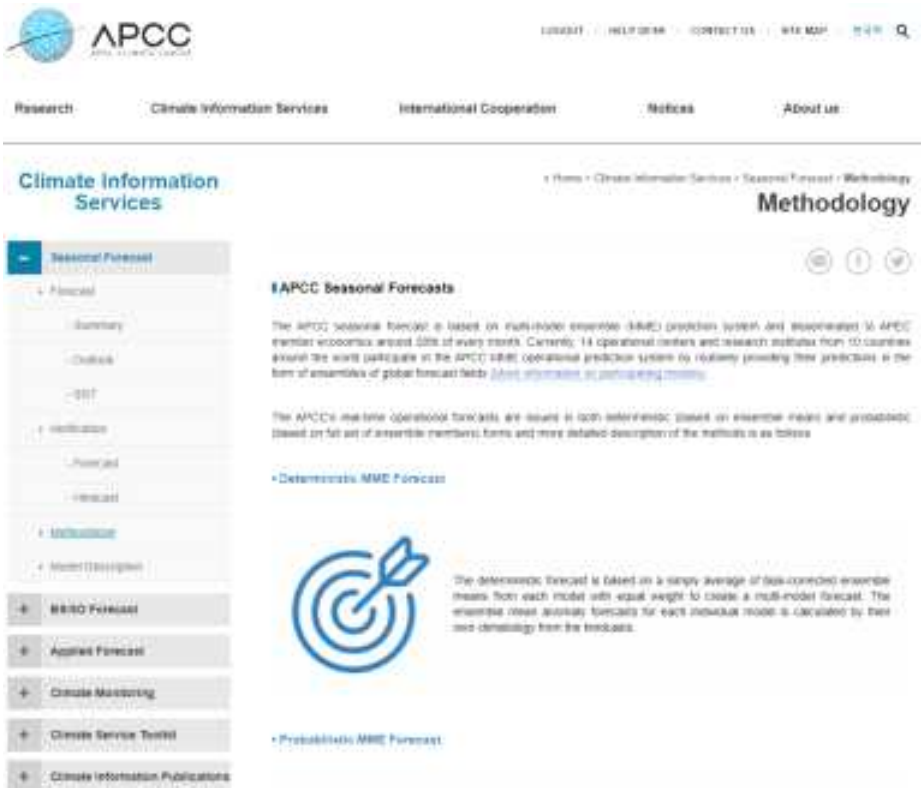


Figure 27. “Methodology” page.

(2) BSISO 영향예보 콘텐츠 및 모델정보/예측지수 제공

(가) BSISO 영향예보 콘텐츠 제공

① 현황 및 필요성

현재 APCC 홈페이지를 통해 제공되는 BSISO 서비스 컨텐츠는 phase diagram에 기반한 지수 정보 제공이 주를 이루고 있어, 사용자가 지수 정보를 2차원 혹은 좀 더 고차원 공간정보로 이해하는 데는 어려움이 있다. 따라서 BSISO 지수를 이용한 2차원 대기 영향장을 제공하여 사용자의 이해를 돕고 웹상에서 사용자가 원하는 변수 및 시기 등을 선택적으로 활용하여 사용자 친화 콘텐츠를 제공하고자 한다.

② 개선 내용

2019년 예측기술과 위탁 과제[3] 결과 현행화로 위탁 과제 수행 결과물을 현업 시스템 내 이식하고 안정화 테스트를 통해 실제 현업에서 이전 결과들과 유기적으로 구동 가능한 시스템을 구축을 하였다. Figure 28와 Figure 29는 실제 현업 시스템 내 이식된 BSISO 합성장과 영향장의 프로그램 구조이다. 합성장은 1회 생산으로 /data19 하위 폴더에 COMPOSITE이라는 폴더를 구성하였고 영향장의 경우 현업기간 중 실시간 생산으로 현업에 관련된 폴더인 /data19/BSISO_R1 하위폴더에 IMPACT라는 폴더에 구성하였다.

3) 2019년 위탁 과제 : 「여름철 계절내 진동 사용자 분석 시스템 구축」

Figure 28. Directories of APCC BSISO composite system.

Figure 29. Same as Figure 28 except for APCC BSISO impact system.

이 중 영향장은 관측 모니터링 지수를 이용한 감시 영향장과 각 모델에서 예측된 BSISO 지수를 이용한 예측 영향장으로 나뉘는데 감시 영향장의 경우 가장 최신의 관측 자료의 날짜를 읽어 입력 날짜를 선정하고 예측 영향장의 경우 각 모델의 가장 최신 예측 자료를 읽어 기준 입력 날짜를 선정한다. 그리고 해당 날짜의 모니터링 및 예측 BSISO phase 및 강도 및 BSISO 합성장을 이용하여 최종적으로 영향장을 생산한다(Figure 30).

BSISO 합성장은 1981년부터 현재까지의 과거 일별 관측 자료에서 BSISO 지수가 각 phase별로 1.5 이상 되는 경우를 추출하여 관련 변수[4]별 합성장을 계산하였다. 이 결과는 BSISO 정의를 이해하는데 보조자료로 활용되며 실시간 생산이 아닌 각 케이스별로 한번만 생산하면 활용이 가능하다. BSISO 합성장 정보 제공을 위해 홈페이지 내 정의 탭에서 10개 변수, 기간, BSISO 지수, phase 선택 기능을 추가하여 사용자가 필요한 옵션대로 합성장 이미지를 제공받을 수 있게 홈페이지를 구성하였다(Figure 31).

그리고 합성장과 BSISO 모니터링 및 예측 지수를 이용하여 BSISO 현업 기간(5월~10월) 동안 매일 BSISO 관련 10개 변수[3]에 대해 각 기간별[5]로 BSISO 영향장을 생산 하였다. 생산된 이미지는 국문 및 영문 홈페이지 내 감시정보(Figure 32)과 예측정보(Figure 33) 탭에 BSISO 영향 편차장을 신설하여 표출하고 변수, 예측기간 선택 기능을 추가하여 홈페이지를 구성하였다.

4) 상향장파복사&850hPa 바람장, 강수, 2m 기온, 해면기압, 850hPa 수분수렴, 600hPa 상대습도, 500hPa 연직속도, 500hPa 지위고도, 200hPa 잠재와도, 200hPa 속도퍼텐셜

5) MAY, JUN, JUL, AUG, SEP, OCT, MJ, JJ, JA, AS, SO, MJJ, JJA, JAS, ASO, MJJA, JJAS, JASO, MJJAS, JJASO, MJJASO

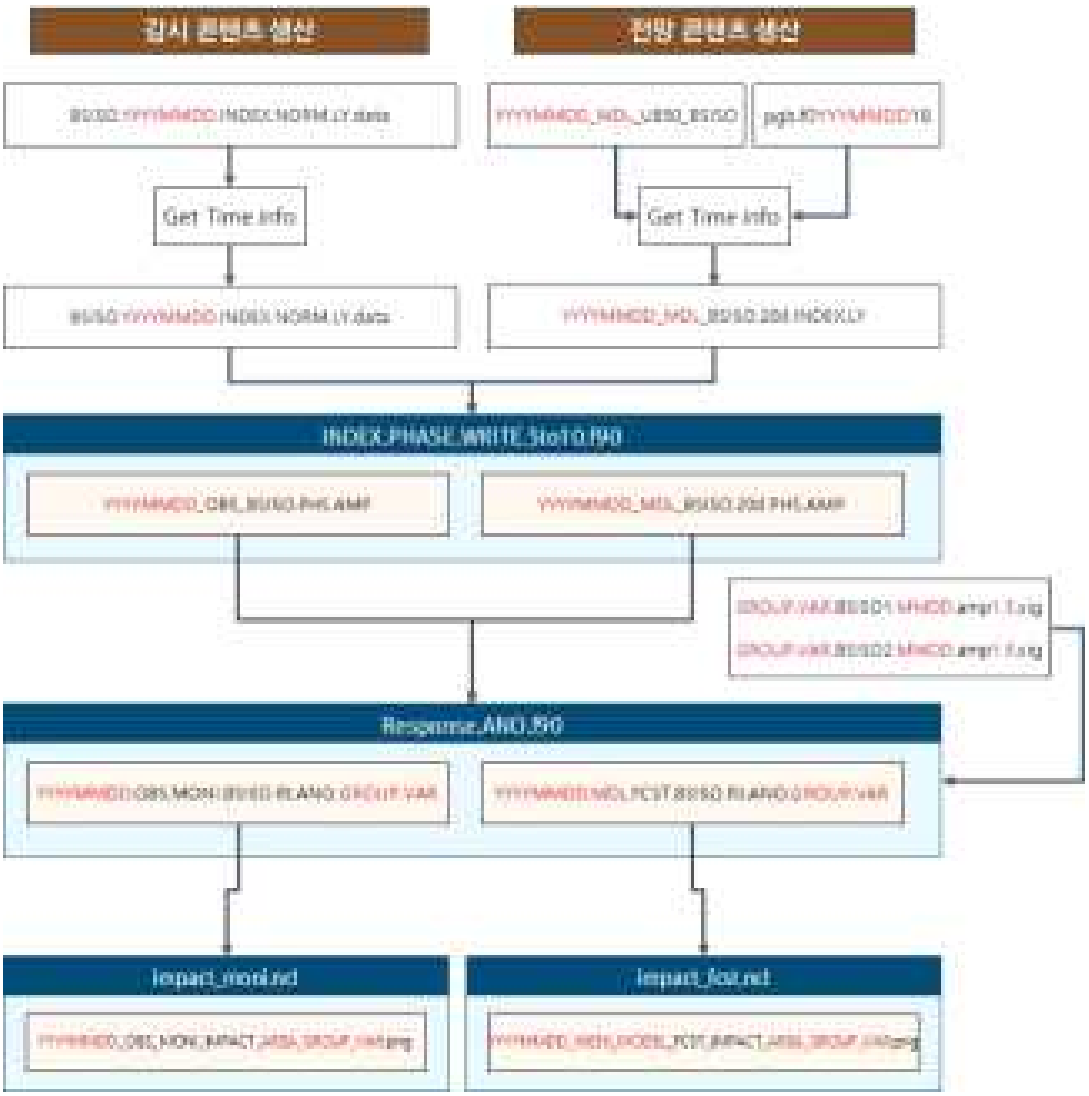


Figure 30. Configuration of APCC BSISO mornitoring and forecast impact system.

③ 결과

BSISO 현업 시작일(2020년 4월 29일)부터 홈페이지를 통해 BSISO 합성장, 모니터링 및 실시간 예측 영향 편차장을 제공하였다. 합성장은 BSISO 관심 기간의 모든 조합을 계산해서 이미지로 생산하였고 고정적으로 표출하고 영향편차장의 경우 매일 실시간 모니터링 및 예측 지수에 따라 계산하고 이미지를 생산해서 제공하였다. 이로 인해 BSISO에 의한 일반적인 대기 반응을 사용자가 좀 더 직관적인 이해를 높이고 기호에 따라 분석 기간, 변수 등을 입력하면 관련 이미지가 표출되게끔 구성하여 BSISO 컨텐츠 활용에 있어 편의성을 높이고자 하였다.

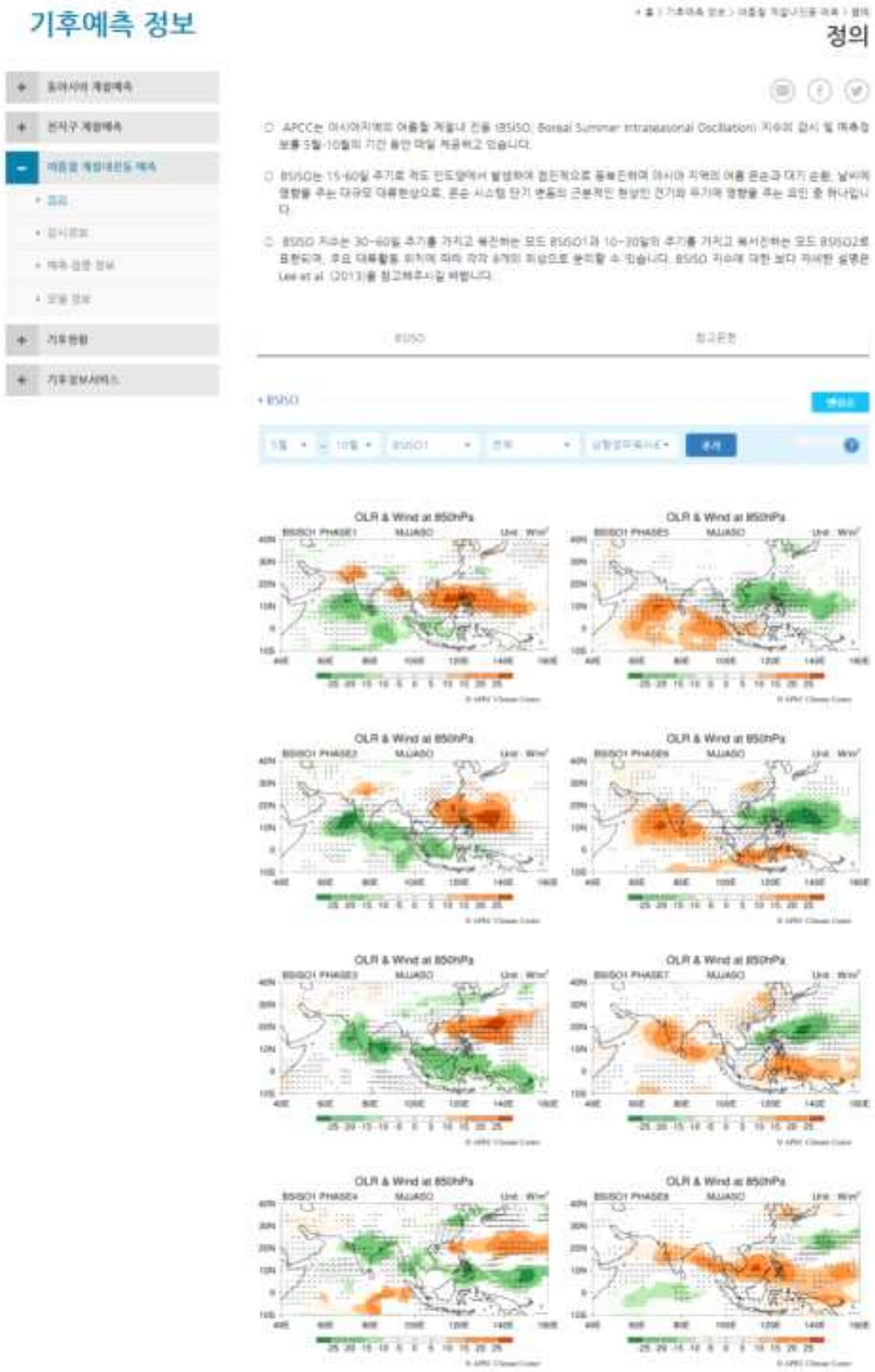


Figure 31. Composite anomaly field of the historical BSISO indices (1981-2018) for various variables in APCC BSISO website.

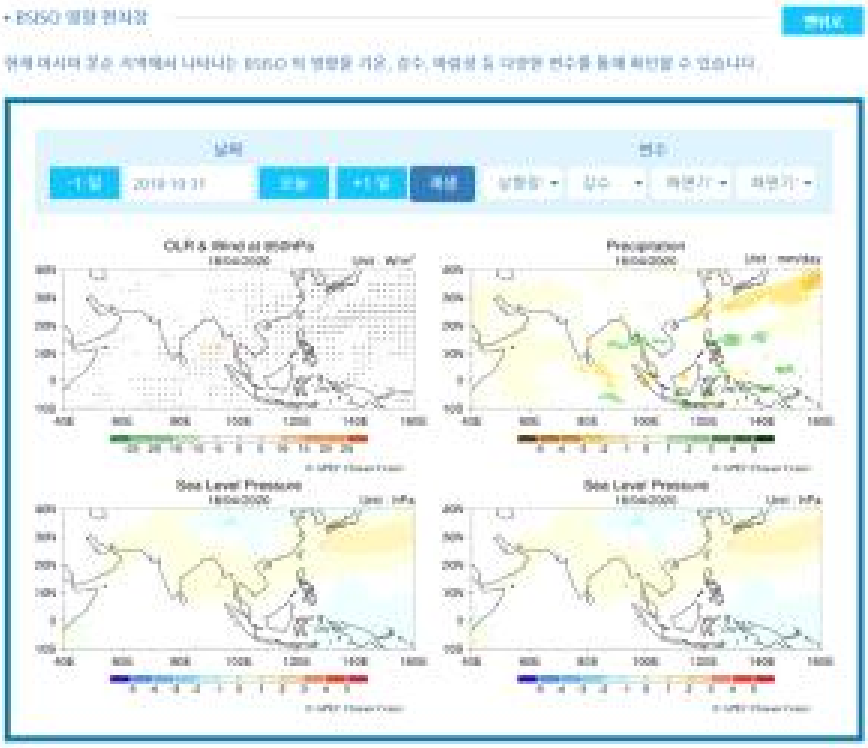


Figure 32. Reconstructed field related to observed BSISO impact based on composite of the historical BSISO index (1981-2018) for various variables in APCC BSISO website.

Figure 33. Same as Figure 32 except related to forecasted BSISO impact.

(나) BSISO 모델 정보 및 예측지수 제공

① 현황 및 필요성

기존까지는 APCC 홈페이지를 통해 BSISO 모니터링 지수만을 제공하여 사용자는 예측 지수에 대한 정보는 이미지에 국한되어 얻을 수 있었다. 이에 APCC는 BSISO 자료제공 기관에 자료 제공 동의서를 배포하였고, 자료 제공에 동의한 기관에 한해 BSISO 예측 지수를 제공하고자 하였다. 또한 각 모델의 세부 정보를 제공하여 참여 모형에 대한 이해를 높이고 현재 표출되고 있는 컨텐츠별 상세 정보를 추가하여 BSISO 예측 정보의 활용성을 증대하고자 하였다.

② 개선 내용

현재 서비스 중인 4개 기관의 자료 제공 동의를 얻어 과거부터 현재까지 생산된 각 기관의 BSISO 예측 지수(매일 업데이트)를 당일 현업 종료 이후 실시간으로 제공하고자 하였다. 또한 BSISO 예측자료를 활용하는 사용자의 참여 모델에 대한 이해를 높이기 위해 포함되어야할 모델 정보(descirption) 항목을 사전 조사하였고, 각 참여기관에 상세 모델 정보 양식을 배포 및 수집하였다. 그리고 홈페이지를 통해 국문 및 영문 모델 상세 정보를 제공하였다.

③ 결과

BSISO 모니터링 지수와 함께 예측지수를 실시간 제공하고자 Figure 34와 같이 APCC ADSS 홈페이지에 APCC-BSISO-Index 메뉴를 신설하고 2020년 5월부터 10월까지 매일 현업 종료 이후 당일 예측 지수가 제공되었다. 또한 Figure 35와 같이 국문 및 영문 홈페이지에 모델 정보 메뉴를 신설하여 각각 국문 및 영문 모델 상세 정보를 제공하였다. 그리고 Figure 36과 같이 현재 표출되고 있는 BSISO 컨텐츠에 대한 설명을 제시함으로써 보다 사용자 친화적 서비스를 제공하고자 하였다.

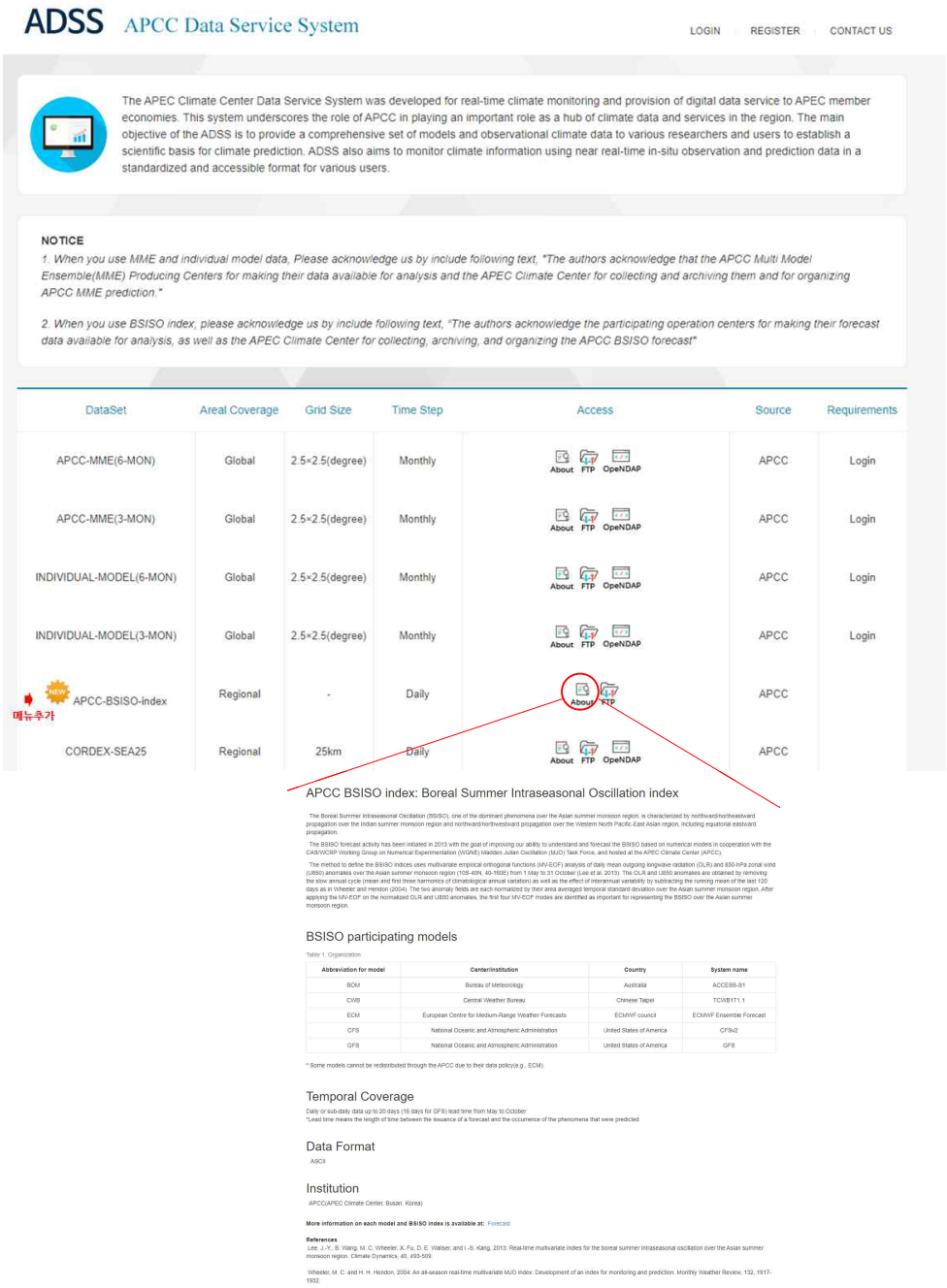


Figure 34. Provide BSISO index in APCC ADSS website.

Figure 35. Description and configuration of participant model in APCC BSISO website.

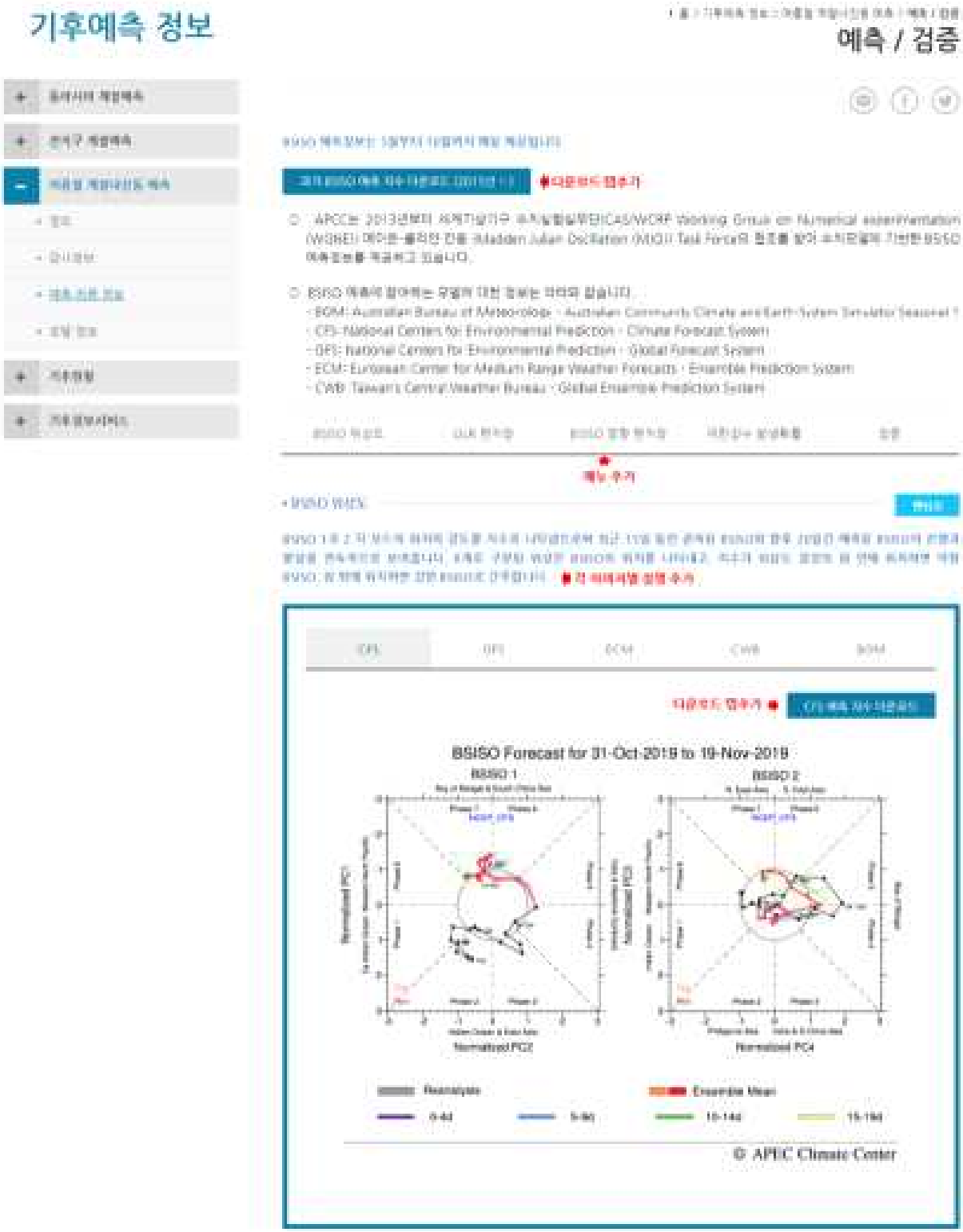


Figure 36. Description by contents in APCC BSISO website.

(3) 인도네시아 산불예측정보 개선

산불로 인한 연무는 동아시아에서 가장 심각한 환경적 문제 중 하나이며, 화재 · 연무로

인한 피해를 완화하기 위해 조기 경보시스템에 대한 필요성은 지속적으로 제기되어왔다. APEC 기후센터는 APN (Asia-Pacific Network for Global Change Research) 국제연구 프로젝트를 통해 동남아 해양 국가들의 지리적 중심에 위치한 아시아 최대 섬인 보르네오 섬에 대한 화재 · 연무 조기경보 시스템(Fire and Haze Early Warning System; FHEWS; Yoo et al., 2016)을 개발하였으며, 2017년부터 보르네오 섬 4개 지역(Barat, Tengah, Selatan, Timur)의 산불발생 조기경보 예측정보를 홈페이지를 통해 제공하고 있다. 이 시스템은 APCC 다중모델앙상블(Multi-Model Ensemble, MME) 계절예측 강수정보를 활용하여 해당지역의 건조기에 해당하는 8월-10월 기간에 대한 가뭄상태를 예측하고, 이를 통해 산불발생 조기경보 단계(Extreme, High, Moderate, Low) 예측 정보를 매년 4월부터 7월까지 제공하고 있다.

APCC MME 계절예측 시스템에 참여하는 개별모델들의 최선 변경 사항이 반영된 산불예측모델에 대한 현업운영 및 이에 따른 산불예측시스템의 개선이 요구됨에 따라 2020년 APCC FHEWS가 새롭게 개선되었다. 보다 양질의 APCC 화재 · 연무 조기경보 예측서비스 제공을 위하여 예측 콘텐츠 또한 개선되었으며, 사용자 편의성을 위해 전반적인 구조 변경 및 자동화 기능이 추가 적용되었다.

(가) 현황 및 필요성

본 시스템은 인도네시아 보르네오 섬 4개 지역에 대해 산불발생에 가장 취약한 기간인 8월에서 10월(August-September-October, ASO) 동안의 산불 경보 단계 예측정보를 제공하기 위해, APCC MME 6개월 강수 예측정보를 이용하여 매년 4월에서 7월까지 월 1회당 해당 예측정보를 생산한다. ASO 계절의 총 강수량 예측값을 활용하여 가뭄상태를 예측하고 이를 통해 산불발생 경보예보를 제공하기 때문에 본 시스템은 4월에 예측된 강수의 4-6번째 리드타임 강수자료를 사용하며, 5월에는 3-5번째 리드타임 강수자료, 6월에는 2-4번째 리드타임 강수자료, 7월에는 1-3번째 리드타임 강수자료를 사용한다. 매년 4월에서 7월동안 매월 20일 결과물을 홈페이지에 업데이트하여 정보를 제공하는 일정으로 운영된다. 20일이 휴무일이면, APCC 예측정보가 생산되는 가장 빠른 업무 일에 시스템을 가동하여 정보를 생산한다.

기존의 산불예측시스템의 서비스는 보르네오 섬의 4개 지역을 대상으로 산불예측 확률정보를 APCC MME 계절예측 강수정보와 함께 제공되었다. 이 정보는 산불예측정보에 대한 정보이지만, 계절예측 강수정보가 중심이 된 서비스에 가까웠으며, 과거 기간에 대한 이력조회가 불가능한 단점이 있었다. 또한 APCC에서 제공하는 계절예측정보의 변경에 따라 산불예측정보의 변화하기 때문에 APCC MME를 직접적으로 적용하여 서비스를 제공하도록 변경되었다. 결과적으로 APCC에서 제공하는 계절예측정보를 바로 활용하여, 해당 년도의 모든 결과물의 이력을 비교하며 정보를 제공하는 시스템을 사용자가 쉽게 이해할 수 있도록 그래픽과 홈페이지의 구조를 변경하여 제공하였다.

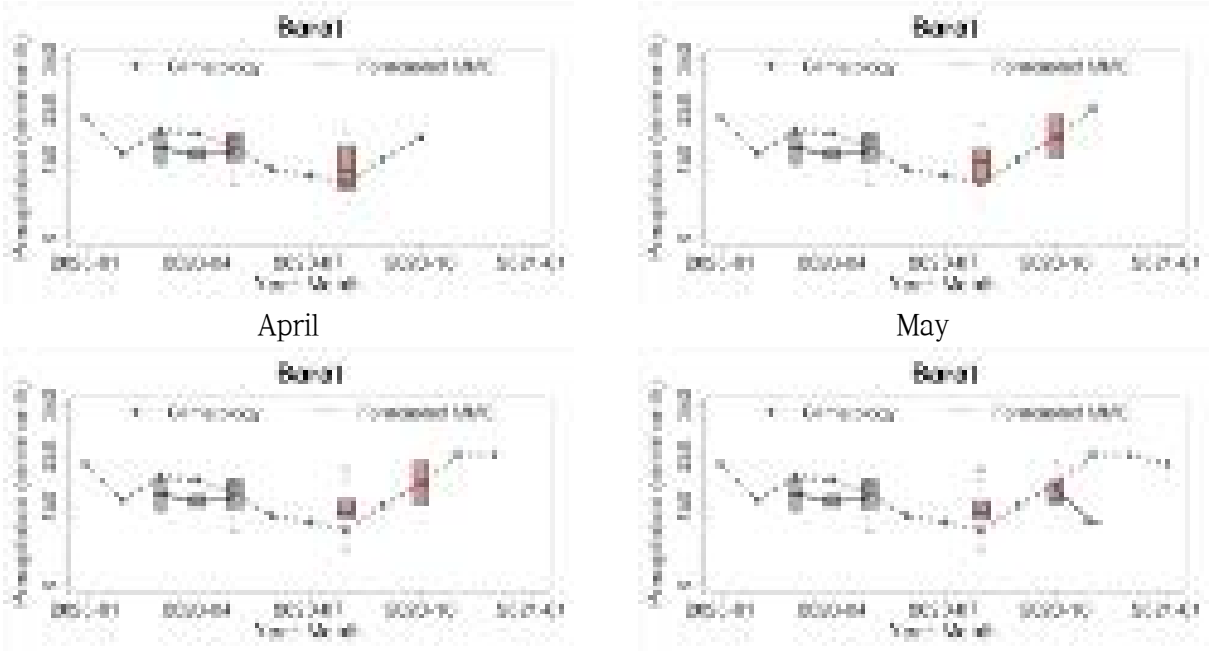
(나) 6개월 강수예측정보

개별모델의 모든 정보를 아프로디테를 활용하여 지역별로 편의보정을 진행한 후 관측기간과 같은 기간에 대하여, 월별 리드타임에 따라 2가지 조건에 대하여 만족하는 개별모델을 선택한다. 선택을 위한 조건은 다음과 같다.

1. 관측자료 기간에 모델자료가 80%이상 존재하는 모델

2. 관측자료 기간에 관측 개수인 17개의 95%신뢰구간에 해당하는 상관계수인 0.482가 넘는 모델 선택

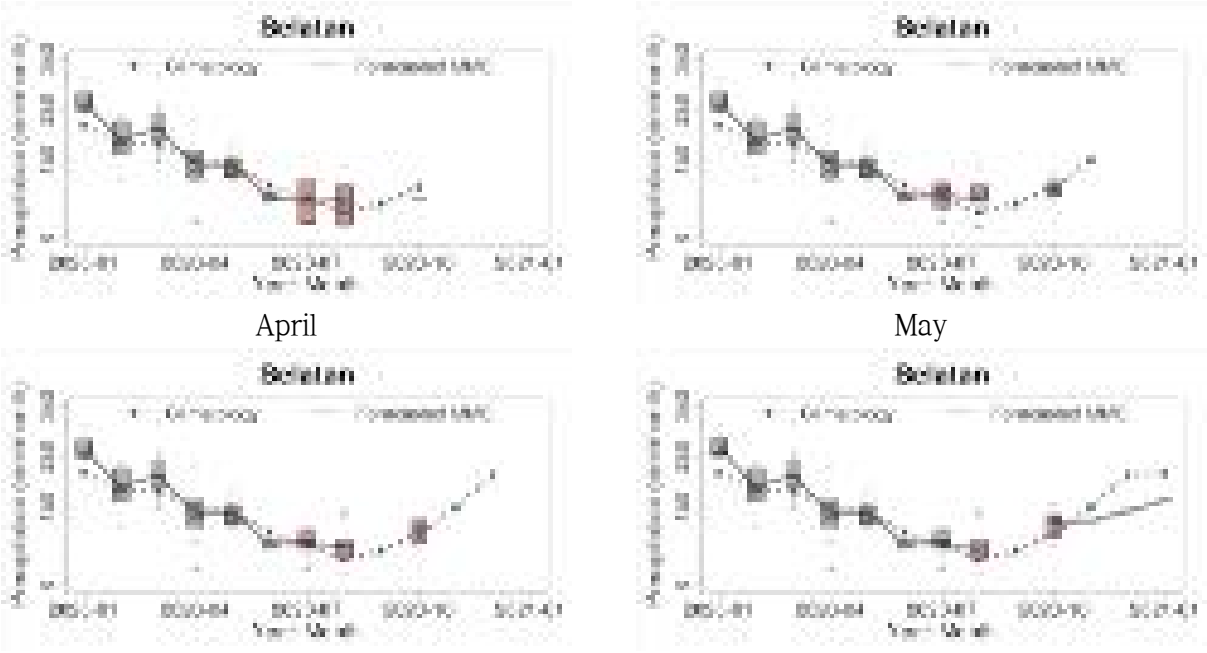
인도네시아 보르네오 섬의 4개 지역을 대상으로 선택된 계절예측 강수자료의 모델의 정보를 Boxplot을 통해 제공하고 있다. 다음의 Figure 37-40은 2020년도 생산되어 홈페이지를 통해 서비스 된 6개월 강수 예측정보의 지역별 정보를 나타낸다.



April May

June July

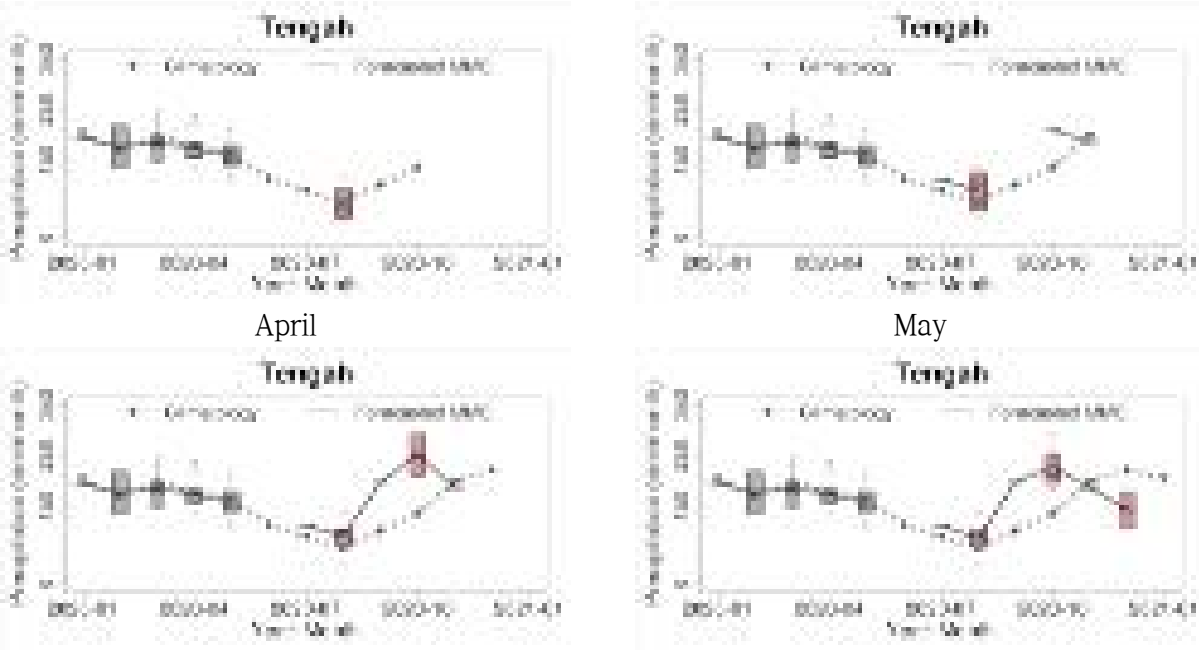
Figure 37. 6-month precipitation forecast in 2020 over Barat.



April May

June July

Figure 38. 6-month precipitation forecast in 2020 over Selatan.



April May

June July

Figure 39. 6-month precipitation forecast in 2020 over Tengah.

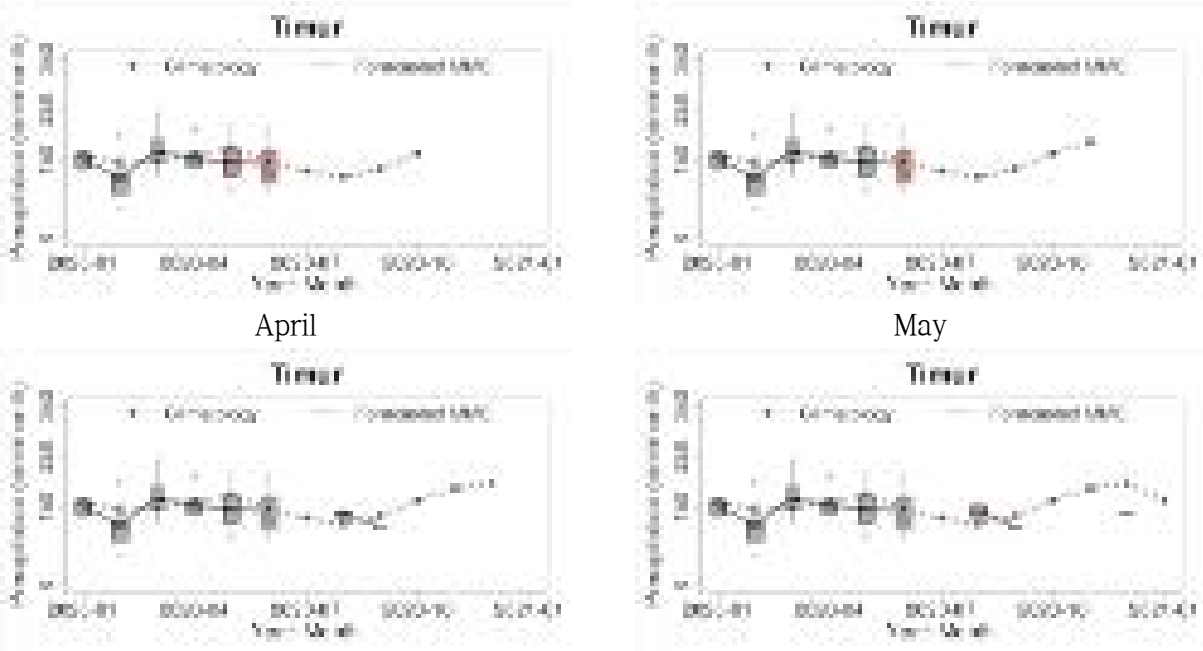


Figure 40. 6-month precipitation forecast in 2020 over Tumur.

(다) 확률산불예측정보

확률 산불예측정보 또한 개별모델의 모든 정보를 아프로디테를 활용하여 지역별로 편의보정을 진행한 후 관측기간과 같은 기간에 대하여, 월별 리드타임에 따라 2가지 조건에 대하여 만족하는 개별모델을 선택한다. 선택된 강수 예측정보는 각 지역의 강수량과 CO2 배출량 사이의 관계식(Yoo et al., 2016)에 따라 4가지 산불위험 등급(극단, 높음, 보통 그리고 낮음)으로 변환되어 나타도록 설계되었다. 8월과 9월 10월에 예측된 강수량의 정보를 통해 산불예측을 위한 확률을 단계적으로 추정하여 보다 지역의 특성을 잘 반영한 예측정보를 제공하고자 하였다. 산불예측의 확률정보는 8월, 9월, 10월의 개별모델 강수예측정보 중 지역에 따라 다르게 선택되며, 만약 선택된 개별모델이 없다면, Climatology로 대체하여 활용한다. 선택된 개별모델의 3개월 강수량 총합을 모든 Combination을 통해 산출하며, 해당 강수량을 4가지 등급의 기준에 따라 등급으로 변환하여 예측 확률로서 정보를 제공한다. 해당 지역에 가장 높은 %를 차지하는 등급을 지도와 Tile Plot을 통해 표시하며, 위험 등급이 동일하게 산출되는 경우에는 'Uncertain'으로 표시하며 회색으로 제공한다. Figure 41은 2020년에 홈페이지를 통해 서비스한 정보를 나타낸다. Figure 42는 2020년도의 4개월간 제공되었던 정보를 정리하여 보여주는 Tile Plot이며, 이 정보를 통해 한해의 과거정보와 현재정보를 모두 제공하고자 하였다.

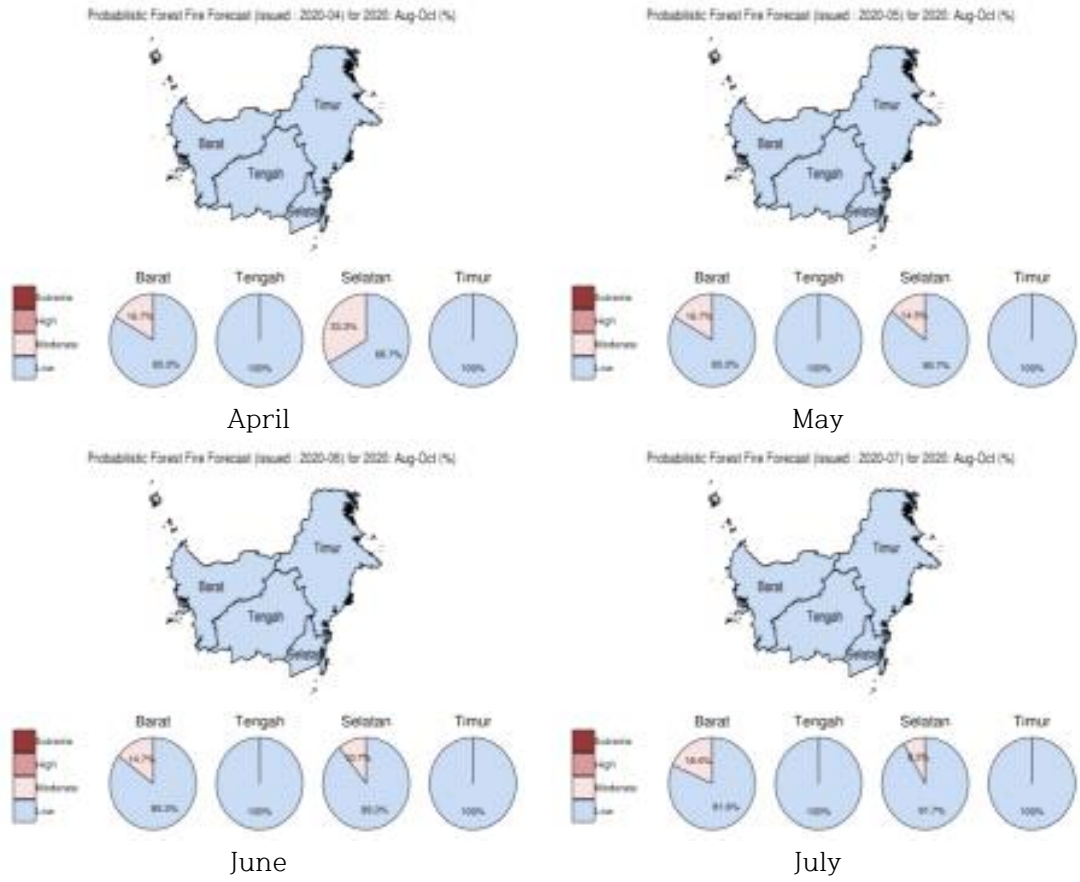


Figure 41. Probabilistic Forest Fire Forecast on 2020.

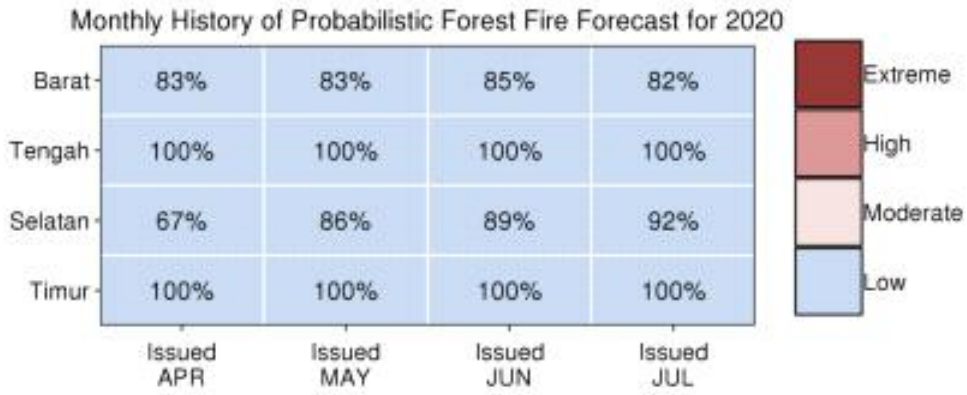


Figure 42. Monthly History of Probabilistic Forest Fire Forecast on 2020.

(라) 홈페이지 표출

확률 산불예측정보를 홈페이지를 통해 제공하기 위해 홈페이지의 리뉴얼이 진행되었다. 과거 이해하기 힘든 예측정보를 이해하기 쉽게 변경하였으며, 하나의 지역에 대한 정보만 제공하던

홈페이지의 구성을 전체 지역을 한 번에 제공할 수 있도록 변경 적용하였다. 또한, 과거 기간에 대한 정보조회가 힘든 홈페이지의 구조를 변경하여 해당년도의 모든 정보를 조회할 수 있도록 변경 적용하여 다양한 정보를 쉽게 사용자가 접근할 수 있도록 접근성을 향상하는데 노력하였다. Figure 43은 과거 홈페이지를 현재 어떻게 구성하였는지를 보여준다.

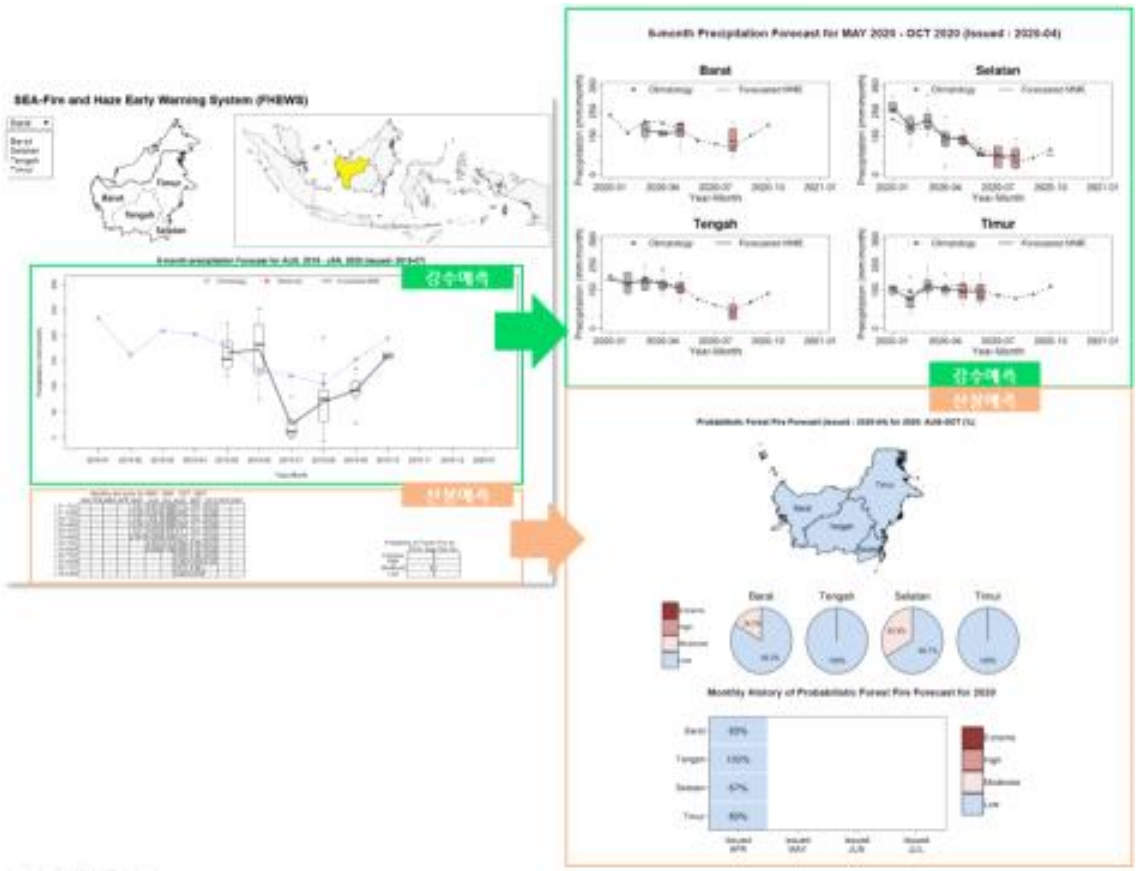


Figure 43. FHEWS Homepage information.

(4) APCC MME 기후예측 콘텐츠 강화

MME를 활용한 계절예측정보를 제공하고 있는 세계유수 현업기관[6]이 점차 늘어나고 있는 시점에서 타 기관과의 차별성 및 우위 확보를 위한 노력이 필요하며, 특히 기후예측정보제공의 국내 기여 강화 또한 요구되고 있다. APCC 기후예측정보의 활용성 제고를 위해 현재 제공되는 기후감시 및 예측정보의 가시성·가독성을 높임으로써 전체적인 예측 콘텐츠 그래픽 품질을 개선하고, 기후정보를 좀 더 효율적으로 전달하기 위한 사용자 친화적인 예측 콘텐츠 개발하고자 하였다. 또한 신규 예측정보 제공 확대를 통해 기후예측 콘텐츠를 다양화함으로써 APCC 기후정보 서비스를 강화하고자 하였다.

(가) 감시정보 강화 및 그래픽 품질 개선

현재 홈페이지를 통해 제공하고 있는 APCC 기후 콘텐츠의 대부분은 기후예측 및 검증정

6) NMME, WMO, C3S 등

보에 집중되어 있으며, 기후감시 정보가 매우 부족한 실정이다(Table 3). 이러한 결과는 APCC 홈페이지 사용자 접속통계에서도 반영되어 나타나며(Table 4), 타 기관 감시정보 현황 파악을 통해 APCC 기후감시 정보를 보완하고자 하였다(Table 5).

Table 3. List of climate contents provided by APCC

	최근기후 (감시)	예측정보		검증정보*	
		다중모델	개별모델	예측검증	과거검증
콘텐츠	편차장	편차장 확률예보장 시간-경도분포 ENSO 지수 Modoki 지수 IOD 지수	편차장 확률예보장 시간-경도분포 ENSO 지수 Modoki 지수 IOD 지수	ACC RMSE RD ROCC HSS RPSS	ACC MSSS MSSSC GSS RD ROCC ROCS BCC

* 기후검증: 로그인 필요

Table 4. Total number of page views of APCC climate contents for 3 years (2017-19).

	기후현황 (Climate Monitoring)	전지구 계절예측 (Seasonal Forecast)		여름철 계절내예측 (BSISO Forecast)	
		예측 (Forecast)	검증* (Verification)	감시 (Monitoring)	예측 (Forecast)
페이지뷰	10,498건	65,739건	8,120건	6,141건	12,268건

※ 국문/영문 페이지뷰 총합 (일부 신규페이지는 제공되는 시점부터 합계)
* 기후검증: 로그인 필요

Table 5. List of climate monitoring information provided by other climate centers.

	타기관 감시정보					
	BOM	DWD	JMA	NOAA	UKMO	IRI
콘텐츠	평균장 편차장 100년 History 극기상랭킹 퍼센타일 Trend	평균장 (normalized) 편차장 (기후별) 시계열 퍼센타일 극기후값 Trend	평균장 (normalized) 편차장 강수비율 성층권순환 극기상종합맵 극기상확률	평균장 시계열 편차장 시간-경도분포 원격상관패턴 기후지수	편차장 극기후지수 시계열	평균장 상관계수 표준편차 시계열 시간-경도분포

① 표준화된 월평균 기온 편차장 및 평년대비 강수 비율

현재 제공되고 있는 기후감시 편차 정보는 기후/기상 관련 전문가에게 익숙한 정량적 편차 정보로, 같은 편차 정보라 할지라도 계절/지역에 따라 체감되는 정도는 매우 다를 수 있다. 기후감시 정보의 효과적 전달을 위해 현재의 기후 상태를 사용자가 더욱 직관적으로 이해할 수 있는 정성적 편차정보를 추가·제공하고자 하였다. 정성적 편차정보는 크게 표준화된 편차장 또는 퍼센타일 정보로 제시된다. 동아시아 이상기후 감시 콘텐츠가 퍼센타일을 사용한 정보로 구성됨에 따라 최근 감시정보에서는 표준화된 편차장을 사용하여 제공하고자 하였다.

표준화된 월평균 기온 편차장은 지정된 기간(1991-2010)의 경년변동 (Standard deviation, SD)이 고려된 편차로써 선택된 기간 및 지역에서의 편차가 평균변동에 비해 평균치인지, 평균 이하이거나 이상인지를 정성적으로 나타낸다. 표준화된 기온 편차장의 범주의 임계값은 ±0.44, ±1.28을 기준으로 나타내었으며, 이는 일본 및 우리나라 기상청에서 사용하는 임계값을 참고하여 사용하였다(Figure 44). 평년대비 월평균 강수 비율은 선택된 기간 및 지역에서의 강수량이 평년에 비해 어느 정도인지를 백분율로 나타낸다. 특히 평년대비 강수 비율은 수문 기상에서 최근 강수 현황을 알려주는 주요 변수로 사용되고 있다. 월평균 강수 비율 범주의 임계값은 평년대비 70%, 100%, 120%을 기준으로 나타내었으며, 이는 일본 기상청에서 사용하는 임계값을 참고하여 사용하였다(Figure 45).

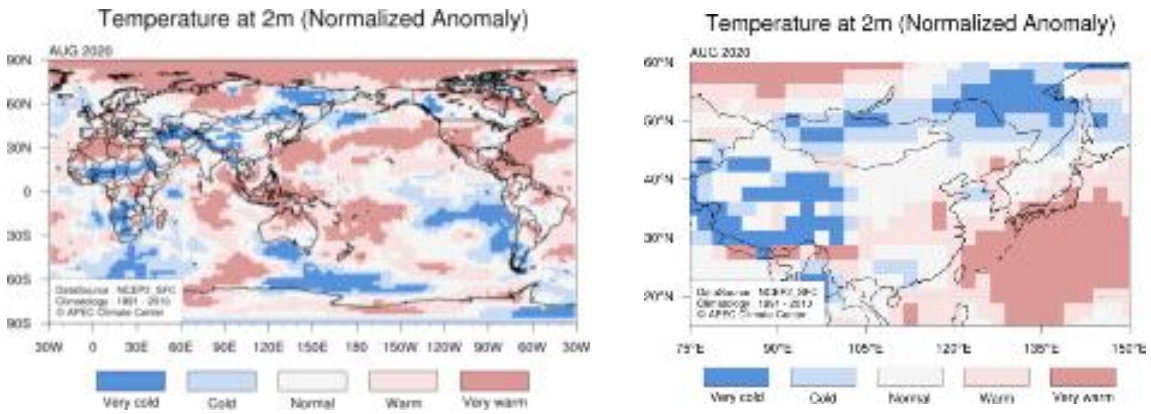


Figure 44. Monthly temperature anomaly normalized by standard deviation.

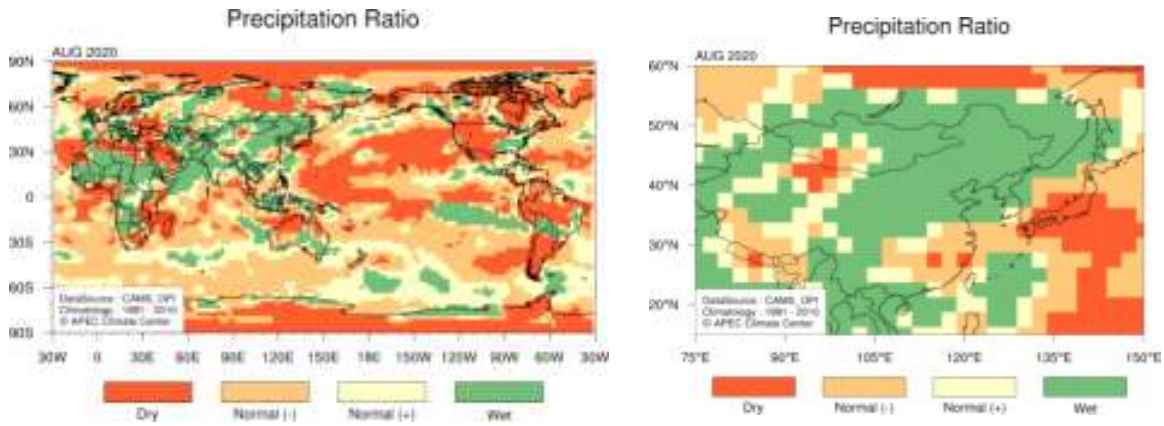


Figure 45. Monthly precipitation ratio (%).

② 월평균 기온 및 강수분포

계절에 따라 이슈화되는 북태평양 고기압의 위치 또는 여름철 강수밴드 위치 등은 월 평균 분포에서 확인 가능함에도 불구하고 APCC 기후 감시/예측 콘텐츠의 대부분은 편차정보로 구성되어 있으며 기후 자체 분포에 대한 정보가 부족한 실정이다. 월 예보토의 또는 예측운영과 예보토의 시, 월 평균장에 대한 필요성이 제기되었으며 타 기관 사이트를 찾아야 하는 번거로움을 해소하고자 월평균 기온 및 강수분포장을 제공하고자 하였다(Figure 46).

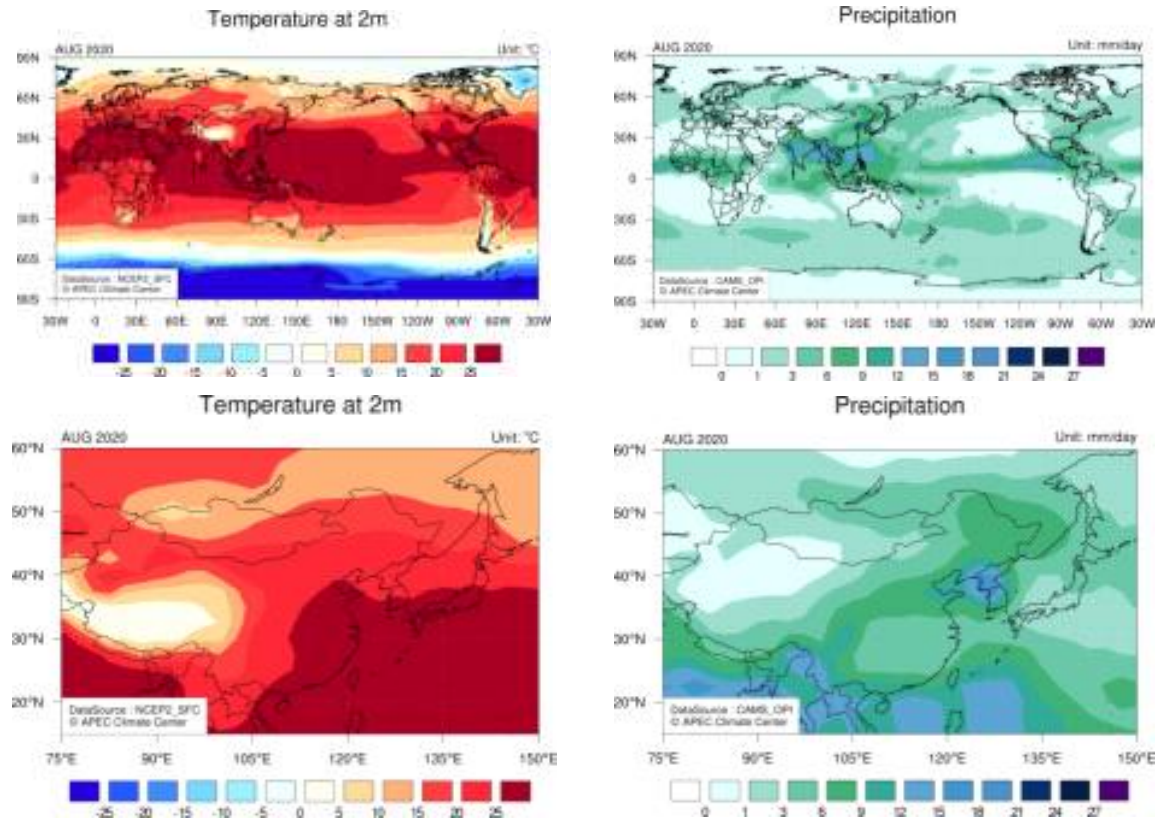


Figure 46. Monthly mean temperature and precipitation anomalies.

③ 월평균 기온 및 강수 순위표

해당 연도의 월평균 기온 및 강수의 순위를 나타낸 것으로 최근 기후의 변화 경향을 직관적으로 제시하는 콘텐츠를 제공하고자 하였다. 1991~최근 월 평균 기온값을 사용하였으며, 기온 및 강수의 순위표에서 1은 가장 덥거나 습한 해를 의미한다(Figure 47).

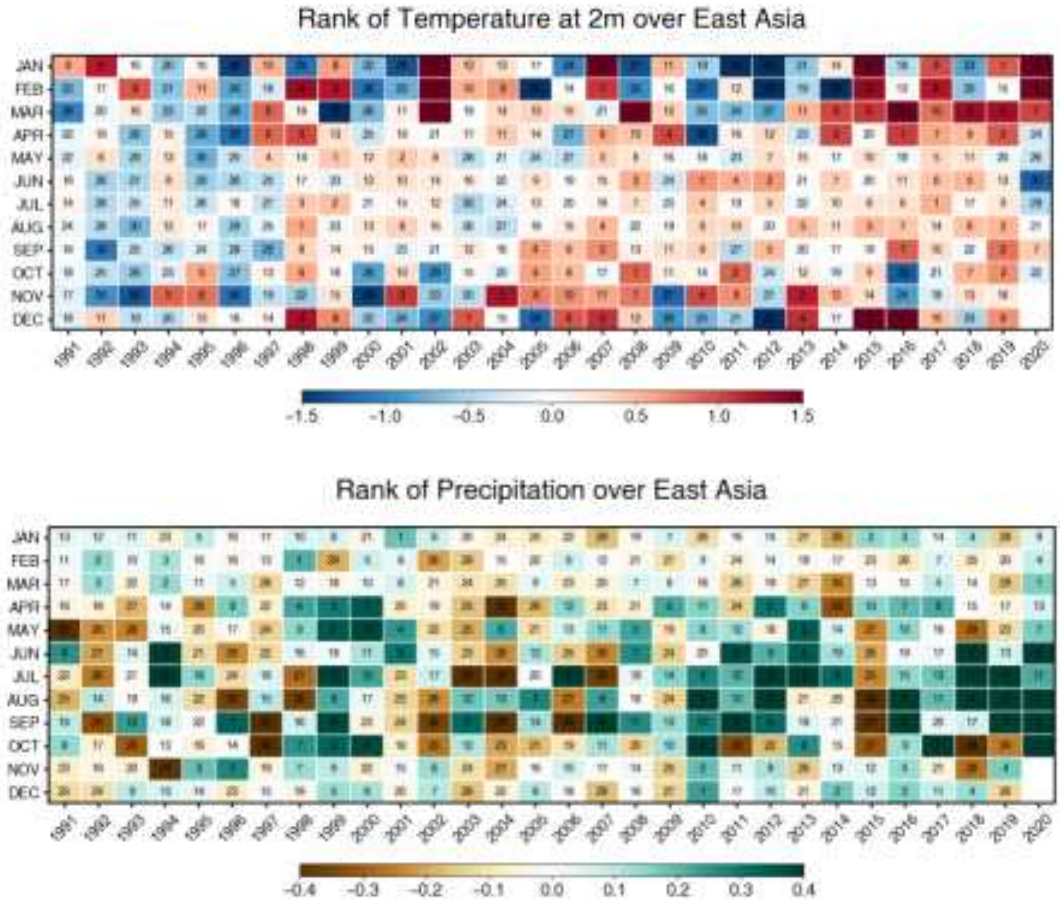


Figure 47. Rank tables of monthly mean temperature and precipitation over East Asia.

(나) MME 계절 예측/검증 종합지도 제공

APCC MME 기후정보 서비스 강화를 목적으로 사용자 친화적인 예측 콘텐츠를 개발하고 MME 계절 예측정보의 가시성/가독성을 증진 시키고자 하였다. Figure 48과 Figure 49은 기후전망 요약 지도 및 예측·검증정보 통합맵으로써, 매달 제공되는 APCC MME 계절 예측/검증 정보를 한눈에 쉽게 볼 수 있는 사용자 친화적 컨텐츠이다. 이러한 컨텐츠 제공은 MME 계절 예측정보의 가시성/가독성 증진에 기여할 것이라 기대하였다.

해당 계절의 Hincast 확률예측자료에 대한 HSS 값을 계산하여 HSS 값의 범위를 파이차트 크기로 표출하였으며, 강수와 기온의 예측스킬이 다르기 때문에 HSS 값의 크기는 변수에 따라 다르게 설정되었다. 총 14개 지역에 대한 정보를 제공하고 있으며 여기서 사용된 지역들 중 아프리카, 유럽을 제외한 12개 지역은 현재 APCC 검증영역으로 사용되는 지역과 동일하며 추가된 2개 지역은 WMO LRF (https://www.wmolc.org)에서 사용되는 검증영역이다(Table 6).

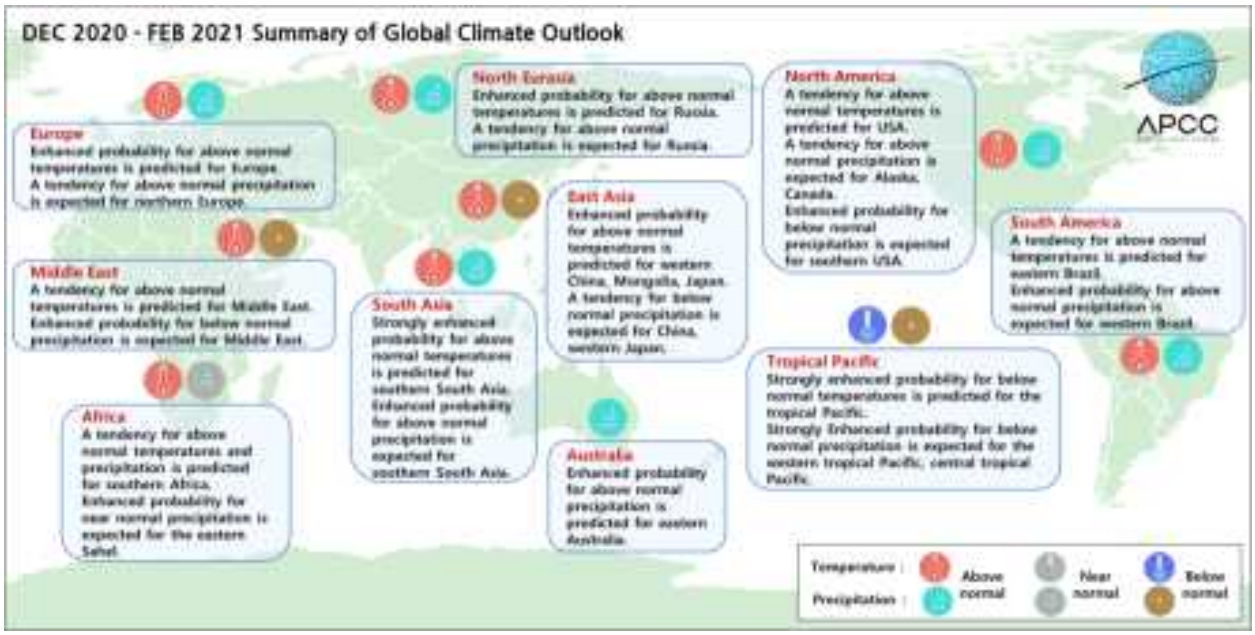


Figure 48. Summary map of global climate outlook by APCC.

Table 6. Definition of 14 regions for APCC MME prediction and verification.

지역	위도	경도
전지구	-90° ~ 90°	0° ~ 357.5°
열대	-20° ~ 20°	0° ~ 357.5°
북반구	20° ~ 90°	0° ~ 357.5°
남반구	-90° ~ -20°	0° ~ 357.5°
동아시아	15° ~ 60°	75° ~ 150°
남아시아	-10° ~ 35°	60° ~ 140°
북아메리카	10° ~ 75°	190° ~ 310°
남아메리카	-60° ~ 10°	270° ~ 330°
호주	-50° ~ 0°	110° ~ 180°
남태평양	-50° ~ 20°	110° ~ 260°
북유라시아	40° ~ 80°	25° ~ 190°
중동	10° ~ 45°	25° ~ 75°
아프리카	-40° ~ 40°	30° ~ 60°
유럽	30° ~ 75°	15° ~ 40°

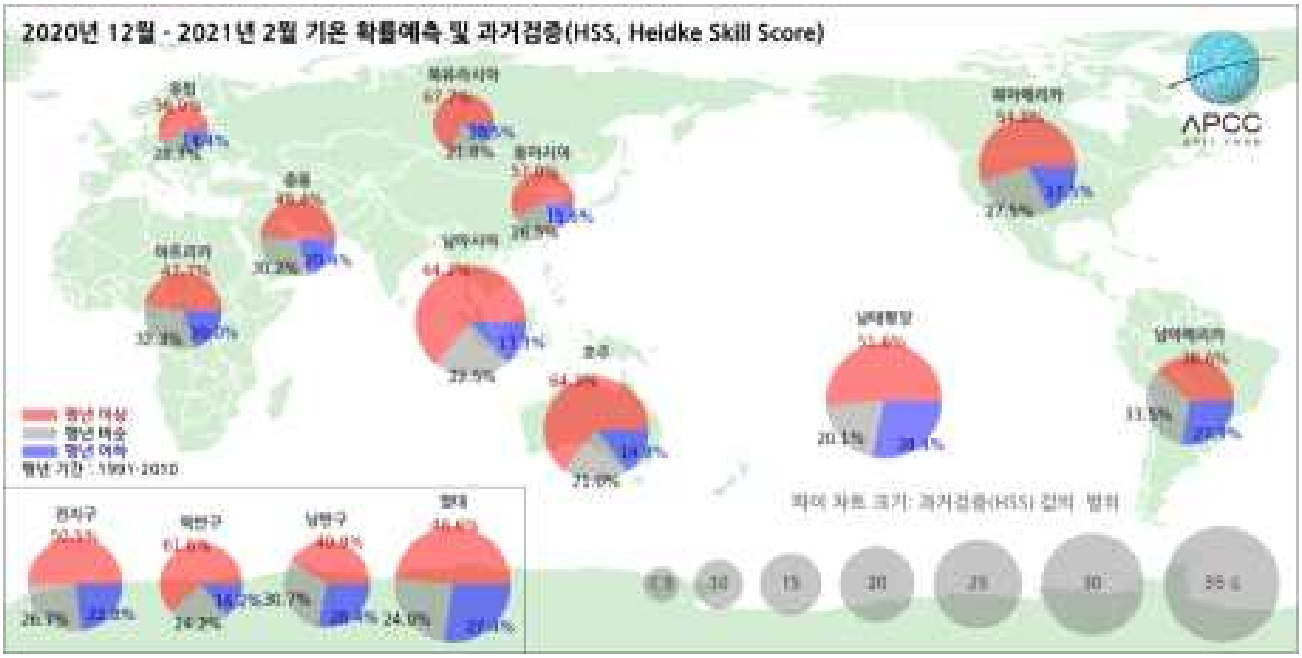


Figure 49. Summary maps of temperature and precipitation probabilistic MME forecast and hindcast Heidke Skill Score (HSS).

(나) ENSO 경보 제공

① 현황 및 필요성

APCC는 계절예측정보를 제공하는 타 기관과의 차별성 및 경쟁력 강화를 위해 예측정보를 좀 더 사용자 친화적이고 사용자 중심의 콘텐츠를 개발하여 제공할 필요가 있다. 이러한 노력의 일환으로, 현재 제공되고 있는 ENSO 확률예측정보와 더불어 사용자에게 보다

결정적이고 실행 가능한 유용한 정보가 되는 ENSO 경보 시스템을 개발하여 예측 정보를 제공하고자 하였다.

따라서 예측 콘텐츠 강화를 위해 개발된 APCC ENSO 경보 시스템 현업화를 통해 정기적으로 부가가치 예측정보를 생산/제공함으로써, APCC 기후정보서비스 강화를 통해 예측정보 활용성 및 유용성을 증대시키고자 하였다. 가장 최근까지 관측된 ENSO 현황 및 다중모델앙상블(MME)의 확률예측 정보를 통합하여 ENSO 경보 정보를 제공함으로써 ENSO 정보에 대한 양적, 질적 향상에 기여하고자 하였다. 또한 대외적으로는 매월 다양한 기관(NIWA[7], APCC, BOM[8], NOAA[9])의 ENSO 경보 결과를 수집/제공하는 태평양 지역기후센터[10] ENSO Tracker에 예측정보를 제공함으로써 APCC 예측정보의 활용도를 높이고자 하였다.

② 개발 내용

대부분의 타 기관은 ENSO 현황을 살펴 보기위해, 해양(SST, ONI) 뿐만 아니라 대기상태(SOI, trade wind 등)를 함께 살펴보고 있으나 해양과 달리 대기의 경우 기관별로 그 기준이 정량화되어 있지 않고 모호하며 전문가의 주관적인 판단으로 진단하고 있다. 이에 현재 APCC의 현업상황(전문가의 주관적 해석을 배제하고, 객관적인 정보만 활용하여 모든 현업단계를 자동화) 내에서 가장 적절한 방법의 ENSO 상태에 대한 기준을 정의하기 위해, 가장 최근까지 관측된 SST 및 ONI 지수를 활용[11]하고 그 지속기간까지 고려하여 다양한 민감도 실험을 진행하였다. 그리고 각 실험 결과를 대기 상태까지 반영한 타기관의 Historical ENSO 경보와 관측의 ENSO 상황을 상호 비교하여 가장 적합한 기준을 선정하였다.

APCC에서 개발한 ENSO 경보 시스템은 Nino3.4 구역의 해수면온도 현황과 MME ENSO 예측정보를 반영하여 Table 7의 단계별 정의에 따라 매달 ENSO 발달 상황을 7단계 카테고리로 제시하였다. 단, 이 결과는 APCC 확률 예보값을 바탕으로 생산되기 때문에 가용한 APCC 확률 예보 결과가 있는 기간에 한해 생산이 가능하다.

---

7) National Institute of Water and Atmospheric Research: 뉴질랜드 해양연구소
8) Bureau of Meteorology: 호주 기상청
9) National Oceanic and Atmospheric Administration: 미국 기상청
10) Pacific Regional Climate Center
11) 예측정보를 생산하기 2-3일전까지의 일별 해수면온도 상태 반영(즉, 1월 20일 생산하는 ENSO 경보 정보의 경우 1월 17~18일까지의 해수면온도 상태와 2-7월까지의 예측정보를 반영)

Table 7. Definition of APCC ENSO alert system

경보 단계	정의
엘니뇨 주의/경보 (El Nino)	(관측) 최근 5개월간 Nino34 구역의 해수면온도가 평년보다 0.5°C 이상, 최근 3개월간 ONI 0.5°C 이상 (예측) 향후 연속 4개월 엘니뇨 상태* 전망
엘니뇨 경계 (El Nino Alert)	(관측) 최근 3개월간 Nino34 구역의 해수면온도가 평년보다 0.5°C 이상, 최근 1개월간 ONI 0.5°C 이상 (예측) 향후 연속 2개월간 ONI 0.5°C 이상, 연속 3개월 70% 이상의 확률로 엘니뇨 상태 전망
엘니뇨 발달 (El Nino Watch)	(관측) 최근 1개월간 Nino34 구역의 해수면온도가 평년보다 0.5°C 이상 또는 최근 1개월간 ONI 중립** (예측) 향후 6개월 중 1개월이라도 ONI 0.5°C 이상, 연속 3개월 55% 이상의 확률로 엘니뇨 상태 전망
중립 (Inactive)	(관측) 엘니뇨 및 라니냐 발달 상황이 나타나지 않음 (최근 Nino34 구역의 해수면온도가 평년과 비슷하고, ONI 중립) (예측) 향후 엘니뇨 및 라니냐 발달 상황 나타나지 않음
라니냐 주의/경보 (La Nina)	(관측) 최근 5개월간 Nino34 구역의 해수면온도가 평년보다 -0.5°C 이하, 최근 3개월간 ONI -0.5°C 이하 (예측) 향후 연속 4개월 라니냐 상태*** 전망
라니냐 경계 (La Nina Alert)	(관측) 최근 3개월간 Nino34 구역의 해수면온도가 평년보다 -0.5°C 이하, 최근 1개월간 ONI -0.5°C 이하 (예측) 향후 연속 2개월간 ONI -0.5°C 이하, 연속 3개월 70% 이상의 확률로 라니냐 상태 전망
라니냐 발달 (La Nina Watch)	(관측) 최근 1개월간 Nino34 구역의 해수면온도가 평년보다 -0.5°C 이하 또는 최근 1개월간 ONI 중립 (예측) 향후 6개월 중 1개월이라도 ONI 0.5°C 이상, 연속 3개월 55% 이상의 확률로 라니냐 상태 전망

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

③ 적용 결과

APCC ENSO 경보 정보는 2020년 11월부터 제공되었고, Figure 50과 같이 월 1회 매월 20일경 MME 매월 예측 결과와 함께 홈페이지 및 기후전망을 통해 ENSO 경보 정보를 제공한다. 최종 산출물은 이미지 형태로 제공되며 매달 실시간 ENSO 경보와 최근 5년간 경보 현황은 각각 도표 및 테이블 형태로 자동 표출되고, 현업자가 선택하는 기간의 과거 월별 ENSO 경보 또한 제공할 수 있다. 홈페이지에서는 사용자의 이해를 돕기 위해 매달 ENSO 경보 결과에 대한 요약 설명을 추가 제시한다. 또한 대외적으로는 2020년 12월부터 NIWA를 통해 태평양 지역기후센터 ENSO Tracker에 정보를 제공하였다.

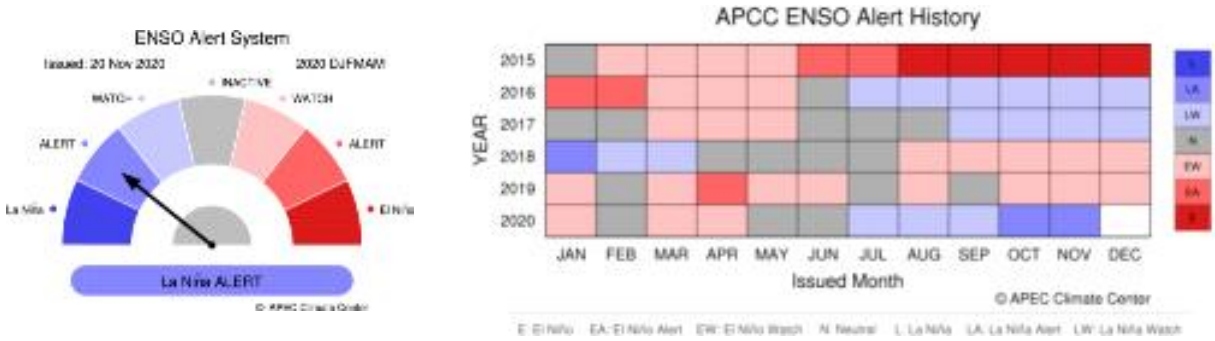
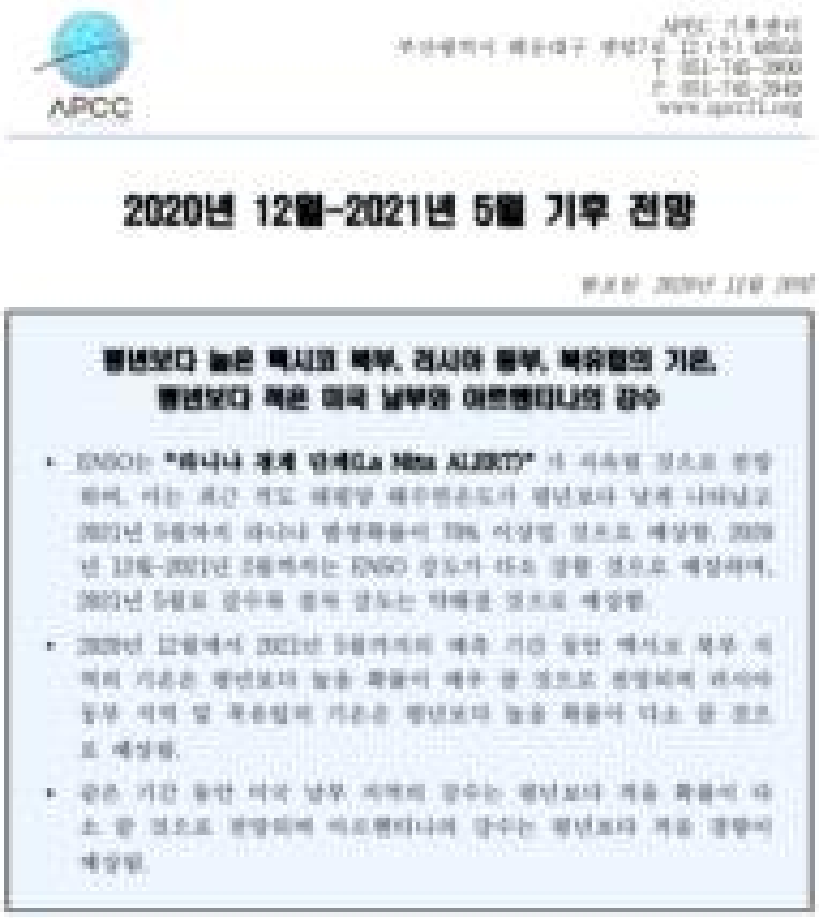


Figure 50. The status of real-time ENSO alert (left) and history (recent 5 years) of monthly ENSO alert (right).

(다) 국문 전구 기후전망

위에서 언급한 신규 컨텐츠와 품질 개선된 그래픽을 사용하여 국문 전구 기후전망을 제공하고자 하였다(Figure 51). 예측 및 검증정보 통합 지도 및 ENSO 경보 정보가 제시되었으며, 새롭게 생산된 예측 콘텐츠와 함께 전지구 기온 및 강수 예측의 요약 정보를 서두에 배치하여 가독성을 향상시키고자 하였다. 이러한 국문 전구 기후전망은 2020년 11월 20일부터 제공되었다.



2020년 12월-2021년 5월 기후 전망

Figure 51. Example of monthly outlook written in Korean.

다. APCC 계절예측시스템 개선

(1) 기후감시-예측-검증 통합시스템 구축

(가) AFS 현황 및 문제점 진단

AFS(Automated Forecast System; APCC 2008)는 APCC 설립 초기에 구축된 계절예측 시스템으로써 연 4회 계절(봄-겨울) 예측시스템으로 출발하여 연 12회 월별 예측시스템으로 예측 주기의 향상과 함께 3개월(12회/년)의 예측 기간에서 6개월(12회/년)의 예측 기간으로 예측 기간을 확장하였고, 2008년 과거예측(hindcast) 검증을 필두로 2014년 실시간예측(forecast) 검증 정보를 생산하는 시스템이 개발되었다(Min 2015). 또한, 기후 예측에서 중요하게 여기는 ENSO의 예측을 위하여 결정론적 MME 기법을 기반으로 한 아래와 같은 해수면온도 및 각종 ENSO 예측 지수(Table 8, Figure 52) 기반의 ENSO 예측 시스템의 개발이 2013년에 이루어졌고, 2018년 11월부터 ENSO 종류 및 강도 확률론적 예측 기법을 적용하는 등의 개발이 이루어져 왔다(Min et al. 2017) .

・예측지수 : Nino3, Nino3.4, Nino4, Nino1+2, IOD, WIOD, EIOD, EMI ・예측지수의 시계열 분포 (개별 모델 모든 앙상블 포함) ・예측지수의 수치값에 대한 표 및 그림 ・인도・태평양에서의 해수면 온도 아노말리 공간 분포 ・해수면 온도 아노말리의 Hovmoller diagram (경도-시간 cross section) ・ENSO(Nino3.4 기반) 종류 및 강도 확률 예측 정보

Table 8. Definition of SST Index.

Index	Definition (Region)
Nino index	Nino 1+2 (0-10° S, 80° -90° W) Nino 3 (5° S-5° N, 90° -150° W) Nino 4 (5° S-5° N, 150° -200° W) Nino 3.4 (5° S-5° N, 120° -170° W)
IOD index	IOD = WIOD - EIOD WIOD (10° S-10° N, 50° -70° E) EIOD (10° S-0° , 90° -110° E)
ENSO-Modoki index	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)

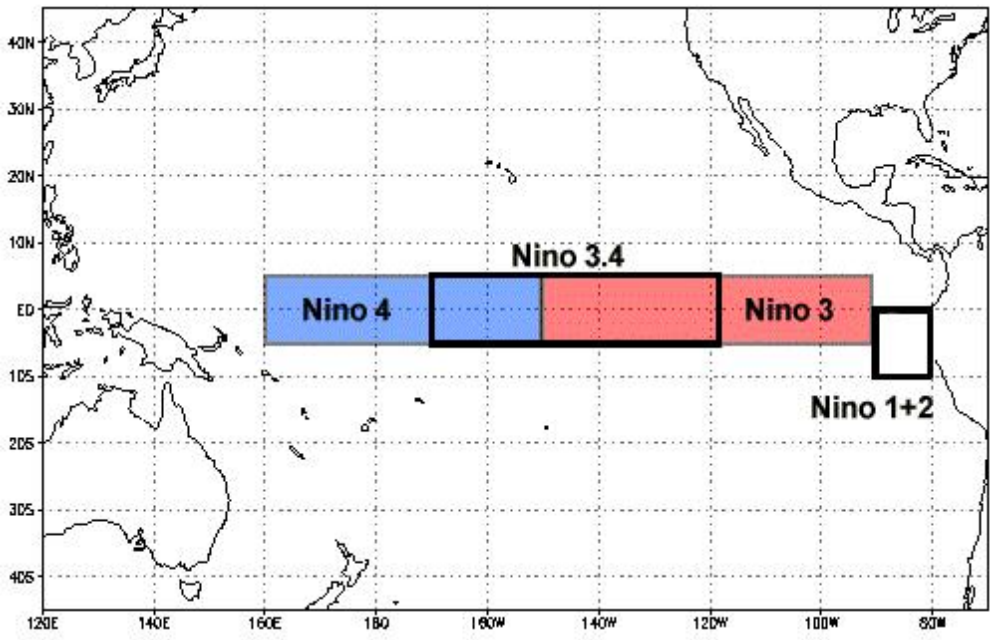


Figure 52. Region of ENSO index.

그 외의 다양한 기후예측정보 콘텐츠 확장을 더불어 크고 작은 개선들이 이루어져 왔으나,

기관 특성상 연구 중심의 성과 지향을 바탕으로 현업 개선 업무의 중요성과 관심이 비교적 소홀했던 문제를 더불어 급박한 현업 업무 일정으로 인하여 현업 담당자들의 편의에 의해 부분적으로 개선이 이루어져 왔다. 그 결과, 불필요한 단순 반복문이나 조건문, 무분별한 주석처리 등의 대체로 비체계적이며 비효율적으로 관리되어 왔다. 또한 담당자들의 선호하는 소프트웨어 중심으로 개선 및 개발이 이루어지면서 소스 코드의 이질적인 문제점과 함께 해당 소프트웨어의 단종 발생 가능성, 매뉴얼 등의 미흡으로 차기 담당자가 개선 및 개발하는데 어려움이 있는 실정이다.

기존 AFS는 하드웨어 및 소프트웨어의 시스템적인 한계에 대해서도 여러 가지 문제점들을 가지고 있다. 지속적으로 발전하는 최신 기술 동향이 반영된 시스템과 컴퓨팅 성능, 소프트웨어의 개발이 활발히 이루어지고 있는 가운데, 기존 AFS는 최초 개발 당시의 하드웨어 환경을 기준으로 낮은 버전의 소프트웨어와 해당 라이브러리를 유지하고 있다. 이러한 이유로 나날이 발전하고 있는 기후모델 예측자료를 처리하기 위한 기술들을 적용하는데 어려움이 있으며, 전체 시스템의 안정성 및 확장성의 제한이 있다. 뿐만 아니라, 기존 AFS 시스템의 독립성에 대한 시스템 보안성 문제도 제기되어 왔다.

사용자 편의성에 대한 문제점도 지적되어 왔다. 사용자가 원하는 기간 및 조건을 부여하는데 어려움이 있으며, 개별 시스템별 부분적으로 개발됨에 따라 시스템간 유기적이지 않은 문제 등이 제기되었다. 또한, 자동화를 고려하지 않아 매월 최소 163단계에 이르는 많은 물리적 작업과정을 수동으로 처리해야 하는 문제점도 있다.

이러한 여러 가지 문제로 기존 AFS는 안정성, 효율성, 확장성, 보안성, 편의성 등에 취약한 한계점들이 많았으며, 현업 운영을 보다 효율적이고 안정적이며, 체계적으로 운영하기 위해서는 기존의 시스템의 고질적인 문제를 개선하고 운영 방식을 능률적으로 대체함으로써 개선된 통합 시스템을 구축하여 차세대 AFS 현업 운영으로의 전환하기 위한 기반을 마련하여야 한다. 이에 시스템의 개선을 통해 통합 시스템을 구축하고, 구축된 통합 시스템의 안정성과 효율성을 진단하여 고품질의 계절예측자료의 신뢰성을 확보하고자 한다.

(나) AFS 시스템 개선 및 통합시스템 구축

(나) 절에서는 APCC에서 지난 2017년부터 수행되어 온 AFS 시스템 개선 사항을 종합하여 각 개선된 시스템을 유기적으로 통합하여 기후감시-예측-검증 통합 시스템 구축 사항을 서술하고자 한다.

① AFS 물리적 시스템 개선 사항

AFS는 기존과 달리 독립적인 현업운영 서버와 시스템을 구축하여 독립성을 우선 확보하였다. 기존 AFS는 일반 사용자와 동일한 시스템을 사용하면서 야기되는 여러 문제점들을 가지고 있었으나, 신규 AFS에는 현업 운영 담당자 및 개발자만이 접근 가능하면서 기존의 취약한 보안성을 강화하고 현업 운영의 독립성을 갖추게 되었다. 또한 비교적 최신의 시스템 OS가 설치된 시스템을 기반으로 기존보다 높은 사양의 컴퓨팅 성능과 높은 버전의 소프트웨어를 활용할 수 있다. 신규 AFS의 사양과 주요 소프트웨어의 정보는 아래와 같다.

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

■ 메모리
- 192GB

■ OS 운영체제
- Linux CentOS-7.0

■ Fortran compiler
- GNU 7.3.0

■ Python
- anaconda 3.7

■ NCL
- version 6.5.0 / 6.6.2

신규 AFS의 구조는 Figure 53과 같이 기존 AFS와 달리 독립적인 시스템임을 확인할 수 있다. 또한, 기존의 AFS는 현업 운영과 개선이 동시에 수행됨에 따라 현업의 안정성에 문제가 있었고, 체계적인 이력관리가 이루어지지 않았다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 신규 AFS 시스템은 Figure 53과 같이 현업 운영(/data02/OPER)과 개발(/data01/OPER)이 각각 독립적인 스토리지에서 수행되어 개발 작업이 현업 운영에 지장을 주지 않는 체계로 변경하였다. 또한 개발 작업을 선수행하고 현업에 후적용하는 체계를 마련하여 현업의 안정성을 높였다.

현업 담당자들의 편의와 선호하는 소프트웨어를 사용함으로써 발생되었던 코드의 이질성과 관리 및 운영 매뉴얼의 부재에 대한 미흡점을 보완하였다. 기존 AFS는 일부 프로그램들이 ruby로 작성되어 있으며, ruby 소프트웨어는 단종 혹은 개발 중단 발생 가능성이 대두되고 있는 점과 활용도가 낮은 소프트웨어로써 해당 프로그램에 대한 개선 및 개발에 어려움이 있었으나, 신규 AFS은 기후예측 분야에서 활용도가 높은 python과 ncl로 모든 세부 시스템에 일괄적으로 변환하였으며, 이로써 코드의 이질성 문제를 해결하고 시스템의 일관성도 확보하였다. 또한 운영 매뉴얼 작성 및 관리체계를 도입하여 현업 담당자가 변경되더라도 시스템을 쉽게 이해하고 수행할 수 있도록 하였다.

AFS 시스템의 세부 시스템은 각각 부분적으로 개발됨에 따른 시스템간에 유기적이지 못한 문제점과, 자동화를 고려하지 않고 개발하여 최소 163단계에 달하는 물리적 작업 단계를 수행해야 했던 문제점을 보완하기 위하여 단계적으로 각 세부 시스템을 자동화하여 단계 축소를 하였고 최종적으로 MME 예측-그래픽 작업-ENSO 예측-검증 시스템을 일괄적으로 처리하여 물리적 작업 단계를 최소화하였다.

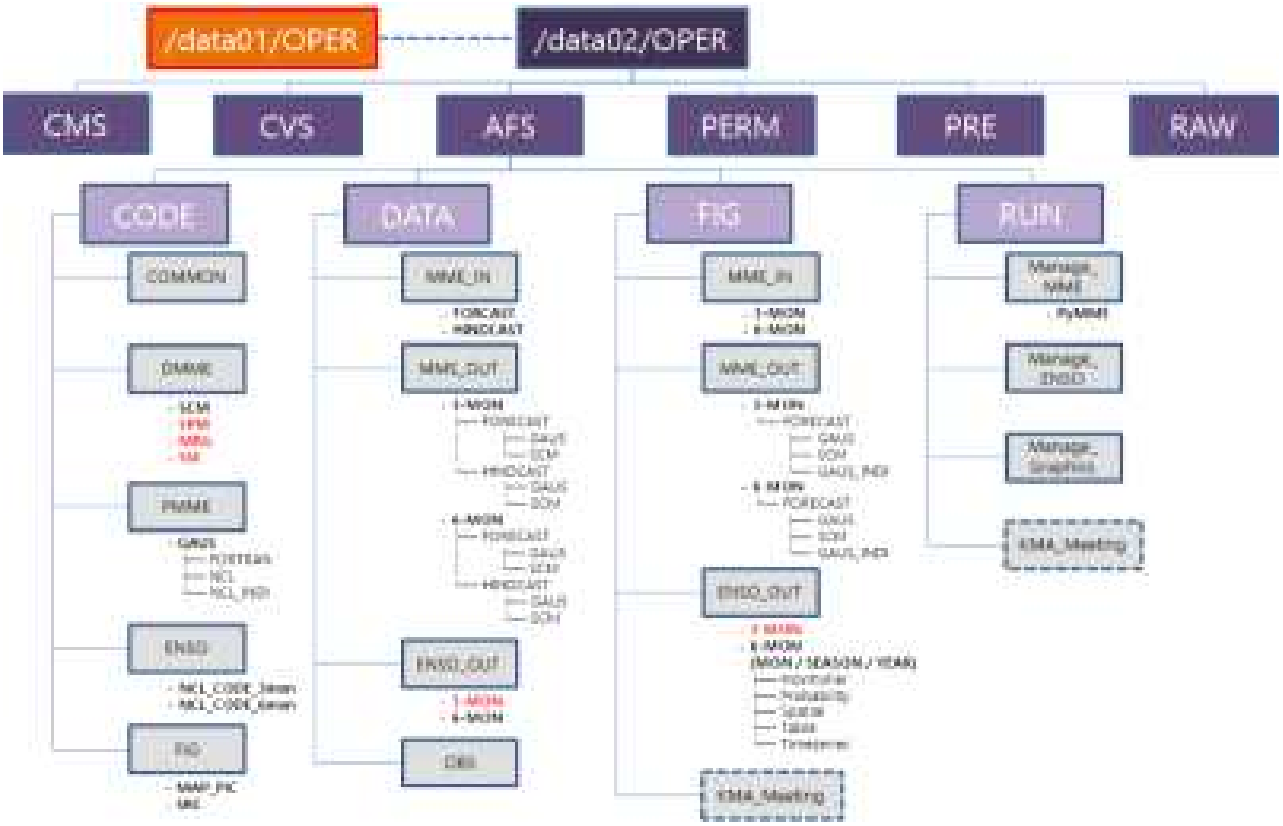
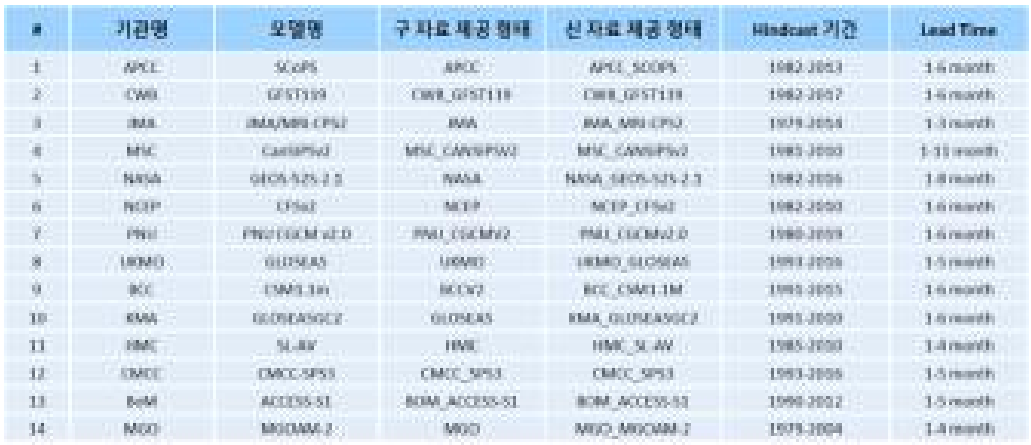


Figure 53. Configuration of new AFS system.

② AFS 개별모델 전처리 시스템 개선

기존 AFS은 개별모델의 개선, 확대, 프로그램 개발자의 성향에 따라 변수명, 프로그램 파일명을 달리 설정하여 개발 및 수정이 반복되어 왔으며, C-Shell, bash-shell, ncl, fortran, GrADS 등으로 개별모델 마다 다른 언어로 전처리 프로그램이 구성되어 있어 일관성이 없는 문제점이 있었다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 모든 개별모델 전처리에 활용되는 sub 프로그램을 공통으로 일원화하고, python과 ncl로 언어 변환을 수행하였다. 또한 기존 AFS는 개별모델 예측자료를 GrADS binary 형태로 1차 가공 처리를 한 후 NetCDF 형식으로 표준화 작업을 수행하는 불필요한 과정을 반복적으로 처리하는 등의 비효율적인 방식이었으나, 신규 AFS는 원시자료를 바로 NetCDF 형식으로 처리하는 방식으로 변경되었다.

또한 기존 표준화 과정은 APCC 계절예측자료 제공 방식에 따라 3개월과 6개월의 lead time 단위로 산출하도록 하였으며, 4-5개월의 lead time을 제공하거나 6개월 보다 긴 lead time을 제공하는 개별모델이 있음에도 불구하고 제한적인 예측정보를 제공하는 실정이었으나, 신규 AFS는 Figure 54와 같이 개별모델이 보유하는 모든 lead time을 전체 제공하는 방식으로 변경되었다. 또한, 3개월과 6개월의 구분 없이 디렉터리의 구조를 간편화하였다.



#	기관명	모델명	구 자료 제공 형태	신 자료 제공 형태	Hindcast 기간	Lead Time
1	APCC	SCoPS	APCC	APCC_SCOPS	1982-2053	1-6 month
2	CWB	GFST119	CWB_GFST119	CWB_GFST119	1982-2057	1-6 month
3	JMA	JMA/MRI-CPS2	JMA	JMA_MRI-CPS2	1979-2054	1-3 month
4	MSC	CanSIPSv2	MSC_CANSIPSv2	MSC_CANSIPSv2	1983-2030	1-11 month
5	NASA	GEOS-S2S-2.1	NASA	NASA_GEOS-S2S-2.1	1982-2026	1-8 month
6	NCEP	CFSv2	NCEP	NCEP_CFSv2	1982-2030	1-6 month
7	PNU	PNU CGCM v2.0	PNU_CGCMv2	PNU_CGCMv2.0	1980-2059	1-6 month
8	UKMO	GLOSEA5	UKMO	UKMO_GLOSEA5	1993-2016	1-5 month
9	BCC	CSM1.1m	BCCv2	BCC_CSM1.1M	1993-2055	1-6 month
10	KMA	GLOSEA5GC2	GLOSEA5	KMA_GLOSEA5GC2	1993-2030	1-6 month
11	RMC	SL-AV	RMC	RMC_SL-AV	1985-2030	1-4 month
12	CMCC	CMCC-SPS3	CMCC_SPS3	CMCC_SPS3	1993-2016	1-5 month
13	BoM	ACCESS-S1	BOM_ACCESS-S1	BOM_ACCESS-S1	1990-2012	1-5 month
14	MGO	MGOAM-2	MGO	MGO_MGOAM-2	1979-2008	1-4 month

Figure 54. Changes to individual model forecasts for new AFS.

개별모델 예측자료에 포함되는 attribute의 정보도 개선하였다. 기존 개별모델 예측자료는 내부적으로 정하는 비공식 디렉터리 명을 따라 기관명과 모델명이 혼재되어 제공되었으며, 모델이 개선되거나 변경되어 모델명이 바뀌는 경우를 포함하여 자료 내 attribute 정보에 불명확한 모델 정보를 제공하여 왔다. 신규 AFS는 이러한 문제점을 보완하기 위하여 기관명과 모델명을 모두 함께 제공하며, 직관적이고 일관적으로 자료 내 정보 내용을 통일하였다.

③ AFS MME 예측 시스템 개선

(나)-②와 같이 개별모델 전처리 과정 개선과 유사하게 MME 예측 자료를 생산하는 sub 프로그램을 공통적으로 일원화하였으며, 기존 ruby로 작성된 소스 프로그램과 MME 참여 모델을 구성하는 프로그램 등 python으로 언어 변환을 수행하였다. 또한, MME 예측 자료 내 포함되어 있는 불분명한 참여 모델명 정보를 기관명과 모델명으로 분리하여 직관적으로 제공할 수 있도록 변경하였고, MME 각 기법별 참고문헌 정보를 함께 제공하여 MME 기법에 대한 상세 설명을 확인할 수 있도록 개선하였다.

기존 MME 예측 시스템은 forecast와 hindcast, 3개월과 6개월, 월별과 계절별로 분리하여 작업을 여러번 수행한 반면, 신규 AFS MME 예측 시스템은 일괄적으로 처리하여 물리적 단계를 축소하였다.

④ AFS ENSO 예측 시스템 개선

기존 AFS ENSO 예측시스템은 bash shell 기반의 메인프로그램과 NCL 기반의 각종 부프로그램으로 구성되어졌으나, MME 예측 시스템과 유기적으로 통합하기 위하여 python으로 작성된 메인프로그램과 기존의 불필요한 코드들을 간편히 정리한 NCL 부프로그램으로 구성되도록 하였다. 또한, 기존 AFS ENSO 예측시스템은 오랫동안 MME 예측시스템 등과 이질적인 경로에서 작업이 이루어졌으며, 생산되는 자료 또한 개별 및 MME 예측자료와 동떨어진 경로에 저장되는 문제점을 개선하고자 MME 예측시스템과 동일한 level의 경로에서 수행할 수 있도록 변경하였고, 생산되는 자료 또한 MME_OUT과 동일한 level의 ENSO_OUT이라는 디렉터리 명으로

제공된다.

더불어 ENSO 예측 시스템 내 개별모델별 ENSO 예측 지수의 그래픽 자료를 생산하는 과정에서 많은 수행 시간을 소비하였으나, 신규 AFS ENSO 예측 시스템은 코드 내 병렬화를 적용하여 작업 수행 시간을 크게 단축시켰다.

⑤ AFS 그래픽 시스템 개선

기존 AFS 그래픽 시스템은 그래픽 자료를 생산하기 위하여 전체 AFS 시스템 중 가장 많은 메모리 리소스를 사용하는 시스템이다. 그러나 기존 AFS의 시스템 환경은 하드웨어적 성능상의 문제로 모든 작업을 한꺼번에 수행할 경우 리소스 부족으로 인한 불규칙적인 오류를 발생하며 작업이 중단되는 문제점이 있었다. 이에 지역별 예측 정보를 제공하는 12개 지역 중 3~4개의 그룹으로 나누어 작업을 수행해 왔으며, 애초에 가장 오랜 작업시간을 보이는 과정임에도 불구하고 시스템이 불안정하거나 리소스의 문제로 작업 시간이 더욱 지연되어 담당자가 정상 수행 여부를 수동으로 확인하여야 하는 비효율적인 문제점이 있었다. 하지만 신규 AFS는 컴퓨팅 성능과 높은 버전의 소프트웨어를 활용할 수 있도록 개선됨에 따라 해당 문제가 자연히 해결되면서 굳이 지역을 소단위로 나누어 작업을 수행하지 않더라도 일괄 지역에 대해 작업이 수행될 수 있게 되었다. 또한, 3개월 6개월, 월별과 계절별로 나누어 작업하는 비효율적인 작업 방식에서 일괄 처리하는 방식으로 개선하여 작업 단계를 축소시켰다.

⑥ AFS 검증 시스템 개선

검증 자료에 사용되는 관측 자료는 직접 각 자료별로 수집하여 여러 단계의 전처리 및 표준화 과정을 거쳤으나, APCC 내부의 APCCDB 데이터 베이스와 python 메인 프로그램을 통하여 일괄적으로 처리할 수 있도록 개선하였다. 또한, 기존의 관측자료는 자료별 재격자 방식이 상이하거나 문제의 소지가 있는 방식을 사용하는 문제점이 있었으나, xesmf regrid 방식을 일괄적으로 적용하여 재격자 방식을 통일하였다. 자료 업데이트 여부에 따라 자료별 수동으로 처리도 가능하며, 일정 시기를 정하여 자동으로 수집이 가능하도록 구성하였다.

기존의 검증시스템은 C-Shell 기반의 메인프로그램과 NCL 기반의 부프로그램으로 구성되어져 있으며, 신규 검증시스템은 다른 시스템과의 유기적으로 통합하기 위하여 python과 NCL로 변환하였다. 더불어 기존 AFS에서는 현업 코드를 강제적으로 수정하여 수행한 반면, 신규 AFS는 사용자가 원하는 기간과 검증 스킬을 설정하여 독립적으로 수행할 수 있도록 개선되었다. 또한 검증 작업이 수행되면 사용되는 NCL 파일이 NCL 디렉터리에 자동 생성되어 해당 파일을 통하여 사용자가 자유롭게 수정이 용이하다.

다른 시스템과 마찬가지로 결정론적, 확률론적 MME 예측에 대하여 각 검증 특성에 맞게 (forecast/hindcast) 일괄적으로 처리하여 작업 단계를 축소하고, 사용자의 수동 개입을 현저히 줄였다.

⑦ AFS 감시 시스템 개선

기존의 AFS 기후 감시 시스템은 APCC 자료 제공 서비스인 ADSS에서 제공하는 관측자료를 기반으로 감시자료를 생산하였다. 이에 기존 감시 시스템은 ADSS에 의존적일 수밖에 없으

며, 기후값 변경 등의 자료 설정을 바꿀 경우 AFS와 ADSS 양쪽의 프로그램을 수정해야하는 고질적인 문제점이 있었다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 자료 수집 및 처리까지 일괄적으로 수행할 수 있는 python 및 NCL 기반의 독립적인 시스템을 구축하였다. 개선된 감시 시스템은 사용자가 원하는 기간 설정이 가능하고, 타 기후변수를 추가하기 쉬운 장점으로 업무 효율성을 높이고 시스템의 확장성과 유연성을 강화하였다.

⑧ 기후감시-예측-검증 통합 시스템 구축

(나)-①절부터 (나)-⑦절까지의 각 시스템 별 개선을 통하여 python과 NCL 프로그램으로만 활용하여 시스템간 유기적인 통합 시스템을 구축하였다. 신규 기후 감시 시스템 또한 python과 NCL로 타 시스템과 동일한 일관성을 확보한 시스템으로써 crontab을 활용하여 주별, 월별 자동 수행이 가능해졌다.

최종적으로 기후 감시 - MME 예측 - 개별 및 MME 그래픽 - ENSO 예측 - 검증 시스템을 순차적으로 수행할 수 있도록 통합 프로그램을 구축하여 최소의 작업 단계로 모든 예측 정보가 생산이 가능해졌으며, 로그(LOG)관리를 통하여 작업 수행 시간을 측정하고 오류 사항을 확인하는데 용이해졌다.

(다) 개선된 기후감시-예측-검증 통합 시스템 안정성 및 효율성 평가

개선된 통합 AFS 시스템을 현업에 적용하기 위해서는 개선 전/후 예측 결과가 동일해야 하며, 기존의 AFS 시스템보다 효율성을 확보하여야 하는 전제가 필요하다. 이에, 개선된 통합 AFS 시스템의 안정성과 효율성을 평가하여 통합 AFS 시스템의 안정성 확보를 비롯한 개선 효과를 진단하고자 한다.

① 개선된 기후감시-예측-검증 통합 시스템 안정성 평가

먼저 MME 예측 시스템에 대하여 무작위로 선택한 케이스에 대해 안정성평가를 수행하였다. MME 예측 시스템의 안정성 평가를 통하여 개별모델 전처리 시스템을 함께 평가할 수 있다. Table 9와 10은 각각 SCM과 GAUS의 실시간 예측 자료에 대한 anomaly correlation coefficient (ACC)와 공간적 오차인 root mean square difference (RMSD)를 변수 및 lead time 별로 나타낸 표이다. ACC의 경우 SCM과 GAUS 모두 1로써 두 시스템에서 생산된 예측 결과가 공간적 변동성이 일치한 것을 의미하며, RMSD의 경우 SCM은 모두 0으로써 두 시스템간 차이가 없는 것으로 나타나나, GAUS는 소수점 5~6자리 수에 해당하는 매우 작은 오차가 발생하였다. 하지만 이 오차는 유의하지 않은 매우 작은 오차로써 하드웨어 및 소프트웨어적 시스템 차이에서 비롯한 오차인 것으로 사료된다. 따라서 신규 AFS MME 예측시스템은 안정적으로 개선된 것을 알 수 있다.

Table 9. Anomaly correlation coefficient (ACC) of each variable for real-time forecast of SCM and GAUS produced on old AFS and new AFS systems.

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

Table 10. Same as Table 9 except for root mean square difference (RMSD).

	SCM				GAUS			
	LT1	LT2	LT3	Mean	LT1	LT2	LT3	Mean
prcp	0.000	0.000	0.000	0.000	1.32E-06	3.12E-06	3.55E-06	4.17E-06
t2m	0.000	0.000	0.000	0.000	1.12E-05	4.06E-05	1.23E-05	1.49E-05
slp	0.000	0.000	0.000	0.000	2.06E-06	1.68E-06	8.23E-05	2.97E-05
t850	0.000	0.000	0.000	0.000	1.03E-05	1.63E-05	1.55E-05	1.81E-05
z500	0.000	0.000	0.000	0.000	1.66E-05	1.68E-05	1.93E-05	1.20E-05
u850	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-	-	-
v850	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-	-	-
u200	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-	-	-
v200	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-	-	-

과거예측(hindcast) 자료에 대해서도 시공간적인 안정성 평가를 하기 위하여 temporal correlation coefficient (TCC)와 시간적 RMSD, 공간적 RMSD를 통해 분석하였다. 그 결과 실시간 예측과 동일하게 SCM과 GAUS 모두 공간적 오차는 모두 0으로 나타났고, 공간적 ACC도 모두 1로써 공간 변동성이 일치한 자료임을 확인하였다. 그러나 GAUS의 경우 시간적 RMSD가 아주 적은 오차가 산발적으로 나타나는데 이는 소수점 4~5자리의 값으로써 유의하지 않은 차이라고 봐도 무방하다(Figure 55).

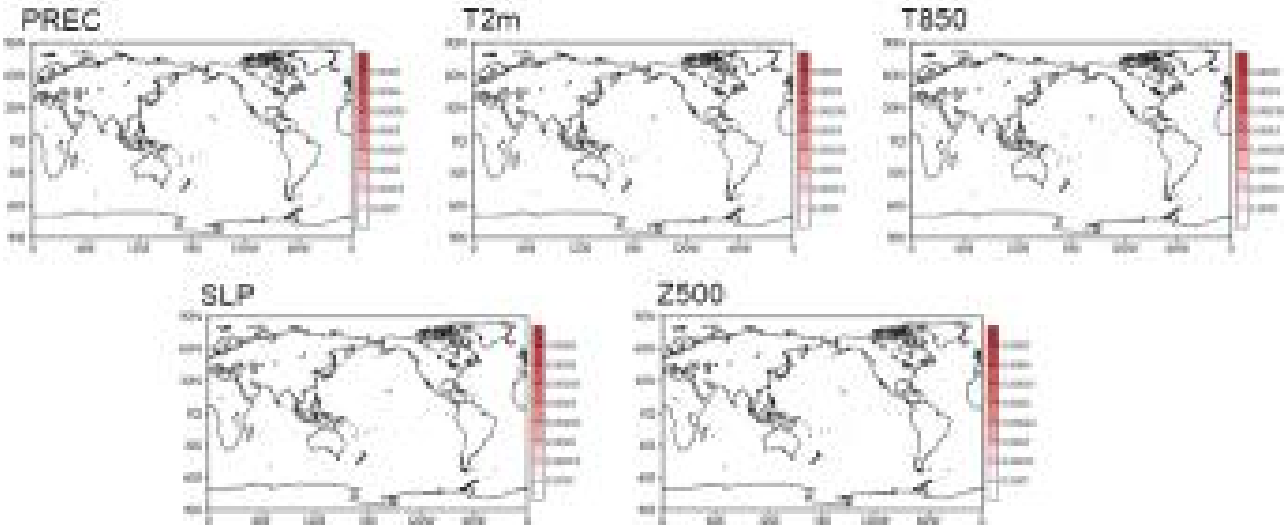


Figure 55. Temporal correlation coefficient (TCC) of each variable for hindcast (1983-2010) of SCM and GAUS produced on old AFS and new AFS systems.

해수면 온도와 nino3.4 지수에 대해서도 동일한 안정성 평가를 수행한 결과(Figure 56) 시간적인 오차(RMSD)에 대하여 아주 작은 차이가 나타났으나 이 또한 시스템간 하드웨어 및 소프트웨어의 차이로 추정된다.

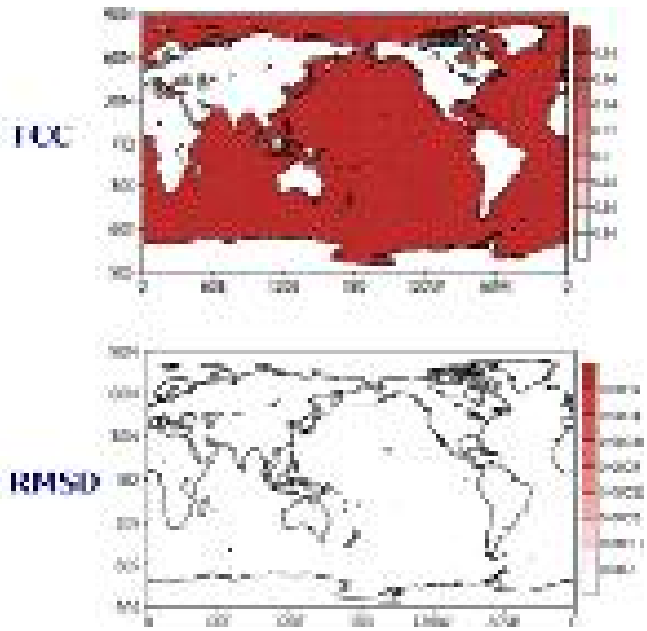


Figure 56. Temporal correlation coefficient (TCC) and root mean square difference (RMSD) of sea surface temperature for hindcasts (1983-2010) of SCM and GAUS produced on old AFS and new AFS systems.

신규 기후 검증 시스템에 대해서는 기존 AFS와 주요 검증 스코어별 차이를 비교하였다.

먼저 Table 11~14와 같이 실시간 예측에 대한 계절 평균 ACC 검증 스코어에 대하여 두 시스템간 각 변수별 검증지역별 차이를 나타내었다.

Table 11. Regional anomaly correlation coefficient (ACC) of temperature at 2m for individual models and SCM produced in old AFS and new AFS systems.

	Individual Model							MME
REGION	APCC	CWB	MSC	NASA	NCEP	PNU	BOM	SCM
1	-4.77E-07	1.828E-05	-1.97E-06	-2.38E-07	8.941E-07	3.576E-07	8.941E-07	5.96E-07
2	-1.19E-07	1.451E-05	-2.21E-06	7.153E-07	1.132E-06	1.371E-06	1.669E-06	4.172E-07
3	-1.01E-06	3.725E-06	0	-3.58E-07	1.49E-06	4.172E-07	-1.31E-06	7.153E-07
4	-1.22E-06	5.037E-05	-2.92E-06	-1.37E-06	-1.73E-06	-2.38E-07	-1.34E-07	-1.49E-06
5	2.384E-07	2.98E-07	-7.75E-07	0	4.172E-07	-8.34E-07	2.98E-07	2.98E-07
6	1.013E-06	1.365E-05	-1.31E-06	-1.55E-06	-1.79E-07	-2.32E-06	1.431E-06	-4.17E-07
7	3.204E-07	1.661E-05	-1.31E-06	1.132E-06	5.96E-08	7.749E-07	7.153E-07	4.768E-07
8	4.545E-07	1.875E-05	4.768E-07	5.402E-07	-8.72E-07	-6.3E-07	1.431E-06	-2.53E-07
9	-2.24E-06	1.52E-05	-3.1E-06	-2.38E-07	-4.77E-07	1.252E-06	-9.83E-07	-1.07E-06
10	-3.28E-06	1.15E-05	-3.04E-06	-7.15E-07	-5.36E-07	2.384E-07	-1.97E-06	-5.36E-07
11	-4.47E-07	1.977E-05	-1.19E-06	-2.98E-07	-2.38E-07	-1.79E-07	1.252E-06	-5.96E-08
12	2.831E-07	5.066E-06	-2.89E-06	-1.37E-06	4.709E-06	1.192E-06	2.682E-07	2.98E-07

Table 12. Same as Table 11 except for precipitation.

	Individual Model							MME
REGION	APCC	CWB	MSC	NASA	NCEP	PNU	BOM	SCM
1	-4.17E-07	-1.61E-06	-1.73E-06	-7.15E-07	-2.59E-06	-8.2E-07	-2.35E-07	-2.38E-06
2	1.341E-07	8.196E-08	-8.34E-07	7.637E-08	-4.47E-07	7.451E-08	-1.19E-07	-1.64E-07
3	5.96E-08	7.451E-08	-1E-08	6.17E-08	-4.47E-08	8.941E-08	7.451E-09	9.686E-08
4	1.192E-07	-4.77E-07	-3.87E-07	1.788E-07	-1.19E-07	-3.87E-07	-1.86E-08	-8.94E-08
5	-2.98E-07	-2.98E-08	2.086E-07	-8.2E-08	-2.05E-08	-2.24E-08	0	1.192E-07
6	1.192E-07	-2.09E-07	5.96E-08	-2.68E-07	1.788E-07	-4.77E-07	1.192E-07	-2.98E-07
7	-1.79E-07	6.706E-08	-1.04E-07	1.043E-07	-1.19E-07	2.235E-07	-4.47E-07	1.788E-07
8	-4.47E-08	-5.22E-08	5.96E-08	3.062E-08	1.341E-07	8.941E-08	-1.49E-08	8.941E-08
9	-1.79E-07	1.192E-07	-5.96E-08	4.47E-08	-1.19E-07	-1.49E-08	-1.79E-07	1.341E-07
10	-2.98E-08	-4.47E-07	1.49E-07	-2.24E-08	-1.79E-07	1.001E-08	4.47E-08	-5.96E-08
11	7.451E-08	-1.27E-07	3.576E-07	-7.45E-09	-2.09E-07	1.527E-07	7.451E-09	1.49E-08
12	1.676E-08	1.341E-07	1.937E-07	5.96E-08	2.328E-08	-7.45E-09	-1.49E-07	2.384E-07

Table 13. Same as Table 11 except for temperature at 850hPa.

	Individual Model							MME
REGION	APCC	CWB	MSC	NASA	NCEP	PNU	BOM	SCM
1	2.682E-07	3.278E-07	1.371E-06	0.0005226	-8.94E-07	1.967E-06	-4.17E-07	1.013E-06
2	4.768E-07	-1.46E-06	2.384E-07	0.0007924	5.364E-07	3.576E-07	-3.28E-07	1.55E-06
3	-3.87E-07	5.96E-08	1.788E-07	0.0002087	-8.34E-07	6.557E-07	2.384E-07	5.364E-07
4	1.997E-06	2.831E-06	1.073E-06	-2.43E-05	2.98E-06	8.047E-07	4.619E-07	1.669E-06
5	2.98E-07	5.96E-08	0	0.0072251	4.172E-07	5.96E-08	-6.56E-07	1.192E-07
6	9.835E-07	-4.23E-06	3.099E-06	0.012096	4.768E-06	-1.07E-06	2.98E-08	2.265E-06
7	1.013E-06	-1.03E-06	1.311E-06	0.0002683	8.643E-07	3.576E-07	5.662E-07	1.013E-06
8	1.192E-06	-1.28E-06	1.848E-06	1.758E-06	2.027E-06	1.222E-06	2.682E-07	1.431E-06
9	-1.46E-06	8.345E-07	-6.56E-07	8.941E-07	1.431E-06	1.669E-06	-4.98E-06	1.371E-06
10	-4.17E-07	1.132E-06	-2.68E-07	1.848E-06	2.027E-06	1.252E-06	-9.09E-07	1.431E-06
11	-4.47E-07	-3.25E-06	-8.34E-07	0.0007398	-8.94E-07	3.576E-07	-2.38E-07	-5.36E-07
12	6.683E-06	4.172E-07	-1.88E-06	-0.000144	2.027E-06	1.162E-06	-1.22E-06	8.047E-07

Table 14. Same as Table 11 except for geopotential height at 500hPa.

	Individual Model							MME
REGION	APCC	CWB	MSC	NASA	NCEP	PNU	BOM	SCM
1	-8.34E-07	-1.19E-07	-4.29E-06	-1.55E-06	5.96E-07	2.682E-07	-8.94E-07	-3.58E-07
2	-3.87E-07	-7.9E-07	-3.28E-06	-1.13E-06	-5.96E-08	1.008E-06	8.345E-07	1.907E-06
3	-1.55E-06	1.788E-07	-2.56E-06	-5.96E-08	2.384E-07	-1.91E-06	-1.97E-06	1.073E-06
4	1.192E-06	4.083E-06	-4.77E-07	1.192E-06	1.192E-07	3.576E-07	8.047E-07	4.172E-07
5	-1.31E-06	4.172E-07	-2.68E-06	2.98E-07	2.384E-07	5.96E-08	1.192E-07	0
6	5.364E-07	-3.76E-06	-3.99E-06	-2.38E-07	1.252E-06	-5.96E-07	7.451E-07	-5.96E-08
7	2.98E-07	8.941E-08	5.96E-08	1.013E-06	5.96E-07	1.08E-06	9.537E-07	1.192E-06
8	-1.25E-06	2.98E-08	-3.76E-06	-1.19E-07	9.537E-07	8.941E-07	-9.83E-07	-1.79E-07
9	-5.66E-07	-1.45E-07	-9.48E-06	1.192E-06	2.146E-06	8.047E-07	5.662E-07	1.013E-06
10	-5.07E-07	-1.23E-07	-6.2E-06	1.252E-06	7.749E-07	9.537E-07	6.855E-07	4.768E-07
11	-4.17E-07	-2.44E-06	-1.49E-06	1.192E-06	8.345E-07	1.431E-06	3.576E-07	1.132E-06
12	-8.64E-07	-5.96E-07	-1.95E-05	-2.38E-07	-7.75E-07	5.96E-07	9.835E-07	2.98E-07

과거예측에서도 마찬가지로 전 지역, 모든 변수에 대하여 소수점 5~7자리의 오차로써 두 검증 시스템 간에 거의 일치한 결과를 나타내었다.

다음으로 확률론적 예측의 ROC (relative operating characteristics) 검증 스코어에 대하여 두 시스템간의 차이를 살펴보았다. Table 15~18은 실시간 예측의 ROC 검증 스코어 차이를 lead time 별, 지역별, 각 변수별로 나타내었으며, AN은 Above Normal, NN은 Near Normal, BN은 Below Normal을 의미한다. 모든 비교 결과, 차이가 없거나 소수점 4~7자리의 작은 오차가 나타나면서 두 시스템에서 생산된 ROC 스코어는 거의 동일한 결과임을 보였다.

Table 15. Regional relative operating characteristics (ROC) score of temperature at 2m for real-time forecast of PMME (GUAS) produced in old AFS and new AFS systems.

	Lead Time 1			Lead Time 2			Lead Time 3		
Region	AN	NN	BN	AN	NN	BN	AN	NN	BN
1	0.000102	0	0	0	0	0	0	1E-07	1E-07
2	0	0	1E-07	-1E-07	0	-1E-07	0	0	0
3	5.17E-05	0	1E-07	-1E-07	1E-07	0	0	0	0
4	0.000443	-1E-07	1E-07	0	-1E-07	0	-1E-07	-1E-07	0

Table 16. Same as Table 15 except for precipitation.

	Lead Time 1			Lead Time 2			Lead Time 3		
Region	AN	NN	BN	AN	NN	BN	AN	NN	BN
1	1E-07	2.2E-06	-1E-07	3E-07	8E-07	8E-07	1E-07	0	1.5E-06
2	-1E-07	8E-07	-1E-07	6E-07	5E-07	2.1E-06	-1E-07	1E-07	1.2E-06
3	0	0	-7E-07	0	-1E-07	1E-07	1E-07	-1E-07	2.7E-06
4	0	1.41E-05	0	-1E-07	4.8E-06	1E-07	0	0	0

Table 17. Same as Table 15 except for temperature at 850hPa.

	Lead Time 1			Lead Time 2			Lead Time 3		
Region	AN	NN	BN	AN	NN	BN	AN	NN	BN
1	8.1E-06	0	0	1E-07	0	0	-1E-07	0	1E-07
2	0	0	0	0	0	-1E-07	0	0	0
3	-1E-07	0	0	0	0	-1E-07	-1E-07	1E-07	0
4	6.33E-05	-1E-07	0	0	0	0	0	0	0

Table 18. Same as Table 15 except for geopotential height at 500hPa.

	Lead Time 1			Lead Time 2			Lead Time 3		
Region	AN	NN	BN	AN	NN	BN	AN	NN	BN
1	0	0	1E-07	1E-07	0	0	0	1E-07	0
2	1E-07	-1E-07	0	0	0	0	-2E-07	0	-1E-07
3	0	1E-07	0	0	0	0	1E-07	0	0
4	0	0	0	0	0	0	-1E-07	1E-07	0

Table 19~22에서는 위와 동일한 방법으로 과거예측에 대한 ROC 검증 스코어 차이를 살펴보았다. 강수에 대한 ROC 스코어의 차이가 실시간 예측 검증 결과에 비해 오차가 다소 크게 나타나지만, 이 또한 소수점 3자리 이하의 오차로써 거의 동일한 결과라 할 수 있겠다. 이 차이는 각 시스템에서 만들어진 so 파일 생성 환경에 따른 차이로 추정된다.

Table 19. Regional relative operating characteristics (ROC) score of temperature at 2m for hindcast of PMME (GAUS) produced in old AFS and new AFS systems.

	Lead Time 1			Lead Time 2			Lead Time 3		
Region	AN	NN	BN	AN	NN	BN	AN	NN	BN
1	-7.5E-05	-4.7E-06	-6.4E-05	2.9E-06	0	4.2E-06	3E-06	-3E-07	2.8E-06
2	0	1E-07	-1E-07	0	0	0	3E-07	0	0
3	-0.00022	-4.5E-06	-0.00019	0	0	0	-1.4E-05	-1.9E-06	0
4	2.69E-05	0	3.22E-05	2.21E-05	0	3.12E-05	5.53E-05	0	2.08E-05

Table 20. Same as Table 19 except for precipitation.

	Lead Time 1			Lead Time 2			Lead Time 3		
Region	AN	NN	BN	AN	NN	BN	AN	NN	BN
1	0.00061	0.00194	0.00078	0.00059	0.00185	0.00069	0.00158	0.00075	0.00369
2	0.00066	0.00401	0.00175	-1E-07	7.6E-06	-4E-07	0.00212	0.00096	0.00444
3	0.00016	0.00051	0.00023	-2E-07	1E-07	-2E-07	4E-07	0	1E-07
4	0.00176	0.00445	0.00017	0.00120	0.00434	0.00150	0.00177	0.00141	0.00069

Table 21. Same as Table 19 except for temperature at 850hPa.

	Lead Time 1			Lead Time 2			Lead Time 3		
Region	AN	NN	BN	AN	NN	BN	AN	NN	BN
1	3.4E-06	0	4.1E-06	2.4E-06	-1E-07	2E-06	2E-06	0	2E-07
2	-1E-07	-1E-07	1E-07	0	0	0	0	1E-07	0
3	0	0	0	0	-1E-07	0	0	0	0
4	2.48E-05	0	3.13E-05	1.87E-05	0	1.34E-05	1.5E-05	0	2.5E-06

Table 22. Same as Table 19 except for geopotential height at 500hPa.

	Lead Time 1			Lead Time 2			Lead Time 3		
Region	AN	NN	BN	AN	NN	BN	AN	NN	BN
1	9.5E-06	0	1.61E-05	-6.9E-06	-1.7E-05	1.9E-06	-3E-07	0	1.8E-06
2	-1E-07	0	0	0	-1E-07	0	-1.8E-06	-1E-07	0
3	2.62E-05	-2.3E-06	0	-1.3E-05	-3E-05	1E-07	0	0	0
4	1.37E-05	0	0.000120	1.21E-05	-1.4E-05	1.26E-05	9E-07	1E-07	1.24E-05

Reliability 스코어에 대하여 각 시스템간 차이를 비교하였다. 모든 지역별 Reliability 스코어를 비교한 결과가 모두 유사하게 나타남에 따라 우선 실시간 예측에 대한 전지구 Reliability

의 차이값을 Table 23~26에 정리하였다.

Table 23. Reliability score of temperature at 2m for real-time forecast of PMME (GUAS) produced in old AFS and new AFS systems.

	Lead time 1			Lead time 2			Lead time 3		
	AN	NN	BN	AN	NN	BN	AN	NN	BN
x1	5.215E-08	3.725E-09	-7.45E-09	0	5.588E-09	-7.45E-09	0	0	0
x2	-4.47E-08	-2.98E-08	0	1.49E-08	-7.45E-08	0	2.235E-08	-1.49E-08	0
x3	-2.98E-08	-2.98E-08	0	0	0	1.49E-08	-2.98E-08	0	0
x4	0	0	0	0	-2.98E-08	0	-2.98E-08	0	-2.98E-08
x5	-5.96E-08	-2.98E-08	-5.96E-08	-5.96E-08	0	-2.98E-08	-5.96E-08	2.98E-08	0
x6	0	5.96E-08	-1.79E-07	0	0	5.96E-08	0	0	2.98E-07
x7	0	0	-5.96E-08	0	0	0	-5.96E-08	0	0
x8	0	0	2.98E-08	0	0	0	-5.96E-08	0	0
x9	-5.96E-08	0	0	-5.96E-08	0	0	0	0	0
x10	-1.19E-07	0	0	0	0	0	0	0	0
x11	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Table 24. Same as Table 23 except for precipitation.

	Lead time 1			Lead time 2			Lead time 3		
	AN	NN	BN	AN	NN	BN	AN	NN	BN
x1	0	0	0	1.49E-08	0	0	0	0	0
x2	7.451E-09	0	-7.45E-08	0	0	0	0	0	0
x3	-1.49E-08	-6.26E-07	0	-1.49E-08	-7E-07	-2.38E-06	-1.34E-07	0	-2.09E-06
x4	0	1.49E-07	-4.17E-07	-1.94E-07	1.192E-07	1.282E-06	2.98E-08	0	-1.79E-07
x5	0	-2.98E-08	-1.67E-06	1.401E-06	-2.98E-08	0	0	0	4.351E-06
x6	5.96E-08	0	0	0	-5.96E-08	-1.19E-07	0	0	5.96E-08
x7	-5.96E-08	-2.98E-08	1.192E-07	0	0	0	0	0	5.96E-08
x8	0	5.96E-08	-1.19E-07	0	-5.96E-08	0	0	0	0
x9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x11	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Table 25. Same as Table 23 except for temperature at 850hPa.

	Lead time 1			Lead time 2			Lead time 3		
	AN	NN	BN	AN	NN	BN	AN	NN	BN
x1	0	0	-7.45E-09	0	0	-3.73E-09	0	0	2.98E-08
x2	0	-7.45E-09	-1.49E-08	0	0	0	0	-5.22E-08	-1.49E-08
x3	-4.47E-08	0	-4.47E-08	-1.49E-08	0	-1.49E-08	7.451E-09	-1.49E-08	0
x4	0	0	0	0	0	-5.96E-08	0	0	0
x5	5.96E-08	0	-2.98E-08	0	2.98E-08	0	0	2.98E-08	0
x6	0	5.96E-08	0	0	0	0	0	0	0
x7	-5.96E-08	0	0	0	0	0	0	0	0
x8	-5.96E-08	0	0	0	0	0	0	0	0
x9	-5.96E-08	0	0	1.192E-07	0	0	0	0	0
x10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x11	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Table 26. Same as Table 23 except for geopotential height at 500hPa.

	Lead time 1			Lead time 2			Lead time 3		
	AN	NN	BN	AN	NN	BN	AN	NN	BN
x1	0	0	0	0	0	0	0	0	1.49E-08
x2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x3	-2.98E-08	0	-1.49E-08	-2.98E-08	0	0	2.235E-08	0	-7.45E-09
x4	-5.96E-08	-2.98E-08	-5.96E-08	0	-2.98E-08	-5.96E-08	-2.98E-08	0	2.98E-08
x5	0	5.96E-08	-1.19E-07	0	0	0	5.96E-08	-2.98E-08	-5.96E-08
x6	0	0	0	-5.96E-08	0	-1.49E-08	0	0	0
x7	-5.96E-08	0	0	-5.96E-08	0	0	0	0	0
x8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x11	0	0	0	0	0	0	0	0	0

실시간 예측에 대한 각 시스템간 Reliability 스코어의 차이는 0이거나 소수점 7~8자리의 아주 미미한 차이로써 Reliability에 대하여 신규 검증 시스템이 안정적으로 개선되었다고 할 수 있다. 과거예측에 대해서도 Reliability 스코어에 대해 각 시스템간 차이를 Table 27~30에서와 같이 나타내었으며, 이 또한 신규 검증 시스템과 기존 시스템의 결과가 거의 유사한 것으로 나타났다.

Table 27. Reliability score of temperature at 2m for hindcast of PMME (GUAS) produced in old AFS and new AFS systems.

	Lead time 1			Lead time 2			Lead time 3		
	AN	NN	BN	AN	NN	BN	AN	NN	BN
x1	0	0	0	0	0	-3.73E-09	0	0	0
x2	2.503E-06	0	0	0	0	0	0	0	0
x3	-3.28E-06	0	0	0	0	0	1.547E-05	0	0
x4	0	0	0	0	0	0	2.682E-07	-5.93E-06	0
x5	1.898E-05	0	0	0	0	0	0	0	0
x6	-4.4E-05	0	0	0	-2.98E-08	-5.96E-08	0	0	0
x7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x8	0	0	-5.96E-08	0	0	0	5.96E-08	0	0
x9	-1.19E-07	0	0	0	0	0	0	0	5.96E-08
x10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x11	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Table 28. Same as Table 27 except for precipitation.

	Lead time 1			Lead time 2			Lead time 3		
	AN	NN	BN	AN	NN	BN	AN	NN	BN
x1	0	0	-7.45E-09	-7.45E-09	0	0	0	0	0
x2	1.043E-07	1.49E-08	-3.13E-07	1.639E-07	0	0	1.043E-07	0	0
x3	5.96E-08	2.682E-07	2.98E-08	1.192E-07	-1.76E-05	-8.94E-08	0	5.96E-07	-5.96E-08
x4	5.96E-08	-1.49E-07	0	5.96E-08	1.758E-06	1.49E-07	-2.98E-08	-2.98E-08	-1.19E-07
x5	2.98E-08	-1.49E-07	1.147E-05	1.788E-07	0	-1.58E-06	8.941E-08	-5.96E-08	-9.24E-07
x6	0	0	-6.24E-05	0	0	0	0	0	0
x7	0	5.96E-08	0	0	0	5.96E-08	0	0	5.96E-08
x8	0	0	0	-5.96E-08	0	-5.96E-08	0	0	0
x9	0	-5.96E-08	-5.96E-08	0	0	0	0	0	0
x10	0	0	0	0	-5.96E-08	0	0	2.98E-08	0
x11	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Table 29. Same as Table 27 except for temperature at 850hPa.

	Lead time 1			Lead time 2			Lead time 3		
	AN	NN	BN	AN	NN	BN	AN	NN	BN
x1	-3.73E-09	0	0	0	0	0	0	0	-3.73E-09
x2	0	1.49E-08	0	0	0	0	0	0	0
x3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x4	0	-5.96E-08	0	0	0	0	0	0	0
x5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x6	0	-5.96E-08	0	0	0	0	0	0	0
x7	0	0	0	0	-5.96E-08	0	0	5.96E-08	0
x8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x9	0	0	1.192E-07	0	0	0	0	0	0
x10	0	0	-5.96E-08	0	0	5.96E-08	0	0	5.96E-08
x11	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Table 30. Same as Table 27 except for geopotential height at 500hPa.

	Lead time 1			Lead time 2			Lead time 3		
	AN	NN	BN	AN	NN	BN	AN	NN	BN
x1	0	0	0	0	-4.66E-09	-1.86E-09	0	-1.86E-09	0
x2	0	-1.49E-08	0	4.685E-05	-7.45E-09	0	0	0	0
x3	-2.98E-08	-2.98E-08	0	1.949E-05	0	0	1.997E-06	0	0
x4	0	-8.17E-06	0	0	-2.98E-08	0	0	-7.45E-07	0
x5	0	0	0	0	-9.39E-05	0	0	0	0
x6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x7	0.0001419	0	0	0	0	0	0	0	0
x8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x10	0	0	-5.96E-08	0	0	-1.19E-07	0	0	0
x11	0	0	0	0	0	0	0	0	0

마지막으로 RPSS 검증 스코어에 대하여 안정성 평가를 수행하였다. Table 31~34은 실시간 예측에 대하여 4가지 변수별 각 lead time에 대한 각 시스템간 RPSS 스코어의 차이를 나타낸 표로써 12개 지역에 대하여 정리하였다. 그 차이는 0이거나 소수점 7~8자리 이하의 차이로써 RPSS에 대한 검증 결과가 두 시스템간 거의 동일함을 의미한다.

Table 31. Ranked probability skill score (RPSS) of temperature at 2m for real-time forecast of PMME (GUAS) produced in old AFS and new AFS systems.

Region	Lead 1	Lead 2	Lead 3
1	0	0	0
2	0	-1E-07	0
3	1E-08	-1E-08	-1E-08
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	1E-07	0
7	1E-07	0	-2E-08
8	0	0	-2E-08
9	0	1E-07	0
10	0	0	1E-08
11	2E-08	0	0
12	0	5E-08	2E-08

Table 32. Same as Table 31 except for precipitation.

Region	Lead 1	Lead 2	Lead 3
1	0	0	2E-08
2	-1E-08	1.4E-08	0
3	0	-2E-09	9E-09
4	1E-07	1E-08	0
5	1.3E-08	1E-08	-1E-08
6	0	-1E-08	-1E-08
7	-2E-08	1E-08	0
8	-1E-08	1E-08	-2E-08
9	0	0	0
10	0	-1E-08	0
11	2E-08	1E-09	1E-08
12	1.4E-08	0	2E-08

Table 33. Same as Table 31 except for temperature at 850hPa.

Region	Lead 1	Lead 2	Lead 3
1	0	0	0
2	1E-07	-1E-07	0
3	0	-1E-08	-2E-08
4	0	0	0
5	2E-08	0	0
6	1E-07	0	3E-08
7	0	1E-07	0
8	0	-1E-07	0
9	0	0	5E-08
10	-1E-09	0	-5E-08
11	0	0	0
12	0	-2E-08	-3E-08

Table 34. Same as Table 31 except for geopotential height at 500hPa.

Region	Lead 1	Lead 2	Lead 3
1	0	0	0
2	1E-08	-1E-07	0
3	0	-3E-08	0
4	1E-07	1E-07	0
5	0	0	0
6	0	0	1E-07
7	0	0	0
8	0	-1E-07	0
9	0	-1E-07	0
10	0	0	0
11	0	-1E-07	0
12	-1E-07	0	-1E-07

과거예측에서도 실시간예측과 유사한 차이를 나타내고 있으며, 이는 RPSS에 대한 신규 검증 시스템이 안정적으로 개선되었음을 알 수 있다(Table 35~38).

Table 35. Ranked probability skill score (RPSS) of temperature at 2m for hindcast of PMME (GUAS) produced in old AFS and new AFS systems.

Region	Lead 1	Lead 2	Lead 3
1	0	-2E-08	-1.15E-06
2	0	0	3E-08
3	-1E-08	-1E-08	-3.39E-06
4	1E-07	0	0
5	1E-08	2E-08	2E-08
6	0	-1E-08	0
7	0	-2E-08	0
8	0	3E-08	-1E-08
9	1E-07	1E-08	1E-08
10	0	-1E-07	-1E-07
11	-1E-08	-1E-08	0
12	0	1E-08	-1E-08

Table 36. Same as Table 35 except for precipitation.

Region	Lead 1	Lead 2	Lead 3
1	0	-1E-08	0
2	0	0	0
3	-2E-08	1E-08	0
4	0	-2E-08	-3E-08
5	0	-2E-08	1E-08
6	-3E-08	1E-08	-2E-08
7	2E-08	1E-08	-1E-08
8	2E-08	1E-08	0
9	0	0	1E-08
10	-1E-07	1E-08	-2E-08
11	4E-09	2E-09	5E-09
12	1E-08	1E-08	4E-08

Table 37. Same as Table 35 except for temperature at 850hPa.

Region	Lead 1	Lead 2	Lead 3
1	-3E-08	2E-08	0
2	-1E-08	-2E-08	0
3	0	1E-08	0
4	0	0	1E-07
5	0	-1E-08	-2E-08
6	0	-2E-08	-3E-08
7	1E-08	0	-2E-08
8	-2E-08	-1E-08	-5E-08
9	-2E-08	1E-08	0
10	0	0	-4E-08
11	0	-1E-08	-5E-09
12	2E-08	0	0

Table 38. Same as Table 35 except for geopotential height at 500hPa.

Region	Lead 1	Lead 2	Lead 3
1	6.9E-06	-5.2E-06	-2E-07
2	-1E-08	1E-08	-5.9E-07
3	2.042E-05	-4.66E-06	0
4	1E-07	-1E-05	0
5	-1E-08	1E-08	0
6	0	0	0
7	-1E-08	1E-07	0
8	0	-1E-07	0
9	0	0	-1E-07
10	0	-2.14E-05	0
11	1E-08	-1.1E-08	-1E-09
12	-1E-08	-1E-08	-4E-08

이 뿐만 아니라 6개월 예측 및 웹페이지에서는 제공하지 않는 타 검증 스코어에 대해서도 차이가 거의 없거나 아주 적은 오차를 보이는 것으로 나타났으며, 이는 전반적으로 신규 검증 시스템이 안정적으로 개선되었음을 시사한다.

② 개선된 기후감시-예측-검증 통합 시스템 안정성 평가

기존 AFS 시스템은 최소 163단계를 거쳐 APCC MME 예측 정보를 생산하고 있으며, 단계별로 사람이 직접 작업을 수행하고 진행 과정을 수시로 확인해야 하는 번거로운 문제점이 있었다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 사람의 관여하는 비중을 줄이고 반복 작업에 대한 자동화 프로세스를 구축함으로써 APCC MME 작업 효율성을 증진시키고자 하였다.

개선된 AFS 시스템에서는 가장 반복되는 작업의 수가 많은 그래픽 작업 및 MME 작업에 대해 자동 수행 프로그램을 제작하여 일괄적으로 작업이 처리될 수 있도록 하였다. 자동 수행 프로그램을 통하여 APCC MME 예측 정보를 생산함에 있어서 물리적 작업 효율성을 평가하기 위해 기존 AFS 시스템과 개선된 AFS 시스템 간 작업 과정에 대한 비교를 수행하였다(Talbe 39). 기존 AFS 시스템은 MME 예측(SCM, GAUS, MRG, SSE, SPM) 자료를 생산하기 위해 1회 기준 총 54회의 작업 단계를 거치지만 개선된 AFS 시스템은 반복 작업 등을 자동화하여 총 6회의 작업 단계만을 수행하도록 개선되었다. 이는 결과적으로 48단계가 단축되면서 약 88.9%의 물리적 작업 효율성을 보였다. APCC 공식 예측 정보를 제공하기 이전 기상청 예보토의 지원을 위한 예측 정보 생산이나 자료를 재생산해야하는 일이 발생하였을 때는 반복 횟수에 비례하여 그 효율성 증대될 수 있다.

생산된 예측 자료에 대한 그래픽 작업에 대한 물리적 작업 과정 또한 개선된 AFS 시스템 내 자동 수행 프로그램을 제작하여 작업 횟수를 단축하였다(Table 40). 기존 AFS 시스템은 노후화된 전산 시스템의 한계로 인해 표출하고자 하는 지역을 3~4개의 그룹으로 나누어 작업을 수행함에 따라 비정상적 반복 작업을 동반한 총 40회의 작업 단계를 수행했어야하는 반면에 개선된 AFS 시스템 내 자동 수행 프로그램을 통해 총 4회의 작업을 수행하면 모든 예측 그림을 생산할 수 있다. 개선된 AFS 시스템 자체의 전산 시스템적 개선도 있지만 기존 AFS 시스템과 같이 지역별로 나누어 작업을 수행하는 과정도 자동으로 수행될 수 있게끔 제작함에 따라 이와 같은 작업 효율성을 보였다. 특히 그래픽 작업은 현업 수행 과정 중 가장 잦고, 많은 비중을 차지하는 작업으로써 자동 수행 프로그램을 통해 보다 원활한 현업 운영이 가능해졌다.

Table 39. Work flow and number of step to produce seasonal prediction data for old AFS and new AFS systems.

단계	현 AFS 시스템			개선된 AFS 시스템	
	순번	프로그램 및 소스코드	작업 내용	순번	프로그램 및 소스코드
기상청간 예보토의를 위한 MME 예측자료 생산 : SCM, GAUS	1~6	models.3m.afs models.6m.afs	MME 참여 모형 list 초기화 및 세팅	1	rm__models__set__mme__data.sh
	7~16	runMME.rb - fcast-mean-3m.yml - fcast-mean-6m.yml - fcast-month-3m.yml - fcast-month-6m.yml - hcast-mean-3m.yml - hcast-mean-6m.yml - hcast-month-3m.yml - hcast-month-6m.yml	MME 메인 수행 프로그램 - forecast 3개월 계절 평균 (1회) - forecast 6개월 계절 평균 (2회) - forecast 3개월 월 평균 (1회) - forecast 6개월 월 평균 (1회) - hindcast 3개월 계절 평균 (1회) - hindcast 6개월 계절 평균 (2회) - hindcast 3개월 월 평균 (1회) - hindcast 6개월 월 평균 (1회)	2	auto__mme.py
APCC 최종(공식) MME 예측자료 생산 : SCM, GAUS, SSE, MRG	17~28	models.3m.afs models.6m.afs	위의 기존 자료 삭제 및 모형 재세팅	3	rm__models__set__mme__data.sh
	29~38	runMME.rb - fcast-mean-3m.yml - fcast-mean-6m.yml - fcast-month-3m.yml - fcast-month-6m.yml - hcast-mean-3m.yml - hcast-mean-6m.yml - hcast-month-3m.yml - hcast-month-6m.yml	MME 메인 수행 프로그램 - forecast 3개월 계절 평균 (1회) - forecast 6개월 계절 평균 (2회) - forecast 3개월 월 평균 (1회) - forecast 6개월 월 평균 (1회) - hindcast 3개월 계절 평균 (1회) - hindcast 6개월 계절 평균 (2회) - hindcast 3개월 월 평균 (1회) - hindcast 6개월 월 평균 (1회)	4	auto__mme.py
APCC 최종(공식) MME 예측자료 생산 : SPM	39~44	models.3m.afs models.6m.afs	SPM 수행을 위한 모형 재세팅	5	rm__models__set__mme__data.sh
	45~54	runMME.rb - fcast-mean-3m.yml - fcast-mean-6m.yml - fcast-month-3m.yml - fcast-month-6m.yml - hcast-mean-3m.yml - hcast-mean-6m.yml - hcast-month-3m.yml - hcast-month-6m.yml	MME 메인 수행 프로그램 - forecast 3개월 계절 평균 (1회) - forecast 6개월 계절 평균 (2회) - forecast 3개월 월 평균 (1회) - forecast 6개월 월 평균 (1회) - hindcast 3개월 계절 평균 (1회) - hindcast 6개월 계절 평균 (2회) - hindcast 3개월 월 평균 (1회) - hindcast 6개월 월 평균 (1회)	6	auto__mme.py

Table 40. Work flow and number of step to produce prediction graphics for old AFS and new AFS systems.

	현 AFS 시스템			개선된 AFS 시스템	
단계	순번	프로그램 및 소스코드	작업 내용	순번	프로그램 및 소스코드
기상청간 예보토의를 위한 MME 예측자료 그래픽 표출	1~10	mme__graphics__3months.rb mme__graphics__6months.rb	MME 예측 자료 그래픽 표출 - 3-month / 6-month - monthly / seasonal - forecast / hindcast - 4 sub-regions	1	auto__mme__graphics
APCC 최종(공식) MME 예측자료 그래픽 표출	11~20	mme__graphics__3months.rb mme__graphics__6months.rb	MME 예측 자료 그래픽 표출 - 3-month / 6-month - monthly / seasonal - forecast / hindcast - 4 sub-regions	2	auto__mme__graphics

위와 같이 AFS 시스템은 자동 수행 프로그램을 통해 물리적 작업 단계를 대폭 감축함에 따라 물리적 작업 효율성이 크게 증진되었다면, 개선된 AFS 시스템 자체의 하드웨어 및 소프트웨어의 개선으로 인한 작업속도 증가와 자동 수행 프로그램을 통하여 작업 시간이 단축되었다. Table 41은 기존의 AFS 시스템과 개선된 AFS 시스템 간 각 작업과정별 작업 소요 시간을 정리한 표이이다. 기존 AFS에서 예측 및 그래픽 작업에 소요되는 최소시간은 총 13시간 13분 정도로써 개별모델에 대한 그래픽 시스템이 전체 작업 소요 시간 중 절반 이상을 차지한다. 이는 앞서 제시한 메모리 리소스의 문제로 그래픽 대상 지역을 3~4개의 그룹으로 세분화하여 작업하는 문제와 컴퓨팅 저성능에 따른 문제점이 원인으로 둘 수 있다. 신규 AFS에서는 동일한 과정에 대하여 약 6시간 45분 정도의 작업 소요시간을 보이면서 6시간 28분 정도의 시간이 단축되었다. 즉, 기존 시스템에 비해 시간적 효율성이 약 49% 증진된 것으로 나타났으며, 이는 컴퓨팅의 성능의 변화와 독립적 시스템을 구축함에 따라 안정성을 확보한 부분과 시스템의 개선을 통한 효과인 것으로 사료된다. 가장 많은 시간 효율성 증진이 나타난 시스템은 그래픽 시스템이며, 그 중에서도 MME 그래픽 시스템의 작업 시간이 약 1시간 32분 단축됨에 따라 약 79%의 효율을 보이는 것으로 나타났다. 이는 한 케이스에 대한 작업 수행 시간 비교 결과이므로, 기상청 예보토의 지원을 위한 예측자료 생산이나 특정 자료의 재생산과 같이 여러 케이스에 대해서 이루어지는 경우를 실제 현업 업무를 고려한다면 더욱 효과가 증진될 것으로 평가할 수 있다.

Table 41. Work run time to produce seasonal prediction, graphics and ENSO prediction data at old AFS and new AFS systems.

시스템	MME 시스템	개별 그래픽 시스템	MME 그래픽 시스템	ENSO 시스템	합계	효율성
기존 AFS	01h 36m 03s	09h 22m 34s	01h 56m 38s	00h 18m 20s	13h 13m 35s	-
신규 AFS	01h 10m 58s	05h 03m 48s	00h 24m 44s	00h 05m 21s	06h 44m 51s	06h 28m 44s (약 49.0%)

신규 검증 시스템에 대해서도 물리적 작업 효율성과 시간적 효율성을 진단하였다. 먼저 기존의 검증 시스템은 결정론적 및 확률론적 예측자료에 대하여 3개월과 6개월을 분리하여 각 2회씩 작업을 수행하는 반면, 신규 검증시스템은 예측기법별로 한 번의 작업수행으로 3개월과 6개월의 예측자료에 대해 일괄적으로 처리가 가능하며, ENSO 예측에 대한 검증 과정을 포함하면 기존의 5회의 작업 수행 단계에서 3회의 작업 수행 단계로 단축되었다. 특정 한 케이스에 대해 두 시스템간 작업 수행 시간을 비교한 결과, 결정론적 예측 검증에서 약 24분 31초의 시간이 단축되었고, 확률론적 예측 및 ENSO 예측의 검증 시간의 단축은 각각 27분 29초, 7분 15초의 작업 시간이 단축됨에 따라 총 7시간 57분 37초의 시간이 소요되었다(Table 42). 기존 검증 시스템의 작업 소요 시간과 약 1시간에 가까운 차이로써 11% 정도의 시간 단축 효율성이 나타났다. 위의 예측시스템의 시간 효율성에 비해 적은 효율성이지만, 현업 운영 특성상 여러 차례의 검증 작업을 수행하는 경우에는 적은 효과라 할 수 없다.

Table 42. Work run time to produce verification data at old AFS and new AFS systems.

시스템	결정론적 예측 검증	확률론적 예측 검증	ENSO 예측 검증	합계	효율성
기존 AFS	06h 12m 33s	02h 22m 42s	00h 21m 37s	08h 56m 52s	-
새로운 AFS (개선 코드)	05h 48m 02s	01h 55m 13s	00h 14m 22s	07h 57m 37s	00h 59m 15s (약 11.0%)

신규 검증 시스템은 물리적·시간적 효율성보다도 사용자 편의성 향상이 큰 장점이다. 기존의 검증 시스템은 사용자가 원하는 검증 자료를 생산하기 위해서는 기본 현업 소스 코드를 수정하는 등 현업 운영 안정성에 위배되는 작업을 수행했어야했다. 하지만 신규 검증 시스템은 사용자가 원하는 예측 기간, 원하는 검증 스코어만을 선택하여 처리할 수 있으며, 검증 자료에 대한 그래픽 자료를 생산할 때에도 사용자가 원하는 설정(지역, 색상 등)을 현업 소스 코드를 수정하지 않고 수행할 수 있는 장점이 있다. 아래는 사용자 편의성 증진에 대한 예시로 확률론적 예측에 대한 python 메인 프로그램의 내용이다.

```
]$ vi run4user_HCST_FCST_PMME.py

from my_package import run_command

# For 3-MON Real-Time Forecast Verification
#---------------------------------------

forecast_month1 = "NOV"
forecast_year1  = "2019"

# For 6-MON Real-Time Forecast Verification
#---------------------------------------

forecast_month2 = "DEC"
forecast_year2  = "2019"

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

# For 3-MON Hindcast Verification
#---------------------------------------

hindcast_month1 = "DEC"    # "JUL"
hindcast_year1  = "2019"   # "2020"

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

```
# For 6-MON Hindcast Verification
#--------------------------------------

hindcast_month2 = "JUL"    # "JUL"
hindcast_year2  = "2020"   # "2020"

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

해당 프로그램은 검증하고자 하는 3개월과 6개월, 실시간 및 과거예측의 시점을 선택이 가능하며, 노란색 음영처리한 부분만 입력하면 일괄적으로 검증 자료 및 그림이 생산된다. 또한, 검증 작업이 수행되면 각 검증 스코어별로 수치에 대한 데이터 및 그림 자료를 생산하기 위한 NCL 스크립트가 아래와 같은 경로로 자동 생산되며 해당 스크립트를 활용하여 사용자가 원하는 contour, 영역 등을 설정할 수 있는 편의성을 제공하고 있다.

· NCL 스크립트 생산 경로 : /data02/OPER/CVS/NCL = $PATH
· NCL 스크립트 예시

```
]$ vi $PATH/3-MON/FORECAST/PMME/2019DJF/Seasonal/ROC_Curve/t2m.ROC_Curve_aggregated_seasonal.ncl



;=== 1st block ============================================================================

load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_code.ncl"
load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_csm.ncl"
load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/contributed.ncl"

begin

    infile1 = addfile("/data02/OPER/CVS/DATA/3-MON/FORECAST/PMME/2019DJF/Seasonal/ROC_Curve/t2m.ROC_Curve_aggregated_seasonal.nc","r")
    infile2 = addfile("/data02/OPER/CVS/DATA/3-MON/FORECAST/PMME/2019DJF/Seasonal/ROC_Curve/t2m.ROC_Score_aggregated_seasonal.nc","r")

    region = infile1@region
    num_reg = dimsizes(region)

    year = infile1@year
    month = infile1@month
    num_mon = dimsizes(month)

do imon = 0, num_mon-1
do ireg = 0, num_reg-1

    rocc_h = infile1->t2m(ireg,:,imon,0,:)
    rocc_f = infile1->t2m(ireg,:,imon,1,:)
```

```
    aroc = infile2->t2m(ireg,:,imon)

; INFORMATION

     diag = new((/11/),float)

     do i=0,10
        bin = 0.1 * i
        diag (i) = bin
     end do

  (생략)
```

마지막으로 신규 감시 시스템에 대한 효율성을 진단하였다. 기존 감시 시스템은 APCC 데이터 제공 서비스인 ADSS에서 처리 및 제공하는 관측자료를 사용하여 감시 그림을 생산하는 체계이며, ADSS에 의존하다보니 자료 처리 방식을 변경하고자 할 때 기존 감시 시스템의 코드를 더불어 ADSS 시스템 소스 코드를 모두 수정해야하는 불편함이 있었다. 신규 검증 시스템은 이러한 ADSS의 의존성에서 탈피하여 독립적인 시스템으로 구축되었으며, 자료처리와 감시 그림 생산까지 한 번에 처리할 수 있도록 개선되었다. 타 시스템과 동일하게 python과 NCL로 프로그램 구성이 됨에 따라 일관적으로 통합된 시스템 중 하나라고 할 수 있다. 신규 감시시스템의 효율성의 가장 큰 부분을 차지하는 것은, 위의 신규 감시시스템과 같이 사용자 편의성 증진과 유연성 및 확장성 강화라 할 수 있다. 기존 감시 시스템은 주별, 월별, 계절별 시스템 시간을 기준으로 정해진 기간에 대하여 감시 그림 자료를 생산하는 체계였으나, 사용자가 원하는 평년 기간에 대하여 기후값을 변경할 수 있으며, 원하는 기간에 대해서 자유롭게 변경이 가능하다.

아래는 신규 감시 시스템의 편리성을 보여주는 예시 프로그램(주별 감시 자료 생산 python 프로그램) 이다.

```
]$ vi /data02/OPER/CMS/RUN/run4_Weekly.py

import dateutil.relativedelta as rdelta
import datetime
from my_package import run_command

#----------------------------------------
# User's define : Climatology period

clim_start_date    = "1991-01-01"
clim_end_date      = "2010-12-31"

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

today = datetime.date.today()             # ex) YYYY-MM-DD
```

```
#today = datetime.date(2019,12,16)          # for test
#today_dayname = today.strftime('%A')     # ex) Monday
m_type = "weekly"

# past THURSDAY : ex) YYYY-MM-DD
recent_start_date = today + rdelta.relativedelta(days=-1, weekday=rdelta.TH(-2))

# past WEDNESDAY : ex) YYYY-MM-DD
recent_end_date = today + rdelta.relativedelta(days=-1, weekday=rdelta.WE(-1))
```

위와 같이 노란색 음영처리된 부분을 수정하여 기후 평년 기간을 수정할 수 있으며, “today” 라는 변수에 원하는 시점을 입력하면 해당 시점에 대한 감시자료가 생산된다. 더불어 아래와 같은 프로그램을 이용하여 사용자가 원하는 기간을 설정하여 주별, 월별, 계절별, 사용자지정 기간별 감시자료를 자유롭게 생산할 수 있게 되었다. 이로써 기존 감시 시스템이 가지고 있는 한계를 보완하여 사용자의 편의에 대한 효율성이 향상됨을 알 수 있다.

```
]$ vi /data02/OPER/CMS/RUN/run4_user_setting.py

from my_package import run_command

#----------------------------------------
# User's define
# Climatology and recent period

clim_start_date    = "1983-01-01"
clim_end_date      = "2010-12-31"
recent_start_date = "2019-12-01"
recent_end_date    = "2019-12-28"
m_type             = "monthly"
# --- m_type lists : monthly , seasonal, PPT, PPT_MONTH
#----------------------------------------
```

보다 효율적인 AFS 시스템 운영을 위하여 각 시스템별 자동처리 시스템을 유기적으로 통합하여 한 번의 프로세스로 MME 예측 → 개별/MME 그래픽 → ENSO 예측 → 검증 작업 순으로 일괄적으로 처리하는 통합 시스템을 최종적으로 구축하였다. 해당 통합 수행 프로그램은 총 9단계를 순차적으로 일괄처리하는 체계로써 MME 참여 모델 구성, MME 실시간 예측 자료 생산, MME 과거 예측 자료 생산, 개별 모델 예측 그래픽 자료 생산, MME 예측 그래픽 자료 생산, ENSO 예측 및 그래픽 자료 생산, 결정론적 예측기법 검증 및 그래픽 자료 생산, 확률론적 예측기법 검증 및 그래픽 자료 생산 순으로 처리된다. 해당 통합 프로그램의 경로와 내용은 아래와 같다.

- 통합 프로그램 경로 : /data02/OPER/AFS/Auto_AFS.sh

```
]$ vi /data02/OPER/AFS/Auto_AFS.sh

#!/bin/sh

#############################################################################################
###################
#       Auto AFS Run Script ( MME -> Graphics -> ENSO -> Verification )                     #
#                                   Made by Chang-Mook Lim (Since 2020.JUN) #
#############################################################################################
###################

SYSDATE=`date +%Y%m%d`
#SYSDATE=20191115
Recent_Year=`echo $SYSDATE | cut -c1-4`
Recent_Mon=`echo $SYSDATE | cut -c5-6`

#================================
#         Setting for MME
#================================
Python_Insti_3Mon="\'APCC\', \'BOM\', \'CMCC\', \'CWB\', \'HMC\', \'JMA\', \'KMA\', \'MSC\', \'NASA\', \'NCEP\',
\'PNU\', \'UKMO\'"
Python_Model_3Mon="\'SCOPS\', \'ACCESS-S1\', \'SPS3\', \'GFST119\', \'SL-AV\', \'MRI-CPS2\', \'GLOSEA5GC2\',
\'CANSIPSv2\', \'GEOS-S2S-2.1\', \'CFSv2\', \'CGCMv2.0\', \'GLOSEA5\'"

Python_Insti_6Mon="\'APCC\', \'KMA\', \'MSC\', \'NASA\', \'NCEP\', \'PNU\'"
Python_Model_6Mon="\'SCOPS\', \'GLOSEA5GC2\', \'CANSIPSv2\', \'GEOS-S2S-2.1\', \'CFSv2\', \'CGCMv2.0\'"

MME_Method="SCM GAUS"
HCST_Period="1991 2010 20" # Start year, End year, Period(years)

#================================
# Setting for Individual Graphics
#================================
NCL_Insti="\"APCC\", \"BOM\", \"CMCC\", \"CWB\", \"HMC\", \"JMA\", \"KMA\", \"MGO\", \"MSC\", \"NASA\",
\"NCEP\", \"PNU\", \"UKMO\""
NCL_Model="\"SCOPS\", \"ACCESS-S1\", \"SPS3\", \"GFST119\", \"SL-AV\", \"MRI-CPS2\", \"GLOSEA5GC2\",
\"MGOAM-2\", \"CANSIPSv2\", \"GEOS-S2S-2.1\", \"CFSv2\", \"CGCMv2.0\", \"GLOSEA5\""
Graphic_6mon_run=X          # O = 3 & 6 Month all run, X = Only 3 Month

#================================
#     Setting for MME Graphics
#================================
Graphic_MME_Method="\"SCM\", \"GAUS\""
MME_Graphic_6mon_run=X      # O = 3 & 6 Month all run, X = Only 3 Month

#================================
#    Setting for ENSO Prediction
```

```
#================================
ENSO_Insti="\"UKMO\", \"PNU\", \"NCEP\", \"NASA\", \"MSC\", \"KMA\", \"CMCC\", \"BOM\", \"APCC\""
ENSO_Model="\"GLOSEA5\",  \"CGCMv2.0\",  \"CFSv2\",  \"GEOS-S2S-2.1\",  \"CANSIPSv2\",  \"GLOSEA5GC2\",
\"SPS3\", \"ACCESS-S1\", \"SCOPS\""
Start_Year=1991
End_Year=2010
JAMSTEC=O          # no JAMSTEC=X , else JAMSTEC=O

# ============== Select Part ============= #
#            O = Run , X = No Run
PART1=X      # Setting Model list in MME
PART2=X      # Run MME : Forecast
PART3=X      # Run MME : Hindcast
PART4=X      # Run Graphics : Individual
PART5=X      # Run Graphics : MME
PART6=X      # Run ENSO Prediction
PART7=X      # Run DMME Verification
PART8=O      # Run PMME Verification
PART9=X      # Run ENSO Verification
# ======================================= #

 (이하 생략)
```

위의 스크립트를 통하여 시스템 시간을 기준으로 예측 및 검증 시점을 자동으로 설정하여 주고, 각 파트별로 수행 조건 및 환경을 사용자가 설정할 수 있다. 사용자가 원하는 예측 및 검증 시점으로 변경을 할 경우 상단의 "SYSDATE" 의 변수에 수행 시점 기준의 시간 정보를 입력하면 해당 시점의 예측 및 검증 자료가 일괄적으로 처리된다. 또한 일부 파트에 대해서 작업을 원할 경우 하단의 "PART1~9" 에 수행하고자 하는 파트에 O, 수행을 원치 않는 파트에 X를 입력하면 O를 입력한 파트에 대해서만 작업이 이루어진다. 따라서 기존 AFS 시스템은 자동화를 고려하지 않은 채 개발된 시스템으로써 한 케이스에 대하여 개별모델 전처리를 제외한 60 여단계의 작업 단계를 수행해야하지만, 해당 통합 프로그램을 사용하면 1단계의 작업 단계를 거치기 때문에 물리적 작업 효율성을 대폭 증진시킬 수 있으며, 기상청 예보토의 지원용 예측 자료 생산 과정을 포함한 전체 예측자료 생산의 125단계(개별모델 전처리 및 기상청 예보토의 그래픽 작업 제외)에서 단 3단계로 122단계가 단축됨에 따라 최종 97.6%의 물리적 작업 효율성이 증진되었다. 개별모델의 경우 개별모델 수집 시점이 다르며, 수집 즉시 처리하여 품질평가를 진행하는 이유로 일괄 처리에 어려움이 있어 단계 감축 범위에 제외하였으며, 기상청 예보토의 그래픽 시스템은 AFS 체계와 분리되어 독립적으로 이루어지기 때문에 단계 감축 범위에 제외하였다. 단, 한 케이스에 대해 순차적으로 수행하는 경우에만 통합 프로그램의 활용도 높을 것으로 기대되나, 예측과 검증 시점을 달리하여 자료를 생산하는 경우는 통합 프로그램의 파트별 사용이나 각 시스템별 자동 스크립트를 활용하는 것을 권고한다.

이로써 통합 신규 AFS는 안정성 및 효율성 평가를 통해 물리적·시간적 효율성 증진과 사용자 편의성 및 유연성 향상을 이루면서 기존 AFS 예측 및 검증 결과가 동일한 안정적인 개선

결과를 확인하였으며, 현업 적용의 토대를 마련하였다. 또한, 궁극적으로 현업 업무의 시간단축 및 담당자의 수동 개입이 줄어들면서 보다 안정적인 현업운영이 가능해지며, 생산된 기후예측 정보 분석에 더 많은 물리적 기회를 제공함에 따라 MME 예측력 향상에 큰 기여를 할 것으로 기대한다.

(라) 요약

APCC 계절예측정보 제공을 위한 AFS 시스템은 설립 이후로 많은 개선들이 있었으나, 담당자들의 편의에 의해 코드 수정이 이루어진 점, 시스템의 낙후 등의 여러 가지 이유로 비체계적, 비효율적 현업 운영이 진행되어 왔다. 이를 보완하기 위하여 AFS의 MME 예측시스템, ENSO 예측 시스템, 예측 그래픽 시스템, 감시 및 검증 시스템 순으로 체계적이고 일관된 시스템으로의 개선을 이루어냈고, 통합된 AFS를 신규 구축함으로써 현업 운영의 안정성을 확보한 효율성, 확장성, 보안성, 편의성 등에 대한 개선 효과를 제시하였다. 특히, 통합 시스템을 통하여 Figure 57과 같이 기존의 비효율적인 물리적 작업단계를 약 90%이상을 단축시켰으며, 시간적으로도 11~49%의 작업 시간을 단축시키는 등 보다 능률적인 현업 운영이 가능해질 것으로 기대한다. 더불어 기존의 시스템은 사용자 편의성이 고려되지 않아 현업 안정성을 해치는 작업 수행 방식의 문제점에 대하여 사용자가 원하는 기간 및 설정 등을 자유롭게 변경할 수 있도록 사용자 편의성과 유연성이 확장되었다. 이를 통하여 AFS 통합 시스템은 차세대 현업 업무의 방향성을 제시하고, 현업 운영에 소요되는 불필요한 물리적·시간적 소모를 MME 계절예측정보의 분석하는 기회로 전환시킴으로써 최종적으로 MME 예측력 향상에 기여도를 높일 것으로 기대한다.

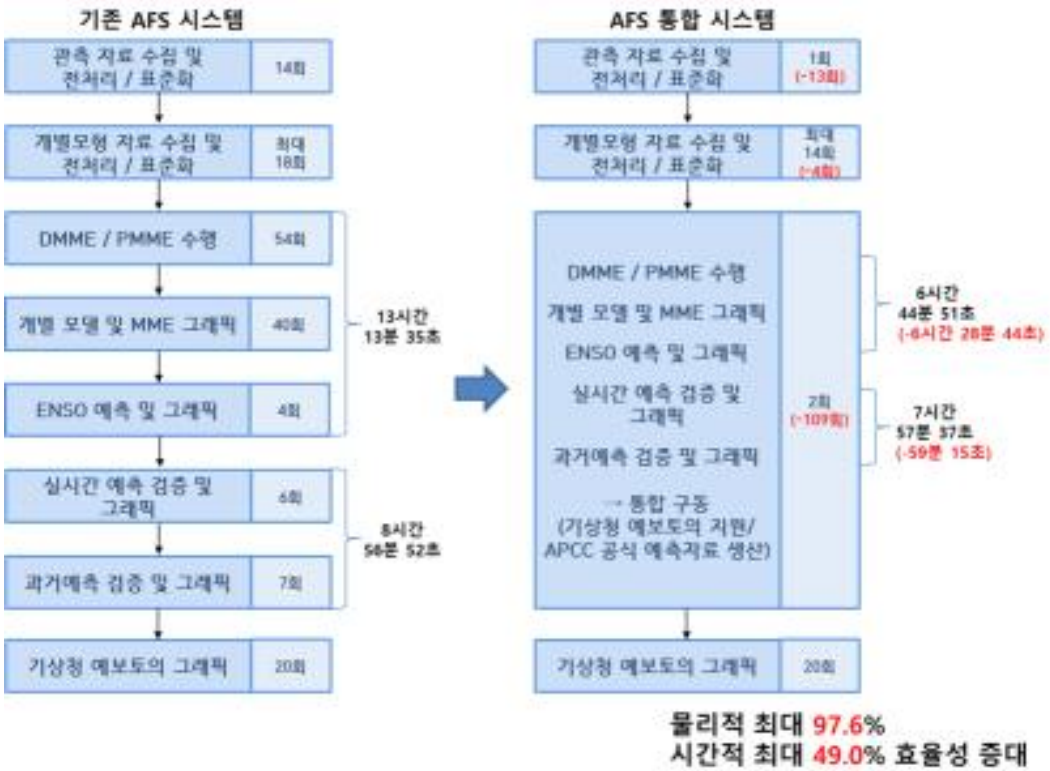


Figure 57. Summary of efficiency assessments for AFS Integrated system.

(2) 기상청 슈퍼컴퓨터를 활용한 SCoPS 운영 체계 구축

(가) 현황 및 필요성

APCC 자체모델(SCoPS)의 현업 운영 중 APCC HPC 노후화에 따른 잦은 시스템 오류와 계산시간 지연 등의 문제가 있어왔다. 이로 인해 현업의 안정적인 운영을 위한 대체 전산자원의 필요성이 꾸준히 대두되었고 현실적으로 대체 가능한 계산 자원으로 기상청 슈퍼컴퓨터가 언급되어 왔다. 이에 따라 SCoPS 운영 시스템의 기상청 슈퍼컴퓨터 이전하기에 앞서 사전 준비 단계로 SCoPS 운영의 전처리부터 후처리까지 전 단계에 대한 흐름을 진단하였고 단계별 개선이 필요한 부분을 파악하였다.

현재 SCoPS의 입력자료로 이용되는 ARGO 관측 자료를 전처리하는 코드는 매트랩으로 작성되어 있으며 매트랩은 유료 라이센스로 전산 자원이 대체되었을 때 라이센스 비용을 고려하여야 된다는 한계점이 있었다. 이에 현재 매트랩으로 작성된 코드를 무료 라이센스인 파이썬으로 언어 변환하고 슈퍼컴퓨터에서 구동 여부를 확인하고자 하였다.

(나) 개발 내용

ARGO 지점 관측 자료를 읽고 전처리하여 격자화 시키는 코드가 기존에는 매트랩으로 작성되어 있었다. 이를 보다 간결하고 생산성이 높은 파이썬으로 코드 언어 변환하여 라이센스 제한없이 기상청 슈퍼컴퓨터에서 프로그램 구동이 가능하고자 하였다.

Table 43은 ARGO 전처리 코드 개선 전후의 코드 및 특징을 정리한 것이다. 기존 매트랩 코드는 각 대양별로 ARGO 관측 지점값을 격자형태로 변환하는 코드(imsi_argo)와 3개 대양(태평양, 대서양, 인도양)의 값을 병합하는 코드(imsi3_argo_3)로 이루어져 있었던 반면, 개선된 파이썬 코드는 전처리 수행 기간을 입력하는 파일(DATE.yaml)과 이를 읽어 격자 변환하고 3개 대양을 병합 처리하는 코드(init_ARGO_loop.py)로 구분되어 진다. ARGO 전처리 코드는 주로 3개 대양의 산발적인 3차원 관측지점 값을 읽어 격자 형태로 변환해주는 파트로 되어있고 파이썬으로 개선된 코드에서는 해양의 표층(관측 지점상 첫 번째층) 수심은 10m로 이내로 제한하고 표층 수심이 너무 낮게 관측 혹은 보정되어 그 지점값이 비정상적으로 튀는 값은 오류값으로 간주하여 제외시키는 조건문을 추가하였다.

(다) 결과

개선된 파이썬 전처리 코드의 APCC HPC에서 구동여부를 확인하고 기존 결과와의 차이를 비교하여 코드에 이상이 없음을 확인하였고, 계산 속도를 비교하기 위해 한 달 자료로 테스트 결과를 생산하는데 기존 코드는 20분, 개선된 코드는 1~2분이 소요되어 계산 시간이 약 10배 단축되었다. 파이썬으로 변환된 전처리 코드를 기상청 슈퍼컴퓨터에 이전하기 앞서 프로그램 구동에 필요한 파이썬 패키지는 슈퍼컴퓨터 기술지원을 통해 사전 요청하였고 파이썬 환경 설정 이후 ARGO 전처리 코드가 이상 없이 슈퍼컴퓨터에서 구동되는 것을 확인하였다. 원활한 코드 구동을 위해 파이썬 버전 3.7 이상이 필요하다.

Table 43. Improvement in ARGO pre-processing system.

ARGO 전처리 코드		
구분	개선 전 (Matlab)	개선 후 (Python)
메인	mk_argo.sh	init_ARGO_loop.py
구성 코드	imsi.argo, imsi3.argo_3	DATE.yaml
계산 시간	20분/1개월	2분/1개월

(3) MME 확률예측정보의 텍스트 자동 생성 시스템 구축

(가) 현황 및 필요성

MME 확률예측정보를 기반으로 한 기후 전망은 매월 APCC 홈페이지를 통해 서비스되고 있으며, 전 지구를 대상으로 강수와 기온의 확률예측정보를 설명하고 있다. APCC 홈페이지를 통한 기후전망결과는 기후 연구자가 MME 확률예측정보를 기반으로 작성되고 있다. 이는 기후 연구자에 의한 주관적 해석이 포함될 수 있는 단점이 존재하며, 매월 변화하는 확률예측정보에 대한 객관적이며, 일괄적인 결과를 내는데 한계가 있다. 이를 대상지역을 설정하고, 해당 지역에 대한 값을 추출하여, 해당 지역의 확률 값의 분포를 파악하여 텍스트를 생성하는 방법을 적용하여 기후 전망 작성을 위한 MME 확률예측정보 기반 객관적 정보 생성 기법 개발을 통해 해결하고자 하였다. 본 연구에서 개발한 기법은 예측자료로부터 대상 지역의 값 추출 및 텍스트 생성을 통한 기후전망 보조 자료로서 제공되며, 기후 연구자의 업무를 원활하게 하고자하였다.

(나) 자동화 처리 인자 지정

매월 APCC 홈페이지를 통해 제공되는 MME 확률예측정보를 수집하여, 자동화 처리를 위한 문장구조를 분석하였다. 해당 문장구조 분석을 통해 자주 사용되는 단어를 추출하였으며, 문장의 패턴을 파악하여 기존에 사용되는 문장의 형태를 그대로 유지할 수 있는 결과를 작성하고자 하였다. 6개월의 예측정보를 발표하는 APCC의 확률예측정보를 앞 3개월(Lead time 1-3)과 뒤 3개월(Lead time 4-6)로 구분하여 작성하도록 설계되었으며, 강수와 온도에 대해 각각 자동생성 하도록 결정하였다. 많고 적음을 설명하는 강도와 관련된 여러 가지 단어의 패턴을 분석하여, 3가지의 패턴(높을 확률이 매우 클, 높을 확률이 다소 클, 경향이 전망)을 파악하여 설계되었다.

(다) 자동화 처리 대상 지정

확률예측정보를 자동으로 생성하기 위해서는 추출하고자하는 지역이 정의되어야 한다. 해당지역 정의를 위해서 과거 확률예측정보의 결과를 기준으로 분석하였으며, 분석을 통해 유효지역을 모두 추출하였다. 지역의 추출을 가능한 모든 세부지역을 대상으로 추출하였으며, 가능한 모든 지역을 포함하도록 선정되었다. 큰 대륙 및 해양을 기준으로 세부적인 지역을 선정하였으며, 세부지역을 종합하여 이를 포함하는 지역정의를 다시하기 위하여 프로그램을 설계하여

구성되었다. 대륙은 전 지구를 대상으로, 북미와 남미, 아프리카, 유라시아, 호주 등 가능한 모든 지역을 포함할 수 있도록 정의되었다. 해양은 태평양을 중심으로 작성되었으며, 인도양, 대서양을 함께 정의할 수 있도록 설계되었다. Figure 58과 59는 텍스트 자동생성을 위한 육지와 해양지역을 표현한 그림이다.

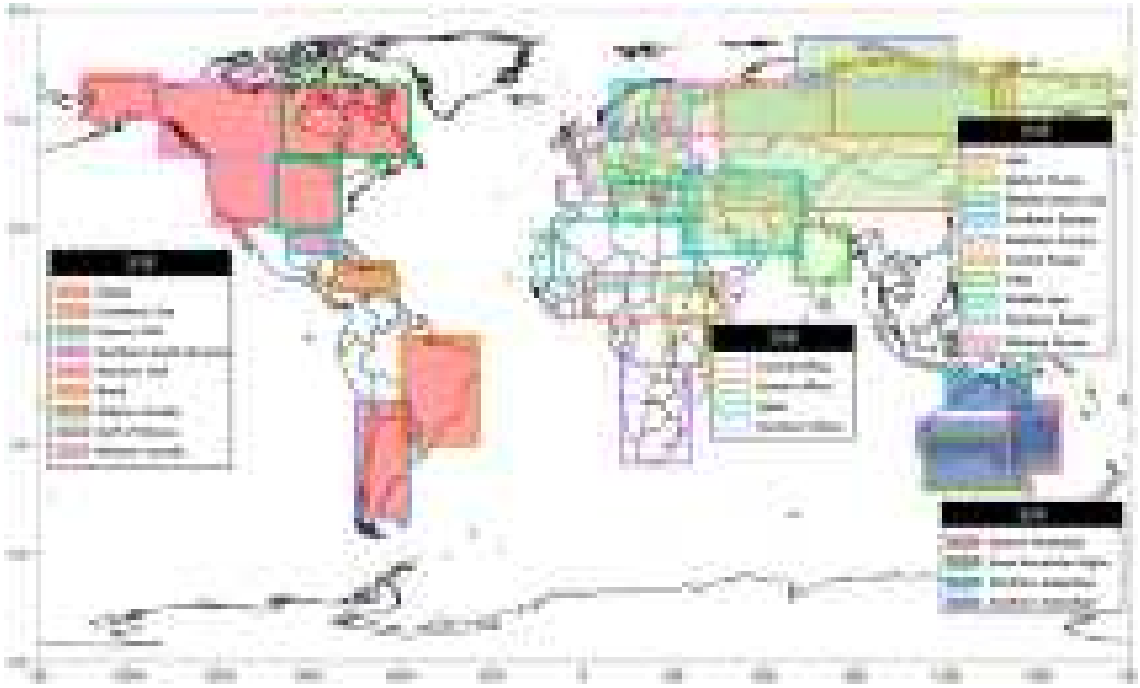


Figure 58. Land definition for text generation

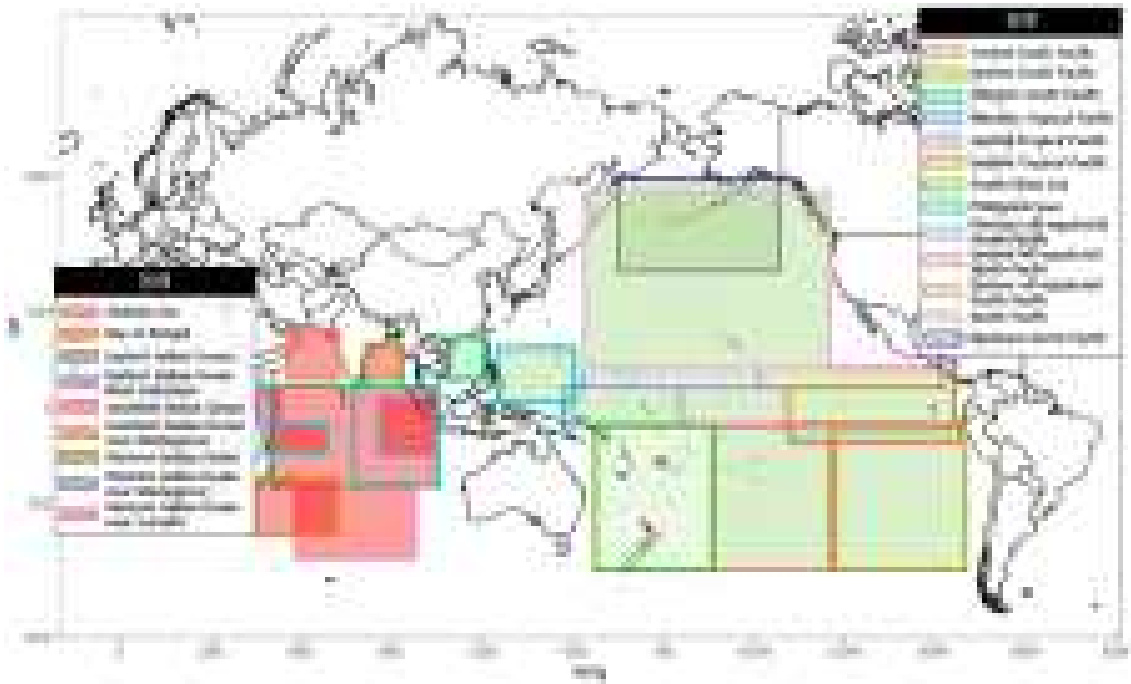


Figure 59. Ocean definition for text generation

(다) 확률예측 내용 생성

APCC에서 제공하는 MME 확률예측정보를 텍스트로 변환하여 생산하기 위해서는 여러 단계가 필요하다. 앞서 과거 확률예측정보 문장구조 분석을 통하여 자동화 처리 인자를 지정하기 위한 사전조사 및 결과를 정리하였다. 또한 예측 인자 값 기준으로 유효 예측확률 대상지역을 추출하여 전 지구를 대상으로 세부지역 정의를 예보결과를 기준으로 정의하였다. 그리고 확률예측정보를 범주로 변환하여 정보를 생산하는 과정을 통해 MME 확률예측정보를 텍스트로 변환하고자 하였다. MME 확률예측정보는 Above, Normal, Below로 3가지로 구성되어있는데, 이를 각각 3구간의 범주형 자료로 변환하여 총 9가지 범주형 자료로 변환하였다. 범주형 변환을 위해서는 다음 3가지 조건을 따르며, 이를 Above, Normal, Below에 각각 적용하였다.

1. 카테고리 값이 70 이상 (상)

2. 카테고리 값이 50이상 70미만 (중)

3. 카테고리 값이 50미만 (하)

이를 강수와 기온에 적용한 결과는 다음의 Figure 60과 61과 같다. 각 3가지의 조건을 적용하여 총 9가지의 범주형 데이터로 변환하였으며, 이를 통해 MME 확률예측정보의 강도와 방향에 대한 기초자료로 활용하였다.

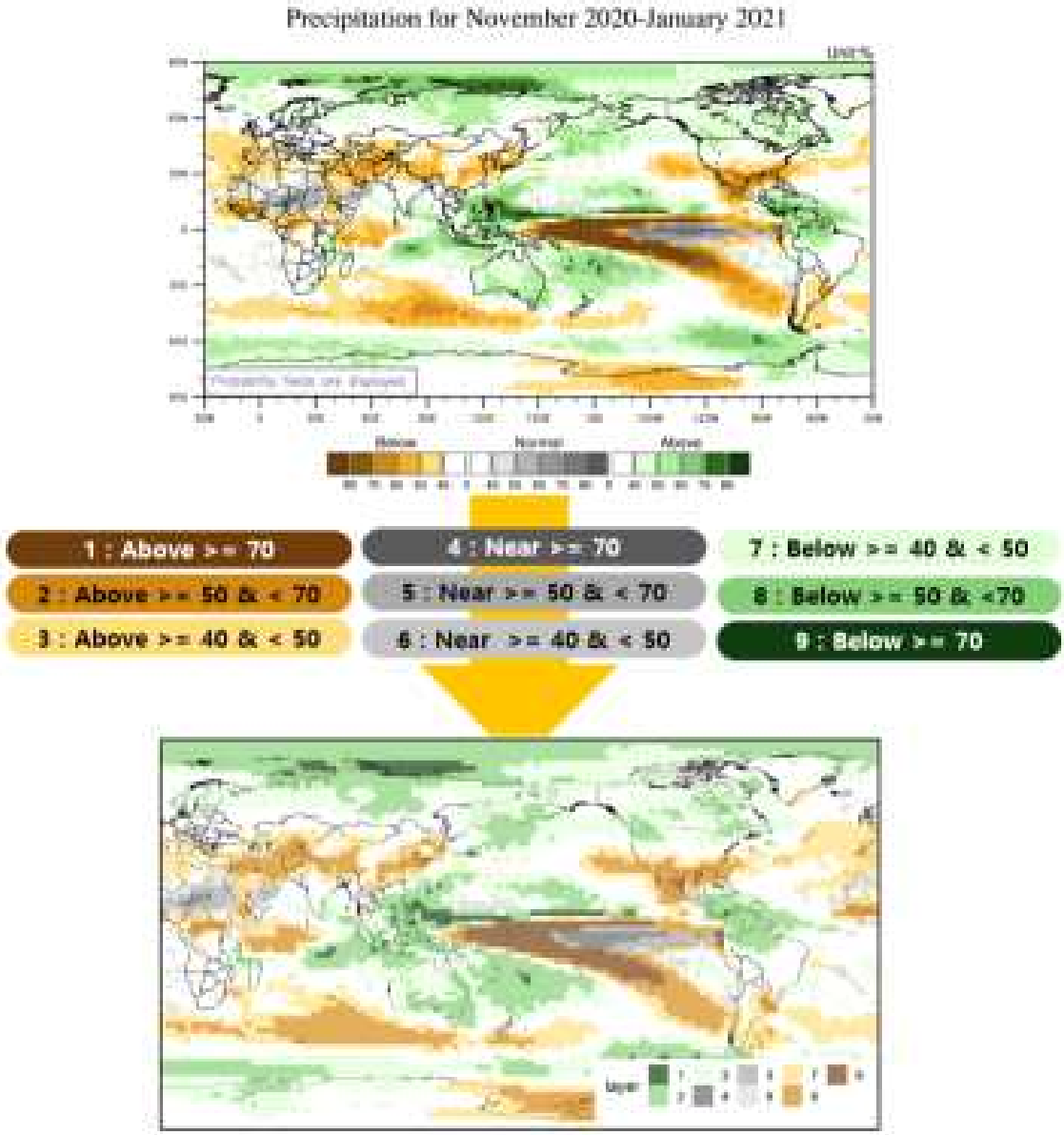


Figure 60. Generate algorithm for categorical data (precipitation).

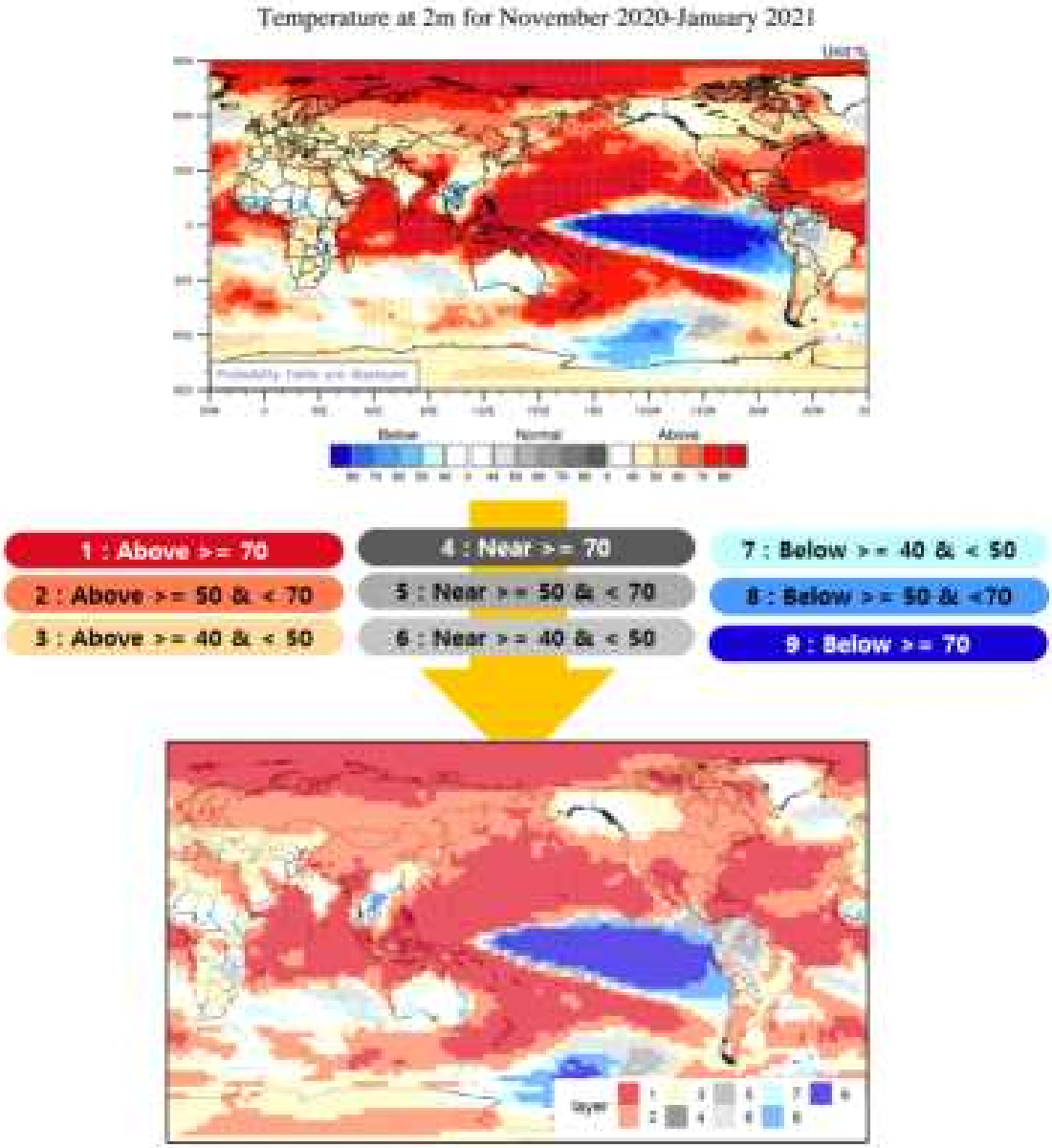


Figure 61. Generate algorithm for categorical data (temperature)

세부 지역으로 정의 된 지역을 대상으로 범주형으로 변환된 정보를 활용하여 해당지역이 나타내고 있는 MME 확률예측정보에 대한 정의를 다음의 3가지 조건을 통해 진행 하고자하였다.

4. 단일 카테고리 값이 60% 이상

5. 두가지 카테고리 합이 70% 이상

6. 세가지 카테고리 합이 85% 이상

해당 세부지역에 대한 지역정의를 텍스트로 생성하였다면, 세부지역을 모두 설명하여 기술하는 것은 비효율적이라 할 수 있다. 효율적인 MME 확률예측정보의 정보전달을 위해서는 가까운 세부지역이 만약 같은 경향을 보이고 있다면, 이를 포함하는 지역 명으로 정의를 새로 해야 할 필요가 있다. 예를 들어 미국의 서부와 동부가 Above가 강하게 나타났다면, 미국의 서부와 동부를 각각 기술하는 것이 아니라, 미국으로 변환하여 기술하도록 설계되었다. 또한 추가적으로 알레스카와 캐나다 미국이 같은 경향을 보인다면, 북미대륙으로 줄여서 표현할 수 있도록 설계되었다. 추가적으로 한 세부지역만 다른 경향을 보이는 경우에는 이를 제외하는 표현을 사용할 수 있도록 설계되었다. 예를 들어 북미대륙이 같은 경향을 보이지만, 알레스카는 나타나지 않은 경우에 대해서는 “북미대륙(알레스카 제외)” 의 형태로 표현할 수 있도록 설계되었다. 강수와 기온의 지역정의 및 통합을 통한 텍스트 자동생성은 다음의 Figure 62와 63과 같은 형태로 구성되어 있다.

Figure 62. Text generation process for precipitation

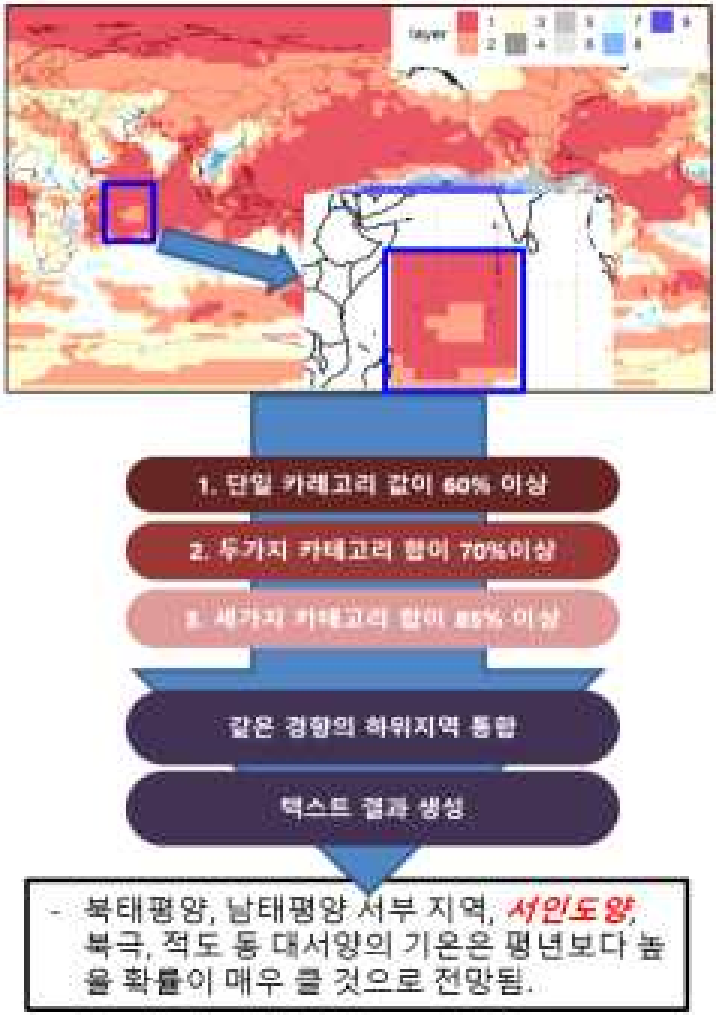


Figure 63. Text generation process for temperature

(라) 자동생성 시스템 구축

텍스트 자동생성 시스템을 구동하기 위해서는 개발 된 패키지를 설치하여 활용하여야 한다. 텍스트 자동생성 시스템의 패키지는 많은 양의 소스코드를 쉽게 관리하기 위하여 R 언어로 개발되었다. 현업시스템의 보조 자료 역할을 위하여 현업이 구동되는 서버에서 함께 구동될 수 있도록 설계 되었으며, 관련 연구자의 편의를 위해 shell script를 실행하면 간단하게 결과를 출력하여 확인할 수 있도록 설계되었다. 입력 자료로 활용되는 MME 확률예측정보는 현업서버에서 생산되는 경로를 직접적으로 바라보며 바로 구동될 수 있도록 설계되었으며, 이 또한 연구자의 편의를 위해 쉽고 빠르게 객관적인 정보를 출력하여 보조 자료로서의 역할을 하고자 하였다. 텍스트 자동생성 시스템의 결과물은, 홈페이지에서 제공되고 있는 MME 확률예측정보 설명의 보조 자료의 역할과 동시에, 전구 요약맵을 작성하는데 기초자료로 함께 활용될 수 있도록 설계가 되었다. 다음의 Figure 64는 텍스트 자동생성 시스템을 통해 생성되는 결과 중 MME 확률예측정보 설명의 참고자료로 활용되는 자료의 종류를 정리한 그림이며, 국문 4종류와 영문 4종류의 자동생성 결과물을 제공한다. Figure 65는 Outlook 참고자료로 활용되기 위한

텍스트 자동생성 결과물을 보여준다.

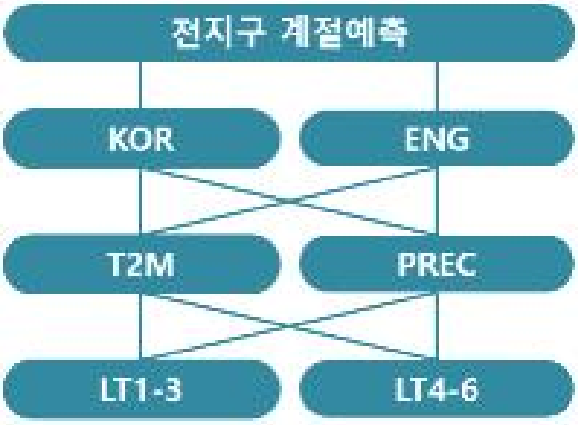


Figure 64. Text generation category for Outlook

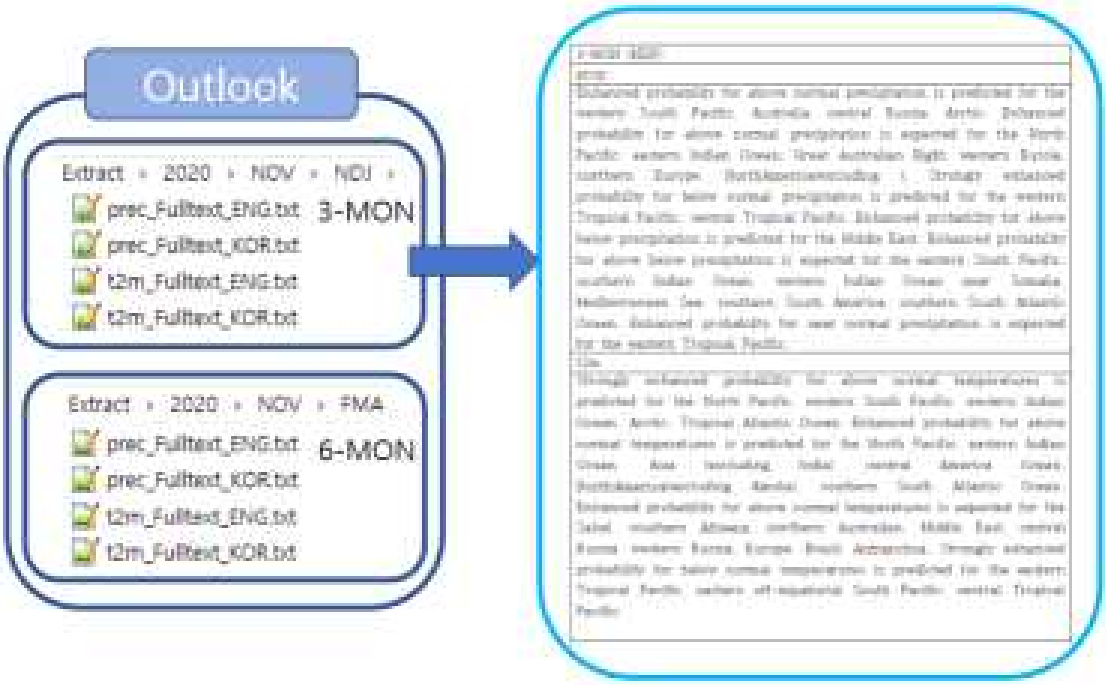


Figure 65. Text generation results for Outlook service

전구 요약맵을 위한 참고자료의 결과물은 영문에 한해서만 제공되며, 기온에 대해 2종류(Lead time 1-3, Lead time 4-6)를 제공하며, 강수에 대해서도 2종류를 제공하도록 설계되었다. Outlook을 위한 텍스트 자동생성 시스템과의 차이는 지역을 중심으로 작성되어, 지도에 요약하기 쉽도록 결과물이 생산된다는 차이가 있다. Figure 66은 전구 요약맵 작성을 위해 생성된 텍

스트 자동생성 결과이다.

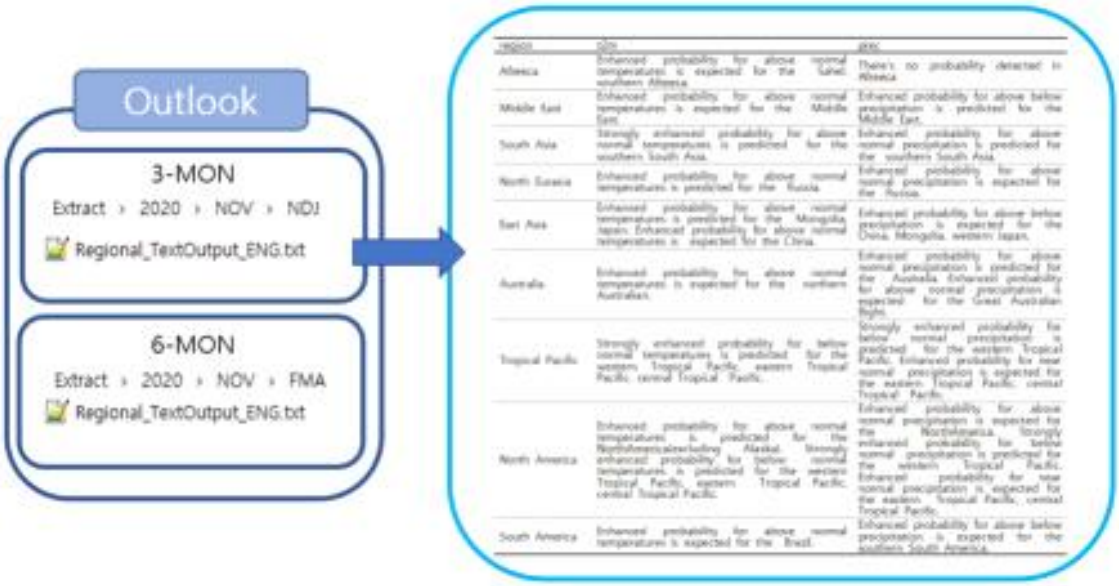


Figure 66. Text generation results for global summary map service

(4) MME 참여모델 품질검사 체계 구축

(가) 현황 및 필요성

MME 예측정보를 생산하기 위해서는 여러 기관으로부터 모델 자료를 수집하고 전처리 과정을 통해 여러 개별모델 자료를 동일한 형식의 자료로 표준화하는 과정을 거치게 된다. 이후 MME를 수행하게 되는데 만약 개별모델의 자료에 오류 등 이상값이 있을 때에는 MME 수행 이후의 평균값, 예측 skill 값 등을 통해 발견을 하게 되는데 경우에 따라 이런 개별모델의 이상값 존재 유무를 확인하기 어려울 수 있다. 또한 개별모델의 이상값 때문에 MME 현업을 여러 번 반복 수행해야 한다.

따라서 MME 예측결과 생산 이전에 개별모델의 이상값을 확인 할 수 있는 품질검사 체계를 구축하는 것이 수반되어야 하며 이를 통해 MME 현업 업무의 효율성 증진과 정확한 예측결과를 생산 할 수 있는 체계를 마련하는 것이 필요하다.

(나) 자료

① 관측자료 경로

관측자료의 관리는 APCC 기후정보통합위원회를 통해 자료의 다운로드, 업데이트 등이 이루어지고 있으며, APCC HPC 스토리지(APCCDB)에 저장되어 관리되고 있다. 기후감시 정보 생산을 위한 관측자료의 APCCDB 경로는 Table 44와 같다.

Table 44. Directories of observation data in APCCDB

	경 로
NCEP2	surface gauss : 2m 기온, 해면기압 - /lfs/apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP2/Monthly/gaussian_grid/ pressure : 850hPa 기온, 500hPa 지위고도, 850hPa 바람, 200hPa 바람 - /lfs/apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP2/Monthly/pressure
CAMS_OPI	강수 - /lfs/apccdb/Observation/Grid/CAMS_OPI/nc/
OISST	해수면온도 - /lfs/apccdb/Observation/Grid/OISST/Monthly/

② 관측자료 처리

관측자료는 APCC AFS 시스템의 표준화 관측자료 생산 프로그램에 의해 2.5도×2.5도로 재생산된 표준화 자료를 사용하였다. 현재 시스템에 적용된 기후값 기간은 1991 ~ 2010년이다.

③ MME 참여모델(개별모델) 예측자료 경로

MME 참여모델(개별모델) 예측자료는 APCC AFS 시스템의 전처리 생산 프로그램에 의해 2.5도×2.5도로 재생산된 표준화 자료를 사용하였다. hindcast와 forecast 자료의 경로는 Table 45와 같다.

Table 45. Directories of individual model data in MME

	경 로
hindcast	- /data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/HINDCAST/
forecast	- /data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/FORECAST/

(다) 방법

MME 참여모델(개별모델) 품질검사 시스템을 구축하기 위하여 첫 번째, 이미지 유사성(Image Similarity)을 비교하고 두 번째, 개별모델의 값의 범위를 비교하는 방법으로 아래와 같이 2가지 단계를 통해 품질검사를 수행하고, 최종적으로는 품질검사 알림 테이블을 제공하여 현업담당자가 개별모델의 품질상태를 쉽고 빠르게 이해할 수 있는 정보를 제공하고자 한다.

① 이미지 유사성(Image Similarity) 비교

이미지 유사성 비교를 위해 Python의 imagehash 패키지를 이용하였다 (https://pypi.org/project/ImageHash/). imagehash는 두 이미지가 동일하게 보이는지를 판별하기 위해 사용되며 두 이미지의 hash 정보를 이용하게 된다(hash : 임의의 크기를 가진 데이터를 고정된 크기의 데이터로 변환하여 데이터의 값(value)를 이용해서 고유한 인덱스(index)를 만드는 과정).

imagehash 패키지에는 average hashing (ahash), perceptual hashing (phash), difference hashing (dhash), wavelet hashing (whash) 4가지 기법이 제공되며 일반적으로 phash 기법이 많이 사용된다. 그러나 여기에서는 개별모델 변수가 여러 가지로 다양한데 특히 해수면온도(SST)의 경우 육지 지역이 마스킹(masking) 되어 있어 phash 기법으로는 이미지 유사성이 크게 나타나 변별력이 떨어지기에 SST의 경우에는 whash를 사용하고 다른 변수의 경우에는 phash를 사용하였다. phash 기법에서는 discrete cosine transform (DCT)를 사용하고, whash 기법에서는 wavelet transform (WT)를 사용한다.

Figure 67은 phash를 이용하였을 때의 이미지 유사성을 나타낸다. 왼쪽 원본 이미지의 크기가 512×512이고, 중간 이미지의 경우 컬러와 사이즈를 변경하였고, 오른쪽 이미지는 중심부 잘래내기와 텍스트를 추가한 경우이다. 왼쪽 원본 이미지와 중간 이미지의 hash 차이는 0%이고, 중간 이미지와 왼쪽 이미지의 hash 차이는 31.2%로 나타난다.

Figure 67. Samples of image similarity using phash method

② 개별모델 예측값 비교

개별모델 hindcast 예측자료에 대한 품질검사를 수행하기 위해서는 비교대상이 되는 참

(true) 값이 존재해야 하는데(hindcast 예측자료가 틀릴 수 있으므로), 이 참 값으로 관측자료를 이용하였다.

1단계의 이미지 유사성 비교를 거친 후(Figure 68), 2단계에서는 해당 월에 대한 관측자료의 기후값과 표준편차를 계산하고 관측 기후값에 ±3*표준편차(σ)를 적용한 값에 대한 min, max를 구하고 같은 해당 월의 hindcast 개별모델 값이 이 min, max 범위에 드는지를 비교하여 품질검사를 수행하게 된다(Figure 69).

개별모델 forecast 예측자료에 대해서는 hindcast 값이 품질검사를 통과하여 참 값으로 판명되면 hindcast 예측자료의 기후값과 표준편차를 계산하고 이 기후값에 ±3×표준편차(σ)를 적용하여 위와 같은 방법으로 min, max를 구하고 같은 해당 월의 forecast 값이 이 min, max 범위에 드는지를 비교하여 품질검사를 수행하게 된다.

여기서 실제 참 값이 되는 관측값이나 또는 개별모델 hindcast 값의 범위가 모델별, 변수별로 다르게 나타날 수 있기에 상황에 따라 경험적으로 표준편차 값을 더하거나 뺄 수 있다.

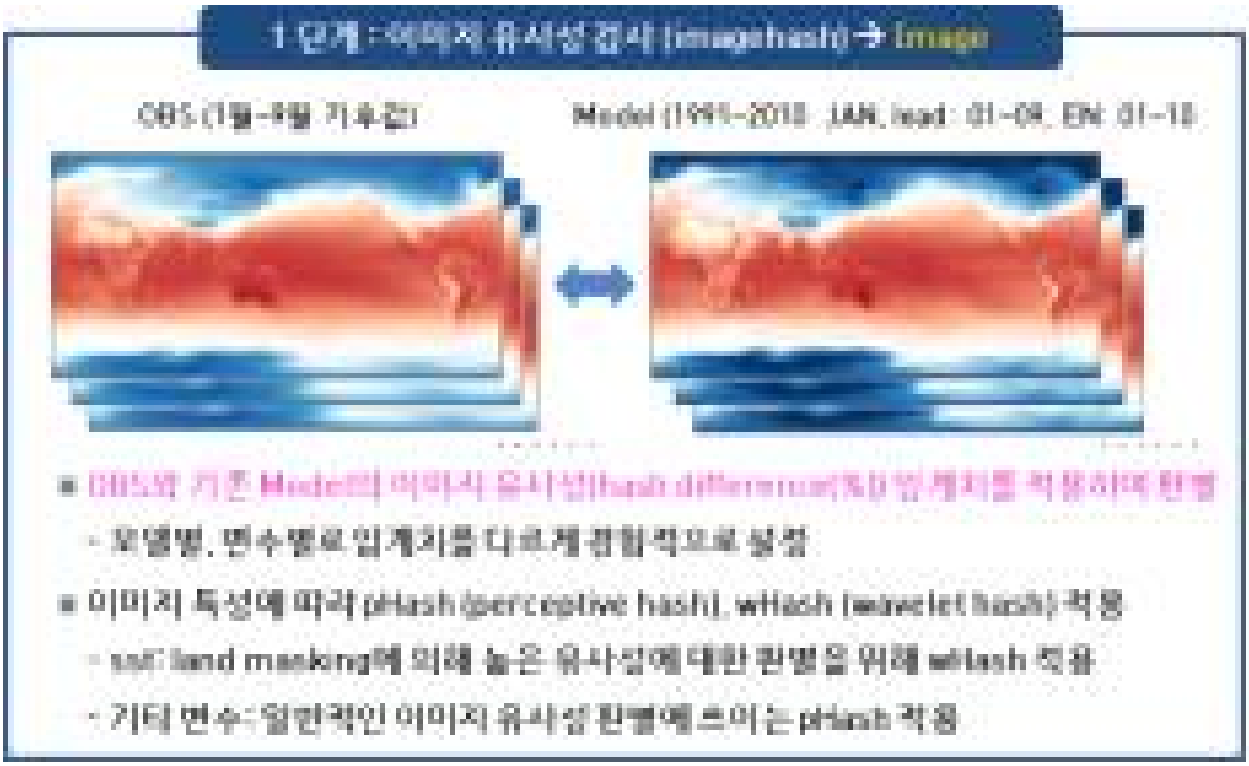


Figure 68. Step 1: Image similarity check

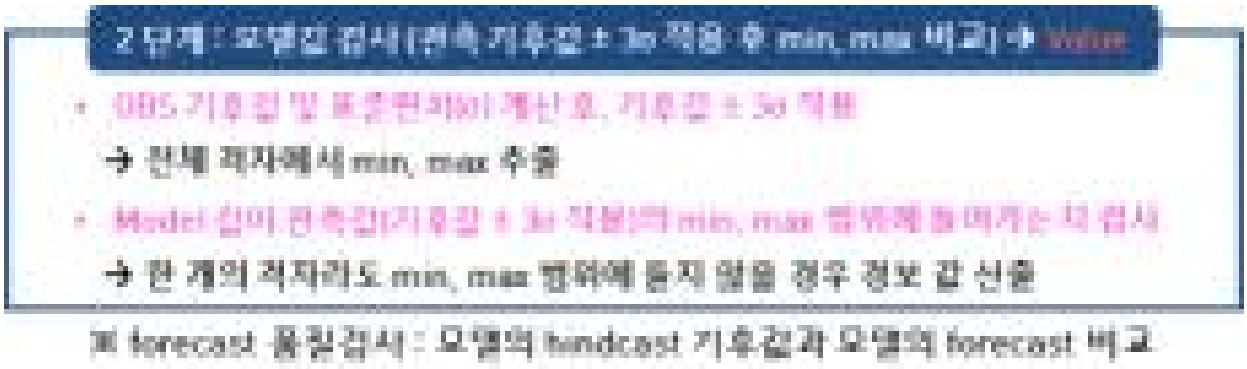


Figure 69. Step 2: Models data check

③ 품질검사 결과 알림 테이블

1단계와 2단계 과정을 거치면 해당 자료에 대한 이미지 유사성 및 자료값의 판별값을 산출하게 되는데 이것을 Figure 70와 같이 알림 테이블을 생산하여 현업 사용자가 쉽게 이해 및 판단을 할 수 있는 정보를 제공한다.

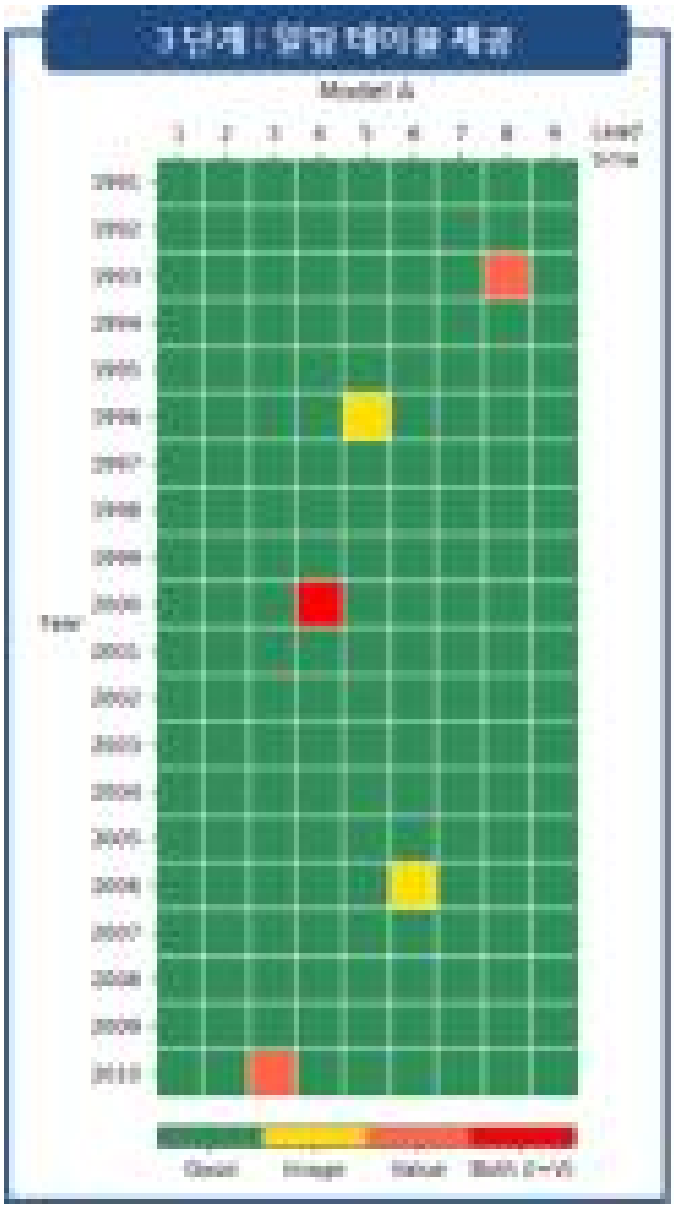


Figure 70. Step 3: Result table

(라) 시스템의 구성과 환경설정

① 시스템 구성

품질검사 시스템에 사용된 언어는 python version 3이고 python 언어를 사용하기 위해서는 여러 부가적인 python 패키지가 요구되는데, 현 시스템에서는 yaml, numpy, xarray, pandas, matplotlib, basemap, imagehash 패키지를 사용하였다. 시스템의 구성도는 Figure 71과 같이 2개의 디렉터리로 구성된다.

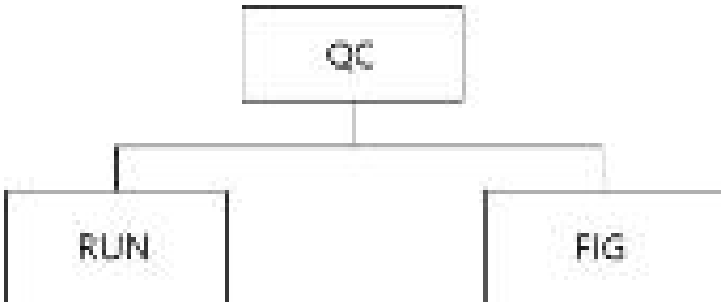


Figure 71. Structure of quality check system for invidual model data in MME

※ QC : MME 참여모델 품질검사 시스템
RUN : 프로그램 실행 디렉터리
FIG : 알림 테이블 그림 생성 디렉터리

② 프로그램 구성

QC 프로그램은 RUN, FIG의 하위 디렉터리로 구성되며, RUN은 프로그램 실행 코드, FIG는 최종 산출물 그림을 담고 있다. RUN 디렉터리의 코드 구성은 Table 46과 같다.

Table 46. Codes and modules Directories of quality check system and codes/modules

RUN	개별 프로그램 실행 코드
날짜, 변수 수정	hindcast.yaml, forecast.yaml
메인 코드	hindcast_ensemble_mean.py, hindcast_ensemble_all.py forecast_ensemble_mean.py, forecast_ensemble_all.py
사용자 실행	run4user_hindcast.py, run4user_forecast.py
RUN/my_package	사용자 모듈 코드
기후값, 표준편차	calc_OBS_monthly.py, calc_MME_IN_monthly.py
기타	read_MODEL_HIND_TIME.py, run_command.py

③ APCC 현업서버 환경설정

시스템은 APCC 현업서버에서 실행이 되며 이를 위해서는 소프트웨어 모듈을 로드하여 사용하여야 한다. 기본적으로 필요한 것은 python 모듈이다.

사용자 로그인 후 해당계정에서 python 모듈을 로드한다.

■ 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/3.7.1-anaconda-plot
```

(마) 시스템 실행

① 프로그램 실행

㉮ Hindcast (과거 예측)

■ 실행 디렉터리 이동

```
]$ cd ${USER}/QC/RUN
```

■ run4user_hindcast.py 변경 (해당 월, 기후값 기간 수정)

```
]$ vi run4user_hindcast.py

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

forecast_month = "JUL"
climate_syear = "1991-01-01"
climate_eyear = "2010-12-01"

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

■ run4user_hindcast.py 실행

```
]$ python run4user_hindcast.py
```

■ 생산 그림 경로

```
${USER}/QC/FIG/{해당 모델명}
```

㉰ Forecast (실시간 예측)

■ 실행 디렉터리 이동

```
]$ cd ${USER}/QC/RUN
```

■ run4user_forecast.py 변경 (해당 연도, 해당 월, 기후값 기간 수정)

```
]$ vi run4user_forecast.py

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

forecast_year = "2020"
forecast_month = "JUL"
climate_syear = "1991-01-01"
climate_eyear = "2010-12-01"

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

■ run4user_forecast.py 실행

```
]$ python run4user_forecast.py
```

■ 생산 그림 경로

```
${USER}/QC/FIG/{해당 모델명}/{해당 연도}/(해당 월)
```

(바) 실제 사례적용을 통한 품질검사 테스트 결과

다음은 품질검사 시스템을 실제 사례에 적용하여 테스트를 하였다. 현업을 운영하면서 개별모델의 hindcas와 forecast 개별모델 자료에서 나타난 오류값에 대해 1단계에서 이미지 유사성(이미지 차이값)을 판별, 2단계에서 모델값의 범위를 판별한 결과이다.

① CMCC 모델자료 : 해수면온도 자료의 육지 마스킹(masking)에 따른 해안선 자료 문제

CMCC 모델의 hindcast 전체기간 동안 7월 해수면온도 자료에서 육지 마스킹에 따른 자료 내삽과정에서 해안선 자료에 문제가 발생한 경우이다(Figure 72). 품질검사 결과 1단계에서 이미지 차이는 9.375%로 임계값 5%를 통과하지 못하였고, 2단계에서는 모델값의 최소값이 -273.15도로 나타나 해안선 부근의 이상값에 의해 품질검사를 통과하지 못했다.

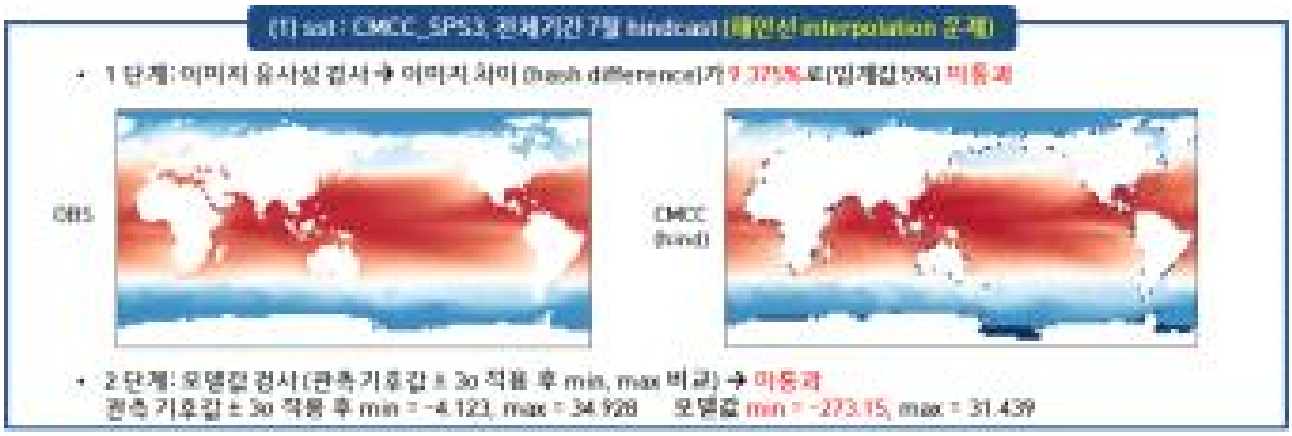


Figure 72. Example of result for SST of CMCC_SPS3 using quality check system

② CMCC 모델자료 : 남극 고위도 지역 낮은 값 문제

CMCC 모델의 hindcast 전체기간 동안 5월 850hPa 기온 자료에서 남반구 고위도 지역(극지역)이 상대적으로 낮은 값을 가지는 문제가 발생한 경우이다(Figure 73). 이 문제는 모델 자체의 계통오차로 남위 60도~90도 지역의 자료는 missing value로 처리하여 MME에 입력되고 있다. 품질검사 1단계에서는 남반구 고위도 지역의 값이 상대적으로 낮더라도 이미지 형태가 유사하여 품질검사를 통과하였지만 2단계에서는 모델값의 최소값이 -53.676도로 품질검사를 통과하지 못했다.

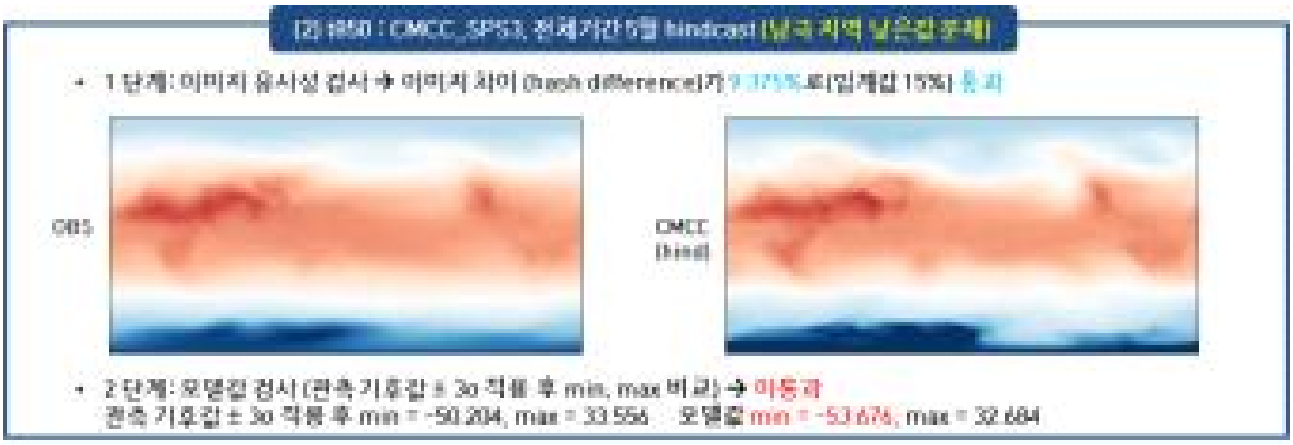


Figure 73. Example of result for temperature at 850hPa of CMCC_SPS3 using quality check system

③ CWB 모델 : 위도 뒤집힘 문제

CWB 모델의 hindcast 전체기간 동안 10월 2m 기온 자료에서 위도가 뒤집힌 문제가 발생한 경우이다(Figure 74). 품질검사 1단계에서는 북반구와 남반구의 이미지 위상이 반대이기 때문에 이미지 차이가 46.875%로 품질검사를 통과하지 못하였고, 2단계에서는 모델값이 관측 기후값의 적정 범위에 들어 있었다. 이것은 모델값의 문제가 아니라 자료 처리에 있어 위도 정보를 반대로 넣은 것으로 값에는 이상이 없는 경우이다.

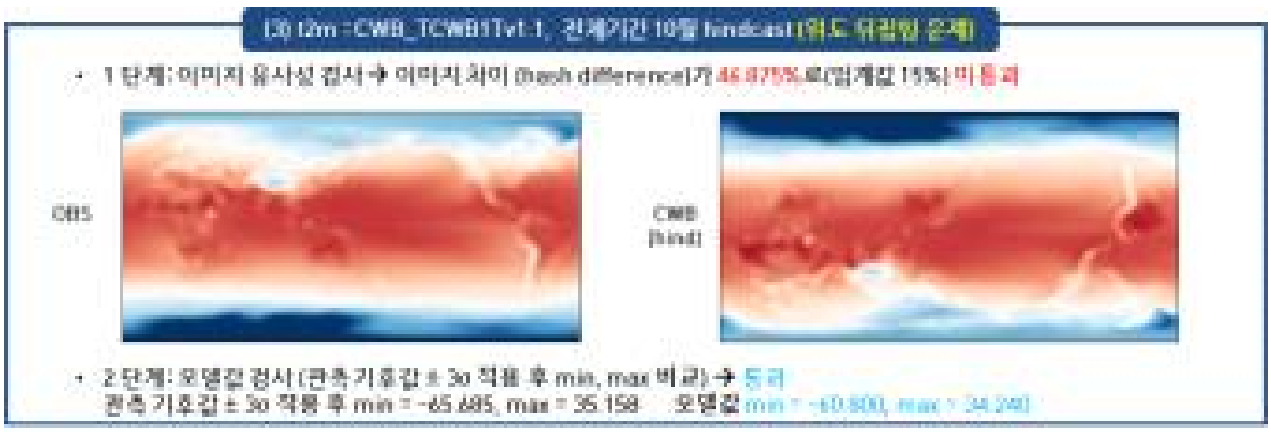


Figure 74. Example of result for 2m temperature of CWB_TCWB1Tv1_1 using quality check system

④ HMC 모델 : 남반구 대륙 지역의 이상값 문제

HMC 모델의 2020년 10월 forecast 2m 기온 자료에서 남반구 내륙 지역에서 상대적으로 낮은 값이 나타난 문제가 발생한 경우이다(Figure 75). 품질검사 1단계에서는 이미지 차이가

15.625%로 품질검사를 통과하지 못하였고, 2단계에서는 모델값의 최소값이 -64.065도, 최대값이 32.002도로 모델 기후값의 적정 범위에 들지 못하여 품질검사를 통과하지 못하였다.

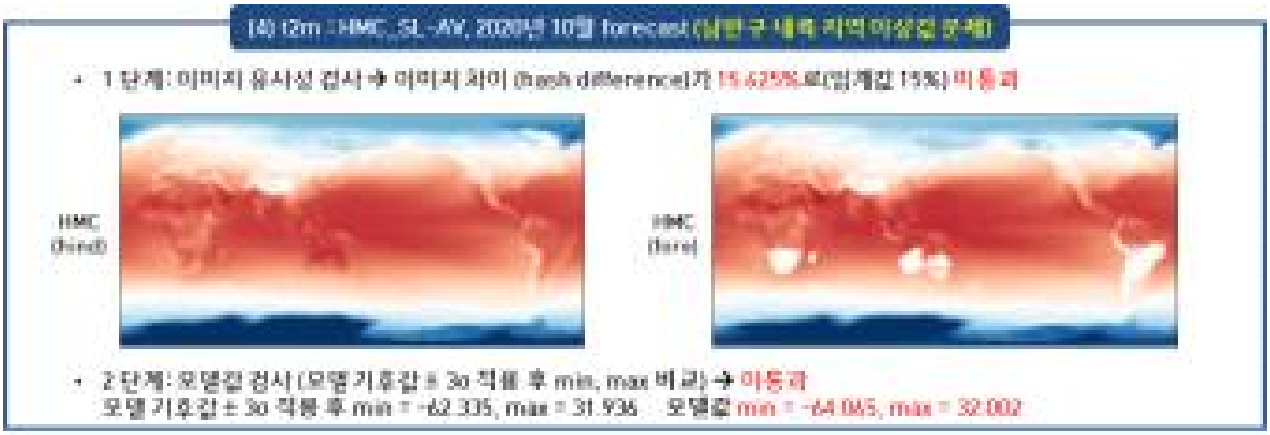


Figure 75. Example of result for 2m temperature of HCM_SL-AV using quality check system

라. 다중모델 앙상블 자료 개선 기반 구축

(1) APCC 및 타 기관 계절 예측 모델

현재 다중모델앙상블 기법을 적용한 예측 정보를 제공하는 기관은 APCC 외에 NMME (North American Multi-Model Ensemble), WMOLC(World Meteorological Organization Lead Center), C3S(Copernicus Climate Change Service)가 있으며, EUROSIP의 경우 2019년 10월부터 서비스가 중단되었다. 따라서 APCC 및 WMOLC, NMME, C3S에 참여하는 계절예측 모델의 hindcast 자료가 수집되었다. APCC, WMOLC, NMME, C3S MME에 참여하는 개별모델의 구성은 Table 47과 같다. APCC MME에 참여하는 모델 수가 가장 많으며, 이들 중 약 62%의 모델은 WMO의 참여모델과 동일한 것을 알 수 있다. NMME와 C3S MME는 5개의 모델로 구성되어 있으며, 서비스가 중단된 EUROSIP의 경우 C3S와 대다수의 모델이 동일하였다.

다중모델 앙상블 자료 개선을 위한 연구에서는 PCC에 참여하는 13개의 계절 예측 모델을 비롯하여, WMO에서 4개, NMME에서 2개, 그리고 C3S에서 1개의 계절예측 모델 자료가 사용되었으며, 이는 Table 48에 제시하였다.

Table 47. List of individual models participating in MMEs of different operation centers.

	APCC	WMO	NMME	C3S
Hindcast 기간	1983-2010	1993-2009	1982-2010	1993.02-2016
참여모델	13개 모델	12개 모델	5개 모델	5개 모델
	BCC_CSM BOM_ACCESS_S1 CMCC_SPS3 HMC_GCM JMA_JRA55 KMA_GLOSEA5 MSC_CANSIPSV2 NASA_GEOS5 NCEP_CFSv2 UKMO_GLOSEA5	BCC_CSM BOM_ACCESS_S1 HMC_GCM JMA_JRA55 KMA_GLOSEA5 MSC_CANSIPSV2 NCEP_CFSv2 UKMO_GLOSEA5	MSC_CANSIPSV2 NASA_GEOS5 NCEP_CFSv2	CMCC_CM3 UKMO_GLOSEA5
	APCC_SCOPS CWB_CWB PNU_CGCM	CPTEC_GCM SAWS_EPS DWD_GCFS2 ECMWF_SEAS5	GFDL_FLORB NCAR_CCSM4	MF_SYS6 DWD_GCFS2 ECMWF_SEAS5

Table 48. The information of 20 climate models participating in MMEs.

Model	Institution	No. of ensemble
· 13 climate models from APCC MME system		
SCoPS	APEC climate center (APCC)	10
BCC	Beijing Climate Center (BCC)	24
ACCESS-S	Bureau of Meteorology (BOM)	11
CMCC-SPS3	Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC)	20
TCWB1Tv1.1	Central Weather Bureau (CWB)	30
SL-AV	Hydrometeorological Center of Russia (HMC)	10
JMA/MRI-CPS2	Japan Meteorological Agency (JMA)	10
GloSea5	Korea Meteorological Administration (KMA)	12
CanSPISv2	Meteorological Service of Canada (MSC)	20
GEOS-S2S-2.1	National Aeronautics and Space Administration (NASA)	4
CFSv2	National Centers for Environmental Prediction (NCEP)	20
PNU CGCMv2.0	Pusan National University (PNU)	35
GloSea5	United Kingdom Met Office (UKMO)	12
· 4 climate models from WMO MME system		
CPTEC_GCM	Centro de Previsao de Tempo e Estudos Climaticos (CPTEC)	10
GCFS2	Deutscher Wetterdienst (DWD)	30
SEAS5	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)	25
EPS	South African Weather Service (SAWS)	10
· 2 climate models from NMME system		
FLOR	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL)	12
CESM1	National Centers for Atmospheric Research (NCAR)	10
· 1 climate models from C3S		
MF_SYS7	Meteo-France (MF)	12

(2) APCC MME 및 타 기관 MME의 예측력 비교

Figure 76은 각 기관별 개별모델의 계절별 ACC(anomaly correlation coefficient)와

TCC(temporal correlation coefficient)를 나타낸 것으로, 특정 모델이 특정 계절에 예측성이 매우 낮게 나타나는 경우가 있음을 확인할 수 있다. APCC MME와 C3S MME에 참여하고 있는 CMCC 모델의 경우 남반구 극지역의 기온 예측력이 매우 낮아 개별모델의 예측력은 낮게 나타나지만, APCC에서는 MME 생산 시 남반구 극지역에 결측처리를 하고 있다. C3S의 경우 특별한 처리를 하지 않는 것으로 보여 SCM 적용 시에도 각 기관별 처리 방식을 달리 하였다.

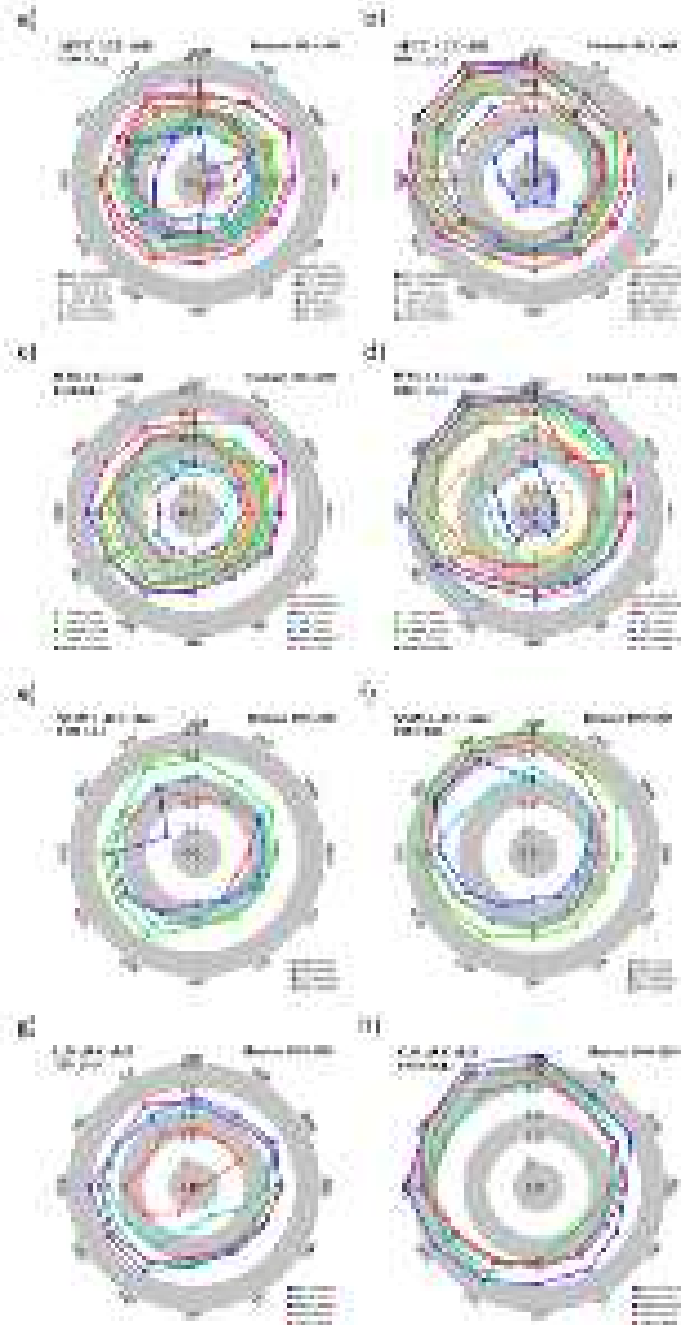


Figure 76. Anomaly correlation of (a) 2m temperature and (b) precipitation of APCC, (c) 2m temperature and (d) precipitation of WMO, (e) 2m temperature and (f) precipitation of NMME, and (g) 2m temperature and (h) precipitation of C3S over the globe.

Figure 77은 전구에서 기관별 MME의 계절별 ACC(anomaly correlation coefficient)와 TCC(temporal correlation coefficient)를 나타낸 것으로, 모든 기관의 예측성이 계절에 따라 유사하게 변동하고 있음을 보여준다. ACC의 경우 다른 계절에 비해 여름의 상관관계가 약하게 나타나고 있으며, 특히 C3S의 예측력이 다른 기관에 비해 낮은 특징을 보인다 (Figure 77a). 이는 C3S MME를 구성하고 있는 개별모델 중 2개의 모델이 남반구 극지역에서의 온도 아노말리를 비현실적으로 모의하고 있기 때문으로 확인되었으며, 5개의 모델로 구성되어 있는 C3S MME의 경우 1~2개 모델의 오차가 커지면 그 영향이 MME에도 크게 반영되는 결과를 보이는 것이라 할 수 있다. TCC는 여름과 겨울에 상대적으로 낮은 값을 보이고 있으며, 이러한 특징은 모든 MME에서 동일하게 나타난다(Figure 77c). 강수의 경우 대부분의 모델들이 열대해양의 강수대를 잘 모의하므로 ACC는 높게 나타나지만(Figure 77b), 연변동을 잘 모의하지 못하므로 TCC는 낮게 나타나는 경향을 보인다(Figure 77d).

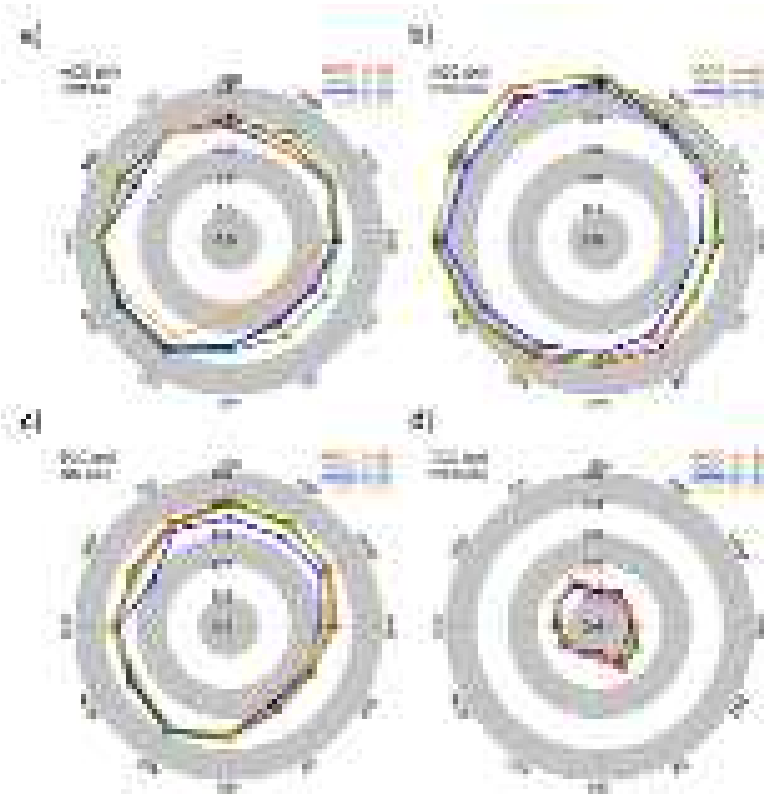


Figure 77. Anomaly correlation of (a) 2m temperature and (b) precipitation, and temporal correlation of (c) 2m temperature and (d) precipitation over the globe.

Figure 78은 MME의 효율성을 살펴보기 위한 것으로, 전구 및 동아시아 기온, 강수에 대한 각 MME 개별모델들의 예측성과 개별모델의 평균 스킬, 그리고 MME의 예측성을 나타낸 것이다. 개별모델 수가 많은 APCC와 WMO는 모델에 따라 스킬의 변동폭이 크고, 개별모델의 예측성 평균이 0.2~0.35 정도로 나타난다. 반면, 개별모델 수가 상대적으로 적고, 특별히 예측성이 낮은 모델이 없는 C3S의 경우 개별모델 평균 스킬이 다른 세 기관에 비해 높은 것을 알 수 있다. 그러나, MME의 예측성은 네 기관이 큰 차이가 없었다. 따라서, MME의 효율성은 APCC,

WMO와 같이 참여모델이 다양한 조합의 MME에서 더 높게 나타난다는 것을 알 수 있다. 특히, 동아시아처럼 다른 지역에 비해 예측성이 높지 않은 지역, 즉 예측의 불확실성이 높은 지역에서 MME의 효율성이 더 클 수 있다.

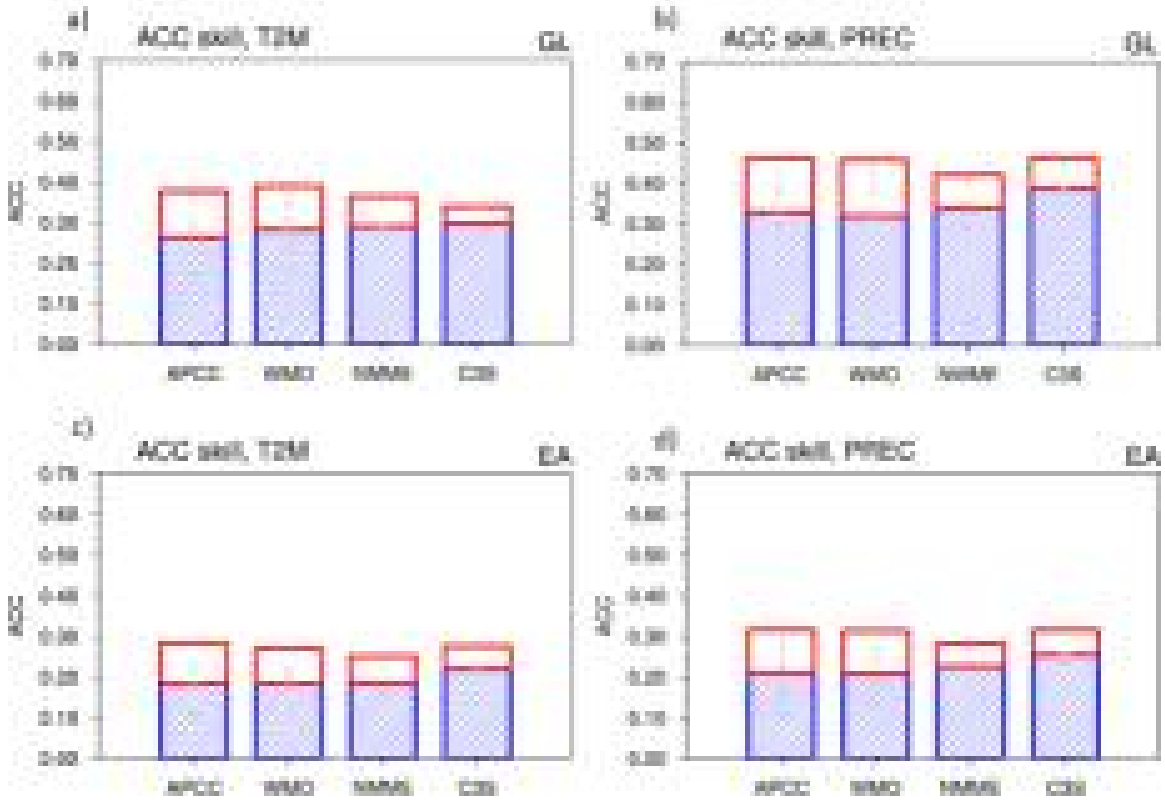


Figure 78. Anomaly correlation of (a) 2m temperature and (b) precipitation for APCC, WMO, NMME, C3S, and their mean of 12 seasons over the globe. (c) and (d) is same as over East Asia. Red line is MME skill, blue is mean of individual models, and gray lines are individual models.

(3) 참여모델 수에 따른 예측민감도 분석

APCC는 다중모델앙상블 예측정보의 예측력을 향상시키기 위한 일환으로 보다 다양한 모델의 참여를 위하여 참여 모델의 확대에 많은 노력을 기울여왔으나, 참여모델의 확대가 예측력 향상에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 의문을 제기 받아 왔다. Alessandri et al. (2018)의 선행연구에 의하면 다중모델앙상블에 참여하는 모델 수가 증가할수록 예측력이 높아짐을 보이면서 일정 예측력 수준에서 수렴함을 밝혔으나, 분석에 활용된 모델은 비교적 과거에 개발된 모델이고, 활용된 모델의 수가 적다는 한계가 있으며, 비복원 방식의 모델 조합 방법을 활용하여 모집단과 실제 유사도가 낮을 수 있는 문제점이 있다. 이에, 본 연구에서는 다중모델앙상블에 참여하는 모델 수와 구성에 따라 예측력에 미치는 영향을 살펴보고자 하며, APCC 다중모델앙상블 예측정보의 현 위치 수준을 파악하고 예측력을 향상시킬 수 있는 가능성을 제시하고자 한다.

(가) 실험 설계 및 방법

본 연구에서는 다중모델앙상블에 참여하는 모델의 수와 구성(조합) 방법에 따라 계절별, 지역별 예측력에 미치는 영향을 평가하였다. APCC, C3S, NMME, WMO 다중모델앙상블에 참여하고 있는 모델(Table 47) 중 중복되는 모델을 포함하여 20종의 모델의 예측자료(Table 48)가 활용되었고, 다중모델앙상블에 참여하는 모델을 특정하지 않고 최소 2개에서 최대 20개까지의 모델 수별로 무작위하게 조합하여 예측력을 분석하였다. 여기서 적용한 무작위 조합 방법은 붓스트랩 방법으로써 확률 분포의 가정을 두지 않고 정확한 확률분포를 모르는 경우나 측정된 샘플이 충분하지 않은 경우에 사용되며, 참여 모델 수에 따라 불특정모델을 50,000회 복원(모델 간 중복 허용) 추출하여 조합함으로써 모집단과 유사하게 추정하고자 하였다(Efron and Tibshirani, 1994; Efron, 2003). 이러한 방법으로 참여 모델 수에 따라 전지구, 열대, 동아시아 지역에 대한 기온 및 강수의 예측력을 살펴보았고, 10th, 25th, 75th, 90th, 중앙값을 함께 제시하여 APCC, C3S, NMME, WMO의 각 기관별 다중모델앙상블 예측 정보의 수준을 진단하였다. 또한, 최대 예측력을 보이는 모델 구성을 분석하여 유추 가능한 최적의 참여 모델 조합을 분석하였다.

(나) 연구 결과

먼저 전구 기온 및 강수에 대하여 참여 모델 2개부터 20개까지 무작위 조합을 통한 다중모델앙상블 예측력을 계절별로 분석하였다(Figure 79). 그림 1에서 회색 점은 각 조합별 다중모델앙상블의 예측력을 의미하고, 초록색 박스는 전체 50,000개의 조합별 예측력의 25th 과 75^{th}퍼센타일 사이의 구간, 박스 내 선은 중앙값, 그 외에 하단 및 상단 선은 각각 10^{th}과 90^{th}퍼센타일을 의미한다. 또한, 각 다중모델앙상블 제공 기관의 참여 모델 수에 따른 계절별 예측력을 별표(APCC: 빨간색, NMME: 연두색, WMO: 파란색, C3S: 분홍색)로 표시하여 각 기관의 예측력 수준을 비교하였다. 계절별로 참여 모델 수 및 구성에 따라 나타날 수 있는 예측력의 범위는 다양하게 나타났으며, 특히 여름철 기온의 예측력의 변화폭이 크게 나타났다. 이는 참여 모델 수와 구성에 따라서 여름철 기온 예측값에 가장 민감한 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 또한, 예측력 90th 퍼센타일 이상에 해당하는 범위에 비해 10th 퍼센타일 미만의 예측력 범위에서 변화 폭과 그 변동성이 큰 것으로 나타났다. 참여 모델 수가 증가할 때 예측력의 변화를 살펴보면, 참여 하는 모델 수가 증가할수록 예측력도 함께 증가하는 추세를 보이지만 그 추세는 계절별로 상이하며 대체로 참여 모델이 10~12개 일 때 추세의 기울기가 완만해지고 그 이상의 모델이 참여하더라도 예측력의 변화는 크지 않은 것으로 나타났다. 또한 참여 모델 수가 적을수록 예측력 박스 크기가 크고, 참여 모델 수가 많을수록 예측력 박스 크기가 줄어드는 특징을 보이는데, 이는 참여 모델 수가 적을수록 모델 구성 조합에 따라 다중모델앙상블 예측력의 불확실성이 크며, 참여 모델 수가 증가할수록 예측하는 양상이 유사해짐에 따라 일정 구간(참여 모델 10~12개)에서 예측력이 수렴하고 되고, 그 이상의 모델 수가 참여하더라도 점차 예측 변동성이 줄어들게 되어 아무리 많은 모델이 다중모델앙상블에 참여하더라도 예측력 향상의 한계가 있음을 시사한다.

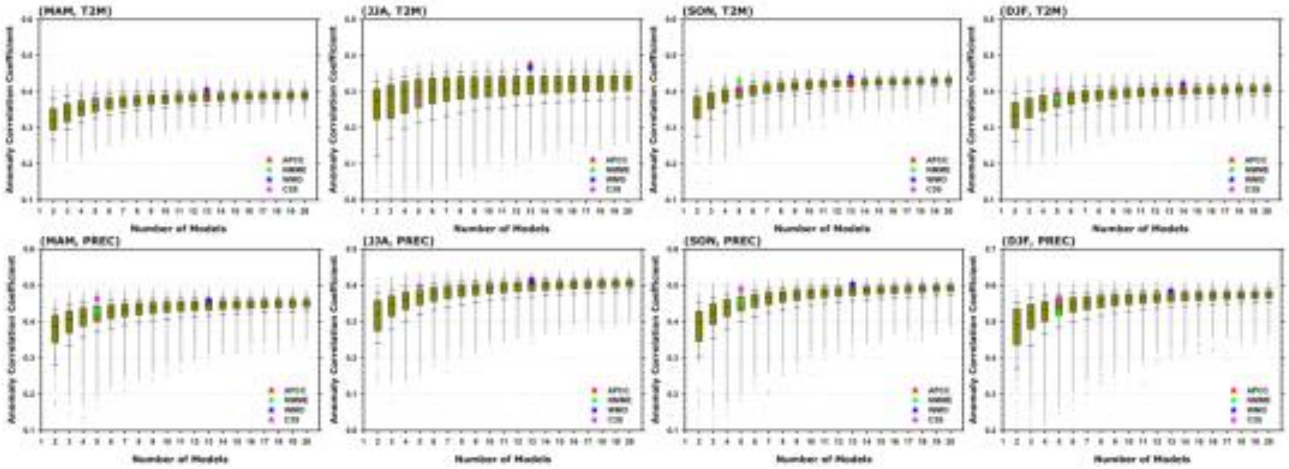


Figure 79. Anomaly correlation coefficient according to number of participating models in MME of (top) 2m temperature and (bottom) precipitation for MAM, JJA, SON, and DJF over the globe.

APCC, C3S, NMME, WMO에서 제공하는 다중모델앙상블 예측자료는 각각 13개, 5개, 5개, 13개의 참여모델이 참여하고 있으며, 각 기관별로 계절별 기온 및 강수 예측력을 비교한 결과, 참여모델 수가 13개로 많은 APCC와 WMO의 예측력이 75th 90th 퍼센타일 이상의 높은 예측력을 보이며, C3S와 NMME는 계절별로 예측력 순위의 변동은 있지만 대체로 5개 모델로 조합하는 방법 중 상위권에 위치하는 것을 확인할 수 있다. 특히 전구 기온의 경우 APCC 기관의 다중모델앙상블 예측력이 13개의 모델 조합 중 90th 퍼센타일 이상의 최상위권으로 나타났다.

전구 뿐만 아니라 열대지역과 동아시아 지역에 대해서도 분석을 수행하였다. 그림 2와 3은 각각 열대와 동아시아 지역에 대한 참여 모델 수 및 구성에 따른 계절별 기온 및 강수 예측력을 나타내는 결과로써 해당 지역적 특성에 따라 예측력의 분포는 상이하게 나타나지만 대체로 예측력 양상은 전구와 유사하게 나타나고, 참여 모델 수가 10~12개 사이에서 예측력 수렴 구간이 나타나는 동일한 특징을 보였다. (Figure 80, 81)

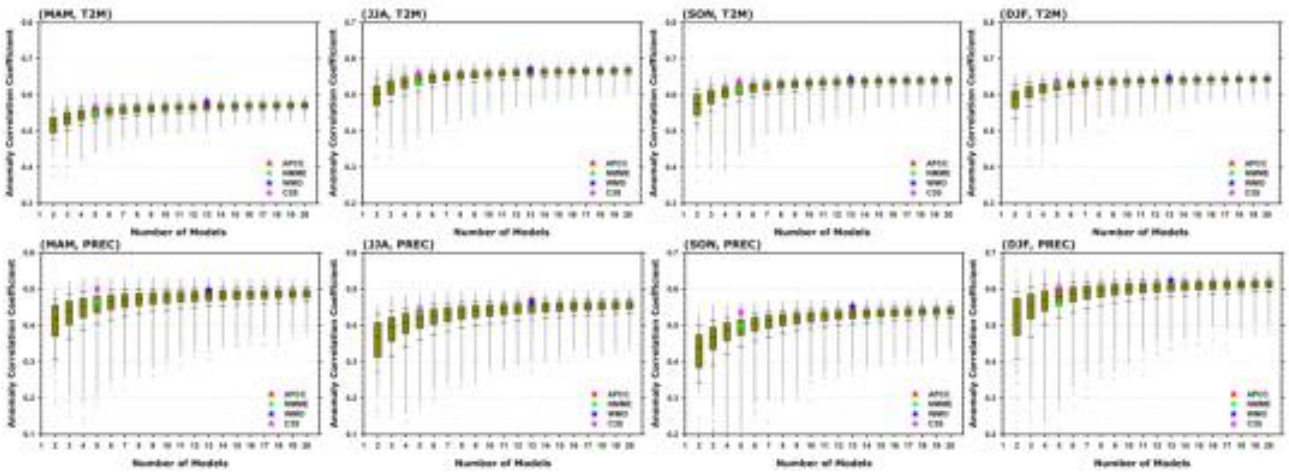


Figure 80. Same as Figure 79 except for Tropics.

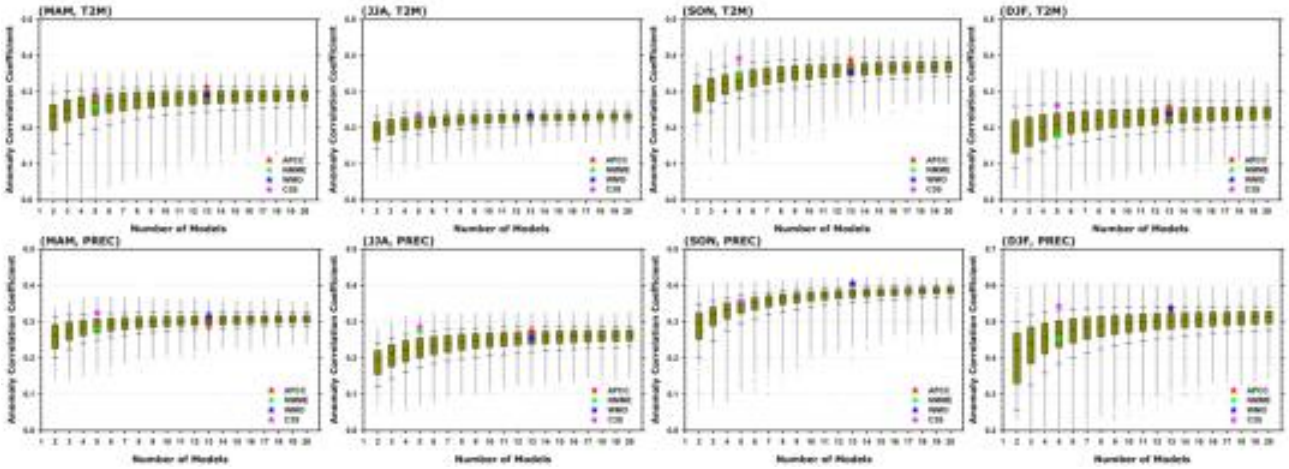


Figure 81. Same as Figure 79 except for East Asia.

다중모델앙상블의 예측력을 향상시킬 수 있는 최적 모델 조합을 알아보기 위하여 참여 모델 수 및 구성에 따른 지역별, 계절별, 기온 및 강수의 가장 높은 예측력을 가지는 모델 조합 구성을 분석한 결과, 지역별 계절별로 최상 예측력을 가지는 모델 조합은 상이하지만 기온의 경우 대체로 ECMWF, KMA, MSC, NCAR, UKMO 등이 참여할수록 높은 예측력을 보였으며, 강수의 경우 APCC, DWD, ECMWF, JMA, UKMO 등이 참여할수록 높은 예측력을 보였다. 하지만 ECMWF의 경우 참여 모델이 5~7개 이후부터 최상 예측력 조합에 포함되는 것으로 나타났다. 이는 참여 모델 수가 적을 경우 각 참여 모델 자체의 예측력이 높을수록 최적의 다중모델앙상블이 가능하고, 참여 모델 수가 많을 경우 모델의 다양성이 예측력을 높이는데 기인하는 것으로 사료된다. 또한, 기온의 예측력은 높은 예측력을 보이는 참여 모델이 참여할수록, 강수의 예측력은 모델 역학적 구성이 다양한 모델이 참여할수록 향상되는 것으로 나타났다.

(4) 모델 구성성분에 따른 예측민감도 분석

① 구성성분에 따른 모델 분류 및 특성

APCC MME 참여모델 13개와 타 기관 참여모델 중 APCC 개별모델과 중복되지 않는 7개의 모델들을 해양모델과 대기 초기조건을 기준으로 분류해 보았다(Table 49). 해양모델의 경우 NEMO와 MOM으로 나눌 수 있었고, 대기 초기조건은 크게 ECMWF에서 제공하는 ERA-interim(Dee et al. 2011) 혹은 ERA5(Hersbach et al. 2020)와 NCEP 재분석 자료(Kalnay et al. 1996; Kanamitsu et al. 2002)로 나눌 수 있었다. 해양모델이 NEMO인 경우 대부분 대기 초기조건으로 ERA-interim을 사용하는 것을 알 수 있으며, 해양모델이 MOM인 경우 NCEP 재분석 자료를 사용하는 것으로 나타났다. 이를 종합해보면 현재 MME에 참여하고 있는 모델들은 크게 NEMO와 ERA-interim 혹은 ERA5를 사용하는 유럽형 모델과 MOM, NCEP 재분석 자료를 사용하는 미국형 모델의 두 부류로 나누어진다는 것을 의미한다.

Table 49. Categorization of models based on (a) ocean model and (b) atmospheric initial condition of hindcast.

a	NEMO	MOM
Model	BOM_ACCESS-S1 CMCC_SPS3 (v3.4) KMA_GloSea5 (v3.4) MSC_CANSIPSv2 (v3.6) UKMO_GloSea5 (v3.4) ECMWF_SEAS5 (v3.4) METFR_SYS7 (v3.6)	BCC_CSM1.1 (4) NASA_GEOS5v2 (5) NCEP_CFSv2 (4) PNU_CGCMv2.0 (3) SAWS_EPS (3) GFDL_FLOR (5)

b	ERA-interim	NCEP
Model	BOM_ACCESS-S1 CMCC_SPS3 KMA_GloSea5 MSC_CANSIPSv2 UKMO_GloSea5 ECMWF_SEAS5 DWD_GCFS2 METFR_SYS7 (ERA5)	BCC_CSM1.1 PNU_CGCMv2.0 SAWS_EPS APCC_SCoPS (CFSR) NCEP_CFSv2 (CFSR) HMC MGO CPTEC_GCM

모델들 사이의 유사성을 알아보기 위해 20개 모델들간의 ACC를 구해보았다(Figure 82). 그래프에서 붉은색이 진할수록 두 모델의 아노말리 장이 유사하다는 것을 의미하여, 해양모델과 대기 초기조건 뿐 아니라 대기 및 지면모델, 해양초기조건까지 매우 유사한 GloSea 계열의 세 모델 BOM, KMA, UKMO의 유사성이 가장 높은 것으로 나타났다. MSC의 경우 CanCM4i와 GEM_NEMO 두 모델에서 각각 10개의 앙상블을 생산하여 20개의 앙상블을 제공하는데, GEM_NEMO가 NEMO 해양모델과 ERA-interim 을 대기 초기조건으로 사용하고 있다. 따라서, MSC 또한 위 세 모델과의 높은 상관관계를 나타낸 것으로 보인다. GloSea 계열의 네 모델 외에도 NEMO, ERA-interim을 사용하는 유럽형 모델들 사이의 상관관계는 0.6 이상으로 높게 나타난 반면, 미국형 모델들 사이의 상관관계는 뚜렷하게 나타나지 않았다.

Figure 83는 20개 모델들의 관측 자료와의 상관관계를 구해 순위대로 나열한 것으로, 붉은색 사선으로 표시된 모델은 NEMO, ERA-interim을 사용하는 유럽형 모델을 나타낸 것이며 푸른색 사선으로 표시된 모델은 MOM, NCEP 재분석자료를 사용하는 미국형 모델을 나타낸 것이다. 기온과 강수에서 모두 유럽형 모델들이 상위권에 위치하는 것을 확인할 수 있는 반면, 미국형 모델들은 20개 모델 평균 예측력보다 아래에 있는 것을 알 수 있다. 이는 유럽형 모델들의 대부분이 최근에 개발/개선된 모델인데 반해 미국형 모델들은 상대적으로 오래 전에 개발된 모델이므로 이 연구에서 공통 hindcast 기간으로 정한 1993년~2009년에 대한 비교적 최근 기후 트렌드를 반영하는데에 어려움이 있는 것으로 보인다.

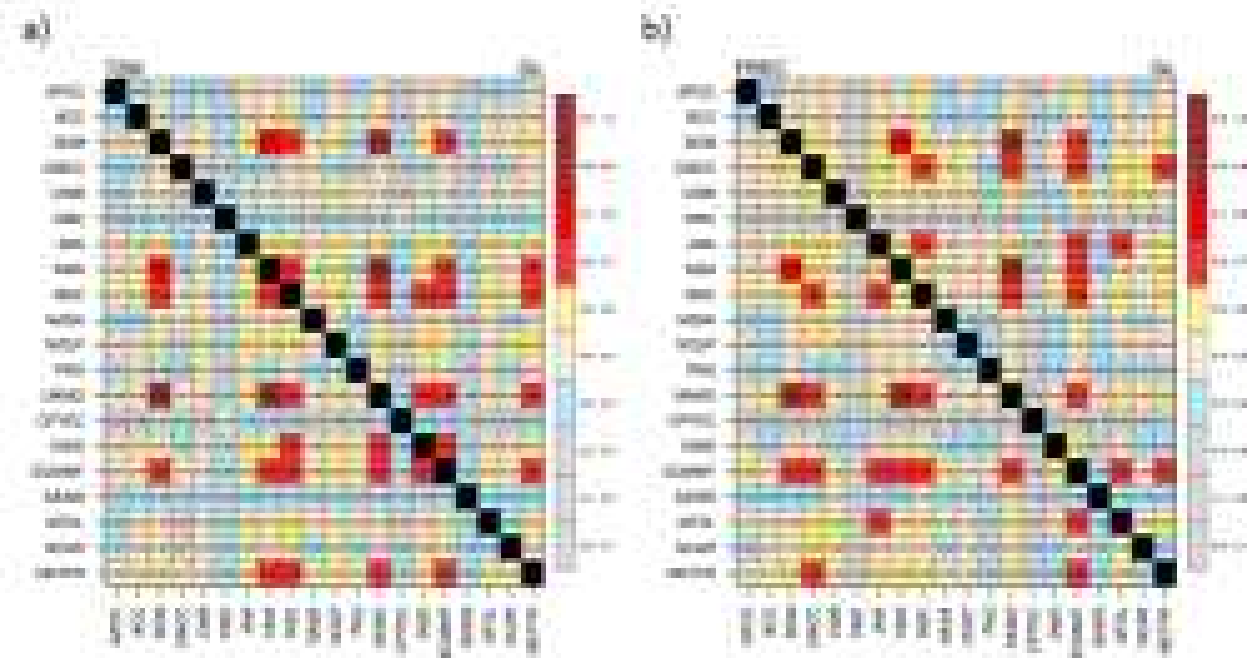


Figure 82. Anomaly correlations of (a) 2m temperature and (b) precipitation between 20 models.

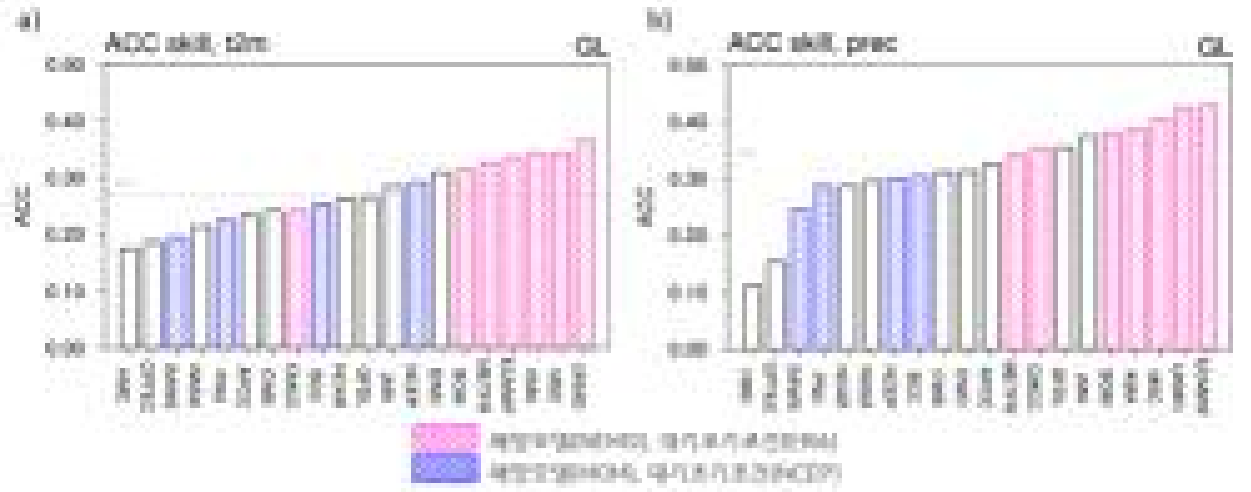


Figure 83. Anomaly correlations of (a) 2m temperature and (b) precipitation of 20 models.

② 구성성분에 따른 민감도 실험

구성성분에 따른 MME 조합과 예측력 변화를 살펴보기 위해 몇 가지 간단한 민감도 실험을 구성하였다. 20개 모델 중 유사성이 높은 것으로 나타난 7개 모델(MME1; ECMWF, UKMO, KMA, MSC, BOM, CMCC, METFR)로 MME를 구성한 것과 예측력 상위 4개 모델(ECMWF, UKMO, KMA, MSC)와 다양성을 줄 수 있는 3개의 모델(NCEP, JMA, APCC)로 MME한 결과

(MME2)의 예측력을 비교해 보았다.

Figure 84는 두 그룹의 MME 예측력 차이를 계절별/지역별로 나타낸 것으로 변수 별로 다른 특징을 보이는 것을 알 수 있다. 기온의 경우 MME1의 예측력이 높게 나타나는 반면 강수에서는 12계절 모두에서 MME2의 예측력이 MME보다 높게 나타난다(그림 84a). MME1과 MME2를 구성하는 개별모델들의 예측력 평균을 구해보면 MME1의 경우 기온 0.325, 강수 0.389이고, MME2에서는 기온 0.314, 0.378로 MME1의 개별모델 성능이 MME2보다 좋다는 것을 확인할 수 있다. 그러나, MME 결과를 보면 강수에서는 오히려 MME2의 예측력이 MME1에 비해 높게 나타나 강수 예측력은 개별모델의 성능뿐 아니라 MME를 구성하는 모델의 다양성 또한 중요한 역할을 한다는 것을 알 수 있다.

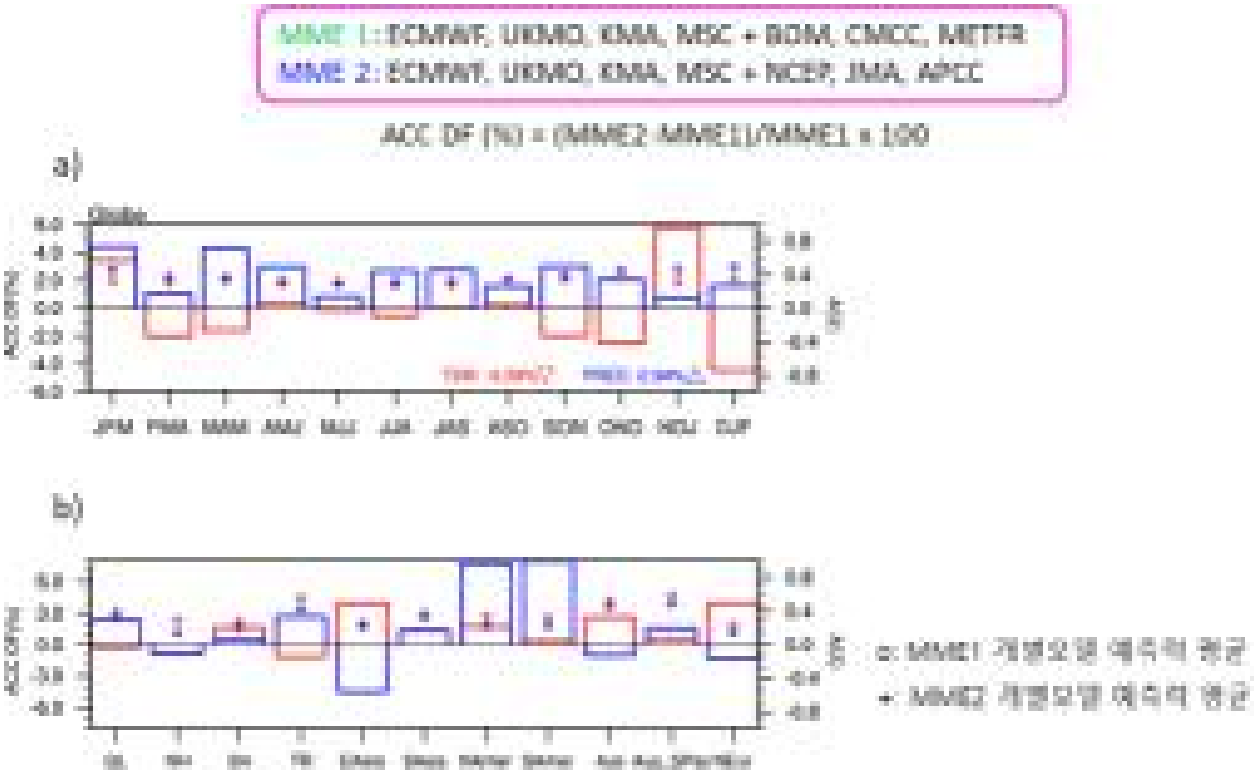


Figure 84. Anomaly correlation differences of 2m temperature and precipitation for (a) seasons and (b) regions.

다음 민감도 실험은 차년도부터 진행될 예측정보 조기제공을 위한 것으로 현재 APCC MME에 참여하고 있는 13개 모델 중 예측정보 제공시기가 15일로 당겨질 경우 MME에 참여하기 힘든 모델들을 제외한 MME가 현재 MME set과 예측성능에서 어느 정도 차이가 있는지를 살펴본 것이다. Table 50은 개별모델 별 수집 시기를 나타낸 것이며, MME 제공시기가 15일로 당겨질 경우 BCC, CMCC, KMA, UKMO는 사용하기 힘들 것으로 예상된다. APCC와 JMA는 현재 10~15일 사이에 수집되고 있지만 APCC는 자체 모델로 현업 시기 조정이 가능하며, JMA는 수집 시기를 당기기 위한 논의가 있었으므로 조기제공과 맞출 수 있을 것으로 예상된다. 따라서, BCC, CMCC, KMA, UKMO를 제외할 경우 현재 MME set을 유지하는 것과 비교해 예측력이 얼마나 하락하는지를 살펴보았다.

Table 50. Schedule of collecting individual model’s data

수집 시기(매월)	모델
1~5일	BOM, MSC
6~10일	CWB, HMC, MGO, NASA, NCEP
11~15일	APCC, BCC, CMCC, JMA, KMA, UKMO

Figure 85는 두 그룹 사이의 예측력 변화를 살펴본 것으로 예측정보 조기 제공을 위해 몇몇 모델을 사용하지 않음으로써 발생하는 예측력 하락은 불가피한 것으로 보인다. 특히 KMA, UKMO와 같이 예측력이 우수한 모델을 사용하지 못하게 됨에 따라 기온에서의 예측성능 하락이 강수에 비해 더 클 것으로 예상되며, 정도의 차이는 있으나 거의 모든 지역에서 예측력이 떨어지는 결과를 보였다.

MME를 구성하는 모델 수에 따른 예측력 수렴 구간을 10~12개라고 볼 때 10개의 개별모델로 이루어진 MME의 예측력과 MME를 구성하는 모델들의 평균 예측력의 상관관계, 그리고 MME 예측력과 구성모델들간 유사성과의 관계를 살펴보았다. Figure 86은 10개 모델의 조합을 중복을 허용하지 않고 무작위로 1000회 반복작업을 통해 구성하였으며, 선택된 10개 모델들의 MME 예측력과 예측력 평균(Figure 86a), 10개 모델들 사이의 ACC 평균(Figure 86b)를 나타낸 것이다. 기온과 강수 모두 개별모델의 평균 예측력 분포는 0.27~0.37 사이로 유사하지만 MME 예측력은 기온보다 강수에서 더 높게 나타나 강수에서의 MME 효과가 더 크다는 것을 보여준다(Figure 86a). 이는 강수가 기온에 비해 불확실성이 높은 변수이기 때문이라 할 수 있다. Figure 86b에서도 모델들이 기온보다 강수의 예측장을 서로 다르게 모의한다는 것을 확인할 수 있고, 따라서 다양한 모델들의 참여가 강수의 불확실성을 줄이는 데에 도움이 될 수 있다는 것을 뒷받침 해주는 것이라 생각된다.

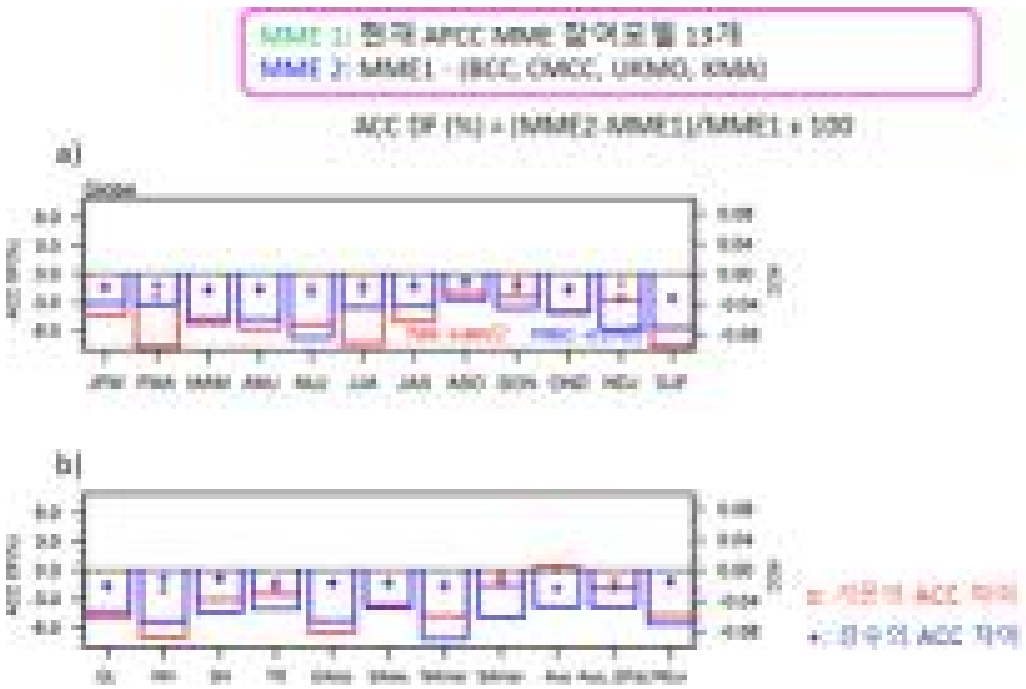


Figure 85. Anomaly correlation differences of 2m temperature and precipitation for (a) seasons and (b) regions.

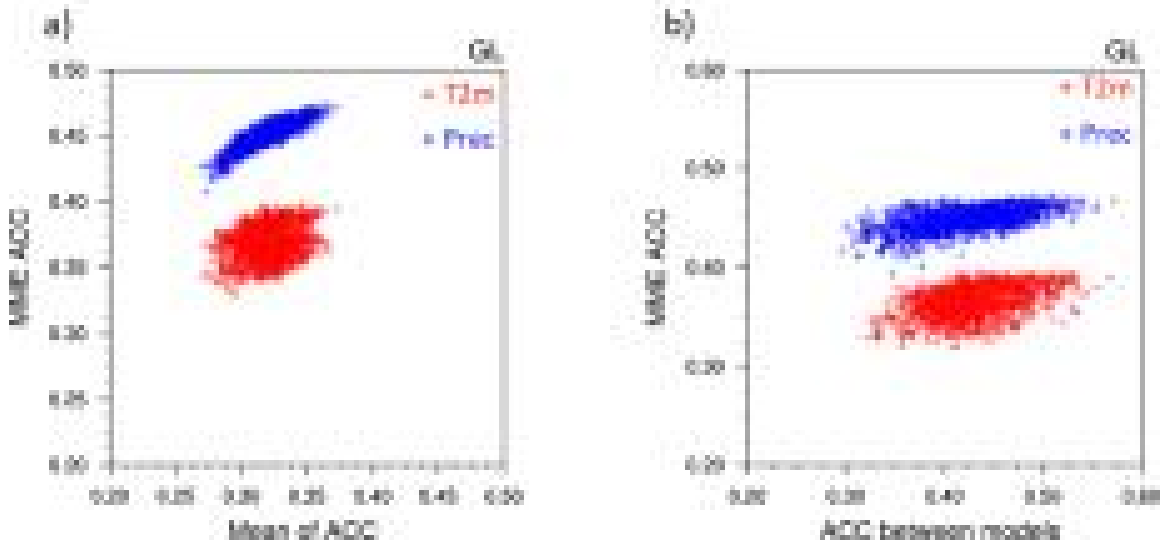


Figure 86. (a) Anomaly correlation of MME and mean of individual models' anomaly correlation, and (b) anomaly correlation of MME and anomaly correlation between individual models.

③ 구성성분에 따른 예측민감도 분석 결과 요약

이 연구는 MME를 개선하기 위한 기반 연구로 새롭게 개선/변경된 모델 set을 업데이트 하여 기관별 MME의 전반적인 예측성을 분석하는 한편 모델 구성성분에 대한 민감도 실험을 통해 예측력의 원인과 한계점을 분석하고자 하였다.

전반적 예측력 분석을 위해 APCC와 다른 기관 MME의 공통 기간인 1993년부터 2009년까지 17년간의 개별모델 자료들에 Simple Composite Method (SCM) 기법을 적용하여 MME set을 구성하였다. 지표기온과 강수에 대한 예측성 비교가 이루어졌으며, APCC와 다른 기관의 MME들은 지역별, 계절별로 유사한 예측성 변동 추이를 보이는 것으로 나타났다. 많은 수의 참여모델이 동일한 APCC와 WMO MME는 예상한 바와 같이 유사한 예측성을 보였고, 동일한 개별모델이 없는 NMME와 C3S의 경우에도 예측성 변동 양상은 유사한 것을 확인하였다. 이는 MME를 구성하고 있는 역학 모델의 대부분이 유사한 강점 혹은 약점을 가지고 있기 때문이라 생각된다.

APCC와 WMO의 경우 10개 이상의 다양한 모델의 조합이므로 개별모델 예측성의 범위 또한 넓고, 다중모델앙상블 기법의 적용을 통해 불확실성이 줄어드는 효과가 크게 나타났다. 반면, C3S의 경우에는 개별모델들이 보이는 예측성 자체가 평균적으로 높은 편에 속해 이들의 조합인 MME 또한 높은 예측성을 보였다.

모델 구성성분에 따른 예측력을 살펴보기 위한 민감도 실험에서는 변수 별로 다른 경향을 보이는 것을 알 수 있었다. 기온의 경우 우수한 모델의 조합일수록 MME 예측력도 향상되었지만, 강수에서는 개별모델의 우수성뿐 아니라 MME를 구성하는 모델들의 다양성 또한 MME 예측력에 영향을 준다는 것을 확인할 수 있었다. 이는 강수처럼 불확실성이 높은 변수 혹은 지역에 대한 MME의 효용성을 보여주는 것이라 할 수 있다.

현재 APCC MME를 구성하는 13개의 모델들은 다양성과 개별모델의 우수성을 골고루 갖추

었다고 볼 수 있다. 개별모델들의 예측성능은 C3S에 비해 낮지만, MME 예측력은 유사하게 나타나 MME 효용성을 보여주고 있으며 특히 모델의 정확도가 상대적으로 낮은 변수 혹은 지역에 대해서 장점이 있을 것이라 생각된다. 또한, 참여모델 수가 많아 소수 모델의 예측성 하락이 MME에 미치는 영향이 크지 않아 현업적인 측면에서 안정적 운영이 확보될 수 있다. 반면, MME의 예측력은 기본적으로 구성 모델의 예측력이 뒷받침되어야 하므로 예측력 향상의 한계가 있을 수 있다.

(5) SCM 최적화 조합을 위한 예측민감도 분석

(가) 연구 방법 및 자료

APCC MME 예측력 향상을 위한 최적화 조합 방안을 제시하기 위해서 현재 사용 가능한 모든 계절예측 모델을 결합해 보고자 하였다. 본 연구에서는 APCC에 참여하는 13개의 계절 예측 모델을 비롯하여, WMO에서 4개, NMME에서 2개, 그리고 C3S에서 1개의 계절예측 모델 자료가 사용되었으며, 이는 Table 48에 제시하였다.

개별모델 앙상블 평균 아노말리는 앙상블 개별 구성원을 평균하고 모델 자체의 평균 기후(1991-2010)를 차감하여 평균에서 각 모델의 계통 오차를 수정함으로써 구성된다. 실시간 결정론적 MME (SCM)을 생성하는데 사용되는 것과 일치하는 방법으로 분산 또는 다른 모멘트의 계통 오차를 수정하지는 않는다. APCC MME 아노말리는 개별모델의 앙상블 평균 아노말리의 평균이며, 이때 개별 모델에 동일한 가중치를 적용하여 구성된다. 결정론적 예측성능은 예측모델의 앙상블 평균값과 관측값의 아노말리 패턴 상관관계를 계산하여 측정한다.

2019년 대비 2020년 APCC MME 예측력 변화를 분석하기 위해 4개 조합의 MME가 구성되었다. 2019년 APCC MME로 구성된 MME1은 SCOPS, GFST119, JMA-JRA55, GEOSv2, CFSv2, POAMA, CMCC, CanCM, PNU_CGCMv1.0의 9개 모델이 포함되며, 총 152개의 앙상블 멤버로 구성된다. MME2는 2019년 MME 멤버에서 새로 추가된 4개의 모델이 포함되어 SCOPS, GFST119, JMA-JRA55, GEOSv2, CFSv2, POAMA, CMCC, CanCM, PNU_CGCMv1.0, BCC_CSM, HMC, KMA_GloSea5, UKMO_GloSea5의 13개 모델이 포함되며, 총 210개의 앙상블 멤버로 구성된다. MME3는 2019년 MME 멤버에서 5개의 모델이 개선되어 교체됨으로써 SCOPS, TCWB1Tv1.1, JMA-JRA55, GEOSv2, CFSv2, ACESS_S1, CMCC_SPS3, CANSIPSV2, PNU_CGCMv2.0의 9개 모델이 포함되며, 총 160개의 앙상블 멤버로 구성된다. 마지막으로 MME4는 4개의 모델 개선과 4개의 모델 참여가 모두 이루어진 2020년 APCC MME로 SCOPS, GFST119, JMA-JRA55, GEOSv2, CFSv2, ACESS_S1, CMCC_SPS3, CANSIPSV2, PNU_CGCMv2.0, BCC_CSM, HMC, KMA_GloSea5, UKMO_GloSea5의 13개 모델이 포함되며, 총 218개의 앙상블 멤버로 구성된다.

본 연구에서는 1991년부터 2010년(20년) 동안의 과거예측자료를 사용하여 1개월 리드 계절예측 성능이 평가되었다. 예측력 검증을 위해 사용된 관측데이터는 현업으로 사용 중인 APCC MME와의 일관성을 위해 APCC 표준 검증데이터를 사용하였다. 온도의 경우 NCEP-R2 (Kanamitsu et al. 2002) 자료를 사용하였으며, 강수의 경우 CAMS-OPI (Janovviak and Xie, 1999)가 사용되었다. 관측으로 인한 예측 민감도를 평가하기 위해 강수 CMAP (CPC Merged Analysis of Precipitation, Xie & Arkin, 1997) 자료와 기온 ECMWF ERA-Interim (Berrisford et al., 2009) 자료 또한 사용되었다. 모형 간 예측성 비교 및 검증의 용이성을 위해, 모든 자료는

수평 해상도 2.5° ×2.5° 로 내삽하여 사용하였다.

(나) 결과

① APCC MME 참여 모델 변경에 따른 MME 예측민감도 분석

2020년은 APCC MME를 구성하는 참여 모델들의 변화가 가장 두드러지게 나타났던 해였다. 5개(BOM, CMCC, CWB, MSC, PNU)의 모델이 개선되어 신 모델로 교체되고, hindcast 기간 변경으로 인해 4개(BCC, HMC, KMA, UKMO)의 모델이 MME에 새롭게 참여함으로써 2019년 대비 전구 연평균 MME 예측력은 기온의 경우 0.37에서 0.39로 5.4% 상승하고, 강수의 경우 0.48에서 0.49로 2.1% 상승하였다. 한 해 동안 이러한 MME 예측력 상승은 이례적인 변화라 할 수 있다. Figure 87은 기온과 강수에 대한 hindcast 평가 기간 동안(1991~2010) 평균된 전구 PCC 예측력을 계절별로 나타낸 것으로, 대부분의 계절에서 MME 예측력 향상을 확인할 수 있다. MME 예측력 향상은 일부 지역, 특정 계절을 제외하고 대부분의 지역에서 일관적으로 상승함을 확인하였다(Figure 생략).

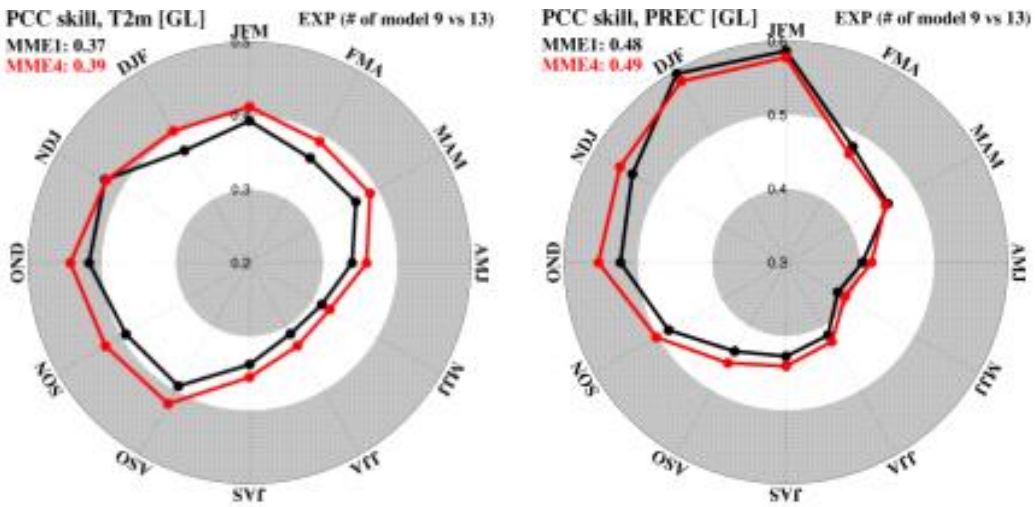


Figure 87. Comparison of Anomaly Correlation Coefficients (ACCs) of 2m temperature and precipitation for EXP1 (black line) and EXP4 (red line).

이전 연구에 의하면, MME 예측력은 MME를 구성하는 개별모델의 기술력에 비례하여 증가하며, MME 구성 요소 모델이 더 독립적일 때 MME 예측력 향상이 더 효과적으로 나타난다(Alessandri et al., 2018; Yoo and Kang, 2005). 따라서 MME 예측력 상승의 원인 분석을 위해 참여모델의 평균 예측력 변화를 살펴보았다. 여기서 모델의 예측력 변화(DF)는 2019년 MME 예측력 대비 2020년 MME 예측력 변화의 비율로 다음과 같이 나타내었다.

$$DF = \frac{MME_{2020} - MME_{2019}}{MME_{2019}} \times 100$$

Figure 88은 기온과 강수에 대한 MME 예측력 및 참여모델의 평균 예측력 변화(DF)를 지역별로 나타낸 것이다. 2019년 대비 MME 예측력은 대부분의 지역에서 향상되며, 이는 MME를 구성하는 개별모델의 예측력 향상으로 인한 효과임을 알 수 있다. MME 예측력 향상이 온도에서는 뚜렷한 변화를 보이는 반면, 강수 예측은 상대적으로 정체된 진전을 보여주는데 이는 강수 예측이 여전히 어려운 문제임을 시사한다.

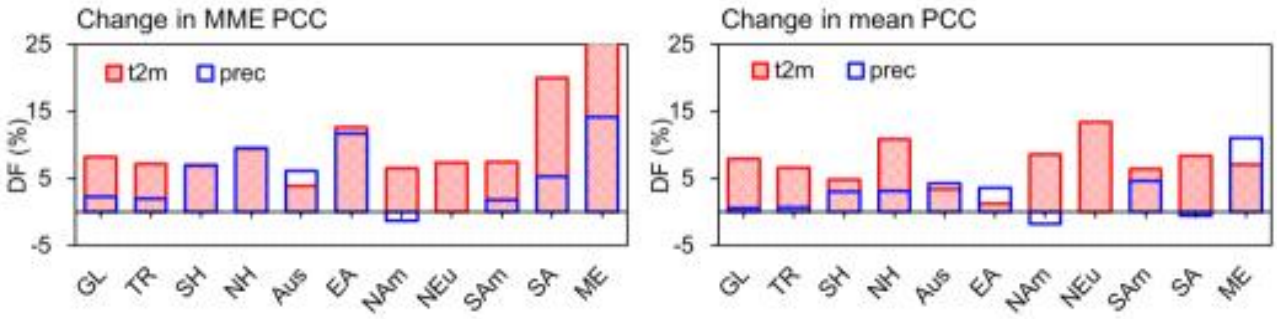


Figure 88. ACCs difference of EXP4 2m temperature and precipitation as compared with EXP1 for each regions for hindcast (1981-2010) seasonal prediction from all 12 initial months and annual mean (AM).

본 연구에서는 APCC 계절예측 모델 변화에 따른 4개의 MME 그룹을 설정하고 민감도 실험을 통해 MME들의 예측성을 비교·평가하였다. Figure 89는 2019년 대비 MME 예측력의 변화 및 개별모델 평균 예측력의 변화 비율을 계절별로 나타낸 것이다. EXP1은 2019년 MME 예측을 나타내며, 예측력 변화의 기준이 되는 기준 실험에 해당된다. MME 예측력은 MME에 참여하는 개별모델의 예측력보다 일관적으로 높게 나타나지만, 평가되는 영역에 따라 일부지역에서는 개별모델의 예측력이 MME 보다 높아지기도 한다(Figure 생략). EXP2는 기존 모델 구성에서 새로운 모델의 참여효과를 나타낸 것으로, 모델 수 4개(BCC, HMC, KMA, UKMO)가 증가하였으며 이에 따라 앙상블 수도 152개에서 210개로 38% 증가하였다. 새롭게 참여한 모델들 중 HMC는 가장 낮은 모델 예측력을 나타내며, 그 외 3개의 모델은 개별모델의 평균 예측력 이상의 성능을 나타낸다. 연평균 전구 MME 예측력의 변화는 온도의 경우 NDJ를 제외한 모든 계절에서 5% 이상 예측력 상승효과를 보이며, 강수의 경우 온도보다는 상대적으로 낮은 상승률을 보이지만 모든 지역에서 일관적으로 상승효과를 나타낸다. 참여모델의 평균 예측력 변화를 살펴보면, 온도의 경우 MME 예측력 변화와 유사한 양상을 나타내지만, 강수의 경우 오히려 평균 예측력이 EXP1 보다 낮아지며 그럼에도 불구하고 MME의 예측력은 향상됨을 볼 수 있다. 따라서 참여모델의 증가는 기존 모델의 평균 예측력을 상승시키는 역할을 할 뿐만 아니라 MME 구성 모델들의 다양성을 증가시켜 MME 예측력 향상효과를 가져옴을 짐작할 수 있다. 또한 강수의 경우 구성 모델의 평균 예측력보다는 MME를 구성하는 모델의 다양성 또는 독립성으로부

터 야기되는 MME의 효과가 예측력 상승에 더 많이 기여하는 것을 확인 할 수 있다. EXP3은 2019년 MME 기존 모델 구성에서 5개(BOM, CMCC, CWB, MSC, PNU)의 모델이 개선되어 신 모델 버전으로 교체되었으며, 앙상블 수가 8개 증가한 160개로 구성되었다. EXP3은 모델 개선에 따른 MME 예측력 변화를 제시한다. EXP3의 연평균 전구 예측력 변화는 EXP2와 비교하여 다소 낮은 비율의 상승률을 보이나, 대부분의 계절에서 예측력 상승효과를 나타낸다. 개선된 모델의 교체는 온도뿐 만 아니라 강수에서도 MME 구성 모델의 평균 예측력을 상승시키며, 그 결과 MME 예측력 향상에 기여한다. 강수의 예측력 변화에서 EXP3의 평균 예측력은 EXP2와 비교해서 상대적으로 더 크게 증가함에도 불구하고 MME 예측력의 변화는 오히려 EXP2 보다 낮게 나타남을 확인할 수 있다. 강수의 경우 MME를 구성하는 모델의 다양성이 가져오는 MME 상승효과가 더 중요하게 나타남을 제시하는 결과라 할 것이다. 마지막으로 EXP4는 모델 개선과 새로운 참여모델 도입이 함께 반영된 실험으로 2020년 APCC MME 예측력의 평가를 위해 구성되었다. EXP4는 총 218개의 앙상블로 구성되며, MME 예측성은 다른 실험과 비교했을 때 대부분의 계절에서 일관적으로 높게 나타난다. 이는 앞서 두 실험에서 언급한 참여모델의 평균 예측력 향상과 함께 새로운 모델의 참여로 모델 간 다양성의 증가가 MME 예측력 향상에 기여한 것으로 분석된다.

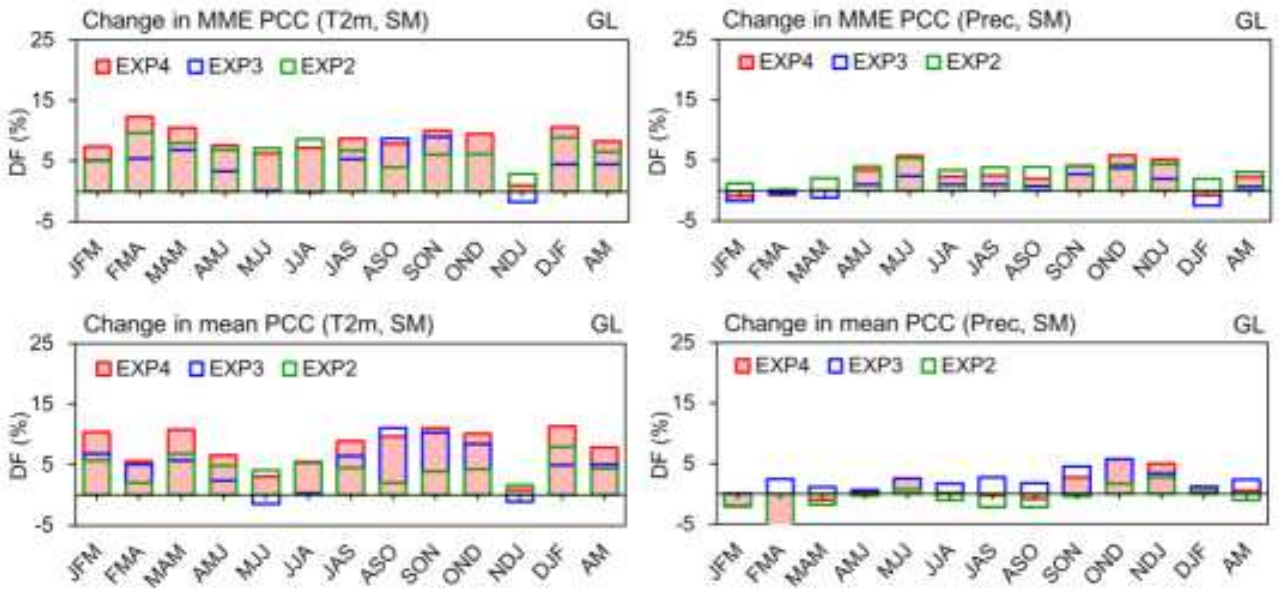


Figure 89. ACCs difference of EXP2, EXP3, and EXP4 of 2m temperature and precipitation as compared with EXP1 for hindcast (1981-2010) seasonal prediction from all 12 initial months and annual mean (AM).

Figure 90은 민감도 실험에 따른 MME 예측력의 변화 및 개별모델 평균 예측력의 변화 비율을 지역별로 나타낸 것이다. 온도의 경우 전구 및 위도별(적도, 남반구, 북반구) 지역에서 MME 예측력 변화는 개별모델 평균 예측력의 변화와 비슷한 양상으로 향상되지만, 세부 지역에서의 MME 예측력은 개별모델의 평균 예측력 변화와는 다소 상이한 양상을 나타낸다. 이러한 지역적 차이는 개별모델의 독립성 및 다양성의 기여도가 지역에 따라 상이하게 나타남을 의미한다. 우리나라를 포함하는 동아시아의 경우, 새로운 모델 참여 또는 모델 개선으로 인한

개별모델의 평균 예측력의 변화는 미비하게 나타나지만 MME 예측력은 두드러지게 향상됨을 확인 할 수 있다. 강수의 경우 전구 MME 예측력 변화는 열대지역에 대한 강수의 예측력으로 좌우됨을 알 수 있으며, 이는 실제적으로 계절평균 주요 강수대가 이 지역에 위치하고 있기 때문이다. 유라시아 대륙(NEu)의 경우 민감도 실험에 따른 예측력 변화가 미비함에도 불구하고 기준 실험의 예측력이 0.1이하의 낮은 값을 나타내어 그 비율이 상대적으로 크게 나타나 0으로 처리하였다. 앞에서도 언급하였듯이 MME 구성에 있어 모델 독립성・다양성의 효과가 강수예측에서 더욱 두드러지게 나타나며, 이는 선택된 지역에 따라 상이한 효과를 나타낸다. 따라서 MME로 인한 강수 예측력 향상을 기대하기 위해서는 더 신중한 MME 조합 방안이 고려되어야 할 것으로 생각된다.

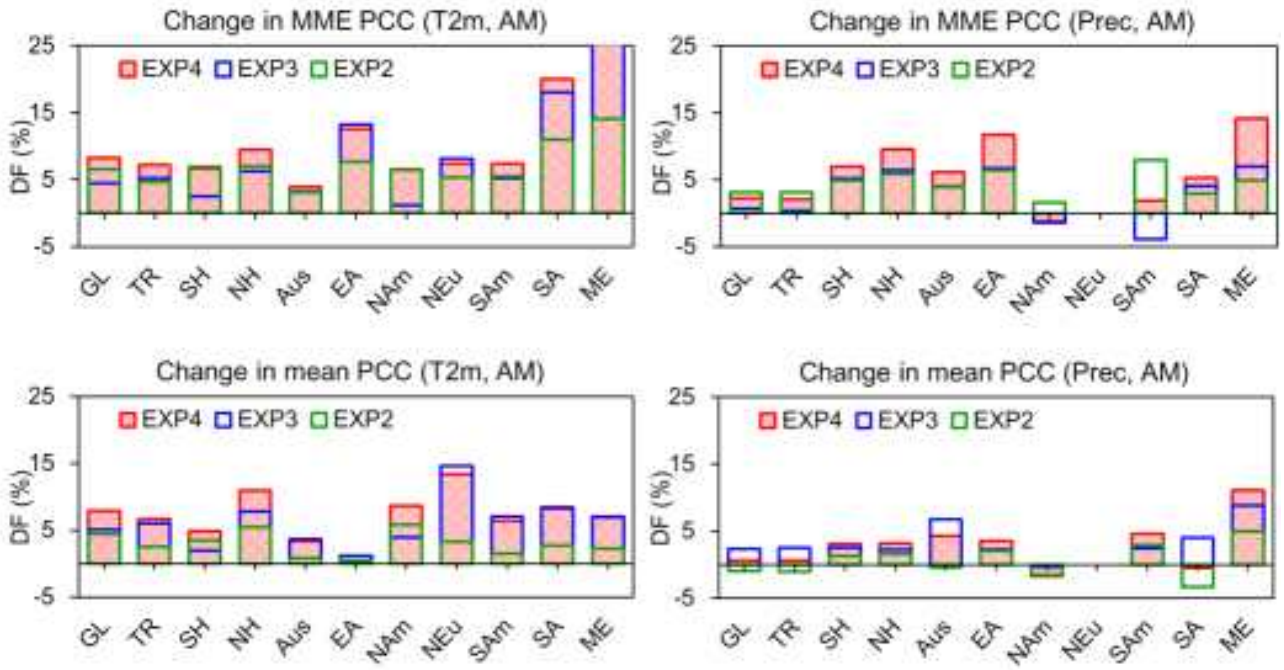


Figure 90. Same as Figure 89 except for the region.

참여모델 변경에 따른 MME 예측민감도 분석에서 사용된 4가지 MME 조합에서 개별 모델의 구성을 살펴보면, 개별 모델의 예측력이 MME 보다 일관적으로 낮게 나타나지만 새로운 모델의 도입(EXP2) 및 모델 개선(EXP3)에 따라 개별 모델의 예측력은 증가하는 것을 확인 하였다(Figure 생략). 온도의 경우 가장 높은 개별 모델의 예측력이 향상될 뿐만 아니라 다수의 모델의 예측력이 상승하는 것을 볼 수 있다. 그러나 Hindcast 변경으로 인해 참여할 수 있게 된 모델들 중 특정 모델의 경우, 참여 모델들 중 가장 낮은 예측력을 나타내어 개별모델 예측력의 범위를 더욱 증가시킬 뿐만 아니라 참여모델의 평균예측력을 저해하는 특징을 보였다. 이는 결과론적으로 MME 예측에 부정적인 효과를 나타내며, MME의 최대 예측력 향상을 위해서는 MME 조합에 있어 개별모델의 조건적 수용방안이 마련되어야 할 필요성을 시사한다.

Figure 91은 민감도 실험 EXP4와 EXP1의 TCC 성능 차이를 나타낸 것으로, MME 참여모

델 변경에 따른 2019년 대비 MME 예측력 변화의 공간적 분포를 나타낸 것이다. 극 지역에서의 예측력 변화가 뚜렷이 나타나는 특징이 있으며, 온도의 경우 예측력이 증가하는 반면 강수의 예측력은 감소함을 확인 할 수 있다. 극 지역에서의 기온 예측력 상승은 온난화에 따른 기온 증가 경향을 대부분의 모델이 잘 모의하기 때문인 것으로 해석된다. 대륙에서 기온 예측력은 적도 아열대 대륙지역인 남동아시아, 아프리카 중남부, 서유럽, 중동지역 및 남미북부에서 상승하는 반면 북반구 중위도 이상의 유라시아 대륙 및 동아시아에서는 감소하는 특징이 있다. 해양에서의 MME 기온 예측력은 적도지역에서 예측력이 약하게 상승하며, 특히 필리핀 동쪽 서태평양에서 다소 강한 예측력 상승을 나타낸다. 강수의 경우 온도에 비해 상대적으로 대륙에서의 예측력이 상승하는 반면 해양에서의 예측력은 감소하는 특징을 가진다. 주요 강수대가 위치하는 적도·아열대 지역에서의 해양에서의 강수 예측력이 다소 감소하는 반면, 인도양과 서유럽, 중동지역 및 동아시아 지역에서의 강수 예측력이 증가하는 것을 볼 수 있다. 참여 모델의 개선에도 불구하여 북극지역에서의 강수 예측력은 상당히 감소하는 것을 볼 수 있는데, 이는 극 지역에서의 해빙 또는 지면 변화에 따른 강수 물리과정이 현재 모델에서 잘 구현되지 않기 때문인 것으로 추측된다.

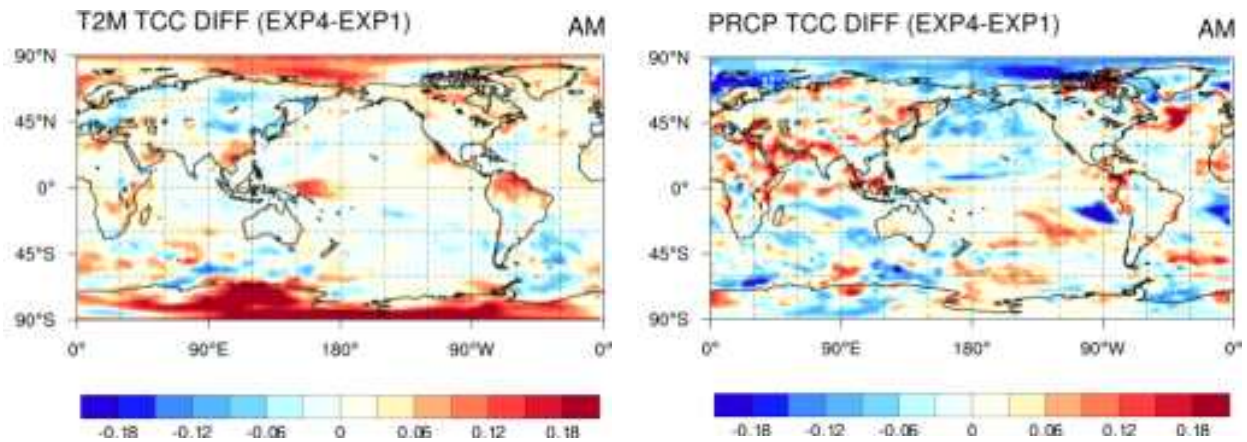


Figure 91. Difference of temporal correlation coefficient between EXP4 and EXP1 of temperature and precipitation. These skill difference contains the skill for all seasons.

② 개별모델의 예측 및 MME 예측기여도 특성 분석

Yoo and Kang (2005)은 MME 예측성이 MME에 참여하는 개별모델의 평균 예측성에 비례한다는 것을 이론적 연구를 통해 제시하였으며, Alessandri et al. (2018)는 16가지 계절예측 모델의 모든 잠재적 조합을 통해 MME 참여 모델의 독립성에 따라 MME 예측성이 증가하는 경향이 있음을 제시하였다 (Bell & Kirtman, 2019). 이를 토대로 본 연구에서는 개별 모델의 예측성능 및 개별모델이 MME 예측력에 미치는 예측민감도 평가하였으며, 현재 APCC MME 시스템에서 MME 예측성능을 향상시키기 위한 방안을 제시하고자 하였다.

Figure 92는 개별모델의 연평균 전구 예측성능(ACC)과 개별모델이 MME 예측에 미치는 기여도(DF)를 나타낸 것으로, 개별모델의 예측 기여도 순으로 나열하였다. 여기서 DF는 개별모델의 참여 유무에 따른 MME 예측력 차이를 2020년 MME 예측력(EXP4)의 비율로 나타낸 것이다.

개별모델의 예측성능과 MME 예측에의 기여도는 온도와 강수 각각 0.83과 0.77로 높은 양의 상관을 보이며, 이러한 양의 상관은 지역적으로 다소 차이를 나타내지만 대부분의 지역에서 0.7 이상의 양의 상관을 나타내었다. 이는 MME에 참여하는 개별 모델의 예측성능이 MME 예측력 향상에 기여하는 주요 인자임을 제시하는 결과라 할 수 있다.

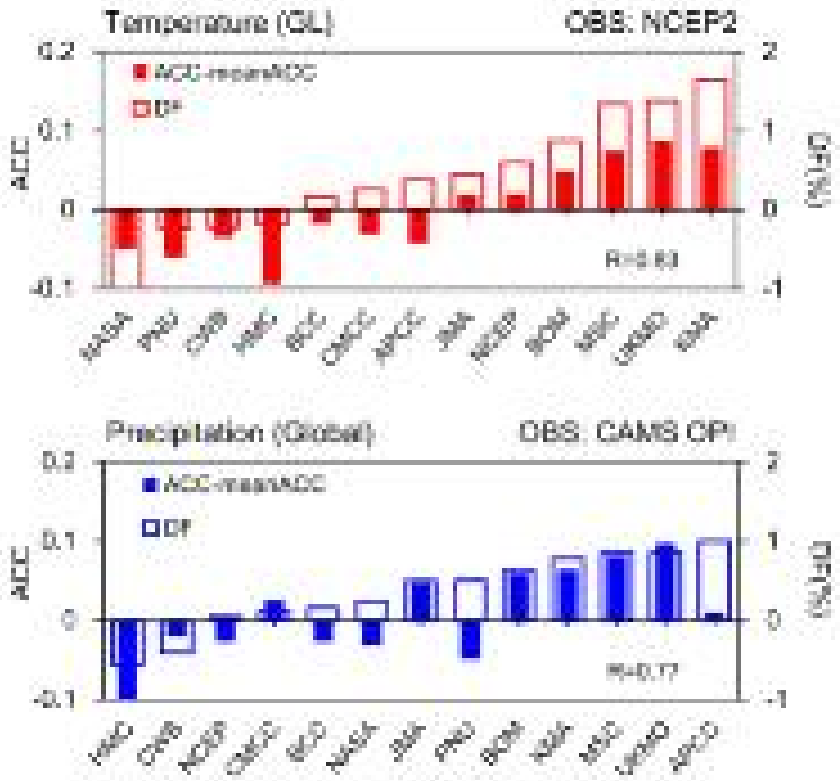


Figure 92. ACCs of individual models and ACCs difference depending on the participation of individual models.

APCC MME에 참여하는 13개 모델들은 개별 모델의 예측력에 따라 크게 세 가지 그룹으로 분류하여 평가할 수 있다. 평균예측성능보다 높은 값을 가지는 예측력이 좋은 모델들은 일반적으로 MME 예측 기여도 또한 높게 나타난다. 반면 예측력이 매우 낮은 일부 모델들 (PNU, CWB)은 MME에 참여하는 모델들의 평균 예측성능보다 0.1 이하로 낮게 나타나며, MME 예측 기여도 또한 음의 값을 가진다. 평균 비슷 범위 모델들은 비록 평균보다 낮은 예측성능을 가진다 하더라도 MME에 긍정적인 효과를 나타내는데, 이는 참여모델간의 독립성・다양성이 MME 예측성 향상에 기인한 것으로 분석 된다 (Yoo and Kang, 2005; Alessandri et al. 2018). 특히 APCC_SCoPS의 경우 APCC 자체 개발 모형으로 다른 모델에 비해 상대적으로 예측 성능이 낮게 나타남에도 불구하고 MME에 미치는 예측기여도는 상당히 크게 나타남을 확인할 수 있다. 이 범위 모델들은 개별 모델의 예측 성능과는 상관없이 MME에 긍정적인 영향을 미치는데(예, APCC, BCC, JMA 등), 이러한 모델들은 타 모델과 비교해서 다른 성질의 해양모델 또는 초기장을 사용함으로써 모델간의 독립성이 확보되며 이것이 결국 MME의 성능 향상에 기여하는 것으로 분석되었다.

본 연구에서는 먼저 전구 평균 ACC 예측 성능을 토대로 기온과 강수에 대한 개별모델의 MME 예측기여도를 평가하였으며 이를 통해 최적의 SCM 조합 방안을 제시하고자 하였다. APCC MME에 참여하는 13개 개별모델들이 MME 예측성능에 미치는 영향을 살펴본 결과, 온도의 경우 4개의 모델(NASA, PNU, CWB, HMC)이 강수의 경우 2개의 모델(CWB, HMC)이 APCC MME에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 그 외 나머지 모델들은 모두 긍정적인 효과를 나타내었다. 참여모델 증가가 MME에 긍정적인 영향을 미치긴 하지만, 예측력이 낮은 일부의 모델들은 참여 모델들의 평균 예측력을 저해하며 MME에 또한 부정적인 영향을 미치는 결과를 나타낸다. 따라서 MME 생산 시 객관적인 기준을 토대로 선택적 수용 방안이 제시될 필요가 있다.

개별모델이 MME에 미치는 예측 기여도에 따른 MME 예측 민감도가 평가되었으며, 이를 통해 선택적 참여모델 수용 방안을 제시하고자 하였다. Figure 93은 MME에 부정적인 영향을 미치는 모델들의 미 참여가 MME에 미치는 예측민감도를 나타낸 것으로, 여기서 W2는 2개의 모델(HMC,CWB), W3는 3개의 모델(HMC,CWB,PNU), W4는 4개의 모델(HMC,CWB,PNU, NASA)을 나타낸다. 선택적 참여 수용의 효과는 온도와 강수에서 MME 예측력 변화가 1% 이상의 증가로 그 크기가 다소 미비하지만, 일관적으로 MME 예측력 상승효과를 나타내었다. 온도의 경우 9개의 모델을 사용했을 때 MME 예측력 상승이 가장 크게 나타났으며, 강수의 경우 11개의 모델을 사용했을 때 그 효과가 가장 두드러지게 나타났다. 이는 Figure 92에서 MME 기여도가 양인 모델들의 개수와 일치한다. 온도의 경우 계절적 변화가 다소 크게 나타나며 북반구 초여름에 예측력 상승효과가 두드러지게 나타나는 반면, 강수의 경우 계절적 변화가 다소 적게 나타나며 북반구 여름철에 MME 예측력 상승효과가 다소 크게 나타났다. 강수의 경우 MME 최적의 조합에 온도보다 상대적으로 더 많은 참여모델의 수가 필요하며, 이는 강수의 비선형적 특성으로 인해 더 많은 모델 간 독립성이 MME 예측에서 효과를 나타내는 것이라 짐작할 수 있다.

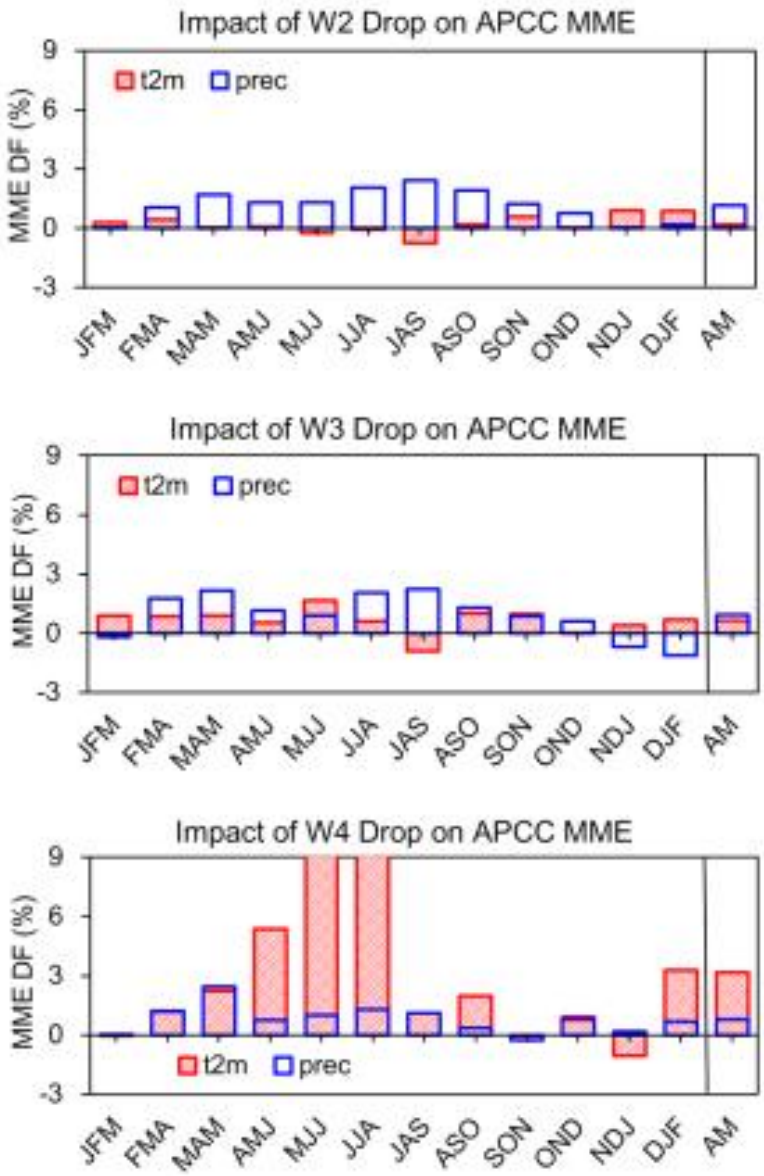


Figure 93. ACCs difference of W2D, W3D, and W4D of 2m temperature and precipitation as compared with APCC MME for hindcast (1981-2010) seasonal prediction from all 12 initial months and annual mean (AM).

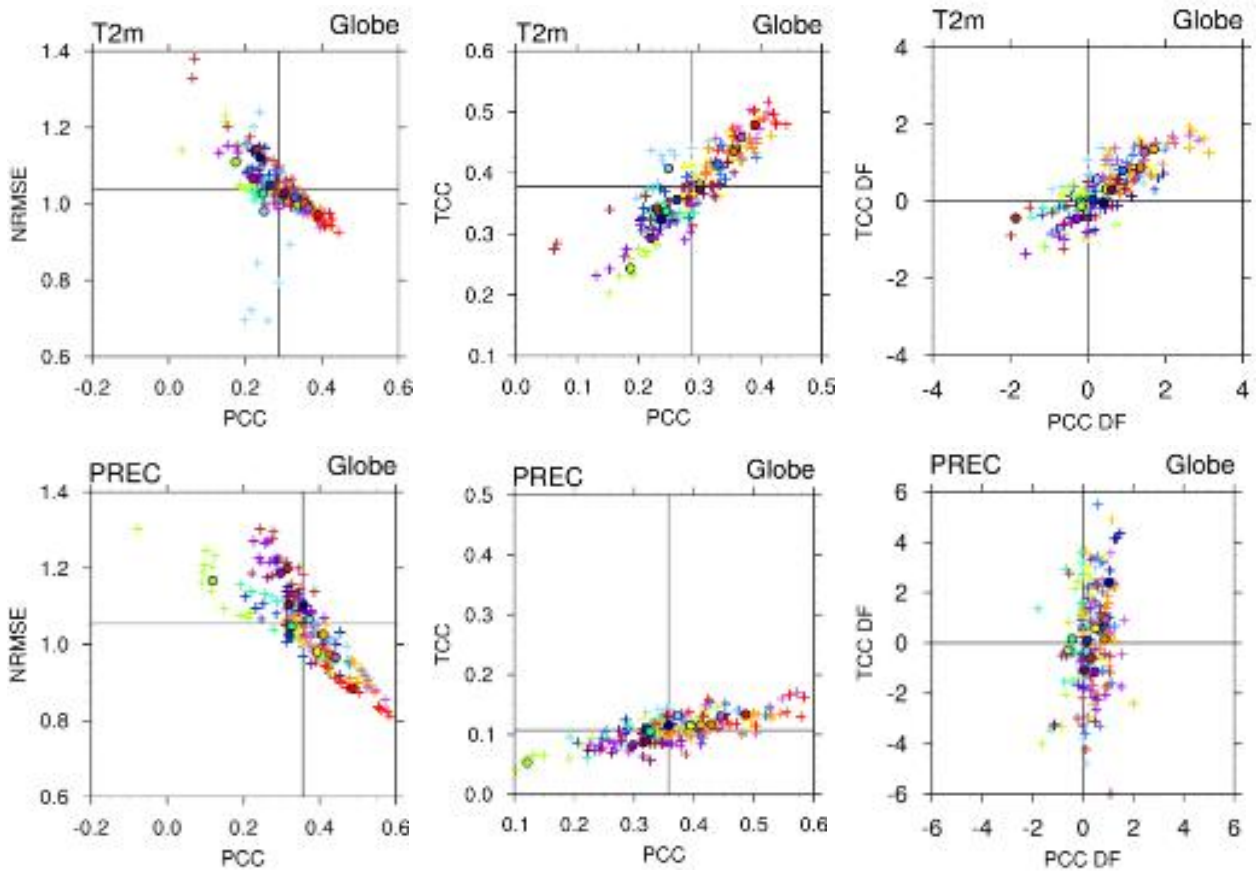


Figure 94. Scatter diagrams of hindcast skills of temperature and precipitation between (right) PCC and NRMSE, (middle) PCC and TCC, and (left) PCC DF and TCC DF over the globe. The symbols of round and cross indicate MME and individual models from all 12 initial months, respectively. The colors indicate individual models participating in APCC MME.

개별모델 및 MME가 나타내는 예측력의 특성을 살펴보기 위해 RMSE, PCC, TCC를 이용하여 분석 스코어에 따른 예측 분포도를 살펴보았다(Figure 94). 각 산포도에서 동그라미와 십자 표시는 각각 MME와 개별모델의 스킬을 나타내며, 모든 계절을 포함하고 있다. 각각의 색으로 표시된 컬러는 APCC MME에 참여하는 모델들의 값을 나타낸다. PCC 스킬은 NRMSE와 반비례 관계를 보이는데 이는 PCC 스킬이 좋은 모델일수록 오차가 작게 나타남을 의미한다. 개별모델에 비해 MME가 대부분의 계절에서 PCC 스킬이 가장 크게 나타나며 오차 또한 작음을 확인할 수 있다. 또한 MME는 개별 모델들과 비교해서 계절간의 예측범위가 작게 나타남을 볼 수 있는데, 이는 MME가 개별모델에 비해 대부분의 시즌에서 일관적으로 좋은 성능을 가짐을 제시하는 결과라 하겠다. 예측력 평가 기간(1991~2010)동안 평균된 PCC 스킬이 모델의 예측력을 대표할 수 있는지는 살펴보기 위해 PCC와 TCC 스킬의 관계를 살펴보았다. PCC 와 TCC 스킬은 기온과 강수 모두에서 0.9 이상의 강한 양의 상관을 나타내는데, 이는 PCC 스킬이 높은 모델들은 TCC 또한 높게 나타남을 의미한다. PCC의 경우는 특정 년도의 스킬을 평가 기간 동안 평균된 값을 나타내므로 TCC가 제시하는 경년 변동의 스킬을 어느 정도 내포하고 있는 것이라 할 수 있다. 또한 TCC의 경우 특정 년도에 대한 real-time forecast 예측력 평가가 어려우

므로 본 연구에서는 모델의 예측력을 대표하는 평가 기준으로 PCC를 사용하여 예측력 분석을 수행하였다. Figure 94에서 제일 오른쪽 그림은 PCC와 TCC 를 사용하여 계산된 예측 기여도의 분포도를 나타낸 것이다. 온도의 경우 PCC 기여도와 TCC 기여도의 관계는 강한 양의 관계를 나타내며 PCC 예측 기여도가 음인 일부 모델들은 TCC 기여도 또한 음의 값을 나타내며 대부분의 계절에서도 음의 기여도를 나타낸다. 반면, 강수의 경우 MME 뿐만 아니라 대부분의 모델들의 TCC 스킬이 0.2 이하로 낮게 나타나는데, 이는 대부분의 모델들이 평균 강수대의 주요 특징은 모의하지만 강수의 경년변동에 의한 특징을 거의 모의하지 못함을 의미한다. 또한 강수 예측력은 온도에 비해 계절 편차가 크게 나타나는데 이는 몬순으로 인한 강수대의 변화를 많은 모델들이 모의하지 못하기 때문인 것으로 사료된다. 강수 예측성의 이러한 계절 편향성으로 인해 강수에서의 TCC 기여도는 부호를 넘나들며 매우 큰 불확실성을 나타낸다.

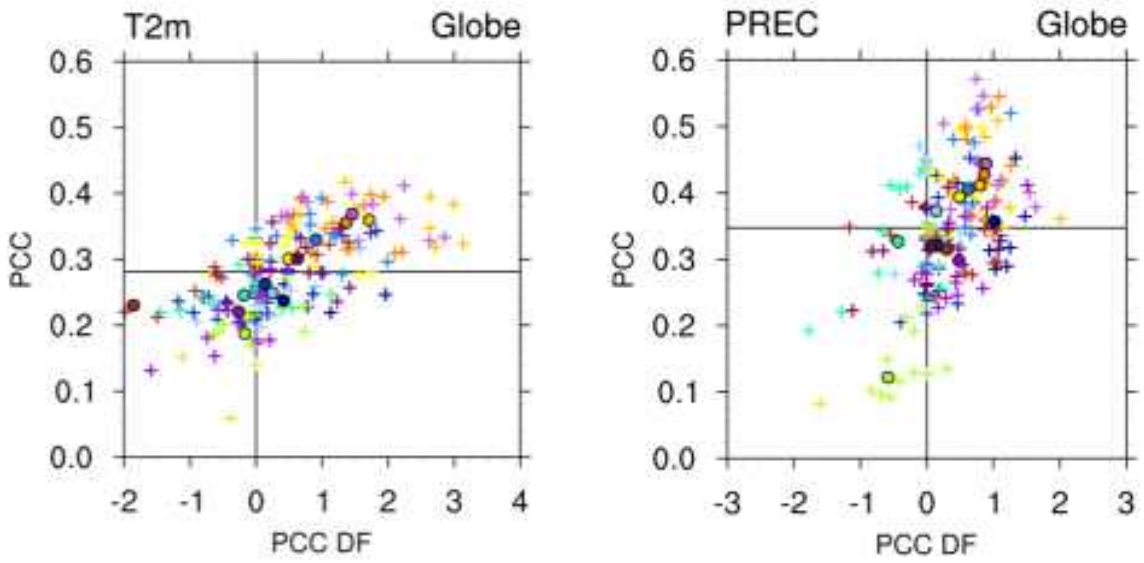


Figure 95. Scatter diagrams of hindcast skills of temperature and precipitation between (right) PCC DF and PCC over the globe.

PCC 스킬을 사용하여 앞서 제시한 개별모델 예측기여도의 계절적 특징을 살펴보았다. Figure 95는 기온과 강수에 대한 PCC 예측력과 PCC 예측 기여도와의 관계를 나타낸 것으로, 동그란 symbol 은 각 계절별 스킬의 연평균 값(annual mean, AM)을 나타내며, 십자가 symbol 은 12달 계절(seaonal mean, SM) 스킬의 분포를 나타낸 것이다. 그리고 y축의 실선은 개별 모델의 평균 PCC 값을 나타내면 x축의 실선은 MME 예측기여도가 0인 값을 나타낸다. 컬러로 표시한 각각의 개별모델 및 MME의 예측력은 계절 편향성이 존재하며 모델에 따라 편향되는 정도가 다르게 나타난다(특히 강수의 경우 많은 모델이 몬순 강수를 모의하지 못하기 때문에 편향성이 크게 나타난다). 각 그래프에서 1사분면 모델은 예측력이 높고 MME 예측 기여도가 양인 모델, 2사분면은 예측력은 좋으나 MME 기여도가 음인 모델, 3사분면은 예측력도 낮고 MME 기여도 또한 낮은 모델, 4사분면은 예측력은 낮으나 MME 기여도가 양인 모델로 MME

예측에 다양성으로 긍정적 영향을 미치는 모델들로 구분된다.

계절별 특성을 고려하여 각 계절별로 예측기여도가 0 이하인 모델(2, 3사분면에 해당되는 모델들)을 제외하는 방식으로 SCM 최적 조합을 구성하였으며, 이를 이용하여 SCM 최적화 조합에 따른 MME 예측력 변화를 살펴하였다. Figure 96은 MME에 부정적인 영향을 미치는 모델들의 미 참여가 MME에 미치는 예측민감도를 나타낸 것으로, 여기서 붉은색은 연평균 MME 예측기여도를 기준으로 최적의 모델 조합을 구성했을 때이며, 그리고 푸른색은 각 계절에 해당하는 예측기여도를 기준으로 최적의 모델 조합을 구성했을 때의 예측력 변화를 나타낸 것이다. 각 계절에 따른 선택적 참여 수용의 효과는 연평균 기준으로 조합을 했을 때 보다 온도와 강수에서 일관적으로 MME 예측력 상승효과를 나타낸다. Table 51은 각 계절에 대해 최적의 MME 조합(SM) 에서 제외된 모델 리스트를 나타낸 것으로, 각 시즌마다 제외되는 모델들이 다소 상이하게 나타긴 하지만 평균 예측력을 기준(AM)으로 제외된 모델 리스트와 상당히 중복되어 나타남을 확인할 수 있다. 온도의 경우 최적의 조합 기준에 따라 예측력의 차이가 대부분의 계절에서 일관적으로 나타나는 반면 강수의 경우 계절적 변화가 두드러지게 나타나지 않는다. 또한 계절적 조합에서도 강수의 경우 MME 최적의 조합에 온도보다 상대적으로 더 많은 참여 모델의 수가 사용됨을 확인할 수 있다.

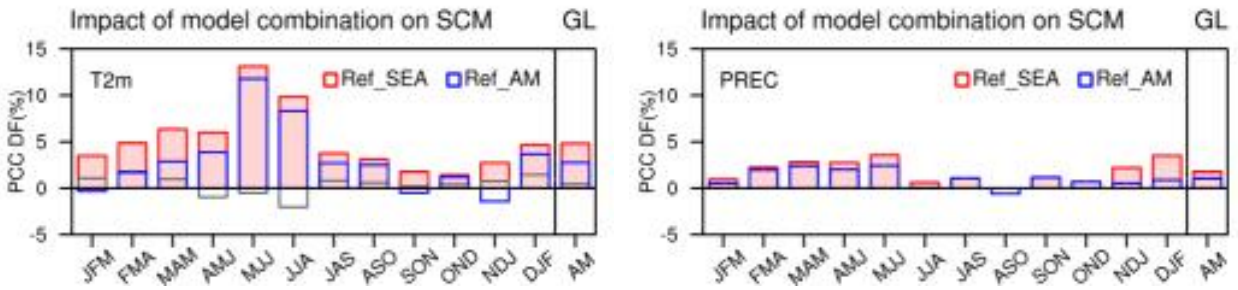


Figure 96. ACCs difference of Ref_SEA and Ref_AM of 2m temperature and precipitation as compared with APCC MME for hindcast (1981-2010) seasonal prediction from all 12 initial months and annual mean (AM).

Table 51. Lists of models excluded from best combination of SCM

[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]

SCM 최적화 조합방안에 따라 구성된 MME 예측력 변화의 공간적 분포를 살펴보기 위해 연평균 예측기여도(AM)와 계절별 예측기여도(SM)에 따라 선택된 조합으로 구성된 MME의 TCC 스킬 차이를 나타내었다(Figure 97). MME 조합의 기준이 달라진다 하더라도 예측력이 변화하는 지역은 거의 동일하게 나타남을 확인 할 수 있으며, 기온의 경우 예측력 향상에 대한 조건이 강화될수록(중간, 제일아래 그림), 남극지역에서의 예측력 향상이 두드러지게 나타난다. 연평균(AM) 기준의 경우 해양에서 TCC 스킬 향상이 나타나는 반면, 계절별(SM) 기준의 경우 아시아 및 유라시아 대륙에서 예측력 향상이 두드러지게 나타남을 확인할 수 있다. 강수의 경우 주요 강수대가 위치하는 열대 해양과 북대서양, 동태평양 아열대 해양에서 예측력이 향상되며, 예측력의 변화가 AM과 SM에서의 거의 비슷하게 나타난다. 동아시아 강수의 경우 SM을 기준으로 선택된 MME 조합에서 TCC 예측력이 다소 향상됨을 볼 수 있다.

MME에 미치는 모델 다양성의 긍정적인 효과를 고려하여 온도와 강수에서 공통적으로 부정적 기여도를 나타내는 모델만을 제외했을 때의 TCC 변화를 살펴보았다. 온도의 경우 예측력 향상이 남극지역에 두드러지므로 실제적으로 사용되는 예측을 생각한다면 다소 무의미한 지역일지도 있기에 현업적용 시 최소한의 변화(HCM, CWB 미사용)로 최적의 효과를 보는 것이 적절하다고 고려된다.

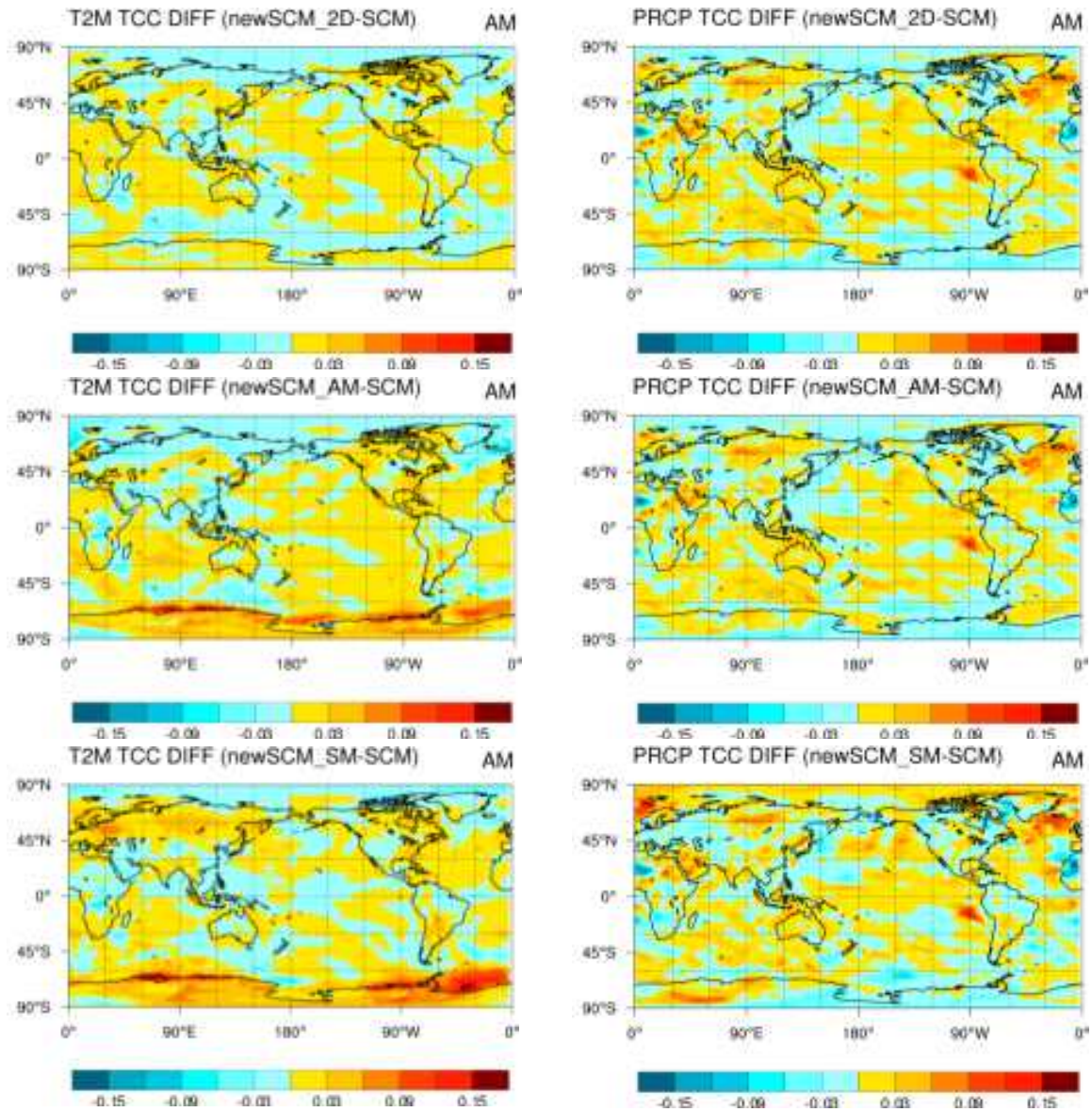


Figure 97. Difference of temporal correlation coefficient between new SCM and reference SCM of temperature and precipitation. These skill difference contains the skill for all seasons.

SCM 최적화 조합의 지역적 특징을 살펴보기 위해 동아시아 영역에 대해 예측력 변화를 살펴보았다(Figure 98, 99). 동아시아라는 특정 지역을 타겟으로 최적화 조합 분석을 실시한 결과 전구 예측력을 사용하여 분석한 결과에 비해 예측기여도가 0 이하인 모델이 전구예측력에 비해 더 많이 발생하며 훨씬 더 다양한 모델들이 선정되었다. 이는 전구 스킬에서 좋은 영향을 끼친 모델이라 할지라도 특정 지역에서는 기여도가 낮게 나타날 수 있으며, 반대로 전구 스킬에 나쁜 영향을 미친 모델이라 할지라도 지역적으로 좋은 기여도를 나타내는 모델들이 발생함을 제시하는 결과라 할 것이다. 전구에 비해 동아시아 지역에서 예측력의 변화가 더 크게 나타나는데 이는 기본적으로 동아시아 예측력이 전구에 비해 낮게 나타나기 때문이다.

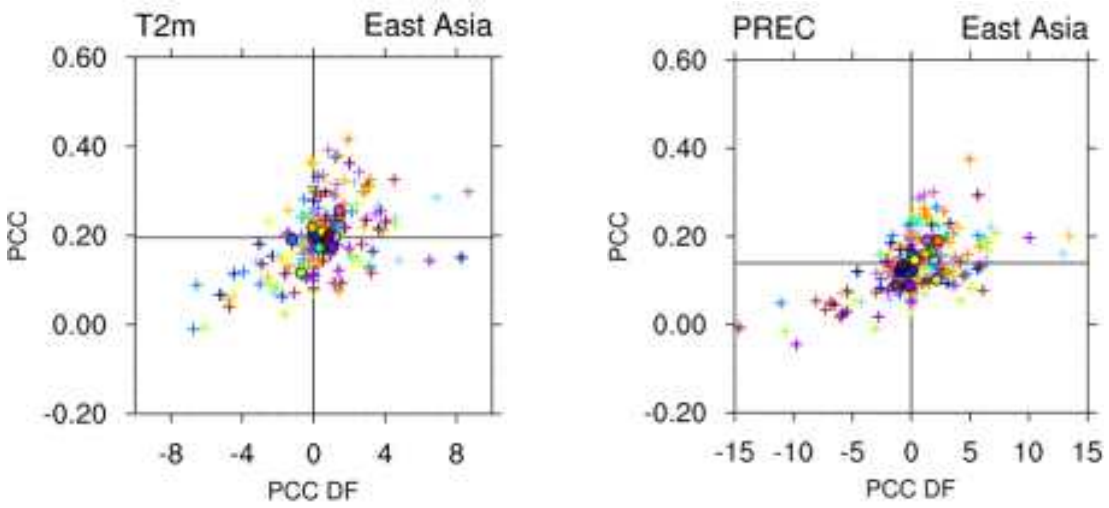


Figure 98. Same as Figure 95 except for the East Asia.

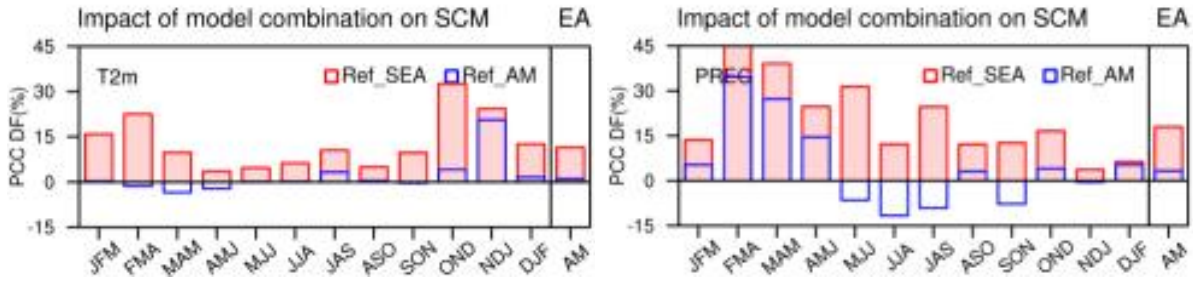


Figure 99. Same as Figure 96 except for the East Asia.

특히 동아시아의 경우 기본적으로 평균 예측력이 낮을 뿐 아니라 모델 간의 diversity가 매우 큰(예측의 불확실성이 큼) 특징이 있어 기본적으로 예측력이 확보되지 않은 지역이라 할 수 있으며 최적화 조합의 예측력 향상 효과가 일관적으로 크게 나타난다 하더라도 본 분석을 적용하여 수행하기 전에 실시간 예측에의 효과를 함께 신중히 고려할 필요가 있을 것이다.

마지막으로 SCM 최적화 조합에 따른 예측력 변화를 실시간 예측에 적용해 보았다. Figure 100에서 실선은 APCC MME의 PCC 스킬을 나타내며 점선은 본 연구에서 제시된 최적화 조합 방안을 사용하여 계산된 새로운 MME의 PCC 스킬을 나타낸다. Hindcast 기간 동안 평균된 기온 및 강수 예측력은 최적화 조합 방안을 사용한 새로운 MME가 일관적으로 향상된 결과를 나타내는 반면, 실시간 예측에서는 각 계절에 따라 다소 상반된 결과를 나타냄을 볼 수 있다. 실시간 예측력이 ENSO나 대규모 환경에 많은 영향을 받을 뿐 아니라 특정 해에 대한 예측력의 변화로 실시간 예측력 효과를 단언하기에는 다소 무리가 있으며 더 많은 예측 결과를 사용하여 일반적인 결과를 제시할 필요가 있을 것이다.

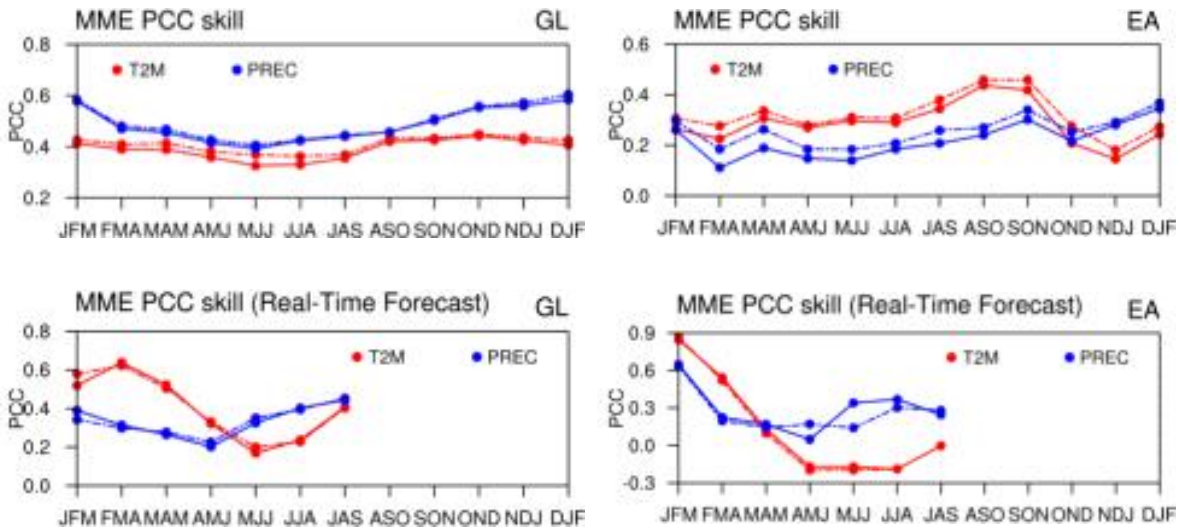


Figure 100. Difference of temporal correlation coefficient between EXP4 and EXP1 of temperature and precipitation. These skill difference contains the skill for all seasons.

③ 타 기관 모델 조합을 통한 MME 예측민감도 분석

타 계절예측기관으로부터 사용가능한 7개 모델(CPTEC_GCM, SAWS_EPS, DWD_GCFS2, ECMWF_SEAS5, GFDL_FLORB, NCAR_CCSM4, MF_SYS7)과 APCC MME 계절예측 모델 13개를 포함한 총 20개 모델을 사용하여 개별모델이 MME에 미치는 예측기여도를 분석하였다 (Figure 9). MME에 참여하는 모델 수가 약 53% 증가하였으며, 이에 따라 개별모델들이 가지는 독립성이 MME에 더욱 다각적 효과를 나타낼 것이라 추측하였다. 개별모델의 예측력과 MME 예측기여도와의 상관관계는 앞서 13개 모델을 사용한 Figure 6과 비교하여 다소 낮아진 온도 0.65와 강수 0.74를 나타낸다. Figure 101에서는 개별모델의 예측기여도 순으로 모델을 나열하여 표기하였다. APCC MME의 기온(강수) 예측기여도가 음의 값인 4(2)개의 모델, HMC, CWB, PNU, CWB (HMC, CWB)는 20개의 MME 조합에서도 같은 부호를 나타내어 MME에 부정적인 영향을 미치는 것으로 평가된다. 새로 참여한 7개의 모델들은 기온과 강수에서 각각 다른 MME 기여도를 나타내는데, 온도의 경우 NCAR를 제외한 6개의 모델(CPTEC_GCM, SAWS_EPS, DWD_GCFS2, ECMWF_SEAS5, GFDL_FLORB, MF_SYS7)이 개별모델의 예측성능과 무관하게 MME에 긍정적인 효과를 가지며, 강수의 경우 3개의 모델(GFDL_FLORB, DWD_GCFS2, ECMWF_SEAS5)만이 MME에 긍정적인 효과를 가진다. MME 예측기여도를 좌우하는 개별 모델의 특성 분석이 추후 수행될 필요가 있으며, 개별모델 구성성분에 따른 MME 민감도 평가를 통해 MME 기여도의 객관적 원인을 제시할 수 있을 것이라 생각한다.

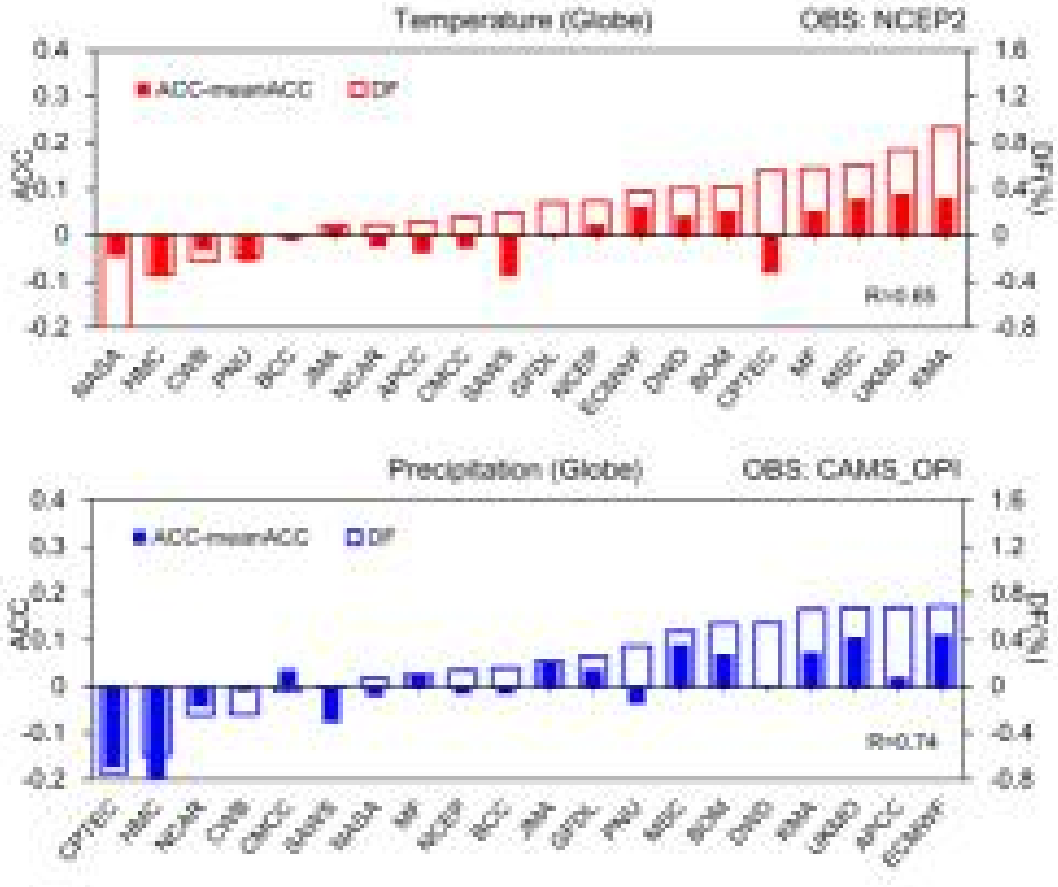


Figure 101. Same as Figure 92, except for participating models.

총 20개 모델을 사용하여 평가한 개별모델의 MME 예측기여도 특성에 따라 민감도 실험이 평가되었다. 본 연구에서는 기온과 강수에 대해 동일한 MME 조합을 생산하고자 새로운 모델 중 MME 기여도가 같은 음의 부호를 가지는 모델을 선택적 조합조건에서 제외하기로 하였다. 따라서 총 20개의 모델 중 4개의 모델(CWB, HMC, NCAR, SAWS) 만이 MME에 부정적인 영향을 주는 모델로 간주되었으며, Table 52와 같이 민감도 실험을 설계하였다. MME 예측력 변화는 13개 모델 조합으로 이루어진 APCC MME를 기준으로 평가하였다. 타 기관으로부터 새로운 모델을 모두 사용한 MME 조합은 N7P로 총 20개의 모델이 사용되며, 새로운 모델 중 MME 예측기여도가 음의 값을 가지는 NCAR와 SAWS 모델을 제외한 5개의 모델만을 추가한 MME 조합은 G5P로 총 18개의 모델이 사용된다. 그리고 마지막으로 MME 기여도가 음인 모든 모델 4개가 제외되어 16개의 모델만으로 구성된 MME 조합을 W2DG5P로 두고 MME 참여 모델의 조합에 따른 예측민감도를 평가하였다.

Table 52. Description of MME Experiments with different number of participating models.

	실험설계	참여모델 수
APCC MME	2020년 APCC MME (EXP4), control run	13
N7P	EXP4 + 새로운 7개 모델 추가	20
G5P	EXP4 + 새로운 5개 모델 추가	18
W2DG5P (=W4D)	EXP4 + worst 2개 모델 제거 + 새로운 5개 모델 추가	16

Figure 102는 개별모델의 MME 예측기여도에 따른 민감도 실험 결과를 나타낸 것으로, 가장 많은 모델이 참여한 N7P(초록색 막대)는 온도의 경우 JFM과 AMJ를 제외한 모든 계절에서 MME 예측성이 증가하는 반면, 강수의 경우 대부분의 계절에서 오히려 예측성이 감소하는 결과를 나타낸다. G5P(파란색 막대)와 W4D(빨간색 막대)는 온도의 경우 유사한 계절적 변화를 나타내며 MME 예측력 상승을 뚜렷이 나타내지만, 강수의 경우 다소 다른 효과를 보이며 W4D의 경우 뚜렷한 예측력 상승효과를 나타낸다. 본 연구에서는 타기관 계절예측 모델의 사용으로 다양한 모델로 구성된 MME 시스템에서 무조건적인 참여모델의 수용이 MME에 미치는 영향을 판단할 수 있다. 참여모델 증가가 MME에 긍정적인 영향을 미치긴 하지만, 예측력이 낮은 일부 모델들은 평균 예측력을 저해하며 MME에 부정적인 영향을 미치므로 MME 생산 시 참여모델들의 선택적 조합방안이 꼭 고려되어야만 하며, 본 연구에서는 그 기준을 개별모델의 MME 예측기여도의 부호로 판단하였다. 새로운 개별모델의 무조건적인 MME 참여는 오히려 확보된 MME 예측력의 감소를 가져올 수도 있음을 명시해야만 할 것이다.

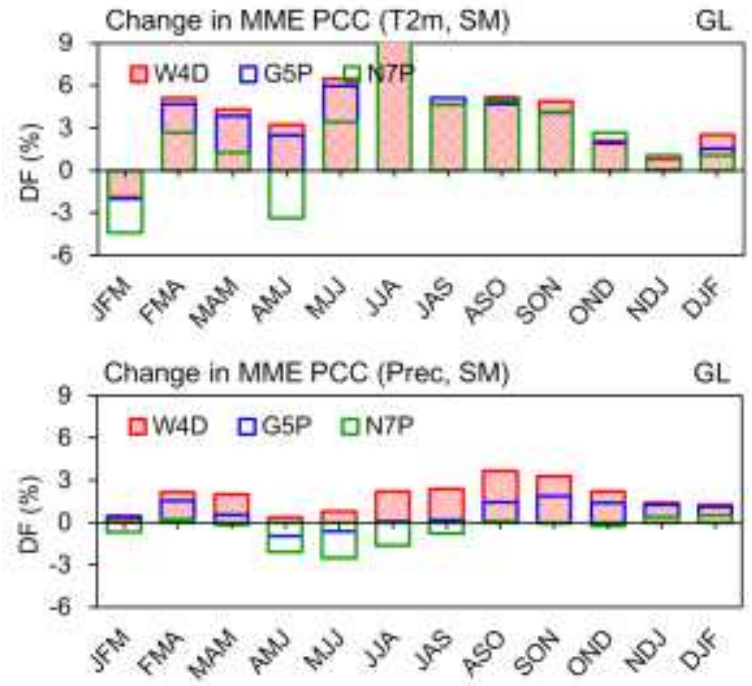


Figure 102. Same as Figure 96 except for experiments.

마지막으로 본 연구에서는 APCC MME 예측력 향상을 위한 SCM 최적화 조합 방안을 제시하고자 하였다. Figure 103은 개별모델 조합에 따른 MME 예측력 변화율을 나타낸 것이며, 검은색 실선은 각 MME 조합에 사용된 참여모델의 개수를 나타낸다. 여기서 예측력 변화는 13개의 모델로 구성된 2020년 APCC MME의 예측력을 기준으로 평가되었다. N7P는 타 기관으로부터 사용가능한 7개의 모델이 추가된 총 20개의 모델로 구성된 MME 조합이며, G5P는 MME 예측기여도가 음인 모델 2개가 제거된 5개 모델만 수용하여 18개로 구성된 MME 조합이다. W2D는 기존 APCC MME 조합에서 MME 예측기여도가 음인 2개 모델이 제거되어 11개로 구성된 MME 조합을 의미하며, W2D&G5P는 전체 모델 그룹에서 MME 기여도가 음인 총 4개의 모델이 모두 제거된 MME 조합이다. 그 외 W2D와 함께 개별 모델이 한 개씩 추가된 조합을 생성하여 그 효과를 제시하였다. N7P는 가용한 모든 계절예측 모델을 사용함으로써 모델의 다양성을 가장 많이 확보한 MME 조합이지만, 온도의 경우 2.2%의 예측력 상승을 나타내며, 강수의 경우 오히려 예측력 감소 효과를 나타낸다. G5P 와 W2D&G5P는 총 20개의 모델에서 MME 예측기여도가 음인 모델을 순차적으로 2개씩 제거한 MME 조합으로 참여모델 수가 감소함에도 불구하고 N7P에 비해 MME 예측력 상승의 정도는 더 크게 나타난다. 이로써 MME 예측력은 참여모델 수(또는 모델 다양성) 증가에 비례하여 증가하지 않으며, 무조건적인 개별 모델의 수용은 MME에 참여하는 모델의 평균 예측력을 저해하고 모델 다양성 증가에 따른 MME의 긍정적 효과를 상쇄시킴을 확인할 수 있다. 따라서 현재 APCC MME 시스템 내에서 MME 예측력 향상을 위한 제안으로 MME 예측기여도가 음인 2개의 모델을 제거한 MME 조합을 제시하고자 한다. 온도 예측력 상승률은 약 0.2%로 미비하지만 강수 예측력은 1% 이상 대부분의 계절에서 일관적인 상승을 기대할 수 있다(Figure 92 참고). 또한 APCC MME 계절예측 참여에 준비 중인

MetFR이 추가된다면(W2D&MetFR), 온도와 강수 모두 약 1%의 예측력 상승을 기대할 수 있을 것이다. 예측성이 높은 모델은 APCC MME의 다양성을 확보할 뿐만 아니라 참여모델의 평균 예측력 향상에도 기여하기 때문에 APCC는 앞으로도 꾸준히 MME 예측성 향상을 위해 예측성이 확보된 계절예측 모델의 참여를 독려해야 할 것이다. 참여 모델의 독려 시 우선 순위는 아래 결과에 따라 ECMWF > GFDL > DWD > CPTEC 으로 나타난다. 결론적으로 APCC MME의 최적화 조합 방안은 MME 예측기여도가 음인 모델을 제거하는 것과 예측성이 확보된 모델을 수용하는 것이며, W2D&G5P가 그 결과라 할 수 있다. 이로써 우리는 온도 3.8%, 강수 1.8%의 MME 예측력 증가를 기대할 수 있을 것이다.

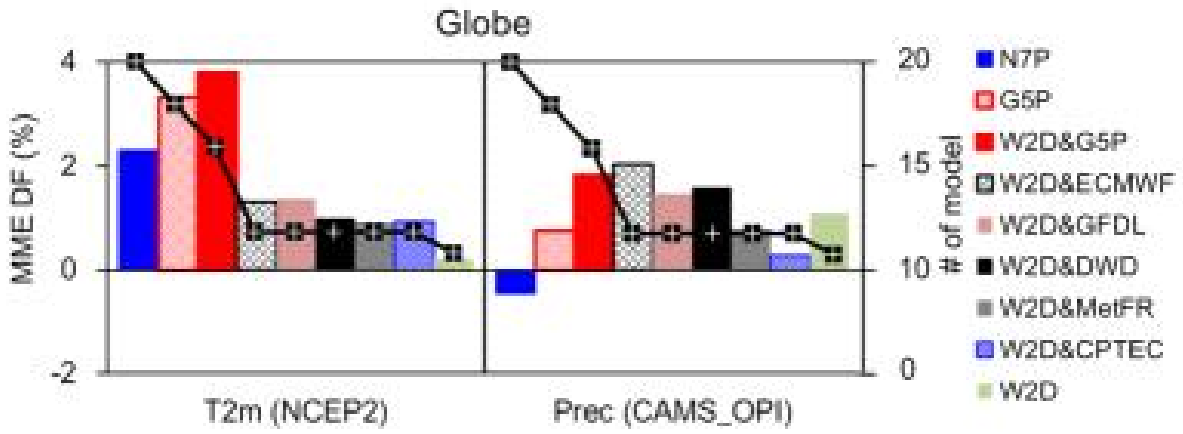


Figure 103. ACCs difference of 9 experiments of 2m temperature and precipitation as compared with APCC MME and the number of participating models for each experiment.

(다) SCM 최적화 조합을 위한 예측민감도 분석 결과 요약

본 연구에서는 2020년 APCC MME 계절 예측 시스템 변화에 따른 예측력 변화를 평가하기 위한 MME 민감도 실험 결과를 제시하였으며, 민감도 실험에 따른 MME의 예측성을 비교하고 2019년 대비 MME 예측성 변화를 분석하였다. 참여모델 변경에 따른 4가지 MME 조합을 통해 MME가 개별 모델의 예측력보다 일관적으로 높게 나타나며, 새로운 모델의 도입(EXP2) 및 모델 개선(EXP3)으로 개별 모델의 예측력이 일반적으로 증가함을 보였다. 또한 MME에 참여하는 개별모델의 평균 예측력 증가가 MME 예측력 향상에 기여하지만 그 관계가 선형적이지 않으며 MME에 기여하는 개별 모델간의 다양성이 MME 예측력 향상의 촉진제임을 확인하였다. 특히 강수의 경우 구성 모델의 평균 예측력보다는 MME를 구성하는 모델의 다양성으로부터 야기되는 MME의 상승효과가 예측력 상승에 더 많이 기여함을 제시하였다.

APCC MME 시스템에서의 MME 예측성 향상을 위한 MME 최적화 조합방안을 제시하였으며, 이를 위해 개별모델의 예측성능 및 개별모델의 MME 예측기여도가 평가되었다. 참여 모델들 중 일부 낮은 예측력을 가지는 모델들은 개별모델의 예측력 범위를 더욱 증가시킬 뿐만 아니라 참여모델의 평균예측력을 저해하며, MME 예측기여도 또한 부정적인 특징을 보였다. 따라

서 MME에 참여하는 모델 조합에 있어 MME 예측력을 저해하는 모델은 선별되어야하며 본 연구에서는 그 선별기준을 MME 예측기여도가 음인 모델로 설정하였다. 그 결과 APCC MME 참여모델 중 MME 예측기여도가 음인 2개의 모델을 제거한 MME 조합을 제시하였으며, 현재 진행중인 MetFR의 참여가 함께 진행된다면 MME 예측력이 1% 이상 상승할 것이라 분석하였다.

마지막으로 타 기관으로부터 사용가능한 계절예측 모델을 사용하여 MME 예측민감도 실험을 수행하였으며, 이를 통해 APCC MME 예측력 향상을 위한 가이드라인을 제시하고자 하였다. 예측성이 높은 모델은 APCC MME의 다양성을 확보할 뿐만 아니라 참여모델의 평균 예측력 향상에도 기여하기 때문에 APCC는 앞으로도 꾸준히 예측성이 확보된 계절예측 모델의 참여를 독려하여야 할 것이다. 결론적으로 APCC MME의 최적화 조합 방안은 MME 예측기여도가 음인 모델을 제거하는 것과 예측성이 확보된 모델을 수용하는 것이며, 그 결과 우리는 온도 3.8%, 강수 1.8%의 MME 예측력 증가를 기대할 수 있을 것이다.

4. 요약 및 결론

신뢰도 높은 기후예측정보를 생산하여 고품질의 예측콘텐츠를 제공하기 위한 노력의 일환으로 본 과제에서는 4개의 주제로 과제가 수행되었다. APCC 내부적으로 관리 체계를 마련하고, APCC에서 생산되는 예측정보를 다양한 측면에서 개선하였으며 그간 개별적으로 개선되었던 APCC 기후 예측시스템을 통합하는 작업이 수행되었다. 또한, MME 예측력 향상을 위한 기반 연구가 진행되었다.

예측시스템 운영 측면에서 MME에 적용되는 기후값을 최근으로 변경하여 최근 개선/개발되는 신규 모델들의 참여가 가능하도록 하였으며, 개선된 모델들을 차질없이 현업에 적용하였다. 그 결과 2020년 MME hindcast 예측력 향상이 뚜렷하게 나타났다. 외부로 제공되는 예측정보의 개선 뿐 아니라 내부적으로도 관리 체계를 갖추어 APCC가 예측정보 서비스를 시작한 이후 현재까지의 예측정보 활용 실적을 조사하고 관리하는 체계를 마련하였으며, 그간 MME 및 BSISO의 연혁과 참여모델들의 변경 이력 등을 조사하여 서비스하는 한편 내부적인 관리 시스템도 구축하였다.

이와 더불어 예측정보의 품질을 개선하고 콘텐츠를 다양화하기 위해 신규 콘텐츠들이 개발되고 기존 제공되던 정보들이 강화되는 성과가 있었다. 그동안 편차 정보로만 제공되었던 개별모델 예측정보가 확률예측까지 확대되었으며, BSISO 예측지수를 기반으로 한 영향 예보 콘텐츠가 추가되어 보다 직관적인 정보를 전달할 수 있게 되었다. 인도네시아를 대상으로 한 산불예측정보에서는 시스템을 현행화하고 그래픽의 가독성을 증진하였고, 예측에 비해 정보가 부족했던 기후감시 쪽의 정보를 확대하여 다양한 정보를 제공하게 되었다. 또한, 기후전망 요약지도를 생산/제공함으로써 주요 지역에 대한 예측정보를 한눈에 볼 수 있게 하였으며, 각 지역에 대한 예측정보와 검증정보를 동시에 볼 수 있는 통합지도를 개발하여 사용자 친화적인 정보를 제공할 수 있게 하였다. 국내 기여를 강화하기 위해 국문 홈페이지에서 서비스 되는 동아시아 감시/예측정보를 확대하고 그래픽의 품질을 개선하였으며, 국문 전지구 기후전망을 신설하여 국내 구독자를 대상으로 배포하게 되었다.

기후예측시스템 개선 사업은 '17년 APCC MME 예측시스템 개선을 시작으로 점진적으로 '18년에는 SST/ENSO 예측시스템 통합 및 그래픽시스템 개선하였고, '19년에는 기후감시 및 검증시스템 개선이 이루어졌다. ' 20년에는 기후감시-예측-검증을 아우르는 순차적인 통합예측시스템을 구축하고 고도화하여 보다 능률적인 현업 업무가 가능하게 되었으며, 통합예측시스템의 구축을 통해 운영시간이 단축되고 예측시스템의 안정성을 증진되는 결과가 있었다. 현업 운영의 효율성을 높이기 위한 노력의 일환으로 MME 확률예측정보를 텍스트로 생성해주는 시스템을 구축하여 매달 작성되는 기후전망의 보조 자료로 활용할 수 있게 되었으며, 이 결과는 기후전망 요약지도 생산 시에도 적용되어 객관적인 정보를 생산할 수 있게 되었다. 또한, 참여모델의 예측자료들을 사전에 점검하여 자료에 이상이 있을 경우 전처리 단계에서 걸러낼 수 있는 품질검사 체계를 구축하여 불필요한 반복 작업을 최소화하게 하였다.

APCC가 MME를 활용한 계절예측정보를 제공하기 시작한 2005년에 비해, 현재 많은 현업기

관에서 APCC와 유사하게 다양한 기관의 모델자료를 수집하여 MME를 수행하고 있다(예, WMOLC, NMME, C3S 등). 또한 MME에 참여하고 있는 개별 모델들이 점차 중복되고 있는 시점에서 세계유수 현업기관과의 차별성 및 우위확보를 위해 좀 더 다양한 모델 자료를 활용하기 위한 노력이 필요하다. 따라서, MME를 개선하기 위한 기반 연구로 MME의 전반적인 예측성을 분석하고, 민감도 실험을 통해 APCC MME 예측력의 원인과 한계점을 파악하고자 하였으며, 나아가 예측력을 높이기 위한 방안을 제시하였다.

전반적 예측력 분석을 위해 APCC와 다른 기관 MME 의 공통 기간인 1993 년부터 2009 년까지 17 년간의 개별모델 자료들에 Simple Composite Method (SCM) 기법을 적용하여 MME set을 구성하였다. 지표기온과 강수에 대한 예측성 비교가 이루어졌으며, APCC와 다른 기관의 MME들은 지역별, 계절별로 유사한 예측성 변동 추이를 보이는 것으로 나타났다. 많은 수의 참여모델이 동일한 APCC와 WMO MME는 예상한 바와 같이 유사한 예측성을 보였고, 동일한 개별모델이 없는 NMME와 C3S의 경우에도 예측성 변동 양상은 유사한 것을 확인하였다. 이는 MME를 구성하고 있는 역학 모델의 대부분이 유사한 강점 혹은 약점을 가지고 있기 때문이라 생각된다.

APCC와 WMO의 경우 10 개 이상의 다양한 모델의 조합이므로 개별모델 예측성의 범위 또한 넓고, 다중모델앙상블 기법의 적용을 통해 불확실성이 줄어드는 효과가 크게 나타났다. 반면, C3S의 경우에는 개별모델들이 보이는 예측성 자체가 평균적으로 높은 편에 속해 이들의 조합인 MME 또한 높은 예측성을 보였다. APCC, C3S, NMMW, WMO 에서 수집하는 20개의 모델 예측 자료를 활용하여 MME에 참여하는 모델 수 및 구성에 따른 예측력의 민감도를 분석한 결과, 참여 모델 수가 많아질수록 MME 예측력도 함께 상승하지만 10~12개 참여 모델 구성에서 대체로 예측력이 수렴하는 것으로 나타났으며, 모델 수가 적을수록 예측력의 불확실성이 크고 모델 수가 많아질수록 예측 변동성은 줄어드는 것으로 나타났다. 이는 예측력 향상을 위하여 참여 모델을 예측력 수렴이 나타나는 참여 모델 수 이상으로 확대시키는 것에 한계가 있음을 시사한다.

모델 구성성분에 따른 예측력을 살펴보기 위한 민감도 실험에서는 변수 별로 다른 경향을 보이는 것을 알 수 있었다. 기온의 경우 우수한 모델의 조합일수록 MME 예측력도 향상되었지만, 강수에서는 개별모델의 우수성뿐 아니라 MME를 구성하는 모델들의 다양성 또한 MME 예측력에 영향을 준다는 것을 확인할 수 있었다. 이는 강수처럼 불확실성이 높은 변수 혹은 지역에 대한 MME의 효용성을 보여주는 것이라 할 수 있다.

이러한 결과를 바탕으로 MME 예측성 향상을 위한 MME 최적화 조합 방안을 제시하였으며, 이를 위해 개별모델의 예측성능 및 개별모델의 MME 예측기여도가 평가되었다. 참여 모델들 중 일부 낮은 예측력을 가지는 모델들은 참여모델의 평균 예측력을 저해하며, MME 예측기여도 측면에서도 부정적인 영향을 보여 MME에 참여하는 모델 조합에 있어 MME 예측력을 저해하는 모델은 선별되어야 함을 보였다. 타 기관으로부터 사용 가능한 모델들을 활용한 실험에서도 동일한 결과를 얻을 수 있었으며, 예측성이 높은 모델은 APCC MME 의 다양성을 확보할 뿐만 아니라 참여모델의 평균 예측력 향상에도 기여하기 때문에 APCC는 앞으로도 꾸준히 예측성이 확보된 계절예측 모델의 참여를 독려하여야 할 것이다.

현재 APCC에서 수집하는 14 개의 모델들은 다양성과 개별모델의 우수성을 골고루 갖추었다고 볼 수 있다. 개별모델들의 예측성능은 C3S에 비해 낮지만, MME 예측력은 유사하게 나타나 MME 효용성을 보여주고 있으며 특히 모델의 정확도가 상대적으로 낮은 변수 혹은 지역에 대해서 장점이 있을 것이라 생각된다. 또한, 참여모델 수가 많아 소수 모델의 예측성 하락이 MME에 미치는 영향이 크지 않아 현업적인 측면에서 안정적 운영이 확보될 수 있다. 반면, MME의 예측력은 기본적으로 구성 모델의 예측력이 뒷받침되어야 하므로 예측력 향상의 한계가 있을 수 있다. 따라서, MME 예측기여도가 높은 ECMWF와 DWD, NCAR 와 같은 모델을 참여시킬 수 있도록 대내외적인 노력이 필요할 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, 재가공하였으며 자료를 생산/제공해주신 APEC 기후센터에 감사드립니다.

References

민영미, 손수진, 신선희, 이현주, 김가영, 2017: 기후예측자료 기반 새로운 컨텐츠 생산을 위한 예측시스템 개발, APEC 기후센터 연구보고서 2017-08.

Alessandri, A., A. Borrelli, A. Navarra, A. Arribas, M. Deque, P. Rogel, A. Weisheimer, 2011: Evaluation of probabilistic quality and value of the ENSEMBLES multimodel seasonal forecasts: comparison with DEMETER. *Mon Weather Rev*, **139**(2), 581-607, https://doi.org/10.1175/2010MWR3417.1

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 calue to end-users. *Climate dynamics*, **50(7-8)**, 2719-2738, https://doi.org/10.1007/s00382-017-3766-y.

Bell, R., and B. P. Kirtman, 2019: Seasonal forecasting of wind and waves in the North Atlantic using a grand multimodel ensemble. *Weather and Forecasting*, **34**(1), 31-59. https://doi.org/10.1175/WAF-D-18-0099.1

Berrisford, P., D. Dee, K. Fielding, M. Fuentes, P. Kallberg, S. Kobayashi, S. Uppala, 2009: The ERA-Interim archive. ERA report series 1. Technical Report. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. Shinfield Park, Reading, pp16

Dee and co-authors, 2011: The ERA-interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, **137,** 553-597.

Efron, B. and Tibshirani, R. J., 1994: *An introduction to the bootstrap*. Chapman and Hall, New York.

Efron, B., 2003: Second thoughts on th bootstrap. *Statistical Science*, **18(2)**, 135-140.

Hagedorn, R., F. J. Dobalas-Reyes, T. N. Palmer, 2005: The rationale behind the success of multi-model ensembles in seasonal forecasting-I. Basic concept. *Tellus Ser A Dyn Meteorol Oceanogr,* **57**(3), 219-233, https://doi.org/10.1111/j.1600-0870.2005.00103.x

Hersbach, H. and co-authors, 2020: The ERA5 global reanalysis. *Quart. J. Royal Metero. Soc.*, **146,** http://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, https://doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012<3335:COAGSR>2.0.C);2.

Kalnay and co-authors, 1996: The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 437-470.

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, https://doi.org/10.1175/BAMS-83-11-1631.

Kim, O.-Y., H.-M. Kim, M.-I. Lee, and Y.-M. Min, 2017: Dynamical-statistical seasonal prediction for western North Pacific typhoons based on APCC multi-models. *Climate Dyn.*, **48**, 71-88, doi:https://doi.org/10.1007/s00382-016-3063-1.

Krishnamurti, T. N., and Coauthors, 1999: Improved Weather and Seasonal Climate Forecasts from Multimodel Superensemble. *Science*, **285**, 1548-1550.

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

Min, Y. M., 2015: Development of a real-time verification system for the APCC operational multi-model ensemble prediction. APEC Research Report 2015-03.

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

Parlmer, T. et al., 2004: Development of a European Mutimodel Ensemble System for Seasonal to interannual prediction (DEMETER). *Bulletin of the American Meteorological Society*, **85**, 853-872.

Shin, S. H. and J. Y. Moon, 2017: Prediction skill for the East Asian Winter Monsoon based on APCC Multi-Models. *Atmosphere*

Sohn, S.-J., C.-Y. Tam, and J.-B. Ahn, 2013: Development of a multimodel-based seasonal prediction system for extreme droughts and floods: A case study for South Korea. *Int. J. Climatol.*, **33**, 793-805, doi:https://doi.org/10.1002/joc.3464.

Shulka, J., and Coauthors, 2000: Dynamical seasonal prediction. *Meteorological.*, **81**, 2593-2606.

Wang, B. et al., 2009: Advance and prospectus of seasonal prediction: assessment of the APCC/CLIPAS 14-model ensemble retrospective seasonal prediction (1980-2004). *Climate Dynamics*, **33**(1), 93-117

Weisheimer, A. et al., 2009: Ensembles: a new multi-model ensemble for seasonal-to-annual predictions-skill and progress beyond demeter in forecasting tropical pacific SSTS. *Geophysical Research Letters,* **6**(21), L21711

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.

Yoo, J. H., and I. S. Kang, 2005: Theoretical examination of a multi model composite. *Geophysical Research Letters,* **32**(L18), https://doi.org/10.1029/2005GL023513

Yoo. J. H., J. Cho, S. Hameed, R. Field, K. K. Foo, and I. Albar 2016: Toward a Fire and Haze Early Warning System for Southeast Asia, APN E-Lib, https://www.apn-gcr.org/2016/07/18.

부록 A. BSISO 영향예보 생산 매뉴얼

생성환경 Directory (/ffs/data19/BSISO_R1/IMPACT)				
생성환경	실행 프로그램		Input	Output
SHELL	IMPACT_MONI.csh 모니터링 영향평가장 생산을 위한 최상위 쉘	./SRC		
		INDEX.PHASE.WRITE.3to10.f90 모니터링 자기회귀 확률일자 BSISO phase와 amplitude 계산	MONI/09.STEP9/text/YYYY BSISO.YYYYMMDD.INDEX.NORM.LY.data	DAQU/MONI/INDEX/YYYY/ YYYYMMDD_OBS_BSISO.PHS.AMP
		IMPACT.ANO.f90 현시점 합성장의 BSISO 상태와 비율을 갖춰 영향장 생산	DAQU/MONI/INDEX/YYYY YYYYMMDD_OBS_BSISO.PHS.AMP 0.PHASE_CYCLE VAR.BSISO1.MIX.OD.amp1.5.sig VAR.BSISO2.MIX.OD.amp1.5.sig	DAQU/MONI/OUTPUT/YYYY YYYYMMDD.OBS.MONI.BSISO.RLAND.VAR
		DREF/NCL_SOURCE		
		impact_moni.ncl 모니터링 영향평가 플라잉 그림 작성	DAQU/MONI/OUTPUT/YYYY YYYYMMDD.OBS.MONI.BSISO.RLAND.VAR	DAQR/YYYY/MONI YYYYMMDD_OBS_MONI_BSISO.IMPACT_AREA_VAR.png
	IMPACT_FCST.csh 예측 영향평가장 생산을 위한 최상위 쉘	INDEX.PHASE.WRITE.3to10.f90 모니터링 자기회귀 확률일자 BSISO phase와 amplitude 계산	FCST/11.BSLAN/MDU/YYYY YYYYMMDD_MDL_BSISO.208.INDEX.LY	DAQU/FCST/INDEX/YYYY/MDU YYYYMMDD_MDL_BSISO.208.PHS.AMP
		IMPACT.ANO.f90 현시점 합성장의 예측 BSISO 상태와 비율을 갖춰 영향장 생산	DAQU/FCST/INDEX/YYYY/MDL YYYYMMDD_MDL_BSISO.208.PHS.AMP 0.PHASE_CYCLE VAR.BSISO1.MIX.OD.amp1.5.sig VAR.BSISO2.MIX.OD.amp1.5.sig	DAQU/FCST/OUTPUT/YYYY YYYYMMDD.MDL.FCST.BSISO.RLAND.VAR
		DREF/NCL_SOURCE		
		impact_fcst.ncl 예측 영향평가 플라잉 그림 작성	DAQU/FCST/OUTPUT/YYYY/MDL YYYYMMDD.MDL.FCST.BSISO.RLAND.VAR 0.PHASE VAR.DAY.ANOS2.noLY.real.1981.2018.mean	DAQR/YYYY/MDL YYYYMMDD_WEEK1_MDL_FCST_IMPACT_AREA_VAR.png

Figure A1. Code configuration of APCC BSISO impact system.

합성장 Directory (/ffs/data19/BSISO_R1/COMPOSITE)				
생성환경	실행 프로그램		Input	Output
SHELL	COMPOSITE.csh 모니터링 영향평가장 생산을 위한 최상위 쉘	./SRC		
		10.STEP1.f90 Climatological annual cycle에서 1~3 harmonics 제거 아노말리 계산 및 ctl 생성	ANOS2/mjLY/DATA VAR.19810101.20181231.ng.LY	COMPOSITE/DAQU/1981_2018 VAR.DAY.ANOS1.noLY.real VAR.DAY.ANOS1.CTL VAR.DAY.CLIM.H.noLY VAR.DAY.CLIM.noLY
		11.STEP2.f90 120일 평균 제거한 아노말리 계산 및 ctl 생성	COMPOSITE/DAQU/1981_2018 VAR.DAY.ANOS1.noLY.real	COMPOSITE/DAQU/1981_2018 VAR.DAY.ANOS2.noLY.real VAR.DAY.ANOS2.CTL VAR.120MA.noLY
		20.BSISO.PhaseCycle.amplitude.f90 각 기간별 BSISO phase별 BSISO 강도가 1.5 이상 되는 날짜 대한 면수를 합성장 계산 GET_S_E_DAY.f90함수) 각 기간별 시작 및 종료일을 율리안데이트로 산정	MONI/09.STEP9/text BSISO.INDEX.PHASE.8118.txt COMPOSITE/DAQU/1981_2018 VAR.DAY.ANOS2.noLY.real	COMPOSITE/DAQU/1981_2018 VAR.PERIOD.BSISO1.Phase1 VAR.BSISO1.PERIOD.AMP1.5 PERIOD = MA.AM.MJ.MU.JA.JAS.MJA.MJJA
		21.BSISO.PC.amp.sig..f90 각 phase별로 95%이상 유의 수준을 만족하는 구간의 합성장 추출 GET_S_E_DAY.f90함수) 각 기간별 시작 및 종료일을 율리안데이트로 산정	MONI/09.STEP9/text BSISO.INDEX.PHASE.8118.txt COMPOSITE/DAQU/1981_2018 VAR.BSISO1.PERIOD.AMP1.5 VAR.DAY.ANOS2.noLY.real	COMPOSITE/DAQU/1981_2018 VAR.BSISO1.PERIOD.AMP1.5.SIG
		./DREF/NCL_SOURCE		
		composite.ncl 합성장 그림 작성 ./DREF/NCL_MODULE/BSISO_module.NC (함수)	COMPOSITE/DAQU/1981_2018 VAR.BSISO1.PERIOD.AMP1.5.SIG	COMPOSITE/DAQR/1981_2018/VAR VAR_BSISO1_PHASE1_PERIOD_AMP1.5_SIG.png
		FCST_RESPONSE_fVAR_pre.ncl 아노말리에 대한 본산 계산	DAQU/1981_2018 VAR.DAY.ANOS1.noLY.real	IMPACT/DAID VAR.DAY.ANOS2.noLY.real.1981.2018.mean

Figure A2. Same as Figure A1 except for APCC BSISO composite sytem.

1. BSISO 영향 편차장

가. 영향편차(모니터링) 자료처리 주요 프로그램

• 작업 위치 : /lfs/data19/BSISO_R1/IMPACT

```
cd SHEL
vi IMPACT_MONI.CSH                                  → 영향편차(모니터링) 수행을 위한 최상위 쉘
```

• 영향편차(모니터링) 을 위한 최상위 쉘은 크론탭으로 자동 수행됨

• 영향편차(모니터링) 기준 날짜는 모니터링 날짜로 선정되며, 현재 날짜 기준 3 일전 (모니터링 기준날짜)이 자동 지정됨

• 영향편차장을 위한 메인 쉘은 기본적으로 현재 10 개 변수에 대해 생산이 됨

* 10 개 변수 : OLR&850WIND, T2M, SH, MCONV850, MSLP, OMEGA500, Z500, RH600, VP200, SF200, PRCP

[IMPACT_MONI.CSH]

```
#!/bin/csh
setenv LANG C
  echo ""
  echo ""
  echo ""
  echo ""
  echo ""
  echo ""
  echo ""
  echo   "#################################################################"
  echo " IMPACT_MONI.csh  start : "`date +%c`
  echo   "#################################################################"

#C#########################################################################
#
  #C# Directory

#C#########################################################################
#
  #현재 기준으로 마지막 파일을 찾아서 처리되도록 날짜 설정
  if($1 == "") then
    set YMD     = `date +%Y%m%d`
  else
    set YMD     = $1
  endif
  set YEAR = `date +%Y -d "${YMD}"`
```

```
  set BSISO_DIR = /lfs/data19/BSISO_R1
  setenv IMPACT_ROOT  ${BSISO_DIR}/IMPACT

  set   IDX_DIR   =   ${BSISO_DIR}/MONI/09.STEP9/text/${YEAR}

    set EXEC       = ${IMPACT_ROOT}/EXEC
    set DAGR       = ${IMPACT_ROOT}/DAGR
    set DAIO       = ${IMPACT_ROOT}/DAIO
    set DAOU       = ${IMPACT_ROOT}/DAOU
    set DREF       = ${IMPACT_ROOT}/DREF
    set PLOT       = ${IMPACT_ROOT}/PLOT
    set SHEL       = ${IMPACT_ROOT}/SHEL
    set SRC        = ${IMPACT_ROOT}/SRC

    set LOGDIR     = ${IMPACT_ROOT}/LOG
    set WORK       = ${IMPACT_ROOT}/WORK/MONI_$$

    set LOG     = ${LOGDIR}/"`date +%Y%m%d`.Response_MONI_AUTO.log"
    echo        "#################################################################"
>> $LOG
    echo " IMPACT_MONI.csh  start : "`date +%c`                          >> $LOG
    echo        "#################################################################"
>> $LOG

    mkdir -p ${LOGDIR}
    mkdir   -p ${WORK}
    cd ${WORK}


#C#############################################################################
#
    #C# setting : etc

#C#############################################################################
#
    setenv ANAL       "MONI"


#C#############################################################################
#
    #C# Library Path Setting
```

```
#C#############################################################################
#
    setenv NCARG_COLORMAPS    ${DREF}/NCL_COLORMAP:$NCARG_ROOT/lib/ncarg/colormaps


#C#############################################################################
#
    #C# Set time

#C#############################################################################
#
    if($1 == "") then
      setenv TFILE  `ls -1    ${IDX_DIR}/BSISO.${YEAR}????.INDEX.NORM.LY.data | tail -1 `
    else
      setenv TFILE  `ls -1    ${IDX_DIR}/BSISO.${YMD}.INDEX.NORM.LY.data | tail -1 `
    endif
    setenv ITIME  `basename ${TFILE} | cut -d'.' -f2`
    setenv YYYY    `date +%Y -d "${ITIME}"`
    setenv MM      `date +%m -d "${ITIME}"`
    setenv CCC     `date +%b -d "${ITIME}" | tr    '[a-z]' '[A-Z]'`
    setenv DY      `date +%d -d "${ITIME}"`

    setenv TDD     `cat ${TFILE} | tail -1 | cut -c 8-10`
    setenv TEN 0

    setenv TIME    `date -d ${ITIME} +%d%b%Y`
    setenv MTIME ${ITIME}
  #C#############################################################################
##
    #C# PHASE WRITE

#C#############################################################################
#
    setenv INFILE01  ${TFILE}
    setenv OUTFILE01    ${DAOU}/MONI/INDEX/${YYYY}/${ITIME}_OBS_BSISO.PHS.AMP
    mkdir -p ${DAOU}/MONI/INDEX/${YYYY}
    echo ""
    echo "========================="
    echo " PHASE WRITE"
    echo "-------------------------"
    echo "    - INPUT     : $INFILE01"
    echo "    - OUTPUT : $OUTFILE01"
    echo "========================="
```

```
    #C# compile
    cd ${SRC}                    → 모니터링 지수로부터 해당일의 BSISO phase와 amplitude 계산
      ./compile.csh INDEX.PHASE.WRITE.5to10.f90
    cd -

    #C# run
    ${EXEC}/INDEX.PHASE.WRITE.5to10.exe    >> ${LOG}
    echo ' * Response Main 1 : OK    ' >> ${LOG}
    unsetenv INFILE01 OUTFILE01
  foreach    VAR ( MCONV850 MSLP OLR U850 V850 OLRWIND OMEGA500 T2M Z500 RH600
VP200 SF200    PRCP )
      set VAR_check = ${VAR}
      if(${VAR} == "OLRWIND") then
        set VAR         = "OLR"
      endif
  echo    '  Variable [ ' $VAR ' ] Run '  >> ${LOG}
                                                    → 변수별 관측자료의 해상도 및 그룹 설정
      set GROUP    = 'R2'
      setenv XGRID '144'
      setenv YGRID '73'
      setenv Slon   '0.0'
      setenv Elon   '357.5'
      setenv Slat   '-90.0'
      setenv Elat   '90.0'

      if ( $VAR == 'SH850' ) then
        set GROUP = 'R1'
      else if ( $VAR == 'OLR' ) then
        set GROUP = 'NOAA'
      else if ( $VAR == 'SST' ) then
        set GROUP = 'NOAA'
        setenv XGRID '1440'
        setenv YGRID '720'
        setenv Slon   '0.125'
        setenv Elon   '359.875'
        setenv Slat   '-89.875'
        setenv Elat   '89.875'
  else    if ( $VAR == 'HeavyR' || $VAR == 'PRCP')     then
        set GROUP = 'GPCP'
        setenv XGRID '360'
        setenv YGRID '180'
        setenv Slon   '0.5'
```

```
        setenv Elon   '359.5'
        setenv Slat   '-89.5'
        setenv Elat   '89.5'
      else if ( $VAR == 'T2M') then
        set GROUP = 'R2'
        setenv XGRID '192'
        setenv YGRID '94'
        setenv Slon   '0.0'
        setenv Elon   '358.125'
        setenv Slat   '-88.54'
        setenv Elat   '88.54'
      else if ( $VAR == 'PPTN' ) then
        set GROUP = 'APHRO'
        setenv XGRID '360'
        setenv YGRID '280'
        setenv Slon   '60.125'
        setenv Elon   '149.875'
        setenv Slat   '54.875'
        setenv Elat   '88.542'
        set VAR = 'PRCP'  ;#check
      endif
  #C#############################################################################
      #C# Cal Response
  #C#############################################################################
  setenv    TDD         1
      setenv INFILE01     ${DAOU}/MONI/INDEX/${YYYY}/${ITIME}_OBS_BSISO.PHS.AMP
      setenv  INFILE02        ${BSISO_DIR}/../D.PHASE_CYCLE/${GROUP}.${VAR}.BSISO1.${MM}${DY}.
amp1.5.sig    #check
      setenv  INFILE03        ${BSISO_DIR}/../D.PHASE_CYCLE/${GROUP}.${VAR}.BSISO2.${MM}${DY}.
amp1.5.sig    #check

      setenv    OUTFILE01             ${DAOU}/MONI/OUTPUT/${YYYY}/${ITIME}.OBS.MONI.BSISO.Rt.
ANO.${GROUP}.${VAR}

      mkdir -p ${DAOU}/MONI/OUTPUT/${YYYY}
      echo ""
      echo   "========================="
      echo " Cal Response"
      echo   "-------------------------"
      echo "   - INPUT     : $INFILE01"
      echo "               : $INFILE02"
      echo "               : $INFILE03"
      echo "   - OUTPUT : $OUTFILE01"
```

```
      echo "========================="
  #C#    compile
      cd ${SRC}
        rm -f ${EXEC}/IMPACT.ANO.exe
        ./compile.csh IMPACT.ANO.f90  → 합성장에 BSISO 강도와   비중을 곱해 영향장 생산
      cd -

      #C# run
      ${EXEC}/IMPACT.ANO.exe  >> ${LOG}
      unsetenv INFILE01 INFILE02 INFILE03   OUTFILE01

      echo ' * Response Main 2 : OK  ' >> ${LOG}


#C#########################################################################
      #C# DRAW FIGURES

#C#########################################################################
      setenv AREA       ASIA
      setenv VAR01      ${VAR}
      setenv     INFILE01              ${DAOU}/MONI/OUTPUT/${YYYY}/${ITIME}.OBS.MONI.BSISO.Rt.
ANO.${GROUP}.${VAR}
      setenv INFILE02 "null"
      setenv INFILE03 "null"
      setenv     OUTIMG               ${DAGR}/${YYYY}/MONI/${ITIME}_OBS_MONI_IMPACT_${AREA}_
${GROUP}_${VAR}.png
      mkdir -p ${DAGR}/${YYYY}/MONI
  if(${VAR_check}   != "OLRWIND") then
        echo ""
        echo   "========================="
        echo " DRAW FGURES"
        echo   "-------------------------"
        echo "   - INPUT     : $INFILE01"
        echo "   - OUTPUT : ${OUTIMG}"
        echo   "========================="

        ncl ${DREF}/NCL_SOURCE/impact_moni.ncl   → 영향편차(모니터링) 공간장 그림 작성
      endif

      #C# 결과 자료 전송
      setenv REMOTE_ID apcc21
      setenv REMOTE_IP 10.200.111.32
      setenv REMOTE_DIR    /data/apcc_images/BSISO/MONI/impact/${YYYY}/
```

```
      setenv OUTIMG_W    ${ITIME}_OBS_MONI_IMPACT_${AREA}_${GROUP}_${VAR}.png
      scp -P 2224 ${OUTIMG}    ${REMOTE_ID}@${REMOTE_IP}:${REMOTE_DIR}${OUTIMG_W}

        if( ${VAR01} == "U850" ||   ${VAR01} == "V850" || ${VAR01} == "OLR") then
          setenv VAR01       OLRWIND
          setenv    INFILE01          ${DAOU}/MONI/OUTPUT/${YYYY}/${ITIME}.OBS.MONI.BSISO.Rt.
ANO.NOAA.OLR
          setenv    INFILE02          ${DAOU}/MONI/OUTPUT/${YYYY}/${ITIME}.OBS.MONI.BSISO.Rt.
ANO.R2.U850
          setenv    INFILE03          ${DAOU}/MONI/OUTPUT/${YYYY}/${ITIME}.OBS.MONI.BSISO.Rt.
ANO.R2.V850
          setenv   OUTIMG             ${DAGR}/${YYYY}/MONI/${ITIME}_OBS_MONI_IMPACT_${AREA}_
NOAA_OLRWIND.png
          mkdir -p ${DAGR}/${YYYY}/MONI

          if( -e ${INFILE01} && -e    ${INFILE02} && -e ${INFILE03}) then
            echo ""
            echo    "========================="
  echo    " DRAW FGURES"
            echo    "-------------------------"
            echo "    - INPUT      : $INFILE01"
            echo "                 : $INFILE02"
            echo "                 : $INFILE03"
            echo "    - OUTPUT : ${OUTIMG}"
            echo    "========================="
      →  영향편차장 중 OLR과 U850 합성장의 경우 OLR, U, V 3개 변수가 다 있으면 그림 작성
            ncl    ${DREF}/NCL_SOURCE/impact_moni.ncl
      setenv OUTIMG_W    ${ITIME}_OBS_MONI_IMPACT_${AREA}_NOAA_OLRWIND.png
      scp -P 2224 ${OUTIMG}    ${REMOTE_ID}@${REMOTE_IP}:${REMOTE_DIR}${OUTIMG_W}
          else
            echo ""
            echo    "========================="
            echo " ERROR : Input file is    not found."
            echo    "========================="
            echo " check INPUT : "
            echo "                  ${INFILE01}"
            echo "                  ${INFILE02}"
            echo "                  ${INFILE03}"
            echo    "-------------------------"
          endif
        endif
        unsetenv INFILE01 INFILE02 INFILE03
```

```
      unsetenv INFILE01
  end   #foreach VAR
    echo ""
    echo ""
    echo ""
    echo       "#################################################################"
>> $LOG
    echo " IMPACT_MONI.csh  end : " `date +%c`                          >> $LOG
    echo "#################################################################"    >>
$LOG


  exit
```

- 이미지 작성에 필요한 속성 (폰트, 레전드, 컬러바, 스케일 등) 변경은 DREF/bsiso_module.ncl에서 일괄적으로 이루어짐

나. 영향편차(모니터링) 작업 로그

```
cd LOG
vi YYYYMMDD.Response_MONI_AUTO.log
```

- 현업기간 중 매일 영향편차 시종 시간 및 프로그램 오류 유무 확인 필수 (cron.ly.log)
- 영향편차장(모니터링) 작업에 소요되는 시간은 평균적으로 1분 내외

다. 영향편차(예측) 자료처리 주요 프로그램

```
cd SHEL
IMPACT_FCST.CSH                                  → 영향편차(예측) 수행을 위한 최상위 쉘
```

- 영향편차(예측) 을 위한 최상위 쉘은 크론탭으로 자동 수행됨
- 영향편차(모니터링) 기준 날짜는 모니터링 날짜로 선정되며, 현재 날짜 기준 3일전 (모니터링 기준날짜)이 자동 지정됨

[IMPACT_FCST.CSH]

```
#!/bin/csh
  setenv   LANG C
    echo ""
    echo ""
    echo ""
    echo ""
    echo ""
    echo ""
```

```
    echo ""
    echo   "#################################################################"
    echo " IMPACT_FCST.csh : start "
    echo   "#################################################################"

#C#############################################################################
#
    # argument

#C#############################################################################
#
    set FCST_date = $1
    set MONI_date = $2


#C#############################################################################
#
    # Directory

#C#############################################################################
#
    set BSISO_DIR = /lfs/data19/BSISO_R1

    setenv IMPACT_ROOT  ${BSISO_DIR}/IMPACT
    set   MONI_DIR  =   ${BSISO_DIR}/MONI/00.PREPR/U850/ORG          ;#check
    set IDX_DIR   = ${BSISO_DIR}/FCST/11.BINAR                  ;#check
    set MDL_DIR    = ${BSISO_DIR}/../11.BSISO                   ;#check
    set DAIO_01   = ${BSISO_DIR}/../D.PHASE_CYCLE/          ;#check
    set DAIO       = ${IMPACT_ROOT}/DAIO
    set EXEC       = ${IMPACT_ROOT}/EXEC
    set DAGR       = ${IMPACT_ROOT}/DAGR
    set DAOU       = ${IMPACT_ROOT}/DAOU
    set DREF       = ${IMPACT_ROOT}/DREF
    set PLOT       = ${IMPACT_ROOT}/PLOT
    set SHEL       = ${IMPACT_ROOT}/SHEL
    set SRC        = ${IMPACT_ROOT}/SRC

    set LOGDIR     = ${IMPACT_ROOT}/LOG

    set LOG     = ${LOGDIR}/"`date +%Y%m%d`.Response_FCST_AUTO.log"

    mkdir -p ${LOGDIR}
```

```
#C#######################################################################
#
    #C# setting : etc

#C#######################################################################
#
    setenv ANAL       "FCST"

    echo '            '                  >> ${LOG}
    echo   '=========================================================' >> ${LOG}
    echo '            '                  >> ${LOG}
    echo '     FORECASTING start: ' `date +%c` >> ${LOG}
    echo '            '
  #C#######################################################################
##
    #C# Library Path Setting                                    #

#C#######################################################################
#

     setenv NCARG_COLORMAPS    ${DREF}/NCL_COLORMAP:$NCARG_ROOT/lib/ncarg/colormaps



#C#######################################################################
#
    #C# Cal Response
    #C#      - MDL    : GFS,  CFS,     BOM,  ECM,  CWB
    #C#      - MODEL : GFSA, CFSA, BOMA, ECMA, CWBC

#C#######################################################################
#
      foreach MDL ( CFS BOM ECM CWB )   #foreach_01
      echo ' - - - - - - - - - - - - - - - - -   - - - - - - - - - - - -' >> ${LOG}
      echo '              Calculate [ ' $MDL ' ] model'   >> ${LOG}

    #     if( $MDL == 'CWB' ) then
    #       set MODEL = ${MDL}A
    #     else
        set MODEL = ${MDL}C
    #     endif
      setenv MDL_NAME ${MDL}
```

```
    #C# 자료처리 날짜 확인
    #C# 예측날짜 확인
    if( ${FCST_date} == "") then
      set MDL_FILE = `ls -1 ${MDL_DIR}/${MDL}/????????_${MODEL}_U850_BSISO    | tail -1`
    else
      set MDL_FILE = `ls -1    ${MDL_DIR}/${MDL}/${FCST_date}_${MODEL}_U850_BSISO | tail -1`
    endif

if   ( -e ${MDL_FILE} ) then
      set FCST_date = `basename ${MDL_FILE} |    cut -c 1-8`
    else
      goto NEXT
    endif

    echo '     - model available date                : ' ${FCST_date}  >>    ${LOG}

    #C# 감시날짜 확인
    if( "${MONI_date}" ==    "") then
      set MONI_FILE = `ls -1    ${MONI_DIR}/pgb.f0???????18 | tail -1`
    else
      set MONI_date_tmp = `echo ${MONI_date}    | cut -c 2-8`
      set MONI_FILE      = `ls -1    ${MONI_DIR}/pgb.f0${MONI_date_tmp}18 | tail -1`
    endif

    if ( -e ${MONI_FILE}) then
      set MONI_date = "2`basename    ${MONI_FILE}| cut -c 7-13`"
    else
      goto NEXT
    endif
    echo '     - observation available date          : ' ${MONI_date}  >>    ${LOG}

    if ( ${MONI_date} >= ${FCST_date})    then
      setenv today ${FCST_date}
    else if (${MONI_date} < ${FCST_date})    then
      setenv today ${MONI_date}
      set j = 1
      set t = 0
      set yesterday_F = `date -d    "${FCST_date} 1 days ago" +%Y%m%d`
      echo       $yesterday_F
      echo       $today
if   ( ${yesterday_F} == ${today} ) then
```

```
## AY modified v2020.04 ##########
        if ( ${MDL} != 'CFS' &&    ${MDL} != 'GFS' ) then
          setenv today ${MONI_date}

           if (-e    ${MDL_DIR}/${MDL}/${today}_${MODEL}_OLRA_BSISO) then
          setenv today ${MONI_date}
           else
           while (! -e    ${MDL_DIR}/${MDL}/${today}_${MODEL}_OLRA_BSISO)
            setenv today `date -d    "${today} $j days ago" +%Y%m%d`
           end
           endif
        endif
#####################################
      else
        set tomorrow = `date -d    "${today} +1 days" +%Y%m%d`
        if ( -e    ${MDL_DIR}/${MDL}/${tomorrow}_${MODEL}_OLRA_BSISO) then
          if ( ${MDL} == 'CFS' || ${MDL} ==    'GFS' ) then
            setenv today `date -d    "${MONI_date}" +%Y%m%d`
          else
            setenv today ${tomorrow}
          endif
        else
          while (! -e    ${MDL_DIR}/${MDL}/${today}_${MODEL}_OLRA_BSISO)
            setenv today `date -d    "${today} $j days ago" +%Y%m%d`
            #@ j = ${j} + 1
            @ t = ${t} + 1
          end
        endif
      endif
    endif
set    YYYY = `date -d "${today}" +%Y`
    set MM      = `date -d "${today}" +%m`
    set DY      = `date -d "${today}" +%d`

    echo '    - real-time BSISO prediction date : ' ${YYYY}${MM}${DY}  >> ${LOG}

    setenv CCC     `date +%b -d    "${YYYY}${MM}${DY}" | tr '[a-z]' '[A-Z]'`

    # TDD = Forecast period
    # TEN = Ensemble size
    echo ' '      >> ${LOG}
    if ( $MDL == 'AAA') then
      setenv TDD '20'
```

```
        setenv TEN '1'
      else if ($MDL == 'BOM') then
        setenv TDD '20'
        setenv TEN '33'
      else if ( $MDL == 'GFS' ) then
        setenv TDD '16'
        setenv TEN '1'
      else if ( $MDL == 'CFS' ) then
        setenv TDD '20'
        setenv TEN '4'
      else if ( $MDL == 'ECM' ) then
        setenv TDD '20'
        setenv TEN '51'
      else if ( $MDL == 'UKM' ) then
        setenv TDD '15'
        setenv TEN '24'
      else if ( $MDL == 'CWB' ) then
        setenv TDD '20'
        if( $YYYY <= 2017 ) then
            setenv TEN '6'
        else if( $YYYY >= 2018 &&   $YYYY <= 2019 ) then
  setenv   TEN '1'
        else if( $YYYY >= 2020 ) then
            setenv TEN '3'
        endif
      endif

      echo '[    ' $MDL 'forecast day : ' $YYYY $MM $DY ' ] ' >> ${LOG}

      echo '    FORECASTING start: ' `date +%c` >> ${LOG}


    foreach VAR ( MCONV850 MSLP OLR U850 V850   OLRWIND OMEGA500 T2M Z500 RH600
VP200 SF200 PRCP )
    #foreach VAR ( MCONV850 MSLP  OLR      OMEGA500 QU850   QV850   \
    #              SH850    T2M     U850  V850     WIND850         \
    #              Z500     RH600 VP200 SF200    PRCP    OLRWIND     ) #foreach_02
        set VAR_check = ${VAR}
        if(${VAR} == "OLRWIND") then
          set VAR       = "OLR"
        endif
                                                    → 변수별 관측자료의 해상도 및 그룹 설정
        echo '    Variable [ ' $VAR ' ] Run '    >> ${LOG}
```

```
        set GROUP = 'R2'
        setenv Slon   '0.0'
        setenv Elon   '357.5'
        setenv Slat   '-90.0'
        setenv Elat   '90.0'
        setenv XGRID '144'
        setenv YGRID '73'

        if ( $VAR == 'SH850hPa' ) then
          set GROUP = 'R1'
        else if ( $VAR == 'OLR' || $VAR ==    'OLRWIND' ) then
          set GROUP = 'NOAA'
        else if ( $VAR == 'T2M') then
          set GROUP = 'R2'
          setenv Slon   '0.0'
          setenv Elon   '358.125'
          setenv Slat   '-88.54'
          setenv Elat   '88.54'
          setenv XGRID '192'
          setenv YGRID '94'
        else if ( $VAR == 'SST' ) then
          set GROUP = 'NOAA'
          setenv Slon   '0.125'
          setenv Elon   '359.875'
          setenv Slat   '-89.875'
          setenv Elat   '89.875'
          setenv XGRID '1440'
          setenv YGRID '720'
        else if ( $VAR == 'HeavyR' || $VAR ==    'PRCP')  then
          set GROUP = 'GPCP'
          setenv Slon   '0.5'
          setenv Elon   '359.5'
          setenv Slat   '-89.5'
          setenv Elat   '89.5'
          setenv XGRID '360'
          setenv YGRID '180'
        else if ( $VAR == 'PPTN' ) then
          set GROUP = 'APHRO'
          setenv Slon   '60.125'
          setenv Elon   '149.875'
          setenv Slat   '54.875'
          setenv Elat   '88.542'
setenv    XGRID '360'
```

```
          setenv YGRID '280'

          set VAR = 'PRCP' ;#check
        endif


#C#####################################################################
        #C# PHASE WRITE

#C#####################################################################
        #C# env-var : TEN, TDD
        #C# input   : BSISO.2018????.INDEX.NORM.LY.data
        #C# output  : YYYYMMDY_OBS_BSISO.PHS.AMP
        setenv INFILE01     ${IDX_DIR}/${MDL}/${YYYY}/${today}_${MODEL}_BSISO.20d.INDEX.LY
        setenv                                                              OUTFILE01
${DAOU}/FCST/INDEX/${YYYY}/${MDL}/${today}_${MDL}_BSISO.20d.PHS.AMP
        mkdir -p ${DAOU}/FCST/INDEX/${YYYY}/${MDL}
        echo ""
        echo   "========================"
        echo " PHASE WRITE"
        echo   "------------------------"
        echo "   - INPUT     : $INFILE01"
        echo "   - OUTPUT : $OUTFILE01"
        echo   "------------------------"

        #C# compile
        #cd ${SRC}
                        → 모니터링 지수로부터 예측 해당일의 BSISO phase와 amplitude 계산
        #     rm -f ${EXEC}/INDEX.PHASE.WRITE.5to10.exe
        #     ./compile.csh INDEX.PHASE.WRITE.5to10.f90
        #cd -

        #C# run
        ${EXEC}/INDEX.PHASE.WRITE.5to10.exe
        unsetenv INFILE01 OUTFILE01
  echo   ' * IMPACT Main 1 : OK   ' >>   ${LOG}


#C#####################################################################
        #C# Cal Response
        #C#      - variable group-1 :
        #C#      - variable group-2 :
```

```
#C#########################################################################
        #C# env-var : TDD, TEN, XGRID, YGRID
        #C# input    : ${today}_${MDL}_BSISO.20d.PHS.AMP
        #C#           :    ${GROUP}.${VAR}.BSISO1.${MM}${DY}.amp1.5.sig
        #C#           : ${GROUP}.${VAR}.BSISO2.${MM}${DY}.amp1.5.sig
        #C# output   :    ${today}.${MDL}.FCST.BSISO.Rt.ANO.${GROUP}.${VAR}
        #C#             => 이미지 생산용(nx:XGRID,ny:YGRID,nt:20)

        setenv                                                          INFILE01
${DAOU}/FCST/INDEX/${YYYY}/${MDL}/${today}_${MDL}_BSISO.20d.PHS.AMP
        setenv INFILE02     ${DAIO_01}/${GROUP}.${VAR}.BSISO1.${MM}${DY}.amp1.5.sig
        setenv INFILE03     ${DAIO_01}/${GROUP}.${VAR}.BSISO2.${MM}${DY}.amp1.5.sig
        setenv                                                          OUTFILE01
${DAOU}/FCST/OUTPUT/${YYYY}/${MDL}/${today}.${MDL}.FCST.BSISO.Rt.ANO.${GROUP}.${VAR}
        mkdir -p    ${DAOU}/FCST/OUTPUT/${YYYY}/${MDL}
        echo ""
        echo   "========================="
        echo " Cal Response"
        echo   "-------------------------"
        echo "   - INPUT     : $INFILE01"
        echo "               : $INFILE02"
        echo "               : $INFILE03"
        echo "   - OUTPUT : $OUTFILE01"
        echo   "-------------------------"
  #C#   compile
        #cd ${SRC}
        #     rm -f ${EXEC}/IMPACT.ANO.exe
                                  → 합성장에 예측 BSISO   강도와 비중을 곱해 영향장 생산
        #     ./compile.csh IMPACT.ANO.f90
        #cd -

        #C# run
        ${EXEC}/IMPACT.ANO.exe
        unsetenv INFILE01 INFILE02 INFILE03    OUTFILE01

        echo ' * IMPACT Main 2 : OK   ' >> ${LOG}

#C#########################################################################
        #C# DRAW FIGURES

#C#########################################################################
        #C# IMG info.
        #C#      XPIX : 1125
```

```
        #C#       YPIX : 1126
        #C# env-var : today, MDL_NAME, XGRID,    YGRID, Slon, Elon, Slat, Elat,
        #C#             INFILE01, OUTIMG_H, OUTIMG_T,    VAR01, AREA
        #C#             TDD
        #C# input  :    ${today}.${MDL}.FCST.BSISO.Rt.ANO.${GROUP}.${VAR}
        #C#             => 이미지 생산용(nx:144,ny:73,nt:20)
        #C#                  week1 : average(time    1  ~ 7 )
        #C#               week2 : average(time 8  ~ 14)
        #C#               week3 : average(time 15 ~ 20)
        #C#                                          outimg                                    :
[YYYYMMDD]_[PERIOD]_[MODEL]_FCST_IMPACT_ASIA_[GROUP]_[VAR].png
        #C#           ex) 20191031_WEEK1_ECM_FCST_IMPACT_ASIA_NOAA_OLR.png
        #C#
        setenv AREA      ASIA
        setenv VAR01     ${VAR}
        if(${VAR} == "500HGT") setenv    VAR01 Z500
        setenv                                                                    INFILE01
${DAOU}/FCST/OUTPUT/${YYYY}/${MDL}/${today}.${MDL}.FCST.BSISO.Rt.ANO.${GROUP}.${VAR}
  setenv    INFILE02 "null"
        setenv INFILE03 "null"
        setenv INFILE04    ${DAIO}/${GROUP}.${VAR}.DAY.ANOS2.noLY.real.1981.2018.mean
        setenv OUTIMG_H    ${DAGR}/${YYYY}/${MDL}/${today}_WEEK
        setenv OUTIMG_T    ${MDL}_FCST_IMPACT_${AREA}_${GROUP}_${VAR01}.png
        mkdir -p ${DAGR}/${YYYY}/${MDL}

        if(${VAR_check} == "PRCP")   then
        setenv INFILE04    ${DAIO}/${GROUP}.${VAR}.DAY.ANOS2.noLY.real.1997.2018.mean
        endif
        if(${VAR_check} != "OLRWIND")   then
          echo ""
          echo   "========================="
          echo " DRAW FGURES"
          echo   "-------------------------"
          echo "   - INPUT     : $INFILE01"
          echo "               : $INFILE02"
          echo "               : $INFILE03"
          echo "   - OUTPUT : ${OUTIMG_H}#_${OUTIMG_T}"
          echo   "-------------------------"
          ncl ${DREF}/NCL_SOURCE/impact_fcst.ncl        → 영향편차(예측) 공간장 그림 작성
        endif

        #C# 결과 자료 전송
        setenv REMOTE_ID apcc21
```

```
        setenv REMOTE_IP 10.200.111.32
        setenv REMOTE_DIR /data/apcc_images/BSISO/FCST/impact/
        setenv OUTIMG1      ${OUTIMG_H}1_${OUTIMG_T}
        setenv OUTIMG2      ${OUTIMG_H}2_${OUTIMG_T}
        setenv OUTIMG3      ${OUTIMG_H}3_${OUTIMG_T}
        setenv OUTIMG1_W      WEEK1_${MDL}_FCST_IMPACT_${AREA}_${GROUP}_${VAR01}.png
        setenv OUTIMG2_W      WEEK2_${MDL}_FCST_IMPACT_${AREA}_${GROUP}_${VAR01}.png
  setenv    OUTIMG3_W      WEEK3_${MDL}_FCST_IMPACT_${AREA}_${GROUP}_${VAR01}.png
        scp -P 2224 ${OUTIMG1}    ${REMOTE_ID}@${REMOTE_IP}:${REMOTE_DIR}${OUTIMG1_W}
        scp -P 2224 ${OUTIMG2} ${REMOTE_ID}@${REMOTE_IP}:${REMOTE_DIR}${OUTIMG2_W}
        scp -P 2224 ${OUTIMG3}    ${REMOTE_ID}@${REMOTE_IP}:${REMOTE_DIR}${OUTIMG3_W}
        unsetenv INFILE01 INFILE02 INFILE03


        if( ${VAR01} == "U850" ||   ${VAR01} == "V850" || ${VAR01} == "OLR") then
          setenv VAR01       OLRWIND
          setenv                                                                INFILE01
${DAOU}/FCST/OUTPUT/${YYYY}/${MDL}/${today}.${MDL}.FCST.BSISO.Rt.ANO.NOAA.OLR
          setenv                                                                INFILE02
${DAOU}/FCST/OUTPUT/${YYYY}/${MDL}/${today}.${MDL}.FCST.BSISO.Rt.ANO.R2.U850
          setenv                                                                INFILE03
${DAOU}/FCST/OUTPUT/${YYYY}/${MDL}/${today}.${MDL}.FCST.BSISO.Rt.ANO.R2.V850
          setenv INFILE04    ${DAIO}/NOAA.OLR.DAY.ANOS2.noLY.real.1981.2018.mean
          setenv OUTIMG_T    ${MDL}_FCST_IMPACT_${AREA}_NOAA_OLRWIND.png

          mkdir -p `dirname ${OUTIMG_H}`

          if( -e ${INFILE01} && -e   ${INFILE02} && -e ${INFILE03}) then
            echo ""
            echo   "========================="
            echo " DRAW FGURES"
            echo   "-------------------------"
            echo "   - INPUT     : $INFILE01"
            echo "               : $INFILE02"
            echo "               : $INFILE03"
            echo "   - OUTPUT : ${OUTIMG_H}#_${OUTIMG_T}"
            echo   "------------------------- "
       → 영향편차장 중 OLR과 U850 합성장의 경우 OLR, U, V 3개 변수가 다 있으면 그림 작성
            ncl   ${DREF}/NCL_SOURCE/impact_fcst.ncl
  #C#   결과 자료 전송
        setenv OUTIMG1      ${OUTIMG_H}1_${OUTIMG_T}
        setenv OUTIMG2      ${OUTIMG_H}2_${OUTIMG_T}
        setenv OUTIMG3      ${OUTIMG_H}3_${OUTIMG_T}
```

```
        setenv OUTIMG1_W      WEEK1_${MDL}_FCST_IMPACT_${AREA}_${GROUP}_${VAR01}.png
        setenv OUTIMG2_W      WEEK2_${MDL}_FCST_IMPACT_${AREA}_${GROUP}_${VAR01}.png
        setenv OUTIMG3_W      WEEK3_${MDL}_FCST_IMPACT_${AREA}_${GROUP}_${VAR01}.png
        scp -P 2224 ${OUTIMG1}    ${REMOTE_ID}@${REMOTE_IP}:${REMOTE_DIR}${OUTIMG1_W}
        scp -P 2224 ${OUTIMG2}    ${REMOTE_ID}@${REMOTE_IP}:${REMOTE_DIR}${OUTIMG2_W}
        scp -P 2224 ${OUTIMG3}    ${REMOTE_ID}@${REMOTE_IP}:${REMOTE_DIR}${OUTIMG3_W}
          else
            echo ""
            echo    "========================="
            echo " Input file is not found."
            echo    "========================="
            echo " check INPUT : "
            echo "                  ${INFILE01}"
            echo "                  ${INFILE02}"
            echo "                  ${INFILE03}"
            echo "                  ${INFILE04}"
            echo    "-------------------------"
          endif
        endif
        unsetenv INFILE01 INFILE02 INFILE03

      end #foreach_02

      echo ' IMPACT ALL STEPS ARE SUCCESSFULLY    DONE ' >> ${LOG}

      echo    '------------------------------------------------------------' >> ${LOG}
      echo ' '      >> ${LOG}

      set FCST_date = $1
  NEXT:

    end #foreach_01

    echo 'FORECASTING end: ' `date +%c`    >> ${LOG}
    echo    '============================================================' >> ${LOG}
  exit
```

- 이미지 작성에 필요한 속성 (폰트, 레전드, 컬러바, 스케일 등) 변경은 DREF/bsiso_module.ncl에서 일괄적으로 이루어짐

라. 영향편차(예측) 작업 로그

```
cd LOG
vi YYYYMMDD.Response_FCST_AUTO.log
```

- 현업기간 중 매일 영향편차장 기준 날짜, 예보 시종 시간 및 프로그램 오류 유무 확인 필수
- 영향편차(예측) 작업에 소요되는 시간은 평균적으로 2 분 내외

2. BSISO 합성장

가. 합성장 자료처리 주요 프로그램

• 작업 위치 : /lfs/data19/COMPOSITE

run.csh	→ 사용자 정의에 맞게 합성장 메인 쉘 구동을 위한 쉘
COMPOSITE.CSH	→ 합성장 수행을 위한 메인 쉘

• 합성장을 위한 메인 쉘은 현재 10 개 변수별 21 개 기간에 대해 이미 생산되어 있음 (현업 기간 이전 1 회 생산 이후 홈페이지 표출)

* 10 개 변수 : OLR&850WIND, T2M, SH, MCONV850, MSLP, OMEGA500, Z500, RH600, VP200, SF200, PRCP

* 21 개 기간 : MAY, JUN, JUL, AUG, SEP, OCT, MJ, JJ, JA, AO, SO, MJJ, JJA, JAS, ASO, MJJA, JJAS, JASO, MJJAS, JJASO, MJJASO

• 현업 기간 동안 크론탭에서 매일 구동되는 것은 아님

```
cd SHEL
COMPOSITE.CSH
```

[run.csh]

```
#!/bin/csh -f
→ 각 인자별로 1개의 작업을 수행할 경우 스페이스로 분리
time  ./COMPOSITE.csh 1981 2018 MAY R2.U850 BSISO1 1.5 ASIA

→ 각 인자별 복수의 작업을 수행할 경우 “” 안에 스페이스로 구분된 복수 인자 삽입
time  ./COMPOSITE.csh 1981 2018 “MJJ JJA JAS ASO MJJA JJAS JASO MJJAS JJASO MJJASO“
“R2.U850 R2.V850 NOAA.OLR R2.MCONV850 R2.MSLP R2.OMEGA500 R2.T2M R2.Z500 R2.RH600
R2.VP200 R2.SF200“ “BSISO1 BSISO2“ 1.5 ASIA
```

• 특정 인자에 대한 합성장 생성시 run.csh에서 인자 수정 후 실행

• 해당 모든 변수 및 기간에 대해서 수행할 경우 run.csh로 수행하지 않아도 됨

[COMPOSITE.CSH]

• 만약 run.csh 에서 인자를 기입하지 않고 COMPOSITE.CSH 을 직접 수행할 경우 기본값 (모든 변수 및 기간)에 대해 합성장 생산

```
#!/bin/csh -f
#C#################################################################################
```

```
#
  #C# argument                                  → run.csh 에서 작성한 인자 읽어들이는 부분

#C#############################################################################
#
  set ARG_SYEAR =   $1      ;#1981
  set ARG_EYEAR =   $2      ;#2018
  set ARG_MONTH = ( $3 ) ;#MAY
  set ARG_VAR   = ( $4 ) ;#NOAA.OLR
  set ARG_INDEX = ( $5 ) ;#( BSISO1 BSISO2 )
  set ARG_AMP   = ( $6 ) ;#1.5
  set ARG_AREA  = ( $7 ) ;#ASIA

  set PROC_ID   = $$

  #C# check - argument
  if( $1 == "" ) then
    echo "Run : All case"
    setenv SYEAR 1981
    setenv EYEAR 2018
    set LIST_AMP   = ( 1.5 ) ;#1.5, 1.0, 2.0
    set LIST_MONTH = ( MAY JUN JUL AUG SEP   OCT MJ JJ JA AS SO MJJ JJA JAS ASO
MJJA JJAS JASO MJJASO )                                    → 기간 인자에 대한 기본 값
    set LIST_VAR   = ( R2.U850   R2.V850       NOAA.OLR R2.MCONV850 \
                       R2.MSLP   R2.OMEGA500 R2.T2M   R2.Z500       \
                       R2.RH600  R2.VP200      R2.SF200 GPCP.PRCP   \
                       R2.QU850  R2.QV850      R2.SH850 R2.UWND R2.VWND )
                                                  → 변수 인자에 대한 기본 값
    set LIST_INDEX = ( BSISO1 BSISO2 )                  → BSISO 지수에 대한 기본 값
    set LIST_AREA  = ( ASIA ) ;#( INDIA ASIA SKOR )     → 지역에 대한 기본 값
  else if( ${#} == 7  ) then
    setenv SYEAR ${ARG_SYEAR}
    setenv EYEAR ${ARG_EYEAR}
    set LIST_AMP   =     ${ARG_AMP}
    set LIST_MONTH = ( ${ARG_MONTH} )
    set LIST_VAR   = ( ${ARG_VAR}  ) ####LAY
    set LIST_INDEX = ( ${ARG_INDEX} )
    set LIST_AREA  =     ${ARG_AREA}
echo "Run   ----------------------"
    echo "start year : $SYEAR"
    echo "end year   : $EYEAR"
    echo "amplitude  : $LIST_AMP"
    echo "month      : $LIST_MONTH "
```

```
    echo "variable    : $LIST_VAR    "
    echo "index       : $LIST_INDEX "
    echo "area        : $LIST_AREA   "
  else
    echo "error... check argument"
    exit
  endif



#C#########################################################################
#
  #C# setting - directory

#C#########################################################################
#
  set COMP_ROOT = /lfs/data19/COMPOSITE
  set EXEC      = ${COMP_ROOT}/EXEC
  set DAGR      = ${COMP_ROOT}/DAGR/${SYEAR}_${EYEAR}
  set DAIO      =   ${COMP_ROOT}/../BSISO_R1/MONI/09.STEP9/text
  set DAIO_02   = ${COMP_ROOT}/../ANOS2/noLY/DATA
  set DAOU      = ${COMP_ROOT}/DAOU/${SYEAR}_${EYEAR}
  set DAOU_02   = ${COMP_ROOT}/../BSISO_R1/IMPACT/DAIO
  set DREF      = ${COMP_ROOT}/DREF
  set SHEL      = ${COMP_ROOT}/SHEL
  set SRC       = ${COMP_ROOT}/SRC
  mkdir -p ${DAOU}
#C#########################################################################
#
  #C# Library Path Setting                                    #

#C#########################################################################
#
   setenv NCARG_COLORMAPS    ${DREF}/NCL_COLORMAP:$NCARG_ROOT/lib/ncarg/colormaps



  foreach AMP ( ${LIST_AMP} )#foreach_01
   foreach VAR ( ${LIST_VAR} )#foreach_02

#C#########################################################################
#
            #C# set : COMMON-1                  → 변수별 관측자료의 해상도 및 그룹 설정
#C#########################################################################
```

```
#
        setenv VARIABLE  `echo ${VAR} | cut -d'.' -f2-`
        setenv Slon   '0.0'
        setenv Elon   '357.5'
        setenv Slat   '-90.0'
        setenv Elat   '90.0'
        setenv Clon   '2.5'
        setenv Clat   '2.5'
        setenv XGRID '144'
        setenv YGRID '73'
        if ($VAR == 'NOAA.SST') then
          setenv Slon   '0.125'
          setenv Elon   '359.875'
          setenv Slat   '-89.875'
          setenv Elat   '89.875'
          setenv Clon   '0.25'
          setenv Clat   '0.25'
          setenv XGRID '1440'
          setenv YGRID '720'
         else if ($VAR == 'R2.T2M') then
          setenv Slon   '0.0'
          setenv Elon   '358.125'
          setenv Slat   '-88.54'
          setenv Elat   '88.54'
          setenv Clon   '1.875'
          setenv Clat   '1.875'
          setenv XGRID '192'
          setenv YGRID '94'
        else if ($VAR == 'GPCP.HeavyR' ||   $VAR == 'GPCP.PRCP') then
          setenv Slon   '0.5'
          setenv Elon   '359.5'
          setenv Slat   '-89.5'
          setenv Elat   '89.5'
          setenv Clon   '1.0'
          setenv Clat   '1.0'
          setenv XGRID '360'
          setenv YGRID '180'
        else if ($VAR == 'ERA.T2M') then
          setenv Slon   '0.0'
          setenv Elon   '359.25'
          setenv Slat   '-90.0'
          setenv Elat   '90'
          setenv Clon     '0.75'
```

```
            setenv Clat   '0.75'
            setenv XGRID '480'
            setenv YGRID '241'
          else if ($VAR == 'APHRO.PPTN') then
            setenv Slon   '60.125'
            setenv Elon   '149.875'
            setenv Slat   '54.875'
            setenv Elat   '88.542'
            setenv Clon   '0.25'
setenv Clat   '0.25'
            setenv XGRID '360'
            setenv YGRID '280'
          endif



#C#############################################################################
#
          #C# 10.STEP1.f90
#C#############################################################################
#
          #C#      env-var : VARIABLE, INFILE01, OUTFILE01~04, SYEAR, EYEAR
          setenv INFILE01   ${DAIO_02}/'echo ${VAR}¦cut -d'.'    -f2'/${VAR}.${SYEAR}0101${EYEAR}
1231.noLY
          setenv OUTFILE01    ${DAOU}/${VAR}.DAY.ANOS1.noLY.real
          setenv OUTFILE02    ${DAOU}/${VAR}.DAY.ANOS1.CTL
          setenv OUTFILE03    ${DAOU}/${VAR}.DAY.CLIM.H.noLY
          setenv OUTFILE04    ${DAOU}/${VAR}.DAY.CLIM.noLY
          echo "========================="
          echo " 10.STEP1.f90"
          echo    "-------------------------"
#d#---- compile
          #cd ${SRC}
          #rm -f ${EXEC}/10.STEP1.exe
          #./compile.csh 10.STEP1.f90          → climatological annual cycle에서 1-3harmonics 제거
          echo "run : ${EXEC}/10.STEP1.exe    "
          ${EXEC}/10.STEP1.exe #d#check
          unsetenv INFILE01 OUTFILE01 OUTFILE02    OUTFILE03 OUTFILE04

#C#############################################################################
#
          #C# 11.STEP2.f90
#C#############################################################################
#
```

```
        #C#     env-var : VARIABLE, INFILE01, OUTFILE01~03, SYEAR, EYEAR
        setenv INFILE01   ${DAOU}/${VAR}.DAY.ANOS1.noLY.real
        setenv OUTFILE01    ${DAOU}/${VAR}.DAY.ANOS2.noLY.real
        setenv OUTFILE02    ${DAOU}/${VAR}.DAY.ANOS2.CTL
        setenv OUTFILE03    ${DAOU}/${VAR}.120MA.noLY
        echo "========================="
        echo " 11.STEP2.f90"
        echo    "-------------------------"
#d#---- compile
        #cd ${SRC}
        #rm -f ${EXEC}/11.STEP2.exe
        #./compile.csh 11.STEP2.f90          → 120일 평균 제거한 아노말리 계산 및 ctl 생성
        #cd -

        #C#---- run
        #C# : 1회 처리시 2분33초
        echo "run : ${EXEC}/11.STEP2.exe    "
        ${EXEC}/11.STEP2.exe #d#check
        unsetenv INFILE01 OUTFILE01 OUTFILE02    OUTFILE03



#C#########################################################################
#
        #C# FCST_RESPONSE_FVAR_pre.ncl
        #C#     : 영향장 설명력 표출을 위한 처리

#C#########################################################################
#
        #C#     env-var : INFILE01, OUTFILE01, SYEAR, EYEAR
        setenv INFILE01   ${DAOU}/${VAR}.DAY.ANOS1.noLY.real
        setenv OUTFILE01    ${DAOU_02}/${VAR}.DAY.ANOS2.noLY.real.${SYEAR}.${EYEAR}.mean
        echo    "========================="
        echo "    FCST_RESPONSE_FVAR_pre.ncl"
        echo    "-------------------------"
        #C#---- run
        echo "run :    ${DREF}/FCST_RESPONSE_FVAR_pre.ncl "
                                                        → 아노말리에 대한 분산 계산
        ncl    ${DREF}/NCL_SOURCE/FCST_RESPONSE_FVAR_pre.ncl #d#check
foreach MONTH (    ${LIST_MONTH} )#foreach_03
      foreach INDEX ( ${LIST_INDEX} )    #foreach_04

#C#########################################################################
#
```

```
        #C# set : COMMON-2

#C#############################################################################
#
        if( ${INDEX} == "BSISO1" )   then
          setenv E1          1 #EOF mode 1
          setenv E2          2 #EOF mode 2
        else #if( ${INDEX} ==   "BSISO2" ) then
          setenv E1          3 #EOF mode 3
          setenv E2          4 #EOF mode 4
        endif
        setenv PERIOD     ${MONTH}
        setenv AMPLITUDE ${AMP}

#C#############################################################################
#
        #C# 20.BSISO.PhaseCycle.amplitude.f90
        #C#       => 20.BSISO1.PhaseCycle.amplitude.f90
        #C#       => 20.BSISO2.PhaseCycle.amplitude.f90
        #C#             env-var  :  EOF  mode1(3)/2(4),  MONTH,  AMPLITUDE,  INFILE01/02,
OUTFILE01~09
#C#############################################################################
#
        setenv INFILE01   ${DAIO}/BSISO.INDEX.PHASE.8118.txt
        setenv INFILE02   ${DAOU}/${VAR}.DAY.ANOS2.noLY.real
        setenv OUTFILE01    ${DAOU}/${VAR}.${PERIOD}.${INDEX}.Phase1
        setenv OUTFILE02    ${DAOU}/${VAR}.${PERIOD}.${INDEX}.Phase2
        setenv OUTFILE03    ${DAOU}/${VAR}.${PERIOD}.${INDEX}.Phase3
        setenv OUTFILE04    ${DAOU}/${VAR}.${PERIOD}.${INDEX}.Phase4
        setenv OUTFILE05    ${DAOU}/${VAR}.${PERIOD}.${INDEX}.Phase5
        setenv OUTFILE06    ${DAOU}/${VAR}.${PERIOD}.${INDEX}.Phase6
        setenv OUTFILE07    ${DAOU}/${VAR}.${PERIOD}.${INDEX}.Phase7
        setenv OUTFILE08    ${DAOU}/${VAR}.${PERIOD}.${INDEX}.Phase8
        setenv OUTFILE09    ${DAOU}/${VAR}.${INDEX}.${PERIOD}.AMP${AMPLITUDE}
echo    "========================="
        echo "    20.BSISO.PhaseCycle.amplitude.f90"
        echo    "-------------------------"
#d#---- compile
        #cd ${SRC}
        #rm -f    ${EXEC}/20.BSISO.PhaseCycle.amplitude.exe
        #./compile.csh    20.BSISO.PhaseCycle.amplitude.f90
        #cd -
```

→ BSISO 강도가 1.5 이상 되는 날에 대한 합성장 계산

```
        #C#---- run
        #C# : 1회 처리시 0.2초
        echo "run : ${EXEC}/20.BSISO.PhaseCycle.amplitude.exe"
          ${EXEC}/20.BSISO.PhaseCycle.amplitude.exe
        unsetenv INFILE01 INFILE02
        unsetenv OUTFILE01 OUTFILE02    OUTFILE03 OUTFILE04
        unsetenv OUTFILE05 OUTFILE06    OUTFILE07 OUTFILE08 OUTFILE09
#C#############################################################################
#
        #C# 21.BSISO.PC.AMP.sig.f90
        #C#      => 21.BSISO1.PC.AMP.sig.f90
        #C#      => 21.BSISO2.PC.AMP.sig.f90
        #C#           env-var : EOF mode1(3)/2(4), MONTH, AMPLITUDE, INFILE01/02,
OUTFILE01~09
#C#############################################################################
#
        setenv INFILE01   ${DAIO}/BSISO.INDEX.PHASE.8118.txt
        setenv INFILE02     ${DAOU}/${VAR}.${INDEX}.${PERIOD}.AMP${AMPLITUDE}
        setenv INFILE03   ${DAOU}/${VAR}.DAY.ANOS2.noLY.real
        setenv OUTFILE01      ${DAOU}/${VAR}.${INDEX}.${PERIOD}.AMP${AMPLITUDE}.SIG    #for
image
        echo "========================="
        echo "    21.BSISO.PC.amp.sig.f90"
        echo   "-------------------------"

        #d#---- compile
        #cd ${SRC}
        #rm -f    ${EXEC}/21.BSISO.PC.amp.sig.exe
        #./compile.csh    21.BSISO.PC.amp.sig.f90
        #cd -
                          → 각 phase별로 95%이상 유의 수준을 만족하는 구간의 합성장 추출
        #C#---- run
        #C# : 1회 처리시 0.2초
        echo "run :   ${EXEC}/21.BSISO.PC.amp.sig.exe"
        ${EXEC}/21.BSISO.PC.amp.sig.exe
        unsetenv INFILE01 INFILE02 INFILE03    OUTFILE01
#C#############################################################################
#
        #C# make image
        #C# 그림만
        #C#      - NOAA.OLRWIND : OLR, U850, V850 모두 있을 경우 이미지 생산
#C#############################################################################
#
```

```
        cd ${DREF}
        setenv GROUP      'echo ${VAR} ¦ cut -d'.' -f1'
        setenv VAR01      'echo ${VAR} ¦ cut -d'.' -f2'
        if( ${VAR01} == "U850"      ¦¦ ${VAR01} == "V850"  ¦¦ ${VAR01} == "OLR"       ¦¦ \
            ${VAR01} == "MCONV850"   ¦¦ ${VAR01} == "MSLP"  ¦¦   ${VAR01} == "OMEGA500"
¦¦ \
            ${VAR01} == "T2M"       ¦¦ ${VAR01} == "Z500"  ¦¦ ${VAR01} == "RH600"     ¦¦ \
            ${VAR01} ==   "VP200"     ¦¦ ${VAR01} ==   "SF200" ¦¦ ${VAR01} == "PRCP" ) then

          setenv INFILE01     ${DAOU}/${VAR}.${INDEX}.${PERIOD}.AMP${AMPLITUDE}.SIG
          setenv INFILE02  "null"
          setenv INFILE03  "null"
          setenv                                                                  OUTIMG_H
${DAGR}/${GROUP}_${VAR01}/${GROUP}_${VAR01}_${INDEX}_PHASE
          setenv OUTIMG_T   ${PERIOD}_AMP${AMPLITUDE}_SIG.png
          setenv INDEX2     ${INDEX}

          foreach ZONE ( ${LIST_AREA})
            setenv AREA        ${ZONE}
            mkdir -p 'dirname ${OUTIMG_H}'
            ncl    ${DREF}/NCL_SOURCE/composite.ncl                    → 합성장 그림 작성
          end

           #C# 결과 자료 전송
           setenv REMOTE_ID    apcc21
           setenv REMOTE_IP    10.200.111.32
           setenv REMOTE_DIR   /data/apcc_images/BSISO/COMP/${VAR01}
           #scp           -P           2224                              ${OUTIMG_H}*${OUTIMG_T}
${REMOTE_ID}@${REMOTE_IP}:${REMOTE_DIR}
if( ${VAR01} ==   "U850" ¦¦ ${VAR01} == "V850" ¦¦ ${VAR01} ==   "OLR") then
            setenv VAR01       OLRWIND
            setenv INFILE01     ${DAOU}/NOAA.OLR.${INDEX}.${PERIOD}.AMP${AMPLITUDE}.SIG
            setenv INFILE02     ${DAOU}/R2.U850.${INDEX}.${PERIOD}.AMP${AMPLITUDE}.SIG
            setenv INFILE03   ${DAOU}/R2.V850.${INDEX}.${PERIOD}.AMP${AMPLITUDE}.SIG
            setenv OUTIMG_H     ${DAGR}/NOAA_OLRWIND/NOAA_OLRWIND_${INDEX}_PHASE

            foreach ZONE ( ${LIST_AREA})
              setenv AREA        ${ZONE}
              mkdir -p 'dirname ${OUTIMG_H}'
              if( -e ${INFILE01} &&   -e ${INFILE02} && -e ${INFILE03}) then
                ncl    ${DREF}/NCL_SOURCE/composite.ncl
              endif
            end
```

```
            endif
            #scp    -P    2224            ${OUTIMG_H}*${OUTIMG_T}    ${REMOTE_ID}@${REMOTE_IP}:
${REMOTE_DIR}
          endif

#C#############################################################################
#
          #C# unset : COMMON

#C#############################################################################
#
          unsetenv E1 E2 PERIOD AMPLITUDE

        end #foreach_04
      end #foreach_03
    end #foreach_02
  end #foreach_01
       echo "END RUN....."

exit
```

- 이미지 작성에 필요한 속성 (폰트, 레전드, 컬러바, 스케일 등) 변경은 DREF/bsiso_module.ncl에서 일괄적으로 이루어짐

나. 합성장 작업 로그

```
cd LOG
vi 파일이름 사용자지정.log
```

• 현업기간 전 1회 생산으로 합성장 기준 기간, 변수 등 사용자 지정 조건에서 프로그램 오류 유무 확인

부록 B. 인도네시아 산불예측시스템 운영 매뉴얼

1. 생산 일정 및 결과물 저장

본 시스템은 동남아 해양 국가들의 지리적 중심에 위치한 아시아 최대 섬인 보르네오 섬에 대한 화재·연무 조기경보 시스템(FHEWS, Fire and Haze Early Warning System)으로 인도네시아 보루네오 섬 4개 지역에 대해 산불발생에 가장 취약한 기간인 8월에서 10월(August-September-October, ASO) 동안의 산불 경보 단계 예측정보를 제공하기 위해, APCC MME 6개월 강수 예측정보를 이용하여 매년 4월에서 7월까지 월 1회 해당 예측정보를 생산한다. ASO 계절의 총 강수량 예측값을 활용하여 가뭄상태를 예측하고 이를 통해 산불발생 경보 예보를 제공하기 때문에 본 시스템은 4월에 예측된 강수의 4-6번째 리드타임 자료를 사용하며, 5월에는 Lead-Time 3-5번째 강수 자료, 6월은 Lead-Time 2-4번째 강수 자료, 7월에는 Lead-Time 1-3번째 강수 자료를 사용한다. 따라서 본 예측정보는 매년 4월에서 7월동안 매월 20일경 생산하여 결과물을 저장하고, 홈페이지에 업데이트 하는 일정으로 운영된다. 20일이 휴무일이면, APCC 예측정보가 생산되는 가장 빠른 업무 일에 시스템을 가동하여 정보를 생산한다.

산불발생 경보 단계 예측결과는 홈페이지 서비스를 위한 경로(경로1)와 모델의 자체적인 데이터 저장을 위한 경로(경로2)로 구분되어 저장되며, 사용자 편의성을 위한 홈페이지 기능 적용을 위한 홈페이지 메인페이지 표출용 저장경로(경로3) 또한 구분되어있다. 홈페이지 메인페이지를 표출하기 위한 저장경로의 데이터는 매년 4월에 첫 생산한 데이터를 같은 이름으로 덮어쓰기 하여 저장되며, 각 월에 표출되기 위한 자료는 년과 월이 구분되어 각각의 경로에 저장된다. 해당 예측결과의 저장경로는 다음과 같다.

저장경로 1

- 4월: /lfs/data11/APN/APN_Results/YYYY/APR
- 5월: /lfs/data11/APN/APN_Results/YYYY/MAY
- 6월: /lfs/data11/APN/APN_Results/YYYY/JUN
- 7월: /lfs/data11/APN/APN_Results/YYYY/JUL

저장경로 2 (하나의 경로에 파일 명으로 구분)

- 메인: /lfs/data11/APN/APN_SForecast/0_RTForecast

저장경로 3 (매년 4월 생성된 결과만 저장)

- 메인: /lfs/data11/APN/APN_Results/MAIN

가. 예측 방법 및 예측 결과

(1) 계절예측 개별모델 선택

개별모델의 모든 정보를 편의보정한 후 관측기간과 같은 기간에 대하여, 월별 리드타임별로 다음 2가지 조건에 대하여 만족하는 개별모델을 선택한다.

· 조건1 : 관측자료 기간에 모델자료가 80%이상 존재하는 모델만 선택

· 조건2 : 관측자료 기간에 관측 개수인 17개의 95%신뢰구간에 해당하는 0.482의 상관계수를 넘는 모델 선택

(2) 6-month Precipitation Forecast

위에서 선택된 개별모델의 강수 예측자료는 산불발생 조기 경보단계 예측정보를 생산하기 위한 입력 자료로 사용된다. Figure B1은 4월에 예측된 강수 예측정보로써, 보르네오 섬 4개 주에서의 월간 평균 강수량에 대한 관측된 기후값(APHRODITTE, 점선)과 예측값(APCC MME, 실선)을 나타낸 것이다. Boxplot은 개별모델로 예측된 값의 변동을 나타내며, 해당 월에 발행된 예측 변동은 분홍색으로 표시하였다.

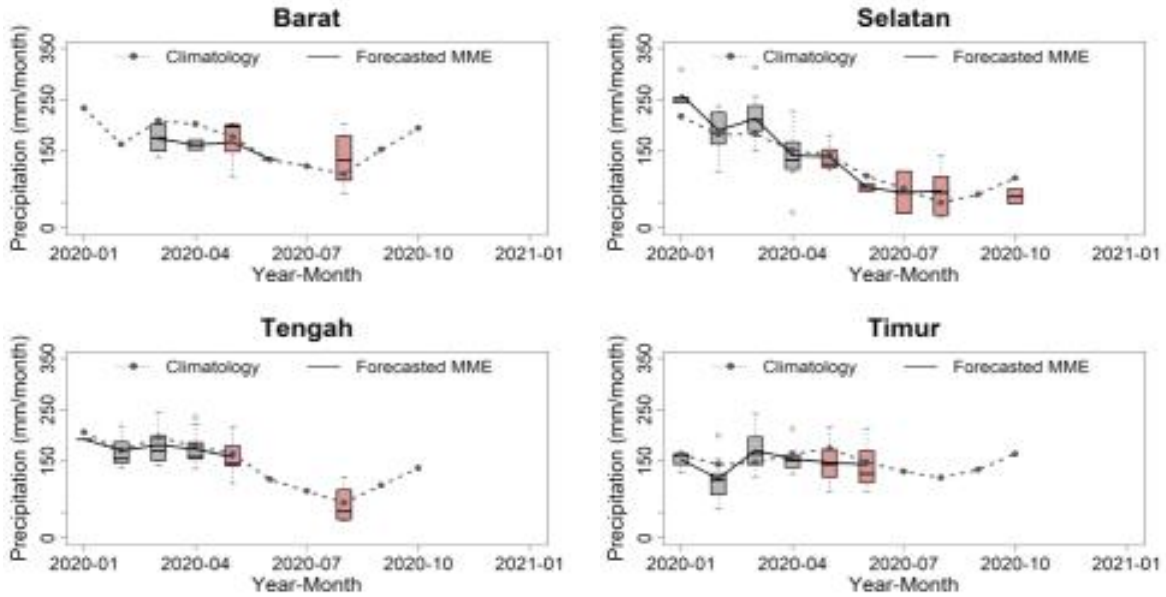


Figure B1. Expamle of regional 6-month precipitation forecast

(3) Probabilistic Forest Fire Forecast

산불 예측모형에 입력된 강수 예측정보는 각 지역의 강수량과 CO2 배출량 사의의 관계식(Yoo et al., 2016)에 따라 4가지 산불위험 등급(극단, 높음, 보통 그리고 낮음)으로 변환된다. 8월과 9월, 10월에 예측된 강수량의 정보를 통해 산불예측을 위한 확률은 다음과 같은 과정을 통해 지역별로 계산된다.

1. 8월, 9월, 10월의 개별모델 강수예측정보를 추출한다(강수량 예측 값이 없다면, Climatology로 대체한다).
2. 모든 경우의 수에 대한 3개월의 강수량 총합을 Combination을 통해 산출한다.
3. 산출된 모든 경우의 수에 대한 3개월 강수량 총합을 4가지 등급의 기준을 통해 등급으로 다시 계산한다.
4. 계산 된 값의 비율을 산출하여 산불예측 확률 값으로 사용한다.

해당 지역에 가장 높은 %를 차지하는 등급을 지도와 TilePlot에 표시하며, 위험 등급이 동일하게 나올 경우는 Uncertain으로 표시하며 회색으로 표시한다 (Figure B2).

Figure B2의 아래그림은 한 해에 발행된 확률적 산불 예측정보의 월별 이력을 나타낸 것으로, 표의 각 셀에는 각 영역에 대한 네가지 등급 중 가장 높은 위험 등급의 색과 확률값이 표시된다. 이 결과는 ASO 계절에 대한 산불예측 결과의 리드 타임에 따른 결과를 보여준다.

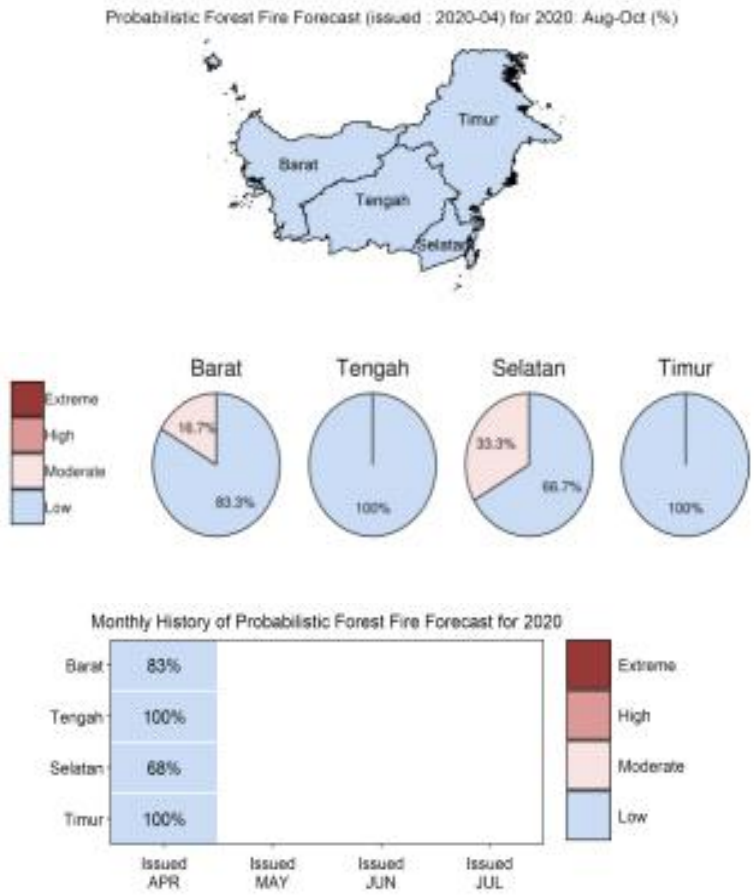


Figure B2. Example of probabilistic fire Forecast

2. 디렉토리 구조

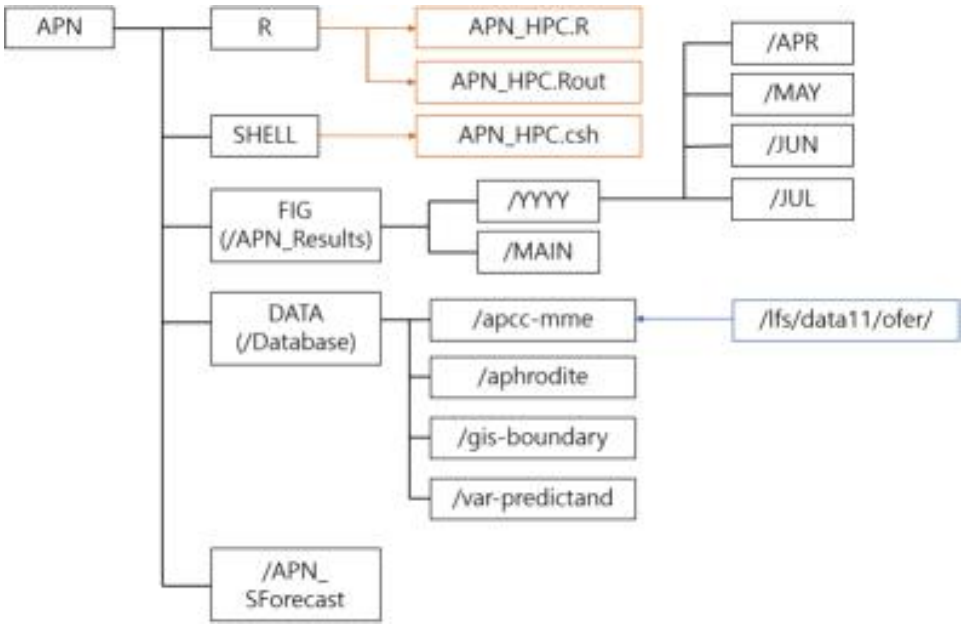


Figure B3. Directories of APCC FHEWS

(1) APCC FHEWS 디렉토리 구조 및 관련 파일 설명

- /lfs/data11/APN

  APN 메인경로: 프로그램 실행 및 모든 자료를 통합한 프로젝트 디렉토리

- /APN/APN_HPC.R

  프로그램 실행을 위한 메인 스크립트 파일

  본 파일의 fiyearmon 변수를 통해 타겟 년, 월을 설정

  (format : fiyearmon = “YYYY-MM”)

- /APN/APN_HPC.Rout

  프로그램 실행결과를 정리한 Log파일, 메인 스크립트를 SHELL로 실행하면 자동 생성

- /APN/APN_Results

  산불예측 홈페이지 게시그림을 저장하기 위한 폴더

- /APN/Database/apcc-mme

  AFS (APCC MME 예측정보 저장 서버)로부터 가져온 데이터를 산불예측모델에 사용하기 위해 3개월과 6개월 개별모델 정보를 각각의 폴더에 저장

- /APN/Database/Aphrodite

  아프로디테 관측자료, 1961-2007까지 존재

- /APN/Database/gis-boundary

  인도네시아 보루네오 섬의 Shape file 지도를 저장하는 폴더

  관련 지도와 마스킹, 관측지점의 지역평균 등을 계산하는데 활용

- /APN/Database/var-predictand

  아프로디테의 관측 자료를 활용하여, 지역별 월 평균을 계산하여 저장

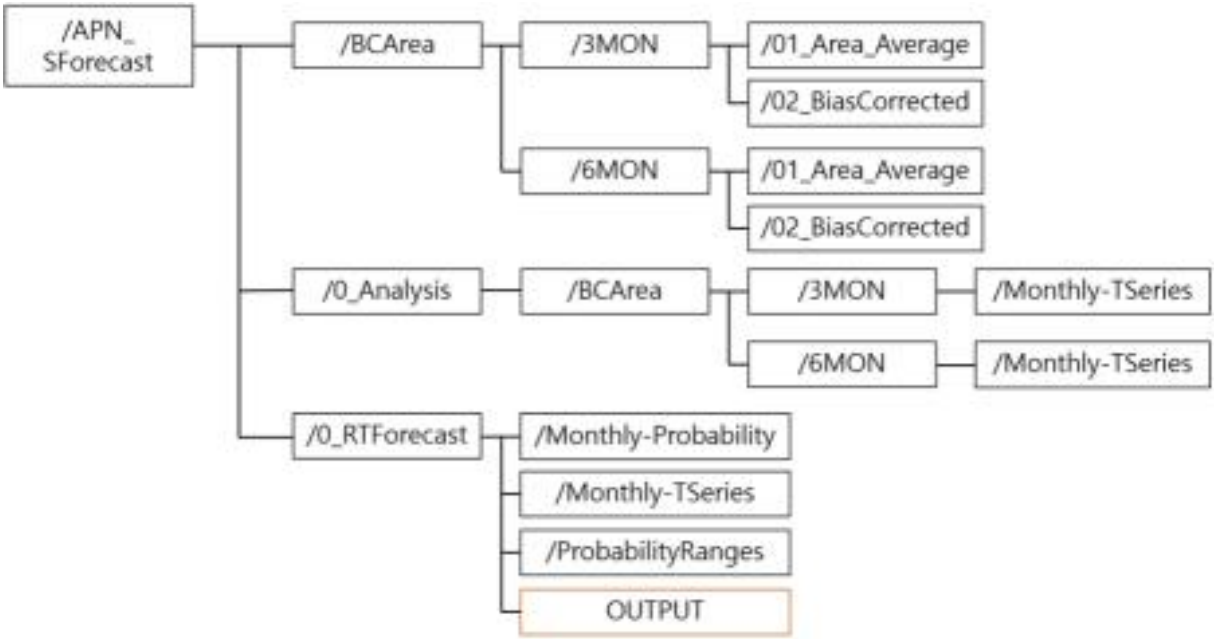


Figure B4. Structure of FHEWS

(2) APN_SForecast 디렉토리 구조 및 관련 파일 설명

• /APN_SForecast/BCArea

개별모델 정보를 지역별로 정리하여 편의 보정하고 3개월과 6개월 모델을 나누어서 각각 저장

지역별 추출은 인도네시아 보루네오섬의 Shape File을 참고하여 지역 평균하여 구함

본 디렉토리에서의 결과물은 지역, 리드타임 별로 저장

• /APN_SForecast/0_Analysis

지역별 리드타임별 편의보정 된 전체자료를 *-Summary.csv에 저장

Summary자료를 활용하여, 월별 리드타임별 관측 자료와 상관계수를 계산한 다음, 아프로디테의 기간(1991-2007)에 대한 95% 신뢰구간의 임계치인 0.482보다 큰 월별 리드타임별 정보를 추려서 Monthly-TSeries 폴더에 저장함, 이들의 TCC를 계산해서 *-TCC.csv로 저장

• /APN_SForecast/0_RTForecast

0_Analysis 폴더의 결과물을 활용하여, TCC를 통해 선택된 개별모델의 강수예측정보와 이를 통해 산출된 산불예측정보 및 홈페이지 제공 그림을 저장한다. 산불예측 서비스의 그림은 그림을 클릭한 경우 제목이 포함된 그림을 출력하고, 기본적으로 제목이 없는 그림을 HTML의 제목과 함께 제공해야 하므로, 백앤드에서는 2가지 경우에 대한 그림이 모두 생산되어야 한다. 자세한 설명은 표1 과 같다. 폴더별 역할은 표2 와 같다.

Table B1. Plots of FHEWS

종류	파일명	제목유무
지역별 파이차트	RTFcst-YYYY-MM-Fire.png	X
지역별 지도 그림	RTFcst-YYYY-MM-Fire-Heatmap.png	X
	RTFcst-YYYY-MM-Fire-Heatmap_WT.png	O
지역별 History 그림	RTFcst-YYYY-MM-Fire-map.png	X
	RTFcst-YYYY-MM-Fire-map_WT.png	O
지역별 강수 예측 그림	RTFcst-barat-YYYY-MM-Fire-Main.png	O
	RTFcst-selatan-YYYY-MM-Fire-Main.png	O
	RTFcst-tengah-YYYY-MM-Fire-Main.png	O
	RTFcst-timur-YYYY-MM-Fire-Main.png	O

Table B2. Details of 0_RTForecast

폴더명	내용
Monthly-Probability	YYYY 폴더안에 해당년도의 History를 Plot하기 위한 정보(지역별로 해당월의 산불예측 정보의 확률 값)를 저장하며, 지역_YYYY_MM.csv형태로 월별로 4개 지역에 대한 csv파일을 생산하여 저장한다.
Monthly-TSeries	월/지역/리드타임별로 자료를 정리하여 최종 데이터 생산을 위한 전처리 과정을 저장한 결과
ProbabilityRanges	지역별 산불예측정보제공을 위한 강수량의 입계치를 저장하여 사용한다. probability_range.csv 파일 참고

(3) 소스코드 (R Version 3.6.0 기반)

소스코드는 R패키지 apn안에 소속되어 관리되며, 다음과 같은 이름들의 R코드들로 구성되어 있다.

- $apn/R/
  apn.R
  bcarea.R
  BCAreaHindcast.R
  bcpoint.R
  cir.R
  grid.R
  mwr.R
  mwrobs.R
  newAPNplot.R
  obs.R
  rtfcst.R
  smygraphtable.R
  update.R
  util.R

- 전체 패키지 관리 R소스 코드 (csh 기반)
• /lfs/data11/APN
  APN_HPC.R
- 자동화 수행 쉘스크립트 (csh 기반)
• /lfs/data11/APN
  APN_HPC.csh
- 결과 (PNG)
• /lfs/data11/APN/APN_Results
  홈페이지 제공을 위한 모든 그림을 정리한 폴더이며, 홈페이지 제공 특징을 반영하여 MAIN 폴더에는 홈페이지 최초 페이지에서 출력하는 그림파일을 매월 동일한 파일명으로 덮어쓰기 하며, YYYY폴더는 해당년도에 해당하는 각 월별 결과 그림을 정리한다. 자세한 내용은 아래와 같다.
  1) MAIN폴더는 홈페이지 최초 페이지에서 출력하는 그림파일을 정리한 그림폴더 (최종 결과물을 다음해 4월 24일 이전까지는 업데이트 되지 않으며, 4월 25일 새로운 년도의 결과물을 생산하면 자동으로 업데이트 되도록 되어있음)
  2) YYYY폴더는 각 년도별로 저장되어 홈페이지에서 해당 월을 클릭 후 확인하는 해당 년월의 결과물을 저장한 폴더 (마찬가지로 4월 25일 업데이트 되는 시점을 기준으로 4월 24일까지는 이전에 생산한 결과를 제공하고, 4월 25일부터는 당해 결과물을 제공)

3. 수행 절차

가. 흐름도

- /lfs/data11/APN/APN_HPC.csh(회색)
- APN_HPC.R(초록색,파란색)

나. 수행방법

1) 산불예측 시스템 R패키지 설치 (업데이트 진행이 필요한 경우만)

산불예측 시스템을 구동하기 위한 R 패키지인 apn_0.X.XX.tar.gz 파일을 '/lfs/data11/APN' 경로로 옮긴 후 3.4.0 버전 이상의 R 프로그램을 load하고, 실행한다. 이후 옮겨놓은 최신의 R패키지를 설치한다. 다음과 같은 명령어를 이용하여 실행하며, '#'은 주석으로 이해하면 된다.

```
module load R # (R.3.4.0 default)
R
> install.packages("/lfs/data11/APN/apn_0.1.11.tar.gz",repos=NULL,type="source")
# 해당 버전의 apn_0.1.11.tar.gz 패키지 파일을 설치
> library(apn)
> quit()
```

2) 산불예측시스템 수행

'/lfs/data11/APN' 경로로 이동 후 qsub 명령을 통해 실행하고, qstat을 통해 상황을 확인할 수

있다.

```
cd  /lfs/data11/APN
qsub  APN_HPC.csh
```

다. 파라미터

1) 총괄 파라미터 (APN_SForecast.txt)

모델의 변경이 있거나, 관측자료의 변경 또는 기간의 변경이 있는 경우에만 수정한다. 훨씬 많은 파라미터들이 있으나, 현재 모델을 구동하기 위한 수정해야할 파라미터만 정리하면 다음과 같다.

파라미터	설명
mdlnms__3mon	3개월 개별모델의 모델명
mdlnms__6mon	6개월 개별모델의 모델병
nrange	산불예측 정보의 카테고리 수 (Extreme,High,Moderate,Low)
syear__obs	관측자료의 시작년도
eyear__obs	관측자료의 끝 년도
syear__mme	개별모델 정보의 Hindcast 시작
eyear__mme	개별모델 정보의 Hindcast 끝
varfile	관측자료의 월별 정보를 저장하고 있는 파일
bndfile	지역정보를 저장하고 있는 파일
BCAreaOpt	지역별 영역정보를 주기 위한 옵션 (현재 사용 중)
apccdb	현재 현업에서 업데이트 중인 개별모델 정보의 경로
apccdbOLD	몇몇 개별모델 정보를 가져오기 위한 경로

2) Issued 파라미터 (APN_HPC.R)

파라미터	설명
fiyearmon	서비스를 위한 해당 년월의 정보를 입력

부록 C. 기후감시-예측-검증 통합시스템 운영 매뉴얼

I. 기후예측 시스템

1. 개요

APEC 기후센터(APCC)는 기후예측정보의 안정적인 생산을 위해서 AFS(Automated Forecast System; APCC 2008)를 개발하였으며, 이를 근간으로 예측기간의 확장(3개월 → 6개월), ENSO/SST 예측시스템 구축, 검증시스템 개발 등 기후예측 시스템을 확장 및 운영하여 왔다. 그러나 이러한 시스템 개선 작업들은 현업 일정 내에서 담당 연구자들의 편의에 의해 부분적으로 이루어졌으며, 이로 인해 확장된 기후예측시스템의 소스 코드에는 불필요한 함수와 프로시저들이 비효율적으로 존재하고, 소스 코드가 각기 다른 언어로 구성되는 등 이질적인 문제점이 제기되었다. 또한 최신 소프트웨어의 개발로 인한 이전 소프트웨어의 단종도 커다란 문제점으로 대두되었다. 지속적으로 발전하고 있는 컴퓨팅 성능에 비해 낙후된 현재 기후예측시스템은 나날이 발전하고 있는 최신의 자료 처리 기술들을 적용하기에 한계점이 많으며, 전체 시스템의 효율성 및 확장성이 부족한 실정이다. 이는 개인 또는 센터 차원에서 단기간에 가시적 성과를 나타내어야 하는 성과위주의 연구를 지향하면서 나타나는 문제점으로써 현업적인 측면에서 가장 기본적이며 중요한 '예측시스템의 체계적인 개선 및 최적화'에 대한 관심이 소홀했기 때문이다. 이에 APCC 예측시스템의 효율적이고 안정적인 운영을 위하여 2017년 'APCC MME 예측시스템 개선'을 시작으로 2020년까지 3차년 계획을 수립하여 기존의 예측시스템의 문제점을 진단하고, 기술적인 측면에서 재정비하여 기후감시-예측-검증을 아우르는 순차적인 예측시스템의 자동화 및 고도화를 통한 독립적이고 효율적인 새로운 예측시스템을 구축하였다.

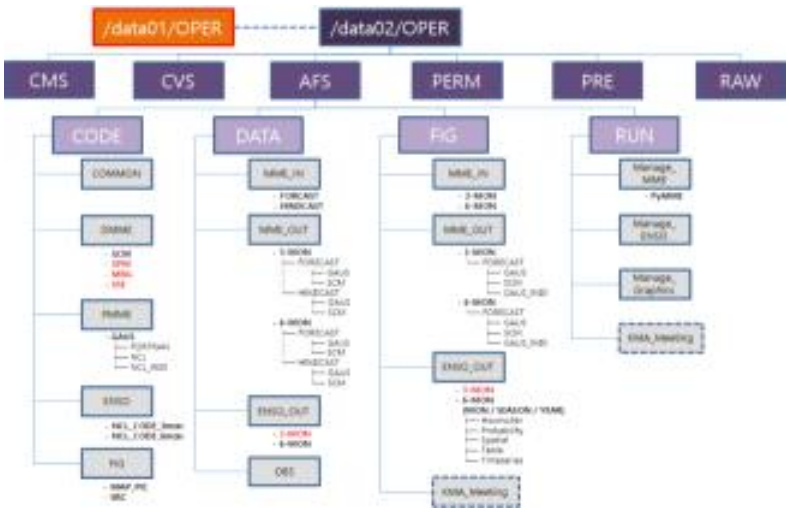


Figure C1. Structure of new AFS system.

2. 자료 및 방법

2.1 모델 자료 개요

현재 10개국(한국, 일본, 호주, 중국, 대만, 영국, 미국, 캐나다, 이탈리아, 러시아) 15개 현업 및 연구기관에서 매월 3개월 또는 6개월 예측 정보를 앙상블 형태로 제공해주고 있다(Table C1), APCC MME 계절예측 시스템은 각 개별모델 및 APCC 다중모델앙상블 예측정보에 대한 3개월 및 6개월 계절예측 자료 생산을 수행하게 되며, 개별모델들을 활용한 다중모델앙상블 기법은 결정론적(deterministic) 예측과 확률론적(probabilistic) 예측 기법으로써 고품질의 예측정보를 생산한다(Table C2). 단, MGO의 MGOAM-2 경우 hindcast 기간 불일치 이유로 현재 MME에 사용하고 있지 않다.

Table C1. List of participating modles for APCC MME.

기관(국가)	모델명	모델해상도	앙상블 개수 (Fore/Hindcast)
APCC (한국)	SCoPS	T159L31	10/10
BCC (중국)	BCC_CSM1.1m	T106L26	24/24
BOM (호주)	ACCESS-S	N216L85	11/11
CMCC (이탈리아)	CMCC-SPS3	1x1, L46	20/20
CWB (대만)	GFST119L40/OPGSSTv2	T119L40	30/30
HMC (러시아)	SL-AV	1.125x1.40625, L28	20/10
JAMSTEC (일본)	SINTEX-F	0.5°×0.5°, L31	33/-
JMA (일본)	JMA/MRI-CPS2	T159L60	51/10
KMA (한국)	GloSea5GC2	N216L85	42/12
MGO (러시아)	MGOAM-2	T42L14	10/6
MSC (캐나다)	CanSIPSv2	T63L35	10/10
NASA (미국)	GEOS-S2S-2.1	0.5x0.5, L72	4/4
NCEP (미국)	CFSv2	T126L64	20/20
PNU (한국)	PNU CGCM v2.0	T42L18	5/5
UKMO (영국)	GloSea5	N216L85	42/28

Table C2. List of APCC MME method.

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)

2.2 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 : Nino3, Nino3.4, Nino4, Nino1+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(Nino3.4 기반) 확률 예측 정보

Table C3. Definition of ENSO indices.

종류	영역
Nino 지수	Nino 1+2 (0-10°S, 80°-90°W) Nino 3 (5°S-5°N, 90°-150°W) Nino 4 (5°S-5°N, 150°-160°W) Nino 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)

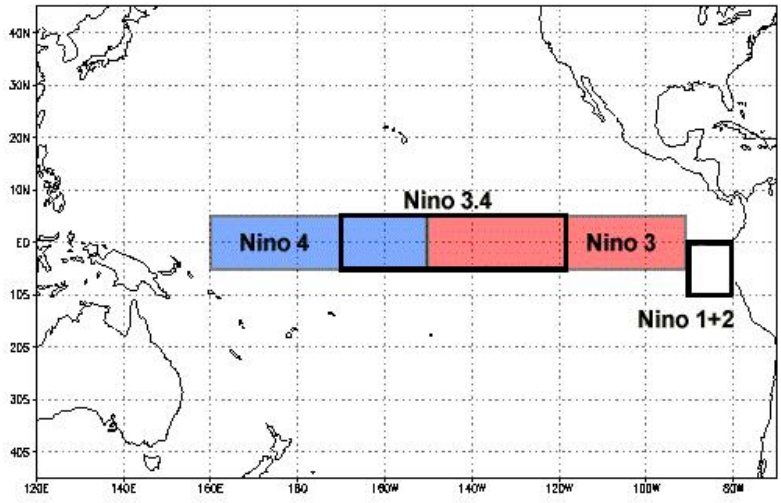


Figure C2. Region of Nino index.

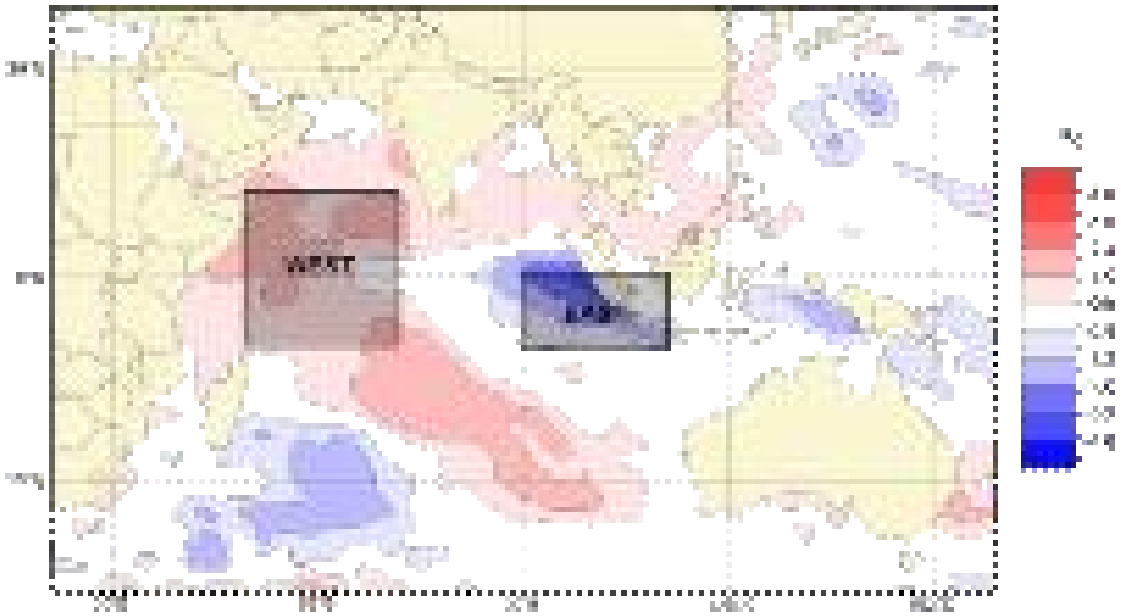


Figure C3. Region of WIOD and EIOD.

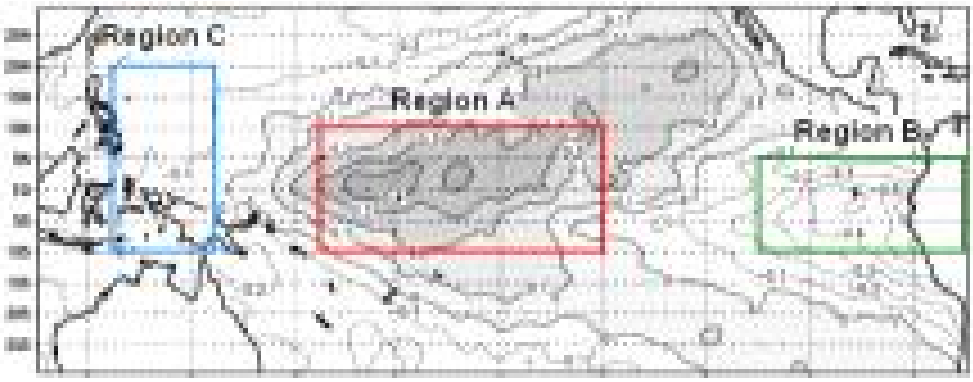


Figure C4. Region of ENSO-Modoki index.

3. AFS 시스템 환경설정, 실행 방법

3.1 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

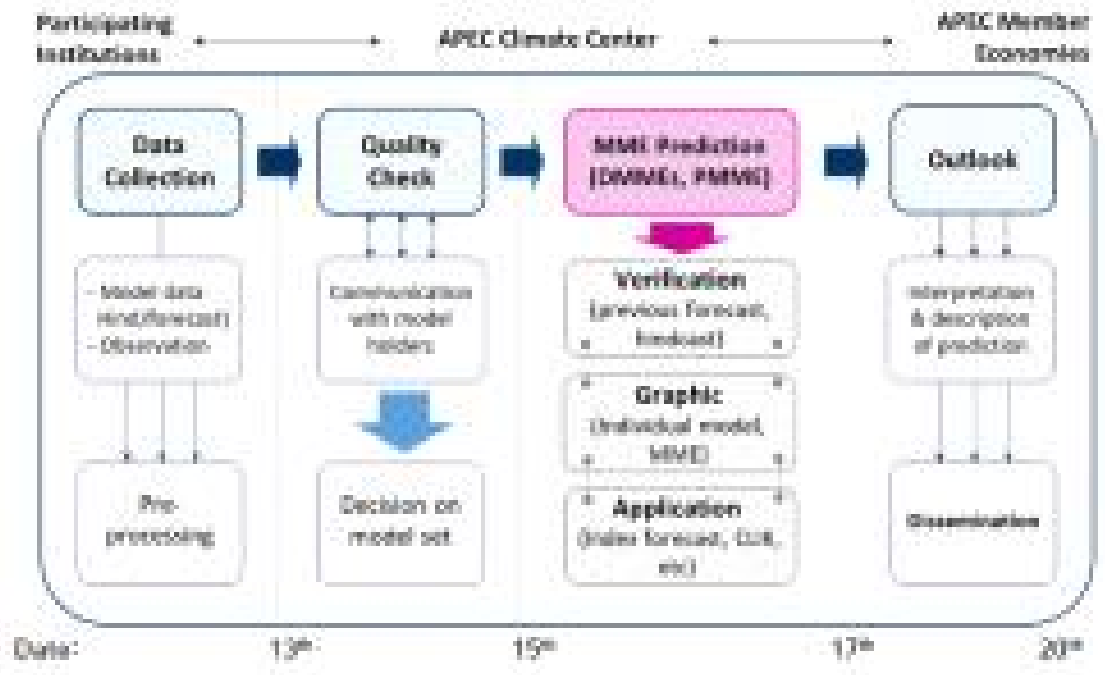


Figure C5. Forecast procedures and monthly time schedule at APCC MME.

Figure C5와 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 예보토의 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

3.2 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)* or Dr. Young-Mi Min (ymmin@apcc21.org)**.

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

메일 수신인 목록은 아래의 Table 4과 같다.

Table C4. List of model provider in APCC MME.

Institute	Country	Model Name	Representative	Working Staff
APCC	Korea	SCoPS	- Dr. Yoobin Yhang (ybyhang@apcc21.org)	Ms. A-Young Lim (limay@apcc21.or)
BoM	Australia	ACCESS-S1	- Dr. Aihong Zhong (a.zhong@bom.gov.au)	Mr. Lixin Qi (L.Qi@bom.gov.au)
BCC	China	CSM1.1m	- Dr. Tongwen Wu (twwu@cma.gov.cn) - Dr. Zongjian Ke (kezj@cma.goc.cn)	Mr. Xiangwen Liu (xwliu@cma.goc.cn)
CMCC	Italy	SPS3	- Dr. Silvio Gualdi (silvio.gualdi@ingv.it)	- Dr. Stefano Materia (stefano.materia@cmcc.it) - Dr. Andrea Borrelli (andrea.borrelli@cmcc.it) - Others (panos.athanasiadis@cmcc.it) (antonella.sanna@cmcc.it)
CWB	Chinese Taipei	GFST119L40	- Dr. Jyh-Wen Hwu (jwhwu@cwb.gov.tw)	- Mr. Taun-Tang Lin (hance@cwb.gov.tw)
HMC	Russia	SL-AV	- Dr. Dmitry Kiktev (kiktev@mecom.ru)	- Dr. Vladimir Kryjov (krijov@yahoo.co.uk) - Other (khan@mecom.ru)
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)
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	Koea	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	GloSea5	- 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.

MODEL REQUEST FORM (Revised, July 2019)

1. Forecast Data

(1) Period: more than 6 months (3 months if 6 months is unavailable) for each month

(2) Variables

(*All entries are strongly recommended. If possible, other available variables are welcome.*)

- Surface (2m) air temperature [K]
- Sea surface temperature [K]
- Total precipitation [kg/m2]
- Mean sea level pressure [hPa]
- 850hPa Temperature [K]
- 200hPa geopotential height [m]
- 500hPa geopotential height [m]
- 850hPa geopotential height [m]
- 850hPa zonal and meridional velocity [m/s]
- 200hPa zonal and meridional velocity [m/s]

(3) Data type

- 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 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 15th 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

1. Forecast System		
Organization		
System name [illegible]		
First operational forecast run / First offered	e.g.) [illegible]	
2. Model Description		**Reference**
Atmospheric model and resolution (top)		
Ocean model and resolution		
Land surface model and resolution		
Sea ice model and resolution		
3. Initial/Boundary Condition	**Forecast**	**Hindcast**
Atmospheric initial conditions		
Land surface initial conditions		
Soil moisture initial conditions		
Snow initial conditions		
Ocean initial conditions		
Sea-ice initial conditions		
SST boundary conditions (if tier-2)		
4. Data Specification	**Forecast**	**Hindcast**
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		
5. More Information		
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. [illegible]

3.3 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 7개 기관

(APCC, BoM, JAMSTEC, JMA, 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 요청해야하며, 보안을 위해 각 기관별 ftp 접속 계정과 패스워드를 발급하고, 형식과 구조를 맞춘 디렉토리를 마련하고 이에 관한 정보를 전달해주어야 한다. 해당 정보는 현업 담당자가 지속적으로 관리하며, 변경사항이 있는 경우 즉각적으로 반영 및 공유하여야 한다. (구)ftp와 (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)

3.4 APCC MME 개별모델 확률예측 자료 생산

3.3절에서 APCC MME에 참여하는 각 기관별 개별모델 전처리가 완료되면 개별모델의 확률예측 자료를 생산한다.

3.4.1 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 확인 할 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)

3.4.2 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 계절명

을 “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
```

3.5 APCC MME 예측 자료 생산

3.5.1 APCC MME 예측자료 생산 환경 설정

APCC MME 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/3.7.1-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/3.7.1-anaconda
```

또한, APCC MME 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
```

3.5.2 APCC MME 예측 생산 작업 및 결과물 경로

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

■ APCC MME 예측자료 생산 작업 경로

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

■ APCC MME 예측자료 생산을 위한 설정 파일

```
model-3m.py : 3개월 MME 참여모델 구성 설정
model-6m.py : 6개월 MME 참여모델 구성 설정
runMME.py : APCC MME 예측자료 산출 메인 프로그램
 - fcast-mean.3m.yml : 3개월 MME forecast 계절평균 설정 파일
 - fcast-month.3m.yml : 3개월 MME forecast 월 평균 설정 파일
 - fcast-mean.6m.yml : 6개월 MME forecast 계절평균 설정 파일
 - fcast-month.6m.yml : 6개월 MME forecast 월 평균 설정 파일
 - hcast-mean.3m.yml : 3개월 MME hindcast 계절평균 설정 파일
 - hcast-month.3m.yml : 3개월 MME hindcast 월 평균 설정 파일
 - hcast-mean.6m.yml : 6개월 MME hindcast 계절평균 설정 파일
 - hcast-month.6m.yml : 6개월 MME hindcast 월 평균 설정 파일
```

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

■ APCC MME 예측자료 결과물 경로

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

■ APCC MME 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)

3.5.3 APCC MME 참여 모델 구성 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 예측 시작 월, 예측 시작 년도, 참여 모델의 기관명 및 모델명을 입력하여 준다.

■ 3개월 MME 참여 모델 구성 수정

```
]$ vi $PATH_MME/model-3m.py

#!/usr/bin/env python
# -*- coding: utf-8 -*-
"""
Created on Tue Apr 25 14:19:00 2018

@author: Seongkyu Lee @ APEC Climate Center
"""

# For migration Python 2 to 3
from __future__ import print_function

import os

# options
force = True

# variables
lead_time = 3
start_mon = "FEB"
start_year = "2020"

institute = [ 'APCC', 'BOM', 'KMA', 'MSC', 'NASA', 'NCEP', 'PNU', 'UKMO' ]
models  = [  'SCOPS',  'ACCESS-S1',  'GLOSEA5GC2',  'CANSIPSv2',  'GEOS-S2S-2.1',
'CFSv2', 'CGCMv1.1', 'GLOSEA5' ]

(생략)
```

■ 6개월 MME 참여 모델 구성 수정

```
]$ vi $PATH_MME/model-6m.py

#!/usr/bin/env python
# -*- coding: utf-8 -*-
"""
```

```
Created on Tue Apr 25 14:19:00 2018

@author: Seongkyu Lee @ APEC Climate Center
"""

# For migration Python 2 to 3
from __future__ import print_function

import os

# options
force = True

# variables
lead_time = 6
start_mon = "FEB"
start_year = "2020"

institute = [ 'APCC', 'KMA', 'MSC', 'NASA', 'NCEP', 'PNU' ]
models = [ 'SCOPS', 'GLOSEA5GC2', 'CANSIPSv2', 'GEOS-S2S-2.1', 'CFSv2',
'CGCMv1.1' ]

(생략)
```

■ MME 참여 모델 구성 설정 수행

```
]$ python $PATH_MME/model-3m.py (3개월 MME 참여 모델 구성 설정)
]$ python $PATH_MME/model-6m.py (6개월 MME 참여 모델 구성 설정)
```

위와 같이 MME 참여 모델 구성 설정을 수행하면 아래와 같은 경로에 MME.MODEL 이라는 파일이 생성되며, 예측자료 생산 작업 수행 시 해당 파일의 MME 참여 모델 구성 목록을 읽어 들이게 된다.

■ MME 참여 모델 구성 설정 결과물 (참여 모델 구성 목록)

```
/data02/OPER/AFS/RUN/.models/3-MON/FORECAST/{MONTH}/{YEAR}/MME.MODEL
/data02/OPER/AFS/RUN/.models/3-MON/HINDCAST/{MONTH}/{YEAR}/MME.MODEL
/data02/OPER/AFS/RUN/.models/6-MON/FORECAST/{MONTH}/{YEAR}/MME.MODEL
/data02/OPER/AFS/RUN/.models/6-MON/HINDCAST/{MONTH}/{YEAR}/MME.MODEL

(예시)
]$ vi /data02/OPER/AFS/RUN/.models/3-MON/FORECAST/FEB/2020/MME.MODEL
APCC_SCOPS
BOM_ACCESS-S1
```

```
KMA_GLOSEA5GC2
MSC_CANSIPSv2
NASA_GEOS-S2S-2.1
NCEP_CFSv2
PNU_CGCMv1.1
UKMO_GLOSEA5
```

3.5.4 APCC MME 예측 자료 생산

3.5.3절에서 MME 참여 모델 구성을 설정한 후 APCC에서 생산하는 2가지 MME 기법(DMME; SCM, PMME; GAUS)의 예측자료를 생산한다. 본 과정에서는 3/6개월 forecast/hindcast에 대하여 계절평균과 월 평균 산출 과정을 각각 수행한다. 각 산출과정의 yaml 파일에서 hindcast 기간(hindcast 예측인 경우), 예측 시작 년도, 예측 시작 월, 수행할 MME 기법, 예측 계절(계절 평균인 경우) 순으로 수정하여 메인프로그램인 runMME.py를 수행하면 된다.

■ 3개월 MME forecast 계절평균 예측자료 생산 설정 수정

```
]$ vi $PATH_MME/fcast-mean.3m.yml

year: 2020
month: FEB
lead: 3
MME: SCM GAUS
type: Forecast
season: FMA
```

■ 3개월 MME forecast 월 평균 예측자료 생산 설정 수정

```
]$ vi $PATH_MME/fcast-month.3m.yml

year: 2020
month: FEB
lead: 3
MME: SCM GAUS
type: Forecast
```

■ 3개월 MME hindcast 계절 평균 예측자료 생산 설정 수정

```
]$ vi $PATH_MME/hcast-mean.3m.yml

year: 1991 2010 20
month: FEB
lead: 3
```

```
MME: SCM GAUS
type: Hindcast
season: FMA
```

■ 3개월 MME hindcast 월 평균 예측자료 생산 설정 수정

```
]$ vi $PATH_MME/hcast-mean.3m.yml

year: 1991 2010 20
month: FEB
lead: 3
MME: SCM GAUS
type: Hindcast
```

6개월의 경우도 위와 동일하며, 계절평균의 경우 Lead time 1~3의 평균과 Lead time 4~6의 평균을 각각 수행해주어야 한다. 설정이 완료되면 아래와 같은 방법으로 각 경우별 MME 예측자료 산출 프로그램을 수행한다. 단, 수행하기 전 각각 해당하는 결과물 디렉토리의 기산출된 자료를 삭제한 후 수행하여야 한다. (산출된 기파일이 있는 경우 에러 발생)

■ MME 예측자료 산출 프로그램 수행

```
]$ python $PATH_MME/runMME.py -c fcast_mean.3m.yml
]$ python $PATH_MME/runMME.py -c fcast_month.3m.yml
]$ python $PATH_MME/runMME.py -c hcast_mean.3m.yml
]$ python $PATH_MME/runMME.py -c hcast_month.3m.yml
]$ python $PATH_MME/runMME.py -c fcast_mean.6m.yml (lead time 1-3 평균)
]$ python $PATH_MME/runMME.py -c fcast_mean.6m.yml (lead time 4-6 평균)
]$ python $PATH_MME/runMME.py -c fcast_month.6m.yml
]$ python $PATH_MME/runMME.py -c hcast_mean.6m.yml (lead time 1-3 평균)
]$ python $PATH_MME/runMME.py -c hcast_mean.6m.yml (lead time 4-6 평균)
]$ python $PATH_MME/runMME.py -c hcast_month.6m.yml
```

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)
```

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

■ MME 예측시스템 소스 프로그램

<SCM>
/data02/OPER/AFS/CODE/DMME/SCM/NCL/SCM.ncl (메인 소스 코드)
/data02/OPER/AFS/CODE/DMME/SCM/NCL/SCM_FCST.ncl (forecast 상세 소스 코드)
/data02/OPER/AFS/CODE/DMME/SCM/NCL/SCM_HCST.ncl (hindcast 상세 소스 코드)
※ 상세 소스 코드에서 산출 변수 목록, hindcast 기간 등 각종 상세 조건을 변경 가능

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

3.6 APCC MME 계절예측정보 그래픽 자료 생산

3.6.1 예측 그래픽 자료 생산 환경 설정

3.3절부터 3.5절까지 생산된 각 기관별 모델 예측자료 및 APCC MME 예측자료에 대하여 홈페이지 제공용 그래픽 자료를 생산하기 위한 환경설정은 위의 3.5.1절과 동일하다.

3.6.2 예측 그래픽 자료 생산 작업 및 결과물 경로

각 기관별 참여 모델 및 MME 예측자료의 홈페이지 제공용 그래픽 자료를 생산하기 위한 작업 경로는 아래와 같으며, 예측 시작 년도, 예측 시작 월, 발행일, 참여 기관 및 모델명, 예측 지역 등을 설정할 수 있다.

■ 그래픽 자료 생산 작업 경로

/data02/OPER/AFS/RUN/Manage_Graphics (이하 $PATH_GRP)

■ 그래픽 자료 생산을 위한 설정 파일 및 프로그램

model_graphics_3mnth.py : 개별 모델 3개월 예측 정보 그래픽 산출 설정 프로그램
model_graphics_6mnth.py : 개별 모델 6개월 예측 정보 그래픽 산출 설정 프로그램
mme_graphics_3mnth.py : MME 3개월 예측 정보 그래픽 산출 설정 프로그램
mme_graphics_6mnth.py : MME 6개월 예측 정보 그래픽 산출 설정 프로그램
ind_graph_module.py : 개별 모델 예측 정보 그래픽 산출 메인 프로그램
graph_module.py : MME 예측 정보 그래픽 산출 메인 프로그램

GAUS_INDI_graphics.py : 개별모델 확률예측 그래픽 산출 메인 프로그램
auto_model_graphic.sh : 개별 모델 3/6개월 예측 그래픽 일괄처리 쉘 스크립트
auto_mme_graphic.sh : MME 3/6개월 예측 그래픽 일괄처리 쉘 스크립트

각 기관별 참여 모델 및 MME 예측자료에 대한 홈페이지 제공용 그래픽 자료의 최종 결과물은 아래의 경로에서 확인 할 수 있다.

■ 그래픽 자료 결과물 경로

/data02/OPER/AFS/FIG/MME_IN/3-MON/FORECAST : 개별 모델 3개월 예측 그래픽 자료
/data02/OPER/AFS/FIG/MME_IN/6-MON/FORECAST : 개별 모델 6개월 예측 그래픽 자료
/data02/OPER/AFS/FIG/MME_OUT/3-MON/FORECAST : MME 3개월 예측 그래픽 자료
/data02/OPER/AFS/FIG/MME_OUT/6-MON/FORECAST : MME 6개월 예측 그래픽 자료

■ 그래픽 자료 결과물 세부 경로

$PATH/{MODEL}*/{YEAR}/{MONTH}/Monthly/{REGION}** : 개별모델 지역별 월평균 그림
$PATH/{MODEL}*/{YEAR}/{MONTH}/Seasonal/{REGION}** : 개별모델 지역별 계절평균 그림
$PATH/{MME}***/{YEAR}/{MONTH}/Monthly/{REGION}** : MME 지역별 월평균 예측그림
$PATH/{MME}***/{YEAR}/{MONTH}/Seasonal/{REGION}** : MME 지역별 계절평균 예측 그림
$PATH/GAUS_INDI/{MODEL}*/{YEAR}/{MONTH}/Monthly/{REGION}**
: 개별모델 확률예측 지역별 월평균 예측그림
$PATH/GAUS_INDI/{MODEL}*/{YEAR}/{MONTH}/Seasonal/{SEASON}/{REGION}**
: 개별모델 확률예측 지역별 계절평균 예측그림
※ PATH는 위의 각 결과물 경로를 의미함
* : 기관 및 개별모델명 (e.g. APCC_SCOPS)
** : 12개 지역명
*** : SCM 및 GAUS

3.6.3 개별모델 예측 그래픽 자료 생산 설정 및 수행

각 기관별 개별모델 예측 그래픽 자료를 생산하기 위하여 발행일 정보, 예측 시작 년도, 예측 시작 월, 참여 기관 및 모델명 정보, 예측 지역, 6개월 그래픽 작업 여부를 수정하여 수행한다. 개별모델 예측 그래픽 작업을 수행하기 전 해당 개별모델 예측자료에 대한 전처리가 선행되어야하며, 작업 소요 시간이 긴 작업인 만큼 개별모델의 전처리 즉시 수행하는 것이 바람직하다. 또한, 예측 그래픽 자료는 3/6개월로 구분하여 제공하기 때문에 6개월 미만의 예측정보를 제공하는 모델들은 따로 작업을 수행하는 것을 추천한다. 해당 매뉴얼은 3/6개월 일괄처리 산출 과정을 기준으로 작성하였다.

■ 개별모델 예측 그래픽 자료 일괄처리 산출 쉘 스크립트 수정

```
]$ vi $PATH_GRP/auto_model_graphics.sh

#!/bin/sh
```

```
set -ax

YEAR=2020
MON=JUN
ISMON=`date -d "20${MON}${YEAR} 1-month ago" +%b`
ISYEAR=`date -d "20${MON}${YEAR} 1-month ago" +%Y`
ISSUE="Issued: 20 ${ISMON}, ${ISYEAR}"

INSTITUTE="\"APCC\", \"BOM\", \"CMCC\", \"CWB\", \"HMC\", \"JMA\", \"KMA\",
\"MGO\", \"MSC\", \"NASA\", \"NCEP\", \"PNU\", \"UKMO\""
MODEL="\"SCOPS\", \"ACCESS-S1\", \"SPS3\", \"GFST119\", \"SL-AV\", \"MRI-CPS2\",
\"GLOSEA5GC2\", \"MGOAM-2\", \"CANSIPSv2\", \"GEOS-S2S-2.1\", \"CFSv2\",
\"CGCMv2.0\", \"GLOSEA5\""
REGION=( global australia east_asia south_asia russia north_america south_america
australia_spacific southeast_asia polar middle_east pacific_islands )
NR=12       # Number of Regions (산출하고자 하는 지역 수를 입력한다)
MON6=O      # If there is only 3-MON data, MON6=X (6개월 자료는 O, 3개월 자료는 X)

(생략)
```

여기서 예측 그래픽 자료를 생산하는 과정 중, 중간 산출물인 eps 파일을 임시 디렉토리인 .tmp에 산출하였다가 png 파일로 변환하는 과정으로 인하여 다른 작업 공간(터미널)에서 중복해서 수행할 경우 오류를 발생시키므로 주의를 기울여야 한다.

■ 개별모델 예측 그래픽자료 생산

```
]$ $PATH_GRP/auto_model_graphics.sh
```

수행이 완료되면 위에서 언급한 각각 해당하는 결과물 디렉토리의 자료가 정상적으로 생산되었는지 확인한다. 생산되는 자료(변수)의 목록은 아래와 같으며 png 형식으로 산출된다.

```
prec  slp  t2m  t850  u200  u850  v200  v850  z500 (sst)
```

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

■ 개별모델 예측 그래픽 소스 프로그램

```
/data02/OPER/AFS/CODE/FIG/AFS_Ind_Plot.ncl (공간분포장 그림 관련 소스 코드)
/data02/OPER/AFS/CODE/FIG/AFS_Ind_Vector_Plot.ncl (바람 변수의 그림 소스 코드)
※ 상세 소스 코드에서 산출 변수 목록, hindcast 기간 등 각종 상세 조건을 변경 가능
```

3.6.4 MME 예측 그래픽 자료 생산 설정 및 수행

MME 기법별 예측 그래픽 자료를 생산하기 위하여 발행일 정보, 예측 시작 년도, 예측 시작 월, MME 기법 종류, 6개월 그래픽 작업 여부를 수정하여 수행한다. MME 예측 그래픽 작업을 수행하기 전 해당 MME 예측자료에 대한 산출이 선행되어야한다. 해당 매뉴얼은 3/6개월 일괄처리 산출 과정을 기준으로 작성하였다.

■ MME 예측 그래픽 자료 일괄처리 산출 쉘 스크립트 수정

```
]$ vi $PATH_GRP/auto_mme_graphics.sh

#!/bin/sh

set -ax

YEAR=2020
MON=FEB
ISMON=`date -d "20${MON}${YEAR} 1-month ago" +%b`
ISYEAR=`date -d "20${MON}${YEAR} 1-month ago" +%Y`
ISSUE="Issued: 20 ${ISMON}, ${ISYEAR}"

#METHOD="\"GAUS\""
METHOD="\"SCM\", \"GAUS\""
MON6=O      # If there is only 3-MON data, MON6=X


(생략)
```

여기서 예측 그래픽 자료를 생산하는 과정 중, 중간 산출물인 eps 파일을 임시 디렉토리인 .tmp에 산출하였다가 png 파일로 변환하는 과정으로 인하여 다른 작업 공간(터미널)에서 중복해서 수행할 경우 오류를 발생시키므로 주의를 기울여야 한다.

■ MME 예측 그래픽자료 생산

```
]$ $PATH_GRP/auto_mme_graphics.sh
```

수행이 완료되면 위에서 언급한 각각 해당하는 결과물 디렉토리의 자료가 정상적으로 생산되었는지 확인한다. 생산되는 자료(변수)의 목록은 아래와 같으며 png 형식으로 산출된다.

```
 <SCM>
 prec slp  t2m  t850  u200  u850  v200  v850  z500 (sst)
<GAUS>
 prec  slp  t2m  t850  z500 (sst)
```

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

■ MME 예측 그래픽 소스 프로그램

```
/data02/OPER/AFS/CODE/FIG/AFS_Plot.ncl (공간분포장 그림 관련 소스 코드)
/data02/OPER/AFS/CODE/FIG/AFS_Vector_Plot.ncl (바람 변수의 그림 소스 코드)
※ 상세 소스 코드에서 산출 변수 목록, hindcast 기간 등 각종 상세 조건을 변경 가능
```

3.6.5 개별모델 확률예측 그래픽 자료 생산 설정 및 수행

개별모델 확률예측 그래픽 자료를 생산하기 위하여 발행일 정보, 예측 시작 년도, 예측 시작 월, MME 기법 종류, 6개월 그래픽 작업 여부를 수정하여 수행한다. MME 예측 그래픽 작업을 수행하기 전 해당 MME 예측자료에 대한 산출이 선행되어야한다. 해당 매뉴얼은 3/6개월 일괄처리 산출 과정을 기준으로 작성하였다.

■ 개별모델 확률예측 그래픽 자료 생산 스크립트 수정

```
]$ vi $PATH_GRP/GAUS_INDI_graphics.py

#!/usr/bin/env python
# -*- coding: utf-8 -*-

start_year   = 2020
start_mon    = "FEB"
lead_time    = 3
#seasonal    = False
seasonal     = True
season       = "FMA"
mmes         = [ "GAUS_INDI" ]
indimodels   = [ "APCC_SCOPS" ]
#vars         = [ "prec", "slp", "sst", "t2m", "t850", "z500" ]
types        = [ "forecast" ]
pmme_cats    = [ "combined" ]
media        = "png"

(생략)
```

여기서 예측 그래픽 자료를 생산하는 과정 중, 중간 산출물인 eps 파일을 임시 디렉토리인 .tmp에 산출하였다가 png 파일로 변환하는 과정으로 인하여 다른 작업 공간(터미널)에서 중복해서 수행할 경우 오류를 발생시키므로 주의를 기울여야 한다.

■ 개별모델 확률 예측 그래픽자료 생산

```
]$ python $PATH_GRP/GAUS_INDI_graphics.py
```

수행이 완료되면 위에서 언급한 각각 해당하는 결과물 디렉토리의 자료가 정상적으로 생산되었는지 확인한다. 생산되는 자료(변수)의 목록은 아래와 같으며 png 형식으로 산출된다.

```
prec  slp  sst  t2m  t850  z500
```

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

■ 개별모델 확률 예측 그래픽 소스 프로그램

```
/data02/OPER/AFS/CODE/FIG/GAUS_INDI_AFS_Plot.ncl (공간분포장 그림 관련 소스 코드)
※ 상세 소스 코드에서 산출 변수 목록, hindcast 기간 등 각종 상세 조건을 변경 가능
```

3.7 APCC MME SST/ENSO 예측 자료 및 그래픽 자료 생산

3.7.1 APCC MME SST/ENSO 예측자료 생산 환경 설정

APCC MME SST/ENSO 예측자료를 생산하기 위한 환경 설정은 위의 3.5.1절과 동일하다.

3.7.2 APCC MME SST/ENSO 예측 생산 작업 및 결과물 경로

APCC MME SST/ENSO 예측자료를 생산하기 위한 작업 경로는 아래와 같으며, 참여모델 구성설정, 3/6개월 예측기간 등을 설정 할 수 있다. (단, 현재 기준으로 3개월 SST/ENSO 예측 생산은 중단됨에 따라 6개월 SST/ENSO 예측 자료 산출 과정만 수행하며, 6개월 기준으로 매뉴얼을 작성하였다.)

■ APCC MME SST/ENSO 예측자료 생산 작업 경로

```
/data02/OPER/AFS/RUN/Manage_ENSO (이하 $PATH_ENSO)
```

■ APCC MME SST/ENSO 예측자료 생산을 위한 설정 파일 및 프로그램

```
DMME.User.6mon : SST/ENSO 예측자료 설정 파일
AFS_ENSO_6mon.py : 6개월 SST/ENSO 예측자료 산출 메인 프로그램
AFS_ENSO_6mon_forSINTEX.py : (SINTEX 참여) 6개월 SST/ENSO 예측자료 산출 메인
                             프로그램
```

MME SST/ENSO 예측자료 최종 결과물은 아래의 경로에서 확인 할 수 있다.

■ APCC MME SST/ENSO 예측자료 결과물 경로

/data02/OPER/AFS/DATA/ENSO_OUT/6-MON/{SEASON}*/{YEAR} : SST/ENSO 예측 자료
/data02/OPER/AFS/FIG/MME_OUT/6-MON/{SEASON}*/{YEAR} : SST/ENSO 예측 그림 자료
※ *: 예측 계절 (e.g. JFMAMJ, FMAMJJ, ... , NDJFMA, DJFMAM)

■ APCC MME SST/ENSO 예측 그림 자료 결과물 세부 경로

$PATH/Hovmoller : SST 아노말리의 Hovmoller diagram 그림 경로
$PATH/Probability : SST/ENSO 확률 예측 그림 경로
$PATH/Spatial : 인도·태평양에서의 SST 공간 분포 그림 경로
$PATH/Table : ENSO 예측지수 수치값에 대한 표
$PATH/Timeseries : ENSO 예측지수의 시계열 분포

3.7.3 APCC MME SST/ENSO 예측 자료 생산 설정 및 수행

SST/ENSO 예측자료 및 그림 자료를 생산하기 위하여 발행일 정보, 예측기간, 예측 시작년도, hindcast 기간, 참여 기관 및 모델명 정보를 수정하여 수행한다. SST/ENSO 예측에는 해양 모델이 접합한 1-tier 모델에 한하여 참여할 수 있으며, 현재 6개월 예측자료를 제공하는 모델을 기준으로 참여 구성을 하고 있으나, 보다 다양한 모델의 참여를 위하여 5개월 예측 정보를 제공하는 BoM, CMCC, UKMO에 대해서도 lead time 6를 강제로 결측값(FillVaule) 처리하여 참여시키고 있다.

■ SST/ENSO 예측자료 생산 설정 파일 수정 (JAMSTEC_SINTEX 포함 X)

```
]$ vi $PATH_ENSO/DMME.User.6mon

;==========================================================================
;  Program DMME.Users.6mon
;
;  This program gives parameters for ENSO & IOD forecast figures
;
;                                                    2009. 03.16 / Hye-In Jeong
;==========================================================================

begin

    issue_date          = (/"Issued: 20 May, 2020"/)     ; issue date
    forecast_season     = (/"JJASON"/)             ; season (DJFMAM, MAMJJA, ...)
    forecast_year       = 2020                     ; forecast year
    start_year          = 1991                     ; start year of hindcast
    end_year              = 2010                     ; end year of hindcast

    institute_names_gener =
(/"UKMO", "PNU","NCEP","NASA","MSC","KMA","CMCC","BOM","APCC"/)
```

```
    model_names_gener =
(/"GLOSEA5","CGCMv2.0","CFSv2","GEOS-S2S-2.1","CANSIPSv2","GLOSEA5GC2","SPS3"
,"ACCESS-S1","SCOPS"/)
    mme_names_gener    = (/"SCM"/)
end
```

여기서 NCL 프로그램 특성상 참여 기관 및 모델명의 기입 순서를 알파벳의 오름차순으로 기입한다. 설정을 마친 후 아래와 같은 메인 프로그램을 실행한다.

■ SST/ENSO 예측자료 생산 (JAMSTEC_SINTEX 포함 X)

```
]$ python $PATH_ENSO/AFS_ENSO_6mon.py
```

해당 메인 프로그램은 부프로그램(NCL)을 실행하며, 부프로그램의 목록은 아래와 같다.

```
<부프로그램 경로>
 /data02/OPER/AFS/CODE/ENSO/NCL_CODE_6mon

<부프로그램 목록: 계산 과정>
AFS_Calc_EMI_Timeseries.ncl
AFS_Calc_ENSO_Timeseries.ncl
AFS_Calc_IOD_Timeseries.ncl
AFS_Calc_ENSO_Timeseries_model.ncl
AFS_Calc_EMI_Timeseries_model.ncl
AFS_Calc_IOD_Timeseries_model.ncl
AFS_Calc_ANO_MODEL_season.ncl
AFS_Calc_ANO_OBS_MODEL_13month.ncl
AFS_Calc_ENSO_probability.ncl

<부프로그램 목록: 그래픽 과정>
AFS_Graph_ENSO_month_Timeseries_Web.ncl
AFS_Graph_EMI_month_Timeseries_Web.ncl
AFS_Graph_IOD_month_Timeseries_Web.ncl
AFS_Graph_ENSO_month_Timeseries_IND_Web.ncl
AFS_Graph_IOD_month_Timeseries_IND_Web.ncl
AFS_Graph_EMI_month_Timeseries_IND_Web.ncl
AFS_Graph_ANO_Spatial_Web.ncl
AFS_Graph_Hov_OBS_Web.ncl
AFS_Graph_ENSO_month_table_Web.ncl
AFS_Graph_EMI_month_table_Web.ncl
AFS_Graph_IOD_month_table_Web.ncl
AFS_Graph_ENSO_Run.csh
```

수행이 완료되면 위에서 언급한 각각 해당하는 결과물 디렉터리에 예측 자료(.nc)와 그래픽 자료(.png)가 산출되며, 각 컨텐츠별 정상적으로 생산되었는지 확인한다.

JAMSTEC의 SINTEX 예측자료는 타 기관의 예측자료와 다르게 텍스트 형태로 제공하기 때문에 다른 방법으로 자료처리를 진행한다. 따라서 JAMSTEC 자료가 수집된 이후에는 아래의 프로그램을 사용하여 수행한다. 수행 설정 방식과 수행 방법은 위와 동일하다.

■ SST/ENSO 예측자료 생산 (JAMSTEC_SINTEX 포함)

```
]$ python $PATH_ENSO/AFS_ENSO_6mon_forSINTEX.py
```

Ⅱ. 기후검증 시스템

1. 개요

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

그러나 APCC 개소 이후 개발되었던 기후검증 시스템의 경우, 개발 및 개선을 반복하면서 다양한 프로그래밍 언어(예, Shell, FORTRAN, NCL 등)로 복잡한 코드로 구성이 되어있었고 또한 관측 자료의 경우 여러 개인의 FORTRAN 코드를 사용하여 GrADS에서 사용되는 바이너리 자료(gdat)를 생산한 후 다시 NetCDF 자료로 변환하는 등의 과정으로 이루어져 있었다. 이러한 기존 기후검증 시스템은 사용자가 새롭게 특정 기간의 검증자료를 재생산하거나 또는 코드를 수정하기에 많은 불편함이 있었고 새로운 기후검증 정보를 추가하기에도 어려움이 있었다.

따라서, 앞에 언급된 여러 문제점을 보완하기 위해 계산 부분은 python, 그림 부분은 NCL 프로그래밍 언어로 통일하여 새로운 기후검증 시스템을 개발함으로써 업무 효율성을 높이고 시스템의 확장성과 유연성을 강화하고자 하였다. 그림 C6은 기존 기후검증 시스템의 문제점과 새로운 시스템의 개선점을 나타낸 것이다.

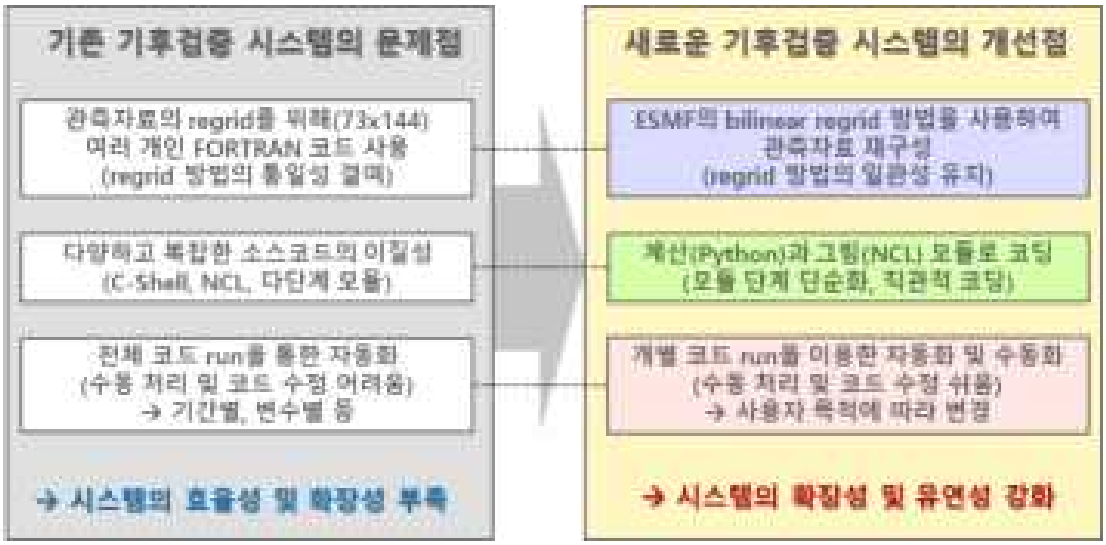


Figure C6. List of improvement for new AFS verification system.

2. 자료 및 방법

2.1 모델 및 관측 자료 개요

앞서 기술한 Ⅰ의 2.1 절에서와 같이 15개 현업 및 연구기관에서 제공하는 3개월 또는 6개월 예측 자료(Table C1)와 함께 APCC 다중모델앙상블 예측 자료(Table C2)에 대한 검증을 수행한다.

기후검증 정보를 생산하기 위해 사용된 관측 자료는 모두 월별(monthly) 자료로써 NCEP/DOE Reanalysis 2 (2m 기온, 850hPa 기온, 500hPa 지위고도), Climate Analysis Monitoring System and Outgoing longwave radiation Precipitation Index (CAMS-OPI, 강수), NOAA Optimum Interplation Sea Surface Temperature (OISST, 해수면온도)로 각 자료에 대한 간략한 설명은 Table C5~C7와 같다.

Table C5. Information of NCEP/DOE reanalaysis 2.

	내 용
출처	ftp://ftp.cdc.noaa.gov/Datasets/ncep.reanalysis2.derived/
변수	surface gauss : 2m 기온(air) pressure : 850hPa 기온(air), 500hPa 지위고도(hgt)
기간	1979. 1. ~ 현재 (매월 업데이트)
형식	surface gauss: T62 Gaussian grid with 192x94 points pressure : 2.5 x 2.5 degree
참조	https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.html

Table C6. Information of CAMS-OPI.

내 용	
출처	ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/precip/data-req/cams_opi_v0208
변수	강수(comb)
기간	1979. 1～ 현재 (매월 업데이트)
형식	2.5 x 2.5 degree
참조	https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/global_precip/html/wpage.cams_opi.html

Table C7. Information of NOAA-OISSTv2

내 용	
출처	ftp://ftp.cdc.noaa.gov/Datasets/noaa.oisst.v2
변수	해수면온도(sst)
기간	1981. 12～ 현재 (매월 업데이트)
형식	1.0 x 1.0 degree
참조	http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noaa.oisst.v2.html

2.2 관측 자료 경로

관측 자료의 관리는 APCC 기후정보통합위원회를 통해 자료의 다운로드, 업데이트 등이 이루어지고 있으며, APCC HPC 스토리지(APCCDB)에 저장되어 관리되고 있다. 기후감시 정보 생산을 위한 관측 자료의 APCCDB 경로는 Table C8과 같다.

Table C8. Pathway for observation data in the APCCDB.

	경 로
NCEP2	surface gauss : 2m 기온(air.2m) - /apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP2/Monthly/gaussian_grid/ pressure : 850hPa 기온(air), 500hPa 지위고도(hgt) - /apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP2/Monthly/pressure/
CAMS-OPI	강수(comb) - /apccdb/Observation/Grid/CAMS_OPI/nc/
NOAA OISST	해수면온도(sst) - /apccdb/Observation/Grid/OISST/Monthly/

2.3 관측 자료 처리

기후검증을 위해 서로 해상도가 다른 관측 자료를 2.5x2.5도의 위도, 경도를 가지는 자료로 regrid를 하여 표준화 하였다. 표준화를 위해 사용된 방법은 Earth System Modeling Framwork (ESMF, https://earthsystemcog.org)의 regrid 기법 중 bilinear를 적용하였고, python 패키지로는 xESMF(xESMF: Universal Regrrdder for Geospatial Data, https://xesmf.readthdocs.io)를 사용하였다. 또한 검증 시 표준화된 관측 자료 및 다중모델앙상블 예측 자료의 landsea masking을 위해 NCEP/DOE reanalysis 2에서 제공하는 landsea mask 자료를 사용하였다.

결정론적 다중모델앙상블(DMME)의 검증을 위해 관측 자료는 지정된 과거기간에 대한 기후값을 계산하고 원자료에서 기후값을 뺀 아노말리를 생산하여 사용하였고(현재 시스템에 적용된 기후값 기간은 1991~2010년이다.) 확률론적 다중모델앙상블(PMME)의 검증에서는 관측 자료의 원자료를 사용하였다.

2.4 검증 영역

기후검증 영역은 WMO/CBS와 CORDEX(Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment) 영역을 참고하여 최종적으로 12개 지역을 선정하였고(Table C9), 기존 과거 기후검증 시스템과 동일하다. 예측검증(Forecast)과 과거검증(hindcast) 부분 모두 동일한 영역으로 적용하였다(Figure C7). 또한 엘니뇨 및 IOD 지수 검증 시 사용되는 영역은 앞서 기술한 Ⅰ의 Table C3과 Figure C2~C4와 같다.

Table C9. Definition of the analysis domains used in APCC MME verification system.

영역명	위경도
전지구	0°-360°E, 90°S - 90°N
열대	20°S - 20°N
북반구	0°-360°E, > 20°N
남반구	0°-360°E, < 20°S
동아시아	75°E-150°E, 15°N-60°N
남아시아	60°E-140°E, 10°S-35°N
북아메리카	190°E-310°E, 10°N-75°N
남아메리카	270°E-330°E, 60°S-10°N
호주	110°E-180°E, 50°S-0°N
남태평양	110°E-260°E, 50°S-20°N
북유라시아	25°E-190°E, 40°N-80°N
중동	25°E-75°E, 10°N-45°N

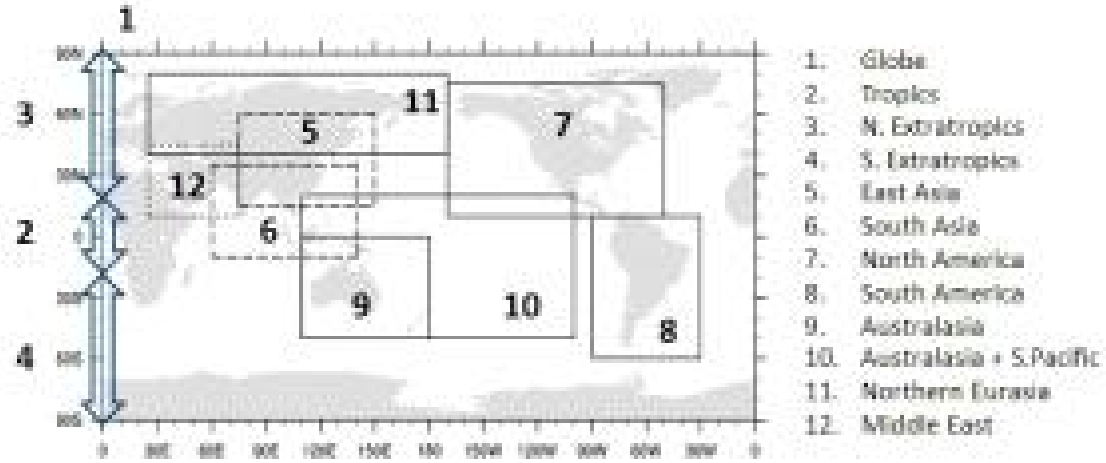


Figure C7. Regions used in APCC MME verification system.

2.5 검증 기법

APCC 다중모델앙상블 예측은 결정론적 예보와 확률론적 예로로 구분이 되며, 각각 다른 검증기법을 이용하여 평가가 이루어진다. 검증 기법은 WMO/CBS의 권고사항을 우선적으로 고려하였으며, 이에 포함하지 않는 부분은 세계 현업기관에서 주로 사용되고 있는 기법을 추가적으로 적용하였다(Table C10).

Table C10. List of verification methods used in real-time forecast and hindcast verification.

예측 종류	기준	검증 기법
결정론적 예측	WMO/CBS 권고	Mean Square Skill Score (MSSS)
	APCC 추가	Anomaly Correlation Coefficient (ACC)
확률론적 예측	WMO/CBS 권고	Reliability Diagram Relative Operating Characteristic (ROC)
	APCC 추가	Brier Skill Score (BSS) Heidke Skill Score (HSS) Ranked Probability Skill Score (RPSS)
해양지수 예측	APCC 추가	예측과 관측의 지수값 비교

3. 관측자료 표준화 시스템의 구성, 환경설정, 실행

3.1 관측자료 표준화 시스템 구성

관측자료 표준화 시스템에 사용된 언어는 python version 3이다. python 언어를 사용하기 위해서는 여러 부가적인 python 패키지가 요구되는데, 현 시스템에서는 일반적으로 많이 사용되는 numpy, netCDF4, xarray, pandas 패키지를 사용하였고, regrid를 위해 xesmf 패키지를 사용하였다.

관측자료 표준화 시스템은 각 관측 자료별로 작성된 개별 python 프로그램으로 구성되고, 원본 자료의 해상도가 2.5×2.5도(위도×경도, 73×144)로 같을 경우는 최종 파일 형식에 맞게 자료를 추출하고 다를 경우에는 xesmf regrid 사용하여 변환하였다. 관측 자료별로 작성된 개별 프로그램의 구성은 크게 2가지로 나눌 수 있는데, 첫 번째는 apccdb로부터 관측 자료의 자료명, 경로, 파일명, 변수명, 기간 등을 읽어 들이는 yaml 부분, 두 번째는 regrid 변환, nc 파일 쓰기 등을 위한 python 모듈 부분이다.

이러한 개별 프로그램은 관측 자료별로 독립적으로 프로그램 수행이 가능하며, 또한 개별 프로그램을 묶어서 전체적으로 수행도 가능하다. 이렇게 프로그램을 구성함으로써 사용자가 필요한 관측 자료에 대해 개별적으로 수동으로 수행도 가능하며, 전체 프로그램을 묶어 crontab 등을 이용해 자동화 및 수동으로 수행도 가능하도록 하였다. Figure C8은 개별 프로그램 및 전체 프로그램 수행을 위한 관측자료 표준화 시스템 구성도를 나타낸다.

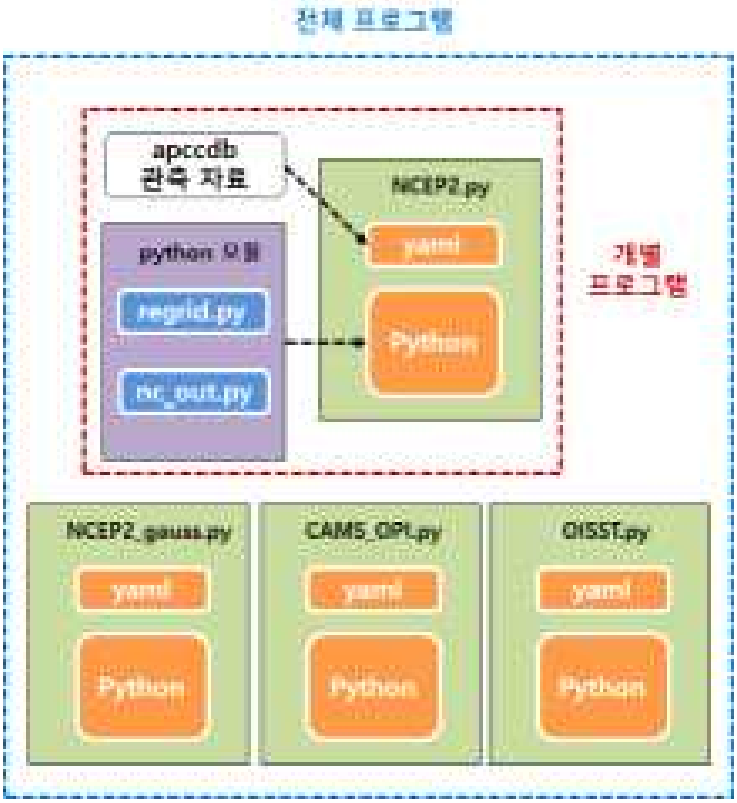


Figure C8. Structure of observation processing system

3.2 APCC 현업서버 환경 설정

관측자료 표준화 시스템은 APCC HPC 로그인 서버 또는 현업서버에서 실행이 되며 이를 위해서는 HPC의 소프트웨어 모듈을 로드하여 사용하여야 한다. 기본적으로 필요한 것은 python과 NCL 모듈이다.

사용자가 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 ncl/6.4.0
```

3.3 관측자료 표준화 시스템 환경 설정

관측자료 표준화 시스템이 실행되는 기본 디렉터리는 Figure C9의 RUN 디렉터리 이며(실행 코드는 Table C11 참고), 나머지 DATA 디렉터리는 사용자가 필요 시 변경할 수 있다(관측자료별 개별 프로그램에서 변경 가능).

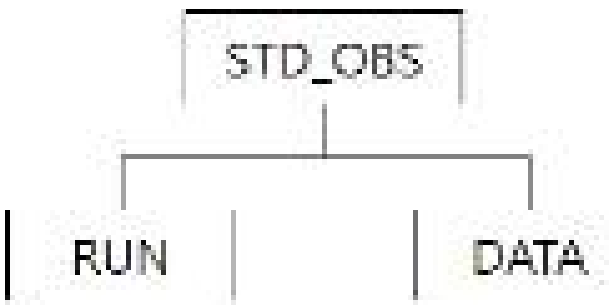


Figure C9. Structure of directory for observation processing system.

■ RUN 디렉터리 : 관측 자료별 python 코드와 yaml 파일,

자동화(crontab용) 코드, 수동화 코드 등 존재

※ RUN/my_package에는 python 사용자 모듈 코드 존재

■ DATA 디렉터리 : 관측 자료의 기후값, 아노말리 nc 파일 저장 경로

Table C11. List of program codes and package for observation processing.

RUN	개별 프로그램 실행 코드
NCEP2	NCEP2.yaml, NCEP2.py
NCEP2_gauss	NCEP2_gauss.yaml, NCEP2_gauss.py
CAMS_OPI	CAMS_OPI.yaml, CAMS_OPI.py
OISST	OISST.yaml, OISST.py
crontab 용	run4crontab.py
사용자 용	run4user.py
기타	lsmask_OISST_180×360.nc
RUN/my_package	**사용자 모듈 코드**
regrid 변환	esmf_regrid.py
nc 파일	nc_out.py

DATA 디렉터리를 변경하기 위해서는 아래와 같이 RUN 디렉터리의 개별 프로그램(예, NCEP2.py)을 열어 수정 가능하다. 사용자 지정 디렉터리를 ${USER}라고 하면, 실행 디렉터리는 아래과 같으며, ncout_path (DATA) 경로를 수정한다.

■ 실행 디렉터리

```
${USER}/STD_OBS/RUN
```

■ DATA 디렉터리 변경(예, NCEP2.py)

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

# NetCDF outfile path
ncout_path = "/data07/songbg/OPER/STD_OBS/DATA/"

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

3.4 개별 프로그램 실행

관측 자료별 개별 프로그램을 실행하기 위해서는 먼저 해당 관측 자료의 자료명, 자료경로, 파일명, 변수명, 자료기간을 yaml 파일에 입력을 해주어야 한다. 사용자의 실행 디렉터리(RUN

디렉터리)에 있는 관측 자료별 yaml 파일을 수정한다. 여기서는 NCEP2 자료에 대해 예시를 보여주고 나머지 관측 자료에 대한 yaml 파일은 뒤에 나열되어 있다.

(1) 실행 디렉터리로 이동 및 NCEP2.yaml 열기

```
]$ cd ${USER}/STD_OBS/RUN
]$ vi NCEP2.yaml
```

(2) NCEP2.yaml 변경

```
DataList:

  - Source_name    : NCEP2
    Source_path    : /apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP2/Monthly/surface/
    File_name      : mslp.mon.mean.nc
    Variable_name  : mslp
    Start_date     : 1979-01
    End_date       : 2019-08

  - Source_name    : NCEP2
    Source_path    : /apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP2/Monthly/pressure/
    File_name      : air.mon.mean.nc
    Variable_name  : air
    Start_date     : 1979-01
    End_date       : 2019-08

  - Source_name    : NCEP2
    Source_path    : /apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP2/Monthly/pressure/
    File_name      : uwnd.mon.mean.nc
    Variable_name  : uwnd
    Start_date     : 1979-01
    End_date       : 2019-08

  - Source_name    : NCEP2
    Source_path    : /apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP2/Monthly/pressure/
    File_name      : vwnd.mon.mean.nc
    Variable_name  : vwnd
    Start_date     : 1979-01
    End_date       : 2019-08

  - Source_name    : NCEP2
    Source_path    : /apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP2/Monthly/pressure/
    File_name      : hgt.mon.mean.nc
    Variable_name  : hgt
    Start_date     : 1979-01
    End_date       : 2019-08
```

사용자가 실행을 원하는 변수를 선택하여(넣거나 뺄 수 있음) 형식에 맞게 수정한다(위 예제는 NCEP2 표준화 자료를 생산하기 위한 모든 리스트임).

yaml 파일 수정 후, NCEP2.py python 코드를 실행하면 표준화 자료가 생산된다.

(3) NCEP2.py 실행

```
]$ python NCEP2.py
```

나머지 관측 자료에 대한 yaml 파일은 아래와 같이 나열하였고, CAMS_OPI.yaml 파일의 파

일명에서 “%s” 부분은 python 코드에서 연도가 들어가는 부분으로 CAMS OPI의 월별 자료가 모두 연도별로 구분이 되어 있기 때문이다.

■ NCEP2_gauss.yaml

```
DataList:

  - Source_name    : NCEP2
    Source_path    : /apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP2/Monthly/gaussian_grid/
    File_name      : air.2m.mon.mean.nc
    Variable_name  : air
    Start_date     : 1979-01
    End_date       : 2019-08
```

■ CAMS_OPI.yaml

```
DataList:

  - Source_name    : CAMS_OPI
    Source_path    : /apccdb/Observation/Grid/CAMS_OPI/nc/
    File_name      : cams_opi_merged.%s.nc
    Variable_name  : comb
    Start_date     : 1979-01
    End_date       : 2019-08
```

■ OISST.yaml

```
DataList:

  - Source_name    : OISST
    Source_path    : /apccdb/Observation/Grid/OISST/Monthly/
    File_name      : sst.mnmean.nc
    Variable_name  : sst
    Start_date     : 1981-12
    End_date       : 2019-08
```

3.5 수동화 프로그램 실행

수동으로 자료기간을 입력하여 기후감시 시스템을 실행하기 위해서는 사용자의 실행 디렉터리(RUN 디렉터리)에 있는 “run4user.py” 코드를 사용한다. 이 코드의 자료기간의 마지막 연도와 월을 입력하고 실행을 하면 표준화된 자료가 생산된다.

(1) 실행 디렉터리로 이동 및 run4user.py 열기

```
]$ cd ${USER}/STD_OBS/RUN
]$ vi run4user.py
```

(2) run4user.py의 자료기간 변경

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

# End date
end_date   = "2019-08"

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

(3) run4user.py 실행

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

3.6 자동화 프로그램 실행(오늘 날짜를 읽어 실행)

자동으로 관측자료 표준화 시스템을 실행하기 위해 서버의 오늘 날짜를 자동으로 읽어 실행이 되는 자동화 코드를 작성하였다. 이 자동화 코드를 실행만하면 표준화 자료가 생산되며, 만약 사용자가 crontab에서 자동으로 실행되도록 하고 싶다면 crontab 스크립트에 매월 언제 실행할지를 정해서 crontab 스크립트에 자동화 python 코드를 넣어주면 된다.

(1) run4crontab.py 코드 실행

```
]$ cd ${USER}/STD_OBS/RUN
]$ python run4crontab.py
```

4. 기후검증 시스템의 구성과 환경설정

4.1 기후검증 시스템 구성

기후검증 시스템에 사용된 언어는 python version 3와 NCAR Command Language(NCL)이고 python은 자료 처리, NCL은 그림 산출을 위해 사용되었다. python 언어를 사용하기 위해서는 여러 부가적인 python 패키지가 요구되는데, 현 시스템에서는 일반적으로 많이 사용되는 numpy, netCDF4, xarray, pandas 패키지를 사용하였다.

현 시스템은 예측종류별(Forecast/Hindcast), 예측기간별(3개월/6개월)로 구분하여 검증 기법별로 작성된 개별 python 프로그램으로 구성되고, 이 개별 프로그램은 기후값 및 아노말리 계산, 검증 계산, nc 파일 쓰기, 그림 산출을 위한 python 모듈을 모두 포함하고 있다. 즉 검증 기법별로 작성된 개별 프로그램의 구성은 크게 3가지로 나눌 수 있는데, 첫 번째는 현업서버로부터 다중모델앙상블 예측 자료의 예측월, 예측년도, 변수명 등을 읽어 들이는 yaml 부분, 두 번째는 기후값, 아노말리 계산, 검증 계산, nc 파일 쓰기 등을 위한 python 모듈 부분, 마지막은 ncl 파일 생산, ncl 실행을 위한 python 모듈 부분이다.

이러한 개별 프로그램은 검증 기법별로 독립적으로 프로그램 수행이 가능하며, 또한 개별 프로그램을 묶어서 전체적으로 수행도 가능하다. 이렇게 프로그램을 구성함으로써 사용자가 필

요한 관측 자료에 대해 개별적으로 수동으로 수행도 가능하며, 전체 프로그램을 묶어 crontab 등을 이용해 자동화 및 수동으로 수행도 가능하도록 하였다. Figure C10는 개별 프로그램 및 전체 프로그램 수행을 위한 기후검증 시스템 구성도를 나타내고 Figure C11은 자동화 및 수동화 실행 내용을 나타낸다.

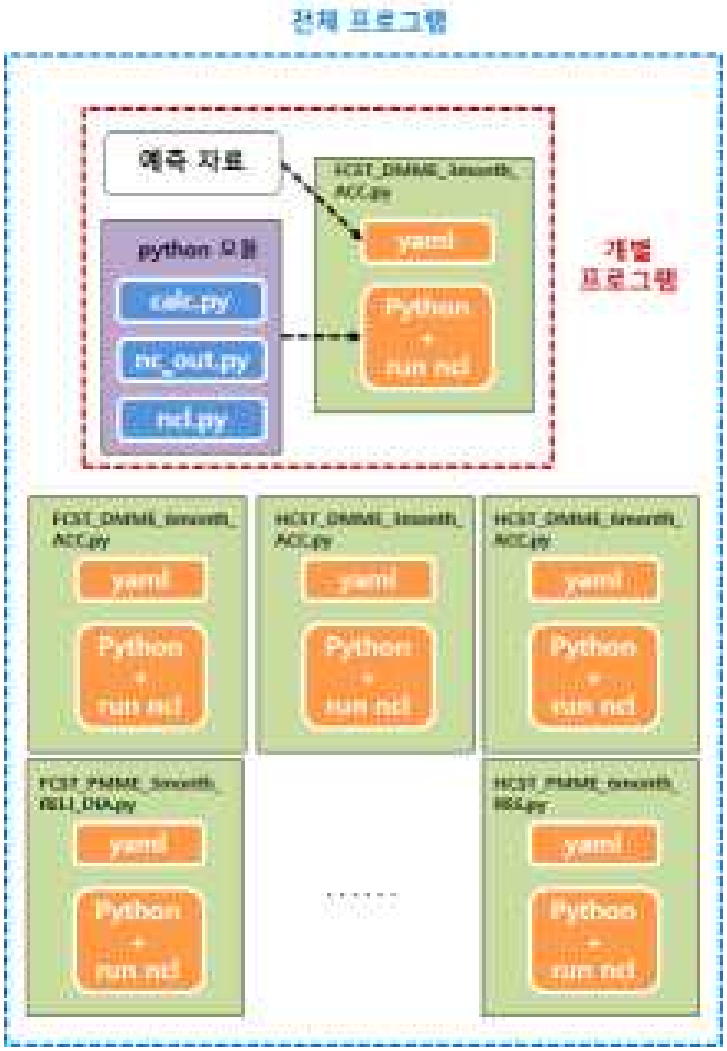


Figure C10. Structure of verification processing system

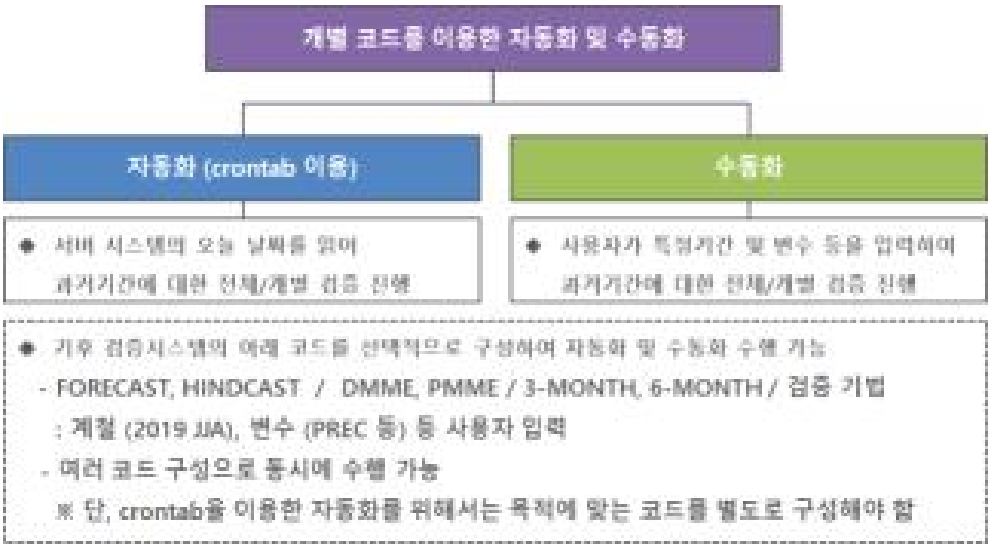


Figure C11. Information of automation and manualization of the new climate verification system.

4.2 APCC 현업서버 환경설정

기후검증 시스템은 APCC HPC 로그인 서버 또는 현업서버에서 실행이 되며 이를 위해서는 HPC의 소프트웨어 모듈을 로드하여 사용하여야 한다. 기본적으로 필요한 것은 python과 NCL 모듈이다.

사용자가 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 ncl/6.4.0
```

4.3 기후검증 시스템 환경설정

기후검증 시스템이 실행되는 기본 디렉터리는 Figure C12의 RUN 디렉터리 이며(실행 코드는 Table C12 참고), 나머지 DATA, NCL, FIG 디렉터리는 사용자가 필요 시 변경할 수 있다(관측 자료별 개별 프로그램에서 변경 가능).

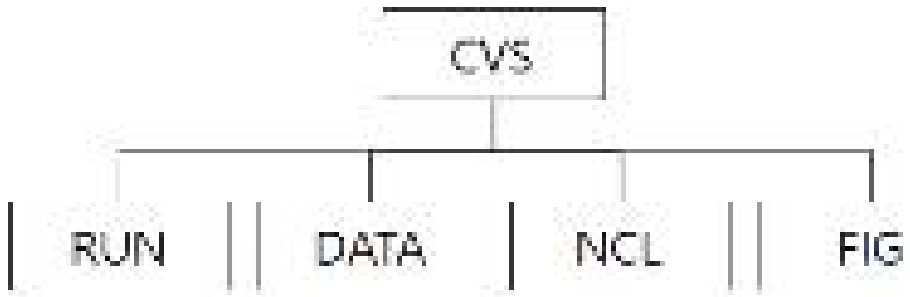


Figure C12. Structure of directory for the new climate verification system.

■ RUN 디렉터리 : 검증 기법별 python 코드와 yaml 파일,
자동화(crontab용) 코드, 수동화 코드 등 존재
※ RUN/my_package에는 python 사용자 모듈 코드 존재
※ RUN/so_package에는 확률검증 FORTRAN 사용자 모듈 코드 존재(so 파일)
■ DATA 디렉터리 : 검증 계산값 nc 파일 저장 경로
■ NCL 디렉터리 : 그림 생성을 위한 ncl 코드 저장 경로
■ FIG 디렉터리 : eps, png 그림파일 생성을 위한 저장 경로

Table C12. List of program codes and packages in the new climate verification system.

RUN	개별 프로그램 실행 코드
Forecast DMME 3 month	FCST_DMME_3month.yaml, FCST_DMME_3month_ACC_RMSE.py
Forecast DMME 6 month	FCST_DMME_6month.yaml, FCST_DMME_6month_ACC_RMSE.py
Hindcast DMME 3 month	HCST_DMME_3month.yaml, HCST_DMME_3month_ACC_RMSE.py, HCST_DMME_3month_MSSS.py
Hindcast DMME 6 month	HCST_DMME_6month.yaml, HCST_DMME_6month_ACC_RMSE.py, HCST_DMME_6month_MSSS.py
Forecast PMME 3 month	FCST_PMME_3month.yaml, FCST_PMME_3month_RELI.py, FCST_PMME_3month_ROC.py FCST_PMME_3month_BSS.py, FCST_PMME_3month_HSS.py, FCST_PMME_3month_RPSS.py
Forecast PMME 6 month	FCST_PMME_6month.yaml, FCST_PMME_6month_RELI.py, FCST_PMME_6month_ROC.py FCST_PMME_6month_BSS.py, FCST_PMME_6month_HSS.py, FCST_PMME_6month_RPSS.py
Hindcast PMME 3 month	HCST_PMME_3month.yaml, HCST_PMME_3month_RELI.py, HCST_PMME_3month_ROC.py HCST_PMME_3month_BSS.py, HCST_PMME_3month_HSS.py, HCST_PMME_3month_RPSS.py
Hindcast DMME 6 month	HCST_PMME_6month.yaml, HCST_PMME_6month_RELI.py, HCST_PMME_6month_ROC.py HCST_PMME_6month_BSS.py, HCST_PMME_6month_HSS.py, FCST_PMME_6month_RPSS.py
해양 지수	FCST_DMME_6month.yaml, FCST_DMME_6month_SST.py
crontab 용	run4crontab_FCST_DMME.py, run4crontab_HCST_DMME.py, run4crontab_FCST_PMME.py, run4crontab_HCST_PMME.py
사용자 용	run4user_FCST_DMME.py, run4user_HCST_DMME.py, run4user_FCST_PMME.py, run4user_HCST_PMME.py
RUN/ my_package	사용자 모듈 코드
관측/예측	calc_OBS_DMME.py, calc_OBS_PMME.py

기후값, 아노말리	calc_DMME_MME_OUT.py, calc_PMME_MME_OUT.py calc_MME_IN.py calc_regional_domain.py
검증 계산	calc_determ_score.py
nc 파일	nc_out_DMME_FCST.py, nc_out_DMME_HCST.py nc_out_PMME_FCST.py, nc_out_PMME_HCST.py
ncl 파일	ncl_FCST_ACC.py, ncl_HCST_ACC.py ncl_FCST_RMSE.py, ncl_HCST_RMSE.py ncl_HCST_HSSS.py ncl_FCST_RELI_DIA.py, ncl_HCST_RELI_DIA.py ncl_FCST_ROC_Curve.py, ncl_HCST_ROC_Curve.py, ncl_HCST_ROC_Score.py, ncl_FCST_BSS.py, ncl_HCST_BSS.py, ncl_FCST_HSS.py, ncl_HCST_HSS.py, ncl_FCST_RPSS.py, ncl_HCST_RPSS.py, ncl_FCST_SST.py
기타	calc_regional_domain.py, read_MODEL_HIND_TIME.py, make_season_month_name.py. run_command.py

RUN/ so_package	사용자 모듈 코드
Forecast	TERC_OBS_FCST.so, CATE_OBS_FCST.so, AGGR_ROC_FCST.so, RELI_DIA_FCST.so, RPSS_FCST.so, BSS_FCST.so, HSS_FCST.so
Hindcast	TERC_OBS_HCST.so, CATE_OBS_HCST.so, AROC_MC_HCST.so, AGGR_ROC_HCST.so, RELI_DIA_HCST.so, RPSS_HCST.so, BSS_HCST.so, HSS_HCST.so

DATA, NCL, FIG 디렉터리를 변경하기 위해서는 아래와 같이 RUN 디렉터리의 개별 프로그램(예, NCEP.py)을 열어 수정 가능하다. 사용자 지정 디렉터리를 ${USER}라고 하면, 실행 디렉터리는 아래와 같으며, nc_dir (DATA), ncl_dir (NCL), fig_dir (FIG) 경로를 수정한다.

■ 실행 디렉터리

```
${USER}/CVS/RUN
```

■ DATA, NCL, FIG 디렉터리 변경(예, FCST_DMME_3month_ACC.py)

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

# Select plot type in NCL
ncl_ptype = "x11"
#ncl_ptype = "eps"      # for convert eps to png

# Scores output files path
nc_dir = "$[USER]/CVS/DATA/"

# NCL codes directory path
ncl_dir = "$[USER]/CVS/NCL/"

# NCL figures directory path
fig_dir = "$[USER]/CVS/FIG/"

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

또한, 화면상으로 그림을 출력(display)하기 위해서는 위 코드의 ncl_ptye을 “x11”으로, png 그림파일로 저장하기 위해서는 ncl_ptye를 “eps”로 수정하면 된다.

5. 기후검증 시스템 실행

5.1 개별 프로그램 실행

검증 기법별 개별 프로그램을 실행하기 위해서는 먼저 해당 다중모델앙상블 예측 자료의 예측월, 예측년도, 변수명 등을 yaml 파일에 입력을 해주어야 한다. 사용자의 실행 디렉터리(RUN 디렉터리)에 있는 예측종류(FCST/HCST), 예측기법(DMME/PMME), 예측기간(3month/6mont)별 yaml 파일을 수정한다. 여기서는 FCST_DMME_3month 자료에 대해 예시를 보여주고 나머지 자료에 대한 yaml 파일은 뒤에 나열되어 있다.

(1) 실행 디렉터리로 이동 및 FCST_DMME_3month.yaml 열기

```
]$ cd ${USER}/CVS/RUN
]$ vi FCST_DMME_3month.yaml
```

(2) FCST_DMME_3month.yaml 변경

```
DataList:
```

```
- Forecast_month : JUL
  Forecast_year  : 2019
  Variable_name  : prec
  Landsea_mask   : landsea

- Forecast_month : JUL
  Forecast_year  : 2019
  Variable_name  : t2m
  Landsea_mask   : landsea

- Forecast_month : JUL
  Forecast_year  : 2019
  Variable_name  : t850
  Landsea_mask   : landsea

- Forecast_month : JUL
  Forecast_year  : 2019
  Variable_name  : z500
  Landsea_mask   : landsea

- Forecast_month : JUL
  Forecast_year  : 2019
  Variable_name  : sst
  Landsea_mask   : landsea
```

사용자가 실행을 원하는 변수를 선택하여(넣거나 뺄 수 있음) 형식에 맞게 수정한다(위 예제는 3개월 결정론적 예측검증(Forecast) 정보를 생산하기 위한 모든 리스트임). yaml 파일의 Landsea_mask에서 landsea로 입력하면 육지 및 해양에 대한 정보가, land를 입력하면 육지에 대한 정보만 계산된다. 그리고 예측월(Forecast_month)을 입력하는 부분에서 검증 target season을 기준으로, 3개월 예측의 경우는 target season의 시작 예측월을 입력하고 6개월 예측의 경우에는 target season의 3개월 전의 시작 예측월을 입력한다(예, JJA가 검증 target season일 때, 3개월 예측은 JUN, 6개월 예측은 MAR을 입력)

yaml 파일 수정 후, 해당 검증 기법 python 코드(FCST_DMME_3month_ACC.py)를 실행하면 기후검증 정보가 생산된다. 여기서 4.3절에 기술하였듯이, 그림의 화면출력, png 파일 생성을 선택할 수 있고, DATA, NCL, FIG 디렉터리도 변경이 가능하다.

(3) FCST_DMME_3month_ACC.py 실행

```
]$ python FCST_DMME_3month_ACC.py
```

나머지 자료에 대한 yaml 파일은 아래와 같이 나열하였다.

■ FCST_DMME_6month.yaml

```
DataList:

  - Forecast_month : MAR
    Forecast_year  : 2019
    Variable_name  : prec
    Landsea_mask   : landsea

  - Forecast_month : MAR
    Forecast_year  : 2019
    Variable_name  : t2m
    Landsea_mask   : landsea

  - Forecast_month : MAR
    Forecast_year  : 2019
    Variable_name  : t850
    Landsea_mask   : landsea

  - Forecast_month : MAR
    Forecast_year  : 2019
    Variable_name  : z500
    Landsea_mask   : landsea
```

■ HCST_DMME_3month.yaml

```
DataList:

  - Hindcast_month : JUN
    Current_year   : 2019
    Variable_name  : prec
    Landsea_mask   : landsea

  - Hindcast_month : JUN
    Current_year   : 2019
    Variable_name  : t2m
    Landsea_mask   : landsea

  - Hindcast_month : JUN
    Current_year   : 2019
    Variable_name  : t850
    Landsea_mask   : landsea

  - Hindcast_month : JUN
    Current_year   : 2019
    Variable_name  : z500
    Landsea_mask   : landsea
```

■ HCST_DMME_6month.yaml

```
DataList:

  - Hindcast_month : MAR
    Current_year    : 2019
    Variable_name   : prec
    Landsea_mask    : landsea

  - Hindcast_month : MAR
    Current_year    : 2019
    Variable_name   : t2m
    Landsea_mask    : landsea

  - Hindcast_month : MAR
    Current_year    : 2019
    Variable_name   : t850
    Landsea_mask    : landsea

  - Hindcast_month : MAR
    Current_year    : 2019
    Variable_name   : z500
    Landsea_mask    : landsea
```

■ FCST_PMME_3month.yaml

```
DataList:

  - Forecast_month : JUN
    Forecast_year   : 2019
    Variable_name   : prec

  - Forecast_month : JUN
    Forecast_year   : 2019
    Variable_name   : t2m

  - Forecast_month : JUN
    Forecast_year   : 2019
    Variable_name   : t850

  - Forecast_month : JUN
    Forecast_year   : 2019
    Variable_name   : z500
```

■ FCST_PMME_6month.yaml

```
DataList:

  - Forecast_month : MAR
    Forecast_year   : 2019
    Variable_name   : prec

  - Forecast_month : MAR
    Forecast_year   : 2019
    Variable_name   : t2m

  - Forecast_month : MAR
    Forecast_year   : 2019
    Variable_name   : t850

  - Forecast_month : MAR
    Forecast_year   : 2019
    Variable_name   : z500
```

■ HCST_PMME_3month.yaml

```
DataList:

  - Hindcast_month : JUN
    Current_year   : 2019
    Variable_name  : prec

  - Hindcast_month : JUN
    Current_year   : 2019
    Variable_name  : t2m

  - Hindcast_month : JUN
    Current_year   : 2019
    Variable_name  : t850

  - Hindcast_month : JUN
    Current_year   : 2019
    Variable_name  : z500
```

■ HCST_PMME_6month.yaml

```
DataList:

  - Hindcast_month : MAR
    Current_year   : 2019
    Variable_name  : prec

  - Hindcast_month : MAR
    Current_year   : 2019
    Variable_name  : t2m

  - Hindcast_month : MAR
    Current_year   : 2019
    Variable_name  : t850

  - Hindcast_month : MAR
    Current_year   : 2019
    Variable_name  : z500
```

5.2 수동화 프로그램 실행

수동으로 특정 season을 입력하여 기후검증 시스템을 실행하기 위해서는 사용자의 실행 디렉터리(RUN 디렉터리)에 있는 “run4user_xCST_xMME.py” 코드를 사용한다. 이 코드의 예측월(forecast_month)과 예측년도(forecast_year, HCST의 경우는 current_year)를 입력하고 변수를 추가하여 실행을 하면 기후검증 정보가 생성된다.

(1) 실행 디렉터리로 이동 및 run4user_xCST_xMME.py 열기
(예, run4user_FCST_DMME.py)

```
]$ cd ${USER}/CVS/RUN
]$ vi run4user_FCST_DMME.py
```

(2) run4user_FCST_DMME.py의 예측월, 예측년도, 변수 변경

```
#-------------------------------------
# User defined
# Forecast month and year

forecast_month   = “JUN”
forecast_year      = ″2019″

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

MONTH3 = ″″″
DataList:

  - Forecast_month : {0}
    Forecast_year    : {1}
    Variable_name   : prec
    Landsea_mask     : landsea

  - Hindcast_month : {0}
    Current_year     : {1}
    Variable_name   : t2m
    Landsea_mask     : landsea
″″″.format(hindcast_month, current_year)

with open(″HCST_DMME_3month.yaml″, ″w″) as file:
    file.writelines(MONTH6)
```

(3) run4user_FCST_DMME.py 실행

```
]$ python run4user_FCST_DMME.py
```

5.3 자동화 프로그램 실행

자동으로 기후검증 시스템을 실행하기 위해 오늘 날짜를 자동으로 읽어 실행이 되는 자동화 코드를 작성하였다. 사용자의 실행 디렉터리(RUN 디렉터리)에 있는 “run4crontab_xCST_xMME.py” 코드를 사용하며, 만약 사용자가 crontab에서 자동으로 실행되도록 하고 싶다면 crontab 스크립트에 매월 언제 실행할지를 정해서 crontab 스크립트에 해당 python 코드를 넣어주면 된다. 이 자동화 코드에서는 변수, 검증 기법은 사용자가 추가할 수 있도록 작성되어 있으며, 오늘 날짜를 읽어 지난 계절(3개월 및 6개월 예측)에 대한 기후검증 정보를 자동으로 생산하게 된다.

(1) 실행 디렉터리로 이동 및 해당 코드 열기
(예, run4user_HCST_DMME.py)

```
]$ cd ${USER}/CVS/RUN
]$ vi run4crontab_HCST_DMME.py
```

(2) 해당 코드의 변수, 검증 기법 추가 또는 삭제 변경

```
MONTH3 = """
DataList:

   - Hindcast_month : {0}
     Current_year    : {1}
     Variable_name   : prec
     Landsea_mask    : landsea

   - Hindcast_month : {0}
     Current_year    : {1}
     Variable_name   : t2m
     Landsea_mask    : landsea
""".format(hindcast_month, current_year)

with open("HCST_DMME_3month.yaml", "w") as file:
     file.writelines(MONTH3)

run_command.run_python("HCST_DMME_3month_ACC.py".format("./"))

run_command.run_python("HCST_DMME_3month_RMSE.py".format("./"))
```

(3) 해당 코드 실행

```
]$ cd ${USER}/CVS/RUN
]$ python run4crontab_HCST_DMME.py
```

6. 사용자 편의를 위한 기타 내용

6.1 NCL 그림 수정

앞 4.3절에서 기술한 바와 같이 DATA 디렉터리에는 nc 파일이 저장되고, NCL 디렉터리에는 ncl 파일이 저장되게 되는데, 여기 NCL 디렉터리에 저장된 ncl 파일을 실행하면 사용자 설정에 따라 그림 화면출력 또는 png 파일 생성으로 바로 확인을 할 수가 있다. 따라서 그림을 수정하거나 개선하기 위해 기후검증 시스템의 python 사용자 모듈을 직접 수정하지 않고 NCL 디렉터리에 있는 ncl 코드를 수정하면 간단하게 확인이 되기 때문에 사용자가 쉽게 그림을 수정할 수 있게 된다. 이렇게 수정된 ncl 코드를 최종적으로 RUN/my_package 디렉터리에 있는 python 사용자 모듈에 적용하면 전체 기후검증 시스템의 그림이 수정되게 된다.

Ⅲ. 기후감시 시스템

1. 개요

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

그러나 APCC 개소 이후 개발되었던 기후감시 시스템의 경우, 개발 및 개선을 반복하면서 다양한 프로그래밍 언어(예, Shell, FORTRAN, Ruby, NCL 등)로 복잡한 코드로 구성이 되어있

었고 또한 외부에 자료를 제공하는 APCC Data Service System(ADSS)의 관측 자료를 읽어 들여 계산하는 시스템으로 되어 있었다. 이러한 기존 기후감시 시스템은 사용자가 새롭게 특정 자료를 생산하거나 코드를 수정하기에 많은 불편함이 있었고 새로운 기후감시 정보를 추가하기에도 어려움이 있었다.

따라서, 앞에 언급된 여러 문제점을 보완하기 위해 계산 부분은 python, 그림 부분은 NCL 프로그래밍 언어로 통일하여 새로운 기후감시 시스템을 개발함으로써 업무 효율성을 높이고 시스템의 확장성과 유연성을 강화하고자 하였다. Figure C13은 기존 기후감시 시스템의 문제점과 새로운 시스템의 개선점을 나타낸 것이다.

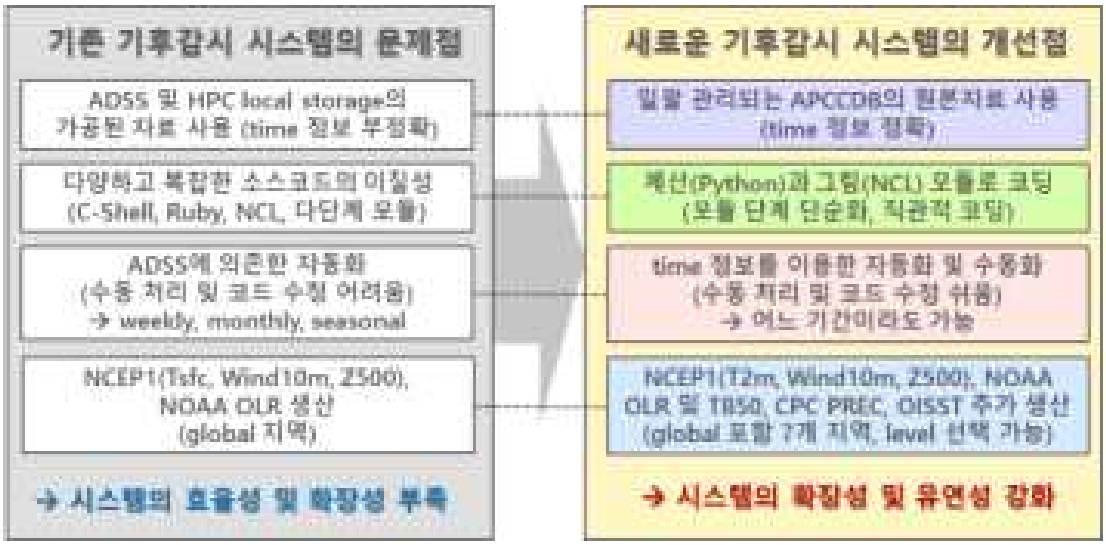


Figure C13. List of improvement for the new climate monitoring system.

2. 자료

2.1 관측 자료 개요

기후감시 정보를 생산하기 위해 사용된 관측 자료는 모두 일별(daily) 자료로써 NCEP/NCAR Reanalysis 1 (2m 기온, 850hPa 기온, 10m 바람, 500hPa 지위고도), CPC Global Unified Gauge-Based Analysis of Daily Precipitation (강수), NOAA Daily Outgoing Longwave Radiation (OLR, 상향장파복사), NOAA Optimum Interplation Sea Surface Temperature (OISST, 해수면온도)로 각 자료에 대한 간략한 설명은 아래 Table C13~16와 같다.

Table C13. Information of NCEP/NCAR reanalysis 1.

	내 용
출처	ftp://ftp.cdc.noaa.gov/Datasets/ncep.reanalysis.dailyavgs/
변수	surface gauss : 2m 기온(air), 10m 바람(uwnd.10m, vwnd.10m) pressure : 850hPa 기온(air), 500hPa 지위고도(hgt)
기간	1948. 1. 1 ~ 현재 (매일 업데이트)
형식	surface gauss: T62 Gaussian grid with 192x94 points pressure : 2.5 x 2.5 degree
참조	https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html

Table C14. Information of CPC precipitation data.

	내 용
출처	ftp://ftp.cdc.noaa.gov/Datasets/cpc_global_precip/
변수	강수(precip)
기간	1979. 1. 1 ~ 현재 (매일 업데이트)
형식	0.5 x 0.5 degree
참조	https://www.esrl.noaa.gov/psd/gridded/data.cpc.globalprecip.html

Table C15. Information of NOAA OLR data.

	내 용
출처	non-interp : ftp://ftp.cdc.noaa.gov/Datasets/uninterp_OLR/olr.day.mean.nc interp : ftp://ftp.cdc.noaa.gov/Datasets/interp_OLR/olr.day.mean.nc
변수	non-interp : 상향장파복사(olr) interp : 상향장파복사(olr)
기간	non-interp : 2002. 1. 1 ~ 현재 (매일 업데이트) interp : 1974. 6. 1 ~ 2018. 12. 31
형식	non-interp : 2.5 x 2.5 degree interp : 2.5 x 2.5 degree
참조	non-interp : https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.uninterp_OLR.html interp : https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.interp_OLR.html

Table C16. Information of NOAA OISSTv2 data.

	내 용
출처	ftp://ftp.cdc.noaa.gov/Datasets/noaa.oisst.v2.highres/
변수	해수면온도(sst)
기간	1981. 9. 1 ~ 현재 (매일 업데이트)
형식	0.25 x 0.25 degree
참조	https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noaa.oisst.v2.highres.html

2.2 관측 자료 경로

관측 자료의 관리는 APCC 기후정보통합위원회를 통해 자료의 다운로드, 업데이트 등이 이루어지고 있으며, APCC HPC 스토리지(APCCDB)에 저장되어 관리되고 있다. 기후감시 정보 생산을 위한 관측 자료의 APCCDB 경로는 Table C17와 같다.

Table C17. Pathway of observation data in the APCCDB for the new climate monitoring system.

	경 로
NCEP1	surface gauss : 2m 기온(air), 10m 바람(uwnd.10m, vwnd.10m) - /apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP1/Daily/surface_gauss/ pressure : 850hPa 기온(air), 500hPa 지위고도(hgt) - /apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP1/Daily/pressure/
CPC PRCP	강수(precip) - /apccdb/Observation/Grid/CPC_GLOBAL_PRECIP/
NOAA OLR	non-interp : 상향장파복사(olr) - /apccdb/Observation/Grid/NOAA_OLR/Daily/uninterp_OLR/ interp : 상향장파복사(olr) - /apccdb/Observation/Grid/NOAA_OLR/Daily/interp_OLR/
NOAA OISST	해수면온도(sst) - /apccdb/Observation/Grid/OISST/Daily/sst/

2.3 관측 자료 처리

관측 자료는 지정된 과거기간에 대한 기후값을 계산하고 원자료에서 기후값을 뺀 아노말리를 생산하여 사용하였다. 현재 시스템에 적용된 기후값 기간은 1991~2010년이다.

NOAA OLR의 경우에는 현재까지 업데이트되는 일별 자료가 non-interpolation자료로 2002년 1월부터 시작되기에, 기후값을 계산하기 위해 1974년 6월부터 2018년 12월까지 자료를 제공하는 interpolation 자료를 사용하였다.

3. 기후감시 시스템의 구성과 환경설정

3.1 기후감시 시스템 구성

기후감시 시스템에 사용된 언어는 python version 3와 NCAR Command Language(NCL)이고 python은 자료 처리, NCL은 그림 산출을 위해 사용되었다. python 언어를 사용하기 위해서는 여러 부가적인 python 패키지가 요구되는데, 현 시스템에서는 일반적으로 많이 사용되는 numpy, netCDF4, xarray, pandas 패키지를 사용하였다.

현 시스템은 각 관측 자료별로 작성된 개별 python 프로그램으로 구성되고, 이 개별 프로그램은 기후값 및 아노말리 계산, nc 파일 쓰기, 그림 산출을 위한 python 모듈을 모두 포함하고 있다. 즉 관측 자료별로 작성된 개별 프로그램의 구성은 크게 3가지로 나눌 수 있는데, 첫 번째는 apccdb로부터 관측 자료의 자료명, 경로, 파일명, 변수명, 기간 등을 읽어 들이는 yaml 부분, 두 번째는 기후값, 아노말리 계산, nc 파일 쓰기 등을 위한 python 모듈 부분, 마지막은 ncl 파일 생산, ncl 실행을 위한 python 모듈 부분이다.

이러한 개별 프로그램은 관측 자료별로 독립적으로 프로그램 수행이 가능하며, 또한 개별 프로그램을 묶어서 전체적으로 수행도 가능하다. 이렇게 프로그램을 구성함으로써 사용자가 필요한 관측 자료에 대해 개별적으로 수동으로 실행도 가능하며, 전체 프로그램을 묶어 crontab 등을 이용해 자동화 및 수동으로 실행도 가능하도록 하였다. Figure C14는 개별 프로그램 및 전체 프로그램 실행을 위한 기후감시 시스템 구성도를 나타내고, Figure C15는 자동화 및 수동화 실행 내용을 나타낸다.

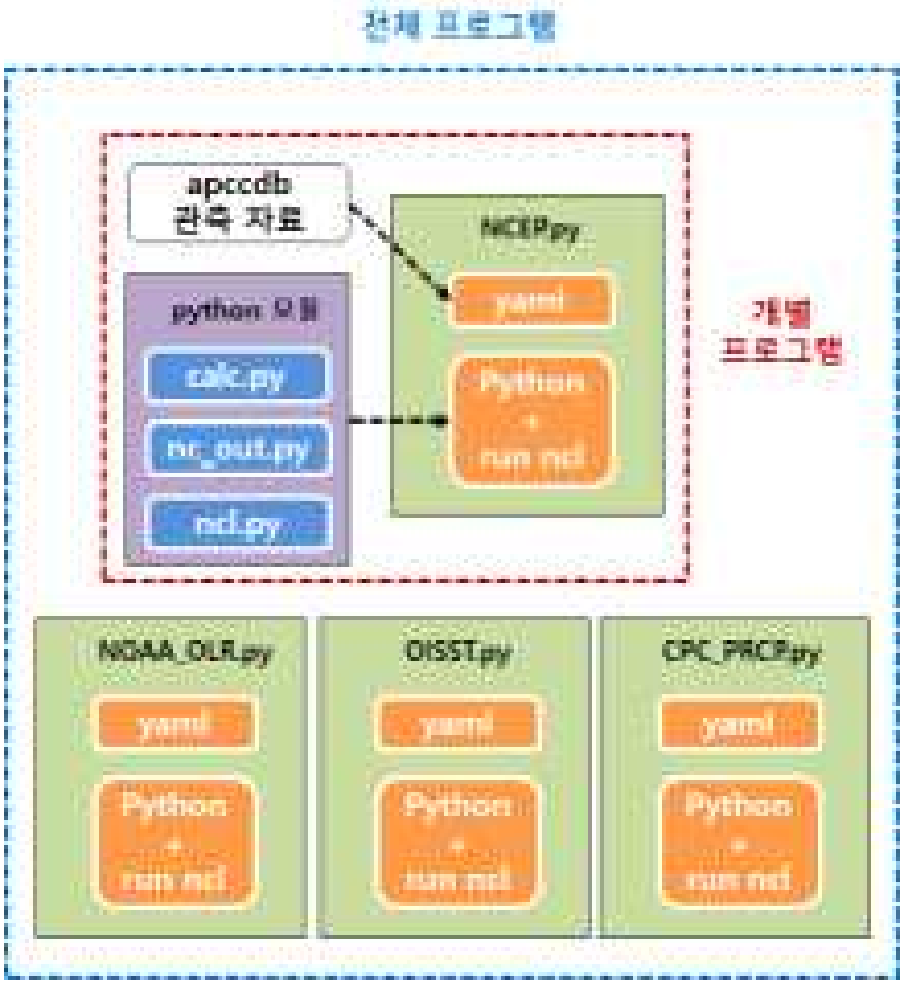


Figure C14. Structure of climate monitoring system.

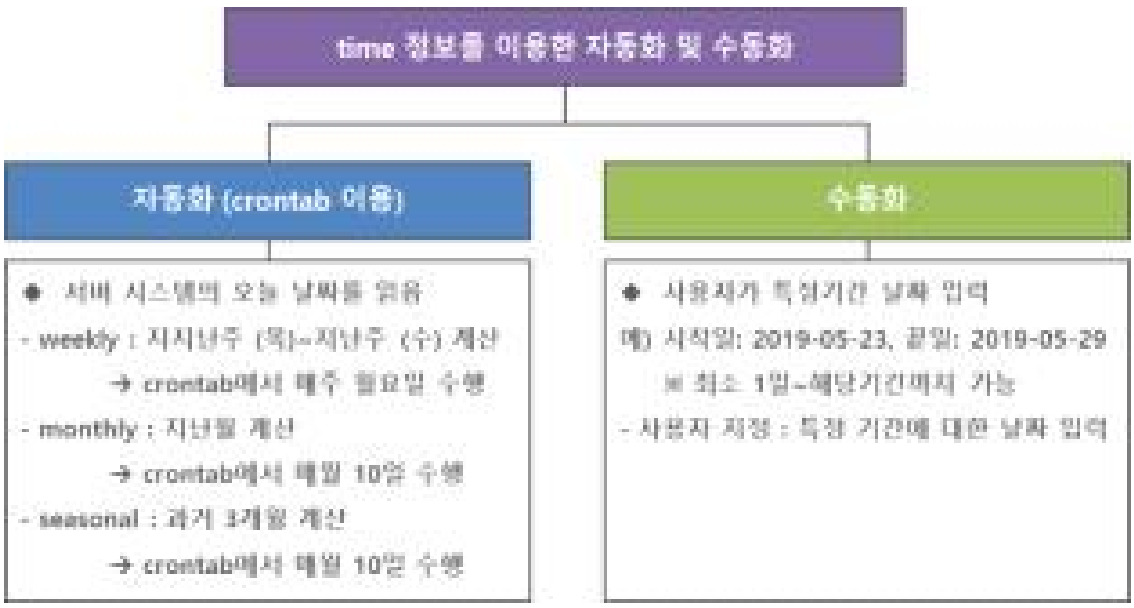


Figure C15. Information of automation and manualization of the new climate monitoring system.

3.2 APCC 현업서버 환경설정

기후감시 시스템은 APCC HPC 로그인 서버 또는 현업서버에서 실행이 되며 이를 위해서는 HPC의 소프트웨어 모듈을 로드하여 사용하여야 한다. 기본적으로 필요한 것은 python과 NCL 모듈이다.

사용자가 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 ncl/6.4.0
```

3.3 기후감시 시스템 환경설정

기후감시 시스템이 실행되는 기본 디렉터리는 Figure 16의 RUN 디렉터리 이며(실행 코드는 Table C18 참고), 나머지 DATA, NCL, FIG 디렉터리는 사용자가 필요 시 변경할 수 있다(관측 자료별 개별 프로그램에서 변경 가능).

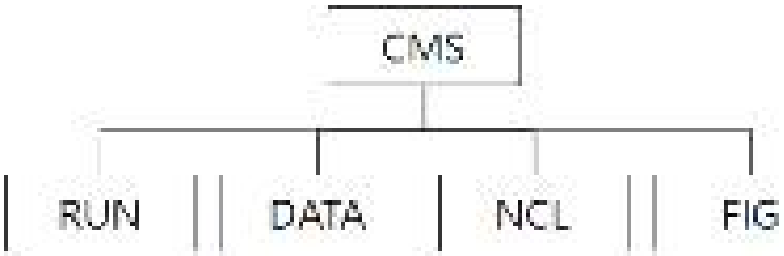


Figure C16. Structure of directory for the new climate monitoring system.

- RUN 디렉터리 : 관측 자료별 python 코드와 yaml 파일,
  자동화(crontab용) 코드, 수동화 코드 등 존재
  ※ RUN/my_package에는 python 사용자 모듈 코드 존재
- DATA 디렉터리 : 관측 자료의 기후값, 아노말리 nc 파일 저장 경로
- NCL 디렉터리 : 그림 생성을 위한 ncl 코드 저장 경로
- FIG 디렉터리 : eps, png 그림파일 생성을 위한 저장 경로

Table C18. List of program codes and packages in the new climate monitoring system.

RUN	개별 프로그램 실행 코드
NCEP1	NCEP.yaml, NCEP.py
CPC PRCP	CPC_PRCP.yaml, CPC_PRCP.py
NOAA OLR	NOAA_OLR.yaml, NOAA_OLR.py
NOAA OISST	OISST.yaml, OISST.py
crontab 용	run4crontab_week.py, run4crontab_season.py, run4crontab_month.py
사용자 용	run4user.py
기타	update_check.py
RUN/my_package	**사용자 모듈 코드**
기후값, 아노말리	calc_daily.py
nc 파일	nc_out_daily.py
ncl 파일	ncl_NCEP.py, ncl_CPC_PRCP.py, ncl_NOAA_OLR.py, ncl_OISST.py
기타	check_dates.py, run_command.py

DATA, NCL, FIG 디렉터리를 변경하기 위해서는 아래와 같이 RUN 디렉터리의 개별 프로그램(예, NCEP.py)을 열어 수정 가능하다. 사용자 지정 디렉터리를 ${USER}라고 하면, 실행 디

렉터리는 아래과 같으며, ncout_path (DATA), ncl_path (NCL), ncl_figure (FIG) 경로를 수정한다.

■ 실행 디렉터리

```
${USER}/CMS/RUN
```

■ DATA, NCL, FIG 디렉터리 변경(예, NCEP.py)

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

# Select plot type in NCL
ncl_ptype = "x11"
#ncl_ptype = "eps"      # for convert eps to png

# "daily mean climatology" and "daily mean anomaly" NetCDF files path
ncout_path = "${USER}/CMS/DATA/"

# NCL codes directory path
ncl_path = "${USER}/CMS/NCL/"

# NCL figures directory path
ncl_figure = "${USER}/CMS/FIG/"

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

또한, 화면상으로 그림을 출력(display)하기 위해서는 위 코드의 ncl_ptye을 “x11” 으로, png 그림파일로 저장하기 위해서는 ncl_ptye를 “eps” 로 수정하면 된다.

4. 기후감시 시스템 실행

4.1 개별 프로그램 실행

관측 자료별 개별 프로그램을 실행하기 위해서는 먼저 해당 관측 자료의 자료명, 자료경로, 파일명, 변수명, 기후값 기간, 기후감시 기간을 yaml 파일에 입력을 해주어야 한다. 사용자의 실행 디렉터리(RUN 디렉터리)에 있는 관측 자료별 yaml 파일을 수정한다. 여기서는 NCEP 자료에 대해 예시를 보여주고 나머지 관측 자료에 대한 yaml 파일은 뒤에 나열되어 있다.

(1) 실행 디렉터리로 이동 및 NCEP.yaml 열기

```
]$ cd ${USER}/CMS/RUN
]$ vi NCEP.yaml
```

(2) NCEP.yaml 변경

```
DataList:

  - Source_name    : NCEP_SFC
    Source_path    : /apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP1/Daily/surface_gauss/air.2m/
```

```
    File_name       : air.2m.gauss.%s.nc
    Variable_name : air
    Climate_sdate : 1983-01-01
    Climate_edate : 2010-12-31
    Recent_sdate   : 2019-09-01
    Recent_edate   : 2019-09-30

  - Source_name    : NCEP_SFC
    Source_path    : /apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP1/Daily/surface_gauss/uwnd.10m/
    File_name       : uwnd.10m.gauss.%s.nc
    Variable_name : uwnd
    Climate_sdate : 1983-01-01
    Climate_edate : 2010-12-31
    Recent_sdate   : 2019-09-01
    Recent_edate   : 2019-09-30

  - Source_name    : NCEP_SFC
    Source_path    : /apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP1/Daily/surface_gauss/vwnd.10m/
    File_name       : vwnd.10m.gauss.%s.nc
    Variable_name : vwnd
    Climate_sdate : 1983-01-01
    Climate_edate : 2010-12-31
    Recent_sdate   : 2019-09-01
    Recent_edate   : 2019-09-30

  - Source_name    : NCEP
    Source_path    : /apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP1/Daily/pressure/air/
    File_name       : air.%s.nc
    Variable_name : air
    Climate_sdate : 1983-01-01
    Climate_edate : 2010-12-31
    Recent_sdate   : 2019-09-01
    Recent_edate   : 2019-09-30

  - Source_name    : NCEP
    Source_path    : /apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP1/Daily/pressure/hgt/
    File_name       : hgt.%s.nc
    Variable_name : hgt
    Climate_sdate : 1983-01-01
```

사용자가 실행을 원하는 변수를 선택하여(넣거나 뺄 수 있음) 형식에 맞게 수정한다(위 예제는 NCEP 기후감시 정보를 생산하기 위한 모든 리스트임). yaml 파일의 파일명에서 “%s” 부분은 python 코드에서 연도가 들어가는 부분으로 NCEP의 일별 자료가 모두 연도별로 구분이 되어 있기 때문이다.

yaml 파일 수정 후, NCEP.py python 코드를 실행하면 기후감시 정보가 생산된다. 여기서 3.3절에 기술하였듯이, 그림의 화면출력, png 파일 생성을 선택할 수 있고, DATA, NCL, FIG 디렉터리도 변경이 가능하다.

(3) NCEP.py 실행

```
]$ python NCEP.py
```

나머지 관측 자료에 대한 yaml 파일은 아래와 같이 나열하였다.

■ CPC_PRCP.yaml

```
DataList:

  - Source_name    : CPC_PRCP
    Source_path    : /apccdb/Observation/Grid/CPC_GLOBAL_PRECIP/
    File_name      : precip.%s.nc
    Variable_name  : precip
    Climate_sdate  : 1983-01-01
    Climate_edate  : 2010-12-31
    Recent_sdate   : 2019-09-01
    Recent_edate   : 2019-09-30
```

■ NOAA_OLR.yaml

```
DataList:

  - Source_name    : NOAA_OLR
    Source_path1   : /apccdb/Observation/Grid/NOAA_OLR/Daily/interp_OLR/
    Source_path2   : /apccdb/Observation/Grid/NOAA_OLR/Daily/uninterp_OLR/
    File_name      : olr.day.mean.nc
    Variable_name  : olr
    Climate_sdate  : 1983-01-01
    Climate_edate  : 2010-12-31
    Recent_sdate   : 2019-09-01
    Recent_edate   : 2019-09-30
```

■ OISST.yaml

```
DataList:

  - Source_name    : OISST
    Source_path    : /apccdb/Observation/Grid/OISST/Daily/sst/
    File_name      : sst.day.mean.%s.nc
    Variable_name  : sst
    Climate_sdate  : 1983-01-01
    Climate_edate  : 2010-12-31
    Recent_sdate   : 2019-09-01
    Recent_edate   : 2019-09-30
```

4.2 수동화 프로그램 실행(특정기간 입력의 경우)

수동으로 특정기간을 입력하여 기후감시 시스템을 실행하기 위해서는 사용자의 실행 디렉터리(RUN 디렉터리)에 있는 “run4user.py” 코드를 사용한다. 이 코드의 기후값 기간, 특정기간을 연도, 월, 일로 입력을 하고 실행을 하면 그림이 생성된다.

(1) 실행 디렉터리로 이동 및 run4user.py 열기

```
]$ cd ${USER}/CMS/RUN
]$ vi run4user.py
```

(2) run4user.py의 기후값 기간, 특정기간 변경

```
#--------------------------------------
# User defined
# Climatology and recent period

clim_start_date     = "1983-01-01"
clim_end_date     = "2010-12-31"
recent_start_date  = "2019-05-16"
recent_end_date    = "2019-05-22"

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

(3) run4user.py 실행

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

4.3 자동화 프로그램 실행(오늘 날짜를 읽어 실행)

자동으로 기후감시 시스템을 실행하기 위해 APCC 홈페이지의 “기후현황-최근기후”에 업로드 되는 시간범위(주별, 월별, 계절별)에 따라 오늘 날짜를 자동으로 읽어 실행이 되는 자동화 코드 3개를 작성하였다. 해당 시간범위에 따라 선택하여 사용자의 실행 디렉터리(RUN 디렉터리)에서 실행을 해주면 되고, 만약 사용자가 crontab에서 자동으로 실행되도록 하고 싶다면 crontab 스크립트에 매월 언제 실행할지를 정해서 crontab 스크립트에 해당 python 코드를 넣어주면 된다. 이 자동화 코드에서는 기후값 기간만 사용자가 변경하면 되도록 작성되어 있으며, 오늘 날짜를 읽어 지난 주, 지난 월, 지난 계절에 대한 기후감시 정보를 자동으로 생산하게 된다.

(1) 실행 디렉터리로 이동 및 해당 코드 열기

```
]$ cd ${USER}/CMS/RUN
]$ vi run4crontab_week.py
또는
]$ vi run4crontab_month.py
또는
]$ vi run4crontab_season.py
```

(2) 해당 코드의 기후값 기간 변경

```
#--------------------------------------
# User defined : Climatology period

clim_start_date     = "1983-01-01"
clim_end_date       = "2010-12-31"

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

(3) 해당 코드 실행

```
]$ cd ${USER}/CMS/RUN
]$ vi run4crontab_week.py
또는
]$ vi run4crontab_month.py
또는
]$ vi run4crontab_season.py
```

5. 사용자 편의를 위한 기타내용

5.1 관측 자료의 기간 오류 알림

기후감시 시스템에 사용되는 관측 자료는 매일 업데이트가 되고 있으나, 제공하는 해당 기관에 따라 수일~일주일 정도 늦게 업데이트가 될 수 있다. 따라서 최근 기후감시 정보를 생산하기 위해 최근 시작 및 끝 날짜를 입력하게 되는데 자료의 늦은 업데이트로 인해 시스템이 실행되지 않고 에러를 출력하고 멈추게 된다. 이를 위해 각 관측 자료별 프로그램에 끝 날짜를 체크하도록 하여 사용자가 자료를 확인할 수 있도록 하였고, 별도의 자료 업데이트를 체크할 수 있는 코드도 함께 제공하였다.

■ 기간의 끝 날짜에 해당하는 자료가 없을 시 오류 알림 메세지

```
=================================================================
The "recent_end_date" and source file's end date is not maching!!!
The source file's end date is 2019-11-14.
Please modify "recent_end_date"!!!
=================================================================
```

■ 관측 자료의 업데이트 여부를 확인할 수 있는 코드 제공 : 사용자의 실행 디렉터리(RUN 디렉터리)에서 “update_check.py” 실행

```
]$ cd ${USER}/CMS/RUN
]$ python update_check.py
=================================================================
 APCCDB directory path
 /apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP1/Daily/surface_gauss/air.2m/
=================================================================
 Starting date = 1948-01-01 00:00:00
 Ending date   = 2019-11-15 00:00:00
=================================================================

=================================================================
 APCCDB directory path
 /apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP1/Daily/pressure/air/
=================================================================
 Starting date = 1948-01-01 00:00:00
 Ending date   = 2019-11-15 00:00:00
=================================================================

=================================================================
 APCCDB directory path
 /apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP1/Daily/pressure/hgt/
=================================================================
```

```
 Starting date = 1948-01-01 00:00:00
 Ending date   = 2019-11-15 00:00:00
================================================================


================================================================
 APCCDB directory path
 /apccdb/Observation/Grid/NOAA_OLR/Daily/uninterp_OLR/
================================================================
 Starting date = 2002-01-01 00:00:00
 Ending date   = 2019-11-14 00:00:00
================================================================

================================================================
 APCCDB directory path
 /apccdb/Observation/Grid/CPC_GLOBAL_PRECIP/
================================================================
 Starting date = 1979-01-01 00:00:00
 Ending date   = 2019-11-14 00:00:00
================================================================

================================================================
 APCCDB directory path
 /apccdb/Observation/Grid/OISST/Daily/sst/
================================================================
 Starting date = 1981-09-01 00:00:00
 Ending date   = 2019-11-14 00:00:00
================================================================

================================================================
 APCCDB directory path
 /apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP2/Monthly/pressure/
================================================================
 Starting date = 1979-01-01 00:00:00
 Ending date   = 2019-10-01 00:00:00
================================================================
```

5.2 NCL 그림 수정

앞 3.2절에서 기술한 바와 같이 DATA 디렉터리에는 nc 파일이 저장되고, NCL 디렉터리에는 ncl 파일이 저장되게 되는데, 여기 NCL 디렉터리에 저장된 ncl 파일을 실행하면 사용자 설정에 따라 그림 화면출력 또는 png 파일 생성으로 바로 확인을 할 수가 있다. 따라서 그림을 수정하거나 개선하기 위해 기후감시 시스템의 python 사용자 모듈을 직접 수정하지 않고 NCL 디렉터리에 있는 ncl 코드를 수정하면 간단하게 확인이 되기 때문에 사용자가 쉽게 그림을 수정할 수 있게 된다. 이렇게 수정된 ncl 코드를 최종적으로 RUN/my_package 디렉터리에 있는 python 사용자 모듈에 적용하면 전체 기후감시 시스템의 그림이 수정되게 된다.

부록 D. SCoPS ARGO 자료 전처리 관련 운영 매뉴얼

Ⅰ. ARGO 자료interpolation (Python 버전)

- 기존 Matlab 버전(ii)에서 Python 코드로 변환 후 생산 예정
- APCC HPC 의 Python 모듈과 ncl 모듈 로드

```
module load python/3.7.1-anaconda
  ※ 사용자 계정의 환경설정에서 이미 로드가 되어 있으면 불필요함
```

작업위치 : /lfs/apccgb/output/scops/data/programs/SCOPS_init/

SCOPS_init/RUN → Python 주 프로그램 경로
- DATE.yaml : 연도, 월, 시작하는 날짜, 종료하는 날짜
- init_ARGO_loop.py : Python 프로그램

SCOPS_init/RUN/my_funtion → Python 모듈 경로
- fldo1.nc : POP 위경도 자료
- WOD_levs.txt : POP 해양 연직 level 자료
- SW_DPTH.py : 수압(pressure)을 수심(depth)으로 변환하는 모듈
- CAL_WGT.py : 위경도 weighting 모듈
- ETC.py : 기타 Python 모듈 (주어진 문자열이 NaN 인지 체크)
- nc_out.py : NetCDF(nc) 파일 생성 모듈

SCOPS_init/DATA → 생산자료 저장 경로
- ※binary 와 NetCDF(nc) 파일로 저장

SCOPS_init/NCL → NCL 그림 프로그램 경로
- plot_bin_each_ocean.ncl : 3 개 대양에 대한 그림 생성(binary 파일 입력)
- plot_bin_3oceans.ncl : 전체 해양에 대한 그림 생성(binary 파일 입력)
- plot_nc_each_ocean.ncl : 3 개 대양에 대한 그림 생성(nc 파일 입력)
- plot_nc_3oceans.ncl : 전체 해양에 대한 그림 생성(nc 파일 입력)

- APCC 연도, 월, 시작하는 날짜, 종료하는 날짜 입력

```
cd / lfs/apccgb/output/scops/data/programs/SCOPS_init/RUN
vi DATE.yaml
```

[DATE.yaml] : 1 개월

```
DataList:
  - Set_year   : 2020        → 연도
    Set_month  : 01          → 월
    Start_day  : 01          → 시작일
    End_day    : 31          → 종료일
```

- 실행하고자 하는 연도, 월, 일 수정
- 월 단위로 입력을 할 수 있으며, 복사해서 여러 개월을 입력할 수도 있음 (월 단위로 loop 수행됨)

[DATE.yaml] : 수 개월 (예시 2 개월)

```
DataList:
  - Set_year   : 2020        → 연도
    Set_month  : 01          → 월
    Start_day  : 01          → 시작하는 일
    End_day    : 31          → 끝나는 일

- Set_year     : 2020        → 연도
    Set_month  : 02          → 월
    Start_day  : 02          → 시작하는 일
    End_day    : 29          → 끝나는 일
```

- 주 프로그램의 INPUT, OUTPUT 경로 수정

```
vi init_ARGO_loop.py
```

[init_ARGO_loop.py]

```
import yaml
import os
import numpy as np
import xarray as xr
from my_function import ETC, SW_DPTH, CAL_WGT, nc_out
#============================================================
# User defined
# ARGO data input directory
argo_indir = "/lfs/apccgb/output/scops/data/programs/argo_data/"          → INPUT 경로
# Output directory
argo_outdir = "/lfs/apccgb/output/scops/data/programs/SCOPS_init/DATA/"   → OUTPUT 경로
# Ocean list
ocean_list = ["pacific", "atlantic", "indian"]
#============================================================
```

• ARGO 자료의 INPUT 경로와 프로그램 수행 후 파일이 저장되는 OUTPUT 경로 수정

• 주 프로그램 실행

```
python init_ARGO_loop.py
```

• binary 파일의 자료 확인을 위한 그림 파일 생성 프로그램(NCL) 수행

```
cd /lfs/apccgb/output/scops/data/programs/SCOPS_init/NCL
vi plot_bin_each_ocean.ncl
```

[plot_bin_each_ocean.ncl]

```
load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_code.ncl"
load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_csm.ncl"
load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/contributed.ncl"
begin
;================================================================
; read binary data
; pacific
  infile1 = "/lfs/
apccgb/output/scops/data/programs/SCOPS_init/DATA/bin/pacific/2020/01/ARGO_pacific20200101.dat"
   → 태평양 binary INPUT 파일 경로 및 파일명
; atlantic
    infile2 = "/lfs/
apccgb/output/scops/data/programs/SCOPS_init/DATA/bin/atlantic/2020/01/ARGO_atlantic20200101.dat"
   → 대서양 binary INPUT 파일 경로 및 파일명
; indian
    infile3 = "/lfs/
apccgb/output/scops/data/programs/SCOPS_init/DATA/bin/indian/2020/01/ARGO_indian20200101.dat"
    → 인도양 binary INPUT 파일 경로 및 파일명
```

• 태평양, 대서양, 인도양의 binary 파일 INPUT 경로 수정

```
vi plot_bin_3oceans.ncl
```

[plot_bin_3ocean.ncl]

```
load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_code.ncl"
load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_csm.ncl"
load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/contributed.ncl"

begin

;================================================
; read binary data

    indir = "/lfs/apccgb/output/scops/data/programs/SCOPS_init/DATA/bin/3oceans/2020/01/"
    → 전체 해양 binary INPUT 파일 경로

    fname = "ARGO_20200101.dat"          → binary INPUT 파일명
```

- 전체 해양의 binary 파일 INPUT 경로 수정
- NetCDF(nc) 파일의 자료 확인을 위한 그림 파일 생성 프로그램(NCL) 수행

```
cd /lfs/apccgb/output/scops/data/programs/SCOPS_init/NCL
vi plot_nc_each_ocean.ncl
```

[plot_nc_each_ocean.ncl]

```
load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_code.ncl"
load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_csm.ncl"
load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/contributed.ncl"

begin

;================================================================
; NetCDF data

; pacific
    infile1 = addfile("/lfs/
apccgb/output/scops/data/programs/SCOPS_init/DATA/nc/pacific/2020/01/ARGO_pacific20200101.nc","r")
    → 태평양 nc INPUT 파일 경로 및 파일명
; atlantic
    infile2 = addfile("/lfs/
apccgb/output/scops/data/programs/SCOPS_init/DATA/nc/atlantic/2020/01/ARGO_atlantic20200101.nc","r")
    → 대서양 nc INPUT 파일 경로 및 파일명
; indian
    infile3 = addfile("/lfs/
apccgb/output/scops/data/programs/DATA/nc/indian/2020/01/ARGO_indian20200101.nc","r")
    → 인도양 nc INPUT 파일 경로 및 파일명
```

• 전체 해양의 nc 파일 INPUT 경로 수정

```
vi plot_nc_3oceans.ncl
```

[plot_nc_3ocean.ncl]

```
load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_code.ncl"
load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_csm.ncl"
load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/contributed.ncl"

begin

;================================================================
; NetCDF data

    infile = addfile("/lfs/
apccgb/output/scops/data/programs/SCOPS_init/DATA/nc/3oceans/2020/01/ARGO_20200101.nc","r")
    → 전체 해양 nc INPUT 파일 경로
```

• 전체 해양의 nc 파일 INPUT 경로 수정