

APCC 기후예측시스템 개선

Improvement of the APCC Operational Climate Prediction System

이우섭, 민영미, 신선희, 이윤영, 손수진, 오상명, 이현주, 정다은 기후예측팀

이성규 정보서비스팀

발간사

APCC는 현재 일어나고 있는 극한 기상 및 기후현상들을 파악하고, 월별, 계절별 예측정보를 생산하고 있으며, 예측정보의 정확도 향상을 위해 예측기술에 대한 개선 및 개발을 수행하고 있다. 기후예측팀은 현재 과학기술이 제공할 수 있는 최첨단의 예측기법을 적용함으로써 신뢰도 높은 기후예측정보를 생산하는 것을 최우선으로 하고 있다. 따라서 APCC 기후예측 시스템의 효율적인 운영을 위해서는 기후예측시스템 운영체계의 구조개선 및 자동화, 최신 소프트웨어 적용 등을 통해 보다 안정적이고 효율적인 기후예측정보 생산체계 구축이 필요하다.

본 연구에서는 APCC 기후예측 시스템의 효율적인 운영을 위해 기후예측시스템 운영체계의 구조개선 및 자동화, 최신 소프트웨어 적용등을 통해 보다 안정적이고 효율적인 기후예측정보를 생산체계를 구축하고, 다중모델 앙상블 및 개별모형의 특성 분석을 통해 MME 예측성의 원인을 분석하여, 전구 및 동아시아 겨울철 예측력을 개선하고자 한다. 또한 예측정보의 불확실성 및 편이에 대한 재해석을 통해 지역특성에 맞게 재해석할 수 있는 분석 지침을 마련하고자 한다.

본 연구의 결과는 APCC 기후예측 시스템의 효율적인 운영과 예측 시스템의 현재 수준 및 한계점 등을 파악하여 향후 이를 개선하는데 활용될 수 있을 것이며, 또한 우리나라 계절예보의 예측성 향상에 기여할 수 있을 것이라 판단된다.

끝으로 본 연구를 수행한 민영미 박사, 손수진 박사, 신선희 박사, 이성규 박사, 이윤영 박사, 이우섭 박사, 오상명 연구원, 이현주 연구원, 정다운 연구원에

A P E C C L I M A T E C E N T E R

게 감사를 표합니다. 또한 외부자문위원으로 참여해주신 한양대학교 예상욱 교수와 포항공과대학교 국종성 교수께 깊은 감사드립니다.

2018년 3월
APEC 기후센터
원장 정 홍 상

ABSTRACT

This project was designed to improve the stability, predictability, and utilization of the APEC Climate Center (APCC) seasonal forecasting system. For reasonable and efficient operation of the APCC seasonal prediction system, the preprocessing process, Hindcast, and forecast MME were improved and developed. The pre-processing is combined with the Automatic Forecast System (AFS) for operational efficiency, and the main program is developed to integrate pre-processing for the individual model. It is possible to operate the individual models simultaneously. Also pre-processing source code was corrected according to procedure and function naming conventions. To maintain and operate AFS more easily and conveniently, the scripts of run process and Multi-Model Ensemble (MME) models were improved, and the existing AFS 32-bit system was upgraded to new 64-bit system. The scripts of run process were migrated from Ruby script language to Python script language to eliminate maintenance problems such as compatibility issues due to Ruby version upgrades. Also, in order to improve the readability of NCAR Command Language (NCL) scripts in AFS, a Java-based NCL code beautifier was developed, and the source codes of MME models were thus improved. To analyze and improve the problems arising from differences between 32-bit and 64-bit architectures, the results of MME models (SCM: Simple Composite Method; GAUS: GAUSSian fitting method; MRG: Multiple Linear Regression; SSE: Synthetic Super Ensemble method; SPM: Stepwise Pattern projection Method) were compared. Results indicated that the SCM model was the same for both 32-bit and 64-bit architectures, but the MME models (except SCM) exhibited differing

results. In particular, the results of MRG and SSE models were significantly different. This is due to the underflow occurring in the calculation process of the Singular Value Decomposition (SVD) algorithm using the float data type.

This study also assessed the real-time one-month lead forecasts of three-month (seasonal) mean sea surface temperature (SST), temperature, and precipitation on a monthly basis issued by the APCC for 2016. The current level of the APCC operational multi-model prediction system performance is shown. On average, the level of real-time forecast skill during the period of 2016JFM–2016/17DJF is generally higher than that of Hindcasts (1982–2003) and the recent 8-year (2008–15) period, mainly due to the strong El Nino in 2015/16 boreal winter and global warming. Moreover, this study evaluated the prediction skill of monthly mean temperature over East Asia during the winter season, and the characteristics of extreme events forecasted by APCC MME. By analyzing the cause of low prediction skill, we tried to develop an APCC MME-based dynamical–statistical hybrid model. Two hybrid models were constructed. One is based on the relationship between the observed T2m and the large-scale key predictors forecasted by APCC MME, and the other is based on the dominant temperature modes that affect interannual variability of temperature over Korea. The MME hybrid models are more skillful than the APCC MME forecast models.

The final objective of this project is to provide tangible guides for easier manipulation and better interpretation of climate information from APCC MME so that APCC forecasters can produce more reliable climate predictions of temperature and rainfall in Korea. One product developed is a computing tool for the consolidated climate forecast of Korea (named CLIMT-K), which automatically updates information from the APCC MME verification and the relationship with ENSO/Cryosphere, comprehensively suggests tercile probability forecasts tailored for the Korean Peninsula, and freely provides easy access to final graphics. The tercile probability

forecast system built in CLIMT-K is based on past large-scale circulation resemblance, and it is superior to APCC PMME in category prediction for some target seasons and variables. The other product is guidance suggesting a table of maps of global temperature and precipitation from reanalysis and MME/individual model Hindcast data regressed onto climate indices, which have information about 1) the responses of atmospheric circulation to climate indices and 2) correlations between temperature and precipitation over Korea and climate indices.

목 차

1. 서론-----	1
2. AFS 현황 진단 및 개선-----	3
2.1 APCC 현업 시스템-----	5
2.2 AFS 현황 진단-----	8
2.2.1 전처리 과정 -----	8
2.2.2 Hindcast와 Forecast MME 현황 분석-----	10
2.3 AFS 개선-----	13
2.3.1 NCL Source Code Beautifier 개발-----	13
2.3.2 전처리 과정-----	16
2.3.3 Hindcast와 Forecast MME 개선-----	20
2.3.4 요약-----	27
3. 개별모델/MME 특성 분석 및 예측력 평가-----	30
3.1 2016/17년 실시간 예측에 대한 개별모델 및 MME 예측력 평가-----	30
3.1.1 2016/17년 연평균 기온 및 강수-----	30
3.1.2 2016/17년 개별모델/MME 예측성 평가-----	31

3.1.3 Hindcast 및 최근 실시간 예측과의 비교 -----	56
3.1.4 APCC MME 시스템의 발전 -----	59
3.1.5 요약 -----	62
3.2 동아시아 겨울철 기온 예측성 분석 및 예측 기술 개발 --	63
3.2.1 동아시아 겨울철 월별 기온 예측성 분석 -----	63
3.2.2 겨울철 이상 기후의 예측 특성 분석 -----	73
3.2.3 역학-통계 하이브리드 예측 기법 개발 -----	77
3.2.4 요약 -----	88
 4. 계절예보정확성 향상 및 해석의 편의성 제고를 위한 분석지침마련 -----	 90
4.1 분석 프로그램 및 지침서 개발 배경 -----	91
4.2 사용된 자료 및 방법론 소개 -----	96
4.2.1 자료 -----	96
4.2.2 방법론 -----	99
4.3 한반도 통합 예보를 위한 분석 프로그램(CLIMT-K) ---	107
4.3.1 CLIMT-K가 제공하는 정보 -----	107
4.3.2 과거 대규모 순환 패턴 기반 예측(PLCF)에 대한 검증 -----	114
4.4 기후 지수 관련 한반도 기온/강수 반응에 관한 지침서 -	120
4.4.1 한반도 기후와 관련된 기후 지수 선정 -----	120
4.4.2 기후 지수와 관련된 대기순환장 특성 -----	125
4.5 요약 및 시사점 -----	130
 5. 결론 및 토론 -----	 135

■ REFERENCES	138
■ APPENDIX 1	145
■ APPENDIX 2	238

LIST OF TABLES

Table 2.1. Description of participating models for APCC MME -----	4
Table 2.2. Preprocessing program -----	9
Table 2.3. User-defined NCL scripts -----	11
Table 2.4. Procedure and function naming conventions -----	14
Table 2.5. Procedure and function naming conventions -----	17
Table 2.6. Software used for improving AFS -----	21
Table 2.7. Summary of user-defined script -----	22
Table 2.8. RUN script options -----	24
Table 2.9. System environment for case study -----	24
Table 2.10. Compariosn of results of SCM and GAUS models -----	24
Table 2.11. Comparision of results of MRG and SSE models -----	26
Table 2.12. Computing environment for case study -----	26
Table 2.13. Comparison of results of SPM model -----	27
Table 2.14. Calculation results of SVD algorithm of each computing environment -----	28
Table 3.1. Description of participating models for APCC 6-month MME forecasts -----	32
Table 3.2. Description of participating models for 2016/17DJF APCC MME prediction -----	44
Table 3.3. Twelve standard regions for operational APCC verification system. ---	45

Table 3.4. ACCs for several regions (globe, tropics, East Asia, and South Asia) of APCC MME temperature prediction for each year (2008–16) -----	61
Table 3.5. Same as Table 3.4, except for precipitation -----	62
Table. 3.6. Cold and warm years obtained from observation for composite analysis. -----	73
Table 3.7. The number of cold and warm years obtained from observation and MME. -----	73
Table 4.1. Description of MME participating models -----	98
Table 4.2. Description of climate indices -----	105
Table 4.3. List of climate indices correlated with monthly temperature/precipitation over Korea at 95% confidence level. -----	122
Table 4.4. Specific seasons and categories showing superiority of PLCF compared to APCC PMME -----	131

LIST OF FIGURES

Figure 2.1. Forecast procedures and monthly time schedule at APCC based on multi-model ensemble system.	5
Figure 2.2. General structure of APCC climate prediction and information services	6
Figure 2.3. Relationship diagram of Ruby, NCL, and Fortran of AFS	10
Figure 2.4. Directory structure of AFS system	12
Figure 2.5. Flowchart of NCL source code beautifier algorithm	14
Figure 2.6. Usage of NCL source code beautifier	14
Figure 2.7. Case 1 of NCL source code beautifier	15
Figure 2.8. Case 2 of NCL source code beautifier	15
Figure 2.9. Diagram of preprocessing code.	17
Figure 2.10. A part of runPRE.py	18
Figure 2.11. Sample of Python script for individual model. for Pre-processing.	19
Figure 2.12. Directory structure of improved AFS system	21
Figure 2.13. Comparison of existing ruby-based script and new python-based script to operate AFS	22
Figure 2.14. Example of YAML data RUN	23
Figure 3.1. (a) Annual mean temperature anomalies for 2016. Categories are defined by the annual mean temperature anomaly against the normal divided by its standard deviation. The thresholds of each category are -1.28, -0.44, 0, +0.44, +1.28. The normal values and standard deviations are calculated from 1981–2010 statistics. (b) Annual total precipitation amount ratios for	

2016. Categories are defined by the annual precipitation ratio. The thresholds of each category are 70, 100, and 120%. The figures are extracted from Tokyo Climate Center (TCC) Newsletter (2017). ---- 31

Figure 3.2. Monthly evolution of equatorial Pacific SST departures (5°N – 5°S) from (a) observation and (b–j) APCC single-model predictions for the period Jan. 2013 – Dec. 2016. ----- 33

Figure 3.3. Same as Figure 3.2, except for MME at lead times of 1–6 months. --- 33

Figure 3.4. Monthly mean Nino 3.4 index from observation (black), APCC single-model (grey) and MME (red) for the upcoming 6 months at a different initial time for the period 2015JFMAMJ– 2015/16DJFMAM. ----- 36

Figure 3.5. Same as Figure 3.4, except for the period 2016JFMAMJ–2016/17DJFMAM. ----- 37

Figure 3.6. Time series of 3-month mean Nino 3.4 index from observation (red), APCC single-model (grey), and MME (black) for the period 2013JFM – 2016/17DJF at lead times of (a) 1 month and (b) 4 months. ----- 38

Figure 3.7. (a) The first-lead 3-month mean Nino 3.4 index from observation (red) and NCEP (blue), and (b) its errors (NCEP minus OBS) based on 29-year climatology (1982–2010) for the period 1982–2010. ----- 40

Figure 3.8. Same as Figure 3.7, except for two climatologies (1982–1998, 1999–2010; NCEP_2clm). ----- 40

Figure 3.9. Temporal correlation coefficient (TCC) of 3-month mean Nino 3.4 forecast anomalies from NCEP (dashed line), NCEP_2clm (contour line), and other participating models for (a) MAM, (b) JJA, (c) SON, and (d) DJF season as a function of lead time. ----- 41

Figure 3.10. Monthly evolution of equatorial Pacific SST departures (5°N – 5°S) from (a) observation, (b) NCEP, and (c) NCEP_2clm at a lead time of 1 month, for the period Jan. 2013 – Dec. 2016. ----- 41

Figure 3.11. 3-month mean Nino 3.4 forecast anomalies of NCEP (blue), and NCEP_2clm (red) with corresponding observation (black). A forecast trajectory is shown for start times spanning all 6 months. ----- 42

Figure 3.12. (a) TCCs and (b) mean absolute error (MAE) of 3-month mean Nino

3.4 forecast anomaly from NCEP (dashed line), NCEP_2clm (contour line), and other models (based on 29-year climatology) for the period 2013–2016 as a function of lead time. ----- 42

- Figure 3.13. Three-month mean anomalies of (a) temperature at 2m (T2m, shading) and geopotential height at 500 hPa (Z500, contour), (b) precipitation (PREC, shading) and u/v wind at 850 hPa (UV850), (c) sea level pressure (SLP), and (d) outgoing long-wave radiation (OLR) for 2016MAM. 46
- Figure 3.14. APCC MME forecast anomalies of (a) T2m, (b) Z500, (c) PREC, and (d) UV850 for 2016MAM. ----- 46
- Figure 3.15. Three-month mean anomalies of (a) T2m, (b) Z500, (c) OLR, and (d) PREC and UV850. (e) Monthly mean anomalies of Z500 (5880 gpm) for June, July, and August of 2016 (red contour-line) and climatology (blue dashed-line, 1981–2003). ----- 48
- Figure 3.16. Monthly mean Dipole Mode Index (DMI) for the period Oct. 2007–Sep. 2017. ----- 49
- Figure 3.17. Same as Figure 3.14, except for 2016JJA. ----- 49
- Figure 3.18. Same as Figure 3.14, except for 2016SON. ----- 52
- Figure 3.19. Artic sea ice extent (from: National Snow and Ice Data Center). 52
- Figure 3.20. Three-month mean anomalies of (a) T2m (shading) and Z500 (contour), (b) PREC (shading) and UV850 for 2016/17DJF. Monthly mean anomalies of (c) surface temperature (TSFC), (d) geopotential height at 300 hPa (Z300), and Z500 for December, January, and February. ----- 53
- Figure 3.21. Same as Figure 3.14, except for 2016SON. ----- 54
- Figure 3.22. Same as Figure 3.14, except for 2016/17DJF. ----- 54
- Figure 3.23. Heidke Skill Score (HSS) of 3-month mean APCC MME (a) temperature and (b) precipitation predictions for the period 2016JFM – 2016/17DJF. For comparison, hindcast skill (1983–2005) is also displayed. ---- 55
- Figure 3.24. Anomaly Pattern Correlation Coefficient (PCC) of the APCC single-model (symbols) and MME predictions (black solid line) for (a) global temperature and (b) precipitation for the period 2008JFM – 2016/17DJF. Dashed lines

indicate the average of all-single model's PCC. The values in the brackets are the PCCs of the MME predictions averaged over the whole period for each variable. ----- 58

- Figure 3.25. PCCs of APCC MME predictions for global and tropical (a) temperature and (b) precipitation for 2016JFM – 2016/17DJF (red line). For comparison, 23-year hindcast (black line) and recent 8-year real-time forecast PCCs (blue line) are also displayed. ----- 58
- Figure 3.26. (a) Number of participating models and its countries in APCC MME forecasts. PCCs of APCC MME forecasts of (b) global temperature and (c) precipitation for each year (2008–16). Relative skill difference are calculated by the difference between the recent 3-year (2014–2016) and the first 3-year (2008–2010) mean PCCs divided by the first 3-year mean PCCs. ----- 60
- Figure 3.27. Same as Fig. 3.26 b and c, except for Tropical region. ----- 61
- Figure 3.28. Prediction skill of Pattern Correlation Coefficient (PCC) of monthly-mean T2m in Global, Tropics, Asia and East Asia during (left panels) the period of hindcast (1983–2010) and (right panels) forecast (2010–2016). The gray bar and colored dots denote the MME and individual models. ---- 64
- Figure 3.29. Time series of PCC skill of monthly mean T2m for winter season over East Asia ----- 66
- Figure 3.30. (Upper) TCC skill for 1-month lead December, January, February-mean T2m obtained from MME for the period 1983–2010. Areas with black dots indicatd a 95% confidence level according to a student's t-test. (Lower). Monthly and seasonal mean TCC skill averaged over East Asia and Korea for winter season. The gray bar and colored dots denote the MME and individual models. ----- 66
- Figure 3.31. (Upper) Interannual variation of monthly mean normalized T2m anomalies averaged over Korea from observation (OBS, red line) and the ensemble mean of 9 multi-models (MME, blue line). Shading by sky blue denotes the range assessed from individual model values in MME. Dashed lines correspond to values of 0.5 and –0.5 stdandard deviation, respectively. (Lower) TCC of T2m anomaly over Korea during (left panels) the period

of hindcast (1983–2010) and (right panels) forecast (2010–2016). The gray bar and colored dots denote the MME and individual models. ----- 67

- Figure 3.32. Spatial pattern and principal component (PC) time series of the first and second EOF modes for December–January–February mean T2m in the entire EAWM domain. The numbers in parentheses on the top of the panels denote the contribution of the total variances, whereas the numbers on the top-right corners of the lower panels denote the correlation coefficient between the PC and T2m over Korea. ----- 69
- Figure 3.33. Same as Fig. 3.32, but for MME. ----- 71
- Figure 3.34. (Upper panels) PCC skill for eigenvector (ordinate) and TCC skill for the principal component time series for each temperature mode (abscissa) for December, January, February T2m over the EAWM domain. (Lower panels) The percentage variances that are accounted for by two temperature modes (ordinate) and the combined forecast skill score for the EV and PC for each mode (abscissa). ----- 72
- Figure 3.35. Composite maps of observed monthly-mean T2m, SLP, and Z500 for cold years during the period of 1983–2016. The significant values at 95% confidence level are indicated by thick black contour. ----- 74
- Figure 3.36. Same as Fig 3.35 except for MME. ----- 75
- Figure 3.37. Composite maps of observed monthly-mean T2m, SLP, and Z500 for warm years during the period of 1983–2016. The significant values at 95% confidence level are indicated by thick black contour. ----- 76
- Figure 3.38. Same as Fig 3.37 except for MME. ----- 76
- Figure 3.39. Schematic diagram illustrating the dynamic–statistical hybrid temperature prediction system. ----- 78
- Figure 3.40. Correlations of observed and APCC MME hindcast DJF SLP, T2m, T850 and Z500 with the observed T2m averaged over Korea. ----- 79
- Figure 3.41. Same as Fig.3.40 but for January. ----- 80
- Figure 3.42. Same as Fig.3.41 but for February. ----- 81
- Figure 3.43. Time series of the December–January–February monthly mean T2m

averaged over Korea obtained from observation (gray line), dynamic (blue line), and dynamic-statistical hybrid forecasts (red line) with 1-month lead time. ----- 83

Figure 3.44. Principal component (PC) time series of the first and second EOF modes for December mean T2m in the entire EAWM domain. The numbers on the top-left corners fo the panels denote the correlation coefficient between the PC and T2m over Korea. ----- 84

Figure 3.45. Same as Fig.3.44 except for January. ----- 85

Figure 3.46. Same as Fig.3.45 except February. ----- 86

Figure 3.47. Time series of the monthly mean T2m averaged over Korea obtained from observation (gray), dynamic (blue), and dynamic-statistical hybrid forecasts (red line) with 1-month lead time. ----- 87

Figure 4.1. An example of Sea Surface Temperature and El Niño Southern Oscillation (ENSO) Outlooks of APEC Climate Center ----- 95

Figure 4.2. A diagram of the information that CLIMT-K is providing. ----- 95

Figure 4.3. Distribution of the 61 ASOS stations used in this study ----- 97

Figure 4.4. Graphical User Interface (GUI) of CLIMT-K [A case of March 2017] --- 101

Figure 4.5. Internal procedure of CLIMT-K ----- 102

Figure 4.6. A screen shot of the webpage displaying CLIMT-K products [A case of October 2017] ----- 103

Figure 4.7. Verification of APCC MME hindcast prediction of Korean Peninsula for the near surface temperature (T2m): (top left) timeseries and (top right) scatter plot/regression analysis between DMME and observation, (bottom left) tercile probability and category correction of past PMME and (bottom right) scatter plot between probability and observation for three categories [A case of October 2017] ----- 108

Figure 4.8. Verification of deterministic hindcast T2m predictions in individual models utilizing scatter plot, TCC and MSSS [A case of October 2017] -- 109

Figure 4.9. (Left) Timeseries analysis of ENSO indices and scatter plot analysis of precipitation between DMME and observation for (center) El Nio years

and (right) La Niña years. All past years are divided into two groups, they are El Niño and La Niña, based on the sign of (top) target month Niño3.4, (middle) last winter ONI and (bottom) upcoming winter ONI. The closed black circles denote the years when El Niño/La Niña intensity exceeds 0.8. The hatching indicates the range of NN in the observation. [A case of October 2017] ----- 110

Figure 4.10. (Left) Temporal correlation analysis between target month temperature and leading Niño3.4 index and scatter plot analysis between two for (center) the target month and (right) the leading month having largest amplitude of correlation coefficients. Niño3.4 is derived from either of (top) the observation and (bottom) the prediction. Linear and second-polynomial lines are displayed as green and navy dashes, but solids only for the case with 95% confidence. [A case of October 2017] ----- 111

Figure 4.11. (Top) Temporal correlation analysis between target month precipitation and leading cryosphere signals (SIE index and four SCE indices) and scatter plot analysis between two for the leading month having the largest amplitude of coefficients out of (middle) the leading 6 to 1 months and (bottom) the leading 12–7 months. Linear and second-polynomial lines are displayed as green and navy dashes, but solids only for the case with 95% confidence. [A case of October 2017] ----- 112

Figure 4.12. (First columns) Spatial pattern of 500 hPa height (z500) and 850 hPa meridional winds (V850) for the target year/month derived from APCC DMME near Korean Peninsula, (second columns) box-whisker diagram of observed temperatures of the years having similar z500 and V850 pattern with the target year/month, (third columns) probability distribution parameterized by the mean and the variance for individual models and their average, and (fourth columns) resultant tercile probability of Korean Peninsula near surface temperature for target year/season. [A case of October 2017] ----- 113

Figure 4.13. Tercile probability forecasts for the Korean Peninsula precipitation from (1st column) APCC PMME, CLIMT-K (second column) PLCF-z500 and (third column) PLCF-V850, (fourth column) the empirical information

	combining individual model performances and the relation with ENSO and cryosphere signals [A case of October 2017] -----	114
Figure 4.14.	Success Rate of (a) near surface temperature (T2m) and (b) precipitation (prec) forecast produced by PLCF for four seasons -----	115
Figure 4.15.	Hit Rate, False Alarm rate, ROC plot of near surface temperature (T2m) produced by PLCF for four seasons -----	116
Figure 4.16.	Hit Rate, False Alarm rate, ROC plot of precipitation (prec) produced by PLCF for four seasons -----	117
Figure 4.17.	Reliability diagram of near surface temperature (2tm) forecast produced by PLCF. Small circles indicate the case when the sample size is too small to represent the reliability. -----	118
Figure 4.18.	Reliability diagram of precipitation (prec) forecast produced by PLCF. Small circles indicate the case when the sample size is too small to represent the reliability. -----	119
Figure 4.19.	Monthly correlation coefficients between climate indices calculated from reanalysis and MME hindcast data. Red colored bars indicate correlation coefficients which are significant at 90% confidence level. -----	120
Figure 4.20.	Regressed precipitation anomalies from (a) reanalysis and (b) MME hindcast data onto Niño3.4 in December. (c), (d) Same as (a) and (b) but for sea level pressure anomaly. Correlation coefficients between precipitation over Korea and Niño3.4 are on the top left of the maps (a) and (b). -----	127
Figure 4.21.	Regressed temperature at 2m anomaly in (a) reanalysis and (b) MME hindcast data onto AO in January. (c), (d) same as (a) and (b) but for geopotential height anomaly at 500 hPa. Correlation coefficients between temperature over Korea and AO is on the top left of the maps (a) and (b). -----	129
Figure 4.22.	Value of CLIMT-K for the consolidated forecast -----	130

1. 서론

APCC 설립당시부터 이어져 온 기관의 미션은 기후예측을 통해서 아시아·태평양지역에 공헌하는 것이다. 기후예측은 센터내에서도 가장 오래된 연구분야이며, 기후예측과 관련된 연구들은 2006년 설립초기부터 현재까지 APCC의 가장 중요한 연구로 꾸준히 진행되어 왔다. APCC는 현재 일어나고 있는 극한 기상 및 기후현상들을 파악하고, 월별, 계절별 예측정보를 생산하고 있으며, 예측정보의 정확도 향상을 위해 예측기술에 대한 개선 및 개발을 수행하고 있다. 기후예측팀은 현재 과학기술이 제공할 수 있는 최첨단의 예측기법을 적용함으로써 신뢰도 높은 기후예측정보를 생산하는 것을 최우선으로 한다. 따라서 APCC 기후예측 시스템의 효율적인 운영을 위해서는 기후예측 시스템 운영체계의 구조개선 및 자동화, 최신 소프트웨어 적용 등을 통해 보다 안정적이고 효율적인 기후예측정보 생산체계 구축이 필요하다.

기후예측시스템의 개선과 더불어, 다중모델 앙상블 예측에 참여하는 개별모델의 특성 파악과 예측력 검증도 매우 중요하다. APCC는 매년 예측한 실시간 MME 예측정보를 객관적으로 평가하고, 문제점을 진단해왔다. APCC MME의 현재수준을 파악하고 분석하기 위해서는 MME 예측력 및 개별모델의 특성 분석을 통해 APCC MME 예측력의 원인을 분석하여, 이를 MME 예측성 개선에 활용되어야만 한다.

기후예측정보는 의사결정과 밀접하게 연결되어 있기 때문에, 기후모형 체계 안에서 사용자가 어느 정도의 불확실성을 인지하더라도 예측 정보의 활용 가치에 대한 객관적 정보를 생산·개발·개선해야만 한다. 가장 최신의 역학 모형이라고 할지라도 그 예측력에는 한계가 있으며, 최종 수요자가 오롯이 모형 결과만을 이용하여 유용한 의사결정을 내릴 수준의 정확도를 가지고 있지는 않다. 따라서 지역기후와 관련한 역학적 구조에 대한 깊이 있는 분석과 모형 예측 정보의 불확실성·편이에 대한 재해석이 필요하다. 또한, 기후예측정보가 의사결정에 기여하고 정책에 활용되기 위해서는, 정확한 기후예측정보를 생산하는 것과 더불어 예측정보를 지역에 맞게 재해석할 수 있도록 분석지침을 마련해야 한다.

본 과제에서는 신뢰도 높은 기후예측정보를 생산·제공을 목표로 수행된 다양한 결과들을 세 개의 큰 주제로 구분하여 제시하였다. 2장에는 예측기술에 대한 지속적인 개

발 및 개선에 대한 내용을 서술하였으며, 3장은 개별모형 및 다중모형 앙상블 예측자료에 대한 모형 특성 분석 및 예측성 평가에 대해 논의되었다. 마지막으로 4장에는 한반도 기온 및 강수의 계절예측정보를 향상시키기 위한 모형자료 재해석 및 운영지침에 대한 내용을 기술하였다.

2. AFS 현황 진단 및 개선

APEC 기후센터(APCC)는 WMO 선도센터(WMOLC), 유럽중기기후예측센터(European Center for Medium Range Weather Forecasts, ECMWF), 국제기후예측연구소(IRI), NCEP등과 더불어 전지구 규모의 기후예측정보를 생산하고, 서비스하고 있다. APCC는 2005년 설립 이후, 장기 계절예측기술 개발 및 개선에 많은 노력을 기울여왔다. APCC의 계절예측정보는 10개 국가의 주요 기후센터 및 연구기관으로부터 17개의 모델 예측정보를 기반으로 만들어 지며, 월평균, 계절평균(3개월), 최대 6개월까지의 기후예측정보를 제공하고 있다(표 2.1). APCC에서는 각 기관들의 기후예측정보를 이용하여, 최상의 예측정보를 제공하기 위해 MME 기법을 개발하였으며, 이를 현재까지 이용하고 있다. MME는 개별 모형간의 불확실성을 최소화하여, 단일 모형의 예측결과에 비해 향상된 예측성을 보여준다(Krishnamurti et al., 1999; Shukla et al., 2000; Wang et al., 2004).

하지만 현재 APCC MME 예측시스템은 설립 초기에 만들어진 AFS(Automated Forecast System; APCC 2008)를 근간으로 상황에 따라 부분적으로 개선되어 왔기 때문에, 최근 새로 개발된 예측시스템(SST/ENSO 예측시스템, 검증시스템) 및 새로운 참여모델 결과를 통합하고 사용자에게 필요한 새로운 정보를 생산하기에는 시스템의 효율성과 유연성이 떨어지는 실정이다. 또한 지속적으로 발전되고 있는 컴퓨팅성능에 비해 현재 AFS는 계속 발전하고 있는 최신의 자료를 처리하기에 한계점이 있다. 또한 최신 소프트웨어의 개발로 인해 이전 소프트웨어의 단종도 커다란 문제점으로 대두되고 있다. 차세대 AFS를 설계, 구축 및 운영하기 위해서는 기존의 운영 방식과 설계방식을 대체해야하고, 새로운 소프트웨어와 시스템의 통합이 이루어져야 된다.

따라서 제 2장에서는 기존 AFS 시스템 중에서 전처리과정, MME(Multi-Model Ensemble) 분석과정의 현황을 진단하고, 최신 하드웨어와 소프트웨어로 이전하는 과정 및 진행사항에 대하여 서술하고자 한다. 이를 통해, 안정적이고 체계적인 현업운영 시스템을 구축하고, 계절예측자료를 기반으로 한 다양한 연구들을 위한 APCC 서비스를 개선하는데 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

Table 2.1. Description of participating models for APCC MME

Model	Organization/country	Resolution	Ensemble size (H/F)	References
CCSM3 ^a	APCC/Korea	T85L26	10/10	Jeong et al. (2008)
BCC ^b	BCC/China	T42L18	8/8	Ding et al. (2000)
CMCC ^c	CMCC/Italy	T63L19	9/9	Alessandri et al. 2010
COLA ^d	COLA/USA	1.875°×1.865°, L18	10/10	Collins et al. (2006)
CWB ^e	CWB/Chinese Taipei	T42L18	10/10	Liou et al. (1997)
GloSea5 ^f	KMA ^g /Korea	0.83°×0.56°, L85	12/42	Kang et al. (2011)
HMC ^h	HMC/Russia	1.125°×1/1.406°, L28	10/10	Trosnikov et al. (2005)
IRI ⁱ	IRI/USA	T42L19	24/24	Barnston et al. (2003)
JMA ^j	JMA/Japan	T95L40	5/51	Takaya et al. (2010)
MGO ^k	MGO/Russia	T42L14	6/10	Shneerov et al. (2002)
CANCM3 ^l	MSC ^m /Canada	T63L31	10/10	Scinocca et al. (2008)
CANCM4 ⁿ	MSC/Canada	T63L31	10/10	Merryfield et al. (2013)
GMAO ^o	NASA ^p /USA	288×181 grid L72	11/11	Molod et al. (2012)
CFSv2 ^q	NCEP/USA	T62L64	20/20	Saha et al. (2014)
PNU ^s	PNU/Korea	T42L18	5/5	Ahn and Kim (2013)
POAMA ^t	BOMu/Australia	T47L17	33/33	Lim et al. (2012)
GloSea5 ^f	UKMOv/United Kingdom	1.875°×1.25°, L85	12/42	MacLachlan et al. (2015)

^aCommunity Climate System Model Version 3,^bBeijing Climate Center^cCentro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici,^dCenter for Ocean-Land-Atmosphere Studies^eCentral Weather Bureau of Chinese Taipei,^fGlobal Seasonal forecast system version 5^gKorea Meteorological Administration,^hHydrometeorological Centre of RussiaⁱInternational Research Institute for Climate and Society,^jJapan Meteorological Agency^kMain Geophysical Observatory of Russia,^lCanadian Centre for Climate Modeling and Analysis Coupled Climate Model version 3,^mMeteorological Service of CanadaⁿCanadian Centre for Climate Modeling and Analysis Coupled Climate Model version 4^oGlobal Modeling and Assimilation Office,^pNational Aeronautics and Space Administration^qCoupled Forecast System model version 2,^rNational Center for Environmental Prediction^sPusan National University,^tPredictive Ocean Atmosphere Model for Australia^uAustralian Bureau of Meteorology,^vUnited Kingdom Met Office

2.1 APCC 현업 시스템

APCC에서는 각 기관들의 기후예측정보를 이용하여, 최상의 예측정보를 제공하기 위해 MME 기법을 개발하였으며, 이를 현재까지 이용하고 있다. MME는 개별 모형간의 불확실성을 최소화하여, 단일 모형의 예측결과에 비해 향상된 예측성을 보여준다고 잘 알려져 있다(Krishnamurti et al., 1999; Shukla et al., 2000; Wang et al., 2004).

APEC 기후센터는 2007년 11월부터 실시간 전지구 기온과 강수에 대한 MME 예측정보를 제공해왔다(Min et al., 2014). MME 예측정보에는 월평균, 계절평균(3 개월)이 포함되며, 1달 전에 예측정보를 제공한다. 2013년 9월 APCC는 월별, 계절별 예측자료를 3개월에서 6개월로 연장하였다.

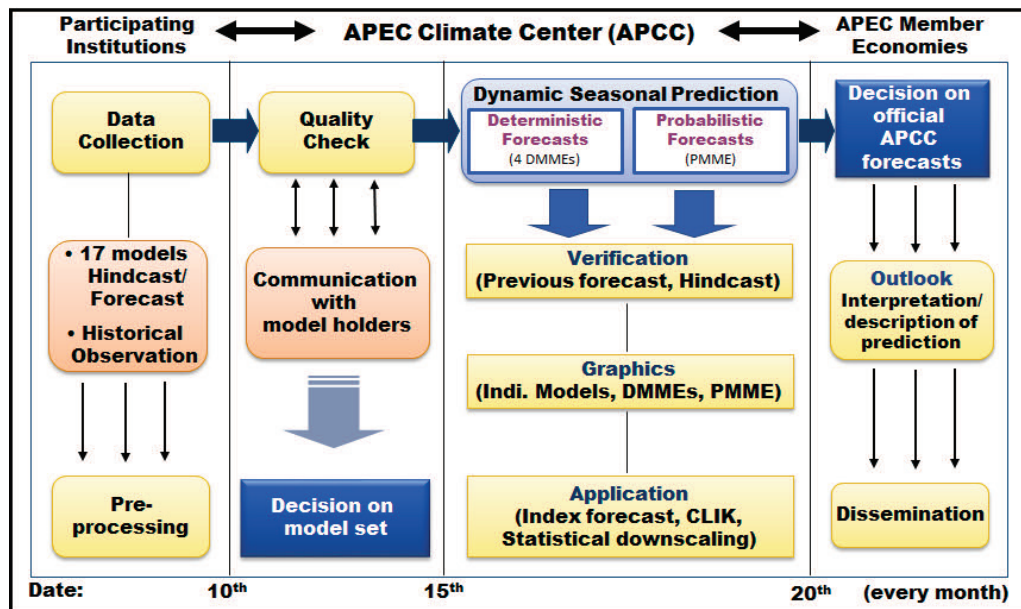


Figure 2.1. Forecast procedures and monthly time schedule at APCC based on multi-model ensemble system.

APCC의 실시간 예측정보는 결정론적 예측과 확률론적 예측의 두 가지 형태로 제공된다. 매달 25일 아웃룩을 발간을 위해, 10개국의 주요 기후센터 및 연구기관의 17개

최신 모델이 APCC MME 예측에 참여를 한다. APCC MME 예측정보의 생성 및 보급 과정은 아래와 같으며, 그림 2.1에 요약하였다.

- 자료수집 : APEC 회원국에서 제공되는 역학모형의 예측 및 Hindcasts 자료를 수집한다.
- 자료 표준화 : 수집된 Forecast와 Hindcast 모형 자료를 동일한 형식으로 만들기 위해 자료 표준화를 수행한다.
- 품질검사 : Forecast 및 Hindcast에 대한 품질검사 수행
- MME 예측정보의 생산 : 4가지 결정론적 방법과 1가지 확률론적 방법을 적용하여 매월 3개월 예측자료 생산
- 검증 및 그래픽 : MME 예측과 연관된 검증정보 생산
- 배포 : 매달 25일에 예측정보, 현 기후상황, 그리고 관련 검증자료가 포함된 자료를 APCC 홈페이지(<http://www.apcc21.org>)와 outlook을 통해 배포함. 디지털 자료는 ADSS(APCC Data Service System)를 통해 제공됨 (<http://cis.apcc21.net>)

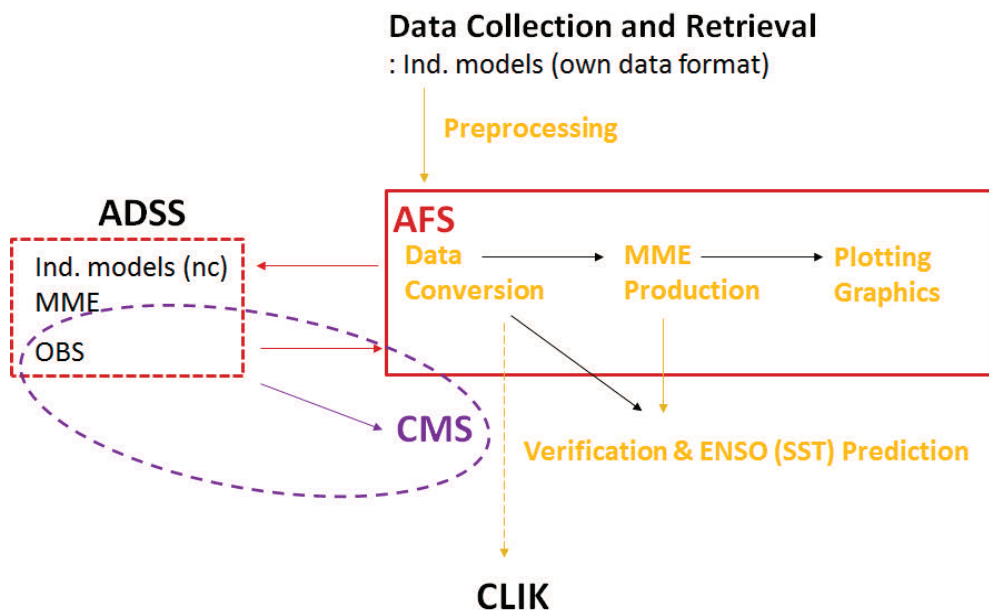


Figure 2.2. General structure of APCC climate prediction and information services

그림 2.2는 APCC 기후예측자료의 생산 및 제공을 위한 전체 구조를 나타낸다. 매월 초에 MME에 참여하는 개별 모형의 기후예측자료를 수집 및 추출하는데, 자료의 고유 형식이 다른 관계로, MME의 입력 자료로 활용하고 외부로 서비스하기 위해서 전처리 과정을 거친다. 아울러 전처리를 거쳐 표준화 된 자료는 ADSS에서 netCDF 형태의 자료로 외부에 제공되거나, CLIK을 통해 사용자 맞춤형 MME 생산을 위한 입력 자료로 활용한다.

ADSS에서는 이 밖에도 관측 자료를 매주 업데이트하고 월별 자료를 생산하여 AFS에서 생산한 기후예측자료를 검증하기 위해서 넘겨주기도 하고, CMS와 연계하여 주·월·계절별 기후감시 자료를 생산 및 그래픽으로 표출하는 과정을 수행한다.

기후예측자료 생산 과정의 메인 코어인 AFS에서는 자료 변환 과정을 거쳐, MME 기후예측자료 생산 및 그 결과를 그래픽으로 표출하는 기능을 담당한다. 이 일련의 과정은 모듈화/자동화 되어 한 시스템 안에서 순차적으로 수행되고 있다. 여기서 생산된 개별모형 및 MME 기후 예측 자료는 ADSS로 넘겨져 외부로 서비스 된다. 또한 AFS 밖에서 검증이나 ENSO(SST)예측을 함께 수행한다.

이 연구는 총 2년도 연구과제이며, 당해 연도 AFS 시스템 개선은 전처리 과정과 MME 시스템(Hindcast, Forecast)에 대한 개선을 진행하였다. 대부분의 작업이 코드 개선과 운영매뉴얼 작성이기 때문에, 대부분의 결과는 부록으로 작성되었다. 또한 MME 코드의 보안상 문제로 전체 코드를 보고서에 기술하지는 않았다.

2.2 AFS 현황 진단

AFS는 최적 흐름구조를 설계/구축하여, 현업운영 작업 프로세스의 낭비를 최소화해야 한다. 현업운영 과정은 안정적이고, 효율적이며, 지속적으로 운영되는 시스템이어야만 한다. 따라서 현황 진단을 통해, 현재 시스템의 문제점을 진단하고 이를 통해 최적의 시스템 구조를 설계하여, 현업운영과정을 단축할 수 있을 것으로 기대된다.

2.2.1 전처리 과정

APEC 기후센터는 다중모델앙상블 예측을 위해 매달 초 각 기관의 계절예측 자료를 다음과 같은 방법으로 수집하고 있으며, 자료 수신 방법에 따른 계절예측 자료 제공 기관 및 모델 정보는 표 2.1과 같다.

- 1) APCC ftp server를 이용하는 방법
: UKMO, POAMA, JMA, NASA, NCEP
- 2) 각 개별 기관의 ftp server를 이용, 매달 초 APCC 현업 서버로 전송하는 방법
: MGO, HMC, CWB, GLOSEA5, PNU, BCC, CMCC, MSC

이후 매달 수집되는 17개 원시 계절예측 자료는 표준화된 파일 형식이 아닌 grib, grib2, binary, NetCDF 등으로 다양하게 구성되어 있을 뿐만 아니라 제공되는 기후예측 자료의 예측기간이나, 해상도 또한 다양하여 APCC는 자체 전처리 과정을 통해 자료의 표준화 과정을 수행한다.

Table 2.2. Preprocessing program

	Model	Directory	Operation file	Sub file
1	BCCV2	/data11/PRE/	01.PRE_BCC.csh	mkbin_bcc_fore.ncl, mkbin_bcc_hind_in.ncl, mkbin_bcc_clim_in.ncl
2	IRI_CA	/data11/PRE/	01.PRE_IRI_CA.csh	mkbin_iri_ca_fore.ncl, mkbin_iri_ca_hind.ncl , mkbin_iri_ca_clim.ncl
3	CMCC	/data11/PRE/	01.PRE_CMCC_SPS.csh	mkbin_cmcc_fore.ncl, mkbin_cmcc_hind.ncl, mkbin_cmcc_clim.ncl
4	MSC	/data11/PRE/	01.PRE_MSC_CANCM.csh	wgrib2nc.ncl, mkbin_msc_fore.ncl, mkbin_msc_hind.ncl, mkbin_msc_clim.ncl
5	NCEP	/data11/OPER/SEASON/SRC/PRE/	01.PRE_NCEP.csh	mkbin_fore.ncep.flx.6m.ncl, mkbin_fore.ncep.pgb.6m.ncl mkbin_hind.ncep.pgb.6m.ncl, mkbin_hind.ncep.flx.6m.ncl mkbin_clim.ncep.flx.6m.ncl, mkbin_clim.ncep.pgb.6m.ncl, mkem.ncep.6m.ncl
6	NASA	/data11/OPER/SEASON/SRC/PRE/	01.PRE_NASA.csh	mkbin_nasa_fore.ncl, mkbin_nasa_hind_in.ncl mkbin_nasa_clim_in.ncl, mkem_nasa_fore.ncl
7	UKMO	/data12/osm1006/PRE_PROCESSING_UKMO/	0.PRE_UKMO_NEW.csh	mk_forecast_ukmo.ncl, em_forecast_ukmo.ncl, mk_hindcast_ukmo.ncl, em_hindcast_ukmo.ncl
8	POAMA	/data11/OPER/SEASON/WORK/PRE/POAMA/	Get_poama_new.csh, Mkpre_poama_fore.ncl,New_link_poama_m24.csh, Mkpre_poama_clim.ncl	
9	GLOSEA5	/data11/OPER/SEASON/WORK/PRE/GLOSEA5/	0.PRE_GLOSEA5.csh	Mkbin_glosea5_fore.ncl, Mkbin_glosea5_hind.ncl Mkbin_glosea5_clim.ncl
10	JMA	/data11/OPER/SEASON/WORK/PRE/JMA/	Mkpre_fcst_jma.sh, Link_jma.csh	Prog.f
11	PNU	/data11/OPER/SEASON/WORK/PRE/PNU/	Get_pnu.csh, Mkbin_pnu.csh	Prog.f
12	CWB	/data11/OPER/SEASON/WORK/PRE/CWB/	Get_cwb.csh, Mkbin_cwb.sh	Mkem.f
13	HMC	/data11/OPER/SEASON/WORK/PRE/HMC/	Get_hmc.csh	Mkbin_fore_hmc.csh, Mkbin_hind_hmc.csh, Clim.f90
14	MGO	/data11/OPER/SEASON/WORK/PRE/MGO/	Get_mgo.csh, Mkpre_fcst_mgo.csh	Mkem.f, lmsi.f
15	COLA	/data11/PRE/	MAIN.CSH	get_data.csh, mkctl.csh, intp.f, mkensm.csh, link.csh
16	IRI	/data11/OPER/SEASON/WORK/PRE/	1.season.up_psst.csh 2.dir_make.csh 3.total.fop.new.SEAYEAR.f 4.cp_data_model.csh	
17	IRIF	/data11/OPER/SEASON/WORK/PRE/	1.season.up_ssst.csh 2.total.fos.new.SEAYEAR.f	

• Pre-processing of UKMO is being conducted on research server.

과거 원시 자료 사용의 편의성을 위해 바이너리 자료의 형태로 변환하고, 이후 다중모델앙상블 예측을 위해 NetCDF 파일의 형태로 재 변환하는 과정을 재 수행하였으나, 현재 APCC 현업 서버에 축적된 binary 형식의 개별 모델 기후예측 자료는 외부로 제공되지 않으며, 활용 빈도도 매우 낮다. 이에 반해 ADSS를 통해 외부에 제공되는 개별 모델 기후예측 자료의 최종 파일 형식인 NetCDF는 Compact한 자료 보관 방식은 아니지만 사용자가 자료의 필요한 부분만 신속하게 읽을 수 있다는 장점으로 기후/기상 분야에서 널리 사용되고 있으며, 기후 예측 정보사용 최종 수요자에게도 친숙한 자료의 형태로 그 활용성이 매우 높다. 즉, binary 형태로의 자료 변환은 불필요한 과정이라 할 수 있다.

또한 현재 APCC MME에 참여하는 개별모델의 전처리 프로그램들은 참여모델이 개선/추가된 시기의 다중모델앙상블 운영자에 의해 생성된 프로그램으로 개발자의 성향, 선호된 프로그램 언어(NCL, Fortran, C-Shell) 등 개발 환경에 따라 다양하게 존재한다. 표 2.2에 나타난 것과 같이, 각 개별 모델은 여러 위치에 다양한 형태의 프로그램 파일로 존재할 뿐만 아니라 심지어 UKMO의 원시 기후 예측 자료는 최신의 NetCDF 파일의 형태로 현재의 전처리 운영 서버 환경 내에서는 처리 할 수 없어 전처리 운영자가 연구서버에서 자료를 처리한 후 운영서버로 재전송하고 있다. 즉, 다중모델 앙상블 운영자의 변경, 모델 개선으로 인한 전처리 프로그램 수정 등 다양한 환경 변화에 적절히 대처하기 어렵다. 따라서 전처리 과정의 개선을 통해 보다 안정적이고 효율적인 전처리 체계구축이 필요하다.

2.2.2 Hindcast와 Forecast MME 현황 분석

Ruby script

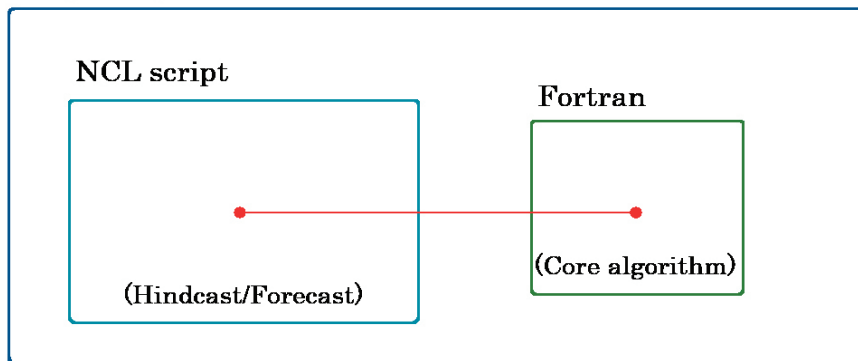


Figure 2.3. Relationship diagram of Ruby, NCL, and Fortran of AFS

AFS 시스템의 Hindcast와 Forecast MME는 리눅스 32비트 환경에서 프로그램 개발언어인 NCL(NCAR Command Language) 스크립트, 포트란(Fortran), 루비(Ruby) 등으로 개발되었으며, FLOAT 자료형으로 작성된 입력 자료를 이용하여 현재 운영 중에 있다. NCL 스크립트는 기후자료 처리, 포트란으로 구현된 핵심 알고리즘(core algorithm) 호출 등 Hindcast와 Forecast 계산에 필요한 전반적인 과정을 구현하는데 이용되었다. 포트란은 스크립트 언어가 가진 계산 성능의 한계를 극복하기 위한 Hindcast와 Forecast의 핵심 알고리즘 구현에 이용되었다(그림 2.3). 루비는 리눅스 셸 스크립트(shell script)를 대신하여 예측모델을 실행하는데 필요한 옵션 정보(예측에 사용할 모델, 예측 기간, 작업 경로 등) 등을 환경변수(OS environment)로 설정하고 Hindcast와 Forecast 실행하는 데 이용되었다.

Table 2.3. User-defined NCL scripts

라이브러리 파일명	설명
AFS.Definitions	AFS에서 계산된 결과의 변수별 속성정보를 정의한 함수 정의
essential_libs.ncl	NCL 기본 스크립트, test.module과 my.module의 사용자정의 스크립트 호출
my.module	AFS에서 사용되는 여러 function과 procedure를 포함하는 “서브” 라이브러리로, 월/계절 관련 function 및 수확 계산 procedure 등의 inventory
test.module	AFS에서 사용되는 여러 function과 procedure를 포함하는 “서브” 라이브러리로, 주로 graphic 관련 procedure들을 포함하는 inventory
AFS_GetData.ncl	AFS에 필요한 자료를 읽고 처리하는 함수 정의
AFS_Initializer	AFS에 필요한 초기 변수 정의
AFS_PutData_.ncl	AFS에서 계산된 결과를 처리하고 파일로 정의하는 함수 정의
writem.ncl	AFS에서 계산된 결과를 파일로 저장하는데 필요한 함수 정의
IDAT_BUILD.ncl	MRG와 SSE를 기초로 하는 APCC 계절예측에 사용되는 함수 정의

AFS의 Hindcast와 Forecast MME는 알고리즘 코드(CODE), 데이터(DATA), 실행(RUN)파트로 구성되어 있다. CODE는 DMME(Deterministic Multi-Model Ensemble), PMME(Probabilistic Multi-Model Ensemble)로 구분되며, DMME에는 SCM(Simple Composite Method), GAUS(GAUSSian fitting method), MRG(Multiple Linear Regression), SSE(Synthetic Super Ensemble method), SPM(Stepwise Pattern projection Method) 모델이, PMME에는 GAUS 모델이 있다. SCM을 제외한 모델들은 NCL 소스코드와 핵심 알고리즘이 구현된 포트란 소스코드로 구성된다. 각 모델의 NCL

소스코드는 Hindcast와 Forecast가 개별 소스코드, 실행 조건에 따라 Hindcast와 Forecast를 호출하는 스크립트로 구성된다. Hindcast와 Forecast는 NCL에서 제공하는 함수를 확장하여 9개의 사용자정의 NCL 스크립트(AFS.Definitions, essential_libs.ncl, my.module, test.module, AFS_GetData.ncl, AFS_Initializer, AFS_PutData.ncl, writem.ncl, IDAT_BUILD.ncl)를 개발하여 이용하였다(표 2.3).

핵심 알고리즘은 NCL 스크립트에서 호출이 가능하도록 PGI 포트란 컴파일러로 컴파일 된 포트란 라이브러리 형태로 되어 있다. DATA는 3/6개월 예측에 따라 자료를 구분하고, MME_IN 폴더는 Preprocessing 과정에서 생성된 Hindcast와 Forecast의 입력 자료가 저장되어 있으며, 모델 제공자(model provider)/월(Month, 영문 앞 3자리)/년(Year)도 순의 폴더로 구성된다. 그리고 각 MME 모델의 예측결과는 MME_OUT 폴더에 예측모델/월/시즌/년도 순 구분하여 저장된다. RUN은 Manage_MME 폴더에 Hindcast와 Forecast를 실행하는데 필요한 루비 스크립트가 저장되어 있다.

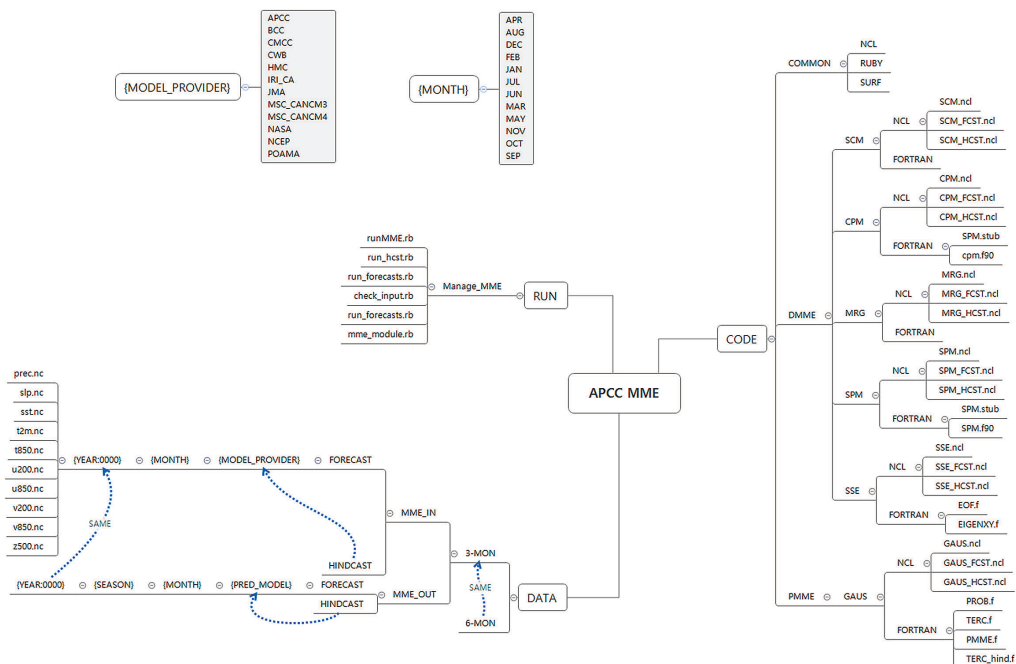


Figure 2.4. Directory structure of AFS system

AFS의 분석을 통해 시스템을 구성하는 스크립트, 포트란 모듈 등이 과거 32비트 운영체제 환경에서 구축된 것으로 나타났다. 또한 다년간의 개발 및 운영에 따른 소스코드 내 불필요한 함수와 프로시저 존재, 노후화된 하드웨어 및 오래된 소프트웨어 버전 사용, RUN 스크립트 작성에 사용된 루비(Ruby)의 버전 호환성, NCL 버전 호환성, 특정 포트란 컴파일러 의존성 등의 문제점이 발견되었다. 그리고 3/6개월 예측기간에 따라 입력 자료가 개별로 관리됨으로써 불필요한 스토리지 자원 사용 및 예측 기간이 변경될 경우 확장성이 떨어지는 문제점이 발견되었다(그림 2.4).

이러한 문제를 분석하고 해결하기 위해서는 64비트 운영체제 환경에서 최신 버전의 소프트웨어를 이용하여 기존 AFS의 Hindcast와 Forecast의 이식 및 테스트, 포트란 컴파일러의 의존성 분석, 예측 결과의 비교 및 검토, 그리고 예측 기간에 상관없이 이용 가능한 입력 자료의 단일화 등의 개선 작업이 필요할 것으로 판단된다.

2.3 AFS 개선

2.3.1 NCL Source Code Beautifier 개발

NCL Source Code Beautifier(이하 NCB)는 NCL로 작성된 소스코드를 분석하여 사전에 정의된 코딩 스타일에 따라 코드를 재정리해주는 프로그램이다. NCB의 알고리즘은 문장 해석기(syntax parser)를 이용하여 문장(syntax)을 읽고 변수, 산술연산자, 블록 코드, 주석 등 토큰(token) 단위로 분해한다(그림 2.5). 분리된 토큰을 이용하여 NCL 문법에 최적화된 자동 코드 포맷터(automatic code formatter)를 이용하여 문장을 재정리한다. 문장을 재정리하는 기능에는 코드 블록을 고려한 들여쓰기, 산술연산자 띄어쓰기, 변수정의 문장 분리 및 들여쓰기/띄어쓰기, 주석 문장 분리 및 들여쓰기/띄어쓰기 등이 있다. NCL Source Code Beautifier는 Eclipse 개발환경에서 JAVA를 이용하여 개발하였으며, Syntax Parser와 Automatic Code Fommater for NCL 알고리즘은 별도의 라이브러리 없이 NCL 문법을 분석하고 직접 구현하였다. 그리고 프로그램은 JAR 파일형태로 제공된다. 프로그램 사용법은 그림 2.6과 같다.

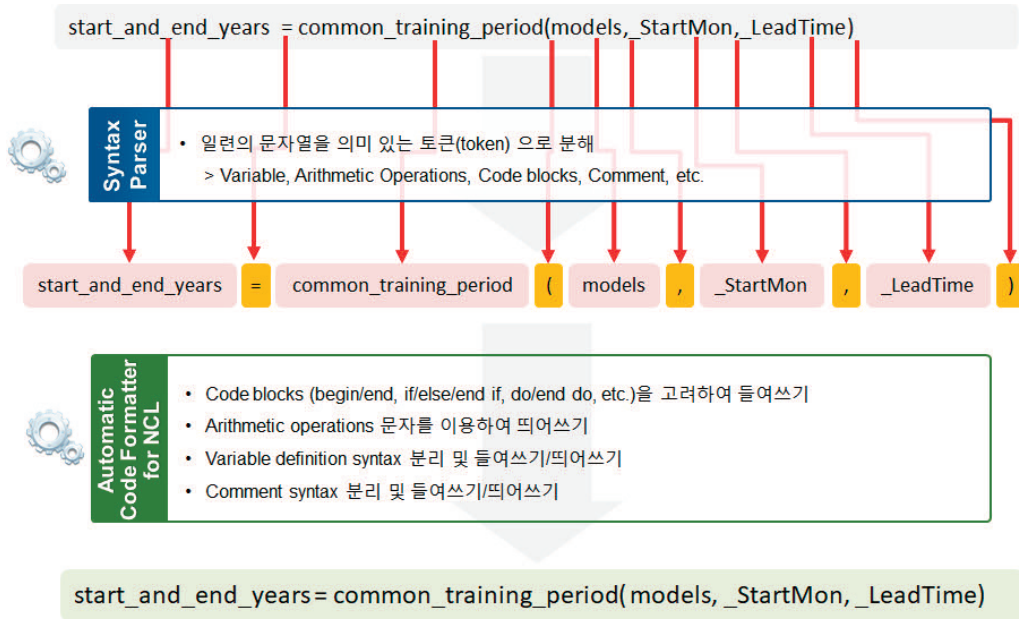


Figure 2.5. Flowchart of NCL source code beautifier algorithm

```
[@res01 NCLCodeBeautifier]$ java -jar NCLCodeBeautifier.jar [ncl source file]
```

Figure 2.6. Usage of NCL source code beautifier

NCL source code beautifier의 결과 비교를 위해 표 2.4와 같이 코딩 스타일 규칙을 설정하였고, 실행 결과는 그림 2.7, 2.8과 같다. 그림 2.8과 같이 들여쓰기와 띄어쓰기가 전무한 코드에서 재정리 후 소스코드의 가독성이 향상되는 것을 볼 수 있다.

Table 2.4. Procedure and function naming conventions

옵션 명	옵션 값
공백을 이용한 들여쓰기 사용	Yes
들여쓰기 크기	4
변수와 대입 값 사이 들여쓰기 사용	Yes
변수와 대입 값 사이 들여쓰기 최대 크기	25
주석 들여쓰기 사용	No

BEFORE

```

1 : -----
2 : PHME.ncl
3 :
4 : APOC / Young-Mi Min
5 :
6 : begin
7 :
8 : models = asciiread(_MMHModels,-1,"string")
9 :
10 : COMMON TRAINING
11 : -----
12 :
13 : if _LeadTime.eq.6
14 :   vars = (/ "prec", "t850", "s500", "sst", "i2a" /) ; 6-month MSE
15 : else
16 :   vars = (/ "prec", "t850", "s500", "slp" /) ; 3-month MSE
17 :   vars = (/ "prec", "t850", "s500", "slp", "i2a" /) ; 3-month MSE
18 :   vars = (/ "u200", "v200", "u850", "v850" /) ; 3-month MSE
19 : end if
20 :
21 : nvar = dimsize(vars)
22 : start_end_years = common_training_period(models, _StartMon, _LeadTime)
23 : start_year = start_end_years(0)
24 : end_year = start_end_years(1)
25 :
26 : opt = True
27 : opt@ensembleaverage = False
28 :
29 : ntim = end_year - start_year + 1
30 : nmodels = dimsize(models)
31 :
32 : mod_na = new(/models, _MMon, _MLat, _MLon/, "float", _FillValue)
33 : mod_mn = new(/models, _MMon, _MLat, _MLon/, "float", _FillValue)
34 : mod_nb = new(/models, _MMon, _MLat, _MLon/, "float", _FillValue)
35 :
36 : do ivar = 0, nvar-1
37 :   print("Calculating " + _MME + " based MSE for " + vars(ivar))
38 :   models_mse = new(models, "integer")
39 :   do imod = 0, nmodels-1
40 :     model = models(imod)
41 :     print("Getting Data from " + model)
42 :
43 :   HINDCAST : DATA BUILD
44 :   -----
45 :   opt@dataType = "hindcast"
46 :   opt@dataPeriod = (/ _StartMon, _EndMon, start_year, end_year /)
47 :
48 : HINDCAST : Seasonal MEAN
49 : -----
50 :
51 : tmp_data = Get_IMD_Data(model, vars(ivar), opt)
52 : nens = dimsize(tmp_dataensemble)
53 : hind_data = new(/nvar, _MMon, _MSea, _MLat, _MLon/, "float", _FillValue)
54 : if _Seasonal
55 :   hind_data = avg_wmo(tmp_data(year::, ensemble::, lat::, lon::), \
56 :

```

AFTER

```

1 : -----
2 : PHME.ncl
3 :
4 : APOC / Young-Mi Min
5 :
6 : begin
7 :
8 : models = asciiread(_MMHModels, -1, "string")
9 :
10 : COMMON TRAINING
11 : -----
12 :
13 : if _LeadTime.eq.6
14 :   vars = (/ "prec", "t850", "s500", "sst", "i2a" /) ; 6-monthMSE
15 : else
16 :   vars = (/ "prec", "t850", "s500", "slp" /) ; 3-month MSE
17 :   vars = (/ "prec", "t850", "s500", "slp", "i2a" /) ; 3-monthMSE
18 :   vars = (/ "u200", "v200", "u850", "v850" /) ; 3-month MSE
19 : end if
20 :
21 : nvar = dimsize(vars)
22 : start_end_years = common_training_period(models, _StartMon, _LeadTime)
23 : start_year = start_end_years(0)
24 : end_year = start_end_years(1)
25 :
26 : opt = True
27 : opt@ensembleaverage = False
28 :
29 : ntim = end_year - start_year + 1
30 : nmodels = dimsize(models)
31 :
32 : mod_na = new(/models, _MMon, _MLat, _MLon/, "float", _FillValue)
33 : mod_mn = new(/models, _MMon, _MLat, _MLon/, "float", _FillValue)
34 : mod_nb = new(/models, _MMon, _MLat, _MLon/, "float", _FillValue)
35 :
36 : do ivar = 0, nvar - 1
37 :   print("Calculating " + _MME + " based MSE for " + vars(ivar) )
38 :   models_mse = new( models, "integer")
39 :   do imod = 0, nmodels - 1
40 :     model = models( imod )
41 :     print( "Getting Data from " + model )
42 :
43 :   HINDCAST : DATA BUILD
44 :   -----
45 :   opt@dataType = "hindcast"
46 :   opt@dataPeriod = (/ _StartMon, _EndMon, start_year, end_year /)
47 :
48 : HINDCAST : Seasonal MEAN
49 : -----
50 :
51 : tmp_data = Get_IMD_Data( model, vars(ivar) , opt )
52 : nens = dimsize( tmp_dataensemble )
53 :
54 :
55 :
56 :

```

Figure 2.7. Case 1 of NCL source code beautifier

BEFORE

```

1 : function read_gaus_hinddata(model, vars, by, opt, leadtime)
2 : begin
3 :   infile = "/data1/hindcast/hindcast_" + model + "_" + vars + "_" + by + "_" + leadtime + "_"
4 :   data = addfile(infile, "r")
5 :   return (data->hinddata)
6 : end
7 :
8 : procedure write_gaus_hinddata(data, model, vars, by, opt, leadtime)
9 : begin
10 :
11 :   year=datatype
12 :   month=datamonth
13 :   ensemble=dataseason
14 :   lat=datalat
15 :   lon=datalon
16 :
17 :   year=dimsize(year)
18 :   month=dimsize(month)
19 :   ensemble=dimsize(ensemble)
20 :   lat=dimsize(lat)
21 :   lon=dimsize(lon)
22 :
23 :   outfile = "/data1/hindcast/hindcast_" + model + "_" + vars + "_" + by + "_" + leadtime + "_"
24 :   system ("rm -rf " + outfile)
25 :
26 :   fout = addfile(outfile, "c")
27 :
28 :   / Create global attributes of the file
29 :   fAtt = True
30 :   fAtt@model = data@model
31 :   fAtt@title = data@title
32 :   fAtt@conventions = data@conventions
33 :   fAtt@creation_date = systemfunc("date")
34 :   fAtt@missing_value = data@missing_value
35 :   fAtt@units = data@units
36 :   fAtt@long_name = data@long_name
37 :   fAtt@_FillValue = data@_FillValue
38 :   fileattdef(fout, fAtt) ; define file attributes
39 :
40 :   dimNames = (/year, month, ensemble, lat, lon/)
41 :   dimSizes = (/year, month, ensemble, lat, lon/)
42 :   dimUnits = (/False, False, False, False, False/)
43 :   filedimdef(fout, dimNames, dimSizes, dimUnits)
44 :
45 :   filevardef(fout, "year", typeof(year), "year")
46 :   filevardef(fout, "month", typeof(month), "month")
47 :   filevardef(fout, "ensemble", typeof(ensemble), "ensemble")
48 :   filevardef(fout, "lat", typeof(lat), "lat")
49 :   filevardef(fout, "lon", typeof(lon), "lon")
50 :   filevardef(fout, "hinddata", typeof(data), dimNames)
51 :
52 :   filevarattdef(fout, "hinddata", data)
53 :   filevarattdef(fout, "lat", lat)
54 :   filevarattdef(fout, "ensemble", ensemble)
55 :   filevarattdef(fout, "month", month)

```

AFTER

```

1 : function read_gaus_hinddata(model, vars, by, opt, leadtime)
2 : begin
3 :   infile = "/data1/hindcast/hindcast_" + model + "_" + vars + "_" + by + "_" + leadtime + "_"
4 :   data = addfile(infile, "r")
5 :   return (data->hinddata)
6 : end
7 :
8 : procedure write_gaus_hinddata(data, model, vars, by, opt, leadtime)
9 : begin
10 :
11 :   year = datatype
12 :   month = datamonth
13 :   ensemble = dataseason
14 :   lat = datalat
15 :   lon = datalon
16 :
17 :   year = dimsize( year )
18 :   month = dimsize( month )
19 :   ensemble = dimsize( ensemble )
20 :   lat = dimsize( lat )
21 :   lon = dimsize( lon )
22 :
23 :   outfile = "/data1/hindcast/hindcast_" + model + "_" + vars + "_" + by + "_" + leadtime + "_"
24 :   system ("rm -rf " + outfile)
25 :
26 :   fout = addfile( outfile, "c" )
27 :
28 :   / Create global attributes of the file
29 :   fAtt = True
30 :   fAtt@model = data@model
31 :   fAtt@title = data@title
32 :   fAtt@conventions = data@conventions
33 :   fAtt@creation_date = systemfunc( "date" )
34 :   fAtt@missing_value = data@missing_value
35 :   fAtt@units = data@units
36 :   fAtt@long_name = data@long_name
37 :   fAtt@_FillValue = data@_FillValue
38 :   fileattdef( fout, fAtt ) ; definefileattributes
39 :
40 :   dimNames = (/year, month, ensemble, lat, lon/)
41 :   dimSIZES = (/year, month, ensemble, lat, lon/)
42 :   dimUnits = (/False, False, False, False, False/)
43 :   filedimdef( fout, dimNames, dimSIZES, dimUnits )
44 :
45 :   filevardef( fout, "year", typeof( year ), "year" )
46 :   filevardef( fout, "month", typeof( month ), "month" )
47 :   filevardef( fout, "ensemble", typeof( ensemble ), "ensemble" )
48 :   filevardef( fout, "lat", typeof( lat ), "lat" )
49 :   filevardef( fout, "lon", typeof( lon ), "lon" )
50 :   filevardef( fout, "hinddata", typeof( data ), dimNames )
51 :
52 :   filevarattdef( fout, "hinddata", data )
53 :   filevarattdef( fout, "lat", lat )
54 :   filevarattdef( fout, "ensemble", ensemble )
55 :   filevarattdef( fout, "month", month )

```

Figure 2.8. Case 2 of NCL source code beautifier

2.3.2 전처리 과정

앞서 언급한 것과 같이 현재 기후예측 현업 시스템의 운영체제 하에서의 전처리 과정의 개선을 통해 안정화 하고 전처리 체계구축이 필요하기에 다음과 같은 개선방향을 설정하여 APCC 기후 예측 현업 시스템을 개선하였다.

첫째, 실행프로그램명 및 코드 모듈명 규칙 설정 및 정리

둘째, 전처리를 위한 메인 프로그램 생성

셋째, 전처리 프로그램 구성의 통일

넷째, AFS와 전처리 통합

다섯째, Data 표준화 과정 생략(binary 파일 생성)

APCC 기후 시스템의 프로그램은 2008년 현업이 시작된 이후 반복적으로 프로그램 개발자의 성향에 따라 변수명 및 프로그램 파일명을 설정하여 개발되어 수정이 반복되어 왔다. 뿐만 아니라 현업 시스템 내에 현업에 사용되지 않는 파일들이 혼재하여 시스템 개선에 어려움이 있었다. 따라서 본 연구에서는 AFS내에 사용되는 총 104개의 Procedure와 Function을 정리하고, 각 Procedure와 Function의 Naming 규칙을 설정하여 향후 시스템 개선 시 각 프로그램에 접근성과 확장성을 도모하였다. Procedure와 Function 파일명은 문자의 대문자로 시작하며, 변수명 내의 단어 연결시 밑줄(underscore, '_')로 표시하면 프로그램 내에 input data의 형태를 함께 제시하여 향후 AFS 운영자 및 개발자의 편의성을 고려하였다. 수정 전·후의 파일명의 예시는 표 2.5에 나타난 것과 같다.

전처리 프로그램의 실행파일 및 Sub파일은 프로그램 개발자의 성향과 프로그램 언어의 선호도에 따라 다양한 언어(sh, csh, ncl, fortran, grads 등)로 개발되어 되었다. 또한 프로그램의 구성도 개발자에 따라 다르며, 현재 사용되고 있는 17개의 APCC 참여모델의 수만큼 전처리를 반복적으로 수행해야하는 어려움이 있었다. 효율적인 현업운용을 위해 모든 개별 모델에 대해서 현재 혼재되어 있던 프로그램 언어를 Python과 NCL로 통일하였다(그림 2.9). 또한 전처리 프로그램 구성을 통일하고, 하나의 메인 코드에서 하위 프로그램을 실행할 수 있도록 수정하였다(그림 2.10). Python 프로그램 언어는 프로그램의 빠른 구현과 반복이 가능한 객체 사용으로 매우 편리하며, 문법이 쉬워 쉽게 배우고 이해할 수 있으며, 다양한 표현법을 사용하여 소스 코드의 길이가 짧고 개발 시간이 줄어드는 장점이 있어 기상/기후뿐만 아니라 여러 분야에서 사용되고 있다.

개별모델의 전처리 프로그램 구성은 그림 2.11과 같다. 각 개별 모델은 예측기간, 디렉토리 설정, 자료의 수집과 하위 예측자료와 과거 자료 처리를 위한 NCL 프로그램을 구동할 수 있는 Python 프로그램을 가지며, 각 개별 모델의 Python 프로그램을 runPRE.py가 제어, 실행할 수 있도록 구성하였다. 그리고 예측자료와 과거 자료를 표준화하는 NCL 프로그램 내에서는 AFS 내의 규정과 규칙을 적용하고 AFS 내의 Procedure를 사용함으로써 전처리 프로그램이 AFS와 유기적으로 형성될 수 있도록 하였다. 또한 불필요한 바이너리 형식의 표준화 과정을 생략함으로써 전처리 과정이 효율적으로 수행 되도록 하였다.

Table 2.5. Procedure and function naming conventions

	수정 전	수정 후
1	retrieve_lats(fin, lat1, lat2)	Retrieve_Lats(fin[1]:string, start_lat[1]:float, end_lat[1]:float)
2	lookUp(vname)	Look_Up(var_name[1]:string)
3	set_variables_defaults(wks, var, region, ForecastType)	Set_Variables_Defaults(wks:graphic, var_name[1]:string, region[1]:string, ForecastType[1]:string)
4	set_mpProjection_defaults(var, region)	Set_Map_Projection_Defaults(var_name[1]:string, region[1]:string)
5	set_time_on_axis(res, opt)	Set_Time_On_Axis(res[1]:logical, opt:logical)
6	Make_CMS_Climatology(opt)	Make_CMS_Clim(var:numeric)
7	AFS_Cat_OBS(var)	AFS_Cat_OBS(var[*]:string)
8	AFS_Retrieve_Data(DataDir, var_name, opt)	AFS_Retrieve_Data(DataDir[1]:string, var_name[1]:string, opt:logical)
9	Find_Lead_Time(opt, var)	Find_Lead_Time(opt:logical, var[1]:string)
10	AFS_MSSS_Area_Ave(msss)	AFS_MSSS_Area_Ave(msss[*]:float)
11	Find_Data_Levs(DataDir, var_name, start_lev, end_lev)	Find_Data_Levs(DataDir[1]:string, var_name[1]:string, start_lev[1]:float, end_lev[1]:float)
...	...	...

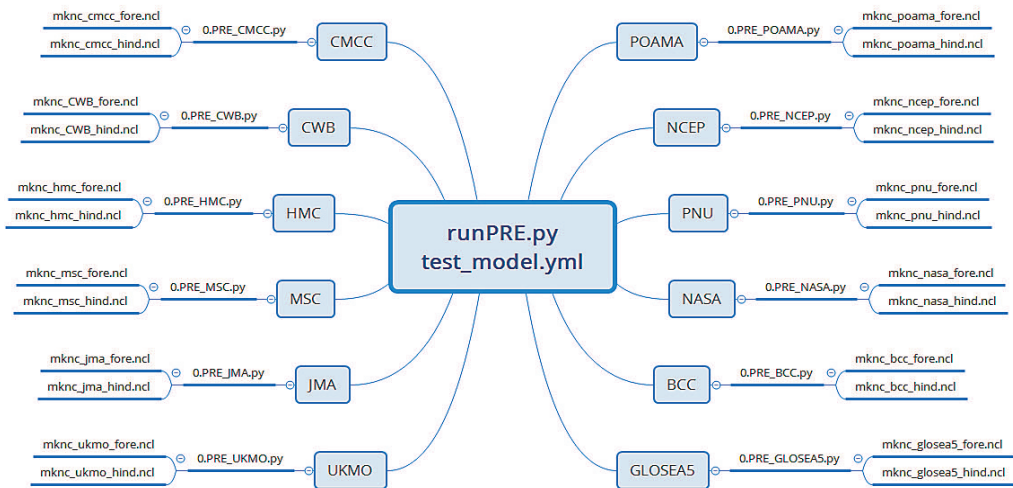


Figure 2.9. Diagram of preprocessing code.

```
#!/usr/bin/env python
# -*- coding: utf-8 -*-
"""
Created on Thu Jun 01 09:10:15 2017

@author: Seongkyu, LEE (APEC Climate Center)

@references: https://pyformat.info/
"""
import datetime
import calendar
import dateutil
import os
import sys
from dateutil.relativedelta import relativedelta

from optparse import OptionParser, OptionGroup
import yaml

#-----
# TODO:
#-----
import __main__ as main
__script_name__ = os.path.basename(main.__file__)

# Debugging #####

if 1 == 0:
    if len(sys.argv) == 1:
        run_argv = ['-c', 'fcast-mean.3m.yml']
    else:
        run_argv = sys.argv[1:]
    else:
        run_argv = sys.argv[1:]

#####

....

#-----
# Check config parameters
#-----

# 1. Model
# TODO: Add all models
Models = ['APCC', 'BCCV2', 'CMCC_SPS', 'CWB', 'GLOSEAS', 'HMC', 'JMA', 'MGO', 'MSC', 'NASA', 'NCEP', 'PNU', 'POAMA', 'UKMO']

run_models = None
if options.model is not '':
    run_models = options.model

elif options.config is not '':
    with open(options.config, 'r') as stream:
        configs = yaml.load(stream, Loader=yaml.BaseLoader)
        if configs['model'] is not None and configs['model'] is not '':
            run_models = configs['model']

if run_models is None or run_models == '':
    parser.print_help()
    sys.exit(1)

run_models = [x.upper().strip() for x in run_models.split(',')]

for run_m in run_models:
    if not run_m in Models:
        print ("""
You have assigned an invalid model ( {0} )
Program Terminated
""").format(run_m)
        sys.exit(1)

#-----
# Run PRE.....
#-----
current_path = os.path.dirname(os.path.abspath(__file__))
for run_m in run_models:
    print ("""
=====
RUN {0} model
=====
""").format(run_m)

    os.chdir(os.path.join(current_path, run_m))
    proc_name = './0_PRE_{0}.py'.format(run_m)
    print (proc_name)
    os.system(proc_name)

    print ("""
=====
COMPLETE TO RUN {0} model
=====
""").format(run_m)
```

Figure 2.10. A part of runPRE.py

```
#!/usr/bin/env python
# -*- coding: utf-8 -*-
"""
Created on Thu MAY 31 16:41:54 2017

@author: HJ, LEE (APEC Climate Center)

References: https://pyformat.info/
"""
import datetime
import calendar
import dateutil
import os
from dateutil.relativedelta import relativedelta

#-----
# TODO: Variable Definition: BASE Directories
#-----

NDATE = datetime.datetime.now()
LDATE = NDATE - relativedelta(months = 1)
FDATE1 = NDATE + relativedelta(months = 1)
FDATE2 = NDATE + relativedelta(months = 2)
FDATE3 = NDATE + relativedelta(months = 3)

FCMO1 = FDATE1.strftime("%B") [0]
FCMO2 = FDATE2.strftime("%B") [0]
FCMO3 = FDATE3.strftime("%B") [0]

#=====
# 1. Get raw data from ftp server
#=====
if not os.path.isdir(indir):
    os.makedirs(indir)
    os.chdir(indir)

import ftplib
ftp = ftplib.FTP('210.98.49.14', 'apcc', 'apcc@mme')
ftp.cwd(ftpdir)

file_list = ftp.nlst()

for filename in file_list:
    with open(filename, 'wb') as newfile:
        ftp.retrbinary('RETR ' + filename, newfile.write)
ftp.quit()

print ("=====")
print ("          COMPLETE TO DOWNLOAD ")
print ("=====")

#=====
# 2. copy raw data to indir for preprocessing and untie data with .tar format
#=====
# 2.1 Forecast Data
#=====
forecast_dir = os.path.join(redir, 'datain/forecast')
if os.path.isdir(forecast_dir) == False: # '%s/datain/forecast' % redir
    os.makedirs(forecast_dir)

import glob
import shutil
for fil in glob.glob('*monthly*'):
    print (fil)
    shutil.copy(fil, os.path.join(redir, 'datain/forecast'))

os.chdir(os.path.join(redir, 'datain/forecast'))
os.system('gunzip *monthly_*.gz')

print ("=====")
print ("          COMPLETE TO COPY RAW FORECAST DATA ")
print ("=====")

#=====
# 2.2 Hindcast Data
#=====
import shutil
permdir = os.path.join('/data01/OPER/PRE/PERM/CMCC_SPS/HINDCAST', FSEAS) # '/data11/PERM/CMCC_SPS/HINDCAST/' + FSEAS
hindcast_dir = os.path.join(redir, 'datain/hindcast')
if not os.path.isdir(hindcast_dir):
    #=====
# 3. preprocessing
#=====
os.system('module load ncl/6.0.0')
os.chdir('/data02/OPER/PRE/CMCC_SPS/src/')
os.system('ncl mknc_cmcc_fore.ncl')
os.system('ncl mknc_cmcc_hind.ncl')
```

Figure 2.11. Sample of Python script for individual model. for Pre-processing.

또한 개별 예측 모델 자료는 기존 표준화 과정에서 APCC 현업의 MME 계산 코드의 입/출력을 고려하여 3개월/6개월 lead time 단위의 파일로 만들어졌기 때문에, lead time 7 이상의 자료를 제공하는 개별 예측 모델일지라도 lead time 7 이상 혹은 lead time 4, 5까지 제공하는 자료의 lead time 4, 5 부분은 사용을 하지 못하였다. 본 과업에서는 개별 모델 자료의 활용성을 확대하고자, 각 개별모델이 제공하는 전체 lead time에 대하여 NetCDF 파일로 바로 변환 할 수 있도록 모든 개별모델의 전처리 코드를 개선하였다. 즉 기존에 사용하지 못하였던 lead time 7-8 이상의 예측 값, lead time 4-5의 예측 값을 본 과업을 통하여 향후 사용할 수 있도록 개선하였다. MME 현업 코드 역시 전처리 코드 개선과 더불어 전체 리드타임을 중 MME 수행에 필요한 부분만 추출하여 쓸 수 있도록 수정되었다. 또한 현업운영자가 바뀌더라도 쉽게 수정 및 개발이 가능할 수 있도록 개선된 전체 전처리 코드에 대한 운영 매뉴얼을 작성하여 부록 1에 제시하였다(Appendix 1). 부록 1은 개별 모형의 전처리 코드에 대해 상세하기 기술되었으며, 또한 현업운영절차에 대한 내용도 포함되었다.

2.3.3 Hindcast와 Forecast MME 개선

AFS의 Hindcast와 Forecast 부분의 개선을 위해 최신 리눅스 OS x86_64와 소프트웨어를 이용하여 새로운 하드웨어 시스템에 이식하고 테스트하였다. 시스템 개발/운영환경은 표 2.6과 같다. 포트란으로 작성된 핵심 알고리즘은 GNU 포트란을 이용하여 컴파일 하여 이용하였다.

개선된 AFS의 Hindcast와 Forecast 부분의 폴더 구조는 MME_IN과 MME_OUT을 제외하고 기존 AFS와 동일하게 구성하였다(그림 2.12). MME_IN과 MME_OUT은 기존 3/6개월 예측 기간 중심의 폴더 구조에서 MME 자료 입력·출력 중심의 폴더 구조로 변경되었다. AFS.Definitions, essential_libs.ncl, my.module, test.module, AFS_GetData.ncl, AFS_Initializer, AFS_PutData.ncl, writem.ncl, IDAT_BUILD.ncl 등 총 9개의 사용자정의 스크립트에 정의된 함수(function) 56개와 프로시저(procedure) 56개 중에서 Hindcast와 Forecast에는 함수 18개, 프로시저 14개가 사용되었다(표 2.7). Hindcast와 Forecast에 사용된 함수/프로시저 총 22개를 추출하여 9개의 사용자정의 스크립트를 새로 작성하였다.

루비로 작성된 기존 AFS의 Hindcast와 Forecast의 RUN 스크립트를 최근에 과학 분야에서 많이 사용되는 파이썬으로 마이그레이션하였다(그림 2.13). RUN 스크립트는 기존 루비로 작성된 스크립트와 동일한 방법으로 명령어 파라미터 또는 YAML 방식의 사용자정의 파일을 이용하여 Hindcast/forecast 실행 옵션을 지정하고 실행이 가능하다. YAML은 “변수명 : 입력값”의 구조를 가지며 그림 2.14와 같이 정의하여 이용한다. RUN 스크립트는 year, month, MME, lead, type, season 옵션을 제공한다.

Table 2.6. Software used for improving AFS

소프트웨어	버전	비고
Linux OS	CentOS 6.5 x86_64	AFS의 개발, 테스트, 시범운영에 사용된 운영체제
NCL	6.4.0	AFS의 알고리즘 구현에 이용
Python	3.6.1	AFS 운영에 필요한 배치 스크립트 작성에 이용
gFortran	4.4.7	AFS의 핵심 알고리즘 구현에 이용
Java	1.7.0_45	NCL Code Beautifier 개발에 이용

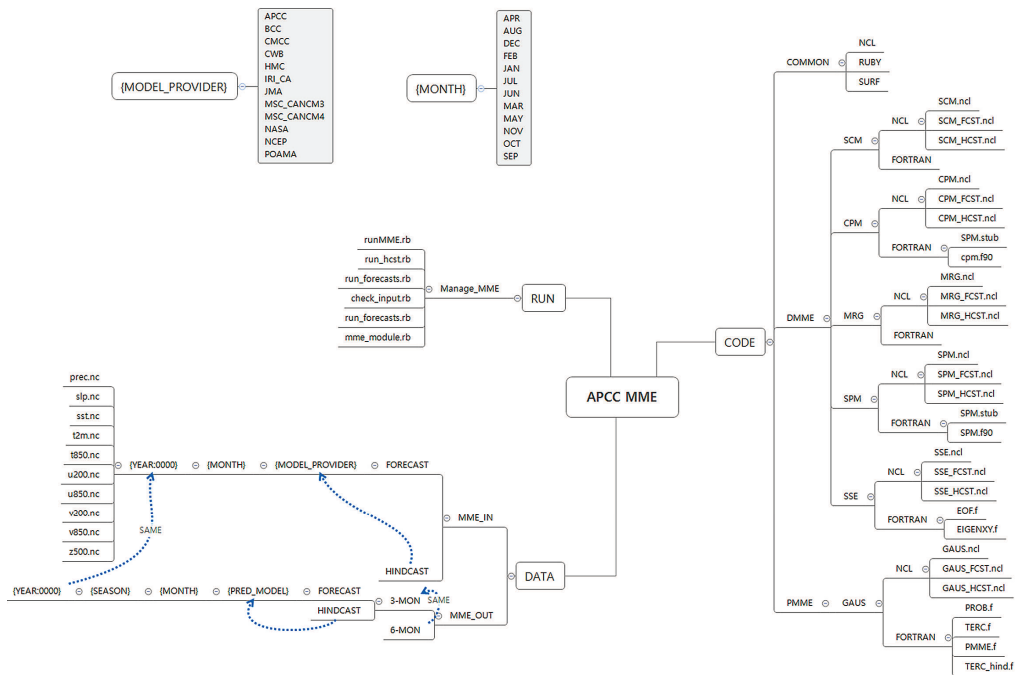


Figure 2.12. Directory structure of improved AFS system

Table 2.7. Summary of user-defined script

	9개 사용자정의 스크립트	Hindcast/Forecast에 사용
Function	56	18
AFS_Definitions	4	4
my.module	38	7
test.module	1	0
AFS_GetData.ncl	9	5
AFS_Initializer	2	0
IDAT_BUILD.ncl	2	2
Procedure	56	14
AFS_Definitions	2	2
my.module	19	6
test.module	25	1
AFS_GetData.ncl	1	1
AFS_Initializer	4	3
IDAT_BUILD.ncl	2	1

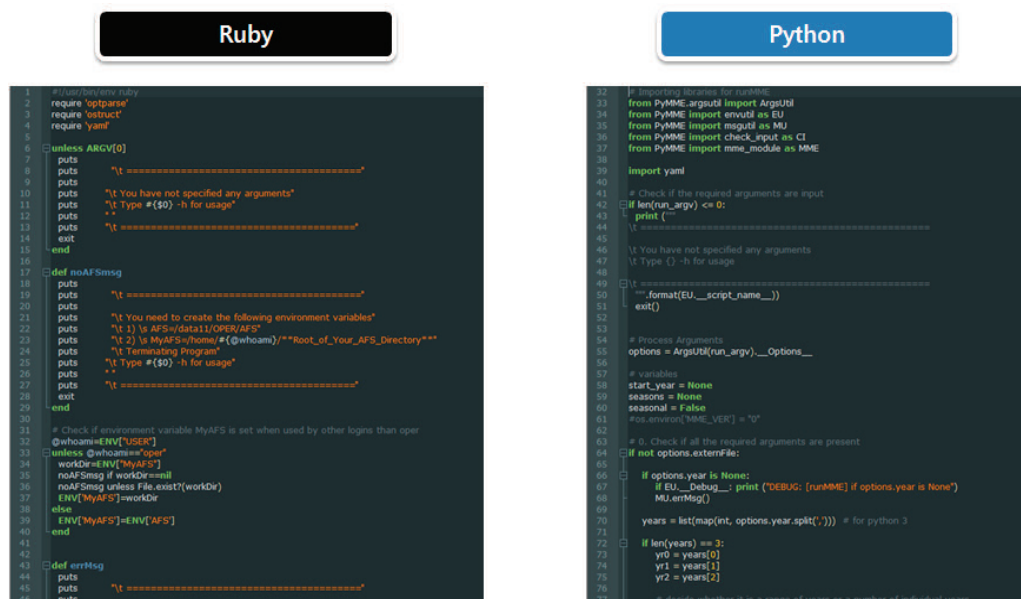


Figure 2.13. Comparison of existing ruby-based script and new python-based script to operate AFS

32비트 운영환경에서 개발된 기존 AFS를 최신의 64비트 운영환경으로 마이그레이션하고 32비트와 64비트 운영환경 간의 예측결과를 비교 하였다. 비교를 위해 소수점 연산 과정에 영향을 미치는 요소를 중심으로 Case 1, Case 2, Case 3을 구성하고 기존 AFS 시스템의 결과와 비교하였다(표 2.9). Case 2과 Case 3은 Oracle VM(Virtual Machine) VirtualBox를 이용하여 동일한 OS 버전 64비트와 32비트를 설치하고 기본 컴파일 옵션을 이용하였다. Case 1은 64비트 환경에 현 AFS 시스템과 동일한 방법 적용을 위해 80bit 확장배정도로 포트란 모듈을 컴파일 하였다.

SCM, GAUS, MRG, SSE, SPM 모델의 변수별 비교결과는 표 2.10, 표 2.11, 2.13와 같다. SCM 모델은 Case 1, Case 2, Case 3 모두 현 AFS 시스템과 차이가 없었다. SCM 모델의 경우에는 포트란 모듈을 전혀 사용하지 않기 때문에 포트란 컴파일 과정에서 발생하는 오차의 영향이 없었다. 그리고 NCL 버전이 다름에도 동일한 결과를 보였다는 것은 NCL 버전에 따른 오차는 거의 미비한 것으로 판단된다. 그리고 80 비트 확장배정도를 이용한 Case 2와 32 비트 환경인 Case 3의 비교에서도 동일한 결과를 보였다.

GAUS 모델의 결과는 Case 1에서 소수점 셋째, 넷째자리, Case 2에서 소수점 다섯째 자리에서 오차를 보였다. Case 2의 경우에는 일반적으로 FLOAT(포트란 REAL*4)의 소수점 유효자릿수(Significant digits)가 최소 6자리에서 최대 8자리까지로 볼 때 시스템 환경과 컴파일러의 차이에서 발생하는 오차로 판단된다.

```
year: 2017
month: MAY
lead: 3
MME SCM GAUS MRG SSE SPM
type: Forecast
season: MJJ
```

Figure 2.14. Example of YAML data RUN

Table 2.8. RUN script options

옵션	비고
-y, --year	예측년도
-m, --month	예측월
-M, -MME	MME 방법
-l, --lead	선행기반
-t, --type	Forecast 또는 Hindcast
-s, --season	계절평균

Table 2.9. System environment for case study

현 AFS 시스템		Case 1	Case 2	Case 3
CPU	Intel (R) Xeon (R) CPU X5690 @ 3.47GHz	Intel (R) Xeon (R) CPU E5506 @ 2.13GHz	Intel (R) Core (TM) i7-4790 CPU @ 3.60GHz	
OS	CentOS Linux release 6.0 (Final)	CentOS release 6.5 (Final) x86_64	CentOS release 6.9 (Final) x86_64	CentOS release 6.9 (Final) x86 i686
NCL	4.0.0	6.4.0 x86_64	6.0.0	6.0.0
GCC	gcc (GCC) 4.4.6 20120305 (Red Hat 4.4.6-4)	gcc version 4.4.7 20120313 (Red Hat 4.4.7-18) (GCC)	gcc version 4.4.7 20120313 (Red Hat 4.4.7-18) (GCC)	gcc version 4.4.7 20120313 (Red Hat 4.4.7-18) (GCC)
GFortran	GNU Fortran (GCC) 4.4.6 20120305 (Red Hat 4.4.6-4)	GNU Fortran (GCC) 4.4.7 20120313 (Red Hat 4.4.7-18)	GNU Fortran (GCC) 4.4.7 20120313 (Red Hat 4.4.7-18)	GNU Fortran (GCC) 4.4.7 20120313 (Red Hat 4.4.7-18)
PGI Fortran	pgf90 6.0-5 64-bit target on x86-64 Linux			
PGI C Compiler	pgcc 6.0-5 64-bit target on x86-64 Linux			
비고	• 64비트 환경에서 32비트 프로그램 이용	• 64비트 환경 • 80bit 확장배정도	• 64비트 환경 • Oracle VM 환경	• 32비트 환경 • Oracle VM 환경

Table 2.10. Comparisn of results of SCM and GAUS models

	SCM			GAUS		
	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 1	CASE 2	CASE 3
prec	0.0	0.0	0.0	0.00001525879	0.00026702880	0.00001525879
slp	0.0	0.0	0.0	0.00003051758	0.00199317900	0.00003051758
T2m	0.0	0.0	0.0	0.00003051758	0.00166702300	0.00003051758
t850	0.0	0.0	0.0	0.00003051758	0.00126838700	0.00003051758
z500	0.0	0.0	0.0	0.00003051758	1.51825000000	0.00003051758
u200	0.0	0.0	0.0			
V850	0.0	0.0	0.0			
v200	0.0	0.0	0.0			
V850	0.0	0.0	0.0			

MRG와 SSE 모델의 결과는 Case 1과 Case 3의 결과가 CASE 2 보다 좋은 결과를 보였다. GAUS 모델에 비해 MRG와 SSE 모델의 오차가 높은 결과를 보였다. 각 모델에서 경험직교함수(EOF, Empirical Orthogonal Function)와 특이값 분해(SVD, Singular Value Decomposition) 알고리즘이 이용되며, 경험직교함수 내에는 SVD 알고리즘이 적용되어 있다. SVD 알고리즘은 머신(machin), 운영체제(operation system), 컴파일러(compiler)에 따라 결과가 다르게 계산되는 알고리즘 중에 하나이며, 이로 인해 기기종의 컴퓨팅환경에서 동일한 결과를 얻기 어려운 문제가 있다¹⁾. 또한 SVD 알고리즘은 Decomposition 과정에서 변수의 자료형에 따라 언더플로우(underflow)가 쉽게 발생하는 특징이 있다. FLOAT 형 자료와 변수를 이용한 두 모델의 SVD 계산결과의 비교 검증이 필요하다. 그러나 SVD의 결과는 단순 비교가 어렵기 때문에 수식 2.1을 이용하여 SVD의 계산 결과를 검증하였다. 이 검증 값은 1에 가까울수록 정확도가 높음을 의미한다.

$$\frac{\text{norm}(U \times S \times V^T)}{\text{norm}(A)} \quad (2.1)$$

컴퓨팅 환경별 SVD 알고리즘의 계산 결과는 표 2.13과 같다. 계산 결과의 검증 값은 컴퓨팅 환경별로 1.0000000799E+00, 9.99999700587E-01, 1.00904927536E+00, 9.99999700587E-01, 1.00000000000E+00, 1.00000000000E+00을 보였다. Double 자료형을 이용한 CASE 4와 MATLAB 프로그램의 SVD 함수를 이용한 CASE 5의 결과가 1.0으로 현 AFS 시스템, CASE 1, CASE 2, CASE 3에 비해 정확한 계산 결과를 보였으며, 다음으로 현업서버, CASE 1(CASE 3), CASE 2의 순으로 정확한 결과를 보였다. GAUS, MRG, SSE 모델의 결과와 동일하게 64비트 환경에서 80비트 확장배정도를 이용한 CASE 1과 32비트 환경을 이용한 CASE 3의 결과가 동일하게 나타났다. 그러나 64비트 환경에서 계산된 CASE 2결과는 다른 사례와 달리 큰 오차를 보였다. 또한 U, S, V^T의 계산결과가 다른 사례와 비교하여 유사성을 보이지 않았다. 이는 계산과정에서 FLOAT 자료형의 범위인 3.4E-38(-3.4×10³⁸) ~ 3.4E+38(3.4×10³⁸)을 벗어나는 언더플로우 발생으로 인한 것으로 판단된다. 계산과정에서 언더플로우가 발생하면 계산 값은 0이 된다.

1) <https://kr.mathworks.com/matlabcentral/answers/97093-why-do-i-get-different-results-from-svd-using-different-machines-platforms-or-blas-in-matlab-7-6>

Table 2.11. Comparison of results of MRG and SSE models

	SCM			GAUS		
	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 1	CASE 2	CASE 3
prec	0.25243140000	1.67108800000	0.25243140000	0.03777304000	2.35262500000	0.03777304000
slp	1.03558300000	3.78070100000	1.03558300000	0.47729490000	1.44708300000	0.47729490000
T2m	0.74263000000	3.32180000000	0.74263000000	0.56808470000	2.96091500000	0.56808470000
t850	0.94227500000	3.10648200000	0.94227500000	1.88055000000	1.86871300000	1.88055000000
z500	41.96436000000	69.41357000000	41.96436000000	4.66796900000	22.89697000000	4.66796900000

Table 2.12. Computing environment for case study

	현 AFS 시스템	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4	CASE 5
CPU	Intel (R) Xeon (R) CPU X5690 @ 3.47GHz	Intel (R) Xeon (R) CPU E5506 @ 2.13GHz	Intel (R) Core (TM) i7-4790 CPU @ 3.60GHz	Intel (R) Xeon (R) CPU E5506 @ 2.13GHz	Intel (R) Xeon (R) CPU X5690 @ 3.47GHz	
OS	CentOS Linux release 6.0 (Final)	CentOS release 6.5 (Final) x86_64	CentOS release 6.9 (Final) x86_64	CentOS release 6.9 (Final) x86_64	CentOS release 6.5 (Final) x86_64	CentOS Linux release 6.0 (Final)
Compiler	pgf90 6.0-5 64-bit target on x86-64 Linux	GNU Fortran (GCC) 4.4.7 20120313 (Red Hat 4.4.7-18)	GNU Fortran (GCC) 4.4.7 20120313 (Red Hat 4.4.7-18)	GNU Fortran (GCC) 4.4.7 20120313 (Red Hat 4.4.7-18)	GNU Fortran (GCC) 4.4.7 20120313 (Red Hat 4.4.7-18)	
MATLAB						8.0.0.783 (R2012b) ^a
비고	• 64비트 환경에서 32비트 프로그램 이용	• 64비트 환경 • 80bit 확장배정도	• 64비트 환경 • Oracle VM 환경	• 32비트 환경 • Oracle VM 환경	• 64비트 환경 • float 자료형을 double로 변경	• MATLAB의 SVD함수 이용

^a SVD 함수: Intel (R) Math Kernel Library Version 10.3.9 Product Build 20120313 for Intel (R) 64 architecture applications

마지막으로 SPM 모델의 결과는 CASE 1, CASE 2, CASE 3에서 t850 모델을 제외한 모든 변수에서 동일한 오차를 보였다. 이는 SPM 모델이 FLOAT 자료형의 유효자릿수 내에서 계산이 되는 것으로 판단된다. 그러나 t850 변수에서만 CASE 2가 CASE 1과 CASE 3의 결과와 달리 낮은 것으로 볼 때 SPM 모델에 대한 추가 검증이 필요할 것으로 판단된다.

향후 연구에서 AFS 시스템의 MME 모델을 기존 시스템 환경에서 새로운 시스템 환경으로 이전하는 과정에서 발생하는 오차에 대한 보다 상세한 검증이 필요할 것으로 판단된다. 또한 MRG 모델과 SSE 모델의 SVD 알고리즘 검증에서 DOUBLE 자료형이 FLOAT 자료형보다 높은 정확도를 보였기 때문에 FLOAT 자료형으로 개발된 MME 모델의 NCL 소스코드와 포트란 소스코드를 DOUBLE 자료형으로 변환하는 과정이 필요할 것으로 판단된다.

Table 2.13. Comparison of results of SPM model

	SPM		
	CASE 1	CASE 2	CASE 3
prec	7.29562000000	7.29562000000	7.29562000000
slp	10.90536000000	10.90536000000	10.90536000000
T2m	14.56098000000	14.56098000000	14.56098000000
t850	10.49131000000	1.48382700000	10.49131000000
z500	206.27210000000	206.27200000000	206.27210000000

2.3.4 요약

APCC 기후예측시스템의 안정적이고 효율적인 운영을 위해 우선 전처리과정, Hindcast와 Forecast MME에 대한 개선 및 개발을 수행하였다. 먼저 AFS시스템 개선 이전에 현 상황에 대한 진단을 수행하였다. 현재 운영중인 AFS는 시스템을 구성하는 스크립트, 포트란 모듈 등이 과거 32비트 운영체제 환경에서 구축되어있다. 또한 다년간의 개발 및 운영에 따른 소스코드 내 불필요한 함수와 프로시저 존재, 노후화된 하드웨어 및 오래된 소프트웨어 버전 사용, RUN 스크립트 작성에 사용된 루비(Ruby)의 버전 호환성, NCL 버전 호환성, 특정 포트란 컴파일러 의존성 등의 문제점이 발견되었다. 그리고 3/6개월 예측기간에 따라 입력 자료가 개별로 관리됨으로써 불필요한 스토리지 자원 사용 및 예측 기간이 변경될 경우 확장성이 떨어지는 문제점이 발견되었다.

이러한 문제점을 해결하기 위해, 최적의 현업운영과정을 설계하고, 불필요한 작업으로 인한 인적자원 및 시간낭비를 최소화하기 위해 모든 개선 과정에 대한 설계와 규칙을 적용하였다.

전처리 과정은 실행프로그램명 및 코드 모듈명 규칙 설정 및 정리, 효율적인 현업운영을 위한 메인 프로그램의 개발, 전처리 프로그램 구성의 통일, AFS와 전처리의 결합, data 표준화 과정중 binary 자료 생성과정 생략을 통해 개선을 하였다. 64비트 운영체제 환경에서 최신 버전의 소프트웨어를 이용하여 현재 운영중인 AFS의 Hindcast와 Forecast의 이식 및 테스트, 포트란 컴파일러의 의존성 분석, 예측 결과의 비교 및 검토, 그리고 예측 기간에 상관없이 이용 가능한 입력 자료의 단일화부분이 개선이 되었다. 따라서 AFS의 개선을 통해 APCC는 보다 안정적이고 효율적인 기후예측정보 생산체제 구축되었다.

Table 2.14. Calculation results of SVD algorithm of each computing environment

	원 AFS 시스템				CASE 1								
A	4.47641923529E-13	1.75859327101E-13	3.33955086807E-13	4.47641923529E-13	1.75859327101E-13	3.33955086807E-13	4.47641923529E-13	1.75859327101E-13	3.33955086807E-13	4.47641923529E-13	1.75859327101E-13	3.33955086807E-13	4.47641923529E-13
	1.75859327101E-13	2.03995034099E-02	-2.75962171145E-04	1.75859327101E-13	1.75859327101E-13	2.03995034099E-02	-2.75962171145E-04	1.75859327101E-13	2.03995034099E-02	-2.75962171145E-04	1.75859327101E-13	2.03995034099E-02	-2.75962171145E-04
	3.33955086807E-13	-2.75962171145E-04	2.46114954352E-02	3.33955086807E-13	3.33955086807E-13	-2.75962171145E-04	2.46114954352E-02	3.33955086807E-13	-2.75962171145E-04	2.46114954352E-02	3.33955086807E-13	-2.75962171145E-04	2.46114954352E-02
	4.47641923529E-13	1.75859327101E-13	3.33955086807E-13	4.47641923529E-13	4.47641923529E-13	1.75859327101E-13	3.33955086807E-13	4.47641923529E-13	1.75859327101E-13	3.33955086807E-13	4.47641923529E-13	1.75859327101E-13	3.33955086807E-13
	-4.93987251104E-08	6.51010945439E-02	-9.97878611088E-01	-1.63144839860E-08	7.9215173308E-10	6.51012510061E-02	-9.97878670692E-01	-4.21756406867E-08	6.51012510061E-02	-9.97878670692E-01	-4.21756406867E-08	6.51012510061E-02	-9.97878670692E-01
U	8.53487804875E-08	9.97878730297E-01	6.51010274887E-02	4.28854960433E-08	3.75064637126E-08	9.97878949506E-01	6.51012659073E-02	1.30859794112E-08	9.97878949506E-01	6.51012659073E-02	1.30859794112E-08	9.97878949506E-01	6.51012659073E-02
	7.07106828690E-01	-8.26548340882E-09	1.35041702265E-08	-7.07106769085E-01	7.07106530666E-01	-2.04890966415E-08	7.45057704421E-09	-7.07106590271E-01	7.07106530666E-01	-2.04890966415E-08	7.45057704421E-09	-7.07106590271E-01	7.07106590271E-01
	7.07106888294E-01	-5.78405057183E-08	7.12383680934E-08	7.07106828690E-01	7.07106471062E-01	-1.36200540624E-07	-1.0039308387E-07	7.07106649876E-01	7.07106471062E-01	-1.36200540624E-07	-1.0039308387E-07	7.07106649876E-01	7.07106649876E-01
S	2.46294997633E-02	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	2.46294997633E-02	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	2.46294997633E-02	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	2.46294997633E-02	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00
	0.00000000000E+00	2.03814934939E-02	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	2.03814934939E-02	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	2.03814934939E-02	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	2.03814934939E-02	0.00000000000E+00
	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	7.44298000000E-20	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00
	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	8.95283901268E-13	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00
	-1.30655737965E-11	9.67674204655E-12	-7.07106709480E-01	7.07106769085E-01	-1.3065572659E-11	9.6767567170E-12	7.07106828690E-01	-1.3065572659E-11	9.6767567170E-12	7.07106828690E-01	-1.3065572659E-11	9.6767567170E-12	7.07106828690E-01
V ^T	6.51010349393E-02	9.97878789902E-01	4.01259110000E-18	-1.24530741621E-11	6.51012510061E-02	9.97878670892E-01	-6.50903920000E-18	-1.24530967135E-11	6.51012510061E-02	9.97878670892E-01	-6.50903920000E-18	-1.24530967135E-11	6.51012510061E-02
	-9.97878670692E-01	6.51011094451E-02	-1.08728284000E-17	-1.93291754130E-11	-9.97878670692E-01	6.51014000177E-02	-2.86486858000E-17	-1.93291944950E-11	-9.97878670692E-01	6.51014000177E-02	-2.86486858000E-17	-1.93291944950E-11	-9.97878670692E-01
	-1.30655460409E-11	9.67680362923E-12	7.07106769085E-01	7.07106649876E-01	-1.30655564493E-11	9.67675592434E-12	-7.07106828690E-01	7.07106649876E-01	-1.30655564493E-11	9.67675592434E-12	-7.07106828690E-01	7.07106649876E-01	7.07106828690E-01
norm (U×S×V ^T) ÷ norm (A)		1.0000000799E+00	(+0.0000000799)			9.99999700587E-01	(-0.000000299413)			9.99999700587E-01	(-0.000000299413)		
	CASE 2				CASE 3								
A	4.47641923529E-13	1.75859327101E-13	3.33955086807E-13	4.47641923529E-13	1.75859327101E-13	3.33955086807E-13	4.47641923529E-13	1.75859327101E-13	3.33955086807E-13	4.47641923529E-13	1.75859327101E-13	3.33955086807E-13	4.47641923529E-13
	1.75859327101E-13	2.03995034099E-02	-2.75962171145E-04	1.75859327101E-13	1.75859327101E-13	2.03995034099E-02	-2.75962171145E-04	1.75859327101E-13	2.03995034099E-02	-2.75962171145E-04	1.75859327101E-13	2.03995034099E-02	-2.75962171145E-04
	3.33955086807E-13	-2.75962171145E-04	2.46114954352E-02	3.33955086807E-13	3.33955086807E-13	-2.75962171145E-04	2.46114954352E-02	3.33955086807E-13	-2.75962171145E-04	2.46114954352E-02	3.33955086807E-13	-2.75962171145E-04	2.46114954352E-02
	4.47641923529E-13	1.75859327101E-13	3.33955086807E-13	4.47641923529E-13	4.47641923529E-13	1.75859327101E-13	3.33955086807E-13	4.47641923529E-13	1.75859327101E-13	3.33955086807E-13	4.47641923529E-13	1.75859327101E-13	3.33955086807E-13
	-7.07106828690E-01	1.34110450745E-07	6.14672899246E-08	-7.07106947899E-01	7.9215173308E-10	6.51012510061E-02	-9.97878670892E-01	-4.21756406867E-08	6.51012510061E-02	-9.97878670892E-01	-4.21756406867E-08	6.51012510061E-02	-9.97878670892E-01
U	3.15858468033E-08	9.52333619398E-02	-9.95454967022E-01	1.92269489219E-08	3.75064637126E-08	9.97878949506E-01	6.51012659073E-02	1.30859794112E-08	9.97878949506E-01	6.51012659073E-02	1.30859794112E-08	9.97878949506E-01	6.51012659073E-02
	1.4117378551E-07	9.95454907417E-01	9.52338948946E-02	1.14054856226E-07	7.07106530666E-01	-2.04890966415E-08	7.45057704421E-09	-7.07106590271E-01	7.07106530666E-01	-2.04890966415E-08	7.45057704421E-09	-7.07106590271E-01	7.07106590271E-01
	7.07106828690E-01	-2.98023223877E-08	-1.49011611938E-08	-7.07106709480E-01	7.07106471062E-01	-1.36200540624E-07	-1.0039308387E-07	7.07106649876E-01	7.07106471062E-01	-1.36200540624E-07	-1.0039308387E-07	7.07106649876E-01	7.07106649876E-01
	7.37034023222E-13	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	2.46294997633E-02	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	2.46294997633E-02	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	2.46294997633E-02	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00
S	0.00000000000E+00	2.48523801565E-02	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	2.03814953566E-02	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	2.03814953566E-02	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00
	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	2.01987065375E-02	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00
	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	5.42101000000E-20	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00
	-1.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	-1.3065572659E-11	9.6767567170E-12	7.07106828690E-01	-1.3065572659E-11	9.6767567170E-12	7.07106828690E-01	-1.3065572659E-11	9.6767567170E-12	7.07106828690E-01
V ^T	0.00000000000E+00	1.06609448791E-01	9.94300901890E-01	3.31584065760E-10	6.51012510061E-02	9.97878670892E-01	-6.50903920000E-18	-1.24530967135E-11	6.51012510061E-02	9.97878670892E-01	-6.50903920000E-18	-1.24530967135E-11	6.51012510061E-02
	0.00000000000E+00	-9.94300842285E-01	1.06609545648E-01	-7.53629797456E-11	-9.97878670892E-01	6.51014000177E-02	-2.86486858000E-17	-1.93291944950E-11	-9.97878670892E-01	6.51014000177E-02	-2.86486858000E-17	-1.93291944950E-11	-9.97878670892E-01
	0.00000000000E+00	1.10283511490E-10	3.21659976432E-10	-1.00000000000E+00	-1.30655564493E-11	9.67675592434E-12	-7.07106828690E-01	7.07106649876E-01	-1.30655564493E-11	9.67675592434E-12	-7.07106828690E-01	7.07106649876E-01	7.07106828690E-01
norm (U×S×V ^T) ÷ norm (A)		1.00904927536E+00	(+0.00904927536)			9.99999700587E-01	(-0.000000299413)			9.99999700587E-01	(-0.000000299413)		

Table 2.14. (continued)

	CASE 4				CASE 5			
A	4.47641923529E-13	1.75859327101E-13	3.33955085807E-13	4.47641923529E-13	4.47641923529E-13	1.75859327101E-13	3.33955085807E-13	4.47641923529E-13
	1.75859327101E-13	2.03995034099E-02	-2.75962171145E-04	1.75859327101E-13	1.75859327101E-13	2.03995034099E-02	-2.75962171145E-04	1.75859327101E-13
	3.33955085807E-13	-2.75962171145E-04	2.46114954352E-02	3.33955085807E-13	3.33955085807E-13	-2.75962171145E-04	2.46114954352E-02	3.33955085807E-13
	4.47641923529E-13	1.75859327101E-13	3.33955085807E-13	4.47641923529E-13	4.47641923529E-13	1.75859327101E-13	3.33955085807E-13	4.47641923529E-13
U	-1.30653789998E-11	6.51009581653E-02	-9.97878682629E-01	-1.30654248148E-11	-1.30655486430E-11	9.67670388263E-12	-7.07106781187E-01	-7.07106781187E-01
	9.67682152586E-12	9.97878682629E-01	6.51009581653E-02	9.67685580617E-12	6.51009581653E-02	9.97878682629E-01	1.24530386003E-11	-1.38777878078E-17
	-7.07106781187E-01	5.55111512000E-17	-2.77555756000E-17	7.07106781187E-01	-9.97878682629E-01	6.51009581653E-02	1.93292604145E-11	2.77555756156E-17
	-7.07106781187E-01	1.24532329075E-11	1.93291667355E-11	-7.07106781187E-01	-1.30654931318E-11	9.67674551600E-12	-7.07106781187E-01	7.07106781187E-01
S	2.46294990283E-02	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	2.46294990283E-02	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00
	0.00000000000E+00	2.03814998168E-02	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	2.03814998168E-02	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00
	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	7.61060000000E-21	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	8.95283847046E-13	0.00000000000E+00
	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	0.00000000000E+00	7.13995386233E-29
V ^T	-1.30655540245E-11	9.67676920282E-12	7.07106781197E-01	-7.07106775176E-01	-1.30655540345E-11	9.67676920282E-12	-7.07106781187E-01	7.07106781187E-01
	6.51009581653E-02	9.97878682629E-01	-1.05860300000E-19	1.24530860683E-11	6.51009581653E-02	9.97878682629E-01	1.24530860683E-11	2.58493941423E-26
	-9.97878682629E-01	6.51009581653E-02	-1.64312400000E-19	1.93291949087E-11	-9.97878682629E-01	6.51009581653E-02	1.93291949087E-11	-1.61558713389E-26
	-1.30655540345E-11	9.67676920282E-12	-7.07106775176E-01	-7.07106787197E-01	-1.30655540345E-11	9.67676920282E-12	-7.07106781187E-01	-7.07106781187E-01
norm (U×S×V ^T) ÷ norm (A)	1.00000000000E+00 (상대값: 0.9999999999999999)				1.00000000000E+00			

3. 개별모델/MME 특성 분석 및 예측력 평가

3.1 2016/17년 실시간 예측에 대한 개별모델 및 MME 예측력 평가

3장에서는 2016년의 실시간 예측(real-time Forecast; 2016JFM-2016/17DJF)에 대한 APCC 개별모델 및 MME의 예측력을 검증하고자 한다. 즉, APCC가 예측한 실시간 MME 예측정보를 객관적으로 평가하고, 개별모델의 특성분석을 통해 2016/17년 APCC MME 예측력의 원인을 파악하고자 한다. 이를 통해, APCC 계절기후예측시스템의 현재 수준 및 한계점 등을 분석하여 향후 이를 개선하는데 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

3.1.1 2016/17년 연평균 기온 및 강수

APCC 개별모델 및 MME 예측력 평가에 앞서, 2016/17년 전지구 순환 패턴을 우선 살펴보았다. 미국 국립해양대기청(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)에 따르면, 2016년 전지구 연평균 기온의 평년대비(1961-1990년) 편차는 +0.94°C로 1880년 이후 가장 따뜻했던 해로 기록되었다(NOAA, 2017). 이러한 고온 현상은 온난화와 더불어 2015/16년 겨울에 발달한 강한 엘니뇨의 영향이 여름까지 지속되면서 전 지구 평균기온이 크게 상승하였다. 2016년 연평균 기온은 동시베리아 남서지역과 아르헨티나 지역을 제외한 거의 모든 대륙에서 평년보다(1981-2010년) 높았다(TCC, 2017: 그림 3.1a). 특히, 알래스카, 캐나다 북서부, 중앙아메리카, 아프리카 동부/서부, 대부분의 동남아시아 도서국지역은 평년대비 굉장히 더웠으며, 기온에 비해 강수는 지역적 편차가 크게 나타나면서 극한 강수 및 가뭄이 세계 곳곳에서 발생하였다. 2016년 연강수량은 중국 동부, 몽골, 중앙아시아, 동유럽 남부, 인도네시아에서 평년보다 많았으며, 인도 남부, 브라질 동부지역에서는 평년보다 적은 강수를 기록하였다(그림 3.1b). 세계기상기구(World Meteorological Organization, WMO)²⁾는 특히 아프리카 남부(예, 말라위, 앙골라, 잠비아, 마다가스카르 등)와 칠레 남부의 가뭄은 아주 심각한 단계라고 보고했다.

2) https://ane4bf-datap1.s3-eu-west-1.amazonaws.com/wmocms/s3fs-public/2016_WMO_Statement_on_the_Status_of_the_Global_Climate-14-11-16-ver2.pdf?ZmlaubFZknHEGDBpyxTBpTcrNotiDpDo

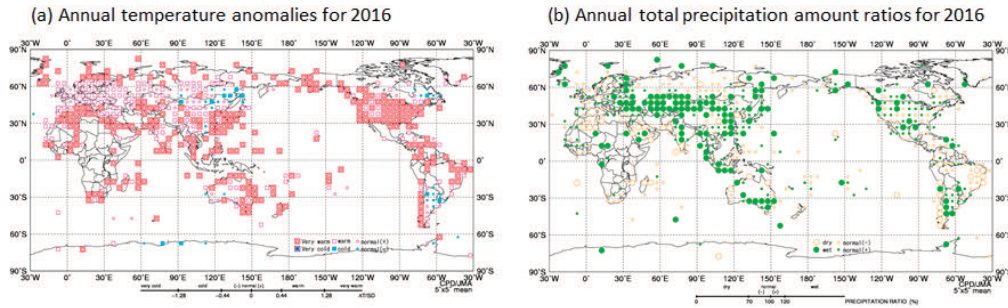


Figure 3.1. (a) Annual mean temperature anomalies for 2016. Categories are defined by the annual mean temperature anomaly against the normal divided by its standard deviation. The thresholds of each category are -1.28 , -0.44 , 0 , $+0.44$, $+1.28$. The normal values and standard deviations are calculated from 1981–2010 statistics. (b) Annual total precipitation amount ratios for 2016. Categories are defined by the annual precipitation ratio. The thresholds of each category are 70, 100, and 120%. The figures are extracted from Tokyo Climate Center (TCC) Newsletter (2017).

3.1.2 2016/17년 개별모델/MME 예측성 평가

3.1.2.1 해수면 온도 및 ENSO 예측성

(1) 적도태평양 SST 변동성 평가

2016/17년 APCC MME 실시간 예측정보의 예측력을 살펴 보기위해 우선 해수면온도(sea surface temperature, SST) 및 Nino 3.4 지수³⁾에 대해 살펴보았다. 그림 3.2은 실제 APCC MME 현업에 참여했던 대기-해양 접합모델 및 단순평균기법을 활용한 MME가 모의한 월별 적도태평양(5°N - 5°S) SST 편차를 2013-2016년까지 나타내었다. APCC MME 실시간 예측은, 그 당시 현업 상황에 따라 참여모델 수가 조금씩 다르며(예, 자료 제공 지연 또는 자료 이상 등), 본 연구에서는 실제 APCC MME 홈페이지를 통해 공식적으로 제공한 2016/17년 예측정보에 대한 신뢰도 평가가 목적이기 때문에 모델 수가 상이함에 따른 매월 MME 예측력 차이는 고려하지 않았다. 현재 APCC MME 6개월 예측에 활용되고 있는 대기-해양 접합모델(1-tier model)에 대한 자세한 설명은 표 3.1에 나타내었다. 참고로 캐나다 기상청(Meteorological Service of Canada, MSC)은 기존에 2개의 대기-해양 접합모델의 자료(MSC_CANCM3, MSC_CANCM4)를 각각 제공하다 2016년부터 2개 모델의 예측정보를 하나로 통합하여 MSC로 제공하

3) 엘니뇨 감시구역 3.4 지역(5°S - 5°N , 170° - 120°W) SST 영역 평균 값

고 있다(그림 3.2f).

2015년 여름철부터 동태평양에서 양의 SST 편차를 보이다 그해 겨울 강한 엘니뇨로 발달하고 점차 약해지다 2016년 여름철에 약한 라니냐의 상태를 보였다(그림 3.2a). APCC MME 6개월 예측에 참여하고 있는 대부분의 모델들은 1개월 선행시간에서 관측에서 나타나고 있는 SST 변동성을 대체적으로 잘 모의하는 것으로 보인다. 하지만 NCEP(National Centers for Environmental Prediction)의 경우 전반적으로 관측에 비해 따뜻하게 모의(warm bias)하는 경향을 보이며, 그 결과 2015/16 엘니뇨는 관측보다 강하게 모의, 2016년 약한 라니냐는 중립 또는 약한 엘니뇨로 모의하는 경향을 보였다(그림 3.2h). 실시간 예측에서 나타나고 있는 NCEP의 warm bias에 대해선 뒤에서 다시 자세히 설명하도록 하겠다. NCEP과 반대로, POAMA는 전반적으로 관측에 비해 낮게 모의(cold bias)하는 경향을 보이며 그 결과 2015/16 엘니뇨는 관측에 비해 약하게, 2016년 라니냐는 강하게 모의하는 경향을 보였다(그림 3.2j). APCC MME는 관측에서 나타난 ENSO 변동성을 상당히 잘 모의하고 있으며, 특히 선행시간 1개월에서 2015/16 엘니뇨와 2016년 라니냐의 강도 및 위치를 개별모델에 비해 관측과 유사하게 모의하였다(그림 3.3b). 하지만 선행시간이 길어질수록(1개월 → 6개월), 2015/16 엘니뇨 강도는 점점 약하게, 엘니뇨 발달 시기는 점점 느리게 예측하고 있으며, 2016년 라니냐 또한 점점 느리게 발달할 것으로 예측했지만 관측보다 넓은 지역에서 강하게 모의하는 경향을 보였다(그림 3.3c-e).

Table 3.1. Description of participating models for APCC 6-month MME forecasts

모델	해상도	양상불 수(H/F)	참고문헌
APCC-CCSM3	T850L26	10/10	Jeong et al. (2008)
CMCC	T63L19	9/9	Alessandri et al. (2010)
MSC_CANCM3	T63L31	10/10	Scinocca et al. (2008)
MSC_CANCM4	T63L31	10/10	Merryfield et al. (2013)
NASA	288×181 grid, L72	11/11	Molod et al. (2012)
NCEP	T62L64	20/20	Saha et al. (2014)
PNU	T41L18	5/5~10	Ahn and Kim (2003)
POAMA	T47L17	33/33	Lim et al. (2012)

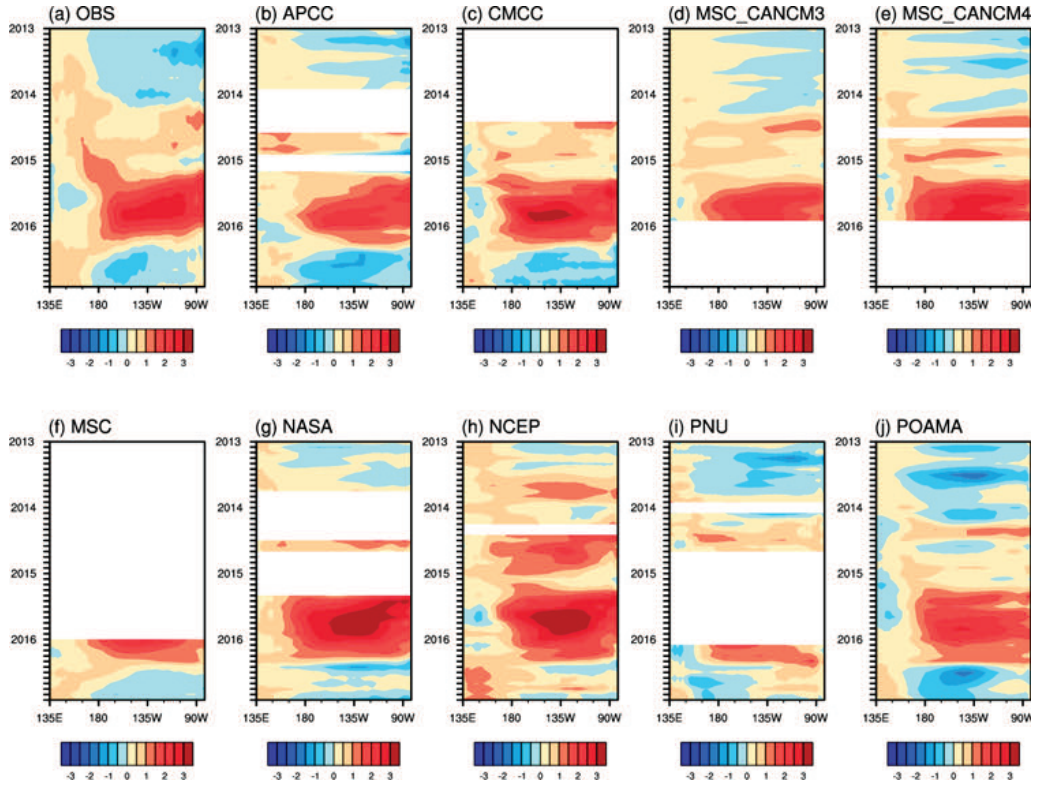


Figure 3.2. Monthly evolution of equatorial Pacific SST departures (5°N – 5°S) from (a) observation and (b-j) APCC single-model predictions for the period Jan. 2013 – Dec. 2016.

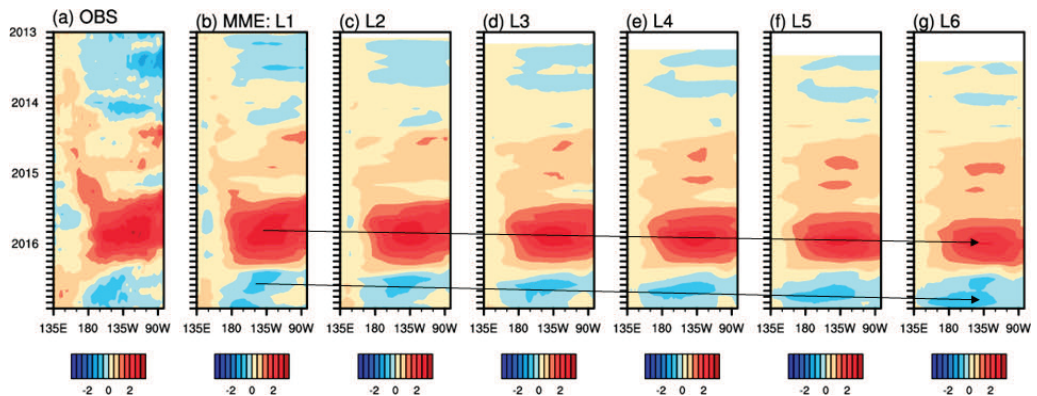


Figure 3.3. Same as Figure 3.2, except for MME at lead times of 1–6 months.

(2) 초기장에 따른 ENSO 예측력 평가

다음은 초기장에 따른 Nino 3.4 지수의 예측력을 살펴보기 위해, 2015/16 강한 엘니뇨의 전 과정(발달부터 소멸까지)을 포함하는 기간에 대해서 분석하였다(즉, 2014년 12월 초기장을 활용한 2015JFMAMJ 예측부터 2016년 11월 초기장을 활용한 2016/17DJFMAM까지; 그림 3.4-5). 엘니뇨가 발달하는 시기인 2015년 봄철 초기장을 활용하여 예측한 Nino 3.4 지수의 경우, 예측시간이 길어질수록(1개월 → 6개월) 개별모델의 예측 범위(spread)가 커지고, 엘니뇨가 발달할수록 개별모델간의 예측 범위 또한 점점 커짐을 알 수 있다. 이는 엘니뇨 발달시기에 개별모델이 예측한 엘니뇨의 강도 및 위상이 서로 상이함을 의미 한다. 그 결과, 엘니뇨 발달시기에 APCC MME가 모의한 2015/16 엘니뇨는 관측에 비해 강도가 상당히 약할 것으로 예측하였다. 하지만 관측에서 이미 강한 엘니뇨의 임계값인 1.5°C 를 초과한 2015년 7월 이후 자료를 초기장으로 활용하여 예측한 Nino 3.4 지수는 2015/16 엘니뇨 강도, 시점, 소멸과정에 대해서 관측과 매우 유하게 모의하였다. 특히, 엘니뇨 최성기 이후 점점 소멸하는 단계에서 APCC MME가 예측한 Nino 3.4 지수는 관측과 거의 일치하는 모습을 보였다. 마지막으로 엘니뇨 소멸이후 ENSO 중립시기(늦봄-여름철)의 초기장을 활용한 6개월 예측결과는 앞서 엘니뇨 발달/소멸시기에 비해 관측과 차이가 다소 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 예측시간이 길어질수록 개별모델간의 예측 범위가 커지는 것이 일반적인데, 중립시기에 예측한 Nino 3.4 지수는 예측시간 1개월에서조차 개별모델의 예측 범위가 상당히 넓게 나타남을 알 수 있다.

초기장(또는 ENSO 위상)에 따른 Nino 3.4 지수의 예측력을 살펴보면, 엘니뇨 소멸/발달 시기는 ENSO 중립시기에 비해 예측력이 높게 나타나며, 특히 엘니뇨 소멸시기가 발달시기에 비해 예측력이 높음을 확인 할 수 있었다. 이러한 특징은 비단 2015/16 엘니뇨에서만 나타나는 것은 아니며, Hindcast 자료를 활용한 선행연구와 일치하는 결과이다(예, Jin et al., 2008; Zheng et al., 2016). ENSO 중립이 자주 발생하는 봄/여름철이 엘니뇨(또는 라니냐) 최성기인 가을/겨울철에 비해 예측력이 낮은 것을 해양-대기 접합모델에서 흔히 나타나는 봄철 SST 예측력의 한계(spring predictability barrier; Jin et al., 2008; Barnston et al., 2012; Larson and Kirtman, 2016)이며, 이렇게 낮은 예측력은 봄철 SST 변동성 및 SNR(signal-to-noise ratio)⁴⁾가 다른

계절에 비해 작기 때문이다(Kumar et al., 2016).

다음은 ENSO 종류(phase 또는 type) 및 강도(strength)를 정의하는 데 일반적으로 사용되고 있는 Nino 3.4 지수의 3개월 평균값(Oceanic Nino Index, ONI⁵⁾)에 대한 개별모델 및 MME의 예측력을 살펴보았다(그림 3.6). APCC MME에 참여하는 모델은 매월 향후 6개월의 예측정보를 포함하고 있기 때문에, 3개월 평균장을 활용하는 ONI의 경우 선행시간 4개월까지 표현이 가능하다(즉, 2월 초기자료를 활용하여 3-8월까지 월별 예측정보를 가지고, 3개월 평균 ONI는 3-5월, 4-6월, 5-7월, 6-8월 계산 가능). 선행시간 1개월에 대해서 개별모델이 모의한 ONI는 관측에서 나타나고 있는 계절별(3개월 평균) 변동성을 잘 따르고 있음을 알 수 있으며, 그 결과 APCC MME가 모의한 ONI는 지난 4년 동안(4년 × 12개월 = 48개의 표본) 관측과 0.97의 상관도(Temporal Correlation Coefficient, TCC)를 보였다(그림 3.6a). 선행시간이 길어질수록 개별모델의 예측 범위는 커지면서 예측력은 떨어지지만, MME의 경우 개별모델에 비해 선행시간에 따른 예측력 감소 정도가 작으며(Jin et al., 2008; Barnston et al., 2017; Tippett et al., 2017), 그 결과 APCC MME의 경우 선행시간 6개월에 대해서도 2013-2016년 기간 동안 여전히 높은 예측력을 보이고 있다(TCC=0.92). 이는 개별모델에 비해 MME의 예측력이 높다는 기존의 선행연구와 일치하는 결과이다(예, Doblas-Reyes et al., 2005; Hagedorn et al., 2005; Min et al., 2009; Wang et al., 2009; Min et al., 2014).

4) 예측 가능한 부분(predictable component)과 예측 불가능한 부분(unpredictable component)에 대한 비율
5) <http://ggweather.com/enso/oni.htm>

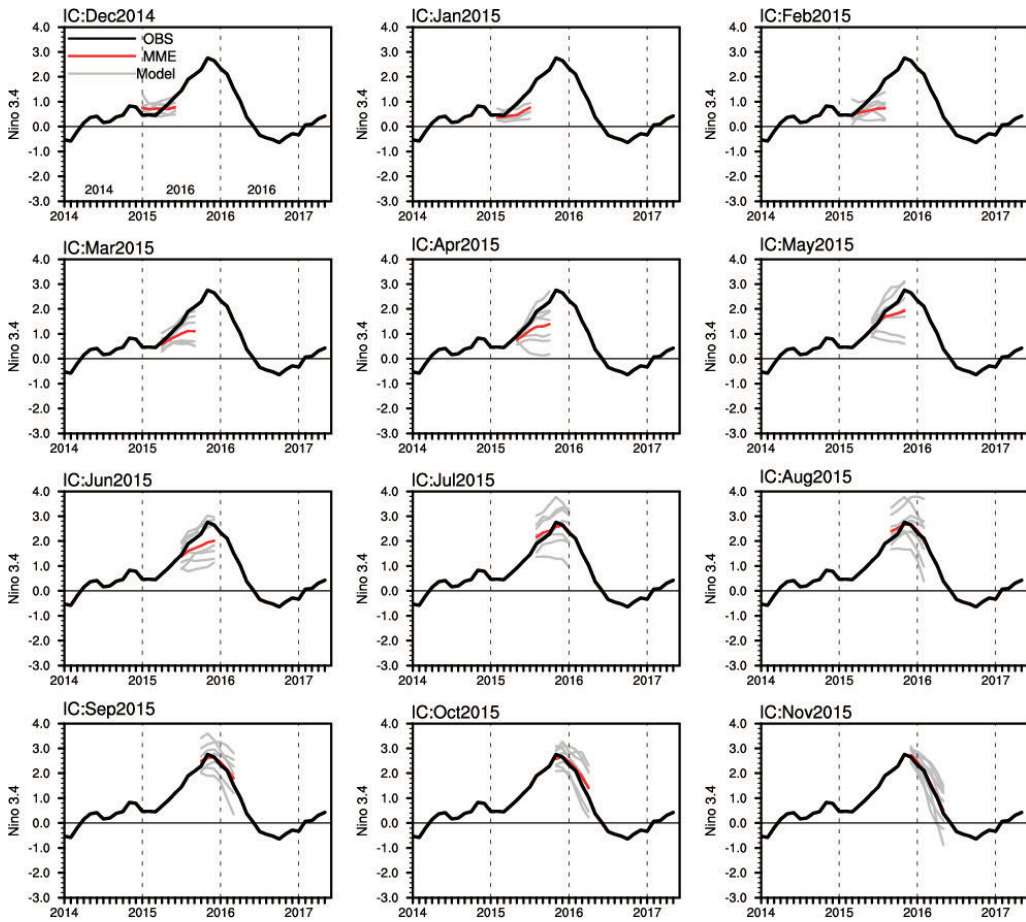


Figure 3.4. Monthly mean Nino 3.4 index from observation (black), APCC single-model (grey) and MME (red) for the upcoming 6 months at a different initial time for the period 2015JFMAMJ-2015/16DJFMAM.

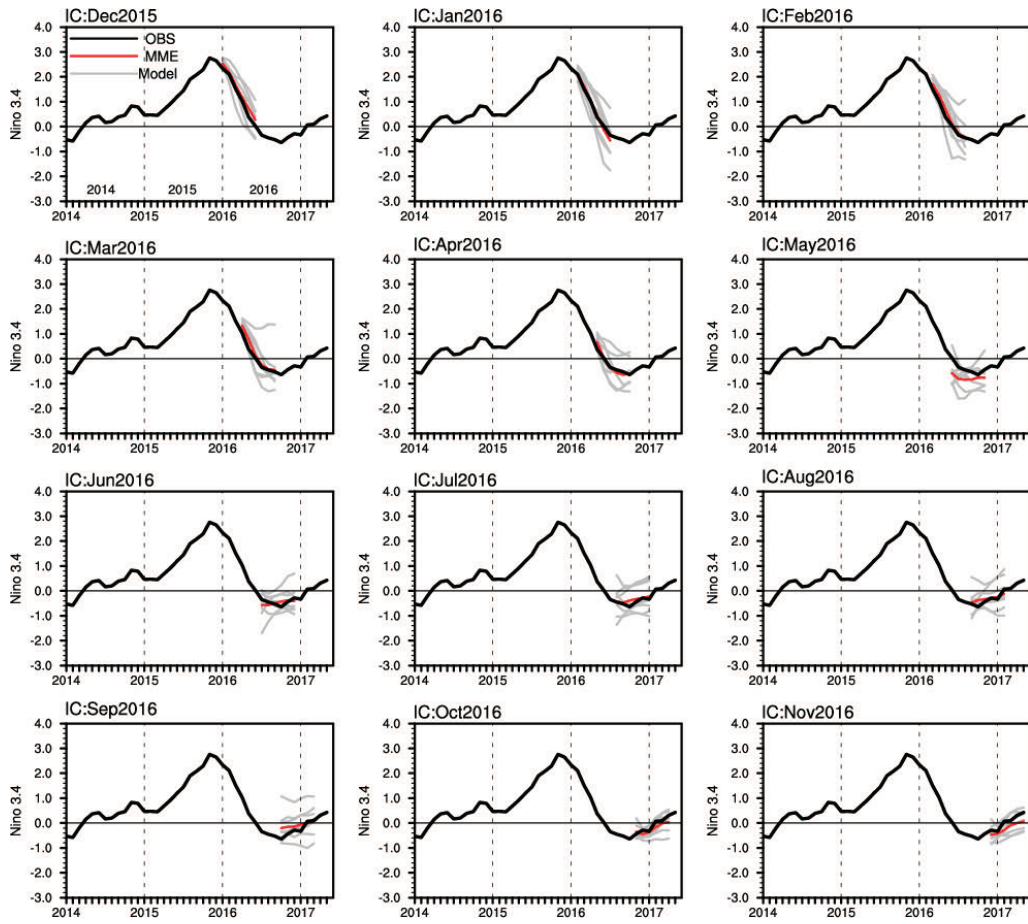


Figure 3.5. Same as Figure 3.4, except for the period 2016JFMAMJ-2016/17DJFMAM.

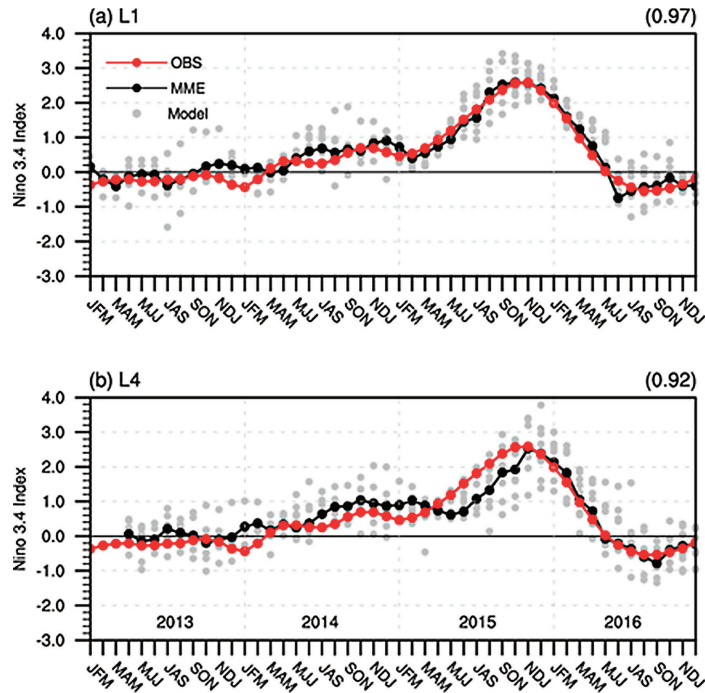


Figure 3.6. Time series of 3-month mean Nino 3.4 index from observation (red), APCC single-model (grey), and MME (black) for the period 2013JFM – 2016/17DJF at lead times of (a) 1 month and (b) 4 months.

(3) NCEP 모델 특성분석

앞서 그림 3.2에서 살펴본 바와 같이, NCEP 모델은 실시간 SST 예측(2013-2016년)에 있어서 관측에 비해 따뜻하게 모의하는 경향이 일관되게 보였다. NCEP의 warm bias는 모델자체의 계통적 오차(systematic error; 예, Saha et al., 2010; Kirtman et al., 2014; Infanti and Kirtman, 2016)로 알려져 있으며, 이는 NCEP에 활용되고 있는 자료 동화 및 초기화 기법이 1999년을 기점으로 다르기 때문이다(Xie et al., 2011; Kumar et al., 2012; Barnston and Tippett, 2013). 그림 3.7은 29년(1982-2010)을 기후값으로 계산한 NCEP 모델의 Nino 3.4 지수를 관측과 함께 비교하였다. 그 결과, 1999년을 기준으로 전반기에는 관측보다 차갑게 모의하는 경향이, 후반기에는 관측보다 따뜻하게 모의하는 경향이 확실히 나타났다. 이러한 문제를 해결하기 위해 Tippett et al.(2017)과 Barnston et al.(2017)은 1999년을 기준으로 2개 기후값(1982-1998, 1999-2010; NCEP_2clm)을 사용하여 Hindcast 기간

(1982-2010)에 대해서 분석을 하였다. 동일한 방법을 적용해 본 결과, 1999년을 기준으로 나타났던 cold/warm bias가 어느 정도 해결되는 것을 확인할 수 있었다(그림 3.8). 그 결과, Hindcast 전체기간(29년 $\times$ 12월 = 348 표본)에 대한 3개월 평균 Nino 3.4 지수의 예측력은 0.83(NCEP) $\rightarrow$ 0.91(NCEP_2clm)로 크게 향상되었다. 이러한 예측력 향상은 모든 계절에 대해서 동일하게 나타났으며, 특히 겨울철에 예측력 향상이 큼을 확인할 수 있었다(그림 3.9).

그렇다면 NCEP_2clm 방법에 의한 NCEP의 bias 보정이 실시간예측에서도 효과가 나타나는지 살펴보기 위해, 2013-2016년에 대한 월별 적도태평양 SST 변동 편차를 관측과 함께 비교하였다(그림 3.10). 여기서 NCEP은 29년 기후값에 의해 계산된 SST 편차이며, NCEP_2clm은 1999-2010년 기후값에 의해 계산된 SST 편차이다. NCEP_2clm에서 모의한 2015/16 엘니뇨는 NCEP에 비해 다소 강도를 약하게, 2016년 라니냐는 좀 더 강하게 예측하면서 관측에 좀 더 가까운 ENSO 변동성을 보이고 있다. 그 결과, 3개월 평균 Nino 3.4 지수에서 나타났던 warm bias는 NCEP_2clm에서 어느 정도 보정이 되는 것을 확인할 수 있다(그림 3.11). 이는 결과적으로 실시간 예측 기간에 대해서(3년 $\times$ 12월=36 표본) 관측과의 상관도(TCC)는 NCEP에 비해 높아지고, 관측과 절대값 차이(Mean Absolute Error, MAE) 또한 작아지는 것으로 나타났다(그림 3.12). 실시간 예측자료는 상대적으로 자료의 길이가 짧기 때문에 Hindcast에서처럼 극적인(또는 통계적으로 유의한) 예측력 향상을 보이고 있진 않지만, 그럼에도 불구하고 TCC와 MAE에서 모두 NCEP에 비해 향상된 예측력을 보였다는 것은 상당한 의미를 지닌다고 볼 수 있다.

SST 및 ENSO 예측을 위한 APCC MME에 참여하고 있는 대기-해양 접합모델이 평균적으로 5-6개 정도인 현 시점에서, 기후값 보정으로 인한 NCEP 모델의 SST 예측력 향상은 결과적으로 MME 예측력에도 영향을 미칠 것으로 보인다. 본 연구를 통해(적어도 SST 및 ENSO 예측 시) NCEP의 기후값 보정은 APCC 현업적인 측면에서도 충분히 고려해볼 사항인 것으로 판단되며, 향후 좀 더 객관적이고 통합적인 민감도 실험을 통해 APCC MME 6개월 현업시스템을 개선하는데 활용될 것으로 기대한다.

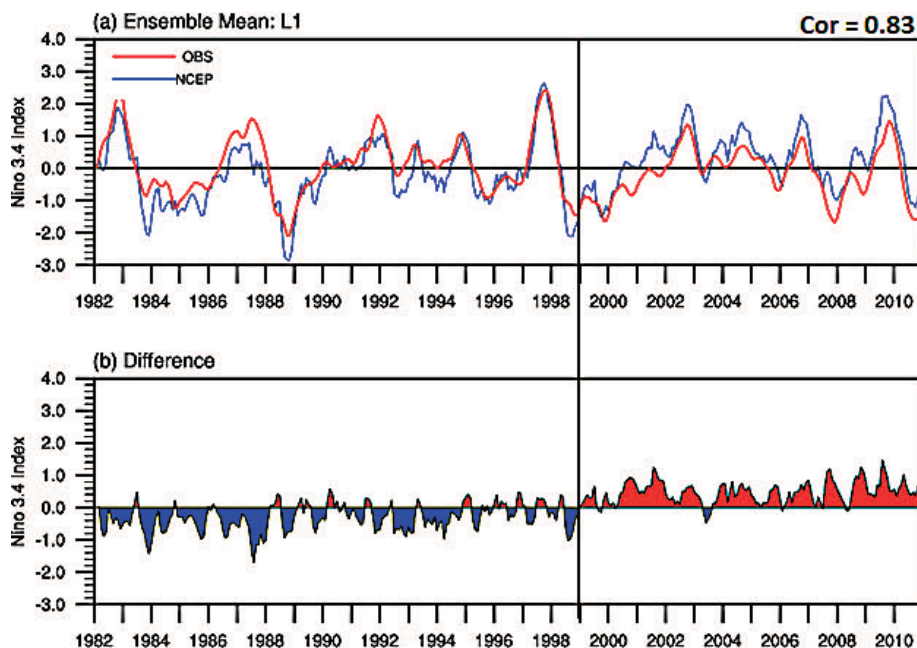


Figure 3.7. (a) The first-lead 3-month mean Nino 3.4 index from observation (red) and NCEP (blue), and (b) its errors (NCEP minus OBS) based on 29-year climatology (1982–2010) for the period 1982–2010.

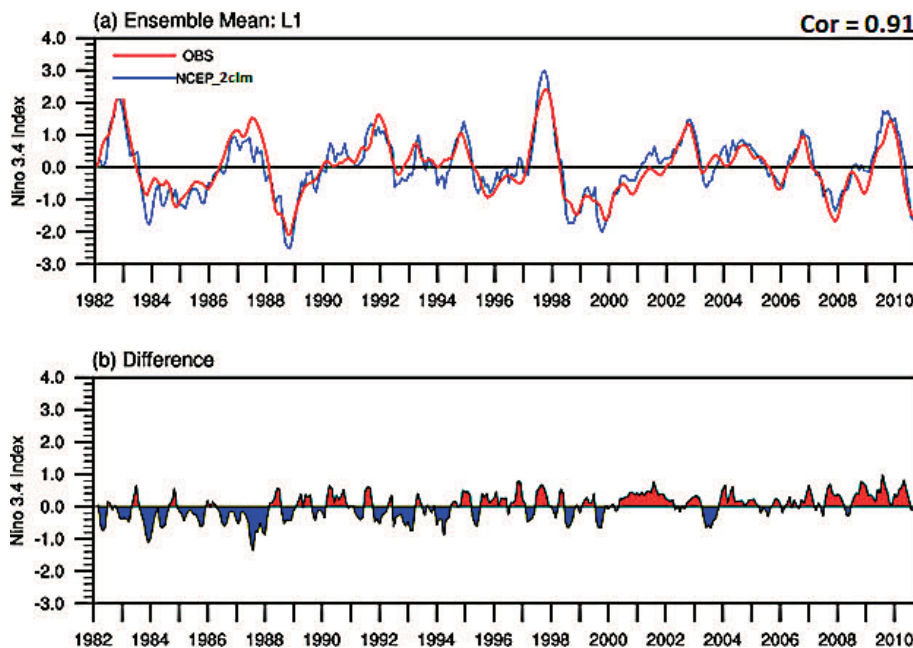


Figure 3.8. Same as Figure 3.7, except for two climatologies (1982–1998, 1999–2010; NCEP_2clm).

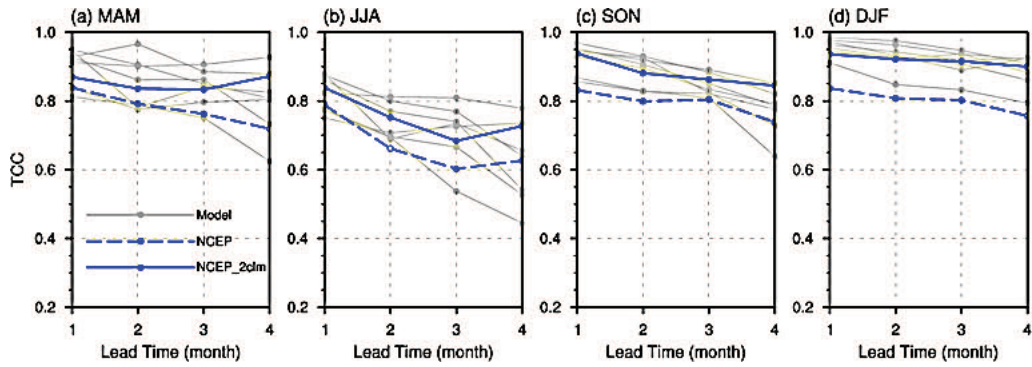


Figure 3.9. Temporal correlation coefficient (TCC) of 3-month mean Nino 3.4 forecast anomalies from NCEP (dashed line), NCEP_2clm (contour line), and other participating models for (a) MAM, (b) JJA, (c) SON, and (d) DJF season as a function of lead time.

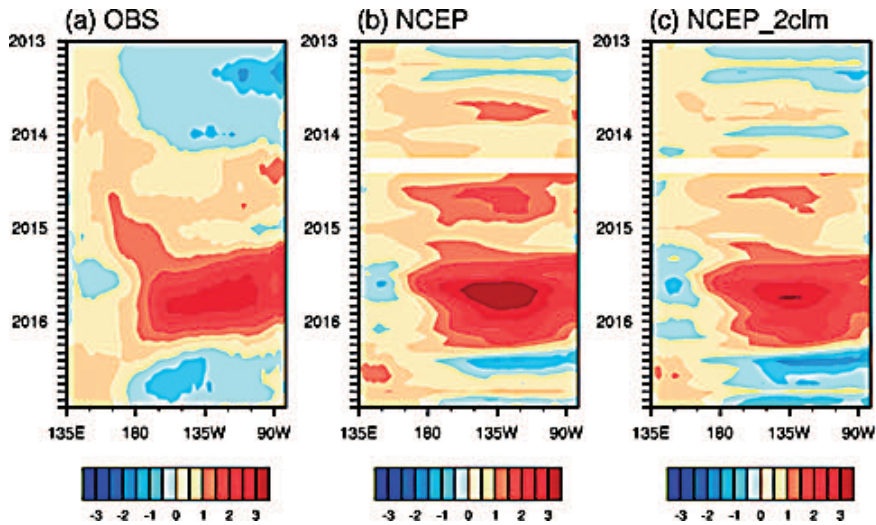


Figure 3.10. Monthly evolution of equatorial Pacific SST departures (5°N – 5°S) from (a) observation, (b) NCEP, and (c) NCEP_2clm at a lead time of 1 month, for the period Jan. 2013 – Dec. 2016.

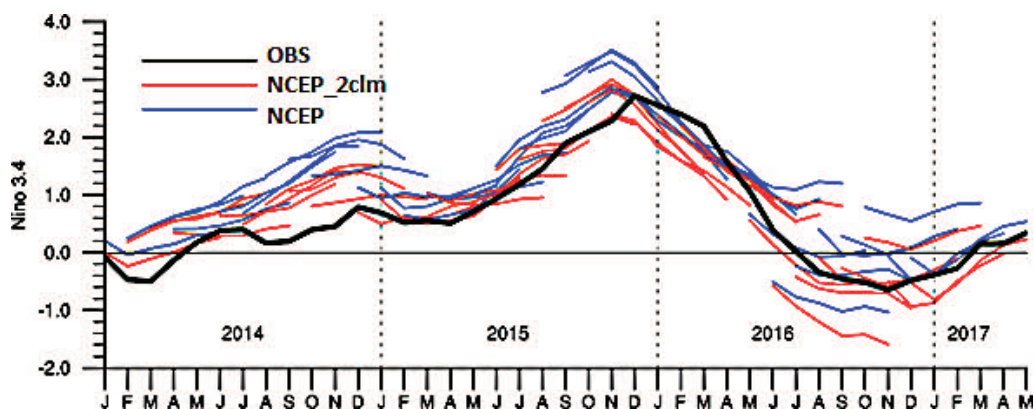


Figure 3.11. 3-month mean Nino 3.4 forecast anomalies of NCEP (blue), and NCEP_2clm (red) with corresponding observation (black). A forecast trajectory is shown for start times spanning all 6 months.

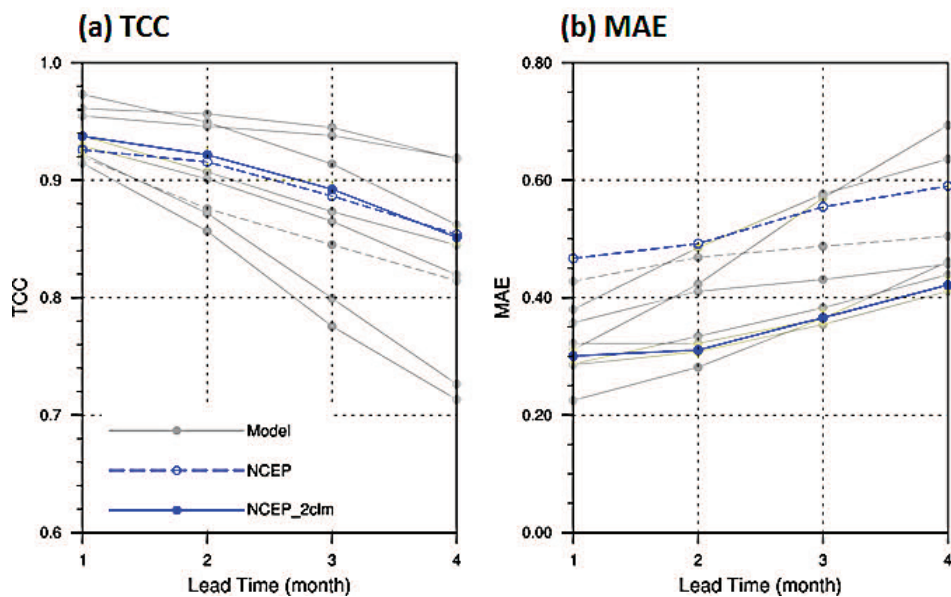


Figure 3.12. (a) TCCs and (b) mean absolute error (MAE) of 3-month mean Nino 3.4 forecast anomaly from NCEP (dashed line), NCEP_2clm (contour line), and other models (based on 29-year climatology) for the period 2013–2016 as a function of lead time.

3.1.2.2 기온 및 강수 예측성

(1) 봄철

2016년 전 계절에 걸쳐 대부분의 열대 태평양은 평년보다(1981-2003년) 따뜻한 상태를 유지했으며, 특히 2015/16 강한 엘니뇨 소멸(5월) 전까지 열대 중-동태평양의 온도 편차는 2°C 이상으로 상당히 높았다(그림 3.13a). 극히 일부지역(예, 남미 남부 및 캐나다 북동부)을 제외하고 대부분의 대륙에서는 평년보다 상당히 따뜻한 상태를 보였다. 봄철동안 2015/16 엘니뇨의 영향으로 서태평양 대류 활동은 평년보다 약한 상태가 유지되고, 중태평양에서의 대류활동은 여전히 강한상태로 평년보다 많은 강수를 보였다(그림 3.13b, d). 또한, 인도양에서 대류활동이 강해지면서(상층수렴 발산 또한 강함; 그림 미 제시) 평년보다 많은 강수를 보였다(그림 3.13b). 이 외에도 유럽 남부 및 동부, 중국 북서부 및 남부, 캐나다 서부에서는 평년보다 많은 강수를 보였고, 러시아, 남미 동부, 미얀마, 태국 지역은 평년보다 강수가 적었다. 우리나라를 포함한 동아시아 지역은 봄철 동안 발달한 상층 고기압(그림 3.13a)과 2015/16 엘니뇨의 영향으로 발달한 북서태평양의 고기압성 흐름의 영향으로(그림 3.13c) 남서풍 계열의 따뜻하고 습한 공기가 지속적으로 유입되었다(그림 3.13b). 그 결과, 2016년 봄철 평균 기온이 평년보다 크게 상승했으며 강수는 평년보다 다소 많은 평년대비 135%를 기록하였다(기상청, 2016).

다음은 개별모델 및 MME가 예측한 2016년 계절별(봄/여름/가을/겨울) 기온 및 강수에 대한 예측력을 살펴보고자 한다. 앞에서 살펴본 SST와 달리 기온 및 강수에 대한 향후 3개월 MME 예측은 대기-해양 접합모델 뿐만 아니라 대기모델(2-tier model)들도 함께 활용하고 있기 때문에 평균 10개 이상의 모델(200개 이상의 앙상블 수)이 참여하고 있다(예, 2016/17DJF 예측에 참여한 모델; 표 3.2). APCC MME가 예측한 봄철 지표기온의 공간분포를 살펴보면(그림 3.14a), 지구 온난화와 더불어 2015/16년 겨울철에 발달한 강한 엘니뇨의 영향이 모델에서도 봄철까지 지속되면서 대부분의 해양과 육지에서 나타났던 관측의 고온현상을 MME에서도 잘 모의하였다(그림 3.13a와 비교). 오직 캐나다 북동부 지역만 예측이 빗나갔는데 이는 관측과 달리 상층 강한 고기압의 영향으로 그 지역 지표기온은 관측과 반대로 평년보다 따뜻할 것으로 예측하였다. 그 결과, APCC 현업 검증시스템에서 분석하고 있는 12개 표준 지역(표 3.3, Min,

2015) 모두 봄철 지표기온의 Heidke Skill Score(HSS)⁶⁾는 23년(1983-2005) Hindcast 평균 예측력보다 높게 나타났으며(12개 지역 평균 예측력 향상(RSI)⁷⁾ = 180%), 남반구를 제외하고는 모든 지역에서 $HSS > 60$ 으로 상당히 높은 예측력을 보였다(그림 3.14a). 강수의 경우, 중태평양에서는 평년보다 많은 강수, 북서태평양은 평년보다 적은 강수를 모의하면서 적도 태평양의 강수패턴은 관측과 유사하게 예측하였다. 일반적으로 ENSO에 대한 반응을 모델들은 과다 모의하는 경향이 있으며(예, Fu et al., 2013; Deser et al., 2012), 2016년 봄철 역시 엘니뇨의 영향으로 발생한 서태평양의 고기압성 흐름을 관측에 비해 과대 모의하면서 우리나라 및 일본 아래쪽으로 따뜻하고 습한 공기가 많이 유입되어 관측에 비해 강수대가 넓고 강하게 예측하였다. 2016년 봄철 강수의 경우 해양뿐만 아니라, 동아시아, 남아시아, 미국 등 대륙의 강수 패턴 또한 관측과 유사하게 예측하였다. 그 결과, 지표기온과 마찬가지로 강수에서도 12개 분석지역 모두 23년 평균 예측력보다 높은 HSS 값을 보였으며, 특히 앞서 언급한 동아시아, 남아시아, 미국의 2016년 봄철 강수는 23년 Hindcast 평균 예측력에 비해 각각 154%, 82%, 187% 높은 예측력을 보였다(그림 3.14b).

Table 3.2. Description of participating models for 2016/17DJF APCC MME prediction

Model	Initialization	Ens.	SST Specification	Sea Ice Specification	Snow Specification	Exp. Type
CWB (Chinese Taipei)	Last 10 days (12Z) of previous month from NCEP reanalysis version2	10	OPGSST 1.1 from CWB	NCEP climatology	-	SMIP-2
HMC (Russia)	From 00hr 26 Mar. to 12hr 30Mar with 12-hour step	10	Persisted anomalies	Initial actual sea ice with relaxation to climate	NCEP/NCAR reanalysis-2 initial.	SMIP-2
IRI_CA (USA)	Restart files from long running ECHAM4.5	24	Ensemble forecasts based on constructed analogue SST	-	-	SMIP-2

6) 3분위(평년보다 높음/비슷/낮음) 확률예측에 있어서 세계적으로 널리 사용되고 있는 검증기법(예, NOAA/CPC, IRI 예측력 평가에서도 활용)으로 예보와 관측이 맞은 경우에 대해 점수를 부여하고, 기후학적으로 우연히 맞을 확률을 배제하는 객관적인 평가 방법으로 지역 평균한 값임.

7) Relative Skill Improvement(RSI) = (2016년 봄철 HSS - 23년 평균 HSS) / 23년 평균 HSS

Table 3.2. Description of participating models for 2016/17DJF APCC MME prediction (*continued*)

Model	Initialization	Ens.	SST Specification	Sea Ice Specification	Snow Specification	Exp. Type
JMA (Japan)	BGM method (9 members) and 5-day LAF	51	predicted (one-tier method)	Climatology	Forecasted from Climatology	SMIP-2 /HFP
APCC (Korea)	GODAS ocean initialization	10	GODAS reanalysis	Predicted (APCC/CCSM3 SST nudging)	Predicted (APCC/CCSM3 SST nudging)	SMIP-2 /HFP
CMCC (Italy)	Operational analysis ECMWF/CIGODAS-CM CC analysis	9	Operational analysis ECMWF	Climatological	–	SMIP-2 /HFP
MSC (Canada)	The CMG Gbol 4D-var analysis	20	Predicted (OGCM4)	Continuous nudging	–	SMIP-2 /HFP
NCEP (USA)	CFS data assimilation system each day at 00Z, 06Z, 12Z and 18Z	20	Predicted (GDFL MOM4 global ocean model)	Predicted (a two-layer sea ice model)	Predicted	SMIP-2 /HFP
PNU (Korea)	NCEP/NCAR reanalysis 2 in AGCM, OISST data in OGCM	5	Predicted	Predicted	Predicted	SMIP-2 /HFP
POAMA (Australia)	Nudging to the analyses from the Australian Community Climate and Earth System Simulation	33	Predicted (ACOM2 Ocean model based on GFDL Mon2)	Created indirectly in response to the nudged atmospheric conditions	NCEP sea-ice data	SMIP-2 /HFP
GloSea5 (Korea)	KMA Global Analysis (N512L70)	38	Predicted (Met office NEMOVAR)	LosAlamos model	–	SMIP-2 /HFP

Table 3.3. Twelve standard regions for operational APCC verification system.

종류	영역
WMO/CBS 권고지역	전구(Globe) 적도(Tropics, 20°S – 20°N) 북반구(Northern Extratropics, > 20°N) 남반구(Southern Extratropics, < 20°S)
APCC 관심지역	동아시아(E. Asia, 75°E–150°E, 15°N–60°N) 남아시아(S. Asia, 60°E–140°E, 10°S–35°N) 북미(N. America, 190°E–310°E, 10°N–75°N) 남미(S. America, 270°E–330°E, 60°S–10°N) 호주(Australia, 110°E–180°E, 50°S–0°N) 호주+남태평양 도서국(Australia, 110°E–260°E, 50°S–20°N) 북 유라시아(Northern Eurasia, 25°E–190°E, 40°N–80°N) 중동(Middle East, 25°E–75°E, 10°N–45°N)

Global Climate: 2016 MAM

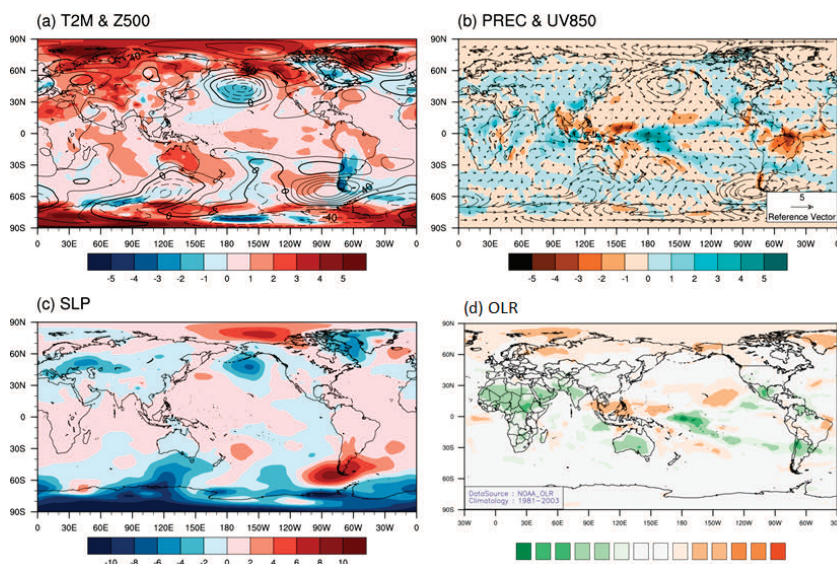


Figure 3.13. Three-month mean anomalies of (a) temperature at 2m (T2m, shading) and geopotential height at 500 hPa (Z500, contour), (b) precipitation (PREC, shading) and u/v wind at 850 hPa (UV850), (c) sea level pressure (SLP), and (d) outgoing long-wave radiation (OLR) for 2016MAM.

APCC MME Forecasts for 2016MAM

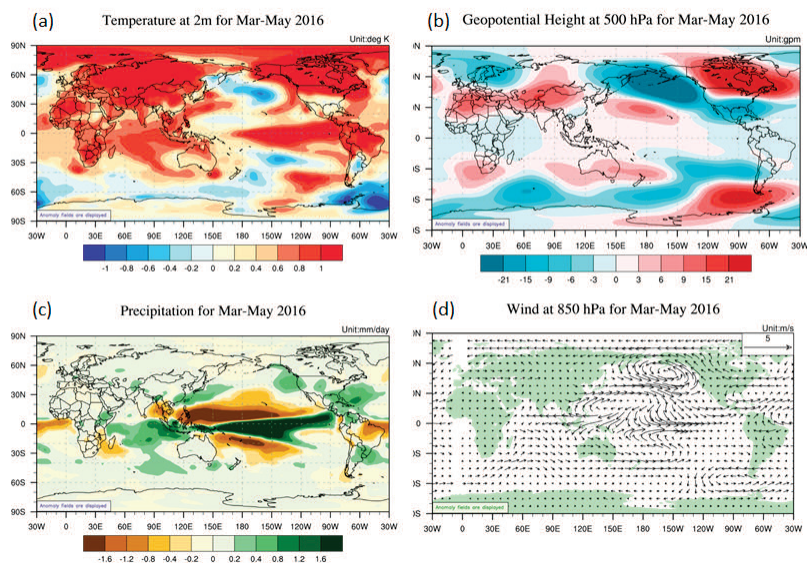


Figure 3.14. APCC MME forecast anomalies of (a) T2m, (b) Z500, (c) PREC, and (d) UV850 for 2016MAM.

(2) 여름철

봄철이후 엘니뇨가 점차 약화되면서 여름철 적도 태평양의 해수면 온도는 봄철에 비해 다소 낮아지긴 했지만 여전히 평년보다 따뜻한 상태가 유지되고 있으며, 엘니뇨의 대기반응인 지표기온은 2015/16 강한 엘니뇨의 영향이 여름철까지 지속되고 있음을 확인할 수 있다(예, 호주 동부, 미국 서부해안의 고온현상 등; 그림 3.15a). 특히, 베링해 주변에서 강한 고기압이 발달/정체하면서, 중국대륙에 형성된 고기압의 영향을 지속적으로 받아 한반도를 포함한 동남아시아 지역은 평년보다 따뜻했다(그림 3.15b). 또한, 북태평양고기압(Z500⁸⁾, 5880gpm)이 6, 7월 평년보다 서쪽으로 확장하면서 동서로 길게 발달하여 장마전선 북상을 저지하여 여름철동안 대체적으로 건조한 상태를 보였다(그림 3.15d, e). 엘니뇨가 점차 약화되어 ENSO(El Niño-Southern Oscillation) 상태가 여름철 중립으로 돌아서면서 적도 태평양의 대류활동은 약화되고, 인도양 동쪽부터 Maritime continent까지 대류활동이 평년보다 강화되면서(그림 3.15c) 인도네시아, 말레이시아, 필리핀 지역에서 평년보다 많은 강수를 보였다(그림 3.15d). 이는 남반구 겨울부터 봄까지 발생한 강한 음의 인도양 다이폴(Indian Ocean Dipole, IOD; Saji and Yamagata, 2003; 그림 3.16)로 인해 동 인도양에 고기압성 순환이 강화되면서 호주 북서부와 인도네시아 주변으로 편서풍이 강해져 평년보다 따뜻하고, 많은 강수를 초래하였다.

앞서 Nino 3.4 지수 예측에서 살펴본 바와 같이 APCC MME는 여름철 관측에 비해 라니냐로의 전환을 빠르게 예측하면서(실제 관측은 ENSO 중립 상태; 그림 3.2a), 여름철 적도 중-동태평양의 온도는 관측보다 낮게(그림 3.17a), 강수는 라니냐 반응에 의한 강수패턴을 모의하면서 중태평양의 대류 활동은 약화되어 건조 시그널이 강하게 예측하였다(그림 3.17b). 하지만 대기는 엘니뇨에 대한 반응이 여전히 여름철까지 지속되면서 대부분의 육지에서는 평년보다 높은 지표기온을 MME에서 잘 모의하고 있으며(그림 3.15a와 비교), 그 결과 12개 분석지역 모두 23년 Hindcast 평균보다 높은 HSS 값을 보였다(그림 3.23a, 12개 지역 평균 RSI=148%). 또한, 대부분의 참여모델들이 여름철 강한 음의 IOD를 예측하면서(그림 미 제시), 동 인도양에서 고기압성 순환이 강화되어 호주 북부 및 인도네시아 지역으로 서풍편차가 강해져 평년보다 따뜻하

8) 500hPa 지위고도(Geopotential height at 500hPa, Z500)

고 강수량이 많았던 관측패턴을 잘 모의하였다(그림 3.17c, d). 그 결과 호주지역의 2016년 여름철 기온 및 강수 예측력은 23년 Hindcast 평균 예측력 보다 높았다(그림 3.17a, b). 하지만 유라시아 대륙과 대부분의 남반구 해양은 관측과 반대로 평년보다 많은 강수를 예측하면서 두 지역의 HSS는 음의 값을 보였다.

Global Climate: 2016 JJA

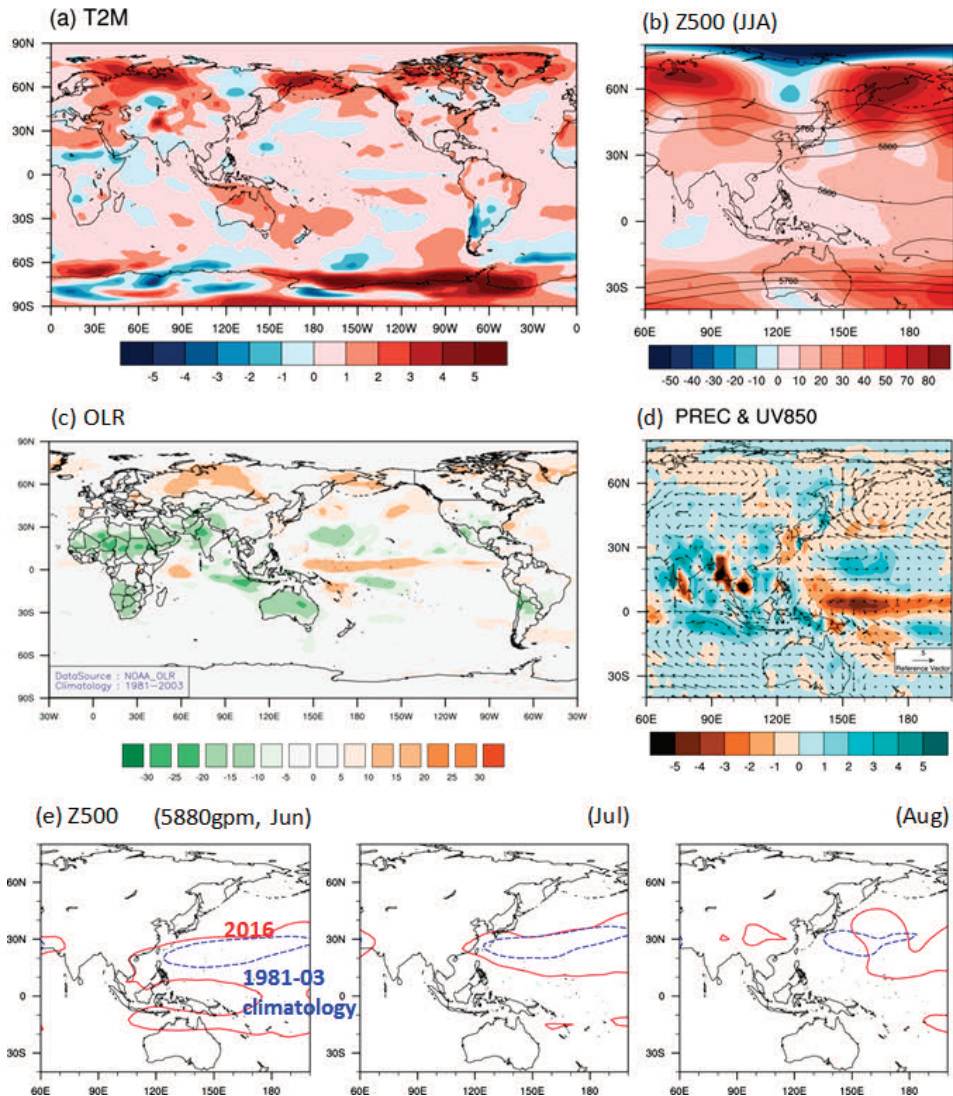


Figure 3.15. Three-month mean anomalies of (a) T2m, (b) Z500, (c) OLR, and (d) PREC and UV850. (e) Monthly mean anomalies of Z500 (5880 gpm) for June, July, and August of 2016 (red contour-line) and climatology (blue dashed-line, 1981–2003).

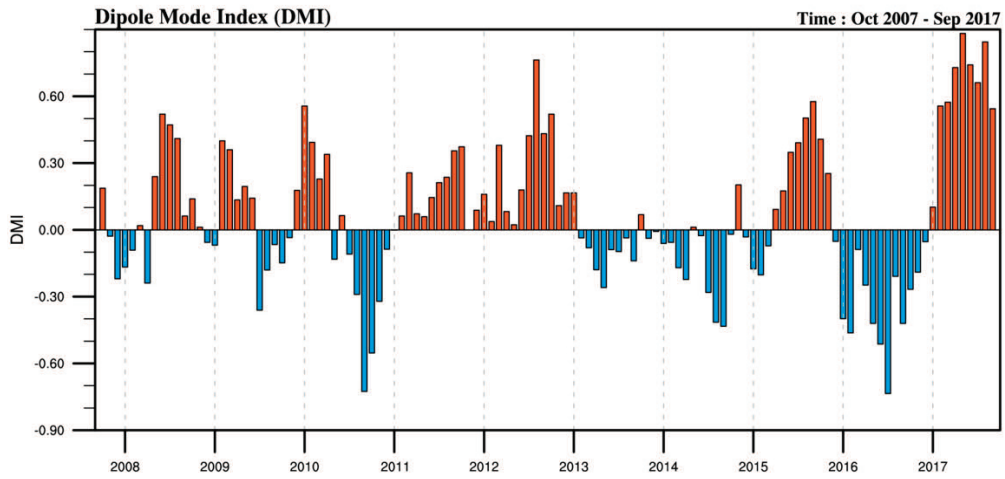


Figure 3.16. Monthly mean Dipole Mode Index (DMI) for the period Oct. 2007-Sep. 2017.

APCC MME Forecasts for 2016JJA

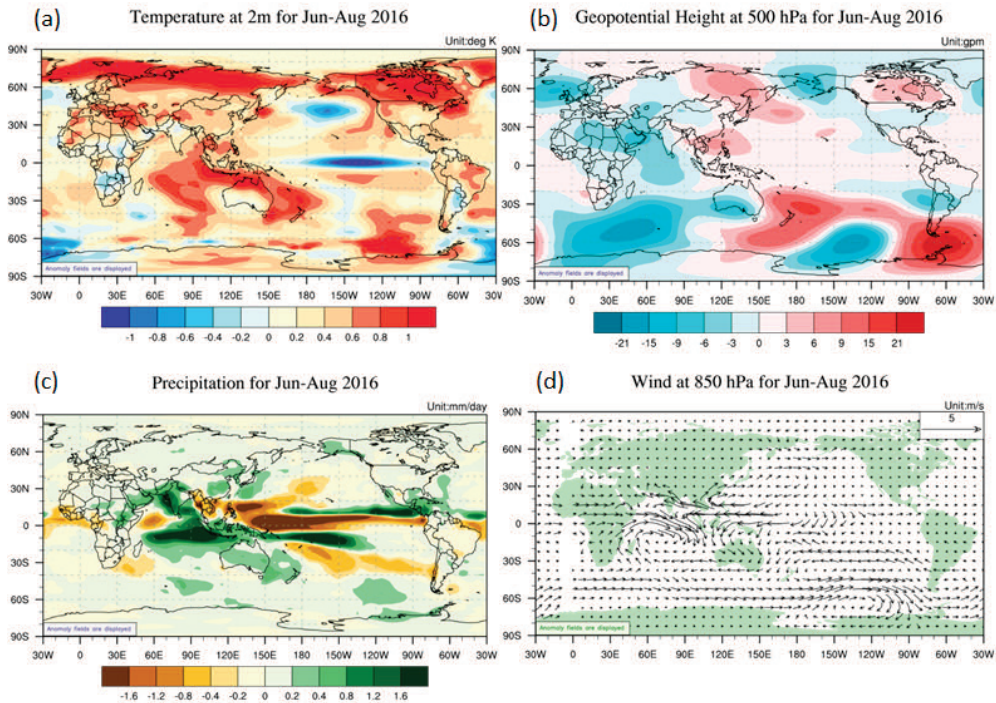


Figure 3.17. Same as Figure 3.14, except for 2016JJA.

(3) 가을 및 겨울철

2016년 상반기에는 대부분 대륙지역에서 평년대비 양의 온도편차를 보였던 반면 가을철은 평년보다 지표기온이 낮은 지역이 상대적으로 많이 나타났다. 유럽 북부, 러시아, 인도, 호주 중부, 아르헨티나에서 평년보다 지표기온이 낮았으며, 아프리카, 중국, 동남아시아, 캐나다, 미국, 멕시코, 브라질에서는 여전히 평년보다 높은 기온을 보였다(그림 3.18a). 특히, 북반구 고위도(북위 70°이상) 지역에서 5°C이상의 아주 강한 양의 온도편차를 보였는데, 이는 2016년 봄철부터 북극 해빙이 급격하게 녹으면서 가을철 북극해빙 면적이 1979년 이후 역대 최저치를 기록한 것과 관련이 있다(그림 3.19). 2016년 가을 엘니뇨 감시구역의 해수면온도는 평년보다 낮은 약한 라니냐 상태를 보이며, 전반적으로 열대 중태평양 대류는 억제되고 서태평양 대류활동은 활발했다(그림 3.18d). 강수량의 경우, 아프리카 중부, 유럽, 중국 남부, 동남아시아, 일본, 미국 중남부 지역에서 평년보다 많았고, 인도, 호주 동부, 알래스카, 미국 동부, 대부분의 남미에서는 평년보다 적은 것으로 나타났다(그림 3.18b).

2016년 가을철 북극해빙의 역대 최저면적 기록이 겨울철까지 지속되면서 북극 주변의 지표기온은 여전히 평년보다 상당히 높은 상태이며, 유럽 남부, 호주 북부, 미국 북서부 지역을 제외하고 대부분의 대륙에서는 평년보다 지표기온이 높았다(그림 3.20a). 극지역과 더불어, 특히 시베리아 동부, 중국, 동남아시아, 캐나다, 미국 남동부지역이 평년보다 상당히 따뜻했다. 특히, 유럽 지역에서 동아시아 지역까지 wave-like 형태의 기압패턴이 나타나면서(특히, 12월; 그림 3.20d) 스칸디나비아 반도 주변에 이례적으로 강한 상층기압능이 발달하고, downstream 지역인 우랄 지역에서는 기압골, 티벳 고원-중국 상층에서는 따뜻한 기압능이 발달하여(그림 3.20e), 대륙고기압의 강도가 평년보다 약해지면서(그림 3.20c), 중국을 포함한 대부분의 동남아시아는 기압능의 영향으로 평년보다 따뜻했다(그림 3.20a). 또한, 카라-바렌츠 지역의 따뜻한 기온과 아주 적은 해빙의 영향으로 우랄지역에서는 기압골과 함께 상층 한기의 남하로 지표기온은 음의 편차를 보인 반면, 동아시아 지역은 티벳 고원-중국 지역의 기압능의 형성으로 인해 북쪽 한기의 남하가 저지 된 것 또한 기온 상승의 원인으로 보인다. 겨울철동안 중태평양의 대류는 억제되고, 적도 서태평양 대류활동은 활발했으며(그림 3.20d), 아프리카 남부, 동남아시아, 호주, 남미 북동부 지역에서 강수량은 평년보다 많았고, 유럽, 인

도, 브라질 동부, 아르헨티나는 평년보다 적은 강수를 보였다(그림 3.20b).

2016년 가을/겨울철 전지구 기후를 지배했던 기후요소로는 적도 태평양의 약한 라니냐, 인도양의 강한 음의 IOD, 그리고 극지방의 이상고온현상을 들 수 있다. 우선 해양의 시그널을 먼저 살펴보면 APCC MME는 라니냐와 음의 IOD에 의한 하층 바람과 강수패턴을 대체적으로 잘 모의했으며, 그 결과 인도네시아 지역을 중심으로 하층바람이 수렴하여 관측에서 나타났던 평년보다 높은 기온 및 많은 강수를 잘 예측한 것으로 보인다(그림 3.21-22). 하지만 유라시아 대륙과 북미 지역을 포함하는 대부분의 북반구 고위도 대륙(60°N 이상) 지역에서의 강수는 관측과 반대로 예측하면서 음의 HSS 값을 보였고, 대체적으로 2016년 가을/겨울철 강수는 봄/여름철에 비해 지역별 예측력의 차이도 크고, 평균 예측력도 낮은 것으로 나타났다(그림 3.23). 그 결과, 2016년 가을/겨울철 12개 지역 평균 강수량 예측력은 23년 Hindcast 평균 예측력에 비해 각각 -50%, -218% 낮은 결과를 보였다. 기온의 경우, 평년보다 따뜻했던 지역에 대해서는 가을/겨울철 모두 관측과 유사한 패턴을 보인 반면, 평년보다 지표 기온이 낮았던 일부 지역(가을철: 러시아 및 카자흐스탄, 겨울철: 동/북 유럽 및 캐나다 동부)에 대해서는 전반적으로 예측력이 낮은 경향을 보였다(그림 3.21a, 3.22a). 특히, 북극해빙 면적이 역대 최저였던 2016년 가을철, MME는 관측에 비해 극지방의 고온현상을 약하게 모의했는데 이는 APCC MME에 참여하고 있는 대부분의 모델들은 해빙에 대한 정보를 기후값 또는 persistence로 대체하고 있으며(표 3.2), 몇몇의 모델들은(예, APCC, NCEP, PNU 등) 실제 예측한 해빙정보를 활용하고 있긴 하지만 그 정확도에 대해서는 여전히 한계가 있다. 하지만 겨울철의 경우, 11월 초기조건으로 극지역의 해수면 온도에 대한 정보(북극해빙이 이미 상당히 녹아있는 상태)가 포함되었기 때문에 극지방의 고온현상이 가을철에 비해 어느 정도 반영이 된 것으로 보인다(그림 3.22a). 이는 극지방 해빙 또는 해수면 온도 예측, 중위도와와 원격상관에 따른 기온 및 강수 예측 등은 현 시점에서 여전히 도전적인 과제로 남아있음을 확인할 수 있다.

Global Climate: 2016 SON

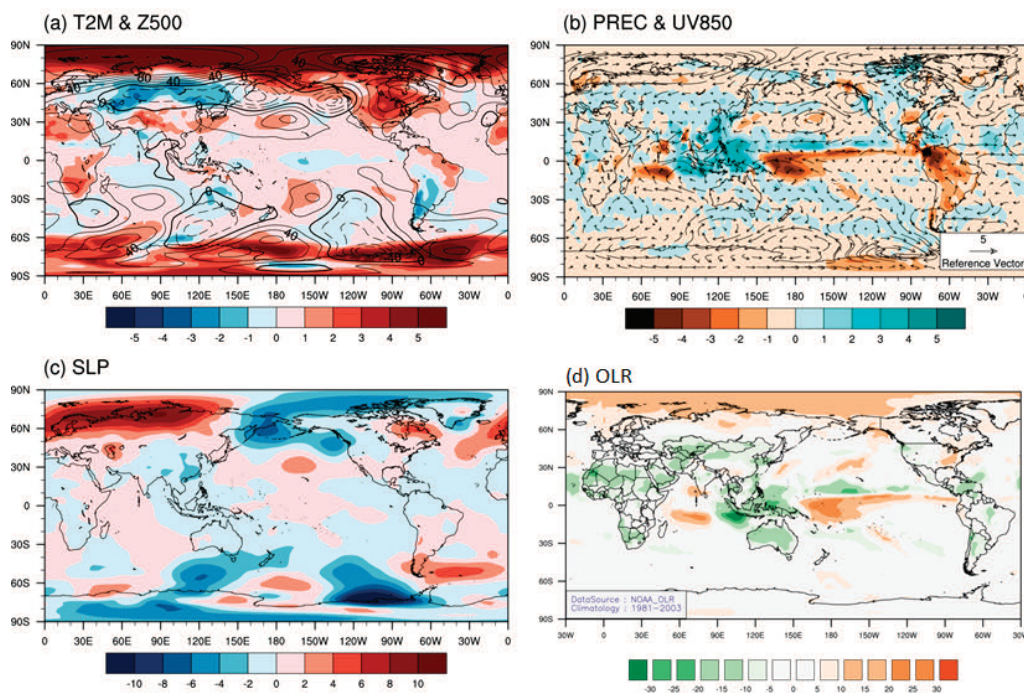


Figure 3.18. Same as Figure 3.14, except for 2016SON.

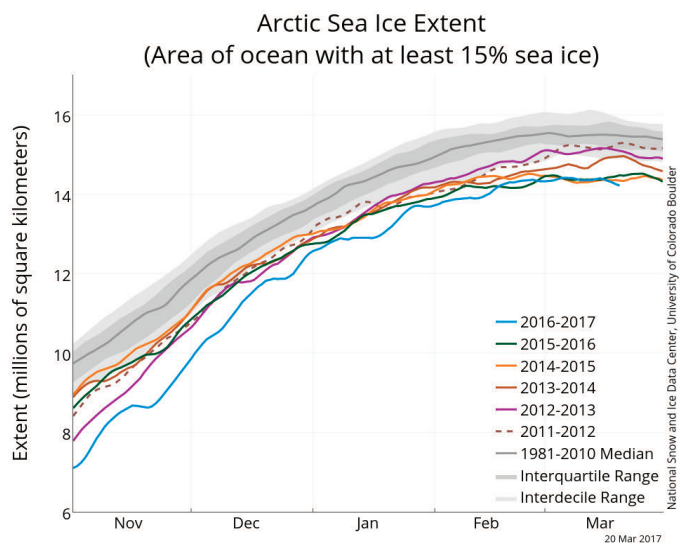


Figure 3.19. Artic sea ice extnt (from: National Snow and Ice Data Center).

Global Climate: 2016/17 DJF

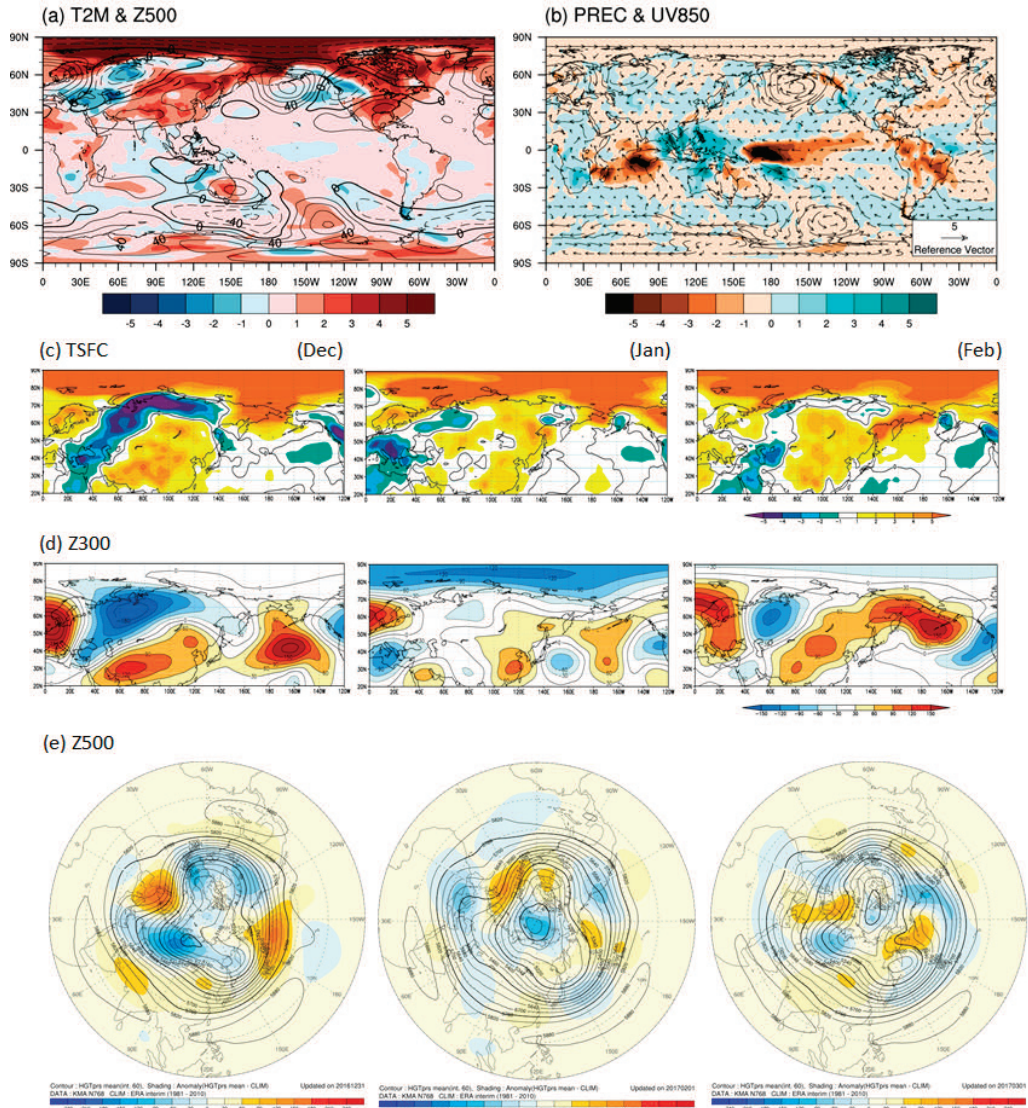


Figure 3.20. Three-month mean anomalies of (a) T2m (shading) and Z500 (contour), (b) PREC (shading) and UV850 for 2016/17DJF. Monthly mean anomalies of (c) surface temperature (TSFC), (d) geopotential height at 300 hPa (Z300), and Z500 for December, January, and February.

APCC MME Forecasts for 2016SON

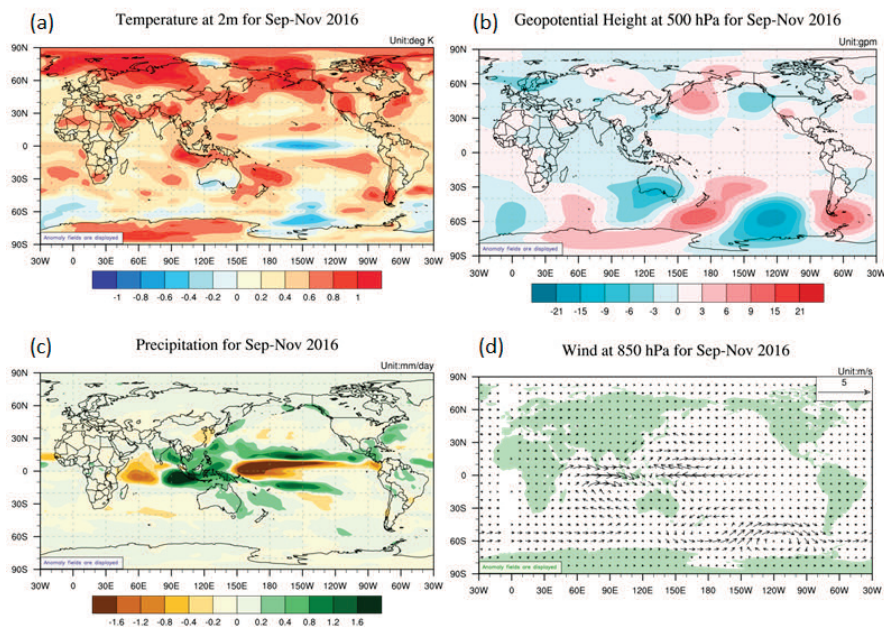


Figure 3.21. Same as Figure 3.14, except for 2016SON.

APCC MME Forecasts for 2016/17DJF

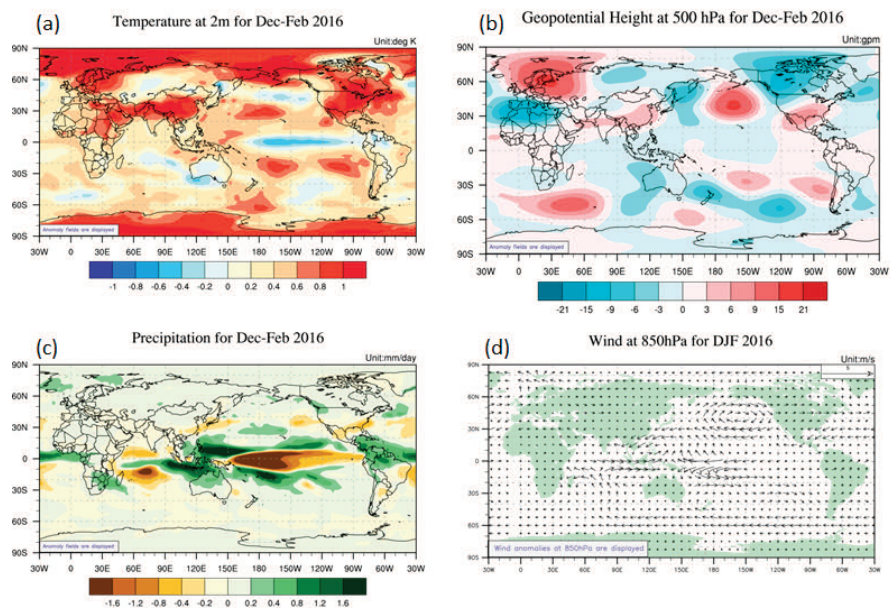


Figure 3.22. Same as Figure 3.14, except for 2016/17DJF.

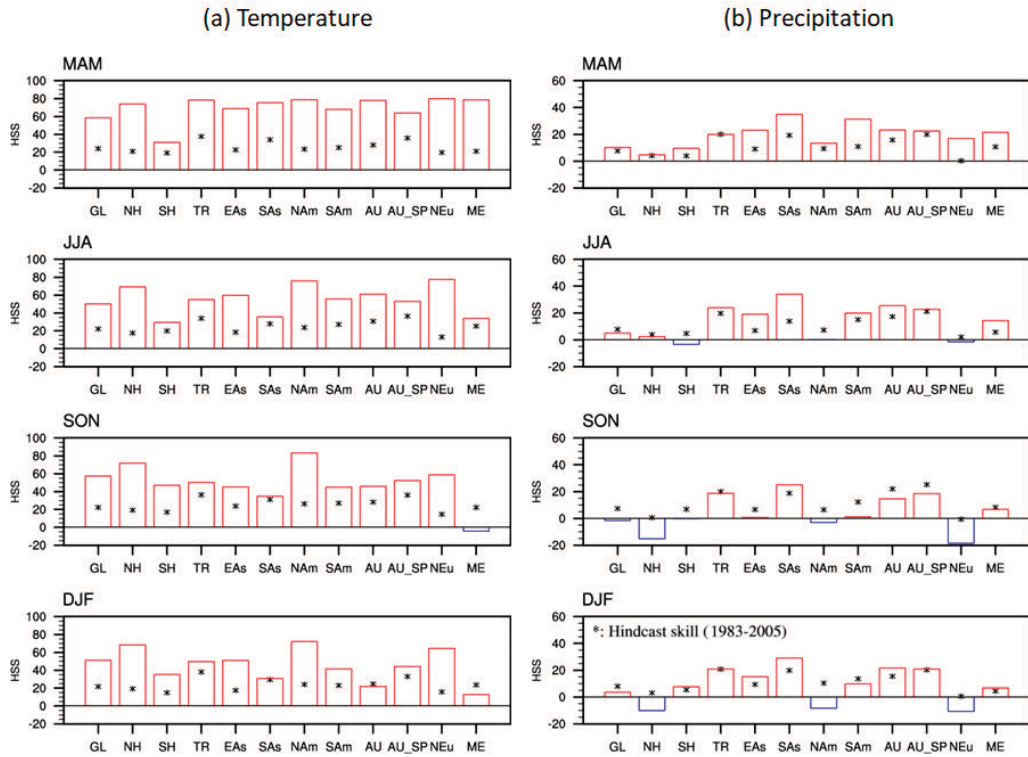


Figure 3.23. Heidke Skill Score (HSS) of 3-month mean APCC MME (a) temperature and (b) precipitation predictions for the period 2016JFM - 2016/17DJF. For comparison, hindcast skill (1983-2005) is also displayed.

3.1.3 Hindcast 및 최근 실시간 예측과의 비교

지금까지 본 연구에서는 지표기온 분석 시 2m 기온(T2m)을 사용했으나, T2m은 2012년부터 현업으로 예측정보를 제공했기 때문에 좀 더 긴 실시간 예측자료의 활용을 위해 앞으로의 분석에서는 T2m 대신 850hPa 기온(T850)을 사용하였다. 우선, APCC가 매월 3개월 평균 MME 예측정보를 제공했던 2008년부터 전구평균 기온 및 강수량의 예측력(Anomaly pattern Correlation Coefficient, ACC)을 살펴보았다(그림 3.24). APCC MME는 전 기간에 걸쳐 개별모델에 비해 예측력이 높고 또한 개별모델의 평균 예측력에 비해서도 높은 예측력을 보였다(Doblas-Reyes et al., 2005; Hagedorn et al., 2005; Min et al., 2009; Wang et al., 2009; Min et al., 2014). MME 예측력은 개별모델들의 평균 예측력에 비례하기 때문에(Yoo and Kang, 2005) 개별모델의 예측력이 대체적으로 높았던 기간(2010년 하반기, 2015년 하반기-2016년 전반기)에 MME에 의한 예측력 향상이 두드러지게 나타났다. 또한, 많은 선행 연구에서 언급한 바와 같이(예, Lee and Wang, 2012; Jia et al., 2012; Min et al., 2014; Min et al., 2017), 전반적으로 기온(ACC=0.42) 예측력이 강수(ACC=0.37)에 비해 높게 나타났다. 마지막으로 전구평균 기온 및 강수량의 예측력과 ENSO 변동성과의 연관성을 알아보기 위해 동일 기간에 대해 3개월 평균 Nino 3.4 지수의 절대값(즉, Nino 3.4 지수의 진폭)을 함께 나타내었다. 강한 ENSO 변동성이 있었던 해(특히, 겨울철)는 전반적으로 기온 및 강수량의 예측력이 높게 나타나고, 변동성이 작은 해(즉, 약한 엘니뇨/라니냐 또는 ENSO 중립)는 상대적으로 예측력이 낮은 것을 확인할 수 있다. 그 결과, 2008JFM-2016/17DJF(9년×12월=108 표본) 기간 동안 Nino 3.4 지수의 진폭과 기온(강수) 예측력 시계열간의 상관도는 0.39(0.68)로 통계적으로 유의한 높은 값을 보였다. ENSO 변동성과 전구평균 강수 예측력과의 상관도가 기온에 비해 높게 나타나고 있으며, 이는 Barnston et al.(2010)과 Min et al.(2014)의 분석과 일치하는 결과이다. Barnston et al.(2010)에 따르면 대기는 ENSO의 변동성에 대한 반응이 천천히 나타나기 때문에, 4개월의 시간 지연을 가졌을 때 기온 예측력과 ENSO 변동성과의 상관도가 가장 높게 난다고 언급하였다. 하지만 강수의 경우, 해양의 영향을 시간 지연없이 즉각 반응하기 변수이기 때문에 동일시점에서 ENSO 변동성과의 상관도는 기온에 비해 높게 나타난다.

다음은 2016년 APCC MME가 모의한 3개월 평균 기온 및 강수량 예측력의 상대적인 평가를 위해, 23년 Hindcast 평균 예측력 및 최근 8년(2008-2015) 실시간 예측에 대한 평균 예측력을 월별로 함께 비교하였다(그림 3.25; 편의를 위해 각각을 HIND와 RT로 명명함). 2016년 전구 및 적도 지역의 기온 예측은 모든 달에 대해서 HIND와 RT에 비해 예측성이 높았던 것을 알 수 있다. 특히, 앞서 계절별 예측성 평가에서 살펴본 바와 같이, 하반기에 비해 상반기에 상대적으로 예측력이 높았으며 이러한 특징은 강수에서도 동일하게 나타났다. 이는 2015년에 발달한 강한 엘니뇨의 영향이 2016년 봄/여름철까지 지속되면서 예측력이 높았으며, 여름철 이후 중립에서 약한 라니냐로 발달하면서 그 상반기에 비해서는 예측력이 다소 떨어지는 경향을 보였다(하지만, 여전히 HIND보다는 높은 예측력). 즉, 이는 앞선 분석에서 살펴본 바와 같이, 엘니뇨 소멸 시기는 중립/발달 시기에 비해 SST 예측력이 높고, 전구 평균 기온 및 강수의 예측력은 이러한 ENSO 변동과 밀접한 관련이 있기 때문이다. 하지만, 기온의 경우 ENSO 변동성과 시간 지연이 있기 때문에 중립상태로 돌아선 여름이후 가을까지도 예측력이 HIND보다 높은 반면(그림 3.25a), 강수는 이보다 빠르게 예측력이 떨어지는 경향을 보였다(그림 3.25b). HIND의 경우 월별에 대한 예측성 변동이 작은 반면, RT는 2016년과 반대로 하반기로 갈수록 예측력이 높아지는 경향을 보였다. 이 역시 ENSO 변동성(2015년 하반기에 발달한 강한 엘니뇨)과 관련이 있으며, Min et al.(2017)은 2015년을 제외한 7년에 예측력을 평균했을 때는 23년 평균 예측력과 유사한 결과를 보임으로써 ENSO의 위상과 강도는 계절예측에 있어서 중요한 예측력의 원천임을 한 번 더 확인 할 수 있다(예, National Research council, 2010; Xue et al., 2013; Hu et al., 2013).

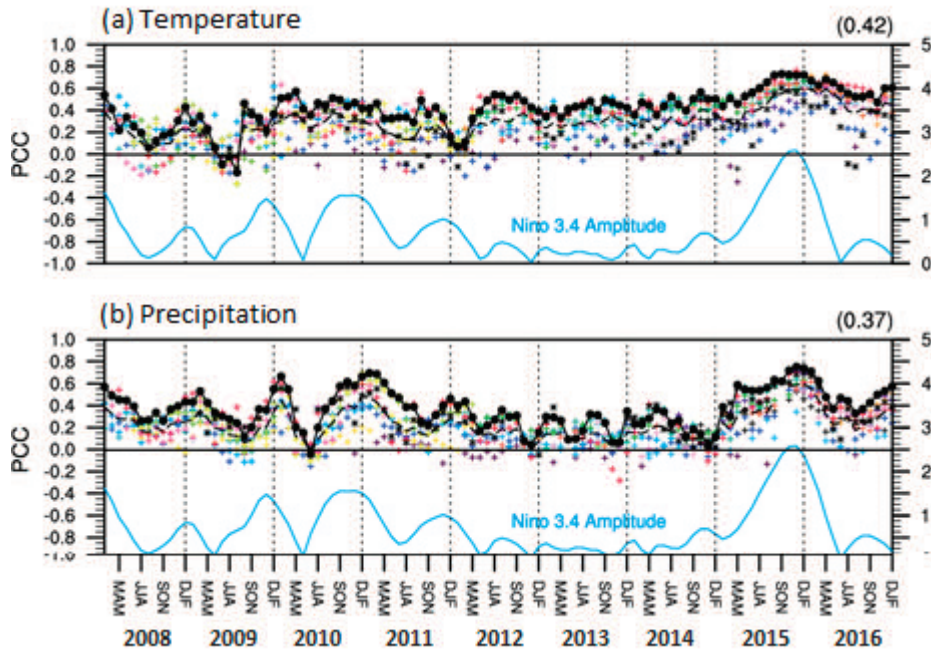


Figure 3.24. Anomaly Pattern Correlation Coefficient (PCC) of the APCC single-model (symbols) and MME predictions (black solid line) for (a) global temperature and (b) precipitation for the period 2008JFM – 2016/17DJF. Dashed lines indicate the average of all-single model's PCC. The values in the brackets are the PCCs of the MME predictions averaged over the whole period for each variable.

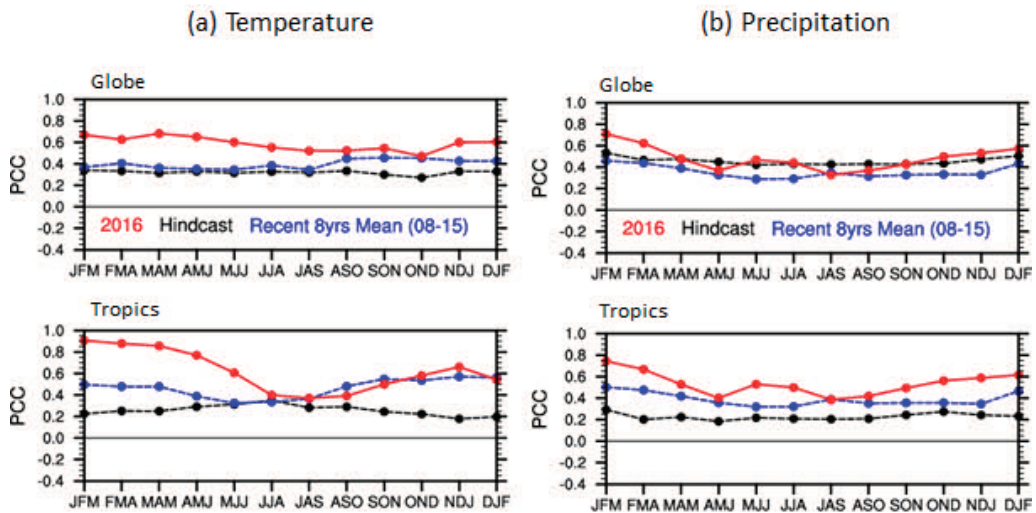


Figure 3.25. PCCs of APCC MME predictions for global and tropical (a) temperature and (b) precipitation for 2016JFM – 2016/17DJF (red line). For comparison, 23-year hindcast (black line) and recent 8-year real-time forecast PCCs (blue line) are also displayed.

3.1.4 APCC MME 시스템의 발전

APCC MME 현업시스템은 지난 10여 년 동안 질적(예, 참여모델 자체의 개선, 대기-해양 접합모델 참여, MME 기술 개발 등)으로나 양적(예, 참여 국가 및 모델의 수; 그림 3.26a)으로 많은 발전을 이뤄왔다. 하지만 지금까지 살펴본 바와 같이, 실시간 예측의 경우 그 해 기후를 지배하는 기후요소(예, ENSO, IOD 등)의 위상 및 강도에 따라 전구평균 기온 및 강수의 예측력이 달라지기 때문에, 한해 한해에 대한 예측력을 가지고 실제 예측시스템의 개선/향상 여부를 판단하기는 힘들다. 따라서 본 연구에서는 매년/매월 APCC MME 현업시스템이 모의한 동일기간 Hindcast(1983-2005)에 대한 예측력을 평가하였다(그림 3.26b-c). 즉, 2015JFM은 2014년 12월에 2015JFM 실시간 예측을 위해 참여했던 모델들의 자료를 활용하여 1983-2005년 기간에 대해 re-Forecast한 결과로 실시간 예측과 동일한 모델로 구성되었기 때문에 APCC MME 현업시스템의 연도별 예측력 변화를 객관적으로 살펴볼 수 있다.

그 결과 대부분 4-6개의 한국 및 미국형 대기모델을 주로 활용했던 초창기에 비해 다양한 국가에서 평균 10개 이상의 모델(주로, 대기-해양 접합모델)을 활용하는 최근 전구평균 기온 및 강수량의 예측력이 조금씩 향상되었음을 알 수 있다. 이러한 예측력 향상은 전구뿐만 아니라 적도 지역에서도 동일하게 나타났다(그림 3.27). 지난 10여 년간의 APCC MME 예측력 향상을 변수별로 살펴보면, 기온에 비해 강수에서 상대적으로 예측력 향상이 크게 나타났다. 즉, 초창기 3년(2008-2010)에 대한 최근 3년(2014-2016)의 예측성의 상대적인 차이를 살펴보면 전구(적도지역) 기온은 12개월 평균 약 15%(5%), 강수는 19%(18%)정도의 예측성 향상을 가져왔다. 또한, APCC MME 시스템의 발전(예측력 향상)은 비단 전구 및 적도 지역에서만 국한되는 것이 아니라 APCC의 관심 지역인 동아시아 및 남아시아에서도 확인할 수 있다(표 3.4-5). 12개월을 평균한 예측력 향상을 나타낸 것이기 때문에, 예측력 향상 값 자체의 차이는 통계적으로 유의할 정도의 큰 값을 나타내진 않지만 지난 10여 년 동안 APCC MME 예측시스템이 조금씩 발전하고 있다는 점은 상당히 고무적인 일이라고 할 수 있다. 이는 APCC MME 참여모델들의 자체노력(예, 모델 개선 또는 차세대 모델 개발)과 더불어, 좀 더 최신의 대기-해양 접합 모델 참여 및 다양한 국가의 모델 참여 독려를 위한 APCC 노력 등이 예측력 향상에 기여한 것으로 보인다. 하지만 추후 좀 더 체계적이고

종합적인 예측력 평가에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

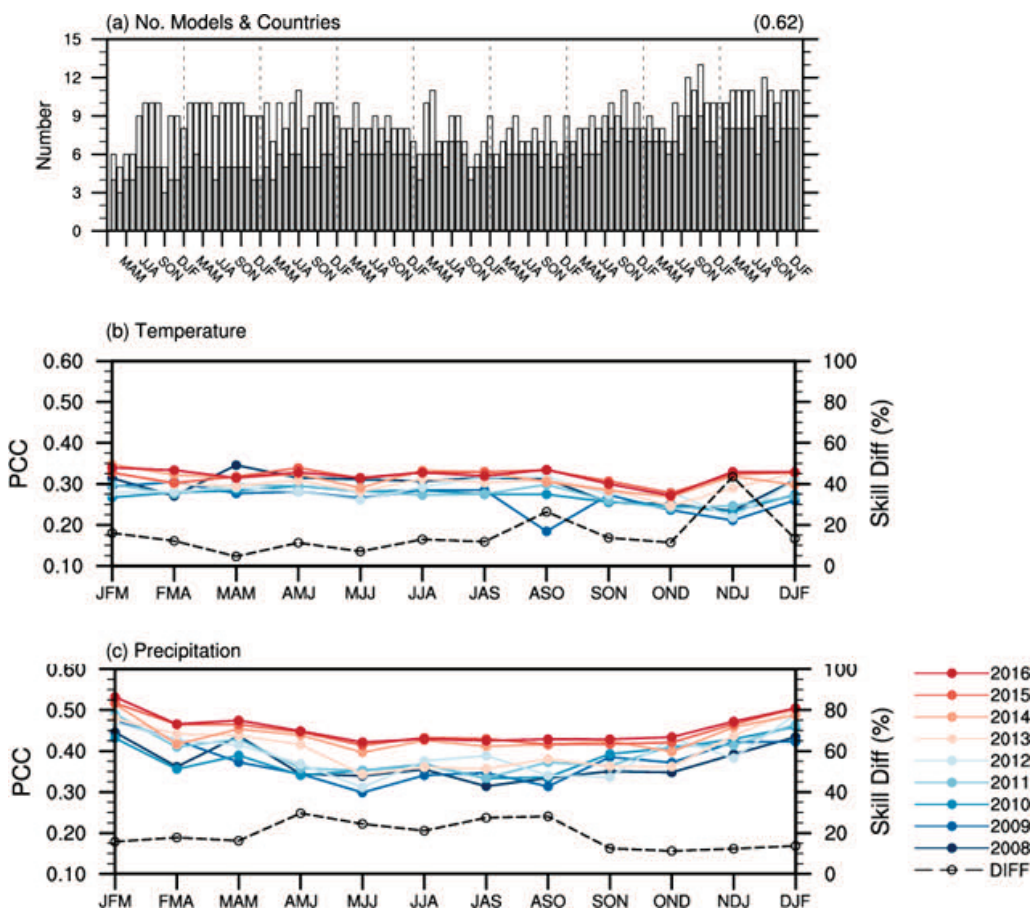


Figure 3.26. (a) Number of participating models and its countries in APCC MME forecasts. PCCs of APCC MME forecasts of (b) global temperature and (c) precipitation for each year (2008–16). Relative skill difference are calculated by the difference between the recent 3-year (2014–2016) and the first 3-year (2008–2010) mean PCCs divided by the first 3-year mean PCCs.

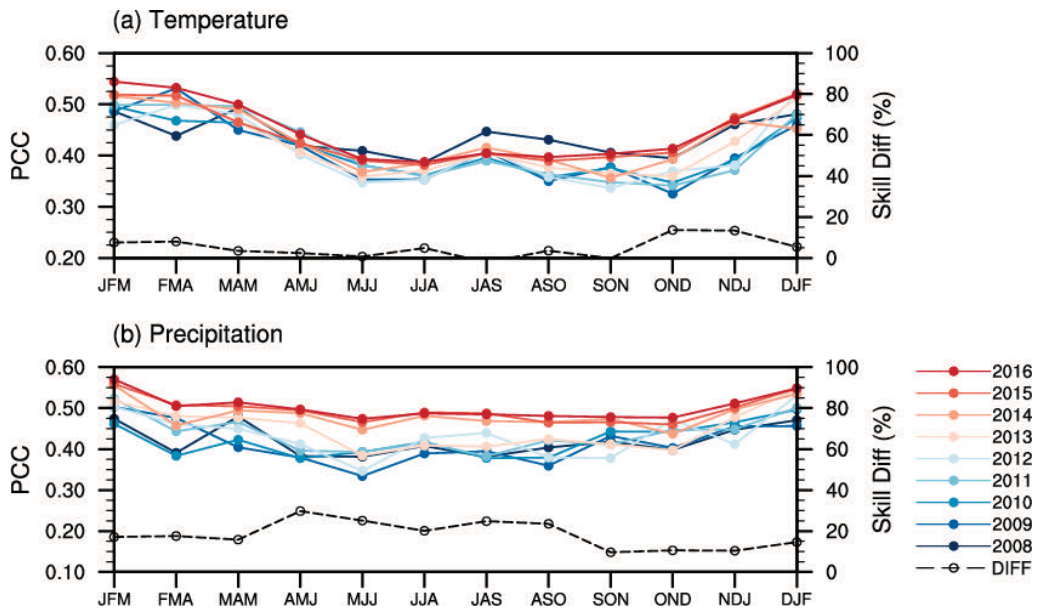


Figure 3.27. Same as Fig. 3.26 b and c, except for Tropical region.

Table 3.4. ACCs for several regions (globe, tropics, East Asia, and South Asia) of APCC MME temperature prediction for each year (2008–16)

ACC	전구	적도지역	동아시아	남아시아
2008	0.295	0.438	0.273	0.325
2009	0.270	0.408	0.230	0.290
2010	0.274	0.411	0.233	0.307
2011	0.276	0.415	0.234	0.310
2012	0.291	0.414	0.260	0.325
2013	0.299	0.423	0.249	0.331
2014	0.311	0.430	0.280	0.332
2015	0.319	0.441	0.288	0.339
2016	0.320	0.450	0.283	0.356

Table 3.5. Same as Table 3.4, except for precipitation

ACC	전구	적도지역	동아시아	남아시아
2008	0.371	0.420	0.136	0.268
2009	0.376	0.415	0.172	0.292
2010	0.387	0.426	0.166	0.272
2011	0.397	0.437	0.178	0.277
2012	0.399	0.439	0.191	0.304
2013	0.407	0.450	0.174	0.322
2014	0.437	0.483	0.192	0.361
2015	0.449	0.496	0.193	0.356
2016	0.455	0.502	0.195	0.385

3.1.5 요약

3장에서는 APCC 개별모델 및 MME가 예측한 2016년의 실시간 예측(real-time Forecast; 2016JFM-2016/17DJF)에 대한 예측력을 평가하였다. 즉, APCC가 예측한 실시간 MME 예측정보를 객관적으로 평가하고, 개별모델의 특성분석을 통해 2016/17년 APCC MME 예측력의 원인을 파악하였다. 2016/17년 전지구 순환패턴 분석을 통해 2016년 전지구 연평균 기온은 1880년대 이후 가장 따뜻했던 해로 나타났으며, 2016년 기후를 지배했던 주요 기후요소로는 2015/16 겨울에 발달한 강한 엘니뇨, 여름/겨울철에 발달한 강한 음의 IOD, 가을/겨울철 북극지역의 강한 온난화(평년보다 작은 북극해빙 면적)로 분석되었다. APCC 개별모델 및 MME의 2016년 3개월 평균 예측장에 대한 전반적인 예측력은 지난 23년에 대한 Hindcast 예측력(1983-2005)과 최근 8년간의 실시간 예측의 평균 예측력(2008-2015)보다 높은 것으로 나타났다. 특히, 2016년 상반기가 하반기에 비해 예측력이 높게 나타났고, 강수에 비해 기온이 예측력이 높게 나타났다. 이는 APCC 개별모델/MME의 예측력은 ENSO 위상 및 강도에 크게 영향을 받기 때문이다. 즉, 2015/16년 겨울철 발달한 강한 엘니뇨의 영향이 여름까지 지속되면서 2016년 상반기의 예측력이 상대적으로 높게 나타났으며, 기온은 강수에 비해 ENSO의 영향력이 오래 지속되기 때문에 예측력이 좀 더 높게 나타난 것으로 확인되었다. 또한, 일반적으로 ENSO 중립 및 발달 단계에 비해 소멸시기가 예측력이 높게 나타나기 때문에 이러한 영향으로 2016년의 예측력은 전반적으로 높았던 것

으로 판단된다. 또한 현재 현업에서 활용하고 있는 NCEP의 실시간 예측에서 나타나는 적도지역 SST의 warm bias에 대한 분석을 통해, 이를 개선할 수 있는 방법을 적용하여 예측력이 향상됨을 확인하였다. 따라서 실시간 예측에 대한 객관적인 검증 및 개별 모델에 대한 특성분석을 통해 APCC 계절기후 예측 시스템의 현재 수준 및 한계점 등을 파악하여 향후 이를 개선하는데 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

3.2 동아시아 겨울철 기온 예측성 분석 및 예측 기술 개발

본 연구에서는 우리나라를 포함하는 동아시아의 겨울철 계절 내 월별 기온 예측성을 분석하고 겨울철 이상 기후의 모의 특성을 분석하였으며, 낮은 예측 스킬의 원인을 분석함으로써 겨울철 기온 예측에 도움이 되고자 하였다. 더 나아가 겨울철 기온 예측력 향상을 위한 기술이 개발되었으며, 역학-통계 하이브리드 예측 모형을 구축함으로써 보정된 기온 예측 정보를 생산 하였다. 본 연구에서는 Hindcast(1983-2010)와 Forecast(2012-2016) 자료가 함께 분석되었다.

3.2.1 동아시아 겨울철 월별 기온 예측성 분석

APCC 개별 모델/MME 기온의 예측 특성을 살펴 보기 위해, 먼저 영역별 온도 예측성을 PCC 스킬을 통해 월별로 나타내었다(그림 3.28). 왼쪽은 과거예측자료(Hindcast; 1983-2010)의 PCC 스킬을 나타내며, 오른쪽은 실시간 예측자료(Forecast; 2012-2016년)의 PCC 스킬을 나타낸다. Forecast 예측 기간이 상대적으로 짧아 직접적인 비교는 어렵지만, 최근 예측 특성을 살펴보기 위해 함께 제시하였다. APCC 개별 모델/MME 기온 예측력은 일반적으로 열대 지역에서 높게 나타나며, 북반구 중위도에서 낮게 나타난다. 이는 해양과 육지에서부터 오는 근원적인 예측성 차이에 기인한 것이다. 모형별 예측 성능 특징을 살펴보면, 상대적으로 높은 예측성을 나타내는 열대 지역이나 전지역에서는 MME가 우세한 성능을 보이지만(Doblas-Reyes et al., 2005; Hagedorn et al., 2005; Min et al., 2009; Wang et al., 2009; Min et al., 2014), 상대적으로 낮은 예측성을 보이는 중·고위도 대륙이나 몬순의 영향으로 경년 변동이 큰 지역에서는 MME가 일관적으로 우세한 성능을 나타내지 않는다. 지역/계절에 따라 단일 모형의 예측 성능이 더 우세하게 나타

나기도 한다. 특히 우리나라가 위치하는 동아시아 영역에서의 예측성을 구체적으로 살펴보면, 아시아 대륙 전체에 비해 기온 예측성이 더 낮게 나타나며, 특히 겨울철 예측 스kill이 낮은 특징이 있다. 이러한 예측성의 계절 특징은 Forecast 자료에서 두드러지게 나타난다. 또한 여름철 예측 스kill은 MME에서 우세하게 나타나지만 겨울철에는 개별 모형 특히 POAMA의 예측성이 상대적으로 높게 나타난다. 최근 Forecast 예측 성능이 일반적으로 Hindcast에 비해 높게 나타나는데 1월, 2월의 예측성은 상당히 낮게 나타난다. 이는 대부분의 모형이 계절에 상관없이 지구 온난화 시그널을 강하게 모의하고 있는 반면, 동아시아 겨울철 기후는 온도의 경년 변화가 지속적으로 강하게 나타나기 때문이다.

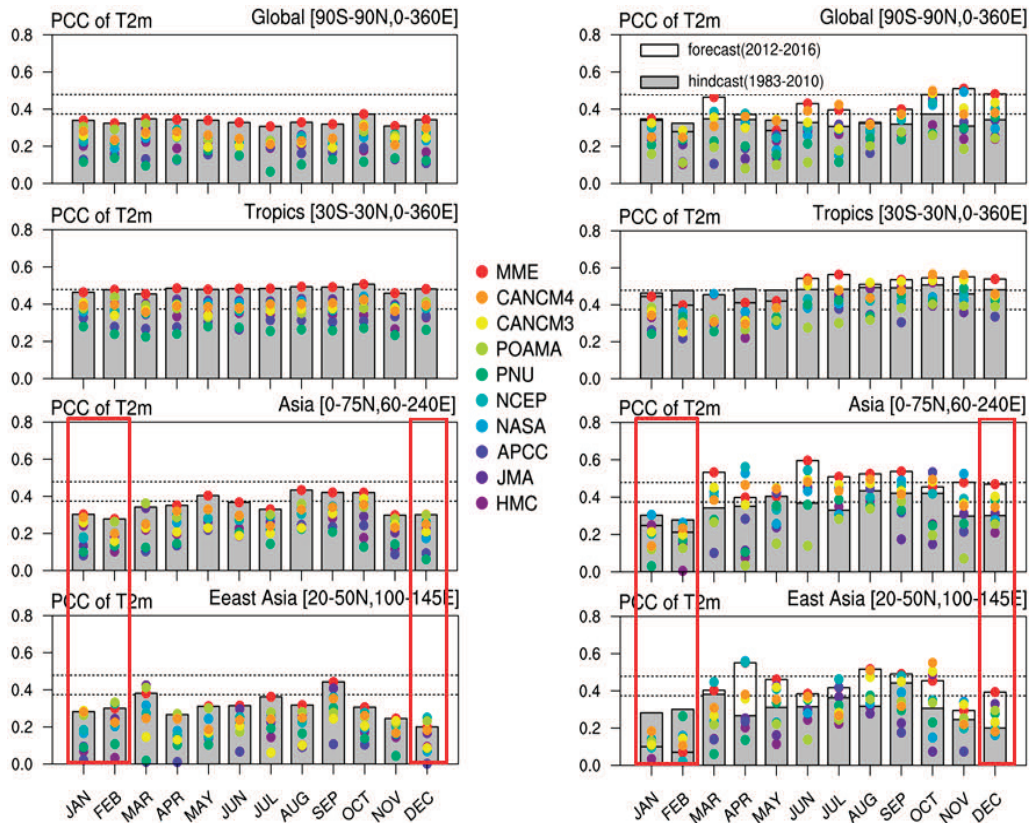


Figure 3.28. Prediction skill of Pattern Correlation Coefficient (PCC) of monthly-mean T2m in Global, Tropics, Asia and East Asia during (left panels) the period of hindcast (1983-2010) and (right panels) forecast (2010-2016). The gray bar and colored dots denote the MME and individual models.

동아시아 겨울철 기온 예측 특성을 구체적으로 살펴보기 위해, 동아시아 영역의 온도 PCC 스킵의 경년 변화를 월별로 나타내었다(그림 3.29). 검은색 마크는 개별 모형의 PCC 스킵을 나타낸 것이며, 빨간 실선은 MME 기온 예측의 PCC 스킵을 나타낸 것이다. 동아시아 기온의 MME 예측성은 모든 월에 대해 경년 편차가 강하게 나타나며, 이는 Forecast에서 더욱 두드러지게 나타난다. 개별 모형간 예측성의 편차 역시 매우 크게 나타나는데, 이는 예측성의 불확실성을 의미한다. 겨울철 기온 예측성의 경년 편차는 특히 동아시아 지역에서 두드러지게 나타나는 지역적 특징이다. APCC 계절 예측 시스템에서 T2m에 대한 예측값은 2012년부터 제공되었다. 따라서 Forecast 자료의 분석 기간이 Hindcast에 비해 상대적으로 짧으며 예측 스킵의 직접적인 비교는 어려운 실정이다. 상대적으로 긴 예측 정보를 가지는 T850에 대한 실시간 기온 예측 특성(2008~2016년)을 살펴본 결과(그림 없음), 동아시아 겨울철 기온의 PCC 스킵은 동아시아 영역 평균 온도 아노말리와 뚜렷한 양의 상관을 가지며, 특히 추운 겨울해에 예측성이 매우 낮게 나타났다. 이는 대부분의 역학 모형들이 동아시아 겨울 문순에 의한 겨울철 기후 변동을 잘 모의하지 못하기 때문이다(Wang et al., 2010; Lee et al., 2012; Kang and Lee 2017). Forecast에서 동아시아 겨울철 평균 온도와 PCC 예측력은 강한 양의 상관을 보이지만 Hindcast에서는 이러한 특징이 두드러지게 나타나지 않는다. 이는 Hindcast와 Forecast 예측 자료의 본질적인 특성 차이가 있음을 암시한다.

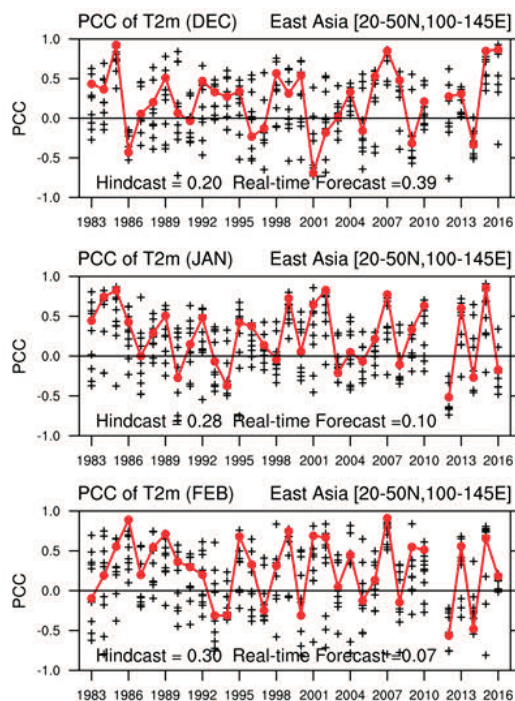


Figure 3.29. Time series of PCC skill of monthly mean T2m for winter season over East Asia

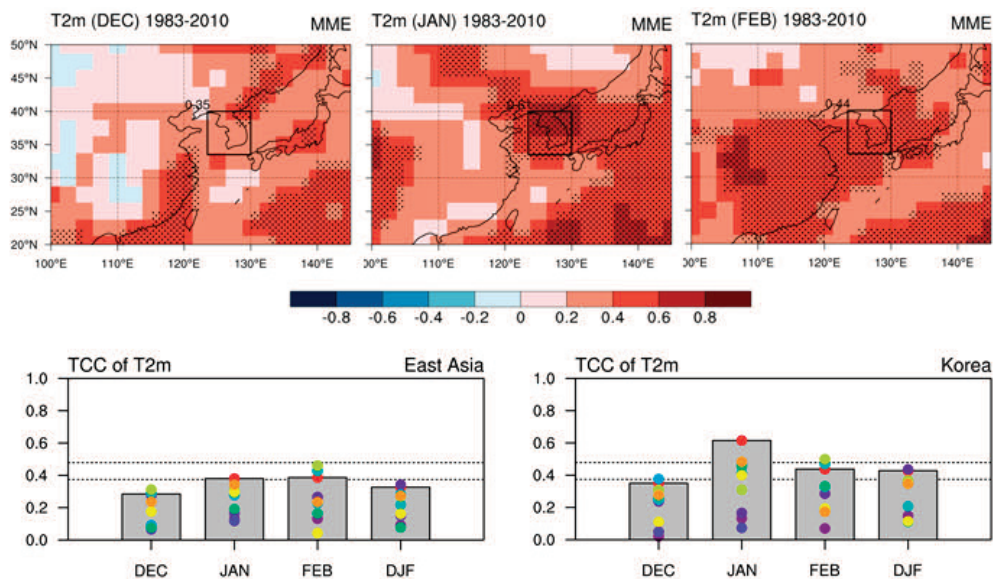


Figure 3.30. (Upper) TCC skill for 1-month lead December, January, February-mean T2m obtained from MME for the period 1983-2010. Areas with black dots indicate a 95% confidence level according to a student's t-test. (Lower). Monthly and seasonal mean TCC skill averaged over East Asia and Korea for winter season. The gray bar and colored dots denote the MME and individual models.

그림 3.30은 동아시아 겨울철 기온의 TCC 분포와 영역 평균된 TCC 값을 월별로 나타낸 것이다. 우리나라와 일본, 중국 동북부를 포함하는 동아시아 영역(Boo et al., 2011)에서 겨울철(DJF) 평균 기온의 예측성은 0.32로 통계적으로 유의하지 않은 낮은 예측성을 나타내며, 계절 내 월별 기온의 TCC 스킬 또한 12월, 1월, 2월에 대해 각각 0.28, 0.38, 0.38으로 낮은 예측성을 나타낸다. 우리나라는 동아시아 영역에서 상대적으로 높은 TCC 스킬을 보이는데, 우리나라 영역 평균된 TCC 스킬은 각 월에 대해 0.35, 0.61, 0.44로 12월을 제외한 예측성은 통계적으로 유의한 값을 나타낸다. 개별 모형의 예측 성능을 살펴보면, 12월의 예측성은 대부분의 모형에서 유의하지 않게 나타나며, 1월과 2월의 경우 각각 MME와 POAMA가 가장 높은 예측성을 나타낸다. 특히 1월의 경우 우리나라 기온의 경년 변동성은 매우 잘 모의됨을 알 수 있다.

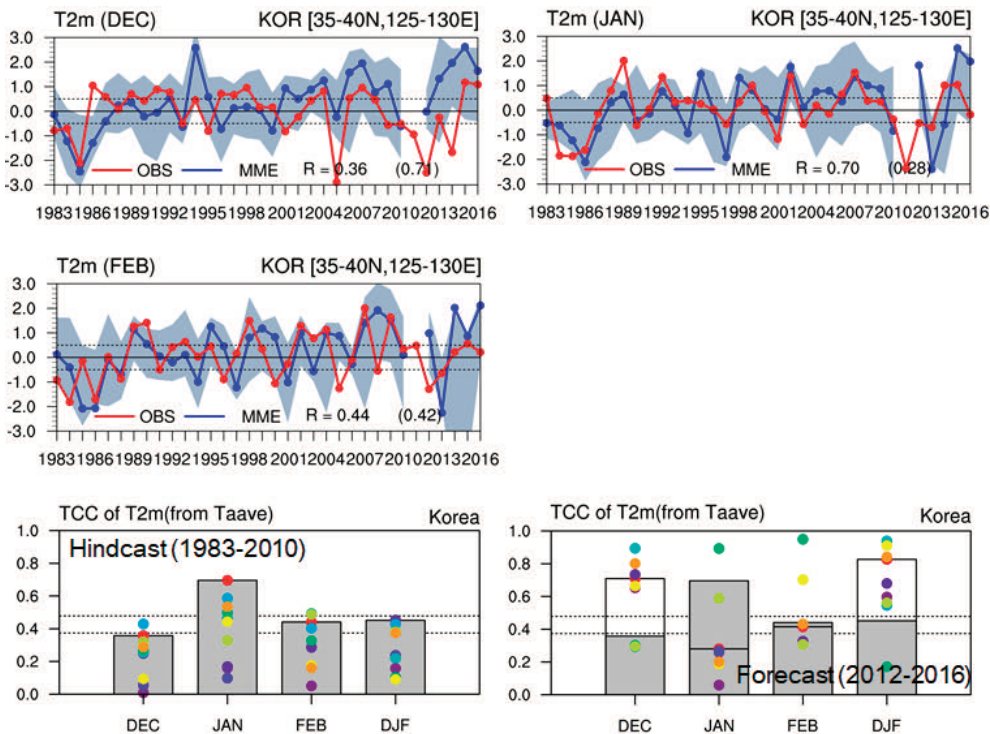


Figure 3.31. (Upper) Interannual variation of monthly mean normalized T2m anomalies averaged over Korea from observation (OBS, red line) and the ensemble mean of 9 multi-models (MME, blue line). Shading by sky blue denotes the range assessed from individual model values in MME. Dashed lines correspond to values of 0.5 and -0.5 standard deviation, respectively. (Lower) TCC of T2m anomaly over Korea during (left panels) the period of hindcast (1983-2010) and (right panels) forecast (2010-2016). The gray bar and colored dots denote the MME and individual models.

겨울철 월별 기온의 경년 변동 특성과 이에 따른 모형의 예측 특성을 살펴보기 위해, 우리나라 영역 평균된 온도 아노말리의 시간 변화를 살펴보았다(그림 3.31). 우리나라 영역 평균된 겨울철 기온 아노말리는 동아시아 영역 평균된 기온과 12월, 1월, 2월에 대해 각각 0.9, 0.87, 0.94의 높은 양의 상관을 가지므로, 동아시아 기온의 경년 변화 특성을 대표할 수 있다. 관측값과 MME 예측값은 각각 빨간색, 파란색 실선으로 나타내었으며, 9개 개별 모형으로부터 예측된 온도의 범위(model spread)는 하늘색 영역으로 나타내었다. 관측된 기온의 아노말리는 월별 경년 변동성이 매우 크게 나타났으며, 12월(5.4°C) < 1월(5.8°C) < 2월(6.1°C)의 순으로 2월 온도의 경년 변화가 가장 크게 나타난다. APCC MME 예측 온도는 이러한 겨울철 기온의 경년 변동성을 월에 상관없이 약 2°C 로 매우 약하게 모의하는 반면, 예측에 있어서의 모형 간 편차는 거의 모든 해에서 1σ 이상의 범위로 매우 크게 모의한다. 이로부터 우리는 겨울철 월별 온도의 모형간 불확실성을 가늠할 수 있다. 온도의 경년 변동을 과소 모의하는 모형 특성을 감안하여 그림 3.4에서는 자체 온도의 표준 편차를 나누어 표준화 시킨 온도의 경년 변화를 나타내었다. 우리나라 영역 평균된 겨울철 월별 온도 예측은 모든 월에 대해 통계적으로 95% 수준의 유의한 값을 보이지만, 1월을 제외한 12월과 2월의 예측된 온도는 극값을 가지는 대부분의 해에서 실제 값과 상이한 값을 나타낸다. 1월의 경우 MME는 우리나라 기온의 경년 변동을 매우 잘 모의하며 겨울철 이상 기후($\pm 0.5\sigma$ 을 넘는 해)의 phase 또한 잘 모의함을 알 수 있다. 또한 Hindcast에서 온도의 경년 변화는 관측에 비해 매우 과소 모의 되지만, Forecast에서는 경년 변화가 관측과 유사한 크기로 모의된다. 모형별 예측성을 살펴보면, Hindcast에서는 MME나 POAMA가 개별 모형에 비해 높은 성능을 나타내는 반면, Forecast에서는 PNU 모형의 예측 성능이 매우 높게 나타난다.

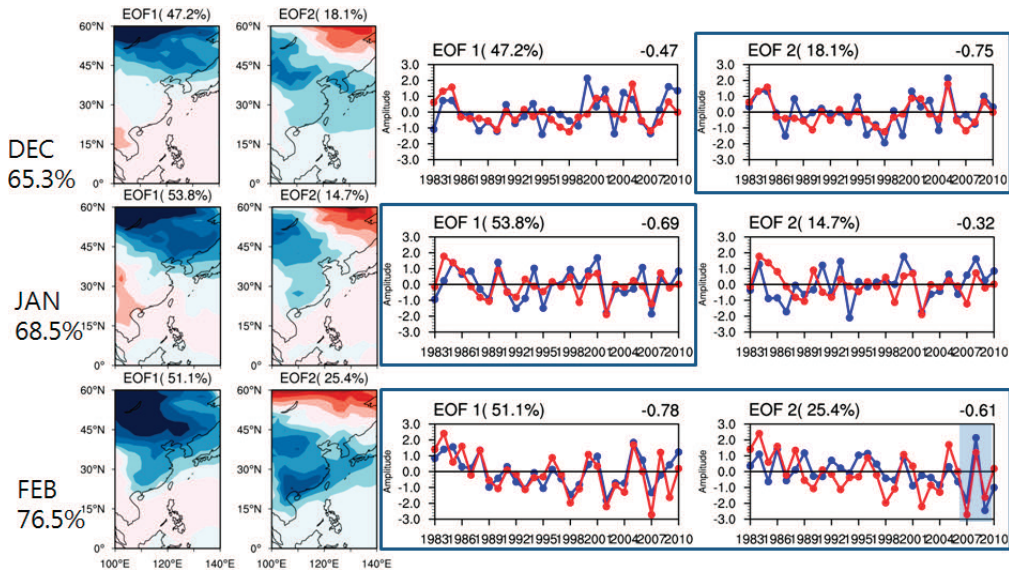


Figure 3.32. Spatial pattern and principal component (PC) time series of the first and second EOF modes for December-January-February mean T2m in the entire EAWM domain. The numbers in parentheses on the top of the panels denote the contribution of the total variances, whereas the numbers on the top-right corners of the lower panels denote the correlation coefficient between the PC and T2m over Korea.

동아시아 겨울철 기후는 동아시아 겨울 몬순의 영향으로 강한 경년 변동성을 가지며, 이는 우리나라를 비롯한 동아시아 영역에서의 겨울철 기온 예측에 큰 영향을 미친다(Chang et al., 2006; Ding and Sikka 2006; Wang et al., 2010; Park et al., 2011). Wang et al.(2010)은 동아시아 겨울철 기온 변화를 두 가지 주요 기온 모드, 북쪽과 남쪽 모드로 설명 하였고, 이는 현저히 다른 시·공간 구조와 변동성을 가지고 각각 다른 강제력에 의해 유도됨을 밝혔다. 북쪽 기온 모드는 시베리아 남부와 몽골에서의 과도한 눈덮임이 선행되는 반면, 남쪽 기온 모드는 라니냐 이벤트의 발달과 시베리아 북동쪽 적설량의 감소가 선행되며, 이러한 현저하게 다른 시·공간 구조와 강제력은 주로 동아시아 온도의 경년 변동과 밀접한 관련이 있음을 제시하였다. 북쪽 기온 모드는 시베리아 북동쪽으로부터 발생한 한랭한 기온의 내습과 관련되며 동아시아 북부를 중심으로 추운 겨울이 나타나는 반면, 남쪽 기온 모드는 몽골리아 고기압의 강화와 동아시아 트라프의 강화로 특징지어지고 이는 동아시아 남부를 중심으로 추운 겨울이 발생한다. 우리나라를 포함하는 동아시아는 Wang et al.(2010)이 제안한 독립적인 두 순환 시스템의 영향을 모두 받는 지역에 위치하며, 우리나라 겨울철(DJF) 평균 기온과

각각의 기온 모드는 -0.68과 -0.7로 높은 상관을 나타낸다.

그림 3.32은 동아시아 겨울철 월별 온도의 변동성을 설명하는 두 가지 주요 기온 모드의 공간적 분포와 PC time series를 나타낸 것이다. 월 평균 기온의 변화는 두가지 기온 모드에 의해 많은 부분이 설명된다. 동아시아 12월 기온 변동은 북쪽 기온 모드 47.2%, 남쪽 기온 모드 18.1%로 두 모드에 의해 총 65.3%가 설명되며, 1월의 경우 북쪽 기온 모드에 의해 58.3%, 남쪽 기온 모드 14.7%로 총 68.5%가 설명된다. 또한 2월의 경우 두 모드에 의해 각각 51.1%와 25.4%로 76.5%가 설명이 된다. 각 기온 모드에 대한 월별 공간 특징을 살펴보면, 북쪽 기온 모드에서 나타나는 강한 음의 편차는 12월에 동아시아 북부에 나타나며 1월에 우리나라 북쪽으로 확장하여 나타나고, 2월에는 몽골까지 강한 음의 편차가 확장되어 나타난다. 반면 남쪽 기온 모드는 12월과 1월에 몽골에서 나타나는 강한 음의 편차가 2월에는 동아시아 남부로 이동하여 나타나는 특징이 있다. 이러한 주요 기온 모드의 공간적 분포는 우리나라 겨울철 계절 내 기온 변동에 밀접한 영향을 미친다. 12월 우리나라 기온의 경년 변동성은 남쪽 기온 모드와 -0.75로 높은 음의 상관을 가지며, 1월 기온의 경우 북쪽 기온 모드와 -0.69의 높은 상관을 나타낸다. 2월 우리나라 기온은 두 모드의 영향을 같이 받는데, 각각 -0.78과 -0.61로 북쪽 기온 모드에 더 높은 상관을 보인다. 특히, 2월 기온의 경우 최근들어 남쪽 기온 모드의 변동성이 크게 증가하였으며 우리나라 기온 변동에 큰 영향을 미친 것으로 보인다.

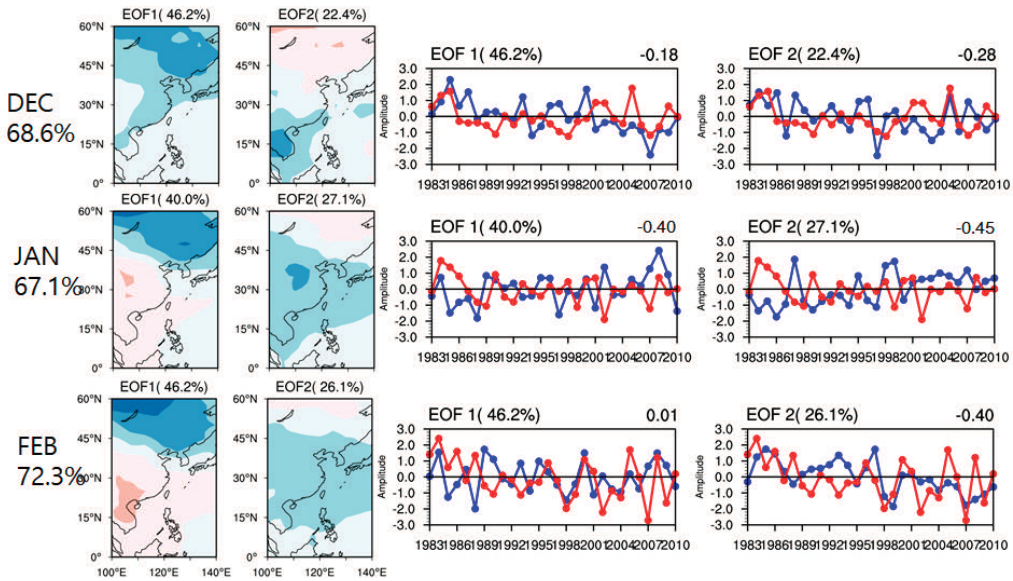


Figure 3.33. Same as Fig. 3.32, but for MME.

MME는 관측에서 나타나는 주요 기온 모드의 상대적 강도는 다소 약하게 모의하지만 공간적 분포는 대체적으로 잘 모의하며, 두 가지 주요 기온 모드에 의해 기온 변동성의 약 68.6%(12월), 67.1%(1월), 72.3%(2월)가 설명된다(그림 3.33). 특히 북쪽 기온 모드의 공간적 분포는 대부분의 모형에서 0.8 이상의 높은 PCC 스킬을 나타내며, 특히 1월과 2월의 경우 0.9 이상의 높은 PCC 스킬을 나타낸다. 상대적으로 남쪽 기온 모드의 공간적 분포는 낮은 PCC 스킬을 보이는데, 관측과 비교해서 음의 중심 편차가 아시아 남부에 치우쳐져 모의되는 특징 때문이다. 따라서 몽골에 중심을 가지는 12월과 1월의 PCC 스킬은 상대적으로 낮게 나타나며, 2월의 경우 다소 높은 스킬을 나타낸다. 주요 기온 모드의 공간적 분포에 비해 PC time series의 예측은 상대적으로 좋지 않다. 12월의 경우 두 기온 모드에 대해 PC time series의 TCC 스킬이 0.2 이하로 낮게 나타나며, 1월의 경우 북쪽 기온 모드에 대해서 0.36의 유의한 TCC 스킬을 나타낸다. 2월 기온은 남쪽 기온 모드가 0.36의 유의한 TCC 스킬을 나타낸다. MME로부터 예측된 각 기온 모드의 PC 시계열은 우리나라 12월 평균 기온과는 높은 상관을 보이지 않는데, 1월의 경우 두 기온 모드에 대해 -0.4와 -0.45의 유의한 음의 상관 관계를 나타내며, 2월의 경우 남쪽 기온 모드에 대해 -0.4의 음의 상관을 나타낸다.

개별 모형/MME의 주요 기온 모드에 대한 예측성을 정리하여 그림 3.34에 나타내었다. 각 주요 기온 모드에 대한 스킬 점수(skill score)는 주성분 시계열(PC time series)에 대한 TCC와 고유 벡터에 대한 PCC의 함수로 다음과 같이 정의된다.

$$Skill\ Score = \sqrt{PCC \times TCC}$$

12월의 경우 대부분의 모형이 0.6 이하의 스킬 점수를 나타내는 반면, 1월의 경우 북쪽 기온 모드에 대해 CANCM3, CANCM4, POAMA는 0.6 이상의 스킬을 보인다. 2월의 경우 남쪽 기온 모드에 대해 NCEP과 JMA가 0.6 이상의 스킬이 나타낸다. 이러한 각 기온 모드의 스킬은 우리나라 기온의 예측 성능과 직접적으로 연결된다. 우리나라 1월 기온에 영향을 주는 북쪽 기온 모드의 높은 스킬 점수는 우리나라 1월 기온 예측성에 기여한 것으로 생각된다.

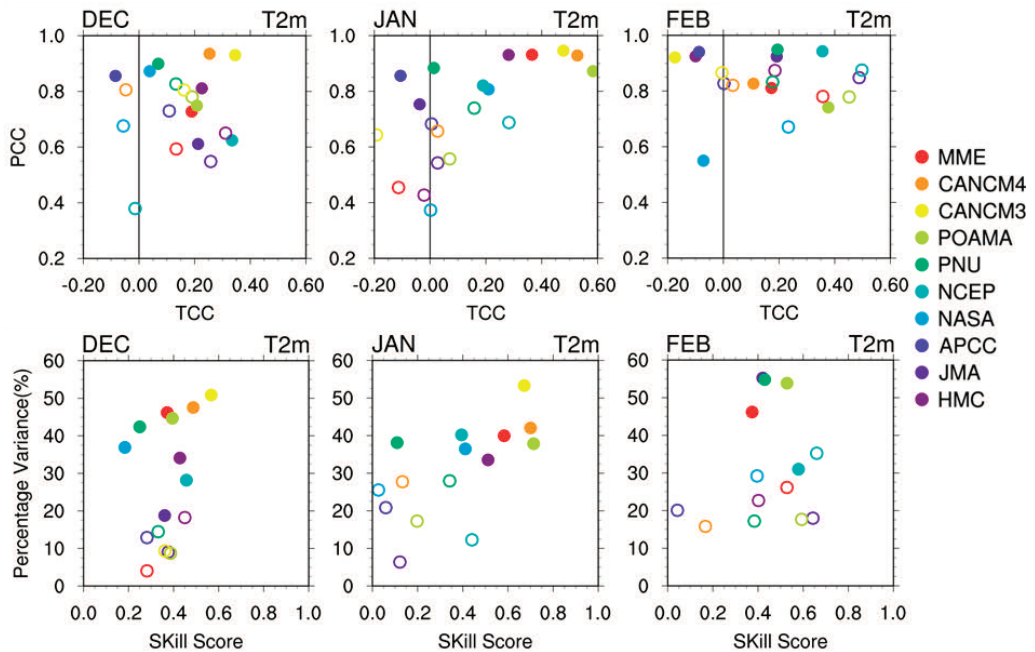


Figure 3.34. (Upper panels) PCC skill for eigenvector (ordinate) and TCC skill for the principal component time series for each temperature mode (abscissa) for December, January, February T2m over the EAWM domain. (Lower panels) The percentage variances that are accounted for by two temperature modes (ordinate) and the combined forecast skill score for the EV and PC for each mode (abscissa).

3.2.2 겨울철 이상 기후의 예측 특성 분석

겨울철 이상 기후의 예측 특성을 파악하기 위해 합성도 분석을 실시하였다. 본 연구에서 겨울철 이상 기후는 28년 동안의 월 평균 기온의 표준편차 ± 0.5 를 넘는 해로 정의하였으며, 각각 추운 겨울해(cold year)와 따뜻한 겨울해(warm year)로 표 3.6에 나타내었다. 선택된 많은 해들은 동아시아 겨울 몬순(EAWM) 강도가 강한 해와 거의 일치하며, 이는 우리나라 겨울철 이상 기후의 발생이 EAWM의 경년 변화와 밀접한 상관성이 있음을 나타낸다. 표 3.7는 관측과 모형 내에서 나타나는 겨울철 이상 기후해의 수를 나타낸 것으로, 관측에 비해 MME는 따뜻한 겨울해의 수를 많이 모의하고 상대적으로 추운 겨울해의 수를 적게 모의하는 특징이 있다. MME는 관측에 비해 지구 온난화 트렌드를 강하게 모의하는 경향이 있어 기온 예측 시 모형의 온난화 트렌드를 고려하여 예보에 활용하여야 할 것이다.

Table 3.6. Cold and warm years obtained from observation for composite analysis.

	Cold years	Warm years
DEC	83, 84, 85, 95, 01, 05, 09, 10, 11, 12, 14	86, 89, 91, 92, 96, 97, 98, 04, 07, 15, 16
JAN	84, 85, 86, 97, 01, 03, 10, 11, 13	88, 89, 92, 94, 99, 02, 06, 07, 14, 15
FEB	83, 84, 86, 88, 91, 96, 00, 05, 08, 12, 13	89, 90, 93, 98, 02, 03, 04, 07, 09, 15

Table 3.7. The number of cold and warm years obtained from observation and MME.

	Cold years		Warm years	
	OBS	MME	OBS	MME
DEC	11	7	11	13
JAN	9	8	10	14
FEB	11	7	10	15

그림 3.35와 그림 3.36는 관측과 MME 내에서 정의되는 추운 겨울해의 합성도를 나타낸 것으로, T2m, SLP, Z500의 분포에서 나타나는 겨울철 추운 겨울해의 월별 특징을 살펴보았다. 관측에서 12월 추운 겨울해는 시베리아 고기압이 강화되고 일본 동

쪽 해양에서의 저기압성 아노말리가 생성되어 해양과 육지 사이의 기압 경도가 강화된다. 또한 우리나라 상층에 기압골이 강하게 발달하는 것을 볼 수 있다. 1월의 추운 겨울에는 북태평양 고기압의 약화로 인한 저기압성 아노말리에 의해 더 큰 영향을 받으며 상층 기압골이 12월에 비해 일본 동쪽 해양으로 치우쳐져 발생한다. 이에 따라 우리나라에 발생하는 한기의 중심은 12월에 비해 북동쪽으로 치우친 곳에서 발생하며 유의한 한기 영역 또한 좁은 지역에서 발생한다. 2월의 추운 겨울에는 더 광범위한 지역에서 동서로 확장되어 나타나는데, 시베리아 고기압의 강화와 동아시아로의 확장이 특징적이며 상층 기압골은 우리나라 북부에 중심을 두고 남북으로 더 좁은 지역에서 zonal 하게 발달한다. 또한 2월의 추운 겨울에는 다른 달에 비해 아시아 대륙 전체에서 광범위하게 나타남을 알 수 있다. 추운 겨울해의 수는 12월과 2월에 비해 1월에 더 적은 수의 추운 겨울이 기록되었다.

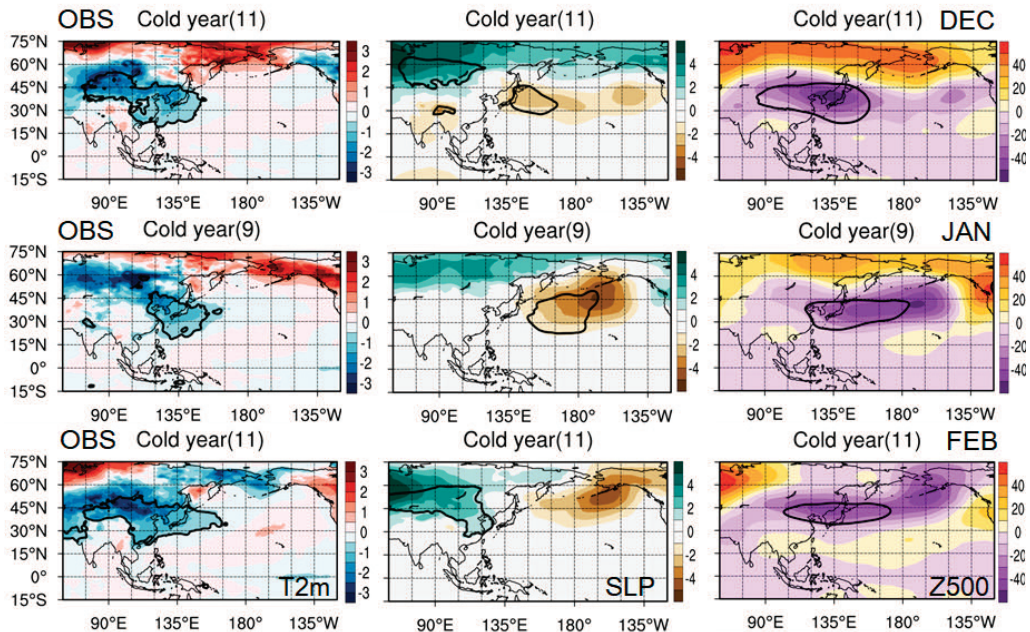


Figure 3.35. Composite maps of observed monthly-mean T2m, SLP, and Z500 for cold years during the period of 1983–2016. The significant values at 95% confidence level are indicated by thick black contour.

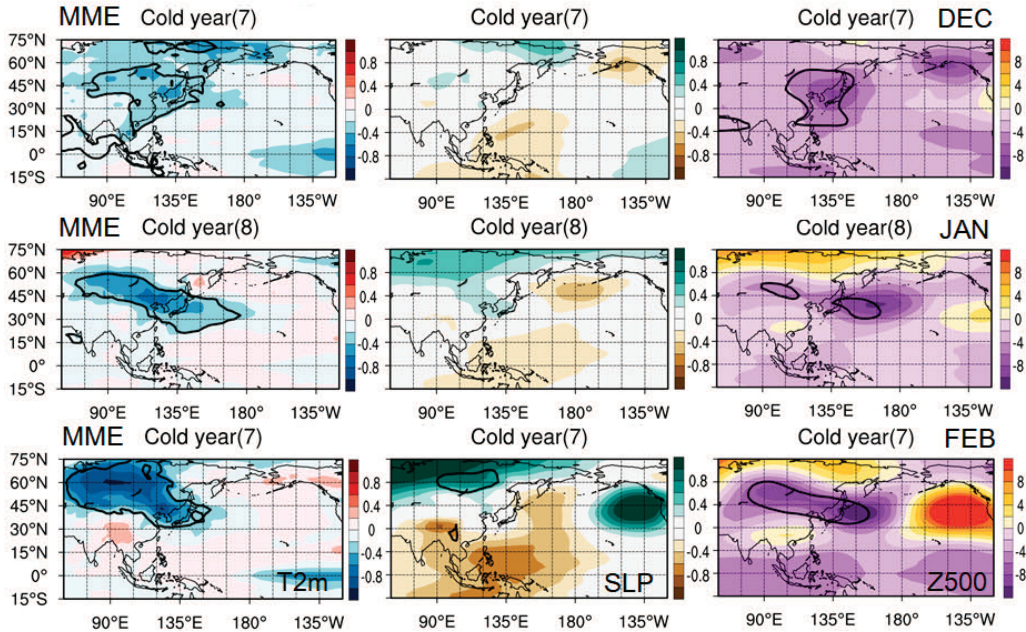


Figure 3.36. Same as Fig 3.35 except for MME.

반면, 모형 내에서 모의하는 온도의 경년 변동성을 기준으로 정의된 추운 겨울해의 특징을 살펴보았다(그림 3.36). MME 는 관측에서의 기온과 비슷한 동아시아 영역에서 음의 편차를 모의하며 강도는 약하지만 월별 패턴은 매우 잘 모의한다. 해면 기압장의 패턴을 살펴보면, 12월 시베리아 고기압과 일본 동쪽 해양에서 나타나는 기압 경도의 강화가 거의 모의되지 못한다. 1월의 기압패턴은 대체적으로 잘 모의하나 전체적인 강도가 다소 약하게 나타난다. 2월의 경우 시베리아 북부에서의 고기압이 전체적으로 강화 되나 동아시아 동남부로 확장하는 패턴은 보이지 않으며 서태평양에서의 저기압성 편차가 크게 강화되는 것이 특징이다. 상층 기압골에서의 월별 특징은 전체적으로 관측과 유사하게 잘 모의된다. 12월과 2월의 경우 관측에서 정의되는 추운 겨울해의 수보다 훨씬 적은 수의 추운 겨울이 나타나는 반면, 1월의 경우 관측과 거의 비슷한 수의 추운겨울이 기록되며, 해당 년도 또한 관측과 거의 일치함을 확인 하였다. 이는 MME 가 우리나라를 포함하는 동아시아 영역에서의 기온의 예측성이 상당히 높으며, 특히 극한 겨울해의 위상을 잘 맞추기 때문이다.

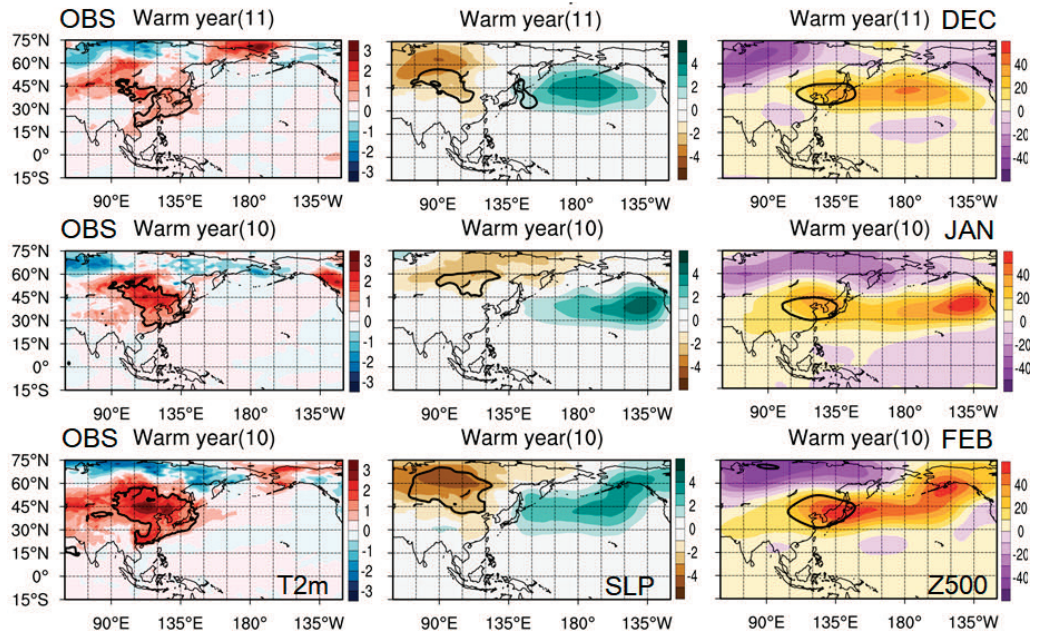


Figure 3.37. Composite maps of observed monthly-mean T2m, SLP, and Z500 for warm years during the period of 1983–2016. The significant values at 95% confidence level are indicated by thick black contour.

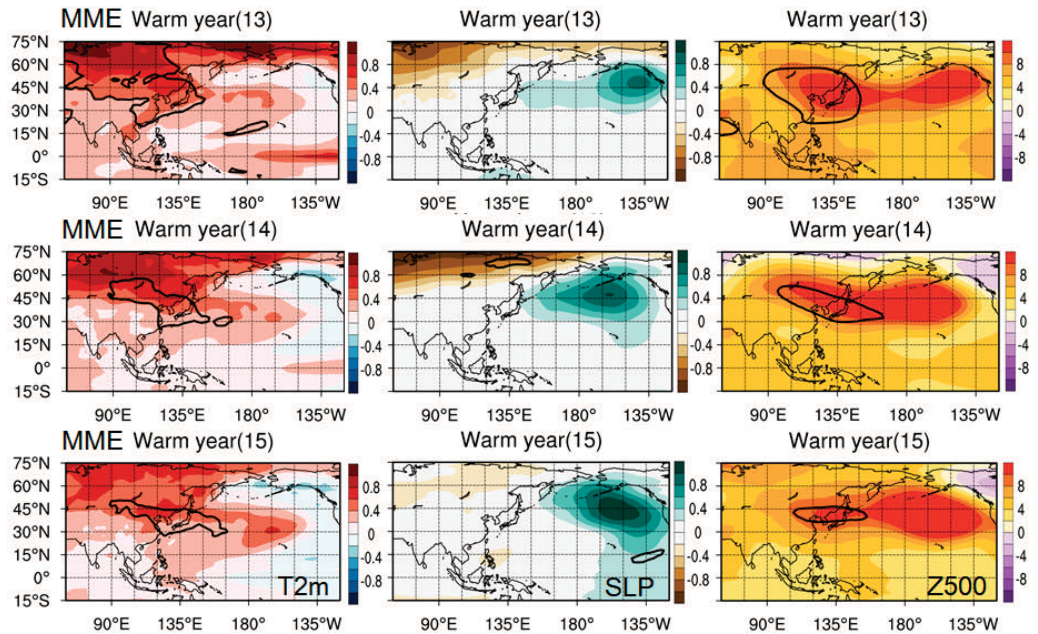


Figure 3.38. Same as Fig 3.37 except for MME.

그림 3.37과 그림 3.38은 관측과 MME 내에서 정의되는 따뜻한 겨울해의 합성도로, 따뜻한 겨울해의 월별 특징을 나타낸다. 이는 추운 겨울해와 대비적인 구조를 나타낸다. 다만 양의 편차 영역이 다소 동아시아 영역에 국한되어 나타나며, 시베리아 고기압의 약화와 북태평양 고기압의 강화, 우리나라 상층과 북태평양을 커버하는 기압골의 약화가 따뜻한 겨울철에 공통적으로 나타난다. 우리나라 겨울철 월 기온 분포에 영향을 미치는 시베리아 고기압의 변동 위치 또한 추운 겨울해와 유사한 특징을 보인다. 반면 MME가 모의하는 따뜻한 겨울해의 기후 특징은 동아시아 겨울 몬순의 특징이라기 보다는 지구 온난화에 의한 warming 시그널이 상당히 강하게 나타나는 것처럼 보인다. 북반구 고위도 지역과 아시아 대륙 전체를 커버하는 매우 넓은 지역에서 강한 양의 기온 편차가 나타나며, 북태평양 고기압의 남서부 또한 강한 양의 기온 편차를 나타낸다. 북태평양 고기압의 강화와 동아시아로의 확장이 상층 기압골을 약화 시킨다. MME는 관측에서 보다 더 많은 수의 따뜻한 겨울해를 나타내며, 북반구 대륙 전체에서의 warming 시그널이 상당히 강하게 모의하는 특징이 있다.

관측에서 정의된 추운 겨울해와 따뜻한 겨울해에 해당하는 MME의 합성도 또한 비교 분석해 보았다(그림 없음). MME는 따뜻한 겨울해의 특징을 대체적으로 잘 모의하는 반면, 추운 겨울해의 특징은 거의 모의하지 못하며 기온의 경우 고위도를 비롯하여 아시아 대륙 전체에서 양의 온도 편차를 나타낸다. 이는 MME 온도 예측의 강한 warming 시그널로 인해 많은 해에 따뜻한 겨울해의 특징을 모의하기 때문이다. 1월의 경우, 추운 겨울해의 특징 또한 매우 잘 예측하고 있는데 이는 앞서 제시하였듯이, 1월에 대한 MME의 예측성이 경년 변동성 뿐만 아니라 극한 겨울해의 위상 까지도 잘 예측하기 때문이다.

3.2.3 역학-통계 하이브리드 예측 기법 개발

겨울철 월별 기온 예측성 향상을 위한 방안으로 역학-통계 하이브리드 모델이 개발되었다(그림 3.39). 관측된 우리나라 겨울철(December-January-February) 월평균 기온과 역학 모형으로부터 예측된 대규모 변수들 간의 물리적 관계를 기반으로 예측인자를 선정하였으며, leave-one-out 교차 유효성 검사 기법을 적용하여 예측자(predictor)와 예측(predictant) 간의 다중 회귀 분석을 실시하였다(Wilks 2006; Kim et al.,

2010). 회귀 계수를 목표 연도의 APCC MME 예측에 적용하여 하이브리드 기온 예측 값을 산출하였다. hybrid 기온 예측은 1983-2010년(28년)의 Hindcast를 이용해 역학 모형에서의 온도 예측과 비교하였으며, 2012-2016년(5년)의 Forecast 자료를 이용해 실시간 hybrid 온도 예측 가능성을 타진해보고자 하였다. 본 연구에서 온도에 대한 hybrid 예측 모형은 predictor를 선정하는 방법에 따라 두가지 모형이 구축되었다. 첫 번째 방법으로는 관측된 우리나라 기온과 대규모 변수들과의 상관 패턴을 통해 우리나라 기온에 영향을 미치는 주요 모드를 predictor로 선정하였다. 두 번째는 EOF 분석을 통해 우리나라 기온 변동에 영향을 주는 주요 기온 모드를 분석하였으며, 주 기온 모드의 PC time series를 predictor로 선정하였다.

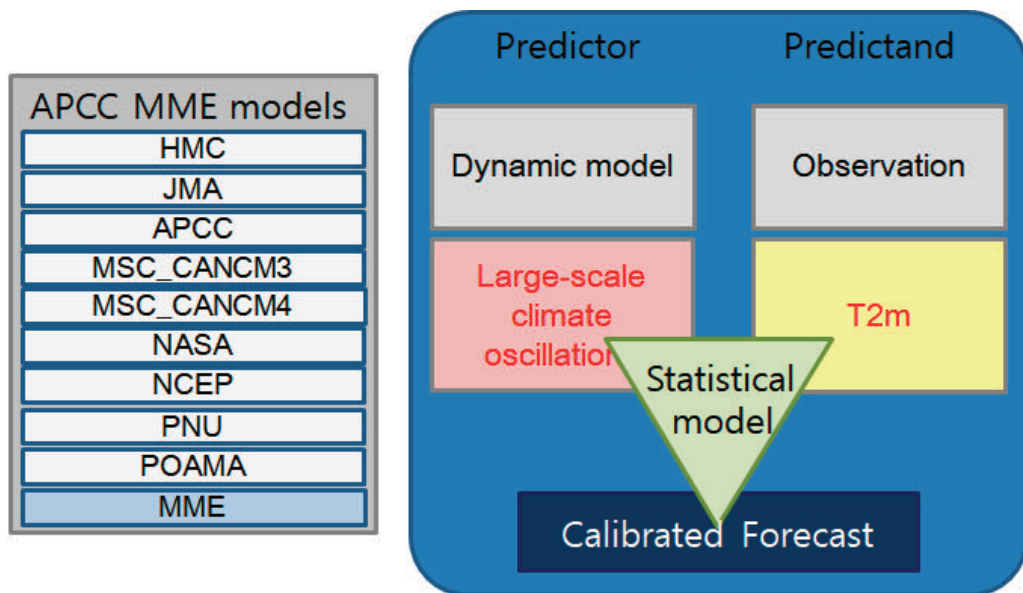


Figure 3.39. Schematic diagram illustrating the dynamic-statistical hybrid temperature prediction system.

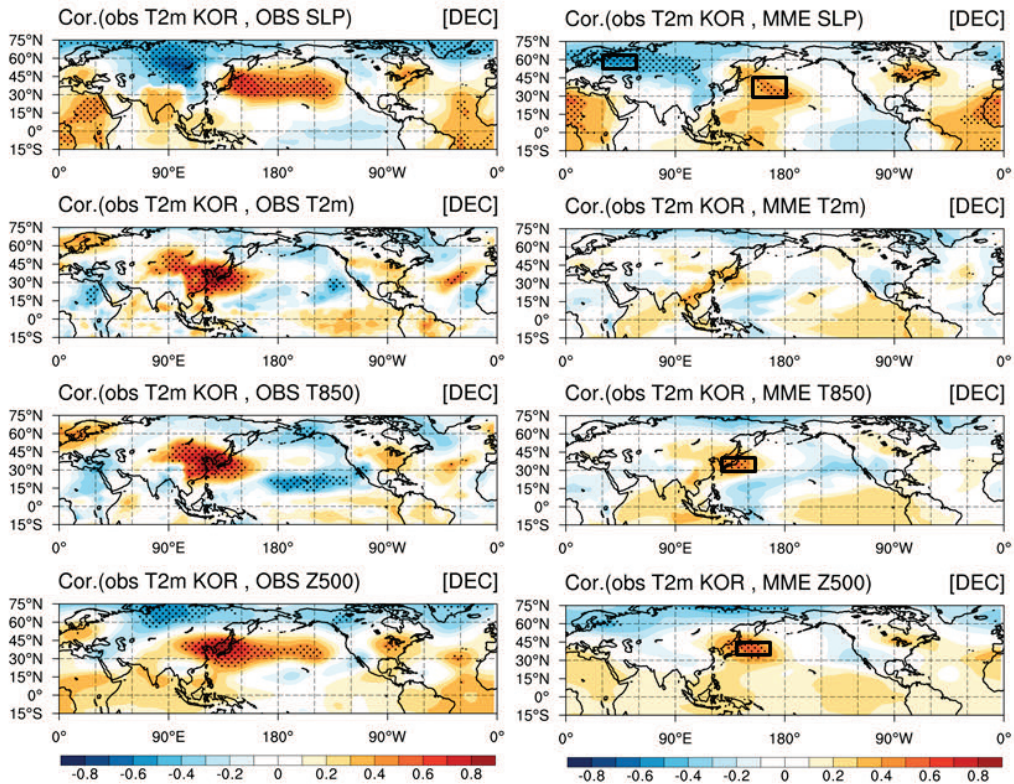


Figure 3.40. Correlations of observed and APCC MME hindcast DJF SLP, T2m, T850 and Z500 with the observed T2m averaged over Korea.

먼저 관측과 MME에서 우리나라 겨울철 월 평균 기온의 경년 변동성이 어떻게 주요 변수들과 연결되어 있는지 살펴보기 위해, 관측된 우리나라 기온과 대규모 변수들과의 상관 패턴을 관측장과 예측장에 대해 각각 나타내었다. 그림 3.40에서 그림 3.42은 각각 12월, 1월, 2월에 대한 분포를 나타낸 것이다. 우리나라 겨울철 월별 기온은 공통적으로 대륙 고기압과 강한 음의 상관을 보이며 북서태평양 아열대 고기압의 변동과 강한 양의 상관을 보인다. 대륙 고기압과 알류산 저기압의 발달 및 동아시아 지역으로 확장에 의해 북풍 계열 바람이 강화되고 이는 우리나라에 한기를 유입시켜 기온이 하강한다. 겨울철 기온은 우리나라 상층 지위고도와 강한 양의 상관을 보이며, 북동 유럽 및 북러시아 지역 상층 지위고도와 음의 상관을 보인다. 북동 유럽에서부터의 파동형태 기압 배치로 동아시아 기압골이 깊어지며 이는 하층 대륙고기압과 알류산 저기압의 동아시아 지역으로의 확장을 유도하고 우리나라 지역에 북풍 편차를 가져와 한기를 유

입, 온도가 하강하는 메커니즘으로 설명할 수 있다. 또한 우리나라 겨울철 기온은 동아시아 영역에서의 기온과 매우 강한 양의 상관을 나타내는데, 이는 우리나라 기온이 동아시아 영역 전체의 온도 변화를 대표할 수 있음을 의미한다. 상대적으로 예측성이 낮은 동아시아 영역에서의 중국 동남부의 온도 변동은 우리나라 온도의 경년 변동으로도 설명될 수 있을 것이다. 이러한 특징은 12, 1월, 2월에 모두 뚜렷하게 나타난다.

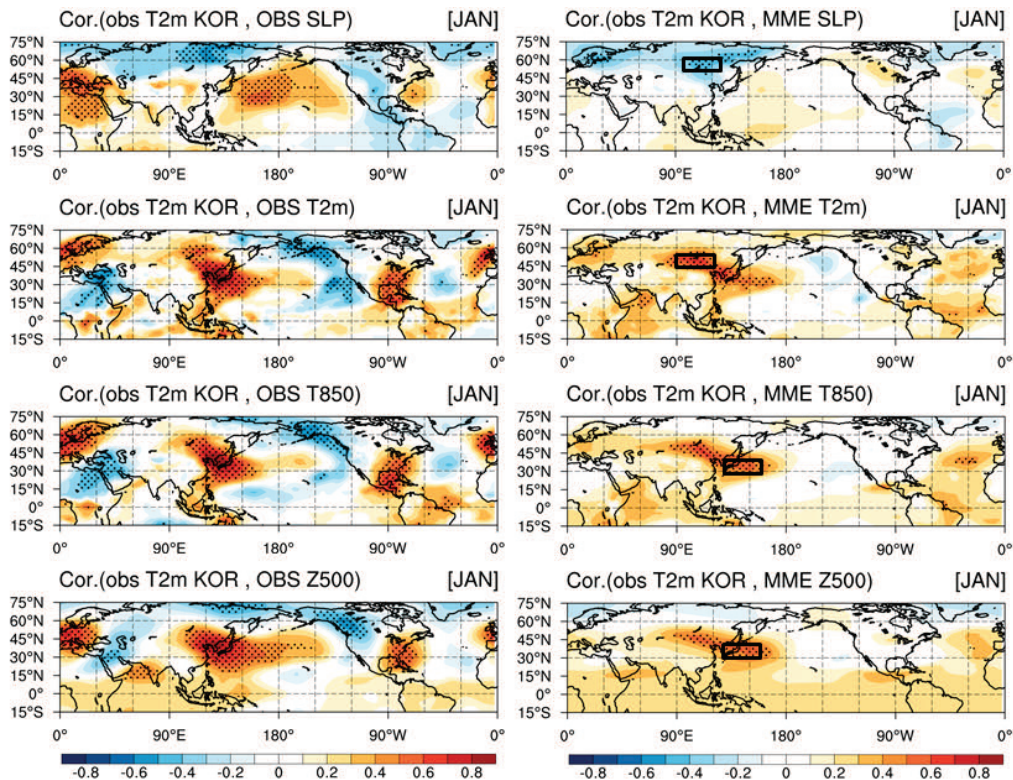


Figure 3.41. Same as Fig.3.40 but for January.

월별 분포 특성을 살펴보면, 12월 기온은 대륙 고기압과 북서태평양 고기압의 변동과 비슷한 크기의 상관을 보인다. 1월과 2월에 비해 알류산 저기압이 동아시아 방향으로 확장하여 나타나고 저기압성 순환의 발달로 북풍 계열 바람이 강화됨으로써 찬 공기가 우리나라로 남하, 기온이 하강하는 구조를 가진다. 1월의 경우 12월에 비해 두 기단과의 상관성이 다소 약하게 나타나지만, 두 기단과 비슷한 크기의 상관을 가진다. 대륙 고기압과의 상관성은 12월에 비해 북동쪽으로 이동하여 몽골 북동쪽에서 강한 음의

상관이 나타나는 반면, 북서태평양 고기압과의 양의 상관은 남쪽으로 확장된 모습을 보인다. 2월 기온은 북서태평양 고기압에 비해 시베리아 고기압의 변동과 더 높은 상관을 보이는데, 시베리아 고기압이 12월과 1월에 비해 대륙 전체로 확장하여 발달하고 더 큰 상관관계를 나타낸다. 시베리아 고기압의 강화 및 동아시아로 확장은 시베리아 찬 공기가 북풍 계열 바람에 의해 우리나라로 남하, 기온의 하강을 유발하는 구조이다. 이에 따라 우리나라 2월의 온도는 동남아시아를 포함하는 더 넓은 지역에서 강한 양의 상관을 나타낸다. 이는 시베리아 고기압의 영향이 동남아시아 전체의 기온 변동에 큰 영향을 미침을 시사한다.

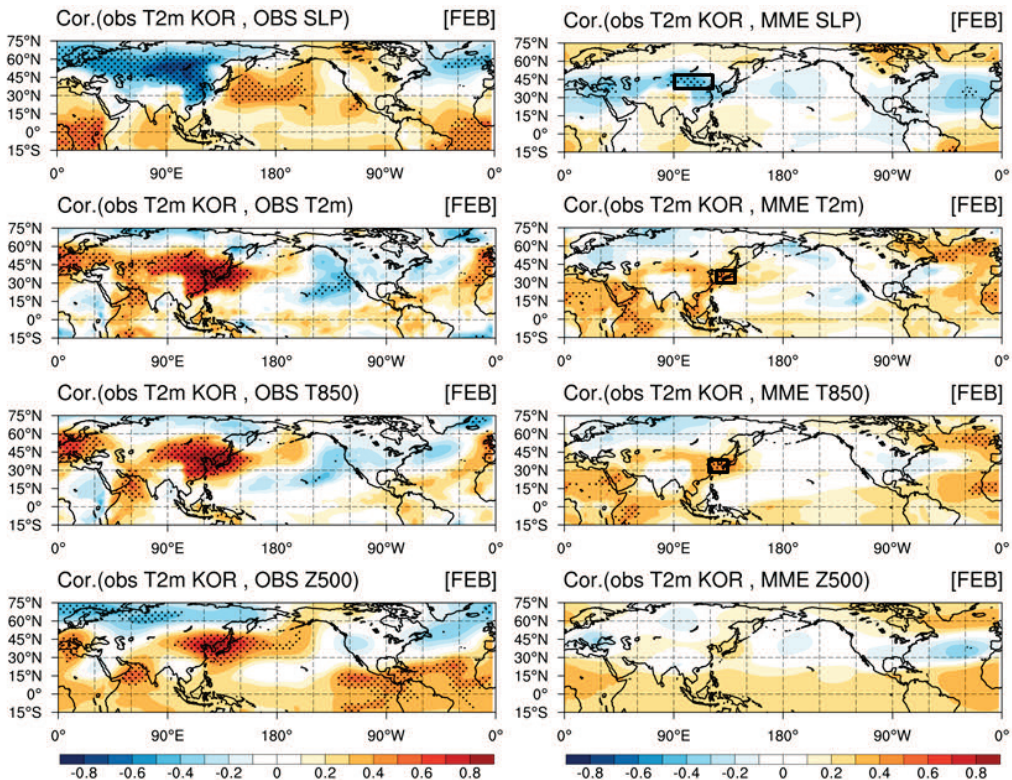


Figure 3.42. Same as Fig.3.41 but for February.

예측된 12월 MME SLP는 전반적으로 관측장과 유사한 상관 패턴을 보이지만, 상관 강도와 위치는 다소 다르게 모의한다(그림 3.40). 특히 우리나라와 일본 동쪽 해양에서의 양의 상관이 거의 나타나지 않으며, 시베리아 지역에서의 강한 양의 상관이 북서쪽

으로 치우쳐져 동서로 긴 영역으로 나타난다. 12월 기온의 잠재적 예측 인자로 통계적으로 유의한 상관을 나타내는 시베리아 남서부에서의 영역과 북서태평양 남서부 영역이 선택되었다. MME T2m은 유의한 상관영역이 나타나지 않았으며 T850은 우리나라와 일본 동부해역에서 양의 상관이 약하게 나타난다. 이 또한 잠재 예측 인자 중 하나로 선택하였다. MME 500hPa 지위고도는 관측에 비해 약한 강도의 양의 상관이 우리나라와 일본 동쪽해역으로 좁은 지역에서 양의 상관을 모의한다. 이는 12월 기온 예측의 마지막 잠재 예측 인자로 선정되었다. 예측된 1월 MME SLP는 시베리아 지역에서의 음의 상관을 모의하지만 다소 남쪽으로 치우쳐져 좁은 지역에서 유의한 상관이 나타나며, 북서태평양 고기압과의 양의 상관은 모의하지 못한다(그림 3.41). 시베리아에서의 음의 상관 영역은 우리나라 1월 기온에 영향을 미치는 북쪽 기온 모드의 중심 지역과 일치하며, 이는 잠재 예측 인자로 선정되었다. MME T2m은 우리나라 북서쪽 몽골지역에서부터 일본 동부 해역으로 유의한 양의 상관을 나타내며, 가장 강한 양의 상관 영역은 우리나라가 아닌 몽골 지역에서 나타난다. 이 또한 1월 기온의 잠재 예측 인자로 선정되었다. T850과 Z500 또한 지표 기온과 거의 비슷한 영역에서 양의 상관이 나타나는데 각각 우리나라와 일본 동부 해역에서의 영역이 잠재 예측 인자로 선정되었다. 2월 기온의 잠재적 예측 인자로써 MME SLP에서 통계적으로 유의한 상관을 나타내는 몽골 지역에서의 음의 상관 영역과 T2m과 T850에서 우리나라를 중심으로 좁게 나타나는 약한 양의 상관 영역이 선정되었다(그림 3.42). MME Z500은 유의한 영역이 나타나지 않아 잠재 예측 인자에서 제외되었다.

우리나라 겨울철 월별 온도와 대규모 환경 변수들 사이에서의 물리적 관계를 기반으로 각 변수에 대해 유의한 상관을 가지는 영역들이 잠재 예측 인자로 선정되었다. 선택된 잠재 예측 인자들은 실제로 동아시아 겨울 몬순과 관련된 대규모 순환을 통해 서로 상호 관련이 되며 의존적일수 있다. 선택된 잠재 예측 인자들의 overfitting 문제를 최소화 하기 위해 각 월에 대해 2개의 예측인자를 선택하여 다중 회귀식을 구성하였으며, 포워드 선택 방법을 이용하여 잠재적인 예측 변수로부터 최적의 예측 인자를 선택하였다. leave-one-out 교차 유효성 검사를 적용하여 예측자(predictor)와 예측(predictant) 간의 다중 회귀 분석을 실시하였으며, 회귀 계수를 목표 연도의 APCC MME 예측에 적용하여 하이브리드 온도 예측값을 산출하였다. Hybrid 온도 예측은 1983-2010년(28년)의 Hindcast를 이용해 역학모형과의 예측 성능을 비교하였으며,

2012-2016년(5년)의 Forecast 자료를 이용해 hybrid 온도 예측의 실효성을 검증해 보고자 하였다.

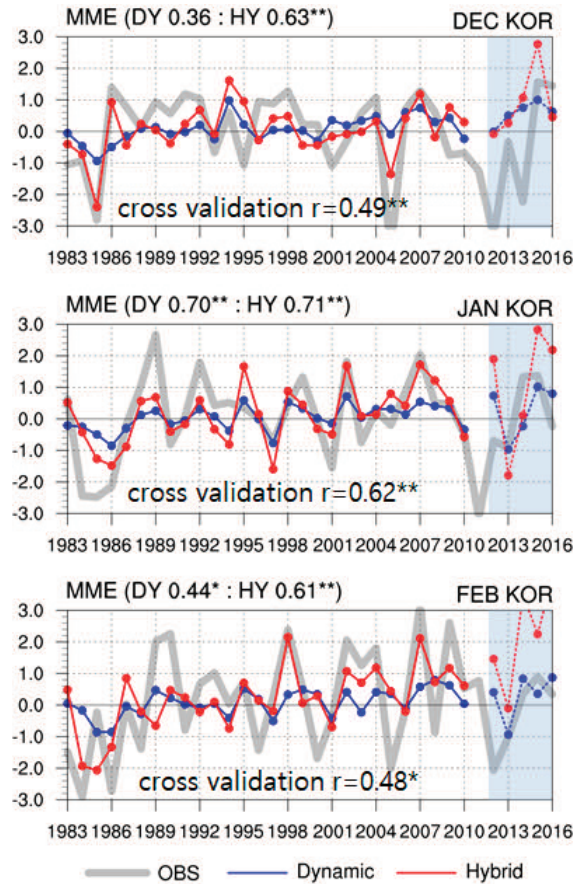


Figure 3.43. Time series of the December-January-February monthly mean T2m averaged over Korea obtained from observation (gray line), dynamic (blue line), and dynamic-statistical hybrid forecasts (red line) with 1-month lead time.

그림 3.43는 역학-통계 hybrid 모형으로부터 얻은 월별 온도 예측 값의 경년 변화를 나타낸 것으로, Hindcast와 Forecast 결과를 함께 표기하였다. 회색 실선은 관측을 나타내며, 파란색 실선과 빨간색 실선은 각각 MME 예측(dynamic으로 표기)과 역학-통계 hybrid 모형 예측(hybrid로 표기)을 나타낸다. Hindcast 기간 동안 hybrid 예측은 각 월에 대해 0.63, 0.71, 0.61의 TCC 스킬을 나타내며 교차 검증 결과 역시 이에 상응하는 유의한 상관관계를 나타내었다. 이는 dynamic 모형의 0.36, 0.70, 0.44의

예측 스킬을 상당히 개선시킨 결과라 할 수 있다. 또한 dynamic 모형에서 과소 평가되었던 온도의 경년 변동성의 크기가 관측과 유사한 크기로 모의되며, 온도의 극한 위상들이 개선되는데 이것이 평균 예측 스킬의 향상을 가져온다. Forecast 기간에서 온도 예측은 dynamic 모형에서 예측되는 온도와 거의 비슷한 변동을 나타내며, 경년 변화의 강도가 다소 과도하게 모의되는 경향이 있다. Forecast 기간이 상대적으로 짧아 예측 스킬의 직접적인 비교가 다소 어려우며, 좀 더 긴 예측 자료가 축적되면 더 정확한 검증이 수행 될 수 있을 것으로 생각된다.

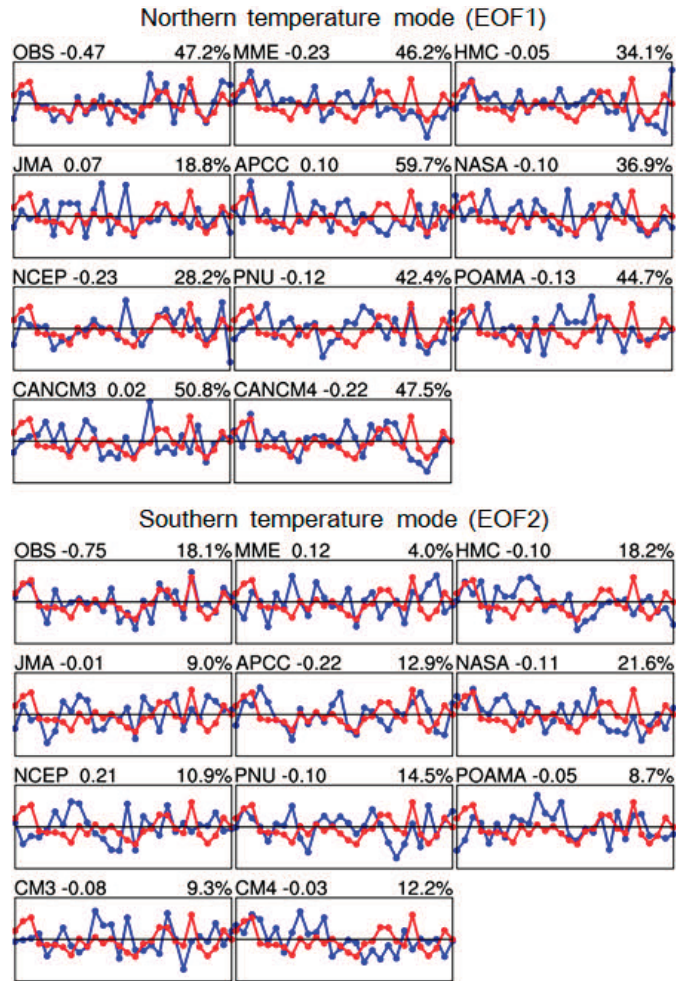


Figure 3.44. Principal component (PC) time series of the first and second EOF modes for December mean T2m in the entire EAVM domain. The numbers on the top-left corners for the panels denote the correlation coefficient between the PC and T2m over Korea.

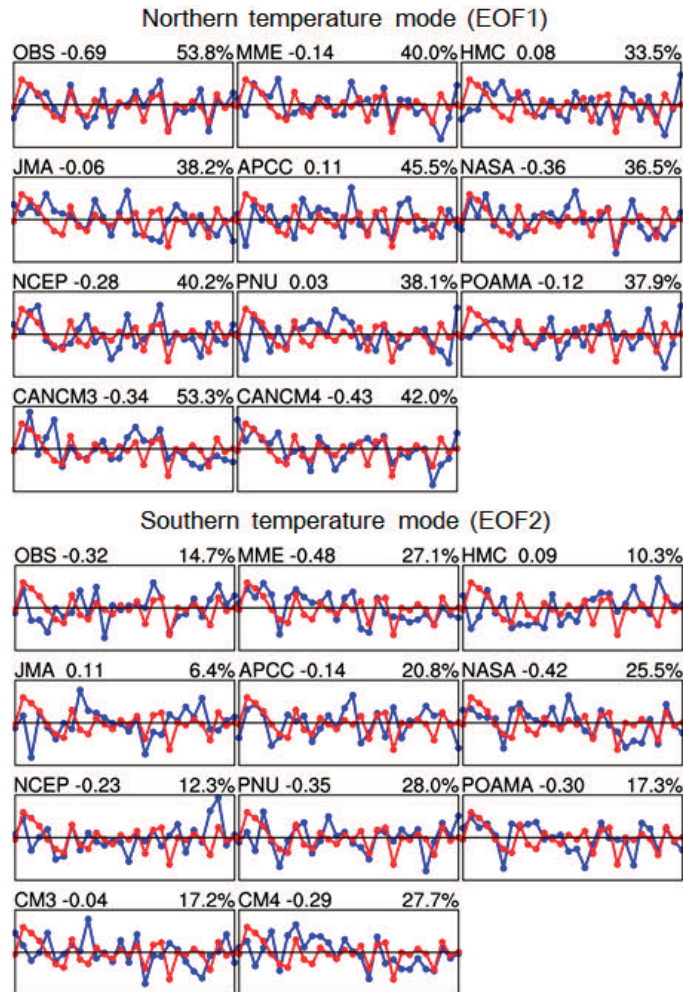


Figure 3.45. Same as Fig.3.44 except for January.

또 다른 hybrid 예측 모형은 우리나라 기온 변동에 주요한 영향을 미치는 기온 모드 분석을 통해 구축되었다. 개별 모형에서 모의되는 주요 기온 모드의 PC time series를 predictor로 선정하였다. 그림 3.44에서 그림 3.46는 EOF 분석을 통한 주요 기온 모드의 첫번째 모드(북쪽 기온 모드)와 두번째 모드(남쪽 기온 모드)의 PC time series를 월별로 나타낸 것이다. 관측과 MME 그리고 개별 모형으로부터 계산된 PC 변화는 파란색 실선으로 표시하였으며 우리나라 월 평균 기온의 경년 변화는 빨간색 실선으로 표시하였다. 각 PC에 대한 개별 모형의 예측성은 MME의 경우 12월, 1월, 2월에 대해

북쪽 기온 모드는 각각 0.19, 0.37, 0.17의 스킬을 나타내고, 남쪽 기온 모드는 0.13, -0.11, 0.36의 스킬을 나타낸다. MME 기온 예측은 주요 기온 모드에 대해 매우 낮은 스킬을 가짐을 확인 할 수 있다. 반면 개별 모형의 예측 성능은 통계적으로 유의한 예측성을 나타내는데, 이는 해당 월과 모드에 따라 일관적인 성능을 나타내지 않는다. 각 월에 대해 모드별로 예측성이 가장 좋은 모형의 PC time series가 잠재 예측 인자로 선정되었으며, 각 PC와 우리나라 겨울철 월별 온도와의 상관성이 높은 모형의 PC time series 또한 잠재 예측 인자로 선택되었다.

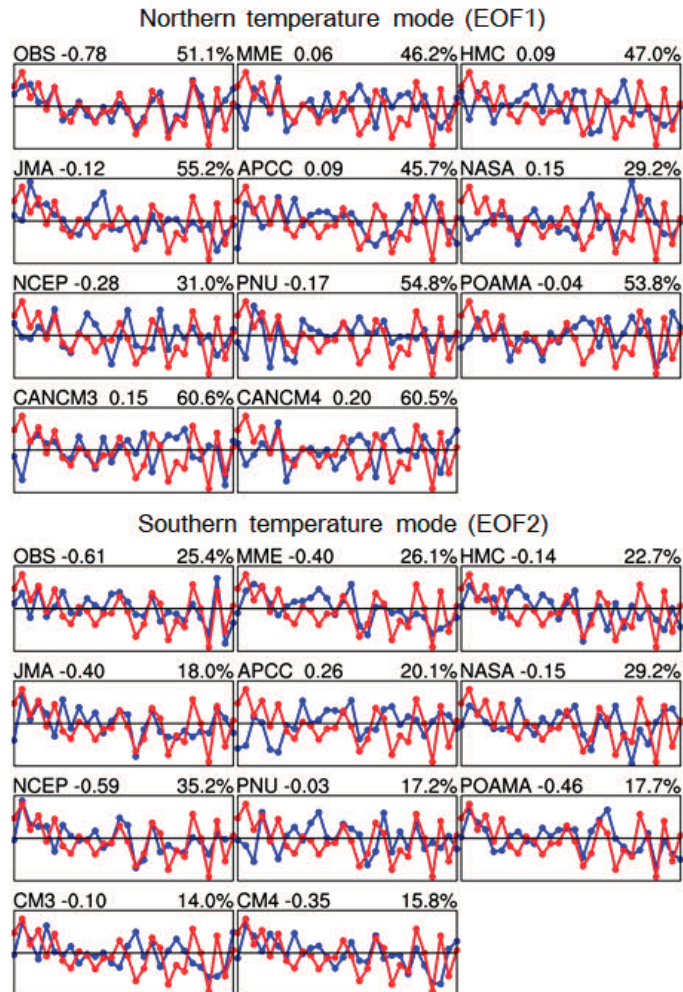


Figure 3.46. Same as Fig.3.45 except February.

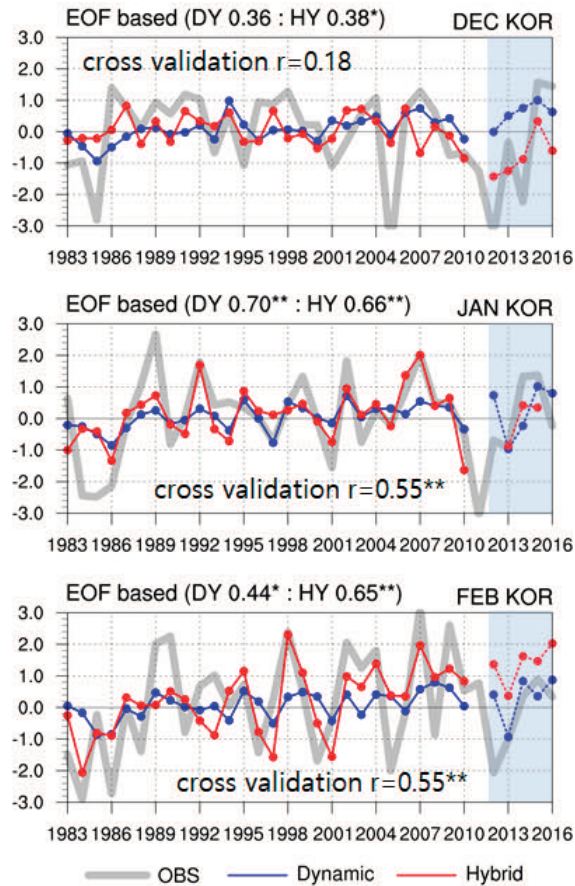


Figure 3.47. Time series of the monthly mean T2m averaged over Korea obtained from observation (gray), dynamic (blue), and dynamic-statistical hybrid forecasts (red line) with 1-month lead time.

포워드 선택 방법을 이용하여 잠재적인 예측 인자로부터 최적의 예측 인자를 선택하였으며, leave-one-out 교차 유효성 검사를 적용하여 예측자(predictor)와 예측(predictant) 간의 다중 회귀 분석을 실시하였다. 회귀 계수를 목표 연도의 APCC MME 예측에 적용하여 하이브리드 온도 예측값을 산출하였다. 그림 3.47은 EOF 기반 역학-통계 hybrid 모형으로부터 얻은 월별 온도 예측 값의 경년 변화를 dynamic 모형과 함께 나타낸 것이다. EOF 기반 hybrid 예측은 각 월에 대해 0.38, 0.66, 0.65의 TCC 스킬을 나타내며 교차 검증 결과 12월을 제외한 1월과 2월에 대해 유의한 결과를 나타내었다. 과소 평가되었던 온도의 경년 변동성의 크기가 관측과 유사한 크기로 모의되고, 온도의 극한 위상들이 개선되며 전체 예측 스킬 또한 향상됨을 확인할 수 있다.

3.2.4 요약

3.2 장에서는 우리나라를 포함하는 동아시아의 겨울철 월별 기온의 변동 특성과 MME/개별모델의 예측 특성이 분석되었다. 겨울철 기온 예측성의 경년 편차가 동아시아 지역에서 두드러지게 나타나는 특징이 있으며, 특히 추운 겨울해 예측성이 매우 낮게 나타났다. MME는 우리나라 겨울철 월별 기온을 통계적으로는 유의(95%) 하지만 여전히 낮은 수준의 예측값을 나타내며, 관측의 1/3 수준으로 매우 약한 경년 변동성을 모의한다. 또한 1월을 제외한 12월, 2월 예측된 기온은 극값을 가지는 대부분의 해에서 실제 기온의 위상을 모의하지 못한다. 우리나라 겨울철 월별 기온의 변동성이 Wang et al.(2010)이 제시한 두가지 기온 모드에 의해 분석되었다.

12월 기온 변동은 남쪽 기온모드와 -0.75의 높은 상관을 보이지만, MME는 이러한 남쪽 기온 모드의 변동을 예측하지 못하였다. 1월 기온은 전체 기온 변동성의 58.3%를 설명하는 북쪽 기온모드와 -0.69의 음의 상관을 보이며, MME는 이러한 1월의 북쪽 기온 모드를 매우 잘 모의함으로써 우리나라 기온의 예측성 또한 0.61의 신뢰할 만한 스킬을 나타내었다. 2월 기온은 북쪽, 남쪽 기온모드의 영향을 함께 받으며, 남쪽 기온모드는 어느 정도 모의하지만 북쪽 기온모드의 예측 성능이 상대적으로 낮게 나타나 전체 2월 기온 예측성은 1월 보다 낮게 나타났다. 또한 모형이 모의하는 겨울철 이상 기후의 예측 특성이 분석되었다. 관측에 비해 MME는 따뜻한 겨울해의 수를 많이 모의하고 상대적으로 추운 겨울해의 수를 적게 모의하는 특징이 있다.

MME는 관측에 비해 지구 온난화 경향을 강하게 모의함으로써 추운 겨울해에 비해 따뜻한 겨울해의 예측성능이 더 높게 나타났다. 그러나 MME가 모의하는 따뜻한 겨울해의 기후 특징은 동아시아 겨울 문순으로 인한 특징이라기 보다 지구 온난화에 의한 warming 시그널이 강하게 모의되는 특징을 보였다. 동아시아 월별 기온에 대한 MME 예측은 1월의 경우 매우 높은 예측성능을 보였다. 관측과 거의 비슷한 수의 추운 겨울해가 기록되며, 해당 년도 또한 관측과 거의 일치하게 나타나 겨울철 극한 기후의 위상을 매우 잘 예측하였다.

마지막으로 겨울철 예측 특성 분석을 통해 기온 예측성 향상을 위한 예측기법이 개발되었다. 역학 모형으로부터 예측된 대규모 변수들간의 물리적 관계와 주요 기온모드의 분석을 기반으로 두 개의 역학-통계 하이브리드 모형이 구축되었다. 하이브리드 예

측 모형은 역학 모형에서 과소 모의되는 기온의 경년 변동 크기를 관측과 유사한 크기로 모의하며, 온도의 극한 위상들의 예측 또한 개선시킴을 볼 수 있었다. 겨울철 월별 기온의 예측 스킬은 두가지 방법으로 구축된 하이브리드 모형에서 일관적으로 향상된 스킬을 제시하였다. 이는 우리나라를 포함하는 동아시아의 겨울철 기온 예측력 향상에 도움이 될 것으로 기대한다.

4. 계절예보정확성 향상 및 해석의 편의성 제고를 위한 분석지침마련

한반도는 아시아 대륙 동쪽 끝 태평양과 맞닿는 곳에 위치하여 대륙과 대양의 영향을 동시에 받고 극지역과 열대 지역의 시그널이 혼재하여 세계적으로 매우 복잡한 지역 기후를 가진 곳 중의 하나이다. 한반도 기온/강수와 관련된 역학은 기본적으로 매우 복잡한데, 그 중에 밝혀지지 않은 부분도 많고 기후 변화가 진행됨에 따라 새롭게 생겨나는 부분들도 있을 것이다. 최신의 기후 모형이라고 하더라도, 그것은 인류가 자연의 역학을 이해하는 수준만큼을 재현하도록 설계되었기 때문에 복잡하고 알려지지 않은 한반도 기후를 모의하는데 한계가 있다. APEC 기후센터(APEC Climate Center, 줄여서 APCC로 표기) 다중 모형 앙상블(Multi-model Ensemble, 줄여서 MME로 표기) 과거 재현 자료의 예측 성능에서도 보이듯이(부록 그림 2.1, 2.2) 한반도는 예측 성능의 불모지에 위치하고 있기 때문에 기온/강수를 예보함에 있어 역학 모형 결과에만 오롯이 의지할 수 없는 실정이다. 따라서 예보관들은 모형 결과 이외에 가용할 수 있는 모든 정보들을 버무려서 매뉴얼 예보를 생산하고 있고, 이런 연유로 정보의 다양성은 결국 예보관의 능력이라고 볼 수 있다. 본 과제는 APEC 기후센터의 특화된 자산인 MME 자료의 밝혀지지 않은 정보로서의 가치를 찾아내고, 다각도로 변형하여 이를 한반도 통합 예보에 활용할 수 있게끔 가이드를 제공하고자 시작되었다. 이를 위해서, 한반도 통합 예보를 위해 필요한 기본적인 정보를 자동으로 분석·생산할 수 있는 CLIMT-K(Consolidated cLIMate Forecast of Korea, 줄여서 CLIMT-K로 표기)라는 시스템을 개발하였다. 그림 1에서 보이듯이, CLIMT-K는 APEC 기후센터 MME와 개별 모형의 과거 성능 평가 결과와 그에 기반한 카테고리 추정 정보, 태평양 해양과 빙권 시그널이 한반도에 주는 영향과 그에 기반한 카테고리 정보, 그리고 과거 대규모 순환 패턴 유사성에 기반한 확률 분포를 제공하고, 마지막으로 한반도 맞춤형 예보 정보를 최종적으로 제안한다. 또한 MME 결과와 관측 자료를 기반으로 한반도의 기온 및 강수량에 영향을 주는 기후 지수를 찾아내어 그와 관련된 대기 순환장을 쉽게 살펴볼 수 있는 자료를 일종의 표 형태로 제시한다. 기존 연구 및 관측 자료에 의존해오던 기후 지수와 관련된 분석을 MME 자료에까지 확장함으로써 한반도 장기 예보 전망을 위해 보다 폭넓은 정보를 제공하게 된다. 이는 한반도 예측력 향상으로 이어질 수 있으며, 결과적으로 한반도 기온·강수 예보에 대한 APEC 기후센터의 역량이 강화될 것으로 기대된다.

4.1 분석 프로그램 및 지침서 개발 배경

하나의 모형 안에서 그 오차는 무작위로 나타나기 때문에 여러 개의 독립적인 모형들을 합산하는 방법을 통해서 개별 모형이 가지는 오차들은 서로 상쇄되고 결론적으로 전체 예측 오차가 줄어들게 되는데, 이러한 아이디어를 기반으로 다중 모형 앙상블(MME) 방법이 개발되었다(Doblas-Reyes et al., 2000; Krishnamurti et al., 1999; Krishnamurti et al., 2000; Palmer et al., 2000; Shukla et al., 2000). 따라서, MME의 예측 성능은 일반적으로 개별 모형 각각보다 높고(Barnston et al., 2003; Doblas-Reyes et al., 2000; Hagedorn et al., 2005) 이는 APEC 기후센터 MME 계절 예측에서도 일관되게 나타난다(Lee et al., 2013; Wang et al., 2009). MME로부터 얻어진 정보는 예측 성능 자체도 높지만, 에너지 수요량 예측과 같은 타 분야에 적용되어 잠재적인 경제적 가치를 창출할 수 있기 때문에(Alessandri et al., 2017), 활용성 측면에서 그 가치가 매우 높다. APEC 기후센터는 10년 가까운 기간 동안 MME 모형 개선을 위해 노력해 왔고, 최근 참여 모형 개수의 증가에 따라 뚜렷한 강수 예측 성능 향상을 보여(Min et al., 2017) 그 가치를 입증하고 있다. 안타깝게도 우수한 성능의 APEC 기후센터 MME 자료도 중위도 대륙의 성능은 기대에 미치지 못해, 이를 그대로 예보에 사용하기에는 무리가 있다. 하지만, 모형 자료의 특성을 제대로 이해하고 그것이 가지는 구조적 오차나 관련성을 파악한다면, 적절한 후처리를 통해서 MME자료를 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 예를 들어, 모형에서 얻어진 특정한 한반도 주변 순환장 예보 패턴이 한반도 관측 기온·강수와 의미 있는 관계가 있다면, 예보 패턴 자체를 후처리 정보로 이용해서 MME 결과를 보완할 수 있겠다.

한반도는 대륙의 동안에 위치하기 때문에 대륙 기단이나 저지고기압과 같은 대규모의 장주기 현상에 의한 영향이 크다. 또한 대륙 시스템과 해양 시스템간의 힘겨루기 혹은 상호 작용에 의해서도 한반도 상공의 흐름이 바뀔 수 있다. 예를 들어, 강화된 대륙 기단에 의한 북풍 계열의 바람은 한반도 기온 하강을 가져오지만, 서태평양에서 고기압 흐름이 강화되면 남풍 계열 바람에 의해 한반도 강수가 증가한다. 이러한 영향들이 중첩되어 매 월의 한반도 대기 상태가 결정되기 때문에, 모형의 과거 재현 자료에서 한반도 주변 대규모 순환장을 분석하는 것이 의미가 있겠다. 과거 정보에 기반한 통계적 예측 방법으로 열대 저기압 예측 분야에 주로 쓰이는 Climatology and Persistence(CLIPER)

가 있는데, 이는 과거 기간의 평균 상태 재현성과 현재 상태의 연속성을 둘 다 고려하는 방법이다(Panofsky et al., 1958). 본 과제에서도 이와 비슷한 통계적 방법을 적용하였는데, 예보된 순환장과 유사한 과거 해를 찾고 그 때의 한반도 기후 상태를 통계 분석하여 예측 정보를 얻는 방식이며, PLCF(Past Large-scale Circulation based Forecast)라고 명명하였다. 앞서 제시했듯이 MME 방법이 예측 성능 향상을 가져올 수 있기에, PLCF에서도 개별 모형에서 얻어진 통계적 예측 결과들을 전체 통합하는 유사 MME 방법을 적용하였다.

한반도 기온·강수는 적도지역 시그널에 대한 의존성이 그리 높지 않지만, 그럼에도 엘니뇨 남방진동(El Niño Southern Oscillation, 줄여서 ENSO로 표기)는 계절 예측에 있어 가장 중요한 참고 요소임에 틀림없다. 2016년 기상청 장기 예보 가이드언스에 따르면, 일부 계절/월에서는 한반도가 ENSO의 영향을 받고 있음을 알 수 있다(KMA, 2016). 그 예로, 2월 NINO3 지수와 4월 강수와 유의한 상관관계를 보이고, 가을철 강수 역시 ENSO 위상에 따라 유의미한 경향성을 나타낸다(권민호 2015). 빙권 역시 한반도를 포함한 중위도 겨울철 상태에 유의미한 영향을 주는 것이 밝혀져 있다. 예를 들어, 바렌츠/카라 해의 해빙이 평년보다 적을 경우, 우리나라 겨울철 기온이 평년보다 낮은 경향을 보인다(Honda et al., 2009; Kim et al., 2014; Kug et al., 2015; Mori et al., 2014). 또한, 유라시아 지역의 10월 눈덮임 혹은 눈덮임속도도 우리나라 겨울철 기온에 영향을 준다(Cohen and Jones, 2011; Cohen et al., 2007; KMA 2016). 매월 한반도 기온·강수가 ENSO, 눈덮임, 그리고 해빙과 어떠한 관련성을 갖는지에 대한 정량적 정보를 체계적으로 생산/제공함으로써, 한반도 통합 예보 시스템을 내용적으로 풍성하게 하고 그 성능을 고도화 할 수 있을 것이다.

앞서 언급했듯이 APEC 기후센터는 MME 기법을 통하여 다양한 국외 기관으로부터 제공받은 기후 예측 자료를 매월 전지구 기후 예측 자료를 생산하는데 이러한 예측 결과는 APEC 회원국을 위해 웹페이지⁹⁾를 통해 제공될 뿐만 아니라 기상청에서 수행하는 3개월 장기 예보를 위한 자료로도 사용된다. 이를 위하여 결정론적 및 확률론적 MME 예측 자료를 바탕으로 기존에 다양한 문헌에서 분석되어 왔던 한반도 계절 기후에 영향을 주는 요소 및 이와 관련된 기작 등을 종합적으로 고려하여 판단하는 과정을

9) <http://www.apcc21.org>

거쳐 보다 신뢰성 높은 예측 자료를 생산한다. 예측에 고려하는 요소는 계절에 따라 달라지는데 대표적인 고려 대상은 Niño 3.4, Indian Ocean Dipole(IOD), Arctic Oscillation(AO) 등과 같은 해양 및 대기의 변동을 설명하는 기후 지수들이며 이들과 한반도 기온 및 강수량과의 상관관계 혹은 기후 지수들과 관련된 전지구 대기순환장을 살펴보고 있다.

기후 지수와 한반도 기온 및 강수량과의 상관관계는 계절에 따라 다양하게 나타난다. Son et al.(2014)에 따르면 겨울철에 엘니뇨가 발달하면 원격상관에 의해 우리나라 부근으로 하층의 남풍계열 바람 편차가 강화되어 평년보다 기온이 높고 강수가 많은 경향이 나타난다. 북반구 겨울철 기후를 지배하는 중요한 인자 중 하나인 AO가 음의 값을 띠면 북극 소용돌이가 약화되고 극 지역의 찬 공기가 남하하여 겨울철 한파 가능성이 증가한다(Jeong et al., 2005; Park et al., 2011; Woo et al., 2012). 한반도의 6월 강수량은 자연상관적으로 6개월 이전인 12월의 NAO가 음의 위상일 때 감소한다(Sung et al., 2006). 이렇듯 기후 지수들은 원격상관의 관점에서 계절 기후 예측을 이해하는 데에 중요한 지침이 되기 때문에 APCC의 한반도 계절 기후 전망에서 반드시 고려해야 하는 요소이다.

APCC는 웹페이지 및 이메일을 통해 주요 해양지수인 Niño3.4와 IOD의 관측 및 예측 자료를 시계열 및 해수면온도(Sea Surface Temperature, 줄여서 SST로 표기) 공간장 그림과 요약문 방식으로 제공하고 있다(그림 4.1). 두 해양지수를 포함하여 태평양¹⁰⁾, 대서양과 인도양¹¹⁾ 영역에서 구해지는 해양지수 13개, 대기지수 8개¹²⁾, 몬순 지수 5개¹³⁾를 관측하고 있으며 이 중 9개의 지수를 결정론적 MME 자료를 사용하여 예측하고 있다¹⁴⁾.

이처럼 APCC는 기후 지수의 관측과 예측을 동시에 수행하고 있으나 기후 지수와

10) Niño1+2, Niño3, Niño3.4, Niño4, Oceanic Niño Index (ONI), Trans-Niño Index (TNI), Pacific Warmpool (PACWARM), Tropical Pacific SST EOF (EOF-PAC), El Niño Modoki Index (EMI)

11) Tropical Northern Atlantic Index (TNA), Tropical Southern Atlantic Index (TSA), Atlantic Tripole SST EOF (ATLTRI), Dipole Mode Index (DMI)

12) Pacific North American Index (PNA), Western Pacific Index (WP), North Pacific pattern (NP), Arctic Oscillation (AO), Antarctic Oscillation (AAO), North Atlantic Oscillation (NAO), Southern Oscillation Index (SOI), Northern Oscillation Index (NOI), Quasi-Biennial Oscillation (QBO)

13) Webster and Yang Index (WYI), Australian Monsoon Index (AUSMI), South Asian Monsoon Index (SAMI), Indian Monsoon Index (IMI), Western North Pacific Monsoon Index (WNPMI)

14) Niño1+2, Niño3, Niño3.4, Niño4, PACWARM, EOF-PAC, EMI, DMI, SOI

관련된 전지구 대기순환장 및 한반도 기온 및 강수량과의 관련성에 대한 체계적인 정리는 부족했던 것이 사실이다. 또한 매월 계절 기후 전망을 위해 다양한 기후 지수 관련 자료를 필요로 하는 상황이지만 기존 연구에 의존하는 경향이 있었으며 분석 대상에 포함되는 기후 지수의 종류 또한 한정적이었다. 계절 기후 전망은 MME 예측 자료가 중심이 되어 이루어짐에도 기후 지수와의 상관관계는 관측 자료에 기반을 둔 기존 연구 결과에 의존하는 셈이었다. 결과적으로 MME 자료에서 만들어지는 기후 지수와 관련된 전지구 대기순환장의 모습이 관측 자료의 경우와 비교하여 어느 정도로 과대 혹은 과소 모의된 모습인지도 평가되지 않았다.

본 과제의 궁극적 목적은 APEC 기후센터 현업 운영팀과 장기 예보 전담반을 지원하는 것이다. 이를 위해 첫째로 이미 갖춰진 APEC 기후센터 MME 예측 시스템을 보완할 수 있는 한반도 통합 예측 시스템 CLIMT-K를 개발하였다. CLIMT-K는 그림 4.2에서 제시된 APCC MME의 한반도 지역 계통 오차나 여러 기후 변동성과의 관련성 등 매 년/월 갱신되어야 할 정보들을 자동 생산하는데, 사용자 인터페이스에서 몇 번의 마우스 클릭으로 필요한 정보를 얻는 것이 가능하다. 따라서, 장기 예보 전담반 동료들이 판에 박힌 일을 하는데 쏟는 에너지가 줄이고 좀 더 가치 있는 분석에 시간을 쏟을 수 있을 것이다. 두 번째로는 다양한 기후 지수를 생산하여 한반도 기온 및 강수량과 그 기후 지수들과의 상관관계, 전지구 대기순환장의 반응을 관측에서 뿐만 아니라 MME 및 개별모델에서 살펴볼 수 있는 시스템을 구축하였다. 본 과제의 최종 생산물들은 기후 전망 업무에 편의를 제공할 뿐만 아니라 예측성 향상에 도움이 될 수 있는 기초 정보를 제공하게 될 것이다. 4.2절에서는 분석에 사용되는 관측 및 모델 자료 특성과 분석 기법을 소개한다. 4.3절에서는 CLIMT-K가 제공하는 정보에 대한 자세한 소개와 그 성능 분석 결과를 제시하고, 다양한 기후 모드 관련 객관적 지수를 선정하고 지수에 대한 대기순환장의 반응을 모델 자료를 사용한 경우와 관측 자료를 사용한 경우로 나누어 정량적으로 비교 분석한다.

Sea Surface Temperature and ENSO Outlook for November 2017 - April 2018

TOP

The prevailing ENSO phase is expected to be negative. A tongue of weak negative SST anomalies in the central and eastern equatorial Pacific is predicted. The weak positive SST anomalies are expected to surround this cold tongue and span the tropical Pacific, which corresponds to a negative Niño 3.4 index. This negative polarity continues throughout the first half of the forecast period and weakens slightly by the second half of the forecast period. A neutral Indian Ocean Dipole (IOD) is predicted to continue throughout the forecast period without any significant zonal gradients in Indian Ocean.

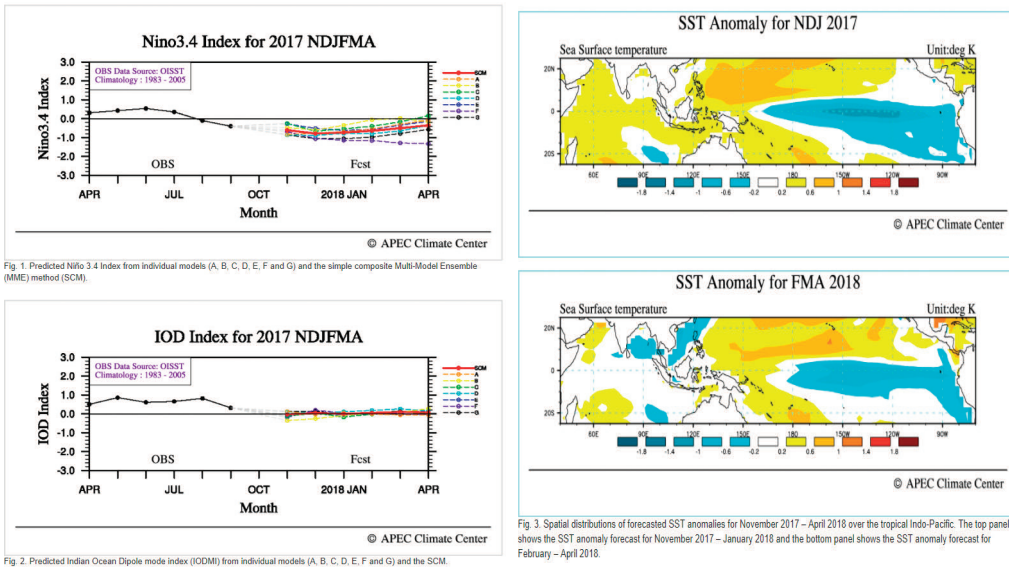


Figure 4.1. An example of Sea Surface Temperature and El Niño Southern Oscillation (ENSO) Outlooks of APEC Climate Center

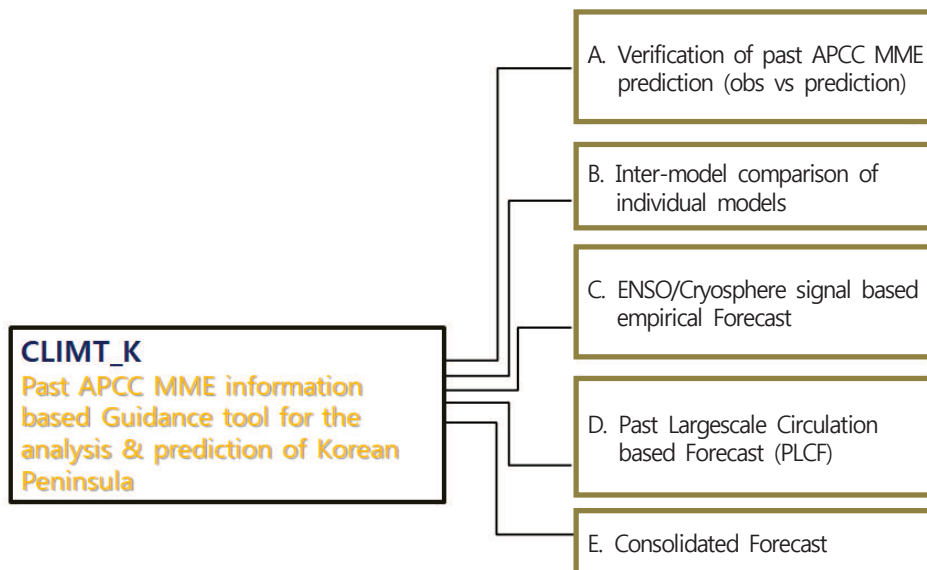


Figure 4.2. A diagram of the information that CLIMT-K is providing.

4.2 사용된 자료 및 방법론 소개

4.2.1 자료

본 과제는 1983년부터 2005년까지 남한 지역 관측 자료 중 결측이 없는 61개의 기상관측시스템(Automated Synoptic Observing System, 줄여서 ASOS로 표기)¹⁵⁾를 통해 얻어진 월평균기온 및 월누적강수량 자료를 사용하였다. 61개 관측 지점에 대한 정보는 그림 4.3에 나타내었다.

기후 지수 생산, 기후 지수와 우리나라 기온 및 강수량과의 상관관계, 기후 지수와 관련된 전지구 대기순환 패턴을 살펴보기 위하여 사용된 재분석 자료는 National Centers for Environmental Prediction/Department of Energy(NCEP-DOE) reanalysis 2(Kanamitsu et al., 2002) 자료이며 사용한 변수는 500hPa 지위고도(Z500), 해면기압(SLP), 지상 2m 기온(T2m), 850hPa 동서풍(U850) 및 남북풍(V850)이다. 자료 가용 기간은 1979년부터 현재까지이며 해상도는 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 이다. 전지구 강수량 자료는 Janowiak과 Xie(1999)의 Climate Anomaly Monitoring System and Outgoing longwave radiation Precipitation Index data(CAMS OPI) 자료이다. CAMS OPI 자료는 실시간 전지구 강수량 추정 기법을 통해 위성 관측과 지상의 우량계에서 얻어진 값을 합성한 자료로서 자료 기간 및 해상도는 재분석 자료와 같다. 기후 지수를 계산하는 데 필요한 SST 자료는 Optimal Interpolation Sea Surface Temperature(OISST) V2(Reynolds et al., 2002)를 활용하였다. OISST는 1981년부터 현재까지의 자료가 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 간격으로 구성되어 있으며 분석을 위하여 재분석 자료에 맞춰 해상도를 조정하였다.

APCC MME 자료 및 개별 모델 자료로는 1983년부터 2005년까지 23년간의 과거 예측(Hindcast) 자료를 활용하였으며 선행시간이 1개월인 월별 자료만을 사용하였다. 예를 들어 7월을 분석할 때에는 6월에 생산된 7월, 8월, 9월 자료 중 7월의 자료를 사용한 것이다. MME 자료는 개별 모델의 예측 편차값을 단순 평균하는 Simple Composite Method(SCM)를 통해 얻어졌으며 MME에 참여한 모델들의 정보는 표 4.2에 나타내었다. MME 및 개별 모델 자료에서 활용한 변수는 재분석 자료와 마찬가지로

15) <http://data.kma.go.kr>

지로 500hPa 지위고도, 해면기압, 지상 2m 기온, 850hPa 동서풍 및 남북풍, 강수량, 해수면온도이다. 기후 지수 계산에는 재분석 자료 및 Hindcast 자료의 500hPa 지위 고도, 해면기압, 해수면온도가 사용되었다.

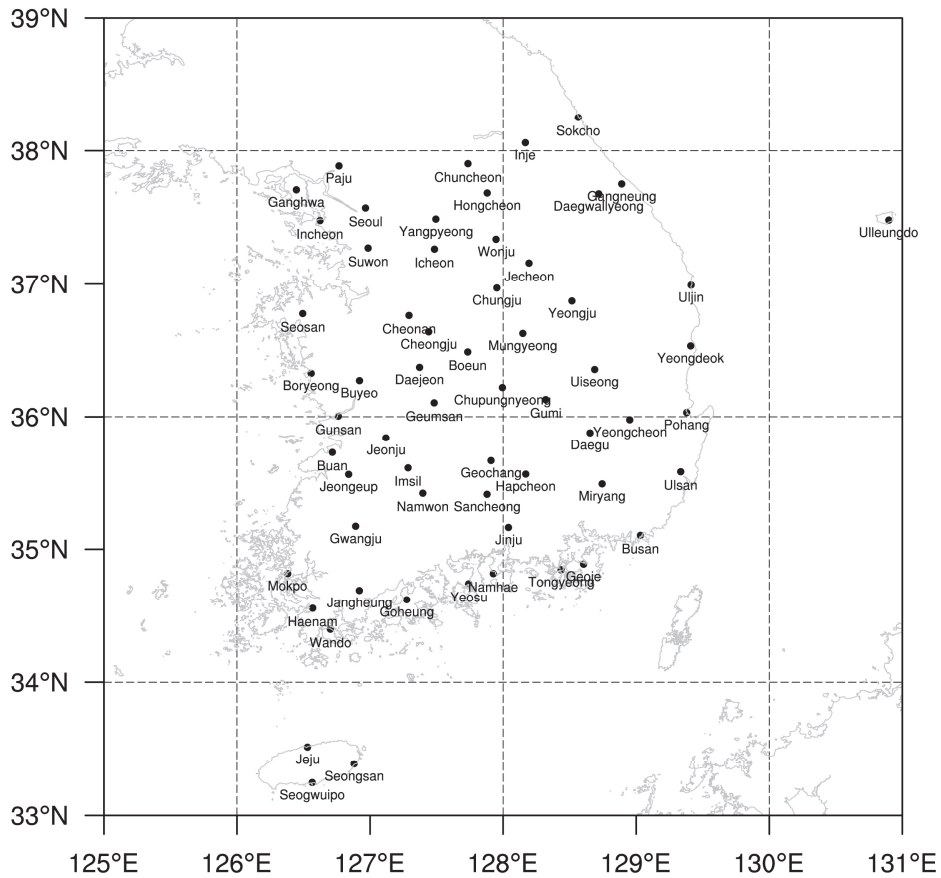


Figure 4.3. Distribution of the 61 ASOS stations used in this study

Table 4.1. Description of MME participating models

Model name	Institute/Country	System configuration (ensemble member)
APCC	APEC Climate Center/Korea	Coupled (10)
BCC	Beijing Climate Center/China	Coupled (8)
CMCC	Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici/Italy	Coupled (9)
CWB	Central Weather Bureau/Chinese Taipei	2-tier (10)
HMC	Hydrometeorological Center of Russia/Russia	2-tier (10)
IRI_CA	International Research Institute/US	2-tier (24)
JMA	Japan Meteorological Agency/Japan	Coupled (51)
MSC	Meteorological Service of Canada/Canada	Coupled (20)
NASA	NASA/USA	Coupled (9)
NCEP	National Centers for Environmental Prediction/USA	Coupled (20)
PNJ	Pusan National University/Korea	Coupled (5)
POAMA	Bureau of Meteorology/Australia	Coupled (33)

CLIMT-K 시스템 내에서는 ASOS 45개 지점에 대해 평균된 월평균 기온, 월 누적 강수량을 한반도 관측값으로 정의하였고, APCC MME와 개별 모형에서 한반도 주변 두 격자 평균된 2m 기온(T2m)과 강수량(prec) 을 상응하는 한반도 모형값으로 정의하였다. MME를 구성하는 모형들의 조합은 매번 바뀌기 때문에 매번 표4.1과 같은 구성을 가지지 않으며, 따라서 현업 예보 결과를 사용하는 것은 완벽하고 객관적인 검증 기준에 다소 부합하지 못한다. 하지만, CLIMT-K 시스템은 APEC 기후센터 현업 예보의 성능을 검증하고 그에 기반한 한반도 맞춤형 예측 정보 생산을 기본 목표로 하므로, 매 월·해의 현업 예보 결과를 그대로 사용하기로 한다. 한반도 주변 평균 순환 패턴을 이용한 확률 예측(PLCF)을 위해서 개별 모형에서 선행시간이 1-2개월인 500hPa 지위 고도장(z500) 그리고 850hPa 남북방향 바람장(V850) 월자료를 분석하였다.

CLIMT-K에서는 한반도 기온/강수에 영향을 끼치는 해양과 빙권 요소를 파악하기 위해 Niño3.4 지수¹⁶⁾, 북반구 해빙 면적 지수¹⁷⁾(Sea Ice Extent, 줄여서 SIE로 표기), 북반구, 북미, 북미+그린랜드, 유라시아 네 영역의 눈덮임 지수¹⁸⁾(Snow Cover Extent, 줄여서 SCE로 표기)를 사용하였다. Niño3.4 지수는 Extended Reconstructed Sea Surface Temperature(ERSST) v4(Huang et al., 2015) 자료¹⁹⁾를 5°N-5°S, 170°W-120°W에

16) 기후예측팀 윤순조 연구원이 매달 생산하여 APCC 데이터베이스에 저장해 놓은 자료를 이용함

17) <https://www.ncdc.noaa.gov/snow-and-ice/extent/sea-ice/N/0.csv> 참조

18) <https://www.ncdc.noaa.gov/snow-and-ice/extent/>

대해 영역 평균한 값으로, 평년(1981년부터 2010년) 대비 아노말리 값으로 정의하였다. 모의된 ENSO를 정의하기 위해 같은 영역에 대하여 MME SST 자료로부터 Niño3.4 지수를 계산하였다. CLIMT-K 내 모든 통계적 분석은 1983년부터 최신까지 가능한 가장 긴 자료 기간에 대해 이루어지도록 설계되었기 때문에, 시간이 갈수록 자료 기간이 늘어나게 되고 따라서 최신 기후 경향을 반영할 수 있다.

4.2.2 방법론

4.2.2.1 CLIMT-K에서 사용된 통계 분석법

한반도 기온·강수의 과거 재현 자료 성능 평가를 위해서 다양한 분석방법이 이용되었다. 결정론적 다중 모형 앙상블(Deterministic Multi-Model Ensemble, 줄여서 DMME로 표기) 예보 검증을 위해서 시계열 분석과 산포도 분석 그리고 상관관계 분석을 수행하였다. 확률론적 다중 모형 앙상블(Probabilistic Multi-Model Ensemble, 줄여서 PMME로 표기) 예보 정확도 정보를 제공하기 위해 예보와 관측의 삼분위 범주와 산포도 제공 그리고 Success rate 검증을 수행하였다. Success rate는 카테고리 예보를 평가하는 직관적인 검증 지표 중 하나로, 총 예보 횟수에 대해 삼분위 범주를 정확히 예측한 횟수의 비율과 같다(Jolliffe and Stephenson, 2003; Wilks 2011). 확률 예보값 계산 및 관측 카테고리 결정을 위하여 기상청 기후 예측과에서 제시하는 월별 기온/강수의 삼분위값을 그대로 이용하였다.

개별 모형의 성능 평가를 위해 산포도 분석, 선형 회귀 분석, 상관관계 지수 그리고 MSSS(Mean Square Skill Score) 검증을 수행하였다. MSSS는 연속적 결정론적 예보의 검증에 널리 쓰이는 스코어로서 $1 - \frac{(\text{예측된 평균 제곱 오차})}{(\text{기후학적인 평균 제곱 오차})}$ 형태의 수식으로 표현되며(Murphy 1988; Murphy and Epstein, 1989; WMO 2006) MSSS 값이 클수록 검증하고자 하는 시스템의 성능이 좋다는 것을 의미한다. ENSO 위상에 따른 예측 오차를 평가하기 위해서 시계열 분석, 산포도 분석법이 적용되었다. 그리고 해양과 빙권의 시그널이 한반도에 영향을 평가하기 위해서 지연 상관관계 분석, 산포도 분석 그리고 회귀 분석법이 적용되었다.

19) <ftp://ftp.cdc.noaa.gov/Datasets/noaa.ersst/> 참조

주변 대규모 대기 패턴에 기반한 확률 예보(PLCF)를 위해서는, 현재 모형이 예측하는 패턴과 유사한 패턴을 보였던 과거 해를 찾는 과정이 선행되어야 한다. 이를 위해서, 과거 모형 패턴에 대해서 정해진 영역의 제곱 평균 오차(Root Mean Square Error, 줄여서 RMSE로 표기) 대비 공간 상관 계수(Pattern Correlation Coefficient, 줄여서 PCC로 표기)의 비율이 큰 순서로 8개의 해를 선정하게 된다. 이 시기의 한반도 강수·기온 관측 값으로부터 정규 분포를 가정함으로써 예측하는 월에 대한 확률 분포를 얻게 된다. 이러한 과정을 1-2 달의 선행 시간을 가지고 수행된 모든 개별 모형 결과에 적용함으로써 가능한 많은 확률 분포를 얻게 되고, 이를 통합하여 CLIMT-K에서 제공하는 PLCF 결과를 생산한다.

4.2.2.2 과거 순환 패턴 재현에 기반한 예보(PLCF) 검증 방법

CLIMT-K 시스템의 PLCF는 과거의 상태가 미래에 그대로 재현될 수 있다는 가정을 바탕으로 한 예보로서, 자료 기간이나 자료 종류가 바뀌면 예보 결과도 달라질 수 있다. PLCF의 유용성을 확인하고자, 정해진 1983-2005년 기간 동안 얻어진 한반도 기온/강수의 삼분위 확률 예보에 다양한 검증을 수행하였다. 교차 검증을 위해서 Leave-One-Out 시험을 적용하였고, 따라서 각 해의 예측은 그 해를 제외한 나머지 자료에 대해서 훈련된 PLCF를 통해 얻어진 값이다. 카테고리 예보 정확도 검증을 위해서는 Success Rate 뿐만 아니라 Hit Rate(HR)와 False Alarm Rate(FAR) 그리고 이를 통합하는 Relative Operating Characteristic(ROC) 분석을 수행하였다(Hanley and McNeil, 1982; Nevin 1969). 확률 예보의 신뢰도를 확인하기 위해서는 각 카테고리에 대해 예보된 확률값과 실제 관측된 횟수 사이의 관련성을 보는 신뢰도 곡선 분석을 수행하였다(Murphy 1977; Murphy and Winkler, 1977; Wilks 2011).

4.2.2.3 CLIMT-K 수행 과정 및 시스템 운영

CLIMT-K는 앞서 언급했듯이 APEC 기후센터 MME 현업 운영 팀 및 한반도 장기 예보 담당자들이 예보를 결정함에 있어 참고할 수 있는 정보를 제공하기 위해서 개발되었다. CLIMT-K는 센터 내 MME 현업 예측이 완료되는 대략 매달 중순쯤에 수행하

게 되는데, 최신 DMME와 PMME 예보 결과에 바로 접근할 수 있도록 APEC 기후센터 HPC(High Performance Computing) 서버에 구축되었다. 추가적으로 필요한 NINO 3.4 혹은 SIE, SCE 등의 지수 자료들은 CLIMT-K 수행과 동시에 자동으로 웹으로부터 내려 받게끔 설계되었다. 검증 자료 제공을 위해서는 직전 해까지의 한반도 ASOS 관측 자료가 필요하며, 이를 위해서는 연 1회 정도의 자료 확보 작업이 추가적으로 요구된다. 또한 CLIMT-K 수행과 관련하여 추가 업무량 증가는 바람직하지 않기 때문에, 대부분의 과정이 자동화되어 수행될 수 있도록 매우 간단한 사용자 인터페이스(Graphical User Interface, 줄여서 GUI로 표기) 형태로 제공된다(그림 4.4). CLIMT-K의 실행은 매우 간단하다. 대상 년/월, 엘니뇨/라니냐의 지수 기준값, 예측·분석하고자 하는 변수, 그리고 수행 완료 후 GUI를 닫을지에 대한 정보를 입력하고 OK 단추를 누르게 되면, 일정 시간 이후에 아래 창에 삼분위 확률 예측 결과를 간단히 표출하면서 계산이 완료되었음을 알려주게 된다.

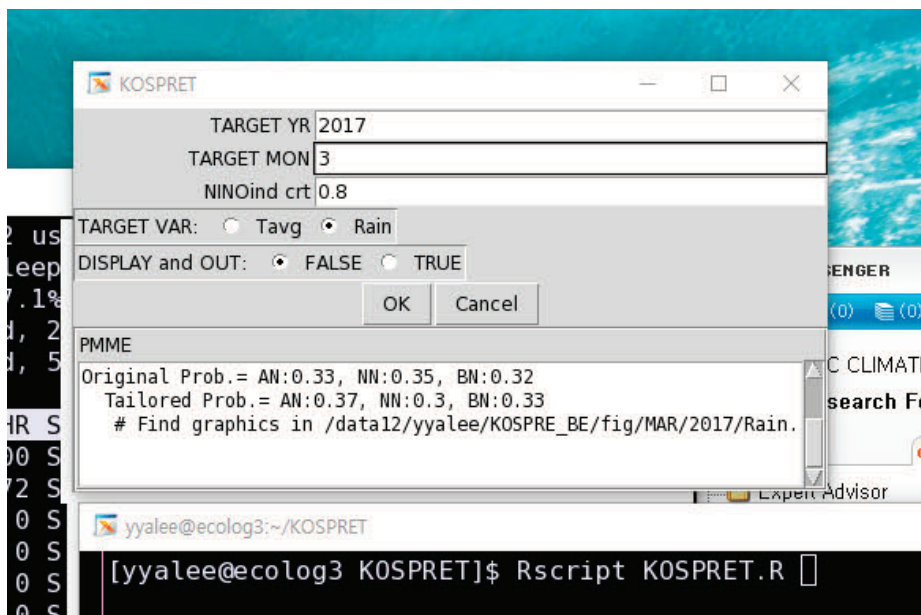


Figure 4.4. Graphical User Interface (GUI) of CLIMT-K [A case of March 2017]

사용자 인터페이스로부터 대상 연/월과 ENSO 기준값 등의 입력값을 얻게 되면, CLIMT-K 내부에서 그림 4.5와 같은 순서로 분석이 수행된다. 첫째로 한반도 지표 관측, 각종 지수, 그리고 MME 자료 수집이 이루어지고, 둘째로 과거 MME 자료 검증이 수행되고, 셋째로 해양 및 빙권 지수와의 관련성 분석 및 ENSO 위상에 따른 과거 예측 오차 분석이 이루어지고, 넷째로 앞선 결과를 모두 종합한 경험적 확률 분포가 계산된다. 다음으로는 한반도 주변 순환 패턴 유사성 기반 확률 분포가 계산된다. 최종적으로 모든 분석 관련 그래픽과 한반도 예보 관련 그래픽(APEC 기후센터 공식 삼분위 확률값, 순환 패턴 재현성 기반의 삼분위 확률값, 그리고 앞서 구한 경험적 확률값을 한번에 표출)이 생산된다.

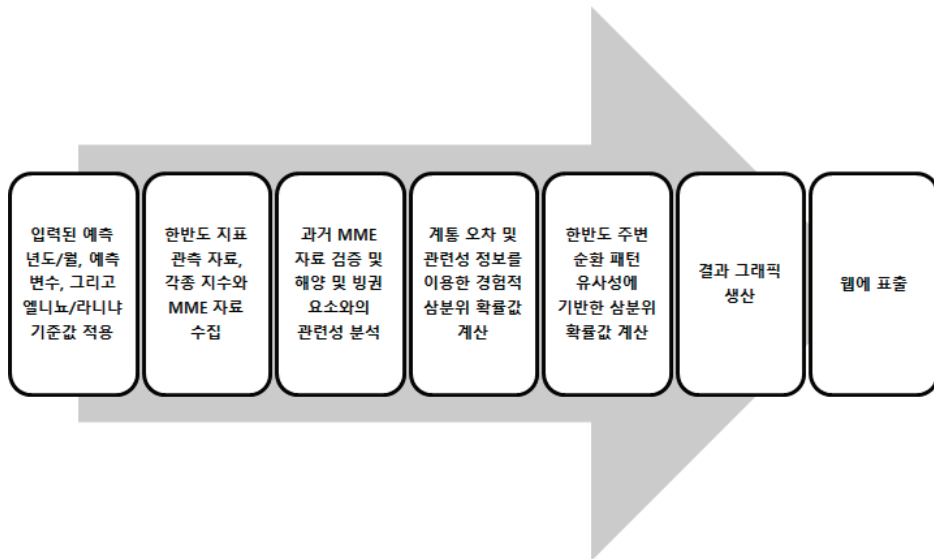


Figure 4.5. Internal procedure of CLIMT-K

현재의 CLIMT-K 는 대상 년/월에 대한 한반도 기온·강수 관련 분석 정보들을 정해진 그래픽 형태로 생산하고, 이를 내부 HPC 서버에 저장한다. 서버에 저장된 그래픽들은 접근성이 낮기 때문에, 정보 접근성을 높이기 위해서 웹페이지 형태로 그래픽을 표출하는 과정을 마지막에 추가하였다. 현재 운영 중인 웹페이지 주소는 <https://yyalexlee.github.io/CLIMT-K/>이고, CLIMT-K를 수행할 때 마다 얻어지는 새로운 그래픽으로 갱신되도록 설계되었다. 그림 4.6은 2017년 10월 결과에 대한 웹페이지 화면을 캡처한 것이다. 제일 상단에서 한반도 기온에 대한 확률 예측 결과들을 제시해서

최종 예보 결정을 돕도록 하고, 그 뒤로는 예보의 근거가 되는 세부 분석 그래프들을 제시하는 방식을 취하고 있다. 기온 결과 다음으로 강수 결과를 같은 순서로 표출한다.

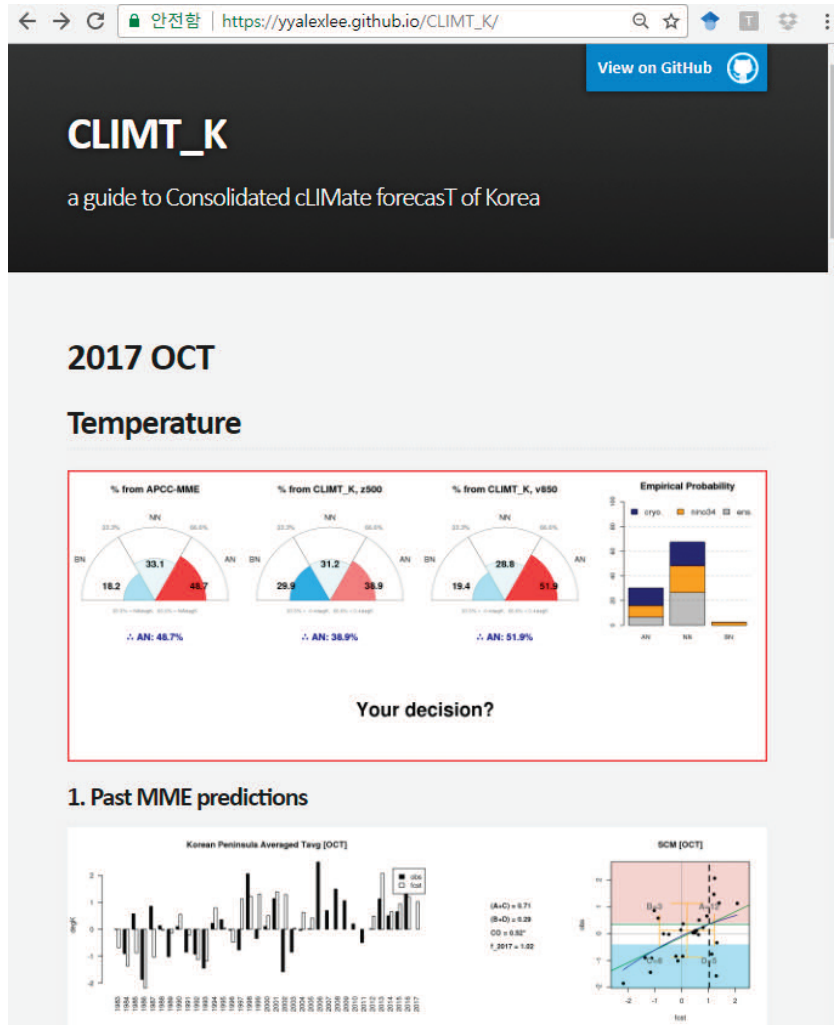


Figure 4.6. A screen shot of the webpage displaying CLIMT-K products [A case of October 2017]

4.2.2.4 기후 지수 생산 및 선정

APCC가 관측하고 있는 해양 및 대기 지수 21개 중 AAO를 제외한 20개의 지수²⁰⁾

20) Niño1+2, Niño 3, Niño3.4, Niño4, ONI, TNI, PACWARM, EOFAC, EMI, DMI, TNA, TSA, ATLTRI, PNA, WP, NP, AO, NAO, SOI, NOI

를 개별 모델 및 MME Hindcast 자료에 경험적 직교 함수(Empirical Orthogonal Function, 줄여서 EOF로 표기), 영역 평균, 점별(pointwise) 계산법 등을 적용하여 생산하였다. AAO는 MME 자료에서 제공되지 않는 변수인 700hPa 지위고도 편차로 계산되는 지수이기에 제외하였다. 나머지 20개 지수의 정의 및 계산 방법은 표 4.3에 나타냈으며 그 외의 지수를 포함한 더 자세한 내용은 APCC 웹페이지에서 확인할 수 있다. MME Hindcast 자료로 생산한 20개의 지수들 중에서 예보 업무의 효율성을 위해 집중적으로 다룰 지수를 선정하기 위하여 세 가지 기준을 설정하였다.

기준 1. APCC가 예측하고 있는 지수이며

기준 2. 관측 자료로 계산된 지수들과 상관관계가 크고

기준 3. 한반도 기온 및 강수량과 상관관계가 클 것.

기준 2는 관측 자료로 계산된 지수와 비슷할수록 지수의 예측성이 좋은 것이므로 필요한 조건이며, APCC의 한반도 계절 기후 전망의 효율성을 높이기 위해서는 기준 1과 3이 필수적이다. 관측 자료로 계산된 지수들과의 객관적인 비교 분석을 위하여 두 지수 간의 상관관계를 월별로 계산하였으며 Student's t-test를 바탕으로 통계적인 유의성을 검증하였다. 기후 지수와 한반도 기온 및 강수량과의 상관관계 및 유의성 검증 또한 같은 방식으로 수행하였다.

4.2.2.5 기후 지수에 대한 전지구 대기순환장 회귀 분석

기후 지수에 대해 500hPa 지위고도, 해면기압, 2m 기온, 850hPa 동서풍 및 남북풍, 강수량을 선형회귀시켜 공간장을 얻어 기후 지수에 대한 대기순환장의 반응을 살펴보았다. 4.2.2.4절에처럼 Student's t-test를 통해 통계적으로 유의한 영역을 살펴보았다. 관측 자료에서 얻은 회귀장과 MME Hindcast 자료에서 얻은 회귀장의 정량적인 비교를 위하여 동아시아에 대한 PCC를 구하고 월별, 지수별, 변수별 상관관계를 파악하였다. 동아시아 영역은 90°E-150°E, 20°N-50°N로서 APCC가 현업적으로 검증하고 있는 영역의 기준을 따랐다.

Table 4.2. Description of climate indices

Index	Used variable	Description	Reference
Niño1+2	SST	Calculated with SSTs in the box 90°W–80°W, 10°S–0°	Trenberth and Stepaniak (2001)
Niño3	SST	Calculated with SSTs in the box 150°W–90°W, 5°S–5°N	Trenberth (1997)
Niño3.4	SST	Calculated with SSTs in the box 170°W–120°W, 5°S–5°N	Trenberth (1997)
Niño4	SST	Calculated with SSTs in the box 160°E–150°W, 5°S–5°N	Trenberth and Stepaniak (2001)
ONI	SST	Calculated by averaging SST anomalies (SSTA) in an area of the eastcentral equatorial Pacific Ocean (170°W–120°W, 5°S–5°N), based on changing base period which consist of multiple centered 30-year base periods. Also, a 3-month time average (running mean) is calculated.	Yu and Kim (2013)
TNI	SST	Difference between the normalized SSTA averaged in the Niño1+2 and Niño4 regions	Trenberth and Stepaniak (2001)
PACWARM	SST	1st EOF timeseries of SST 60°E–170°E, 15°S–15°N	Hoerling (personal communication)
EOFAC	SST	1st EOF Timeseries of SST 120°E–60°W, 20°N–20°S	Hoerling et al. (2001)
EMI	SST	$[SSTA]_A - 0.5*[SSTA]_B - 0.5*[SSTA]_C$ where the brackets in equation represent the area-averaged SSTA over each of the region A (165°E–140°W, 10°S–10°N), B (110°W–70°W, 15°S–5°N), and C (125°E–145°E, 10°S–20°N), respectively.	Ashok et al. (2007)
DMI	SST	The SSTA difference between the western (50°E–70°E, 10°S–10°N) and southeastern (90°E–110°E, 10°S to equator) regions of the tropical Indian Ocean.	Saji et al. (1999)
TNA	SST	Anomaly of the average of the monthly SST from 15°W–57.5°W, 5.5°N–23.5°N.	Enfield et al. (1999)
TSA	SST	Anomaly of the average of the monthly SST from 10°E–30°W, 0–20°S.	Enfield et al. (1999)
ATLTRI	Z500	1st EOF timeseries of SST 0–80°W, 10°N–70°N.	Deser and Timlin (1997)

Table 4.2. (continued)

Index	Used variable	Description	Reference
PNA	Z500	$\frac{1}{4}[z^*(20^\circ\text{N}, 160^\circ\text{W}) - z^*(45^\circ\text{N}, 165^\circ\text{W}) + z^*(55^\circ\text{N}, 115^\circ\text{W}) - z^*(30^\circ\text{N}, 85^\circ\text{W})]$ where z^* is the normalized 500 mb geopotential height anomaly, i.e., the height departure from the mean divided by the standard deviation.	Wallace and Gutzler (1981)
WP	Z500	Primary mode of low-frequency variability over the North Pacific in all months.	Barnston and Livezey (1987) Wallace and Gutzler (1981)
NP	SLP	Area-weighted SLP over the region 160°E – 140°W , 30°N – 65°N .	Trenberth and Hurrell (1994)
AO	SLP	First leading mode from the EOF analysis of monthly mean SLP.	Cohen and Barlow (2005)
NAO	Z500	Timeseries of the leading EOF of SLP anomalies over the Atlantic sector, 90°W – 40°E , 20° – 80°N .	Hurrell and Deser (2009)
SOI	Z500	SLP (Tahiti (150°W , 18°S)) – SLP (Darwin (130°E , 10°S))	Trenberth and Shea (1987)
NOI	Z500	SLP (NPH (130°W , 35°N)) – SLP (Darwin, Australia (130°E , 10°S))	Schwinger et al. (2002)

4.3 한반도 통합 예보를 위한 분석 프로그램(CLIMT-K)

4.3.1 CLIMT-K가 제공하는 정보

4.3.1.1 과거 MME 예보 검증

CLIMT-K는 매 년/월 갱신되는 정보를 표출하기 때문에 분석 전체를 보고서에 정리하기 힘들다. 대신에 본 장에서는 CLIMT-K가 제공하는 정보를 어떤 식으로 해석, 활용할 수 있는지에 대해 예를 들어 서술하겠다. CLIMT-K는 해당 월에 대해서 과거 결정론적/확률론적 MME 예보에 대한 검증을 수행한다. 예를 들어 2017년 10월 한반도 기온을 대상으로 했을 때(그림 4.7) 1983년부터 대상 해까지의 기간에 대해서 예보와 관측값의 기온 시계열은 매우 유사한 변동을 보이고 상관 계수도 95% 유의수준에서 0.52로 높다. 산포도 분석을 보면 71% 정도의 해에서 지수 부호가 정확하게 예측되었고, 예측과 관측 사이에 어느 정도 깨끗한 선형 관련성이 보인다. 선형 회귀식을 기반으로 했을 때, 2017년 10월의 한반도 기온은 평년보다 1.02 degK 높을 것으로 예상되고 이 값은 산포도 그래프 상에서 AN과 NN의 경계에 해당된다.

한반도 10월 기온에 대한 과거의 APCC PMME 예보 정보(삼분위 확률값, 예측 확률이 최대인 카테고리)는 시계열 아래의 표에서 확인할 수 있다. 관측 카테고리와의 관측과 예보 사이의 카테고리 일치 여부도 제시된다. 또한 삼분위 예보 성공률은 표 상단에 Success rate 값으로 나타나는데, 10월의 경우 2016년까지 샘플에서 46% 성공률을 보인다. 과거 확률 예측에 대한 산포도 역시 제공하는데, 가로축에는 확률값을, 세로축에는 각 경우의 관측 강수를 Above Normal(AN), Near Normal(NN), 그리고 Below Normal(BN))에 대해 각각 위쪽 방향 삼각형, 닫힌 원, 아래 방향 삼각형으로 표시하였다. 만약 분석 기간에 대해서 삼분위값(upper tercile 과 lower tercile)이 적절하게 설정되었다면 세 카테고리 확률의 과거 평균은 33.3%, 33.3%, 33.3%로 일정해야 할 것이다. CLIMT-K에서는 기상청 기준의 삼분위값을 적용했기 때문에 카테고리별로 차이가 발생하게 되는데, 이러한 오차 역시 확률 예보 시스템 자체의 특성 정보를 제공하기에 가치가 있겠다. 2017년 10월 삼분위 확률 예보와 가장 유사한 값을 보였던 해는 1994년이며 이 시기의 관측 기온은 NN 범위에 있었음을 확인할 수 있다.

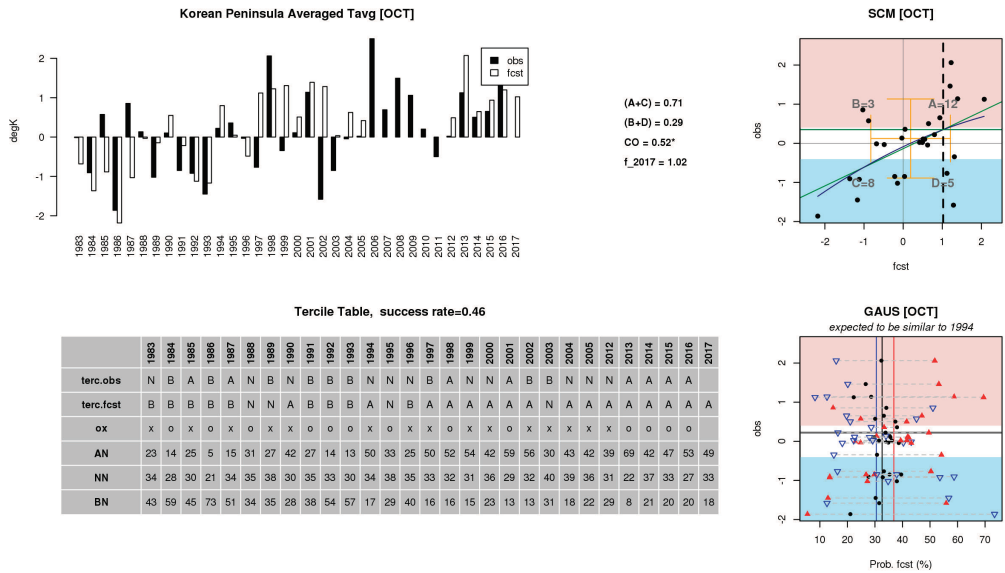


Figure 4.7. Verification of APCC MME hindcast prediction of Korean Peninsula for the near surface temperature (T2m): (top left) timeseries and (top right) scatter plot/regression analysis between DMME and observation, (bottom left) tercile probability and category correction of past PMME and (bottom right) scatter plot between probability and observation for three categories [A case of October 2017]

CLIMT-K가 제시하는 2017년 이전 10월의 개별 모형에 대한 결정론적 예보 검증 결과는 그림 4.8과 같다. CWB, NASA, NCEP, PNU, POAMA가 95% 신뢰도 구간 안에서 높은 상관 계수를 보이고, 그 중 CWB가 TCC와 MSSS 둘 다에 대해 스칼라 가장 높다. 선형 회귀법에 기반하면, 유의성을 가진 다섯 모형 중에서 네 모형이 2017년 10월 기온을 NN 범주로 추정하고 있고, PNU는 AN 범주로 추정한다. APCC PMME 예보 결과인 AN(49%)와 일관되지 않는 점은 최종 한반도 예보를 결정할 때 고려할 만한 정보로 보인다.

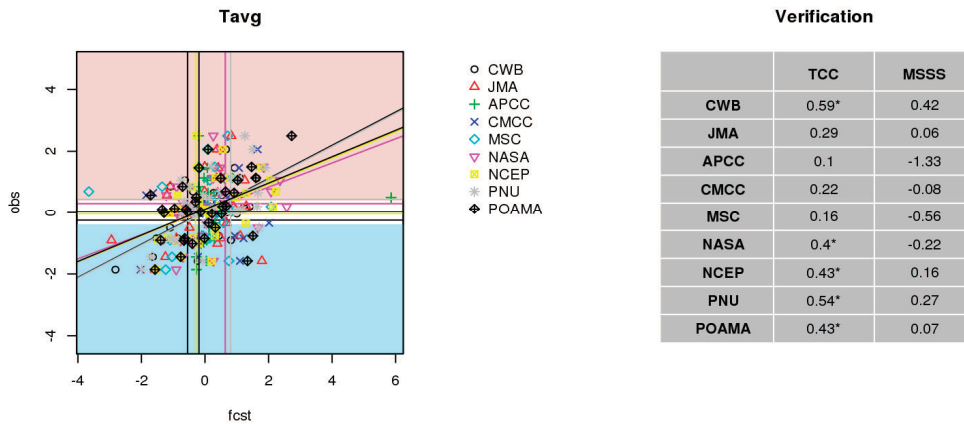


Figure 4.8. Verification of deterministic hindcast T2m predictions in individual models utilizing scatter plot, TCC and MSSS [A case of October 2017]

4.3.1.2 ENSO와의 관련성

CLIMT-K는 과거 APCC MME 예보의 오차가 ENSO 위상에 따라 어떠한 특징을 가지는지에 대한 분석을 바탕으로 대상 월의 최종 예보를 결정하는데 유의미한 정보를 제공한다. 그림 4.9의 상단은 10월 Niño3.4 지수를 기준으로 정한 엘니뇨/라니냐 해 시기에 대해서 과거 DMME 강수 예보값과 관측값의 산포도를 나타낸 것이다. 엘니뇨/라니냐 시기 모두에서 예측과 관계없이 관측 강수가 BN/NN 쪽으로 치우쳐 있음을 보인다. 2017년 10월 Niño3.4 지수 예보가 약한 음수값이고 DMME에서 음의 강수값이 예측되었으므로, 상단 오른쪽 산포도의 2/3 사분면 분포에 따르면 10월 강수가 AN일 확률은 NN/BN에 비해서 상대적으로 낮을 것임을 예상할 수 있다. CLIMT-K는 선행하는 겨울철(DJF)의 ENSO 시그널에 대한 분석 역시 제시한다. 2016/17 겨울철은 약한 라니냐 상태였으므로, 라니냐 겨울 이후의 10월 강수 예측과 관측의 과거 분포에 따르면(중간행 오른쪽 산포도) 2017년 10월 강수가 NN 상태가 될 가능성이 높다고 예상할 수 있다. 마지막으로, 겨울철(DJF) 엘니뇨/라니냐 이전 10월 강수의 관측/예측 분포를 살펴보면 AN에 비해 NN/BN상태인 경우가 빈번하게 관측되었다. 2017/18 ENSO는 중립 혹은 약한 라니냐로 예상되기에 전체적으로 NN/BN 강수 상태를 예상할 수 있다.

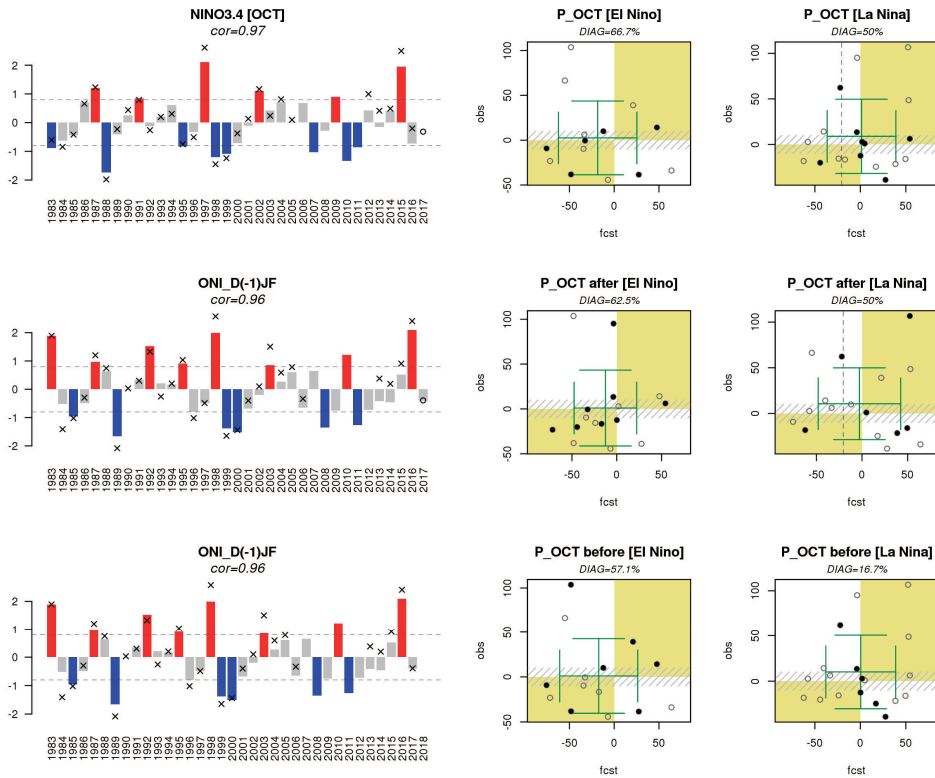


Figure 4.9. (Left) Timeseries analysis of ENSO indices and scatter plot analysis of precipitation between DMME and observation for (center) El Niño years and (right) La Niña years. All past years are divided into two groups, they are El Niño and La Niña, based on the sign of (top) target month Niño3.4, (middle) last winter ONI and (bottom) upcoming winter ONI. The closed black circles denote the years when El Niño/La Niña intensity exceeds 0.8. The hatching indicates the range of NN in the observation. [A case of October 2017]

특정 월의 경우 한반도 기온이 선행하는 ENSO 시그널에 크게 영향을 받는 것이 알려져 있다(KMA, 2016). CLIMT-K는 해당 월을 기준으로 앞선 12개월 ENSO와 지연 상관관계를 관측 지수와 예측 지수 각각에 대해 분석한다. 그림 4.10에 따르면 10월 한반도 기온은 관측 Niño3.4 지수와 음의 동시 상관성을 가지고 있고 선행 시간이 길어질수록 양의 상관성으로 바뀌지만, 95% 신뢰 구간에 해당하는 경우는 없다. 예측 Niño3.4 지수와는 관련성은 관측 지수의 그것보다 강하게 나타나고, 11-12개월 선행하는 Niño3.4 지수와는 95% 신뢰구간에서 유의미한 양의 관련성을 보인다. 산포도 분석(그림 4.10 우측 하단)에서 얻어진 선행 회귀식에 2016년 11월의 예측 Niño3.4 지수를 적용했을 때, 한반도 기온은 NN 범위로 예상됨을 확인할 수 있다.

KP Tavg dependency upon ENSO

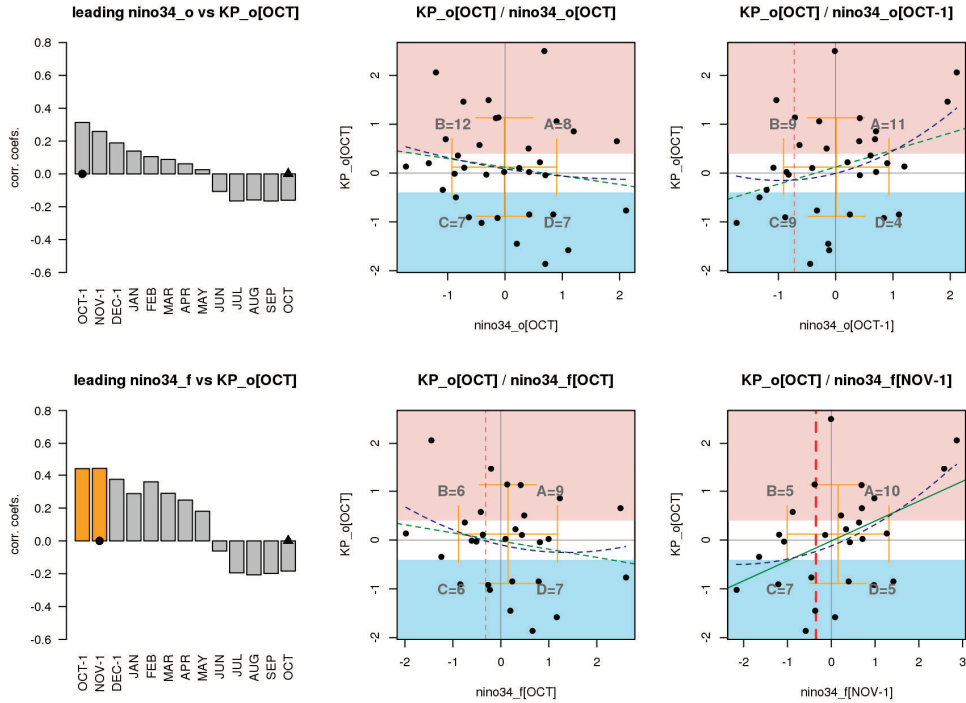


Figure 4.10. (Left) Temporal correlation analysis between target month temperature and leading Niño3.4 index and scatter plot analysis between two for (center) the target month and (right) the leading month having largest amplitude of correlation coefficients. Niño3.4 is derived from either of (top) the observation and (bottom) the prediction. Linear and second-polynomial lines are displayed as green and navy dashes, but solids only for the case with 95% confidence. [A case of October 2017]

4.3.1.3 빙권 요소들과의 관련성

같은 방식으로 빙권 시그널 특히 해빙면적과 눈덮임 면적이 한반도 기온/강수에 어떠한 지연 영향을 끼치는지를 분석하였다. ENSO 지수와 달리 해빙면적과 눈덮임 지수는 모형 자료에서 추출할 수 없기 때문에, 관측 지수에 대한 분석만을 제공한다. 2017년 10월 CLIMT-K 시행 결과에 따르면(그림 4.11) 북반구 해빙 면적의 경우 뚜렷한 선형 관련성은 없지만 선형하는 5월 해빙 면적과 한반도 10월 강수가 2차원 곡선 형태의 관련성을 보이는 것이 특징이다. 눈덮임 면적의 경우는 95% 유의 수준에서 높은 양의 상관성을 보이는 경우가 있다. 한반도 10월 강수는 이전 해 11월 북반구 전체 눈

덮임 면적 지수(SCE_NH), 이전 해 10-11월의 유라시아 눈덮임 지수(SCE_ER)에 비례한다. 산포도에서 얻어진 유의한 수준의 선형 회귀선 따르면(하단 둘째, 다섯째 열), 2017년 한반도 강수는 AN 에 해당함을 예상할 수 있다.

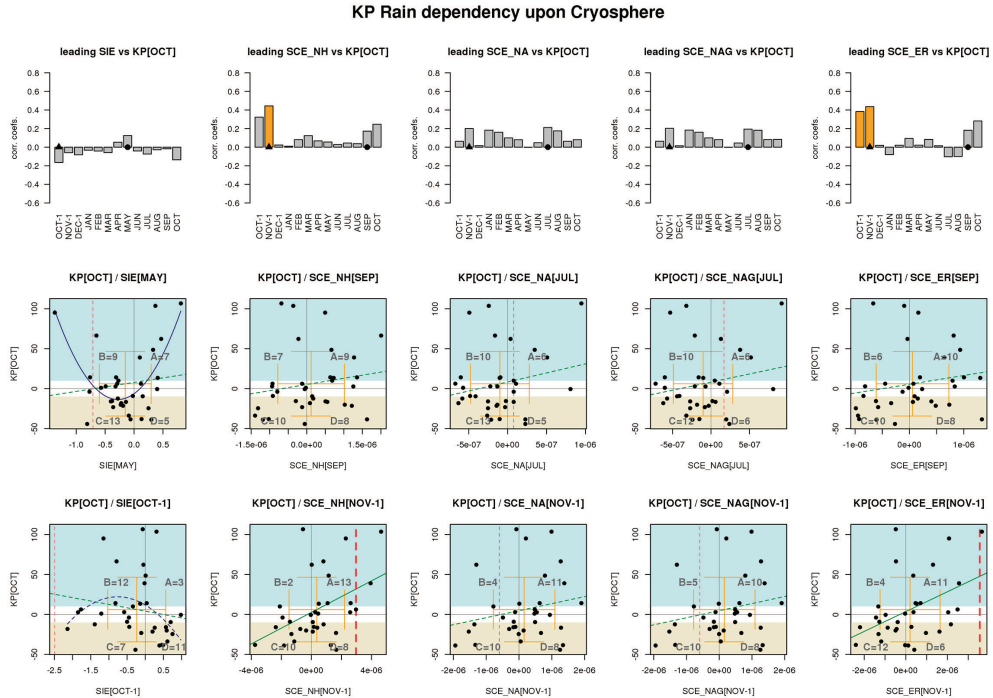


Figure 4.11. (Top) Temporal correlation analysis between target month precipitation and leading cryosphere signals (SIE index and four SCE indices) and scatter plot analysis between two for the leading month having the largest amplitude of coefficients out of (middle) the leading 6 to 1 months and (bottom) the leading 12-7 months. Linear and second-polynomial lines are displayed as green and navy dashes, but solids only for the case with 95% confidence. [A case of October 2017]

4.3.1.4 과거 대규모 순환 패턴 기반 확률 예보(PLCF)

CLIMT-K가 제공하는 과거 대규모 순환 패턴 기반 확률 예측(PLCF)은 500hPa 지 위고도장과 850hPa 남북방향 바람장에 대해 개별 수행된다. 한반도 기온과 관계된 주변 순환장 영역은 시베리아를 포함한 아시아 대륙과 서태평양 지역이 충분히 포함되도록, 한반도 강수와 관계된 순환장 영역은 남중국해와 한반도 북서쪽 아시아 대륙이 적

절히 포함되도록 정의되었다(그림 4.12) 2017년 10월과 유사한 z500 예측장을 보인 유사해들로부터 얻어진 기온의 확률 분포에서는 AN의 가능성이 가장 크지만, 카테고리 사이에 유의미한 차이가 나타나지 않는다. 하지만, 남북방향 바람장(V850) 패턴 과거 유사해로부터 얻어진 확률 분포에 따르면 2017년 10월 한반도 기온은 50% 이상의 AN 상태가 예상된다. 같은 시기 강수에 대한 PLCF(부록 그림 2.3)를 살펴보면, Z500과 V850 변수장 모두에서 AN 강수 상태를 예상하고 있다.

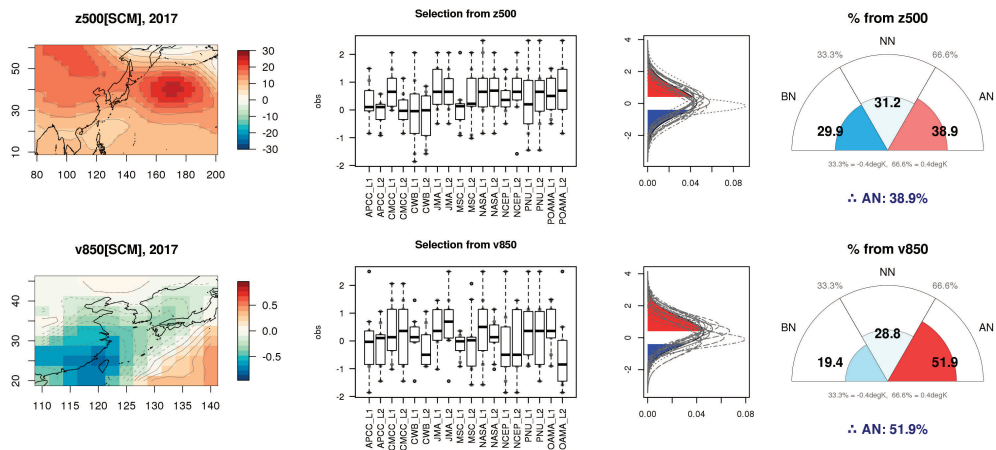


Figure 4.12. (First columns) Spatial pattern of 500 hPa height (z500) and 850 hPa meridional winds (V850) for the target year/month derived from APCC DMME near Korean Peninsula, (second columns) box-whisker diagram of observed temperatures of the years having similar z500 and V850 pattern with the target year/month, (third columns) probability distribution parameterized by the mean and the variance for individual models and their average, and (fourth columns) resultant ternary probability of Korean Peninsula near surface temperature for target year/season. [A case of October 2017]

마지막으로, CLIMT-K가 대상 년/월의 한반도 예보를 위해 제시하는 최종 그래픽은 그림 4.13과 같다. APEC 기후센터 PMME의 한반도 주변 2개 격자 평균된 삼분위 확률값, CLIMT-K의 두 종류 PLCF 확률값, 그리고 모형 검증과 기후 모드와 관련성 분석을 종합한 경험 확률값을 같은 화면에 보여줌으로써 예보자들이 한반도 예보를 최종 결정할 때 직접적인 가이드를 줄 수 있다. 경험적 확률은 세 종류의 정보를 취합한 형태로 얻어진다. 첫 번째로 예측 성능이 유의 수준을 가지는 개별 모형들의 선형 회귀 결과 얻어진 카테고리를 합산한다. 그림 4.8에서 다섯 개의 모형 중 네 모형이 NN, 하

나의 모형이 AN를 제시하였기에, AN:NN:BN에 대해서 1:4:0의 비율을 가진 경험적 확률을 얻을 수 있다. ENSO의 위상에 대한 과거 샘플들의 비율(그림 4.9)과 선행하는 유의미한 ENSO 시그널로부터 얻은 카테고리 샘플들의 비율(그림 4.10)을 동일 가중치로 합산한 경험적 확률이 두 번째 정보이다. 마지막으로, 선행하는 유의미한 빙권 시그널로부터 얻어진 카테고리 샘플들의 비율로 경험적 확률을 얻을 수 있다. 이 세 종류의 경험적 확률을 동일 가중치로 합산하되 확률값 총합이 100%가 되도록 표준화 과정을 거치면 최종 경험적 확률값을 얻게 된다. 2017년 10월 기온에 대해서 APCC PMME와 PLCF-V850은 AN 기온 상태를 예상하지만, 경험적 확률에서는 NN이 뚜렷하게 높고 PLCF-z500에서는 세 카테고리 사이에 큰 차이가 없다. 같은 시기 강수에 대한 CLIMT-K의 최종 제안(부록 그림 2.4)을 살펴보면, PLCF-z500, PLCF-V850 그리고 경험적 확률 모두 AN를 예상하고 이는 BN을 예상한 APCC PMME와 반대의 결과이다. 2017년 10월의 예는, 한반도 통합 예보를 위해서 CLIMT-K가 제공하는 정보들이 쉽게 수렴하지 않고 다양성이 클 가능성을 보여준다.

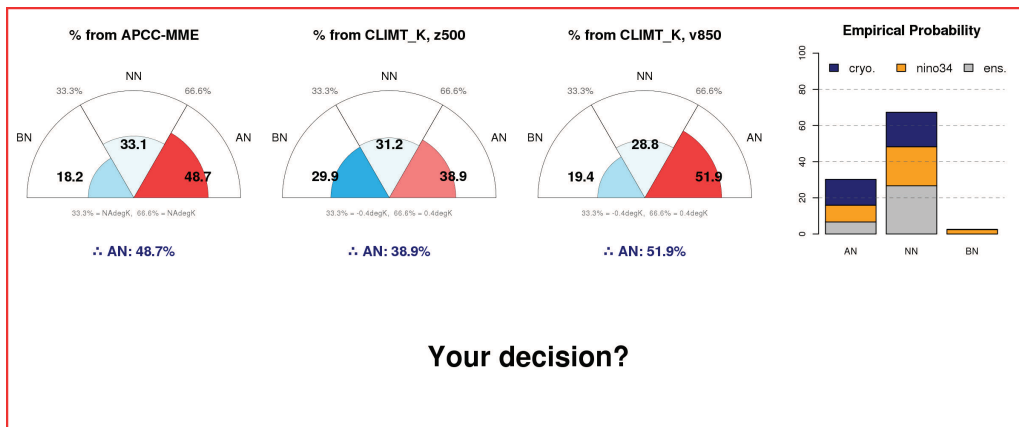


Figure 4.13. Tercile probability forecasts for the Korean Peninsula precipitation from (1st column) APCC PMME, CLIMT-K (second column) PLCF-z500 and (third column) PLCF-V850, (fourth column) the empirical information combining individual model performances and the relation with ENSO and cryosphere signals [A case of October 2017]

4.3.2 과거 대규모 순환 패턴 기반 예측(PLCF)에 대한 검증

각 계절별로 APCC PMME, PLCF-z500, PLCF-V850 세 예측 시스템의 Success

rate 검증 결과는 그림 4.14와 같다. 삼분위 예보에서 유의미한 예측력의 기준값은 1/3이다. APCC PMME는 전 계절에서 한반도 기온에 대해 유의미한 예측성을 보이지만, 강수에 대해서는 여름과 가을철에는 예측성이 나타나지 않는다. 반대로 PLCF-V850은 전 계절에서 강수량에 대해 유의미한 예측성을 보이는데 비해, 기온에 대해서는 겨울을 제외한 계절에서 예측성이 보이지 않는다. PLCF-z500의 경우는 가을/겨울의 기온, 봄/여름의 강수를 유의미하게 예측하고 있다. 시스템 사이의 상대적인 예측성을 살펴보면, 겨울철 기온과 여름철 강수에 대한 PLCF 성능이 APCC PMME에 비해 상대적으로 높다.

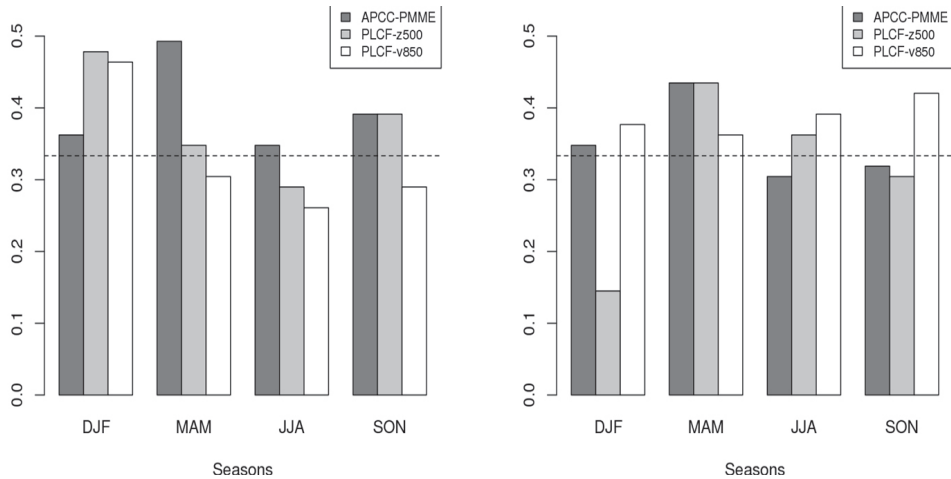


Figure 4.14. Success Rate of (a) near surface temperature (T2m) and (b) precipitation (prec) forecast produced by PLCF for four seasons

각 계절별 한반도 기온에 대한 APCC PMME, PLCF-z500, PLCF-V850 세 예측 시스템의 HR, FAR, ROC 검증 결과는 그림 4.15와 같다. 봄철의 경우는, PLCF에서 HR은 낮고, FAR은 높아서 APCC PMME에 비해 PLCF 성능 개선이 전혀 이루어지지 않았음을 알 수 있다. 하지만, 다른 계절에 대해서는 시스템 사이에 확연한 성능 차이가 보이지 않는다. ROC 분석에서는 HR가 FAR에 비해 값이 크면 유의미한 성능을 가진 예측으로 해석할 수 있다. APCC PMME는 모든 계절에서 대각선 기준 위쪽에 위치해서 유의미한 예측을 하고 있음을 알 수 있다. 하지만, 봄철 PLCF-z500과 PLCF-V850, 여름철 PLCF-z500, 가을철 PLCF-V850의 경우 대각선 아래에 위치해서 한반도 기온 예측에서 유의미한 예측 성능이 보이지 않는다. 반대로, 봄철 APCC PMME

와 가을철 PLCF-z500은 한반도 기온 예측에 대해 뚜렷하게 높은 성능을 보인다.

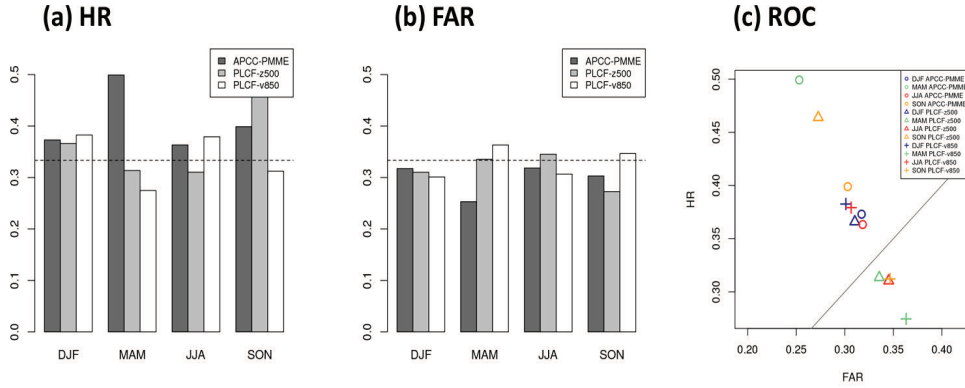


Figure 4.15. Hit Rate, False Alarm rate, ROC plot of near surface temperature (T2m) produced by PLCF for four seasons

각 계절별 한반도 강수에 대한 APCC PMME, PLCF-z500, PLCF-V850 세 예측 시스템의 HR, FAR, ROC 검증 결과는 그림 4.16과 같고, 기온 검증 결과에 비해서 전반적으로 낮은 HR과 높은 FAR를 보인다. 이는 계절 예측 모형의 일반적인 특징과 일치한다. PLCF-V850은 전 계절에서 기준값 보다 높은 HR, 기준값보다 낮은 FAR를 보이고, APCC PMME와 비교했을 때 봄철을 제외한 계절에서 높은 HR, 낮은 FAR를 보여서 뚜렷한 성능 향상을 확인할 수 있다. PLCF-z500은 봄철을 제외하고 뚜렷한 성능을 보이지 않는다. ROC 도표에서는 여름/가을/겨울철의 APCC PMME와 PLCF-z500 가 모두 대각선 아래에 분포하는데 비해 PLCF-V850은 전 계절에서 대각선 위쪽에 분포한다. 이는 CLIMT-K의 PLCF-V850이 한반도 강수 예보에 유용한 정보로 이용될 수 있음을 나타낸다. 계절별로 비교하면, 모든 시스템에서 일관적으로 봄철 예보가 타 계절에 비해 뚜렷하게 높은 성능을 보인다.

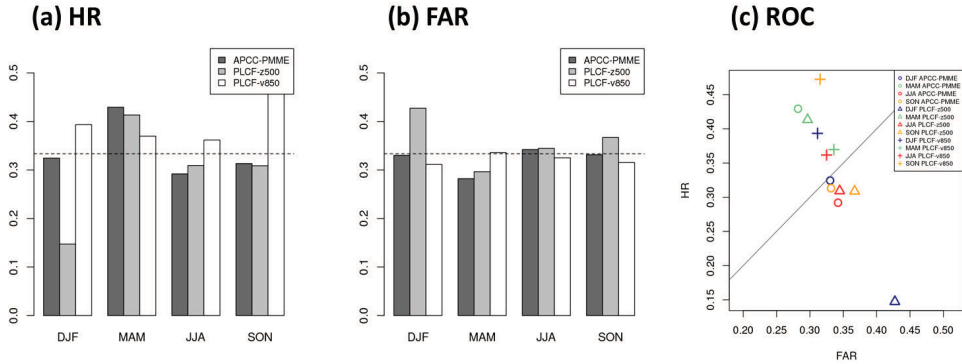


Figure 4.16. Hit Rate, False Alarm rate, ROC plot of precipitation (prec) produced by PLCF for four seasons

특정 확률을 예보된 샘플에 대해서 실제 관측을 조사했을 때 예상 카테고리에 적중된 샘플의 비율이 예측 확률과 유사하다면, 그 확률 예보 시스템은 실제 세상을 통계적으로 유사하게 재현했다고 말할 수 있을 것이다. 이를 확인하기 위하여 신뢰 곡선 분석을 수행하였고, 신뢰 곡선표에서 분석 결과가 대각선에 가까울수록 예측 시스템의 신뢰성이 높다고 해석할 수 있다. 그림 4.17은 APCC PMME, PLCF-z500, PLCF-V850 세 예측 시스템의 AN/NN/BN 세 카테고리 별로 한반도 기온 예보에 대한 신뢰 곡선과 확률값의 분포도를 나타낸다. APCC PMME의 경우 AN/BN에서 전체적으로 대각선에 가깝게 나타나 확률 신뢰도가 높다고 볼 수 있지만, NN에서는 예측 확률값과 상관 없이 관측 횟수는 거의 일정하게 나타난다.

확률 분포를 살펴보면, AN이나 BN에서는 매우 작거나 혹은 매우 큰 확률값이 자주 나타나 확률 분포의 범위가 넓은데 반해, NN는 확률 분포의 범위가 30% 주위로 매우 좁기 때문에 대각선 형태의 신뢰 곡선을 얻기 매우 어렵다. 이를 통해 APCC PMME에서 확률 분포가 관측 대비 비교적 넓은 것으로 유추할 수 있는데, 이 경우에는 NN에서 높은 확률값이 나타나기 어렵고 대신 AN/BN 카테고리로 무게 중심이 치우치는 성향을 보이게 된다. APEC 기후센터 PMME는 개별 모형 자체 삼분위 값에 대한 확률을 합산하는 형태로 얻어지는데, 안타깝게도 모형들의 과거 재현 자료 길이가 짧아서 1983-2005년의 짧은 기간에 대해 삼분위 값이 얻어진다. 앞서 언급했듯이 CLIMT-K에서 관측 카테고리를 결정하는 기준값은 기상청 삼분위값이고, 이는 모형 자체 분위값과 다를 수 밖에 없다. 여러 한계들 때문에 통계적으로 정확한 비교가 불가능하다는

아쉬움이 있지만, 그림에도 불구하고 한반도 예측의 성공 유무 자체가 기상청 기준에 의해 결정이 되기 때문에 본 연구가 제시한 검증 정보는 그 자체로 가치가 있겠다.

한반도 기온에 대한 PLCF는 세 카테고리 모두에서 확률 분포가 전반적으로 매우 좁게 나타나고, 신뢰도 곡선에서 대각선 형태의 선형 관련성을 보여주지 못한다. 다만 예외적으로 PLCF-V850 NN의 신뢰도 곡선은 뚜렷한 선형 관련성을 보여준다. CLIMT-K 의 PLCF 시스템은 1983-2005년 23년 중에서 대상 해를 제외한 22년 값을 훈련 자료로 이용하고, 중복 선택된 샘플들로 확률 분포를 생성하기 때문에 한 개의 카테고리에 치우친 형태의 확률 예보값을 얻기 힘들다. 따라서, 30% 주변에 몰린 좁은 형태의 확률 분포를 갖게 되고, 그렇기 때문에 대각선 형태의 이상적인 신뢰 곡선을 얻기 어려운 구조적 한계가 있다.

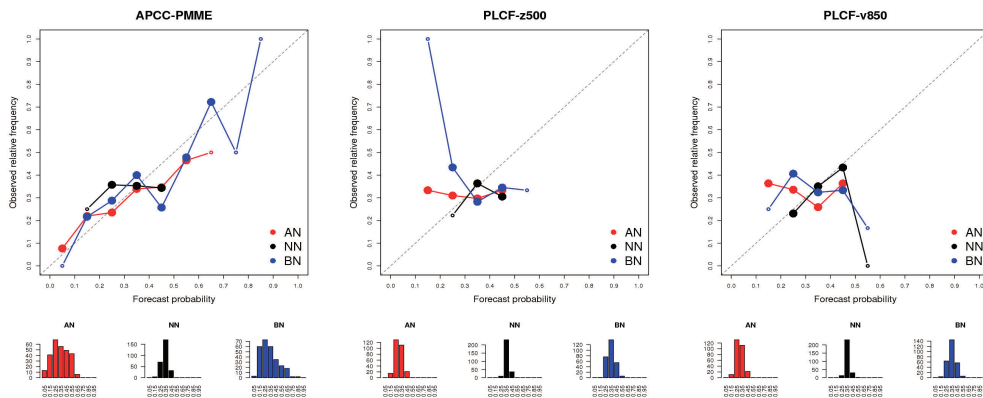


Figure 4.17. Reliability diagram of near surface temperature (2tm) forecast produced by PLCF. Small circles indicate the case when the sample size is too small to represent the reliability.

그림 4.18은 APCC PMME, PLCF-z500, PLCF-V850 세 예측 시스템의 AN/NN/BN 세 카테고리 별로 한반도 강수 예보에 대한 신뢰 곡선과 확률값의 분포도를 나타낸다. 세 카테고리 모두에서 APCC PMME 강수 예보가 기온 예보에 비해 상대적으로 확률 분포 범위가 좁고, 따라서 신뢰 곡선이 짧아진 모습이다. 예측 확률 대비 상대적인 관측 횟수는 BN에서 늘어났고 반대로 NN에서는 뚜렷하게 줄어들어 대각선으로부터 멀어진 모습이고, 예측 확률과 상대적 관측 횟수 사이의 선형성도 사라졌다.

이는 강수 예보가 기온 예보에 비해 전반적으로 신뢰도가 낮음을 의미하고, 전형적인 계절 모형의 특성과도 일치한다. 카테고리별로 확률 분포의 범위를 살펴보면, 기온의 신뢰도 곡선과 일관되게 NN의 확률 분포의 범위가 AN/BN에 비해 좁게 나타난다. 이는 앞서 제시하였듯이, 예보와 관측의 삼분위가 불일치하기 때문에 나타나는 시스템의 근본적인 한계 때문으로 풀이된다.

강수 PLCF도 이상적인 대각선 형태와 동떨어진 신뢰도 곡선을 보이지만, 예외적으로 NN의 경우 약하게나마 신뢰도 곡선의 선형성이 나타난다. 또한, NN의 분포 범위가 AN/BN에 비해 좁은 확률 분포 특성도 유지된다. 상대적 관측 횟수가 BN/AN이 NN에 비해 뚜렷하게 많은 특성 역시 APCC PMME의 결과와 일관된다. 카테고리 검 증에서 PLCF-V850이 APCC PMME에 비해 우수한 결과를 보인 것과 반대로, 신뢰도 곡선에서는 전체적으로 강수 PLCF가 APCC PMME에 비해 성능이 낮게 나타난다. 이는, 과거의 제한된 샘플로부터 중복 선택하여 확률 분포를 생산하는 PLCF 방법론의 근본적인 한계 때문으로 보인다. 이러한 한계를 감안하고 APCC PMME와의 격차가 줄어든 것을 고려하면, 강수 PLCF의 성능은(기온 PLCF에 비해서는) 상대적으로 높다고 해석할 수 있다.

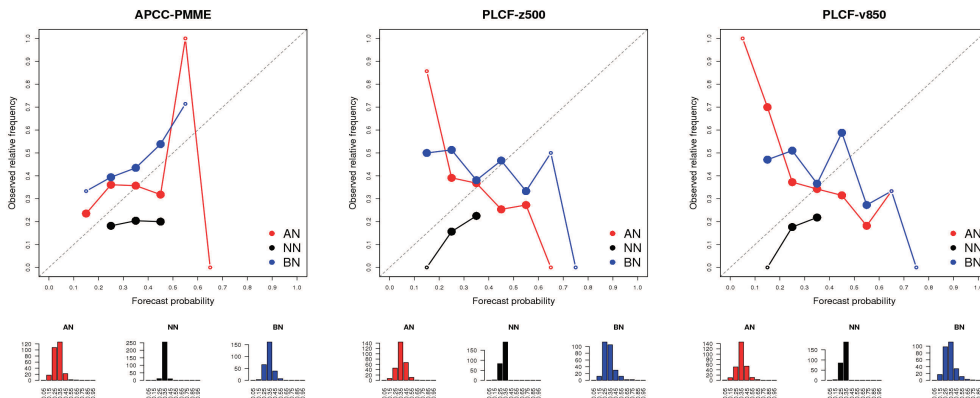


Figure 4.18. Reliability diagram of precipitation (prec) forecast produced by PLCF. Small circles indicate the case when the sample size is too small to represent the reliability.

4.4 기후 지수 관련 한반도 기온/강수 반응에 관한 지침서

4.4.1 한반도 기후와 관련된 기후 지수 선정

장기 예보 업무의 효율화를 위해서 4.2.2.4절에서 제시한 기준 1을 적용하면 현재 APCC가 아웃룩을 통하여 공식적으로 예측하고 있는 지수인 Niño3.4와 DMI를 1차적으로 선정할 수 있다. 기준 2를 적용하기 위하여 표 4.2에서 제시된 방법으로 1983년에서 2005년 동안의 관측 자료와 MME Hindcast 자료로 계산된 기후 지수 사이의 월별 상관관계를 살펴보면 태평양 및 대서양의 SST에서 유도된 지수(Niño1+2, Niño3, Niño3.4, Niño4, ONI, TNI, PACWARM, EOFAC, EMI, TNA, TSA, ATLTRI)는 상관관계계수가 모든 월에 걸쳐 균일하게 약 0.9 정도로 매우 높으며 통계적으로도 90% 이상에서 유의함을 확인할 수 있다(그림 4.19). DMI 또한 2월, 6월을 제외하고는 통계적으로 90% 이상에서 유의하기 때문에 기준 1과 기준 2를 동시에 부합하는 Niño3.4와 DMI를 선정할 수 있다. 반면 대기 지수의 경우 SOI와 NOI를 제외하고 MME Hindcast의 예측력 수준이 해양 지수에서의 예측력에 미치지 못 한다. WP는 모든 월에 걸쳐 관측 지수와의 상관관계가 매우 낮으며 통계적으로도 유의하지 않다. 하지만 PNA, NP, AO, NAO는 공통적으로 1월에 관측 지수와 약 0.61, 0.77, 0.53, 0.57의 상관관계를 보이며 통계적으로 유의하다. SOI와 NOI도 대기 지수이지만 다른 대기 지수들에 비해 높은 상관관계를 나타내는 이유는 두 지수 모두 ENSO에 대한 대기의 반응을 나타내는 지수이기 때문에 Niño3.4 등 다른 ENSO 관련 지수처럼 높은 상관관계를 보이는 것이다. 관측 자료와 MME Hindcast 자료로 생산한 기후 지수 사이의 상관관계를 기준으로 대기 지수는 PNA, NP, AO, NAO가 2차적으로 선정된다.

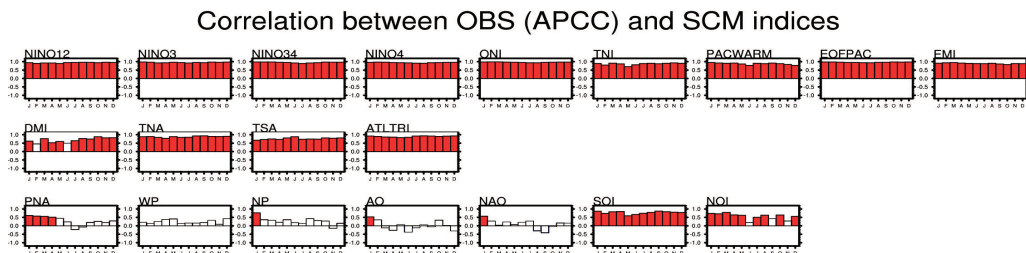


Figure 4.19. Monthly correlation coefficients between climate indices calculated from reanalysis and MME hindcast data. Red colored bars indicate correlation coefficients which are significant at 90% confidence level.

마지막으로 기준 3을 적용하여 최종적으로 지수를 선정하기 위해서 1) 한반도 기온 및 강수량의 지점 자료와 관측 자료로 생산한 기후 지수의 상관관계, 2) 한반도 기온 및 강수량의 MME Hindcast 격자 자료와 MME Hindcast 자료로 생산한 기후 지수의 상관관계를 계산하였다(표 4.3). 계산에 사용된 자료의 기간은 지점 자료 및 MME Hindcast 자료의 공통 기간인 1983년부터 2005년까지이며 표에 기입된 지수는 모두 한반도 기온 및 강수량과 통계적으로 95% 이상 유의한 상관관계를 가진다. *는 통계적으로 99% 이상 유의함을 나타낸다. MME Hindcast 자료를 사용한 경우는 관측 자료를 사용한 경우보다 한반도 강수량과 상관관계가 큰 기후 지수의 종류가 더 많으며 특히 ENSO 관련 지수를 포함한 해양 지수와의 상관성이 대부분의 월에 유의하게 나타난다. 이러한 관측 자료와 MME Hindcast 자료에서 나타나는 차이는 한반도 기후 재현에 대한 모형의 한계일 수도 있으며 이에 대한 자세한 분석은 본 과제의 범위를 벗어나므로 지수 선정의 객관적 기준으로만 사용하고자 한다.

Niño3.4는 12월 한반도 기온 및 강수와 각각 0.47, 0.63의 양의 상관관계를 가지며 특히 12월 한반도 강수량과의 양의 상관성은 MME Hindcast 자료에서도 0.79로 높게 나타난다. DMI 또한 11월 한반도 강수 지점 평균값과 0.42, MME Hindcast 격자 기온 평균값과 0.72의 양의 상관관계를 가지므로 Niño3.4와 DMI는 지점 선정을 위한 세 가지 기준에 모두 부합한다. AO는 한반도 겨울철 지점 평균 기온과 높은 상관관계를 가진다. 12월, 1월, 2월 기온과의 상관관계계수는 각각 0.58, 0.41, 0.50이며 특히 12월 기온과의 상관관계는 99%에서 유의한 수준이다. MME Hindcast 격자 자료에서 얻어진 한반도 기온과는 통계적 유의성을 보이지 않지만 계절 변동에 뚜렷하게 의존하는 특성과 그림 4.19에서 나타난 1월에서의 지수 간의 높은 상관관계를 고려하여 AO를 선정하였다. WP는 지수 사이의 상관관계는 모든 월에 걸쳐 유의성이 떨어진다. 하지만 한반도 지점 평균 기온과 2월, 4월, 12월에 0.43, 0.45, 0.48의 상관관계를 나타내고 한반도 지점 평균 강수량과는 1월, 2월, 5월에 0.46, 0.42, 0.49의 상관관계를 나타내는 동시에 1월은 MME Hindcast 격자 자료에서 얻어진 한반도 강수량과의 상관관계도 0.57로 통계적으로 99%에서 유의한 수준으로 나타났기에 선정하였다. NP 또한 WP와 마찬가지로 상관관계의 정도를 감안하여 선택하였다. 한반도 지점 평균 기온과는 10월과 11월에 0.42, 0.62의 상관관계를, 강수량과는 2월과 6월에 0.42, 0.55의 상관관계를 나타냈으며 특히 MME Hindcast 격자 자료에서 얻어진 강수량과

의 상관관계 또한 2월과 6월에 0.42, 0.55의 유의한 상관관계를 나타냈다. PNA는 1월부터 4월까지 지수 사이의 유의한 상관관계를 보이고 11월 한반도 지점 평균 기온과 6월 강수량과 각각 -0.48, -0.69의 음의 상관관계를 가지며 특히 6월은 MME Hindcast 격자 자료에서 얻어진 한반도 강수와도 -0.62의 상관관계를 가지므로 선택하였다. NAO는 1월에 지수 사이의 상관관계가 유의한 수준에서 나타난다. 하지만 관측 자료에서 오직 2월 한반도 기온과 0.45의 상관관계를 보이며 다른 월과 MME hindcast 자료 하에서는 기온 및 강수량 모두에 대해 유의성을 나타내지 않으므로 제외하였다. 세 가지 기준에 따라 선정된 지수는 해양지수 두 개(Niño3.4, DMI)와 대기지수 네 개(PNA, WP, NP, AO)로 총 여섯 개의 지수이며 4.4.2절에서 이 지수들에 대해 관측 자료 및 MME Hindcast 자료의 대기순환장의 반응이 어떻게 나타나는지 분석하고자 한다.

Table 4.3. List of climate indices correlated with monthly temperature/precipitation over Korea at 95% confidence level. * indicates 99% confidence level.

Month	Temperature		Precipitation	
	from station	from hindcast	from station	from hindcast
1	AO (0.41)	PACWARM (0.42) DMI (0.57)* TNA (0.58)* TSA (0.51) ATLTRI (-0.48)	WP (0.46)	NINO12 (0.69)* NINO3 (0.74)* NINO34 (0.76)* NINO4 (0.71)* ONI (0.76)* EOFPCAC (-0.76)* EMI (0.60)* DMI (0.45) PNA (0.56)* WP (0.57)* NP (-0.46) SOI (-0.78)* NOI (-0.79)*
2	WP (0.43) AO (0.50) NAO (0.45)	NINO12 (0.41) TNA (0.52) TSA (0.40) ATLTRI (-0.46)	WP (42) NP (0.42)	NINO3 (0.42) NINO34 (0.44) NINO4 (0.49) ONI (0.45) EOFPCAC (-0.43) TNA (0.44) TSA (0.46) NP (-0.42) AO (-0.55)* NAO (-0.54)*

Table 4.3. (Continued.)

Month	Temperature		Precipitation	
	from station	from hindcast	from station	from hindcast
3	NINO12 (0.45) TSA (-0.43)			NINO4 (0.48) ONI (0.41) EMI (0.42) WP (0.48)
4	NINO12 (0.41) PACWARM (0.43) WP (0.45)		PACWARM (0.59)*	NINO12 (0.52) NINO3 (0.51) NINO34 (0.51) NINO4 (0.43) ONI (0.49) EOFAC (-0.53)* WP (0.51) AO (0.43) NOI (-0.45)
5	EMI (-0.46)	ATLTRE (-0.45)	WP (0.49)	AO (-0.46)
6		PACWARM (0.51) DMI (-0.49) ATLTRE (-0.50) NP (0.44) AO (-0.54)* NAO (0.58)*	PNA (-0.69)* NP (0.55)*	NINO12 (-0.53)* NINO3 (-0.55)* NINO34 (-0.53)* NINO4 (-0.51) ONI (-0.52) EOFAC (0.56)* TNA (-0.54)* TSA (0.47) ATLTRE (0.47) PNA (-0.62)* NP (0.41) NOI (0.56)*
7		PACWARM (0.58)* DMI (-0.49) ATLTRE (-0.63)* PNA (-0.57)* NP (0.46) NOI (0.57)*	TSA (0.43)	NINO12 (0.72)* NINO3 (0.57)* EOFAC (-0.60)* DMI (0.57)* PNA (0.74)* WP (0.59)* AO (0.52) NAO (-0.61)* NOI (-0.60)*
8		ATLTRE (-0.56)*		NP (0.42)

Table 4.3. (Continued.)

Month	Temperature		Precipitation	
	from station	from hindcast	from station	from hindcast
9	NINO34 (-0.45) ONI (-0.46)	ATLTRI (-0.48) PNA (-0.48) AO (0.66)*	NINO3 (-0.44)* NINO34 (-0.42)*	NINO3(-0.63)* NINO34 (-0.73)* NINO4 (-0.73)* ONI (-0.71)* TNI (0.45) PACWARM (0.55)* EOFAC (0.66)* EMI (-0.69)* WP (0.43) NP(0.46) AO (0.70)* SOI (0.71)* NOI (0.55)*
10	PACWARM (0.50) NP (0.42)	TNA (0.46) ATLTRI (-0.67)*		
11	TSA (0.62)* PNA (-0.48) NP (0.62)*	ATLTRI (-0.57)* WP (0.50)	NINO12(0.57)* NINO3 (0.52) ONI (0.44) EOFAC (0.49) DMI (0.42) TSA (0.63)*	NINO12 (0.82)* NINO3 (0.83)* NINO34 (0.79)* NINO4 (0.68)* ONI (0.79)* PACWARM (-0.51) EOFAC (-0.83)* EMI (0.59)* DMI (0.72)* PNA (0.63)* SOI (-0.74)* NOI (-0.79)*
12	NINO3 (0.51) NINO34 (0.47) ONI (0.46) EOFAC (0.43) WP (0.48) AO (0.58)*	DMI (0.46) TNA (0.41) ATLTRI (-0.45)	NINO12 (0.51) NINO3 (0.57)* NINO34 (0.63)* NINO4 (0.51) ONI (0.63)* EOFAC (0.58)* DMI (0.49) SOI (-0.66)* NOI (-0.53)*	NINO12 (0.77)* NINO3 (0.80)* NINO34 (0.79)* NINO4 (0.72)* ONI (0.78)* EOFAC (-0.80)* EMI (0.62)* DMI (0.83)* TSA (0.55)* PNA (0.63)* WP (0.46) NP (-0.42) SOI (-0.75)* NOI (-0.72)*

4.4.2 기후 지수와 관련된 대기순환장 특성

4.4.2.1 기후 지수에 대한 전지구 기온 및 강수량 회귀장 참고표 구성

4.4.1절에서 선정한 6개의 지수에 대한 전지구 기온 및 강수량의 회귀장을 부록 그림 2.5와 2.6에 나타내었다. 850hPa 바람장은 강수량과 함께 나타내었다. 한 지수에 대해 두 개의 열로 회귀장이 제시되어 있는데 왼쪽 열은 재분석 자료의 회귀장이며 오른쪽 열은 MME Hindcast 자료의 회귀장이다. 회귀계수는 등치선으로 표시하였으며 통계적으로 95% 이상에서 유의한 영역만을 색칠하였다. 바람장은 동서풍 및 남북풍 중 하나라도 통계적으로 유의하면 두 성분을 함께 벡터로 표시하였다. MME Hindcast 자료의 회귀장에 표시된 점은 MME를 이루는 개별모델 Hindcast 자료의 회귀계수들의 편차가 작음을 의미한다. 개별모델들이 지수에 대해 얼마나 상호간에 일관된 반응을 보이는지 살펴보기 위하여 각 격자마다 개별모델들의 회귀계수를 구하고 그 계수간의 편차를 계산한 뒤 그 편차를 전 격자들의 편차와 비교하여 1표준편차에 미치지 않으면 점으로 표시한 것이다. 즉 점이 표시된 영역은 개별모델들이 지수에 대해 일관된 반응을 나타낸다고 해석할 수 있으며 MME Hindcast 자료의 회귀장을 살펴볼 때 개별모델에 대한 정보를 함께 볼 수 있어 유용하다. 1표준편차의 값은 각 그림 왼쪽 하단에 표시하였다. 부록 그림 2.5와 2.6의 그림들 중 한반도 기온이나 강수량과 유의한 상관관계가 재분석 자료와 MME Hindcast 자료 모두에서 나타나면 배경을 노란색으로 표시하였다. 흥미로운 점은 이러한 특징이 기온에서는 나타나지 않으며 강수와 9월, 12월의 Niño3.4, 11월, 12월의 DMI 사이에서 나타나고 대기 지수인 PNA와 WP 또한 각각 6월과 1월에 나타난다. 이는 실제 예보 업무 시 고려하는 MME 강수 예측 자료에 기반한 지수와의 상관관계에 신뢰성을 더할 수 있을 것이다.

6개의 지수를 재분석 자료와 MME Hindcast 자료로 구분지어 12개월에 대해 분석한 그림을 일일이 설명하기에는 한계가 있기에 본 4.4.2.2절과 4.4.2.3절에서는 12월 Niño3.4와 관련된 강수량의 특성과 1월 AO와 관련된 기온의 특성을 자세히 살펴보기로 한다.

4.4.2.2 12월의 Niño3.4와 한반도 강수량의 관련성 및 전지구 대기순환장의 반응

표 4.3에서 알 수 있듯이 12월 Niño3.4 지수는 12월 한반도 지점 평균 강수량과 0.63의 상관성을 나타내고 MME Hindcast 자료의 경우에서도 0.79의 상관관계를 가지며 두 상관계수 모두 통계적으로 99% 이상에서 유의하다. 그와 관련된 전지구 강수량 및 850hPa 바람장을 살펴보면 재분석 자료 및 MME Hindcast 자료 모두에서 한반도 쪽으로 남풍이 우세하게 불어 들어오는 것을 확인할 수 있다(그림 4.20(a)). 그림 4.20(a)와 (b)는 부록 그림 2.6과 동일하며 순환장을 자세하기 살펴보기 위해서 -4mm/day에서 4mm/day인 스케일은 -1mm/day에서 1mm/day의 스케일로 조정하였다.

재분석 자료에서 열대 지방의 바람 패턴을 보면 서태평양에 나타나는 발산에 의해 서태평양에는 건조한 영역이 나타나고 열대 중앙 및 동태평양에서는 양의 강수 편차가 나타난다(그림 4.20(a)). 이러한 강수 편차의 모습은 MME Hindcast 자료에서도 유사하게 나타난다(그림 4.20(b)). 서인도양에 나타난 양의 강수 편차 또한 재분석 자료 및 MME Hindcast 자료에서 모두 나타난다. 한반도에 초점을 맞춰 살펴보면 양의 강수 편차 영역이 동서 방향으로 나타나고 약한 남풍 계열의 바람이 유입되는 것을 확인할 수 있다. 개별모델의 강수 또한 Niño3.4에 대해 일관된 반응을 나타내고 있음을 회귀장에 표시된 점을 통해 알 수 있다(그림 4.20(b)). 한반도 쪽으로 불어 들어오는 남풍은 재분석 자료에서보다 더 뚜렷하게 나타난다.

강수량에 영향을 미치는 대기순환장 변수 중 하나로 해면기압이 있는데 고기압성 및 저기압성 순환이 어디에 위치하느냐에 따라 그 지역의 강수량의 증감이 달라진다. 재분석 자료에 따르면 Niño3.4의 값이 증가하면 열대 서태평양에 고기압성 순환이, 열대 중앙 및 동태평양에 저기압성 순환이 나타나며 이는 엘니뇨에 의한 반응과 관련 있다(그림 4.20(c)). 또한 베링해를 포함한 북태평양과 캐나다 서부에 저기압성 순환이, 북서태평양에 고기압성 순환이 나타나고 우리나라는 이 고기압성 순환의 가장자리에 위치하여 남풍의 유입에 의해 강수량이 증가하게 되는데 이러한 순환장은 그림 4.20(a)의 벡터와 일관된 모습이다. 이와 유사한 모습은 MME Hindcast 자료에서도 나타난다(그림 4.20(d)). 엘니뇨와 관련된 기압 배치인 열대 서태평양의 고기압성 순환과 열대 중앙 및 동태평양의 저기압성 순환이 뚜렷하게 나타나며 북동태평양 및 베링해 쪽의

저기압성 순환과 우리나라 동쪽의 고기압성 순환은 그림 4.20(c)에서 보다 강도는 다소 약하고 중심의 위치가 다소 남하한 형태로 나타난다. 재분석 자료 및 MME Hindcast 자료에서의 Niño3.4에 대한 강수 패턴의 공간상관계수는 동아시아에서 약 0.84이고 해면기압 패턴의 공간상관계수는 0.64이며 두 계수 모두 통계적으로 유의하다(부록 그림 2.5). 이와 같은 상관성을 통해 앞으로 현업에서 12월 Niño3.4의 값을 이용하여 12월 한반도 강수량의 편차를 객관적으로 추정할 수 있을 것이다.

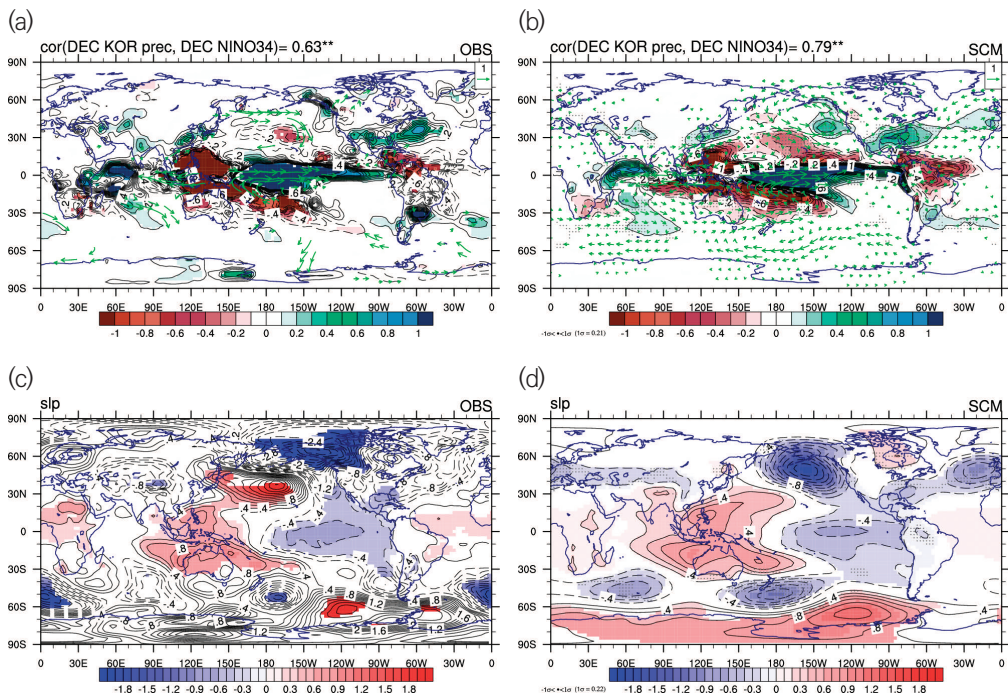


Figure 4.20. Regressed precipitation anomalies from (a) reanalysis and (b) MME hindcast data onto Niño3.4 in December. (c), (d) Same as (a) and (b) but for sea level pressure anomaly. Correlation coefficients between precipitation over Korea and Niño3.4 are on the top left of the maps (a) and (b). ** indicates significant level at 99%.

4.4.2.3 1월의 AO와 한반도 기온의 관련성 및 전지구 대기순환장의 반응

겨울철 동아시아 기온과 관련 있는 극지방 지수인 AO는 1월 한반도 기온과 동시상관적으로 0.41의 양의 상관관계를 갖는다(그림 4.21(a)). 전지구 기온 패턴을 보면 AO가 증가하면 북태평양 일부 및 한반도를 포함한 동시베리아에 양의 기온 편차가 나타

나며 노르웨이와 노르웨이해 일부에서도 양의 기온 편차가 뚜렷하게 나타난다. 반대로 그린란드, 배핀만, 래브라도해, 축치해 일부 지역에서는 음의 기온 편차가 나타난다. 이러한 기온 편차 영역은 MME Hindcast 자료에서도 유사하게 나타난다(그림 4.21(b)). AO 지수가 증가하면 북유라시아와 북태평양 북부에 강한 양의 기온 편차가 나타나고 축치해와 보퍼트해를 포함하여 캐나다 북부 지역에 음의 기온 편차가 나타난다. 특히 북태평양 북부 및 한반도 북쪽의 영역에서 AO에 대해 개별모델들의 기온 편차가 일관된 반응을 보이는 것을 확인할 수 있다. AO에 대한 재분석 자료 기온과 MME Hindcast 기온의 회귀장 사이의 공간상관계수는 동아시아에서 0.76으로 나타나지만 실제로 한반도 영역에서 나타나는 기온 편차는 MME Hindcast에서 다소 북쪽으로 치우치는 경향이 있다. 또한 한반도에 나타나는 양의 기온 편차는 통계적 유의성이 떨어지며 실제로 MME Hindcast 격자 자료로 얻은 한반도 기온과 AO의 상관계수는 0.3으로서 이 또한 통계적 유의성이 낮다.

기온과 관련된 또 다른 대기순환장 변수는 500hPa 지위고도로서 기압골과 기압능의 배치에 따라 기온의 증감이 달라진다. AO가 증가하면 북극에서는 강한 저기압성 편차가 나타나고 한반도를 포함한 동아시아와 북태평양 북부 영역에 고기압성 편차가 동서 방향으로 나타나며 미국 동부에서 서유럽 쪽에서도 동서 방향의 고기압성 편차가 나타난다(그림 4.21(c)). 이렇게 위치한 고기압성 순환에 의해 한반도 기온이 증가하는 것을 관측 자료에서 확인할 수 있으며 MME Hindcast 자료에서도 이와 유사한 기압 배치가 나타난다(그림 4.21(d)). 한반도 북쪽에서 북태평양 북부 영역까지, 미국 동부에서 서유럽까지 동서방향의 고기압성 편차가 뚜렷하게 나타나며 북극의 저기압성 편차 또한 관측에서와 유사하게 나타난다. 또한 AO에 대해 개별모델의 기압 편차가 보이는 반응이 일관된다. 하지만 그림 4.21(c)와는 달리 통계적으로 유의한 기압편차는 한반도 다소 벗어나 북쪽에 위치하는 특징이 나타난다. MME Hindcast 자료에서의 AO에 대한 기온 및 500hPa 지위고도의 반응은 4.4.2.2절의 Niño3.4의 경우만큼 한반도에 정확하게 나타나지는 않는다. 즉 MME Hindcast 자료는 AO와 관련된 대기순환장의 반응을 한반도를 기준으로 북쪽으로 치우친 형태로 예측하는 경향이 있으므로 이를 감안하여 예보 보조 자료로 이용해야할 것이다.

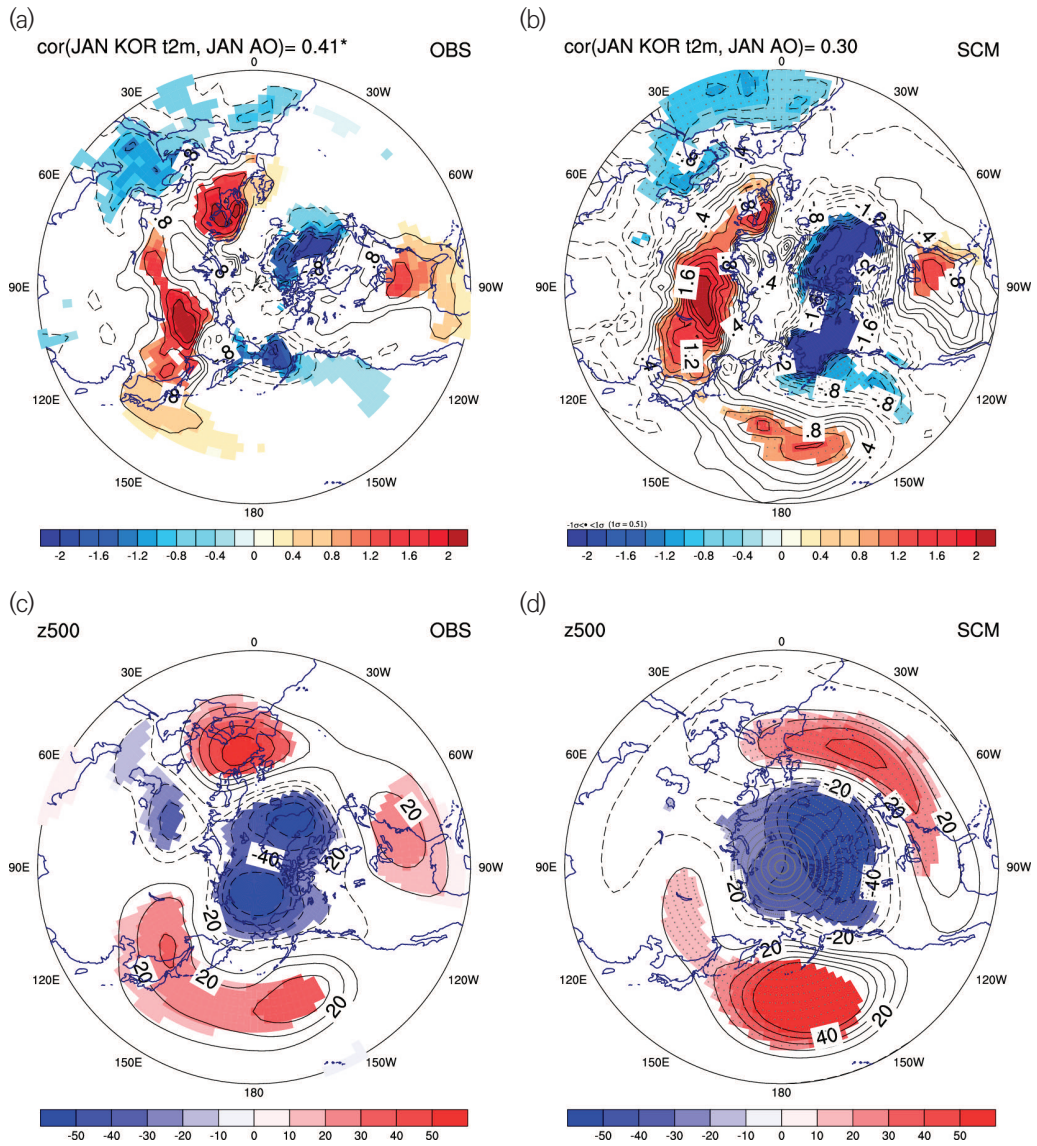


Figure 4.21. Regressed temperature at 2m anomaly in (a) reanalysis and (b) MME hindcast data onto AO in January. (c), (d) same as (a) and (b) but for geopotential height anomaly at 500 hPa. Correlation coefficients between temperature over Korea and AO is on the top left of the maps (a) and (b). * indicates significant level at 95%.

4.5 요약 및 시사점

CLIMT-K는 한반도 기온·강수에 대한 APEC 기후센터 현업 MME 검증 정보, 해양/빙권 시그널, 모형 내 대규모 순환 패턴에 기반한 재현 확률 분석 등 다양한 정보를 갖춘 가상 예보관으로 볼 수 있다(그림 4.22). 풍부하고 질 좋은 정보는 예보력 향상을 가져올 수 있으므로, CLIMT-K는 예보관으로서의 기본적인 자질을 갖추었다고 하겠다. CLIMT-K 내에서 계산된 한반도 맞춤형 예측과 기후 변동성 영향에 대한 정량적 정보는 기존 APCC MME 예보를 수정하는 통계적/과학적 근거가 되고, 예보 시점의 주변 상황이나 예보자의 주관에 흔들리는 것이 아니라, 일정 논리를 갖춘 체계적인 시스템 하에서 통합 예보를 생산하게 된다. 시간이 지남에 따라 과거 자료 샘플이 늘어나게 되는데, CLIMT-K는 매년 새로운 자료를 포함시켜 분석 결과를 갱신하기 때문에 가장 최신 경향을 예보에 반영할 수 있다는 추가적인 이점이 있다.

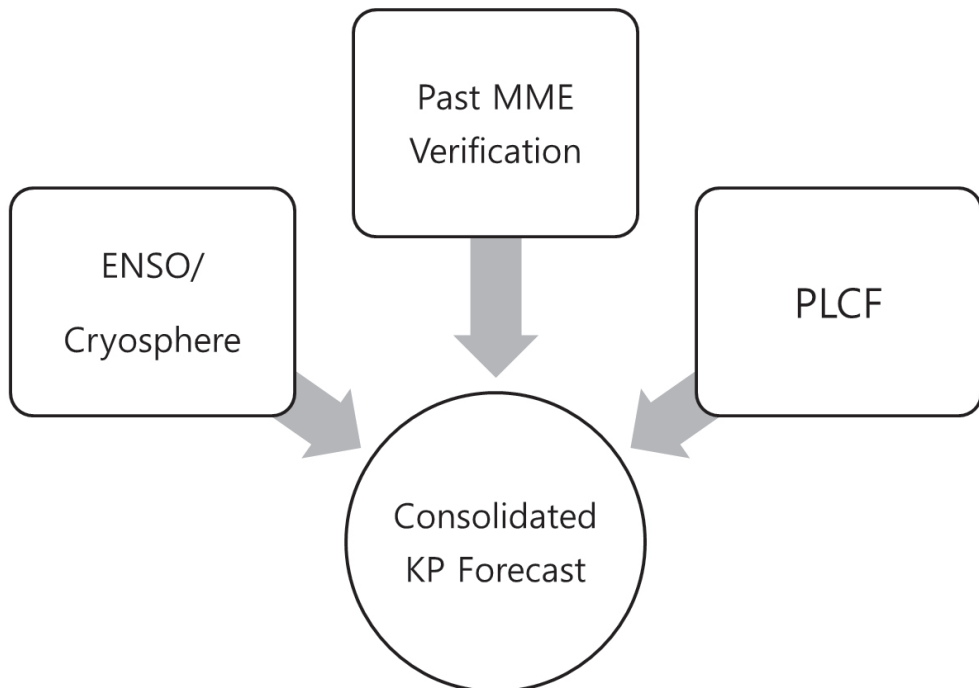


Figure 4.22. Value of CLIMT-K for the consolidated forecast

CLIMT-K에서 제공하는 PLCF의 성능은 예측하고자 하는 변수, 계절, 삼분위 카테고리, 그리고 어떠한 검증 지표를 적용했는지에 따라 매우 다르게 나타나는데, 순수 APCC PMME 성능과 비교해서 개선된 경우를 정리하면 표 1과 같다. 우선 카테고리 예보 관점에서 살펴보면, PLCF-V850의 강수 예보 성능 개선이 매우 뚜렷하게 나타난다. 봄철을 제외한 전 계절에서 Success rate 와 ROC 지표 모두에서 성능 개선을 보였다. 기온 예보의 경우에는, PLCF-z500과 PLCF-V850에서 모두 겨울철 Success rate 지표가 개선되었지만, 이는 ROC에서는 보이지 않는다. 확률 예보의 관점에서 PLCF의 신뢰도는 대부분의 경우에서 매우 낮게 나타났다. 이는 유사한 주변 대규모 순환장을 가진 과거의 기후가 미래에도 같은 비율로 재현될 수 있다는 가정에 따라 매우 제한된 숫자의 과거 샘플을 사용했기 때문에 나타나는 근원적인 시스템 한계로 보인다. 하지만, NN 카테고리의 예측 확률과 상대적 관측 횟수의 선형성은 APCC PMME에 비해 다소나마 개선된 모습으로 나타난다. 분석 결과를 바탕으로 우수한 성능을 보이는 예측 변수와 계절에 대해서 PLCF의 결과를 한반도 최종 예보에 적극적으로 반영할 수 있을 것이다.

Table 4.4. Specific seasons and categories showing superiority of PLCF compared to APCC PMME

		Tavg	Rain
Category	Success rate	PLCF-z500 (DJF) PLCF-V850 (DJF)	PLCF-z500 (JJA) PLCF-V850 (DJF, JJA, SON)
	ROC	PLCF-z500 (SON)	PLCF-V850 (DJF, JJA, SON)
Probability	Reliability	PLCF-V850 (NN)	PLCF-z500 (NN) PLCF-V850 (NN)

CLIMT-K는 올해 처음으로 연구/개발된 시스템이기 때문에, 안타깝게도 PLCF에 적용된 변수와 그 영역에 대한 충분한 민감도 검사가 이루어지지 못하였다. 한반도 기온/강수에 영향을 끼치는 주변 대기 순환장의 범위는 계절적으로 다르고 관련 순환장을 모형이 재현하는 정도도 제 각각이기 때문에, 영역 그리고 확률분포를 합산하는 방법에 변형을 주어 다양한 민감도 실험을 수행함으로써 PLCF 성능을 개선할 수 있을 것이다. 또한 현재 PLCF에서 과거 한반도 자료 샘플로부터 확률분포를 구할 때 정규 분포를 가정하고 있는데 이러한 모수화 방법이 적절한지에 대해서도 추가 검증이 필요할

것이다. 예를 들어, 과거 강수 샘플의 분포는 감마 분포와 유사하기 때문에 정규 분포 가정에 대한 이견이 있을 수 있지만, CLIMT-K에서처럼 매우 적은 샘플을 이용할 경우에 감마 분포를 가정하는 것이 적절한지에 대해서는 확신할 수 없다.

현재 CLIMT-K PLCF 에서는 한반도 주변 순환 패턴이 유사한 과거를 고를 때 RMSE 대비 PCC의 값이 큰 순서로 8개의 해를 선택하고 있다. 이 때 적용한 메트릭이 순환 패턴 유사성을 판별하는 기준으로 적합한지, 그렇지 않다면 클러스터링처럼 직접적인 공간 패턴 디텍팅 방법을 적용해야 하는지, 8개라는 샘플 숫자가 과연 적절한지에 등에 대해서는 세부적인 실험들이 이루어지지 못했다. 이러한 질문들은 앞 문단에서 제시한 대기 순환장 영역, 모형간 합산 방법, 분포 모수화 방법 등과 더불어 향후 매우 가치 있는 연구 주제가 될 수 있겠고, 이러한 연구를 통해서 추후 CLIMT-K 시스템을 개선할 수 있을 것으로 기대된다.

계절 기후 예측의 편의를 위해 본 과제에서 제안하는 두 번째 지침은 재분석 자료와 MME/개별모델 Hindcast 자료를 모두 사용하여 한반도 기온 및 강수량과 관련된 기후 지수, 또한 그와 관련된 대기순환장을 통합적으로 분석한 결과를 일종의 표의 형태로 제공하는 것이다. APCC는 매달 개별 모델들의 계절 기후 예측 자료를 MME 기법을 통해 전지구 기후 예측장을 생산하고 있으며 이는 기상청에서 수행하는 3개월 장기 예보 생산을 위한 주요 자료로 활용되고 있다. 보다 신뢰성 높은 결과를 위해 MME 예측 자료뿐만 아니라 한반도에 영향을 주는 다양한 기후 지수들을 고려해 왔으나 사용하는 자료는 관측 자료에 한정되어 있었으며 기존 연구에 의존하는 경향이 있었다. 또한 APCC 웹사이트를 통해서 여러 해양 및 대기지수를 관측하고 예측하고 있으나 이와 관련된 대기순환장에 대한 분석이 체계화되어 있지 않았다. 실제로 예보 생산을 위해 MME 예측 자료를 사용하고 있으므로 기후 지수와 관련된 대기순환장을 관측 자료뿐만 아니라 MME 예측 자료에도 초점을 맞추어 살펴보았다.

APCC는 웹사이트 및 이메일을 통해 매월 Niño3.4와 DMI를 관측 및 예측하고 있을 뿐만 아니라 이를 포함하여 총 26개의 기후 지수를 관측하고 그 중 9개의 지수를 MME 자료를 사용하여 예측하고 있다. 한반도 기온 및 강수량 장기 예보를 위하여 한반도의 기후와 관련 있는 예측 지수를 선정하기 위하여 1) APCC의 예측 여부, 2) 관측 자료로 계산된 지수들과의 상관관계, 3) 한반도 기온 및 강수량과의 상관관계를 기

준으로 설정하여 해양 지수 중 Niño3.4와 DMI, 기후 지수 중 PNA, WP, NP, AO를 선정하였다. 관측 자료로 계산된 Niño3.4와 MME Hindcast 자료로 계산된 Niño3.4는 전 월에 걸쳐 상관성이 0.9 이상으로 매우 높게 나타나며 DMI는 2월과 6월의 제외하고 지수간의 상관관계가 높다. 대기 지수 중 PNA, NP, AO는 1월에 지수 사이의 상관관계가 통계적으로 유의하며 WP의 경우는 지수 사이의 상관관계가 유의하지 않지만 한반도 기온 및 강수량과의 유의한 상관관계가 나타나므로 선정하였다.

재분석 자료, MME 및 개별 모델 Hindcast 자료로 생산된 기후 지수에 대한 전지구 기온과 강수량 및 850hPa 바람장의 반응, 한반도의 기온 및 강수량과의 상관관계를 표 형식으로 구축하여 매월 계절 예보 전망 시 이용이 편리하도록 하였다. 각 지수에 대한 재분석 및 MME Hindcast 자료의 기온 및 강수량의 회귀장을 12개월에 대해 병치시켰으며 850hPa 바람장은 강수량과 함께 나타내었다. 각 회귀장의 왼쪽 상단에는 한반도 기온 및 강수량과 기후 지수의 상관관계를 기입하였다. 또한 재분석 자료와 MME Hindcast 자료에서 모두 상관관계가 통계적으로 유의할 경우 배경을 노란색으로 표시하였다. 또한 병치된 회귀장들의 공간적인 상관도를 동아시아에 대해 계산하여 각 지수의 하단에 PCC의 시계열을 제시하였다. MME Hindcast 자료의 회귀장에는 MME를 구성하는 개별 모델들의 회귀장 정보도 포함시켰다. 각 개별 모델로 생산한 기후 지수에 회귀시켜 얻은 각 개별 모델의 전지구 기온 및 강수량의 회귀계수들 사이의 편차를 계산하여 그 편차가 작은 곳, 즉 개별 모델들이 기후 지수에 대해 일관된 반응을 보이는 지점을 점으로 표시하여 개별모델에 대한 정보를 MME Hindcast 자료의 회귀장과 함께 살펴볼 수 있도록 하였다.

6개의 기후 지수, 기온 및 강수량 2개의 변수, 12개월에 대해 생산된 회귀장 중 12월 Niño3.4와 강수량과 850hPa 바람장, 1월 AO와 기온에 대해 조금 더 자세히 살펴 보았다. 12월 동안 Niño3.4의 양의 편차는 서태평양의 발산과 열대 중앙 및 동태평양의 수렴과 관련되어 있고 이는 서태평양에 음의 강수 편차와 열대 중앙 및 동태평양에 양의 강수 편차를 일으킨다. 또한 엘니뇨와 관련된 해면기압 패턴, 즉 서태평양의 고기압성 편차와 동태평양의 저기압성 편차가 나타난다. 이러한 강수량 및 해면기압 편차의 모습은 MME Hindcast 자료에서도 유사하게 나타난다. 또한 한반도에 위치한 동서 방향의 양의 강수 편차 및 남풍 계열의 유입도 관측과 유사하게 모의한다. 이를 통해

12월 강수량 전망 시에는 APCC의 Niño3.4 예측값에 대한 MME 강수량과 해면기압 패턴을 함께 고려해야할 것이다. AO는 1월에 동시베리아 및 한반도 쪽에 양의 기온 편차와 관련이 있는데 MME Hindcast는 그 영역이 한반도에서 다소 북쪽으로 치우쳐진 모습으로 모의한다. 기온과 관련된 기압골과 기압능의 모습을 500hPa 지위고도 자료로 살펴보면 재분석 자료에서는 한반도를 포함한 동아시아와 북태평양 북부 영역을 덮는 고기압성 편차가 뚜렷이 나타나며 MME Hindcast는 기온에서와 마찬가지로 한반도 북쪽으로 고기압성 편차를 모의하는 특성이 있다. 이에 따라 1월 기온 전망 시에는 위와 같은 AO 관련 MME 기온 및 기압장의 특성을 감안하여야 할 것이다.

본 과제에서는 1983년부터 2005년까지 23년 동안의 MME 및 개별 모델 Hindcast에 대한 분석이 이루어졌고 사용자 편의를 위해 일정 기준에 의해 선정한 6개의 지수를 다루었다. 차후에는 2008년부터 매월 생산하고 있는 실시간 예측 자료를 사용하여 지수를 생산 및 선정하고 그와 관련된 대기순환장을 살펴봐야할 것이다. 또한 매달 새로운 예측 자료가 생산되기 때문에 본 과제에서처럼 일괄적으로 구축된 참고표 형태가 아닌 GUI 형태의 시스템을 구축하여 사용자가 분석하고자 하는 월, 기후 지수, 대기 변수에 대한 결과를 손쉽게 얻을 수 있도록 하는 것도 필요하다.

5. 결론 및 토론

본 과제는 APCC의 신뢰도 높은 기후예측정보를 생산 및 제공하기 위해 3개의 큰 주제로 구분하여 연구가 수행되었다. 첫 번째로 예측기술에 대한 지속적인 개발 및 개선에 대한 연구를 진행하였으며, 두 번째는 개별모형 및 다중모형 앙상블 예측자료에 대한 모형 특성 분석 및 예측성 평가를 수행하였다. 마지막으로 한반도 기온 및 강수의 계절예측정보를 향상시키기 위해 모형자료의 재해석 및 운영지침에 대한 연구를 수행하였다.

2장에서는 APCC 기후예측시스템의 안정적이고 효율적인 운영을 위해 우선 전처리 과정, Hindcast와 Forecast에 대한 개선 및 개발을 수행하였다. 최적의 현업운영과정을 설계하고, 불필요한 작업으로 인한 인적자원 및 시간낭비를 최소화하기 위해 모든 개선 과정에 대한 설계와 규칙을 적용하였다. 현재 운영중인 AFS는 시스템을 구성하는 스크립트, 포트란 모듈 등이 과거 32비트 운영체제 환경에서 구축되어있다. 또한 다년간의 개발 및 운영에 따른 소스코드 내 불필요한 함수와 프로시저 존재, 노후화된 하드웨어 및 오래된 소프트웨어 버전 사용, RUN 스크립트 작성에 사용된 루비(Ruby)의 버전 호환성, NCL 버전 호환성, 특정 포트란 컴파일러 의존성 등의 문제점이 발견되었다. 그리고 3/6개월 예측기간에 따라 입력 자료가 개별로 관리됨으로써 불필요한 스토리지 자원 사용 및 예측 기간이 변경될 경우 확장성이 떨어지는 문제점이 발견되었다. 전처리 과정은 실행프로그램명 및 코드 모듈명 규칙 설정 및 정리, 효율적인 현업운영을 위한 메인 프로그램의 개발, 전처리 프로그램 구성의 통일, AFS와 전처리의 결합, Data 표준화 과정중 binary 자료 생성과정 생략을 통해 개선을 하였다. 64비트 운영체제 환경에서 최신 버전의 소프트웨어를 이용하여 현재 운영중인 AFS의 Hindcast와 Forecast의 이식 및 테스트, 포트란 컴파일러의 의존성 분석, 예측 결과의 비교 및 검토, 그리고 예측 기간에 상관없이 이용 가능한 입력 자료의 단일화부분이 개선이 되었다. 따라서 AFS의 개선을 통해 APCC는 보다 안정적이고 효율적인 기후예측정보 생산체제 구축되었다.

실시간 예측정보를 제공하는 현업기관으로써 매해 생산하고 있는 실시간 예측정보에 대한 객관적인 평가 및 그 해의 전반적인 기후 특성, 예측력의 원인 등에 대한 분석은 현 예측시스템에 대한 이해와 향후 시스템개선을 위한 방향성을 제시해줄 수 있는 기

초자료가 된다는 점에서 무엇보다 중요한 부분임에는 틀림없다. 하지만, 현업시스템의 운영 및 가시적인 결과를 도출할 수 있는 새로운 기술 개발에 대한 노력에 비해 실시간 예측정보에 대한 평가는 소홀히 했던 것도 사실이다. 따라서 본 과제에서는 지난 2016년 APCC 홈페이지를 통해 제공한 매월 6개월(SST 및 ENSO) 및 3개월(전지구 순환 패턴) 예측정보에 대한 검증을 수행하였다. 그 결과, 2015/16 강한 엘니뇨의 영향으로 대부분의 지역/계절에서 APCC MME 예측력은 높았던 것으로 나타났고, 또한 22년에 대한 Hindcast 및 최근 8년간의 실시간 예측의 평균예측력보다 높게 나타났다. 앞으로 APCC는 매년 지난해에 대한 기후분석 및 예측력평가를 좀 더 객관적이고 포괄적으로 수행할 계획이며, 이를 통해 APCC 계절기후 예측 시스템의 현재 수준 및 한계점 등을 파악하여 향후 이를 개선하는데 활용될 수 있을 것으로 기대한다. 또한, APCC MME 예측력을 향상시키기 위해서는 좀 더 다양한 모델의 참여가 중요함을 확인 할 수 있었다.

우리나라를 포함하는 동아시아의 겨울철 월별 기온의 예측성을 분석하고 겨울철 이상 기후의 모의 특성이 분석되었다. 동아시아 겨울철 기온 예측성은 경년 편차가 두드러지게 나타나며, 특히 추운 겨울해 예측성이 매우 낮게 나타난다. 낮은 예측 스킬의 원인을 분석하기 위해 겨울철 기온의 경년 변동에 영향을 미치는 주요 기온 모드가 분석되었으며, 예측성과의 관계가 분석되었다. MME 예측은 1월의 경우 0.61의 신뢰할 만한 스킬을 보였으며, 겨울철 극한 기후의 위상 또한 매우 잘 예측하였다. 12월과 2월의 경우 MME는 관측에 비해 지구 온난화 경향을 강하게 모의하며, 따뜻한 겨울해의 수를 많이 모의함으로써 추운 겨울해에 비해 따뜻한 겨울해의 예측 성능을 높이는 경향이 있었다. 또한 겨울철 예측 특성 분석을 통해 기온 예측성 향상을 위한 예측기법이 개발되었다. 역학 모형으로부터 예측된 대규모 변수들간의 물리적 관계와 주요 기온모드의 분석을 기반으로 두 개의 역학-통계 하이브리드 모형이 구축되었다. 하이브리드 예측 모형은 역학 모형에서 과소 모의되는 기온의 경년 변동 크기를 관측과 유사한 크기로 모의하며, 온도의 극한 위상들의 예측 또한 개선시킴으로써 일관적으로 향상된 스킬을 제시하였다. 이는 우리나라를 포함하는 동아시아의 겨울철 기온 예측력 향상에 도움이 될 것으로 기대한다.

마지막으로, APCC MME로부터 생산된 기후 정보를 목적에 맞게 가공하고 내재된

의미를 효과적으로 파악할 수 있도록 손에 잡히는 가이드를 제공하고자 한다. 이를 위하여 첫째로 한반도 통합 예보를 위한 가이드 프로그램인 CLIMT-K를 개발하였는데, 간단한 변수 입력과 몇 번의 클릭만으로 모든 과정이 수행되도록 설계하였다. CLIMT-K에서는 APCC MME 검증과 ENSO/빙권 시그널과 관련성 등 분석 정보를 자동으로 갱신하고, 한반도 맞춤형 월별 삼분위 확률 예보를 종합적으로 제시하며, 마지막으로 생산된 최종 그래픽을 웹에 표출하여 누구나 쉽게 접근이 가능하다. CLIMT-K에는 한반도 주변 대규모 순환장의 모형 결과 유사성에 기반하여 확률 예보를 생산하는 기능(PLCF)이 포함되어 있는데, 특히 대부분 계절에서 강수 카테고리 예보에 있어서 APCC PMME보다 우수한 성능을 보여서 그 활용성이 기대된다. 두 번째로 제안하는 가이드는 한반도 기온 및 강수량에 영향을 주는 기후 지수, 그와 관련된 월별 대기 순환장 분석 정보를 통합적으로 제공하는 일종의 참고 표이다. 이를 위해 관측 자료에 국한되지 않고 한반도 계절 기후 예보에 실질적으로 사용하는 자료인 MME 자료에까지 분석의 범위를 확대하였으며 APCC가 기존에 관측 및 예측하고 있던 해양 지수인 Niño3.4 및 DMI 뿐만 아니라 일정 기준 하에 선별된 대기 지수들(PNA, WP, NP, AO) 도 다룸으로써 한반도 계절 기후 전망에 포괄적인 정보를 제공하는 데 초점을 맞추었다. 본 과제에서 제시하는 두 형태의 가이드를 효과적으로 이용함으로써 APCC 예보자들이 한반도 기온/강수에 대해 좀 더 신뢰도 있는 예보를 내고, 이러한 활동들이 APCC 자체 역량 강화로 이어질 수 있기를 희망한다.

이러한 결과들은 APCC 기후예측 시스템의 효율적인 운영에 많은 기여를 할 것이며, 차년도에도 지속적으로 기후예측시스템 운영체계의 구조개선 및 자동화, 최신 소프트웨어 적용 등을 통해 보다 안정적이고 효율적인 기후예측정보 생산체계 구축해 나갈 것이다. 또한 개별 모형 및 MME 검증을 통해 APCC 계절기후 예측 시스템의 현재 수준 및 한계점 등을 파악하여 향후 이를 개선하는데 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

REFERENCES

- 권민호, 2015: 여름철 동아시아 몬순/장마 계절예측 기술 개발
- 기상청, 2016: 여름철 3개월 전망 보도자료. 2016년 5월 23일
- Ahn, J. B., and H. J. Kim, 2013: Improvement of one-month lead predictability of the wintertime AO using a realistically varying solar constant for a CGCM. *Meteorol. Appl.*, 21, 415-418.
- Alessandri, A., A. Borrell, S. Masina, and coauthors, 2010: The INGV-CMCC seasonal prediction system: improved ocean initial conditions. *Mon. Wea. Rev.*, 138, 2930-2952.
- Alessandri, A., and Coauthors, 2017: Grand European and Asian-Pacific multi-model seasonal forecasts: maximization of skill and of potential economical value to end-users. *Climate Dynamics*, doi:10.1007/s00382-017-3766-y
- Ashok, K., S. K. Behera, S. A. Rao, H. Weng, and T. Yamagata, 2007: El Niño Modoki and its possible teleconnection. *J. Geophys. Res.*, **112**, C11007, doi:10.1029/2006JC003798.
- Barnston, A. G., and coauthors, 2012: Skill of real-time seasonal ENSO model predictions during 2002–2011. Is our capability incaseing? *BAMS*, 93, 631–651.
- Barnston, A. G. and R. E. Livezey, 1987: Classification, seasonality and presistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Mon. Wea. Rev.*, **115**, 1083–1126.
- Barnston, A. G., L. Shuhua, S. J. Mason, D. G. DeWitt, L. Goddard, and X. Gong, 2010: Verification of the first 11 years of IRI's seasonal climate forecast, *J. Appl. Meteorol. Climatol.*, 49, 493–520.
- Barnston, A. G., M. K. Tippett, and M. Ranganathan, 2017: Deterministic skill of ENSO predictions from the North American Multimodel Ensemble. *Clim. Dyn.* doi:10.1007/s00382-017-3603-3.
- Barnston, A. G., S. J. Mason, L. Goddard, D. G. Dewitt, and S. E. Zebiak, 2003: Multimodel ensembling in seasonal climate forecasting at IRI. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **84**, 1783–1796.
- Boo, K.O., G. Martin, A. Sellar, C. Senior, and Y.H. Byun, 2011: Evaluating the East Asian monsoon simulation in climate models. *J. Geophys. Res.*, 116, D01109, doi:10.1029/2010JD014737.
- Chang, C.P., Z. Wang, and H. Hendon, 2006: The Asian winter monsoon. *The Asian Monsoon*, B. Wang, Ed., Springer, 89–127.

- Cohen, J. and M. Barlow, 2005: The NAO, the AO, and global warming: How closely related? *J. Climate*, **18**, 4498–4513.
- Cohen, J., and J. Jones, 2011: A new index for more accurate winter predictions. *Geophysical Research Letters*, **38**.
- Cohen, J., M. Barlow, P. J. Kushner, and K. Saito, 2007: Stratosphere-troposphere coupling and links with Eurasian land surface variability. *Journal of Climate*, **20**, 5335–5343.
- Deser, C., A. S. Phillips, R. A. Tomas, and coauthors, 2012: ENSO and Pacific decadal variability in the community climate system model version 4. *J. Clim.*, **25**, 2622–2651.
- Deser, Clara and M. S. Timlin, 1997: Atmosphere–Ocean interaction on weekly timescales in the North Atlantic and Pacific. *J. Climate*, **10**, 393–408.
- Ding, Y., and D.R. Sikka, 2006: Synoptic systems and weather in The Asian Monsoon, edited by B. Wang, pp 141–201, Praxis, New York.
- Doblas-Reyes, F. J., M. Déqué, and J. P. Pielikevire, 2000: Multi-model spread and probabilistic seasonal forecasts in PROVOST. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **126**, 2069–2087.
- Doblas-Reyes, F. J., R. Hagedorn, and T. N. Palmer, 2005: The rationale behind the success of multi-model ensembles in seasonal forecasting:II. Calibration and combination, *Tellus Ser. A*, **57**, 234–252.
- Enfield, D. B., A. M. Mestas, D. A. Mayer, and L. Cid-Serrano, 1999: How ubiquitous is the dipole relationship in tropical Atlantic sea surface temperatures? *J. Geophys. Res.*, **104**, 7841–7848.
- Fu, Y., R. Lu, H. Wang, and X. Yang, 2013: Impact of overestimated ENSO variability in the relationship between ENSO and East Asia summer rainfall. *J. Geo. Res.*, **118**, 6200–6211.
- Hagedorn, R., F. J. Doblas-Reyes, and T. N. Palmer, 2005: The rationale behind the success of multi-model ensembles in seasonal forecasting: I. Basic concept, *Tellus Ser. A*, **57**, 219–233.
- Hagedorn, R., F. J. DOBLAS-REYES, and T. Palmer, 2005: The rationale behind the success of multi-model ensembles in seasonal forecasting–I. Basic concept. *Tellus A*, **57**, 219–233.
- Hanley, J. A., and B. J. McNeil, 1982: The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve. *Radiology*, **143**, 29–36.
- Hoerling, M. P., A. Kumar, and T. Xu, 2001: Robustness of the nonlinear climate response

- to ENSO's extreme phases. *J. Climate*, **14** (6), 1277–1293.
- Honda, M., J. Inoue, and S. Yamane, 2009: Influence of low Arctic sea-ice minima on anomalously cold Eurasian winters. *Geophysical Research Letters*, **36**, L08707, doi:10.1029/2008GL037079
- Hu, Z. Z., A. Kumar, B. Huang, W. Wang, W. Zhen, and C. Wen, 2013: Prediction skill of monthly SST in the North Atlantic Ocean in NCEP Climate Forecast System version 2. *Clim. Dyn.*, **40**, 2745–2756.
- Huang, B., and Coauthors, 2015: Extended Reconstructed Sea Surface Temperature Version 4 (ERSST.v4). Part I: Upgrades and Intercomparisons. *Journal of Climate*, **28**, 911–930.
- Hurrell, J. W., and C. Deser, 2009: North Atlantic climate variability: The role of the North Atlantic Oscillation. *J. Mar. Syst.*, **78** (1), 28–41, DOI:10.1016/j.jmarsys.2008.11.026.
- Infanti, J. M. and B. P. Kirtman, 2016: Prediction and predictability of land and atmosphere initialized CCSM4 climate forecasts over North America. *J. Geophys. Res.*, **121**, 12690–12701.
- Janowiak, J. E., and P. Xie, 1999: CAMS_OPI: a global satellite–raingauge merged product for real-time precipitation monitoring applications. *J. Climate*, **12**, 3335–3342.
- Jeong, H. I., K. Ashok, B. G. Song, and Y. M. Min, 2008: Experimental 6-month Hindcast and forecast simulation using CCSM3. APCC 2008 Technical Report. APEC Climate Center, Korea
- Jeong, J.-H., and C.-H. Ho, 2005: Changes in occurrence of cold surges over east Asia in association with Arctic Oscillation. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L14704, doi:10.1029/2005GL02302.
- Jia, X., H. Lin, J. Y. Lee, and B. Wang, 2012: Season-dependent forecast skill of the dominant atmospheric circulation patterns over the Pacific North-American region. *J. Clim.*, **25**, 7248–7265.
- Jin, E., J. Kirtman, B. Wang, and others, 2008: Current status of ENSO prediction skill in coupled ocean–atmosphere models. *Clim. Dyn.*, **31**, 647–664.
- Jolliffe, I. T., and D. B. Stephenson, 2003: *Forecast verification: a practitioner's guide in atmospheric science*. John Wiley & Sons.
- Kanamitsu, M., W. Ebisuzaki, J. Woollen, S.K. Yang, J. Hnilo, M. Fiorino, and G. Potter, 2002: NCEP–DOE Amip–2 reanalysis (r-2). *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, **83** (11), 1631–1643.
- Kang, D. and M. I. Lee, 2017: ENSO influence on the dynamical seasonal prediction of the East Asian Winter Monsoon. *Clim. Dyn.*, doi:10.1007/s00382-017-3574-4.

- Kim, B.-M., and Coauthors, 2014: Weakening of the stratospheric polar vortex by Arctic sea-ice loss. *Nat Commun*, **5**, 4646.
- Kirtman, B, and coauthors, 2014: The North American multi-model ensemble (NMME): phase-1 seasonal to interannual prediction, phase-2 toward developing intra-seasonal prediction. *BAMS*, 95, 583–601.
- Korea Meteorological Administration, 2016 : Seasonal prediction guidance based on climate monitoring and analysis (II), *Korea Meteorological Administration*.
- Krishnamurti, T. N., and Coauthors, 1999: Improved Weather and Seasonal Climate Forecasts from Multimodel Superensemble. *Science*, **285**, 1548–1550.
- Krishnamurti, T. N., and Coauthors, 2000: Multimodel ensemble forecasts for weather and seasonal climate. *Journal of Climate*, **13**, 4196–4216.
- Kug, J.-S., J.-H. Jeong, Y.-S. Jang, B.-M. Kim, C. K. Folland, S.-K. Min, and S.-W. Son, 2015: Two distinct influences of Arctic warming on cold winters over North America and East Asia. *Nature Geoscience*, **8**, 759–762.
- Larson, S. M., and B. P. Kirtman, 2016: Drivers of coupled model ENSO error dynamics and the spring predictability barrier. *Clim. Dyn.*, doi:10.1007/s00382-016-3290-5.
- Lee, D. Y., J. B. Ahn, K. Ashok, and A. Alessandri, 2013: Improvement of grand multi-model ensemble prediction skills for the coupled models of APCC/ENSEMBLES using a climate filter. *Atmos. Sci. Lett.*, **14**, 139–145.
- Lee, J. Y., and B. Wang, 2012: Seasonal climate prediction and predictability of atmospheric circulation, in *Climate Models*, edited by L. M. Druyan, pp. 19–42, InTech Rijeka, Croatia, doi:10.5772/33782.
- Lee, J. Y., S. S. Lee, B. Wang, K. J. Ha, J. G. Jhun, 2013 Seasonal prediction and predictability of the Asian winter temperature variability, *Clim. Dyn.*, 41, 473–587, doi:10.1007/s00382-012-1588-5.
- Lim, E. P., H. H. Hendon, S. Langford, and O. Alves, 2012: Improvements in POAMA2 for the prediction of major climate drivers and south eastern Australian rainfall CAWCR Tech. Rep. No. 051.
- Merryfield, W. J. and coauthors, 2013: The Canadian seasonal to interannual prediction system. Part I: models and initialization. *Mon. Wea. Rev.*, 141, 2910–2945.
- Min, Y. M., 2015: Development of a real-time verification system for the APCC operational multi-model ensemble prediction. Research Report of APCC, 2015–03.
- Min, Y. M., V. N. Kryjov, and C. K. Park, 2009: A probabilistic multimodel ensemble approach

- to seasonal prediction, *Weather Forecasting*, 24, 812–828, doi:10.1175/2008WAF2222140.1.
- Min, Y. M., V. N. Kryjov, and S. M. Oh, 2014: Assessment of APCC multimodel ensemble prediction in seasonal climate forecasting: retrospective (1983–2003) and real-time forecasts (2008–2013). *J. Geo. Res.*, 119 (21), 12,132–12,150.
- Min, Y. M., V. N. Kryjov, S. M. Oh, and H. J. Lee, 2017: Skill of real-time operational forecasts with the APCC multi-model ensemble prediction system during the period 2008–2015. *Clim. Dyn.*, doi:10.1007/s00382-017-3576-2.
- Mori, M., M. Watanabe, H. Shiogama, J. Inoue, and M. Kimoto, 2014: Robust Arctic sea-ice influence on the frequent Eurasian cold winters in past decades. *Nature Geoscience*, 7, 869–873.
- Murphy, A. H., 1977: The Value of Climatological, Categorical and Probabilistic Forecasts in the Cost-Loss Ratio Situation. *Monthly Weather Review*, 105, 803–816.
- _____, 1988: Skill Scores Based on the Mean Square Error and Their Relationships to the Correlation Coefficient. *Monthly Weather Review*, 116, 2417–2424.
- Murphy, A. H., and E. S. Epstein, 1989: Skill Scores and Correlation Coefficients in Model Verification. *Monthly Weather Review*, 117, 572–582.
- Murphy, A. H., and R. L. Winkler, 1977: Reliability of Subjective Probability Forecasts of Precipitation and Temperature. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, 26, 41–47.
- National Research Council, 2010: Assessment of intraseasonal to interannual climate prediction and predictability. national Academies Press, Washington. ISBN-10:0-309-15183-X.
- Nevin, J. A., 1969: SIGNAL DETECTION THEORY AND OPERANT BEHAVIOR: A Review of David M. Green and John A. Swets' Signal Detection Theory and Psychophysics.1. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 12, 475–480.
- NOAA, 2017: NOAA National Centers for Environmental Information, State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2016, published online January 2017, retrieved on October 11, 2017 from <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201613>.
- Palmer, T., Č. Branković, and D. Richardson, 2000: A probability and decision-model analysis of PROVOST seasonal multi-model ensemble integrations. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 126, 2013–2033.
- Panofsky, H. A., G. W. Brier, and W. H. Best, 1958: Some application of statistics to meteorology.

- Park, T.-W., C.-H. Ho, and S. Yang, 2011: Relationship between Arctic Oscillation and Cold Surges over East Asia. *J. Climate*, **24** (1), 68–83.
- Park, T.W., C.H. Ho, and S. Yang, 2011: Relationship between the Arctic Oscillation and cold surges over East Asia. *J. Climate*, 24, 68–83.
- Reynolds, R. W., N. A. Rayner, T.M. Smith, D. C. Stokes, and W. Wang, 2002: An improved in situ and satellite SST analysis for climate. *J. Climate*, **15**, 1609–1625.
- Saha, S., and coauthors, 2010: The NCEP climate forecast system reanalysis. *J. Clim.*, doi:10.1175/JCLI-D-12-00823.1
- Saha, S., and coauthors, 2014: The NCEP climate forecast system version 2. *J. Clim.*, 27, 2185–2208.
- Saji, N. H., and T. Yamagata, 2003: Possible impacts of Indian Ocean Dipole mode events on global climate. *Climate Res.*, 25 (2), 151–169 DEC 5 2003.
- Saji, N. H., B. N. Goswami, P.N. Vinayachandran, and T. Yamagata, 1999: A dipole mode in the tropical Indian Ocean. *Nature*, **401**, 360–363.
- Schwing, F. B., T. Murphree, and P. M. Green, 2002: The Northern Oscillation Index (NOI): a new climate index for the northeast Pacific. *Progress in Oceanography*, **53**, 115–139.
- Scinocca, J. F., N. A. McFarlane, M. Lazare, J. Li, and D. Plummer, 2008: The CCCma third generation AGCM and its extension into the middle atmosphere. *Atmos. Chem. Phys.*, 8, 7055–7074.
- Shukla, J., and Coauthors, 2000: Dynamical seasonal prediction. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **81**, 2593–2606.
- Son, H.-Y., J.-Y. Park, J.-S. Kug, J.-H. Yoo and C.-H. Kim, 2014: Winter precipitation variability over Korean Peninsula associated with ENSO. *Clim. Dyn.*, **41**, 11–12, DOI:10.1007/s00382-013-2008-1.
- Sung, M.-K., W.-T. Kwon, H.-J. Baek, K.-O. Boo, and G.-H. Lim, 2006: A possible impact of the North Atlantic Oscillation on the east Asian summer monsoon precipitation. *Geophys. res. Lett.*, 33, L21713, doi:10.1029/2006GL027253.
- TCC, 2017: Tokyo Climate Center (TCC) News. No. 47, Winter 2017.
- Tippett, M. K., M. Ranganathan, M. L'Heureux, A. G. Barnston, and T. Delsole, 2017: Assessing probabilistic predictions of ENSO phase and intensity from the North American Multimodel Ensemble. *Clim. Dyn.*, doi:10.1007/s00382-017-37210-y.
- Trenberth, 1997: The definition of El Niño. *Bull. Amer. Met. Soc.*, **78**, 2771–2777.
- Trenberth, K. E. and D. J. Shea, 1987: On the evolution of the Southern Oscillation. *Mon.*

- Wea. Rev.*, **115**, 3078–3096.
- Trenberth, K. E. and D. P. Stepaniak, 2001: Indices of El Niño evolution. *J. Climate*, **14**, 1697–1701.
- Wallace J. M. and D. S. Gutzler, 1981: Teleconnections in the geopotential height field during the northern hemisphere winter. *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 784–812.
- Wang, B., and coauthors, 2009: Advance and prospectus of seasonal prediction: Assessment of the APCC/CLIPAS 14-model ensemble retrospective seasonal prediction (1980 – 2004), *Clim. Dyn.*, 33,93–117, doi:10.1007/s00382-008-0460-0.
- Wang, B., Z. Wu, C.P. Chang, J. Liu, J. Li, T. Zhou, 2010: Another look at interannual-to interdecadal variations of the East Asian winter monsoon: the northern and southern temperature modes. *J. Clim.*, 23, 1495–1512.
- Wilks, D. S., 2011: *Statistical methods in the atmospheric sciences*. Vol. 100, Academic press.
- Wilks, D. S., 2006: Statistical methods in the atmospheric sciences, International Geophysics Series, 2nd end, 91. Academic Press, pp 627
- WMO, W., 2006: Standardised verification system (SVS) for long-range forecasts (LRF), (attachment II. 8), manual on the global data-processing system. WMO.
- Woo, S.-H., B.-M. Kim, J.-H. Jeong, S.-J. Kim, and G.-H. Lim, 2012: Decadal changes in surface air temperature variability and cold surge characteristics over northeast Asia and their relation with the Arctic Oscillation for the past three decades (1979–2011). *J. Geophys. Res.*, **117**, D18117, doi:10.1029/2011JD016929.
- Xue, Y., M. Chen, A. Kumar, Z. Z. Hu, and W. Wang, 2013: Prediction skill and bias of tropical Pacific sea surface temperatures in the NCEP Climate Forecast System version 2. *J. Clim.*, 26, 5358–5378.
- Yu, J.-Y., and S.-T. Kim, 2013: Identifying the types of major El Niño events since 1870. *Int. J. Climatol.*, **33**, 2105–2112.
- Zheng, Z., Z. Z. Hu, and M. L’Heureux, 2016: Predictable components of ENSO evolution in real-time multi-model prediction. Scientific Reports, 6, doi:10.1038/srep35909.

APPENDIX 1**Appendix A.1**

Pre-Processing of Individual Models for APCC MME

(Submitted by Hyun-Ju Lee)

(1) Summary and Purpose of this Document

This document describes the full production line for pre-processing of individual model for APCC MME.

Pre-Processing

1. Introduction

The APEC Climate Center (APCC) routinely collects 6-month hind/Forecast datasets from 17 operational climate centers and research institutes. This document describes complete procedures to transform datasets of individual models into a uniform format such as NetCDF.

2. Individual Model

The following table lists the organizations and institutes that contributes individually to the APCC MME seasonal prediction.

Country	Organization/Institute	Abbreviation
Australia	Australian Bureau of Meteorology	BOM
Canada	Meteorological Service of Canada	MSC
China	Beijing Climate Center	BCC
Italy	Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici	CMCC
Japan	Japan Meteorological Agency	JMA
Korea	Korea Meteorological Administration	KMA
	Pusan National University	PNU
Russia	Main Geophysical Observatory of Russia	MGO
	Hydrometeorological Centre of Russia	HMC
Chinese Taipei	Central Weather Bureau of Chinese Taipei	CWB
USA	National Aeronautics and Space Administration	NASA
	National Center for Environmental Prediction	NCEP
UK	Met Office	UKMO

3. Operational Procedure

To pre-process individual models, we are required to edit the file ‘test_model.yml’ according to the abbreviation of each individual model and to run the program ‘runPRE.py’ in the following directory: (210,98.49.41)/data02/OPER/PRE/.

```
> cd /data02/OPER/PRE/
> vi test_model.yml
> python runPRE.py
```

Appendix A.2

Pre-Processing of BCC Model Datasets

(Submitted by Hyun-Ju Lee)

(2) Summary and Purpose of this Document

This document describes the full production line for pre-processing of BCC Hindcast and Forecast model datasets.

BCC Pre-Processing

1. Introduction

The APCC routinely collects 6-month hind/Forecast datasets from 17 operational/research centers. This document describes the procedures to pre-process the Beijing Climate Center (BCC) model datasets.

2. Directory Structure

The BCC transfers their Forecast and Hindcast datasets to our ftp server (210.98.49.14) every month. We need to download these datasets to our server (210.98.49.41).

- The BCC transfers their Forecast datasets to our ftp server (210.98.49.14) every month and we download those datasets to our server (210.98.49.41).
 - (210.98.49.14) /apccdata01/YYYYSEA/BCC/

- The downloaded raw datasets stored in the following directory:
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/RAW/YYYY/SEA/BCC/
 YYYY = issued year (e.g., 2014); SEA = issued season (e.g., MAM)
- Scripts for BCC pre-processing are in the directory.
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/BCC/
 0.PRE_BCC_SPS.py
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/BCC/src/:
 mknc_bcc_fore.ncl
 mknc_bcc_hind.ncl
- The temporary BCC pre-processing files are stored in the following directory:
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/BCC/datain/
- The pre-processed datasets are present in the following directories.
 - (210.98.49.41)
 /data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/FORECAST/BCC/MON/YYYY/
 /data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/HINDCAST/BCC/MON/YYYY/
 MON = the start month of the Forecast (e.g., JAN)

3. Model Description

Country	China
Institute/Organization	Beijing Climate Center (BCC)
Model designation	
Atmospheric model and Resolution	
Ocean model and Resolution	

4. Data Description

4.1 Hindcast data

Period	1991 to 2015	
Experimental type	Coupled	
Ensemble	24	
Forecast period (in months)	6 months	
Atmospheric initial conditions		
Ocean initial conditions		
SST boundary conditions (if tier-2)		
Land surface initial conditions		
Sea ice initial condition		
Variables	Name	Unit
	MSLP	hPa
	Precipitation	kg/m ² sec
	SST	K
	Surface (2 m) air temperature	K
	Temperature at 850 hPa	K
	Zonal velocity at 200 hPa	m/s
	Zonal velocity at 850 hPa	m/s
	Meridional velocity at 200 hPa	m/s
	Meridional velocity at 850 hPa	m/s
	Geopotential height at 200 hPa	m
	Geopotential height at 500 hPa	m
	Geopotential height at 850 hPa	m
File Name	VAR_YYYYMM01_predict_month_P.nc – VAR = Variable – YYYY = Hindcast year – MM = Hindcast month – P = Ensemble member	

4.2 Forecast data

Period	Issued Year	
Experimental type	Coupled	
Ensemble	24	
Forecast period (in months)	6 months	
Atmospheric initial conditions		
Ocean initial conditions		
SST boundary conditions (if tier-2)		
Land surface initial conditions		
Sea ice initial conditions		
Variables	Name	Unit
	MSLP	hPa
	Precipitation	kg/m ² sec
	SST	K
	Surface (2 m) air temperature	K
	Temperature at 850 hPa	K
	Zonal velocity at 200 hPa	m/s
	Zonal velocity at 850 hPa	m/s
	Meridional velocity at 200 hPa	m/s
	Meridional velocity at 850 hPa	m/s
	Geopotential height at 200 hPa	m
	Geopotential height at 500 hPa	m
	Geopotential height at 850 hPa	m
File Name	VAR_YYYYMM01_predict_month_P.nc - VAR = Variable - YYYY = Initial year - MM = Initial month - P = Ensemble member	

5. Operational Procedure

To pre-process the BCC model, we are required to edit the file 'test_model.yml' and to run the program 'runPRE.py' in the following directory: (210,98.49.41)/data02/OPER/PRE/. Even though we run the file as runPRE.py, we can check the

pre-processing procedure for the BCC model from the file '0.PRE_BCC.py' in the following directory: (210.98.49.41)/data02/OPER/ PRE/BCC. Here, we show the procedure to run the file '0.PRE_BCC.py'.

```
> cd /data02/OPER/PRE/BCC
> python 0.PRE_BCC.py
```

Moreover, pre-processing of the BCC model dataset is conducted as follows.

5.1 Description of '0.PRE_BCC.py'

- Define variables and path.
- Write parameters.
- Get raw data from ftp server.
- Copy and unzip the raw data to indir directory.
- Process Forecast and Hindcast scripts.

5.2 Description of the parameter file 'BCC.Parameters.Source'

Variable	Description
LYEAR	Year 1 month ago
LMON	Last month
NYEAR	Current year
NMON	Current month
FMON1	First month of the forecast period
FYEAR1	First year of the forecast period

5.3 Preprocessing file for the Forecast and Hindcast data

The following script shows the setting of parameters related to the Forecast period, directories, number of ensembles and variables, etc., in files such as mknc_bcc_fore.ncl and mknc_bcc_hind.ncl. The nomenclature and definitions of the variables required in the script appear in the following table.

Variable	Description
YEARS	Forecast years and Hindcast years
MON	First month for forecast range as character
MONTHS	Forecast month range
VARS	Variable name in the title of the raw data file
READVARS	Name of variables used in the nc file
OUTVARS	Name of Variables name in the title of the output file
ENSEMS	Number of ensembles
NMONT	Number of forecast ranges
NVARS	Number of variables
NENSEMS	Number of ensembles
NTIME	Number of forecast months
RAWDIr	Location of the raw data directory

```

13 load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_code.ncl"
14 load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_csm.ncl"
15 load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/contributed.ncl"
16 load "/data01/OPER/AFS/CODE/COMMON/NCL/AFS.Definitions"
17 load "/data01/OPER/AFS/CODE/COMMON/NCL/AFS_WriteData.ncl"
18 load "/data02/OPER/PRE/BCC /BCCV2.Parameters.Source"
19 begin
20 ;=====
21 ; 01. SETTING PRAMETERS(EX.YEAR, MONTH, DIRECTORY)
22 ;=====
23             MONTH_NAMES
(/"FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUL","AUG","SEP","OCT","NOV","DEC","JAN"/)
24 MON             = MONTH_NAMES(NMON-1)

26VARS
(/"slp","prec","sst","T2m","t850","U850","v200","V850","h200","h500","h850"/)
27OUTVARS
(/"slp","prec","sst","T2m","t850","U850","v200","V850","z200","z500","z850"/)
28
29 ENSEMS             = ispan(1,24,1)
30 NVARS             = dimsizes(VARS)
31 NENSEMS           = dimsizes(ENSEMS)
32 NTIME             = 6
33
34 RAWDir            = "/data02/OPER/PRE/BCCV2/datain/forecast/"

(-----continue-----)

```

6. Output

The pre-processed Hindcast and Forecast datasets are stored separately in the following directories:

Hindcast data	/data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/HINDCAST/BCC
Forecast data	/data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/FORECAST/BCC

※ Focal Point: Xiangwen Liu 1. e-mail: xwliu@cma.gov.cn
--

Appendix A.3**Pre-Processing of CMCC Model Datasets**

(Submitted by Hyun-Ju Lee)

(3) Summary and Purpose of this Document

This document describes the full production line for pre-processing of CMCC Hindcast and Forecast model datasets.

CMCC Pre-Processing**1. Introduction**

The APCC routinely collects 6-month hind/Forecast datasets from 17 operational/research centers. This document describes the procedures to pre-process the Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC) model datasets.

2. Directory Structure

The CMCC transfers their Forecast and Hindcast datasets to our ftp server (210.98.49.14) every month. We need to download these datasets to our server (210.98.49.41).

- The CMCC transfers their Forecast datasets to our ftp server (210.98.49.14) every month and we download the datasets those datasets to our server (210.98.49.41).

- (210.98.49.14) /apccdata01/YYYYSEA/CMCC/
- The downloaded raw datasets are stored in the following directory:
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/RAW/YYYY/SEA/CMCC_SPS/
YYYY = issued year (e.g., 2014); SEA = issued season (e.g., MAM)
- This scripts for CMCC pre-processing are in the directory.
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/CMCC_SPS/
0.PRE_CMCC_SPS.py
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/CMCC_SPS/src/:
mknc_cmcc_fore.ncl
mknc_cmcc_hind.ncl
- The CMCC pre-processing files are stored in the following directory :
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/CMCC_SPS/datain/
- The pre-processed datasets are present in the following directories.
 - (210.98.49.41)
/data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/FORECAST/CMCC/MON/YYYY/
/data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/HINDCAST/CMCC/MON/YYYY/
MON = the start month of the Forecast (e.g., JAN)

3. Model Description

Country	ITALY
Institute/Organization	Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC)
Model designation	CMCC-SPSv2
Atmospheric model and Resolution	ECHAM5.3/T63, 19 vertical levels
Ocean model and Resolution	OPA8.2/ ORCA2 grid (2° with refinement at the Equator) – 31 vertical levels

4. Data Description

4.1 Hindcast data

Period	1981 to 2005	
Experimental type	Coupled	
Ensemble	9	
Forecast period (in months)	11 months	
Atmospheric initial conditions	Operational analysis ECMWF	
Ocean initial conditions	CIGODAS – CMCC analysis	
SST boundary conditions (if tier-2)	Operational analysis ECMWF	
Land surface initial conditions	Operational analysis ECMWF	
Sea ice initial condition	Climatological	
Variables	Name	Unit
	MSLP	hPa
	Precipitation	kg/m ² sec
	SST	K
	Surface (2 m) air temperature	K
	Temperature at 200 hPa	K
	Temperature at 500 hPa	K
	Temperature at 850 hPa	K
	Zonal velocity at 200 hPa	m/s
	Zonal velocity at 500 hPa	m/s
	Zonal velocity at 850 hPa	m/s
	Meridional velocity at 200 hPa	m/s
	Meridional velocity at 500 hPa	m/s
	Meridional velocity at 850 hPa	m/s
	Geopotential height at 200 hPa	m
	Geopotential height at 500 hPa	m
	Geopotential height at 850 hPa	m
File Name	CMCC_SPS_YYYYST_P_mMM_VAR.nc.gz - YYYY = Hindcasts year - ST = month start-date - MM = Hindcast month - P = Ensemble member - VAR = Variable	

4.2 Forecast data

Period	Issued Year	
Experimental type	Coupled	
Ensemble	9	
Forecast period (in months)	11 months	
Atmospheric initial conditions	Operational analysis ECMWF	
Ocean initial conditions	CIGODAS – CMCC analysis	
SST boundary conditions (if tier-2)	Operational analysis ECMWF	
Land surface initial conditions	Operational analysis ECMWF	
Sea ice initial condition	Climatological	
Variables	Name	Unit
	MSLP	hPa
	Precipitation	kg/m ² sec
	SST	K
	Surface (2 m) air temperature	K
	Temperature at 200 hPa	K
	Temperature at 500 hPa	K
	Temperature at 850 hPa	K
	Zonal velocity at 200 hPa	m/s
	Zonal velocity at 500 hPa	m/s
	Zonal velocity at 850 hPa	m/s
	Meridional velocity at 200 hPa	m/s
	Meridional velocity at 500 hPa	m/s
	Meridional velocity at 850 hPa	m/s
	Geopotential height at 200 hPa	m
	Geopotential height at 500 hPa	m
	Geopotential height at 850 hPa	m
File Name	CMCC_SPS_YYYYMM_P_monthly_VAR.nc.gz – YYYY = Current year – MM = Forecast month – P = Ensemble member – VAR = Variable	

5. Operational Procedure

To pre-process the CMCC_SPS model, we are required to edit the file 'test_model.yml' and to run the program 'runPRE.py' in the following directory: (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/. Even though we run the file as runPRE.py, we can check the pre-processing procedure for the CMCC_SPS model from the file '0.PRE_CMCC_SPS.py' in the following directory: (210.98.49.41)/data02/OPER/PRE/CMCC_SPS. Here, we show the procedure to run the file '0.PRE_CMCC_SPS.py'.

```
> cd /data02/OPER/PRE/CMCC_SPS
> python 0.PRE_CMCC_SPS.py
```

Moreover, pre-processing of the CMCC model dataset is conducted as follows.

5.1 Description of '0.PRE_CMCC_SPS.py'

- Define variables and path.
- Write parameters.
- Get raw data from ftp server.
- Copy and unzip the raw data to indir directory.
- Process Forecast and Hindcast scripts.

5.2 Description of the parameter file 'CMCC.Parameters.Source'

Variable	Description
LYEAR	Year 1 month ago
LMON	Last month
NYEAR	Current year
NMON	Current month
FMON1	First month of the forecast period
FYEAR1	First year of the forecast period

5.3 Preprocessing file for the Forecast, Hindcast data

The following script shows the setting of parameters related to the Forecast period, directories, number of ensembles and variables, etc., in files such as `mknc_cmcc_fore.ncl` and `mknc_cmcc_hind.ncl`. The nomenclature and definitions of the variables required in the script appear in the following table.

Variable	Description
YEARS	Forecast and hindcast years
MON	First month for forecast range as character
MONTHS	Forecast month range
VARs	Variable name in the title of the raw data file
READVARs	Name of variables used in the nc file
OUTVARs	Name of the variable in the title of the output data file
ENSEMS	Number of ensembles
NMONT	Number of forecast ranges
NVARs	Number of variables
NENSEMS	Number of ensembles
NTIME	Number of forecast months
RAWDir	Location of the raw data directory

```

13 load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_code.ncl"
14 load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_csm.ncl"
15 load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/contributed.ncl"
16 load "/data01/OPER/AFS/CODE/COMMON/NCL/AFS.Definitions"
17 load "/data01/OPER/AFS/CODE/COMMON/NCL/AFS_WriteData.ncl"
18 load "/data02/OPER/PRE/CMCC_SPS/CMCC.Parameters.Source"
19
20 begin
21;=====
22; 01. SETTING PRAMETERS(EX.YEAR, MONTH, DIRECTORY)
23;=====
24 YEARS          = (/FYEAR1,FYEAR2,FYEAR3,FYEAR4,FYEAR5,FYEAR6/)
25 MONTH_NAMES    =
(/"FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUL","AUG","SEP","OCT","NOV","DEC","JAN"/)
26
27MON              = MONTH_NAMES(NMON-1)
28MONTHS           = (/FMON1,FMON2,FMON3,FMON4,FMON5,FMON6/)
29
30 VARs             = (/ "mslp","precip","sst","temp2","t200","t500","t850",\
31 "u200","u500","U850",\
32 "v200","v500","V850",\
33 "z200","z500","z850"/)
34 READVARs        = (/ "slp","precip","sst","temp2","t","t","t",\

```

```

35"u","u","u","\
36"v","v","v","\
37"geopoth","geopoth","geopoth"/)
38OUTVARS      = (/slp","prec","sst","T2m","t200","t500","t850",\
39"u200","u500","u850",\
40"v200","v500","v850",\
41                                     "z200","z500","z850"/)
42
43ENSEMS        = ispan(0, 8, 1)
44NMONT          = dimsizes(MONTHS)
45  NVAR         = dimsizes(VARS)
46NENSEMS       = dimsizes(ENSEMS)
47  NTIME        = 6
48
49RAWDIr        = "/data02/OPER/PRE/CMCC_SPS/datain/forecast/"
50
51  nlat          = 73
52  nlon          = 144
53  lat           = fspan(-90.0,90.0, 73)
54  lon           = fspan( 0.0,357.5,144)
55  lat@units     = "degrees_north"
56  lon@units     = "degrees_east"
57
58  FillValue     = 1e20
(-----continue-----)

```

6. Output

The pre-processed Hindcast and Forecast datasets are stored separately in the the following directories.

Hindcast data	/data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/HINDCAST/CMCC_SPS
Forecast data	/data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/FORECAST/CMCC_SPS

※ Focal Point: Silvio Gualdi
1. e-mail: Silvio.gualdi@cmcc.it

Appendix A.4

Pre-Processing of CWB Model Datasets

(Submitted by Sang Myeong Oh)

(4) Summary and Purpose of this Document

This document describes the full production line for pre-processing of CWB Hindcast and Forecast model datasets.

CWB Pre-Processing

1. Introduction

The APCC routinely collects 6-month hind/Forecast datasets from 17 operational/research centers. This document describes the procedures to pre-process the Central Weather Bureau (CWB) model datasets.

2. Directory Structure

The CWB transfers their Forecast and Hindcast datasets to our ftp server (210.98.49.14) every month. We need to download these datasets to our server (210.98.49.41).

- The CWB transfers their Forecast datasets to our ftp server (210.98.49.14) every month and we download those datasets to our server (210.98.49.41).
 - (210.98.49.14) /apccdata01/YYYYSEA/CWB/

- The downloaded raw datasets are stored in the following directory:
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/RAW/YYYY/SEA/CWB/
 YYYY = issued year (e.g., 2014), SEA = issued season (e.g., MAM)
- Scripts for CWB pre-processing are present in the following directories:
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/CWB/
 0.PRE_CWB.py
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/CWB/src/:
 mknc_cwb_fore.ncl
 mknc_cwb_hind.ncl
- The temporary CWB pre-processing files are stored in the following directories:
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/CWB/datain/
- The pre-processed datasets are present in the following directory.
 - (210.98.49.41)
 /data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/FORECAST/CWB/MON/YYYY/
 /data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/HINDCAST/CWB/MON/YYYY/
 MON = the start month of the Forecast (e.g., JAN)

3. Model Description

Country	Chinese Taipei
Institute/Organization	Central Weather Bureau (CWB)
Model designation	CWB
Atmospheric model and Resolution	T119 x 40 levels
Ocean model and Resolution	N/A

4. Data Description

4.1 Hindcast data

Period	1982 to 2017	
Experimental type	Coupled	
Ensemble	30	
Forecast period (in months)	6 months	
Atmospheric initial conditions	CFSR & CDAS from NCEP	
Ocean initial conditions	OPGSST 2.0 from CWB	
SST boundary conditions (if tier-2)	N/A	
Land surface initial conditions	NOAA land model (Ek et al., 1984)	
Sea ice initial conditions	NCEP Climatology	
Variables	Name	Unit
	MSLP	hPa
	Precipitation	kg/m ² sec
	OLR	W/m ²
	SST	K
	Surface air temperature	K
	Temperature at 2m	K
	Temperature at 850 hPa	K
	Zonal velocity at 200 hPa	m/s
	Zonal velocity at 850 hPa	m/s
	Meridional velocity at 200 hPa	m/s
	Meridional velocity at 850 hPa	m/s
	Geopotential height at 500 hPa	m
File Name	YYYYMMDD12mon25.grib – YYYY = Initial year – MM = Initial month – DD = Initial day	

4.2 Forecast data

Period	Issued Year	
Experimental type	Coupled	
Ensemble	30	
Forecast period (in months)	6 months	
Atmospheric initial conditions	CFSR & CDAS from NCEP	
Ocean initial conditions	OPGSST 2.0 from CWB	
SST boundary conditions (if tier-2)	N/A	
Land surface initial conditions	NOAA land model (Ek et al., 1984)	
Sea ice initial conditions	NCEP Climatology	
Variables	Name	Unit
	MSLP	hPa
	Precipitation	kg/m ² sec
	OLR	W/m ²
	SST	K
	Surface air temperature	K
	Temperature at 2m	K
	Temperature at 850 hPa	K
	Zonal velocity at 200 hPa	m/s
	Zonal velocity at 850 hPa	m/s
	Meridional velocity at 200 hPa	m/s
	Meridional velocity at 850 hPa	m/s
	Geopotential height at 500 hPa	m
File Name	YYYYMMDD12mon25.grib - YYYY = Initial year - MM = Initial month - DD = Initial day	

5. Operational Procedure

To pre-process the CWB model, we are required to edit the file 'test_model.yml' and to run the program 'runPRE.py' in the following directory: (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/. Even though we run the file as runPRE.py, we can check pre-processing procedure for the CWB model from the file '0.PRE_CWB.py' in

the following directory: (210.98.49.41)/ data02/OPER/ PRE/CWB. Here, we show the procedure to run the file '0.PRE_CWB.py'.

```
> cd /data02/OPER/PRE/CWB
> python 0.PRE_CWB.py
```

Moreover, pre-processing of the CWB model dataset is conducted as follows.

5.1 Description of '0.PRE_CWB.py'

- Define variables and path.
- Write parameters.
- Get raw data from ftp server.
- Copy and unzip the raw data to indir directory.
- Process Forecast and Hindcast scripts.

5.2 Description of the parameter file 'CWB.Parameters.Source'

Variable	Description
LYEAR	Year 1 month ago
LMON	Last month
NYEAR	Current year
NMON	Current month
FMON1	First month of the forecast period
FYEAR1	First year of the forecast period

5.3 Preprocessing file for the Forecast and Hindcast data

The following script shows the setting of parameters related to the Forecast period, directories, number of ensemble and variables, etc., in files such as mknc_CWB_fore.ncl and mknc_CWB_hind.ncl. The nomenclature and definitions of the variables required in the script appear in the following table.

Defined Variable	Description
YEARS	Forecast and hindcast years
MON	First month for forecast range as character
MONTHS	Forecast month range
VARS	Variables name in the title of the raw data file
READVARS	Name of variables used in the nc file
OUTVARS	Name of the variable in the title of the output data file
ENSEMS	Number of ensembles
NMONT	Number of forecast range
NVARS	Number of variables
NENSEMS	Number of ensembles
NTIME	Number of forecast months
RAWDIr	Location of the raw data directory

```

7  load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_code.ncl"
8  load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_csm.ncl"
9  load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/contributed.ncl"
10 load "/data02/OPER/AFS/CODE/COMMON/NCL/AFS.Definitions"
11 load "/data01/OPER/AFS/CODE/COMMON/NCL/AFS_WriteData_v1.ncl"
12 load "/data02/OPER/PRE/CWB/CWB.Parameters.Source"
13
14 begin
15 ;=====
16 ; 01. SETTING PRAMETERS(EX.YEAR, MONTH, DIRECTORY...)
17 ;=====
18 YEARS      = (/FYEAR1,FYEAR2,FYEAR3,FYEAR4,FYEAR5,FYEAR6/)
19 MONTH_NAMES =
(/"FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUL","AUG","SEP","OCT","NOV","DEC","JAN"/)
20 SEASON_NAMES =
(/"FMA","MAM","AMJ","MJJ","JJA","JAS","ASO","SON","OND","NDJ","DJF","JFM"/)
21
22 MON        = MONTH_NAMES(NMON-1)
23 SEA        = SEASON_NAMES(NMON-1)
24 MONTHS     = (/FMON1,FMON2,FMON3,FMON4,FMON5,FMON6/)
25
26 ; READVARS =
(/"VAR_2_GDS0_SFC_10","VAR_7_GDS0_ISBL_10","VAR_11_GDS0_ISBL_10",\
27 "VAR_33_GDS0_ISBL_10","VAR_34_GDS0_ISBL_10","VAR_33_GDS0_ISBL_10",\
28 "VAR_34_GDS0_ISBL_10","VAR_61_GDS0_SFC_10","VAR_114_GDS0_SFC_10",\
29 "VAR_157_GDS0_HTGL_10","VAR_158_GDS0_SFC_10","VAR_158_GDS0_SFC_10"/)
30
31 READVARS = (/PRMSL_GDS0_SFC","HGT_GDS0_ISBL","TMP_GDS0_ISBL",\
32 "U_GRD_GDS0_ISBL","V_GRD_GDS0_ISBL","U_GRD_GDS0_ISBL",\
33 "V_GRD_GDS0_ISBL","A_PCP_GDS0_SFC","NLWRT_GDS0_SFC",\
34 "CAPE_GDS0_HTGL","TKE_GDS0_SFC","TKE_GDS0_SFC"/)
35
36 OUTVARS = (/slp","z500","t850",\
37 "u850","v850","u200",\
38 "v200","prec","olr",\

```

```

39          "T2m","ts","sst"/)
40
41  ENSEMS      = ispan(0, 29, 1)
42  NMONT       = dimsizes(MONTHS)
43  NVAR        = dimsizes(OUTVARS)
44  NENSEMS     = dimsizes(ENSEMS)
45  NTIME       = 6
46
47  RAWDir      = "/data02/OPER/PRE/CWB/datain/forecast/grib/mon/"
48
49  nlat        = 73
50  nlon        = 144
51  lat         = fspan(-90.0,90.0, 73)
52  lon         = fspan( 0.0,357.5,144)
53  lat@units   = "degrees_north"
54  lon@units   = "degrees_east"
55  FillValue   = 1e20
(-----continue-----)

```

6. Output

The preprocessing Hindcast and Forecast datasets are stored separately in the following directories:

Hindcast data	/data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/HINDCAST/CWB
Forecast data	/data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/FORECAST/CWB

※ Focal Point: Dr. Jyh-Wen Hwu
 1. e-mail : jwhwu@rdc.cwb.gov.tw

Appendix A.5

Pre-Processing of GLOSEA5 Model Datasets

(Submitted by Sang Myeong Oh)

(5) Summary and Purpose of this Document

This document describes the full production line for pre-processing of GLOSEA5 Hindcast and Forecast model datasets.

GLOSEA5 Pre-Processing

1. Introduction

The APCC routinely collects 6-month hind/Forecast dataset from 17 operational/research centers. This document describes the procedures to pre-process the Global seasonal Forecasting system (GLOSEA5) model datasets.

2. Directory Structure

The GPC Seoul (KMA) transfers their Forecast and Hindcast datasets to our ftp server (210.98.49.14) every month. We need to download these datasets to our server (210.98.49.41).

- The KMA transfers their Forecast datasets to our ftp server (210.98.49.14) every month and we download those datasets to our server (210.98.49.41).
 - (210.98.49.14) /apccdata01/YYYYSEA/GLOSEA5/

- The downloaded raw datasets are stored in the following directory:
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/RAW/YYYY/SEA/GLOSEA5/
 YYYY = issued year (e.g., 2014), SEA = issued season (e.g., MAM)
- Scripts for GLOSEA5 pre-processing are present in the following directories:
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/GLOSEA5/
 0.PRE_GLOSEA5.py
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/GLOSEA5/src/:
 mknc_glosea5_fore.ncl
 mknc_glosea5_hind.ncl
- The temporary GLOSEA5 pre-processing files are stored in the following directories:
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/GLOSEA5/datain/
- The pre-processed datasets are present in the following directory.
 - (210.98.49.41)
 /data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/FORECAST/GLOSEA5/MON/YYYY/
 /data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/HINDCAST/GLOSEA5/MON/YYYY/
 MON = the start month of the Forecast (e.g., JAN)

3. Model Description

Country	Rep. of Korea
Institute/Organization	GPC Seoul (KMA)
Model designation	GloSea5GC2
Atmospheric model and Resolution	0.83lat x 0.56lon x 85 levels
Ocean model and Resolution	ORCA Tri-polar grid at 0.25, 75 levels

4. Data Description

4.1 Hindcast data

Period	1991 to 2010	
Experimental type	Coupled	
Ensemble	12	
Forecast period (in months)	6 months	
Atmospheric initial conditions	KMA Global Analysis (N512L70)	
Ocean initial conditions	Met Office NEMOVAR	
SST boundary conditions (if tier-2)	N/A	
Land surface initial conditions	Land surface Met Office surface exchange scheme	
Sea ice initial conditions	LosAlamos sea ice model	
Variables	Name	Unit
	MSLP	hPa
	Precipitation	kg/m ² sec
	SST	K
	Surface air temperature	K
	Temperature at 2m	K
	Temperature at 850 hPa	K
	Zonal velocity at 200 hPa	m/s
	Zonal velocity at 300 hPa	m/s
	Zonal velocity at 850 hPa	m/s
	Meridional velocity at 200 hPa	m/s
	Meridional velocity at 300 hPa	m/s
	Meridional velocity at 850 hPa	m/s
	Geopotential height at 200 hPa	m
	Geopotential height at 500 hPa	m
	Geopotential height at 850 hPa	m
File Name	Seoul_hcst_VAR_YYYY_MM_YYYYF1_MMF1_YYYYF6_MMF6_mem.nc - VAR = Variable - YYYY = Initial year - MM = Initial month - YYYYF1 = 1-month lead forecast year - MMF1 = 1-month lead forecast month - YYYYF6 = 6-month lead forecast year - MMF6 = 6-month lead forecast month	

4.2 Forecast data

Period	Issued Year	
Experimental type	Coupled	
Ensemble	42	
Forecast period (in months)	6 Months	
Atmospheric initial conditions	KMA Global Analysis (N512L70)	
Ocean initial conditions	Met Office NEMOVAR	
SST boundary conditions (if tier-2)	N/A	
Land surface initial conditions	Land surface Met Office surface exchange scheme	
Sea ice initial conditions	LosAlamos sea ice model	
Variables	Name	Unit
	MSLP	hPa
	Precipitation	kg/m ² sec
	SST	K
	Surface air temperature	K
	Temperature at 2m	K
	Temperature at 850 hPa	K
	Zonal velocity at 200 hPa	m/s
	Zonal velocity at 300 hPa	m/s
	Zonal velocity at 850 hPa	m/s
	Meridional velocity at 200 hPa	m/s
	Meridional velocity at 300 hPa	m/s
	Meridional velocity at 850 hPa	m/s
	Geopotential height at 200 hPa	m
	Geopotential height at 500 hPa	m
	Geopotential height at 850 hPa	m
File Name	Seoul_fcst_VAR_YYYY_MM_YYYYf1_MMf1_YYYYf6_MMf6_mem.nc - VAR = Variable - YYYY = Initial year - MM = Initial month - YYYYf1 = 1-month lead forecast year - MMf1 = 1-month lead forecast month - YYYYf6 = 6-month lead forecast year - MMf6 = 6-month lead forecast month	

5. Operational Procedure

To pre-process the GLOSEA5 model, we are required to edit the file 'test_model.yml' and to run the program 'runPRE.py' in the following directory: (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/. Even though we run the file as runPRE.py, we can check pre-processing procedure for the GLOSEA5 model from the file '0.PRE_GLOSEA5.py' in the following directory: (210.98.49.41)/data02/OPER/PRE/GLOSEA5. Here, we show the procedure to run the file '0.PRE_GLOSEA5.py'.

```
> cd /data02/OPER/PRE/GLOSEA5
> python 0.PRE_GLOSEA5.py
```

Moreover, pre-processing of the CWB model dataset is conducted as follows.

5.1 Description of '0.PRE_GLOSEA5.py'

- Define variables and path.
- Write parameters.
- Get raw data from ftp server.
- Copy and unzip the raw data to indir directory.
- Process Forecast and Hindcast scripts.

5.2 Description of the parameter file 'GLOSEA5.Parameters.Source'

Variable	Description
LYEAR	Year 1 month ago
LMON	Last month
NYEAR	Current year
NMON	Current month
FMON1	First month for forecast period
FYEAR1	First year for forecast period

5.3 Preprocessing file for the Forecast and Hindcast data

The following script shows the setting of parameters related to the Forecast period, directories, number of ensemble and variables, etc., in files such as `mknc_GLOSEA5_fore.ncl` and `mknc_GLOSEA5_hind.ncl`. The nomenclature and definitions of the variables required in the script appear in the following table.

Defined Variable	Description
YEARS	Forecast and hindcast years
MON	First month for forecast range as character
MONTHS	Forecast month range
VARS	Variables name in the title of the raw data file
READVARS	Name of variables used in the nc file
OUTVARS	Name of the variable in the title of the output data file
ENSEMS	Number of ensembles
NMONT	Number of forecast range
NVARS	Number of variables
NENSEMS	Number of ensembles
NTIME	Number of forecast months
RAWDDir	Location of the raw data directory

```

7  load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_code.ncl"
8  load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_csm.ncl"
9  load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/contributed.ncl"
10 load "/data02/OPER/AFS/CODE/COMMON/NCL/AFS.Definitions"
11 load "/data01/OPER/AFS/CODE/COMMON/NCL/AFS_WriteData.ncl"
12 load "/data02/OPER/PRE/GLOSEA5/GLOSEA5.Parameters.Source"
13
14 begin
15 ;=====
16 ; 01. SETTING PRAMETERS(EX.YEAR, MONTH, DIRECTORY...)
17 ;=====
18 YEARS      =
(/FYEAR1,FYEAR2,FYEAR3,FYEAR4,FYEAR5,FYEAR6/)
19 MONTH_NAMES =
(/"FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUL","AUG","SEP","OCT","NOV","DEC","JAN"/)
20 SEASON_NAMES =
(/"FMA","MAM","AMJ","MJJ","JJA","JAS","ASO","SON","OND","NDJ","DJF","JFM"/)
21
22 MON          = MONTH_NAMES(NMON-1)
23 SEA          = SEASON_NAMES(NMON-1)
24 MONTHS       = (/FMON1,FMON2,FMON3,FMON4,FMON5,FMON6/)
25
26 INVARS       = (/h200,h500,h850,\

```

```

27         "mslp", "prcp", "t15m", \
28         "t850", "tsfc", "u200", \
29         "u300", "U850", "v200", \
30         "V850", "tsfc"/)
31     READVARS =
32     (/HGT_P1_L100_GLL0", "HGT_P1_L100_GLL0", "HGT_P1_L100_GLL0", \
33     "PRES_P1_L1_GLL0", "PRATE_P1_L1_GLL0", "TMP_P1_L103_GLL0", \
34     "TMP_P1_L100_GLL0", "TMP_P1_L1_GLL0", "UGRD_P1_L100_GLL0", \
35     "UGRD_P1_L100_GLL0", "UGRD_P1_L100_GLL0", "VGRD_P1_L100_GLL0", \
36     "VGRD_P1_L100_GLL0", "TMP_P1_L1_GLL0"/)
37     OUTVARS = (/z200", "z500", "z850", \
38     "slp", "prec", "T2m", \
39     "t850", "ts", "u200", \
40     "u300", "U850", "v200", \
41     "V850", "sst"/)
42 ; ENSEMS      = ispan(0, 41, 1)
43 NMONT        = dimsizes(MONTHS)
44 NVARs        = dimsizes(OUTVARS)
45 ; NENSEMS    = dimsizes(ENSEMS)
46 NTIME        = 6
47
48 RAWDir       = "/data02/OPER/PRE/GLOSEA5/datain/forecast/"
49
50 nlat          = 73
51 nlon          = 144
52 lat           = fspan(-90.0, 90.0, 73)
53 lon           = fspan( 0.0, 357.5, 144)
54 lat@units     = "degrees_north"
55 lon@units     = "degrees_east"
56 FillValue     = 1e20

```

(-----continue-----)

6. Output

The preprocessing Hindcast and Forecast datasets are stored separately in the following directories:

Hindcast data	/data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/HINDCAST/GLOSEA5
Forecast data	/data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/FORECAST/GLOSEA5

※ Focal Point : Dukjin Won
 1. e-mail : graupel@korea.kr

Appendix A.6

Pre-Processing of HMC Model Datasets

(Submitted by Hyun-Ju Lee)

(6) Summary and Purpose of this Document

This document describes the full production line for pre-processing of HMC Hindcast and Forecast model datasets.

HMC Pre-Processing

1. Introduction

The APCC routinely collects 6-month hind/Forecast datasets from 17 operational/research centers. This document describes the procedures to pre-process the Hydrometeorological Centre of Reussia (HMC) model datasets.

2. Directory Structure

The BCC transfers their Forecast and Hindcast datasets to our ftp server (210.98.49.14) every month. We need to download these datasets to our server (210.98.49.41).

- The HMC transfers their Forecast datasets to our ftp server (210.98.49.14) every month and we download those datasets to our server (210.98.49.41).
 - (210.98.49.14) /apccdata01/YYYYSEA/HMC/

- The downloaded raw datasets are stored in the following directory.
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/RAW/YYYY/SEA/HMC /
 YYYY = issued year (e.g., 2014); SEA = issued season (e.g., MAM)
- Scripts for HMC pre-processing are present in the following directories:
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/HMC /
 0.PRE_HMC_SPS.py
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/HMC /src/:
 mknc_hmc_fore.ncl
 mknc_hmc_hind.ncl
- The temporary HMC pre-processing files are stored in the following directory:
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/HMC /datain/
- The pre-processed datasets are present in the following directories.
 - (210.98.49.41)
 /data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/FORECAST/HMC/MON/YYYY/
 /data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/HINDCAST/HMC/MON/YYYY/
 MON = the start month of the Forecast (e.g., JAN)

3. Model Description

Country	Russia
Institute/Organization	Hydrometeorological Centre of Reussia (HMC)
Model designation	SL-AV
Atmospheric model and Resolution	1.125/1.40625 degrees lat/lon/28 sigma levels
Ocean model and Resolution	

4. Data Description

4.1 Hindcast data

Period	1985 to 2010	
Experimental type	–	
Ensemble	10	
Forecast period (in months)	4 months	
Atmospheric initial conditions		
Ocean initial conditions		
SST boundary conditions (if tier-2)		
Land surface initial conditions		
Sea ice initial condition		
Variables	Name	Unit
	MSLP	hPa
	Precipitation	kg/m ² sec
	SST	K
	Surface (2 m) air temperature	K
	Temperature at 850 hPa	K
	Zonal velocity at 200 hPa	m/s
	Zonal velocity at 850 hPa	m/s
	Meridional velocity at 200 hPa	m/s
	Meridional velocity at 850 hPa	m/s
	Geopotential height at 500 hPa	m
File Name	HMC-APCC-SEAYYYY.zip – SEA = Forecast season – YYYY = Current year	

4.2 Forecast data

Period	Issued Year	
Experimental type		
Ensemble	20	
Forecast period (in month)	4 months	
Atmospheric initial conditions		
Ocean initial conditions		
SST boundary conditions (if tier- 2)		
Land surface initial conditions		
Sea ice initial condition		
Variables	Name	Unit
	MSLP	hPa
	Precipitation	kg/m ² sec
	SST	K
	Surface (2 m) air temperature	K
	Temperature at 850 hPa	K
	Zonal velocity at 200 hPa	m/s
	Zonal velocity at 850 hPa	m/s
	Meridional velocity at 200 hPa	m/s
	Meridional velocity at 850 hPa	m/s
	Geopotential height at 500 hPa	m
File Name	HMC-APCC-SEAYYYY.zip - SEA = Forecast season - YYYY = Current year	

5. Operational Procedure

To pre-process the HMC model, we are required to edit the file 'test_model.yml' and to run the program 'runPRE.py' in the following directory: (210,98.49.41) /data02/OPER/PRE/. Even though we run the file as runPRE.py, we can check

the pre-processing procedure for the HMC model from the file '0.PRE_HMC.py' in the following directory: (210.98.49.41)/ data02/OPER/PRE/HMC. Here, we show the procedure to run the file '0.PRE_HMC.py'.

```
> cd /data02/OPER/PRE/HMC
> python 0.PRE_HMC.py
```

Moreover, pre-processing of the HMC model dataset is conducted as follows.

5.1 Description of '0.PRE_HMC.py'

- Define variables and path.
- Write parameters.
- Get raw data from ftp server.
- Copy and unzip the raw data to indir directory.
- Process Forecast and Hindcast scripts.

5.2 Description of the parameter file 'HMC.Parameters.Source'

Variable	Description
LYEAR	Year 1 month ago
LMON	Last month
NYEAR	Current year
NMON	Current month
FMON1	First month of the forecast period
FYEAR1	First year of the forecast period

5.3 Preprocessing file for the Forecast and Hindcast data

The following script shows the setting of parameters related to the Forecast period, directories, number of ensembles and variables, etc., in files such as mknc_hmc_fore.ncl and mknc_hmc_hind.ncl. The nomenclature and definitions of the variables required in the script appear in the following table.

Variable	Description
YEARS	Forecast and hindcast years
MON	First month for forecast range as character
MONTHS	Forecast month range
VARS	Variable name in the title of the raw data file
READVARS	Name of variables which is used in the nc file
OUTVARS	Name of the variable the title of the output data file
ENSEMS	Number of ensembles
NMONT	Number of forecast ranges
NVARS	Number of variables
NENSEMS	Number of ensembles
NTIME	Number of forecast months
RAWDIr	Location of the raw data directory

```

13 load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_code.ncl"
14load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_csm.ncl"
15load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/contributed.ncl"
16 load "/data02/OPER/AFS/CODE/COMMON/NCL/AFS.Definitions"
17load "/data01/OPER/AFS/CODE/COMMON/NCL/AFS_WriteData.ncl"
18load "/data02/OPER/PRE/HMC/HMC.Parameters.Source"
19
20 begin
21;=====
22: 01. SETTING PRAMETERS(EX.YEAR, MONTH, DIRECTORY...)
23;=====
24MONTH_NAMES                                     =
(/"FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUL","AUG","SEP","OCT","NOV","DEC","JAN"/)
25                                     SEASON_NAMES                                     =
(/"FMA","MAM","AMJ","MJJ","JJA","JAS","ASO","SON","OND","NDJ","DJF","JFM"/)
26 MON          = MONTH_NAMES(NMON-1)
27 SEA          = SEASON_NAMES(NMON-1)
28
29VARS           = (/ "ICAHT_GDS0_ISBL","PRES_GDS0_ISBL","TOZONE_GDS0_ISBL",\
30"PVRT_GDS0_ISBL","PTEND_GDS0_ISBL","DIST_GDS0_ISBL","GP_GDS0_ISBL",\
31"HSTDV_GDS0_ISBL","HGT_GDS0_ISBL","PRMSL_GDS0_ISBL"/)
32 OUTVARS       = (/ "prec","slp","sst",\
33                    "t850","T2m","U850","u200",\
34                    "v850","v200","z500"/)
35
36 ENSEMS        = ispan(1,20,1)
37 NVARS         = dimsizes(VARS)
38 NENSEMS       = dimsizes(ENSEMS)
39 NTIME         = 4
40
41RAWDIr         = "/data02/OPER/PRE/HMC/datain/forecast/"

(-----continue-----)

```


6. Output

The pre-processed Hindcast and Forecast datasets are stored separately in the following directories:

Hindcast data	/data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/HINDCAST/HMC
Forecast data	/data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/FORECAST/HMC

※ Focal Point: Dmitry Kiktev 1. e-mail: kiktev@mecom.ru

Appendix A.7**Pre-Processing of JMA Model Datasets**

(Submitted by Sang Myeong Oh)

(7) Summary and Purpose of this Document

This document describes the full production line for pre-processing of JMA Hindcast and Forecast model datasets.

JMA Pre-Processing**1. Introduction**

The APCC routinely collects 6-month hind/Forecast datasets from 17 operational/research centers. This document describes the procedures to pre-process the Japan Meteorological Agency (JMA) model datasets.

2. Directory Structure

The JMA uploads their Forecast and Hindcast datasets to JMA server (<http://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/gpv/model/CPS2/3-mon/MGPV/>) every month. We need to download these datasets to our server (210.98.49.41).

- The JMA uploads their Forecast datasets to their server (<http://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/gpv/model/CPS2/3-mon/MGPV/>) every month and we download those datasets to our server (210.98.49.41).
 - <http://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/gpv/model/CPS2/3-mon/MGPV/YYYYMM/>

- log in ID : apcn, PW : apcn_bz7ev6
- The downloaded raw datasets are stored in the following directory:
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/RAW/YYYY/SEA/JMA/
 YYYY = issued year (e.g., 2014), SEA = issued season (e.g., MAM)
- Scripts for JMA pre-processing are present in the following directories:
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/JMA/
 0.PRE_JMA.py
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/JMA/src/:
 mknc_jma_fore.ncl
 mknc_jma_hind.ncl
- The temporary JMA pre-processing files are stored in the following directories:
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/JMA/datain/
- The pre-processed datasets are present in the following directory.
 - (210.98.49.41)
 /data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/FORECAST/JMA/MON/YYYY/
 /data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/HINDCAST/JMA/MON/YYYY/
 MON = the start month of the Forecast (e.g., JAN)

3. Model Description

Country	Japan
Institute/Organization	Japan Meteorological Agency
Model designation	JMA/MRI-CPS2
Atmospheric model and Resolution	TL159 x 60 levels
Ocean model and Resolution	1.0 (lon) x 0.3–0.5, (lat) x 52 levels

4. Data Description

4.1 Hindcast data

Period	1979 to 2014	
Experimental type	Coupled	
Ensemble	10	
Forecast period (in months)	6 months	
Atmospheric initial conditions	JRA-55	
Ocean initial conditions	Ocean data assimilation (MOVE/MRI/COM-G2)	
SST boundary conditions (if tier-2)	N/A	
Land surface initial conditions	JRA-55 land analysis	
Sea ice initial conditions	Interactive sea ice model	
Variables	Name	Unit
	MSLP	hPa
	Precipitation	kg/m ² sec
	SST	K
	Temperature at 2m	K
	Temperature at 850 hPa	K
	Zonal velocity at 200 hPa	m/s
	Zonal velocity at 850 hPa	m/s
	Meridional velocity at 200 hPa	m/s
	Meridional velocity at 850 hPa	m/s
	Geopotential height at 500 hPa	m
File Name	VAR_mb.YYYYMM - VAR = Variable - YYYY = Initial year - MM = Initial month	

4.2 Forecast data

Period	Issued Year	
Experimental type	Coupled	
Ensemble	51	
Forecast period (in months)	6 Months	
Atmospheric initial conditions	JRA-55	
Ocean initial conditions	Ocean data assimilation (MOVE/MRI/COM-G2)	
SST boundary conditions (if tier-2)	N/A	
Land surface initial conditions	JRA-55 land analysis	
Sea ice initial conditions	Interactive sea ice model	
Variables	Name	Unit
	MSLP	hPa
	Precipitation	kg/m ² sec
	SST	K
	Temperature at 2m	K
	Temperature at 850 hPa	K
	Zonal velocity at 200 hPa	m/s
	Zonal velocity at 850 hPa	m/s
	Meridional velocity at 200 hPa	m/s
	Meridional velocity at 850 hPa	m/s
	Geopotential height at 500 hPa	m
File Name	VAR_mb.YYYYMM – VAR = Variable – YYYY = Initial year – MM = Initial month	

5. Operational Procedure

To pre-process the JMA model, we are required to edit the file ‘test_model.yml’ and to run the program ‘runPRE.py’ in the following directory: (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/. Even though we run the file as runPRE.py, we can check pre-processing procedure for the JMA model from the file ‘0.PRE_JMA.py’ in the following directory: (210.98.49.41)/ data02/OPER/PRE/JMA. Here, we show the procedure to run the file ‘0.PRE_JMA.py’.

```
> cd /data02/OPER/PRE/JMA
> python 0.PRE_JMA.py
```

Moreover, pre-processing of the JMA model dataset is conducted as follows.

5.1 Description of ‘0.PRE_JMA.py’

- Define variables and path.
- Write parameters.
- Get raw data from ftp server.
- Copy and unzip the raw data to indir directory.
- Process Forecast and Hindcast scripts.

5.2 Description of the parameter file ‘JMA.Parameters.Source’

Variable	Description
LYEAR	Year 1 month ago
LMON	Last month
NYEAR	Current year
NMON	Current month
FMON1	First month for forecast period
FYEAR1	First year for forecast period

5.3 Preprocessing file for the Forecast and Hindcast data

The following script shows the setting of parameters related to the Forecast period, directories, number of ensemble and variables, etc., in files such as `mknc_JMA_fore.ncl` and `mknc_JMA_hind.ncl`. The nomenclature and definitions of the variables required in the script appear in the following table.

Defined Variable	Description
YEARS	Forecast and hindcast years
MON	First month for forecast range as character
MONTHS	Forecast month range
VARS	Variables name in the title of the raw data file
READVARS	Name of variables used in the nc file
OUTVARS	Name of the variable in the title of the output data file
ENSEMS	Number of ensembles
NMONT	Number of forecast range
NVARS	Number of variables
NENSEMS	Number of ensembles
NTIME	Number of forecast months
RAWDDir	Location of the raw data directory

```

7  load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_code.ncl"
8  load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_csm.ncl"
9  load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/contributed.ncl"
10 load "/data02/OPER/AFS/CODE/COMMON/NCL/AFS.Definitions"
11 load "/data01/OPER/AFS/CODE/COMMON/NCL/AFS_WriteData_v1.ncl"
12 load "/data02/OPER/PRE/JMA/JMA.Parameters.Source"
13
14 begin
15 ;=====
16 ; 01. SETTING PRAMETERS(EX.YEAR, MONTH, DIRECTORY...)
17 ;=====
18 YEARS      = (/FYEAR1,FYEAR2,FYEAR3,FYEAR4,FYEAR5,FYEAR6/)
19 MONTHS     = (/FMON1,FMON2,FMON3,FMON4,FMON5,FMON6/)
20
21 TYEAR      = dimsizes(ispan(1980,LYEAR,1))
22
23 MONTH_NAMES =
(/"FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUL","AUG","SEP","OCT","NOV","DEC","JAN"/)
24 SEASON_NAMES =
(/"FMA","MAM","AMJ","MJJ","JJA","JAS","ASO","SON","OND","NDJ","DJF","JFM"/)
25
26 MON        = MONTH_NAMES(NMON-1)
27 SEA        = SEASON_NAMES(NMON-1)

```



```

28
29 READVARS =
(/"olr","pptn","slp","sst","T2m","t850","u200","U850","v200","V850","z500"/)
30 OUTVARS =
(/"olr","prec","slp","sst","T2m","t850","u200","U850","v200","V850","z500"/)
31 ENSTYPE = (/11,13,15,17,19/)
32
33 ENSEMS      = ispan(0, 4, 1)
34 NMONT       = dimsizes(MONTHS)
35 NVAR        = dimsizes(OUTVARS)
36 NENSEMS     = dimsizes(ENSEMS)
37 NTIME       = 6
38
39 RAWDir      = "/data02/OPER/PRE/JMA/datain/forecast/"
40
41 nlat        = 73
42 nlon        = 144
43 lat         = fspan(-90.0,90.0, 73)
44 lon         = fspan( 0.0,357.5,144)
45 lat@units   = "degrees_north"
46 lon@units   = "degrees_east"
47 FillValue   = 1e20

(-----continue-----)

```

6. Output

The preprocessing Hindcast and Forecast datasets are stored separately in the following directories:

Hindcast data	/data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/HINDCAST/JMA
Forecast data	/data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/FORECAST/JMA

※ Focal Point : Yasuhiro Matsushita
 1. e-mail : y-matsushita@met.kishou.go.jp

Appendix A.8**Pre-Processing of MGO Model Datasets**

(Submitted by Hyun-Ju Lee)

(8) Summary and Purpose of this Document

This document describes the full production line for pre-processing of MGO Hindcast and Forecast model datasets.

MGO Pre-Processing**1. Introduction**

The APCC routinely collects 6-month hind/Forecast datasets from 17 operational/research centers. This document describes the procedures to pre-process the Voeikov Main Geophysical Observatory (MGO) model datasets.

2. Directory Structure

MGO transfers their Forecast and Hindcast datasets to our ftp server (210.98.49.14) every month. We need to download these datasets to our server (210.98.49.41).

- The MGO transfers their Forecast datasets to our ftp server (210.98.49.14) every month and we download those datasets to our server (210.98.49.41).
 - (210.98.49.14) /apccdata01/YYYYSEA/MGO/

- The downloaded raw datasets are stored in the following directory:
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/RAW/YYYY/SEA/MGO/
 YYYY = issued year (e.g., 2014); SEA = issued season (e.g., MAM)
- Scripts for MGO pre-processing are present in the following directories:
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/MGO/
 0.PRE_MGO_SPS.py
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/MGO/src/:
 mknc_mgo_fore.ncl
 mknc_mgo_hind.ncl
- The temporary MGO pre-processing files are stored in the following directory:
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/MGO /datain/
- The pre-processed datasets are present in the following directories.
 - (210.98.49.41)
 /data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/FORECAST/MGO/MON/YYYY/
 /data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/HINDCAST/MGO/MON/YYYY/
 MON = the start month of the Forecast (e.g., JAN)

3. Model Description

Country	Russia
Institute/Organization	Voeikov Main Geophysical Observatory (MGO)
Model designation	MGOAM2
Atmospheric model and Resolution	T42, 14 vertical levels
Ocean model and Resolution	

4. Data Description

4.1 Hindcast data

Period	1979 to 2005	
Experimental type	Coupled	
Ensemble	6	
Forecast period (in months)	3 months	
Atmospheric initial conditions		
Ocean initial conditions		
SST boundary conditions (if tier-2)		
Land surface initial conditions		
Sea ice initial condition		
Variables	Name	Unit
	MSLP	hPa
	Precipitation	kg/m ² sec
	SST	K
	Surface (2 m) air temperature	K
	Temperature at 200 hPa	K
	Temperature at 500 hPa	K
	Temperature at 850 hPa	K
	Zonal velocity at 200 hPa	m/s
	Zonal velocity at 500 hPa	m/s
	Zonal velocity at 850 hPa	m/s
	Meridional velocity at 200 hPa	m/s
	Meridional velocity at 500 hPa	m/s
	Meridional velocity at 850 hPa	m/s
	Geopotential height at 200 hPa	m
	Geopotential height at 500 hPa	m
	Geopotential height at 850 hPa	m
File Name	MGO_SPS_YYYYST_P_mMM_VAR.nc.gz – YYYY = Hindcast year – ST = month start-date – MM = Hindcast month – P = Ensemble member – VAR = Variable	

4.2 Forecast data

Period	Issued Year	
Experimental type		
Ensemble	10	
Forecast period (in months)	3 months	
Atmospheric initial conditions		
Ocean initial conditions		
SST boundary conditions (if tier-2)		
Land surface initial conditions		
Sea ice initial condition		
Variables	Name	Unit
	MSLP	hPa
	Precipitation	kg/m ² sec
	SST	K
	Surface (2m) air temperature	K
	Temperature at 200 hPa	K
	Temperature at 850 hPa	K
	Zonal velocity at 200 hPa	m/s
	Zonal velocity at 850 hPa	m/s
	Meridional velocity at 200 hPa	m/s
	Meridional velocity at 850 hPa	m/s
	Geopotential height at 500 hPa	m
File Name	P.tar.gz - P = Ensemble member	

5. Operational Procedure

To pre-process the MGO model, we are required to edit the file 'test_model.yml' and to run the program 'runPRE.py' in the following directory: (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/. Even though we run the file as runPRE.py, we can check the pre-processing procedure for the MGO model from the file '0.PRE_MGO.py' in the following directory: (210.98.49.41)/ data02/OPER/PRE/MGO. Here, we show the procedure to run the file '0.PRE_MGO.py'.

```
> cd /data02/OPER/PRE/MGO
> python 0.PRE_MGO.py
```

Moreover, pre-processing of the MGO model dataset is conducted as follows.

5.1 Description of '0.PRE_MGO.py'

- Define variables and path.
- Write parameters.
- Get raw data from ftp server.
- Copy and unzip the raw data to indir directory.
- Process Forecast and Hindcast scripts.

5.2 Description of the parameter file 'MGO.Parameters.Source'

Variable	Description
LYEAR	Year 1 month ago
LMON	Last month
NYEAR	Current year
NMON	Current month
FMON1	First month of the forecast period
FYEAR1	First year of the forecast period

5.3 Preprocessing file for the Forecast and Hindcast data

The following script shows the setting of parameters related to the Forecast period, directories, number of ensembles and variables, etc., in files such as `mknc_mgo_fore.ncl` and `mknc_mgo_hind.ncl`. The nomenclature and definitions of the variables required in the script appear in the following table.

Variable	Description
YEARS	Forecast and hindcast years
MON	First month for forecast range as character
MONTHS	Forecast month range
VARS	Variable name in the title of the raw data file
READVARS	Name of variables used in the nc file
OUTVARS	Name of Variables name in the title of the output file
ENSEMS	Number of ensembles
NMONT	Number of forecast ranges
NVARS	Number of variables
NENSEMS	Number of ensembles
NTIME	Number of forecast months
RAWDIr	Location of the raw data directory

```

13 load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_code.ncl"
14load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_csm.ncl"
15load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/contributed.ncl"
16 load "/data02/OPER/AFS/CODE/COMMON/NCL/AFS.Definitions"
17load "/data01/OPER/AFS/CODE/COMMON/NCL/AFS_WriteData.ncl"
18load "/data02/OPER/PRE/MGO/MGO.Parameters.Source"
19
20 begin
21 ;=====
22; 01. SETTING PRAMETERS(EX.YEAR, MONTH, DIRECTORY...)
23;=====
24MONTH_NAMES = (/FEB", "MAR", "APR", "MAY", "JUN", "JUL", "AUG", "SEP",
"OCT", "NOV", "DEC", "JAN"/)
25 MON          = MONTH_NAMES(NMON-1)
26
27 VARS          = (/pr", "psl", "rlut", "sst", \
28                  "ta", "tas", "ua", "ua", \
29                  "va", "va", "zg"/)
30READVARS       = (/PRATE_GDS0_SFC_ave1m", "PRMSL_GDS0_MSL_ave1m",
"NLWRT_GDS0_NTAT_ave1m", "WTMP_GDS0_SFC_ave1m", \
"TMP_GDS0_ISBL_ave1m", "TMP_GDS0_HTGL_ave1m", "U_GRD_GDS0_ISBL_ave1m",
"U_GRD_GDS0_ISBL_ave1m", \ "V_GRD_GDS0_ISBL_ave1m",
"V_GRD_GDS0_ISBL_ave1m", "HGT_GDS0_ISBL_ave1m"/)
33 OUTVARS       = (/prec", "slp", "olr", "sst", \
"t850", "T2m", "U850", "u200", \
"V850", "v200", "z500"/)

37 ENSEMS       = ispan(1,10,1)
38 NVARS        = dimsizes(VARS)
39 NENSEMS      = dimsizes(ENSEMS)
40 NTIME        = 3
41
42RAWDIr        = "/data02/OPER/PRE/MGO/datain/forecast/"

(-----continue-----)

```


6. Output

The pre-processed Hindcast and Forecast datasets are stored separately in the following directories:

Hindcast data	/data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/HINDCAST/MGO
Forecast data	/data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/FORECAST/MGO

※ Focal Point: Vadim Matyugin 1. e-mail: matyugin@main.mgo.rssi.ru

Appendix A.9**Pre-Processing of MSC Model Datasets**

(Submitted by Hyun-Ju Lee)

(9) Summary and Purpose of this Document

This document describes the full production line for pre-processing of MSC Hindcast and Forecast model datasets.

MSC_CANCM Pre-Processing**1. Introduction**

The APCC routinely collects 6-month hind/Forecast datasets from 17 operational/research centers. This document describes the procedures to pre-process the Meteorological Service of Canada (MSC) model datasets.

2. Directory Structure

The MSC transfers their Forecast and Hindcast datasets to our ftp server (210.98.49.14) every month. We need to download these datasets to our server (210.98.49.41).

- The MSC transfers their Forecast datasets to our ftp server (210.98.49.14) every month and we download those datasets to our server (210.98.49.41).

- (210.98.49.14) /apccdata01/YYYYSEA/MSC/
- The downloaded raw datasets are stored in the following directory:
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/RAW/YYYY/SEA/MSC/
 YYYY = issued year (e.g., 2014); SEA = issued season (e.g., MAM)
- Scripts for MSC pre-processing are present in the following directories:
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/MSC/
 0.PRE_MSC.py
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/MSC_SPS/src/:
 mknc_MSC_fore.ncl
 mknc_MSC_hind.ncl
- The temporary MSC pre-processing files are stored in the following directory:
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/MSC /datain/
- The pre-processed datasets are present in the following directories.
 - (210.98.49.41)
 /data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/FORECAST/MSC/MON/YYYY/
 /data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/HINDCAST/MSC/MON/YYYY/
 MON = the start month of the Forecast (e.g., JAN)

3. Model Description

Country	CANADA
Institute/Organization	Meteorological Service of Canada (MSC)
Model designation	CanCM
Atmospheric model and Resolution	T63, 35 vertical levels
Ocean model and Resolution	1.41°x0.94° - 40 vertical levels

4. Data Description

4.1 Hindcast data

Period	1981 to 2010	
Experimental type	Coupled	
Ensemble	20	
Forecast period (in months)	12 months	
Atmospheric initial conditions	The CMC Global 50-var analysis is assimilated	
Ocean initial conditions	CMC SST and sea-ice analysis at the surface and NCEP GODAS 3D ocean below the surface	
SST boundary conditions (if tier-2)	-	
Land surface initial conditions	There's no direct observation used	
Sea ice initial condition	Continuous nudging is used	
Variables	Name	Unit
	MSLP	hPa
	Precipitation	kg/m ² sec
	SST	K
	Surface (2 m) air temperature	K
	Temperature at 850 hPa	K
	Zonal velocity at 200 hPa	m/s
	Zonal velocity at 850 hPa	m/s
	Meridional velocity at 200 hPa	m/s
	Meridional velocity at 850 hPa	m/s
	Geopotential height at 500 hPa	m
File Name	YYYYMMDD_cansips_forecast_raw_latlon2.5x2.5_VA R_YYYY-MM_allmembers.grib2 - YYYY = Current year - MM = initial month - VAR = Variable	

4.2 Forecast data

Period	Issued Year	
Experimental type	Coupled	
Ensemble	20	
Forecast period (in month)	12 months	
Atmospheric initial conditions	The CMC Global 50-var analysis is assimilated	
Ocean initial conditions	CMC SST and sea-ice analysis at the surface and NCEP GODA 3D ocean below the surface	
SST boundary conditions (if tier-2)		
Land surface initial conditions	There's no direct observation used	
Sea ice initial condition	Continuous nudging is used	
Variables	Name	Unit
	MSLP	hPa
	Precipitation	kg/m ² sec
	SST	K
	Surface (2 m) air temperature	K
	Temperature at 200 hPa	K
	Temperature at 850 hPa	K
	Zonal velocity at 200 hPa	m/s
	Zonal velocity at 850 hPa	m/s
	Meridional velocity at 200 hPa	m/s
	Meridional velocity at 850 hPa	m/s
	Geopotential height at 500 hPa	m
File Name	YYYYMMDD_cansips_hindcast_raw_latlon2.5x2.5_VA R_YEAR-MM_allmembers.grib2 - YYYY = Current year - YEAR = Forecast year - MM = Initial month - VAR = Variable	

5. Operational Procedure

To pre-process the MSC model, we are required to edit the file 'test_model.yml' and to run the program 'runPRE.py' in the following directory: (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/. Even though we run the file as runPRE.py, we can check the pre-processing procedure for the MSC model from the file '0.PRE_MSC.py' in the following directory: (210.98.49.41)/data02/ OPER/PRE/MSC. Here, we show the procedure to run the file '0.PRE_MSC.py'.

```
> cd /data02/OPER/PRE/MSC
> python 0.PRE_MSC.py
```

Moreover, pre-processing of the MSC model dataset is conducted as follows.

5.1 The description of '0.PRE_MSC.py'

- Define variables and path.
- Write parameters.
- Get raw data from ftp server.
- Copy and unzip the raw data to indir directory.
- Process Forecast and Hindcast scripts.

5.2 Description of the parameter file 'MSC.Parameters.Source'

Variable	Description
LYEAR	Year 1 month ago
LMON	Last month
NYEAR	Current year
NMON	Current month
FMON1	First month of the forecast period
FYEAR1	First year of the forecast period

5.3 Preprocessing file for the Forecast and Hindcast data

The following script shows the setting of parameters related to the Forecast period, directories, number of ensembles and variables, etc., in files such as `mknc_msc_fore.ncl` and `mknc_msc_hind.ncl`. The nomenclature and definitions of the variables required in the script appear in the following table.

Defined Variable	Description
YEARS	Forecast years and Hindcast years
MON	First month for forecast range as character
MONTHS	Forecast month range
VARs	Variable name in the title of the raw data file
READVARs	Name of variables used in the nc file
OUTVARs	Name of Variables name in the title of the output file
ENSEMS	Number of ensembles
NMONT	Number of forecast ranges
NVARs	Number of variables
NENSEMS	Number of ensembles
NTIME	Number of forecast months
RAWDDir	Location of the raw data directory

```

13 load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_code.ncl"
14load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_csm.ncl"
15 load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/contributed.ncl"
16load "/data02/OPER/AFS/CODE/COMMON/NCL/AFS.Definitions"
17load "/data01/OPER/AFS/CODE/COMMON/NCL/AFS_WriteData.ncl"
18load "/data02/OPER/PRE/MSD/MSD.Parameters.Source"
19
20 begin
21 ;=====
22 ; 01. SETTING PRAMETERS(EX.YEAR, MONTH, DIRECTORY...)
23 ;=====
24             MONTH_NAMES                                =
  ("FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUL","AUG","SEP","OCT","NOV","DEC","JAN"/)
25MONTH_DAYS   = (/31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31/)
26 MON         = MONTH_NAMES(NMON-1)
27
28VARs                                                =
  ("PRMSL_MSL_0_","PRATE_SFC_0_","WTMP_SFC_0_","TMP_TGL_2m_","TMP_ISBL_0850_",
  \

```



```

"UGRD_ISBL_0200_", "UGRD_ISBL_0850_", "VGRD_ISBL_0200_", "VGRD_ISBL_0850_",
"HGT_ISBL_0500_")
30
31 OUTVARS      = (/ "slp", "prec", "sst", "T2m", "t850", "u200", "U850", "v200", "V850", "z500" /)
32
33 ENSEMS       = ispan(1,20,1)
34 NVARs        = dimsizes(VARS)
35 NENSEMS=     dimsizes(ENSEMS)
36 NTIME        = 12
37
38 RAWDir       = "/data02/OPER/PRE/MSc/datain/forecast/"50
(-----continue-----)

```

6. Output

The pre-processed Hindcast and Forecast datasets are stored separately in the following directories:

Hindcast data	/data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/HINDCAST/MSc
Forecast data	/data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/FORECAST/MSc

※ Focal Point: Benoit Archambault
 1. e-mail: benoit.archambault@ec.gc.ca

Appendix A.10

Pre-Processing of NASA Model

(Submitted by Hyun-Ju Lee)

(10) Summary and Purpose of this Document

This document describes the full production line for pre-processing of NASA Hindcast and Forecast model datasets.

NASA Pre-Processing

1. Introduction

The APCC routinely collects 6-month hind/Forecast datasets from 17 operational/research centers. This document describes the procedures to pre-process the National Aeronautics and Space Administration (NASA) model datasets.

2. Directory Structure

The NASA transfers their Forecast and Hindcast datasets to their ftp server ([gmaoftp.gsfc.nasa.gov/pub/data/zli/APCN_SEA](ftp://gmaoftp.gsfc.nasa.gov/pub/data/zli/APCN_SEA)) on monthly basis. These data sets are, then, download them to the APCC's server (210.98.49.41).

- Download the NASA datasets to the APCC server.
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/RAW/YYYY/SEA/NASA-GSFC/
 YYYY = issued year (e.g., 2014); SEA = issued season (e.g., MAM)
- Script files for NASA data processing are stored in the following directories:
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/NASA/
 0.PRE_NASA.py
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/NASA/src/
 mknc_nasa_fore.ncl
 cpnc_nasa_hind.ncl
- The temporary NASA pre-processing files are stored in the following directory:
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/NASA/datain/
- The pre-processed datasets are present in the following directories.
 - (210.98.49.41)
 /data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/FORECAST/NASA/MON/YYYY/
 /data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/HINDCAST/NASA/MON/YYYY/
 MON = the start month of the Forecast (e.g., JAN)

3. Model Description

Country	USA
Institute/Organization	National Aeronautics and Space Administration (NASA) Goddard Space Flight Center
Model designation	Global Modeling and Assimilation Office (GMAO)
Atmospheric model and Resolution	GEOS-5 AGCM, 288x181, L72
Ocean model and Resolution	MOM4, 720x410, L40

4. Data Description

4.1 Hindcast data

Period	1981 to 2010	
Experimental type	Coupled	
Ensemble	10	
Forecast period (in month)	8 months	
Atmospheric initial conditions	MERRA reanalysis	
Ocean initial conditions	GEOS ODAS-2	
SST boundary conditions (if tier-2)		
Land surface initial conditions	From analysis system, but with analysis precipitation corrected by gauge/satellite product	
Sea ice initial condition	GEOS ODAS-2	
Variables	Name	Unit
	MSLP	hPa
	Total precipitation rate	kg/m ² sec
	Sea surface temperature	K
	Surface (2 m) air temperature	K
	Temperature at 850 hPa	K
	Zonal velocity at 200 hPa	m/s
	Zonal velocity at 850 hPa	m/s
	Meridional velocity at 200 hPa	m/s
	Meridional velocity at 850 hPa	m/s
	Geopotential height at 500 hPa	m

4.2 Forecast data

Period	Issued Year	
Experimental type	Coupled	
Ensemble	11	
Forecast period (in month)	8 months	
Atmospheric initial conditions	MERRA reanalysis	
Ocean initial conditions	GEOS ODAS-2	
SST boundary conditions (if tier-2)		
Land surface initial conditions	From analysis system, but with analysis precipitation corrected by gauge/satellite product	
Sea ice initial condition	GEOS ODAS-2	
Variables	Name	Unit
	MSLP	hPa
	Total precipitation rate	kg/m ² sec
	Sea surface temperature	K
	Surface (2 m) air temperature	K
	Temperature at 850 hPa	K
	Zonal velocity at 200 hPa	m/s
	Zonal velocity at 850 hPa	m/s
	Meridional velocity at 200 hPa	m/s
	Meridional velocity at 850 hPa	m/s
	Geopotential height at 500 hPa	m
	Outgoing Longwave Radiation	W/m ³

5. Operational Procedure

To pre-process the NASA model, we are required to edit the file 'test_model.yml' and to run the program 'runPRE.py' in the following directory: (210,98.49.41) /data02/OPER/PRE/. Even though we run the file as runPRE.py, we can check the pre-processing procedure for the NASA model from the file '0.PRE_NASA.py'

in the following directory: (210.98.49.41)/ data02/OPER/PRE/NASA. Here, we show the procedure to run the file ‘0.PRE_NASA.py’.

```
> cd /data02/OPER/PRE/NASA
> python 0.PRE_NASA.py
```

Moreover, pre-processing of the BCC model dataset is conducted as follows.

5.1 Description of ‘0.PRE_NASA.py’

- Define variables and path.
- Write parameters.
- Get raw data from ftp server.
- Copy and unzip the raw data to indir directory.
- Process Forecast and Hindcast scripts.

5.2 The description of the parameter file ‘NASA.Parameters.Source’

Variable	Description
LYEAR	Year 1 month ago
LMON	Last month
NYEAR	Current year
NMON	Current month
FMON1	First month of the forecast period
FYEAR1	First year of the forecast period

5.3 Preprocessing file for the Forecast and Hindcast data

The following script shows the setting of parameters related to the Forecast period, directories, number of ensembles and variables, etc., in files such as mknc_nasa_fore.ncl and mknc_nasa_hind.ncl. The nomenclature and definitions of the variables required in the script appear in the following table.

Variable	Description
YEARS	Forecast years and hindcast years
MON	First month for forecast range as character
MONTHS	Forecast month range
VARs	Variable name in the title of the raw data file
READVARs	Name of variables used in the nc file
OUTVARs	Name of Variables name in the title of the output file
ENSEMS	Number of ensembles
NMONT	Number of forecast ranges
NVARs	Number of variables
NENSEMS	Number of ensembles
NTIME	Number of forecast months
RAWDIr	Location of the raw data directory

```

13 load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_code.ncl"
14 load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_csm.ncl"
15 load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/contributed.ncl"
16load "/data01/OPER/AFS/CODE/COMMON/NCL/AFS.Definitions"
17load "/data01/OPER/AFS/CODE/COMMON/NCL/AFS_WriteData.ncl"
18 load "/data02/OPER/PRE/NASA /NASA.Parameters.Source"
19
20 begin
21;=====
22: 01. SETTING PRAMETERS(EX.YEAR, MONTH, DIRECTORY)
23;=====
24             MONTH_NAMES                               =
(/"FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUL","AUG","SEP","OCT","NOV","DEC","JAN"/)
25 MON             = MONTH_NAMES(NMONT-1)
26
27VARs                               =
(/"precip","t850","z500","at","U850","V850","u200","v200","slp","olr","sst"/)
28
29OUTVARs                               =
(/"prec","t850","z500","T2m","U850","V850","u200","v200","slp","olr","sst"/)
30
31 ENSEMS             = ispan(1,11,1)
32 NVARs              = dimsizes(VARS)
33 NENSEMS            = dimsizes(ENSEMS)
34 NTIME              = 8
35
   RAWDir            = "/data02/OPER/PRE/NASA/datain/forecast/"
(-----continue-----)

```


6. OutPut

The pre-processed Hindcast and Forecast datasets are stored separately in the following directories:

Hindcast data	/data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/HINDCAST/NASA
Forecast data	/data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/FORECAST/NASA

※ Focal Point: Zhao Li 1. e-mail: zhao.e.li@nasa.gov

Appendix A.11

Pre-Processing of NCEP Model Datasets

(Submitted by Hyun-Ju Lee)

(11) Summary and Purpose of this Document

This document describes the full production line for pre-processing of NCEP Hindcast and Forecast model datasets.

NCEP Pre-Processing

1. Introduction

The APCC routinely collects 6-month hind/Forecast datasets from 17 operational/research centers. This document describes the procedures to pre-process the National Centers for Environmental Prediction (NCEP) model datasets.

2. Directory Structure

The NCEP transfers their Forecast datasets to their ftp server (<ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/mingyue/APCC>) on monthly basis. We need to download these datasets to our server (210.98.49.41).

- The downloaded raw datasets are stored in the following directory:
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/RAW/YYYY/SEA/NCEP/
 YYYY = issued year (e.g., 2014); SEA = issued season (e.g., MAM)
- Scripts for NCEP pre-processing are present in the following directories:
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/NCEP/
 0.PRE_NCEP.py
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/NCEP/src/
 mknc_ncep_fore.ncl
 cpnc_ncep_hind.ncl
- The temporary NCEP pre-processing files are stored in the following directory:
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/NCEP/datain/
- The pre-processed datasets are present in the following directories:
 - (210.98.49.41)
 /data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/FORECAST/NCEP/MON/YYYY/
 /data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/HINDCAST/NCEP/MON/YYYY/
 MON = the start month of Forecast (e.g., JAN)

3. Model Description

Country	USA
Institute/Organization	National Centers for Environmental Prediction (NCEP)
Model designation	CFSv2
Atmospheric model and Resolution	T126, 64 vertical levels
Ocean model and Resolution	GDFL MOM4 global ocean model

4. Data Description

4.1 Hindcast data

Period	1982 to 2010	
Experimental type	Coupled	
Ensemble	20	
Forecast period (in month)	6 months (9 months)	
Atmospheric initial conditions	CFS data assimilation system at 00z, 06z, 12z and 18z, every 5th day	
Ocean initial conditions	Forecast with GDFL MOM4 global ocean model	
SST boundary conditions (if tier-2)	Forecast with GDFL MOM4 global ocean model	
Land surface initial conditions	-	
Sea ice initial condition	Forecast with a two-layer sea ice model	
Variables	Name	Unit
	MSLP	hPa
	Precipitation	kg/m ² sec
	SST	K
	Surface (2 m) air temperature	K
	Temperature at 200 hPa	K
	Temperature at 850 hPa	K
	Zonal velocity at 200 hPa	m/s
	Zonal velocity at 850 hPa	m/s
	Meridional velocity at 200 hPa	m/s
	Meridional velocity at 850 hPa	m/s
	Geopotential height at 500 hPa	m
File Name	CMCC_SPS_YYYYST_P_mMM_VAR.nc.gz - YYYY = Hindcasts year - ST = month start-date - MM = Hindcast month - P = Ensemble member - VAR = Variable	

4.2 Forecast data

Period	Issued Year	
Experimental type	Coupled	
Ensemble	20	
Forecast period (in months)	6 months (9 months)	
Atmospheric initial conditions	CFS data assimilation system at 00z, 06z, 12z and 18z, every 5th day	
Ocean initial conditions	Forecast with GDFL MOM4 global ocean model	
SST boundary conditions (if tier-2)	Forecast with GDFL MOM4 global ocean model	
Land surface initial conditions		
Sea ice initial condition	Forecast with a two-layer sea ice model	
Variables	Name	Unit
	MSLP	hPa
	Precipitation	kg/m ² sec
	SST	K
	Surface (2 m) air temperature	K
	Temperature at 200 hPa	K
	Temperature at 850 hPa	K
	Zonal velocity at 200 hPa	m/s
	Zonal velocity at 500 hPa	m/s
	Meridional velocity at 200 hPa	m/s
	Meridional velocity at 500 hPa	m/s
	Geopotential height at 500 hPa	m
File Name	CMCC_SPS_YYYYMM_P_monthly_VAR.nc.gz - YYYY = Current year - MM = Forecast month - P = Ensemble member - VAR = Variable	

5. Operational Procedure

To pre-process the NCEP model, we are required to edit the file ‘test_model.yml’ and to run the program ‘runPRE.py’ in the following directory: (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/. Even though we run the file as runPRE.py, we can check the pre-processing procedure for the NCEP model from the file ‘0.PRE_NCEP.py’ in the following directory: (210.98.49.41)/ data02/OPER/PRE/NCEP. Here, we show the procedure to run the file ‘0.PRE_NCEP.py’.

```
> cd /data02/OPER/PRE/NCEP
> python 0.PRE_NCEP.py
```

Moreover, pre-processing of the NCEP model dataset is conducted as follows.

5.1 The description of ‘0.PRE_NCEP.py’

- Define variables and path.
- Write parameters.
- Get raw data from ftp server.
- Copy and unzip the raw data to indir directory.
- Process Forecast and Hindcast scripts.

5.2 Description of parameter file ‘NCEP.Parameters.Source’

Variable	Description
LYEAR	Year 1 month ago
LMON	Last month
NYEAR	Current year
NMON	Current month
FMON1	First month of the forecast period
FYEAR1	First year of the forecast period

5.3 Preprocessing file for the Forecast and Hindcast data

The following script shows the setting of parameters related to the Forecast period, directories, number of ensembles and variables, etc., in files such as `mknc_ncep_fore.ncl` and `mknc_ncep_hind.ncl`. The nomenclature and definitions of the variables required in the script appear in the following table.

Variable	Description
YEARS	Forecast years and Hindcast years
MON	First month for forecast range as character
MONTHS	Forecast month range
VARS	Variable name in the title of the raw data file
READVARS	Name of variables used in the nc file
OUTVARS	Name of Variables name in the title of the output file
ENSEMS	Number of ensembles
NMONT	Number of forecast ranges
NVARS	Number of variables
NENSEMS	Number of ensembles
NTIME	Number of forecast months
RAWDDir	Location of the raw data directory

```

13 load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_code.ncl"
14 load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_csm.ncl"
15 load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/contributed.ncl"
16load "/data01/OPER/AFS/CODE/COMMON/NCL/AFS.Definitions"
17load "/data01/OPER/AFS/CODE/COMMON/NCL/AFS_WriteData.ncl"
18load "/data02/OPER/PRE/CMCC_SPS/CMCC.Parameters.Source"
19
20 begin
21 ;=====
22 ; 01. SETTING PRAMETERS(EX.YEAR, MONTH, DIRECTORY...)
23 ;=====
24 MONTH_NAMES = (/ "FEB", "MAR", "APR", "MAY", "JUN", "JUL", "AUG", "SEP",
"OCT", "NOV", "DEC", "JAN" /)
25 SEASON_NAME1 = (/ "FMA", "MAM", "AMJ", "MJJ", "JJA", "JAS", "ASO", "SON",
"OND", "NDJ", "DJF", "JFM" /)
26 SEASON_NAME2 = (/ "MJJ", "JJA", "JAS", "ASO", "SON", "OND", "NDJ", "DJF",
"JFM", "FMA", "MAM", "AMJ" /)
27 MON          = MONTH_NAMES(NMONT-1)
28
29 VARS          = (/ "PRMSL_2_MSL_ave1m", "PRATE_2_SFC_ave1m",

```



```

"TMP_2_HTGL_ave1m","TMP_2_SFC_ave1m",
"ULWRF_2_NTAT_ave1m",\
    "TMP_2_ISBL_ave1m","HGT_2_ISBL_ave1m",
"HGT_2_ISBL_ave1m",\
"U_GRD_2_ISBL_ave1m","U_GRD_2_ISBL_ave1m",
"V_GRD_2_ISBL_ave1m","V_GRD_2_ISBL_ave1m"/)

33OUTVARS      = (/ "slp","prec","T2m","tsfc","olr",\
    "t850","z500","z200","U850","u200","V850","v200"/)

35  ENSEMS      = ispan(1,20,1)
36  NVARs       = dimsizes(VARS)
37  NENSEMS     = dimsizes(ENSEMS)
38  NTIME       = 6
39
40RAWDDir      = "/data02/OPER/PRE/NCEP/datain/forecast/"

(-----continue-----)

```

6. Output

The pre-processed Hindcast and Forecast datasets are stored separately in the following directories:

Hindcast data	/data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/HINDCAST/NCEP
Forecast data	/data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/FORECAST/NCEP

※ Focal Point: Mingyue Chen
 1. e-mail: Mingyue.Chen@noaa.gov

Appendix A.12**Pre-Processing of PNU Model Datasets**

(Submitted by Sang Myeong Oh)

(12) Summary and Purpose of this Document

This document describes the full production line for pre-processing of PNU Hindcast and Forecast model datasets.

PNU Pre-Processing**1. Introduction**

The APCC routinely collects 6-month hind/Forecast datasets from 17 operational/research centers. This document describes the procedures to pre-process the Pusan National University (PNU) model datasets.

2. Directory Structure

The PNU transfers their Forecast and Hindcast datasets to our ftp server (210.98.49.14) every month. We need to download these datasets to our server (210.98.49.41).

- The PNU transfers their Forecast datasets to our ftp server (210.98.49.14) every month and we download those datasets to our server (210.98.49.41).
 - (210.98.49.14) /apccdata01/YYYYSEA/PNU/

- The downloaded raw datasets are stored in the following directory:
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/RAW/YYYY/SEA/PNU/
 YYYY = issued year (e.g., 2014), SEA = issued season (e.g., MAM)
- Scripts for PNU pre-processing are present in the following directories:
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/PNU/
 0.PRE_PNU.py
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/PNU/src/:
 mknc_pnu_fore.ncl
 mknc_pnu_hind.ncl
- The temporary PNU pre-processing files are stored in the following directories:
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/PNU/datain/
- The pre-processed datasets are present in the following directory.
 - (210.98.49.41)
 /data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/FORECAST/PNU/MON/YYYY/
 /data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/HINDCAST/PNU/MON/YYYY/
 MON = the start month of the Forecast (e.g., JAN)

3. Model Description

Country	Rep. of Korea
Institute/Organization	Climate Prediction Laboratory/Pusan National University
Model designation	PNU CGCM V1.0
Atmospheric model and Resolution	T42 x 18 sigma levels
Ocean model and Resolution	2.8125 (lon) x 0.7, 1.4, 2.8 (lat) x 29 sigma levels

4. Data Description

4.1 Hindcast data

Period	1980 to 2015	
Experimental type	Coupled	
Ensemble	5	
Forecast period (in months)	6 months	
Atmospheric initial conditions	NCEP/NCAR Reanalysis 2	
Ocean initial conditions	OISST	
SST boundary conditions (if tier-2)	N/A	
Land surface initial conditions	N/A	
Sea ice initial conditions	N/A	
Variables	Name	Unit
	MSLP	hPa
	Precipitation	kg/m ² sec
	SST	K
	OLR	W/m ²
	Temperature at 2m	K
	Temperature at 850 hPa	K
	Zonal velocity at 200 hPa	m/s
	Zonal velocity at 850 hPa	m/s
	Meridional velocity at 200 hPa	m/s
	Meridional velocity at 850 hPa	m/s
	Geopotential height at 500 hPa	m
File Name	CME1_MM_leadLL_1980YYYY_VAR_144x73.DD - MM = Initial month - LL = lead time - YYYY = Initial year - VAR = Variable - DD = Initial date	

4.2 Forecast data

Period	Issued Year	
Experimental type	Coupled	
Ensemble	5	
Forecast period (in months)	6 months	
Atmospheric initial conditions	NCEP/NCAR Reanalysis 2	
Ocean initial conditions	OISST	
SST boundary conditions (if tier-2)	N/A	
Land surface initial conditions	N/A	
Sea ice initial conditions	N/A	
Variables	Name	Unit
	MSLP	hPa
	Precipitation	Kg/m ² sec
	SST	K
	OLR	W/m ²
	Temperature at 2m	K
	Temperature at 850 hPa	K
	Zonal velocity at 200 hPa	m/s
	Zonal velocity at 850 hPa	m/s
	Meridional velocity at 200 hPa	m/s
	Meridional velocity at 850 hPa	m/s
	Geopotential height at 200 hPa	m
	Geopotential height at 500 hPa	m
	Geopotential height at 850 hPa	m
File Name	CME1_MM_leadLL_1980YYYY_VAR_144x73.DD - MM = Initial month - LL = lead time - YYYY = Initial year - VAR = Variable - DD = Initial date	

5. Operational Procedure

To pre-process the PNU model, we are required to edit the file 'test_model.yml' and to run the program 'runPRE.py' in the following directory: (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/. Even though we run the file as runPRE.py, we can check pre-processing procedure for the PNU model from the file '0.PRE_PNU.py' in the following directory: (210.98.49.41)/ data02/OPER/PRE/PNU. Here, we show the procedure to run the file '0.PRE_PNU.py'.

```
> cd /data02/OPER/PRE/PNU
> python 0.PRE_PNU.py
```

Moreover, pre-processing of the PNU model dataset is conducted as follows.

5.1 Description of '0.PRE_PNU.py'

- Define variables and path.
- Write parameters.
- Get raw data from ftp server.
- Copy and unzip the raw data to indir directory.
- Process Forecast and Hindcast scripts.

5.2 Description of the parameter file 'PNU.Parameters.Source'

Variable	Description
LYEAR	Year 1 month ago
LMON	Last month
NYEAR	Current year
NMON	Current month
FMON1	First month for forecast period
FYEAR1	First year for forecast period

5.3 Preprocessing file for the Forecast and Hindcast data

The following script shows the setting of parameters related to the Forecast period, directories, number of ensemble and variables, etc., in files such as `mknc_PNU_fore.ncl` and `mknc_PNU_hind.ncl`. The nomenclature and definitions of the variables required in the script appear in the following table.

Defined Variable	Description
YEARS	Forecast and hindcast years
MON	First month for forecast range as character
MONTHS	Forecast month range
VARs	Variables name in the title of the raw data file
READVARs	Name of variables used in the nc file
OUTVARs	Name of the variable in the title of the output data file
ENSEMS	Number of ensembles
NMONT	Number of forecast range
NVARs	Number of variables
NENSEMS	Number of ensembles
NTIME	Number of forecast months

```

7  load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_code.ncl"
8  load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_csm.ncl"
9  load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/contributed.ncl"
10 load "/data02/OPER/AFS/CODE/COMMON/NCL/AFS.Definitions"
11 load "/data01/OPER/AFS/CODE/COMMON/NCL/AFS_WriteData_v1.ncl"
12 load "/data02/OPER/PRE/PNU/PNU.Parameters.Source"
13
14 begin
15 ;=====
16 ; 01. SETTING PRAMETERS(EX.YEAR, MONTH, DIRECTORY...)
17 ;=====
18 YEARS      = (/FYEAR1,FYEAR2,FYEAR3,FYEAR4,FYEAR5,FYEAR6/)
19 MONTHS     = (/FMON1,FMON2,FMON3,FMON4,FMON5,FMON6/)
20
21 TYEAR      = dimsizes(ispan(1980,LYEAR,1))
22
23 MONTH_NAMES =
(/"FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUL","AUG","SEP","OCT","NOV","DEC","JAN"/)
24 SEASON_NAMES =
(/"FMA","MAM","AMJ","MJJ","JJA","JAS","ASO","SON","OND","NDJ","DJF","JFM"/)
25
26 MON        = MONTH_NAMES(NMONT-1)
27 SEA        = SEASON_NAMES(NMONT-1)
28
29 READVARs =

```



```

(/"olr","pptn","slp","sst","T2m","t850","u200","U850","v200","V850","z500"/)
30  OUTVARS =
(/"olr","prec","slp","sst","T2m","t850","u200","U850","v200","V850","z500"/)
31  ENSTYPE = (/11,13,15,17,19/)
32
33  ENSEMS      = ispan(0, 4, 1)
34  NMONT       = dimsizes(MONTHS)
35  NVAR        = dimsizes(OUTVARS)
36  NENSEMS     = dimsizes(ENSEMS)
37  NTIME       = 6
38
39  RAWDir       = "/data02/OPER/PRE/PNU/datain/forecast/"
40
41  nlat         = 73
42  nlon         = 144
43  lat          = fspan(-90.0,90.0, 73)
44  lon          = fspan( 0.0,357.5,144)
45  lat@units    = "degrees_north"
46  lon@units    = "degrees_east"
47  FillValue    = 1e20

(-----continue-----)

```

6. Output

The preprocessing Hindcast and Forecast datasets are stored separately in the following directories:

Hindcast data	/data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/HINDCAST/PNU
Forecast data	/data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/FORECAST/PNU

※ Focal Point : Joong-Bae Ahn, Bayasglan Gerelchulunn
 1. e-mail : jbahn@pusan.ac.kr, bayasaa@pusan.ac.kr

Appendix A.13**Pre-Processing of POAMA Model Datasets**

(Submitted by Sang Myeong Oh)

(13) Summary and Purpose of this Document

This document describes the full production line for pre-processing of POAMA Hindcast and Forecast model datasets.

POAMA Pre-Processing**1. Introduction**

The APCC routinely collects 6-month hind/Forecast datasets from 17 operational/research centers. This document describes the procedures to pre-process the Predictive Ocean Atmosphere Model for Australia (POAMA) model datasets.

2. Directory Structure

The Bureau of Meteorology (BOM) uploads their Forecast and Hindcast datasets to BOM ftp server (ftp.bom.gov.au) every month. We need to download these datasets to our server (210.98.49.41).

- The BOM uploads their Forecast datasets to their ftp server (ftp.bom.gov.au) every month and we download the datasets in our server (210.98.49.41).
 - ftp.bom.gov.au

- log in ID : anonymous, PW : osm1006@apcc21.org
- The downloaded raw datasets are stored in the following directory:
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/RAW/YYYY/SEA/POAMA/
YYYY = issued year (e.g., 2014), SEA = issued season (e.g., MAM)
- Scripts for POAMA pre-processing are present in the following directories:
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/POAMA/
0.PRE_POAMA.py
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/POAMA/src/:
mknc_poama_fore.ncl
mknc_poama_hind.ncl
- The temporary POAMA pre-processing files are stored in the following directories:
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/POAMA/datain/
- The pre-processed datasets are present in the following directory.
 - (210.98.49.41)
/data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/FORECAST/POAMA/MON/YYYY/
/data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/HINDCAST/POAMA/MON/YYYY/
MON = the start month of the Forecast (e.g., JAN)

3. Model Description

Country	Australia
Institute/Organization	Bureau of Meteorology
Model designation	POAMA-M24
Atmospheric model and Resolution	T47 x 17 levels
Ocean model and Resolution	2 (lon) x 0.5~1.5 (lat), 25 levels

4. Data Description

4.1 Hindcast data

Period	1983 to 2011	
Experimental type	Coupled	
Ensemble	33	
Forecast Period (in months)	6 months	
Atmospheric initial conditions	BAM (BMRC atmospheric model v3)	
Ocean initial conditions	ACOM2 (Australian Community Ocean Model v2)	
SST boundary conditions (if tier-2)	N/A	
Land surface initial conditions	N/A	
Sea ice initial conditions	N/A	
Variables	Name	Unit
	MSLP	hPa
	Precipitation	kg/m ² sec
	SST	K
	Surface air temperature	K
	Temperature at 2m	K
	OLR	W/m ²
	Temperature at 850 hPa	K
	Zonal velocity at 200 hPa	m/s
	Zonal velocity at 850 hPa	m/s
	Meridional velocity at 200 hPa	m/s
	Meridional velocity at 850 hPa	m/s
	Geopotential height at 500 hPa	m
File Name	POAMA2.4_m24TY1_eTY2_YYYYMMDD_YYYYf6_MMf6_VAR..nc - TY1 = ensemble type (a-c) - TY2 = ensemble type (00-10) - YYYY = Initial year - MM = Initial month - DD = Initial day - YYYYf6 = 6-month lead forecast year - MMf6 = 6-month lead forecast month - VAR = Variable name	

4.2 Forecast data

Period	Issued Year	
Experimental type	Coupled	
Ensemble	33	
Forecast Period (in months)	6 months	
Atmospheric initial conditions	BAM (BMRC atmospheric model v3)	
Ocean initial conditions	ACOM2 (Australian Community Ocean Model v2)	
SST boundary conditions (if tier-2)	N/A	
Land surface initial conditions	N/A	
Sea ice initial conditions	N/A	
Variables	Name	Unit
	MSLP	hPa
	Precipitation	kg/m ² sec
	SST	K
	Surface air temperature	K
	Temperature at 2m	K
	OLR	W/m ²
	Temperature at 850 hPa	K
	Zonal velocity at 200 hPa	m/s
	Zonal velocity at 850 hPa	m/s
	Meridional velocity at 200 hPa	m/s
	Meridional velocity at 850 hPa	m/s
	Geopotential height at 500 hPa	m
File Name	POAMA2.4_m24TY1_eTY2_YYYYMMDD_YYYYf6_MMf6_VAR..nc - TY1 = ensemble type (a-c) - TY2 = ensemble type (00-10) - YYYY = Initial year - MM = Initial month - DD = Initial day - YYYYf6 = 6-month lead forecast year - MMf6 = 6-month lead forecast month - VAR = Variable name	

5. Operational Procedure

To pre-process POAMA model, we are required to edit the file 'test_model.yml' and to run the program 'runPRE.py' in the following directory: (210.98.49.41)/data02/OPER/PRE/. Even though we run the file as runPRE.py, we can check pre-processing procedure for the POAMA model from the file '0.PRE_POAMA.py' in the following directory: (210.98.49.41)/data02/OPER/PRE/POAMA. Here, we show the procedure to run the file '0.PRE_POAMA.py'.

```
> cd /data02/OPER/PRE/POAMA
> python 0.PRE_POAMA.py
```

Moreover, pre-processing of the POAMA model dataset is conducted as follows.

5.1 Description of '0.PRE_POAMA.py'

- Define variables and path.
- Write parameters.
- Get raw data from ftp server.
- Copy and unzip the raw data to indir directory.
- Process Forecast and Hindcast scripts.

5.2 Description of the parameter file 'POAMA.Parameters.Source'

Variable	Description
LYEAR	Year 1 month ago
LMON	Last month
NYEAR	Current year
NMON	Current month
FMON1	First month for forecast period
FYEAR1	First year for forecast period

5.3 Preprocessing file for the Forecast and Hindcast data

The following script shows the setting of parameters related to the Forecast period, directories, number of ensemble and variables, etc., in files such as `mknc_POAMA_fore.ncl` and `mknc_POAMA_hind.ncl`. The nomenclature and definitions of the variables required in the script appear in the following table.

Defined Variable	Description
YEARS	Forecast and hindcast years
MON	First month for forecast range as character
MONTHS	Forecast month range
VARS	Variables name in the title of the raw data file
READVARS	Name of variables used in the nc file
OUTVARS	Name of the variable in the title of the output data file
ENSEMS	Number of ensembles
NMONT	Number of forecast range
NVARS	Number of variables
NENSEMS	Number of ensembles
NTIME	Number of forecast months
RAWDDir	Location of the raw data directory

```

7  load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_code.ncl"
8  load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_csm.ncl"
9  load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/contributed.ncl"
10 load "/data02/OPER/AFS/CODE/COMMON/NCL/AFS.Definitions"
11 load "/data01/OPER/AFS/CODE/COMMON/NCL/AFS_WriteData_v1.ncl"
12 load "/data02/OPER/PRE/POAMA/POAMA.Parameters.Source"
13
14 begin
15 ;=====
16 ; 01. SETTING PRAMETERS(EX.YEAR, MONTH, DIRECTORY...)
17 ;=====
18 YEARS      = (/FYEAR1,FYEAR2,FYEAR3,FYEAR4,FYEAR5,FYEAR6/)
19 MONTHS     = (/FMON1,FMON2,FMON3,FMON4,FMON5,FMON6/)
20
21 MONTH_NAMES =
(/"FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUL","AUG","SEP","OCT","NOV","DEC","JAN"/)
22 SEASON_NAMES =
(/"FMA","MAM","AMJ","MJJ","JJA","JAS","ASO","SON","OND","NDJ","DJF","JFM"/)
23
24 MON        = MONTH_NAMES(NMON-1)
25 SEA        = SEASON_NAMES(NMON-1)
26
27 ENSTYPE1   =

```



```

(/"e00","e01","e02","e03","e04","e05","e06","e07","e08","e09","e10"/)
28  ENSTYPE2      = (/m24a,m24b,m24c/)
29
30  INVARs        = (/olr",prcp",mslp",\
31                "sst","T2m","t850",\
32                "u200","U850","v200",\
33                "V850","g500","tsur"/)
34  READVARs      = (/netlw_toa_rad",hr24_prdp",mslp",\
35                "sst","sfc_temp","air_temp",\
36                "zonal_wnd","zonal_wnd","merid_wnd",\
37                "merid_wnd","geop_ht","sfc_temp"/)
38  OUTVARs       = (/olr",prec",slp",\
39                "sst","T2m","t850",\
40                "u200","U850","v200",\
41                "V850","z500","ts"/)
42
43  ENSEMS        = ispan(0, 32, 1)
44  NMONT         = dimsizes(MONTHS)
45  NVARs         = dimsizes(OUTVARs)
46  NENSEMS       = dimsizes(ENSEMS)
47  NTIME        = 6
48
49  RAWDir        = "/data02/OPER/PRE/POAMA/datain/forecast/"
50
51  nlat          = 73
52  nlon          = 144
53  lat           = fspan(-90.0,90.0, 73)
54  lon           = fspan( 0.0,357.5,144)
55  lat@units     = "degrees_north"
56  lon@units     = "degrees_east"
57  FillValue     = 1e20

(-----continue-----)

```

6. Output

The preprocessing Hindcast and Forecast datasets are stored separately in the following directories:

Hindcast data	/data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/HINDCAST/POAMA
Forecast data	/data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/FORECAST/POAMA

※ Focal Point : Aihong Zhong, Lixin Qi
 1. e-mail : a.zhong@bom.gov.au, L.Qi@bom.gov.au

Appendix A.14**Pre-Processing of UKMO Model Datasets**

(Submitted by Sang Myeong Oh)

(14) Summary and Purpose of this Document

This document describes the full production line for pre-processing of UKMO Hindcast and Forecast model datasets.

UKMO Pre-Processing**1. Introduction**

The APCC routinely collects 6-month hind/Forecast datasets from 17 operational/research centers. This document describes the procedures to pre-process the UK Met Office (UKMO) model datasets.

2. Directory Structure

The UKMO uploads their Forecast and Hindcast datasets to UKMO ftp server (ftp.metoffice.gov.uk) every month. We need to download these datasets to our server (210.98.49.41).

- The UKMO uploads their Forecast datasets to their ftp server (ftp.metoffice.gov.uk) every month and we download the datasets in our server (210.98.49.41).

- ftp.metoffice.gov.uk
- log in ID : ext_climprod_pjm, PW : viza9ezy
- The downloaded raw datasets are stored in the following directory:
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/RAW/YYYY/SEA/UKMO/
 YYYY = issued year (e.g., 2014), SEA = issued season (e.g., MAM)
- Scripts for UKMO pre-processing are present in the following directories:
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/UKMO/
 0.PRE_UKMO.py
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/UKMO/src/:
 mknc_ukmo_fore.ncl
 mknc_ukmo_hind.ncl
- The temporary UKMO pre-processing files are stored in the following directories:
 - (210.98.49.41) /data02/OPER/PRE/UKMO/datain/
- The pre-processed datasets are present in the following directory.
 - (210.98.49.41)
 /data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/FORECAST/UKMO/MON/YYYY/
 /data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/HINDCAST/UKMO/MON/YYYY/
 MON = the start month of the Forecast (e.g., JAN)

3. Model Description

Country	UK
Institute/Organization	Met Office
Model designation	GloSea5
Atmospheric model and Resolution	1.875 × 1.25 × 85 levels
Ocean model and Resolution	1 × 1 deg., 75 levels

4. Data Description

4.1 Hindcast data

Period	1993 to 2015	
Experimental type	Coupled	
Ensemble	12	
Forecast Period (in months)	5 months	
Atmospheric initial conditions	NWP analysis from Met Office operational forecast AGCM	
Ocean initial conditions	Operational OGCM at Met Office	
SST boundary conditions (if tier-2)	N/A	
Land surface initial conditions	NWP analysis from Met Office operational forecast AGCM	
Sea ice initial conditions	Sea ice data assimilation as part of the ocean data assimilation scheme as described above	
Variables	Name	Unit
	MSLP	hPa
	Precipitation	kg/m ² sec
	SST	K
	Surface air temperature	K
	Temperature at 2m	K
	Temperature at 200 hPa	K
	Temperature at 300 hPa	K
	Temperature at 850 hPa	K
	Zonal velocity at 200 hPa	m/s
	Zonal velocity at 500 hPa	m/s
	Zonal velocity at 850 hPa	m/s
	Zonal velocity at 925 hPa	m/s
	Meridional velocity at 200 hPa	m/s
	Meridional velocity at 500 hPa	m/s
	Meridional velocity at 850 hPa	m/s
	Meridional velocity at 925 hPa	m/s
	Geopotential height at 200 hPa	m
	Geopotential height at 500 hPa	m
File Name	exeter_YYYY_MM01_YYYYf1_MMf501_YYYYf5_MMf601_r unENS.nc – YYYY = Initial year – MM = Initial month – YYYYf1 = 1-month lead forecast year – MMf1 = 1-month lead forecast month – YYYYf5 = 5-month lead forecast year – MMf5 = 5-month lead forecast month – ENS = ensemble number	

4.2 Forecast data

Period	Issued Year	
Experimental type	Coupled	
Ensemble	42	
Forecast Period (in months)	5 months	
Atmospheric initial conditions	ERA-interim dataset	
Ocean initial conditions	Operational OGCM at Met Office	
SST boundary conditions (if tier-2)	N/A	
Land surface initial conditions	ERA-interim dataset	
Sea ice initial conditions	Sea ice data assimilation as part of the ocean data assimilation scheme as described above	
Variables	Name	Unit
	MSLP	hPa
	Precipitation	kg/m ² sec
	SST	K
	Surface air temperature	K
	Temperature at 2m	K
	Temperature at 200 hPa	K
	Temperature at 300 hPa	K
	Temperature at 850 hPa	K
	Zonal velocity at 200 hPa	m/s
	Zonal velocity at 500 hPa	m/s
	Zonal velocity at 850 hPa	m/s
	Zonal velocity at 925 hPa	m/s
	Meridional velocity at 200 hPa	m/s
	Meridional velocity at 500 hPa	m/s
	Meridional velocity at 850 hPa	m/s
	Meridional velocity at 925 hPa	m/s
	Geopotential height at 200 hPa	m
	Geopotential height at 500 hPa	m
File Name	exeter_YYYY_MM01_YYYYf1_MMf501_YYYYf5_MMf601_runENS.nc - YYYY = Initial year - MM = Initial month - YYYYf1 = 1-month lead forecast year - MMf1 = 1-month lead forecast month - YYYYf5 = 5-month lead forecast year - MMf5 = 5-month lead forecast month - ENS = ensemble number	

5. Operational Procedure

To pre-process UKMO model, we are required to edit the file 'test_model.yml' and to run the program 'runPRE.py' in the following directory: (210.98.49.41)/data02/OPER/PRE/. Even though we run the file as runPRE.py, we can check pre-processing procedure for the UKMO model from the file '0.PRE_UKMO.py' in the following directory: (210.98.49.41)/data02/OPER/PRE/UKMO. Here, we show the procedure to run the file '0.PRE_UKMO.py'.

```
> cd /data02/OPER/PRE/UKMO
> python 0.PRE_UKMO.py
```

Moreover, pre-processing of the UKMO model dataset is conducted as follows.

5.1 Description of '0.PRE_UKMO.py'

- Define variables and path.
- Write parameters.
- Get raw data from ftp server.
- Copy and unzip the raw data to indir directory.
- Process Forecast and Hindcast scripts.

5.2 Description of the parameter file 'UKMO.Parameters.Source'

Variable	Description
LYEAR	Year 1 month ago
LMON	Last month
NYEAR	Current year
NMON	Current month
FMON1	First month for forecast period
FYEAR1	First year for forecast period

5.3 Preprocessing file for the Forecast and Hindcast data

The following script shows the setting of parameters related to the Forecast period, directories, number of ensemble and variables, etc., in files such as `mknc_UKMO_fore.ncl` and `mknc_UKMO_hind.ncl`. The nomenclature and definitions of the variables required in the script appear in the following table.

Defined Variable	Description
YEARS	Forecast and hindcast years
MON	First month for forecast range as character
MONTHS	Forecast month range
VARs	Variables name in the title of the raw data file
READVARs	Name of variables used in the nc file
OUTVARs	Name of the variable in the title of the output data file
ENSEMS	Number of ensembles
NMONT	Number of forecast range
NVARs	Number of variables
NENSEMS	Number of ensembles
NTIME	Number of forecast months
RAWDIr	Location of the raw data directory

```

7  load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_code.ncl"
8  load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_csm.ncl"
9  load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/contributed.ncl"
10 load "/data02/OPER/AFS/CODE/COMMON/NCL/AFS.Definitions"
11 load "/data01/OPER/AFS/CODE/COMMON/NCL/AFS_WriteData_v1.ncl"
12 load "/data02/OPER/PRE/UKMO/UKMO.Parameters.Source"
13
14 begin
15 ;=====
16 ; 01. SETTING PRAMETERS(EX.YEAR, MONTH, DIRECTORY...)
17 ;=====
18 YEARS      = (/FYEAR1,FYEAR2,FYEAR3,FYEAR4,FYEAR5/)
19 MONTH_NAMES =
(/"FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUL","AUG","SEP","OCT","NOV","DEC","JAN"/)
20 SEASON_NAMES =
(/"FMA","MAM","AMJ","MJJ","JJA","JAS","ASO","SON","OND","NDJ","DJF","JFM"/)
21
22 MON        = MONTH_NAMES(NMONT-1)
23 SEA        = SEASON_NAMES(NMONT-1)
24 MONTHS     = (/FMON1,FMON2,FMON3,FMON4,FMON5/)
25
26 READVARs = (/air_pressure_at_sea_level,"air_temperature","air_temperature_0",\
27             "air_temperature_0","air_temperature_0","geopotential_height",\

```



```
28      "geopotential_height","precipitation_flux","surface_temperature",\  
29      "surface_temperature","x_wind","x_wind_0",\  
30      "x_wind_0","x_wind_0","y_wind",\  
31      "y_wind_0","y_wind_0","y_wind_0"/)  
32  OUTVARS = (/slp,"T2m","t200",\  
33      "t300","t850","z200",\  
34      "z500","prec","ts",\  
35      "sst","u925","u200",\  
36      "u500","U850","v925",\  
37      "v200","v500","V850"/)  
38  
39  ENSEMS      = ispan(0, 41, 1)  
40  NMONT       = dimsizes(MONTHS)  
41  NVAR        = dimsizes(OUTVARS)  
42  NENSEMS     = dimsizes(ENSEMS)  
43  NTIME       = 5  
44  
45  RAWDir      = "/data02/OPER/PRE/UKMO/datain/forecast/"  
46  
47  nlat        = 73  
48  nlon        = 144  
49  lat         = fspan(-90.0,90.0, 73)  
50  lon         = fspan( 0.0,357.5,144)  
51  lat@units   = "degrees_north"  
52  lon@units   = "degrees_east"  
53  FillValue   = 1e20  
  
(-----continue-----)
```

6. Output

The preprocessing Hindcast and Forecast datasets are stored separately in the following directories:

Hindcast data	/data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/HINDCAST/UKMO
Forecast data	/data02/OPER/AFS/DATA/MME_IN/FORECAST/UKMO

※ Focal Point : Peter McLean
1. e-mail : peter.mclean@metoffice.gov.uk

APPENDIX 2

Supplementary Figures and Tables of Chapter 4. Developing guidelines to improve understanding of MME information and more accurate climate prediction in the Korean Peninsula

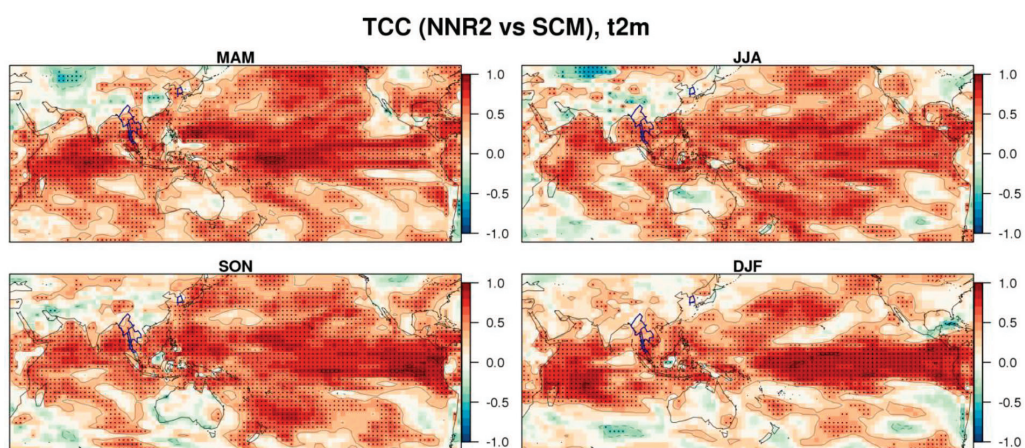


Figure A2.1. Skill performance of four seasons of the APCC DMME hindcast near-surface temperature prediction (1983-2005) verified by the TCC.

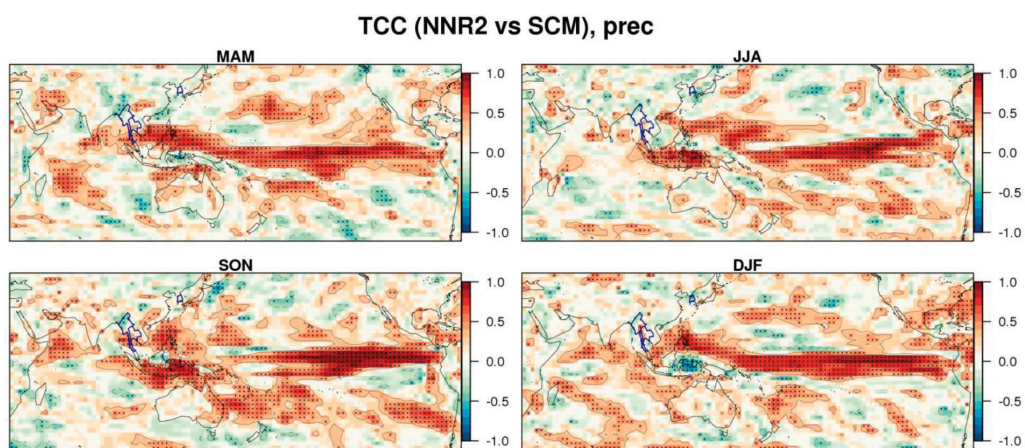


Figure A2.2. Skill performance of four seasons of the APCC DMME hindcast precipitation prediction (1983-2005) verified by the TCC.

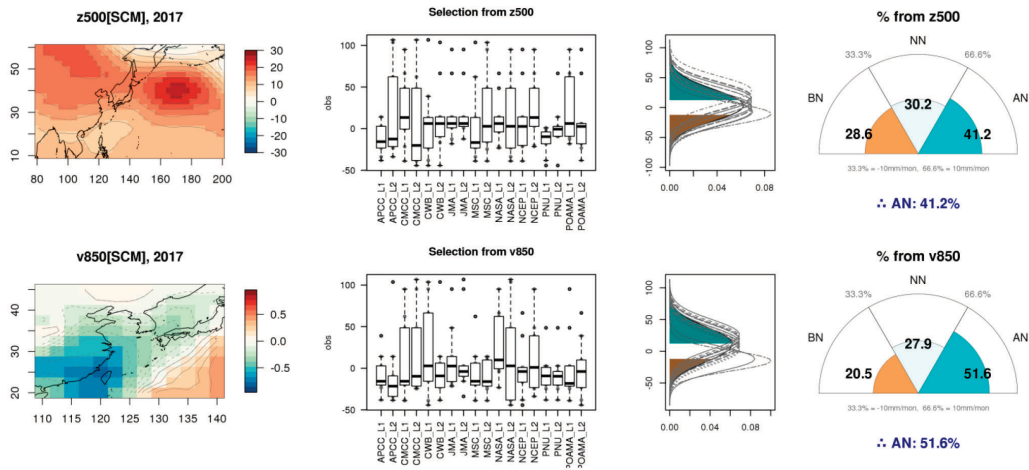


Figure A2.3. First column: spatial pattern of 500 hPa heights (z500) and 850 hPa meridional winds (V850) for the target year/month derived from the APCC DMME near the Korean Peninsula; second column: box-whisker diagram of observed precipitation in the years that have similar z500 and V850 patterns compared to the target year/month; third column: probability distribution parameterized by the mean and variance of individual models and of their average; fourth column: resultant tercile probability of precipitation in the Korean Peninsula for the target year/season. [Example extracted from October 2017]

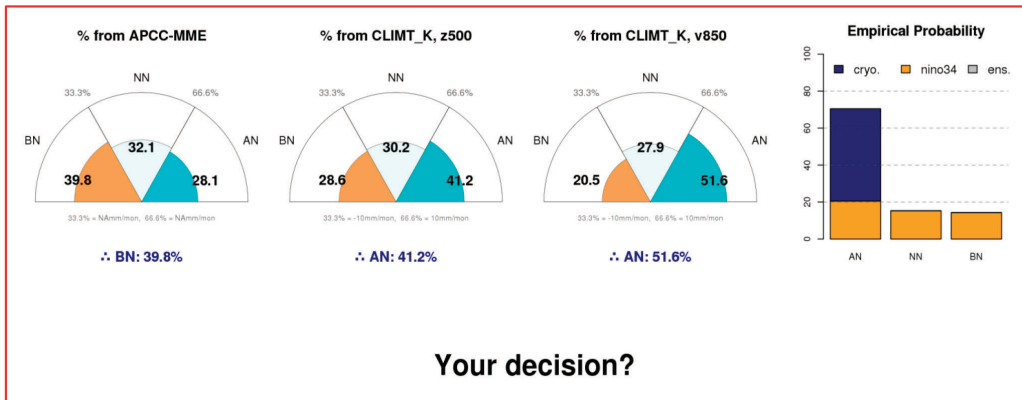
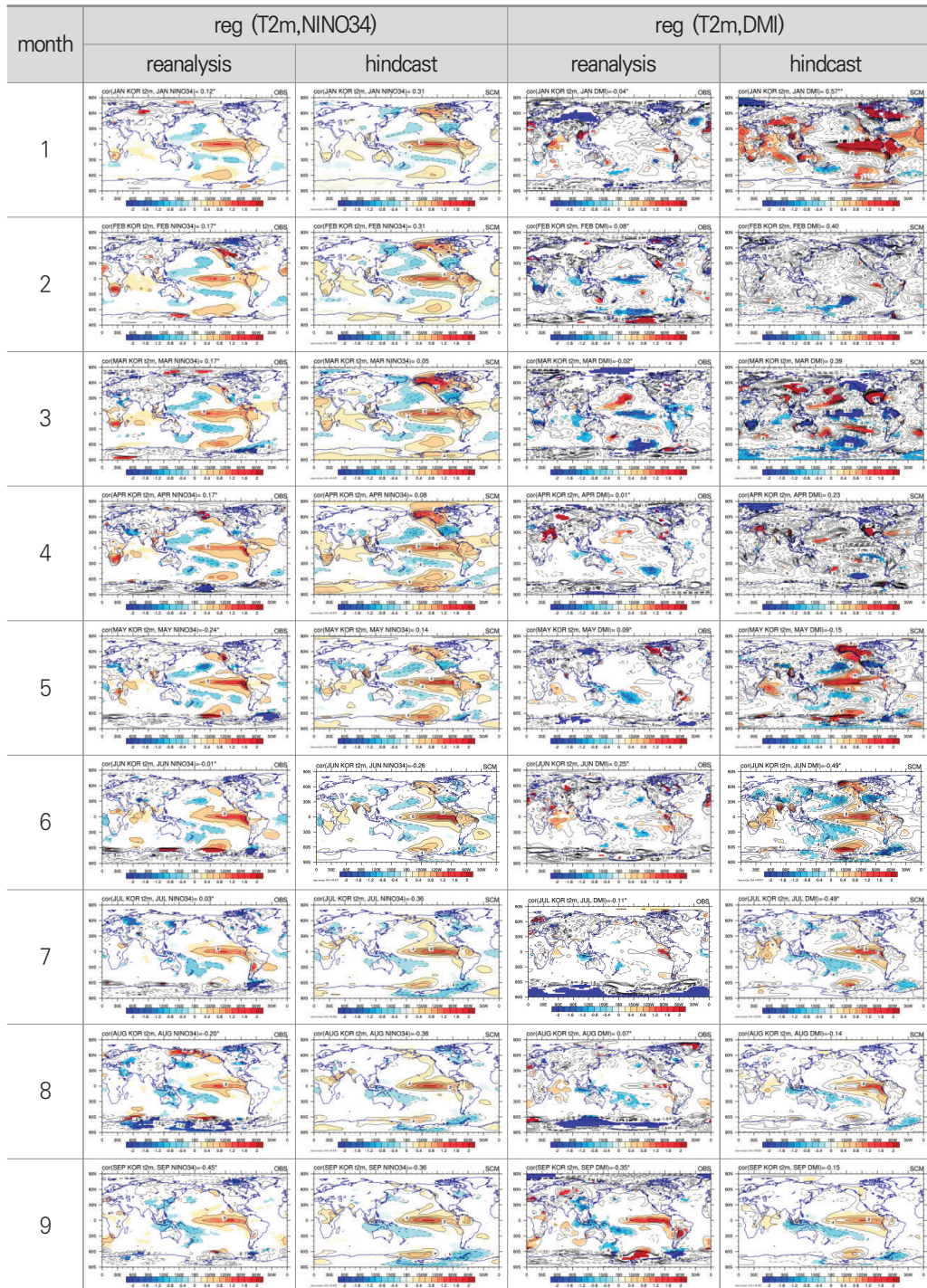
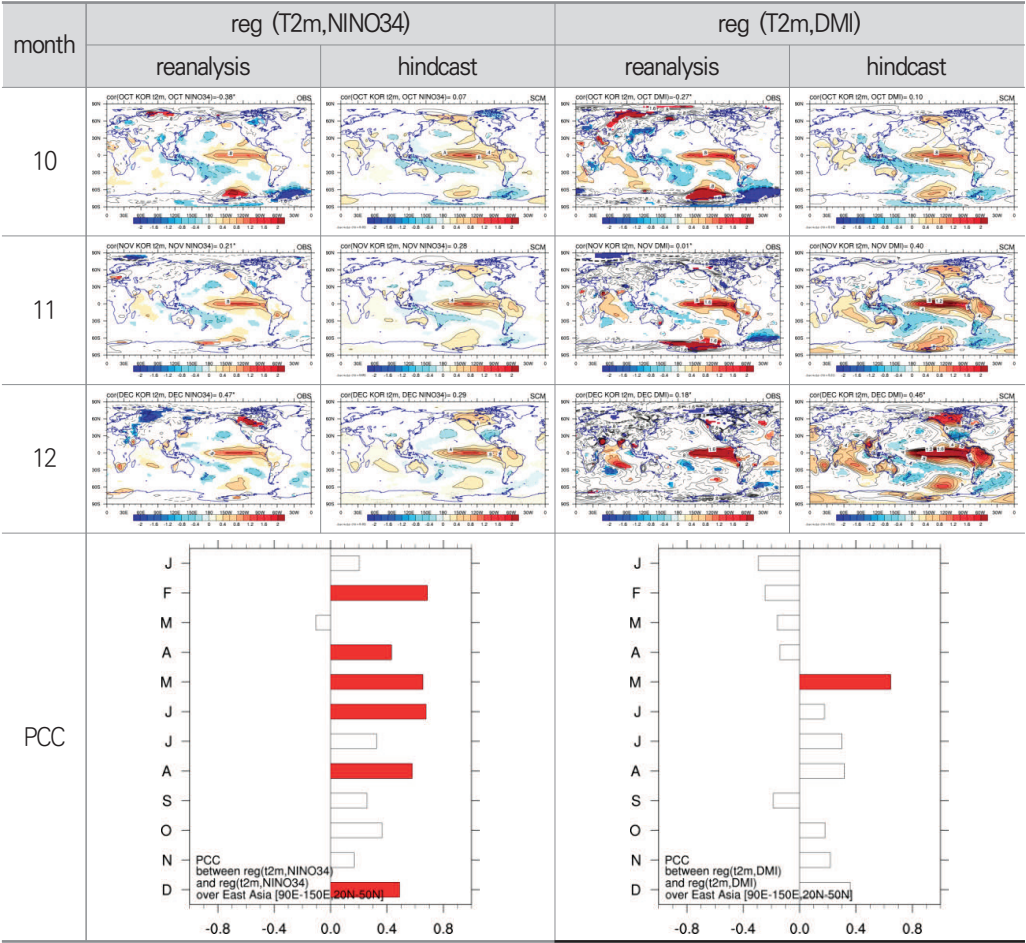
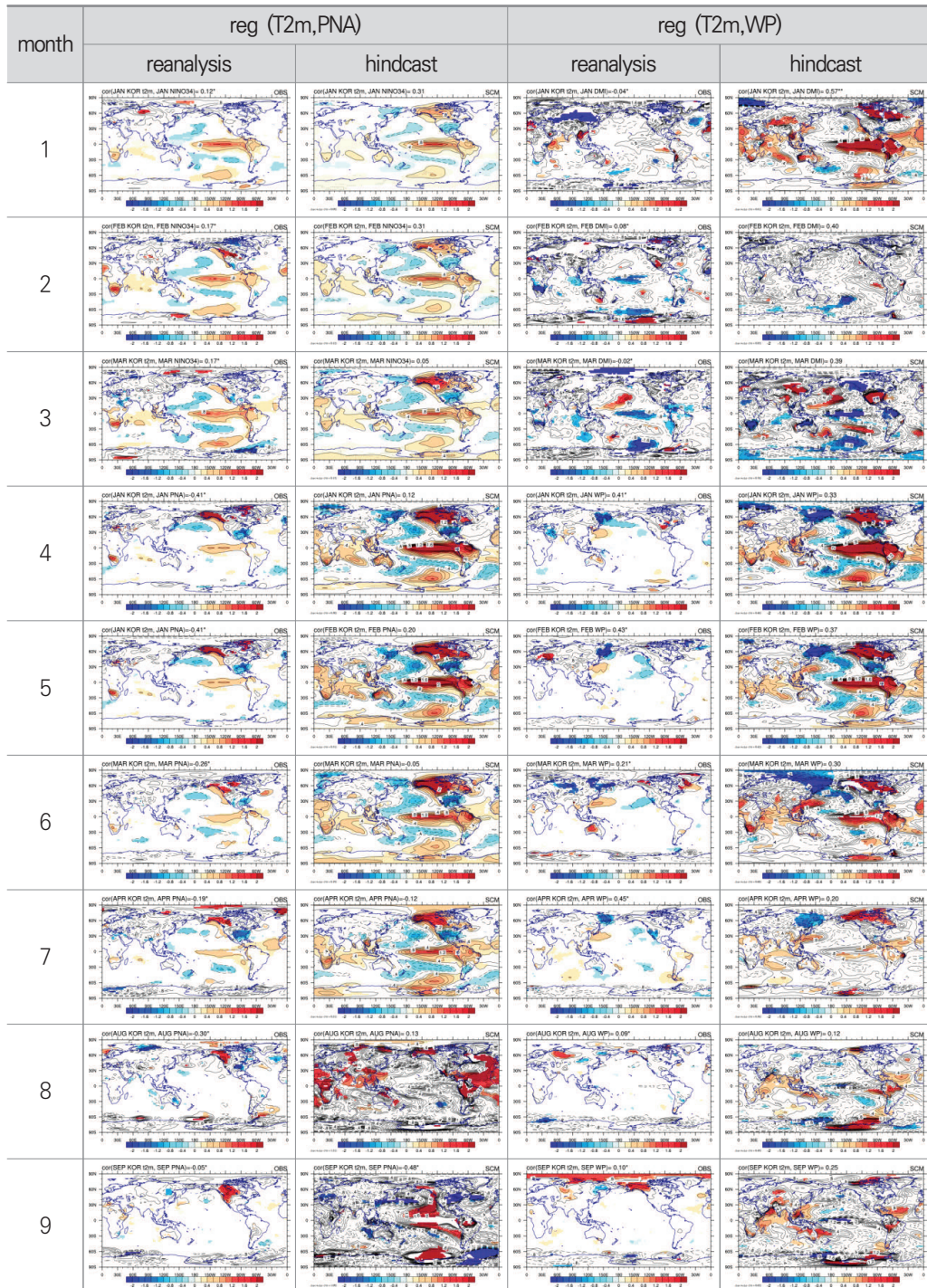
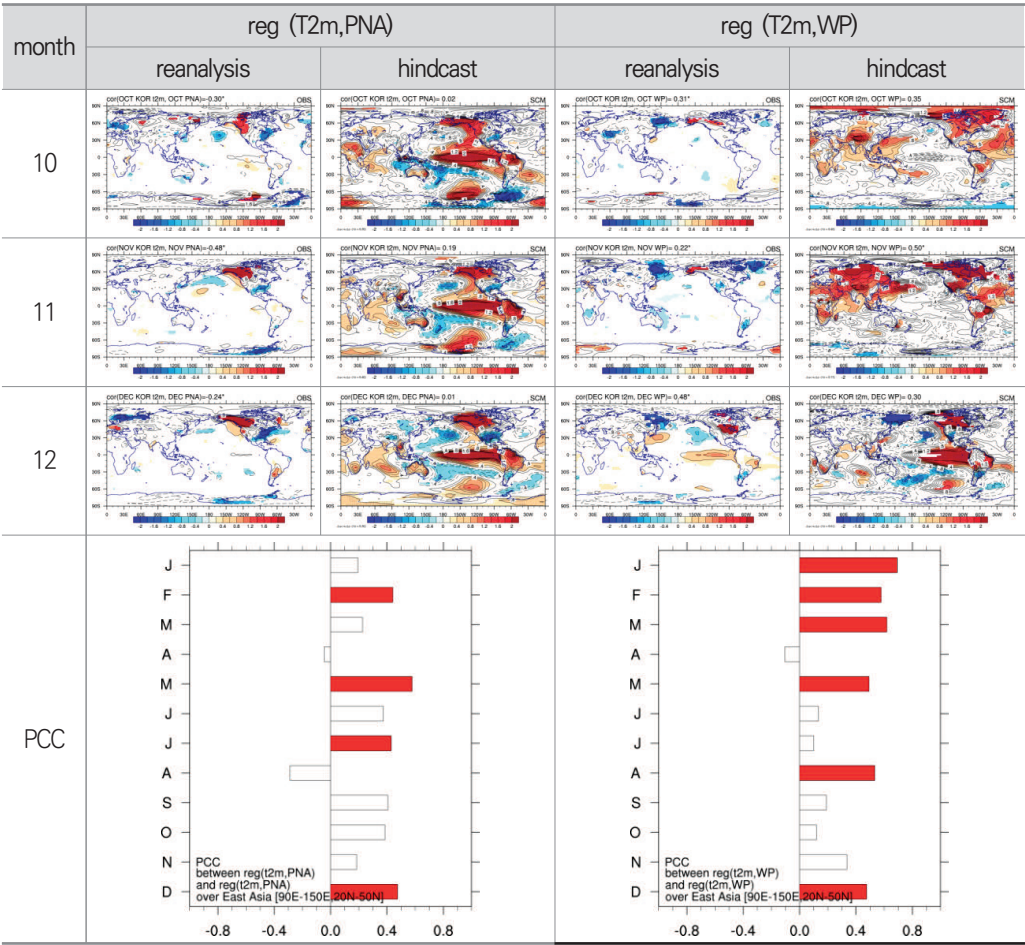


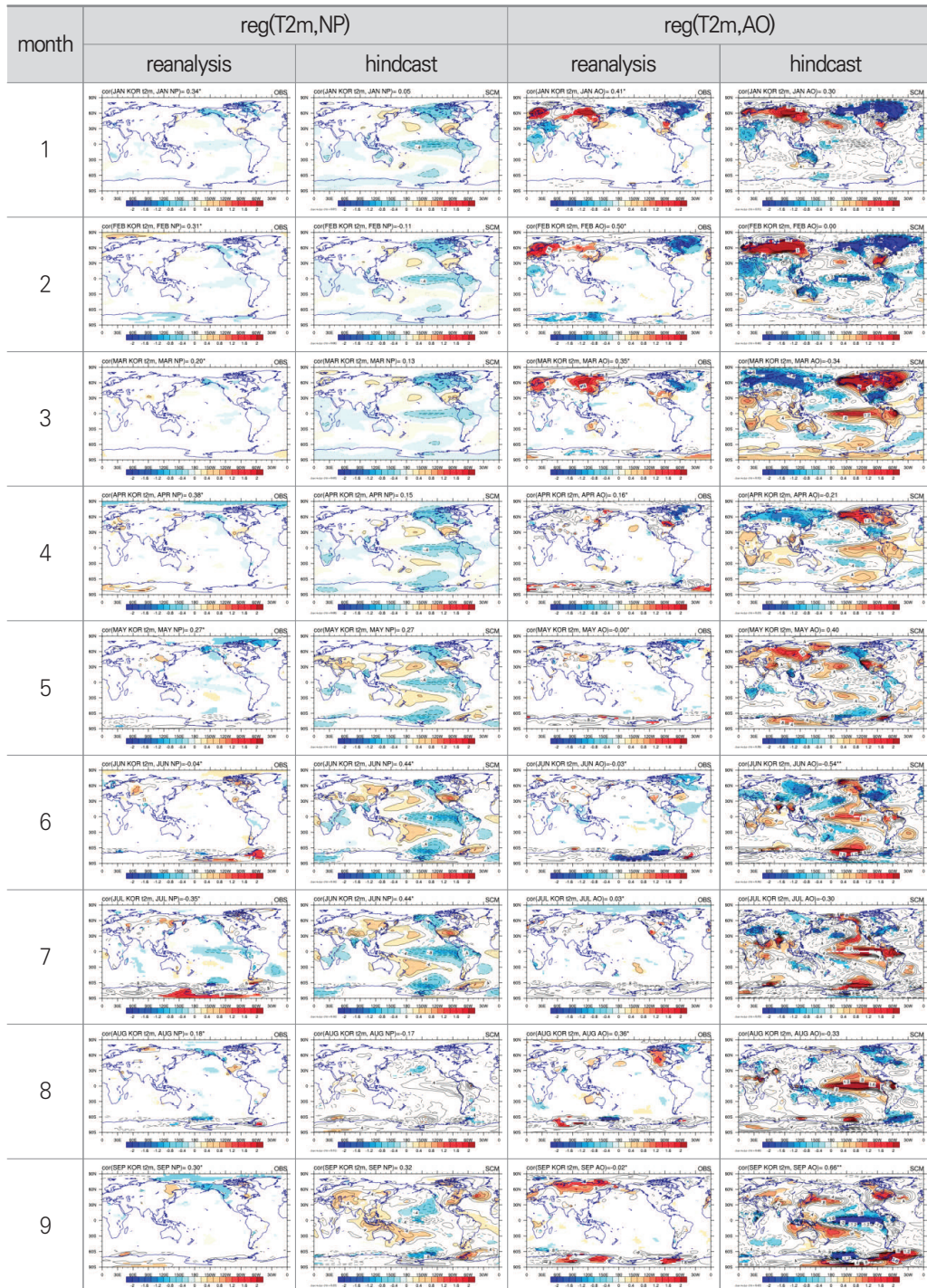
Figure A2.4. Tercile probability forecasts of precipitation in the Korean Peninsula from the APCC PMME (first column), CLIMT_K-z500 (second column), and CLIMT_K-V850 (third column); and the empirical information combining the performances of individual models and their relation with ENSO and cryosphere signals (fourth column) [Example extracted from October 2017]











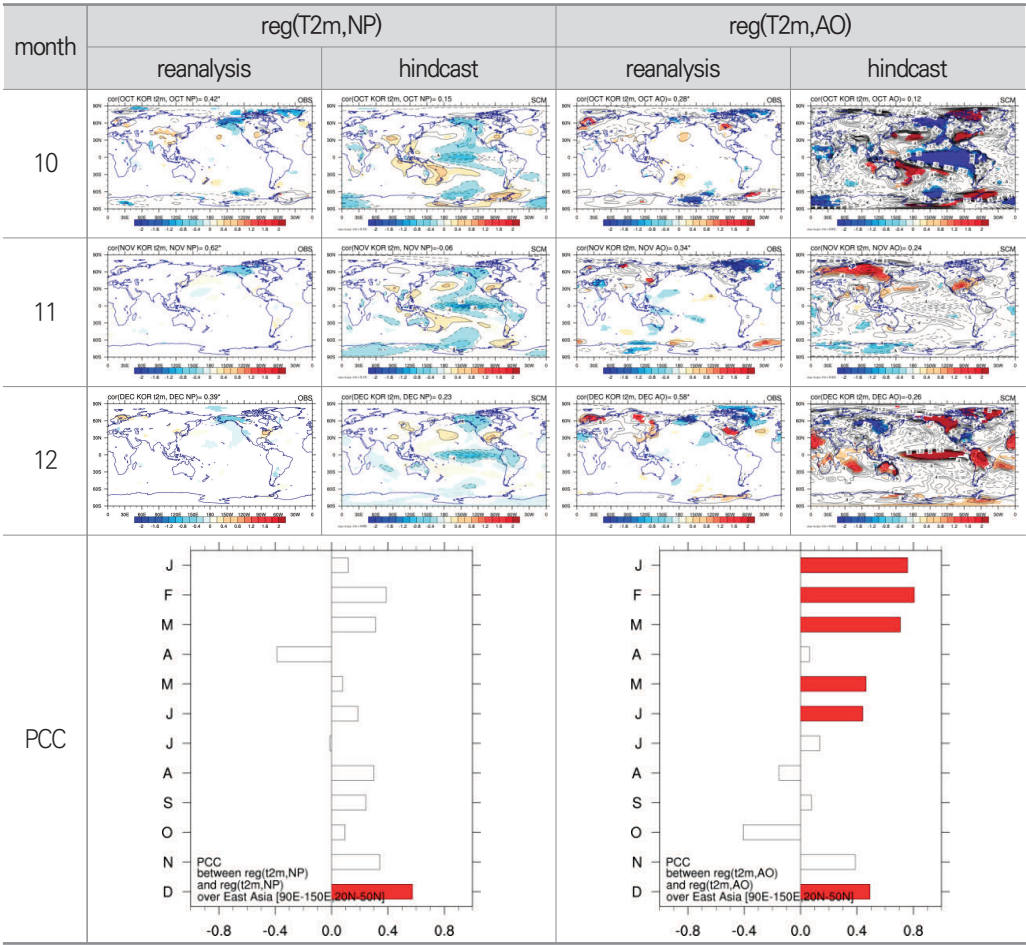
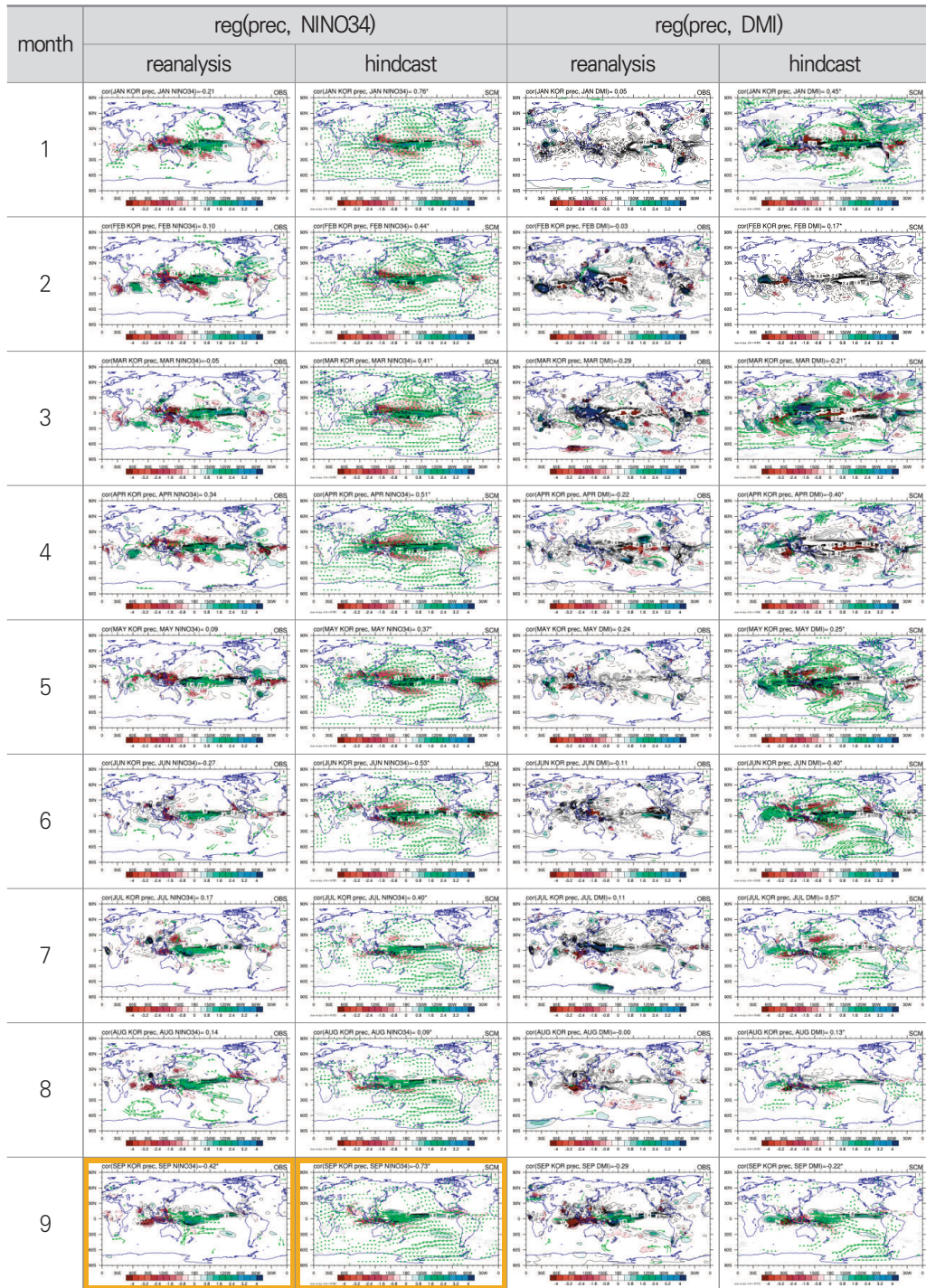
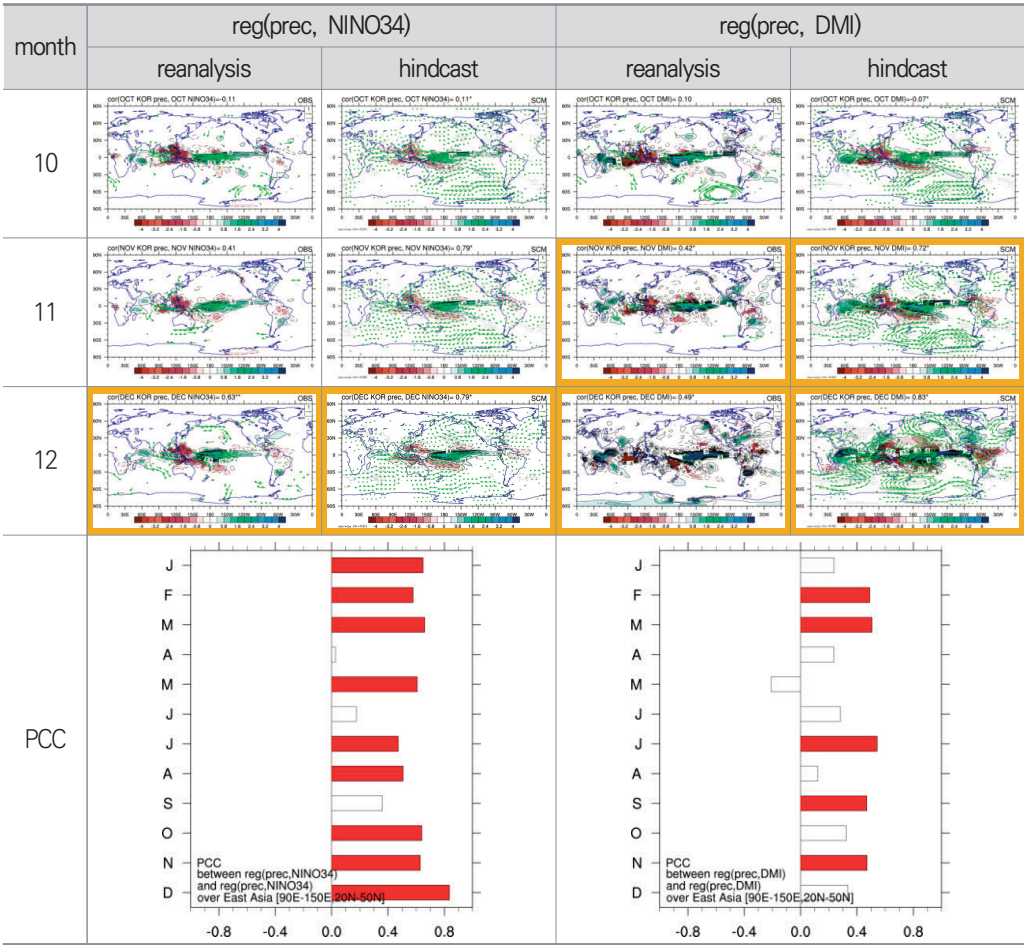
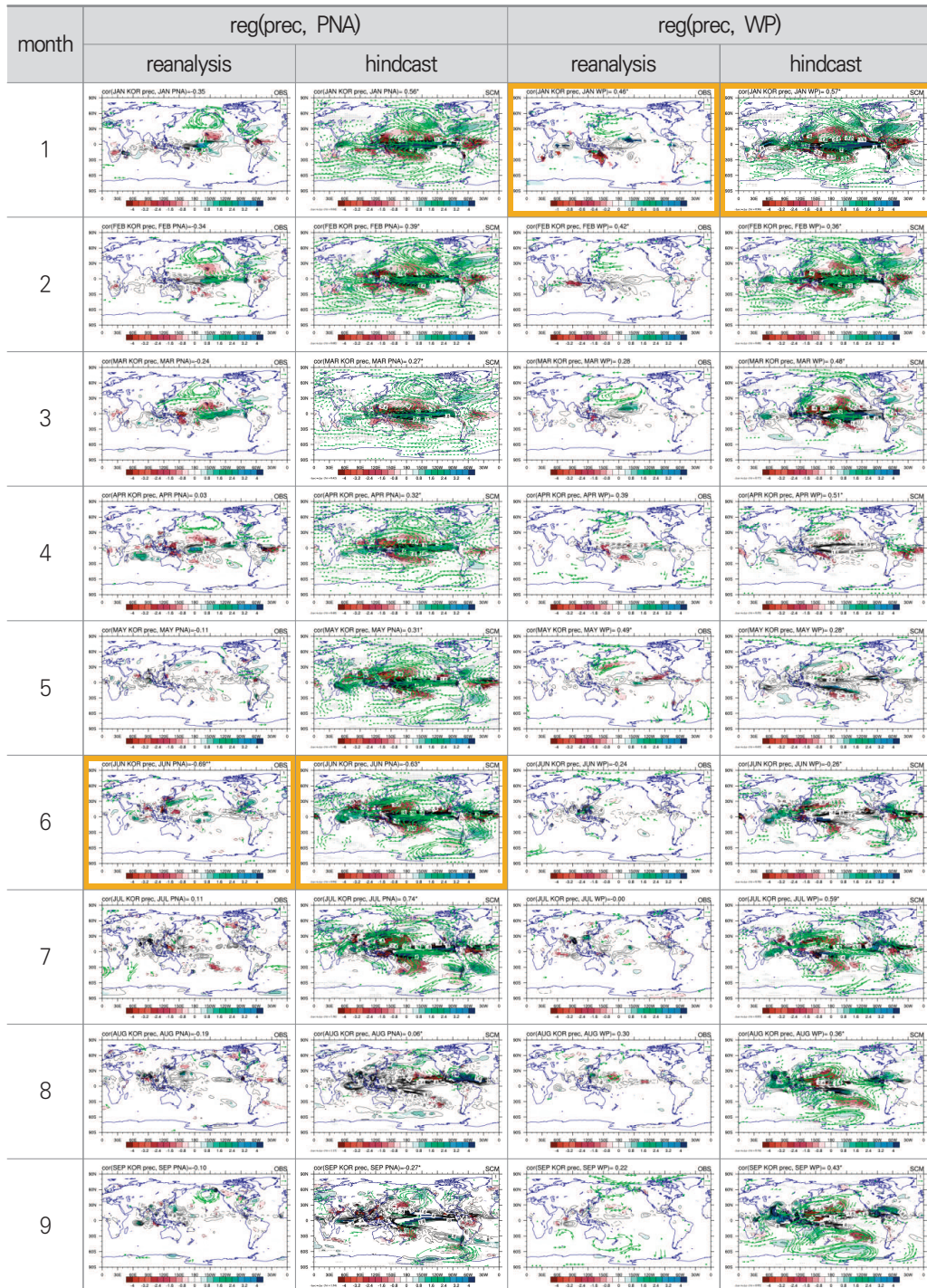
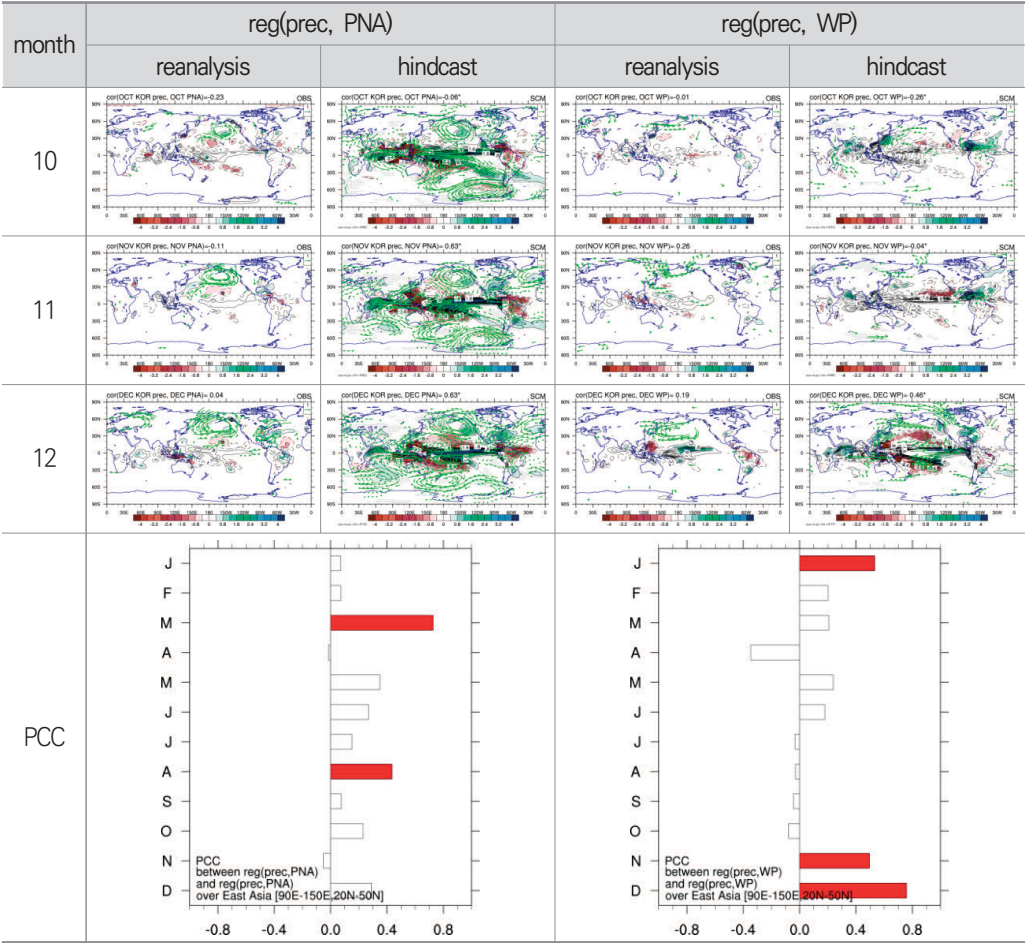


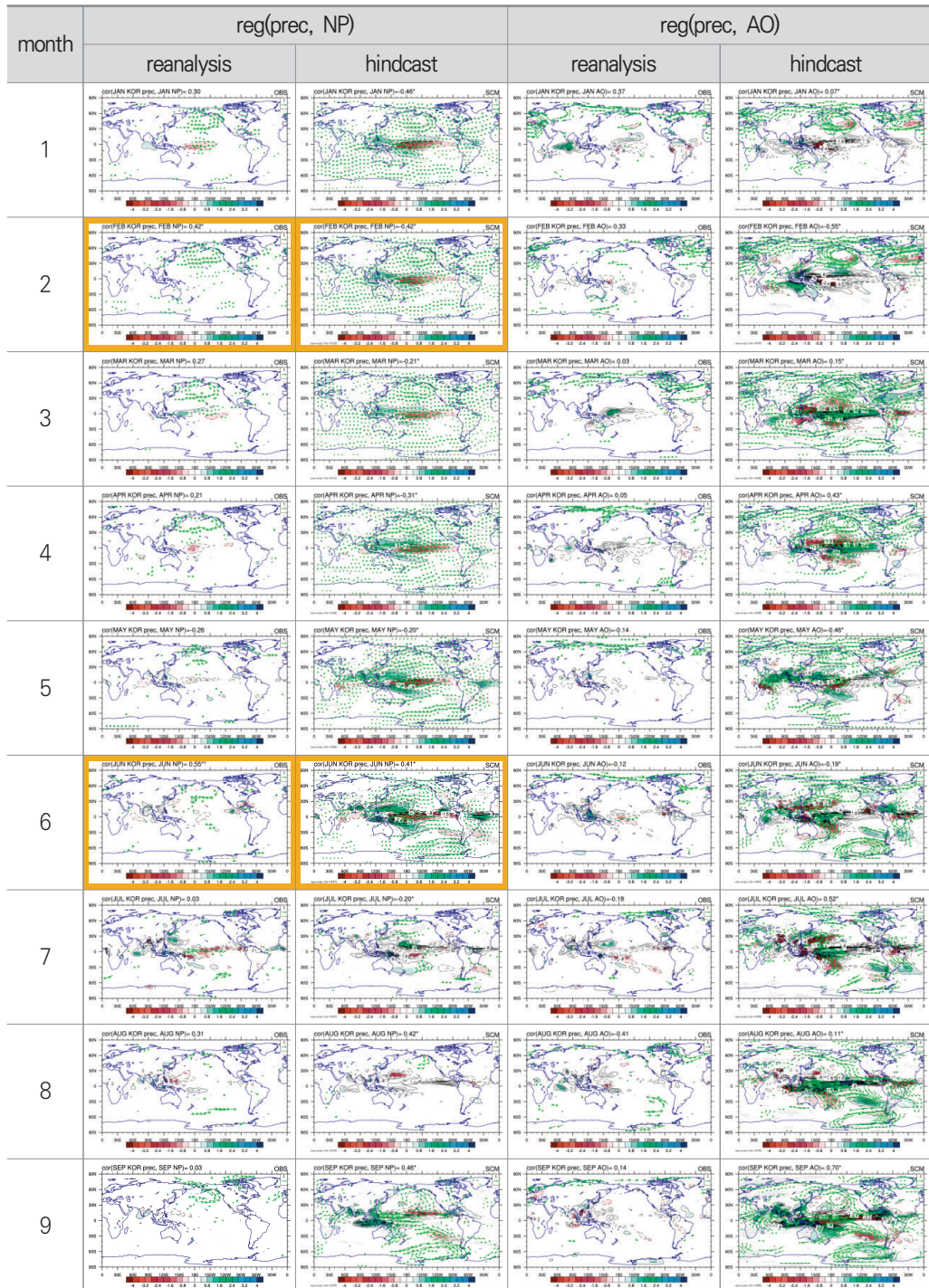
Figure A2.5. Regressed temperature anomalies extracted from reanalysis and MME hindcast data onto 6 climate indices. Correlation coefficients appear at the top left of the maps. The time series of the Pattern Correlation Coefficient between regression patterns of reanalysis and MME hindcast data over East Asia is represented at the bottom of each index, where the red colored bars indicate correlation coefficients that are significant at the 95% confidence level.











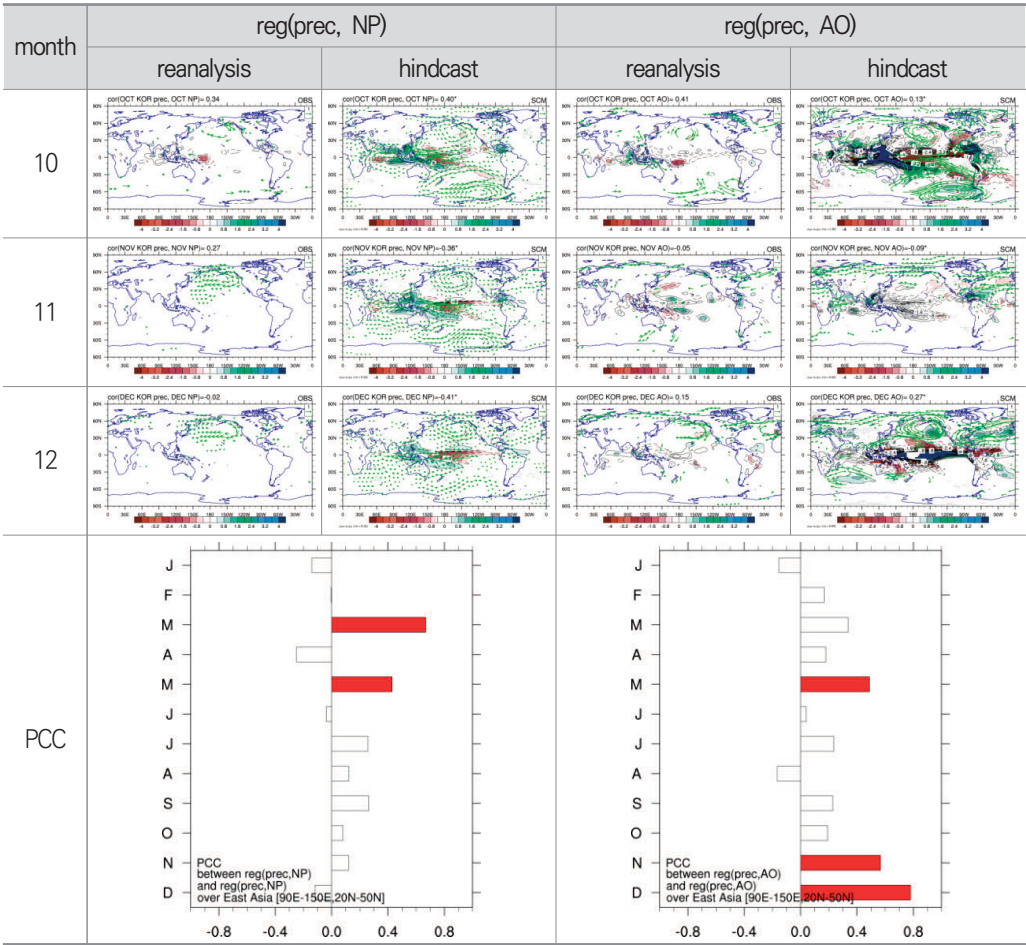


Figure A2.6. Similar to Figure A2.5, but for precipitation anomalies. Backgrounds of regression maps whose correlation coefficients between climate index and precipitation over Korea from reanalysis/MME hindcast data are simultaneously significant at the 95% confidence level appear with a yellow background.

【연구자】

이우섭 선임연구원

민영미 선임연구원

신선희 선임연구원

이윤영 선임연구원

손수진 선임연구원

이성규 선임연구원

오상명 연구원

이현주 연구원

정다은 연구원

연구보고서 2017-07

APCC 기후예측시스템 개선

I S B N 979-11-5698-197-8

발 행 2018년 3월

발 행 인 정 흥 상

발 행 처 APEC기후센터
부산시 해운대구 센텀7로 12

제작·인쇄 경성문화사

이 보고서는 APEC기후센터 홈페이지(<http://www.apcc21.org/>)에서 이용하실 수 있습니다.
또한 보고서에 실린 내용은 출처를 명시하면 자유롭게 인용할 수 있습니다. 단, 무단 전재 및
복제를 금합니다.