

WMO 장기예보 선도센터 운영 (7차년도)

Operation of WMO LC-LRFMME (VII)

이우섭, 윤순조, 김가영, 김미아 기후예측팀

신지현, 이현록 정보서비스팀

목 차

1. 서론	1
2. WMO 장기예보 선도센터 계절 예측 시스템 운영	3
2.1 WMO 장기예보 선도센터 계절 예측 시스템 운영의 개요	3
2.1.1 Simple Composite Method (SCM)	6
2.1.2 Simple Linear Regression (SLR)	6
2.1.3 Singular Value Decomposition (SVD)	7
2.1.4 Genetic Algorithm (GA)	7
2.1.5 Probabilistic Multi-Model Ensemble (PMME)	8
2.2 WMO 장기예보 선도센터 계절 예측 시스템 개선	14
2.2.1 자료제공요청서(Data Requirement) 마련	14
2.2.2 GPC Offenbach 자료 표준화 및 forecast/hindcast 검증	15
2.3 WMO 장기예보 선도센터 계절 예측 자료 제공	15
2.4 기타 기상청 기후예측과와의 협력 사항	17
3. WMO 장기예보 선도센터 계절내 예측 시스템 개발 및 시범운영	18
3.1 WMO 장기예보 선도센터 계절내 예측	18

3.1.1 계절내 예측 시스템 개발의 개요 -----	18
3.1.2 계절내 예측 시스템의 참여모델 특성 -----	19
3.1.3 계절내 MME 예측 방법 -----	20
3.2 WMO 장기예보 선도센터 계절내 예측 시스템 운영 ----	24
3.2.1 자료수신 및 시스템 운영 -----	24
3.3 WMO 장기예보 선도센터 계절내 예측 시스템 개선사항 ---	26
3.3.1 GPC 예측자료 변경에 따른 수정사항 -----	26
3.3.2 예측성 향상을 위한 개선사항 -----	26
3.3.3 자료 활용성 향상을 위한 개선사항 -----	31
3.4 WMO 장기예보 선도센터 계절내 예측 결과 검증 -----	31
4. 기타 운영사항 -----	34
4.1 계절내 MME 예측자료 생산 및 브리핑 -----	34
4.2 WMO 장기예보 선도센터 예측시스템 개선 영역사업 지원 ---	35
5. 요약 및 결론 -----	37
▮ REFERENCES -----	39
▮ 부록	
1. WMO 장기예보 선도센터 계절예측에 사용된 검증 기법 ---	41
2. WMO 장기예보 선도센터 자료 요구사항 -----	47
3. GPC Offenbach 예측자료 검증 -----	50
4. WMO 장기예보 선도센터와 관련된 시스템의 안정적인 유지 및 관리 -----	62
5. WMO 장기예보 선도센터 만족도 조사 결과 -----	67

표 목차

표 2.1. WMO 장기예보 선도센터에서 수집하는 13개 GPC의 특징-----	5
표 2.2. WMO 장기예보 선도센터 홈페이지 사용자 등급 체계-----	9
표 2.3. 실시간 예측의 검증에 사용되는 재분석 자료-----	11
표 2.4. hindcast 검증에 사용되는 재분석 자료-----	11
표 2.5. 2017년 RCOF 참석 및 발표 현황-----	16
표 3.1. WMO 장기예보 선도센터 계절내 예측에 사용되는 각 GPC 모델의 특성-----	19
표 3.2. 각 GPC 모델 별 계절내 MME 예측시스템의 입력 자료로 선택되는 항목-----	22
표 3.3. 계절내 MME 예측 선행시간 별 참여하는 GPC 모델의 변화-----	22
표 3.4. 계절내 MME 예측을 위해 수집되는 각 GPC의 예측 자료와 검증을 위해 수집되는 관측 자료의 변수 및 자료 수신 주기-----	25
표 A1.1. 3분위 예보의 판정 분할표-----	43
표 A1.2. Hit Rate와 False Alarm Rate를 계산하기 위한 판정분할표-----	44
표 A5.1. 2016년과 2017년 만족도 조사에 참여한 국가수 및 회원수 비교-----	68
표 A5.2. 2017년 만족도 조사에 참여한 국가별 참여자 수-----	69

그림 목차

그림 2.1. WMO 장기예보 선도센터의 주요 기능-----	4
그림 2.2. 가우시안 확률밀도함수를 이용한 확률론적 다중모델 앙상블 기법-----	8
그림 2.3. WMO 장기예보 선도센터 계절예측의 월간 업무 흐름도-----	10
그림 2.4. APCC와 WMO 장기예보 선도센터에서 각각 생산된 실시간 PMME 850hPa 온도 예측에 대한 (a) above, (b) near, (c) below normal 카테고리별 ROC score의 시계열로, 실시간 예측의 기간은 JFM 2012-ASO 2017이다-----	12
그림 2.5. APCC와 WMO 장기예보 선도센터에서 각각 생산된 실시간 PMME 강수 예측에 대한 (a) above, (b) near, (c) below normal 카테고리별 ROC score의 시계열로, 실시간 예측의 기간은 JFM 2012-ASO 2017이다-----	13
그림 2.6. APCC와 WMO 장기예보 선도센터에서 각각 생산된 실시간 PMME (a) 850hPa 온도와 (b) 강수 예측에 카테고리별 ROC score의 시간 평균값으로, 실시간 예측의 기간은 JFM 2012-ASO 2017이다-----	14
그림 3.1. 계절내 MME 예측의 시작 요일(붉은색 박스, 월요일)과 여기에 참여하는 각 GPC 모델의 예측 시작 날짜-----	20
그림 3.2. 계절내 MME 예측 및 검증 결과 표출 자료의 변수 및 예측기간 특성-----	25
그림 3.3. 동아시아 영역에서 T2M anomaly 값을 나타낸 것이며, (a)와 (b)는 NCEP reanalysis 1의 자료이고, (b)와 (c), (e), (f)는 SCM에서 예측된 결과이다. (a)는 2017년 5월 1일에서 7일까지 평균된 값이며, (b), (c)는 같은 기간을 5주전에 예측한 결과이다. (d)는 2017년 10월 16일에서 22일까지 평균된 값이며, (e)와 (f)는 같은 기간을 4주전에 예측한 결과이다. (b)와 (e)는 한 세트의 hindcast를 사용한 기후값으로 계산하였으며, (c)와 (f)는 두 세트의 hindcast를 사용하여 기후값을 계산하였다. 모든 결과의 공통 hindcast 기간은 1999년부터 2010년까지이다-----	28

그림 3.4. 기후값 계산에 사용된 hindcast 세트 수에 따른 ECMWF 모델의 기후값과 ERA Interim 기후값 사이의 RMSE이며, (a)는 East Asia(20°N~50°N, 100°E~150°E), (b)는 Globe 영역의 평균값이다. 분석에 사용된 ECMWF hindcast 자료의 예측시작 날짜는 2016년 1월 7일부터 2016년 12월 22일까지이다. 붉은색 선은 한 세트의 hindcast 자료가 사용된 것이며, 주황색 선은 두 세트, 파란색은 셋 세트의 자료가 사용되었다 ----- 29

그림 3.5. 기후값 계산에 사용된 hindcast 세트 수에 따른 SCM 예측의 ACC 검증결과이다. (a)와 (c)는 East Asia 영역(10°N~60°N, 80°E~180°E)이며, (b)와 (d)는 globe 영역이다. 위 패널의 변수는 T2M이며, 아래 패널의 변수는 PREC이다. 분석에 사용된 SCM 예측기준 날짜는 2016년 1월 11일부터 2016년 12월 26일까지이다. 붉은색 선은 한 세트의 hindcast 자료가 사용된 것이며, 주황색 선은 두 세트, 파란색은 셋 세트의 자료가 사용되었다 ----- 30

그림 3.6. (a) 2m 기온과 (b) 강수량 확률예측에 대한 ROC score 검증결과와 East Asia 영역(10°N~60°N, 80°E~180°E) 평균값. 검은색 선은 PMME 예측에 대한 검증결과이다 ----- 32

그림 3.7. (a) 2m 기온과 (b) 강수량, (c) 해면기압, (d) 500hPa 지위고도 예측에 대한 아노말리 상관계수의 East Asia 영역(10°N~60°N, 80°E~180°E) 평균값. 검은색 선은 SCM 예측에 대한 검증결과이다 ----- 33

그림 4.1. 기상청 1개월 전망 지원을 위한 계절내 MME 예측결과 발표자료 예시 ----- 34

그림 4.2. WMO 장기예보 선도센터 예측시스템 개선 용역사업 진행현황 ----- 36

그림 4.3. 용역사업 월간업무보고 자료 예시와 업체 미팅 사진 ----- 36

그림 A3.1. WMO 장기예보 선도센터에서 계산된 2017년 5월에 생산된 2017년 JJA의 (a) 2m 기온, (b) 강수, (c) 해수면온도의 예측 아노말리와 DWD 홈페이지를 통해 제공되는 같은 기간의 (d) 2m 기온, (e) 강수, (f) 해수면온도 예측 아노말리(http://www.dwd.de/EN/ourservices/seasonals_forecasts/charts.html?nn=495490) ----- 50

그림 A3.2. WMO 장기예보 선도센터에서 계산된 JJA의 (a) 2m 기온, (b) 강수, (c) 해수면온도의 아노말리 상관계수와 DWD 홈페이지를 통해 제공되는 같은 기간의 (d) 2m 기온, (e) 강수, (f) 해수면온도 아노말리 상관계수(http://www.dwd.de/EN/ourservices/seasonals_forecasts/charts.html?nn=495490) ----- 51

그림 A3.3. 13개 GPC와 MME의 (a) 2m 기온과 (b) 강수에 대한 1993-2009년 JJA의 아노말리 상관계수 ----- 52

그림 A3.4. 13개 GPC와 MME의 (a) 2m 기온과 (b) 강수에 대한 1993-2009년 JJA의 아노말리 상관계수의 전구 평균값----- 53

그림 A3.5. WMO 장기예보 선도센터에서 계산된 2017년 5월에 생산된 2017년 JAS의 (a) 2m 기온, (b) 강수, (c) 해수면온도의 예측 아노말리와 DWD 홈페이지를 통해 제공되는 같은 기간의 (d) 2m 기온, (e) 강수, (f) 해수면온도 예측 아노말리(http://www.dwd.de/EN/ourservices/seasonals_forecasts/charts.html?nn=495490)----- 54

그림 A3.6. WMO 장기예보 선도센터에서 계산된 JAS의 (a) 2m 기온, (b) 강수, (c) 해수면온도의 아노말리 상관계수와 DWD 홈페이지를 통해 제공되는 같은 기간의 (d) 2m 기온, (e) 강수, (f) 해수면온도 아노말리 상관계수(http://www.dwd.de/EN/ourservices/seasonals_forecasts/charts.html?nn=495490)----- 55

그림 A3.7. 13개 GPC와 MME의 (a) 2m 기온과 (b) 강수에 대한 1993-2009년 JAS의 아노말리 상관계수----- 56

그림 A3.8. 13개 GPC와 MME의 (a) 2m 기온과 (b) 강수에 대한 1993-2009년 JAS의 아노말리 상관계수의 전구 평균값----- 57

그림 A3.9. WMO 장기예보 선도센터에서 계산된 2017년 5월에 생산된 2017년 ASO의 (a) 2m 기온, (b) 강수, (c) 해수면온도의 예측 아노말리와 DWD 홈페이지를 통해 제공되는 같은 기간의 (d) 2m 기온, (e) 강수, (f) 해수면온도 예측 아노말리 (http://www.dwd.de/EN/ourservices/seasonals_forecasts/charts.html?nn=495490) 58

그림 A3.10. WMO 장기예보 선도센터에서 계산된 ASO의 (a) 2m 기온, (b) 강수, (c) 해수면온도의 아노말리 상관계수와 DWD 홈페이지를 통해 제공되는 같은 기간의 (d) 2m 기온, (e) 강수, (f) 해수면온도 아노말리 상관계수(http://www.dwd.de/EN/ourservices/seasonals_forecasts/charts.html?nn=495490)----- 59

그림 A3.11. 13개 GPC와 MME의 (a) 2m 기온과 (b) 강수에 대한 1993-2009년 ASO의 아노말리 상관계수----- 60

그림 A3.12. 13개 GPC와 MME의 (a) 2m 기온과 (b) 강수에 대한 1993-2009년 ASO의 아노말리 상관계수의 전구 평균값----- 61

그림 A4.1. 선도센터 홈페이지의 미승인 사용자의 가입 신청 관리 페이지의 예시----- 63

그림 A4.2. 선도센터 홈페이지의 개인정보 파기 로그 조회의 예시----- 63

그림 A4.3. WMO 장기예보 선도센터 홈페이지를 통한 만족도 조사 페이지----- 64

그림 A4.4. 홈페이지 사용자 계정의 잠금과 해제에 대한 예시----- 65

그림 A4.5. 선도센터 홈페이지 사용자 계정 휴면 처리에 대한 예시-----	65
그림 A4.6. DCPC LC/LRFMME 홈페이지-----	66

1. 서론

기후예측을 위한 역학모형은 최근까지도 꾸준히 발전되어 왔고, 다양한 기관에서 역학모형을 이용하여 기후예측을 하고 있다. 그러나 역학모형 자체에 포함된 계통적 오차 또는 초기조건의 불확실성 등은 여전히 역학모형 예측성 향상의 걸림돌로 남아있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법 중 하나로 다양한 역학모형에 통계적 후처리를 적용하는 다중모델앙상블(Multi-Model Ensemble, 이하 MME) 기법이 널리 사용되고 있다.

현재 APCC를 비롯한 다양한 현업 기관에서 MME 기법을 활용한 계절예측 서비스를 제공하고 있다(Palmer et al., 2004; Min et al., 2009; Wang et al., 2009; Kirtman et al., 2014). 세계기상기구(World Meteorological Organization, 이하 WMO)에서도 이에 대한 중요성을 인식하고 WMO 전지구 장기예측자료 생산센터(WMO Global Producing Centre for Long-range Forecast, 이하 GPC)간의 협력을 통해 계절예측 성능을 향상시키고자 제 14차 WMO 기본체계위원회(Commission for Basic Systems, CBS)에서 WMO 장기예보 선도센터(WMO Lead Centre for Long-Range Forecast Multi-Model Ensemble, LC-LRFMME)를 승인하였다. 이에 따라 GPC 중 하나인 한국 기상청(GPC Seoul)과 미국 기상청(GPC Washington)이 WMO 장기예보 선도센터를 공동 운영하게 되었다. WMO 장기예보 선도센터는 각 GPC에서 생산하는 장기예보 자료를 수집하고, MME 기법을 개발하여 서비스하고, 각 GPC의 예측자료와 MME 예측자료를 일관된 형태로 제공하는 ‘one-stop shop’이 되는 것을 궁극적인 목표로 하여 운영되고 있다(Graham et al., 2011).

그러나 상당한 기상·기후 업무 및 관련 행정 업무를 수행하고 있는 기상청의 특성상 WMO 장기예보 선도센터를 지속하여 안정적으로 운영하고, 특히 WMO 회원국 또는 WMO 장기예보 전문가팀(WMO Expert Team for Extended and Long-range Forecasting, ET-ELRF)의 요구에 대응하는 등의 업무를 함께 수행하기에는 다소 간의 어려움이 따를 수 있다. 따라서 기술력을 확보한 전문기관에서 기상청을 대신하여 운영할 경우 기술적인 부분에서 전문성을 강화하는 동시에 기상청은 기획 및 국제 협력 업무에 집중하며 WMO 장기예보 선도센터의 중·장기 발전방향을 설립하는 등의 시너지 효과를 창출할 수 있다.

APCC는 지난 10여 년 간 다양한 MME 기법을 활용하여 아시아·태평양 지역에 MME 계절예측 정보를 생산하여 제공해온 전문기관으로, APCC가 WMO 장기예보 선도센터의 전반적인 현업 운영을 하면서 기상청과의 업무 분담 및 협조가 이루어지면 WMO 회원국의 요구에 부합하는 고품질 서비스를 안정적으로 제공할 수 있고, 더 나아가 WMO 장기예보 선도센터의 위상을 제고하는 것에 일조할 수 있다. 따라서 APCC는 2011년부터 2016년 까지 “WMO 장기예보 선도센터 운영” 사업을 지속적으로 수탁 운영해왔으며, 2017년 부터는 연구개발(Research and Development) 사업으로 WMO 장기예보 선도센터 운영과 이와 관련된 시스템을 안정적으로 유지 관리하고 있다.

2. WMO 장기에보 선도센터 계절 예측 시스템 운영

2.1 WMO 장기에보 선도센터 계절 예측 시스템 운영의 개요

앞서 설명한 바와 같이, 'one-stop shop'으로서의 WMO 장기에보 선도센터 역할을 수행하기 위해 각 GPC들로부터 기후예측자료를 수집하고 MME 예측자료를 생산하여 WMO 선도센터의 회원국에 홈페이지를 통해 디지털 자료와 그림 형식으로 제공하고 있다(그림 2.1). 그러나 각 GPC에서 생산하는 계절예측자료는 파일 형식(Binary, GRIB1, GRIB2, NetCDF), 앙상블 수, 변수 등에서 차이가 있다. 따라서 WMO 장기에보 선도센터의 자료 교환 정책(data exchange policy)에 따라 GPC별로 6개 변수(2m 기온, 강수, 해수면온도, 해면기압, 850hPa 온도, 500hPa 지위고도. 단, 해수면온도의 경우는 제공되는 GPC에 한함)만을 포함하는 GRIB1 형식의 월별 3개월 앙상블 평균 자료로 표준화 하고 있다.

WMO 장기에보 선도센터의 초창기에는 11개의 GPC로부터 계절예측자료를 수집하였다. 2010년 6월에 브라질의 CPTEC(Centre for Weather Forecasts and Climate Studies, GPC CPTEC)이 참여하면서 12개 GPC의 예측자료로 다년간 운영되어 오다가 최근 독일 기상청(Deutsche Wetterdienst, GPC Offenbach)이 GPC가 되면서 현재는 총 13개의 GPC로부터 계절예측자료를 제공받고 있다(표 2.1). GPC Offenbach 추가와 관련된 내용은 2.2절에서 자세히 다루고자 한다.

4 | WMO 장기예보 선도센터 운영(7차년도)

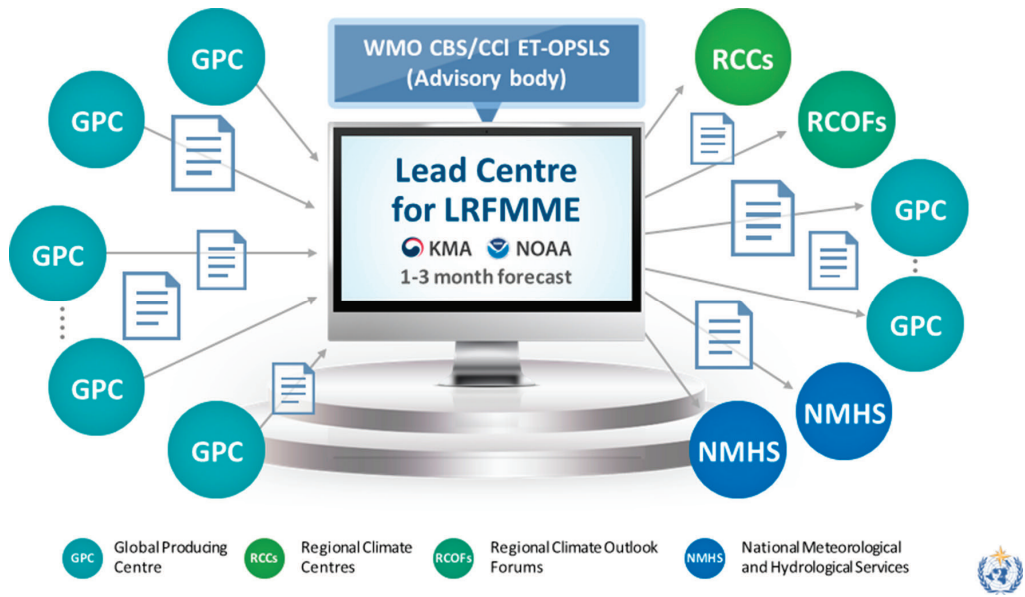


그림 2.1. WMO 장기예보 선도센터의 주요 기능

표 2.1. WMO 장기예보 선도센터에서 수집하는 13개 GPC의 특징

〈2017년 10월 기준〉

GPC	Beijing	CPTEC	ECMWF	Exeter	Melbourne	Montreal	Moscow	Offenbach	Pretoria	Seoul	Tokyo	Toulouse	Washington
Institute	BCC	CPTEC	ECMWF	UK Met Office	BoM	MSC	HMC	DWD	SAMS	KMA	JMA	Météo-France	NCEP/CPC
Country	China	Brazil	United Kingdom	United Kingdom	Australia	Canada	Russia	Germany	South Africa	Korea	Japan	France	United States
System	Coupled	2-tier	Coupled	Coupled	Coupled	Coupled	Coupled	Coupled	Coupled	Coupled	Coupled	Coupled	Coupled
Digital Data Download ¹⁾	0	0	x	x	0	0	0	0	0	0	x	x	0
Forecast													
Data Format	NetCDF	GRIB1	GRIB1	GRIB2	GRIB1	GRIB2	GRIB1	GRIB2	GRIB1	GRIB2	GRIB2	GRIB2	GRIB1
Forecast Period	6month	6month	6month	5month	6month	9month	3month	5month	3month	6month	3month	6month	9month
Ensemble Size	24	15	41	42	33	20	10	30	40	42	51	41	40
Hindcast													
Hindcast Period	1991-2010	1979-2010	1981-2010	1993-2015	1981-2011	1981-2010	1986-2010	1981-2010	1982-2009	1991-2010	1981-2010	1991-2014	1982-2010
Ensemble Size	24	10	15	28	99	20	10	15	10	12	10	11	20

1) GPC별 자료 정책 상 GPC에서 예측자료를 직접 제공하는 것이 아닌 다른 기관 등에서 2차 재공이 가능한지에 대한 여부. x로 표시된 GPC는 WMO 장기예보 선도센터 홈페이지로부터 예측자료를 다운로드 받을 수 없음.

13개 GPC의 forecast와 hindcast 자료에 대한 표준화를 완료한 후, 4개의 결정론적 MME 기법(Simple Composite Method, SCM; Simple Linear Regression, SLR; Singular Value Decomposition, SVD; Genetic Algorithm, GA)과 확률론적 MME 기법(Min et al., 2009)으로 매월 3개월 계절예측자료를 생산하게 된다. 이 때, GPC 간의 공통 hindcast 기간인 1993-2009년을 기준으로 한다. 각 기법에 대한 자세한 설명은 아래와 같다. 참고로, GPC Toulouse의 경우 hindcast 자료를 제공해주지 않고 forecast anomaly와 forecast 자료만을 제공해주고 있어서 SCM 기법에만 forecast anomaly를 사용하고, 나머지 3개의 결정론적 MME와 확률론적 MME에는 포함하지 않는다.

2.1.1 Simple Composite Method (SCM)

SCM은 모든 예측 모델에 동일한 기중치를 주어 단순 평균하는 방법으로, 쉽고 간단하게 사용할 수 있다. 선도센터에서는 GPC별로 forecast에서 공통 기간인 1993-2009년에 대한 기후값을 제거한 forecast anomaly(F'_i)를 계산하여 더한 후 GPC 개수(N)로 나누어준다(식 2.1). 이 기법은 현재 계절예측을 위한 여러 현업 기관에서 널리 사용되고 있다(예를 들어, APCC, Development of a European Multi-model Ensemble System for Seasonal to Interannual Prediction project(DEMETER), North American Multi-Model Ensemble(NMME), WMO LC-LRFMME 등)(Kim et al., 2016; Kirtman et al., 2014; Min et al., 2014; Palmer et al., 2004).

$$MME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N F'_i \quad (\text{식 2.1})$$

2.1.2 Simple Linear Regression (SLR)

단순선형회귀기법을 이용한 MME는 공통 hindcast 기간에 대해 구해진 GPC별 선형회귀계수(a_i)를 각 forecast anomaly에 곱한 후 단순 평균해주는 방법이다(식 2.2).

$$MME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i F'_i \quad (\text{식 2.2})$$

2.1.3 Singular Value Decomposition (SVD)

이 기법은 각 GPC에 해당하는 가중치를 구하기 위해서 아래 식 2.3과 같은 SVD 방식을 사용하여 GPC 간의 교차 공분산 행렬을 풀어내고자 하였다(Krishnamurti et al., 2000; Yun et al., 2003).

$$C_{i,j} = (UVW^T)_{i,j} = \sum_{k=1}^N w_k U_{ik} V_{jk} \quad (\text{식 2.3})$$

이렇게 구해진 GPC별 선형회귀계수(b_i)를 forecast anomaly에 곱한 값을 아래(식 2.4)와 같이 더해줌으로서 예측 결과를 얻을 수 있다.

$$MME = \sum_{i=1}^N b_i F'_i \quad (\text{식 2.4})$$

2.1.4 Genetic Algorithm (GA)

기후 시스템은 구성 요소들 간의 내적, 외적 상호작용에 의해 비선형성, 비예측성을 띄고 있기 때문에 기존의 선형적인 통계방법으로는 예측성을 향상시키는 데에 한계가 있다. 따라서 비선형성을 고려한 MME 방법 중 최근 널리 사용되고 있는 유전 알고리즘이 WMO 장기예보 선도센터를 위한 MME 기법 중 하나로 사용되고 있다. WMO 장기예보 선도센터에서 제공하는 MME 기법 중 비선형 기법으로는 유전 알고리즘이 유일하다.

유전 알고리즘은 부모의 유전자로부터 자손의 유전자를 형성하는 유성생식과 자연환경 속의 진화원리를 흉내 내는 알고리즘이다(Holland, 1975). 유전 알고리즘은 초기화, 적합도 평가와 재생산(선택, 교배, 돌연변이), 또 다시 적합도 평가의 4단계로 구분되는 유전 탐색 프로세스를 통해 가장 높은 적합도를 가진(즉, 관측과의 오차가 상대적으로 적은) 가중치들만이 다음 세대 생성을 위해 선택되어 복제되는 과정을 반복하여 최적의 가중치를 찾아내는 방법이다(진강규, 2000). 계절예측에 유전 알고리즘과 SCM을 이용한 MME 기법을 비교했을 때, 유전 알고리즘을 이용한 MME가 SCM 기법의 예측성보다 더 좋다고 알려져 있기도 하다(Ahn and Lee, 2016).

2.1.5 Probabilistic Multi-Model Ensemble (PMME)

2012년 ET-ELRF 회의를 통해 APCC에서 개발된 확률론적 MME 기법이 WMO 장기예보 선도센터에 도입되었다(Final Report of 2012 CBS/ET-ELRF meeting, <http://www.wmo.int/pages/prog/www/CBS-Reports/documents/Final-Report-ET-ELRF-March2012.pdf>). 이는 계절예측자료가 표준정규분포를 따른다고 가정한 후 앙상블 멤버들의 hindcast의 평균적인 확률분포(정규분포)에서 평균(μ)과 분산(σ)을 이용하여 33.3%($x_a = \mu + 0.43\sigma$), 66.7%($x_b = \mu - 0.43\sigma$)에 해당하는 두 개의 기준값을 결정하고 예측값의 확률분포를 이용하여 기후 평균적인 확률분포로부터 결정된 기준값에 따른 각 카테고리의 확률을 계산하는 방법이다(그림 2.2). 이렇게 계산된 각 GPC의 카테고리별 확률값은 각 GPC의 앙상블 멤버의 제공근에 따른 가중치를 곱해주어 다중모델 앙상블 확률값을 얻게 된다(Min et al., 2009).

WMO 장기예보 선도센터 운영을 통해 생산된 각 GPC와 MME의 예측 성능을 파악하기 위해 앞서 언급했던 6개 변수의 hindcast 및 forecast에 대한 검증을 매 달 수행하고 있다. 이는 크게 결정론적 예측에 대한 검증과 확률론적 예측에 대한 검증으로 나뉜다(결정론적 MME의 경우 SCM에 대한 검증만 수행함). 이 중 hindcast에 대한 검증은 공통 기준기간인 1993-2009년에 대해 계산된다. 검증에 사용되는 재분석 관측 자료는 forecast와 hindcast에 따라 다르며, 표 2.3과 2.4에 자세히 나타내었다.

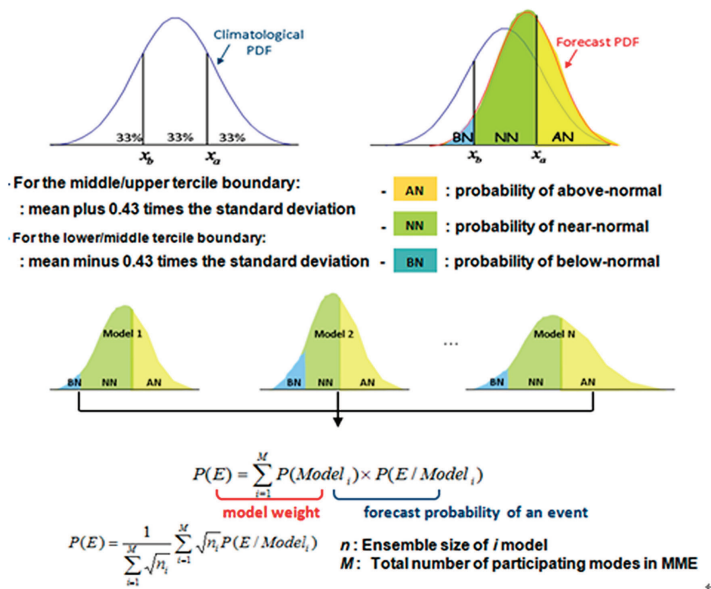


그림 2.2. 가우시안 확률밀도함수를 이용한 확률론적 다중모델 앙상블 기법

GRIB1으로 표준화된 GPC 자료들과 MME 예측자료는 WMO 장기예보 선도센터 홈페이지(<https://www.wmolc.org/>)를 통해 제공된다. 관리자가 표준화된 GRIB1 자료를 홈페이지에 업로드 하면 GRIB1 자료가 자동으로 GRIB2 자료로 변환되고, 사용자는 GRIB1 또는 GRIB2 중에 선택하여 다운로드 할 수 있다. 참고로, 각 GPC의 자료정책에 따라 재배포가 금지된 경우도 있으므로 모든 GPC의 예측자료를 다운로드 받을 수 있는 것은 아니다. WMO 장기예보 선도센터 홈페이지에서 다운로드 받을 수 있는 GPC 자료는 표 2.1을 참고하면 된다. 또한 이 예측자료들은 그래픽으로도 제공되는데, 사용자가 예측월, 변수, GPC, 지역 등을 선택할 수 있다. 특히, SCM의 경우에는 사용자가 예측기간(1~6개월)을 선택할 수 있는 사용자 맞춤형 서비스를 제공하고 있다. 그러나 이러한 예측자료들은 WMO 회원국에만 제한적으로 제공되고 있다(표 2.2). 앞서 계산된 결정론적 검증과 확률론적 검증 결과 역시 홈페이지를 통해 제공되고 있다. 당초 forecast 검증결과는 WMO 장기예보 선도센터에서 제공하고, hindcast 검증결과는 호주기상청에서 운영하는 WMO 장기예보 검증센터(<http://www.bom.gov.au/wmo/lrfvs/>)에서 제공한 바 있다. 그러나 2016년부터 WMO 장기예보 선도센터에서 forecast 뿐만 아니라 hindcast에 대한 검증결과를 함께 제공하도록 결정되어 현재는 forecast와 hindcast 검증자료가 WMO 장기예보 선도센터의 A등급과 B등급 회원에게 공개되고 있다. 한 달 동안 주기적으로 수행되는 WMO 장기예보 선도센터의 계절예측 현업에 대한 일련의 과정은 그림 2.3에 간략하게 도식하여 나타내었다.

표 2.2. WMO 장기예보 선도센터 홈페이지 사용자 등급 체계

Level	Member	Accessibility	Note
A	GPC	Upload and download digital data (limited) Download image plots	
B	National Meteorological and Hydrological Services (NMHS), Regional Climate Center (RCC), bodies coordinating Regional Climate Outlook Forum (RCOF)	Download digital data (limited) Download image plots	
C	Others	Image plots (only for MME)	Need to permission from ET-ELRF

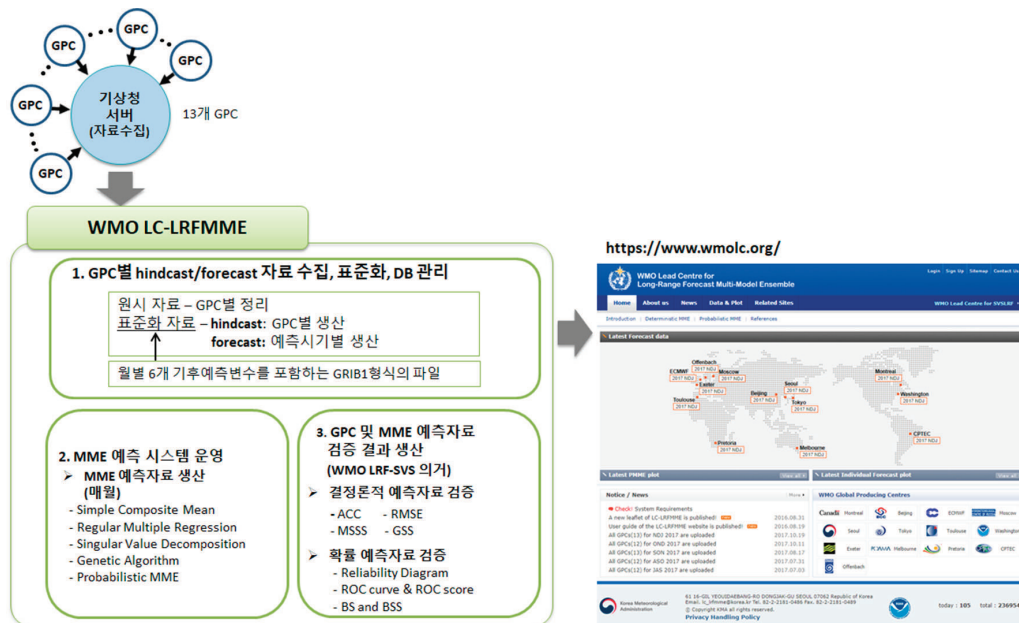


그림 2.3. WMO 장기예보 선도센터 계절예측의 월간 업무 흐름도

WMO 장기예보 선도센터 자료의 검증은 WMO 장기예보 표준 검증 체계(WMO Long-Range Forecast Standardised Verification System, WMO LRF-SVS)에 의거하여 수행되고 있다. 결정론적 예측 검증에는 아노말리 상관계수분석(Anomaly Correlation Coefficient, ACC), 평균제곱근오차(Root Mean Square Error, RMSE), MSSS와 Gerrity Skill Score(GSS)가 사용되고 확률 예측의 검증에는 Reliability Diagram, Roc Curve 및 Score, ROC map, Brier Score(BS), Brier Skill Score(BSS)가 이용되고, 자세한 내용은 부록 1에 나타내었다.

현재 APCC에서는 APCC 자체의 MME 예측과 WMO 장기예보 선도센터의 MME 예측이 각각 분리되어 현업 운영 되고 있다. 본 연구에서는 APCC와 WMO 선도센터의 예측수준을 인지하기 위해, APCC와 WMO 장기예보 선도센터에서 각각 생산된 PMME의 실시간 예측 성능을 간단히 비교해보았다. 이 검증은 두 기관의 예측력의 순위를 정하기 위한 것이 아니고, 현재 MME의 예측수준과 보완점을 알아보기 위한 것이다. 검증에 사용된 변수는 850hPa 온도와 강수이고, 검증에 사용된 실시간 예측기간은 2012년 JFM부터 2017년 ASO까지이다. APCC와 WMO 장기예보 선도센터의 계절예측 MME에 사용되는 모델 중 일부는 동일한 기관에서 제공하는 자료이다(예를 들어 Beijing, Melbourne,

Montreal, Moscow, Seoul, Tokyo, Washington). 그림 2.4와 2.5는 APCC와 WMO 장기예보 선도센터에서 각각 생산한 850hPa 온도와 강수에 대한 실시간 PMME 예측의 카테고리별 ROC score의 시계열이다. 850hPa 온도에 대해서는 APCC와 WMO 장기예보 선도센터의 예측성이 비슷한 수준이다. 그러나 2017년부터 WMO 장기예보 선도센터에서 예측한 850hPa 온도의 NN 카테고리의 예측성이 APCC에 비해 확연히 떨어지는 경향을 보이고 있다. 향후 이에 대한 상세한 분석이 필요할 것으로 보인다. APCC의 강수 예측성은 NN 카테고리에서는 유사하지만, AN(Above Normal)과 BN(Below Normal) 카테고리에서는 WMO 장기예보 선도센터에 비해 다소 우위에 있다(예를 들어 2016년 겨울철). 그림 2.6은 같은 기간 동안의 ROC score를 카테고리별로 평균한 값을 나타낸다. 전체적으로 NN 카테고리의 예측성능은 AN과 BN 카테고리의 성능에 비해 떨어지는데 이는 APCC와 WMO 장기예보 선도센터의 PMME에 공통적으로 나타나는 특징이다(Vanden Dool and Toth, 1991). 850hPa 온도의 경우, AN 카테고리는 WMO 장기예보 선도센터의 예측성능이 다소 우위에 있고, NN이나 BN 카테고리의 예측력은 서로 비슷한 수준이다. 강수는 850hPa 기온에 비해 두 기관의 예측성능이 차이가 나고, 특히 AN과 BN 카테고리에 대해서는 APCC가 WMO 장기예보 선도센터에 비해 다소 높은 예측성능을 보인다. 이러한 원인을 파악하기 위해서, 향후 APCC와 WMO 장기예보 선도센터의 MME 예측성 검증 및 상호 비교를 상세하게 할 필요가 있다. 이러한 비교 분석을 통해, 서로의 단점을 보완한다면 예측성 향상에 기여할 것으로 기대된다.

표 2.3. 실시간 예측의 검증에 사용되는 재분석 자료

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

표 2.4. hindcast 검증에 사용되는 재분석 자료

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

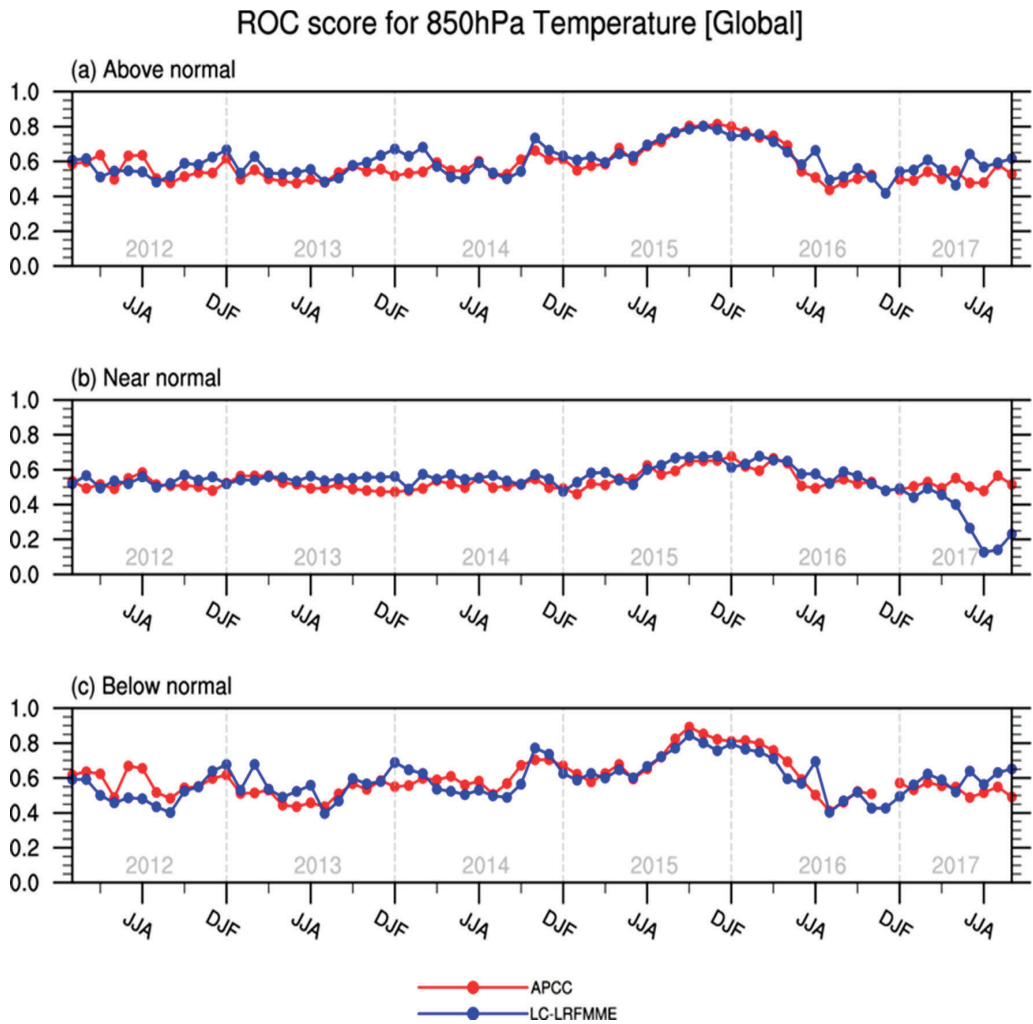


그림 2.4. APCC와 WMO 장기예보 선도센터에서 각각 생산된 실시간 PMME 850hPa 온도 예측에 대한 (a) above, (b) near, (c) below normal 카테고리별 ROC score의 시계열로, 실시간 예측의 기간은 JFM 2012-ASO 2017이다

ROC score for Precipitation [Global]

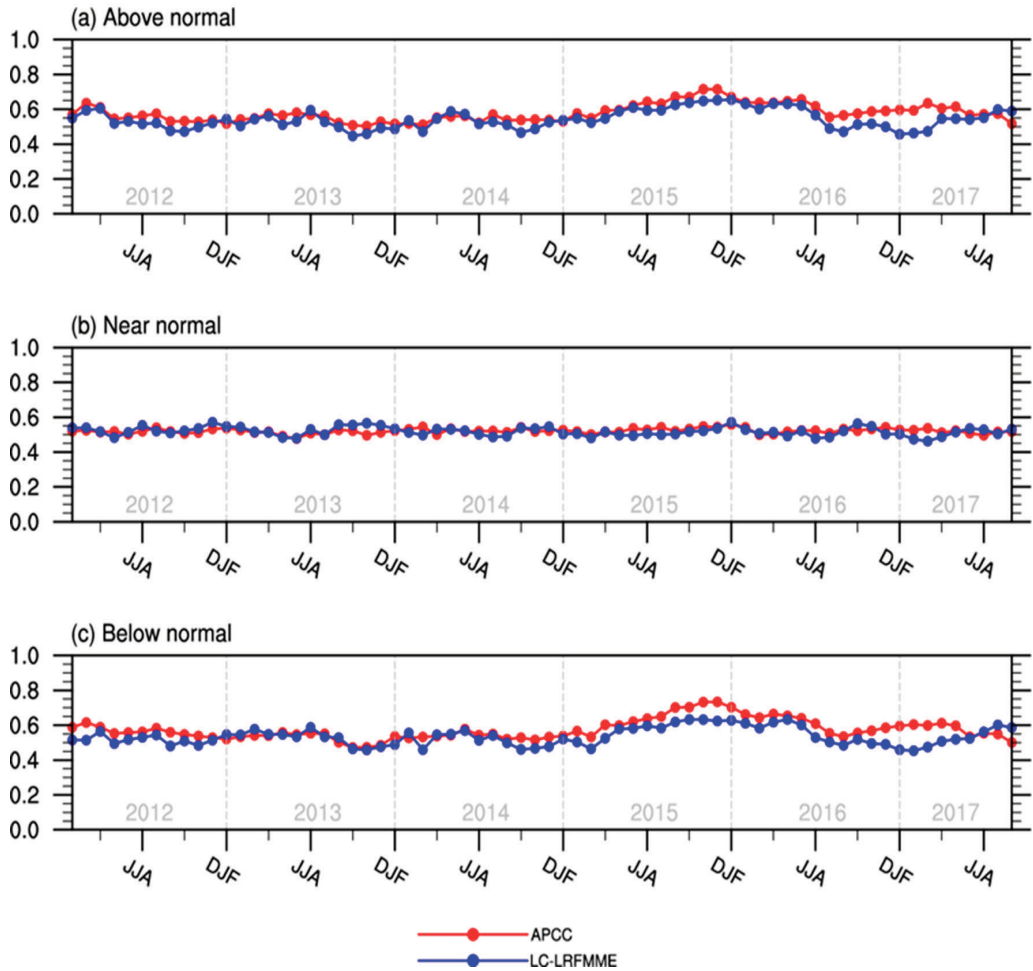


그림 2.5. APCC와 WMO 장기예보 선도센터에서 각각 생산된 실시간 PMME 강수 예측에 대한 (a) above, (b) near, (c) below normal 카테고리별 ROC score의 시계열로, 실시간 예측의 기간은 JFM 2012-ASO 2017이다

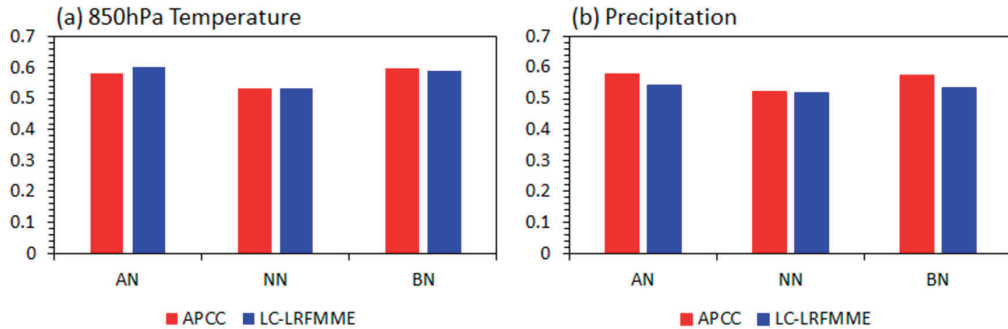


그림 2.6. APCC와 WMO 장기예보 선도센터에서 각각 생산된 실시간 PMME (a) 850hPa 온도와 (b) 강수 예측에 카테고리별 ROC score의 시간 평균값으로, 실시간 예측의 기간은 JFM 2012-ASO 2017이다

2.2 WMO 장기예보 선도센터 계절 예측 시스템 개선

앞서 언급한대로, WMO 장기예보 선도센터는 초반에 11개 GPC의 참여로 운영되기 시작하여 2010년 6월에 GPC CPTEC이 추가 도입되어 총 12개 GPC로부터 예측자료를 제공받아왔다. 2017년 8월에는 독일 기상청(GPC Offenbach)가 현업운영에 추가되어 현재 13개 GPC로부터 자료를 수집하여 MME 예측자료를 생산하고 있다. 본 절에서는 GPC Offenbach의 추가 도입과 관련해 수행되었던 내용을 설명하고자 한다.

2.2.1 자료제공요청서(Data Requirement) 마련

2011년에 APCC가 WMO 장기예보 선도센터의 계절예측 시스템을 위탁 운영하기 시작한 이래로 GPC가 추가 도입된 것은 GPC Offenbach가 처음이다. WMO 장기예보 선도센터의 홈페이지에서 자료교환정책이 제공되고 있기는 하나, 새롭게 자료를 제공하려는 GPC 입장에서 봤을 때는 너무 간략하게 기술되어 있는 것이 사실이다.

APCC 계절예측 현업시스템에는 다년간 다양한 현업 기관의 예측자료가 추가되어 왔다. 이 때 APCC 현업시스템에 맞는 예측자료를 대상 현업기관에 요구하기 위한 변수, 공간해상도, 자료 형식, 서버 정보 등의 내용이 상세하고 간결하게 기술되어 있는 자료제공요청서를 보내준다. 따라서 APCC의 자료제공요청서를 참고하여 WMO 장기예보 선도센터의 자료제공요청서를 마련하여(부록 2) 2017년 5월에 GPC Offenbach에 제공해 주었다.

2.2.2 GPC Offenbach 자료 표준화 및 forecast/hindcast 검증

GPC로부터 수신된 예측자료를 WMO 장기예보 선도센터의 계절예측시스템에 추가하기 위해서는 표준화 과정을 거쳐야 하고, 이를 위해서는 GPC Offenbach 자료의 특성에 맞는 표준화 시스템이 필요하다. GPC Offenbach에서는 변수별 앙상블 멤버와 앙상블 평균 자료를 GRIB2 형식으로 제공해주기 때문에, 하나의 GRIB1 파일에 6개 기본 변수에 대한 3개월 forecast anomaly를 생성하기 위한 표준화 시스템을 구축했다. 표준화 과정을 거쳐 MME 예측 시스템에 포함하기 전에 Offenbach 모델 자체의 예측성을 파악하고 다른 GPC들의 예측성과 비교분석 하기 위해 다음 단계의 적합성 판정 과정을 거쳤다.

1) 표준화 코드를 통해 생산된 forecast anomaly와 상관계수 패턴이 독일 기상청 자체에서 제공하는 패턴과 유사 또는 일치 여부

2) 다른 GPC와 비교하였을 때, GPC Offenbach의 예측성 수준

2017년 5월, 6월, 7월에 각각 생산된 3개월 예측자료에 대해 본 검증을 수행하여 독일 기상청에서 제공해주는 forecast anomaly 패턴과 검증 패턴이 유사한 것으로 보아 표준화 과정은 오류가 없이 수행되었고, 기온과 강수의 예측성이 다른 GPC와 비슷한 수준에 있다고 판단되었다(부록 3). 이에 따라 2017년 8월부터 GPC Offenbach를 WMO 장기예보 선도센터의 계절예측 현업시스템에 포함하였고, 홈페이지를 통해서 이 GPC의 예측자료를 제공하기 시작하였다.

2.3 WMO 장기예보 선도센터 계절 예측 자료 제공

기상청에서는 매 달 중순에 3개월 장기예보 생산하기 위해 다양한 예측 결과를 활용하여 토의하고 있다. WMO 장기예보 선도센터에서 생산하는 3개월 MME 예측자료도 기상청의 3개월 전망을 위한 중요한 참고자료로 활용되고 있다. 따라서 매월 3개월 내부 토의 직전에 3개월 내부 토의만을 위한 다양한 예측 콘텐츠를 생산하여 지속적으로 제공해주고 있다. 또한 WMO 선도센터에서는 다양한 지역기후포럼(Regional Climate Outlook Forum, RCOF)에 맞춤형 MME 예측자료를 제공하여 선도센터 자료의 활용도를 향상시키고 국제 협력과 선도센터의 입지를 강화하는데 도움이 되고 있다. 2017년에는 총 4개의

지역기후포럼에 MME 기후예측결과를 제공하는 것을 목표로 하였으며, 이에 따라 전반기 1개의 지역기후포럼에 예측 결과를 제공 였고, 후반기에는 9월에 1개, 11월에 2개의 지역 기후포럼에 MME 예측자료를 제공하였다(표 2.5). 이 중 SASCOF-11과 ASEANCOF-9는 APCC가 참석하여 WMO 장기예보 선도센터 자료를 이용한 예측결과를 발표하고, FOCRAII-13과 EASCOF-5는 기상청 기후예측과가 참석하여 WMO 장기예보 선도센터의 예측자료를 참고한 3개월 전망을 발표하였다.

표 2.5. 2017년 RCOF 참석 및 발표 현황

RCOF	Place	Date
Thirteenth Session of the Forum on Regional Climate Monitoring-Assessment-Prediction for Asia (RAII)(FOCRAII)	Beijing, China	24-26 April 2017
Eleventh Session of the South Asian Climate Outlook Forum (SASCOF-11)	Male, Maldives	25-27 September 2017
Fifth Session of East Asia winter Climate Outlook Forum (EASCOF)	Tokyo, Japan	8-10 November 2017
Ninth Session of ASEAN Climate Outlook Forum (ASEANCOF-9)	Hanoi, Viet Nam	15-17 November 2017

WMO에서는 자연재해 감소를 위해 지난 10여 년간 El Nino/La Nina Update를 발간하여 열대 태평양의 해수면 온도 변화에 관한 감시·전망 자료를 지속적으로 제공해왔다. 그러나 계절기후에 대한 보다 포괄적인 정보를 제공할 필요성이 제기되어, 제 15회 세계 기상회의에서 최근 기후감시 및 예측 정보를 제공할 목적으로 GSCU(Global Seasonal Climate Update)의 발간을 결정하였다. 이를 지원하기 위해 WMO 장기예보 선도센터는 매 분기(2월, 5월, 8월, 11월)에 기후예측정보를 생산하여 GSCU의 기본적인 초안을 제공하고 있다. GSCU 초안의 내용은 아래와 같다.

- WMO 장기예보 선도센터에서는 공통 기간에 대한 각 GPC별 예측 자료
- 결정론적 및 확률론적 MME 기법을 적용한 예측자료, 모델이 공통적으로 예측하는 특성이 무엇인지 알 수 있는 consistency map,
- ACC를 이용한 GPC 및 결정론적 MME의 검증(SST, 2m 기온, 강수, 500hPa의 지위고도, 해면기압)

- ROC map, ROC curve and score, reliability diagram을 이용한 GPC 및 확률론적 MME의 검증자료를 제공(2m 기온, 강수, 500hPa의 지위고도, 해면기압)
- Nino 1+2, Nino3.4, IOD, NTA, STA 지수

이를 통해 GSCU 발간 팀과의 활발한 교류가 이루어지고, APCC와 WMO 장기예보 선도센터의 입지가 강화될 수 있다.

2.4 기타 기상청 기후예측과의 협력 사항

APCC와 기상청 기후예측과의 원활한 업무 협력을 위해서 매월 초에 지난달에 생산된 예측자료에 대한 검증결과, WMO 장기예보 선도센터 예측자료 제공 성과, 특이사항 등을 포함한 “WMO 장기예보 선도센터 운영 월보고서”를 작성해서 기후예측과에 제공하고 있다. 기상청에서는 「개인정보보호법 제31조제2항제2호」에 따라 개인정보보호 수준 향상과 인식 제고를 위하여 기상청 및 산하기관의 개인정보 관리체계와 침해예방 활동 등을 주기적으로 점검하고 있다. 따라서 기상청에서 운영되고 있는 WMO 장기예보 선도센터 홈페이지에 대해서도 개인정보보호 처리실태가 주기적으로 점검되고 있다. 이러한 노력의 일환으로 WMO 장기예보 선도센터 홈페이지의 개인정보처리시스템 접근 권한 및 접속 기록 점검을 매 월 초 수행하여 점검 결과를 기후예측과에 제공하고 있다.

WMO 장기예보 선도센터 홈페이지를 사용하는 실제 회원들의 다양한 의견을 수렴하기 위해 2017년 9월 1일부터 11월 30일까지 총 3개월 동안 홈페이지 회원을 대상으로 만족도 조사가 진행되었다. 2016년까지는 만족도 조사를 시작 또는 종료하려면 해당 시점에 관리자가 직접 팝업창을 생성시키거나 제거해야만 했다. 하지만 올해는 APCC에서 시작 및 종료 시점을 관리자가 지정할 수 있도록 시스템이 개선되었다. 만족도 조사 시스템 개선과 관련된 내용은 부록 4에 자세하게 설명되어 있다.

3. WMO 장기예보 선도센터 계절내 예측 시스템 개발 및 시범운영

3.1 WMO 장기예보 선도센터 계절내 예측

3.1.1 계절내 예측 시스템 개발의 개요

극한 기후 현상 등을 보다 정확하고 상세하게 예측하기 위하여 계절 예측정보를 계절 내 시간 규모로 확장하는 요구가 국제 사회에서 지속적으로 제기되고 있다. 2011년에 열린 Sixteenth World Meteorological Congress(Cg-XVI)에서는 계절내 시간 규모 까지 예측자료를 제공하는 것을 포함하여 WMO 장기예보 선도센터의 역할이 확장될 수 있도록 GPC들의 지원을 요청하였다. 이후 2012년에 개최된 ET-ELRF의 전문가 회의 및 Expert Team on Operational Predictions from Sub-seasonal to Longer-Time Scales(ET-OPSL) 아래 Task Team 3(TT3)의 협의 등을 통해 보다 구체적인 계절내 MME 예측을 위한 계획이 수립되었다.

이러한 국제적 협의에 의해 WMO 장기예보 선도센터의 홈페이지에서는 계절예측 자료의 MME 결과 표출뿐만 아니라 계절내 MME 예측결과를 추가로 제공하기 위한 사업을 진행하게 되었다. 2014년에는 계절내 MME 시스템에서 제공할 콘텐츠를 발굴하는 등 사전 조사를 수행하였으며, 2015년에는 3개의 GPC(ECMWF, Tokyo(JMA), Washington(NCEP))의 예측자료를 바탕으로 파일럿 시스템을 구축하였고, 홈페이지에서는 MME 예측 정보만 표출한 바 있다. 2016년도 사업에서는 MME 뿐만 아니라 각 GPC 별 예측 결과를 추가적으로 표출하여 예측자료의 분석 시 보다 다양한 정보를 획득 할 수 있도록 하였다. 또한 2016년 4월 베이징에서 개최된 WMO 현업장기예보 전문가팀 회의(The Meeting of WMO Joint Commission for Basic Systems(CBS)-Commission for Climatology(CCI) ET-OPSL)의 TT3 회의 결과에 따라 5개의 GPC(Beijing(CMA), Exeter(UKMO), Melbourne(BoM), Montreal(ECCC), Seoul(KMA))의 참여가 확정되었으며, 예측변수의 추가 등이 결정되었다. 다만, GPC Seoul의 자료는 현재 일부 변수에서 오류가 발견되어 현업에 사용을 중단한 상태이다.

2017년에도 계절내 MME 예측시스템을 계속적으로 시범운영 하고 있으며, 시스템 운영 중 발생하는 여러 문제점들을 수정하면서 시스템을 개선해 나가고 있다. 올해 수정된 주요한 부분으로는 hindcast 기간 연장과 모델 특성변경에 따른 수정, 활용가이드 및

홈페이지 안내페이지 개선, 기후값 계산방법 변경 등이 있다. 이러한 작업을 통해 시스템을 안정적으로 운영하고 예측수준을 높여나가고자 한다. 계절내 MME 예측에 대한 선행 연구는 현재 매우 부족한 실정이며, 예측 및 검증방법에 대한 기준도 명확하게 정립되어 있지 않다. 따라서 WMO 장기에보 선도센터에서는 계절내 MME 예측 시스템을 선도적으로 구축하고 운영함으로써 계절내 규모에서 기후 예측이 나아가야 할 방향을 제시하는 역할을 수행하고자 한다.

3.1.2 계절내 예측 시스템의 참여모델 특성

계절내 MME 기후예측자료의 생산에 필요한 각 GPC의 일별예측자료는 현재 ECMWF Sub-seasonal to Seasonal(S2S) data portal(Vitart et al., 2017)로부터 수신하고 있다. 현재 Beijing과 ECMWF, Exeter, Melbourne, Montreal, Tokyo, Washington 자료가 계절내 MME에 사용되고 있으며, 예측에 사용된 7개 모델의 특성은 아래 표 3.1에 간략히 나타내었다. 표 3.1은 각 GPC 별로 forecast 자료를 생산하는 주기와 예측기간, forecast 앙상블 멤버의 수, hindcast 자료의 생산주기, hindcast 앙상블 멤버의 수, hindcast 수행기간을 나타낸 것이다. 계절내 MME 예측에 사용되는 모델의 보다 자세한 설명과 향후 수정되는 내용은 ECMWF S2S data portal 웹사이트의 모델 설명 부분에서 (<https://software.ecmwf.int/wiki/display/S2S/Models>) 확인할 수 있다.

표 3.1. WMO 장기에보 선도센터 계절내 예측에 사용되는 각 GPC 모델의 특성

GPC name (Center)	Forecast Frequency	Forecast Time Range	Forecast Ens. Size	Hindcast Frequency	Hindcast Ens. Size	Hindcast Length
Beijing (CMA)	daily	0-60 days	4	daily	4	1994-2014
ECMWF (ECMWF)	2/week (Mon,Thu)	0-46 days	51	2/week (Mon,Thu)	11	past 20 years
Exeter (UKMO)	daily	0-60 days	4	4/month (1,9,17,25)	7	1993-2015
Melbourne (BoM)	2/week (Sun,Thu)	0-62 days	33	6/month (1,6,11,16,21,26)	33	1981-2013
Montreal (ECCC)	weekly (Thu)	0-32 days	21	weekly (Thu)	4	1995-2014
Tokyo (JMA)	weekly (Wed)	0-33 days	50	3/month (10,20,last day)	5	1981-2010
Washington (NCEP)	daily	0-44 days	16	daily	4	1999-2010

3.1.3 계절내 MME 예측 방법

계절내 MME 예측을 수행하기 위해서 각 GPC의 예측자료의 표준화 과정이 필요하다. 표 3.1에 나타낸 바와 같이 각 GPC 별 예측자료는 다양한 예측시간과 해상도, 앙상블 크기, 예측주기 등을 가지고 있기 때문이다. 특히 매주 계절내 MME를 구성 하는 각 모델의 예측 시작 시간이 상이하므로 계절내 MME 예측시작 시점을 정하는 것이 중요한 이슈가 된다. WMO 장기예보 선도센터의 계절내 예측 시스템을 처음 구축할 당시에는 MME 참여모델의 선행시간 손실을 최소화하기 위해 MME 예측시작 일을 목요일로 정한 바 있다. 하지만 MME 예측의 시작이 월요일로 정하는 것이 실제 계절내 예측자료의 활용 면에서 더 필요하다고 판단되어 2016년에 변경하였다. 따라서 WMO 장기예보 선도센터에서는 계절내 MME 예측을 월요일에 시작하도록 정하였으며 매주 1회 예측을 수행한다. 이러한 계절내 MME 예측을 위해 사용되는 각 GPC 모델의 예측시작 시간은 예측자료의 수집에 소요되는 시간을 고려하여 그림 3.1에서 나타낸 바와 같이 직전 수요일에서 금요일 사이의 GPC 예측결과가 사용된다.

WED	THU	FRI	SAT	SUN	MON	TUE	GPC / MME
Merge 7days data					→		Beijing
	→						ECMWF
Merge 7days data					→		Exeter
	→						Melbourne
	→						Montreal
	→						Tokyo
	→						Washington
					→		MME

그림 3.1. 계절내 MME 예측의 시작 요일(붉은색 박스, 월요일)과 여기에 참여하는 각 GPC 모델의 예측 시작 날짜

다만 Beijing과 Exeter 예측자료는 1회 예측 시 앙상블 멤버의 수가 4개로 매우 적으며, 개별모델의 확률예측 등을 원활히 계산하기 위해 7일간의 예측결과를 모두 사용하였다. 이때 최적의 평균 기간을 찾기 위해 Exeter 예측자료를 사용하여 3일에서 7일까지 평균한 각각의 예측결과에 대하여 검증을 수행하였다. 그 결과 예측 선행시간이 2주보다 짧은 경우 3일 또는 4일 평균한 예측결과에서 예측성이 높게 나왔으나, 그보다 예측 선행시간이 길어지면 7일 평균한 예측결과의 예측성이 높았다(본 보고서에는 포함하지 않음). 즉 계절내 MME에 사용되는 Beijing과 Exeter의 예측자료는 MME 예측이 시작되기 2주 전의 토요일부터 1주전 금요일에 예측된 자료를 평균하여 사용한다.

계절내 MME 예측을 수행함에 있어서 또 하나의 중요한 이슈는 hindcast 자료의 선택과 모델의 기후값 계산 방법이 될 것이다. 표 3.1에서 보이는 바와 같이 각 GPC 별로 다양한 주기와 기간의 hindcast 자료를 제공하고 있다. forecast 자료로 부터 anomaly 계산을 위해서는 사전에 각 GPC 별로 기후값을 구해야 한다. 매주 예측을 수행하는 계절내 예측의 경우 hindcast 자료 또한 forecast 예측 시작날짜와 동일한 날짜의 자료가 매주 생산되는 것이 이상적일 것이다. 하지만 일부 GPC(Exeter, Melbourne, Tokyo)의 경우 매달 고정된 특정날짜를 기준으로 생산된 hindcast 자료를 제공한다. 이러한 GPC간의 차이점에도 불구하고 MME 예측을 위해서는 최대한 유사한 방법으로 각 GPC의 기후값을 계산해야 하며, 계절내 MME 예측에서는 forecast 시작 날짜(월, 일)와 가장 가까운 날짜의 hindcast 자료를 선택하도록 정하였다. 따라서 Beijing과 ECMWF, Montreal, Washington의 자료는 forecast 시작날짜와 동일한 날짜의 hindcast 자료가 선택되며, 나머지 Exeter와 Melbourne, Tokyo의 경우 forecast 시작날짜와 가장 가까운 날짜의 hindcast 자료가 선택된다. 또한, 기후값 계산 기간은 전체 GPC에서 공통적으로 제공되는 1999년부터 2010년까지 12년의 자료를 사용한다. 표 3.2는 계절내 MME 예측을 수행함에 있어 forecast와 hindcast 자료의 선택과 관련하여 앞서 설명한 내용을 정리한 것이다.

표 3.2. 각 GPC 모델 별 계절내 MME 예측시스템의 입력 자료로 선택되는 항목

GPC name (Center)	Forecast Init. Date	Forecast Time Range	Forecast Ens. Size	Hindcast Init. Date	Hindcast Ens. Size	Common Hind. Period
Beijing (CMA)	2 weeks ago Sat - last Fri	4 (10)-45 (51) days	28 (4*7)	Same date as fcst	4	1999-2010
ECMWF (ECMWF)	last Thu	5-46 days	51	Same date as fcst	11	1999-2010
Exeter (UKMO)	2 weeks ago Sat - last Fri	4 (10)-45 (51) days	28 (4*7)	Closest date to fcst	7	1999-2010
Melbourne (BoM)	last Thu	5-46 days	33	Closest date to fcst	33	1999-2010
Montreal (ECCC)	last Thu	5-32 days	21	Same date as fcst	4	1999-2010
Tokyo (JMA)	last Wed	5-32 days	50	Closest date to fcst	5	1999-2010
Washington (NCEP)	last Thu	5-39 days	16	Same date as fcst	4	1999-2010

표 3.3. 계절내 MME 예측 선행시간 별 참여하는 GPC 모델의 변화

Forecast Time Range	Participating GPCs in Subseasonal MME Prediction
1~4 weeks	Beijing, ECMWF, Exeter, Melbourne, Montreal, Tokyo, Washington
5 weeks	Beijing, ECMWF, Exeter, Melbourne, Washington
6 weeks	Beijing, ECMWF, Exeter, Melbourne

시스템 구축의 초기 단계임을 고려하여 WMO 장기예보 선도센터에서는 계절내 MME 예측방법으로 SCM 방법과 PMME 방법만을 사용한다. SCM 방법은 식 3.1, 식 3.2 와 같이 각 GPC의 예측결과에 대한 간단한 산술평균 방식이지만 각 모델이 가지고 있는 계통적 오차를 효과적으로 줄여 예측성을 높이는 방법이다(Krishnamurti et al., 2000).

$$A_i = \frac{1}{M_i} \sum_{m=1}^{M_i} (F_m - \bar{F}_i) \tag{식 3.1}$$

$$SCM = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (A_i) \tag{식 3.2}$$

여기서 i 는 각 GPC를 나타내고, m 은 각 GPC 내 앙상블 멤버를 가리키며, A_i 는 각 GPC의 anomaly 앙상블 평균을 뜻한다. M_i 는 각 GPC의 앙상블 멤버 수를 나타내고, F_m 은 앙상블 멤버 각각의 개별 예측결과이며, \bar{F}_i 는 앞서 설명한 각 GPC의 기후값이다. 이렇게 구해진 SCM 결과값은 WMO 장기예보 선도센터 홈페이지를 통해 이미지화 하여 표출되거나 GRIB edition 1 파일 형식으로 제공된다.

PMME는 각 격자점 별로 Above-Normal(AN), Near-Normal(NN), Below-Normal(BN)에 해당하는 이벤트가 발생할 확률을 구한 것이며, 2m 기온과 강수량에 대해서만 예측을 수행한다. AN, NN, BN을 구분하는 임계값은 hindcast 결과를 바탕으로 확률밀도함수를 구하고, 함수의 면적을 삼등분 하는 지점을 값으로 한다. 확률밀도함수 fitting 시 2 meter temperature(T2M)은 normal distribution를 따르고, total precipitation(PREC)는 gamma distribution를 따르는 것으로 가정하였다. 이렇게 구해진 삼분위 지점 값을 기준으로 각 GPC의 forecast 결과가 각 category에 얼마나 포함되는지 확률을 계산하여 개별모델의 확률 예측 값이 생산된다. PMME는 식 3.3과 같이 개별모델의 확률의 평균으로 구해지며, 이때 각 모델 간 동일한 가중치를 가진다. 추후 PMME 계산에서 각 모델별 최적의 가중치 값을 찾기 위한 연구를 수행할 계획이다 (Min et al., 2009).

$$P(E_j) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (P(E_j/mdl_i)) \quad (\text{식 3.3})$$

여기서 P 는 예측 확률이며, E_j 는 AN, NN, BN 각각의 확률을 의미한다. M 은 PMME 에 참여한 GPC의 수이며, mdl_i 은 i 번째 GPC를 의미한다. 또한, $P(E_j/mdl_i)$ 는 개별 GPC의 E_j 각각의 경우에 대한 확률을 의미한다.

3.2 WMO 장기예보 선도센터 계절내 예측 시스템 운영

3.2.1 자료수신 및 시스템 운영

현재 WMO 장기예보 선도센터의 계절내 예측 시스템은 시범운영 중이다. 계절내 예측시스템의 원활한 운영을 위해, APCC는 자료 수신 상태를 실시간으로 모니터링하고, 오류에 대한 대응을 지속적으로 수행하는 등 현업에 준하는 운영을 하고 있다. 먼저 시스템 운영에 기본이 되는 각 GPC의 forecast 및 hindcast 자료는 자료제공 주기에 맞춰 주기적 또는 비주기적으로 수신한다. 또한 예측성 검증에 필요한 관측 자료는 계절내 예측결과 생산에 맞춰 주기적으로 수집한다. 계절내 MME 예측 시스템에서 수신 중인 자료에 대한 보다 자세한 사항은 표 3.4에 자료의 목록과 주기, 목적별로 정리하였다. 이러한 절차를 통해 수집된 계절내 예측 자료는 WMO 장기예보 선도센터 운영뿐만 아니라 APCC, 기상청, 그리고 기상과학원의 매주 1개월 전망을 위한 예측 및 사후 분석 자료로 이용되며, 계절내 MME 예측 연구에도 사용되고 있다.

그림 3.2는 현재 WMO 장기예보 선도센터 홈페이지에 제공(WMO 전문가 그룹 일부만 확인가능)되고 있는 산출물을 정리한 그림이다. 추가적으로 PMME 예측정보와 DMME 예측정보 외에 개별 GPC의 예측정보 또한 MME 예측과 동일한 형식으로 제공하고 있다. 다만, 검증 정보는 hindcast MME 대한 결과만을 제한적으로 제공하고 있다.

표 3.4. 계절내 MME 예측을 위해 수집되는 각 GPC의 예측 자료와 검증에 위해 수집되는 관측 자료의 변수 및 자료 수신 주기

Data Name	Variable	Download Frequency	Purpose
GPCs Forecast	<ul style="list-style-type: none"> Sea Surface Temperature 2 metre Temperature Mean Sea Level Pressure Total Precipitation Outgoing Longwave Radiation Geopotential Height at 500hPa U/V wind component at 850 hPa U/V wind component at 200 hPa 	<ul style="list-style-type: none"> weekly : ECMWF, Melbourne, Montreal, Tokyo, Washington daily : Beijing, Exeter 	<ul style="list-style-type: none"> Subseasonal MME prediction
GPCs Hindcast	<ul style="list-style-type: none"> Sea Surface Temperature 2 metre Temperature Mean Sea Level Pressure Total Precipitation Outgoing Longwave Radiation Geopotential Height at 500hPa U/V wind component at 850 hPa U/V wind component at 200 hPa 	<ul style="list-style-type: none"> First one time : Beijing, Tokyo, Melbourne, Washington weekly : ECMWF, Montreal, non periodical : Exeter 	<ul style="list-style-type: none"> Anomaly and PDF calculation
ERA-Interim daily	<ul style="list-style-type: none"> 2 metre Temperature Total Precipitation 	<ul style="list-style-type: none"> monthly 	<ul style="list-style-type: none"> Verification
NCEP Reanalysis 1	<ul style="list-style-type: none"> 2 metre Temperature Mean Sea Level Pressure Geopotential Height at 500hPa U/V wind component at 850 hPa U/V wind component at 200 hPa 	<ul style="list-style-type: none"> weekly 	<ul style="list-style-type: none"> Verification ISO monitoring and prediction
NOAA Interpolated OLR	<ul style="list-style-type: none"> Outgoing Longwave Radiation 	<ul style="list-style-type: none"> First one time 	<ul style="list-style-type: none"> Verification MVEOF mode calculation
NOAA Uninterpolated OLR	<ul style="list-style-type: none"> Outgoing Longwave Radiation 	<ul style="list-style-type: none"> weekly 	<ul style="list-style-type: none"> ISO monitoring and prediction

	Products/Variable	Covering Periods	Charts	Verification scores
Probabilistic MME	<ul style="list-style-type: none"> Precipitation 2m Temperature 	<ul style="list-style-type: none"> Weeks 1, 2, 3, 4, 5, 6, 3-4, 5-6, 3-6 	<ul style="list-style-type: none"> Probabilistic maps 	<ul style="list-style-type: none"> ROC Curve ROC Score map Reliability Diagram
Deterministic MME	<ul style="list-style-type: none"> Precipitation 2m Temperature Mean Sea Level Pressure Geopotential Height at 500hPa 850hPa Wind 200hPa Wind 200hPa Velocity Potential 200hPa Stream Function 	<ul style="list-style-type: none"> Weeks 1, 2, 3, 4, 5, 6, 3-4, 5-6, 3-6 	<ul style="list-style-type: none"> Each variable anomaly map 	<ul style="list-style-type: none"> Pattern Correlation Coefficient Root Mean Square Error Time Correlation Coefficient
Intraseasonal Oscillations	<ul style="list-style-type: none"> MJO Need: OLR, U850, U200 BSISO Need: OLR, U850 Outgoing Longwave Radiation 	<ul style="list-style-type: none"> 42 days 	<ul style="list-style-type: none"> Hendon and Wheeler Diagram Hovmöller diagram 	<ul style="list-style-type: none"> Root Mean Square Error Correlation Coefficient

그림 3.2. 계절내 MME 예측 및 검증 결과 표출 자료의 변수 및 예측기간 특성

3.3 WMO 장기예보 선도센터 계절내 예측 시스템 개선사항

3.3.1 GPC 예측자료 변경에 따른 수정사항

현재 계절내 예측과 관련하여 일반적으로 정립된 기준이 없으며, 각 GPC에서 예측결과를 제공하는 모델들의 업데이트가 계속 발생하고 있다. 그에 따라 2017년도에 WMO 장기예보 선도센터 계절내 MME 예측시스템을 시범운영하면서 많은 변경과 개선이 이루어졌다. GPC 모델의 업데이트와 관련하여 변경된 사항으로 먼저 GPC Exeter의 hindcast 앙상블 수가 3개에서 7개로 증가하였다. 이러한 점은 2017년 3월 25일 제공 자료부터 적용되었다. 다음으로 GPC Tokyo에서 제공하는 forecast 자료의 앙상블 수가 25개에서 50개로 두 배 증가하였다. 이는 기존의 화요일과 수요일에 각각 25개의 앙상블 예측을 제공하던 방식에서 이 둘을 합쳐 수요일 12 UTC에 한번 제공하는 것으로 변경한 것이다. 그에 따라 Tokyo의 forecast 예측시간이 34일에서 33일로 줄어들었다. 이와 같은 변경사항을 예측시스템의 프로그램에 적용하였으며, 시스템 운영이 원활히 유지될 수 있도록 하였다.

기존의 GPC Exeter의 hindcast 자료 제공기간은 1996년부터 2009년까지였다. 하지만 2016년 8월 17일 자료부터 1993년부터 hindcast 자료 제공기간을 2015년까지 확장하여 제공하기 시작하였다. 이에 따라 WMO 계절내 MME 예측에서 사용하는 전체 GPC의 공통 hindcast 기간은 1999년부터 2010년까지로 변경되었다. 따라서 예측시스템의 프로그램을 변경하고 현재 GPC 참여모델이 확정된 2016년 1월부터 기후값 계산을 새로 수행하였으며, 그로 인한 MME 예측과 표출, 검증 또한 재수행 하였다.

3.3.2 예측성 향상을 위한 개선사항

계절내 MME 예측 시스템을 구성하면서 매우 다양한 모델의 운영 특성을 최대한 일관되게 전처리하고, 개별 GPC의 예측결과로부터 MME 예측을 수행하고자 하였다. 하지만, 공통 hindcast 기간이 일반적으로 계절예측에 사용되는 기간에 비하여 매우 짧은 12년이라는 점과 3~4개로 비교적 적은 hindcast 앙상블 멤버를 제공하는 GPC가 있어서 각 모델의 기후값을 적절히 계산해내는 문제가 상존하고 있다. 기존의 WMO 장기예보 선도센터 계절내 MME 예측시스템에서는 기후값을 계산할때 SCM 예측과 PMME

예측에서 사용하는 hindcast 자료가 다르게 적용되고 있었다. SCM 예측에 사용하는 hindcast 자료는 forecast 예측시작 날짜와 동일하거나 가장 가까운 날짜 하나만을 사용하였으며, PMME 예측에 사용하는 hindcast 자료는 비모수화 방법의 사용에 따라 샘플 수를 늘리기 위해 두 배의 hindcast 자료를 사용하였다. 이후 2016년에 PMME 계산 시 모수화 방법을 사용하도록 변경되었으나 계산에 사용되는 hindcast 자료 선정 방식은 그대로 유지되었다. 올해의 시스템 개선사항으로는 이렇게 다르게 사용하는 hindcast 자료를 일치 시키고자 하였다.

먼저 계절내 예측은 일주일에 한번 예측을 수행하며, 현재 hindcast 자료는 forecast 자료와 마찬가지로 일주일에 한번 자료를 수신하는 것을 기본으로 운영된다. 다만 미리 모든 날짜에 대한 hindcast 자료를 제공하는 경우와 몇 주 이후의 날짜를 기준으로 하는 hindcast 자료를 사전에 제공하는 GPC가 있다. GPC Montreal의 경우에는 forecast 자료를 제공할 때 동일한 날짜에 대한 hindcast 자료만을 제공하며, forecast 시작날짜 이후의 날짜를 기준으로 하는 hindcast 자료는 제공하지 않는다. 따라서 준 실시간으로 계절내 MME 예측을 운영하기 위해서는 hindcast 자료의 선택에 제약이 발생한다. 하나의 특정날짜에 수행된 hindcast 세트 한 개를 사용하는 경우에는 앞서 설명한 바와 같이 forecast 예측시작 날짜와 동일하거나 가장 가까운 날짜 하나를 선택한다. 두 개의 hindcast 세트를 사용하는 경우에는 forecast 예측시작 날짜와 동일한 날짜 한 개와 그 일주일 전의 날짜가 선택되며, 특정 날짜에만 hindcast를 수행하는 GPC의 경우에는 forecast 예측시작 날짜와 가장 가까운 두 개의 날짜를 기준으로 수행된 hindcast 자료가 선택된다. 현업에는 적용하기 어렵지만 hindcast 세트 3개를 선택하는 경우에는 한 개를 선택 할 경우의 hindcast 세트와 그 자료의 한 주 앞뒤의 hindcast 세트를 선택하도록 하였다.

Hindcast 자료의 선택과 관련하여 일주일 안에서는 기후학적으로 그 특성이 크게 변하지 않을 것이라고 가정하였다. 하지만 T2M 변수에서 기온의 연 변화에 따라 편향된 예측 결과를 생성하는 것으로 파악되었다. 그림 3.3은 hindcast 자료의 선택 방법에 따라 동아시아 영역에서의 T2M anomaly 예측 차이가 발생하는 것을 나타낸 것이다. 위쪽 패널은 이 영역에서 전반적으로 기온이 상승하는 시기인 2017년 5월 1일부터 7일 까지 평균된 값이며, 아래쪽 패널은 기온이 하강하는 2017년 10월 16일부터 22일까지

평균된 값이다. 그림 3.3 (b)와 (e)는 hindcast 세트 한 개를 사용하여 기후값을 계산한 경우이며, (c)와 (f)는 hindcast 세트 두 개를 사용한 경우이다. 기온이 상승하는 시기에 는 두 개의 hindcast 세트를 사용하여 기후값을 계산한 경우 한 개의 hindcast 세트를 사용한 경우보다 T2M을 높게 예측하고 있으며, 기온이 하강하는 시기에는 그 반대 현상 이 나타났다. 이러한 예측 특성은 다른 날짜의 예측에서도 나타났으며, 예측 선행시간이 길어질수록 예측자료의 왜곡이 더욱 뚜렷하게 보였다.

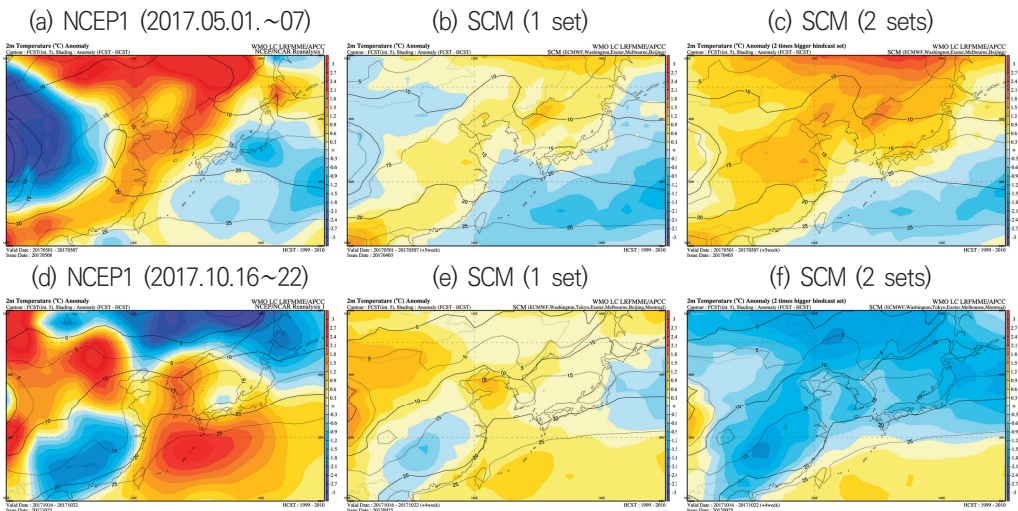


그림 3.3. 동아시아 영역에서 T2M anomaly 값을 나타낸 것이며, (a)와 (b)는 NCEP reanalysis 1의 자료이고, (b)와 (c), (e), (f)는 SCM에서 예측된 결과이다. (a)는 2017년 5월 1일에서 7일까지 평균된 값이며, (b), (c)는 같은 기간을 5주전에 예측한 결과이다. (d)는 2017년 10월 16일에서 22일까지 평균된 값이며, (e)와 (f)는 같은 기간을 4주전에 예측한 결과이다. (b)와 (e)는 한 세트의 hindcast를 사용하여 기후값으로 계산하였으며, (c)와 (f)는 두 세트의 hindcast를 사용하여 기후값을 계산하였다. 모든 결과의 공통 hindcast 기간은 1999년부터 2010년까지이다

기후값 계산에 사용되는 hindcast 자료의 선택 방법에 따라 실제 기후값을 얼마나 잘 나타내는지 비교해 보았다. 그림 3.4는 기후값 계산에 사용되는 hindcast 세트의 수를 달리하며 계산된 ECMWF 모델의 T2M 기후값과 동일 기간을 평균한 ERA Interim 자료의 기후값 사이의 RMSE 값이다. 비교에 사용된 자료의 기간은 2016년 1월 7일부터 2016년 12월 22일이며, 동아시아 영역(20°N-50°N, 100°E-150°E, 그림 3.3과 같은 영역)과 전구영역 평균된 값을 각각 나타냈다. 전체적으로 hindcast 두 세트를 사용한 경우 실제 관측의 기후값을 잘 모의하지 못하는 것으로 나타났으며, 세 개의

세트를 사용하는 경우 10일 이내의 예측 초반을 제외하면 전반적으로 잘 모의하는 것으로 보였다. 하나의 hindcast 자료 세트를 사용한 경우에도 비교적 우수한 결과를 보여주었다. 본 보고서에는 포함하지 않았으나 PREC 변수의 경우에는 hindcast 자료가 증가할수록 RMSE값은 낮아지는 결과를 보였다.

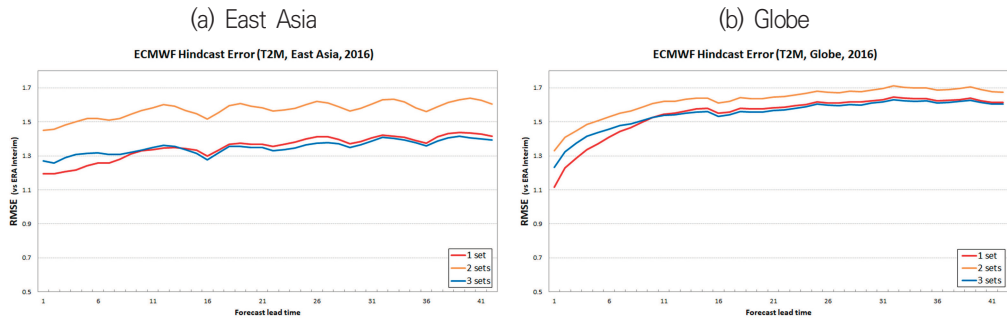


그림 3.4. 기후값 계산에 사용된 hindcast 세트 수에 따른 ECMWF 모델의 기후값과 ERA Interim 기후값 사이의 RMSE이며, (a)는 East Asia($20^{\circ}\text{N}\sim 50^{\circ}\text{N}$, $100^{\circ}\text{E}\sim 150^{\circ}\text{E}$), (b)는 Globe 영역의 평균값이다. 분석에 사용된 ECMWF hindcast 자료의 예측시작 날짜는 2016년 1월 7일부터 2016년 12월 22일까지이다. 붉은색 선은 한 세트의 hindcast 자료가 사용된 것이며, 주황색 선은 두 세트, 파란색은 셋 세트의 자료가 사용되었다

앞서 설명한 hindcast 자료 선정과 관련하여 세 가지 방법에 따른 예측 정확도를 비교하였다. 그림 3.5는 2016년에 각각의 방법으로 예측한 SCM의 ACC 값을 나타낸 것이며, T2M과 PREC 변수에 대해 East Asia 영역($10^{\circ}\text{N}\sim 60^{\circ}\text{N}$, $80^{\circ}\text{E}\sim 180^{\circ}\text{E}$)과 Global 영역으로 나누어 계산하였다. 여기서 사용한 East Asia 영역은 앞서 그림 3.3의 영역과는 다르다. 그 이유는 WMO 장기예보 선도센터 홈페이지에서 제공하는 East Asia 영역과 기상청에 제공하는 동아시아 영역의 차이에서 발생한다. 다만 두 영역의 범위가 비슷하여 분석결과에 유의미한 차이를 보이지 않으므로 이후 검증은 이 영역에 대하여 수행한 결과만을 제시한다. T2M 변수의 ACC 값을 보면(그림 3.5 a,b), hindcast 자료를 두 세트 사용하여 기후값을 계산 하였을 경우 관측의 기후값을 부정확하게 모의하고 그 결과 예측의 정확도도 낮아지게 된다. 즉, 약 일주일 정도의 시간간격에서 기온의 차이는 anomaly 예측 시 유의미한 오류를 발생시키는 것으로 분석된다. 반면 그림 3.5 (c), (d)의 PREC 변수에 대한 예측에서는 hindcast 자료의 선택에 따른 예측성의 차이가 크게 나타나지 않았으며, 이것은 약 일주일의 시간 차이에서는 기후학적인 차이가 적은 것으로 유추할 수 있다.

위와 같은 결과를 토대로 현재 계절내 예측 시스템에서 각 모델의 기후값을 계산하는 방법으로는 forecast 시작 날짜와 가장 가까운 날짜를 기준으로 하는 hindcast 한 세트만을 사용하도록 수정하였다. 하지만 이 방법은 짧은 기간과 작은 앙상블 멤버 수로 인한 취약점이 상존하고 있으므로 지속적인 연구로 개선해 나가야할 필요성이 있다. 특히 hindcast 자료의 선택과 관련한 문제는 MME 예측을 위해 공통 hindcast 기간만을 사용하여 기후값을 계산하면서 부터 시작된다. 공통 hindcast 기간을 늘리지 못하는 경우 공통 hindcast 기간만을 사용하는 방법을 탈피하여 개별 모델이 가지고 있는 hindcast 기간을 모두 사용하여 예측을 수행하는 방법에 대한 연구가 앞으로 수행되어야 할 것이다.

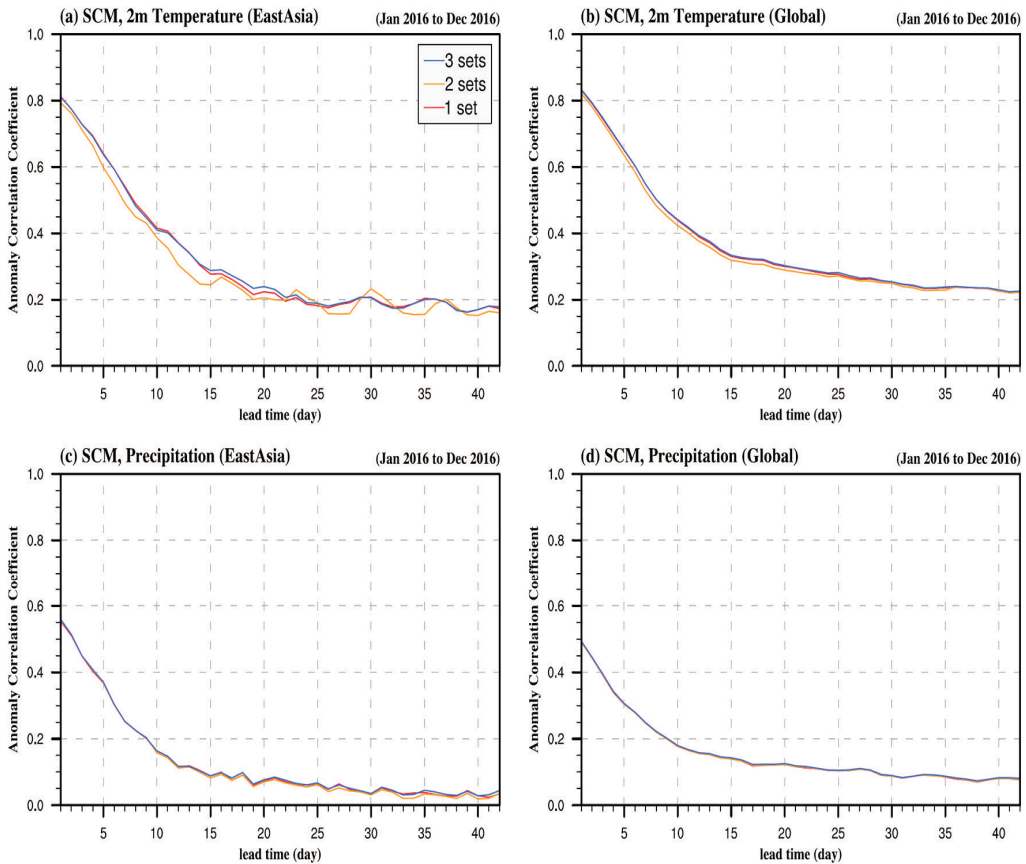


그림 3.5. 기후값 계산에 사용된 hindcast 세트 수에 따른 SCM 예측의 ACC 검증결과이다. (a)와 (c)는 East Asia 영역(10°N~60°N, 80°E~180°E)이며, (b)와 (d)는 globe 영역이다. 위 패널의 변수는 T2M이며, 아래 패널의 변수는 PRE이다. 분석에 사용된 SCM 예측기준 날짜는 2016년 1월 11일부터 2016년 12월 26일까지이다. 붉은색 선은 한 세트의 hindcast 자료가 사용된 것이며, 주황색 선은 두 세트, 파란색은 셋 세트의 자료가 사용되었다

3.3.3 자료 활용성 향상을 위한 개선사항

WMO 장기예보 선도센터 사용자 안내 문서는 선도센터 홈페이지의 가입과 이용방법에 대하여 설명하고, 제공되는 자료에 대하여 소개하는 문서로써 홈페이지 공지사항에 게시하여 사용자의 편의를 돕는다. 이 문서는 현재 계절예측 부분에 대한 내용만을 제공하고 있다. 따라서 2017년도에 개선된 사항에 대하여 전반적인 업데이트가 이루어졌으며, 추가로 내년 계절내 예측 부분의 공개를 대비하여 계절내 예측과 관련한 설명부분을 추가하였다. 또한 추가적으로 계절내 예측자료의 특성과 계산 방법에 대하여 설명한 홈페이지 내 정보페이지를 수정하였다.

WMO 장기예보 선도센터에서 수집하고 있는 각 GPC의 예측자료는 다양한 연구를 위해 활용되고 있다. 하지만 계절내 예측자료의 수집에 많은 시간이 소모되므로 APCC 내부의 계절내 예측에 관한 연구는 물론이며 기상과학원의 연구를 위해서 자료를 지원하고 있다. 특히 기상과학원에는 hindcast자료와 forecast자료를 준 실시간으로 매주 제공해 달라는 요청에 따라 2017년 6월부터 자동으로 관련 자료를 보내주는 시스템을 구축하여 운영하고 있다.

3.4 WMO 장기예보 선도센터 계절내 예측 결과 검증

WMO 장기예보 선도센터에서 시범운영 중인 계절내 MME 결과에 대한 검증을 실시하였다. 검증 기간은 2016년 1월 11일부터 2016년 12월 26일 사이에 예측한 것이며, 검증 대상은 개별 GPC 및 MME 예측 결과이다. 본 보고서에서 hindcast에 대한 검증을 제외한 이유는 각 GPC 별로 hindcast 시작 날짜가 다르며 매 예측마다 손실되는 선행시간이 변화되기 때문에 일정한 모델의 예측성을 분석하기 어렵기 때문이다. 또한 검증 영역으로 East Asia 지역(10°N - 60°N , 80°E - 180°E)에 대하여 분석한 결과만을 제시하며, Global 영역의 검증결과는 East Asia 지역의 검증결과와 유의미한 차이점이 없으므로 본 보고서에서는 제외하였다.

먼저 그림 3.6은 개별 GPC의 확률예측과 PMME 예측에 대한 ROC score 값을 비교한 것이다. T2M과 PREC 변수 모두에서 검은색으로 표시한 PMME 예측성이 개별 GPC에 비해 전 예측기간에서 비교적 우수한 예측성을 보이고 있다. 개별 GPC 중에서는 불

은색으로 표시한 ECMWF 예측이 가장 우수한 것으로 나타났다. Beijing 의 경우 다른 GPC 모델에 비해 매우 낮은 예측성을 보이고 있으며, 특히 T2M 예측에서 다른 모델과 비교하여 큰 격차를 보였다. PMME 예측의 경우 T2M 변수는 1주에서 2주 예측까지 0.7 이상의 값을 보이고 있으며, 3주 예측부터 6주 예측까지는 0.6 이상의 값이 유지된다. 반면 PREC 변수의 경우 빠른 속도로 ROC score 값이 작아지며, 3주 예측 이후부터 0.6보다 작은 값을 보인다.

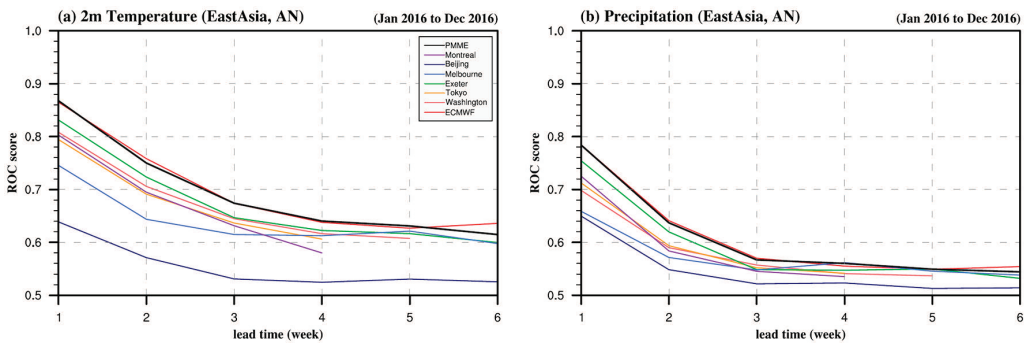


그림 3.6. (a) 2m 기온과 (b) 강수량 확률예측에 대한 ROC score 검증결과와 East Asia 영역($10^{\circ}\text{N}\sim 60^{\circ}\text{N}$, $80^{\circ}\text{E}\sim 180^{\circ}\text{E}$) 평균값. 검은색 선은 PMME 예측에 대한 검증결과이다

결정론적 예측결과에 대한 검증은 그림 3.7에 나타내었다. 그림 3.7은 개별 GPC와 SCM의 Anomaly correlation coefficient(ACC)를 비교한 것으로, 검증 변수는 T2M과 PREC, mean sea level pressure(MSLP), geopotential height at 500hPa(Z500)이다. 확률예측과 마찬가지로 결정론적 예측에서도 MME 예측결과와 ECMWF의 예측결과가 다른 모델에 비해 예측성이 우수한 것으로 나타났다. 또한 Beijing과 Melbourne의 예측성이 다른 모델에 비해 뚜렷하게 낮은 값을 보였다. 여기에 보이지 않았지만 Beijing 모델은 분포도 상에서도 전반적으로 다른 모델과 다른 결과를 예측하는 경우가 많았으며, Melbourne의 경우는 모델의 해상도가 약 2.5° 로 다른 모델에 비해 낮은 것이 하나의 원인으로 파악된다.

WMO 장기예보 선도센터에서 계산되는 예측결과는 약 15일 전후까지 예측성이 빠르게 낮아지며 그 이후로는 예측성이 낮은 상태로 유지된다. MME 예측을 매주 월요일에 시작하도록 정하면서 손실되는 선행시간이 각 모델별로 약 4일정도 발생한다. 현재의

예측성능에서 이러한 4일의 손실은 매우 크게 다가온다. 각 GPC 별로 현업운영 일정에 따라 정해지는 부분이므로 빠른 시일 내에 개선이 이루어지긴 어려울 것으로 파악된다. 계절내 MME 예측결과에 대한 검증 값을 비교할 때에는 이러한 점을 염두에 두어야 할 것이다. 또한 본 보고서에서 제시하지 않았으나 결정론적 예측에 대한 검증 시 일 평균한 예측보다 일주일 평균한 예측결과에서 ACC 값이 약 0.1 높은 것으로 나타났다. 따라서 ISO 계산을 제외하고는 확률 예측과 동일하게 일주일 평균된 예측결과를 표출함으로써 현재의 낮은 예측성을 조금이나마 보완하는 방향으로 활용하고 있다.

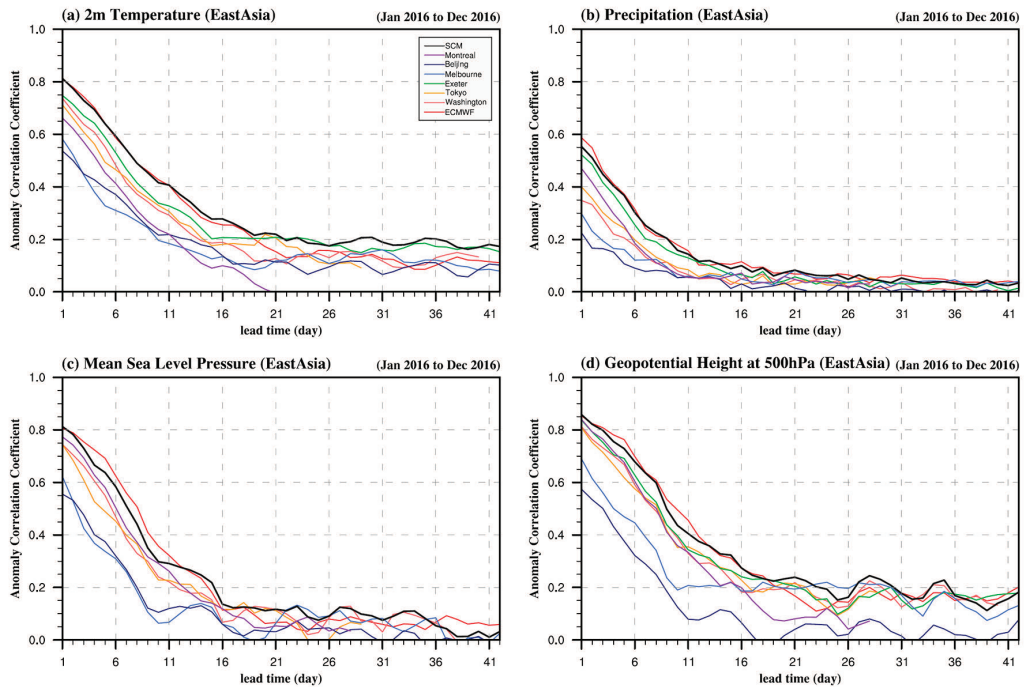


그림 3.7. (a) 2m 기온과 (b) 강수량, (c) 해면기압, (d) 500hPa 지위고도 예측에 대한 아노말리 상관계수의 East Asia 영역(10°N~60°N, 80°E~180°E) 평균값. 검은색 선은 SCM 예측에 대한 검증결과이다

4. 기타 운영사항

4.1 계절내 MME 예측자료 생산 및 브리핑

WMO 장기예보 선도센터는 WMO 회원국들의 기후예측을 지원하기 위해서 운영하고 있다. 따라서 기본적으로 전지구 영역에서 고른 예측성 향상을 위해 노력하며, 예측 결과의 표출 또한 전지구 영역을 기준으로 운영하고 있다. 이러한 가운데 기상청의 1개월 전망 예보 지원을 위해 WMO 장기예보 선도센터의 계절내 예측결과를 매주 제공하게 되었다. 기존에 기상청에서 발표하고 있는 영역과 형식에 맞추어 계절내 예측결과를 새로운 방식으로 표출하고 여기에 더해 한반도 영역에 대한 예측자료의 평균값을 계산하여 표출하도록 새로운 시스템을 구축하였다.

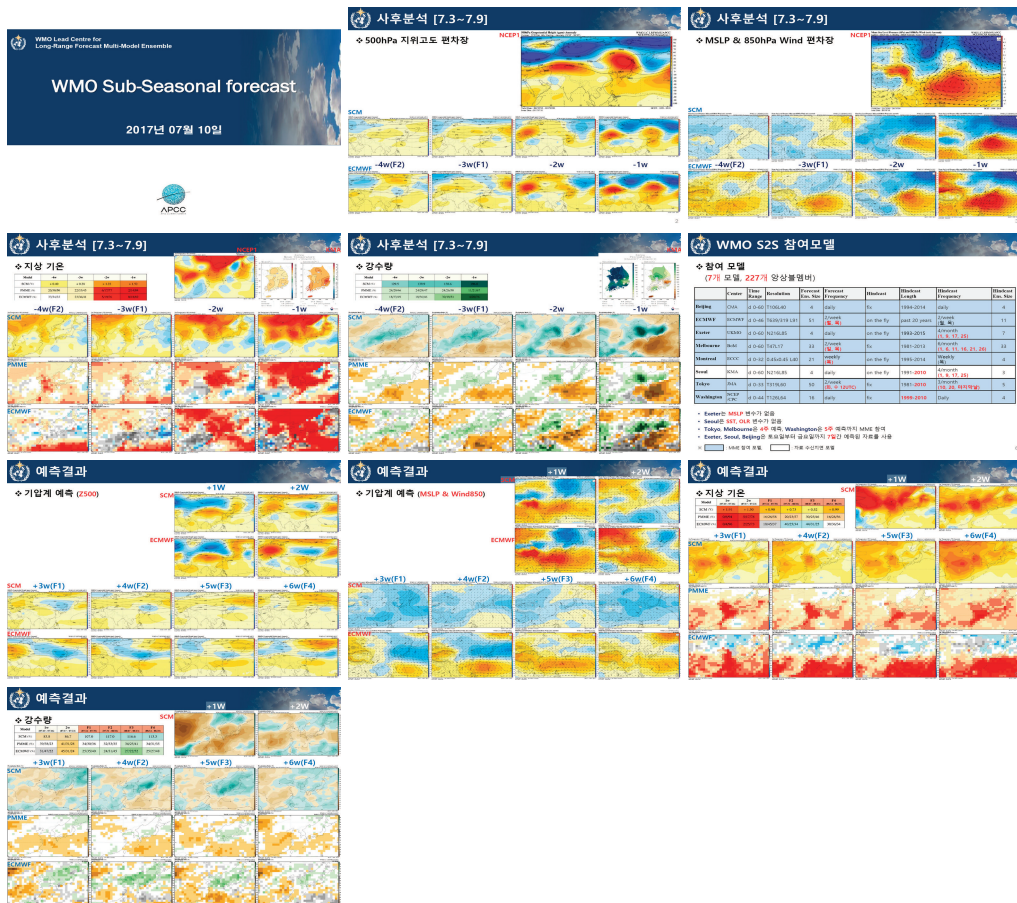


그림 4.1. 기상청 1개월 전망 지원을 위한 계절내 MME 예측결과 및 발표자료 예시

이렇게 생산된 자료는 파워포인트 파일로 정리하여 매주 화요일에 기상청으로 전송한다. 다만 매주 발표 자료를 만들기 위해서는 많은 시간이 소모되고, 실수가 발생할 가능성이 항상 존재한다. 이를 방지하기 위해 자동으로 파워포인트 파일을 생성하는 프로그램을 추가적으로 개발하였다. 그림 4.1은 이렇게 생성되는 파워포인트 파일의 예시이다. 발표 파일에는 지난주 예측결과에 대해서 사후분석을 하고 향후 6주간의 예측결과를 보여준다. 사후분석과 예측에 사용되는 변수는 500hPa 지위고도와 850hPa 바람장, 해면기압, 기온과 강수량의 anomaly 값이다. 예측에 사용하는 모델은 SCM과 PMME 예측결과이며 추가적으로 개별모델 중 예측성이 가장 좋은 ECMWF 모델의 결과도 같이 제시하여 예보판단에 도움이 되도록 하였다. 또한 생산된 발표 자료를 바탕으로 기상청과 1개월 전망 회의 시 예측결과를 브리핑하고 있으며, 기상청 기후예측과에서 주관하는 1개월 전망에 기여하고 있다.

4.2 WMO 장기예보 선도센터 예측시스템 개선 용역사업 지원

WMO 장기예보 선도센터의 예측시스템을 개선하기 위한 용역사업이 2017년 4월 25일부터 2017년 12월 12일까지 7.5개월 동안 수행되었다(그림 4.2). 이 사업은 계절 및 계절내 예측자료 생산, 제공시스템을 개선하여 예측자료의 안정적인 생산과 제공뿐만 아니라 자료의 품질 향상, 활용성 제고 등을 목표로 하였다. 이에 따라 본 용역사업에서는 “예측자료 생산시스템 개선”과 “표출 시스템 개선”, “기능 및 시스템 관리자 페이지 개선”으로 과업 범위로 나누어 진행하였다.

첫 번째 과업에서는 계절 예측을 위한 코드를 NCL과 Fortran, 셸 스크립트 기반으로 변경하여 보다 효율적인 작업이 이루어지도록 수정하고, 계절내 예측자료의 자동 재수신 시스템 구축 등 예측자료 생산시스템을 효율적으로 운영하고 관리할 수 있도록 하였다. 두 번째 과업에서는 NCL 기반 임의영역 선택형 표출 기능을 개발하고, 기존 표출 이미지의 가독성을 향상하는 작업을 수행하였다. 세 번째 과업에서는 변경되는 시스템과 산출물에 따른 메타데이터 생성방법을 개선하고, GSCU 초안작성 자동화 시스템 개발 등이 이루어졌다.

이 사업은 기상청에서 발주하였으며, APCC는 현재 시스템을 운영하고 있는 주체로서 사업의 관리와 기술지원을 담당하였다. APCC에서 수행한 주요 업무로는 앞서 설명한 과업과 관련하여 사업 수행에 필요한 샘플자료 및 현재 운영하고 있는 시스템의 프로그

램 코드를 제공하고, 사업 수행업체에서 개발 시 필요한 기술지원의 일환으로 프로그램 코드와 시스템 운영 전반에 관한 상세한 설명을 수시로 제공하였다. 또한, 현재 시스템의 개선 요구사항을 정리하여 개발 방향을 정하는 등 사업의 진행사항과 관련된 관리 업무를 담당하였다. 그림 4.3은 이와 관련하여 업체와의 의견교환 및 기술지원을 위해 수행한 월간 진도보고 및 업체 미팅의 한 사례를 든 것이다.

세부 내용		일정 계획	5	6	7	8	9	10	11	12	달성률(%)
프로젝트 사업관리		<ul style="list-style-type: none"> 착수 보고 중간결과보고 최종결과보고 	○				○		○		100
개발	예측 자료 생산시스템 개선	<ul style="list-style-type: none"> 요구사항 분석 설계 개발/구현 테스트 배포 	▬		▬				▬	▬	100
	표출 시스템 개선	<ul style="list-style-type: none"> 요구사항 분석 설계 개발/구현 테스트 배포 			▬		▬			100	
	기능 및 시스템 관리자 페이지 개선	<ul style="list-style-type: none"> 요구사항 분석 설계 개발/구현 테스트 배포 			▬		▬			100	

그림 4.2. WMO 장기예보 선도센터 예측시스템 개선 용역사업 진행현황

WMO 장기예보 선도센터의 개발 및 개발내 예측자료 생산제출 시스템 개선

월간 업무 보고		
과업명	WMO 장기예보 선도센터 개발 및 개발내 예측자료 생산제출 시스템 개선	보고자 양동석 2017.10.30
이번 달 실적 (2017.10.02~2017.10.30)		
실적		
<ul style="list-style-type: none"> ● 결정분석 예측 시스템 데이터 생산 <ul style="list-style-type: none"> 1. SVD, GA 개선 완료 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 가운데줄 계산하고 가운데공간을 위한 데이터를 생성 ● 확률분석 MME 예측 시스템 데이터 생산 <ul style="list-style-type: none"> 1. Forecast, hindcast 기간에 대한 PMME 데이터 생성 <ul style="list-style-type: none"> ✓ Hindcast 기간의 pmme 검증 필요 ● 검증 시스템 데이터 생산 <ul style="list-style-type: none"> 1. 확률분석 검증 <ul style="list-style-type: none"> ✓ ROC, reliability diagram, BS, BSS 데이터 생성 2. 결정분석 검증 <ul style="list-style-type: none"> ✓ ACC, RMSE, MSSS 데이터 생성 ● 검증 시스템 그래픽 생산 <ul style="list-style-type: none"> 1. 확률분석 검증 <ul style="list-style-type: none"> ✓ ROC Score, ROC curve, ROC map, Reliability diagram 테스트 그래픽 생성 		
기타 협의 사항	●	
다음 달 계획 (2017.11.01~2017.11 월)		
<ul style="list-style-type: none"> 1. CDO를 이용한 pmme 데이터 생성 테스트 2. Energetics와 그래픽 처리 스크립트 작성 3. 자료 다운로드 모니터링 시스템 구축 		



그림 4.3. 용역사업 월간업무보고 자료 예시와 업체 미팅 사진

5. 요약 및 결론

한국 기상청은 미국 기상청과 함께 2009년부터 WMO 장기예보 선도센터를 공동운영하고 있고, APCC는 2011년부터 2016년까지 기상청 기후예측과로부터 WMO 장기예보 선도센터를 위탁받아 운영해왔다. 그리고 2017년에는 위탁사업이 아닌 아태사업에 포함되어 『현업 장기예보 정확도 향상을 위한 APCC-기상청 협력 시스템 구축』 과제의 일환으로 수행되었다.

선도센터 서버에 수집된 각 GPC 예측자료를 GRIB1 형식으로 표준화하고 여기에 4개의 DMME 기법과 PMME 기법을 적용하여 얻은 MME 계절예측 결과를 선도센터 홈페이지를 통해 WMO 회원국에 지속적이고 안정적으로 제공하고 있다. 선도센터는 개별 GPC와 MME의 실시간 예측과 공통기준기간인 1993-2009년 hindcast 자료의 검증 결과를 홈페이지를 통해 회원들에게 제공하고 있다. 특히 2017년 8월부터 GPC Offenbach가 추가되어 총 13개 국가에서 예측자료를 제공해주고 있다. 아울러 다년간의 국제적 협의에 의해 WMO 장기예보 선도센터가 계절내 MME 예측시스템을 추가 운영하게 되었고, 2014년부터 현업 운영이 가능한 계절내 예측과 관련된 콘텐츠를 구성하여 계절내 MME 예측시스템을 구축하였다. 2017년에는 계절내 MME 예측시스템을 지속적으로 시범운영하고 운영 중 발생하는 다양한 문제들을 해결하면서 시스템을 개선해 나가고, 향후 현업 운영을 통해 계절내 규모에서 기후 예측이 나아가야 할 방향을 제시하는 선도적인 역할을 수행하고자 노력하고 있다.

WMO 장기예보 선도센터에 생산되는 자료들은 WMO가 주관하는 다양한 지역기후포럼에 제공되어 각 지역의 계절전망 생산에 기여하고 있는데, 2017년에는 지역기후포럼에 2회 참석하고 2회 자료제공을 하였다. 이와 함께 우리나라 기상청에서 주관하는 기후전문가 회의에 WMO 장기예보 선도센터의 MME 계절예측자료가 매 분기 제공되었고, 매월 3개월 전망 회의에 동아시아에 초점을 맞춘 계절예측 정보가 제공되었다. 또한 이 자료들은 WMO가 매 분기 시험발간하는 GSCU의 기초자료로 사용된다. 선도센터가 제공하는 기후예측자료는 4개 변수(2m 기온, 강수, SST, 500hPa 지위고도)에 대해 hindcast 기간(1993-2009년)이 동일한 GPC별 예측 자료, 결정론적 및 확률 MME 예측 자료, ACC와 MSSS를 이용한 GPC 및 MME 결정론적 검증 자료, ROC curve and score, ROC map, reliability diagram을 이용한 GPC 및 MME의 확률 검증, 그리고

Nino 1+2, Nino3.4, IOD 지수 등을 포함한다.

GISC 서울의 DPCP를 구축하기 위해 WMO 장기예보 선도센터에서 생산되는 자료에 대해 ISO19115를 따르는 메타데이터를 생산하였다. 또한 GISC 서울과 연계를 위한 DPCP 웹페이지를 구성하여 기후예측정보 및 기술 교류를 통한 국제 기후네트워크 협력 강화를 도모하였다.

마지막으로 홈페이지를 사용하는 실제 회원들을 대상으로 2017년 9월부터 11월까지 3개월간 홈페이지 팝업창을 통해 만족도 조사를 실시했다. 전체 362명의 회원 중 53명인 14.6%가 참여하였고, 이는 전체 82개 회원국 중 34개국(41.5%)이 본 조사에 참여하였다. 총 만족도를 100점 만점으로 환산하였을 때 74.2점으로, 2016년 점수인 81.4점에 비해 감소하였으나, 전체적으로 회원들이 WMO 장기예보 선도센터 홈페이지를 통한 서비스에 상당부분 만족한다고 판단되었다.

본 과제를 통해 보다 효율적이고 안정적인 기후예측 서비스를 정기적으로 제공함으로써 선도센터 기후예측자료의 활용도가 향상될 수 있을 것으로 기대된다. 또한 다양한 기후예측기술 서비스의 실용화를 통하여 기후예측 선도 기술을 확보하고 그 활용을 통해 기상청 장기예보의 정확도를 제고할 수 있다. 한편 WMO 지역기후전망포럼 참가, WMO GSCU 발간, 계절내 기후예측자료 제공, GISC 서울 지원 등을 통해 최근 논의되고 있는 기후변화에 대한 국제협력 관계 구축에 선도센터의 역할을 부각시킬 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

- 진강규, 2000: *유전 알고리즘과 그 응용*. 교우사, 222 pp.
- Ahn, J.-B., and J. Lee, 2016: A new multimodel ensemble method using nonlinear genetic algorithm: An application to boreal winter surface air temperature and precipitation prediction. *J. Geophys. Res. Atmos.*, **121**, 9263–9277, doi:10.1002/2016JD025151.
- Graham, R. J., and Coauthors, 2011: Long-range forecasting and the Global Framework for Climate Services. *Climate Res.*, **47**, 47–55, doi:https://doi.org/10.3354/cr00963.
- Holland, J. H., 1975: *Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*, Univ. Michigan Press, 228 pp.
- Kim, G., J. B. Ahn, V. N. Kryjov, S. J. Sohn, W. T. Yun, R. Graham, and J. P. Ceron, 2016: Global and regional skill of the seasonal predictions by WMO Lead Centre for Long-Range Forecast Multi-Model Ensemble. *Int. J. Climatol.*, **36**, 1657–1675.
- Kirtman, B. P., and Coauthors, 2014: The North American Multi-Model Ensemble (NMME): Phase-1, seasonal-to-interannual prediction; phase-2, toward developing intraseasonal prediction. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, in press.
- Krishnamurti, T. N., C. M. Kishtawal, Z. Zhang, T. LaRow, D. Bachiochi, C. E. Williford, S. Gadgil, and S. Surendran, 2000: Multimodel ensemble forecasts for weather and seasonal climate. *J. Climate*, **13**, 4196–4216.
- Min, Y.-M., V. N. Kryjov, and C.-K. Park, 2009: A probabilistic multimodel ensemble approach to seasonal prediction. *Wea. Forecasting*, **24**, 812–828, doi:10.1175/2008WAF2222140.1.
- 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. Geophys. Res. Atmos.*, **119**, 12 132–12 150, doi:https://doi.org/10.1002/2014JD022230.
- Palmer, T. N., and Coauthors, 2004: Development of a European Multimodel Ensemble System for Seasonal-to-Interannual Prediction (DEMETER). *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **85**, 853–872.
- Van den Dool, H. M., and Z. Toth, 1991: Why do forecasts for “near normal” often fail? *Wea. Forecasting*, **6**, 76–85.

- Vitart, F., and Coauthors, 2017: The Subseasonal to Seasonal (S2S) Prediction Project Database. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **98.1**, 163–173.
- Wang, B., and Coauthors, 2009: Advanced and prospectus of seasonal prediction: assessment of APCC/CliPAS 14-model ensemble retrospective seasonal prediction (1980~2004). *Clim. Dynam.*, 33, 93–117.
- Yun, W. T., L. Stefanova, and T. N. Krishnamurti, 2003: Improvement of the multimodel superensemble technique for seasonal forecasts. *J. Climate*, **16**, 3834–3840.

부록 1 WMO 장기예보 선도센터 계절예측에 사용된 검증 기법

부록 1.1 결정론적 예측의 검증

부록 1.1.1 Anomaly Correlation Coefficient (ACC)

아노말리 상관계수 분석은 예측 변수별 3개월 예측을 월별 및 3개월 평균에 대해 각각 계산하여 표출된다. ACC 분석은 예측과 관측의 패턴 상관분석으로서 계산방법은 아래 식 1과 같다.

$$ACC = \frac{\sum_{i=1}^N w_i (F_i - \bar{F})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N w_i (F_i - \bar{F})^2 \sum_{i=1}^N w_i (O_i - \bar{O})^2}} \quad (1)$$

여기서 F 는 예측값, O 는 관측값을 의미하며 \bar{F} 와 \bar{O} 는 각각 예측값과 관측 값에 대한 시간평균을 나타낸다. ACC는 예측장과 관측장 사이의 패턴이 얼마나 유사한지 측정하는 척도로 $-1 \sim +1$ 사이의 값을 갖으며, 만약 ACC가 $+1$ 이라면 예측 결과가 정확함을 의미한다.

부록 1.1.2 Root Mean Square Error (RMSE)

평균제곱근오차(RMSE)는 예측장과 관측장 사이의 오차를 나타내는 척도로, 아래 식 2와 같이 예측값이 관측 값으로부터 갖는 오차를 곱하여 평균한 평균제곱오차를 제곱근으로 표현하며 예보의 정확성을 살펴보는 척도로 사용된다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{W} \sum_{i=1}^N w_i (F_i - O_i)^2} \quad (2)$$

이 식에서 F 는 예측값, O 는 관측 값, w_i 는 위도별 가중치, W 는 w 의 합을 나타내며 i 는 각 격자점을 의미한다. 만약 예측 결과가 정확할 경우 RMSE는 0이다.

부록 1.1.3 Mean Square Skill Score (MSSS)

Mean Square Skill Score는 예측장과 관측장 사이의 변동성 오차, 예측장 자체의 오차, 예측장과 관측장 사이의 계통적 오차를 나타내는 척도이다. 예측값이 실제 관측값으로부터 갖는 오차 특성을 종합적으로 파악할 수 있는 지표로 MSSS의 각 격자 값으로 정확도의 분포를 파악하거나 영역 평균의 시계열을 통해 정확도의 추이를 이해할 수 있고 $-\infty$ 부터 $+1$ 까지의 값을 가질 수 있다. MSSS의 값이 1에 가까울수록 예측성이 뛰어난 의미를 의미한다.

MSSS의 계산은 다음과 같은 절차를 통해 구해진다. x_{ij} 와 f_{ij} 는 격자 j 의 관측 값과 결정론적 예측값에 대한 i 번째의 시계열을 뜻한다. 격자점 j 에 대한 over bar는 각 격자점에 대해서 총 예보기간(n 개의 시계열)에 대한 시간평균을 의미한다. x_{ij} 와 f_{ij} 의 분산은 각각 아래 식 3, 4와 같이 계산되고

$$S_{x_j}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \quad (3)$$

$$S_{f_j}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_{ij} - \bar{f}_i)^2 \quad (4)$$

격자점 j 에 대한 MSE_j 와 MSE_{c_j} 는 각각 아래와 같이 계산된다.

$$MSE_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_{ij} - x_{ij})^2, \quad MSE_{c_j} = \left(\frac{n}{n-1} \right)^2 S_{x_j}^2 \quad (5)$$

MSE_j 는 각 격자에 대한 시계열 예보 자료와 관측 값의 차이를 제공하여 평균한 것이며 MSE_{c_j} 는 기후값을 예측값으로 사용할 경우 기후값 예측에 대한 mean square error를 의미한다. $MSSS_j$ 는 MSE_j 와 MSE_{c_j} 를 이용하여 아래와 같은 식으로 계산된다.

$$MSSS_j = 1 - \frac{MSE_j}{MSE_{c_j}} \quad (6)$$

$MSSS_j$ 는 각 격자에 대한 검증 값을 의미하므로 그 분포를 통해 모형의 지역별 예측 정확도 특성을 파악 할 수 있다.

또한 MSSS는 위상오차(Anomaly Correlation), 진폭 오차(Amplitude Error) 및 바이어스 오차(Bias Error)를 포함하는 개념이며 이는 각각 아래의 식의 첫 3개항에 해당된다.

$$MSSS = \frac{\left\{ 2 \frac{S_{fj}}{S_{xj}} r_{fxj} - \left(\frac{S_{fj}}{S_{xj}} \right)^2 - \left(\frac{[\bar{f}_j - \bar{x}_j]}{S_{xj}} \right)^2 + \frac{2n-1}{(n-1)^2} \right\}}{\left\{ 1 + \frac{2n-1}{(n-1)^2} \right\}} \quad (7)$$

$$r_{fxj} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_{ij} - \bar{f}_i)(x_{ij} - \bar{x}_i)}{S_{fj} S_{xj}} \quad (8)$$

위상오차는 분포 패턴의 상관도를 나타내며 진폭오차는 관측분산에 대한 예측분산의 비율로 표시하며 바이어스 오차는 예측값과 관측 값의 시간 평균의 차이를 나타낸다.

부록 1.1.4 Gerrity Skill Score (GSS)

Gerrity Skill Score는 3분위 예보와 같은 카테고리 예보에서의 예측성 정도를 나타낸다. 3분위 예보의 판정분할표(Contingency Table)는 표 1과 같고 여기에 나타난 각 분위별 예보와 관측의 일치 사례수를 고려하여 GSS를 계산한다.

표 A1.1. 3분위 예보의 판정 분할표

		Forecast			
		Below	Near	Above	Total
Observation	Below	n11	n21	n31	n•1
	Near	n12	n22	n31	n•2
	Above	n13	n23	n33	n•3
	Total	n1•	n2•	n3•	N

우선 각 카테고리에 대한 예보와 관측을 f_i 와 x_i 라 두고 n_{ij} 는 예보 I와 관측 j 카테고리에 해당되는 수를 의미한다. 각 카테고리별 빈도수의 확률을

$$P_{ij} = \frac{n_{ij}}{N} \quad (9)$$

로 나타낼 수 있으며 예보와 관측의 각 카테고리에 대한 확률 분포는 각각

$$p(f_i) = \sum_{j=1}^3 p_{ij} = \hat{p}_i ; i = 1, \dots, 3 \tag{10}$$

$$p(x_i) = \sum_{j=1}^3 p_{ji} = \hat{p}_i ; i = 1, \dots, 3 \tag{11}$$

이다. 여기서 GSS의 계산은 다음과 같다.

$$GSS = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 P_{ij} S_{ij} \tag{12}$$

$$S_{ii} = \frac{1}{2} \left(\sum_{r=1}^{i-1} a_r^{-1} + \sum_{r=1}^2 a_r \right)$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left[\sum_{r=1}^{i-1} a_r^{-1} - (j-1) + \sum_{r=j}^2 a_r \right] \quad (1 \leq i < 3, i < j \leq 3)$$

$$a_i = \left(1 - \sum_{r=1}^i p_r \right) / \left(\sum_{r=1}^i p_r \right)$$

부록 1.2 확률론적 예측의 검증

부록 1.2.1 ROC Curve 및 Score

ROC는 Hit Rate(HR)와 False Alarm Rate(FAR) 사이의 분포를 각 확률구간별로 계산하여 한 그래프에 곡선으로 나타낸 것으로 예보 오차에 민감하지 않기 때문에 신뢰도와는 무관하다.

표 A1.2. Hit Rate와 False Alarm Rate를 계산하기 위한 판정분할표

HR = H/(H+M) FAR = F/(F+R)		Observed	
		Yes	No
Forecast	Yes	Hit (H)	False (F)
	No	Missing (M)	correct Rejection (R)

표 2는 적중률(Hit Rate)과 비적중률(False Alarm Rate)에 대한 분할 표(Contingency Table)이다. ROC는 0~1의 값을 가지고, 완벽한 예보 일 때 HR=1, FAR=0, M(missing)=0, F(false)=0 값을 가진다. ROC 곡선은 HR과 FAR 사이의 분포도로 각 확률 구간별로 두 값을 계산하여 한 그래프에 곡선으로 나타낸다. HR=1이고 FAR=0일 때가 완벽한 예보이므로 ROC 곡선이 좌측 상단으로 가까이 위치할수록 예보의 수행 능력이 좋다고 할 수 있다. 대각선은 skill 유무의 경계선으로 대각선 아래쪽으로 ROC 곡선이 위치하면 FAR가 HR보다 커지므로 예보 수행 능력이 떨어짐을 의미하고 곡선이 대각선상에 위치하면 각 예보 확률별로 HR와 FAR가 동일하므로 예보 능력이 없다고 판단한다. ROC는 곡선 아래의 면적을 구하여 예측성의 정도로 사용하며 이를 ROC score라고 하고, 완벽한 예보일 경우 ROC score는 1이고, 예보의 기술이 없을 경우의 ROC score는 0.5이다.

부록 1.2.2 Reliability Diagram

Reliability Diagram은 예보의 신뢰도를 측정하는 척도로 각각의 카테고리별로 분류된 예보확률과 실제로 이벤트가 발생한 빈도를 측정하여 신뢰성을 측정한다. 다시 말해 주어진 예보 확률이 실제로 얼마나 자주 일어나는 가를 알아보는 것이다. 확률 예보를 하기 위해서는 예보 시스템의 신뢰도가 보장되어야 한다. 하지만 신뢰도가 좋다고 해서 반드시 예보의 정확도가 좋아지는 것은 아니다. 완벽한 예보일 때 신뢰도는 0의 값을 갖는다. 신뢰도 그림(Reliability Diagram)의 가로축은 예보 확률 카테고리(0.0~1.0)이며, 세로축은 각 카테고리별 실제 관측된 이벤트의 확률이다. 막대그래프는 예보 확률 카테고리 내에서 집계된 전체 예보 확률 수에 대한 각각의 예보 확률 카테고리에서 집계된 확률 수의 비이다. 대각선에 가까울수록 완벽한 예측성에 가깝고, 대각선보다 위쪽에 나타나는 경우에는 과대예측 한 것이고 대각선보다 아래쪽에 나타나는 경우에는 과소예측 한 것이다.

부록 1.2.3 Brier Score(BS)와 Brier Skill Score(BSS)

Brier score는 확률 예보의 정확도의 척도로 가장 널리 사용되는 지수이다. BS는 아래의 식과 같이 확률 오차를 제공하여 평균한 수치로 1) 신뢰도(Reliability), 2) 판별력(Resolution), 3) 불확실성(Uncertainty)의 3가지 항목으로 이루어진다. BS의 범위는 0

에서 1이다. 만약 예보가 완벽하다면 0의 값을 가지며, 예보의 정확성이 낮을수록 큰 값을 갖는다. 신뢰도는 값이 작을수록 좋고 판별력은 값이 클수록 좋다. 불확실성은 항상 양의 값을 가지며 이 항의 영향을 완전히 제거한다는 것은 거의 불가능하다.

$$Brier\ Score\ (BS) = \frac{1}{n} \sum_{k=i}^I N_i (y_i - \bar{o}_i)^2 - \frac{1}{n} \sum_{k=i}^I N_i (\bar{o}_i - \bar{o})^2 + \bar{o}(1 - \bar{o}) \quad (13)$$

위 식에서 i 는 확률예측카테고리(0.0~1.0=0~100%), n 은 전체 이벤트 수, N_i 는 각 예측 확률 카테고리별 예보 수, y_i 는 각 예측 확률 카테고리, \bar{o}_i 는 각 예측 확률 카테고리별 실제 관측된 이벤트의 빈도, \bar{o} 는 전체 확률 카테고리에서 관측된 이벤트의 빈도를 나타낸다.

Brier Skill Score는 아래와 같이 구할 수 있으며

$$Brier\ Skill\ Score\ (BSS) = 1 - \frac{BS}{BS_{ref}} \quad (14)$$

여기서 BS_{ref} 는 예측변수의 기후학적 확률을 의미하고 이는 Resolution과 Reliability의 차이에 대한 Uncertainty의 비로 다시 나타낼 수 있다. 예보한 이벤트가 실제로 일어날 것인가에 대해서 예측의 기후학적 확률의 상대적인 능력을 알 수 있다. BSS 값은 $-\infty$ 에서 1까지의 범위를 가질 수 있으며 0이면 예보 능력이 없음을 의미한다.

부록 2 WMO 장기예보 선도센터 자료 요구사항

Data Requirement for Seasonal Prediction of LC-LRFMME

1. Forecast Data

- (1) Period: more than 3 months for each month
- (2) Variables (*If possible, other available variables are welcome*)
 - Surface (2m) air temperature [K]
 - Sea surface temperature [K]
 - Total precipitation [kg/m²/s]
 - Mean sea level pressure [Pa]
 - 850hPa Temperature [K]
 - 500hPa geopotential height [m]
- (3) Data type
 - Monthly mean (**total**) data for individual ensemble members
 - Monthly mean (**total**) data for ensemble mean
- (4) Data format
 - Resolution: 2.5°x2.5° degree interval over global domain (144x73 grids)
 - GRIB (including data control file; e.g., ctl) is encouraged. Other formats are also acceptable.

2. Hindcast Data

- (1) Period: 1979-present is recommended.
 - Currently, common reference hindcast period is 1993-2009.
 - If this is not available, the fewer simulations are also welcome.
- (2) Experimental design
 - SMIP-2/HFP type simulation or 1-tier simulation
- (3) Data type
 - Hindcast monthly mean (**total**) data for individual ensemble members
 - Hindcast monthly mean (**total**) data for ensemble mean
- (4) Variables and data format should be consistent with forecasts.

3. Requested Information

- (1) System configuration (Appendix I)
- (2) Data readme file

4. WMO LC-LRFMME ftp server

- (1) IP address of ftp site: 210.107.***.**\
- (2) Login ID: *** / Password: *****
- (3) Directory: /data/DATA/lrf/gpc_GPCNAME/forecast (or hindcast)
 - * GPCNAME: each GPC name (e.g., beijing, cptec)
 - * Data submission hopefully not later than the 15th of the month would be greatly appreciated.

5. WMO LC-LRFMME website

- (1) Homepage: <http://www.wmolc.org>
- (2) WMO LC-LRFMME website is only opened to registered member

[Appendix 1]

System Configuration

Is it a coupled forecast system?	
Is it a Tier-2 forecast system?	
Atmospheric model resolution	
Ocean model (if applicable)	
Source of atmospheric initial conditions	
Source of ocean initial conditions	
If Tier-2, what is the source of SST predictions?	
Hindcast period	
Ensemble size for the hindcasts	
How is the hindcast ensemble configured?	
Ensemble size for the forecast	
How is the forecast ensemble configured?	
Length of forecasts	
Data format	
What is the latest date predicted anomalies for the next month/season become available?	
How are the forecast anomalies constructed?	
URL where forecast are displayed	
Point of Contact	

부록 3 GPC Offenbach 예측자료 검증

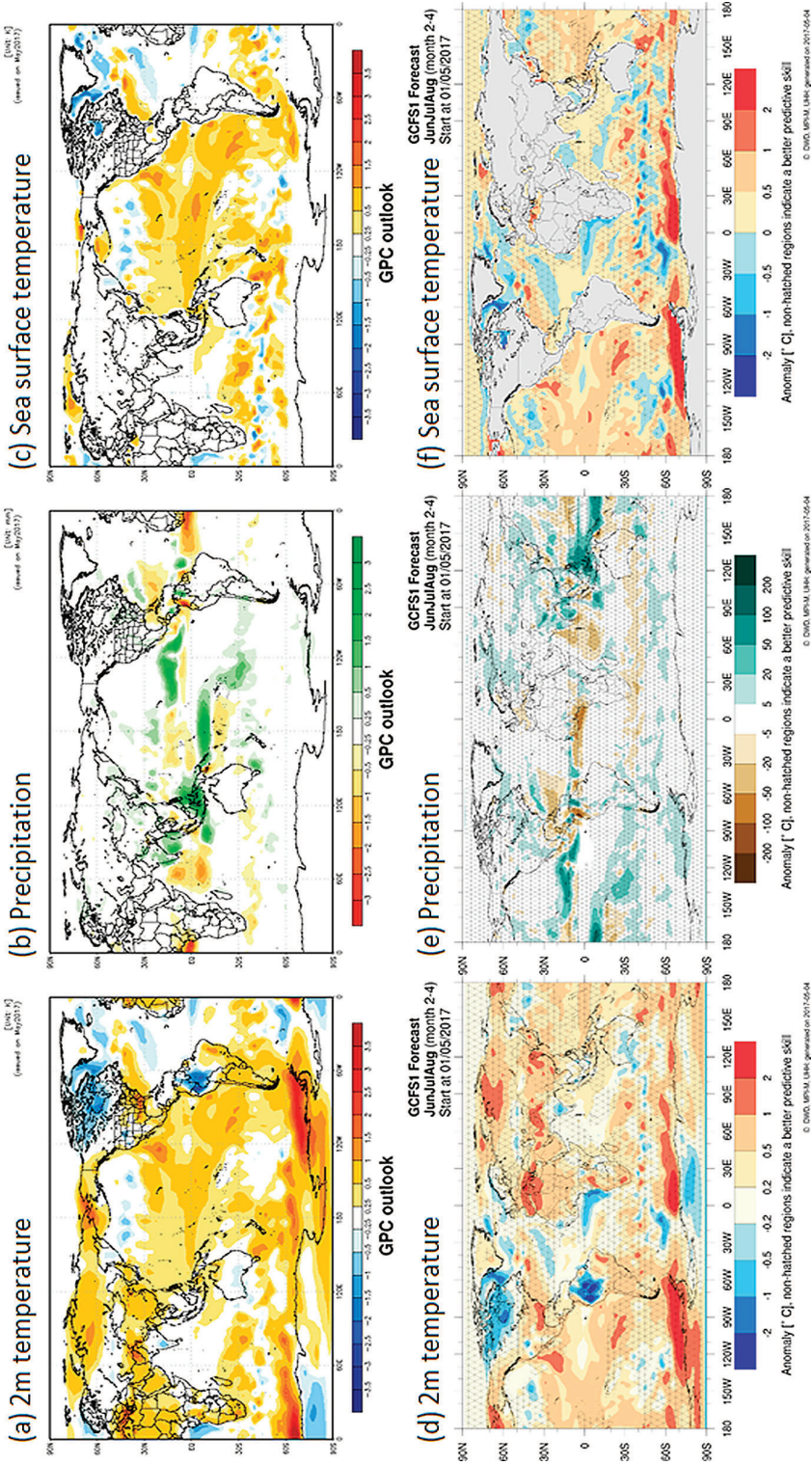


그림 A3.1. WMO 장기예보 선도센터에서 계산된 2017년 5월에 생산된 2017년 JJA의 (a) 2m 기온, (b) 강수, (c) 해수면온도의 예측 이노말리를 통해 제공되는 같은 기간의 (d) 2m 기온, (e) 강수, (f) 해수면온도 예측 이노말리(http://www.dwd.de/EN/ourservices/seasonals_forecasts/charts.html?nn=495490)

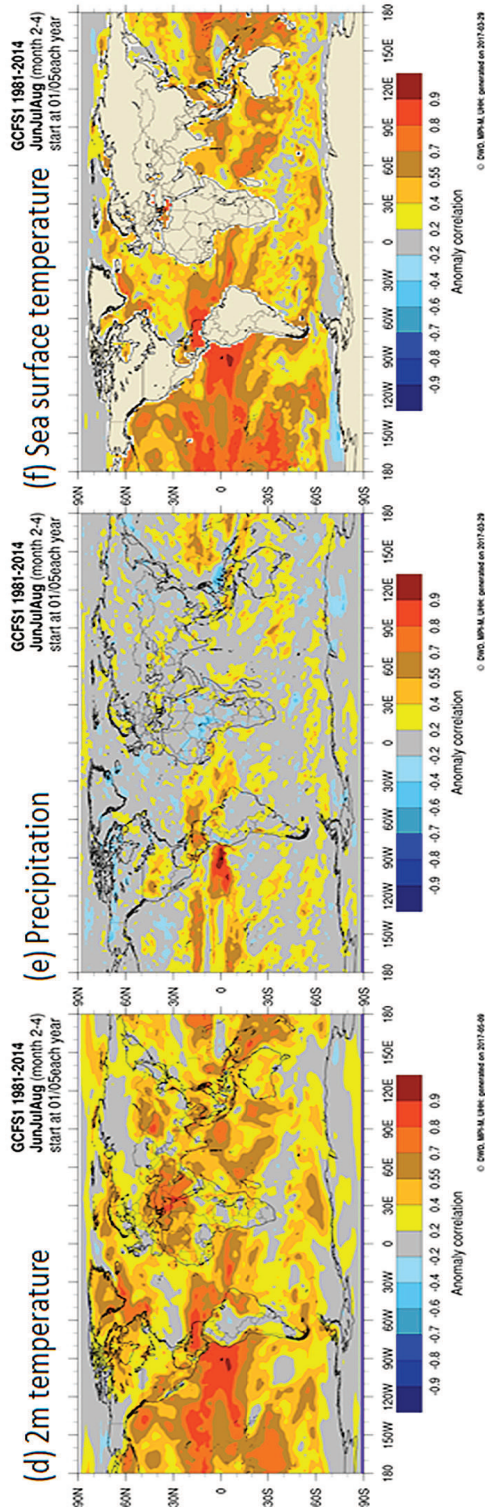
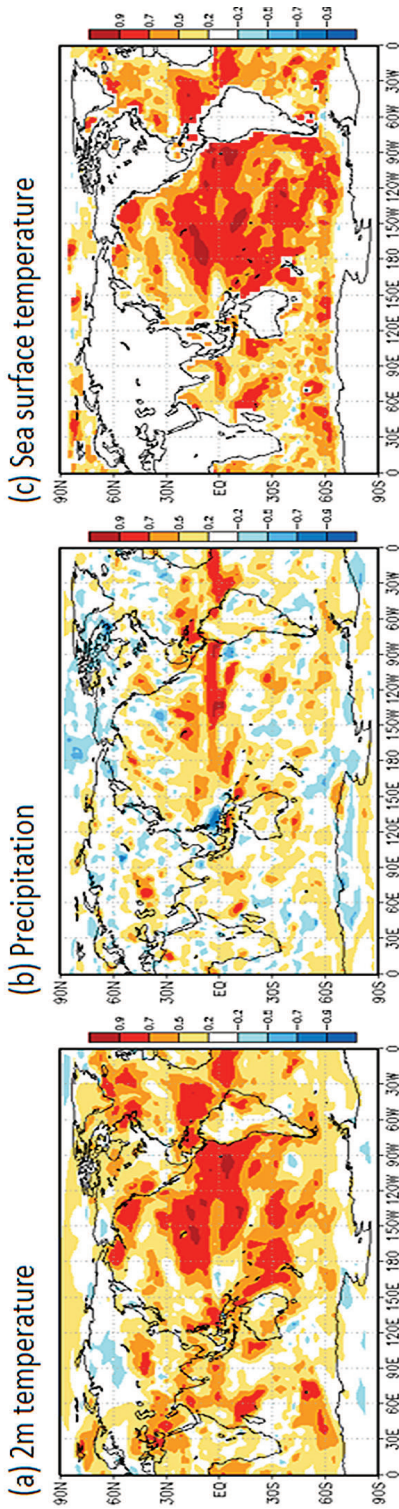


그림 A3.2. WMO 장기예보 선도센터에서 계산된 JJA의 (a) 2m 기온, (b) 강수, (c) 해수면온도의 아노말리 상관계수와 DWD 홈페이지를 통해 제공되는 같은 기간의 (d) 2m 기온, (e) 강수, (f) 해수면온도 아노말리 상관계수(http://www.dwd.de/EN/ourservices/seasonals_forecasts/charts.html?nn=495490)

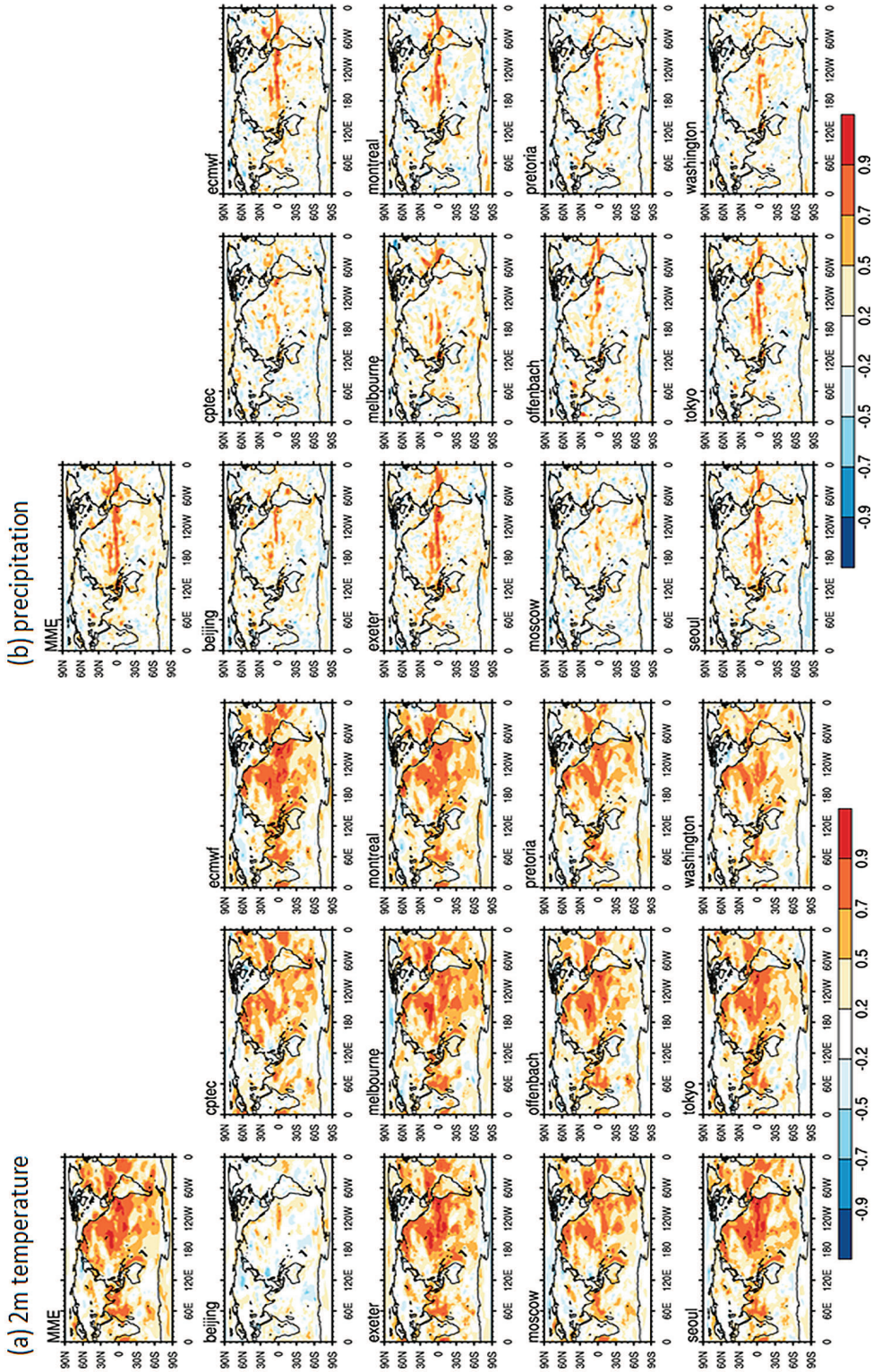


그림 A3.3. 13개 GPC와 MME의 (a) 2m 기온과 (b) 강수에 대한 1993-2009년 JJA의 아노말리 상관계수

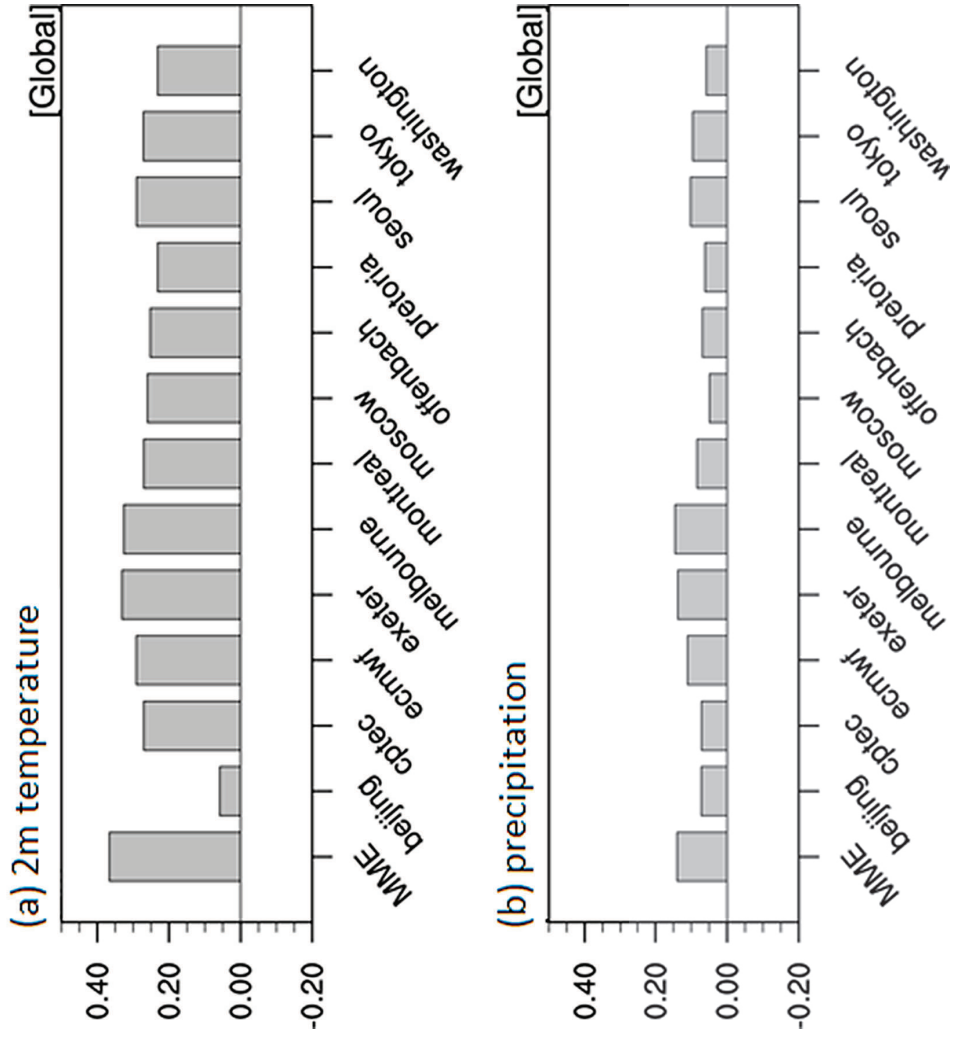


그림 A3.4. 13개 GPC와 MME의 (a) 2m 기온과 (b) 강수에 대한 1993-2009년 JJA의 아노말리 상관계수의 전구 평균값

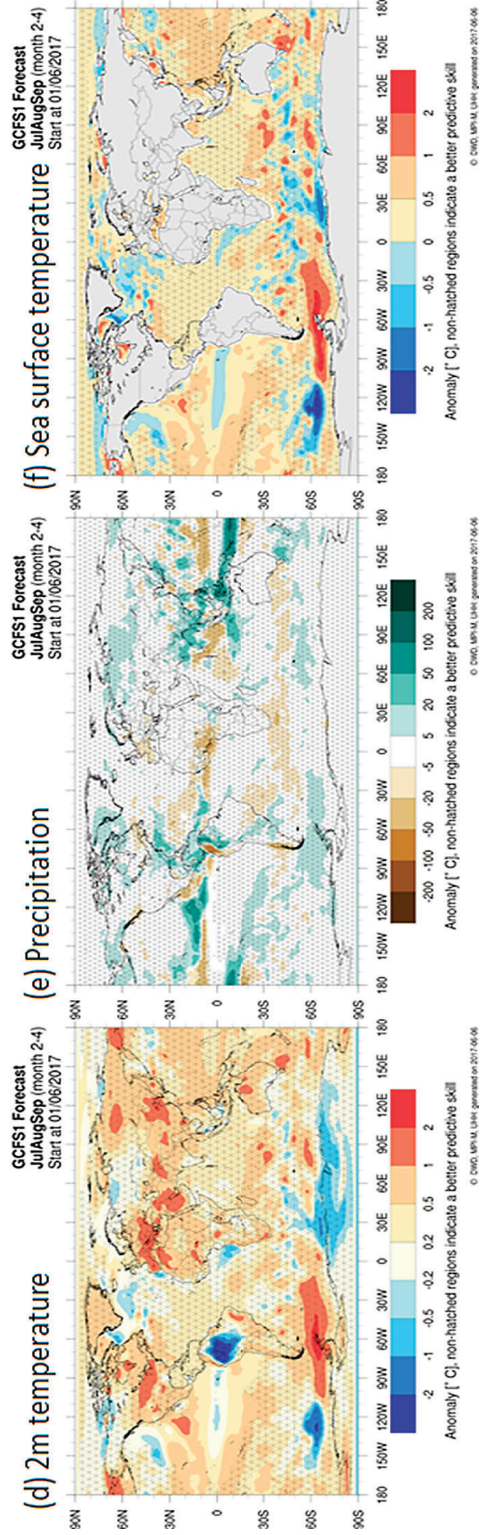
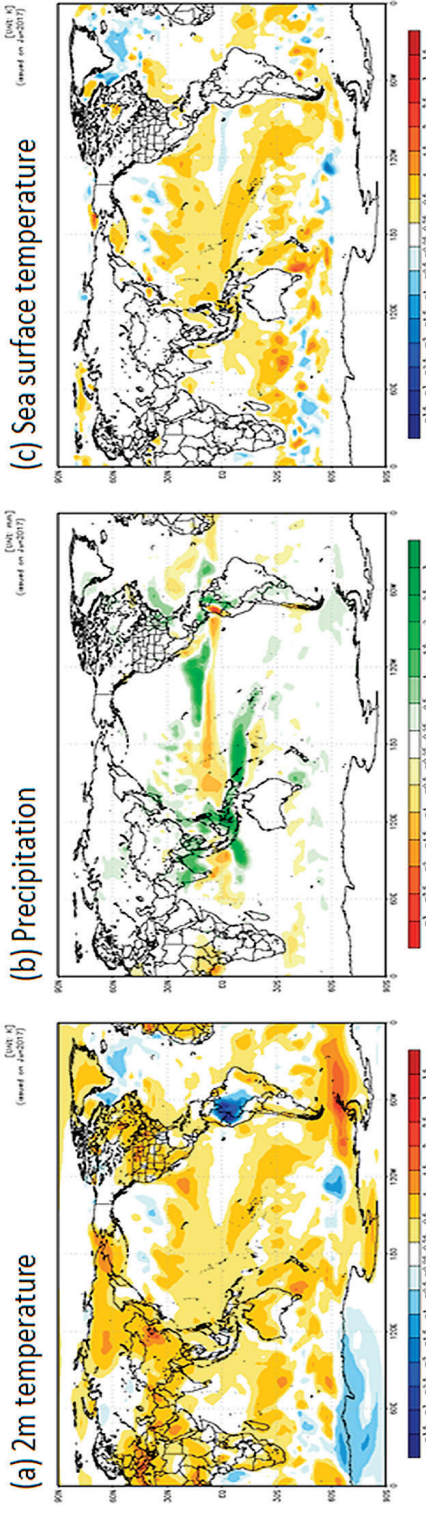


그림 A3.5. WMO 장기예보 선도센터에서 계산된 2017년 JAS의 (a) 2m 기온, (b) 강수, (c) 해수면온도의 예측 이노발리와 DWD 홈페이지를 통해 제공되는 같은 기간의 (d) 2m 기온, (e) 강수, (f) 해수면온도 예측 이노발리(http://www.dwd.de/EN/our-services/seasonals_forecasts/charts.html?nn=495490)

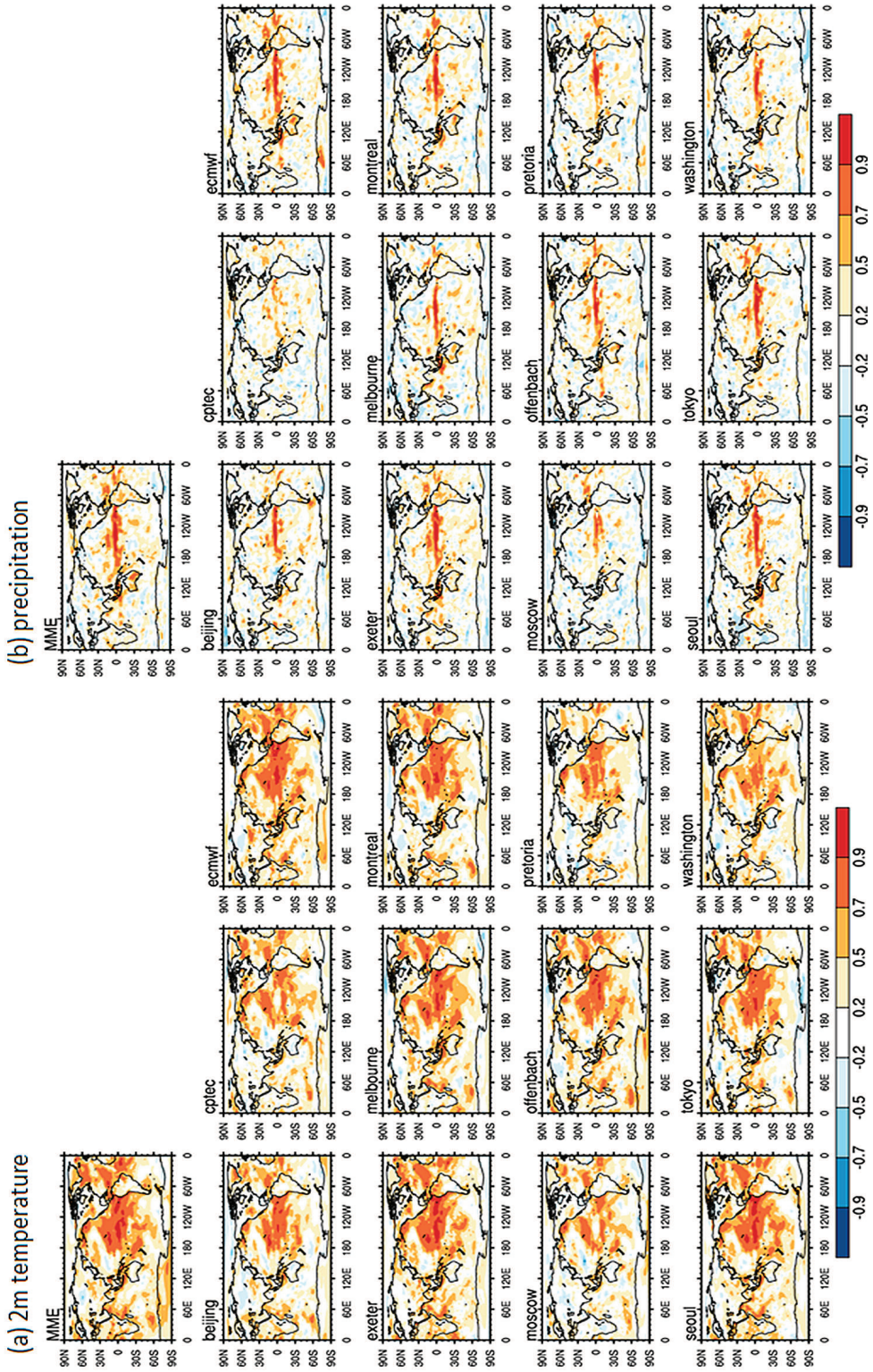


그림 A3.7. 13개 GPCV의 MME의 (a) 2m 기온과 (b) 강수에 대한 1993-2009년 JAS의 아노말리 상관계수

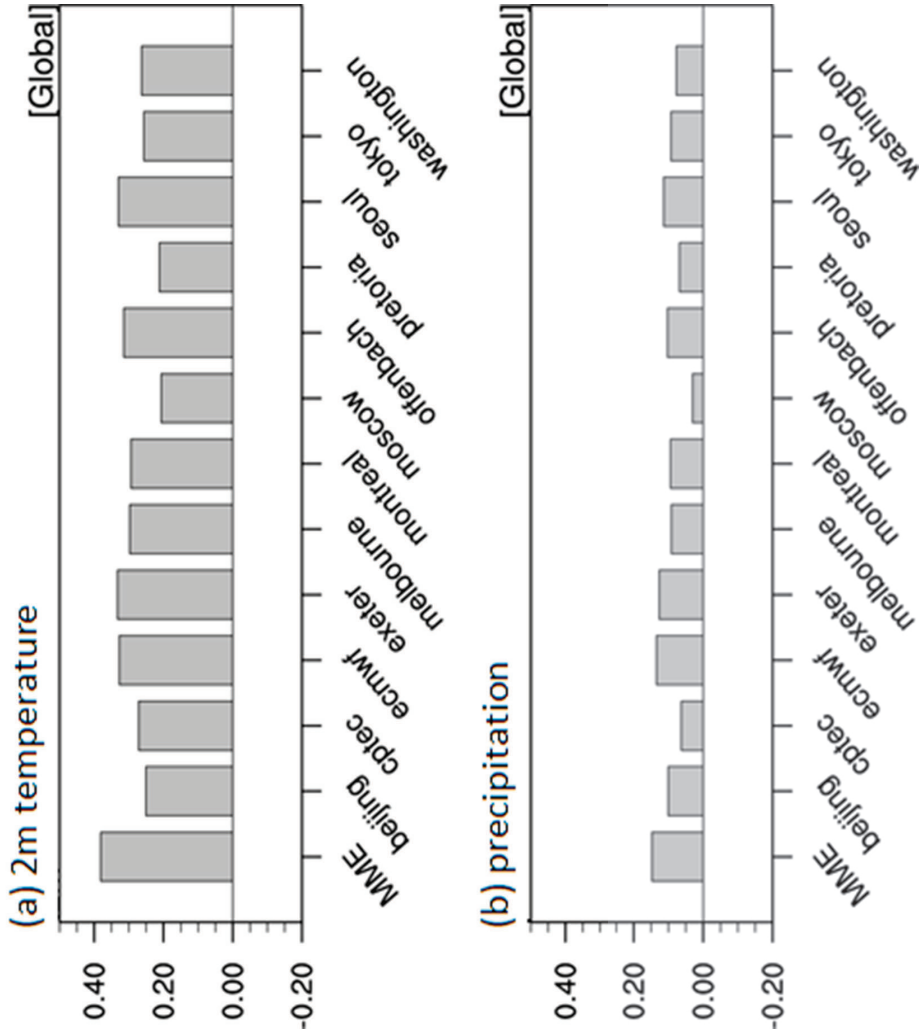


그림 A3.8. 13개 GPC와 MME의 (a) 2m 기온과 (b) 강수에 대한 1993-2009년 JAS의 아노말리 상관계수의 전구 평균값

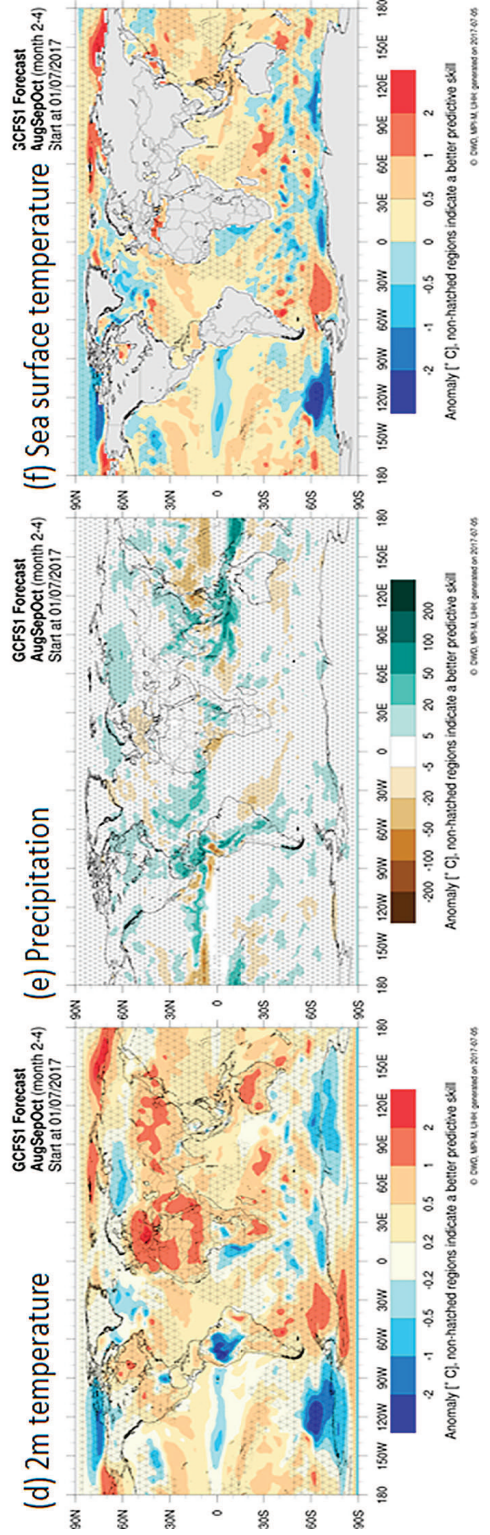
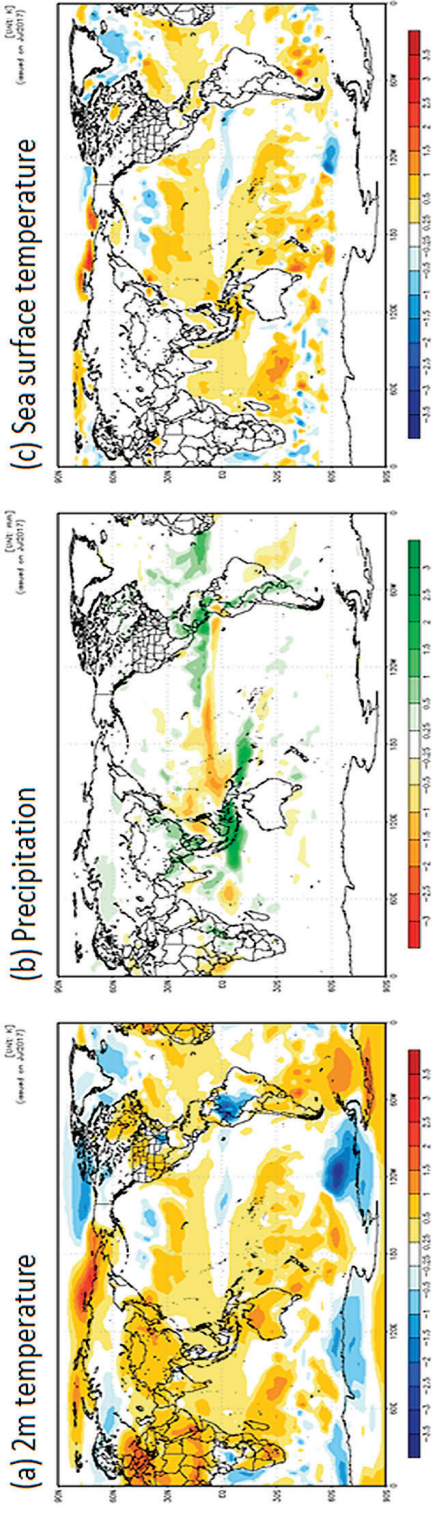


그림 A3.9. WMO 장기예보 선도센터에서 계산된 2017년 5월에 생산된 2017년 ASO의 (a) 2m 기온, (b) 강수, (c) 해수면온도의 예측 아노말리와 DWD 홈페이지를 통해 제공되는 같은 기간의 (d) 2m 기온, (e) 강수, (f) 해수면온도 예측 아노말리(http://www.dwd.de/EN/our-services/seasonals_forecasts/charts.html?nn=495490)

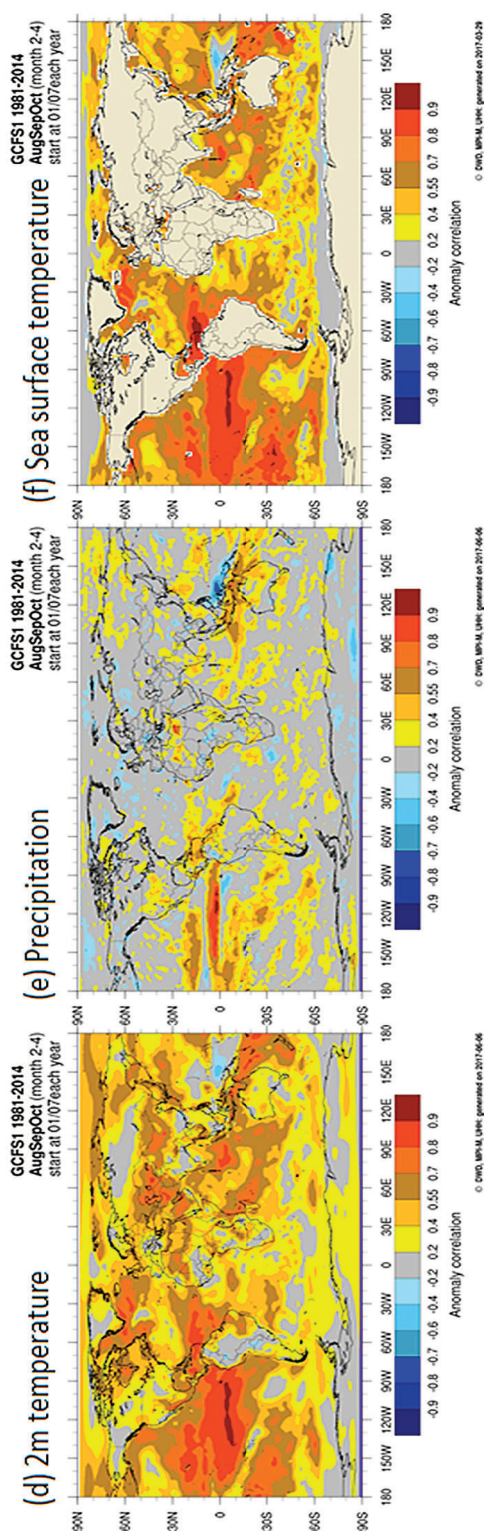
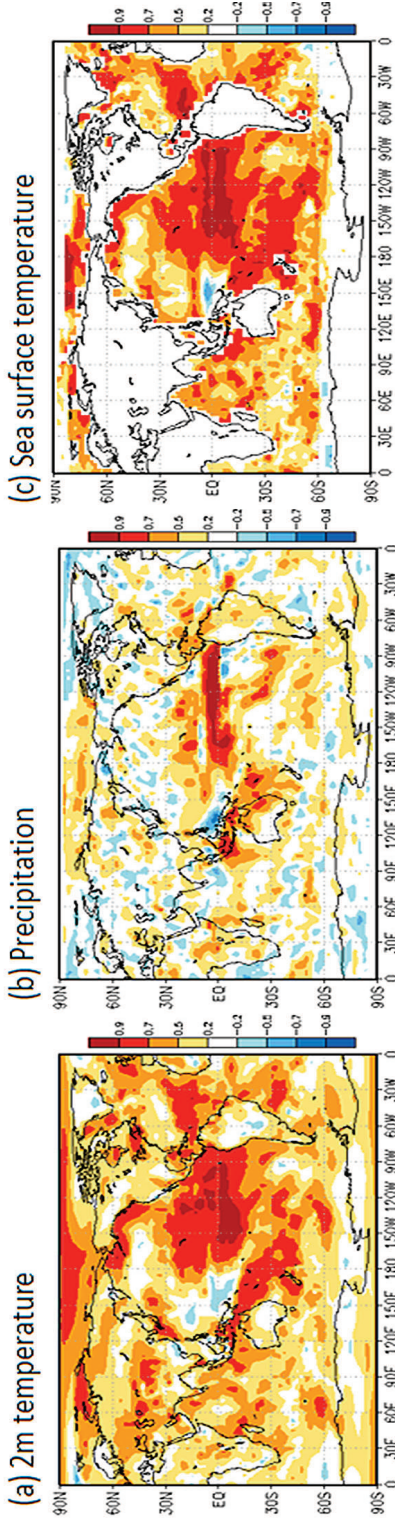


그림 A3.10. WMO 장기예보 선도센터에서 계산된 ASO의 (a) 2m 기온, (b) 강수, (c) 해수면온도의 이노말리 상관계수와 DWD 홈페이지를 통해 제공되는 같은 기간의 (d) 2m 기온, (e) 강수, (f) 해수면온도 이노말리 상관계수(http://www.dwd.de/EN/ourservices/seasonals_forecasts/charts.html?nn=495490)

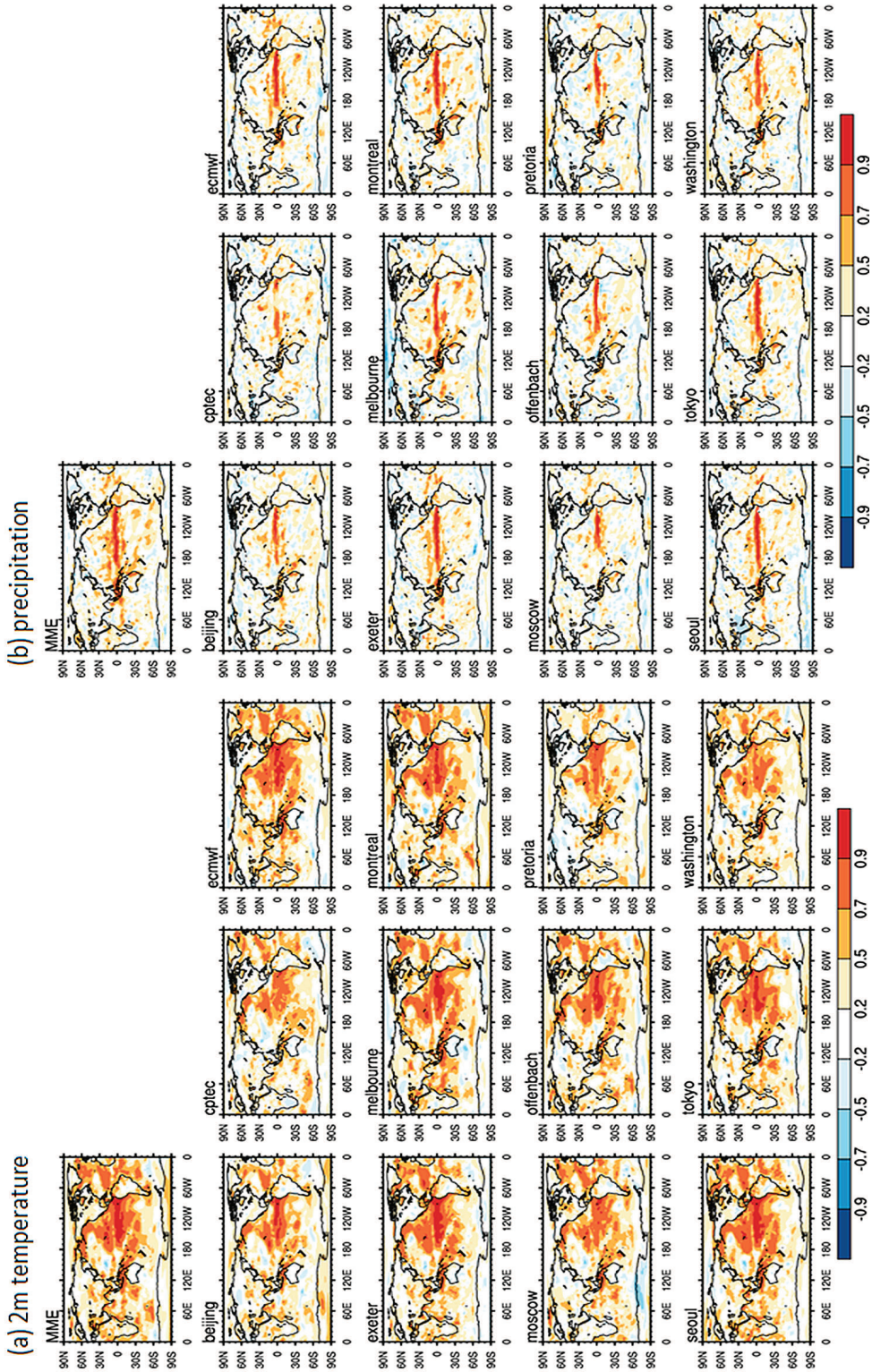


그림 A3.11. 13개 GPC와 MME의 (a) 2m 기온과 (b) 강수에 대한 1993-2009년 ASO의 이노멀리 상관계수

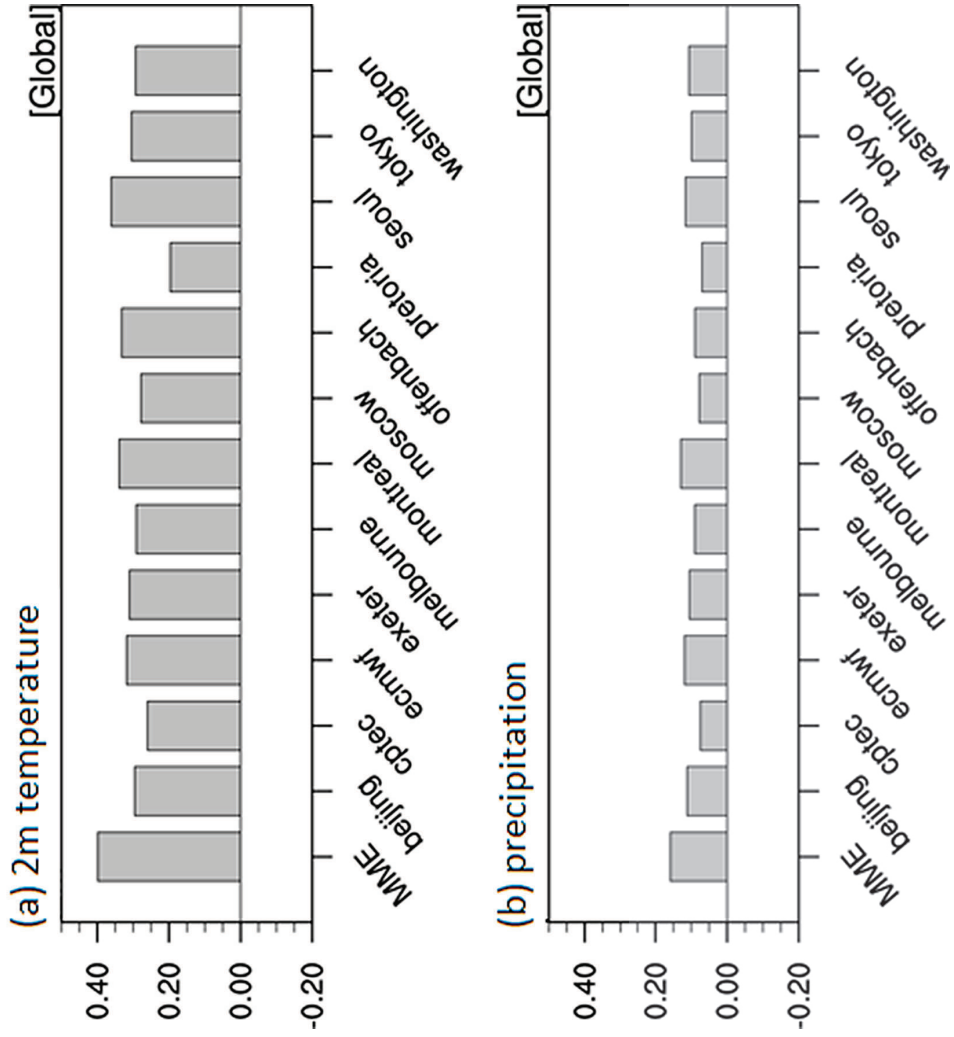


그림 A3.12. 13개 GPC와 MME의 (a) 2m 기온과 (b) 강수에 대한 1993-2009년 ASO의 이노발리 상관계수의 전구 평균값

부록 4 WMO 장기예보 선도센터와 관련된 시스템의 안정적인 유지 및 관리

부록 4.1 WMO 장기예보 선도센터 및 GPC Seoul 홈페이지 관리

WMO 장기예보 선도센터 및 DCPC 서버의 안정적인 운영을 위해 월 1회 홈페이지 소스프로그램을 별도의 디스크에 백업한다. 개인정보처리 시스템 접속 로그 및 데이터베이스는 매일 자동으로 백업한다. 서버 관리자는 주 1회 이상 디스크 상태를 점검하여 이상 여부를 확인하고 있다. 또한 기상청 사이버안전센터의 권고에 따라 서버의 침해 시도에 대응하고 서버와 홈페이지의 취약점을 보완하였다.

부록 4.1.1 WMO 장기예보 선도센터 홈페이지 기능 개선 요청사항 반영

신규 GPC인 Offenbach를 홈페이지에 추가하기 위해 예측자료를 업로드, 다운로드 할 수 있도록 개선하였다. 또한 Offenbach의 MME를 표출할 수 있도록 Plot 기능을 개선하였다. 그리고 DMME 자료에 변수의 단위를 기록하는 등의 요청사항을 반영하였다.

부록 4.1.2 관리자 메뉴 개선

WMOLC 홈페이지에서 가입신청을 했지만 이메일을 통한 확인 절차를 거치지 않는 사용자가 매월 발생하고 있다. 관리자가 사용자 가입 신청을 승인하거나 일정기간이 지난 신청자의 경우 사용자 계정을 삭제하는 기능을 추가하여 사용자 관리 기능을 보완하였다. 관리자가 사용자 계정을 삭제하면 로그에 남기고 삭제 로그를 조회할 수 있는 페이지를 추가하였다. 또한 관리자 메뉴의 보안 강화를 위해 일정 시간이 지난 후 관리자 계정이 자동으로 로그아웃 되도록 조치하였다.

Unconfirmed Member Control

Word(id, name, email) Period ~ search

<input type="checkbox"/>	Num	ID	Name / Email	Reg date
<input type="checkbox"/>	1	v		2017-10-25
<input type="checkbox"/>	2			2017-10-23
<input type="checkbox"/>	3			2017-10-23
<input type="checkbox"/>	4	rel	12 ex	v.br 2017-10-10
<input type="checkbox"/>	5	re	1 ex	v.br 2017-10-10
...				
<input type="checkbox"/>	38			2016-11-17
<input type="checkbox"/>	39	ha	alih	2016-11-16
<input type="checkbox"/>	40		n b	o.id 2016-11-10

[1] [2] Confirm Delete

그림 A4.1. 선도센터 홈페이지의 미승인 사용자의 가입 신청 관리 페이지의 예시

Deleted Member

Period ~ search

num	ID	Created Date	Deleted Date	Log
1	t	2017-09-26 11:05:51	2017-10-11 15:10:58	Deleted account
2	t	2017-09-26 11:05:51	2017-10-11 15:10:53	Deleted account
...				
37	o	2015-05-19 02:39:49	2017-01-04 11:18:34	Deleted account(un-confirmed)
38	ht	2015-04-22 16:13:10	2017-01-04 11:18:39	Deleted account(un-confirmed)
39	s	2015-04-18 04:00:36	2017-01-04 11:18:39	Deleted account(un-confirmed)
40	ju	2015-04-08 14:50:34	2017-01-04 11:18:39	Deleted account(un-confirmed)

[1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10] ▶▶

그림 A4.2. 선도센터 홈페이지의 개인정보 파기 로그 조회의 예시

부록 4.1.3 만족도 조사 시스템 개선

만족도 조사 기간에만 홈페이지에 조사 내용을 출력하기 위해 관리자 메뉴의 만족도 조사 입력/수정 기능을 조사기간을 지정할 수 있도록 개선하였다. 또한 모든 사용자가 조사에 참여할 수 있도록 로그인 직후 만족도 조사 페이지를 출력하도록 개선하였다.

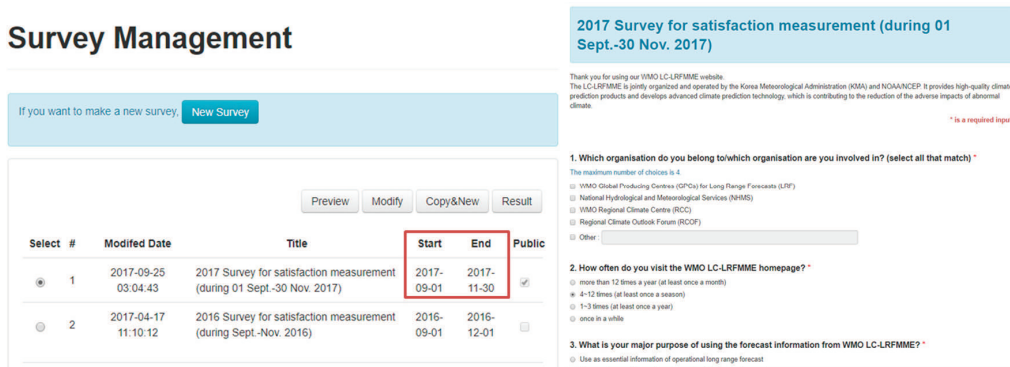


그림 A4.3. WMO 장기예보 선도센터 홈페이지를 통한 만족도 조사 페이지

부록 4.1.4 개인정보처리방침 개정 내용 점검 및 적용

개정된 개인정보처리방침을 적용하기 위해서 다음과 같이 수행하였다.

- 비밀번호 5회 이상 오류 발생 시 사용자 계정 잠금

사용자가 로그인 할 때 비밀번호를 잘못 입력하여 5회 이상 로그인을 실패할 경우 사용자의 계정을 잠금 상태로 변경한다. 사용자가 다시 로그인을 시도하면 계정 잠금을 알리고 이메일 인증을 할 수 있는 페이지를 출력한다. 사용자가 가입할 때 사용한 이메일 주소를 입력하면 비밀번호를 변경할 수 있는 링크를 포함한 인증 메일을 전송한다. 사용자가 링크를 선택하면 홈페이지에서 비밀번호를 변경할 수 있다.

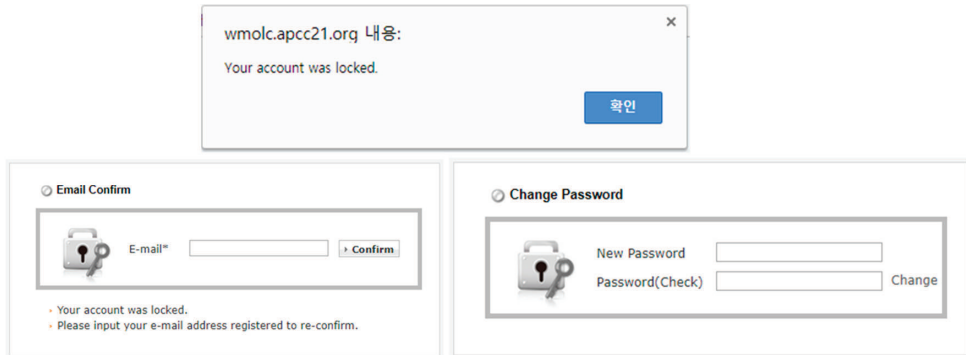


그림 A4.4. 홈페이지 사용자 계정의 잠금과 해제에 대한 예시

○ 1년 이상 홈페이지에 접속하지 않은 사용자 처리

1년 이상 홈페이지에 접속하지 않은 사용자에게 안내 메일을 보내어 1개월 이내 접속하지 않으면 계정이 휴면상태로 변경됨을 알리고, 1개월 후에도 접속하지 않으면 사용자 계정을 삭제하거나 계정의 상태를 휴면상태로 변경해야 한다. 따라서 1년이상 미접속 사용자 목록을 조회하여 접속요청 이메일을 보내거나 사용자를 휴면상태로 변경하는 등의 조치를 할 수 있는 메뉴를 추가하였다.

Sleeping Member Control

Period Sent e-mail Sleeping search

Total : [211] Search : [211]

<input type="checkbox"/>	num	id - level - country	name - email	issued date - status
<input type="checkbox"/>	161	Vi n	dan .int	2017-05-15 16:42:18 Sleeping
<input type="checkbox"/>	162	8 B	a u	2017-05-15 16:42:23 Sleeping
<input type="checkbox"/>	...	kc B	i ...	2017-05-15 16:42:51
<input type="checkbox"/>	198	re B	ZHi .sg	2016-09-25 19:34:01
<input type="checkbox"/>	199	ma B	n a	2016-10-03 17:26:59
<input type="checkbox"/>	200	Ba B	b a	

[1] [2] [3] [4] [5] [6]

그림 A4.5. 선도센터 홈페이지 사용자 계정 휴면 처리에 대한 예시

- 개인정보 파기 로그 기록

관리자가 사용자 계정을 삭제할 경우 개인정보 파기 내용을 로그에 기록하고, 관리자는 개인정보 파기 대장에 수기로 기록한다.

부록 4.2 DCPC LC/LRFMME 홈페이지 관리

DCPC(Data Collection or Production Centre) 홈페이지는 GISC 서울에 MME 메타데이터를 제공하고 있다. DCPC 홈페이지와 GISC 서울간의 데이터 교환은 OpenWIS 시스템을 통해 데이터를 교환하고 있다. 하지만, 이러한 원격으로 분리되어 있는 시스템 간의 데이터 교환에는 통신환경에 따라 문제가 발생할 수 있다. 이를 방지하기 위해 DCPC 홈페이지의 서버 운영 상황을 정기적으로 감시, 로그 분석 및 백업을 진행하여 DCPC 홈페이지의 최상의 시스템 상태로 관리한다.

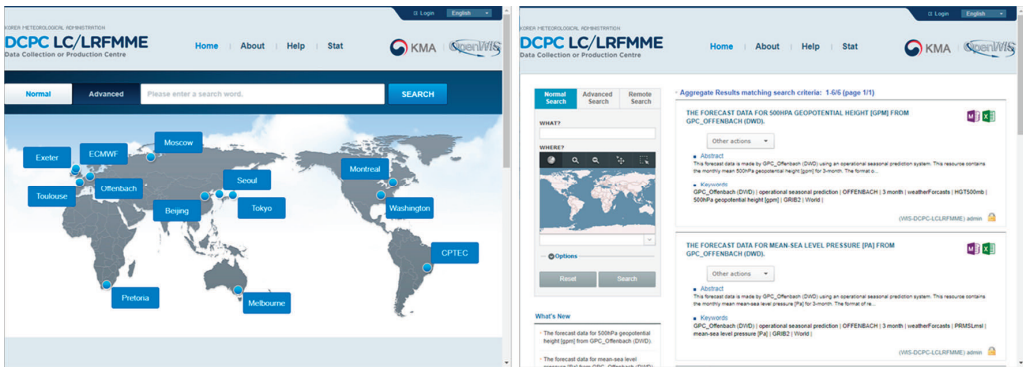


그림 A4.6. DCPC LC/LRFMME 홈페이지

DCPC 홈페이지는 SO 1915 형식의 WMO Core Profile 표준 메타데이터 형식으로 제공한다. 메타데이터는 기후자료(grib, nc파일등)의 나라, GPC, 예측날짜 등의 column을 가지고 있다. 메타데이터는 WMO 장기예보 선도센터에 기후자료 업로드 시 추가되며 통합 DB를 구축하여 자료에 대한 입력, 수정, 삭제에 대해 관리한다. 2017년도에는 GISC 서울의 요청으로 모든 메타데이터를 수정, 보완하였으며 신규 GPC(Offenbach)의 예측자료에 대한 메타데이터도 신규 생산하고 있다.

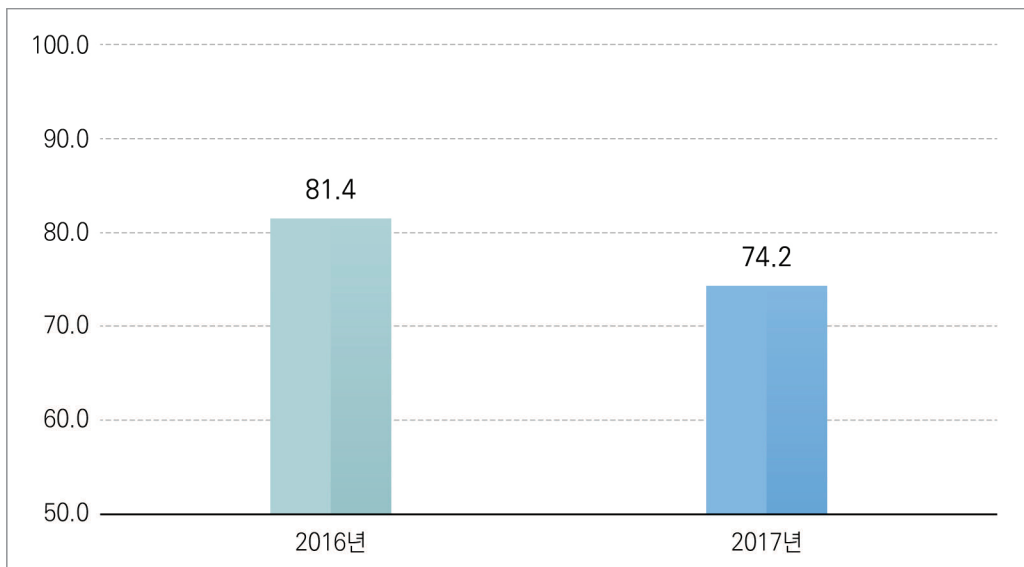
부록 5 WMO 장기예보 선도센터 만족도 조사 결과

부록 5.1 배경 및 목적

- 목적 : WMO 장기예보 선도센터 홈페이지 회원을 대상으로부터 만족 또는 불만족 요인을 파악하여 회원 만족 향상을 위한 개선 자료로 활용하고, 회원들의 의견을 수렴한 안정적인 서비스를 제공하기 위함.
- 기간 : 2017. 9. 1~11. 30(총 3개월)
- 방법 : 회원이 WMO 선도센터 홈페이지에 로그인 후 설문 팝업창을 띄움.
- 대상 : 선도센터 홈페이지에 로그인 할 수 있는 권한을 가진 사용자.

부록 5.2 조사 총평

- 총 만족도
 - 5.45점(7점 만점)
 - 100점 만점으로 환산하면 74.2점으로 2016년(81.4점)과 비교했을 때 회원 만족도가 약간 낮아짐.



부록 5.3 세부 결과

○ 참여자 및 참여국

- 362명의 회원 중 53명이 참여하여 14.6%의 참여율을 보였고, 2016년의 참여율 비해 7.7%(314명의 회원 중 70명 참여, 22.3%) 감소함.
- 전체 82개 회원국 중 34개국(41.5%)에서 응답하였고, 2016년에 79개 회원국 중 36개국(45.6%)에 비해 4.1% 감소함.

표 A5.1. 2016년과 2017년 만족도 조사에 참여한 국가수 및 회원수 비교

	국가			회원		
	총 국가 수	참여국 수	참여율(%)	총 회원 수	참여자 수	참여율(%)
2016년(A)	79	36	45.6%	314	70	22.3%
2017년(B)	82	34	41.5%	362	53	14.6%
편차(B-A)	+3	-2	-4.1%	+48	-17	-7.7%

○ 국가별 참여자 수 : 표 A5.2 참고

표 A5.2. 2017년 만족도 조사에 참여한 국가별 참여자 수

국가	참여자 수	참여율(%)
Peru	5	9.4
Russia	3	5.7
Singapore	3	5.7
Switzerland	3	5.7
United Kingdom	3	5.7
Brazil	2	3.8
France	2	3.8
Germany	2	3.8
Morocco	2	3.8
Qatar	2	3.8
United States	2	3.8
Yugoslavia	2	3.8
Argentina	1	1.9
Bangladesh	1	1.9
Bhutan	1	1.9
Chinese Taipei	1	1.9
Croatia	1	1.9
Ecuador	1	1.9
Egypt	1	1.9
El Salvador	1	1.9
Hong Kong, China	1	1.9
India	1	1.9
Indonesia	1	1.9
Japan	1	1.9
Kenya	1	1.9
Korea, Republic of	1	1.9
Kyrgyzstan	1	1.9
Malaysia	1	1.9
Mongolia	1	1.9
Saudi Arabia	1	1.9
Spain	1	1.9
Sri Lanka	1	1.9
Trinidad and Tobago	1	1.9
Turkey	1	1.9
합계	53	100.0

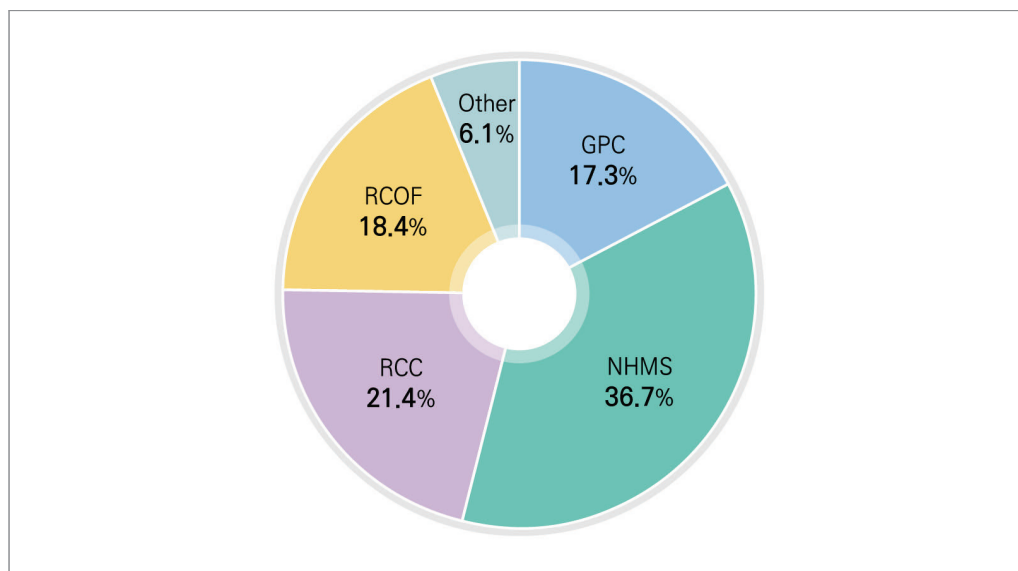
○ 소속(중복선택 가능)

- NHMS에 소속된 회원이 전체 중 36.7%를 차지하고, 그 다음으로는 RCC가 21.4%, RCOF 관련 회원과 GPC가 각각 18.4%와 17.3%를 차지했고 기타 기관에 소속된 회원은 6.1%로 집계됨.

- 기타 기관은 아래와 같음

- 1) CPTEC
- 2) WMO(3명)
- 3) Commission of Climatology
- 4) KMA

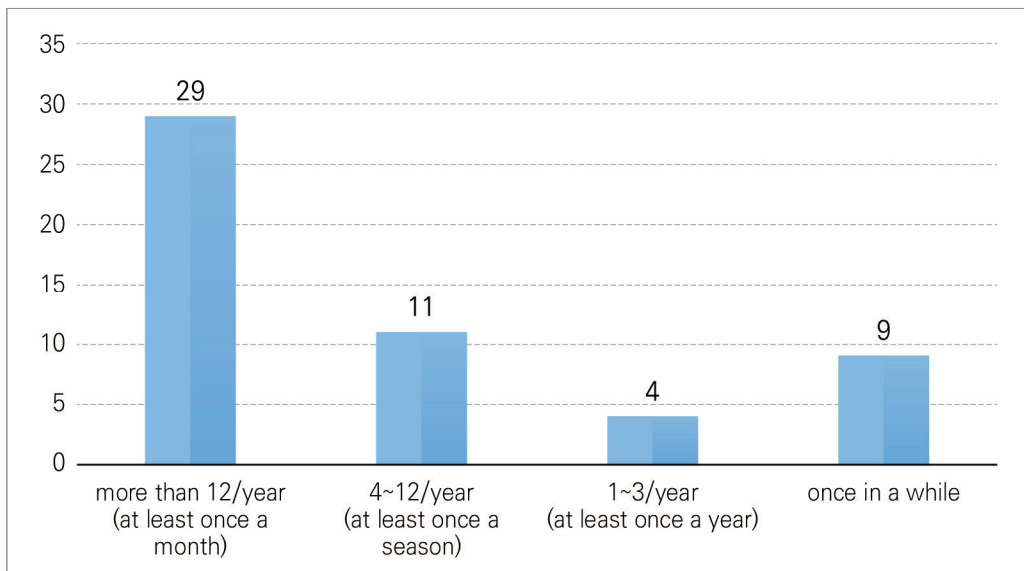
구분	인원(명)	비율(%)
WMO Global Producing Centres (GPCs) for Long Range Forecasts (LRF)	17	17.3
National Hydrological and Meteorological Services (NHMS)	36	36.7
WMO Regional Climate Centre (RCC)	21	21.4
Regional Climate Outlook Forum (RCOF)	18	18.4
기타	6	6.1



○ 홈페이지 방문 주기(중복선택 불가)

- WMO 선도센터 홈페이지에 얼마나 접속하는가에 대한 답변으로 한달에 한번 이상 접속한다는 답변이 54.7%로 가장 많은 비율을 차지함. 계절별로 한번정도 접속하는 회원은 20.8%, 가끔 접속하는 회원은 17.0%, 1년에 한번 정도 방문하는 회원은 7.5%임.

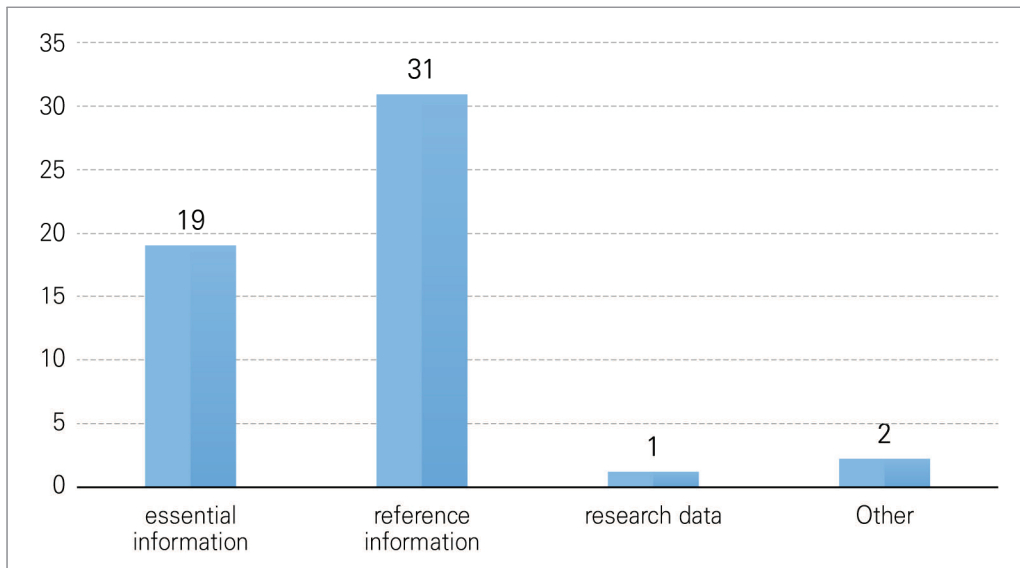
구분	인원(명)	비율(%)
more than 12/year (at least once a month)	29	54.7
4~12/year (at least once a season)	11	20.8
1~3/year (at least once a year)	4	7.5
once in a while	9	17.0



○ 자료 사용 목적(중복선택 불가)

- WMO 선도센터에서 생산하는 자료를 현업 장기예보에 참고자료로 사용하는 회원은 58.5%를 차지했고, 그 다음으로는 현업 장기예보 필수자료로 35.8%, 연구자료로는 1.9%, 기타 다른 목적으로 활용하는 회원은 3.8%를 차지함. 전체의 94.3%가 WMO 장기예보 선도센터 자료를 현업 장기예보에 직·간접적으로 사용하는 것으로 나타남.
- 기타로는 1) WMO 회원으로서 WMO 장기예보 선도센터의 활용에 대한 정보를 얻기 위해 사용한다는 의견과 2) 트레이닝과 RCOF를 위해 사용한다는 의견이 있음.

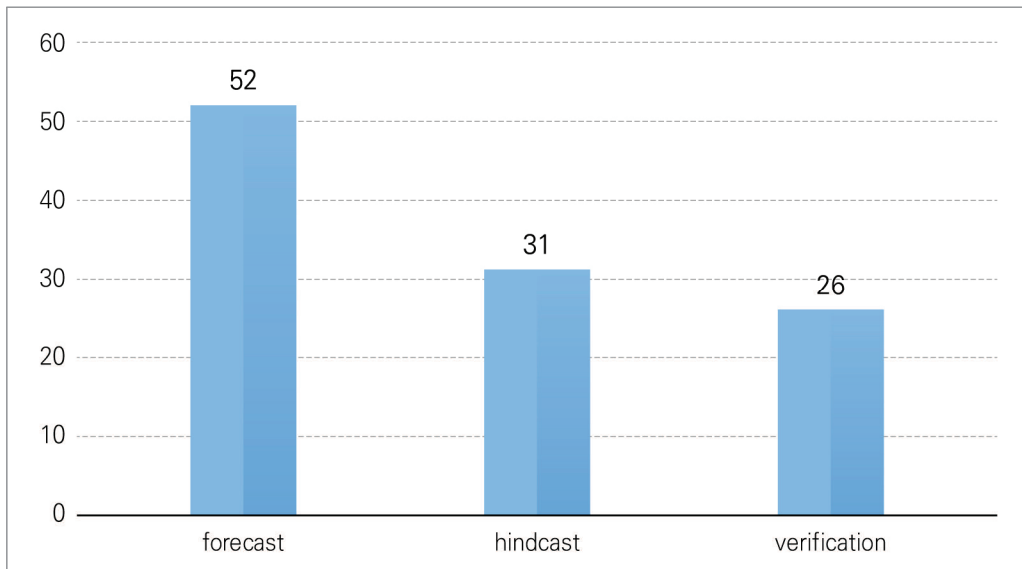
구분	인원(명)	비율(%)
essential information of operational long range forecast	19	35.8
reference information of operational long range forecast	31	58.5
research data on long range forecast	1	1.9
기타	2	3.8



○ 선호하는 자료 종류(중복선택 가능)

- WMO 장기예보 선도센터의 회원들은 forecast 자료를 가장 선호(47.7%)하고 다음으로 hindcast 자료(28.4%), 검증자료(23.9%) 순으로 선호함.

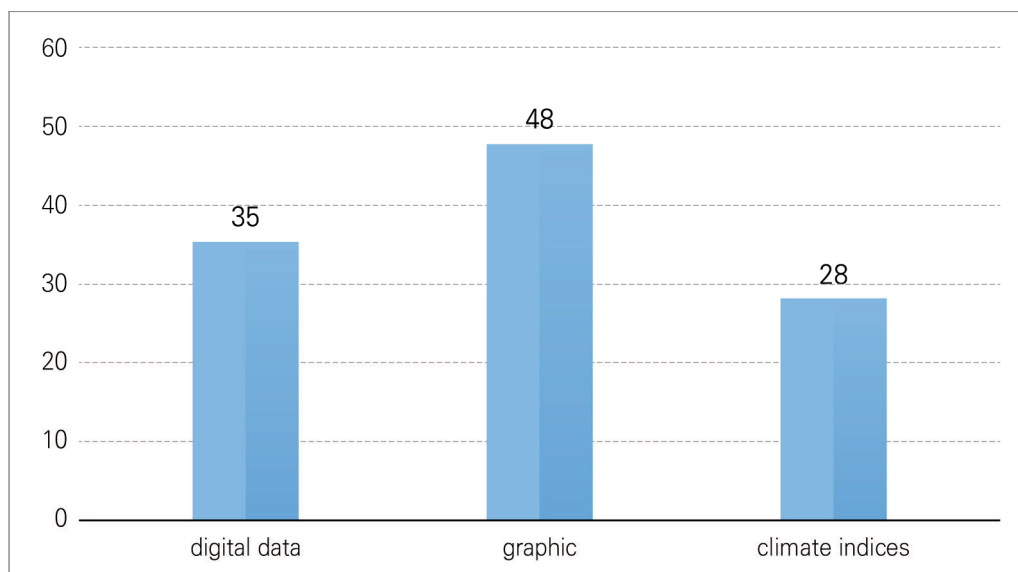
구분	인원(명)	비율(%)
forecast	52	47.7
hindcast	31	28.4
verification	26	23.9



○ 선호하는 자료 유형(중복선택 가능)

- WMO 장기예보 선도센터의 회원들은 graphic 유형의 자료를 가장 선호(43.2%)하고 두 번째로는 digital 유형 자료(31.5%), 마지막으로 기후지수 유형 자료(25.2%)를 선호함.

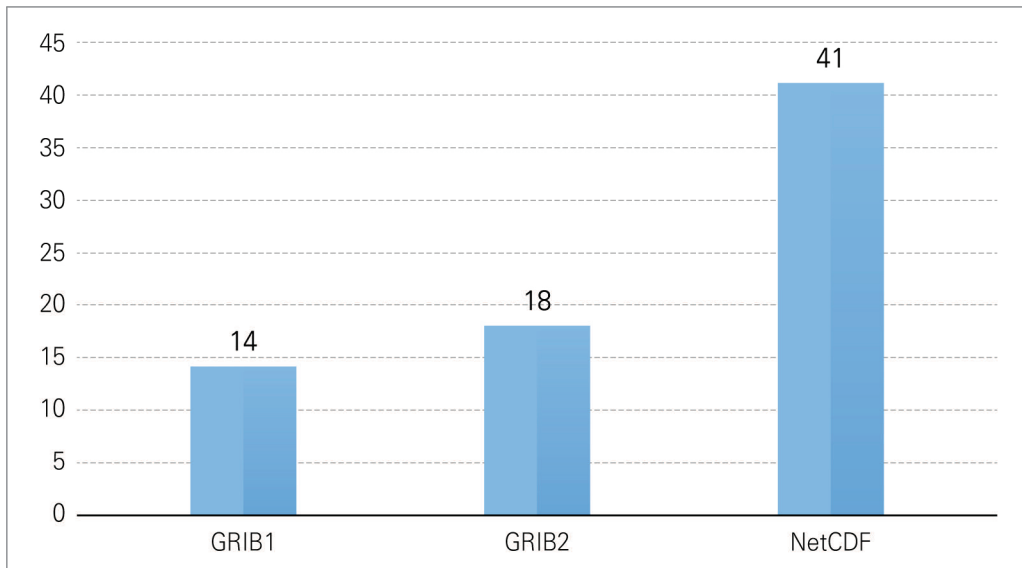
구분	인원(명)	비율(%)
digital data	35	31.5
graphic	48	43.2
climate indices	28	25.2



○ 선호하는 자료 포맷(중복선택 가능)

- 회원의 과반수 이상인 56.2%가 현재 WMO 선도센터에서 제공되지 않고 있는 NetCDF형태를 가장 선호하고, GRIB1과 GRIB2를 각각 19.2%, 24.7%로 선호함.

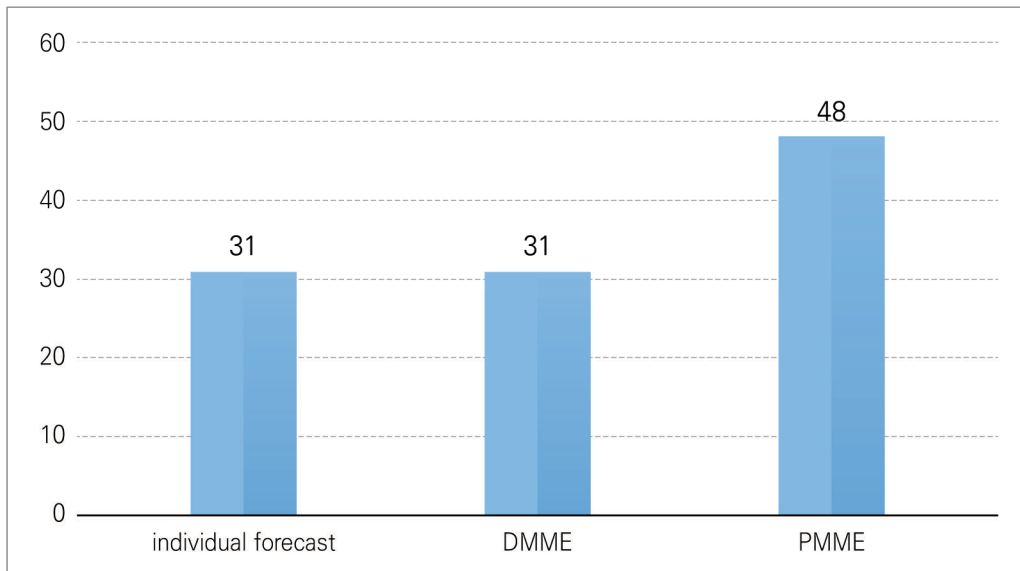
구분	인원(명)	비율(%)
GRIB1	14	19.2
GRIB2	18	24.7
NetCDF	41	56.2



○ 선호하는 예측 유형(중복선택 가능)

- 가장 많은 43.6%의 회원들이 PMME 예측 자료를 선호했고, DMME와 개별모형자료는 각각 28.2% 선호함.

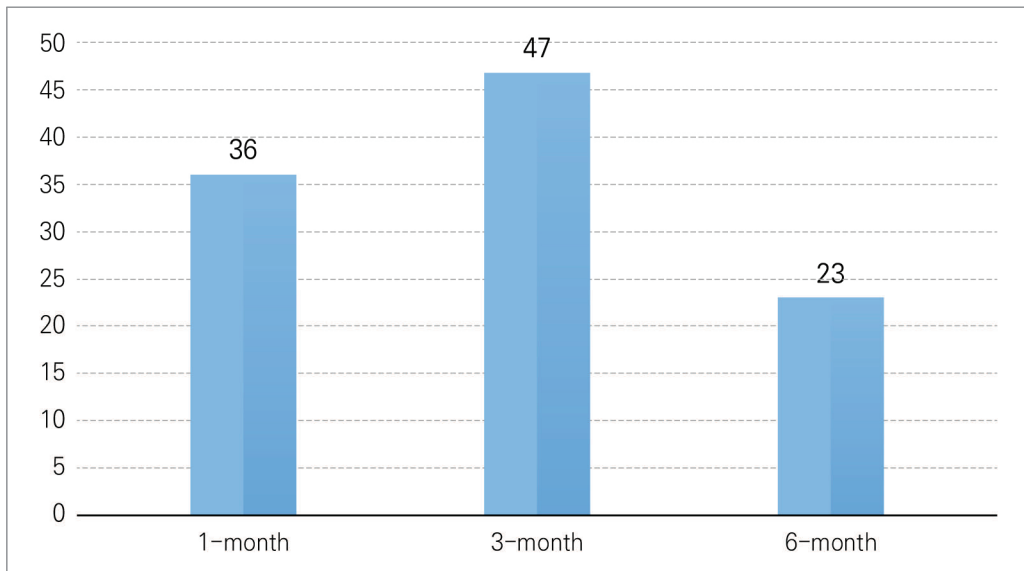
구분	인원(명)	비율(%)
individual forecast	31	28.2
Deterministic MME	31	28.2
Probabilistic MME	48	43.6



○ 선호하는 예측 기간(중복선택 가능)

- 각각 44.3%, 34.0%의 회원들이 3개월 예측자료와 1개월 예측자료를 가장 선호했고, 나머지 21.7%는 6개월 예측자료를 선호함.

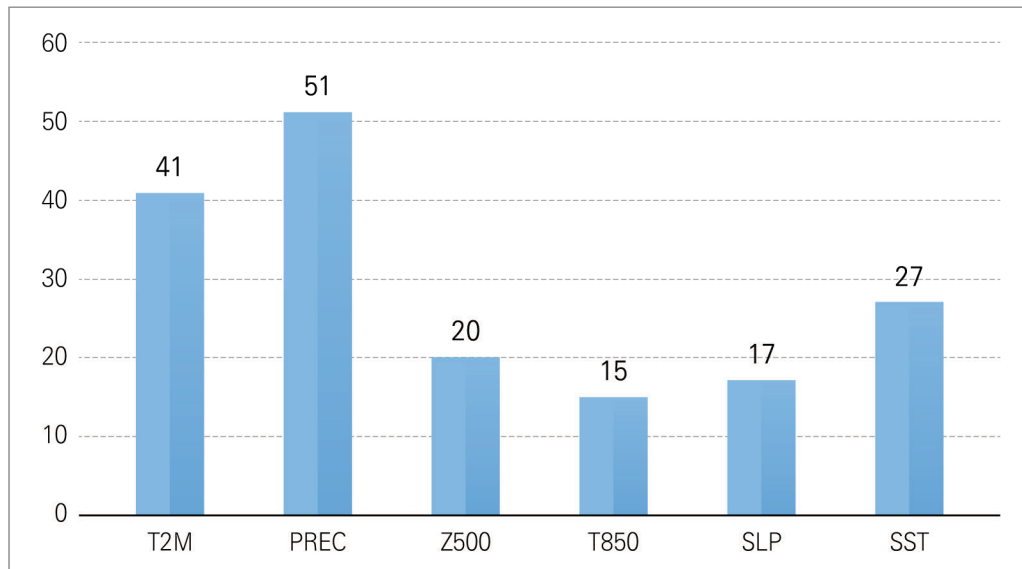
구분	인원(명)	비율(%)
1-month	36	34.0
3-month	47	44.3
6-month	23	21.7



○ 선호하는 변수(중복선택 가능)

- 회원들은 강수(29.8%)와 기온(24.0%)를 직접적으로 예측에 이용하는 것을 선호하고, 장기예측에 영향을 미치는 중요한 변수인 해수면온도(15.8%)를 세 번째로 선호함. 그 다음으로는 500hPa 지위고도(11.7%), 해면기압(9.9%), 850hPa 기온(8.8%) 순으로 선호함.

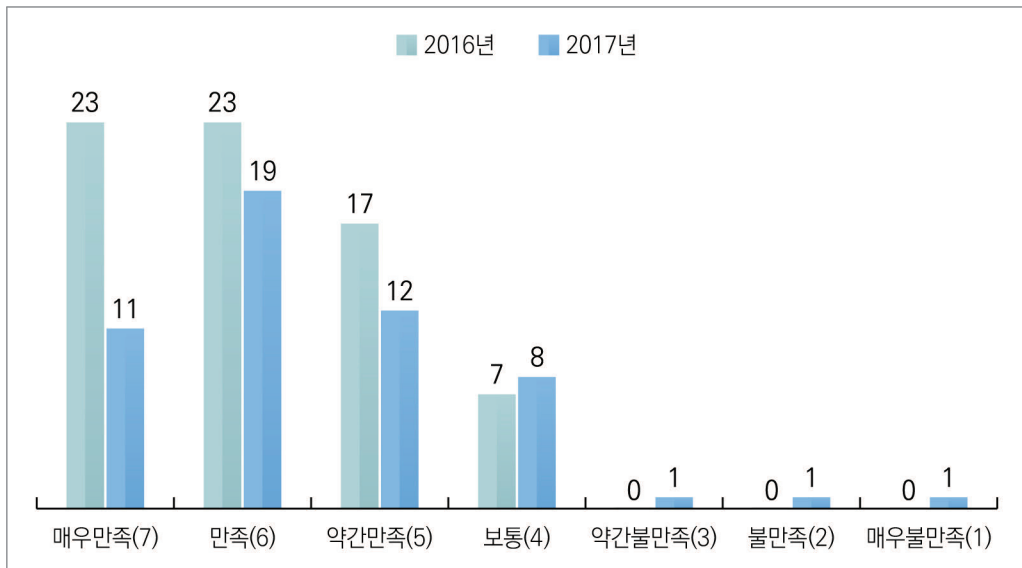
구분	인원(명)	비율(%)
2m temperature	41	24.0
precipitation	51	29.8
500hPa GPH	20	11.7
850hPa temperature	15	8.8
mean sea level pressure	17	9.9
sea surface temperature	27	15.8



○ 만족도(중복선택 불가)

- WMO 장기예보 선도센터의 서비스에 각각 35.8%, 22.6%, 20.8%, 15.1%의 회원들이 만족, 약간만족, 매우만족, 보통 순으로 만족함. 79.2%의 회원들이 긍정적인 반응(약간만족~매우만족)을 보임. 2016년에 비해 부정적인 반응(약간불만족~매우불만족)이 5.7% 증가함.

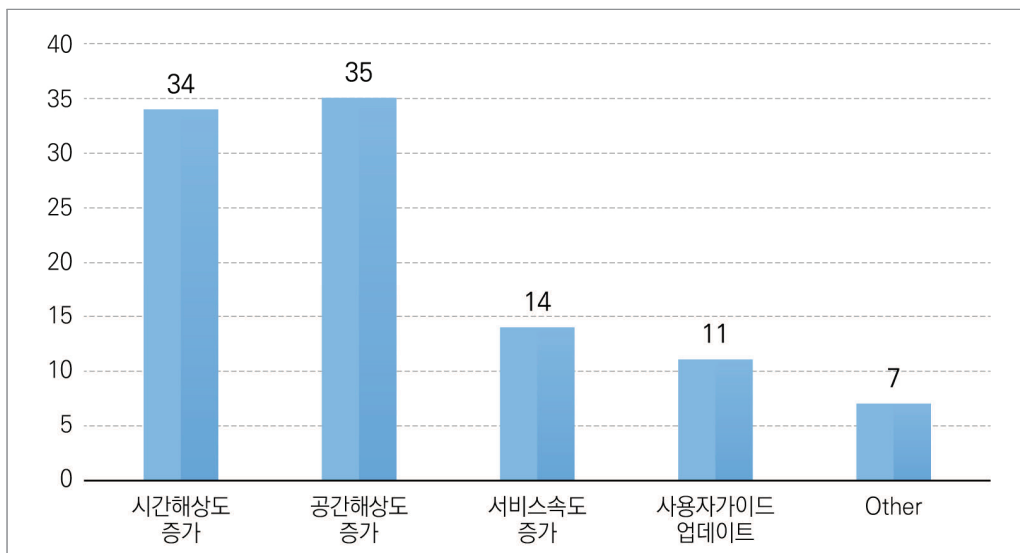
구분(점수)	2016년		2017년	
	인원(명)	비율(%)	인원(명)	비율(%)
매우만족(7)	23	32.9	11	20.8
만족(6)	23	32.9	19	35.8
약간만족(5)	17	24.3	12	22.6
보통(4)	7	10.0	8	15.1
약간불만족(3)	0	0.0	1	1.9
불만족(2)	0	0.0	1	1.9
매우불만족(1)	0	0.0	1	1.9



○ 개선점(중복선택 가능)

- WMO 장기예보 선도센터에서 개선되었으면 하는 부분은 공간해상도 증가와 시간해상도 증가가 각각 34.7%와 33.7%로 가장 높은 비율을 차지했고, 그 다음으로는 서비스 속도 증가가 13.9%, 사용자가이드 업데이트가 10.9%를 차지함.
- 6.9%의 기타의견은 다음과 같음
 - 1) Deterministic forecast maps do not work many times while probabilistic ones work all the time
 - 2) Increasing spatial resolution of verification of models
 - 3) Easier download of digital data
 - 4) This is my first time logging in but seemed to have to fill in this survey?
 - 5) Make the products easier to access. Make links to 3 month forecast on home page
 - 6) Restful web service or API for information
 - 7) Hindcast data access

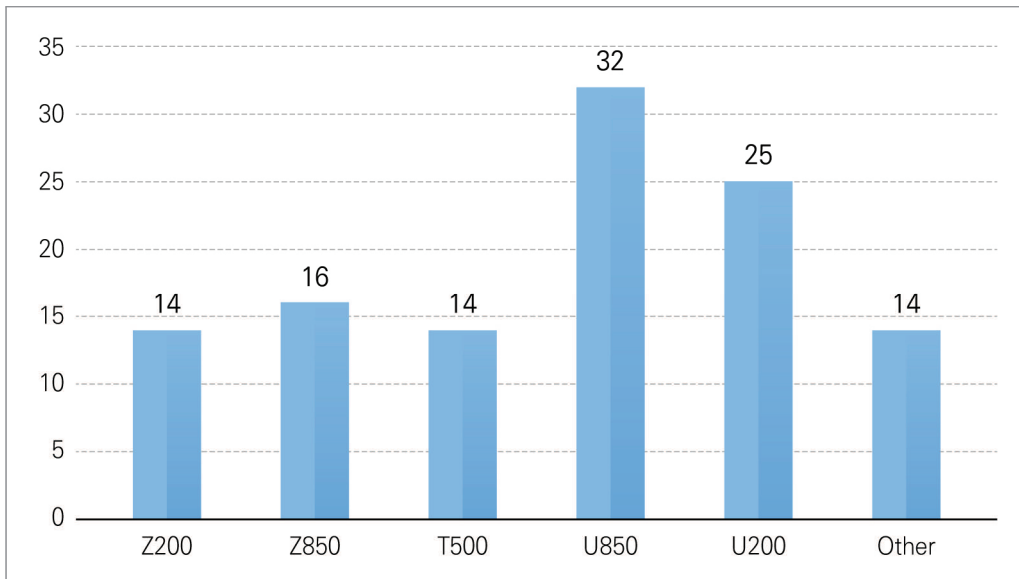
구분	인원(명)	비율(%)
시간해상도 증가	34	33.7
공간해상도 증가	35	34.7
서비스속도 증가	14	13.9
사용자가이드 업데이트	11	10.9
기타	7	6.9



○ 추가적인 변수(중복선택 가능)

- 회원들이 WMO 선도센터의 홈페이지를 통해 추가제공해주시기를 바라는 변수는 850hPa 동서바람과 200hPa 동서바람이 27.8%, 21.7%로 가장 높은 비율을 차지함. 이어서 850hPa 지위고도가 13.9%로 그 뒤를 이었고, 500hPa 온도와 200hPa 지위고도가 각각 12.2%를 차지함.
- 12.2%의 기타의견은 아래와 같음.
 - 1) Relative Humidity
 - 2) 10hPa Zonal Wind
 - 3) 850hPa Wind (Meridional)
 - 4) 850hPa Meridional Wind
 - 5) Number Wet Days
 - 6) Sea Ice
 - 7) Potential Velocity at 200hPa and Current Function at 200hPa
 - 8) Surface Temp. Max and Min
 - 9) This is my first time logging in but seemed to have to fill in this survey?
 - 10) Velocity Potential @200hPa, Stream Function @200hPa
 - 11) Humidity, Soil Moisture
 - 12) Indices for Extreme Events
 - 13) Divergence, Potential Velocity, z70mb
 - 14) 700 Vorticity

구분	인원(명)	비율(%)
Z200	14	12.2
Z850	16	13.9
T500	14	12.2
U850	32	27.8
U200	25	21.7
기타	14	12.2



○ 추가 의견(선택문항)

- Course
- Guidance/description documentation on available hindcasts and realtime forecasts available for download, particularly the details of the data file names and corresponding content of each file available for download.
- Pre-selected domains for RCCs and RCOFs will be useful for all products.
- Verification information
- This is my first time logging in but seemed to have to fill in this survey?
- On question 11, it would be very useful to have graphics for latest 3-month forecasts and the ENSO indices on the home page. Many other UN agencies would use the website if a small subset of products were available directly from the home page.
- Forecasts of subseasonal variability
- Thanks for all the efforts KMA has put in the sustaining the Lead Center infrastructure.

【연구자】

이우섭 선임연구원

이현록 선임연구원

윤순조 연구원

김가영 연구원

김미아 연구원

신지현 연구원

연구보고서 2017-20

WMO 장기예보 선도센터 운영 (7차년도)

I S B N 979-11-5698-210-4

발 행 2018년 3월

발 행 인 정 홍 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.