

WMO 장기예보 선도센터 운영(8차년도)

Operation of WMO LC-LRFMME (VIII)

이우섭, 이현주, 윤순조, 김미아, 김가은 기후분석팀

김상철 예측운영팀

목 차

1. 서론	1
2. WMO 장기예보 선도센터 계절 예측 시스템 운영	3
2.1 WMO 장기예보 선도센터 계절 예측 시스템 운영 개요	3
2.2 WMO 장기예보 선도센터 계절 예측 시스템 개선	14
2.2.1 GPC 계절예측모델 업데이트 현황	14
2.2.2 홈페이지 그래픽 공개	18
2.2.3 Polar Map 표출 시스템 구축	18
2.2.4 변수별 Consistency map 표출 시스템 구축	19
2.3 WMO 장기예보 선도센터 계절 예측 자료 제공	20
2.4 기타 기상청 기후예측과의 협력 사항	25
3. WMO 장기예보 선도센터 계절내 예측 시스템 개발 및 시범운영	26
3.1 WMO 장기예보 선도센터 계절내 예측	26
3.1.1 계절내 예측 시스템 개발의 개요	26
3.1.2 계절내 예측 시스템의 참여모델 특성	27
3.1.3 계절내 MME 예측 방법	28

3.2 WMO 장기예보 선도센터 계절내 예측 시스템 운영	32
3.2.1 자료수신 및 시스템 운영	32
3.3 WMO 장기예보 선도센터 계절내 예측 시스템 개선사항	34
3.3.1 GPC 예측자료 수신 속도 향상	34
3.3.2 GPC Seoul 추가	36
3.4 WMO 장기예보 선도센터 계절내 예측 결과 검증	37
3.4.1 계절내 예측결과의 ACC 검증	38
3.4.2 계절내 예측결과의 RMSE 검증	43
4. WMO 장기예보 선도센터 시스템 개선 (II) 용역사업	47
4.1 사업 개요	47
4.1.1 사업 배경 및 목적	47
4.1.2 사업 범위 및 기대효과	47
4.2 사업 수행 내용	48
4.2.1 WMO 장기예보 선도센터 및 GPC Seoul 홈페이지 개선	48
4.2.2 계절 및 계절내 예측자료 처리기술 개발	50
4.2.3 WMO 장기예보 선도센터 예측 및 검증자료 DB 구축	50
5. 요약 및 결론	52
Ⅰ REFERENCES	55
Ⅱ 부록 1. WMO 장기예보 선도센터 계절예측에 사용된 검증 기법	57
Ⅲ 부록 2. WMO 장기예보 선도센터 만족도 조사 결과	63

그림 목차

그림 2.1. WMO 장기예보 선도센터의 주요 기능	3
그림 2.2. 가우시안 확률밀도함수를 이용한 확률론적 다중모델 앙상블 기법	8
그림 2.3. WMO 장기예보 선도센터 계절예측의 월간 업무 흐름도	9
그림 2.4. APCC와 WMO 장기예보 선도센터에서 각각 생산된 실시간 PMME a) T2m과 b) 강수 예측의 카테고리별 ROC score의 시간 평균값으로, 실시간 예측의 기간은 JFM 2015 - DJF 2017이다.	11
그림 2.5. WMO 장기예보 선도센터에서 개별 GPC(회색점) 및 다중모델앙상블(붉은실선)의 실시간 T2m 확률 예측에 대한 (a) above, (b) near, (c) below normal 카테고리별 ROC score의 시계열로, 실시간 예측의 기간은 JFM 2012-SON 2018이다. 파란색 점은 ECMWF를 나타냄.	12
그림 2.6. WMO 장기예보 선도센터에서 개별 GPC(회색점) 및 다중모델앙상블(붉은실선)의 실시간 강수 확률 예측에 대한 (a) above, (b) near, (c) below normal 카테고리별 ROC score의 시계열로, 실시간 예측의 기간은 JFM 2012-SON 2018이다. 파란색 점은 ECMWF를 나타냄.	13
그림 2.7. 2018년 WMO 장기예보 선도센터 계절 예측 시스템 개선 사항	14
그림 2.8. WMO 장기예보 선도센터 회원 등급별 이용 가능한 그래픽 및 디지털 예측정보	18
그림 2.9. Polar Map 표출 시스템 구축 예시	19
그림 2.10. 변수별 Consistency Map 표출 시스템 예시	20
그림 2.11. 기상청 3개월 한반도 기후전망을 위해 생산되는 기후예측표의 예시	22
그림 2.12. WMO 홈페이지를 통한 WMO 장기예보 선도센터 계절예측 자료 제공 예시	24
그림 3.1. 계절내 MME 예측의 시작 요일(붉은색 박스, 월요일)과 여기에 참여하는 각 GPC 모델의 예측 시작 날짜	28

그림 3.2. 계절내 MME 예측 및 검증 결과 표출 자료의 변수 및 예측기간 특성	34
그림 3.3. 계절내 예측 자료의 수신 방법 및 설정에 따른 분류도	35
그림 3.4. WMO 장기예보 선도센터 홈페이지 계절내 예측결과 제공 메뉴 내 개별 모델 예측결과 제공 페이지에서 GPC Seoul 선택 가능하도록 추가	36
그림 3.5. WMO 장기예보 선도센터 홈페이지에서 제공되는 GPC Seoul 예측결과 예시. 각각 Global 영역의 (a) T2M, (b) PREC, (c) MSLP, (d) Z500, (e) UV850, (f) UV200 예측결과	37
그림 3.6. (a) 2m 기온과 (b) 강수량, (c) 해면기압, (d) 500hPa 지위고도의 일평균 예측결과 대한 Global 영역(-90°N~90°N, 0°E~360°E)에서의 아노말리 상관계수. 검은색 선은 SCM 예측에 대한 검증결과이다.	39
그림 3.7. 그림 3.6과 동일하며, 주별 평균한 예측에 대한 검증결과	40
그림 3.8. (a) 2m 기온과 (b) 강수량, (c) 해면기압, (d) 500hPa 지위고도의 주평균 예측결과 중 1주일 전 예측에 대한 Global 영역(-90°N~90°N, 0°E~360°E)에서의 아노말리 상관계수의 시계열. 주평균 예측결과와 첫날이 해당하는 월별로 다시 평균하였으며, 대상기간은 2016년 1월부터 2018년 9월까지임. 검은색 선은 SCM 예측에 대한 검증결과이다.	41
그림 3.9. 그림 3.8과 동일하며, 3주전 예측결과에 대한 검증이며, 그에 따라 대상기간은 2016년 1월부터 2018년 10월까지이다.	42
그림 3.10. (a) 2m 기온과 (b) 강수량, (c) 해면기압, (d) 500hPa 지위고도의 일평균 예측결과 대한 RMSE의 Global 영역(-90°N~90°N, 0°E~360°E) 평균. 검은색 선은 SCM 예측에 대한 검증결과이다.	43
그림 3.11. 그림 3.10과 동일하며, 주별 평균한 예측에 대한 검증결과	44
그림 3.12. (a) 2m 기온과 (b) 강수량, (c) 해면기압, (d) 500hPa 지위고도의 주평균 예측결과에 대한 RMSE 중 1주일 전 예측에 대한 Global 영역(-90°N~90°N, 0°E~360°E) 평균의 시계열. 주평균 예측결과와 첫날이 해당하는 월별로 다시 평균하였으며, 대상기간은 2016년 1월부터 2018년 9월까지이다. 검은색 선은 SCM 예측에 대한 검증결과이다.	45
그림 3.13. 그림 3.12와 동일하며, 3주전 예측결과에 대한 검증이다. 대상기간은 2016년 1월부터 2018년 10월까지이다.	46
그림 4.1. 개선된 WMO 장기예보 선도센터 홈페이지 메인화면	48

그림 4.2. 개선된 GPC Seoul 홈페이지 메인화면-----	49
그림 4.3. WMO 장기예보 선도센터 및 GPC Seoul 홈페이지 개선 부분 요구사항 요약--	49
그림 4.4. 계절 및 계절내 예측자료 처리기술 개발 부분 요구사항 요약-----	50
그림 4.5. WMO 장기예보 선도센터 예측 및 검증자료 DB 구축 부분 요구사항 요약-----	51

표 목차

표 2.1.	WMO 장기예보 선도센터에서 수집하는 13개 GPC의 특징	4
표 2.2.	실시간 예측의 검증에 사용되는 재분석 자료	11
표 2.3.	Hindcast 검증에 사용되는 재분석 자료	11
표 2.4.	GPC ECMWF의 계절예측시스템 개선 사항	15
표 2.5.	GPC Toulouse의 계절예측시스템 개선 사항	16
표 2.6.	GPC Offenbach의 계절예측시스템 개선 사항	17
표 2.7.	2018년 RCOF 참석 및 자료 제공 현황	23
표 3.1.	WMO 장기예보 선도센터 계절내 예측에 사용되는 각 GPC 모델의 특성	27
표 3.2.	각 GPC 모델 별 계절내 MME 예측시스템의 입력 자료로 선택되는 항목	30
표 3.3.	계절내 MME 예측 선행시간 별 참여하는 GPC 모델의 변화	30
표 3.4.	계절내 MME 예측을 위해 수집되는 각 GPC의 예측 자료와 검증을 위해 수집되는 관측 자료의 변수 및 자료 수신 주기	33
표 A1.1.	3분위 예보의 판정 분할표	59
표 A1.2.	Hit rate와 False alarm rate를 계산하기 위한 판정분할표	61
표 A2.1.	2016~2018년 만족도 조사 참여자 비교	64

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 ECMWF, NCEP를 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 국가의 장기예보 결과를 공유하고 MME 기후예측시스템을 개발하여 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 운영해오고 있다. 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

2 | WMO 장기예보 선도센터 운영(8차년도)

창출할 수 있기에 APCC는 WMO 장기예보 선도센터를 운영하며 관련 연구 개발을 지원하는 역할을 현재 수행하고 있다.

APCC는 지난 10여 년 간 다양한 MME 기법을 활용하여 아시아·태평양 지역에 MME 계절예측 정보를 생산하여 제공해온 전문기관으로, 2011년부터 2016년까지 APCC가 “WMO 장기예보 선도센터 운영” 사업을 지속적으로 수탁 운영하면서 기상청과의 업무 분담 및 협조가 이루어졌으며, WMO 회원국의 요구에 부합하는 고품질 서비스를 안정적으로 제공할 수 있게 되었다. 나아가 WMO 장기예보 선도센터의 위상을 제고하는 것에 일조하였다. 따라서 본 보고서를 통해 2018년 APCC가 수행한 WMO 장기예보 선도센터 운영의 전반적인 내용과 MME 시스템의 개선 사항을 정리하고자 한다.

2. WMO 장기예보 선도센터 계절 예측 시스템 운영

2.1 WMO 장기예보 선도센터 계절 예측 시스템 운영 개요

앞서 설명한 바와 같이 ‘one-stop shop’으로서의 WMO 장기예보 선도센터 역할을 수행하기 위해 각 GPC들로부터 기후예측자료를 수집하고 MME 예측자료를 생산하여 WMO 선도센터의 회원국에 홈페이지를 통해 디지털 자료와 그림 형식으로 제공하고 있다(그림 2.1). 그러나 각 GPC에서 생산하는 계절예측자료는 파일 형식(Binary, GRIB1, GRIB2, NetCDF), 앙상블 수, 변수 등에서 차이가 있다. 따라서 WMO 장기예보 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 장기예보 선도센터의 초창기에는 11개의 GPC로부터 계절예측자료를 수집하였다. 2010년 6월에 브라질의 CPTEC(Centre for Weather Forecasts and Climate Studies, GPC CPTEC)이 참여하면서 12개 GPC의 예측자료로 다년간 운영되어 오다가 최근 독일 기상청(Deutsche Wetterdienst, GPC Offenbach)이 GPC가 되면서 현재는 총 13개의 GPC로부터 계절예측자료를 제공받고 있다(표 2.1).

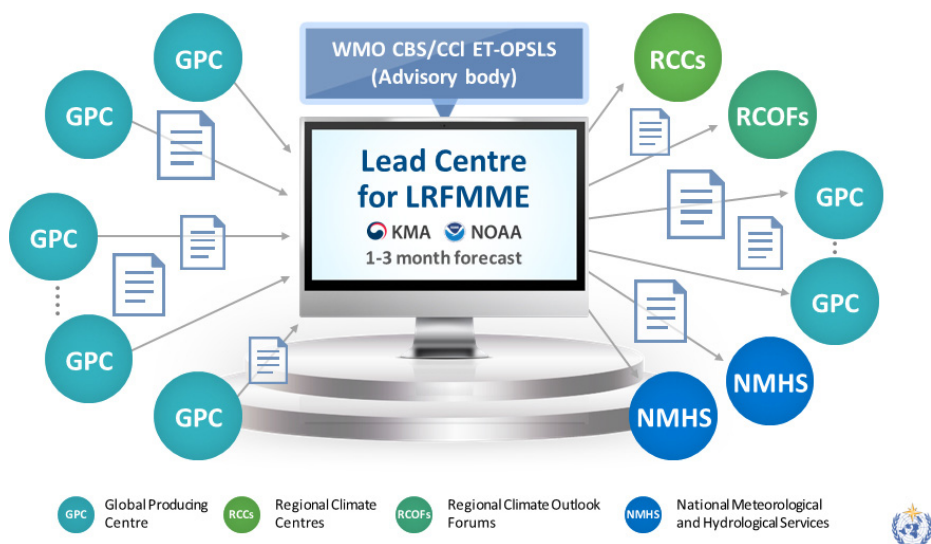


그림 2.1. WMO 장기예보 선도센터의 주요 기능

표 2.1. WMO 장기예보 선도센터에서 수집하는 13개 GPC의 특징

(2018년 12월 기준)

GPC	Beijing	CPTEC	ECMWF	Exeter	Malbourne	Montreal	Moscow	Offenbach	Pretoria	Seoul	Tokyo	Toulouse	Washington
Institute	BCC	CPTEC	ECMWF	UK Met Office	BoM	MSC	HMC	DWD	SAWS	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⁾	o	o	x	x	o	o	o	o	o	o	x	x	o

Forecast	
Data format	NetCDF
Forecast period	6month
Ensemble size	24

Hindcast	
Hindcast Period	1982-2010
Ensemble size	20

1) GPC별 자료 정책 상, GPC에서 예측자료를 직접 제공하는 것이 아닌 다른 기관 등에서 2차 제공이 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. Hindcast 기간은 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.

○ 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).

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

○ Simple Linear Regression(SLR)

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

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

○ 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.

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

○ Genetic Algorithm(GA)

기후 시스템은 구성 요소들 간의 내적, 외적 상호작용에 의해 비선형성, 비예측성을 갖고 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).

○ 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>). PMME 기법은 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 forecast 에 대한 검증을 매 달 수행하고 있다. 예측성능의 검증은 결정론적 예측과 확률론적 예측에 대해 수행하고 있다(결정론적 MME의 경우 SCM에 대한 검증만 수행함). 이 중 hindcast에 대한 검증은 공통기준기간인 1993-2009년에 대해 계산된다. 검증에 사용되는 재분석 관측 자료는 forecast와 hindcast에 따라 다르며, 표 2.2과 2.3에 자세히 나타내었다.

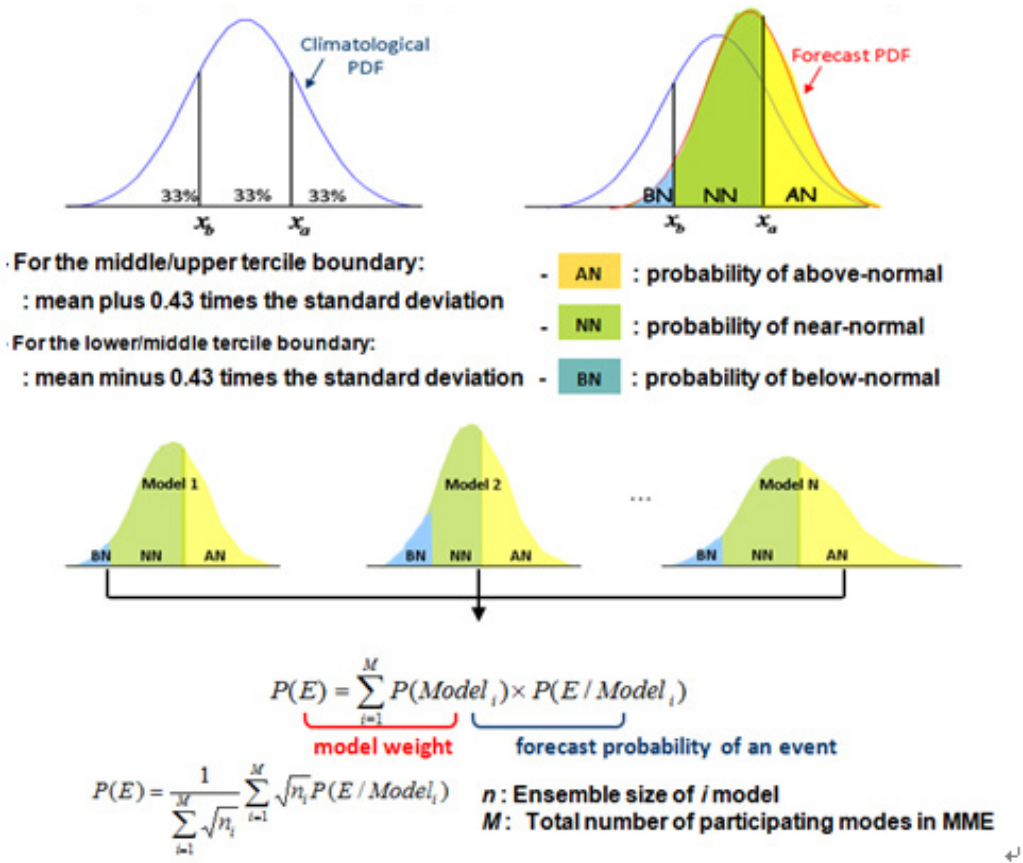


그림 2.2. 가우시안 확률밀도함수를 이용한 확률론적 다중모델 앙상블 기법

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 2.1에 제시하였다. 또한 예측자료는 그래픽으로도 제공되고 있으며, 사용자가 예측 월, 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 예측 자료들은 WMO 회원국에만 제한적으로 제공되고 있다.

WMO 장기예보 홈페이지에는 예측자료 뿐만아니라 결정론적 검증과 확률론적 검증 결과 도 제공한다. 당초 forecast 검증결과는 WMO 장기예보 선도센터에서 제공하고, hindcast 검증결과는 호주기상청에서 운영하는 WMO 장기예보 검증센터(<http://www.bom.gov.au/wmo/lrfvs/>)에서 제공하였으나, 2016년부터 WMO 장기예보 선도센터에서는 forecast 뿐만 아니라 hindcast에 대한 검증결과를 함께 제공하기로 결정하였다. 따라서, 2016년 이후부터 WMO 장기예보 선도센터의 A등급과 B등급 회원에게 forecast와 hindcast 검증자료가 제공되고 있다. 한 달 동안 주기적으로 수행되는 WMO 장기예보 선도센터의 계절예측 현업에 대한 일련의 과정은 그림 2.3에 간략하게 도식하여 나타내었다.

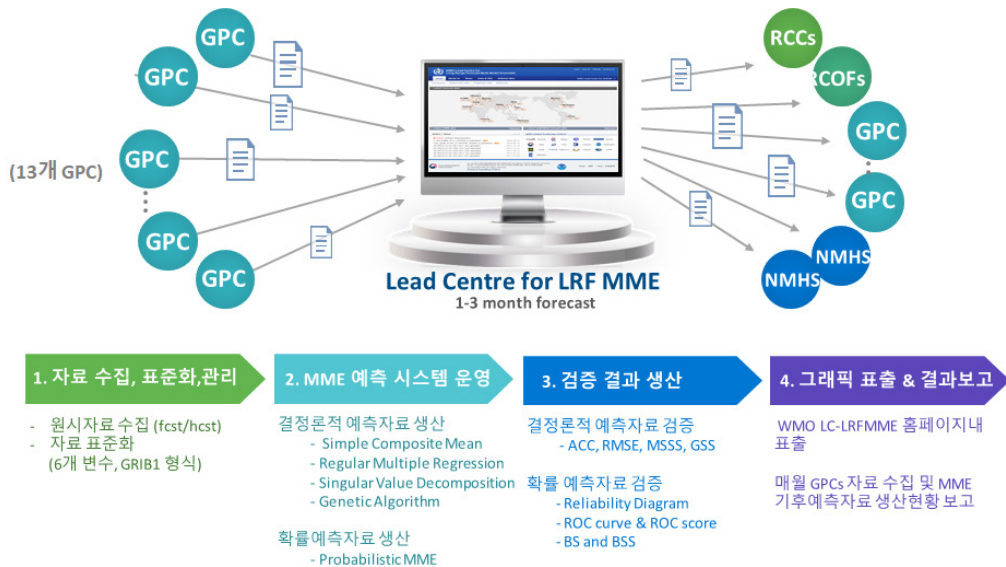


그림 2.3. WMO 장기예보 선도센터 계절예측의 월간 업무 흐름도

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 T2m과 강수이고, 실시간 예측기간은 2015년 JFM부터 2017년 DJF까지이다. APCC와 WMO 장기예보 선도센터의 계절예측 MME에 사용되는 모델 중 일부는 동일한 기관에서 제공하는 자료이다(예를 들어 Beijing, Melbourne, Montreal, Moscow, Seoul, Tokyo, Washington). 그림 2.4는 실시간 예측 검증 기간동안의 ROC score를 카테고리별로 평균한 값을 나타낸다. NN 카테고리 예측성능이 AN과 BN 카테고리의 성능에 비해 떨어지는데 이는 APCC와 WMO 장기예보 선도센터의 PMME에 공통적으로 나타나는 특징이다(Van den Dool and Toth, 1991). 검증기간동안 T2m과 강수 모두 WMO 장기예보 선도센터가 APCC에 비해 다소 낮은 예측 성능을 보인다. 향후 APCC와 WMO 장기예보 선도센터에서의 MME 예측성 검증 및 비교를 통해 양 기관에서 생산되는 MME특성을 살펴보고 보다 상세한 분석을 통해 서로의 단점을 보완한다면 향후 MME 예측성 향상에 기여 할 수 있을 것으로 기대된다.

또한 WMO 장기예보 선도센터에 참여하는 개별 GPC의 확률 예측 성능을 살펴보기 위해 그림 2.5와 2.6에 각 카테고리별 ROC Score의 시계열을 나타내었다. 시계열 분석에 사용된 예측기간은 2012년 JFM부터 2018년 SON이다. 그림 2.5와 2.6에서 붉은 실선은 MME를 나타내며, 각 점들은 개별 GPC를 의미한다. 파란색으로 표시된 점은 ECWMF의 예측 성능을 나타낸다. T2m의 경우, WMO 장기예보 선도센터에서 생산하는 계절예측 MME는 2016년까지 개별 GPC에 비해 다소 높은 예측성능을 보이는 반면, 2017년과 2018년에는 AN과 BN 카테고리에서 GPC의 예측성능의 평균과 비슷한 값을 보인다. 이는 강수에서도 동일한 특성을 보이고 있다. 이에 대한 보다 상세한 분석을 통해 WMO 장기예보 선도센터에서 생산되는 MME 계절예측의 특성을 파악하고 이에 대한 원인을 분석한다면 보다 효율적인 MME 예측 시스템을 개발할 수 있을 뿐만 아니라 MME 예측성 향상 또한 기대할 수 있을 것으로 보인다.

표 2.2. 실시간 예측의 검증에 사용되는 재분석 자료

	NCEP-DOE Reanalysis-1	CAMS OPI	OISST v2
Source	NCEP/CPC	NCEP/CPC	NCEP/CPC
Variable	500hPa GPH (gpm), Sea level pressure (hPa), 2m temperature (K), 850hPa temperature (K)	Precipitation (mm/day)	Sea surface temperature (K)

표 2.3. Hindcast 검증에 사용되는 재분석 자료

	ERA-interim	GPCP	OISST v2
Source	ECMWF	NASA	NCEP/CPC
Variable	500hPa GPH (gpm), Sea level pressure (hPa), 2m temperature (K), 850hPa temperature (K)	Precipitation (mm/day)	Sea surface temperature (K)

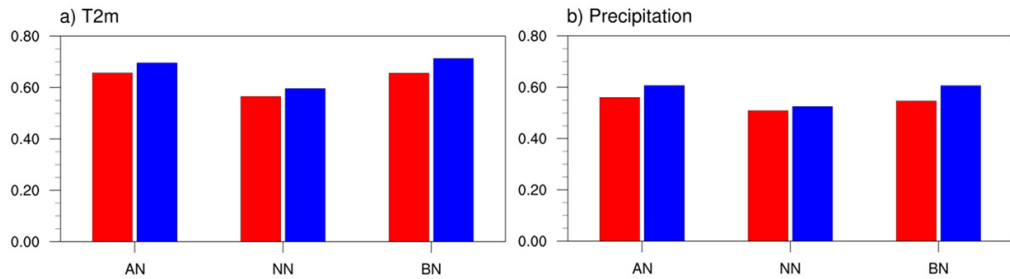


그림 2.4. APCC와 WMO 장기예보 선도센터에서 각각 생산된 실시간 PMME a) T2m과 b) 강수 예측의 카테고리별 ROC score의 시간 평균값으로, 실시간 예측의 기간은 JFM 2015 - DJF 2017이다.

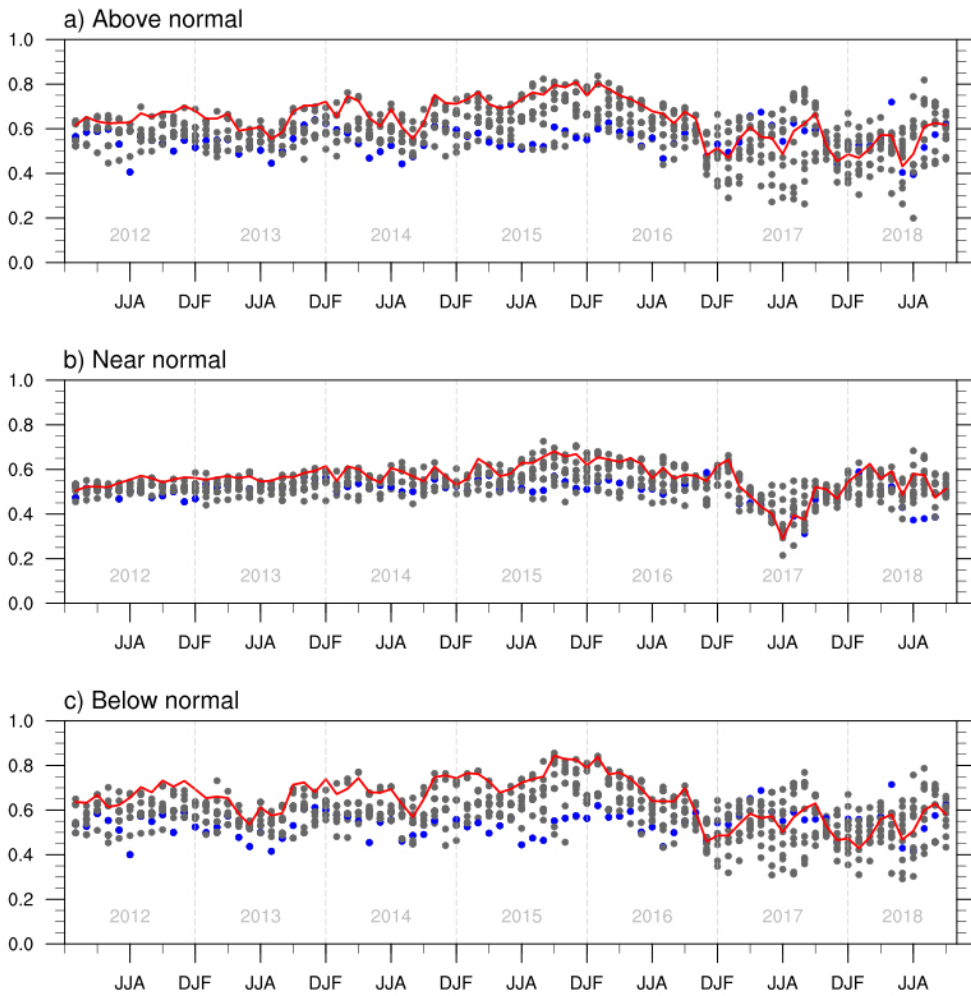


그림 2.5. WMO 장기예보 선도센터에서 개별 GPC(화색점) 및 다중모델앙상블(붉은실선)의 실시간 T2m 확률 예측에 대한 (a) above, (b) near, (c) below normal 카테고리별 ROC score의 시계열로, 실시간 예측의 기간은 JFM 2012-SON 2018이다. 파란색 점은 ECMWF를 나타냄.

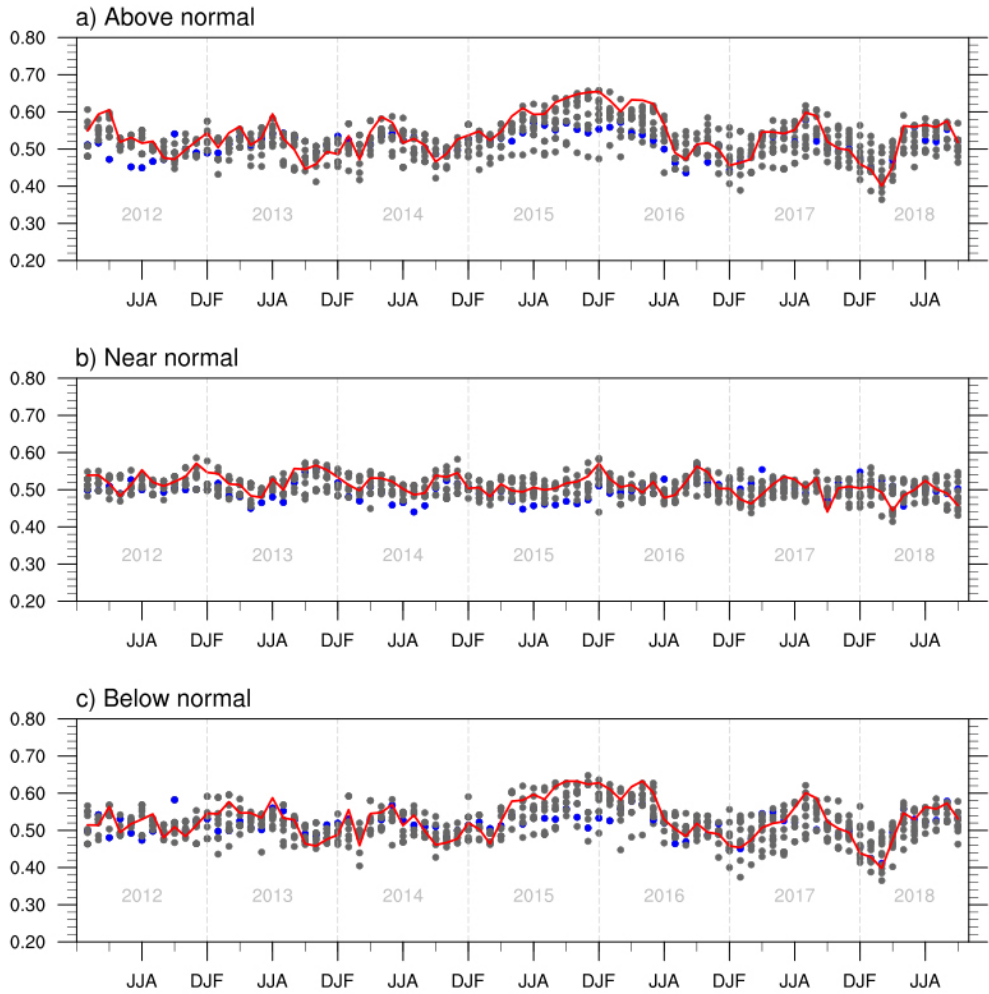


그림 2.6. WMO 장기예보 선도센터에서 개별 GPC(회색점) 및 다중모델앙상블(붉은실선)의 실시간 강수 확률 예측에 대한 (a) above, (b) near, (c) below normal 카테고리별 ROC score의 시계열로, 실시간 예측의 기간은 JFM 2012~SON 2018이다. 파란색 점은 ECMWF를 나타냄.

2.2 WMO 장기예보 선도센터 계절 예측 시스템 개선

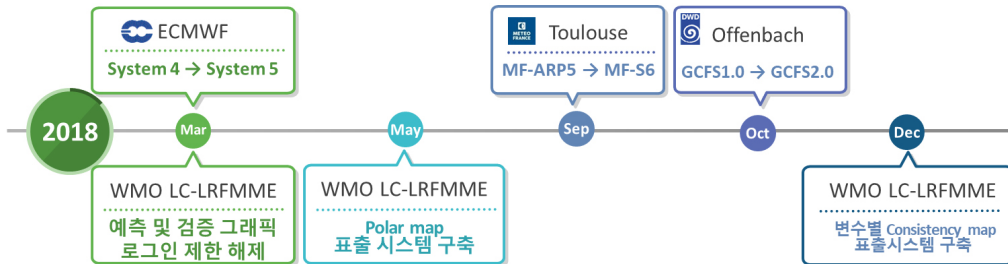


그림 2.7. 2018년 WMO 장기예보 선도센터 계절 예측 시스템 개선 사항

2.2.1 GPC 계절예측모델 업데이트 현황

WMO 장기예보 선도센터에 참여하고 있는 GPC는 지속적으로 계절예측시스템 개선하여, 계절예측의 정확도 향상을 위해 노력하고 있다. 각 GPC의 계절예측시스템 개선으로 인한 예측 성능 향상은 WMO 장기예보 선도센터 다중 모델 앙상블 예측성능 향상을 기대할 수 있을 것이다. 2018년에는 GPC ECMWF, Toulouse, Offenbach의 계절예측시스템이 개선되어 WMO 장기예보 선도센터 다중모델 앙상블 예측자료에도 반영되었다. ECMWF의 경우 2017년 11월에 System 4에서 System5로 개선되어 현업에서 운영하고 있었으나, WMO 장기예보선도센터에는 2018년 3월부터 적용되었다.

- ECMWF의 System 5는 System4와 비교했을 때 대기모델(IFS)과 해양모델(NEMO), 해양과 대기 초기장이 개선되었으며, 과거 재현 기간에 대한 앙상블 갯수도 15개에서 25개로 증가하였다. 또한 Sea ice 모델인 LIM2가 추가되었다. System 5에 대한 보다 상세한 모델 설명은 표2.4에 나타내었다.
- GPC Toulouse는 2018년 9월 MF-ARP5에서 MF-S6로 계절 예측 모델이 개선되었다. 개선된 MF-S6는 대기모형의 수평 해상도가 증가 하였으며, 해양모델 또한 개선되었다. 과거 재현기간의 앙상블 개수는 25개로 증가하였으며, 과거 재현기간은 1993년에서 2016년으로 현재의 기후 상태를 반영할 수 있도록 하였다. 표 2.5를 통해 상세한 개선 사항을 확인할 수 있다.
- 2017년 9월 WMO장기예보선도센터 다중모델 앙상블 예측시스템에 참여한 GPC

offenbach 계절예측 모델은 2018년 10월에 개선되어 WMO 장기예보 선도센터 다중모델 앙상블 예측시스템에 적용되었다. 개선된 GPC_offenbach 계절예측 모델은 기존 계절예측 모델에서 수평·공간 해상도를 증가시켰을 뿐만 아니라 기존의 과거 재현기간(1981~2015)에서 1990~2017년으로 변경하여 최근의 기후변동성을 반영하고자 하였다. 과거재현기간의 앙상블 개수를 기존 15개에서 30개로 증가하였으며, 실시간 예측기간의 앙상블 개수 또한 30개에서 50개로 증가하였다. 이에 대한 상세한 정보는 표2.6에 나타내었다.

표 2.4. GPC ECMWF의 계절예측시스템 개선 사항

	March 2007	November 2017
Is it a coupled forecast system?	Yes	
Is it a Tier-2 forecast system?	No	
Atmospheric model resolution	Spectral, T159/L62	Spectral, Tco319/L91 (horizontal resol. about 35Km)
Ocean model (if applicable)	HOPE	NEMO version3.4
Source of atmospheric initial conditions	ERA40 for the period 1981 to 2001 and ECMWF operational analysis from 2002 onwards.	ERA-interim for the period 1981 to 2016 and ECMWF operational analysis from 2017 onwards
Source of ocean initial conditions	Global Ocean Data Assimilation System	Global Ocean Data Assimilation System (NEMOVAR -OCEAN5)
If Tier-2, what is the source of SST predictions?	N/A	
Hindcast period	1981-2005	1981-2016 however the calibration period is: 1993-2016
Ensemble size for the hindcasts	11	25
How is the hindcast ensemble configured?	5-member ensemble ocean analysis combined with (neg/pos) SST perturbations and the activation of stochastic physics.	
Ensemble size for the forecast	41	51
How is the forecast ensemble configured?	5-member ensemble ocean analysis combined with 4 (neg/pos) SST perturbations and the activation of stochastic physics.	
Length of forecasts	7 months (four times a year 11 members are extended to 13 months)	
Data format	GRIB 1	
What is the latest date predicted anomalies for the next month/season become available?	15th of the current month.	
How are the forecast anomalies constructed?	Departures from the model climate estimated by the hindcast integrations	Departures from the model climate estimated by the hindcast integrations (1993-2016)
URL where forecast(maps) are displayed	http://www.ecmwf.int/products/forecasts/d/charts/seasonal/forecast	
Point of Contact	Laura Ferranti (l.ferranti@ecmwf.int)	

표 2.5. GPC Toulouse의 계절예측시스템 개선 사항

	June 2016	September 2018
Is it a coupled forecast system?	Yes	
Is it a Tier-2 forecast system?	No	
Atmospheric model resolution	Arpege-IFS cycle 37 T255L91	T359L91
Ocean model (if applicable)	NEMO3.2 1 degree resolution L42. Frequency of coupling is 24-hour.	NEMO v3.6 , ORCA 1° grid, 75 model levels. Frequency of coupling is 3 hours
Source of atmospheric initial conditions	ECMWF operational analysis (seedetailshereafter)	
Source of ocean initial conditions	Mercator-ocean analysis	
If Tier-2, what is the source of SST predictions?	N/A	
Hindcast period	1991-2014	1993-2016
Ensemble size for the hindcasts	15 members	25 members
How is the hindcast ensemble configured?	1 atmospheric condition from ERA-Interim - 1 oceanic condition from Mercator analysis, ensemble generation by stochastic dynamics technique (Batté and Déqué 2016).	
Ensemble size for the forecast	51 members	
How is the forecast ensemble configured?	generated by a stochastic dynamics technique in addition to using a lagged initialization	
Length of forecasts	7 months	
Data format	GRIB 2 or ascii for digital data Giffographics	
What is the latest date predicted anomalies for the next month/season become available?	8th of each month	
How are the forecast anomalies constructed?	Departures from the model climate estimated by the hindcast integrations	
URL where forecast(maps) are displayed	http://elaboration.seasonal.meteo.fr/ (passwordprotected)	http://seasonal.meteo.fr
Point of Contact	JM Soubeyrou (Jean-Michel.soubeyrou@meteo.fr) Jacques Richon (Jacques.richon@meteo.fr) Christian Viel (Christian.viel@meteo.fr)	

표 2.6. GPC Offenbach의 계절예측시스템 개선 사항

	May 2015	October 2018
Is it a coupled forecast system?	Yes	Yes, ECHAM6.3.04, MPIOM1.6.3 plus submodels
Is it a Tier-2 forecast system?	No	
Atmospheric model resolution	T63 (1.875°x1.875°) L47	T127, corresponding to 0.9°x0.9° or ~100 km on regular Gaussian grid
Ocean model (if applicable)	GR15, corresponding to 1.5° in the tropics	TP04 corresponding to 0.4° on a tripolar grid
Source of atmospheric initial conditions	ERA Interim	ECMWF ERA-interim (for hindcasts), ECMWF IFS analyses (for forecasts)
Source of ocean initial conditions	ORAS4	ECMWF ORA-S5 (both hindcast/forecasts)
If Tier-2, what is the source of SST predictions?	NA	
Hindcast period	1981-2015	1990-2017
Ensemble size for the hindcasts	15	30
How is the hindcast ensemble configured?	Bred vectors in the ocean, physics perturbation in the atmosphere	Bred vectors in the ocean for 3D temperature and salinity & perturbed physical parameters in the atmosphere
Ensemble size for the forecast	30	50
How is the forecast ensemble configured?	Same as hindcast ensemble	
Length of forecasts	1 year	6 months
Data format	Netcdf, but GRIB 1 one also be possible	
What is the latest date predicted anomalies for the next month/season become available?	12 th of month	8 th of each month
How are the forecast anomalies constructed?	Lead time dependent subtraction of the hindcast climatology from each forecast member	Departures from the model climate estimated by the hindcast integrations
URL where forecast(maps) are displayed	http://www.dwd.de/EN/ourservices/seasonals_forecasts/charts.html?nn=495490	www.dwd.de/seasonalforecasts
Point of Contact	jahreszeiten.vorhersage@dwd.de kristina.froehlich@dwd.de	jahreszeiten.vorhersage@dwd.de, kristina.froehlich@dwd.de;andreas.paxian@dwd.de;katharina.isensee@dwd.de

2.2.2 홈페이지 그래픽 공개

WMO 장기예보 다중모델 앙상블 선도센터는 장기예측 자료 수집 및 표준화 그리고 MME 기술 정보 교환을 위해 웹 기반의 홈페이지를 통한 정보교환 시스템을 구축하여 운영 중에 있다. WMO 장기예보 선도센터 홈페이지에는 장기예보 선도센터의 역할과 연혁, 다중모델 앙상블 기술 정보, 개별 GPC 및 MME 예측, 검증결과에 대한 다양한 형태의 예측정보를 제공하고 있다. 그러나 각 자료들은 홈페이지 회원 가입시 부여 받은 등급에 따라 제한적으로 제공되고 있었다. 회원 등급에 따라 이용 가능한 정보는 그림 2.8과 같다.

Membership Grade		A (GPCs)	B (NMHSs and RCCs)	C (Others)
Digital data	Upload	○		
	Download	○	○	
Image plots	Upload			
	Download	○	○	○
Multi-model ensemble image plots		○	○	○

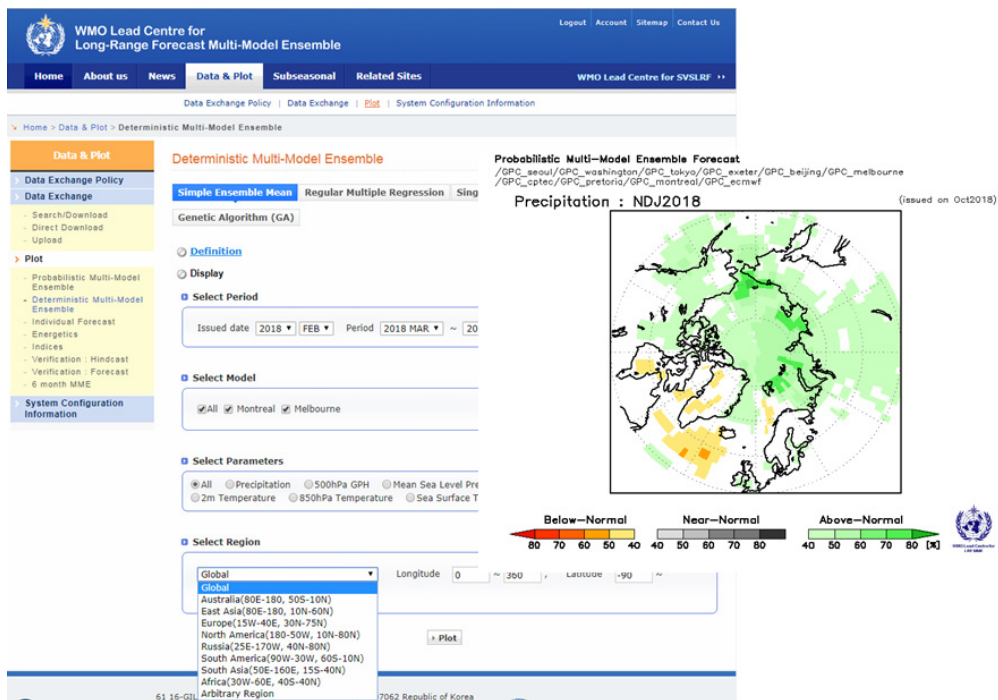
그림 2.8. WMO 장기예보 선도센터 회원 등급별 이용 가능한 그래픽 및 디지털 예측정보

그러나 2018년 3월부터 WMO 장기예보선도센터 활용성 증대를 위해, 13개 GPCs와 다중모델 앙상블 예측 및 검증 그래픽은 모든 사용자가 사용 가능하도록 공개하였다. 하지만, digital 자료의 다운로드와 업로드는 13개 GPCs에 한해 가능하며, Digital 자료의 다운로드는 지역기후센터와 NMHSs 만 가능하다.

2.2.3 Polar Map 표출 시스템 구축

2017년 9월 WMO Global Review of RCOF Workshop에서 기후변화로 인한 극지역의 예측정보의 중요성이 확대되면서 Polar Stereographic map 추가에 대한 공식적

인 요청이 있었다. WMO 장기예보 선도센터는 13개 GPCs와 다중 모델 앙상블 예측 자료에 대한 Polar map 표출 시스템을 구축하였다. 따라서 사용자들에게 WMO 장기예보 선도센터 홈페이지를 통해 제공되고 있던 다양한 형태의 Map 정보와 더불어 Polar Map에 대한 계절 예측 정보를 제공하였다. 이는 WMO 장기예보 선도센터 홈페이지 사용자의 요구를 충족시킬 뿐만 아니라 보다 다양한 서비스를 통한 기후정보의 사회적 가치 증대에 이바지 할 수 있을 것이다. 그림 2.9는 현재 WMO 장기예보 선도센터 홈페이지에서 제공되고 있는 Polar map 표출시스템을 나타낸다.



Arctic 추가

그림 2.9. Polar Map 표출 시스템 구축 예시

2.2.4 변수별 Consistency map 표출 시스템 구축

WMO 장기예보 선도센터에서 제공하는 그래픽 형태의 개별 GPCs, DMME, PMME의 예측 정보는 사용자의 선택에 의해 개별 변수 별로 팝업 창을 통해 정보를 확인 할 수 있을 뿐만 아니라 'GIF' 파일의 형식으로 다운받을 수 있다. 그러나 현재 추가적으로

제공되고 있는 Consistency Map과 SST Plume은 홈페이지의 팝업 창이 아닌 'pdf'파일의 형식으로 제공되고 있어 홈페이지 사용자는 자료를 다운 받은 후 정보를 이용해야 한다. 특히 Consistency Map의 경우, 사용자가 한 변수에 대한 정보만을 원할 지라도 전체 자료를 다운 받아 추출해야하는 번거로움이 존재한다. 이러한 불편함을 개선하기 위해 WMO 장기예보 선도센터에서는 Consistency Map을 변수별로 팝업 창을 띄우고, 사용자가 필요할 경우에는 그림 파일의 형식으로 저장할 수 있게 Consistency Map 표출 시스템을 개선하였다. 그림 2.10은 기존 WMO 장기예보 선도에서 제공되었던 Consistency Map과 2018년 새롭게 구축된 변수별 Consistency Map 표출 시스템의 예시를 나타낸다.

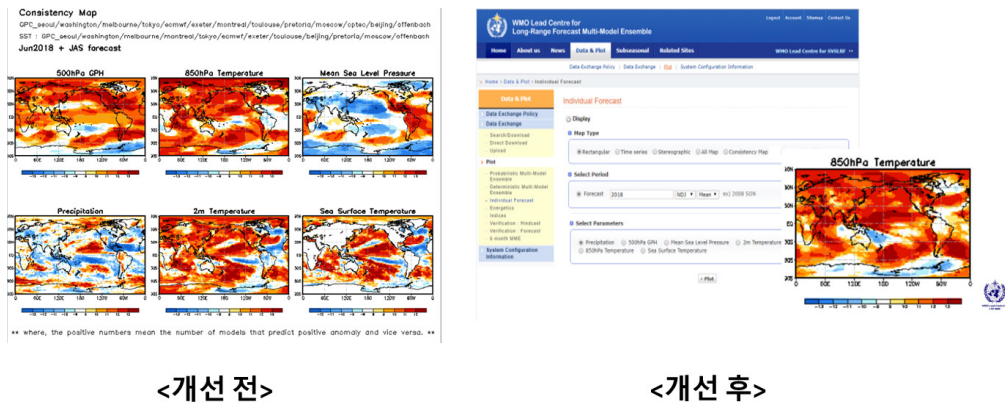


그림 2.10. 변수별 Consistency Map 표출 시스템 예시

2.3 WMO 장기예보 선도센터 계절 예측 자료 제공

기상청은 현재 1개월 및 3개월 전망 발표를 통해 주별·월별 기압계 동향 및 전망, 기온 강수량 예보 등을 발표하고 있다. 3개월 전망 자료 생산을 위한 참고자료로는 통계 분석 모델, 기상청 계절예측 현업 모델 뿐만 아니라 엘니뇨/라니냐의 감시 및 예측 정보등 다양한 예측 정보를 활용하고 토의한다. 그 중 WMO 장기예보 선도센터의 3개월 MME 예측자료는 기상청 3개월 전망을 위해 중요한 자료로 활용되고 있다. 따라서 WMO 장기예보 선도센터는 매일 3개월 전망을 위한 기상청 및 유관기관의 내부 토의를 위해 다양한 예측 콘텐츠(기온, 강수량, 지위고도)를 생산한다. 또한 그림 2.11과 같이 한반도 영역에

대한 각 개별 GPC 및 MME 예측 결과표를 생산하여 기상청의 3개월 전망 의사결정을 위해 매달 자료를 제공하고 있다.

WMO 장기예보 선도센터는 WMO 주관으로 지역별 기상청과 전문가들이 합의된 기후 전망을 제시하고, 이와 관련된 다양한 응용 분야(농업, 식량안보, 수자원, 공중보건 등)의 전문가와 의견을 교환하기 위해 마련되는 다양한 지역기후포럼(Regional Climate Outlook Forum, RCOF)에 참석한다. 기상청 기후예측과와 APCC는 RCOF회의에서 맞춤형 MME 예측자료를 제공하고 장기예보 선도센터 자료의 활용도를 향상시키고 국제 협력과 장기예보 선도센터의 입지를 강화시키기 위해 노력하고 있다. 이를 위해 2012년부터 매년 다양한 지역기후포럼에 APCC와 기상청의 기후예측과에서 참석하여 WMO 장기예보 선도센터의 MME 예측결과를 지역 전문가들과 공유하고 있으며, 2018년에는 총 5개의 지역기후포럼에 MME 기후예측결과를 제공하였다(표 2.7). 상반기에는 FOCRAII와 SASCOF-12에 WMO 장기예보 선도센터 MME 예측자료를 제공하였으며, 특히 FOCRAII는 기상청 기후예측과에서 참석하여 예측결과를 발표하였으며, SASCOF-12는 전자메일을 통해 지역기후포럼 담당자에게 예측 결과를 제공하였다. 하반기에는 SASCOF-13, ASEANCOF-11, EASCOF-6에 MME 예측자료를 제공하였다. 이 중 ASEANCOF-11과 EASCOF-6는 APCC가 참석하여 WMO 장기예보 선도센터 자료를 이용한 예측결과를 발표하였으며, SASCOF-13은 WMO 장기예보 선도센터의 예측자료를 전자메일로 제공하여 지역별 합의된 기후전망 도출을 위한 참고자료로 이용할 수 있도록 하였다.

3 month Outlook (2018Dec-2019Feb)

Issued Date : 2018.11.16

GPCs		2m Temp.						Prec.					
		Dec		Jan		Feb		Dec		Jan		Feb	
GPC	Seoul	0/+		+		+		0		0		0	
		EQ		47% (+)		50% (+)		45% (+)		EQ		EQ	
	Melbourne	0		0		0		0/+		0/+		0/+	
		45% (0)		40% (-)		EQ		45% (+)		46% (+)		43% (+)	
	ECMWF	0/+		+		+		0		0		0	
		EQ		49% (+)		49% (+)		EQ		42% (+)		EQ	
	Montreal	0/+		0/+		0		0/+		0/+		0	
		42% (+)		70% (+)		46% (+)		EQ		53% (+)		EQ	
	Moscow	0/-		0		-		0/-		0		0	
		49% (-)		EQ		80% (-)		43% (-)		59% (0)		42% (-)	
	CPTEC	+		0		+		0		0		0	
		91% (+)		40% (+)		56% (+)		45% (+)		47% (0)		41% (-)	
	Beijing	0/+		0/+		0		0		0		0	
		46% (+)		48% (+)		EQ		EQ		41% (+)		EQ	
	Toulouse	+		0/+		0		0		0		0	
	Washington	+		+		+		0		0		0	
		49% (+)		55% (+)		66% (+)		42% (+)		EQ		41% (0)	
	Exeter	0/+		+		+		0		0		0	
		EQ		56% (+)		51% (+)		41% (+)		EQ		EQ	
Tokyo	0/+		+		0/+		0		0		0		
	40% (0)		47% (+)		EQ		EQ		EQ		41% (0)		
Pretoria	+		+		+		0		0		0/-		
	86% (+)		73% (+)		72% (+)		43% (+)		45% (-)		57% (-)		
Offenbach	+		0/+		+		0		0		0		
	52% (+)		EQ		55% (+)		45% (+)		EQ		42% (0)		
SCM		0/+		+		0/+		0		0		0	
PMME		+		+		+							
		48%		49%		49%		EQ		EQ		EQ	
Summary of GPCs except for SCM, PMME		A	5	A	6	A	7	A	0	A	0	A	0
		+N	6	+N	4	+N	1	+N	2	+N	2	+N	1
		N	1	N	3	N	4	N	10	N	11	N	11
		-N	1	-N	0	-N	0	-N	1	-N	0	-N	1
		B	0	B	0	B	1	B	0	B	0	B	0

그림 2.11. 기상청 3개월 한반도 기후전망을 위해 생산되는 기후예측표의 예시

표 2.7. 2018년 RCOF 참석 및 자료 제공 현황

RCOF	Place	Date
Thirteenth Session of the Forum on Regional Climate Monitoring-Assessment-Prediction for Asia (RAII) (FOCRAll)	Nanning, China	24-26 April 2018
Twelfth Session of the South Asian Climate Outlook Forum (SASCOF-12)	Pune, India	19-20 April 2018
Thirteenth Session of the South Asian Climate Outlook Forum (SASCOF-13)	Colombo, Sri Lanka	26-28 September 2018
Eleventh Session of ASEAN Climate Outlook Forum (ASEANCOF-11)	Kuala Lumpur, Malaysia	29 October-1 November 2018
EASCOF-6	Seoul, Korea	7-9 November, 2018

WMO에서는 자연재해 감소를 위해 지난 10여 년간 El Nino/La Nina Update를 발간하여 열대 태평양의 해수면 온도 변화에 관한 감시·전망 자료를 지속적으로 제공해 왔다. 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 및 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.

The screenshot shows the WMO website's 'Latest Global Seasonal Forecasts' page. It features two maps: 'Seasonal mean surface air temperature forecast' and 'Seasonal mean precipitation forecast'. Below the maps is an interpretation section explaining the color coding and probability indicators used in the forecasts. An arrow points from the maps to the text 'WMO 장기예보 선도센터 제공'.

Interpretation: The map in the left-hand panel shows the spatial pattern of seasonal mean surface air temperature forecast probabilities. Probabilities are calculated for the average mean temperature for the season being in the highest third (above-normal or warm), middle third (normal) or lowest third (below-normal or cold) ranges of the baseline record (1993-2009) at each location. Colour code is indicated only for the category that has the highest probability of occurrence. For example, for regions highlighted in red, the seasonal mean surface air temperature forecast indicates that the most likely forecast category to occur is warmer than normal. Similarly, the blue color highlights regions where the seasonal mean surface air temperature forecast indicates that the colder than normal category is most likely, while gray color highlights regions where the seasonal mean temperature forecast indicates the near normal category as most likely. Deeper shades of colors highlight increasing probability for the seasonal mean temperature to be in the indicated category. White areas indicate equal chances for all categories.

그림 2.12. WMO 홈페이지를 통한 WMO 장기예보 선도센터 계절예측 자료 제공 예시

또한 2018년 12월부터 WMO 장기예보 선도센터에서 매달 생산되는 PMME 계절 예측 결과는 그림 2.12과 같이 WMO 홈페이지를 통해 정보를 제공하고 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.

또한 WMO 장기예보 선도센터 홈페이지를 사용하는 실제 회원들의 다양한 의견과 요구 사항을 수렴하여 보다 객관적인 서비스 수준을 진단하고 개선하여 실용적으로 효율적인 서비스를 제공하기 위해 2018년 9월 1일부터 11월 30일까지 총 3개월 동안 홈페이지 사용자(비회원 포함)를 대상으로 만족도 조사가 진행되었다. 설문은 WMO 장기예보 선도센터 홈페이지의 팝업창을 통한 전자 설문으로 이루어졌으며, 홈페이지 서비스 종합 만족도를 10문항(자료 활용 목적, 활용도 높은 자료 등)으로 구성하여, 항목별 7점 척도로 측정 후 100점 기준으로 환산하였다. WMO 장기예보 선도센터 2018년 만족도 조사 결과는 부록 2에 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 계절내 시간 규모로 확장하는 요구가 국제 사회에서 지속적으로 제기되고 있다. 2011년에 열린 Sixteenth World Meteorological Congress(Cg-XVI)에서는 계절내 시간 규모까지 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-OPSLs) 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-OPSLs)의 TT3 회의 결과에 따라 5개의 GPC(Beijing(CMA), Exeter(UKMO), Melbourne(BoM), Montreal(ECCC), Seoul(KMA))의 참여가 확정되었으며, 예측변수의 추가 등이 결정되었다. 2017년에는 hindcast 기간 연장과 모델 특성변경에 따른 수정, 활용가이드 및 홈페이지 안내페이지 개선, 기후값 계산방법 변경 등을 작업을 수행하였다.

2018년에도 계절내 MME 예측시스템을 계속적으로 시범운영 하고 있으며, 안정적인

예측결과 생산을 위해 자료수신 속도 향상을 위한 프로그램 개선이 이루어 졌다. 또한 GPC Seoul 예측자료가 안정적으로 제공되면서 MME 예측에 GPC Seoul 예측결과를 포함하였다.

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, Seoul, Tokyo, Washington 자료가 계절내 MME에 사용되고 있으며, 예측에 사용된 8개 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 설명은 ECMWF S2S data portal 웹사이트의 모델 설명 부분에서 (<https://software.ecmwf.int/wiki/display/S2S/Models>) 확인할 수 있다.

표 3.1. WMO 장기예보 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	1993-2016
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	1998-2017
Seoul (KMA)	daily	0-60 days	4	4/month (1,9,17,25)	3	1991-2010
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 예측 시작시간을 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
Merge 7days data					→		Seoul
	→						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, Seoul 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 예측결과에 예측성이 높았다(본 보고서에는 포함하지 않음). 즉 계절내 MME에 사용되는 Beijing과 Exeter의 예측자료는 MME 예측이 시작되기 2주전의 토요일부터 1주전 금요일에 예측된 자료를 평균하여 사용한다.

계절내 MME 예측을 수행함에 있어서 또 하나의 중요한 이슈는 hindcast 자료의 선택과 모델의 기후값 계산 방법이다. 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 이상적이다. 하지만 일부 GPC(Exeter, Melbourne, Seoul, 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, 그 외 Exeter와 Melbourne, Seoul, Tokyo의 경우 forecast 시작날짜와 가장 가까운 날짜의 hindcast 자료가 선택된다. Beijing과 Exeter, Seoul 예측자료와 같이 7일간의 예측결과를 합쳐서 사용하는 경우 hindcast 자료의 선택 기준은 가장 마지막 날짜(1주전 금요일)의 forecast 예측 시작날짜로 정하였다. 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
Seoul (KMA)	2 weeks ago Sat - last Fri	4(10)-45(51) days	28 (4*7)	Closest date to fcst	3	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 3.1에서 보인 바와 같이 각 GPC 모델별로 MME 예측에 사용가능한 예측결과의 길이는 4주에서 6주까지 다양하다. WMO 장기예보 선도센터 계절내 예측은 최대 6주간의 예측을 수행하고 있으며, MME 예측은 참여모델의 일관성을 유지하는 방향보다는 최대한 많은 모델의 예측결과를 사용하는 방향으로 구축을 하였다. 그 결과 4주 예측에서는 8개 GPC의 예측결과를 모두 사용하지만 6주 예측에서는 표 3.3에서와 같이 5개만을 사용한다.

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, Seoul, Tokyo, Washington
5 weeks	Beijing, ECMWF, Exeter, Melbourne, Seoul, Washington
6 weeks	Beijing, ECMWF, Exeter, Melbourne, Seoul

WMO 장기예보 선도센터에서는 계절내 MME 예측방법으로 SCM 방법과 PMME 방법을 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).

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

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

여기서 i 는 각 GPC를 나타내고, m 은 각 GPC 내 이상불 멤버이며, A_i 는 각 GPC의 anomaly 이상불 평균을 뜻한다. M_i 는 각 GPC의 이상불 멤버 수를 나타내고, F_m 은 이상불 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 GRIB1 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 예측값이 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 PMME에 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 검증을 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, Seoul 	<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, Seoul 	<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 장기에보 선도센터 계절내 예측 시스템 개선사항

3.3.1 GPC 예측자료 수신 속도 향상

앞서 설명한 바와 같이 WMO 장기에보 선도센터 계절내 예측을 위한 자료는 ECMWF S2S data portal에서 자료를 수신하고 있으며, 이 자료는 ECMWF Meteorological Archival and Retrieval System(MARS)에 속해 있으며, 관련 정책의 적용을 받는다. MARS에서 자료를 받기 위해서는 ECMWF Web API 프로그램을 사용해야 하며, ECMWF Web API로 자료를 요청 할 경우 한 계정당 3개의 작업만 대기열에 올릴 수 있다. 또한 MARS에서 제공하는 다른 자료들과 자료수신을 위한 자원을 공유하고 있으며, 총 활성화 되는 150개의 작업 중 S2S 수신을 위한 할당은 최대 12개로 제한된다. 따라서 S2S 자료 수신을 위한 요구가 큰 폭으로 증가하는 경우 한 번의 자료수신 작업에 최대 30분에서 1시간 이상 소모되는 경우가 빈번하게 발생하였다. 반면 MARS 서버에서 자료를 내려받는 속도는 1.5MB/s 내외로 꾸준히 유지되며, 한번의 작업에서 내려받는 파일의 크기는 2MB에서 130MB 정도에 불과하다.

매주 많은 양의 계절내 예측자료를 수신하여 MME 예측을 수행해야 하지만 이처럼 자료수신 작업이 제시간에 처리되지 못하면 계절내 예측시스템 운영에 큰 차질이 발생한다.

다. 앞서 살펴본 바에 따르면 전체적인 예측자료 수신 시간을 줄이기 위해서는 작업요청 횟수를 줄이는 방향이 보다 효과적이라는 것을 알 수 있다. 그림 3.3은 WMO 장기예보 선도센터에서 수신하는 계절내 예측자료를 수신 방법에 따라 분류한 것이다. 먼저 각 GPC 별로 forecast 자료와 hindcast 자료를 각각 수신하여야 하며, 이때 Forecast 자료는 1주일에 한번 수신 하는 경우와 Beijing과 Exeter, Seoul처럼 매주 7일의 예측자료를 모두 수신하는 경우로 나눌 수 있다. 그리고 Hindcast 자료는 모든 GPC에서 공통기간인 12년을 모두 수신하여야 하며, forecast와 hindcast 모두 모든 변수에 대해서 control과 perturbed 예측결과를 수신한다. 여기서 변수에 따라 surface와 pressure level 변수로 나눌 수 있으며, 이 두 경우의 자료수신 요청 설정 방법이 차이가 난다. 또한 control과 perturbed 예측결과를 수신하는 경우에도 자료수신 요청 방법의 차이가 존재한다. 따라서 한번의 요청으로 최대한 많은 자료를 수신하기 위한 방법으로 그림 3.3에 붉은 색 사각형으로 표시한 부분을 한 묶음으로 처리하여 한번에 내려받고 WMO 장기예보 선도센터 현업서버에서 날짜별로 다시 파일을 분리하는 방식을 사용하도록 시스템을 개선하였다. 즉 forecast 자료 중 7일간의 예측 시작날짜만 변경되는 경우와 hindcast 자료에서 예측 년도만 변경되는 부분을 합쳐서 한번에 요청하며, 이 경우 내려받은 후 분리도 비교적 간단하게 이루어지게 된다.

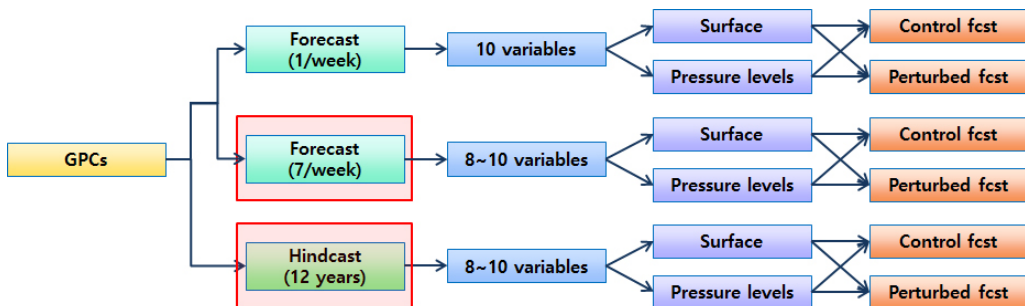


그림 3.3. 계절내 예측 자료의 수신 방법 및 설정에 따른 분류도

결과적으로 Beijing과 Exeter, Seoul의 forecast 자료수신은 대략 7배 향상되었으며, hindcast 자료수신도 약 12배 증가하였다. 또한 계절당 3개씩 주어지는 대기열에 여유가 생겨서 다른 GPC의 예측결과 수신도 원활하게 이루어지게 되었다. 이를 통해 매주 일요일에 내려받는 모델(ECMWF, Washington, Tokyo, Melbourne, Montreal) 자료를 지연

없이 제시간에 내려받을 수 있게 되었으며, 7일 예측 결과를 모두 받기 때문에 자주 누락되던 Exeter, Seoul 자료도 월요일 또는 화요일 MME 예측 시 참여율이 높아지게 되었다.

3.3.2 GPC Seoul 추가

GPC Seoul 예측자료는 2016년 11월 1일 예측결과부터 생산하고 있으며, 2017년 초반부터 자료를 수신할 수 있도록 제공하고 있다. 하지만 2017년에는 잦은 자료 누락과 Z500 변수의 오류로 인해 현업화를 연기하였으며, 이후 예측자료 제공이 안정적으로 이루어진 이후인 2018년 1월부터 누락되었던 과거 예측결과 자료를 재수신하고, 2018년 5월부터는 본격적으로 MME 예측에 포함하도록 하였다. 관련해서 그림 3.4에 나타난 바와 같이 WMO 장기예보 선도센터 홈페이지의 계절내 예측결과 제공 페이지에도 GPC Seoul 예측결과를 따로 볼 수 있도록 수정하였다. 또한 그림 3.5는 신규로 추가한 GPC Seoul 예측결과 중 예시이다.

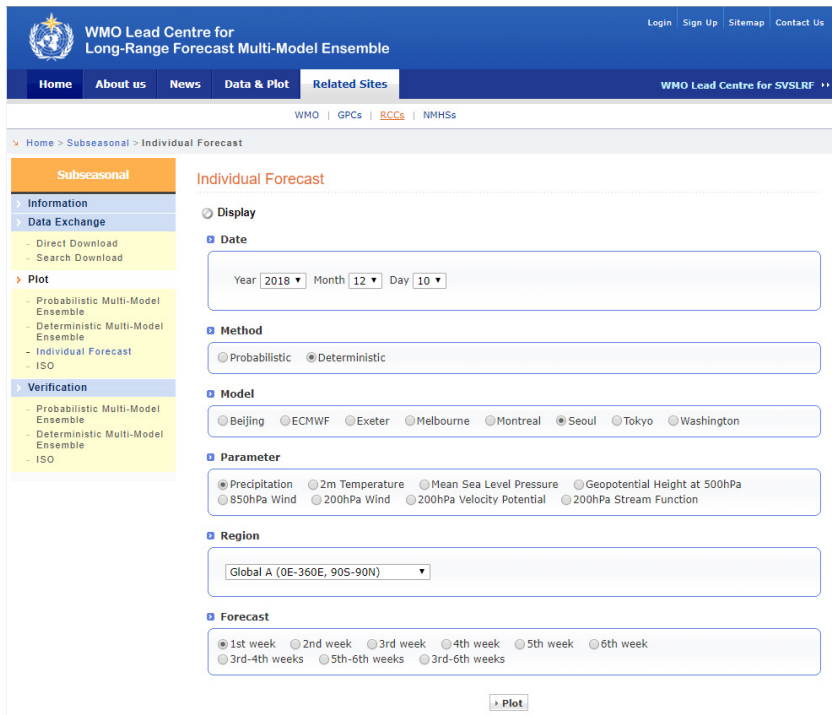


그림 3.4. WMO 장기예보 선도센터 홈페이지 계절내 예측결과 제공 메뉴 내 개별 모델 예측결과 제공 페이지에서 GPC Seoul 선택 가능하도록 추가

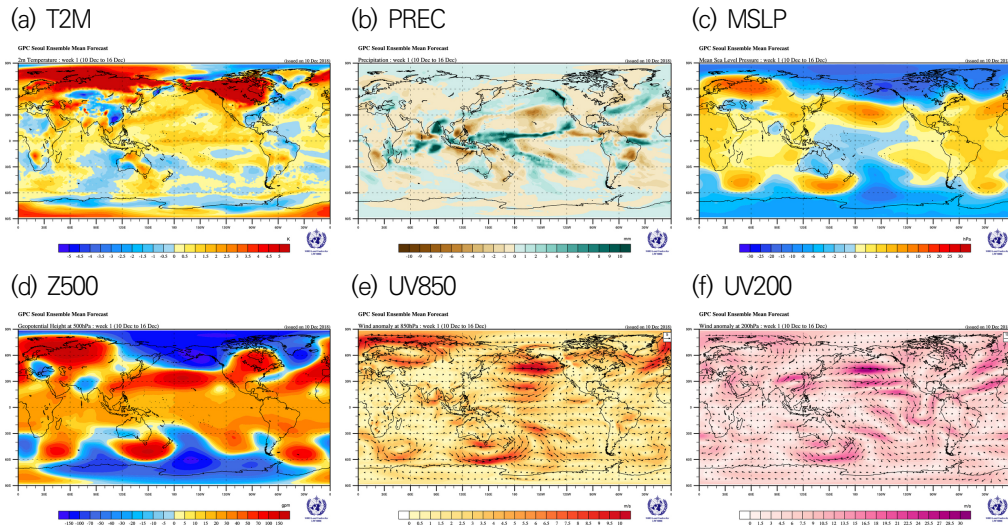


그림 3.5. WMO 장기예보 선도센터 홈페이지에서 제공되는 GPC Seoul 예측결과 예시. 각각 Global 영역의 (a) T2M, (b) PREC, (c) MSLP, (d) Z500, (e) UV850, (f) UV200 예측결과

2017년도에 본과제 수행중 발견된 Z500 변수의 오류는 대부분 해결되었지만 여전히 일부날짜에서 오류가 남아있는 것으로 파악되었다. 현재 수정을 요청한 상태이며, 분석과 예측결과 표출에서는 당분간 관련 부분을 제외하도록 하였다.

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 2018년 9월 17일 사이에 예측한 것이며, 검증 대상은 개별 GPC 및 MME 예측 결과이다. 검증기간을 2018년 9월17일로 제한한 이유는 검증기준자료로 선택한 ERA-Interim 자료가 분석하는 시점에서 2018년 10월말 까지 제공되기 때문이다. 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. 반면 forecast 예측결과는 MME 참여를 전제로 예측에서 제외되는 초기 선행시간이 일정하고, 모델별 차이가 적다. 또한 142회 정도 되는 예측결과를 바탕으로 분석하기 때문에 각 모델간의 예측특성을 충분히

보여줄 수 있다고 판단된다. 검증 변수는 2 meter temperature(T2M)와 24 hour accumulated precipitation(PREC), mean sea level pressure(MSLP), geopotential height at 500hPa(Z500)이며, 검증 영역으로는 Global 영역에 대한 결과만을 제시하도록 하겠다. 또한 ERA-Interim 자료의 기후값은 계절내 예측 모델의 공통 hindcast 기간과 동일한 1999년부터 2010년까지로 정하였다. 참고로 주별 평균한 예측결과 생산을 위해 예측 시작 기준을 월요일로 정하면서 모델의 실제 예측 시작날짜부터 약 4일 정도의 예측 선행시간 결과가 생략된 검증결과이므로 분석에 유의하여야 한다.

3.4.1 계절내 예측결과의 ACC 검증

먼저 전구영역에 대한 anomaly correlation coefficient(ACC) 검증을 하였다. 그림 3.6은 4개 변수의 전구영역 일평균 예측결과에 대한 ACC 검증결과를 각 GPC 및 SCM 예측결과별로 검증기간 전체에 대해서 평균하여 나타낸 것이다. 변수별로 예측성을 비교해보면 일반적으로 알려진 바와같이 PREC 변수의 예측성은 다른 변수에 비해 예측 초기에도 ACC 값이 0.2 이상 낮게 나타났으며, 나머지 세변수의 ACC 결과는 비슷한 결과를 나타내었다. 모든 변수와 선행시간에서 검은색 실선으로 표시한 SCM과 붉은색 실선으로 표시한 ECMWF 예측의 ACC 값이 뚜렷하게 높게 나타났으며, 푸른색의 Melbourne과 남색으로 표시한 Beijing 모델은 상대적으로 ACC 값이 낮게 나왔다. 그림 3.6 그래프에서 가로로 그어진 붉은색 직선은 모델간의 예측성을 비교하기 위해 임의로 정한 특정 ACC값(0.5, 0.3)을 나타낸다. Z500 변수의 ACC 값이 0.3보다 높을 때의 가장 긴 예측 선행시간을 모델별로 비교하면, SCM과 ECMWF가 12일로 가장 길며, 그 다음은 Exeter가 11일로 나왔다. Seoul과 Montreal은 10일이며, Washington과 Tokyo는 9일, Melbourne과 Beijing이 7일로 나타났다.

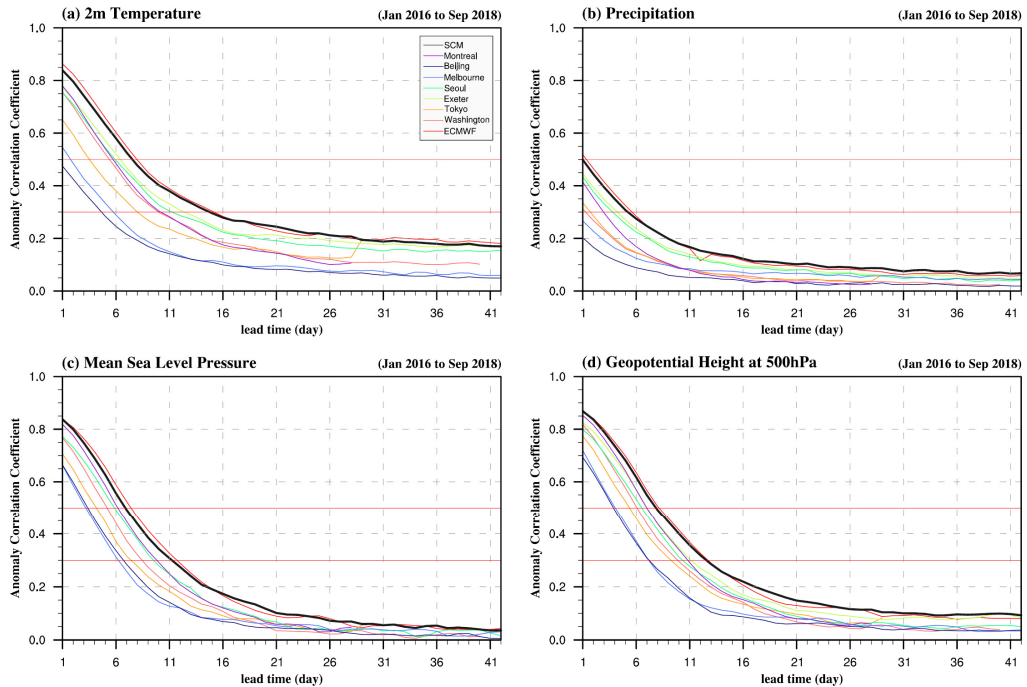


그림 3.6. (a) 2m 기온과 (b) 강수량, (c) 해면기압, (d) 500hPa 지위고도의 일평균 예측결과 대한 Global 영역(-90°N~90°N, 0°E~360°E)에서의 아노말리 상관계수. 검은색 선은 SCM 예측에 대한 검증결과이다.

비교적 예측성이 우수한 SCM과 ECMWF 예측의 ACC 검증 결과를 보면, 예측 선행시간이 약 16일 이전까지는 ECMWF의 ACC 값이 높게 나타났으며, 그 이후 선행시간의 예측은 SCM의 결과가 더 우수한 것을 알 수 있다. 이러한 특징을 보았을 때, 2주 이상의 계절내 규모의 예측에서 예측성을 향상시키기 위해서는 MME 기법을 활용하는 것이 유용하다는 것을 보여준다.

실제 WMO 장기에보 선도센터에서 계절내 예측을 표출하는 단위인 주별 평균 예측결과에 대한 검증은 그림 3.7에 나타내었다. ACC 검증 결과는 그림 3.6의 일단위 예측결과와 매우 유사한 모습을 보여주며, 같은 예측 선행시간에서의 ACC 값은 0.1 내외로 약간 높은 것으로 나타났다. 주별 평균 예측에서도 SCM과 ECMWF 검증값이 다른 모형에 비해 뚜렷하게 높으며, 1주와 2주 예측에서는 ECMWF가 예측성이 높으며, 3주와 4주 예측에서는 비슷하거나 SCM이 예측성이 ECMWF보다 우수하였다.

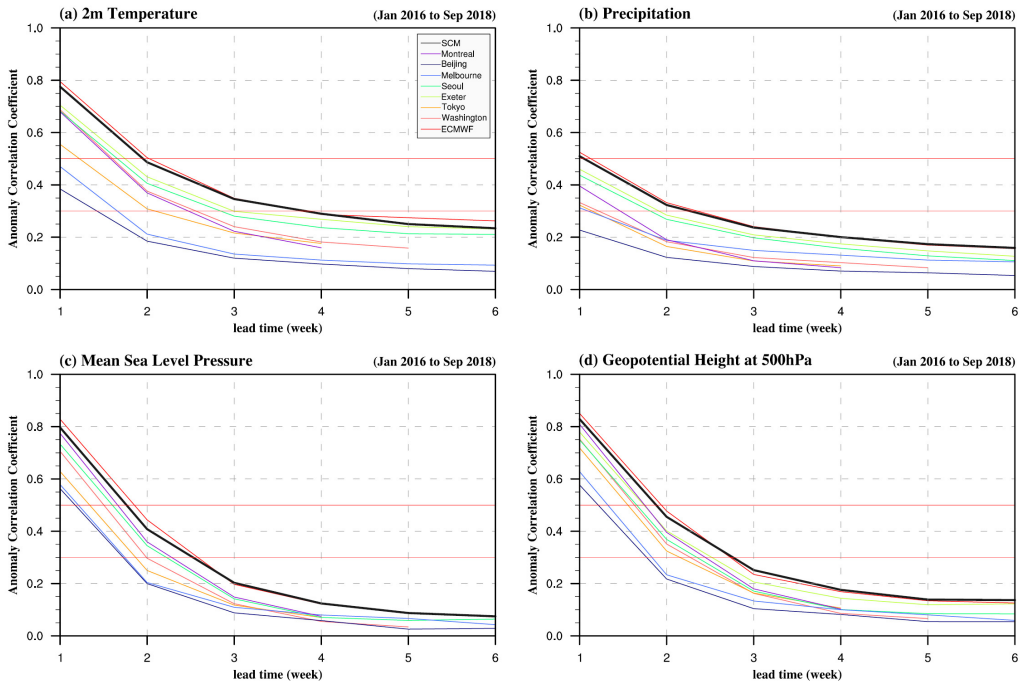


그림 3.7. 그림 3.6과 동일하며, 주별 평균한 예측에 대한 검증결과

그림 3.8과 그림 3.9는 변수와 각 GPC 모델별로 예측성의 변화 경향을 파악하기 위해 각각 1주와 3주 예측 선행시간의 주별 평균 예측결과에 대한 ACC 검증 결과를 시계열로 나타낸 것이다. 매주 나오는 검증결과를 그대로 표출하였을 시 검증값의 변동폭이 크게 나타나서 분석에 어려움이 있어, 해당 월별로 평균한 값을 시계열로 표출하였다. 월별 평균하는 기준은 주평균값의 시작날짜가 해당하는 월을 기준으로 월 평균을 수행하였으며, 그에 따라 4회에서 5회의 검증결과가 평균되며, 시계열의 시작과 끝은 월 평균되는 검증결과 수의 수가 더 적을 수 있다.

그림 3.8의 예보 첫째 주 예측성을 보면, 앞서 분석한 바와 같이 ECMWF의 ACC 값이 꾸준히 높은 수준을 보이며, 모델간의 격차도 일정하게 유지되는 경향을 보여준다. 또한 강수량 변수를 제외하고는 계절적인 예측성의 특성도 뚜렷하게 나타나지는 않는다. 반면, 그림 3.9에서와 같이 예측 선행시간이 3주가 되면, SCM 예측결과가 전반적으로 가장 높은 ACC 값을 보여준다. 하지만 예측성의 변동 폭이 첫째 주보다 매우 크며 모델간의 예측성 순위 변화도 크게 나타났다.

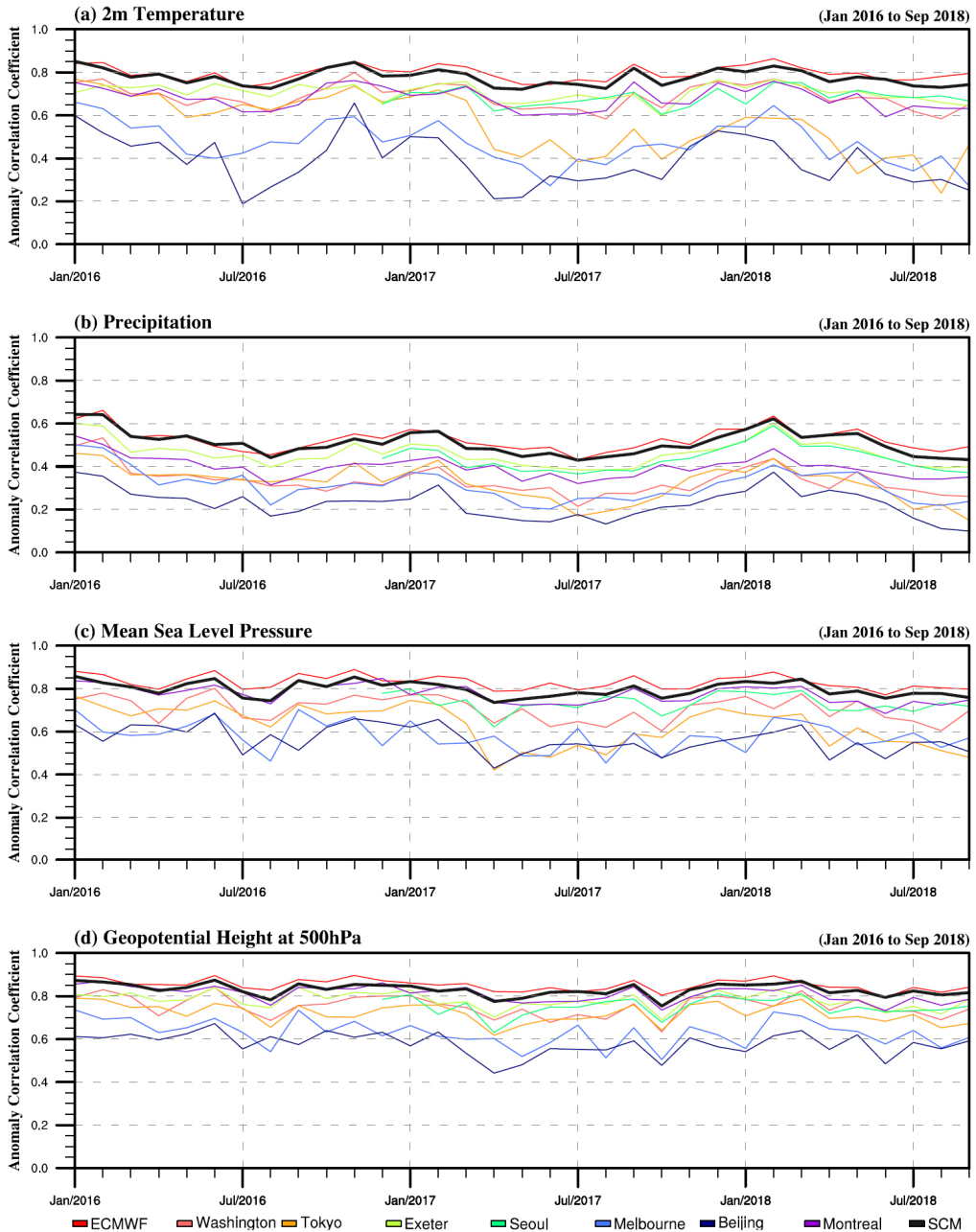


그림 3.8. (a) 2m 기온과 (b) 강수량, (c) 해면기압, (d) 500hPa 지위고도의 주평균 예측결과 중 1주일 전 예측에 대한 Global 영역(-90°N~90°N, 0°E~360°E)에서의 아노말리 상관계수의 시계열. 주평균 예측결과와 첫날이 해당하는 월별로 다시 평균하였으며, 대상기간은 2016년 1월부터 2018년 9월까지임. 검은색 선은 SCM 예측에 대한 검증결과이다.

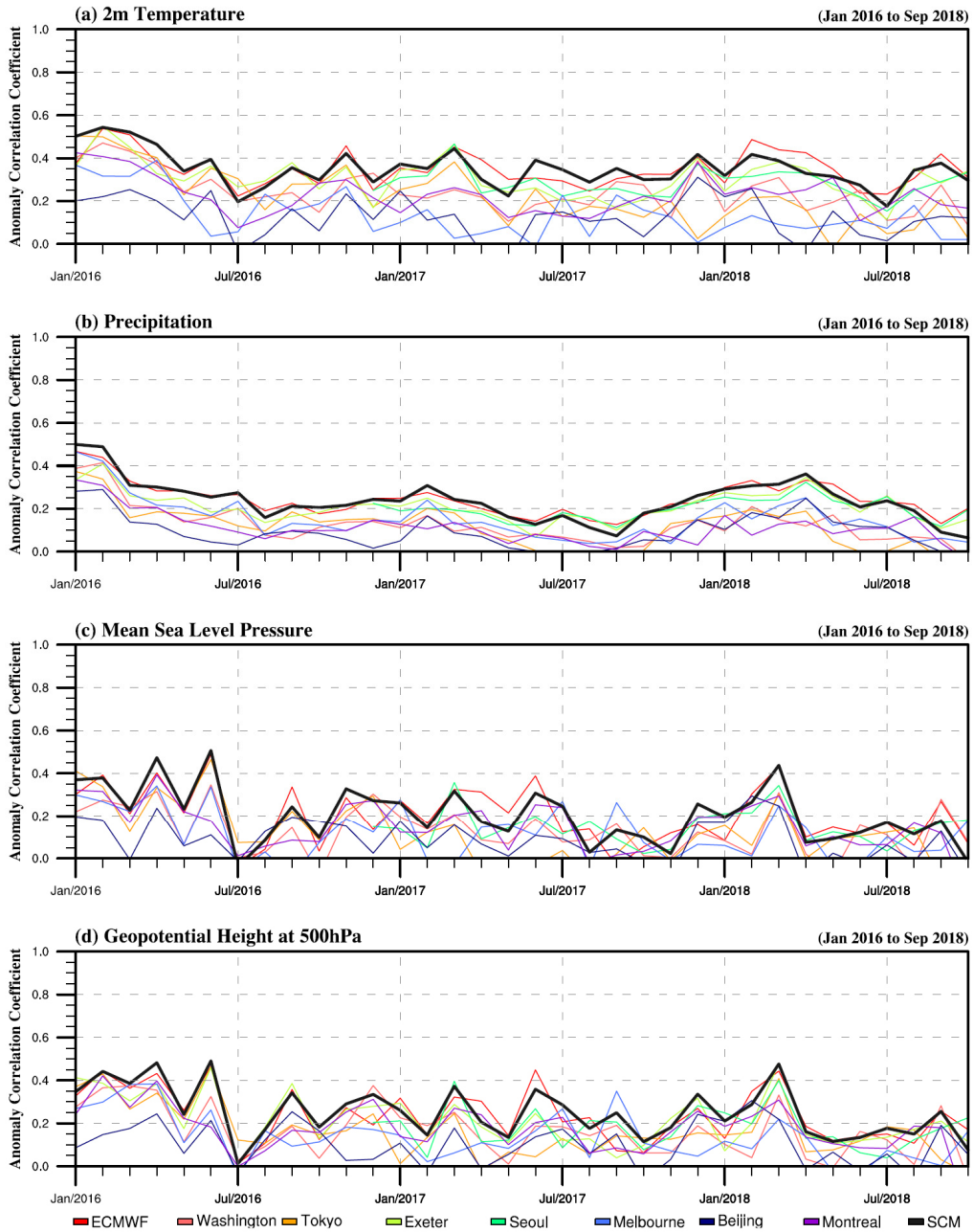


그림 3.9. 그림 3.8과 동일하며, 3주전 예측결과에 대한 검증이며, 그에 따라 대상기간은 2016년 1월부터 2018년 10월까지이다.

3.4.2 계절내 예측결과의 RMSE 검증

전구영역에 대한 root mean square error(RMSE) 검증 결과를 4개의 변수와 각 GPC 별로 분석하였다(그림3.10). 그림 3.6의 일평균 ACC 검증결과를 뒤집은 것과 비슷하게 예측 초반에는 ECMWF가 낮은 RMSE 수치를 보이며, 2주 이후의 예측에서는 SCM의 예측결과가 좋게 나타났다. ACC와의 차이점은 PREC 변수에서 예측 초반부터 SCM의 RMSE 값이 꾸준히 낮은 값을 보였다.

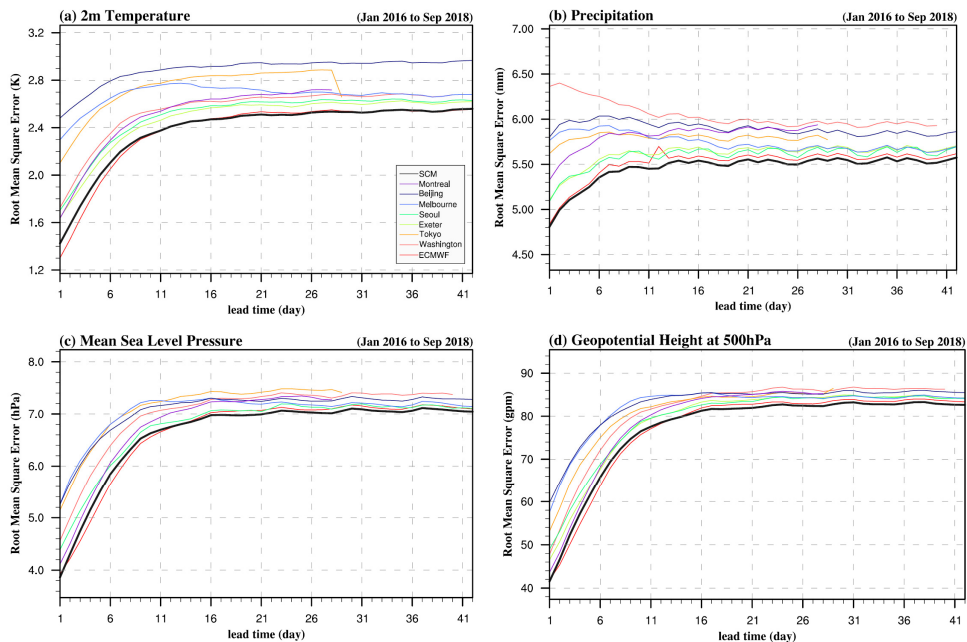


그림 3.10. (a) 2m 기온과 (b) 강수량, (c) 해면기압, (d) 500hPa 지위고도의 일평균 예측결과와 대한 RMSE의 Global 영역(-90°N~90°N, 0°E~360°E) 평균. 검은색 선은 SCM 예측에 대한 검증결과이다.

주별 평균한 예측결과 값에 대한 RMSE 검증결과를 그림 3.11에 나타내었다. 그림 3.10과 마찬가지로 4개의 변수에 대하여 각 GPC 및 SCM 예측결과를 각각 검증하였다. 예측선행 시간은 총 6주이다. T2M과 PREC 변수에서는 SCM과 ECMWF의 ACC 값이 다른 GPC 모델들보다 뚜렷하게 낮은 값을 보였으며, MSLP와 Z500 변수에서는 그 차이가 비교적 적게 나타났다. 일단위 검증결과와 마찬가지로 T2M과 MSLP, Z500 변수에서는 1주와 2주 예측에서 ECMWF 예측이 비교적 우수하였으며, SCM은 3주 이상의 예측에서 RMSE 값이 낮게 나타났다.

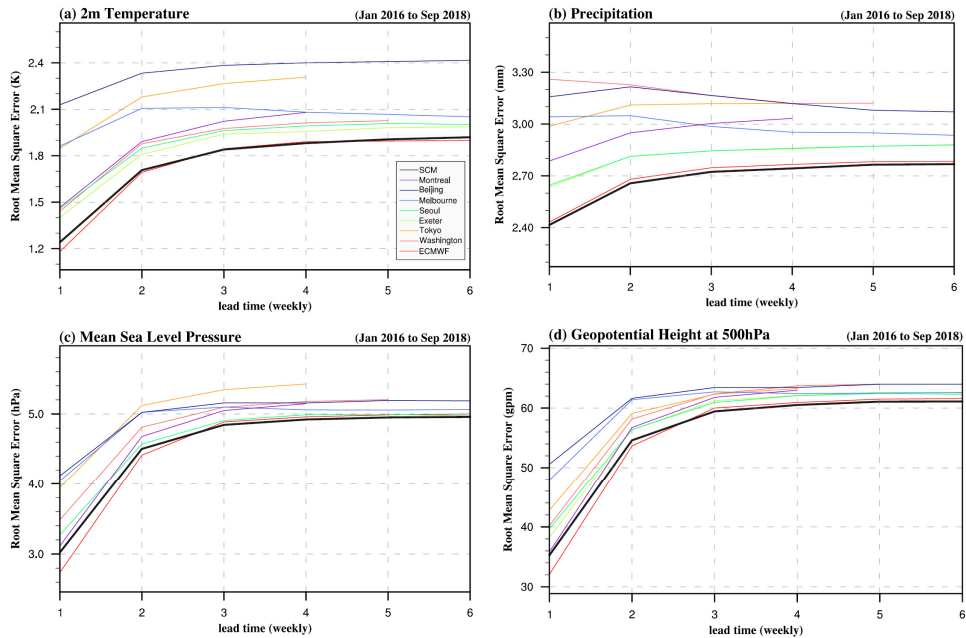


그림 3.11. 그림 3.10과 동일하며, 주별 평균한 예측에 대한 검증결과

그림 3.12과 그림 3.13는 변수와 각 GPC 모델별로 예측성의 변화 경향을 파악하기 위해 각각 1주와 3주 예측 선행시간의 주별 평균 예측결과에 대한 RMSE 검증 결과를 시계열로 나타낸 것이다. 예측결과 및 검증기준 자료처리 방법은 그림 3.8과 동일하게 분석하였다. 그림 3.12는 1주 예측 선행시간에 대한 RMSE 검증 결과이다. T2M 변수는 북반구 겨울철에 예측성이 뚜렷하게 떨어지는 모습을 보이며, 다른 변수에서는 비교적 계절적인 요인이 적었다. 2016년 1월에는 강한 엘니뇨의 영향으로 T2M의 RMSE 값이 모든 모델에서 낮은 경향을 보였으나, PREC는 다른 기간에 비해 높은 값을 보였다.

그림 3.13은 3주 예측 선행시간에 대한 RMSE 검증 결과이다. 모든 변수들이 1주 예측 선행시간에 대한 결과보다 계절적인 영향을 더 받는 것으로 분석된다. T2M은 물론 MSLP와 Z500 변수에서도 북반구 겨울철에 전반적으로 RMSE 값이 높게 나타났다. 또한 예측성이 떨어지는 월에는 모든 모델에서 RMSE 값이 동시에 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 특히 이러한 월별 변동은 MSLP와 Z500 변수에서 더욱 뚜렷하게 보였으며, 모델간의 RMSE 차이보다 크게 나타났다. 이것은 현재 계절내 예측모델의 수준에서 3주 이후의 기압계 배치에 대한 예측은 모든 모델에서 어려운 문제로 남아있음을 의미한다.

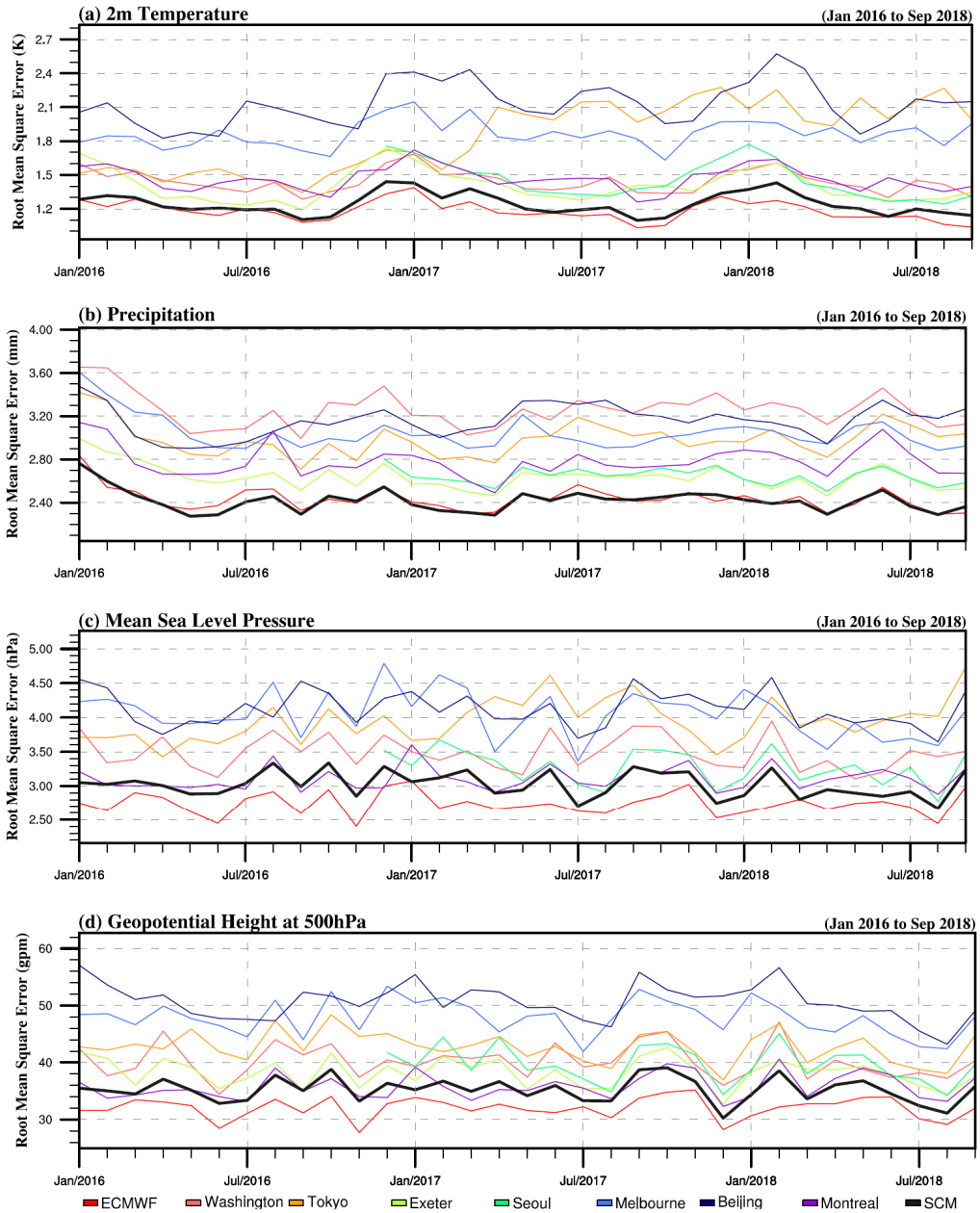


그림 3.12. (a) 2m 기온과 (b) 강수량, (c) 해면기압, (d) 500hPa 지위고도의 주평균 예측결과에 대한 RMSE 중 1주일 전 예측에 대한 Global 영역(-90°N~90°N, 0°E~360°E) 평균의 시계열. 주평균 예측결과와 첫날이 해당하는 월별로 다시 평균하였으며, 대상기간은 2016년 1월부터 2018년 9월까지이다. 검은색 선은 SCM 예측에 대한 검증결과이다.

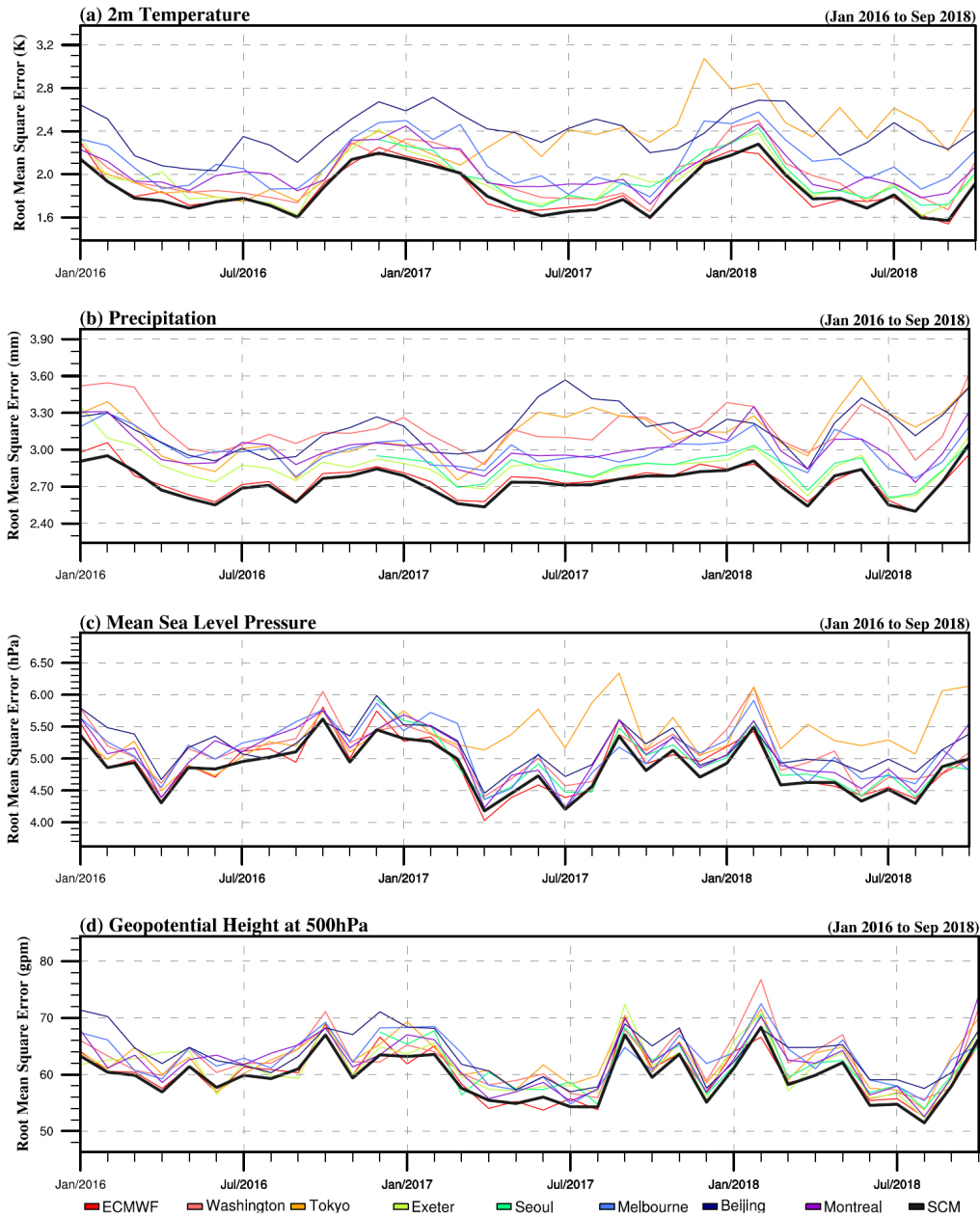


그림 3.13. 그림 3.12와 동일하며, 3주전 예측결과에 대한 검증이다. 대상기간은 2016년 1월부터 2018년 10월까지이다.

4. WMO 장기에보 선도센터 시스템 개선 (II) 용역사업

4.1 사업 개요

4.1.1 사업 배경 및 목적

기상청과 미국 기상청(GPC Washington)은 2009년 4월에 WMO 장기에보 다중모델앙상블 선도센터(WMO Lead Center for Long-Range Forecast Multi-Model Ensemble, LC-LRFMME)로 지정되면서 표준화된 GPC 자료 및 다중모델앙상블(Multi-Model Ensemble, MME) 예측자료를 제공하여 장기에보 업무를 지원하는 역할을 수행해 왔다. 이에 전 세계 회원국의 장기에보 자료 제공 업무를 보다 안정적으로 운영하고 서비스의 품질을 개선하기 위해서는 계절 및 계절내 예측자료 생산 및 포출 시스템을 개선하고 기후 예측자료의 활용도를 향상시킬 필요가 있다.

WMO 장기에보 선도센터 시스템 개선 (II) 용역사업에서는 계절 및 계절내 예측자료 생산, 제공시스템 개선을 통해 실시간 다중모델 앙상블 예측자료를 안정적으로 생산하고 제공 자료의 품질을 향상시키고자 한다. 또한 다중모델 앙상블 예측자료의 활용증진과 WMO 전문가 그룹의 권고사항을 반영한 웹서비스 추진으로 국제사회에 기여하는 것을 목적으로 한다.

4.1.2 사업 범위 및 기대효과

본 사업의 범위는 WMO 장기에보 선도센터 및 GPC Seoul 홈페이지를 개선하고, 계절 및 계절내 예측자료 처리기술을 개발하며, WMO 장기에보 선도센터 예측 및 검증자료의 DB를 구축하는 것으로 한다. 이를 통해 WMO 회원국에게 안정적으로 계절 및 계절내 예측 서비스 제공함으로써 전 세계 회원국의 선도센터 기후예측자료 활용도를 향상시키며, 기상청 장기에보 생산 지원을 위한 다양한 기후예측자료 제공을 통해 장기에보 서비스 품질을 제고할 것으로 기대한다.

4.2 사업 수행 내용

4.2.1 WMO 장기예보 선도센터 및 GPC Seoul 홈페이지 개선

본 사업에서는 기 구축된 PHP 기반의 WMO 장기예보 선도센터 홈페이지를 Java 기반으로 프로그램을 변경하고 홈페이지 디자인, 메뉴 등을 개선하는 작업을 수행하였다. 먼저 WMO 장기예보 선도센터 홈페이지의 메인화면 디자인은 그림 4.1과 같이 변경하였다. 또한, GPC Seoul 홈페이지의 메인화면도 그림 4.2와 같은 디자인으로 변경하였다. 홈페이지의 기능적인 개선 사항으로는 예측 및 검증자료 표출 UI 기능을 개선하였으며, 홈페이지 관리자 메뉴 기능을 강화하고, 개인정보 보안성 강화를 위한 작업을 수행하였다. 이러한 개선 사항의 중요 내역은 그림 4.3에 정리하여 요약하였다.

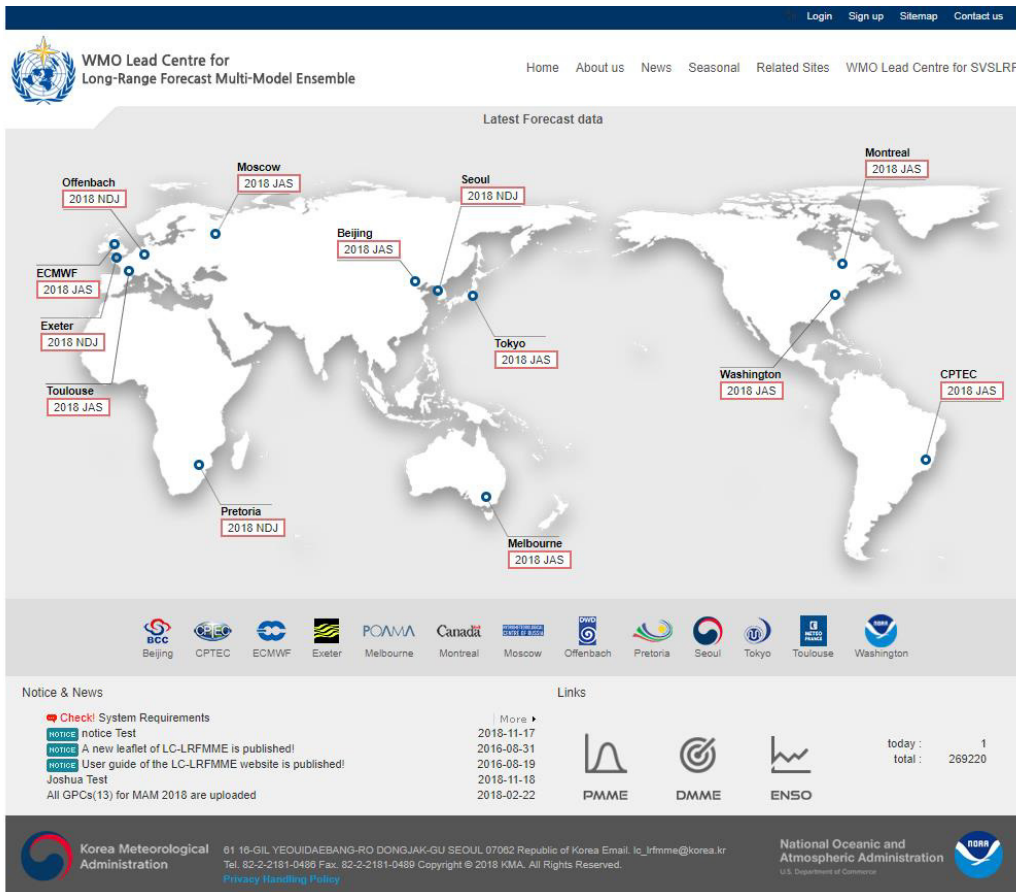


그림 4.1. 개선된 WMO 장기예보 선도센터 홈페이지 메인화면



그림 4.2. 개선된 GPC Seoul 홈페이지 메인화면

대분류	요구사항 요약	기능 분류	진행 상태
SFR1-1. HTML5 기반 WMO 장기예보 선도센터 홈페이지 개선	WMO 장기예보 선도센터 홈페이지 디자인	개선	완료
	선도센터 홈페이지 메뉴	개선	완료
	선도센터 홈페이지 메인 화면	개선	완료
	WMO 장기예보 선도센터 소개 화면	현행	완료
	뉴스 게시판	현행	완료
SFR1-2. 예측·검증 자료 출력 UI 기능 개선	사용자 기능 - 회원가입, 로그인, 사용자 계정 관리 등	현행	완료
	사용자 만족도 조사	현행	완료
	소개 페이지 제공	현행	완료
	계절 및 계절내 예측 검증 자료 표출 선택 항목	개선	완료
	개별 모델 예측 자료 검색 기능	기능개선	완료
SFR1-3. 홈페이지 관리자 메뉴 기능 강화	개별 모델 예측 자료 직접 다운로드 기능	기능개선	완료
	다중 모델 앙상블(MME) 예측, 검증 자료 제공	신규	완료
	관리자 페이지 접속	현행	완료
	메뉴 관리	현행	완료
	컨텐츠 관리	현행	완료
SFR1-4. 개인정보 보안성 강화	개인정보처리 시스템 관리	현행	완료
	홈페이지 접속 통계 조회	신규	완료
	협업 진행상황 모니터링 기능	신규	완료
	GSCU 발간 지원을 위한 초안 작성 자동화 시스템 메뉴	신규	완료
	사용자 만족도 조사 관리	현행	완료
SFR1-5. GPC Seoul 독립형 홈페이지 구축 및 UI 개선 등	만족도 조사 결과 리포트 생성	현행	완료

대분류	요구사항 요약	기능 분류	진행 상태
SFR1-4. 개인정보 보안성 강화	가입 승인된 사용자 관리	현행	완료
	미승인 사용자 관리	현행	완료
	휴면 사용자 관리	현행	완료
	관리자 권한 제어	현행	완료
	삭제된 사용자 조회	현행	완료
	가입 가능 이메일 도메인 관리	현행	완료
	개인정보처리시스템 접속기록 조회	현행	완료
SFR1-5. GPC Seoul 독립형 홈페이지 구축 및 UI 개선 등	GPC Seoul 홈페이지 디자인	개선	완료
	메뉴	개선	완료
	메인 페이지	개선	완료
	소개 페이지	개선	완료
범례	예측자료 표출 제공	개선	완료
	관리자 기능	현행	완료
	•현행 - 디자인 스타일 & 소스코드 재사용 (PHP → Java 변환) •개선 - 디자인 개선, UI 변경 (사용성 제고) •기능개선 - 웹 프로그램 설계 변경, 기능 변경에 따른 Java 코드 추가 (일부분은 신규 개발) •신규 - 현행 시스템의 기능 대체 및 신규 추가 기능 개발		

그림 4.3. WMO 장기예보 선도센터 및 GPC Seoul 홈페이지 개선 부분 요구사항 요약

4.2.2 계절 및 계절내 예측자료 처리기술 개발

계절 및 계절내 예측자료 처리와 관련하여 효율적인 운영이 가능하도록 개선하는 작업을 수행하였다. 특히 계절내 예측 시스템에서는 각 GPC별로 모델의 특성이 변화하는 경우가 자주 발생하기 때문에 이러한 경우에 능동적으로 대응하고 관리의 효율성을 높이기 위한 작업이 필요하다. 먼저 계절내 예측 시스템의 모델 특성 변화 대응 기술을 개발하고, 계절내 예측 및 검증 시 계산속도 향상을 위한 개선작업을 수행하였다. 또한 계절 및 계절내 예측 자료 처리과정을 모니터링 할 수 있도록 시스템을 구축하였다. 관련 내용은 그림 4.4에 요약하여 정리하였다.

구분	요구사항 내용	진행상태
계절내 예측 시스템의 모델 특성 변화 대응 기술 개발	가. 계절내 예측시스템의 모델 특성 변화 대응 기술 개발	
	① 비규칙적인 MME 참여 모델의 특성 변화에 효과적으로 대응하고, 현업 운영에 영향이 최소화되는 방향으로 개발함	완료
	② 과거 특정 시점에 대한 자료 재 수신 및 MME 재계산을 고려하여 개발해야 하며, 효율적인 유지/보수를 위해 프로그램은 최대한 간편하고 명시적인 방법이어야 함	완료
	나. 계절내 예측시스템의 예측 부분과 검증 부분 통합	
	① 현재 프로그램 구조 상 분리되어있는 계절내 MME 예측시스템 내부의 예측 부분과 검증 부분을 통합하여 현업운영 및 유지보수가 원활하게 함	완료
	② 현재 따로 관리되는 계절내 MME 예측시스템의 예측 부분과 검증 부분 설정파일을 일원화 하며, 주요 수정사항을 하나의 설정파일을 통해 관리하도록 변경	완료
	다. 효율적인 자료관리 방안 제시	
	① 규칙적/비규칙적인 hindcast 자료 업데이트에 따라 효율적인 자료저장 및 활용방식을 제시하고 협의 후 구현	완료
	② 현재 최초 수신 시 Grib2 포맷을 기본으로 사용하고 있지만 hindcast 자료의 경우 NCL 프로그램에서 바로 처리가 안됨. 자료 저장공간 최적화와 효율적인 현업 운영을 위한 방안을 제시하고, 협의 후 구현	완료
	계절내 예측 및 검증 시 계산 속도 향상	가. 계절내 예측 및 검증 시스템 최적화
① 현재 현업시스템 운영 중 자료처리 속도가 현저히 저하되는 부분을 파악하고, 이를 보완하기 위한 효과적인 방안을 제시		완료
② 계산 속도 향상을 위해서는 NCL 프로그램 내 일부분을 Fortran 프로그램으로 대체하는 방안을 제공		완료
③ 유지/보수의 편의성을 위해 계산속도와 크게 상관없는 부분은 기존 NCL 프로그램 코드를 활용하며, Fortran 프로그램 사용은 최소화 하여 개발	완료	
계절 및 계절내 예측 자료 처리과정 모니터링 시스템 개발	가. 자료 수신 및 자료 생산결과에 대한 모니터링 기능 개발	
	① 수집되는 계절 및 계절내 예측 자료와 관측자료의 현황을 실시간 모니터링 하여 저장하는 기능 제공	완료
	② 현업 생산 및 생산 후 홈페이지 제공자료 전달 과정, 결과를 모니터링 하여 저장하는 기능 제공	완료
	③ 과거 수신 및 생산된 자료에 대한 통계 기능 제공	완료
	④ 모니터링 내용과 저장방식은 관리자와 협의하여 결정	완료
	나. 모니터링을 위한 웹페이지 구축	
	① WMO 장기예보 선도센터 홈페이지의 관리자 페이지 내 모니터링을 위한 기능 추가	완료
② 모니터링 결과를 효과적으로 확인 할 수 있도록 레이아웃 및 디자인을 설계 함	완료	
③ 오류발생 등의 특이사항에 관리자가 메모를 남겨 둘 수 있는 기능 구현	완료	

그림 4.4. 계절 및 계절내 예측자료 처리기술 개발 부분 요구사항 요약

4.2.3 WMO 장기예보 선도센터 예측 및 검증자료 DB 구축

계절 및 계절내 예측과 검증 자료를 홈페이지에 표출하고 유기적으로 관리하기 위해서 체계화된 database(DB) 구축이 필요하다. 특히 본 사업에서는 홈페이지를 개선하였으며, 예측시스템을 개선하면서 홈페이지에 표출되는 자료의 많은 부분이 수정이 이루어졌

다. 따라서 예측자료 및 검증자료의 DB 등록 및 입력 자동화를 실시하고, 기존에 생산된 예측 및 검증자료의 이전 및 DB 입력 자동화를 수행하였다. 이와 관련된 내용은 그림 4.5에 정리하여 표시하였다.

구분	요구사항 내용	진행상태
예측 자료 및 검증자료의 DB 등록 및 입력 자동화	가. 계절 및 계절내 예측 자료 제공을 위한 체계화된 데이터베이스 구축	
	① 홈페이지 필요한 정보, 현업에서 생산되는 자료의 속성, 운영 중인 선도센터 홈페이지 데이터베이스 저장 자료 등을 분석하여 최적의 데이터베이스 설계 및 구축	완료
	② 홈페이지에서 계절 및 계절 내 예측 자료에 대한 정보 저장, 검색 및 다운로드, MME 예측 자료 등을 제공하기 위해 필요한 모든 정보 저장	완료
	③ 데이터베이스 인덱스, 저장 프로시저 등을 이용하여 자료 입력, 검색 성능 향상 고려	완료
	④ 상세한 논리 및 물리 데이터베이스 설계서 제출(테이블 목록 및 테이블간의 관계, 테이블의 컬럼의 의미 및 제약조건, 인덱스 정의, 저장 프로시저 정의 등)	완료
	⑤ 데이터베이스에 입력할 자료의 종류는 협의 후 결정	완료
	나. 예측 자료 및 검증자료의 데이터베이스 입력 자동화	
	① 예측 및 검증 자료 생산 현업 시스템 실행 결과 자료의 데이터베이스 자동등록 기능 개발	완료
	② 데이터베이스 등록 시 자료 정상 생성 체크, 디스크 파일과 데이터베이스 등록 정보의 1:1 매칭 등 무결성이 보장되도록 구현	완료
	③ 홈페이지 및 현업 자료 생산 과정에서 데이터베이스에 자료를 입력할 때 트랜잭션 등의 기술을 이용하여 중간 오류를 대비하여 무결성 보장(예: 3개월 계절 예측 표준 자료 NC, Grib1, 다수의 Grib2 파일은 1세트로 저장되어야 함. All or Noting)	완료
기존에 생산된 예측 및 검증자료의 이전 및 DB 입력 자동화	가. 현재 운영중인 홈페이지 데이터베이스에 저장된 자료 migration	
	① Migration 전 안정적 백업, migration 후 정상 이관 후 무결성 보장	완료

그림 4.5. WMO 장기예보 선도센터 예측 및 검증자료 DB 구축 부분 요구사항 요약

5. 요약 및 결론

WMO 장기예보 선도센터는 여러 국가의 장기예보 결과를 공유하고 MME 기후예측 시스템을 개발하기 위한 목적으로 설립되어 2009년 한국 기상청과 미국 기상청이 공동으로 운영해 오고 있다. WMO 장기예보 선도센터의 보다 안정적인 운영을 위해 아시아·태평양 지역에 MME 계절 예측 정보를 생산/제공해온 기후예측 전문 기관인 APCC에서 2011년부터 위탁 운영해왔다. 그리고 2017년 위탁사업이 아닌 아태사업에 포함되어 『현업 장기예보 정확도 향상을 위한 APCC-기상청 협력 시스템 구축II』 과제의 일환으로 수행되었다.

WMO 장기예보 선도센터는 수집된 다양한 형태의 각 GPC 예측자료를 GRIB1 형식으로 표준화하고 여기에 4개의 DMME 기법과 1개의 PMME 기법을 적용하여 얻은 MME 계절예측 결과를 홈페이지를 통해 디지털 및 그래픽 형태의 예측자료로 WMO 회원국 및 일반 사용자에게 지속적이고 안정적으로 제공하고 있다. 또한 13개 GPCs와 MME의 실시간 예측결과와 공통기준기간인 1993-2009년 hindcast 자료의 검증 결과를 홈페이지를 통해 제공하고 있다. 홈페이지 사용자에게만 제공되었던 그래픽 형태의 예측자료를 보다 많은 사용자가 이용할 수 있도록 회원 등급의 제한없이 사용가능하도록 개선하였으며, GPC ECMWF, Toulouse, Offenbach 의 계절예측 시스템의 개선으로 WMO 장기예보 선도센터 MME 예측 성능의 향상을 기대할 수 있게 되었다. 또한 기후변화로 인한 극지역 예측정보의 중요성이 확대되면서, 사용자의 계절 예측 정보 활용성 증대를 위해 DMME(SCM, SLR, SVD, GA), PMME 에 Polar map 표출 시스템을 추가하였다. 또한 사용자가 필요한 변수의 Consistency 정보를 선택할 수 있도록 변수별 Consistency Map 표출 시스템을 구축하여 사용자의 편의성을 향상시켰다. 아울러 다년간의 국제적 협의에 의해 WMO 장기예보 선도센터가 계절내 MME 예측시스템을 추가 운영하게 되었다. 따라서 2014년부터 현업 운영이 가능한 계절내 예측과 관련된 콘텐츠를 구성하여 계절내 MME 예측시스템을 구축하였다. 2018년에는 계절내 MME 예측시스템을 지속적으로 시범운영하였으며, GPC Seoul 예측자료를 추가로 수신하면서 계절내 MME 예측에 포함시켰다. 한편, 안정적인 예측결과 생산을 위해 자료수신 속도 향상을 위한 개선 작업을 수행하는 등 운영 중 발생하는 다양한 문제들을 해결하면서 향후 원활

한 현업 운영이 이루어 질 수 있는 환경을 구축해 나가고 있다.

WMO 장기예보 선도센터에 생산되는 자료들은 WMO가 주관하는 다양한 지역기후포럼에 제공되어 각 지역의 계절전망 생산에 기여하고 있으며, 2018년에는 지역기후포럼에 2회 참석하고 3회 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 자료이며, 검증자료는 ACC와 MSSS를 이용한 GPC 및 MME 결정론적 검증 자료, ROC curve and score, ROC map, reliability diagram을 이용한 GPC 및 MME의 확률 검증이다. 그리고 Nino 1+2, Nino3.4, IOD 지수 등을 포함한다. 또한 2018년 12월부터 WMO 장기예보 선도센터에서 매달 생산되는 PMME 계절 예측 결과가 WMO 장기예보 선도센터 홈페이지뿐만 아니라 WMO 홈페이지를 통해 제공하고 있다.

마지막으로 홈페이지를 사용자를 대상으로 2018년 9월부터 11월까지 3개월간 홈페이지 만족도 조사를 실시했다. WMO 장기예보 선도센터 홈페이지 사용자 146명이 설문 참여하였으며, 2017년의 362명의 회원 중 53명 만족도 조사에 참여한 것에 비해 약 2.7배의 증가하였다. 총 만족도를 100점 만점으로 환산하였을 때 83.1점으로 2017년 74.2점에 비해 증가하였으나, 2018년 서비스 만족도 조사는 회원과 비회원 모두를 대상으로 실시하여 이전 년도와의 절대적인 비교는 어려울 수 있다. 그럼에도 불구하고 WMO 장기예보 선도센터 홈페이지 사용자는 서비스에 대해 상당부분 만족하고 있는 것으로 판단된다.

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 상관관계수 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 F는 예측값, O는 관측값을 의미하며 \bar{F} 와 \bar{O} 는 각각 예측값과 관측값에 대한 시간평균을 나타낸다. ACC는 예측장과 관측장 사이의 패턴이 얼마나 유사한지 측정하는 척도로 -1~+1 사이의 값을 갖으며, 만약 ACC가 +1이라면 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 관측값으로부터 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 F는 예측값, O는 관측값, w_i 는 위도별 가중치, W는 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 +1까지의 값을 가질 수 있다. MSSS의 값이 1에 가까울수록 예측성이 뛰어난 의미를 의미한다.

MSSS_j의 계산은 다음과 같은 절차를 통해 구해진다. x_{ij} 와 f_{ij} 는 격자 j의 관측값과 결정론적 예측값에 대한 i번째의 시계열을 뜻한다. 격자점 j에 대한 over bar는 각 격자점에 대해서 총 예보기간(n개의 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 j에 대한 MSE_j와 MSE_{cj}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_j는 각 격자에 대한 시계열 예보 자료와 관측값의 차이를 제공하여 평균한 것이며 MSE_{cj}는 기후값을 예측값으로 사용할 경우 기후값 예측에 대한 mean square error를 의미한다. MSSS_j는 MSE_j와 MSE_{cj}를 이용하여 아래와 같은 식으로 계산된다.

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

MSSS_j는 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.

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

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

위상오차는 분포 패턴의 상관도를 나타내며 진폭오차는 관측분산에 대한 예측분산의 비율로 표시하며 바이어스 오차는 예측값과 관측값의 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

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

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

이다. 여기서 GSS의 계산은 다음과 같다.

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

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

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

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

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 $HR=1$, $FAR=0$, $M(\text{missing})=0$, $F(\text{false})=0$ 값을 가진다. ROC 곡선은 HR과 FAR 사이의 분포도로 각 확률 구간별로 두 값을 계산하여 한 그래프에 곡선으로 나타낸다. $HR=1$ 이고 $FAR=0$ 일 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 카테고리 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 향으로 이루어진다. BS의 범위는 0에서 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 만족도 조사 결과

□ 배경 및 목적

- 목 적 : WMO 장기예보 선도센터 홈페이지 사용자 의견 및 요구사항을 수렴하여 객관적 서비스 수준 진단과 개선으로 실용적·효율적 서비스를 제공하기 위함
- 기 간 : 2018. 9. 1~11. 30(총 3개월)
- 대 상 : WMO 장기예보 선도센터 홈페이지 사용자(비회원 포함)
- 방 법 : WMO 장기예보 선도센터 홈페이지의 팝업창을 통한 전자 설문
- 항 목 : 홈페이지 서비스 종합만족도(10문항) <상세내용 : 붙임 참조>
- 평 가 : '종합만족도' 항목을 7점 척도로 측정 후 100점 기준으로 환산

□ 조사 총평

- 총 만족도
 - 5.81점(7점 만점)
 - 100점 만점으로 환산하면 83.1점으로 2017년(74.2점)과 비교했을 때 사용자 만족도가 높아짐

□ 세부 결과

○ 만족도 조사 참여자의 회원가입 여부

- WMO 장기예보 선도센터 홈페이지 사용자 146명이 설문에 참여하였으며, 2017년의 362명의 회원 중 53명 만족도 조사에 참여한 것에 비해 약 2.7배의 증가함
- 설문 참여자 146명 중 82명(56.2%)은 홈페이지 가입자이며, 64명(43.8%)은 미가입자로 나타남

※ 2018년 서비스 만족도 조사는 회원/비회원 모두를 대상으로 실시하여 이전 년도와의 절대적인 비교는 어려움

표 A2.1. 2016~2018년 만족도 조사 참여자 비교

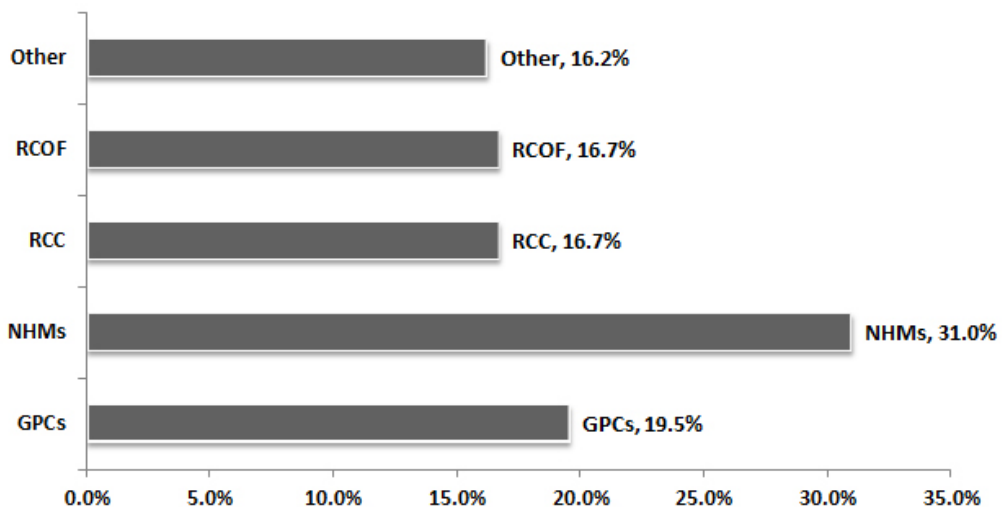
	총 회원 수	참여자 수	참여율(%)	홈페이지 회원 가입 여부
2016년(A)	314	70	22.3%	<p>A 3D pie chart showing the distribution of responses regarding homepage membership. The 'Yes' category is represented by a blue slice and accounts for 56% of the total. The 'No' category is represented by a red slice and accounts for 44%. A legend at the bottom right identifies the blue color as 'Yes' and the red color as 'No'.</p>
2017년(B)	362	53	14.6%	
2018년(C)	388	146	-	
편차(C-B)	-	△93	-	

○ 소속(중복선택 가능)

- NHMS에 소속된 참여자가 전체 중 31.0%를 차지하고, 그 다음으로는 GPC가 19.5%, RCC와 RCOF 관련 참여자가 각 16.7%를 차지했으며, 기타 기관 참여자는 16.2%로 집계됨
- 기타 기관은 아래와 같음
 - 1) University(8명)
 - 2) WMO(3명)
 - 3) World Bank, Wind Power generation, Tourism Sudury, World Food Program 등등

구분	인원(명)	비율(%)
WMO Global Producing Centres(GPCs) for Long Range Forecasts(LRF)	41	19.5
National Hydrological and Meteorological Services(NHMS)	65	31.0
WMO Regional Climate Centre(RCC)	35	16.7
Regional Climate Outlook Forum(RCOF)	35	16.7
기타	34	16.2

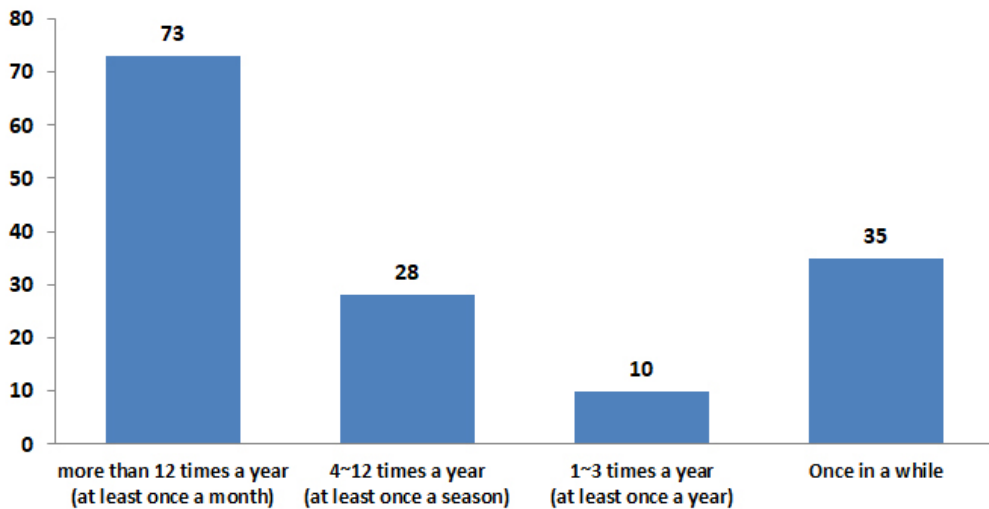
Organisation of survey participants



○ 홈페이지 방문 주기(중복선택 불가)

- WMO 장기예보 선도센터 홈페이지를 얼마나 자주 방문하는가에 대한 답변으로 한달에 한번 이상 방문한다는 답변이 50.0%로 가장 많은 비율을 차지하였으며, 계절별로 한번정도 접속하는 회원은 19.2%, 가끔 접속하는 회원은 24.0%, 1년에 한번 정도 방문하는 회원은 6.8%임

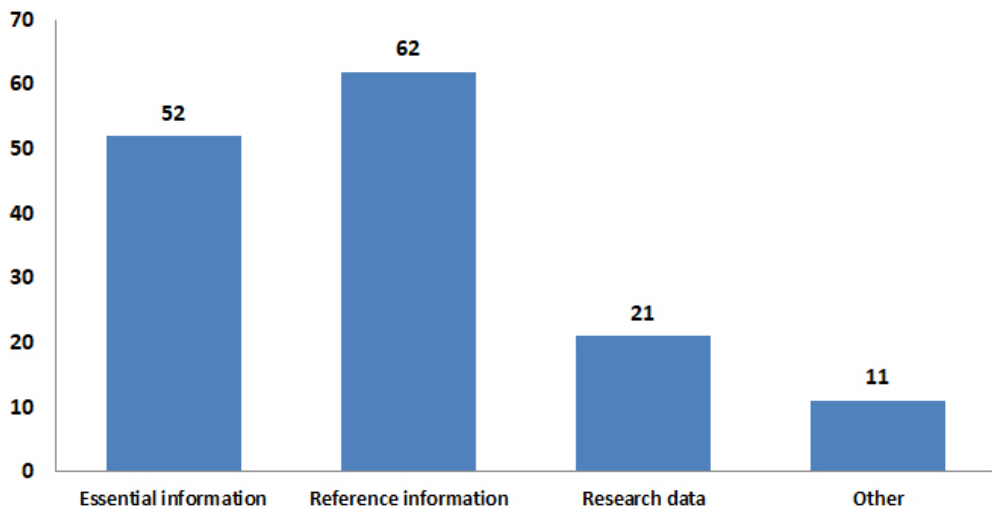
구분	인원(명)	비율(%)
more than 12/year (at least once a month)	73	50.0
4~12/year (at least once a season)	28	19.2
1~3/year (at least once a year)	10	6.8
once in a while	35	24.0



○ 자료 사용 목적(중복선택 불가)

- WMO 장기예보 선도센터에서 생산하는 자료를 현업 장기예보에 참고자료로 사용한다고 응답한 설문 참여자는 42.5%를 차지했고, 그 다음으로는 현업 장기예보 필수자료로 35.6%, 연구자료로는 14.4%, 기타 다른 목적으로 활용하는 설문 참여자는 7.5%를 차지함. 전체의 78.1%가 WMO 장기예보 선도센터 자료를 현업 장기예보에 직·간접적으로 사용하는 것으로 나타남
- 기타로는 1) 홍보활동, 2) 교육과 트레이닝, 3) RCOF 4) 강수예측을 위한 수문모형의 강제력, 5) 날씨에 대한 호기심 등 다양한 분야에서 WMO 장기예보 선도센터 자료가 사용되고 있다는 의견이 있음

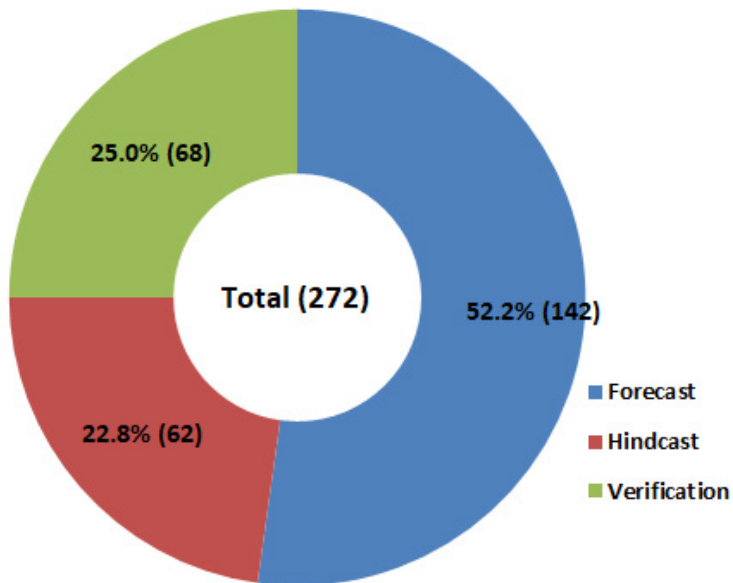
구분	인원(명)	비율(%)
essential information of operational long range forecast	52	35.6
reference information of operational long range forecast	62	42.5
research data on long range forecast	21	14.4
기타	11	7.5



○ 선호하는 자료 종류(중복선택 가능)

- WMO 장기예보 선도센터 홈페이지 사용자들은 forecast 자료를 가장 선호 (52.2%)하고 다음으로 verification 자료(25.0%), hindcast 자료(22.8%) 순으로 선호함

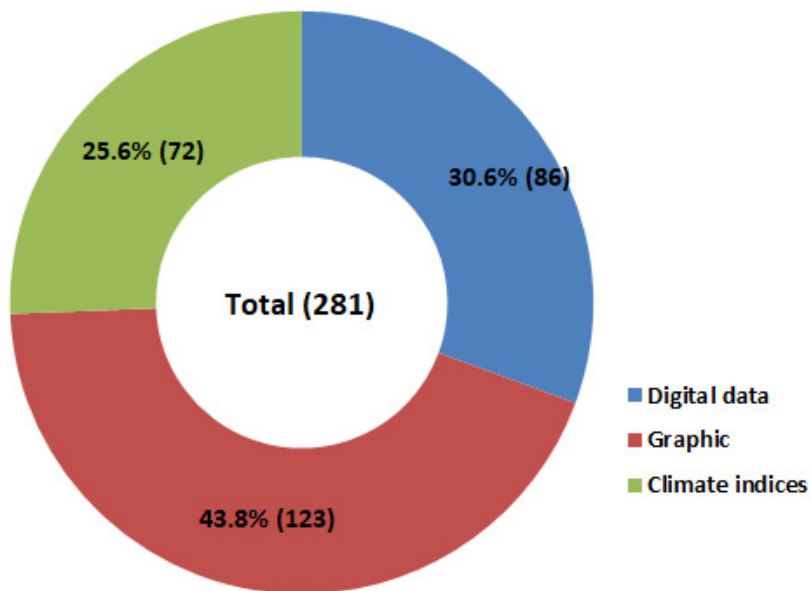
구분	인원(명)	비율(%)
forecast	142	52.2
hindcast	62	22.8
verification	68	25.0



○ 선호하는 자료 유형(중복선택 가능)

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

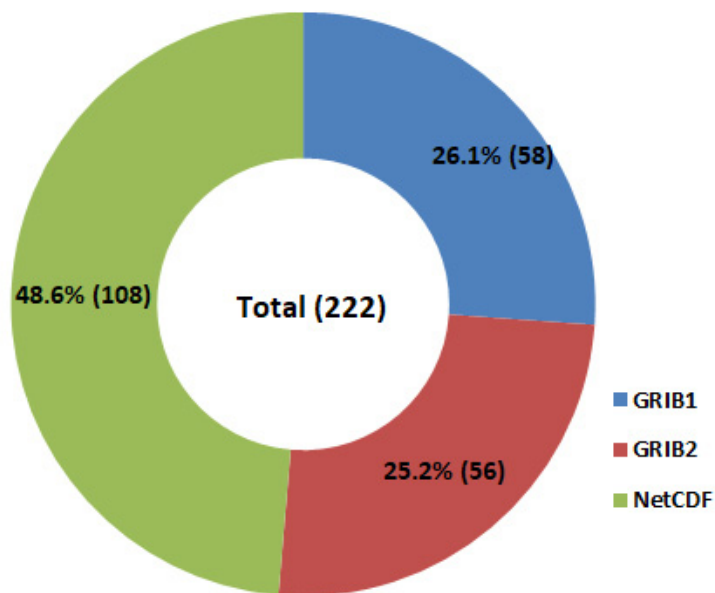
구분	인원(명)	비율(%)
digital data	35	31.5
graphic	48	43.2
climate indices	28	25.2



○ 선호하는 자료 포맷(중복선택 가능)

- WMO 장기예보 선도 센터 홈페이지 이용자 중 약 48.6%가 현재 WMO 장기예보 선도센터에서 제공되지 않는 NetCDF 형태의 자료를 가장 선호하고, GRIB1 (26.1%), GRIB2(25.2%) 순으로 선호함

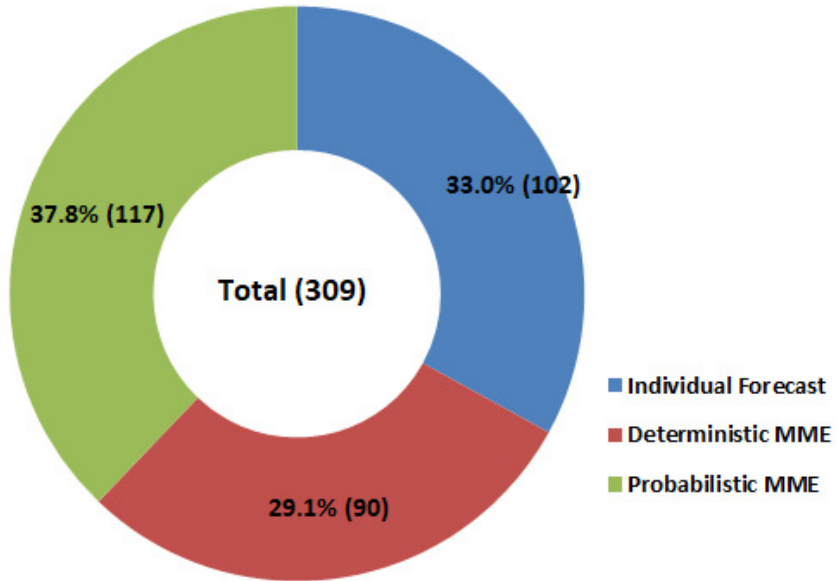
구분	인원(명)	비율(%)
GRIB1	58	26.1
GRIB2	56	25.2
NetCDF	108	48.6



○ 선호하는 예측 유형(중복선택 가능)

- 가장 많은 37.9%의 WMO 장기예보 선도센터 홈페이지 이용자가 PMME 예측 자료를 선호했고, DMME와 개별모형자료는 각각 33.0%, 29.1%의 선호도를 보임

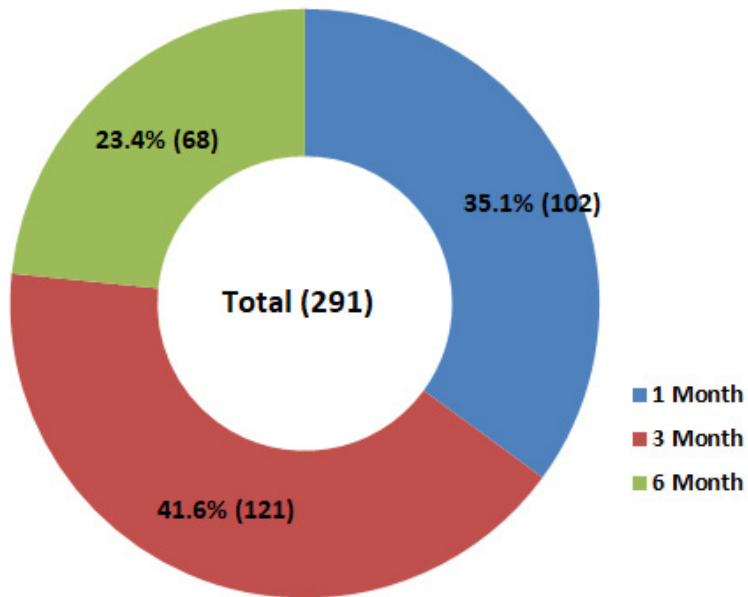
구분	인원(명)	비율(%)
individual forecast	102	33.0
Deterministic MME	90	29.1
Probabilistic MME	117	37.9



○ 선호하는 예측 기간(중복선택 가능)

- 각각 41.6%, 35.1%의 WMO 장기예보 선도센터 홈페이지 사용자들이 3개월 예측자료와 1개월 예측자료를 가장 선호했고, 나머지 23.4%는 6개월 예측자료를 선호함

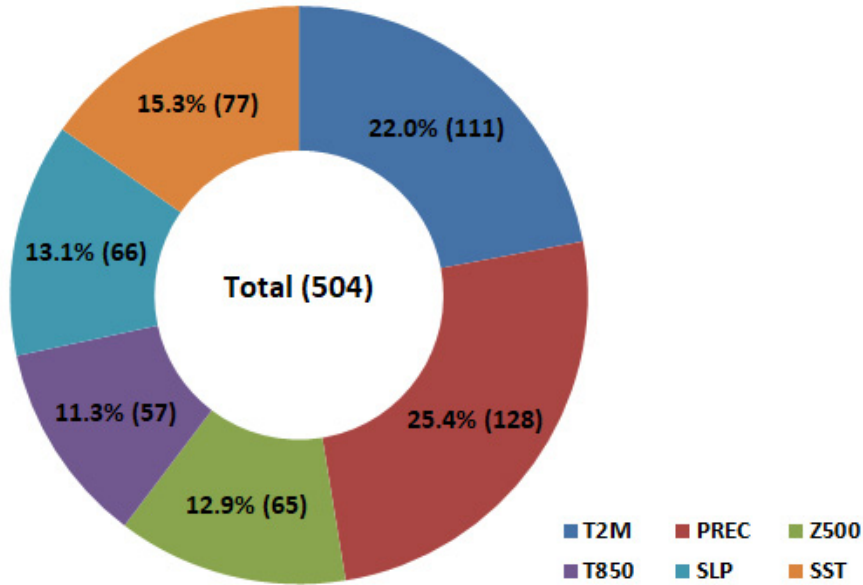
구분	인원(명)	비율(%)
1-month	102	35.1
3-month	121	41.6
6-month	68	23.4



○ 선호하는 변수(중복선택 가능)

- WMO 장기예보 선도센터 홈페이지 사용자들은 강수(25.4%)와 기온(22.0%)를 직접적으로 예측에 이용하는 것을 선호하고, 장기예측에 영향을 미치는 중요한 변수인 해수면온도(15.3%)를 세 번째로 선호함. 그 다음으로는 해면기압(13.1%), 500 hPa 지위고도(12.9%), 850 hPa 기온(11.3%) 순으로 선호하는 것으로 나타남

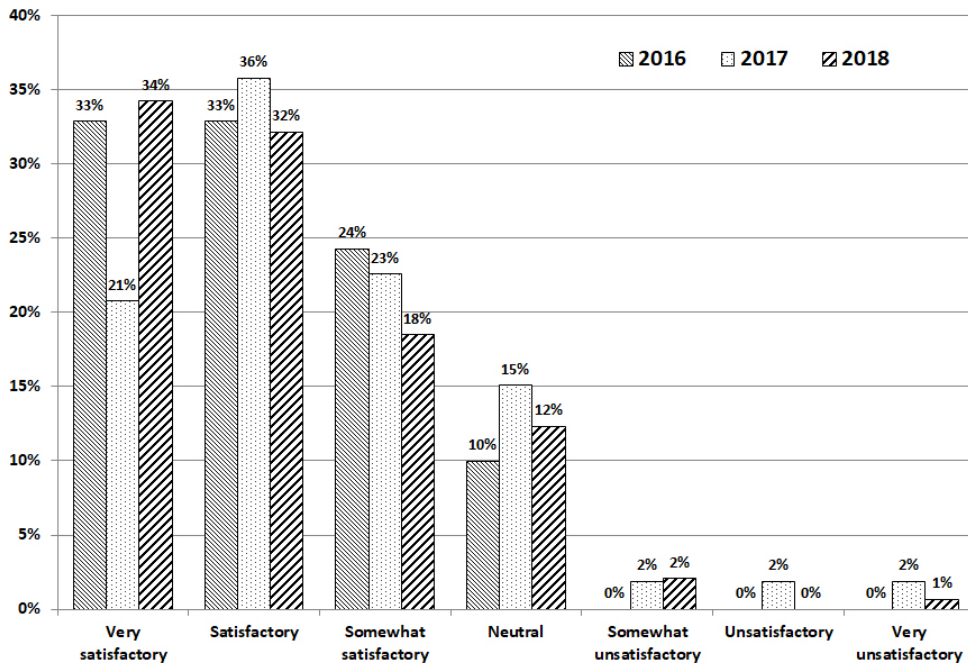
구분	인원(명)	비율(%)
2m temperature	111	22.0
precipitation	128	25.4
500 hPa GPH	65	12.9
850 hPa temperature	57	11.3
mean sea level pressure	66	13.1
sea surface temperature	77	15.3



○ 만족도(중복선택 불가)

- WMO 장기예보 선도센터의 서비스에 각각 34.2%, 32.2%, 18.5%, 12.3%의 사용자들이 매우만족, 만족, 약간만족, 보통 순으로 만족함. 84.9%의 사용자들이 긍정적인 반응(약간만족~매우만족)을 보임. 2017년에 비해 부정적인 반응(약간불만족~매우불만족)이 3.0% 감소함

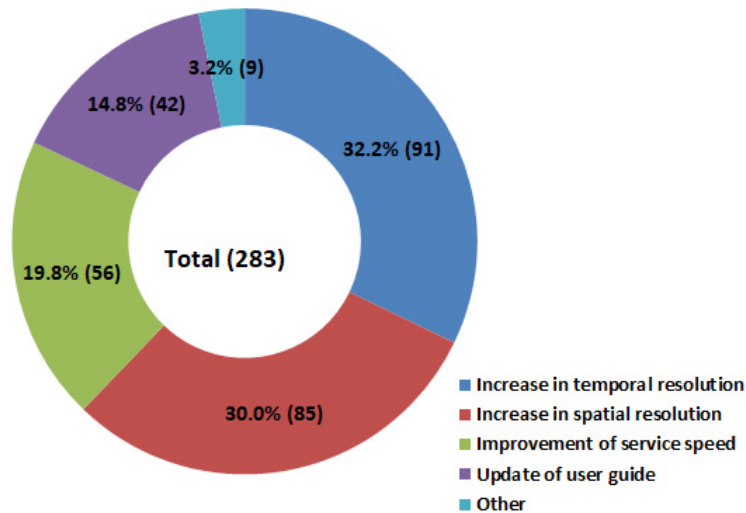
구분(점수)	2016년		2017년		2018년	
	인원(명)	비율(%)	인원(명)	비율(%)	인원(명)	비율(%)
매우만족(7)	23	32.9	11	20.8	50	34.2
만족(6)	23	32.9	19	35.8	47	32.2
약간만족(5)	17	24.3	12	22.6	27	18.5
보통(4)	7	10.0	8	15.1	18	12.3
약간불만족(3)	0	0.0	1	1.9	3	2.1
불만족(2)	0	0.0	1	1.9	0	0.0
매우불만족(1)	0	0.0	1	1.9	1	0.7



○ 개선점(중복선택 가능)

- WMO 장기예보 선도센터에서 개선되었으면 하는 부분은 시간해상도 증가와 공간해상도 증가가 각각 32.2%와 30.0%로 가장 높은 비율을 차지했고, 그 다음으로는 서비스 속도 증가가 19.8%, 사용자가이드 업데이트가 14.8%를 차지함
- 3.2%의 기타의견은 다음과 같음
 - 1) Discussion of the forecasts, including a user forum
 - 2) Increasing lead time
 - 3) More global models for the ensemble
 - 4) Improvement in graphic quality
 - 5) Enhancement of interactive tools
 - 6) Allow more organization to have access (ex. regional hydrological organization)
 - 7) Verification with high spatial resolution
 - 8) Providing wider access to digital data
 - 9) Enhancement of verification pages

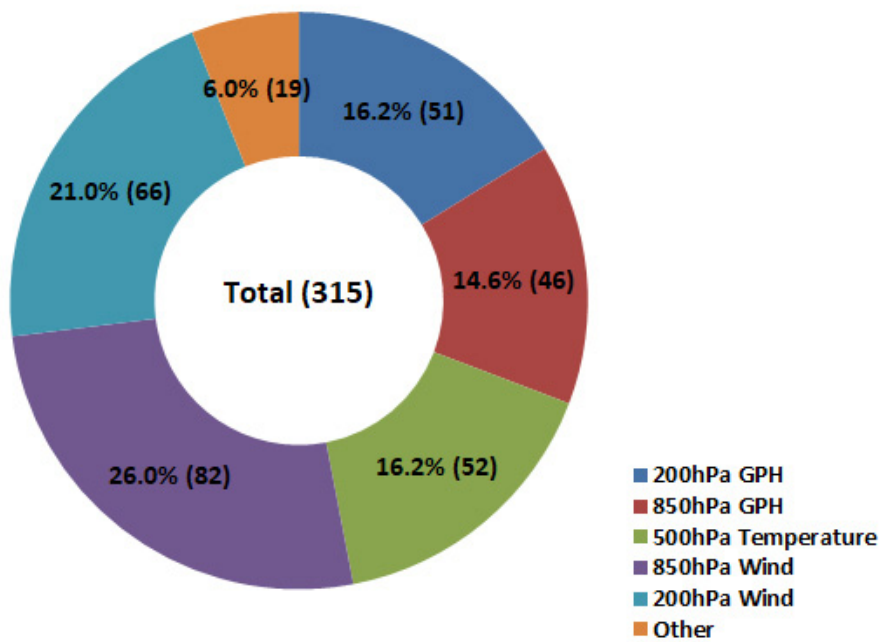
구분	인원(명)	비율(%)
시간해상도 증가	91	32.2
공간해상도 증가	85	30.0
서비스속도 증가	56	19.8
사용자가이드 업데이트	42	14.8
기타	9	3.2



○ 추가적인 변수(중복선택 가능)

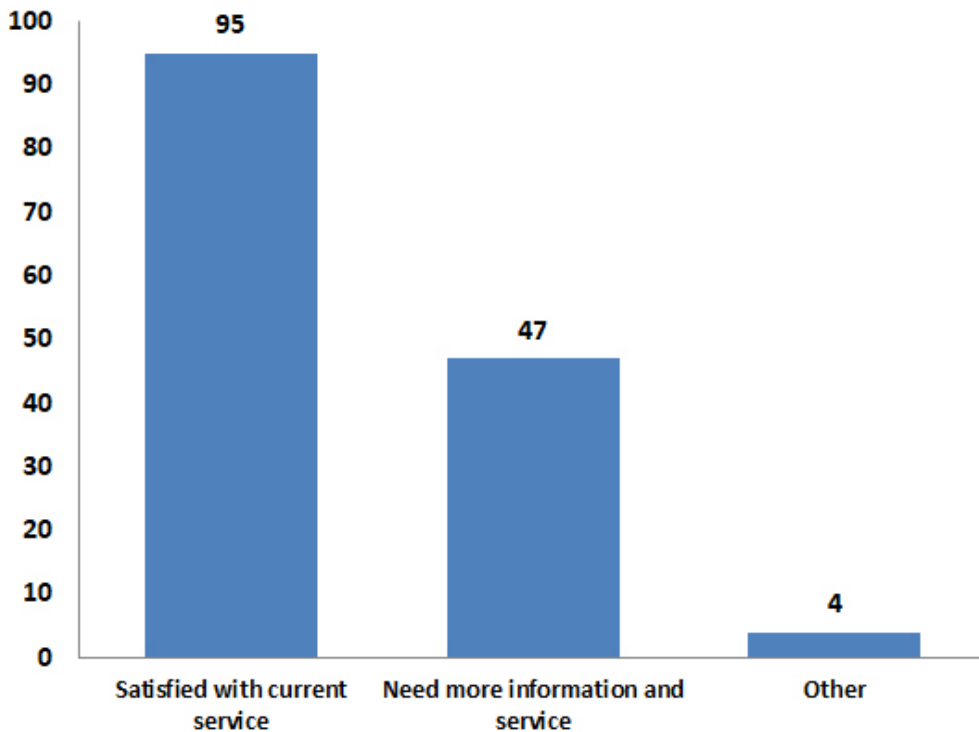
- WMO 장기예보 선도센터 홈페이지 사용자들이 추가 제공해주기를 바라는 변수는 850 hPa 바람과 200 hPa 바람이 26.0%, 21.0%로 가장 높은 비율을 차지함. 이어서 200 hPa 지위고도와 500 hPa 온도가 각각 16.2%로 그 뒤를 이었고, 850 hPa 지위고도가 14.6%를 차지함
- 6.0%의 기타의견은 아래와 같음
 - 1) Sea ice
 - 2) Specific humidity at 850 hPa
 - 3) Surface wind (wind at 10m above ground)
 - 4) OLR
 - 5) Stratospheric variables
 - 6) Temperature and wind GPH at 10 hPa
 - 7) Maximum and minimum temperature at 2m above ground
 - 8) Multi model consensus using more objective criteria

구분	인원(명)	비율(%)
Z200	51	16.2
Z850	46	14.6
T500	51	16.2
U850	82	26.0
U200	66	21.0
기타	19	6.0



○ 그래픽 정보 제공(중복선택 불가)

- 2018년 3월부터 WMO 장기예보 선도센터 홈페이지에서는 회원에게만 제공하던 그래픽 정보를 홈페이지의 로그인 없이도 이용 가능하도록 기능을 개선함. 이에 대해 사용자의 65.1%(95명)가 현재의 서비스에 만족하는 것으로 응답하였으며, 32.2%(47명)가 보다 많은 정보와 서비스가 필요하다고 응답함
- 2.7%의 기타의견은 아래와 같음
 - 1) Facilities for mode advanced interactive MME, optimized for specific regions (ex. RCOF domains)
 - 2) This was a step in very positive direction and congratulations on opening up the website for the graphical products. A similar effort needs to be made for availability of digital data.
 - 3) This is an excellent move, I really appreciate both the Lead Center and all GPCs



○ 추가 의견(선택문항)

- I think the opening page should be redesigned with more topical and real-time information. For example, it can prominently display global mean surface temperature anomalies for each of the coming six months, predicted by individual GPCs as well as MME. It can also display prediction of major global circulation features such as ENSO.
- I think that OLR seasonal or month forecast may improve the sight of analysis of impacts in precipitation pathways.
- I suggest that the projections of NiNO3.4 and NiNO1, NINO2 be placed, taking advantage of the fact that we have the information of several global models.
- Verification information (in-depth) that can zoom in to areas-of-interest.
- Free use and without restriction , thank you in advance. Regards.
- Change plot selection to be faster and easier selectable.
- Great job! Keep it up.
- Good work!
- Please open your products, papers, library, data, training...etc to the public.
- RESUMEN PARA PUBLICO GENERAL EN POCAS LINEAS, MENOS TECNICO.
- Verification with high spatial resolution 2. develop a interface so that we can feed our observed data to verify MME and Individual predictions.
- Satisfied.

- Please open up the access for digital data 2. Provide software for GRIB2 to NetCDF conversion The efforts of KMA in maintaining the Lead Center are greatly appreciated.
- No its ok.
- Nothing.
- Website is very useful. Thank you so much!
- Very Very useful for our NMHS, we need more information from not only one month weekly forecast also.
- Regional models need to add in WMO LC-LRFMME.
- Thank you. We find this website to be very useful. But we are looking forward to 850 hPa wind anomalies, and near surface (925 hPa).
- Enhance access to digital data of model hindcasts, forecasts and verification products. Create objective aggregation tools for preparing consensus climate outlooks at RCOFs.

【연구자】

이우섭 선임연구원

이현주 연구원

윤순조 연구원

김미아 연구원

김가은 연구원

김상철 연구원

연구보고서 2018-26

WMO 장기예보 선도센터 운영(8차년도)

I S B N 979-11-5698-258-6

발 행 2019년 3월

발 행 인 권 원 태

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.