

여름철 계절내 진동 예측 시스템 개선 (Ⅱ) : 다중모델앙상블 예보

Improvement of real-time forecast system on the BSISO (Ⅱ) :
Multi-model ensemble forecast

김해정

여름철 계절내 진동 예측 시스템 개선 (Ⅱ) : 다중모델앙상블 예보

Improvement of real-time forecast system on the BSISO (Ⅱ) :
Multi-model ensemble forecast

김해정

발간사

S2S (Subseasonal to seasonal)는 기상과 기후 정보를 한데 모을 수 있는 중요한 연결도구이자 극한 현상이 가장 빈번히 발생하는 시간 규모이기 때문에 그에 대한 충분한 이해와 신뢰도 높은 예측은 농업, 수자원, 보건, 에너지, 재해의 사전 대비 등 사회·경제적 측면에서도 매우 중요하게 여겨지고 있습니다. 특히 여름철 계절내 진동 (Boreal Summer Intraseasonal Oscillation, BSISO)은 S2S 예측의 중요한 잠재적 인자로 알려져 있고 이의 변동에 따른 지역적 우기와 건기의 발생은 아시아 몬순 지역 자연 재해의 약 80%에 달하는 극한 기후현상에 큰 영향을 미치기 때문에 BSISO에 대한 모니터링 및 예측 요구는 나날이 증가하고 있습니다.

현재 APEC 기후센터는 길게는 1개월 이상 믿을 만한 수준의 BSISO 예보를 실시간으로 제공하고 있습니다. 그러나 조금 더 나은 예측 성능을 얻을 수 있는 방안에 대한 그리고 응용 분야로의 보다 효율적이면서도 일관성 있는 BSISO 예측 정보 제공 방안에 대한 고찰이 필요했습니다. 그 해결 방법 중 하나로써 금년 본 센터에서는 기후 역학 모형이 가지고 있는 문제점을 최소화함으로써 예측의 신뢰도를 향상시킬 수 있는 다중모델앙상블 예측 기법을 BSISO 예보에 적용하는 연구가 이루어졌습니다. 본 연구를 통해 최적의 다중모델앙상블 예보 방안이 선정되고 추후 고품질 실시간 BSISO 다중모델앙상블 예보가 이루어져 기후-융합 분야에서의 계절내 예측 정보의 실효성이 높아지길 기대합니다.

끝으로 연구를 맡아 수행해 준 김혜정 선임연구원과 실시간 현업 운영을 담당한 정유림 연구원의 노고에 감사를 드립니다. 그리고 바쁘신 가운데도 자문과 조언을 해주신 부산대학교 안중배 교수, 울산과학기술대학교 이명인 교수에게도 진심으로 감사의 말씀을 전합니다.

2016년 1월
APEC 기후센터
소장 정진승

ABSTRACT

The objectives of this study are to improve BSISO forecast skill by developing MME method and to provide more updated BSISO information by setting up a stable operation system.

Regarding the development of BSISO MME method, the Simple Composite Method (SCM), Simple Linear Regression Method (SLR), and Multiple Linear Regression Method (MLR) are used as linear methods, while the Genetic Algorithm (GA) is utilized as the non-linear method. Four operation models are used when applying the MME method. The number of available forecast samples was 46 days with a 151 day data window. Pattern correlation, Hit Rate, False Alarm Rate, and Bivariate Correlation methods were used to verify anomaly fields and BSISO indices. The MME performance in predicting the BSISO varies with the methodology. BSISO MME indices are able to be well predicted with a 1 week to 2 week forecast lead time. SCM has the best performance in predicting BSISO indices and its skill is comparable to the best performance of a single model. Calibration can help to improve the accuracy of OLR and U850 anomalies. Application of an optimal technique for each variable may be needed to produce more skillful BSISO indices.

For the BSISO operational work, the observation data is changed from NCEP Reanalysis 2 to NCEP Reanalysis 1. This change provides more stable and up-to-date monitoring and forecast information by cutting the gap between the date of the latest observation and today's date from 7 days down to 3 days. In addition, BSISO monitoring indices are able to be downloaded from the APCC webpage, which is more user friendly. Taiwan CWB's forecast model has joined in the BSISO forecast activity as a participant and its forecast service has been available from May 1, 2015.

목 차

1. 서론	1
2. 연구 자료 및 방법	4
2.1 BSISO 현업 예보에 대한 MME 기법 적용 및 개발	4
2.1.1 다중 모델 결합 기법 적용 및 개발	4
2.1.2 검증	12
3. 연구내용	13
3.1 BSISO 현업 예보에 대한 MME 기법 적용 및 개발	13
3.1.1 다중 모델 결합 기법 적용 및 개발	13
3.1.2 검증	15
4. 결론 및 토론	21
▮ 참고 문헌	25
▮ 부록	27

1. 서론

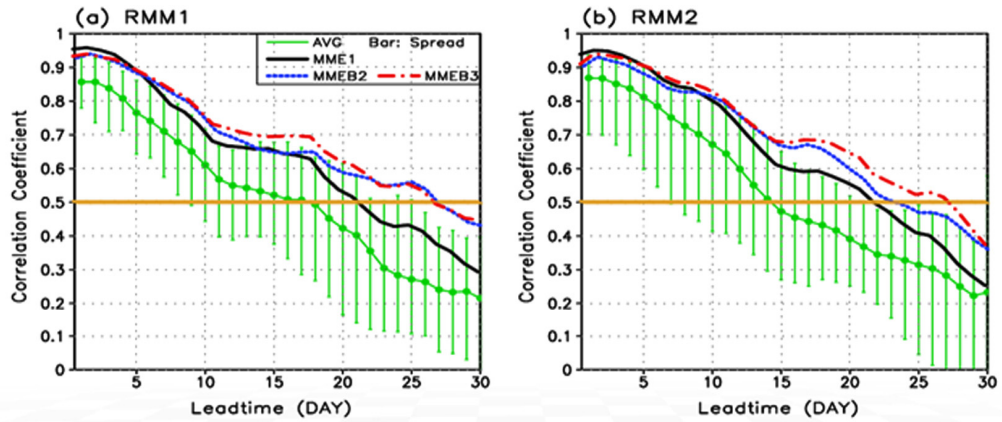
역학적 방법을 이용한 기후예측 기술의 꾸준한 발달에도 불구하고 모든 역학적 모형들은 소위 계통적 오차를 가지고 있다. 이러한 오차의 원인은 주로 모형이 가지고 있는 불완전성과 초기값의 부정확성 때문이다. 최근 역학적 모형이 갖고 있는 이러한 문제점을 해결하고 개별 모형이 가지는 예측의 한계를 보완하기 위하여 모형 내의 불완전한 역학·물리적 계산과정 및 초기조건에 따른 민감도를 줄이는 다중모형앙상블(Multimodel Ensemble, MME) 예측 방법이 일반화 되어 사용되고 있고 (Krishnamurti et al., 1999; Peng et al., 2002; Yun et al., 2005), MME 예측기술이 단일 모형을 사용할 때 보다 예측의 신뢰도를 향상 시킬 수 있음 또한 잘 알려져 있다 (Barnston et al., 2003; Palmer et al., 2004; Hagedorn et al., 2005).

중기 및 계절내 시간 규모에 대한 MME 예측에 있어서 지금까지 다수의 연구들이 진행되어 왔고 여전히 모델마다 동일한 가중치를 주어 평균하는 방법이 가장 예측력이 좋거나 비용 대비 높은 효과를 얻을 수 있는 기법이라 알려져 있다 (Kharin and Zwiers, 2002; Peng et al., 2002; Hagedorn et al., 2005; DelSole, 2007; Weigel et al., 2010; DelSole et al., 2014). 계절내 시간 규모에서 가장 큰 변동성을 나타내는 계절내 진동 (Intraseasonal Oscillation, ISO)에 대해서도 MME 연구가 ISVHE (Intraseasonal variability hindcast experiment) 프로젝트를 통해 수행 된 바 있다. 이 프로젝트에서도 개별 모형에 동일한 가중치를 주는 방식 (Simple Composite Method, SCM)을 활용하였고 더 나은 예측력을 끌어내려는 시도로 최상의 성능을 보이는 모형군을 선택하여 SCM을 적용하였다 (Figure 1).

MME 기법에 대한 지속적인 개선을 통해 더 나은 예측력을 얻을 수 있는 방안에 대한 꾸준한 연구가 필요하다. 게다가 보정을 통한 앙상블 예측 성능 향상에 관한 방안 또한 MME 기법 개발과 동반되어 이루어지고 있고 여러 연구들을 통해 그 효과를 입증하고 있다(e.g. Doblas-Reyes et al., 2005; Hagedorn et al., 2008). 그러므로 모형 예측 자료 및 기법별로 가지는 특성에 대한 이해를 기반으로 예측의 결합 방법뿐만 아니라 전·후 통계적 보정 과정까지 함께 고려된 예측기술을 개발하는 것이 현 시점에서 가장 필요한 당면과제라 하겠다.

APEC 기후센터는 2013년부터 실시간으로 여름철 계절내 진동(Boreal Summer Intraseasonal Oscillation, BSISO) 모니터링 및 예측 서비스를 제공하고 있다. 이후 2014년에 구축된 검증 시스템은 모형들의 예측 성능에 대한 상호 비교를 가능하게 해주어 MME를 통해 더 나은 BSISO 예측 정보를 제공할 수 있는 기반을 만들었다. Matsueda and Endo (2011)에 의하면 현업 모델들 사이의 ISO 예측 능력을 비교하는 것이 ISO 예측을 개선시키는 첫 번째 단계이고 다음 단계로는 ISO와 다른 극한 기상 현상의 예측성 연구를 위해 MME 연구가 이루어져야 한다. 이렇듯 여러 선행연구들에서도 보듯이 예측 성능을 비교한 후 그 다음 단계로 예측성 개선을 위한 MME 방안을 연구하는 것이 일반적이다. 이에 2015년에는 계절내 예측에 대한 최적의 MME 예보 시스템을 구성해 BSISO의 예측 능력을 향상 시키고자 하고 MME를 통한 BSISO 예측 서비스 개선은 향후 사용자에게 더 양질의 정보를 제공하게 될 것이다.

또한 2013년부터 운영되고 있는 BSISO 현업 시스템 또한 다양하게 발생하는 사용자의 수요를 만족시키고 더 나은 서비스를 제공하기 위해 단계적으로 개선될 필요가 있다. 따라서 본 연구는 BSISO에 대한 고품질 예측 생산 기술 보유 및 현업 운영이라는 궁극적인 목표를 위해 다중모델앙상블 예측 기술 개발을 통해 BSISO의 예측성을 향상시키고 BSISO 현업 시스템 개선을 통해 보다 안정적인 시스템 운영 및 향상된 정보를 제공하고자 한다. 비록 독자 및 시스템 관리자의 편의를 위해 2015년 동안 수행된 BSISO 현업 시스템 운영 및 개선에 관한 내용은 [부록]으로 정리하여 보고서 하단에 별도로 제시하였으나, 이 부분 역시 본 연구의 두 가지 목적 중 중요한 그리고 상당한 비중을 차지하는 하나라는 것을 저자는 서두에서 짚고 넘어가고자 한다.



Common Period: 1989-2008
Initial Condition: 1st day of each month from Oct to March
MME1: Simple composite with all models
MMEB2: Simple composite using the best two models
MMEB3: Simple composite using the best three models

Figure 1 Multi-Model Ensemble skills for Madden Julian Oscillation (MJO) from Intraseasonal Variability Hindcast Experiment (ISVHE).

2. 연구 자료 및 방법

2.1 BSISO 현업 예보에 대한 MME 기법 적용 및 개발

2.1.1 다중 모델 결합 기법 적용 및 개발

기후 예측에서 주로 사용되어 온 선형·비선형 MME 기법들을 중심으로 BSISO MME 예보로의 활용 가능성 타진 및 기법별 특성을 파악하고자 하였다. 선형 기법으로는 Simple Composite Method (SCM), Regression Method (Simple Linear Regression (SLR), Multiple Linear Regression (MLR))이 사용되었고 비선형 기법으로는 Genetic Algorithm 이 활용되었다 (Figure 2).

MME 수행 시 호주기상청, 유럽중기예보센터, 미국국립환경예측센터의 현업 모델들로부터 생산된 예측 자료를 사용하여 총 4개 모델이 활용되었다. MME 기법 적용 시 활용한 예측 sample의 수는 BSISO 예측 현업이 시작된 2013년 7월 1일부터 2015년 9월 30일 46일이며, sample 선정 시 가용할 수 있는 모델들이 공통적으로 가지고 있는 예측 자료에 대해서만 고려하고자 하였다 (Figure 3). 영국기상청은 2015년부터 새로운 현업 모델을 도입하여 sample 군 구성 시 예측 자료의 일관성이 떨어져 3년간의 BSISO MME 예보 성능을 평가하기 어렵다 판단되어 모델군에서 제외시켰다. CWB 모델 역시 2015년부터 새롭게 도입되어 sample 수를 만족시키지 못 해 MME 대상 모델에서 제외되었다.

Figure 5는 MME 기법 적용 시 사용할 예측 자료에 대해 data window를 구성하는 방법을 도식화 한 그림이다. 이해를 돕기 위해 예로써 2015년 6월 4일을 초기치로 가지는 예측을 선택하였다. 타겟이 되는 6월 4일의 이전 30일과 이후 30일 예측들을 먼저 선택하였고 각 해마다의 해당 기간 예측 자료를 가져와 일렬로 연결지어 data window를 구성하였다. 이렇게 만들어진 data window는 최대 151일의 길이를 가지고 있어 MME 수행 시 필요한 다양한 계수 산정에 적절하다.

각각의 기법에 대한 자세한 내용은 다음과 같다.

2.1.1.1 Simple Composite Analysis (SCM)

기후예측에서 가장 보편적으로 쓰이고 있는 MME 기법은 사용되는 모델에 동등한 가중치를 주어 계산하는 SCM 기법이다. Figure 6은 SCM 방법을 도식화 한 그림으로써 MME 예보의 목표가 되는 2015년 6월 4일에 대해서 이용 가능한 모델들의 예측들을 단순히 산술 평균하는 것을 나타낸다. 이렇듯 산술평균 방식은 비교적 정확하고 확률적으로 가장 믿을만한 예측을 만들어내는 경쟁력 있는 방법이라고 알려져 있다 (Kharin and Zwiers, 2002; Peng et al., 2002; Hagedorn et al., 2005; DelSole, 2007; Weigel et al., 2010). 그리고 DelSole 등 (2014)에 의하면 전지구 기온, 강수에 있어서 동등한 가중치를 주는 MME 방식을 통해 효과를 볼 수 있는 면적이 기온은 전지구의 약 77%, 강수는 육지의 약 90%가 해당된다고 한다 (Figure 7). 즉 이러한 결과는 unequal weighting으로 효과를 볼 수 있는 지역이 전체 지구에서 아주 작은 비율을 차지함을 의미한다. 그러나 지금까지 많은 연구들이 전지구에 대해 가장 잘 활용될 수 있는 MME 기법을 찾고자 하였고 그 결과는 변수마다, 지역마다 달라 일반화된 결론을 도출하기 어려워 가장 경제적인 방식인 SCM을 많이 사용해온 경향이 있다. 본 연구에서 다루는 영역은 아시아 몬순 지역으로 ISO의 특성이 두드러지는 영역일 뿐만 아니라 전지구 보다 작은 규모로 다양한 기법들을 적용할 만한 가치가 있다. 또한 Figure 7에서 보듯이 아시아 몬순 지역은 다른 지역에 비해 서로 다른 가중치를 주는 기법들에 의한 효과를 볼 수 있는 지역이므로 아래의 다양한 MME 기법들을 적용해 보았다.

2.1.1.2 Simple Linear Regression (SLR)

단순 선형 회귀 방식은 각 모델의 예측 결과를 회귀식을 활용하여 일종의 보정 과정을 거친 뒤 추정된 예측 결과들을 단순 평균하는 방식이다 (Figure 8).

2.1.1.3 Multiple Linear Regression (MLR)

아래의 수식에서처럼 다수의 예측결과를 이용한 다중모델 앙상블 예측은 다중선형 회귀 기법을 적용하여 각 모델들마다 가중치를 달리 둘 수 있다.

$$S(t) = \bar{O} + \sum_{i=1}^N a_i (F_i(t) - \bar{F}_i)$$

각 모델의 가중치를 구할 때 SVD (Singular Value Decomposition) 방식을 사용하여 모델들 간의 교차 공분산 행렬을 풀어내고자 하였고 그 식은 다음과 같다 (Yun et al., 2003; Krishnamurthi et al., 1999).

$$C_{i,j} = (UVW^T)_{i,j} = \sum_{k=1}^n w_k U_{ik} V_{jk}$$

2.1.1.4 Genetic Algorithm

기후 시스템은 구성 요소들 간의 복잡한 상호작용에 의해 본질적으로 비선형성, 비예측성을 가지고 있다. 그러므로 기존의 통계적 선형적인 방법만으로 기후 예측성을 향상시키기에는 한계를 가지므로 비선형성을 고려한 방법이 필요하고, 그 중 최근 널리 쓰이고 있는 기법인 유전 알고리즘(Genetic Algorithm)을 본 연구에서 활용하고자 한다. 유전 알고리즘이란 유전적 계승과 생존경쟁이라는 진화의 원리를 알고리즘 형태로 모델링 한 확률적 탐색법이다(Holland, 1975). 유전 탐색 프로세스는 크게 초기화, 적합도 평가와 재생산(선택, 교배, 돌연변이), 또 다시 적합도 평가의 4단계로 구분된다(Figure 9). 생물의 생존경쟁에서 이기면 살아남고 지면 도태하게 되는 원리처럼, 상대적으로 가장 높은 적합도를 가진, 즉, 관측값과의 오차가 상대적으로 작은 가중치들은 다음 세대 생성을 위해 선택되어 복제되고, 오차가 큰 가중치들은 없어지게 된다(진강규, 2000). 본 연구에서는 이상과 같이 일련의 과정을 거친 비선형 환경이 고려된 유전 알고리즘을 BSISO MME에 적용시키고자 한다.

Table 1 Details of available models on BSISO operational forecast

Institute	Model	Ensemble Size	Forecast Period	Update Frequency	Resolution
NCEP	Climate Forecast System	4	40 days	Once a day	T126 L64
	Global Forecast System	1	16 days	Once a day	T574, T190 L64
BOM	POAMA 2.4 multi-week model	33	40 days	Twice per week	T47 L17
ECMWF	ECMWF Ensemble Prediction System	51	32 days	Twice per week	T639, T319 L62
UKMO	MOGREPS-15	24	15 days	Once a day	60km L70
Taiwan CWB	CWB EPS T119	6	40 days	Every 5 days	T119 L30



Figure 2 Multi-Model combination and verification methods

8 | 여름철 계절내 진동 예측 시스템 개선 (Ⅱ) : 다중모델앙상블 예보

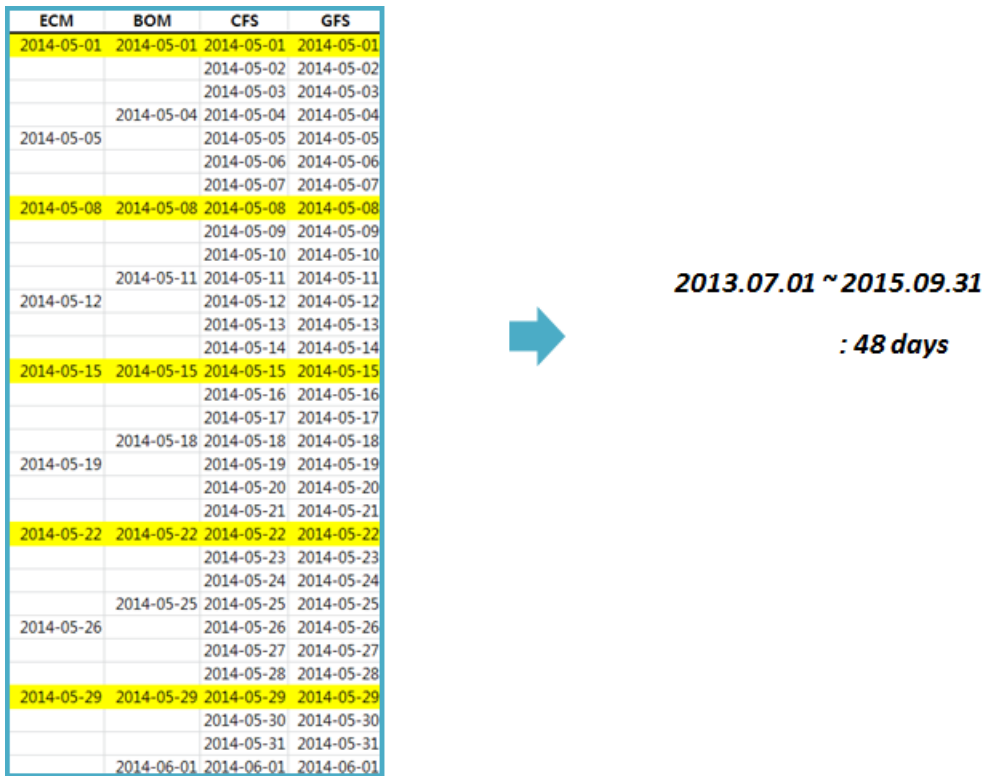


Figure 3 An example of selecting sample data used for real-time Multi-Model combination during July 1, 2013 ~ Sep. 31, 2015

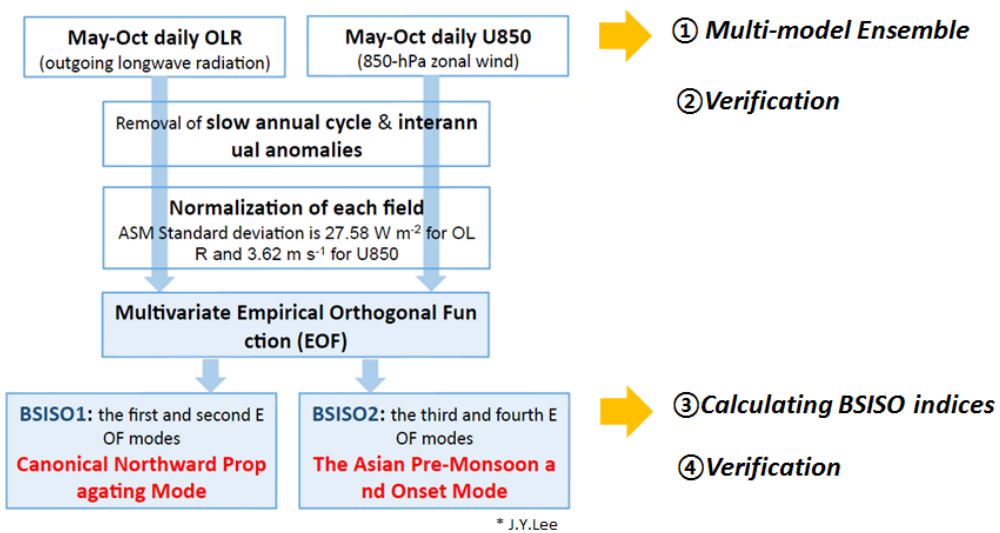


Figure 4 Analysis procedure for producing real-time MME BSISO indices

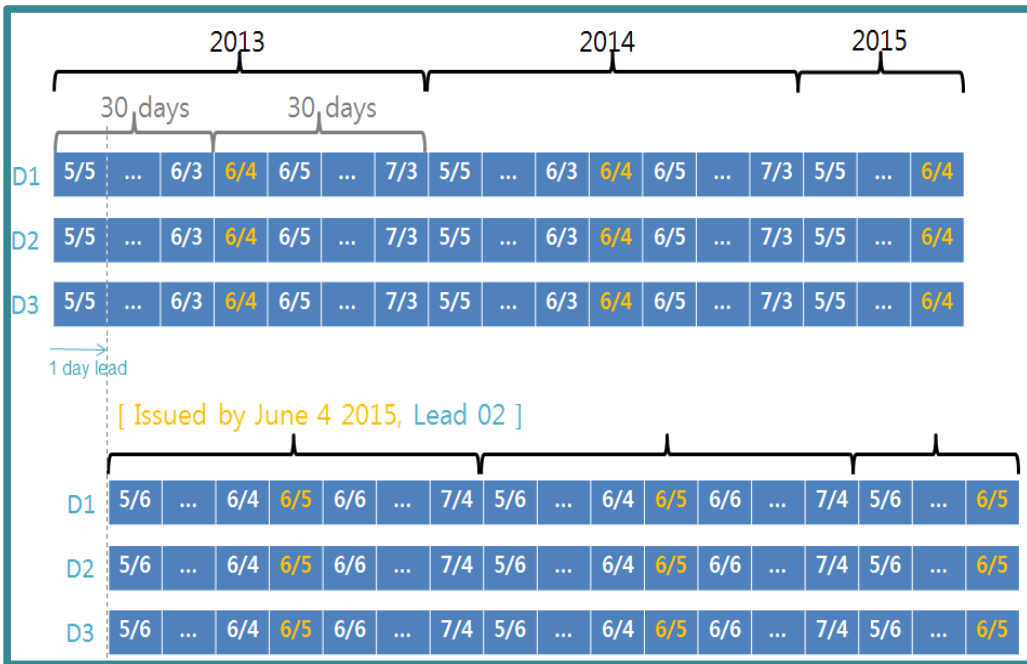


Figure 5 Schematic diagram of consisting data window for calculating MME coefficient. An example of target date with June 4, 2015

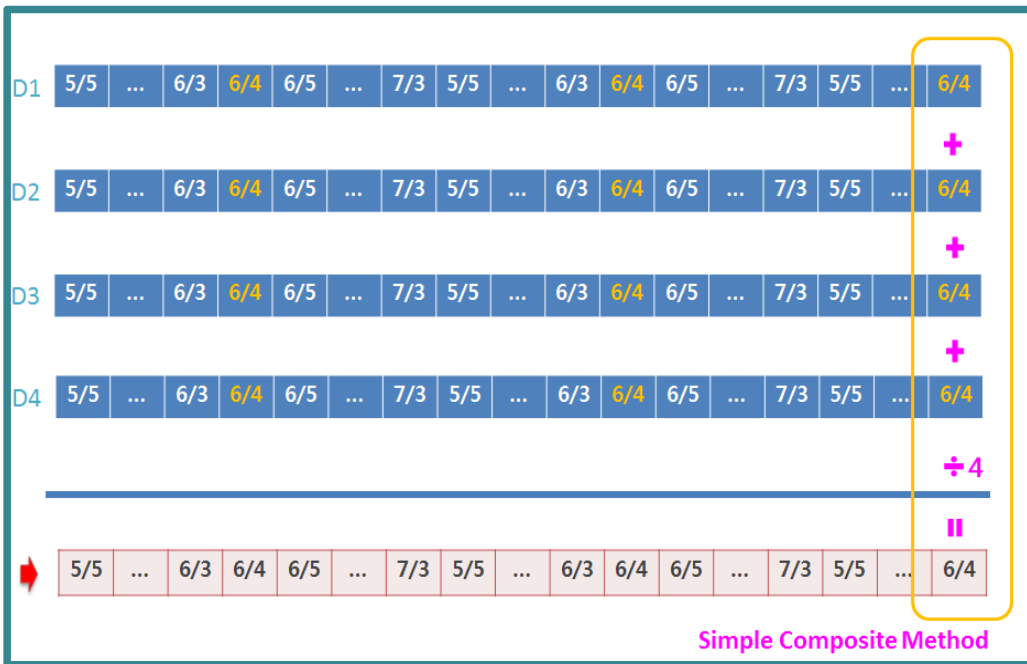


Figure 6 Simple Composite Method for the forecast on June 4, 2015

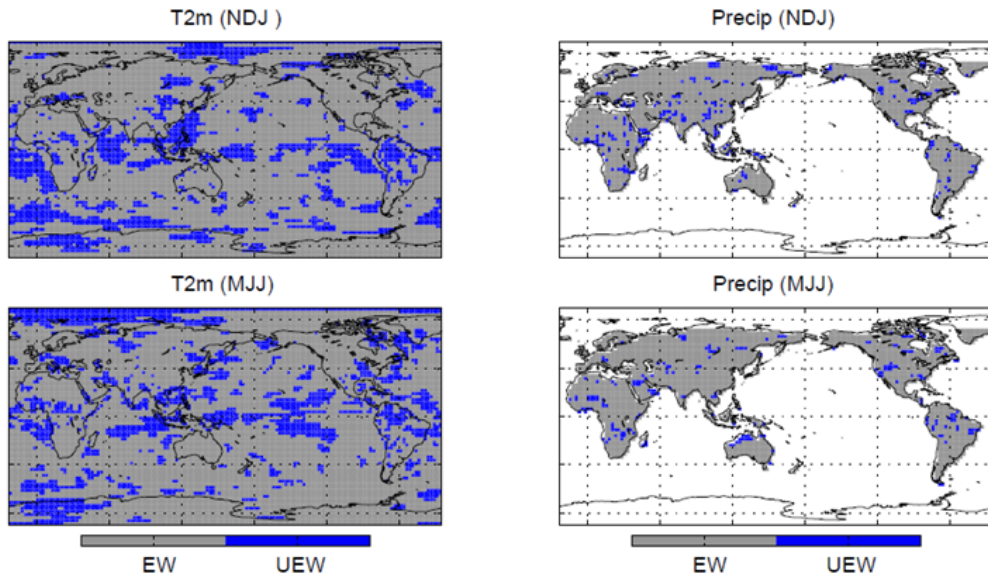


Figure 7 Results of testing the hypothesis of equal weights on hindcasts of 2m-temperature (precipitation) from five models in the ENSEMBLES data set over the period 1960-2005. Blue shading indicates regions for which the equal weighting hypothesis is rejected at the 5% significance level for November-December-January and May-June-July. Grey shading indicates regions where the hypothesis of equal weights could not be rejected. The fraction of global area for which the equal weighting hypothesis is rejected is 22% (12%) and 23% (10%) for NDJ and MJJ, respectively. from DelSole et al., 2014.

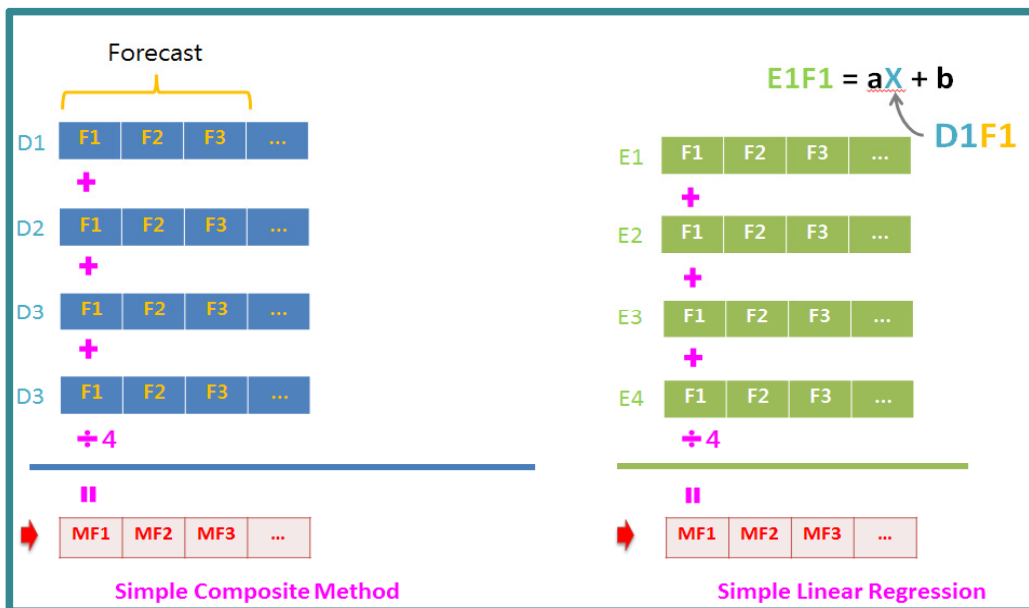


Figure 8 Simple Linear Regression Method for the forecast on June 4, 2015

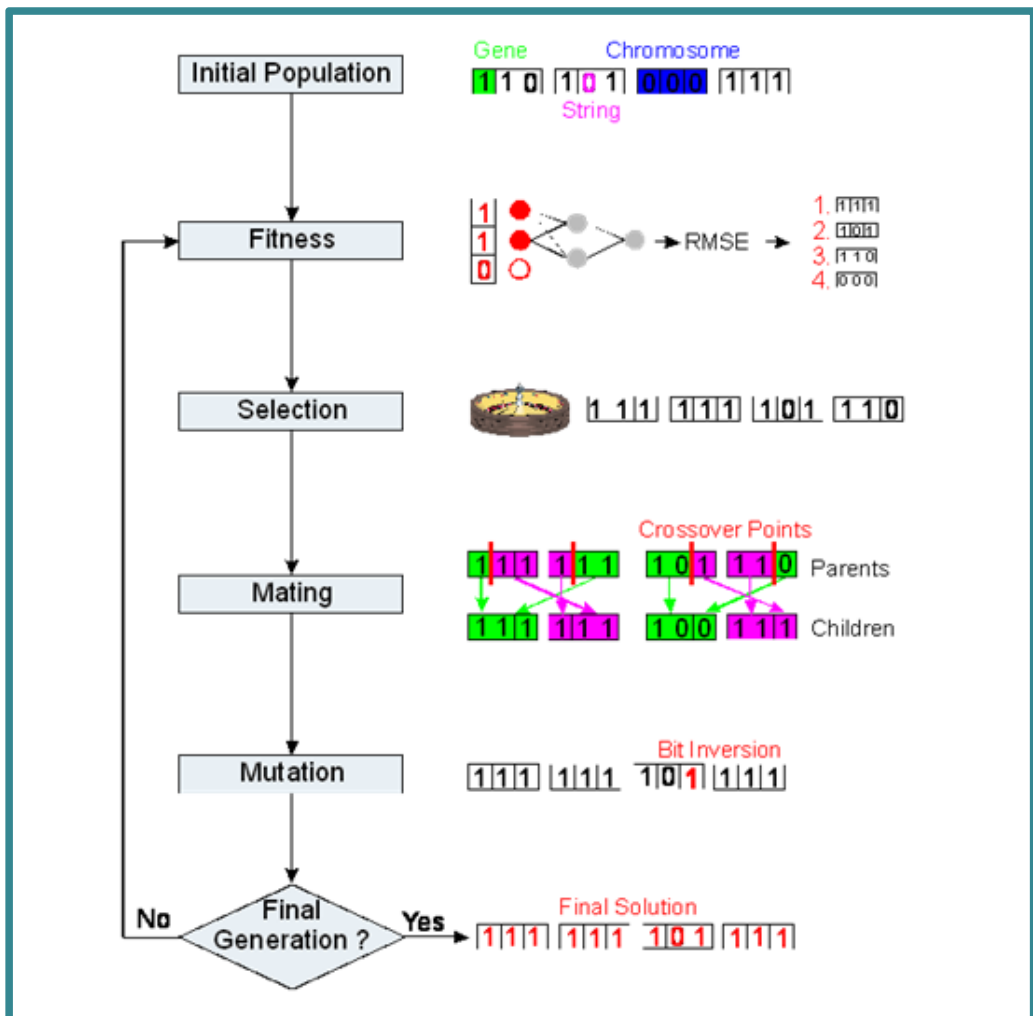


Figure 9 Schematic diagram on Genetic Algorithm

2.1.2 검증

Figure 2에서 보듯이 다중모델앙상블이 이루어지고 나면 기법들의 예측 성능 평가를 위해 검증 과정을 거치게 된다. 기본적으로 BSISO 예보 지수가 생산 되는 과정은 Figure 4와 같다. 각 현업 모델들로부터 실시간으로 상향장파복사(Outgoing Longwave Radiation, OLR)와 U850이 수집이 되면 아노말리 장을 계산한 뒤 미리 계산된 EOF 공간장에 projection 시켜 지수를 계산하게 된다. 그러므로 입력 자료라 볼 수 있는 OLR과 U850 아노말리 장이 정확해야 정확한 BSISO 지수를 얻을 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 먼저 OLR과 U850에 대해서 MME 기법들을 적용 한 뒤 각각의 공간장에 대한 예측 성능 평가를 한다. 이후 MME 기법별로 BSISO 지수를 계산하고 생산된 BSISO 지수에 대한 검증을 진행하였다. 그러므로 검증은 OLR, U850에 대한 공간장 검증과 BSISO 지수 검증 두 단계로 나뉘 질 수 있다.

2.1.2.1 공간장 검증

OLR과 U850 아노말리에 대한 공간장 검증에서 사용된 관측 자료는 R2이다. 공간 상관, Hit rate, False Alarm Rate 세 가지 기법이 검증에 사용되었다 (Figure 2).

2.1.2.2 BSISO 지수 검증

BSISO 지수에 대한 MME 기법 별 예측 능력 평가를 위해서 Bivariate Correlation, Root Mean Square Error, Amplitude error, Phase error, MSSS 등이 활용되었으나 결과로는 Bivariate Correlation와 Root Mean Square Error만을 제시하였다 (Figure 2).

3. 연구내용

3.1 BSISO 현업 예보에 대한 MME 기법 적용 및 개발

3.1.1 다중 모델 결합 기법 적용 및 개발

OLR과 U850에 대해 MME 기법을 적용하면 하나의 sample에 있어서 각 모델별, 기법별로 아노말리 장이 만들어진다. Figure 10은 2015년 6월 4일에 대한 한 예로써 리드타임 1일에 대한 관측, 단일 모델, SCM의 OLR 아노말리를 보여준다. 관측에서 보여주는 인도양에서의 강한 대류 아노말리와 maritime continent에서의 양의 아노말리를 모델들과 SCM이 비교적 잘 모의하고 있으나 그 강도 및 분포는 모델별로 기법별로 다소 상이하다. 이러한 아노말리 장은 리드타임 1일에서 20일까지 생산이 되고 (e.g. Figure 11,12) 변수별로 리드타임별로 각각 검증이 된다.

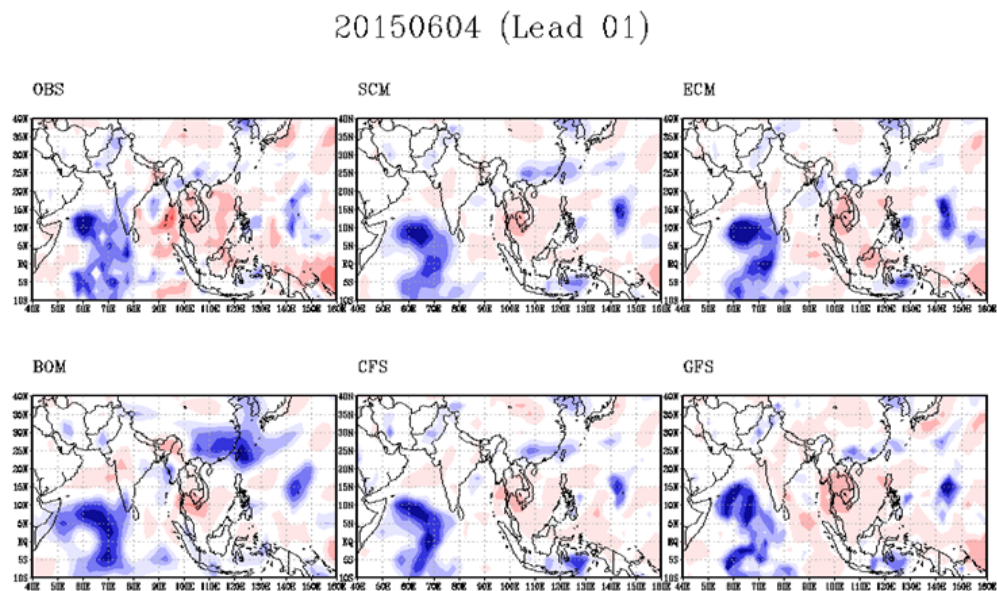


Figure 10 Comparison of OLR forecast anomaly from single models and SCM issued June 4, 2015 at the first lead time

20150605 (Lead 02)

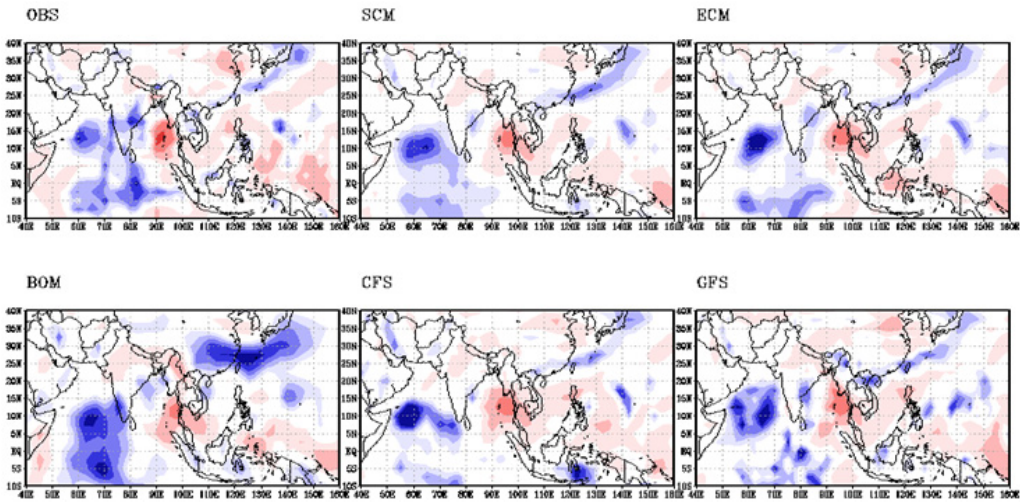


Figure 11 As in Figure 10, except for the second lead time

20150606 (Lead 03)

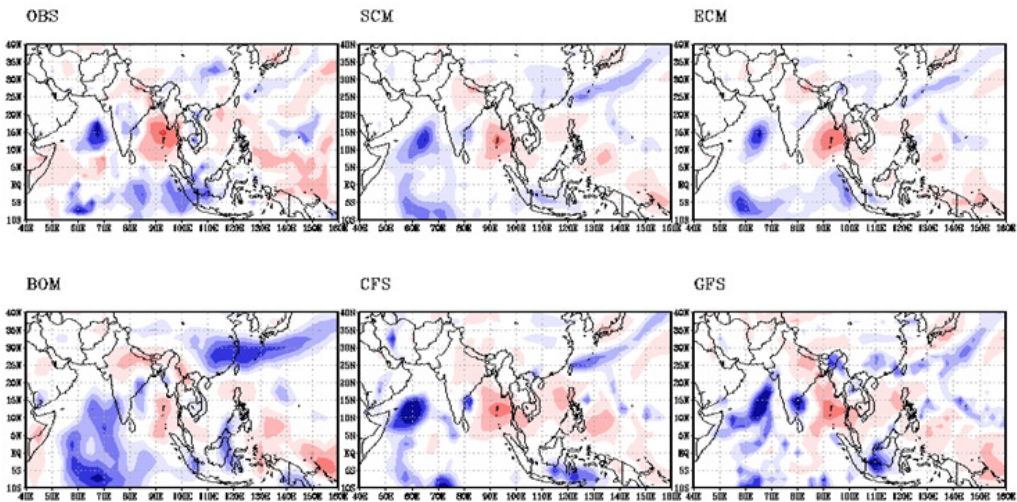


Figure 12 As in Figure 10, except for the third lead time

3.1.2 검증

Figure 10~12에서 나타난 결과를 좀 더 정량적으로 평가하기 위하여 Hit rate와 False Alarm Rate를 계산하였고, 리드타임 1~16에 대해 가용할 수 있는 sample data 전체를 사용하였다. 이 때 3분위 예보 기준인 below normal, normal, above normal을 결정하는 임계치로는 각 카테고리가 33%의 확률을 가지게 0.53배의 표준편차를 사용하였다. Hit Rate는 관측에서 발생한 횟수와 모델이 예측한 횟수의 비로 정의되는데 큰 값일수록 예측력이 우수하다고 할 수 있고, 반면 False Alarm Rate는 관측에서 발생하지 않은 횟수와 모형에서 예측한 횟수의 비로 정의되며, 값이 작을수록 모형의 예측 능력이 우수하다고 할 수 있다. 결과들은 아노말리 크기에 대한 모델의 정확도를 의미한다. Figure 13은 그 중 리드타임 1일에 대한 OLR의 Hit Rate를 보여준다. 대체로 단일 모델들이 MME 보다 더 정확한 아노말리를 가지는 것으로 나타나고 있어 MME의 효과를 기대하기 힘들다.

이 score를 각 리드타임마다 공간 평균하여 한 눈에 볼 수 있게 정량화 한 결과를 Figure 14에서 보여준다. 회색 점선은 단일 모델의 결과이고 색이 있는 선은 MME 결과이다. 리드타임 전반에 걸쳐 대체로 단일 모델의 score가 MME 보다 높다고 보여진다. 일반적으로 MME 적용 시 아노말리의 크기나 변동이 상당히 작아지는 결과를 보이는데 이러한 경향이 본 연구에서도 나타난 듯하다.

Figure 15에서는 아노말리 패턴의 공간적 유사성을 확인할 수 있는 공간 상관값을 제시하였다. SCM이 아노말리 패턴을 예측하는데 있어서 가장 좋은 스킬을 가지고 그 다음으로 GA 기법이 우수하다. 모든 MME 기법들의 성능이 가장 높은 예측성능을 가지고 있는 모델 (best 단일 모델)에는 미치지 못하는 아쉬움이 있지만 SCM이나 GA을 활용할 시엔 나머지 단일 모델들보다는 훨씬 높은 예측 능력을 가질 수 있다.

이러한 공간장을 가지고 BSISO 지수를 계산한 뒤 지수에 대한 검증을 수행하였다. Figure 16은 BSISO1과 2에 대해 이변량 상관계수를 리드타임별로 나타내었다. MME 기법들간 비교에 있어서는 SCM이 가장 우수한 성능을 가지고 있다. 상관계수 0.5를 신뢰할만한 예측의 기준으로 뒀을 때 SCM은 BSISO 1 (BSISO 2)은 약 13.5일 (9일) 정도의 예측 성능을 가진다. SCM이 best 단일 모델과 견줄만한 정도의 예측 스킬을 보유하고 있으므로 SCM 기법이 적용된 아노말리 장애 보정과정을 추가한다면 더 나

은 예측 스킬을 기대할 수도 있다. 따라서 아노말리 장에 SCM 기법을 적용 후 SLR 기법을 통해 보정했다.

Figure 17의 (i)에서 보정된 SCM 아노말리 장의 예보 적중률을 확인할 수 있는데 아노말리 장의 개선에 따른 상당한 예보적중률의 향상을 보여준다. 그러나 여전히 ECMWF의 모의 성능을 넘기에는 한계가 있는 듯하다. 보정된 SCM 아노말리의 공간 상관 값은 보정전의 SCM과 유사한 수준이거나 (OLR), SCM의 예측성을 높이는 데는 다소 부족함이 있었다 (U850, Figure 18). 이렇게 보정된 SCM 아노말리장은 BSISO 지수에 대한 예측에 있어서 SCM과 거의 비슷한 성능을 가지고 있는데 이는 best 단일 모델의 예측성을 뛰어 넘는 결과는 아니라는 것을 의미 한다 (Figure 19).

또한 OLR과 U850에 대해서 SCM과 GA 기법이 가장 우수한 성능을 가지고 있음을 알 수 있다 (Figure 18). 여기서 BSISO 지수를 계산 할 때 각 변수마다 최적의 기법을 선택해서 두 기법을 혼용한다면 더 예측성 높은 지수를 생성할 수 있으리란 기대를 할 수 있다. 그래서 OLR에 대해서는 SCM 기법을, U850 에 대해서는 GA 기법을 사용한 아노말리 장을 사용하여 BSISO 지수를 계산하였다. 그 과정을 Hybrid 기법이라 칭하였고 결과는 Figure 20에서 확인할 수 있다. 그 결과 일부 리드타임에서는 가장 좋은 상관계수를 가지고 있었지만 대체로 SCM과 비슷한 수준의 성능을 가지고 있었다.

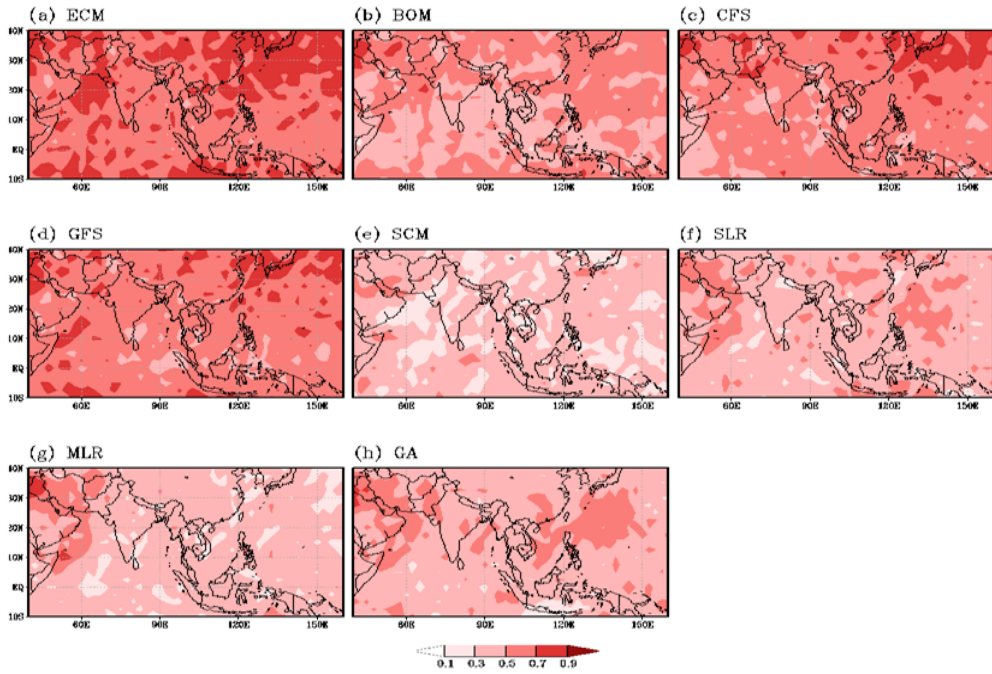


Figure 13 Comparison of Hit Rate for OLR among models and MME methods for all sample data at the first lead time

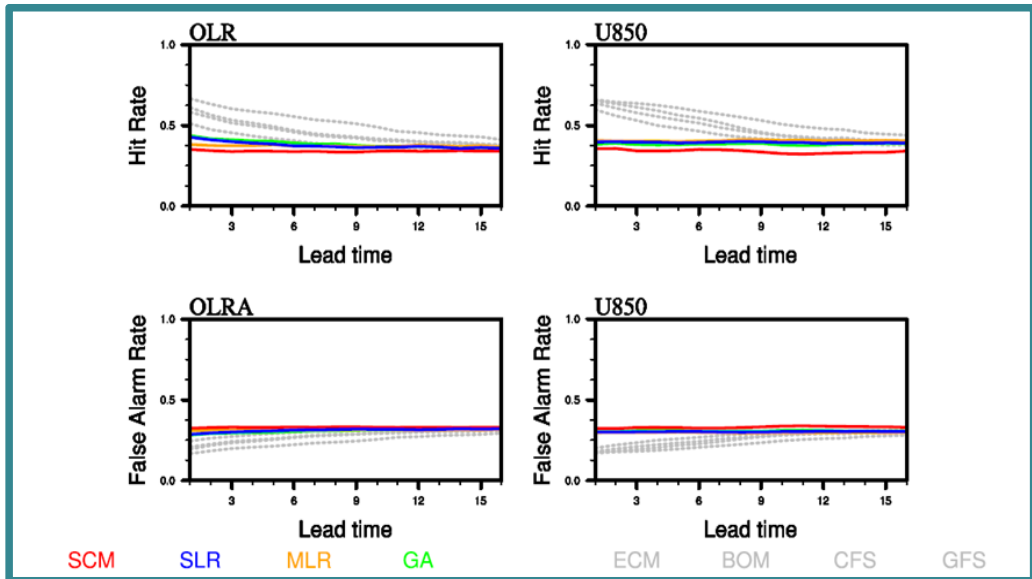


Figure 14 Hit Rate and False Alarm Rate of OLR and zonal wind at 850 hPa as a lead time for all sample case

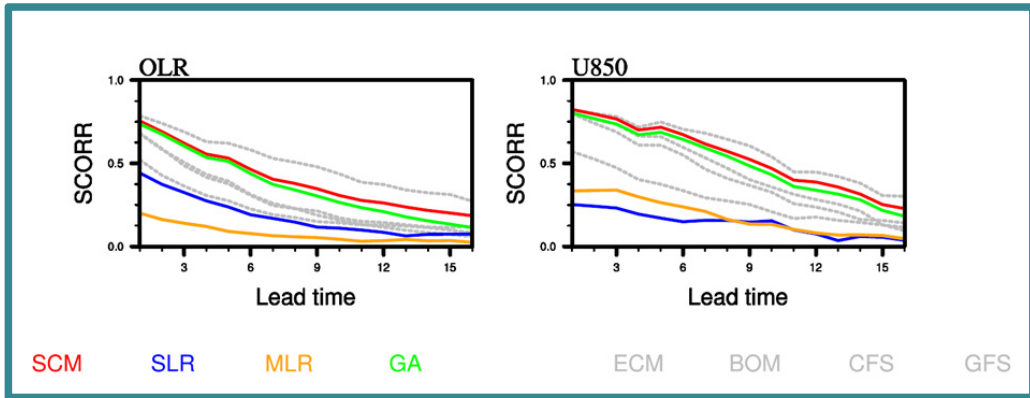


Figure 15 Pattern correlation of OLR and 850 hPa zonal wind anomalies as a lead time

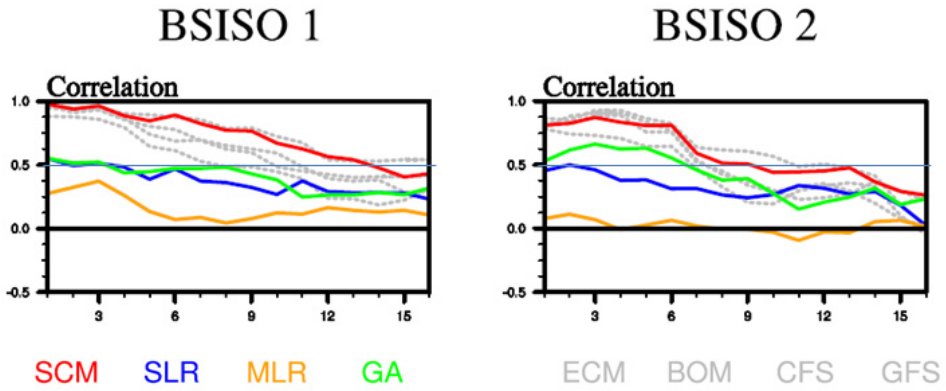


Figure 16 Bivariate correlation coefficient of BSISO indices for all sample case

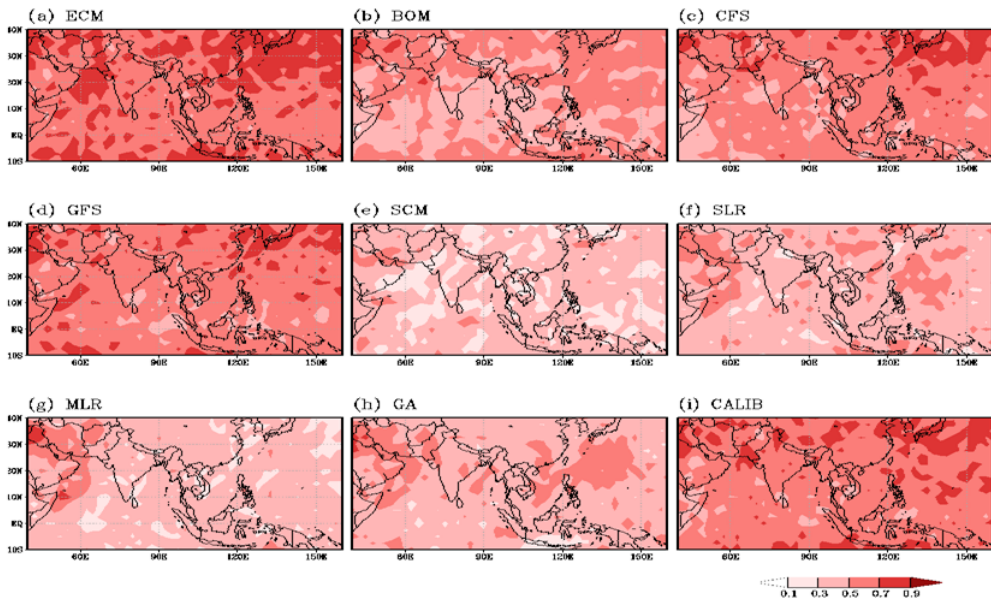


Figure 17 Calibration effect on Hit Rate for OLR at the first lead time

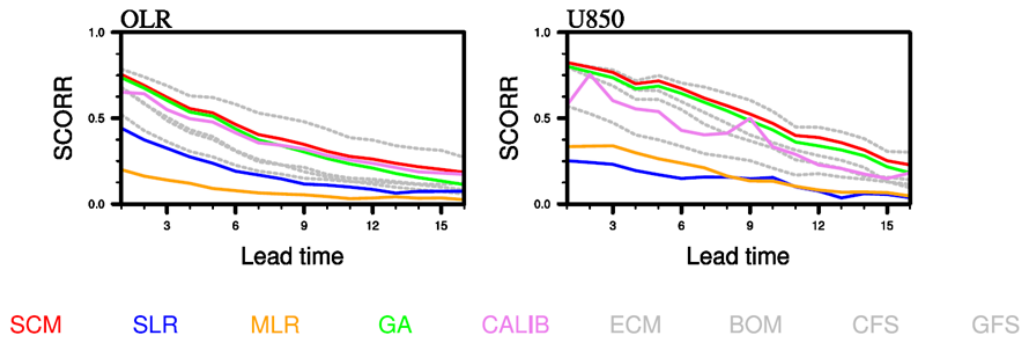


Figure 18 Calibration effect on pattern correlation for OLR anomaly as a lead time

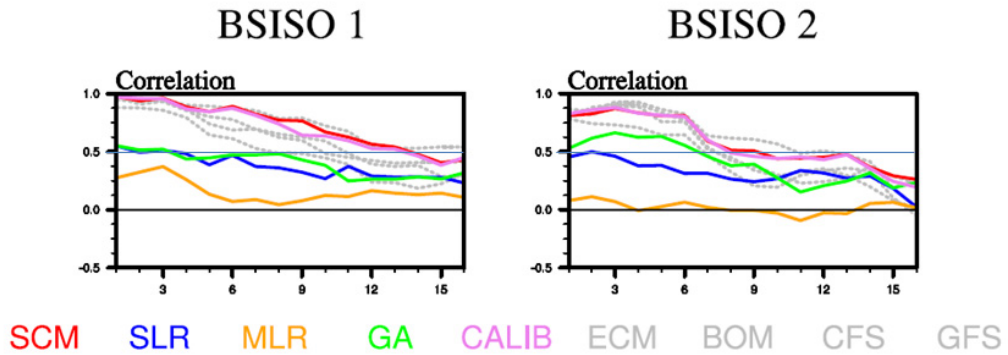


Figure 19 As in Figure 18, except for forecast skill of BSISO indices

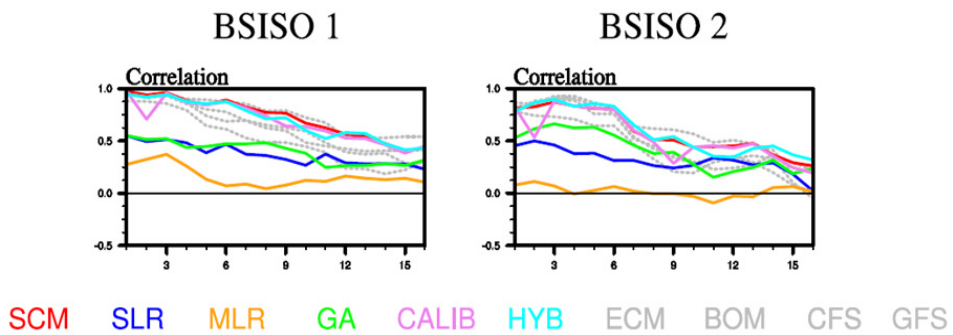


Figure 20 Hybrid effect on forecast skill of BSISO indices

4. 결론 및 토론

본 연구에서는 다중모델앙상블 예측 기술 개발을 통해 BSISO의 예측성을 향상시키고자 하였고 BSISO 현업 시스템 개선을 통해 보다 안정적인 시스템 운영 및 향상된 정보를 제공하고자 하였다. BSISO 현업 시스템 운영과 개선에 대한 내용은 부록에 정리되어 있다.

다중모델앙상블 예측 기술 개발 연구에 있어서는 기후 예측에서 주로 사용되어 온 선형·비선형 MME 기법들을 중심으로 BSISO MME 예보로의 활용 가능성 타진 및 기법별 특성을 파악하고자 하였다. 선형 기법으로는 Simple Composite Method (SCM), Regression Method (SLR, MLR)이 사용되었고 비선형 기법으로는 Genetic Algorithm 이 활용되었다. MME 수행 시 총 4개 모델이 활용되었고 이용 가능한 예측 sample의 수는 46일이며 각 sample은 최대 151일의 data window로 구성되었다.

검증은 크게 공간장 검증과 지수 검증 두 가지로 나누었으며, OLR과 U850 아노말리에 대한 공간장 검증에서 사용된 기법들은 공간 상관, Hit rate, False Alarm Rate 세 가지이고 BSISO 지수에 대한 MME 기법 별 예측 능력 평가를 위해서는 Bivariate Correlation가 사용되었다.

SCM이 아노말리 패턴을 예측하는데 있어서 가장 좋은 스킬을 가지는 것으로 보여지고 있으나 best 단일 모델의 성능에는 미치지 못하는 아쉬움이 있었다. BSISO 지수를 예측함에 있어서 가장 좋은 스킬을 가지는 MME 기법은 SCM이었고 SCM을 통해 생산된 BSISO 지수는 약 1주에서 2주 정도의 리드타임까지는 신뢰할 만 하였다. 이는 best 단일 모델의 스킬과 견줄 수 있는 정도이긴 하나 best 단일 모델의 예측 능력을 넘어서지는 못하였다. SCM 방법을 통해 생산된 아노말리 장을 SLR과 같은 통계적 후처리 기법을 통해 보정하면 아노말리의 크기에 있어서 좀 더 개선된 값을 가질 수 있었다. 또한 변수마다 각각 최고의 성능을 보장하는 MME 기법이 다름을 확인할 수 있었고, 이는 변수 각각에 대해 최적의 MME 기법이 적용된 아노말리 장을 가지고 BSISO 지수를 계산하는 것도 좀 더 개선된 BSISO 예측 지수를 만드는 하나의 방안이 될 수 있음을 시사하였다.

본 연구에서는 예측 아노말리 장에 대해 MME를 취한 후 BSISO를 계산하였으나, 모델 앙상블 멤버들의 예측장의 spread가 작은 경우 MME 아노말리 장의 시그널이 사라질 수 있으므로 개별 멤버들에 대한 BSISO 지수를 먼저 계산한 후 MME를 수행해보았다 (Figure 21). 선형 기법 중 가장 좋은 성능을 가지는 SCM과 비선형 기법인 GA를 활용하였고 그 결과는 Figure 22에서 볼 수 있다. GA보다는 SCM이 더 높은 값을 가지고 있으나 이 경우의 SCM 역시 best 단일 모델의 예측 성능을 뛰어 넘지 못해 MME의 효과를 여전히 기대하기 어려웠다. BSISO 지수에 기반한 SCM은 오히려 아노말리 장을 기반으로 한 SCM 결과 (Figure 16)보다 더 낮은 예측 성능을 가지고 있는데 이는 두 가지 변수 그리고 다수의 격자로부터 모아진 MME 정보가 하나의 격자값 (지수)에 의해 만들어진 MME 정보보다는 더 신뢰할 만 하다는 의미를 가진다.

이렇게 MME의 성능이 단일 모형보다 낮게 나타나는 것은 기존의 연구에 반하는 결과로써 첫째로 사용된 46개의 sample 크기가 MME 성능을 일반화시키기에 다소 부족한 측면과 훈련위해 갖춘 data window의 크기가 단일 모형 각각에 대한 가중치를 산정하기에 충분하지 않아 발생할 수도 있다. 또한 둘째, Figure 23에서 보듯이 모형의 수가 증가함에 따라 모형의 계통적 오차와 랜덤 에러를 감소시켜 MME 스킬 또한 증가하는 경향이 있다. 이 그림은 또한 최소 6개 이상의 모형군을 사용해야 안정적인 MME 스킬을 확보할 수 있다는 것을 보여준다. 따라서, 이는 좀 더 많은 참여 모형 또는 참여모형들이 보유하고 있는 모든 앙상블 멤버의 활용이 필요함을 시사한다. 그리고 셋째로 다수의 모형이 소수의 모형보다 월등히 예측성이 낮아서 발생할 수 있는 문제일수도 있다. sample 및 data window의 크기 문제, 앙상블 멤버 수, 그리고 특출한 단일 모형을 앙상블 멤버로 두었을 때의 문제와 같은 MME의 한계들을 평가하고 극복할 수 있도록 향후 BSISO MME 예측 기법 개발에 있어서 좀 더 원초적인 접근뿐만 아니라 폭넓은 분석이 이루어져야 할 것이다.

APCC는 고품질 예측 자료 생산과 활용을 통해 사회 경제적 가치를 창출하는데 그 목적을 두고 있다. 이러한 APCC의 미션은 최근 국제적으로 활발하게 추진되고 있는 S2S 프로젝트의 목표와 일맥상통하는 면이 있고 BSISO는 S2S 연구의 핵심 이슈로서 잘 알려져 있다. 따라서 고품질 BSISO 예측 정보 생산을 목표로 둔 본 연구의 방향성은 APCC의 미션뿐만 아니라 세계적인 연구 동향과도 잘 부합한다고 볼 수 있다.

또한 BSISO의 활동으로 인해 만들어 질 수 있는 아시아 몬순 지역의 건기·우기는 수문 기상학적 극한 사상에 상당한 영향을 주기 때문에 자연 재해 뿐만 아니라 사회경제적인 손실을 가져올 수 있는 주된 강제력이 될 수 있다(Lau and Waliser 2005). 이러한 BSISO의 수문기상학적 현상에 대한 영향뿐만 아니라 일별 예측 자료 생산이라는 자료적 특성은 기후융합연구라는 측면에서 큰 장점을 가지고 있어서 신뢰할만한 BSISO 예측 정보 생산 연구의 필요성은 충분하다고 볼 수 있다.

본 연구를 통해 얻을 수 있는 기대효과로는 BSISO에 대한 최적의 MME 기법 개발을 통해 신뢰성 있는 예보 자료 생산 가능, 향후 APCC 홈페이지를 통한 실시간 BSISO MME 예보 서비스 제공, 대내적으로는 APCC의 예측 역량 강화 및 대외적으로는 개발한 BSISO 예측 기술 및 결과를 APEC 회원국에게 제공함으로써 국가 위상을 제고하고, 세계 기후예측분야에서의 선도적 입지를 강화할 수 있다.

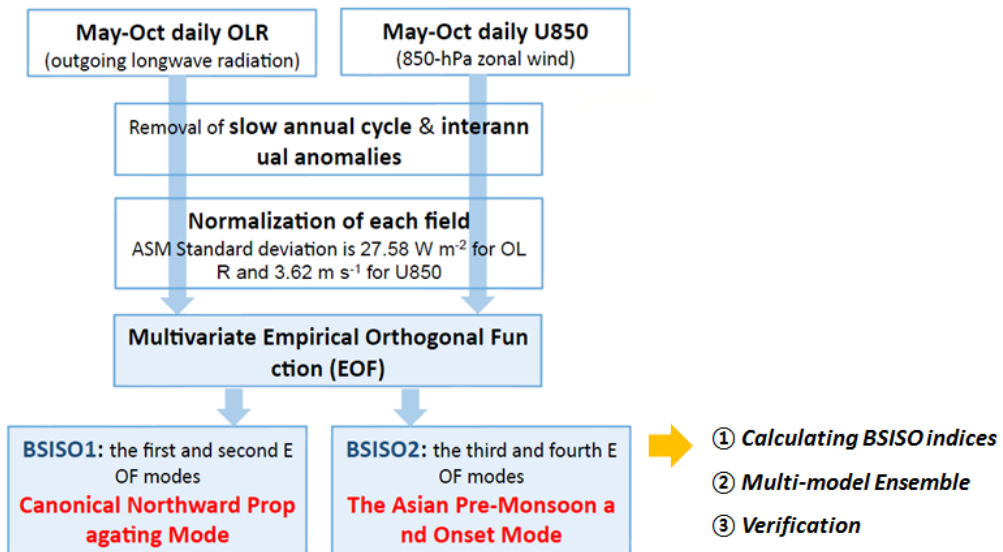


Figure 21 Same as Figure 4, but for indices based MME procedure

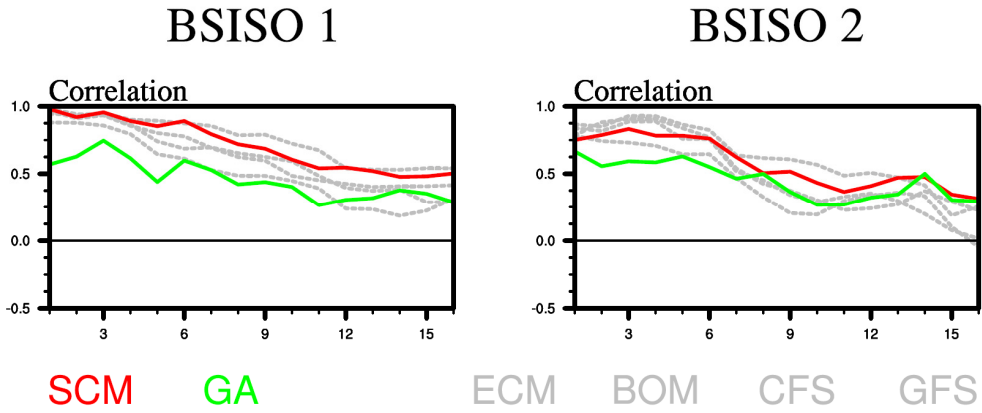


Figure 22 Same as Figure 16, bur for following procedure of Figure 21

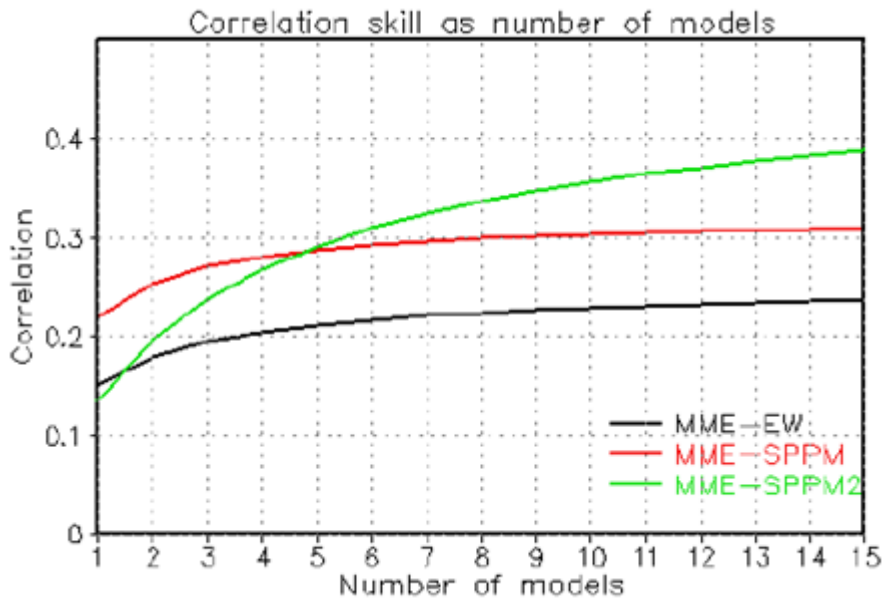


Figure 23 The dependence of MME prediction skill on the number of model averaged over the globe (0-360E, 60S-60N). Black, red, and green lines indicate the skill of MME-EW, MME-MMe-SPPM, and MMe-SPPM2, respectively, from Kug et al., 2008

참고 문헌

- 진강규, 2000: 유전 알고리즘과 그 응용. 교우사, 222 pp.
- Barnston AG, Mason S, Goddard L, Dewitt DG, Zebiak SE. 2003. Multimodel ensembling in seasonal climate forecasting at IRI. *Bulletin of the American Meteorological Society* 84: 1783.1796.
- DelSole T. 2007. A Bayesian framework for multimodel regression. *J. Climate* 20: 2810.2826.
- _____, Yang X., Tippett MK. 2014. A Bayesian framework for multimodel regression. *J. Climate* 20: 2810.2826.
- Doblas-Reyes FJ, Hagedorn R., and Palmer RN. 2005. The rationale behind the success of multimodel ensembles in seasonal forecasting - II. Calibration and combination. *Tellus*, 57A, 234.252.
- Hagedorn R, Doblas-Reyes FJ, Palmer TN. 2005. The rationale behind the success of multi-model ensembles in seasonal forecasting . I. Basic concept. *Tellus A* 57: 219.233.
- Hagedorn R., Hamill T., and Whitaker JS. 2008, Probabilistic forecast calibration using ECMWF and GFS ensemble reforecasts. Part I: 2-meter temperatures, *Mon. Wea. Rev.*, 136, 2608.2619.
- Holland, J. H. (1975/1992). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Cambridge, MA: MIT Press. Second edition (First edition, 1975).
- Kharin W, Zwiers FW. 2002. Climate predictions with multimodel ensembles. *J. Climate* 15: 793.799.
- Krishnamurti TN, Kishtawal CM, LaRow TE, Bachiocchi DR, Zhang Z, Williford CE, Gadgil S, Surendran S. 1999. Improved weather and seasonal climate forecasts from multimodel superensemble. *Science* 285: 1548.1550.
- Lau WKM, and Waliser DE, (Eds.) 2005. *Intraseasonal Variability of the Atmosphere-Ocean Climate System*, 474 pp., Springer, New York.
- Matsueda M., and Endo, H. 2011. Verification of medium-range MJO forecasts with TIGGE. *Geophysical Research Letters* 38: doi: 10.1029/2011GL047480. issn: 0094-8276.
- Palmer TN, Alessandri A, Andersen U, Cantelaube P, Davey M, D´el´ecluse P, D´equ´e M, Diez E, Doblas-Reyes FJ, Feddersen H, Graham R, Gualdi S, Gu´er´emy JF, Hagedorn R, Hoshen M, Keenlyside N, Latif M, Lazar A, Maisonnavé E, Marletto

- V, Morse AP, Orfila B, Rogel P, Terres JM, Thomson MC. 2004. Development of a European multi-model ensemble system for seasonal to inter-annual prediction (DEMETER). *Bulletin of the American Meteorological Society* 85: 853.872.
- Peng P, Kumar A, van den Dool H, Barnston AG. 2002. An analysis of multimodel ensemble predictions for seasonal climate anomalies. *J. Geophys. Res.* : 18.1 to 18.12doi:10.1029/2002JD002712.
- _____, Kumar A, van den Dool H, Barnston AG. 2002. An analysis of multimodel ensemble predictions for seasonal climate anomalies. *Journal of Geophysical Research* 107: 4710, DOI:10.1029/2002JD002712.
- Weigel AP, Knutti R, Liniger MA, Appenzeller C. 2010. Risks of model weighting in multimodel climate projections. *J. Climate* 23: 4175. 4191.
- Yun WT, Stefanova L, Mitra AK, VijayaKumar TSV, Dewar W, Krishnamurti TN. 2005. A multi-model superensemble algorithm for seasonal climate prediction using DEMETER forecasts. *Tellus A*, 57: 280.289.
- _____, Stefanova L, and Krishnamurti TN, 2003. Improvement of the superensemble technique for seasonal forecasts. *J. Climate*, 16, 3834-3840.

부록

1. 목표

다양하게 발생하는 사용자의 수요를 만족시키고 더 나은 서비스를 제공하기 위해 APCC는 2013년부터 운영하고 있는 BSISO 현업 시스템을 단계별로 개선하고 있다. 당해 연도의 목표는 다음과 같다.

- BSISO 실시간 예보 시스템 운영 및 개선
- 모니터링 시스템의 관측 자료 변경
- 현업 모델 추가 도입

2. 연구 자료 및 방법

2.1 BSISO 실시간 예보 시스템 운영 및 개선

2.1.1 모니터링 시스템의 관측 자료 변경

BSISO 전체 현업 서비스에 대한 좀 더 최신 정보 업데이트 및 안정적 운영을 위해 모니터링 시스템의 관측 자료 중 일평균 850 hPa 동서류 (이후 U850)에 대해서 NCEP/DOE Reanalysis 2 (이후 R2)에서 NCEP/DOE Reanalysis 1 (이후 R1)으로 변경하였다.

2.1.2 현업 모델 추가 도입

APCC의 BSISO 예측은 Working Group on Numerical Experimentation(WGNE)/MJO Task Force와의 협력을 통해 수집된 6개 현업 모델의 예측 자료에 기반 하여 생산이 된다 (표 1). 이 중 대만 기상청의 예측 자료는 2015년 1월부터 수신되고 있다.

대만기상청에서 운용중인 예측 시스템은 CWB EPS T119로서 6개의 앙상블 멤버를 가지고 있으며, 5일 간격으로 40일 예보자료를 APCC로 보내오고 있다.

3. 연구내용

3.1 BSISO 실시간 예보 시스템 운영 및 개선

3.1.1 모니터링 시스템의 관측 자료 변경

본 연구에서는 안정적인 현업 운영과 최신의 BSISO 정보를 제공하기 위해 관측 자료의 변경이 필요하였다. Figure A1는 BSISO의 실시간 예측의 한 예이다. BSISO 예측은 phase diagram의 형태로 제공되고 있는데 회색 실선이 이전 15일의 관측값이고 뒤이어 색깔이 있는 선들을 통해 이후 20일 예측을 나타내었다. 그러므로 표출에 있어서 관측과 예측의 원활한 연결을 위해서는 특정 날짜에 대해서 가용할 수 있는 관측과 예측 자료가 충분히 마련되어야 한다.

관측으로서 R1을 사용하던 기존 시스템에서는 현재 시점(예로써 2014년 9월 29일)에서 가용할 수 있는 최신의 관측의 날짜가 약 7일 전 (2014년 9월 21일) 이었다 (Figure A2). 따라서 9월 25일이라는 가용할 수 있는 예측 자료가 존재함에도 불구하고 실제로는 9월 21일에 대한 BSISO 실시간 현업 예측이 운영되었다. 따라서 좀 더 업데이트가 빠른 관측 자료의 필요성이 대두되었고 R1을 BSISO 모니터링, 예측 시스템의 관측 자료로 활용해보았다. 그 결과 Figure A3에서 보듯이 실제 현업일인 2015년 3월 23일에 3월 20일에 대한 모니터링이 수행되어 약 3일 정도의 차이로 좁혀지게 되어 이후 BSISO 모니터링뿐만 아니라 예측에서도 좀 더 최신의 정보를 제공할 수 있게 되었다.

중전 운영되던 2년간의 BSISO 모니터링 및 예측 정보와의 일관성을 보장해야한다는 측면에서 BSISO 지수에 대한 R1과 R2의 유사성 또한 확인해보았다. Figure A4에서 보듯이 BSISO 1과 BSISO 2 모두 R1과 R2에서 상당히 비슷한 결과를 가지는 것으로 나타나 관측 자료 변경에 따르는 지수 변화가 없음을 확인하였다. OLR과

U850 아노말리에서도 거의 유사한 결과를 보여주고 있다 (Figure A5). 이에 R1으로의 관측 자료 변경이 타당하다 판단되어 이후 2015년 현업 예보부터는 R1을 활용한 시스템을 사용하고 있다.

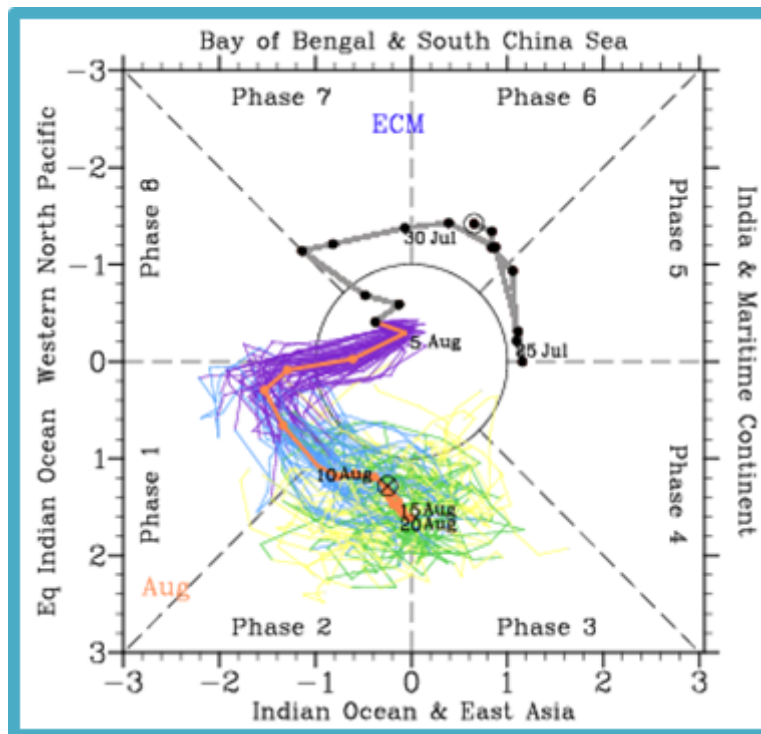
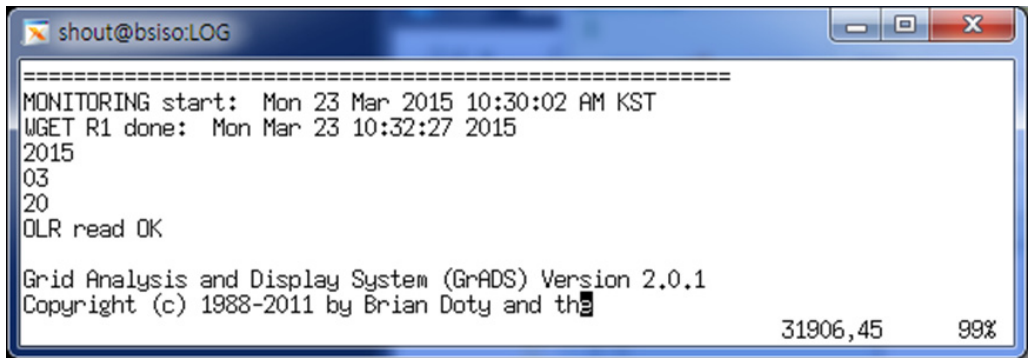


Figure A1 An example of BSISO real-time forecast contents in the form of phase diagram

```
-----  
Calculate [ BOM ] model  
- model available date      : 20140925  
- observation available date : 20140921  
- real-time BSISO prediction date : 20140921  
  
Grid Analysis and Display System (GrADS) Version 2.0.1  
Copyright (c) 1988-2011 by Brian Doty and the  
Institute for Global Environment and Society (IGES)  
GrADS comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY  
See file COPYRIGHT for more information  
-----  
  
-----  
Calculate [ ECM ] model  
- model available date      : 20140925  
- observation available date : 20140921  
- real-time BSISO prediction date : 20140922
```

Figure A2 Log file for September 29, 2014 issue of BSISO real-time forecast using NEP R2 as an observation



```
shout@bsiso:LOG  
=====  
MONITORING start: Mon 23 Mar 2015 10:30:02 AM KST  
MGET R1 done: Mon Mar 23 10:32:27 2015  
2015  
03  
20  
DLR read OK  
  
Grid Analysis and Display System (GrADS) Version 2.0.1  
Copyright (c) 1988-2011 by Brian Doty and th  
31906,45 99%
```

Figure A3 Log file for March 23, 2015 issue of BSISO real-time monitoring after changing observed data form NCEP R2 to R1

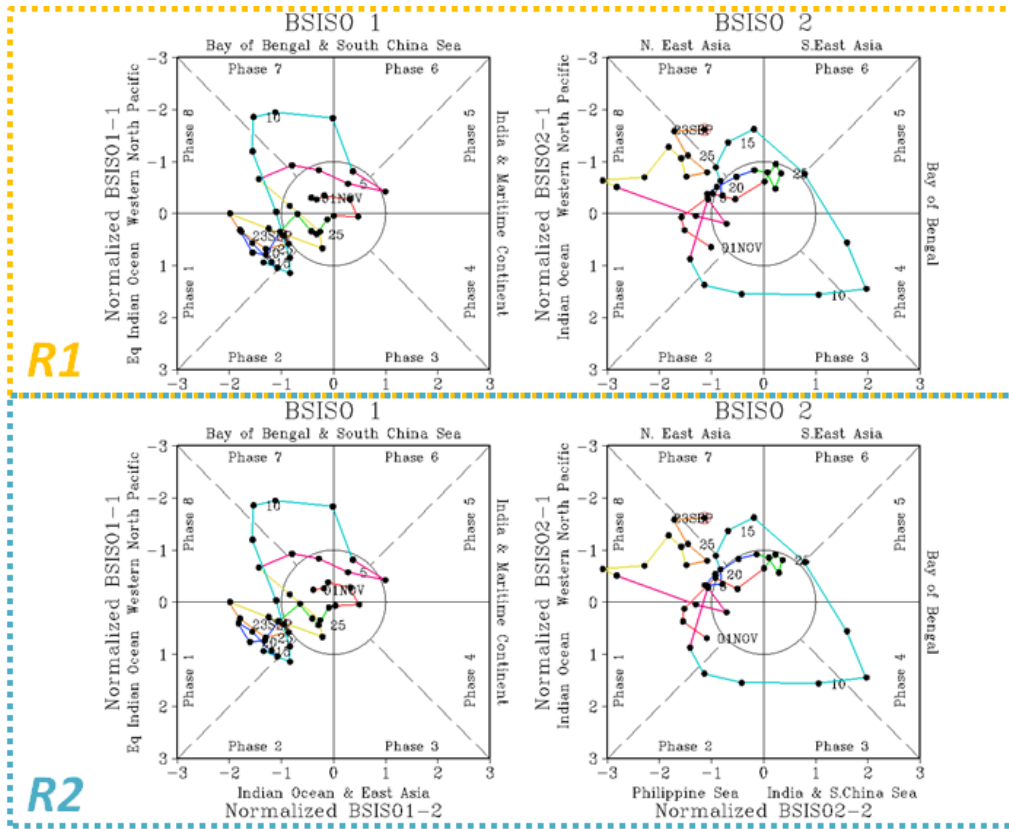


Figure A4 A case on the comparison of BSISO monitoring in R1 and R2

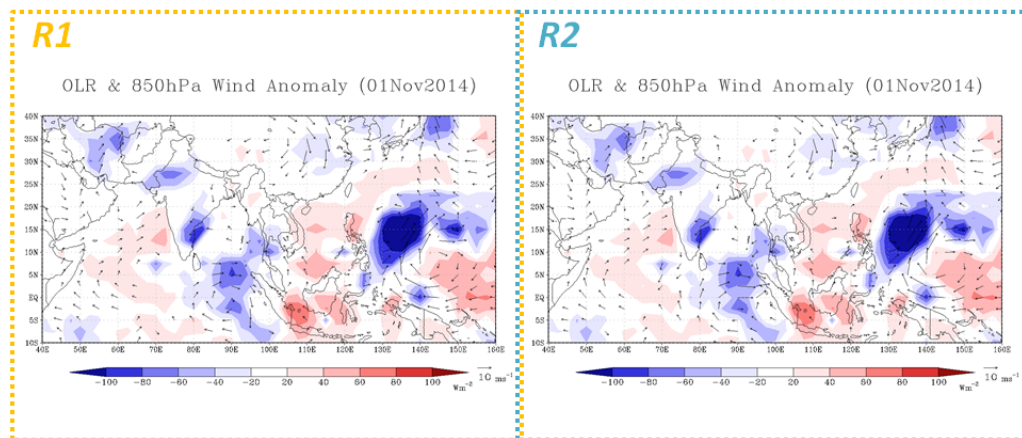


Figure A5 A case on the comparison of BSISO monitoring in R1 and R2 in terms of spatial anomaly pattern of Outgoing Longwave Radiation and zonal wind at 850hPa

3.1.2 현업 모델 추가 도입

2013년 BSISO 예보 서비스를 시작한 이후 세계 유수의 현업 기관들로부터 BSISO 현업에 대한 꾸준한 참여 의사를 받아왔고 2015년에는 대만기상청 모델을 참여 모델에 추가로 도입할 수 있게 되었다. 현업을 시작하기에 앞서 2011년 한 해에 대한 BSISO 예측 자료를 받아와 모델에 대한 기본적인 성능 평가를 수행하였고 자료 전송을 위한 환경이 마련되었다. 2015년 1월 1일부터 실시간으로 예측 자료를 수신하기 시작하였고 2015년 BSISO 현업 개시일인 5월 1일부터 대만기상청의 BSISO 예측 결과가 APCC 웹페이지를 통해 서비스가 제공(Figure A6) 되었다.

또한 BSISO 및 서비스에 대한 관심이 증대됨에 따라 BSISO 지수에 대한 요구가 많아졌다. 해서 사용자 편의를 제공하기 위해 2015년 5월 1일부터 텍스트 파일 형태의 BSISO 정보를 BSISO 모니터링 웹페이지로 링크시키게 되었고 1981년 1월 1일부터 최근까지의 BSISO 모니터링 지수, 강도, 위상 정보를 담고 있다 (Figure A7). 이 파일은 매일 업데이트 되고 있다.

게다가 BSISO 업무 관계자들은 매일 현업 일지(Figure A8)를 작성하여 안정적인 현업 운영을 도모할 뿐만 아니라 매 주 금요일에 지난 한 주간 일어난 BSISO의 동향 파악 (Figure A9) 및 예측을 검증(Figure A10) 하는 미팅을 갖고 있다. 이러한 과정을 통해 현업 시스템을 개선할 뿐만 아니라 BSISO에 대한 더 나은 이해를 만들어 내고자 한다.

4. 결론 및 토론

안정적인 현업 시스템 운영 및 향상된 BSISO 정보를 제공하고자 BSISO 현업 시스템을 개선하였다.

첫 째, NCEP R1으로 관측 자료를 변경하여 모니터링 시간을 종전의 7일에서 3일까지로 4일을 앞당길 수 있었다. 이는 BSISO 모니터링 및 예측에 있어서 좀 더 최신 정보를 제공하는데 기여하였다. 둘째, 대만기상청 모델이 참여모델로 도입되어 좀

더 다양한 BSISO 예측 정보를 제공할 수 있게 되었다. 셋 째, BSISO 모니터링 정보를 텍스트 형태로 웹페이지에서 다운로드 받을 수 있게 하여 사용자 편의를 도모하였다. 또한 매일 현업 일지를 작성하고 일주일에 한 번 정기적인 BSISO 모니터링, 검증 회의를 함으로써 안정적인 현업 운영을 도모할 뿐만 아니라 BSISO 에 대한 이해를 높일 수 있었다.

이러한 현업 업무는 많은 수고를 필요로 하지만 BSISO 본연의 특성 및 모델의 예측 경향을 이해하는데 큰 도움을 주므로 현업에 대한 지속적인 관심은 BSISO 특성 및 영향 연구의 밑거름이 될 것이다. 향후에도 BSISO 정보 서비스에 대한 만족도 조사 등과 같은 사용자 의견 수렴을 통해 사용자 친화적인 서비스를 구현할 수 있도록 꾸준한 현업 시스템의 개선이 요구되어 진다.

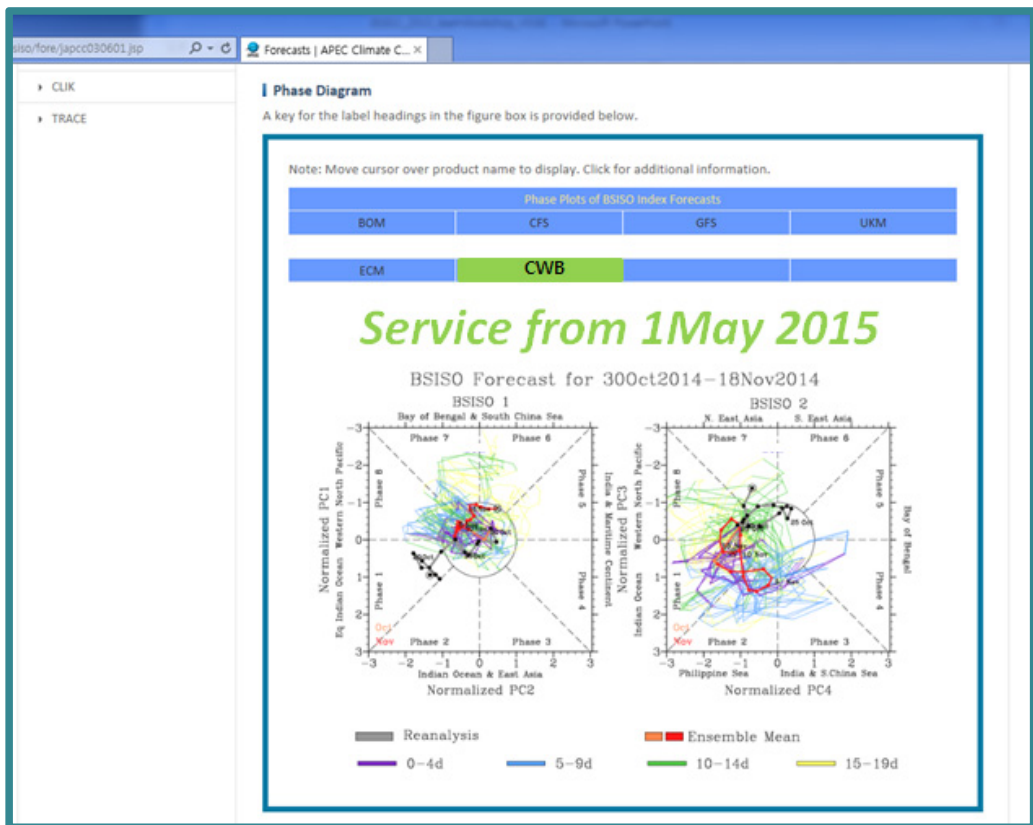


Figure A6 CWB's BSISO forecast service from May 1, 2015

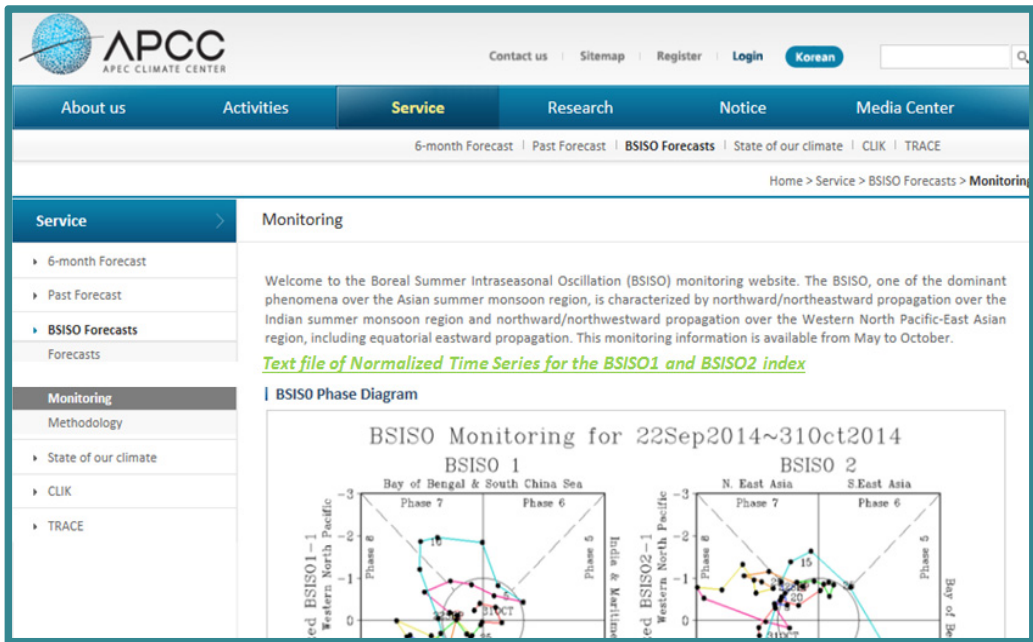


Figure A7 Text file link of historical BSISO monitoring indices to APCC webpage

BSISO 현업 일지							
(2014년 9월)							
TODAY	TYPE	MODEL	JOB DATE	LAG	RUN TIME	COMMENT	
2015. 3. 8	MONI		2015. 2. 28	x		NCEP FTP서버 접속불가	
	FCST	GFS	2015. 3. 1	x			
		CFS	2015. 2. 27	x			
		BOM	2015. 2. 26	x			
		UKM	2014. 7. 14	x	-237		
VERI	ECM	2015. 2. 26	x				
2015. 3. 9	MONI		2015. 3. 1-6	o		backup	
	FCST	GFS	2015. 3. 2-6	o		NCEP FTP IP 주소 140.90.101.71로 변경	
		CFS	2015. 3. 1-5	o		NCEP R1/GFS/CFS 미수신 자료 다운로드 후 재가동	
		BOM	2015. 3. 1	o			
		UKM	2015. 3. 5	o			
		ECM	2014. 7. 14	x	-238		
VERI	ECM	2015. 3. 5	o				
2015. 3. 10	MONI		2015. 3. 7	o	-3	10:50:01	10:58:26
	FCST	GFS	2015. 3. 8	o	-2		
		CFS	2015. 3. 6	o	-4		
		BOM	2015. 3. 5	o	-5		

Figure A8 An example for the diary of operational work

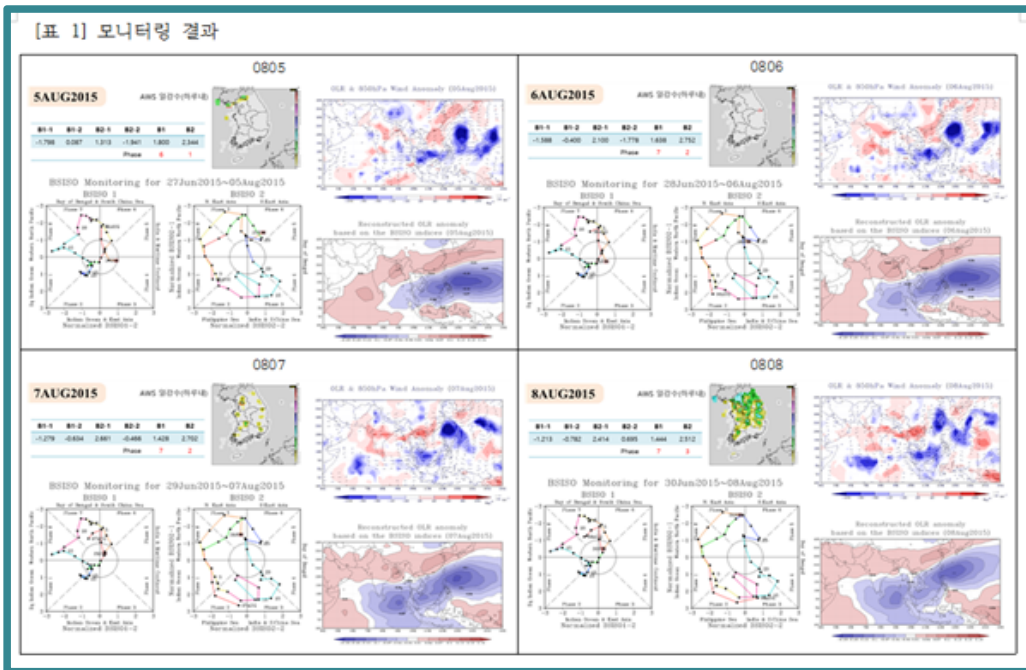


Figure A9 An example of meeting materials on weekly BSISO monitoring

< 8/5~8/10 예보결과 검증 >

	Forecast Monitoring						Monitoring		
	ECMWF (8/3 예보)			BOM (8/2 예보)			OBS		
	B1	B2	예상 일기	B1	B2	예상 일기	B1	B2	관측 상황
8/5	7	1	맑음	7	1		6	1	맑음/복부 비
8/6	7	2	맑음	8	2		7	2	맑음
8/7	7	2	맑음	1	2		7	2	산발적 비
8/8	7	3	맑음	2	3	맑음	7	3	비
8/9	7	4		2	3	맑음	8	3	흐림
8/10	3	4		3	3	맑음	2	4	흐림
8/11	3	4		3	3	맑음			
8/12	3	5		3	3	맑음			
8/13	3	4		4	3				
8/14	3	4		4	2				

normalized amplitude 1.0 이상

[비교]

- 8/8일 대기불안정으로 대류는 강하게 발달하여 비
- 북태평양고기압의 가장자리를 따라 남서쪽에서 고온다습한 공기가 유입되면서 폭염 특보 발효 [그림 1]
- 기상특보 발표기준
 - 폭염 주의보(경보): 일최고기온이 33(35)°C 이상인 상태가 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때
- 제14호 태풍 몰라베(MOLAVE) 8월 7일 21시 발생 [그림 2]

[그 외 지역 특이사항]

- 인도 남서몬순 8/11~12일 남북방향으로 길게 인도 중앙에 위치 [그림 3]
- 인도 8/2~5일 맑음, 8/6~7일 남서부 흐림/복부 맑음, 8/10~16일 흐림 예상
 - > 인도 서부, 북부, 남부: 8/5~11일 흐림/비
 - > 인도 동부: 8/5~11일 맑음

Figure A10 An example of meeting materials on weekly BSISO forecast verification

연구보고서 2015-01

**여름철 계절내 진동 예측 시스템 개선 (Ⅱ)
: 다중모델앙상블 예보**

Improvement of real-time forecast system on the BSISO (Ⅱ) :
Multi-model ensemble forecast

김해정



APEC 기후센터
48058 부산광역시 해운대구 센텀7로12
Tel: 051-745-3900 Fax: 051-745-3949
www.apcc21.org



ISBN 979-11-5698-104-6