



## Data processing system and spatial-temporal reproducibility assessment of GloSea5 model

Moon, Soojin<sup>a\*</sup> · Han, Soohee<sup>a</sup> · Choi, Kwangsoon<sup>b</sup> · Song, Junghyun<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Hydrometeorological Cooperation Center

<sup>b</sup>K-water Institute

<sup>c</sup>SELab

Paper number: 16-053

Received: 27 June 2016; Revised: 4 August 2016 / 16 August 2016; Accepted: 16 August 2016

### Abstract

The GloSea5 (Global Seasonal forecasting system version 5) is provided and operated by the KMA (Korea Meteorological Administration). GloSea5 provides Forecast (FCST) and Hindcast (HCST) data and its horizontal resolution is about 60km (0.83° x 0.56°) in the mid-latitudes. In order to use this data in watershed-scale water management, GloSea5 needs spatial-temporal downscaling. As such, statistical downscaling was used to correct for systematic biases of variables and to improve data reliability. HCST data is provided in ensemble format, and the highest statistical correlation ( $R^2 = 0.60$ , RMSE = 88.92, NSE = 0.57) of ensemble precipitation was reported for the Yongdam Dam watershed on the #6 grid. Additionally, the original GloSea5 (600.1 mm) showed the greatest difference (-26.5%) compared to observations (816.1 mm) during the summer flood season. However, downscaled GloSea5 was shown to have only a -3.1% error rate. Most of the underestimated results corresponded to precipitation levels during the flood season and the downscaled GloSea5 showed important results of restoration in precipitation levels. Per the analysis results of spatial autocorrelation using seasonal Moran's I, the spatial distribution was shown to be statistically significant. These results can improve the uncertainty of original GloSea5 and substantiate its spatial-temporal accuracy and validity. The spatial-temporal reproducibility assessment will play a very important role as basic data for watershed-scale water management.

**Keywords:** Long-Term Probabilistic Forecasts, GloSea5, Statistical Downscaling, Spatial Autocorrelation

## GloSea5 모델의 자료처리 시스템 구축 및 시·공간적 재현성평가

문수진<sup>a\*</sup> · 한수희<sup>a</sup> · 최광순<sup>b</sup> · 송정현<sup>c</sup>

<sup>a</sup>수문기상협력센터, <sup>b</sup>K-water 연구원, <sup>c</sup>썬에스이랩

### 요지

기상청에서 운영하고 제공하는 전지구 계절예측시스템 GloSea5 (Global Seasonal forecasting system version 5) 자료를 활용하여 용담댐유역에 적용하고자 하였다. GloSea5는 예측자료(Forecast; 이하 FCST)와 과거재현자료(Hindcast; 이하 HCST)로 제공되며 공간 수평해상도는 N216 (0.83°x 0.56°)으로 중위도에서 약 60km이다. 이를 유역단위 물관리에 활용하기 위해서는 시·공간적인 상세화가 필요하므로 통계적 상세화 기법을 수행하여 변수가 갖는 계통적인 지역 오차를 보정함으로써 자료의 신뢰도를 향상시키고자 하였다. HCST자료는 앙상블 형태로 주어지며 용담댐 유역의 앙상블 평균에 대한 6번 격자의 통계적인 상관성( $R^2 = 0.60$ , RMSE=88.92, NSE=0.57)이 가장 높게 나타났다. 또한 계절분석 시 여름철의 경우 원시 GloSea5 강우량이 600.1mm로 관측값인 816.1mm 대비 -26.5%로 가장 많은 차이를 보였으며 상세화 후 GloSea5 강우량은 -3.1%의 오차율을 보였다. 대부분의 과소 모의된 결과가 여름철 홍수기에 해당되는 강우로 상세화 이후 강우가 회복되는 매우 중요한 결

\*Corresponding Author. Tel: +82-2-2150-0562  
E-mail: msj@kwater.or.kr (S. Moon)

과를 보였다. 계절별 Moran's I 지수를 이용한 공간적 자기상관분석 결과 역시 통계적으로 유의성 있는 공간적인 분포를 나타냄으로써 자료의 불확실성을 개선하고 시-공간적인 정확도와 타당성을 입증하였다. HCST기간에 대한 GloSea5의 양상불 강우에 대한 신뢰도를 향상시킴으로써 수문학적 영향을 평가하기 위한 자료로서의 충분한 가능성을 확보하였으며 이러한 시-공간적인 재현성에 대한 평가결과는 향후 유역단위 물관리를 위한 기초자료로서 매우 중요한 역할을 할 것이다.

**핵심용어:** 확률장기예보, GloSea5, 통계적 상세화, 공간자기상관

### 1. 서론

최근 전 세계적인 기후변화에 따라 홍수 및 가뭄 등 수재해의 발생빈도와 그 강도가 증가하며, 우리나라뿐만 아니라 전 세계적으로 수재해로 인한 큰 피해가 발생하고 있다. 이에 세계 각국에서는 수문기상관련 정보의 획득 및 예보시스템의 구축에 많은 노력을 기울이고 있으며, 국내에서는 효율적이고 정확한 물관리 시스템을 구축하기 위해서 단기예보뿐만 아니라 장기예보의 필요성이 대두되고 있는 실정이다. 기상청은 2010년부터 영국 기상청과의 계절예측시스템의 공동구축 및 운영에 관한 협정을 체결하였고, 2014년부터는 전지구 기후모델인 HadGEM (Hadley Center Global Environmental Model)을 기반으로 개발된 양상불 예측시스템인 GloSea5 (Global Seasonal Forecasting System 5) 모델을 현업으로 활용 중에 있다.

국내·외에서는 GloSea5 모델의 예측성을 검토하는 연구가 많이 선행되어왔다. Jung *et al.* (2015)은 GloSea5의 6개월 과거기후 모의자료를 이용하여 GloSea5의 6개월간 대류권 기후 예측 능력을 평가하였으며, 선행연구에 이어서 2016년에는 6개월 과거기후 모의자료를 이용하여 성층권 기후 예측 능력을 평가하는 연구를 수행하였다. 이 연구에서는 대류권과 성층권 모두 전지구 평균 지표 대기온도(Global Mean Surface Air Temperature; GMSAT)와 Nino3.4와 같이 계절

변동이 적은 지수에서는 높은 신뢰도를 보이며 6개월 이상 예측이 가능하나 비교적 계절변동이 심하고 메모리가 짧은 지수들의 예측성에서는 낮게 나타남을 확인하였고 대류권·성층권 기후지수 예측성과 연계하여 보다 물리적인 원인과 이유를 고찰할 수 있는 추가 연구가 필요하다고 제시하였다. Kim *et al.* (2015)은 GloSea5에 장착된 하천유출모델(TRIP)의 고해상도 모델링을 통해 하천 유출량 모의성능 평가뿐만 아니라 이를 활용한 현업에서의 활용 가능성을 점검하였고, 해상도가 높을수록 관측결과와 근접한 모의성능을 볼 수 있었으며 댐을 비롯한 인공시설물의 영향에 의해 변화되는 유출량 모의가 이루어지지 않았음에도 불구하고 하천유출량의 월 변동성은 관측과 매우 유사하게 모의됨을 알 수 있었으며, GloSea5로부터 합리적인 유출량 변동모의가 가능하고 현실적으로 활용성이 적절할 것으로 판단하였다. 또한 Jung *et al.* (2015)은 국립기상과학원에서 개발한 모델의 해양·해빙 초기장을 GloSea5 모델의 자료 및 관측자료와 비교하여 GloSea5 모델의 정확도를 평가하는 연구를 수행하였으며, 일부지역에서 GloSea5가 다소 과대하게 산정된다고 분석하였다. Lee *et al.* (2015)은 대기모델인 UM모델과 해양·해빙까지 고려 가능한 GloSea5의 예측성능을 비교하여 해양과 해빙상태가 일기를 예측하는데 미치는 영향을 검증하고자 하였고, MJO RMM (Madden-Julian oscillation Real-time Multivariate)지수와 열대성 저기압 검증결과에서 두 모델이 유사함을 보였고 약한 MJO 지수와 기압 및 풍속에서는 GloSea5 모델의 성능이 더 우수하게 나타났다고 분석하였다. Son *et al.* (2015)은 가뭄전망을 위한 GloSea5의 활용체계를 구축하고 예측성능을 평가하고자 하였고, GloSea5의 Hindcast 자료를 활용하여 지면모델인 VIC 모델에 입력하여 유출전망정보를 생산하였다. 그 결과, 1·2개월 전망에서는 예측자료와 과거자료의 거동이 거의 일치하고 유사하였으나 3개월 전망에서는 가뭄기간에서 대부분 정상 또는 습윤 상태로 나타내어 예보의 활용성이 상대적으로 낮을 것으로 분석하였다. Seo *et al.* (2016)은 GloSea5를 사용하여 토양수분 초기화 과정 개선이 북반구 여름철 계절예측에 미치는 영향을 분석하고, GloSea5의 토양수분 초기화 방법을 개선하는 연구를 수행하였고, GloSea5 모델에 지면 초기화기법

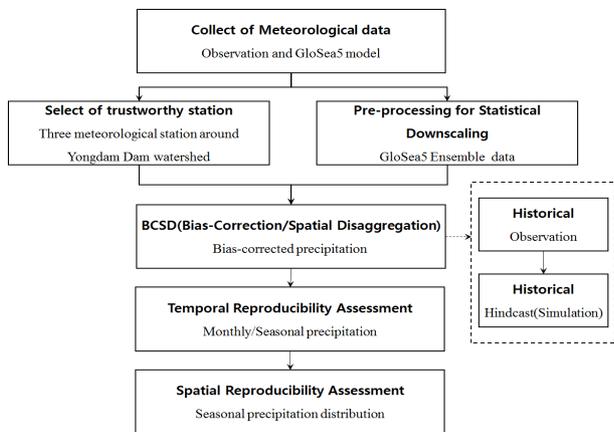


Fig. 1. Schematic diagram for this study

적용 유무에 따라 토양수분의 분포차이는 지면과 대기간의 상호작용에 따라 토양수분 평균 기후장이 건조한 지역은 더 건조하게, 습한 지역은 더 습하게 모의되었고, 극심하게 건조하거나 습한 지역을 제외한 지역에서 경년 변동성의 편차가 증가한다고 분석되었다. MacLachlan et al. (2015)은 GloSea4에서 GloSea5로 업그레이드되면서 해상도가 증가함에 따라 계절예측 관점에서 해상도 증가가 예측성능에 미치는 영향을 분석하고자 하였고, 그 결과, 모델의 해상도가 증가하면서 시공간적으로 ENSO (El Niño - Southern Oscillation), AO (Arctic Oscillation), NAO (North Atlantic Oscillation) 등과 열대 태풍 예측성을 향상시켰고, 특히 열대성 태풍의 강도, 강수 빈도에서 예측성이 매우 향상됨을 보였다고 분석하였다. 또한, GloSea5 모델과 같은 중·장기예보모델의 상세화 관련 하여 최근 중·장기 예측모델인 DEMETER (Development of a European Multi-model Ensemble system for seasonal to interannual prediction) (Palmer et al., 2004)의 hindcast 기간에 대해 상세화를 수행하여 2 m 온도와 강수를 분석한 결과 통계적 상세화하기 전보다 후에 모델값의 분포 구간이 넓게 퍼지면서 관측에 잘 맞는다는 것을 확인하였고(Feddersen and Andersen, 2005), Benestad and Mezghani (2015)는 20세기 재분석자료로부터 가져온 중·장기 예측결과를 이용해서 북대서양 및 북유럽에 대해서 상세화하여, 상세화한 후 지역 강수(24시간 누적 강수)의 예측성이 향상되었음을 확인하였다. 그러나, 국내에서 현업으로 활용하고 있는 GloSea5의 세부 구역 혹은 지역을 대상으로 상세화를 수행한 연구는 전무하다. 따라서, 본 연구에서는 GloSea5 모델에 대한 1·3개월 예보 앙상블 멤버를 용담댐 유역을 대상으로 통계적 상세화기법을 적용하여 최적화한 GloSea5 모델의 시공간적 재현성을 평가하고자 한다.

## 2. GloSea5 자료 및 대상구역

### 2.1 GloSea5 개요

기상청은 2010년 6월 영국 기상청과 계절예측시스템의 공동구축 및 운영에 관한 협정을 체결하였으며, 현업 예보를 위해 기후예측 모델인 GloSea5를 도입하여 현재 운영 중에 있다. GloSea5 모델은 영국 기상청의 최신 계절예측시스템에 사용되고 있으며 영국 기상청 기후 모델인 HadGEM3 (Hadley Centre Global Environment Model version 3)에 기초해서 구축되었고 국내 기상청에서 2014년부터 현업 운영하기 시작하였다. GloSea5 모델은 계절예측시스템의 성능향상을 위해

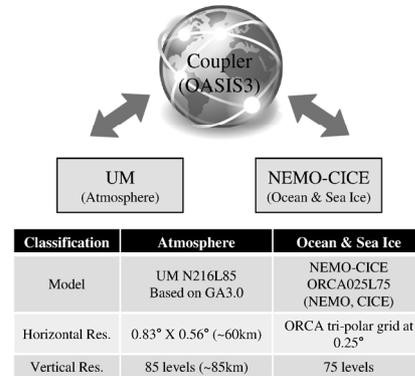


Fig. 2. Configuration of GloSea5

FCST (Forecast)와 HCST (Hindcast)를 동시에 생산한다는 특징을 가지고 있다. 이러한 생산 시스템은 계절예측시스템의 성분모델 중 하나라도 개선이 되었을 때 현업에 적용하는 루틴을 가지며 모델 개선에 있어서는 장점을 가질 수 있으나, 장기예보관이 모델 예측결과를 올바르게 해석하기 어렵다는 단점을 가지고 있다(KMA, 2015). GloSea5 모델은 Fig. 2와 같이 대기(UM), 지면(JULES), 해양(NEMO), 해빙(CICE) 모델들이 커플러(OASIS)에 의해 결합된 하나의 시스템으로 구성되어 있으며, 대기의 물리적인 현상을 수치모델에서 모의하기 위하여 영국 기상청에서 개발한 GA3.0 버전의 물리과정 패키지를 사용한다.

### 2.2 GloSea5 자료 처리 및 앙상블

GloSea5의 과거재현자료인 HCST자료는 매달 1일, 9일, 17일, 25일마다 초기장을 입력하여 생산되며, 과거 14년(1996~2009년)에 대해 각 출발일로부터 220일씩 산출하였다. 모델의 물리과정을 달리하는 방법인 확률적 운동에너지 후방 산란법(Stochastic Kinetic Energy Backscatter2, SKEB2) (Bowler et al., 2009)을 이용한 대기 분석장과 해양 및 해빙 초기장으로부터 3개의 앙상블 멤버를 생산하고 있다. 실시간 예측자료인 FCST는 HCST와는 다르게 1개월 예보용(월 예측)과 3개월 예보용(계절 예측)으로 나누어 매일 2개씩, 총 4개의 앙상블 멤버를 수행한다. 이때 앙상블 멤버의 개수는 일 주일에 각각 최대 28개, 42개가 사용되어 수행된다. 1개월 예보용은 시작일로부터 60일, 3개월 예보용은 220일씩 산출한다. GloSea5의 지역적인 스케일에 대한 시공간적 재현성을 평가하기 위해서는 모델이 가진 60 km의 거친 해상도로는 지역적인 영향을 반영할 수 없으며 전지구 자료를 특정영역으로 추출하기 위한 전처리 작업이 필요하다. 또한 원시자료의 형식은 FF (Field Format)이며 유저들에게는 Grib2 (GRIdded

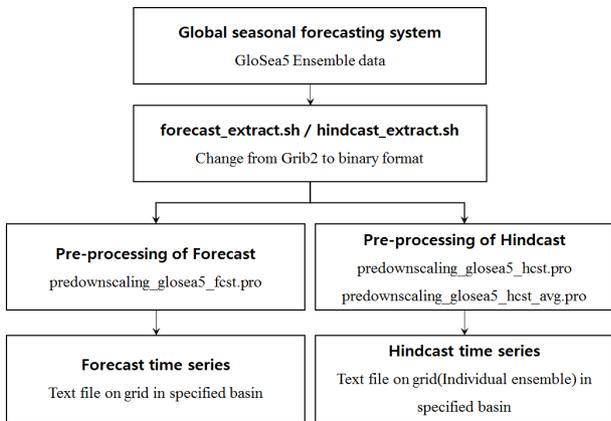


Fig. 3. Data processing system of GloSea5

Binary or General Regularly-distributed Information in Binary form) 형식으로 제공되지만 수문모델 및 유역모델에 직접적으로 활용하기에는 무리가 있다. 이에 본 연구에서는 GloSea5의 HCST, FCST 전지구 예보모델 자료를 입력자료에 의한 특정 영역의 경위도로 추출하고 이를 상세화하기 위한 시계열자료로 생성하는 프로그램을 구축하였다. 또한 원활한 파일의 입출력을 위해 각 데이터 자료들은 txt파일 포맷 형태로 생성된다. 과거 재현기간에 대한 전처리 시스템은 2009년 12월까지 총 14년 동안 매달 1일, 9일, 17일, 25일의 초기장을 이용하여 적분된 HCST의 월평균 값들을 이용하였으며 초기장과 모형 내의 불확실성을 고려하여 1~3개의 앙상블 멤버를 이용하게 된다. 이때, 앙상블 평균에 사용된 자료는 영국 기상청의 분석방법(MacLachlan *et al.*, 2015)을 기반으로 17일을 제외

한 25, 1, 9일을 이용하기 때문에 초기장당 각 1~3개의 앙상블로 총 최소 3개에서 9개 앙상블 멤버를 사용하였다. 각 25, 1, 9일의 초기장을 단일 시계열로 생성할 때 각 초기장들의 lead time을 7~15일로 제한하여 자료 생성 중간에 발생할 수 있는 결측자료를 보완하기 위한 알고리즘을 적용하였고 결측자료 발생 시에만 15일 이상의 lead time을 가질 수 있도록 처리하였다.

### 2.3 대상유역

본 연구의 대상유역은 금강수계의 다목적댐인 용담댐 유역으로 전북 진안군에 위치해 있으며, 총 유역면적 930.43 km<sup>2</sup>, 유로연장 62.58 km로 남고북저의 형태를 갖는다. 용담댐 유역의 연평균강우량은 1,321.0 mm로 6월과 10월 사이에 총 강우의 69.6%가 발생하는 특징을 보인다. 용담댐 유역에 대한 상세화를 수행하기 위해 용담댐 주변의 6개 격자를 활용하였으며, 강우관측소는 지상 관측소와 T/M관측소를 포함한 총 3개의(금산, 장수, 무주) 관측소를 선정하였다. 이와 같이 강우관측소를 선정 한 이유는 다음 장에 서술하였다.

### 3. GloSea5 자료의 재현성평가

GloSea5 모델 자료의 재현성을 평가하기 위하여 GloSea5 모델이 제공하는 HCST (1996~2009년)기간에 대한 자료검증을 수행하였다. HCST기간이 14개년으로 충분하지는 않지만 최대한 용담댐 유역에 대한 통계적인 특성을 반영하기 위

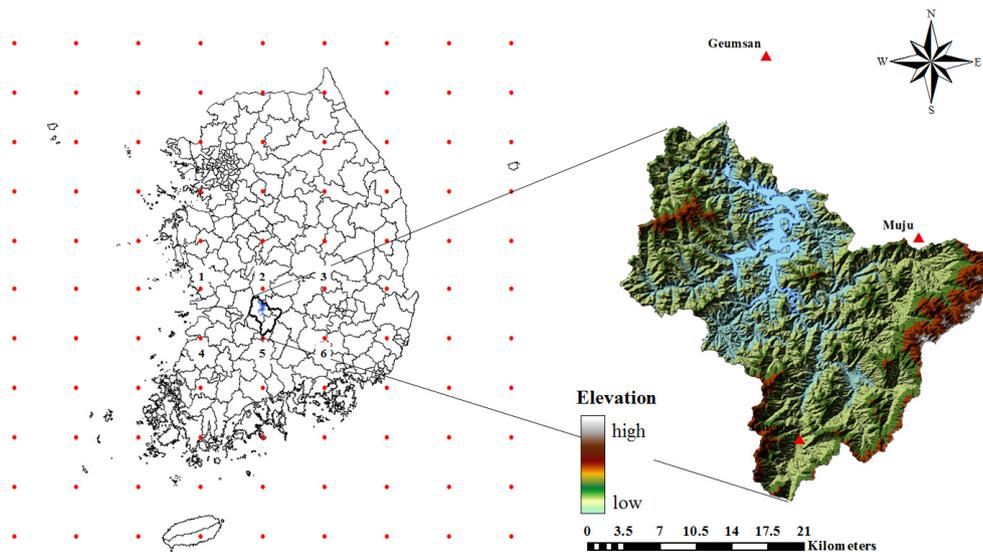


Fig. 4. Yongdam Dam watershed area and rain gauge distribution

하여 상세화를 수행하였다. 용담댐 유역의 강우자료는 기상청의 지상관측소와 수자원공사 및 국토교통부의 강우관측소의 자료를 활용하였는데 용담댐이 2001년에 준공되어 대부분의 수자원공사 및 국토교통부 강우관측소의 자료기간이 HCST기간의 자료를 검증하기에는 매우 부족하여 기상청 지상관측소 중 금산과 장수관측소, 수자원공사 강우관측소 중 무주 관측소 자료만을 사용하여 검증을 수행하였다. 재현성 평가를 위해 검증을 수행하는 목적은 대부분의 수치모델을 이용하는 연구들은 HCST기간에 대한 충분한 검증이 이루어지지 않은 채 전망을 하는 경우가 많기 때문이다. HCST기간에 대한 검증이 이루어지지 않는다면 어떠한 복잡한 기법을 사용한다 하더라도 변수에 대한 해당 지역에서의 통계적인 특성 및 자료에 대한 품질을 신뢰하기 어렵다. 특히, 실제로 장기예보를 위해서는 더욱이 이러한 검증절차가 필요하고, 이러한 검증절차를 통해서 정확하고 신뢰도 높은 결과를 제공한다.

### 3.1 통계적 상세화

스케일 상세화는 상대적으로 거친 GCM 스케일의 기후인자로부터 고해상도의 기후 정보를 획득하는 기법이다. 물리적 이론에 기반한 역학적 상세화 기법과 전지구 자료와 관측 자료의 상관관계를 통해 상세화를 실시하는 통계적 상세화 기법이 있다. 최근에는 컴퓨터공학의 발전으로 인해 계산시간이 상대적으로 많이 요구되는 지역기후모형을 통한 역학적 상세화 기법에 대한 연구도 활발하게 이루어지고 있다. 하지만 지역기후모형을 통한 기후자료 내에 상당한 편이가 존재하며 이를 개선하기 위해 다시한번 편이보정을 실시하는 등 아직은 응용분야에 직접 사용하기에는 신뢰도가 만족스럽지 않은 것이 사실이다. 이에 본 연구에서는 상대적으로 적은 계산시간과 노력이 요구되는 통계학적 상세화 기법을 수행하고자 하였다. 일반적으로 지역 스케일의 기후 영향을 모델링하기 위해 필요한 적절한 스케일에서의 자료가 부족하고, 개발적인 관점에서만 제공하기 때문에 수문분야에 활용하기 위한 지역 스케일에서의 프로세스를 해결할 수 없어 스케일 상세화가 꼭 필요하다.

본 연구에서 사용한 기법은 Bias-Correction/Spatial Disaggregation (BCSD)으로 전지구모형에서 제공되는 기후변수를 수문모형에 활용할 수 있도록 시공간적으로 상세화하기 위해 개발된 방법이다(Wood et al., 2004). 이 방법은 관측자료와 전지구모형의 월단위자료를 구성하여 두 모형 간 누적밀도함수(Cumulative Density Function, CDF)를 사용하는 quantile mapping 편이보정 기법을 주로 사용한 방법이

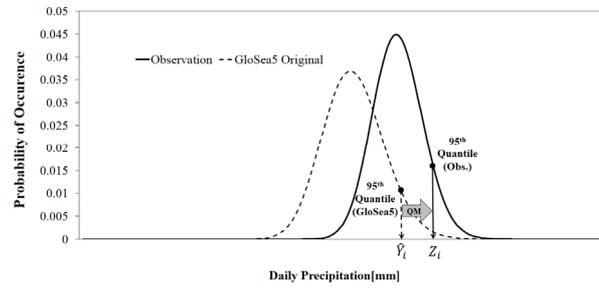


Fig. 5. Diagram of BCSD method

다. 편이 보정된 값은 보간법을 통해 공간적으로 상세화되어 월단위 지역기후모형을 얻게 된다. 이렇게 얻은 월단위 모형은 월별 과거 일단위 시계열을 통해 시간적 상세화를 실시하여 최종적인 일단위 상세화자료를 생산하게 된다. 그러나 이러한 방식은 전지구모형의 일별 시계열 특성을 반영할 수 없는 단점이 있다. 그렇기 때문에, 기존 quantile mapping 방식을 활용한 BCSD방법의 단점을 극복하기 위해서 본 연구에서는 일단위 자료를 그대로 사용하는 daily BCSD를 사용하였다 (Abatzoglou and Brown, 2011). daily BCSD 방법은 월자료 대신 일자료를 그대로 사용하고 앞 뒤 15일씩 moving time window를 통해 CDF를 구성하여 적용하기 때문에 강수의 경우 무강우일수 빈도를 자연스럽게 재현해 낼 수 있다는 장점을 가지고 있을 뿐만 아니라 전지구모형의 일별 시계열 특성을 그대로 반영할 수 있다(Hwang and Graham, 2013).

$$Z_i = F_{oi}^{-1}(F_{si}(\hat{Y}_i)) \quad (1)$$

여기서,  $\hat{Y}_i$ 는 보정전의 모의값,  $Z_i$ 는 보정후의 모의값,  $F_{si}$ 는 원 모의값의 누적확률분포(모의값 CDF),  $F_{oi}$ 는 사상의 목표가 되는 관측값의 누적확률분포(목표 CDF)이다. 용담댐 유역 주변의 총 6개 격자를 선정하여 개별 앙상블 및 앙상블 평균의 격자별 통계지표를 통한 평가를 수행하여 가장 높은 상관성을 보인 격자를 선정하였다. 총 3가지 통계적인 평가지표를 선정하였으며, 결정계수(Coefficient of determination;  $R^2$ ), 평균 제곱근 오차(Root Mean Square Error; RMSE), Nash-Sutcliffe 효율성 계수(Nash-Sutcliffe coefficient of efficiency; NSE)의 식은 다음과 같다.

$$R^2 = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - \bar{X}_{obs}) \cdot (X_{model,i} - \bar{X}_{model})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - \bar{X}_{obs})^2 \cdot (X_{model,i} - \bar{X}_{model})^2}} \right\}^2 \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{model,i})^2}{n}} \quad (3)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{model,i})^2}{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - \overline{X_{obs}})^2} \quad (4)$$

결정계수는 같은 변수에 대하여 관측치와 모델 사이의 상관성을 통해 그 관계를 평가하는 기법으로 모델이 얼마나 적합한가, 즉, 관측을 잘 모의하느냐를 나타내는 지표이다. 0에서 1사이의 값으로 나타내며, 1에 가까운 값을 가질수록 모델이 관측치에 적합하다는 것을 의미한다. 결정계수만큼 많이 사용되는 지표로 Nash-Sutcliffe 효율성 계수는 관측치와 모델의 관계를 이용하여 모델의 효율성을 평가하는 기법으로 모의 결과가 우수할수록 1에 가까운 값을 나타낸다. Ramanarayanan *et al.* (1997)의 연구에 따르면 자연 상태 즉, 강우 및 온도 등을 모의할 때 결정계수가 0.5 이상 Nash-Sutcliffe 효율성 계수가 0.4 이상의 값을 나타내면 모델이 충분히 관측값을 잘 모의하

고 있다고 판단할 수 있다. 평균 제곱근 오차는 오차량을 계산하는 기법으로 가장 직관적이고 의미있는 정확성 평가기법이다. 0에 가까울수록 오차가 작으므로 모델 간의 정확도가 높은 것을 의미하게 된다.

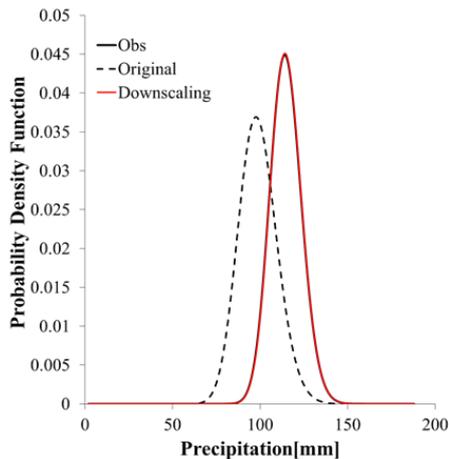
위의 Table 1은 상세화 이전 GloSea5 모델의 원시자료에 대한 각 관측소별 평가결과이다. 상세화하지 않은 원시자료에 대하여 각 관측소별 모델 평가를 수행한 결과 상당히 만족스러운 결과를 나타냈으며 모두 6번 격자에서 가장 통계치가 우수한 결과를 나타냈다. 그 중에서도 양상블을 평균한 결과가 가장 좋은 결과를 보이므로, 본 연구에서는 6번 격자의 양상블 평균자료를 이용한 상세화를 수행하여 용담댐 유역에 대한 GloSea5의 재현성을 더욱 높이고자 하였다.

### 3.2 월별 및 계절별 분석

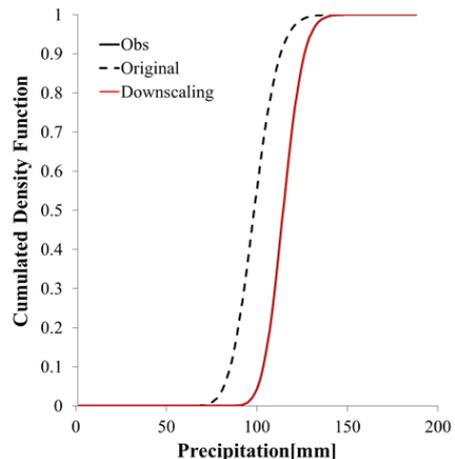
GloSea5 모델의 HCST기간에 대하여 충분히 신뢰할 만한 자료를 보유하고 있는 금산, 장수, 무주 관측소에 대한 상세화를 수행하고 티센가중치를 통해 유역평균 강우를 생성하였다. 티센가중치는 금산 0.16, 장수 0.34, 무주 0.50으로 결정되었으며 유역평균 강우에 대한 적정확률분포형은 Gamma분포를 사용하였다. 확률분포에 의한 관측과 원시 GloSea5의

Table 1. Model evaluation result of #6 grid in Yongdam watershed during 1996~2009

Ensemble	Geumsan			Jangsu			Muju		
	R <sup>2</sup>	RMSE	NSE	R <sup>2</sup>	RMSE	NSE	R <sup>2</sup>	RMSE	NSE
000	0.59	86.30	0.57	0.62	100.10	0.54	0.58	84.99	0.57
001	0.49	94.49	0.48	0.53	105.16	0.50	0.50	91.85	0.50
002	0.43	99.97	0.42	0.45	115.73	0.39	0.40	101.23	0.39
Avg.	0.59	86.18	0.57	0.63	96.01	0.58	0.58	84.97	0.57



(a) Probability density function



(b) Cumulated density function

Fig. 6. Probability distribution of Yondam Dam watershed during 1996~2009

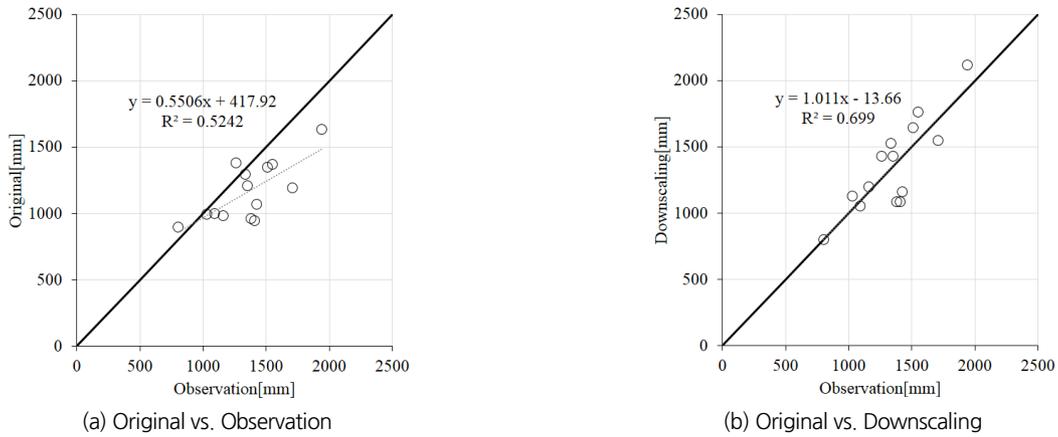


Fig. 7. Scatter plot of annual precipitation, Solid lime, 1:1 relationship, dashed line, linear fit

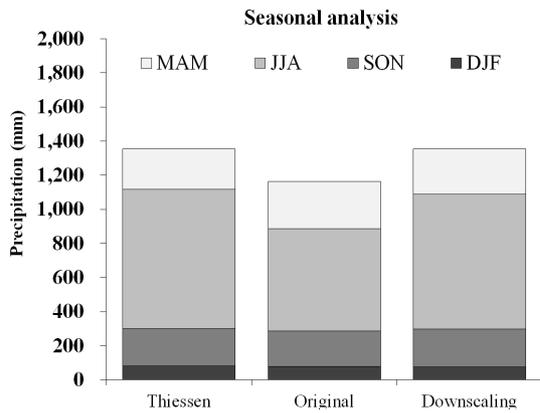


Fig. 8. Comparison of seasonal precipitation results before and after BCSD in Yongdam Dam watershed during 1996~2009

통계적인 일관성을 확인한 결과 관측값에 비해 과소모의하고 있는 것으로 나타났으며, 이는 곧 원시 GloSea5의 통계적인 일관성이 결여되는 결과를 보였다. 이에 비해 상세화 후 GloSea5는 실제 관측치와 매우 유사한 통계적인 일관성을 보였다.

또한 연 강우에 대한 산점도(scatter plot)를 통해 상관관계 분석을 수행한 결과 원시 GloSea5의 자료가 과소모의 되고 있는 것이 더욱 명확하게 드러나는 결과가 나타났다.

이는 유역평균 강우에 대한 평가지표( $R^2=0.60$ ,  $RMSE=88.92$ ,  $NSE=0.57$ )를 통해 관측과 모델 사이의 전반적인 통계적 특성이 충분히 반영된 것으로 보였지만 월별 및 계절별, 공간적인 재현성 등은 떨어지는 것으로 판단되었다. 이에 따라 원시자료가 과소모의 되는 원인을 파악하기 위해 계절별 분석을 수행하여 절대량 및 오차율의 차이를 확인하고자 하였다. HCST 기간을 사용한 용담댐 유역의 원시 GloSea5는 1,163.1 mm로 관측값인 1,353.5 mm 대비 -14.1%로 과소모의하고 있었

Table 2. Summary of seasonal precipitation results before and after the BCSD of Yongdam Dam watershed

Season	Baseline (Obs) (mm)	Baseline (Sim) (mm)	
		Original GloSea5	Downscaled GloSea5
Spring	237.1	275.5 (16.2)*	266.3 (12.3)*
Summer	816.1	600.1 (-26.5)*	791.0 (-3.1)*
Autumn	218.6	210.0 (-3.9)*	223.1 (2.1)*
Winter	81.7	77.5 (-5.2)*	74.4 (-9.0)*
Year	1353.5	1163.1 (-14.1)*	1354.8 (0.1)*

\* Rate of change of Sim. from Obs.

으며 상세화 후 GloSea5는 관측값 대비 1,354.8 mm로 +0.1%의 오차를 밖에 보이지 않았다. 특히 여름철의 경우 원시 GloSea5 강우량이 600.1 mm로 관측값인 816.1 mm 대비 -26.5%로 가장 많은 차이를 보였으며 상세화 후 GloSea5 강우량은 -3.1%의 오차를 보였다. 대부분의 과소 모의된 결과가 여름철 홍수기에 해당되는 강우로 상세화 이후 강우가 충분히 회복되는 매우 고무적인 결과가 나타났다.

또한 Box-plot을 통해서도 95% 신뢰구간을 도시한 결과 역시 여름철의 강우가 회복되면서 그 변동성도 커지는 결과를 나타내었다. 이러한 결과를 토대로 GloSea5의 상세화는 강우의 신뢰성 및 재현성을 평가하기 위해 꼭 필요한 과정이라고 판단된다.

### 3.3 공간자기상관

앞 절에서의 결과는 시간적인 재현성을 나타내므로 공간

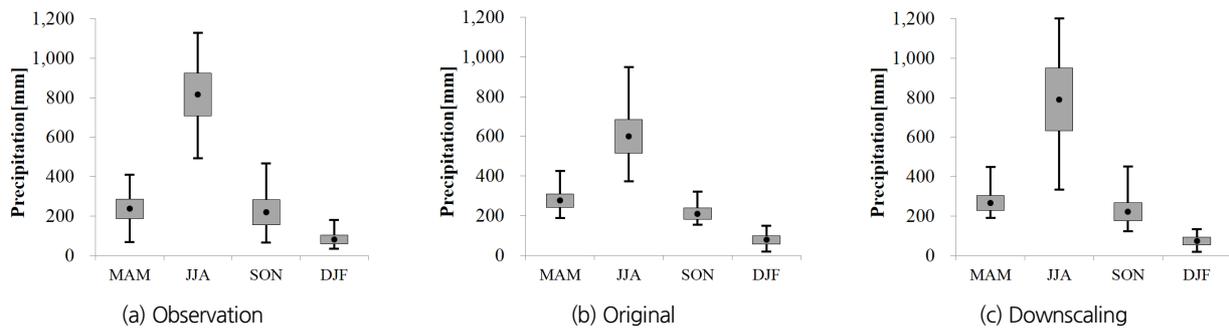


Fig. 9. Box-Whisker plot of seasonal precipitation before and after BCSD in Yongdam Dam watershed during 1996~2009(HCST)

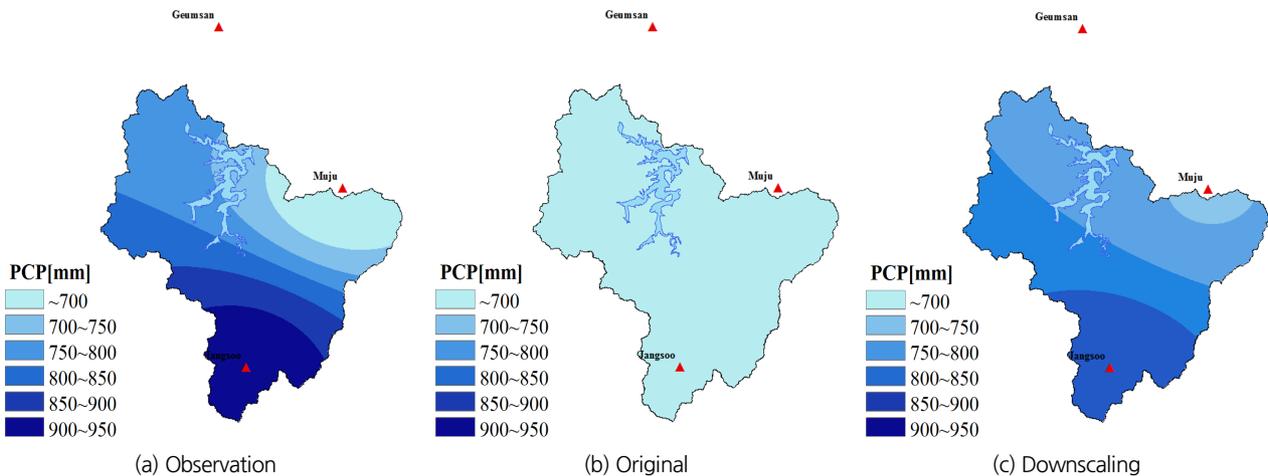


Fig. 10. Spatial distribution of summer precipitation in Yongdam Dam watershed during 1996~2009

적인 재현성을 확인하기 위해서 여름철에 대한 강우분포를 도시하였다. 원시 GloSea5의 경우 격자 하나의 값이 용담댐 전체를 포함하고 있으므로 하나의 값으로 표현된다. 공간적인 분포를 확인해보면 원시 GloSea5의 경우 700 mm이하 (600.1 mm)의 분포를 보이지만 관측 강우의 분포를 확인해보면 최대 909.7 mm(장수관측소)까지의 강우를 보이고 있다. 이는 앞 절에서 확인된 여름철 강우의 과소모의 현상이 공간적으로도 큰 차이를 나타내고 있는 결과이며 상세화 이후 시간적인 재현성은 물론 공간적인 분포 역시 충분히 재현되고 있는 것을 확인할 수 있었다.

이러한 공간적인 분포를 정량적으로 평가하기 위해 Moran's I (Moran's I Statistic of spatial autocorrelation)를 이용하여 공간적 자기상관분석을 수행하였다. 공간적 자기상관이란 어떤 지역의 변수와 그 주변지역 변수의 상관관계를 의미하며 (Anselin et al., 2002), Anselin and Bera (1998)는 공간적 자기상관을 “공간상에 분포하는 공간객체들은 위치의 유사성이 높아짐에 따라 객체들이 갖는 값의 유사성도 높아가는 현상”이라고 정의하였다. 공간자기상관의 원인은 공간실체들의

상호작용(spatial interaction)이다. 공간상의 상호작용은 정보 및 기술의 확산(information or technology diffusion) 등으로 나타나기도 하며, 공간 간의 위계구조(spatial hierarchies)를 낳기도 한다. 결과적으로 이러한 공간과정(spatial processes)을 통해 공간 위의 한 장소에서 발생하는 현상이 다른 장소에서의 현상을 결정하게 된다. 공간적 자기상관에는 정적 공간자기상관(positive spatial autocorrelation)과 부적 공간자기상관(negative spatial autocorrelation)이 있다. 정적 공간자기상관은 공간실체들이 서로 유사한 값을 갖으며 군집적으로 분포하는 경우이며, 반대로 부적 공간자기상관은 공간실체들이 서로 상이한 값을 가지며 군집적으로 분포하는 경우이다(Moon, 2015).

이러한 공간적 자기상관 분석기법은 시각화를 통한 방법과 유의성 검증을 통해 지역의 유사성을 확인하는 방법으로 Moran's I 지수를 많이 사용된다. Moran's I는 공간적 자기상관을 파악하기 위한 유용한 평가척도로 인접한 공간단위들이 전체 연구지역에 걸쳐 유사한 값을 가지는 경우 정적 공간상관을 상이한 값을 나타낼 때, 부적 공간상관결과를 나타내며,

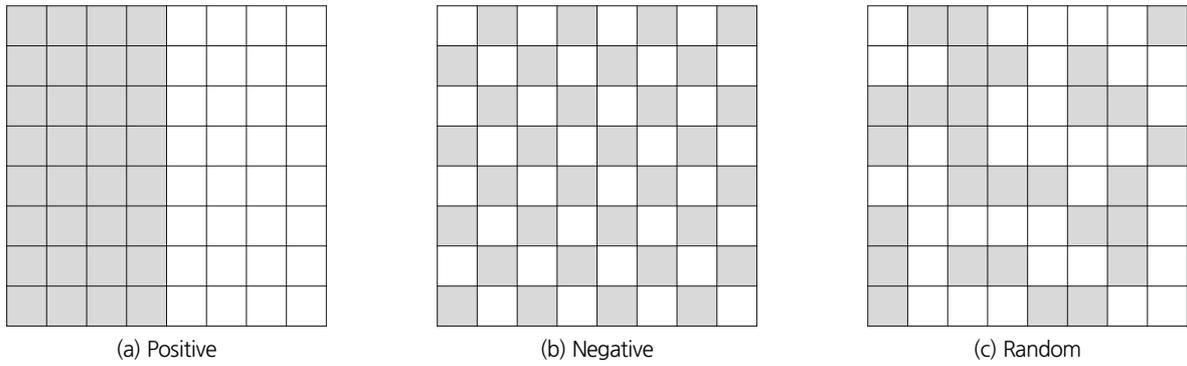


Fig. 11. Classification of spatial autocorrelation

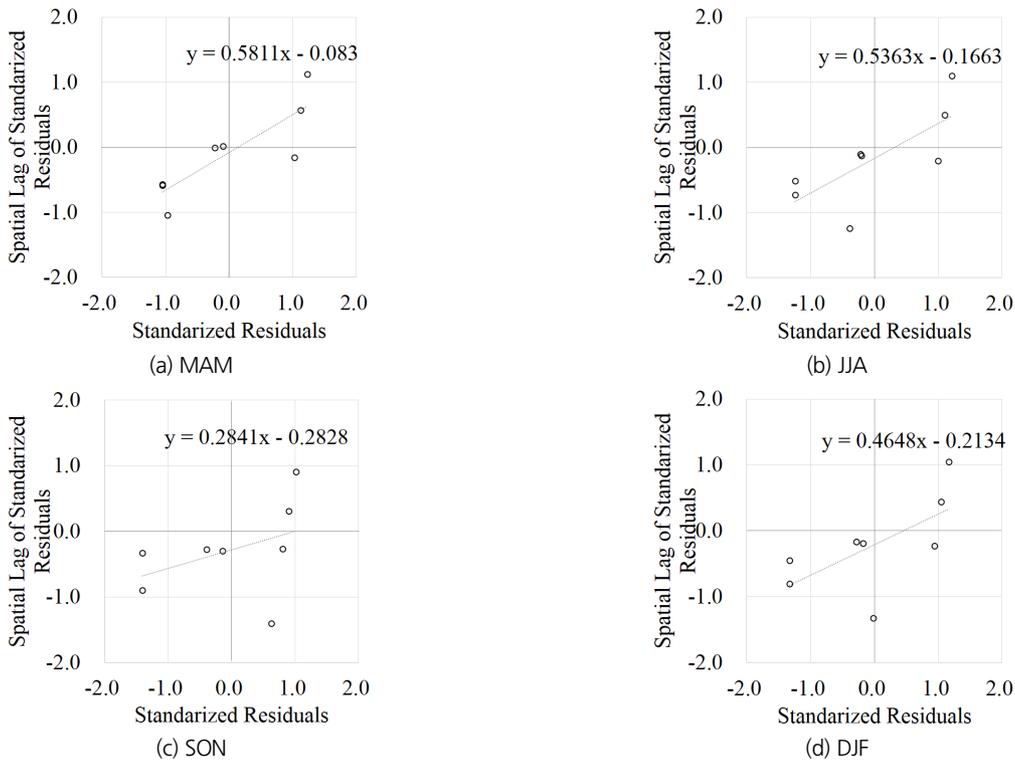


Fig. 12. Seasonal Moran's scatter plot of observed precipitation in Yongdam Dam watershed

일정한 질서를 가지는 분포패턴은 특정현상을 나타내는 값들 중 유사한 값들이 공간상에서 모여 있는지 흩어져 있는지 구분할 수 있다. 본 연구에서는 관측소별 강우를 티센가중치를 통해 용담댐 유역의 중권역별(8개) 강우로 변환하여 중권역별 공간적인 자기상관을 분석하였다.

$$I = \frac{n \sum \sum w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{W \sum (x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$$

Eq. (5)에서 공간가중치 매트릭스(spatial weights matrix)

$W$ 의 구성인자인  $w_{ij}$ 는 공간단위(spatial units)  $i$ 와  $j$ 가 서로 이웃하고 있으면 1, 그렇지 않으면 0의 값을 갖으며, 통상적으로 대각선상에 위치한 값은 "0"으로 고정한다. 공간단위  $i$ 의 값은  $x_i$ 이며,  $\bar{x}$ 는 변수  $x$ 의 평균값이고,  $n$ 은 관측개체의 수이다. 또한 거리 기반으로 하는 경우 역거리법, 임계거리법, 최근린법(k-nearest neighbor criterion)이 있으며 임계거리법의 경우 일정거리 내에 "1"의 값을 가지며, 최근린법의 경우 가장 가까운  $n$ 개 지역에 "1"의 값을 가지도록 하는 방법이다.

다음 Fig. 13는 계절별 Moran's I 그래프를 도시한 결과이며, 그래프의 기울기가 Moran's I 값을 나타낸다. 그 결과 정적

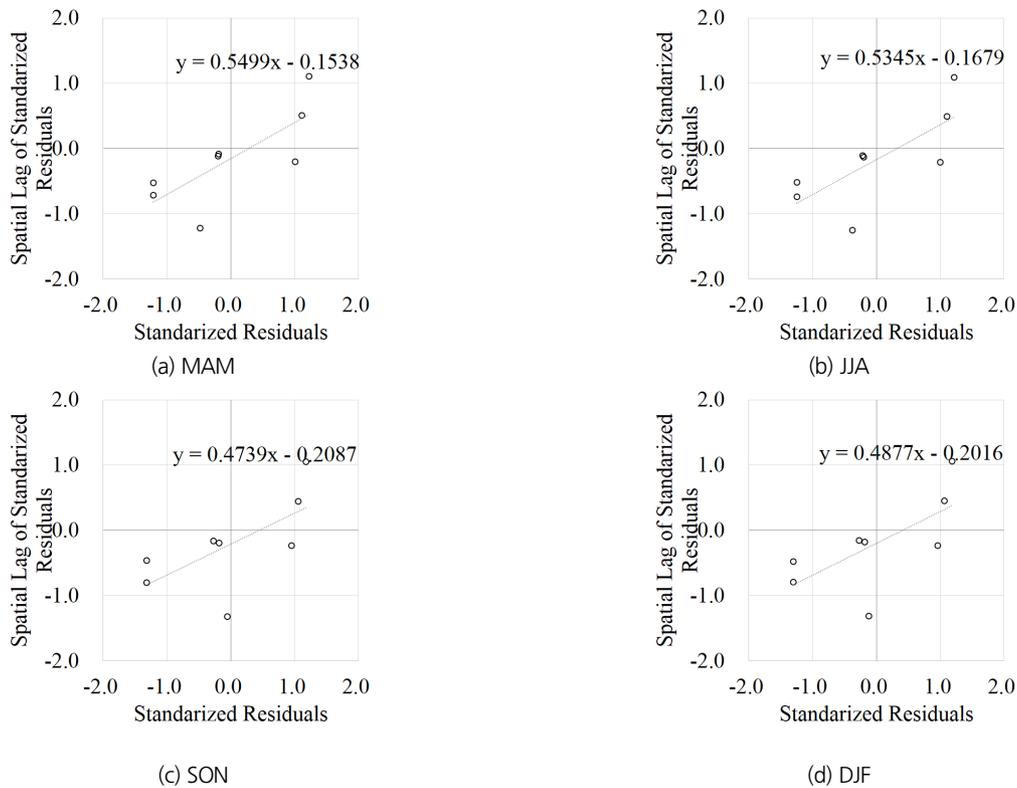


Fig. 13. Seasonal Moran's scatter plot of downscaled precipitation in Yongdam Dam watershed

인 공간상관을 보이고 있었으며 관측강우와 앙상블 티센강우의 공간상관결과가 매우 유사한 결과를 나타냄으로써 본 연구에서는 시-공간적인 타당성을 모두 확보할 수 있었다.

#### 4. 결론

기상청에서 제공하는 계절예보모델인 GloSea5의 유역단위 재현성을 평가하기 위하여 자료의 전처리 시스템을 구축하고 통계적인 상세화를 수행하여 계통적 오차를 보정하고 우리나라 여름철 특성을 충분히 반영하고자 하였다. 또한 공간적인 분포에 따른 자기상관을 분석하여 시-공간적인 경향성을 모두 고려하여 향후 물관리를 위한 수문모델의 입력자료로서의 타당성을 입증하고자 하였다. 또한 자료의 전처리 시스템을 구축하여 원활한 파일의 입출력을 가능하게 함으로써 자료를 활용하기 위해 사용되는 시간을 상당히 단축시켜 효율적으로 연구를 수행하는데 많은 도움이 된다. 용담댐 유역의 경우 2001년에 준공되어 주변 관측소 자료의 신뢰도가 낮아 기상청 및 수자원공사의 자료의 기간 및 신뢰도를 고려하여 3개 관측소를 선정하였다. HCST기간 추출된 자료를 통해 관측소

별 통계적 상세화를 거쳐 티센 유역평균 강우를 생성하여 상세화 전·후에 대한 강우량을 비교한 결과 상세화 전에는 1,163.1 mm로 관측값인 1,353.5 mm에 비해 -14.1% 과소모의하고 있었으나 상세화 후에는 관측값 대비 1,354.8 mm로 단지 +0.1%의 오차율 밖에 보이지 않았다. 특히 여름철의 경우 -26.5%의 과소모의 결과를 나타낸 것으로 보아 대부분의 과소모의된 결과가 여름철 홍수기에 해당되는 강우임을 확인하였으며 상세화를 수행함으로써 강우가 충분히 회복되는 매우 고무적인 결과를 나타내었다. 또한 공간적인 강우의 분포를 확인하고 이를 정량화하기 위한 방법으로 공간적 자기상관 분석 중 주로 사용되는 Moran's I 지수를 계절별로 산정함으로써 강우의 시-공간적 특성을 모두 반영할 수 있었다. GloSea5는 현재 협업에서 사용되는 장기예보모델로서 전지구적 자료를 제공하는데, 지역편차를 보정하고 HCST기간의 시-공간적 재현성 검증을 통해 정상성을 가정한다면 분포에 대한 매개변수를 그대로 적용하여 FCST기간의 자료를 향후 강우전망에 활용가능하다고 판단된다. 이때 분포에 대한 매개변수는 각 월별 14개년의 통계적인 특성이 반영되는 것으로 월별 강우의 변동성을 감안하여 도출되는 결과이기 때문에 과거에 대한 재현성이 충분하다면 전망으로 활용이 가능하다고 판단된

다. 따라서, 본 연구에서는 용담댐 유역을 대상으로 GloSea5 HCST 자료의 시공간적인 재현성을 검증하였으며, 향후 FCST 자료를 활용하여 합리적인 강수전망을 제시할 수 있을 것으로 보인다.

## 감사의 글

본 연구는 기상산업진흥원의 기상See-AT기술개발 사업의 연구비지원(KMIPA 2015-2120)에 의해 수행되었습니다.

## References

- Abatzoglou, J.T., and Brown, T.J. (2011). "A comparison of statistical downscaling methods suited for wildfire applications." *International Journal of Climatology*, Royal Meteorological Society, Vol. 32, No. 5, pp. 772-780.
- Anselin, L., and Bera, A. (1998). "Spatial dependence in linear regression models with an introduction to spatial econometrics." *Handbook of Applied Economic Statistics*.
- Anselin, L., Syabri, I., and Smirnow, O. (2002). "Visualizing multivariate spatial correlation with dynamically linked windows." *Urbana*, Vol. 51, 61801.
- Benestad, R.E., and Mezghani, A. (2015). "On downscaling probabilities for heavy 24-hour precipitation events at seasonal-to-decadal scales." *Tellus A*, Vol. 67.
- Bowler, N.E., Arribas, A., Beare, S.E., Mylne, K.R., and Shutts, G.J. (2009). "The local ETKF and SKEB: Upgrades to the MOGREPS short-range ensemble prediction system." *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Royal Meteorological Society, Vol. 468, No. 640, pp. 767-776.
- Fedderson, H., and Andersen, U. (2005). "A method for statistical downscaling of seasonal ensemble predictions." *Tellus A*, Vol. 57, No. 3, pp. 398-408.
- Hwang, S., and Graham, W.D. (2013). "Development and comparative evaluation of a stochastic analog method to downscale daily GCM precipitation." *Hydrology and Earth System Sciences*, EGU, Vol. 17, No. 11, pp. 4481-4502.
- Jung, M.I., Son, S.W., Choi, J., and Kang, H.S. (2015). "Assessment of 6-Month Lead Prediction Skill of the GloSea5 Hindcast Experiment." *Journal of Korean Meteorological Society (Atmospher)*, KMS, Vol. 25, No. 2, pp. 1-15.
- Jung, Y.Y., Moon, I.J., Jang, P.H., Lim, B.H., and Lee, J.H. (2015). "Assessment of accuracy of the ocean-sea meteorological objective of GloSea5." *Proceedings of the Autumn Meeting of KMS*, pp. 702-703.
- Kim, M.H., Kim, B.H., Kang, H.S., and Byun, Y.H. (2015). "A study on improvement of resolution of GloSea5(TRIP)." *Proceedings of the Autumn Meeting of KMS*, pp. 619-620.
- KMA (Korea Meteorological Administration) (2015). "A Forecast characteristics analysis technical report of GloSea5", *KMA Report*.
- Lee, S.M., Lim, S.M., Park, J.K., Kang, H.S., and Cho, C.H. (2015). "Verification of forecast skill between global seasonal forecasting system version 5 and unified model to MJO and tropical cyclone." *Proceedings of the Spring Meeting of KMS*, pp. 144-145.
- MacLachlan, C., Arribas, A., Peterson, K.A., Maidens, A., Pereday, D., Scaife, A.A., Gordon, M., Vellinga, M., Williams, A., Corner, R.E., Camp, J., Xavier, P., and Madec, G. (2015). "Global seasonal forecast system version 5 (GloSea5): a high-resolution seasonal forecast system." *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Royal Meteorological Society, Vol. 141, No. 689, pp. 1072-1084.
- Moon, S.J. (2015). "Ensemble projection of hydrological extremes using bayesian model averaging scheme." Ph. D. dissertation, University of Dankook, Gyeonggi-do, Korea.
- Palmer, T.N., Alessandri, A., Andersen, U., and Cantelaube, P. (2004). "Development of a european multimodel ensemble system for seasonal-to-interannual prediction (DEMETER)." *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 85, No. 6, pp. 853.
- Ramanarayanan, T.S., Williams, J.R., Dugas, W.A., Hauck, L.M., and McFarland, A.M.S. (1997). "Using APEX to identify alternative practices for animal waste management." ASAE Paper, No. 972209.
- Seo, E.K., Lee, M.I., Jeong, J.H., Kang, H.S., and Won, D.J. (2016). "Improvement of soil moisture initialization for a global seasonal forecast system." *Journal of Korean Meteorological Society (Atmospher)*, KMS, Vol. 26, No. 1, pp. 35-45.
- Son, K.H., Bae, D.H., and Jung, H.S. (2015). "Construction & evaluation of GloSea5-Based hydrological drought outlook system." *Journal of Korean Meteorological Society (Atmospher)*, KMS, Vol. 25, No. 2, pp. 271-281.
- Wood, A.W., Leung, L.R., Sridhar, V., and Lettenmaier, D. (2004). "Hydrologic implications of dynamical and statistical approaches to downscaling climate model outputs." *Climatic Change*, Springer, Vol. 62, No. 1-3, pp. 189-216.