

# 통계적 축소기법을 이용한 유역단위 기후변화 시나리오 생성

## Generation of Basin Scale Climate Change Scenario Using Statistical Down Scaling Techniques

이용원\*, 경민수\*\*, 김형수\*\*\*, 김병식\*\*\*\*  
Yong Won Lee, Min Soo Kyoung, Hung Soo Kim, Byung Sik Kim

### 요 지

기후변화가 수자원에 미치는 영향을 평가하는데 있어서 주로 기후모형인 Global Climate Model (GCM)이 사용되고 있다. 그러나 이러한 기후모형의 공간적 해상도는 3°~4° 정도로 한반도의 경우 바다로 묘사되기도 한다. 따라서 GCM을 이용해서 기후변화가 유역단위 수자원에 미치는 영향을 평가하기 위해서는 일반적으로 축소기법이 사용되고 있다. 현재까지 다양한 축소기법이 개발되었으며, 대표적인 모형으로는 SDSM(Statistical Down-Scaling Model)과 LARS-WG(The Long Ashton Research Station Weather Generator)이 있다. 이에 본 연구에서는 SDSM, LARS-WG와 함께 최근에 축소기법으로 사용되고 있는 인공신경망 기법을 이용해서 CCCMA(Canadian Centre for Climate Modeling and Analysis)에서 일 단위로 모의한 CGCM3 A2 시나리오를 기반으로 우포늪의 강우 및 온도시나리오를 구축하였다. 대상 지점인 우포늪은 경상남도 창녕군 우포늪(위도 35°33', 경도 128°25')에 위치하고 있으며, 모의 기간은 CASE1의 경우 현재, CASE2는 2050~2080년, CASE3는 2080년~2100년으로 각각 구분하여 축소기법을 적용하였다. 축소결과 축소기법에 따라 일정정도 차이를 보이기는 하였으나 강우와 온도 모두 증가하게 됨을 확인하였다.

**핵심용어 : 기후변화, 축소기법, SDSM, LARS-WG, 인공신경망**

### 1. 서 론

지구 온난화에 따른 기후 변화에 대비하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며 그 중 지구의 기후 상황이 얼마나 변할 것인지 예측, 평가하는 방법이 가장 활발히 연구되어지고 있다. 기후변화 현상은 지구 전체를 대상으로 하여 발생하므로 일반적으로 GCM(General Circulation Model)이란 기상 시나리오를 작성하여 활용하고 있다.

---

\* 비회원 · 인하대학교 사회기반시스템공학부 토목공학과 석사과정 E-mail : [barberyong@hanmail.net](mailto:barberyong@hanmail.net) - 발표자  
\*\* 정회원 · 인하대학교 사회기반시스템공학부 토목공학과 박사과정 E-mail : [gigatg@inha.ac.kr](mailto:gigatg@inha.ac.kr)  
\*\*\* 정회원 · 인하대학교 사회기반시스템공학부 토목공학과 부교수 공학박사 E-mail: [sookim@inha.ac.kr](mailto:sookim@inha.ac.kr)  
\*\*\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 선임연구원 공학박사 E-mail: [hydrokbs@kictre.kr](mailto:hydrokbs@kictre.kr)

그러나 이러한 GCM은 전 지구를 대상으로 모의를 진행하기 때문에 해상도가 매우 낮고, 대체로 비현실적인 결과를 제공하기 때문에 관측지점의 기후를 예측하기 위하여 직접 활용하기는 어렵다. 이러한 문제점을 해결하고자 개발한 것이 축소기법(down-scaling)이다. 축소기법은 크게 통계적 기법과 동역학적 기법으로 구분 지을 수 있다. 본 연구에서는 통계적 기법 중 3가지를 활용하여 비교 분석하였다. 현재까지 가장 일반적으로 사용되고 있는 통계학적 축소기법으로는 SDSM(Statistical Down-Scaling Model)과 LARS-WG(The Long Ashton Research Station Weather Generator), ANN(a dynamic Artificial Neural Network) 모형 등이 있다. 이 모형을 이용하여 일 단위 자료에 해당하는 강우량이나 평균온도, 최대온도, 최소온도 등 미래 시나리오 산출이 가능하다. 본 연구에서는 일반적으로 사용되는 통계학적 축소기법을 활용하여 우포늪의 중심 지점(위도 35°33', 경도 128°25')으로 GCM을 축소하였으며, 축소기법에 필요한 일 단위 평균온도, 최대·최소 온도, 강우량, 상대습도, 절대습도, 비습도, 해수면 평균온도 등에 해당하는 NCEP 데이터를 NOAA Climate Monitoring and Diagnostics Laboratory에서 제공받아 사용하였다.

## 2. 축소기법의 종류 및 적용

### 2.1 SDSM의 특징

SDSM(Statistical Down-Scaling Model)은 다중 선형회귀 방법과 비선형 회귀 방법을 이용하여 관측된 기후 변수를 바탕으로 미래 기후변화 시나리오를 예측하는데 필요한 축소기법으로 사용되고 있다(Haylock, 2006). 여기서 축소기법이란 전지구 모형 자료를 이용하여 지점으로 축소하는 과정으로 지점관측 자료와 대규모 격자 관측 자료를 비교, 상관성을 계산하여 매개변수로 활용하는 것이 일반적이다. 모형의 모의 과정은 크게 자료 구축 단계와 변수선정 및 매개변수 산출, 예측 기후 모의, 그리고 시나리오 모의 단계로 구분되며, 각 과정 후 통계분석 적용 기능이 있다.

### 2.2 LARS-WG의 특징

LARS-WG(The Long Ashton Research Station Weather Generator) 모형은 추계학적 기법을 활용하여 기존 관측 자료(일 평균온도, 최대·최소 온도, 강우량, 반사도) 및 모의 자료를 기반으로 증감량을 산정한 후, 산정된 기후자료의 증감량을 바탕으로 미래의 기후시나리오를 작성하는 일기발생모형이다. 즉, GCM의 변수별 상대적 비율(격자 관측 값과 GCM과의 온도 변화 비율, 우기와 건기의 상대적 변화 정도 등)을 적용, 추계학적인 계산 과정을 통해 미래 기후 시나리오를 발생하는 기법으로(Khan, 2006) SDSM이나 동역학적 축소기법보다 시나리오를 발생하는데 필요한 소요시간이 매우 짧아 효율적인 것으로 알려져 있다.

### 2.3 ANN의 특징

ANN(Artificial Neural Network)은 선택된 몇개의 기후인자들과 유역규모의 기상 요소와의 관계를 비선형으로 해석하여 예측하는 축소 기법이다(Mohammad, 2006). 신경망 이론은 사람의 뇌가 사물을 인지하고 판단하는 것에서 착안하여 개발된 알고리즘이다. 인간의 두뇌를 형성하고 있는 신경조직은 뉴런(neuron)이라는 신경소자가 복잡하게 얽힌 비선형 시스템으로 이들을 서로 연결해 주는 결합강도에 의하여 시스템의 성능을 향상 시킨다. 따라서 주어진 문제에 대한 이해가 부족하거나 제대로 정의되지 않은 현상, 문제 해결에 대한 특정한 과정이 알려지지 않은 경우에 적합하다. 수학적 모형으로 개발된 신경망은 함수가 가지고 있는 비선형학습 및 보간 능력을 수문학 분야에서 GCM의 미래 기상 요소간의 상호 관계를 맺어, 수문 기상현상을 예측하는 방법으로 주로 사용되고 있다.

### 2.4 축소기법의 적용

본 연구에서는 우포늪의 수문 관측 자료와 격자 기상 자료(NCEP)를 바탕으로, 앞에서 설명한 각 기법을 적용하여 CCCMA에서 제공하는 A2 시나리오 기반의 GCM을 축소하여 미래의 기후시나리오를 모의한 후, 기후변화로 인한 강수, 온도, 건조기간, 습윤기간을 월 별로 분석하였다. 축소기법의 적용을 위하여 지점관측자료, 격자관측자료, 전지구 모형(GCM)를 관측기간인(CASE1, 1973~2008), CASE2(2051~2080), CASE3(2081~2100)로 구분하여 기후시나리오를 작성하였다. 이 자료 중 지점 관측 값과 격자관측 값을 통해 매개변수를 추정하여 전지구 모형(GCM)으로부터 지점 기상 모의 자료를 산출함으로써 실제 관측 값과 비교가 가능하다. 위 과정은 SDSM과 ANN 기법에 공통적으로 적용하는 원리이다. 추계학적 모의 방법인 LARS-WG는 현재 관측치를 기준으로 CASE 2, 3의 각각의 상대적 변화량을 비교하여 미래 시나리오에 반영하는 방법을 이용한다. 또 축소기법을 적용한지 않은 경우 GCM 자료를 직접 시나리오로 적용한 경우를 비교하기 위해, 모의 조건에 맞는 추계학적 모형에 적용하여 가상 시나리오를 추가하였다. 대상지점으로 선정된 우포늪에는 기상관측소가 설치되어 있지 않아, 우포늪 주변의 4곳(밀양, 진주, 영천, 함천)의 기상관측소를 대상으로 역거리법을 적용하여 우포늪의 관측 기상자료를 산정하였다.

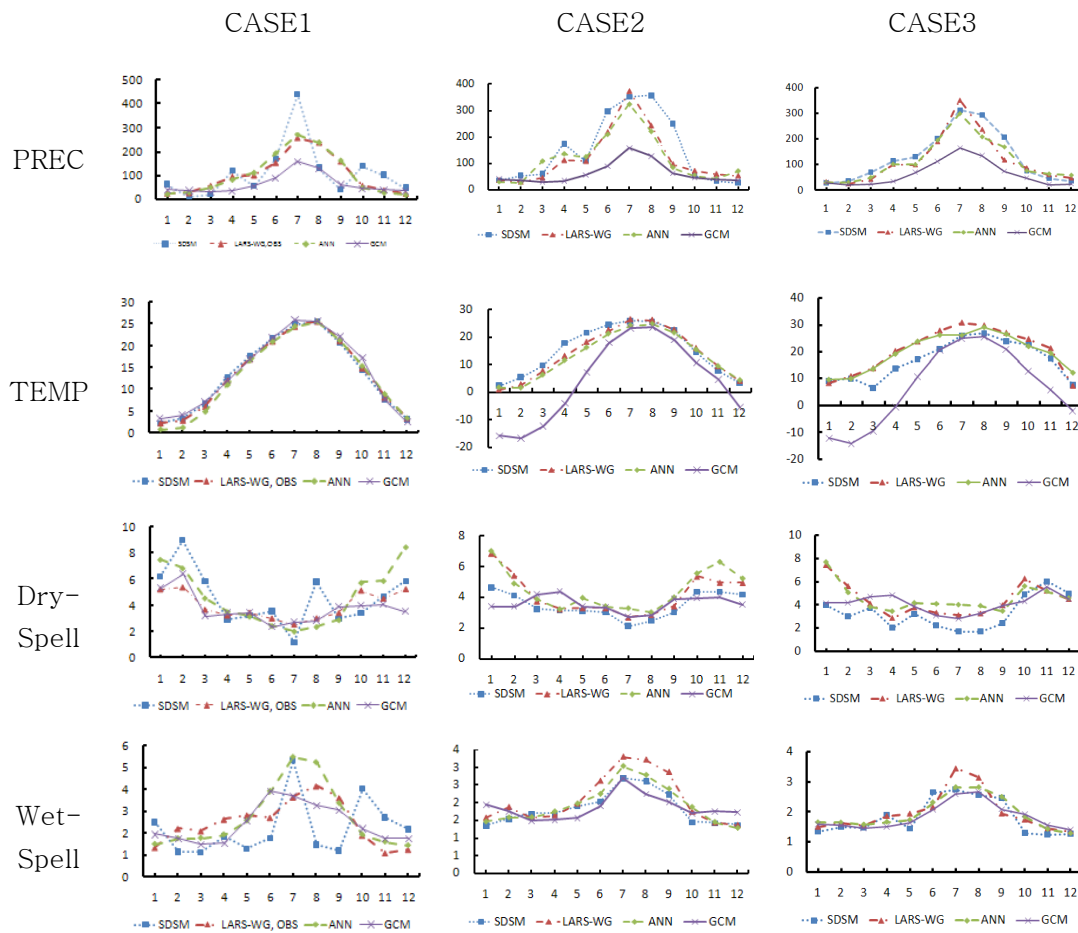


그림 1. 각 기간별 축소기법 적용 결과

### 3. 결 론

본 연구에서는 SDSM, LARS-WG, ANN을 이용하여 우포늪을 기준으로 축소기법을 적용하여 각각의 결과를 비교하였다. 연평균 강수량은 SDSM이 각각 CASE1에서 CASE 2와 CASE 3에서 각각 34.89%, 17.13% 씩 증가하였다. LARS-WG는 각 CASE별 17.98%, 9.84% 그리고 ANN은 12.49%와 10.49%로 증가하여, 적용된 축소기법에 따라서 차이를 보임을 알 수 있다. 평균 온도의 경우, 모형에 따라서 큰 차이가 없이 CASE별로 증가하였으며 가을, 겨울철의 경우 건조기간은 증가하고 습윤기간은 감소하는 경향을 보였다. 특히 CASE2의 연평균 강수량은 크나 7월의 습윤 기간이 긴 반면, CASE 3에서 연평균 강수량은 작지만 7월의 습윤기간이 짧음을 확인할 수 있었다. 이는 CASE2의 7월 강수량은 증가하지만, CASE3의 7월에는 극한 강우가 내린다는 것을 예측할 수 있다. 축소기법 적용 결과, 모형 SDSM은 관측치를 다른 기법에 비해 반영하지 못함을 알 수 있다. 반면, LARS-WG와 ANN은 관측값의 변화를 구체적으로 반영함을 알 수 있었다, 본 연구 결과 축소기법을 활용하여 전지구 모형을 기후변화의 수문학적 영향평가를 하는 것이 전지구 모형을 직접 이용하는 것 보다 실질적인 결과를 얻으며, 보다 정확한 결과를 얻기 위한 연구가 진행되어야 한다고 생각한다.

### 감 사 의 글

본 연구는 건설교통부 한국건설교통기술평가원의 이상기후대비시설기준강화 연구단에 의해 수행되는 2008건설기술기반구축사업(05-기반구축-D03-01)에 의해 지원되었습니다.

### 참 고 문 헌

1. M. S. Khan, P. Coulibaly and Y. Dibike (2006) Uncertainty analysis of statistical downscaling methods using Canadian Global Climate Model predictors *HYDROLOGICAL PROCESSES*, Vol. 20, pp. 3085-3104.
2. Haylock, M.R., Cawley, G.C., Harpham, C., Wilby, R.L. and Goodess, C.M. (2006) Downscaling heavy precipitation over the UK: a comparison of dynamical and statistical methods and their future scenarios. *International Journal of Climatology*, Vol. 26, pp. 1397-1415.
3. Khan, M.S., Coulibaly, P. and Dibike, Y. (2006) Uncertainty analysis of statistical downscaling methods, *Journal of Hydrology*, Vol. 19, pp. 357-382.
4. M. Chen, X.Zeng, and Robert E. Dickinson (1998) Adjustment of GCM Precipitation Intensity over the United States, *Journal of Applied meteorology*, Vol. 17, pp. 876-887.
5. Yonas B. Dibike, Paulin Coulibaly (2006) Temporal neural networks for downscaling climate variability and extremes, *Neural networks*, Vol.19, pp.135~144.