

# ARDAS 소프트웨어를 이용한 기후상세화 및 합천다목적댐 저수지에서의 수량 및 탁수전망에의 활용



강부식  
단국대학교 토목공학과 부교수  
bskang@dankook.ac.kr

## 1. 머릿말

IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)의 “기후변화 종합보고서(2007)”에 의하면 기후변화는 도시화를 비롯해 인구증가와 경제 및 토지사용 변화등으로 인해 현재의 수자원 스트레스를 악화시킬 것이라고 제시하고 있다.

전 세계적으로 평균기온이 상승하고 가뭄 및 집중호우의 발생빈도가 증가하고 있으며, 한반도 또한 강수량 및 집중호우의 증가추세가 보고되고 있다. 이에 따라, 기후변화에 의한 댐 저수지의 미래유입량 및 탁수의 변화에 대한 분석은 수자원 관리측면에서 우선적으로 대비해야 되는 매우 중요한 문제이다.

본 연구에서는 시범유역인 합천댐 유역의 기후변화로 인한 신뢰도 높은 영향평가를 위하여, 기후변화 시나리오의 상세화를 위한 ARDAS(Assembled Regional climate Downscaling & Analysis System)소프트웨어의 적용을 통해 예측인자들에 대한 미래 기상자료를 구축하였으며, 댐 저수지의 미래 유출량 및 탁수 변화를 예측하기 위해 SWAT 모형을 적용하였다.

본 연구결과를 통해 향후 기후변화에 의한 댐 저수

지의 수환경 변화에 따른 효율적이고 안정적인 관리 방안을 제시하는데 도움이 될 것으로 기대된다.

## 2. 기후변화 상세화

### 2.1 대상유역 및 대상시나리오

대상유역은 합천댐유역으로 한반도의 남부지역에 위치해 있으며, 총 저수량이 790.0×106m<sup>3</sup>인 다목적댐으로 총 유역면적이 928.94km<sup>2</sup>, 주 하천의 길이가 20.03km이다. 유역의 연평균 강우는 1275.5mm으로 6월과 9월 사이에 총 강우의 68%가 발생하는 특징을 가지고 있다.

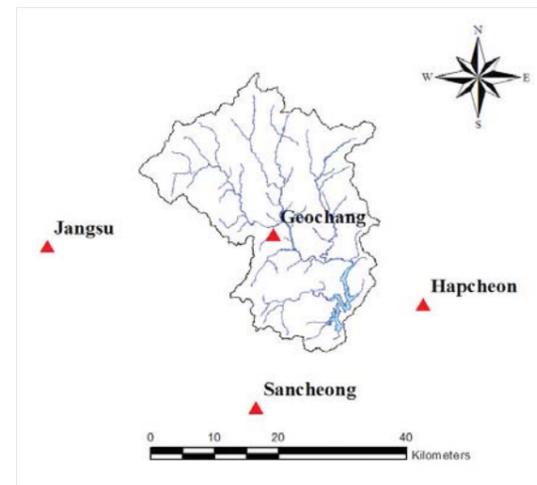


그림 1. 합천댐 유역 및 강우 관측소 현황

표 1. 스케일별 기후전망자료의 비교

구분	전지구 기후 전망자료	한반도 기후 전망자료	고해상도 자료
기간	1860 ~ 2100년	1971 ~ 2100년	2000 ~ 2100년
시나리오	20C3M, A1B, B1, A2	A1B	A1B
사용모델	ECHO-G	MM5	MM5
격자간격	~400 km (~3.75°)	~27km (~0.243°)	10 km
제공변수	기온(최고, 최저, 평균) 강수, 상대습도	기온(최고, 최저, 평균) 강수, 상대습도	기온(최고, 최저, 평균) 강수
자료간격	월평균	일평균, 월평균	월평균

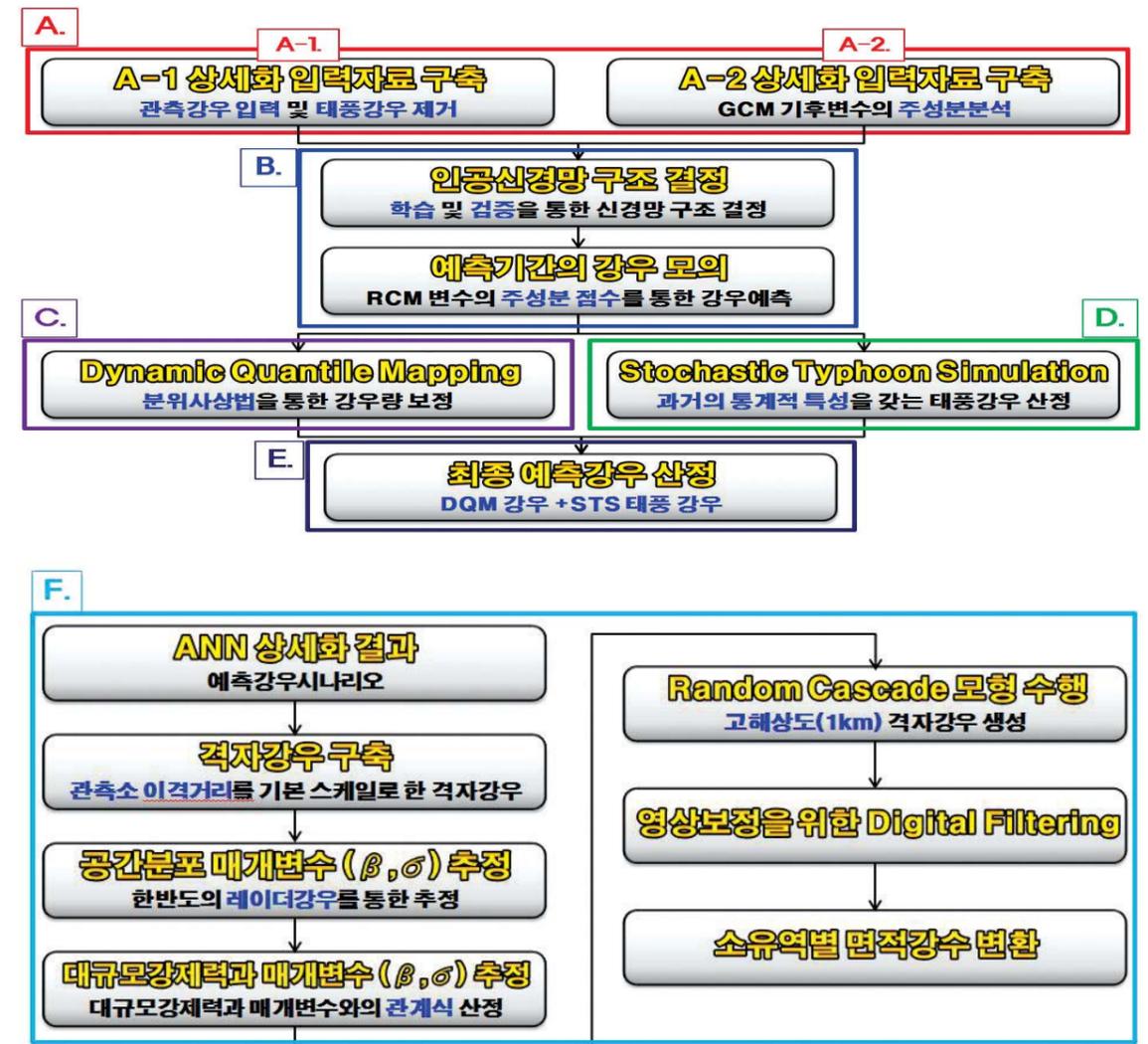


그림 2. ARDAS의 인공신경망 기반의 복합상세화 단계(상) 및 Random Cascade(하) 합성모형의 전체 흐름도

표 2. 합천댐유역의 계절별 추세분석 결과

구분	Baseline (Obs)	Baseline (Sim)	2011~2040 (Period I)	2041~2070 (Period II)	2071~2100 (Period III)
강우 (mm)	1324.3	1349.5 (2.1%)*	1500.6 (11.2%)**	1747.3 (29.4%)**	1974.6 (46.3%)**
습도 (%)	67.8	68.5 (1.1%)*	69.0 (0.7%)**	69.3 (1.1%)**	69.5 (1.3%)**
최고온도 (°C)	19.0	19.0 (0.0)***	19.3 (0.3)****	20.1 (1.1)****	21.0 (2.0)****
최저온도 (°C)	6.0	5.9 (-0.1)***	6.3 (0.4)****	7.2 (1.3)****	8.1 (2.2)****

\* Baseline(Obs) 대비 Baseline 증감율, \*\* Baseline(Sim) 대비 증감율, \*\*\* Baseline(Obs) 대비 Baseline 증감, \*\*\*\* Baseline(Sim) 대비 증감

IAI(빌딩스마트협회로 개칭)에서 약 15년 간 지속적으로 BIM 표준(IFC)을 마련하고 있으며, 표 1과 표 2에서 보는 바와 같이 많은 국가가 BIM 지침을 제정하고 BIM 모델(IFC 포맷) 제출 의무화를 시행하고 있다.

또한, 미국을 중심으로 대형 건설사뿐만 아니라 신흥 건설사들도 다양한 BIM기법을 활용하여 설계, 시공, 유지보수뿐만 아니라 IPD 계약 방식의 적용과 같은 계약방식의 변화 역시 BIM의 영향이라고 볼 수 있다.

현재 기상청에서는 10km의 고해상도 기후전망자료까지 제공하고 있지만 고해상도 자료의 경우 월단위로 제공되며 과거자료에 대한 제공기간이 충분하지 않아 본 연구에서는 해상도 27km의 한반도 기후전망자료를 사용하였으며 스케일별 기후전망자료에 대한 설명은 아래의 표와 같다(표 1)

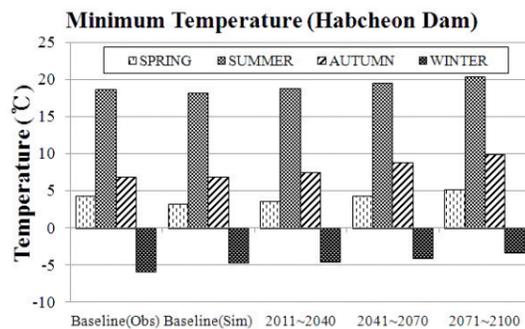
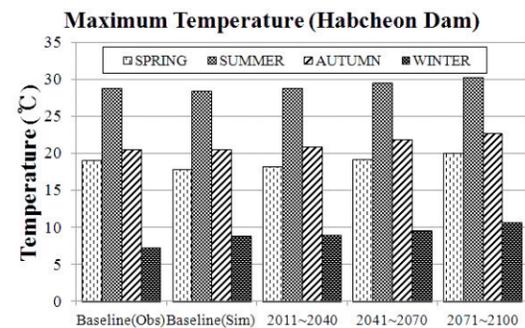
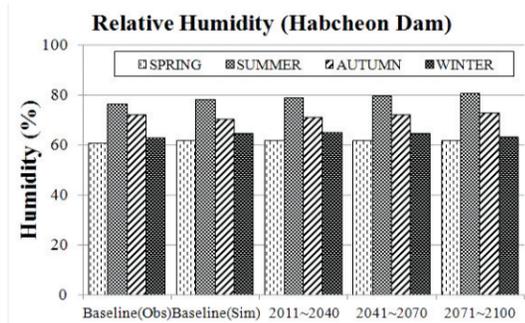
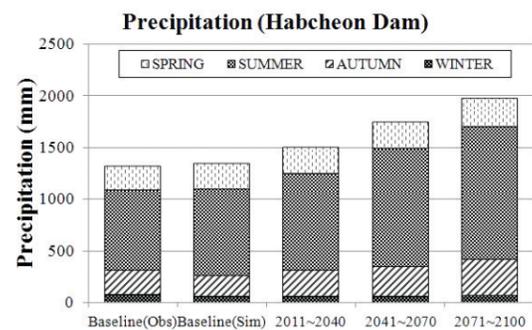


그림 3. 기상변수들의 계절별 추세분석 결과

표 3. 황강 지점의 보정결과에 대한 통계치

Year	Rainfall (mm)	R2	RMSE (mm/day)	NSE
2005	1245.46	0.80	1.31	0.76
2006	1412.03	0.80	1.83	0.76
2007	1729.78	0.97	8.27	0.69
2008	615.97	0.76	0.36	0.90
2009	975.73	0.95	6.39	0.77
2010	1549.19	0.87	3.77	0.77
Mean	1254.69	0.86	3.66	0.78

표 4. 지산 지점의 보정결과에 대한 통계치

Year	Rainfall (mm)	R2	RMSE (mm/day)	NSE
2005	1238.42	0.67	3.24	0.65
2006	1404.05	0.92	2.41	0.88
2007	1719.99	0.73	4.87	0.71
2008	612.48	0.62	1.05	0.60
2009	970.21	0.83	2.01	0.73
2010	1540.43	0.80	3.16	0.76
Mean	1247.60	0.76	2.79	0.72

표 5. 합천댐 유역의 탁수 검보정 결과에 대한 통계치

Water quality	Station	Avg		Med		Std		75%		25%	
		Obs.	Sim.	Obs.	Sim.	Obs.	Sim.	Obs.	Sim.	Obs.	Sim.
SS (mg/L)	황강 A	10.8	12.35	3.60	4.50	33.85	37.17	6.40	7.16	2.00	2.89
	가천	2.62	4.17	2.00	3.08	2.31	3.45	3.00	4.30	1.00	2.30

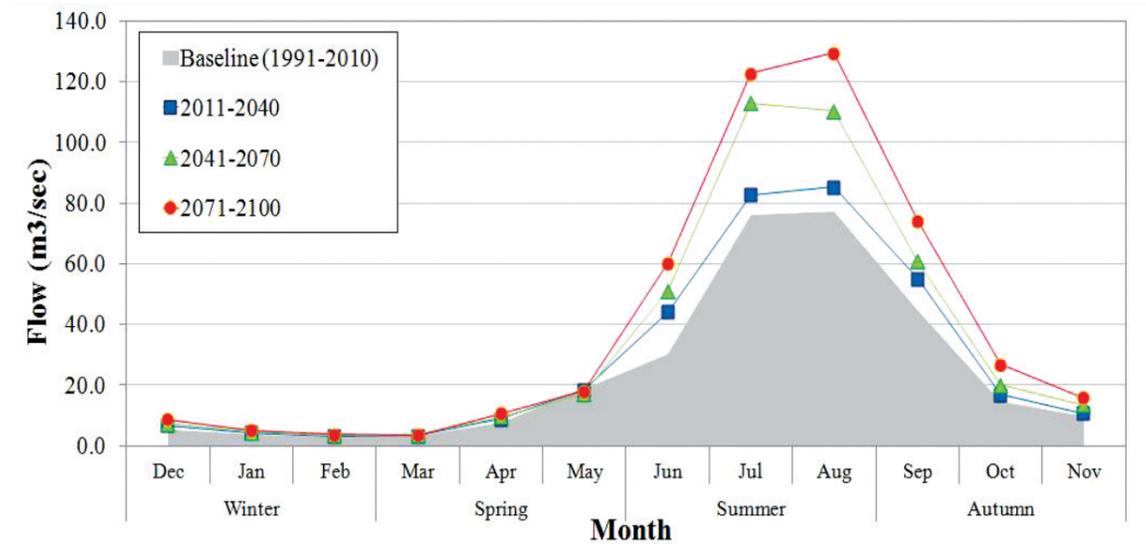


그림 4. 미래 기후변화 시나리오 적용에 따른 월별 댐유입량 변화 (합천댐)

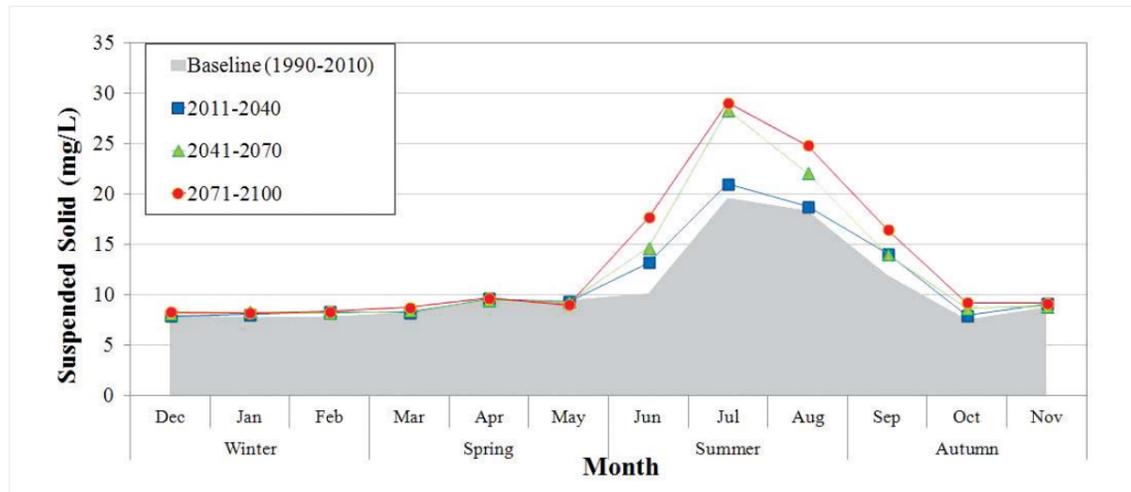


그림 5. 미래 기후변화 시나리오 적용에 따른 탁수농도변화 (합천댐)

## 2.2 ARDAS(Assembled Regional climate Downscaling & Analysis)

본 연구에서 사용한 ARDAS기법은 기존의 인공신경망기법과 본 연구진이 보유한 Radom Cascade기법을 합한 새로운 형태의 상세화를 시도한 기법이다.

ARDAS의 상세화단계의 경우 인공신경망을 기반으로 하였으며, 인공신경망 예측인자의 계산부하가 높아짐을 막기 위한 주성분분석, Baseline(1991~2010)과 Projection(2011~2100)사이의 강수량 보정을 위한 Dynamic Quantile Mapping기법과 기후시나리오에서 모의하고 있지 못하는 여름철 태풍사상 모의를 위한 Stochastic Typhoon Simulation 기법을 적용함으로써, 강수량의 불확실성을 최소화하고 예측의 신뢰도를 높이고자 하였다.

마지막으로, 관측소 단위로 한 상세화 결과를 통해 Random Cascade를 적용한 격자단위의 상세화를 실시하여 강수대의 공간적 형상을 재현할 수 있는 것이 ARDAS기법의 가장 큰 특징이자 장점이다.

본 연구에서는 SWAT과의 연계를 통한 유출모의를 위해 인공신경망 기반의 복합 상세화단계까지 적용하여 예측인자들에 대한 미래 기상자료를 구축하였다.

## 2.3 상세화 결과

본 연구에서는 합천댐유역을 대상으로 미래 기상자료 구축을 위한 RCM MM5의 기상변수를 이용하여 ARDAS 기법을 적용하였다. 인공신경망 구조의 경우 다층퍼셉트론 (Multi-layer perceptron)구조로 모델링 하였으며, 학습방법으로는 역전파알고리즘 (back-propagation algorithm)을 사용하여 다지점 인공신경망 기법을 적용하였다. 학습기간은 1991~2005년, 검증기간은 2006~2010년, 예측기간은 2011~2100년이다. RCM MM5의 경우 제공되는 변수들의 수는 총 5개(표 1)로 계산부하를 줄이기 위한 주성분분석은 적용하지 않았다. ARDAS 기법을 적용한 상세화 결과는 다음과 같다(표 2, 그림 3)

## 3. 댐 유역의 유출 및 탁수전망

### 3.1 SWAT 모형

기후변화에 따른 유출 및 탁수변화를 모의하기 위해 SWAT모형을 사용하였으며, SWAT은 물리적 기반의 준 분포형 장기강우-유출 모형으로 대규모의 복잡한 유역에서 장기간에 걸친 다양한 종류의 토양과 토지 이용, 토지관리 상태에 따른 유출 및 유사등을 예측하기 위해 개발된 모형이다(Arnold et al., 1998).

합천댐의 기상자료로는 강우, 풍속, 일사량, 최고온도, 최저온도, 습도를 일단위로 구성하였으며, 유역의 관측소는 합천, 거창, 장수, 산청의 4개 관측소를 선정하였다. 또한 지형자료로 100m 스케일의 DEM을 사용하였으며, 30m 스케일의 토지이용도와 농촌진흥청에서 제공하는 1/25000 정밀토양도를 사용하였다.

### 3.2 유출 및 탁수 검보정

유출량에 대한 SWAT 모형의 보정과 검증은 공간적으로 최상류부터 순차적으로 실시하였다. 합천댐 유역의 상류지점인 황강 지점과 지산 지점에 대하여 보정한 후, 유역 출구지점의 댐 유입량에 대하여 보정을 실시하였다.

모형의 안정화 기간(Warm-up)을 고려하여 2003년~2010년까지 모의하였으며, 지점별 실측 일 유출량 자료를 이용하여 보정하였다. 유출보정 후 동일기간 동안의 탁수에 대해서 검보정을 실시하였다.

### 3.3 유출 및 탁수 전망

미래 기후변화 시나리오 적용에 따른 월별 댐 유입량 (Dam inflow) 및 월별 변화율을 확인한 결과 미래 강우특성 변화에 따라 여름철과 가을철 댐 유입량의 증가가 두드러지게 나타났으며, 현재(Baseline)를 기준으로 먼 미래(2071-2100)로 갈수록 년 댐 유입 총량은 증가 추세를 보이고 있다.

또한 미래 기후변화 시나리오 적용에 따른 부유물질 (Suspended Solid)의 월별 변화량 및 변화율을 전망하였으며, 합천댐 유역의 경우 댐 유입지점 부근에 탁수측정망이 없으므로 황강과 가천의 매개변수를 평균한 값으로 탁수농도를 전망하였다.

## 4. 결론

본 연구에서는 합천댐유역을 대상으로 강우전망을

위한 예측인자로 RCM MM5의 5개 기상변수에 대하여 ARDAS기법을 적용하여 미래 기상자료를 구축하였다. 또한 SWAT모형과의 연계를 통하여 유출 및 탁수전망을 실시하였으며 다음과 같은 결과를 나타냈다.

1. 상세화를 실시한 결과 Baseline(1991-2010)의 관측값과 모의값의 비교 결과 강우의 경우 1.9%, 습도의 경우 1.1%, 최고온도와 최저온도의 경우 0.0%, -0.1%로 모의결과에 대한 높은 신뢰도를 보였다.

2. 기상변수 강우, 상대습도, 최고온도 및 최저온도 전망 결과 모두 증가하는 경향을 보였으며, 특히 강우의 경우 2071-2100에 46.3%로 크게 증가하는 것으로 나타났다.

2. SWAT모형을 이용하여 유출 및 탁수를 전망하였으며 유출전망의 경우 미래 강우특성 변화에 따라 여름철과 가을철 댐 유입량의 증가가 두드러지게 나타났다. 현재(Baseline)를 기준으로 미래로 갈수록 연간 댐 유입 총량은 증가 추세를 나타냈다. 미래 댐 유입 총량은 현재를 기준으로 2011-2040에 +16.3%, 2041-2070에 +43.9%, 2071-2100에 +67.3% 증가하는 것으로 전망되었다.

3. 탁수전망의 경우 2011-2040에 +6.0%, 2041-2070에 +16.1%, 2071-2100에 +24.2%로 증가하는 것으로 전망되었다.

4. 또한 저수지 수질 모형과의 연계를 통해 기후변화 시나리오에 따른 유출 및 수질을 전망함으로써 기후변화로 인한 댐 유역의 수환경 변화를 전망하여 합천댐의 취약성을 평가하고 다목적댐의 수자원을 효율적이고 안정적으로 관리할 수 있는 방안을 제시할 수 있도록 하기 위한 자료로 활용할 수 있을 것이다.