

## 06. 수자원



화재안전 / 도로 / 첨단교통 / 구조교량 / 지반 /  
수자원 / 하천해안항만 / 건설환경 / 건축계획환경 / 건축구조자원 /  
설비플랜트 / 건설관리경제 / 건설정보 / U-국토 / 기타 /



# 유럽의 기후변화가 수자원에 미치는 영향 평가 관련 연구동향

**김병식** (수자원연구실 / 수석연구원)

- >> 1차분류 | 수자원정책, 평가 및 관리기술
- >> 2차분류 | 이수, 치수, 하천환경정책 및 평가기술

**키워드**

EU, climate change water resource, project

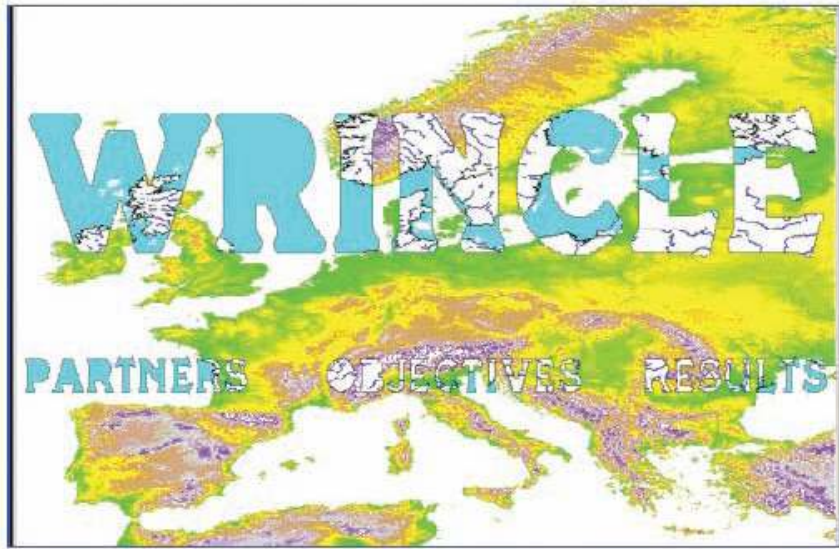
06

수  
자  
원

유럽의 각 나라는 미래 기후에 대한 정확한 정보를 얻고자 노력하고 있다. 현재 미래 기후변화를 예측할 수 있는 기술은 이미 개발되어 있는 단계에 있으나, 고해상도 자료를 생성하는데 있어 불확실성이라는 부분은 여전히 해결해야 할 과제로 남아 있다. 저해상도의 기후변화 모형 결과는 실제 극한 사상을 재현하는데 한계점을 가지고 있다. 특히 온도나 강우의 경우, 알프스 산맥이나 스칸디나비아 반도와 같이 다양한 지형학적 특성을 가진 지역에서는 이러한 한계점이 분명하게 드러난다. 유럽의 정부들은 이러한 문제점을 매우 심각하게 받아들이고 있으며 여러 연구기관들은 극한 사상을 재현하기 위하여 신뢰성 있는 고해상도 자료를 만들고자 노력하고 있다. 정부나 연구기관이 극한 사상에 관심을 기울이는 이유는 유럽의 경우 최근 발생한 극한 홍수나 가뭄에 의해서 상당한 피해를 입었기 때문이다. 따라서 향후 발생할지도 모르는 이상기후로 인한 피해에 대비하고자 지역의 기후특성을 파악하고 축소기법(downscaling method)을 개발하는데 노력을 기울이고 있는 것이다. 본 원고에서는 지면 관계상 각 나라의 모든 기후변화 관련 프로젝트를 언급하기는 어렵기 때문에 표 1을 통하여 그 내용을 간략히 정리하였으며, 그 중에서 EU의 지원을 받아 수자원 분야가 중심이 되어 수행된 WRINCLE(Water Resource, Influence of Climate change in Europe)를 간략히 언급하였다.

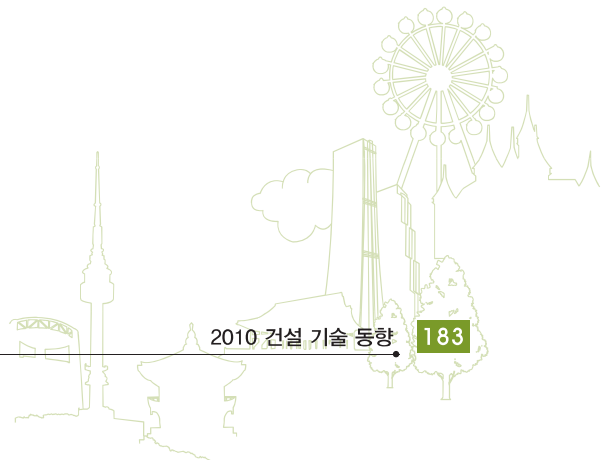
- WRINCLE(Water Resource, Influence of Climate change in Europe)  
(<http://www.ncl.ac.uk/wrincl/>)

WRINCLE는 유럽지역에서 기후변화로 인한 수자원의 변동성에 대한 연구를 목적으로 하며, EU의 Environmental and Climate 프로그램의 지원을 받아 진행되었다. 이 프로젝트는 시·공간적 해상도에 따른 강수, 증발, 유출 등과 같은 수문학적 요소들의 변동성을 연구하는 것이 목적이며 특히, 수자원관리 방법에 따른 환경적 영향에 주목하고 있다. 유역 내 수자원관리 척도에 따른 수문학적 변화는 환경적 측면에서 장점으로 지적하고 있다. 정책결정자들이 정책을 결정하고 물 관련 회사들의 자원을 배치하는데 도움을 주기위한 일반적인 지침서를 발간하였다.



WATER RESOURCES ; INFLUENCE OF CLIMATE CHANGE IN EUROPE

■ 출처  
기후변화 대비 국가 물안보 확보 방안 연구보고서



# Biosphere 2 인공사면실험 (Artificial Hillslope Experiment)

김남원 (수자원연구실 / 선임연구위원)

- >> 1차분류 | 수문관측 및 해석기술
- >> 2차분류 | 수문관측 및 자료 구축기술

키워드

Biosphere 2, Hillslope Hydrology, 생태수문

06

수  
자  
원

**주요 내용** 바이오스피어 2(Biosphere 2)는 미국 애리조나 주에 있는 외부와 격리/밀폐된 인공 생태계 실험장으로, 또 하나의 인공 지구를 만들어 보려는 뜻에서 바이오스피어 2라는 이름이 붙여졌다.

실제로 1991년 이 실험장에서 미국 미네소타대학, 록펠러대학, 컬럼비아대학 등이 중심이 되어 자급자족형 생태계, 즉 가상의 지구를 인공적으로 창조해 보려는 초대형 프로젝트가 시도된 적이 있었다.

아쉽게도 이 실험은 실패로 막을 내렸으나, 인류가 자연생태계를 계속 파괴할 경우 나중에 이를 치유할 방법이 전혀 없어진다는 점을 깨우쳐준 의미 있는 실험이었다.

이후 바이오스피어 2는 지구과학분야의 각종 글로벌 이슈를 다루는 실험장으로 활용되어 왔으며, 현재는 아리조나 대학교의 관리하에 생태 실험 중심의 연구소 및 교육장으로 운용되고 있다.

최근에는 생태분야 이외의 타 연구분야와의 접목을 시도하고 있으며, 이 일환으로 아리조나 대학교의 SAHARA 연구소 및 Dept. of Hydrology and Water Resources 와의 협력하에 생태학과 수문학을 연계한 생태수문학(Eco-hydrology) 실험장으로도 활용되고 있다.

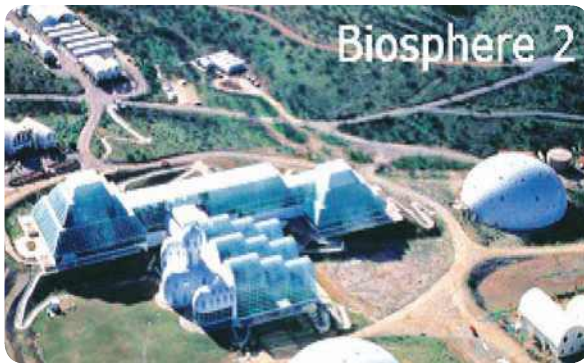
일례로, 바이오스피어 2 공간에 인공적인 사면(Hillslope)을 만들어 토양, 물, 생물, 지화학, 지형 등을 복합적으로 고려한 Hillslope Hydrology에 관한 다학제간 융복합 연구 성격의 대규모 실험이 계획되었다.

이 실험은 「Artificial Hillslopes Experiment at B2」라 불려지고 있으며, 인공적으로 다양한 기후조건을 유지할 수 있는 대형 유리 돔 안에서 3가지 종류의 18m×33m 크기의 인공 식생사면을 만들어 10년 이상 장기간에 걸쳐 실험할 계획이다.

이 실험 장치는 실제 자연과 최대한 가깝도록 충분한 규모로 설계되었기 때문에, 기존 실내실험 규모가 가지고 있는 스케일 문제로 인한 구현성의 한계와, 다양한 기후 및 토지조건을 임의적으로 설정할 수 없는 현장실험의 제약성을 극복한 실험이라 하겠다.

이 실험의 궁극적인 목적은 기후, 토양, 식생, 물이 서로 간에 어떠한 작용을 하고 있으며 이러한 상호작용이 수문학적, 지형학적(Geomorphological) 그리고 생지화학적(Biogeochemical) 발달과정에 어떠한 영향을 미치는 지를 정량적으로 규명하는 것이다. 현 단계는 설계와 시공을 위한 전초 작업으로 각 학문분야별로 수치모델링을 수행하여 실험장치가 다양한 지화학적 풍화작용, 식생성장, 토양 및 수문환경을 확보할 수 있도록 최적의 설계 인자를 결정하고 있다.

향후 실험 결과는 기존 학설을 검증하거나 새로운 이론을 개발하는데 활용될 전망이다.



<그림 1> Biosphere 2 전경



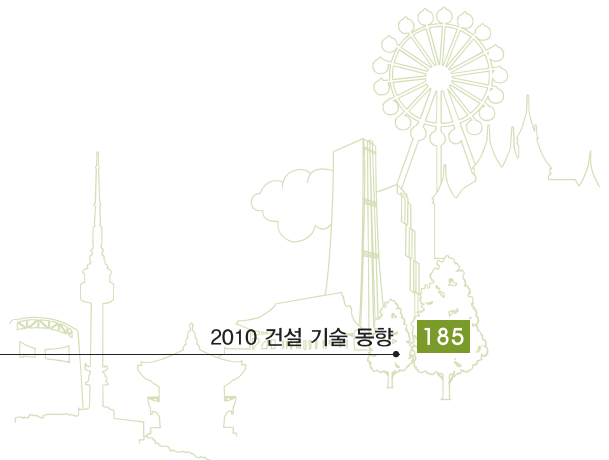
<그림 2> Artificial Hillslope 실험장치

■ 관련(참고)사이트

<http://www.b2science.org/>

■ 출처

Geophysical Research Abstracts, EGU2009-6496-3, EGU 2009



# WaterBase Project

## 김철겸 (수자원연구실 / 수석연구원)

- >> 1차분류 | 수문관측 및 해석기술
- >> 2차분류 | 유역물순환 해석기술

## 키워드

WaterBase, GIS, Modeling Tool,  
MapWindow, MWSWAT

06

수  
자  
원

WaterBase 프로젝트는 국제연합대학(United Nations University)에서 추진하고 있는 프로젝트로서, 개발도상국에서의 통합수자원관리(Integrated Water Resources Management, IWRM)의 시행을 촉진시키는데 목적을 두고 있다. 일반적으로 개발도상국들은 수자원관리를 위한 예측모델링 및 의사지원시스템의 활용에 있어 자원과 전문지식 및 적절한 교육훈련의 부족으로 주로 외국으로부터의 개발된 모델링기법이나 전문가들에 의존하고 있는 상황이다. 현재 세계 여러 국가들에서 모델링 기법들이 성공적으로 적용되고 있지만, 사용하기 쉽지 않고 많은 입력자료를 요구하고 있고 일부는 매우 값비싼 상용이라는 문제가 있다. 그러나, 최근에는 인터넷상에서 활용할 수 있는 무료 GIS 자료가 점차 늘고 있고, PC의 성능이 점차 향상됨에 따라 상대적으로 저렴하고 보편화된 모델링이 가능해지고 있다. WaterBase 프로젝트는 이러한 상황을 적극 활용하기 위해 3단계에 걸쳐 추진되고 있다.

현재 진행중인 제1단계에서는 소스가 공개된 무료 수문모델링을 위한 툴과 시나리오 개발이 추진되고 있고, 이 툴은 웹으로부터 GIS 자료를 이용하여 그리고 가능하다면 좀 더 정밀한 지역자료를 기반으로 세계 어디에서든지 적용 가능하며, 근본적으로 제3자에 의해서도 쉽게 사용가능한 프로토타입의 형태를 지니고 있다. 제2단계에서는 이 툴을 사용하고 피드백 및 요구조건을 제공하고 나아가 3단계에 기여할 수 있는 개발도상국의 연구기관들을 물색할 예정이다. 마지막 제3단계에서는 외부펀드를 유입하고 여러 추가적인 요구조건들에 따라 이 툴을 개선하고 발전시켜 나갈 계획을 가지고 있다.

WaterBase 프로젝트를 통해 제공하고자 하는 사항들은 다음과 같다.

### 1. 모델링과 의사결정 시스템(무료 제공)

- GIS 툴 (MapWindow)과 수문모델링 툴 (SWAT)
- MapWindow/SWAT 인터페이스 툴 (MWSWAT)
- SWAT visualization 툴 (SWATPlot & SWATGraph)
- MapWindow/AGNPS 인터페이스 툴 (MWAGNPS)

### 2. 통합수자원관리를 위한 기초 자료(무료 제공)

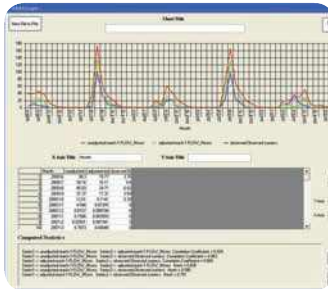
- DEM, 토양, 토지이용, 하천, 기상 등에 관한 전지구 자료(Global data)

### 3. 개발된 툴 및 수자원과 관련된 지원 협력단체

- International Institute for Software Technology (UNU-IIST)
- International Network on Water, Environment and Health (INU-INWEH)



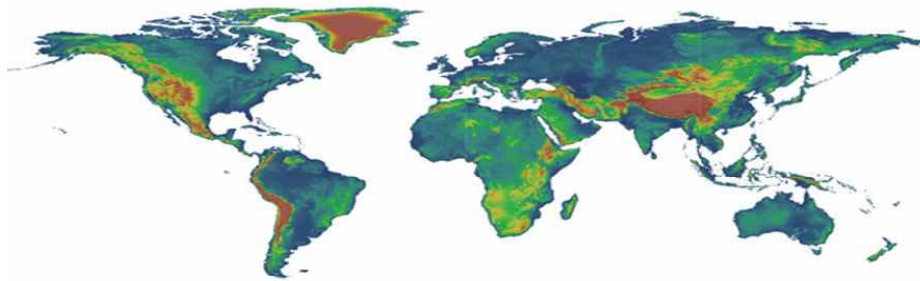
〈MWSWAT〉



〈SWATGraph〉



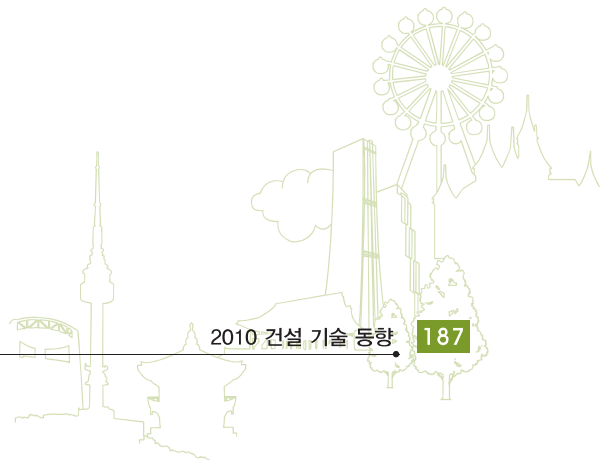
〈MWAGNPS〉



〈SRTM 90m Digital Elevation Data〉

■ 관련(참고)사이트  
<http://www.waterbase.org/>

■ 출처  
 The Open Hydrology Journal, 2007, 1, 19-24





## 분포형 수문모형을 이용한 실시간 하천유출예측

**노성진** (수자원연구실 / 전임연구원)

- >> 1차분류 | 수문관측 및 해석기술
- >> 2차분류 | 유역물순환 해석기술

**키워드**

OHyMos, Real time forecasting, Yodo river

06

수  
자  
원

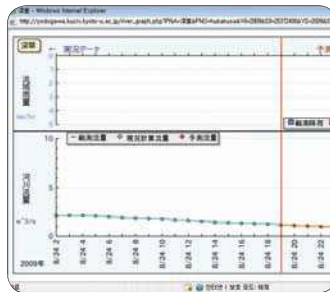
요도강 유역 실시간 분포형 홍수유출예측시스템(Real-time Distributed Flood Prediction System; 이하 RDFPS)은 대상 유역(7,281km<sup>2</sup>) 1,707 지점에 대한 유출량 정보 제공 및 유역 내 8개 다목적 댐의 유입량 및 유출량 예측을 위해 연구용으로 개발되었다.

RDFPS는 객체지향형 수문모델링 시스템(Object-oriented Hydrological Modelling System; 이하 OHyMoS)을 기본 열개로 사용하는데 이 OHyMos는 여러 가지 수문모형을 개별 모듈로 활용할 수 있는 일종의 modelling framework이라 할 수 있다. 본 RDFPS의 세부 수문모형으로는 kinematic-wave 모형을 사용하였으며, 250m 크기의 격자로 유역을 분할하여 분포형 모형을 구성하고, 대상지점의 유출량 및 댐 유입·유출량 정보는 일본의 국토교통성에서 제공하는 실시간 데이터베이스를 이용하였다. 홍수예측(6시간)을 위해서는 수치기상모형에 의해 생성된 2.5km 및 5km의 해상도를 갖는 강우데이터가 이용된다. 세부적으로는, 1시간 전 관측된 격자기반의 합성강우데이터(레이더+지상강우 관측소)를 이용하여 유역 내 대상 지점별 유출량을 1시간단위로 계산한 후, 레이더 외삽법에 의해 계산된 JWA Ultra Short-Range Forecast of precipitation (USRF)을 첫 3시간 예측에, Meso Scale Model(MSM)에 의해 예측된 JMA Very Short-Range Forecast of precipitation(VSRF)을 3~6시간 예측에 적용하여 6시간까지의 유출량을 산정하게 된다.

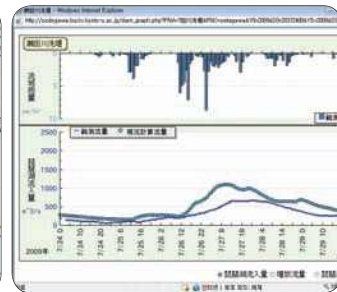
해당 사이트에서 실시간 예측 및 과거 예측 자료를 누구나 조회할 수 있으며, 현재 관측 유량을 이용한 자료동화 시스템을 추가 개발 중이다.



<RDFPS 사이트>



<실시간 예측 자료>



<과거 예측 자료>

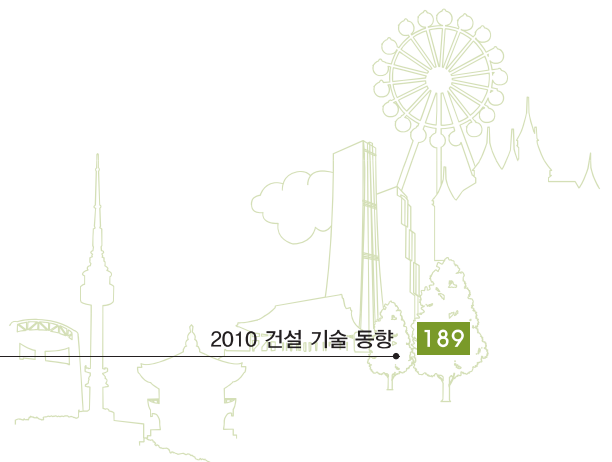
---

■ 관련(참고)사이트

<http://yodogawa.kuciv.kyoto-u.ac.jp/>

■ 출처

<http://hywr.kuciv.kyoto-u.ac.jp/>



## GIS 기반의 수리·수문 해석

**최윤석** (수자원연구소 / 수석연구원)

- >> 1차분류 | 수문관측 및 해석기술
- >> 2차분류 | 수문관측 및 자료 구축기술

**키워드**

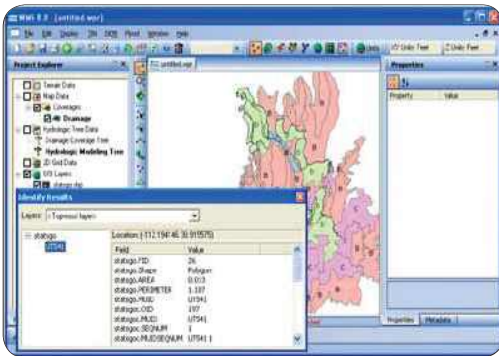
OHyMos, Real time forecasting,  
Yodo river

06

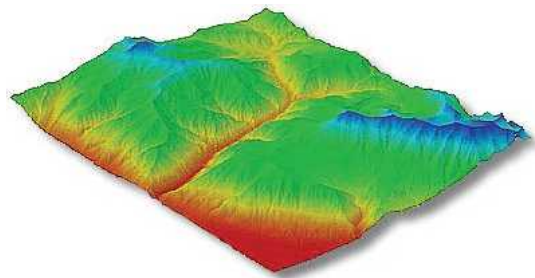
수  
자  
원

유역의 수문현상을 해석하기 위한 모형들은 1990년대를 거치면서 사용자 편의성을 향상시키기 위한 GUI(Graphic User Interface)의 중요성이 강조되어 왔으며, 2000년대에 들어서는 공간자료와 수문 시계열자료 및 모형의 통합 운영을 위한 연구가 진행되고 있다. 이를 위해서 모형과 GIS(Geographic Information System)의 연계 운영을 위한 다양한 연구가 진행되고 있으며, 수리·수문 해석에서 널리 활용되고 있는 MIKE 11, MIKE SHE와 GIS 및 WMS 모의환경에 대한 기술동향을 간략히 정리해 보고자 한다.

MIKE 11은 하천과 홍수터, 저수지 등에서의 수위와 수질, 유사 등을 모의 하고 있으며, ESRI의 ArcGIS 환경에서 구동할 수 있는 add-on 인터페이스가 개발됨으로써 모형 구동을 위한 자료 구축과 검토 및 모의결과의 가시적 분석 기능을 크게 향상 시켰다. MIKE SHE는 유역에서 발생하는 수문 순환을 모의 하고 있다. 아직 GIS와 직접 연계 운영할 수 있는 인터페이스는 제공하지 않고 있으며, 단순히 GIS 자료를 입력하여 모의에 활용할 수 있는 interchange 기반의 연계 운영 방법이 적용되고 있다.



〈그림 1〉 WMS와 ArcGIS 연계



〈그림 2〉 WMS의 TIN과 DEM을 이용한 지형분석

WMS는 유역의 수리, 수문 해석을 위한 다양한 모형을 GIS의 지원하에 구동할 수 있는 통합된 그래픽 모의 환경을 제공한다. WMS 환경에서는 HEC-1 (HEC-HMS), TR-20과 같은 수문모형과 HEC-RAS, SMPDBK, CE-QUAL-W2와 같은 수리 및 수질 모형, GSSHA와 같은 2차원 분포형 수문 모형 등을 구동할 수 있으며, 각 모형의 구동을 위한 효과

---

적인 GUI를 제공하고 있다. 또한 자료구축과 분석을 위한 그리드, 벡터 및 TIN 기반의 편리하고도 강력한 GIS 기능을 제공하고 있다.

■ 관련(참고)사이트

<http://www.ems-i.com/>, <http://chl.erdc.usace.army.mil/>

■ 출처

<http://www.dhigroup.com/>, <http://www.aquaveo.com/wms/>



## 에코효율성 수자원 인프라 체계의 아태지역 적용

### 김형섭 (수자원연구실 / 연구위원)

- >> 1차분류 | 수자원정책, 평가 및 관리기술
- >> 2차분류 | 이수, 치수, 하천환경정책 및 평가기술

### 키워드

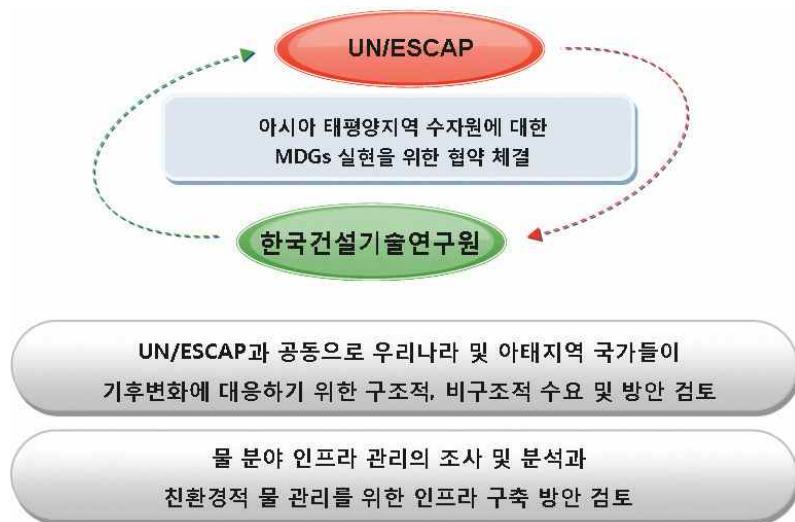
에코효율성, 수자원 인프라,  
아태지역, 국제협력

06

수  
자  
원

아시아 태평양 지역 국가들을 대상으로 에코효율성 수자원 인프라 체계 구축을 지원하는 가이드라인을 제시하기 위해 한국건설기술연구원은 UNESCAP과 공동 연구사업을 수행하고 있다.

에코효율성이라는 용어에서 ‘eco’는 경제적(economical), 생태적(ecological)인 의미를 동시에 가지고 있으며 경제적으로 효율적이고 생태적으로 건전한 인간활동을 지향하는 개념이다. 에코효율성의 본질적인 특징은 생산과정에 개입된 이해당사자들 간의 협력, 통합, 정보의 공유이다. 에코효율성의 개념은 주로 산업 생산 과정과 자연자원의 활용에서 논의되었기 때문에 수자원 분야에 적용하기는 쉽지 않은데, 이 개념의 핵심적인 원칙과 요소들을 그대로 유지하면서도 보다 확장하여 수자원 인프라의 개발에 접목시키기 위해 UNESCAP, 아시아 태평양 국가들과 함께 노력하고 있다.



〈그림 1〉 연구사업의 수행 주체와 주요 내용

중국, 베트남, 말레이시아, 필리핀, 부탄 등 5개국을 Pilot Project 수행국으로 선정하여 지원함으로써 해당 국가에서 당면한 수자원 인프라 문제에 대한 조사, 분석을 수행하였고 각각 Local Workshop을 통해 해당 국가의 수자원 전문가들, UNESCAP과 협의하여 문제의 해결 방안을 모색하였다. 아울러 아태지역 및 세계 전문가들의 연관 기술을 활용하고 본 연구사업을 홍보하며 관련 정보를 공유하기 위해 Regional Workshop을 두 차례 개최하였고 2010년 11월에 제 3차 Regional Workshop이 계획되어 있다.

Pilot Project를 수행하는 5개 국가의 경제 개발 수준 및 경제 규모를 비롯하여 수자원 인프라 현황이 매우 상이하여 에코효율성 개념을 일괄적으로 단기간에 도입하는 것은 어려운 실정이다. 따라서, UNESCAP과 관련 기관들은 일련의 과정을 통해 지방, 국가, 지역 수준에서 수자원 인프라의 에코효율성을 높이기 위한 다음 단계로 혁신적 방안을 도입한 도심지역 수계/하천 복원을 위한 폐수처리시설 설치를 촉진하도록 하였다. 한편 UNESCAP은 최근에 지역 내 하천/수계 복원을 촉진시키기 위해서 선진 기술을 도입하고, 지역 내 지도자들이 갖는 문제와 의견 수렴, 실제 사례를 통한 사회경제적 효과 측정 등 일련의 노력으로 “소규모 도심 하천/수계의 지속가능한 복원을 위한 가이드라인(Guidelines for Sustainable Rehabilitation of Small Urban Water Bodies)”을 제시하였으며, 몇몇 국가에서는 이에 대해 국가차원의 논의가 이루어졌다.

수자원 인프라 구축에 에코효율성이라는 개념을 적용시켜 나가는 과정은 사회경제적 상황이 상이한 아태 지역 국가들의 요구와 상황을 적절히 파악해서 단계적으로 추진해 나가야 할 것이며, 이를 위한 국제적 움직임에 우리나라도 적극적으로 동참할 필요가 있다. 본 연구사업은 우리나라의 주도로 UNESCAP과 공조체제를 확립하였으며 Pilot Project 수행 5개국에 기술과 연구를 지원하여 적극적인 참여를 유도함으로써 세계적으로 영향력이 있는 국제기구 및 아태지역 인근 국가들과의 국제협력을 성사시킨 선구적인 사례로 높이 평가될 것이다. 이와 같이 우리나라가 선점할 수 있는 분야가 있다면 국제사회에서 모범을 보일 수 있는 사례를 다양하게 제시하는 노력이 지속적으로 요구된다.



〈그림 2〉 UNESCAP의 에코효율성 수자원 인프라 구축을 위한 네트워크 사이트

■ 관련(참고)사이트

<http://www.ecowaterinfra.org/>

■ 출처

한국건설기술연구원, 아태지역의 사회경제적인 발전을 위한 생태효율성 물 인프라 체계 구축(위탁연구보고서), 2010, 3.

## 일본 국토교통성의 「차세대 하천관리」 프로젝트

### 이동률 (수자원연구실 / 연구위원)

- >> 1차분류 | 수자원정책, 평가 및 관리기술
- >> 2차분류 | 이수, 치수, 하천환경평가 및 관리기술

### 키워드

차세대하천관리, 하천정보, 유비쿼터스, ICT

06

수  
자  
원

일본의 국토교통성은 정보통신 기술과 유비쿼터스 네트워크를 활용하여 「차세대 하천관리」를 추진하고 있다. 이의 추진의 배경은 국민들이 하천재해에 대해 안전하고 안심하게 체감을 하지 못한다는데 있다. 따라서 국토교통성은 정보통신기술을 활용하여 한정된 예산, 인원과 조직으로 국민들이 바라는 효과적인 하천관리를 실시하여 보다 질 높은 재해 관리서비스를 제공하기 위한 프로젝트를 제안하였다.

「차세대 하천관리」를 향한 하천관리 혁신의 기본방향은 3가지를 기반으로 한다. 첫째는 재해 정보와 시설의 실시간, 선·면적인 상황파악과 신속·확실한 대응체제의 실현이다. 수위, 제방 및 시설 등의 위험 감소의 상황, 수질의 상황을 실시간, 선·면적으로 파악하고 타기관의 정보도 포함하여 다양한 정보의 네트워크화로 재해정보를 종합적으로 평가할 필요가 있다. 둘째는 기술혁신에 의한 효율화 추구로서 ICT에 의한 시설관리, 수위, 범람 및 토사재해 예측 등의 고도화와 예측에 의한 댐 조작 등 시설의 효과적인 운영을 실현한다. 셋째는 다양한 주체의 제휴로 지역특성에 적합한 맞춤형 하천관리 실현으로서 하천관리의 이해관계자들이 하천관리에 참여할 수 있도록 평상시부터 거버넌스를 구축한다.

국토교통성은 「차세대 하천관리」를 위하여 선행적으로 수행해야할 5개 프로젝트에 대한 로드맵을 제시하고 있다. 첫째는 유비쿼터스 하천정보시스템 구축으로 언제, 어디서, 누구라도 필요하고 친밀한 정보를 시·공간적으로 얻을 수 있는 정보시스템의 정비이다. 둘째는 유비쿼터스 네트워크를 활용한 재해시 대피 유도 지원 프로젝트이다. 이는 유비쿼터스 네트워크, ICT와 휴대단말기를 이용해 비상시에 주민들의 원활한 대피를 유도할 수 있는 시스템을 구축하는 것이다. 세 번째는 주민과 양방향형의 정보 공유기반을 정비하는 것이다. 실시간 자료나 각종 DB자료를 종합화하고 주민 등으로부터 얻을 수 있는 정보를 GIS상에서 중첩하여 맞추는 양방향형 정보기반을 구축한다. 또한 하천관리상 비상대응을 필요로 하는 사태를 주민 등이 발견했을 경우 하천관리자에게 직접 통보할 수 있도록 창구를 개설해 정보를 집약하여 피해의 확대를 방지한다. 네 번째는 실시간, 선·면적 모니터링 실현을 향한 기술개발이다. 광섬유 네트워크를 활용 정교한 종단적 수위관측기술, 제방의 변형을 선적이고 실시간으로 파악할 수 있는 센싱기술, 경사면 붕괴 감지기술 및 CCTV 카메라를 이용한 하천공간의 자동감시기술 등의 신기술을 적극적으로 개발·도입하여 하천 등의 실시간, 선·면적 모니터링을 실현한다. 마지막 다섯 번째는 광역적·장기적인 고정밀 홍수예측을 실현한다. 지구온난화에 의한 기후변동에 의한 재해 리스크 증가 전망에 따라 광역적·장기적인 고정밀 홍수예측을 실현하는 것은 매우 중요하다. 홍수예측에 관한 현황과 기술을 기본적으로 재검토하여 홍수예측을 전문적으로 수행하는 “중앙홍수예보센터(가칭)”를 정비하여 집중적으로 연구개발을 수행한다. 또한 신기술의 연구개발과 병행하여 홍수

예보의 기술적 지원·교육을 실시하여 홍수예보의 고정밀화를 추진하는 것도 필요하다.

국토교통성은 이상과 같은 프로젝트의 성공적인 전락으로서 하천정보의 제공에 관한 제도 정비 등 제도혁신을 추진하고 국가적으로 자료와 소프트웨어의 전문조직과 전문가의 육성 및 방재에 관한 정보는 전문성을 가진 조직에 의해 책임 있는 정보가 24시간 중단 없이 제공하는 것을 강조하고 있다.



〈그림 1〉 차세대 하천관리의 이미지

■ 출처  
 ユビキタス情報社会における次世代の河川管理のあり方提言骨子(案)  
 (日本 国土交通省 社会資本整備審議会河川分科会, 2007)



## EU-홍수빈도평가 프로그램

**김현준** (수자원연구실 / 전임연구원)

- >> 1차분류 | 수자원정책, 평가 및 관리기술
- >> 2차분류 | 이수, 치수, 하천유지유량 관리기술

### 키워드

홍수빈도, 기후변화, 강우-유출, EU, COST, FLOODFREQ

06

수  
자  
원

유럽에서 발생하는 극한홍수는 사회적으로 큰 위험을 주고 있다. 지난 수 십년간 유럽지역에서 발생한 연간 홍수피해액은 약 40억 유로나 되며, 1998년부터 2004년까지 7년 동안 100회 이상의 큰 홍수가 발생하였고, 이로 인하여 700명 이상이 사망하였다. 이처럼 최근 증가일로에 있는 홍수피해를 경감시키기 위하여 유럽연합은 COST(주1) 사업의 일환으로 홍수빈도 평가 프로그램(FLOODFREQ)을 진행하고 있다.

FLOODFREQ의 주요 목적은 유럽의 다양한 기후환경과 지형조건 및 가용한 자료의 수준에 따라서 범유럽적인 홍수빈도 평가 방법을 비교하고 평가하는 것이다. 미래의 홍수빈도 특성(홍수 발생빈도 및 크기)에 대한 환경변화의 영향을 예측하고 평가할 수 있는 과학적 체계/framework가 개발되고 테스트될 예정이다. 본 연구프로그램을 통해 얻은 결과들은 홍수관리분야 전문가를 위하여 일련의 지침서 형태로 배포될 것이다.

FLOODFREQ 프로그램은 2010년 1월 2일부터 2014년 1월 1일까지 진행되는 것으로 계획되었으며, 5개의 워킹그룹으로 구성되어 있다. 운영위원회가 2009년 10월의 Kick-off 미팅에서 구성되었고, 각 워킹 그룹의 위원장들도 인선되었다.

- WG1(1단계) : 자료 및 방법들의 인벤토리 및 벤치마크 자료 구축
- WG2(2단계) : 통계적 방법에 의한 홍수빈도해석
- WG3(2단계) : 홍수빈도해석을 위한 강우-유출모형의 적용
- WG4(2단계) : 환경변화가 홍수빈도해석에 미치는 영향
- WG5(3단계) : 보급

본 연구프로그램은 지역적으로 멀리 떨어진 연구진들에 의해 진행되기 때문에 효과적인 연락 및 협력과 보급을 위하여 전용 웹사이트를 구축해서 지원하고 있다. 각 워킹그룹별로 연간 2회 정도의 모임을 가지고 연구결과를 논의하며, 전체가 참여하는 워크샵이 3회 개최될 예정이다.

본 연구사업으로부터 얻을 수 있는 과학적, 기술적 효과는 다음과 같다.

- 유럽 전역에 대한 자료의 구축으로 국경선에 따른 제약을 받지 않고 지역적 범위의 홍수를 연구할 수 있는 기회를 제공
- 유럽에서 사용중인 다양한 홍수빈도 평가 방법들의 성능에 대한 이해 증진
- 침투유량 자료에 의한 통계적 방법에 반하여, 복잡한 수문학적 강우-유출 모형을 사용할 때 발생할 수 있는 잠재적인 이익과 위험에 대한 평가
- 유럽의 극한홍수사상의 발생과 특성에 대하여 환경변화(기후변화 포함)의 영향을 예측할 수 있는 도구의 개발
- 유럽에서 설계홍수평가를 위한 일관성의 개선
- 설계유량 평가 방법을 사용하는 기술자를 위한 지침
- 홍수재해 진단을 통한 기술자 교육의 개선



〈그림 1〉 차세대 하천관리의 이미지

### 주1) COST(European Cooperation in Science and Technology)

유럽연합의 과학 및 기술에 대한 국가간 협력 프로그램이다. 현재 9개 분야(domain)에 200개의 사업(action)이 진행되고 있다. 9개 분야는 생의학 및 분자생물과학, 화학/분자과학 및 기술, 지구시스템과학 및 환경관리, 식량 및 농업, 산림/임산물 및 서비스, 개인/사회/문화 및 건강, 정보통신기술, 재료/물리 및 나노과학, 교통 및 도시개발 등이다.

■ 관련(참고)사이트

<http://www.cost-floodfreq.eu/>, <http://www.cost.esf.org/>

■ 출처

<http://www.cost-floodfreq.eu/>, <http://www.cost.esf.org/>



# Columbia 대학의 Earth Institute 연구동향

## 권현한 (수자원연구실 / 수석연구원)

- >> 1차분류 | 수자원정책, 평가 및 관리기술
- >> 2차분류 | 이수, 치수, 하천환경정책 및 평가기술

## 키워드

EI, CWC, IRI

## 주요 내용

미국 Columbia University 산하 Earth Institute(EI)는 UN의 핵심사업인 UN Millennium Development Goals 추진을 주도적으로 이끌어 가고 있는 연구기관으로 인간에게 미치는 모든 문제점에 대응하기 위한 연구시스템을 가동하고 있다. 수자원, 기상, 에너지, 도시, 재해, 질병, 가난, 생태, 영양, 생태시스템 및 모니터링 등 다양한 분야를 연구하고 있으며 세계 각국의 새로운 기술을 전파하는데 역점을 두고 있다. EI 산하에는 Geoscience 연구기관인 Lamont-Doherty Earth Observatory(LDEO)를 필두로 20개 이상의 산하 연구센터가 운영 중이다. 이중 Columbia Water Center(CWC)와 International Research Institute for Climate and Society(IRI)에 대한 소개를 하고자 한다.

CWC는 2007년에 설립된 수자원 전문 연구기관으로서 전 세계 물부족 해결을 위한 기초연구를 수행 중에 있다. 가장 주요한 연구주제는 지역적인 문제로부터 기인하는 전 세계 수자원문제에 대한 평가와 개선방향을 제시할 수 있는 예측모형의 개발과 보급에 있다. 이를 위해서 기후변화, 인구, Virtual Water등을 통합하는 모델링 연구가 활발히 진행되고 있다.

한편, IRI는 크게 기상부분과 응용부분으로 나누어져 있으며 기상부분에서는 주로 전 세계의 기상예측을 담당하고 응용부분에서는 이를 활용한 여러 응용연구가 수행되고 있다. 이중 수자원 분야에서는 UN의 MDGs와 맞물려서 아프리카, 남미, 동남아 등 사회 인프라가 제대로 갖추어지지 않은 나라들에 대해서 기상예측을 이용한 유량예측 및 댐운영 시스템 최적화 등을 제공하고 함으로서 깨끗한 물에 대한 접근성을 높이는데 목적을 두고 있다. 또한 여러 나라 수자원국에 유량예측 시스템 및 댐운영 시스템을 제공하고 교육시키는 것을 주요 임무로 삼고 있다.

수자원은 인간의 삶의 영위를 위해서 매우 중요한 의미를 가진다. 현재 수자원 연구의 세계적인 연구추세는 기후변화 및 기후변동성과 같은 기상위험도를 저감시켜 수자원 공급을 원활히 할 수 있는 방안을 도출하는 것이다. 이를 위해서 국내외의 연구기관들은 다양한 관점에서 모형 개발에 대한 노력과 수자원과 연관된 다양한 사회, 경제적인 문제점을 고려할 수 있는 다학제간 연구에 초점을 맞추고 있다.

06

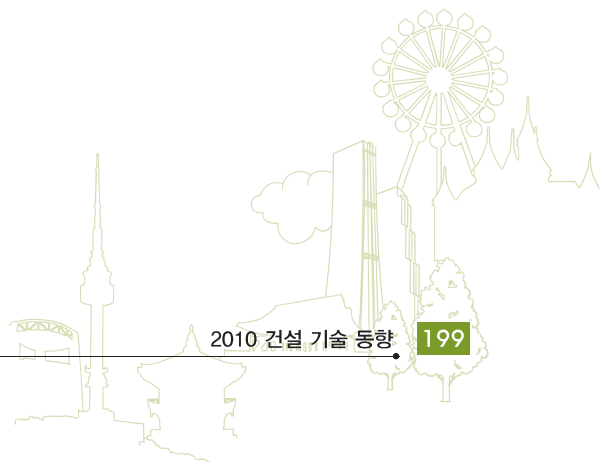
수  
자  
원

---

■ 출처

<http://www.earth.columbia.edu/sections/view/9/>

기  
타  
사  
항



# Environmental flow assessment

**강성규** (수자원연구실 / 전임연구원)

- >> 1차분류 | 수자원정책, 평가 및 관리기술
- >> 2차분류 | 이수, 치수, 하천유지유량 관리기술

**키워드**

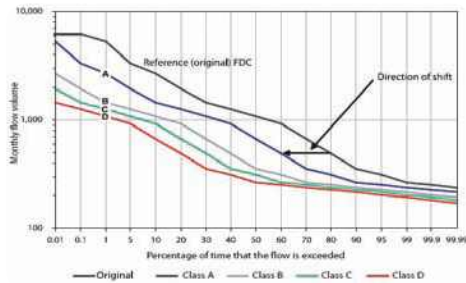
- 환경유량(Environmental flows),
- 유형(Flow regime), 수생태계(Aquatic ecology)

06

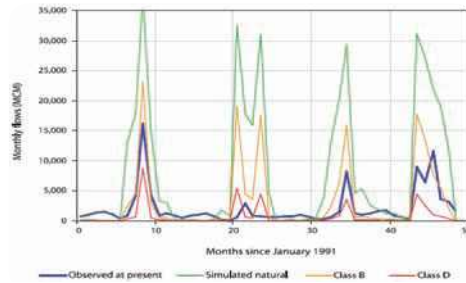
수  
자  
원

물 수요가 증가함에 따라 하천수의 개발에 대한 필요성도 증대되었다. 동시에 하천을 생태적으로 건강한 상태로 유지하기 위해 하천을 흘러야 하는 물의 필요성도 강조되고 있다. 이와 같이 수생태계(Aquatic ecology)의 건전성유지를 위한 유량을 환경유량(Environmental flows)이라 한다. 호주, 유럽 남아프리카 공화국 및 미국 등 많은 나라에서 환경유량을 설정하고 평가, 관리하는 방법이 연구되고 있으며, 본 고에서는 유량자료가 부족하거나, 수생태계 관련 자료가 부족할 경우 적용할 수 있는 방법론을 소개하였다.

환경유량이란 자연 상태의 유량이거나 하천환경의 유지를 위해 방류되어 유지되고 있는 유량을 말한다. 환경유량은 단순히 물의 양 뿐만 아니라 유량 발생 시기, 총량 및 지속기간 등 물 흐름의 전체적인 변동성 즉, 유형(Flow regime)이 중요하다. 유형변동의 역기능은 ① 자연자원의 손실(유량의 감소는 물고기의 수를 감소시키며, 악화된 수질 및 야생생태계의 다양성 감소의 원인이 됨), ② 외래종의 출현(유형 변동 및 유역 변경은 외래종 출현과 번식을 초래할 수 있음), ③ 환경적으로 지속가능한 수자원의 개발 불가 등으로 나타나게 된다. 바람직한 하천수의 관리를 위해서는 첫째, 하천개발에 앞서 환경유량에 대한 평가가 있어야 하며, 이때, 자료와 관련 지식의 한계로 정밀한 평가가 어려울 경우 간단한 예비 평가를 수행하되, 기 존재하고 있는 생태계와 수문학적 특성과의 관계 및 하천 생태계에 대한 정보를 이용하면 된다. 셋째 하천 개발 이전에 먼저 수 생태계를 위한 물 배분 우선순위를 설정해야 하며, 끝으로 환경유량 유지를 위한 행위를 지속적으로 수행하는 것이 필요하다.



〈그림 1〉 유형의 평가



〈그림 2〉 환경유량 필요량의 평가 방법

환경유량 평가에 이용되는 자료는 기본적으로 양질의 일 유량자료이나, 신뢰성 있는 일 유량 자료가 부족할 경우 20년 이상의 월 유량자료도 사용이 가능 하다. 이들 자료를 통해 그림 1과 같은 유황 상황별(풍수년, 평수년, 저수년, 갈수년 등) 하천의 생태학적 상태를 구분, 파악하는 것이 중요하다. 환경유량의 필요량은 그림 2와 같이 많이 변형된 상태, 적게 변형된 상태 등 경우에 따라 자연상태 유량(혹은 모의한 유량)과 비교하여 설정하면 된다. 한편 평가 결과는 표 1과 같이 정리하여 생태계의 상태에 따라 하천을 구분하고 인위적인 유황 변동이 줄 수 있는 환경적, 경제적 피해를 가늠할 수 있도록 하며, 환경유량을 설정하여 관리할 수 있는 방법을 제시한다.

〈표 1〉 환경유량 설정을 위한 하천의 생태적 상태 평가 예

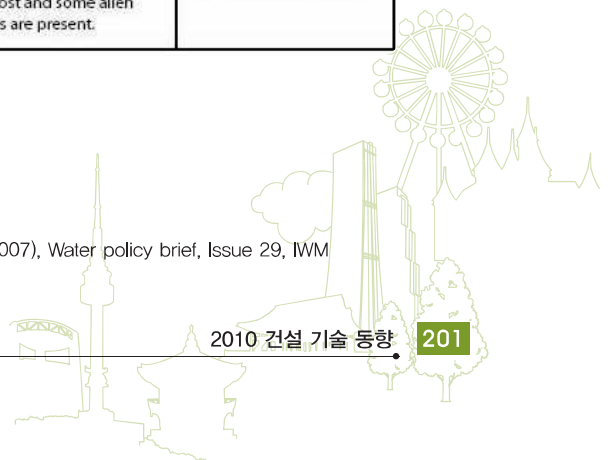
Ecological indicator	River Periyar	River Ganga (Rishikesh Naraura reach)	Lower Cauvery
<b>What is the ecological sensitivity and importance of the basin?</b>			
Rare and endangered aquatic biota	✓✓✓✓✓	✓✓✓✓✓	✓✓
Unique aquatic biota	✓✓✓✓✓	✓✓✓✓✓	✓
Diversity of aquatic habitats	✓✓✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓
<b>What is the current condition of aquatic systems in the basin?</b>			
Presence of protected or pristine areas	✓✓✓✓✓	✓✓✓✓✓	✓
Sensitivity of aquatic ecosystem to flow reduction	✓✓✓✓✓	✓✓✓	
Percentage of watershed remaining under natural vegetation		✓✓	✓
Percentage of floodplains remaining or remaining under natural vegetation		✓	✓
Degree of flow regulation	✓✓✓	✓✓✓✓	✓✓✓✓
Percentage of watershed closed to movement of aquatic biota that are exotic	✓	✓✓✓	
Percentage of aquatic biota that are exotic	✓✓✓✓	✓	✓✓✓✓
Aquatic species relative richness	✓✓✓✓✓	✓✓✓✓✓	✓✓
Human population density as a percentage of that in the main floodplains		✓✓✓✓✓	✓✓✓✓
Overall water quality	✓✓✓✓	✓✓	✓✓
Total score	43	42	25
Maximum possible	55	65	55
Percentage of the maximum	78	65	45
<b>Environmental class</b>	<b>B</b> Slightly developed and/or ecologically important. Biodiversity and habitats are mostly intact.	<b>C</b> Although habitats have been disturbed, basic ecosystem functions are still intact. Some species have been lost and some alien species are present.	<b>D</b> Large changes in habitats and ecosystem functions. Most species are alien, not indigenous.

■ 관련(참고)사이트

<http://www.iwmi.cgiar.org/>

■ 출처

Creating healthy working rivers: the wisdom of environmental flows(2007), Water policy brief, Issue 29, IWM



# 지표 및 지수를 통한 수자원평가

**최시중** (건설환경연구소 / 전임연구원)

**키워드**

>> 1차분류 | 수자원정책, 평가 및 관리기술

지표(Indicator), 지수(Index)

>> 2차분류 | 이수, 치수, 하천환경정책 및 평가기술

06

수  
자  
원

국내·외적으로 수자원의 현황을 진단하고 관련 정책 및 사업의 성과와 우선 순위 평가를 위해 이수, 치수 및 하천 환경 관련 지표(indicator) 및 지수(index)가 개발되고 있다. 국제기구 및 미국, 일본 등 여러 나라에서는 분야별 지표를 개발하고, 지표를 통합한 통합지수(예: ESI, WPI 등)를 개발하여 제시함으로써 자국 및 각국 간의 수자원 현황을 평가하고 장래 수자원 상황을 전망하고 있다. 본 고에서는 국제기구 및 세계 여러 나라에서 제시하고 있는 지표와 지수의 정의, 지표의 구성체계, 지표의 표준화 및 가중치 부여에 대해 간략하게 소개하고, 일본의 지표 적용 사례를 소개하였다.

지표란 여러 부문의 관측값 중에서 현상을 가장 잘 기술해 줄 수 있는 대표적인값을 의미하며 지수는 서로 다른 측정단위를 사용하거나 과학적인 연관성이 없는 둘 이상의 지표를 집계하여 정량화된 숫자 등으로 간략화한 것을 말한다. 지표 및 지수의 기본적인 구성 체계는 주제 접근방식과 인과관계 접근방식이 있다. 주제 접근방식은 파악하고자 하는 현상을 분야별로 구분한 후 분야별 정책 목표에 따라 하위분야로 세분화하고 관련 지표를 선정하는 방식이며 인과관계 접근방식은 측정하고자 하는 현상, 이러한 결과를 나타내게 하는 요인, 이러한 현상을 완화 또는 강화하기 위한 노력 간의 상관성을 파악하여 지표나 지수를 구성하는 세부지표를 도출하는 구조를 말한다.

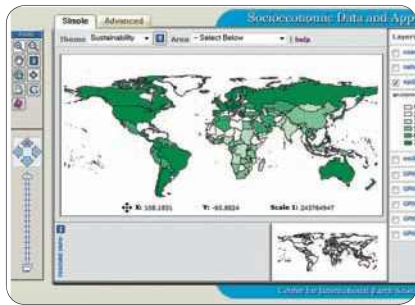
선정된 지표는 각각 단위 및 크기가 다르기 때문에 단순히 합산하여 비교할 수 없으므로 지표값들의 표준화가 필요하다. 이때 이용되고 있는 대표적인 표준화 방법으로는 정규분포상의 표준치 적용법, 순위적용법, 기준치비율 적용법이 있으며, 각 방법들에 의해 각 지표들에 대한 점수를 부여하게 된다. 가중치는 주로 전문가와 지역주민의 선호도 조사를 통해 세부지표의 상대적인 중요도를 파악하고 이를 기초로 결정하는 방법이 시도되고 있다. 그러나 이러한 방법을 이용한 결과와 가중치를 적용하지 않은 경우의 평가 결과에 있어서 차이가 거의 없는 것으로 보고되고 있을 뿐만 아니라 부적절한 가중치의 적용은 평가결과의 왜곡을 초래할 수 있어 신중을 기해야 한다.

각 분야별(이수, 치수, 하천환경) 지표 및 지표를 통합하여 산정하는 지수 분석 과정을 요약하면 지표의 요건 및 선정기준을 만족하는 지표를 선정하여 개발목적과 적합한 구성체계로 지표를 구성한 후 각각의 지표에 대해 표준화 과정을 거쳐 점수화한다. 또한 지수의 경우 각각의 점수화된 지표에 대해 가중치를 부여함으로써 하나의 지수로 표현된다.

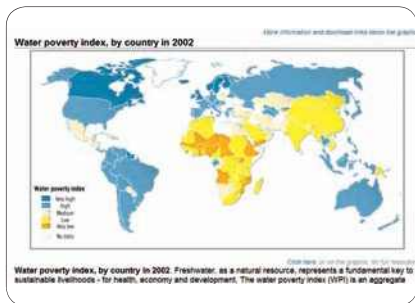
일본의 경우 물순환을 평가지표를 추출하기 위해 일본 전역을 235개의 유역으로 구분하고 유역별 유역기초, 치수, 수리용, 토지이용, 환경, 생태계의 6개 분야에 대한 데이터를 수집하였다. 수집된 데이터를 통해 치수, 수리용, 환경, 생태계의 4 분야로 지표를 개발하였으며, 개발된 지표를 다시 압력(P), 현재상태(S), 대책(R)로 분류하였다. 분류된 지

표를 조합함(예: 지표=R×S/P)으로써 각 분야별 유역별 평가를 수행한 바 있다.

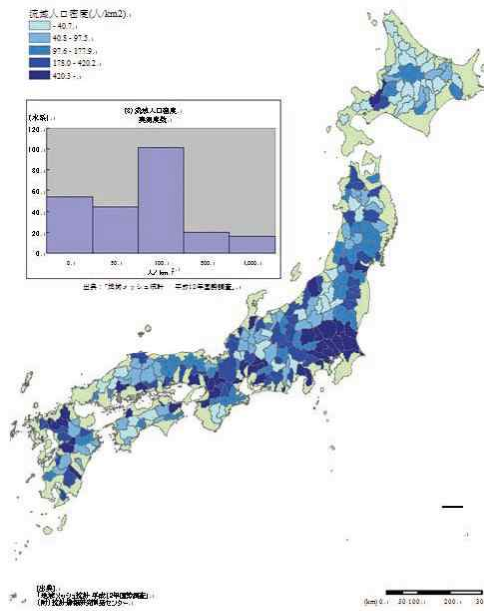
최근에는 일본 등의 세계 여러 나라에서 자국의 수자원관리를 위해 관리목표를 분야별로 설정하고 이를 평가하기 위한 관리지표를 선정하고 있다. 이를 통해 수자원관리의 현 주소 파악, 정책 방향 결정, 사업의 우선순위 선정, 수자원관리의 효율성 증대 및 일반 대중에게 정보 전달 등의 효과를 꾀하고 있다.



〈그림 1〉 EPI



〈그림 2〉 WPI



〈그림 3〉 일본의 지표 분석 사례

■ 관련(참고)사이트

<http://sedac.ciesin.columbia.edu/es/esi/>  
<http://www.grida.no/>

■ 출처

國土技術政策綜合研究所資料, 水循環評価指標に関する研究 報告書, 國土交通省 技術政策綜合研究所, 2005



# 습윤지역의 지하수 함양량 평가 방법

**정일문** (수자원연구실 / 연구위원)

- >> 1차분류 | 수문관측 및 해석기술
- >> 2차분류 | 지하수 함양량 산정기술

**키워드**

습윤지역, 지하수 함양량

06

수  
자  
원

지하수 함양(Recharge)은 강우로부터 침투된 물이 땅속의 포화대로 공급되는 과정으로 정의되어 왔다. 함양은 지표수 유출량처럼 직접적인 관측이 불가하기 때문에 간접적인 수단에 의해 추정되어 왔다. 따라서 함양량의 정확한 추정은 매우 어려운 것이 사실이다. 따라서 여러 방법을 적용하여 추정한 후 그 결과값을 비교하여 결정하도록 권장되고 있다.

미국 지질조사소(USGS)의 웹사이트에서는 습윤지역에 일반적으로 사용되는 지하수 함양량 추정 방법들의 적용성, 요구되는 자료, 장단점등을 비교하여 제시하고 있다. 현재는 다음의 방법이 제시되고 있다.

## 1) Water Budget

- Deep Percolation Model
- HELP3 Model

## 2) Unsaturated Zone Methods

- Darcian Method
- Zero-Tension Lysimeters
- Zero-Flux Plane

## 3) Groundwater Methods

- Groundwater Modelling
- Water-Table Fluctuations

## 4) Streamflow Methods

- Seepage Meters
- Streamflow Gain/Loss Measurements (Seepage Run)
- Recession-Curve Displacement Method
- Watershed Models

### 5) Tracer Methods

- Chloride
- Chlorofluorocarbons
- Temperature
- Tritium

〈그림 1〉 지하수 함양량 산정 방법별 비교

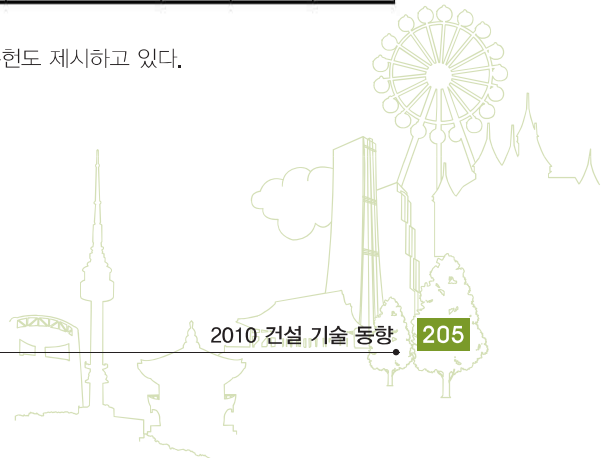
Select Methods to Compare	METHOD	CATEGORY	SPATIAL SCALE	TEMPORAL SCALE	TYPICAL QUANTITY ESTIMATED	EASE OF USE	DATA NEEDS	RELATIVE COST
<input type="checkbox"/>	<a href="#">Chloride</a>	Tracer	Point	Years	Recharge	Easy	Moderate	Moderate
<input type="checkbox"/>	<a href="#">Chlorofluorocarbons</a>	Tracer	Local	Month to Years	Recharge	Difficult	Moderate	High
<input type="checkbox"/>	<a href="#">Darcian Unit-Gradient</a>	Unsaturated Zone	Point	Long-Term Average	Potential Recharge	Moderate	Low	High
<input type="checkbox"/>	<a href="#">Deep Percolation Model</a>	Water Budget	Regional	Day to Years	Potential Recharge	Moderate	Moderate	Moderate
<input type="checkbox"/>	<a href="#">Groundwater Modeling</a>	Groundwater	Local to Regional	Month to Years	Recharge	Moderate	High	High
<input type="checkbox"/>	<a href="#">HELP3 Model</a>	Water Budget	Point to Regional	Day to Years	Potential Recharge	Easy	Low to Moderate	Moderate
<input checked="" type="checkbox"/>	<a href="#">Recession-Curve Displacement</a>	Streamflow	Watershed	Event to Years	Net Recharge	Moderate	Low	Low
<input type="checkbox"/>	<a href="#">Seepage Meters</a>	Streamflow	Point	Event to Months	Potential Recharge	Moderate	Low	Low
<input type="checkbox"/>	<a href="#">Stream Base-Flow</a>	Streamflow	Watershed	Years	Net Recharge	Easy	Low	Low
<input type="checkbox"/>	<a href="#">Streamflow Gain/Loss Measurements</a>	Streamflow	Local	Instantaneous	Potential Recharge	Easy	Low	Low
<input type="checkbox"/>	<a href="#">Temperature</a>	Tracer	Point	Days to Years	Recharge	Moderate	Moderate	High
<input type="checkbox"/>	<a href="#">Tritium</a>	Tracer	Point	Month to Years	Recharge	Moderate	Moderate	High
<input type="checkbox"/>	<a href="#">Watershed Models</a>	Streamflow	Watershed to Regional	Days to Years	Recharge	Moderate	High	High
<input checked="" type="checkbox"/>	<a href="#">Water-Table Fluctuations</a>	Groundwater	Local	Day to Years	Recharge	Easy	Low	Low
<input type="checkbox"/>	<a href="#">Zero-Flux Plane</a>	Unsaturated Zone	Point	Day to Years	Potential Recharge	Difficult	High	High
<input type="checkbox"/>	<a href="#">Zero-Tension Lyimeters</a>	Unsaturated Zone	Point	Day to Years	Potential Recharge	Difficult	Low	High

기  
타  
사  
항

또한 웹사이트에는 함양량 산정용 Software의 목록과 관련 참고문헌도 제시하고 있다.

■ 관련(참고)사이트

<http://water.usgs.gov/ogw/gwrp/methods/>



# 미국가뭄대책센터

## (National Drought Mitigation Center, NDMC)

**문장원** (수자원연구실 / 수석연구원)

- >> 1차분류 | 수자원정책, 평가 및 관리기술
- >> 2차분류 | 이수, 치수, 하천환경정책 및 평가기술

**키워드**

가뭄, 가뭄감시

06

수  
자  
원

가뭄은 홍수와 함께 물로 인한 대표적인 자연재해로 단기적으로는 수개월, 장기적으로는 수년이 지속되며, 시작과 종료가 불분명하여 가뭄이 크게 진행된 후에야 그 상황을 인지할 수 있다는 특징이 있다. 또한 공간적으로도 매우 넓게 분포되는 특징으로 인하여 가뭄의 감시와 관리는 매우 어렵다. 따라서 가뭄재해에 효과적으로 대처하기 위해서는 유역의 수문상황에 대한 지속적인 모니터링이 중요하며, 가뭄과 관련된 수문순환 인자들을 이용하여 관련 지표를 산정하고 이를 지속적으로 검토함으로써 가뭄의 시작을 파악할 수 있다.

미국의 가뭄대책센터(National Drought Mitigation Center, NDMC)는 이러한 목적을 달성하기 위하여 구성된 조직으로 가뭄으로 인한 피해 경감 및 대책 마련 등을 위한 정보 제공을 목적으로 하고 있다. 미국 가뭄대책센터(NDMC)에서는 가뭄과 관련된 종합적인 정보를 웹사이트를 통해 제공하고 있으며, 제공되는 정보는 크게 다섯 가지 항목으로 구분되어 있다. 먼저 ‘What is Drought?’에서는 가뭄과 관련된 일반적인 내용을 설명하고 가뭄의 심도를 표현하기 위해 이용되는 주요 가뭄지수에 대한 설명을 포함하고 있으며, 가뭄과 엘니뇨와의 관계에 대해서도 관련 정보가 제공되고 있다. ‘Planning for Drought’에서는 미국에서 이루어지는 가뭄 대책 수립 절차를 설명하고 있으며, 미국 내 각 지역에서 수립되고 있는 가뭄 대책에 대한 자료를 제공하고 있다. ‘Monitoring Drought’에서는 미국 전역에 대한 가뭄 관련 상황을 분석하고 분석된 정보를 지도로 표현하여 표출하고 있으며, 다양한 가뭄지수에 대해 미국 전역에 대한 산정 결과를 제공하고 있으며, 미국에서 과거에 발생했던 가뭄 사상에 대한 자료도 조회할 수 있도록 구성되어 있다. 다음은 미국 가뭄대책센터에서 웹사이트를 통해 제공하고 있는 정보 항목을 정리하여 나타낸 것이다.

### 1) What is Drought?

- An overview of drought
- Discussion of drought indices
- Drought and climate change
- Drought and El Nino

### 2) Planning for Drought

- Why plan for drought
- 10-Step Planning Process
- State, tribal, and local drought plans

- Drought planning contacts

### 3) Monitoring Drought

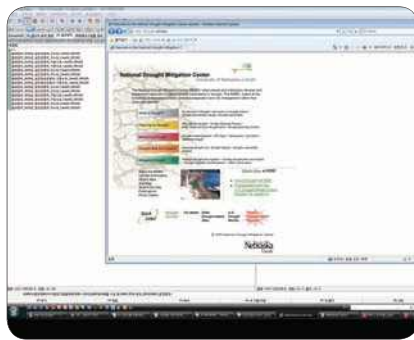
- Drought monitoring tools
- SPI maps
- Climographs
- Dust Bowl
- Historical drought

### 4) Drought Risk and Impacts

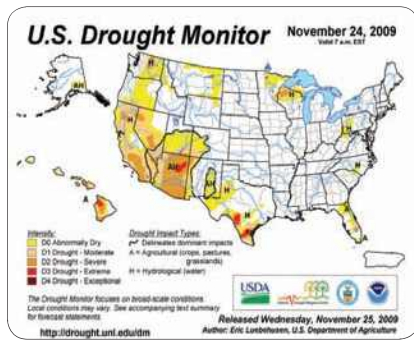
- Reducing drought risk
- Drought impacts
- Drought vulnerability analysis

### 5) Mitigating Drought

- Putting a drought plan together
- Existing drought plans and studies
- Drought mitigation tools/initiatives
- Water conservation



<NDMC 홈페이지>



<가뭄정보 제공 화면>

■ 관련(참고)사이트  
<http://drought.unl.edu/>

# Bartlett–Lewis Rectangular Pulse Model(BLRPM)

## 황석환 (수자원연구실 / 수석연구원)

- >> 1차분류 | 수문관측 및 해석기술
- >> 2차분류 | 수문관측 및 자료구축기술

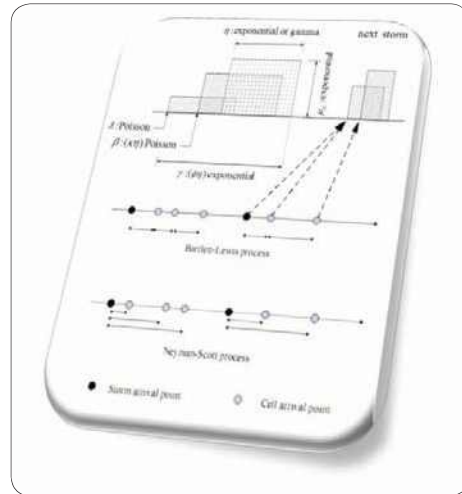
## 키워드

강우모형, 포아송 과정

06

수  
자  
원

Bartlett–Lewis Rectangular Pulse Model(BLRPM)은 공간상의 한 점에 대한 연속시간 강우모형이다. 이 모델은 U.K. (Onof and Wheeler, 1993, 1994)를 포함한 기후의 광범위한 변동에 대해 상당한 만족스럽게 적용된 바 있고, 이 모델은 일단위와 그 이하 시간단위의 통계특성을 재현하는데 유용하다(Rodriguez–Iturbe et al., 1987, 1988). BLRPM은 전지역의 강우를 모의하는 공간 전지구 순환 모델(GCM; General Circulation Models)과 대조적으로, 지점에서의 강우를 모의하는 지점강우 시계열을 위한 모델로 포아송 군집 과정(Poisson cluster processes)을 따른다. 포아송 과정이란 주어진 시간, 거리, 공간에서 발생확률이 아주 작은 사상이 발생하는 현상을 의미한다. 포아송 과정의 주요특성으로는 특정 단위구간에서의 사상의 발생은 다른 단위구간에서의 사상의 발생과 독립적이고 전체구간 내에 같은 간격을 가진 단위구간에서 사상의 발생확률은 일정하다는 것이다. 더불어 특정 구간에서 사상의 발생확률은 그 구간의 크기에 비례하고 단위구간



〈Rectangular pulse model의 모식도〉

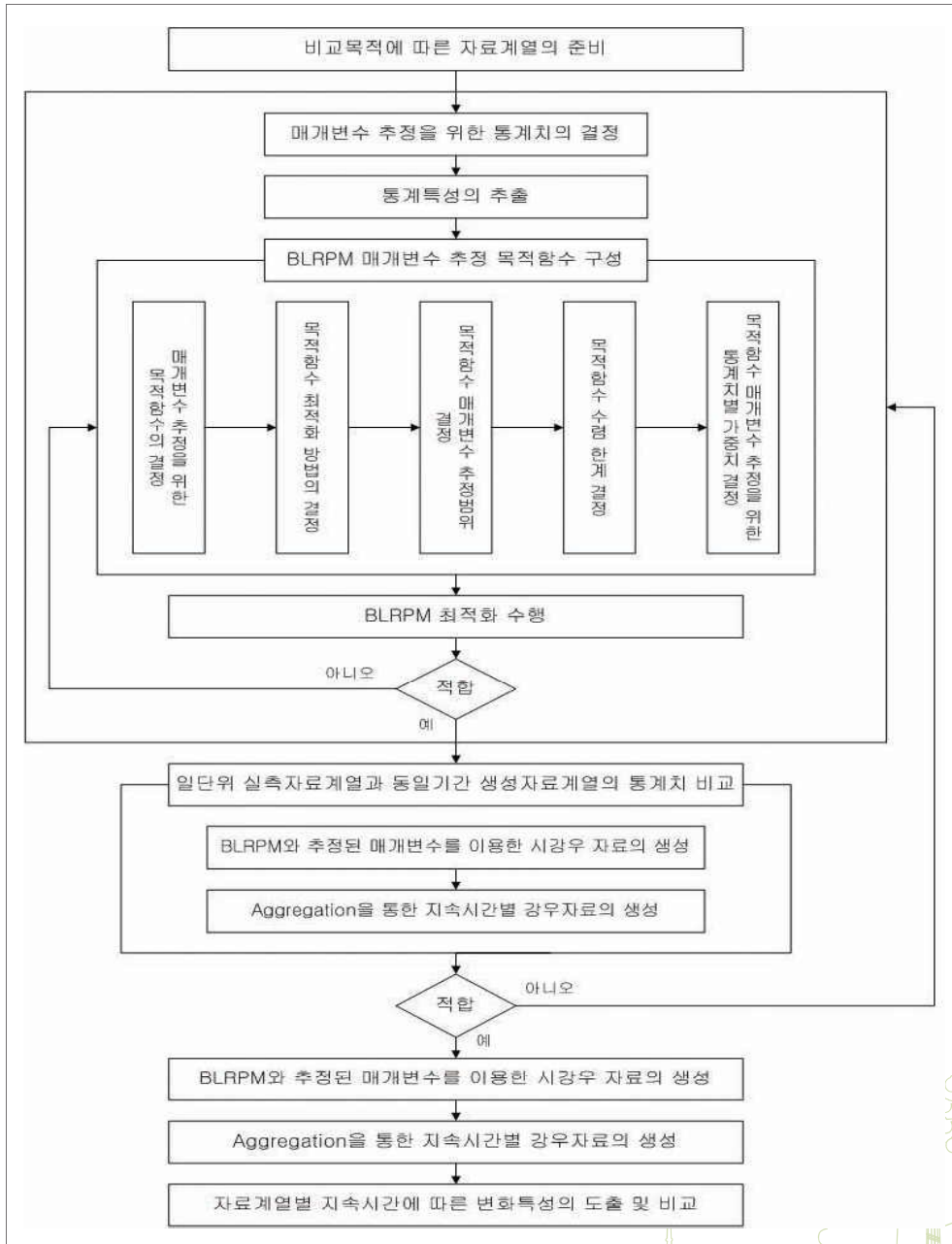
Item	Parameter	Description
Cell duration	$\eta$	cell duration has an exponential distribution with parameter $\eta$ . the pdf for $\eta$ is assumed to be a two-parameter ( $\alpha$ and $1/\eta$ ) gamma distribution with shape parameter $\alpha$ , scale parameter $1/\eta$
Cell depth	$\mu_x$	exponential distribution with parameter $\mu_x$
Storm arrival rate	$\lambda$	Poisson process
Random number of cell per each storm	$\phi(z)$	geometric distribution of mean $\mu_z = 1 + \beta/\eta$ geometric distribution of mean $\mu_z = 1 + \beta/\eta$ where $\lambda = \beta/\eta$ , $\phi = \eta/\lambda$
Cell arrival rate	$\beta$	poisson process
Entire length of the storm	$\gamma$	exponential distribution

〈BLRPM의 parameters〉

에서 사상이 2회 이상 발생할 확률은 0(zero)에 가깝다는 특성이 있다. 즉, 호우는 포아송 분포에 따라 도달하고 셀의 군집들(clusters) 또는 일정깊이를 가진 구형펄스에 의해 표현된다. 아래 그림은 이러한 과정을 도식적으로 보여준다. 각각의 셀은 지수분포 혹은 감마분포를 가지는 셀 길이와 지수분포를 가지는 셀 깊이로 표현되고 호우는 그런 셀들의 군집이다. 각 호우 내의 군집과정들(cluster processes)은 여러 가지 방법으로 나타낼 수 있다. Neyman–Scott 과정은 무작위 분포로부터 각 호우에 있는 셀의 수가 얻어지고 셀 도착시간을 얻기위해 지수분포를 이용한다(Rodriguez–

Iturbe et al., 1987). 그러나, Bartlett-Lewis 과정은 지수분포로부터 전체호우의 지속시간을 얻고 셀과 호우의 도달시간은 포아송 분포를 이용한다.

〈Procedures to generate hourly rainfall data using BLRPM〉



기  
타  
사  
항

## 기상레이더 동향

### 한명선 (수자원연구소 / 전임연구원)

- >> 1차분류 | 수문관측 및 해석기술
- >> 2차분류 | 첨단관측장비 활용기술

### 키워드

Rainfall radar, Doppler radar

06

수  
자  
원

최근 초대형 대풍, 국지성 폭우, 집중호우 등 홍수의 발생빈도 및 피해규모가 매년 증가하고 있다. 특히, 인명 및 산업시설의 피해는 국가의 발전에 큰 걸림돌로 작용되고 있으며, 복구비용 및 시간이 많이 소요되어 국가적 경제에 큰 부담으로 작용하고 있다. 따라서 홍수의 발생 및 예측을 사전에 파악하여 대응하고 사후에도 신속한 대처와 예방으로 국민의 인명과 재산을 지킬 수 있는 홍수방어 기술의 일환으로 기상레이더의 동향을 정리해 보고자 한다.

국내의 경우, 관측목적으로는 기상청과 국토해양부에서 대부분 운영하고 있다. 기상청의 경우 1968년 관악산에 기상레이더(S-band)가 처음 설치되면서 레이더 관측이 시작되었으며, 이후 제주 고산(1990), 부산(1990), 동해(1991), 군산(1992), 백령도(2000), 진도(2001) 등 7개 지점에 기상레이더를 설치함으로써 우리나라 전역의 악기상을 감시할 수 있는 기본적인 관측망을 완성하였으며, 국토해양부의 경우 강우관측이 불가능했던 임진강 유역 이북지역의 강우량을 강우레이더(C-band)를 이용하여 관측하여 매년 반복되는 임진강 유역의 홍수피해를 최소화하고자 강화도에 강우 관측용 수문레이더를 설치하여 운영 중에 있다. 또한 낙동강 유역에 관한 홍수예보를 위해 비슬산의 S 밴드 도플러 레이더를 설치 중에 있으며, 영산강 유역에는 모후산에 대한 사업이 추진 중에 있다. 또한 공군에서는 작전에 제한을 주는 기상요소인 폭설, 뇌우, 집중호우 등을 조기에 탐지하여 작전부서에 제공함으로써 비행기의 안전한 이·착륙에 도움을 주고자 비행장 내에 설치하여 기상 레이더를 운영하고 있다.

연구목적으로는 본연구원과 한국항공우주연구원에서 보유하고 있다. 본연구원에서 보유한 레이더는 지난 2004년 9월에 전국 강우레이더 관측망의 본격적인 운영을 위해 필요한 운영기술과 경험을 축적하기 위하여 우리나라의 수문 지형학적 특성을 고려하여 현장에서 인력 이동 및 휴대가 가능한 경량형 소형 강우레이더를 도입하였으며, 한국항공우주연구원은 전라남도 고흥의 우주센터에서 미국 EEC사의 C 밴드 도플러 레이더를 2006년 말에 설치하여 운영하고 있다. 고분해능의 자료를 생산하므로 센터 주변에서 발생하는 윈드시어나 마이크로버스트 등 국지적인 악기상을 탐지하는데 유용하게 활용되고 있다.

한국에서 레이더 개발은 국방 산업을 위주로 이루어졌다. 방위산업청, 산업자원부의 지원을 기초로 방위산업업체들의 적극적인 개발 참여로 다수의 군사용 레이더가 개발되었다. 현재까지 개발된 레이더로는 해안 감시레이더, 이동 표적 추적레이더, 고고도지상 영상추적 레이더, 중거리 대공 추적 레이더, 항공기 탑재용 다목적 레이더 등 주로 목표물 추적을 위하여 레이더가 개발되었다. 기술 측면에서는 bistatic/mono-static 레이더, 연속파/펄스 레이더, 펄스 압축레이더, 기계식/전자식 스캐닝 레이더 등 다양한 기술이 이미 응용되었다. 이러한 다양한 기술들은 이미 국내 기술진에 의하여

개발되었으며, 참고로 세계적으로 기상 레이더 기술은 군사용으로 개발된 레이더 기술을 답습하는 경향을 보인다. 국내 군용 레이더 경우 삼성탈레스, LIG 넥스원, STX 엔진에서 생산하고 있으며, 기상레이더 개발 현황으로는 Ka 밴드 항공기 탑재형 소형레이더를 (주)밀리시스, 항공우주연구원, (주)STX에서 개발한 경험을 가지고 있다.



〈그림 1〉 대형레이더(미국)



〈그림 2〉 소형레이더(한국건설기술연구원)

■ 출처  
차세대홍수방어기술연구단 1차년도 보고서





# 미국지질조사국(USGS)의 ADAPS (Automated Data Analysis Processing System) 현황

**김충수** (수자원연구실 / 전임연구원)

- >> 1차분류 | 수문관측 및 해석기술
- >> 2차분류 | 수문관측 및 자료 구축기술

**키워드**

품질관리, USGS, ADAPS

06

수  
자  
원

미국지질조사국(USGS)에서 운영중인 수문자료 품질관리 시스템인 Automated Data Processing System(ADAPS)는 1980년대 개발을 시작한 이래 2002년 버전4.2 공개를 시작으로, 현재 버전4.3이 공개되었으며, 버전4.4는 일반 공개를 위해 작업중에 있으며 버전 4.5는 테스트중이다.

USGS는 자동으로 자료를 전송하는 GOES Data Collection System을 운영하고 있으며, 미국 전역에 있는 관측소의 대략 3/4 정도가 인공위성을 이용하여 자료를 전송하고, 나머지는 전화선 및 텔레미터를 이용하여 자료를 전송한다. 수문자료 품질관리를 위한 기본적인 구조는 미국 전역에 걸쳐 각 주마다 1개 정도의 District Office(현재 미국에 총 48개)가 자료 수집 및 이상, 결측 자료의 처리 업무를 수행하며, 하위조직으로 약 4~5개의 Field Office가 존재한다. 각 Field Office에는 자료를 수집, 처리하는 USGS의 정직원으로서 Hydrographer가 대략 1인당 10~15개의 관측소 관리 및 자료 1차 처리를 담당하고 있다.

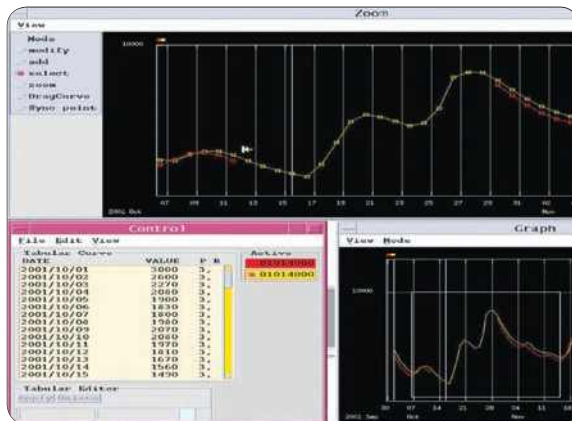
Hydrographer는 수집된 자료의 품질관리를 최초로 수행하는 담당자로서 관측소 점검에서부터 자료 수집 및 점검을 수행한다. 또한, 수위자료를 수집하고 유량을 계산하며, 수집된 자료의 이상여부를 점검하여 보정가능성을 판단한다. 보정가능성을 판단하여 보정 혹은 계산 가능한 자료에 대해 보정 및 계산을 수행한다.

또다른 한명의 Hydrographer가 자료 수집에서 점검과정을 다시 점검하고, Field Office Chief는 전 과정을 반복점검하며 승인하는 역할과 자료 품질표지를 부여하는 일을 수행한다. Data Chief 혹은 Surface-water Specialist는 자료 발간 전의 단계에서 앞서 시행된 과정의 전과정 혹은 일부를 재점검한 후 실지로 자료를 발간하는 임무를 수행한다. Office of Surface Water에서는 모든 District에서 비슷한 수준의 자료 품질을 유지하고 자료 수집, 점검에 유사한 방법을 사용하도록 3년마다 전과정을 재점검하는 역할을 담당한다.

ADAPS는 시계열 자료인 수위, 유량, 강우 모두를 관리할 수 있는 프로그램으로 수문자료의 프로세싱, 저장 및 발간을 위해 개발되었다. 또한 수문자료 데이터베이스인 National Water Information System(NWIS)의 한부분이기도 하다. ADAPS는 각 District Office에서 Local Administrator 혹은 Database Manager에 의해 운영된다. Hydrographer에 의해 수집 및 점검을 마친 자료는 ADAPS에 의해 Automated Screening 과정을 거치게 된다. 이 때, 이상자료 점검을 위한 Thresholds 기능이 사용된다.

자동점검 뿐만 아니라, 수동 점검 및 편집도 이루어지게 된다. 이상치 발견시, 보정 및 재계산 여부를 고려하여 보정한다. 결측치의 경우 선형회귀식을 이용하여 자동 보인을 수행할 수도 있으나, 현장 여건에 따라 계산할 수 없을 경우 그대로 결측자료로 처리할 수도 있다. 따라서, 자료 발견시 혹은 NWIS에 입력된 자료는 보정값, 재계산값 혹은 결측값을 그대로 둔 값이다. 즉, 이상자료는 입력하지 아니하고 보정한 이유와 보정방법을 기재하여 따로 보관하도록 되어 있다.

자료의 현상태를 품질표지 (Flag), remark code, computation code 등을 통해 표시한다. ADAPS의 기본적인 데이터 구성은 데이터 관리 규정에 의해 87개의 테이블로 구성이 되어 있으며 shift, correction, ratings table이 추가되었다. 공개되는 자료는 수정, 보완된 자료만 공개하지만, 원시자료는 자료의 양이 방대하여 압축한 상태로 보관하고 있다. ADAPS의 자료 처리 내부 프로그램인 HYDRA를 이용하여 자료를 보정은 <그림 1>과 같다.



<그림 1> Hydra를 이용하여 자료를 수정하는 예

■ 출처

User's Manual for the National Water Information System of the U. S. Geological Survey, Automated Data Processing System (ADAPS), 2009

# 미국 제방안전법

김주훈 (수자원연구실 / 수석연구원)

- >> 1차분류 | 수자원정책, 평가 및 관리기술
- >> 2차분류 | 이수, 치수, 하천환경정책 및 평가기술

키워드

Levee Safety

06

수  
자  
원

미국은 수자원 개발법(Water Resources Development Act of 2007)의 “제방안전 프로그램에 대한 권한 부여(Title IX)” 에서 국가 제방안전을 위한 전략계획을 수립하도록 하고 있다. 미국의 제방안전 프로그램은 제방의 완전하고 실현가능한 평가와 공공, 재산, 환경에 대해 수용할 수 없는 위험을 제거하기 위한 제방시스템의 안정적인 활동을 주요 임무로 한다. 이 프로그램의 목적은 “공공안전 최우선”, “경제적 영향 감소”, “투자효용성 최대화”, “신뢰할 수 있는 정확한 정보 개발”, 그리고 “공공의 신용과 수용 구축” 을 목적으로 하고 있다.

이 제방안전법에서는 제방안전위원회를 설립하고 이 위원회는 제방안전 프로그램 실행에 대한 전략계획을 포함하여 다음과 같은 목적을 갖고 국가 제방안전 프로그램에 대한 제안서를 개발하도록 하고 있다.

- 기술적, 경제적, 사회적, 그리고 환경적으로 실현 가능한 프로그램의 개발을 통하여 제방에 의해 사람의 생명과 재산의 보호가 확보되도록 하고, 제방과 관련하여 위험의 감소와 완화를 위한 절차
- 최고의 이용가능한 공학적 정책들의 이용 촉진과 제방에 대한 조사지점, 설계, 건설, 운영과 유지, 그리고 비상대비 절차
- 주(州) 제방안전 프로그램에 대한 촉진 및 저해요인에 대한 인식을 포함하여 실행을 위임한 주(州)의 효과적인 제방안전 프로그램의 확립과 실행 촉진
- 제방 인벤토리와 정밀조사 시행에 의해 적절한 보호 기준과 조화된 운영 및 유지되는 제방 보장
- 주(州) 및 국가제방 안전 프로그램의 공공 허용과 지원을 확대하기 위한 공공교육 및 인식 사업의 개발과 지원
- 제방 보호지역의 잔존하는 위험의 공공인식 확립
- 주(州) 및 국가제방 안전 프로그램에 대한 기술적 원조 도구 개발

- 비연방 전체에 대한 제방안전과 관련된 기술적 원조 제공을 위한 방법 개발
- 미국내 제방의 물리적으로 안전성(안전한 상태)과 관련된 기술적 지원 도구, 세미나, 가이드라인 개발

2009년도 미국 의회에 제출한 제안서에서는 국가 제방 위원회 설립, 국가제방데이터베이스의 유지 및 확장, 위험 잠재 분류체계, 국가 제방안전 표준 개발 및 허용 위험 가이드라인 개발, 관련 전문가 평가에 의한 FEMA의 국가 홍수보험 프로그램하의 제방인증 등의 내용을 제안하였고, 전략계획 실행은 다음과 같이 3단계로 추진하도록 제안하였다.



〈그림 1〉 국가제방안전프로그램 전략 실행

한편, 미 연방재난관리청(FEMA)은 2005년 8월 지도현 대화 프로그램의 일환으로 FEMA 절차 각서 34에서 제방 인증을 위한 새로운 요구사항을 발표했다. 이 FEMA의 인증기준을 충족하기 위해 국가 홍수보험 프로그램의 적용범위에 대한 인증은, 주(州), 카운티, 또는 지역 단체에서 "제방보호 기능설명서", "제방 및 기초 안정성 분석", "내수 배제 분석" 등의 제출을 통해 제방 시스템을 인증하고 있다.

미육군 공병단(USACE)은 국가적인 자원정보를 제공하기 위해 국가 제방 인벤토리 생성을 위한 노력을 2006년부터 시작하였다. 이 데이터베이스는 홍수위험 전달, 제방인증, 제방검사, 홍수터 관리, 그리고 위험도 평가 등을 포함하는 활동과 연계된다.



〈그림 2〉 제방안전프로그램에 의한 DB구축(예)

■ 출처

Water Resources Development ACT of 2007 Recommendations for a National Levee Safety Program

# SWAT 모형의 발전사

**이정우** (수자원연구실 / 전임연구원)

- >> 1차분류 | 수문관측 및 해석기술
- >> 2차분류 | 유역물순환 해석기술

**키워드**

SWAT, 연속형 유역해석모형, ArcGIS

06

수  
자  
원

미국 농무성의 Dr. Jeff Arnold에 의해 개발된 Soil and Water Assessment Tool (SWAT)은 대규모 복잡한 유역에서 토양과 토지이용 및 관리 조건의 변화에 따른 물, 유사, 물질의 장기간 변화를 시뮬레이션할 수 있는 연속형 유역해석 모형(continuous watershed model)이다.

SWAT은 CREAMS (Knisel, 1980), GLEAMS (Leonard 등, 1987), EPIC (Izaurralde 등, 2006)을 통합한 SWRRB (Arnold와 Williams, 1987) 모형을 근간으로 하고 있으며, 여기에 하도내 유출 및 유사 추적 모형을 모의하는 모형인 ROTO (Arnold 등, 1995)가 결합된 구조를 가지고 있다.

최초 개발 이후에 버전이 수차례 업그레이드 되었고 (SWAT94,2, 96,2, 98,1, 99,2, 2000, 2005), 최근에는 SWAT2009 버전이 출시되었다.

2000년대 이후에는 각종 기능을 향상시키고 특정 유역에 대한 적용성을 증대시키려는 목적으로 개선된 형태의 파생 모형들이 개발되었다.

SWAT-G (Eckhardt 등, 2002)는 독일에서 개발된 것으로 경사가 급한 산지 유역에 대해 적용성을 높이기 위해서 침투량과 중간유출량 계산모듈을 수정한 모형이다.

ESWAT (van Griensven과 Bauwens, 2003, 2005)은 보다 정교한 해석을 위해 계산시간단위를 시단위 이하로 줄였으며, 다목적 함수형 자동보정 모듈을 추가하였다. SWIM은 SWAT에 질소순환성분 계산 기능 향상을 위해서 중규모 유역에 적합한 MATSALU (Krysanova 등, 1998, 2005) 모형이 결합된 모형이다.

국내의 경우 여러 기초자료 부족과 모형 개발 국가인 미국과 국내유역특성이 상이하여 그 사용이 제한되고 어렵게 적용되고 있는 점을 극복하고자 SWAT을 국내 여건에 맞게 개선한 SWAT-K가 개발되었다.

SWAT-K는 인위적, 자연적인 물순환 구조의 변화, 지표수-지하수 연계해석, 국내 산림지역, 농업지역, 도시지역에서의 물순환해석 방법 등을 개선하여 강우, 증발산, 토양수분, 지표수, 지하수 등 각종 수문성분의 시공간적 분포를 정량적으로 모의할 수 있는 모형으로, 유출 해석의 정확성은 물론, 유사 및 비점오염물질의 모의 신뢰성을 제고시킨 한

국형 유역해석모형이라 할 수 있다.

유역분할, 각종 입출력 자료의 생성 및 수정 등 사용자 편의를 위해서 GIS 인터페이스인 ArcView와 SWAT이 결합된 AVSWAT이 완성되어 2000년대 초에는 AVSWAT2000 버전 주로 이용되었다.

최근에는 SWAT이 ArcGIS와 연동되는 ArcSWAT이 개발되었고, SWAT2005버전이 출시된 이후에는 ArcGIS 사용자 층이 크게 증가하였다.

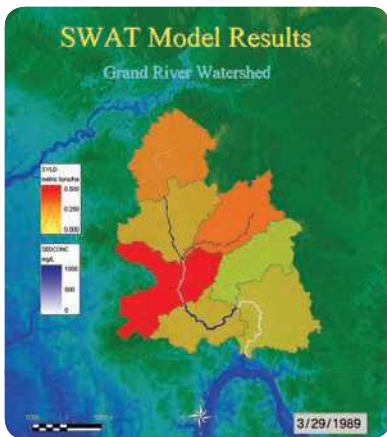
GIS 소프트웨어가 고가라는 이유로 사용자층이 제한적인 점을 극복하고자 무료로 GIS 기능을 사용할 수 있도록 MapWindow GIS 인터페이스를 SWAT과 결합하여 MWSWAT을 개발하여 보급하고 있다.

모형의 검보정 과정, 민감도 분석을 보다 용이하게 하고 불확실성 해석 기능도 추가된 SWAT-CUP 모형이 개발되어 국제 워크샵 등을 통해 교육 및 보급 확산되고 있다.

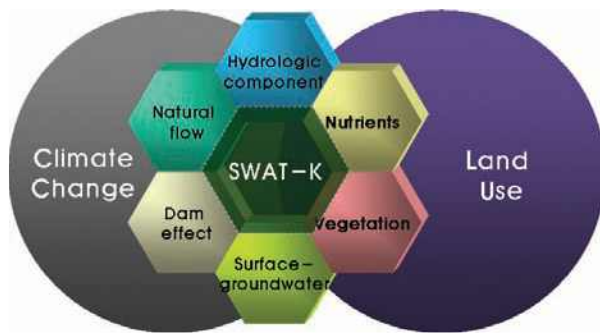
최근에는 시공간 자료의 비주얼화 기능, 모의 결과의 애니메이션 기능 등이 추가된 VIZSWAT 모형이 개발되어 출력 결과물을 시각적으로 극대화하고 있다.

이상과 같이 약 20년에 걸쳐 SWAT 모형이 지속적으로 업그레이드 되어가고 있으며, GIS 기술의 발전과 함께 사용자 편의성도 높아져 전세계적으로 수자원, 환경, 농업 분야 등 다양한 분야에서 활용성이 증대되고 있다.

국내에서도 SWAT-K 모형을 중심으로 사용자층이 급격하게 증가하고 있는 추세이다.

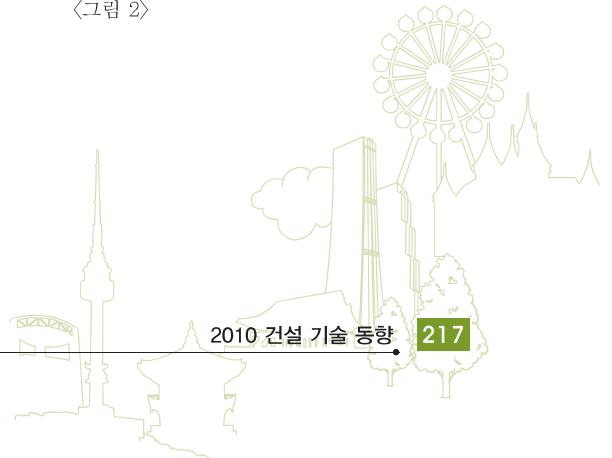


<그림 1>



<그림 2>

■ 관련(참고)사이트  
<http://swatmodel.tamu.edu/software>



## 자연계 상호작용에 관한 연구 현황

**김동필** (수자원연구실 / 수석연구원)

- >> 1차분류 | 수문관측 및 해석기술
- >> 2차분류 | 유역물순환 해석기술

**키워드**

자연계 상호작용, 인공 생태계 실험장, 기후변화

06

수  
자  
원

자연계(토양-물-대기-식물) 상호작용에 관한 연구는 미국 애리조나 주에 있는 인공 생태계 실험장으로부터 시도되었다. 이 실험장은 외부와 격리, 밀폐된 구조를 지니고 있다. 기본 시설은 1980년대 말 완료되었으며, 실제 실험은 1991년부터 2년간 이루어질 예정이었으나, 실패로 끝난 실험이 되고 말았다.

인공 생태계 실험장의 모든 시설은 최대한 현재의 지구 상태와 비슷한 환경을 갖추도록 만들어졌다. 이 안에 8명의 사람이 들어가 외부와의 물질 교환없이 지금 자족 생활을 할 수 있도록 만들어져 있었다. 또한 인공 생태계 실험장 내의 생태계를 유지하기 위해서 천장 부분을 유리로 만들어 외부의 태양 광선을 받아들일 수 있도록 했다.



<그림 1> 인공 생태계 실험장(전경)



<그림 2> 인공 생태계 실험장(내부)

전체 규모는 약 1.25ha(4000평 정도)에 달하며, 철골과 유리, 콘크리트 구조물로 이루어져 있었다. 전체적으로는 유리 온실과 같은 구조였으나 내부에는 열대우림, 사바나, 사막, 바다, 습지 등 지구상에서 볼 수 있는 다섯 가지 형태의 지역을 설치했으며 농경지와 거주지를 만들었다.

내부에는 약 3,000종의 생물과 300종의 식물, 다양한 종류의 척추동물도 함께 넣어졌다. 그러나 과학자들의 예상과 달리 얼마 지나지 않아 바이오스피어 2 내부의 산소가 갈수록 부족해지는 현상이 나타났다. 이러한 결과 산소의 감소는 이산화탄소의 증가를 초래하여 물의 산성화, 식물의 이상증식, 곤충들의 죽음, 불개미의 대량 번식 등 원래의 자연계에서 볼 수 없는 기이한 현상들이 발생하였다.

더불어 실험자들에게 공급될 식량의 생산도 점차 줄기 시작했고, 사람들은 영양부족으로 말라가기 시작했다. 이런 열악한 상황에 처하게 되자, 실험자들의 심리에도 영향이 미치기 시작했고 결국 약속했던 2년을 겨우 채웠으며, 결국 사람들은 피골이 상접한 모습으로 실험을 마치고 나오게 되었다.

1990년 초반 이러한 실험의 도전, 그리고 실패의 성과는 연구자에게 시사하는 바가 크다. 인공 생태계 실험장은 기후변화, 즉 환경 변화에 대한 자연계(토양-물-대기-식물) 상호작용에 대한 연구를 기대할 수 있다. 실패 요인이 보완된 완성된 실험장은 생태·수문학적 입장에서 볼 때, 물의 순환관계를 토양, 대기, 식물과 상호 연관지어서 정량적인 조사·연구를 수행할 수 있는 초석의 장으로 거듭날 수 있으며, 현재 이러한 연구들이 진행되고 있다.

■ 관련(참고)사이트  
<http://www.b2science.org/>

■ 출처  
제인 포인터(2008), 바이오 스피어2 인간실험, 2년 20분





## 기후변화에 대한 지하수위 변화 관측 네트워크

**김지태** (수자원연구실 / 수석연구원)

- >> 1차분류 | 수문관측 및 해석기술
- >> 2차분류 | 수문관측 및 자료 구축기술

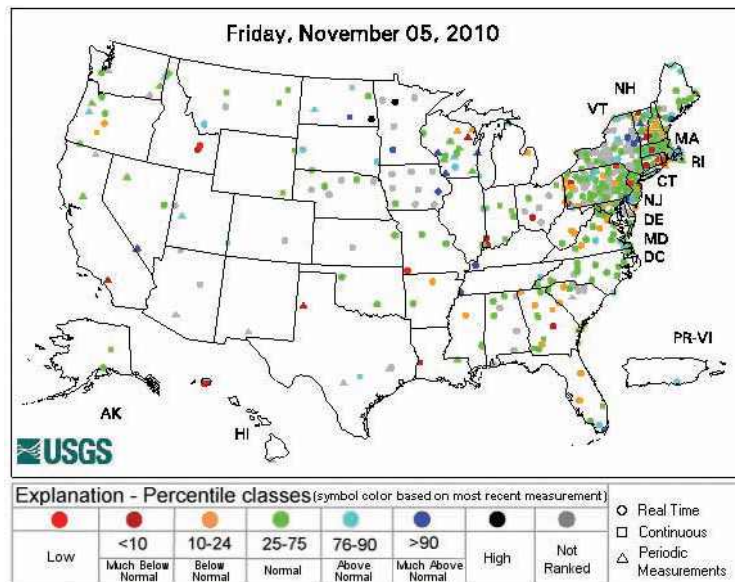
**키워드**

지하수위, 기후변화, USGS

06

수  
자  
원

미국 지질조사국에서는 미국 전역에 걸쳐 지하수위 실시간 관측을 실시하고 있는데 그 중에서 가뭄 및 기타 기후변화가 지하수위에 미치는 영향을 관측하기 위한 관측망을 구성, 그 정보를 웹사이트에 제공하고 있다. (<http://groundwaterwatch.usgs.gov/Net/OGWNetwork.asp?ncd=crn>), 'Climate Response Network'으로 명명된 관측망은 미국 지하수자원 프로그램(Groundwater Resources Program)의 일부로 수행되는 것으로서 전국적으로 130여개의 관측공으로 구성되어 있다. 관측공은 기후변화와 지하수위의 관계 분석을 위해 인위적 요인 등 다른 원인에 의한 지하수위 변화가 없는 곳으로 선정하였다.



〈그림 1〉 Climate Response Network

〈그림 1〉과 같이 미국 전역의 관측망 현황 및 지하수위의 변화양상을 살펴볼 수 있으며, 〈그림 2〉와 같이 각 주별 현황도 검색할 수 있게 구성되어 있다.



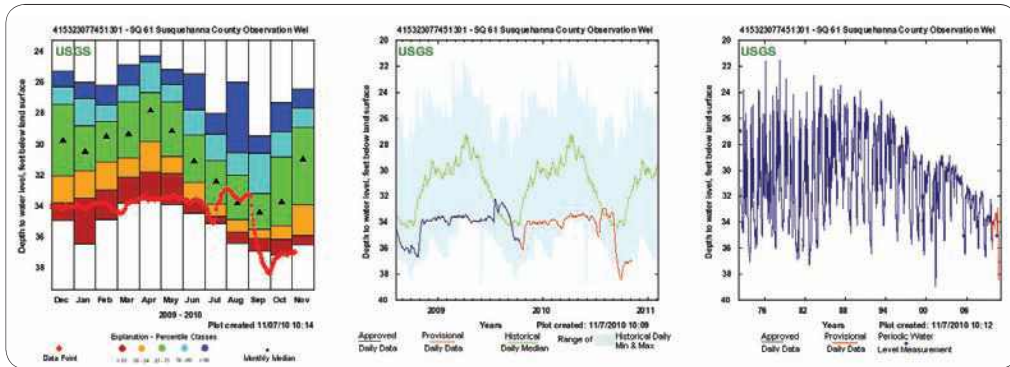
Explanation - Percentile classes (symbol color based on most recent measurement)							
● Low	● <10	● 10-24	● 25-75	● 76-90	● >90	● High	● Not Ranked
	Much Below Normal	Below Normal	Normal	Above Normal	Much Above Normal		

○	Real Time
□	Continuous
△	Periodic Measurements

〈그림 2〉 펜실베이니아주 관측 정보

지도상에서 관측정을 클릭하면 〈그림 3〉과 같이 일별, 월별, 연도별 관측자료와 통계분석 자료를 종합한 분석결과를 확인할 수 있다.



〈그림 3〉 지하수위 분석 정보

이와 같은 정보의 종합으로 가뭄 등 기후변화에 의한 지하수위의 변화 양상을 실시간으로 분석하고 있다.

■ 관련(참고)사이트 : <http://groundwaterwatch.usgs.gov/>

■ 출처 : <http://groundwaterwatch.usgs.gov/Net/OGWNetwork.asp?ncd=crn>

## AHPS-Flood Inundation Map 연계 시스템

**김경탁** (수자원연구실 / 연구위원)

- >> 1차분류 | 수문관측 및 해석기술
- >> 2차분류 | 수문관측 및 자료구축기술

**키워드**

AHPS, Flood Inundation Map

06

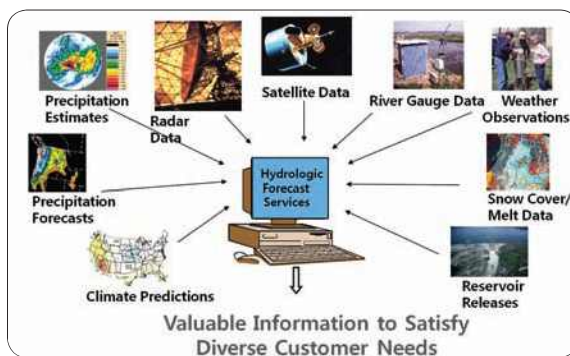
수  
자  
원

1999년 수해방지대책기획단에서 홍수위험지도(Flood Inundation Map) 제작방침이 결정된 이후 현재까지 국가하천 구간을 대상으로 홍수위험지도가 제작 되어 오고 있다. 그러나 기술적, 활용적 측면등에서 여러 가지 문제점이 나타나면서 아직까지 실무에서 적극적으로 활용되지는 못하고 있는 실정이다. 본 고에서는 미국의 AHPS(Advanced Hydrologic Prediction Services) 시스템과 홍수위험지도 연계시스템을 소개하고자 하며, 이는 향후 우리나라에서도 제작된 홍수위험지도의 제공 및 활용 등에 참고할 수 있을 것이다.

미국의 NWS(National Weather Service)에서는 WFO(Weather Forecast Office), RFC(River Forecasting Center) 등과 공동으로 차세대 통합 홍수 관리를 목적으로 선진 개념의 일기반 하천 예보 및 수문 예측을 위한 시스템을 개발하였으며 이를 AHPS라고 한다. AHPS 시스템은 처음 미국 중서부 DesMoines 지역의 중요한 홍수 분석을 수행하는 과정에서 시범적으로 개발되기 시작하여 2001년부터 적용 영역을 확대하며 신기술을 이용하여 보다 선진화된 시스템으로 개발되어 오고 있다.



<그림 1> AHPS 초기화면



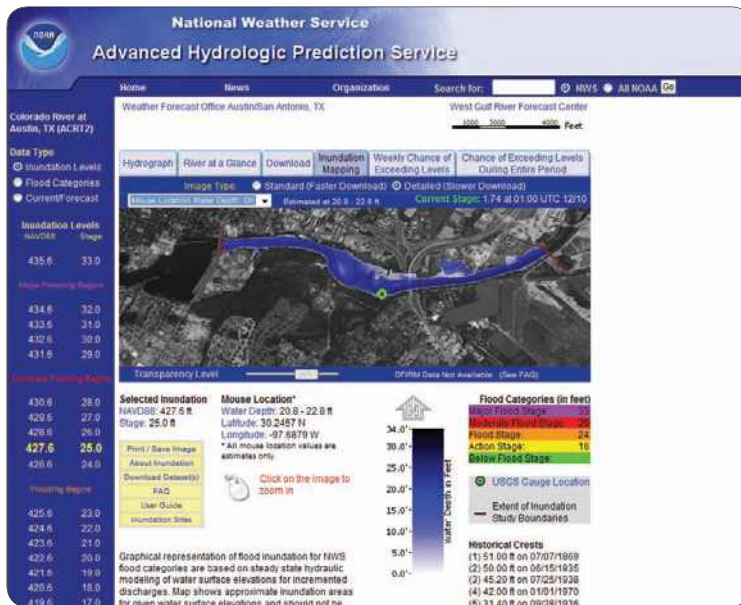
<그림 2> AHPS의 자료 공유 기능

AHPS 시스템의 목적은 NWS와 홍수관리 관련 기관과의 자료 교류를 활성화하며, 효율적인 하천 홍수 예·경보 서비스를 제공하는데 있다. 2003년 개발이 완료되어 미국 내 13개 하천예보센터와 121개 기상예보국의 시스템에 동시에 연계되어 가동되고 있다. 이는 통합적인 하천 홍수 예·경보로서 좀 더 정확한 하천유량 예측과 홍수 정보, 홍수

및 가뭄에 대비하기 위한 시간 확보, 그리고 하천관리자에게 보다 풍부하고 정확한 의사결정 정보를 제공하고자 하는 것이다.

AHPS에 의해 생성되는 가장 기본적인 자료는 하천에서의 수위 실측 및 예측자료로서 이는 홍수에 · 경보 발령 및 대피 등에 직접 사용되고 있다. 또한 하천 홍수에 · 경보에 신뢰도 개념을 도입하여 보다 정량적인 홍수자료를 생성하고 있으며 대표적으로 확률홍수(probability flood occurrence) 개념 및 GIS 정보를 유기적으로 연계하고 있으며 하천 홍수관리를 위해 다양한 자료를 생성하여 공유하고 있다(그림 2).

한편, 2007년부터는 주요 홍수예보지점을 대상으로 AHPS와 FEMA에서 제작되는 DFIRM(Digital Insurance Rate Map)과 연계되는 시스템을 개발하여 운영 중에 있다. DFIRM은 홍수보험요율을 결정하기 위해 일정한 절차 및 데이터를 이용하여 제작되는 전산화된 홍수위험지도를 의미한다. AHPS-Flood Inundation Map 연계시스템에서는 주요 홍수예보 지점을 대상으로 현재(평상시) 흐름 상황, 100년 빈도 및 500년 빈도 홍수위험지역, Floodway Data(홍수시 유속이 빠르거나, 수심이 깊은 지역 등을 강조한 자료) 등 다양한 정보를 제공하고 있다. 이런 자료를 제공함으로써 홍수가 발생하였을 경우 위험에 처할 수 있는 주위의 도로, 거리, 빌딩 등을 제시해 줌으로써 정부에서 홍수가 발생하였을 경우 피해를 최소화하기 위한 의사결정에 도움을 주고 있다.



기  
타  
사  
항

■ 출처

<http://water.weather.gov/ahps/inundation.php>

