

# 유역 물 관리를 위한 유역유출예측의 구현



**황만하** |

한국수자원공사 수자원연구원 수자원환경연구소  
수석연구원  
hwangmh@kwater.or.kr



**정우항** |

한국수자원공사 수자원연구원 수자원환경연구소  
선임연구원  
jeongwc@kwater.or.kr

## 1. 서론

전 세계적으로 가뭄과 홍수, 태풍으로 인한 혹독한 피해와 이로 인한 손실은 날로 강도 높게 빈번해지고 있는 실정이며, 이로 인해 물 안보 (Water Security)가 곧 국가 위기관리차원의 주요 이슈로 등장하게 되었다. 좁은 국토 내에서 많은 인구에 의한 적지 않은 물 수요로 압박 받고 있는 우리나라는 이미 필요한 신규 수자원개발의 어려움과 공급 증가, 수질관리에 소요되는 막대한 비용, 한정된 수자원에 대한 다양한 용도간의 경쟁, 물 부족과 수질오염을 둘러싼 이해당사자 및 지역 간의 첨예한 갈등과 대립 등으로 인해 물 문제해결을 둘러싸고 국가와 지역 주민이 안고 있는 사회적 비용부담은 이미 한계에 도달하게 되었다.

이러한 물 문제를 해결하려면 다양한 물 공급원을 통합 관리하여 맑은 물을 안정적으로 공급하고, 사용한 물을 깨끗하게 처리하여 쾌적한 물 환경을 조성하는 지속 가능한 통합수자원관리기술의 개발이 필요하

다. 현재뿐만 아니라 조속한 미래에 우리나라에 닥칠 질 심각한 물 문제를 범국가적인 차원에서 해결하고자 과학기술부에서 주관하는 21세기 프론티어 연구 개발사업의 일환으로 “수자원의 지속적 확보기술개발 사업단”이 지난 2001년 후반기에 발족되었으며, 이 사업의 최종목표는 수자원의 지속적 확보를 위해 다양한 수자원 공급원(지표와 지하수, 대체 수자원), 수요와 공급, 수량과 수질을 고려한 계획과 운영을 수행할 수 있는 시스템을 2011년까지 구축하는데 있다. 본 사업에는 통합수자원관리, 지표수, 지하수, 대체 수자원 등 4개 분야의 기반기술개발이 포함되어 있으며, 이 중 통합수자원관리 기술개발부분은 중장기 수자원 계획을 지원하는 ‘유역 통합 물수지 분석 및 수자원 계획 기술 개발’과 단기간의 유역 수자원 관리를 위한 ‘유역 통합 물 관리 운영 시스템 기술 개발’을 중심으로 연구가 수행되고 있다.

본고에서는 통합수자원관리 분야 중 ‘유역 물 관리 운영 기술 개발’ 과제에서 한국수자원공사 수자원연구원에서 개발하고 있는 ‘유역유출예측시스템(RRFS: Rainfall-Runoff Forecasting System)’의 주요 특성과 금강유역에의 적용사례를 살펴보고, 이로부터 향후 구축 방안을 논하고자 한다.

## 2. 유역유출예측시스템(RRFS)의 구성

유역유출예측시스템인 RRFS는 기상예측정보를 이용하여 중·장기 용수수요와 공급의 예측을 위한 강우-유출 분석을 효과적으로 수행하기 위해 개발되었다. 이러한 작업을 수행하기 위한 기반기술로 유역 내에서의 취수량을 포함한 물 수요량에 대한 자료의

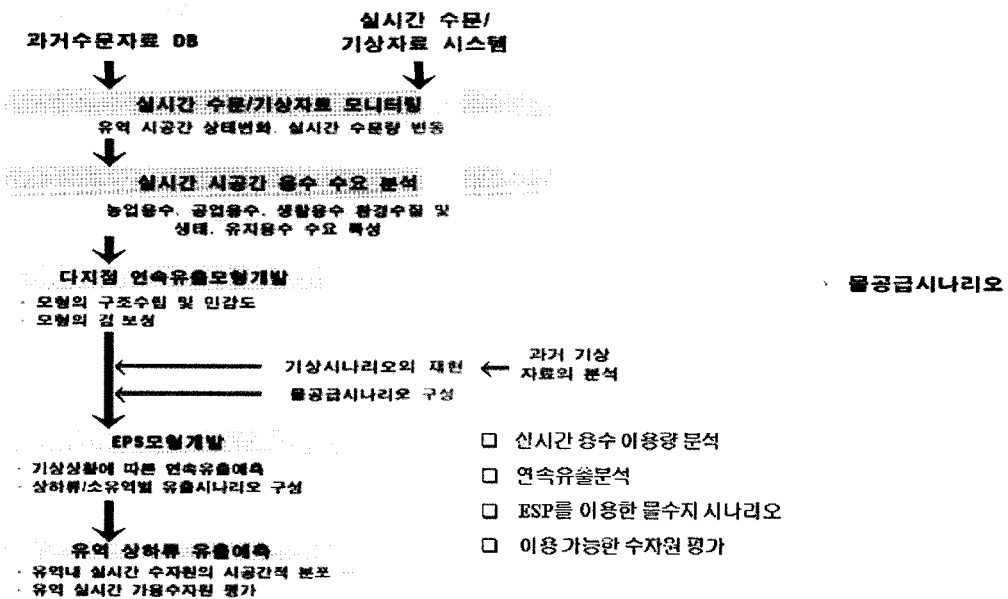
획득과 관리를 위한 물 정보 관리 기술 그리고 물 분배 및 공급을 최적화시키기 위한 물수지 분석기술 그리고 기상정보와 함께 장단기 유량 예측을 위한 유출예측기술이 사용된다. 또한, 물 분배 계획을 수립하기 위한 의사결정과정에서 장기간 강우 예측의 불확실성을 고려하기 위한 추계학적 유량 예측기법인 ESP(Ensemble Streamflow Prediction) 모듈이 본 시스템에 탑재되어 있다(그림 1).

### 3. RRF의 주요 구현 기능

중장기용수/공급예측을 위해 개발된 유역유출예측 시스템은 수문자료 및 해석모형 DB가 탑재된 실시간 수문정보 DB 시스템(HWDS: Hydro Web Data System)과 연동되어 수행되며, 모형의 입력파일 구축, 과거모의 기능, 예측 및 모의 기능, 모형의 매개변수 보정 기능, ESP 분석기능 등으로 이루어져 있다.

그림 2는 유역유출예측시스템의 메뉴 구조 및 기능을 요약한 것이며, 각 기능은 사용자 인터페이스 상에서 자료(Data), 모의(Simulation), 예측(Forecasting), 결과출력(Output), 그리고 ESP 메뉴들로 이루어지는 각 인터페이스와 서버버튼의 조작으로 운영이 가능하도록 설계되어 있다. 또한 세부기능들을 몇 개의 카테고리 분류하여 계층적(top-down) 방식으로 입력 자료를 구성할 수 있도록 하였다.

Data 메뉴를 통해 HWDS에 저장되어 있는 유역유출예측시스템의 주요 입력 자료 예를 들면, 소유역별 평균 강우량과 온도, 관측 유량, 방류량 등의 수문자료와 취수량, 생공농 용수량 등 용수이용자료를 조회 및 확인할 수 있으며, 유출분석 수행 전에 사용자가 직접 자료의 누락이나 이상치를 점검해 볼 수 있다. Simulation 메뉴에는 과거기간에 대한 모의수행을 통해 매개변수를 보정함으로써 유출에 관련된 최적의 매개변수를 산정할 수 있는 기능을 포함하고 있다. Forecasting 메뉴는 앞서 보정된 매개변수를 이



## Ensemble Streamflow Prediction (ESP)

그림 1. 유역의 유출예측 분석절차

용하여 예측된 강우에 대해 해당 유역의 유출양상을 예측하기 위한 기능들을 포함하고 있다. 마지막으로 ESP 메뉴에서는 과거의 유출시나리오를 바탕으로

ESP 분석의 수행을 통해 장기 유출예측의 정확성을 향상시킬 수 있도록 하였다.

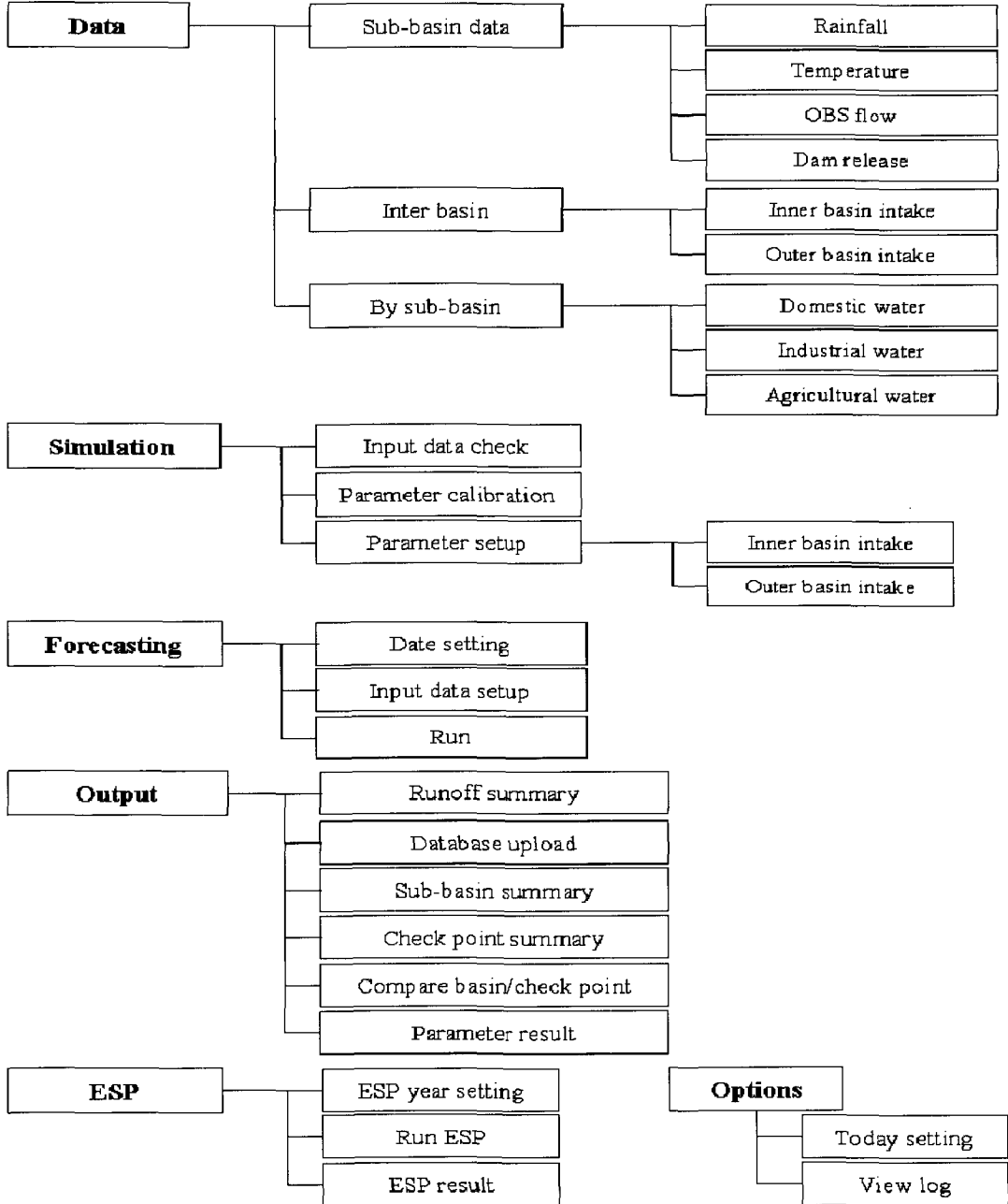


그림 2. 유역유출예측시스템의 메뉴 구조

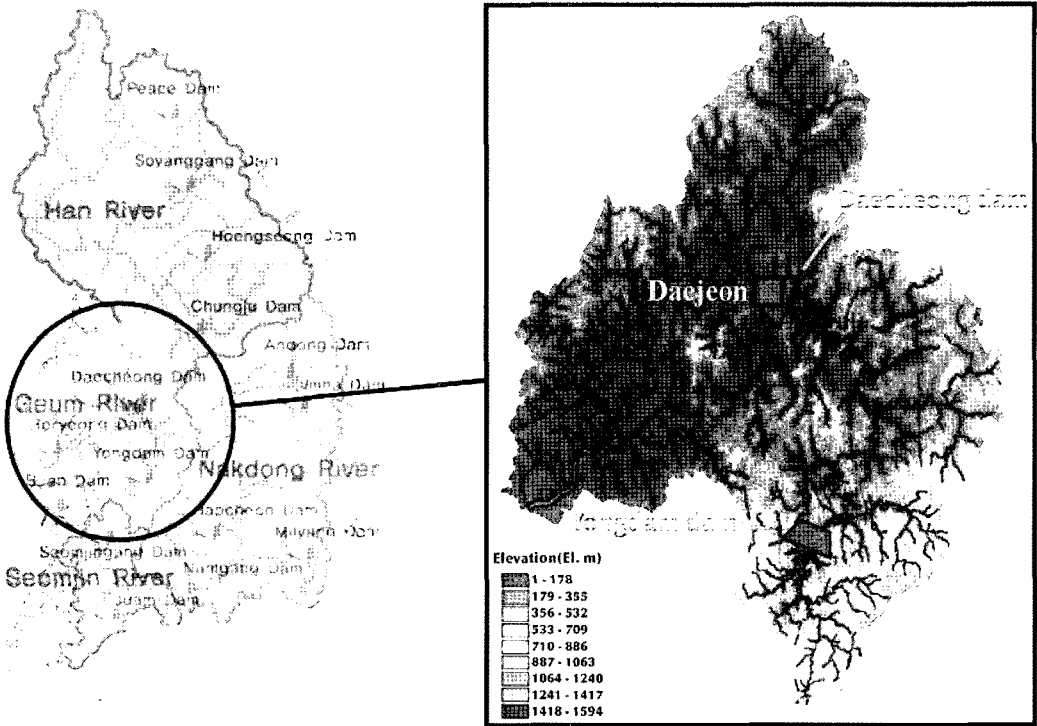


그림 3. 금강유역

#### 4. 금강유역에의 적용

금강유역은 우리나라에서 한강유역, 낙동강유역 다음으로 큰 유역으로, 유역면적은 9,835km<sup>2</sup>이며, 주하천인 금강의 연장은 396km이다. 본 유역에는 대청댐과 용담댐 등 2개의 다목적 댐이 있으며, 대청댐은 금강하구로부터 150km 그리고 용담댐은 대청댐 상류에 위치해 있다(그림 3).

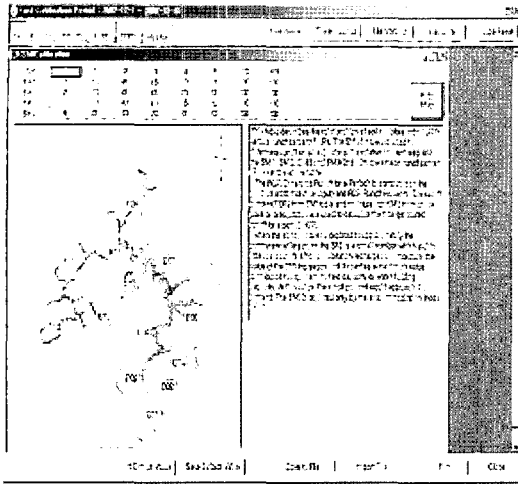
유출모의는 과거기간에 대한 매개변수를 보정함으로써 최적의 매개변수를 산정하기 위해 수행된다. 매개변수 보정은 지정된 제어지점 예를 들면, 대청댐 지점과 공주 지점에서의 관측 유량과 모의 유출량과의 비교를 통해 수행된다.

그림 4(a)는 매개변수를 보정하기 위한 화면으로 금강 유역의 대청지점과 공주지점을 기준으로 유역유출예측시스템의 매개변수를 보정할 수 있도록 한다.

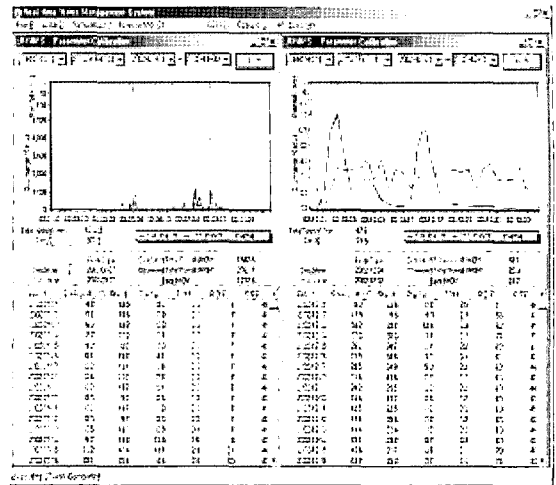
유역유출예측시스템에서 보정이 이루어지는 매개변수로는 SMI, BII, SSS, TS, TSS와 같은 지표유출에 관련된 주요매개변수를 비롯하여 BFTS, LZTS, BIITS, BIIMX, BFLIM, PBLZ와 같은 기저유출에 관련된 매개변수 이 외에 취수량 및 생공농 용수량의 회귀율 등이 있다.

그림 4(b)는 매개변수 보정을 통해 얻어진 제어지점에서의 강우량에 대한 모의 및 실측 유출량 결과를 그래프와 표로 나타낸 것이며, 이 외에 RMSE, 최대값 발생일, 모의 및 관측 총유출량에 대한 정보를 확인할 수 있다.

그림 5는 일례로 2005년 1월부터 12월까지의 유역유출예측시스템에 적용되는 매개변수와 각종 용수량 등의 보정을 통해 얻어진 대청댐지점(a)과 공주지점(b)의 모의유출결과를 실측유출결과와의 비교를 나타낸 것이다.

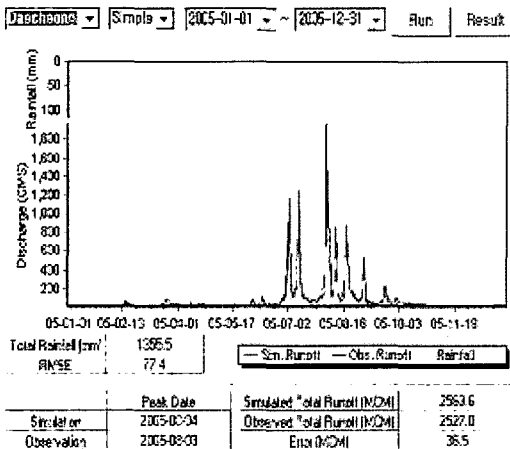


(a)

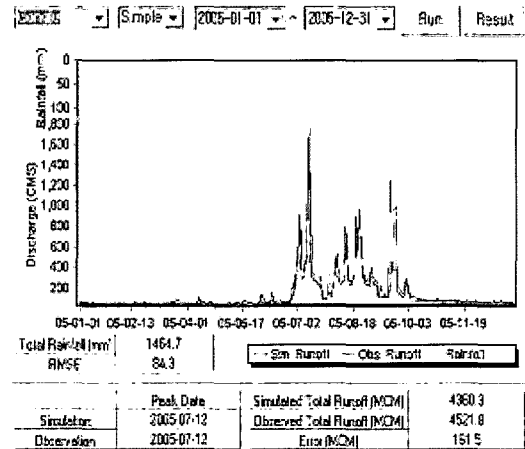


(b)

그림 4. RRFS 매개변수 보정 과정



(a)



(b)

그림 5. 매개변수 보정을 통한 금강유역 주요지점에 대한 검증: 대정댐지점(a)과 공주지점(b)

유출예측은 유출모의를 통해 보정된 매개변수를 이용하여 해당 유역의 유출양상을 예측하기 위해 수행된다. 유출예측에 필요한 입력 자료로는 강우, 온도, 취수량, 댐방류량, 생활용수, 공업용수, 농업용수이다(그림 6(a)). 그림 6(b)는 보정된 매개변수와 다양한 입력 자료를 이용하여 산정된 소유역별 및 지점별 예측 유출량을 그림 및 표로 나타낸 것이다.

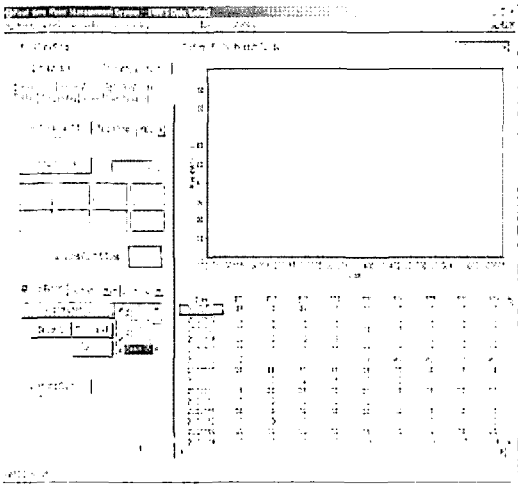
또한, 기본적으로 유역예측시스템에서 소유역별 총유출량에 대한 유출성분은 지표면 유출량(surface water)과 지표하 유출량(sub-surface water), 지하수(groundwater), 회귀 지하수(return groundwater), 증발산량(evapotranspiration), 차단(interception)으로 구분되며, 그래프 형태로 다양하게 표현된다(그림 7(a)).

그림 7(b)는 총유출량에서 각 유출성분이 차지하는 비율을 사용자가 직관적으로 확인할 수 있도록 유출성분비를 분석하여 원형 그래프로 나타낸 것이다.

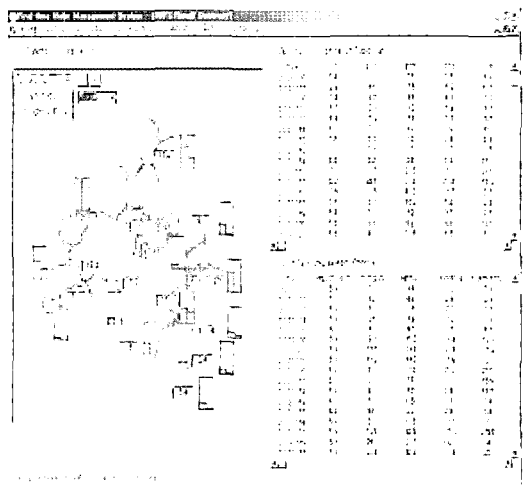
그림 8(a)는 소유역별 그리고 지점별 유출예측 결과를 동시에 비교분석할 수 있도록 구성되어 있으며, 또한 예측 유출량에 대한 일별 변동양상을 표로 나타낼 수도 있다.

유역예측시스템은 유역의 연속유출상황을 예측하므로 모의 시에 설정한 매개변수도 시간이 흐름에 따라 달라진다.

그림 8(b)는 이러한 예측기간 동안의 매개변수의 변화양상을 나타내 주는 것으로 상단의 그래프와 하단의 표로 확인할 수 있도록 구성하였다.

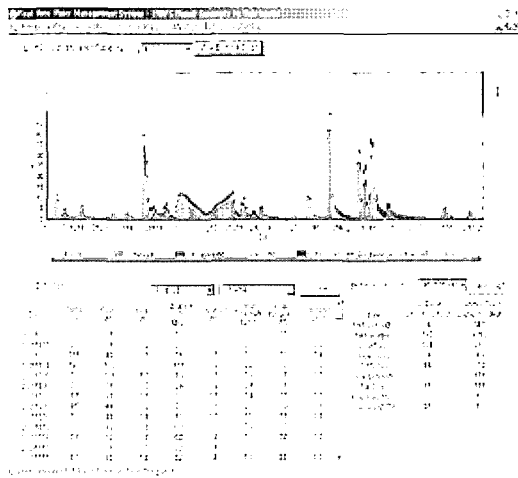


(a)

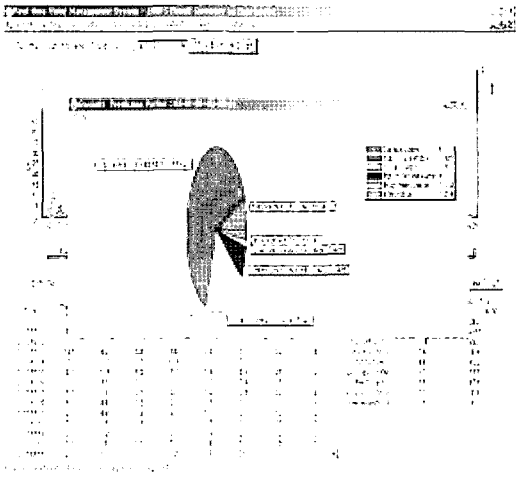


(b)

그림 6. 유출예측에 필요한 자료 입력(a)과 예측결과(b)



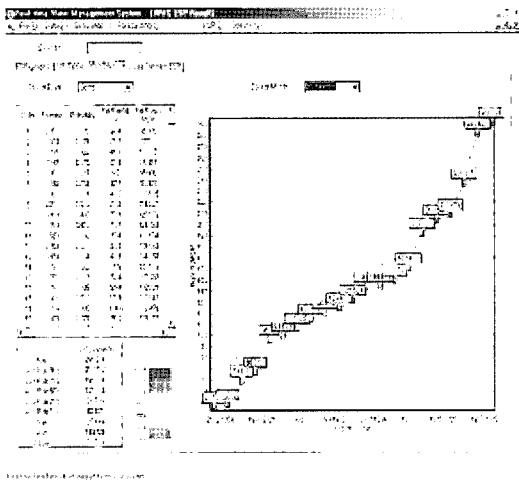
(a)



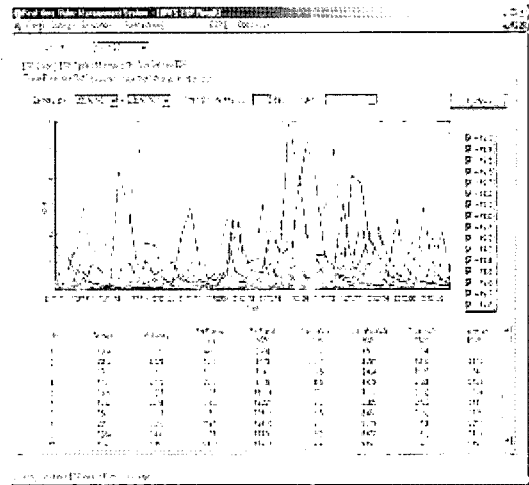
(b)

그림 7. 유출성분별 수문곡선(a)과 유출성분 통계 그래프(b)





(a)



(b)

그림 10. 월유출 ESP 분석 결과(a)와 사용자 정의 ESP 분석 결과(b)

그림 10(a)은 1개월 단위로 누가된 유출량 시나리오를 이용하여 ESP 통계분석을 수행한 결과를 표와 그래프 상으로 나타낸 것이다. 사용자는 확인하고자 하는 주요 유출지점과 1개월, 3개월, 6개월 등 누가된 월수에 대한 유출량을 선택하여 결과를 확인할 수 있다.

또한 ESP 시나리오를 크기순으로 나열하여 통계 분석한 결과와 총강우량, 총유출량 등을 확인할 수 있다. 그림 10(b)는 사용자가 원하는 ESP 분석 기간을 직접 또는 정의된 기간(주, 10일, 한 달)으로 설정해 분석을 수행하는 것은 나타낸 것이다.

현재 유역유출예측시스템 내에 구현되어 있는 장기간 유출예측기법으로는 통상적 기법에 해당하는 지점별 과거 실측 유출 평균량, ESP 기법, 기상전망을 고려한 ESP 기법 그리고 강수진단모형으로부터 예측된 수치자료를 이용한 유출예측기법이 있다.

그림 11은 2006년 1월부터 8월까지 금강유역 주요 지점(용담댐, 대청댐, 공주)에 대해 예측된 기법별 월 유출량 결과를 비교한 것이다. 비교 결과 기상전망을 고려한 ESP 기법으로부터 예측된 유출량이 다른 기법에 비해 비교적 우수한 것으로 나타났다.

## 6. 결론 및 향후 활용

이상으로 21세기 프론티어 연구사업을 통해 한국 수자원공사 수자원연구원에서 개발한 유역유출예측 시스템(RRFS: Rainfall-Runoff Forecasting System)의 개요와 금강유역 적용사례를 기술하였다. 본 시스템은 해당 유역의 수문자료 이외에 실제 용수 이용실적에 대한 자료를 이용하여 강우-유출분석을 수행하므로 보다 현실적인 유출량에 대한 결과를 얻을 수 있다. 또한, 실무에서 본 시스템을 이용하는 사용자의 욕구를 최대한 반영하여 사용자 편의 중심의 GUI 배경에서 입력 자료의 수정을 용이하게 하였으며, 유출 모의나 예측에 대한 다양한 분석 결과를 보다 쉽게 이해할 수 있도록 구성하였다.

본 시스템은 금강유역에의 적용을 통해 그 활용성을 검증하였으며, 유역 내의 이수 및 치수관리 그리고 용수 수급과 같은 통합적이고 효율적인 물 관리를 위한 신뢰성 있는 기초자료를 제공할 수 있을 것으로 기대한다. 또한 본 시스템은 금강유역이외에 한강유역, 낙동강유역 등과 같은 우리나라 5대 유역에 적용할 수 있도록 확장할 계획이며, 인도네시아 등 동남아시아의 수자원 개발 사업에 본 시스템을 적극적으로 활용할 계획이다.



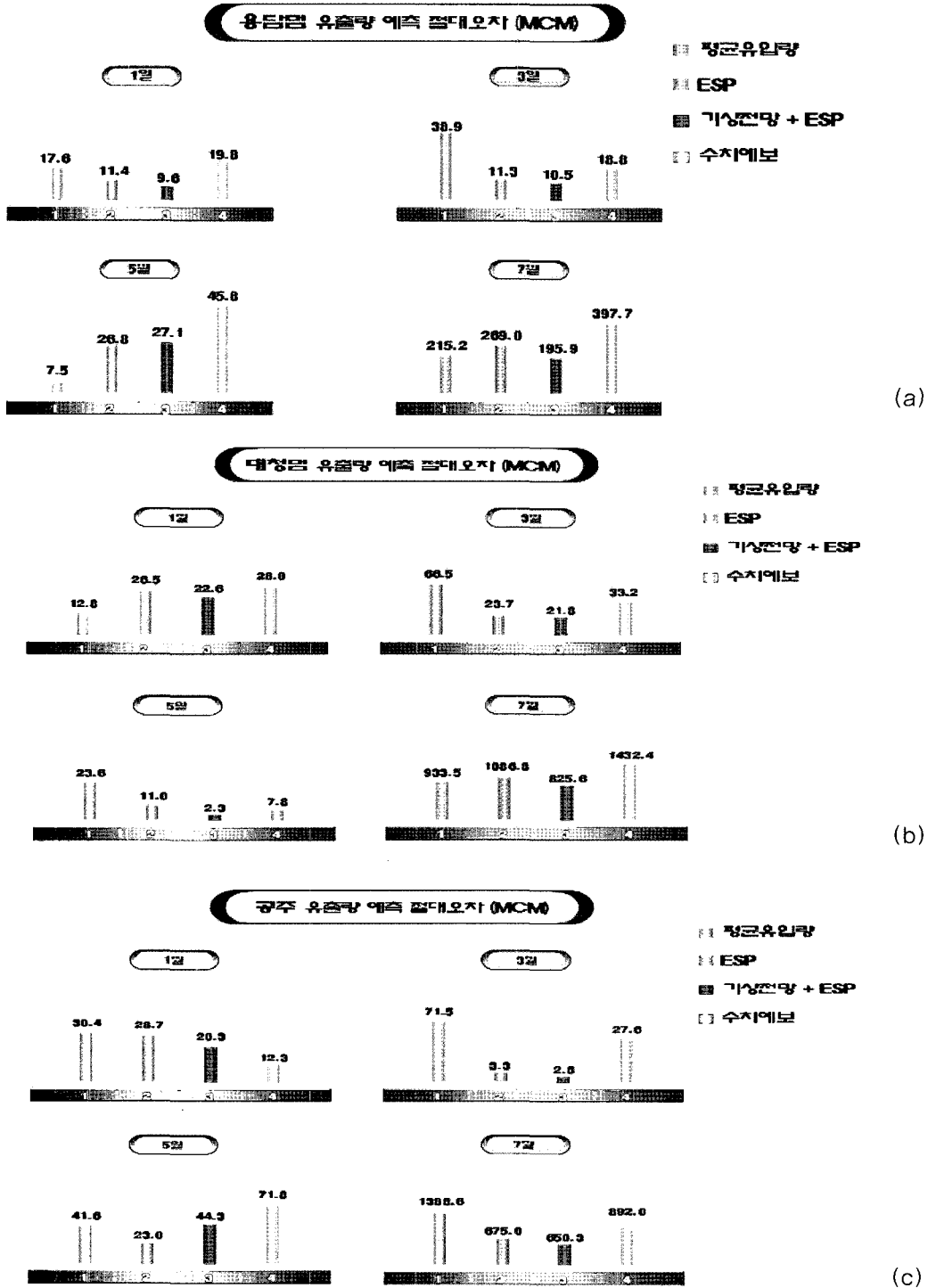


그림 11. 주요지점에서 예측된 기법별 유출예측 결과 비교

## 감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술 개발사업단의 과제인 “유역 물 관리 운영 기술 개발(과제번호:1-6-2)” 연구에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

- Ko, I. H. and Chung, S. W. (2002), “Strategy for developing base technology for integrated water resources management” The trend of technology development for IWRM-, Journal of Korea Water Resources Association, Vol. 35, No. 6, pp. 61-70.
- 김진훈과 배덕효 (2006), “한강유역 한강유출량 산정”, 한국수자원학회 논문집, 제39권2호, pp.151-160. 