

효율적인 물 관리를 위한 유역유출예측시스템의 구현



정 우 창 ▶▶▶
한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원
jeongwo@kwater.or.kr



황 만 하 ▶▶▶
한국수자원공사 수자원연구원 수석연구원
hwangmh@kwater.or.kr



맹 승 진 ▶▶▶
충북대학교 지역건설공학과 조교수
maeng@chungbuk.ac.kr

측시스템으로 구성되어 있다. 이 중 유역유출해석모델인 RRFs (Rainfall - Runoff Forecasting System)는 수자원시스템 운영자의 의사결정에 가장 중요한 요소 중의 하나인 유역의 유출량 산정 및 예측을 수행하기 위해 개발된 시스템으로 유역 물관리 3단계 의사결정 과정 중 첫 번째 두 개 프로세스인 Nowcasting과 Forecasting을 지원하게 된다.

이 글에서는 수자원연구원에서 개발한 유역유출예측시스템의 주요 특성과 금강유역에의 적용사례를 살펴보고, 이를 토대로 한 향후 구축 보장 방안을 제시하고자 한다.

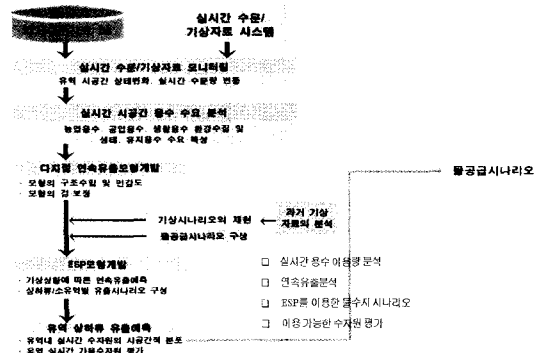
2. 유역유출예측시스템(RRFs)의 구성

유역유출예측시스템인 RRFs는 그림 1과 같이 기상예측정보를 이용하여 유역 내의 중·장기 용수수요와 공급 예측을 위한 강우-유출 분석을 효과적으로 수행하기 위해 개발되었다.

1. 서 론

21세기의 심각한 물 문제를 과학기술로 극복하려면 다양한 수자원 공급원(지표와 지하수, 대체 수자원), 수요와 공급, 수량과 수질을 고려한 계획과 운영을 통합적으로 수행할 수 있는 유역 물관리 toolkit이 필요하다.

그동안 한국수자원공사가 산·학·연 공동 연구를 통하여 구축 중인 유역물관리시스템(IRWMS: Integrated Real-time Water resources Management System)은 크게 유역유출예측시스템, 장단기 저수지군 연계 운영 시스템 그리고 하천-호소 수질예



Assemble Streamflow Prediction (ESP)

그림 1. 유역유출분석 및 예측을 위한 기술개발 추진체계

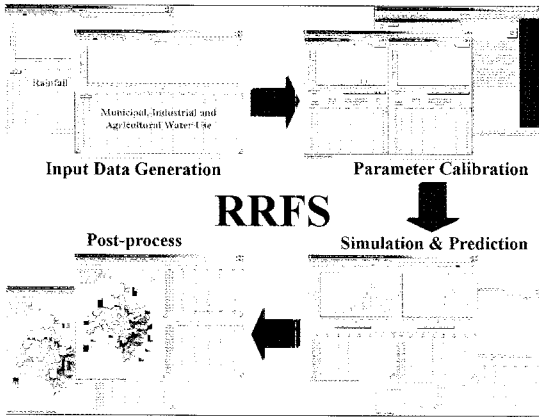


그림 2. 유역 유출예측 분석절차

이러한 분석 과정을 수행하기 위한 기반기술로 유역 내에서의 취수량을 포함한 물 수요량에 대한 자료의 획득과 관리를 위한 물 정보 관리 기술, 물 분배 및 공급을 최적화시키기 위한 물수지 분석기술 그리고 기상정보와 함께 장단기 유량 예측을 위한 유출예측기술이 사용된다. 또한 물 배분 계획을 수립하기 위한 의사결정과정에서 장기간 강우 예측의 불확실성을 고려하기 위한 추계학적 유량 예측기법인 ESP(Ensemble Streamflow Prediction) 모듈이 이 시스템 안에 탑재되어 있다. 그림 2는 RRFS를 통한 유출모의 및 예측에 대한 분석절차를 나타낸 것이다.

3. RRFS의 주요 구현 기능

중장기 용수공급예측을 위해 개발된 유역유출예측 시스템은 수문자료 및 해석모형 DB가 탑재된 실시간 통합 데이터 베이스 시스템인 HWDS(Hydro Web Data System)와 연동되어 수행되며, 모형의 입력파일 구축, 과거모의 기능, 예측 및 모의 기능, 모형의 매개변수 보정 기능, ESP 분석기능 등으로 이루어져 있다.

그림 3은 유역유출예측시스템의 메뉴 구조 및 기능을 요약한 것이다. 각 기능은 사용자 인터페이스 상에서 자료(Data), 모의(Simulation), 예측(Forecasting), 결과출력(Output) 및 ESP 메뉴들로 이루어지는 각

인터페이스와 서버버튼의 조작으로 운영이 가능하도록 설계되어 있다. 또한 세부기능들을 몇 개의 카테고리 로 분류하여 계층적(top-down) 방식으로 입력 자료를 구성할 수 있도록 하였다.

'Data 메뉴'를 통해 HWDS에 저장되어 있는 유역 유출예측시스템의 주요 입력 자료인 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 메뉴'에는 과거기간에 대한 모의수행을 통해 매개변수를 보정함으로써 유출에 관련된 최적의 매개변수를 산정할 수 있는 기능을 포함하고 있다. 'Forecasting 메뉴'는 앞서 보정된 매개변수를 이용하여 예측된 강우에 대해 해당 유역의 유출양상을 예측하기 위한 기능들을 포함하고 있다. 또한 ESP 메뉴에서는 과거의 유출시나리오를 바탕으로 ESP 분석의 수행을 통해 장기 유출예측의 정확성을 향상시킬 수 있도록 하였다.

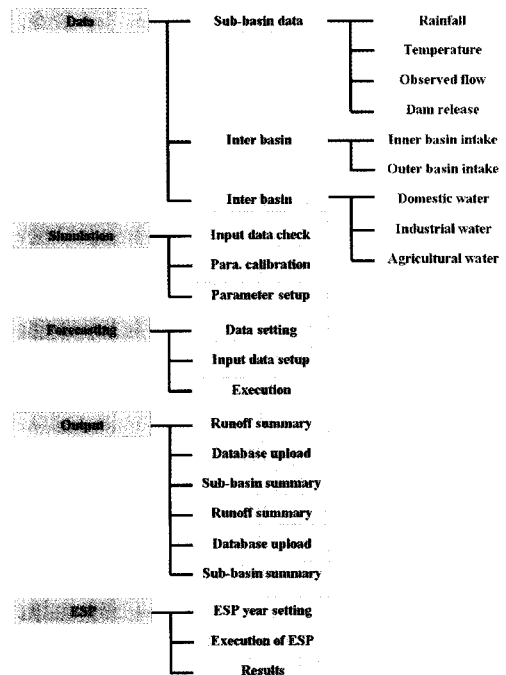


그림 3. 유역유출예측시스템의 메뉴 구조

4. 금강유역에의 적용

4.1 유역현황

개발된 시스템의 적용대상인 금강유역은 유역면적이 9,897km²인 대규모 유역으로 본류의 유로연장은 396km 정도이다. 유역 내 주요 지류는 상류로부터 남대천, 봉황천, 송천, 갑천, 미호천, 유구천, 지천, 논산천 등이 있으나, 미호천을 제외한 유역들은 본류 면적의 3~6% 정도밖에 되지 않는 소하천들이다. 금강유역 내 주요 수리시설물로는 중·상류의 대청 및 용담 다목적댐과 농업용수댐 3개소, 하구둑 1개소 등이 있다.

유역 물관리 운영 기술 개발을 위한 금강유역의 소유역은 한국수자원공사에서 제작한 수자원단위지도의 소유역 분할과 장기용수공급 측면, 유역종합개발계획 측면 및 방재종합 대책 측면을 종합적으로 고려하여 하천 본류의 주요 유출 제어지점을 기준으로 구분하였다. 특히, 유역 전체를 일괄적으로 분석할 경우 지역별 용수수급 상황을 파악하는데 어려움이 있어 유역의 효

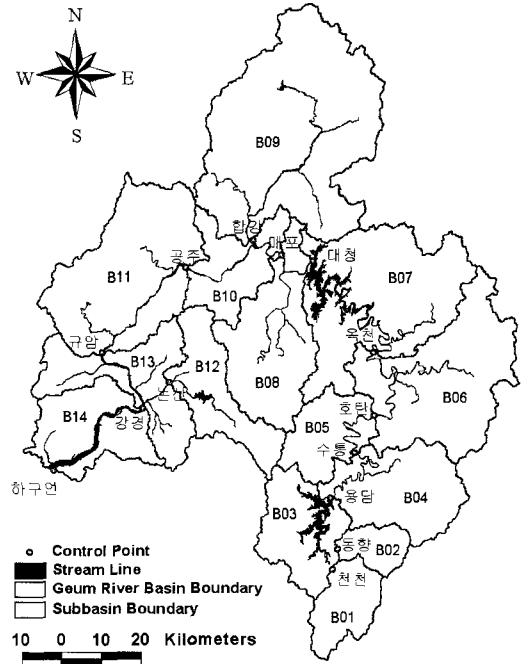


그림 4. 금강 유역도

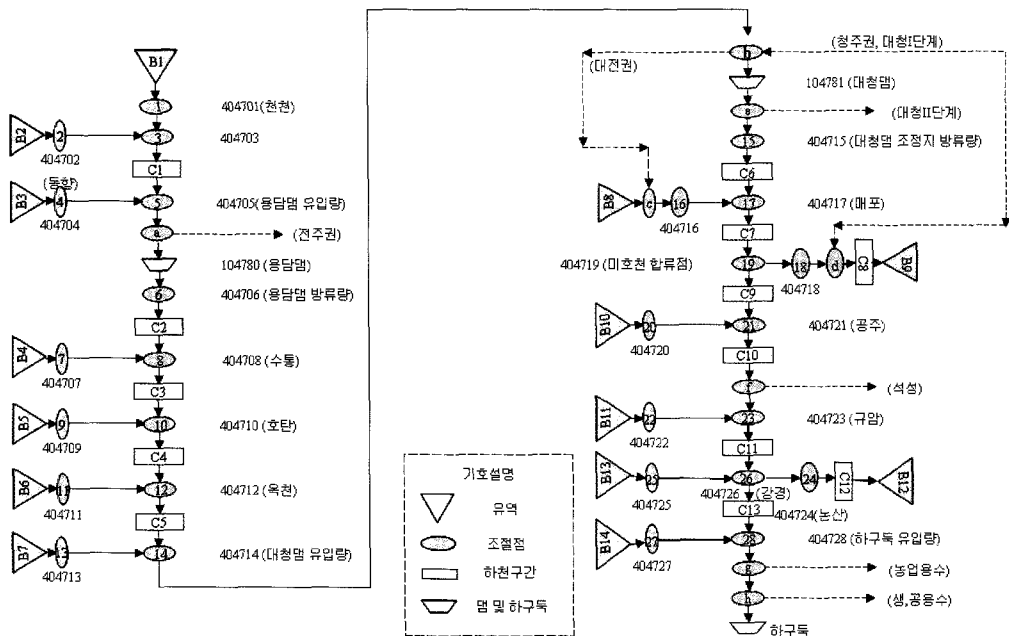


그림 5. 유출모식도

울적인 용수수급계획을 설정할 수 있도록 다목적 댐, 분류 및 지류의 주요 수위표지점 등을 기준으로 소유역을 그림 4와 같이 구분함으로써 기존의 각 댐들에 의해 공급받고 있는 소유역의 물부족 특성들을 충분히 파악할 수 있도록 하였다. 그림 5는 유출모식도를 나타낸 것이다.

4.2 매개변수 보정 및 검증

RRFS 매개변수 보정과 검증은 금강유역 내에 위치하고 있는 주요 지점인 용담댐, 대청댐 그리고 공주에서 관측된 유량자료와의 비교·분석을 통해 수행되었다. RRFS에서 사용되는 매개변수는 1983년 1월 1일부터 2005년 12월 31일까지 22개년 기간 동안의 수문자료를 이용하여 보정되었으며, 이를 통해 2006년 1월부터 12월까지의 일유출량에 대해 검증을 수행하였다.

그림 6-8은 2006년 검증기간에 대해 세 지점에서 관측된 일유출량과 모의된 유출량과의 비교를 나타낸 것이며, 표 1은 이들 비교에 대한 통계학적 분석결과를

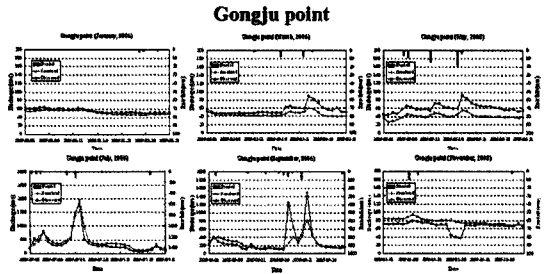


그림 8. RRFS를 통한 유출검증 결과 (공주)

나타낸 것이다. 그림과 표에서 나타나 있듯이 세 지점에서 모의된 일유출량과 관측된 일유출량의 시간적 변화의 경향은 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났으며, 관측된 유출량과 모의된 유출량 사이의 월평균제곱근 오차는 용담댐의 경우 34.9m³/s, 대청댐의 경우 44.1m³/s 그리고 공주지점의 경우 50.1m³/s로, 모의된 유출량은 관측된 유출량에 근접하는 것으로 나타났다.

4.3 ESP 기법에 의한 유출예측

RRFS에서 장기 강우예측의 불확실성을 고려하기 위해 확률론적 유출량 예측 방법인 ESP(Ensemble Streamflow Prediction) 기법이 사용된다. ESP는 현재의 강설, 토양수분, 하천이나 저수지의 조건과 과거 기상자료를 이용하여 장래의 하천유량을 예측하는 기법이다.

유역유출예측시스템 내에 구현되어 있는 장기간 유출예측기법으로는 통상적 기법에 해당하는 지점별 과거 실측 월평균 유출량, ESP 기법에 의한 유출예측, ESP기법을 보완하기 위해 적용된 기상전망을 고려한 ESP 기법 그리고 강수진단모형으로부터 예측된 수치자료를 이용한 유출예측기법이 있다. 기상전망을 고려한 ESP 기법의 경우 기상청에서 제공하는 1개월, 3개월 그리고 6개월 단위로 기상전망을 제공하는 자료를 분석한 후 ESP 확률을 결정하여 유출예측을 수행하고 있다.

그림 9-11은 2006년 1월부터 8월까지 금강유역 주

Yongdam dam point

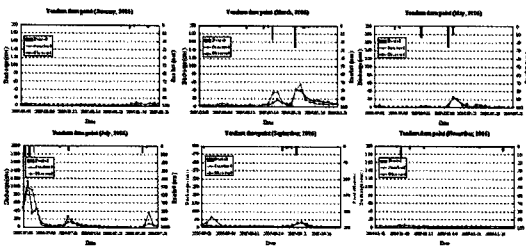


그림 6. RRFS를 통한 유출검증 결과 (용담댐)

Daecheong dam point

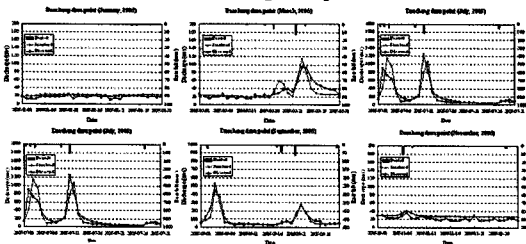


그림 7. RRFS를 통한 유출검증 결과 (대청댐)

표 1. RRFs를 통한 유출검증의 통계학적 분석 결과월용담댐대청댐공주RMSE유출량

월		용담댐		대청댐		공주	
		RMSE	유출량(m ³ /s)	RMSE	유출량(m ³ /s)	RMSE	유출량(m ³ /s)
1	관측	3.8	34.9	5.6	574.8	4.3	1733.3
	모의		137.3		717.9		1609.4
2	관측	8.4	119.6	19.0	610.4	7.0	1525.9
	모의		226.5		848.3		1449.7
3	관측	7.2	283.4	12.4	1054.6	12.2	1737.2
	모의		338.4		1002.7		1420.6
4	관측	3.2	242.6	9.6	998.8	10.4	1760.1
	모의		207.7		806.9		1473.4
5	관측	2.3	122.8	8.4	691.0	20.7	1895.0
	모의		100.3		474.2		1276.1
6	관측	12.8	463.7	16.9	1309.3	30.1	2919.9
	모의		591.5		1495.6		2267.5
7	관측	120.2	3966.7	161.6	7608.8	130.9	11864.9
	모의		3797.7		7096.5		14139.0
8	관측	238.4	3658.8	231.8	11156.1	100.7	12374.0
	모의		3101.4		11182.9		13393.0
9	관측	12.5	396.6	32.9	2953.0	228.5	9188.6
	모의		294.6		2911.2		8188.0
10	관측	3.6	74.3	16.9	1106.2	35.1	3261.4
	모의		176.2		1381.7		3920.3
11	관측	3.7	30.0	7.8	661.5	14.8	2045.4
	모의		135.3		865.3		2369.7
12	관측	3.7	18.8	6.6	523.7	5.9	2029.7
	모의		129.5		678.0		2041.6
평균		34.9		44.1		50.1	

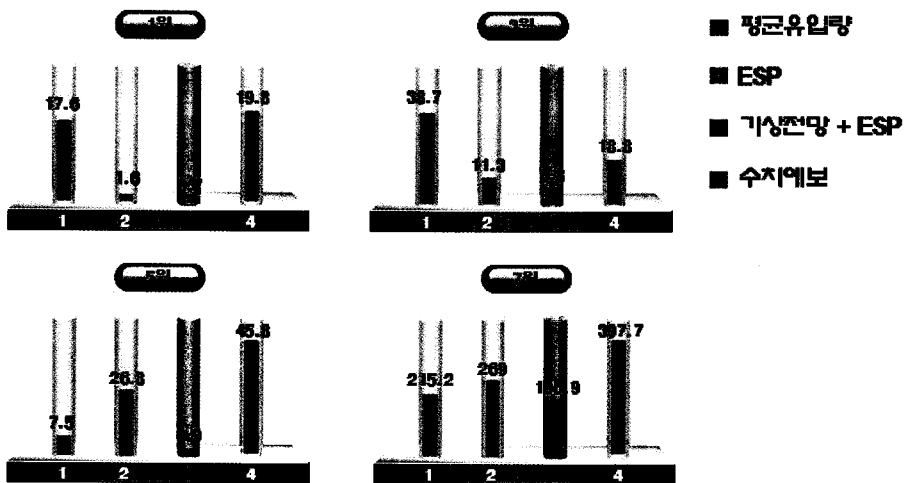


그림 9. 용담댐 지점에 대한 기법별 유출예측 비교결과

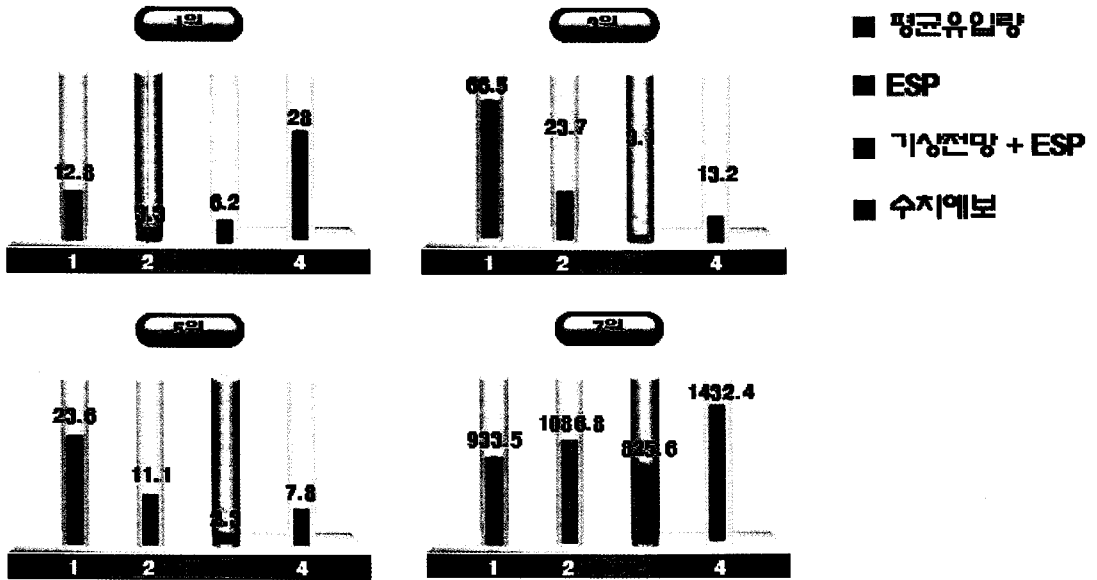


그림 10. 대청댐 지점에 대한 기법별 유출예측 비교결과

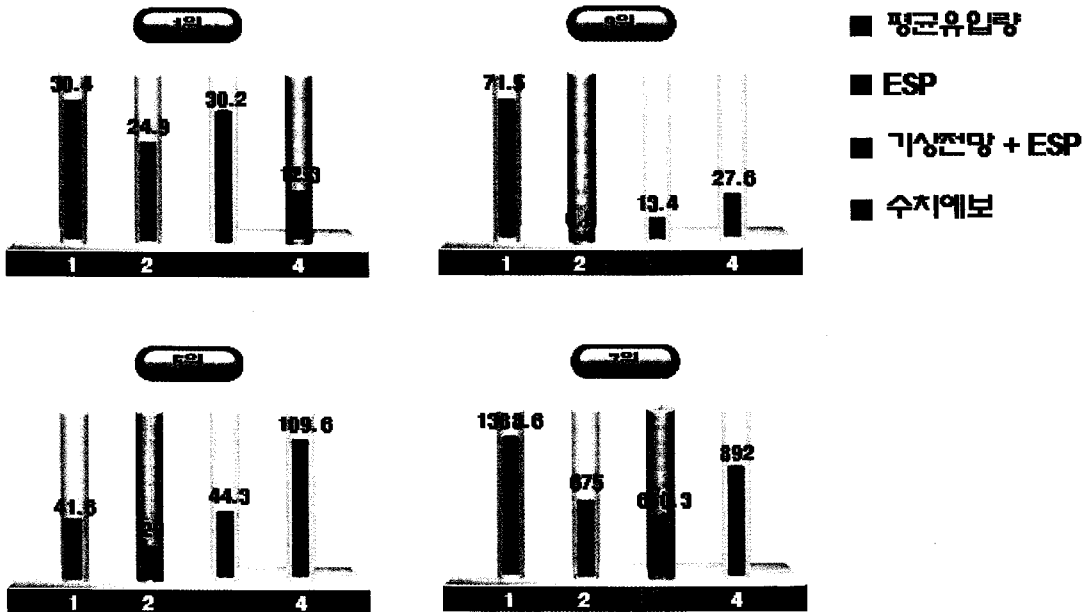


그림 11. 공주지점에 대한 기법별 유출예측 비교결과

요 지점(용담댐, 대청댐, 공주)에 대해 예측된 기법별 월유출량 모의결과와 관측결과와의 오차를 비교한 것이다. 비교 결과 기상전망을 고려한 ESP 기법으로부터 예측된 유출량이 다른 기법에 비해 비교적 우수한 것으로 나타났다. 본 기법을 적용시 유출예측의 정확도가 통상적인 방법인 과거 실측 월평균 유출량보다 약 55%정도 향상되는 것으로 나타났다.

5. 결론 및 향후 활용

한국수자원공사 수자원연구원에서 개발한 유역유출예측시스템 (RRFS: Rainfall - Runoff Forecasting System)의 개요와 금강유역 적용사례를 기술하였다. 구축 중인 유역통합물관리 의사결정지원시스템 중 유역유출모듈에 해당하는 본 시스템은 해당 유역의 수문 자료 이외에 실제 용수이용실적에 대한 자료를 이용하여 강우-유출분석을 수행함으로써 보다 현실적인 유출 예측이 가능하다. 또한 이 시스템을 이용하는 사용자의 욕구를 최대한 반영하여 사용자 편의 중심의 GUI 운영 환경에서 입력 자료의 수정을 용이하게 하였으며, 유출 모의나 예측에 대한 다양한 분석 결과를 보다 쉽게 이해할 수 있도록 구성하였다.

개발된 시스템은 금강유역에의 적용을 통해 그 활용성을 검증하였으며, 유역 관리 및 댐 운영자가 유역 내의 이·치수관리 및 용수수급과 같은 통합적이고 효율적인 물 관리를 구현할 수 있도록 신뢰성 있는 기초 자료와 예측정보를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

프론티어 연구개발 사업 3단계 과업을 통하여 이 유출예측시스템의 완성도를 세계적 수준으로 높이려면 선진국 물관리 기관의 유사한 연구개발그룹과의 교류, 지속적인 국내·외 유역 현장적용을 통한 피드백을 반영한 시스템 기능 보강과 활용성 검증 노력이 필요하다. 그동안 금강유역을 대상으로 구축된 RRFS 연구개발 경험이 이미 한강유역과 낙동강유역으로 시

스템 구축과 시험적용이 확산되고 있으며, 더 나아가 인도네시아와 캄보디아 등 동남아시아 지역 국가들의 하천유역관리 및 수자원 계획 프로젝트 수행과 기술지원에도 적극 활용될 예정이다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술 개발사업단(과제번호:1-6-3)의 연구비 지원에 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.
- 고익환, 정세웅 (2002). "통합수자원관리 기반기술 구축방안(I) 선진국의 하천유역 통합물관리 기술개발 동향", 한국수자원학회 학회지, 제35권, 6호, pp.61-70.
- 고익환, 정세웅 (2002). "통합수자원관리 기반기술 구축방안(II) 우리나라의 하천유역 통합물관리 기반기술 구축방안", 한국수자원학회 학회지, 제35권, 6호, pp.71-78.
- 고익환 (2004). "유역 통합 수자원 관리 기술개발", 한국수자원학회 학회지, 제37권, 3호, pp.10-15.
- 김진훈, 배덕효 (2006). "한강유역 한강유출량 산정", 한국수자원학회 논문집, 제39권2호, pp.151-160. ☞