

유역의 수자원 관리를 위한 유역 유출 예측 시스템(RRFS)의 개발

Development of Rainfall-Runoff Forecasting System (RRFS) for Water Resources Management in a Basin

정우창 *, 류경식**, 황만하***
Woo Chang Jeong, Kyong Sik Ryoo, Man Ha Hwang

요 지

유역 유출 예측 시스템 (Rainfall Runoff Forecasting System, RRFS)는 유역의 강우-유출 관계의 정성적 및 정량적 분석을 위한 도구로서 개발되었다. RRFS는 다음과 같이 4가지 주요 모듈로 구성되어 있다: 1) 실시간 수문학적 입력자료 구축 모듈, 2) 예측된 기상학적 자료에 근거하여 단기간 용수 수요와 공급을 제공하기 위한 유출 모의와 예측 모듈, 3) 저수지 운영에 있어 장기간의 용수공급을 설정하기 위한 유출예측 모듈 그리고 4) 유출 모의와 예측의 결과에 대한 그래픽 처리 모듈

본 연구에서 개발된 RRFS의 보정과 검증은 금강유역에의 적용을 통해 수행되었으며, 적용된 결과 금강 유역의 수자원 현황 파악 및 용수공급의 전망을 설정하는데 있어 매우 만족스러운 결과를 보여주었다. 따라서 유역의 수자원 이용 및 공급 계획의 수립에 필요한 다양한 유출 정보를 제공하는 효율적인 도구로서 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 유역 유출 예측 시스템, 저수지 운영, 금강유역

1. 서 론

지난 십수년 동안 빈번하고 혹독한 가뭄과 홍수, 물 이용자 간의 갈등, 오염으로 인한 생태계 파괴와 같은 물과 관련된 문제는 정부와 지역 주민들에게 심각한 부담을 안겨주었다. 이러한 문제를 해결하기 위한 일련의 방편으로 댐과 같은 기존의 수자원 시설물의 보다 효율적이고 지속적인 운영을 위해 유역 규모에서의 통합 수자원 관리(Integrated Water Resources Management, IWRM)를 위한 진보된 도구가 요구된다(Ko and Chung, 2002).

이러한 기술적 필요성에 부합하기 위해 실시간 통합 물 관리 시스템(Integrated Real-time Water Management System, IRWMS)이 국책과제인 21세기 프론티어 사업의 일환으로 2001년부터 개발되어 왔다. IRWMS의 개발 목적은 지표수, 지하수뿐만 아니라 수량과 수질을 동시에 고려하는 유역 규모의 통합 물 관리를 위한 기반 기술을 개발하는 것이다. 본 시스템은 다음과 같은 네 가지 서브 시스템으로 구성되어 있다: 1) 유역 유출 예측 시스템 (Rainfall-Runoff Forecasting System, RRFS), 2) 실시간 통합 수자원 정보 시스템, 3) 저수지 운영을 위한 모의 및 최적화 시스템, 그리고 4) 정상 및 비정상 하천 수질 예측 시스템.

본 논문에서는 이러한 서브시스템들 중에서 유역 유출 예측 시스템(RRFS)의 개발에 대해 소개하고자 한다. RRFS의 주요 기능은 단기간 동안의 물 공급 계획을 수립하기 위해 그리고 생활, 공업 그리고 농업용수와 같은 각종 용수수요의 다양한 패턴을 반영함에 의해 정략적으로 이용 가능한 수자원을 평가하기 위해 유역 내에 시공간적으로 발생된 유출을 수문학적 유출성분으로 분류하는 것이며, 또한 저수지 운영에 있어 장래 물 공급 계획을 수립하기 위해 한달 이상의 장기간 동안 예측된 유출 자료를 제공하는 것이다.

* 정회원, 한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원 ·E-mail: jeongwc@kwater.or.kr

** 정회원, 한국수자원공사 수자원연구원 공동연구원 ·E-mail: ksryoo@chungbuk.ac.kr

*** 정회원, 한국수자원공사 수자원연구원 수석연구원 ·E-mail: mnhhwang@kwater.or.kr

2. 유역 유출 예측 시스템(RRFS)의 개발

그림 1은 유역 유출 예측 시스템인 RRFS의 대략적인 개발 과정을 나타낸 것이다. RRFS는 유역 내 주요 지점에서의 지표수, 지하수 그리고 회귀수 등을 포함하는 월별 그리고 일별 유출 성분을 계산하기 위해 개발되었으며, 수문기상학적 정보 시스템과 연계하여 월별 유출량 예측을 위해 사용될 수 있다. 본 시스템에서 단기간의 용수수요 예측 기법은 생활, 공업 그리고 농업용수등 각종 용수이용의 패턴을 고려하기 위해 개발되었다. 각각의 소유역에서 이용 가능한 물의 양은 공급된 그리고 예측된 용수수요량 사이의 물 수지 분석에 근거하여 평가된다.

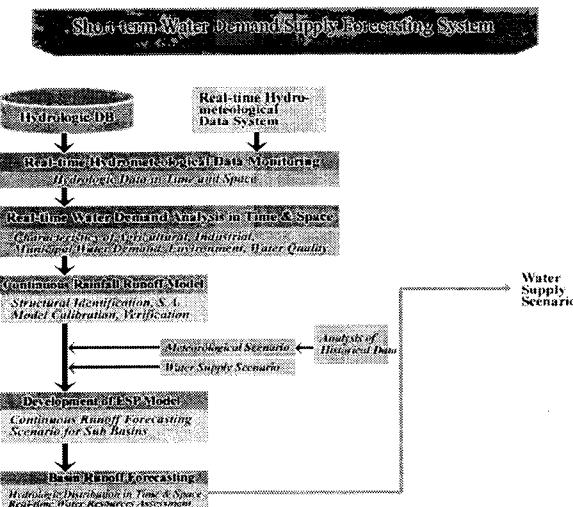


그림 1. RRFS의 개발 과정

또한 RRFS는 10일 이상의 단기간 물 수요 및 공급에 대한 자료를 제공함에 의해 효율적인 수자원 이용에 적용될 수 있다. 유출분석모형의 지속적인 실행을 위해 실시간 수문기상학적 자료 모니터링 시스템이 주요 지점에서의 취수량 및 하천 유량과 같은 수문학적 정보를 얻기 위해 개발되었다. 그 밖에 Ensemble Streamflow Prediction(ESP) 기법이 장래 물 공급 등의 의사결정에 있어서의 위험성 그리고 장기간 수문기상학적 정보의 불확실성을 고려하기 위해 RRFS 내에 적용되었다.

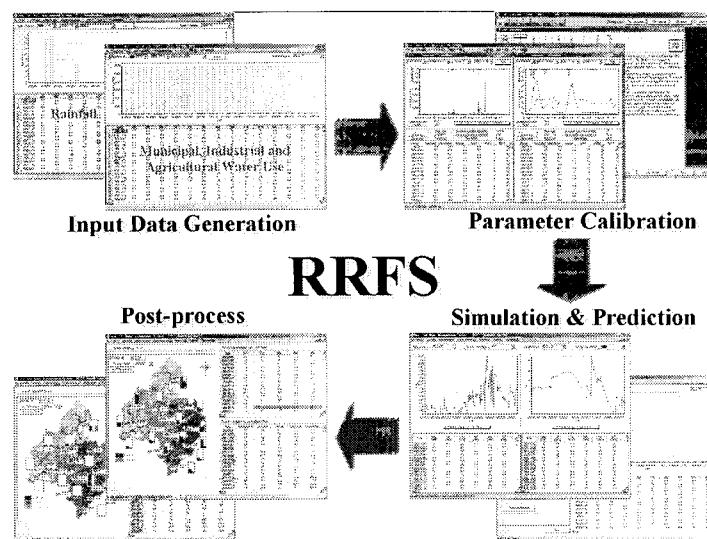


그림 2. RRFS의 주요 구성 및 운영 단계

그림 2는 RRFS의 주요 구성 및 운영 단계를 나타낸 것이다. 첫 번째 단계는 강우량, 온도, 각종 용수, 취수량 그리고 댐 방류량을 포함하는 다양한 수문학적 입력 자료의 구축이다. 이러한 입력 자료의 구축이 끝나고 나면 대상 유역의 강우-유출 관계를 특성 짓는 다양한 매개변수가 입력되며, 이러한 매개변수는 계산된 유출결과와 관측된 유출결과의 비교를 통해 보정된다. 매개변수 보정 이후 다양한 수문학적 시나리오에 따라 장래 수자원의 변화 양상을 조사하기 위해 유출모의와 예측이 수행된다. 이러한 결과들은 유역별 그리고 주요 지점별로 그래프 및 다양한 표를 통해 확인할 수 있다.

3. RRFS의 적용

3.1 금강유역의 개요

본 연구의 대상유역은 신뢰성 높은 수문자료를 획득하기 위해 다년간 유역정밀조사와 현장조사를 실시한 바 있는 금강유역을 대상으로 하였으며, 유역면적이 $9,835.3\text{km}^2$ 이며, 유로연장은 395.9km 로 한강과 낙동강 유역 다음으로 세 번째로 큰 유역이다. 본 연구에서는 금강유역을 총 14개의 소유역으로 구분하였으며, 소유역 분할도 및 유출모의 구성체계는 그림 3과 그림 4와 같다.

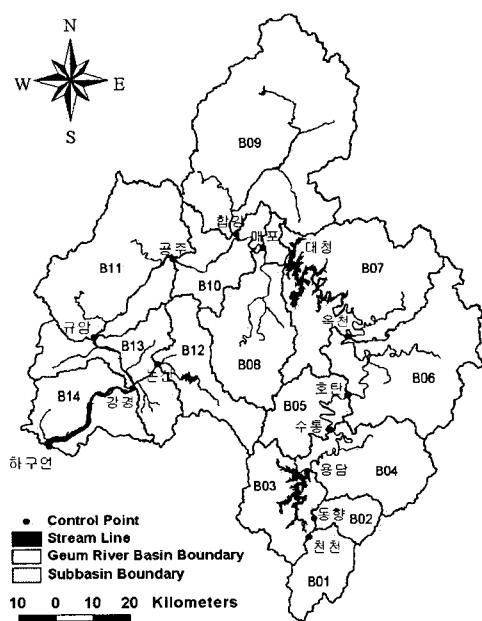


그림 3. 금강유역 소유역 분할도

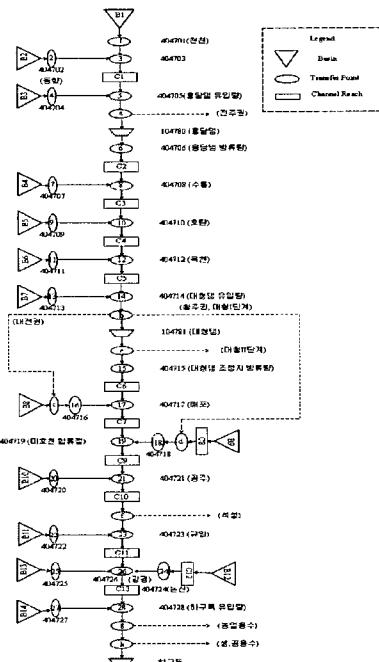


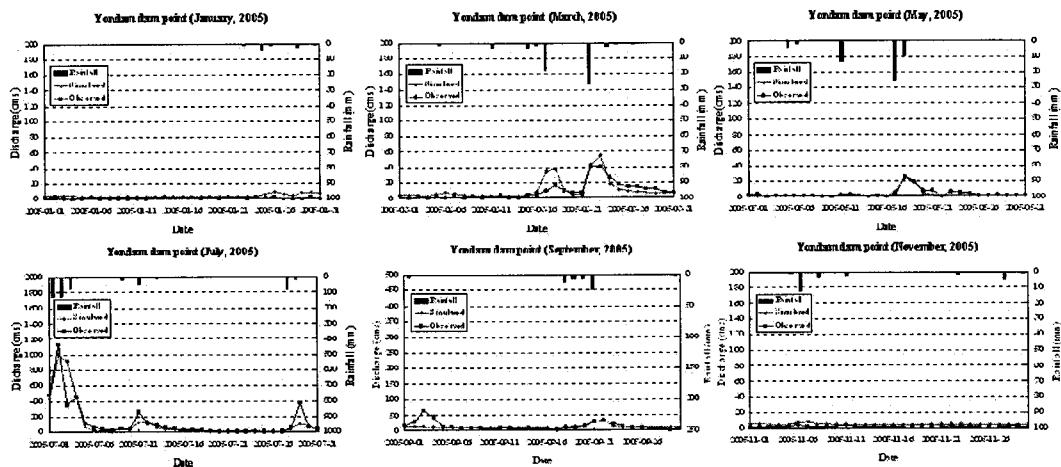
그림 4. 금강유역 유출모식도

3.2 RRFS의 보정과 검증

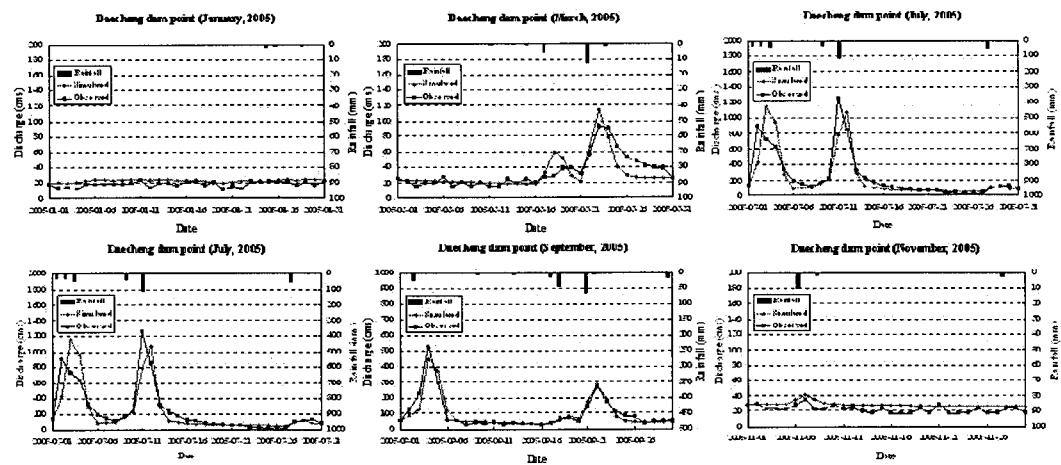
RRFS의 보정과 검증은 금강 유역 내의 세 개의 주요 지점(용담댐, 대청댐, 공주)에서 측정된 유출량 자료와의 비교를 통해 수행되었다. 본 연구에서 사용된 매개변수의 보정은 1983년 1월 1일부터 2004년 12월 31일까지의 21개년 기간 동안에 대해 수행되었으며, 보정된 매개변수는 2005년에 얻어진 수문학적 자료를 이용하여 검증하였다.

그림 5는 2005년의 검증기간에 동안 세 개의 주요 지점에서 모의된 그리고 관측된 일별 유출량 사이의 비교를 나타낸 것이며, 표 1은 오차와 통계학적 분석으로 얻어진 결과를 요약한 것이다. 그림에서 보듯이 모의된 유출량은 관측된 유출량과 비교적 좋은 일치를 나타내고 있다. 또한 월별 평균제곱오차(RMSE)의 평균 값은 용담댐 지점에 대해 34.9CMS 이며, 대청댐 지점에 대해 44.1CMS 그리고 공주지점에 대해 50.1CMS 로 산정되어 비교적 만족스러운 결과를 나타내었다.

Yongdam dam point



Daecheong dam point



Gongju point

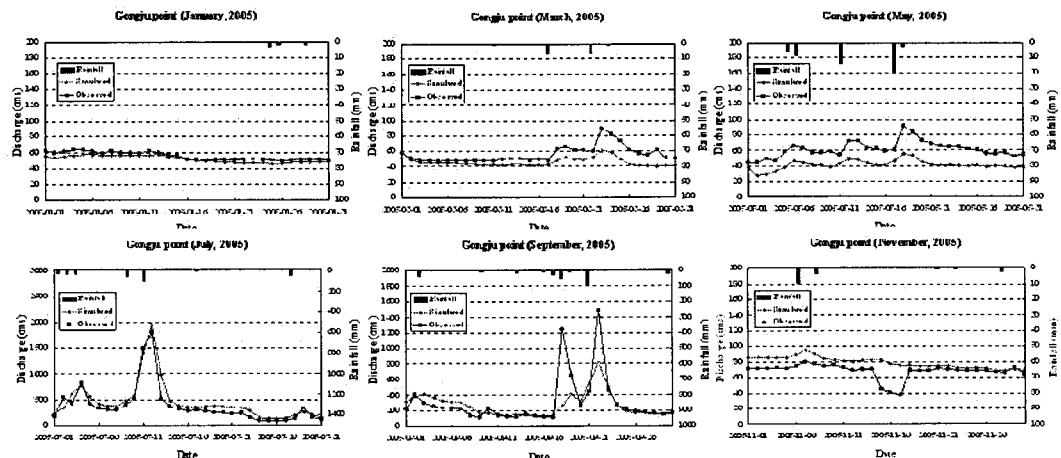


그림 5. 세 개의 주요 지점에서 2005년 모의된 그리고 관측된 월별 유출량과의 비교

표 1. 세 개의 주요 지점에 대한 모의된 그리고 관측된 유출량과의 오차분석

월		용담댐 지점		대청댐 지점		공주지점	
		RMSE	총유출량 (CMS)	RMSE	총유출량 (CMS)	RMSE	총유출량 (CMS)
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	

3.3 RRFS를 통한 유출 예측

RRFS에서 적용된 1개월 이상의 장기간 유출 예측을 위한 주요 기법은 ESP(Ensemble Streamflow Prediction)이다. 본 기법은 예측시점의 적설량, 토양함수, 하천의 수위, 습도 등 유역의 상태를 나타내는 초기 조건과 확률적 대표성을 갖는 장래에 재현 가능한 과거 기상자료를 결합하여 확률론적 예측이 가능한 기법이다(김진훈과 배덕효, 2006). 즉 ESP 기법을 통한 유출량 예측은 강우-유출모형에 장래에 발생할 가능성이 있는 모든 강우 시나리오를 입력하여 그 결과물로 다수의 유출량 시나리오를 얻을 수 있으며, 유출모형의 초기조건은 예측하는 시점에 따라 변하므로 동일한 강우 양상불을 사용한다 하더라도 대상 유역의 토양함수비, 기온, 습도 등과 같은 초기조건에 따라 유출량 양상불이 서로 다르게 생성되며, 이런 이유로 해서 조건부 Monte Carlo 모의로 간주되기도 한다(정대일, 2002).

본 연구에서 유출예측을 위해 사용된 ESP 확률값은 2003년부터 2005년까지의 3개년동안 측정된 월유출량 자료의 통계학적 분석에 의해 결정되었다. ESP 기법에 의해 예측된 유출의 정확도를 개선시키기 위해 기상청에서 제공하는 기상전망을 ESP 기법에 결합하였으며, 이에 따른 ESP 확률값을 결정하였다. ESP 기법과 기상전망을 고려한 ESP 기법으로부터 예측된 월별 유출량의 검증은 2006년 1월부터 8월까지 8개월에 대해 수행되었다. 예측된 유출량은 통상적인 기법에 해당되는 1983년부터 2005년까지의 23개년 동안의 월유출량 평균에 의한 유출예측과 수치강우량자료를 이용한 유출예측 결과와 비교하였다. 그럼 6은 네 가지 유출예측 기법에 의한 유출예측결과와 관측된 유출량을 대청댐 지점(좌)과 공주지점(우)에 대해 비교한 것이다. 대청댐의 경우 1월을 제외하고는 기상전망을 고려한 ESP 기법으로부터의 유출예측결과가 가장 우수하였으며, 공주지점에 대해서도 비슷한 결과가 나왔다. 이러한 비교분석으로부터 기상전망을 고려한 ESP 기법이 통상적인 기법에 비해 약 50%의 유출예측 개선효과를 나타내었다.

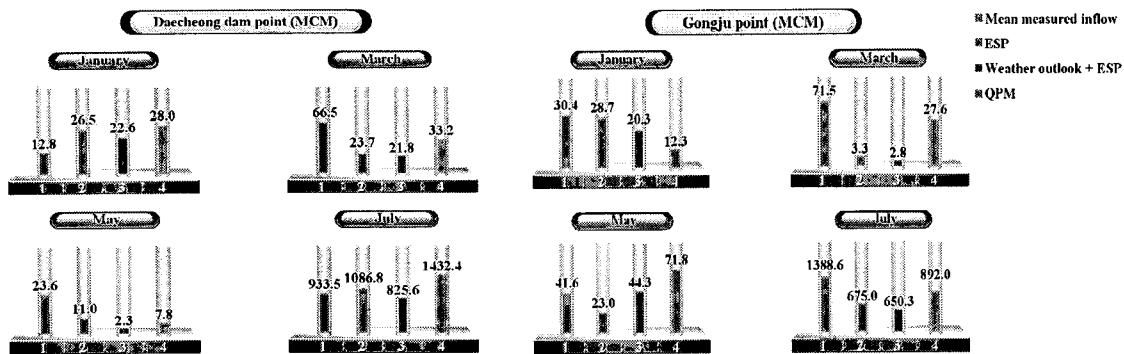


그림 6. 네 가지 기법을 통한 예측된 유출량과 관측된 유출량과의 오차 비교

4. 결 론

본 논문에서는 프론티어 사업의 일환으로 개발된 효율적인 수자원 관리를 위한 정량적이고 정성적인 유출분석을 위한 유역 유출 예측 시스템(RRFS)에 대해 기술하였다. 개발된 시스템은 본 사업의 대표유역인 금강유역에의 적용을 통해 보정 및 검증되었다. 적용결과 RRFS는 유역에서의 강우-유출 관계를 분석하는데 효과적으로 이용될 수 있으며, 저수지 운영과 연계하여 장래 물 공급에 대한 계획을 수립하는데 필요한 유출 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

감 사 의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술 개발사업단의 연구비지원(과제번호: 1-6-2)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 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.
2. 김진훈과 배덕효 (2006), “한강유역 한강유출량 산정”, 한국수자원학회 논문집, 제39권2호, pp.151-160.