

# RRFS 모형을 이용한 자연유량산정

## Estimation of Naturalized Streamflow using RRFS Model

류경식\*, 황만하\*\*, 고익환\*\*\*

Kyong Sik Ryo, Man Ha Hwang, Ick Hwan Ko

### 요 지

수자원장기종합계획 보고서 및 저수지운영상에서는 실측을 통해 자연유량을 산정하지 않고 간접적인 방법인 강우-유출모형을 이용하여 자연유량을 산정하고 있다. 그러나 일반적인 강우-유출모형의 검증은 인위적인 영향이 적을 것이라 판단되는 일부 특정지역을 대상으로 실시하며 이에 대한 결과를 전 유역에 동일하게 반영하였기 때문에 금강유역과 같은 대유역에서는 각 소유역별 유출특성이 반영되지 못하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 모형의 안정성 고취를 위해 모형외적으로 강우, 생·공·농업용수 이용량 및 관측유량자료 등의 기본 수문자료에 대한 검·보정을 실시하였으며 모형내적으로는 적정매개변수의 선정을 위해서 토양습윤상태별 유출율, 침투량별 지하수 유입률, 지표수와 복류수 분리 등을 반복적인 수행과정을 걸쳐 적절한 매개변수를 산정하였으며 RRFS모형에 의한 일별 유출량산정 결과를 비교분석을 실시하여 모의유량의 신뢰도를 고취시킨 후 인위적인 요소를 모두 배제시켜 자연상태의 유출량인 자연유량을 산정하고자 한다.

**핵심용어 : 자연유량, RRFS모형, 강우유출모형, 유출특성**

### 1. 서론

우리나라는 건설교통부, 한국수자원공사 등에서 많은 수위 관측소를 운영하고 있으나 갈수기에 적용할 수 있는 수위-유량 관계곡선의 부족으로 갈수량 자료를 획득할 수 있는 지점들은 많지 않은 실정이다. 또한 댐과 같은 지속적인 유역내 수자원 개발로 인하여 대부분의 본류 하천유량은 인위적으로 조절되고 있으므로 본류 지점들에서 직접적인 자연상태의 유출량을 얻는 것은 거의 불가능한 실정이다. 따라서 수자원장기종합계획 보고서 및 저수지운영상에서는 실측을 통해 자연유량을 산정하지 않고 간접적인 방법인 강우-유출모형을 이용하여 자연유량을 산정하고 있다. 그러나 일반적인 강우-유출모형의 검증은 인위적인 영향이 적을 것이라 판단되는 일부 특정지역을 대상으로 실시하며 이에 대한 결과를 전 유역에 동일하게 반영하였기 때문에 금강유역과 같은 대유역에서는 각 소유역별 유출특성이 반영되지 못하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 물 이용량(생활용수, 공업용수, 농업용수)을 고려하는 유역유출모의기능, 유역 내 수문학적 유출성분별(직접유출, 기저유출 등) 유출량 산출 기능, 댐 등 수리시설물의 공급량 변화에 따른 하류유황 모의기능, 주요 제어지점에서의 이용 용수별 물수급 평가 기능 등이 반영된 모의유량을 RRFS모형을 통해 산정하고 이의 결과를 대표지점에서 실측유량과 비교검증한 후, 인위적인 요소(생·공·농업용수량, 댐취수량 및 댐방류량 등)를 모의유량에서 모두 배제시켜 자연상태의 유출량을 산정하고자 한다.

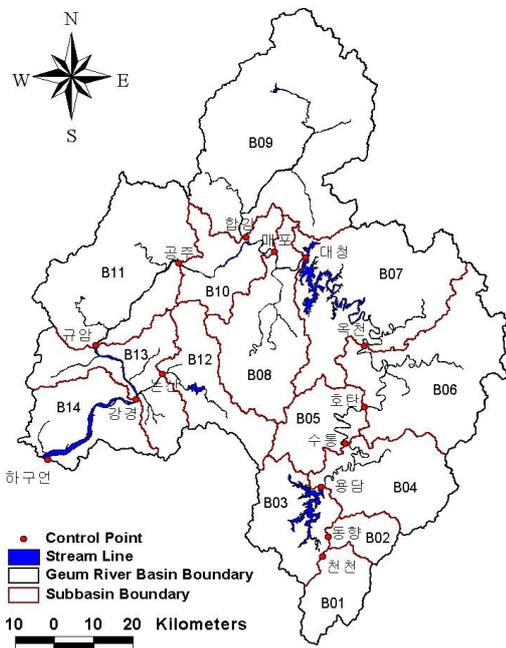
### 2. 대상유역 및 유출모의구성체계

본 연구의 적용유역은 총 14개의 소유역으로 구분한 금강수계이며, 이에 대한 소유역 분할도 및 유출모의 구성체계는 <그림 1> 및 <그림 2>와 같다.

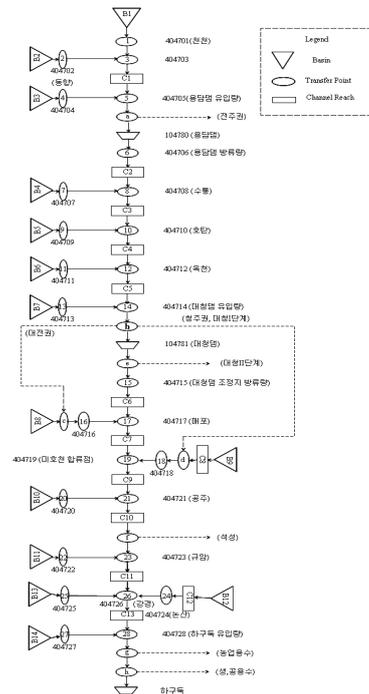
\* 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 위촉연구원 · E-mail : ksyoo@chungbuk.ac.kr

\*\* 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 수석연구원 · E-mail : hwangmh@kowaco.or.kr

\*\*\* 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 소장 · E-mail : ihko@kowaco.or.kr



<그림 1> 금강유역 소유역 분할도



<그림 2> 금강유역 유출 모의 구성도

### 3. 기본자료 수집 및 보정

본 연구에서는 자연유출량 산정을 위해 금강 유역내 14개 소유역에 대한 일 강수량, 관측유량, 생·공·농업 용수 계획 이용량, 취수량, 댐 유입량, 댐 방류량 및 온도 등을 수집하였다. 수집된 실측자료중 강수량, 관측 유량 및 용수 이용량 자료에 대해서는 결측 및 이상치에 대한 검증 및 보정을 실시하였다.

#### 3.1 강수량

금강유역내에는 건설교통부, 한국수자원공사, 기상청 및 농업기반공사 등에서 관할하는 강우관측소가 2004년 현재 총 74개소가 있다. 본 연구에서는 이들 강우관측소중 관측기록이 대체로 양호한 지점을 대상으로 1983~1988년은 37개소, 1989~1992년은 45개소, 1993년은 39개소, 1994~1995년은 40개소, 1996~1999년은 41개소, 2000년 이후는 53개소의 강우 관측소를 선별하여 해당 관측소의 일 강수량 자료를 이용하였다. 상기한 총 74개 기상관측소의 일강수량 자료에 대해 신뢰성 검증을 실시하였으며, 그 결과 장·단기에 걸쳐서 결측자료가 발생하거나 신뢰성에 의문이 생기는 강수량자료가 발생되어 이에 대한 보정을 강수량 보정기법인 RDS방법을 통해 실시하였다.

#### 3.2 용수이용량

지금까지 산정되었던 용수 수요량은 수자원 장기종합계획, 각종 댐 및 수원공 개발계획 등에서 원단위법, 시계열 예측법 및 인과형 예측법 등을 이용하여 산정한 것으로 생·공용수에 대해서는 모두 근사한 값을 제시하고 있지만 기상에 직접적인 영향을 받는 농업용수에 대해서는 근사 추정치를 제시하지 못하고 있는 실정이다. 따라서 본 과제에서는 계획된 용수이용량의 재검토와 함께 관측유량을 적절하게 묘사할 수 있도록 운영차원의 용수이용량으로 보정하였다.

용수이용량은 용수이용패턴에 따라 크게 생·공용수 이용량과 농업용수 이용량으로 구분된다. 생·공용수량은 연중 큰 편차 없이 일정량이 이용되며 또한 대체로 대규모의 수리시설물인 댐 등에 의해 공급되어지기

때문에 수량과와 및 관리가 잘 이루어지는 편이다. 그러나 농업용수는 농번기인 4월~9월에 집중적으로 이용되어지고 그 외 10월~익년 3월까지는 거의 이용되어지지 않고 있으며, 이용기간에 대해서도 편차가 크게 나타나는 등 실제 이용되고 있는 수량에 대한 파악이 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 계획 용수이용량의 보정을 위해 우선적으로 보다 신뢰성 있는 생·공용수 이용량에 대해 보정을 실시하였으며 보정을 위한 적용기간은 농업용수가 이용되지 않는 10월~익년 3월 기간을 대상으로 하였다. 또한 농업용수 이용량 보정은 생·공용수 이용량 보정이 실시된 후 4월~9월 기간에 대해 보정하도록 하였다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 수문자료 보정결과

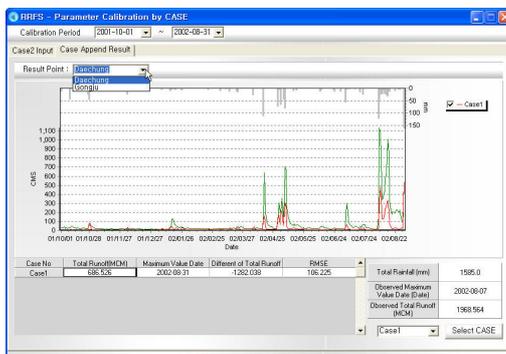
본 연구에서는 우선 기초수문자료들에 대한 보정을 실시한 후 모형을 통해 대표지점에 대한 모의유량을 산정하였고, 이를 해당지점의 실측유량과 비교·분석하였다. 표본 예로 공주지점에 대한 2002년 1월 1일부터 2002년 12월 31일까지의 모의유량과 실측유량을 비교분석한 결과는 <그림 3>과 같다. <그림 3>에서 보는 바와 같이 이상강우는 삭제되고 결측강우는 생성되어 실측 및 모의유량이 서로 유사한 유출패턴을 보여주고 있다. 따라서 수문자료의 보정에 의해 RRFs모형을 통한 유출량 자료의 신뢰도를 확보할 수 있었다.



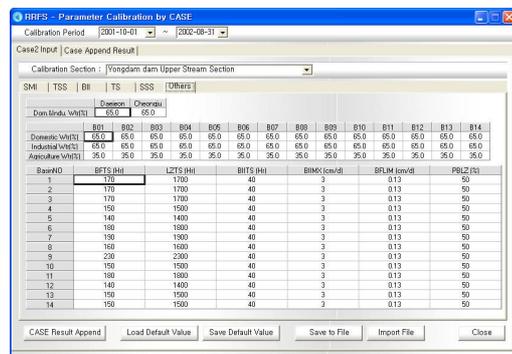
<그림 3> 수문자료 보정결과

### 4.2 모형의 적정매개변수 산정결과

모형을 통한 자연유량산정시 가장 우선적으로 확보되어야할 사항으로 모형의 안정성이다. 따라서 본 과제에서는 모형의 안정성 고취를 위해 모형의적으로 강우, 생·공·농업용수 이용량 및 관측유량자료 등의 기본 수문자료에 대한 검·보정을 실시하였다. 또한 모형내적으로는 적정매개변수의 선정을 위해서 토양습윤상태별 유출율(SMI-ROP), 침투량별 지하수 유입률(BII-BFP), 지표수와 복류수 분리(S-SS), 최대 BII(BIIMX)와 최대 지하수 유출율(BFLIM), BII의 저류시간(BITS), 지하수 중 회귀지하수가 차지하는 비율(PBLZ) 및 이의 최대값(DGWLIM), 유역추적 매개변수, 하도추적 매개변수 등을 반복적인 수행과정을 걸쳐 모형에 의한 모의유량이 실측유량을 적정하게 구현할 수 있도록 산정하였다. <그림 4> 및 <그림 5>는 RRFs모형에서의 매개변수 보정결과를 비교 검토하여 최종적인 적정매개변수를 산정한 결과를 보여주고 있다.



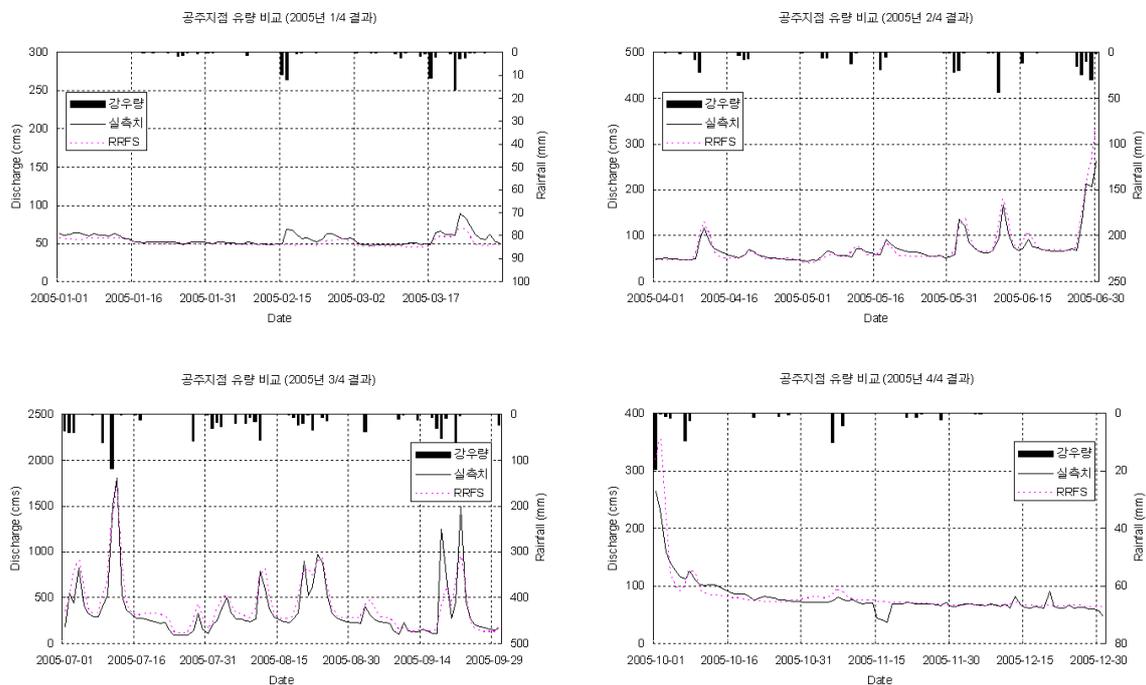
<그림 4> 매개변수 보정결과 검토



<그림 5> 적정매개변수 산정결과

### 4.3 모의유량 신뢰도 검증

1983년 1월 1일 ~ 2004년 12월 31일 기간에 대해 RRFs모형의 매개변수를 보정하고 보정된 매개변수를 이용하여 2005년 1월 1일 ~ 2005년 12월 31일 기간을 대상으로 대청 및 공주지점의 유출량을 모의하였다. 본 연구의 신뢰도 검증을 위해서 관측유량은 건교부에서 제공하는 Rating Curve식을 사용하지 않고 2003년 10월 ~ 2005년 12월 동안에 직접 실측을 통해 산정한 Rating Curve식을 사용하였다. <그림 6>은 RRFs모형에 의한 일별 유출량산정 결과를 분기별로 관측결과와 비교한 그래프이며 <표 1>은 오차분석 및 통계분석한 결과이다. 따라서, <그림 6> 및 <표 1>의 결과를 종합하면 RRFs모형에 의한 일별 모의유출량은 관측유량을 전 기간에 걸쳐 잘 묘사하고 있으며 상대평균오차 및 총량에서도 유사한 결과를 보여주고 있다. 비록 홍수기에서 상대평균오차가 크게 나타나고 있지만 홍수기의 유량이 매우 크기 때문에 발생하는 것으로 심각한 오차라 볼 수 없기 때문에 전반적으로 RRFs모형을 통한 모의유량 산정 결과는 신뢰성이 있는 것으로 인정되었다. 또한, 주요제어지점인 대청지점에 대해서도 동일한 결과를 나타냈다.



<그림 6> 공주지점 분기별 유량 비교(2005년)

<표 1> 공주지점 관측유량 및 모의유량에 대한 오차분석결과

	1분기		2분기		3분기		4분기	
	Observed	RRFS	Observed	RRFS	Observed	RRFS	Observed	RRFS
RMSE	6.7		12.3		145.2		18.2	
최고치(cms)	70.0	89.3	335.0	264.9	1720.0	1807.5	355.0	264.9
최저치(cms)	44.0	47.3	38.4	44.0	114.0	93.1	63.5	37.0
총유량(cms)	4537.8	4996.4	6670.8	6575.0	36827.0	33427.5	7542.6	7336.5

### 4.4 자연유량 산정결과

상기에 기술한 바와 같이 강수량자료에 대한 결측치 및 이상치 보정, 용수계획량을 실제 이용량으로 보정 및 RRFs모형의 적정매개변수 산정 등을 통해서 RRFs모형의 안정화를 이루었으며 대표지점인 대청댐 및 공주지점에 대해 모의유량을 실측유량과 비교·분석을 실시하므로써 RRFs모형의 신뢰성을 검증받았다. 따라

서, 이로부터 산정된 모의유량을 대상으로 인위적인 요소(생·공·농업용수량, 댐취수량 및 댐방류량 등)를 모두 배제시킨 자연상태의 유출량을 산정하였다.

RRFS모형의 입력자료는 '83~'04년으로 이루어졌으나, 자연유량의 산정기간은 RRFS모형의 특성상 모형 구동 준비기간이 필요하기 때문에 '83년도를 모형의 매개변수 보정기간으로 이용하였고 '84~'05년에 해당하는 기간에 대해서 자연유량을 산정하였다. 다음 <표 2>는 분석대상 기간 중 표본 예로서 2005년의 월별 자연유량을 공주지점에 대해 정리한 것이다.

<표 2> 공주지점 월별 자연유량

년월 \ 소유역	B01	B02	B03	B04	B05	B06	B07	B08	B09	B10	B11	B12	B13	B14
2005년 1월	3.1	2.1	5.9	5.7	3.7	10.8	14.8	6.4	14.4	4.1	7.4	3	4	3.4
2005년 2월	3.9	2.8	9.9	7.6	5.9	19.3	20.8	4.4	10.7	2.7	5.2	2	2.7	2.3
2005년 3월	8	5.3	12.4	11.4	8.1	22	23.5	3.7	13.5	2.7	6.9	1.5	2.4	3.6
2005년 4월	5.9	2.8	8.5	8.6	4.3	15.6	22.7	5.7	27.3	8.2	17	3	8.4	4.3
2005년 5월	3.5	2.1	7	4.6	3.2	11.1	17.5	5.9	19	5.1	11.7	4.1	6.1	6.2
2005년 6월	14.9	8.3	26.2	22.7	19.2	41.7	68	41.5	79.8	26.7	44	17.7	24.4	20.5
2005년 7월	102.4	60.3	138.1	108.2	95.6	161.7	260.2	167.4	368.1	137.8	215.4	99.2	145.9	121.9
2005년 8월	61.9	71.7	108.9	130	76.5	259	369.6	201.8	247.8	107.7	123.1	87.4	104.7	75.1
2005년 9월	7.2	4.9	14.6	15.9	17.3	47.4	85	68.9	269.1	92.2	181	22.7	56.1	24.5
2005년 10월	4.4	2.9	8.1	7.9	7.4	23.7	41.3	35.7	140	31.4	71.1	51.1	22.1	19.6
2005년 11월	3.7	2.4	6	5.8	5.1	13.1	18.3	15.5	37.3	11.6	22.4	14.3	9.3	10.1
2005년 12월	3.4	2.4	5.7	4.7	3.6	10	14.6	9.8	22.4	8.6	12.6	5.7	7.3	5.2

## 5. 결 론

장기간의 자연 유출량 자료를 산정하기 위해 실측 수위를 이용하는 것은 자료의 가용성 부족 및 신뢰성 측면에서 적용이 어려우므로 본 연구에서는 강우-유출모형을 이용하여 자연 유출량을 산정하고자 한다. 따라서 RRFS모형을 적용하여 주요지점인 대청댐 및 공주지점을 대상으로 모의결과와 실측결과를 비교·분석하고, 이를 통해 모형의 신뢰성을 고취시킨 후 모형에서 인위적인 요소를 배제함으로써 자연상태에서의 유출량인 자연유량을 산정하도록 하였다.

1. 본 연구에서는 모형의 안정성 고취를 위해 모형외적으로 강우, 생·공·농업용수 이용량 및 관측유량자료 등의 기본 수문자료에 대한 검·보정을 실시하였으며 모형내적으로는 적정매개변수의 선정에 위해서 토양습윤상태별 유출율, 침투량별 지하수 유입률, 지표수와 복류수 분리 등을 반복적인 수행과정을 걸쳐 적절한 매개변수를 산정하였다.

2. RRFS모형에 의한 일별 모의유출량은 관측유량을 전 기간에 걸쳐 잘 묘사하고 있으며 상대평균오차 및 총량에서도 유사한 결과를 보여주고 있다. 비록 홍수기에서 상대평균오차가 크게 나타나고 있지만 홍수기의 유량이 매우 크기 때문에 발생하는 것으로 심각한 오차라 볼 수 없기 때문에 전반적으로 RRFS모형을 통한 모의유량 산정 결과는 신뢰성이 있는 것으로 인정되었다.

3. 따라서 이로부터 산정된 모의유량을 대상으로 인위적인 요소를 모두 배제시킨 자연상태의 유출량을 '84~'05년에 해당하는 기간에 대해서 일별 자연유량을 산정하였다.

## 참 고 문 헌

1. TNRCC(1997). Evaluation of Naturalized Streamflow Methodologies, Texas Natural Resource Conservation Commission Technical Paper#1