

## 금강유역 논산지점의 수위-유량곡선식과 RRFs에 의한 유출 분석

맹승진\*, 이상진, 류경식, 황만하, 김형산

본 연구에서는 댐 하류지역의 물관리를 위한 기초자료를 제공하기 위해 금강수계의 댐 하류지역인 논산지점을 대상으로 기 개발된 수위-유량곡선식에 의해 추정된 유출량과 RRFs에 의해 추정된 유출량을 실제 분석하고자 하는 시점에서 도보측정에 의해 측정된 유출량과 비교하였다. 이러한 유출분석을 위해 유출분석의 기초자료인 논산 유역의 면적강우량을 산정하고자 8개의 강우관측지점을 선정하고 티센계수를 구하였다. 각 방법별 유출량의 비교를 위해 도보측정에 의한 유출량은 2005년부터 2006년까지 각각 39회와 40회에 걸쳐 측정되었고 기 개발된 수위-유량곡선식에 의한 유출량은 국가수자원관리종합시스템에서 제공하는 수위-유량곡선식을 사용하여 추정되었으며 RRFs에 의한 유출량은 매개변수의 민감도분석과 보정에 의해 추정되었다. 이들 방법에 의한 유출량 중에서 도보측정에 의한 유출량을 참값으로 가정하고 수위-유량곡선식에 의한 유출량과 RRFs에 의한 유출량, 각각에 대한 상대평균제곱근오차와 상대절대오차를 구하였다. 이러한 오차분석 결과에서 2005년과 2006년 모두 RRFs에 의한 유출량이 기 개발된 수위-유량곡선식에 의한 유출량보다 도보 측정에 의한 유출량에 더 근접하는 좋은 결과를 나타내었다. 따라서 향후 댐 하류 주요지점을 대상으로 유출분석을 실시할 경우 본 연구와 같은 분석 절차를 거쳐야 할 것이다.

**주제어:** 논산지점, 강우량, 유출량, 수위-유량곡선, RRFs, 상대평균제곱근오차, 상대절대오차

### 1. 서론

우리나라는 평야부가 적고 거의 대부분이 급준한 산지에다가 연평균강우량 1,274mm 중 2/3가 여름 6, 7, 8월의 3개월에 걸쳐 집중되는 기상특성으로 하천유황의 계절적인 진폭이 심하여 수해와 한해를 받기 쉬운 자연적 조건을 갖고 있다. 이로 인해 인명피해는 물론 재산상의 막대한 피해가 연연히 반복되고 있는 실정이다. 이러한 피해에 대처하기 위해 하천의 주요지점에 흐르는 유량이 어느 정도의 크기인지를 파악하는 것은 물관리를 위한 측면에서 가장 중요한 부분이다.

주요하천의 유출량을 추정하기 위해 우리나라는 하천에 수위관측소를 설치하여 해당지점의 수위를 일정 시간 단위로 측정하고 있다. 수위관측지점의 유출량은 매년 유량측정을 실시한 해당년의 수위-

\* 교신저자

유량곡선식에 의해 산정되며 이 값을 일반적으로 관측유출량이라고 한다. 이렇게 산정된 관측유출량은 물수지분석 이외에 별다른 분석없이 물관리를 위한 의사결정 기초자료로 활용되고 있다. 그러나 실제로 댐 운영이나 수리구조물 설계시 수문분석을 수행하다 보면 관측 유출량 자료를 의심해 볼 수 있는 요소가 다수 발생한다. 예를 들면 연유출률 또는 일정기간의 유출률이 100%를 넘는다거나 하류의 유출량이 직상류에 위치하고 있는 지점보다 작게 산정되는 경우가 허다하며 특히 이수기에 이러한 현상이 집중되고 있다. 이러한 원인은 인위적인 작업에 의한 잦은 하상 변동과 자연현상인 태풍에 의한 하천 상태의 변화가 그 주류를 이루고 있다고 할 수 있으나, 이외에도 잘못된 관측지점의 선정 및 제한 등과 같은 측정 방법 또는 기준의 문제로 관측시 많은 오류가 발생하는 경우가 허다하다. 그럼에도 불구하고 기존의 연구는 이상의 문제점들을 중요시하지 않고 관측된 자료에 오류가 전혀 없다고 가정하고 분석하는 경향이 많았다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 우리나라에서는 수위-유량곡선식에 의해 추정된 유출량과 유출모형에 의해 추정된 모의유출량을 추정하고 이들을 비교 분석하는 과정을 수행하고 있다. 우리나라의 대표적인 물관리기관인 한국수자원공사는 모의유출량 추정을 위해 두 가지 모형을 사용한다. 하나는 저류함수법에 기반을 둔 치수중심의 모형인 KWATER 모형이고 다른 하나는 SSARR(Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation) 모형에 기반을 둔 이수중심의 모형인 RRFS 모형이다(한국수자원공사, 2004a). 한국수자원공사에서는 이들 두가지 모형에 의해 추정된 모의유출량을 사용하여 물관리 의사결정에 반영하고 있다. 본 연구에서는 상기에 언급한 바와 같이 이수기에 여러 문제들이 발생하는 것에 중점을 두어 이수기 유출량 분석에 중점을 두고자 한다. 한국수자원공사에서는 RRFS을 전유역 모형으로 개발하였으나 한국수자원공사에서 관리하고 있는 댐 상류의 유출량분석은 장기간의 댐 운영으로 많은 기술이 집적되어 있으나 댐 하류는 댐 상류에 비해 상대적으로 유출분석이 미흡한 편이다.

따라서 본 연구에서는 금강수계의 대청댐 하류지역인 논산지점을 대상으로 기 개발된 수위-유량곡선식에 의해 추정된 유출량과 RRFS에 의해 추정된 유출량을 실제 분석하고자하는 시점에서 관측한 관측유출량을 상호 대응하여 비교한다. 기 개발된 수위-유량곡선식과 RRFS에 의해 추정된 유출량의 신뢰성을 오차분석을 통해 수행한다. 오차분석을 통해 RRFS에 의한 유출량의 신뢰성이 확보된다면 향후 댐 하류지역의 물관리를 위한 기초자료로 활용 될 것이다.

## II. 이론 분석

본 분석에서는 유출량 추정을 위해 도보에 의한 방법, 수위-유량곡선식에 의한 방법 및 RRFS의 기반모형인 SSARR 모형에 대해 서술하고자 한다.

### 1. 도보에 의한 유량 측정

유속계를 이용하여 유량을 측정하는 방법에는 도보측정, 선박에 의한 측정, 교량에 의한 측정, 케이블에 의한 측정 등이 있다. 본 분석에 사용된 방법은 도보측정이며 다음과 같다. 도보측정은 수심이 얇고 유속이 1m/s 이하인 곳에서 시행한다. 소형 유속계를 로드 매달아 측정하여 물의 흐름이 관측원에 의해 영향을 받지 않도록 몸을 유향의 횡방향으로 하고 유속계는 몸에서 가능한 한 멀리하여 측정한다(건설교통부 2004).

## 2. 수위-유량곡선식

하천의 유량을 파악하기 위해서 하천수위와 유량간에는 어느 정도 상관성이 있으며 이러한 관계를 나타낸 것이 수위-유량곡선식이다. 수위-유량곡선식의 형태에는 일반적으로 지수형과 포물선형 2가지 형태가 있으며, 부득이한 경우를 제외하고는 지수형으로 작성하여야 하며 이들의 일반식은 각각 식 (1) 및 식 (2)와 같다(건설교통부, 2004).

$$Q = a \cdot (H + b)^c \quad (1)$$

$$Q = aH^2 + bH + c \quad (2)$$

여기서, Q는 유량(m<sup>3</sup>/s), H는 상대수위, a, b 및 c는 매개변수이다. 식 (1)에서 b는 영유량수위이며, c는 하도단면 형상 등에 관계하며 직사각형수로인 경우 1.5, 포물선형태인 경우 2, 삼각형이나 반원형인 경우 2.5의 값을 가진다. 또한, 비교적 폭이 넓은 하천인 경우 1.3~1.8 범위를 가지며 비교적 깊고 좁은 단면인 경우 보통 2보다 크고 종종 3을 초과할 수도 있다. 자연하천에서 단면이 포물선일 경우가 많으며, 이 때 c 값은 약 2가 되므로 곡선식형은 2차식이 된다.

## 3. SSARR 모형

한국수자원공사에서 이수기 유출모의모형으로 개발한 RRFs의 기반모형인 SSARR 모형은 1956년 처음 개발된 이래, 1975년에 유역과 하도추적을 보완하여 미 육군공병단에 의해 개발된 집중형 모형으로, 세분화된 토양층에 의한 수분저류량을 계산하고, 유역추적, 하도추적, 저수지조작 모형을 포함하고 있으며, 강우뿐만 아니라 강설에 따른 유출해석도 가능한 모형이다. 특히, SSARR 모형은 유출과정을 연속성 있게 모의할 수 있도록 저류추적방법을 사용하고 있으며, 유역 및 하도의 수문학적 특성 변수는 시행착오법을 사용하여 얻는다(US Army Corps of Engineering, 1991; 강주환 외 1998; 한국수자원공사, 2004a; 한국수자원공사 2004b; 이상진 외 2006; 류경식 외, 2007). 이들에 대한 국내에서의 적용은 강주환 등(1998)이 낙동강 유역의 저수유출 해석을 위해 증발산, 침투 및 장기회귀 지하수 추

적기능이 추가된 최신 버전인 IS모형이 포함된 SSARR 모형을 적용하여, 7개 지점에서 유량의 관측치와 계산치를 비교하여 고수시 상대오차와 저수시 절대오차를 통하여 모형의 검증을 수행하였다. 현재 한국수자원공사에서는 금강수계를 대상으로 RRFS를 개발하여 적용하고 있으며 향후에는 타수계에 적용 가능한 이수기 유출모형을 개발하고자 한다(한국수자원공사 2004b). 한편 국외에서는 미국의 콜롬비아강(Rockwood, 1961)과 베트남의 메콩강(Rockwood, 1968) 등과 같은 대하천에 적용된바 있다.

### III. 수문자료 및 분석방법

한국수자원공사에서 개발한 RRFS가 댐 하류의 유출상황을 신뢰성 있게 모의하고 있는지의 여부를 판단하기 위해 본 연구에서는 금강유역의 논산수위관측지점을 대상으로 분석을 시도하고자 한다.

#### 1. 수문자료

본 연구를 위해 선정된 논산수위관측소 지점에 해당하는 유역의 면적강우량은 반포, 복룡, 추부, 금산, 주천, 신대, 연산 및 양촌 강우관측소의 일강우량을 대상으로 각 강우관측소별 유역의 지배면적비인 티센계수를 산정하여 구하였다. 유역의 출구부분에서의 유출량은 전절에서 언급한 바와 같이 도보에 의한 유출량을 산정함과 동시에 국가수자원관리종합정보시스템에서 제공하는 수위-유량곡선식에 의해 유출량을 산정하였다.

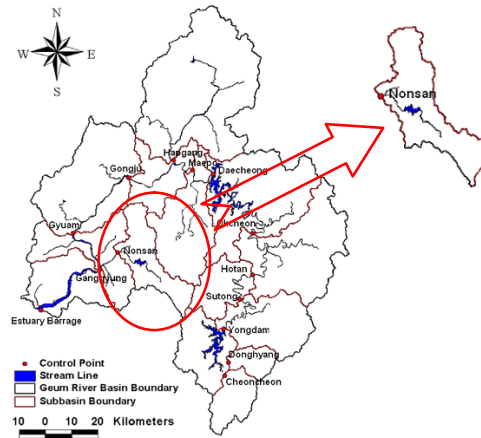
#### 2. 분석방법

유출분석 대상지점으로 논산수위관측지점을 선정하였다. 논산유역을 지배하는 강우관측소를 선정하고 강우관측소별 면적비를 산정하여 티센계수를 산정한다. 2005년부터 2006년까지 2년간의 유출분석을 위해 도보에 의한 유량측정성과, 기 개발된 수위-유량곡선식에 의해 추정된 유출량 및 RRFS에 의해 추정된 모의유출량을 동일 시간대별로 오차분석을 실시하여 신뢰성이 높은 논산지점의 유출량을 제시한다.

### IV. 결과

#### 1. 유역의 특성 및 현황

본 연구의 대상유역인 논산수위관측소지점은 논산천 유역으로 유역면적 467.1km<sup>2</sup>이며, 전라북도 완주군 운주면 고당리 왕사봉에서 발원하여 하류로 흘러 장선리 우안에서 유입하는 괴목동천과 합류한다. 이후 하류로 흐르면서 우안에서는 안심천이 합류하고 충남과 전북의 도계를 거치면서 좌안에는 장춘천과 장성천이 우안에는 오산천과 능천이 합류하여 하류로 흐른다. 이를 도시한 것은 Fig. 1과 같다. 유역의 평균강우량은 우리나라 평균강우량보다 많은 1,300.2mm이며 평균기온은 12.0℃이다.



<그림 1> Map of Nonsan sub-basin on Geum river basin

## 2. 강우량 산정

분석 대상 유역인 논산수위관측소지점의 면적강우량을 산정하기 위한 지배관측소와 이들 관측소의 지배면적 비율인 티센계수는 Table 1과 같다. 면적강우량은 유출분석기간과 같은 2005년과 2006년에 한하여 산정하였다. 강수량자료의 결측치 보완은 현재 한강홍수통제소나 한국수자원공사에서 공식적으로 사용되고 있는 역거리 가중치 방법을 사용하였으며, 강수량자료의 이상치 판별은 연·월별 강수량의 통계분석 및 기상청에서 제공하는 과거 월별 최고 강수량자료와 인근지역 일별 기후변화를 토대로 하였다.

<표 1> Coefficient of Thiessen for rainfall stations on Nonsan sub-basin

Rainfall Station	Coefficient of Thiessen
Banpo	0.028
Bogyong	0.144
Chubu	0.001
Geumsan	0.005
Jucheon	0.089
Sindae	0.009
Yangchon	0.355
Yeonsan	0.369

### 3. 유출량 산정

본 연구에서 사용된 유출량은 본 연구진이 직접 도보에 의한 유량측정성과를 확보하고 있는 2005년과 2006년을 대상으로 하였다. 유출량은 도보 측정에 의한 방법, 기 개발된 수위-유량곡선식에 의한 방법 및 RRFS 방법으로 산정하였다.



<그림 2> Scene of observed runoff by walking method

### 1) 도보 측정에 의한 유출량

RRFS를 모의하는 시점에서 실제 논산유역의 유출량과 모의유출량을 비교하여 RRFS에 의해 모의된 유출량의 신뢰성의 정도를 확인하고자 본 연구진에 의해 2005년부터 2006년까지 각각 39회와 40회에 걸쳐 도보에 의해 유출량을 산정하였다. 도보 측정에 의한 유출량 산정 장면은 Photo 1과 같다.

### 2) 기 개발된 수위-유량곡선식에 의한 유출량

논산 수위관측지점에서 기 개발된 수위-유량곡선식은 <표 2>와 같이 국가수자원관리종합시스템에서 제공하고 있다. Table 2에서 보는 바와 같이 본 연구의 유출분석 대상 기간인 2005년과 2006년에 개발된 수위-유량곡선식이 없어 최근의 수위-유량곡선식인 2002년도 수위-유량곡선식에 의해 유출량을 산정하였다.

<표 2> Rating curve equation in Nonsan gaging station

Range	Rating curve Q(m <sup>3</sup> /s), h(m)	Year
0.2<h<5.6	$Q = 15.7033(h - 0.09)^{2.272}$	1989
0.2<h<5.6	$Q = 20.6613h^{2.105}$	1989
0.21≤h≤5.46	$Q = 7.222(h + 0.246)^{2.779}$	1989
0.25<h<2.8 2.8≤h	$Q = 10.809h^{1.975}$ $Q = 2.367h^{3.466}$	1989, 1995
0.18≤h≤6.64	$Q = 5.941(h + 0.31)^{2.653}$	1995, 1996
0.11≤h≤0.30 0.30≤h≤6.23	$Q = 2.026(h + 0.919)^{3.408}$ $Q = 29.122h^{1.643}$	2000
0.10≤h≤4.50	$Q = 62.711h^{1.549}$	2002

### 3) RRFS에 의한 유출량

우리나라는 수계내 소유역의 용수사용량이 복잡하여 이로 인한 장기 유출량의 변화가 큰 편이다. 그래서 한국수자원공사의 연속유출모의시스템인 RRFS는 용수사용량을 반영하여 모의할 수 있는 SSARR 모형을 기본모형으로 하였다.

논산유역을 대상으로 SSARR 모형의 적용에 앞서 모형의 주요 입력자료인 일 강수량 및 온도 등을 국가수자원관리종합정보시스템과 한국수자원공사 수문 DB에서 수집하였으며, “기존댐 용수공급 능력 조사(금강수계) 보고서”(건설교통부, 1998)를 참조하여 용수수요 계획량을 산정하고, 이를 유역유출모의에 적용하여 용수이용량을 보정하였다(류경식 등, 2007).

논산유역을 대상으로 모의 유출량을 산정하기에 앞서 SSARR모형의 매개변수 민감도분석을 실시하였다. SSARR 모형의 매개변수 중에서 토양습윤상태별 유출률(SMI-ROP)은 고수와 저수를 막론하고

가장 민감한 변수로 분석 되었으며 침투량별 지하수 유입률(BII-BFP), 지표수와 복류수 분리(S-SS) 및 지하수 중 회귀지하수가 차지하는 비율(PBLZ)은 고수시 민감도보다 저수시 민감도가 크게 나타났다. BII의 저류시간(BIITS), 최대BII(BIIMX)와 최대지하수유출률(BFLIM)의 분석결과 고수시는 물론이고 저수시에도 상대적으로 둔감한 결과를 나타내었다(맹승진 등, 2007; 이상진 등, 2006).

매개변수의 민감도 분석결과를 바탕으로 적정매개변수를 결정하기 위한 요소로서 기 개발된 수위-유량곡선식에 의한 유출량과 SSARR 모형에 의한 유출량의 오차를 최소화하여야 한다. 그러나 모형에서 유량이 큰 홍수기의 오차를 감소시킬 목적으로 매개변수를 결정하게 되면 저수시의 정확도가 저하될 수 있으며, 반대로 저수시 위주로 매개변수를 결정하게 되면 고수시 유량을 전혀 반영하지 못할 소지가 있다. 따라서 고수시와 저수시로 분리하여 각각에 대해 민감한 변화를 보이는 매개변수를 각각의 목적함수로 선정하여 RRFs를 수행하기 위한 SSARR 모형의 최적 매개변수를 결정하였다.

이상의 절차에 의해 논산유역을 대상으로 1983년부터 2006년까지 RRFs에 의한 모의유출량을 산정하였다. 본 연구에서는 전술한 타 방법들에 의한 유출량과의 비교를 위해 도보에 의한 유출량 측정자료가 있는 2005년과 2006년에 대한 모의유출량만을 대상으로 하였다.

#### 4. 유출량 산정 방법에 따라 추정된 유출량의 비교 분석

본 분석에서는 도보측정에 의한 유출량을 참값으로 가정하여 기 개발된 수위-유량곡선식에 의한 유출량과 RRFs에 의한 유출량, 각각을 비교하여 두 방법 중에서 신뢰성이 높은 것을 파악하고자 한다.

전술한 각 방법에 의해 산정된 유출량은 Table 3과 같으며 이들의 결과를 도시한 것은 Fig. 2와 같다. 해당 날차별로 도보 측정에 의한 유출량을 참값으로 가정하고 기 개발된 수위-유량곡선식에 의한 유출량과 RRFs에 의한 유출량을 대상으로 상대평균제곱근오차(Relative Root Mean Square Error, RRMSE)와 상대절대오차(Relative Absolute Error, RAE)를 식 (3) 및 식 (4)에 의해 구하였으며 그 결과는 Table 4와 같다.

$$RRMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{Q_0 - Q_c}{Q_0} \right)^2 \right]^{0.5} \quad (3)$$

$$RAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{Q_0 - Q_c}{Q_0} \right| \quad (4)$$

여기서  $Q_0$ 는 도보측정에 의해 산정된 유출량이며,  $Q_c$ 는 기 개발된 수위-유량곡선식에 의한 유출량 또는 RRFs에 의한 유출량이다.

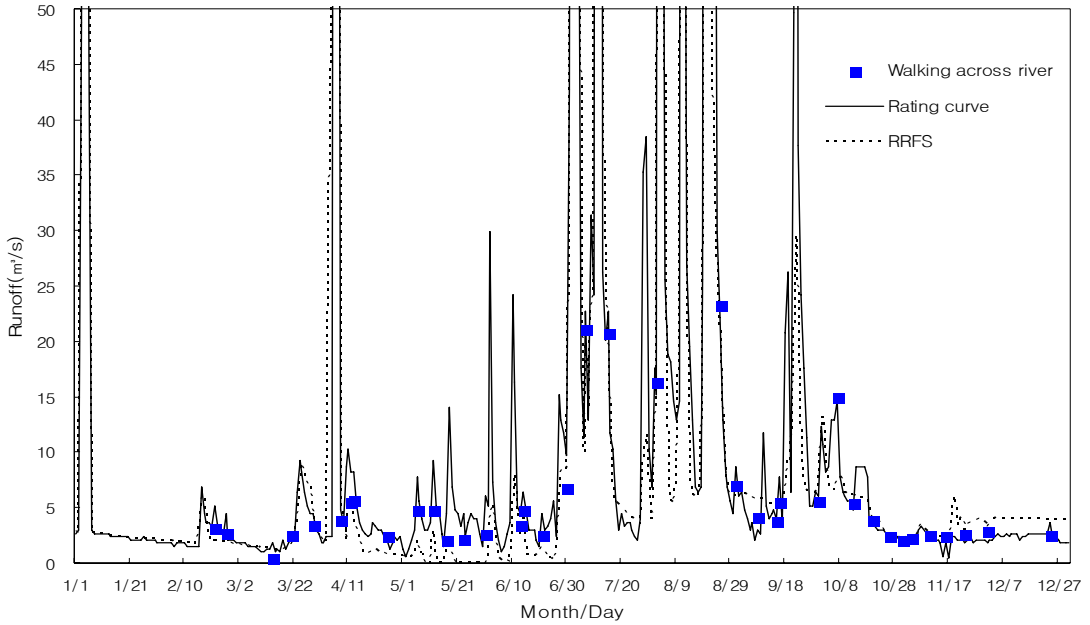
<표 3> Estimated runoff according to methods of waking across river, rating curve and RRFS

(a) Year of 2005

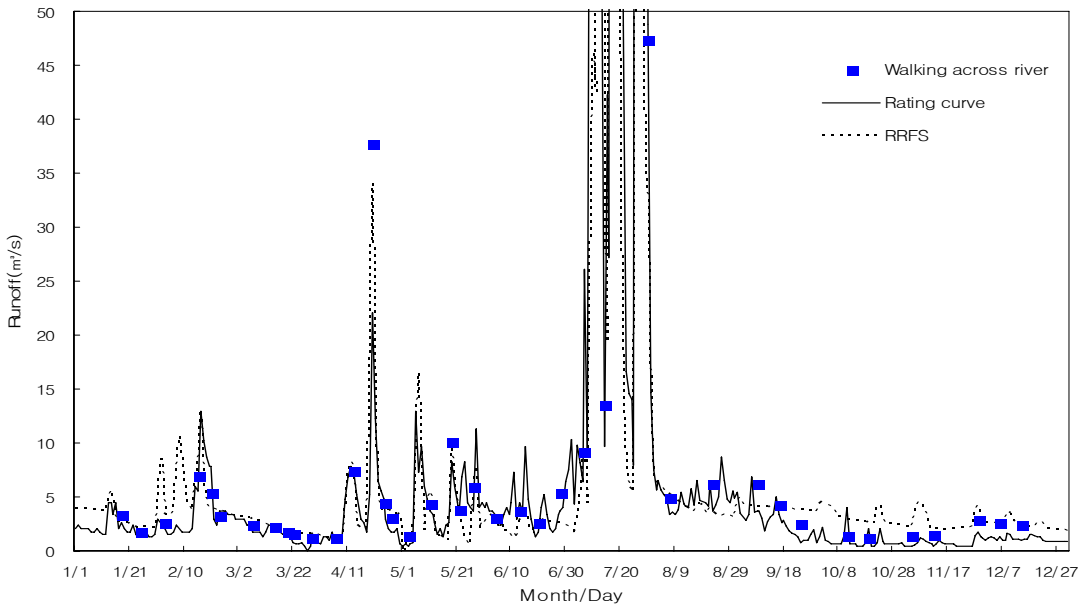
Month	Day	Water level (El. m)	Runoff(m <sup>3</sup> /s)			Month	Day	Water level (El. m)	Runoff(m <sup>3</sup> /s)		
			Walking across river	Rating curve	RRFS				Walking across river	Rating curve	RRFS
2	21	0.20	3.2	5.2	2.0	8	2	0.40	16.3	15.2	16.0
2	25	0.18	2.7	4.4	1.9	8	25	0.51	23.3	22.1	20.0
3	14	0.10	0.4	1.8	1.3	8	31	0.28	7.1	8.7	6.0
3	21	0.12	2.5	2.4	1.7	9	8	0.14	4.1	3.0	5.7
3	29	0.18	3.5	4.4	4.0	9	15	0.17	3.7	4.0	5.3
4	8	0.19	3.9	4.8	5.0	9	16	0.26	5.5	7.8	5.3
4	12	0.27	5.5	8.3	5.0	9	23	0.72	50.4	37.7	20.5
4	13	0.27	5.7	8.3	4.0	9	30	0.22	5.6	6.0	6.9
4	25	0.11	2.4	2.1	0.8	10	7	0.39	14.9	14.6	7.5
5	6	0.26	4.8	7.8	2.0	10	13	0.19	5.4	4.8	6.2
5	12	0.29	4.8	9.2	3.0	10	20	0.16	3.9	3.7	4.0
5	17	0.18	2.1	4.4	1.0	10	26	0.12	2.4	2.4	2.3
5	23	0.18	2.2	4.4	0.0	10	31	0.10	2.1	1.8	1.9
5	31	0.22	2.6	6.0	0.0	11	3	0.10	2.2	1.8	2.2
6	13	0.18	3.4	4.4	2.5	11	10	0.11	2.5	2.1	2.0
6	14	0.23	4.7	6.4	4.5	11	16	0.10	2.4	1.8	2.3
6	21	0.18	2.5	4.4	1.5	11	23	0.10	2.6	1.8	3.0
6	30	0.30	6.7	9.7	8.6	12	1	0.10	2.8	1.8	3.2
7	7	0.52	21.1	22.8	20.0	12	24	0.16	2.5	3.7	3.9
7	15	0.52	20.7	22.8	18.0						

(b) Year of 2006

Month	Day	Water level (El.m)	Runoff(m <sup>3</sup> /s)			Month	Day	Water level (El.m)	Runoff(m <sup>3</sup> /s)		
			Walking across river	Rating curve	RRFS				Walking across river	Rating curve	RRFS
1	18	0.13	3.4	2.7	2.7	5	27	0.16	6.0	3.7	5.5
1	25	0.08	1.7	1.3	2.1	6	4	0.15	3.1	3.3	3.0
2	3	0.11	2.6	2.1	3.4	6	13	0.18	3.7	4.4	2.8
2	15	0.21	6.9	5.6	7.3	6	20	0.10	2.6	1.8	2.9
2	20	0.26	5.4	7.8	4.0	6	28	0.16	5.4	3.7	2.6
2	23	0.16	3.3	3.7	3.7	7	6	0.23	9.3	6.4	7.7
3	7	0.10	2.3	1.8	2.9	7	14	0.30	13.6	9.7	30.3
3	15	0.11	2.3	2.1	2.2	7	30	0.85	47.4	48.8	32.2
3	20	0.09	1.8	1.5	1.8	8	7	0.15	4.9	3.3	5.2
3	22	0.06	1.6	0.8	1.7	8	23	0.16	6.2	3.7	3.6
3	29	0.08	1.2	1.3	1.5	9	8	0.16	6.2	3.7	4.1
4	6	0.06	1.2	0.8	1.1	9	16	0.15	4.2	3.3	4.0
4	13	0.25	7.4	7.3	7.4	9	24	0.06	2.5	0.8	3.8
4	20	0.51	37.7	22.1	34.0	10	11	0.17	1.4	4.0	2.9
4	24	0.19	4.4	4.8	3.8	10	19	0.11	1.2	2.1	2.6
4	27	0.10	3.0	1.8	3.7	11	4	0.04	1.4	0.4	2.2
5	3	0.04	1.4	0.4	1.2	11	12	0.04	1.5	0.4	2.1
5	11	0.16	4.4	3.7	5.5	11	28	0.10	2.9	1.8	4.2
5	19	0.27	10.1	8.3	9.5	12	6	0.08	2.6	1.3	2.5
5	22	0.15	3.8	3.3	3.6	12	14	0.07	2.4	1.0	2.4



(a) Year of 2005



(b) Year of 2006

◁ 그림 3 ▷ Comparison of runoff according to methods

&lt;표 4&gt; Relative Root Mean Square Errors(RRMSE) and Relative Absolute Errors(RAE) calculated by Rating curve and RRFs

Year	RRMSE		RAE	
	Rating curve	RRFS	Rating curve	RRFS
2005	0.72	0.52	1.62	0.34
2006	0.47	0.39	0.97	0.27

이상의 결과에서 기 개발된 수위-유량곡선식과 RRFs에 의해 산정된 유출량을 도보 측정에 의해 산정된 유출량과의 상대평균제곱근오차 및 상대절대오차의 비교에서 2005년과 2006년 모두 RRFs에 의한 유출량이 기 개발된 수위-유량곡선식에 의한 유출량보다 도보 측정에 의한 유출량에 더 근접하는 좋은 결과를 나타내었다.

따라서 일단위의 실시간 장기간의 유출분석을 수행할 때 기 개발된 수위-유량곡선식에 의한 유출량을 참값으로 가정하고 RRFs의 매개변수를 보정하여 모의유출량을 산정하는 것은 신중하여야 한다.

## V. 결론

본 연구에서는 댐 하류지역의 물관리를 위한 기초자료를 제공하기 위해 금강수계의 댐 하류지역인 논산지점을 대상으로 기 개발된 수위-유량곡선식에 의해 추정된 유출량과 RRFs에 의해 추정된 유출량을 실제 분석하고자하는 시점에서 도보측정에 의해 측정된 유출량과 비교하였으며 그 결과는 다음과 같다.

본 연구를 위해 선정된 논산수위관측소 지점에 해당하는 유역의 면적강우량은 반포, 복룡, 추부, 금산, 주천, 신대, 연산 및 양촌 강우관측소의 일강우량을 대상으로 각 강우관측소별 유역의 지배면적비인 티센계수를 산정하여 구하였다.

각 방법별 유출량의 비교를 위해 도보측정에 의한 유출량은 2005년부터 2006년까지 각각 39회와 40회에 걸쳐 측정하였다. 개발된 수위-유량곡선식에 의한 유출량은 국가수자원관리종합시스템에서 제공하는 수위-유량곡선식을 사용하여 추정하였으나 본 연구의 유출분석 대상 기간인 2005년과 2006년에 개발된 수위-유량곡선식이 없어 최근의 수위-유량곡선식인 2002년도 수위-유량 곡선식을 사용하였다. RRFs에 의한 유출량은 매개변수의 민감도분석과 보정에 의해 추정되었다.

이상의 방법에 의해 추정된 유출량 중에서 도보측정에 의한 유출량을 참값으로 가정하고 수위-유량곡선식에 의한 유출량과 RRFs에 의한 유출량, 각각에 대한 상대평균제곱근오차와 상대절대오차를 구하였다. 이러한 오차분석 결과에서 2005년과 2006년 모두 RRFs에 의한 유출량이 기 개발된 수위-유량곡선식에 의한 유출량보다 도보 측정에 의한 유출량에 더 근접하는 결과를 나타내었다.

따라서 일단위의 실시간 장기간의 유출분석을 수행할 때 기 개발된 수위-유량곡선식에 의한 유출량을 참값으로 가정하고 RRFs의 매개변수를 보정하여 모의유출량을 산정하는 것은 신중하여야 하며

향후 댐 하류 주요지점을 대상으로 유출분석을 실시할 경우 본 연구와 같은 분석 절차를 거쳐야 할 것이다.

## 참고문헌

- 강주환·이길성·김남일·황만하. 1998. SSARR-8 모형을 이용한 낙동강 수계의 저수유출 해석. 한국수자원학회지. 31(1): 71-84.
- 건설교통부. 1998. 기존댐 용수공급능력조사(금강수계) 보고서.
- 건설교통부. 2004. 수문관측매뉴얼. 4-8-4-9.
- 류경식·황만하·맹승진·이상진. 2007. 유역관리모형을 이용한 금강유역유출특성 해석. 수질보전 한국물환경학회지. 23(4): 527-534
- 맹승진·이현규·황만하·고익환. 2007. RRFs에 의한 금강수계의 주요지점별 유역유출지표 개발. 한국콘크리트학회 논문지. 7(3): 140-151.
- 이상진·이배성·류경식·황만하. 2006. 유출모의를 위한 주요제어지점 유량특성 분석. 한국수자원학회 논문집. 39(11): 905-914.
- 한국수자원공사. 2004a. 실시간 물 관리 운영 시스템 구축 기술 개발.
- 한국수자원공사. 2004b. 한강수계 연속유출모형 실용화 보고서.
- Rockwood D. M. 1961. Columbia Basin Stream-flow Routing by Computer. *Transactions, American Society of Civil Engineers*. No. 3119.
- Rockwood D. M. 1968. Application of Stream-flow Synthesis and Reservoir Regulation "SSARR" Program Mekong River. *The USE of Analog and Digital Computer in Hydrology Symposium*. International Assosiation of Scientific Hydrology UNESCO. 329-344.
- US Army Corps of Engineers. 1991. *Stream Flow Synthesis and Reservoir Regulation Model User's Manual*. North Pacific Division, Portland.

---

**孟昇辰:** 충북대학교에서 "LH-모멘트의 적정 차수 결정에 의한 설계홍수량 추정"으로 농학박사 학위를 취득하였으며(2002. 2), 현재는 충북대학교 지역건설공학과 부교수로 재직 중이다. 주요 연구 분야는 수문통계, 강우-유출 모형 개발, 수문자료 측정 분야이며, 현재 한국농공학회 이사, 한국수자원학회 평의원, 한국산학기술학회 편집위원 등으로 활동 중이다(maeng@cbnu.ac.kr).

**李相晉:** 부산대학교에서 "홍수유출을 고려한 소하천 하구폐색 방지공법에 관한 연구"로 공학박사 학위를 취득하였으며(2004. 2), 현재는 한국수자원공사 K-water 연구원 책임연구원으로 재직 중이다. 주요 연구 분야는 강우-유출 모형 개발, 유출예측 분야이며, 현재 한국수자원학회 회원 등으로 활동 중이다(sjlee@kwater.or.kr).

**柳涇植:** 충북대학교에서 “지점 및 지역빈도분석에 의한 설계강우량의 추정”으로 공학박사 학위를 취득하였으며 (2004. 2), 현재는 한국수자원공사 물관리센터 선임연구원으로 재직 중이다. 주요 연구 분야는 수문통계, 강우-유출 모형 개발 분야이며, 현재 한국농공학회 편집위원, 한국수자원학회 회원 등으로 활동 중이다 (ksryoo@kwater.or.kr).

**黃滿夏:** 전북대학교에서 “칼만필터를 이용한 추계학적 조석예측에 관한 연구”로 공학박사 학위를 취득하였으며 (1992. 2), 현재는 한국수자원공사 K-water 연구원 수석연구원으로 재직 중이다. 주요 연구 분야는 댐운영, 수자원관리 및 계획 분야이며, 현재 한국수자원학회 평의원 등으로 활동 중이다(hwangmh@kwater.or.kr).

**金炯山:** 충북대학교 지역건설공학과에서 공학사 학위를 취득하였으며(2009. 2), 현재는 충북대학교 지역건설공학과에서 석사과정 중이다(kamakim486@naver.com).

투 고 일: 2010년 2월 22일

게재확정일: 2010년 3월 5일