

# 한강수계 유역유출 분석 모형 구축(I)

## - 자료구성을 중심으로 -

### Development of Rainfall-Runoff Model on Han River(I)

#### - Data setting -

맹승진, 찬다 트리베디  
충북대학교

Maeng seung-jin, Chanda trivedi  
Chungbuk National University

#### 요약

본 연구는 수계별 한정된 수자원의 효율적 관리를 위한 기존댐의 연계운영과 병행하여 댐 상·하류 유출을 고려한 종합적인 수자원관리방안 수립의 필요성이 대두됨에 따라, 고수기 및 저수기 댐 상·하류의 수계주요지점에 대한 하천유출상황을 모의할 수 있는 유출모형을 구성하는데 목적이 있다.

또한 장·단기적으로는 기존 모형을 검토하여 한국수자원공사의 "한강수계 댐 통합운영계획 수립"업무에 활용될 수 있도록 하는데 있다.

#### Abstract

Growing needs for efficient management of water resources urge the joint operation of dams and integrated management of whole basin. As one of the tools for supporting above tasks, this study aims to constitute a hydrologic model that can simulate the streamflow discharges at some control points located both upper and down stream of dams.

One of the currently available models is being studied to be applied with a least effort in order to support the ongoing project of KWATER (Korea Water Resources Corporation), "Establishment of integrated operation scheme for the dams in Han River Basin".

## I. 서론

최근 기상 이변으로 인한 홍수와 가뭄의 빈번함, 급증하는 용수수요 등은 수자원의 이용환경을 악화시키고 있다. 따라서 신규 수자원 개발의 필요성이 대두되고 있으나, 댐 개발단가 상승과 댐 건설에 반대하는 환경보존 논리의 확산으로 인해 과거와 같은 인위적인 수자원개발이 어려워지고 있다. 이에 따라 미래세대의 필요를 충족시킬 수 있는 능력을 훼손시키지 않으면서 현재의 필요를 충족시키는, 이른바 지속가능한 개발이 대안으로 자리를 잡고 있다.

이제는 수자원관리 개념을 공급위주의 관리에서 수요위주의 관리로 전환하고, 기존 댐의 운영방법 개선을 통해서 가용자원을 최대한 활용하여야만 한다. 한국의 경우에도 장래 물수요 증가와 기상 이변에 따른 가뭄과 홍수에 대비하기 위한 신규 수자원 개발이 불가피하나, 영월댐 건설의 백지화 과정을 통해 기존 댐의 효율적관리가 국가적인 물 관리 정책의 기초로 자리 잡게 되었다. 그러므로 발상의 전환에 의한 용수자원의 확보 및 홍수조절용량의 확충을 도모해야만 한다. 즉, 수요관리를 통해 용수수요 증가를 억제시키고, 운영방법 개선을 통해 용수공급량을 확대해야 할 것이다.

이에 대한 여러 가지 대비책 중 하나가 동일 수계 내 댐 군의 연계운영을 통한 기존 수자원 시설의 이용효율 극대화이다. 이러한 댐 군의 연계운영 계획수립을 위해서는 수계의 유출을 모의할 수 있는 모형이 구축되어야 하는데, 수계 유출을 모의할 수 있는 모형의 경우 한국의 금강유역을 대상으로는 정립되어가고 있으나 타 수계에서는 그렇지 못한 실정이다.

한국의 유역 유출모형은 유역환경이 한국과 유사한 일본에서 개발된 유출모형으로 Tank모형을 널리 사용하여 왔다. 그러나 이 모형은 black box적 성격 때문에 모형개선이 쉽지 않고 저수지 조작 기능이 미비되어 있어 근래에는 SSARR (Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation) 모형이나 NWSRFS(National Weather Service River Forecast System) 모형과 같이 토양함수량을 고려한 모형에 대한 적용성 검토가 시도되고 있다. 그런데 NWSRFS 모형은 시간간격의 제약성 때문에 홍수기의 수문예보에 더욱 적합한 모형이다. 이러한 배경하에 본 연구에서는 한강 유역의 장기유출해석을 위한 모형으로서 유역의 기후와 지형적 특성을 감안하고 입력 자료의 양과 질을 고려하여 SSARR 모형을 선정하였다. SSARR 모형은 미국의 Columbia 강과 베트남의 Mekong 강

등과 같은 대하천에 성공적으로 적용된 바 있으며, 한국에서도 강주환(1986) 이 한강유역에, 안상진과 이용수(1989)가 금강수계인 보청천유역에, 그리고 한국수자원공사(1996)에서 낙동강유역과 금강유역에 각각 적용한 바 있다. 강우 뿐 아니라 강설에 따른 유출계산도 가능한 SSARR 모형은 집중 매개변수 모형으로서 24개 이상의 매개변수를 시행착오방법에 의해 최적값을 찾게 된다.

따라서 본 연구에서는 한강유역을 대상으로 유출모형을 구성하기 위해 기본모형으로 선정된 SSARR 모형의 매개변수 민감도 분석, 검정 및 보정을 실시하여, SSARR 모형에 의해 한강유역 전체를 모의할 수 있는 유출체계를 구성하였다.

## II. 이론분석

한강수계의 유출분석을 위해 사용된 SSARR 모형은 미국 공병단의 북태평양지구에서 수자원시스템의 계획, 설계 및 관리를 위한 수학적 수문모형으로 1956년 처음 개발되었다. SSARR 모형에는 DC(Depletion Curve) 버전 모형과 IS(Integrated Snowband) 버전 모형이 있는데 본 연구에서는 저수유출모의에서 회귀지하수 추적기능과 증발산 기능 등 장기유출에 유용한 기능이 보완된 IS버전 모형을 적용하였다. SSARR-IS 모형은 유역을 고도에 따라 1~20개의 밴드로 분할하고 고도에 따른 강우량과 토양함수량 및 기온에 따른 증발산량의 변화 등을 고려하여 유출해석을 수행한다. 이 방법은 강설과 토양수분이 고도별로 차이가 있다는 점에 착안한 것으로, 밴드는 보통 고도 600m 간격으로 분할한다. SSARR 모형의 유출모의 시스템은 크게 입력, 용설, 토양수분, 유출로 구성되어 있으며 이들의 유출해석과정은 다음과 같다.

우선 유역내 또는 인근의 관측소에서 얻어진 강수량자료와 기온자료로부터 각 밴드별 강수량과 기온을 산정한다. 다음으로 차단에 의한 손실을 제외한 밴드별 강수량에 대해 그 날의 기온에 따라 강우와 강설로 구분한다. 강우의 경우는 적설이 없을 경우 바로 지표면으로 이동하게 되고, 강설인 경우는 기존의 적설량에 추가되거나 적설이 없을 경우 새로운 적설을 형성하기도 한다. 만일 적설이 있는 경우 강우량에 따라 강우에 의한 용설 또는 온도에 의한 용설을 일으키게 되고 용설된 수분은 토양으로 이동하게 된다. 강우와 용설량의 합은 토양수분지수(SMI : Soil Moisture Index)에 따라 토양수분과 유출량으로 나뉜다. 토양수분지수는 토양수분의 상태에 따른 유출율의 함수이다. 토양수분은 증발산에 의해서만 소멸되고 유출에 기여하지는 않는다. 유출량은 기저침투량지수(BII : Baseflow Infiltration Index)에 의해 직접유출과 기저유출로 구분된다. 직접유출은 다시 지표면-지표하유출비(S-SS :

Surface- Subsurface Separation)에 따라 지표면유출과 지표하유출로 구분되며, 기저유출은 회귀지하수층(LZ : Lower Zone)에 의해 지하수유출과 회귀 지하수유출로 나뉜다. 각 유출성분들은 지표면, 지표하, 지하수, 회귀지하수로 저수지에 유입되고 저수지추적방법을 통해 독립적으로 하도로 유입되어 각 유출량의 합이 하천유출량으로 산정된다.

## III. 입력자료 구성

### 1. 대상유역 및 소유역 분할

한강유역은 유역면적이 25,702.6km<sup>2</sup>이고 하천의 길이가 494.4km로써 한국에서 제일 큰 유역이다. 한강유역은 수자원 장기종합개발계획, 한강홍수예경보, 기존댐 용수공급능력조사(한강수계), 한강유역조사보고서 및 방재종합중장기계획에 따른 주요지점을 종합적으로 고려하여 그림 1과 같이 24개의 소유역으로 분할하였다.

### 2. 소유역별 면적강우량 및 고도별 면적비

본 연구와 연계하여 향후 한강유역의 소양강댐, 충주댐, 횡성댐, 충주조정지댐, 화천댐, 춘천댐, 의암댐, 청평댐, 괴산댐 및 팔당댐 유역과 24개 소유역 출구의 유출분석을 위해 필요한 강우관측소의 선정은 건설교통부 관할 91개소, 기상청 관할 11개소 및 한국수자원공사 관할 49개소 총 151개의 강우관측소를 기본으로 하여 구성하였다. 소유역별 일평균강우량은 선정된 강우관측소별 티센계수에 의해 산정되었다.

유출모의를 위한 강우-유출 모형인 SSARR-IS 유역모형은 소유역에 따른 고도별 면적비를 입력자료로 사용하게 된다. 이들 각각의 소유역에 대한 고도별 유역면적과 고도별 면적비는 DEM 자료와 Shp 파일로 작성된 한강수계 소유역분할도를 사용하여 GIS Tool인 ArcView 3.2에 의해 산정되었다.

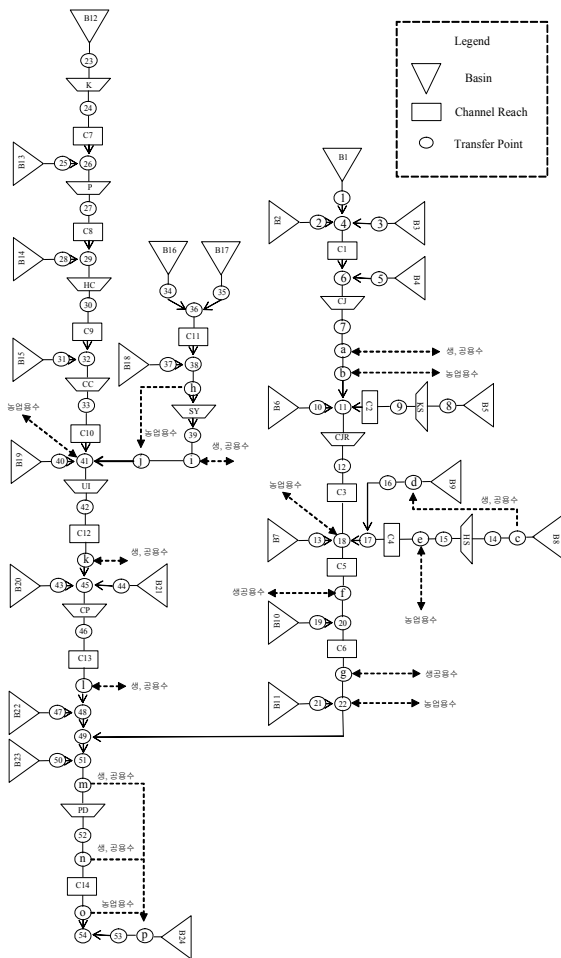


▶▶ 그림 1. 소유역 분할도

### 3. 용수이용자료 및 회귀율

한강수계의 용수이용자료는 한강유역조사보고서를 참조하여 소유역별로 재정리하였으며 용수회귀율은 한강유역조사보고서에 제시되어 있는 것을 적용하였다. 즉 생활용수의 회귀율은 80%, 공업용수의 회귀율은 60%, 농업용수의 회귀율은 기간별로 구분하여 3월부터 8월까지 35%, 9월부터 11월까지 70%로 하였다.

이러한 한강수계의 용수이용체계를 고려한 모식도는 그림 2와 같다.



▶▶ 그림 2. 유출 모식도

### 4. SSARR 모형의 매개변수 및 기준값 선정

SSARR 모형의 매개변수는 토양습윤상태별 유출률(SMI-ROP), 침투량별 지하수 유입률(BII-BFP), 지표수와 복류수의 분리(S-SS), BII와 관련된 BII의 저류시간(BIITS), 최대 BII(BIIMX), 최대지하수유출률 (BFLIM), 지하수중 회귀지하수가 차지하는 비율(PBLZ), 유역추적 매개변수는 지표수, 복류수, 지하수 및 회귀지하수의 각 흐름장에 대한 저류시간이다. 하도추적 매개변수는 식(1)의  $n$  과  $KTS$  이다.

$$T_s = \frac{KTS}{I^n} \tag{1}$$

여기에서  $KTS$  는 시행착오적 방법에 의해 결정되는 상수이고  $I$  는 유량,  $n$  은 -1과 1 사이의 값을 갖는 계수이다.

매개변수의 민감도분석을 위해 각 매개변수의 기준값을 SSARR 매뉴얼을 참조하여 표 1과 같이 선정하였다.

### 5. 내부처리 매개변수의 민감도분석

한강유역의 민감도분석을 위해 선정된 소유역은 17번 소유역이다. 17번 소유역은 한강유역의 소유역에서 유역면적과 CN(Curve Number)값이 전체평균에 비교적 가까운 소유역이다. 분석에 사용된 수문기상자료는 가뭄과 홍수가 동시에 발생했던 2002년 자료 중 최대유량값을 보이는 시기를 전후로 하여 한 달간의 자료를 선정하였다.

[표 1] 내부처리 매개변수의 민감도분석을 위한 기준치

SMI	SMI (cm)	0	1	2	999				
	ROP (%)	15	53	100	100				
BII	BII (cm/day)	0.0	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	5.0	100.0
	BFP (%)	44	16	14	12	11	10	10	10
	BIITS : 40hr, BIIMX : 3cm/day, BFLIM : 0.13cm/hr								
S-SS	input rate (cm/hr)	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	
	sf. comp. (cm/hr)	0.00	0.19	0.68	1.18	1.68	2.18	2.68	
PBLZ	50 %								
Ts(hr)	surface:3, subsurface:10, baseflow:100, lower zone:1,000								

민감도분석을 위한 각 매개변수의 범위는 SSARR 매뉴얼을 참조하여 적당하다고 판단되는 범위를 설정하여 분석을 실시하였다. SMI-ROP곡선은 기준값(SMI2)으로부터 10%씩 상향(SMI3) 또는 하향(SMI1)시킨 곡선에 대한 민감도를 분석하였고, BII-BFP곡선은 BII값이 0일때의 값만 10%씩 증가(BII3)하고 감소(BII1) 시킨 값, 그리고 S-SS곡선은 0.15 cm/hr씩 증가(SSS3)하고 감소(SSS1) 시킨 값에 대하여 각각 분석을 실시하였다. 이들을 포함하여 유역유출과 관련된 제반 매개변수의 기준값과 범위 및 민감도를 나타내었다. 민감도의 지표유량으로서 고수시는 첨두유량을 그리고 저수시는 직접유출이 끝나는 시점(변곡점 직후로부터 17일)에서의 유량을 각각 선정하였다. 여기서 민감도는 식(2)와 같이 매개변수의 증감량에 대한 유량변화량의 기하평균값으로 정의된다.

$$\sqrt{\frac{[(\frac{Q_u - Q_o}{Q_o}) / (\frac{P_u - P_o}{P_o})]^2 + [(\frac{Q_o - Q_l}{Q_o}) / (\frac{P_o - P_l}{P_o})]^2}{2}} \tag{2}$$

여기서 Q와 P는 각각 유량과 매개변수값을 나타내며 하첨

자  $o, u, l$ 은 각각 지표값과 상한값 및 하한값을 의미한다.

토양습윤상태별 유출율은 SMI2 곡선에 대한 SMI1 곡선과 SMI3 곡선의 민감도를 분석한 결과에 따르면, 이 매개변수를 통해 침투유량과 총유출량을 조정하는 데에는 한계가 있으나 중요한 매개변수 중에 하나라고 볼 수 있다.

침투량별 지하수 유입률은 총유출량 중 지하수로 유입되는 비율을 설정하는 매개변수이며 분석결과 고수시 민감도보다 특히 저수시 민감도가 크게 나타나고 있다. 이를 통해 저수시 유량에 대한 보완이 어느 정도 가능할 것임을 알 수 있다.

지표수와 복류수 분리 매개변수의 변화에 따른 결과로는 침투유량과 저수시 유량에서 타 매개변수 보다 다소 민감한 변화가 있으므로 이 매개변수를 통해 침투유량과 총유출량을 조절 할 수 있을 것으로 사료되나 한계가 있을 것으로 판단된다.

BII와 관련된 매개변수는 BII의 저류시간(BIITS), 최대 BII(BIIMX)와 최대지하수유출율(BFLIM)이 있다. 고수시는 물론이고 저수시에도 둔감한 결과를 보이고 있다.

지하수 중 회귀지하수가 차지하는 비율을 의미하는 매개변수는 지하수로 유입되는 유량 중에서 지하 깊숙이 저류되었다가 비교적 오랜 시간이 경과한 후에 유출되는 유량이 전체 지하수 유입량에서 차지하는 비율을 나타낸다. 이 매개변수는 침투유량에 미치는 영향이 미소하지만, 저수시의 유량 변화가 두드러진다. 지하수 중 회귀지하수가 차지하는 비율의 증가에 따라 침투유량 직후에 형성되는 지하수감수곡선에 기여하는 지하수 유출량은 감소하게 되며 감소된 유량은 차후에 장기적으로 유출되는 것이다.

## VI. 결 론

본 연구에서는 한강유역의 유출모형을 구성하기위해 기반 모형인 SSARR 모형의 입력자료를 구축하였다. 입력자료에 따른 모형의 매개변수에 대한 보정과 검증에 앞서 매개변수의 민감도 분석을 내부처리 매개변수에 한정하여 분석하였다. 본 연구의 II보에서는 유역 매개변수의 민감도 분석을 포함한 매개변수의 검보정과 연물수지 분석을 실시하고자 한다.

### ■ 참 고 문 헌 ■

- [1] 안상진, 이용수, "SSARR 모형에 의한 유역유출 해석", 한국수문학회지, 제22권, 제1호, pp. 109-116, 1989.
- [2] 한국수자원공사, 기존댐 용수공급 능력 조사(한강) 보고서, 1997.
- [3] 한국수자원공사, 저수유출수문모형 개발, 2000.
- [4] 한국수자원공사, 한강수계 연속유출모형 실용화 보고서, 2004.