유역유출모형의 매개변수 변화에 따른 유출량 변화

황만하*, ○맹승진*, 고익환**, 박정인***

I. 서론

한국수자원공사에서는 과거 이수관리를 목적으로 한 연구 및 적용 사례가 다소 있음에도 불구하고 이수 물관리의 근간이 되는 수계 저수유출을 모의할 수 있는 모형은 정립되어 있지 못한 실정이다. 이수관리모형을 적용하기 위해서는 유역 유출량의 파악이 선행되어야 한다. 그러나 지금까지의 많은 연구에서 지적되어 왔듯이, 우리나라에서는 기초수문조사, 특히 유량관측의 미비로 말미암아, 이수관리모형의 주요 입력자료인 유출량 자료의 확보가 어려운 상황이다.

이수관리를 위해 수문모형을 이용하면 비교적 자료기간이 길고 관측밀도가 높은 강우량으로부터 유출량을 모의 산정 할 수 있다. 유출분석은 일단위, 또는 주간, 순간, 월간 및 연단위의 유출을 연속적으로 모의하여야 하며, 이와 같은 목적의 수문모형도 많이 개발되어 왔으나, 국내에서 사용되어 온 모형으로는 미국 공병단의 SSARR, 미국 기상청의 NWSRFS 또는 NWS-PC, 개념적 모델인 TANK, 그리고 DAWAST 모형 등을 대표적으로 들 수 있다. 그러나 다행히 21세기 프론티어 사업의 일환으로 수행중인 '실시간 물관리 운영 시스템 구축 기술 개발' 과제를 통해, KOWACO형 저수유출 기반 모형으로 SSARR 모형을 선정하였다. 본 연구에서는 기반 모형으로 선정된 SSARR 모형의 매개변수 민감도 분석을 통해 향후 신빙성 있는 유출을 모의할 수 있도록 하고자 한다.

II. 소유역 분할 및 수문관측 현황

1. 소유역 분할

유역유출분석 모형을 금강수계에 적용하여 주요 유출 제어지점에 대한 유출을 모의하기 위해서는 유역을 여러 개의 소유역으로 분할하는 과정이 선행되어야 한다.

유역면적이 9,810.4㎢이고 하도길이가 395.9㎞인 금강유역의 소유역 분할을 위해 장기용수공급계획 측면과 유역종합개발계획 측면 그리고 방재종합대책 측면을 고려하였다. 그 결과 12개의 소유역으로 분할하여 그림 1에 도시하였다.

2. 수문관측현황

금강유역내에는 건설교통부에서 관할하는 유량 및 수위 관측소와 기상청에서 강우량, 증발량, 온도, 바람, 습도 등의 기상관측을 실시하고 있는 측후소와 관측소가 있다. 또한 한국수자원공사와 농업기반공사 등에서 부분적으로 관측하고 있는 우량 및 수위 관측소가 있는데, 이들을 모두 합하면 금강유역내 기상 및 수문관측소는 1999년 12월 총 140개소가 설치 운용되고 있다. 이 중 건설교통부 관할의 우량 및 수위관측소가 각각 53개소, 37개소로 대부분을 차지한다. 한국수자원공사 우량관측소는 장수, 계북, 진안 등 26개소 모두 대청댐 유역내에 설치되어 있고, 수위관측소는 호탄, 송천, 대청댐 등 8개소가 있다. 한편 농업기반공사는 우량관측소 5개

* 한국수자원공사 수자원연구소 책임연구원
** 한국수자원공사 수자원연구소 수자원연구부장
*** 한국수자원공사 수자원연구소 위촉연구원

소와 수위관측소 4개소를 설치하여 운영하고 있다. 기상청에서 운영하는 기상관측소는 청주, 대전, 장수, 군산, 보은, 부여, 금산 등 금강 유역 내에 총 7개 관측소가 있는데, 이중 지방기상청은 대전지방기상청 1개소이고, 기상대는 군산, 청주기상대 2개소이며, 나머지 장수, 금산, 부여 보은관측소는 기상관측소이다. 또한 장수, 금산, 보은관측소는 대청댐 유역 내에 있고 청주, 군산, 대전, 부여는 대청댐 하류에 설치되어 있다.

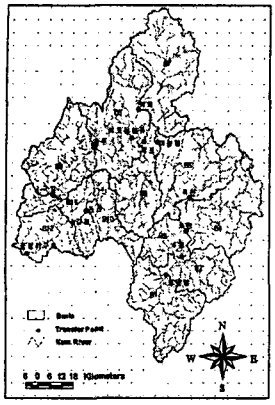


그림 1. 소유역 분할도

III. 결과 및 고찰

1. 모형의 선정

근간에 소개된 여러 수문모형 중 SSARR, Tank 및 NWSRFS 모형을 중심으로 '실시간 물관리 운영 시스템 구축 기술 개발' 과제 수행에 적절한 모형을 선정하고자 한다. 본 연구 목적이 저수시 저수지의 최적방류량 결정에 있음을 감안하면 저수지조작 기능까지 있는 SSARR 모형이 우월한 반면 저수지 추적 기능 조차 없는 Tank 모형이 열등하다. 3개 모형 모두 WMO 모형비교 프로그램에 참여한 바 있고 세계각지에서 널리 쓰인다는 점에서 유역특성에 별 구애를 받지 않는 우수한 모형임엔 틀림없지만, 국내적용사례(Cho et al., 1995)에서는 저수시 불량한 결과를 보이고 있으나, 한국수자원공사(1995)에서는 적절한 결과를 보이고 있는 NWSRFS 모형과 강주환(1986)이 한강유역에, 안상진과 이용수(1989)가 금강수계인 보청천유역에, 한국수자원공사(1991, 1996)에서 낙동강에, 한국수자원공사(2001)에서 한강유역에 적용한 SSARR 모형이 양호하다. 우리와 기후가 유사한 인접국가인 일본에서 개발되었다는 점에서 Tank 모형이 우월하다고 할 수 있다. 저수유출을 위한 계산시간간격은 24시간으로 선택하는 것이 가장 보편적이며 더우기 국내하천의 제반 자료가 24시간 간격으로 조사되어 있는 것이 많다는 점에서 계산시간간격에 제한이 있는 NWSRFS 모형이 가장 열등하고 같은 맥락에서 SSARR 모형이 가장 우월하다. 이상에서 종합적으로 판정할 때 우리나라 유역에서 실제 적용사례가 풍부한 SSARR 모형을 기반 모형으로 선정하기로 하였다.

2. 민감도 분석

비교적 최근 자료이며 강우자료의 결측이 적은 1996년을 분석기간으로 선정하였다. 1월 1일부터 12월 31일까지를 SSARR모형으로 모의하였으며 여러가지 초기조건은 적절하게 가정하여 부여하였다. 본 연구에서는 소유역별 매개변수의 독립적 산정은 차후로 미루고 대청댐 유입량 및 공주 수위표 지점에서의 결과만으로 변수를 보정하였다.

상기 제어지점에서의 계산결과를 관측치와 함께 1997년의 모의 결과는 그림 2 및 그림3에 1월 1일부터 12월 31일까지 각각 도시하였다. 대청댐과 공주 수위표 지점에서 1997년의 계산치와 관측치 결과에 대한 각각의 년단위 유출 경향은 비교적 양호하나, 대청댐의 경우, 계산된 첨두유입량이 관측치 보다 크게 나타나는 경향이 있고 공주 수위표 지점의 경우, 1997년에는 계산된 첨두유입량이 관측치 보다 크게 나타나는 경향이 있다. 이러한 것은 변수보정의 방향설정에 반영하지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

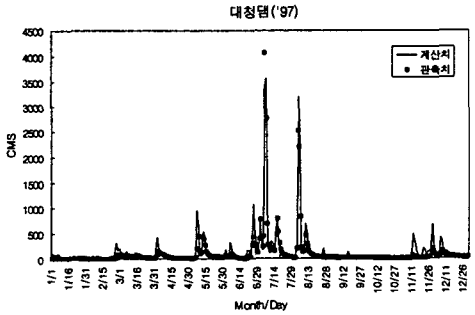


그림 2. 모형 보정전 결과

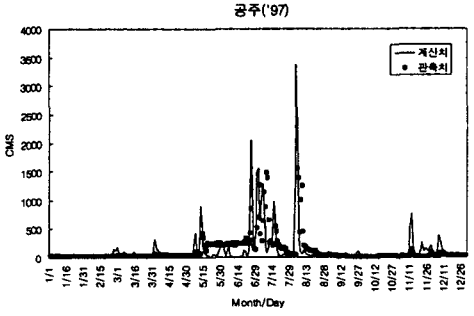


그림 3. 모형의 보정전 결과

내부처리 매개변수에 해당하는 매개변수에 대하여 한 개의 소유역을 선정하여 각 매개변수별로 민감도분석을 실시하였는데 민감도분석의 기준값은 표 1에 정리하였다. 선정된 소유역은 6번 소유역인데 이는 유역의 중하류부에 위치하고 있으며 유역면적이 전체평균에 비교적 가까운 소유역이다. 분석에 사용된 수문기상자료는 '97년 자료 중 최대유량값을 보이는 시기를 전후로 한 한달간의 자료를 선정하였다.

표 1. 내부처리 매개변수의 민감도분석을 위한 기준치

SMI	SMI (cm)	0	1	2	3	4	5	10	999
	ROP (%)	8	19	43	68	85	93	100	100
BII	BII (cm/day)	0.0	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	5.0	100.0
	BFP (%)	45	16	14	13	12	11	10	10
	BIITS : 40 hr, 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	0.15	0.57	1.07	1.57	2.07	2.57	
PBLZ	50 %								
T_s(hr)	surface:3, subsurface:10, baseflow:100, lower zone:1,000								

민감도분석을 위한 각 매개변수의 범위는 SSARR Manual을 참조하여 적당하다고 판단되는 범위를 설정하여 분석을 실시하였다. SMI-ROP 곡선은 기준값으로부터 10%씩 상향 또는 하향시킨 곡선에 대한 민감도를 분석하였고, BII-BFP곡선은 BII값이 0일때의 값만 10%씩 증감시킨 값, 그리고 S-SS곡선은 0.15 cm/hr 증감시킨 값에 대하여 각각 분석을 실시하였다. 또한 첨두값의 변화를 포함한 수문곡선의 전체적인 변화양상을 그림 3 ~ 그림 15에 도시하였으며 분석결과를 매개변수별로 살펴보면 다음과 같다. .

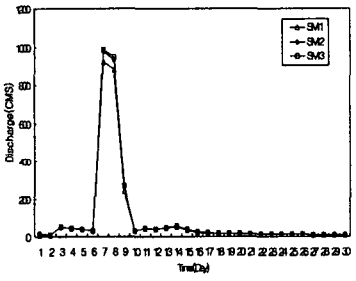


그림 3. SMI의 민감도

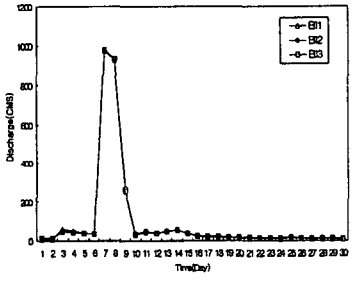


그림 4. BII의 민감도

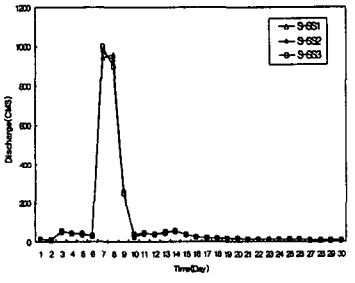


그림 5. S-SS의 민감도

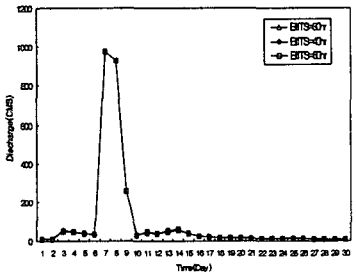


그림 6. BIITS의 민감도

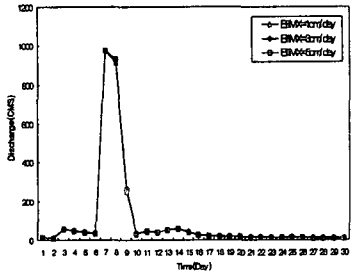


그림 7. BIIMX의 민감도

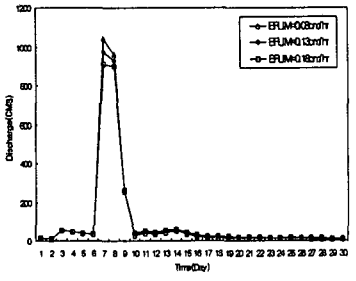


그림 8. BFLIM의 민감도

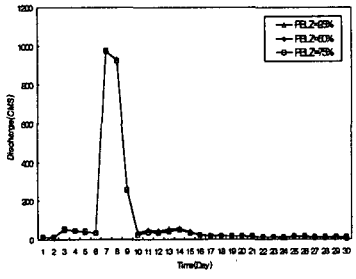


그림 9. PBLZ의 민감도.

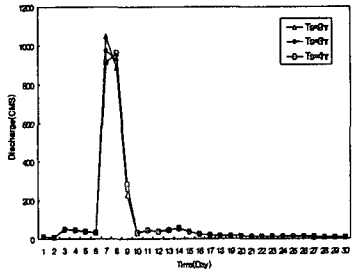


그림 10. 지표수 저류시간의 민감도.

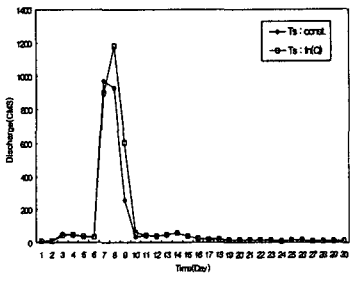
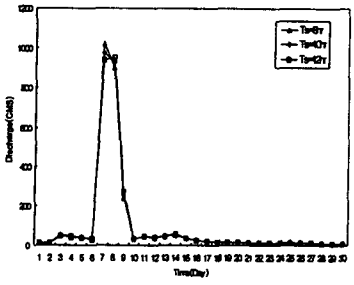
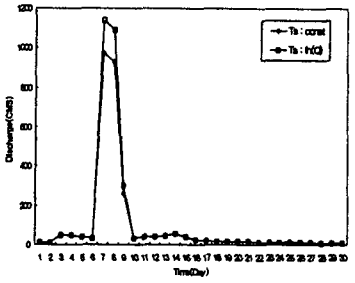


그림 11. 지표수 저류시간을 유량함수로 한 민감도





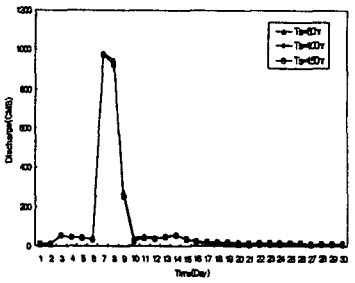
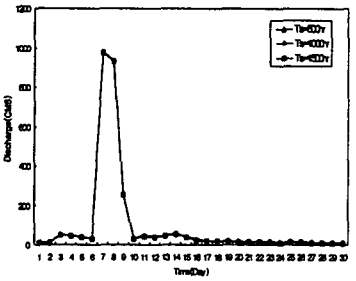
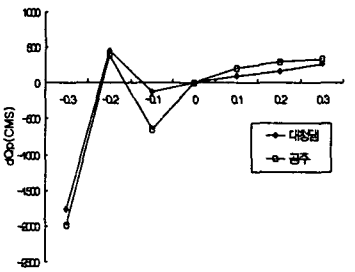


그림 12. 복류수 저류시간의 민감도. 그림 13. 복류수 저류시간을 유량함수로 한 민감도. 그림 14. 지하수 저류시간의 민감도





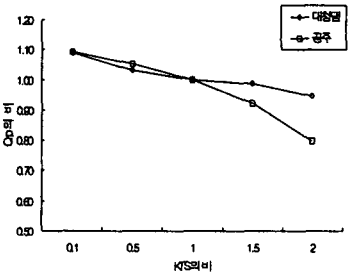


그림 15. 회귀지하수 저류시간의 민감도　　그림 16. n의 민감도　　그림 17. KTS의 민감도

하도추적 매개변수에는 가상저수지의 수효와 n, 그리고 KTS가 있는데 이들의 기준값은 n이 0.2인 상태이다. 유역추적의 민감도분석과 마찬가지로 가상저수지의 수효를 고정한 상태에서 n과 KTS에 대한 민감도분석을 실시하였다. 매개변수의 민감도분석을 통해 관측치가 존재하는 2개 제어지점의 첨두유량의 변화를 고찰하여 이러한 현상의 완화정도를 파악하고자 하였으며 그 결과는 그림 16 및 17과 같다.

IV. 결론

1. 토양습윤상태별 유출율(SMI-ROP)는 내부처리 매개변수 중에서 고수와 저수를 막론하고 민감한 변수다. SMI 곡선에 의한 수문곡선과 같이 이 매개변수를 통해 총유출량과 첨두유량을 조절할 수 있다.

2. 침투량별 지하수 유입률(BII-BFP)은 총유출량 중 지하수로 유입되는 비율을 설정하는 매개변수이며 분석결과 고수시 민감도보다 특히 저수시 민감도가 크게 나타나고 있어 이를 통해 저수시에 대한 보완이 어느 정도 가능할 것임을 알 수 있었다.

3. 지표수와 복류수 분리(S-SS)는 첨두유량과 저수시 유량에서 민감한 변화가 있으므로 이 매개변수를 통해 첨두유량과 총유출량을 조절 할 수 있으나 한계가 있을 것으로 판단된다.

4. BII의 저류시간(BIITS), 최대BII(BIIMX)와 최대지하수유출율(BFLIM) 등이 있는데 이들의 분석결과 고수시는 물론이고 저수시에도 둔감한 결과를 보이고 있다.

5. 지하수 중 회귀지하수가 차지하는 비율(PBLZ)는 지하수로의 유입유량 중 지하 깊숙히 저류되었다가 비교적 오랜 시간이 경과한 후에 유출되는 유량이 전체 지하수 유입량에서 차지하는 비율을 나타내는 매개변수로서 분석결과 첨두유량에 미치는 영향은 미소하지만, 저수시의 유량 변화가 두드러졌다.

6. KTS의 증가에 따른 첨두유량의 감소는 있으나 KTS가 감소할 경우 첨두유량의 변화는 대체적으로 10% 이내로 작았다.

감사의 글

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