

유역관리모형을 이용한 금강유역 물수지 분석

Analysis of Water Balance in the Geum River Basin using Watershed Management Model

류경식*, 황만하**, 맹승진***, 이상진****

Kyong Sik Ryoo, Man Ha Hwang, Seung Jin Mang, Sang Jin Lee

요 지

현재 우리나라는 건설교통부, 한국수자원공사 등에서 많은 수위 관측소를 설치·운영하고 있지만 대부분의 수위 관측지점은 유량환산시에 이용되는 수위-유량관계곡선이 지속적으로 개발되지 못하고 있기 때문에 신뢰성 높은 유출량 자료를 제공하지 못하고 있을 뿐만 아니라 유출에 기여하고 있는 유출성분에 따른 유출비율 등을 파악하지 못함으로써 유동적인 유역 수자원관리가 어려운 실정이다. 따라서 과학적이고 통합적인 수자원 관리를 위해서는 유역내 수자원의 이동경로를 비롯해서 수자원의 정량적 변화를 명확하게 파악할 수 있어야 하며 또한 강수로 인해 발생할 수 있는 유출량을 보다 정확하고 상세하게 파악할 수 있어야만 하기 때문에 본 연구에서는 다년간 유역정밀조사와 현장조사를 실시한 바 있는 금강유역을 대상으로 유출성분별 유출량을 상세히 분석하고자 인위적요소인 용수이용량 및 회귀율 등을 반영한 사실적인 유출을 모의하는 유역관리모형을 통해 유출량을 검증하고 이를 유출성분별로 분리한 후 유역내 물수지분석을 실시하였다.

핵심용어 : 유출특성 해석, SSARR 모형, 물수지 분석, 민감도 분석

1. 서 론

우리나라는 매년 홍수와 가뭄의 피해를 주기적으로 겪고 있는 실정이다. 그 중에서도 홍수피해에 대해서는 경제적, 산업적 측면에서 국가 산업 발전과 함께 홍수피해에 민감하게 대응하여온 편(건설교통부, 2002)이나 가뭄피해는 홍수피해에 비해 상대적으로 대응체계가 미약한 실정이다. 그러나 유역 물관리는 가뭄시 공급자의 의사결정이 어떻게 이루어지느냐에 따라 사용자의 고통이 경감될 수 있을 뿐 아니라 국가 경제 및 산업적 측면에서의 피해액을 최소화할 수 있기 때문에 홍수기 보다는 이수기 또는 가뭄시에 더욱 더 중요하다.

최근 우리나라는 매년 반복되고 있는 홍수와 가뭄, 가속화되는 수질 및 환경오염, 물 사용량의 증가로 인한 물 부족과 물 분쟁 등에 대한 사회적 어려움을 슬기롭게 극복하기 위하여 물관리의 새로운 패러다임을 적극 반영한 유역단위의 보다 종합적이고 과학적인 통합 수자원 관리체계의 정착과 이를 지원하는 기술을 개발하고자 노력하고 있다. 그러나 이러한 과학적이고 통합적인 수자원 관리를 위해서는 우선 유역내 수자원의 이동경로를 비롯해서 수자원의 정량적 변화를 명확하게 파악할 수 있어야 하며 또한 강수로 인해 발생할 수 있는 유출량을 보다 정확하고 상세하게 파악할 수 있어야만 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 금강유역을 대상으로 유역관리모형을 통해 세분화된 유출성분에 따른 유출특성을 분석하고 유역내 물수지를 분석하여 유역 물관리 운영 자료로 제공하고자 한다.

2. 대상유역 및 유출모의구성체계

본 연구의 대상유역은 신뢰성 높은 수문자료를 획득하기 위해 다년간 유역정밀조사와 현장조사를 실시한

* 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 공동연구원 · E-mail : ksryoo@chungbuk.ac.kr
** 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 수석연구원 · E-mail : mhwang@kwater.or.kr
*** 정회원 · 충북대학교 지역건설공학과 교수 · E-mail : maeng@chungbuk.ac.kr
**** 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원 · E-mail : sjlee@kwater.or.kr

바 있는 금강유역을 대상으로 하였으며 해당유역을 총 14개의 소유역으로 구분한 소유역 분할도 및 유출모의 구성체계는 그림 1 및 그림 2와 같다.

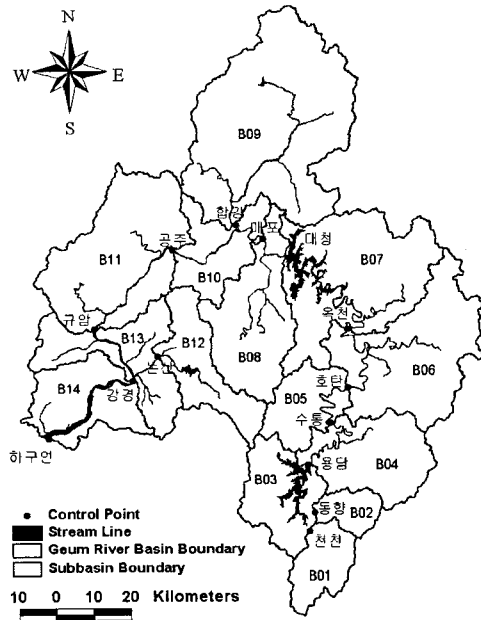


그림 1. 금강유역 소유역 분할도

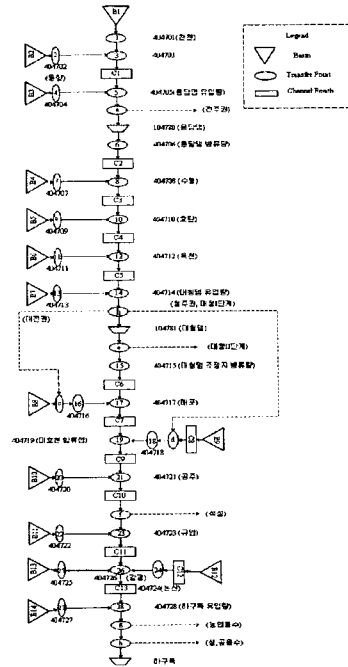


그림 2. 금강유역 유출 모의 구성도

3. 기본자료 수집 및 보정

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.

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 수량파악 및 관리가 잘 이루어지는 편이다. 그러나 농업용수는 농번기인 4월~9월에 집중적으로 이용되어지고 그 외 10월~익년 3월까지의 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. 모형의 보정

민감도분석을 위한 각 매개변수의 범위는 SSARR 사용자 지침서(USACE, 1991)을 참조하여 적당하다고 판단되는 범위로 설정하였다. SMI-ROP(토양습윤상태별 유출율)곡선은 기준값으로부터 10%씩 상향 또는 하

향시킨 곡선에 대한 민감도를 분석하였고, BII-BFP(침투량별 지하수 유입률)곡선은 BII값이 0일때의 값만 10%씩 증감시킨 값, 그리고 S-SS(지표수와 복류수 분리)곡선은 0.15 cm/hr 증감시킨 값에 대하여 각각 분석을 실시하였다. 이들을 포함하여 유역유출과 관련된 제반 매개변수의 기준값과 범위 및 민감도를 고수시와 저수시로 각각 제시하였다.

본 분석에서 모형의 보정기간은 다양한 유출특성이 반영될 수 있도록 장기간에 해당하는 18년간('83 ~ 2000년)의 자료를 이용하였으며 최종적인 적정매개변수는 년 단위로 보정을 실시한 후, 이를 종합하여 결정하였다. 매개변수의 보정은 상기 민감도 분석결과 고수시에는 SMI와 S-SS가, 저수시에는 SMI, BII, BFLIM, PBLZ 및 T_s 가 민감한 것으로 판단되어 해당 매개변수에 대해 고수시와 저수시로 분리하여 실시하였다. 또한 본 분석에 적용된 매개변수는 크게 용담댐상류, 용담댐~대청댐 및 대청댐하류 권역으로 분류하여 적용하였다. 이는 각 소유역별 관측유량의 정확성 부재로 인해 더욱 세분화된 소유역별 매개변수 산정은 유역내 물수지 분석시 더 큰 과오를 유발시킬 가능성이 있을 것으로 판단되어 보다 신뢰성 높은 유량자료를 제공하고 있는 본 3개 지점만을 대상으로 권역을 분류하여 적용하였다.

5. 결과 및 고찰

5.1 모형의 검증결과

모형의 검증을 위해서는 통상적으로 과거 일정기간을 대상으로 모형의 보정을 실시하며 해당기간에서 결정된 적정매개변수를 이용하여 타년도의 유출량을 모의하고 이를 관측치와 비교분석을 실시한다. 따라서 본 분석에서도 2000년 이전자료를 토대로 모형을 보정하였으며 2001년~2005년을 대상으로 모형을 검증하였다. 그중 2005년에 대한 공주지점 유출모의검증결과는 그림 3과 같으며 연별 유량의 계산치와 관측치에 대한 고수 및 저수시의 상대오차(RE)와 제곱평균제곱근오차(RMSE)를 분석한 결과는 각각 표 1 및 표 2와 같다.

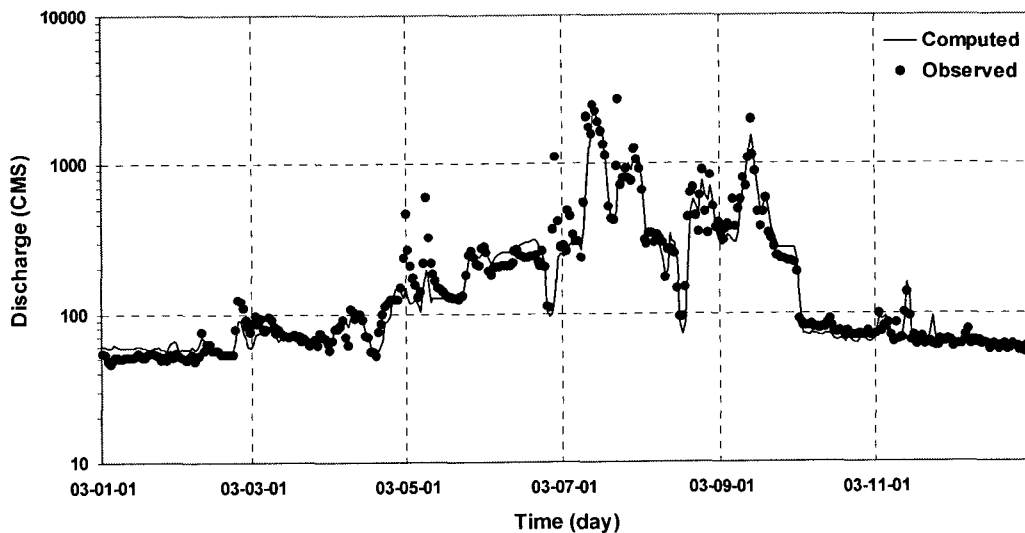


그림 3. 공주지점 유출모의검증결과(2003년)

표 1. 고수시 오차검정결과

(단위 : cms)

지점	년도	Obs.	보정전			보정후		
			Sim.	RE	RMSE	Sim.	RE	RMSE
공주	2001	17644	18266	-4%	66.6	12682	28%	56.0
	2002	27853	39988	-44%	202.0	28258	-1%	159.5
	2003	68474	71194	-4%	175.5	60968	11%	213.5
	2004	37772	45239	-20%	165.2	34758	8%	190.8
	2005	38404	50176	-31%	158.1	36592	5%	121.1
	평균	38030	44923	-20%	153.5	34652	10%	148.2

표 2. 저수시 오차검정결과

(단위 : cms)

지점	년도	Obs.	보정전			보정후		
			Sim.	RE	RMSE	Sim.	RE	RMSE
공주	2001	14635	10001	32%	31.4	11148	24%	26.9
	2002	16772	16665	1%	43.9	16823	0%	43.9
	2003	20078	19936	1%	37.6	20631	-3%	39.3
	2004	17812	16458	8%	35.5	17493	2%	31.9
	2005	13931	12519	10%	23.7	13579	3%	19.4
	평균	16646	15116	10%	34.4	15935	5%	32.3

유출모의검증결과, 그림 3에서와 같이 일별 유출량변화가 저수위와 고수위시 모두에서 잘 모의하고 있음을 확인할 수 있다. 이는 모형을 통해 유역내에서 발생하는 유출량을 성분별로 잘 모의했다는 결과로 판단될 수 있으며 표본예로 표 1 과 표 2에서도 공주지점의 총량에 대한 상대오차(10%)와 일별 유출에 대한 RMSE(34.4)가 보정후 각각 5%와 32.3으로 많은 개선이 되었다. 간혹 저수기 2001년도 유출총량이 차이를 보이는 결과는 모형상에서 지점강우를 면적강우로 적용할시 발생될 수 있는 오차와 실측유량 산정시에 부적절한 Rating-Curve곡선식이나 저수용적곡선이 이용되어 발생하는 오차에 기인된 것으로 판단되므로 본 분석의 매개변수 보정은 적정하게 이루어졌다고 할 수 있다.

5.2 년단위 물수지 분석

본 분석에서는 금강유역내 물수지 분석을 실시하기 위해서 년단위로 실시하였다. 이는 가뭄과 홍수와 같은 기상상황의 변화에 따른 분석결과의 차이를 파악할 수 있어 향후 기상상황에 따른 유출에 대해 현재 기여하고 있는 주요 유출성분이 무엇인지? 그 규모는 어떠한지? 등을 사전에 예상할 수 도 있을 것이다. 현재 본 분석의 검증기간으로 이용된 2001~2005년에는 대표적인 가뭄년인 2001년이 포함되고 있으며 또한 대체로 큰 홍수가 발생된 2003년이 포함되어 있어 가뭄과 홍수에 따른 유역 물수지 변화를 파악하는데 큰 도움이 될 것이다. 본 분석에서의 금강유역 연별 및 5년 평균 물수지 분석결과는 표 3과 같다.

과거 23년간의 금강유역 연별 강수량은 690~1,758mm로 나타났으며 연평균강수량은 1,250mm로서 국내 연평균강수량과 유사하였다. 5년간의 본 분석기간중 2001년 850mm는 과거 강수중 극히 적은 강수로서 극한가뭄에 해당하는 가뭄년이며 2003년 1,459mm는 비록 극한 홍수라 하기에는 다소 적은 강수지만 홍수년으로 볼 수 있을 것이다. 따라서 가뭄년인 표 3의 2001년 물수지 분석결과는 손실량이 평균치보다 19.6% 크게 나타났으며 유출량중에서는 지하회귀수의 유출비중이 가장 큰 것으로 나타났고 홍수년인 2003년 물수지 분석결과는 손실량이 평균치보다 6% 작게 나타났으며 유출량중에서는 복류수에 의한 유출이 가장 큰 비중을 차지하고 있는 것으로 분석되었다. 또한 5년간의 총유출율은 48%인 것으로 분석되었으며 이는 과거 금강유역에 대한 유출조사를 실시하였던 55%(건설교통부, 2001)와 53.2%(이상진 등, 2006)에 비해서 다소 적게 산정되고 있다.

표 3. 연별 물수지 분석결과

년도	평균강수량 (106m ³)	단위	손실량		유출량				
			차단	증발	지표수	복류수	지하수	지하회귀수	총유량
2001	9386.7	106m ³	2250.3	3485.8	392.0	924.5	884.9	1464.8	3666.2
		%	24	37	4	10	9	16	39
2002	14917.0	106m ³	2905.3	4842.8	1143.5	2673.3	1395.5	1357.4	6569.7
		%	19	32	8	18	9	9	44
2003	15995.7	106m ³	2971.8	4594.1	1366.7	3242.0	1908.4	1740.8	8257.8
		%	19	29	9	20	12	11	52
2004	14274.3	106m ³	2607.4	4412.5	1352.4	3095.7	1309.5	1555.0	7312.6
		%	18	31	9	22	9	11	51
2005	14197.9	106m ³	2379.1	4580.7	1252.2	2843.2	1335.0	1585.1	7015.4
		%	17	32	9	20	9	11	49
평균	13754.3	106m ³	2622.8	4383.2	1101.4	2555.7	1366.7	1540.6	6564.3
		%	19	32	8	19	10	11	48

6. 결론

본 연구에서는 신뢰성 높은 수문자료를 획득하기 위해 다년간 유역정밀조사와 현장조사를 실시한 바 있는 금강유역을 대상으로 SSARR모형을 통해 세분화된 유출성분에 따른 유출특성을 분석하고 유역내 물수지를 분석하고자 하였으며 이에 대한 결과는 다음과 같다.

(1) 본 연구에서는 운영차원의 용수이용량을 추정하기 위하여 용수 이용기간특성을 고려하여 신뢰성 높은 것으로 판단되는 생·공용수 이용량을 우선 10월~익년3월 기간에 대해 추정한 후 타 기간에 확대 적용하였으며 농업용수 이용량은 생·공용수 이용량 추정이 실시된 후 4월~9월 기간에 대해 추정하였다.

(2) 민감도분석 결과 SMI는 고수와 저수를 막론하고 가장 민감한 변수임이 입증되었으며, 고수시는 S-SS, 저수시는 BII, BFLIM, PBLZ 및 Ts 등이 민감한 매개변수임이 확인되었다.

(3) 모형의 검증은 통해 보정전후의 오차분석결과, 보정전 공주지점의 총량에 대한 상대오차(10%)와 일별 유량에 대한 RMSE(34.4)가 보정후 각각 5%와 32.3으로 개선되었으며 용담 및 대청지점에 대해서도 많은 부분이 개선되었다.

(4) 본 연구의 연물수지 분석결과에 의하면 가뭄년에는 손실량이 5년간의 평균손실량보다 19.6% 크게 나타났으며 유출량중에서는 지하회귀수의 유출비중이 가장 큰 것으로 나타났고 홍수년에는 손실량이 평균치보다 6% 작게 나타났으며 유출량중에서는 복류수에 의한 유출이 가장 큰 비중을 차지하고 있는 것으로 분석되었다. 또한 5년간의 평균치에 대한 차단 및 증발산에 의한 손실량은 총강우량의 51%이었고 평균유출율은 직접유출 27%, 기저유출 21%로 총 48%로 분석되었다.

감사의 글

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

참고 문헌

1. 강주환, 이길성, 김남일, 황만하(1998). SSARR-8 모형을 이용한 낙동강 수계의 저수유출 해석, 한국수자원학회 논문집, 제31권 제1호, pp. 71~84.
2. 건설교통부·한국수자원공사(1998). 기존댐 용수공급 능력조사(금강수계).
3. 건설교통부·한국수자원공사(2001). 수자원 장기종합계획 - Water Vision 2020.
4. USACE(1991). SSARR User manual. North Pacific Div., Portland.