

유역관리모형을 이용한 금강유역 유출특성 해석

류경식[†] · 황만하 · 맹승진^{*} · 이상진

한국수자원공사 수자원연구원
^{*}충북대학교 지역건설공학과

Analysis of Runoff Characteristics in the Geum River Basin using Watershed Management Model

Ryoo, Kyong-Sik[†] · Hwang, Man-Ha · Maeng, Seung-Jin^{*} · Lee, Sang-Jin

Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Coporation

^{}Department of Rural Engineering, Chungbuk National University*

(Received 4 May 2007, Accepted 2 July 2007)

Abstract

To operate scientific and integrated management of water resources, it needs to identify clearly the quantitative variation and moving pathway of water resources in a basin. Moreover, it needs to also estimate more precisely the amount of runoff generating from the precipitation. Thus, in this study, to carry out more reliable hydrologic analyses, the runoff characteristics according to detailed runoff components and water balance in a basin are analyzed. As a result of yearly water balance analyses, during the period of drought year, the loss is bigger than that of 6-year mean loss and the return flow of groundwater is the most dominant component of runoff. During the period of flood year, the loss is smaller about 4% than that of 6-year mean loss and the subsurface water is the most dominant component of runoff. The loss due to the interception and evapotranspiration for 6-year mean loss is about 53% of the total rainfall, the mean runoff ratio is about 27% and the baseflow is about 22%.

keywords : Runoff characteristics, SSARR model, Water balance

1. 서론

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 가뭄시 공급자의 의사결정이 어떻게 이루어지느냐에 따라 사용자의 고통이 경감될 수 있을 뿐 아니라 국가 경제 및 산업적 측면에서의 피해액을 최소화할 수 있기 때문에 이수기 또는 가뭄시의 유역 물관리는 매우 중요하다.

최근 우리나라는 매년 가속화되는 수질 및 환경오염, 물 사용량의 증가로 인한 물 부족과 물 분쟁 등에 대한 사회적 어려움을 겪고 있다. 이는 유역차원에서 수자원의 관리가 이루어지지 못해 수자원의 유동적인 운영이 불가능함으로써 적극적인 대처를 하지 못하기 때문이다. 따라서 이러한 문제를 슬기롭게 극복하기 위해 물관리의 새로운 패러다임을 적극 반영한 유역단위의 보다 종합적이고 과학적인 통합 수자원 관리체계를 구축하고 이를 지원하는 기술을

개발하고자 노력하고 있다(한국수자원공사, 2004, 2005). 그러나 이러한 통합 수자원 관리시스템은 반드시 수자원의 이동경로 및 소유역 용수이용현황 등이 정량적으로 파악되어야 하며 유역내 유출특성 분석연구가 선행되어야 한다.

과거 유역단위의 유출특성분석에 관한 연구사례를 보면, 용수이용량과 같은 수문자료들의 정량적 파악이 쉽고 수자원 이동경로가 단순 명료하게 작성될 수 있는 소규모 유역을 대상으로 대부분 이루어졌으며 대규모 유역에 대한 연구사례는 극히 일부에 지나지 않았다. 그 중 대규모 유역에 대한 적용 연구사례를 보면 다음과 같다. 강 등(1986, 1998)은 한강 및 낙동강유역에 SSARR모형을 적용하고 유역내 용수이용을 수요측면에서 산정된 용수수요량을 이용하여 전유역에 대한 물수지분석을 실시하였으며, 최 등(2001)은 낙동강유역에 HSPF모형을 적용하고 용수이용량을 하천의 취수시설물의 시설용량에 따른 추정치를 이용하여 소유역 및 주요지점별 유출총량을 산정하였으며, 최근에는 신 등(2007)이 낙동강유역에 SWAT모형을 적용하여 다양한 물수지 시나리오를 이용하여 댐 및 유역내 물이용이 하천유량에 미치는 영향을 정량적으로 분석하였다. 그러나 김 등(2001)은 유역내 유출량 및 용수이용량 등의 수문자료에 대한 불확실성으로 인해 물수지 분석뿐만 아니라 수자원정책에 대한 불신을 초래할 수 있음을 지적하였으며

[†] To whom correspondence should be addressed.

ksryoo@chungbuk.ac.kr

류 등(2007)은 대규모유역의 물수지 분석시 용수수요량과 같은 계획차원에서 산정된 용수량을 운영측면에서 이용할 경우 발생하는 문제점을 규명하고 적용방안을 제시하고 있다. 또한 본 연구의 대상유역인 금강유역을 대상으로 과거 유출특성분석에 관한 연구사례를 보면, 금강 전 유역을 대상으로 실시된 사례는 확인할 수 없었으며 용담댐 유역과 같은 소규모 유역을 대상으로는 서 등(2005), 장 등(2005) 및 손 등(2006)에 의해 SWAT 및 HSPF를 이용하여 유출 특성을 분석하였으나 용수량과 같은 인위적 인자에 대해서는 고려하지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 현재 프론티어사업의 일환으로 추진되고 있는 실시간 물 관리시스템의 대상유역인 금강 전 유역의 유출특성분석을 실시하고자 SSARR모형 기반하에 운영차원에서 산정된 용수 이용량을 적용하여 소유역 및 주요지점별 유출성분들의 변화를 시기적으로 상세히 규명하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 유역관리모형

본 연구에 적용한 유역관리모형은 유역의 강우-유출해석과 용수이용특성을 고려할 수 있는 SSARR모형을 채택하였다. SSARR 모형은 미국 공병단(Corps of Engineers)에서 1956년 처음 개발된 이래, 1975년에 유역 및 하도추적에 대한 기본 골격을 갖추었으며(SSARR-4), 1991년에 Integrated Snowband(IS) 유역모형과 운영예보(operational forecasting)기능이 추가되었고(SSARR-8), 1999년에는 기존 DOS기반의 프로그램을 Windows기반의 GUI 프로그램으로 개선하여(SSARR-2000) 현재에 이르고 있는 모형으로서 저수지 조작, 대유역의 실시간 일유출예보 등의 목적으로 널리 사용되고 있다. SSARR는 DC(depletion curve) 유역모형 외에 IS 유역모형이 추가되어 두 가지 유역모형을 선택적으로 사용할 수 있게 되었다. IS 유역모형은 산악지형에서 강설에 대한 유출해석 기능을 대폭 강화시킨 것으로서 DC모형의 모든 기능이 포함되어 있으며, 특히 강우만의 해석시 저수유출관리와 같은 장기적 모의에 유용하도록 차단해석기능과 장기적인 회귀지하수의 추적기능이 추가되었고, 증발산량 산정시 기온, 해발고도, 월별 강우량, 적설유무 및 토양함수량 등과 같은 구체적인 자료로부터 결정되도록 증발산량 산정기능이 보완되었으며 유역별 년 물수지분석 결과가 도표로 출력되는 기능도 포함하고 있다(USACE, 1991).

IS 유역모형은 한 개의 유역을 고도별로 1~20개의 띠로 분할하여 적설량과 같이 고도와 밀접한 관계를 갖는 즉 변량을 보다 정확하게 모의하기 위해 개발된 것이며, 강우에 따른 유출만을 해석할 경우에도 고도에 따른 강우량과 토양함수량 및 기온에 따른 증발산량의 변화를 고려한 유출 해석이 가능한 모형이다. 또한 본 모형은 미국의 Columbia 강(Rockwood, 1961)과 베트남의 Mekong 강(Rockwood, 1968) 등과 같은 대하천에 성공적으로 적용된 바 있으며,

국내에서도 강(1986)이 한강유역에, 안 등(1989)가 금강수계인 보청천유역에, 그리고 강 등(1998)과 한국수자원공사(1996)에서 낙동강유역에 각각 적용한 바 있다.

2.2. 대상유역 및 유출모의구성체계

본 연구의 대상유역은 신뢰성 높은 수문자료를 획득하기 위해 다년간 유역정밀조사와 현장조사를 실시한 바 있는 금강유역을 대상으로 하였으며 해당유역을 총 14개의 소유역으로 구분한 소유역 분할도 및 유출모의 구성체계는 Fig. 1 및 2와 같다.

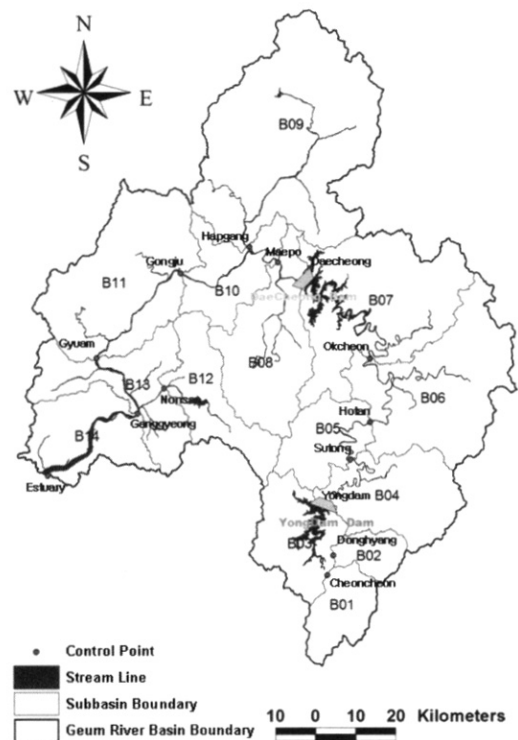


Fig. 1. Map of subbasin in Geum River basin.

2.3. 기본자료 수집 및 보정

본 연구에서는 자연유출량 산정을 위해 금강 유역내 14개 소유역에 대한 일 강수량, 관측유량, 생·공·농업용수 계획 이용량, 취수량, 댐 유입량, 댐 방류량 및 온도 등을 수집하였다(건설교통부, 1998, 2001). 수집된 실측자료중 강수량, 관측유량 및 용수 이용량 자료에 대해서는 결측 및 이상치에 대한 검증 및 보정을 실시하였다.

2.3.1. 강수량자료

금강유역내에는 건설교통부, 한국수자원공사, 기상청 및 농업기반공사 등에서 관할하는 강우관측소가 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 대

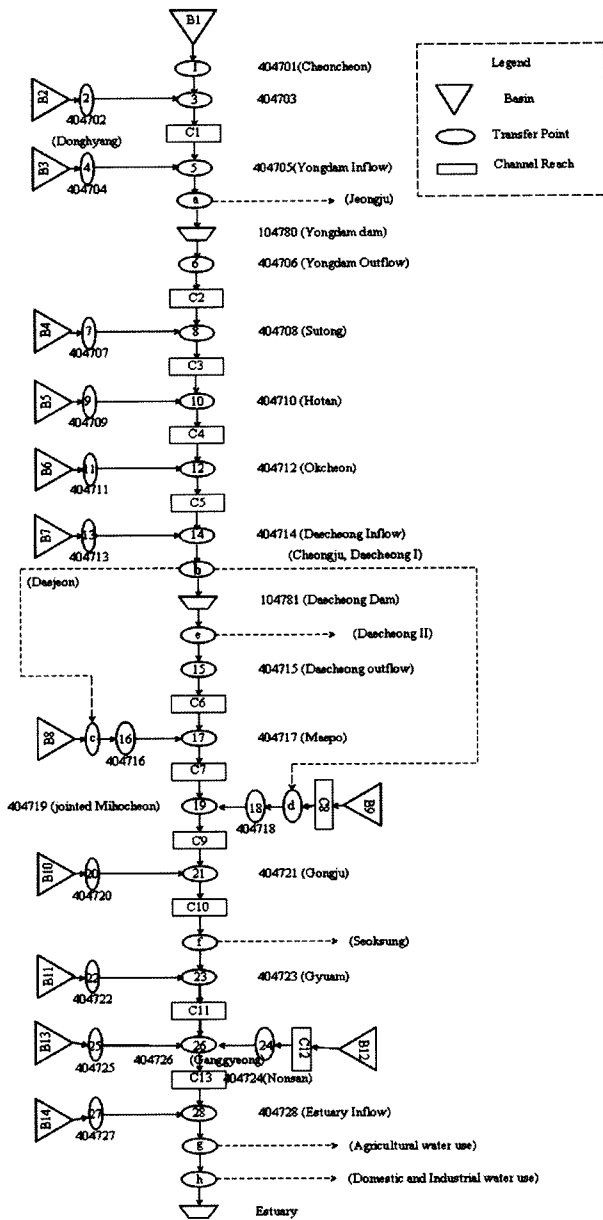


Fig. 2. Flowchart of rainfall-runoff model.

해 신뢰성 검증을 실시하였으며, 그 결과 장·단기에 걸쳐서 결측자료가 발생하거나 신뢰성에 의문이 생기는 강수량자료가 발생되어 이에 대한 보정을 강우량 보정기법인 RDS 방법을 통해 실시하였다(한국수자원공사, 2004).

2.3.2. 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. 또한 생·공용수량은 연중 큰 편차 없이 일정량이 이용되며 대체로 대규모의 수리시설물인 댐 등에 의해 공급되어지기 때문에 수량파악이 용이한 편이다. 그러나 농업용수는 농번기인 4~9월에 집중적으로 이용되어지고 그 외 10월~익년 3월까지

는 거의 이용되어지지 않고 있으며, 이용기간에 대해서도 편차가 크게 나타나는 등 실제 이용되고 있는 수량에 대한 파악이 매우 어려운 실정이다(농림부, 1999). 따라서 본 연구에서는 기존의 계획차원에서 산정된 용수수요량을 이용하지 않고 류 등(2007)에 의해 운영차원에서 재해석된 용수이용량을 적용하였다.

2.4. 모형의 보정

본 분석에서는 유출량을 적절하게 모의할 수 있도록 모형을 보정하였다. 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 본 연구에 앞서 수행된 공주시점 유출특성분석의 민감도 분석결과(이 등, 2006)를 토대로 고수시와 저수시를 분리하여 실시하였으며 고수시에는 SMI(토양습윤지수)와 S-SS(지표수와 복류수 분리비)를, 저수시에는 SMI, BII(지하수 유입률), BFLIM(최대지하수유출율), PBLZ(지하수중 회귀지하수가 차지하는 비율) 및 Ts(기저유량의 저류시간)를 대상으로 실시하였다. 그외 매개변수에 대해서는 부분적 보정만을 실시하였다.

또한 본 분석에 적용된 매개변수는 크게 용담댐상류, 용담댐~대청댐 및 대청댐하류 권역으로 분류하여 적용하였다. 이는 유역내 물수지 분석을 위해서 더욱 세분화된 소유역별 적정매개변수가 산정되어야하나 각 소유역별 관측 유량의 정확성 부재로 인해 유역내 물수지 분석시 더 큰 파오를 유발시킬 가능성이 있을 것으로 판단되어 본 분석에서는 보다 신뢰성 높은 유량자료를 제공하고 있는 3개 지점을 대상으로 권역을 분류하여 적용하였다.

SMI-ROP는 유역내 토양습윤상태에 따른 유출율을 산정하는 매개변수이기 때문에 강우로 발생되는 유출의 정량적 결정에 직접적인 영향을 준다. 따라서 전 기간을 대상으로 모의 유출총량이 실측 유출총량에 근사하도록 SMI-ROP 매개변수를 산정하였으며 BII-BFP는 SMI-ROP에 의해 산정된 총 유출량을 직접유출과 기저유출로 분리하기 위한 매개변수로서 침투량에 따른 기저유출비율을 결정한다. 따라서 기저유출이 지배하는 이수기를 중심으로 모의유량이 실측유량을 근사하게 묘사할 수 있도록 BII-BFP 매개변수를 산정하였고 S-SS는 BII-BFP에 의해 분리된 직접유출과 기저유출중 직접유출에 대해 지표유출과 지표하유출로 분리하기 위한 매개변수로서 직접유출율의 변화에 따른 지표하 유출율을 결정한다. 따라서 직접유출이 많은 홍수기를 중심으로 모의유량이 실측유량을 근사하게 묘사할 수 있도록 S-SS 매개변수를 산정하였다. Table 1~3은 권역별로 SMI-ROP, BII-BFP 및 S-SS를 보정전과 보정후로 분류하여 산정한 결과이다. 상기에서 언급한 매개변수 이외의 매개변수는 민감도 분석결과에서와 같이 유출현상에 미미하게 반응하므로 기타 매개변수에 대한 산정결과를 본 연구에서는 생략하였다.

Table 1. Relationship of the soil moisture index and the runoff percent (Unit : %)

SMI (cm)	Before calibration	SMI (cm)	After calibration		
	SMI		SMI-a	SMI-b	SMI-b
0	8	0	7	6	5
1	19	1	13	10	7
2	43	2	21	16	10
3	68	3	33	26	16
4	85	4	47	40	30
5	93	5	65	58	45
10	100	7	85	82	70
999	100	10	98	96	93
		15	100	100	100
		999	100	100	100

Table 2. Relationship of the baseflow infiltration index and the baseflow percent (Unit : %)

BII (cm/day)	Before calibration	BII (cm/day)	After calibration		
	BII		BII-a	BII-b	BII-c
0.0	45	0.0	90	80	80
1.0	16	0.5	40	38	34
1.5	14	1.0	29	28	29
2.0	13	1.5	21	21	25
2.5	12	2.0	18	18	22
3.0	11	2.5	16	16	20
5.0	10	3.0	15	15	19
100.0	10	3.5	14	14	18
		100.0	14	14	18

Table 3. Separation of the surface and the subsurface (Unit : cm/hr)

Input rate (cm/hr)	Before calibration	After calibration		
	BII	BII-a	BII-b	BII-c
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.15	0.30	0.15	0.10
1.0	0.57	0.70	0.40	0.25
1.5	1.07	1.20	0.90	0.70
2.0	1.57	1.70	1.40	1.20
2.5	2.07	2.20	1.90	1.70
3.0	2.57	2.70	2.40	2.20

3. 결과 및 고찰

3.1. 모형의 검증 및 년단위 물수지 분석

3.1.1. 모형의 검증

모형의 검증을 위해서는 통상적으로 과거 일정기간을 대상으로 모형의 보정을 실시하며 해당기간에서 결정된 적정 매개변수를 이용하여 타년도의 유출량을 모의하고 이를 관측치와 비교분석을 실시한다. 따라서 본 분석에서도 2000년 이전자료를 토대로 모형을 보정하였으며 2001~2006년을 대상으로 모형을 검증하였다. 또한 모형의 검증방법으로는 절대오차(Absolute Error: AE)와 제곱평균제곱근오차(Root Mean Square Error: RMSE)방법을 이용하였으며 절대오차는 년단위 모의결과에 대한 검증을 목적으로 실시하였고 제곱평균제곱근오차는 일단위 모의결과에 대한 검증을 목적으로 실시하였다.

Table 4 및 5는 주요지점 고수유출과 저수유출에 대해 모형의 매개변수 보정 전·후로 분류하여 절대오차와 제곱

평균제곱근오차를 분석한 결과이며 표본으로 2003년과 2006년에 대한 공주지점 유출량 모의결과는 Fig. 3과 같다.

본 유출모형의 매개변수보정에 대한 검증은 Table 4 및 5와 같이 고수시 및 저수시를 분리하여 실시하였으며 검증 결과에서 고수시에는 절대오차가 매개변수 보정후 많이 감소하였으며 저수시에는 RMSE가 상대적으로 많이 감소하였다. 이는 고수시에는 유출총량에 대해서 모의유량이 많이 개선되었음을 나타낸 것이며 저수시에는 유출양상을 보다 근사하게 모의할 수 있도록 개선되었다고 할 수 있다. 또한 일별 유출량 모의결과인 Fig. 3에서도 상기 오차검증방법의 결과와 같이 연중 유출량을 매우 양호하게 모의하고 있다. 이는 유역내에서 발생하는 유출량을 모형을 통해 유출성분별로 적절하게 분리하고 있다고 할 수 있을 것이다.

3.1.2. 년단위 물수지 분석

본 연구에 적용된 SSARR 모형은 DC(Depletion Curve) 유역모형이 아닌 IS(Integrated Snowband) 유역모형을 적용하였다. IS 유역모형은 DC 모형의 모든 기능을 포함하고

Table 4. Result of error analysis for high level flow

Station	Year	Observed. (cms)	Before calibration			After calibration		
			Sim. (cms)	AE	RMSE	Sim. (cms)	AE	RMSE
Yongdam	2001	4,424	5,703	29%	31.7	4,284	3%	28.1
	2002	10,317	11,907	15%	56.2	9,609	7%	50.4
	2003	15,972	15,753	1%	55.9	13,454	16%	55.9
	2004	6,867	9,394	37%	59.2	7,070	3%	46.2
	2005	8,328	10,675	28%	95.7	8,815	6%	92.0
	2006	7,025	8,605	22%	44.8	6,919	2%	41.5
	mean	8,822	10,340	22%	57.2	8,359	6%	52.3
Daechong	2001	6,317	11,875	88%	85.7	7,367	17%	31.5
	2002	20,746	25,539	23%	203.6	16,679	20%	326.9
	2003	48,456	48,024	1%	192.2	37,940	22%	241.0
	2004	21,374	28,063	31%	253.4	20,377	5%	224.6
	2005	19,395	26,105	35%	170.5	19,143	1%	142.2
	2006	22,653	24,313	7%	150.8	18,850	17%	168.9
	mean	23,157	27,320	31%	176.0	20,059	13%	189.2
Gongju	2001	13,142	13,358	2%	63.0	9,176	30%	59.5
	2002	19,597	27,867	42%	222.7	19,327	1%	188.3
	2003	54,099	52,826	2%	204.7	44,620	18%	251.9
	2004	29,000	33,620	16%	193.3	25,943	11%	227.9
	2005	28,188	36,825	31%	194.6	26,210	7%	153.7
	2006	31,815	32,092	1%	214.9	26,075	18%	284.2
	mean	29,307	32,765	16%	182.2	25,225	14%	194.2

Table 5. Result of error analysis for low level flow

Station	Year	Observed. (cms)	Before calibration			After calibration		
			Sim. (cms)	AE	RMSE	Sim. (cms)	AE	RMSE
Yongdam	2001	2,713	1,386	49%	8.2	1,364	50%	8.2
	2002	3,230	1,558	52%	13.5	1,884	42%	11.5
	2003	2,182	1,726	21%	12.0	1,836	16%	8.6
	2004	1,605	1,690	5%	6.3	1,561	3%	5.3
	2005	1,085	1,563	44%	6.2	1,703	57%	7.2
	2006	988	1,439	46%	6.3	1,606	62%	5.3
	mean	1,967	1,560	36%	8.8	1,659	38%	7.7
Daechong	2001	6,304	8,056	28%	16.1	8,091	28%	13.9
	2002	12,153	11,290	7%	34.3	11,097	9%	37.2
	2003	16,611	13,759	17%	40.5	13,591	18%	40.5
	2004	9,061	9,305	3%	25.4	9,321	3%	24.1
	2005	9,853	10,248	4%	26.9	10,645	8%	19.9
	2006	9,119	8,188	10%	31.1	8,378	8%	25.2
	mean	10,517	10,141	11%	29.1	10,187	12%	26.8
Gongju	2001	19,137	15,077	21%	34.4	14,654	23%	29.3
	2002	25,028	27,506	10%	66.8	25,754	3%	56.9
	2003	34,454	36,919	7%	49.3	36,980	7%	41.3
	2004	26,584	26,932	1%	59.1	26,308	1%	43.3
	2005	24,147	25,041	4%	41.3	23,961	1%	24.8
	2006	19,586	20,339	4%	36.3	20,970	7%	30.0
	mean	24,823	25,303	8%	47.9	24,771	7%	37.6

있는 동시에 장기간의 유출해석에 대한 기능을 대폭 보완 시킨 것으로서 차단에 대한 모의기능과 장기적 회귀지하수 추적기능 및 증발산 모의기능을 개선시킨 것이다. 또한 소유역별 강우량, 손실량(차단, 증발) 및 유출량(지표수, 복류수, 지하수, 지하회귀수) 등에 대한 결과를 기본 출력자료

로 제공되고 있기에 본 연구의 연구목적인 유역내 물수지 분석시에 매우 적절한 모형이라 할 수 있다.

본 분석에서는 금강유역내 물수지 분석을 실시하기 위해서 년단위로 실시하였다. 이는 가뭄과 홍수와 같은 기상상황의 변화에 따른 분석결과와의 차이를 파악할 수 있어 향후

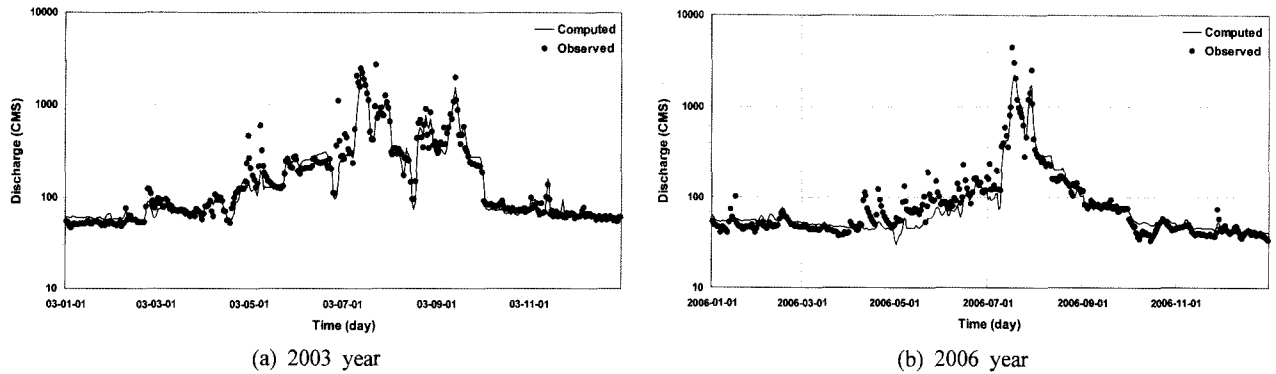


Fig. 3. Observed and simulated runoff at the Gongju station.

Table 6. Results of annual water balance

Year	Mean of rainfall (10 ⁶ m ³)	Unit	Losses		Runoff				
			Intercept	Evaporation	Surface	Subsurface	Baseflow	Lower zone	Total
2001	8813.4	10 ⁶ m ³	2163.0	3447.0	391.9	924.7	884.9	1464.7	3666.1
		%	25	39	4	10	10	17	42
2002	14221.1	10 ⁶ m ³	2844.2	4897.7	1143.3	2673.3	1395.4	1357.3	6569.8
		%	20	34	8	19	10	10	46
2003	15255.1	10 ⁶ m ³	2955.9	4631.3	1366.7	3242.0	1908.3	1740.8	8257.9
		%	19	30	9	21	13	11	54
2004	14239.5	10 ⁶ m ³	2641.4	4438.1	1352.4	3095.7	1309.6	1555.0	7312.6
		%	19	31	9	22	9	11	51
2005	14014.8	10 ⁶ m ³	2449.3	4723.5	1252.3	2843.2	1335.2	1585.1	7015.5
		%	17	34	9	20	10	11	50
2006	11405.7	10 ⁶ m ³	2559.6	3700.1	917.7	2114.0	1140.0	1424.0	5595.6
		%	22	32	8	19	10	12	49
Mean	12991.6	10 ⁶ m ³	2602.2	4306.3	1070.7	2482.2	1328.9	1521.2	6402.9
		%	20	33	8	19	10	12	49

기상상황에 따른 유출에 대해 현재 기여하고 있는 주요 유출성분이 무엇인지? 그 규모는 어떠한지? 등을 사전에 예상할 수도 있을 것이다. 현재 본 분석의 검증기간으로 이용된 2001~2006년에는 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 물수지 분석결과와 소유역별 6년 평균 물수지 분석결과를 Table 6 및 7과 같다.

과거 23년간의 금강유역 연별 강수량은 690~1,758 mm로 나타났으며 연평균강수량은 1,250 mm로서 국내 연평균강수량과 유사하였다. 6년간의 본 분석기간중 2001년 850 mm는 과거 강수증 극히 적은 강수로서 극한가뭄에 해당하는 가뭄년이며 2003년 1,459 mm는 비록 극한 홍수라 하기에는 다소 적은 강수지만 홍수년으로 볼 수 있을 것이다. 따라서 가뭄년인 Table 6의 2001년 물수지 분석결과는 손실율이 평균치보다 10% 크게 나타났으며 유출량중에서는 지하회귀수의 유출비중이 가장 큰 것으로 나타났고 홍수년인 2003년 물수지 분석결과는 손실율이 평균치보다 4% 작게 나타났으며 유출량중에서는 복류수에 의한 유출이 가장 큰 비중을 차지하고 있는 것으로 분석되었다. 또한 6년간

의 금강유역 총유출율은 과거 금강유역내 공주지점을 대상으로 실시된 유출율 조사결과인 53.1%(건설교통부, 2001)와 53.2%(이 등, 2006)보다 다소 적은 49%로 산정되었다. 그러나 공주지점의 실측유량은 현장유량측정결과(이 등, 2006)에서 저수위 구간의 유출량이 10~20%정도 과대 산정되고 있었다는 점을 고려하면 본 연구의 결과는 실측결과에 근접한 결과를 모의하고 있는 것이라 판단된다.

소유역별 유출량은 소유역 번호가 낮은 금강유역의 상류 소유역의 유출율이 상대적으로 크고 소유역 번호가 높은 하류 소유역의 유출율이 상대적으로 작게 나타났으며 소유역별 유출성분비율은 전 유역에 걸쳐 복류수의 비율이 가장 높게 나타났고 대청댐을 기준으로 상류유역은 지하수가 하류유역은 지하회귀수가 지배적인 것으로 나타났다.

4. 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.

Table 7. Results of mean water balance for the each subbasin

Subbasin No.	Mean of rainfall (10 ⁶ m ³)	Unit	Losses		Runoff				
			Intercept	Evaporation	Surface	Subsurface	Baseflow	Lower zone	Total
1	488.8	10 ⁶ m ³	75.8	122.7	52.1	121.8	112.1	12.8	298.7
		%	15	25	11	25	23	3	61
2	272.8	10 ⁶ m ³	42.3	65.7	32.8	67.8	59.4	6.7	166.7
		%	16	24	12	25	22	2	61
3	778.1	10 ⁶ m ³	133.1	195.1	81.4	186.6	178.5	20.2	466.6
		%	17	25	10	24	23	3	60
4	819.5	10 ⁶ m ³	165.6	265.3	67.8	158.9	124.9	54.9	406.5
		%	20	32	8	19	15	7	50
5	534.4	10 ⁶ m ³	102.3	163.8	45.7	106.1	85.9	37.4	275.2
		%	19	31	9	20	16	7	51
6	1483.2	10 ⁶ m ³	279.5	452.6	134.4	317.9	235.8	103.1	791.1
		%	19	31	9	21	16	7	53
7	1638.6	10 ⁶ m ³	314.5	487.7	154.5	368.5	256.6	109.7	889.2
		%	19	30	9	22	16	7	54
8	958.2	10 ⁶ m ³	200.2	343.1	71.4	170.1	42.0	148.1	431.7
		%	21	36	7	18	4	15	45
9	2377.1	10 ⁶ m ³	486.7	882.2	189.9	423.2	103.7	385.2	1102.1
		%	20	37	8	18	4	16	46
10	542.8	10 ⁶ m ³	124.3	201.6	34.3	81.3	22.8	84.3	222.6
		%	23	37	6	15	4	16	41
11	1371.2	10 ⁶ m ³	281.9	510.0	95.9	222.2	56.5	220.8	595.4
		%	21	37	7	16	4	16	43
12	582.5	10 ⁶ m ³	116.0	210.0	39.2	91.7	23.1	91.6	245.7
		%	20	36	7	16	4	16	42
13	672.1	10 ⁶ m ³	138.7	260.0	43.3	100.8	27.6	107.7	279.4
		%	21	39	6	15	4	16	42
14	789.6	10 ⁶ m ³	149.7	267.8	58.7	139.1	37.7	158.1	393.6
		%	19	34	7	18	5	20	50

- 본 연구에서는 운영차원의 용수이용량을 추정하기 위하여 용수 이용기간특성을 고려하여 신뢰성 높을 것으로 판단되는 생·공용수 이용량을 우선 10월~익년3월 기간에 대해 추정한 후 타 기간에 확대 적용하였으며 농업용수 이용량은 생·공용수 이용량 추정이 실시된 후 4~9월 기간에 대해 추정하였다.
- 본 분석에서는 적정매개변수를 산정하기 위해 보다 신뢰성 높은 유량자료를 제공하고 있는 3개 지점을 대상으로 용담댐상류, 용담댐~대청댐 및 대청댐하류 권역으로 분류하여 적용하였으며 해당 3개 지점의 관측유량을 유사하게 모의할 수 있도록 시행착오방법에 의해 최적매개변수값을 추정하였다.
- 유출모형의 매개변수보정에 대한 검증은 고수시 및 저수시를 분리하여 실시하였으며 검증결과에서 고수시에는 절대오차가 매개변수 보정후 많이 감소하였으며 저수시에는 RMSE가 상대적으로 많이 감소하였다. 이는 고수시에는 유출총량에 대해서 모의유량이 많이 개선되었음을 나타낸 것이며 저수시에는 유출양상을 보다 근사하게 모의할 수 있도록 개선된 결과이다.
- 본 연구의 연물수지 분석결과에 의하면 가뭄년에는 손실량이 6년간의 평균손실량보다 10% 크게 나타났으

- 며 유출량중에서는 지하회귀수의 유출비중이 가장 큰 것으로 나타났고 홍수년에는 손실량이 평균치보다 4% 작게 나타났으며 유출량중에서는 복류수에 의한 유출이 가장 큰 비중을 차지하고 있는 것으로 분석되었다. 또한 6년간의 평균치에 대한 차단 및 증발산에 의한 손실량은 총강우량의 53%이었고 평균유출율은 직접유출 27%, 기저유출 22%로 총 49%로 분석되었다.
- 소유역별 유출율은 상류 소유역이 상대적으로 크고 하류 소유역이 상대적으로 작게 나타났으며 소유역별 유출성분비율은 전 유역에 걸쳐 복류수의 비율이 가장 높게 나타났고 대청댐을 기준으로 상류유역은 지하수가 하류유역은 지하회귀수가 지배적인 것으로 나타났다.

사 사

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술 개발사업단의 연구비지원(과제번호: 1-6-3)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 강주환, 강우-유출모형에 의한 가지야마 공식의 한계성 검토, 서울대학교 석사학위논문 (1986).
- 강주환, 이길성, 김남일, 황만하, SSARR-8 모형을 이용한 낙동강 수계의 저수유출 해석, *한국수자원학회지*, **31**(1), pp. 71-84 (1998).
- 건설교통부, 기존댐 용수공급 능력조사(금강수계-부록) (1998).
- 건설교통부, 수자원 장기종합계획 - Water Vision 2020 (2001).
- 건설교통부, 임진강유역 홍수피해원인조사 및 항구대책수립 보고서 (2002).
- 김남원, 원유승, 물 수지 분석의 불확실성 및 범위, *한국수자원학회 학술발표회 논문집*, pp. 607-612 (2001).
- 농림부, 농어촌진흥공사, 농촌용수 수요량 조사 종합보고서 (1999).
- 류경식, 황만하, 대규모 유역에서의 적정 용수이용량 산정, *한국농공학회지*, **49**(3), pp. 3-12 (2007).
- 서동일, 김종성, 유경미, 용담댐 유역의 비점오염물질 부하량 산정을 위한 SWAT모형의 적용, *한국물환경학회 · 대한상하수도학회 학술발표회 논문집*, pp. 193-196 (2005).
- 손경호, 이혜숙, 김정곤, SWAT과 HSPF 모델을 이용한 용담댐 유역 유출량과 유사량 분석, *대한상하수도학회 · 한국물환경학회 학술발표회 논문집*, pp. 738-746 (2006).
- 신현석, 강두기, 김상단, 낙동강유역 SWAT 모형 구축 및 물수지 시나리오에 따른 유황분석, *한국수자원학회지*, **40**(3), pp. 251-264 (2007).
- 안상진, 이용수, SSARR모형에 의한 유역유출 해석, *한국수문학지*, **22**(1), pp. 109-116 (1989).
- 이상진, 이배성, 류경식, 황만하, 유출모의를 위한 주요제어 지점 유량특성 분석, *한국수자원학회지*, **39**(11), pp. 905-914 (2006).
- 장재호, 윤춘경, 전지홍, 정광욱, HSPF 모형을 이용한 용담댐유역의 유출량산정, *한국물환경학회 · 대한상하수도학회 학술발표회 논문집*, pp. 202-206 (2005).
- 최경식, 정동일, 낙동강 유역의 유량 산정을 위한 HSPF 모델 연구, *대한상하수도학회 · 한국물환경학회 학술발표회 논문집*, pp. 223-226 (2001).
- 한국수자원공사, 낙동강 수계 실시간 최적 저수관리 시스템 개발 (분석모델 부분) (1996).
- 한국수자원공사, 실시간 물 관리 운영 시스템 구축 기술 개발 (2004).
- 한국수자원공사, 다목적댐 운영실무편람 (2005).
- Rockwood, D. M., Columbia basin streamflow routing by computer, *Transactions, American Society of Civil Engineers*, No. 3119 (1961).
- Rockwood, D. M., Application of stream-flow synthesis and reservoir regulation "SSARR" Program to the lower Mekong river, *The Use of Analog and Digital Computer in Hydrology Symposium, International Association of Scientific Hydrology, UNESCO*, pp. 329-344 (1968).
- USACE, SSARR User manual. North Pacific Div., Portland (1991).