

유역유출모형에 의한 유출특성 분석*

Analysis of Runoff Characteristic Using Rainfall-Runoff Model

Tae Woo Kim^{**}, Seung Jin Maeng^{***}, Hyun Soo Choi^{****}, Dong Joo Kim^{*****}, Ik Geun Jang^{*****}

Department of Agricultural & Rural Engineering, Chungbuk National University, 52 Naesudong-ro,
Seowon-gu, Cheongju, Korea

Abstract

Due to the recent unusual changes in weather, extreme floods and droughts are becoming more frequent. Moreover, with the advancements in the social economy and the resulting increase in river and environmental water demand, the utilization conditions of water resources are worsening. In these inadequate circumstances, the runoff-model, which is used for more appropriate water management, takes on different forms according to the different objectives of a low flow season versus a high flow season. Thus, this study analyzes the river basin characteristics of the Geum River basin, divides it into standard unit watershed, selects precipitation observatories, and calculates the Thiessen coefficient and the daily mean rainfall per standard unit watershed. Moreover, for water management during the low flow season, the continuous rainfall-runoff model, the SSARR model, is used. Furthermore, through the use of the model's sensitivity analysis, parameter calibration, and parameter verification, the runoff characteristics of Yongdam Dam, Daecheong Dam, and Gongju water level station are analyzed.

Key words: Geum river, SSARR model, runoff, sensitivity, calibration, verification

* 이 논문은 2012년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

** Tel. +82-70-8227-2762. E-mail. jodn1389@hanmail.net

*** Corresponding author. Tel. +82-42-261-2576. Fax. +82-43-271-5922. E-mail. maeng@cbnu.ac.kr

**** Tel. +82-70-8227-2762. E-mail. jhskrc@hanmail.net

***** Tel. +82-70-8227-2762. E-mail. cop7042@ekr.or.kr

***** Tel. +82-70-8227-2762. E-mail. bull1111@hanmail.net

Submission & Publication Process

Received: Aug. 1, 2014 / Revised: Aug. 14, 2014 / Accepted: Aug. 20, 2014

국문초록

최근 기상 이변으로 인한 극한 홍수와 가뭄이 빈번하게 발생하고 있으며 사회경제 발전에 따라 하천 및 환경 용수등의 증가로 수자원 이용환경이 더욱 악화되어가고 있다. 열악한 환경에서 적절한 물관리를 위해 사용되는 유출모형은 이수과 치수 목적에 따라 달리하고 있다. 따라서 본 연구에서는 금강수계의 유역특성 분석, 표준유역 분할, 강우관측소 선정, 티센계수 및 표준유역별 일평균강우량을 산정하였다. 또한 이수기 물관리를 위해 장기 유출모형인 SSARR 모형을 사용하여 모형의 민감도 분석, 매개변수의 보정과 검증을 통해 용담댐, 대청댐 및 공주 지점에 대한 유출특성을 분석하였다.

주제어: 금강수계, SSARR 모형, 유출, 민감도, 보정, 검증

I. 서론

우리나라 하천 유역은 세계적인 대 하천에 비해 작은 수준의 유역면적과 유량의 심한 계절적 변동으로 안정적인 수자원 관리의 어려움이 있고, 수도권외의 급격한 팽창으로 용수 수요가 증대되고 각종 오염원으로 부터 노출 위험이 커지고 있는 실정이다. 따라서 안정적 수자원 확보를 통한 용수공급 증대와 수질개선이 매우 중요한 과제로 대두되고 있다.

위와 같은 문제를 해결하기 위한 일환으로 국토해양부 한강홍수통제소에서 하천유량관리시스템을 개발하였다(국토해양부 2011). 본 연구에서 개발된 하천유량관리시스템 내의 연속유출모형에 의한 모의는 4대강 살리기 사업을 통해 하천시설물이 신설된 지점의 유출을 모의할 수 있도록 개발되는 것이 평·갈수기 수자원관리를 위해 매우 중요하다.

연속유출량의 모의는 수문모형에 의해 수행되며 비교적 자료기간이 길고 관측밀도가 높은 강우량 자료의 활용을 통해 가능하다. 또한 연속유출량 모의는 이수관리를 위해 필요하며, 이를 위해서는 일 단위, 또는 주간, 순간, 월간 및 연단위의 유출을 연속적으로 모의하여야 한다. 이와 같은 목적의 수문 모형 중, 국내에서 활용되어 온 모형은 SSARR(Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation), NWSRFS(National Weather Service River Forecast System), NWS-PC(National Weather Service PC), TANK, DAWAST(Daily Watershed Stream Flow) 모형 등이 대표적이다.

본 연구에서는 여러 모형들 간의 비교 분석을 통해 하천유량관리시스템 개발을 위한 기반 모형으로 SSARR 모형을 선정하였고, SSARR 모형을 표준유역으로 세분화된 금강수계에 적용하였다. SSARR 모형의 보정과 검증을 통해 모형의 적용성을 검토하고, 4대강 살리기 사업 이후 금강수계 주요 지점의 유출량 산정의 신뢰성을 향상시킴으로써 평·갈수기 물관리 대책을 수립하는데 도움을 주고자 한다.

II. 이론분석

본 연구에 적용되는 SSARR 모형은 미국 공병단에서 1956년 처음 개발되어 지속적으로 보정이 이루어지고 있는 모형으로서 저수지조작, 대유역의 실시간 일유출예측 등의 목적으로 널리 사용되고 있다. SSARR 모형은 DC(Depletion Curve) 유역모형 외에 IS(Integrated Snowband) 유역모형이 추가되어 두 가지 유역모형을 선택적으로 사용할 수 있게 되었다. IS 유역모형은 산악지형에서 강설에 대한 유출해석 기능을 대폭 강화시킨 것으로서 DC 모형의 모든 기능이 포함되어 있으며, 특히 강우만의 해석시 저수유출관리와 같은 장기적 모의에 유용하도록 차단해석기능과 장기적인 회귀지하수의 추적 기능이 추가되었고, 증발산량 산정시 기온, 해발고도, 월별 강우량, 적설유무 및 토양함수량 등과 같은 구체적인 자료로부터 결정되도록 증발산량 산정기능이 보완되었으며 유역별 연 물수지 분석 결과도 지표로 출력되는 기능도 포함하고 있다(USACE, 1991).

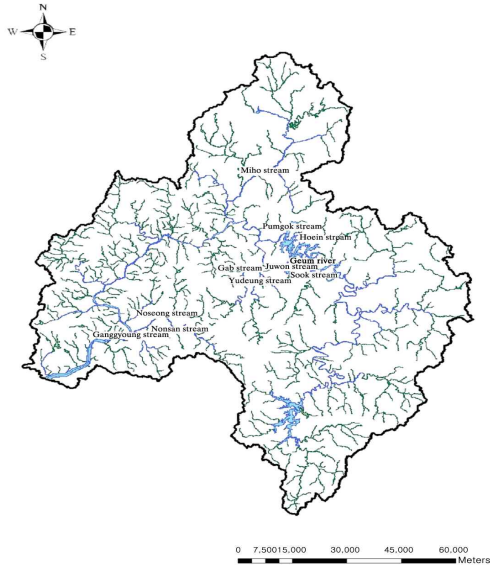
유역추적모형과 하도추적 모형외에 저수지 조작 모형까지 포함된 SSARR 모형은 미국의 Columbia 강과 베트남의 Mekong 강 국내에서는 한국수자원공사(2000, 2004, 2008)가 한강수계에, 맹승진(2010) 등이 금강수계에 그리고 한국수자원공사(1992, 1996, 2000)에서 낙동강 유역에 적용된 바 있다. 또한 Lumped parameter 모형으로 20개 이상의 매개변수를 시행착오법에 의해 찾게 되며, SMI(Soil Moisture Index), BII(Baseflow Infiltration Index) 등과 같이 몇 개의 매개변수가 지표형태로 주어지게 된다(국토해양부, 2011).

III. 대상유역 선정 및 연구방법

1. 대상유역 선정 및 특성

1) 대상유역의 개황

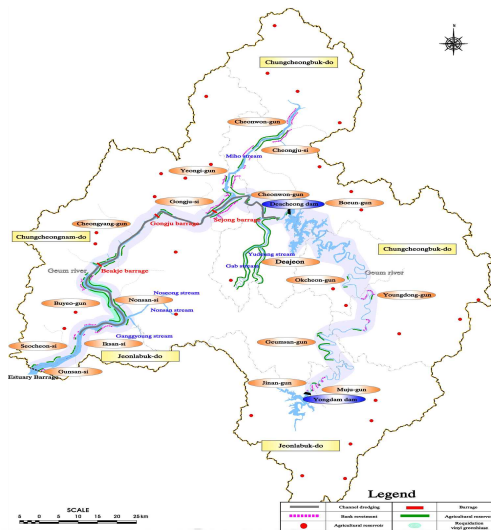
금강유역은 동경 126°41' ~ 128°25', 북위 35°35' ~ 37°05' 에 걸쳐 남한의 중앙 북서측에 위치하며 유역면적이 9,835.3km²이며, 본류의 유로연장은 395.9km, 유역평균폭 24.8km, 유역형상계수 0.063인 남한 제3의 유역으로 남한면적의 약 1/10을 차지한다. 유역의 지세는 북쪽으로 차령산맥을 끼고 남한에서 제일 큰 한강유역에 접해있으며, 동쪽은 소백산맥에 접해 있어 남한에서 두 번째로 큰 낙동강유역과 접하고 있다. 또한 남쪽은 섬진강 및 만경강 유역에 접해있고 서쪽으로는 황해에 연하여 있으며 유역의 동서장은 130km, 남북장은 160km이다. 금강수계의 유역도는 <그림 1>과 같다.



<그림 1> Basin map of Geum river watershed

2) 대상유역의 하도변화 상황

기존의 금강수계 주요지점의 유출량 산정은 중권역 단위의 유출모의를 통해 분석 되었으나, 본 연구에서는 4대강 살리기 사업을 통해 세종보, 공주보 및 백제보가 건설되면서 금강수계의 유역을 표준 유역단위로 구분하여 유출분석을 수행하였다. 신설된 3개 보에 의해 변경된 하도변화 상황은 <그림 2>와 같다(국토해양부, 2009).

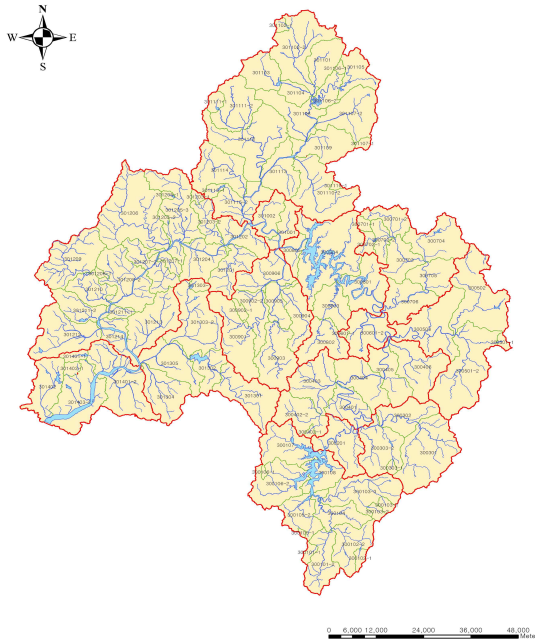


<그림 2> Locational business map of Geum river

3) 대상유역의 표준유역 분할

4대강 살리기 사업의 일환으로 댐 및 하천을 연계한 유역단위의 종합적인 물 관리를 위해 유량관리 시스템이 구축되었다. 유량관리시스템의 표준유역별 유출량 및 댐유입량 산정을 위한 금강수계의 분할된 중권역과 표준유역의 개수는 각각 14개와 106개 이다.

4대강 살리기 사업이 반영된 표준유역 분할도는 <그림 3>과 같다.



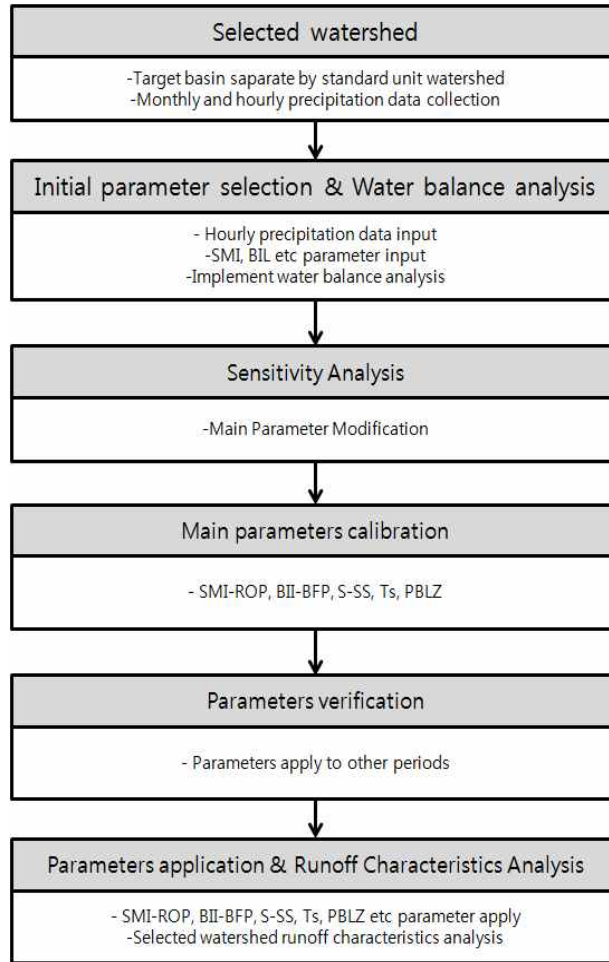
<그림 3> Basin map of standard unit watershed distribution in Geum river watershed

4) 대상유역의 용수수요 및 공급계획 조사

본 연구의 목적인 금강수계의 유출 특성 분석을 위해서는 신뢰도 높은 물수지 분석이 필요하다. 특히 4대강 살리기 사업을 통해 건설되는 신규 시설물과 다목적댐 등 기존 시설물의 연계 운영을 통해 수자원의 효율적인 활용 기반을 제공하기 위해 변화된 물관리 환경을 반영하여 물수지 분석을 수행하였다. 물수지 분석을 위해 일반적으로 가장 많이 이용되는 혼합 물수지 분석을 사용하였으며, 기초자료인 용도별 수요량, 자연유출량, 댐 및 저수지 운영 자료, 회귀수, 하천수 사용량 및 하·폐수 방류수량을 이용하여 분석하였다.

2. 연구방법

표준유역으로 구분된 금강수계 주요 지점의 유출특성분석을 위해서는 관측유량과 강우자료, 물수지 자료 등이 필요하다. 또한 유출량을 모의하기 위해 SSARR 모형의 입력자료를 구성해야 한다. 구성된 SSARR 모형의 검·보정, 민감도 분석을 통해 관측유량과 비교하여 모형의 오차를 최소화하여 금강수계 주요 지점별 유출특성 분석을 실시하였다(<그림 4>).



<그림 4> Flow chart

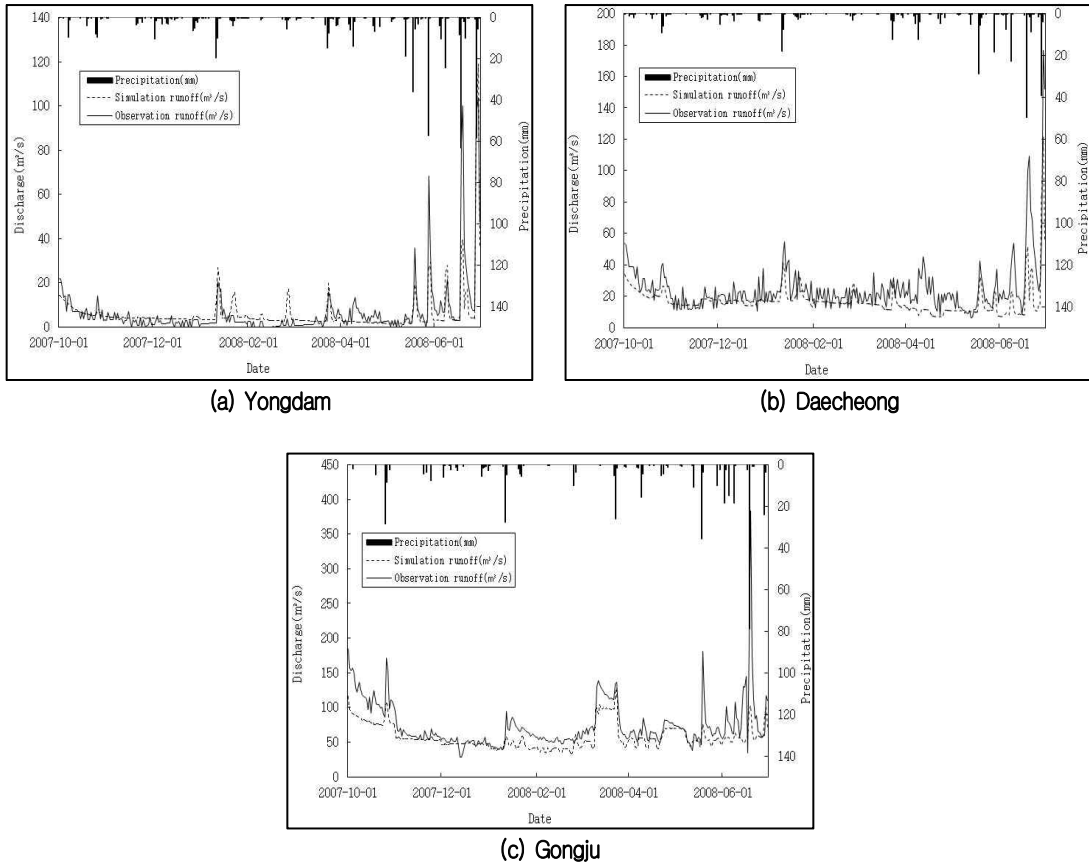
IV. 결과 및 고찰

1. 모형의 보정

모형의 보정에 앞서 초기조건은 매뉴얼에 의해 적절히 가정하여 부여하였으며, 결정된 매개변수에

따른 SSARR 모형의 계산결과를 분석하였다. 4대강 살리기 사업으로 인한 공사 때문에 분석대상기간은 그 이전 자료인 2007년 10월 1일부터 2008년 6월 30일까지를 분석대상기간으로 선정하였다. 이를 위해 2007년부터 2008년의 입력 자료를 구성하여 SSARR 모형을 보정하였다.

<그림 5>는 금강수계 주요 지점인 용담댐, 대청댐, 공주 지점의 매개변수 보정 전 모의유출량과 실측유출량을 비교한 것이다.



<그림 5> Before calibration runoff curve

이상의 금강수계 주요지점에 대한 보정 전 결과는 <표 1>과 같다.

<표 1>에서 보정 전의 주요 지점에 대한 평균 상대오차는 17.5%로 상대오차가 비교적 크게 나타났다.

<표 1> Calibration before the results of the model

Period	Point	Before Calibrations total discharge(106m ³)		Relative error (%)
		Observation	Simulation	
2007.10.01 ~	Youngdam	147.5	132.7	10.0
	Daecheong	570.8	454.5	20.4
2008.06.30	Gongju	1,755.8	1,365.6	22.2
	Average			17.5

2. 민감도 분석

SSARR 모형의 수많은 매개변수를 모두 보정하기는 현실적으로 어려운 부분이 있다. 따라서 금강 수계에 민감한 주요 매개변수를 찾기 위해 민감도 분석을 실시하였으며, 민감도 분석을 실시하기 위한 기준값은 <표 2>와 같다. 민감도 분석의 대상지역은 유역의 중하류부에 위치하고 있으며, 유역면적이 전체평균에 비교적 가까운 3009 중권역을 선정하였다. 분석에 사용된 수문기상자료는 과거의 많은 분석이 이루어져 신뢰도 높은 1997년 자료와 1998년 자료 중 최대유량값을 보이는 시기를 전후로 한 한달간의 자료를 선정하였다.

<표 2> Base values for the sensitivity analysis of the parameters

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%								
Ts(hr)	surface:3, subsurface:10, baseflow:100, lower zone:1,000								

민감도분석을 위한 각 매개변수의 범위는 SSARR Manual을 참조하여 분석을 실시하였다. SMI-ROP(Soil Moisture Index-RunOff Percentage) 곡선은 기준값으로부터 10%씩 상향 또는 하향 시킨 곡선에 대한 민감도를 분석하였고, BII-BFP(Baseflow Infiltration Index-BaseFlow Percentage) 곡선은 BII값이 0일때의 값만 10%씩 증감시킨 값을 사용하였다. 그리고 S-SS곡선은 0.15 cm/hr 증감 시킨 값에 대하여 각각 분석을 실시하였다. 이들을 포함하여 유역유출과 관련된 제반 매개변수의 기준값과 범위 및 민감도를 <표 3>에 제시하였다.

<표 3> Results of the sensitivity analysis

Parameter	Range	Low water discharge(m ³ /sec)		Sensitivity	
		1997	1998	1997	1998
SMI	SMI1	23.0	14.7	0.31	0.25
	SMI2	23.9	15.2		
	SMI3	24.3	15.3		
BII	BII1	22.5	13.1	0.26	0.59
	BII2	23.9	15.2		
	BII3	25.2	17.1		
S-SS	S-SS1	23.8	14.0	0.05	1.41
	S-SS2	23.9	15.2		
	S-SS3	23.9	16.4		
BIITS	30 hr	24.4	15.0	0.08	0.04
	40 hr	23.9	15.2		
	50 hr	23.5	15.3		
BIIMX	1 cm/day	26.1	16.3	0.10	0.08
	3 cm/day	23.9	15.2		
	5 cm/day	23.4	15.1		
BFLIM	0.08 cm/day	20.5	14.6	0.29	0.04
	0.13 cm/day	23.9	15.2		
	0.18 cm/day	27.0	15.2		
PBLZ	25 %	26.7	15.9	0.24	0.09
	50 %	23.9	15.2		
	75 %	21.0	14.5		
Ts (surface)	2 hr	23.5	14.6	0.04	0.13
	3 hr	23.9	15.2		
	4 hr	24.2	15.9		
Ts (subsurface)	8 hr	23.6	15.2	0.05	0.00
	10 hr	23.9	15.2		
	12 hr	24.1	15.2		
Ts (baseflow)	50 hr	18.4	15.8	0.33	0.06
	100 hr	23.9	15.2		
	150 hr	23.8	15.4		
Ts (lower zone)	500 hr	26.6	15.0	0.19	0.04
	1,000 hr	23.9	15.2		
	1,500 hr	22.1	14.8		

민감도 분석을 실시한 결과 저수시 민감한 매개변수로는 SMI, BII, S-SS(Surface-Subsurface Separation), PBLZ(Percentage of total Baseflow going to the LZ routing), 유량별 Ts로 나타났으며, 그 외의 매개변수는 기준값으로 고정하였다. 최종적인 매개변수의 값을 결정하기 위한 목적함수로 본 연구에서는 상대오차를 기준으로 구분하였으며, 시행착오를 통해 결정된 매개변수 값을 <표 4>~<표 7>에 나타내었다. 또한 PBLZ는 75%로 하였고, 지하수와 회귀지하수의 Ts는 각각 150hr와 1,500hr로 결정하였다.

<표 4> After calibration relationship of the SMI-ROP

SMI (cm)	ROP(%)	SMI (cm)	ROP(%)	SMI (cm)	ROP(%)	SMI (cm)	ROP(%)	SMI (cm)	ROP(%)
	300101-1 ~ 300108		300201		300301 ~ 300303-2		300401 ~ 300406		300501-1 ~ 300503
0	21.7	0	21.2	0	32.0	0	58.6	0	50.1
1	38.8	1	35.8	1	43.0	1	65.2	1	62.6
2	49.5	2	41.3	2	58.0	2	78.7	2	71.3
3	72.6	3	75.4	3	95.0	3	95.9	3	81.9
999	100.0	4	83.9	10	100.0	10	100.0	10	100.0
		5	91.4	999	100.0	999	100.0	999	100.0
		10	100.0						
		999	100.0						
SMI (cm)	ROP(%)	SMI (cm)	ROP(%)	SMI (cm)	ROP(%)	SMI (cm)	ROP(%)	SMI (cm)	ROP(%)
	300601-1 ~ 300601-2		300701-1~ 300706		300801 ~ 300804		300805		300901 ~ 300906
0	42.2	0	48.3	0	41.5	0	95.0	0	87.2
1	48.3	1	68.7	1	58.6	999	100.0	1	91.8
2	69.7	2	81.5	2	71.6			2	93.6
3	83.8	3	95.4	3	83.6			3	96.6
4	91.8	4	100.0	999	100.0				98.7
5	95.5	999	100.0					999	100.0
10	100.0								
999	100.0								
SMI (cm)	ROP(%)	SMI (cm)	ROP(%)	SMI (cm)	ROP(%)	SMI (cm)	ROP(%)	SMI (cm)	ROP(%)
	301001 ~ 301002		301101 ~ 301115-2		301201 ~ 301214		301301 ~ 301305		301401-1 ~ 301403-2
0	89.8	0	89.6	0	89.3	0	7.0	0	3.0
1	90.5	1	90.5	1	96.1	1	18.0	1	8.0
2	91.8	2	91.5	2	98.6	2	41.0	2	27.6
3	98.9	3	98.4	3	99.8	3	65.0	3	61.8
999	100.0	999	100.0	10	100.0	4	83.0	4	81.2
				999	100.0	5	91.0	10	100.0
						10	100.0	999	100.0
						999	100.0		

<표 5> After calibration relationship of the BII-BFP

BII (cm/day)	BFP (%)						
	300101-1 ~ 300108	300201	300301 ~ 300303-2	300401 ~ 300406	300501-1 ~ 300503	300601-1 ~ 300601-2	300701-1 ~ 300706
0.0	35	46	75	50	50	46	46
1.0	17	17	40	35	35	17	17
1.5	15	15	15	15	15	15	15
2.0	13	13	13	13	13	13	13
2.5	12	12	12	12	12	12	12
3.0	11	11	11	11	11	11	11
5.0	10	10	10	10	10	10	10
100.0	10	10	10	10	10	10	10

BII (cm/day)	BFP (%)							
	300801 ~ 300804	300805	300901 ~ 300906	301001 ~ 301002	301101 ~ 301115-2	301201 ~ 301214	301301 ~ 301305	301401-1~ 301403-2
0.0	70	45	46	46	46	46	46	46
1.0	50	16	17	17	17	17	17	17
1.5	35	14	15	15	15	15	15	15
2.0	23	13	13	13	13	13	13	13
2.5	12	12	12	12	12	12	12	12
3.0	11	11	11	11	11	11	11	11
5.0	10	10	10	10	10	10	10	10
100.0	10	10	10	10	10	10	10	10

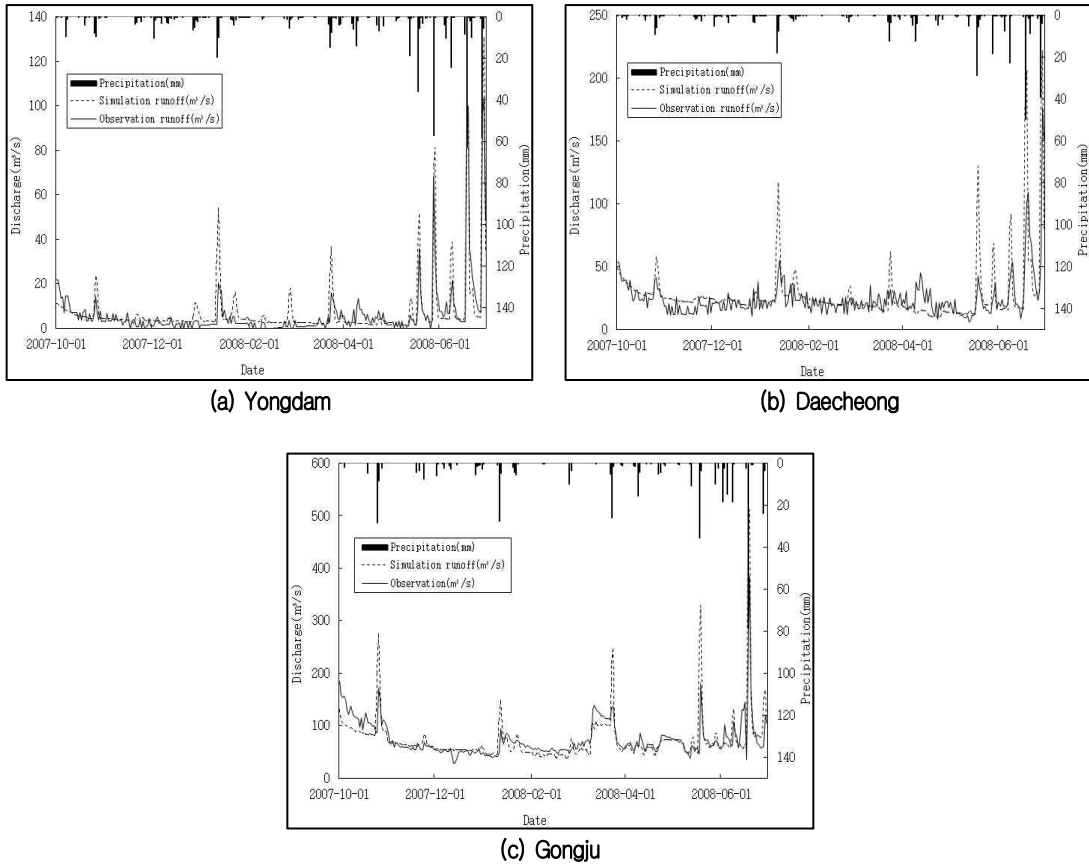
<표 6> After calibration relationship of the S-SS

Input Rate (cm/hr)	Surface runoff (cm/hr)
0.0	0.00
0.5	0.05
1.0	0.39
1.5	0.89
2.0	1.39
2.5	1.89
3.0	2.39

<표 7> Detention storage time per discharge

Discharge (m³/s)	Ts (hr)
0	10
100	8
150	7
200	6
400	5
1000	4
4000	3
10000	2

이와 같이 매개변수 보정은 민감도 분석 결과와 이수기인 평·갈수기 유량을 고려하여 보정하였다. 보정 후 용담댐, 대청댐, 공주 지점의 모의 유출량과 실측 유출량을 비교한 결과를 <그림 6>에 나타냈다.



<그림 6> After calibration runoff curve

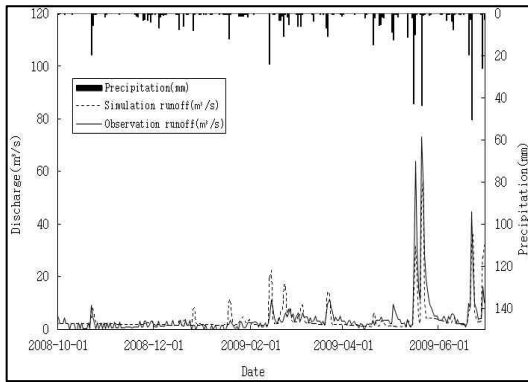
이상의 금강수계 주요 지점에 대한 보정 전과 후의 결과는 <표 8>과 같다. <표 8>에서 보정 전의 주요 지점에 대한 평균 상대오차가 17.5% 이었으나 보정 후에는 2.9%로 상대오차가 많이 감소하였다. 금강수계 본류를 중심으로 상류에는 용담댐, 중류에는 대청댐, 중하류에는 공주 수위표가 있고 지류 유입량의 편차가 크지 않아 유출량을 모의함에 있어 타 수계보다 상대적으로 안정적인 경향이 있기 때문인 것으로 판단된다.

<표 8> Calibration after the results of the model

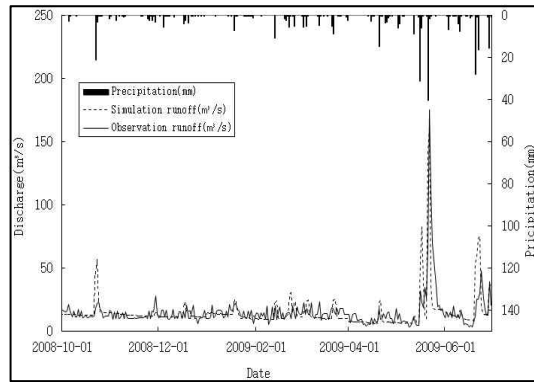
Period	Point	Before Calibrations total discharge($10^6 m^3$)		Relative error (%)	After Calibrations total discharge($10^6 m^3$)		Relative error (%)
		Observation	Simulation		Observation	Simulation	
2007. 10.01 ~ 2008. 06.30	Youngdam	147.5	132.7	10.0	147.5	151.8	2.9
	Daecheong	570.8	454.5	20.4	570.8	597.0	4.6
	Gongju	1,755.8	1,365.6	22.2	1,755.8	1,775.8	1.1
	Average			17.5			2.9

3. 모형의 검증

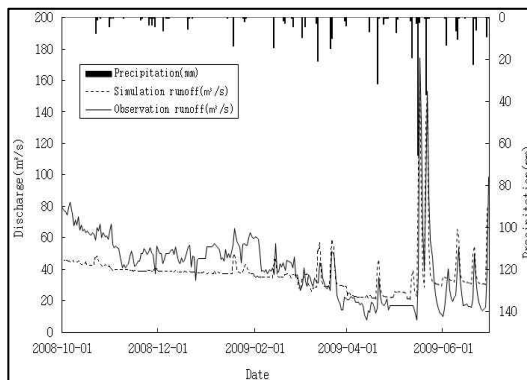
보정 후의 모의유출량 산정에 사용된 SSARR 모형의 매개변수를 사용하여 2008년 10월 1일부터 2009년 6월 30일까지 금강수계에 적용하여 모형의 검증을 실시하였다. 이들에 대한 결과는 <그림 7> 과 같다.



(a) Youngdam



(b) Daecheong



(c) Gongju

<그림 7> Verification of the model results

이상의 금강수계 주요 지점에 대한 검증 결과는 <표 9>와 같다.

<표 9>에서 주요 지점에 대한 평균 상대오차가 6.4%로 보정 후 보다 큰 상대오차를 나타내고 있으나, 보정 전에 비하면 적은 상대오차를 나타내고 있어 적절한 검증이 이루어진 것으로 판단된다.

<표 9> Verification of the model results

Period	Point	Before Calibrations total discharge(10 ⁶ m ³)		Relative error (%)
		Observation	Simulation	
2008.10.01 ~	Youngdam	97.6	89.3	8.5
	Daecheong	347.3	345.8	0.4
2009.06.30	Gongju	991.7	888.5	10.4
	Average			6.4

4. 유출특성 분석

유출특성 중 하나인 유출률은 대상유역에 내린 강우량에 대한 하천에 흐르는 양으로써, 본 연구에서는 분석기간인 2007년 10월 1일부터 2008년 6월 30일까지와 2008년 10월 1일부터 2009년 6월 30일까지에 대해 SSARR 모형에 의한 모의 유출률과 관측 유출률을 비교 분석하였다.

분석 대상인 용담댐, 대청댐, 공주지점의 유출률을 산정하기 위해 유역면적과 관계없는 댐 방류량은 제외하고 분석하였다.

<표 10>은 분석기간에 따른 모의와 관측 유출률을 나타낸 것이다.

<표 10> Runoff rate under different locations according to analysis period

Period	Point	Area (km ²)	Precipitation (mm)	Runoff rate(%)	
				Observation	Simulation
2007.10.01 ~	Youngdam	930	524.6	30.22	31.10
	Daecheong	3,260	343.5	32.99	35.33
2008.06.30	Gongju	3,024	444.8	64.99	66.47
2008.10.01 ~	Youngdam	930	468.1	22.41	20.51
	Daecheong	3,260	340.0	19.72	19.59
2009.06.30	Gongju	3,024	395.6	47.00	38.38

<표 10>을 통해 2007년 10월 1일부터 2008년 6월 30일까지의 유출률을 확인한 결과 전 지점에서 30%가 넘는 유출률을 나타냈다. 이는 일반적인 유출률에 비해 다소 높은 것으로 분석대상기간동안 지속적인 강우에 의한 것으로 판단된다. 또한, 공주지점에서는 공주 유역의 시가지가 발달되어 투수성이 낮아 대부분 하천으로 흘러들어 유출률이 높게 나온 것으로 판단된다.

2008년 10월 1일부터 2009년 6월 30일까지의 결과는 이전 분석기간에 비해 강우량이 줄어 유출률이 작게 나왔으며, 앞의 이유와 마찬가지로 공주지점에서의 유출률은 다른 분석대상지점보다 크게 나왔

다는 것을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 연구에서는 표준유역으로 구분된 금강수계 주요 지점의 유출특성 분석을 위하여 강우-유출 모형인 SSARR를 이용하여 모의 유출량을 산정하고, 산정된 모의 유출량의 민감도 분석을 통해 매개변수 검·보정을 실시하였다.

본 연구에서 도출된 결과는 다음과 같다. 매개변수 보정 전 금강수계 주요 지점인 용담댐, 대청댐, 공주 지점의 2007년 10월 1일부터 2008년 6월 30일까지의 총유출량 기준 상대오차는 각각 10.0%, 20.4, 22.2%로 평균 17.5%의 결과를 얻었다. 매개변수의 민감도 분석결과 토양습윤상태별 유출률(SMI-ROP), 침투량별 지하수 유입률(BII-BFP), 지표수와 복류수 분리(S-SS), 지하수 중 회귀지하수가 차지하는 비율(PBLZ), 최종 유량별 저류시간(Ts)이 가장 민감한 것으로 나타났다. SMI-ROP, BII-BFP, S-SS, Ts는 유동적인 매개변수이며, PBLZ는 75%로 하였다. 민감도 분석을 통한 주요 매개변수 보정 결과 용담댐, 대청댐, 공주 지점의 2007년 10월 1일부터 2008년 6월 30일까지의 총유출량 기준 상대오차는 각각 2.9%, 4.6%, 1.1%로 평균 2.9%의 결과를 얻었다. 보정된 매개변수를 기반으로 2008년 10월 1일부터 2009년 6월 30일까지 검증한 결과 용담댐, 대청댐, 공주지점의 총유출량을 기준으로 상대오차는 각각 8.5%, 0.4%, 10.4%로 평균 6.4%의 결과를 얻었다. 특히 타 지점에 비해 도심 유역을 포함한 공주지점의 유출률이 크게 나타났다.

본 연구에서는 표준유역을 기반으로 분석하여 기존의 중권역 단위의 분석에 비해 보다 세밀하고 정도 높은 결과를 도출 한 것으로 판단되며, 향후 보다 정도 높은 유출량을 산정하기 위해 신뢰도 높은 양질의 자료를 기반으로 매개변수를 보정함으로써 우리나라의 갈수기 물관리에 기여할 수 있을 것이다.

참고문헌

- 국토해양부. 2009. 4대강 살리기 마스터플랜 보고서.
- 국토해양부. 2011. 4대강 재난방지를 위한 하천시설물 연계기술 개발(II).
- 맹승진, 이상진, 류경식, 황만하, 김형산. 2010. 금강유역 논산지점의 수위-유량곡선식과 RRFs에 의한 유출 분석. 한국위기관리논집. 6(1): 51-63.
- 한국수자원공사. 1992. 낙동강수계 다목적댐 연계운영활용에 따른 통합 물관리 시스템 개발 보고서.
- 한국수자원공사. 1996. 낙동강 수계 실시간 최적 저수관리 시스템 개발(분석모델부분) 보고서.

한국수자원공사. 2000. 저수유출 수문모형 개발.

한국수자원공사. 2004. 실시간 물 관리 운영 시스템 구축 기술 개발.

한국수자원공사. 2008. 한강수계 실시간 저수지 운영시스템 구축 보고서.

USACE. 1991. *SSARR User Manual*. North Pacific Div, Portland.

김태우: 충북대학교에서 “금강수계 표준유역 구분에 따른 SSARR 모형에 의한 주요 지점별 유출특성 분석”으로 공학석사 학위를 취득하였으며(2013. 2), 현재는 미국에서 유학 중이다(jodn1389@hanmail.net).

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

최현수: 충북대학교에서 “DAMBRK 모형에 의한 저수지 붕괴 시 하류지역의 홍수 분석”으로 공학석사 학위를 취득하였으며(2019. 8), 현재 한국농어촌공사 감사실에서 근무 중이다(jhskrc@hanmail.net).

김동주: 충북대학교 농공학과를 졸업하고, 동 대학원에서 농학석사를 취득하였다(2000.8). 현재 충북대학교 지역건설공학과에서 박사과정 중이다(cop7042@ekr.or.kr).

장익근: 건국대학교 토목공학과를 졸업하고 동대학원에서 공학석사를 취득(1982.2)하였으며 충북대학교 지역건설공학과에서 박사과정을 수료(2008.2)하였다. 현재 한국농어촌공사 화안사업단장으로 근무하고 있다 (bull1111@hanmail.net).