

Construction and Application of Rainfall-Runoff Model during Low Flow at Youngsan River Watershed

Hyung San Kim^{1#}, Seung Jin Maeng²⁺, Ju Ha Hwang², Ji Sung Park²

¹ K-water Institute, 1689beon-gil 125, Yuseong-daero, Yuseong-gu, Daejeon, Korea

² Department of Agricultural & Rural Engineering, Chungbuk National University, 1 Chungdae-ro, Seowon-gu, Cheongju, Korea

Abstract

Since 1981, Youngsan river bank has become hollow and its water management has become ineffective. Following the project revitalizing the four major rivers in Korea that started in 2008, it is necessary to establish a new water management system due to the increase in the number of water structures. In this study, the SSARR model was selected to simulate the water circulation process at Youngsan river watershed, and the water circulation system for the Youngsan lake was established using the observed input data. The parameters calibration was performed from 2008 to 2009, which was verified with the data from 2013 to 2014. According to the varication with the 2013-14 data, the average absolute error of the last three stations was 4.7 m³/s in 2013 and 7.8 m³/s in 2014, respectively. The water circulation system applied in this study could help carry out an efficient water management of freshwater lake in Korea.

Key words: Youngsan river watershed, water cycle, SSARR, Long-term runoff

1. 서론

1981년 준공된 영산강 하구둑은 설계 당시 영산강 하구호 구간이 대부분 미개수 상태였으나 현재 일부를 제외한 전구간에 걸쳐 제방이 축조되어 제내지로 편입이 되고, 상류부 토사유입으로 인한 영산호 내용적 감소, 평균해면 상승, 기상요인의 여건 변화로 배수갑문 확장에 따른 효율적 물관리 필요성이 대두되었다(RRI, 2016).

경제사회의 급격한 발전과 주변 환경의 많은 변화가

있었고, 이에 따라 당초계획을 검토하면 개발면적과 물리면적의 내용별 증감, 용수의 다양화 및 추가 수요 등이 크게 대두되었다. 또한 당초 계획 때 보다 확률강우량이 증대되고, 담수호가 축조된 지 장기간이 경과함에 따라 퇴적으로 인한 내용적 감소현상이 나타나는 등 수문조건이 변화하였다. 또한 2008년부터 시작된 4대강 살리기 사업의 일환으로 영산강 본류에 건설된 승춘보와 죽산보로 인해 보 건설 전의 영산강 하류의 유황이 건설 후 변경되어, 기존에 운영하던 영산호, 영암호 및 금호호의 새로운 배수문과 제수문 조작 방법을 제시해

[#] The 1st author: Hyung San Kim, Tel. +82-42-870-7482, e-mail, kamakim486@hanmail.net

⁺ Corresponding author: Seung Jin Maeng, Tel. +82-43-261-2572, e-mail, maeng@cbnu.ac.kr

야하는 상황이 도래하였다. 따라서 수자원의 다양한 활용을 위해서는 최근 수문조건과 하천구조물의 신설 등을 고려한 전반적인 수문해석과 수리계산 재검토가 필요하며, 물수지 결과에 따라 수자원의 최대 활용방안을 강구함과 동시에 수위관리 등 이상적인 담수호 운영 방안에 대한 검토가 요구되는 실정이다. 국토교통부, 지속가능발전회 등에서 배수갑문 확장 및 연락수로 확장에 따른 하구둑 관리 개선 방안에 대한 필요성을 제기하고 있으며, 최근 들어 지속적으로 발생하고 있는 가뭄을 극복하기 위해 영산강유역과 영암호 및 금호호의 이수기 유출량 산정이 필요한 실정이다.

이상의 모든 과정에서 필요로 하는 것은 담수호내 유입유량과 수질의 산정이다. 유입량과 수질을 산정하기 위해서는 담수호내 주요지점에 수위국, 수질관측소 등을 설치하여야 하며, 방조제의 운영자료를 포함한 담수호내 모든 자료를 활용하여 효율적인 물관리를 할 수 있는 통합물관리시스템의 개발과 운영이 이루어져야 한다. 통합물관리시스템의 운영을 통해 양질의 관개용수를 지속적으로 농민에게 제공한다면 가뭄 및 홍수재해로부터 안전하게 운영될 수 있을 것이다.

본 연구에서는 영산강유역의 이수기 유출량을 산정하기 위해 물순환 과정을 모의할 수 있는 강우-유출 모형을 선정하고 분석에 필요한 매개변수를 산정하여 영산호, 영암호 및 금호호에 대한 물순환 체계를 구축하고자 하였다.

향후 연구에서 적용된 물순환 체계를 이용하여 통합물관리시스템을 구축한다면 담수호의 효율적인 물관리를 수행할 수 있을 것이라 사료된다.

II. 모형의 선정

연구에 적합한 모형을 선정하기 위해 향후 통합물관리시스템의 개발에 필요한 이수 목적 중심의 모형을 대상으로 검토하였다. 향후 적용된 모형이 호내 유입되는 유량의 신뢰성 확보를 통해 하구둑 운영에 영향을 미친다는 것을 감안한다면, 장기 물관리 시스템 구축 및 적

용에 활용된 SSARR (Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation) 모형이 적절할 것으로 판단하였다. SSARR 모형은 Korea Water Resource Cooperation(2000, 2004)이 한강수계에, Ahn & Lee(1989)가 금강수계인 보청천 유역에, Korea Water Resource Cooperation(1996)에서 낙동강수계에 적용한 사례가 있으며, K-water에서 4대강 유역에 적용하였고, 한강, 금강 등 기타유역에 적용되었다(Ryoo, *et. al.*, 2007; Choo, *et. al.*, 2008; Maeng, *et. al.*, 2010; Lee, *et. al.*, 2010; Kim, *et. al.*, 2014; Maeng, *et. al.*, 2015). 또한 Sung, *et. al.*(2008)의 연구에서 개발된 저류함수기반의 장기유출 모형과 SSARR 모형의 성능을 비교한 결과 SSARR 모형이 상대적으로 재현성이 높은 결과를 보였으며, 현재 홍수통제소 및 K-water에서 실무에 활용중인 모형으로 본 연구에 적용하였다(Kim, *et. al.*, 2015).

III. 대상유역 및 연구방법

1. 대상유역 현황

영산강은 우리나라 5대강 중 하나로 전라남북도에 위치하며, 유역경계는 동경 126° 26'12"~127° 06'07", 북위 34° 40'16"~35° 29'01"사이에 걸쳐 있다. 유역의 행정구역은 광주광역시, 전라북도 정읍시, 전라남도 나주시, 목포시, 담양군, 무안군, 영암군, 영광군, 장성군, 화순군, 함평군 등 1개 광역시, 2개 도, 3개 시 7개 군을 포함하고 있으며, 유역 내 인구는 1,717,770명이 고 가구수는 528,277호로서 가구당 인구는 3.25명이다(MLTMA, 2011).

영암호와 금호호는 영산호 좌안측에 위치하고 있으며, "영산강유역 농업종합개발사업 III-1 단계 사업"에서 농업용수를 공급할 목적으로 조성되었다. 영산호와 영암호, 영암호와 금호호는 저폭 15m의 사다리꼴 연락수로 연결되어 있으며, 영산호로 유입되는 담수를 영암호와 금호호의 제염 및 이수목적으로 활용하고 있다(Kim & Kim, 2010). 본 연구의 대상지역인 영산강유

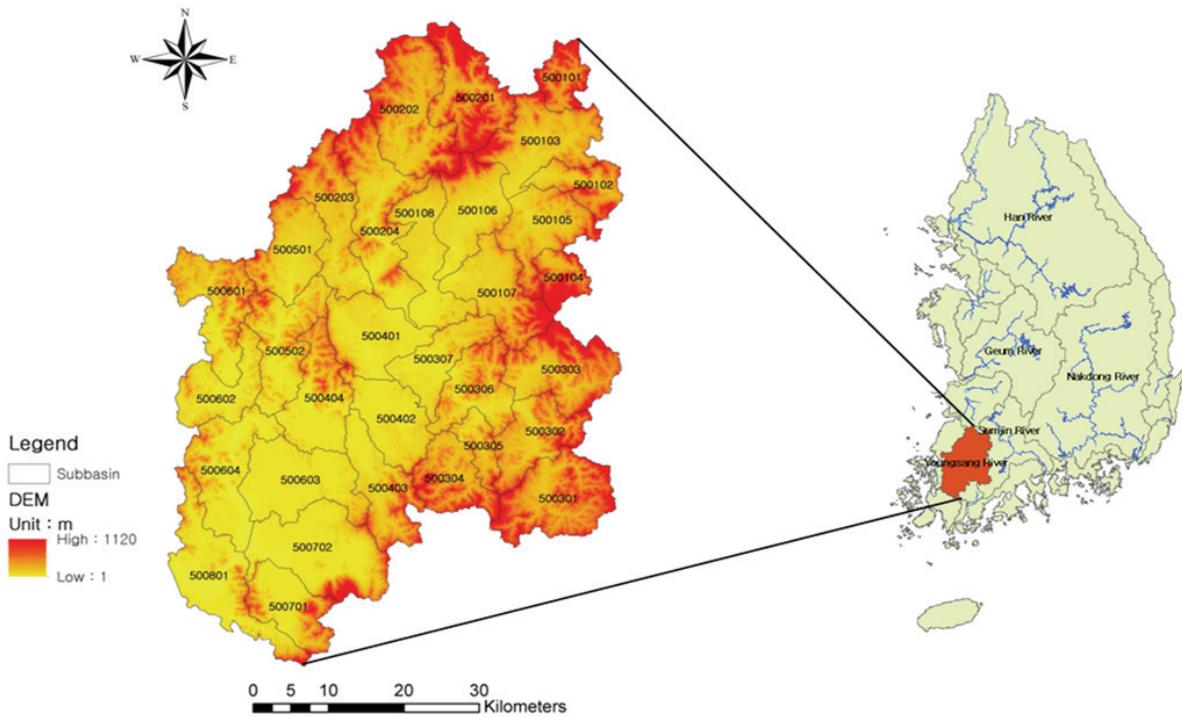


Figure 1. Map of Youngsan River watershed

역을 도식화한 것은 <Figure 1>과 같다.

2. 연구방법

연구를 수행하기 위한 절차는 다음과 같다. 영산강유역의 이수기 물순환 과정을 모의할 수 있는 강우-유출 모형을 구축하기 위해 SSARR 모형을 선정하였다. 선정된 모형에 대한 수문자료 구성을 위해 대상유역의 주요 지점별로 유역을 분할한다. 대상유역에 대한 강우관측소의 일 강수량, 일 수위, 수위-유량곡선식 및 기상대의 온도 등 수문자료를 수집한다. 분할된 유역을 중심으로 면적강우량을 산정하고 유출모형의 초기 매개변수를 선정한다. 관측유량과 모의유량의 비교 분석을 통해 주요 매개변수를 보정한다. 보정된 매개변수를 적용하여 모형의 검증을 실시한다. 최종적으로 검증된 매개변수의 적정성을 판단한다.

IV. 결과 및 고찰

1. 유역분할

영산강유역은 4대강 살리기 사업 이후 영산강 본류

에 승촌보와 죽산보가 건설되면서 영산강수계의 유역을 표준유역단위로 구분하였다. 본 연구에서는 4대강 살리기 사업 이후 구분된 표준유역을 적용하였다. 영산강의 유역면적은 3,455km², 유로연장은 129.5km이며 유역의 동서간 최대길이는 60.6km, 남북간 최대길이는 89.9km이다. 유역의 평균폭은 26.7km, 형상계수는 0.206, 유역의 평균고도는 EL. 118.9m로 나타났으며, 유역형태는 직사각형 형태의 수지상으로 분석되었다.

2. 수문자료 구성

수문자료 구성을 위한 일 강수량은 국가수자원관리 종합정보시스템(WAMIS)에서 제공하는 자료 중 영산강유역 인근의 국토교통부 및 한국수자원공사의 강우관측소를 선정하여 수집하였다. 영산강유역의 수위자료는 마곡, 나주, 남평 및 선암 수위관측소를 대상으로 수위, 수위-유량 관계곡선식 자료를 국가수자원관리종합정보시스템에서 수집하였으며, 수위-유량 관계곡선식을 이용하여 보정 및 검증에 필요한 유량자료를 산정하였다.

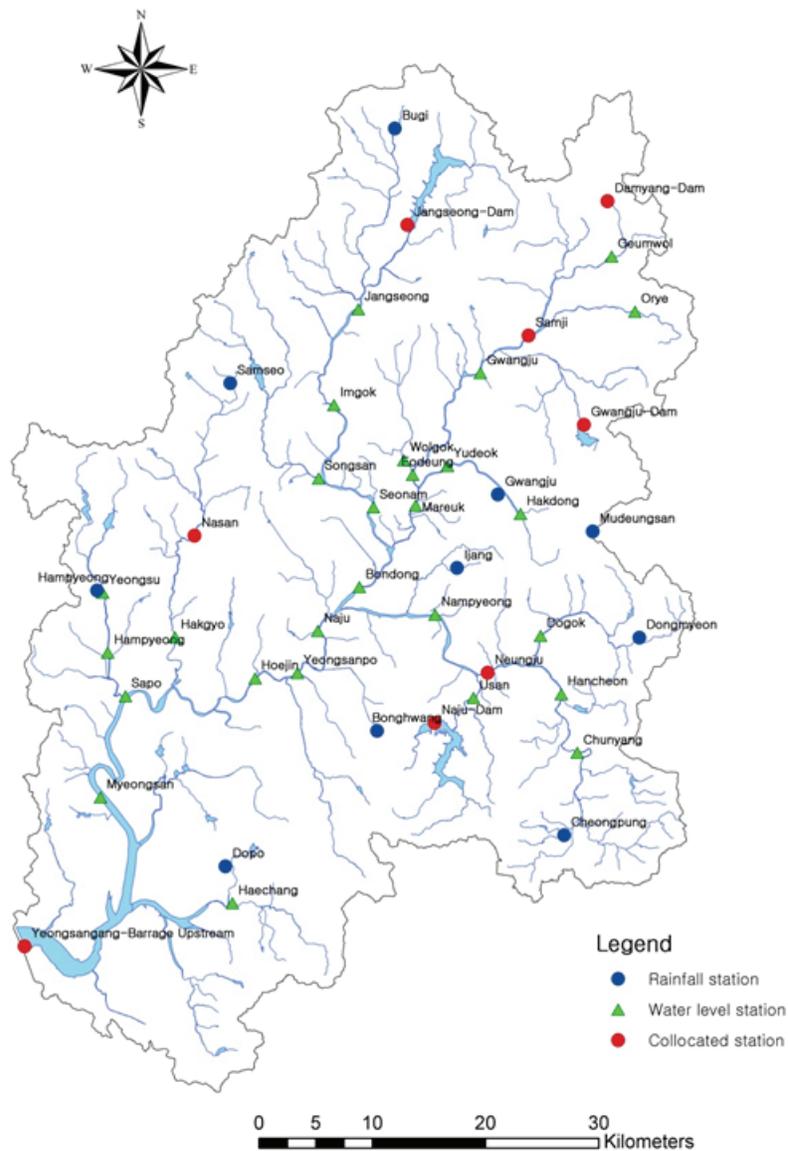


Figure 2. Rainfall and water level station of Youngsan River watershed

기온자료의 경우 영산강수계 기상관측소에서 측정된 월평균 온도 중 표준유역별로 지형적으로 가까운 관측소의 온도자료를 기상청(www.kma.go.kr)에서 수집하였으며, 취수량 및 회귀수량은 수자원장기종합계획(MLTMA, 2011)에서 제시한 생활, 공업, 농업용수 수요량을 이용하였다.

영산강유역의 수문관측시설로 수위관측소 25지점, 우량관측소 11지점, 수위·우량 병설관측소 8지점이 존재하며, 이들 관측소들의 위치는 <Figure 2>와 같다.

3. 초기 매개변수 선정

SSARR 모형에서 설정되는 매개변수는 크게 물리적 입력변수, 수문기상 입력변수, 내부처리 매개변수로 구분된다. 물리적 매개변수를 설정하기 위하여 영산강유역을 표준유역으로 구분하였으며 모형에 입력될 유역, 하도 및 보와의 관계를 <Figure 3>과 같이 도시하였다. 물리적 입력변수에 해당하는 고도별 면적비는 유역면적과 고도별 면적비를 이용하였다.

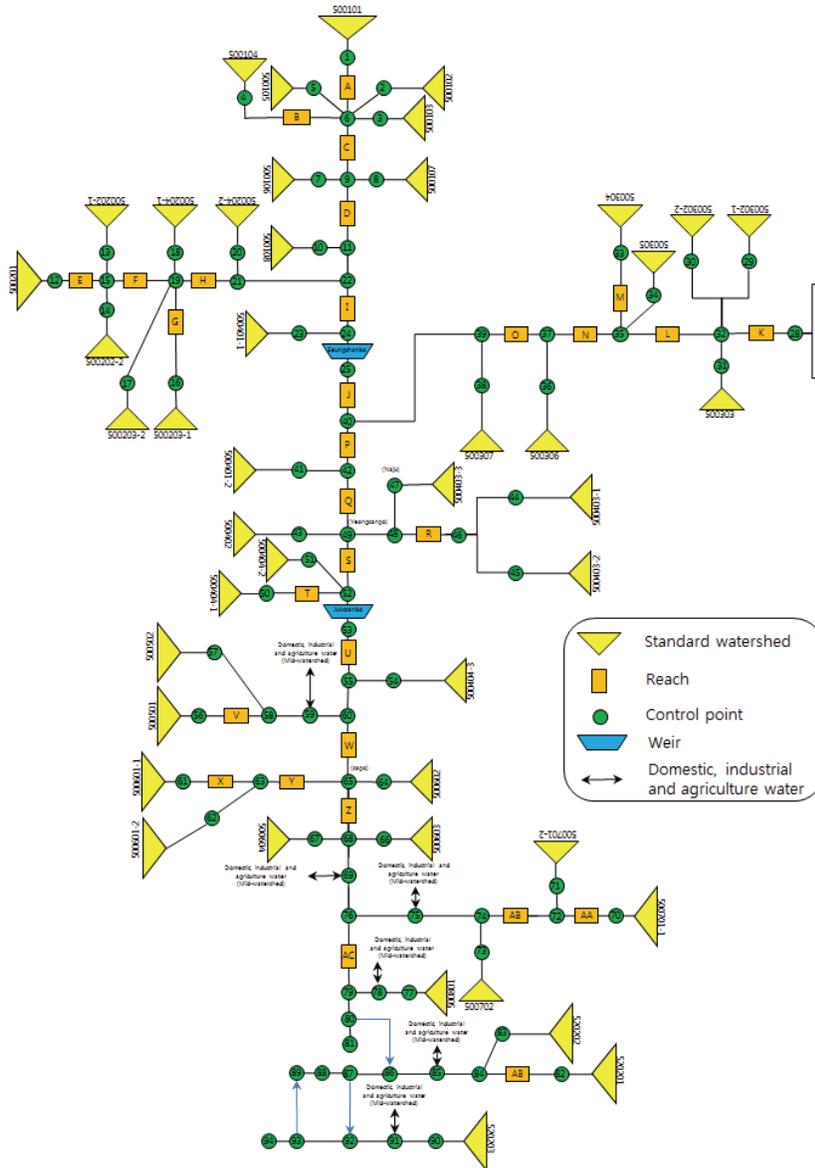


Figure 3. Schematic diagram of Youngsan River flow

수문기상 입력변수의 강우량 자료는 면적강우량을 산정하여 적용하였으며, 고도별 강우 가중치(ELPP)는 건설부(1987)에서 사용한 방법을 적용하였다. 강우강도별 ETI 가중치(EKE), SMI별 ETI 가중치(DKE), 기온별 증발산 지수(ETP), 고도별 ETI 가중치(ETEL), 최대 차단량(TINTMX), 월별 ETI 가중치(ETM)는 SSARR Manual(1991)을 참조하여 설정하였다(Kim, et. al., 2015).

내부처리 매개변수 중 주요 매개변수는 토양 수분상태에 따른 유출율의 함수인 토양수분지수(Soil Moisture Index, SMI), 직접유출과 기저유출로 구분

되는 기저침투량지수(Baseflow Infiltration Index, BII), 직접유출을 구분하는 지표면유출과 지표하유출비(Surface-Subsurface Separation, S-SS)가 있다. 내부처리 매개변수인 토양습윤상태별 유출율(Soil Moisture Index-Runoff Percent, SMI-ROP), 침투량별 지하수 유입률(Baseflow Infiltration Index-Base Flow Percent, BII-BFP) 및 지표수와 복류수 분리(S-SS) 등은 총 47개 소유역의 중권역에 따라 3개의 중유역으로 구분하였다. 5001에서 5005중권역은 A, 5006에서 5008중권역은 B, 5022중권역은 C로 각각 매개변수를 적용하였다.

Table 1. Before calibration of major points using SSARR model

Year	Station	Yearly average discharge (m ³ /s)		Relative error (%)	Dry season average discharge (m ³ /s)		Absolute error (m ³ /s)	Flood season average discharge (m ³ /s)		Relative error (%)
		Observed	Simulated		Observed	Simulated		Observed	Simulated	
2008	Bondong	32,0	16,3	96,2	17,7	8,3	9,3	60,5	32,1	88,1
	Youngsanpo	42,4	42,7	0,6	24,8	22,6	2,2	77,6	82,9	6,4
	Sapo	193,9	61,7	214,3	192,6	30,9	161,7	196,4	123,0	59,6
	Average			103,7			57,8			51,4
2009	Bondong	38,7	30,8	25,5	12,6	7,8	4,8	90,5	76,6	18,1
	Youngsanpo	58,6	86,2	32,1	18,8	21,0	2,2	137,8	216,2	36,2
	Sapo	333,1	121,3	174,5	162,8	30,3	132,5	672,3	302,7	122,1
	Average			77,3			46,5			58,8

선정된 초기 매개변수를 적용하여 2008년과 2009년을 대상으로 본동, 영산포 및 사포 3개 지점의 유출량의 모의하였다. 선정된 유출량과 지점별 관측유출량을 연평균유량 및 치수기 평균유량의 상대오차와 이수기 평균유량의 절대오차로 구분하여 산정하였으며 결과는 <Table 1>과 같다. 초기 매개변수를 적용하여 분석된 영산포 지점의 2008년 결과는 <Figure 4>와 같다.

4. 모형의 보정

최종적인 매개변수의 값을 결정하기 위해서는 관측 유출량과 모의유출량의 오차를 최소화하는 것이 일반

적이며, 절대오차와 상대오차로 구분할 수 있다. 절대오차의 경우 홍수기의 오차를 감소시키는 방향으로 매개변수를 결정할 수 있으며, 저수시의 정확도가 저하될 수 있다. 상대오차의 경우 저수시 위주로 매개변수를 결정할 수 있으며, 고수시의 유량이 반영되지 않을 수 있다. 따라서 본 연구에서는 고수시와 저수시를 분리하여 민감도 분석결과에 따라 선정된 매개변수를 이용하여 보정을 수행하였다(Kim, et. al., 2014). 즉, 고수시인 치수기에는 토양습윤상태별 유출률(SMI-ROP), 침투량별 지하수 유입률(BII-BFP), 지표수와 지하수 분리(S-SS)와 유역에서의 저류시간을 통해 3개 제어지점

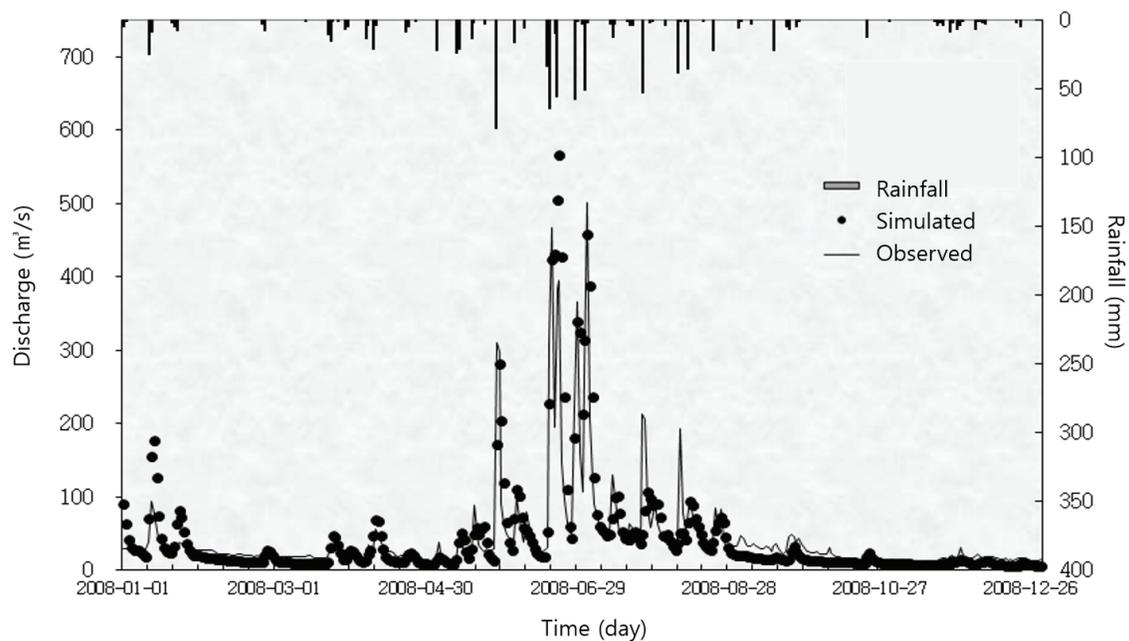


Figure 4. Before calibration of model at Youngsanpo water level station in 2008 year

인 본동, 영산포, 사포지점의 일 유량을 대상으로 상대 오차가 최소로 되도록 보정하였으며, 저수시인 이수기에는 BII-BFP, 지하수 중 회귀지하수가 차지하는 비율(PBLZ) 및 지하수의 저류시간(Ts)을 통해 기저유출이 지속되는 기간 위주로 3개 제어지점에 대해서 각 지점별로 일유량을 대상으로 절대오차의 최소화를 목적으로 보정하였다. 이·치수기 전체인 연 단위에서는 연유출의 과반을 차지하기 때문에 고수시와 같은 상대오차가 최소로 되도록 보정하였다. 그러나 일유출모형이라는 한계 때문에 시시각각 큰 변화를 보이는 고수시 유량에 대해 변수보정을 통한 정확도의 증진은 크게 기대할 수 없으며, 신빙성 있는 소유역별 유량관측자료가 결여되어 있다는 점에서 저수시의 변수보정도 한계가 있다. 그러므로 본 연구에서는 본동, 영산포 및 사포 3개 제어지점에서의 유출량 자료만을 근거로 하여 기 설정된 보정방향과 민감도 분석 결과에 따라 시행착오적인 방법으로 매개변수를 결정하였다.

2008년 자료와 2009년 자료에 의한 모형의 보정방향과 민감도 분석 결과에 따라 내부처리 매개변수 중 고수시 또는 저수시에 민감도가 큰 SMI-ROP, BII-BFP, S-SS와 유량별 Ts, PBLZ 등을 제외한 나머지 매개변수는 초기에 설정한 기준값으로 고정하였다. 침투유량에 큰 영향을 미치는 SMI-ROP, BII-BFP, S-SS와 유역추적 매개변수 중 유량의 함수로 설정되는 Ts에 대해 저수시 결과까지 감안한 상태에서 시행착오를 통해 최종적으로 결정된 매개변수 SMI-ROP의 범위는 최소 15%에서 최대 100%, BII-BFP는 최소 10%에서 최대 46%, S-SS는 0cm/hr에서 2.79cm/hr로 산정되었으며 결과는 <Table 2>~ <Table 5>와 같다. 보정된 매개변수를 적용하여 분석된 영산포지점의 2008년 결과는 <Figure 5>와 같고, 보정 후의 관측유출량과 모의유출량을 비교한 값은 <Table 6>과 같다.

Table 2. SMI-ROP of Youngsan River after calibration

SMI (cm)	ROP (%)		
	A(5001-5005)	B(5006-5008)	C(5202)
0	15	17	19
1	25	18	30
2	45	51	57
3	70	71	85
4	90	91	97
5	99	99	99
10	100	100	100
999	100	100	100

Table 3. BII-BFP of Youngsan River after calibration

BII (cm/day)	BFP (%)		
	A(5001-5005)	B(5006-5008)	C(5202)
0.0	46	45	44
1.0	19	18	17
1.5	16	15	14
2.0	15	14	13
2.5	14	13	12
3.0	13	12	11
5.0	10	10	10
100	10	10	10

Table 4. S-SS of Youngsan River after calibration

Input Rate (cm/hr)	Surface Comp. (cm/hr)		
	A(5001-5005)	B(5006-5008)	C(5202)
0.0	0.00	0.00	0.00
0.5	0.27	0.29	0.25
1.0	0.79	0.78	0.67
1.5	1.29	1.28	1.17
2.0	1.79	1.68	1.57
2.5	2.27	2.18	2.07
3.0	2.79	2.68	2.57

Table 5. Ts of Youngsan River after calibration

Discharge (m ³ /sec)	Ts (hr)
0	10
10	8
15	7
20	6
40	5
100	4
400	3
1,000	2

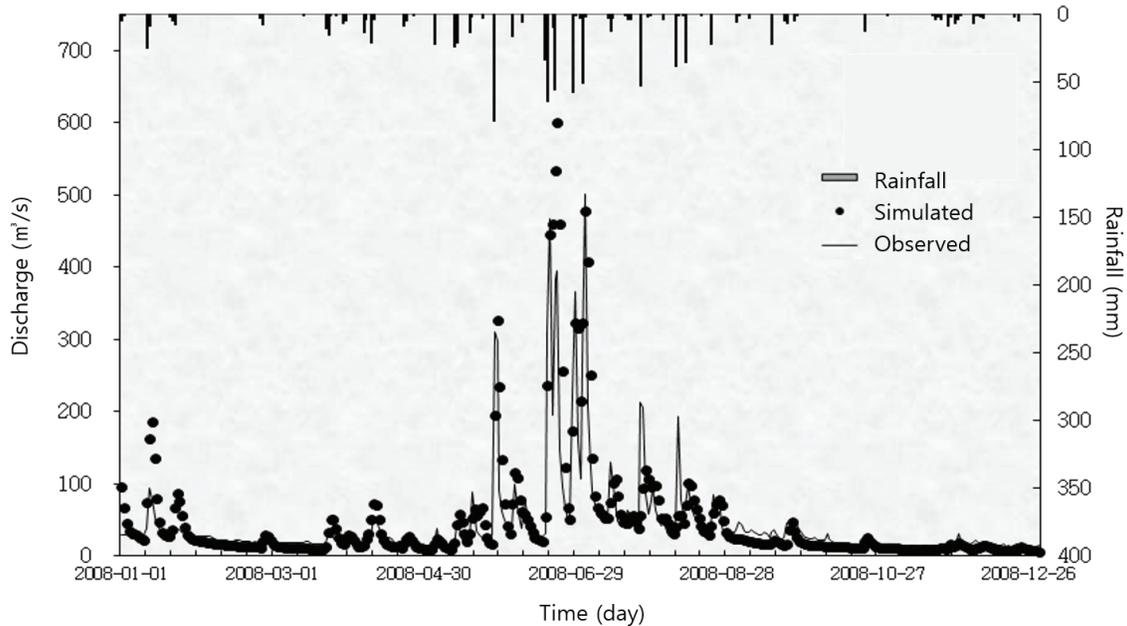


Figure 5. After calibration of model at Youngsanpo water level station in 2008 year

Table 6. Result after calibration of major points using SSARR model

Year	Station	Yearly average discharge (m³/s)		Relative error (%)	Dry season average discharge (m³/s)		Absolute error (m³/s)	Flood season average discharge (m³/s)		Relative error (%)
		Observed	Simulated		Observed	Simulated		Observed	Simulated	
2008	Bondong	32.0	17.8	80.1	17.7	9.4	8.3	60.5	34.5	75.4
	Youngsanpo	42.4	46.4	8.5	24.8	25.2	0.4	77.6	88.5	12.4
	Sapo	193.9	66.8	190.4	192.6	34.4	158.2	196.4	131.2	49.7
	Average			93.0			55.6			45.8
2009	Bondong	38.7	32.7	18.3	12.6	8.8	3.8	90.5	80.2	12.9
	Youngsanpo	58.6	90.1	35.0	18.8	23.5	4.7	137.8	222.8	38.1
	Sapo	33.1	127.2	161.8	162.8	33.9	128.9	672.3	313.1	114.7
	Average			71.7			45.8			55.2

〈Table 6〉에서 나타난 바와 같이 보정 후의 값을 살펴보면 연평균 유량은 보정전 대비 2008년 10.7%, 2009년에는 5.6% 감소되었다. 이수기 평균 유량의 절대 오차는 본동과 영산포에 비해 사포값의 차이가 크게 발생하였다. 이는 앞서 서술한 원인과 같으며, 치수기 평균 유량의 오차는 2008년 5.6%, 2009년에는 3.6%로 감소되었다.

5. 모형의 검증

모형의 검증은 보정을 통해 산정된 매개변수를 이용하여 2013년과 2014년을 적용하여 실시하였다. 검증 기간 중 사포지점의 2014년 적용된 결과는 〈Figure 6〉과 같고, 관측유출량과 모의유출량을 비교한 표는 〈Table 7〉과 같다.

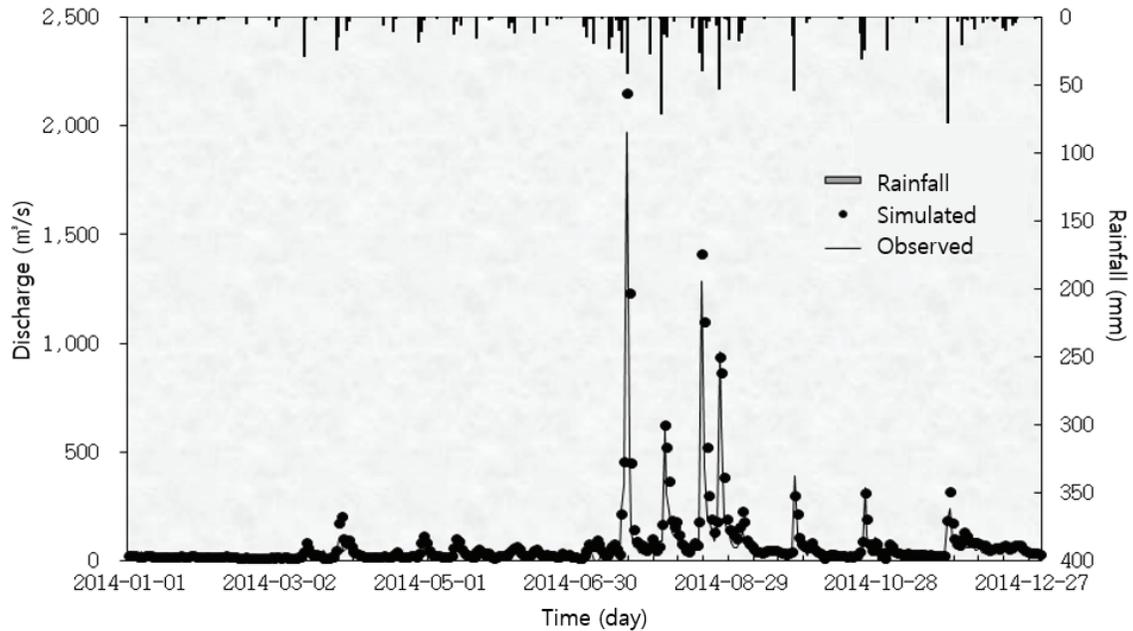


Figure 6. Verification of model at Sapo water level station in 2014 year

Table 7. Result verification of major points using SSARR model

Year	Station	Yearly average discharge (m³/s)		Relative error (%)	Dry season average discharge (m³/s)		Absolute error (m³/s)	Flood season average discharge (m³/s)		Relative error (%)
		Observed	Simulated		Observed	Simulated		Observed	Simulated	
2013	Seungchonbo	36,7	32,7	12,2	20,0	8,8	11,2	69,9	80,2	12,8
	Jukssanbo	61,8	99,5	37,8	34,5	35,8	1,4	116,3	226,2	48,6
	Sapo	67,4	91,1	26,1	39,7	41,5	1,7	122,4	190,1	35,6
	Average			25,4			4,7			32,4
2014	Seungchonbo	32,1	26,2	22,5	18,8	14,5	4,3	58,5	49,4	18,5
	Jukssanbo	54,1	86,7	37,6	29,0	42,7	13,7	104,0	174,2	40,3
	Sapo	61,4	79,9	23,1	35,2	40,5	5,4	113,8	158,3	28,1
	Average			27,7			7,8			29,0

모형의 검증은 2013년과 2014년을 대상으로 승천보, 죽산보 및 사포 3개 제어지점에 대해 실시되었으며 각 지점에 대해 연평균유량 및 치수기 평균유량의 상대오차와 이수기 평균유량의 절대오차를 산정하였다. 검증 결과 3개 제어지점의 연평균유량 및 치수기 상대오차는 2013년 25.4%, 32.4%, 2014년에는 27.7%, 29%로 나타났다. 지점별로는 죽산보의 상대오차가 연평균유량 및 치수기 모두 가장 크게 발생하였다. 이수기 평균 유량의 절대오차는 2013년 4.7m³/s, 2014년에는 7.8m³/s로 2008년과 2009년의 보정 후에 비해서도 낮은 오차를 나타내고 있어 검증결과는 양호한 것으로 판단하였다.

본 연구의 대상 영산강유역은 영산호, 영암호 및 금호호로 나누어져 있다. 이상에서 수행한 유출모형의 매개변수 보정과 검증은 수문자료가 획득 가능한 영산호를 대상으로 수행한 것이다. 영암호와 금호호는 유역내 수위관측소의 부재로 인해 영암호와 금호호의 유출에 대한 보정과 검증은 수행할 수 없었다. 따라서 영암호와 금호호의 유출모의는 영산강 유역에 대한 유출모형의 매개변수 검증자료를 입력자료로 하여 유출모의를 수행하였으며, 향후 담수호내 주요지점에 수위관측소를 설치하여 운영한다면 관련 수문자료의 획득을 통하여 구축된 모형의 고도화가 필요할 것이라 판단된다.

V. 결론

본 연구에서는 영산강유역의 이수기 물순환 관리를 위한 모형을 구축하기 위해 SSARR 모형을 이용하였다. 영산강유역의 표준유역을 기준으로 모형을 구성하였으며, 모형의 물리적 입력변수와 수문기상 입력변수, 내부처리 매개변수 및 취수량 및 회귀수량을 산정하였다. 산정된 매개변수 보정 및 검증을 통하여 최종적으로 매개변수를 결정하였으며, 분석 결과는 다음과 같다.

2008년과 2009년의 유출을 모의하여 영산강유역의 본동, 영산포, 사포지점의 일 유량을 대상으로 고수시와 저수시를 분리한 후 매개변수 보정을 수행하였다. 연평균 유량은 보정전 대비 2008년 10.7%, 2009년에는 5.6% 감소되었다. 이수기 평균 유량의 절대 오차는 본동과 영산포에 비해 사포값의 차이가 크게 발생하였으며, 치수기 평균 유량의 오차는 2008년 5.6%, 2009년에는 3.6%로 감소되었다.

보정을 통해 결정된 매개변수를 2013년과 2014년을 대상으로 적용하여 분석한 결과 3개 제어지점의 연평균 유량 및 치수기 상대오차는 2013년 25.4%, 32.4%, 2014년에는 27.7%, 29%로 나타났으며, 지점별로는 죽산보의 상대오차가 연평균유량 및 치수기 모두 가장 크게 발생하였다. 이수기 평균 유량의 절대오차는 2013년 4.7m³/s, 2014년에는 7.8m³/s로 2008년과 2009년의 보정 후에 비해서도 낮은 오차를 나타내고 있어 검증결과는 양호한 것으로 판단하였다.

향후 본 연구의 성과를 기반으로 신뢰도가 더욱 향상된 영산강유역의 유출량이 산정된다면, 영산호이외의 영암호 및 금호호의 유출량을 산정하는데 신뢰성 있는 기초자료로 활용 가능할 것이며, 영산호를 포함한 담수호의 물순환 관리를 수행하여 향후 발생할 수 있는 가뭄 상황에 선제적으로 대응할 수 있을 것이다.

References

- Ahn, Sang Jin and Yong Soo Lee. 1989. Watershed Runoff Analysis by SSARR Model. *Journal of Korea Water Resources Association*. 22(1): 109-116.
- Choo, Tai Ho, Seung Jin Maeng, Chi Youl Ok, and Ki Heon Song, 2008. Sensitivity Analysis for Parameter of Rainfall-Runoff Model During High and Low Water Level Season on Ban River Basin. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*. 9(5): 1334-1343.
- Han River Flood Control Office, Ministry of Construction. 1987. *Development of Nakdong River Flood Warning and Water Management Program Final Report (Water Management Division)*.
- Kim, Dae Geun and Dong Ok Kim. 2010. Coupled Operation of the Lake Youngsan, Yeongam and Kumho for the Flood Stage Control in the Downstream of the Youngsan River. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*. 30(3B): 277-284.
- Kim, Hyung San, Seung Jin Maeng, and Man Ha Hwang. 2015. Estimating Probable Annual Maximum Daily Streamflow on Climate Change: On the Runoff Analysis. *Korean Review of Crisis and Emergency Management*. 11(5): 119-133.
- Kim, Jin Soo, Seung Jin Maeng, Ji Hye Jeong, and Hyung San Kim. 2014. Analysis for Runoff Characteristic in Geumho River Basin by Standard Unit Watersheds Including Flood and Drought Years. *Korean Review of Crisis and Emergency Management*. 10(4): 133-152.
- Korea Meteorological Administration. <http://www.kma.go.kr/>
- Korea Water Resource Cooperation. 1996. *Development of Real-time Optimum Water Management System in the Nakdong River Water System: Model Analysis Part*.
- Korea Water Resource Cooperation. 2000. *Development of a Reservoir Runoff Model*.
- Korea Water Resource Cooperation. 2004. *Report on Practical Application of Continuous Runoff Model of Han River Water System*.
- Lee, Sang Jin, Joo Cheol Kim, and Joon Woo Noh. 2010. Long Term Runoff Simulation for Water Balance at Daecheong

- Basin. *Journal of the Environmental Sciences*. 19(10): 1211-1217.
- Maeng, Seung Jin, Hyung San Kim, Ji Hye Jeong, Azam Muhammad, and Man Ha Hwang. 2015. Runoff Analysis Using Precipitation by Climate Change Scenario and Observed Precipitation. *Korean Review of Crisis and Emergency Management*. 11(2): 241-259.
- Maeng, Seung Jin, Sang Jin Lee, Kyoung Shik Ryoo, Man Ha Hwang, and Hyung San Kim. 2010. Runoff Analysis Using Rating Curve and RRFs for Nonsan Control Point on Geum River Basin. *Korean Review of Crisis and Emergency Management*. 6(1): 51-63.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. 2011. *Research Report for Establishment of Long-term Comprehensive Plan for Water Resources(2011-2020)*.
- Rural Research Institute. 2016. *A Study on Establishment of Integrated Master Plan and Water Balance Analysis of Youngsan River Basin*.
- Ryoo, Kyoung Shik, Man Ha Hwang, Seung Jin Maeng, and Sang Jin Lee. 2007. Analysis of Runoff Characteristics in the Geum River Basin Using Watershed Management Model. *Journal of Korean Society of Water Environment*. 23(4): 527-534.
- Sung, Young Du, Koo Yol Chong, Cheol Kyun Shin, and Jin Hyeog Park. 2008. Long Term Rainfall-Runoff Modeling Using Storage Function Method. *Journal of Korea Water Resources Association*. 41(7): 737-746.
- USACE. 1991. *SSARR User Manual*. Portland: North Pacific Div. Water Resource Management Information System. <http://www.wamis.go.kr/>
- Korean References Translated from the English*
- 건설부 한강홍수통제소. 1987. 낙동강 홍수예경보 및 저수관리 프로그램개발 최종보고서(저수관리부문).
- 국가수자원관리종합정보시스템. <http://www.wamis.go.kr/>
- 국토해양부. 2011. 수자원장기종합계획(2011~2020) 수립을 위한 연구보고서.
- 기상청. <http://www.kma.go.kr/>
- 김대근, 김동욱. 2010. 영산강 하류부 홍수위 조절을 위한 영산호-영암호-금호호 연계운영. *대한토목학회논문집*. 30(3B): 277-284.
- 김진수, 맹승진, 정지혜, 김형산. 2014. 홍수 및 가뭄년을 포함한 금호강 수계 표준유역별 유출특성 분석. *한국위기관리논집*. 10(4): 133-152.
- 김형산, 맹승진, 황만하. 2015. 기후변화에 따른 확률 일최대유량 산정: 유출분석을 중심으로. *한국위기관리논집*. 11(5): 119-133.
- 농어촌연구원. 2016. 영산강 유역 물수지 분석 및 통합 마스터 플랜 수립 방안 연구.
- 류경식, 황만하, 맹승진, 이상진. 2007. 유역관리모형을 이용한 금강유역 유출특성 해석. *한국물환경학회지*. 23(4): 527-534.
- 맹승진, 김형산, 정지혜, Azam Muhammad, 황만하. 2015. 기후 변화 시나리오에 의한 강수량과 관측강수량을 사용한 유출 분석. *한국위기관리논집*. 11(2): 241-259.
- 맹승진, 이상진, 류경식, 황만하, 김형산. 2010. 금강유역 논산 지점의 수위유량곡선식과 RRFs에 의한 유출 분석. *한국 위기관리논집*. 6(1): 51-63.
- 성영두, 정구열, 신철균, 박진혁. 2008. 저류함수를 이용한 일단위 장기유출모의 모형 구축. *한국수자원학회논문집*. 41(7): 737-746.
- 안상진, 이용수. 1989. SSARR모형에 의한 유역유출 해석. *한국 수문학회지*. 22(1): 109-116.
- 이상진, 김주철, 노준우. 2010. 대청유역 물수지 분석을 위한 장기 유출모의. *한국환경과학회지*. 19(10): 1211-1217.
- 추태호, 맹승진, 옥치을, 송기현. 2008. 한강수계의 고수 및 저수기 유출모형 매개변수 민감도 분석. *한국산학기술학회논문지*. 9(5): 1334-1343.
- 한국수자원공사. 1996. 낙동강 수계 실시간 최적 저수관리 시스템 개발. 분석모델 부분 보고서.
- 한국수자원공사. 2000. 저수유출 수문모형 개발.
- 한국수자원공사. 2004. 한강수계 연속유출모형 실용화 보고서.

Received: Apr. 28, 2017 / Revised: May 24, 2017 / Accepted: Jun. 9, 2017

영산강유역의 이수기 강우-유출모형구축 및 적용

국문초록 영산강 하구둑은 1981년 준공된 이후 토사유입으로 인한 내용적 감소, 평균 해면 상승 및 기상요인의 변화로 인해 배수갑문 확장에 따른 효율적인 물관리가 필요한 실정이다. 또한 2008년부터 시작된 4대강 살리기 사업의 일환으로 영산강 본류에 승촌보와 죽산보 건설 및 하구둑 구조개선 사업으로 수공구조물이 증가하였으며, 최근 지속적으로 발생하는 가뭄에 효과적으로 대응하기 위해 새로운 물관리 체계의 정립이 필요하게 되었다. 본 연구에서는 영산강유역의 물순환 과정을 모의하기 위해 SSARR 모형을 선정하였으며, 분석에 필요한 물리적 입력변수, 수문기상 입력변수, 내부처리 매개변수, 취수량 및 회귀수량을 산정하였다. 구축된 입력자료와 매개변수를 이용하여 2008년부터 2009년 실측자료로 매개변수 보정을 실시하였으며, 2013년과 2014년 자료를 적용하여 검정을 실시한 결과 3개 제어지점의 이수기 평균 절대오차는 $4.7\text{m}^3/\text{s}$, 2014년에는 $7.8\text{m}^3/\text{s}$ 로 분석되었다. 향후 본 연구에서 적용된 물순환 체계를 이용한다면 영산호의 효율적인 물관리를 수행할 수 있을 것이다.

주제어 : 영산강, 물순환, SSARR, 장기유출

-
- Profiles **Hyung San Kim** : He obtained a doctor of engineering degree in "Estimating probable annual maximum daily streamflow on climate change" (February, 2015) from Chungbuk National University, currently he is working as a researcher at the Korea Water Resources Corporation(kamakim486@hanmail.net).
- Seung Jin Maeng** : He obtained a doctor of agriculture degree in "Estimation of design flood by the determination of best fitting order of LH-Moments"(February, 2002) from Chungbuk National University, currently he is working as a professor in Chungbuk National University. The main areas of research are statistical hydrology, development of rainfall-runoff model, and area of hydrological data measurement, current activities include director society of agricultural engineering, the editorial board member in Journal Korea Water Resources Association(maeng@chungbuk.ac.kr).
- Ju Ha Hwang** : He obtained a master degree in Environmental and Agricultural Water Engineering with the thesis title of "Comparison of Probable Maximum Flood by Variation of Curve Number in HEC-HMS Model"(February, 2010), from Chungbuk National University, currently he is candidate of doctor degree in Chungbuk National University(ultras3@naver.com).
- Ji Sung Park** : He obtained a master of engineering degree in "Application of Kriging Method for the Estimation of the Point Precipitation"(February, 2000) from Kon-kuk University, currently he is studying doctor degree in Chungbuk National University(jpark71@ekr.or.kr).