

홍수 및 가뭄년을 포함한 금호강 수계 표준유역별 유출특성 분석*

Analysis for Runoff Characteristic in Geumho River

Basin by Standard Unit Watersheds including Flood and Drought Years

Jin Soo Kim**, Seung Jin Maeng***, Ji Hye Jeong****, Hyung San Kim*****

Department of Public Administration, Chungbuk National University, 52 Naesudong-ro, Heungduk-gu, Cheongju, Korea

Abstract

Korea has experienced extreme flooding due to frequent local rainfall in the last few years, and at other times, faced severe droughts, as with the six to seven years cycle drought intensity is on the rise. These indications of climate change, as well as social and technological factors, have caused frequent excessive intake of river water, which has dwindled upstream water resources. As a result, downstream rivers have been continuously drying up. Therefore, the previous administration concentrated on the implementation of The Four Rivers Restoration Project to fundamentally tackle water problems such as floods and droughts caused by climate change and to maximize the use of river basins through their proper refurbishment. However, It has realized that the paradigm of river management should be changed from river focused management to stream focused management. Accordingly, a basic model was selected to secure the river water volume, which was calculated considering the features of the river basin. Then the runoff rate including flood and drought years was calculated by applying and configuring the SSARR(Streamflow Synthesis And Reservoir Regulation) model at Geumho river

* 본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(11기술혁신C06)에 의해 수행되었습니다.

** Tel. +82-43-230-4200. E-mail. jssoo@kwater.or.kr

*** 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. jeongjihye@cbnu.ac.kr

***** Tel. +82-70-8227-2762. E-mail. kimhs@cbnu.ac.kr

Submission & Publication Process

Received: Jan. 6, 2014 / Revised: Feb. 17, 2013 / Accepted: Feb. 20, 2013

basin. Furthermore, the applicability of the selected basic model was reviewed by calibration and verification, and the simulation of stream watershed runoff rate included both flood and drought years during decade.

Key words: floods, droughts, SSARR model, river flow, runoff rate

국문초록

우리나라는 최근 수년간 잦은 국지성 강우로 인해 극치의 홍수가 발생하거나 6~7년 주기로 발생하던 가뭄의 강도가 점차 증가하여 극치의 가뭄이 발생하는 추세이다. 이러한 기상의 변화와 함께 사회적 요소와 과학기술의 발달로 인해 하천수의 과잉 취수가 빈번히 이루어져 상류 수원이 감소하여, 하류 하천에 지속적인 하천 건천화가 발생하고 있는 실정이다. 이에 지난정부에서는 이상기후에 대비한 홍수 및 가뭄과 같은 물문제를 근원적으로 해결하고, 하천공간을 합리적으로 정비해 이용을 극대화하고자 '4대강 살리기 사업'을 집중적으로 추진하였으나, 하천관리의 패러다임이 분류 중심의 하천관리에서 지천 중심의 하천관리로 변화되어야 함을 인식하게 하였다. 따라서 본 연구에서는 유역특성을 고려한 하천수량 확보를 위해 SSARR를 기본모형으로 선정하고, 금호강 유역에 적용하여 상류 지천들의 유출체계를 구성하여 최근의 홍수와 가뭄년을 포함하여 유출 특성을 분석하였다. 선정된 기본 모형의 검증과 보정을 통해 모형의 적용성을 검토하여 최근 10년간의 홍수와 가뭄년을 포함한 금호강유역의 유출률 범위를 제시하였다.

주제어: 홍수, 가뭄, SSARR 모형, 하천수량, 유출률

1. 서론

우리나라의 연평균 강수량은 1,277.4mm(1978년~2007년 평균)로 세계평균 807mm의 약 1.6배에 해당하는 양이다. 우리나라의 수자원 총량은 1,297억 m^3 이며, 이 중 증발산 등 손실량을 제외한 이용 가능한 수자원량은 수자원총량의 58%인 753억 m^3 이다. 그러나 우리나라는 높은 인구밀도로 1인당 연 강수량은 2,629 m^3 으로 세계평균 16,427 m^3 의 1/6에 불과하여 국제인구행동연구소(PAI)에서는 우리나라를 물 부족국가로 분류하고 있다(국토해양부, 2011).

이 뿐만 아니라 전 지구적인 이상기후로 인해 우리나라의 수자원환경은 날로 악화되고 있는 상황에서, 우리나라는 최근 수년간 잦은 국지성 강우로 인해 극치의 홍수가 발생하거나 6~7년 주기로 발생하던 가뭄의 강도가 점차 증가하여 극치의 가뭄이 발생하는 추세이다. 이러한 기상의 변화와 함께 사회적 요소와 과학기술의 발달로 인해 하천수의 과잉 취수가 빈번히 이루어져 상류 수원이 감소하여, 하류 하천에 지속적인 하천 건천화가 발생하고 있는 실정이다.

이상의 문제에 대처하기 위해 지난정부에서는 2008년 말부터 5대강 8대 하천을 대상으로 이상기후에 대비한 홍수 및 가뭄과 같은 물문제를 근원적으로 해결하고, 생태계복원·활용과 지역균형발전·지역활성화 등 하천공간을 합리적으로 정비해 이용을 극대화하고자 '4대강 살리기 사업'을 집중적으로 추

진하였다. 지난정부 말기에 분류 중심의 사업이었던 ‘4대강 살리기 사업’이 끝났으나, 실질적인 각종 용수의 부족은 지류에서 많이 발생하여 지천관리의 중요성이 대두되었다. 이는 곧 하천관리의 패러다임이 분류 중심의 하천관리에서 지천 중심의 하천관리로 변화되어야 함을 인식시키게 되었다.

더욱이 ‘4대강 살리기 사업’으로 인해 몇몇 하천에서는 지천합류부의 두부침식 및 수공구조물의 상·하류 하상변동이 발생하고, 충적지형의 발달 및 유사퇴적문제 등의 문제들이 대두되며 집중적 모니터링이 필요함을 인식하게 되었다. 특히, 낙동강 분류의 강정보에서 달성보 설치구간은 각종 수질 및 하상변동 문제의 원인이 되고 있어 수자원의 확보 측면에서 과거보다 세밀한 지류하천의 유출량 산정이 반드시 필요하게 되었다.

본 연구에서는 지류하천의 수자원 확보를 위해 기반 모형을 선정하고, 낙동강 분류로 지류 합류되는 금호강 유역의 상류 지천들의 유출체계를 구성하여 연간 수자원 부존량을 산정한다. 또한, 선정된 기반 모형의 검정과 보정으로 모형의 적용성을 검토하여 최근 10년간의 홍수와 가뭄년을 포함한 금호강유역의 유출률 범위를 제시하였다.

II. 모형의 선정 및 이론

1. 모형의 선정

강우-유출모형은 수문학자에 따라 다양하게 분류하고 있다. 모의과정, 공간 및 시간규모, 해결기법에 의해 분류하기도 하는데, 모의과정에 따라 총괄형 모형과 분포형 모형으로 구분되고, 이는 다시 확정론적 모형과 추계학적 모형으로 구분되며, 적용하는 공간 및 시간에 따라 연속형 모형과 사상형 모형 등으로 구분한다(장중석, 2003).

연속모의모형은 장기간에 걸쳐 여러 호우와 건조기간에 대한 유출을 모의할 수 있으며, 현재 전 세계적으로 개발되어 사용되는 강우-유출모형 중에서 본 연구에서 적용될 장기유출모형은 세부기능과 특징에 따라 여러 가지 모형이 이용되고 있다.

연구의 목적상 유역의 증발산을 고려할 수 있어야 하고, 타유역으로 확장하여 적용할 경우까지 감안한다면, 개념적 토양함수량 산정 모형이 가장 적절하다고 할 수 있다. 개념적 토양함수량 산정 모형은 강수량 및 증발산에 영향을 미치는 각종 수문기상학적 요소가 포함되고, 유출량, 증발산량 및 토양함수량 등과 관련된 정보가 출력되며, 저수지 추적이 가능하며, 계산시간 간격이 우월한 점으로 고려하여 SSARR 모형을 금호강유역의 유출모형으로 최종 선정하였다.

2. 모형의 이론

SSARR 모형은 미 공병단에서 1956년 처음 개발되어 저수지조작, 대유역의 실시간 일유출예보 등의 목적으로 널리 사용되고 있으며, 유역유출모형, 하도유출모형 및 저수지운영조작모형으로 구성된다. 결정론적 개념모형인 SSARR 모형은 비교적 대유역에 적합한 모형으로 강우뿐만 아니라 강설에 대한 모의도 포함되어 있는 모형이다. SSARR 모형은 유역의 강우유출해석, 실시간 저수지운영 시뮬레이션, 물수지분석 및 용수수급분석 등에 활용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 특히 물수지 기능이 강하기 때문에 유역간 용수이동, 취수, 회귀수량 등을 정확히 모델링 하는 것이 가능하다(한국수자원공사, 2008).

유역추적모형과 하도추적모형 외에 저수지 조작모형까지 포함된 이 모형은 미국의 Columbia 강과 베트남의 Mekong 강 등과 같은 대하천에 성공적으로 적용된 바 있으며, 강우 뿐 아니라 강설에 따른 유출도 가능한 모형이다.

또한 SSARR 모형은 집중형 모형으로서 24개 이상의 매개변수를 시행착오방법에 의해 최적값을 찾게 된다. 계산시간간격은 6분에서 24시간까지 중에서 선택할 수 있고, ‘개념적 토양함수량 산정 모형’ 중 지표사용모형에 해당되며 SMI(Soil Moisture Index), ETI(Evapotranspiration Index), BII(Baseflow Infiltration Index) 등과 같이 몇 개의 매개변수가 지표형태로 주어지게 된다(한국수자원공사, 1996).

III. 모형의 선정 및 이론

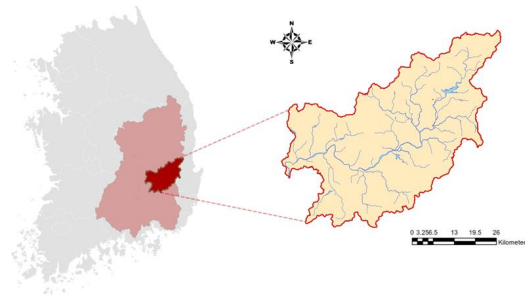
1. 대상유역 현황

금호강 유역은 낙동강유역 동쪽인 동경 128°26′38″~129°12′25″, 북위 35°42′5″~36°14′15″ 사이에 위치한 유역이며, 경상북도 영천시, 경산시, 포항시, 칠곡군 및 대구광역시 달성군, 서구, 중구, 수성구를 포함하는 1광역시 1도 3시 2군 3구를 포함한다.

본 유역은 동쪽으로는 태화강 유역과 북쪽으로는 임하댐 중권역, 위천 중권역과 접하며, 서쪽으로는 낙동구미 중권역과 남쪽으로는 밀양강 중권역과 인접하고 있다. 포항시 죽장면 북부에서 발원하는 자호천을 비롯한 고촌천 등 여러 하천이 영천시에서 합류하여 국가하천 금호강을 형성한다.

금호강 유역의 유역형상은 대체로 수지상이라 할 수 있으며 상류에서 남서쪽으로 형성되어 있다. 금호강의 유역면적은 낙동강유역의 8.8%에 해당하는 2,092.42km²로 낙동강 중권역에서 두 번째로 큰 유역이며, 유로연장은 118.99km, 최원유로연장은 119.23km이다. 유역둘레는 326.72km이고, 유역평균폭은 17.55km, 유역평균표고는 EL.236.3m, 유역평균경사는 29.45%이다. 본 유역에 위치하고 있는 국가하천은 금호강 1개소이며, 지방하천은 51개소이다(건설교통부, 1997).

금호강 유역의 위치는 다음 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 금호강 유역의 위치도

2. 연구방법

본 연구에서는 세밀한 지류하천의 유출량 산정을 위해 장기유출모형인 SSARR 모형을 선정하여, 대상유역을 낙동강 제 1지류인 금호강 유역으로 선정하고 표준유역을 구분한다.

금호강 유역을 지배하는 강우관측소의 일강우 자료를 최근 10년간인 2002년 1월 1일부터 2011년 12월 31일까지 수집하여 표준유역 단위로 Thiessen망도를 작성하고 지배면적비를 산정한다. 면적강우량은 금호강 유역의 표준유역별로 산정하여 SSARR 모형의 입력자료로 사용한다.

SSARR 모형의 초기 매개변수를 선정하고 관측지점인 동촌 수위표 지점을 대상으로 보정된 유출량을 산정하며, 모형의 매개변수를 대상으로 민감도 분석을 실시하여 매개변수의 민감도의 크기를 분석한다.

동촌 수위표 지점의 관측치와 모형에 의한 모의치간 비교 분석을 통해 매개변수의 보정을 수행한 후 보정된 매개변수를 이용하여 모형의 검증을 실시한다. 이에 검증된 매개변수를 적용하여, 표준유역별 유출특성을 분석한다.

IV. 결과 및 고찰

1. 입력자료의 선정

1) 물리적 매개변수

(1) 유역분할과 Thiessen 계수

본 연구의 적용을 위하여 금호강 유역을 21개 표준유역으로 분할하였으며 강우 관측소는 33개소의 지점을 선정하여 유역별 Thiessen 계수를 도출하였다.

한 개의 소유역을 여러개의 밴드로 분할하기 위해 유역의 고도별 유역면적과 고도별 면적비를 산정하였다.

(3) 저수지 특성자료

SSARR의 저수지 조작 기능 중 방류량이 설정되는 경우에 대해서만 모의하였으며 금호강 유역내 생·공용수 전용댐인 영천댐의 방류량을 이용하였다.

2) 수문기상 매개변수

(1) 강우자료

금호강 유역내의 33개 강우관측소의 2002년 1월 1일부터 2011년 12월 31일까지의 자료를 이용하여 RDS방법으로 보정하여 사용하였다.

(2) 고도별 강우 가중치(ELPP)

유역의 고도에 따라 강우량이 다소 차이가 나는 것이 일반적인 현상이나 Thiessen 방법에 의한 유역평균 강우량은 유역을 평면으로 간주하여 산정된 것이므로 고도별 강우 가중치를 부여하여 이러한 가정을 보완할 수 있다. 본 연구에서는 대구지역의 보정계수를 계절로 분류하여 산정하였다.

(3) 강우강도별 ETI 가중치(EKE), 기온별 증발산 지수(ETP), SMI별 ETI 가중치(DKE), 고도별 ETI 가중치(ETEL)

기타 매개변수의 초기치 산정을 위해 SSARR 매뉴얼을 참조하여 <표 1>과 같이 설정하였다 (USACE, 1991).

<표 1> EKE, ETP, DKE, ETEL 초기치

Rainfall Intensity (cm/day)	EKE (%)	Temperature (°F)	ETP (cm/day)	SMI (cm)	DKE (%)	Elevation (m)	ETEL (%)
0	100	30	0			0	100
2	50	40	0.10	0	0	400	100
3	20	50	0.20	3	50	800	110
5	10	60	0.30	6	90	1,200	120
10	10	80	0.45	9	100	1,600	130
999	10	100	0.60	999	100	2,000	140
		999	0.75			9,999	140

(4) 월별 ETI 가중치(ETM), 최대 차단량(TINTMX)

ETM은 증발산량 산정시 월별 증발산량 보정치를 입력하게 되는 항목으로써, 북위 35°에 위치하고 있는 낙동강 유역에 대한 값은 <표 2>와 같고, TINTMX는 전형적인 값인 0.5cm로 하였다.

<표 2> 월별 ETI 가중치

Month	ETM(%)	Month	ETM(%)	Month	ETM(%)
January	87	May	121	September	103
February	85	June	121	October	97
March	103	July	123	November	86
April	109	August	116	December	85

(5) 기온자료

유역 근처의 기상관측소를 통해 Thiessen망을 구축하여 각 면적 내에 포함되는 지역을 경계로 대구관측소와 영천관측소가 선정되었으며, 2002년부터 2011년까지의 일평균 기온자료로서 화씨(°F)를 사용하여 입력하였다.

3) 내부처리 매개변수

(1) 토양습윤상태별 유출률(SMI-ROP), 침투량별 지하수 유입률(BII-BFP), 지표수와 복류수 분리(S-SS)

SSARR 모형에서 가장 민감한 변수 중 하나인 SMI-ROP 도표를 산정하기 위하여 초기치로서 한국수자원공사 보고서를 참조하여 <표 3>과 같이 결정하였다(한국수자원공사, 2008).

<표 3> 금호강 유역의 SMI-ROP, BII-BFP, S-SS 값

SMI (cm)	ROP(%)	BII (cm/day)	BFP(%)	Input Rate (cm/hr)	Surface Comp.(cm/hr)
	SMI		BII		S-SS
0	8	0.0	44		0.00
1	18	1.0	16	0.0	0.19
2	41	1.5	14	0.5	0.68
3	65	2.0	12	1.0	1.18
4	81	2.5	11	1.5	1.68
5	89	3.0	10	2.0	2.18
10	100	5.0	10	2.5	2.68
999	100	100.0	10	3.0	

(2) BII의 저류시간(BIITS), 최대 BII(BIIMX)와 최대 지하수유출률(BFLIM), 지하수 중 회귀지하수가 차지하는 비율(PBLZ) 및 이의 최대값(DGWLM)

SSARR 매뉴얼에 제시되어 있는 BIITS의 범위는 대략 30hr~60hr이며, 본 연구에서는 40hr로 적용

하였다(USACE, 1991). BIIMX는 3cm/일로 하였고, 계산시간간격과 밀접한 관계가 있는 매개변수인 BFLIM은 계산시간간격이 커질수록 작아지는 경향을 보이게 되며 일유출 모의시의 전형적인 값은 0.13cm/hr 정도의 값을 갖는다.

PBLZ 값은 통상 50% 정도로 하며 DGWLIM 값은 0.1cm/hr로 하였다.

(3) 유역추적 매개변수

SSARR 모형에서의 유역추적은 지표수, 복류수 및 지하수 각각에 대한 추적 및 IS유역모형에서 추가되는 회귀지하수 등 4가지 흐름장에 대한 추적이 독립적으로 이루어지게 된다. 각 흐름장은 여러 개의 가상적인 선형저수지로 구성되어 있다고 가정하고 이에 대한 저수지 추적을 시행하게 되는 것이다. 각 흐름장에서 매개변수로는 가상저수지의 수효와 저류시간이 있으며 각 매개변수는 유역면적과 유로연장 및 도달시간 등을 참고하여 <표 4>와 같이 산정하였다.

<표 4> 유역의 가상저수지 수효와 저류시간

(Unit: hr)

Watershed	Area	Surface Water		Subsurface Water		Ground Water		Return Flow	
		Number	Ts	Number	Ts	Number	Ts	Number	Ts
201201	234.54	3	4	2	15	2	150	2	1,500
201202-1	26.11	2	4	2	8	2	150	2	1,500
201202-2	66.84	2	3	2	10	2	150	2	1,500
201203	111.83	3	4	2	13	2	150	2	1,500
201204	180.63	3	4	2	15	2	150	2	1,500
201205	162.86	3	4	2	15	2	150	2	1,500
201206	115.88	3	4	2	15	2	150	2	1,500
201207	96.19	2	3	2	13	2	150	2	1,500
201208	127.36	3	4	2	15	2	150	2	1,500
201209-1	11.60	2	3	2	4	2	150	2	1,500
201209-2	208.64	3	4	2	15	2	150	2	1,500
201210	108.51	3	4	2	15	2	150	2	1,500
201211	82.26	2	3	2	12	2	150	2	1,500
201212	58.81	2	3	2	10	2	150	2	1,500
201213	40.49	2	3	2	10	2	150	2	1,500
201214	63.34	2	3	2	10	2	150	2	1,500
201215	109.58	3	4	2	12	2	150	2	1,500
201216	53.64	2	3	2	10	2	150	2	1,500
201217	102.88	3	4	2	12	2	150	2	1,500
201218	64.58	2	3	2	10	2	150	2	1,500
201219	65.85	2	3	2	10	2	150	2	1,500

(4) 하도추적 매개변수

하도추적에서도 유역추적과 마찬가지로 연속된 가상저수지의 추적 방법이 사용되는 바, 가상저수지의 수효와 저류시간이 매개변수가 된다.

이렇게 구한 도달시간에 해당하는 유량을 실측 유량-도달시간관계를 참조하여 저류시간을 비롯한 각종 매개변수와 함께 <표 5>에 나타내었다.

<표 5> 하도추적 매개변수

River Channel	River Channel Section	Length (km)	DE(1) (m)	CRT(2) (hr)	NR(3)	ST(4) (hr)	Discharge (m ³ /s)	KTS
A	Youngcheon Dam ~Jaho Stream Channel Junction	13.62	77.2	3.6	1	3.63	20	6.61
B	Jaho Stream Channel Junction ~Bukan Stream Channel Junction	8.49	10.0	4.6	1	4.62	20	8.41
C	Bukan Stream Channel Junction ~Daechang Stream Channel Junction	11.62	7.6	7.4	1	7.38	30	14.57
D	Daechang Stream Channel Junction ~Yulha Stream Channel Junction	21.79	15.6	11.6	2	5.78	30	11.42
E	Yulha Stream Channel Junction ~Sin Stream Channel Junction	9.21	1.8	9.8	1	9.83	30	19.40
F	Gongsan Dam ~Sin Stream Channel Junction	8.01	54.8	2.2	1	2.24	20	4.09
G	Sin Stream Upstream ~Sin Stream Channel Junction	12.74	58.0	3.8	1	3.75	20	6.83
H	Sin Stream Channel Junction Guemho River Downstream	21.26	18.4	10.6	2	5.28	50	11.54

※ (1) Different of Elevation, (2) Time of Concentrate, (3) Number of Reservoir, (4) Storage Time.

2. 취수량 및 회귀수량

1) 유역내 용수 이동

본 연구의 목적인 금호강 유역 내 유출특성의 정확성을 향상시키기 위해서는 신뢰도 높은 물수지 분석이 수행되어야 한다.

이를 위해서는 도수로를 통한 소유역간 또는 금호강 유역 밖으로 이동되고 있는 농업용수 및 생공용수의 수량과약이 선행되어야 한다. 농업용수와 생·공용수에 대한 회귀수 양상은 <그림 4>와 같고, 각 취수장별 취수용량은 <표 6>과 같다.

<표 6> 금호강 유역내 취수장별 취수용량

Water Intake Point	Water Intake Volume(m ³ /s)	Demand Point	Discharge Point	Return Flow Ratio	Water Division
Unmun Dam	2.50	Daegu	Guemho River	65 %	Living and Industrial Water
Waegwan Down Stream	15.04				
Youngcheon Dam	2.54	Pohang	Out of Basin	-	

2) 회귀수량의 산정

금호강 유역에서 이러한 회귀수량을 산정할 수 있는 동시측정 된 유량과 취수량 관측치가 없는 실정이기 때문에 회귀수량은 취수량의 일정 비율로 산정하며, 일반적으로 생활용수와 공업용수는 65%, 농업용수는 35%의 회귀율을 적용하여 물수지 분석을 수행하였다(한국수자원공사, 2008).

3. 모형의 보정

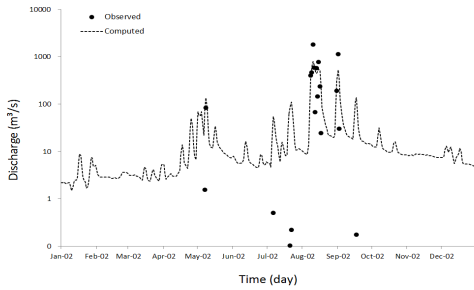
기 산정된 매개변수들을 이용하여 금호강 유역의 2002년 1월 1일부터 2003년 12월 31일까지 SSARR 모형의 유출량을 산정하였다.

보정을 위해 금호강 수계 모든 지점에 대해 저수시와 고수시의 실측유출량과 모의유출량을 동시에 만족하는 매개변수를 찾는 것은 매우 어렵다. 이와 같이 이수기 및 홍수기, 특히 이수기에서 일부 지역을 제외한 모든 지점에서 모의치가 실측치보다 크거나 작게 나타나기 때문에 매개변수의 보정 방향은 기저유량을 바탕으로 최고유량값과 최저유량값을 일치시키도록 하였다(김태우, 2013).

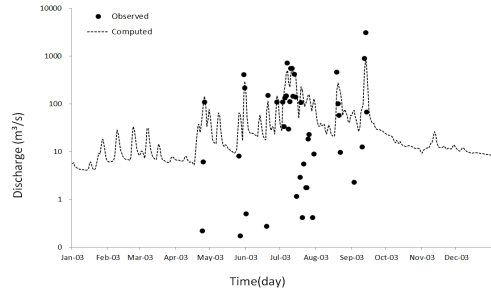
금호강 유역 내 수위-유량관계 곡선식이 제시되어있는 관측소는 최하류부의 성서관측소와 성서관측소 직상류의 동촌관측소가 위치한다. 성서관측소는 금호강의 최하류부에 위치하지만, 낙동강 본류와 합류지점으로 홍수시 배수위가 발생하여 관측데이터가 불안정하였다.

따라서 성서관측소 직상류에 위치한 동촌관측소의 수위유량관계곡선식을 이용하여 관측값을 산정하였다. <그림 5> 및 <그림 6>과 <표 7> 및 <표 8>은 동촌관측소의 매개변수 보정 전 관측값과 모의 유출량의 결과를 나타내고 있다.

그래프와 같이 홍수기를 제외하면 대체적으로 일정한 변화를 보이고 있어 변수보정의 방향은 첨두 유량을 일치시키는 방향으로 설정되도록 하였다.



<그림 5> 보정 전 유출곡선(2002년)



<그림 6> 보정 전 유출곡선(2003년)

<표 7> 고수시 주요 지점의 보정 전 결과

Water Level Gauging Station	Year					
	2002			2003		
	Observation Peak Discharge (m³/s)	Calculation Peak Discharge (m³/s)	Relative Error (%)	Observation Peak Discharge (m³/s)	Calculation Peak Discharge (m³/s)	Relative Error (%)
Dongchon	1,800	794	126.74	3,098	922	236.05

<표 8> 저수시 주요 지점의 보정 전 결과

Water Level Gauging Station	Year					
	2002			2003		
	Observation Peak Discharge (m³/s)	Calculation Peak Discharge (m³/s)	Absolute Error (m³/s)	Observation Peak Discharge (m³/s)	Calculation Peak Discharge (m³/s)	Absolute Error (m³/s)
Dongchon	24	255	230.69	30	283	253.33

4. 민감도 분석

한 모형에서 매개변수가 불확실할 때, 매개변수가 취할 수 있는 가능한 값들을 모두 대입해 매개변수의 변화에 따라 결과가 어떻게 되는가를 분석하여야 한다.

매개변수의 민감도 분석을 위해서 유역의 평균적인 고도와 유역면적을 가지고 있는 한 개의 표준유역을 선정해야 한다. 본 연구에서는 금호강 중권역 유역 내 17번 표준유역인 팔거천 유역을 대표 표준유역으로 선정하였으며, 분석에 사용되는 수문기상자료는 2008년 1월 1일~2008년 12월 31일이다.

민감도 분석에 이용되는 내부처리매개변수의 기준값은 <표 9>와 같다.

<표 9> 민감도 분석에 이용되는 내부처리매개변수 기준값

SMI	SMI(cm)	0	1	2	3	4	5	6	999
	ROP(%)	8	18	41	65	81	89	100	100
BII	BII(cm/day)	0.0	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	5.0	100.0
	BFP(%)	44	16	14	12	11	10	10	10
	BIITS: 40hr, 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	0.19	0.68	1.18	1.68	2.18	2.68	
PBLZ	50 %								
PBLZ	Surface: 3, Subsurface: 10, Baseflow: 100, Lower Zone: 1,000								

민감도분석을 위한 각 매개변수의 범위는 SSARR 매뉴얼을 참조하여 타당하다고 판단되는 범위를 설정하여 분석을 실시하였다(USACE, 1991). SMI-ROP곡선과 BII-BFP 곡선 및 S-SS곡선은 기준값으로부터 10%씩 상향 또는 하향시킨 곡선에 대한 민감도를 분석을 실시하였다(한국수자원공사, 2008). 이들을 바탕으로 유역유출과 관련된 매개변수의 기준값에 대한 범위와 민감도를 <표 10>에 제시하였다.

<표 10> 매개변수의 민감도 분석

Parameter	Range	Peak Discharge (m³/s)	Sensitivity	
			High Water Level	Low Water Level
SMI	-10%	45.9	0.73	0.56
	0	50.0		
	+10%	52.8		
BII	-10%	51.3	0.24	0.93
	0	50.0		
	+10%	49.0		
S-SS	-10%	50.1	0.02	0.00
	0	50.0		
	+10%	49.9		
BIITS	30hr	49.9	0.02	0.00
	40hr	50.0		
	50hr	49.8		
BIIMX	1cm/day	48.2	0.04	0.06
	3cm/day	50.0		
	5cm/day	50.0		
BFLIM	0.08cm/day	52.9	0.11	0.19
	0.13cm/day	50.0		
	0.18cm/day	49.9		
PBLZ	25%	50.5	0.02	0.61
	50%	50.0		
	75%	49.5		

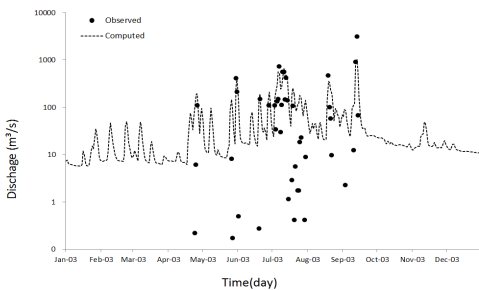
<표 10> 매개변수의 민감도 분석(계속)

Parameter	Range	Peak Discharge (m³/s)	Sensitivity	
			High Water Level	Low Water Level
Ts(Surface)	2hr	50.2	0.02	0.12
	3hr	50.0		
	4hr	49.7		
Ts(Subsurface)	8hr	49.8	0.02	0.00
	10hr	50.0		
	12hr	50.1		
Ts(Base Flow)	50hr	51.9	0.06	0.08
	100hr	50.0		
	150hr	49.4		
Ts(Lower Zone)	500hr	51.9	0.06	0.48
	1,000hr	50.0		
	1,500hr	49.4		

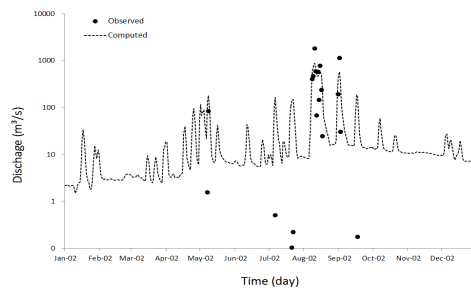
5. 매개변수의 결정

최종적인 매개변수의 값을 결정하기 위하여 관측치와 계산치의 오차를 최소화하는 형태의 것을 취하는 것이 일반적이며, 오차는 절대오차와 상대오차로 구분할 수 있다. 그러나 절대오차의 경우 유량이 큰 홍수기의 오차를 감소시키는 방향으로 매개변수가 결정될 우려가 있어 저수시의 정확도가 저하될 수 있으며, 상대오차의 경우는 반대로 저수시 위주로 매개변수가 결정되므로 고수시 유량이 반영되지 않을 수 있다. 따라서 고수시와 저수시를 분리하고 각각에 대해 민감도에 따라 선정된 매개변수를 이용하여 보정하였다.

최종적으로 결정된 매개변수에 의한 결과를 <그림 7> 및 <그림 8>에 제시하였으며, 보정전후의 고수시 상대오차와 저수시 절대오차는 각각 <표 11> 및 <표 12>과 같다.



<그림 7> 보정 후 유출곡선(2003년)



<그림 8> 보정 후 유출곡선(2002년)

<표 11> 고수시 주요 지점의 보정 후 결과

Water Level Gauging Station	Year					
	2002			2003		
	Observation Peak Discharge (m³/s)	Calculation Peak Discharge (m³/s)	Relative Error (%)	Observation Peak Discharge (m³/s)	Calculation Peak Discharge (m³/s)	Relative Error (%)
Dongchon	1,800	880	104.58	3,098	1010	206.77

<표 12> 저수시 주요 지점의 보정 후 결과

Water Level Gauging Station	Year					
	2002			2003		
	Observation Peak Discharge (m³/s)	Calculation Peak Discharge (m³/s)	Absolute Error (m³/s)	Observation Peak Discharge (m³/s)	Calculation Peak Discharge (m³/s)	Absolute Error (m³/s)
Dongchon	24	211	186.69	30	243	213.33

동촌 지점에 대한 고수시 유출율의 상대오차 변화로는 각각 2002년도에는 보정 전 126.74%였으나 보정 후 104.58%로 22.16% 감소하였고, 2003년도는 보정 전 236.05%였으나 보정 후 206.77%로 29.28% 감소하였다. 저수시 유출량의 절대오차 변화로는 각각 2002년도에는 보정 전 230.69m³/s에서 보정 후 186.69m³/s로 44.00m³/s 감소하였고, 2003년도에는 보정 전 253.33m³/s에서 보정 후 213.33m³/s로 40.00m³/s 감소하였다.

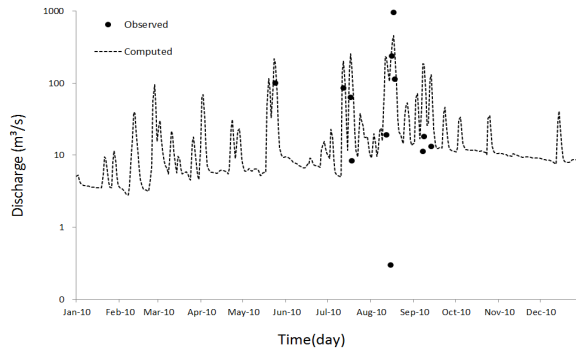
이상의 내용을 종합해보면, 상대오차가 최고 200%가 넘는 경향을 나타내고 있다. 이와 같이 상대오차가 크게 발생하는 원인은 금호강 유역내 용수 사용량은 대구광역시, 구미시와 같은 대도시의 형성으로 인해 임하댐, 대구 및 낙동강 본류에서 취수하여 사용하고, 본류에서 취수된 용수는 금호강 유역 외인 포항시로 용수공급이 이루어지기 때문에 금호강 유역내 물순환 과정의 모의가 복잡하고 다양하기 때문이다.

6. 모형의 검증

모형의 검증을 위하여 보정을 통해 결정된 매개변수 값을 이용해 2010년도의 유출을 모의하였으며 고수시 상대오차와 저수시 절대오차는 <표 13> 및 <그림 9>와 같다.

<표 13> SSARR 모형을 이용한 주요 지점의 검정 결과

Water Level Gauging Station	High Water Level			Low Water Level		
	Observation Peak Discharge (m³/s)	Calculation Peak Discharge (m³/s)	Relative Error (%)	Observation Peak Discharge (m³/s)	Calculation Peak Discharge (m³/s)	Absolute Error (m³/s)
Dongchon	942.69	451.00	109.02	265.00	112.17	152.83



<그림 9> 모형의 검정(2010년)

보정결과와 비교한 검증결과에 따르면, 고수시 상대오차율은 2002년과 유사한 109.02%로 나타났고, 저수시 절대오차는 2002년 보다 낮은 152.83m³/s로 나타났다.

2002년 보정 전에 비교하면 다소 큰 상대오차를 나타내고 있지만, 2003년에 비교하면 상대오차가 월등히 작게 나타나 적절한 검정이 이루어진 것으로 판단된다.

7. 유출특성 분석

유출특성 중 하나인 유출률은 본 연구의 분석기간인 2002년 1월 1일부터 2011년 12월 31일까지에 대해 SSARR 모형에 의한 모의 유출률과 관측 유출률을 비교 분석하였으며, 최소유출율, 평균유출율, 최대유출율을 <표 14>, <표 15> 및 <표 16>에 각각 나타내었다.

평균적으로 총 강우량의 약 25%의 차단 및 약 18%의 증발산에 의해 손실되었다. 10년의 평균 유출률은 57.57%를 나타내며, 직접유출률은 약 45%, 기저유출률은 약 13%를 각각 차지하고 있다. 또한, 2005년과 2009년에는 타 년의 60% 이상인 유출률보다 작은 약 50% 이내의 유출률을 나타냄으로써, 본 연구에서 적용한 SSARR 모형에 의한 유출분석은 현실적으로 타당한 것으로 판단된다.

<표 14> 2008년 유출분석 결과(최소유출율)

Standard Unit Watershed		PT ⁽¹⁾ (10 ⁸ m ³)	IC ⁽²⁾ (10 ⁸ m ³)	ETP ⁽³⁾ (10 ⁸ m ³)	Runoff(10 ⁸ m ³)				
Number	Area (km ²)				Surface Water	Sub Surface Water	Ground Water	Return Flow	Total Runoff
201201	234.5	1.47	0.51	0.35	0.28	0.17	0.04	0.15	0.64
201202-1	26.1	0.16	0.05	0.04	0.03	0.02	0.00	0.02	0.07
201202-2	66.9	0.38	0.14	0.09	0.07	0.04	0.01	0.04	0.16
201203	111.8	0.61	0.22	0.15	0.11	0.07	0.02	0.07	0.26
201204	180.6	1.39	0.41	0.31	0.31	0.19	0.05	0.16	0.70
201205	162.9	1.06	0.30	0.22	0.25	0.15	0.04	0.13	0.56
201206	115.9	0.81	0.25	0.18	0.18	0.11	0.03	0.09	0.40
201207	96.2	0.73	0.21	0.16	0.17	0.10	0.02	0.08	0.38
201208	127.4	1.08	0.27	0.22	0.27	0.16	0.04	0.13	0.60
201209-1	11.6	0.07	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.03
201209-2	208.6	1.07	0.42	0.25	0.18	0.11	0.03	0.12	0.44
201210	108.5	0.78	0.25	0.17	0.17	0.10	0.02	0.09	0.39
201211	82.3	0.50	0.18	0.12	0.09	0.06	0.01	0.06	0.22
201212	58.8	0.40	0.15	0.08	0.08	0.05	0.01	0.04	0.18
201213	40.5	0.24	0.10	0.05	0.04	0.02	0.01	0.03	0.10
201214	63.3	0.23	0.10	0.05	0.04	0.02	0.00	0.03	0.09
201215	109.6	1.17	0.28	0.19	0.35	0.21	0.04	0.11	0.71
201216	53.7	0.44	0.14	0.08	0.11	0.07	0.01	0.04	0.24
201217	102.9	0.84	0.23	0.19	0.20	0.12	0.03	0.11	0.46
201218	64.6	0.45	0.15	0.10	0.09	0.06	0.01	0.05	0.22
201219	65.9	0.29	0.15	0.06	0.04	0.02	0.01	0.03	0.10
Sum	2092.6	14.18	4.54	3.09	3.06	1.88	0.43	1.58	6.96
Ratio(%)		100.00	32.03	21.79	21.59	13.23	3.05	11.17	49.05

※ (1) Precipitation, (2) Interception, (3) Evapotranspiration

<표 15> 2010년 유출분석 결과(평균유출율)

Standard Unit Watershed		PT ⁽¹⁾ (10 ⁸ m ³)	IC ⁽²⁾ (10 ⁸ m ³)	ETP ⁽³⁾ (10 ⁸ m ³)	Runoff(10 ⁸ m ³)				
Number	Area (km ²)				Surface Water	Sub Surface Water	Ground Water	Return Flow	Total Runoff
201201	234.5	2.34	0.75	0.43	0.55	0.34	0.07	0.19	1.14
201202-1	26.1	0.21	0.07	0.04	0.05	0.03	0.01	0.02	0.10
201202-2	66.9	0.58	0.17	0.11	0.14	0.08	0.02	0.05	0.29
201203	111.8	1.06	0.29	0.20	0.26	0.16	0.03	0.10	0.56
201204	180.6	2.05	0.53	0.34	0.58	0.35	0.07	0.19	1.19
201205	162.9	1.71	0.43	0.29	0.48	0.30	0.06	0.15	0.99
201206	115.9	1.08	0.32	0.21	0.26	0.16	0.03	0.10	0.55
201207	96.2	1.00	0.26	0.18	0.26	0.16	0.03	0.09	0.56
201208	127.4	1.57	0.38	0.27	0.44	0.27	0.05	0.15	0.92
201209-1	11.6	0.13	0.03	0.02	0.04	0.02	0.00	0.01	0.08
201209-2	208.6	1.74	0.52	0.35	0.40	0.25	0.06	0.15	0.86
201210	108.5	1.30	0.30	0.23	0.36	0.22	0.05	0.12	0.75
201211	82.3	0.94	0.23	0.16	0.27	0.16	0.03	0.08	0.54
201212	58.8	0.70	0.17	0.12	0.20	0.12	0.02	0.06	0.41
201213	40.5	0.54	0.12	0.08	0.17	0.10	0.02	0.05	0.33

<표 15> 2010년 유출분석 결과(평균유출율)(계속)

Standard Unit Watershed		PT ⁽¹⁾ (10 ⁸ m ³)	IC ⁽²⁾ (10 ⁸ m ³)	ETR ⁽³⁾ (10 ⁸ m ³)	Runoff(10 ⁸ m ³)				
Number	Area (km ²)				Surface Water	Sub Surface Water	Ground Water	Return Flow	Total Runoff
201214	63.3	0.66	0.15	0.11	0.20	0.12	0.02	0.06	0.39
201215	109.6	1.75	0.24	0.27	0.60	0.37	0.06	0.15	1.19
201216	53.7	0.77	0.13	0.12	0.26	0.16	0.03	0.07	0.50
201217	102.9	1.57	0.29	0.22	0.53	0.33	0.05	0.13	1.04
201218	64.6	0.86	0.17	0.13	0.28	0.17	0.03	0.07	0.55
201219	65.9	0.72	0.17	0.12	0.21	0.13	0.02	0.06	0.43
Sum	2092.6	23.27	5.71	4.02	6.54	4.01	0.76	2.04	13.34
Ratio(%)		100.00	24.56	17.29	28.10	17.22	3.26	8.76	57.34

※ (1) Precipitation, (2) Interception, (3) Evapotranspiration

<표 16> 2003년 유출분석 결과(최대유출율)

Standard Unit Watershed		PT ⁽¹⁾ (10 ⁸ m ³)	IC ⁽²⁾ (10 ⁸ m ³)	ETR ⁽³⁾ (10 ⁸ m ³)	Runoff(10 ⁸ m ³)				
Number	Area (km ²)				Surface Water	Sub Surface Water	Ground Water	Return Flow	Total Runoff
201201	234.5	3.63	0.89	0.56	1.03	0.63	0.13	0.36	2.16
201202-1	26.1	0.37	0.09	0.05	0.11	0.07	0.01	0.04	0.23
201202-2	66.9	0.97	0.21	0.14	0.29	0.18	0.04	0.10	0.61
201203	111.8	1.77	0.34	0.24	0.57	0.35	0.07	0.20	1.19
201204	180.6	3.75	0.64	0.44	1.32	0.81	0.14	0.38	2.64
201205	162.9	2.60	0.52	0.35	0.85	0.52	0.09	0.26	1.72
201206	115.9	1.71	0.37	0.25	0.52	0.32	0.06	0.17	1.08
201207	96.2	1.62	0.31	0.22	0.53	0.32	0.06	0.16	1.08
201208	127.4	2.72	0.46	0.34	0.94	0.57	0.10	0.28	1.89
201209-1	11.6	0.19	0.03	0.03	0.06	0.04	0.01	0.02	0.12
201209-2	208.6	2.73	0.67	0.45	0.77	0.47	0.10	0.27	1.62
201210	108.5	1.93	0.36	0.28	0.63	0.38	0.07	0.20	1.28
201211	82.3	1.47	0.28	0.20	0.48	0.29	0.05	0.15	0.97
201212	58.8	0.94	0.21	0.13	0.29	0.18	0.03	0.09	0.59
201213	40.5	0.73	0.15	0.10	0.23	0.14	0.03	0.07	0.48
201214	63.3	1.00	0.19	0.15	0.32	0.19	0.04	0.11	0.66
201215	109.6	2.03	0.35	0.29	0.69	0.40	0.07	0.21	1.37
201216	53.7	0.96	0.17	0.14	0.32	0.19	0.03	0.10	0.64
201217	102.9	1.97	0.37	0.27	0.64	0.39	0.07	0.21	1.31
201218	64.6	1.11	0.21	0.16	0.35	0.22	0.04	0.12	0.73
201219	65.9	1.04	0.21	0.16	0.32	0.20	0.04	0.11	0.67
Sum	2092.6	35.24	7.03	4.96	11.27	6.85	1.28	3.62	23.02
Ratio(%)		100.00	19.96	14.07	31.98	19.45	3.64	10.26	65.34

※ (1) Precipitation, (2) Interception, (3) Evapotranspiration

V. 결론

본 연구에서는 지천단위로 구분된 금호강 유역의 유출특성 분석을 위해 연속형 수문모형인 SSARR를 이용하여 모의 유출량을 산정하고, 산정된 모의 유출량의 민감도 분석을 통해 매개변수 검·보정을 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

유출특성중 하나인 유출량 분석을 위해 SSARR 모형이 이용되었으며, SSARR 모형의 입력자료는 물리적 입력변수, 수문기상 입력변수 및 내부처리 매개변수로 구분하여 구축하였다. 신뢰성 향상을 위해 금호강 유역을 표준유역으로 분할하였고, 관측 유출량 산정을 위해 동춘수위표의 수위-유량곡선식을 이용하였다.

SSARR 모형의 민감도 분석을 통해 주요 매개변수를 선정하였으며, 2002년 1월부터 2003년 12월까지 2년간의 관측 자료를 대상으로 매개변수를 보정하였다. 보정된 매개변수의 검증에 대해 2010년 1월부터 2010년 12월까지 1년간의 관측 유출량과 모의 유출량을 비교 분석하였다.

민감도 분석 결과 SMI, BII, S-SS, Ts 및 PBLZ가 주요 매개변수로 나타났으며, 매개변수의 보정 결과 보정 전·후 고수시 상대오차가 2002년에는 126.7%, 104.6%로 나타나고, 2003년에는 236.1%, 206.8%로 나타났다. 매개변수의 검증결과 2010년의 상대오차는 109.0%의 결과를 나타내었다. 저수시 절대오차는 2002년에는 186.69m³/s로 나타났고, 2003년에는 213.33m³/s로 나타났다. 매개변수의 검증결과 2010년의 절대오차는 152.83m³/s로 나타났다.

검·보정 기간에 모의된 유출특성을 분석한 결과 보정 기간의 유출률이 2002년에는 64.1%, 2003년에는 65.3%로 나타났으며, 검증 기간인 2010년의 유출률이 57.3%로 나타났다. 이러한 유출특성을 분석한 결과 금호강 21개 지천유역의 유출률은 평균 57.5%로 나타났다.

2002년부터 2011년까지 금호강 유역의 표준유역단위별로 유출분석을 수행한 결과, 2005년의 가뭄과 2009년의 가뭄에는 타 년의 60% 내외인 유출률보다 작은 약 50% 이내의 유출률을 나타냄으로써, 본 연구에서 적용한 SSARR 모형에 의한 유출분석은 현실적으로 타당한 것으로 판단된다.

향후 본 연구 성과를 바탕으로 신뢰도가 향상된 표준유역별 유출량이 산정된다면 가뭄과 홍수를 고려한 지류하천 중심의 세밀한 수자원관리가 이루어 질 것이며, 모형의 적용성을 검토하여 분석된 유출량은 신뢰성 있는 기초자료로 활용 가능할 것이다.

참고문헌

- 건설교통부. 1997. 금호강하천정비기본계획(보완). 건설교통부.
- 국토해양부. 2011. 수자원장기종합계획(2011-2020) 보도자료. 국토해양부.
- 김태우. 2013. 금강수계 표준유역 구분에 따른 SSARR 모형에 의한 주요 지점별 유출특성 분석. 충북대학교 석사학위논문.
- 장종석. 2003. 수문모형과 매개변수의 이해. 한국관개배수위원회. 10(1): 95-97.
- 한국수자원공사. 1996. 낙동강 수계 실시간 최적 저수관리 시스템 개발(분석모델부분) 보고서. 한국수자원공사.
- 한국수자원공사. 2008. 한강수계 실시간 저수지 운영시스템 구축(분석모형개발). 한국수자원공사.

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

김진수: 충북대학교에서 “이동상 하도내 취수시설물의 위치결정을 위한 퇴사분포 예측”으로 공학석사 학위를 취득하였으며(2009. 2), 현재는 한국수자원공사 충청지역본부장으로 재직 중이며, 한국수자원학회 대전충청지회 부회장 등으로 활동 중이다(jsoo@kwater.or.kr).

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).

정지혜: 충북대학교에서 “SSARR 모형에 의한 금호강 수계 표준유역별 유출특성 분석”으로 공학석사 학위를 취득하였으며(2014. 2), 현재 아일랜드에서 수학 중이다(jeongjihye@cbnu.ac.kr).

김형산: 충북대학교에서 “수정 아인쉬타인 방법에 의한 만경강 및 동진강 유입 유사량 산정”으로 공학석사 학위를 취득하였으며(2011. 2), 현재 충북대학교 지역건설공학과에서 박사과정 중이다(kimhs@cbnu.ac.kr).