

기후변화 시나리오에 의한 강수량과 관측강수량을 사용한 유출 분석*

Runoff Analysis Using Precipitation by Climate Change Scenario And Observed Precipitation

Seung Jin Maeng**, Ji Hye Jeong***, Hyung San Kim, Azam Muhammad, Man Ha Hwang

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

Abstract

Korea has a large seasonal deviation of rainfall and 65% of the national land is formed of mountainous topography, and thus, has disadvantageous conditions for water resource management in comparison to other countries. Further, the climate change caused by frequently occurring severe floods and droughts is increasingly causing a lack in domestic water resources and increased preponderance of rainfall. Together with such climate change, the increase in water demands due to the development of scientific technologies and social aspects has exceeded a scope that can be covered by the current water management system. This study has selected SSARR as the basic model to evaluate a plan of supply and demand management to resolve the lack of water in specific regions, and has prepared a water flow system in the region of Youngjong-do, to perform water flow analysis, which has enabled the comparison of the predicted water flow in 2014 using climate change scenario RCP 4.5, 8.5 and observed water flow from 2011 to 2014 year. These results will be used for quantitative evaluation of climate change impact in order to minimize the damage. it can be used for stable water supply considering continuously increased water demand through systematic and efficient water resource management, which requires.

Key words: Youngjong-do, water volume, runoff system, simulated runoff, climate change

* 본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(12기술혁신C01)에 의해 수행되었습니다.

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

*** Tel. +82-70-8227-2762. E-mail. challenge421@naver.com

Submission & Publication Process

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

국문초록

우리나라의 강수량은 계절적 편차가 커서 수자원관리에 매우 불리한 조건을 가지고 있다. 기후변화에 의한 강우의 편중으로 주기적인 홍수와 가뭄에 따른 가용 수자원의 부족은 갈수록 심각해지고 있는 실정이다. 이러한 기상 변화와 함께 사회적 요소 및 과학기술의 발달로 인한 물수요 증가는 현재의 물관리 체계가 감당할 수 있는 범위를 넘었다. 본 연구에서는 지역의 물 부족 해소를 위한 공급과 수요관리의 대책을 평가하기 위한 기반 모형으로 SSARR를 선정하였고, 대상유역인 영종도 유역의 유출체계를 구성하여 2011년~2014년의 유출량을 모의하였다. 모의된 유출량에서 2014년 모의 유출량과 기후변화 시나리오 4.5 및 8.5에서 제공하는 2014년의 강우량을 입력자료로 하여 모의한 유출량과 비교하였다. 이러한 결과는 기후변화의 영향을 정량적으로 산정하고 수해를 최소화할 수 있는 효율적인 수자원 관리를 함으로서 지속적인 물수요 증가에 따른 안정적 물공급에 활용될 것이다.

주제어: 영종도, 하천수량, 유출체계, 모의유출량, 기후변화

1. 서론

우리나라의 강수량은 계절적 편차가 크고, 국토의 65%가 산악지형을 이루고 있어 다른 나라에 비하여 수자원관리에 매우 불리한 조건을 가지고 있다. 또한 주기적으로 발생하는 극심한 홍수와 가뭄과 기후변화에 의한 강우의 편중성 증가로 인해 가용 수자원의 부족문제는 갈수록 심각해지고 있는 실정이다. 이러한 기상 변화와 함께 사회적 요소와 과학기술의 발달로 인한 물수요 증가는 현재의 물관리 체계에서 해결하기 어려운 실정이다.

기후변화가 수문순환 과정을 빠르게 진행시키고, 극한사상의 빈도와 극치 상태를 증가시킨다는 가정이 실제 수문자료에서 그 변화가 관측됨에 따라 수자원 분야에서 주된 관심사가 되고 있다(전환돈·김수전, 2014). 따라서 기후변화의 영향을 정량적으로 평가하고 이에 대한 피해를 최소화하기 위하여 체계적이고 효율적인 수자원 관리를 통해 지속적인 물수요 증가에 따른 안정적 물공급을 도모해야 하며, 이를 위해 신뢰성 있는 유출량 산정이 요구된다.

유출량 산정을 위한 유출모의는 수문모형에 의해 수행되며 비교적 자료기간이 길고 관측밀도가 높은 강우량 자료의 활용을 통해 가능하다. 또한 연속유출량 모의는 이수관리를 위해 필요하며, 이를 위해서는 일단위 또는 주간, 순간, 월간 및 연단위의 유출을 연속적으로 모의하여야 한다. 이와 같은 목적의 수문모형 중, 국내에서 활용되어 온 모형은 미국 공병단의 SSARR(Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation Model), 미국 기상청의 NWSRFS(National Weather Service River Forecast System), 개념적 모델인 TANK 모형 등이 대표적이다(김태우 외, 2014).

본 연구에서는 지역의 물 부족 해소를 위한 공급과 수요관리의 대책을 평가하기 위해 기반 모형으로 SSARR를 선정하였다. 대상유역으로 선정된 영종도 유역의 유출체계를 구성하고 유출분석을 실시하여 신뢰성 있는 유출량 자료를 확보할 수 있도록 하였다. 이러한 결과는 기후변화의 영향을 정량적으로 평가하고 기후변화에 의한 수해를 최소화함으로써 체계적이고 효율적인 수자원 관리에 활용될

것이다.

II. 기후변화 시나리오 및 모형의 선정

1. 기후변화 시나리오

기후변화 시나리오는 기후변화정보센터(Climatic Change Information Center, CCIC)에서 2100년까지 제공되고 있다(노선희 외, 2013). 여기서, 온실가스 시나리오인 RCP 시나리오는 총 4가지 종류(RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0, RCP 8.5)로 구분되며, RCP 2.6 시나리오에서 RCP 8.5 시나리오로 갈수록 온실가스가 배출되는 것으로 가정된다(박지훈 등, 2013). 기후변화 예측모델인 HadGEM2-AO를 통해 전 지구 135km, 한반도 125km, 남한상세 1km까지 높은 고해상도의 통계적 상세화 기법을 통한 시나리오로 현재 기상청에서 RCP 4.5, RCP 8.5 두 시나리오를 제공 중이다(노선희 외, 2013).

기후변화 시나리오를 이용한 선행 연구로는 김병식 외(2013)는 미래 기후변화정보를 이용하여 지속 시간별 빈도별 설계강우량을 산정하고, 미호천을 대상으로 HEC-HMS 모형을 이용하여 기후변화가 배수체계에 미치는 영향을 평가하였다. 김진수·최철웅(2013)은 RCP 기후변화 시나리오의 스토리라인을 기반으로 미래 토지피복변화를 예측하고, 금호강을 대상으로 미래 기후 및 토지피복변화가 유역 내 유출량에 미치는 영향을 분석하였다. 정세진 외(2014)는 기상청에서 제공하는 고해상도 RCP 8.5 기후변화 시나리오와 준분포형 수문모형인 SLURP 모형을 이용하여 영산강유역을 대상으로 기후변화가 수문순환과정에 미치는 영향을 분석하고, 이를 통해 유역규모의 수자원에 미치는 영향을 예측하였다.

2. 모형의 선정

본 연구에서는 기존의 집중형 모형들을 중심으로, 각 모형의 적용 편의성과 매개변수의 특징, 국내 수문 여건에서의 매개변수 추정 가능 여부 등을 비교하여 평가하였다. 또한 국내 실정에 적합한 모형 선정 기준을 작성하기 위하여 외국에서 개발되어 제안된 모형 선정 기준을 참고로 <표 1>과 같이 비교하였다. 연구의 목적상 증발산량에 영향을 미치는 각종 수문학적 요소가 포함되고, 유출량, 증발산량 및 토양함수량 등과 관련된 정보가 출력되며, 저수지 추적이 가능하고 계산시간 간격이 우월한 점으로 고려하여 SSARR 모형을 영종도 유역의 유출모형으로 선정하였다(김진수 외, 2014).

<표 1> 수문예보모형의 비교

항목	내용	SSARR	NWSRFS	Tank
예보목적	저수지 추적 및 조작	◎*	○	×
유역특성	국내외 적용사례	○	△	◎
자료기간	자료의 축적된 기간	○	○	○
자료의 질	계산시간 간격	◎	△	○
컴퓨터 용량	모형의 단순성	△	△	○
매개변수	최적 매개변수 산정	○	◎	○
모형개선	모형개선의 용이성	○	○	△

※ ◎*: 우수, ○: 양호, △: 보통, ×: 불량

※ 자료: 한국수자원공사(1996).

3. 유출모형

본 연구에 사용된 유출모형은 국토교통부와 한국수자원공사에서 이수기 유출모형으로 사용하는 SSARR 모형으로 선정하였다. SSARR 모형은 미 공병단에서 1956년 처음 개발되어 지속적으로 보정이 이루어지고 있는 모형으로 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).

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. 대상유역 및 연구방법

1. 대상유역 선정

본 연구에서는 첨단 정보통신 기술을 활용하여 지역의 미래형 물관리 시스템을 개발하고자하는 Smart Water Gird 연구단에서 신뢰성 있는 연구결과를 도출하기 위해 연구단 공동의 테스트 베드로 영종도 유역을 선정하였다. 따라서 본 연구에서는 지역의 물 부족을 평가하고 물 부족을 해소하기 위

한 공급과 수요관리 대책을 마련하기 위한 유출분석 대상지역으로 영종도 유역 선정하였다.

2. 대상유역 현황

영종도 유역은 인천에서 남서쪽으로 4.8km 정도 떨어져 있으며, 동경 126° 31', 북위 37° 29', 면적 108.6km², 인구는 2012년 인천광역시 통계연보 기준으로 36,785명이다. 섬 가운데를 기준으로 동쪽의 영종동, 중앙의 운서동, 서쪽의 용유동으로 구분되며, 영종동에 가장 고지대인 백운산(EL.256.0m) 외에는 대체로 낮고 평탄하여 농경지와 취락이 분포한다. 특히, 2001년도에 개항한 인천국제공항이 운서동에 위치하고 있다.

3. 연구방법

본 연구에서는 영종도 유역의 유출량 산정을 위해 장기유출모형인 SSARR 모형을 선정하고 대상유역을 소유역으로 구분한다. 영종도 유역내 2011~2014년간 지배관측소의 실측 일강우자료와 2014년도 기후변화 시나리오 RCP 4.5와 8.5에 의해 수집된 일강우자료를 소유역별 Thiessen 계수에 의한 면적강우량으로 환산 후, 이를 SSARR 모형의 입력자료로 사용한다.

소유역별 주요조절점에 대한 2011년~2014년까지 모의 유출량과 기후변화 시나리오에 의해 분석한 모의 유출량을 월간 및 연간단위로 비교한다.

IV. 결과 및 고찰

1. 입력자료의 선정

1) 물리적 매개변수

(1) 유역분할 및 Thiessen 계수 산정

본 연구에서는 영종도 유역을 12개 소유역과 11개의 주요조절점으로 구분하였다. 인천국제공항의 경우 유출수 조절에 활용되는 3개 유수지(남측, 북측, 동측)의 배수갑문을 유출점으로 하여 3개 조절점으로 구분하였다. 동강천의 경우 유출을 모의하기 위하여 동강천 상류에 위치한 운북저수지 유역과 운북저수지 하류유역로 구분하였으며, 운북저수지로부터 농업용수 공급과 회귀수 유출을 고려하였다. 영종도 유역에 위치한 운북하수처리장은 배후지의 오수를 처리하여 서해로 배출하므로 이를 고려하여 유출체계를 구성하였다. 영종 경제 자유 구역의 유출모의에서는 상류에 위치한 전소천을 고려하였다.

운북경제자유구역 구역, 운북자유경제구역 인접구역, 운서지구 구역, 밀라노 디자인시티 구역 및 영종 경제 자유구역 인접구역의 경우 구역의 유출수가 바로 서해로 유출되는 것을 고려하여 유출체계를 구성하였다.

구역별 Thiessen 계수는 영종도 근처의 4개 강우관측소를 선정하여 산정하였다. 유출시스템을 바탕으로 분할된 소유역도 및 구분은 <그림 1> 및 <표 2>와 같고, 분할된 소유역도 및 강우관측소를 바탕으로 구분된 Thiessen 망도는 <그림 2> 및 <표 3>과 같다. 영종도 구역의 하도연결 관계를 바탕으로 구성된 유출 모식도는 <그림 3>과 같다.



<그림 1> 영종도 구역 소유역 분할도

<표 2> 영종도 구역 소유역 구분

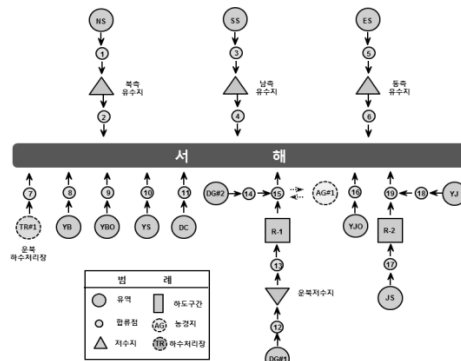
소유역명	구역 구분	구역면적	전체구역의 소유역 면적비
NS	공항북측유수지배후구역	30.7	29.7
SS	공항 남측유수지 배후 구역	25.5	8.2
ES	공항 동측유수지 배후구역	8.5	3.2
YB	운북 경제 자유 구역 구역	3.7	3.5
YBO	운북자유경제구역 인접구역	3.3	7.7
DG#1	동강천 구역(운북저수지 상류)	0.4	0.4
DG#2	동강천 구역(운북저수지 하류)	6.1	3.6
YS	운서지구 구역	8.0	1.8
DC	밀라노 디자인시티 구역	3.6	2.8
YJ	영종 경제 자유구역 구역	9.0	8.7
JS	전소천 구역	2.9	5.9
YJO	영종 경제 자유 구역 인접 구역	1.8	24.6
계		103.6	100.0



〈그림 2〉 영종도 유역 관측소 및 티센망도

〈표 3〉 영종도 소유역별 관측소 지배면적 및 티센계수

유역명	유역면적 (km ²)	AWS 관측소코드	관측소명	지배면적 (km ²)	티센계수
NS	30.74	113	인천(공)	17.73	0.5768
		578	용유도	7.35	0.2391
		508	왕산	5.66	0.1841
ES	8.49	113	인천(공)	6.47	0.7621
		543	영종도	2.02	0.2379
YBO	3.29	543	영종도	3.29	1.0000
DC	3.63	543	영종도	2.6	0.7163
		113	인천(공)	1.03	0.2837
YS	7.98	543	영종도	7.98	1.0000
DG#1	0.41	543	영종도	0.41	1.0000
YB	3.73	543	영종도	3.73	1.0000
YJO	1.84	543	영종도	1.84	1.0000
JS	2.92	543	영종도	2.92	1.0000
YJ	9.03	543	영종도	9.03	1.0000
DG#2	6.09	543	영종도	6.09	1.0000
SS	25.51	113	인천(공)	17.37	0.6809
		578	용유도	8.14	0.3191



〈그림 3〉 유출 모식도

(2) 고도별 면적비

한 개의 소유역을 여러 개의 밴드로 분할하기 위해 구역의 고도별 구역면적과 고도별 면적비를 산정하였으나, 구역전체가 400m 이하로 산정되어 모형의 입력값은 400m 이하 100%로 적용하였다. 고도별 구역면적은 <표 4>와 같다.

<표 4> 고도별 구역면적

소유역	고도별 구역면적(km ²)			
	0m<	100m<	200m<	400m<
NS	30.7	21.5	0.0	0.0
SS	25.5	10.2	0.0	0.0
ES	8.5	4.3	0.0	0.0
YB	3.7	2.2	0.0	0.0
YBO	3.3	2.3	0.0	0.0
DG#1	0.4	0.3	0.0	0.0
DG#2	6.1	3.7	0.0	0.0
YS	8.0	4.0	0.0	0.0
DC	3.6	2.0	0.0	0.0
YJ	9.0	5.0	0.0	0.0
JS	2.9	2.0	0.0	0.0
YJO	1.8	1.1	0.0	0.0

2) 수문기상 매개변수

(1) 강우 및 온도자료

기상청 지역별상세관측자료(AWS)를 이용하여 2011년부터 2014년까지 영종도 구역내 4개 관측소의 일강수량과 RCP 4.5 및 8.5 시나리오에서 제공하는 2014년의 일강수량을 수집하여 소유역별 면적 강우량을 산정하였다. 온도 자료의 경우 AWS의 4개 관측소의 관측 자료를 화씨(°F)로 변환 후 사용하였다.

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

강우강도에 따른 증발산지수의 가중치(EKE), 기온별 증발산지수(ETP), 토양수분지수(SMI)별 증발산지수의 가중치(DEK), 고도별 증발산지수의 가중치(ETEL)의 초기치 산정을 위해 SSARR 매뉴얼(USACE, 1991)을 참조하여 <표 5>와 같이 설정하였다.

<표 5> Value of EKE, ETP, DKE, ETEL

강우강도 (cm/day)	EKE (%)	온도 (°F)	ETP (cm/day)	SMI (cm)	DKE (%)	고도 (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	1200	120
10	10	80	0.45	9	100	1600	130
999	10	100	0.60	999	100	2000	140
		999	0.75			9999	140

(3) 월별 ETI 가중치(ETM), 최대 차단량(TINTMX)

월별 ETI 가중치(ETM)는 증발산량 산정시 월별 증발산량 보정치를 입력하게 되는 항목으로서 북위 37°에 위치하고 있는 값은 사용하였으며, 다음 <표 6>과 같이 나타낼 수 있다.

<표 6> ETI Weight of Monthly

월	ETM(%)	월	ETM(%)	월	ETM(%)
1월	86	5월	122	9월	103
2월	84	6월	123	10월	97
3월	103	7월	125	11월	85
4월	110	8월	117	12월	83

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 보고서(건설부, 1987)를 참조하여 도표를 <표 7>과 같이 결정하였다.

<표 7> Value of SMI-ROP, BII-BFP, S-SS in Guemho River Basin

SMI (cm)	ROP(%)	BII (cm/day)	BFP(%)	Input Rate (cm/hr)	Surface Comp.(cm/hr)
	SMI		BII		S-SS
0	9	0.0	40	0.0	0.00
1	20	1.0	14	0.5	0.15
2	47	1.5	11	1.0	0.57
3	75	2.0	10	1.5	1.07
4	87	2.5	10	2.0	1.57
5	93	3.0	10	2.5	2.07
10	100	5.0	10	3.0	2.57
999	100	100.0	10		

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

SSARR 매뉴얼에 제시되어 있는 BIITS의 범위는 대략 30~60hr이며, 본 연구에서는 40hr로 적용하였다. BIIMX는 3cm/일로 취하였고, 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 취하였다.

(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 산정하였다. 그 결과는 <표 8>과 같다.

<표 8> 유역별 가상저수지의 수효와 저류시간 Ts

(단위: hr)

유역	면적	지표수		복류수		지하수		회귀지하수	
		수효	Ts	수효	Ts	수효	Ts	수효	Ts
NS	30.7	4	2	2	15	2	150	2	1,500
SS	25.5	4	2	2	15	2	150	2	1,500
ES	8.5	4	2	2	15	2	150	2	1,500
YB	3.7	4	2	2	15	2	150	2	1,500
YBO	3.3	4	2	2	15	2	150	2	1,500
DG#1	0.4	4	2	2	15	2	150	2	1,500
DG#2	6.1	4	2	2	15	2	150	2	1,500
YS	8.0	4	2	2	15	2	150	2	1,500
DC	3.6	4	2	2	15	2	150	2	1,500
YJ	9.0	4	2	2	15	2	150	2	1,500
JS	2.9	4	2	2	15	2	150	2	1,500
YJO	1.8	4	2	2	15	2	150	2	1,500

(4) 하도추적 매개변수

하도추적에서도 유역추적과 마찬가지로 연속된 가상저수지의 추적 방법이 사용되어 가상저수지의 수효와 저류시간이 매개변수가 된다. 유역추적과 다른 점은 가상저수지의 저류시간 Ts가 다음 식(4.1)과 같이 결정된다.

$$T_s = \frac{KTS}{I^n} \quad (4.1)$$

여기서, KTS 는 시행착오적 방법에 의해 결정되는 상수이고, I 는 유량, n 은 -1과 1 사이의 값을 갖는 계수이다.

본 연구에서 구간별 도달시간은 미국 개척국(USBR)에서 개발한 다음 식(4.2)를 검증자료의 제약성 때문에 수정없이 그대로 사용하였다.

$$T_c = (0.871 \frac{L^3}{H})^{0.385} \quad (4.2)$$

여기서, T_c 는 도달시간(hr), L 은 하도길이(km), H 는 표고차(m)이다.

산정된 도달시간에 해당하는 유량을 실측 유량-도달시간관계를 참조하여 저류시간을 비롯한 각종 매개변수와 함께 <표 9>에 나타내었다.

<표 9> 하도추적에 관한 매개변수

하도명	하도구간	길이 (km)	표고차 (m)	도달시간 (hr)	저수지 수호	저류시간 (hr)	유량 (m ³ /s)	KTS
A	운북저수지 상류 ~ 운북저수지 하류 합류부	2.22	54.0	0.5	1	0.51	2	0.93
B	전소천 합류부 ~ 영종 경제 자유구역 유역 합류부	8.41	69.0	2.2	1	2.17	2	3.96

2. 유출량 산정

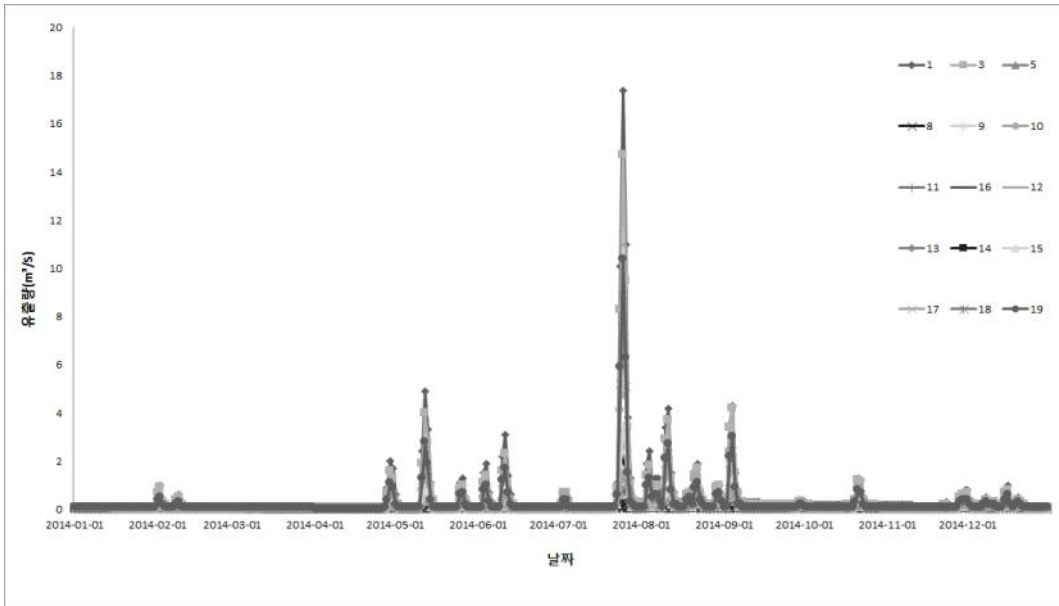
1) 매개변수 보정 및 검증

영종도 유역 내에서 현재 수위 관측소는 전무한 실정이기 때문에 유출모의를 위한 매개변수 보정 및 검증을 실시 할 수 없었다. 따라서 본 연구에서는 영종도 인근의 한강수계의 1024 중권역 유역을 대상으로 사용된 기 보고서의 매개변수 보정 및 검정 결과를 적용하여 분석하였다(한국수자원공사, 2008).

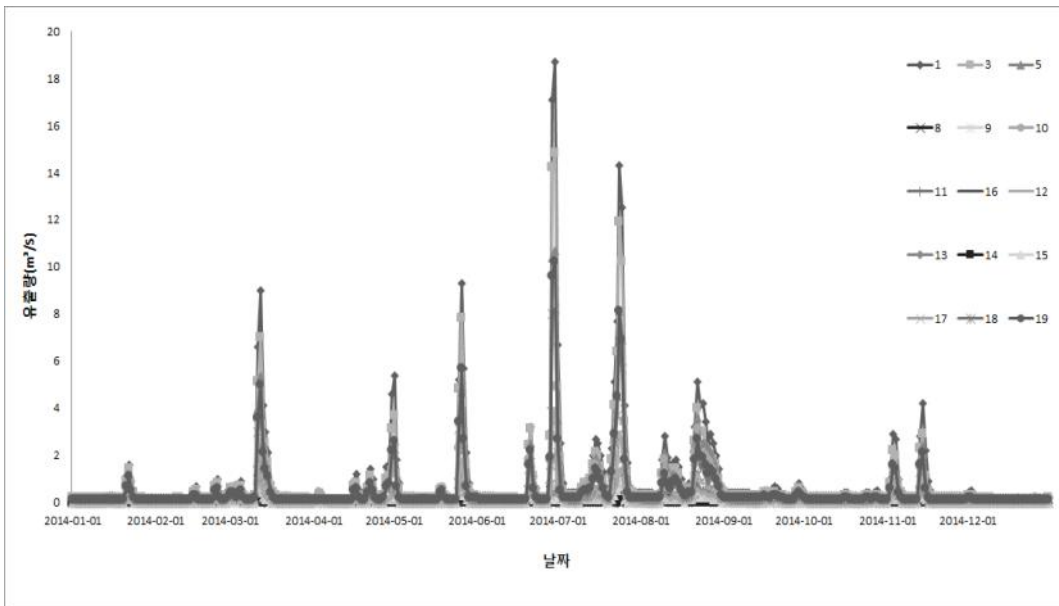
2) 주요지점별 유출량 산정

전술된 입력자료를 바탕으로 SSARR 모형을 이용하여 영종도 유역의 유출분석을 실시하였다. 2011년부터 2014년까지의 모의유출량 중에서 2014년도에 모의된 지점별 유출량은 <그림 4>와 같고, RCP 4.5 및 8.5 시나리오에서 제공된 강수량에 의한 2014년 주요지점별 모의 유출량은 각각 <그림 5> 및

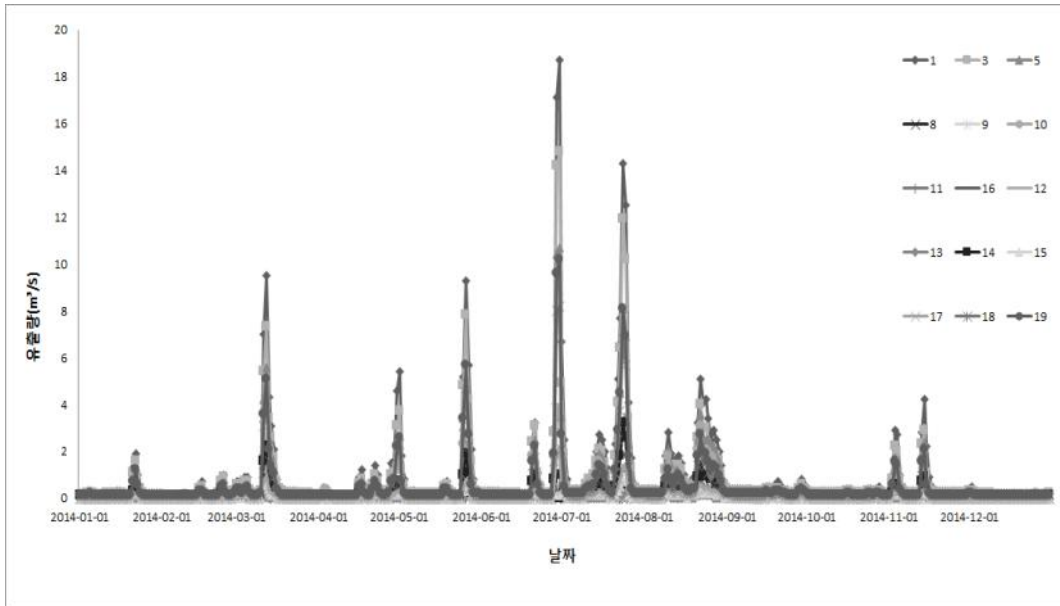
<그림 6>과 같다.



<그림 4> 영종도 지역의 주요지점별 모의유출량(2014년)



<그림 5> 영종도 지역의 주요지점별 모의유출량(2014년_RCP 4.5)



<그림 6> 영종도 유역의 주요지점별 모의유출량(2014년_RCP 8.5)

<그림 4>에 나타난 바와 같이 유역면적이 상대적으로 큰 1번, 3번 및 5번 조절점에서 유출률이 상대적으로 크게 발생하였으며, 이러한 현상은 타 년에서도 같은 경향을 나타내었다. 특히 2014년 모의 유출량에서 가장 큰 값은 1번 조절점에서 17.4m³/s로 나타났다. RCP 4.5 및 8.5 시나리오에서 제공하는 강수량을 적용하여 모의된 유출량 중 상대적으로 1번 조절점에서 각각 18.4m³/s 및 18.7m³/s로 크게 나타났다.

3) 연간물수지 분석

모의 유출량에 대한 연간물수지 분석은 <표 10>~<표 13>과 같고, RCP 4.5 및 8.5 시나리오에서 제공하는 강수량을 적용하여 모의된 유출량에 대한 연간물수지의 분석은 <표 14> 및 <표 15>와 같다.

<표 10> 모의된 연간물수지 계산결과(2011년)

표준 유역	강우량 (10 ⁸ m ³)	차단량 (10 ⁸ m ³)	증발산량 (10 ⁸ m ³)	유출량(10 ⁸ m ³)				
				지표수	복류수	지하수	회귀수	총유출
NS	1.00	0.13	0.17	0.17	0.39	0.03	0.10	0.70
ES	0.91	0.11	0.13	0.17	0.39	0.03	0.08	0.66
YBO	0.58	0.07	0.10	0.10	0.23	0.02	0.06	0.41
DC	0.13	0.02	0.02	0.02	0.06	0.00	0.01	0.10
YS	0.12	0.01	0.02	0.02	0.05	0.00	0.01	0.09
DG#1	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02
YB	0.22	0.03	0.03	0.04	0.09	0.01	0.02	0.16
YJO	0.29	0.04	0.04	0.05	0.12	0.01	0.03	0.21
JS	0.13	0.02	0.02	0.02	0.05	0.00	0.01	0.09
YJ	0.32	0.04	0.05	0.06	0.14	0.01	0.03	0.24
DG#2	0.10	0.01	0.02	0.02	0.04	0.00	0.01	0.08
SS	0.10	0.01	0.01	0.02	0.04	0.00	0.01	0.07
합	3.92	0.49	0.62	0.69	1.61	0.13	0.38	2.81
비율	100.00	12.46	15.83	17.66	41.18	3.22	9.69	71.75

<표 11> 모의된 연간물수지 계산결과(2012년)

표준 유역	강우량 (10 ⁸ m ³)	차단량 (10 ⁸ m ³)	증발산량 (10 ⁸ m ³)	유출량(10 ⁸ m ³)				
				지표수	복류수	지하수	회귀수	총유출
NS	0.77	0.14	0.17	0.10	0.24	0.03	0.08	0.46
ES	0.65	0.11	0.14	0.09	0.20	0.03	0.07	0.39
YBO	0.45	0.07	0.09	0.06	0.14	0.02	0.05	0.28
DC	0.10	0.02	0.02	0.01	0.03	0.00	0.01	0.06
YS	0.09	0.01	0.02	0.01	0.03	0.00	0.01	0.06
DG#1	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
YB	0.17	0.03	0.03	0.02	0.05	0.01	0.02	0.10
YJO	0.22	0.04	0.05	0.03	0.07	0.01	0.02	0.13
JS	0.10	0.02	0.02	0.01	0.03	0.00	0.01	0.06
YJ	0.25	0.04	0.05	0.03	0.08	0.01	0.03	0.15
DG#2	0.08	0.01	0.02	0.01	0.03	0.00	0.01	0.05
SS	0.08	0.01	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	0.05
합	2.98	0.50	0.64	0.40	0.93	0.12	0.33	1.78
비율	100.00	16.74	21.32	13.34	31.21	4.16	11.08	59.79

<표 12> 모의된 연간물수지 계산결과(2013년)

표준 유역	강우량 (10 ⁸ m ³)	차단량 (10 ⁸ m ³)	증발산량 (10 ⁸ m ³)	유출량(10 ⁸ m ³)				
				지표수	복류수	지하수	회귀수	총유출
NS	0.64	0.14	0.19	0.07	0.16	0.02	0.09	0.33
ES	0.56	0.12	0.16	0.06	0.14	0.02	0.07	0.30
YBO	0.40	0.08	0.11	0.05	0.11	0.02	0.05	0.23
DC	0.08	0.02	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	0.05
YS	0.08	0.01	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	0.05
DG#1	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
YB	0.14	0.03	0.04	0.02	0.04	0.01	0.02	0.08
YJO	0.19	0.04	0.05	0.02	0.05	0.01	0.03	0.11
JS	0.08	0.02	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	0.05
YJ	0.21	0.04	0.06	0.03	0.06	0.01	0.03	0.12
DG#2	0.07	0.01	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	0.04
SS	0.06	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.03
합	2.52	0.51	0.71	0.29	0.67	0.09	0.35	1.40
비율	100.00	20.29	28.32	11.41	26.67	3.77	13.76	55.60

<표 13> 모의된 연간물수지 계산결과(2014년)

표준 유역	강우량 (10 ⁸ m ³)	차단량 (10 ⁸ m ³)	증발산량 (10 ⁸ m ³)	유출량(10 ⁸ m ³)				
				지표수	복류수	지하수	회귀수	총유출
NS	0.43	0.10	0.16	0.03	0.07	0.01	0.04	0.16
ES	0.37	0.09	0.14	0.03	0.06	0.01	0.04	0.14
YBO	0.24	0.06	0.09	0.02	0.04	0.01	0.03	0.09
DC	0.05	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02
YS	0.05	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02
DG#1	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
YB	0.09	0.02	0.03	0.01	0.01	0.00	0.01	0.03
YJO	0.11	0.03	0.04	0.01	0.02	0.00	0.01	0.04
JS	0.05	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02
YJ	0.13	0.03	0.05	0.01	0.02	0.00	0.01	0.04
DG#2	0.04	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
SS	0.04	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02
합	1.60	0.40	0.61	0.11	0.26	0.05	0.16	0.59
비율	100.00	25.08	38.23	7.05	16.48	3.03	10.22	36.78

<표 14> 모의된 연간물수지 계산결과(2014년_RCP 4.5)

표준 유역	강우량 (10 ⁸ m ³)	차단량 (10 ⁸ m ³)	증발산량 (10 ⁸ m ³)	유출량(10 ⁸ m ³)				
				지표수	복류수	지하수	회귀수	총유출
NS	0.64	0.14	0.18	0.07	0.16	0.02	0.07	0.32
ES	0.56	0.12	0.16	0.06	0.14	0.02	0.06	0.28
YBO	0.40	0.08	0.11	0.05	0.11	0.01	0.04	0.22
DC	0.08	0.02	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	0.05
YS	0.08	0.01	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	0.04
DG#1	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
YB	0.14	0.03	0.04	0.02	0.04	0.01	0.02	0.08
YJO	0.19	0.04	0.05	0.02	0.05	0.01	0.02	0.10
JS	0.08	0.02	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	0.04
YJ	0.21	0.04	0.06	0.03	0.06	0.01	0.02	0.11
DG#2	0.07	0.01	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	0.04
SS	0.06	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.03
합	2.52	0.51	0.70	0.28	0.67	0.09	0.28	1.32
비율	100.00	20.31	27.62	11.31	26.42	3.67	10.95	52.35

<표 15> 모의된 연간물수지 계산결과(2014년_RCP 8.5)

표준 유역	강우량 (10 ⁸ m ³)	차단량 (10 ⁸ m ³)	증발산량 (10 ⁸ m ³)	유출량(10 ⁸ m ³)				
				지표수	복류수	지하수	회귀수	총유출
NS	0.71	0.19	0.21	0.07	0.15	0.02	0.07	0.32
ES	0.57	0.15	0.17	0.05	0.12	0.02	0.06	0.25
YBO	0.40	0.10	0.12	0.04	0.09	0.01	0.04	0.19
DC	0.09	0.02	0.03	0.01	0.02	0.00	0.01	0.04
YS	0.08	0.02	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	0.04
DG#1	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
YB	0.14	0.04	0.04	0.01	0.03	0.00	0.02	0.07
YJO	0.19	0.05	0.05	0.02	0.04	0.01	0.02	0.09
JS	0.09	0.02	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	0.04
YJ	0.21	0.05	0.06	0.02	0.05	0.01	0.02	0.10
DG#2	0.07	0.02	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	0.03
SS	0.06	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.03
합	2.63	0.68	0.77	0.25	0.58	0.09	0.27	1.19
비율	100.00	25.90	29.29	9.44	22.07	3.30	10.28	45.09

<표 10>~<표 13>에 나타난 바와 같이 2011년부터 2014년까지 4년간의 연간물수지 분석 결과에서 평균적으로 총 강우량의 약 19%와 25% 정도가 차단과 증발에 의해 손실되고 있으며 직접유출량은 약 41%, 기저유출량은 약 15%로 나타났다.

<표 13>과 같이 2014년도의 물수지 분석을 통해 총 강우량의 약 25%와 38% 정도가 차단과 증발에 의해 손실되고 있으며, 총 유출물 37% 중 직접 유출량은 약 23%, 기저 유출량은 약 14%로 나타났다. <표 14>의 RCP 4.5 시나리오에서 제공한 강수량을 사용한 모의 유출량은 총 강우량의 약 20%와

28%가 차단과 증발에 의해 손실되고 있으며, 총 유출률 53% 중 직접 유출량은 약 38%, 기저 유출량은 약 15%로 나타났다. <표 15>의 RCP 8.5 시나리오에서 제공한 강수량을 사용한 모의 유출량은 총 강우량의 약 25%와 30%가 차단과 증발에 의해 손실되고 있으며, 총 유출률 45% 중 직접 유출량은 약 32%, 기저 유출량은 약 15%로 나타났다.

2014년에 관측된 강수량을 사용하여 모의된 유출분석 결과와 기후변화 시나리오에서 제공한 강수량을 사용한 모의 유출분석 결과를 상호 비교한 결과, RCP 8.5 시나리오의 유출분석 결과가 RCP 4.5 시나리오의 유출분석 결과 보다 기 관측된 강수량에 의한 결과에 근접하게 나타났다.

V. 결론

본 연구에서는 물 부족 평가를 위한 영종도 지역의 소유역별 유출특성 분석을 위해 SSARR 모형을 이용하였다. 2011년부터 2014년까지의 관측된 강수량에 의해 모의된 유출특성과 RCP 4.5 및 8.5 시나리오에서 제공한 강수량에 의해 모의된 2014년의 유출을 비교하여 분석하였다.

주요조절점에서의 모의된 유출량은 유역면적이 상대적으로 큰 1번, 3번 및 5번 조절점에서 유출률이 상대적으로 크게 발생하였으며, 이러한 현상은 타 년에서도 같은 경향을 나타내었다. 특히 2014년 모의 유출량에서 가장 큰 값은 1번 조절점에서 17.4m³/s로 나타났으며, RCP 4.5 및 8.5 시나리오에서 제공하는 강수량을 적용하여 모의된 1번 조절점의 유출량은 각각 18.4m³/s 및 18.7m³/s로 나타났다.

2011년부터 2014년까지 4년간의 연간물수지 분석 결과에서 평균적으로 총 강우량의 약 19%와 25%가 차단과 증발에 의해 손실되고 있으며 직접유출량은 약 41%, 기저유출량은 약 15%로 나타났다.

2014년도의 물수지 분석을 통해 총 강우량의 약 25%와 38%가 차단과 증발에 의해 손실되고 있으며, 총 유출률 37% 중에서 직접 유출량은 약 23%, 기저 유출량은 약 14%로 나타났다. RCP 4.5 시나리오를 적용하여 모의한 결과 총 강우량의 약 20%와 28%가 차단과 증발에 의해 손실되고 있으며, 총 유출률 53% 중에서 직접 유출량은 약 38%, 기저 유출량은 약 15%로 나타났다. RCP 8.5 시나리오를 적용하여 모의한 결과 총 강우량의 약 25%와 30%가 차단과 증발에 의해 손실되고 있으며, 총 유출률 45% 중에서 직접 유출량은 약 32%, 기저 유출량은 약 15%로 나타났다.

2014년에 관측된 강수량을 사용하여 모의된 유출분석 결과와 기후변화 시나리오에서 제공한 강수량을 사용한 모의 유출분석 결과를 상호 비교한 결과, RCP 8.5 시나리오의 유출분석 결과가 RCP 4.5 시나리오의 유출분석 결과 보다 기 관측된 강수량에 의한 결과에 근접하게 나타났다.

현재 기후변화 연구는 'IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 제5차 평가보고서'가 승인되며 계속적으로 발전하고 있는 추세이다. 향후 주기적인 데이터의 갱신과 신뢰성 있는 자료를 통해 본 연구 분석 방법에 의한 결과의 신뢰성을 확보함으로써 발생 가능한 가뭄과 홍수를 예측하여 수해 피해를 최소화하여야 할 것이다.

참고문헌

- 건설부 한강홍수통제소. 1987. 낙동강 홍수 예경보 및 저수관리 프로그램 개발 최종보고서(저수관리부 문). 건설부 한강홍수통제소.
- 김병식, 하성룡. 2013. RCP 기후변화시나리오를 이용한 기후변화가 미호천 유역의 설계홍수량에 미치는 영향 평가. 한국습지학회지. 15(1): 105-114.
- 김진수, 최철웅. 2013. 기후변화 시나리오하의 기후 및 토지피복 변화가 유역내 유출량에 미치는 영향 분석. 한국지형공간정보학회지. 21(2): 107-116.
- 김진수, 맹승진, 정지혜, 김형산. 2014. 홍수 및 가뭄년을 포함한 금호강 수계 표준유역별 유출특성 분석. 한국위기관리논집. 10(4): 133-152.
- 김태우, 맹승진, 최현수, 김동주, 장익근. 2014. 유역유출모형에 의한 유출특성분석. 한국위기관리논집. 10(8): 119-134.
- 노선희, 정관수, 박진혁, 류경식. 2013. RCP 기후변화 시나리오를 고려한 금강유역의 미래 용수공급 변화전망. 한국수자원학회논문집. 45(5): 505-517.
- 박지훈, 강문성, 송인홍, 황순호, 송정현. RCP 4.5 시나리오에 따른 IDF 곡선 분석; 우리나라 30개 저수지를 대상으로. 한국방재학회논문집. 13(6): 145-159.
- 인천광역시 중구. 2012. 인천광역시 중구 기본통계. 2012(제24회). 인천광역시 중구.
- 전환돈, 김수전. 2014. 기후변화와 수리구조물의 영향을 고려한 금강유역의 미래 수문순환 특성 변화 분석. 한국방재학회논문집. 14(5): 299-309.
- 정세진, 김병식, 전규원, 최정인. 2014. RCP 8.5 기후변화시나리오를 이용한 기후변화가 영산강유역의 장기유출에 미치는 영향 평가. 한국위기관리논집. 10(2): 289-305.
- 한국수자원공사. 1996. 낙동강 수계 실시간 최적 저수관리 시스템 개발(분석모델부분) 보고서. 국수자원공사.
- 한국수자원공사. 2008. 한강수계 실시간 저수지 운영시스템 구축(분석모형개발). 국수자원공사.
- USACE. 1991. *SSARR User Manual*. Portland: North Pacific Div.

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 등으로 활동 중이다.

(maeng@cbnu.ac.kr).

김형산: 충북대학교 “기후변화에 따른 확률 일최대유량 산정”으로 공학박사 학위를 취득하였으며(2015. 2), 현재는 지역건설공학과에서 박사후 과정에 있다. 주요 연구 분야는 수자원관리 분야이다(kimhs@cbnu.ac.kr).

정지혜: 충북대학교 지역건설공학과를 졸업하고, 동 대학원에서 공학석사 학위를 취득하였다(2014. 2)

(challenge421@naver.com).

Azam Muhammad: 파키스탄 University of Agriculture Faisalabad, Department of Irrigation and Drainage를 졸업하고, 현재 충북대학교 지역건설공학과에서 석사과정 중이다(azam@cbnu.ac.kr).

황만하: 전북대학교 “칼만필터를 이용한 추계학적 조석예측에 관한 연구”로 공학박사 학위를 취득하였으며(1992. 2), 현재는 한국수자원공사 K-water 연구원 수석연구원으로 재직 중이다. 주요 연구 분야는 댐운영, 수자원관리 및 계획 분야이며, 현재 한국수자원학회 평의원 등으로 활동 중이다(hwangmh@kwater.or.kr).