

Evaluation of Future Water Supply Variation in River Unit Basin by Climate Change

Yong Hyeon Gwon^{1,2+}, Gye Woon Choi¹, Byong Joo Lee²

¹ Department of Civil and Environmental, Incheon National University, 119 Academy-ro, Yeonsu-gu, Incheon, Korea

² 602, Samsung IT Valley, 27, Digital-ro 33-gil, Guro-gu, Seoul, Korea

Abstract

Recently, Flood and drought occurs more frequently throughout the world due to an unusual exchange in the climate. As a result of repeated drought situations, studies on changes in water supply in the future depending on climate change impacts, and a water balance analysis model for improving accuracy by analyzing them, are continuously being developed. Therefore, in this study, the TANK model based water supply analysis was conducted to identify the future water supply change in the Sapgyocheon upper stream area by using the meteorological data in the RCP 8.5 scenario of the Korea Meteorological Administration. As a result of analyzing the annual average water supply capacity change rate for the future period, average annual potential supply, supply and surplus supply over the reference period tended to increase S1, decrease S2, and increase S3, while deficiency tended to decrease S1, increase S2 and decrease S3. Demand for S1, S2 and S3 has been shown to decrease. Based on the results of this study, it is expected to be used to predict damages and identify water supply and demand for future droughts by river basin.

Key words: climate change, RCP scenario, water supply, water balance analysis, river unit basin

1. 서론

최근 전 세계적으로 기후변화로 인해 홍수 및 가뭄의 발생 가능성이 높아지고 있으며 그에 대한 인적피해와 경제적 손실로 인한 피해액은 증가하는 추세이다. 기후변화로 인한 가뭄의 발생 기간은 과거에 비해 지속적으로 증가하고 있으며, 이로 인해 생활용수, 공업용수, 농업용수뿐만 아니라 하천유지용수의 용수수급 불균형을 인해 물공급에 어려움을 갖게 된다. 또한,

기후변화의 영향을 받는 기상요소 중 수자원과 직접적 관련이 있는 요소는 기온과 강수로 미래의 수문현상에 영향을 미쳐 매우 작은 기후변화라 할지라도 물순환 과정에 변동성이 증가하여 정확한 파악이 어려워질 뿐만 아니라 안정적인 물 공급을 위한 대책 수립에 어려움을 가중시키게 된다. 수문 순환의 변화는 극한 가뭄, 극한 홍수, 국지성 호우를 발생시킬 수 있으며, 이로 인해 물관리가 어려워져 물분쟁이 빈번히 발생할 수 있다. 기후변화에 따른 기상변화 예측과 해당

* Corresponding author: Yong Hyeon Gwon, Tel. +82-2-572-4320, Fax. +82-70-4325-6097, e-mail. hyun9206@naver.com

예측자료를 바탕으로 도출된 물수지 분석 결과를 이용하면 미래 물공급을 예측할 수 있어 새로운 물관리 방안을 수립할 수 있으며 물분쟁의 소지를 최소화할 수 있게 된다(Kim, *et al.*, 2015).

지속적인 가뭄 상황이 반복되면서 기후변화의 영향에 따라 미래의 물공급량 변화 및 물부족에 대한 연구와 이를 분석하여 정확성을 높이는 물수지 분석모형이 지속적으로 개발되고 있다. 또한, 미래의 기상자료를 보다 정확하게 얻기 위해서 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)에서 제공하는 RCP(Representative Concentration Pathways) 기후변화 시나리오를 활용하여 다양한 연구가 진행되고 있다. Maeng, *et al.*(2015)의 연구에서는 물 부족 평가를 위한 영종도 유역의 소유역별 유출특성 분석을 위해 SSARR 모형을 이용하여 2011년~2014년의 유출량을 모의하고 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. Kim, *et al.*(2015)의 연구에서는 금호강 유역의 중장기 수문변화를 예측하고자 RCP 4.5와 8.5 시나리오를 이용하여 SWAT 모형을 기반으로 자연유출량의 예측하였고 이를 기간별로 구분하여 월별, 계절별로 유출량 변동을 분석하여 표준유역별 토지이용과 식생 변화 등에 의한 유역 환경에 따라 유출량이 다르게 나온 것으로 파악하였다. Jeung, *et al.*(2014)의 연구에서는 RCP 8.5 기후변화 시나리오를 이용한 기후변화가 영산강 유역의 장기유출에 미치는 영향을 평가하기 위해 SLURP 모형을 사용하여 6월 달의 월유출량은 감소하고 8월과 9월의 유출량은 증가하는 것을 분석하였다.

본 논문에서는 하천유역의 미래 물공급 변화를 파악하기 위해 기상청 RCP 8.5 시나리오의 40년(2008~2047년) 중권역별 강수량과 잠재증발산량 일단위 자료를 수집하였다. 수집된 중권역별 기상자료를

하천유역별 일단위 기상자료를 변환하여 TANK 모델을 이용한 하천 일유출모의를 통해 일유출량을 산정하였다. 미래의 수혜면적변화와 생활/공업/농업 수요량 추정을 통해서 하천의 물수지 분석을 진행하여 단기의 미래기간 30년에 대한 일단위 물수급을 산정하였다. 미래기간에 대한 분석은 기준기간 R0(2008~2017년) 대비, 미래기간 S1(2018~2027년), S2(2028~2037년), S3(2038~2047년)에 대한 연평균 물부족량과 경로별 경향성을 파악하였다. 향후 본 연구 결과를 바탕으로 장래 하천유역별 물수급 파악 및 물부족량에 대한 추정을 통해 미래 가뭄 발생 시기를 파악하여 기후변화에 의한 물부족 위기에 대처할 수 있을 것을 판단된다.

II. 연구방법

1. 대표농도경로(RCP) 시나리오

본 연구는 고해상도(1km) 우리나라 상세 기후변화 시나리오를 사용하였다. 해당 시나리오는 RCP 시나리오 기반의 전지구(약 135km 해상도)와 한반도(12.5 km 해상도) 기후변화 시나리오를 사용하여 우리나라에 대해 통계적 상세화 기법(MK-PRISM)을 통해 미래 전망자료를 생산하였다. 생산된 1km 해상도의 관측격자자료를 PRIDE 모델을 사용하여 관측격자 자료에 대해 평균하여 관측 기후값을 생산한다. 전지구 기후변화 시나리오는 영국기상청의 HadGEM2-AO 모델을 사용하였고 한반도 기후변화 시나리오는 영국기상청 지역기후모델인 HadGEM3-RA 모델을 사용하여 산출하였다(<http://www.climate.go.kr>). 본 연구에서는 기상청 기후정보포털에서 제공하는 수자원 분야 응용정보 시나리오를 사용하였다. 수자원 분야 응용정보 시나리오는 200년 제어적분 RCP 4.5, RCP 8.5 시나리오 정보를 바탕으로 전국 73개 기상관측소별 수자원 분야 응용정보를 공간분포와 시계열 그래프로 분석 및 제공하고 있으며, 본 연구에 활용 가능한 강수량(PRCP, 중권역)과 잠재증발산량(PET, 중권역)의 RCP 4.5와

RCP 8.5 시나리오의 100년(2000~2100년) 자료 수집하였다. 본 분석에는 현재 추세로 저감 없이 온실가스가 배출되는 경우를 적용하여 극한 상태의 기준으로 도출된 RCP 8.5 시나리오를 사용하였다. 수집된 자료는 강우-유출 및 물수지분석에 필요한 일단위 하천유역별 강우량과 잠재증발산량으로 생산하였으며, 본 연구에서는 가까운 미래의 물공급 경향성을 판단하기 위해 RCP 8.5 시나리오의 40년(2008~2047년) 자료를 활용하여 분석하였다.

2. 강우-유출 모형 선정

강우-유출 모형은 유역에 대한 유출 연속 모의가 가능한 모형을 선택하여 일유출량 계산이 가능해야 한다. Dawdy & Lichty(1968)에 의하면 신뢰도가 높은 강우-유출 모형을 선택하기 위해서는 예측의 정확도, 모형의 단순성, 매개변수 산정의 일관성, 매개변수 값 변화에 따른 측정량의 변화의 기준을 제시하였다. 본 연구의 목적상 타지역의 모형개선이 용이하고, 유역의 강우와 증발산을 고려할 수 있는 장기유출 산정을 위한 연속형 모형이 필요하여 개념적 모델인 TANK 모형을 선정하였다. TANK 모형은 1967년 일본의 수학자인 Sugawara에 의해 최초로 개발된 모형으로 유역을 오리피스형의 유출공을 가진 몇 개의 저류형의 가상용기(탱크)를 조합하여 강우를 유량으로 변환하는 유출계산법으로 이론적인 해석과 매개변수 추정이 간단하여 적용이 쉽고, 이미 국내에 많이 이용해 왔으며 그 적용성이 입증되어 있다. 유출과정은 토양수분 저류구조를 갖는 4단 TANK 모형을 선정하여 일단위 유역별 유출량을 산정하였다. 모형에 사용하는 매개변수는 수장기종합계획(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2011)에서 제시하고 있는 삼교천 중권역(3010) 매개변수를 사용하여 분석시 적용하였다.

3. 물수지 분석 모형

물관리가 필요한 단위유역에 대한 장단기 물순환 특성을 정량적 분석을 위해 단위유역에서 발생하는

유출량을 시간적, 공간적인 수문 순환을 고려하여 물수지 방정식 기반의 수자원 분석이 가능한 모형을 개발하였다. 여기서 단위유역이란 물수지 분석을 위해 하천 및 지형을 고려하여 구축된 최소한의 하천 단위유역을 말한다. 본 모형은 수자원장기종합계획(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2011)에서 기존 물수지 분석 한계점으로 제시하고 있는 중권역 범위의 지역 고려시 물리적인 연계 운영의 어려움으로 실제 물부족이 크게 발생하는 점을 개선하고자 분석 공간단위를 표준권역을 기초로 지형적 특성을 고려한 소유역인 하천 단위유역으로 분석할 수 있는 체계를 구축하였다. 또한, 이수분석시 유출체적과 물부족 경향 판단 등을 고려하여 일단위 분석체계로 상하류 네트워크를 반영하여 분석이 가능하여 유역별 지하수, 용수이용에 대한 수자원계획 및 관리를 할 수 있도록 하였다.

물수지 분석 모형은 신뢰성 있는 파일기반의 입력 자료를 바탕으로 5개의 물수지 분석 모듈을 단일 프로그램으로 구축하여 모의시간을 단축시키고 모형구동이 복잡하지 않도록 구축하였다. 또한, 해당 유역의 수요량 및 공급량 적용, 유역 간의 물공급 이동 및 회귀량에 대해 현장조사 및 과거데이터 수집을 통해 정확도를 높인 하천유역별 공급가능량, 수요량, 공급량, 잉여공급량, 부족량 등을 파악할 수 있도록 모형을 구축하였다. 본 모형의 5개 모듈은 <Figure 1>과 같이 유역 단위 기상자료 및 유역평균값 산정 모듈, 강우-유출분석 모듈, 수요량 추정 모듈, 저수지 물수지 분석 모듈, 하천유역 분석 모듈로 구성되어 있다.

기상자료 및 유역평균값 산정 모듈은 기상청의 기상자료를 수집하고 이상치 검사를 통해 품질관리를 진행하여 일단위 기상자료를 구축한다. 기상자료는 Penman-Monteith 방법으로 관측소별 잠재증발산량을 산정하고 Thiessen 폴리곤 방법을 통해 강우량과 잠재증발산량에 대한 일단위 유역평균자료를 생산한다. 강우-유출분석 모듈은 토양수분 저류구조 4단 TANK 모델 기반으로 하천유역 자연유량을 산정하고 비유량

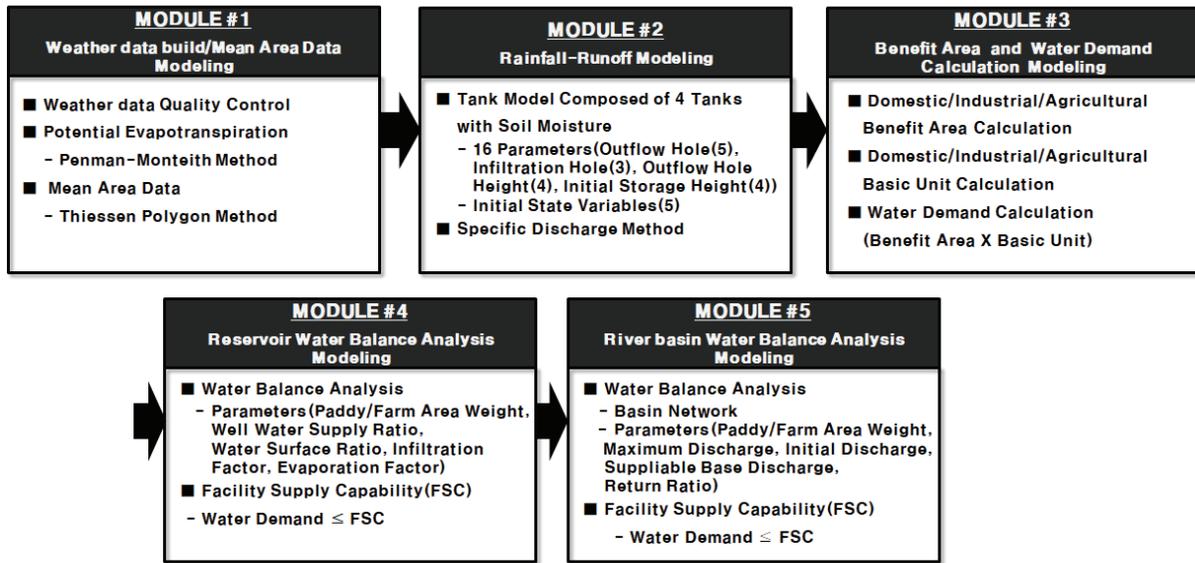


Figure 1. Analysis method of water balance model

법을 통해 저수지 유입량을 산정한다. 수요량 추정 모델은 생/공/농업용수의 원단위와 수혜면적을 산정하여 저수지와 하천유역의 일단위 수요량, 하수처리장 방류량을 추정한다. 저수지 물수지 분석은 저수지의 유입량을 기초로 저수지의 저수량을 판단하게 된다. 저수지의 저수량을 산정시에는 저수지 내에서 발생하는 유입량, 수요량, 증발량, 침투량을 고려해야하며, 저수지의 저수량은 시간적 개념을 고려하여 일단위로 산정된다. 전날의 저수량을 고려하여 해당 일에 대한 저수지 일단위 저수량을 식 (1)과 같이 산정한다.

$$S_0 = stg_{t-1} + q_{res} - dmd - aet - inf \quad (1)$$

여기서, stg_{t-1} 는 전날 저수지의 저수량(m^3), q_{res} 는 저수지의 유입량(m^3/s), dmd 는 수요량(m^3/d), aet 는 증발량(m^3/d), inf 는 침투량(m^3/d)이다.

산정되는 일단위 저수량은 용수수요량 대비 저수지에서 물공급이 가능한지를 계산하여 일단위 저수량, 수요량, 공급량, 부족량 등을 판단한다. 하천유역 물수지 분석은 상류유역의 자연유량 및 공급량이 반영된 유량과 자기유역 유량을 합하여 자기유역 용수 공급가능량을 결정하고 자기유역의 수요량과 비교하여 자기유역의 하천유량, 공급량을 결정하게 된다. 하

천의 공급량을 파악하기 위해서는 시간적·공간적 개념을 고려하여 일단위로 산정하게 되며, 상류에서 유입되는 유량도 고려해야 한다. 하천의 일단위 공급량은 식 (2)와 같이 산정한다.

$$Spl_0 = nq + sum_q + swg + outflw_{res} - inflw_{res} \quad (2)$$

여기서, Spl_0 는 하천의 일공급량(m^3/d), nq 는 자연유량(m^3/d), sum_q 는 상류에서 유입되는 총유량(m^3/d), swg 는 하수처리수 유입량(m^3/d), $outflw_{res}$ 는 저수지 방류량(m^3/d), $inflw_{res}$ 는 저수지 유입량(m^3/d)이다. 최상류 유역은 상류에서 유입되는 유량(sum_q)을 고려하지 않는다. 산정되는 일단위 공급량은 용수수요량 대비 하천에서 물공급이 가능한지를 계산하여 일단위 잠재공급량, 수요량, 공급량, 자기유역의 잉여공급량, 누적잉여공급량, 부족량 등을 판단한다.

III. 대상유역 및 분석

1. 대상유역 및 기초자료 구축

1) 대상유역

본 연구의 대상유역은 <Figure 2>와 같이 삼교천 상

Table 1. Basic data information

Basin Code	Area (ha)	Area ratio (%)	Note
0118	481.9	2.9	
0120	918.8	5.5	Hongsung Sewage Treatment Plant
0121	507.6	3.1	
0122	2,297.0	13.9	Hongyang Reservoir
0123	1,142.2	6.9	Sabkyochonkyo Waterlevel Station
0124	798.0	4.8	
0125	166.8	1.0	
0126	420.3	2.5	
0127	664.5	4.0	
0129	1,986.9	12.0	
0131	641.0	3.9	
0132	770.8	4.6	
0133	2,316.5	14.0	
0134	475.2	2.9	
0136	186.4	1.1	
0140	2,273.9	13.7	Hongdong Reservoir
0145	531.8	3.2	
Total	16,579.6	100.0	17 Basin

일 17,000m³으로 반영하였다. 하천 단위유역 별 면적, 전체 면적에 대한 비율, 시설물 위치 정보를 <Table 1>에 제시하였다.

2. 모형 적용성 평가

구축된 물수지 모형의 적용성을 정량적으로 평가를 위해 대상유역 내 위치하고 있는 삼교천교 수위관측소의 관측유량과 물수지 분석 모의결과의 누적잉여 공급량을 유출고로 산정하여 평가하였다. 물수지 분석의 분석기간은 2011~2017년이며, 2011~2012년은 시

스템의 Warm-up기간으로 2013~2017년 자료를 사용하여 관측자료와 비교하였으며 <Figure 3>과 같이 제시되었다. 삼교천교의 수위관측소가 위치한 하천유역의 평균강수량은 935.3mm로 나타났으며 관측유출률은 44.7%, 모의유출률은 56.7%로 나타났으며, 상대오차는 0.788로 적용성이 높게 나타났다.

자료의 정확도 평가를 위한 통계학적 분석으로는 결정계수(Coefficient of determination), 평균절대오차 (Mean Absolute Error, MAE), 평균제곱오차(Mean Squared Error, MSE), G 값(Goodness of Prediction Measure) 등이

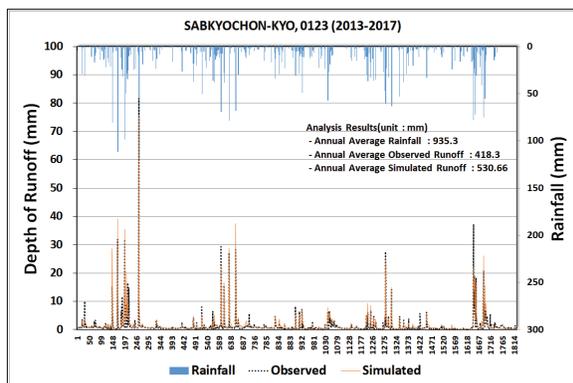


Figure 3. Comparison of observed and simulated depth runoff

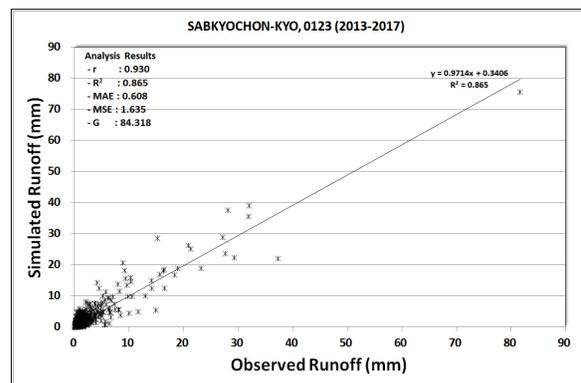


Figure 4. Correlation of observed and simulated depth runoff

있으며, 변수들 간의 상관관계를 해석하기 위한 방법인 피어슨 상관계수(Pearson's Correlation Coefficient)가 있다. 결정계수는 1에 가까울수록, 평균절대오차와 평균제곱오차는 0에 가까울수록 정확도가 높은 것을 의미한다. 예측의 효율성(Effectiveness)을 평가하는 G 값은 100일 때 완벽한 추정이라고 할 수 있으며, 피어슨 상관계수는 -1~+1 사이의 값으로 1에 가까울수록 강한 음과 양에 상관계수로 나타난다(Park, 2016). <Figure 4>는 관측자료와 모의자료에 대한 상관관계를 나타내었으며, 통계학적 분석 결과 결정계수 0.865, 평균절대오차 0.608, 평균제곱오차 1.635, G 값 84.318, 피어슨 상관계수는 0.930으로 나타나 본 모형의 적용성이 높게 평가된다.

3. 미래기간 기상 전망

미래기간에 대한 기상자료는 RCP 8.5 시나리오의 40년(2008~2047년) 중권역별 일단위 강수량과 잠재증발산량 자료를 이용하여 17개 하천유역과 매칭하여 하천유역별 일단위 강수량과 잠재증발산량을 산정하였다. 분석은 기준기간 R0(2008~2017년), 미래기간 S1(2018~2027년), S2(2028~2037년), S3(2038~2047년)에 대한 연평균 강수량과 연평균 잠재증발산량 기준기간에 대한 경로별 변동률을 분석하였다. 미래기간에 대한 강수량과 잠재증발산량의 변화는 <Figure 5>와 <Figure 6>과 같이 나타났다. 기준기간의 연평균 강수량은 924.4mm이며, 미래기간 S1, S2, S3는 각각

1,052.9mm, 909.5mm, 1,066.3mm로 분석되었으며, 기준기간 대비 S1은 13.9% 증가, S2는 1.6% 감소, S3는 15.4% 증가하는 경향이 나타났다. 기준기간의 연평균 잠재증발산량은 590.8mm이며, 미래기간 S1, S2, S3는 각각 596.0mm, 621.1mm, 613.6mm로 분석되었으며, 기준기간 대비 S1은 0.9% 증가, S2는 5.1% 증가, S3는 3.9% 증가하는 경향이 나타났다.

4. 미래 물공급 경향성 평가

1) 미래 유량변화 전망

미래기간에 대한 유량변화는 TANK 모형 분석을 통해 대상유역의 17개 하천유역에 대해 자기유역 일 단위 자연유량을 모의하고 연 평균 유량을 산정하였다. 분석은 기준기간 R0(2008~2017년), 미래기간 S1(2018~2027년), S2(2028~2037년), S3(2038~2047년)에 대한 연평균 유량과 기준기간에 대한 경로별 변동률을 분석하였다. 기준기간의 연평균 유량은 185.8m³/s이며, 미래기간 S1, S2, S3는 각각 227.1m³/s, 179.9m³/s, 225.5m³/s로 분석되었으며, 기준기간 대비 S1은 24.4% 증가, S2는 2.9% 감소, S3는 23.9% 증가하는 경향이 나타났다. 미래기간에 대한 유량의 변화는 <Figure 7>에 도시했으며, 유량의 변화 패턴은 <Figure 5>에 도시된 강수량과 매우 유사한 경향이 나타났다. 이는 강수량이 잠재증발산량보다 유량 변화에 많은 영향을 주고 있으며 높은 상관성을 가지는 것으로 판단된다.

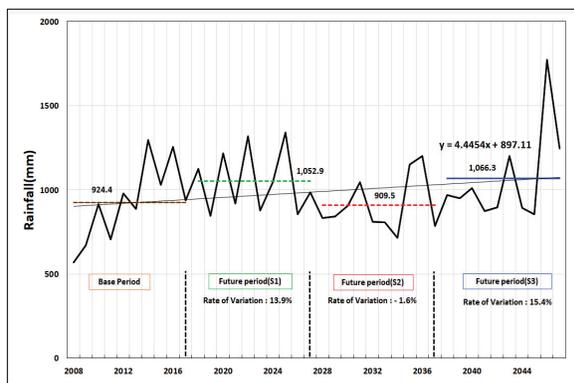


Figure 5. Variation of the rainfall in the future period

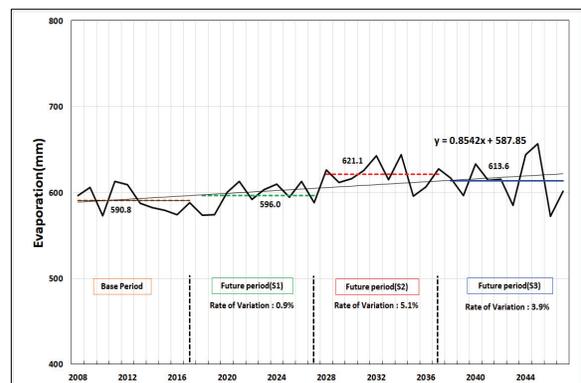


Figure 6. Variation of the evaporation in the future period

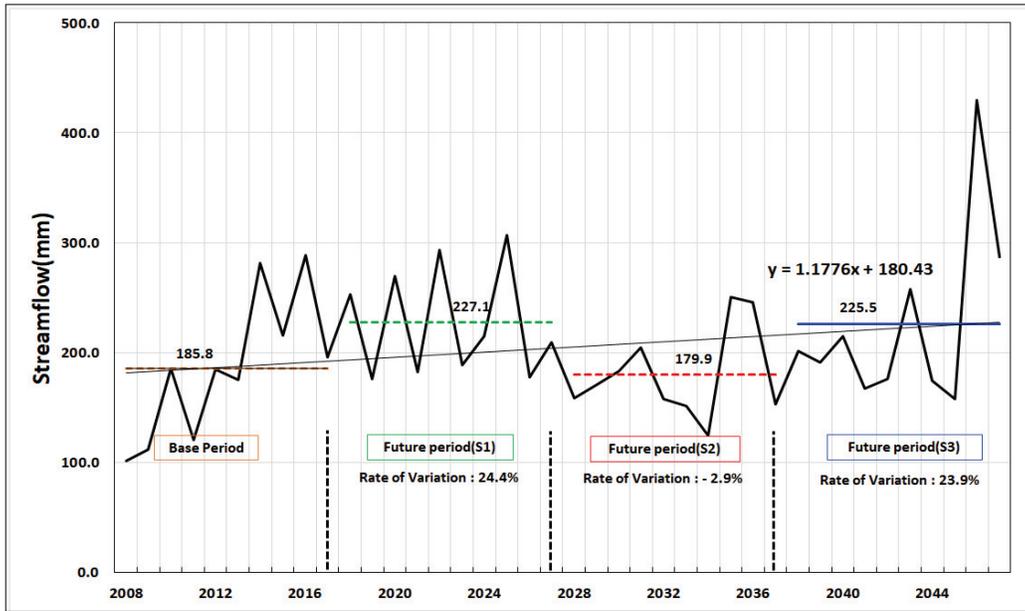


Figure 7. Variation of the stream flow in the future period

2) 미래 물공급 경향성 평가

미래의 물공급 경향성을 평가하기 위해 대상유역의 17개 하천유역의 수계정보를 이용하여 유역추적을 고려한 물수지분석 모형을 통해 하천의 미래 물공급 능력을 일단위로 전망하였다. 분석은 기준기간 R0(2008~

2017년), 미래기간 S1(2018~2027년), S2(2028~ 2037년), S3(2038~2047년)의 미래기간에 대한 연평균 잠재공급량, 수요량, 공급량, 잉여공급량, 부족량과 기준기간에 대한 경로별 변동률을 분석하여 <Table 2>에 제시하였다. 기준기간 대비 미래기간의 연평균 잠재공급량은

Table 2. Variation of annual average water supply capacity in the future period

(unit : %)

Basin Code	Potential Supply			Demand			Supply			Deficiency			Surplus Supply		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
0118	23.6	-3.1	22.7	-1.6	-2.5	-2.5	9.7	-6.1	4.9	-33.1	7.3	-23.1	26.6	-2.5	26.5
0120	17.8	-3.6	16.7	-1.4	-2.1	-2.2	-1.4	-2.1	-2.2	0.0	0.0	0.0	17.8	-3.6	16.7
0121	23.6	-3.1	22.7	-1.6	-2.5	-2.5	7.8	-7.1	3.2	-34.0	13.3	-22.1	26.7	-2.3	26.5
0122	42.3	5.5	44.6	-1.6	-2.5	-2.5	21.4	-2.3	15.0	-31.3	-2.7	-25.0	44.6	6.4	48.0
0123	27.5	-1.9	27.3	-1.6	-2.4	-2.4	-1.6	-2.4	-2.4	0.0	0.0	0.0	27.7	-1.9	27.5
0124	23.6	-3.1	22.7	-1.4	-2.1	-2.2	-1.4	-2.1	-2.2	0.0	0.0	0.0	23.8	-3.1	23.0
0125	16.5	-6.4	14.5	-1.6	-2.5	-2.5	-0.6	-2.0	-1.6	-100.0	-47.9	-85.3	17.7	-6.7	15.6
0126	22.1	-4.0	20.9	-1.5	-2.2	-2.2	-1.5	-2.2	-2.2	0.0	0.0	0.0	22.2	-4.0	21.0
0127	23.6	-3.1	22.7	-1.4	-2.1	-2.2	-1.4	-2.1	-2.2	0.0	0.0	0.0	24.1	-3.1	23.2
0129	21.3	-4.1	20.1	-1.6	-2.4	-2.4	-1.6	-2.4	-2.4	0.0	0.0	0.0	22.3	-4.2	21.1
0131	19.0	-3.9	17.8	-1.4	-2.2	-2.2	-1.4	-2.2	-2.2	0.0	0.0	0.0	19.0	-3.9	17.8
0132	21.9	-3.8	20.8	-1.4	-2.1	-2.1	-1.4	-2.1	-2.1	0.0	0.0	0.0	22.1	-3.8	21.0
0133	21.5	-4.0	20.4	-1.6	-2.4	-2.4	-1.6	-2.4	-2.4	0.0	0.0	0.0	22.5	-4.1	21.3
0134	23.0	-3.4	22.1	-1.6	-2.3	-2.3	-1.6	-2.3	-2.3	0.0	0.0	0.0	23.1	-3.4	22.2
0136	19.4	-3.9	18.2	-1.4	-2.2	-2.2	-1.4	-2.2	-2.2	0.0	0.0	0.0	19.4	-3.9	18.2
0140	27.2	-1.7	27.0	-1.6	-2.5	-2.5	3.0	-7.2	-0.7	-50.2	46.8	-21.3	29.3	-1.3	29.4
0145	23.6	-3.1	22.7	-1.6	-2.5	-2.5	9.7	-6.0	4.9	-33.2	7.1	-23.3	26.6	-2.5	26.6
Avg.	23.4	-3.0	22.6	-1.5	-2.3	-2.3	2.0	-3.2	0.1	-16.6	1.4	-11.8	24.4	-2.8	23.9

S1은 23.4% 증가, S2는 3.0% 감소, S3는 22.6% 증가했으며, 수요량은 S1, S2, S3가 각각 1.5%, 2.3%, 2.3% 감소, 공급량은 S1은 2.0% 증가, S2은 3.2% 감소, S3은 0.1% 증가하는 경향이 나타났다. 부족량은 S1은 16.6% 감소, S2는 1.4% 증가, S3는 11.8% 감소하는 경향, 잉여공급량은 S1은 24.4% 증가, S2는 2.8% 감소, S3는

23.9% 증가하는 경향이 나타났다. 미래기간에 대한 연평균 물공급능력 변동률을 분석한 결과, 잠재공급량, 공급량과 잉여공급량은 S1은 증가, S2는 감소, S3가 증가하는 경향으로 미래기간의 강우 변화에 따라 영향을 받았을 것으로 판단되며, 부족량은 다른 요소와 반대로 S1은 감소, S2는 증가, S3가 감소하는 경향이 나타

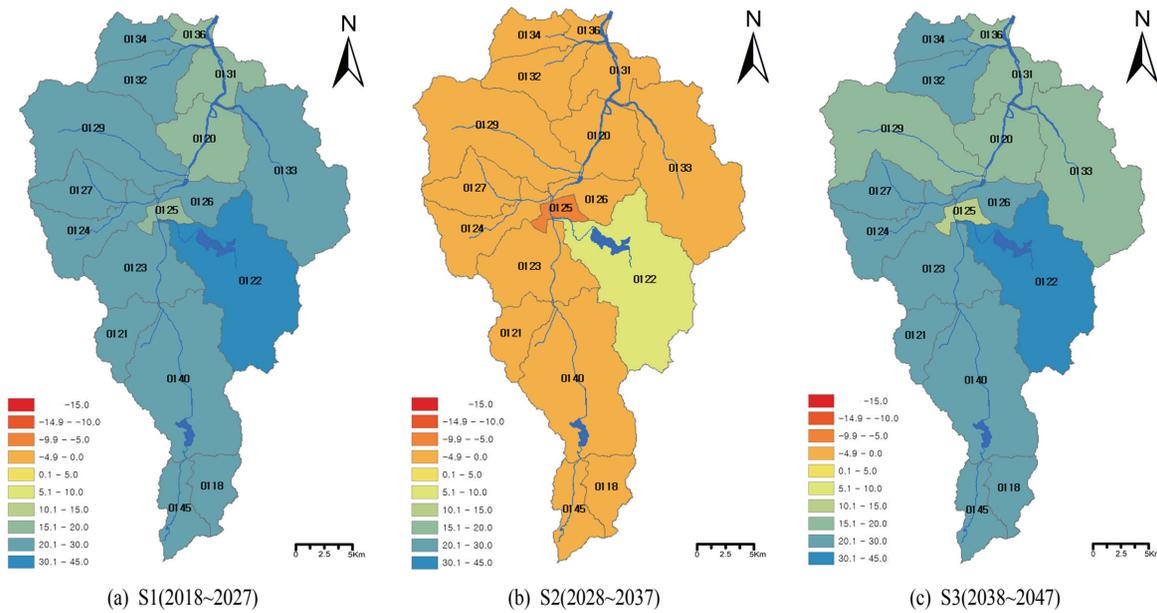


Figure 8. Variation of the potential supply in the future period

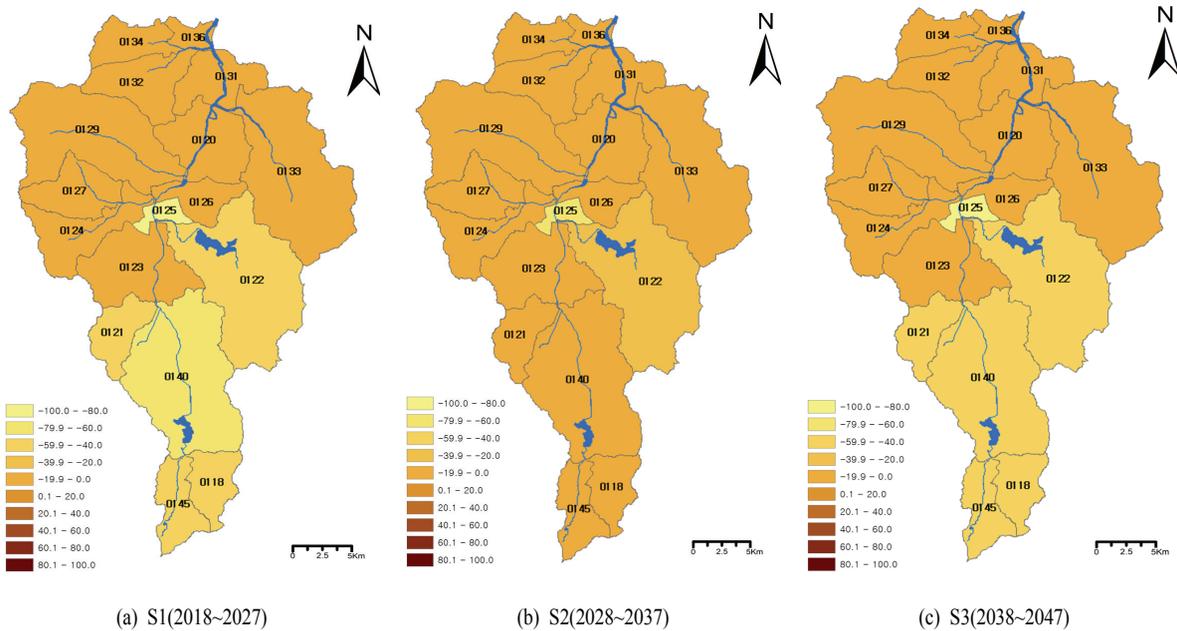


Figure 9. Variation of the deficiency in the future period

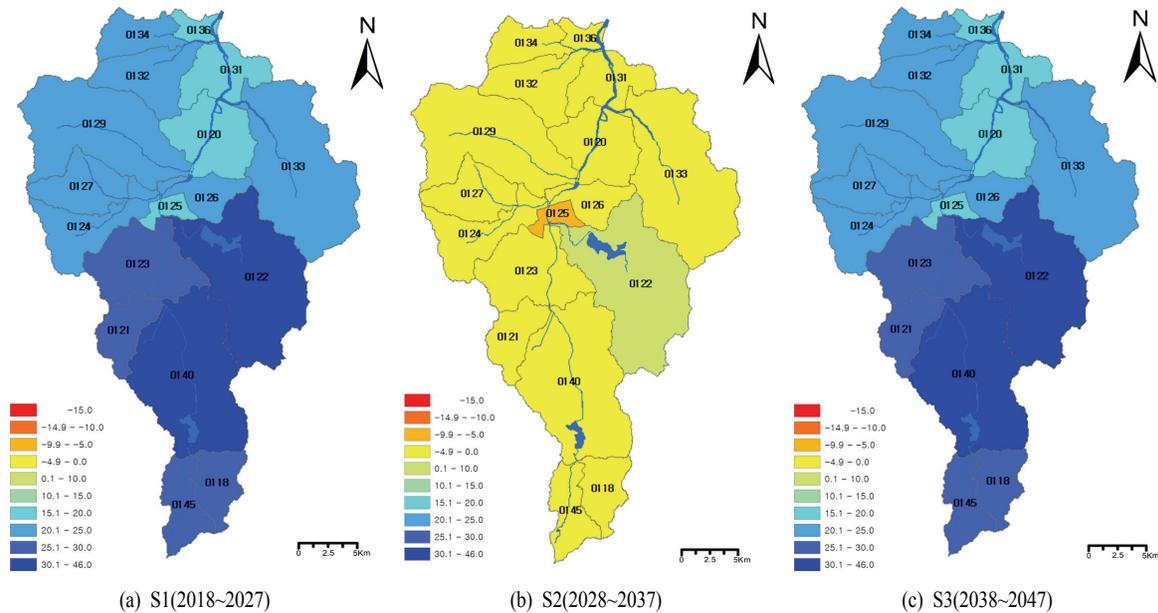


Figure 10. Variation of the surplus supply in the future period

났다. 수요량은 S1, S2, S3가 감소하는 경향으로 미래 경지면적 감소에 영향을 받았을 것으로 판단된다. 대상 유역의 시나리오별 잠재공급량, 부족량, 잉여공급량에 대한 변화율은 <Figure 8~10>에 공간적으로 도시하였으며, 지류가 합류되는 0120, 0125, 0131 하천 단위 유역과 홍양저수지가 위치한 0122 하천 단위유역은 상류 및 지류의 물공급, 하수처리장 방류수, 저수지 유출량의 영향으로 다른 하천 단위유역과 다른 패턴의 경향성이 나온 것으로 판단된다.

IV. 결론

본 연구에서는 삼교천 상류유역의 하천유역별 미래 물공급 변화를 파악하고자 기상청 RCP 8.5 시나리오의 40년(2008~2047년) 기상자료를 수집하고 TANK 모형 기반의 물수지 분석 모형을 이용하여 기준기간 대비 미래기간의 물공급 경향성을 분석하였다. 유역별 정확한 물공급 경향성을 파악하기 위해 삼교천 상류유역의 지형적 특성을 고려하여 17개의 하천유역으로 구분하였으며, 하천유역별 미래기간에 대한 연평균 잠재공급량, 수요량, 공급량, 잉여공급량, 부족량과

기준기간에 대한 경로별 변동률을 분석하였다. 분석한 결과는 다음과 같다.

첫째, 미래기간의 물공급 변동성 평가에 앞서, TANK모형 기반의 물수지 분석 모형의 적용성 평가를 위해 대상 유역 내 위치하고 있는 삼교천교 수위관측소의 관측유량과 비교하여 자료의 정확도 평가를 위한 통계학적 분석을 진행하였다. 분석결과, 결정계수 0.865, 평균절대오차 0.608, 평균제곱오차 1.635, G 값 84.318, 피어슨 상관계수는 0.930으로 나타나 본 모형의 적용성이 높게 평가되었다.

둘째, 미래기간에 대한 강수량과 잠재증발산량에 대한 경로별 변동률을 분석하였으며, 강수량은 기준기간 대비 S1은 13.9% 증가, S2는 1.6% 감소, S3는 15.4% 증가하는 경향이 나타났으며 잠재증발산량은 기준기간 대비 모든 기간에서 0.9%, 5.1%, 3.9% 증가하는 경향이 나타났다.

셋째, TANK 모형 분석을 통해 자기유역에 대한 일 단위 자연유량을 모의하고 연 평균 유량을 산정하였다. 기준기간 대비 S1은 24.4% 증가, S2는 2.9% 감소, S3는 23.9% 증가하는 경향이 나타났는데 이는 강수량의 패턴과 매우 유사한 경향으로 강우량과 유량은 매

우 높은 상관성을 가지고 있는 것으로 판단된다.

마지막으로 대상유역의 17개 하천유역의 수계정보를 이용하여 유역추적을 고려한 물수지분석 모형을 통해 하천의 미래 물공급 능력을 일단위로 전망하였다. 분석결과, 미래기간에 대한 연평균 물공급능력 변동률을 분석한 결과, 잠재공급량, 공급량과 잉여공급량은 S1은 증가, S2는 감소, S3가 증가하는 경향으로 미래기간의 강우변화에 따라 영향을 받았을 것으로 판단되며, 부족량은 다른요소와 반대로 S1은 감소, S2는 증가, S3가 감소하는 경향이 나타났다. 수요량은 S1, S2, S3가 감소하는 경향으로 미래 경지면적 감소에 영향을 받았을 것으로 판단된다.

기후변화에 따른 연구는 신뢰성 있는 자료를 생산하기 위해 지속적으로 발전되고 있으나, 아직까지 여러 가지 요인으로 인해 불확실성을 가지고 있다. 불확실성을 높이기 위해서는 향후 주기적인 자료 관리 및 신뢰성 있는 자료의 확보를 통해 문제를 해결하여 신뢰성을 확보할 필요가 있다. 본 연구를 통해 단일 유역 내에서도 수문학적 특성에 따라 하천유역을 최소화 단위로 구분하게 되면 소유역 각각에 대한 상세적인 판단을 할 수 있으며 해당 결과에 대한 지속적인 자료 생산을 통해 미래의 물공급 경향성 판단에 기여 할 것으로 판단된다. 또한, 향후 본 연구 결과를 바탕으로 신뢰성 있는 자료를 확보하여 장래 하천유역별 물수급 파악 및 물부족량에 대한 추정을 통해 미래 가뭄 발생 시기를 파악하여 기후변화에 의한 물부족 위기에 대처할 수 있을 것을 판단된다.

References

Chungchungnamdo. 2015. Chungnam Water Resources Plan
Dawdy, D. R. and R. W. Lichty. 1968. Methodology of hydrologic model building. In the use of analog and digital computers in hydrology. *International Association of Hydrological Sciences Publisher*. No. 81.
IPCC 5th Assessment Report. 2014.
Jang, Young Su, Park, Jae Rock and Shin, Hyun Suk. 2017.

Precipitation-Streamflow Elasticity analysis of Nakdong River Based on RCP 4.5 Climate Change Scenario. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*. 18(12): 605-612.

Jeon Kyoung Su. 2016. Water Balance Analysis for Water Demand and Supply Assessment of Administrative Districts. Master's Thesis. Chungbuk National University.

Jeung, Se Jin, Kim, Byung Sik, Jun, Kye Won and Choi, Jong In. 2014. Impact Assessment of Climate Change on Long Term Runoff in the Young San River Based on the RCP 8.5 Climate Change Scenarios. *Korean Review of Crisis & Emergency Management*. 10(2): 289-305.

Kim, Han Na, Lee, Eul Rae, Kang, Sin Uk and Choi, Hyun Gu. 2015. Long-term Natural Flow Prediction Based on RCP Climate Change Scenarios in Geumho River Watershed. *Crisisonomy*. 11(5): 151-166.

Korea Meteorological Administration Global Atmosphere Watch. <http://www.climate.go.kr>

Maeng, Seung Jin, Jeong, Ji Hye, Kim, Hyung San, Azam Muhammad and Hwang, Man Ha. 2015. Runoff Analysis Using Precipitation by Climate Change Scenario and Observed Precipitation. *Crisisonomy*. 11(2): 241-259.

Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. 2014. Agricultural and Fishing Village Water Use Rationalization Plan (2015-2024)

Ministry of Land, Infrastructure and Transport. 2011. Water Resources Plan(2011-2020)

Park, Hyo Seon. 2017. Improving the Applicability of Precipitation Forecasting Considering Climate Change in Korea. Ph.D. Dissertation. Incheon National University

Water Resources Management Information System. <http://www.wamis.go.kr>

Korean References Translated from the English

국가수자원관리종합정보시스템. <http://www.wamis.go.kr>.
국토해양부. 2011. 수자원장기종합계획(2011-2020).
기상청 기후정보포털. <http://www.climate.go.kr>.
김한나, 이을래, 강신욱, 최현구. 2015. RCP 기후변화 시나리오를 고려한 금호강 유역의 중장기 자연유출 예측. 한국위기

- 관리논집. 11(5): 151-166.
- 농림축산식품부. 2014. 농어촌용수이용합리화 계획(2015~2024).
맹승진, 정지혜, 김형산, 아잠 무함마드, 황만하. 2015. 기후변화
시나리오에 의한 강수량과 관측강수량을 사용한 유출
분석. 한국위기관리논집. 11(2): 241-259.
- 박효선. 2017. 기후변화를 고려한 우리나라 예측 강수의 적용성
개선 방안. 박사학위논문. 인천대학교.
- 장영수, 박재록, 신현석. 2017. RCP 4.5 기후변화 시나리오 기반
의 낙동강 유역의 강우-유출 탄성도 분석. 한국산학기술
학회논문집. 18(12): 605-612.
- 전경수. 2016. 행정구역별 물수급 평가를 위한 물수지 분석.
석사학위논문. 충북대학교.
- 정세진, 김병식, 전계원, 최종인. 2015. RCP 8.5 기후변화시나리
오를 이용한 기후변화가 영산강유역의 장기유출에 미치
는 영향 평가. 한국위기관리논집. 10(2): 289-305.
- 충청남도. 2015. 충남 수자원종합계획.

Received: Mar. 3, 2019 / Revised: Mar. 20, 2019 / Accepted: Mar. 25, 2019

기후변화에 따른 하천 단위유역의 미래 물공급 경향성 평가

국문초록 최근 전 세계적으로 기후변화로 인해 홍수 및 가뭄의 발생 빈도가 높아지고 있다. 지속적인 가뭄 상황이 반복되면서 기후변화 영향에 따라 미래의 물공급량 변화에 대한 연구와 이를 분석하여 정확성을 높이는 물수지 분석모형이 지속적으로 개발되고 있다. 따라서 본 연구에서는 삼교천 상류유역을 하천 단위유역으로 구분하고 미래 물공급 변화를 파악하기 위해 기상청 RCP 8.5 시나리오의 기상자료를 활용하여 TANK모형 기반의 물수지 분석을 진행하여 미래기간에 대한 물공급 경향성을 파악하였다. 미래기간에 대한 연평균 물공급능력 변동률을 분석한 결과, 기준기간 대비 미래기간의 연평균 잠재공급량, 공급량과 잉여공급량은 S1은 증가, S2는 감소, S3가 증가하는 경향이며, 부족량은 S1은 감소, S2는 증가, S3가 감소하는 경향이 나타났다. 수요량은 S1, S2, S3가 감소하는 경향으로 나타났다. 향후 본 연구 결과를 바탕으로 장래 하천유역별 가뭄에 대한 피해 예측 및 물수급 파악에 활용 될 수 있을 것으로 판단된다.

주제어 : 기후변화, RCP 시나리오, 물공급, 물수지 분석, 하천 단위유역

Profiles **Yong Hyeon Gwon** : He received his B.A., M.A. Degree from Incheon National University, Korea, in 2007 and 2009. He is a Ph.D. course of the Department of Civil & Environmental Engineering at Incheon National University. And He has been attending Hydrology Engineering & Consulting Center, Korea Inc., since 2015. His interesting subject and area of research are hydraulics, hydrology and water management system(hyun9206@naver.com).

Gye Woon Choi : He received his Ph.D. degree from Colorado State University, United States of America in 1991. He is a professor of the Department of Civil & Environmental Engineering at Incheon National University, in which he has taught since 1996. His interesting subject and area of research are water resources, hydraulics, hydrology and environmental engineering(gyewoon@inu.ac.kr).

Byong Joo Lee : He received his B.A. Degree from Changwon National University, Korea, in 2001. He received his M.A., Ph.D. degree from Sejong University, Korea in 2003 and 2010. He has been attending Hydrology Engineering & Consulting Center, Korea Inc., since 2018. His interesting subject and area of research are real time stream flow forecasting (bjlee0704@gmail.com).