



# 수자원 계획 수립을 위한 물 수급 전망 개선 방안 연구

## A Study on Water Supply and Demand Prospects for Water Resources Planning

최시중\* · 강성규\*\* · 이동률\*\*\* · 김종훈\*\*\*\*

Choi, Sijung\* · Kang, Seongkyu\*\* · Lee, Dongryul\*\*\* · Kim, JoongHoon\*\*\*\*

### Abstract

In this study, we suggest various improvement measures for water balance analysis, a basic step in water resources planning. First, we confirmed the assumptions and problem of the water balance method currently being carried out in Korea and suggest five methods to solve these problems. In order to analyze the applicability and the effectiveness of the proposed improvement measures, 10 cases were constructed using two rainfall-runoff model simulation results for the Geum River basin. Water supply and demand networks were constructed reflecting five proposed improvement measures and two simulation results, and conducted a water balance analysis. The results of the analysis of each case show the degree of improvement by comparing and analyzing the observed discharge of Gongju and Seokhwa points which are representative points in the Geum River basin. The applicability of the improvement measures was confirmed through comparison and examination with the past restricted water supply area. More realistic analysis will be possible when establishing water resources planning through the proposed water balance method in this study.

**Key words :** Water Supply and Demand Prospect, Water Resources Planning, Water Balance Analysis

### 요 지

본 연구에서는 수자원계획 수립을 위한 기초단계인 물수지 분석에 대해 다양한 개선 방안을 제시하고자 하였다. 먼저 국내에서 수행되고 있는 물수지 분석 방법에 대한 가정과 문제점을 확인하고 이를 해결할 수 있는 다섯 가지 개선 방안을 제시하였다. 제안된 개선 방안의 적용성 및 효과를 분석하기 위해 금강유역을 대상으로 두 가지 강우-유출 모형 모의 결과를 활용한 총 10개의 case를 구성하고 이를 반영한 물 수급 네트워크를 구축하여 물수지 분석을 수행하였다. 각 case별 분석 결과 중 금강유역의 대표지점인 공주와 석화지점의 관측유량과의 비교·분석을 통해 개선방안의 효과를 제시하였으며 과거 제한급수지역과의 비교·검토를 통해 개선방안의 적용성을 확인하였다. 본 연구에서 제안된 물수지 분석 방법을 통해 향후 수자원 계획 수립 시 보다 현실적이고 타당한 계획 수립이 가능할 것으로 기대된다.

**핵심용어 :** 물 수급 전망, 수자원계획, 물수지 분석

## 1. 서 론

물을 이용하는 여러 사람들에게 적절한 물을 공급하기

위한 수자원 계획의 목적은 물 배분에 대한 효율성, 지속가능성과 형평성 간의 균형을 맞추는 것이다(Lévite and Sally, 2002). 수자원 관리와 계획은 물리적, 생물학적, 사회적,

\*정회원, 한국건설기술연구원 국토보전연구본부 수석연구원(E-mail: sjchoi@kict.re.kr)

Member, Senior researcher, Department of Land, Water and Environment Research, Korea Institute of Civil engineering and building Technology

\*\*교신저자, 정회원, 한국건설기술연구원 국토보전연구본부 수석연구원(Tel: +82-31-910-0384, Fax: +82-31-910-0251, E-mail: skkang@kict.re.kr)

Corresponding Author, Member, Senior researcher, Department of Land, Water and Environment Research, Korea Institute of Civil engineering and building Technology

\*\*\*정회원, 한국건설기술연구원 국토보전연구본부 선임연구위원(E-mail: dryi@kict.re.kr)

Member, Senior Research Fellow, Department of Land, Water and Environment Research, Korea Institute of Civil engineering and building Technology

\*\*\*\*정회원, 고려대학교 건축사회환경공학부 교수(E-mail: jaykim@korea.ac.kr)

Member, Professor, Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University

경제적 요인들의 집합에 의해 영향을 받는다(Loucks, 1995; Zalewski, 2002). 따라서 합리적인 수자원 계획을 수립하기 위해서는 이에 영향을 미치는 다양한 요인들을 종합적으로 고려할 필요가 있다. Lévíte et al. (2003)은 다양한 요인을 고려하여 미래 발생 가능한 시나리오를 개발하고 이 시나리오에 대한 분석을 통해 합리적인 물 배분이 가능하다고 하였으며, Earle and Blacklocke (2008)은 미래 수자원 계획 수립을 위해 새로운 제도를 도입하고 계획 수립 과정에 전문가, 이해관계자 및 기관 간의 수직 소통이 무엇보다 중요하다고 강조하였다.

수자원 계획 수립의 주요 목적 중 하나는 향후 안정적으로 용수를 공급하는 데 있으며 이를 평가하기 위해서는 물 수급 전망을 수행하여야 한다. 물 수급 전망은 분석 대상지역의 미래 수요처에서 필요한 수요량과 공급 가능한 수자원량과의 비교·분석을 통해 물 과부족을 산정하고 이를 해결할 수 있는 합리적인 물 배분 계획을 수립하여야 한다. 따라서 잘못된 물 수급 전망 결과는 미래 수자원 계획에 큰 오류를 불러일으킬 수 있기 때문에 보다 현실적이고 타당한 분석이 요구된다.

국외에서는 자국 실정에 맞는 물 수급 전망 모형을 개발하여 미래 예상되는 물 부족 완화 및 해소를 위한 다양한 대안 및 정책을 수립하고 있으며 국내에서는 몇몇 연구자들에 의해 물 수급 전망 및 유역의 물수지 분석을 위한 연구가 진행된 바 있다(Hwang et al., 2007; Choi et al., 2011; Rim et al., 2011; Kim et al., 2018). 국내의 대표적인 물 수급 전망 관련 사례는 MLTM (2011)의 수자원장기종합계획 중 물 이용계획 부분이며, 향후 물 수급 전망의 개선사항도 함께 제시하였다.

이와 같이 물 수급 전망은 수자원 계획 수립을 위해 중요한 과정임에도 불구하고 관련 연구가 활발히 진행되지 못하고 있는 실정이다. 이는 분석관련 기초자료 및 분석절차가 확실히 정립되어 있지 않으며 분석 결과를 검증할 수 있는 방법도 한정되어 있기 때문이라 할 수 있다.

본 연구에서는 국내에서 제시된 기존 물 수급 전망 방법의 가정 및 문제점을 살펴보고 이 문제점들을 해결할 수 있는 물 수급 전망 개선방안을 제안하였다. 제안된 개선방안에 대한 적용성 및 효과를 금강유역을 대상으로 분석함으로써 향후 수자원 계획 수립을 위한 물 수급 전망 방법론을 제시하였다.

## 2. 물 수지 분석의 가정 및 문제점

물 수급 전망을 위해서 우선적으로 물수지 분석을 수행하여야 하며 물수지 분석은 대상유역 및 하도구간에 대해 용도별 수요처에서 요구하는 수요와 공급 가능량을 특정 시간에 비교 및 검토를 통해 물 과부족을 평가하고, 물 부족이 예상될 경우 이를 해소할 수 있는 대안을 제시하고 그 효과를

평가하기 위한 기초 분석 단계라 할 수 있다.

MLTM (2011)은 국내 물수지 분석 방법에 대한 개선 사항을 제시하였다. 첫 번째, 기후변화, 사회/경제적 변화 등과 같은 미래의 다양한 시나리오를 분석하여야 한다. 두 번째, 장래 수요량 증가에 맞춰 기존 공급시설이 증가한다는 가정에는 문제가 있다. 세 번째 지역공급원에 대한 가정은 물 부족량 제시에 크나큰 오류를 범할 수 있다(Fig 1). 마지막으로 수요처에 대한 일률적인 회귀를 가정은 지역 물이용 체계 및 지형적인 특성 등의 영향이 반영되지 않는다. 이와 같이 기존 물수지 분석에는 여러 문제점을 가지고 있어 이를 해결할 수 있는 새로운 방법이 필요한 실정이다.

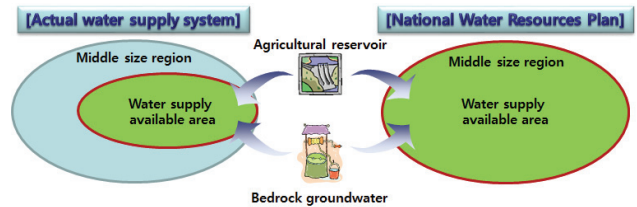


Fig. 1. Assumption of Water Supply Available Area (MLTM, 2011)

## 3. 물수지 분석 개선 방안 제시

### 3.1 수요처 구성 공간단위 조정 방안

생활 및 공업용수 수요처는 행정구역을 공간단위로 농업용수 수요처는 수문학적 유역을 공간단위로 물수지 분석을 수행할 필요가 있다. 생활 및 공업용수의 경우 행정구역별로 용수수요 추정이 이루어지며 수도시설이 행정구역별로 계획되기 때문이며, 농업용수의 수요와 공급은 주로 유역 내에서 이루어지기 때문에 이와 같은 공간단위 구성이 분석에 합리적이라 할 수 있다. 또한 국내 광역상수도 및 공업용수도의 경우 행정구역 단위로 용수를 공급하고 있어 이를 유역단위 수요처 공급으로 변환할 경우 오류가 발생할 수 있다.

### 3.2 수원 및 지역공급원 고려 방안

현실적인 물 수급 네트워크를 반영한 물수지 분석을 수행하여야 하며, 이를 위해 취수원과 취수지점을 정확히 파악하여야 한다. 기존 물수지 분석 방법은 수요처가 포함되어 있는 중권역의 하천으로부터 용수를 공급받다는 가정 하에 이루어지고 있으나 현실에는 타 유역으로부터 용수를 공급받는 경우가 많기 때문에 이를 반영할 필요가 있다. 또한 기존의 방법에서는 물수지 분석을 수행한 후 지역공급원인 농업용저수지와 암반지하수를 물 부족 해소를 위해 전량 공급할 수 있다는 가정을 통해 물 부족을 산정하게 된다. 현실에서는 하천, 댐뿐만 아니라 지역공급원으로부터 동시에 물을 공급받기 때문에 이를 반영할 필요가 있으며 기존 방법을 통해 산정된 결과는 지역공급원을 전량 공급한다는 가정에 의해 실질적인 물 부족량보다 적게 나타날 수 있다.

### 3.3 회귀율 조정 방안

수요처로부터의 회귀수량은 하류의 가용수량으로 작용하므로 물수지 분석에 중요한 공급원이나 기존 물수지 분석에서는 생활 및 농업용수에 대해 65%의 일률적인 회귀율을 적용하고 있어 지역의 물이용 체계와 지형적인 특성 등의 영향을 반영하지 못하고 있다. 회귀수량에 대한 현실적인 반영을 위해 국내에서 제공되는 지역별 하수처리장과 폐수처리시설 자료를 활용함으로써 수요처별 회귀율을 산정할 수 있으며 이를 반영함으로써 보다 합리적인 물수지 분석이 가능하다. 반면에 농업용수의 경우 기상현황, 토양, 작물재배방식 등 여러 요인에 의해 회귀수량에 큰 차이를 보인다. 여러 연구자들이 농업용수 회귀율에 대한 실측조사를 수행한 바 있으나 분석 결과 지역별로 38.1~85.7%로 큰 차이를 보이고 있다(Chung and Son, 2001; Kim et al., 2002). 따라서 조사되지 않은 지역에 대한 회귀율을 임의로 설정할 수 없기 때문에 기존 물수지 분석 방법에서 농업용수 수요처에 적용한 값을 동일하게 사용할 수밖에 없다.

### 3.4 기타 개선 방안

현재 구축되어 있는 수자원시스템을 통해 향후 일어날 수 있는 다양한 미래 상황에 안정적인 용수공급의 어려움을 평가하고 이를 해결할 수 있는 대안 및 정책 마련을 위해 수자원 계획이 수립되고 있다. 따라서 수자원 계획 수립을 위한 물 수급 전망, 즉 물수지 분석에서는 현재의 수자원시스템을 그대로 반영하여 수행되어야 함에도 불구하고 기존 분석에서는 수요량 증가에 따라 공급시설이 증가한다는 가정을 통해 수행되고 있다는 문제점이 있다. 또 다른 개선방안으로는 비관개전에 대한 용수공급을 물수지 분석에 반영할 필요가 있다는 것이다. 기존 방법은 실제보다 과다한 물 공급 이유로 비관개전을 물수지 분석에 제외하고 있으나 공급시설이 없는 비관개전일지라도 작물재배를 위해 유효강우를 제외한 수요량이 공급되어야 한다. 따라서 비관개전에 대한 수요량을 물수지 분석에 포함하는 것이 타당하다.

## 4. 개선방안별 물 수급 네트워크 구축

기존의 물수지 분석 방법의 가정 및 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서 제안된 방안의 적용성과 개선효과를 분석하기 위해 금강유역을 대상지역로 선정하였다. 분석기간은 자료의 가용성을 토대로 2005~2014년을 설정하였으며 반순별 물수지 분석을 수행하였다. 분석 기간별 수요처의 수효량은 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS)에서 제공되는 용도별(생활용수, 농업용수 및 농업용수), 유역별 및 행정구역별 자료를 활용하여 물 수급 네트워크를 구축하였다. 하천자연유출량의 경우 강우-유출 모형 간의 결과 차이를 분석하기 위해 MOLIT (2016)에서 TANK 모형을 통해 산정한 자연유출량 자료와 함께 수질오염총량관리를 위해 환경부

에서 사용하고 있는 Hydrologic Simulation Program-Fortran (HSPF) 분석 결과를 제공받아 활용하였다.

본 연구에서 활용된 두 강우-유출 모형의 활용성을 평가하기 위해 용담댐 실측유입량 자료와 모형의 모의결과와 비교한 결과를 Fig. 2에 제시하였다. 또한 평균, 표준편차, 상관계수, Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE), Ration of volume (ROV) 및 Root mean square deviation (RMSE)를 산정하여 비교한 결과를 Table 1에 나타내었다.

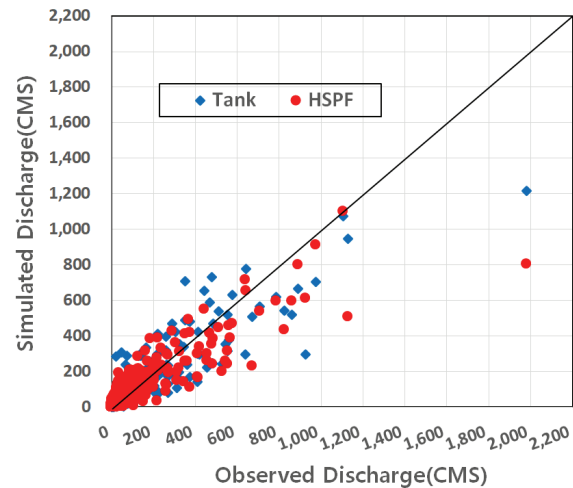


Fig. 2. Comparison of Observed and Simulated Discharge (Yongdam Dam)

Table 1. Statistics Comparison of Observed and Simulated Discharge (Yongdam Dam)

Statistics		Model	
		TANK	HSPF
Mean (m <sup>3</sup> /s)	obs	20.88	
	sim	21.53	23.27
Std (m <sup>3</sup> /s)	obs	72.73	
	sim	62.06	57.22
NSE		0.84	0.78
ROV		1.03	1.14
RMSE		29.40	34.17
R <sup>2</sup>		0.92	0.89

NSE는 관측 값의 표본분산에 대한 오차분산의 상대적인 크기를, ROV는 모의유량과 관측유량의 체적 크기를 비교하는 통계치, RMSE는 모의를 통해 나타나는 오차를 제공하여 평균한 값의 제공근을 의미한다. 상관계수는 모의유량과 관측유량 사이의 상관관계 정도를 나타내는 통계치이며 NSE, ROV 및 상관계수의 최적 값은 1이다. Eq. (1)은 NSE를, Eq. (2)는 ROV, Eq. (3)은 RMSE를 산정하는 식을 나타낸다.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^N (q_t^{obs} - q_t^{sim})^2}{\sum_{t=1}^N (q_t^{obs} - q_{mean}^{sim})^2} \quad (1)$$

$$ROV = \frac{\sum_{t=1}^N q_t^{sim}}{\sum_{t=1}^N q_t^{obs}} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (q_t^{obs} - q_t^{sim})^2} \quad (3)$$

여기서,  $q_t^{obs}$  는 관측유량을  $q_t^{sim}$  은 모의유량을 의미하며,  $q_{mean}^{obs}$  는 관측유량 평균값을 나타낸다. 분석 결과 두 모형 모의 결과가 관측유량을 잘 재현하고 있어 이를 활용한 물수지 분석에는 큰 무리가 없다고 판단되었다.

제안된 물수지 분석 개선 방안의 적용성 및 효과를 분석하기 위한 본 연구의 물 수급 네트워크 구축 방법은 다음과 같다.

- (1) 기존 물수지 분석(Case 1): MLTM (2011)의 물수지 분석 방법을 그대로 반영한 방법으로 중권역별로 수요처를 구성하고 지역공급원은 물수지 분석 후 물 부족 해소를 위해 고려하였다. 회귀율에 대해서는 생활 및 공업용수는 65%를, 농업용수는 순물소모량 개념으로 수요량의 65%만을 공급하는 것으로 가정하였다.
- (2) 수요처 구성 공간단위 조정 방안(Case 2): 기존 물수지 분석 방법과 동일하나 기존 물수지 분석에서는 중권역별로 수요처를 구성한데 반해 생활 및 공업용수의 경우는 행정구역별로, 농업용수의 경우 중권역별로 수요처를 구성하였다는 점에서 차이가 있다.
- (3) 회귀율 조정 방안(Case 3): 중권역별로 구성된 각 수요처에 대한 회귀율을 조사·분석하여 반영하였다. 생활 및 공업용수의 경우 하수처리시설 및 폐수처리시설로의 유입과 방류량을 분석하여 생활 및 공업용수 수요처의 회귀율을 지역의 물이용 체계에 맞게 산정한 후 이를 물 수급 네트워크에 적용하였다. 회귀율을 제외한 다른 분석 방법은 기존 물수지 분석과 동일하다.
- (4) 수원 및 지역공급원 고려 방안(Case 4): 각 수요처에 대한 수원(하천, 댐, 지하수 등)을 조사하여 물 수급 네트워크에 반영하였으며 지역공급원인 농업용저수지와 지하수를 물수지 분석 후 고려하는 것이 아니라 수원으로 고려하여 물 수급 네트워크를 구축하였다. 이를 제외한 다른 분석 방법은 중권역별 수요처 생성, 일괄적인 회귀율 적용 등과 같이 기존 물수지 분석과 동일하다.
- (5) 통합 개선 방안(Case 5): 본 연구를 통해 제안된 모든 물수지 분석 개선 방안을 반영하였다. 수요처 구성 공간단위 조정, 회귀율 조정, 수원 및 지역공급원 고려 뿐만 아니라 현재 수자원시스템만을 반영하였고, 비관 개전에도 용수를 공급하는 물 수급 네트워크를 구축하였다.

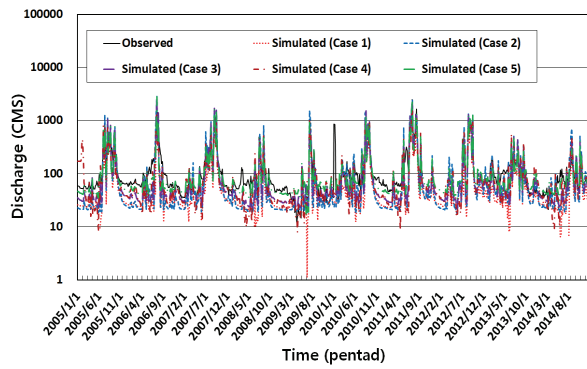
물수지 분석은 다양한 요인을 종합적으로 고려하여 수행되어야 하므로 컴퓨터 프로그램을 활용하고 있다. 국내·외에는 많은 물수지 분석 모형이 개발되어 적용되고 있으나 본 연구에서는 MLTM (2011)에서 물 수급 전망 모형으로 활용된 바 있으며 여러 연구자들에 의해 물수지 분석에 적용된 K-WEAP (Korea-Water Evaluation And Planning system)을 이용하였다(Kim et al., 2010; Choi et al., 2012; Moon et al., 2013).

## 5. 물수지 분석 개선방안 적용성 및 효과

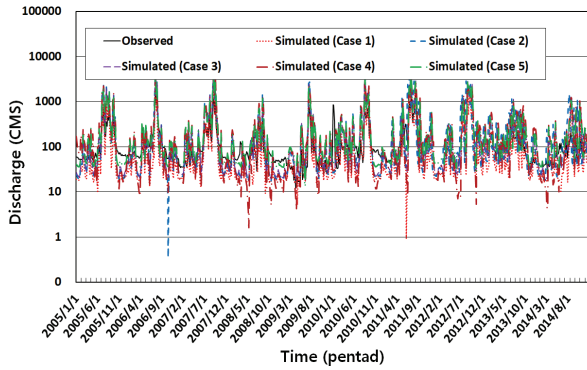
대상유역인 금강유역에 대해 구축된 다섯 가지 case와 두 개의 강우-유출 모형의 모의 결과를 반영하여 총 10개의 case에 대한 물수지 분석을 수행하였다. 분석 결과인 수요처별 물 과부족량을 통해 물수지 분석 방법을 검증하기는 어렵다. 지역에서 발생한 용도별 물 부족은 그 시기와 양을 정확히 파악하기 힘들기 때문에 관련 자료가 조사 및 제공되지 못한다. 다만 여러 보도 자료를 통해 제한급수지역에 대한 정보만이 제공됨에 따라 본 연구에서는 두 가지 방법을 통해 적용성 및 효과를 간접적으로 분석하였다. 물수지 분석을 통해 모의된 유량과 관측유량과의 비교를 통한 방법과 보도된 제한급수지역과 모의된 수요처별 물 부족 발생여부와 비교하는 방법을 선택하였다.

먼저 10개의 case에 대한 물수지 분석을 수행한 후 금강유역의 대표지점인 공주지점과 석화지점의 2005~2014년 관측유량과 비교·분석하였다. Fig. 3은 공주지점에 대한 case별 모의유량과 관측유량을 비교한 결과이며, Fig. 4는 보다 결과 차이를 쉽게 파악하기 위해 월평균 유출용적을 나타낸 것이다. 석화지점에 대해서는 Figs. 5와 6에 결과를 도시하였다. 보다 정량적인 분석을 위해 여섯 가지의 통계치를 비교·분석하였다. 평균, 표준편차, NSE, ROV, RMSE 및 상관계수를 산정하여 결과를 검토하였으며 공주지점에 대한 case별 결과는 Table 2에 제시하였고, 석화지점에 대한 case별 결과는 Table 3에 나타내었다.

분석 결과 공주지점과 석화지점의 관측유량과 case별 물수지 분석 결과 중 지점별 모의유량이 유사한 패턴을 나타내고 있는 것을 확인할 수 있다. 몇몇 case에서는 저수량 부분에 있어서 관측유량보다 적게 모의되었으며 HSPF 모의 결과를 활용한 물수지 분석 결과는 홍수기에 관측유량보다 훨씬 큰 결과가 도출되었으나 대체적으로 관측유량과 case별 모의유량이 비슷하게 나타났다. 강우-유출 모형에 대해서는 HSPF보다 TANK를 통해 모의된 자연유출량을 활용한 결과가 실측유량에 더 근사한 결과를 나타냈다. 보다 자세한 결과는 Table을 통해 확인할 수 있으며 기존의 물수지 분석 결과보다 개선방안을 통해 분석된 결과가 관측유량을 잘 재현하였다. 기존 물수지 분석을 통한 평균과 표준편차는 관측유량과 공주지점에서는 10~32.6 m/s, 24.09~83.2 m/s

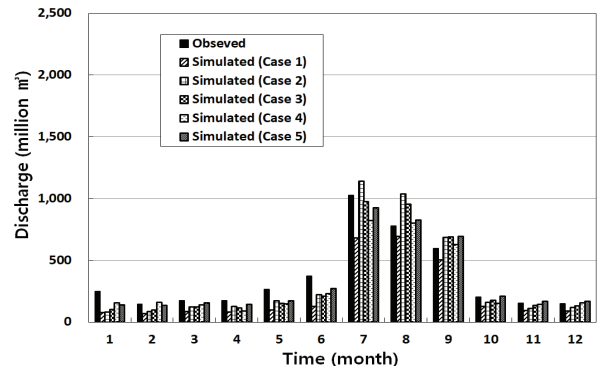


(a) TANK

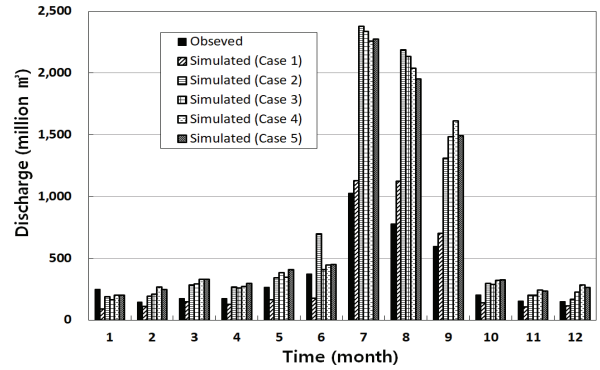


(b) HSPF

Fig. 3. Verification Results of Water Budget Analysis by Case (Gongju)

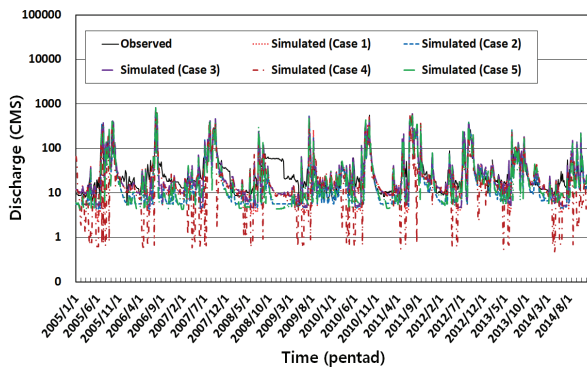


(a) TANK

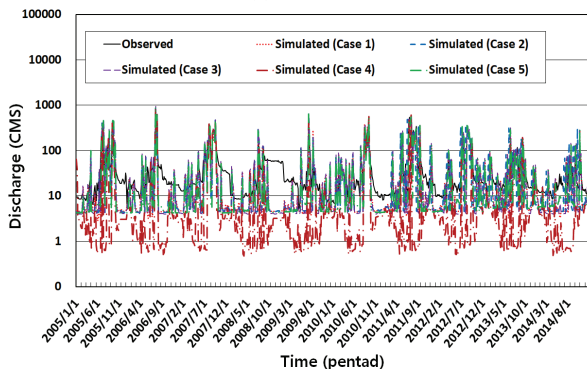


(b) HSPF

Fig. 4. Monthly Average Discharge by Case (Gongju)

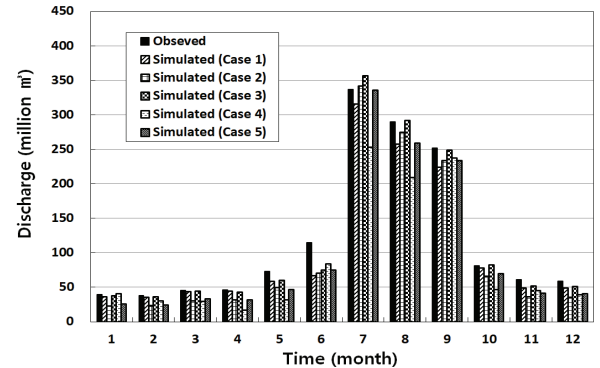


(a) TANK

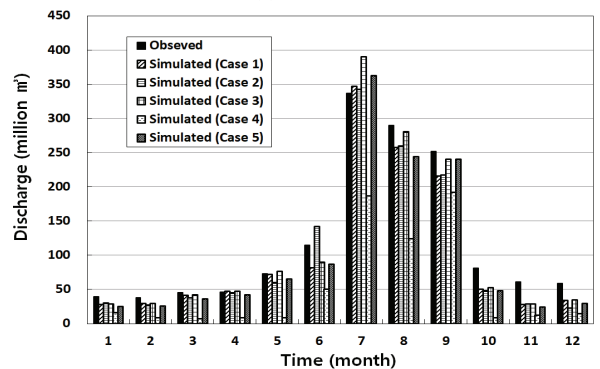


(b) HSPF

Fig. 5. Verification Results of Water Budget Analysis by Case (Seokhwa)



(a) TANK



(b) HSPF

Fig. 6. Monthly Average Discharge by Case (Seokhwa)

**Table 2.** Statistics Comparison of Observed and Simulated Discharge by Case and Run-off Model (Gongju)

Statistics		TANK					HSPF				
		Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
Mean (m <sup>3</sup> /s)	obs	137.13					137.13				
	sim	104.56	125.91	119.63	110.92	124.28	127.15	262.31	258.19	265.12	260.51
Std (m <sup>3</sup> /s)	obs	220.51					220.51				
	sim	196.42	278.27	255.55	179.88	235.99	303.74	564.51	549.92	508.92	525.49
NSE		0.72	0.68	0.77	0.76	0.83	0.51	-3.21	-1.98	-1.55	-1.61
ROV		1.63	1.09	1.15	1.24	1.10	1.08	0.52	0.53	0.52	0.53
RMSE		116.73	124.58	104.84	108.54	90.49	154.41	452.00	380.42	352.06	355.76
R <sup>2</sup>		0.88	0.90	0.92	0.88	0.93	0.87	0.72	0.91	0.89	0.92

**Table 3.** Statistics Comparison of Observed and Simulated Discharge by Case and Run-off Model (Seokhwa)

Statistics		TANK					HSPF				
		Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
Mean (m <sup>3</sup> /s)	obs	45.34					45.34				
	sim	39.63	38.28	43.42	35.57	38.31	38.86	39.78	42.23	20.16	38.51
Std (m <sup>3</sup> /s)	obs	79.20					79.20				
	sim	74.37	82.76	83.35	75.18	83.98	84.91	93.09	94.66	75.57	93.15
NSE		0.79	0.80	0.81	0.81	0.82	0.71	0.23	0.68	0.63	0.74
ROV		1.14	1.18	1.04	1.35	1.18	1.17	1.14	1.07	2.25	1.18
RMSE		35.97	34.59	34.16	34.39	33.47	42.61	69.39	44.57	48.45	40.51
R <sup>2</sup>		0.89	0.91	0.91	0.91	0.92	0.87	0.69	0.88	0.86	0.91

의 편차를, 석화지점은 4.9~5.7 m<sup>3</sup>/s, 4.8~5.7 m<sup>3</sup>/s의 편차를 나타내었다. 개선방안별 모의유량은 TANK 모의결과를 활용할 경우 공주지점에서는 평균에 대해서는 11.2~26.2 m<sup>3</sup>/s의 편차를, 표준편차는 15.5~57.8 m<sup>3</sup>/s의 편차를 보였으며 석화지점은 1.9~9.8 m<sup>3</sup>/s와 3.6~4.8 m<sup>3</sup>/s의 편차로 분석되었다. HSPF 모의결과를 적용할 경우 공주지점은 125.1~128.0 m<sup>3</sup>/s 및 288.4~344.0 m<sup>3</sup>/s의 편차를, 석화지점에 대해서는 3.1~25.2 m<sup>3</sup>/s와 3.6~15.5 m<sup>3</sup>/s의 편차를 나타내었다. 다른 통계치를 통한 결과에서도 기존 물수지 분석 방법보다 개선방안을 통한 모의결과가 더 좋은 결과를 나타내었으며 상관계수를 살펴보면 기존 물수지 분석 방법은 공주지점에서 0.88, 0.87을 석화지점은 0.89, 0.87로 분석된데 반해 개선방안을 통한 결과는 case별 차이를 보이고 있으나 공주지점에서 TANK (0.88~0.93), HSPF (0.72~0.92), 석화지점은 TANK (0.91~0.92), HSPF (0.69~0.9)로 분석되었다. 분석결과를 토대로 어떤 개선방안이 더 효과가 있다고 단정짓기는 어렵지만 case 5의 경우 모든 통계치를 비교해 보았을 때 가장 관측유량을 잘 재현하는 것을 확인할 수 있었으며 강우-유출 모형에 따라 결과가 크게 달라질 수 있다는 것을 확인하였다. 본 연구에서 제시한 결과는 어떤 강우-유출 모형의 결과를 활용하는 것이 물수지 분석의 정확성을 더

높일 수 있다는 것을 보여주는 것이 아니라 모형에 따라 결과의 차이가 발생한다는 것을 확인한다는 차원에서 분석을 수행하였다. 어떤 강우-유출 모형을 사용하더라도 모형의 매개변수 보정 및 검증의 정확성을 높일 수 있다면 더 좋은 결과를 도출할 수도 있을 것이라 판단된다.

물수지 분석에 있어 기존 방법과는 달리 생활 및 공업용수에 대한 수요처는 행정구역별로 구성하고 농업용수는 유역별로 구성하며, 일률적인 회귀를 적용이 아닌 지역 특성을 고려한 회귀율을 적용하고, 수요처에 대한 수원을 파악하여 분석에 반영하며 지역공급원을 물수지 분석 시에 포함시킨다면 보다 현실적이고 합리적인 수자원 계획 수립을 위한 물수지 분석이 가능하다고 할 수 있다.

두 번째 방법으로 과거 제한급수지역과 본 연구에서 제안한 방법별 물 부족 발생지역 간의 비교를 수행하였으며 결과를 Table 4에 나타내었다. Case 1, 2, 3은 생활 및 공업용수에 대한 물 부족이 익산시를 제외하고는 발생하지 않는 것으로 분석되었다. 물수지 분석을 수행한 후 지역공급원으로 지하수를 전량 공급할 수 있다는 가정 하에 분석하였기 때문에 이와 같은 결과가 도출되었다고 할 수 있으며 case 4와 5의 경우 과거 제한급수지역과 비슷한 지역에서 물 부족이 발생하는 것으로 나타났다. 다만 case 4의 경우 행정

**Table 4.** Past Restricted Water Supply Areas and Water Shortage Areas by Case (2008~2009)

Model	Case	Area
Restricted water supply area		Anseong, Sangju, Gunsan, Gimje, Muju, Buan, Wanju, Iksan, Jangsu, Jeongeup, Jinan, Gongju, Seochon, Yesan, Taean, Goesan, Okcheon, Eumseong
TANK	Case 1	-
	Case 2	-
	Case 3	-
	Case 4	Muju, Jangsu, Jinan, Sangju, Yeongdong, Okcheon, Daejeon, Geumsan, Boeun, Cheogwon, Nonsan, Yeongi, Cheongju, Gongju, Buyeo, Wanju, Iksan, Dangjin, Seosan, Gunsan, Boryeong, Seochon, Hongseong
	Case 5	Muju, Buan, Wanju, Jangsu, Gongju, Yesan, Okcheon, Gochang, Boeun, Asan, Jeonju, Cheonan
HSPF	Case 1	-
	Case 2	-
	Case 3	Iksan
	Case 4	Muju, Jangsu, Jinan, Sangju, Yeongdong, Okcheon, Daejeon, Geumsan, Boeun, Cheogwon, Nonsan, Yeongi, Cheongju, Gongju, Buyeo, Wanju, Iksan, Dangjin, Seosan, Gunsan, Boryeong, Seochon, Hongseong
	Case 5	Gimje, Muju, Buan, Wanju, Jangsu, Gongju, Yesan, Okcheon, Gochang, Boeun, Asan, Jeonju, Cheonan, Dangjin, Buyeo

구역별로 분석한 것이 아니라 생활 및 농업용수에 대한 수요처를 중권역별로 구성하여 분석하고 물 부족이 발생한 중권역에 포함되어 있는 모든 행정구역을 나타내었기 때문에 보다 많은 지역에서 물 부족이 예상된 것으로 판단된다. 하지만 case 4와 5 즉 지역공급원을 물수지 분석에 포함할 경우 물 부족 예상지역과 제한급수지역이 비슷하게 나타남으로써 보다 현실적인 물수지 분석이 가능하다고 할 수 있겠다.

## 6. 결론

수자원 계획 수립의 목적은 향후 안정적인 용수공급을 위해 현재 수자원시스템의 문제점을 파악하고 이에 대한 대책을 마련하는데 있다. 수자원 계획 수립의 기초과정인 물수지 분석은 매우 중요한 과정임에도 불구하고 아직까지 이에 대한 많은 연구가 진행되지 못하고 있는 실정이며 국내 물수지 분석 방법은 여러 가정과 함께 분석 시 문제점을 가지고 있다. 본 연구에서는 국내 기존 물수지 분석의 문제점을 파악하고 이를 해결할 수 있는 몇 가지 개선 방안을 제시하였다. 수요처 구성 조정 방안, 수원 및 지역공급원 고려 방안, 회귀율 조정 방안 및 기타 개선방안이 이에 해당되며 각 개선방안별 적용성 및 효과를 분석하여 제시하였다.

금강유역을 대상으로 강우-유출 모형인 TANK와 HSPF 모의 결과를 활용하고 각 개선방안별 물 수급 네트워크를 구축하여 총 10개의 case에 대한 분석을 수행하였다. 물수지 분석의 결과를 검증하기 위해 공주지점과 석화지점의 관측

유량과 각 case별 모의유량을 비교·분석함으로써 기존 물수지 분석 방법보다 물수지 분석 개선방안이 관측유량을 보다 잘 재현할 수 있는 것으로 확인하였다. 또한 과거 제한급수지역과 각 case별 물 부족 지역과의 비교를 통해 물수지 분석 후 지역공급원을 고려하는 것보다 물수지 분석 시 지역공급원을 수원으로 고려할 경우 보다 현실적인 분석이 가능하다는 것을 제시하였다. 하지만 본 연구에서 제안한 개선방안의 적용은 금강유역이므로 향후 타 유역에 대한 검증절차가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구에서 제시한 물수지 분석 개선방안을 통해 보다 현실적이고 합리적인 분석이 가능할 것으로 판단되며 이는 더 나아가 물 수급 전망 및 수자원 계획 수립에 있어 오류를 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었습니다(과제번호 18AWMP-B083066-05).

## References

- Choi, D. G., Yang, J. S., Chung, G. H., and Kim, S. D. (2011). A conceptual soil water model of catchment water balance: Which hydrologic components are needed to calibrate the model? *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 31, No. 3B, pp.

- 211-220.
- Choi, S.J., Kang, S.K., Moon, J.W., Seo, J.S., and Lee, D.R. (2012). Evaluation of regional water resources based on scenario analysis. *The Korea Spatial Planning Review*, Vol. 74, pp. 283-297.
- Chung, S.O., and Son, S.H. (2001). Return flow analysis of paddy field by water balance method. *Magazine of the Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol. 43, No. 2, pp. 59-68.
- Earle, R., and Blacklocke, S. (2008). Master plan for water framework directive activities in Ireland leading to River Basin Management Plans. *Desalination*, Vol. 226, pp. 134-142.
- Hwang, J.S., Jeong, D.I., Lee, J.K., and Kim, Y.O. (2007). Application of monthly water balance models for the climate change impact assessment. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 40, No. 2, pp. 147-158.
- Kim, C.G., Cho, J.P., and Kim, N.W. (2018). Assessing hydrologic impact of climate change in Jeju Island using multiple GCMs and watershed modeling. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 51, No. 1, pp. 11-18.
- Kim, S.J., Kim, B.S., Jun, H.D., and Kim, H.S. (2010). The evaluation of climate change impacts on the water scarcity of the Han River basin in South Korea using high resolution RCM data. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 43, No. 3, pp. 295-308.
- Kim, T.C., Kim, B.C., and Lee, S.H. (2002). Debate on the irrigation water saving and the conservation of eco-system. *Proceedings of 2014 Annual Conference, Korean Society of Agricultural Engineers*, pp. 373-376.
- Lévite, H., and Sally, H. (2002). Linkages between productivity and equitable allocation of water. *Physics and Chemistry of the Earth*, Vol. 27, pp. 825-830.
- Lévite, H., Sally, H., and Cour, J. (2003). Testing water demand management scenarios in water-stressed basin in South Africa: Application of the WEAP model. *Physics and Chemistry of the Earth*, Vol. 28, pp. 779-786.
- Loucks, D.P. (1995). Developing and implementing decision support systems: A critique and a challenge. *Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 31, No. 4, pp. 571-582.
- MLTM (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs). (2011). *National water resources plan (2011~2020)*.
- MOLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transport). (2016). *National Water Resources Plan (2011~2020)* (3rd rev.).
- Moon, J.W., Lee, D.R., and Choi, S.J. (2013). Water shortage estimation by drought frequencies in national water plan. *The Korea Spatial Planning Review*, Vol. 78, pp. 105-120.
- Rim, C.S., Lim, G.H., and Yoon, S.E. (2011). A study on the hydroclimatic effects on the estimation of annual actual evapotranspiration using watershed water balance. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 44, No. 12, pp. 915-928.
- Zalewski, M. (2002). Ecohydrology: The use of ecological and hydrological processes for sustainable management of water resources. *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 47, No. 5, pp. 823-832.
- <http://www.wamis.go.kr>, Searched at September 12, 2018

---

<b>Received</b>	October 10, 2018
<b>Revised</b>	October 10, 2018
<b>Accepted</b>	October 16, 2018