



## A study on estimating the quick return flow from irrigation canal of agricultural water using watershed model

Lee, Jiwan<sup>a</sup> · Jung, Chunggil<sup>b\*</sup> · Kim, Daye<sup>c</sup> · Maeng, Seungjin<sup>d</sup> · Jeong, Hyunsik<sup>e</sup> · Jo, Youngsik<sup>f</sup> · Kim, Seongjoon<sup>g</sup>

<sup>a</sup>Research Professor, Division of Civil and Environmental Engineering, College of Engineering, Konkuk University, Seoul, Korea

<sup>b</sup>Research Officer, Forecast and Control Division, Yeongsan River Flood Control Office, Gwangju, Korea

<sup>c</sup>Ph.D. Candidate, Department of Agricultural & Rural Engineering, College of Agriculture and Life Sciences, Chungbuk National University, Cheongju, Korea

<sup>d</sup>Professor, Department of Agricultural & Rural Engineering, College of Agriculture and Life Sciences, Chungbuk National University, Cheongju, Korea

<sup>e</sup>Senior Manager, Water Resources Management Research & Planning Department Integrated Water Management Planning Team, K-water, Daejeon, Korea

<sup>f</sup>General Director, Human Resources Development Institute, K-water, Daejeon, Korea

<sup>g</sup>Professor, Division of Civil and Environmental Engineering, College of Engineering, Konkuk University, Seoul, Korea

Paper number: 22-012

Received: 17 February 2022; Revised: 1 April 2022; Accepted: 1 April 2022

### Abstract

In this study, we tried to present a method for calculating the amount of regression using a watershed modeling method that can simulate the hydrological mechanism of water balance analysis and agricultural water based on watershed unit. Using the soil water assessment tool (SWAT), a watershed water balance analysis was conducted considering the simulation of paddy fields for the Manbongcheon Standard Basin (97.34 km<sup>2</sup>), which is a representative agricultural area of the Yeongsan river basin. Before evaluating return flow, the SWAT was calibrated and validated using the daily streamflow observation data at Naju streamflow gauge station (NJ). The coefficient of determination (R<sup>2</sup>), Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE), Root-Mean-Square Error (RMSE) of NJ were 0.73, 0.70, 0.64 mm/day. Based on the calibration results for three years (2015-2017), the quick return flow and the return rate compared to the water supply amount for the irrigation period (April 1 to September 30) were calculated, and the average return flow rate was 53.4%. The proposed method of this study may be used as foundation data to optimal agricultural water supply plan for rational watershed management.

**Keywords:** Agricultural water return flow, Quick return flow from irrigation canal, Watershed water management, SWAT

## 유역모델을 이용한 농업용수 신속회귀수량 산정 연구

이지완<sup>a</sup> · 정충길<sup>b\*</sup> · 김다예<sup>c</sup> · 맹승진<sup>d</sup> · 정현식<sup>e</sup> · 조영식<sup>f</sup> · 김성준<sup>g</sup>

<sup>a</sup>건국대학교 공과대학 사회환경공학부 학술연구교수, <sup>b</sup>영산강홍수통제소 예보통제과 시설연구사,

<sup>c</sup>충북대학교 농업생명환경대학 지역건설공학과 박사수료, <sup>d</sup>충북대학교 농업생명환경대학 지역건설공학과 교수,

<sup>e</sup>K-water 물관리기획처 차장, <sup>f</sup>K-water 인재개발원 처장 <sup>g</sup>건국대학교 공과대학 사회환경공학부 교수

### 요 지

본 연구에서는 유역단위의 물수지 분석과 농업용수의 수문학적 매커니즘을 모의 할 수 있는 유역 모델링 방법을 이용하여 회귀수량 산정기법을 제시하고자 하였다. SWAT 모델을 이용하여 영산강수계 대표적인 농업지역인 만봉천 표준유역 (97.34 km<sup>2</sup>)에 대해 담수 논 모의가 고려된 유역물수지 분석을 실시하였다. 회귀수량 산정에 앞서, 나주 유량관측소의 일 유량 자료를 이용하여 SWAT을 검-보정하였다. R<sup>2</sup>, Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE), Root-Mean-Square Error (RMSE)는 각각 0.73, 0.70, 0.64 mm/day으로 분석되었다. 3년 동안(2015~2017) 모의 결과를 토대로 관 개기간(4/1~9/30)에 대한 신속 회귀수량과 공급량 대비 회귀율을 산정하였고, 평균 53.4%로 분석되었다. 본 연구에서 제시한 유역 회귀수량 모델링 기법은 향후 합리적인 유역물관리를 위한 최적 농업용수 공급방안에 대한 기초자료 구축에 활용될 수 있다.

**핵심용어:** 농업용수 회귀수량, 신속회귀수량, 유역물관리, SWAT

\*Corresponding Author. Tel: +82-62-600-8328

E-mail: wjd0823@korea.kr (C. Jung)

## 1. 서론

2019년 6월 물관리기본법이 시행됨으로서 통합물관리를 위한 법적 기반이 마련되었다. 그러나, 물관리일원화는 수량 확보, 수질 보전, 재해방지 등의 통합물관리 정책이 포함되어 있음에도 불구하고 농업용수 부문이 포함되지 않았다. 농업용수 부문은 관행수리권으로부터의 허가수리권 조정 및 체계적 관리, 물 이용 시설관리 비용부담 구조개선, 농업용수 효율화를 통한 적정 용수 공급 등 다양한 과제에 직면하고 있다(KREI, 2020). 특히, 부족한 수자원을 효율적으로 관리하기 위한 측면에서, 농업용수는 우리나라 전체 물 이용량 중에서 약 40% (2016년 기준)에 해당하는 수량(MCT, 2016)으로 농업용수 효율 증대에 따른 다량의 가용수량 확보가 가능하기 때문에 통합물관리에서 농업용수부문을 배제할 수 없다. 이러한 농업용수 통합물관리 부문중에서 합리적인 농업용수의 수요량, 공급량 및 회귀량을 정량화 하기위한 노력은 하천유량관리 측면에서 가장 큰 의미가 있다고 할 수 있다(KRC, 2020).

농업용수는 4월말부터 9월 중순까지 논벼 재배기간에 집중적으로 사용되지만 전량 작물이 소비하는 것은 아니다. 용수원에서 취수하여 관개지구로 도수하는 동안 발생하는 수로 손실, 논에서의 관리손실과 지하로 침투하는 침투손실 등과 같이 논에서 증발산으로 소비되지 않는 관개용수는 다소 시차는 있지만 결국은 상당부분 하천으로 회귀하게 된다. 이와 같이 관개용수 중에서 증발산에 의해 소비되지 않고 하천으로 다시 유입하는 용수를 회귀용수 혹은 회귀수량(Return flow)이라고 한다(Kim *et al.*, 2010). 관개용수 회귀수량은 시설물에서 직접 공급되는 하천유지용수와 함께 하천유량의 증대와 같수기 하천유지유량을 확보할 수 있는 물관리 방안이다. 또한, 수계 하천실무업무에서는 하천유지유량이 부족한 시기에 배수간선으로부터 하천으로 배수되는 회귀수량을 정량화하고 이를 이용하여 하천유량을 증대시키는 통합 유역 물관리 계획 수립을 목표로 하고 있다. 이 뿐만 아니라, 하천수허가업무상에 하천 가용수량을 산정하기 위해서 사용되는 회귀율은 획일적인 35%값을 이용하여 계산되고 있다. 따라서, 회귀수량의 정확한 추정용 유역의 용수공급계획, 하천유지유량 증대, 하천수허가 가용수량 증대, 하천유량의 예측, 관개용수의 사용량 결정, 하천수질관리 및 중소 농업유역의 수문모델링 등에 대단히 중요한 인자로 대표되지만 이에 대한 자료 및 연구가 미비하고 활발하지 못한 관계로 회귀수량의 영향을 고려하지 않거나 현실적이지 않은 회귀율을 사용하여 유역 물수지 분석을 하는 경우가 대부분이다(Kim *et al.*, 2022).

농업용수 회귀수량 산정에 대한 조사는 1990년 이전까지 미

비한 실정이었으며, 최근에서야 회귀수량 산정에 대한 체계적인 연구가 일부 진행되었다. 국내에서 수행된 연구의 경우, Choi and Choi (2002)는 강원도 춘천시 신동, 천천 유역에 대해 용수로 유입부의 관개량과 하천수위 계측자료를 이용하여 논물수지 모델링을 통해 회귀율을 산정한 바 있으며, Noh *et al.* (2010)은 DAWST 모델을 이용하여 금강유역 내 5개 용수 구역에 대한 농업용수 회귀율 35%로 산정한 바 있다. Kim *et al.* (2011)은 TANK 모델을 이용하여 하이저수지에 대한 회귀율을 추정하였고, Kim (2014)는 HOMWRS 모형과 저수지 유입부, 방류량, 관개량 및 배수량 계측자료를 이용하여 충북 진천군 내 무수저수지에 대한 신속회귀와 지연회귀율을 각각 28.4%, 24.3%로 도출하였다. Park and Kim (2016)은 BROOK90-K 모델을 이용하여 덕유산 내 구랑천에 대한 회귀율을 산정하였고, Kim *et al.* (2022)는 SWMM 모델을 이용하여 강원도 원주시 홍업저수지에 대한 신속회귀수량을 산정하였다.

국내에서 진행된 회귀수량 산정에 대한 대부분의 연구는 필지단위 또는 소규모 논 및 논 관개지구에서 물수지방법에 의해 이루어졌으며, 침투량을 모두 강하침투량으로 가정하여 연구를 진행하였다. 또한 일부 표본지역을 대상으로 한 단기 모니터링 결과는 전국단위의 유역별 대표 회귀율 산정에는 자료 등의 적용에 한계가 존재해왔다. 농업용수는 타 목적별 용수에 비해 사용량이 연중 고르지 못해 관개기에 주로 소요되는 용수이다. 농업용수의 필요수량은 기후, 토양, 관개방식, 용배수로, 양수, 지하수위등의 다양한 인자들의 지배를 받으며, 시기적, 지역적으로 변동성이 매우 커 정확하게 그 양을 측정하는 것은 매우 어렵기 때문에(Kang, 2016) 생활용수 회귀수량에 비해 연구사례가 많지 않다. 현재까지 조사된 회귀율을 살펴보면, 2000년 이전, 2000년 이후, 그리고 2010년대에 들어 변화하고 있다. 2000년대 이전의 회귀율을 살펴보면 32%-35%를 나타내었으며, 2000-2010년대는 41%-70%로 증가하였다. 2010년대에 들어서는 회귀율이 최대 84%까지 증가하는 추세이다(Kim *et al.*, 2022).

반면 국외에서는 모델링을 이용한 회귀수량 산정 기법에 대한 연구가 꾸준히 진행되어왔다. Yalcin (2019) SWAT을 이용하여 터키 남동부 지역에 대한 발관개 회귀수량을 모델링한 바 있으며, Wu *et al.* (2019)는 회귀수량의 재사용 규모 효과를 분석하기 위해 SWAT을 이용하여 중국 내 대규모 관개지역에 대한 관개량 operation이 포함될 수문모델링을 실시하였다. Dash *et al.* (2020)은 아시아의 논 물수지를 효과적으로 모의하기 위해 SWAT의 pothole을 이용한 담수는 모델링을 제안하였으며, Song *et al.* (2020)은 개념적 및 물리적 기반의 매개변수화 접근방식이 회귀수량의 불확실성에 미치는 영향을

분석하였으며, 제약적인 조건에서 정확도가 향상된 회귀수량 산정 기법을 제안하였다.

궁극적으로, 합리적이며 경제적인 수자원 이용 및 관리를 위해서는 수계별로 정확한 농업용수 회귀율을 실험을 통하여 측정하고 이를 물이용 계획에 반영해야 한다. 이를 위해서 유역단위에 대한 조사 분석과 모델링 기반의 유역단위 물수지 분석을 연계한 연구방법이 제시되어야 한다. 따라서, 본 연구에서는 유역 수문모델인 SWAT을 이용하여 소유역 내 담수 논에 대한 물 공급과 수문기작을 모의할 수 있는 모델링 기법을 개발하여 유역단위의 회귀수량을 정량화 해보고자 한다.

## 2. 연구대상지역

신속회귀수량 산정을 위한 연구대상지역은 유역을 대표할 수 있는 대표적인 농업지역을 선정하고, 가급적 단일 영농작업이 이뤄지는 중소규모의 유역으로 선정한다. 특히 논, 밭, 과수원, 주거지역 등 복합적인 토지이용이 이루어지는 유역에서는 용수의 이용패턴이 다르고 특히 강우 시 강우의 효과를 측정할 수 없기 때문에 정확한 회귀율을 산정할 수 없다. 또한 외부 유역으로부터 지표수 유입이나 지하수 용출이 없는 지구를 선정한다(Chung and Park, 2004). 이에 근거하여 본 연구의 대상지역은 영산강 유역 내 만봉천 표준유역(97.34 km<sup>2</sup>)을 연구 대상지역으로 선정하였다. 만봉천 표준유역은 유역 내 타 하천 유입이 없고, 나주호로부터 농업용수를 공급받고 있으며(Sung *et al.*, 2021), 유역의 하류는 영산강 본류와 합류한다(Fig. 1).

## 3. SWAT 모형을 이용한 신속회귀수량 산정방법

### 3.1 SWAT에서의 관개량 적용

SWAT (Soil and Water Assessment Tool)은 미국 농무성 농업연구소(USDA Agricultural Research Service, ARS)에서 개발된 일 단위의 모의가 가능한 유역단위의 준 분포형 모형이다. 이 모형은 물리적 기반의 장기 강우-유출 모형으로서, 대규모의 복잡한 유역에서 장기간에 걸친 다양한 종류의 토양과 토지이용 및 토지관리 상태에 따른 유출의 영향을 예측하기 위해 개발되었으며 물수지 방정식에 근거를 두고 강수, 증발산, 지표유출, 기저유출, 지하수, 토양수분 등에 대한 모의를 각 수문반응단위(Hydrologic Response Units, HRU) 별로 계산할 수 있다(Arnold *et al.*, 1996).

SWAT에서 관개는 사용자(Manual) 또는 자동(Auto)으로 계획된 관개일정에 따라서 적용되며, 관개모의는 .mgt의 Irrigation operation을 이용하여 모의·조작 할 수 있다. 관개일정과 관개량을 구체적으로 적용하기 위해서는 관개용수의 수원공을 지정해야 하며, SWAT에서 적용 가능한 수원공의 형태는 하천취수(reach), 층적층(shallow aquifer), 심층(deep aquifer), 저수지(reservoir), 유역 외 공급(outside source)의 5개로 구분되어 있다. 하천취수(reach) 적용 시에는 최소 하천 유지유량과 최대 관개용수량을 조절하여 관개량을 계산하며, 층적층과 심층에서의 취수 방식은 물수지방정식을 통해 산정된 토양수분 및 지하수량에서 물을 취수되며, 저수지의 경우 SWAT 내 입력된 제원 및 방류량을 통해 산정된 담수량에서 물공급을 모의할 수 있다.

물공급 일정은 작물의 생육 시점(Plant / begin, growing

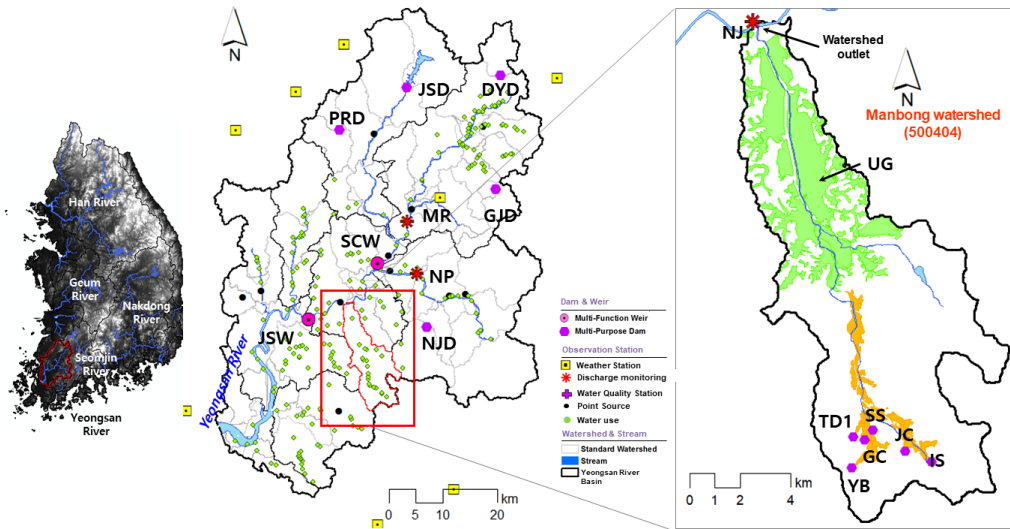


Fig. 1. Location of study watershed

season)과 수확 시기(Harvest and kill season)에 따라 조절이 가능하며, 작물 생육 모의를 위해서는 작물의 종류, LAI (Leaf area index) 초기값, 수확비율, 작물의 Curve Number (CN)에 따라 필요수량을 산정한다. 또한 SWAT은 관개 일정에 따라 수원공에서 공급 가능한 물의 양(관개량)을 산정하고, 관개량 모의를 통해 HRU에 적용된 물은 물수지방정식을 통해 지표, 중간, 기저유출을 계산한다. 만약 물공급량이 포장용수량을 초과하면 하천으로 회귀 된다.

### 3.2 SWAT에서 pothole을 이용한 담수 논 모의

SWAT에서 pothole로 지정된 HRU의 경우 관개용수는 토양 표층에 담수된 형태로 모의되며, 지정된 담수높이를 초과할 경우 하천으로 배수된다. SWAT에서 관개용수가 입력된 HRU pothole 담수상태와 수문성분 해석을 위한 기본구조는 물수지방정식을 기본으로 하여 선담수 후 손실량 산정의 방식으로 구성되어 있다. 먼저 HRU에 pothole 설정을 하여 pothole의 제원을 입력한 후, 해당 HRU에 대해 .mgt 모듈을 이용하여 물공급량이 입력된 후 HRU에 대한 수문성분 해석이 이뤄진다. 수문성분 해석은 HRU (output.hru) 및 pothole (.pot, .wtr) 단위로 산출된다. SWAT 모형 내 pothole에서의 회귀수량은 다음 Eq. (1)을 이용하여 계산된다.

$$IR_{flow} = \left( \frac{Irr_{day}}{Irr_{day} + P_{day}} \right) (q_{day} + l_{day}) + \left( \frac{\frac{Irr_{day}}{\eta_o}}{P_{day} + \frac{Irr_{day}}{\eta_o}} \right) gw_{day} \quad (1)$$

여기서,  $IR_{flow}$ 는 가능 관개회귀량(mm/day),  $Irr_{day}$ 는 적용한 관개량(mm/day),  $P_{day}$ 는 강수량(mm/day),  $q_{day}$ 는 하천에 유입된 유출량( $m^3/day$ ),  $l_{day}$ 는 하천에 유입된 측방흐름( $m^3/day$ ),  $gw_{day}$ 는 하천에 유입된 기저 유출량( $m^3/day$ ),  $\eta_o$ 은 관개 효율이다.

Eq. (1)을 토대로 Pothole에서 하천으로 유출되는 양은 다음 Eq. (2)을 이용하여 계산된다.

$$q_{dayout} = q_{day} + IR_{flow} \quad (2)$$

여기서,  $q_{dayout}$ 은 포트홀에서 하천으로 유입되는 총 유출량(mm/day)이다.

SWAT Pothole 모듈에서는 유입되는 강수량과 물 공급량 및 전날 담수심은 현재의 담수심을 결정하게 되는데 SWAT

소스코드 상에서는 전날 담수량을 고려하여 현재 부족한 담수심 만큼만 물 공급을 하고, 나머지는 하천으로 방류되도록 산정되도록 설계되어 있다. 이때 하천으로 방류되는 유량은 SPILLO라는 output file로 출력된다. 수로를 통해 공급되는 농업용수는 수해구역에 무조건 공급이 되는 것이 아니라, 농민들이 필요한 수량 만큼 수로에서 취수하여 사용하는 형태로 물 공급이 이뤄지고 있다. 또한 저수지의 말단부 까지 물 공급을 원활하게 하기 위해, 수해구역에서 필요한 수량 이외에 배분 관리 용수량을 추가로 더 공급하는 것이 일반적이다. 이러한 경우 취수되지 않은 물 공급량은 하천으로 바로 배수되게 되며, SWAT에서는 이를 SPILLO 라는 변수로 결과값을 산정한다. 따라서 본 연구에서는 .mgt를 통해 입력된 IRR\_AMT를 공급량으로 설정하고, Output.hru에서 산정되는 논 지역 내 증발산량(ET)과 삼투량(Percolation)을 논 사용량으로 가정하였다. 또한 Output.pot에서 출력되는 SPILLO를 공급량 중 취수되지 않고 바로 방류되어 하천으로 회귀되는 양으로 가정하여 다음과 같은 수식으로 회귀수량을 산정하였다. 또한 SPILLO의 단위 환산을 위해 수표면적 산정결과를 활용하였다.

$$Returnflow = IRRAMT - (ET + Percolation) + SPILLO \quad (3)$$

여기서, Returnflow는 신속회귀수량(mm/day), IRRAMT는 물 공급량(mm/day), ET는 증발산량(mm/day), Percolation은 삼투량(mm/day), SPILLO는 공급량 중 취수되지 않고 방류되는 유량(mm/day)를 나타낸다.

IRRAMT의 단위는 mm/day로 본 연구에서는 Kim et al. (2007)이 적용한 IRRAMT 환산방식과 동일하게 물공급량을 수해구역(HRU 면적)으로 나누어 입력하였다(Eq. (4)).

$$IRRAMT (mm) = \frac{Amount\ of\ water\ ply (m^3)}{HRU\ area (m^2)} \times 1000 \quad (4)$$

Fig. 2는 Pothole이 적용된 HRU에서의 수문성분 및 회귀수량 산정을 나타낸 것으로, 앞서 언급한 바와 같이 HRU에 입력된 pothole 비율, 최대, 최소 담수 높이(mm), pothole의 증발계수, Pothole의 투수계수를 변수로 입력한다. 이를 토대로 해당 HRU에 대한 .mgt에 작물 생육시작일, LAI, 용수공급원, 공급량, 관개효율 등의 관개정보가 입력된 상태에서 SWAT 모의를 실시한다. 해당 HRU에서는 기상인자와 .mgt를 통해 입력된 물공급량에 대한 물수지 계산이 이뤄지며, 담수된 pothole에서의 수면증발량과 논에서의 증발산량과 pothole에서 천

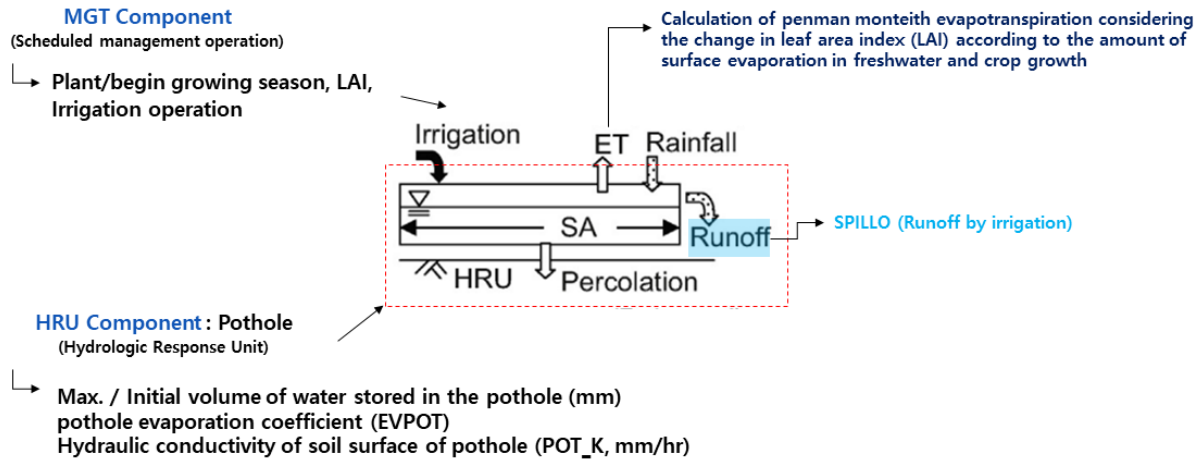


Fig. 2. Simulation of paddy fields using porthole

층으로의 삼투량을 합하여 농지에서의 사용량으로 계산하고, 관개용수로 사용되지 않아 하천으로 배수되는 유량(배분 관리 용수량 등)을 합하여 회귀수량을 산정한다.

HRU의 담수면적은 증발산량과 담수량 변화에 큰 영향을 주는 인자로, 기존의 SWAT에서는 pothole의 담수면적은 HRU의 평균경사를 이용하여 원뿔형으로 가정하여 일별로 산정하고 있다(Eq. (5)).

$$Surface\ area = \frac{\pi}{10^4} \cdot \left( \frac{3 \cdot V}{\pi \cdot slp} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (5)$$

여기서, Surface area: 담수면적(ha), V: 담수량(m<sup>3</sup>), slp: HRU의 평균경사(m/m)이다.

그러나 원뿔형태는 우리나라 농경지의 대부분이 계단식의 형태를 띠고 있는 것과는 다소 차이가 있으므로 이를 직육면체로 가정하여 실제 HRU의 면적에 대한 관개지와 비관개지의 면적비를 이용하도록 다음 Eq. (6)과 같이 소스코드를 변경하였다.

$$Surface\ Area = area_{hru} \quad (6)$$

여기서  $area_{hru}$ 는 HRU의 면적(ha)이다.

### 3.3 자료수집 및 분석방법

#### 3.3.1 GIS, 기상 입력자료 및 수문 검보정 자료

SWAT의 GIS 입력자료로 DEM (Digital Elevation Model)과 토양도는 국가수자원관리종합정보시스템(WATER Management Information System, WAMIS)의 30 m×30 m DEM

(Fig. 3(a)), 토지이용도는 환경부의 2020년 세분류 자료를 이용하였으며, 이를 9개 항목(활엽수림, 침엽수림, 혼효림, 주거지, 논, 밭, 초지, 나지, 수역)으로 분류하여 모형에 입력하였다(Fig. 3(b)). 만봉천 유역의 토지이용은 논이 27.1%, 밭이 20.5%를 차지하는 대표적인 농업유역이다. 토양도는 1:25,000 정밀 토양도를 사용하였다(Fig. 3(c)). SWAT 모형의 검보정을 위한 기상자료는 4개(광주, 장흥, 강진군, 목포) 강수량(mm), 최고 및 최저기온(°C), 풍속(m/sec), 상대습도(%), 일사량(MJ/m<sup>2</sup>) 기상관측소의 14년(2005-2017)동안의 일자료를 사용하였다.

#### 3.3.2 논 필지 HRU 생성을 위한 토양도 수정

SWAT은 DEM, 토지피복도, 토양도를 중첩하여 HRU를 생성하게 된다. SWAT에서의 관개모듈은 HRU 단위로 수행되며, 논으로 분류된 HRU를 기준으로 관개용수 수원결정을 위한 판단됨에 따라 HRU의 설정은 매우 중요하다. SWAT 모의 시 적용된 정밀토양도는 논 필지별 HRU 설정이 매우 어렵다. 이에 Kim et al. (2005, 2007)은 담수 논 모의를 위해 논에 해당하는 토양통을 다양한 별개의 HRU보다 대표 논 토양통으로 설정하여 모의하는 것이 관개지구를 벗어나는 지역에 대한 과잉 물 공급 모의를 방지할 수 있음을 분석한 바 있어, 본 연구에서도 동일한 방법으로 적용하였다. 논 필지 설정을 위해 기설수혜논 지역 중 저수지 수혜구역도를 기준으로 HRU를 생성하고자 하였다. 기설수혜논 지역의 구분은 농어촌용수 이용합리화계획에서 제시한 기설수혜논 지역을 기준으로 하였으며, 토양DB는 정밀토양도 자료를 이용하여 토양통을 조사하였다. ArcGIS를 이용하여 기설수혜논 지역과 토양통을 중첩하였으며, 기설수혜논 지역 내 토양통은 수혜구역 내 기중평균을 통해 대표 토양통을 선정하여 토양도를 수정하였다.

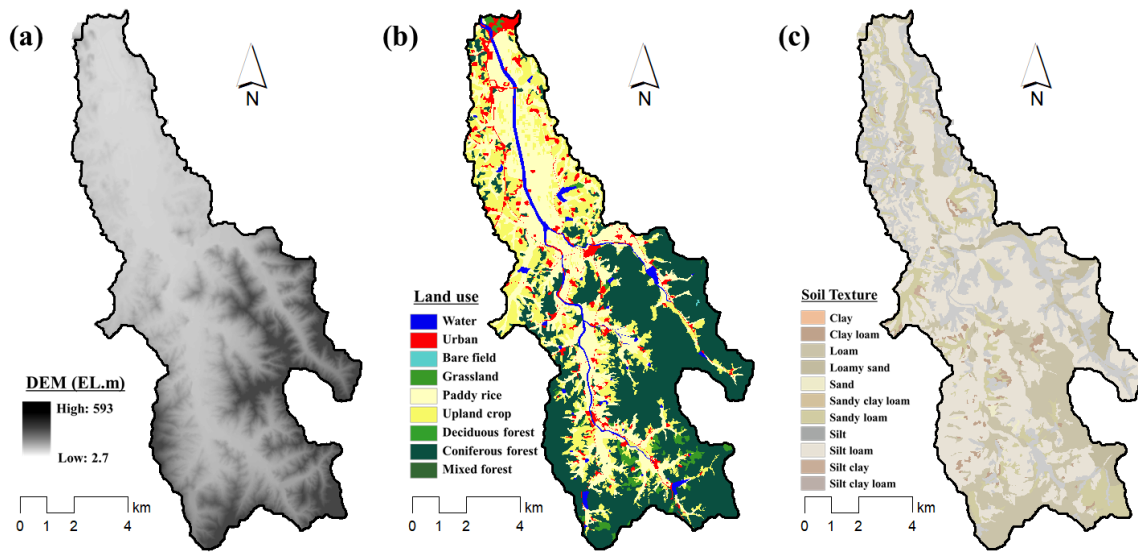


Fig. 3. GIS data of study watershed (a) DEM, (b) Land use, (c) Soil

Table 1. Irrigation amount from agricultural reservoir (Unit: 1,000 m<sup>3</sup>)

Year	NJD		GH	IS	TD1	JC	SS	YB	Irrigation amount total	
	Total	UG							1,000 m <sup>3</sup>	mm
2012	45,546.2	5,010.1	34.9	2,830.3	172.9	62.0	60.0	1,265.4	9,435.6	462.8
2013	52,422.5	5,766.5	40.3	3,088.0	193.7	70.4	65.4	1,408.6	10,633.0	521.5
2014	38,483.1	4,233.1	40.5	3,072.3	193.8	70.6	65.4	1,421.2	9,096.9	446.1
2015	53,886.6	5,927.5	75.5	9,475.1	238.7	111.2	66.2	3,270.4	19,164.6	939.9
2016	52,226.5	5,744.9	64.9	8,054.7	187.2	91.0	53.6	2,808.8	17,005.0	834.0
2017	48,725.8	5,359.8	82.2	10,556.4	241.0	115.8	67.9	3,620.1	20,043.2	983.0

UG: Ungok, GH: Gokchi, IS: Ipsuk, TD1: Todong1, JC: Jicho, SS: Siksán, YB: Yeonbo

### 3.3.3 물공급량 입력자료

SWAT에는 용수공급 시작-종료일, 공급일수, 시설물 효율 등의 정보가 입력됨에 따라, 유역 내 시설물 운영패턴 분석이 필요하다. 이를 위해 만봉천 유역 내 저수지 수리시설물의 운영 자료를 농어촌공사로부터 제공받아 분석을 수행하였다. 유역 내 농업용 저수지는 총 20개소로 조사되었으나, 이중 일별 물공급량 모니터링자료를 제공하는 저수지는 6개소(곡치(GH), 입석(IS), 토동1(TD1), 지초(JC), 식산(SS), 연보(YB))로 조사되었다. 또한, 만봉천 유역 외에 위치한 나주호로부터 농업용수를 공급받음에 따라 나주호의 일 공급량 자료를 합계에 포함시켰다. Sung *et al.* (2021)은 나주호의 간선수로별 용수공급량을 분석하였으며, 운곡(UG)간선 수로를 이용하여 만봉천 유역에 나주호 용수량의 11%의 용수를 공급하고 있음을 확인하였다. 따라서 본 연구에서도 나주호의 용수공급량 중 11%에 대한 용수량을 저수지를 통한 용수공급량에 포함하였다.

2012년부터 2017년까지 분석기간 동안 최소 9,096.9 천톤

에서 최대 20,043.2 천톤까지 농업용수를 공급한 것으로 분석되었다(Table 1). 다만 2015년 이전 입석(IS)과 연보(YB) 저수지의 독높임 사업으로 인해 물공급량이 크게 차이가 발생하여, 본 연구에서는 2015~2017년 자료만 분석에 활용하였다.

## 4. 회귀수량 산정결과

### 4.1 SWAT의 검·보정

본 연구에서는 회귀수량 산정에 앞서 모형 보정을 위해, 대상지구 내 나주 유량관측소 지점의 유량자료를 이용하여 모형의 검증 및 보정을 수행하였다. 매개변수는 만봉천 유역에 대한 물공급량을 모두 입력한 후 조정되었으며, 검증과 보정에 사용한 매개변수는 민감도 분석결과(Sensitivity analysis)와 선행연구(Kim *et al.*, 2020)를 참고하여 매개변수를 선정하였다. 선정된 매개변수 중 ESCO는 증발 보상계수로 증발산량을



조정하는 매개변수이다. LAT\_TIME은 중간유출 흐름 시간이며, GW\_DELAY와 GWQMN은 지하수 관련 매개변수로 각각 지하수 흐름시간, 기저유출이 발생하는 층적층 내 수위를 조정하는 매개변수이다.

또한, 농업용수 회귀수량 산정을 위해 작물의 생육 시점, 수확 시기, 그리고 물 공급량을 입력하였으며, 입력 변수는 Table 2와 같다. RDA (2018)에 따르면, 우리나라 남부지방의 이앙시기는 평균 5월 25일에 시작하여 수확은 9월 25일 전후로 이뤄진다. 따라서 본 과업에서는 생육시작일을 5월 25일로 설정하였으며, 수확은 9월 25일로 설정하였다. 작물 생육시작 시 작물의 CN 값은 SWAT DB에서 사용하는 73을 적용하였고, 초기 엽면적 지수는 선행연구를 참고하여 1로 입력하였다(Ha *et al.*, 2008; Park *et al.*, 2012). LAI는 5월 25일부터 9월 25일까지 1부터 10 사이의 값으로 누적되도록 설정되었다. 작물의 수확 시 CN값은 생육 시작 시 CN값과 동일하게 73을 적용하였다.

물공급 시작일과 종료일은 모니터링 자료와 동일하게 각각 4월 1일과 9월 29일을 입력하였으며, 송수손실율(IRR\_EFM)은 콘크리트 수로손실율을 고려하여 0.93으로 입력하였다. 공급용수 중 지표유출의 비율인 IRR\_SQ는 선행연구를 토대로 1로 입력하였다. Sakaguchi *et al.* (2014)은 SWAT 모형에서 Pothole을 이용하여 담수 논 모의 시, pothole은 배수로 없이 바로 하천으로 유입된 것으로 모의 되기 때문에 공급용수는 용수 사용 후 모두 지표유출로 반영됨에 따라 1로 설정하였다. 물공급량 입력 변수인 IRR\_AMT는 Table 1과 같이, 수집한 2015년부터 2017년까지의 일별 물공급량 실적자료를 분석하여 일단위로 입력하였다.

본 연구에서는 담수 논 모의를 위해 SWAT의 Pothole 모듈을 이용하였다. 변수 입력을 위해 선행연구의 결과를 조사하였으며, 이를 토대로 매개변수를 설정하였다(Table 3). Pothole의 제원 관련 매개변수 3개(POT\_FR, POT\_VOLX, POT\_

**Table 2.** Calibration parameter for irrigation operation

Parameter		Definition	Range / Reference	Adjusted
Evapotranspiration	ESCO	Soil evaporation compensation coefficient	0~1	0.2
Lateral flow	LAT_TIME	Lateral flow travel time (days)	0~180	5
Groundwater flow	GW_DELAY	Delay time for aquifer recharge (days)	0~500	40
	GWQMN	Threshold water level in shallow aquifer for base flow (mm)	0~5,000	500
Planting / beginning of growing season	Planting date	Planting start date	RDA (2018)	5/25
	CNOP	Crop SCS CN	SWAT DB	73
	LAI initial	Initial leaf area index	Park <i>et al.</i> (2012), Ha <i>et al.</i> (2008)	1
Irrigation operation	Start date	Irrigation start date	Observed data	4/1
	End date	Irrigation end date	Observed data	9/29
	IRR_AMT	Depth of irrigation water applied on HRU	Observed data	Table 1
	IRR_EFM	Irrigation efficiency (fraction)	Conveyance loss in canal (concrete canal 5~7%)	0.93
	IRR_SQ	Surface runoff ratio (fraction)	Sakaguchi <i>et al.</i> (2014)	1
Harvest and kill operation	Harvest date	Harvest date	NICS	9/25

**Table 3.** Pothole input parameters in HRU

Parameter	Definition	Reference			Adjusted
		Kim <i>et al.</i> (2007)	Sakaguchi <i>et al.</i> (2014)	Wu <i>et al.</i> (2019)	
POT_FR	Fraction of HRU area that drains into the pothole	0.75	1	0.95	1
POT_VOLX	Maximum volume of water stored in the pothole (mm)	40	30	60	40
POT_VOL	Initial volume of water stored in the pothole (mm)	0	0	0	0
EV POT	Pothole evaporation coefficient	-	-	-	2
POT_K	Hydraulic conductivity of soil surface of pothole (mm/hr)	-	-	-	1

VOL)와 pothole의 수문반응 관련 매개변수 2개(EVPOT, POT\_K)를 선정하였다. HRU에 대한 Pothole 면적비를 나타내는 매개변수인 POT\_FR은 HRU 생성 시 농어촌용수 이용 합리화계획의 기설수혜는 지역을 고려하였기 때문에 입력변수의 값을 1로 설정하였다. 또한 담수논의 최대담수심을 의미하는 POT\_VOLX 매개변수는 Kim et al. (2007)이 적용한 40 mm를 동일하게 적용하였으며, 관개용수 공급 시작일의 초기 pothole 담수심높이(POT\_VOL)는 선행연구와 동일하게 0으로 적용하였다.

Pothole에서의 증발계수(EVPOT)와 토양수리전도도(POT\_K)는 각각 0~2, 0.02~10 mm/hr의 범위 내에서 입력 가능하며, 두 매개변수는 선행연구사례가 존재하지 않음에 따라 매개변수 민감도 분석을 수행하였다. 매개변수 민감도 분석 결과, EVPOT는 0에서 2로 증가할수록 증발산량이 1.7% 감소하는 경향을 나타내었고, POT\_K는 0.02에서 10으로 증가할수록 삼투량이 최대 23.3% 감소하는 것으로 나타났다. 특히 0.02에서 1로 변화시 가장 민감하게 변화하는 것으로 분석되었다. 따라서 본 연구에서는 민감도 분석결과를 바탕으로 EVPOT와 POT\_K를 각각 2와 1로 입력하였다.

SWAT의 검보정은 물공급량 입력자료의 기간을 고려하여 보정기간은 2년(2015-2016), 검증기간은 1년(2017)으로 설정하였다. 모형의 적용성 평가는 coefficient of determination ( $R^2$ ), Nash and Sutcliffe (1970) model efficiency (NSE), root-

mean square error (RMSE), percent bias (PBIAS)를 사용했다.  $R^2$ 은 1에 가까울수록 관측 값과 모의 값이 완벽하게 일치함을 나타내고, NSE는  $-\infty$ 에서 1까지의 범위를 통해 모형의 효율을 평가하는데 0보다 클수록 모형의 적용성이 높다고 설명할 수 있다(Mkhwanazi et al., 2012). RMSE는 실측치와 모의치의 오차를 나타내는 것으로 0에 가까울수록 오차가 작음을 의미한다.

Table 4와 Fig. 4는 SWAT 나주(NJ) 유량관측소에 대한 유량 검·보정결과를 나타낸 것으로 전체 기간 동안의  $R^2$ , NSE, RMSE는 각각 0.76, 0.69 0.50 mm/day로 분석되었다. 또한 관개기간의  $R^2$ , NSE, RMSE는 각각 0.73, 0.70, 0.64 mm/day로 분석되었다. NSE의 경우 전체기간과 관개기간의 효율은 큰 차이는 없었으나,  $R^2$ 의 정확도는 0.03 감소하였으며, RMSE는 0.14 mm/day 증가하였다. Gassman et al. (2014)은 SWAT 검보정 시  $NSE \geq 0.5$ ,  $R^2 \geq 0.6$  이상일 경우 통계적으로 유의하다는 결과를 제시한바 있다. 선행연구를 토대로 본 연구에서의 검보정 결과는 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다.

4.2 신속회귀수량 산정 결과

본 연구에서는 2015~2017년까지의 모의 결과를 토대로 물 공급 기간(5/1~9/30)에 대한 회귀수량과 공급량 대비 신속회귀율을 산정하였다. 결과분석에 사용된 변수는 재료 및 방법에서 제시하였던 저수지 물공급량을 공급량( $Q_i$ )으로 설정하고,

Table 4. Calibration and validation results for streamflow (NJ)

Period	Precipitation (mm)	Observed		Simulated		NSE	$R^2$	RMSE (mm/day)	
		Q (mm)	QR (%)	Q (mm)	QR (%)				
Total	Calibration	1,226.2	568.1	45.6	571.8	45.9	0.67	0.73	0.19
	Validation	814.4	297.5	36.5	318.6	39.1	0.72	0.81	1.11
	Average	1,088.9	477.9	42.6	487.4	43.6	0.69	0.76	0.50
Irrigation (Apr.~Sep)	Calibration	787.5	361.1	45.6	343.3	42.7	0.62	0.65	0.93
	Validation	627	210.1	33.5	209.3	33.4	0.84	0.89	0.04
	Average	734	310.8	41.6	298.6	39.6	0.70	0.73	0.64

Calibration: 2015-2016, validation: 2017, Q: streamflow, QR: runoff ratio

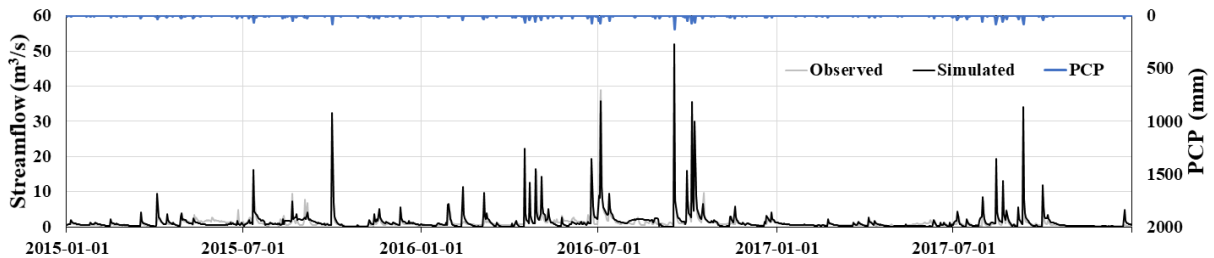


Fig. 4. The calibration and verification results for streamflow



논 지역 내 증발산량(ET)과 삼투량(Percolation)을 논 사용량( $Q_u$ )으로 가정하였으며 하천으로 배수되는 유출량을 취수되지 않고 바로 방류되어 하천으로 신속회귀되는 양( $Q_o$ )으로 가정하였다.

Table 5는 월별 신속회귀수량 분석결과를 나타낸 것으로, 여기서 Return flow 1은 저수지 물공급량( $Q_i$ )에서 논 사용량( $Q_u$ )을 뺀 회귀량이며, Return flow2는 취수되지 않고 바로 하천으로 방류되는 신속회귀량( $Q_o$ ) 모의 결과이다. 4월의 물공급량은 전체적으로 낮아 회귀율을 산정하지 않았고, 본격적으로 이앙기가 시작되는 5월부터 신속회귀수량을 산정하였다. 분석기간(2015~2017) 동안의 산정된 평균 신속회귀량은 494.9 mm, 회귀율은 53.4%로 분석되었으며, 2016년이 60.2%로 회귀율이 가장 높았다. 신속회귀율이 가장 낮은 연도는 2017년으로 회귀율이 42.8% 였다. 월별로 회귀율을 분석한 결과, 8월의 회귀율이 68.0~83.9%로 가장 높았으며 5월의

회귀율이 36.1~46.7%로 가장 낮게 나타났다.

그러나 본 연구의 대상 지역인 만봉천 유역에 대한 신속회귀수량 조사가 이뤄지지 않음에 따라 영산강 유역 내 다른 표본조사 지점에 대한 회귀수량조사 자료와의 비교를 통해서도 출된 회귀율의 적정성을 평가하였다. 1997년 수자원 계획의 최적화 연구에서 조사된 영산강 유역 저수지와 양수장 및 보에 대한 신속회귀율은 각각 51.7%, 23%, 50%로 나타났으며 (Chung et al., 1997), 2006년 영산강·섬진강 유역조사 중 영산강 유역 내 학야지구에 대한 회귀율은 22.5%로 조사된 바 있으나 이는 저수지에 대한 신속회귀율이 아닌 학야지구 내 필지에 관한 회귀율 산정 결과이다(K-water, 2006). 본 연구에서 산정된 회귀율은 신속회귀량으로, 1997년 조사된 영산강 유역 저수지에 대한 회귀율인 51.7%와 유사하게 나타난 것으로 분석되었다.

Table 5. Results of water supply and quick return flow from irrigation canal during 2015-2017 (unit: mm)

Year	Water usage in paddy field ( $Q_u$ )		Water supply from reservoir ( $Q_i$ )	Return flow ( $Q_{RF}$ )			Return ratio ( $Q_{RF}$ ratio)	
	ET	Percolation		Return flow 1 ( $Q_i - Q_u$ )	Return flow 2 ( $Q_o$ )	Total return flow		
2015	4	54.9	64.7	17.8	-	-	-	-
	5	78.7	24.2	192.9	90.0	0.0	90.0	46.7
	6	92.7	19.3	191.2	79.2	12.1	91.2	47.7
	7	108.9	29.3	212.1	74.0	39.6	113.6	53.5
	8	111.6	20.0	204.0	72.5	66.2	138.7	68.0
	9	83.7	32.1	121.9	6.0	46.1	52.0	42.7
	T.	475.6	124.9	922.1	321.7	164.0	485.5	51.7
2016	4	53.3	79.9	5.2	-	-	-	-
	5	57.6	48.5	165.0	58.9	0.6	59.5	36.1
	6	96.7	6.8	164.2	60.7	34.0	94.7	57.6
	7	129.7	58.4	160.3	-27.8	64.3	36.5	22.8
	8	133.0	0.0	184.5	51.4	103.3	154.7	83.9
	9	69.8	0.8	154.7	84.1	71.6	155.7	100.6
	T.	486.8	114.5	828.7	227.3	273.8	501.1	60.2
2017	4	28.0	22.5	6.6	-	-	-	-
	5	83.5	20.0	185.0	81.5	0.9	82.4	44.5
	6	117.1	19.3	226.5	90.1	18.6	108.7	48.0
	7	117.0	20.0	243.7	106.8	56.6	163.4	67.0
	8	140.2	20.0	197.3	37.1	77.8	114.9	58.2
	9	66.6	53.6	124.0	3.8	25.0	28.8	23.3
	T.	524.4	132.9	976.5	319.3	178.9	498.2	48.2
Average	495.6	124.1	909.1	289.4	205.6	494.9	53.4	

ET: evapotranspiration, T: yearly total.

## 5. 결론

국내에서 농업용수 회귀수량에 대한 연구 및 조사는 주로 필지단위에 대하여 이뤄져 왔으며 용수공급현황과 물관리 방식에 따라 다양하게 산정 및 추정되어왔다(Song et al., 2015; Kim et al., 2021). 유역 중심의 통합물관리의 목적을 달성하기 위해서는 수계별로 농업용수의 합리적인 사용에 대한 중요성이 강조되고 있으며 특히, 정확한 농업용수 회귀율의 산정은 하천수 허가업무와 장래 물이용 계획 등 다양한 계획에 반영되어야 하는 매우 중요한 요소이다. 이에 본 연구에서는 유역 모델링을 이용한 유역별 회귀율 산정을 위한 방법을 모색하기 위해 물리적이반의 유역수문 모형을 이용한 유역단위 회귀수량 산정 방법론을 제안하고 이를 대표적인 농업유역에 적용하여 회귀율을 산정하였다.

SWAT에서 논 관개는 Irrigation operation을 이용하여 모의·조작 하였으며, 물공급 일정은 작물의 생육 시점(Plant/begin, growing season)과 수확 시기(Harvest and kill season)에 따라 필요수량을 산정하고 실제 저수지로부터 공급된 물공급량을 적용하였다. 우리나라 담수논 형태의 모의를 위해 토양통을 논 수혜구역 단위로 수정하여 하나의 HRU로 만든 후, pothole로 지정하였다. 기존의 SWAT에서는 pothole의 담수면적은 HRU의 평균경사를 이용하여 원뿔형으로 가정하여 일별로 산정됨에 따라 본 연구에서는 직육면체의 형태로 계산되도록 소스코드를 일부 수정하였다.

회귀수량 산정에 앞서 모형 보정을 위해, 대상지구 내 나누 유량관측소 지점의 유량자료를 이용하여 모형의 검증 및 보정을 수행하였으며, 보정결과  $R^2$ , NSE, RMSE는 각각 0.76, 0.69, 0.50 mm/day로 분석되어 통계적으로 유의한 수준으로 나타났으며, 2015년부터 2017년까지의 회귀수량 산정 결과 회귀율은 평균 53.4%로 분석되었다. 산정된 회귀율은 1997년 조사된 영산강 유역 저수지에 대한 회귀율인 51.7%와 유사하게 나타난 것으로 분석되었다.

실제 하천수허가업무에 있어서 물수지 분석을 통한 가용수량 산정시 사용되는 농업용수 회귀율 값은 35%로 획일적으로 사용하고 있다(MOLTM, 2011). 본 연구결과를 활용하여 회귀율 값을 지역별로 사용할수 있다면 현재 가용수량이 없는 지역에서의 물 사용 가능성을 증대 시킬수 있으며 실제 물관리 업무에 효율성을 개선 시킬 것으로 기대된다. 다만, 본 연구 결과는 SWAT을 이용한 신속회귀량 산정 가능성을 검토하였고, 회귀수량 산정에 있어 가장 필수적인 요소에 대해서만 모델이 개선되었다. 즉, 신속회귀수량에 대한 직접유출량이 기여할 수 있는 수량을 정량화한 연구로 지하수로 유출되는

지연회귀에 대한 추가 모델링 방법이 정립되어야 실무에서 최종적으로 활용 될 수 있다. 따라서, 향후 연구로 지연회귀를 포함한 총 회귀수량에 대한 방법 및 조사를 통한 관측 회귀수량과의 검증이 반드시 이루어져야 하며 용수의 재이용 관련 자료, 취입보, 양수장 등의 운영자료가 보완된다면, 보다 신뢰성 있는 회귀수량이 산정될 것으로 기대된다. 또한 이를 활용할 수 있는 농업용수 최적 운영방안에 대해서 제시되어야 할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 수생태계 건강성 확보 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2020003050001).

## Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

## References

- Arnold, J.G., Williams, J.R., Srinivasan, R., and King, K.W. (1996). *SWAT manual*. USDA. Agricultural Research Service and Blackland Research Center, TX, U.S.
- Choi, J.D., and Choi, Y.H. (2002). "Return flow rate estimation of irrigation for paddy culture in Chuncheon region of the North Han river basin." *KCID journal*, Vol. 9, No. 2, pp. 68-77.
- Chung, S., and Park, K. (2004). "Irrigation return flow measurements and analysis in a small size paddy area." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 37, No. 7, pp. 517-526.
- Chung, S., Oh, C.J., and Nam, H.S. (1997). "A study on the return rate of agricultural water in reservoirs." *Proceedings of the Korean Society of Agricultural Engineers Conference*, KSAE, pp. 46-51.
- Dash, S.S., Sahoo, B., and Raghuvanshi, N.S. (2020). "A novel embedded pothole module for soil and water assessment tool (SWAT) improving streamflow estimation in paddy-dominated catchments." *Journal of Hydrology*, Vol. 588, 125103.
- Gassman, P.W., Sadeghi, A.M., and Srinivasan, R. (2014). "Applications of the SWAT model special section: Overview and insights." *Journal of Environmental Quality*, Vol. 43, No. 1, pp. 1-8.
- Ha, R., Shin, H.J., Park, G., and Kim S.J. (2008). "Assessment of MODIS Leaf Area Index (LAI) Influence on the Penman-

- Monteith Evapotranspiration of SLURP Model.” *KSCE Journal of Civil and Environmental Engineering Research*, Vol. 28, No. 5B, pp. 495-504.
- Kang, S.M. (2016). *Return flow analysis in reservoir irrigation district*. Ph. D. dissertation, Konkuk University, pp. 112-114.
- Kim, H.Y., Nam, W.H., Mun Y.S., An, H.U., Kim J.G., Shin, Y.C., Do, J.W., and Lee, K.Y. (2022). “Estimation of irrigation return flow fro paddy fields on agricultural watersheds.” *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 55, No. 1, pp. 1-10.
- Kim, H.Y., Nam, W.H., Mun, Y.S., Bang, N.K., and Kim, H.J. (2021). “Estimation of irrigation return flow on agricultural watershed in Madun reservoir.” *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol. 63, No. 2, pp. 85-96.
- Kim, I.J. (2014). *Design of water level monitoring network for economic water conservation from agricultural reservoir*. Ph. D. dissertation, Graduate School, Konkuk University, pp. 126-128.
- Kim, N.W, Shin, S.C., and Won, Y.S. (2005). “Development of SWAT-AGRIMAN model.” *Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference*. KWRA, pp. 65-69.
- Kim, N.W., Kim, H.S., Chung, I.M., Lee, J.W., and Ha, S.G. (2007). *Development of analysing system for surface water hydrological components*. Ministry of Science and Technology.
- Kim, S.M., Kim, S.J., Kim, Y.W., Park, T.Y., Kim, S.M., Park, K.W., and Jang, M.W. (2011). “Potential release of environmental flow through irrigation reservoir.” *Journal of the Korean society of Agricultural Engineers*, Vol. 53, No. 6, pp. 101-109.
- Kim, T.C., Lee, H.C., and Moon, J.P. (2010). “Estimation of return flow rate of irrigation water in Daepyeong pumping district.” *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers*, Vol. 52, No. 1, pp. 41-49.
- Kim, Y.W., Lee, J.W., Woo, S.Y., and Kim, S.J. (2020). “Inter-basin water transfer modeling from Seomjin river to Yeongsan river using SWAT.” *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 53, No. 1, pp. 57-70.
- Korea Rural Community Corporation (KRC) (2020). *Influence of Agricultural Water Return flow in downstream of river*. pp. 135-158.
- Korea Rural Economic Institute (KREI) (2020). *Policy tasks for establishment of participatory irrigation management*. pp. 3-6.
- K-water (2006). *Watershed survey: Seomjin-Yeongsan River*.
- Ministry Construction & Transportation (MCT) (2016). *Water resource vision for long term*. pp. 21
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MOLTM) (2011). *Water resources long-term comprehensive plan report (2011-2020)*.
- Mkhwanazi, M., Chavez, J.L., and Rambikur, E.H. (2012). “Comparison of large aperture scintillometer and satellitebased energy balance models in sensible heat flux and crop evapotranspiration determination.” *International Journal of Remote Sensing Applications*, Vol. 12, pp. 24-30.
- Nash, N.E., and Sutcliffe, J.V. (1970). “River flow forecasting through conceptual models part I - A discussion of principles.” *Journal of Hydrology*, Vol. 10, No.3, pp. 282-290.
- Noh, J.K., Lee, J.N., and Kim, Y.K. (2010). “Development of standardized water balance model for applying irrigation district in South Korea.” *Korean Journal of Agricultural Science*, Vol. 37, No. 1, pp. 105-112.
- Park, J.C., and Kim, M.K. (2016). “Development and validation of BROOK90-K for estimating irrigation return flows.” *Journal of the Korean Geomorphological Association*, Vol. 23, No. 1, pp. 87-101.
- Park, M.J., Shin, H.J., Park, J.Y., Park, G.A., Srinivasan, R., and Kim, S.J. (2012). “Comparison of watershed streamflow using projected MIROC3. 2 HIRCS GCM data and observed weather data for 2000-2009 under SWAT simulation.” *Transactions of the ASABE*, Vol. 55, No. 3, pp. 1003-1010.
- Rural Development Administration (RDA) (2018). *Cultivation method by direct sowing*. p. 138.
- Sakaguchi, A., Eguchi, S., Kato, T., Kasuya, M., Ono, K., Miyata, A., and Tase, N. (2014). “Development and evaluation of a paddy module for improving hydrological simulation in SWAT.” *Agricultural Water Management*, Vol. 137, pp. 116-122.
- Song, J.H., Her, Y., Hwang, S., and Kang, M.S. (2020). “Uncertainty in irrigation return flow estimation: Comparing conceptual and physically-based parameterization approaches.” *Water*, Vol. 12, No. 4, p. 1125.
- Song, J.H., Song, I.H., Kim, J.T., and Kang, M.S. (2015). “Characteristics of irrigation return flow in a reservoir irrigated district.” *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol. 57, No. 1, pp. 69-78.
- Sung, M., Jeung, M., Beom, J., Park, T., Lee, J., Jung, H., Kim, Y., Yoo, S., and Yoon, K. (2021). “Simulation of water redistribution for the resized beneficiary area of a large scale agricultural reservoir.” *Journal of The Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol. 63, No. 3, pp. 1-12.
- Wu, D., Cui, Y., Wang, Y., Chen, M., Luo, Y., and Zhang, L. (2019). “Reuse of return flows and its scale effect in irrigation systems based on modified SWAT model.” *Agricultural Water Management*, Vol. 213, pp. 280-288.
- Yalcin, E. (2019). “Estimation of irrigation return flow on monthly time resolution using SWAT model under limited data availability.” *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 64, No. 13, pp. 1588-1604.