

# 농업용수 회귀특성에 관한 연구

## The study on the characteristics of return flow in irrigation water

김 남 원\*, 신 성 철\*\*, 김 철 검\*\*\*

Nam Won Kim, Seong Cheol Shin, Chul Gyum Kim

### 요 지

현재까지 대부분의 유출 모형들은 우리나라 농업지역에 대한 적용에 있어 많은 수정이 요구되고, 그에 따른 모의 결과 또한 불확실성을 내포하고 있으며, 이의 원인중 상당수는 농업지역에서 발생하는 관개와 회귀에 따른 것이라 할 수 있다. 특히 농업지역에서의 유출 및 물사용에 대한 정확한 계측이 제대로 이루어지고 있지 못하기 때문에, 그에 따른 정확한 수자원 평가가 어려운 현실이다. 이에 본 논문에서는 본 연구진에서 개발한 순물소모량 산정방법과 회귀 관계식으로 보정된 유역의 회귀특성을 규명하고자 하였으며, 본 연구에서 사용한 모형은 SWAT모형의 농업용수 관개 기능을 보완한 SWAT-AGRIMANAGEMENT모형을 개발 이용하였다.

유역규모에서의 농업용수 사용에 따른 하천유량의 변화 및 유역내 회귀관계를 파악할 수 있었으며, 기존에 주로 관개지구 단위에서의 회귀수량 조사 결과 및 가정에 의하여 사용되던 농업용수 회귀율에 대한 보다 의미 있는 기준을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

### 1. 서 론

낙동강유역 하구조사(1977)에 의하면, 농업용수 순물소모량은 물사용으로 인하여 증가된 물소모량으로 정의하고 있으며, 이 정의는 농경지로 개발되기 전 자연상태에서 물소모량이 이미 하류하천 유량에 영향을 준 상태이므로, 농지로 개발된 후 관개시에 물 소모량 증가분에 따라 하류하천의 유량이 변화될 것이라는 운영상의 정의도 포함된다.

농업용수 회귀수량에 대한 연구는 미국에서 USGS(U.S. Geological Survey)에서 매 5년마다 물사용량을 조사하여 각 용수별 사용량과 그에 따른 회귀수량 및 회귀율을 정량적으로 제시하고 있다. 그러나, 우리나라의 경우는 반복이용가능수량 혹은 환원율을 추정하기 위해 배수량을 조사하거나, 혹은 수로 손실량을 추정하기 위한 연구등 주로 관개지구 단위에서의 연구에 국한되어 왔다. 유역 규모의 수자원 측면에서 회귀수량 조사에 대해 연구된 바는 없으며, 단지 논에서 소모되는 수량중 침투량의 약 50%, 수로손실 및 관리손실의 70%가 하천으로 회귀되는 것으로 가정하여 사용한 바 있다. (한국 수자원공사, 1988, 「영산강유역조사 보고서」)

본 연구에서는 SWAT모형을 농업용수 관개기능에 대해 수정 개선한 SWAT-AGRIMANAGEMENT 모형을 이용하여 농업용수 이용에 따른 하천유량의 변화 및 물 소모량과 회귀관계를 규명하고자 한다.

**핵심용어** : SWAT-AGRIMANAGEMENT 모형, 순물소모량, 회귀율

\* 정회원 · 한국건설기술연구원 · 수자원연구부 · 수석연구원 · 공학박사 · nwkim@kict.re.kr

\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 · 수자원연구부 · 연구원 · 공학석사 · fe982@kict.re.kr

\*\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 · 수자원연구부 · 연구원 · 공학석사 · cgkim@kict.re.kr

## 2. 농업용수 순물소모량 산정

농업용수의 순물소모량과 회귀율을 산정하기 위해 본 연구진에서 기 개발한 이론식을 적용하였으며, 간략하게 설명하면 다음과 같다.

그림 1과 같은 유역에서 상류지점의 유입량  $Q_1$ 과 하류지점의 유출량  $Q_2$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_1 = Q_1 \quad (1)$$

$$Q_2 = Q_n = Q_1 + A_n(R - E_n - I_n) \quad (2)$$

여기서,  $A_n$  : 농경지가 없을때의 유역면적,  $E_n$  : 농경지가 없을때의 증발산량,  $I_n$  : 농경지가 없을때의 침투량,  $R$  : 강우량,  $Q_n$  : 자연상태하의 유량

만약, 위의 유역에서  $A_i$ 의 면적만큼 농지로 변환되어 관개가 이루어진다고 가정한다면, 이 때 하류지점의 유출량  $Q_2$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_2 = Q_1 + (A_n - A_i)(R - E_n - I_n) + A_i[R - E_i - (1 - \psi)I_i] \quad (3)$$

여기서,  $E_i$  : 농경지에서의 증발산량,  $I_i$  : 농경지에서의 침투량,  $\psi$  : 침투량에 대한 회귀율

따라서, 농지에서의 관개로 인하여 발생하는 순물소모량은, 다음과 같이 자연상태하의 유량  $Q_n$ 과 농경지 변환 후 관측되는 유량  $Q_2$ 의 차이로서 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} Q_n - Q_2 &= A_i(R - E_n - I_n) - A_i[R - E_i - (1 - \psi)I_i] \\ &= A_i[E_i + (1 - \psi)I_i - E_n - I_n] \end{aligned} \quad (4)$$

위의 관계를 강우의 영향이 작은 장기유출 해석에 적용한다고 가정하면, 강우량  $R$ 과 자연상태의 침투량  $I_n$ 를 생략할 수 있을 것이며, 위 식을 농경지 단위면적당 소모량으로 나타내면 다음과 같이 정리될 수 있다.

$$\Delta_d = E_i + (1 - \psi)I_i - E_n \quad (5)$$

위의 이론식으로부터 농업용수 이용에 따른 순물소모량  $\Delta_d$ 는 다음과 같이 자연상태의 유량에서 실측유량을 감하여 계산될 수 있으며, 이 때의 자연유량은 모형에 의한 자연유량의 모의로부터 구해질 수도 있고, 다음과 같이 상류지점의 유입량에 대한 비유량의 면적비를 이용한 가정에 의해 구해질 수도 있다.

$$\Delta_d(\text{순물소모량}) = Q_n(\text{자연유량}) - Q_2(\text{실측유량}) \quad (6)$$

$$Q_n = Q_1 \times \frac{A}{A_1} \quad (7)$$

여기서,  $A$ 는 하류지점에 대한 전체 유역면적,  $A_1$ 은 상류지점에 대한 유역면적을 나타낸다. 따라서, 어떤 대상유역의 상류지점과 하류지점에서의 유량관측 자료를 얻을 수 있는 경우 또는 모의된 유량자료에 의해서, 유역내의 농업용수 이용으로 인한 순물소모량을 구할 수 있다. 현재 본 연구에서 사용한 순물 소모량 산정 방법은 식 (4)를 사용하였다.

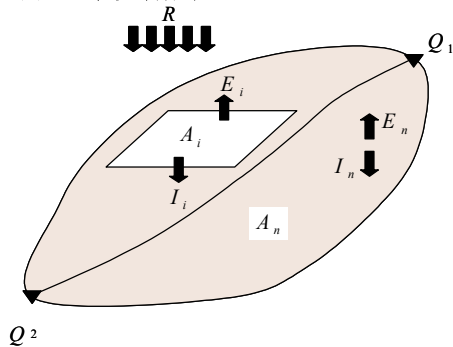


그림 1. 농업유역에서의 물수지 모식도

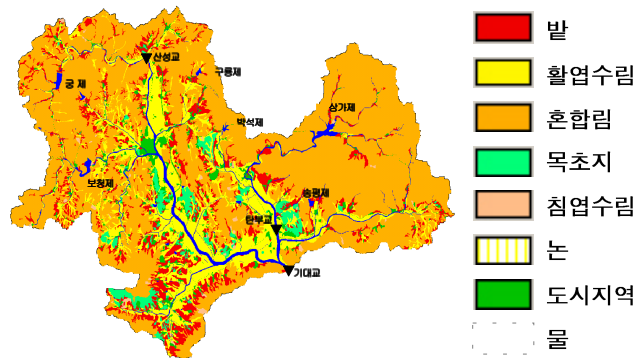


그림 2. 토지이용도

### 3. 대상유역에의 적용

#### (가) 대상유역 선정

유역내 농업용수 이용에 따른 수물소모량, 회귀관계등을 검토하기 위하여, 대상유역으로서 IHP 대표유역 중의 하나인 금강수계의 보청천 유역을 선정하였으며, 선정된 하천구간 및 유역은 기대교 상류유역이며, 강우를 포함하는 기상자료는 유역내에 위치한 보은 기상관측소의 자료를 이용하였으며, 대상유역을 총 11개의 소유역과 76개의 내부 HRU(Hydrology Response Unit)로 구분 분포시켰다. 대상유역의 유역면적 및 토지이용 분류는 그림 2와 표 1과 같다.

표 1. 토지이용 현황

	면적(km <sup>2</sup> )	비율(%)
침엽수림	216.10	62.06
활엽수림	1.71	0.49
소나무	1.95	0.56
주거지	13.36	3.84
초지	9.94	2.86
밭	36.29	10.42
논	57.79	16.60
물	11.01	3.16
계	348.15	100.00

#### (나) 수물 소모량 산정 결과

표 2는 1990년부터 1999년까지의 관개기간(4월~9월)에 대한 월별 수물 소모량을 산정한 결과이며, 결과에서 보여지듯이 관개기 동안 최소 500 mm에서 1700 mm정도의 수물소모량이 년도별로 산정되었다.

표 2. 관개전후에 의한 월별 수물 소모량

분석기간	수물소모량(mm)										
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	평균
4월	21	63	54	62	8	44	25	19	54	41	39
5월	64	58	66	141	80	66	64	180	91	81	89
6월	193	104	27	140	70	59	274	207	186	199	146
7월	303	231	203	257	107	114	276	385	313	181	237
8월	272	181	173	261	168	330	157	315	775	209	284
9월	151	117	142	163	61	44	98	91	242	204	131
계	1,004	754	665	1025	495	657	895	1197	1663	915	927

연도별 및 월별로 그 편차가 매우 크게 나타나고 있는 전년도에 걸쳐 살펴 보면 4월에 가장 작고 이후로 갈수록 수물소모량은 증가하면서 8월에 최대치가 되어 9월에 다시 감소하는 뚜렷한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 그림 3은 매년도 월별 수물 소모량을 도시 한 것이다. 그림 3에서와 같이 7, 8월에 수물 소모량이 증가함을 알 수 있다. 모의유량에 의한 수물소모량 산정은 분석기간에 대해 SWAT-AGRIMANAGEMENT 모형으로 관개유무에 대한 모의 유량의 차이로 산정하였다.

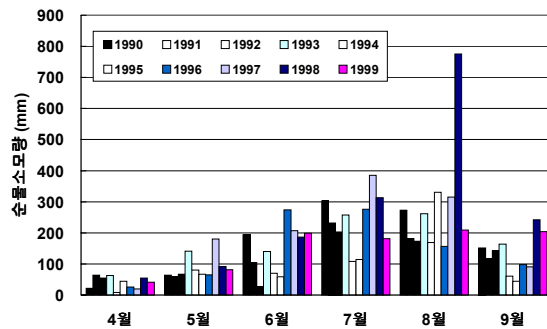


그림 3. 관개전후 유량에 의한 수물소모량

#### (다) 침투량에 따른 월별 회귀율 산정

SWAT-AGRIMANAGEMENT 모형으로 모의된 관개전후의 유량비교를 통한 수물 소모량 산정결과를 이용하여 보청천 유역의 침투량에 대한 월별 회귀율을 산정 하였다.

표 3. 침투량에 따른 월별 회귀율

월	침투량별 회귀율							
	3 mm/day	4 mm/day	5 mm/day	6 mm/day	7 mm/day	8 mm/day	9 mm/day	10 mm/day
4월	0.57	0.68	0.74	0.79	0.82	0.84	0.86	0.87
5월	0.50	0.62	0.72	0.57	0.63	0.68	0.71	0.74
6월	0.61	0.59	0.67	0.45	0.53	0.59	0.63	0.62
7월	0.53	0.65	0.72	0.52	0.59	0.54	0.47	0.48
8월	0.14	0.23	0.32	0.33	0.43	0.44	0.45	0.46
9월	0.50	0.63	0.63	0.51	0.58	0.53	0.59	0.63

표 3에서 나타난 바와 같이 우리나라 논에서의 평균 침투량을 5 mm/day로 볼 경우 그 회귀율이 8월의 경우를 제외한 나머지의 평균이 70 %에 이르는 것으로 나타났으며, 일 침투량을 3 mm/day인 경우 역시 50 %를 초과하는 월이 대부분으로 분석되었다. 이는 순물소모량의 관점에서 볼 때 기존의 침투량에 대한 회귀율을 50 %로 가정하고 있는 것에 대하여 20 % 정도 차이가 있음을 의미한다, 즉, 순물소모량이 기존의 가정에 의한 것보다 훨씬 더 작음을 시사하며, 또한, 기존에 추정된 농업용수 수요량이 과다산정 되었을 수도 있다는 것을 뒷받침 하는 근거가 될 수 있다. 물론 이는 모형에 의한 결과로 실제 상황과는 다를 수는 있다.

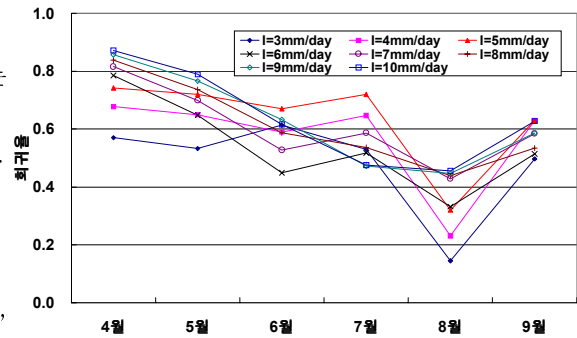


그림 4. 침투량에 따른 월별 회귀율

#### 4. 결론

SWAT모형의 담수 논에 대한 해석 알고리즘을 수정 개선한 SWAT-AGRIMANAGEMENT 모형을 개발 이용하여 농업용수의 관계에 따른 순물소모량을 산정 하였으며, 월별 회귀율을 산정하였다.

- (1) 농업용수 순물 소모량은 1990년부터 1999년의 10년간 평균 4월부터 8월까지 점차 증가하여 8월의 순물 소모량이 가장 크고 9월에 다시 감소라는 것으로 나타났다.
- (2) 월별의 침투량에 대한 회귀율을 평균 0.7로 기존의 0.5보다 크게 산정되었으며, 그 추이는 4월이 가장 크며 8월이 가장 낮게 나타나 순물소모량의 반대의 결과를 가져왔다.

이러한 연구결과는 기존에 추정된 농업용수 수요량 산정이 과다 산정되었을 수도 있다는 하나의 단서가 될 수 있으며, 지속적인 연구를 통해 우리나라 농업지역의 농업용수 수요량 산정에 기준을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원(과제번호: 2-2-1)에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

S.L.Neitsch, J.G.Anold, J.R.Kiniry, J.R.Williams (2001). Soil and Water Assessment Tool User's Manual(Ver.2000)  
 S.L.Neitsch, J.G.Anold, J.R.Kiniry, J.R.Williams (2001). Soil and Water Assessment Tool Theoretical

Documentation(Ver.2000)

M.Diluzio, R. Srinivasan, J. Arnold(2001). ArcView Interface For SWAT2000 User's Guide.

김철검, 박승우, 임상준(2000). 논지 수문특성을 고려한 소유역의 유출곡선 합성, 한국농공학회지, 제42권, 제 6호, pp.56-62

건설부, 산업기지개발공사(1977). 낙동강유역하구조사

서울대학교 농업생명과학대학 부속 농업개발연구소(1998). 한강유역 농업용수 실제 사용량 및 회귀율 조사

한국수자원공사(1993). 21세기를 바라보는 수자원 전망

농림부, 농어촌진흥공사(1999). 농촌용수 수요량 조사 종합보고서