

# 농업유역의 관개회귀수량 추정 모형의 개발

○ 임상준<sup>\*)</sup> · 박승우<sup>\*\*)</sup>

## 1. 서 론

농업유역은 농작물의 재배활동이 이루어지는 생산공간으로서 논, 밭 등의 경작지와 산림지 및 주거지 등으로 구성되어 있으며, 작물의 생육에 필요한 물을 인위적으로 공급하기 위한 수원공 시설이 위치하고 있다. 이들 수원공은 하천수나 지하수를 취수하여 관개지구에 공급하게 된다. 이와 같이, 농업유역에는 작물의 재배를 위한 관개용수의 영향으로 상·하류의 하천 유황이 증가하거나 감소하게 된다. 특히, 관개용수중의 일부는 작물에 의해서 소비되지 않고 하천으로 다시 흘러나오게 되는 데, 이를 관개회귀수량(irrigation return flow)이라 한다. 관개회귀수량은 유역의 용수수급해석, 하천 유황의 예측 등 수자원의 계획에 있어서 중요한 역할을 하고 있으나, 우리나라에서는 아직까지 이에 대한 연구가 미비한 실정이다.

관개회귀수량은 그 수문기작이 복잡하고, 기상, 작물, 토양 등의 물리적인 요소와 물 관리 등의 인위적인 요인 등이 작용하고 있기 때문에 단순한 배수량의 측정만으로 그량을 정확하게 추정하기 어렵다. 그러므로, 농업유역의 수문특성을 모의할 수 있는 수학적 모형을 구성하고, 정밀한 수문모니터링 결과로부터 현장 적용성을 평가하여, 관개용수의 공급에 따른 회귀수량을 추정할 수 있다.

농업유역은 작물의 재배를 위한 관개지구와 산림지, 밭 등의 비관개지구로 구성되어 있으며, 관개회귀수량을 추정하기 위하여는 관개지구의 지표배수량뿐만 아니라, 비관개지구로부터 유입되는 횡 유입량을 고려한 유역단위의 관개회귀수량 모델링을 실시하여야 한다. 따라서, 본 연구에서는 유역 유출량 모형, 관개지구 배수량 모형 및 관개회귀수량 모형 등으로 이루어진 농업유역의 관개회귀수량 추정 모형인 REFLOW (irrigation REturn FLOW model)을 개발하였으며, 발안지구 및 기천지구에 적용하여 농업유역의 관개회귀수량을 추정하였다.

---

<sup>\*)</sup> 서울대학교 농공학과 공학박사

<sup>\*\*)</sup> 서울대학교 농업생명과학대학 교수

## 2. REFLOW 모형

관개지구의 수문순환은 관개용수의 공급으로 인한 유출순환과 배후유역의 유출순환으로 구분할 수 있다. REFLOW 모형은 배후유역으로부터 지구 유입량을 추정하는 유역 유출량 모형과 관개지구의 지표배수량을 모의하는 관개지구 배수량 모형으로 구성되어 있으며, 관개량 중에서 하천으로 흘러나오는 회귀수량을 추정하게 된다. 관개회귀수량은 다시 신속 관개회귀수량과 지연 관개회귀수량으로 구분하여 추정한다. 그림 1은 REFLOW 모형의 계산흐름도를 보여주고 있다.

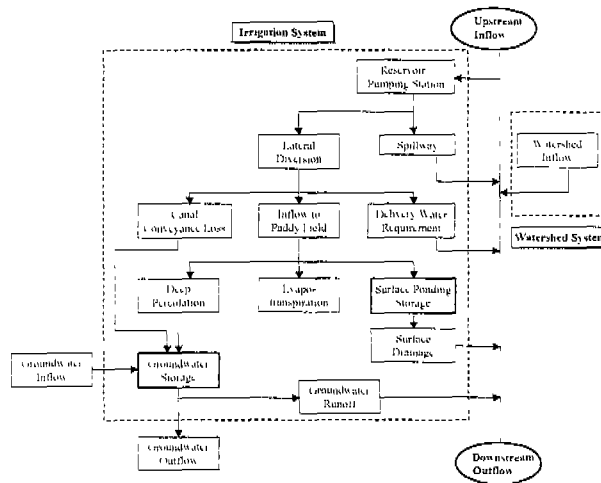


그림 1. REFLOW모형의 계산흐름도

### 2.1 유역 유출량 모형

유역 유출량 모형은 배후 유역으로부터 유입되는 횡 유입량을 추정하기 위한 것으로, 3개의 저류 Tank를 이용하여 일 유출량을 모의한다. 1단 저류 Tank는 지표 유출 성분을 모의하며, 2단 및 3단 저류 Tank는 지표하 유출 및 지하수 유출 성분을 모의한다. 또한, 산림유역에서 수목에 의한 강우 차단량과 유역 증발산량을 고려하여 유출 과정을 모의한다.

### 2.2 관개지구 배수량 모형

관개지구에 공급된 수량은 담수심을 보충하며, 초과된 수량은 물꼬를 월류하여 배수로를 통하여 하천으로 배수된다. 배수량은 관개지구에 공급된 수량이 물꼬를 넘어 하천으로 흘러나오는 량으로 당일의 담수심과 물꼬높이로부터 아래의 식으로부터 계산된다.

$$\begin{aligned} DR_t &= ST_t - CH, & ST_t > CH \\ DR_t &= 0.0, & ST_t \leq CH \end{aligned} \quad (1)$$

여기에서,  $DR_t$ 는 t일의 지표배수량(mm/day)이며,  $ST_t$ 는 t일의 담수심(mm),  $CH$ 는 물꼬높이(mm)이다. 담수심은 논에서의 물수지 식으로부터 계산된다. 논에서의 물수지는 관개량, 강우량, 증발산량 및 침투량 등으로부터 담수심을 계산하여 얻을 수 있다.

$$ST_t = ST_{t-1} + IR_t + RAIN_t - INF_t - ET_t \quad (2)$$

여기서,  $IR$ 은 관개량(mm),  $RAIN$ 은 강우량(mm),  $INF$ 는 침투량(mm),  $ET$ 는 증발산량(mm)이다.

### 2.3 관개회귀수량 모형

관개회귀수량은 신속 관개회귀수량과 지연 관개회귀수량으로 구분하여 계산한다. 신속회귀수량,  $QRF$ 는 아래 식과 같이 배분관리용수량,  $DWR$ 과 지표배수 관개량,  $OF$ 로부터 구한다.

$$QRF_t = OF_t + DWR_t \quad (3)$$

여기서,  $DWR$ 는 배분관리용수량이며,  $OF$ 는 지표배수량중에서 관개용수의 공급으로 인하여 발생하는 량으로 관개량, 담수심, 물꼬높이에 따라 결정된다. 관개용수중에서 지표배수되는 량,  $OF$ 는 다음과 같이 구한다.

① 무강우시에는 물꼬를 넘어 월류하는 수량으로 한다.

② 강우량에 의하여 증가된 담수심이 물꼬보다 높을 경우에는 관개량을 모두 지표배수 관개량으로 한다.

③ 강우에 의한 담수심이 물꼬보다 낮으면, 공급된 관개량으로부터 담수심을 계산하여 물꼬 월류량을 지표배수 관개량으로 한다.

지연 회귀수량은 토양중으로 침투한 수량이 포화된 토양층으로부터 유출되는 것으로, 지하수 유출에 대한 모델링을 통하여 관개와 비관개 조건에 대한 지하수 유출성분의 변화를 추정하고, 이로부터 관개용수로 인한 지연회귀수량을 계산한다. 이를 위하여 본 모형에서는 비관개 조건의 관개지구(imaginary block)를 구성하였다.

$$DRF_t = GWFIR_t - GWFNO_t \quad (4)$$

여기서,  $DRF$ 는 지연회귀수량(mm/day)이며,  $GWFIR$ 는 관개지구로부터 유출되는 지하수 유출량(mm/day)이고,  $GWFNO$ 는 동일한 관개지구에서 관개량이 공급되지 않는 조건(imaginary block)에서 유출되는 지하수 유출량(mm/day)을 의미한다.

관개회귀수량은 식 (5)와 같이 신속 회귀수량과 지연 회귀수량을 모두 합하여 일별로 추정하며, 관개회귀율은 수원공에서 공급된 수량,  $WU$ 과 관개회귀수량의 비로써 구한다.

$$RETFLO_t = QRF_t + DRF_t \quad (5)$$

$$RATIO_t(\%) = \frac{RETFLO_t}{WU_t} \times 100.0 \quad (6)$$

### 3. 관개회귀수량 추정 모형의 적용

#### 3.1 대상지구 개요

농업유역의 관개회귀수량을 추정하기 위한 대상지구는 경기도 화성군 봉담면과 팔탄면의 발안지구 및 기천지구 2곳을 선정하였다. 발안지구 및 기천지구는 표 1과 같이 중소규모의 농업유역으로 강우량, 관개량, 지천 유입량 및 하천 유량을 현장 조사하기 위한 수문계측망이 구성되어 있다(임상준 등, 2000).

표 1. 대상지구의 개요 및 수문계측망

지구명	유역면적 (ha)	관개면적 (ha)	수문계측망
발안지구	816.8	221.3	○강우계 1개소 ○관개량 1개소 ○지천 유입량 1개소 ○하천 유출량 1개소
기천지구	313.2	61.5	○관개량 1개소 ○지천 유입량 1개소 ○하천유출량 1개소

#### 3.2 하천 유출량 추정

농업유역의 하천 유출량은 상류 하천의 유입량, 지천 유입량, 관개회귀수량 등으로 구성되어 있다. 대상지구에 대하여 REFLOW 모형을 적용하고, 관개지구 하루의 하천 유출량을 추정하여 실측 유출량과 비교한 결과는 표 2와 같다.

표 2. REFLOW모형에 의한 하천 유출량 추정 결과

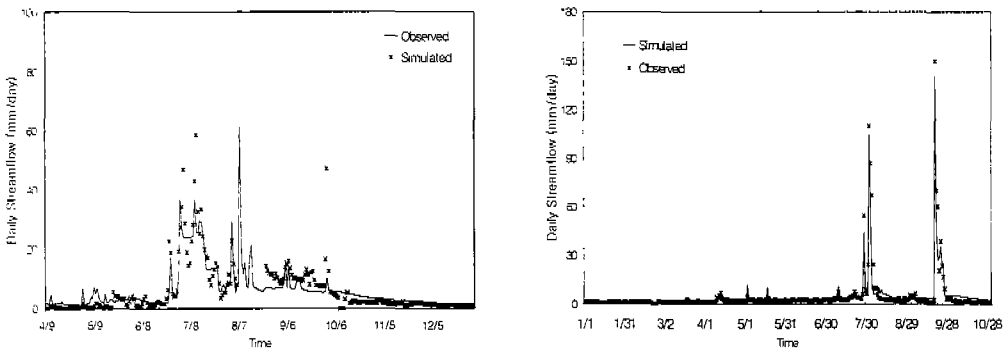
구분	유역명	자료기간	강우량 (mm)	하천유출량 (mm)		상대 오차(%)
				실측	추정	
보정	HP#1	'98. 4. ~ '98. 9	1,189.9	1,057.5 (88.9) <sup>1</sup>	1,088.1 (91.4)	2.9
	HP#7	'98. 4. ~ '98. 12	1,110.5	1,261.3(113.6)	1,180.3(106.3)	6.4
검정	HP#1	'99. 3. ~ '99. 7	917.0	889.3 (98.9)	836.2 (91.2)	6.0
	HP#7	'99. 1. ~ '99. 10	1,460.0	1,396.8 (95.7)	1,356.9 (92.9)	2.8

주1) ( )는 유출율 (%)

모형의 보정을 위한 조사기간동안의 HP#1의 강우량은 1,189.9mm이었으며, 실측 유출량은 1,057.5mm이고 추정된 유출량은 1,088.1mm이었다. HP#7의 1998년 강우량은 1,110.5mm이었으며, 추정 유출량이 1,180.3mm로 나타났으며, 실측된 유출량은 1,261.3mm이었다. 모형의 보정 결과 실측 유출량과 추정 유출량의 상대오차는 HP#1는 2.9%, HP#7은 6.4%이었다.

HP#1의 1999년의 조사기간 동안의 강우량은 917.0mm이었으며, 실측된 유출량은 889.3mm이고 추정된 유출량은 836.2mm이었으며, HP#7의 경우 실측 유출량과 추정 유출량이 각각 1,396.8mm, 1,356.9mm로 나타났다. HP#1과 HP#7의 일별 유출량의  $R^2$ 는 0.934, 0.810으로 나타났다.

표 2의 결과에 의하면 유출율이 89%~114%로 매우 크게 나타나는 데, 이는 상류에 위치한 저수지로부터 홍수조절을 위하여 방류된 상류 유입량과 관개용수의 회귀수량이 하천으로 유출되었기 때문이다.



(a) 1998년

(b) 1999년

그림 2. 하천유출량 비교 (HP#7)

### 3.3 관개회귀수량 추정

REFLOW 모형을 적용하여 구한 시험지구의 신속 관개회귀수량 및 지연 관개회귀수량은 표 3과 같다. 발안지구의 관개회귀수량은 1998년에 335.9mm이었으며, 신속 관개회귀수량이 105.4mm, 지연 관개회귀수량이 229.6mm로 나타났으며, 관개회귀율은 33.3%이었다. 1999년의 발안지구 관개량은 1,143mm, 관개회귀수량은 368.1mm이었으며, 관개회귀율은 32.2%이었다.

기천지구의 1998년의 관개량은 918mm, 관개회귀수량은 437.1mm이었으며, 신속 관개회귀수량이 197.2mm, 지연 관개회귀수량이 239.9mm로 관개회귀율은 47.6%이었다. 또한, 1999년의 기천지구 관개회귀수량은 418.6mm로 관개량 1,085mm에 대한 관개회귀율은 38.5%로 나타났다.

표 3. 관개회귀수량 추정 결과

지구명	관개량 (mm)	관개회귀수량 (mm)			관개회귀 율 (%)	
		신속	지연	계		
발안	1998	1,004	105.4	229.6	335.0	33.3
	1999	1,143	109.7	258.4	368.1	32.2
기천	1998	918	197.2	239.9	437.1	47.6
	1999	1,085	165.2	253.4	418.6	38.5

표 3에 의하면 기천지구의 관개회귀수량이 발안지구보다 많은 것으로 나타나는 데, 이는 기천지구가 발안지구의 상류에 위치하여, 기천지구의 하천 유출량이 다시 발안지구의 발안저수지로 유입되어 저수량을 확보하는 등 연계운영에 따른 현상으로, 상대적으로 기천지구의 관개용수 이용률이 낮은 것으로 보인다.

#### 4. 요약 및 결론

농업유역의 관개회귀수량을 추정하기 위하여 유역 유출량 모형, 관개지구 배수량 모형 및 관개회귀수량 모형으로 이루어진 REFLOW 모형을 구성하였으며, 발안지구 및 기천지구에 적용하여 적용성을 평가하고, 관개회귀수량을 추정하였다.

발안지구의 관개회귀율은 1998년에 33.3%, 1999년에 32.2%를 보였으며, 발안지구의 상류에 위치하여 발안저수지로 유입되는 기천지구는 1998년에 관개회귀율이 47.6%이었으며, 1999년에는 38.5%의 관개회귀율을 보였다.

#### 참고문헌

1. 안세영, 1989, 답지대의 물수지와 용수의 반복이용에 관한 연구, 경상대학교 박사학위논문.
2. 임상준, 박승우, 강문성, 2000, 중소유역의 관개회귀수량 수문모니터링, 한국수자원학회 학술발표논문집.
3. 정상욱, 오창준, 남효석, 1997, 저수지 농업용수 회귀율 조사연구, 한국농공학회 학술발표논문집, pp. 46-51.
4. Mays, L. W., 1996, Water resources handbook, McGraw-Hill.