

# 남한강 유역의 논 농업용수 회귀율 산정

- 충청북도 음성과 충주지역을 대상으로 -

○오승영\*, 김진수\*\*, 박종화\*\*\*

## 1. 서 론

우리나라의 1998년도 현재 건설교통부에서 발표한 수자원 총량은 1,276억  $m^3$ /년이다. 이 중 생활용수, 공업용수, 농업용수, 유지용수 등 총 이용 가능한 용수공급량은 26%에 불과한 331억  $m^3$ /년이다. 농업용수 사용량은 전국적으로 용수공급량(331억  $m^3$ /년) 중 48%인 158억  $m^3$ /년을 차지하고 있는 것으로 조사되어 앞으로의 수자원 이용과 관리에 매우 중요한 부분을 차지하고 있다. 수자원 장기종합계획(건설교통부, 2001) 용수수요 전망에 있어서 2011년도에는 1998년보다 생·공용수의 경우는 각각 약 19%, 40% 증가된 용수를 신규로 개발하는데 반해, 농업용수의 경우는 약 2% 증가된 162억  $m^3$ /년으로 예상하였다. 농업용수는 공급 우선순위에서 생활용수보다 떨어지며 또한 단위체적 당 생산성이 공업용수에 비해 낮기 때문에 농업용수를 절약하여 생·공용수로 전환해야 한다는 이론이 크게 앞서고 있다. 그러나 농업용수로 공급되는 용수의 상당부분은 다시 회귀되어 하천으로 유입되고 있으나 이에 대한 현장조사와 자료는 그리 많지 않는 실정에 있다.

특히 농업용수 중 논 관개용수가 차지하는 비율은 1998년 현재 158억  $m^3$ /년 중 82%에 해당하는 130억  $m^3$ /년으로 상당히 많은량을 차지하고 있다. 이러한 논 관개용수는 모두 작물에 의해 직접적으로 소비되는 것은 아니다. 용수를 취수하여 흐르는 과정에서 발생하는 수로 손실량, 관개에 사용되지 않고 유말공에서 직접 배수로와 하천으로 빠져나가는량 등과 같이 지표수의 형태로 신속히 유출되는 형태와, 관개된 후에도 토양중으로 침투한량은 지하수위를 상승시킨 후, 오랜 시간이 흐른 후에 하천으로 서서히 유출되는 것 모두를 고려해야 한다. 이와 같이 관개수량 중 소모되지 않고 다시 하천으로 유입되는 수량을 회귀수량이라 하며 회귀수량의 관개수량에 대한 비율을 회귀율이라 한다. 우리나라에서의 회귀율 조사는 1997년부터 농어촌진흥공사와 한국 수자원공사에서 체계적인 연구를 시작하였으며, 연구방법 및 환경에 따라 1.3% ~ 85.7%까지 심한 편차를 보이고 있다. 우리나라의 최대 유역을 갖는 한강의 경우, 건설교통부와 서울지방국토관리청(1998)에서 조사한 것뿐이고 또한 남한강을 유역으로 대상으로 한 농업용수 회귀율 조사는 전혀 이루어지지 않고 있다. 그러나 장기적인 수자원 관리계획과 개발 정책에는 농업용수 회귀수량 및 회귀율에 대한 조사를 필요로 하며 이에 따른 대책이 요구되고 있다.

이에 본 연구의 목적은 남한강의 논 유역을 대상으로 용수량, 지표유출량, 침투량 및 증발산량을 측정하여 논 농업용수의 회귀수량과 회귀율을 조사함으로써 장기적인 수자원 계획 및 정책의 기초자료를 제공하고자 한다.

## 2. 조사지구 및 조사방법

### 2.1 조사지구 현황

논 농업용수 회귀율을 산정하기 위한 연구유역은 100% 논으로 구성되어있고, 관개수의 용·배수 계통이 간단하여 용·배수의 측정이 용이하며, 지구내의 물수지 분석이 용이한 작은 유역을 선정하였다. 본 조사지구는 충북 음성군 원남면 하로리(이하 '음성지구')와 충북 충주시 주덕읍 당우리(이하 '충주지구')의 남한강 상류유역에 위치하고 있다(Fig. 1). 이 두 지구는 용·배수가 분리된 경지정리가 된 곳으로써 용수로는 큰크

\* 충북대학교 대학원 농공학과 박사수료

\*\* 충북대학교 농공학과 교수

\*\*\* 충북대학교 농공학과 조교수

리트 수로로 구성되어 있으며, 배수로는 흙수로 구성된 남한강 유역의 중소규모의 농경지대로 측정이 용이한 유역이다.

음성지구는 농경지 면적이 14.8 ha로서 단위구획 면적이 0.3 ha(30×100 m)이고 용수원은 조사 논으로부터 약 1.5 km 정도 떨어진 구안저수지이며 관개 후에는 구안천으로 배수되고 있다. 충주지구는 농경지 면적이 10.6 ha로서 단위구획 면적이 1.0 ha(100×100 m)이고 용수원은 충주시 주덕읍에 위치한 용원저수지에서 요도천으로 방류한 물을 하천보에서 취수하여 관개하고 관개 후에는 다시 요도천으로 배수되고 있다. 조사지구의 토양은 미농무성의 삼각좌표분류법에 의하면, 음성지구와 충주지구 모두 양토(loam)로 나타났다.

## 2.2 조사 방법

### 2.2.1 측정방법

조사기간은 2002년 5월 18일부터 9월 26일(131일)까지의 관개기간동안 측정하였으며, 관개량과 배수량은 용수로와 배수로에 각각 1곳씩 압력식 수위계(WL-14)를 2곳에 설치하고 1시간 간격으로 측정하였다. 평균 주 1회씩 주기적으로 조사지구에서 전자식 유속계를 이용 유속을 측정하고 압력-유량 곡선 식으로부터 유량을 산정하였다. 수위 및 유속 측정 지점은 Fig. 1과 같은 곳에서 음성지구의 경우 용수로 시점 1곳, 용수로 말단 2곳, 배수로 말단 1곳에서 측정하였고, 충주지구의 경우 용수로 시점 1곳, 용수로 말단 2곳, 배수로 말단 1곳에서 측정하였다. 강우량은 음성지구의 경우 조사지구로부터 약 3 km 정도 떨어진 음성군 농업기술센터에 설치된 강우량을 이용했고, 충주지구의 경우 조사지구로부터 약 2 km 정도 떨어진 주덕읍에서 측정된 강우량을 이용하였다. 심층침투심은 지름 20 cm의 원통형 심층침투량계를 20 cm 깊이로 논에 압입(壓入)하여 주 1회 측정하였다. 감수심도 지름 30 cm의 원통형 감수심계를 20 cm 정도 논에 압입하여 심층침투심과 같이 주 1회 연속 측정하였다. 증발산량은 감수심에서 심층침투심을 감(減)함으로써 얻어졌다.

### 2.2.2 물수지 및 회귀율 산정방법

조사지구의 강우량, 용수량, 지표유출량, 침투량 및 증발산량이 측정되면 물수지 계산을 통하여 신속회귀수량과 지연회귀수량을 계산하였다. 물수지 분석은 강우의 영향을 받지 않은 평상시를 선정하여 산정하였다. 논 유역의 물수지는 식 (1)과 같이 표시할 수 있다.

$$(R+G_1+D_1)-(ET+G_2+D_2)=\Delta S \quad (1)$$

여기서,  $R$ 은 강우량(mm),  $ET$ 는 증발산량(mm),  $G_1$ ,  $G_2$ 는 각각 지하수 유입량과 유출량(mm),  $D_1$ ,  $D_2$ 는 각각 지표수의 유입량과 유출량(mm), 그리고  $\Delta S$ 는 저류량의 변화(mm)를 나타낸다.

강우의 영향을 받지 않는 날이면,  $R=0$ 이 되며, 이 때의 물수지는 식 (2)와 같이 된다.

$$D_1-(D_2+P+ET)=\Delta S \quad (2)$$

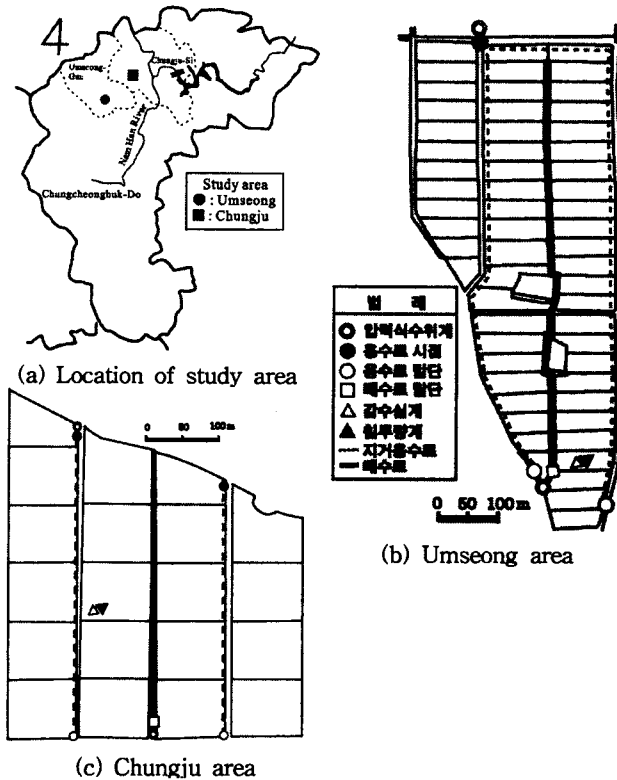


Fig. 1. Layout of study area

여기서 P는 심층침투량(mm)으로써 지하수 유출입량( $G_1 - G_2$ )과 같다.

즉 지표유입량  $D_1$ 에서 지표유출량  $D_2$ , 심층침투량 P 및 증발산량 ET의 합의 차로부터 저류량의 변화  $\Delta S$ 를 얻을 수 있다. 논으로 관개되는 용수량은 음성지구와 충주지구 모두 용수로 시점의 유량의 합에서 용수로 말단의 유량의 합을 감(減)함으로써 계산하였다. 또한, 강우의 영향을 받지 않은 평상시 지표유출량은 전체 지표유출량에서 강우로 인해 유출곡선이 상승한 후 다시 하강하여 상승전의 유량으로 된 시점까지의 유출을 강우시 유출로 간주하여 이 부분을 제외한 값을 사용하였다.

시험유역의 신속회귀수량은 지표유출량( $D_2$ )로 그리고 자연회귀수량은 심층침투량(P)로 간주한다. 신속회귀율은 식 (3), 자연회귀율은 식 (4)과 같이 계산할 수 있으며 회귀율은 신속회귀율과 자연회귀율을 합한 값이다.

$$\text{신속회귀율}(\%) = \frac{D_2}{D_1} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{자연회귀율}(\%) = \frac{P}{D_1} \times 100 \quad (4)$$

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 강우량

관개기간 동안의 강우량은 음성지구의 경우 1,091.0 mm로 나타났다으며, 최대 일강우량은 8월 7일에 308.0 mm를 기록하였다. Fig. 2. Measured daily percolation and evapotraspiration in Umseong

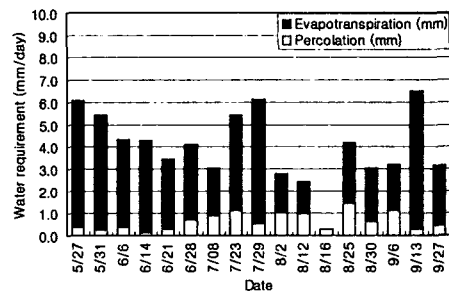


Fig. 2. Measured daily percolation and evapotraspiration in Umseong

#### 3.2 심층침투량과 증발산량

관개기간동안 음성지구와 충주지구의 심층침투량과 증발산량은 Fig. 2 ~ 3과 같다. 음성지구와 충주지구의 심층침투량은 각각 86.8 mm(0.66 mm/d), 95.8 mm(0.73 mm/d)으로 충주지구가 9.0 mm 적게 침투되었다. 증발산량은 음성지구가 425.5 mm(3.2 mm/d), 충주지구가 549.4 mm(4.2 mm/d)로 나타나 음성지구보다 충주지구가 1.0 mm/d가 많게 측정되었다.

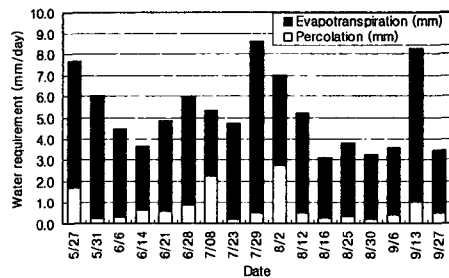


Fig. 3. Measured daily percolation and evapotraspiration in Chungju

#### 3.3 물수지 분석

강우가 없는(평상시) 물수지 분석은 식 (2)와 같은 방법으로 분석하였으며, 결과는 Table 1, 2와 같다. 음성지구의 무강우시 물수지 분석결과 총용수량은 494.1 mm, 총지표유출량은 2.2 mm, 총심층침투량은 86.8 mm, 총증발산량은 425.5 mm, 저류량은 -36.7 mm로 나타났다. 충주지구의 무강우시 물수지 분석결과 총용수량은 1620.5 mm, 총지표배수량은 979.2 mm, 총심층침투량은 95.8 mm, 총증발산량은 549.4 mm, 저류량은 -21.5 mm로 나타났다.

#### 3.4 농업용수 회귀수량 추정(Table 1, 2)

음성지구의 관개기간 중 신속회귀율은 0.4%, 자연회귀율은 17.6%로 전체 회귀율은 18.0%로 나타났다. 순별 최대 회귀율은 7월 초순에 77.5%이다. 신속회귀율이 0.4%로 상당히 적게 나타났는데, 이것은 관개기간 중 관개량이 494.1 mm로서 상당히 적은량이 유입되었고 대부분 침투(86.8 mm)와 증발산(441.8 mm)으로 유출되어 배수로를 통한 지표유출량은 거의 없기 때문이다. 충주지구의 관개기간 중 신속회귀율은 60.4%, 자연회

귀율은 5.9%로 전체 회귀율은 66.3%로 나타났다. 신속회귀율이 100% 이상으로 나타난 것은, 이전에 눈에 담수된 물이 이 시기에 배수되었기 때문으로 사료된다.

**Table 1. Water balance and return flow rate during dry periods in Umseong**

Month		Inflow (mm)	Outflow (mm)			$\Delta S$ (mm)	Fast return flow rate(%)	Delayed return flow rate(%)	Return flow rate (%)
		Irrigation	Surface Outflow	Evapotrans- piration	Percolation				
May	Mid	66.1	0.0	17.2	1.01	47.8	0.0	1.5	1.5
	Late	114.9	1.5	60.8	3.38	49.2	1.3	2.9	4.2
Jun.	Early	79.0	0.1	40.5	2.49	35.9	0.1	3.1	3.3
	Mid	38.4	0.0	35.5	2.22	0.6	0.0	5.8	5.8
Jul.	Late	15.4	0.0	31.1	7.06	-22.8	0.0	45.9	45.9
	Early	12.3	0.0	25.7	9.50	-22.9	0.0	77.5	77.5
Aug.	Mid	15.6	0.0	42.7	11.33	-38.5	0.0	72.6	72.6
	Late	15.5	0.7	50.1	8.38	-43.7	4.3	54.2	58.5
Sep.	Early	14.8	0.0	14.8	9.93	-9.9	0.0	67.3	67.3
	Mid	17.6	0.0	13.7	8.79	-4.9	0.0	49.9	49.9
Total	Late	37.0	0.0	27.9	11.40	-2.2	0.0	30.8	30.8
	Early	10.9	0.0	37.1	7.92	-34.2	0.0	72.8	72.8
Total	Mid	55.0	0.0	28.3	3.43	23.3	0.0	6.2	6.2
	Late	1.7	0.0	16.3	0.00	-14.6	0.0	0.0	0.0
Total		494.1	2.2	441.8	86.8	-36.7	0.4	17.6	18.0

**Table 2. Water balance and return flow rate during dry periods in Chungju**

Month		Inflow (mm)	Outflow (mm)			$\Delta S$ (mm)	Fast return flow rate(%)	Delayed return flow rate(%)	Return flow rate (%)
		Irrigation	Surface Outflow	Evapotrans- piration	Percolation				
May	Mid	61.5	112.1	18.0	5.00	-73.5	182.1	8.1	190.3
	Late	275.0	36.6	65.0	12.67	160.7	13.3	4.6	17.9
Jun.	Early	202.5	41.5	36.9	4.50	119.6	20.5	2.2	22.7
	Mid	248.9	123.5	37.8	5.94	81.7	49.6	2.4	52.0
Jul.	Late	269.6	85.3	46.3	10.95	127.0	31.6	4.1	35.7
	Early	8.0	1.6	34.0	18.07	-45.7	20.0	227.3	247.3
Aug.	Mid	6.9	0.0	45.3	2.00	-40.5	0.0	29.2	29.2
	Late	43.3	10.0	70.8	9.08	-46.5	23.1	21.0	44.1
Sep.	Early	332.3	179.4	46.1	9.50	97.3	54.0	2.9	56.8
	Mid	5.7	112.4	34.5	3.37	-144.6	1960.4	58.7	2019.1
Total	Late	136.9	225.7	35.6	3.11	-127.6	164.9	2.3	167.2
	Early	18.4	11.9	47.8	6.62	-48.0	65.0	36.0	101.1
Total	Mid	10.0	39.1	31.3	5.02	-65.5	390.2	50.1	440.3
	Late	1.5	0.0	17.6	0.00	-16.1	0.0	0.0	0.0
Total		1620.5	979.2	567.0	95.8	-21.5	60.4	5.9	66.3

#### 4. 요약 및 결론

본 연구에서는 남한강 수계의 농업용수 회귀수량을 조사하기 위해 2002년 관개기 동안 조사되었다. 용수원이 저수지와 하천보인 두 지구를 대상으로, 강우가 없는 평상시의 물수지 분석을 통하여 회귀율을 산정하였다. 음성지구의 신속회귀율 및 지연회귀율은 각각 0.4%, 17.6%로, 전체 회귀율은 18.0%로 나타났다. 음성지구의 신속회귀율이 낮은 것은 적은 관개량이 유입되어, 관개량의 대부분이 증발산으로 대부분 손실되었기 때문이다. 또한, 하천보를 통해 취수하는 충주지구의 경우 신속회귀율 및 지연회귀율은 각각 60.4%, 5.9%로, 전체 회귀율은 66.3%로 나타났다.

#### 참 고 문 헌

1. 건설교통부, 2001, 수자원 장기계획
2. 건설교통부, 서울지방국토관리청, 1998, 한강수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정보고서