한국관개배수 제 9 권 제 2 호
KCID J. VOL. 9 No. 2 (2002. 12) pp. 68-77

논 문

북한강 유역 춘천지역의 논 농업용수 회귀율 산정

Return Flow Rate Estimation of Irrigation for Paddy Culture in Chuncheon Region of the North Han River Basin

최 중 대*, 최 예 환*
Choi, Joong-Dae Choi, Ye-Hwan

Abstract

Return flow rate of agricultural irrigation for rice culture was investigated in the North Han river basin. Two small paddy watersheds were chosen and irrigation, drainage, infiltration and evapotranspiration were monitored and estimated during the irrigation season of 2002. The soil texture of the watersheds was mainly composed of sandy clayey soil. Fast and delayed return flows and flow rates were calculated through the analysis of water balance when irrigation and drainage were stabilized. The irrigation were 838.9 mm and 710.2 mm, the surface drainage 171.0 mm and 26.4 mm, the infiltration 362.0 mm and 381.3 mm and the evapotranspiration 305.8 mm and 302.4 mm, respectively. The 10-day return flow rates ranged from 50.9% to 152.3% and from 29.7% to 88.6%, and the monthly return flow rates from 60.9% to 91.5% and from 48.3% to 73.6%, respectively. The average return flow rates during the irrigation season were 63.5% and 57.4%, respectively.

I. 서 론

농업용수는 1998년 현재 용수공급 총량 330억톤의 약 48%인 158억톤을 사용하여 우리 나라에서 가장 많은 수자원을 사용하는 분야이다. 농업의 현대화와 생산성 향상을 위하여 농업용수는 향후 약 3억 m^3 정도 추가로 확보되어야 할 것으로 예상하고 있다(건교부, 2001). 일부에서는 농업용수가 생활용수나 공업용수에 비하여 생산성이 낮기 때문에 향후의 물 부족 사태에 대비하여 농업용수의 사용량을 제한하고 생활이나 공업용수로 더 많은 용수를 공급해야 한다는 주장이 제기되고 있다. 그러나 농업용수의 공익적, 친환경적 기능을 고려하면 농업용수의 합리적 보전과 개발이 필요하다.

농업용수의 대부분은 벼농사를 위해 논에서 소비되고 있다. 관개를 통하여 논으로 공급되는 관개용수는 논에서 증발산량, 지하침투량, 자연적 및 인위적인 배수량으로 소비된다. 관개용수 중 증발산량을 제외한 배수량과 지하침투량은 논 지역에서 환원되어 재이용되거나 혹은 하천으로 회귀한다. 공급된 관개용수가 하천으로 다시 회귀하는 수량을 회귀수량이라 하고, 공급한 관개용수에 대한 회귀수량의 비를 회귀율이라고 한

* 강원대학교 농업생명과학대학(jdchoi@kangwon.ac.kr)

키워드 : 농업용수, 신속회귀율, 지연회귀율, 회귀율

다. 회귀율이 높으면 관개용수로 사용한 용수 중 많은 양이 하천으로 되돌아가 생활용수나 공업용수로 활용될 수 있다. 우리 나라에서는 회귀율을 조사연구한 자료가 많지 않기 때문에 제한된 국내의 자료와 외국의 자료를 이용하여 건설교통부에서는 농업용수의 33% 정도가 하천으로 회귀한다고 가정하고 관개용수량을 산정하기 때문에 농업용수는 실제 사용량보다 과다하게 산정되는 경향이 있다. 따라서 정확한 용수의 공급과 수요관리계획을 위해서는 가장 많은 용수를 사용하는 농업용수의 회귀율을 정확하게 측정하고 이를 수자원 관리계획에 반영할 필요가 있다.

우리 나라에서 농업용수 회귀율을 체계적으로 조사연구한 사업은 건설교통부가 1997년부터 4대강 유역의 하천수 사용량 조사의 일환으로 수행한 농업용수 회귀율 조사이다 (건설교통부, 익산지방 국토관리청, 1999; 건설교통부, 부산지방국토관리청, 1997; 건설교통부, 서울지방국토관리청, 1998; 건설교통부, 대전지방국토관리청, 1999). 4대강 유역의 하천수 사용량 조사 중 농업용수 회귀율 조사는 김영식 등(1999), 김태철(2002), 서울대학교 농업개발연구소(1998), 안세영과 이근후(1990), 안세영과 이근후(1991), 정상옥과 손성호(2001), 정상옥 등(1997), 정운태 등(1998)에 의해 수행되었다. 또한 건설교통부 등(1997)은 수자원 계획의 최적화 연구(I)에서, 농어촌진흥공사(1999)는 농촌용수 수요량 조사 종합보고서에서, 그리고 한국수자원공사(1990)는 낙동강 유역조사 보고서에서 농업용수의 환원율과 회귀율에 대한 조사를 일부 수행하였다. 이들 조사자료의 회귀율은 조사자와 연구방법에 따라 최소 1.34%에서 최대 85.7%까지 다양하며 심한 편차를 보이고 있다. 그러나 한강의 최대 지류인 북한강 유역의 농업지대에 대한 농업용수의 회귀율 조사는 전혀 이루어지지 않았다. 한강의 합리적인 수자원 수요와 공급계획을 위해서는 북한강 유역의 농업용수 회귀율 조사가 절실히 요구되어 왔다.

본 연구는 한강에서 취수하여 농업용수로 이용되어 회귀되는 양을 측정하기 위하여 북한강 수계의 춘천지역에서 실험적으로 용수량, 지표배수량, 침투량 그리고 증발산량을 산정하여 농업용수의 하천 회귀수량과 회귀율을 조사하기 위한 목적으로 수행되었다.

Ⅱ. 농업용수 회귀율

농업용수의 회귀수량은 강우가 없고 물관리가 안정된 시기의 지표배수량과 심층침투량의 합으로 정의하며, 회귀율은 관개용수량에 대한 회귀수량의 비율로 정의된다. 지표배수량은 관개용수가 비교적 빨리 하천으로 회귀하는 양으로 논두렁을 통하여 유출하는 논두렁 침투량을 포함하고 있으며, 신속회귀수량이라 한다. 심층침투량은 논 아래로 심층 침투하여 오랜 시간에 걸쳐 하천으로 회귀하는 수량으로, 지연회귀수량이라 한다. 회귀수량은 신속회귀수량과 지연 회귀수량의 합으로 정의된다.

물관리가 안정화된 논지대〈Fig. 1〉의 물수지는 식 (1)과 (2)와 같이 표시할 수 있다.

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

$$D_1 - D_2 = ET-R+(G_2 -G_1)+ \Delta S \quad (2)$$

여기서, R은 강우량(mm), ET는 증발산량(mm), G_1 , G_2는 각각 지하수의 유입량과 유출량(mm), D_1 , D_2는 각각 지표수의 유입량과 유출량(mm), 그리고 ΔS는 저류량의 변화(mm)를 나타낸다. 안정된 논 지역에서의 소비수량 (D_1 - D_2)은 증발산량 ET와 지하수함양량(혹은 심층침투량) P= (G_2 - G_1)을 더한 값과 같다. 증발산량의 변화는 크지 않으므로 안정된 논 지역의 물수지는 그 지역의 (G_2 - G_1)에 많은 영향을 받는다. 이 (G_2 - G_1)은 논의 침투량 중에서 지구 내의 배수로나 하천 등으로 유출되지 않는 심층침투량에 상당하는 것이다. 식 (2)는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

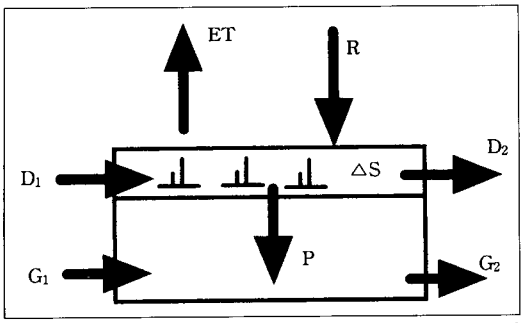

Fig. 1. Water balance when irrigation and drainage were stabilized during a dry period

$$D_1 - D_2 = ET - R + P + \Delta S \quad (3)$$

여기서, P는 심층침투량(=$G_2 - G_1$) (mm)이다.

장시간 동안 강우가 없어 물관리가 안정되어 있다면 $\Delta S = 0$, R=0이 되며 이때의 물수지는 식 (4)로 요약된다.

$$(D_1 - D_2) - ET = P \quad (4)$$

즉, 안정된 논에서 관개량과 지표배수량의 차이에서 증발산량을 공제하면 심층침투량을 얻는다. 회귀수량의 산정시 D_2(지표배수량)는 신속회귀수량으로, 그리고 P(심층침투량)는 지연회귀수량으로 간주할 수 있다. 신속회귀율은 식 (5), 지연회귀율은 식 (6)으로 구하며, 회귀율은 신속회귀율과 지연회귀율을 합한 값이다. 시험유역의 회귀율은 순별, 월별 및 관개기간 평균 회귀율을 구한다.

$$\text{신속회귀율}(\%) = \frac{D_2}{D_1} \times 100 \quad (5)$$

$$\text{지연회귀율}(\%) = \frac{P}{D_1} \times 100 \quad (6)$$

Ⅲ. 연구방법

북한강 유역의 농업용수 회귀율 조사연구는 2002년 5월 중순부터 9월 중순까지 관개기간 동안에 2곳의 시험유역에서 수행되었다. 시험유역은 강원도 춘천시 신동 1298번지부터 1347번지까지의 논(이하 신동유역)과 강원도 춘천시 신북읍 천전리 312-1번지 강원대학교 부속농장 수도시험포(이하 천전유역)를 시험유역으로 선정하였다. 신동유역의 유역면적은 71,267 ㎡이며 표토의 토성은 사질점토롬이었으며 작토층 하부의 토성은 사질롬으로 분석되었다. 신동유역의 용배수로는 콘크리트 수로였다. 천전유역의 유역면적은 14,850 ㎡이며 표토의 토성은 사질점토롬이었다. 천전유역의 상류부 논의 경반은 자갈이 섞인 사질롬으로 배수가 잘되는 토양이었으나 하류부 논의 경반은 사질점토롬으로 압밀되어 있어 토양침투가 매우 낮을 것으로 판단되었다. 천전유역의 용배수로는 토공수로였다. 신동과 천전유역은 모두 상류부의 저수지로부터 안정적으로 농업용수를 공급받고 있는 북한강 유역의 대표적인 농업유역으로 판단되었다.

신동지구의 관개용배수량을 측정하기 위하여 용수로 유입부, 용수로 배출부, 그리고 배수로에 각 1개씩의 공기방울 압력식 수위계를 설치하고 매 30분 간격으로 수위를 측정하였다. 수위계가 측정한 수위는 수위계 설치지점에서 도출한 수위-유량 관계식을 이용하여 유량으로 환산되었다. 천전지구에서는 관개수 유입부에 직경 200 mm 수도용 정밀유량계를, 그리고 배수로에는 초음파식 파셜플륨 유량계를 설치하여 하루 단위로 용배수량을 측정하였다.

신동지구와 천전지구의 침투량과 감수심은 Fig. 2와 같은 침투심계와 감수심계를 설치하여 측정하였다. 침투심과 감수심은 1회에 4반복 측정을 하여 평균값을 사용하였으며 연구기간 중 4회 측정하였다. 증발산량은 감수심에서 침투량을 뺀 값으로 계산되었다. 또한 국제식량농업기구(FAO)에서 증발산량 산정을 위해 추천하는 FAO Penman-Monteith 공식(Doorenbos and Pruitt, 1977; Allen et al., 1998)을 이용하여 춘천지역의 잠재증발산량을 구하고 여기에

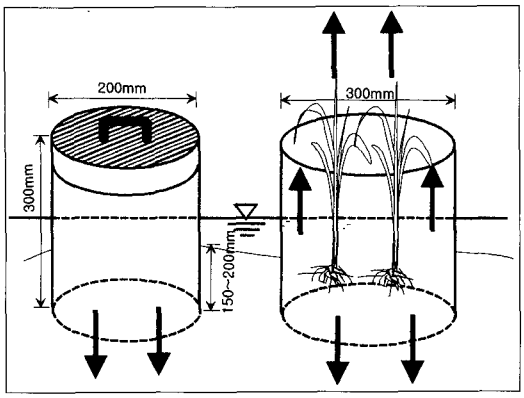

Fig. 2. Schematic diagram of circular 200-mm infiltrometer and circular 300-mm water-depth measuring apparatus

벼 작물계수를 곱하여 논의 증발산량을 산정하였다. 증발산량 측정값과 공식에 의한 산정값을 비교하여 시험유역의 증발산량을 추정하였다.

연구유역의 기상자료는 춘천기상대의 자료를 사용하였다. 농업용수의 회귀수량과 회귀율의 산정은 강우가 없으며, 물관리가 안정된 시기에 물수지 분석을 통하여 신속회귀수량과 지연회귀수량을 구하고 이를 관개용수와 비교하여 각각 신속회귀율과 지연회귀율을 산정하였다. 회귀율은 신속회귀율과 지연회귀율을 합산하여 구했다.

Ⅳ. 결과 및 고찰

연구유역의 관개기간 동안 순별 평균기온은 16.8℃에서 26.5℃의 범위를 보였다. 순별 일평균풍속은 1.1 m/s에서 1.5 m/s, 순별 일 평균습도는 61.9%에서 81.5%, 순별 일 평균 일조량은 1.0 hr에서 9.7 hr, 대형 증발계 증발량은 1.9 mm에서 4.3 mm이었으며 관개기간 동안 총강수량은 778.9 mm로 예년에 비해 다소 적게 측정되었다. 일강우량 최대치는 2002년 8월 5일 109.9 mm이었으며 강원도 동해안 지역에 심각한 타격을 주었던 태풍 루사는 춘천지방에 36.5 mm(8월 31일)와 39.0 mm(9월 1일)의 비를 내렸다.

신동유역 용수로와 배수로의 수위-유량 관계식을 도출하기 위하여 수위와 유량을 6내지 8회 측정하였다. 수위-유량 관계식은 수위계가 측정한 수위를 유량으로 환산하는데 사용되었다. 신동유역 용수로 유입부의 수위-유량 관계식은 평상시의 경우와 관개를 위하여 둑을 막아 수위를 높인 경우 등 2가지 유형에 대하여 유도하였다. 평상시의 수위-유량 관계식은 식 (7)로, 그리고 둑이 있는 경우의 수위-유량 관계식은 식 (8)로 유도되었다.

$$Q = 0.53648 - 0.39778h + 0.14224h^2, \quad (R^2=0.9993) \tag{7}$$

$$Q = 0.5754548h, \ (R2=0.9003) \tag{8}$$

여기서, Q는 ℓ /s로 그리고 h는 cm로 측정되었다. 신동지구 관개용수 배출부에서의 수위-유량 관계식은 식 (9)로 유도되었다.

$$Q = -0.8614 + 1.08836h, \ (R^2 = 0.9545) \tag{9}$$

여기서, Q는 ℓ /s로 그리고 h는 cm로 측정되었다. 신동지구 배수구의 수위-유량 관계식은 배수구 특성상 수심이 11.3 cm 이하일 때(식 10)와 수심이 11.3 cm 이상일 때(식 11)로 구분하여 유도하였다. 배수로의 수심이 낮을 때는 수로에 부유물과 퇴적물 등이 자주 퇴적하여 유량측정에 영향을 주었으며 수위-유량 관계식의 결정계수(R2)의 값이 비교적 낮게 나타났다.

$$h < 11.3 \text{ cm}, \quad Q = 0.508862h \text{ (cm)}, \quad (R^2 = 0.6553) \tag{10}$$

$$h \geq 11.3 \text{ cm}, \ Q = 7.030767 - 3.01758h + 0.257642h^2,$$

(R^2 = 0.9551) (11)

여기서, Q는 ℓ /s로 그리고 h는 cm로 측정되었다. 천전유역의 관개용수량과 배수량은 유량계를 이용하여 유량을 직접 조사하였으므로 수로의 수위-유량 관계식을 유도하지 않았다.

신동유역의 감수심과 침투량 측정결과는 Fig. 3에 나타냈다. 침투량은 6월 2일 측정치가 7.3 mm/day로 가장 낮았으며 그 이후는 11.0 ~ 11.7 mm/d로 거의 비슷한 값을 보였다. 이앙초기에는 다소 낮은 침투량을 보이나 시간이 가며 다소 침투량이 증가하는 경향을 보였다. 침투량과는 달리 감수심은 측정에 따라 다소 큰 변화를 보였다. 일평균 감수심은 13.9 mm/d에서 20.0 mm/d였으며, 일평균 증발산량은 4.3 mm/d에서 6.7 mm/d로 측정되었다.

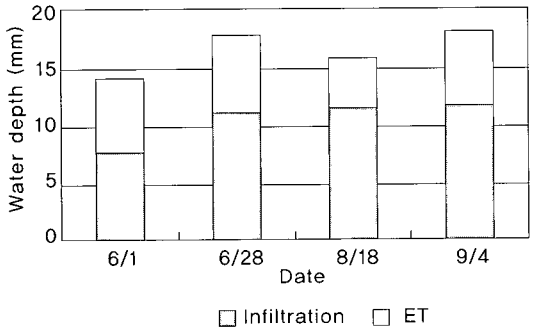

Fig. 3. Measured daily infiltration and evapotranspiration (ET) in Sindong watershed

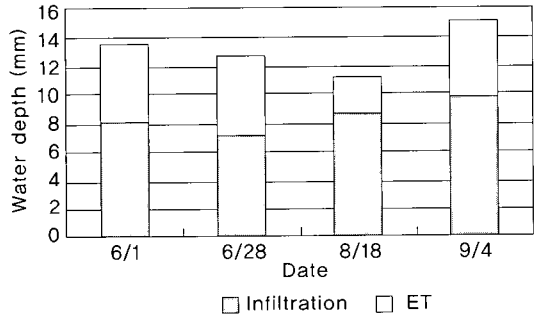

Fig. 4. Measured daily infiltration and evapotranspiration (ET) in Cheon jeon watershed

천전유역의 감수심과 침투량 측정자료는 Fig. 4에 나타냈다. 천전유역의 침투심은 상류부 논과 하류부 논 사이에 큰 차이를 보였다. 상류부 논의 침투심은 12.7~21.6 mm/d(평균 15.8 mm/d)로 상당히 높은 침투심을 보이고 있으나 하류부 논의 침투심은 0.0~2.0 mm/d(평균 0.4 mm/d)로 매우 낮게 나타났다. 일평균 증발산량은 2.4~5.6 mm/d로 측정되었다.

FAO Penman-Monteith 공식으로 산정된 기준작물의 순별 잠재증발산량과 논의 증발산량은 Table 1에 나타냈다. 논의 순별 증발산량은 26.0~59.4 mm였으며 관개기간동안 증발산량의 합은 573.2 mm였다. 공식으로 산정된 증발산량과 측정된 증발산량 사이에는 큰 차이가 없었기 때문에 공식으로 산정된 춘천지역의 논 증발산량을 물수지 계산에 사용하였다.

시험연구유역의 물관리가 안정화되었을 때 물수지를 분석한 결과는 Table 2(신동유역)와 Table 3(천전유역)에 수록하였다. 증발산량 계산시 무강우기간은 영농기간 중 강우기간(일단위)과 강우의 영향으로 관개와 배수가 영향을 받는 기간(강우영향기간)을 제외한 기간으로 정의하였다. 신동유역의 무강우기간의 관개총량은 838.9 mm, 지표배수량은 171.0 mm, 심층침투량은 362.0 mm, 그리고 증발산량은 305.8 mm이었다. 그러나 영농기간 (5월 11일부터 9월 20일 사이) 동안의 총 증발산량은 573.2 mm로 일평균 4.3 mm/day이었다. 천전유역의 무강우기간의 관개총량은 710.2 mm, 지표배수량은 26.4 mm, 심층침투량은 381.3 mm, 그리고 증발산량은 302.4 mm이었다. 그러나 영농기간 (5월 11일부터 9월 20일 사이) 동안의 총 증발산량은 신동지구와 동일하였다. Table 2와 3에서 신동지구와 천전지구의 순별 증발산량중 일부에서 차이가 나타난 이유는 지구별 특성을 감안하여 설정한 무강우기간에서 차이가 있었기 때문이다.

신동유역의 회귀율 분석 결과는 Table 4에 나타냈다. 신동유역의 관개기간 중 신속회귀율

Table 1. 10-day FAO Penman-Monteith reference evapotranspiration (ET) and rice paddy ET in both Sindong and Cheonjeon research watersheds (unit : mm)

Month		Reference ET	Rice Paddy ET
5	Mid	35.3	6.5
	End	52.9	48.7
6	Early	47.0	48.9
	Mid	41.8	46.0
	End	47.2	54.3
7	Early	44.3	52.7
	Mid	34.8	45.2
	End	43.4	59.4
8	Early	30.5	42.4
	Mid	28.8	38.6
	End	32.9	43.1
9	Early	36.0	41.4
	Mid	25.0	26.0
Total		499.9	573.2

Table 2. Analysis of water balance in Sindong watershed (unit : mm)

Month		Irrigation (D_1)	Drainage (D_2)	D_1-D_2	ET	Infiltration (G_2-G_1)
5	Mid	27.8	15.6	12.2	10.1	2.1
	End	216.4	34.0	182.4	48.7	133.7
6	Early	130.4	6.3	124.0	46.1	77.9
	Mid	54.5	3.7	50.8	20.6	30.2
	End	67.0	11.1	55.9	31.9	24.1
7	Early	60.4	5.9	54.5	23.6	30.9
	Mid	51.0	3.9	47.1	12.2	34.9
	End	83.1	9.0	74.1	33.4	40.7
8	Early	39.3	5.0	34.3	10.6	23.6
	Mid	41.8	18.7	23.0	20.5	2.5
	End	7.8	3.4	4.4	3.4	1.1
9	Early	48.4	37.6	10.8	29.8	-19.0
	Mid	11.0	16.8	-5.8	15.0	-20.7
Total		838.9	171.0	667.8	305.8	362.0

(Fast return flow rate)은 20.4%, 지연회귀율(delayed return flow rate)은 43.2%로 전체 회귀율은 63.5%로 나타났다. 순별 최대 회귀율은 9월 중순에 152.3%로 나타났으나 이는 이 시기에 관개는 중지된 반면 낙수로 인해 일시에 많은 물이 배수되었기 때문이다. 또한 5월 하순과 9월 중순 및 7월 중순에도 각각 77.5%, 77.6%, 76.1%의 높은 회귀율을 나타냈다. 월별 최대 회

Table 3. Analysis of water balance in Cheonjeon watershed (unit : mm)

Month		Irrigation (D_1)	Drainage (D_2)	D_1-D_2	ET	Infiltration (G_2-G_1)
5	Mid	111.0	0.0	111.0	12.6	98.4
	End	117.6	0.2	117.3	48.7	68.7
6	Early	103.0	0.0	103.0	46.1	56.9
	Mid	42.4	0.0	42.4	20.6	21.8
	End	45.3	0.0	45.3	31.9	13.4
7	Early	65.0	0.0	65.0	23.6	41.4
	Mid	62.8	0.0	62.8	19.5	43.3
	End	56.5	0.0	56.5	33.4	23.1
8	Early	27.5	0.0	27.5	10.6	16.9
	Mid	63.8	23.9	39.8	20.5	19.3
	End	15.3	2.2	13.1	3.4	9.7
9	Early	0.0	0.0	0.0	26.2	-26.2
	Mid	0.0	0.0	0.0	5.3	-5.3
Total		710.2	26.4	683.8	302.4	381.3

귀율은 관개가 중지되고 낙수가 일어나는 9월에 91.5%로 나타났으며 5월의 이앙기에도 용수의 손실과 심층침투가 많아 75.9%로 비교적 높게 나타났다. 신동유역의 순별 회귀율은 50.9%~152.3%, 월별 회귀율은 60.9%~91.5%의 범위에 있었으며, 관개기간 동안의 평균 회귀율은 63.5%로 나타났다. 신동유역은 지표배수에 의한 신속회귀율보다는 심층침투량에 의한 지연회귀율이 약 2배 이상 높은 것으로 나타났다. 이는 신동유역의 평균 침투율이 6.5 mm/day로 지표로 배수되는 배수량보다 많았기 때문이다. Table 2와 3의 9월 중순과 하순의 침투량은 (-) 값으로 나타났기 때문에 관개수가 침투하는 것이 아니라 작토층에 저류되어 있던 공극수가 증발산되는 것으로 해석되었고, 따라서 Table 4와 5의 회귀율 계산시에는 9월 초순과 중순의 침투량을 0으로 간주하였다.

천전유역의 회귀율 분석 결과는 Table 5에 나타냈다. 천전유역의 관개기간 중 신속회귀율은 3.7%, 지연 회귀율은 53.7%로 전체 회귀율은 57.4%로 나타났다. 순별 최대 회귀율은 5월 중순에 88.6%와 8월 하순에 77.9%로 나타났다. 5월 중순에는 이앙기의 손실과 관개초기의 심층침투량이 많아 회귀율이 높게 나타났다. 월별 최대 회귀율은 이앙기에 용수의 손실이 많고 관개초기 심층침투량이 많은 5월의 73.3%와 관개가 중지되고 낙수가 일어나는 8월의 67.6%로 나타났다. 천전유역의 순별 회귀율은 29.7%~88.6%, 월별 회귀율은 48.3%~73.6%의 범위였다. 천전유역에서는 8월말에 이미 관개가 중지되고 또한 강우시를 제외하고는 배수량도 없어 9월의 회귀율은 없었다. 천전유역에서도 신속회귀율은 관개기 평균 3.7%에 불과하였으나 지연회귀율은 53.7%로 심층침투를 통하여 많은 관개용수가 하천으로 회귀되는 것으로 나타났다. 천전지구의 평균 침투율은 6.4 mm/d로 나타났다.

회귀율을 신속회귀수량과 지연회귀수량으로 구분하였을 때 지연회귀수량으로 가정된 심층침투량이 모두 하천으로 회귀된다고 가정하는 데는 이론이 있을 수 있다. 관개지역의 규모나 하천과의 거리 등에 따라 심층침투량은 물론 신속회귀수량도 경지로 환원되어 영농에 이용될 수도 있고 증발산될 수도 있다. 그러나 북한강 유역의 논농업지대와 같이 관개지역이 광역이 아

Table 4. Analysis of return flow rate when irrigation and drainage were stabilized during dry periods in Sindong watershed

Month		Irrigation (mm)	Drainage (mm)	Infiltration (mm)	Fast return rate (%)		Delayed return rate (%)		Return flow rate (%)	
5	M	27.8	15.6	2.1	56.1	20.3	7.7	55.6	63.8	75.9
	E	216.4	34.0	133.7	15.7		61.8		77.5	
6	E	130.4	6.3	77.9	4.9	8.4	59.8	52.5	64.6	60.9
	M	54.5	3.7	30.2	6.8		55.4		62.2	
	E	67.0	11.1	24.1	16.5		35.9		52.5	
7	E	60.4	5.9	30.9	9.8	9.7	51.1	54.7	60.9	64.4
	M	51.0	3.9	34.9	7.7		68.4		76.1	
	E	83.1	9.0	40.7	10.9		48.9		59.8	
8	E	39.3	5.0	23.6	12.7	30.5	60.2	30.7	72.9	61.1
	M	41.8	18.7	2.5	44.8		6.1		50.9	
	E	7.8	3.4	1.1	43.3		13.5		56.8	
9	E	48.4	37.6	0.0	77.6	91.5	0.0	0.0	77.6	91.5
	M	11.0	16.8	0.0	152.3		0.0		152.3	
Total		838.9	171.0	362.0	20.4		43.2		63.5	

Table 5. Analysis of return flow rate when irrigation and drainage were stabilized during dry periods in Cheonjeon watershed

Month		Irrigation (mm)	Drainage (mm)	Infiltration (mm)	Fast return rate (%)		Delayed return rate (%)		Return flow rate (%)	
5	M	111.0	0.0	98.4	0.0	0.1	88.6	73.1	88.6	73.2
	E	117.6	0.2	68.7	0.2		58.4		58.6	
6	E	103.0	0.0	56.9	0.0	0.0	55.2	48.3	55.2	48.3
	M	42.4	0.0	21.8	0.0		51.4		51.4	
	E	45.3	0.0	13.4	0.0		29.7		29.7	
7	E	65.0	0.0	41.4	0.0	0.0	63.7	58.5	63.7	58.5
	M	62.8	0.0	43.3	0.0		68.9		68.9	
	E	56.5	0.0	23.1	0.0		40.9		40.9	
8	E	27.5	0.0	16.9	0.0	24.5	61.3	43.1	61.3	67.6
	M	63.8	23.9	19.3	37.5		30.3		67.8	
	E	15.3	2.2	9.7	14.4		63.5		77.9	
9	E	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	M	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0		0.0	
Total		710.2	26.4	381.3	3.7		53.7		57.4	

닌 중소규모의 관개지역일 경우는 심층침투량이 농지로 환원되는 양은 상대적으로 작다고 가정할 수 있기 때문에 심층침투량을 지연회귀수량으로 가정할 수 있을 것이다. 건설교통부와 서울지방국토관리청(1998)의 한강수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정보고서(하천수

사용실태 조사)도 심층침투량을 지연회귀수량으로 가정하여 회귀율을 산정하였다.

V. 결 론

북한강수계 농업용수의 회귀수량과 회귀율을 조사하기 위한 연구를 2002년 영농기(5월~9월)에 수행하였다. 시험유역은 강원도 춘천시 신동의 신동유역과 춘천시 신북읍 천전유역이었으며, 시험유역에는 수문모니터링 시스템을 구축하고 용배수량, 침투량 및 증발산량을 측정하였다. 강우가 없으며 유역의 관개와 배수량이 안정되어 있는 시기를 선정하고 시험유역의 농업용수 물수지 분석을 통하여 회귀수량과 회귀율을 산정하였다.

1. 신동유역의 무강우시 물수지 분석결과 관개총량은 838.9 mm, 지표배수량은 171.0 mm, 심층침투량은 362.0 mm, 그리고 증발산량은 305.8 mm이었다.
2. 신동유역의 순별 회귀율은 50.9%~152.3%, 월별 회귀율은 60.9%~91.5%의 범위에 있었으며, 관개기간 동안의 평균 회귀율은 63.5%로 나타났다.
3. 천전유역의 무강우시 물수지 분석결과 관개총량은 710.2 mm, 지표배수량은 26.4 mm, 심층침투량은 381.3 mm, 그리고 증발산량은 302.4 mm이었다.
4. 천전유역의 순별 회귀율은 29.7%~88.6%, 월별 회귀율은 48.3%~73.6%의 범위에 있었으며, 관개기간 동안의 평균 회귀율은 57.4%로 나타났다.

참고문헌

1. 건설교통부, 2001, 수자원 장기계획.
2. 건설교통부, 대전지방국토관리청, 1999, 금강수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정보고서: 하천수 사용실태 조사. 정부발행번호 11-1500239- 000001-01. 연구진 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 김현준 외 15명.
3. 건설교통부, 부산지방국토관리청, 1997, 낙동강수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정보고서: 하천수 사용실태 조사. 정부발행번호 42000-58710-67- 9711. 연구진 한국건설기술연구원 수자원환경연구부.
4. 건설교통부, 수자원공사, 한국건설기술연구원. 1997, 수자원계획의 최적화 연구(I) : 용수 수요추정시스템 개발연구.
5. 건설교통부, 익산지방국토관리청, 1999, 영산강 · 섬진강수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정보고서: 하천수 사용실태 조사. 정부발행번호 42000- 58170-57-9923. 연구진 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 김남원 외 17명.
6. 건설교통부, 서울지방국토관리청, 1998, 한강수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정보고서: 하천수 사용실태 조사. 정부발행번호 42000-58710-57-9815. 연구진 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 김현준 외 22명.
7. 김영식, 박정남, 안병기, 김태철, 1999, 금강유역 양수장 지구의 농업용수 회귀량 산정. 1999년도 한국농공학회 학술발표회 발표논문집. pp.105-110.
8. 김태철, 김병천, 이성희, 2002, 논 관개용수 절수와 유역 생태계 보전의 양면성. 2002년도 한국농촌환경연구회 학술심포지엄 논문집 pp. 1-21.
9. 농어촌진흥공사, 1999, 농촌용수 수요량 조사 종합보고서. 농어촌진흥공사 발간번호 99-10-01.
10. 서울대학교 농업개발연구소, 1998, 한강유역 농업용수 실제 사용량 및 회귀율 조사
11. 안세영, 이근후, 1990, 제대천 유역 답지대의 물수지. 한국농공학회지 32(3) pp. 56-66.
12. 안세영, 이근후, 1991, 제대천 유역 답용수의 반복이용. 한국농공학회지 33(3) pp. 63-72.
13. 정상옥, 손성호, 2001, 물수지분석 기법에 의한 논에서의 회귀율 조사분석. 한국농공학회지 Vol. 43(2) pp. 59-68.
14. 정상옥, 오창준, 남효석, 1997, 저수지 농업용수 회귀율 조사연구. 1997년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 pp. 46-51.
15. 정운태, 이근후, 이인영, 1998, 양수장 용수공급 논 지대의 물수지. 1998년도 한국농공학회

학술발표회 논문집 pp. 1-7.
16. 한국수자원공사, 1990, 낙동강 유역조사 보고서, pp.1694.
17. Doorenbos. J. and W. O. Pruitt, 1977, Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 24. Food and Agriculture Organization of the United Nations(FAO), Via delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italy. ISBN: 92-5-100279-7.
18. Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith, 1998, Crop evapotranspiration, Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations(FAO), Via delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italy. ISBN: 92-5-104219-5.