



대평 양수장 지구의 농업용수회귀율 추정

Estimation of Return Flow Rate of Irrigation Water in Daepyeong Pumping District

김태철^{*,†} · 이호천^{**} · 문종필^{***}

Kim, Tai-Cheol^{*,†} · Lee, Ho-Choun^{**} · Moon, Jong-Pil^{***}

ABSTRACT

Return flow rate of irrigation water was estimated by water balance method. Daepyeong pumping district to irrigate 75.8 ha of rice paddy in the Geum river basin was selected to install gauging instruments to collect data such as weather, water levels, infiltration rate and evapotranspiration during irrigation season (May 27 to Sept. 20) in 2003 and 2004. Irrigation and drainage discharge were calculated from the rating curve and evapotranspiration was estimated both by the modified Penman formula and by the lysimeter. The results were as followed : 1. Total amounts of pumping water during irrigation season were 1,076,000 m³ in 2003 and 1,848,000 m³ in 2004. Total amounts of rainfall were 1336.0mm and 1003.0mm respectively during the irrigation season in 2003 and 2004. 2. It was surveyed that the amount of infiltration was 196.5 mm (2.2 mm/day). The gauged evapotranspiration was 311.0 mm (3.5 mm/day) and the calculated evapotranspiration was 346.0 mm (3.9 mm/day) during irrigation period in 2003. It was surveyed that the amount of infiltration was 169.9 mm (2.4 mm/day). The amount of gauged evapotranspiration was 377.3 mm (5.3 mm/day) and the calculated evapotranspiration was 454.5 mm (6.6 mm/day) during irrigation period in 2004. 3. The rates of quick and delayed return flow were 52.4 % and 17.7 % respectively, and so return flow rate was 70.1 % in 2003. The rates of quick and delayed return flow were 45.4 % and 16.1 % respectively, and so return flow rate was 61.5 % in 2004. It means that average return flow rate in the Daepyeong pumping district was assumed to be 65 %.

Keywords: Return flow rate; Water balance; Pumping irrigation; Infiltration; Evapotranspiration; Quick return flow; Delayed return flow

1. 서 론

농업용수 사용량은 2008년 현재 우리나라 전체 용수공급량 331억 m³ 중 48%인 158억 m³로 조사되고 있어 수자원 이용과 수자원관리에 매우 중요한 역할을 하고 있다. 농업용수는 4월말부터 9월 중순까지 논벼 재배기간에 집중적으로 사용되지만 전량 작물이 소비하는 것은 아니다. 용수원에서 취수하여 관개지구로 도수하는 동안 발생하는 수로손실, 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.

관개용수 회귀수량의 정확한 추정은 유역의 용수공급계획, 하천유량의 예측, 관개용수의 사용량 결정, 하천수질관리 및 중소농업유역의 수문모델링 등에 대단히 중요한 인자이지만 자료가 미비하고 이에 관한 연구가 활발하지 못한 관계로 회귀수량의 영향을 고려하지 않고 유역 물 수지 분석을 하는 경우가 많다. 따라서 건설교통부에서는 외국 자료 등을 참조하여 관개수량의 약 35 %가 하천으로 회귀하는 것으로 예상하고 있다. 그러나 합리적이며 경제적인 수자원 이용 및 관리를 위해서는 수계별로 정확한 농업용수 회귀율을 실험을 통하여 측정하고 이를 물이용 계획에 반영해야 한다. 용수 수요량은 지속적으로 증가하는데 용수의 신규개발은 많은 제약을 받고 있기 때문에 새로운 용수개발을 추진하기 전에 기존 용수의 현황을 정확히 파악하고 물 관리의 효율성을 높이는 연구가 시급히 요구되고 있다. 농업용수의 공급량은 하천, 보, 저수지, 양수장 등의 용수원에서 공급되는 수량을 측정하고 논에서 소비되는 수량을 측정하여 비교적 정확하게 예측할 수 있다. 그러나 공급된 농업용수가 하천으로 회귀하는 회귀수량을 예측할 수 있는 연구 자료는 많지 않으며 또한 회귀수량을 추정하는 방법도 통

* 충남대학교 농업생명과학대학

** (주)수성엔지니어링

*** 농촌진흥청 국립농업과학원

† Corresponding author. Tel.: +82-042-821-5797

Fax: +82-042-821-8877

E-mail address: dawast@cnu.ac.kr

2009년 12월 16일 투고

2010년 1월 13일 심사완료

2010년 1월 18일 게재확정

일되어 있지 않다.

건설교통부 (1997~99년)가 4대강 수계에서 시행한 회귀율 조사에서는 한강수계의 경우 (MOCT, 1998), 기천, 발안 및 도척 저수지내의 3개 관개 지구에서 추정된 회귀율은 발안지구 45.4 %, 기천지구 45.9 %이었다 (Im et al., 1998; Im, 2000). 금강수계의 경우 (MOCT, 1999), 공주 소화 및 연기 대평 지구에서 추정된 농업용수 회귀율은 각각 40.0 %, 38.1 %이었다 (Kim et al., 1999). 영산강·섬진강수계의 경우 (MOCT, 1999), 담양 개동지구 및 남원 금풍지구에서 추정된 회귀율은 각각 40.8 %, 51.2 %이었다. 낙동강수계의 경우 (MOCT, 1997) 진주 마성지구 (Cheong et al., 1998)와 청도 청도지구 (Chung et al. 1997; Chung and Seung, 2001)에서 추정된 농업용수 회귀율은 각각 70.5 %, 33.8 %이었다. 이와 같이 영산강-섬진강, 낙동강, 한강, 금강유역의 회귀율 산정에서 지표배출로 국한하여 회귀수량으로 정의하거나 또는 지표배출과 심층침투 배출을 합한 배출량을 회귀수량으로 정의하는 회귀율 개념에 따라 30~70 % 광범위하게 변하고 있으며, 저수지 지구보다 양수장지구의 회귀율이 크게 나타나고 있다.

본 연구의 목적은 현장실험조사를 통하여 농업용수 회귀율을 지표배출인 신속회귀와 심층침투배출인 지연회귀로 나누어 분석, 추정함으로써 효율적인 수자원관리와 개발정책수립에 도움을 주고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 농업용수 회귀율 정의 및 산정방법

작물이 생육하는데 필요한 물을 인공적으로 공급하는 용수를 농업용수라 한다. 논 작물인 벼의 경우 생육에 꼭 필요한 수량은 이양기를 제외하고는 증발산량과 침투수량을 합한 감수량이다.

회귀수량은 강우가 없고 물관리가 안정된 시기의 지표배수량 또는 지표배수량과 심층침투량의 합으로 정의할 수 있으며 본 연구에서는 지표배수량과 심층침투량의 합으로 정의하였다. 지표배수량은 Fig. 1과 같이 빨리 하천으로 회귀하는 양으로 논 두령을 통하여 유출하는 논두령 침투량을 포함하며 이를 신속 회귀수량이라고 한다. 심층침투량은 논 아래로 심층 침투하여 오랜 시간을 걸쳐 하류 하천으로 회귀하는 수량으로 지연회귀 수량이라고 한다. 즉, 회귀수량은 신속회귀수량과 지연회귀수량의 합으로 용수량 중 관개지구 내에서 증발산으로 소비되는 수량을 제외한 양이다 (Satoh and Goto, 1999; Satoh and Okamoto, 1985).

농업용수 회귀율은 강우가 없고 물관리가 안정된 시기에 공

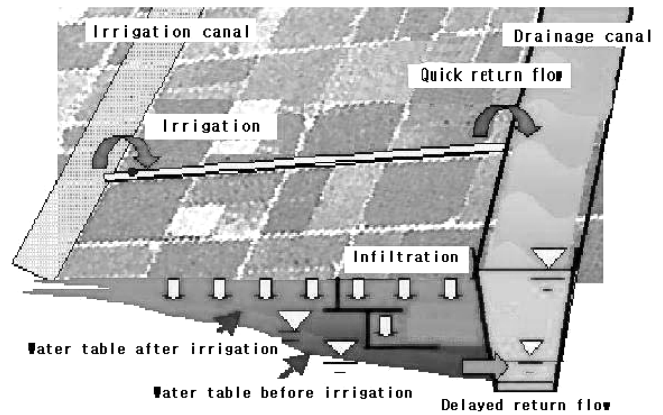


Fig. 1 The concept of return flow in the paddy

급된 관개용수량에 대한 지표배수나 심층침투를 통하여 하천으로 회귀되는 수량의 비율을 나타낸다. 회귀율 R_F 는 신속회귀율 R_1 과 지연회귀율 R_2 로 구성되는데 식 (1)과 같이 정의할 수 있다.

$$R_F = R_1 + R_2 = \frac{D_{out}}{D_{in}} + \frac{P}{D_{in}} \quad (1)$$

여기서, R_F 는 회귀율, R_1 는 신속회귀율, R_2 는 지연회귀율, D_{in} 은 관개용수량, D_{out} 은 지표배수량, P 는 심층 침투량이다.

논 관개용수는 2~3년간 저류되어 있다가 하천으로 배수되는 경우도 많으므로 회귀율을 정확히 산정하기 위해서는 적어도 2~3년간 조사연구가 필요하다. 지금까지 농업용수의 회귀율 산정방법은 체계적으로 정립되지 않아 설정한 연구방법, 조사 지역, 토양조건, 시험지역의 해발고도 등에 따라 다양하게 나타나고 있다. 그러나 논 관개의 회귀율은 발관개와는 달리 비교적 간단하게 정의될 수 있다. 즉, 논에서의 순수한 물 소비는 증발산량이다. 논으로 공급되는 관개용수 중에서 증발산으로 소비되는 수량을 제외한 나머지는 지표유출 (신속회귀수량)되거나 심층 침투되어 지하수 형태로 어느 정도의 시간적 차이는 있으나 궁극적으로 하천으로 회귀한다 (지연회귀수량). 심층침투 후 지하수를 통하여 하천으로 회귀되는 관개용수는 토양과 지질조건에 따라 관개지역에서 상당히 먼 하류에 회귀할 수 있어 지연회귀수량을 포함하지 않으면 연구결과는 실제보다 작은 회귀율로 나타나게 된다.

농업용수회귀율은 일반적으로 관개시와 강우시로 구분하여 조사할 수 있다. 이 중 강우시의 회귀율은 어떤 유역에서 일정 강우강도가 시작되면 농업용수로 공급되는 수원공 (저수지, 양수장, 보)으로부터 공급되는 용수는 차단된다. 지속적으로 강우가 계속되면 강우량은 농업용수로 사용되기 위해 논에 저류되

지 못하고 하천으로 유출되므로 농업용수 회귀량 조사에서는 이 값을 고려할 필요가 없다. 농지에 유입되어 농지에서 사용되고 소비되는 수량은 무강우시의 값이 중요함으로 이에 관련된 농업용수 회귀를 현장조사 자료의 축적이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 정상적으로 논으로 공급되는 관개용수 가운데 논에서 순수하게 소비되는 양을 알아내기 위하여 강우 등의 영향이 없이 안정된 날씨에서의 회귀수량을 구하는 것을 원칙으로 하였다. 강우의 영향을 받지 않는 날의 물수지로서 $R=0$ 이 되는 평상시의 물 수지를 고려하여 식 (2)를 이용하여 계산하였다 (Lee, 2007; Kim et al., 1999).

$$D_{in} - D_{out} - ET - P = \Delta S \quad (2)$$

여기서, D_{in} 은 논에서의 평상시 유입량(용수량)이며 D_{out} 은 평상시 지표유출량(배수량), ET 는 증발산량, P 는 침투량, ΔS 는 저류량 변화이다.

2. 시험지구 선정

가. 표본지구 선정지역

충청남도 연기군 금남면 대평리에 위치한 대평 양수장지구를 선정하였다 (Fig. 2). 시험지구의 관개면적은 75.8 ha이며 100 m × 100 m 대구획 경지정리를 실시하였으나 미흡한 논 배분에 의해 다시 소구획으로 분리되어 경작되고 있다. 이 지구는 용수로 및 배수로 조적이 분리되어있고 비교적 간단하고 측정이 용이하여 표본지구로 선정하였다.

대평양수장 지구는 한국농어촌공사 연기대금지사에서 관리하고 있으며, 금강 하천수를 수원으로 양수하여 공급하며 논에서 배수된 물은 금강으로 다시 유입되는 금강 유역의 일반농경지를 대표할 수 있는 지구로 관개면적이 크지 않아 양수량과 배수량 측정이 용이한 지구이다.

조사지점은 용수로 시점 1개소, 배수로 부근 1개소, 외부유입 1개소, 아파트유입 1개소를 선정하여 수심과 유속, 침투량 및 감수심을 측정하였다. 침투량 및 감수심의 조사지점은 용수로 시점 논 2개소와 배수로 부근 논 1개소를 선정하여 침투량 및 감수심 월 10~13회 측정하였으며 조사지구의 주요 재배벼 품종은 추청벼와 일품벼였다.

나. 기상자료

자동기상관측계 (AWS 2700)를 설치하여 강우량, 풍향풍속, 상대습도, 기온, 일조시간을 30분 간격으로 실측하였으며, 증발량 등 기타 필요한 기상자료는 인근 대전기상관측소 자료를 이용하였다. 대전기상관측소는 대평 양수장지구에서 약 16 km 정도 떨어져 있다. 최대 일평균기온은 2003년의 경우, 8월 상순에 25.8 °C이며, 2004년의 경우 7월 하순에 28.6 °C로 조사되었으며, 대체로 2003년에 비하여 2004년의 일평균기온이 높게 나타났다.

다. 토성조사

토양의 물리적 성질을 파악하기 위한 시료채취는 지표면 23 cm 표토와 벼 뿌리 부분에 부착된 불순물을 제거하고 직경 30 cm, 깊이 15 cm 범위의 시료를 채취, 자연함수비 상태에서 시험하였다. 입도분석은 국립농업과학기술원의 토양분석법으로 실시하였으며 침투량은 토양의 물리적 성질에 의해 영향이 크므로 화학적 성질은 조사하지 않았다. 토양시료의 입도분포는 모래와 실트 각각 57 %, 23 %, 점토 20 %로 사질흙 (Sandy loam)에 해당되었다.

라. 수위 및 유량측정

유량을 측정하기 위한 조사지구의 수로단면은 수심과 유속을 측정하기에 가장 적합한 곳을 선정하였으며, 수심의 경우 용수로와 배수로의 경사가 심하지 않아 흐름측정이 쉬운 지점을

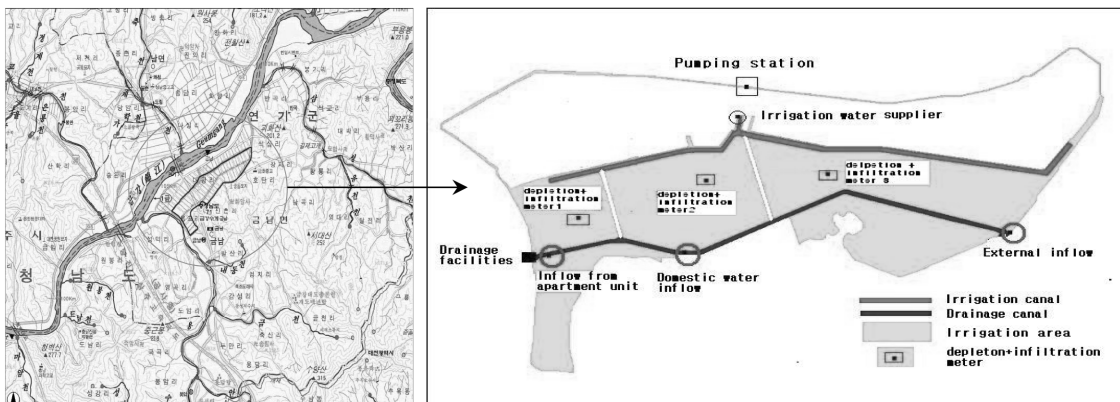


Fig. 2 Topographical and gauge locations of Daepyung pumping station

선정하였다.

수위는 압력식 수위계 (WL-140)와 공기방울 압력식 전자수위계를 용수로 시점에 1개소, 아파트유입지점 1개소, 외부유입지점 1개소, 배수로에 1개소에 설치하여 수심을 30분에 1회씩 측정하였고, 일별 수심을 도시하기 위하여 관개기간 평균 일수심을 산정하였다.

유량은 수위계 설치지점에서 전자식 유속계 (BMP-002)를 이용하여 2003년 5월 17일부터 9월 20일까지, 2004년 5월 20일부터 9월 20일까지 각 지점에서 매년 5~8회 측정을 실시하였고 중간단면적법으로 계산하였다. 측정된 유량과 수심자료로부터 각 지점별 수위-유량곡선식을 도출하였다.

마. 감수심 및 침투량 측정

N형 감수심계와 원통형 침투계를 3개씩 설치하여 관측하였다. 관측기간은 5월 말부터 9월 중순까지 하였다. 관개기간동안 실측된 증발산량은 물수지 분석에 이용하였다. 침투량은 증발산량과 함께 논에서의 필요수량의 기본적인 구성이다. 본 연구에서 침투량 측정은 강하침투량 측정으로 논토양의 심층을 통하여 수직으로 침투하는 것을 말하며, 지하수로 함유되어 지연회귀된다.

III. 결과 및 고찰

1. 수위-유량곡선식

용수로의 수심을 측정한 결과 2003년 최대 일평균수심은 8월 8일 0.301 m로 조사되었으며, 2004년의 경우 6월 2일 0.396 m로 조사되었다. 생활하수 배수량은 수심이 너무 작아서 표면유속으로 유량을 측정하였고, 외부유입의 영향을 받지 않는 날, 즉 무강우시에 대하여 각 지점별 3회 측정하여 평균한 값을 평상시 유입되는 유량으로 간주하였다.

2. 관개량 및 배수량

용수로와 배수로 2개소에서 측정된 수위는 수위-유량곡선식 (Fig. 3, 4; Table 1)을 이용하여 관개량과 배수량으로 환산하였다. 산정된 유량은 용수로지점을 제외한 나머지 측정에서 크게 발생하는 것으로 종종 나타나는데, 이는 강우에 의하여 발생된 외부유역 (아파트, 외부구역)에서 유입량으로 판단되며, 이러한 때에는 거의 관개량이 나타나지 않는다. 일반적으로 농업용수의 이용특성은 강우를 우선 이용하고, 용수부족이 발생하거나 기타 필요요건이 발생될 때에 한하여 인위적인 공급량 (관개량)을 이용한다. 즉 배수로 지점에서의 유량이 크게 발생

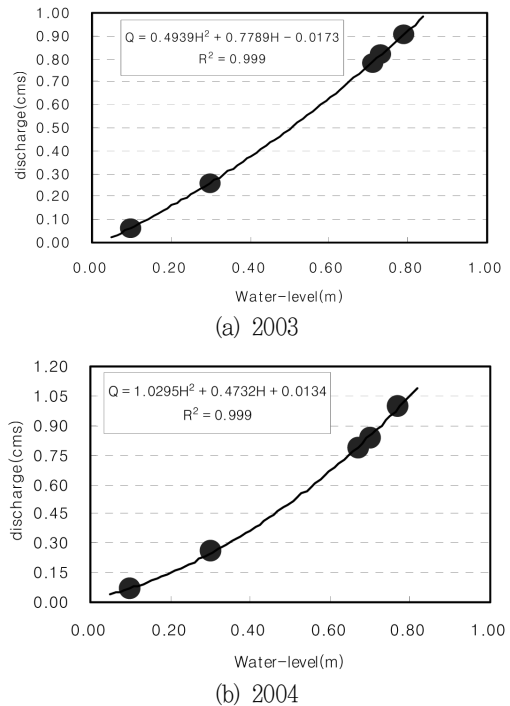


Fig. 3 Rating curve of irrigation canal at Daepyeong in 2003 and 2004

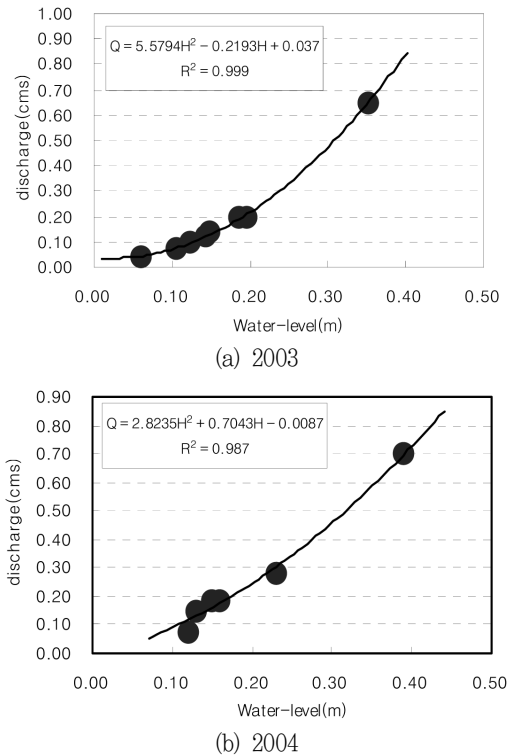


Fig. 4 Rating curve of drainage canal at Daepyeong in 2003 and 2004

Table 1 Rating curve equations to obtain the discharges

Sites	Stage-discharge equation	Year
Irrigation canal	$Q = 0.4939H^2 + 0.7789H - 0.0173$ ($R^2=0.999$)	2003
	$Q = 1.0295H^2 + 0.4732H + 0.0132$ ($R^2=0.999$)	2004
Drainage canal	$Q = 5.5794H^2 - 0.2193H + 0.0370$ ($R^2=0.999$)	2003
	$Q = 2.8235H^2 + 0.7043H - 0.0087$ ($R^2=0.987$)	2004
Inflow from apartment unit	$Q = 15.125H^{4.3351}$ ($R^2=0.971$)	2003
	$Q = 15.988H^{4.3316}$ ($R^2=0.992$)	2004
External inflow	$Q = 2.3464H^{2.6004}$ ($R^2=0.994$)	2003
	$Q = 4.6443H^{2.532}$ ($R^2=0.964$)	2004

Table 2 Amount of Irrigation and Drainage Depth during non-rainfall

Month	10 days	Rainfall (mm)		Irrigation (mm)		Drainage (mm)	
		2003	2004	2003	2004	2003	2004
May	F	-	-	-	-	-	-
	M	-	-	-	-	-	-
	L	-	22.0	-	46.6	-	27.8
June	F	0.0	12.0	-	182.3	-	66.1
	M	37.0	253.0	-	110.5	-	29.8
	L	195.0	89.0	-	31.7	-	38.0
July	F	258.1	116.0	-	15.8	-	19.8
	M	155.0	145.0	0.00	19.4	17.2	31.3
	L	233.0	0.0	9.16	205.1	5.4	87.7
Aug.	F	40.0	49.0	40.69	111.6	13.1	48.4
	M	66.0	159.0	55.76	96.1	25.8	41.7
	L	110.4	20.0	0.00	98.3	14.8	39.2
Sept.	F	136.0	21.0	0.00	128.0	10.5	41.4
	M	74.0	117.0	-	7.5	-	6.5

할 때에 관개량이 공급되지 않은 것은 앞서 언급한 일반적인 농업용수의 이용특성이 그대로 나타난 것으로 판단된다.

관개량은 용수로지점에서 측정된 수심 자료로부터 유량으로 환산하였다. 무강우시 회귀율을 산정하므로 강우 발생 시에는 제외하였다.

배수량은 배수로말단지점으로 표본지구 이외의 지점들 (아파트유입, 외부유입, 생활하수유입 지점 등)에서 유입되는 유량을 제외하여 산정하였다. 2003년과 2004년에 산출된 관개량 및 배수량은 Table 2와 같다.

3. 침투량과 증발산량

가. 실측 침투량과 증발산량

증발산량은 감수심에서 침투량을 감하여 산정하였다. 감수심은 N형 감수심계를 이용하였고 침투량은 강하 침투량 측정원

Table 3 Water depth of Infiltration and Evapotranspiration during non-rainfall (Unit: mm)

Month	10 days	2003		2004	
		Infiltration (mm)	Evapotranspiration (mm)	Infiltration (mm)	Evapotranspiration (mm)
May	L	4.8	14.6	7.4	19.2
	F	28.5	51.5	14.7	41.3
June	M	18.9	31.6	14.0	40.8
	L	14.1	28.1	13.8	30.4
July	F	2.3	3.7	3.7	9.6
	M	9.2	18.1	5.7	18.4
	L	19.5	30.1	32.1	49.0
Aug.	F	15.3	34.4	17.4	45.6
	M	25.9	34.8	12.6	36.8
	L	20.2	20.7	24.8	36.9
Sept.	F	12.5	17.7	18.2	38.9
	M	25.5	25.8	5.5	10.5
Total		196.5	311.0	169.9	377.4

통을 이용하여 측정하였다. Table 3은 조사기간 (5/27~9/20) 순별 실측치로 무강우기간의 2003년 침투량투량은 196.5 mm (일평균 2.2 mm) 증발산량은 311.0 mm(일평균 3.5 mm)이었고, 2004년 침투량투량은 169.9 mm(일평균 2.4 mm) 증발산량은 377.3 mm(일평균 5.3 mm)이었다.

나. 추정 증발산량

벼 작물에 대한 증발산량 추정방법으로 널리 적용되는 수정 Penman 공식 (Doorenbos and Pruitt, 1997)을 이용하여 추정하였다. 수정 Penman 공식은 복사에너지 관련항과 공기역학 관련항으로 구성되었으며 식(3)과 같다.

$$\left. \begin{aligned} ET_o &= C [W \cdot R_n + (1 - W) \cdot f(u) \cdot (e_a - e_d)] \\ ET_c &= K \cdot ET_o \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

여기서, ET_o 는 잠재증발산량, C 는 주야의 기상조건을 보정하기 위한 조정계수, W 는 기온과 관련된 가중계수, R_n 는 순일사량, $f(u)$ 는 풍속과 관련된 함수, e_a 는 평균기온의 포화수증기압, e_d 는 실제 수증기압이다.

ET_c 는 작물 증발산량으로 잠재증발산량 (ET_o)에 작물계수 (K)를 곱하여 산정한다. 수정 Penman공식의 작물계수 (K)는 「농촌용수 수요량조사 종합보고서 (MAF, 1999)」의 자료를 이용하였다.

회귀율 산정에는 실측 증발산량을 사용하면 되지만 향후 이 지역 물 수지 분석에 참고할 수 있도록 수정 Penman방법으로

Table 4 Observed and calculated depth of evapotranspiration during non-rainfall (Unit: mm)

Month	10 days	K	2003		2004	
			Observed	Estimated	Observed	Estimated
May	L	0.75	14.6	17.3	19.2	13.3
June	F	0.95	51.5	55.2	41.3	49.2
	M	1.06	31.6	37.3	40.8	42.6
	L	1.09	28.1	31.4	30.4	30.3
July	F	1.17	3.7	6.2	9.6	10.7
	M	1.39	18.1	25.6	18.4	17.4
	L	1.53	30.1	39.9	49.0	98.4
Aug.	F	1.58	34.4	42.6	45.6	60.0
	M	1.47	34.8	48.3	36.8	37.9
	L	1.42	20.7	27.6	36.9	52.5
Sept.	F	1.32	17.7	14.7	38.9	42.1
	M		25.8	-	10.5	-
Total			311.0	346.0	377.4	454.4

논 증발산량을 추정하였다. 실측한 증발산량과 추정된 증발산량을 비교한 결과는 Table 4와 같다. 추정 증발산량이 실측 증발산량보다 11 %, 20 % 크게 나타나므로 증발산량을 실측하지 않을 경우에는 이를 고려하여 추정하는 것이 좋다.

4. 회귀율 산정

가. 논에서의 물수지

논에서의 물 수지는 무강우시에만 수행되었으며, 관개량, 배수량, 심층침투량 및 증발산량을 이용하였다. 무강우시라 함은 일강우량 5 mm 이하인 경우를 의미한다. 논에서의 물수지 분석은 회귀율과는 직접 관련은 없으나 논에서의 전반적인 물 이동에 대한 이해를 위하여 수행하였으며, 적용된 무강우시 논에서의 물수지방정식은 식 (2)와 같다. 측정 조사한 결과로부터 무강우시 논에서 물수지 분석한 2003, 2004년의 결과는 Table 5, 6과 같다.

나. 농업용수 회귀율 추정

회귀율은 배수로를 통해 빨리 회귀하는 신속회귀율과 심층침투를 통해 서서히 회귀하는 지연회귀율로 나눌 수 있다. 신속회귀율은 관개량에 대한 평상시 지표배수량의 비율로, 지연회귀율은 관개량에 대한 심층침투량의 비율로 정의하고 대평 양수장지구에서 2003~2004년 회귀율을 분석결과는 각각 Table 7, 8과 같다. 2003년 관개기간 신속회귀율 52.4 %, 지연회귀율 17.7 %로 전체회귀율은 70.1 %로 산정되었다. 2004년 관개기간 신속회귀율은 45.4 %, 지연회귀율은 16.1 %로 전체회귀

Table 5 Water balance analysis during non-rainfall in 2003 (Unit: mm)

Month	10 days	Irrigation (D ₁)	Drainage (D ₂)	D ₁ -D ₂	Evapotranspiration (ET)	Infiltration (P)	ΔS
May	L	46.7	26.4	20.3	14.6	4.8	0.9
June	F	150.5	56.7	93.8	45.5	25.3	23.0
	M	96.6	66.9	29.7	25.1	14.4	-9.8
	L	53.5	30.5	23.0	15.5	8.4	-0.9
July	F	-	-	-	-	-	-
	M	-	-	-	-	-	-
	L	9.2	4.1	5.1	6.0	3.0	-3.9
Aug.	F	33.0	31.9	1.1	18.6	5.8	-23.3
	M	55.7	17.1	38.6	24.3	17.0	-2.7
	L	-	-	-	-	-	-
Sept.	F	-	-	-	-	-	-
	M	-	-	-	-	-	-

Table 6 Water balance analysis during non-rainfall in 2004 (Unit: mm)

Month	10 days	Irrigation (D ₁)	Drainage (D ₂)	D ₁ -D ₂	Evapotranspiration (ET)	Infiltration (P)	ΔS
May	L	46.6	27.8	18.8	19.2	7.4	-7.8
June	F	182.3	66.1	116.2	41.3	14.7	60.2
	M	110.5	29.8	80.7	40.8	14.0	25.9
	L	31.7	38.0	-6.3	30.4	13.8	-50.5
July	F	15.8	19.8	-4.0	9.6	3.7	-17.3
	M	19.4	31.3	-11.9	18.4	5.7	-36.0
	L	205.1	87.7	117.4	49.0	32.1	36.3
Aug.	F	111.6	48.4	63.2	45.6	17.4	0.2
	M	96.1	41.7	54.4	36.8	12.6	5.0
	L	98.3	39.2	59.1	36.9	24.8	-2.6
Sept.	F	128.0	41.4	86.6	38.9	18.2	29.5
	M	7.5	6.5	1.0	10.5	5.5	-15.0

율은 61.5 %로 2003년에 비하여 다소 작았다. 이는 회귀율 조사기간 (5월27일~9월20일)동안 강우량이 2003년에는 1336.0 mm인데 2004년에는 1003.0 mm로 적은 것이 영향을 미친 것으로 판단된다.

다. 기존 연구성과와의 비교

한강수계 하천수 사용실태조사 및 하천유지유량 산정보고서 (MOCT, 1998)에는 기천, 발안 및 도척 저수지내 3개 관개지구에서 회귀율을 조사하였다. 지하수위, 저수지수위 및 취수량 등을 측정하였으며 모형을 개발하여 이론적으로 추정된 회귀율은 발안지구 45.4 %, 기천지구 45.9 %이었다 (Im et al., 1998; Im, 2000). 금강수계 하천수 사용실태조사 및 하천유지유량 산정보고서 (MOCT, 1999)에는 공주 소학 및 연기 대평

Table 7 Calculation of return flow rate at Daepyeong district during non-rainfall in 2003

Month	10 days	(a) Irrigation depth (mm)	(b) Drainage depth (mm)	(c) Infiltration (mm)	(d)=(b)/(a) Quick return rate (%)	(e)=(c)/(a) Delayed return rate (%)	(f)=(d) + (e) Return flow rate (%)
May	L	46.7	26.4	4.8	56.4	10.3	66.7
June	F	150.5	56.7	25.3	37.7	16.8	54.5
	M	96.6	66.9	14.4	69.2	14.9	84.2
	L	53.5	30.5	8.4	57.0	15.7	72.7
July	F	-	-	-	-	-	-
	M	-	-	-	-	-	-
	L	9.2	4.1	3.0	45.0	32.8	77.8
Aug.	F	33.0	31.9	5.8	96.5	17.4	113.9
	M	55.7	17.1	17.0	30.7	30.5	61.2
	L	-	-	-	-	-	-
Sept.	F	-	-	-	-	-	-
	M	-	-	-	-	-	-
Total		445.2	233.5	149.5	52.4	17.7	70.1

Table 8 Calculation of return flow rate at Daepyeong district during non-rainfall in 2004

Month	10 days	(a) Irrigation depth (mm)	(b) Drainage depth (mm)	(c) Infiltration (mm)	(d)=(b)/(a) Quick return rate(%)	(e)=(c)/(a) Delayed return rate (%)	(f)=(d) + (e) Return flow rate (%)
May	L	46.6	27.8	7.4	59.8	15.8	75.6
June	F	182.3	66.1	14.7	36.2	8.1	44.3
	M	110.5	29.8	14.0	26.9	12.7	39.6
	L	31.7	38.0	13.8	119.8	43.5	163.3
July	F	15.8	19.8	3.7	125.3	23.3	148.6
	M	19.4	31.3	5.7	161.2	29.4	190.7
	L	205.1	87.7	32.1	42.8	15.7	58.4
Aug.	F	111.6	48.4	17.4	43.4	15.6	59.0
	M	96.1	41.7	12.6	43.4	13.1	56.5
	L	98.3	39.2	24.8	39.9	25.2	65.0
Sept.	F	128.0	41.4	18.2	32.3	14.2	46.5
	M	7.5	6.5	5.5	86.6	73.6	160.2
Total		1,052.9	477.7	169.9	45.4	16.1	61.5

지구에서 농업용수 회귀율을 조사하였다. 관개량 및 배수량은 압력식 자기수위계와 유속계로 측정하였으며, 증발산량은 N형 감수심계 및 원통형 침투계를 이용하여 산정한 회귀율은 소학 지구 40.0 %, 대평지구 38.1 %로 나타났다 (Kim et al. 1999). 영산강·섬진강수계 하천수 사용실태조사 및 하천유지유량 산정보고서 (MOCT, 1999)에는 담양 개동지구 및 남원 금풍지구에서 회귀율을 조사하였다. 표본지구는 양수장에서 농업용수를 공급받고 있다. 침투량은 4 mm/day 로 가정하여 적용하여 산정한 회귀율은 개동 40.8 %, 금풍 51.2 %이었다. 낙동강수계 하천수 사용실태조사 및 하천유지유량 산정보고서 (MOCT, 1997)에는 양수장지구인 진주 마성지구 (Cheong et al., 1998)

와 운문저수지 지구인 청도지구 (Chung et. al., 1997; Chung and Seung, 2001)에서 농업용수 회귀율을 조사하였다. 관개량 및 배수량은 자기수위계와 유속계로 측정되었으며 증발산량은 감수심계와 침투심계로 측정하였다. 마성지구는 평균 70.5 %이며, 청도지구는 33.8 %로 추정되었다.

이와 같이 영산강-섬진강, 낙동강, 한강, 금강유역의 회귀율은 Table 9와 같이 측정방법이나 회귀율 개념이 다르지만 회귀율은 33.8~70.5 %로 유역에 상관없이 다양하게 추정되었으며 저수지 지구보다 양수장지구 회귀율이 크게 나타났다. 따라서 앞으로 광역지구 별, 수원공 별로 농업용수 회귀율에 대한 보다 종합적이고 조직적인 연구가 필요하다.

Table 9 Comparison of return flow rate among the different watersheds

Watershed	Young-san & Sum-jin river (1999)		Nak-dong river (1997)		Han river (1998)		Geum river (1999)	
Name of station	Gae-dong	Guem-pung	Ma-sung	Chung-do	Bal-an	Gi-chun	So-hak	Dae-pyeong
Return flow rate (%)	40.8	51.2	70.5	33.8	45.4	45.9	40.0	38.1
Average (%)	46		52.2		45.7		39.1	

대평지구의 농업용수회귀율은 2003년도는 신속회귀율 41.9 %, 지연회귀율은 35.6 %로 전체회귀율은 77.9 %로 조사되었고, 2004년도는 신속회귀율 45.4 %, 지연회귀율은 16.1 %로 전체회귀율은 61.5 %로 조사되었다. 평균 신속회귀율 43.6 %는 1999년도에 분석한 같은 지구의 신속회귀율 38.1 %와 비슷하게 추정되었지만 이번 분석에는 평균 지연회귀율 25.8 %가 추가된 것이 다르다. 연도별로 회귀율이 차이를 보이는 것은 관개기 강우분포, 지하수 사용, 관리 문제 등 복합적인 원인이 작용된 것으로 판단된다.

IV. 결 론

농업용수 회귀율 산정을 위해 금강유역 양수장 지구인 대평 지구를 실험지구로 선정하여 수문계측망을 구성하고 관측하여 2003년~2004년 (기간 : 5월27일~9월20일) 2년간 물 수지 분석을 실시하였다. 측정된 유량으로 분석기간의 관개용수 공급량과 배수량을 산정하여 금강수계 양수장 지구인 대평지구의 농업용수회귀율을 추정한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 논 75.8ha에 관개하기 위한 총양수량은 2003년 1,076,000 m³, 2004년 1,848,000 m³이었다.

2. 무강수기간의 2003년 심층침투량은 196.5 mm (일평균 2.2 mm), 실측 증발산량은 311.0 mm (일평균 3.5 mm), 추정 증발산량은 346.0 mm (일평균 3.9mm/day)이었고, 2004년 심층침투량은 169.9 mm (일평균 2.4 mm), 실측 증발산량은 377.3 mm (일평균 5.3mm), 추정 증발산량은 454.5mm (일평균 6.6 mm)이었다. 관개기간 강우량은 2003년 1336.0 mm, 2004년 1003.0 mm이었다.

3. 2003년에는 관개기간 중 신속회귀율은 52.4 %, 지연회귀율은 17.7 %로 전체회귀율은 70.1 %로 산정되었다. 2004년에는 관개기간 중 신속회귀율은 45.4 %, 지연회귀율은 16.1 %로 전체회귀율은 61.5 %로 산정되어 양수장지구인 대평 지구의 평균 회귀율은 65 %였다.

REFERENCES

1. Cheong, U. T., K. H. Lee, and I. Y. Lee, 1998. Water balance in a Paddy Field with Pumping irrigation

System. *Proceedings of the 1998 Korean Society of Agricultural Engineers Annual Conference*: 1-7 (in Korean).

2. Chung, S. O and H. S. Seung, 2001. Return flow analysis of Paddy field by water balance method. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 43(2): 59-68 (in Korean).

3. Chung S. O., C. J. Oh, and H. S. Nam, 1997. A study on the Return Flow Ratio of the Irrigation Water from a Reservoir. *Proceedings of the 1997 Korean Society of Agricultural Engineers Annual Conference*: 46-51 (in Korean).

4. Doorenbos, J. and W. O. Pruitt, 1997. Guidelines for predicting crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper 24*. Rome, Italy. ISBN: 92-5-100279-7

5. Im, S. J., S. W. Park, and C. E. Park, 1998. Estimating the return flow of irrigation water for paddies. *Proceedings of the 1998 Korean Society of Agricultural Engineers's Annual Conference*: 87-91 (in Korean).

6. Im, S. J., 2000. Modeling irrigation return flow from paddy fields on agricultural watersheds. Ph.D. thesis, Seoul National University (in Korean).

7. Kim, Y. S., J. N. Park, B. K. An, and T. C. Kim, 1999. Estimation of the Irrigation Return Flow of Pumped Water in the Keum River Watershed. *Proceedings of the 1999 Korean Society of Agricultural Engineers Annual Conference*: 105-110 (in Korean).

8. Lee, H. C., 2007. Computation of Irrigation Return Flow Rate in Geum River basin using Water Balance. ME thesis, Chungnam National University (in Korean).

9. MAF (Ministry of Agricultural and Forestry), Rural Development Corporation, 1999. A Comprehensive Report on Survey of Agricultural Water Demand (in Korean).

10. MOCT (Ministry of Construction and Transportation),

- Daejeon Regional Construction Management Administration, 1998. A Survey on Status of River Water Use and A Report on Estimation of River Maintenance Flow Discharge in Geum River System (in Korean).
11. MOCT (Ministry of Construction and Transportation), Iksan Regional Construction Management Administration, 1999. A Survey on Status of River Water Use and A Report on Estimation of River Maintenance Flow Discharge in Yeongsan · Seomjin River System (in Korean).
 12. MOCT (Ministry of Construction and Transportation), Busan Regional Construction Management Administration, 1997. A Survey on Status of River Water Use and A Report on Estimation of River Maintenance Flow Discharge in Nakdong River System (in Korean).
 13. MOCT (Ministry of Construction and Transportation), Seoul Regional Construction Management Administration, 1998. A Survey on Status of River Water Use and A Report on Estimation of River Maintenance Flow Discharge in Han River System (in Korean).
 14. Satoh M. and A. Goto, 1999. Water reuse systems in Advanced Paddy Field Engineering, published in Shinzan-Sha Sci.&Tech.
 15. Satoh M. and M. Okamoto, 1985. Theoretical study of block type classification in the Critical Block Method, Trans. JSIDRE 43(12): 783-788 (in Japanese).