

소형관정 관개지역의 양수효율 분석

정재훈 · 박승기 · 강성민

I. 서론

우리나라의 수자원은 산업구조의 급격한 변화와, 인구증가에 따른 용수 수요 증가 및 생태환경에 대한 인식변화 등으로 인하여 지표수 이용에 많은 한계를 보이고 있으며, 이에 따른 대체수자원으로서의 지하수 역할이 증대될 것으로 예상되고 있다. 현재 우리나라의 지하수 이용량은 약 37억m³이며, 이중 67%인 25억m³은 농촌지역에서 개발·이용하고 있는 실정이며, 고소득 시설농업의 확대와 가뭄 등의 이상기후로 인해 지하수의 이용의 지속적인 증가를 보이고 있다. 지하수 이용 확대에 따른 지하수위 저하, 수량 고갈 문제 등과 같은 지하수 환경문제를 유발하고 있으나 이에 대한 체계적인 보전·관리 대책이 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구는 관개용으로 폭넓게 사용되고 있는 소형관정을 중심으로 지하수위의 변화에 따른 양수 특성을 조사·분석하고 농촌지역 지하수의 합리적인 이용 및 적절한 관리방안을 제시하기 위하여 소형관정 관개지역의 양수효율을 비교·분석하였다.

II. 재료 및 방법

1. 연구 지역

본 연구의 대상지역은 예산군 대흥면 갈신리이며 예당저수지로 유입되는 탄방천 상류지역에 위치하고 있다. 1999년에 경지정리 사업이 완료되었으나 Fig. 1과 같이 수계발달이 미비하고 대규모 취수원이 없어 소형관정에만 의존하여 벼농사를 주로 하는 전형적인 농촌지역이다.

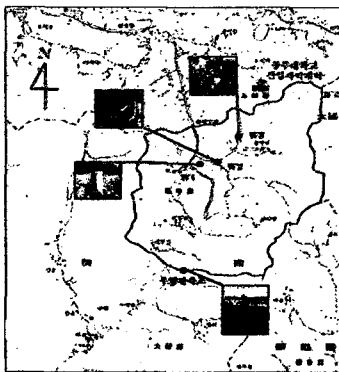


Fig. 1 Map of study area

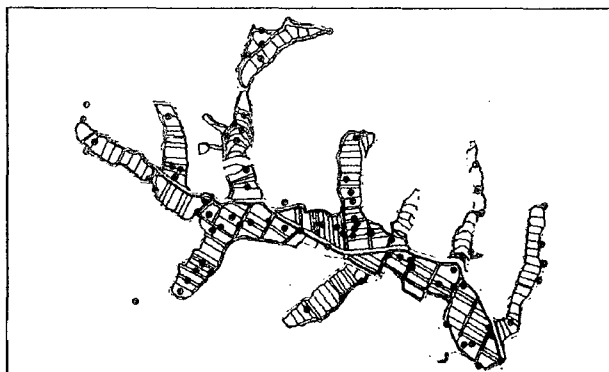


Fig. 2 Farmland distribution and investigation point

2. 지하수위 및 양수량 조사

연구지역의 지하수위 조사는 Fig. 1에 나타낸 비피압 대수층의 사용하지 않는 우물 3개소(W₁~W₃)를 선정하여 2001년 5월 14일부터 2002년 10월까지 매주 1회 측정하였으며, 양수 시기에는 지하수위와 양수량과의

정재훈 : 공주대학교 산업과학대학 생물산업공학부

관계를 파악하기 위하여 양수량 조사와 병행하여 실시하였다. 양수량 조사는 연구지역의 농지에 분포되어 있는 관개용 소형 관정에 대하여 2001년 5월부터 2002년 9월까지 관개기에는 주 1회, 비관개기에는 월 1회 조사하였으며, 조사 방법은 양수기의 토출구에 설치된 비닐 튜브관을 제거하고, 양수기가 정상상태로 가동될 때 2000ml 메스실린더와 초시계를 이용하여 조사하였다. 연구지역의 농지분포와 양수량 조사지점을 Fig. 2에 나타내었으며, 연구지역에 사용되고 있는 양수기는 L사와 H사에서 제작한 250W이하의 소형이었다.

3. 농업용 전기사용량 조사 및 양수가동특성

전기사용량 조사는 연구지역의 총양수량과 양수가동특성을 분석하기 위하여 실시하였으며 소형 양수기 1대만 설치된 81개의 농업용 전기계량기를 대상으로 관개기에는 주 1회, 비관개기에는 월 1회 조사하였다. 양수량 조사자료와 전기사용량 조사 자료를 바탕으로 단위기간동안 개별양수기 가동시간(Pot_i)과 총 양수기 가동시간($TPot_i$)을 식(1)과 식(2)로 구하였으며, 양수기 가동율(Pwr_i)은 식(3)으로 구하였다.

$$Pot_i = \frac{Teu_i \times Rev_i \times Urt_i}{3,600} \quad \text{----- (1)} \quad TPot_i = \sum Pot_i \quad \text{----- (2)}$$

$$Pwr_i = \frac{Pot_i}{Ut_i} \times 100 \quad \text{----- (3)}$$

여기서, Pot_i 는 단위기간동안 개별 양수기 가동시간(hr), Teu_i 는 단위기간동안 개별 양수기 전기 사용량(kwh), Rev_i 는 전기 계량기별 kwh당 회전수, Urt_i 는 계량기 검침판의 1회전 소요시간(sec), $TPot_i$ 는 연구지역의 단위기간동안 총 양수기 가동시간(hr), Pwr_i 는 양수 가동율(%), Ut_i 는 조사 기간의 총시간(hr)이다.

4. 연구지역의 총 양수량 산정

실측한 지하수위 변동량과 양수량의 관계로부터 양수특성곡선을 작성하였다. 양수특성곡선은 지하수위 조사와 병행하여 조사한 실측 양수량 중 측정횟수, 지질특성 및 토양특성을 고려하여 선정된 양수량 조사지점의 자료와 지하수위 관측지점 중 갈수기에도 고갈되지 않고 강우에 의한 지하수위 반응이 잘 나타내는 W₂ 지점의 지하수위 실측값을 이용하여 작성하였고, Curve Expert(Ver. 1.34) 프로그램을 이용하여 식(4)와 같은 관계식을 유도하였다. 총 양수량은 식(5)와 같이 단위기간중의 평균지하수위에 따른 양수량으로 식(4)의 양수특성곡선식으로 구한 개별 양수기 양수량에 개별 양수기 가동시간을 곱하여 양수량을 구한 후 연구지역 양수량을 모두 합하여 산정하였다.

$$Q_e = f(H) \quad \text{----- (4)}$$

$$TQ_e = \sum (Q_{me} \times Pot_i) \quad \text{----- (5)}$$

여기서, Q_e 는 양수기 양수량(m^3/hr), H 는 지하수위(EL m), TQ_e 는 단위기간동안 총 양수량(m^3/hr), Q_{me} 는 단위기간동안 평균 지하수위 양수량(m^3/hr)이다.

양수특성곡선의 적용성을 검증하기 위하여 실측한 양수량과 양수특성곡선식으로 산정한 양수량의 관계를 SPSS(Ver 10.0) 프로그램을 이용하여 통계적 분석을 실시하였다.

5. 양수효율 분석 및 비교

양수효율 분석은 관개기간중 연구 지역내 총 양수량과 이론적 논 단위용수량 및 해당저수지 용수를 양수한 일반양수장의 총 양수량을 관개심으로 변환하여 비교하였다. 본 연구지역의 이론적 논 단위용수량은 식(6), (7)을 적용하여 일단위로 구하고 월 단위로 정리하였다. 일별 증발산량은 FAO 수정 Penman식으로 추정하였고 작물계수는 전국평균값을 사용하였다. 못자리 용수 및 이앙 용수는 관개면적의 1/20, 정지기간 4일, 못자리 생육기간 41일을 적용하였다. 유효 우량은 관개기에는 논의 허용 담수심을 60 mm, 평상시 담수심을 30 mm로 유지하고, 중간 낙수기에는 논의 허용 담수심을 0 mm로 적용하였다. 유역내 일별 침투량은 경지정리 상업에서 조사한 침투를 4.9mm/day를 적용하였다. 손실율은 하천수를 양수하여 재이용하는 점을 고려하여 5%를 적용하였다.

$$UR_i = NDT_i \times \left(1 + \frac{CL}{100}\right) \quad \text{----- (6)} \quad NDT_i = ET_i + I - RE_i \quad \text{----- (7)}$$

여기서, UR_i 는 논 벼의 일별 단위용수량(mm), NDT_i 는 일별 순용수량(mm), CL 는 손실율, ET_i 는 논 벼 일별 증발산량(mm), I 는 유역의 일별 침투량(mm), RE_i 는 유효우량(mm)이다.

III. 결과 및 고찰

본 연구는 2001년 5월부터 충남 예산군 대흥면 갈신리 지역을 중심으로 소형관정의 양수에 따른 지하수위의 변화 특성을 분석하여 양수특성곡선을 작성하였고, 이를 바탕으로 양수량 산정, 양수효율 분석을 통해 농촌지역 지하수의 합리적인 이용 및 적절한 관리방안을 제시하기 위하여 수행하였으며, 결과 다음과 같다.

1. 지하수위 및 양수량 조사

강수 현상에 대한 지하수위 변화 양상은 Fig. 3과 같으며 지하수 관측지점 3개소(W₁~W₃)중 W₂ 지점이 가장 양호한 반응을 보이고 있어 W₂ 지점을 연구지역 내 양수특성곡선 작성과 총 양수량 산정을 위한 기준 지하수위로 적용하였다. 양수량 조사는 연구지역내 농업용 소형관정으로 가동하고 있는 81대 양수기중에서 사용 빈도, 조사의 난이도, 정상적인 작동여부 등을 고려하여 36대를 선정하여 양수량 조사를 실시하였으며, 그 결과 양수기의 최대 양수량은 78.24 l/min로 양수기 최대 양수량인 130 l/min의 60.18%로 저조한 양수량을 보였으며, 최소 양수량은 2.99 l/min이며 양수기 최대 양수량의 2.3%로 매우 낮은 양수량을 보였다.

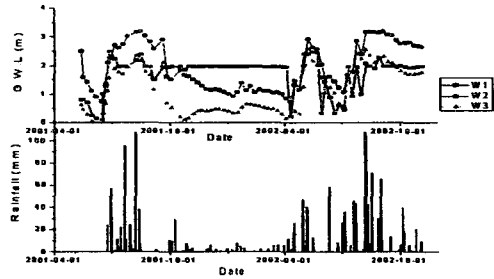


Fig. 3 Relationship of groundwater level and rainfall phenomena

2. 양수가동특성 분석 및 양수량 산정

농업용 전기사용량조사 결과를 바탕으로 구한 총 양수기 가동시간(TPot_i)과 가동율(Pwr_i)은 거의 비슷한 양상을 보이고 있으며 시기별 가동율 특성은 Fig. 4와 같다. 양수기 가동은 3월말에 시작하여 9월말에 종료되었고, 이앙기(5월 중순~6월 상순)의 평균 가동율은 62.7%로 나타났다. 최고 가동율 86.5%로 나타났으며, 이중 100% 가동된 양수기가 54.5%로 나타나 양수량에 관계없이 무분별한 양수가 이루어지고 있음을 나타내고 있다. 따라서 비효율적인 양수로 인한 대수층의 지하수위 저하로 오염물질의 유입, 대수층의 지하수 유동 변화, 지반 침하와 같은 지하수 환경 재해를 초래하고 있으며 적은 양의 양수가 이루어지고 있는데도 양수기는 계속 가동하고 있어 양수기의 고장 원인이 되고 있다.

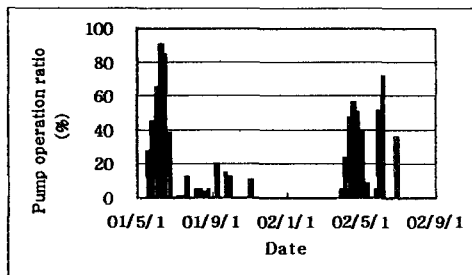


Fig. 4 Pumping operation ratio

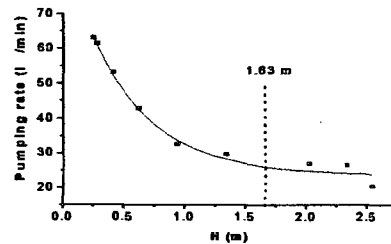


Fig. 5 Pumping characteristic curve

연구지역의 지하수위와 양수량 관계를 분석한 결과 Fig. 5의 양수특성곡선을 작도하였고 Curve Expert를 이용하여 관계식을 유도하여 식(8)로 나타내었다.

$$Q_e = \frac{20.01}{1 - 0.819 \times e^{-0.706 \cdot H}} \quad (r=0.994) \quad \text{----- (8)}$$

실제양수량(Q₀)과 양수특성곡선식으로 구한 추정 양수량(Q_e)과의 검증 결과는 지하수위 1.63m를 기준으로 구분하여 상관관계를 분석하였으며, Fig. 6, 7과 식(9), (10) 같이 고도의 유의성을 보였다.

$$Q_0 = 5268.7 + 0.927 \times Q_e \quad (r^2=0.884) \quad \text{--- (9)} \quad Q_0 = -611.317 + 0.978 \times Q_e \quad (r^2=0.917) \quad \text{--- (10)}$$

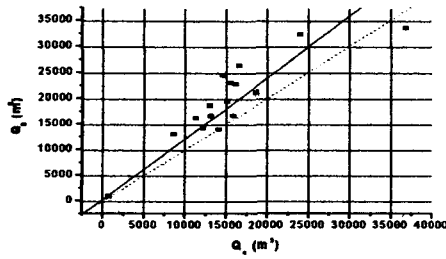


Fig. 6 Comparison of actuality pumping rate and calculated pumping rate ($H \geq 1.63m$)

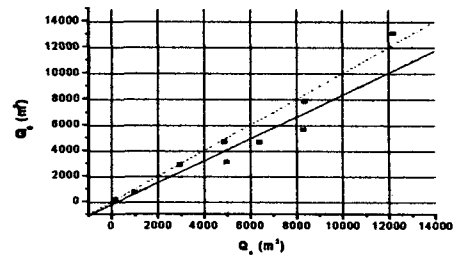


Fig. 7 Comparison of actuality pumping rate and calculated pumping rate ($H \leq 1.63m$)

4. 양수효율 분석 및 비교

FAO 수정 Penman식을 적용하여 구한 연구지역의 이론적 논 단위용수량과 연구지역의 총 양수량 및 예당저수지 물리구역내 신암양수장의 양수실적을 조사하여 비교한 결과 Table 1과 같다.

Table 1 Comparison of Galsin-Ri and Sinam pumping station pumping efficiency

Year	Month	Duty of Irrigation Water (mm)	Galsinri Watershed		Sinarm Pumping station	
			Total (m³)	Irrigation Depth (mm)	Total (m³)	Irrigation Depth (mm)
2001	4	10.04	-	-	136,873	40.7
	5	278.65	161,375.3	276.3	866,867	257.6
	6	147.53	96,766.3	165.7	388,895	115.6
	7	105.60	19,994.5	34.2	217,260	64.6
	8	214.44	49,385.9	84.6	771,272	229.2
Total		756.26	327,522	560.8	2,381,167	707.7
2002	3	1.91	31,657.4	54.2	-	-
	4	6.89	50,250.5	86.0	-	-
	5	215.04	45,445.2	77.8	530,114	157.5
	6	183.98	39,013.8	66.8	538,804	160.1
	7	63.65	13,129.0	22.5	173,807	51.7
8	113.11	34,363.8	58.8	219,432	65.2	
Total		584.58	213,859.7	366.1	1,462,157	434.5

2001년의 이론적 논 단위용수량은 756.26mm이었으며 신암양수장은 707.7mm로 적정량이 양수된 것으로 판단할 수 있으나 갈신리 유역은 560.8mm로 적정양수량의 74.2% 수준의 양수실적을 나타내었으며 월별 공급량도 지하수위가 비교적 안정적인 5~6월을 제외하고 전반적인 필요수량보다 적은 양을 공급한 것으로 판단된다. 양수효율은 연구지역이 3.17m³/kwh 이었으며, 신암양수장이 12.77m³/kwh로 신암 양수장에 비해 24.8% 수준의 매우 낮은 양수효율을 보였다.

IV. 결론

본 연구는 농촌지역에서 이용이 증대되고 있는 소형관정의 양수효율을 조사, 분석하여 농촌지역 지하수의 합리적인 이용 및 적절한 관리 방안을 제시하기 위한 기초 연구의 하나로 수행하였다. 연구지역의 소형관정 으로부터 공급된 총 양수량을 산정하고 벼 생육에 필요한 이론적 논 단위용수량과 인근의 신암 양수장의 양수기록을 바탕으로 양수효율 관계식으로 변환하여 비교한 결과 24.8% 수준의 매우 낮은 양수효율을 보이고 있다.