

지하수위 변화를 고려한 양수량 산정

Calculation of Pumping Rate Considering the Change of Groundwater Level

정 재 훈*, 박 승 기*
Jeoung, Jae-Hoon, Park, Seung-Ki

Abstract

The pumping efficiency of small size tube wells was investigated in the rural area. The pumping characteristic curve is constructed to estimate the pumping rate of small size tube wells for irrigation. The pumping rates from the characteristic curve highly fit the observed pumping rates in the experimental site, which is statistically significant. The pumping rate from the characteristic curve is also compared against both the unit irrigation requirement and the pumping rate of Sinam pumping station to investigate the unit irrigation depth. The irrigation depth of Galsin-ri and Sinam is 560.8 mm and 707.7 mm, respectively while the unit irrigation requirement is 756.3 mm during the year 2001. The pumping rates of Sinam pumping station shows similar value by 93.6 % in 2001 comparing with unit irrigation requirement. But, show comparative big difference by 74.3 % because do not pumping up to drought in April in 2002. Moreover, the pumping efficiency of Galsin-ri, the research area, is very low compared to the pumping rate of Sinam pumping station ; 3.17 β €/kwh for Galsin-ri and 12.77 β €/kwh for Sinam. This observation indicates that the pumping efficiency of Galsin-ri, amounts to only 24.8 % of the pumping efficiency of Sinam.

I. 서론

우리나라의 수자원은 산업구조의 급격한 변화와, 인구증가에 따른 용수 수요 증가 및 생태 환경에 대한 인식변화 등으로 인하여 지표수 이용에 많은 한계를 보이고 있으며, 이에 따른 대체수자원으로서의 지하수 역할이 증대되고 있다. 현재 우리나라의 지하수 이용량은 약 37 억 m^3 이며, 이중 67 %인 25억 m^3 은 농촌지역에

서 개발·이용하고 있는 실정이며, 고소득 시설농업의 확대와 가뭄 등의 이상기후로 인해 지하수의 이용이 지속적인 증가를 보이고 있다(강장신, 1997). 또한 우리나라는 매년 5~6월에 농촌지역에서 이앙을 위한 농업용수가 집중적으로 사용됨에 따라 용수 확보를 위해 농업용 소형관정을 무분별하게 개발하고 과도한 양수로 인한 지하수위 변화와 지하수 이용 확대에 따른 지하수위 저하, 수량 고갈 문제 등과

*공주대학교 산업과학대학(sixdream@kongju.ac.kr)

키워드: 양수특성곡선, 양수량 산정식, 양수효율

같은 지하수 환경문제를 유발하고 있으나 이에 대한 체계적인 보전·관리 대책이 미흡한 실정이다 (김재홍, 2000).

국내·외에서 지하수에 대한 연구는 지하수의 이용에 대한 관심 증가로 피압 대수층의 특성에 따른 지하수위의 변화양상을 이용한 연구를 중심으로 비교적 활발하게 전개되고 있으나, 우리나라 농촌지역에서 주로 이용되고 있는 비피압 지하수(자유수면 지하수)에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 정운태 등(1998)은 양수장에 의해 관개용수가 공급되는 논 지대의 물 수지를 구명하기 위하여 각 물 수지 구성 요소에 대한 관측과 분석을 실시하였고, 조민조 등(2002)은 자연상태의 지하수위 변동량을 분석하여 지하수 함양량을 계산하였으며, 농사용 소형관정을 대상으로 관측망을 구성하여 풍수기와 갈수기의 수위를 측정하여 지하수 수위변동 특성을 연구하였다. 그러나 대부분의 연구는 지하수의 사용 양상이 매우 복잡하고, 양수량 조사가 중요함에도 불구하고 실제 양수량을 구하는 것이 매우 어렵기 때문에 단순히 지하수위 변동 내지 특정한 관정을 대상으로 한 양수량 측정 결과만으로 전체 유역에 대한 지하수 함양량 등의 결과를 도출하고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 관개용으로 많이 사용되고 있는 자유수면 지하수의 소형관정을 중심으로 실측한 양수량 조사결과를 바탕으로 지하수위의 변화에 따른 양수량 특성을 규명하고 양수량 산정방법을 제시하였으며 양수효율을 비교·분석하였다.

II. 재료 및 방법

1. 연구대상 유역의 개요

본 연구 대상지역은 예산군 대흥면 갈신리로 해당저수지로 유입되는 탄방천 상류지역이며 1999년에 경지정리 사업이 완료되었으나 수계

발달이 미비하고 대규모 취수원이 없어 소형관정에만 의존하여 벼농사를 주로 하는 전형적인 농촌지역으로 수문관측소 및 유역도는 Fig. 1과 같다. 시험유역의 면적은 3.75 km², 논 면적은 0.67 km²으로 전체 면적의 17.9 %이며, 최고표고는 E.L. 222.2 m, 최저표고는 E.L. 41.52 m이다.

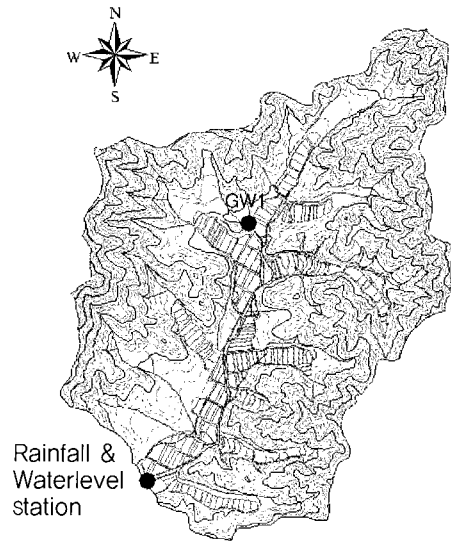


Fig. 1. Map of Galsin-ri watershed

2. 지하수위 및 양수량 조사

지하수위는 Fig. 1과 같이 시험유역내 비피압 대수층에 위치한 GW1 지점의 사용하지 않는 우물에서 2001년 5월 14일부터 2002년 9월 30일까지 매주 1회씩 측정하였고, 강우시에는 추가로 측정하였다. 지하수위 관측지점 GW1에 대한 제원은 Table 1과 같다.

Table 1. Summary of groundwater level gaging station in Galsin-ri

Station name	Elevation (m)	Groundwater level (H)		
		Max. (E.L. m)	Min. (E.L. m)	Variation of H (m)
GW1	72.5	72.26	69.80	2.46

시험유역의 지하수 사용량을 산정하기 위하여 소형 관정에 설치되어 있는 양수기를 대상으로 2001년 5월 9일부터 관개기에는 주 1회, 비관개기에는 월 1회 지하수위와 병행하여 조사하였다. 양수량조사는 양수기의 토출구에 설치된 비닐 튜브관을 제거하고, 양수기를 가동시켜 정상 상태로 양수가 이루어 질 때 2000 ml 메스실린더와 초시계를 이용하여 실측하였다. 시험 유역에서 사용되고 있는 양수기는 대부분 L사와 H사에서 제작한 양수기로 출력은 250W 이하, 최대 양수량은 130~140ℓ/min로 소형이다(정재훈 등, 2001).

3. 농업용 전기사용량 조사 및 양수기 가동특성

1) 농업전기 사용량 조사

시험유역내에 소형관정에 설치된 양수기의 가동시간 산정 및 가동특성을 분석하기 위하여 양수에 사용되고 있는 농업용 전기계량기(농업용 감류)를 검침하였다. 농업용 계량기 검침은 관개기에는 주 1회 실시하였고, 비관개기에는 월 1회 실시하였다. 시험유역내 설치된 농업용 전기계량기는 총 88개이고, 이중 하천 취수용 7개소를 제외한 81개소가 소형관정의 양수용으로 사용되고 있으며, 농업용 전기계량기 조

사지점은 Fig. 2와 같다.

2) 양수기 가동특성

양수기 가동시간(Pot)은 농업용 전기계량기를 검침하면서 가동중인 계량기 검침판의 1회전당 소요시간을 측정하였고, 해당 전기계량기의 kWh당 회전수(Rev)를 조사하였다. 전기계량기 검침판의 1회전당 소요시간 측정은 1대의 농업용 전기계량기에 출력이 서로 다른 여러 대의 양수기가 사용되는 경우가 있어 조사하였다.

양수기 가동시간 산정은 각각의 농업용 전기계량기를 대상으로 식(1)과 같이 단위기간동안 사용된 전기사용량에 kWh당 회전수를 곱하여 검침판의 총 회전수를 산정하였고, 총 회전수를 1회전당 소요시간으로 곱하여 구하였다. 시험유역의 81개 전기계량기에 대한 총 전기 사용시간은 식(2)로 구하였으며, 양수기 가동율(Pwr)은 식(3)을 이용하였고, 양수기의 가동특성을 분석하기 위하여 단위기간별로 구하였다.

$$Pot_i = \frac{Teu_i \times Rev_i \times Urt_i}{3,600} \quad (1)$$

$$TPot_i = \sum Pot_i \quad (2)$$

$$Pwri = \frac{TPot_i}{Uti \times n} \quad (3)$$

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(s), $TPot_i$ 는 시험유역의 단위기간동안 총 양수기 가동시간(h), $Pwri$ 는 양수 가동률(%), Uti 는 조사 기간의 총시간(h), n 은 조사기간중 가동된 농업용 전기계량기수 이다.

4. 시험유역의 총 양수량 산정 및 검정

양수량 산정은 지하수에 관련된 제반 연구 및 개발에 매우 중요함에도 불구하고 실제 양수량을 파악하는 것이 어렵기 때문에 우물관의

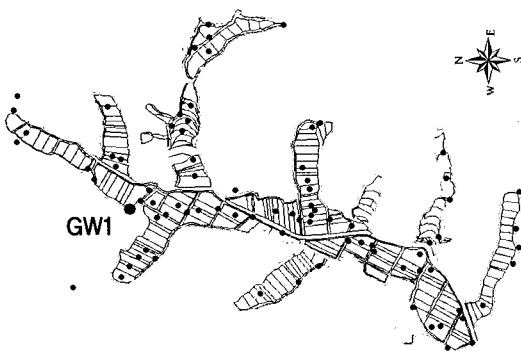


Fig. 2. Electric metering stands for small pumping station

지름, 펌프용량, 전력소비량 등으로 추정하는 방법을 적용하고 있다. 그러나 일반적으로 양수시간과 전기사용량에 의한 양수량 계산은 신뢰도가 낮은 것으로 평가되고 있다(건설부, 1993). 따라서 본 연구에서는 지하수위 변동에 따른 양수특성 관계를 고찰하고 여기에 실제 전기사용량 조사를 바탕으로 한 양수기 가동시간을 적용하여 시험구역의 총양수량을 산정하는 방법을 제시하고 이의 효용성을 검증하였다.

1) 양수특성곡선

양수특성곡선은 GW1 지점의 안정적인 지하수위와 실측 양수량을 Curve Expert (Ver. 1.34) 프로그램을 이용하여 식(4)와 같은 관계식을 유도하였다.

$$Q_e = f(h) \quad (4)$$

여기서, Q_e 는 산정한 양수기 양수량(m^3/h), h 는 GW1 지점의 안정지하수위(m)이다.

2) 총 양수량 산정

총 양수량은 식(4)의 양수특성곡선식으로 구한 각각의 양수기 양수량에 가동시간을 곱하여 양수량을 구한 후 시험구역에서 가동된 모든 양수기의 양수량을 합하여 식(5)와 같이 구하였다.

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

여기서, TQ_e 는 단위기간동안 총 양수량(m^3/h)이다.

3) 총 양수량 검증

양수특성곡선의 적용성을 검증하기 위하여 실측한 양수량(Q_0)과 양수특성곡선식으로 산정한 양수량(Q_e)의 관계를 SPSS (Ver 10.0) 프로그램을 이용하여 통계분석을 실시하였다.

5. 양수효율 분석 및 비교

양수효율 분석은 관개기간중 시험구역내 총양수량과 이론적 논 단위용수량 및 예당저수지 용수를 양수하여 공급하고 있는 일반양수장인 신암양수장의 총양수량을 관개심으로 변환하여 비교하였다. 신암양수장은 몽리면적이 336.5 ha이고 350Hp 양수기 2대가 설치되어 운용중이다.

본 시험구역의 이론적 논 단위용수량은 식(6), (7)을 적용하여 일단위로 구하고 월 단위로 비교하였다. 일별 증발산량은 FAO 수정 Penman식으로 산정하였고 작물계수는 전국 평균값을 사용하였으며, 못자리 용수 및 이앙용수는 관개면적의 1/20, 정지기간 4일, 못자리 생육기간 41일을 적용하였다. 유효수량은 관개기에는 논 의 허용 담수심을 60 mm, 평상시 담수심을 30 mm로 유지하고, 중간 낙수기에는 논 의 허용 담수심을 0 mm로 적용하였다. 지역내 일별 침투량은 경지정리사업에서 조사한 침투율 4.9 mm/day를 적용하였으며, 손실율은 시험구역의 경지정리사업 설계서를 참고하고 하천수를 양수하여 재이용하는 점을 고려하여 5%를 적용하였다.

$$UR_i = NDT_i \times \left(1 + \frac{CL}{100}\right) \quad (6)$$

$$NDT_i = ET_i + I_i - RE_i \quad (7)$$

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_i 는 구역의 일별 침투량(mm), RE_i 는 유효수량(mm)이다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

본 연구는 2001년 5월 14일부터 2002년 9월 30일까지 충남 예산군 대흥면 갈신리 지역

을 중심으로 소형관정의 양수에 따른 지하수위의 변화 특성과 실제 양수량을 분석하여 양수 특성곡선을 작성하였고, 이를 바탕으로 양수량 산정, 양수효율 분석을 통해 농촌지역 지하수의 합리적인 이용 및 적절한 관리방안을 제시하기 위한 기초연구로 수행하였다.

1. 지하수위 및 양수량 조사

지하수위 관측지점(GW1)의 표고는 EL 75.0 m이며, 관측된 최고수위는 EL 73.47m이고, 최저수위는 EL 70.99 m로 지하수위 변동폭은 2.48 m이다. 지하수위는 Fig. 3과 같이 강수 현상에 대하여 양호한 반응을 보여주고 있다. 지하수위 관측지점의 토양은 옥천통이며 기반암까지의 깊이는 1.3 m 이상이다(농촌진흥청, 1970).

시험구역내에는 농업용 소형관정이 83개공 분포하고 있으며, 단위면적당 관정수는 124개공/km²로 매우 밀집되게 분포되어 있다. 양수량 조사는 가동하고 있는 83대 양수기중에서 사

용 빈도, 조사의 난이도, 정상적인 작동여부 등을 고려하여 36대를 선정하여 양수량 조사를 실시하였으며, 양수기의 최대 양수량은 78.24 l/min로 양수기 최대 양수량인 130l/min의 60.18%로 저조한 양수량을 보였으며, 최소 양수량은 2.99 l/min이며 양수기 최대 양수량의 2.2%로 매우 낮은 양수량을 보였다.

2. 농업용 전기사용량 조사 및 양수가동 특성 분석

시험구역의 81개소에 대한 농업용 전기사용량조사 결과와 식(1, 2)로 구한 양수기 가동시간 및 식(3)으로 구한 가동율은 Table 2 및 Fig. 4와 같으며, 2001년 5월 17일 조사값은 2000년 12월 한국전력 예산지점에서 검침한 이후 사용된 양이다.

양수기 가동은 3월초 못자리를 조성하면서 시작되어 9월말 낙수기에 종료되었다. 최고 가동율은 2001년 봄 가뭄기인 5월 31일부터 6월 7일에는 전체 양수기의 90.3%가 최고의

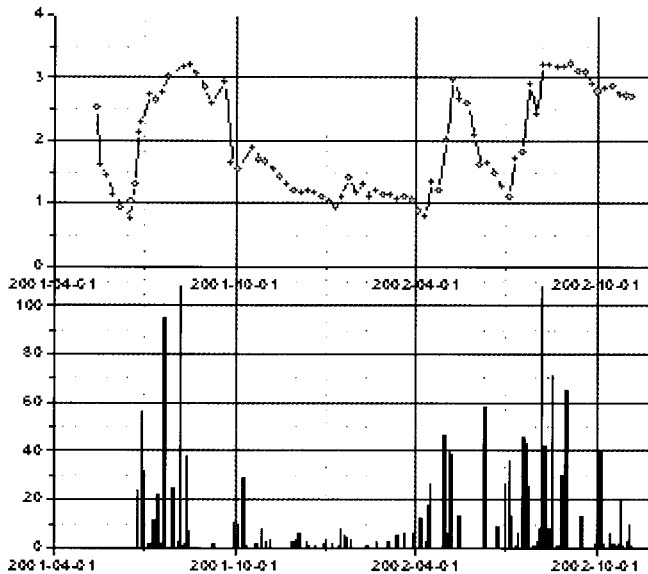


Fig. 3. Relationship of groundwater level and rainfall at GW1

가동율을 보이고 있으며, 이중 100 % 가동된 양수기가 54.5 %로 나타나 양수량에 관계없이 무분별한 양수가 이루어지고 있음을 나타내고

있다. 이앙기(5월 중순~6월 상순)의 평균 가동율은 62.7 %로 나타났으며 이앙이 끝난 후에는 10 % 미만의 저조한 가동률을 보였다.

Table 2. Total electricity, pump operation time used at pumping stations and pumping operation ratio

Year	Date	Amount of electricity used (kWh)		Pump operation time (h)		Pumping operation ratio (%)
		Total	Average	Total	Average	
2001	05-17	55,495.74	719.94	83,527.77	1,128.75	27.54
	05-24	6,424.24	97.34	10,269.55	155.60	44.62
	05-31	7,306.53	107.45	10,981.04	161.49	65.05
	06-07	16,782.01	266.38	26,210.39	416.04	90.33
	06-14	20,084.10	313.81	30,828.24	481.69	84.63
	06-22	7,434.05	118.00	11,230.72	178.27	38.43
	06-28	251.03	10.46	402.24	16.76	0.18
	07-06	801.67	22.27	1,239.51	34.43	0.66
	07-12	3,719.16	109.39	5,455.16	160.45	0.88
	07-19	861.67	15.12	1,340.51	23.52	8.33
	07-26	1,043.53	21.74	1,621.24	33.77	3.45
	08-02	952.69	18.43	1,480.87	28.65	5.89
	08-09	861.17	20.50	1,340.53	31.92	4.97
	08-16	25.03	8.34	37.41	12.47	3.59
	08-23	7,400.97	164.47	11,494.66	255.44	4.74
	09-06	6,439.75	109.15	9,981.17	166.35	20.19
	09-20	214.79	71.60	355.15	118.38	14.34
	09-27	6,640.43	118.58	10,310.30	184.11	11.96
	10-31	4,507.46	132.57	7,168.30	210.83	10.76
Total & Average		147,246.20	139.28	225,274.76	214.43	22.45
2002	03-28	14,608.89	317.58	22,235.41	473.09	4.65
	04-04	3,964.16	86.18	6,164.94	134.02	23.85
	04-11	5,898.43	103.48	9,368.97	164.37	46.81
	04-18	6,268.19	101.10	9,850.83	156.36	55.85
	04-25	6,044.90	97.50	9,671.26	155.99	50.62
	05-01	4,488.13	71.24	7,067.18	112.19	38.9
	05-09	1,465.73	34.90	2,241.39	53.37	8.24
	05-23	2,477.28	45.55	3,839.48	71.10	4.73
	05-30	6,727.23	96.10	10,652.61	152.18	51.54
	06-05	6,187.15	89.67	9,683.27	140.34	71.21
	06-12	5,164.24	72.74	8,176.45	115.16	17.21
	06-19	3,442.83	48.49	5,450.97	76.77	11.91
	16-27	1,721.41	24.25	2,725.48	38.39	5.95
07-11	5,682.46	82.35	8,267.19	119.81	37.55	
08-29	6,385.22	92.54	9,354.66	135.57	8.65	
Total & Average		80,526.25	128.19	124,750.09	193.95	29.08

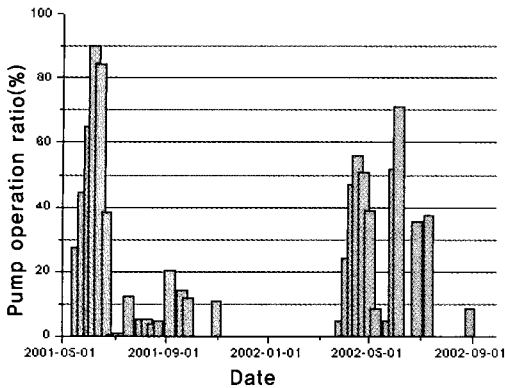


Fig. 4. Graph of pumping operation ratio

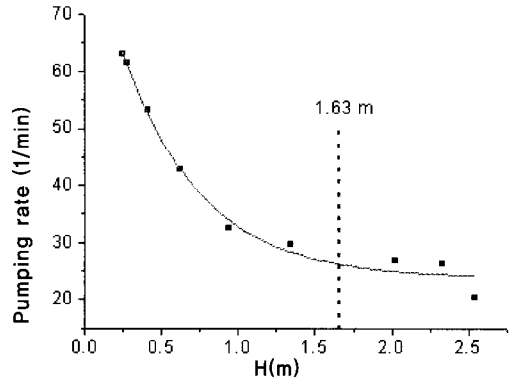


Fig. 5. Pumping characteristic curve

3. 시험구역의 총 양수량 산정 및 검정 결과

1) 양수특성곡선 작성 및 양수량 산정식 유도
 시험구역의 지하수 관측지점인 GW1 지점 지하수위와 실측한 양수량 관계를 분석하여 Fig. 5와 같은 양수특성곡선을 작도하였고 Curve Expert를 이용하여 식(8)과 같은 지하수위에 따른 양수량 산정식을 유도하였다.

여기서, Q_e 는 산정 양수량(m^3/h), h 는 GW1 지점의 안정지하수위(m)이다.

2) 총 양수량 산정결과

식(8)의 양수량 산정식과 식(5)의 단위기간 동안 총양수량 산정식 및 Table 1의 전기사용량 조사결과로 총 양수량을 산정하였으며 월별 총양수량은 Table 3과 같다.

2002년도 총 양수량은 213,860 m^3 이고 2001년도 양수량은 327,520 m^3 으로 약 10만 m^3 정도 차이가 나며 이것은 2001년도 이앙기에 극심한 가뭄으로 인하여 많은 양수가 이루어진 결과이다.

3) 총 양수량 검정

실제양수량(Q_0)과 양수량 산정식으로 구한 양수량(Q_e)으로 상관관계를 분석하였다. 상관관계분석은 대수층의 특성 및 양수량 산출 특성 등을 고려하여 지하수위 1.63 m 이상과 이하로 구분하여 실시하였으며, Fig. 6, 7 및 식 (9), (10)과 같이 고도의 유의성을 보였다.

Table 3. Quantity of electricity and pumping rate in Galsin-ri pumping station

2001			2002		
Month	Total (kWh)	Total (m^3)	Month	Total (kWh)	Total (m^3)
3	-	-	3	14,608.9	31,657.4
4	-	-	4	22,175.7	50,250.5
5	69,226.5	161,375.8	5	15,158.4	45,445.2
6	44,551.2	96,766.3	6	16,515.6	39,013.8
7	5,813.6	19,994.5	7	5,682.6	13,129.0
8	9,852.5	49,385.9	8	6,385.2	34,363.8
Total	129,443.8	327,522.4	Total	80,526.4	213,859.7

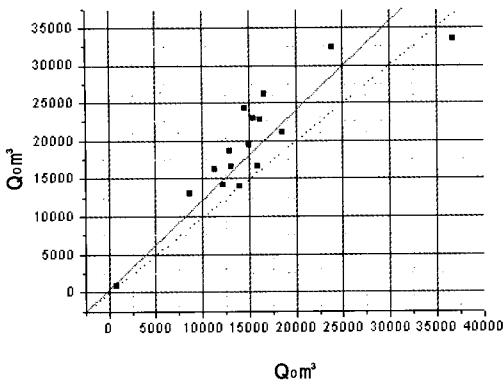


Fig. 6. Comparison of actuality pumping rate and calculated pumping rate (H 1.63m)

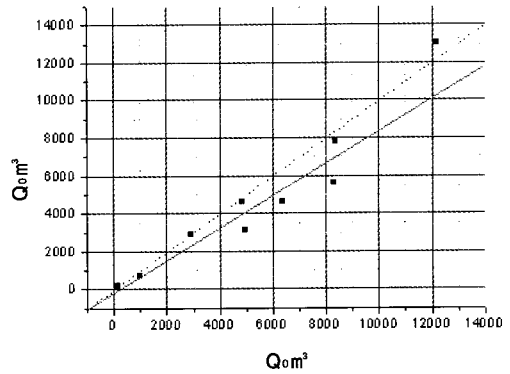


Fig. 7. Comparison of actuality pumping rate and calculated pumping rate (H 1.63m)

4. 양수효율 분석 및 비교

FAO 수정 Penman식을 적용하여 구한 시험구역의 이론적 논 단위용수량과 시험구역의 총 양수량 및 예당저수지 동리구역내 신암양수장의 양수실적율을 조사하여 비교한 결과 Table 4와 같다.

2001년도 논단위용수량은 756.3 mm이었으

며, 2002년도 논단위용수량은 584.6 mm로 비교적 작은 값을 보이고 있는데 이러한 이유는 손실율을 5%로 작게 적용한 결과로 판단된다. 2001년의 이론적 논 단위용수량과 신암양수장의 707.7 mm는 적정량이 양수된 것으로 판단할 수 있으나 갈신리 구역은 560.8 mm로 적정양수량의 69.13% 수준이다. 월별 공급량도 지하수위가 비교적 안정적인 5~6월을 제

Table 4. Comparison of pumping efficiency of Galsin-ri and Sinam pumping station

Year	Month	Rainfall (mm)	Duty of irrigation water (mm)	Galsin-ri		Sinam pumping station	
				Total (m³)	Irrigation depth (mm)	Total (m³)	Irrigation depth (mm)
2001	4	78.7	10.04	-	-	136,873	40.7
	5	84.9	278.65	161,375.3	276.3	866,867	257.6
	6	217.0	147.53	96,766.3	165.7	388,895	115.6
	7	189.0	105.60	19,994.5	34.2	217,260	64.6
	8	160.0	214.44	49,385.9	84.6	771,272	229.2
Total		729.6	756.26	327,522	560.8	136,873	707.7
2002	3	20.0	1.91	31,657.4	54.2	-	-
	4	140.5	6.89	50,250.5	86.0	-	-
	5	107.0	215.04	45,445.2	77.8	530,114	157.5
	6	71.5	183.98	39,013.8	66.8	538,804	160.1
	7	198.0	63.65	13,129.0	22.5	173,807	51.7
	8	454.0	113.11	34,363.8	58.8	219,432	65.2
Total		991.0	584.58	575,576.6	366.1	908,145	434.5

외하고 전반적으로 필요수량보다 적은 양을 공급한 것으로 나타났으며, 임상준 등(2000)이 한강수계 양수장을 대상으로 조사한 평균 양수량 1,170 mm의 절반정도의 수준이다.

시험유역의 2001년 양수실적은 560.8 mm로, 단위용수량 756.3 mm에 비하여 195.5 mm가 적었으며, 신암양수장의 양수량 707.7 mm에 비하여 146.9 mm가 적었다. 2002년 양수실적은 366.1 mm로 단위용수량 584.6 mm에 비하여 218.5 mm가 적었으며, 신암양수장의 양수량 434.5 mm에 비하여 68.4 mm가 적었다. 신암양수장의 양수량은 단위용수량과 비교하여 2001년에는 93.6%로 비슷한 값을 보이고 있으나 2002년에는 4월 가뭄으로 양수하지 못하여 74.3%로 비교적 큰 차이를 보이고 있다.

양수효율은 시험유역(갈신리)이 3.17 m³/kWh 이었으며, 신암양수장은 12.77 m³/kWh로 시험유역이 신암 양수장에 비해 24.8 % 수준의 매우 낮은 양수 효율이었다.

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 수행하였으며, 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 시험유역에서 사용하고 있는 양수기는 대부분 250w 이하의 소형 양수기였으며, 양수량 조사 결과 최대 양수량은 78.24 l/min로 양수기 최대 양수량인 130 l/min의 60.18%로 저조한 양수량을 보였으며, 최소 양수량은 2.99 l/min로 양수기 최대 양수량의 2.3%의 매우 낮은 양수량을 보였다.
2. 지하수위와 실측 양수량의 관계를 분석하

여 양수특성곡선을 작도하였고 지하수위에 따라 양수량을 산정할 수 있는 양수량 산정식을 유도하였다. 양수량 산정식으로 구한 양수량과 실측 자료로부터 구한 양수량과의 관계를 분석하여 양수량 산정식의 적용성을 검증하였다.

3. 시험유역내에서 전기사용량조사 결과와 양수특성곡선식으로부터 구한 양수량과 이론적 논 단위용수량 및 시험유역 인근의 신암 양수장의 양수량을 비교하였다. 시험유역의 양수효율은 3.17 m³/kWh 이었으나, 신암양수장의 양수효율은 12.77 m³/kWh로 시험유역의 양수효율이 매우 낮은 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 건설부, 1993, 하천시설기준(조사편).
2. 강장신, 1997, 지하수 수량의 평가, 동서엔지니어링주식회사.
3. 김재홍, 2000, 농촌 지하수 보전·관리계획, 한국관개배수, 7(1), pp. 103-111.
4. 농촌진흥청, 1970, 예산군 정밀토양도
5. 예산군, 1999, 대륜지구 경지정리사업 준공설계서
6. 임상준, 박승우, 김상민, 김현준, 2000, 한강수계의 관개용수 일별 양수량 조사, 한국농공학회지, 42(1), pp. 57-65.
7. 정운태, 이근후, 이인영, 1998, 양수장 용수공급은 지대의 물수지, 한국농공학회 학술발표논문집, pp. 1-7.
8. 정재훈, 황무석, 박승기, 이승기, 2001, 농업용 소형관정의 양수 특성, 한국농공학회 학술발표회 발표논문집, pp. 106-109.
9. 조민조, 하규철, 이명재, 이진용, 이강근, 2002, 전주-완산, 곡성 지역의 지하수 수위 변동 특성, 한국지하수토양환경학회 춘계학술발표 논문집, pp. 213-216.