

## 갈신양수장 관개지구의 관개효율과 관개패턴분석

류범희\* · 박승기\*\*

\*공주대학교 대학원 박사과정 · \*\*공주대학교 지역건설공학과 교수

### Analysis of Irrigation Efficiency and Pattern in Galshin Pumping District

Ryu, Bumhee\* · Park, Seungki\*\*

*\*Ph. D. Course, Graduate School of Kongju National University*

*\*\*Professor, Department of Regional Construction Engineering, Kongju National University*

**ABSTRACT** : The purpose of study was analyze the pumping characteristics, Irrigation Efficiency(IE), and irrigation pattern by period of rice growing stage with based on the performance of design irrigation water requirement and operational Galshin Pumping(GP) station in GP irrigation district constructed under rural water development project master plan. GP station was located in Yedang reservoir, Yesan-gun, Chungcheongnam-do and has been supplying irrigation water since 2006. The research data are the Irrigation Water Requirement(IWR) and the Pumping Water Amount(PWA) from 2006 to 2015 at the GP station, which is the supplied amount. The IWR were calculated using the Blaney-Criddle formula of the HOMWRS program, Hydrological Operation Model for Water Resource System, developed by Korea Rural Community Corporation. The Blaney-Criddle formula was used to calculate design irrigation water requirement of Galshin rural water development project master plan. During 2006-2015, the study period, the annual average IWR is 763.2( $\pm 149.1$ )mm, the annual PWA of the GP station is 397.4mm to 1,056.9mm, and those average annual PWA is 643.4( $\pm 208.4$ )mm. The annual IE of GP station 96.5% to 169.0%, and the average annual IE is 124.3%, which is higher than the research results conducted in other pumping stations. Analyzing the irrigation patterns of the GP irrigation district, the IWR Ratio per 10days(IWRR) and the PWA Ratio per 10days(PWAR) of the GP station were obtained. The IWRR is the percentage of IWR for each 10 days of a month to total IWR per year, and the PWAR is the percentage of PWA for each 10 days of a month to total PWA per year. The Kolmogorov- Smirnov(K-S) test results of IWRR and PWAR showed the characteristics classification by rice growing stage and stable normal distribution characteristics. Average IWRR(AIWRR) and Average PWAR(APWAR) are presented as irrigation patterns. Irrigation pattern analysis will be able to standardize comparison, analysis and probability calculation of the pumping station characteristics of different pumping stations and apply to objective evaluation of the pumping station district.

**Key words** : Irrigation water requirements(IWR), Pumping water amount(PWA), Irrigation efficiency(IE), Irrigation pattern analysis

## 1. 서 론

우리나라는 기후학적 영향 등으로 인하여 벼농사 재배가 주로 이루어지고 있다. 이러한 벼 재배 등을 위한

농업용수 공급량은 2014년 기준 우리나라 전체 수자원 이용량 372억 $m^3$ 의 약 40.9%인 152억 $m^3$ 를 차지하고 있으며 논 경지면적의 감소에도 불구하고 수리답율의 증가 등 자연적, 사회적, 인위적 요인에 의하여 이용량의 정체 추세를 유지하고 있다(MOLIT, 2016).

수리시설별 수리답면적은 저수지가 427천ha, 양(배)수장이 177천ha, 취입보가 53천ha, 관정인 29천ha, 집수암거가 7천ha 이며 저수지, 취입보, 집수암거와 같은 수리

Corresponding author : Park, Seungki  
Tel : +82-41-330-1263  
E-mail : skpark@kongju.ac.kr

시설은 감소하고 양(배)수장, 관정과 같은 수리시설은 증가하는 추세를 보인다. 우리나라 양수장은 2018년 현재 7,485개이다. 이 중 주수원공으로 2,247개, 보조 및 부속 수원공으로 5,238개가 사용 중이다. 시군관할 양수장은 3,789개이고 한국농어촌공사 관할 양수장은 3,696개이다. 또 양수장의 준공연도가 50년 이내(1969-2018년)인 농업용 양수장은 7,002개로 전체양수장의 93.5%로 우리나라의 경제발전과 저수지 건설적지의 고갈에 따라 수원공이 저수지에서 양수장으로 급속하게 바뀌고 있다(MAFRA & KRC, 2019).

신규 양수장 건설과 양수장 용수공급지구의 첨단화 사업은 기후변화 등 농업의 자연적 여건 변화에 대응하고 벼 재배 중심의 식량 작물 생산 불균형을 해소하면서 식량자급률을 제고하는 필수적 사업이다. 그러나 양수장 계획 및 운영에 필수적인 설계량과 실제 양수량 기반의 양수장 운영실적의 분석과 평가는 미흡한 실정이다.

기왕의 양수장에 대한 연구는 하천수가 수원인 양수장을 대상으로 회귀율 결정, 농업기반조성사업에 따른 관개량 변화, 생육 시기별 농업용수 공급량 특성 등을 파악하기 위하여 수행되었다. 하천수가 수원인 양수장의 회귀율 결정에 대한 연구로 Lee et al.(1999), Choo(2004), Kim et al.(2010) 등에 의하여 다양한 양수장지구를 대상으로 수행되었다. 농업기반조성사업 지구별 관개량 변화에 대한 연구로 Im et al.(2000)은 한강유역내 양수장을 대상으로 수행하였고, Park et al.(2000)은 농업기반공사 상주시사 관할 양수장을 대상으로 수행하였으며, Kim et al.(2003)은 한강유역과 낙동강유역의 205개 양수장 지구를 대상으로 수행하였다. 양수장지구의 생육 시기별 농업용수 공급량 특성 연구는 Choi et al. (2000)이 귀석양수장을 대상으로 농업용수 공급량을 조사하고 단위면적당 관개심과 생육시기별 농업용수 공급량을 제시하였다. 이러한 연구결과들은 관개기간 중 산정된 필요수량과 실제용수공급량을 비교하여 묘대기 및 이앙기에 과도한 용수공급의 문제점 등을 지적하였다. 양수장의 공급과잉의 원인으로 Choo(2004)는 적절한 용수관리원칙 보다는 농민들의 요구에 의한 부적절한 용수관리에 기인하는 것으로 판단하였고, Nam et al.(2011)은 농업용수 실제공급량이 주민의 요구 및 수리시설물 관리자의 관행적인 경험에 의하여 운영하는 것임을 지적하였으며, Song et al.(2015)은 필요수량 기반으로 추정되는 용수 공급량이 실제 공급량을 반영하는지에 대한 평가 및 연구의 필요성을 제시하였다.

월별 양수장 운영 실적에 근거한 농업용수 공급특성을 분석하여 농업용수 공급 전과 후의 여건 변화에 대한 연구로 Lee(2017)는 해당저수지내 갈신양수장을 대상으

로 수행하였으나 단위양수량 적용에 오류를 포함하고 있어 객관적인 분석을 기대할 수 없었다.

따라서 본 연구는 양수장의 효율적 운영과 농촌용수 개발사업 효과 분석을 위한 목적으로 갈신양수장지구를 대상으로 설계량으로 제시한 관개필요수량과 실제 공급한 양수량을 바탕으로 관개기간 동안 관개효율을 분석하고 순별값에 대한 기술통계분석 및 정규성검정을 실시하여 관개패턴을 구하고 그 적용성을 검토하였다.

## II. 자료 및 방법

### 1. 자료

#### 가. 갈신양수장지구 농촌용수개발사업 요지

갈신양수장지구는 소형관정에 의존하던 농업용수가 매우 부족한 지역이다(Jeoung & Park, 2003). 갈신양수장지구 농촌용수개발사업은 Fig. 1의 갈신양수장지구 사업계획도와 같이 충남 예산군 대흥면 갈신리 외 4개리 일대의 농경지 134ha에 농업용수를 안정적으로 공급하기 위해 해당저수지에 양수장을 축조하고 관개시스템을 구축한 사업이다(KARICO, 2000).

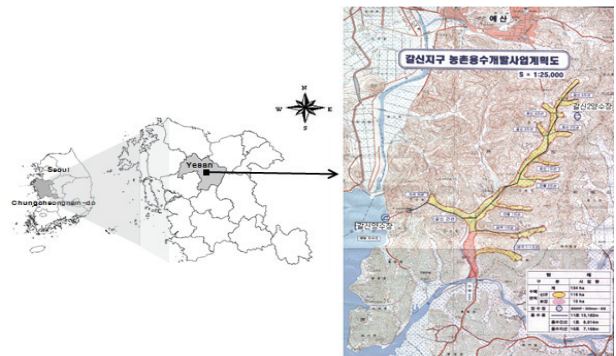


Figure 1. Rural water development project master plan map of Galshin pumping irrigation district

갈신양수장지구 농촌용수개발사업은 2001년 11월 26일에 착공하여 2005년 12월에 준공되었으며 2006년 4월 영농기부터 농업용수 급수가 시작되었다. 갈신양수장지구의 배수계통은 용수간선 1조 6,014m 용수지선 10조 7,168m를 설치하여 각지선 말단부에서 기설 용수로로 활용하여 자연 급수가 되도록 하였으며 기존용수로 조직을 정비하기 위한 연결수로 4조 787m를 설치하였다(Park, 2010).

**나. 갈신양수장지구 농촌용수 계획**

갈신양수장지구 농촌용수개발사업(KARICO, 2000)의 관개필요수량(Irrigation Water Requirements, IWR) 산정은 Blaney-Criddle식을 적용하였고 필요한 기상자료는 수원 기상대의 48개년(1948년~1998년) 기상자료를 사용하였다. 영농작업일정으로 묘대정지작업은 4월17일~4월20일, 묘대기는 4월21일~5월31일, 이앙기간은 5월21일~6월10일, 본답기는 6월11일~9월11일을 적용하였다. 관개필요수량 산정인자로 삼투량은 5.90 mm/day, 수로손실은 10.0%(수로손실 5%, 관리손실 5%), 최대 담수심은 60.0mm를 적용하였으며 적용한 작물계수는 Table 1과 같다.

Table 1. Crop coefficient for Blaney-Criddle method

	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.
F	0.00	0.44	0.71	0.75	1.03	0.78
M	0.44	0.44	0.72	0.77	1.09	0.78
L	0.44	0.68	0.73	0.94	0.86	0.00

(F : First 10 days of a month, M : Middle 10 days of a month, L: Last 10 days of a month)

**2. 방법**

**가. 갈신양수장지구 관개필요수량 산정**

갈신양수장지구의 관개필요수량은 갈신양수장지구 농촌용수개발사업 준공후 정상적으로 농업용수 급수가 실시된 2006년부터 2015까지 갈신양수장지구 농촌용수개발사업 계획에서 적용하였던 영농작업일정 및 관개필요수량 산정인자를 사용하여 KRC(2010)의 수리시설물 모의조작시스템(Hydrological Operation Model for Water Resource System, HOMWRS)로 산정하였다. 산정된 관개필요수량은 SPSS(Ver.24) 통계패키지를 이용하여 Kolmogorov-Smimov(K-S)정규성검정을 실시하였다.

**나. 갈신양수장 운영 결과**

매년 갈신양수장의 급수개시는 한국농어촌공사 예산지사의 급수기본계획에 따라 묘대정지작업일정을 고려하여 매년 4월 10일부터 갈신양수장 가동을 대기하며 영농 및 기상상황 등을 고려하여 급수를 실시한다. 갈신양수장 운영 분석에 필요한 자료는 한국농어촌공사 예산지사의 갈신양수장 가동일지를 사용하였다.

갈신양수장의 양수량(Pumping Water Amount, PWA)은 양수장 가동시간에 설치된 양수기의 단위양수량(0.213m<sup>3</sup>/sec, 766.8m<sup>3</sup>/hr)을 곱하여 구하였고 관개필요수

량과 비교하기 위해 양수심(mm)으로 변환하였으며 관개필요수량 산정과 동일한 방법으로 정규성검정을 실시한다.

**다. 갈신양수장 관개효율**

관개효율(Irrigation Efficiency, IE)은 농장, 포장 또는 사업구역내의 작물이 소비한 관개수의 양과 그 관개수를 공급한 용수원지점의 배수량의 비율이고, 관개필요수량에 대한 실제양수량의 백분비로 정의할 수 있으며 식(1)과 같이 구하였다(ADC, 1986; Kim et al., 2003).

$$IE = \frac{IWR}{PWA} \times 100(\%) \quad (1)$$

여기서, IE는 관개효율(Irrigation Efficiency)(%), IWR는 관개필요수량(Irrigation Water Requirement)(mm), PWA는 양수량(Pumping Water Amount)(mm)이다.

**라. 갈신양수장 관개 패턴 분석**

갈신양수장 운영분석결과를 바탕으로 관개패턴을 분석하기 위하여 식(2), (3)을 이용하여 순별 관개필요수량비와 순별 양수량비를 구한다.

$$IWRR_i = \frac{IWR_i}{TIWR} \times 100(\%) \quad (2)$$

$$PWAR_i = \frac{PWA_i}{TPWA} \times 100(\%) \quad (3)$$

여기서, IWRR<sub>i</sub>는 순별 관개필요수량비(%), IWR<sub>i</sub>는 순별 관개필요수량(mm), TIWR는 년별 총 관개필요수량(mm)이다. PWAR<sub>i</sub>는 순별 양수량비(%), PWA<sub>i</sub>는 순별 양수량(mm), TPWA는 년별 총양수량(mm)이다.

갈신양수장지구의 순별 관개필요수량비와 순별 양수량비에 각각의 년 평균값을 적용하여 순별값을 산정하였고 각각의 누가 순별 백분율(Cumulative Percentile, CP)를 산정하여 관개기간의 시기별 특성이나 빈도 등 관개패턴 분석에 적용하였다.

관개패턴분석은 영농작업일정에 따른 생육기를 기준으로 실시한다. 영농작업일정은 KARICO(2000)가 갈신양수장지구 농촌용수개발사업에서 적용한 영농작업일정을 기준으로 하였고 CNARES(2012)가 삼광벼 재배 매뉴얼에서 제시한 영농작업일정을 반영하여 일부 생육기를 조정하였다.

Table 2. Monthly Irrigation Water Requirement(IWR) by HOMWRS.

Year \ Month	Apr. (mm)	May (mm)	Jun. (mm)	Jul. (mm)	Aug. (mm)	Sep. (mm)	Total (mm)
2006	12.1	24.7	253.2	72.7	317.9	87.1	767.7
2007	12.6	19.3	340.0	107.0	192.8	0.0	671.7
2008	11.7	27.1	203.9	111.4	166.9	54.8	575.8
2009	11.3	68.8	295.6	78.0	262.9	111.3	827.9
2010	11.0	32.1	291.2	215.3	108.6	0.0	658.2
2011	11.3	90.0	290.2	33.5	141.5	111.0	677.5
2012	10.1	104.6	395.6	91.7	171.5	0.0	773.5
2013	10.7	39.1	329.1	53.3	229.0	96.6	757.8
2014	11.6	88.0	344.9	193.1	144.8	11.9	794.3
2015	11.1	103.5	390.6	215.7	296.8	110.2	1127.9
Av.	11.4	59.7	313.4	117.2	203.3	58.3	
S.D.	0.7	34.7	59.3	67.1	70.5	50.5	

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 갈신양수장지구 관개필요수량 산정 결과

##### 가. 월별 관개필요수량 산정 결과

갈신양수장지구 관개필요수량은 갈신양수장지구 농촌용수개발사업 계획에서 적용한 Blaney-Criddle 식과 기상자료, 포장인자, 영농계획, 작물계수 등의 제반 인자를 적용하여 산정하였다. 적용한 프로그램은 HOMWRS이고, 분석기간인 2006년부터 2015년까지의 연도별 관개필요수량 산정결과는 Table 2, Fig. 2와 같다.

분석기간중 갈신양수장지구의 연별 최소 관개필요수량은 2008년 575.8mm이고 최대 관개필요수량은 2015년 1,127.9mm이며 평균관개필요수량은 763.2mm 표준편차는 149.1mm이다. 월평균 관개필요수량은 4월이 11.4(±0.7)mm, 5월이

59.7(±34.7)mm, 6월이 313.4(±59.3)mm, 7월이 117.2(±67.1)mm, 8월이 203.3(±70.5)mm, 9월이 58.3(±50.5)mm이다. 최대 관개필요수량을 나타낸 2015년 값을 제외한 관개필요수량은 575.8mm~827.9mm 이고 평균 관개필요수량은 722.7mm 표준편차는 80.9mm이다.

KARICO(2000)에서 제시한 갈신양수장지구 농촌용수개발사업계획서의 연별 관개필요수량(1948년~1998년)은 692.5mm~875.5mm 이고 평균 관개필요수량은 772.1mm 표준편차는 40.5mm이다.

최대 관개필요수량을 보인 2015년의 관개필요수량은 Table 2와 같이 4월에는 11.1mm(7위), 5월에는 103.5mm(2위), 6월에는 390.6mm(2위), 7월에는 215.7mm(1위), 8월에는 296.8mm(2위), 9월에는 110.2mm(3위)로 분석기간중 월별 관개필요수량이 높은값을 나타낸 결과를 반영하였다. 2015년 4월부터 9월까지 수원기상대의 월강수량 평년치는 -627.4mm

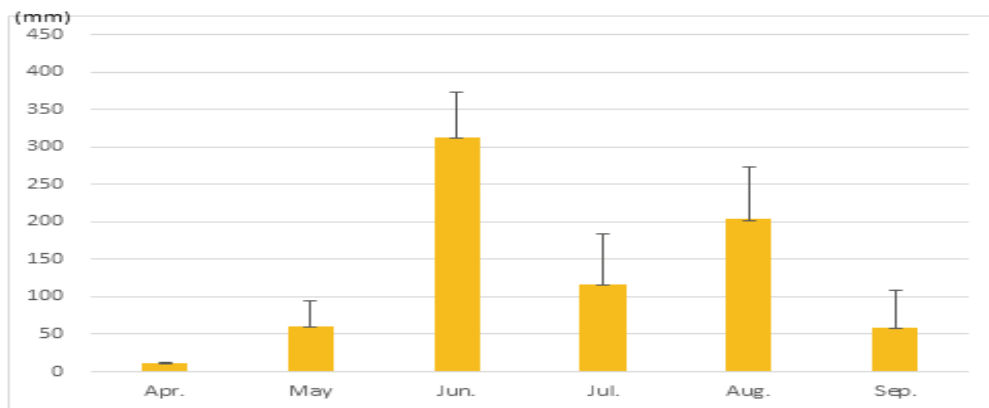


Figure 2. Graph of monthly irrigation water requirement by HOMWRS.

로 심각한 강수부족을 보였다(KMA, 2015).

**나. 순별 관개필요수량 산정 결과**

갈신양수장지구에서 연구기간동안 HOMWRS로 구한 순별 관개필요수량의 기술통계값과 K-S정규성검정 결과는 Table 3과 같다.

묘대정지작업기인 4월 중순의 관개필요수량의 평균값은 8.6(±0.7)mm, 최대값은 9.1mm, 최소값은 7.3mm이다. 묘대기중 이앙기와 겹치는 5월 하순을 제외한 4월 하순부터 5월 중순까지 관개필요수량의 평균값은 각각 2.8(±1.0)mm, 3.3(±1.3)mm, 2.3(±1.0)mm로 산정되었다. 이앙기인 5월 하순과 6월 상순의 관개필요수량의 평균값은 각각 53.5(±35.5)mm, 158.1(±31.0)mm이고 6월 상순 관개필요수량은 관개기간중 순별 평균 관개필요수량의 최대값이다.

본답기(활착기와 분얼기)인 6월 중순부터 7월 상순까지 순별 평균 관개필요수량은 각각 83.8(±39.4)mm, 71.6(±28.3)mm, 51.5(±46.8)mm이다. 중간낙수기(무효분얼기)인 7월 중순의 순별 평균 관개필요수량은 28.8(±34.2)mm이고 2009년, 2011년, 2012년, 2013년의 각 순별 관개필요수량은 0mm이고 7월 하순의 순별 평균 관개필요수량은 36.9(±31.3)mm이고 2008년, 2013년의 각 순별 관개필요수량은 0mm이며 본답기 초기인 6월 중순부터 7월 상순까지 순별

Table 3. Result of irrigation water requirement for each 10 days of a month in Galshin pumping station

		Max. (mm)	Min. (mm)	Av. (mm)	S.D. (mm)	Z	P
4	M	9.1	7.3	8.6	0.7	0.29	0.02
	L	4.0	1.0	2.8	1.0	0.23	0.14
5	F	4.4	0.3	3.3	1.3	0.19	0.20
	M	3.7	0.6	2.3	1.0	0.17	0.20
6	L	96.4	13.3	53.5	35.5	0.21	0.20
	F	186	86.8	158.1	31.0	0.18	0.20
	M	115.7	13.5	83.8	39.4	0.25	0.08
7	L	100.3	22.4	71.6	28.3	0.19	0.20
	F	117.7	0	51.5	46.8	0.21	0.20
	M	86.9	0	28.8	34.2	0.28	0.02
8	L	91.7	0	36.9	31.3	0.17	0.20
	F	158.2	22.6	86.2	44.0	0.14	0.20
	M	136.2	12.8	55.1	44.6	0.24	0.10
9	L	112.2	0	61.9	43.0	0.20	0.20
	F	111.3	0	58.3	50.5	0.22	0.18
	M	0	0	0	-	-	-

Z : Kolmogorov Smirnov value, P : p-value

관개필요수량의 1/2수준이다. 이후 유수형성기, 수잉기, 출수기, 등숙기로 이어지는 8월 상순부터 9월 상순까지 순별 평균 관개필요수량은 55.1mm~86.2mm로 산정되었고 9월 중순에 완전 낙수되었다.

순별 관개필요수량에 대한 K-S정규성검정 결과는 4월 중순과 7월 중순을 제외하고 p-value가 모두 유의수준 0.05 보다 크게 나와 정규분포를 따르는 것으로 판단된다.

**2. 갈신양수장 운용 결과**

**가. 갈신양수장의 양수장 가동 기간**

갈신양수장의 양수개시와 종료일은 Table 4와 같으며 양수개시일은 4월 하순에서 5월 상순이며 양수종료일은 8월 하순에서 9월 중순이다.

Table 4. Annual pumping period and time of Galshin pumping station

Year	Start date	End date	Total days	Total times(hr)
2006	2 May	14 Sep.	101	1,048.0
2007	25 Apr.	24 Aug.	67	685.6
2008	21 Apr.	10 Sep.	66	757.0
2009	21 Apr.	11 Sep.	101	1178.0
2010	30 Apr.	9 Aug.	89	970.0
2011	4 May	8 Sep.	74	746.0
2012	7 May	11 Aug.	114	1621.0
2013	6 May	9 Sep.	98	1151.0
2014	24 Apr.	16 Sep.	108	1437.0
2015	8 May	2 Sep.	108	1848.0

분석기간중 갈신양수장 가동일은 66일~114일이고 평균 가동일은 92.6일이다. 갈신양수장 평균 가동시간은 1,144.2시간이고 최단 가동시간은 2007년 685.6hr 이고 최장 가동시간은 2015년 1,848.0hr이다. 급수기간중 최장 가동 중지기간은 2011년 6월 21일부터 8월 30일까지 총 71일이며 지속적인 강우에 의해 급수가 중지되었다.

**나. 갈신양수장의 월별 운영 실적**

분석기간중 갈신양수장의 월별, 년별 양수량 및 월별 평균양수량과 표준편차는 Table 5, Fig. 3과 같다.

갈신양수장의 년별 최소 양수량은 2007년 397.4mm이고 최대 양수량은 2015년 1,056.9mm이며 평균양수량은 643.4(±208.4)mm이다. 묘대정지작업 및 묘대기인 4월 양수량은 0~65.2mm(2014년)이고 평균양수량은 16.4(±23.3)mm이며 2006, 2011, 2012, 2013 및 2015년은 무양수년이다.

Table 5. Monthly pumping water amount of Galshin pumping station

Year \ Month	Apr. (mm)	May (mm)	Jun. (mm)	Jul. (mm)	Aug. (mm)	Sep. (mm)	Total (mm)
2006	0.0	175.1	133.3	0.0	223.2	68.1	599.7
2007	45.2	199.4	93.3	10.9	48.6	0.0	397.5
2008	29.2	178.5	104.1	0.0	107.0	14.3	433.2
2009	20.0	236.9	165.9	30.3	117.9	111.6	682.7
2010	4.6	231.2	186.5	71.0	61.8	0.0	555.1
2011	0.0	168.2	179.7	0.0	6.9	72.1	426.9
2012	0.0	361.8	218.4	68.4	152.5	0.0	801.1
2013	0.0	250.6	193.4	0.0	181.4	33.2	658.6
2014	65.2	481.8	212.3	0.0	20.6	42.3	822.2
2015	0.0	501.9	288.4	24.0	201.4	41.2	1056.9
Av.	16.4	278.5	177.5	20.5	112.1	38.3	643.4
S.D.	23.3	125.6	57.8	28.2	76.6	37.2	208.4

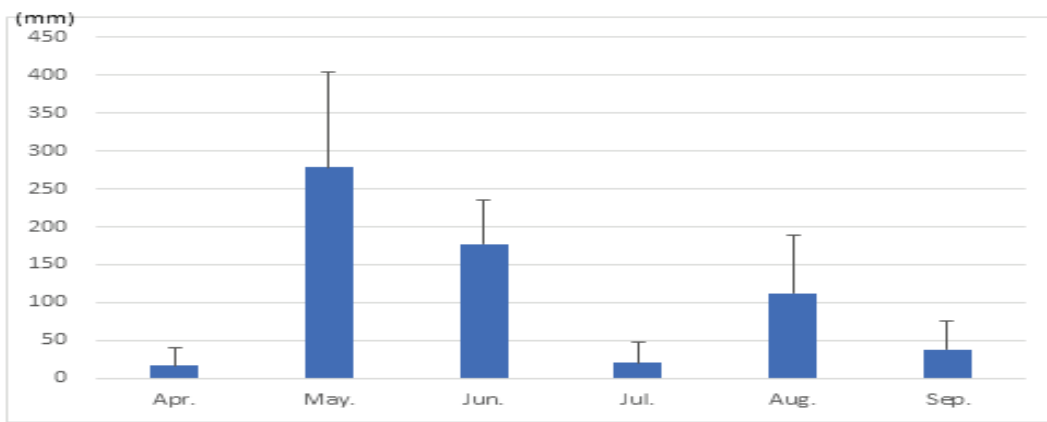


Figure 3. Graph of monthly pumping water amount of Galshin pumping station

묘대기와 이양기인 5월의 양수량은 168.2mm(2011년) ~ 501.9mm(2015년)이고, 평균양수량은 278.5(±125.6)mm이며 전체 평균양수량 643.4mm의 43.3%이다. 이양기와 본답기가 시작되는 6월의 양수량은 93.3mm(2007년) ~ 288.4mm(2015년)이고, 평균양수량은 177.5(±57.8)mm이며 전체 평균양수량 643.4mm의 27.6%이다.

본답기중 중간낙수가 실시되는 7월의 양수량은 0 ~ 71.0mm(2010년)이고 평균 양수량은 20.5(±28.2)mm이며 2006, 2008, 2011, 2013 및 2014년은 무양수년이다. 본격적인 생식생장기가 시작되는 8월의 양수량은 6.9mm(2011년) ~ 223.2mm(2006년)이고 평균 양수량은 112.1(±76.6)mm이다. 등숙기인 9월의 양수량은 0 ~ 111.6mm(2009년)이고 평균 양수량은 38.3(±37.2)mm이며 2007, 2010 및 2012년은 무양수년이다.

#### 다. 갈신양수장의 순별 운영 실적

갈신양수장지구에서 분석기간동안 영농작업일정을 고려하여 4월 중순부터 9월 중순까지 순별 양수량의 기술 통계값과 K-S정규성검정 결과는 Table 6과 같다.

묘대정지작업기인 4월 중순은 양수량이 전무하였고 묘대기가 시작되는 4월 하순의 순별 평균양수량은 16.4(±23.3)mm이며 2006년, 2011년, 2012년, 2013년 및 2015년은 무양수년이다.

묘대기인 5월 상순의 순별 양수량은 3.4mm(2011년) ~ 99.0mm(2014년)이고 평균 순별 양수량은 50.4(±28.5)mm이다. 못자리 작업이 끝나고 본격적인 이양준비시기인 5월 중순의 순별 양수량은 63.8mm(2007년) ~ 214.6mm(2014년)이고 평균 순별 양수량은 122.2(±59.0)mm로 최대 평균 순별 양수량이다.

Table 6. Result of pumping water amount for each 10 days of a month in Galshin pumping station

		Max. (mm)	Min. (mm)	Av. (mm)	S.D. (mm)	Z	P
4	M	0	0	0	0	0	0
	L	65.2	0	16.4	23.3	0.29	0.01
5	F	99.0	3.4	50.4	28.5	0.16	0.20
	M	214.6	63.8	122.2	59.0	0.23	0.15
6	L	258.1	38.9	106.3	68.7	0.24	0.11
	F	182.5	18.9	87.8	47.1	0.18	0.20
7	M	105.3	28.6	67.7	27.4	0.22	0.20
	L	46.4	0	22.1	18.2	0.19	0.20
8	F	12.0	0	1.2	3.8	0.52	0
	M	13.7	0	2.6	5.6	0.48	0
9	L	68.4	0	16.6	25.3	0.28	0.02
	F	144.5	0	52.6	47.0	0.17	0.20
10	M	102.4	0	32.4	40.8	0.29	0.02
	L	73.2	0	27.2	26.2	0.23	0.13
11	F	93.3	0	31.0	32.5	0.20	0.20
	M	32.0	0	7.3	12.2	0.43	0

Z : Kolmogorov Smirnov value, P : p-value

이앙기가 시작되는 5월 하순의 순별 양수량은 38.9mm(2008년)~258.1mm(2015년)이고 평균 순별 양수량은 106.3(±47.1)mm이다. 이앙기 절정인 6월 상순의 순별 양수량은 18.9mm(2008년)~182.5mm(2015년)이고 평균 순별 양수량은 87.8(±68.7)mm이다. 이앙이 끝나고 착근과 분얼이 시작되는 본답초기인 6월 중순의 순별 양수량은 28.6mm(2010년)~105.3mm(2011년)이고 평균 순별 양수량은 67.7(±27.4)mm이다. 6월 하순의 순별 양수량은 0mm~46.4mm(2009년)이고 평균 순별 양수량은 22.1(±18.2)mm이며 2006년, 2007년, 2011년은 무양수년이다.

7월 상순과 중순은 이앙 후 30~35일이 경과되는 시기로 무효분얼기에 해당되며 중간낙수가 실시되어 순별 양수량은 7월 상순의 경우 2009년 12.0mm, 7월 중순의 경우 2010년 13.7mm를 제외하고 무양수년이다.

중간낙수가 끝나고 유수형성기가 시작되는 7월 하순의 순별 양수량은 0mm~68.4mm(2012년)이고 평균 순별 양수량은 16.6(±25.3)mm이며 2006년, 2008년, 2011년, 2013년, 2014년은 무양수년이다. 수잉기에 해당되는 8월 상순의 순별 양수량은 0mm~144.5mm(2012년)이고 평균 순별 양수량은 52.6(±47.0)mm으로 순별 평균 양수량이 최대인 5월 중순의 43% 수준이며 2011년, 2014년은 무양수년이다.

출수가 시작되는 8월 중순의 순별 양수량은 0mm~102.4mm(2013년)이고 평균 순별 양수량은 32.4(±40.8)mm이

며 2007년, 2010년, 2011년, 2014, 2015년은 무양수년이다.

등숙기가 시작되고 간단관개가 실시되는 8월 하순의 순별 양수량은 0mm~73.2mm(2013년)이고 평균 순별 양수량은 27.2(±26.2)mm이며 2010년, 2012년은 무양수년이다. 9월 상순의 순별 양수량은 0mm~93.3mm(2009년)이고 평균 순별 양수량은 31.0(±32.5)mm이며 2007년, 2010년, 2012년은 무양수년이다. 9월 중순의 순별 양수량은 0mm~32.0mm(2014년)이고 평균 순별 양수량은 7.3(±12.2)mm이며 2006년, 2009년, 2014년 등 3년만 양수가 실시되었다.

갈신양수장 순별 양수량에 대한 K-S정규성검정 결과로 4월 하순, 7월 상, 중, 하순 및 8월하순은 p-value가 유의수준 0.05 보다 작거나와 정규분포를 따르지 않는 것으로 판단된다. 갈신양수장 순별 양수량중 5월상순, 6월상·하순, 8월상순은 P>0.05, Z <P로 정규분포를 따르는 것으로 판단된다(Lee and Im, 2017). 이러한 원인은 Ju et al.(2006)이 제시한 것과 같이 갈신양수장 운영지사의 급수계획이 농민의 경험적 요구에 큰 영향을 받는 결과로 판단된다.

### 3. 갈신양수량의 관개효율 산정 결과

갈신양수장지구에서 분석기간인 2006년부터 2015년까지의 연도별 HOMWRS에 의한 관개필요수량과 갈신양수장의 실제 연도별 양수량으로 구한 연별 관개효율은 Table 7과 같다.

분석기간중 갈신양수장지구의 평균년관개필요수량은 763.2mm이고 갈수양수량의 평균년양수량은 643.7mm이다. 연도별 관개효율은 96.5% (2012년)~169.0%(2007년)이고 평균년관개효율은 124.3%이다.

Kim et al.(2003)은 한강유역과 낙동강유역의 개별양수장을 대상으로 관개효율을 제시하였다. 한강유역 개별양

Table 7. Annual irrigation efficiency of Galshin pumping station

year	IWR (mm)	PWA (mm)	IE (%)
2006	767.6	599.7	128.0
2007	671.8	397.5	169.0
2008	575.9	433.2	132.9
2009	827.8	682.7	121.3
2010	658.2	558.5	117.9
2011	677.5	426.9	158.7
2012	773.4	801.1	96.5
2013	757.7	658.6	115.0
2014	794.3	822.3	96.6
2015	1128.0	1056.9	106.7
Av.	763.2	643.7	124.3

수장의 관개효율은 최소값이 19%, 최대값이 135%, 평균값이 61%이고, 낙동강유역 개별양수장의 관개효율은 최소값이 17%, 최대값이 190%, 평균값이 72%로 제시하였다. 갈신양수장지구의 평균년관개효율은 Kim et al.(2003)이 한강 및 낙동강유역 개별양수장의 년평균관개효율의 2배 수준이다.

이러한 결과는 갈신양수장지구가 과거 용수부족지구로 적극적인 환원수 사용, 보조수원인 소형관정의 지속적인 사용 및 용수관리자의 현장상황을 반영한 절약적인 물관리 등의 갈신양수장지구 농업용수관리 특성이 반영된 것으로 판단된다(Jeoung and Park, 2003).

#### 4. 갈신양수장지구의 관개패턴 분석

##### 가. 갈신양수장의 순별 관개필요수량비와 순별 양수량비

갈신양수장지구의 관개패턴을 분석하기 위하여 갈신양수장지구의 순별 관개필요수량비(IWRR)와 갈신양수장의 순별 양수량비(PWAR)를 Table 8과 같이 구하였다. 순별 관개필요수량비는 년별 총관개필요수량(mm)에 대한 순별 관개필요수량(mm)의 비(%) 이다. 순별 양수량비는 년별 총양수량(mm)에 대한 순별 양수량(mm)의 비(%) 이다.

##### 1) 갈신양수장의 순별 평균 관개필요수량비(AIWRR)

갈신양수장지구의 순별 평균관개필요수량비의 최대값은 이앙기인 6월 상순의 21.1%이다. 관개시작기인 4월 중순부터 묘대기 종료기인 5월 중순까지 순별 평균관개필요수량비의 합은 2.3%이고 이앙기인 5월 하순과 6월 상순의 순별 평균관개필요수량비의 합은 27.9%이다. 4월 중순부터 이앙기가 끝나는 6월 상순까지 순별 평균관개필요수량비의 합은 30.2%이며 본답기의 순별 평균관개필요수량비의 합은 69.8%로 본답기가 이앙기보다 2.3배 큰값을 보였다.

순별 평균관개필요수량비의 K-S정규성검정 결과는 5월 상순, 중순, 6월 상순, 중순, 하순 및 7월 상순은  $P>0.05$ ,  $Z <P$ 로 정규분포를 따르는 것으로 판단된다(Lee and Im, 2017).

##### 2) 갈신양수장의 순별 평균 양수량비(APWAR)

갈신양수장의 순별 평균양수량비의 최대값은 이앙기 직전인 5월 중순의 18.4%이다. 관개시작기인 4월 중순부터 묘대기 종료기인 5월 중순까지 순별 평균양수량비의 합은 29.9%이고 이앙기인 5월 하순과 6월 상순의 순별 평균양수량비의 합은 29.0%이다. 4월 중순부터 이앙기가 끝나는 6월 상순까지 순별 평균양수량비의 합은 58.9%이며 본답기의 순별 평균양수량비의 합은 41.1%로 본답기가 이앙기보다 17.8% 작았다.

특히 관개시작기인 4월 중순부터 본답기 초기인 6월

Table 8. IWRR and PWAR for each 10 days of a month in Galshin pumping station

		IWRR(%)						PWAR(%)					
		Max.	Min.	Av.	S.D.	Z	P	Max.	Min.	Av.	S.D.	Z	P
4	M	1.6	0.6	1.2	0.3	0.21	0.20	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-
	L	0.6	0.1	0.4	0.2	0.28	0.03	11.4	0.0	3.0	4.2	0.30	0.01
5	F	0.7	0.0	0.4	0.2	0.16	0.20	17.4	0.8	8.5	5.8	0.16	0.20
	M	0.5	0.1	0.3	0.1	0.19	0.20	26.1	11.1	18.3	4.4	0.20	0.20
6	L	13.1	1.7	6.8	4.2	0.21	0.20	24.4	8.0	15.7	6.0	0.20	0.20
	F	28.0	15.1	21.1	4.5	0.17	0.20	21.5	4.4	13.3	5.5	0.17	0.20
7	M	17.1	1.8	11.1	5.4	0.18	0.20	24.7	5.1	11.2	5.7	0.17	0.20
	L	13.9	3.3	9.3	3.3	0.13	0.20	6.8	0.0	3.4	2.9	0.18	0.20
8	F	17.2	0.0	6.8	6.4	0.19	0.20	1.8	0.0	0.2	0.6	0.52	0.00
	M	10.9	0.0	3.7	4.3	0.24	0.12	2.5	0.0	0.4	0.8	0.47	0.00
9	L	11.9	0.0	4.9	4.3	0.22	0.18	10.2	0.0	2.5	3.8	0.28	0.02
	F	21.0	3.3	11.5	6.2	0.23	0.15	18.5	0.0	8.2	7.0	0.15	0.20
8	M	18.2	1.7	7.0	5.6	0.25	0.08	15.5	0.0	4.6	5.6	0.24	0.12
	L	15.7	0.0	8.0	5.4	0.21	0.20	11.8	0.0	4.5	4.3	0.30	0.01
9	F	16.4	0.0	7.5	6.4	0.23	0.16	16.9	0.0	5.2	5.9	0.21	0.20
	M	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	3.9	0.0	1.0	1.7	0.43	0.00



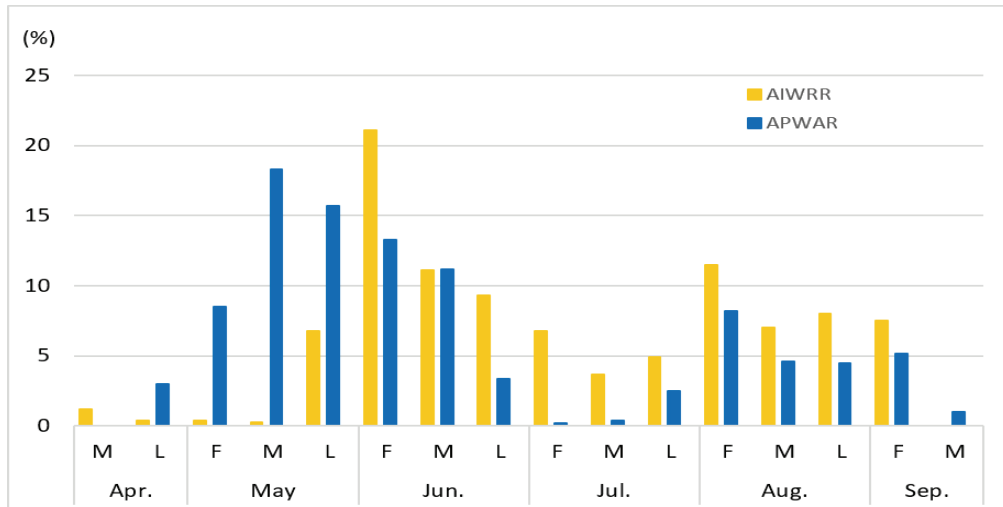


Figure 4. Comparison graph of AIWRR and APWAR for each 10 days of a month in Galshin pumping station

중순까지 갈신양수장의 순별 평균 양수량비의 합은 70.1%를 보였고 4월 중순부터 중간물떼기가 실시되기 직전인 7월 상순까지 갈신양수장의 순별 평균양수량비의 합은 73.7%이다.

순별 평균양수량비의 K-S정규성검정 결과로 5월 상순, 중순, 하순, 6월 상순, 중순, 하순 및 8월 상순은  $P > 0.05$ ,  $Z < P$ 로 정규분포를 따르는 것으로 판단되고 4월 하순, 7월 상순, 중순, 하순, 8월 하순 및 9월 중순은  $P < 0.05$ 로 비정규분포를 보이는 것으로 판단된다(Lee and Im, 2017).

갈신양수장지구의 순별 평균관개필요수량비와 순별 평균양수량비는 Fig. 4와 같고 K-S정규성검정 결과를 고려할 때 실측값들에 비하여 영농시기별 특성 구분과 통계적 안정값을 보인 것으로 판단된다.

### 나. 갈신양수장의 관개패턴 분석결과

#### 1) 평균 순별 관개필요수량비와 평균 순별 양수량비의 적용

갈신양수장지구의 관개패턴분석을 위한 순별 관개필요수량은 Table 8의 평균 순별관개필요수량비(AIWRR)에 년 평균 관개필요수량인 763.2mm를 적용하여 구하였고 구한 순별 관개필요량중 최대값은 6월 상순의 161.0mm이다. 순별 양수량은 평균 순별 양수량비(APWAR)에 년 평균 양수량인 643.4mm를 적용하여 구하였고 구한 순별 양수량중 관개필요량중 최대값은 5월 중순의 117.7mm이고 실제 양수량 평균값인 122.2mm보다 4.5mm가 작았으며 그 결과는 Table 9와 같다.

평균 순별관개필요수량비(AIWRR)의 누가 값인 누가 순별 관개필요수량비백분율(AICP)과 평균 순별 양수량비

(APWAR)의 누가 값인 누가 순별 양수량비백분율(APCP)을 구하였다. AICP의 특성으로 누가 백분율이 50%를 나타내는 시점은 6월 하순이고 70%를 나타내는 시점은 8월 상순이며 APCP의 특성으로 누가 백분율이 50%를 나타내는 시점은 6월 상순이고 70%를 나타내는 시점은 6

Table 9. Cumulative percentile of AIWRR and APWAR for each 10 days of a month in Galshin pumping station

		AIWRR			APWAR		
		%	mm	AICP(%)	%	mm	APCP(%)
4	M	1.2	9.2	1.2	0	0	0.0
	L	0.4	3.1	1.6	3.0	19.3	3.0
5	F	0.4	3.1	2.0	8.5	54.7	11.5
	M	0.3	2.3	2.3	18.3	117.7	29.8
6	L	6.8	51.9	9.1	15.7	101.0	45.5
	F	21.1	161.0	30.2	13.3	85.6	58.8
7	M	11.1	84.7	41.3	11.2	72.1	70.0
	L	9.3	71.0	50.6	3.4	21.9	73.4
8	F	6.8	51.9	57.4	0.2	1.3	73.6
	M	3.7	28.2	61.1	0.4	2.6	74.0
9	L	4.9	37.4	66.0	2.5	16.1	76.5
	F	11.5	87.8	77.5	8.2	52.7	84.7
Tot.	M	7.0	53.4	84.5	4.6	29.5	89.3
	L	8.0	61.0	92.5	4.5	29.0	93.8
9	F	7.5	57.2	100	5.2	33.5	99.0
	M	0	0	100	1.0	6.4	100
Tot.		100	763.3		100	643.4	

월 중순으로 순별관개필요수량과 순별양수량 간에 뚜렷한 차이를 확인할 수 있다.

2) 생육시기별 관개필요수량비와 양수량비 및 관개효율  
가) 생육시기별 관개필요수량과 양수량 산정

갈신양수장지구의 벼 품종은 예산군의 쌀 브랜드인 미황에 사용되는 삼광벼가 주로 재배되고 있다. 충청남도 농업기술원은 소비자들의 신뢰와 선택을 위한 쌀 생산을 지원하기 위하여 삼광벼 재배 매뉴얼을 발간하였다(CNARES, 2012). 갈신지구 농촌용수개발사업계획서(KARICO, 2000)의 영농작업일정과 삼광벼 재배 매뉴얼의 영농작업일정을 고려하여 Table 10과 같이 생육시기별 순별관개필요수량의 합과 순별양수량의 합을 구하였다.

묘대기 및 정지기(씨레질 용수량)의 평균 순별관개필요수량비의 합은 2.3%이고 평균 순별관개필요수량합은 17.6mm이며 평균 순별양수량비의 합은 29.8%이고 평균 순별양수량 합은 191.7mm로 관개필요수량의 10.9배이다.

묘대기 및 정지기(씨레질 용수량)의 평균 순별양수량 합은 Kim and Ahn(1985)이 제시한 90mm~130mm, Kwun et al(1989)이 제시한 113.8mm~177.5mm 및 MAFRA(2018a, 2018b)이 제시한 평균 100~150mm보다 월등하게 큰값이다. 이러한 원인은 Jeoung and Park(2003)의 선행연구에서 제시했던 것과 같이 갈신양수장지구가 소규모 관정에 의존하여 농업용수가 절대적으로 부족했던 곳으로 봄철 농업용수 확보에 대한 농민들의 불안심리를 반영한 결과로 판단된다.

이앙기의 평균 순별관개필요수량비의 합은 27.9%이고 평균 순별관개필요수량합은 212.9mm이며 평균 순별양수량비의 합은 29.0%이고 평균 순별양수량 합은 186.6mm

이다. 이양후 활착기 평균 순별관개필요수량비의 합은 20.4%이고 평균 순별관개필요수량합은 155.7mm이며 평균 순별양수량비의 합은 14.6%이고 평균 순별양수량 합은 93.9mm이다.

중간낙수기 평균 순별관개필요수량비의 합은 10.5%이고 평균 순별관개필요수량합은 80.1mm이며 평균 순별양수량비의 합은 0.6%이고 평균 순별양수량 합은 3.9mm이다.

중간낙수기이후 유수형성기 및 수잉기의 평균 순별관개필요수량비의 합은 16.4%이고 평균 순별관개필요수량합은 125.2mm이고 평균 순별양수량비의 합은 10.7%이고 평균 순별양수량 합은 68.8mm이다.

출수기이후 완전낙수기까지 평균 순별관개필요수량비의 합은 22.5%이고 평균 순별관개필요수량합은 171.7mm이고 평균 순별양수량비의 합은 15.3%이고 평균 순별양수량 합은 98.4mm이다.

나) 생육시기별 관개효율산정

갈신양수장지구의 순별 관개효율은 Table 10과 같이 묘대기 및 정지기(씨레질 용수량)의 9.2%를 제외하고 나머지 전기간 114.1%~2,053.9%로 매우 높은 값을 보였다. 이와 같은 결과는 갈신양수장지구의 용수간선과 지선이 모두 관수로이고 TM/TC시스템으로 관리되어 시설 관리용수량이 최소화되었고(KARICO, 2000; Park, 2010), Ju et al.(2006)이 제시한 것과 같이 7월 상순과 중순에 실시되는 중간낙수기 동안 산정된 관개 필요수량에 비하여 실제 양수량이 최소화한 결과 등이 반영된 것으로 판단된다.

Table 10. AIWRR, APWAR and IER for each rice growing stage of Galshin pumping irrigation district

Rice Growing Stage	Period	AIWRR		APWAR		IER(%) (a/b×100)
		%	mm(a)	%	mm(b)	
Seedling & Paddy plaining	Apr. M~May M (17 Apr.~31 May)	2.3	17.6	29.8	191.7	9.2
Transplanting	May L~Jun. F (21 May~10 Jun.)	27.9	212.9	29.0	186.6	114.1
Take rooting & Tillering	Jun. M~Jun. L	20.4	155.7	14.6	93.9	165.8
Midsummer Drainage	Jul. F~Jul. M (5 Jul.~20 Jul.)	10.5	80.1	0.6	3.9	2,053.9
Panicle Differentiation & Booting	Jul. L~Aug. F	16.4	125.2	10.7	68.8	182.0
Heading & Grain filling	Aug. M~Sep. M (16 Aug.~5 Oct.)	22.5	171.7	15.3	98.4	174.5
		100.0	763.2	100.0	643.4	

## 5. 관개패턴 분석의 적용

양수장 지구의 평균 관개필요수량비와 평균 양수량비에 대한 정규성 검정 결과와 누가 백분율산정은 다양한 양수장지구의 관개특성을 표준화하여 서로 다른 양수장의 양수특성의 비교·분석 및 확률 계산을 통하여 양수장지구의 객관적인 평가에 적용할 수 있을 것이다.

특히 양수장 지구의 관계 효율은 수원(하천수, 저수지, 용수간선 등), 관리주체(기초자치단체, 한국농어촌공사), 기능(주수원공, 보조수원공) 등에 따라 크게 큰 차이가 예상되며 관개패턴분석을 적용하여 객관적인 값을 구할 수 있을 것으로 판단된다. 이와 같은 관개효율 값은 영농환경변화, 장단기 기상변화 등을 반영한 양수장지구의 관개계획 수립, 농업용수의 농촌지역 하천의 수질 및 수생태 환경에 대한 영향평가 등의 중요한 평가지표자료로 활용이 기대된다.

## IV. 결 론

본 연구는 농촌용수개발사업 계획에 따라 건설된 양수장의 설계량과 실제 운영실적을 기반으로 영농시기별 양수특성, 관개효율 및 관개패턴을 분석하기 위하여 수행하였다.

연구 대상 양수장은 2006년부터 관개용수를 공급하고 있는 충남 예산군에 위치한 갈신양수장이다. 갈신양수장 지구에서 연구기간(2006년~2015년)동안 HOMWRS로 구한 년 평균관개필요수량은 763.2(±149.1)mm이다. 갈신양수장지구에서 연구기간동안 순별 관개필요수량의 K-S정규성검정 결과는 4월 중순과 7월 중순을 제외하고 정규분포를 따르는 것으로 판단된다. 실제 양수실적에 의한 갈신양수장의 평균 가동일은 92.6일이고 평균 가동시간은 1,144.2시간이다. 갈신양수장의 년별 양수량은 397.4mm~1,056.9mm이고 평균양수량은 643.4 (±208.4)mm이다. 갈신양수장 순별 양수량의 K-S정규성검정 결과는 5월상순, 6월상·하순, 8월상순을 제외한 나머지 기간은 정규분포를 따르지 않으며, 이러한 원인은 급수계획이 농민의 경험적 요구에 큰 영향을 받는 결과로 판단된다.

갈신양수장의 연별 관개효율은 96.5%~169.0%이고 평균년관개효율은 124.3%이며 다른 양수장지구에서 수행된 연구결과보다 높은 수준이다. 이러한 결과는 갈신양수장지구가 과거 용수부족지구로 적극적인 환원수 사용, 보조수원인 소형관정의 지속적인 사용 및 용수관리자의 현장상황을 반영한 절약적인 물관리 등의 갈신양수장지구 농업용수관리 특성이 반영된 것으로 판단된다.

갈신양수장지구의 관개패턴을 분석하기 위하여 갈신양수장지구의 순별 관개필요수량비(IWRR)와 갈신양수장의 순별 양수량비(PWAR)를 구하였다. 순별 관개필요수량비는 년별 총관개필요수량(mm)에 대한 순별 관개필요수량(mm)의 비(%)이고, 순별 양수량비는 년별 총양수량(mm)에 대한 순별 양수량(mm)의 비(%)이다. 순별 평균관개필요수량비와 순별 평균양수량비의 K-S정규성검정 결과는 실제값에 비하여 영농시기별 특성 구분과 안정적인 정규분포 특성을 보였고 순별 평균관개필요수량비(AIWRR)과 순별 평균양수량비(APIWAR)를 관개패턴으로 제시하였다.

갈신양수장지구의 관개패턴분석에 의한 순별 관개효율은 묘대기 및 정지기(씨레질 용수량)의 9.2%를 제외하고 나머지 전기간 114.1%~2,053.9%로 매우 높은 값을 보였다. 이러한 관개패턴분석은 서로 다른 양수장의 양수특성의 비교·분석 및 확률 계산 등을 표준화하여 양수장지구의 객관적인 평가에 적용할 수 있을 것이고, 양수장 지구의 수원, 관리주체, 기능 등에 따른 관개효율 등을 구할 수 있을 것으로 판단되며 영농환경변화, 장단기 기상변화 등을 반영한 양수장지구의 관개계획 수립, 농업용수의 농촌지역 하천의 수질 및 수생태 환경에 대한 영향평가 등의 중요한 평가지표자료로 활용이 기대된다.

## References

1. Agriculture Development Corporation(ADC), 1986, Irrigation and Drainage Dictionary, p 126.
2. Choi, J.K., Son, J.G., Koo, J.W., Yoon, K.S., Kim, Y.J., 2000, Monitoring of irrigation water supply and water quality from a pumping station, KCID Journal, 7(1): 19-26 (in Korean).
3. Choo, T.H., 2004, A study on return flow ratio if irrigation for a paddy field in pumping station by water balance method, Journal of Korea Water Resources Association 37(3): 249-255 (in Korean).
4. Chung Nam Agricultural Research & Extension Services (CNARES), 2012, Manual of the Samgwang Rice Cultivation, Yesan, p. 44.
5. Im, S.J., Park, S.W., Kim, S.M., Kim, H.J., 2000. Surveying the daily pumpage for irrigating paddy rice in the Han River basin. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers, 42(1): 57-65 (in Korean).
6. Jeoung, J.H., Park, S.K., 2003, Calculation of pumping

- rate considering the change of groundwater level, *KCID Journal*, 10(1): 80-88 (in Korean).
7. Ju, W.J., Kim, J.T., Park, K.W., Lee, Y.J., 2006, Developing of system for estimating water demand considering variation of farming conditions in paddy field. *KCID Journal*, 13(1): 82-90 (in Korean).
  8. Kim, H.J., Kim, C.G., Kim, S., 2003, Assessment of water management efficiencies for irrigation pumping stations in the Han River and Nakdong River basins. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 45(1): 23-32 (in Korean).
  9. Kim, T.C., Ahn, B.G., 1985, Field experiment on the harrow-water requirement, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol. 27, No. 1, pp. 71-76 (in Korean).
  10. Kim, T.C., Lee, H.C., Moon, J.P., 2010. Estimation of return flow rate of irrigation water in Daepyeong pumping district. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 52(1): 41-49 (in Korean).
  11. Korea Agricultural and Rural Infrastructure Corporation (KARICO), 2000, Rural water development project plan of Galshin pumping irrigation district(2-1, 2-2)
  12. Korea Meteorological Administration(KMA), 2015, Annual climatological report, Seoul, p. 272
  13. Korea Rural Community Corporation(KRC), 2010, Hydrological Operation Model for Water Resource System; HOMWRS
  14. Kwun, Y.H., Yun, J.M., Kim, C.K., Han, C.T., 1989, Experimental Study on the Harrow Water Requirement and Factors Influenced on It in the Paddy Field, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol. 31, No. 4, pp. 90-95 (in Korean).
  15. Lee, H.S., Im, J.H., 2017, SPSS 24 Manual, Jibhyeonjae, Seoul, p. 569.
  16. Lee, K.H., Cheong, U.T., Lee, I. Y., 1999, Water balance in a paddy field with pumping irrigation system, *KCID Journal*, 6(2): 11-18 (in Korean).
  17. Lee, S.Y., 2017, Characteristics of agricultural water supply at the Galsin pumping station, Gongju Nat'l Univ. Graduate of Industrial Science, Master of Engineering thesis
  18. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), 2018a, Paddy irrigation, KDS 67 40 20 : 2018
  19. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), 2018b, Maintenance of agricultural irrigation pipeline system, KDS 67 25 90 : 2018
  20. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs & Korea Rural Community Corporation(MAFRA & KRC), 2019, Statistical Yearbook of Land and Water Development for Agriculture 2018
  21. Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT), 2016, Long-Term Comprehensive Plan(2001~2020)-Third Revision Plan-
  22. Nam, W.H., Choi, J.Y., Choi, S.G., Jang, M.W., Lee, N.H., Ko, K.D., 2011, A survey on irrigation timing and water saving strategies of agricultural reservoirs, *KCID Journal*, 18(1): 81-93 (in Korean).
  23. Park, K.U., Chung, H.W., Suck, D.S., 2000, Analysis of irrigation water use from pumping station, The 2000 KSAE Annual Conference, pp. 169-174 (in Korean).
  24. Park, S. K., 2010, Hydrological Databook at Rural Small Watershed, Kongju National University publishing Department, Gongju. p. 272.
  25. Song, J.H., Song, I., Kim, J.T., Kang, M.S., 2015, Characteristics of irrigation return flow in a reservoir irrigated district. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 57(1): 69-78 (in Korean).
- 
- Received 13 July 2020
  - First Revised 12 August 2020
  - Second Revised 19 August 2020
  - Finally Revised 24 August 2020
  - Accepted 25 August 2020