



## 동진지구 관개용수로의 손실률 및 관개효율 분석

### Analysis of Water Loss Rate and Irrigation Efficiency in Irrigation Canal at the Dong-Jin District

홍은미\* · 최진용\*\* · 남원호\*\*\*,† · 이상현\*\*\*\* · 최진규\*\*\*\*\* · 김진택\*\*\*\*\*

Hong, Eun-Mi · Choi, Jin-Yong · Nam, Won-Ho · Lee, Sang-Hyun · Choi, Jin-Kyu · Kim, Jin-Taek

#### Abstract

The purpose of this study is to evaluate the paddy irrigation efficiency using real-time water level monitoring data and intermittent irrigation model in Gimjae, Dong-Jin irrigation district. For this study, the real-time water level data in Gimjae main canal and other secondary canals were collected from 2012 to 2014 and converted to daily discharge using rating curve in each canal. From intermittent irrigation model in paddy, irrigation water requirement was estimated and irrigation efficiency was calculated. The average amount of irrigation water supply per unit irrigation area was 1,011 mm in Gimjae main canal for 12,749 ha irrigation area, 1,011 mm in the secondary canal of upper region and 1,470 mm in the secondary canal of lower region. The median irrigation loss was 43 % in Gimjae main canal, 25 % in secondary canal of upper region and 35 % in the secondary canal of lower region. The larger irrigation area is, the irrigation loss rates tend to decrease in secondary canals. Monthly median irrigation losses in upper region were 10 (June) - 40 % (September) and those in lower region were 25 (May) to 40 % (April, June, August, and September). The results of canal management loss can be available as the basic data for irrigation water management and estimating guideline of optimal irrigation water supply to improve agricultural water use efficiencies.

**Keywords:** canal management loss; intermittent irrigation model; irrigation efficiency; irrigation canal; real-time water level

## 1. 서론

과거 농업용수관리는 실시간 관리가 불가능하여 관리자의 경험에 의존하였으며, 농업용수 수요와 공급의 불균형으로 인한 손실이 발생하였다(Koo et al., 1982; Korkmaz et al., 2009; Aly et al., 2013). 최근에는 농업수리시설 관리 및 농업용수의 효율적 공급을 위하여 자동 물 관리 시스템을 구축하고, 농업수리시설물 관리의 현대화에 노력을 기울이고 있다.

또한, 농업용수 자동화 시스템 (TeleMetering/TeleControl, TM/TC) 기술을 활용한 저수지 수위 자료 수집 뿐 아니라 (Kim et al., 2003; Nam et al., 2011; Choi et al., 2012b), ICT (Information and Communication Technology) 기술을 이용하여 용수 상황을 모니터링 하고 실시간으로 용수관리를 위한 의사결정을 위한 정보를 제공하고 있다(Nam et al., 2013). 동진지구 김제간선에 구축된 물 관리 시스템은 실시간 수위 모니터링 결과 뿐 아니라 지선별 최적용수공급량을 제공하여 관리자가 농업용수 공급 패턴을 파악하고 공급 및 수요 관점에서 농업용수를 통합관리 할 수 있도록 설계되었다. 김제간선은 관개면적에 비해 농업용수가 부족하여 전 구간 연속급수가 불가능하기 때문에 상류부와 하류부로 구분하여 급수일지에 따라 간단급수를 하고 있다. 따라서 농업용수의 효율적 활용을 위해서는 지선별 실제 공급량을 파악하고 용수공급량 대비 농업용수 관리 효율에 대한 평가가 필요하다(Kumar and Singh, 2003; Unal et al., 2004; Irmak et al., 2011; Hong et al., 2014).

농업생산기반정비사업계획설계기준(관개편)(MAF, 1998)에 의하면, 토공수로 수로송수손실률은 간선에서 15-25 %, 지선 10-20 %, 콘크리트 수로 송수손실률은 5-7 %이며, 배분관리손실률은 개수로의 경우 10-46.4 %, 관수로는 4.4-34.6 %로 명시되어있다. 하지만 배분관리손실률의 경우 조사면적이 작고, 조사 시기가 이양시기 또는 건답직파시기 등으로 제

- \* USDA-ARS Environmental Microbial & Food Safety Laboratory, Beltsville Agricultural Research Center, Beltsville, MD, USA
- \*\* Department of Rural Systems Engineering and Research Institute for Agriculture & Life Sciences, Seoul National University, Seoul, Republic of Korea
- \*\*\* National Drought Mitigation Center, School of Natural Resources, University of Nebraska-Lincoln, Lincoln, NE, USA
- \*\*\*\* Institute for Agriculture & Life Sciences, Seoul National University, Seoul, Republic of Korea
- \*\*\*\*\* Department of Rural Construction Engineering, Chonbuk National University, Jeonju, Republic of Korea
- \*\*\*\*\* Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation, Gyeonggi, Republic of Korea
- † **Corresponding author**  
Tel.: +1-402-416-8859 Fax: +1-402-472-2946  
E-mail: wonho.nam@gmail.com

Received: December 23, 2014

Revised: March 13, 2015

Accepted: March 13, 2015

Table 1 Irrigation scheduling and irrigation area of secondary canals in Gimjae irrigation area

Secondary canal	Day of water supply	Irrigation area (ha)	Secondary canal	Day of water supply	Irrigation area (ha)
Upstream			Downstream		
Whaho (WH)	Thus.-Sun.	416	Juksan (JS)	Mon.-Thus.	576
Daepyong (DP)	Thus.-Sun.	1,008	Jongshin (JH)	Mon.-Thus.	332
Gamgok (GG)	Fri.-Mon.	823	Bukjuk (BJ)	Mon.-Thus.	449
Shinyong (SY)	Fri-Sun.	213	Daemok (DM)	Mon.-Thus.	275
Shinpyong (SP)	Fri-Sun.	153	Wolmi (WM)	Mon.-Thus.	73
Yongsung (YS)	Thue.-Fri.	683	Gohyeon (GH)	Mon.-Thus.	102
-	-	-	Jinbong (JB)	Mon.-Thus.	2,015

한적이기 때문에 국외의 연구결과를 적용하고 있는 실정이다 (Kim et al., 2005; Lee et al., 2008). 기존 국내에서 시설관리 손실 및 용수공급의 효율 분석 연구를 살펴보면, Lee et al. (2008)은 이동, 고삼, 금광, 고덕 4 개 지구에서 현장 조사를 통한 관개용수로 시설관리 손실률을 분석하였다. 수로 종류, 규모, 유형별로 구분하여 손실률을 산정하였으며, 수로별로 평균 1-5회 분석 결과 평균 54.6 % 손실률이 발생하였다. Nam et al. (2013)은 김제간선의 상류지선인 대평, 감곡, 죽산, 화호 지선에서 수위 모니터링 결과를 활용하여 관개효율을 산정한 결과 손실률 평균 34-50 %로 분석하였으나, 4 개 상류 지선에서 2012년 1 개년 모니터링 자료만을 활용하여 일반화에 한계가 있다. Hong et al. (2014)는 간단관개 모형을 구축하고 수위 모니터링 결과와 모델을 활용하여 2012-2013년 김제간선 주요 지선별 관개용수 공급 적정성을 평가하였다.

본 연구에서는 동진지구 김제간선 논 관개용수 손실률을 산정하기 위하여 김제간선 시점부 및 주요 지선에 구축되어 있는 자동수위계측기 수위 자료를 활용하여 2012-2014년 3년간 관개수로 수위 변화를 분석하고, 수위-유량 곡선을 활용하여 지선별 실제 공급량을 산정하였다. 또한, 간단관개 모형을 활용하여 동진지구 지선별 농업용수 필요수량을 산정하고 지선별 월별 관개효율을 평가하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 대상지구 선정 및 실시간 수위계측 시스템 구축현황

동진강 수계 농업용수 일부는 섬진강 상류 섬진강 댐의 용수 수계를 변경하여 동진강 도수로 및 낙양보에서 정읍간선과 김제간선을 통해 공급하고 있다(Choi et al., 2012a; Hong et al., 2014). 김제간선은 관개면적에 비해 농업용수가 부족하여 상류부와 하류부로 구분하여 요일별로 급수일정에 따라 Table 1과 같이 지선별 간단관개(일할급수)를 하고 있다.

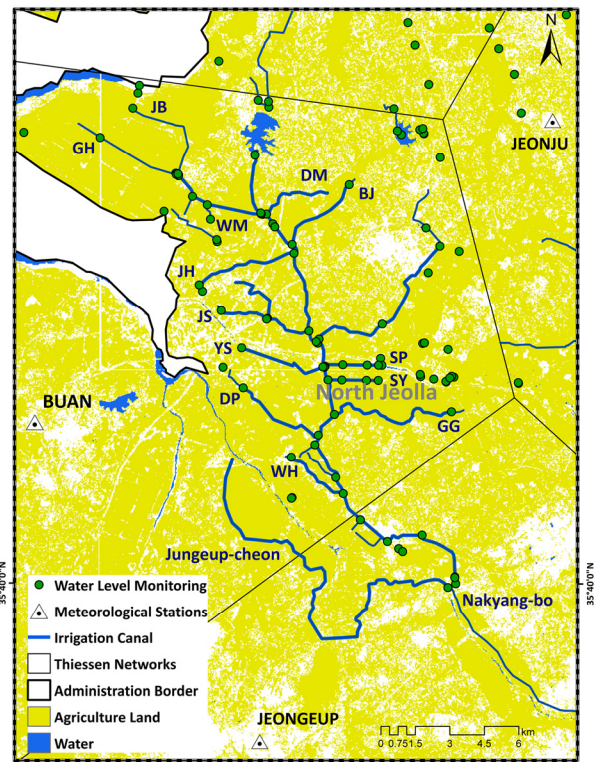


Fig. 1 Location map of surveying sites in the Gimjae irrigation area (Hong et al., 2015)

본 연구에서는 관개수로의 공급량에 대한 정량적인 해석을 위하여 한국농어촌공사의 농촌용수 스마트물관리시스템(smarter water management system, <http://dongjin.uirri.kr>) 사업의 일환으로 동진강 유역 김제간선에 구축되어 있는 자동수위계측 시스템의 실시간 모니터링 시스템 자료를 활용하였다(Fig. 1). Fig. 2는 김제간선 내 주요 수로 수위계측기 지점의 위치와 관개면적을 나타낸 것이며, 김제간선 시점부를 시작으로 9개 용수지선(화호, 대평, 감곡, 신용, 신평, 용성, 죽산, 종신, 북죽) 시점부와 말단부, 6개 용수지선(옥성, 대목,

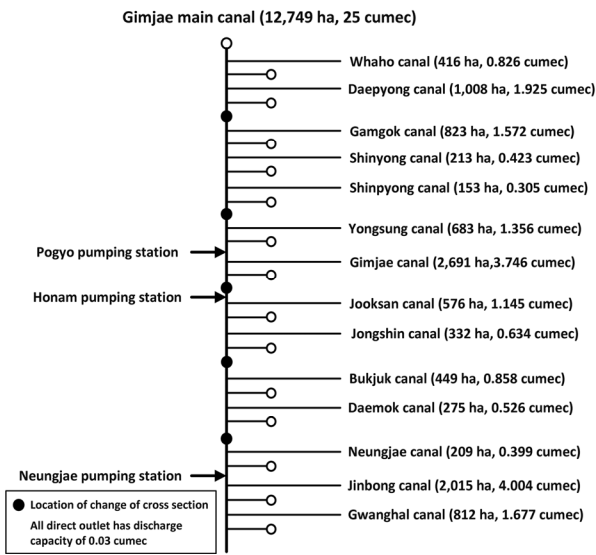


Fig. 2 Water balance tree of surveying sites in Gimjae irrigation area

월미, 고현, 진봉, 광활) 시점부, 포교제수문 상류/하류, 성덕제수문 상류/하류, 가실제수문 상류에 실시간 수위계측기를 설치하여 2012년부터 수로 수위를 모니터링을 하고 있다. 본 연구에서는 관개용수 공급시기를 대상으로 2012년 4월부터 2014년 10월까지 실시간 수위계측 데이터를 활용하였다.

## 2. 대상지구 강우특성 분석

동진지구 김제간선의 강우특성을 분석하기 위하여, 김제간선에 인접한 전주 측후소의 강우특성을 분석하였다. 연강수량을 기준으로 갈수년은 1988년 (707 mm), 풍수년은 2003년 (1,860 mm) 이었다. 관개기간 4-10월 총 강수량을 기준으로 분석 결과, 연강수량과 순위에는 차이가 있었으나, 갈수년은 1988년 (560 mm), 풍수년은 2003년 (1,672 mm) 이었다 (Table 2). Table 3은 2012-2014년 월 강수량을 도시한 것으로 2013년 9-10월, 2014년 9월의 강수량이 2012년과 비교하여 적은 것을 확인 할 수 있다.

## 3. 유량 산정 및 간단관개 모형 적용

본 연구에서는 『시범지구 수위-유량관계 실용화 연구 (2011-2014)』에서 산정한 수위-유량곡선을 반영하여 지선별 일 유량을 산정하고, 실제 공급량을 분석하였다. 수로 시점부에서 관개용수를 말단부까지 공급하기 위해서는 일정수위 이상을 유지하여야 하며, 기준수위 이하에서는 관개용수의 흐름이 거의 없었다. 본 연구에서는 기준수위를 적용하여 수위-유량곡선을 반영하였으며, 기준수위 이하 흐름이 없는 구간의 유량

Table 2 The dry and wet year in Gimjae irrigation area from 1974 to 2013

Period	Dry year		Wet year	
	Year	Annual precipitation (mm)	Year	Annual precipitation (mm)
Annual	1988	707	2003	1,860
	1994	821	1985	1,732
	1977	824	1987	1,682
	1995	891	2000	1,637
	1982	934	2011	1,622
During irrigation period (Apr.-Oct.)	1988	560	2003	1,672
	1977	651	2000	1,524
	1994	665	1998	1,443
	1982	666	1987	1,414
	1995	759	1985	1,413

Table 3 Monthly precipitation during experimental periods

Month	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct
	(mm)						
2012 year	52	32	77	300	406	209	59
2013 year	89	90	106	350	278	86	23
2014 year	80	40	89	223	356	88	101

을 '0' 으로 가정하였다. Fig. 3은 화호지선의 수위유량곡선과 2012-2014년 수위변화 및 기준수위 깊이를 도식화한 것이다.

간단관개를 고려하여 지선별 필요수량을 산정하기 위하여, Hong et al. (2014)에 의해 수정된 간단관개모형을 활용하였다. 간단관개모형은 기존 논물수지 모형에 급수 일을 추가하여 간단관개 시 적정 용수량을 산정할 수 있는 모형이다. 논물수지 식 (1)과 논담수심 식 (2)를 이용하여 식 (3)과 같이  $t$  일의 담수심  $D(t)$ 를 산정하였다. 논 필요수량 ( $REQ(t)$ )은  $D(t)$ 가 0보다 작을 때 유효수량 ( $ER(t)$ )을 고려하여 식 (4)와 같이 산정하며, 비급수일은 식 (3)에서  $REQ(t) = 0$ 을 적용하여 담수심을 산정하였다. FAO Penman-Monteith 식 (Allen et al., 1998)과 작물계수를 이용하여 논 증발산량 ( $ET_c(t)$ )을 산정하였으며, 물꼬높이 ( $H$ )는 60 mm로 가정하였고 (MAF, 1998), 중간낙수 기간 (6월 하순)의 담수심은 0으로 가정하였다. 유효수량 ( $ER(t)$ )은 강우량에서 포장에 직접 저류되는 양으로써, 포장 물꼬높이와 강우 전 담수심 조건에 따라 식 (5)와 같이 산정하였다 (Hong et al., 2014).

$$REQ(t) + PP(t) = ET_c(t) + DP(t) + SFO(t) + \Delta D(t) \quad (1)$$

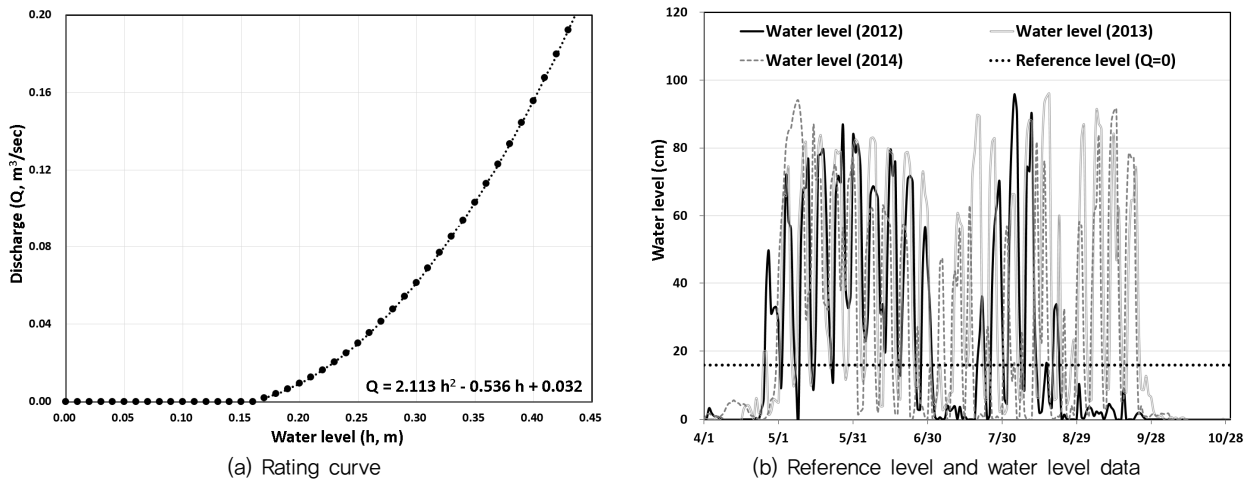


Fig. 3 Rating curve, reference level and water level monitoring data in Whaho secondary canal

$$\Delta D(t) = D(t) - D(t-1) \tag{2}$$

$$D(t) = D(t-1) - ET_c(t) - DP(t) - SFO(t) + REQ(t) + PP(t) \tag{3}$$

$$ER(t) = PP(t) - SFO(t-1) \tag{4}$$

$$REQ(t) = H - D(t-1) + ET_c(t) + DP(t)$$

if  $REQ(t) \leq PP(t)$ ,  $ER(t) = REQ(t)$  (5)  
 else  $ER(t) = PP(t)$

여기서,  $IR(t)$ 는  $t$ 일의 관개량 (mm/day),  $PP(t)$ 는  $t$ 일의 강우량 (mm/day),  $ET_c(t)$ 는  $t$ 일의 작물증발산량 (mm),  $DP(t)$ 는  $t$ 일의 강하침투량 (mm)으로 5.0 mm/day (MAF, 1998)로 가정하였으며,  $SFO(t)$ 는 지표유출량 (mm/day),  $\Delta D(t)$ 는  $t$ 일의 담수심과  $(t-1)$ 일의 담수심의 차이이다.

### III. 적용 및 고찰

#### 1. 수위 모니터링 결과 분석

본 연구에서는 김제간선 시점부와 김제간선 내 화호, 대평, 감곡, 신용, 신평, 용성, 죽산, 종신, 북죽, 대목, 월미, 고현, 진봉지선의 2012-2014년 수위 모니터링 자료를 보정하여 활용하였다. 하지만, 하류부인 북죽, 대목, 월미, 고현, 진봉 지선에서는 2012년 결측치가 많아 2013-2014년 수위 데이터를 보정하여 사용하였다. Table 4는 김제간선 시점부 및 상류부와 하류부의 주요 지선 연 평균, 연 최대 수위 및 수위 편차이다.

김제간선 시점부 평균 수위는 26 cm (21-30 cm), 최대 수위는 96 cm (2012, 2013년) 이었다. 김제간선 주요 지선의 수위를 살펴보면, 평균 수위는 상류부 (19 cm-신평~33 cm-감곡)와 비교하여 하류부 (24 cm-고현~40 cm-대목)가 높았으며, 최대 수위도 상류부 (81 cm, 신평~133 cm, 감곡)와 비교하여 하류부 (92 cm-월미~180 cm-대목)에서 높았다.

#### 2. 수위-유량 곡선을 적용한 실제 공급량 산정

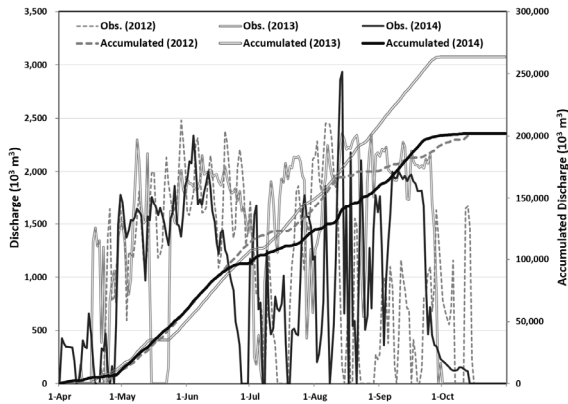
Fig. 4는 김제간선 시점부, 상류 화호지선 및 하류 죽산지선 2012-2014년도 수위-유량 곡선식을 활용하여 산정한 수로별 일 공급량 및 연 누적 공급량이다. 김제간선 시점부 유입량을 살펴보면, 전체 관개면적 12,749 ha에 평균 221,872  $10^3 m^3$  (202,052  $10^3 m^3$ -2012년, 263,368  $10^3 m^3$ -2013년, 200,198  $10^3 m^3$ -2014년) 공급되었으며, 상류 및 하류 지선별 공급량을 살펴보면, 지선별로 차이가 있었으나, 2013년 공급량이 가장 많았다.

김제간선 시점부, 상류부 및 하류부 평균 그리고 지선별 월별 실제 용수공급량은 Fig. 5와 같다. 지선별 용수공급량은 지선별로 시점부의 말단부의 수위-유량 모니터링 값의 차이를 해당 지선의 관개면적으로 나누어 산정하였다. 상류부 평균 단위용수공급량은 1,011 mm, 하류부는 1,470 mm, 김제간선 시점부는 1,900 mm 이었다. 김제간선 시점부에서 공급된 용수량은 김제간선에서의 손실, 각 지선에서의 손실, 배분 손실 등을 고려하여 상류부 지선에서 하류부 말단까지 공급해야 하기 때문에 상류부나 하류부 용수공급량과 비교하여 많은 양의 용수가 공급되는 것으로 판단된다. 2013년과 2014년의 경우 상대적으로 2012년보다 용수공급량이 높은 것을 확인할 수 있으며, 이는 8, 9월의 강수량이 부족하여 (Table 3) 공

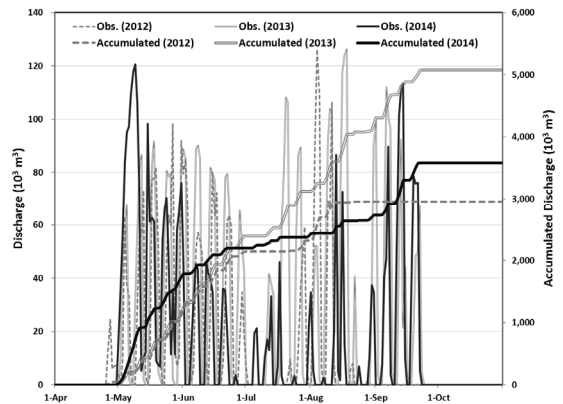
**Table 4** Average, maximum and standard deviation of water level in Gimjae main canal and other secondary irrigation canal from 2012 to 2014

Name of canal	Gimjae main canal	Secondary canal in Upper region						Secondary canal in Lower region							
		WH	DP	GG	SY	SP	YS	JS	JH	BJ	DM	WM	GH	JB	
		(cm)													
2012	Avg. <sup>1)</sup>	21	21	25	27	15	14	26	25	21	—	—	—	—	—
	Max <sup>2)</sup>	96	96	101	131	83	81	114	106	106	—	—	—	—	—
	Std. <sup>3)</sup>	28	28	28	40	23	12	28	33	32	—	—	—	—	—
2013	Avg.	30	30	35	35	24	24	22	35	41	37	46	27	19	39
	Max	96	96	101	133	92	78	91	107	124	98	113	92	72	116
	Std.	32	32	33	42	31	23	25	37	42	33	34	26	23	42
2014	Avg.	26	26	31	37	25	17	37	27	34	39	51	31	27	36
	Max	94	94	99	123	81	63	107	92	106	104	111	88	105	108
	Std.	30	30	30	39	27	12	25	28	32	28	28	25	28	34
Total	Avg.	26	26	30	33	21	19	28	29	32	31	40	25	24	30
	Max	96	96	101	133	92	81	114	107	124	104	180	92	105	116
	Std.	30	30	31	40	27	17	27	33	37	32	36	25	26	36

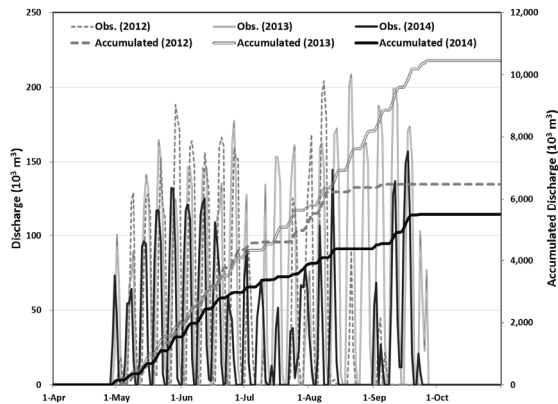
1) avg.: average, 2) max: maximum, 3) std.: standard deviation



(a) Main canal (Gimjae canal)



(b) Secondary canal in Upper region (Whaho canal)



(c) Secondary canal in Lower region (Juksan canal)

**Fig. 4** Comparison of total water supply of irrigation canals during 2012–2014

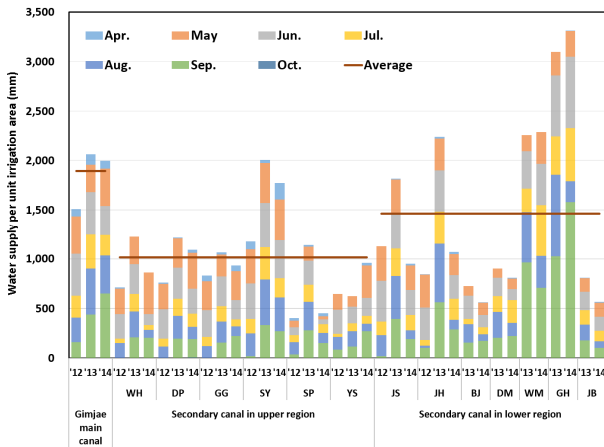


Fig. 5 Monthly average and average of upper and lower region water supply per unit irrigation area in Gimjae main and secondary canals

급량이 증가한 것으로 사료된다.

김제간선 시점부 실제 공급량은 4월 261.3 mm, 5월 346.1 mm, 6월 386.7 mm, 7월 256.5 mm, 8월 363.7 mm, 9월 417.1 mm, 10월 35.0 mm 이었다. 김제간선 상류부에서는 평균 4월 32.4 mm, 5월 258.7 mm, 6월 246.0 mm, 7월 119.5 mm, 8월 183.1 mm, 9월 152.3 mm, 10월 19.6 mm 공급되었으며, 하류부에서는 평균 4월 5.4 mm, 5월 217.1 mm, 6월 315.7 mm, 7월 221.9 mm, 8월 257.6 mm, 9월 418.8 mm, 10월 0.4 mm 공급되었다. 4, 5월은 상류부에서 공급량이 더 많았으나, 6월 이후에는 하류부 공급량이 많았으며, 특히 9월 공급량은 하류부에서 상류부와 비교하여 약 2.7 배 높았다.

### 3. 간단관개 모형 적용

논 관개용수 수요량을 조사한 『농촌용수 수요량조사 종합보고서 (MAF, 1999)』에서 논 관개용수 손실률을 평균 23 %로 분석하였다. 본 연구에서는 시설관리 손실률 (canal management/system loss)을 20 %로 가정하고 간단관개 모형을 적용하여 지선별 관개면적에 필요한 순용수량 (net water requirement) 및 조용수량 (gross water requirement)을 산정하였다. 지선별 손실률을 산정하기 위하여 지선별 조용수량과 실제 공급량과 비교하여 지선별 용수공급량의 특징에 대하여 분석하였다. Fig. 6은 실제 단위용수공급량과 손실률 20 %로 가정한 간단관개 모형 모의 값을 비교한 결과이다. 김제간선 시점부 관개면적 12,749 ha에서 손실률 20 %로 가정한 간단관개모형 적용 결과, 김제간선 적정용수량 모형 모의 결과 단위용수공급량은 1,077-1,337 mm로, 실제 김제간선 시점부에서 공급된 용수량 (1,900 mm)은 20 % 이상의 손실

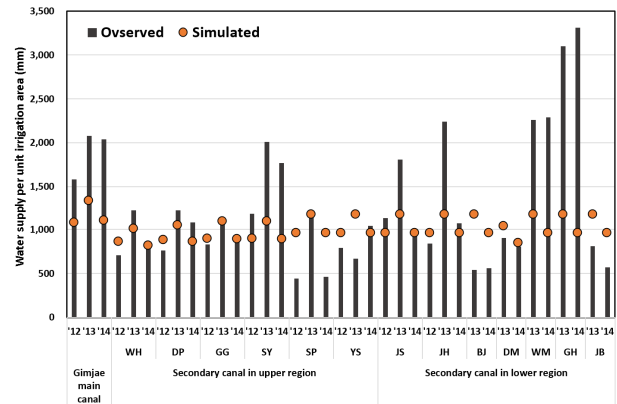


Fig. 6 Comparison of observed water supply and simulated water supply considering 20 % conveyance loss in Gimjae main and secondary canals

률을 고려하여 공급된 것으로 분석되었다. 이는 김제간선에서 공급되는 용수량은 상류부부터 하류부까지 간선에서의 용수 이동시 손실, 수로 손실 및 각 지선 시점부에서 말단부까지의 배분관리손실, 지선별 필요수량 등을 고려하여 공급하기 때문에 판단된다.

김제간선 주요 지선에서 손실률을 20 %로 가정한 간단관개모형 적용 결과, 상류부 단위용수공급량은 평균 967 mm, 하류부는 1,037 mm로 실제 용수공급량 1,011 mm (상류부), 1,470 mm (하류부)보다 적게 모의되어 실제 손실률은 20 % 이상인 것으로 분석되었다. 김제간선 상류부 화호, 대평, 감곡 신용 4개 지선에서는 2012년에는 모의치가 관측치를 초과하였으며, 2013, 2014년은 모의치보다 실제 공급량이 많았다. 하지만, 상류부에서 상대적으로 하류지점에 위치한 신평, 용성지선에서의 간단관개모형을 이용한 모의치는 실제공급량과 비교하여 많았다. 김제간선에서 신평과 용성은 말단부에서 양수에 의한 용수공급이 활발한 지선으로 이에 의해 실제 필요수량과 비교하여 지선 시점부에서 공급된 용수량은 적은 것으로 판단된다.

김제간선 하류부 주요지선 죽산, 종신, 대목, 월미, 고현 지선 실제 공급량은 간단관개모형 손실률 20 % 가정시 모의공급량과 비교하여 많았다. 반면, 북죽과 진봉지선은 간단관개모형을 이용한 모의치가 실제공급량과 비교하여 많았다. 김제간선 북죽과 진봉지선은 말단부 양수에 의한 관개수 공급이 활발한 지선으로 이에 의해 실제 필요량과 비교하여 지선 시점부에서 공급된 용수량은 적은 것으로 판단된다.

### 4. 손실률 및 관개효율 평가

간단관개 모형을 활용하여 2012-2014년 시설관리 손실률

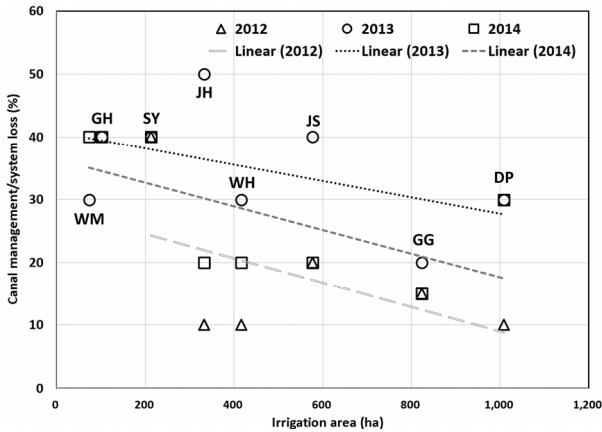


Fig. 7 Comparison between irrigation area and conveyance loss of secondary canals in Gimjae irrigation area

을 20%로 가정하여 지선별 실제 용수공급량과 모의치를 비교한 결과, 지선별 관개효율에는 차이가 발생하였다. 따라서 실제 용수공급량과 간단관개 모의 값을 비교하여 지선별 관개효율을 평가하였다. 지선별 실제 용수공급특성 분석 시 양수에 의한 공급량이 많았던 상류부 신용, 용성 지선, 하류부 북죽, 진봉 지선은 각 지선 시점부에서의 농업용수 실제 공급량을 이용한 손실률 산정에 한계가 있어 본 연구에서 손실률 산정 시 제외하였다.

김제간선 시점부에서 김제간선 전체 관개면적 12,749 ha에 공급되는 농업용수 공급량과 모의 값을 분석한 결과, 손실률은 43% 이었다. 김제간선 상류부 주요지선 손실률 중앙값은 25%, 하류부는 지선별 차이가 컸으나, 주요지선 손실률 중앙값은 35% 이었다. Fig. 7은 관개면적과 손실률 관계로써, 전반적으로 관개면적이 클수록 손실률은 감소하는 경향을 보였다. 관개면적이 작을수록 정밀한 관개용수 공급에 한계가 있기 때문에 관개면적에 비례하여 용수를 공급하는 것으로 판단된다.

Fig. 8은 김제간선, 상류부 및 하류부 월 손실률 및 연 손실률 중앙값으로써, 4-5월상류부 손실률(4월-35%, 5월-40%)은 하류부(4월-10%, 5월-25%)와 비교하여 높았다. 관개초기 상류부에서 관개용수 확보를 위해 간선에서 공급되는 농업용수의 일부를 과다 확보하여 상류부 손실률은 높은 반면, 하류부는 이로 인해 상대적으로 간선 전체 공급량 대비 지선에서의 공급량이 감소하기 때문에 손실률이 지선 전체 평균과 비교하여 낮은 것으로 판단된다. 하지만, 5월 이후에는 상류부와 비교하여 하류부에서의 손실률이 높았다. 6월에는 상류부 중앙값 10%, 하류부 40%, 7월 상류부 중앙값 20%, 하류부 35%, 8월 상류부 중앙값 35%, 하류부 40%, 9월 상류부 중앙값 40%, 하류부 40%로 산정되었다. 특히, 필요수량

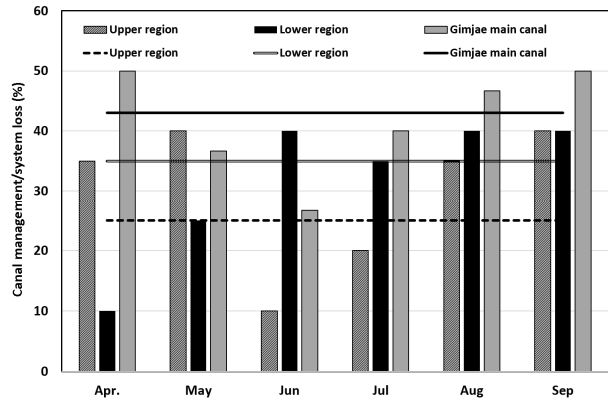


Fig. 8 Monthly and total average conveyance losses of Gimjae main and upper and lower secondary canals

이 상대적으로 적은 9월 손실률이 높았다. 관개용수를 수로 말단부까지 공급하기 위해서는 일정 수위 이상을 유지해야 하기 때문에, 필요수량이 적어도 일정 수위 이상을 유지하며 용수를 공급해야 한다. 9월은 수초 등이 자라면서 유속이 느려져 적은 관개수량을 공급하지만, 일정한 관개면적당 필요수량을 공급하기 위하여 더 많은 용수를 공급했기 때문에 손실률이 높은 것으로 판단된다.

#### IV. 결 론

본 연구는 동진지구 김제간선 논 관개지구를 대상으로 2012-2014년 3년간 자동수위계측기 실시간 수위 모니터링 자료 및 간단관개 모형을 활용하여 김제간선 시점부 및 주요 지선 농업용수 필요수량을 산정하고 지선별 월별 논 관개용수효율을 평가하였다.

김제간선 시점부 평균 수위는 26 cm, 최대 수위는 96 cm 이었으며, 전체 관개면적 12,749 ha에 평균 242,402 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup> (단위 관개면적당 1,900 mm) 관개용수가 김제간선 시점부로 공급되었다. 김제간선 상류부 주요 지선 평균 수위는 19 (신평)-33 (감곡) cm, 하류부 주요 지선 평균 수위는 24 (고현)-40 (대목) cm 이었으며, 김제간선 상류부 평균 단위용수공급량은 1,011 mm, 하류부는 1,470 mm 이었다. 월별 단위용수공급량을 살펴보면, 김제간선 상류부에서는 19.6 (10월) - 258.7 (5월) mm, 하류부에서는 0.4 (10월) - 315.7 (6월) mm 공급되었다. 4, 5월은 상류부에서 용수공급량이 많았으나, 6월 이후에는 하류부 용수공급량이 상류부보다 많았다.

간단관개 모형 및 실제 용수공급량을 활용하여 김제간선 시점부와 지선별 손실률을 산정하였다. 실제 용수공급량 분석 결과, 상류부 신용, 용성지선, 하류부 북죽, 진봉지선은 말

단부에서 양수에 의한 관개용수 공급량이 많아 손실률 산정 시 제외하였다. 김제간선 시점부에서 김제간선 전체 관개면적 12,749 ha에 공급되는 관개용수 시설관리손실률은 43 % 이었으며, 김제간선 상류부 주요지선 손실률 중앙값은 25 %, 하류부는 주요 지선 손실률 중앙값은 35 % 이었다. 김제간선 시점부에서 공급된 관개용수량은 김제간선 및 지선에서의 수로손실, 각 지선으로의 배분 손실 등을 고려하여 하류부 말단까지 공급해야 하기 때문에 상류부나 하류부 관개면적당 용수공급량과 비교하여 많은 양의 관개용수가 공급되고 손실률도 높은 것으로 판단된다.

전반적으로 관개면적이 클수록 손실률은 감소하였는데, 관개면적이 작을수록 정밀한 관개용수 공급이 어려워 단위 관개면적당 더 많은 용수를 공급하기 때문으로 판단된다. 또한, 월별 손실률 분석 결과 상류부 중앙값은 10 % (6월) - 40 % (9월), 하류부 중앙값은 25 % (5월) - 40 % (4, 6, 8, 9월) 이었다. 특히, 필요수량이 상대적으로 적었던 9월 상류부 및 하류부 모두 손실률이 높았다. 9월은 수초가 자라면서 유속이 느려져 관개용수를 수로 말단부까지 공급하기 위해서 필요수량 이상의 용수를 공급한 것으로 판단된다.

본 연구의 결과는 월별, 간선별, 지선별 손실률을 제시함으로써 향후 논 관개용수 최적공급량 산정에 있어 농업용수 관리의 기초자료로 사용 가능할 것으로 판단된다. 또한, 관개지구 내 실시간 수위, 유량 데이터와 비교하여 용수공급 현황을 분석하고, 농업용수의 효율적 분배를 위한 평가 기준 정립에 활용될 수 있을 것이다.

## 사 사

본 연구는 한국농어촌공사 농어촌연구원의 “용수계통 최적 용수공급량 분석 및 산정모듈 통합 개발” 과제의 연구비 지원으로 한국농어촌연구원과 공동으로 수행되었습니다.

## REFERENCES

1. Aly, A.M., Y. Kitamura, and K. Shimizu, 2013. Assessment of irrigation practices at the tertiary canal level in an improved system—a case study of Wasat area, the Nile Delta. *Paddy Water Environment* 11: 445-454.
2. Choi, J.K., J.G. Son, and Y.J. Kim, 2012a. Analysis of agricultural water supply system at the Dongjin-River basin. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 54(1): 11-18 (in Korean).
3. Choi, J.K., J.G. Son, J.T. Kim, and Y.J. Kim, 2012b. Flow characteristics of lateral irrigation canals diverted from Kimje main canal in Dongjin irrigation area. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 54(5): 113-121 (in Korean).
4. Hong, E.M, W.H. Nam, J.Y. Choi, and J.T. Kim, 2014. Evaluation of water supply adequacy using real-time water level monitoring system in paddy irrigation canals. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 56(4): 1-8 (in Korean).
5. Hong, E.M, J.Y. Choi, W.H. Nam, and J.T. Kim, 2015. Decision support system for the real time operation and management of an agricultural water supply. *Irrigation and Drainage*, submitted.
6. Irmak, S., L.O. Odhiambo, W.L. Kranz, and D.E. Eisenhauer, 2011. Irrigation efficiency and uniformity, and crop water use efficiency. *University of Nebraska-Lincoln Extension Circular EC732*.
7. Kim, J.S., S.Y. Oh, K.Y. Oh, and J.W. Cho, 2005. Delivery management water requirement for irrigation ditches associated with large-sized paddy plots in Korea. *Paddy Water Environment* 3: 57-62.
8. Kim, U.S., Y.T. Kim, and Y.J. Lee, 2003. Feasibility Analysis of the TM/TC System in Agricultural Water Management : A Case Study of Chungju and Sangju. *Korean Journal of Agricultural Management and Policy* 30(4): 640-666 (in Korean).
9. Koo, J.W., K.C. Lee, J.Y. Kim, and J.Y. Lee, 1982. A study on the estimation of water loss rates in irrigation canals. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 24(2): 56-66 (in Korean).
10. Korkmaz, N., M. Avci, H.B. Unal, S. Asik, and M. Gunduz, 2009. Evaluation of the water delivery performance of the Menemen Left Bank irrigation system using variables measured on-site. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 135: 633-642.
11. Kumar, R., and J. Singh, 2003. Regional water management modeling for decision support in irrigated agriculture. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 129: 432-439.
12. Lee, Y.J., P.S. Kim, S.J. Kim, Y.K. Je, and U.J. Joo, 2008. Estimation of Water Loss in Irrigation canals through Field Measurement. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 50(1): 13-21 (in Korean).
13. MAF (Ministry of Agriculture and Forestry Republic of Korea), 1998. *Design Standard of Farming Scale Improvement Project-Irrigation Part 9*. Ministry of Agriculture and Forestry, Republic of South Korea (in Korean).
14. MAF (Ministry of Agriculture and Forestry Republic of Korea), 1999. *Comprehensive Report of Agricultural Water Requirement*. Ministry of Agriculture and Forestry, Republic of South Korea (in Korean).



15. Nam, W.H., T. Kim, J.Y. Choi, J.T. Kim, and M.C. La, 2011. Wireless Sensor Network Development using RFID for Agricultural Water Management. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 53(5): 43-51 (in Korean).
16. Nam, W.H., J.Y. Choi, E.M. Hong, and J.T. Kim, 2013. Assessment of irrigation efficiencies using smarter water management. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 55(4): 45-53 (in Korean).
17. Unal, H.B., S. Asik, M. Avci, S. Yasar, and E. Akkuzu, 2004. Performance of water delivery system at tertiary canal level: a case study of the Menemen Left Bank Irrigation System, Gediz Basin, Turkey. *Agricultural Water Management* 65: 155-171.