



관개지구의 관행 물관리를 고려한 저수지 용수공급량 추정

Estimation of Amounts of Water Release from Reservoirs Considering Customary Irrigation Water Management Practices in Paddy-Field Districts

강민구*,† · 오승태** · 김진택***

Kang, Min Goo · Oh, Seung Tae · Kim, Jin Taek

Abstract

The DIROM (Daily Irrigation Reservoir Operation Model) was modified to estimate amounts of water release from reservoirs, considering customary irrigation water management practices, such as water supply for puddling and transplanting paddy rice from seeding beds and mid-season drainage. The applicability of the modified model was investigated by simulating amounts of water release from three study reservoirs: Hwamae, Ogi, and Doya Reservoirs. In terms of annual amounts of water release, the relative errors between the observed and simulated values in 2012 and 2013 ranged -26.20 % to 10.28 % and 4.90 % to 30.06 %, respectively; in case of reservoir water levels, the RMSE values ranged 0.45 m to 1.34 m and 0.40 m to 1.27 m, respectively. Also, it was revealed that the model provided better simulation results for monthly water releases than the original model. In addition, the model presented better performance in simulating 10-day amounts of water release from April to June. However, the model had still significant errors in the simulation results from July to September because the reservoirs were practically operated to adapt to water management circumstances. Finally, it is concluded that the modified DIROM can estimate the amounts of water release from reservoirs, reflecting irrigation water management customs in paddy-field districts. To achieve higher prediction accuracy of the model, it is necessary to incorporate practical reservoir operation rules into the model.

Keywords: modified DIROM; irrigation water management customs; water release; irrigation reservoir; water demand

1. 서론

수리시설물의 용수공급량은 관개지구의 관행 물관리 방식과 시설물 상태를 고려하여 장래 용수공급에 영향을 미치지 않는 범위 내에서 결정된다. 특히 저수지는 가뭄기에 절수관개를 통하여 저류량을 확보하고, 홍수기에 예비방류를 통하여 저류공간을 확보하는 방향으로 운영되므로 (Kim et al., 2004) 유입량, 저류량, 용수수요량에 따라 용수공급량이 결정된다. 관개지구의 용수수요량은 작물생육상태, 기상, 지구특성 등을 고려하여 침투량, 증발산량, 유효강우량을 산정하고 관행 물관리 방식을 고려하여 추정된다 (Wu and Chen, 2013). 저수지 유입량과 저류량은 장·단기 기상정보를 활용하여 예측되며, 예측의 정확성 확보가 중요하다 (Kim

and Park, 1994). 저수지의 효과적인 관리를 위해서는 이들을 합리적이고 정확하게 예측하여 용수공급량을 산정해야 한다.

사회·경제시스템, 기후, 사회적 선호도 등의 변화에 따라 관개면적, 작부체계, 물관리 방식, 유입량 등도 변한다 (Ju et al., 2006). 이에 따라 저수지의 용수공급 우선순위와 용수공급량이 변경된다. 또한 수리시설물의 노후화로 인하여 누수가 발생하고 배분관리 상태가 불량해져 관리 손실량도 증가하게 된다 (Lee et al., 2008; Nam, 2013). MAF and KRC (2006)는 경기남부 지역에서 논물가두기와 모내기 실적을 조사하여 논물가두기와 모내기가 농업용수량 산정 기준 (MAF, 1997; Ju et al., 2006) 보다 각각 35일과 10일 정도 조기에 실시된다는 것을 보고하였다. 또한 논벼의 생육기간 중에 실제로 중간낙수가 시행되고 있으나 (Lee et al., 1991) 농업용수량 산정 기준에서는 고려되지 않고 있음을 확인하였다. Lee et al. (2006)은 3개 저수지 관개지구와 32개 양수장 관개지구의 실측 관개량과 HOMWRS (Hydrological Operation Model for Water Resource System)의 모의결과를 비교하였으며, HOMWRS가 관개지구의 관행 물관리를 반영하지 못한다고 보고하였다. 특히 묘대기와 이앙기의 시기 및 물관리 방식의 차이로 인하여 4월과 5월의 실측치와 모의치가 상이한 결과를 나타냈다. 따라서 관개지구에 적정 용수량을 공급

* Future Resources Institute

** Gyeonggi Regional Headquarters, Korea Rural Community Corporation

*** Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation

† Corresponding author

Tel.: +82-70-8290-7682 FAX: +82-2-3281-0427

E-mail: kmg1218@gmail.com

Received: April 15, 2014

Revised: July 30, 2014

Accepted: July 31, 2014

하기 위해서는 관개지구에서 발생하는 변화를 주기적으로 모니터링하여 실제 저수지 운영에 반영할 필요가 있다.

국내에서 적용되고 있는 저수지운영 모의모형인 DIROM (Daily Irrigation Reservoir Operation Model)이나 수리시설 물 모의조작시스템인 HOMWRS은 논벼의 작부시기를 모대기, 이앙기, 본답기로 구분하여 용수수요량을 산정한다 (Kim and Park, 1988; Lee et al., 2006; Yoo et al., 2012; Yoo et al., 2013). 특히 Kang et al. (1999)은 DIROM 모형을 이용하여 관개용 저수지의 실제 용수공급량 자료를 시기별로 비교 분석하였으며, Im et al. (2000)은 DIROM 모형을 수정하여 관개용 저수지의 용수공급량을 추정하였다. 이들 연구에서는 논물가두기가 이앙기에 실시되는 것으로 처리하고 있으며, 중간낙수가 고려되지 않고 있기 때문에 실제 용수공급량과 모의결과가 시기별로 상이한 결과를 나타냈다. Lee and Kim (2001)은 농업용수 수요량 산정 시스템을 개발하여 일관된 절차에 의해 농업용수 수요량을 추정하고자 하였으나 관개지구별 물관리 특성을 반영하지 못하였다. Ju et al. (2006)은 관개지구의 물관리 특성을 반영할 수 있는 논용수량 산정 시스템을 개발하여 적용성을 평가하였으나 개발된 시스템은 저수지 모의조작이 불가능하다. 따라서 관개지구의 작부시기와 물관리 방식의 변화를 반영하여 저수지 용수공급량을 추정하기 위해서는 기존 저수지 모의 운영 모형들의 수정이 필요하다.

본 연구에서는 관개지구의 관행 물관리 방식을 반영하여 저수지의 용수공급량을 추정하기 위하여 DIROM모형을 수정하였다. 수정 DIROM 모형을 사용하여 시험저수지들의 저수위와 용수공급량을 모의하고, 실측자료와 비교하여 모형의 적용성을 평가하였다.

II. 연구방법

1. 작부시기 및 물관리 방식

DIROM 모형은 논외의 필요수량을 고려하여 식 (1)과 같이 저수지 용수공급량을 결정한다 (Kim and Park, 1988; Kim and Park, 1994).

$$IWD_t = 10 \times (REQ_t + MR_t + TR_t) \times \frac{100}{100 - CL} \times LA \quad (1)$$

여기서 IWD_t 는 t 일의 용수공급량 (m^3), REQ_t 는 논외의 필요수량 (mm), MR_t 는 수로 흐름 유지를 위한 최소수량 (mm),

TR_t 는 이앙용수량 (mm), CL 은 수로손실율 (%), LA 는 관개면적 (ha)을 나타낸다. 논외의 필요수량은 식 (2)와 같이 유효수량을 고려하여 산정된다 (Kim and Park, 1988).

$$REQ_t = I_t + ETA_t - RE_t \quad (2)$$

여기서 I_t 는 t 일의 침투량 (mm), ETA_t 는 증발산량 (mm), RE_t 은 유효수량 (mm)을 나타낸다. DIROM 모형은 Fig. 1과 같이 벼의 작부시기를 모대정지기, 모대기, 이앙기, 본답기로 구분하여 각 기간에 대하여 용수공급량을 산정한다. 또한 이앙을 위한 논물가두기는 이앙기간 동안에만 이뤄지며, 이앙면적에 대하여 이앙용수량이 균등하게 공급되는 것으로 가정한다.

본 연구에서는 농업용수량 산정 기준과 상이한 작부시기 및 물관리 방식을 관개지구의 용수수요량 산정에 반영하기 위하여 DIROM모형을 수정하였다. 저수지의 용수공급량은 관개지구의 용수수요량을 고려하여 식 (3)과 같이 추정한다.

$$IWD_t = (VREQ_t + 10 \times MR_t \times LA) \times \frac{100}{100 - CL} \quad (3)$$

여기서 IWD_t 는 t 일의 용수공급량 (m^3), $VREQ_t$ 는 관개지구의 용수수요량 (m^3), MR_t 는 수로 흐름 유지를 위한 최소수량 (mm), LA 는 관개면적 (ha), CL 은 수로손실율 (%)을 나타낸다. 본 연구에서는 관개지구의 용수수요량이 논외의 소비수량과 유효수량을 고려하여 산정된 필요수량 (Kim and Park, 1988; Kim and Park, 1994)뿐만 아니라, 못자리 및 이앙을 위한 용수량을 포함하는 것으로 정의하였다. 수정 DIROM 모형에서는 작부시기를 Fig. 1과 같이 모대정지기, 순수모대기, 모대-이앙기, 이앙기, 이앙-본답기, 본답기로 구분하여 각 시기별로 관개지구의 용수수요량을 추정한다. 관개지구의 관행 물관리를 반영하여 논물가두기 기간을 임의로 설정하도록 하였으며, 벼의 무효분얼을 억제하기 위하여 실시되는 중간낙수를 고려하였다.

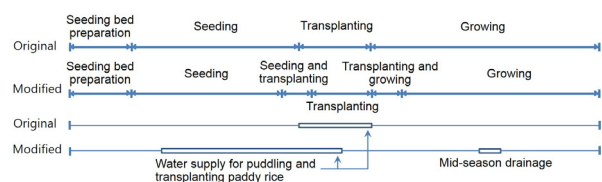


Fig. 1 Comparison of cropping periods and water management methods between the original and modified DIROMs.

2. 작부시기별 관개지구의 용수수요량

가. 모대정지기

모대정지기는 논물가두기를 실시하지 않는 경우와 논물가두기를 실시하는 경우로 구분하여 각각 식 (4)와 (5)와 같이 관개지구의 용수수요량을 산정한다. 못자리 정지용수량은 전체 모대면적에 못자리 정지기 동안 균등한 양이 공급되며, 이양용수량은 전체 이양면적에 논물가두기 기간 동안 균등하게 공급되는 것으로 가정하였다.

$$VREQ_t = 10 \times [(I_t + \frac{W_{nb}}{D_{nb}}) \times A_{nb}] \quad (4)$$

$$VREQ_t = 10 \times [(I_t + \frac{W_{nb}}{D_{nb}}) \times A_{nb} + \frac{W_t}{D_{pt}} \times A_t + (I_t + EW_t - RET_t) \times A_t \times \frac{D_{ppt}}{D_{pt}}] \quad (5)$$

여기서 $VREQ_t$ 는 t 일 관개지구의 용수수요량 (m^3), I_t 는 t 일의 침투량 (mm), W_{nb} 는 못자리 정지용수량 (mm), D_{nb} 는 못자리정지 총일수, A_{nb} 는 모대면적 (ha), W_t 는 이양용수량 (mm), D_{pt} 는 논물가두기 총일수, A_t 는 이양면적 (ha), EW_t 는 논물가두기가 시행된 논의 수면증발량 (mm), RET_t 는 논물가두기가 시행된 논의 유효수량 (mm), D_{ppt} 는 논물가두기 시작 일로부터 경과 일수를 나타낸다. 논의 유효수량은 물꼬 높이와 상시관리 담수심을 고려하여 산정하였다 (Kim and Park, 1988).

나. 모대기

모대기에는 식 (6)과 같이 못자리 소비수량과 이양용수를 고려하여 관개지구의 용수수요량을 산정한다.

$$VREQ_t = 10 \times [(I_t + EVN_t - RES_t) \times A_{nb} + \frac{W_t}{D_{pt}} \times A_t + (I_t + EW_t - RET_t) \times A_t \times \frac{D_{ppt}}{D_{pt}}] \quad (6)$$

여기서 $VREQ_t$ 는 t 일 관개지구의 용수수요량 (m^3), I_t 는 침투량 (mm), EVN_t 는 모대의 증발산량 (mm), RES_t 는 모대의 유효수량 (mm), A_{nb} 는 모대면적 (ha), W_t 는 이양용수량 (mm), D_{pt} 는 논물가두기 총일수, A_t 는 이양면적 (ha), EW_t 는 논물가두기가 시행된 논의 수면증발량 (mm), RET_t 는 논물가두기가 시행된 논의 유효수량 (mm), D_{ppt} 는 논물가두기

시작 일로부터 경과 일수를 나타낸다.

다. 모대·이양기

모대·이양기에는 식 (7)과 같이 못자리 소비수량, 이양용수, 이양된 논 소비수량을 고려하여 관개지구의 용수수요량을 산정한다.

$$VREQ_t = 10 \times [(I_t + EVN_t - RES_t) \times A_{nb} + \frac{W_t}{D_{pt}} \times A_t + (I_t + EW_t - RET_t) \times (\frac{D_{ppt}}{D_{pt}} - \frac{D_{ts}}{D_{tt}}) \times A_t + (I_t + EVT_t - RETF_t) \times \frac{D_{ts}}{D_{tt}} \times A_t] \quad (7)$$

여기서 $VREQ_t$ 는 t 일 관개지구의 용수수요량 (m^3), I_t 는 침투량 (mm), EVN_t 는 모대 증발산량 (mm), RES_t 는 모대의 유효수량 (mm), A_{nb} 는 모대면적 (ha), W_t 는 이양용수량 (mm), D_{pt} 는 논물가두기 총일수, A_t 는 이양면적 (ha), EW_t 는 논물가두기가 시행된 논 수면증발량 (mm), RET_t 는 논물가두기가 시행된 논의 유효수량 (mm), D_{ppt} 는 논물가두기 시작 일로부터 경과 일수, D_{ts} 는 이양 시작 일로부터 경과 일수, D_{tt} 는 이양 총일수, A_t 는 이양면적 (ha), EVT_t 는 이양된 논 증발산량 (mm), $RETF_t$ 는 이양된 논의 유효수량 (mm)을 나타낸다.

라. 이양기

이양기에는 모대기가 종료됨에 따라 이양용수와 논물가두기가 완료된 논과 이양이 완료된 논 소비수량을 고려하여 식 (8)과 같이 관개지구의 용수수요량을 산정한다.

$$VREQ_t = 10 \times [\frac{W_t}{D_{pt}} \times A_t + (I_t + EW_t - RET_t) \times (\frac{D_{ppt}}{D_{pt}} - \frac{D_{ts}}{D_{tt}}) \times A_t + (I_t + EVT_t - RETF_t) \times \frac{D_{ts}}{D_{tt}} \times A_t] \quad (8)$$

여기서 $VREQ_t$ 는 t 일 관개지구의 용수수요량 (m^3), W_t 는 이양용수량 (mm), D_{pt} 는 논물가두기 총일수, A_t 는 이양면적 (ha), I_t 는 침투량 (mm), EW_t 는 논물가두기가 시행된 논 수면증발량 (mm), RET_t 는 논물가두기가 시행된 논 유효수량 (mm), D_{ppt} 는 논물가두기 시작 일로부터 경과 일수, D_{ts} 는 이양 시작 일로부터 경과 일수, D_{tt} 는 이양 총일수, EVT_t

는 이양된 논 의 증발산량 (mm), $RETf_t$ 은 이양된 논 의 유효우량 (mm) 을 나타낸다.

마. 이양-본답기

이양-본답기에는 논물가두기가 종료됨에 따라 식 (9)와 같이 이양 완료 여부를 고려하여 관개지구의 용수수요량을 산정한다.

$$VREQ_t = 10 \times [(I_t + EW_t - RETf_t) \times (1 - \frac{D_{ts}}{D_{tt}}) \times A_t + (I_t + EVT_t - RETf_t) \times \frac{D_{ts}}{D_{tt}} \times A_t] \quad (9)$$

여기서 $VREQ_t$ 는 t 일 관개지구의 용수수요량 (m^3), I_t 는 침투량 (mm), EW_t 는 이양 미완료 논 의 수면증발량 (mm), $RETf_t$ 은 논물가두기가 시행된 논 의 유효우량 (mm), D_{ts} 는 이양 시작 일로부터 경과 일수, D_{tt} 는 이양 총일수, A_t 는 이양 면적 (ha), EVT_t 는 이양된 논 의 증발산량 (mm), $RETf_t$ 은 이양된 논 의 유효우량 (mm)을 나타낸다.

바. 본답기

본답기에는 벼 생육기간별 소비수량을 고려하여 식 (10)과 같이 관개지구의 용수수요량을 산정한다.

$$VREQ_t = 10 \times [(I_t + EVG_t - REG_t) \times A_{ti}] \quad (10)$$

여기서 $VREQ_t$ 는 t 일 관개지구의 용수수요량 (m^3), I_t 는 침투량 (mm), EVG_t 는 증발산량 (mm), REG_t 은 유효우량 (mm), A_{ti} 는 관개면적 (ha)을 나타낸다.

사. 중간낙수기

중간낙수기에는 용수공급량이 없으며, 중간낙수가 끝나고 관개가 시작되는 초기에는 식 (11)과 같이 담수심 확보를 위해 전체 관개면적에 대하여 추가용수를 일정기간 나눠서 공급하는 것으로 가정하였다.

$$VREQ_t = 10 \times [(I_t + EVG_t - REG_t) \times A_{ti} \times \frac{D_{dv}}{D_d} + \frac{MWD_t}{D_d} \times A_{ti}] \quad (11)$$

여기서 $VREQ_t$ 는 t 일 관개지구의 용수수요량 (m^3), I_t 는 침투량 (mm), EVG_t 는 증발산량 (mm), REG_t 은 유효우량

(mm), A_{ti} 는 관개면적 (ha), D_{dv} 는 중간낙수 후 관개 시작 일로부터 경과 일수, D_d 는 중간낙수 후 담수심 확보를 위해 추가용수가 공급되는 총기간, MWD_t 는 중간낙수 후 담수심 확보를 위해 공급되는 용수량 (mm)을 나타낸다.

3. 대상 저수지

가. 주요제원

본 연구에서는 수정 DIROM 모형의 적용성을 평가하기 위하여 화매저수지, 오기저수지, 도야저수지를 시험저수지로 선정하였다. 화매저수지는 행정구역상 경상북도 영양군 석보면에 위치하고 있으며, 반변천 지류인 화매천이 유입된다. 오기저수지는 행정구역상 경상북도 영양군 수비면 오기리에 위치하고 있으며, 장수포천이 유입된다. 도야저수지는 행정구역상 경상남도 창원군 창녕읍 교리에 위치하고 있으며, 토평천 지류가 유입된다. 대상 저수지의 주요제원은 Table 1과 같으며, 유역면적은 225.0~567.0 ha, 유효저수량은 $120.8 \times 10^3 \sim 1,959.0 \times 10^3 m^3$, 관개면적은 37.7~195.1 ha이다.

나. 용수공급량 조사

시험저수지의 용수공급량을 조사하기 위하여 용수간선에 수위계를 설치하고 10분 간격으로 수위를 측정하였으며, 수위-유량 곡선을 사용하여 유량으로 환산하였다. Table 2는 2012년과 2013년에 측정된 용수공급량을 강우량과 함께 비

Table 1 Characteristics of study reservoirs

Reservoir	Hwamae	Ogi	Doya
Watershed area (ha)	480.0	567.0	225.0
Full water level (EL, m)	294.8	427.7	78.6
Normal water level (EL, m)	291.2	424.1	77.0
Dead water level (EL, m)	262.3	418.7	71.5
Total storage ($10^3 m^3$)	2,090.0	412.0	120.8
Effective storage ($10^3 m^3$)	1,959.0	391.0	120.8
Irrigation area (ha)	195.1	52.0	37.7

Table 2 Amounts of rainfall and water release of study reservoirs in 2012 and 2013

Reservoir	2012		2013	
	Rainfall (mm)	Water release (mm)	Rainfall (mm)	Water release (mm)
Hwamae	750.0	747.6	579.0	801.5
Ogi	920.0	1,160.2	701.0	726.1
Doya	1,034.0	639.1	881.0	530.9

교한 것이다. 세 저수지 모두 2012년의 강우량이 2013년의 강우량 보다 많았으며, 용수공급량은 2012년에 639.1~1,160.2 mm, 2013년에 530.9~801.5 mm를 나타냈다. 오기저수지와 도야저수지의 2013년 용수공급량은 2012년 보다 적은 것으로 나타났으며, 이는 2013년 하반기에 강우량이 부족하여 저수지 운영시 절수관개를 실시했기 때문으로 판단된다.

다. 지배관측소

수정 DIROM 모형을 이용하여 저수지 유입량, 저류량, 용수공급량을 모의하기 위해 필요한 기상요소의 지배관측소를 저수지별로 선정하였으며, Table 3과 같다. 오기저수지와 도야저수지의 경우, 지배기상관측소에서 증발량을 측정하지 않기 때문에 증발량을 측정하는 가장 인접한 관측소의 증발량 자료를 사용하였다. 지배강우관측소는 각 저수지 및 관개지구에 가장 인접한 곳을 선정하였으며, 석보강우관측소는 한국수자원공사에 관리하며, 수비 및 창녕강우관측소는 국토교통부에서 관리하고 있다.

라. 저수지 운영 모의 입력자료

관개지구의 용수수요량을 산정하기 위하여 FAO 수정 Penman 식의 시기별 작물계수는 중부지방의 순별 작물계수를 사용하였다. 관개지구의 특성을 반영하여 일침투량은 3.0~5.0 mm, 손실률은 15 %, 이양용수량은 120~140 mm을

Table 3 Meteorological and rainfall gauging stations of study reservoirs

Reservoir	Wind speed	Temperature	Relative humidity	Sunshine duration	Evaporation	Rainfall
Hwamae	Andong	Andong	Andong	Andong	Andong	Seogbo
Ogi	Uljin	Uljin	Uljin	Uljin	Andong	Subi
Doya	Miryang	Miryang	Miryang	Miryang	Jinju	Changn-yeong

Table 4 Cropping periods of study reservoirs

Period	Hwamae	Ogi	Doya
Seeding	Apr. 13~ May 15	Apr. 25~ Jun. 9	Apr. 5~ May 14
Transplanting	May 16~ May 25	Jun. 10~ Jun. 20	May 15~ May 30
Growing	May 26~ Sep. 16	Jun. 21~ Sep. 10	May 31~ Sep. 11
Water supply for puddling and transplanting paddy rice	May 9~ May 25	May 9~ Jun. 14	Apr. 15~ May 20
Mid-season drainage	Jun. 25~ Jul. 5	Jul. 5~ Jul. 15	Jun. 30~ Jul. 10

사용하였다. 시험저수지별 관개지구의 작부시기는 Table 4와 같다.

III. 결과 및 고찰

1. 저수지 수위 모의

Table 5는 시험저수지의 2012년과 2013년 실측 저수위와 모의결과 사이의 RMSE (Root Mean Squared Error)를 비교한 것이다. 2012년에는 수정 DIROM 모형의 RMSE가 기존

Table 5 Root mean squared errors between reservoir water levels observed and simulated using the original and modified DIROMs

Reservoir	2012		2013	
	Original model (m)	Modified model (m)	Original model (m)	Modified model (m)
Hwamae	1,94	1,34	0,69	0,57
Ogi	0,76	0,45	0,39	0,40
Doya	1,15	0,63	1,25	1,27

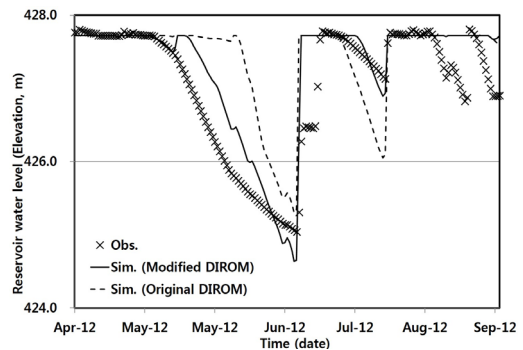


Fig. 2 Comparison of observed and simulated reservoir water levels of Ogi Reservoir in 2012

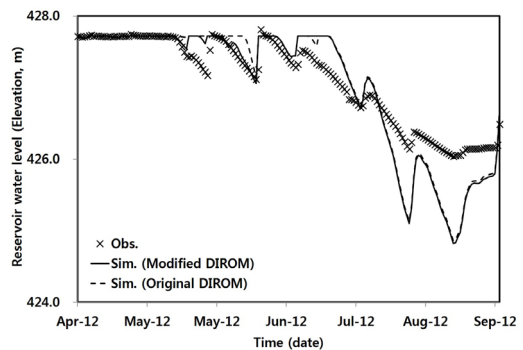


Fig. 3 Comparison of observed and simulated reservoir water levels of Ogi Reservoir in 2013

DIROM모형의 것 보다 작은 결과를 나타냈다. 2013년에는 두 모형의 RMSE가 유사하였으며, 저수지 운영이 관개지구의 용수수요량뿐만 아니라 유입량과 저류량으로부터 영향을 받았기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 2와 Fig. 3은 오기저수지의 2012년과 2013년 실측 저수위를 수정 DIROM 모형과 기존 DIROM 모형의 모의결과와 비교한 것이다. 2012년 모의결과를 살펴보면, 수정 DIROM 모형의 모의결과가 기존 DIROM 모형 보다 실측치에 근접한 결과를 나타냈다. 특히 논물가두기가 진행되는 5월에는 수정 DIROM 모형의 모의결과가 기존 DIROM 모형 보다 실측치에 현저히 근접한 결과를 나타냈다. 또한 중간낙수가 진행된 7월 초순 및 중순에는 수정 DIROM 모형의 모의결과가 기존 DIROM 모형 보다 실측치에 근접한 결과를 나타냈다. 2013년 모의결과를 실측치와 비교해 보면, 논물가두기가 진행된 5월 중순~6월초에는 수정 DIROM 모형의 모의결과가 기존 DIROM 모형 보다 실측치에 근접한 결과를 나타냈다. 중간 낙수 종료 이후에는 두 모형의 모의결과가 거의 일치하였으며, 이는 두 모형이 중간낙수 이후에는 동일한 방법으로 용수 공급량을 모의하기 때문인 것으로 사료된다.

2. 연간 용수공급량

Table 6은 연간 용수공급량의 실측치와 모의결과 사이의 상대오차를 나타낸 것이다. 수정 DIROM 모형은 2012년에 -26.20~10.28 %, 2013년에 4.90~30.06 %의 상대오차를 나타냈다. 기존 DIROM 모형과 수정 DIROM 모형의 상대오차를 비교해 보면, 2012년 오기저수지와 2013년 화매저수지의 모의결과만을 제외하고 수정 DIROM 모형의 결과가 기존 DIROM 모형의 결과 보다 작은 상대오차를 나타냈다. 특히 도야저수지의 경우에는 수정 DIROM 모형의 모의결과가 기존 DIROM 모형 보다 개선된 것으로 나타났다.

Fig. 4와 Fig. 5는 오기저수지의 2012년과 2013년 실측 누가용수공급량을 모의결과와 비교한 것이다. 2012년에는 실측 용수공급량이 1,160.2 mm이었으며, 수정 DIROM 모형의 결과는 856.3 mm이었다. 저수지 운영 초반에는 실측치와 모의치가 유사한 경향을 나타냈으나, 8월 중순이후에 실측자료와 모의결과가 다소 상이한 결과를 나타냈다. 2013년에는 실측 용수공급량이 726.1 mm이었으며, 모의결과는 1,106.7 mm이었다. 저수지 운영 초반에는 실측치와 모의치가 유사한 경향을 나타냈으나, 7월 중순 이후에 실측치와 모의결과가 다소 큰 차이를 나타냈다. 기존 DIROM 모형과 수정 DIROM 모형의 모의결과를 비교해 보면, 모대기, 이앙기, 중간낙수기를 포함하는 모의기간에는 수정 DIROM 모형의 모의결과가 기존 DIROM 모형 보다 실측치에 근접한 결과를

Table 6 Relative errors between observed and simulated amounts of water release from study reservoirs using the original and modified DIROMs

Reservoir	2012		2013	
	Original model (%)	Modified model (%)	Original model (%)	Modified model (%)
Hwamae	8.00	-1.59	23.81	29.68
Ogi	-22.86	-26.20	32.80	30.06
Doya	16.50	10.28	11.56	4.90

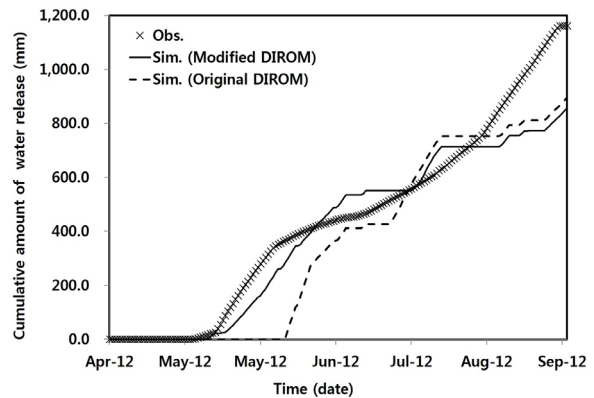


Fig. 4 Comparison of observed and simulated amounts of water release from Ogi Reservoir in 2012

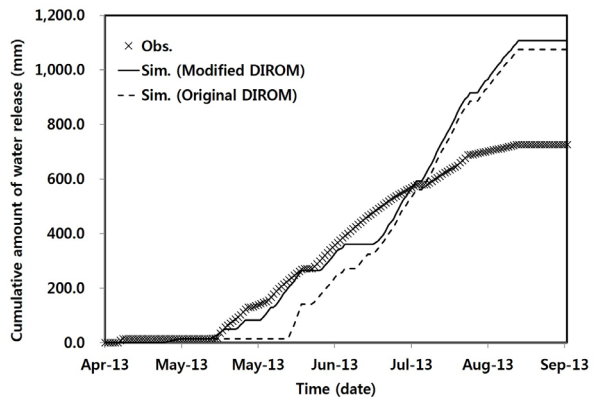


Fig. 5 Comparison of observed and simulated amounts of water release from Ogi Reservoir in 2013

나타냈으며, 저수지 운영 후반기에는 두 모형의 모의결과가 유사한 결과를 나타냈다.

3. 월별 용수공급량

Table 7은 기존 DIROM 모형과 수정 DIROM 모형의 모의 결과를 실측치와 월별로 비교한 것이다. 화매저수지의 2012년과 2013년 월별 용수공급량을 살펴보면, 수정 DIROM 모

Table 7 Comparison of observed and simulated monthly amounts of water release from study reservoirs

Reservoir	Year	Item	Amount of water release (mm)						
			Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Total
Hwamae	2012	Obs.	37.0	146.6	153.5	166.7	163.2	80.7	747.6
		Sim,1 ¹⁾	14.0	199.3	179.7	159.6	165.8	17.3	735.7
		Sim,2 ²⁾	14.0	211.7	237.9	160.6	165.8	17.3	807.4
	2013	Obs.	82.3	136.4	140.7	138.7	181.3	122.1	801.5
		Sim,1	10.4	157.1	195.5	223.1	307.0	130.3	1,023.4
		Sim,2	10.4	49.7	255.7	226.5	307.0	130.3	979.5
Ogi	2012	Obs.	–	278.9	162.5	121.6	246.7	350.5	1,160.2
		Sim,1	–	162.0	326.3	69.4	156.5	142.2	856.3
		Sim,2	–	0.0	364.5	225.9	162.5	142.2	895.0
	2013	Obs.	14.9	124.2	218.5	215.8	133.0	19.7	726.1
		Sim,1	13.0	69.3	243.4	252.4	415.8	112.8	1,106.7
		Sim,2	13.0	1.2	223.3	308.8	415.8	112.8	1,074.8
Doya	2012	Obs.	151.8	146.2	94.2	56.4	97.9	92.6	639.1
		Sim,1	56.8	193.4	195.8	53.8	205.0	0.0	704.8
		Sim,2	26.2	155.2	222.9	135.3	205.0	0.0	744.5
	2013	Obs.	17.6	76.3	214.3	101.3	99.5	21.9	530.9
		Sim,1	11.2	131.4	78.5	114.7	211.6	14.7	562.2
		Sim,2	11.2	107.6	126.2	133.3	211.6	14.7	604.7

¹⁾ Amount of water release simulated using the modified DIROM; ²⁾ Amount of water release simulated using the original DIROM

형의 5월 공급량이 기존 DIROM 모형 모의결과 보다 실측치에 근접했다. 6월과 7월의 모의결과를 살펴보면, 수정 DIROM 모형이 중간낙수를 반영했기 때문에 기존 DIROM 모형 보다 실측치와 유사한 결과를 나타냈다. 2013년에는 실제 총용수공급량과 모의결과가 다소 큰 차이를 나타냈는데 이는 7월과 8월에 가뭄으로 인해 유입량과 저류량이 적어 저수지 실제 운영시 절수관개를 했기 때문으로 사료된다. 오기저수지의 2012년과 2013년 월별 용수공급량을 살펴보면, 수정 DIROM 모형의 5월 용수공급량이 기존 DIROM 모형의 결과 보다 실측치에 근접했다. 7월의 모의결과를 살펴보면, 수정 DIROM 모형이 중간낙수를 반영했기 때문에 기존 DIROM 모형 보다 실측치에 근접한 결과를 나타냈다. 총용수공급량의 실측치와 모의결과를 비교해 보면, 2012년에는 실측치보다 모의결과가 작은 결과를 나타냈으며, 2013년에는 실측치보다 모의결과가 큰 결과를 나타냈다. 이는 실제 저수지 운영시 관개지구의 용수수요량만을 고려해서 용수를 공급하는 것이 아니고 유입량과 저류량을 고려하기 때문인 것으로 판단된다. 도야저수지의 2012년과 2013년 월별 용수공급량을 살펴보면, 수정 DIROM 모형의 5월 용수공급량이 기존 DIROM 모형의 결과와 실측치에 비해 다소 큰 결과를

나타냈다. 7월의 모의결과를 실측치와 비교해 보면, 수정 DIROM 모형이 중간낙수를 반영했기 때문에 기존 DIROM 모형 보다 실측치에 근접한 결과를 나타냈다. 총용수공급량의 경우, 수정 DIROM 모형의 모의결과가 기존 DIROM 모형 보다 실측치에 근접한 결과를 나타냈다.

4. 용수공급 특성 평가

시험저수지의 용수공급 특성을 분석하기 위하여 수정 DIROM 모형을 이용하여 순별 용수공급량을 모의하여 실측값과 비교하였다. Figs. 6~8은 시험저수지의 실측 순별 용수공급량과 수정 DIROM 모형의 모의결과를 강우자료와 비교하여 도식적으로 나타낸 것이다. 실측치와 모의결과를 비교해 보면, 모의결과는 강우를 잘 반영하는 것으로 나타났으나 실측치는 강우를 반영하지 못하는 것으로 나타났다. 화매저수지의 경우, 실제로 하반기에 관개지구의 용수수요량보다 많은 용수공급량을 나타냈으며, 이는 관개지구에 대한 용수공급 이외의 목적으로 저수지 운영이 이뤄졌기 때문으로 사료된다. 오기저수지의 경우, 8월 중순이후에 관개지구에 강우가 발생하였는데도 관개용수를 공급하였으며, 이는 관개구역에서 사용되지 않는 무효방류로 판단된다. 도야저수지

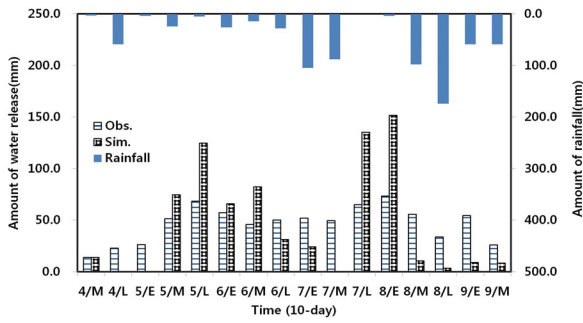


Fig. 6 Comparison of observed and simulated 10-day amounts of water release from Hwamae Release in 2012 (E, M, and L: the first, middle, and last 10-days of the month)

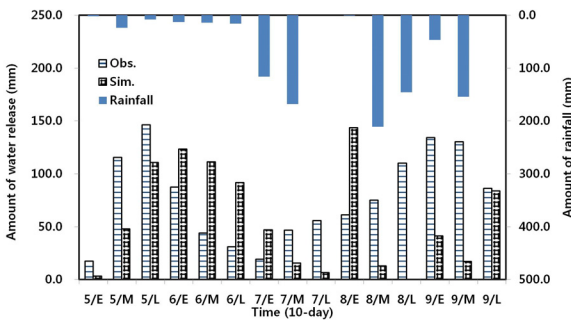


Fig. 7 Comparison of observed and simulated 10-day amounts of water release from Ogi reservoir in 2012 (E, M, and L: the first, middle, and last 10-days of the month)

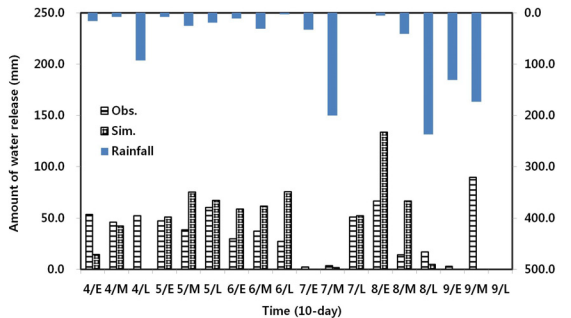


Fig. 8 Comparison of observed and simulated 10-day amounts of water release from Doya Reservoir in 2012 (E, M, and L: the first, middle, and last 10-days of the month)

의 경우, 전체적으로 모의결과가 실측치보다 큰 것으로 나타났으며, 9월에 관개지구의 용수수요와 관계없이 많은 방류를 실시한 것으로 나타났다. 세 저수지 모두 강우가 집중되기 전인 6월 말까지는 실측치와 모의결과가 유사한 결과를 나타냈다. 이는 수정 DIROM 모형에서 논물가두기와 중간낙수와 같은 관행 물관리를 고려했기 때문으로 판단된다. 7월 초 이후에는 실측치와 모의결과가 상이한 결과를 나타냈으며, 이

는 유입량과 저류량을 고려하여 실제 저수지 운영이 이뤄졌기 때문인 것으로 판단된다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 논물가두기와 중간낙수와 같은 관개지구의 관행 물관리를 반영하여 저수지의 용수공급량을 추정하기 위하여 수정 DIROM 모형을 구성하였다. 제안된 모형의 적용성을 평가하기 위하여 화매저수지, 오기저수지, 도야저수지를 대상으로 용수공급량을 모의하여 실측치와 비교하였다. 본 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 대상 저수지의 연간 용수공급량의 실측치와 모의결과를 비교한 결과, 모의결과와 상대오차가 2012년에는 -26.20~10.28%, 2013년에는 4.90~30.06%를 나타냈다. 저수지 저수위 실측치와 모의결과 사이의 RMSE는 2012년에 0.45~1.34 m, 2013년에 0.40~1.27 m를 나타냈다.

나. 대상 저수지의 월별 용수공급량 실측치와 모의결과를 비교한 결과, 수정 DIROM 모형의 모의결과가 기존 DIROM모형의 모의결과보다 관개지구의 관행 물관리를 잘 반영하는 것으로 나타났다. 특히 5월과 7월의 용수공급량의 경우, 수정 DIROM 모형의 모의결과가 기존 DIROM모형의 모의결과보다 실측치에 근접한 결과를 나타냈다.

다. 대상 저수지의 순별 방류량 실측치와 모의결과를 강우 자료와 비교한 결과, 6월 말까지는 실측치와 모의결과가 유사한 결과를 나타냈으나, 7월 이후에는 저수지 상황을 고려한 실제 저수지 운영으로 인하여 실측치와 모의결과가 상이한 결과를 나타냈다.

본 연구에서 제안된 수정 DIROM 모형은 관개지구의 관행 물관리 방식을 반영하여 저수지 용수공급량을 산정하는데 유용할 것으로 판단된다. 그러나 실제 저수지 운영에는 관개지구의 용수수요량 뿐만 아니라 유입량과 저류량 상태가 반영된다. 따라서 보다 실질적인 저수지 운영을 모의하기 위해서는 관개지구의 관행 물관리뿐만 아니라 실제 저수지 운영 물을 반영하는 모의모형이 필요할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 한국농어촌공사 농어촌연구원의 “청기지구 농

“촌용수 관측관리시스템” 과제 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 깊이 감사드립니다.

REFERENCES

1. Im, S. J., Kang, M. G., Park, S. W., and Park, C. E., 2000. Surveying water supply from irrigation reservoirs in the Han River Basin. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 42(6): 37-44 (in Korean).
2. Ju, W. J., Kim, J. T., Park, K. W., and Lee, Y. J., 2006. Development of system for estimating water demand considering variation of farming conditions in paddy field. *The KCID Journal*, 13(1): 82-90 (in Korean).
3. Kang, M. G., Park, S. W., and Im, S. J., 1999. Monitoring and analyses of daily water uses from irrigation reservoirs. *Proceedings of the 1999 Korean Society of Agricultural Engineers Conference*: 111-116 (in Korean).
4. Kim, B. J. and Park, S. W., 1994. Optimal reservoir operation models for paddy rice irrigation with weather forecast (Ⅱ): model development. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 36(2): 44-55 (in Korean).
5. Kim, H. Y. and Park, S. W., 1988. Simulating daily inflow and release rates for irrigation reservoir (Ⅱ): modeling reservoir releases rates. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 30(2): 95-104 (in Korean).
6. Kim, S. J., Kim, P. S., and Lim, C. Y., 2004. Behaviour analysis of irrigation reservoir using open water management program. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 46(1): 3-13 (in Korean).
7. Lee, K. Y. and Kim, S. J., 2001. Development of the estimation system for agricultural water demand. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 43(1): 53-65 (in Korean).
8. Lee, N. H., Chung, H. W., and Park, S. W. 1991. Forecasting system-wide irrigation demands, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 33(1): 118-125 (in Korean).
9. Lee, Y. G., Kim, P. S., Kim, S. J., Jee, Y. K., and Joo, U. J., 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).
10. Lee, Y. G., Kim, S. J., Kim, P. S., Joo, U. J., and Yang, Y. S., 2006. Study on the effective calculation method of irrigation water in a paddy fields area. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 48(3): 11-20 (in Korean).
11. Ministry of Agriculture and Forest and Korea Rural Community Corporation (MAF and KRC), 2006. A study on proper management of agricultural canal system for efficient water use, Ansan, Korea (in Korean).
12. Ministry of Agriculture and Forest (MAF), 1997. A study on the water requirement variation with the farming conditions in the paddy field, Seoul, Korea (in Korean).
13. Nam, W. H., Choi, J. Y., Hong, E. M., and Kim, J. T., 2013. Assessment of irrigation efficiencies using smarter water management. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 55(4): 45-53 (in Korean).
14. Wu, Y., and Chen, J., 2013. Estimating irrigation water demand using an improved method and optimizing reservoir operation for water supply and hydropower generation: a case study of the Xinfengjian reservoir in Southern China. *Agricultural Water Management*, 116: 110-121.
15. Yoo, S. H., Choi, J. Y., Lee, S. H. Oh, Y. G., and Yun, D. K., 2013. Climate change impacts on water storage requirements of an agricultural reservoir considering changes in land use and rice growing season in Korea. *Agricultural Water Management*, 117: 43-54.
16. Yoo, S. H., Lee S. H., Choi, J. Y., and Park, T. S., 2012. Optimizing rules for releasing environmental water in enlarged agricultural reservoirs. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 42(6): 37-44 (in Korean).