



수리 · 수문설계시스템 및 비율보정계수 기법을 활용한 농업용 저수지의 홍수기 운영기준 평가

Evaluation of Agricultural Reservoirs Operation Guideline Using K-HAS and Ratio Correction Factor during Flood Season

정형모^a · 이상현^b · 김경환^c · 광영철^d · 최은혁^e · 윤성은^f · 나라^g · 주동혁^h · 유승환^{i,†} · 윤광식^j
Jung, Hyoung-mo · Lee, Sang-hyun · Kim, Kyoung-hwan · Kwak, Yeong-cheol · Choi, Eunhyuk · Yoon, Sungeun ·
Na, Ra · Joo, Donghyuk · Yoo, Seung-hwan · Yoon, Gwang-sik

ABSTRACT

Despite the practical limitations of calculating the amount of inflow and supply related to the operation of agricultural reservoirs, the role of agricultural reservoirs is gradually being emphasized. In particular, as interest in disaster safety has increased, the demand for preliminary measures to prepare for disasters has been rising, for instance, pre-discharging agricultural reservoirs for flood control. The aim of this study is to analyze the plans for the flood season reservoir operation considering pre-discharge period and water level limit. Accordingly, we optimized the simulation of daily storage using the ratio correction factor (RCFs) and analyzed the amount of inflow and supply using K-HAS. In addition we developed the drought determination coefficient (k) as an indicator of water availability and applied it for supplementing the risk level criteria in the Drought Crisis Response Manual. The results showed that it would be difficult to set the water level limit during the flood period in the situation of little water supply for flood control in agricultural reservoirs. Therefore, it is necessary to operate the reservoir management regulations after measures such as securing additional storage water are established in the future.

Keywords: Water availability; flood control; optimization; reservoir operation regulations

1. 서론

우리나라는 지난 30년간 인구증가, 도시화, 경제성장 등으로 인해 물 이용량 (생활 · 공업 · 농업용수)이 약 392% 증가했고, 특히 농업용수는 전체 용수 이용량의 61%를 차지하고 있으며 50년 전과 비교하여 약 3배 이상 증가 (45억³m³→152억³m³)한 것을 볼 수 있다 (MOLIT, 2016). 가뭄의 빈도나 강도는 점차 증가하고 농업용수의 관개용수 공급 목적 외 사용량은 지속해서 증가하고 있다. 기후변화와 농업정책 변화 등의 영향으로 농업용저수지의 관리를 위해서는 모니터링과 과학적 의사결정 등에 근거한 운영이 필연적이지만 현장에서는 경험적 관리에 의한 운영이 대부분 시행되어왔다. 국내 농업용저수지 17,147개소 중 한국농어촌공사 관리 3,400개소 저수지와 일부 시 · 군 관리 저수지만 저수율을 계측하고 있다. 특히 공사관리 저수지 3,400개소 중 계측하고 있는 저수지는 1,781개소이다 (KRC, 2020). 또한 저수지 관리에서 아주 중요한 요소인 유입량과 공급량은 계측이 아닌 추정치로 관리하는 것이 대부분이다.

국내 대부분의 농업용저수지 상류 유역은 미계측 유역으로 저수지 유입량 추정 시 수정 3단 Tank 모형을 이용하여 추정하고 있어 많은 불확실성이 존재한다 (Kim and Park, 1988; Sim et al., 2012). 기존의 공급량 연구에는 농업용수 수요량과

^a Manager, Agricultural Infrastructure Project Office, Korea Rural Community Corporation (KRC)

^b Assistant Professor, Department of Agricultural and Rural Engineering, Chungbuk National University

^c Manager, Jeonnam Regional Headquarter, Korea Rural Community Corporation (KRC)

^d Deputy Director, Large-scale Land Reclamation Office, Korea Rural Community Corporation (KRC)

^e Senior Researcher, Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation (KRC)

^f Director, Jeonbuk Regional Headquarter, Korea Rural Community Corporation (KRC)

^g Ph.D. Student, Department of Rural and Bio-Systems Engineering & BK21 Education and Research Unit for Climate-Smart Reclaimed-Tideland Agriculture, Chonnam National University

^h MS Student, Department of Rural and Bio-Systems Engineering & BK21 Education and Research Unit for Climate-Smart Reclaimed-Tideland Agriculture, Chonnam National University

ⁱ Associate Professor, Department of Rural and Bio-Systems Engineering & BK21 Education and Research Unit for Climate-Smart Reclaimed-Tideland Agriculture, Chonnam National University

^j Professor, Department of Rural and Bio-Systems Engineering & BK21 Education and Research Unit for Climate-Smart Reclaimed-Tideland Agriculture, Chonnam National University

[†] Corresponding author

Tel.: +82-62-530-5182, Fax: +82-62-530-2159

E-mail: yoosh15@jnu.ac.kr

Received: May 20, 2021

Revised: May 28, 2021

Accepted: July 07, 2021

관개 효율을 고려하여 연 단위 용수공급량을 모의하거나 관행 물관리와 DIROM 모형 적용을 통한 용수공급량 추정하고, 필요수량과 관개 효율을 고려한 공급량을 평가 등 저수지의 유입량과 공급량 추정을 위한 연구가 다양하게 이루어졌다 (Song et al., 2015; Kang et al., 2014; Ryu et al., 2018). 하지만 현재까지 농업용저수지의 운영은 기상·지형학적 특성에 따라 단일 저수지별 공급량 및 수요량 값이 다양하게 나타나며 기상·수문 현상의 불확실성으로 관행적 경험에 의존하여 수행되고 있다. 유입량 추정 또한 저수지 상류 유역의 불확실 요인으로 인하여 다양한 연구의 유입량 추정치는 현장에서 실제 사용하고 있지 못하는 실정이다.

Lee et al. (2020)은 비율보정계수 (RCFs, Ratio Correction Factors) 기법을 적용하여 국내 3개 농업용저수지의 저수량 모의 결과를 최적화하였다. RCFs는 Tank모형, 물수지모델과 같은 기존 모형을 사용하여 시뮬레이션한 농업용저수지의 유입, 유출량에 보정계수를 적용하고 계측된 일별 저수량과 비교·반복 계산하며 최적화계수를 결정하였다. 최종적으로 RCFs 최적화 값을 적용하여 계산된 유입, 유출량과 실제 저수량과의 상관관계를 비교했으며 최적화계수를 적용한 기후변화 시나리오에 따른 저수량 모의 결과를 통하여 미래시기 가뭄기간과 가뭄강도를 분석하였다.

한국농어촌공사 수리·수문설계시스템 (K-HAS; KRC Hydraulics & hydrology Analysis System)은 농업용저수지 설계를 위해 개발되었다. K-HAS는 수정 3단 Tank모형을 적용하여 논, 밭, 산림면적 비율과 유역면적으로 유입량을 계산하고, 작부시기, 수혜면적, 관개효율 등에 따라 필요수량을 계산하여 유입량, 필요수량으로 저수지 물수지분석을 실시하도록 구성된다. 유입량과 공급량을 동시에 계산할 수 있는 저수지 운영프로그램의 부재로 설계프로그램으로 개발된 K-HAS의 계산값을 저수지 운영에 적용하기 위한 다양한 시도가 있었으나, 물 관리 현장과의 시간적·공간적 제약으로 적용에 한계가 있었다. 모형의 가정인 경계조건에서는 수원공과 포장간의 시간 제약이 없어 포장에서 필요수량이 발생하면 즉시 소비되는 것으로 계산하며 설계 기준에 적용되는 관개효율 (송수손실, 배분관리손실 등)의 연구가 상당히 부족하여 직접 적용에 한계가 있었다 (MAFRA, 1998).

농업용저수지 운영과 관련한 유입과 공급량 산정에 현실적인 한계가 있음에도 불구하고 사회적으로 농업용저수지의 역할은 점차 강조되고 있다. 특히 2020년 역대 최장 (54일) 장마 기간 (KMA, 2020)으로 인하여 일반 국민, 행정안전부, 농식품부, 지자체 등은 재난 안전에 관심이 높아졌으며 치수 목적용수가 확보되지 않은 농업용저수지도 사전방류 등 재난대비 사전조치를 요구하고 있다. 또한 최근 통합물관리 정책으로

수질 (환경부), 수량 (국토부)으로 나뉜 물 관리 운영체계를 환경부로 일원화하며 하천유지용수 공급도 중요한 이슈로 대두되고 있다.

이번 연구에서는 한국농어촌공사에서 설계프로그램으로 널리 사용하고 있는 K-HAS를 활용하여 계산한 유입량, 공급량에 비율보정계수 최적화 방법을 이용하여 일별 저수량을 추적하고, 치수를 위한 사전방류 기간과 제한수위 등 시나리오 설정을 통한 저수지 운영방안을 제시하고자 한다.

II. 재료 및 방법

본 연구에서는 이수 및 치수관리를 위한 저수지 운영방안을 마련하기 위하여 Fig. 1과 같이 연구방법을 설정하였다. 먼저, 비율보정계수를 도출하기 위하여 기상, 유역, 토지이용 현황, 관개 지역 데이터를 토대로 유입량은 유역모형 (tank model), 필요수량은 관개모형 (irrigation model)이 적용된 K-HAS를 활용하여 물수지분석을 실시하였다. 두 번째, 계산된 유입량, 필요수량은 일별 저수량을 계측자료와 비교, 반복 연산으로 일별 비율보정계수로 최적화하였다. 마지막으로 최적화된 일별 비율보정계수는 분석의 전 기간에 적용하여 최적화 시뮬레이션 모델의 적용 가능성을 검토하였다. 또한 확정된 시뮬레이션 모델은 저수지 관리규정에 따른 홍수기간 제한수위의 적정성 검토를 시행하여 홍수기간 제한수위 운영

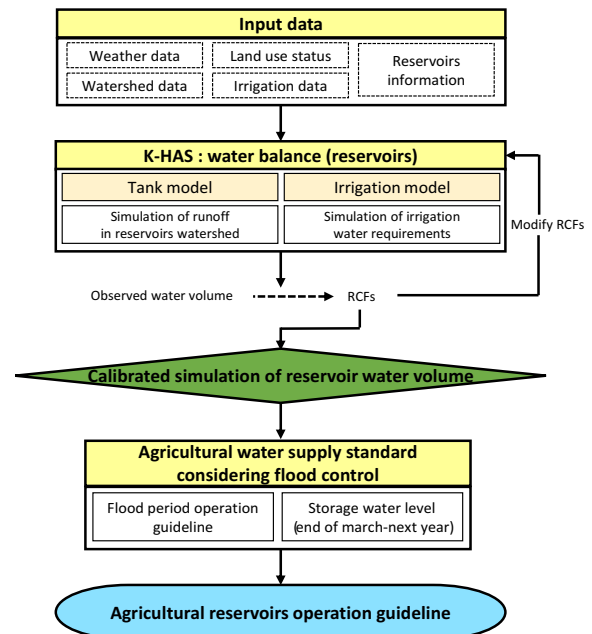


Fig. 1 A flowchart of the process for evaluation of agricultural reservoirs operation guideline using K-HAS and ratio correction factor

이 농업용수 확보에 미치는 영향을 분석하였다.

1. 대상저수지

분석대상 저수지는 한국농어촌공사가 관리하는 영산강 유역 내 저수지 중에서 매년 저수율 품질관리를 시행하여 농업 기반시설관리시스템 (RIMS; Rural Infrastructure Management System)을 통해 공개하고 있는 10만³ 이상 저수지 (자동수위계측기 설치)와 이들 중 2019~2020년 2년간 「자동수위계측정보를 활용한 농업용수 공급량 산정」 연구에 활용된 저수지 13개소를 1차 분류하였으며, 치수를 고려한 홍수기간 저수지 사전방류능력을 검토하기 위하여 사전방류시설이 설치된 독

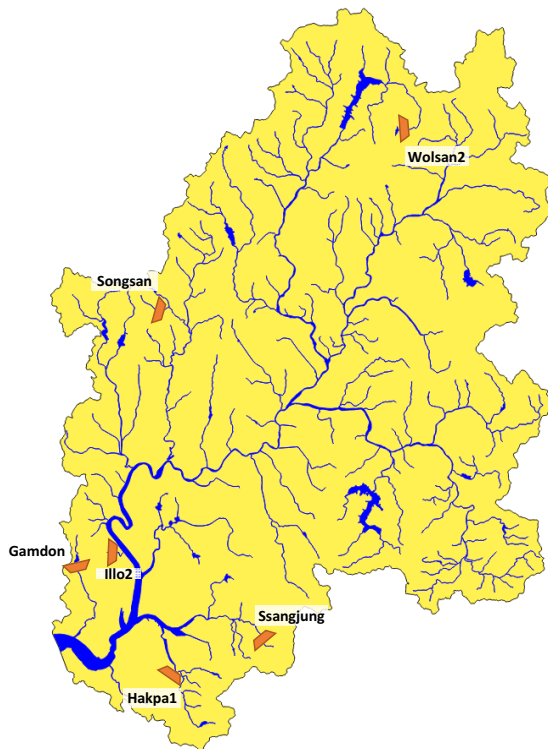


Fig. 2 Location of target reservoirs in this study

높임저수지를 제외한 6개소를 최종 선정하여 분석하였다.

2. 입력자료 구축

유역모형 분석을 위한 눈, 밭, 산림 및 저수지 만수면적은 저수지별 토지이용도를 활용하여 저수지 유입량 추정을 위한 입력자료를 구축하고, 관개모형 분석에 사용된 입력자료는 RIMS에서 제공하는 관개면적 (ha), 수로손실 (%), 일침투량 (mm/day), 최소·최대 담수심 등을 사용하였다. 물수지분석을 위한 저수지 내용적은 시설별 내용적 측량자료, 강우분석에 필요한 기상관측소는 유역과의 거리, 관측연수, 표고, 수계에 의한 유역 분리 등 종합적으로 고려하여 저수지별 기상정보를 수집하였다.

실측 저수율은 저수지에 설치된 자동수위계측기를 활용하여 데이터를 매일 업데이트하고 있으며 현재 RIMS의 측정데이터는 홈페이지를 통해 실시간 외부에 공개하고 있다. 따라서 RIMS의 시스템 구축기간 (2003~2008년)과 K-HAS 분석 가능 기간을 고려하여 유의미하게 수위자료 수집이 시작된 시점과 수리시설개보수, 지표수보강개발사업 등 농업생산기반정비사업에 따라 저수지의 제원이 바뀌는 최종시점을 고려하여 Table 1과 같이 분석기간을 설정하였다.

3. 저수지 시뮬레이션 최적화 알고리즘

가. 이수기간 방류량을 고려한 최적화 알고리즘

본 연구에서는 Lee et al. (2020)이 제안한 RCFs 기법을 활용하여 농업용저수지 저수량 모의 결과를 최적화하였다. 이 RCFs 기법을 통한 최적화 알고리즘은 독립변수는 수치모형에 의한 유입량, 유출량으로, 종속변수는 실측된 저수량으로 단순화한 최적화 기법으로, 산출되는 RCFs a, b, c, k 이며, 목적함수는 식 (1)과 같다.

$$\hat{S}_i = \widehat{S}_{i-1} + c \times I_{i-1} - (a \text{ or } b) \times O_{i-1} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \hat{S}_i &= S_{\max} \quad (\hat{S}_i \geq S_{\max}) \\ &= S_{\min} \quad (\hat{S}_i \leq S_{\min}) \end{aligned} \quad (2)$$

Table 1 Setting the analysis period considering the reservoir specifications

Reservoir name	Analysis period	Watershed area	Benefit area	Total storage	Effective storage
Wolsan2	2009-2020	710.0	204.4	1,191.8	1,185.9
Gamdon	2010-2020	1,005.0	133.1	1,728.0	1,692.0
Illo2	2009-2020	560.0	326.0	1,636.0	1,623.0
Ssangjung	2009-2020	837.0	284.5	1,264.0	1,138.0
Hakpa1	2009-2020	947.0	426.0	2,453.9	2,453.9
Songsan	2005-2020	476.0	167.8	2,251.8	2,233.0

Table 2 Water level limit scenarios during flood period

Flood period	Limit level	Scenario	Flood period	Limit level	Scenario
6.21~9.20 (3 months)	80%	CASE1-80%	6.21~8.20 (2 months)	80%	CASE2-80%
	85%	CASE1-85%		85%	CASE2-85%
	90%	CASE1-90%		90%	CASE2-90%
	95%	CASE1-95%		95%	CASE2-95%

여기서, S_i 일별저수량, S_{max} 유효저수량, S_{min} 사수량, I_i 일별유입량, O_i 일별방류량, a (저수위, 가뭄시 공급계수), b (고수위, 평시 공급계수), c (유입계수), k (가뭄결정계수) 이다.

해당 알고리즘은 K-HAS 계산값과 예측값의 범위를 고려 하였으며, 공급량은 K-HAS 계산값에 공급계수 ($0.1 \leq a \leq 1.0$, $1.0 \leq b \leq 2.0$)를, 유입량은 K-HAS 계산값에 유입계수 ($0.1 \leq c \leq 2.0$)를 적용하여 저수량 모의 결과를 최적화하였다. 또한 현장의 저수지관리 패턴을 고려하여 저수위 (a)와 고수위 (b)를 구분하는 기준으로 가뭄결정계수 (k)를 설정하였다.

나. 홍수기간 제한수위를 고려한 최적화 알고리즘

치수 목적용수가 확보되지 않은 저수지에서 홍수기간 저수지별 사전방류할 경우 농업용저수지 고유목적인 차 년도 3월 말 목표수위 도달여부 (80%)를 평가하기 위하여 최적화 목적 함수에 치수제한수위 시나리오를 설정하였다.

시나리오는 농업생산기반시설관리규정에서 정하는 홍수 전체기간 (6.21~9.20) 동안 제한수위를 운영하는 경우 (CASE1)와 홍수기간을 1개월 단축 (6.21~8.20)하여 운영하는 경우 (CASE2)로 구분하여 분석하였으며, 제한수위를 농업 생산기반시설관리규정에 따른 80%에서 95%까지 5% 단위로 조정해가며 도출된 이수 목적함수에 8가지 시나리오별 제한 수위를 설정하여 저수지의 회복능력을 검토하였다.

$$\hat{S}_i = S_{\max(flood-lim)} (\hat{S}_i \geq S_{\max(flood-lim)}) \quad (3)$$

여기서, $S_{\max(flood-lim)}$ 는 제한수위 (CASE1-80%~CASE2-95%)의 홍수기간별 일별 저수량이다.

III. 결과 및 고찰

1. 이수를 고려한 공급량 최적화모델 개발

K-HAS의 유입량, 필요수량 (공급량)의 계산 결과를 독립 변수로 수십 년간의 물관리를 통해 농업용저수지의 총저수량, 수혜면적, 유역면적, 보조수원공의 유무 등 물리적 특성과 저

수지관리 노하우, 물 관리 관행 등 인위적 특성이 반영된 기지 (既知) 저수율을 종속변수로 목적함수를 최적화하였다. 자동 수위계측기를 통한 계측결과, K-HAS 계산 결과, 최적화 함수 적용결과는 Fig. 3과 같다.

월산2, 감돈, 일로2, 쌍정, 학파1, 송산저수지 (좌상단에서 우하단 순서)에서 K-HAS를 통해 계산된 저수량보다 최적화 목적함수를 이용하여 비율보정계수를 적용한 저수량에서 기존 실측 저수량과 더 유사하게 저수량을 추적하는 것을 볼 수 있다. 최적화를 분석한 결과 월산2저수지의 경우 2013, 2017, 2020년 하절기의 과다한 사전방류로 인하여 저수량 회복이 늦어졌으며, 감돈저수지는 2019년 태풍내습에 따른 사전방류로 인하여 저수량 회복이 지연되었다. 송산저수지는 2016년 수리시설개보수사업으로 인위적인 방류가 있는 기간 목적함수와 실측값에서 일부 차이를 보이는 것으로 분석되었다.

실측저수율과 최적화 전·후의 상관계수 (R^2), 효율성계수 (NSE), 오차분석 (RMSE) 결과도 모두 개선된 것을 확인할 수 있었다. 또한 Table 3의 k 을 제시함으로써 그동안 관행으로 관리하거나, 가뭄위기대응매뉴얼 (KRC)에 의하여 매일 달라지는 연평균 일평균저수율의 70~40%까지 복잡하고, 유동적으로 운영하는 저수지 운영·관리를 단순하게 k 수준에서 물 절약과 용수확보대책을 수립함으로써 물수지 균형을 이룰 수 있음을 분석하였다. 제시된 k 은 Fig. 4와 같이 가뭄위기대 응매뉴얼의 관심, 주의, 경계 단계 수준에서 결정되고 있으며, 복잡한 운영규정에서 벗어나 1개의 저수율로 사전에 추가 용수대책을 수립하는 손쉽고, 직관적인 저수지 운영이 가능할 것으로 판단된다.

2. 치수를 고려한 저수지 사전방류 기준 평가

저수지 시설관리자는 홍수기간 저수지 제한수위 설정 (시설별 저수지 관리규정)을 통해 집중호우 및 장마기간 저수지의 안정성을 확보하고자 하지만 저수지의 고유목적인 농업용수 확보, 즉 차 년도 3월까지 저수율 80%를 확보하기 위해 홍수기간 사전방류를 쉽게 결정할 수 없다. 따라서 홍수 목적 용수가 확보되지 않은 저수지를 대상으로 홍수기간을 변경하며 운영하는 시나리오 (CASE1: 6.21~9.20, CASE2: 6.21~

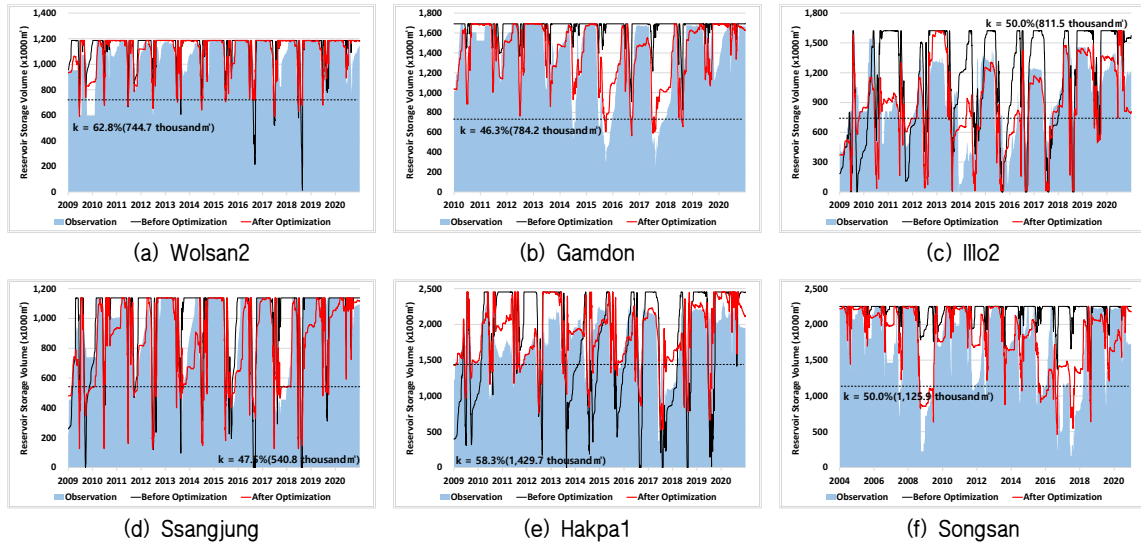


Fig. 3 Simulation of water storage capacity of target reservoirs before and after calibration using RCFs

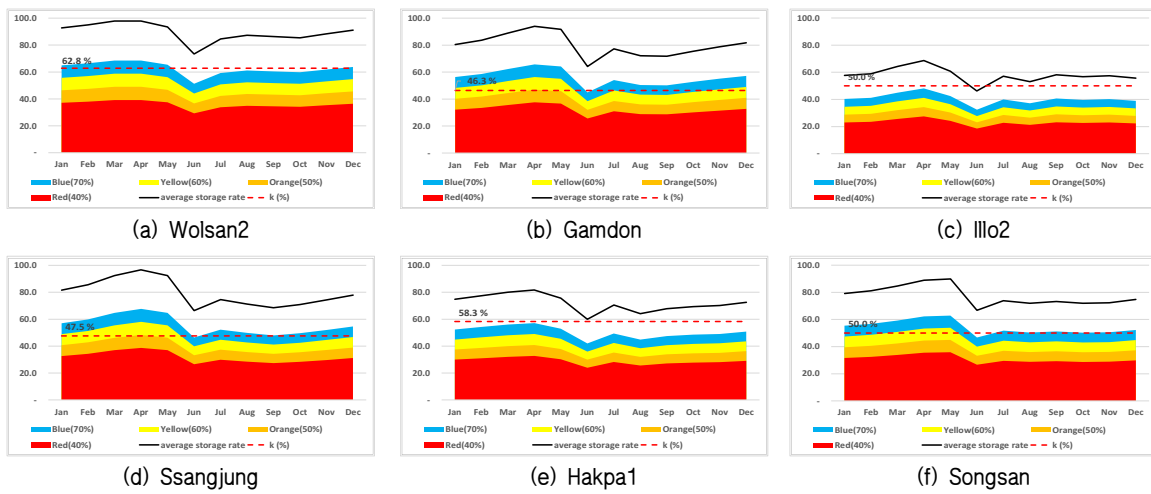


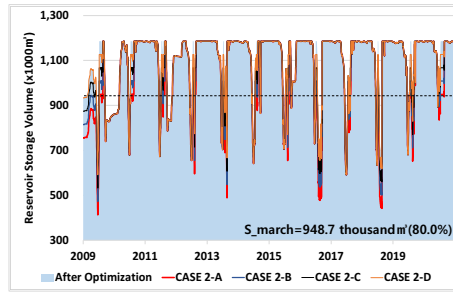
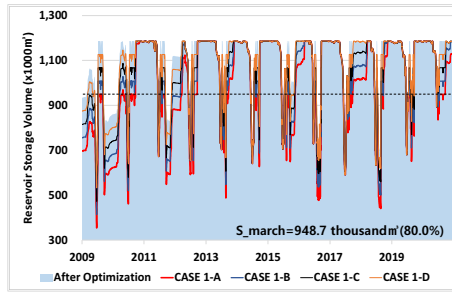
Fig. 4 Comparison of crisis response manual and operation guideline

Table 3 Comparison of measured and simulated reservoir water volume to evaluate the accuracy of RCF calibration

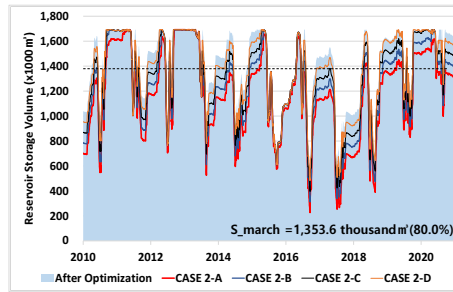
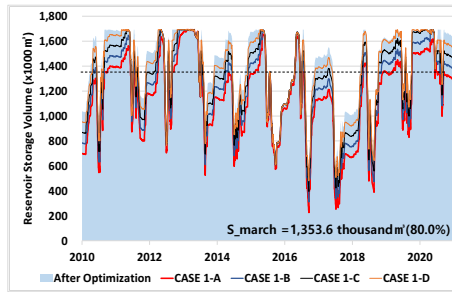
Facility name	Before optimization			After optimization			
	R^2	NSE	RMSE	R^2	NSE	RMSE	k
Wolsan2	0.304	-0.010	160.4	0.598	0.516	111.1	62.8%
Gamdon	0.112	-0.489	446.6	0.716	0.707	198.1	46.3%
Illo2	0.261	-0.844	493.7	0.491	0.301	303.9	50.0%
Ssangjung	0.423	0.191	235.9	0.654	0.557	174.5	47.5%
Hakpa1	0.279	-1.680	622.3	0.404	0.075	365.5	58.3%
Songsan	0.274	-0.542	687.9	0.629	0.595	352.8	50.0%

8.20)와 홍수기 제한수위를 변경하며 운영하는 시나리오 (95, 90, 85, 80%)를 설정하여 총 8가지 시나리오를 분석하였다.

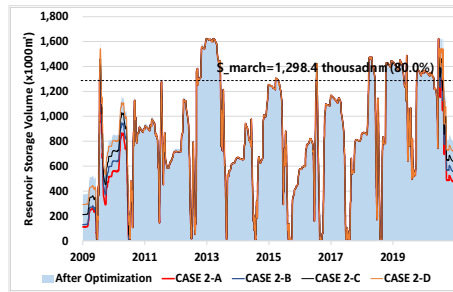
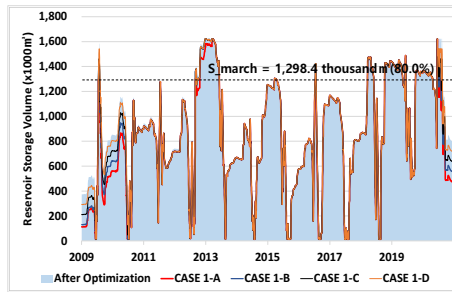
Fig. 5 (좌)는 저수지관리규정에서 정하는 홍수기간 (6.21 ~ 9.20)동안 제한수위를 80~95%까지 5%씩 변경하며 분석한



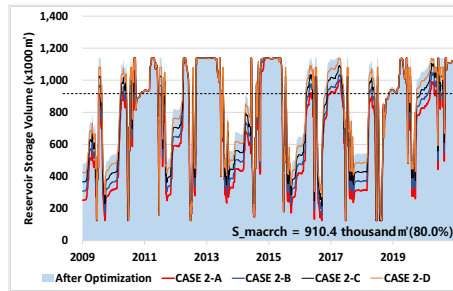
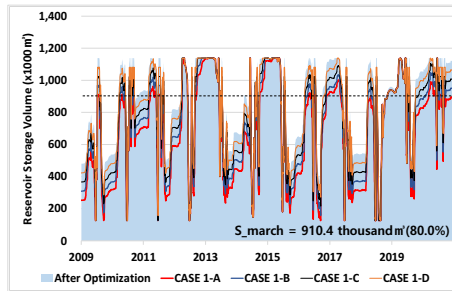
(a) Walsan2



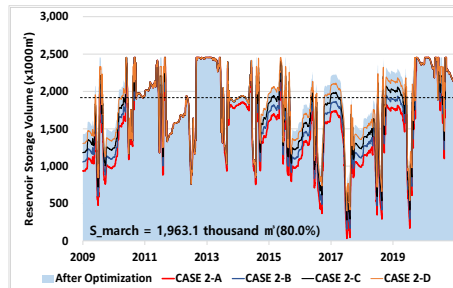
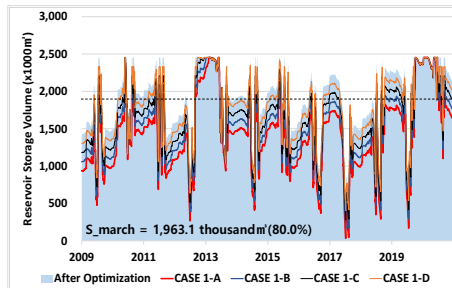
(b) Gamdon



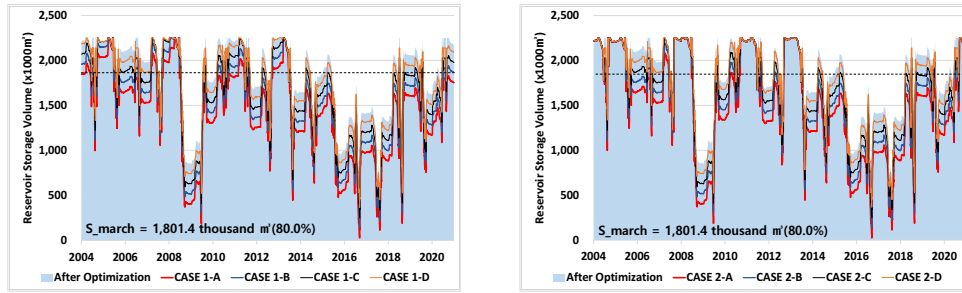
(c) Illo2



(d) Ssangjung



(e) Hakpa1



(f) Songsan

Fig. 5 Reservoir analysis results by flood period and water level limit scenarios (left: from 6,21 to 9,20, right: from 6,21 to 8,20)

것이다. 분석결과 95%에서 80%로 제한수위를 낮춰 운영할 경우 한번 사전배제한 저수량이 회복하는데 상당한 시일이 걸리는 것을 볼 수 있다. 월산2저수지는 차 년도에 기존 저수율을 회복하는 횟수와 회복하지 못하는 횟수가 비슷하게 나타났으나, 감돈, 쌍정, 송산저수지는 기존의 저수율을 회복하는 경우가 없거나 미비하였으며, 일로2저수지는 저수량이 부족하여 이수 목적 용수공급만 하더라도 홍수기간 80%를 넘어 사전 배제하는 사례는 없었다. 일로2저수지와 마찬가지로 학파1저수지는 2013년 사전방류의 영향이 2020년까지 미쳐 홍수기간 사전방류를 운영했을 경우 2014~2019년까지 농업용수 부족에 시달릴 것으로 예측되었다.

Fig. 5의 홍수기간 운영을 6.21~9.20 (좌)과 6.21~8.20 (우) 운영하는 경우와 비교하면 월산2, 학파1저수지를 제외하고 4개의 저수지에서 홍수기간 조정 운영의 효과가 미비한 것으로 분석되었다. 다만 월산2저수지는 용수가 풍부하여 기존의 저수율로 회복되는 경우가 두 가지 CASE에서 모두 나타났고 학파1저수지는 두 가지 CASE에서 기존 저수율로 회복되는 경우가 있었으나, 절대 저수량이 부족하여 사전방류 운영이 불가능한 것으로 분석되었다.

치수를 고려한 저수지 사전방류 운영 시나리오를 검토한 결과 홍수기 제한수위를 올려서 운영하는 것이 홍수기간을

단축해서 운영하는 것보다 효과적인 것으로 분석되었다. 이것은 치수 목적용수가 확보되지 않은 저수지의 경우 홍수기라 하더라도 사전방류를 최소로 운영하여야 함을 보여준다.

Table 4는 차년도 3월 말까지 80% 저수율 확보를 위하여 운영 가능한 시나리오이다. 월산2저수지는 3월 말 기준 80% 미만 저수율 확률을 10년 빈도로 제한할 경우 CASE1은 제한수위를 90%로, CASE2는 80%로 운영이 가능하다. 3월 말 기준 연평균 80% 이상으로 운영할 경우 CASE1은 제한수위 80% 즉 전체 CASE에서 만족하는 것으로 분석하였다. 반면 3월 말 기준 80% 미만 저수율을 10년 빈도로 제한할 경우 나머지 저수지는 전체 CASE에서 운영 불가능한 것으로 분석되었다.

IV. 결론

본 연구의 결과를 요약하면 첫째, 이수를 고려한 최적 물관리 운영방안에서 K-HAS를 통해 계산된 유입량과 필요수량을 일별저수율 예측값과 비교를 통해 공급량 최적화 모델을 제시하였다. 최적화 모델은 기존 K-HAS를 통해 산정된 저수율보다 실측치를 잘 반영하는 것으로 나타나 저수지 유입량과

Table 4 Suggestion of operation guideline for each reservoir during flood season

Facility name	Simulation target water level (end of march)		Eligible guideline		k
	10-year return period	Average water level	10-year return period	Average water level	
Wolsan2	71.9%	94.8%	CASE 1-90% CASE 2-80%	CASE 1-80%	62.8%
Gamdon	60.2%	78.5%	NONE	CASE 1-85%	46.4%
Illo2	25.1%	67.7%	NONE	NONE	50.0%
Ssangjung	49.4%	81.0%	NONE	CASE 1-80%	47.5%
Hakpa1	45.2%	64.6%	NONE	NONE	58.3%
Songsan	39.3%	75.0%	NONE	CASE 1-90% CASE 2-85%	50.0%

유출량을 예측하는데 더 효과적인 것으로 판단된다. 또한 가뭄결정계수 (k)을 활용하여 저수지를 운영한다면 용이한 저수지 관리가 가능할 것으로 판단된다.

둘째 치수를 고려한 홍수기간 저수지 사전방류 가능성을 평가한 결과 영산강 상류부에 위치하여 관개면적 대비 저수량이 풍부한 일부 저수지 (월산2)를 제외하고 설치 당시 이수 목적 위주의 설계로 치수 목적용수가 확보되지 않은 농업용 저수지는 홍수기간 사전방류 운영이 불가능한 것 (차년도 농업용수 공급에 차질)으로 분석되었다. 다만 저수지관리규정을 변경하여 운영하고자 할 때는 홍수기간 (6.21~9.20)과 제한수위 (80% 수준)를 재평가 및 추가용수 확보대책을 마련한 후 조정하여 운영할 필요성이 있었다.

향후 연구에서는 산출된 각종 비율보정계수를 통해 미래 기후변화시나리오를 적용하여 미래의 공급량을 예측하는데 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 기후변화시나리오, 논·밭 면적의 변화, 범용화율, 농촌 지역 생활·공업용수 등 현재의 통합물관리 이슈를 반영하여 미래 농어촌용수의 공급량을 예측하고 용수의 추가확보 및 운영관리에 활용할 수 있을 것이다. 하지만 이번 연구는 농업용저수지 운영규정이 확립되지 않은 상태에서 과거 기상 및 저수율 계측자료를 기반으로 비율보정계수를 추정하고 있어 불확실성이 내포되어 있다고 할 수 있다. 따라서 다양한 유역 및 관개지역의 계측자료를 기초로 한 운영규정이 확립되기 전까지 한시적으로 적용하여 농업용수 공급량 산출의 보조적 수단으로 활용 가능할 것이다.

감사의 글

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 농촌현안해결리빙랩프로젝트의 지원을 받아 연구되었음 (120099-03).

REFERENCES

1. Kang, M. G., S. T. Oh, and J. T. Kim, 2014. Estimation of amounts of water release from reservoirs considering customary irrigation water management practices in paddy-field districts. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 56(5): 1-9 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2014.56.5.001.
2. Kim, H. Y., and S. W. Park, 1988. Simulating daily inflow and release rates for irrigation reservoirs (I): modeling inflow rates by a linear reservoir model. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 30(1): 50-62 (in Korean).
3. Kim, H. Y., and S. W. Park, 1988. Simulating daily inflow and release rates for irrigation reservoirs (II): modeling reservoir release rates. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 30(2): 95-104 (in Korean).
4. Kim, H. Y., and S. W. Park, 1988. Simulating daily inflow and release rates for irrigation reservoirs (III): model application to daily reservoir operations. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 30(3): 95-105 (in Korean).
5. KRC (Korea Rural Community Corporation), Rural Infrastructures Management System. <https://www.alimi.or.kr/dataview/a/waterStatus/selectYsNationalAggregate.do>. Accessed 31 Dec. 2020.
6. Lee, S. H., S. T. Shin, J. Y. Choi, J. H. Park, and S. H. Yoo, 2020. Assessing the resilience of agricultural reservoirs in ungauged catchments under climate change using a ratio correction factors-based calibration and run theory. *Water* 12(6): 1618. doi:10.3390/w12061618.
7. MAFRA (Ministry of Agriculture Food and Rural Affairs), 1998. Agricultural production infrastructure planning design standards (irrigation).
8. KMA (Korea Meteorological Agency), 2020. Weather characteristics in summer 2020. Press release.
9. MOLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transport), 2016. Water resource long-term comprehensive plan (2001~2020, 3rd revision).
10. Ryu, J. H., J. H. Song, S. M. Kang, J. S. Jang, and M. S. Kang, 2018. Impact of water management techniques on agricultural reservoir water supply. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 60(2): 121-132 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2018.60.2.121.
11. Shim, J. H., P. S. Kim, S. J. Kim, H. J. Kwon, and H. J. Park, 2012. Study on water management systems on agricultural water demand and supply by measuring. *Journal of Korea Water Resources Association Academic presentation*: 628-632 (in Korean).
12. Song, J. H., I. H. Song, J. T. Kim, and M. S. Kang, 2015. Simulation of agricultural water supply considering yearly variation of irrigation efficiency. *Journal of Korea Water Resources Association* 48(6): 425-438 (in Korean). doi:10.3741/JKWRA.2015.48.6.425.
13. Sugawara, M., 1979. Automatic calibration of the tank model. *Hydrological Sciences Bulletin* 24(3): 375-388.