



K-HAS와 비율보정 계수를 이용한 농업용 저수지의 비상연계 용수공급 가능량 분석

Analysis of the Emergency Water Supply Capacity in Agricultural Reservoirs Using K-HAS and Ratio Correction Factors

김하영^a · 이상현^{b†} · 나라^c · 주동혁^d · 유승환^e

Kim, Hayoung · Lee, Sang-Hyun · Na, Ra · Joo, Donghyuk · Yoo, Seung-Hwan

ABSTRACT

As the frequency of drought increases due to climate change, water scarcity in agriculture would be a main issue. However, it seems difficult to solve the water scarcity by securing alternative water sources. The aim of this study is to analyze optimal water supply capacity of agricultural reservoir for emergency operation connecting reservoirs and dams. First, we simulated the water storage of agricultural reservoir playing the role emergency water supplier to other water facility such as dams and other reservoirs. In particular, the results of simulation of water storage through K-HAS model was calibrated using the optimization process based on ratio correction factors of outflow and inflow. Finally, the optimal amount of water supply securing water supply reliability in emergency interconnection operation was analyzed. The results of this study showed that Janchi reservoir could supply 12.8 thousand m³/day maintaining 90 % water supply reliability. The result of this study could suggest the standard for connecting water facilities as emergency water supply.

Keywords: Emergency water; reservoir; K-HAS; reliability

1. 서론

기후변화의 영향으로 가뭄의 발생빈도가 증가하여 새로운 용수공급의 안정성 확보 방안이 시급하다. 2014~2017년에 걸쳐 예년 대비 낮은 강수량으로 2017년에는 보령댐과 평림댐의 저수량 감소로 생활용수 공급까지 제한하는 등의 극심한 가

뭄을 겪었으며, 급수체계 조정 및 도수로 건설 등을 통해 극복한 바 있다 (국가가뭄정보통계집, 2021). 신규 수자원 개발은 사회적 갈등 및 적지 감소 등으로 인해 한계가 있어 댐, 저수지, 광역상수도 등의 수자원 시설 간 연계 및 기존 유휴저수지 활용 등 새로운 수자원 공급원 및 연계 체계 구축 마련이 필요하다.

농업용 저수지의 용수공급에 관한 연구는 다양한 방면에서 진행되어왔다. 먼저, Lee and Noh (2010)은 독농이기 저수지인 백곡저수지의 이수관리 곡선을 작성하고 기존 저수지의 관개용수 공급 능력 평가 및 확보된 추가저수량에 따른 하천 유지유량의 공급 가능성을 평가하였으며, Noh and Lee (2011)은 저수지 유역배율이 다른 독농이기 저수지를 대상으로 관개용수와 하천유지용수를 동시에 공급할 경우를 산정하여 이수관리곡선을 작성한 후 저수지의 정상운영 및 이수관리 운영에 의한 하천유지용수 공급능력을 추정한 바 있다. Kim et al. (2011)은 농업용저수지의 하천유지용수 공급 방안을 제시하기 위해 저수지 물수지와 하천유지용수 방류 시나리오 기준을 작성하여 경남 고성 지역의 하이저수지에 적용하고 하루 소하천의 수리학적 영향을 고려한 환경용수 방류능력을 평가하였고, Yoo et al. (2012)은 낙동강, 영산강, 금강수계에 위치한 독농이기 저수지 각 1개소를 대상으로 농업용수 추가 확보 및 갈수기 환경용수 방류를 위한 운영기준을 설정한 후 비관개기와 관개기 각각의 환경용수 방류기준 곡선과 기준 방류량

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

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

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

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

^e Associate 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.: +81-43-261-2574, Fax: +81-43-271-5922

E-mail: sanghyun@chungbuk.ac.kr

Received: December 02, 2022

Revised: January 26, 2023

Accepted: February 01, 2023

을 도출하였다. Lee et al. (2013)은 낙동강 수계 4개 독높이기 농업용저수지의 운영기준에 따른 환경용수 방류패턴 분석을 통해 건천화 방지를 위한 추가저수량의 효율적이고 계획적인 환경용수 활용 가능성을 평가하였다. Park et al. (2019)은 동북천을 대상으로 농업용 저수지를 이용하여 하천유지유량 및 환경생태유량 확보를 위한 최적 규모와 경제적 비용을 분석 및 비교하였다.

금강권역은 금강유역 뿐만 아니라 금강서해, 삼교천, 만경·동진강 유역까지를 포함해 총 4개의 대권역으로 구성된 우리나라에서 3번째로 큰 하천유역이다. 금강유역에 용담댐과 대청댐, 금강서해 유역에 보령댐, 만경강에 부안댐 등 4개의 다목적댐이 위치하며, 대아저수지, 예당저수지, 탐정저수지 등 1천만^m 이상의 저수용량을 가진 농업용저수지 13개, 위도, 칠은, 궁촌댐 등 식수전용댐 3개가 위치한다. 금강권역 수자원 이용량 (59.3억^m)의 75.5%가 농업용수로 사용되고 있으며, 생활용수 19.0%, 공업용수 5.5% 순으로 이용량을 차지하고 있다 (하천유역조사보고서, 2018).

금강권역은 충남서부지역의 상습적인 가뭄피해가 발생하는 지역이며, 금강하굿둑 개방에 대한 군산시와 서천군 사이의 지역 갈등문제, 새만금의 수질개선을 요구하는 전북지역과 금강의 수질악화를 우려하는 충청지역간의 갈등이 존재한다.

영산강권역은 상수원이용과 호남평야에 농업용수를 공급하기 위하여 관리되어 왔지만, 1980년대 이후 도시화 및 산업화를 겪으면서 수질오염이 심화되었으며 현재까지 4대강 중 가장 심각한 수질오염 문제를 겪고 있다. 영산강유역은 연 평균 이용가능한 수자원의 총량은 약 5.7억^m으로 우리나라 내륙 5대 권역별 연평균 이용 가능한 수자원 총량 중 가장 작은 수자원 용량을 가지고 있다 (김용원 등, 2020).

이러한 물문제를 해결하기 위해 섬진강유역의 섬진강댐, 동복댐, 보성강댐, 주암댐, 수어댐 등에서 영산강권역, 섬진강 남해권역, 동진강권역 등으로 용수의 80%를 공급하고 있어 이용체계가 복잡하고, 상당량의 유역 외 물공급으로 인해 실제 섬진강에 필요한 하천유량의 공급은 부족할 실정이다.

이처럼 금강·영산강·섬진강권역은 수자원 이용에 심각

한 갈등 및 문제를 겪고있지만, 다양한 이해관계, 적지감소, 환경 문제, 사회적 패러다임의 변화 등으로 댐 건설이나 대규모 신규 수자원 확보 등의 방법으로는 유역 내 현황을 해결할 수 없다고 판단된다. 2018년 6월에 개정된 하천법에서는 댐과 보 등의 하천시설 및 독높임 농업용저수지 등 하천시설의 연계운영에 대해 규정하고 있다. 시설의 연계운영을 통해 하천의 기능보전과 효율을 증진하고 홍수, 갈수 및 수질악화로 인한 피해를 줄여 모든 국민이 수자원 이용에 따른 혜택을 고루 향유해야 함을 명시하고 있다.

따라서 본 연구에서는 금강·영산강·섬진강권역의 용수 공급 안정성 확보를 위해 권역 내 위치하고 있는 댐, 저수지, 광역상수도 등 이수관련 시설들의 용수공급능력을 평가하고, 시설간 연계를 통해 보다 효과적인 용수 활용 방안을 제안하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 비상연계 대상저수지

본 연구에서는 효율성과 안정성을 핵심 선정 기준 및 평가 지표로 설정하여 비상연계 대상저수지를 선정하였다. 먼저, 효율성 기준의 평가지표는 효율적인 물공급과 관련된 지표로 댐 (다목적댐, 용수전용댐)과 광역상수도 시설에서 농업용저수지까지의 거리 및 댐 유역 내 위치, 농업용저수지의 유효저수용량을 기준지표로 설정하였다. 안정성 기준의 평가지표는 극한 가뭄 등의 비상시 안정적인 물공급 연계가 가능하도록 하기 위한 지표이며, 수해면적에 대한 유역면적의 비율인 유역배율, 수해면적에 대한 유효저수용량의 비인 단위저수량, K-HAS 분석을 통한 저수지의 여유수량을 기준지표로 설정하였다.

위에서 산정한 평가지표를 바탕으로 선정한 30개 대상저수지 중 장치저수지는 전라남도 화순군 이양면 장치리 217에 위치하고 있으며, 총 저수량 5,473.7천^m(유효저수용량 5,484.7천^m)으로 1978년도에 준공되었고, 설계당시 수해면적은 347.0ha인 농업용저수지이다 (Table 1).

Table 1 Characteristics for Jangchi reservoir

Stream	Location	Watershed			Reservoir			
		Watershed area (km ²)	Irrigation area (km ²)	Watershed ratio	Normal water level (EL.m)	Restricted water level (EL.m)	Total water storage volume (10 ⁴ m ³)	
							Effective water storage capacity	Dead water storage capacity
Seomjin River	Jangheung	18.2	3.5	5.3	104.2	123.5	5.5	0.0

*Watershed ratio: Watershed area/Irrigation area

2. K-HAS 모형의 물수지 분석 방법

본 연구에서는 금강·영산강·섬진강 권역의 용수공급 안정성 확보를 위한 권역내 이수관련 시설들의 용수 활용방안 마련을 위해 먼저, 한국 농어촌공사에서 개발한 수리·수문 설계시스템 (K-HAS; KRC Hydraulics & hydrology Analysis System)을 사용하여 농업용저수지의 여유수량을 분석하였다. K-HAS는 DIROM (Daily Irrigation Reservoir Operation Model)모형을 엔진으로 사용하는데, DIROM 모형은 농업용저수지의 유입량을 모의하기 위하여 SUGAWARA (1978)의 Tank 모형을 국내 농업용저수지의 유역특성에 맞게 수정한 것으로 농업용저수지의 일별 유입량과 공급량을 모의할 수 있는 일 유출량 추정모형이다 (Anh, 2013; Kim and Kim,2012; MAFRA, 2015).

DIROM 모형의 강우-유출관계는 1단 TANK를 유출성분 중 지표유출, 2단 및 3단은 각각 중간유출 및 기저유출을 개념화한 것이다. 1단 TANK의 유출공을 2개로 한 것은 홍수 유출시 오차를 1개월 때보다 감소시키기 위한 것이고, 3단 TANK의 유출공 높이를 0으로 한 것은 강우가 없는 경우의 초기 기저유출량을 표현하기 위한 것으로 저류수심 ST가 항상 유출공의 높이보다 높아야하기 때문이다. 따라서 DIROM 모형의 유역유출량은 일별 강우량으로부터 다음 식 (1)과 같이 산정한다 (Ahn et al., 2015; Lee, 2012).

$$Q_{ij} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (ST_{i,t} - H_{ij}) A_{ij} \quad (1)$$

여기서, Q_{ij} 는 t일의 총유출량 (mm), i는 TANK의 수, j는 TANK의 유출공수, ST_i 는 i번째 TANK의 저류수심 (mm), H_{ij} 는 i번째 TANK 탱크의 j번째 유출공의 높이 (mm), A_{ij} 는 유출공의 단면적 (무차원)이다. 저류수심 $ST_{i,t}$ 는 단위시간 t에 따라 식 (2)와 같이 계산한다.

$$ST_{i,t} = ST_{i,t-1} + R_t - E_t - I_{i,t} - Q_{i,t-1} \quad (2)$$

여기서, $ST_{i,t-1}$ 는 t-1일의 i번째 탱크수심 (mm), R_t 는 t일

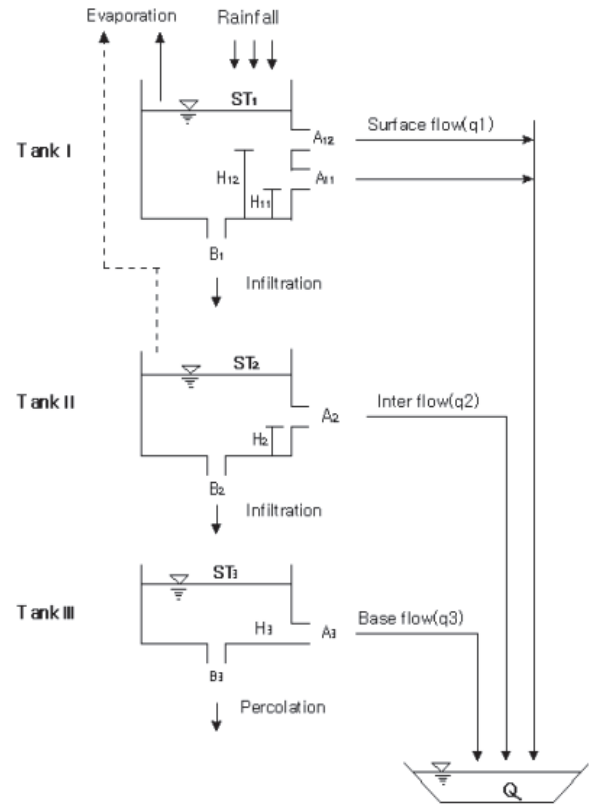


Fig. 1 Schematic diagram of DIROM

의 강우량 (mm), E_t 는 증발량 (mm), $Q_{i,t-1}$ 는 i번째 탱크의 t-1일의 유출량이다. 증발량 $E_{i,t}$ 는 식 (3)과 같이 계산하며, 여기서 B_i 는 i번째 탱크의 침투공 단면적 (무차원)이다.

$$I_{i,t} = ST_{i,t} \times B_i \quad (3)$$

DIROM 모형에서의 매개변수 추정방법은 농업용저수지 유역 12개소에서 실측된 유출량자료 (유출공 계수, 유출공의 높이, 침투공 계수 등)과 해당 유역의 수문특성 인자 (논, 밭, 산림비율, 유역면적)으로부터 구한 선형 회귀식을 검증한 후 일반화된 회귀방정식을 제안한다. Table 2은 DRIOM모형의 매개변수 산정 회귀식이다 (Kim and Park, 1988).

Table 2 Regressed equations of the DIROM parameter

TANK	Parameters	Description	Regression equatin
TANK I	A_{11}	Runoff coefficient	$-0.00414 * padd + 0.169$
	A_{12}	Runoff coefficient	$-0.00175 * forst + 0.333$
	H_{11}	Discharge outlet height	5.00
	H_{12}	Discharge outlet height	$16.68 * \ln(area) + 24.2$

TANK	Parameters	Description	Regression equatin
	B_1	Infiltration coefficient	$-0.07*\ln(area) + 0.47$
	ST_1	Storage depth	0.00
TANK II	A_{21}	Runoff coefficient	$-0.00657*uplan + 0.163$
	H_{21}	Discharge outlet height	$\exp(-0.0934*uplan + 2.0904)$
	B_2	Infiltration coefficient	$0.00998*padd + 0.111$
	ST_2	Storage depth	0.00
TANK III	A_{31}	Runoff coefficient	$-0.00267*uplan + 0.00912$
	H_{21}	Discharge outlet height	0.00
	B_2	Infiltration coefficient	$-0.00618*\ln(area) + 0.0351$
	ST_3	Storage depth	$43.686*\ln(area) + 37.159$

**area*: Area, *uplan*: Upland area ration, *padd*: Paddy area raion, *forst*: Forest area ration

즉, 유역 특성인자(논, 밭, 산림 구성비율, 유역면적)만 구하면 회귀방정식에 의해 비교적 용이하게 매개변수 값을 추정할 수 있도록 하고 있다. 일반적으로 저수지 물수지 모형에서는 계산된 유입량과 필요수량 산정을 위해 단위시간 당 저류량 변화를 추적하는데, 이는 식 (4)를 활용하여 추적한다.

$$S_t = S_{t-1} + I_t + U_t + P_t - (R_t + O_t + E_t + G_t + D_t) \quad (4)$$

여기서, S_{t-1} 는 t-1 일의 저수량, I_t 는 유입량, U_t 는 지하수 유입량, P_t 는 수면강수량, R_t 는 방류량, O_t 는 물넘이월류량, E_t 는 수면증발량, G_t 는 지중침투량, D_t 는 제방침투량이다.

저수지의 물수지요소 중에서 가장 중요한 인자는 유입량 I_t 와 논에서의 필요수량 및 기타 용수수요량에 의해 결정되는 방류량 R_t 이다. 유입량은 앞서 DIROM에서 추정하며, 방류량은 논에서의 필요수량과 환경용수와 같은 각종 농어촌용수, 관개수로의 정상 흐름을 유지하기 위한 최소방류량 등이 포함될 수 있다. 기타 손실량은 지하수 유입량 U_t , 지중침투량 G_t 및 제방침투량 D_t 등 실측이 거의 불가능한 요소와 실측은 불가능하나 정량화가 가능한 요소로 구분할 수 있다. 지하수 유입량은 수문 관측지점에서 지표수로 측정되거나 그 변화가 월 단위 이상이기 때문에 순 단위 또는 일 단위의 물수지 계산에서는 고려하지 않는 것이 보통이며, 지중침투량 및 제방침투량 또한 누수를 방지하기 위하여 지수벽을 설치하는 등 차단 효과를 거둘 수 있지만, 실제 그 양이 매우 적거나 단기간 물수지에 영향을 미치는 정도가 작다.

저수지 수면에 내리는 수면강수량 P_t 와 수면증발량 E_t 는 다음 식과 같이 산정된다. 수면강수량은 모의기간의 강수량

(mm)과 저수지의 수면적에 단위환산계수를 적용하여 식 (5)와 같이 계산되며, 수면증발량은 기상관측소의 증발량에 Veihmeyer (1964)의 Pan 계수를 적용하여 다음 식 (6)과 같이 산정한다.

$$P_t = C \times R_t \times A_f \quad (5)$$

$$E_t = C \times A_f \times E_v \times P_c \quad (6)$$

여기서, P_t 및 E_t 는 각각 수면강수량 및 수면증발량, C는 단위환산계수, A_f 는 저수지 수면적, R_t 와 E_v 는 해당관측소의 강수량 및 증발계 증발량, P_c 는 증발계의 Pan계수이다.

한편 저수지에 대한 물넘이월류량 Q_t 는 물넘이의 제원에 따른 방류량을 시간별로 계산해야 하나 농업용저수지의 일반 물넘이가 자연 월류식이므로 시간별 변화를 무시하고 저수지의 저수량이 물넘이 시설높이 이상일 경우 그 이상의 저수량은 모두 월류하는 것으로 가정하였으며 다음 식 (7)과 같이 산정한다.

$$Q_t = S_t - S_f \quad (\text{단, } S_t > S_f) \quad (7)$$

여기서, Q_t 는 물넘이 월류량, S_t 는 해당 기간의 저수량, S_f 는 물넘이 만수위의 저수량이다.

3. 유입, 방류량 비율 보정계수를 통한 저수량 모의 보정

K-HAS 모의 결과를 비상연계 시스템에 그대로 적용할 경우, 실제 저수지의 상황과 다르게 분석될 수 있다. 이는 관계

용수 공급 및 저수지의 안정적 운영에 심각한 위험성을 초래할 수 있다. 그러므로 실제 대상저수지의 과거 저수율 자료를 바탕으로 K-HAS 모형의 매개변수 보정 과정을 실시하여, 보다 현실적인 비상연계 용수공급가능량을 산정하였다.

저수량 보정 시 환경용수는 연중 방류하는 상황으로 가정하고, 유입량과 방류량에 대한 비율조정 계수는 강우 및 생육 특성을 반영하여 월별계수로 적용하였다. 최종적으로 일별 저수량 모의결과와 실측결과의 차이를 최소화할 수 있는 월별 비율보정계수를 최적화 기법을 통하여 산출하였다. 본 연구에서는 Lee et al. (2020) 의 RCFs 기법을 활용하여 K-HAS 모의 저수량을 보정하였다. 저수량 보정 알고리즘의 목적함수는 식 (8)과 같다.

$$\hat{S}_i = S_{i-1} + c \times I_{i-1} - (a \text{ or } b) \times O_{i-1} \quad (8)$$

$$\hat{S}_i = \begin{cases} S_{\max} & (\hat{S}_i \geq S_{\max}) \\ S_{\min} & (\hat{S}_i \leq S_{\min}) \end{cases} \quad (9)$$

$$S_{Drought} = S_{\max} \times k \text{ (최적화 값)} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} 0.1 \leq a_{month} \leq 1.0 & \quad a_{month} = (\hat{S}_i < S_{Drought}) \\ 1.0 \leq b_{month} \leq 2.0 & \quad b_{month} = (\hat{S}_i < S_{Drought}) \\ 0.1 \leq c_{month} \leq 2.0 & \end{aligned} \quad (11)$$

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

위 알고리즘은 K-HAS 계산값과 계측값의 범위를 고려하여 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 보정하였다. 또, 현장의 저수지관리 패턴을 고려하여 저수위 a 와 고수위 b 를 구분하는 기준으로 가뭄결정계수 k 를 설정하는 4변수 1차함수의 시행착오법에 의한 무한반복법에 의해 변수를 확정하였다.

4. 비상연계 공급시기 및 공급량, 공급기준에 따른 이수안전도 분석

비상연계를 실시할 기준으로 중요하게 고려해야할 것은 얼마만큼의 용수를 언제 공급하는가이다. 즉, 비상연계 저수지에서 자체적인 안정성을 바탕으로 공급 가능량을 분석해야한다. 또한 비상연계라는 특성 상 연중 공급보다는 용수가 필요

한 특정시기에 집중적인 용수를 공급하는 것이 비상연계의 목적에 부합한다고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 비상연계 용수공급을 각 대상저수지에 적용하기 위한 공급량, 공급시기, 공급기준을 산정하였다.

공급량은 운영의 편리성을 위하여 고정 값을 방류하는 것으로 설정하였고, 공급시기는 갈수기 방류를 고려하였다. 이는 홍수기의 용수공급은 이미 하천 용수가 풍부한 상황이기 때문에 현실적으로 공급의 의미가 없기 때문이다. 공급기준은 다양한 내용이 검토될 수 있으나, 저수지의 안정적인 관계용수 공급을 위해 관개시점인 6월 1일의 저수량이 과거 평년 저수량의 70% 값을 가지는 것을 이수안전을 위한 최소한의 저수량으로 적용하였다. 이때 평년저수량의 70%는 일반적으로 가뭄 관심 단계 시 적용하는 기준이다. 이수안전도는 총 모의연수 동안 모의 결과 관개시점 (또는 일부 관개기간)의 저수율이 이수안전 기준 저수율 이하로 낮아지는 연수의 비중을 의미한다. 이수안전기준 저수율과 이수안전도는 다음 식 (12)과 같이 산정한다.

$$RI(\%) = \frac{\sum_{i=1}^n S_t}{n} \times 70(\%) \quad (12)$$

$$SI(\%) = (1 - \frac{LP}{T}) \times 100 \quad (13)$$

여기서 RI는 이수안전기준 저수율, S_t 는 모의기간 n년 동안 관개시점의 실측저수율, SI는 이수안전도 (%), LP는 총 모의연수 (T) 중 관개시점 또는 일부 관개기간 동안의 저수율이 이수안전기준 저수율 (RI)보다 작아지는 연수를 의미한다. 본 연구에서는 장치저수지의 LP 산정 시 관개시점 (6월 1일)의 저수율을 적용하여 이수안전 기준 저수율을 산정하였다. 그 결과 장치저수지의 이수안전기준 저수율은 60.5%인 것으로 분석되었다.

III. 결과 및 고찰

1. 비상연계 저수지 모의 보정 결과

K-HAS 모의 저수량 산정 결과 대부분의 대상저수지의 용수공급량이 풍부한 것으로 계산되었으나, 이를 바탕으로 비상연계 공급량을 산정할 경우, 상당량의 용수가 공급 가능한 것으로 분석되지만 실제적으로 관개용수 공급 및 안정적인 저수지 운영에 심각한 위험을 초래할 수 있다. 따라서 보다 안정적이고, 현실적인 비상연계 용수공급가능량 산정을 위해

Lee et al. (2020) 의 보정기법을 활용하여 모의 저수량 보정을 실시하였다. 보정 시 저수위와 고수위를 구분하는 기준인 가뭄결정계수 k 는 0.5로 최적화 되었고, 이를 기준으로 월별 고수위와 저수위의 최적 비율보정계수가 도출되었다.

K-HAS 모의 저수량 보정을 위한 저수지의 실측 저수율 자료는 한국농어촌공사의 농업기반시설관리시스템 (Rural Infrastructure Management System, RIMS)의 자료를 활용하였다. 본 연구의 저수율데이터 분석 시기는 RIMS의 저수율 데이터가 유의하게 완비된 시점을 기준으로 수리시설개보수, 지표수보강개발사업, 등 농업생산기반정비사업에 따라 저수지의 재원이 바뀐 최종시점을 감안하여 분석기간을 설정하였다. 득높이기사업을 수행 한 장치저수지는 환경용수 방류 시

점을 고려하여 2015년부터 분석을 시작하였다.

Fig. 2는 장치저수지의 모의 저수량과 실측 저수량을 나타낸 그래프이다. 장치저수지의 경우, 대부분의 구간에서 K-HAS 모의 저수량이 실측저수량보다 크게 나타났으나, 보정 후의 모의 저수량 결과는 실측치와 상당량 유사해졌음을 확인할 수 있다 (Fig. 3).

장치저수지의 K-HAS 모의 결과를 보정하지 않고 적용하였 때, 비상연계 용수를 공급하지 않을 경우, 저수지의 저수율이 이수안전기준인 60.5%에 도달하는 시기가 모의 기간 중 단 1회만 발생한 것으로 나타났다 (Fig. 4). 저수량 결과 보정 후 분석하였을 때 장치저수지의 비상연계 가능 기간이 상당히 많은 것으로 나타났다 (Fig. 5). 위 결과를 근거로 저수량

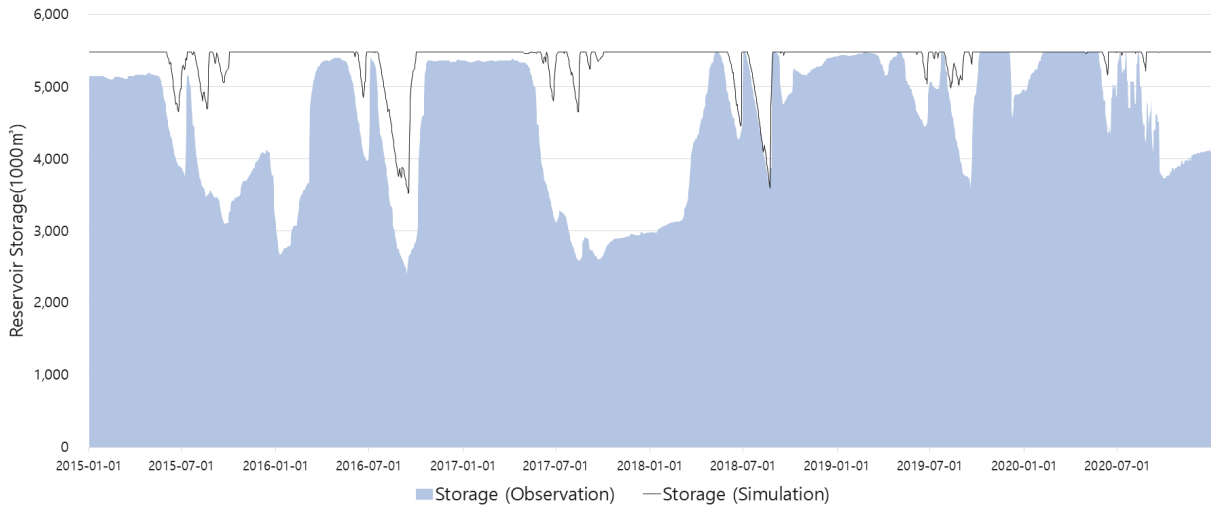


Fig. 2 Simulation of reservoir storage before water balance calibration (Jangchi reservoir)

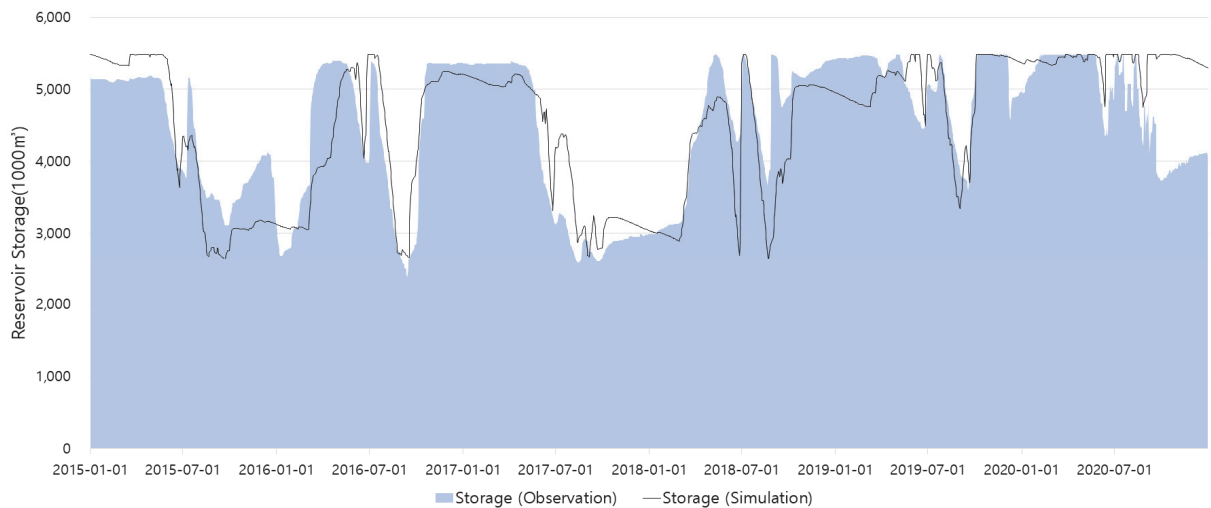


Fig. 3 Simulation of reservoir storage after water balance calibration (Jangchi reservoir)

모의 결과의 보정은 보다 안정적인 비상연계를 위해 필수적이라고 할 수 있다.

2. 비상연계 용수공급 가능량 분석 결과

본 연구에서는 저수지 모의 저수량 보정 결과를 근거로 다

양한 비상연계 용수 공급량이 저수지의 이수안전도에 미치는 영향을 분석하였다. 이수안전도를 만족하는 상태에서 안정적인 비상연계가 가능한 공급량을 산정하기 위하여 갈수기(4~6월) 비상용수 공급량을 다양하게 설정하고, 관계시점인 6월 1일의 저수율이 이수안전 기준 저수율 이하에 도달하는 연도

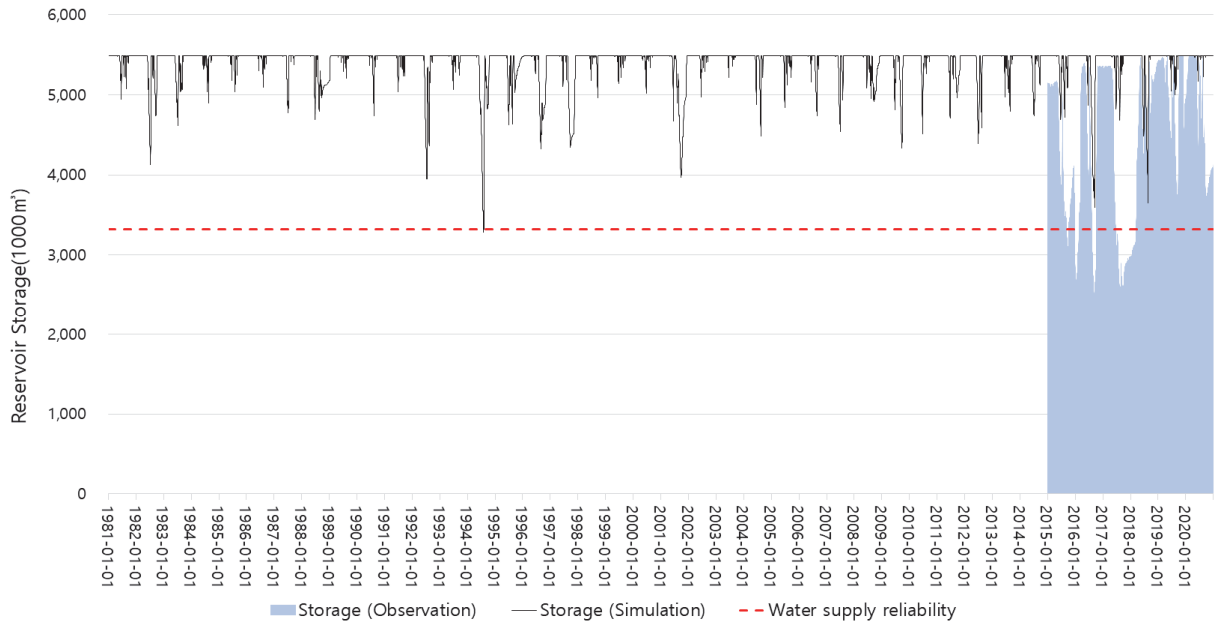


Fig. 4 Simulation of reservoir storage before water balance calibration (non Emergency interconnection operation water release)

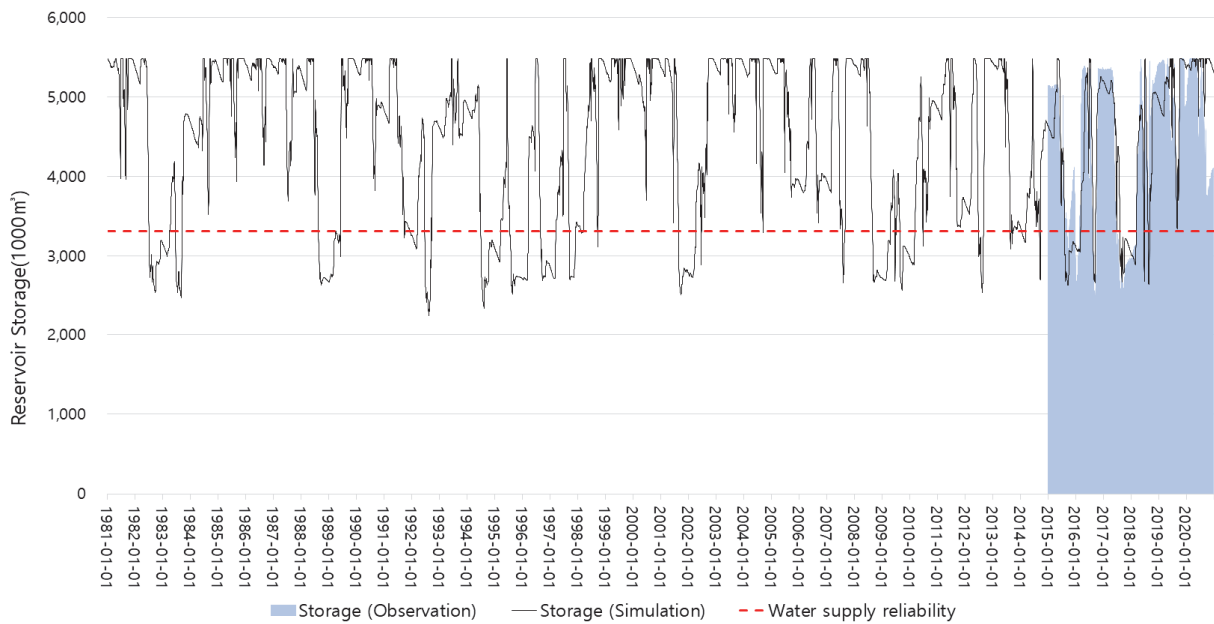


Fig. 5 Simulation of reservoir storage after water balance calibration (non Emergency interconnection operation water release)

수를 분석하여 이수안전도를 분석하였다. 최종적으로 이수안전도 90%를 만족하는 저수지의 용수공급가능량을 분석하였다. 최적의 용수공급량을 찾기 위하여 임의적으로 5천m³/day 간격으로 적용하여 이수안전도 90%에 근접하는 구간을 먼저 도출하고, 이후 구간 내에서 용수공급량을 0.1천m³/day 단위로 변화시키며 최적의 용수공급량을 도출하였다.

K-HAS 모의 결과를 보정하지 않고 용수공급가능량을 산정하였을 때, 저수지의 비상연계 용수를 10천m³/일을 공급할 시 이수안전기준 저수율 60.5%에 도달하는 시기는 총 1번 발생하는 것으로 나타났으나 (Fig. 4), 보정 후 이수안전기준 저수율 60.5% 이하로 낮아지는 경우가 일부 발생하는 것으로 나타났다 (Fig. 5). 위 결과를 근거로 본 연구에서는 모의 저수율 보정 결과를 바탕으로 장치저수지의 비상연계 용수 공급량에 따른 이수안전도의 변화를 분석하였다. Table 3는 장치저수지의 이수안전도 90%를 만족하는 비상연계 공급량을 산정

하기 위해 용수공급량에 따른 이수안전도를 분석한 결과이며, Fig. 6~Fig. 10는 5개 용수공급가능량에 따른 모의 저수율과 이수안전기준 저수율을 나타낸 그래프이다. Fig. 11에는 물수지 분석 보정 후 비상연계용수에 따른 관개시점 저수율과 이수안전기준 저수율을 나타내었다. 비상연계 용수공급량이 많아 질수록 이수안전 기준 저수율 이하에 도달하는 연도 수가 많아짐을 확인 할 수 있으며, 이를 바탕으로 이수안전도 90%를 만족하는 장치저수지의 비상연계 최대 용수공급가능량을 산정하였다.

장치저수지는 비상연계 용수를 공급하지 않을 시에는 이수안전도는 98%이며, 비상연계 용수를 20천m³/일 공급할 경우 이수안전도는 약 73%로 분석되었다. 위 분석 결과를 바탕으로 안정적인 용수공급 기준인 이수안전도 90%를 만족하는 장치저수지의 비상연계 최대 용수공급가능량은 약 12.8천m³/일로 산정되었다.

Table 3 Analysis of water supply reliability of jangchi reservoir

Emergency Interconnection operation water (Thousand m ³ /day)	Results for Water balance analysis after calibration (1991-2020)					
	0.0	5.0	10.0	12.8	15.0	20.0
Number of years below the Reservoir Storage based on water supply Reliability	1	1	2	4	7	11
water supply Reliability (%)	98	98	95	90	83	73

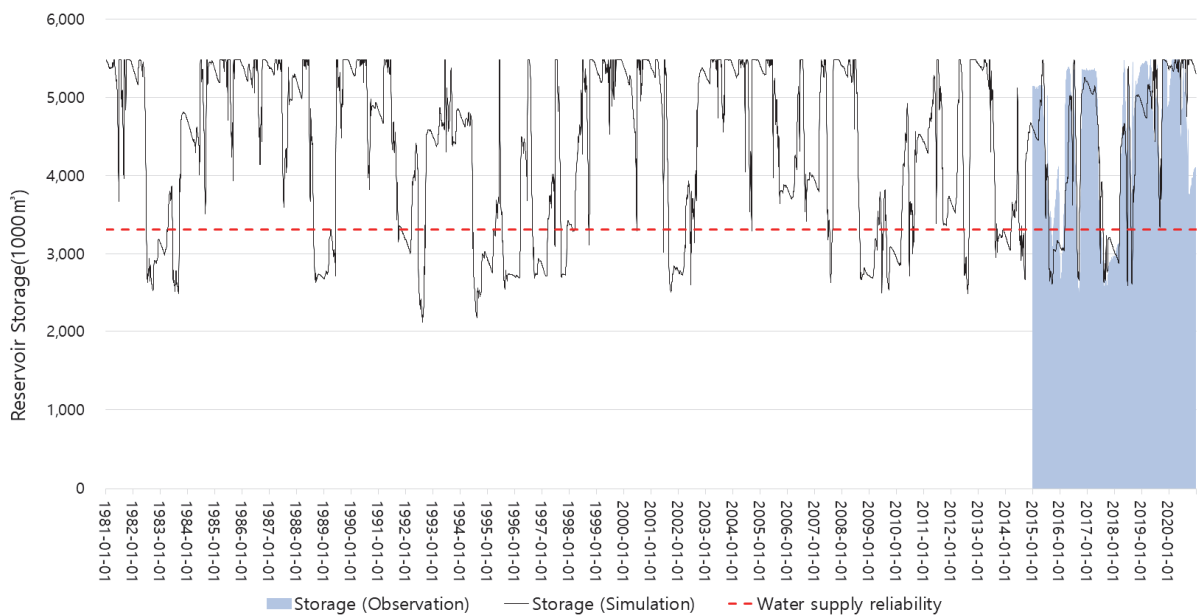


Fig. 6 Simulation of reservoir storage after waver balance calibration (Emergency interconnection operation water: 5.0 Thousand m³/day)

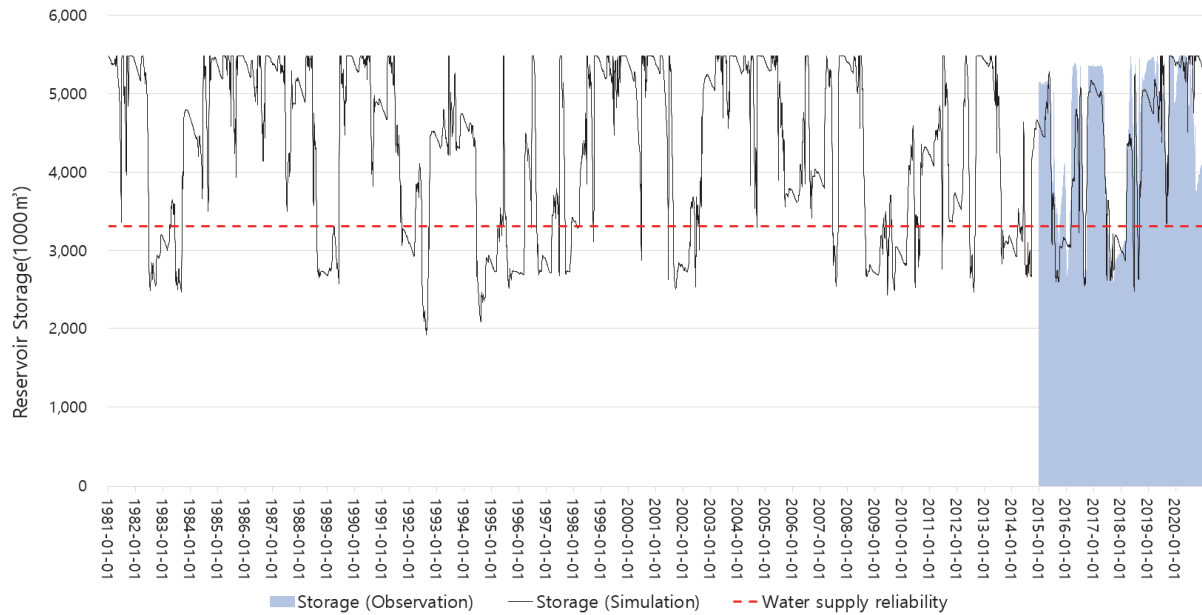


Fig. 7 Simulation of reservoir storage after waver balance calibration (Emergency interconnection operation water: 10,0 Thousand m³/day)

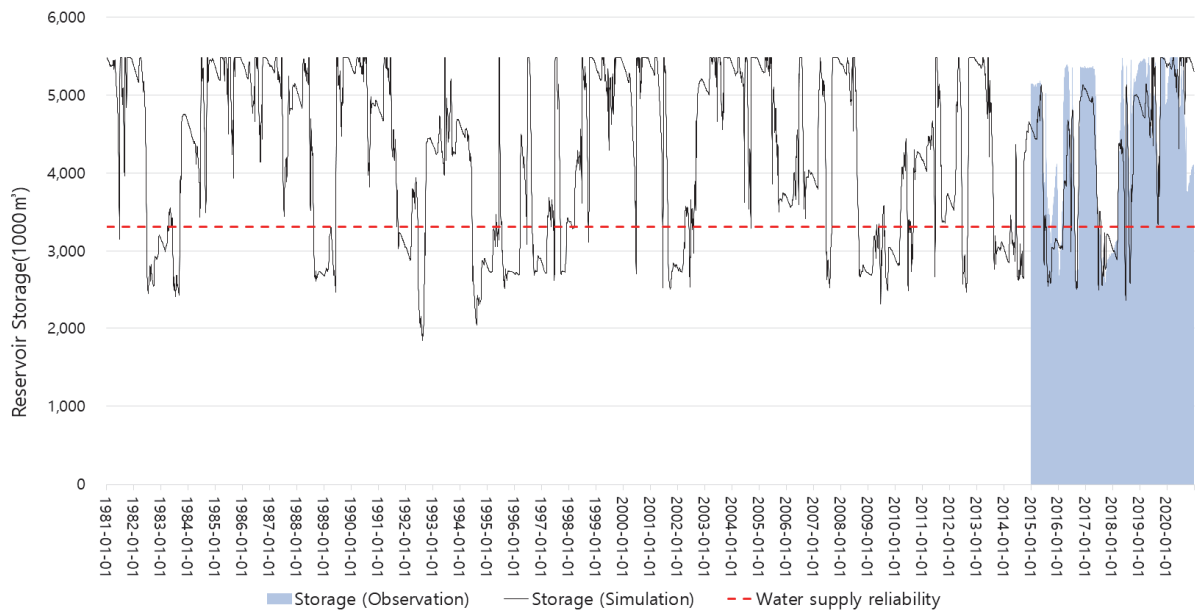


Fig. 8 Simulation of reservoir storage after waver balance calibration (Emergency interconnection operation water: 12,8 Thousand m³/day)

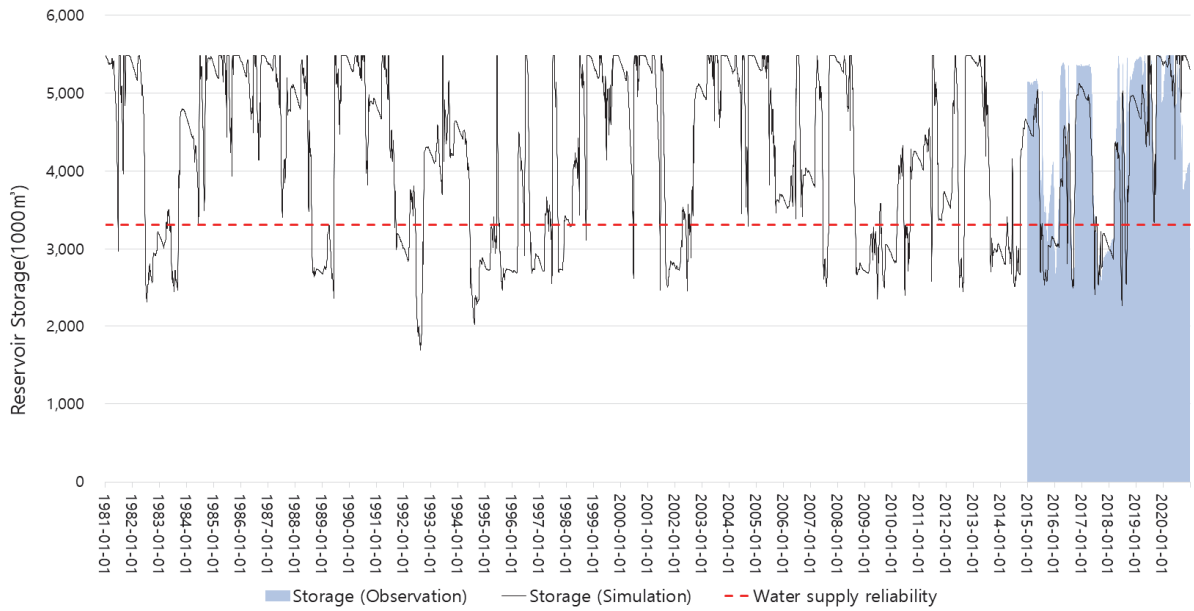


Fig. 9 Simulation of reservoir storage after waver balance calibration (Emergency interconnection operation water: 15,0 Thousand m³/day)

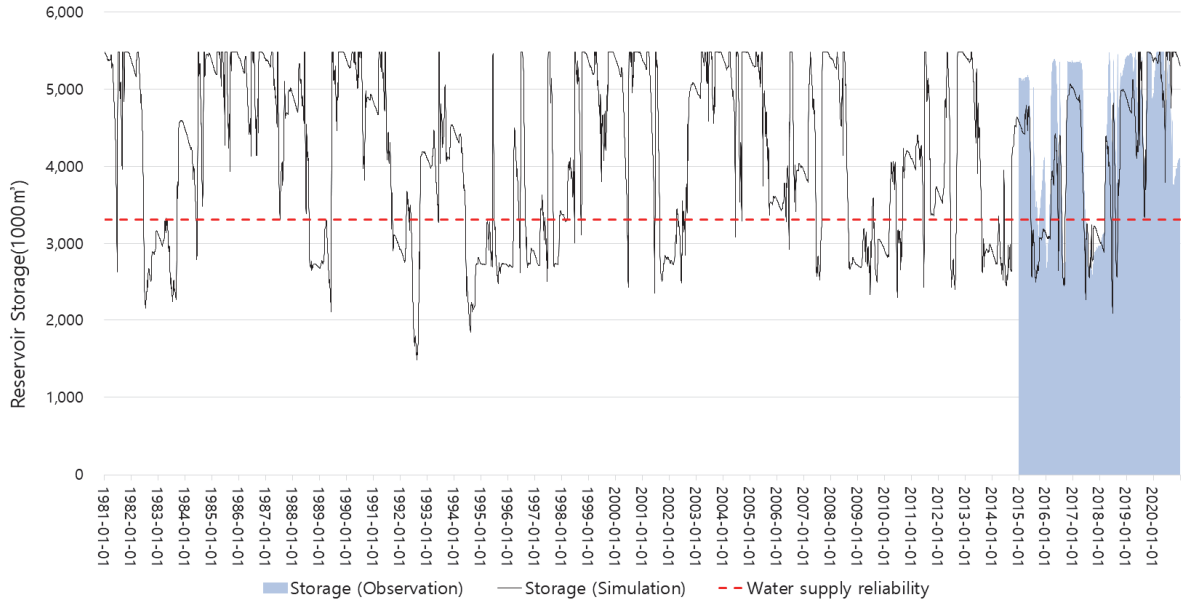


Fig. 10 Simulation of reservoir storage after waver balance calibration (Emergency interconnection operation water: 20,0 Thousand m³/day)

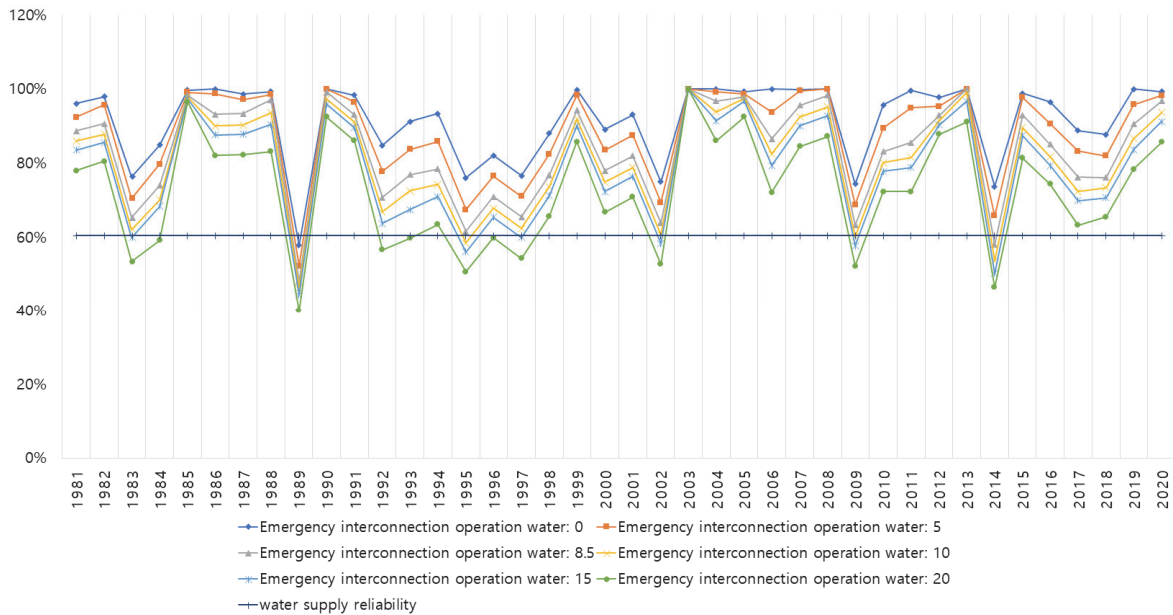


Fig. 11 Reservoir storage during irrigation season after water balance calibration

IV. 요약 및 결론

최근 늘어난 가뭄으로 새로운 용수 확보 방안이 필요하나, 신규 수자원 개발은 사회적 갈등 및 적지 감소 등으로 인해 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 새로운 용수공급의 확보 방안으로 댐, 저수지, 광역상수도 등의 수자원 시설 간 연계체를 통해 비상시 연계 시설 간 공급 가능한 용수량을 산정하여 가뭄시 안정적인 저수지 운영 방안을 제안하고자한다.

먼저 대상저수지의 물수지 분석을 통해 저수지의 여유수량을 산정하고 보정 과정을 통해 비상연계 용수공급가능량을 산정하였다. K-HAS를 활용한 물수지 분석을 통해 농업용저수지의 가용수량을 계산할 경우에는 여유수량이 실제보다 과다산정되는 경향을 보였다. 위 결과를 바탕으로 비상연계 용수공급량을 산정할 경우 저수지의 용수공급능력이 과도하게 평가되어 실제로 불이 부족한 경우에도 용수공급이 가능하다고 계산되어 저수지의 안정적 운영에 위협을 초래할 수 있다. 본 연구에서 장치저수지의 경우 모의 저수율과 실측 저수율을 비교한 결과 모의 저수율이 크게 나타났으며, 보정 후 실측치와 유사해졌음을 확인할 수 있었다. 따라서 보다 신뢰성 있는 결과를 위해서 모의 저수율 보정 과정은 필수적이라 할 수 있다.

본 연구결과, 저수지의 매개변수를 보정하고 여유수량을 계산한 결과, 장치저수지의 비상용수 공급 전 이수안전도는 98%였지만, 20천m³/일을 공급할 경우 이수안전도는 약 73%로 낮아지는 것으로 나타났다. 따라서, 안정적인 용수공급 기준인 이수안전도 90%를 만족하는 장치저수지의 비상연계 최

대 용수공급량은 약 12.8천m³/일로 나타났다. 그러나 이 12.8천m³/일이라는 비상연계공급가능량 역시 실제 연계를 고려할 때는 보다 신중한 계산이 필요하다. 유효저수용량이 크지 않은 농업용저수지의 특성 상 연중 저수위의 변화가 크기 때문에 실제 공급가능한 양이 이론적인 값보다 크지 않을 가능성이 매우 높으며, 또한 농업용수 사용에 대한 기득수리권을 저해하지 않는 범위 내에서 비상연계를 수행해야 하므로, 이에 대한 고려도 포함하여 분석을 수행하여야 할 것이다.

또한, 비상연계대상지 선정 기준에 따라 제한적 자료를 토대로 도출된 개략적인 분석결과이며, 분석과정이 정량적으로 분석됨에 따라, 향후 비상 또는 연계방안 세부 중장기적 계획 수립시 실제 해당 지자체의 물사용자 (농민, 시민 등)의 용수 사용에 대한 의사결정 등 의견도 반드시 고려해야 한다.

감사의 글

이 논문은 충북대학교 국립대학육성사업(2021)지원을 받아 작성되었음.

REFERENCES

1. Ahn, J. H., 2013. Development of regression equations for the parameter estimation of TANK model based on basin slope. Master Thesis, Seoul National University.

2. Ahn, J. H., J. H. Song, M. S. Kang, I. H. Song, S. M. Jun, and J. H. Park, 2015. Regression equations for estimating the TANK model parameters. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 57(4): 121-133.
3. Bruhn, A., J. Weickert, C. Feddern, T. Kohlberger, and C. Schnorr, 2003. Real-time optic flow computation with variational methods. *Computer Analysis of Images and Patterns*, Groningen, The Netherlands, Aug. 25-Aug. 27, LNCS 2756, 222-229. doi:10.1007/978-3-540-45179-2_28.
4. Cengil, E., A. Çınar, and E. Özbay, 2017. Image classification with caffè deep learning framework. In *2017 International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)*, 440-444. doi:10.1109/UBMK.2017.8093433.
5. Go, G. E., and G. B. Sim, 2017. Trend of object recognition and detection technology using deep learning. *Journal of the Institute of Control, Robotics and Systems* 23(3): 17-24. (in Korean).
6. Hwang, U., J. S. Yoo, and J. C. Jeong, 2013. Computer Vision based Water-level Detection. In *Proc. Korean Society of Broadcast Engineers Conference*, 303-306. (in Korean)
7. Hong, S. W., Y. G. Park, and H. C. Lee, 2014. Experimental and analytical study on the water level detection and early warning system with intelligent CCTV. *Journal of the Korea Society of Disaster Information* 10(1): 105-115. (in Korean). doi:10.15683/kosd.2014.10.1.105.
8. Mukti, I. Z., and D. Biswas, 2019. Transfer Learning Based Plant Diseases Detection Using ResNet50. In *2019 4th International Conference on Electrical Information and Communication Technology (EICT)*, 1-6, doi:10.1109/EICT 48899.2019.9068805.
9. Torres, J., 2016. First Contact with Tensorflow (Haeseon Park, Trans.), Hanbit Media, Inc., 117.
10. Kim, S. M., S. J. Kim, Y. W. Kim, T. Y. Kim, S. M. Kim, K. W. Park, and M. W. Jang, 2011. Potential release of environmental flow through irrigation reservoir. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 53(6): 101-109. (in Korean).
11. Kim, J. D., Y. G. Han, and H. S. Hahn, 2010. Image-based water level measurement method adapting to ruler's surface condition. *Journal of the Korea Society of Computer and Information* 15(9): 67-76. (in Korean). doi:10.9708/jksci.2010.15.9.067.
12. Kim, C. G., and N. W. Kim, 2012. Comparison of natural flow estimates for the Han River basin using TANK and SWAT models. *Journal of Korea Water Resources Association* 45(3): 301-316.
13. Kim, N. W., S. C. Son, M. S. Lee, G. H. Min, and B. T. Lee, 2015. Active water-level and distance measurement algorithm using light beam pattern. *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers* 52(4): 156-163. (in Korean). doi:10.5573/ieie.2015.52.4.156.
14. Korea Rural Community Corporation (KRC), 2020. Water level analysis using cctv video informations. (in Korean).
15. Kim, O. J., J. W. Lee, J. Y. Park, and M. H. Cho, 2020. A study on the improvement of image-based water level detection algorithm using the region growing. *Korean Journal of Remote Sensing* 36(5-4): 1245-1254. (in Korean). doi:10.7780/kjrs.2020.36.5.4.9.
16. Kim, T. W., H. S. Moon, and J. H. Kim, 2020. The study on CNN based helicopter type classification model. *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems* 26(6): 479-486. (in Korean). doi:/10.5302/J.ICROS.2020.20.0017.
17. Lee, E. H., J. Y. Nam, and B. C. Ko, 2015. Speed-limit sign recognition using convolutional neural network based on random forest. *Journal of Broadcast Engineering. Journal of Broadcast Engineering* 20(6): 938-949. (in Korean). doi: 10.5909/JBE.2015.20.6.938.
18. Lee, T. H., 2012. The study of water supply reliability considering the management for restricted water level of agricultural reservoirs during flood period. Master thesis, Kookmin University.
19. Lee, S. H., S. H. Yoo, N. Y. Park, and J. Y. Choi, 2013. An analysis of environmental water release patterns considering operation rules in enlarged agricultural reservoirs, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 55(3): 51-62. (in Korean).
20. Lee, J. M., 2014, The importance of safety management and subsequent damage management of agricultural production infrastructure in response to changes. *Magazine of the Korean Society of Agricultural Engineers* 56(3): 38-46. (in Korean).
21. Lee, N. J., and K. K. Yu, 2017. A novel method to measure river water stage by using spatio-temporal image analyses. *Journal of the Korea Society of Hazard Mitigation* 17(2): 461-469. (in Korean). doi:10.9798/KOSHAM.2017.17.2.461.
22. Noh, J. K., 2010. Affecting water supply capacity followed by allocating flood control volume in heightening reservoir. *KCID (Korean National Committee on Irrigation and Drainage) Journal* 17(2): 57-70. (in Korean).

23. Noh, J. K. and J. N. Lee, 2010. Variation of water supply for instream flow from reservoirs with various magnifications of paddy irrigation area to watershed area. *Journal of Agricultural Science* 38(2): 331-341. (in Korean).
24. National Disaster Management Research Institute (NDMI), 2012. The practical study of flood forecasting and warning system with auto water level detection process using intelligent CCTV. (in Korean).
25. Park, J. H., J. H. Ko, M. H. Sung, H. M. Jung, T. S. Park, Y. C. Kwak, W. Y. Choi, J. Boem, M. H. Jeung, S. H. Yoo, and K. S. Yoon, 2019. A economic feasibility study on environmental ecology flow supply plan using agricultural reservoir - Focused on Dongbok River -. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 61(5): 33-47. (in Korean).
26. Saito, A., and M. Iwahashi, 2006. Water level detection algorithm based on synchronous frame addition and filtering. In *Proc. 19th Workshop on Circuits and Systems in Karuizawa*, 525-530. (in Japanese).
27. Seo, M. B., C. J. Lee, and D. G. Kim, 2013. A water surface detection method by correlation analysis of watermark images with time interval. *Journal of the Korea Academia- Industrial cooperation Society* 14(1): 470-477. (in Korean). doi:10.5762/KAIS.2013.14.1.470.
28. Takagi, Y., H. Mori, A. Tsujikawa, T. Saito, and K. Karube, 2000. The geometrical and optical analysis concerning the feature of the water surface interface of an inclined plate which is used the water level measuring. *J. of EICA* 4(4): 9-18. (in Japanese).
29. Wei, Y., and Y. Zhang, 2016. Effective waterline detection of unmanned surface vehicles based on optical images. *Sensors* 16(10). (in Chinese). doi:10.3390/s16101590.
30. Yu, J., and H. Hahn, 2010. Remote detection and monitoring of a water level using narrow band channel. *Journal of Information Science and Engineering* 26(1): 71-82. (in Korean). doi:10.6688/IISE.2010.26.1.6.
31. Yoo, S. H., S. H. Lee, J. Y. Choi, and T. S. Park, 2012. Optimizing rules for releasing environmental water in enlarged agricultural reservoirs. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 54(5): 17-24 (in Korean).