

기후변화를 고려한 다목적댐 운영기준 개선 및 평가

김형산·박진혁[†]·강신욱·장수형*

K-water 연구원

*K-water 글로벌협력처

Improvement and Evaluation of Multi-purpose Dam Operation Rule Considering Climate Change

Hyung-San Kim·Jin-Hyeog Park[†]·Shin-Uk Kang·Su-Hyung Jang

K-water Institute, K-water, Korea

**K-water Global Cooperation Dept., K-water, Korea*

(Received : 02 October 2019, Revised: 22 November 2019, Accepted: 22 November 2019)

요약

기후변화에 따른 강우패턴의 변화로 인해 가뭄의 발생주기가 짧아지고 있으며 다목적댐의 운영 또한 변화하고 있다. 다목적댐의 물 부족을 사전에 방지하고 안정적인 용수공급을 위한 운영에 대한 중요성은 증가하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 현재 다목적댐에 적용중인 운영기준을 기반으로 기후변화 시나리오가 반영된 운영기준을 개발하고 평가하였다. 기후변화가 반영된 기준저수량은 기존대비 평균적으로 34% 증가하는 것으로 분석되었으며, 기존 기준과의 평가결과 기후변화 반영 다목적댐 운영기준을 적용할 경우 용수공급에 어려움이 없을 것으로 분석되었다. 본 연구 결과는 향후 기후변화를 반영한 다목적댐의 기준수립에 도움이 될 것으로 기대한다.

핵심용어 : 기후변화, 다목적댐, 운영기준, 기간신뢰도

Abstract

Rainfall patterns are changing due to climate change, the frequency of drought occurrence is shortening, and the operation of the multi-purpose dams is also changing. The importance of preventing water shortage of multi-purpose dams in advance and operation for stable water supply is increasing. In this study, we developed and evaluated the operational criteria reflecting climate change scenarios based on the operational criteria currently applied to multi-purpose dams. Standard water volume lines reflecting climate change were found to increase 34% on average, as a result of evaluation with the existing standard, it was analyzed that water supply would not be difficult if the multi-purpose dam operation standard reflecting climate change was applied. The results of this study are expected to be helpful for the establishment of multi-purpose dams reflecting climate change.

Key words : Climate change, Multi-purpose dam, Operation rule, Reliability

[†] To whom correspondence should be addressed.

K-water Institute, K-water, Korea

E-mail: park5103@kwater.or.kr

- Kim, Hyung San K-water Institute / Research fellow (kamakim486@hanmail.net)
- Park, Jin Hyeog K-water Institute / Research fellow (park5103@kwater.or.kr)
- Kang, Shin Uk K-water Institute / Research fellow (sukang@kwater.or.kr)
- Jang, Su Hyung K-water Global Cooperation Dept., K-water / Research fellow (kwaterjang@kwater.or.kr)

1. 서 론

우리나라의 수자원은 홍수기에 집중적으로 발생한 강우를 갈수기에 활용하고 있으나 기후변화로 인한 강우패턴 변화로 수자원 관리에 어려움을 겪고 있다(Ahn *et al.*, 2016). 일반적으로 다목적댐은 6월부터 9월까지의 홍수기 기간의 유입량을 활용하여 다음해 홍수기 이전까지 생활용수, 공업용수, 농업용수 및 하천유지용수를 공급하며 운영되었다. 그러나 여름철에 강수량이 집중적으로 내리지 않는 경우에는 부족한 수자원으로 인해 5년에서 7년 주기로 가뭄이 발생하였으며 2010년 이후로 가뭄 발생주기가 짧아지고 유지되는 기간 또한 장기화되고 있는 추세이다(Kim *et al.*, 2018a). 이러한 강우패턴 및 기후변화에 따라 다목적댐의 운영 또한 변화하고 있다. 2014년 소양강댐의 경우 4월부터 7월까지 200년 빈도 이하의 갈수 유입량을 기록하였으며, 준공 이후 역대 최저 강수량 및 유입량을 기록하여 2015년 동일한 가뭄 발생시 용수를 제한 공급해야 하는 상황이 발생할 수 있었다. 이러한 영향을 바탕으로 2014년 이후 지속적인 강수량 부족 및 다목적댐의 용수공급에 따른 물 부족을 사전에 방지하고자 2015년 3월 전국 15개 다목적댐을 대상으로 댐 용수부족 대비 용수공급 조정기준을 마련하였다(MOLIT, 2015). 조정기준 제정 이후 2015년에는 충남서북부 지역의 가뭄이 심각하였다. 보령댐이 가뭄위기대응 심각 1단계에 진입하였으며, 그해 9월 국가정책조정회의가 개최되었고 금강백제보 하류와 보령댐 상류를 연결하는 길이 21.9 km의 보령댐 도수로 신설을 결정하였다. 2016년 2월 준공이 완료된 이후 보령댐 상류로 가뭄발생시 용수를 공급하였으며 2018년 4월 보령댐 저수량이 정상화원 기준저수량으로 회복되어 도수로 가동을 종료하였다.

이처럼 가뭄으로 인해 발생하는 문제를 해결하고 극한가뭄 발생에 따른 대비를 하고자 다목적댐의 수자원 관리 방안에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다. Jin *et al.* (2016)은 양상 불 하천유량 예측 기법 및 용수 감량공급 기법을 이용한 가뭄에 따른 댐의 운영방안에 대한 연구를 수행하였으며, 보를 포함한 다목적댐 용수공급능력과 연계운영 방안(Jang and Kim, 2016), 가뭄대응을 위한 주간단위 유출모형 개발(Kang *et al.*, 2019), 가뭄 대응 해제기준 개발 및 평가(Kim *et al.*, 2017; Kim *et al.*, 2018b) 또는 다목적댐 운영 방안 및 효과분석

(Kang and Park, 2005; Lee and Kang, 2006; Kang and Lee, 2015; Lee *et al.*, 2017)에 대한 연구가 수행되고 있다. 기후변화 대응 다목적댐에 대한 연구의 경우 미래기후변화 시나리오를 활용하여 미래 유출량 전망을 분석(Park *et al.*, 2011; Choo *et al.*, 2015)하고 있으나 기후변화 시나리오를 반영한 다목적댐 기준 수립 및 평가에 대한 연구는 미진한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 현재 운영되고 있는 다목적댐 운영기준을 기반으로 기후변화 시나리오가 반영된 운영 기준을 제시하고 이를 평가하여 향후 기후변화에 따라 변화되어야 할 기준 수립방안에 대한 내용을 분석하였다.

2. 댐 용수부족 대비 용수공급 조정기준

과거에는 심각한 가뭄이 발생할 경우 용수의 적정배분, 대체 수자원 확보 및 대국민 홍보를 활용한 용수수요 관리 등과 같은 사후복구위주의 대책을 추진해왔다. 그러나 2014년 이후 지속적인 강수량 부족으로 인해 다목적댐의 용수공급에 어려움이 예상되자 가뭄으로 인한 물 부족을 사전에 방지하기 위하여 2015년 3월 전국 15개 다목적댐을 대상으로 댐 용수부족 대비 용수공급 조정기준을 제정하였다(MOLIT, 2015). 이후 2015년 전국적인 가뭄심화에 따른 다목적댐 용수공급 안정성을 강화하기 위해 2016년 6월에 2015년에 제정된 기준을 1차 개정하였으며(MOLIT, 2016), 운영상 보완점, 신규 댐 및 계약량 변동 등을 반영하여 2018년 3월 2차 개정하였다(MOLIT, 2018). 2차 개정에서 최종적으로 결정된 대상 댐은 다목적댐 16개소, 용수댐 12개소로 총 28개 댐이다.

용수공급 조정기준의 가뭄 대응단계는 다목적댐의 경우 관심, 주의, 경계, 심각한 4단계, 용수댐의 경우 관심, 주의, 심각한 3단계로 구분된다. 댐별로 단계별 가뭄 대응단계 진입에 따른 용수공급량 감축을 실행할 수 있도록 기준저수량이 설정되어있으며, 댐 저수량이 대응단계별 기준저수량에 도달할 경우 대응단계에 해당하는 감량규모를 기준으로 용수공급을 감량하고 비상용수 공급 대응체제로 전환된다. 다목적댐의 기준저수량 및 단계별 감량기준은 Table 1과 같다. 비상용수 공급 체제이후에는 댐 저수량이 정상 용수공급 환원기준에 도달하기 전까지 감량을 지속하게 되어있으며, 관계기관에서 감량분의 조정 요청이 있을 경우 수계별 댐-보연계운영협의회에서

Table 1. Criteria and reduction of drought stage

Drought stage	Criteria	Reduction
Normal	Satisfy the water demand for "caution" stage should satisfy the water demand for 30 days w/o inflow	Elastic supply more than water demand
Attention	Satisfy the water demand for "caution" stage should satisfy the water demand for 15 days w/o inflow	Water demand supply
Caution	Satisfy the water demand for domestic, industrial, agricultural and ecological water	Instream flow 100% + Surplus water (domestic, industrial, agricultural)
Alert	Satisfy the water demand for domestic, industrial and agricultural water	Caution + agricultural water(4~6months: 20%, 7~9months: 30%, other: 100%)
Serious	Satisfy the water demand for domestic and industrial water	Alert + 20% of water service contract (Domestic & industrial water)

용수공급량 조정여부를 결정하여 시행된다.

본 연구에서는 다목적댐의 가뭄단계 판단기준으로 적용되고 있는 가뭄단계별 기준저수량을 기후변화 시나리오가 반영된 유입량을 적용하여 개선하고자 하였으며, 이를 기반으로 운영을 통한 평가를 진행하고자 하였다.

3. 기후변화 반영 용수공급 조정기준 개선

3.1 대상유역 선정

기후변화를 반영한 다목적댐 운영기준 개선을 위해 기존에 가뭄 발생이 명확하게 확인되는 다목적댐을 대상유역으로 선정하고자 하였다. Jin *et al.* (2016)은 가뭄 시 물 공급 부족을 완화하는 저수지 운영기법 개발에 유입량 및 방류량 기록을 통하여 합천댐 유역을 대상유역으로 선정하였으며, 본 연구에서도 1989년부터 현재까지 댐 운영 자료가 충분하고 가뭄에 따른 영향이 높을 것으로 판단되는 합천댐을 대상유역으로 선정하였다. 합천댐은 낙동강 제 1지류인 황강에 위치하고 있으며 높이 96 m, 길이 472 m, 체적 891 천³, 유역면적은 925 km² 이고 연평균 강우량 및 유입량은 1,370.4 mm, 28.9 m³/s 인 다목적댐이다(Kim *et al.*, 2018b). 본 연구의 대상유역은 Fig. 1 과 같다.

3.2 용수공급 조정기준 개선

용수공급 조정기준에서는 가뭄 대응단계별 기준저수량이 설정되어있으며 기준저수량 산정을 위한 유입량의 경우 과거 댐

유입량을 활용하여 추계학적 모의(Stochastic)를 통해 500년 가상의 모의유입량을 적용하고 있다. 댐에서 공급되는 용수공급량의 경우 생활용수 및 공업용수의 경우 계약량을 적용하고 있으며, 농업용수 및 하천유지용수는 배분량을 적용하여 분석을 수행한다. 산정된 모의유입량과 공급량을 적용하여 Table 1의 가뭄대응 단계별 기준을 충족시키도록 기준저수량을 산정하며 500년 모의기간 중 475년 이상 단계별 용수공급이 가능한 최소의 확보저수량을 시행착오법으로 계산하여 기준저수량을 산정한다. 과거의 기록치가 확보되어 있는 다목적댐의 경우 갈수량 해석에 추계학적 해석을 추천하고 있으며 현재까지 운영되고 있다. 그러나 향후 미래에 발생하게 되는 기후변화에 대응하기 위해서는 기존에 발생된 유입량보다 극한값의 유입량이 발생할 가능성이 있다. 따라서 본 연구에서는 기후변화 시나리오가 적용된 합천댐의 유입량을 이용하여 상기의 산정 기준절차에 따라 기후변화 반영 합천댐의 기준저수량을 산정하였다.

기후변화 시나리오는 Jung *et al.* (2018)의 연구에서 기후변화 시나리오 자료의 불확실성 고려를 위한 대표 GCM(Global Climate Model) 선정기법을 통해 선정된 13개 GCM의 대표 농도경로(Representative Concentration Pathway, RCP) 시나리오 중 RCP4.5, RCP8.5 시나리오를 적용하였다(Table 2). 댐 유입량은 선정된 13개 GCM과 RCP4.5, RCP8.5 시나리오를 입력자료로 HSPF(Hydrological Simulation Program-FORTRAN) 모형을 통해 산정된 합천댐 유입량을 적용하였다(APCC, 2018). 기후변화 시나리오를 반영한 가뭄 대응 단계 발령 기준인 기준저수량 산정절차는 현행기준과 동일하나, 추계학적

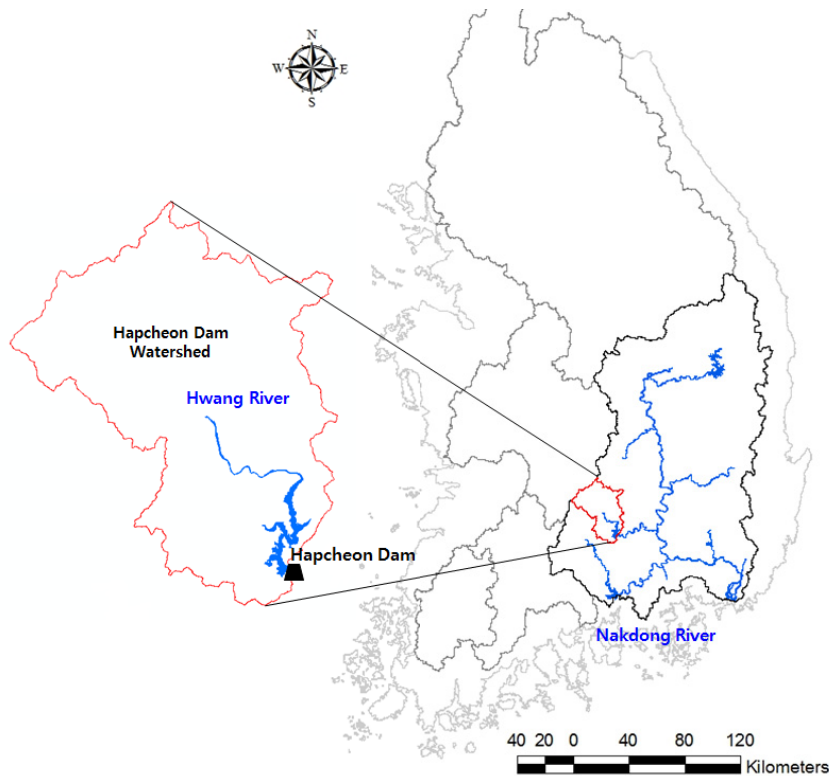


Fig. 1. Hapcheon dam watershed

Table 2. CMIP5 model names

No	GCMs	No	GCMs
1	INM-CM4	8	IPSL-CM5A-MR
2	HadGEM2-ES	9	CMCC-CMS
3	NorESM1-M	10	CMCC-CM
4	MRI-CGCM3	11	IPSL-CM5A-LR
5	GFDL-ESM2G	12	CanESM2
6	CNRM-CM5	13	HadGEM2-AO
7	CESM1-BGC		

500년 모의 발생 유입량 대신 13개 GCM과 2개 RCP 시나리오 기반 2,314년(13개 GCM × 2개 RCP × 2011년부터 2099년까지 89년)유입량자료를 이용하여 산정하였으며 결과는 Fig. 2와 같다.

시나리오가 반영된 합천댐의 기준저수량 산정결과와 기존 기준저수량을 비교한 결과는 Table 3과 같으며, 관심, 주의, 경계, 심각한 4단계에서 평균적으로 기준저수량이 34% 증가하는 것으로 나타났다. 기준저수량이 상향된 이유는 기후변화 시나리오 반영 유입량이 과거 유입량의 조건보다 극한값의 유입량이 유입되어 상향 되는 것으로 판단되었다.

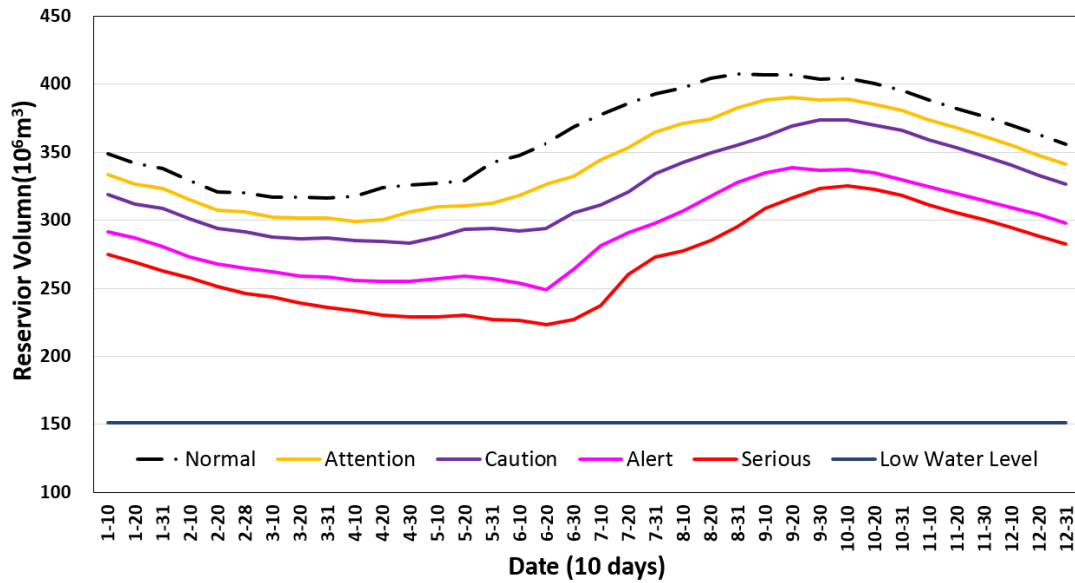


Fig. 2. Standard water volume lines of hapcheon dam

Table 3. Comparison of standard water volume line considering climate change scenario

Date	Drought stage				Normal	Date	Drought stage				Normal
	Attention	Caution	Alert	Serious			Attention	Caution	Alert	Serious	
1.10	30%	31%	33%	32%	29%	7.10	31%	41%	50%	50%	27%
1.20	30%	30%	33%	32%	29%	7.20	29%	34%	44%	46%	26%
1.31	30%	30%	32%	32%	29%	7.31	27%	32%	36%	41%	25%
2.10	29%	30%	31%	31%	28%	8.10	26%	30%	36%	35%	26%
2.20	28%	30%	32%	30%	27%	8.20	26%	28%	37%	32%	28%
2.28	30%	30%	32%	29%	29%	8.31	28%	28%	38%	33%	29%
3.10	29%	30%	32%	30%	29%	9.10	31%	30%	39%	38%	30%
3.20	30%	30%	31%	28%	29%	9.20	32%	31%	40%	40%	31%
3.31	31%	32%	33%	28%	30%	9.30	32%	34%	40%	42%	31%
4.10	31%	32%	32%	28%	32%	10.10	34%	35%	39%	42%	33%
4.20	33%	34%	32%	28%	37%	10.20	34%	34%	39%	41%	33%
4.30	37%	34%	33%	29%	38%	10.31	34%	35%	38%	39%	33%
5.10	39%	37%	36%	31%	38%	11.10	33%	34%	37%	37%	32%
5.20	40%	41%	38%	33%	39%	11.20	32%	33%	36%	37%	32%
5.31	43%	43%	40%	33%	44%	11.30	33%	33%	36%	36%	32%
6.10	47%	46%	39%	35%	46%	12.10	32%	32%	35%	35%	31%
6.20	48%	52%	42%	36%	35%	12.20	31%	31%	34%	34%	31%
6.30	36%	52%	52%	41%	29%	12.31	31%	31%	33%	33%	30%

4. 기후변화 대응 다목적댐 용수공급 능력 평가

4.1 평가방법

댐설계기준-해설(KWRA, 2011)에서는 용수공급능력 평가시 수자원의 효율적 이용 측면과 안정적인 물 공급을 동시에 고려할 수 있는 신뢰도 기준이 보다 합리적이므로 이 기준을 적용할 것을 권장하고 있다. 따라서 기후변화 시나리오(26개: RCP 4.5/8.5, 13개 GCM) 기반 유입량에 대한 다목적댐 용수공급능력평가는 기간신뢰도를 기준으로 적용하였다. 신뢰도는 해당 수자원 시스템의 상태가 운영 기간 동안 얼마나 정상적으로 운영되었는가의 확률이라고 정의되며, 총 용수공급기간 중 용수공급 제한이 시행된 기간의 비율로 용수공급능력을 평가하는 기간신뢰도를 산정하는 공식은 Eq. (1)과 같다.

$$Rel_t(\%) = [1 - \frac{T_s}{T_n}] \times 100\% \quad (1)$$

여기서 Rel_t 는 기간신뢰도, T_s 는 용수부족기간, T_n 은 총 분석기간을 의미한다.

평가 대상은 현행 국가기준인 댐·보 등의 연계운영 중앙협의회 관측자료 기반의 가뭄 대응단계 발령기준과 시나리오를 반영한 가뭄 대응단계 발령기준이며, 기후변화 시나리오 기반 다목적댐 유입량에 대한 용수공급능력을 비교 분석하였다.

4.2 평가기준

저수지 모의운영에 필요한 초기 수위조건은 상시만수위에서 시작하는 것으로 설정하였으며, 저수지 운영특성상 수문년(10

월 1일~익년 9월 30일)을 적용하여 수자원장기종합계획에서의 연간단위 구분과 동일하도록 설정하였다. 또한, 저수지 모의운영 수위는 홍수기(6월 21일~9월 20일) 제한수위와 상시만수위(홍수기 외)를 초과하지 않도록 하였으며, 비상방류시설이 있는 용수공급가능수위 이하로 저하되지 않도록 설정하였다. 용수공급능력 평가에 이용된 공급량은 가뭄대응 단계별 용수제한공급 기준과 2018년 기준 용도별 공급량을 적용하였다.

분석단위의 경우 기존에는 순(10일)단위 또는 월 단위를 적용하였고 최근에는 일단위로 모의 운영하는 추세이나, 분석단위는 물부족 발생시 심각한 피해가 발생하는 한계기간으로 설정하는 것이 필요하다. 생·공용수의 경우 3일~5일, 농업용수의 경우 7일~10일 정도이므로 생·공용수 및 농업용수 특성을 반영하여 반순(5일) 단위를 적용하는 것이 적합하다고 판단하였다. 따라서 일 단위와 반순(5일) 단위를 적용하였으며, 용수공급 실패는 운영저수위(량)가 저수위(Low Water Level) 이하로 저하될 경우를 기준으로 하였다. 일 단위 평가는 총 저수지 모의운영 일수 중, 저수위 이하로 하강된 일수 기준이며, 반순(5일) 단위 평가는 년 중 1번이라도 저수위 이하로 저하되면 공급실패임을 의미한다.

4.3 기후변화 대응 다목적댐 기간신뢰도 평가

기간신뢰도 평가 기준을 반영하여 현행 국가기준인 댐·보 등의 연계운영 중앙협의회 관측자료 기반의 가뭄 대응단계 발령기준과 기후변화 시나리오 반영 가뭄 대응단계 발령기준에 대한 기간신뢰도를 평가하였다. 합천댐의 일 단위 분석 및 평가는 Table 4와 같고, 반순(5일) 단위 분석 및 연 단위 평가결과 Table 5와 같다. Table 2의 RCP4.5와 RCP8.5 시나리오별

Table 4. Result of reliability(1day)

	Reliability(%)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
National standard (RCP4,5)	99.9	98.9	99.8	100.0	99.9	99.3	99.8	99.2	91.1	99.9	99.8	100.0	100.0
Improvement standard (RCP4,5)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.2	100.0	100.0	100.0	100.0
National standard (RCP8,5)	97.4	99.9	99.0	100.0	99.9	99.9	100.0	95.8	99.3	100.0	98.2	100.0	99.9
Improvement standard (RCP8,5)	98.8	100.0	99.6	100.0	100.0	100.0	100.0	99.6	100.0	100.0	99.4	100.0	100.0

Table 5. Result of reliability(5days)

	Reliability(%)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
National standard (RCP4,5)	98.9	95.5	98.9	100.0	97.7	97.7	98.9	92.1	65.9	97.7	97.7	100.0	98.9
Improvement standard (RCP4,5)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	96.6	100.0	100.0	100.0	100.0
National standard (RCP8,5)	94.3	98.9	97.7	100.0	98.9	98.9	100.0	87.5	97.7	100.0	94.3	100.0	97.7
Improvement standard (RCP8,5)	97.7	100.0	98.9	100.0	100.0	100.0	100.0	96.6	100.0	100.0	97.7	100.0	100.0

13개 GCM을 대상으로 국가기준 및 기후변화 반영기준을 평가한 결과 대부분의 댐에서 기간신뢰도는 90%이상 확보되는 것으로 분석되었으며, 국가기준 대비 기후변화 반영기준에서 기간신뢰도가 높게 산정되었다.

다만, 기후변화 반영기준 대비 국가기준에서는 일부 GCM에서 기간신뢰도가 낮게 산정되어 다목적댐 용수공급에는 차질이 있을 것으로 분석되었다. Table 5의 RCP4.5의 CMCC-CMS 시나리오 기반의 유입량의 경우 기간신뢰도가 65.9%(국가기준, 반순 단위 분석 연간단위 평가)인 반면, 기후변화 시나리오 기반 가뭄 대응 단계 발령 기준을 적용할 경우 기간신뢰도가 96.59%로 용수공급에 어려움이 없을 것으로 분석되었다.

5. 결 론

본 연구에서는 현재 다목적댐 운영기준으로 적용되고 있는 댐 용수부족 대비 용수공급 조정기준을 기반으로 기후변화 시나리오를 반영한 가뭄 대응단계 발령기준을 수립하고 용수공급능력 평가를 수행하였다. 기후변화 시나리오가 반영된 합천댐의 기준저수량은 관심, 주의, 경계, 심각의 4단계에서 평균적으로 34% 증가하는 것으로 분석되었으며 이는 현재 기준으로 적용되고 있는 유입량의 조건보다 극한값의 유입량이 유입되어 상향 되는 것으로 판단되었다. 산정된 결과를 적용하여 국가기준과 기후변화 반영기준을 대상으로 용수공급능력 평가를 수행한 결과 대부분의 댐에서 기간신뢰도는 90%이상 확보되는 것으로 분석되었으며, 일부 GCM에서 국가기준의 기간신뢰도가 낮게 산정되어 다목적댐 용수공급에는 차질이 있을 것으로 분석되었다. 본 연구 결과를 반영하여 현재의 기준저수량을 30%이상 상향시켜 실제 댐 운영에 반영하기에는 현실적으로 한계가 있을 것이라 판단된다. 따라서 댐 연계운영 및 예비비 개념 등과 같은 비구조적인 대책과 병행하여 적용 가능한 기준저수량을 제시하는 후속 연구가 필요할 것이다. 이러한 대책을 반영하여 기후변화를 고려한 다목적댐의 운영기준이 수립된다면, 향후 미래 기후변화를 대비하기 위한 다목적댐의 운영방안 수립에 기여할 수 있을 것이다.

사 사

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 물관리연구사업의 지원을 받아 연구되었습니다.(과제번호 83078)

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 19CTAP-C129008-03).

References

- Ahn, JH, Lee, YM, and Yi, JU(2016). Improving the water yield capabilities using reservoir emergency storage and water supply adjustment standard, *J. of Korea Water Resources Association*, 49(12), pp. 1027-1034. [Korean Literature]
- APCC(APEC Climate Center)(2018) *Production of Hydrologic Scenarios using Data-Based HSPF Models for the Detailed AR5 Climate Change*, APEC Climate Center [Korean Literature]
- Choo, TH, Ko, HS, Yoon, HC, Noh, HS, and Son, HS(2015) The Estimation and Analysis of Miryang Dam Inflow based on RCP Scenario. *J. of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 16(5), pp. 3469-3476. [Korean Literature]
- Jang, CH, and Kim, YO(2016). Improvement of Water Supply Capability of the Nakdong River Basin Dams with Weirs, *J. of the Korea Society of Civil Engineers*, 36(4), pp. 637-644. [Korean Literature]
- Jin, YK, Jung, TH, Lee, SH, and Kang SU(2016). Reservoir Operations of Hapcheon Dam Applying a Discrete Hedging Rule and Ensemble Streamflow Prediction to Cope With Droughts, *J. of Korean Society of Hazard Mitigation*, 16(1), pp. 93-101. [Korean Literature]
- Jung, IG, Eum, HI, Lee, EJ, Park, JH, and Cho, JP(2018) Development of Representative GCMs Selection Technique for Uncertainty in Climate Change Scenario, *J. of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 60(5), pp. 149-162. [Korean Literature]
- Kang, MG, and Park, SW(2005) Assessment of Additional Water Supply Capacity Using a Reservoir Optimal Operation Model. *J. of Korea Water Resources Association*, 38(11), pp. 937-946. [Korean Literature]
- Kang, SU, Park, JH, Kang, HW, and Kim, HS(2019). Development of Weekly Rainfall-Runoff Model for Drought Preparedness and Response, *J. of Korean Society of Hazard Mitigation*, 19(4), pp. 45-52. [Korean Literature]
- Kang, TU, and Lee, SH(2015) Improvement of the Effect of a Reservoir System Simulation Under Floods for the Han River Basin by an Optimization Technique, *J. of Korean Society of Hazard Mitigation*, 15(6), pp. 119-127. [Korean Literature]
- Kim, JM, Park, JH, Jang, SH, and Kang, HW(2018a). Development and Effective Analysis of Termination Criteria at Each Drought Response Stage in a Multipurpose Dam, *J. of Korean Society of Hazard Mitigation*, 18(5), pp. 23-31. [Korean Literature]
- Kim, JM, Park, JH, Jang, SH, Kang, HW, and Kim, SD(2017). Applicability Evaluation of Real-time Standard Flow Index to Develop Termination Criteria at Each Drought Response Stage on Multi-purpose Dams, *J. of Korean Society of Hazard Mitigation*, 17(6), pp. 411-420. [Korean Literature]
- Kim, JM, Park, JH, Jang, SH, Kim, HS, and Kang, HW(2018b). Improving Reservoir Operation Criteria to Stabilize Water Supplies in a Multipurpose Dam: Focused on Nakdong

- River Basin in Korea, *Water*, 10(9), pp. 1236
- KWRA(Korea Water Resources Association)(2011) *Explanation of dam design standards* [Korean Literature]
- Lee, S, Kang, T, and Lee, KS(2017). An operational model of a reservoir system simulation for real-time flood control in the Han River Basin. *J. of Flood Risk Management*, 10(4), pp. 499-510.
- Lee, SH, and Kang, TU(2006) An Evaluation Method of Water Supply Reliability for Dams by Firm Yield Analysis. *J. of Korea Water Resources Association*, 39(5), pp. 467-478. [Korean Literature]
- MOLIT(Ministry of Land, Infrastructure and Transport)(2015) *Improvement Report of Water Supply Adjustment Criteria* [Korean Literature]
- MOLIT(Ministry of Land, Infrastructure and Transport)(2016) *Improvement Report of Water Supply Adjustment Criteria* [Korean Literature]
- MOLIT(Ministry of Land, Infrastructure and Transport)(2018) *Improvement Report of Water Supply Adjustment Criteria* [Korean Literature]
- Park, JH, Kwon, HH, and No, SH(2011). Outlook of discharge for Daecheong and Yongdam dam watershed using A1B climate change scenario based RCM and SWAT model. *J. of Korea Water Resources Association*, 44(12), pp. 929-940. [Korean Literature]