



Evaluation of the linked operation of Pyeongrim Dam and Suyangje (dam) during period of drought

Park, Jinyong^a · Lee, Seokjun^b · Kim, Sungi^c · Choi, Se Kwang^d · Chun, Gunil^e · Kim, Minhwan^{f*}

^aSenior Director, Yeongsangang & Seomjingang Rivers Basin Head Office, Korea Water Resources Corporation, Gwangju, Korea

^bGeneral Manager, Yeongsangang & Seomjingang Rivers Basin Head Office, Korea Water Resources Corporation, Gwangju, Korea

^cGeneral Manager, Yeongsangang & Seomjingang Rivers Basin Head Office, Korea Water Resources Corporation, Gwangju, Korea

^dGeneral Director, Yeongsangang & Seomjingang Rivers Basin Head Office, Korea Water Resources Corporation, Gwangju, Korea

^eGeneral Director, Yeongsangang & Seomjingang Rivers Basin Head Office, Korea Water Resources Corporation, Gwangju, Korea

^fProfessor, Department of Civil & Environmental Engineering, Honam University, Gwangju, Korea

Paper number: 24-010

Received: 20 February 2024; Revised: 20 March 2024; Accepted: 27 March 2024

Abstract

The spatial and temporal non-uniform distribution of precipitation makes water management difficult. Due to climate change, non-uniform distribution of precipitation is worsening, and droughts and floods are occurring frequently. Additionally, the intensity of droughts and floods is intensifying, making existing water management systems difficult. From June 2022 to June 2023, most of the water storage rates of major dams in the Yeongsan river and Seomjin river basin were below 30%. In the case of Juam dam, which is the most dependent on water use in the basin, the water storage rate fell to 20.3%, the lowest ever. Pyeongnim dam recorded the lowest water storage rate of 27.3% on May 4, 2023. Due to a lack of precipitation starting in the spring of 2022, Pyeongnim dam was placed at a drought concern level on June 19, 2022, and entered the severe drought level on August 21. Pyeongrim dam and Suyangje(dam) have different operating institutions. Nevertheless, the low water level was not reached at Pyeongnim dam through organic linkage operation in a drought situation. Pyeongnim dam was able to stably supply water to 63,000 people in three counties. In order to maximize the use of limited water resources, we must review ways to move water smoothly between basins and water sources, and prepare for water shortages caused by climate change by establishing a consumer-centered water supply system.

Keywords: Drought, Linked Operation, Pyeongrim dam, Water resources facilities

가뭄 시 평림댐과 수양제 연계 운영 평가

박진용^a · 이석준^b · 김선기^c · 최세광^d · 전근일^e · 김민환^{f*}

^a한국수자원공사 영섬유역본부 차장, ^b한국수자원공사 영섬유역본부 팀장, ^c한국수자원공사 영섬유역본부 부장,

^d한국수자원공사 영섬유역본부 차장, ^e한국수자원공사 영섬유역본부 차장, ^f호남대학교 토목환경공학과 교수

요 지

강수의 공간적·시간적 불균형이 물관리를 어렵게 하고 있다. 기후변화로 인해 강수의 불균형이 심화되고, 가뭄과 홍수가 빈번하게 발생하고 있다. 또한 가뭄과 홍수의 강도가 심화되어 기존의 물관리 시스템을 어렵게 만들고 있다. 2022년 6월부터 2023년 6월까지 영섬유역의 주요 수자원시설 저수율이 대부분 30% 이하였으며 유역 내 가장 용수 의존도가 높은 주암댐의 경우에 역대 최저 저수율인 20.3%까지 하락하였고 평림댐은 2023년 5월 4일 최저 저수율 27.3%를 기록하였다. 평림댐은 2022년 6월부터 강수량 부족으로 2022년 6월 19일 가뭄 관심 단계가 발령되었고 연이어 7월 2일 가뭄 주의 단계, 8월 21일 가뭄 심각 단계에 진입하였다. 수양제와 연계 운영이 가능한 평림댐은 관리기관이 다르다. 그럼에도 불구하고 가뭄 상황에서 유기적 연계 운영을 통해 평림댐에서 저수위에 도달하지 않고 3개군 급수인구 63,000명에게 안정적으로 용수를 공급할 수 있었다. 한정된 수자원 활용을 극대화할 수 있도록 유역간, 수원간 물이동을 원활하게 이동 가능 방안을 검토하여 수요자 중심의 물공급 시스템을 갖추어 기후변화로 인한 물부족 상황에 대비해야 한다.

핵심용어: 가뭄, 연계운영, 평림댐, 수자원시설

*Corresponding Author. Tel: +82-62-940-5462

E-mail: kimmh@honam.ac.kr (Kim, Minhwan)

1. 서론

‘물은 지구의 물순환 체계를 통하여 얻어지는 공공의 자원으로 모든 사람과 동·식물 등의 생명체가 합리적으로 이용하여야 하고, 물을 관리할 때에는 그 효용을 최대한으로 높이되 잘못 쓰거나 함부로 쓰지 아니하며, 자연환경과 사회·경제 생활을 조화시키면서 지속적으로 이용하고 보전하며 그 가치를 미래로 이어가게 함을 기본이념으로 한다.’는 물관리기본법의 기본이념이다(NWMC, 2022).

수자원 이용 효율을 향상시키는 것이 기후변화로 인해 점점 더 어려워지고 있다. 기후변화로 인해 수자원 관리의 기본 가정 사항인 정상성(stationarity)이 더 이상 유효하지 않다. 이에 따라 새로운 분석과 적응 전략이 필요하다고 지적하고 있다. 이처럼 기후변화가 일상화된 상태에서 2020년 섬진강 유역에는 2일만에 걸쳐 200년 빈도를 초과하는 347.8 mm (48시간)의 강우가 발생하였다. 순창과 남원 강우관측소에서는 최대 500년 빈도의 강우가 발생하였다. 이후 2022년과 2023년에 영산강유역과 섬진강유역에서 가뭄을 겪게 되었다. 2022년 누적강우량은 854.5 mm로 예년 대비 61% 수준이며 73년 기상관측 이후 역대 최저 3번째 수준을 기록하였다. 영산강유역에 생활용수를 공급하는 주암댐은 준공 이후 최초로 가뭄 ‘심각’ 단계(2022년 8. 30일 기준)에 진입하였다. 2023년 4월 4일 역대 최저 저수율(20.3%)을 기록하였으며, 251일간의 가뭄 심각단계 지속 후 2023년 5월 8일 가뭄단계가 해제되었다. 도서지역은 더욱 심각한 상황으로 완도군 넓도의 경우에 371일 동안 제한급수를 시행한 바 있다(K-water, 2023b).

평림댐은 2022년 초(1월~5월) 예년 대비 52%에 불과한 강우량, 5월 극심한 강수 부족, 홍수기 마른장마가 이어졌다. 이에 따라 6월과 7월에 가뭄 관심과 주의 단계발령, 8월에는 심각 단계로 진입하였다. 지속되는 가뭄으로 2023년 5월 최저저수율을 기록하였으며 2023년 7월 초에 정상 단계로 환원되었다. 평림댐 용수공급능력 확보를 위해 인근에 위치한 농업용 저수지인 수양제와 수원간 연계 운영을 가뭄대책으로 시행하였다. 평림댐과 수양제는 물관리기관이 서로 다르나 가뭄 발생 시 기존 수자원의 효율적 활용을 위해 물관리기관 간 적극적 협업한 사례로 2020년~2023년 광주·전남 지역의 가뭄에서 평림댐과 수양제의 연계 운영 성과를 분석하여 제시하고자 한다.

2. 영섬유역 가뭄 상황 및 평림댐 운영 특성

평림댐과 수양제는 물환경보전법 제22조에 따라 영산강

유역 및 섬진강유역 범위에 포함된다. 이 범위는 물관리 기본법 시행령 제22조에 제시되어 있다. 물관리기본법 제22조에 ‘물의 적정배분을 위한 유역간 물 이동’에 대해 국가물관리위원회에서 심의·의결하도록 되어 있다(NWMC, 2022). 이에 따라 평림댐을 포함한 주변의 가뭄 상황을 살펴보고자 한다.

2.1 영섬유역 가뭄 상황 분석

가뭄은 특정 지역의 좁은 공간에서 발생하는 것이 아니라 동질성이 있는 광범위한 유역에서 발생된다. 또한 평림댐이 속한 영산강유역은 생공용수를 섬진강유역에서 공급받는 상황이므로 영산강유역과 섬진강유역의 기상 상황 등을 동시에 검토해야 한다. 영산강·섬진강유역(이하 영섬유역) 주요 수자원 저류시설은 총 13개소로 다목적댐 3개소, 생공용수전용댐 3개소, 수력발전용댐 1개소, 농업용댐 6개소(저수용량 1천만 m³ 이상)이며 그 위치를 Fig. 1에 나타냈다. 영산강유역에는 다목적댐인 장흥댐, 생공용수전용댐인 평림댐, 저수용량 1천만 m³ 이상 농업용댐인 장성댐, 담양댐, 광주댐, 나주댐, 수양제, 불갑제가 있다. 섬진강유역에는 다목적댐인 주암댐, 섬진강댐, 생공용수전용댐인 수어댐, 동복댐, 수력발전전용댐인 보성강댐이 있다.

영산강유역에는 다목적댐이 없으며 최상류 구간에 있는 4대호를 통해 유역 내에 농업용수를 공급하고 있다. 농업용 저수지는 관개기에만 용수를 공급하고 비관개기에는 용수를 비축한다. 또한 관개수로를 통해 공급하므로 하천 방류량이 많지 않다. 영산강유역의 주요 수자원시설은 농업용수 공급을 주목적으로 하고 있으므로 광주광역시와 전남 남서부권의 대부분은 섬진강(주암, 동복댐)유역으로부터 생공용수를 공급(73%) 받고 있다. 수리권 측면에서 섬진강유역 주민과 갈등이 상존하고 있다.

섬진강유역의 댐들은 확보된 물의 상당부분이 타유역으로 공급되고 있다. 섬진강댐은 동진강으로 전체 확보된 용수의 83%를 농업용수로 공급하고 있으며, 주암댐과 동복댐은 영산강유역으로 전체 용수의 각각 65%, 100%를 생공용수(주암댐 일부 환경용수 포함)로 공급하고 있다. 또한, 보성강댐은 득량만으로 발전 및 농업용수를 공급하고 있어, 영섬유역의 가뭄 상황을 검토하기 위해 유역간 물 이동에 대한 상황을 파악해야 한다(YSWMC, 2023).

영섬유역 가뭄은 2022년 3월 10일 전남 완도 도서지역이 가뭄 경계단계에 진입하면서 시작되었다. 내륙지역은 2022년 6월 19일 전남 북부지역 관심 단계 진입을 시작으로 7월에 영섬유역 전역에 걸쳐 경계 단계로 격상되었다. 2023년 5월 강우로 관심 단계로 완화되었고 7월 5일에 가뭄이 해제되었다.



Fig. 1. Major water resources facilities in the Yeongsan & Sumjin River Basin

영섬유역에 대한 가뭄 상황을 살펴보면 2022년 강수량은 평년 대비하여 약 400~600 mm 정도가 적게 발생되었다. 특히 영섬유역으로 공급되는 생공용수는 주암댐, 섬진강댐, 장흥댐, 동북댐, 평림댐 등이며 댐으로 유입되는 강수량이 적어서 가뭄의 주요 원인이 되었다. 주암댐에서 2022년 6월~8월까지 5~30년 빈도의 유입량이 발생되었다. 9월에 평년 수준 유입량 발생 후, 2022년 12월까지 5~20년 빈도 유입량이 발생되었다. 섬진강댐에는 2022년 6월 평년 수준의 유입량이 발생되었으나 이후 9월까지 5~20년 빈도 유입량이 발생되었다. 2023년 5월까지 8개월 동안 3차례(2022년 11월, 2023년 1월, 5월)를 제외하고 매월 유입량이 적었다. 유입량이 감소되는 상황에서 용수 수요는 증가하고 있는 실정이다. 영섬유역의 최근 10년간 일평균 공급량이 증가하고 있으며 2022년에는 유역 전체 광역 및 공업용수 시설용량 1,906천 m³/일 중에서 80%인 1,521.4천 m³/일에 도달하였다. 2021년과 2022년에는 일최대 공급량이 시설용량을 초과하였다.

2022년 전국 강수량을 살펴보면 1,150.4 mm로 평년의 86.7%이며 광주·전남의 경우 평년의 61.4%(854.5 mm)로 역대 최저 3위 수준이다. 특히, 2022년 1월, 2월, 5월의 경우 평년 대비 7% 이내로 기상관측 사상 역대 최저를 기록하였고

갈수기 종료 후 강수량이 급격하게 증가하는 5~8월 평년대비 매우 적은 양의 강우로 가뭄상황이 더욱 심화되었다. 전국 기상가뭄 발생일수는 156.8일로 2015년 168.2일에 이어 두 번째이며, 광주·전남의 경우에 281.3일로 기상관측 이래 최장 기간 가뭄으로 기록되었다. 구체적인 현황을 Tables 1 and 2에 수록하였다.

가뭄 분석 방법 중에 하나인 아노말리 분석을 광주지역 관측값에 대해 수행하여, 분석 결과를 다음 Fig. 2에 제시하였다. 아노말리 분석은 어느 특정지역에서 강수량과 같은 기상인자가 장기간의 평균값으로부터 변화하는 차이값을 말한다. 즉, 과거 동일 기간의 평균(그림 그래프선의 0선) 대비 시기별 강수량의 과부족을 계산하여 강수가 부족했던 기간(지속기간)과 강수 부족량(깊이)을 구하여 가뭄의 발생 시기와 규모를 분석하는 기법이다. 광주지역 관측값 1973년부터 2023년(50년)에 대해 아노말리 분석 결과, 가뭄 심도 평균 대비 강수부족량은 역대 최고 수준을 보여주고 있다.

2022년 6월부터 2023년 6월까지 영섬유역의 주요 수자원시설 저수율이 대부분 30% 이하를 보여주고 있으며 유역 내 용수의존도가 가장 높은 주암댐의 경우 저수율이 20.3%까지 하락하였다. 평림댐은 2022년 가뭄(2022년 1월~12월 누적강우량

Table 1. Precipitation in Gwangju and Jeonnam in 2022 (KMA, 2023b)

Category	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Sum
Precipitation (mm)	2.1	1.7	118.2	83.6	2.9	90.2	200.7	121.5	149.9	23.8	43.1	16.7	854.4
Percent of normal precipitation (%)	6.7	4.2	150.0	68.2	2.3	52.2	77.9	45.5	95.5	38.0	84.0	47.7	61.4
Standard normals (mm)	29.6	43.7	79.7	109.3	118.6	176.8	259.4	267.0	156.0	64.7	52.3	33.0	1,390.1
Lack (mm)	-27.5	-42.0	38.5	-25.7	-115.7	-86.6	-58.7	-145.5	-6.1	-40.9	-9.2	-16.3	-535.7

Table 2. Days of weather drought (KMA, 2023a)

Category	Seoul & Gyeonggi	Gwangwon	Gyungbuk	Gyungnam	Chungbuk	Chungnam	Junbuk	Gwangju & Jeonnam	Jeju	Nation wide
Abnormally drought	40.1	54.6	79.5	126.0	63.2	52.4	120.9	144.4	63.0	83.3
Moderate drought	22.7	22.9	81.7	94.7	26.9	31.6	36.6	117.2	38.5	56.8
Severe drought	1.8	0.4	54.4	28.8	3.4	7.0	5.3	19.7	0.0	16.7
Extreme drought	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sum	64.6	77.9	215.6	249.5	93.5	91.0	162.8	281.3	101.5	156.8

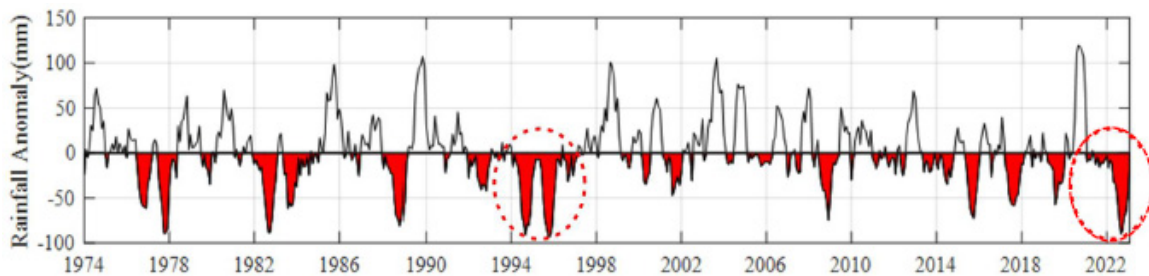


Fig. 2. Analysis of anomalies in Gwangju (NAWF, 2023)

Table 3. Minimum water storage volume of major water resources in the Yeongsan & Sumjin River basin (June 2022 to June 2023) (K-water 2023c)

Category	Multipurpose dam			Water dam		
	Juam Dam	Sumjingang Dam	Jangheung Dam	Sueo Dam	Pyunglim Dam	
Minimum water storage (million m ³) (Date)	143.3 (`23.4.4)	97.81 (`23.1.7)	54.86 (`23.4.4)	11.58 (`22.6.5)	2.80 (`23.5.4)	
Lowest water storage rate (%) (Vaild water storage rate (%))	20.3	21.0 (20.9)	28.7 (24.7)	33.8 (20.8)	30.1 (27.3)	
Category	Water dam	Agricultural dam				
	Dongbok Dam	Damyang Lake	Gwangju Lake	Jangsung Lake	Naju Lake	Suyang Lake
Minimum water storage (million m ³) (Date)	17.60 (`23.4.4)	21.77 (`23.6.26)	4.64 (`22.7.11)	29.61 (`23.6.26)	32.28 (`23.6.24)	3.43 (`22.7.11)
Lowest water storage rate(%)	19.1	28.4	30.5	29.7	30.3	29.0

예년대비 58.8%)으로 2023년 5월 4일 최저저수율 27.3%를 기록하였다. 주요 댐의 저수량 상황을 Table 3에 제시하였다.

2.2 평림댐 운영 특성과 현황

평림댐은 전라남도 장성군, 함평군, 영광군, 담양군 등 전남 서부권 지역의 안정적 용수공급을 위해 2007년 4월에 준공된 중심코아형 석괴댐(E.C.R.D)으로 장성군 삼계면에 위치하고 있다. 평림댐은 영산강 제1지류 황룡강의 지류 하천인 평림천(유역면적 116.5km², 유로연장 28.7km)에 위치하고 있으며 댐 유역면적은 19.9km², 총 저수용량은 8.5백만 m³, 유효저수용량은 8.1백만 m³으로 연간 11.8백만 m³(생공 8.8백만 m³, 농업 1.7백만 m³, 하천유지 1.3백만 m³) 용수를 공급하도록 건설되었다(IRMA, 2009).

평림댐 유역의 최근 10년간(2014년~2023년) 평균강수량은 1,400 mm로 최저치는 2022년에 808 mm, 최고치는 2023년 2,182 mm로 불과 1년 사이에 약 2.7배 차이를 보여주고 있다. 댐 설계시 연평균강수량 1,339 mm (1967~1996년)와 비

교했을 약 1% 수준의 증가가 있었다. 평림댐의 최근 10년간 연도별 강수량을 Fig. 3에 제시하였다(K-water, 2023c).

댐 용수공급 능력은 설계시 설정한 이수안전도(용수댐 설계빈도 : 10년에 1회 물부족, 평림댐 설계 이수안전도 91%)를 만족하기 위한 충분한 유량이 댐으로 유입되어야 한다. 평림댐의 최근 10년 연간 평균유입량은 8.9백만 m³으로 설계 당시 유입량인 연간 14백만 m³의 약 64% 수준에 불과하다. 평림댐의 연도별 평균유입량을 Fig. 4에 나타냈다(K-water, 2023c). 즉 최근 10년간 연평균 강우량은 설계 당시와 비슷하다. 그러나 기후변화로 강우 일수는 줄어드는 반면 강우 집중도 증가, 그리고 최고·최저 강우 극값의 편차가 커지는 기후 패턴 변화로 인해 발생하는 수문학적 유입, 유출 특성이 댐 운영에 영향을 주고 있다고 추정할 수 있다.

평림댐은 ‘23년 기준 연간 10.4백만 m³의 용수를 공급하였고 최근 5년의 평균 용수공급량은 10.6백만 m³으로 설계시 배분된 기본계획공급량(11.8백만 m³/년)의 약 90%를 공급하고 있다. 연도별 용수공급량과 용수 공급률을 Table 4에 제시하

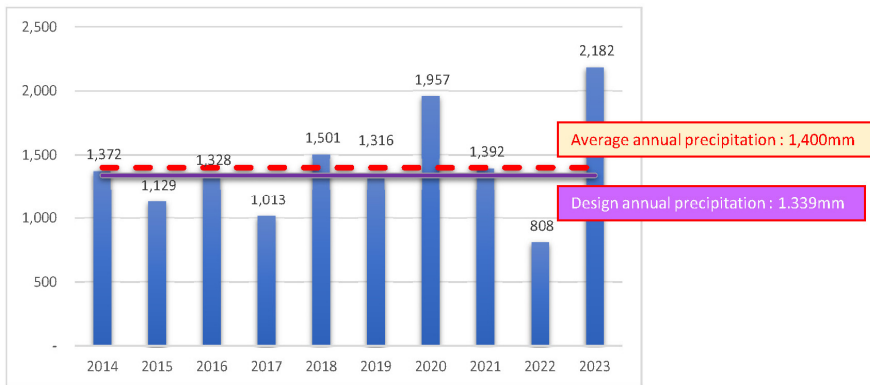


Fig. 3. Annual precipitation of Pyeongrim Dam (unit: mm)

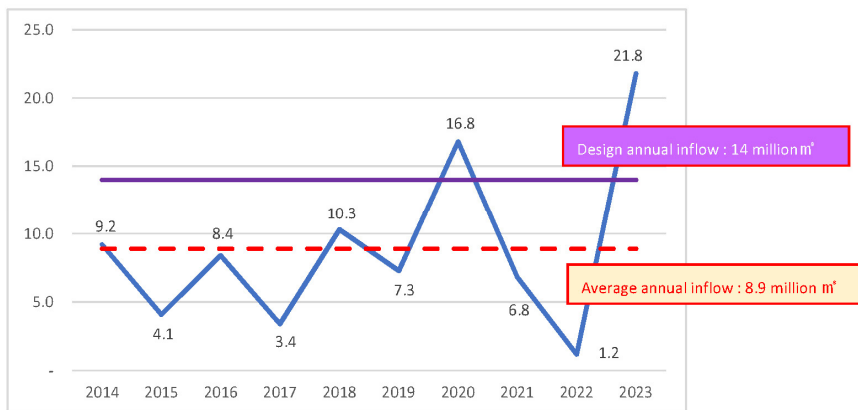


Fig. 4. Average annual inflow of Pyeongrim Dam (unit: million m³)

Table 4. Water supply status and demand rate of Pyeongrim Dam

Content	2019	2020	2021	2022	2023	Average
Water supply status (million m ³ /year, A)	10.4	11.0	10.9	10.5	10.4	10.6
Design water demand status (million m ³ /year, B)	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8
Water supply and demand status rate (A/B, %)	88.1	93.2	92.4	89.0	88.1	89.8

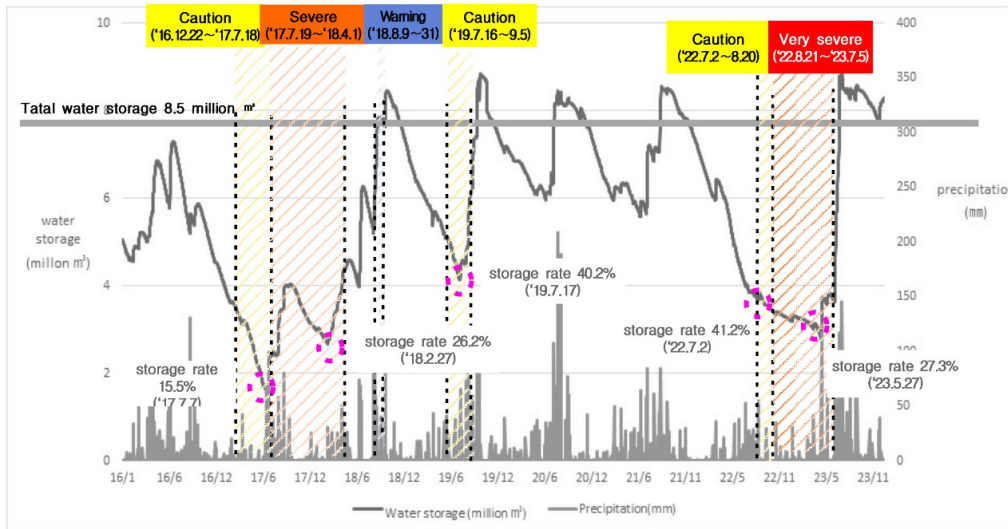


Fig. 5. Drought occurrence status due to changes in water storage in Pyeongrim Dam

였다(K-water, 2023c; WS 2021). 이는 평림댐 물 공급 능력 대비 물수요가 큰 편으로 가뭄 발생시 용수부족 가능성이 높은 상황임을 알 수 있다.

평림댐은 설계 당시 보다 유입량이 적고 수요량이 많아서 2015년 이후 총 6년간(‘16~‘19년, ‘22~‘23년) 가뭄 위기가 발생하는 등 가뭄에 취약한 것으로 나타났다. ‘주의’ 단계 3번을 포함하여 ‘경계’, ‘관심’, ‘심각’ 단계가 6회 발생되었다. 이처럼 평림댐의 가뭄 상황 발생시 안정적 용수공급을 위한 다양한 대책이 요구된다. 평림댐 강수량 및 저수율에 따른 가뭄 발생 현황을 Fig. 5에 나타냈다(K-water, 2023d).

3. 평림댐 가뭄대응과 운영

3.1 평림댐 가뭄 대응 방안

강수량 부족 상황발생 시 댐 용수공급의 안정성을 확보하고 가뭄에 선제적으로 대비하기 위해 2015년에 댐 용수공급 조정기준(K-water, 2023a)을 수립하여 단계별 공급량 감축 등 Action-Plan을 시행하고 있다. 댐 저수량이 가뭄 단계별 기준저수량 이하로 저하될 경우, 관계기관 협의를 통해 댐에서

공급하는 용수를 감량하여 저수량을 확보한다. 평림댐은 가뭄 관심, 주의, 심각 3단계의 대응 기준저수량을 설정하였다. 댐 저수량이 각 단계에 도달하는 경우, 댐에서 공급하는 하천 유지용수(농업용수 실사용량 공급) → 생공용수 순으로 용수를 감량하여 공급한다. 평림댐의 가뭄단계별, 용수공급 조정 기준을 순별로 Fig. 6에 제시하였다. 참고로 평림댐은 2018년 3월 용수공급 조정 기준이 제정되었고, 이전 가뭄에서는 기관 협의를 통해 가뭄단계를 설정하였다.

평림댐은 댐에 배분된 용수를 감량하여 공급하는 방안과 함께 2017년 11월에 인근 농업용댐인 수양제와 비상 연계 관로를 설치하여 가뭄 상황시 수원간 연계 저류(한국수자원공사, 한국농어촌공사 용수공급 협약체결)를 시행하는 대책을 추진하였다. 평림댐 가뭄시 연계 운영하는 수양제는 1958년 준공된 농업용댐으로 전남 정성군 삼서면 수양리에 위치하며 유역면적은 33.0km², 유효저수량은 11.9백만 m³으로 수혜면적 15.0km²에 연간 2.1백만 m³의 용수를 공급하고 있으며, 2014년 중규모저수지 독높이기 사업을 통해 규모가 증대되었다. 연계 운영 방식을 Fig. 7에 제시하였다.

2022년 봄부터 강수량 부족으로 평림댐은 2022년 6월 19일 가뭄 관심 단계가 발령되었고 연이어 7월 2일 가뭄 주의 단

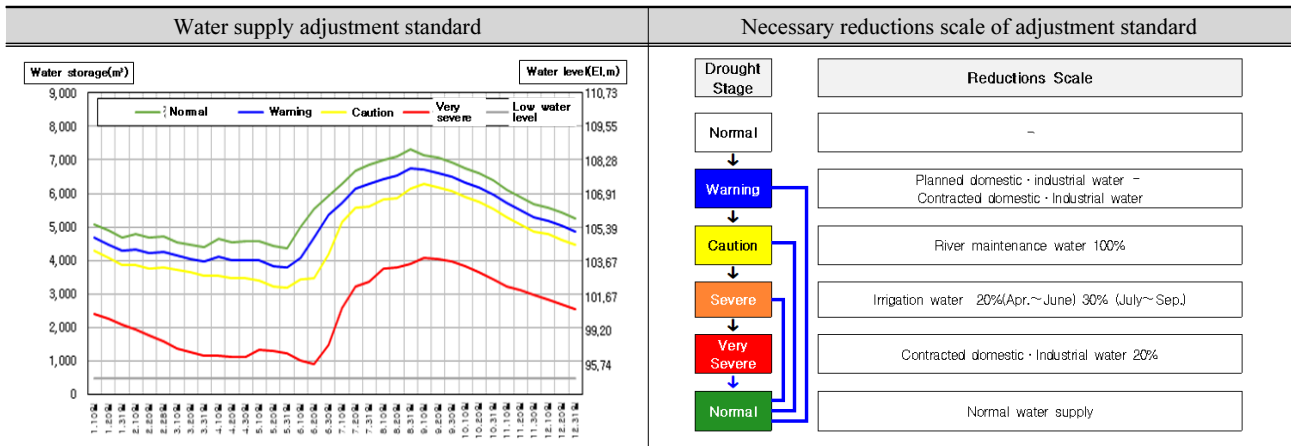


Fig. 6. Criteria for drought stage and water supply adjustment in Pyeongrim dam (K-water, 2023a)

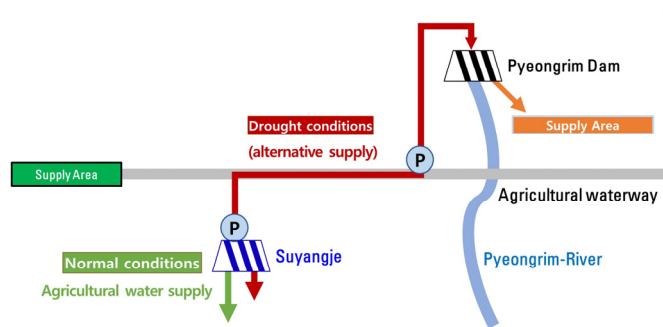


Fig. 7. Schematic diagram of linked operation of Pyeongrim dam and Suyangje (dam)

Table 5. Water storage status of Pyeongrim Dam

Content	Suyangje alternative supply	River maintenance flow reduce	Agricultural water reduce	Total
Action date	'22. 5. 30	'22. 7. 2	'22. 7. 6	-
Water reserve (millin m ³)	3.1	1.3	1.4	5.8

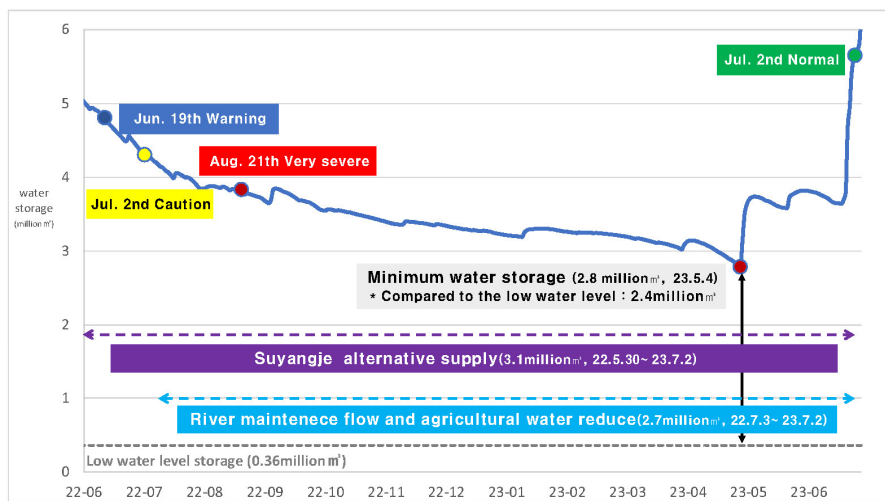


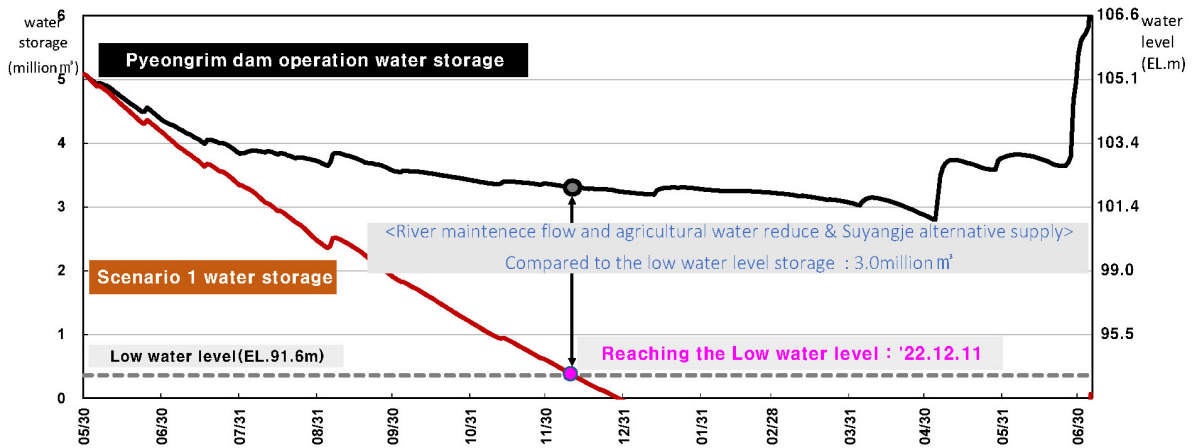
Fig. 8. Drought status in Pyeongrim dam between 2022 and 2023

Table 6. Results of linked operation of Pyeongrim dam-Suyangje (dam)

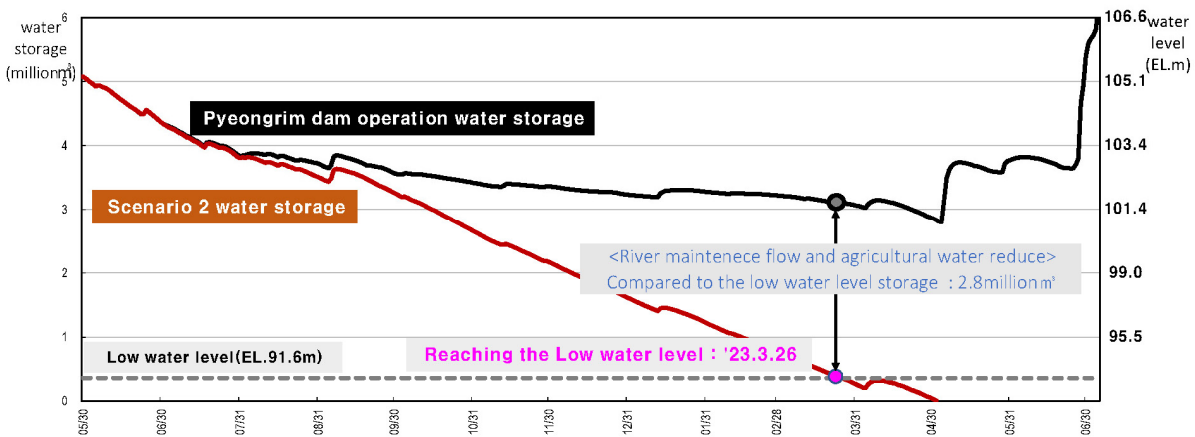
Content	Linked water storage (m ³)	Effect of Linked operation	Note
2017-2018 drought	1.96million	83 days supply of domestic water	Domestic water supply of Pyeongrim Dam : 24,000 m ³ /day
2022~2023 drought	3.08millions	129 days supply of domestic water	

Table 7. Simulation scenario of Pyeongrim dam

CASE	Simulation scenario (period : '22.5.30~'23.7.5)	Water supply (million m ³ /year)		
		Domestic	Agriculture	River Maintenance
①	Normal water supply	Domestic	Agriculture	River Maintenance
		8.8	1.7	1.3
		Average ('19~'21)	100%	100%
②	- River maintenance flow (100%) & Agricultural water (50%) reduce - Linked operation Pyeongrim and Suyangje not implement	Domestic	Agriculture	River Maintenance
		8.8	0.9	-
		Average ('19~'21)	50%	-



(a) Simulation scenario ①



(b) Simulation scenario ②

Fig. 9. Simulation results for the operation of Pyeongrim dam-Suyangje (dam)

계, 8월 21일 가뭄 심각 단계에 진입하였다(K-water, 2023b). 그 대응으로 가뭄단계에 진입하기 전인 5월 30일부터 선제적으로 수양제로부터 최대 일 1.8만 m³을 연계 저류 운영을 시작하였다. 7월부터는 댐 용수공급조정기준(K-water, 2023a)에 따라 하천유지용수를 100% 감량하였고, 하류 농업용수 공급 상황 등을 모니터링 하면서 농업용수 최대 50%를 감량하여 공급하였다. 그 결과, Table 5와 Fig. 8과 같이 댐 용수량을 비축하였고 댐 저수위 대비 2.44백만 m³(23년 5월 4일 기준: 저류량 2.8백만 m³-저수량 0.36백만 m³)을 확보하여 전남서부권 지역의 안정적 용수공급을 할 수 있도록 공급 능력을 유지하였다. 이후 2023년 장마 기간의 강우로 2023년 7월 5일 가뭄 단계가 해제되었다. 이 관계를 Fig. 8에 도시하였다.

3.2. 평림댐-수양제 연계 운영과 평가

평림댐 운영 이후 가장 극심한 가뭄이었던 2017~2018년, 2022~2023년에 평림댐-수양제를 연계 운영한 결과, 2017~2018년 가뭄에는 생활용수 83일 공급가능량인 1.96백만 m³을 연계 저류하였고 2022~2023년 가뭄에는 생활용수 129일 공급가능량인 3.08백만 m³을 평림댐에 확보하였으며 그 실적을 Table 6에 제시하였다.

최근 가뭄 사상인 2022년 5월 30일(가뭄단계 진입)부터 2023년 7월 5일(가뭄단계 해제)까지 평림댐 실측 유입량을 기준(수양제 연계 운영 포함)으로 가뭄 대응 효과를 분석하였다. ① 수양제와 연계 운영을 하지 않고 평림댐에서 생공용수, 농업용수, 하천유지용수를 가뭄 이전 상태를 적용하여 공급하는 경우(가뭄대책 미적용), ② 수양제와 연계 운영을 하지 않으며 평림댐에서 하천유지용수 100% 감량(1.3백만 m³ 비축), 4~9월 농업용수 50% 감량(1.4백만 m³ 비축)하는 경우에 대해 모의 운영을 수행하고 그 결과를 Table 7에 제시하였다. 모의 운영을 위해 생공용수 공급량은 가뭄시 자율절수 등 시행에 따라 공급량 감소분이 발생하므로 가뭄 발생 전인 2019~2021년의 평균 생공용수 공급량을 적용하였다.

모의 시나리오 ①은 가뭄대책을 시행하지 않고 수양제 연계 운영 없이 정상적으로 공급하여 운영하였을 경우로 평림댐은 가뭄단계 진입 후 불과 6개월여 만인 '22.12월 중순에 저수위에 도달하였으며 저수위 대비 3.0백만 m³의 저수량을 확보할 수 있는 것으로 분석되었다. 모의 시나리오 ②는 수양제 연계 운영 없이 하천유지용수(100%) 및 농업용수(50%)만 감량하여 시행하였을 경우로 평림댐은 '23.3월 말에 저수위에 도달하였으며 저수위 대비 2.8백만 m³의 저수량을 확보할 수 있는 것으로 분석되었다. 평림댐과 수양제를 연계하여 운영함으로써, 극심한 가뭄 상황에서 2023년 7월 5일 가뭄이 종료될

때까지 댐 용수공급 능력을 유지하면서 안정적으로 용수를 공급하였다. 이 결과를 Fig. 9에 도시하였다. 평림댐에서 수양제를 연계하여 운영한 실적을 댐운영 실적 저수량으로 표시하였다.

4. 결론

강수의 공간적·시간적 불균형이 물관리를 어렵게 하고 있다. 기후변화로 인해 강수의 불균형이 심화되고, 가뭄과 홍수가 빈번하게 발생하고 있다. 또한 가뭄과 홍수의 강도가 심화되어 기존의 물관리 시스템을 어렵게 만들고 있다. 영점유역에서 2020년부터 홍수와 가뭄이 연속하여 발생되어 물관리 시스템 변화의 필요성이 증대되었다. 유역간, 수원간 물이동을 통해 수요자 중심의 물공급을 원활하게 할 수 있는 사례로서 평림댐과 수양제의 연계 운영의 효과를 평가한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 2022~2023년 가뭄상황시 평림댐-수양제 두 수원의 관리기관이 다름에도 불구하고 가뭄 상황에서 유기적 연계 운영을 통해 평림댐 공급량 3.08백만 m³을 수양제로 대체공급하여 평림댐은 저수위에 도달하지 않고 3개군 급수인구 6.3만명에게 안정적으로 용수를 공급하였다.
- (2) 평림댐-수양제 연계 운영을 하지 않고 평림댐에서 정상적으로 용수공급을 수행하는 경우, 가뭄단계 진입 후 6개월(2022년 12월 11일)만에 저수위에 도달하는 것으로 분석되었다.
- (3) 평림댐-수양제 연계 운영을 하지 않고 가뭄시 평림댐의 용수공급 조정 기준에 따라 하천유지용수와 농업용수를 감량하여 공급하는 경우, 가뭄단계 진입 후 9개월(2023년 3월 26일) 이후에 저수위에 도달하는 것으로 분석되었다.

기후변화의 위기에 대비하여 한정된 수자원 활용을 극대화할 수 있도록 수원을 연계하고 다각화할 수 있도록 물 관리기관의 협업, 정부 및 국가물관리위원회 차원에서 대책을 마련하고 실행력을 확보해야 한다. 특히 영산강 유역의 물이용 자립도 증대와 급변하는 물이용 위기를 극복하기 위해서 유역내 다목적댐-농업용수댐-발전용댐-보 등 기존 수자원시설의 최적 연계 활용방안 마련을 통해 그 해답을 찾아야 한다. 장래 유역간, 수원간 물이동을 원활하게 이동 가능 방안을 검토하

여 수요자 중심의 물공급 시스템을 갖추어 기후변화로 인한 물부족 상황에 대비해야 한다.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- Iksan Regional Land Management Agency (IRMA) (2009). *Announcement of the completion of the Pyeongrim Dam Construction Project*.
- Korea Meteorological Administration (KMA) (2023a). *Characteristics of drought in 2022*.
- Korea Meteorological Administration (KMA) (2023b). Hydrological weather drought information system, accessed 15 November 2023, <<https://hydro.kma.go.kr>>.
- K-water (2023a). *Dam water supply adjustment criteria*.
- K-water (2023b). *Drought white paper on the Yeongsan & Seomjin River Basin (2022-2023)*.
- K-water (2023c). Water information portal system, accessed 15 January 2024, <www.water.or.kr>.
- K-water (2023d). *Water management practice manual*.
- National Assembly Water Forum (NAWF) (2023). *Policy forum on ways to secure sustainable water resources to cope with abnormal drought*.
- National Water Management Committee (NWMC) (2022). *Fundamental law for water management*.
- Waterworks Statistics (WS) (2021). National water supply information system, accessed 15 November 2023, <www.waternow.go.kr>.
- Yeongsan River and Seomjin River Basin Water Management Committee (YSWMC) (2023). *Comprehensive plan for water management in Yeongsangang River, Seomjingang River, and Jeju Region (2021~2030)*.