

하류 유황을 고려한 댐의 효율적 용수공급방안 연구

Effective Water Supply Operating System of Dam Considering River Flow

장석환*, 이제찬**, 이창해***, 박상우****

SukHwan Jang, JeChan Lee, Changhae Lee, SangWoo Park

요 지

본 연구는 기존댐의 효율적 이용을 위해 하류유황을 고려한 효율적 용수공급방안을 새로운 방법으로 제시하고자 하며 용수공급의 효율적 증대방안을 연구하는데 목적이 있다. 새로운 용수공급방안을 위하여 모의 적용되는 지역은 안동댐 유역을 선정하였으며 낙동강하류를 대표하는 진동지점의 유황특성을 파악하고 안동댐 실측운영자료를 기준으로 HEC-5 모형을 이용하여 안동댐 용수공급 신뢰도를 평가하여, 비홍수기에 추가 용수공급량에 대하여 방안별 용수공급능력을 평가하였다.

연구결과, 낙동강 유량이 풍부한 홍수기에 댐하류 공급량을 안동댐에 저장하였다가 비홍수기에 추가 공급하는 3가지 시나리오별로 분석하여 추가 용수 공급 가능량은 각 시나리오별로 $1.35\text{m}^3/\text{s} \sim 2.12\text{m}^3/\text{s}$ 정도로 평가하였으며, 이를 바탕으로 현시점에서 국내 기존댐에 대해 댐건설 당시 적용된 농업용수 사용량을 재조사하여 최적의 필요량을 공급하고 비홍수기에 공급할 수 있는 방안 등의 효율적인 용수공급증대 방안에 대하여 발전적인 연구와 실효성있는 댐운영을 기대한다.

핵심용어 : 용수공급, HEC-5 모형, 용수공급 신뢰도, 비홍수기 추가 용수공급량

1. 서 론

우리나라 수자원 이용량은 2006년 기준수요 시나리오를 기준할 때 343.8억 m^3 /년이나, 생활수준 향상, 도시화 및 산업화 등에 기인하여 2011년에는 355.0억 m^3 /년로 증가하고 개발중인 공급시설을 포함하면 물부족은 3.4억 m^3 /년정도 발생한다.(건설교통부, 2006, 수자원장기종합계획 보완) 이 물부족량을 규모면에서 기존댐 사례를 살펴보면 용수공급능력이 섬진강댐 3.5억 m^3 /년, 임하댐 5.9억 m^3 /년정도 규모의 취수원개발이 필요하다는 의미이다. 장래 물부족을 해소하기 위해서는 공급시설의 건설이 불가피하고 이중 댐개발이 가장 효과적인 방법이나, 신규댐 개발은 댐적지 희소, 사업비 증가, 공사비 양등, 댐건설의 장기화, 지역주민 및 각 환경단체의 반발 등으로 건설이 점점 어려워지고 있으며, 댐건설이 유보된 대표적인 사례로 영월댐, 내린천댐 및 마곡천댐 등이 있다. 장래 증가하는 물수요에 대하여 즉각적인 대처가 어려울 경우 물부족은 더욱 극심하게 되는 것은 자명하다. 이러한 측면에서 효과적인 신규 공급시설을 개발하거나, 기존 수자원의 효율적인 이용 및 활용을 위한 연구가 절실히 필요하다

기존 수자원의 효율적인 활용을 위한 용수공급능력평가 및 방안 증대에 대한 연구와 다르게 본 연구는 상류댐에서 하류로 연간 일정하게 직접공급하는 생공용수 및 하천유지용수 공급량에 대하여 낙동강하류 진동지점 유량이 풍부한 홍수기에 안동댐 하류공급량을 저수지에 저류하였다가 비홍수기에 추가 공급함에 따른 기존 수자원의 효율적 이용 및 증대방안을 제시하고자 한다.

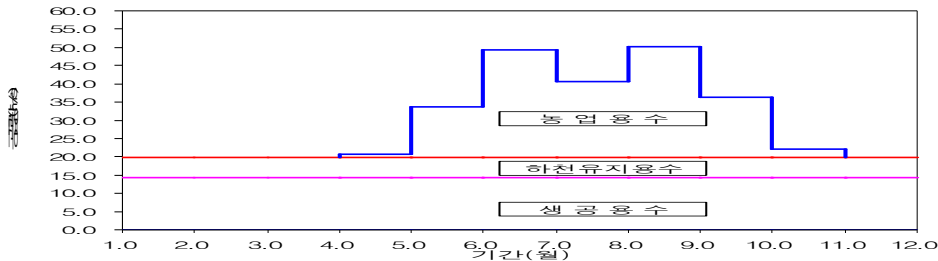
* 정회원 · 대전대학교 건설시스템공학과 교수
** 정회원 · 도화종합기술공사 수자원부 이사
*** 정회원 · 대전대학교 환경공학과 교수
**** 정회원 · 서남대학교 토목공학과 교수

· E-mail : drjang@daejin.ac.kr
· E-mail : sujini@dohwa.co.kr
· E-mail : chlee@daejin.ac.kr
· E-mail : psw0232@seonam.ac.kr

2. 유역 및 안동댐 현황

우리나라 남동부에 위치한 낙동강은 유역내 일천만 인구의 먹는 물을 공급하는 젖줄이 되어 왔으며, 급격한 산업화 및 도시화에 따른 용수수요에 대해 풍부하고 깨끗한 용수공급원으로서 우리나라 근대화의 원동력이 되어왔다. 낙동강유역에서 먹는 물을 공급하는 다목적댐중 안동댐은 4대강 유역 종합개발사업의 일환으로 개발되었으며, 낙동강하류 지역에 관개용수 및 생공용수를 공급하고 발전 및 홍수조절을 목적으로 낙동강 최상류에 건설되었다. 안동댐의 유역면적은 1,584km²이고 저수지규모는 총저수용량 1,248백만m³, 유효저수용량 1,000백만m³이며, 본댐은 높이 83m, 길이 612m, 댐형식이 Rock Fill Dam으로 건설되었다.

안동댐은 낙동강하류 생공용수 및 하천유지용수와 본류로부터 관개하는 농업용수 등 총 29.4m³/s(926백만 m³/년)의 공급량을 보장하도록 개발되었다. 용도별로는 <그림 1>과 같이 생공용수 14.3m³/s(450백만m³/년), 하천유지용수 5.6m³/s(176백만m³/년), 농업용수 9.5m³/s(300백만m³/년)를 공급하며, 월별로는 생공용수와 하천유지용수가 일정하게 19.9m³/s를 공급하고 농업용수는 관개기에 따라 불규칙하게 9.5m³/s를 공급하고 있다. 여기서, 월별로 일정하게 공급하는 생공용수 및 하천유지용수 수요처는 대구 및 부산 등의 낙동강 중·하류 지역으로써 안동댐하류로 직접 방류하는 용수공급량은 본류에서 취수한다.



<Fig. 1> Schematic diagram of water supply to downstream of Andong-Dam

3. 용수공급능력 평가기준 및 방법

댐의 용수공급능력은 분석기간이 짧을 경우 용수공급능력이 왜곡되는 문제가 있으나, 전체기간중 일정비율 동안만 물 부족이 발생하는 공급량을 평가하는 개념으로 자료의 기간이 길수록 보다 정확도가 높아지는 방법이라 할 수 있는 신뢰도 기준으로 평가하였다. 신뢰도 기준은 동일 조건시 상대적 크기가 중위를 나타내고 물부족 차이가 적게 나타난 것으로 전체 분석기간중 물 부족이 발생하지 않는 단위기간수의 비율을 산정하는 기간단위 신뢰도를 적용하였다.

저수지의 용수공급능력 평가는 정량적인 평가가 용이한 저수지 모의운영기법을 적용하였다. 동 기법은 저수지를 하나의 계(系, system)로 보고 저수지 입력과 출력 및 계의 상태변화를 고려하는 일종의 물수지 분석이며, 저수지 모의운영 또는 형태분석(behaviour analysis)이라고도 한다. 저수지로의 입력에는 유입량과 강수량 등이 있으며 출력에는 방류량, 수면증발량 및 기타 손실량이 포함된다. 일반적으로 저수지 수면의 강수량과 기타 손실량은 무시하며 다음식과 같은 저수지의 상태를 나타내는 물수지 방정식으로 저수지 상태의 변화를 모의하였고, 저수지 모의운영은 범용 프로그램인 HEC-5 모형을 적용하였다.

$$S = \sum (S_U + S_I + E_V - I_N) / \Delta T \quad (1)$$

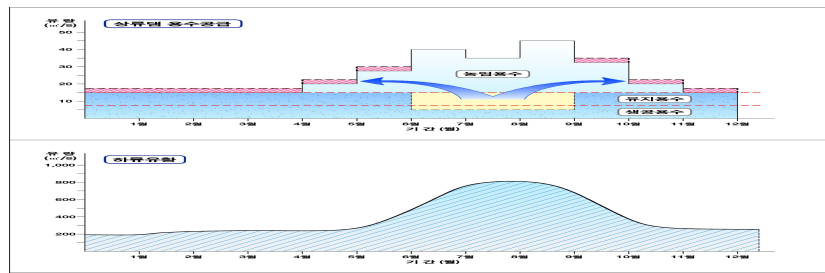
여기서, S_U : 유효저수량(백만m³), S_I : 용수공급량(백만m³),

E_V : 수면증발량(백만m³), I_N : 저수지유입량(백만m³), ΔT : 단위시간

또한, 모의운영 단위시간은 월단위 또는 순단위를 사용하는 것이 일반적이며 저수량 S는 유효저수량과 최저저수량 사이의 범위에 있어야 한다는 제약조건과 함께 저수지의 운영을 고려하여 저수량에 따른 방류량의 제한을 반영할 수 있다.

4. 용수공급능력 평가

저수지의 용수공급능력은 우선 기존안동댐 모의운영후 홍수기 용수공급 방안별로 비교 평가하였다. 저수지 용수공급방안은 <그림 2>와 같이 안동댐에서 하류로 연간 일정하게 직접공급하는 생공용수 및 하천유지용수 공급량에 대하여 낙동강하류 진동지점 유량이 풍부한 홍수기에 댐하류공급량을 저수지에 저류하였다가 비홍수기에 추가로 용수공급 하는데 있어서 홍수기를 3개방안으로 설정하였다. 즉, 용수공급방안은 안동댐의 기간단위 신뢰도와 연간 평균공급량을 방안별로 동일하게 적용하고 홍수기 용수공급량을 비홍수기에 일정하게 배분하는데 이중 홍수기를 제1안은 6월~8월(3개월), 제2안은 7월~9월(3개월), 제3안은 6월~9월(4개월)로 설정하였다.



<Fig. 2> Concept graph of water supply capability

모의운영 기준은 운영기간을 30개년(1977년~2006년), 모의운영 단위를 월단위 실적유입량, 신뢰도를 기준 안동댐의 기간단위신뢰도 97.2%(360개월중 10개월 물부족 허용)를 적용, 모의운영기법을 HEC-5 Model을 이용하고 기초입력자료는 낙동강수계 기존댐용수공급능력조사(1997) 성과를 적용하였다. 모의운영 조건으로 저수지증발량은 유입량에 포함한 것으로 간주, 저수지초기수위는 상시만수위로 가정, 상시만수위 이상은 여수로를 통해 하류로 방류, 저수지 수위가 저수위(LWL)까지 하강하면 유입량만을 공급하고 저수위 유지, 하류용수공급량중 농업용수는 모든 방안별로 불균등하게 9.5m³/s 공급 등으로 설정하였다.

기존수자원의 효율적이용 및 활용을 위해 저수지 모의운영 조건 및 기준에 따라 안동댐 용수공급능력을 평가하고 홍수기의 댐하류 공급량을 비홍수기에 공급하는 방안에 대하여 방안별로 모의운영하였다. 안동댐의 용수공급량중 농업용수를 제외한 댐하류 공급량이 연간 일정하게 19.9m³/s씩 방류하고 있으며, 실적유입량을 기준으로 기존안동댐에 대하여 저수지 모의운영 결과, 360개월(1977년~2006년)동안 물부족기간은 10개월(1996년, 1997년)간 발생하였고, 기간단위 신뢰도는 97.2%로 나타났다.

낙동강 유역뿐만 아니라 우리나라는 홍수기에 유량이 풍부하므로 최상류에 위치한 안동댐에서 낙동강 본류로 직접공급하는 생공용수 및 하천유지유량 19.9m³/s를 홍수기에는 최소로 공급하되, 이를 비홍수기에 공급하는 방안별 용수공급능력을 평가하였다.

<Table 1> Comparison of current condition and alternatives in water supply operation of Andong

Contents		Andong dam	Alternative 1	Alternative 2	Alternative 3
concept		annual regular water supply	irregular water supply in rainy season(From Jun to August)	irregular water supply in rainy season(From July to September)	irregular water supply in rainy season(From June to September)
reliability(%)		97.2	97.2	97.2	97.2
Annual discharge of downstream flow (m ³ /s)	Total	19.90	19.90	19.90	19.90
	Rainy season	19.90	15.85	15.34	15.66
	Non-rainy season	19.90	21.25	21.42	22.02
additional amount of water supply in non-rainy season(m ³ /s)		0.00	1.35	1.52	2.12

여기서, 모든 방안에 대해서 기간단위 신뢰도 97.2%, 연평균 하류공급량 19.9m³/s을 기준으로 모의운영한 결과를 살펴보면 <표 1>과 같이 제1안은 홍수기 3개월(6~8월)간 15.85m³/s를 비홍수기에 21.25m³/s씩 공급 가능한 것으로 나타났다. 또한, 제2안은 홍수기 3개월(7~9월)간 15.34m³/s를 비홍수기에 21.42m³/s씩 공급 가능하고 제3안은 홍수기 4개월(6~9월)간 15.66m³/s를 비홍수기에 22.02m³/s씩 공급 가능한 것으로 나타났다. 즉, 비홍수기 공급량은 안동댐 용수공급능력에 비해 제1안은 1.35m³/s, 제2안은 1.52m³/s, 제3안은 2.12m³/s씩 추가로 공급 가능한 것으로 평가하였다. 추가 공급능력이 가장 많은 것으로 나타난 제3안과 기존안동댐의 저수지수위가 거의 유사하게 변동하는 것으로 나타났고 저수지 평균수위도 EL.148.81m로써 기존댐과 수위차이가 0.26m로 미소한 것으로 나타났다.

따라서, 기존댐하류 공급량 19.9m³/s에 대하여 유량이 많은 홍수기에 방안별로 15.66m³/s~15.85m³/s를 공급하고 비홍수기에 21.25m³/s~22.02m³/s를 공급할 경우 안동댐은 방안별로 1.35m³/s~2.12m³/s정도 용수공급 증대 효과가 있는 것으로 평가하였다.

5. 결 론

최근 이상기후로 인한 가뭄과 수요 급증으로 장래 물부족이 증가함에 따라 신규 수원확보가 필요한 실정이다. 그러나, 보상비를 포함한 신규수원 건설에 투입되는 사업비에 대한 경제적인 부담, 개발적지 희소, 환경 및 생태계 파괴 등의 문제가 많아 신규수원 개발이 어려운 실정이다. 이러한 당면과제를 감안하여 기존 수자원의 효율적이용 및 증대 방안을 연구하였다. 즉, 낙동강유역을 대표하는 진동지점에 유량이 많은 홍수기 용수공급량을 상류 안동댐에 저수지에 저장하였다가 비홍수기에 용수공급하는 탄력적 용수공급방안을 연구하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

- 1) 낙동강유역 진동지점 유출분석은 기존계획과 수위표에서 제시한 H-Q관계식을 적용한 결과 36개년 평균유출량은 364m³/s으로 나타났으며, 전년 평균유출량에 비해 홍수기는 200%이상 풍부하고, 비홍수기는 50%이하가 유출되는 특성이 있는 것으로 나타났다.
- 2) 안동댐의 용수공급량은 농업용수 9.5m³/s를 제외한 댐하류 생공용수 및 하천유지유량은 연간 일정하게 19.9m³/s씩 공급하고 있으며, 실측유입량을 기준으로 저수지 모의운영한 결과 360개월(1977년~2006년) 동안 물부족기간은 10개월(1996년, 1997년)간 발생하였고 기간단위 신뢰도는 97.2%로 나타났다.
- 3) 안동댐에서 낙동강 본류로 직접 공급하는 용수공급량 19.9m³/s를 홍수기에는 최소로 공급하고 비홍수기에 최대로 공급하는 방안을 방안별로 모의운영한 결과, 비홍수기 공급량은 기존안동댐이 19.9m³/s에 불과하나, 제1안은 21.25m³/s, 제2안은 21.42m³/s, 제3안은 22.02m³/s씩 공급 가능한 것으로 나타났다.
- 4) 즉, 모든 방안에 대하여 기존댐과 같이 신뢰도 97.2%, 댐하류 연평균공급량 19.9m³/s로 동일하게 적용함에 따라 저수지 수위는 거의 유사하게 모의되었으며, 비홍수기 공급량은 안동댐 용수공급능력에 비해 제1안은 1.35m³/s, 제2안은 1.52m³/s, 제3안은 2.12m³/s씩 추가로 용수공급이 가능한 것으로 나타났다.

참고문헌

- 강민구, 박승우 (2005. 11). 저수지 최적운영모형을 이용한 추가용수공급평가, **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, v.38, no.11, pp.937-94.
- 건설교통부, 한국수자원공사 (1997. 12). 기존댐 용수공급능력조사 : 낙동강수계.
- 건설교통부 (2006). 수자원장기종합계획보완.
- 김남원, 신현석, 원유승 (2001, 5). 유역내 댐용수의 가용능력평가 방법, **학술대회논문집**, 한국수자원학회 2001년도 학술발표회 논문집(I), pp.613-618
- 박성삼, 이동률, 김형준, 신영호 (2001. 5). 우리나라 다목적댐 용수공급능력평가, **학술대회논문집**, 한국수자원학회 2001년도 학술발표회 논문집(I), pp.533-538
- 이재응, 권용익, 안태진, 김형수, 윤용남 (2003. 5). 다목적댐 용량 제한당에 의한 용수공급량증대, **학술대회논문집**, 한국수자원학회 2003년도 학술발표회논문집(1), pp.270-273.
- 한국수자원공사 (1994. 12). HEC-5 모델에 의한 다목적댐 용수공급 방안.
- 한국수자원공사 (2007). 다목적댐 운영실무 편람.