

화천댐 방류 시나리오에 따른 유황변동 검토

Variation of Flow Duration Curve

according to Hwacheon Dam Operation Scenarios

김남원*, 이정은**

Nam Won Kim, Jeong Eun Lee

요 지

현재 한강수계에서는 북한강 상류에 건설된 임남댐(저수용량 26억 m^3)으로 인하여 화천댐 상류 유역계의 변화가 발생하였다. 화천댐의 경우, 기존의 발전용량을 포함한 안정적 방류계획에 변화가 발생하여 기존 저수지 용량의 효율적인 관리기술의 실증이 필요한 시점이다. 또한, 향후 기후변화 및 용수이용 증가에 대비한 안정적인 물공급을 위해 하천유출량의 시·공간적인 평가 및 가용수자원의 평가는 보다 합리적이고 정확하게 이루어져야 하며, 이를 위해 준분포형 유역유출-저수지 운영 결합해석 모형이 필수적으로 도입되어야 할 시점이다. 따라서, 본 연구에서는 SWAT-K(과학기술부, 2007)를 이용하여 기존댐의 최적 운영률을 도출한 후, 팔당호에서의 유황개선 효과를 정량적으로 분석하여 수자원 확보량을 평가하고자 하였다. 화천댐의 경우, 방류시나리오로 기존 운영실적을 기준으로 홍수기 중 9월 방류량을 50% 감소, 비홍수기 중 11~3월 방류량을 50% 증가시켜 적용하였을 때 최적 운영률이 도출되었으며, 이때 갈수량 이하의 10일간 유황개선을 통하여 분석기간에 대하여 0.12억 m^3 의 수자원 확보가 이루어질 수 있었다.

핵심용어 : SWAT-K, 화천댐, 댐운영, 유황곡선, 수자원 확보량

1. 서론

현재 한강수계에서는 북한강 상류에 건설된 임남댐(저수용량 26억 m^3)으로 인하여 화천댐 상류 유역계의 변화가 발생하였다. 따라서 화천댐의 경우, 기존의 발전용량을 포함한 안정적 방류계획에 변화가 발생하여 기존 저수지 용량의 효율적인 관리기술의 실증이 필요한 시점이다. 또한, 향후 기후변화 및 용수이용 증가에 대비한 안정적인 물공급을 위해 하천유출량의 시·공간적인 평가 및 가용수자원의 평가는 보다 합리적이고 정확하게 이루어져야 하며, 이를 위해 준분포형 유역유출-저수지 운영 결합해석 모형이 필수적으로 도입되어야 할 시점이다. 따라서, 본 연구에서는 SWAT-K를 이용하여 기존댐의 최적 운영률을 도출한 후, 팔당호에서의 유황개선 효과를 정량적으로 분석하여 수자원 확보량을 평가하고자 하였다.

2. 연구방법

한강유역의 수자원 확보를 위하여 신규 수자원의 개발이 어려워지고 있는 현실을 감안할 때, 기존 수자원의 효율적인 관리기술을 통한 용수의 안정적인 공급이 이루어져야 할 것으로 판단된다. 현재 북한강 수계 상류에 건설된 임남댐으로 인하여 팔당댐 상류유역 전체면적의 약 10%에 해당하는 임남댐 상류유역의 수자원 활용이 제한되었다. 한강수계에는 소양강, 충주 두 다목적댐의 기능으로 용수공급이 원활히 이루어지고 있으나, 수도권 지역의 용수수요가 지속적으로 증가하고 있다. 따라서, 안정적인 용수공급을 위하여 화천댐에 대하여 기존 운영실적을 기준으로 다양한 방류 시나리오(시물레이션)의 적용을 통하여 최적 운영률을 도출하였다. 또한, 화천댐에 대하여 도출된 최적운영률의 적용을 통하여 수도권의 용수원으로 이용되고 있는 팔당호

* 정희원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 책임연구원 · E-mail : nwkim@kict.re.kr
** 정희원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · E-mail : jeus22@kict.re.kr

로 유입되는 유황곡선의 변화를 통하여 수자원의 상시 확보방안을 모색하였다. 그림 1은 수자원 확보량 평가 절차를 도시한 것이다.

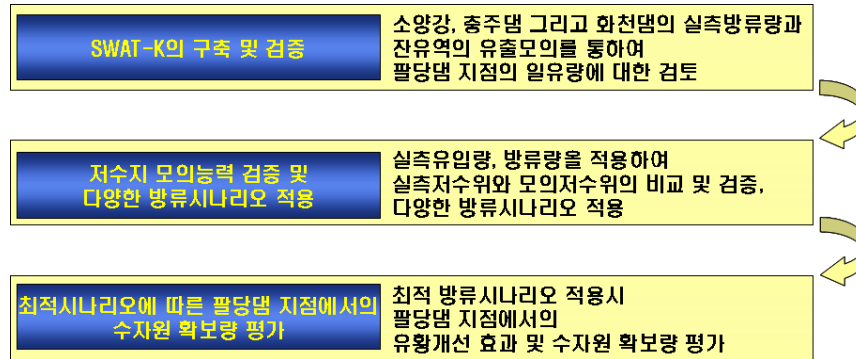


그림 1. SWAT-K 모델을 이용한 수자원 확보량 평가절차

3. 대상유역 현황 및 모의유량 평가

3.1 대상유역 현황 및 모형구축

대상유역은 팔당댐 지점을 최종출구점으로 하는 한강유역으로 유역면적은 23,800 km²이며, 팔당댐 지점의 유입량을 정확히 분석하기 위해 상류유역 중 소양강댐, 충주댐, 화천댐, 괴산댐, 횡성댐 상류유역은 모의하지 않고 각 댐의 관측방류량이 하류에 고려되도록 하였다. 김남원 등(2007b)에 의하여 수계중간에 위치한 발전전용댐인 춘천댐, 의암댐, 청평댐은 저수효과가 미미한 것으로 분석된 바, 본 연구에서는 고려하지 않았다. SWAT-K 모형의 입력자료인 수문기상자료(강수량, 최대/최저 기온, 상대습도, 풍속, 일사량) 구축기간은 1995~2005년까지이며, 수치주체도인 DEM, 토지피복도, 토양도는 과학기술부(2007)에 자세하게 기술되어 있다. 그림 2는 대상유역의 소유역 분할과 댐지점을 도시한 것이다.

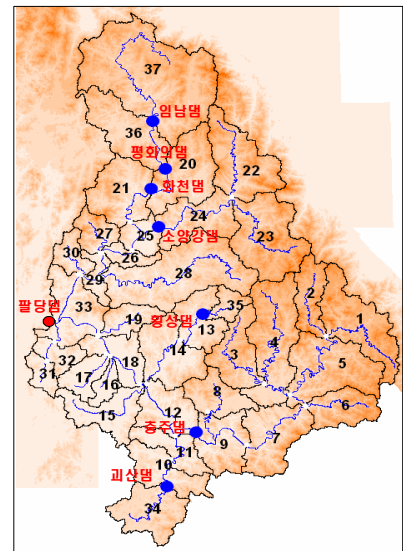


그림 2. 소유역 분할 및 모형구성도

3.2 팔당댐 지점에서의 모의유량 평가

팔당댐 상류유역에 대한 유출모의를 통하여 SWAT-K 모형에 대한 검증을 실시하고자 하였다. 지표면 유출모의를 위해 SWAT-K에서의 수정된 CN 방법을 적용하였으며, 연속방정식과 Manning의 식을 이용하여 비선형 저류방정식을 이용한 하도추적을 적용하였다(김남원 등, 2007a). 화천댐, 소양강댐, 충주댐 상류유역은 모의하지 않고 각 댐의 관측방류량이 모형에 고려되도록 하였으며, 나머지 유역에 대한 모의를 통하여 팔당댐 지점에서의 유입량을 모의하였다. 그림 2는 팔당댐 지점의 일별 모의결과를 나타내고 있으며, 그림 3은 분석기간(1996~2005년)에 대하여 관측-모의유입량을 일대일로 도시한 것으로 모의치가 관측치를 설명하는 능력인 결정계수(R^2)가 0.92로 높은 정확도를 나타내고 있다. 마지막으로 그림 4는 분석 전기간에 대한 관측-모의 유황곡선을 비교한 것으로 결정계수는 0.98로 연구의 목적을 고려해 볼 때, 모형의 모의능력과 효율성이 매우 뛰어난 것을 알 수 있다.

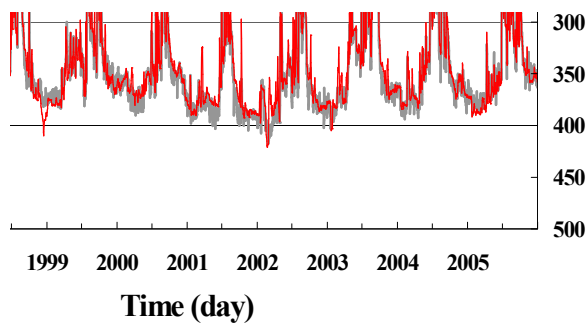


그림 3. 팔당댐 지점의 일별 모의결과(1996~2005년)

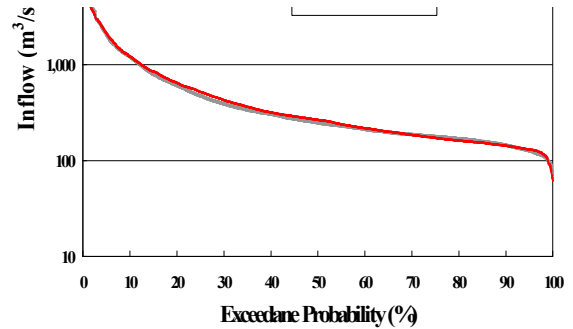


그림 4. 팔당댐 지점의 관측-모의 유황곡선 비교

4. 최적 운영률 적용을 통한 수자원 확보량 평가

4.1 저수지 모의능력 검증

SWAT-K 모형 내의 저수지 운영모듈(SWAT-ROM)의 모의능력을 검증하기 위해 소양강댐, 화천댐에 대하여 각 댐별로 저수지 수위에 대한 모의를 통하여 저수지 모의능력을 검토하였다. SWAT 모형내의 저수지에서의 물수지는 다음 식으로 표현된다.

$$V = V_{\text{stored}} + V_{\text{flowin}} - V_{\text{flowout}} + V_{\text{pcp}} - V_{\text{evap}} - V_{\text{seep}} \quad (1)$$

여기서, V : 저류량(m^3), V_{stored} : 초기 저류량(m^3), V_{flowin} : 유입량(m^3), V_{flowout} : 유출량(m^3), V_{pcp} : 강수량(m^3), V_{evap} : 증발량(m^3), V_{seep} : 침투량(m^3)이다. 따라서, 저수지의 저류용량에 해당하는 저수위로 환산하기 위한 알고리즘을 SWAT-ROM에 추가하였다. 분석대상댐의 저류용량-저수위 관계식은 표 1과 같다. 그림 5는 화천댐의 월별 저수위 모의결과를 도시한 것으로 모의값이 관측값을 잘 모사하고 있음을 알 수 있으며, 또한 댐운영시 제한이 되는 상한선인 홍수기 제한수위, 상시만수위와 하한선인 저수위 내에서 저수지 수위가 유지되고 있음을 알 수 있다. 화천댐의 2002년, 2003년의 경우, 저수위 이하로 내려가는 기간은 비상방류수문을 설치하기 위해서 저수지 수위를 인위적으로 하강시켰기 때문에 발생한 현상으로 확인되었다.

표 1. 저류용량-저수위 관계

댐명	화천댐
식형태	$H = a \times (V - b)^c$ 여기서, H : 저수위(El.m), V : 저류용량(m^3)
a	7.0340441
b	-77927515
c	0.15602187

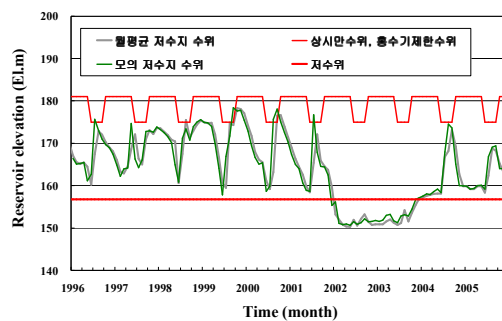


그림 5. 월별 저수지 수위 모의결과 (1996~2005년)

4.2 화천댐 최적운영 시나리오에 따른 유황개선 효과

화천댐의 기존운영실적을 기준으로 다양한 방류시나리오(시물레이션)를 적용하여 저수지 수위 변화를 검토하여, 저수지 수위의 상한선(홍수기 제한수위, 상시만수위)과 하한선(저수위)을 최대한 활용하는 방류 시나리오를 최적 운영률로 채택하였다. 또한, 도출된 최적 운영률 적용시 팔당댐 지점에서의 유황변화를 분석하여 수자원 확보량을 평가하였다. 화천댐의 경우에는 방류시나리오로 기존 운영실적을 기준으로 홍수기 중 9

월 방류량을 50% 감소, 비홍수기 중 11~3월 방류량을 50% 증가하여 적용하였을 때 최적 운영률이 도출되었다. 그림 8은 도출된 최적운영률이 적용되었을 경우 저수위의 변화를 도시한 것으로, 임남댐이 본격적인 담수시점 이후인 2001~2005년의 경우 저수위의 상한선과 하한선을 만족하고 있다(그림 6). 이 결과는 홍수기에 저류를 늘리기 위하여 홍수기와 비홍수기에 대한 적용비율을 각각 기존 운영실적에 대하여 0~90%까지 5%씩 감소시키며, 저수위 상하경계조건을 만족하는 시나리오를 도출한 것이다. 도출된 최적 운영률은 홍수기에 저수위 상한선에 근접하도록 많은 양을 저류하여 비홍수기에 용수공급을 함으로써 갈수기 유황이 개선된 것으로 판단된다. 따라서, 발전전용댐인 화천댐의 최적 운영률 적용을 통하여 갈수량 이하의 10일간 0.12억^m의 수자원 확보가 이루어질 수 있다(그림 7).

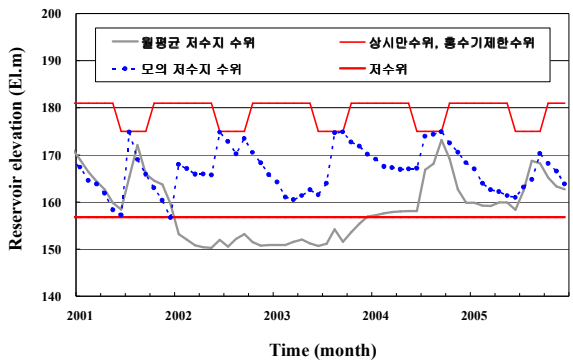


그림 6. 최적운영 시나리오에 따른 저수위 변화

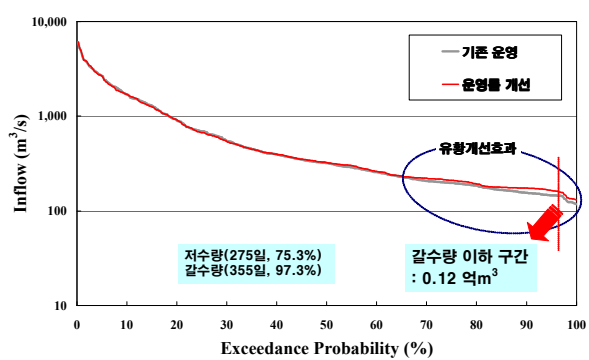


그림 7. 최적운영 시나리오에 따른 유황개선

5. 요약 및 결론

본 연구에서는 SWAT-K를 이용하여 화천댐의 최적 운영률을 도출한 후, 팔당호에서의 유황개선 효과를 정량적으로 분석하여 수자원 확보량을 평가하고자 하였다. 먼저 팔당댐 상류유역에 대하여 SWAT-K를 구축하여 팔당댐 유입량에 대한 검증과 모형의 저수지 모의능력을 검증하였다. 검증된 SWAT-K를 이용하여 화천댐의 기존 운영실적을 기준으로 홍수기 중 9월 방류량을 50% 감소, 비홍수기 중 11~3월 방류량을 50% 증가하여 적용하였을 때 최적 운영률이 도출하였다. 도출된 화천댐의 최적 운영률 적용을 통하여 팔당댐 지점에서의 유황분석을 실시한 결과, 분석기간에 대하여 갈수량 이하의 10일간에 대하여 0.12억^m의 수자원 확보가 이루어질 수 있는 것으로 분석되었다. 향후 유역유출-저수지 결합모형의 역할을 수행할 수 있는 SWAT-K 모형이 국내 수자원 평가에 적극 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

감 사 의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 2-2-3)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 과학기술부 (2007). 21세기 프론티어연구개발사업 - 수자원의 지속적 확보기술개발 사업, 지표수 수문성분 해석시스템 개발, 과제번호(2-2-2).
2. 김남원, 이정우, 이병주, 이정은 (2007a). 비선형 저류방정식을 이용한 일 단위 하도추적법, 대한토목학회 논문집, 제27권, 제5B호, pp. 533~542.
3. 김남원, 이정은, 이병주 (2007b). 한강유역의 다목적댐 운영에 따른 유황변동 특성 분석 및 평가, 대한토목학회논문집, 제27권, 제1B호, pp. 53~63.