

소양강댐의 기후변화 적응 전략



김수준
Columbia University
Columbia Water Center
박사후 연구원
sk3809@columbia.edu



김연수
인하대학교
토목공학과
박사과정
civil.engineer@hanmail.net



노희성
인하대학교
토목공학과
박사과정
heesung80@hanmail.net



강나래
인하대학교
토목공학과
박사과정
naraeme@naver.com



김형수
인하대학교
사회기반시스템공학부
교수
sookim@inha.ac.kr

1. 머리말

기후변화의 영향으로 수자원의 양적인 편차가 심화됨에 따라 전세계적으로 가뭄과 홍수가 빈번히 발생하여 막대한 인명 및 재산 피해를 유발하고 있으며, 미래에는 더욱 강한 강도의 자연재해가 발생할 것으로 추정되고 있다(UNISDR 2008). 기후변화와 관련한 대부분의 연구들은 미래에 더욱 극한 기상현상의 발생으로 가뭄과 홍수와 같은 자연재해가 더욱 강력하고 빈번하게 재현될 것으로 예상하고 있다. 따라서 세계는 이러한 문제의 심각성을 인지하고 기후변화에 적응을 하기 위한 구조적/비구조적 방법들을 마련하고 있다(IPCC, 2012).

우리나라의 경우 연평균 강우량은 약 1,277mm로 세계 평균의 1.6배가 되지만 높은 인구밀도로 인하여 1인당 연강수량은 세계 평균의 1/6 수준이다. 그리고 대부분의 강수가 여름철에 집중되어 가용할 수 있는 수자원에 한계가 있을 뿐만 아니라 심각한 홍수피해가 매년 반복되고 있다. 이와 같이 우리나라는 물을 관리하는데 있어 지형학적 또는 사회학적으로 상당히 불리한 위치에 있는 것이 사실이다. 이러한 문제를 극복하기 위한 가장 적극적이면서도 대표적인 구조적 적응 방법은 수공구조물의 설계빈도를 상향하는 것이고, 비구조적 적응 방법은 수공구조물의 기존 운영방법을 개선하는 것이다. 여기에서 구조물의 설계를 위해서는 극치값의 양적인 변화에 초점

을 맞추어야 하지만 운영을 위해서는 양적인 변화와 함께 시간적인 변화도 함께 검토되어야 한다. 따라서 본고에서는 우리나라의 가장 대표적인 다목적 댐인 소양강댐을 대상으로 기후변화에 따른 극치값의 패턴 변화를 분석함으로써 미래 기후변화 적응을 위하여 어떠한 전략이 필요한지에 대하여 서술해 보고자 한다.

2. 기후변화 영향 평가 방법론

기후변화가 이수 및 치수 차원에서 댐의 위험도에 미치는 영향을 평가하기 위한 자료와 일반적인 절차는 Fig. 1과 같다. IPCC 기후변화 시나리오 기반의 기후모형의 결과를 활용하여 가뭄과 홍수분석을 수행함으로써 댐의 위험도를 평가할 수 있다. 우선, 가뭄분석을 위하여 통계학적 축소기법(경민수 등, 2009b)에 의해 산출한 기상자료를 강우-유출 모델의 입력자료로 활용함으로써 유역단위 유출량을 산정한다. 이의 결과를 다시 물수지 모형의 입력자료로 활용함으로써 댐에서 확보한 용수의 수요와 공급에 따른 저수용량의 변화를 분석한다. 다음으로 홍수분석을 위하여 강우빈도해석의 결과를 활용하여 단위도기법에 의한 댐의 시간단위 유입량을 산정(강나래 등, 2011)하고, 저수지 운영 방법(ROM)을 통하여 저수지의 치수위험도를 분석한다. 최종적으로 이수과 치수에 대한 분석결과를 종합적으로 검토함으로써 기후변화에 대한 적응

측면에서 댐의 가뭄 및 홍수에 대한 위험도를 평가한다.

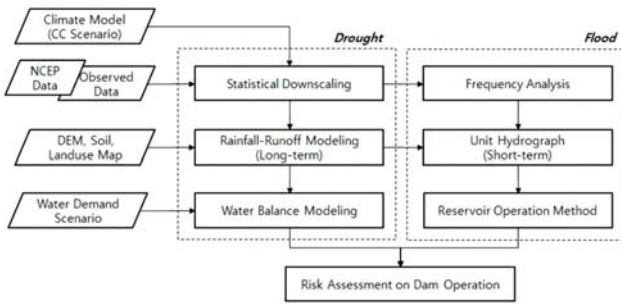


Figure 1. 연구절차 및 방법

위의 절차에 의한 기후변화 영향 평가를 위하여 사용한 자료와 방법론은 Fig. 2와 같다. 소양강댐에 대한 기후변화 영향 평가를 위하여 A2 시나리오에 대한 RegCM3 모형의 기후결과(경민수 등, 2009a)를 활용하여 비정상성 축소기법(권현한 등, 2008)을 적용함으로써 일기상계열을 산정하였다. 우선, 이수안전도 평가를 위하여 기후변화 시나리오와 수자원장기종합계획(2006)의 물수요 시

나리오를 통합하여 기후변화-물수요 시나리오를 작성하였다. 그리고, 장기유출모형 SLURP 모형을 이용해 유출 분석을 수행한 후, 물수지기반 모형인 K-WEAP 모형을 이용하여 소양강댐에 대한 저수용량의 변화를 검토하였다. 다음으로 치수안전도 평가를 위하여 기후모형의 자료로부터 축소한 일강우계열에 대하여 강우빈도해석을 수행하였다. 하지만 홍수해석을 위하여 시간단위 강우자료가 필요하기 때문에 Huff 방법을 이용하여 빈도해석에 의한 확률강우량을 시간분포하였다. 그리고 댐 운영에 대한 평가를 위하여 HEC-HMS에 의한 Clark 방법으로 예측 유입량을 산정하여 Technical ROM에 적용하였다.

3. 기후변화 영향에 의한 소양강댐의 이수 및 치수안전도 평가

3.1 댐의 이수안전도 평가

기후변화의 영향을 검토하기 위하여 2020-2090년 까지

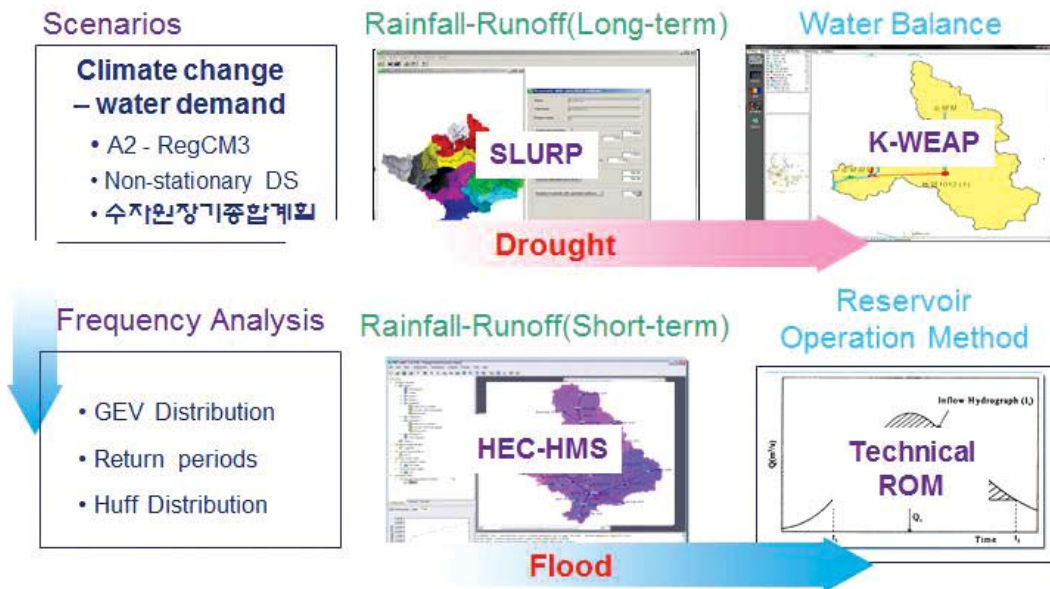


Figure 2. 소양강댐에 대한 이수 및 치수안전도 평가 과정

소양강댐의 저수용량을 검토하였다. 작성된 기후변화-물수요 시나리오별(A2-고수요, A2-기준수요, A2-저수요)로 유출분석 및 물수지 분석을 50회씩 실시하였으며 총 150개의 계열의 앙상블 평균값을 붉은색 선으로, 불확실성 범위를 회색으로 Fig. 3에 도시하였다. 평가 결과, 미래에 소양강 댐의 경우, 평균값 기준에서는 저수위(686.8 백만톤) 이상으로 추정되어 저수용량을 안정적으로 확보할 수 있는 것으로 나타났다. 하지만 불확실성을 고려한 최소용량 기준에서는 일부기간에서 저수용량의 안정적 확보가 불가능한 것으로 나타나 용수공급의 신뢰성을 저하시킬 수 있는 가능성이 있는 것으로 나타났다.

고에서는 소양강댐의 운영 측면에서 효과적으로 소양강댐이 홍수를 저감할 수 있는지에 대한 검토를 수행하고자 하였다. 소양강댐의 무피해방류량은 700 CMS으로 홍수기에 댐에서 설계용량을 방류(14,200 CMS)를 한다면 댐 하류에 막대한 홍수피해를 유발하게 된다. 이러한 문제를 극복하기 위하여 저수지의 계획홍수용량을 최대한 활용함으로써 하류에서 홍수피해가 발생하지 않도록 적절한 저수지 운영이 필요하다. 이를 위하여 본고에서는 소양강댐에 시행중인 홍수기제한수위(6/20~9/20, 185.5m 이하 유지)에 대한 적용을 통하여 Technical ROM 에 의한 치수안전도를 평가하였다(단, 최대방류량

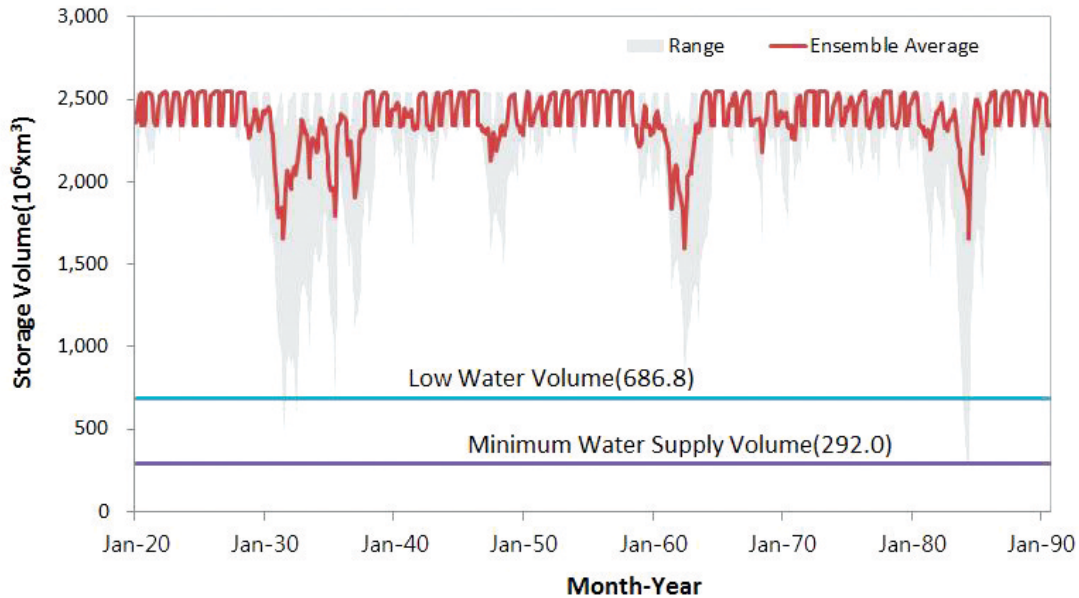


Figure 3. 소양강댐의 저수용량 추정 결과 (150 Sets 모의)

3.2 댐의 치수안전도 평가

기후변화의 영향에 대한 치수안전도 평가는 크게 설계에 대한 평가와 운영에 대한 평가로 구분할 수 있다. 여기에서 소양강 댐의 경우 최근(2010년 6월) 치수능력 증대사업을 통하여 댐의 계획방류량을 증대함으로써 설계측면에서 댐의 안전도를 확보하였다고 판단된다. 따라서 본

은 무피해 방류량으로 하류의 홍수피해를 방지하는 것으로 가정하여 초기수위 180, 182.5, 185.5 m별 저수용량의 변화를 검토. 평가 결과(Fig. 4), Reference 기간에 초기 수위를 EL. 180 m와 182.5 m로 유지한다면 200년 빈도의 홍수량이 발생할 경우에 안정적으로 계획홍수위(EL. 198 m) 범위내에서 홍수유입량을 조절할 수 있었지

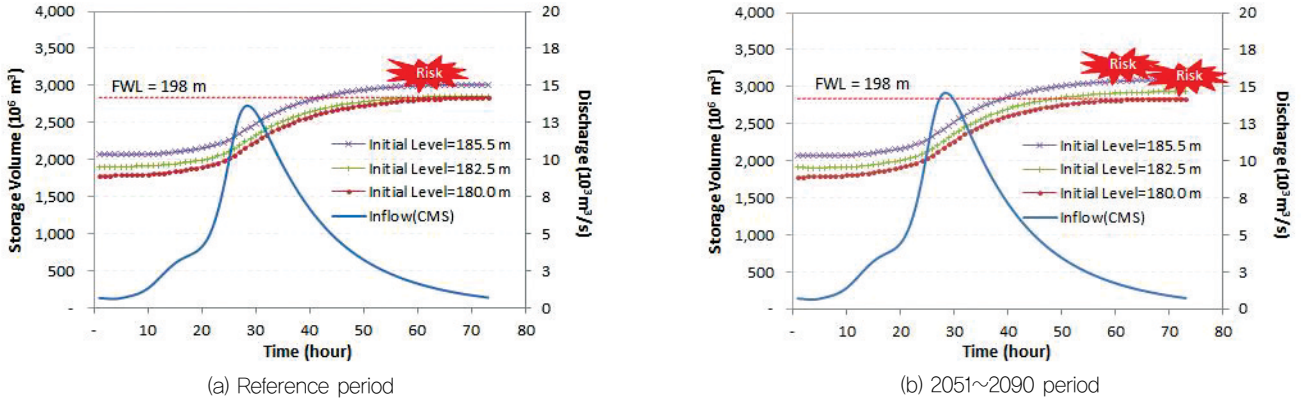


Figure 4. 가변제한수위 조건별 저수지 운영 결과

만 초기 수위가 EL. 185.5 m인 경우 계획홍수위를 초과하는 상황이 발생하는 것으로 나타났다. 그리고 2051~2090 기간(Fig. 4(b))에는 EL. 185.5m 뿐만 아니라 EL. 182.5m 에서도 무피해 방류만으로는 안정적으로 홍수량을 저감할 수 없는 것으로 나타났다. 따라서 홍수기 초기 수위를 어떻게 유지하느냐는 댐 운영의 성공과 실패를 좌우하는 결정적인 요소로 작용할 수 있으며 미래에는 홍수량이 증가하는 것으로 추정되는 상황에서 홍수기 치수위험도는 더욱 증가할 수 있는 것으로 추정되었다.

4. 소양강 댐의 기후변화 적응 전략

소양강댐에 대한 기후변화 영향평가 결과, 이수 및 치수 위험도가 모두 증가할 수 있는 것으로 나타났다. 본고에서는 강수 발생 시기와 관련한 유출특성의 패턴 변화가 댐의 이수 및 치수위험도에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 검토를 위하여 Fig. 5와 같이 현재의 유출과 미래의 월별 유출특성의 변화와 함께 이수측면에서 월별 물수요량과 치수측면에서 홍수기제한수위의 변화를 함께 분석하였다.

우선, 이수측면에서 연간 가장 많은 용수의 수요는 생공

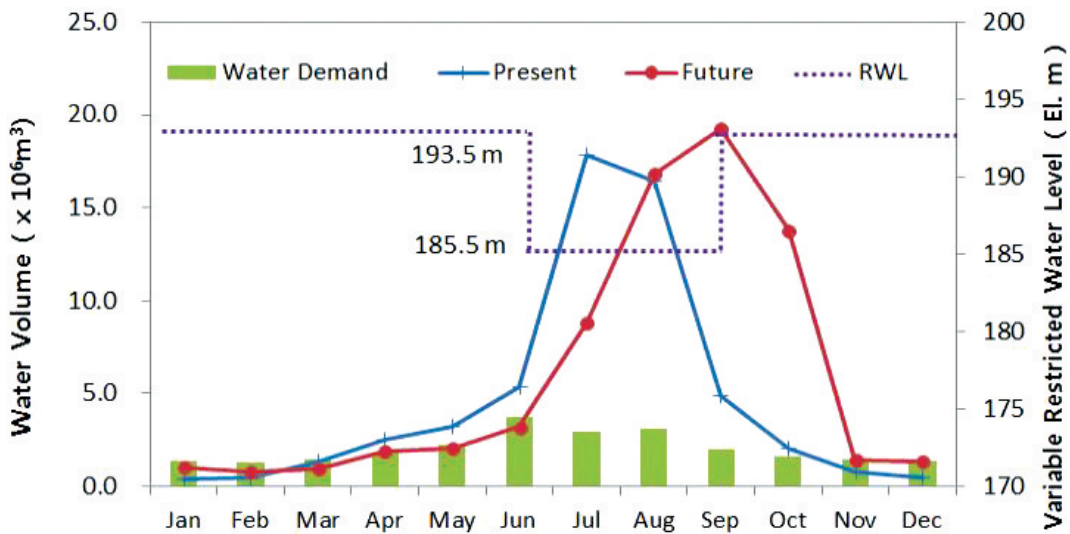


Figure 5. 현재와 미래의 저수용량과 물수요량, 가변제한수위의 월별 패턴

용수가 연중 비교적 일정하다고 판단할 때, 농업을 위한 관개용수가 최대로 필요한 시기는 6월이다. 이와 함께, 미래 홍수기 유출특성의 변화로 인한 6월의 유출량 감소는 댐의 저수용량의 감소로 이어져 안정적으로 용수를 공급하는데 문제를 야기할 수 있을 것이며, 결과적으로, 유역 및 급수지내 물부족 상황을 유발할 수 있는 것으로 나타났다. 다음으로 치수측면에서 살펴보면, 현재 소양강댐은 홍수기제한수위(6/20~9/20 EL, 185.5 m)를 통하여 홍수조절용량을 확보하고 있지만 미래에 현재의 운영기준은 홍수기 유출의 특성변화(7~8월에서 8~10월로 유출시기가 이동)에 효과적으로 대응할 수 없는 것으로 나타나 심각한 홍수피해가 발생할 수 있을 것으로 판단된다.

현재까지 기후변화에 대한 영향 평가는 대부분 수문량의 양적인 변화에 초점이 맞추어져 있었다. 최근 완공된 소양강댐의 치수능력 증대사업은 이러한 평가결과의 일환이었다. 하지만 본고에서 검토된 바와 같이 수문량 발생의 패턴변화가 이수 및 치수위험도에 큰 영향을 미칠 수 있음을 확인하였다. 물론 본 결과는 특정 기후모형 및 시나리오에 대한 연구결과이다. 하지만 수문량의 시간적 변화(김수전, 2011)에 대한 많은 보고(특히, 우리나라의 홍수기 유출 특성이 과거 6~7월의 장마에서 최근 8~9월의 집중호우로 변화됨)가 있으며, 이는 우리나라의 수자원관리를 위하여 가장 중요한 역할을 담당하고 있는 다목적 댐의 운영에 있어 성공과 실패에 대한 결정적인 요소로 작용할 수 있을 것으로 판단된다.

따라서 위와 같은 사실에 기반할 때, 과거의 통계자료를 기반으로 수립된 현재의 홍수기 제한수위와 관련한 기준으로는 미래에 예상되는 가뭄과 홍수에 효과적으로 대응할 수 없을 것이다. 이러한 문제를 극복하기 위하여 보다 신뢰성 있는 기후변화 예측 결과를 확보하기 위한 노력이 무엇보다 중요하다. 이와 더불어, 최근 전지구적인 대기 및 해수의 순환에 대한 패턴변화를 단기적으로 예측하여

보다 신뢰성 있는 추정결과를 제시하고자 하는 노력이 진행되고 있다. 이러한 연구결과를 종합적으로 검토함으로써 기존 운영기준을 제고하고, 보다 적극적이며 탄력적인 다목적 댐의 운영 방안이 절실하다고 할 수 있다.

〈참고문헌〉

- 1) 강나래, 김수전, 이진행, 김덕길, 곽재원, 노희성, 김형수 (2011) 기후변화가 도시배수시스템에 미치는 영향, 한국습지학회지, 제13권 제3호, pp.623~631.
- 2) 건설교통부 (2006). 수자원장기종합계획(2006~2020) 보고서.
- 3) 경민수, 이용원, 김형수, 김병식 (2009a) 기후변화가 서울지역의 기온 및 가뭄에 미치는 영향 평가 -AR4 SRES A2 시나리오를 기반으로-, 대한토목학회논문집, 제29권 제2B호, pp.181~191.
- 4) 경민수, 이정기, 김형수 (2009b) 일 강수발생모형을 이용한 월 단위 GCM의 축소기법에 관한 연구, 대한토목학회논문집, 제29권, 제5호, pp.441~452.
- 5) 건설교통부 (2006) 수자원장기종합계획(2006~2020) 보고서.
- 6) 권현한, 김병식, 김보경 (2008) 기후변화에 따른 수자원 영향 평가를 위한 Regional Climate Model 강수지역의 특성 분석, 대한토목학회논문집, 제28권 제5B호, pp.525~533.
- 7) 국토해양부 (2009) 기후변화 대비 국가 물 안보 확보 방안.
- 8) 김수전 (2011) 기후변화가 유역의 수자원 및 생태서식 환경 변화에 미치는 영향 평가, 박사학위논문, 인하대학교, 한국건설기술연구원 (2001) 댐 설계기준.
- 9) IPCC (2007) The Fourth Assessment Report (AR4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

10) IPCC (2012) Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation(SREX)

11) UNISDR(the United Nations International Strategy for Disaster Reduction) (2008) Climate change and disaster risk reduction.

