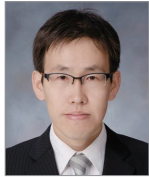


기후변화를 고려한 충주댐의 가뭄 및 홍수위험도 평가



김수준 ●●●●
Columbia University
Columbia Water Center
박사후연구원
sk3609@columbia.edu



김연수 ●●●●
인하대학교
토목공학과 박사과정
civil.engineer@hanmail.net



김형수 ●●●●
인하대학교
사회기반시스템공학부 교수
sookim@inha.ac.kr

1. 서론

기후변화로 인한 강수량의 변화, 눈과 얼음의 용해가 지구의 수문학적 시스템을 변화시키고 있으며, 기후변화로 인해 빙하 및 영구동토층 감소, 생물종 서식범위와 개체 수 변동 등의 영향이 나타나고 있다(IPCC, 2007). 기후변화의 영향으로 수자원의 양적인 편차가 심화됨에 따라 전 세계적으로 가뭄과 홍수가 빈번히 발생하여 막대한 인명 및 재산 피해를 유발하고 있으며 미래에는 더욱 강한 강도의

자연재해가 발생할 것으로 추정되고 있다(UNISDR 2008). 따라서 2000년대 이후 현재까지 수자원분야에서 기후변화와 관련한 주요이슈는 미래에 발생 가능한 가뭄과 홍수를 보다 정량적으로 예측하고 평가하는 것이었다.

기후변화에 따른 수자원 평가를 위해 GCM과 같은 기후모형의 결과를 지역규모에서 사용하기 위한 축소기법과 관련한 연구가 진행되어 왔다. 수자원분야의 연구에서는 보다 손쉽게 기상자료를 생산할 수 있는 통계학적 기법이 보다 범용적으로 사용되고 있지만, 수치해석 기법의 발달과 함께 지역규모에서 시공간적으로 고해상도 자료를 생산할 수 있는 동역학적 방법의 활용이 커지고 있다. 이와 함께 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 적응하기 위한 구조적/비구조적 방법들을 마련하고 있다(IPCC, 2012).

본고에서는 기후변화 적응 계획을 수립하기 위하여 가장 중요한 역할을 담당하게 될 다목적 댐을 대상으로 이수 및 치수측면에서의 안전도를 검토하고자 하였다. 이를 위하여 기후모델링 자료를 활용한 강우-유출 모의 결과를 바탕으로 대상 다목적 댐에 대한 물수지 분석을 수행함으로써 이수측면의 평가를 수행하고 홍수기 저수지의 운영방법(ROM)을 검

토함으로써 치수측면의 평가를 수행하고자 한다. 따라서 이의 결과를 통하여 기후변화 영향 검토를 위한 양적 측면의 연구에 대한 문제점을 검토하고 이를 서술하고자 한다.

2. 기후변화 영향 평가 절차 및 방법

본 연구는 기후변화가 이수 및 치수 차원에서 댐의 위험도에 미치는 영향을 평가하기 위하여 그림 1과 같은 절차에 의해 연구를 수행하였다. 탄소배출 시나리오(IPCC 2000) 기반의 기후모형의 결과를 활용하여 가뭄과 홍수분석을 수행함으로써 댐 운영에

대한 위험도를 평가할 수 있다. 우선, 가뭄분석을 위하여 통계학적 축소기법에 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 분석할 수 있다. 다음으로 홍수분석을 위하여 강우빈도해석의 결과를 활용하여 단위도 기법에 의한 댐의 시간단위 유입량을 산정하고 저수지 운영 방법을 통하여 저수지의 치수안전도를 분석할 수 있다. 최종적으로 이의 분석결과를 검토함으로써 기후변화에 대한 적용 측면에서 댐의 이수 및 치수에 대한 위험도를 평가한다.

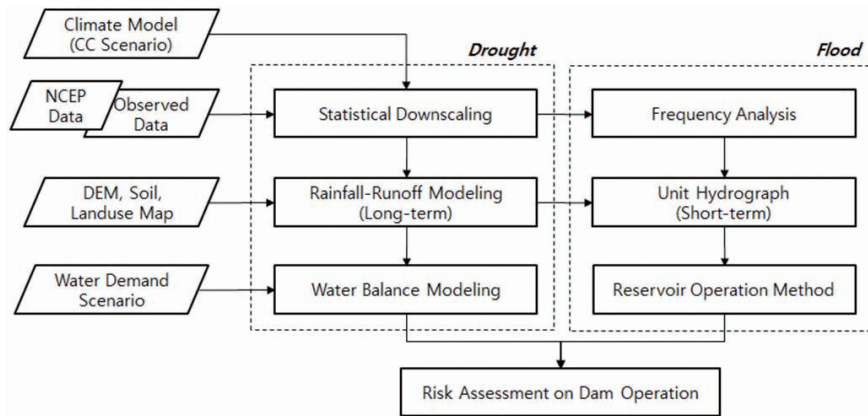


그림 1. 연구절차 및 방법

2.1 기후모형 및 축소기법의 적용

충주댐에 대한 기후변화 영향 평가를 위하여 SRES A2 시나리오에 대한 RegCM3 RCM 모형의 결과(경민수 등, 2009a)를 활용하여 비정상성 축소기법을 적용함으로써 일 기상계열을 산정하였다. 우선, 이수안전도 평가를 위하여 기후변화 시나리오와 수자원장기종합계획(2006)의 물수요 시나리오를 통합하여 기후변화-물수요 시나리오를 작성

하였다. 충주댐의 기후변화 영향평가를 위하여 A2 시나리오에 대한 RegCM3 모형의 기후결과를 비정상성 Markov Chain Model을 이용한 통계학적 Downscaling 기법에 적용하여 일 기상계열을 산정하였다. 기존 정상성 Markov Chain 모형은 자료 자체의 Markov 특성만을 고려하여 모의하는 기법으로서 수자원 설계에서 여러 가지 목적으로 이용되어 지고 있으나, 일강수량의 천이확률 및 매개변수 등이 과거와 일정하다는 정상성을 기본 가정으

로 하기 때문에 평균의 변동성 등과 같은 외부충격을 모형에 적용할 수 없다. 이러한 관점에서 기존일강수량 모형을 외부인자를 받아들일 수 있는 비정

상성 Markov Chain 모형을 적용하였다(권현한 등, 2009). 아래 그림 2는 비정상성 Markov Chain 모형의 전체적인 진행과정을 나타낸다.

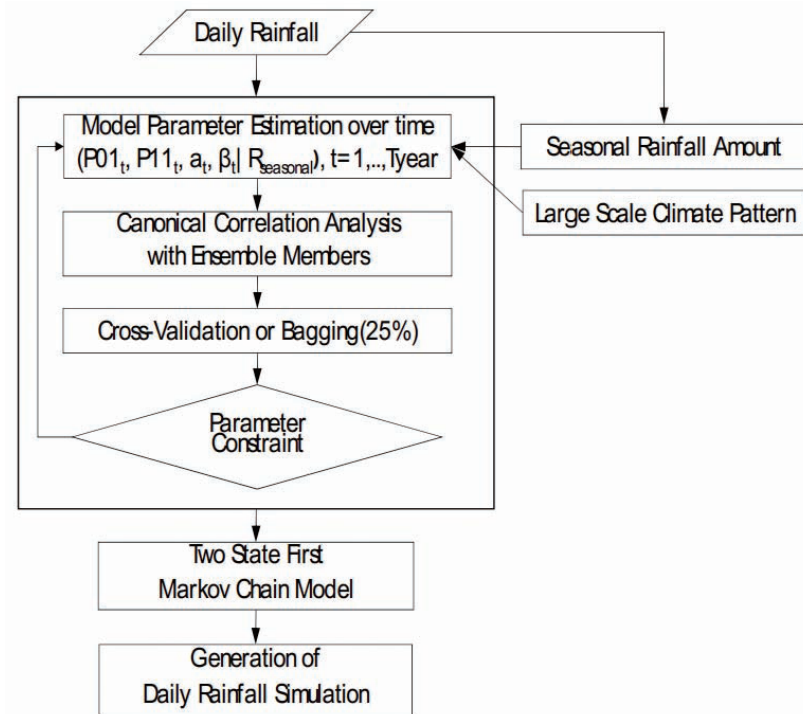


그림 2. 비정상성 Markov Chain Model (권현한 등, 2009)

2.2 충주댐에 대한 이수 및 치수평가 방법

장기유출모형 SLURP 모형을 이용해 유출분석을 수행한 후, 물수지기반 모형인 K-WEAP 모형을 이용하여 충주댐에 대한 저수용량의 변화를 검토하였다. 다음으로 치수안전도 평가를 위하여 기후모형의 자료로부터 축소한 일강우계열에 대하여 강우빈도 해석을 수행하였다. 하지만 홍수해석을 위하여 시간 단위 강우자료가 필요하기 때문에 Huff 방법을 이용하여 빈도해석에 의한 확률강우량을 시간분포하였다. 그리고 홍수기의 저수지 운영에 대한 평가를 위해 HEC-HMS에 의한 Clark 방법으로 예측 유입량을 산정하였다. 저수지 운영 방법 중 현재 시점

이후의 예측유입량을 댐에 저류함에 있어서 저수지 방류량이 목표로한 홍수조절용량과 일치되어지는 방류량을 결정하는 방법인 Technical ROM 을 선택하였다.

3. 기후변화에 따른 충주댐의 유출 및 물수지 모의

3.1 이수부분의 영향 평가

3.1.1 장기유출 모의

본 연구에서는 충주댐 유역의 DEM과 토지이용자

료를 이용하여 TOPAZ분석(Garbrecht and Martz, 1993; Martz and Garbrecht, 1999)을 실시하였고 그림 3과 같이 42개 소유역으로 분할하고 이들 각각의 지상학적 매개변수들을 추출하였다. 그리고 충주댐 유역 주변에 위치한 기상관측소와 각 지형자료를 SLURP모형에 적용하여 충주댐 유역의 유출량을 모의하였다. 충주댐 지점에 대하여 표 1과 같이 모형

을 보정한 결과 Nash-Sutcliffe criterion이 0.381에서 0.52로 크게 개선되었다. 그리고 비정상성 축소기법에 의하여 축소된 기상자료계열을 입력함으로써 2000년 ~ 2009년 까지 장기유출량을 모의하였다. 여기에서 모의결과의 불확실성을 고려하기 위하여 약 90년의 기간에 대하여 50개의 유출계열을 산출하였다.

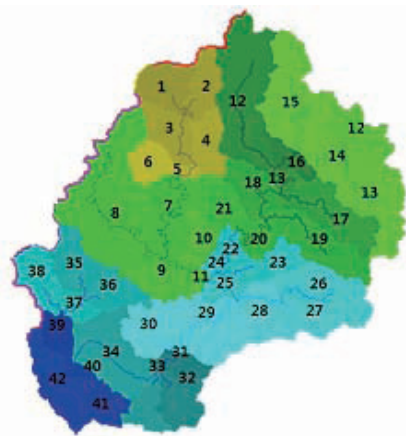
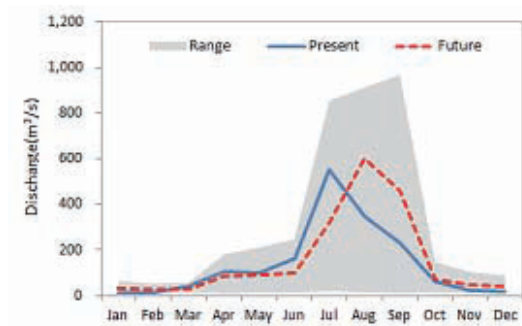


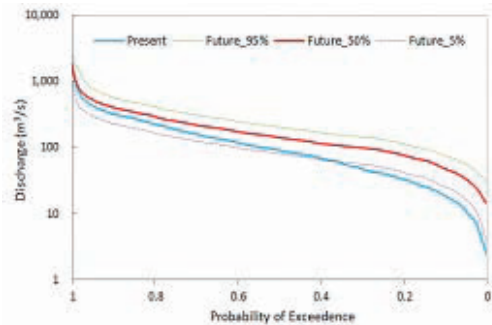
그림 3. 충주댐 유역의 TOPAZ 분석

표 1. 충주댐 유역의 모형 검 · 보정

Content	Calibration	
	before	after
Period	2000~2001	
Mean computed flow(m ³ /sec)	187.09	199.45
Mean recorded flow(m ³ /sec)	187.65	197.65
Standard error	-0.559	11,803
Ratio of mean error/recorded mean	-2.98E-03	6.29E-02
Nash-Sutcliffe criterion	-0.381	0.52
WMO(%)	0.298	0.681



(a) 월 유출량



(b) 유황곡선

그림 4. 관측 및 모의 월 유출량과 유황곡선의 비교

과거기간을 2000~2010년, 미래기간을 2021~2090년으로 설정하고 유출량 및 유황의 특성 변화에 대한 과거와 미래 월별 유출량의 비교 및 유

황분석을 실시하여 그림 4에 나타내었다. 여기에서, 그림 4는 SLURP에 의한 50개 모의 유출량의 상한, 중간, 하한값으로 각각 95%, 50%, 5% 경계를 분석

한 결과이다.

관측치와 미래 유출량을 월별로 비교한 결과(그림 5(a)), 미래에 유출량의 현저한 증가 보다는 연중 대부분의 유출을 차지하는 홍수기 유출이 기존 7월과 8월에서 8월과 9월로 이동하여 상대적으로 6월과 7월의 유출량이 감소하였으며 8월과 9월의 유출량이 크게 증가하는 것으로 추정되었다. 그림 5(b)에는 충주댐의 유입량에 대한 유향을 비교한 결과로 저류량이 크게 증가함 따라 미래 유향곡선은 현재보다 더 완만한 형태를 보이는 것으로 추정되었다. 즉, 전반적으로 유향은 개선되는 것으로 추정되었다.

3.2.2 물수지 분석

앞서 충주댐 유역을 대상으로 기후변화에 따른 유출분석 결과에서 충주댐은 미래에 유입량이 전반적으로 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 유출량의 양적 증가는 이수 측면에서 댐의 저수량을 안정적으로 확보하는데 유리하다고 할 수 있다. 하지만 총 유출의 90% 이상을 차지하는 홍수기 유출의 특성 변화(7-8월에서 8-9월로의 변화)가 충주댐의 용수공급 능력에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 평가가 필요하다고 판단하고 용수공급과 용수수요 상황을 종합적으로 고려하기 위한 방법으로 물수지 분석을 수행하였다.



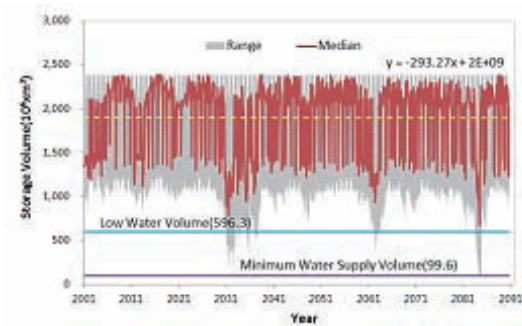
그림 5. 한강유역의 물수급 네트워크 (K-WEAP)

우선, 미래 기후변화 영향과 물수요에 대한 불확실성이 상당히 크다고 판단되기 때문에 본고에서는 SRES A2 시나리오에 대한 RegCM3 RCM 모형과 수자원장기종합계획(2006)에서 제시한 3개의 물수요 시나리오를 통합하여 3개의 기후변화-물수요 시나리오(A2-고수요, A2-기준수요, A2-저수요)를 작성하였다. 그리고 수자원장기종합계획(2006) 물수지 모형으로 활용된 바 있는 K-WEAP 모형을 이용하였으며 SLURP 모형의 유출모의 결과를 입력함으로써 물수지를 모의하였다.

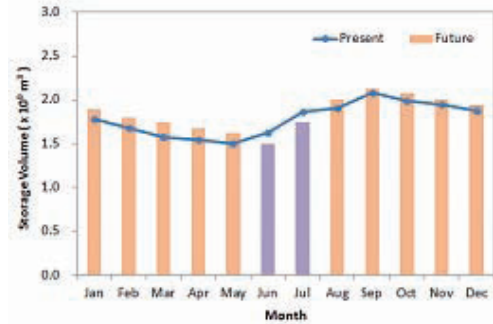
총 150개의 시나리오 자료를 입력하여 미래기간(2000-2090년)에 대한 충주댐의 저수량 변화를 모의하였으며 그 결과는 그림 6(a)와 같다. 여기에서 범위는 물 부족량 150개에 의해서 산정된 저수량의 범위라고 할 수 있으며 대표 값으로 중간 값을 설정하였다. 충주댐의 경우 중간 값 기준에서는 저수위 용량(596.3 백만톤) 이상으로 모의되었기 때문에 안정적으로 저수량을 확보할 수 있는 것으로 추정되었다. 하지만 저수량은 감소 추세에 있는 것으로 나타났으며, 최소값 기준(5%)에서 저수위 용량 이하로 떨어져 용수의 공급에 문제가 발생할 수 있을 것으로 추정되었다. 또한 2000년대 후반에는 최악의 경우에 용수공급가능용량(99.6 백만톤)을 확보하지 못하여 용수공급이 불가능한 상황이 발생할 수 있는 것으로 나타났다. 그리고 충주댐의 저수량에 대하여 현재와 미래의 월별 저수량을 비교한 결과(그림 5(b) 참고), 전반적으로 미래의 저수량이 현재보다는 증가하였지만 6월과 7월의 저수량은 현재와 비교하여 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 현재 5월에 최소저수량이 발생하였지만, 미래에는 6월에 최소저수량이 발생하는 것으로 나타났다.

3.3 치수부문의 영향 평가

충주댐의 경우 한국수자원공사에서 관리를 하고 있으며 홍수기에는 Technical ROM과 함께 자체적인 저수지 운영기준 매뉴얼을 통하여 댐을 운영하고



(a) 저수용량 변화 추이



(b) 월별 저수용량 변화 비교

그림 6. 충주댐의 저류용량 변화 추정

있다. 자체적인 운영기준은 예측유입량과 실제유입량의 오차와 함께 하류지역의 홍수위험을 함께 고려하고 있으며 한강홍수통제소와 함께 복잡한 의사결정 시스템이 작동하고 있다. 따라서 본 연구에서는 Technical ROM에 의한 분석 결과를 토대로 댐의 치수안전도 평가를 수행하였다. Technical ROM의 가장 중요한 요소는 유입량의 예측이므로 미래기간별 강우빈도해석 결과를 통하여 단위도법에 의한 충주댐의 홍수유입곡선을 산정한 후 Technical ROM에 적용하고자 하였다.

3.3.1 홍수기 저수지 유입량 모의

비정상성 Markov Chain Model 로 산출한 일강수계열의 연 최대치 자료를 활용하여 GEV 분포 (Hosking, 1985)로 Reference와 Projection 기간 (2021-2050, 2051-2090년) 별로 산정한 500년

빈도의 일강우량은 표 2와 같다. Thiessen 가중평균에 의하여 대상구역의 평균강우량을 산정한 결과 Reference 기간과 비교하여 2021-2050년에 약 4.1%(16.8 mm), 2051-2090년에 약 16.4%(67.9 mm) 정도 확률강우량의 증가가 있을 것으로 추정되었다.

일강우량을 과거실적자료를 통하여 Huff 4분위로 분포시킨 후 시간단위 강우자료를 생산하였다. 그리고, NRCS 방법을 통하여 초과강우를 분리하였으며 Clark 단위도법으로 충주댐 지점의 홍수유출수문곡선을 산정하였다. 첨두유입량은 전 기간에 걸쳐 설계방류량인 16,200 CMS를 초과하였지만, 최대방류량인 20,850 CMS를 초과하지 않아 유입량을 안전하게 하류로 방류할 수 있는 것으로 나타나 댐의 설계측면에서는 안전한 것으로 판단되었다.

표 2. 지점별 500년 빈도 일 강우량

	Return period = 500 year, mm			Thiessen Weight
	Reference	2021-50	2051-90	
Daegoanrung	578.2	638.0	715.6	0.27
Wonju	453.8	468.4	516.4	0.07
Hongcheon	399.6	358.0	399.0	0.01
Jecheon	387.5	445.4	465.9	0.40
Taeback	402.8	415.4	468.5	0.20
Moonkyung	254.0	251.5	317.9	0.04
Average	412.7	429.5	480.6	1

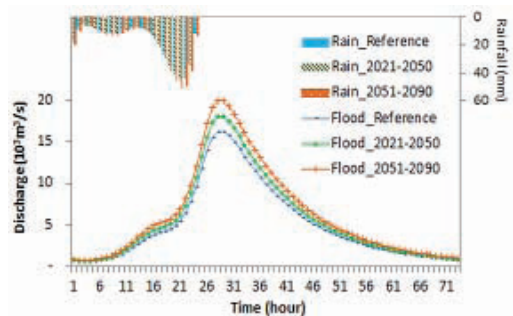


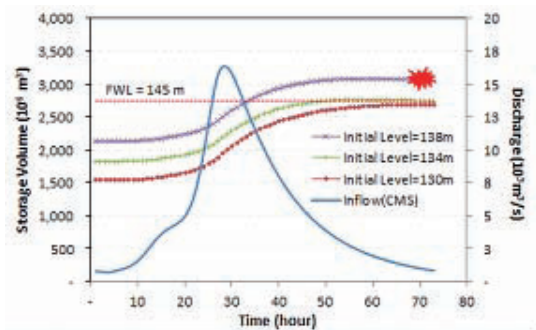
그림 7. 기간별 충주댐의 홍수유입수문곡선

3.3.2 저수지 운영 평가

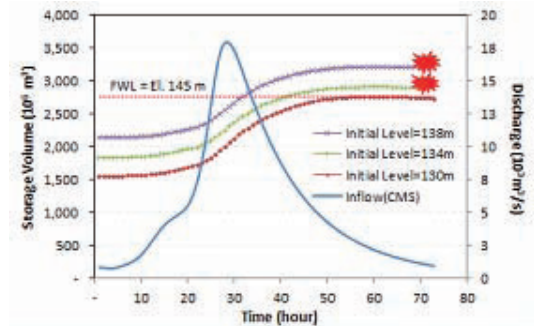
충주댐의 무피해방류량은 9,000 CMS이다. 따라서 홍수기에 댐에서 최대로 방류(20,850 CMS)를 한다면 충주댐 하류에 막대한 홍수피해를 유발하게 된다. 이러한 문제를 극복하기 위하여 저수지의 계획홍수량을 최대한 활용함으로써 하류에서 홍수피해가 발생하지 않도록 하여야 하며 이를 위하여 저수지 운영 방법이 필요하다. 충주댐은 홍수기(6월 20일~9월 20일)에 홍수조절용량을 확보하기 위하여 수위를 El. 138 m 이하로 유지하는 것으로 제한하고 있다. 따라서 홍수기에 가능한 수위를 낮추어 운영하고 홍수기가 끝날 무렵 수위를 상시만수위(El. 141 m)로 유지함으로써 가뭄에 대비하여야 한다. 이러한 상황에서 홍수기 수위를 무작정 낮출 수는 없다. 따라서 이와 관련하여 한국수자원공사에서는 홍수기 가변제한수위를 적용하고 있

으며 Technical ROM과 과거 댐 운영에 대한 경험을 바탕으로 충주댐을 운영하고 있다. Lee(2005)의 연구에서는 충주댐의 과거 실적자료를 바탕으로 6/20~7/31 El. 130 m, 8/1~8/15 El. 134 m, 8/16~9/20 El. 138 m를 유지하는 가변제한 수위를 제안한 바 있다.

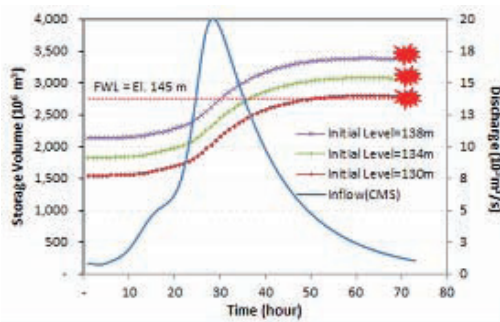
본고에서는 이현노(2005)가 제안한 홍수기 가변제한수위를 바탕으로 Technical ROM에 의한 충주댐의 치수안전도를 검토하였다. 이를 위하여 Technical ROM의 적용시 필요한 예측 유입량은 앞서 산정한 충주댐의 시간별 유입량으로 설정하였다. 그리고 일반적인 Technical ROM의 적용과는 달리, 하류에 홍수피해가 발생하지 않는 조건(방류량 9,000 CMS 이하)하에서 초기수위의 설정에 따라 저수지를 운영할 경우 발생하는 저수위 변화를 검토함으로써 저수지의 안전도를 추정기간별로 평가하



(a) Reference 기간



(b) 2021년~2050년



(c) 2051년~2090년

그림 8. 가변제한 수위 조건별 저수지 운영(Technical ROM) 결과

였다. 평가 결과는 그림 8과 같으며 Reference 기간에 대한 분석결과인 그림 8(a)를 살펴보면 초기 수위를 EI. 130 m와 134 m로 유지하고 있는 상황에서 500년 빈도의 홍수량이 발생할 경우에 안정적으로 계획홍수위(EI. 145 m) 범위 내에서 홍수를 조절할 수 있었지만 초기 수위가 EI. 138 m에서는 계획홍수위를 초과하는 상황이 발생하는 것으로 나타났다. 2021~2050 기간(그림 8(b) 참고)에는 EI. 134와 138 m에서 계획홍수위를 초과하는 것으로 나타났으며, 2021~2050 (그림 8(c) 참고)에는 수위를 EI. 130 m로 유지할 경우에도 계획홍수위를 초과하는 것으로 나타났다. 위와 같이 홍수기 초기 수위를 어떻게 유지하느냐는 댐 운영의 성공과 실패를 좌우하는 결정적인 요소로 작용할 수 있으며 미래에는 홍수량의 증가로 인하여 홍수기 댐 운영에 더욱 많은 어려움이 발생할 수 있는 것으로 판단되었다.

4. 충주댐에 대한 이수 및 치수평가 결과

앞서 댐의 이수 및 치수위험도를 검토한 결과, 기후변화의 영향으로 인하여 미래에 댐의 이수 및 치수위험도가 모두 증가하는 것으로 검토되었다. 따라서 대규모 가뭄과 홍수가 반복적으로 발생할 가능성이 큰 것으로 판단된다. 이러한 현상은 갈수기의 너무 적은 강수와 홍수기의 너무 많은 강수와 같은 강수의 양적 변화가 우선적으로 문제가 될 수 있지만,

본 연구에서 검토한 바에 의하면 강수의 발생 시기와 관련한 유출의 패턴 변화가 중요한 원인으로 작용할 수 있는 것으로 나타났다.

기후변화는 수문량의 양적인 측면 뿐만 아니라 시간적인 측면의 변화에 영향을 미친다. 이러한 특성의 변화가 댐의 이수위험도 및 치수위험도에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 검토를 위하여 그림 9와 같이 현재의 유출과 미래의 월별 유출특성의 변화와 함께 이수측면에서 월별 물수요량과 치수측면에서 홍수기제한수위의 변화를 함께 분석하였다. 우선 이수측면에서 연간 가장 많은 용수의 수요는 생·공용수가 연중 비교적 일정하다고 판단할 때 농업을 위한 관개용수가 최대로 필요한 6월에 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 상황 하에서 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 충주댐은 홍수기가변수위(6/20~7/31 EI. 130 m, 8/1~8/15 EI. 134 m, 8/16~9/20 EI. 138 m)를 통하여 홍수조절용량을 확보하고 있지만 미래에 현재의 홍수기제한수위와 홍수기가변수위는 홍수기 유출의 특성변화(7~8월에서 8~9월로 유출시기가 이동)에 효과적으로 대응할 수 없는 것으로 나타나 심각한 홍수피해가 발생할 수 있을 것으로 판단된다.

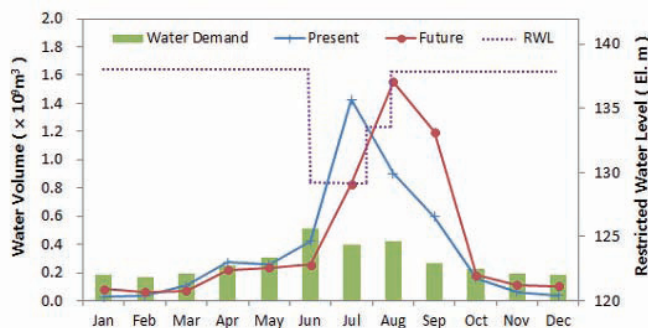


그림 9. 현재와 미래의 저수용량과 물수요량, 가변제한수위의 월별 패턴

5. 결론

본고에서는 기후변화가 댐의 위험도에 미치는 영향에 대하여 이수 및 치수 차원에서 평가하고자 하였다. 이를 위하여 충주댐을 대상으로 A2기후변화 시나리오와 RegCM3 모형의 결과를 활용하여 유역 규모로 축소한 기상자료를 바탕으로 충주댐의 유입량을 산정하였다. 우선 가뭄분석을 위하여 기후변화-물수요 시나리오를 작성하고 용수의 공급과 수요에 대한 물수지 분석을 수행함으로써 기후변화에 따른 충주댐의 저수용량의 변화를 추정하였다. 그리고 홍수분석을 위하여 500년 빈도의 홍수량을 기준으로 현재의 홍수기 가변제한수위와 저수지 운영 방법에 따른 미래의 홍수기 저수위 변화를 검토하였다. 분석결과 충주댐은 이수 및 치수측면에서 모두 위험도가 증가할 것으로 추정되었다. 이유는 홍수기 유출특성이 기존 7월과 8월에서 8월과 9월로 변화

하는 것이 가장 큰 영향을 주는 것으로 판단되었다. 따라서 최대 물수요가 발생하는 6월에 용수공급을 원활히 할 수 없는 상황의 발생으로 가뭄위험도가 증가하며, 6월~8월을 기준으로 설정되어 있는 현재의 저수지 운영방법으로는 미래에 예상되는 홍수를 효과적으로 대응할 수 없어 치수위험도 또한 증가하는 것으로 나타났다. 위의 결과를 종합해 볼 때 미래에 가뭄과 홍수가 반복적으로 발생할 수 있는 것으로 추정된다.

이와 같이 기후변화에 따른 댐의 위험도를 증가시키는 문제의 발생은 비단 유출량의 양적인 증감뿐만 아니라 유출 발생의 시간적 특성의 변화가 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 기후변화와 관련한 수문량의 양적인 변화와 함께 시간적인 패턴의 변화에 대한 연구가 더욱 많이 필요하다고 판단되며 이러한 영향을 종합적으로 고려한 기후변화 적응계획이 마련되어야 하겠다. 🌧️



참고문헌

- 건설교통부 (2006) 수자원장기종합계획(2006-2020) 보고서
 경민수, 이정기, 김형수 (2009b) 일 강수발생모형을 이용한 월 단위 GCM의 축소기법에 관한 연구, 대한토목학회논문집, 제29권, 제5호, pp.441-452.
- 권현한 (2009) 비정상성 Markov Chain Model을 이용한 통계학적 Downscaling 기법 개발, 한국수자원학회논문집, 제42권, 제3호, pp.213-225
- 이현노 (2005) 이·치수를 고려한 다목적 댐 홍수기 운영기준 평가, 석사학위논문, 충남대학교
- Daly, C., Neilson R.P., and Phillips D.L., (1994) A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain, J. Appl. Meteor., 33, pp.140-158.
- Frei C., Scholl R., Fukutome S., Schmidli J., and Vidale P.L., (2006) Future change of precipitation extremes in Europe: Intercomparison of scenarios from regional climate models, J. Geophys. Res., 111, D06105, doi:10.1029/2005JD005965.
- Fowler, H.J., Blenkinsop, S., and Tebaldi, C., (2007) Linking climate change modeling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modeling, Int. J. Climatol., 27(12), pp.1547-1578.

Garbrecht J., and Martz L.W., (1993) Network and subwatershed parameters extracted from digital elevation models : The Bill's Creek experience, *Water Resources Bulletin*, 29(6), pp.909–916.

Hanel M. and Buishand T.A., (2012) Multi-model analysis of RCM simulated 1-day to 30-day seasonal precipitation extremes in the Czech Republic, *Journal of Hydrology*, 412–413 pp.141–150.

Hosking, J.R.M., (1985) Maximum-likelihood estimation of the parameter of the generalized extreme-value distribution, *Appl. Stat.*, 34, pp.301–310.

Hurrell J.W., Holland G. J., and Large, W.G. (2008) The nested regional climate model: An approach toward prediction across scales. *Eos, Trans. Amer. Geophys. Union*, 89 (Fall Meeting Suppl.)

IPCC (2000) Special Report on Emissions Scenarios(SRES)

IPCC (2007) The Fourth Assessment Report (AR4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Martz L.W., and Garbrecht, J., (1999) Automated extraction of drainage network and watershed data from digital elevation models. *Water Resources Bulletin*, 29(6), pp.901–908.

Mearns L.O., Gutowski W., Jones R., Leung R., McGinnis S., Nunes A., and Qian Y., (2009) A regional climate change assessment program for North America. *Eos, Trans. Amer. Geophys. Union*, 90, doi:10.1029/2009EO360002.

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