

# 기후변화 시나리오에 따른 소양강댐과 충주댐의 가용수자원 평가

Evaluation of Available Water Resources of Soyang Reservoir and Chungju Reservoir according to Climate Change Scenarios

최성규\* / 이재웅\*\*

Choi, Sung-Gyu / Yi, Jaeeung

## 요    지

인위적인 온실가스 증가의 영향으로 지구의 기온이 상승하고 있으며, 우리나라에서도 이러한 전 지구적인 온난화 추세를 상회하는 경향을 보이고 있다. 20세기 후반부터 기후변화에 따른 강수량 및 집중호우의 증가 추세가 보고되고 있으며, 이에 따른 피해 또한 증가하고 있다. 이러한 이상기후 현상이 전 세계적으로 빈번히 발생하여 가용 수자원의 변동이 커지고 있다. 추가적인 댐 건설이 어려운 상황이고, 댐 운영의 불확실성에 의한 현실적인 운영의 어려움으로 인하여 보수적인 댐 운영이 이루어지고 있는 실정이므로, 한정된 수자원의 효율적인 이용과 예측이 요구되고 있다. 본 연구에서는 기상연구소에서 개발된 A2, B2 기후변화 시나리오에 따른 다목적댐에서의 용수공급능력의 변화에 대한 평가를 수행하였다. 대규모 유역의 대표적인 다목적댐을 선정하고 기후변화 시나리오별 유입량을 분석하였으며, 이를 저수지 모의운영 기법을 이용하여 기후변화 시나리오에 따른 각 댐의 신뢰도 95% 용수공급능력과 예상발전량을 산정함으로써 가용수자원을 평가하였다. 또한 다목적댐의 과거 실적 유입량 자료를 이용한 모의운영 결과와 비교하여 제시하였다. 과거 실적에 의한 결과와 비교할 때, 기후변화 시나리오에 따른 향후 국내 가용 수자원량에도 큰 변화가 있을 것으로 예측되었다. 이로부터 댐 운영에 있어서 홍수기의 안정적인 댐관리와 갈수기의 적절한 수자원 분배를 위한 방향을 제시할 수 있다. 본 연구의 결과는 향후 기후변화에 따른 저수지의 효율적인 운영을 위한 유역의 수자원 영향 평가에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

**핵심용어 : 기후변화 시나리오, 저수지 모의운영, 가용수자원 평가**

## 1. 서 론

본 연구에서는 기후변화가 한강 유역의 수자원에 미치는 영향을 검토하였다. 이를 위하여 한강 유역에서 용수공급, 수력발전, 홍수조절 등의 목적을 가지는 소양강다목적댐과 충주다목적댐을 대상으로 기후변화가 수자원에 미치는 영향을 평가하였다. 또한 이를 댐에서 수력발전량의 변화도 검토하였다. 검토를 위한 모형으로는 저수지의 운영을 가능한 한 현실적으로 나타낼 수 있는 모의운영 모형을 사용하였다. 저수지 모의운영 모형이란 저수지들이 속한 전체 유역을 하나의 시스템으로 생각하고 시스템으로 유입되는 각종 입력 자료들과 유역내의 각종 상호작용을 고려하여 저수지들을 운영한 출력 결과를 관찰할 수 있도록 수학적으로 재현한 모형으로, 근래의 전산 시스템의 발달로 주로 전산 모형으로 이루어져 있다. 모의운영 모형은 이용 가능한 자료를 통한 모형 보정과 검정을 통해 시스템의 물리적 특성을 비교적 잘 나타낼 수 있지만, 시스템 운영의 탄력성을 최대한 이용한 최적의 운영결과를 발견할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 본 연구에서는 현재 널리 사용되는 유역의 운영, 관리에 대한 전산 모의운영 모형중 미공병단의 HEC-5를 사용하였다. 입력자료로 사용된 기후변화 시나리오에 따른 유입량 자료는 21세기 프론티어연구개발사업 중 수자원의 지속적 확보기술개발사업단 연구과제(1-9-2)에서 생산된 자료를 사용하였다. A2 시나리오는 온실가스의 급격한 증가를 보여주는 비관적 전망이고, B2 시나리오는 환경지향적인 특성을 가지고 완만한 온실가스 증가를 보여주는 낙관적인 전망을 나타낸다. (임은순 등, 2006)

\* 정회원·아주대학교 환경건설교통시스템공학부 석사과정·E-mail : oxy798@ajou.ac.kr

\*\* 정회원·아주대학교 환경건설교통시스템공학부 부교수·E-mail : jeyi@ajou.ac.kr

## 2. 모형구축

### 2.1 저수지 시스템

모의운영을 위한 HEC-5 모형은 저수지, 제어지점(Control Point), 본류와 저수지로부터 취수되는 광역상수도, 도수터널, 발전시설 등을 포함하는 모형으로 구성된다. 대상 댐의 설계체원을 Table 1에 제시하였다. (한국수자원공사, 1997)

Table 1. Specification of Multipurpose Dam at Han River Basin

구 분	단 위	소양강댐	충주댐
◦ 유역 개요			
유역 면적	km <sup>2</sup>	2,703	6,648
연평균유하량	m <sup>3</sup> /s	55.5	158.0
◦ 댐 규모	-	중앙차수벽형사력댐	콘크리트 중력댐
댐 형식			
마루 표고	EL.m	203.0	147.5
체적	천m <sup>3</sup>	9,590	902
◦ 저수지			
홍수위	EL.m	198.0	145.0
상시 만수위	EL.m	193.5	141.0
총 저수량	백만m <sup>3</sup>	2,900	2,750
유효 저수량	백만m <sup>3</sup>	1,900	1,789
홍수조절용량	백만m <sup>3</sup>	500	616
◦ 발전 규모			
상시보장유량	m <sup>3</sup> /s	46.4	107.2
발전시설용량	천kW	200	400
연간 발전량	GWh	353	764.6
◦ 연간용수공급량	백만m <sup>3</sup>	1,473.1	3,380

HEC-5 모형에서의 저수지 운영은 홍수조절기능을 가지는 댐의 경우에는 7~9월 홍수기에는 제한수위를 두어 홍수조절용량을 확보하고, 발전용댐의 경우는 홍수조절용량을 두지 않고 유입량을 그대로 방류하는 flow-through dam으로 운영된다. 본 연구의 대상인 충주댐, 소양강댐은 홍수조절용량을 보유하는 댐으로 모형개발에 사용되는 저수위의 값인 Level 1~5의 값은 Table 2에 제시된 것과 같이 결정하였다.

Table 2. Decision of Dam Operation Levels

구 분	다목적댐 (소양,충주)
Level 5 (Surcharge)	(정상표고 + 홍수위) * 0.5
Level 4 (Flood control)	홍수위
Level 3 (Conservation)	상시만수위(1~6, 10~12월), 제한수위(7~9월)
Level 2 (Buffer)	저수위
Level 1 (Inactive)	용수공급가능수위
초기저류량 (1월)	상시만수위의 70%

## 2.2 입력자료

저수지의 운영은 유역의 강우와 유출에 따른 댐내 유입량과 밀접한 관계를 가진다. 따라서, 저수지에서의 용수공급량 부족 역시 봄과 겨울에 주로 발생한다. 연간 총유입량이 같더라도 특정기간에 유입량이 집중되어 다른 기간의 유입량이 상대적으로 작아지거나, 유입량의 분포가 극단적일 경우 용수공급 측면에서는 좋지 않은 결과를 가져오게 된다. 소양강댐과 충주댐의 A2 시나리오의 2011~2040년, A2 시나리오의 2051~2080년, B2 시나리오의 2011~2040년, B2 시나리오의 2051~2080년의 4가지 경우에 대한 월평균값과 연평균유입량을 구하여 Fig 1 ~ Fig 4에 각각 제시하였다.

1986~2000년의 소양강댐에서의 연평균유입량 실적치는  $71.2\text{m}^3/\text{s}$  이다. 기후변화 시나리오 A2에 따른 소양강댐의 연평균유입량은 2011~2040년에서  $58.2\text{m}^3/\text{s}$ , 2051~2080년에서  $60.4\text{m}^3/\text{s}$ 로 실적치에 비해 각각 18.2%, 15.2% 감소하는 추세를 보였다. 기후변화 시나리오 B2에 따른 소양강댐의 연평균유입량도 2011~2040년에서는  $58.4\text{m}^3/\text{s}$ , 2051~2080년에서는  $58.5\text{m}^3/\text{s}$ 로 실적치에 비해 각각 18.0%, 17.9% 감소하는 경향을 보였다.

1986~2000년의 충주댐에서의 연평균유입량 실적치는  $163.9\text{ m}^3/\text{s}$  이다. 기후변화 시나리오 A2에 따른 충주댐의 연평균유입량은 2011~2040년에서  $196.7\text{m}^3/\text{s}$ , 2051~2080년에서  $180.3\text{m}^3/\text{s}$ 로 실적치에 비해 각각 20.0%, 10.0% 증가하는 추세를 보였다. 기후변화 시나리오 B2에 따른 충주댐의 연평균유입량도 2011~2040년에서는  $182.5\text{m}^3/\text{s}$ , 2051~2080년에서는  $165.1\text{m}^3/\text{s}$ 로 실적치에 비해 각각 11.3%, 0.7% 증가하는 경향을 보였다.

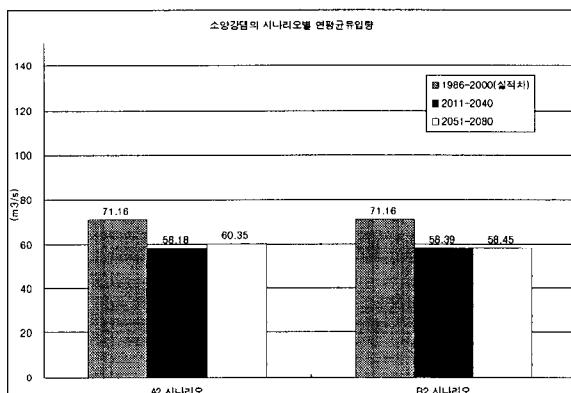


Fig. 1. Yearly Average Inflow at Soyang Reservoir according to Scenario A2, B2

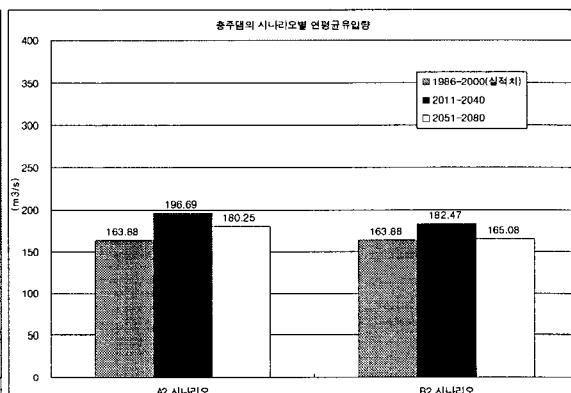


Fig. 2. Yearly Average Inflow at Chungju Reservoir according to Scenario A2, B2

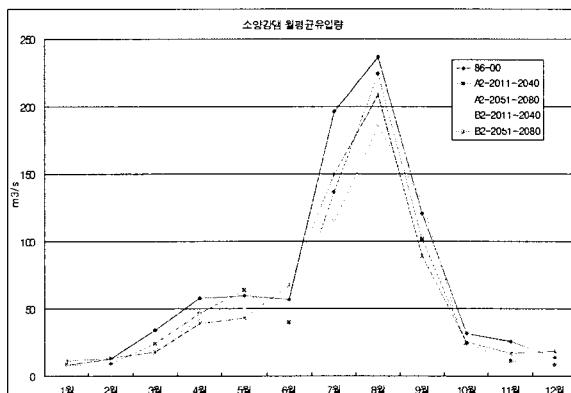


Fig. 3. Monthly Average Inflow at Soyang Reservoir

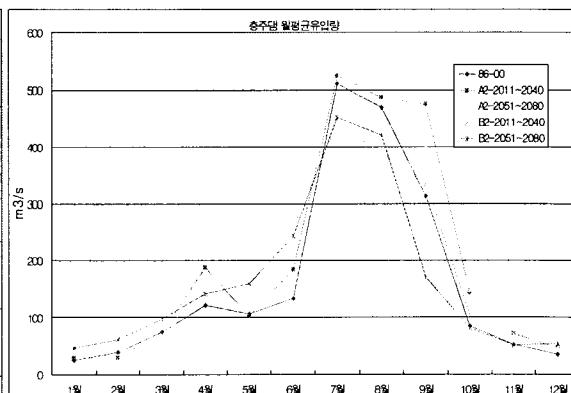


Fig. 4. Monthly Average Inflow at Chungju Reservoir

### 3. 적용결과

본 연구는 모의운영 모형을 이용하여 1985 ~ 2000년의 실적치 유입량 자료와 기후변화 시나리오 A2, B2의 2011 ~ 2040년, 2051 ~ 2080년의 유입량 자료를 바탕으로 수행하였다. 모의운영에서 연간 용수공급능력 평가는 신뢰도 95%의 운용으로 수행하였는데, 여기서, 신뢰도 95%의 운영이란 모의운영시 각 댐에서 취수량과 하류로의 방류량을 만족시킬 확률이 전체 분석기간의 95%라는 의미이다. 각 운영 별로 연간 용수공급능력 평가 결과, 연평균유입량 그리고 발전량을 Table 3과 Fig 5 ~ Fig 8에 제시하였다.

소양강댐에서 기후변화 시나리오 A2에 따른 2011 ~ 2040년, 2051 ~ 2080년의 유입량은 18.2%, 15.2% 감소하였고, 95% 용수공급능력도 각각 17.6%, 11.3% 감소하였다. 소양강댐에서 기후변화 시나리오 B2에 따른 2011 ~ 2040년, 2051 ~ 2080년의 유입량은 각각 17.9%씩 감소하였고, 95% 용수공급능력도 각각 20.4%, 23.3% 감소하였다.

충주댐에서 기후변화 시나리오 A2에 따른 2011 ~ 2040년, 2051 ~ 2080년의 유입량은 20.0%, 10.0% 증가하였고, 95% 용수공급능력은 2011 ~ 2040년에는 19.1% 증가하였고, 2051 ~ 2080년에는 1986 ~ 2000년의 실적치와 같은 값을 보였다. 충주댐에서 기후변화 시나리오 B2에 따른 2011 ~ 2040년, 2051 ~ 2080년의 유입량은 11.3%, 0.7% 증가하였고, 95% 용수공급능력은 각각 9.8%, 8.1% 증가하였다.

기후변화 시나리오에 따르면 A2, B2 시나리오 모두 소양강댐으로의 유입량은 15 ~ 18% 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 결과적으로 용수공급능력 역시 11 ~ 23% 감소하는 결과를 보였다. 충주댐의 경우는 A2, B2 시나리오 모두 유입량이 35 ~ 50% 정도 크게 증가하는 것으로 나타났으며, 용수공급능력 역시 0 ~ 20%까지 증가하게 되는 것으로 나타났다. 여기에서 용수공급능력의 증감과 유입량의 증감이 완전히 비례하지 않는 것은 월간 유입량이 고르게 분포될 경우 같은 연유입량에서도 보다 큰 용수공급능력을 보일 수 있기 때문이다.

발전량은 소양강댐은 1986 ~ 2000년의 537.0 GWhr에서 기간별로 9 ~ 16% 감소하는 추세를 보였으며, 충주댐은 762.2 GWhr에서 기간별로 -2 ~ 16%로 증감하는 추세를 보였다

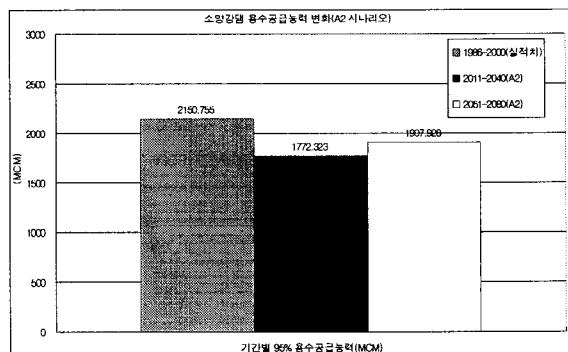


Fig. 5. Change of Water Supply Capacity at Soyang Reservoir (A2)

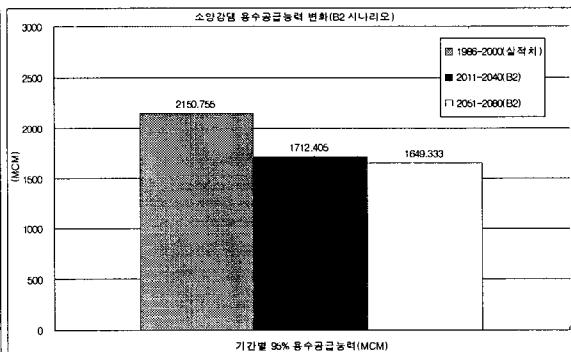


Fig. 6. Change of Water Supply Capacity at Soyang Reservoir (B2)

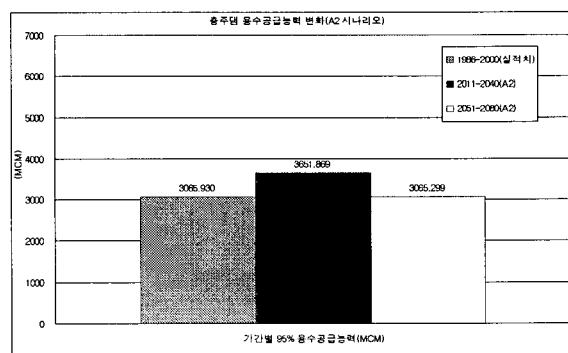


Fig. 7. Change of Water Supply Capacity at Chungju Reservoir (A2)

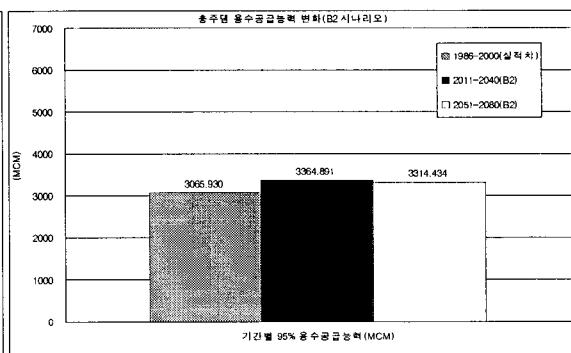


Fig. 8. Change of Water Supply Capacity at Chungju Reservoir (B2)

Table 3. The Simulation Results

기 간		소양강댐			충주댐		
		95% 용수공급능력 (MCM)	연평균유입량 (m³/s)	발전량 (GWhr)	95% 용수공급능력 (MCM)	연평균유입량 (m³/s)	발전량 (GWhr)
1986~2000		2150.8	71.2	537.0	3065.9	163.9	762.2
A2 시나리오	2011~2040	1772.3 (-17.6%)	58.2 (-18.2%)	456.8 (-14.9%)	3651.9 (+19.1%)	196.7 (+20.0%)	835.0 (+9.6%)
	2051~2080	1907.9 (-11.3%)	60.4 (-15.2%)	485.9 (-9.5%)	3065.3 (+0.0%)	180.3 (+10.0%)	882.6 (+15.8%)
B2 시나리오	2011~2040	1712.4 (-20.4%)	58.4 (-17.9%)	463.1 (-13.8%)	3364.9 (+9.8%)	182.5 (+11.3%)	850.8 (+11.6%)
	2051~2080	1649.3 (-23.3%)	58.5 (-17.9%)	452.6 (-15.7%)	3314.4 (+8.1%)	165.1 (+0.7%)	745.1 (-2.2%)

#### 4. 결 론

본 연구에서는 기후변화 시나리오에 따른 다목적댐에서의 용수공급능력의 변화에 대한 평가를 수행하였다. 기후변화 시나리오를 사용하여 얻어진 소양강댐과 충주댐으로의 유입량을 바탕으로 연구를 수행하였다. 결과적으로 소양강댐의 용수공급능력은 전반적으로 감소하는 것으로 나타나고, 충주댐의 용수공급능력은 대체로 증가하는 것으로 나타났다. 이는 기후변화 시나리오에서 소양강댐의 유입량은 전반적으로 크게 감소하고, 충주댐의 유입량은 증가하는데에서 기인하는 것으로 판단된다. 이것은 소양강댐이 위치한 북한강 유역의 유입량은 감소하고, 충주댐이 위치한 남한강 유역의 유입량은 증가할 것을 보인 것이다. 따라서 본 연구에서 사용한 기후 시나리오에 따르면, 장래에 소양강댐은 지금까지보다 감소된 용수공급능력을 나타내게 될것이고, 충주댐은 대체로 증가된 용수공급능력을 나타내게 될것이다. 따라서 소양강댐은 수자원의 낭비를 감소시키는 목적으로, 충주댐은 수자원의 적절한 분배와 홍수기의 효율적인 댐관리를 목적으로 하는 운영이 필요할 것으로 판단된다.

#### 감 사 의 글

본 연구결과는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 1-9-2)에 의해 수행되었습니다. 감사의 뜻을 표합니다.

#### 참 고 문 헌

- 임은순 등(2006) 수자원 영향평가에 활용 가능한 지역기후변화 시나리오 연구, *한국수자원학회논문집*, 제39권, 제 12호, pp. 1043-1056
- 한국수자원공사(1997) 기존댐 용수공급능력조사(한강수계) 보고서