

대규모 유역변경에 의한 수자원 편익의 변동성 추정

Estimation of Water Resources Benefits in Case of Inter Basin Transfer

이광만* , 강민구**, 강신욱***

Gwang Man Lee, Min Gu Kang, Shin Uk Kang

요 지

수자원사업을 평가하고 실행하는 과정은 지속 가능한 유역관리에 있어 매우 중요하다. 기존 시설물에 대한 영향을 평가하지 않은 신규사업은 기존시설물의 건설목적에 크게 훼손할 수 있다. 게다가 이와 같은 문제들은 하천이 상당수준으로 개발되어 있을 경우 더욱 심각한 결과를 초래할 수 있으며, 유역변경의 경우 더욱 확대될 수 있다. 북한강 수계에 건설된 임남댐은 대표적인 예로, 본 연구에서는 이와 같은 대규모 유역변경에 의한 기존 시설물의 편익변동성을 분석하고 이 사업이 미치는 부정적 영향을 경감할 수 있는 대안을 평가하였다.

핵심용어 : 수자원 편익, 유역변경, 변동성

1. 서론

물과 관련된 사업을 평가하고 정당화시키는 과정은 지속 가능한 하천유역관리의 핵심요소이다. 수자원 이용의 정당성은 내·외부여건변화에 의해 하천시스템의 기본 골격이 훼손되지 않아야 하며, 유량이나 하천환경 등의 지속성을 유지할 수 있어야 한다. 신규 시설물의 유역에 미치는 평가 없이 진행된 사업은 근본적으로 유역관리의 기본목적에 위태롭게 할 수 있다. 이와 같은 문제점은 하천의 이용도가 높을수록 크며, 특히 유역변경 등 유량의 변동성이 수반될 경우 문제는 더욱 확대될 수밖에 없다.

특히 최근의 수자원 시스템은 유역의 집중적인 개발로 물 이동과 관련된 문제들이 더욱 복잡해지고 있다. 특히 하류의 영향을 고려하지 않는 개발은 유·무형으로 많은 문제점을 야기할 수 있다. 이중 대안 없는 유역변경은 하류의 수자원 이용측면만이 아니고 정도에 따라 자연환경에도 큰 영향을 미칠 수 있다. 북한강 상류의 임남댐 건설은 한강수계 전체의 수자원시설물 운영이나 용수공급체계에 막대한 영향을 미치는 표본이 되고 있으며, 공유하천의 공동관리에 대한 중요성을 일깨워준 교훈이 되고 있다. 실제 임남댐에 의한 유역변경 도수량은 팔당댐기준 연간유량의 10%에 해당하는 17억 m^3 이 넘는 것으로 추정되어 이로 인해 하류 수자원 시스템의 편익 감소가 예상된다. 현재 이와 같은 문제에 대해 특별한 대응방안이 없는 현실을 감안할 때 유역변경에 의한 영향을 정확히 판단하고 기존 시설물의 운영 개선 노력을 기울이는 것이 선행되어야 할 과제이다. 본 연구에서는 대규모 유역변경으로 인한 유량감소가 기존 수자원 시스템에 미치는 영향을 분석하고 운영개선을 통한 편익향상을 제시하였다.

2. 유역특성 및 문제점 분석

2.1 대상유역 개요

북한강은 임진강을 제외한 한강의 제1지류로 유역면적이 10,761.2km², 유로연장은 291.3km이며, 한강 전체 유역면적의 약 41.3%를 차지한다. 북한강은 D.M.Z 이북에 위치하고 있는 단발령(EL. 1,241.0 m)에서 발원하여 양구서천, 금강천, 수입천, 소양강, 가평천 및 홍천강 등의 많은 대소 지천들과 합류하여 남서류하다가

* 정회원·한국수자원공사 수자원연구원 수석연구원·E-mail : lkm@kowaco.or.kr

** 정회원·한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원·E-mail : kmg90@kowaco.or.kr

*** 정회원·한국수자원공사 수자원연구원 연구원·E-mail : sukang@kowaco.or.kr

경기도 양평군 양서면 양수리 부근에서 한강과 합류하여 팔당호로 유입된다. 북한강 수계에는 유량이 풍부하고 협곡이 발달되어 다수의 수자원 시설물이 건설되어 있다. 북한강과 한강이 합류하는 지점의 6.7km 직·하류에는 팔당댐이 1974년 준공되어 운영되고 있다. 또한, 그 상류에 청평댐, 의암댐, 춘천댐, 소양강댐, 화천댐 및 평화의댐 등이 위치하고 있으며, DMZ 상류에 임남댐이 위치한다. 그러나, 이들 중 홍수조절 능력을 갖고 있는 것은 소양강댐, 화천댐 및 평화의 댐뿐이며 나머지는 발전전용 댐이다(그림 1).

2.2 유량감소

북한강 상류에 건설된 임남댐의 유역면적은 2,394km²이며, 저수용량은 화천댐보다 두 배정도 크고 소양강댐보다 약간 작은 규모이다. 따라서 이 댐으로 유입된 유량의 대부분이 높은 낙차의 수력발전을 위해 유역변경될 경우 하류 유황에 큰 영향을 미치게 된다. 임남댐 직·하류에 위치한 화천댐이 가장 큰 영향을 받고 있으며, 이를 설명하기 위해 화천댐에 인접한 소양강댐의 유출과 비교하였다. 분석기간은 임남댐 건설과정을 고려하여 3단계로 나누었는데 임남댐이 착공되기 전인 1996년까지를 임남댐 건설전, 1997- 2000년까지를 건설중, 2001년 이후를 건설후로 구분하였다. 비교결과는 그림 2에서 보여주듯이 1988년부터 건설 시작전인 1996년까지는 거의 비슷한 경향을 보여주고 있다. 그러나 건설이 시작된 1997년 이후 2003년까지는 건설기간 중인 2001년까지는 20%정도의 차이를 보이다 건설이 완료된 2002년 이후에는 40% 수준으로 확대되어 임남댐의 유역변경이 유량에 미치는 영향이 매우 큼을 알 수 있다.

또한 일별 유량크기를 알아보기 위해 분석기간별 유황곡선을 비교하였다. 그림 3에서 알 수 있듯이 임남댐 건설후의 유황곡선이 임남댐 건설전의 유황곡선보다 낮게 나타나고 있다. 특히, 고수량에서 갈수량으로 갈수록 감소율이 확대되고 있다. 유량별 변동율이 고수량에서 7.9%이던 것이 갈수량에서는 80.2%로 확대되어 물이 부족한 갈수기에 더 심각함을 알 수 있다. 유량의 변동성을 알 수 있는 하상계수는 762.4에서 7958.3으로, 유황계수는 77.7에서 207.6으로 증가하였다. 또한, 유량변동율은 8.4에서 18.1로 증가하였다.

2.3 발전량 감소

임남댐 건설로 인한 유량감소는 화천댐을 비롯하여 북한강 수계 모든 발전용댐에 영향을 미치고 있다. 발전량 변화추이를 분석하기 위해 1970년부터 2003년까지의 각 댐의 월별 발전량 자료를 분석하였다. 그림 4는 임남댐 건설전과 후의 화천댐 연도별 유입량과 발전량을 비교한 것이다. 화천댐의 유입량 증감은 발전량에도 영향을 미치는데 화천댐의 연평균 발전량은 임남댐 건설전에는 307.3 GWh이었으나, 임남댐 건설중에는 270.0GWh로 감소하다 건설 후에는 169.2GWh를 기록하였다. 이는 임남댐 건설중에 연 37.3GWh의 감소가 나타났고 건설후에는 약 138.1GWh가 감소하였다. 비율로는 각각 12%와 45%이다.

또한 화천댐 하류 춘천댐, 의암댐, 청평댐 및 팔당댐의 발전량 감소추이는 그림 5와 같다. 이 그림에서 춘천댐, 의암댐 및 청평댐의 발전량은 연간 각각 41.1, 14.5 그리고 24.1GWh가 감소하여 8.8 ~ 25.5%정도 줄어들었다. 팔당댐의 경우는 2000년 20,000kW의 증설이 있어 약 25.7%정도의 발전량 증가가 있었는데 2000년 이후 강우가 평년에 비해 많았던 것도 하나의 원인으로 나타났다.

3. 수자원 편익의 변동성 분석

3.1 모형의 구성

임남댐 도수에 따른 북한강 수계의 유량감소는 수계내에 있는 수자원 시설물들에 영향을 미치고 있는 것이 확인되었다. 본 연구에서는 임남댐의 유역변경으로 인해 하류에서 수자원 편익이 어느 정도 감소하는가를 정량적으로 분석하기 위한 평가모형을 개발하여 발전 및 용수공급편익의 변동성을 분석하였다. 이들 댐들의 기능을 살펴보면 화천댐의 건설 당시 목적은 전력을 생산하기 위한 것이었으나, 최근에는 화천댐을 발전목적 뿐만 아니라 홍수조절용이나 하류 지역에 대한 용수공급 같은 기능을 부가되어 다목적 기능을 하고 있다.

따라서 발전편익의 감소량 추정에는 한국수력원자력(주)에서 관리하고 있는 화천댐과 춘천, 의암, 청평 그리고 팔당댐을 대상으로 하고 화천댐은 다른 댐들과 달리 유량조절이 가능하고 장기 용수공급능력을 가지고 있어 하류 보강수량을 최대화하는 대안도 검토하였다. 본 연구에서는 임남댐으로 인한 대규모 유역변경에 대한 기존 수자원 시설물의 편익변동성을 추정하는 것으로 기존 댐들의 운영목적이 상충하는 부분도 있어 평가시스템은 팔당을 기준지점으로 하는 한강수계 전체를 대상으로 용수공급을 평가하는 목적함수를 다음과 같이 같이 적용하였다.

$$F = \min \sum_{t=1}^N (Q_t - D_t)^2 \quad \text{if } Q_t \geq D_t, (Q_t - D_t)^2 = 0 \quad (1)$$

여기서, F는 팔당댐 지점에서의 용수공급 평가함수, Q_t 는 운영기간 t동안의 팔당댐 방류량, D_t 는 운영기간 t동안의 수도권지역 수요량, N은 운영기간을 나타낸다. 목적함수 F는 초기간계에서 말기 단계까지 각 단계에서 수요량과 방류량으로 차를 구성되는 함수제곱의 합을 나타내는데 조건에 의하여 방류량이 수요량보다 적을 경우만 적용된다. 한편, 제약조건은 다음과 같다.

$$X_{t+1} = X_t + I_t - E_t(X_t, X_{t+1}) - Q_t \quad (2)$$

$$X_t^{\min} \leq X_t \leq X_t^{\max} \quad (3)$$

$$Q_t^{\min} \leq Q_t \leq Q_t^{\max} \quad (4)$$

여기서, X_t 는 운영기간 t의 초기저류량, X_{t+1} 은 운영기간 t의 말기저류량, I_t 는 운영기간 t의 유입량, E_t 는 운영기간 t의 증발손실량이다. 증발손실량은 운영기간 t 동안의 초기저류량과 말기저류량의 평균치로 계산한다. X_t^{\min} 과 X_t^{\max} 는 운영단계 t에서 저류량의 하한값과 상한값을 나타내고 Q_t^{\min} 과 Q_t^{\max} 는 운영단계 t에서 방류량의 하한값과 상한값을 나타낸다. 화천댐을 비롯한 수력발전댐들의 발전량 계산은 다음과 같다.

$$HP = 9.8 Q_t h_e \zeta \xi \quad (5)$$

여기서, h_e 는 유효수두, ζ 는 터빈효율, ξ 는 월별 운영을 위한 발전량 조정계수이다.

3.2 적용결과

임남댐 도수에 따라 감소된 유량은 팔당댐을 중심으로 한 한강수계내 수자원시설물의 운영에 영향을 미친다. 이 영향을 분석하기 위하여 전술한 방법과 같이 1967년~1996년의 과거 30년 간의 자연유량을 생성하여 사용하였다. 또한, 북한강 수계 수력 발전댐들을 Flow-through 댐으로 처리하고 터빈효율을 보정 매개변수로 처리하였다. 임남댐 건설 후 화천댐 유입량은 임남댐 건설 전의 유입량에 면적비를 적용하여 추정하였다. 표 1은 평가 모형을 이용하여 한강 수계 수자원을 연계운영할 경우 임남댐 건설 전·후의 발전량을 분석한 결과이다. 임남댐 건설 전·후 발전량 변화를 비교해 보면 춘천댐은 48.3 %, 의암댐은 32.8 %, 청평댐은 24.9 %, 팔당댐은 11.9 % 감소한 결과를 나타냈다.

표 2은 화천댐의 임남댐 건설 전·후의 보장수량과 발전량의 계산결과를 나타낸 것이다. 하절기 제한 수위를 EL. 175.0 m로 한 경우 최적운영에 따른 보장수량을 비교해 보면 유입량 감소에 따라 보장수량이 확연하게 감소하고 있는 것을 알 수 있다. 95 % 초과확률에 대한 보장수량은 임남댐 건설 전에는 102.1백만 m^3 /월이며, 임남댐 건설 후에는 65.6백만 m^3 /월로 35%의 감소가 나타날 것으로 예측되었다.

한편, 화천댐의 운영개선을 위해 하절기 제한수위를 조절한 결과는 표 3과 같다. 상류에 평화의댐 2단계가 준공되었고 화천댐의 홍수제어를 위한 추가시설물이 건설되어 하절기 제한수위 조절을 통한 운영개선이 적절해 보인다. 이때 보장수량은 10%내외 발전량은 3~6%정도 개선이 있을거로 추정되었다.

4. 결론

임남댐 건설로 인한 북한강 수계의 유량감소를 확인하였다. 유량 변화는 임남댐 건설의 영향을 받는 화천댐, 춘천댐 및 청평댐 등 수력발전댐에 영향을 미치고 있으며, 유량감소가 지속될 경우 화천댐은 44.1%, 춘천댐은 48.3%, 의암댐은 32.8%, 청평댐은 24.9 %, 팔당댐은 11.9% 감소하는 것으로 추정되었다. 한편 화천댐 운영개선을 위한 하절기 제한수위를 변경할 경우 용수공급은 최대 10%, 발전은 6%정도 향상시킬 수 있을 것으로 분석되었다.

참 고 문 헌

1. 한국수력원자력 (2003). 화천댐 비상방류수문을 활용한 저수지 운영 모델 연구개발.
2. 한국수자원공사 (1996). 다목적댐 수력발전 가치의 계량화 방안 연구.
3. 한국수자원공사 (1995). 화천댐과 평화의댐 연계운영 및 관리 방안 조사.
4. 수력처 수력발전부 (1998). 수력발전소 운영자료집.
5. Labadie, J. W. (1988). *Dynamic programming with the microcomputer program CSUDP*, Civil Engineering Department, CSU, Fort Collins, Co.

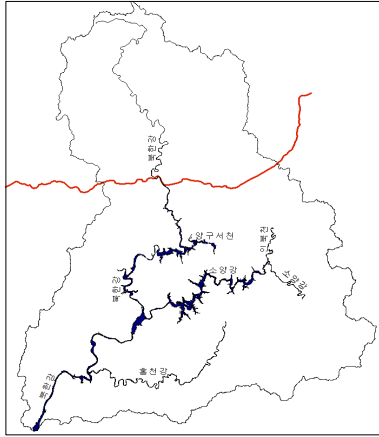


그림 1. 북한강 수계도

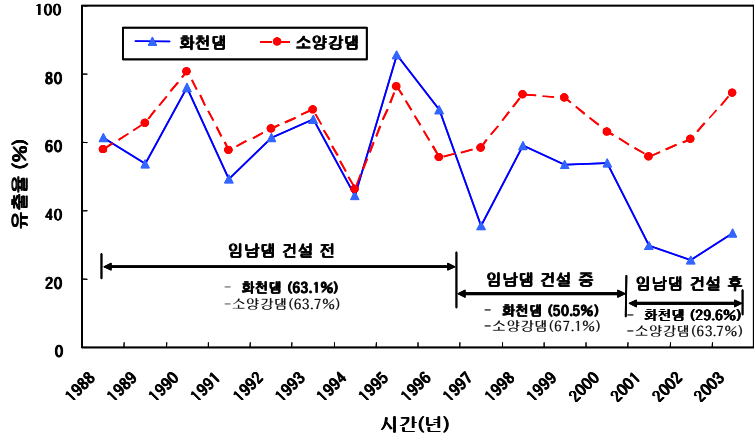


그림 2. 화천댐과 소양강댐 유출율 변화

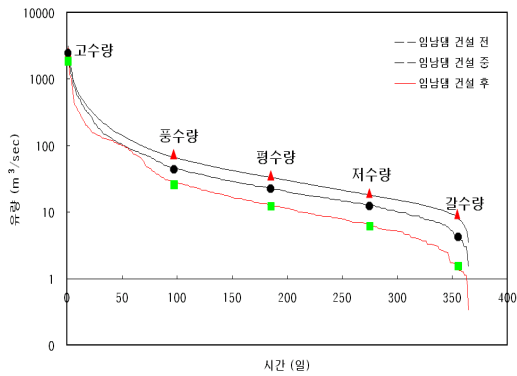


그림 3. 건설 전·후의 화천댐 유황곡선

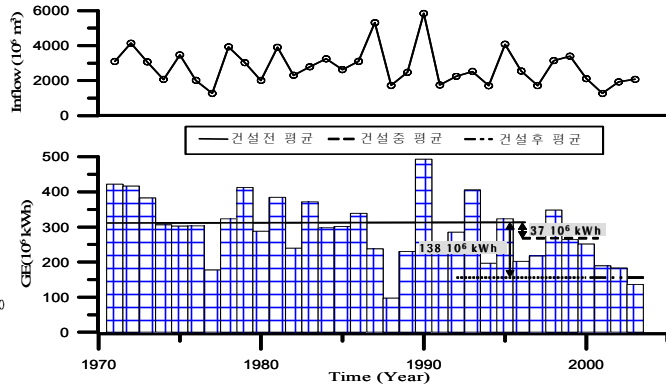


그림 4. 화천댐 분석기간별 발전량 변화

표 1. 임남댐 건설 전·후의 발전량 변화 분석

항 목	발전량(GWh)				
	춘천댐	의압댐	청평댐	팔당댐	
실적 평균	154.7	155.8	272.8	316.7	
임남댐 건설 전 평균	154.9	157.0	280.7	309.6	
임남댐 건설 후 평균	80.1	105.5	210.7	272.9	
증감	GWh	▽ 74.8	▽ 51.5	▽ 70.0	▽ 36.7
	%	▽ 48.3	▽ 32.8	▽ 24.9	▽ 11.9

주) 임남댐 건설 후 화천댐 유입량은 면적비법을 적용해 생성한 유량 적용

표 2. 임남댐 건설에 따른 화천댐 보장수량과 발전량 변화 (최적 운영)

운영조건	보장수량(10 ⁶ m ³ /월)	발전량(GWh/년)
임남댐 건설 전	102.1	390.5
임남댐 건설 후	65.6	218.4
증감 (%)	▽ 35.7	▽ 44.1

표 3. 임남댐 건설 전 제한수위별 최적운영 결과 (보장수량 : 95 % 신뢰도)

제한수위 (m)	저류량 (10 ⁶ m ³)	보장수량		발전량	
		(10 ⁶ m ³ /월)	증감(%)	(GWh/년)	증감(%)
EL. 175.0	739	102.10	-	390.5	-
EL. 178.0	836	112.00	△ 9.7	401.6	△ 2.8
EL. 180.0	904	112.10	△ 9.8	409.4	△ 4.8
EL. 181.0	942	112.10	△ 9.8	412.9	△ 5.7