

댐간 연결을 통한 공급량 증대 및 신뢰도 향상

Water Supply and Reliability Increment by Dams Connection

이광만*, 이승윤**, 이을래***

Gwang Man Lee, Seung Yoon Lee, Eul Rae Lee

요 지

대부분의 유역에는 다수의 댐이 건설되어 운영되고 있는 것이 일반적이며, 이들 댐 군의 효과를 극대화하기 위하여 연계최적운영 기법의 적용이 일반화 되고 있다. 2000년 수립된 국가장기수자원계획에서도 이미 4대강 수계의 댐 군의 연계운영 효과로 2011년까지 6억 m³를 반영하고 있다. 또한 프론티어 연구개발사업을 통해 순수한 시스템적인 개선으로 30억 m³의 용수를 추가적으로 확보하는 방안이 오래전부터 진행되어 오고 있다. 이와 같은 방법론의 핵심은 수문기상의 예측정도를 높이고 장단기 강우-유출을 사전 혹은 실시간으로 예측하여 수자원시설물의 기능을 최대화시키는 전략으로 현재와 같이 댐과 같은 수리구조물을 신규로 건설하는데 어려움이 많은 경우 유용한 대안이 될 수 있다. 그러나 수리구조물의 운영에 필요한 많은 변수 중에서 가장 예측이 어려우며 또한 효과를 평가할 수 있는 가장 핵심적인 요소인 수문사상에 대한 정보의 신뢰도에는 한계가 있다. 다시 말하면 현재와 같은 상황에서 수자원시설물의 시스템적인 개선을 통한 편익의 신뢰도가 구조물적인 효과의 신뢰도를 보장하기 어렵다는 것이다. 결국 주어진 여건에서 수자원이용의 효과를 극대화시키기 위해서는 구조적 대안과 시스템적인 기법을 같이 적용할 수밖에 없으며 상호 보완적으로 활용하는 것이 가장 합리적일 것이다. 이와 같은 측면에서 구조적인 댐간 연결은 일정범위까지는 확실한 효과를 담보할 수 있으며 이 또한 시스템적으로도 유용할 것이다. 본 연구에서는 이와 같은 개념을 안동댐과 임하댐이 도수터널로 연결될 경우로 가정하여 예상되는 효과에 대하여 평가하였다. 평가방법은 일간연계모의모형과 일간도수연계모의모형을 개발하여 적용하였으며 무효방류량의 감소정도와 용수공급 증가량과 공급의 신뢰도, 부족량의 크기 등을 비교 평가하였다.

핵심용어 : 시스템적 개선, 편익, 안동-임하댐연결, 일간연계모의모형, 일간도수연계모의모형

1. 서 론

오늘날 물 공급 시스템의 적절한 운영과 관리는 사회적 관심사항으로 그 중요성은 언급할 필요도 없다. 수자원에 대한 사회적 관심을 바탕으로 최적의 물 이용관리를 위한 다양한 견해와 의견들이 공론화 되고 있다(건설교통부와 한국수자원공사, 2003). 특히 제한된 수자원을 최적으로

* 정회원 · K-water연구원 수석연구원 · E-mail : lkm@kwater.or.kr
** 정회원 · K-water연구원 선임연구원 · E-mail : leesy@kwater.or.kr
*** 정회원 · K-water연구원 책임연구원 · E-mail : erlee@kwater.or.kr

이용하려는 노력은 수계 내 댐군의 연계운영(Cai and Lasdon, 2002; Fowler et al., 2003; 이재웅 과 송재우, 2002; 고익환, 2004; 이재웅, 2005; 음형일 등, 2005; Lee, 2005; 강민구 등, 2007)을 구조물적 연결개념까지 현실화 시키려는 시도가 이루어 지고 있다.

안동-임하댐 연결효과에 대한 관심은 이미 오래전부터 그 타당성에 대한 검토가 간헐적으로 이루어져 왔다. 검토방법은 두 댐을 물리적으로 직접 연결하는 것으로 도수터널의 형태를 취하고 있다. 유입량에 대한 공급량의 비로 정의된 용수이용율을 살펴보면 대체로 댐의 체류시간과 비슷한 평균 73%였으나 안동댐의 경우 100%를 초과하고 있어 임하댐의 잉여수량을 이용하려는 전략은 큰 의미를 가진다. 비교적 유역면적에 비해 저수용량이 적은 임하댐의 유입량을 안동댐으로 도수하여 저류하였다가 갈수기 용수공급과 하절기 홍수기 홍수조절 효과를 추구하는 방법이다. 이는 결국 홍수기와 갈수기를 연속적으로 거치면서 두 댐의 한정된 저류량 공간을 이용하여 댐의 운영 목적을 실패없이 성공적으로 달성하려는 시도이다. 이런 측면에서 본 연구는 임하댐과 안동댐의 시스템적 연계를 넘어 실질적 보장개념의 추가적 수자원 확보를 위한 방안에 대한 효과를 평가하고자 한다.

2. 안동-임하 연계 및 연결 효과 평가 모형

안동-임하댐의 연결효과를 분석하기 위하여 일 단위 모의모형(Daily Simulation Model)을 개발하였다. 개발된 모형은 일 단위 단독, 연계(이후 연계) 및 도수터널연결(이후 연결)을 그림내에서 Code 변환방식으로 선택할 수 있도록 프로그램을 개발하였다. 안동 및 임하댐 합류하류지점을 평가지점으로 정하고 연계하였으며 각 댐의 월별계획공급량을 일단위로 배분하여 적용하였다(영천도수로는 댐에서 방류형태로 적용). 초기저류량은 각 댐의 수위를 동일 수위로 하고 유효저수용량의 70%를 적용하였고, 말기저류량은 모의해석인 점을 고려하여 미설정하였다(실제 말기저류량을 설정하여 적용할 수 있으나 연속방정식의 질량보전의 법칙 결과에 따름). 운영기간은 30년 (1979~2008)을 적용하였다. 연결에 의한 최대효과를 도출하기 위해 아래 그림 1과 같은 시스템으로 적용하였다.

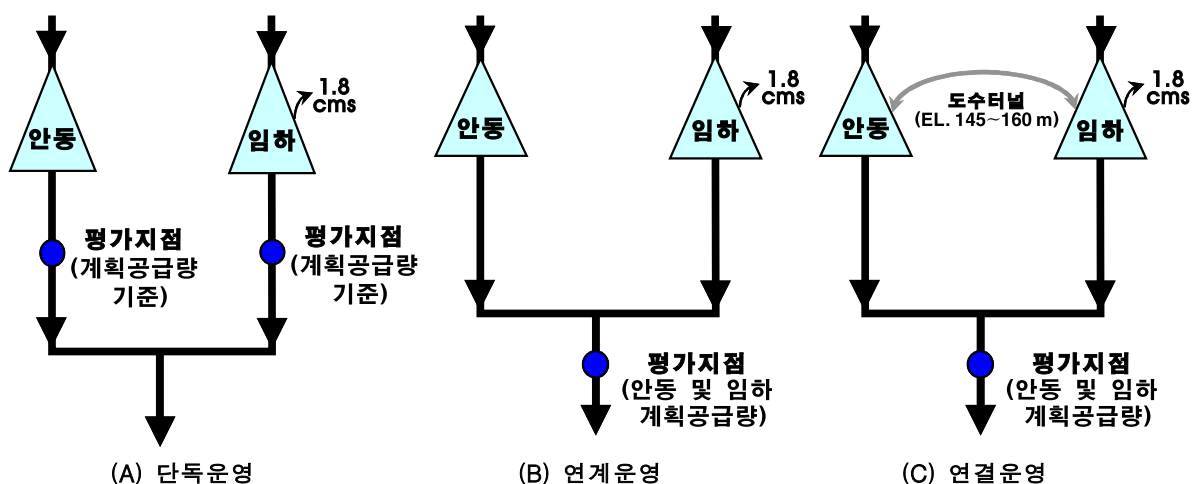


그림 1. 안동-임하 연계 및 연결 평가 체계도

도수터널 물 이동은 (초기저류량 + 유입량 - 직접취수량)의 값으로 수위를 비교한 후 낮은 쪽으로 1일 1,020만 m³까지 도수가 가능하며 어느 시점의 초기저류량은 상대댐에서 도수된 수량이 포함된 것이다. 평가방법은 연계와 연결의 결과를 비교하며, 댐간 물 이동 상태를 분석하였다. 평가 기준은 용수공급부족량, 부족일수(water shortage length), 공급신뢰도 등 기초적인 것만 비교하였다.

3. 효과 분석 결과 비교

3.1 안동 및 임하 개별 운영 조건 적용시

그림 1의 (A)와 같이 단독운영의 경우 안동 및 임하댐 각각의 공급신뢰도는 97.9%과 91.9%였다. 연평균 공급부족일수는 17.3일이었고 부족량은 양 댐의 합이 46백만 m³로 계산되었고 양적으로는 96%이상 공급되었다. 연도별 부족량은 1983년과 1984년, 1994년부터 1997년까지, 2002년, 2008년이 물 부족년으로 나타났다.

표 1. 안동 및 임하 단독 운영조건에 의한 용수공급 결과(단위 : 만m³)

운영조건	구 분		안 동	임 하
개별 운영시	용수 공급	연간수요량	91,720.4	55,448.8
		연평균공급량	90,616.7	51,929.5
		연평균부족량	1,103.8	3,519.3
	공급 신뢰도	연평균공급일수 (총일수)	357.6 (총10,737일)	337.8 (총10,142일)
		연평균부족일수 (총일수)	7.4 (총221일)	27.2 (총816일)
		신뢰도(%)	97.9	91.9

3.2 연계 및 연결 시나리오 적용시

안동과 임하댐의 연계에 의한 물 이동수위를 EL. 145~159 m로 적용 시 연결운영이 연계운영에 비하여 공급신뢰도가 1.3% 높게 나타났다. 두 경우 모두 공급신뢰도는 95%이상인 97.5와 96.2%로 계산되었다. 연결이 연계에 비해 연간 8백만 m³을 더 공급할 수 있는 것으로 판단되며 용수공급 부족일수는 404일에서 264일로 줄어들었다. 연결과 연계조건에서 각 댐의 저류량은 저수지 운영의 일반적인 조건처럼 안동댐의 저류량이 높게 나타나고 있어 연결효과가 큰 것으로 판단되었다.

표 2. 안동-임하 연계 및 연결 운영조건별 용수공급 비교(단위 : 만m³)

운영조건	구 분		연 결	연 계
안동댐으로 최대도수위 EL. 159 m 적용시	용수 공급	연간수요량	151,775.9	151779.6
		연평균공급량	149,408.7	148612.9
		연평균부족량	2,367.2	3166.7
	공급 신뢰도	연평균공급일수 (총일수)	356.2 (총10,694일)	351.5 (총10554일)
		연평균부족일수 (총일수)	8.8 (총264일)	13.5 (총404일)
		신뢰도(%)	97.5	96.2
안동댐으로 최대도수위 EL. 160 m 적용시	용수 공급	연간수요량	151,775.9	151779.6
		연평균공급량	148,834.4	148612.9
		연평균부족량	2941.6	3166.7
	공급 신뢰도	연평균공급일수 (총일수)	355.8 (총10,681일)	351.5 (총10554일)
		연평균부족일수 (총일수)	9.2 (총277일)	13.5 (총404일)
		신뢰도(%)	97.4	96.2
1 m ³ /s 하천유지용수 추가공급 및 안동댐으로 최대도수위 EL. 159 m 적용시	용수 공급	연간수요량	153,553.5	153554.7
		연평균공급량	150,487.5	149992.7
		연평균부족량	3,065.9	3562.0
	공급 신뢰도	연평균공급일수 (총일수)	355.5 (총10,674일)	350.2 (총10513일)
		연평균부족일수 (총일수)	9.5 (총284일)	14.8 (총445일)
		신뢰도(%)	97.3	95.8
1 m ³ /s 하천유지용수 추가공급 및 안동댐으로 최대도수위 EL. 160 m 적용시	용수 공급	연간수요량	153,553.5	153554.7
		연평균공급량	150,282.4	149992.7
		연평균부족량	3,271.1	3562.0
	공급 신뢰도	연평균공급일수 (총일수)	355.2 (총10,665일)	350.2 (총10513일)
		연평균부족일수 (총일수)	9.8 (총293일)	14.8 (총445일)
		신뢰도(%)	97.3	95.8

4. 결론

안동 및 임하댐의 각각 단독운영의 경우, 두 댐의 용수공급 부족일수는 1,037일로 합성 공급 신뢰도($(1 - \text{부족일수} / \text{전체공급일수}) \times 100\%$)는 94.5%로 근래 댐 계획 등 용수공급 평가기준으로 적용하고 있는 95%신뢰수준에 근접하였다. 안동-임하 연계운영의 경우, 현 계획공급량 적용시 공급신뢰도는 96.2%(용수부족일수 404일)이고 갈수기 8개월에 하천환경용수로 $1\text{ m}^3/\text{s}$ 추가 공급시 공급신뢰도는 95.8%(용수부족일수 445일)를 나타내어 단독운영의 경우보다 높은 공급신뢰도를 보였다. 연결운영의 최대 도수위를 EL. 159 m로 적용할 경우가 EL. 160 m로 적용하는 경우보다 더 좋은 결과를 보여 이를 적용할 경우 현 계획공급량 조건에서 공급신뢰도는 97.5%(용수부족일수 264일), 갈수기 8개월에 하천환경용수로 $1\text{ m}^3/\text{s}$ 추가 공급시 97.3%(용수부족일수 284일)으로 추정되어 단독운영과 연계운영의 경우보다 높은 신뢰도를 보였다. 3가지 경우 모두 용수공급신뢰도(95%)를 충족시키며, 연계보다는 연결이 보다 용수공급에 안정인 결과를 보여주고, $1\text{ m}^3/\text{s}$ 추가공급의 연결이 연계의 현조건보다 높은 신뢰도를 보여주고 있다. 기타 예상되는 효과로는 댐의 저수용량 증대(미관 혹은 환경적 측면에서의 가치)와 홍수기 침투 방류량의 감소 등은 유역전반에 긍정적 효과를 가져올 것이며 유량증대효과는 댐하류 하천환경개선에 도움이 될 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 강민구, 이광만, 차형선 (2007). 다목적댐군의 실제 연계운영 효과 평가, 한국수자원학회 논문집, 제40권 제2호, pp. 101-112.
2. 고익환 (2004). 유역통합 수자원관리 기술개발, 한국수자원학회지, 제37권 제3호, pp. 10-15.
3. 음형일, 김영오, 윤지현, 고익환(2005). 국내 다목적댐 운영 계획에 적합한 목적함수에 관한 연구, 한국수자원학회 논문집, 제38권 제9호, pp. 737-749.
4. 이광만, 강민구, 강신욱(2005). 대규모 유역변경에 의한 수자원 편익의 변동성 추정, 한국수자원학회 학술발표회 논문집.
5. 이재웅, 송재우(2002). 최적화 기법과 모의기법을 이용한 다목적댐의 용수공급능력 평가, 대한토목학회 논문집, 제22권 제6-B호, pp. 811-818.
6. 이재웅(2005). 다목적댐의 연계운영을 위한 최적 운영률 개발, 한국수자원학회 논문집, 제37권 제6호, pp. 487-497.
7. Cai X., M. and Lasdon L. S.(2002). A framework for sustainability analysis in water resources management and application to the Syr Darya Basin, *Water Resour. Res.*, Vol. 39, No. 8, pp. 1085-1098.
8. Fowler H. J., Kilsby, C. G., and OConnell P. E.(2003). Modeling the impacts of climatic change and variability on the reliability, resilience, and vulnerability of a water resource system, *Water Resour. Res.*, Vol. 39, No. 8, pp. 1222-1232.
9. Lee, J. H.(2005). *Basin-wide multi-reservoir operation using reinforcement learning*, Ph.D. thesis, Department of Civil Engineering, Colorado State University.