

댐 용수공급계획, 원칙과 표준이 필요한 시점

(한국수자원학회 기획세션을 중심으로)

아주대학교 교수 | 이재응
jeyi@ajou.ac.kr



1. 서론

2013년 5월 한국수자원학회가 주관하는 학술발표회의 기획 세션을 통해 “댐 용수공급계획, 원칙과 표준이 필요한 시점”이라는 주제로 세미나가 개최되었다. 본 세션은 한국대담회 기술위원회에서 주관한 것으로 5월 24일 호남대학교에서 참여자들의 높은 관심 속에서 성공적으로 개최되었으며 주요 내용을 요약하여 소개하고자 한다.

세션의 주제는 댐 사업 진행과정에서 문제점으로 나타나고 있는 용수공급 계획의 원칙과 표준에 관한 것이었다. 21세기 들어 물이용 패러다임이 급격히 변하고 있지만 수문순환이나 생태시스템의 본질을 훼손하지 않고 인간사회가 유지되고 발전하기 위한 물 이용계획은 빼놓을 수 없는 과업이다. 고대부터 현재, 그리고 미래에도 인간의 생존과 지속적인 발전을 위해 용수공급은 항상 최우선의 관심사일 것이다. 새로운 수자원의 개발이나 물 관련 기반시설을 지속적으로 유지하기 위해서는 사회적 합의에 따른 표준화된 용수공급계획 체계 구축이 시급하다.

현대사회는 많은 분야에서 기술 표준화 프레임 만들기가 한창이다. 세계 시장 선점을 위해 표준화를 추진하고 관련 기술을 누가 빨리 개발해 상용화 시키느냐가 기업의 생존과 직결되며, 새로운 접근 방법을 통해 의미 있는 변화를 추구하고 있다. 표준화는 기술의 선도적 지위뿐만 아니라 제품개발의 선점을 통해 막대한 이익을 얻을 수 있는 기회이며, 기본적인 규칙이 제공되므로 실용적이고 경제적인 업무수행이 가능하다는 장점이 있다. 또한 공공분야에서는 개방성과 신뢰성을 확보함으로써 이해당

사자간 갈등을 최소화하는데 많은 도움을 주고 있다. 이와 관련 미국의 뉴저지 주는 2011년 안전취수량 추정 지침서(Guidance Manual for Estimating the Safe Yield of Surface Water Supply Reservoir Systems)를 제정하였다.

우리나라에서 어느 정도 정형화된 수자원 시스템 평가 방법은 수자원장기종합계획에서 사용된 방법이 유일하다. 그러나 개별 댐이나 시스템에 대한 평가는 당시의 상황과 여건을 고려하여 다양하게 적용되어 왔다. 이런 상황은 여러 가지 문제점을 내재하고 있는데 주로 물이용과 관련된 지역 간 형평성의 문제와 물 배분의 효율성 저하를 가져왔다. 따라서 금년의 주제는 수자원 계획의 표준화를 통해 수자원 정책의 개방성과 신뢰성을 확보하는 것이다.



사진 : 발표자 및 토론에 참여해 주신 원로회원님들

2. 발표 주제별 시사점

사회변화의 속도에 비례하여 수자원 환경도 급격하게 변하고 있지만 수자원 계획과 관련된 제도나 방법은 전통

적 범위에 견고하게 자리 잡고 있다. 오늘 만들어지는 수자원 정책에 관한 의사결정은 다음 수십 년간의 물 이용 전반에 영향을 미치게 된다. 이 영향이 어떤 형태로 나타날지 어느 누구도 장담할 수 없지만 우리의 관심사항은 장래 용수공급에 대한 진지한 고민일 것이다. 현재까지 많은 사례에서 보았듯이 수자원 사업을 어렵게 하는 요인 중 하나는 사회적 합의를 이끌만한 표준화 동기가 부족했다는 것이다. 이와 관련하여 본 세미나에서 발표된 주제와 발표자(표 1 및 그림 1)과 같으며, 각 주제의 시사점을 요약하면 아래와 같다.

표 1. 주제 및 발표자

프로그램	비고
발표 1	최근의 댐 사업에서 얻은 교훈 (Kwater 수자원사업처 차기욱 박사)
발표 2	수자원시스템(유역) 평가방법의 개선 방향 (건설기술연구원 이동률 박사)
발표 3	유입량-저류량의 이변량 빈도분석을 통한 댐 용수공급능력 평가 (고려대학교 토목환경공학과 유철상 교수)
발표 4	수자원시스템 이행도 평가지표의 적용성 판단 (Kwater연구원 이광만 박사)
발표 5	이수안전도 평가방법의 문제점 및 개선방안 (아주대학교 건설시스템공학과 이재응 교수)

■ 최근의 댐 사업에서 얻은 교훈

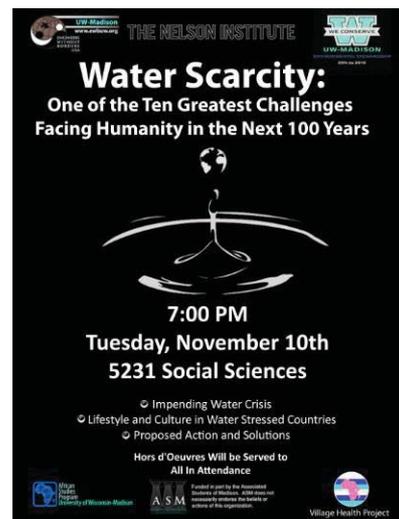
정부는 최근 기후변화의 영향으로 지역적으로 극한 홍수 및 가뭄이 빈번하게 발생하고 한정된 수자원을 효율적으로 활용하여 국민 물 복지를 향상시키기 위한 방안으로 댐건설장기계획을 수립하여 발표하고 있다. 그러나 댐건설계획에 대해 지역주민 및 환경단체 등에서 환경 및 수물로 인한 이주 등의 문제를 지속적으로 제기해 오고 있어 홍수 및 가뭄에 대비한 수자원시설물 계획 수립이 점점 더 어려워지고 있는 실정이다.

우리나라 수자원 현황은 강수량 기준으로 세계 평균의

1.6배이지만 인구밀도가 높고 국토의 70%가 산지로 형성되어 있으며, 여름철에는 홍수가 집중되어 1년 전체 강수량의 60~70%가 발생하고 나머지 기간에는 강수량과 유량이 현저히 저하되어, 수자원관리의 고도화 및 활용도를 제고하는 방안이 중요하게 대두되고 있다. 또한 우리나라는 최근 기후변화 현상으로 지난 100년 기간 내에 지구평균 기온의 2배인 1.7℃가 증가하였고 강우강도도 2000년대 들어 과거보다 1.8배 증가하여 물관리가 어렵고 물 재해의 위험성은 더욱 증대하는 반면 가뭄도 과거보다 주기가 짧아져 가뭄으로 인한 피해도 심화되고 있는 상황이다.

따라서 정부는 기후변화 영향을 최소화하기 위해 노력하고 있으나 국지적 홍수·가뭄대책 및 도서·산간지역의 재해대비는 아직 충분하지 못해 금회 취약지역의 중소규모 수자원시설물 계획, 기존 수자원을 효율적으로 이용하기 위한 재평가, 이상가뭄에 대비한 비상용수 확보, 댐의 안전도 제고 등 과학적 물 관리 및 유지관리방안을 강구하여 국민들이 안전하고 깨끗한 물을 지속가능하게 이용할 수 있는 방안을 강구하고 있다.

그럼에도 남강댐 물 재배분 문제, 문정댐의 비상용량 확



물 부족은 다음 한 세기 인간이 직면할 10대 도전과제중 하나
(www.uwehub.org)

보 문제 등 최근 진행되고 있는 댐 사업계획의 대부분이 표류하거나 추진력을 잃고 있다. 특히 남강댐 물 재배분 문제는 이해당사자간 이수안전도에 대한 시각적 차이뿐만 아니라 기술 적용 방법의 차이점을 확연히 드러낸 사례라 할 수 있다. 이런 갈등을 최소화하기 위한 방안으로 이수안전도에 대한 명확한 정의와 이해당사자들이 수급할 수 있는 수자원 평가기법에 대한 표준화가 필요하다.

■ 수자원시스템(유역) 평가방법의 개선방향

미래의 물 부족 전망은 수요와 공급의 균형평가로 수행된다. 따라서 수요량과 공급량의 변화는 물 부족에 영향을 주는 주요 인자들이다. 일반적으로 물 수급계획에서는 목표 수요량에 대한 공급량 또는 확보량의 결정, 즉 계획 이수안전도의 결정이 중요한 요소이다. 우리나라 유일의 수자원 시스템 평가 모델이라 할 수 있는 수자원장기종합계획에서 적용하고 있는 물 수급평가 방법의 개선점에 대하여 다음과 같이 제시하였다.

가뭄빈도별 물 부족량 산정 시 권역을 구성하는 중권역별로 빈도별 물 부족량을 산정하고 그 결과를 평가하는 방안의 검토가 필요하다. 비교적 유역면적이 크거나 물 이용 수준이 높은 중권역에 대해서는 보다 상세한 분석이 수요공급의 안전성을 높일 수 있다. 또한 이를 통해 용수수급의 기초단위인 중권역을 대상으로 동일 수준의 이수안전도를 적용함으로써 용수공급의 형평성(balance)과 공평성(equity)을 기할 수 있다.

농업용 저수지에 대해서는 가뭄 시 공급능력에 대한 평가의 현실화가 필요하다. 다목적댐과 같이 운영률을 검토하고 물수지분석 시스템에 반영하고 분석기간에 대해 저수지 모의운영을 수행하는 방안을 검토할 필요가 있다. 중권역 내 모든 저수지를 개별적으로 고려하는 방법은 현실적으로 불가능하므로 수문학적 및 지형적 특성을 고려하여 대표저수지를 구성하여 평가하는 방법이 대안이다.

현재는 과거 30년 이상의 수문조건(극한가뭄사상)이 미래에도 반복되는 경우로 평가하고 있으나 이와 함께 기후변화 시나리오에 따라 예상되는 미래 수문조건을 반영한 물 수급 평가도 고려할 시점이다. 기후변화에 대한 불확실성이 여전히 존재하는 상황으로 과거 최대 가뭄 시 물 부족량 대비 증가 또는 감소 경향을 분석하여 용수공급의 안전성을 증대하는 전략이 필요하다.

유역 및 댐별 적정 운영률과 기준을 유역 개념으로 발전시켜 지금의 단순한 부족량 공급방식으로 평가하는 것이 아니라 시스템의 연계운영 시너지 효과를 높일 수 있는 통합 운영률이나 기준의 개발이 요구된다. 아울러 기존 댐에 대해서는 계획 당시와는 많은 변화가 있으므로 재평가를 통하여 공급량을 재설정할 필요가 있다.

수자원장기종합계획은 10년 단위로 수립되며, 중간 5년마다 보완조사를 하고 있다. 최근 2006년과 2011년의 적용사례를 보면 같은 조사항목에 대해서 다르게 적용한 사례가 있다. 분석의 신뢰도와 정확도를 개선하기 위해 변경 적용되는 경우가 대부분이나 수자원 시스템 계획의 원칙상 사회적 합의가 필요한 부분도 있다. 예를 들면, 물 부족 시 댐의 저수용량을 생활 및 공업용수에 한해 공급할 수 있는 조건은 2011년에 새로이 적용된 방법이다. 위에서 제시된 개선점과 지적되고 있는 몇 가지 사항을 고려하여 수자원 계획의 모범이 되는 수자원장기종합계획을 위한 표준지침이 요구된다.

■ 유입량-저류량의 이변량 빈도해석을 통한 댐 용수공급 능력 평가

본 주제에서는 기존댐의 용수공급능력을 평가하기 위한 하나의 방법으로 이변량 빈도해석을 이용하였다. 이를 위해 용수공급능력에 영향을 주는 인자로서 댐의 유입량 및 저류량을 고려하였다. 또한 댐 용수공급능력 평가 기준으로서의 재현기간 사용 가능성을 검토하였다.



검토를 위해 댐 유입량 및 저류량의 월단위 시계열 자료를 분석하였다. 월 단위 계획공급량과의 비교를 통해 물 부족 발생 여부에 대한 댐 유입량 및 저류량의 영향을 확인하였는데 특히 5월 저류량, 6~10월 저류량 변화량, 6~9월 유입량이 물 부족 발생과 관계가 있다고 판단되었다. 따라서 이들 사이의 관계를 분석한 결과, 상관관계가 미미한 것으로 나타난 5월 저류량, 6~10월 저류량 변화량을 이변량 빈도해석의 확률변수로 결정하였다.

5월 저류량, 6~10월 저류량 변화량에 대해 이변량 빈도 해석을 수행하였다. 분석의 편이를 위해 6~10월 저류량 변화량 및 10~익년5월 저류량 변화를 간략화 하였다. 5월 저류량 및 6~10월 저류량 변화량의 상관관계는 거의 없는 것으로 확인한 바 있으므로, 독립임을 가정하여 각 변수에 대한 확률밀도함수의 단순 곱으로 결합확률분포(joint probability distribution)를 결정하였다. 이를 이용하여 주어진 재현기간에 대한 저류량-유입량 관계를 설정할 수 있었으며, 기존 가뭄 사상의 재현기간을 평가할 수 있었다.

앞서 제시한 방법을 국내 댐(충주, 대청, 안동, 남강, 소양강댐 등 5개)에 적용하여 용수공급능력을 평가하였다. 그 결과, 충주, 대청, 안동, 남강, 소양강댐의 재현기간은 각각 20년, 10년, 20년, 0년, 30년 이상인 것으로 나타났다. 즉, 댐별로 용수공급능력 평가에 빈도개념이 적용 가능한 것으로 판단된다. 향후 좀 더 정밀한 빈도분석 방법을 개발한다면 댐 설계 시 유용하게 적용할 수 있을 것으로 나타났다.

■ 수자원시스템 이행도 평가지표의 적용성 분석

수자원 시스템의 용수공급 계획량을 평가하는 이수안전도는 수자원시설물의 물 공급의 안정성 정도를 나타내는 의미로 해석되며, 실무에서 지침이나 표준화된 것 없이 관례적으로 적용해 오고 있다. 따라서 우리 실정에 적합

한 이수안전도를 정의하기 어렵고 보다 포괄적인 의미로 해석할 수밖에 없으며, 기술적으로도 명확히 정의하기 어려운 점이 있다. 따라서 지금까지 댐 등 수자원 사업에서 용수공급량을 결정하기 위한 평가지표에 대해 여러 가지 의문점이 제기되어 왔다.

전문가 설문조사 결과, 주로 “수자원시스템 평가모형에 적용되는 분석단위기간(일, 주, 순, 월 등)에 따라 평가지표치(예, 신뢰도)가 큰 차이가 날 수 있다”, “기간신뢰도뿐만 아니라 양적신뢰도 역시 같이 평가되어야 한다.”, “신뢰도만의 단일 지표 평가의 단점을 보완하기 위해 회복도나 취약도 등을 포함하는 복합지표를 적용하여야 한다.” 그리고 “보장공급량(firm yield)과 물 부족을 허용하는 신뢰도 평가지표간의 상충” 등이다.

이런 의문점에 대해 수자원시스템의 이행도 평가지표를 둘러싼 여러 가지 의견이 분분한 것이 당연한 사실이지만, 어떤 것이 맞고 틀리다는 이분법적 판단이 아닌 우리가 적용해온 평가방법이나 지표들에 대한 올바른 이해가 선행되어야 한다. 평가기준이나 지표가 다양한 종류로 제시되어 있을 때 의사결정의 주관적인 판단이 전적으로 그르다고 할 수는 없지만 개개인의 호불호(好不好)에 따라 결정되는 것은 문제가 있다. 즉, 지표가 갖고 있는 특성을 간과하고 일방적인 주장이나 논리의 전개는 효율적 수자원시스템 계획의 안정성을 떨어트릴 수 있다.

이런 측면에서 이수안전도, 즉 수자원시스템 평가기준에 대한 의문점을 해소하고자 하였다. 이를 위해 대표적인 평가지표의 기능적 측면의 의미를 분석하고 장단점을 분석하였다. 분석 결과, 신뢰도 지표는 여러 가지 문제점에도 불구하고 물 부족의 통계적 의미를 가장 잘 나타내는 지표로 수자원 시스템의 이행도를 평가하는데 유용한 지표로 판단되었다. Hashimoto 등(1984)이 제시한 회복도와 취약도 지표는 공급이 일정함에도 수요가 증가함에 따라 지표치가 개선되는 현상이 나타나고 있어 적용에 주의가 필요하다. Moy 등(1986)이 제시한 회복도와 취약

도는 용수부족 발생 사상 중에서 최대치만을 평가하고 있어 하나의 사상이 전체를 지배하는 현상이 나타날 수 있다는 점에 유의하여야 한다. 또한 지표 간의 중복성 분석을 통해 우리나라 수자원 시스템 평가 시 신뢰도와 취약도 지표를 같이 적용하는 것이 최적의 조합으로 판단하였다.

■ 이수안전도 평가방법의 문제점 및 개선방안

댐의 용수공급능력이란 어떤 기간 동안에 저수지로부터 각종 용수로 공급할 수 있는 수량을 말하며, 통상 연간 공급가능량으로 표시한다. 댐으로부터 용수공급 가능량은 저수지의 유입량에 의해 좌우되므로 연도별로 차이가 있다. 저수지의 유효저수용량은 댐 계획 시 저수위와 상시만수위 사이의 활용저수용량을 의미하며, 대부분의 경우 홍수기를 제외하면 기존댐의 용수공급능력은 유효저수용량에 최대 가뭄기간 동안의 저수지 유입량을 합친 것 보다는 적다. 이수안전도는 수자원 공급시설이 그 시설로부터 기대되는 용수수요를 충족시킬 수 있는 물 공급 안전성의 정도를 표시하는 지표를 의미하는데 국내의 경우 이수안전도 기준에 관하여 명문화된 기준은 존재하지 않는다.

수자원계획에 있어서 이수안전도 기준은 계획연도의 용수수요 추정치와 공급 가능한 자연유량의 규모를 결정하는 지표 역할을 한다. 즉, 연도별 용수수요를 고려하여 물수지분석을 실시하면 계획 연도의 유역별 물 부족량을 계산할 수 있어 수자원 추가 공급시설계획을 수립할 수 있다. 그러나 국내 주요 다목적댐의 경우 표준화된 다목적댐의 용수공급 가능량 기준이 없고 댐의 건설 시점, 가용자료의 보유기간 및 유역의 기상상황이 상이하게 적용되는 문제점이 있다. 따라서 신뢰도 중심의 평가에서 벗어나 수자원 시스템의 용수공급 안전도를 정량적이고 객관적으로 평가할 수 있는 기준 개발이 필요하다.

신뢰도나 회복도와 같이 통계적으로 빈도 해석하는 지표는 일정 기간을 대상으로 용수공급의 부족 혹은 만족 여부만을 확률적으로 평가하거나 물 부족 발생 후 정상상태로 복귀하는 확률만을 따지므로 이수안전도를 초과하는 물 부족에 의한 피해규모를 파악하지 못하는 한계가 있다. 이에 반해 물 부족 피해를 기반으로 하는 경험적 지표는 용수부족 발생빈도, 지속기간, 부족량과 과거 피해 자료를 이용하여 산정되기 때문에 물 부족으로 인한 피해규모 추정이 가능하고 모든 유역에 공통적으로 적용 가능하다는 장점이 있다. 경험적 지표는 기본적으로 통계적 지표의 장·단점이 고려되어야 하고 기존 지표의 적용이 곤란한 물 부족 상황도 평가 가능해야 한다. 용수 수요 분야별(생활, 공업 및 농업 등)로 구분하여 적용할 수 있어야 하고 피해사례를 기초로 물 부족 지속기간 및 물 부족량에 따른 피해규모(피해액)를 평가할 수 있어야 한다. 또한 이수안전도나 기준갈수량을 초과하는 이상가뭄 대비를 위한 갈수대책용량 혹은 비상용수 관련 문제를 평가할 수 있어야 한다.

신뢰도 중심의 문제점을 해결하는 또 다른 방법으로 갈수기준년 보장공급량 대신 갈수빈도를 산정하여 표준화하는 방법이 있다. 종래 사용되던 갈수기준년 보장공급량은 낙동강 유역의 수자원 평가와 용수수급을 검토하기 위해 사용된 개념으로 이전까지 발생한 최대 한발(67~68)의 유입량 조건에서 취수할 수 있는 안전공급량을 의미한다. 이는 이후 수자원 실무의 보편적 기준으로 사용되어 왔는데 유역별로 최대 갈수년이 상이하여 동일한 갈수 기준년을 사용하는 것이 불가능하고 수자원 시설물이 과다 설계되는 부작용이 발생할 수 있다. 갈수빈도 개념은 수문사상이 가지고 있는 무작위성을 고려할 수 있을 뿐만 아니라 사회·경제적으로 일관되게 평가할 수 있는 기준이 될 수 있다. 이는 모든 수계를 일관된 기준으로 평가할 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 수자원 이용의 지속성 및 안정성을 고려하고 기준에 개발된 수

자원 시스템의 용수공급 능력을 일관되게 평가하기 위해서는 갈수빈도 개념의 도입이 필요하다.

우리나라 수자원 시스템의 치수기준은 일반적으로 설계 빈도에 따른 홍수량을 기준으로 적용되어 있다. 이에 비해 수자원 시스템의 이수 기준은 자료의 이용가능성, 적용 시점 등 목적 및 사정에 따라 명확히 제시되지 못했을 뿐만 아니라 이를 평가하기 위한 지표도 정립되지 못했다. 과거 급속한 경제 성장에 따라 꾸준히 용수수요가 증가해왔으며, 안정적인 공급에 대한 기대 또한 높아졌다. 보통 댐은 30년 이상의 장기적 계획에 따라 건설되지만, 댐 건설 당시 미래의 수요까지 모두 반영하였다고 기대하기는 어렵다. 안정적인 용수공급은 수자원 시스템의 정확한 평가에서 시작되며 무엇보다 정확한 평가기준의 마련이 선행되어야 한다. 경험적 지표의 개발과 갈수빈도 표준화는 이러한 문제의 해결책 중 하나가 될 수 있을 것이다.

3. 결론



제대로 된 수자원 계획이 마련되지 않으면 흙덩어리가 우리에게 날아오지 않을까?

현재 우리나라의 지표수 용수공급 계획은 많은 어려움에 직면해 있다. 수자원사업과 관련하여 대부분의 언론은 댐 건설 반대나 문제점을 지적하고 있다. 물이 근본적으로 부족하거나 사회·경제 및 환경의 지속성을 위해 필요하다면 수자원 개발 사업은 추진되어야 한다. 지금까지 대규모 댐 사업을 억제하기 위해 많은 대안들이 제시

되어 왔지만 단시간 내에 이를 완전히 대체할 방법이 나타날 것 같지는 않다. 수자원시스템의 평가와 관련된 방법론과 절차를 제도화하는 것이 필요한데, 이러한 움직임은 “수자원의 조사·계획 및 관리 등에 관한 법률” 제정이 시도되고 있어 조만간 구체화될 것으로 예상된다. 미국 몇몇 주에서 운영하고 있는 이수안전도위원회 제도의 도입은 사회적 합의가 필요하나 이수안전도 평가 지침 개발은 기술자들의 의지로도 가능하다. 현재의 용수공급을 위한 수자원 시스템은 안정화되어 가고 있으나 물 이용을 위한 이해당사자간 갈등은 더욱 커지고 있다. 용수공급의 안전성과 수자원 정책의 신뢰성 확보를 위해서라도 지표수 저수지 시스템의 용수공급량 평가와 관련된 지침이 조속히 마련되어야 할 것이다.

〈참고문헌〉

- 1) 국토해양부/한국수자원공사 (2006) 수자원장기종합계획
- 2) 국토해양부/한국수자원공사 (2011) 수자원장기종합계획
- 3) Hashimoto, T., Stedinger, J. R. and Loucks, D. P. (1982) “Reliability, resiliency and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation.” *Wat. Resour. Res.* 18, pp.14-20.
- 4) Moy, W-S., J.L. Cohon and C.S. ReVelle (1986) “A programming model for analysis of the reliability, resiliency and vulnerability of a water supply reservoir.” *Water Resour. Res.*, 22(4).
- 5) NJDEP(New Jersey Department of Environmental Protection) (2011). New Jersey Department of Environmental Protection and Water Resources Management Guidance Manual (Estimating the Safe Yield of Surface Water Supply Reservoir Systems).