

용수공급능력 평가기준 적용의 문제점 분석

Analysis of Problems on Application of Water Yield Appraisal Indicators

이광만*, 이요상**

Gwang Man Lee, Yosang Lee

1. 서론

과거 용수공급시설의 계획공급량 결정방법에는 많은 문제점들이 내포되어 있는 것으로 나타났다. 1970년 이전에는 주로 갈수기준년을 적용하고 용수공급 대상지역을 유역의 하류를 목표로 하고 있어 유역전반에 대한 물수지방법을 적용하였다. 갈수기준년의 설정은 용수공급의 이수안전도 측면에서 확보해야할 공급수준을 수문특성과 연계시킨 것으로 한정된 자료기간중에서 최대갈수년 혹은 차하갈수년을 대상으로 정하게 된다. 따라서 최소 30년 이상의 수문자료계열이 확보되어야 평가가 가능하다. 대개 물수지방법은 분석대상 유역 전체를 대상으로 자연유량과 수요량의 과부족을 따지는 방법이므로 유역의 하류부에 수요가 집중되고 지류가 많은 경우 계산이 복잡해진다.

과거서부터 지금까지 수자원 시스템의 용수공급량을 결정하기 위하여 적용하였던 방법과 절차 그리고 기준 적용 등에서 일부 불합리한 점들을 발견하였다. 지금까지 적용되어 온 방법들이 전적으로 비합리적이라는 것은 아니며 당시의 상황과 여건을 고려하여 최선으로 결정된 것으로 볼 수 있다. 수자원 시스템 용수공급량 결정에 직·간접적으로 영향을 미치는 많은 요인들에 대한 정보가 어느 정도 축적되어 있으며 보다 안정적인 용수공급 계획이 될 수 있는 단계에 이르렀다고 판단된다. 따라서 신뢰도 지표의 개선과 양적 신뢰도의 도입 등 용수공급의 안정성을 높일 수 있는 방법의 도입이 요구된다. 즉 신뢰도 평가 방법은 부족량에 관계없이 공급부족 발생 사상만을 평가하고 있어 용수공급 안전성 확보에 미흡하므로 취약도와 회복도 등 보조기준을 도입하여 용수공급의 안정성을 높이고 효율적인 물 이용이 가능한 평가방법의 개발이 요구된다.

2. 과거 용수공급 평가 방법

과거 건설된 용수공급시설들에 대한 계획공급량 결정은 개별 사업마다 나름대로의 특징과 이유가 존재한다. 과거에는 수문조사가 제대로 이루어지지 못했고 이용 가능한 정보 역시 매우 제한적이었다. 그렇다 보니 계획 시설물의 용수공급량을 정하는 방법이나 과정도 당시의 여건을 고려하여 이루어질 수 밖에 없었다. 이런 문제점들은 크게 분석절차나 방법의 오류를 유발하고 이로 인해 용수공급량 결정에 문제점으로 작용한다. 용수공급평가 방법론이 기술적으로 합당한 절차에 의해 이루어졌다하여도 근본적인 문제해결 없이 같은 문제점들이 반복될 경우 용수공급 계획 자체 불확실성이 커질 수 밖에 없다. 특히 과거 20~30년 전에 건설된 용수공급시설물에 대해서도 올바른 평가없이 당시 계산된 계획공급량을 현재에도 그대로 적용하고 있다. 이와 같은 문제는 장래용수공급계획을 수립하거나 합리적인 물 이용을 위하여 신규공급량을 결정하는 문제에 제약조건으로 작용한다. 또한 용수공급 조건을 충분히 고려하지 못하고 있어 현실적이지 못한 점도 있다.

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

과거 용수공급을 위한 수자원 시스템 계획 및 설계 당시 적용했던 방법들의 주요 세부 사항에 대하여 보다 구체적으로 분석하면 다음과 같다. 우선 용수공급량 결정을 위한 평가기준은 표 1과 같이 기준갈수년과 신뢰도 적용으로 구분할 수 있다. 기준갈수년은 주로 80년대 이전 낙동강과 한강유역의 대규모댐에 적용되었는데 낙동강 유역의 경우 67~68년의 수문사상을 과거 기록 중 최대 갈수년으로 확인하고 적용하였다. 이 기간의 수문사상은 30년 빈도의 가뭄에 해당하는 것으로 추정하고 이후 용수공급 평가기준의 선례로 사용되었다. 신뢰도의 경우 90년도 이후 신규댐이나 기존댐 재 평가 등에 적용되었는데 용수공급 부족을 일부 허용하는 조건으로 적용되었다.

표 1 평가기준

구분	대상댐
갈수기준년	안동댐, 합천댐, 용담댐, 소양강댐, 임하댐(구), 황성댐, 충주댐,
신뢰도	부안댐, 밀양댐, 임하댐(영천도수로 사업 평가시), 보현산댐, 대청댐, 장흥댐, 영주댐(송리원), 보령댐, 남강댐, 주암댐, 화북댐, 부항댐, 합천댐(재평가), 합천댐(실시설계), 성덕댐

과거 80년대 이전까지는 수문관측에 대한 중요도는 인지하고 있었으나 충분한 투자는 이루어지지 못했다. 따라서 70~80년대 시공된 댐들의 경우 용수공급량 추정을 위해 적용된 유량자료의 기간이 30년을 넘지 못했다. 몇 개의 댐들은 15년 이내의 유량자료를 적용하여 검토된 경우도 있다. 물론 낙동강의 경우 67~68년의 유량자료가 포함될 경우 이를 30년 가뭄빈도 수준으로 적용하였다. 30년 이상의 유량자료를 적용한 댐들은 표 2와 같이 3개의 경우에 불과하다.

표 2 유량자료

구분	대상댐
11~15년	안동댐, 합천댐(타당성), 밀양댐, 합천댐(실시설계)
16~20년	임하댐(실시설계), 남강댐(구)
20~25년	소양강댐, 황성댐, 보령댐
26~30년	부안댐, 용담댐, 대청댐, 장흥댐, 영주댐(송리원), 주암댐, 화북댐, 부항댐, 합천댐(재평가), 성덕댐
30~이상	임하댐(영천도수로 사업 평가시), 충주댐, 보현산댐

유량자료를 선택할 경우 자료의 기간이 제한적일 수 밖에 없다. 현재 어느 정도의 유량자료가 조사되어 있으므로 이들 자료를 통해 계획 당시 적용한 유량이 어느 정도 극한 가뭄을 포함하고 있는지를 판단할 수 있다. 2006년 수자원장기종합계획에서 검토한 극한 가뭄년을 유역별로 적용해 보면 7개의 댐이 표 3과 같이 가뭄년을 포함하지 않고 있다.

표 3 극한갈수년 포함여부

구분	대상댐
포함	안동댐(67~68), 합천댐(67~68), 임하댐(영천도수로사업 평가시), 용담댐(88), 임하댐(실시설계), 대청댐(88), 장흥댐(67~68), 보령댐(88), 주암댐(67~68), 화북댐(67~68), 부항댐(67~68, 94), 성덕댐(67~68), 보현산댐(94), 영주(송리원)댐(94), 합천댐(재평가)(94)
미포함	밀양댐, 소양강댐, 황성댐, 충주댐, 남강댐, 합천댐(실시설계)
확인 보류	부안댐

*한강 :88년, 금강:88년, 낙동강:67~68, 94, 영산강·섬진강: 67~68

과거 수자원 시스템의 신뢰성 있는 용수공급 계획을 수립하는데 필요한 수문자료는 매우 빈약하였다. 실제 근대적인 유량조사 사업이 진행된 것은 60년대 이후의 유역조사 사업이다. 대부분 목자판을 이용한 관측이 대부분이었으며 수위-유량곡선식이 만들어진 곳은 몇 군데에 불과하였다. 댐 인근지점에 수위관측소가 없는 곳이 많았고, 지류의 경우 강우량자료조차 구하기 어려운 경우가 대부분이었다. 이용 가능한 수위관측소가 없는 경우 강우관측자료의 신뢰도가 높을 경우 강우-유출 모의하였고 강우자료가 없는 경우나 있어도 정확도가 떨어지는 곳에서는 유역비 전이 등이 적용되었다. 표 4와 같이 가지야마 공식이 적용된 경우가 많았다.

표 4 유량조사 방법

구분	대상댐
댐지점(인접) 수위관측소	밀양댐(예림), 용담댐(용담), 횡성댐(횡성), 충주댐(충주, 목행교), 대청댐(대청), 남강댐(남강댐), 주암댐(보성강댐), 합천댐(실시설계)(창리)
강우-유출 모의	장흥댐(나주수위표 탱크모형), 화북댐(탱크모형), 부항댐(탱크모형)
유역비 전이	안동댐(진동), 합천댐(진동), 보현산댐, 영주댐(안동댐), 보령댐(용담)
가지야마	부안댐, 임하댐(영천도수로, 84~87), 성덕댐(밀양강 풍립), 합천댐(재평가)(창리 및 합천댐), 임하댐(임하), 소양강댐(춘천 및 인제)

수자원 시스템의 용수공급량 평가에서 분석단위기간 역시 중요한 요소이다. 분석단위기간은 수문자료, 용수수요 및 평가적용방법 등에 따라 달라질 수 있다. 따라서 특별히 정해진 규칙은 없으며 당시의 여건을 고려하여 임의적으로 적용해 왔다. 과거 댐 계획을 대상으로 조사된 자료에 따르면 표 5와 같이 비교적 월 단위가 많았고, 물수지분석을 적용한 경우 5일 단위를 적용하였다.

표 5 분석기간 단위

구분	대상댐
월	임하댐(영천도수로), 소양강댐, 충주댐, 보현산댐, 대청댐, 장흥댐, 보령댐, 주암댐, 화북댐, 부항댐, 합천댐(재평가), 합천댐(실시설계), 성덕댐
순	밀양댐, 횡성댐,
5일	안동댐, 합천댐, 부안댐, 용담댐, 임하댐(실시설계)
일	영주(송리원)댐, 남강댐

수자원 시스템의 공급량 결정에 적용한 기준의 수준도 매우 다양하게 선정되었다. 보장공급량을 제외한 신뢰도 기준 적용에는 신뢰도 수준을 결정하는데 다양한 영향인자가 작용한다. 이렇다 보니 용수수요량을 일정 수준에서 보장할 수 있는 기준을 역으로 추정할 수 밖에 없고 이에 근거하여 신뢰도 수준이 결정된 경우가 많았다. 표 6과 같이 보장공급량을 포함하여 신뢰도 95% 이상이 대부분을 차지하나 90~95%의 경우도 5개댐에 적용되었다.

표 6 공급량 결정 기준

구분	대상댐
보장공급량	안동댐, 합천댐, 부안댐, 용담댐, 소양강댐, 임하댐(타당성), 횡성댐, 보령댐, 남강댐, 주암댐
신뢰도(95%이상)	충주댐, 보현산댐, 장흥댐, 화북댐, 부항댐, 합천댐(재평가), 성덕댐
신뢰도(90%이상)	밀양댐, 횡성댐, 임하댐(영천도수로), 대청댐, 송리원댐
기타	밀양댐(공업 및 하천유지 보장공급, 생활 및 공업 15개년중 1개년 물부족)

3. 설문조사를 통한 문제점 분석

이수안전도에 대한 전문가들의 생각을 알아보기 위해 자문형 설문조사를 실시하였다. 결과를 바탕으로 주요의견들에 대한 분석내용은 다음과 같다.

우선 (질문 1)의 **이수안전도 평가방법 개선의 필요성에 대한 물음에 대하여 평가방법이 혼재되어 사용되고 있고 명확한 가이드 라인이 필요하다는 의견이 많았다.** 수자원 시스템의 용수공급 평가방법에 대한 이론적 배경이 취약하고 현실적인 문제를 야기하는 잘못된 평가 방법이라는 의견에 대해서는 공감하는 부분이 많았다. 실제 갈수기준년이나 신뢰도 방법 모두 중요하며 일관된 기준이 없어 댐간의 직접 비교가 어렵고 객관적이지 못해 명확한 세부지침이 필요하다는 의견은 본 연구목적과 합치되는 부분이다. 특히 최대갈수년의 설정 근거 및 가뭄년의 재현기간 설정 이론의 근거가 미흡하고 가뭄빈도 해석을 통한 통계학적 근거의 제시가 필요하며 갈수기준년과 신뢰도를 한 댐에 적용할 경우 혼란을 초래할 수 있다고 하였다.

(질문 2)의 **갈수기준년과 신뢰도 평가방법중 어떤 방법이 더 합리적인지에 대한 의견으로는** 신뢰도를 사용하나 불확실성이 클 경우 기준갈수년 방법의 적용이 필요하고 신규시설을 통해 보장공급하지 않는 경우 수자원이용의 효율성 측면에서 신뢰도 평가가 합리적이라는 의견은 좀 더 깊이 있게 연구가 필요해 보인다. 갈수기준년을 기준으로 하고 신뢰도 평가로 보완/병행하면 좋을 것 같고 갈수기준년은 최악의 시나리오에 근거하므로 신뢰도가 합리적이라는 의견은 현재의 수자원 상황을 현실적으로 직시한 것 같다. 아울러 증가하는 수요에 대비 신뢰도를 적용하되 보조지표를 보완적으로 적용하고 갈수기준년은 기준이 모호하며 명확한 빈도개념으로 나타내기 어려워 정량적 평가의 기준으로 부적합하다는 의견은 갈수빈도에 대한 기준정립이 필요해 보인다. 반면 특정계획기간에 대한 갈수기준년 적용이 바람직하고 갈수기준년은 개발시 적절하며, 재평가 단계에서는 신뢰도 평가 방법이 적절하다는 의견은 용수공급원이 어떤 조건이냐에 따라 선택될 문제로 이해되었다.

(질문 3)의 **보장공급량 평가 방법에 대한 의견에서는** 100% 보장이라는 개념은 없으며 자료기간을 늘려 결과의 신뢰성을 높이는 것이 합리적이라 판단된다. 지역별 수자원 공급능력의 형평성 유지가 중요하며 보장공급량 및 가뭄기간의 감소된 공급량 개념으로 공급하는 것이 적절하고 수자원이용의 효율과 신뢰도의 적절한 절충이 필요하다. 우리나라의 수자원 여건상 일정부분 실패를 허용하는 평가 필요하며 신뢰도 기준을 적용하여 일정기간 또는 일정량의 물 부족을 허용하되 자료의 객관성 확보가 필요하다. 이를 위해 수요량의 평가방법 및 수요예측의 정확성 개선이 필요하다.

(질문 4)의 **신뢰도 평가 방법의 개선방향에 대한 의견에 대해서는** 신뢰도를 주요 지표로 하고 평균물부족량(양적신뢰도)과 지속기간을 부차 지표로 적용, 무엇을 위한 분석방법인지를 따져 신뢰도(양, 기간, 평등, 차등 등)를 결정, 용수 수요별 차등화된 신뢰도 수준 적용, 보장공급량 및 가뭄기간의 감소된 공급량 공급 개념 및 기간에 대한 신뢰도에 “양” 및 “부족기간” 등에 대한 세부기준을 적용하여 용수공급의 안정성을 도모할 필요가 있다는 의견이 많았다. 또한 기본계획공급량의 비율로 양적신뢰도 적용이 필요하며, 용수부족 지속기간을 참고하자는 의견이 설득력이 있어 보인다.

(질문 5)의 **생활용수의 적정 신뢰도에 대한 의견에 대해서는** 전체적으로 95% 이상 적용하고 지역마다 다르고 사회적 합의가 필요하다는 의견이다. 특히 유일한 수원이라면 100% 보장, 물이 없어도 버틸 수 있는 기간과 양을 고려하여 신뢰도를 결정해야 한다는 의견은 수자원 상황을 고려하여 결정하여야 한다는 생각이다. 평상시 100%, 가뭄시 심도에 따라 80~70%를 적용하자는 의견은 기본적으로 보장하고 가뭄의 정도에 따라 공급량을 제한하자는 생각이다.

(질문 6)의 **공업용수의 적정 신뢰도에 대한 의견에 대해서는** (질문 5)와 대등소위하다. 전체적으로 90% 이상이 합리적이라는 의견이다. (질문 7) 및 (질문 8)의 **농업용수와 하천유지용수의**

적정 신뢰도에 대한 의견도 생활용수와 공업용수의 의견과 비슷하다.

(질문 9)의 갈수기준년 적용시 적정빈도에 대한 의견에 대해서는 자연유량을 기준으로 한 갈수기준년이 이용되어야 하는데 유량 및 유량생성과 빈도결정의 문제점 해결이 우선되어야 한다는 의견은 유량자료의 한계극복문제와 같은 의견이며 극복 가능한 재현기간 30년 이내, 50~100년 및 100년 등 다양한 의견이 개진되었다.

(질문 10)의 신뢰도 분석 방법의 분석단위기간에 대한 의견에 대해서는 일 단위(분석의 정확도와 신뢰도 고려), 5일 단위(수장기와 일치), 순 단위(유역의 반응시간 등 고려), 월 단위(목적별 용수에 대한 평가기간단위가 달라야 함) 등 다양한 의견이 개진되었다. 이런 차이점으로 인해 일정기준을 정하여 사용하되 각 평가 단위간의 편차를 줄이기 위한 보정계수 사용하자는 의견도 이해가 되는 부분이다.

(질문 11)의 양적신뢰도 적용시 적정수준에 대한 의견에 대해서는 경제적으로 최적인 양으로 하되 신뢰도 수준은 부족기간 및 양이 수요자에게 미치는 영향을 검토할 필요가 있다. 신뢰도 기준은 90%이상, 필요공급량의 최소 97~98% 이상이 되어야 한다는 의견이다. 양적신뢰도는 기간 신뢰도의 약 90~93%에 해당한다는 자료제시도 있었다.

(질문 12) 가지야마 공식을 이용하여 유량을 추정하여 적용한 댐에 대한 의견은 전적으로 재평가가 타당하다는 의견이다.

(질문 13)의 기타의견에 대해서는 공급중심인지 수요중심인지 결정이 필요하며 분석기간에 독립적인 이수안전도 평가방법의 개발이 필요하다는 의견이다. 또한 이수안전도 개념을 명확히 하고 지침서를 작성하여 객관성 확보가 중요하며, 공개적 의견수렴과 의사결정시스템 도입이 요구된다는 의견이다. 수자원 시스템에 따라 평가방법이 달라야 하며 국토해양부 및 수자원공사 차원의 지침 설정이 필요하며, 신규 계획시 및 기존 시설물로 구분하여 적용할 필요가 있다는 의견이다.

4. 기존 이수안전도 적용의 문제점

이용 가능한 유량자료에서 최대갈수년 혹은 차상위 갈수년을 갈수기준년으로 선정하고 이때의 유량을 대상으로 수자원 시스템의 용수공급량을 결정하는 방법은 일부 개선이 필요하다. 갈수기준년의 선정은 가뭄의 빈도와 상관없이 확보된 유량자료 기간중에서 특정수문년을 정하고 있어 가뭄빈도 개념을 적용하지 못하고 있다. 갈수기준년을 선정하여 적용하는 방법은 용수공급 기준을 정하는데 있어 수문통계학적 평가가 결여되어 있다. 따라서 용수공급의 이수안전도를 수문학적 기준으로 평가한다면 가뭄빈도를 정하여 평가하는 것이 합리적이라 판단된다. 신뢰도 평가방법의 경우 다양한 조건들이 적용되어 왔다. 수문자료의 한계성과 수문해석의 어려움으로 적용방법도 이를 고려하지 않을 수 없었다. 또한 신뢰도에 대한 명확한 정의없이 기간신뢰도와 발생신뢰도가 혼재되어 사용되어 왔다. 실제 용수공급의 안전성 측면에서 따지기 보다는 확보된 자료기간을 대상으로 분석시간단위로 용수부족 발생여부만을 따져 발생확률로 표기하였다. 이런 방법은 용수공급의 평가기준 중 하나로 고려하는 취약도 측면에서는 재고해볼 사항들이 있다. 용수부족량의 크기에 관계없이 기간신뢰도를 높일 것인지 취약도를 개선시킬 것인지 Compromising의 문제가 남아있다. 수자원 시스템은 특성상 이들 방법중 한가지 기준으로 평가하기는 어렵다. 결국 수자원 시스템의 용수공급 안전성을 높일 수 있는 기준 개발과 적용방법을 다양하게 모색해 보아야 한다. 갈수기년을 설정하여 적용하는 방법이나 신뢰도 기준을 적용하는 방법이나 제한된 수문자료를 이용하는 확정적 평가방법이나 그 당시의 여건과 상황이 적용방법 선택의 필요조건은 되나 충분조건이 되지 못하는 경우가 있다. 결국 수자원 시스템의 용수공급 안정성을 최적으로 달성할 수 있는 대안이 되어야 한다.