

유역 물관리 차원에서의 용수량 적응방안



류 경 식
한국수자원공사 수자원연구원

1. 서 론

우리나라가 당면하고 있는 가장 심각하고 중요한 문제중의 하나는 물 문제이다. 사회적으로 표출되는 주요한 물 문제는 빈번한 홍수와 가뭄, 가속화되는 수질 및 환경오염, 물 사용량의 증가로 인한 물 부족과 물 분쟁 등이다. 따라서 경제와 산업의 지속적인 성장을 보장하고 지역주민의 삶의 질을 향상시키기 위해서는 물 관리의 새로운 패러다임을 적극 반영한 유역단위의 보다 종합적이고 과학적인 통합 수자원 관리 체계의 정착이 요구된다.

이미 1980년대부터 미국을 비롯한 선진국들은 하천유역 통합관리 개념을 도입하여 하천의 물 관리 의사결정지원시스템을 개발 운영함으로써 수자원의 이용 효율성을 극대화시키고 보다 양질의 용수를 공급하고 있으며 확대 보급하는데 노력을 기하고 있다. 따라서 우리나라도 향후 수자원의 추가 개발이 매우 어려워짐에 따라 이러한 통합 물 관리 기반기술을 신속히 반영하여 효율적이고 안정된 수자원의 이용이 가능하도록 하여야 할 것이다.

이에 우리나라도 「21세기 프론티어연구개발사업」 중 “수자원의 지속적 확보기술개발사업”의 일환으로 “통합수자원 관리기술”이라는 연구사업이 수행되고 있어 보다 체계적인 수자원 이용을 하려고 노력하고 있다. 그러나 실무 운영자들은 관측자료의 부족과 신뢰성 낮은 수문자료 등으로 인해 많은 어려움을 토로하고 있는 실정이다. 그 중 특히 유

역내 용수이용현황 자료는 비록 체계적인 이론을 바탕으로 산정되었다고는 하지만 산정결과에 대한 충분한 믿음을 주고 있지 못할 뿐만 아니라 물 관리 운영을 위한 실무 적용 사례에서도 납득하기 어려운 결과들의 주요원인으로 지목되고 있다.

본고에서는 각종 보고서에서 제시하고 있는 용수량에 대한 불신의 원인이 무엇이며 효율적인 유역 물 관리 운영을 위해서는 어떤 방법에 의해 산정되어야 하는지에 대해 기술하고자 한다.

2. 용수량 추정량

용수수요량을 파악하기 위한 조사로는 건설교통부에서 주관하고 있는 수자원 장기종합계획(2000) 보고서를 들 수 있으며 용수공급량에 대한 조사로는 기존دم 용수공급능력조사(1998) 및 하천수 사용실태 조사(1999) 보고서가 대표적인 것이다.

용수량 산정방법으로는 생·공용수인 경우 원단위법이 가장 많이 이용되며 미래 수요량을 추정함에 있어서는 시계열 예측법과 인과형 예측법 등이 활용되고 있다. 최근 원단위법의 한계를 극복하기 위해 다양한 방법들이 이용되고는 있지만 너무 세분화되어짐에 따라 자료의 구축의 어려움과 부적절한 자료들의 사용가능성이 증대되는 단점을 안고 있다. 또한, 농업용수인 경우도 생·공용수 산정방법과 같이 원단위법이 주로 이용되는데 수요량에 대해서는 단위 경지

표 1 금강 권역 용수수급 전망
(단위: 백만 m³)

구분 \ 연도	2001	2006	2011	2016	2020
○ 용수수요량	6,449	6,660	7,161	7,227	7,276
- 생활용수	908	983	1,173	1,214	1,238
- 공업용수	333	372	402	427	452
- 농업용수	3,978 (5,723)	4,012 (5,735)	4,041 (5,867)	4,041 (5,867)	4,041 (5,867)
- 유지용수	1,230	1,293	1,545	1,545	1,545
○ 용수공급량	6,595	6,781	7,057	7,055	7,090
- 하천수	2,436	2,347	2,587	2,547	2,542
- 지하수	690	725	761	799	839
- 댐공급량	3,469	3,709	3,709	3,709	3,709
○ 과부족량	+146	+121	△104	△172	△186

【주】 (1) 과부족량은 수요관리 절감량을 고려한 것임
(2) 농업용수의 ()의 수치는 강수량에서 직접 이용되는 유효우량을 포함한 수요량임

면적에서의 물소모량을 이용하고 공급량에 대해서는 저수지 및 양수장과 같은 수리시설물의 운영일지나 시설용량 등에 의해 단위면적당 농업용수 공급량을 산정 후 해당유역에 대한 경지면적비에 따라 산정하고 있다.

상기 방법들은 향후 우리나라의 급격한 주변여건 변화에 적극적이고 효율적으로 대응하기 위해서 유역의 수급상황을 파악할 수 있도록 활용되고 있으며 그 예로 수자원장기종합계획(2000) 보고서의 각 권역별 용수수요량 및 빈도별 물 부족량 전망을 들 수 있다. 표본 예로 보고서의 자료 중 금강권역에 대한 30년빈도 가뭄에 대한 용수수급 전망을 표 1에 제시하였다. 표 1에서 보는 바와 같이 해당년도에 용수의 수요와 공급간의 관계를 보여주고 부족분에 대해서도 전망하고 있듯이 다양한 용수 산정방법들은 유역물 관리 측면에서 다분히 활용되고 있다.

3. 운영차원에서의 기존 용수자료 적용사례

현재 한국수자원공사에서는 프론티어 사업의 일환으로 금강유역에 대한 실시간 물 관리 운영시스템(IRWMS)을 구축하고 있는 중이며 그 중 유역내 주요지점별 실시간 유량을 파악할 목적으로 개발중인 강우-유출 예측시스템(RRFS)이 있다.

그림 1은 RRFS를 이용해 해당 유역의 유출상황을 예측하기 위해 필요한 데이터를 입력하는 화면으로써 좌측 상

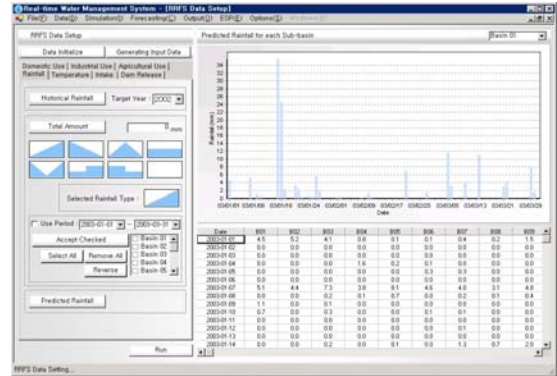


그림 1 입력자료 설정 화면

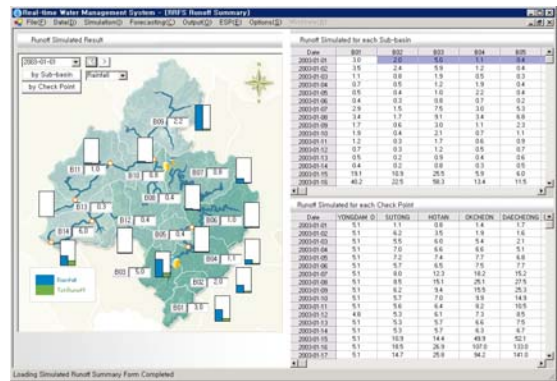


그림 2 예측 모의 결과 확인 화면

단의 탭 메뉴를 통해 강우, 온도, 취수량, 댐방류량, 생활용수, 공업용수, 농업용수 자료를 설정할 수 있으며 기본적으로 현재 연도의 이전 연도 자료를 유사 자료로 선택할 수 있다. 화면 좌측은 입력 데이터를 설정할 수 있는 메뉴로 구성되고 화면 우측에서는 설정된 입력 데이터를 그래프와 테이블로 사용자가 확인할 수 있도록 되어 있다. 그림 2는 보정된 매개변수와 입력 데이터를 이용하여 RRFS 예측모의를 수행한 결과를 요약하여 보여주는데 우측에는 소유역별 모의 유출량과 지점별 예측 유출량을 표로 제시하고 좌측에는 좌측 상단에서 사용자가 지정한 날짜에 대한 일별 유출량을 소유역 또는 지점별로 보여준다.

그림 3은 유출 수문곡선을 유출성분별로 구분하여 막대 그래프 형태로 변환함으로써 사용자가 보다 직관적으로 유출분석을 수행할 수 있도록 구성함으로써 RRFS에 탑재된 연속유출모형인 SSARR 모형을 기반으로 하여 유역의 유출상황을 예측하므로 모의 초기에 설정한 매개변수도 시간이 흐름에 따라 모의기간 동안 강우와 유출변화에 따라 변

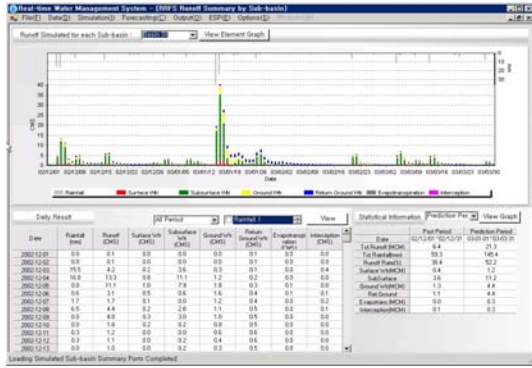


그림 3 성분별 유출수문곡선

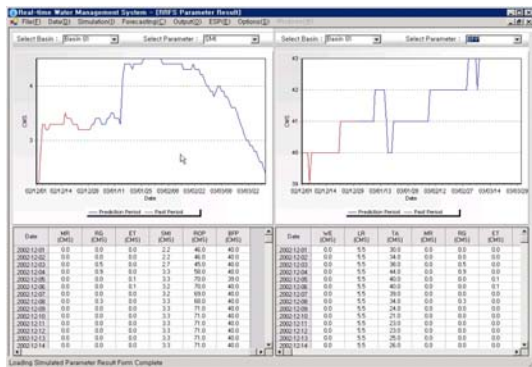


그림 4 주요매개변수의 시간적 변화

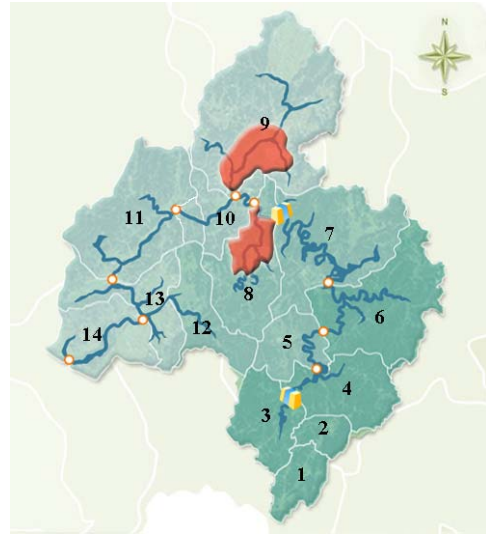


그림 6 금강유역 소유역 분할도

표 2 금강유역 생·공용수 수요 및 공급량

구 분	2004년
8번 소유역 수요량	256.2
대전권 댐 공급량	206.9
9번 소유역 수요량	157.9
청주권 댐 공급량	96.4

하게 된다. 그림 4는 이러한 모의기간 동안의 매개변수의 변화 양상을 나타내주는 GUI로써 상단의 그래프와 하단의 표로 구성되고 두 가지 매개변수의 변화양상을 비교해서 볼 수 있도록 화면이 구성되어 있다. 이 외에도 장기 강우 예측의 불확실성을 고려하기 위해 확률론적인 하천 유출량 예측 방법인 ESP(Ensemble Stream-flow Prediction) 분석 등도 활용되고 있다.

이런 RRFs를 운영하기 위해서는 신뢰성 높은 다양한 수문자료가 반드시 필요한데 만일 신뢰성 낮은 수문자료가 이용된다면 실측값에 유사한 결과를 결코 모의할 수가 없을 것이다. 따라서 본 시스템을 이용하면 기존보고서에서 산정된 용수자료들이 운영자료로 활용이 가능한지의 여부를 간접적으로 확인할 수 있다. 그림 5는 현재 한국수자원공사에서 금강유역에 대한 실시간 물관리 운영시스템을 구축하기위한 목적으로 분할한 소유역 분할도이며 적색지역으로 표시된 두 지역은 대청댐에서 생·공용수를 공급받고 있는 대전권 및 청주권지역을 개략적으로 도시한 결과이

다. 표 2는 표본 예로서 수자원장기계획보고서의 자료를 인용하여 분석된 대전 및 청주시를 포함한 각 소유역 생·공용수 수요량과 대청댐에서 실제 공급받고 있는 생·공용수량을 대상으로 조사한 것이다. 그림 5 및 표 2의 인구 및 지역여건에 따른 공급패턴을 고려한 경우, 2004년도 대전광역시를 포함한 8번 소유역의 생·공용수 수요량은 2억 5,620만톤으로 대청댐에서 대전권으로 공급된 2억 690만톤과 유사하며 청주시를 포함한 9번 소유역의 생·공용수 수요량은 1억 5,790만톤으로 대청댐에서 청주권 및 청원·연기군 일대에 공급된 9,640만톤과 비슷하다.

그림 6은 표본 예로 RRFs시스템의 주요 지점중 한 곳인 대청댐 지점에 대한 기존보고서의 용수자료를 적용하여 산정된 모의 유입량과 관측 유입량을 도시한 결과이다. 그림 6의 결과를 보면, 1~4월중에는 RRFs 모의결과와 관측결과의 오차가 거의 없는 것으로 나타났고 5월부터 매우 큰 오차가 나타났다. 이는 5월 이후 시스템의 입력자료중 이상치라 판단되는 수문자료가 이용되었다는 것이며 그 대

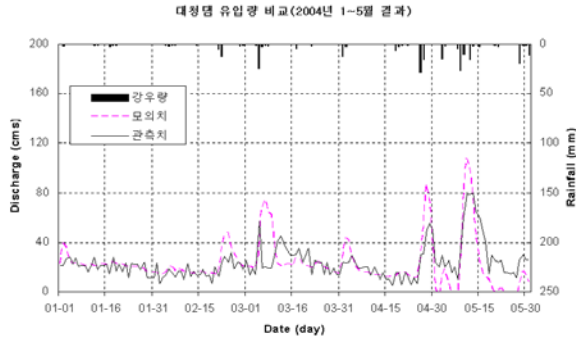


그림 7 RRFS 모의결과
(기존용수자료 적용시)

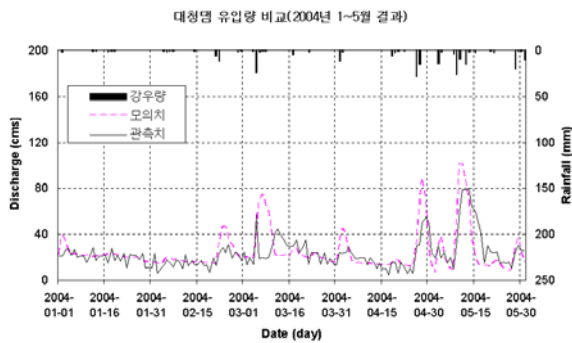


그림 8 RRFS 모의결과
(보정용수자료 적용시)

표적인 자료가 농업용수이다.

따라서 기존보고서에서 제시된 용수자료를 물 관리 운영을 목적으로 이용할 경우, 생·공용수와 달리 농업용수는 운영목적에 맞게 자료를 가공하여 이용하거나 새로운 산정방법을 통해 재산정하여야 할 것이다.(그림 7)

4. 운영차원에 적합하지 않은 원인

상기 결과와 같이 농업용수의 이용이 증가되는 5월초에 운영상에 문제를 발생시키게 되는 원인은 기존산정방법론의 문제들과 이용목적의 상이함으로 인한 것이라 판단되며 우선 기존산정방법론에서 발생하는 몇 가지 원인에 대해 기술하면 다음과 같다.

첫째, 잘못 적용된 농번기

논농사의 시작을 알리는 모내기가 수장기에서는 금강유역을 우리나라 중부권에 해당하는 것으로 판단하여 6월초순부터 농업용수의 이용이 급증하는 것으로 기술되어 있지만 실사 및 농촌진흥청 등을 통해 조사해 본 결과 금강유역

은 5월중순에 시작해서 5월말이면 대부분의 모내기는 종료되고 있다. 이와 같이 잘못된 농번기의 시작은 월별 용수에 대한 운영을 그릇되게 할 수 있다.

둘째, 신뢰성 낮은 일평균침투량

수장기에 적용된 일평균침투량은 과거 농어촌진흥공사 농어촌연구원 토양조사반의 조사결과에 의한 것으로 판단되며 그 결과 우리나라 논에서의 일평균 침투량은 5.2 mm/day로 나타났고 시·도별, 수계별 평균 침투량은 표 3 및 4와 같이 대략 4.9~5.6 mm/day로 조사되었다. 그러나 최근 발표되고 있는 논문들중 표본 예로 금강유역을 대상으로 하는 시험지구에서의 평균 침투량 조사결과를 정리해 보면 표 5와 같이 조사되었으며 기존 보고서의 결과와는 매우 상이한 결과를 보여주고 있다. 이는 관계시기에 따라 침투량이 변화된다는 사실을 어느 정도 반영하더라도 매우 큰 편차를 보여주고 있는 것이다. 이와 같이 상이한 일평균 침투량은 농경지에서의 순소모량을 과대 또는 과소 추정될 수 있기에 추후 더욱 폭넓은 조사와 다양한 조사에 의한 일평균침투량을 재산정하여야 할 것이다.

셋째, 수리시설물의 공급량은 실제 농업용수 이용량이 아니다.

수리시설물의 운영일지나 시설물 재원 등에 의해 추정되고 있는 농업용수 공급량은 지역별 실제 이용량과 일치하는 것으로 판단될 수 있으나 사실 농업용수는 생·공용수와

표 6 시·도별 평균 침투량 (mm/day)

구분	전국	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
침투량	5.2	5.3	5.9	5.5	4.9	4.9	5.0	5.6	5.0	9.5

표 7 수계별 평균 침투량 (mm/day)

구분	전국	한강	낙동강	금강	영산강	섬진강	기타	비고
침투량	5.2	5.6	5.3	5.3	5.6	5.4	5.0	

표 8 금강유역 평균 침투량 (mm/day)

구분	공주 (소학)	연기 (대평)	보은 (학림)	문의 (노현)	청원 (소로)
침투량	2.9	3.0	1.3~1.5	1.2~2.0	1.0~1.4

같이 관수로로 공급되어지지 않기 때문에 용수의 손실이 매우 많다. 그 중에서도 용수로에서 경지내로 유입되지 않고 바로 하천으로 회귀되는 용수나 농지내 유입된 용수도 농민의 영동방식에 따라 필요이상의 배수를 통해 용수의 이용량을 증대시킬 수 있다는 점에서 수리시설물을 통해 공급되어지는 용수량을 농사에 이용되는 수량으로 판단하여서는 안될 것이며 또한 수리시설물의 용수공급량을 통해 단위 논외 용수 이용량을 산정한 결과에 대해서도 경지상태, 수로상태, 농민습관 등과 같은 다양한 여건으로 인해 매우 상이한 결과가 도출될 수 있기 때문에 특정지역에서의 결과는 해당지역의 특성으로만 활용되어야 할 것이다.

또한, 기존 보고서에서 산정된 용수량은 수요측면에서 분석된 결과이기 때문에 용수를 공급할 수 없는 상황에서도 이용되는 것으로 산정되기 때문에 현실성이 일부 배제되었고 순수하게 농경지에서 소모되는 총 용수소모량을 산정한 것이지만 운영차원에서는 기존 초지상태에서 농경지로 변경됨에 따른 추가적으로 소모되는 용수만을 농업용수 수요량으로 적용하여야 하기 때문에 이용목적에 따라 많은 차이점이 있다.

5. 물 관리 운영차원에서의 용수적용방안

운영차원에서 기존 생·공용수 추정량을 검·보정하기 위해서는 우선적으로 신뢰성 높은 유량자료를 제공할 수 있는 관측지점들이 존재하여야 한다. 또한 관측지점에 대한 실측을 통해 자료에 대한 신뢰성 점검도 필수적이라 할 수 있다.

용수이용량은 용수이용패턴에서 따라 크게 생·공용수 이용량과 농업용수 이용량으로 구분된다. 생·공용수량은 연중 큰 편차 없이 일정량이 이용되며 또한 대체로 대규모의 수리시설물인 댐 등에 의해 공급되어지기 때문에 수량파악 및 관리가 잘 이루어지는 편이다. 그러나 농업용수는 농번기인 4월~10월에 집중적으로 이용되어지고 그 외 11월~익년 3월까지 거의 이용되어지지 않고 있으며 실제 이용되고 있는 수량에 대한 파악도 어려운 실정이다. 따라서 생·공용수 추정량은 11월~익년 3월 동안에 검·보정을 실시하여 전 기간에 대해 비례적용하며 강우-유출모형에 대한 매개변수를 적정하게 산정함으로써 시스템의 안정성을 높이는데도 적절히 활용한다.

농업용수 추정량은 용수량 중 가장 크며 농번기인 4월~10월에 집중되고 타 용수량에 비해 월별 이용량의 편차도 크게 나타난다. 또한 용수 이용기간중 5월과 6월은 농업용수 이용량에 비해 상대적으로 강수량이 적게 내리는 시기이기 때문에 해당 기간 동안 계획상의 용수이용량이 소유역의 자연유량보다 크게 나타나는 경우도 종종 발생된다. 그러나 자연유량은 강우에 의해 발생하는 유출량이기 때문에 타 수계 유입 및 방류가 없다면 용수이용량은 자연유량보다 클 수 없다.

이는 농업용수 이용량의 과대 산정, 회귀율의 과소 산정 및 기상상태의 미반영 등에 의한 것으로 판단된다. 그중 계획상의 농업용수 이용량은 앞서 언급한바와 같이 정확한 이용량 추정에 한계를 드러내고 통상적으로 과대산정되었을 것으로 판단되고 있기 때문에 운영상의 농업용수량으로 이용하는 경우에는 자연유출량보다 적게 농업용수량을 보정하여 유출시스템이 관측결과를 유사하게 모의할 수 있도록 계획상의 농업용수량을 대대적으로 보정해줘야 할 것이다.

4. 맺음말

유역 물 관리를 효율적으로 관리하기 위해서 수장기를 비롯한 각종 용수산정 보고서에 제시된 용수추정량 자료를 활용하여야 하는데 이는 계획차원에서 산정되었기 때문에 운영을 목적으로 이용하는 경우 많은 문제점이 발생할 우려가 있다. 따라서 본 고에서는 이러한 각종 용수산정 보고서의 자료를 운영차원에서 활용시 발생할 수 있을 것으로 예상되는 문제점과 원인에 대해 기술하고 기존보고서 결과 자료를 활용할 수 있도록 검·보정하는 방법과 시스템에 적용하는 방법을 간략하게 기술하고자 하였다.

감사의 글

본고는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 1-6-2)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부, 1999, 하천수 사용실태조사
2. 건설교통부, 1998, 기존댐 용수공급능력조사 (금강수계)
3. 건설교통부, 2000, 수자원장기종합계획보고서

4. 농림부, 1999, 농촌용수 수요량조사 종합보고서
5. 농림부, 2001, 논관개용 관수로의 분수량관리시스템과 자동 급수장치 개발에 관한 연구
6. 농업기반공사, 2003, 농업배수의 수질오염(질소, 인) 저감을 위한 환경친화적 농업기반정비방안
7. 도화종합기술공사, 2002, 북한강 및 팔당댐 하류유역조사 학술연구용역
8. 한국수자원공사, 2006, 유역물관리 운영기술개발
9. 한국수자원공사, 2005, 다목적댐 운영실무편람