

유역 물수급 평가 개선방안에 대한 연구

Improving the Basinwide Water Balance Assessment

장옥재*, 안국현**, 김영오***, 이우석****, 이길성*****

Ock-Jae Jang, Kook-Hyun Ahn, Young-Oh Kim, Woo-Seok Lee, Kil-Seong Lee

요 지

오래전부터 물은 천부(天賦)의 자원으로 인식되어 왔으나 근래 들어 수자원의 한정성과 용도의 다양성 등으로 무한자원이 아닌 유한자원으로서 확고한 경제적 위치를 점하게 되었다. 이러한 경제재로서의 물을 가장 이상적이고 합리적으로 이용하기 위해서는 용수 수요에 대응하여 적기에 적량의 물을 공급할 수 있는 효율적인 물관리가 필요하다.

효율적인 물관리를 위해 현재까지 우리나라에서는 매 10년 마다 수자원장기종합계획을 세우고, 5년에 한 번씩 보완하도록 하고 있으며 이를 장기적인 국가 수자원관리의 지침으로 사용하고 있다. 그동안 국내에서도 컴퓨터 모형의 발달과 자료의 축적으로 어느 정도 정확한 물수급 평가(water balance assessment)는 가능해졌으나 아직 가용한 자료의 부족으로 장기 물수급 전망에 왜곡이 발생되고 있는 게 현실이다. 그 중 대표적 문제점을 살펴보면, 지하수 공급량 자료가 전무한 점, 농업용 중소규모 저수지의 공급가능량을 유효저수량으로 제한한 점, 행정구역 및 유역별 분석 결과 제시가 동시에 자유롭지 못한 점 등이 있다. 이러한 문제점은 근본적으로 모형의 불완전성과 자료의 부족으로부터 기인하며, 이를 해결하기 위하여 좀 더 정확한 물수급 평가방안의 제시가 필요하다고 할 수 있다.

본 연구에서는 앞서 제시된 물수급 평가모형의 문제점을 보완할 수 있는 방법을 제안하였다. 이를 위해 먼저 기존의 물수급 평가의 문제점을 파악하였고, 다음으로 파악된 문제점의 개선방안을 금강유역에 적용하여 기존 방법의 결과와 비교를 실시하였다. 개선방안을 시범유역에 적용한 결과 K-WEAP과 K-MODSIM 모두 큰 결과의 차이는 발생하지 않았다. 또한 개선방안 적용 결과와 비교하여 기존 모의방법의 결과가 농업용수 불부족량을 과소평가하는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 물수급 평가, 물부족 전망, 수자원 장기종합계획

1. 서론

오래전부터 물은 천부(天賦)의 자원으로 인식되어 왔으나 근래 들어 수자원의 한정성과 용도의 다양성 등으로 무한자원이 아닌 유한자원으로서 확고한 경제적 위치를 점하게 되었다. 이러한 경제재로서의 물을 가장 이상적이고 합리적으로 이용하기 위해서는 용수 수요에 대응하여 적기에 적량의 물을 공급할 수 있는 효율적인 물관리 시스템이 필요하다.

장기적으로 안정적인 물공급 시스템 마련을 위해 현재까지 우리나라에서는 매 10년 마다 수자원장기종합계획을 세우고, 5년에 한 번씩 보완하도록 하고 있으며 이를 장기적인 국가 수자원 관리의 지침으로 사용하고 있다. 그동안 정확한 물수급 평가를 위해 지난 2006년 수자원장기종합계획(이하 2006년 수장기)부터는

* 서울대학교 건설환경공학부 석사과정·E-mail: trial10@snu.ac.kr
** 서울대학교 건설환경공학부 석사과정·E-mail: aakheng@snu.ac.kr
*** 정회원·서울대학교 건설환경공학부 부교수·E-mail: yokim05@snu.ac.kr
**** 한국수자원공사 조사기획처 차장·E-mail: leesk@kwater.or.kr
***** 정회원·서울대학교 건설환경공학부 교수·E-mail: kilselee@snu.ac.kr

『수자원의 지속적 확보기술개발』사업의 결과인 K-WEAP모형을 모의에 적용하였다. 또한 자료의 신뢰성을 높이기 위해 2000년부터 2006년까지 전국 5대강 수계에서 조사된 유역조사사업의 성과를 2006년 수장기에 반영하였다(건설교통부a, 2006). 이러한 노력의 결과로 어느 정도 정확한 물수급 평가(water balance assessment)는 가능해졌으나 아직도 많은 부분에서 가용 자료의 부족으로 장기 물수급 전망에 왜곡이 발생되고 있는게 현실이다. 따라서 본 연구에서는 먼저 지금까지 물수급 평가에 사용된 K-WEAP, K-MODSIM 모형을 비교하고, 다음으로 기존 물수급 평가의 문제점을 분석 및 이를 보완할 수 있는 방안을 제안하겠다.

2. 국내 물수급 평가모형의 특징

2.1. K-WEAP

K-WEAP은 과학기술부와 건설교통부가 지원하는 21세기 프론티어 사업단의 『수자원의 지속적 확보기술개발』사업의 1단계 『유역통합물수지분석 및 수자원계획 기술개발』과제의 일환으로서 미국의 Stockholm Environment Institute, Boston Center (SEI-B)와 공동연구로 개발되었다. K-WEAP의 대부분 기능은 SEI-B에서 개발된 WEAP에 기반을 두고 있지만 수질 부분을 비롯하여 여러 가지 우리나라의 특성에 맞는 물수급 평가형태로의 개선 및 한글화를 통하여 국내 수자원환경에 적용할 수 있게 되었다. 현재 K-WEAP은 한국건설기술연구원이 배타적 소유권을 가지고 있다(한국건설기술연구원, 2004). K-WEAP은 다음과 같은 특징을 가진다.

첫째 K-WEAP은 수량, 수질, 생태환경, 수요관리 및 정책시나리오 등을 통합적으로 모의할 수 있도록 개발되었다는 점에서 다른 단일 목적 모의 프로그램과 구별된다. 또한 시나리오 모의기반 시스템으로 여러 가지 수문상황과 정책시나리오에 따라 변화되는 수요와 공급을 가상 적용하고 적용된 시나리오 별 결과를 비교할 수 있다. 그리고 모형의 구축과 편집을 GIS 지도위에 사용자 편의적으로 실시할 수 있는 것도 한 가지 특징이라고 할 수 있다.

2.2 K-MODSIM

K-MODSIM은 Colorado States University의 Labadie 교수에 의해 개발된 MODSIM에 기반을 두고 있으며 이를 한국수자원공사 수자원연구부에서 수정, 보완하여 개발되었다. K-MODSIM의 주요 입력 자료인 저수지 침투, 증발, 발전, 관개침투, 수로손실 등을 고려한 계산이 가능하며 우리나라에서는 기존의 대부분 자료를 그대로 사용하면서도 과거에 적용할 수 없었던 많은 기능을 K-MODSIM을 통해 구현할 수 있다. 이러한 장점을 활용하여 저수지와 하천시스템의 연구자 및 물관리 전문기관에서 많이 이용되고 있다(한국수자원공사 수자원연구원, 2005). K-MODSIM은 다음과 같은 특징을 가진다.

첫째 K-MODSIM은 시스템 간의 유기적인 연계운영에 주안점을 둔 다목적 시나리오 구성이 가능하다. 또한 다양한 운영을 및 목표 저류량 적용에 의한 보다 현실적이고, 실제적인 저수지 운영 목표를 설정할 수 있다. 마지막으로 K-MODSIM은 linear program의 최적해를 찾는 방법으로 Lagrangian Relaxation Algorithm을 사용하고 있어 빠른 프로그램의 수행이 가능하고, .NET 프로그램을 통해 내부 프로그램 DLL에 대한 외부적인 접근이 가능하여 사용자 목적에 맞게 수정할 수 있다는 장점이 있다.

3. 기존 물수급 평가의 문제점 및 개선방안

3.1. 기존 물수급 평가의 문제점

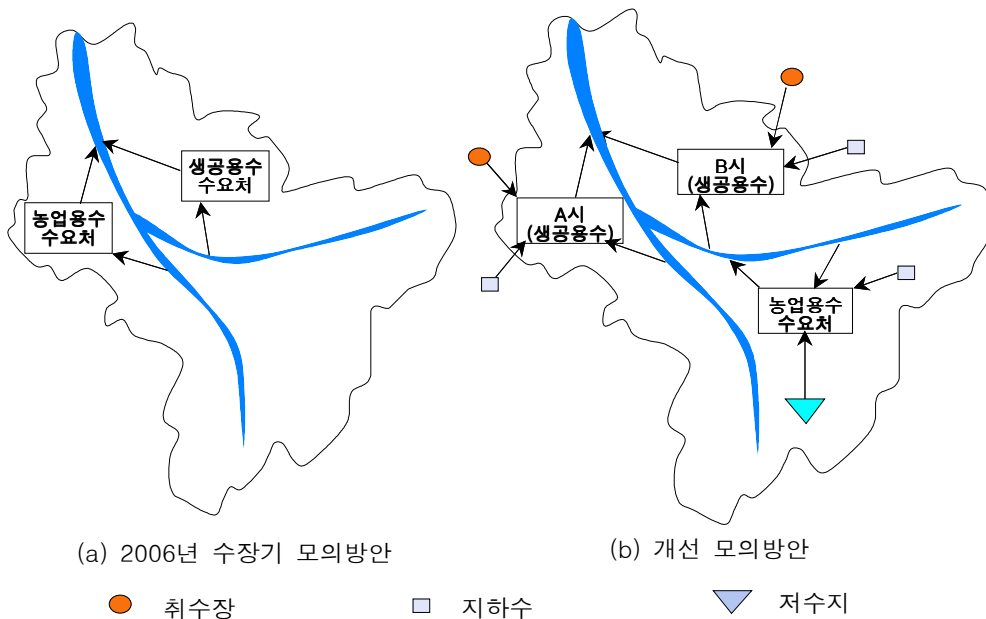
기존 물수급 평가의 문제점을 공급과 소비 부분으로 나누어서 생각해보도록 하겠다. 먼저 물공급 부분의 저수지 공급량 산정에서 기존 방법은 유효저수량이 $10 \times 10^6 \text{m}^3$ 이상의 저수지에 대해서만 개별적으로 모형

내에서 모의를 실시하고, 나머지 저수지의 유효저수량을 모의 후 모형 밖에서 산술적으로 더해주는 방법을 사용하였다. 지하수 공급량 산정에서는 산정할 수 있는 자료가 전무하기 때문에 이용량 자료를 공급량 자료로 대체하였으며 이 역시 프로그램 모의 후 산술적으로 더해주는 방법으로 물부족을 감소시켰다. 또한 기존 방법에서는 물수급 평가에서 중유역의 자연유출량 중 85%만 이용가능량으로 산정하여 나머지 15%는 하천의 유지유량으로 흘려보내는 방식을 사용하였다. 하지만 기존 방법에서도 하천 유지유량은 고려하고 있으므로 취수가능계수(0.85)의 고려는 물수급 평가의 왜곡을 발생시킨다고 볼 수 있다.

물소비 부분에서는 <그림 1>의 (a)에서 볼 수 있는 것처럼 한 개 중유역 안에 생공용수 수요처와 농업용수 수요처가 각각 하나씩 위치하기 때문에 모의 후 각 행정구역별 물부족량을 계산하는데 어려움이 있었다.

3.2. 개선방안

개선된 물수급 평가방안으로 먼저 정확한 농업용수 물수급 평가를 위해 유효저수량 $5 \times 10^6 \text{m}^3$ 이상인 저수지에 대해서는 개별적으로 모형 내에서 모의를 실시하고, 이 이하 저수지들은 중유역 별로 통합하여 하나의 가상저수지를 운영하는 방안을 제안한다. 저수지의 유입량은 중유역 면적 대비 저수지의 유역 면적비를 이용하여 자연유량 중 일부가 저수지로 유입된다고 계산하였고, 저수지 유입량만큼은 자연유량에서 감해주어 중유역내 물수지를 맞추어주는 것이 적절하다고 판단된다. 지하수의 공급량은 현실적으로 가용자료의 부족으로 계산할 수 있는 방법이 없으므로 기존과 같이 이용량 자료로 대체할 수밖에 없지만 생공용수와 농업용수 공급량을 따로 계산하여 모형 내에서 하나의 공급원으로 고려하는 것이 적절하겠다. 취수가능계수는 앞서 설명한 것과 같이 물수급 평가에 왜곡을 발생시키기 때문에 향후 모의에서는 삭제하는 것이 합당하겠다.



<그림 1> 기존 물수급 평가방안과 개선된 방안의 비교

물소비 부분에서는 <그림 1>의 (b)에서 볼 수 있는 것처럼 농업용수는 중유역 별로 모의하고, 생공용수는 행정구역 별로 모의를 실시하여 모의 결과가 바로 행정구역 별 결과로 정리될 수 있도록 하는 방안을 제안한다. 그리고 현재 각 행정구역 별로 계획되어져 있는 상수도 공급계획과 맞추어 지방 상수도 취수능력을 제한하는 것이 적절하다고 판단된다. 그 이유는 취수능력을 제한한 경우와 그렇지 않은 경우를 비교하여 물부족이 부족한 수자원에서 발생한 것인지 또는 부족한 취수장에서 발생한 것인지 판단할 수 있기 때문이다. 취수장 시설현황과 지방 상수도 공급 체계는 국가수자원통합관리정보 홈페이지(<http://www.wamis.go.kr>)를 통해 획득하였다.

4. 개선방안 시범 적용

본 연구에서는 위에서 제시된 개선방안을 시범유역에 적용하여 개선된 방법의 효과를 검증하였다. 적용 지역은 금강의 중유역 3001 ~ 중유역 3005로 상류 지역에 위치하고 있어 다른 유역의 영향을 적게 받을 것으로 판단되어 선택되었다. 시범유역 내에는 금산군을 비롯하여 5개 군이 포함되어 있고, 유효저수량 $5 \times 10^6 \text{ m}^3$ 이상 저수지는 2개 위치하고 있으며 나머지 저수지들은 각 중유역 별로 통합하여 가상저수지로 운영하였다.

4.1. 시범유역 적용 결과

<표 1>에서 나타나는 것처럼 K-WEAP과 K-MODSIM의 적용결과는 각 지역별 수행 결과 그리고 본 연구 합계를 비교하여 큰 차이를 나타내지 않는다는 것을 알 수 있다. 다만 앞서 언급한 것처럼 수행속도 측면에서는 K-WEAP이 27분 30초 걸린 수행을 K-MODSIM은 9분 만에 완료하여 K-MODSIM이 K-WEAP보다 우수한 것으로 나타났다(모의기반: Intel Pentium Dual Core 1.5 MHz, 1.0 GB RAM).

<표 1> 시범유역 적용 결과 (연 최대갈수년 기준, 취수량 미제한시)

(단위: $\times 10^6 \text{ m}^3$)

	K-WEAP			K-MODSIM		
	생공용수	농업용수	합계	생공용수	농업용수	합계
금산군	0	0	0	0	0.115	0.115
무주군	0.049	4.184	4.234	0.135	4.710	4.845
영동군	0	9.782	9.782	0	2.073	2.073
장수군	0	5.129	5.129	4.055	6.967	11.022
진안군	0	5.333	5.333	2.141	7.433	9.574
본 연구 합계	0.049	24.428	24.478	6.331	21.298	27.629
2006년 수장기	0	6.570	6.570	0	6.570	6.570

<표 2> K-WEAP 취수량 제한시 시범유역 모의 결과

(단위: $\times 10^6 \text{ m}^3$)

	취수량 제한시 물부족량		
	생공용수	농업용수	합계
금산군	8.741	0	8.741
무주군	0.245	3.995	4.240
영동군	1.437	9.869	11.306
장수군	4.632	4.691	9.323
진안군	0.865	4.878	5.743
본 연구 합계	15.920	23.433	39.353

세부적인 개선사항의 적용 효과를 살펴보면 먼저 <표 1>의 본 연구의 합계와 2006년 수장기 결과를 비교하여 생공용수 부족량에는 큰 차이가 없지만 농업용수 부족량에는 큰 차이를 나타내는 것을 알 수 있다. 이로서 2006년 수장기에서 농업용수 부족량을 과소평가하였다는 것을 알 수 있었으며 그 원인은 토양함수 저류비를 고려한 탱크모형(건설교통부b, 2006)에서 모의된 자연유량을 사용하고도 저수지의 유효저수량을 추가적인 공급원으로 더해준 것으로부터 기인한다고 볼 수 있다. 다음으로 <표 1>과 <표 2>를 비교하여 보면

취수량을 제한한 경우와 취수량을 제한하지 않은 경우 모두에서 농업용수 부족량에는 차이를 나타내지 않았지만 생공용수 부족량은 취수량을 제한한 경우 큰 폭으로 증가하는 것을 알 수 있다. 그러므로 이 지역에서는 연 최대갈수년에도 추가적인 취수장의 건설로 생공용수 부족 문제를 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 기존 물수급 평가 방법에서 중소규모 저수지 공급가능수량 산정, 지하수 공급량 산정, 그리고 행정구역별 물수급 평가 제시 측면에서 단점을 보완할 수 있는 방법을 제안하였다. 지금까지 제안한 개선방안을 기존 물수급 평가 방법과 비교하면 다음 <표 3>과 같다.

<표 3> 2006년 수장기 모의 방안과 개선방안 비교

구분	세부사항	2006년 수장기	개선방안
물공급	저수지	<ul style="list-style-type: none"> 유효저수량 $10 \times 10^6 \text{ m}^3$ 이상 저수지는 모의 프로그램에서 개별적 모의 $10 \times 10^6 \text{ m}^3$ 이하 저수지는 유효저수량만을 공급가능수량으로 제한 	<ul style="list-style-type: none"> 유효저수량 $5 \times 10^6 \text{ m}^3$ 이상 저수지는 모의 프로그램에서 개별적 모의 실시 $5 \times 10^6 \text{ m}^3$ 이하 저수지는 중유역 별로 하나의 가상저수지로 통합하여 모의 실시
	지하수	<ul style="list-style-type: none"> 물수급 평가 완료 후 수요(생공용, 농업용)와 관계없이 추가로 더해줌 	<ul style="list-style-type: none"> 모의 프로그램 내에서 하나의 공급원으로 계산 생공용 지하수와 농업용 지하수를 독립적으로 운영
	취수가능계수	<ul style="list-style-type: none"> 취수가능계수(0.85) 적용 	<ul style="list-style-type: none"> 취수가능계수 삭제
물소비	행정구역별 수요적용	<ul style="list-style-type: none"> 중유역 당 하나의 생공, 농업용수 수요처에서 모의 실시 	<ul style="list-style-type: none"> 생공용수는 행정구역 별, 농업용수는 중유역 별 모의 실시

제시된 개선방안을 적용한 결과 좀 더 현실적인 농업용수 부족량을 추정할 수 있었으며 기존 방법에서 각 행정구역별 물부족량 제시의 어려움이 있었던 것을 해결할 수 있었다. 또한 각 지자체 별로 계획되어져 있는 상수도 공급계획을 물수급 평가에 반영하였고, 지방 상수도의 취수제한량을 고려한 결과와 고려하지 않은 결과를 비교하여 물부족 원인도 확인할 수 있게 되었다. 앞으로 향후 연구에서는 본 연구에서 활용하지 못한 지하수-지표수 연계 부분과 농업용 저수지 유입량 산정에 관한 부분이 지하수 공급량 등의 기초 통계량 확보와 함께 계속적으로 연구되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국수자원공사의 물관리기본계획 구축방안 연구(과제번호: 07-60)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

1. 건설교통부(2006a), 수자원장기종합계획(2006-2020), 조사보고서 11-B500001-000083-13, 건설교통부, p 20
2. 건설교통부(2006b), 수자원장기종합계획(2006-2020), 조사보고서 11-B500001-000083-13, 건설교통부, p 427
3. 한국건설기술연구원(2004), 통합수자원평가계획모형 사용자 안내서, pp 1-6
4. 한국수자원공사 수자원연구원(2005), K-MODSIM 유역 물배분 모의 모형 매뉴얼, 연구개발보고서 No.21, 한국수자원공사, pp 21-30