

K-WEAP을 이용한 4대 권역별 물 수지 분석

Water Budget Analysis of Four big river basin based on K-WEAP

문장원*, 최시중**, 이동률***, 윤석영****

Jangwon Moon, Si-Jung Choi, Dong-Ryul Lee, Seok-Young Yoon

요 지

우리나라에서는 하천법 제11조에 의거하여 10년마다 한 번씩 수자원장기종합계획을 수립하고 있으며, 필요에 따라 5년마다 이를 수정·보완하고 있다. 2001년 7월 수자원장기종합계획(Water Vision 2020)이 수립된 이후 잦은 봄 가뭄 등 이수측면에서의 사회, 경제, 환경의 변화와 최근 이상홍수 등으로 인한 대규모 홍수피해 발생에 따른 치수측면의 종합적인 대책의 제시가 요구되면서 2001년 수립된 계획에 대한 보완 필요성이 제기되었다. 또한 수자원계획의 신뢰성에 대한 시민단체 등의 문제제기와 지역 차원의 수자원계획 및 수자원 환경에 대한 국민적 관심 증대로 인해 계획 수립 과정과 결과에 대한 국민적인 공감대 형성을 위한 체계의 구축이 금번 보완 계획의 수립을 통해 추진되고 있다.

금번 수자원장기종합계획 보완은 투명성 확보라는 큰 목표를 가지고 수행되고 있으며, 이를 통해 국가 수자원 관리의 청사진을 제시하고 물 수급 전망 및 용수수급 계획을 수립하는 과정에 있다. 기 개발된 한국형 통합수자원평가계획 모형인 K-WEAP 모형을 보완 계획 수립 과정에서 활용하고 있으며, K-WEAP 모형을 통해 물 수지 분석을 수행하여 수급 균형을 판단함으로써 일반 대중에게 물 수급 관련 상황에 대한 이해력을 높일 수 있다는 장점을 확보할 수 있다.

본 연구에서는 K-WEAP 모형을 이용하여 각 권역별로 2003년의 물 수급 현황을 분석하여 이를 하천의 관측유량과 비교해봄으로써 모형의 검증을 수행하였으며, 각 권역에서 시나리오별로 추정된 용수수요량을 이용하여 물 수지 분석을 수행함으로써 목표연도별 물 수급 분석결과를 제시하였다. 물 수급 분석 시 지하수 및 농업용 저수지 등 하천과 다목적댐 이외의 지역 공급원에 대해서도 고려하였으며, 이를 통해 수자원계획 수립 시 도움이 될 수 있는 기초적인 자료를 제공할 수 있었다.

핵심용어 : 수자원장기종합계획, K-WEAP, 물 수지 분석

1. 서론

물은 인간생활에 있어 없어서는 안 될 매우 중요한 요소이다. 따라서 국가는 수자원에 대한 적절한 분석을 통해 가용 수자원의 양을 명확히 파악하여야 하며, 파악된 정보를 이용하여 효율적인 계획을 수립함으로써 국민들에게 안정적으로 물을 공급해야 할 의무를 갖는다. 우리나라에서는 하천법 제11조에 의거하여 10년마다 한 번씩 수자원장기종합계획을 수립하고 있으며, 필요에 따라 5년마다 이를 수정·보완하고 있다. 수자원계획을 수립함에 있어 가장 중요한 사항은 현재와 미래의 경제, 사회, 환경적인 여건 변화를 적절히 반영하여 안정적인 물 공급을 도모함에 있으나, 최근 들어서는 계획 수립 과정과 결과에 대한 국민적인 공감대 형성이 중요한 요소로 대두되고 있다.

수자원계획 수립 과정에서 일반 대중과 이해관계자들의 참여를 보장함으로써 보다 신뢰성 있는 계획이

* 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원E-mail : jwmoon@kict.re.kr

** 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원E-mail : sjchoi@kict.re.kr

*** 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원E-mail : dryi@kict.re.kr

**** 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 부장E-mail : syoon@kict.re.kr

수립될 수 있도록 하기 위해서는 이러한 과정을 뒷받침해줄 수 있는 도구의 활용이 필요하다. 이와 같은 역할을 할 수 있는 도구로는 과학기술부와 건설교통부가 공동으로 지원하는 21세기 프론티어 사업인 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 SEI-B(Stockholm Environment Institute-Boston Center)와 공동연구로 개발된 수자원계획 및 평가 모형인 K-WEAP(Korea Water Evaluation And Planning system) 모형이 있으며, 이를 활용함으로써 수자원계획과 관련된 국민적인 공감대 형성이 가능할 것이다.

K-WEAP은 SEI-B에서 기 개발된 WEAP 모형을 국내 실정에 맞도록 변경하고 한글화한 수자원 평가 계획 모형으로 현재에도 지속적인 보완작업이 이루어지고 있으며, 수자원계획과 분석에 대한 모든 절차를 구현하고 있는 모형이다. K-WEAP은 장기적인 수자원계획에 적합한 모형으로 수자원 수급 네트워크를 기반으로 선형계획법을 이용하여 하도 물 수지를 수행하며, 통합적이고 종합적인 계획 수립 구조와 뛰어난 시나리오 분석 기능을 제공한다. 또한 용수수요와 공급 관련 정보들을 관리할 수 있는 데이터베이스로서의 역할을 수행할 수 있어 계획 수립 과정에서 이용된 자료에 대한 공유가 가능하다는 장점이 있는 모형이다.

본 연구에서는 이러한 특성을 갖는 K-WEAP 모형을 이용하여 각 권역별로 2003년의 물 수급 현황을 분석하여 이를 하천의 관측유량과 비교해봄으로써 모형의 검증을 수행하였으며, 각 권역에서 시나리오별로 추정된 용수수요량을 이용하여 물 수지 분석을 수행함으로써 목표연도별 물 수급 분석결과를 제시하였다. 물 수급 분석 시 지하수 및 농업용 저수지 등 하천과 다목적댐 이외의 지역 공급원에 대해서도 고려하였으며, 이를 통해 수자원계획 수립의 기반이 되는 자료를 제공하고자 하였다.

2. K-WEAP 모형의 개요

K-WEAP은 한국건설기술연구원과 SEI-B(Stockholm Environment Institute - Boston Center)와의 공동 연구로 기존의 WEAP(Water Evaluation And Planning System) 모형의 기능을 개선하여 우리나라의 여건에 적합하도록 수정하여 개발한 통합수자원평가계획모형이다. K-WEAP의 모태가 되는 WEAP은 초기 SEI(Stockholm Environment Institute)의 지원에 의해 개발이 시작되었으며, 현재에 이르기까지 10년 이상 지속적으로 연구 개발되고 있는 전문화된 수자원평가계획모형이다. WEAP은 그동안 USACE-HEC(US Army Corps of Engineers - Hydrologic Engineering Center)의 지원으로 많은 부분이 보완되었고, 지금은 UN, World Bank, USAID와 Global Infrastructure Fund of Japan 등 많은 세계 기관으로부터 지원을 받고 있다. 현재 미국과 멕시코, 중국, 중앙아시아, 아프리카, 이집트, 이스라엘, 인도 등 세계 여러 지역에서 활용되고 있다.

K-WEAP은 이러한 WEAP을 기반으로 현재 한국건설기술연구원이 주도하여 개발하고 있는 한국형 통합수자원평가계획모형으로서 국내에서 사용이 적합하도록 WEAP의 모의형태 개선과 평가방법 개선, 한글화 등을 이룩하였으며, 기존의 WEAP에 없는 하천수질 모의 기능을 개발하여 추가하였다. 앞으로 지표수-지하수의 연계운영 체계의 개선과 경제성분석 모듈 등의 추가 개발을 계획하고 있다. 이러한 K-WEAP의 가장 큰 특징은 수자원계획과 평가의 모든 과정을 종합적으로 수행할 수 있는 구조를 갖고 있다는 점으로써 표 1과 같은 사용자 인터페이스와 모의모형으로 구축되어 있다.

표 1. K-WEAP 구성요소와 특징 및 기능

구 분	구 성 요 소	특 징 및 기 능
인터페이스	네트워크 편집 모듈	GIS를 기반으로 용수수급 네트워크를 도식적으로 손쉽게 구축하고 편집
	자료 입력 모듈	계층적 자료구조와 내장함수를 통하여 계산에 필요한 자료와 수식 입력
	시나리오 구축 모듈	의사결정수행도(Decision Tree)를 이용하여 다양한 시나리오를 빠른 시간 안에 손쉽게 구축
	결과 출력 모듈	다양한 그래프와 표를 통한 결과 제공
모의모형	수요량 추정 모듈	계층적 자료구조와 내장함수를 통하여 입력된 수요추정식에 따라 수요량 추정
	용수수급모의 모듈	지표수, 지하수, 대체수자원 등 다양한 공급원에 대해 수요처 공급우선순위, 수요선호도를 기반으로 하는 우선순위 시스템을 적용하여 물수지 분석으로 실제와 유사한 용수수급상황을 재현
	오염부하량산정 모듈	원단위를 기반으로 오염원으로부터의 오염발생량을 추정하고 오염원에서 하천까지의 저감효과 등을 고려하여 하천에 대한 오염부하량을 산정
	하천수질모의 모듈	점원 및 비점원 오염원의 하천오염부하에 대해 보존성 수질성분과 BOD, DO 등의 1차 분해성 수질성분에 대한 하천수질을 모의

3. K-WEAP을 이용한 4대 권역 물 수지 분석

3.1 물 수지 분석 절차

수자원장기종합계획에서의 물 수지 분석은 두 가지의 의미로 해석될 수 있다. 추정된 용수수요량과 하천유량 및 댐 제원 등 분석에 필요한 자료를 이용하여 수요와 공급의 균형을 평가하는 과정을 의미하는 작은 의미의 물 수지 분석이 있으며, 이를 통해 생성된 결과와 지역별로 분포하는 농업용 저수지 및 지하수 정보를 추가적으로 고려함으로써 물 수급 전망을 검토하는 넓은 의미의 물 수지 분석이 있다. 그림 1은 넓은 의미의 물 수지 분석에 대한 절차를 나타낸 것이며, 그림의 내용 중 물 수지 분석으로 표현된 항목이 작은 의미의 물 수지 분석을 의미한다. K-WEAP 모형은 그림 1의 세 번째 절차인 물 수지 분석 단계에서 적용되며, 본 연구를 통해서 제시되는 4대 권역별 물 수지 분석 결과는 넓은 의미의 물 수지 분석인 물 수급 전망에 대한 결과를 의미한다.

넓은 의미의 물 수지 분석, 즉 물 수급 전망은 그림 1과 같은 단계를 거쳐 이루어지며, 다음과 같이 그 절차를 기술할 수 있다.

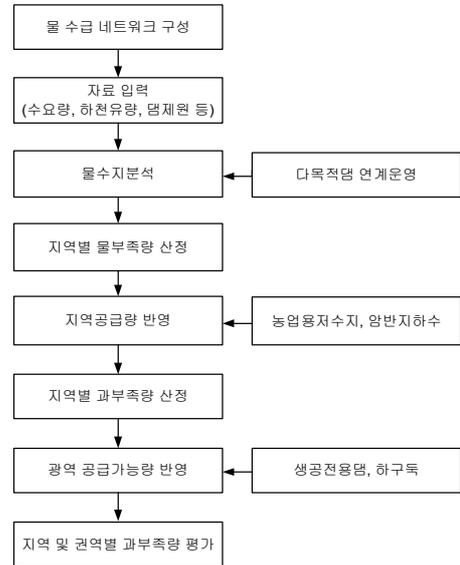


그림 1. 물 수급 전망 절차

- 117개 중권역별 하천유량과 수요량에 대한 자료를 구축하고 물 수지 분석 네트워크 구축을 통해 공급과 수요의 과부족 평가
- 하천 중하류의 대규모 수요처(생활·공업용수) 수요량을 자연하천수 공급에 의해 수행하며, 부족할 경우 다목적댐의 연계운영을 통한 물 공급 수행
- 농업용수 수요량이 많은 하천의 상류 및 지류의 중권역에서 발생하는 물 부족은 농업용 저수지와 지하수를 이용하여 공급
- 중권역에서 추가적인 물 부족이 발생하면 인접 지역의 생공전용댐, 하구둑 등과 같은 물리적으로 공급이 가능한 수자원 공급시설을 활용하여 해당 지역의 물 과부족량 평가

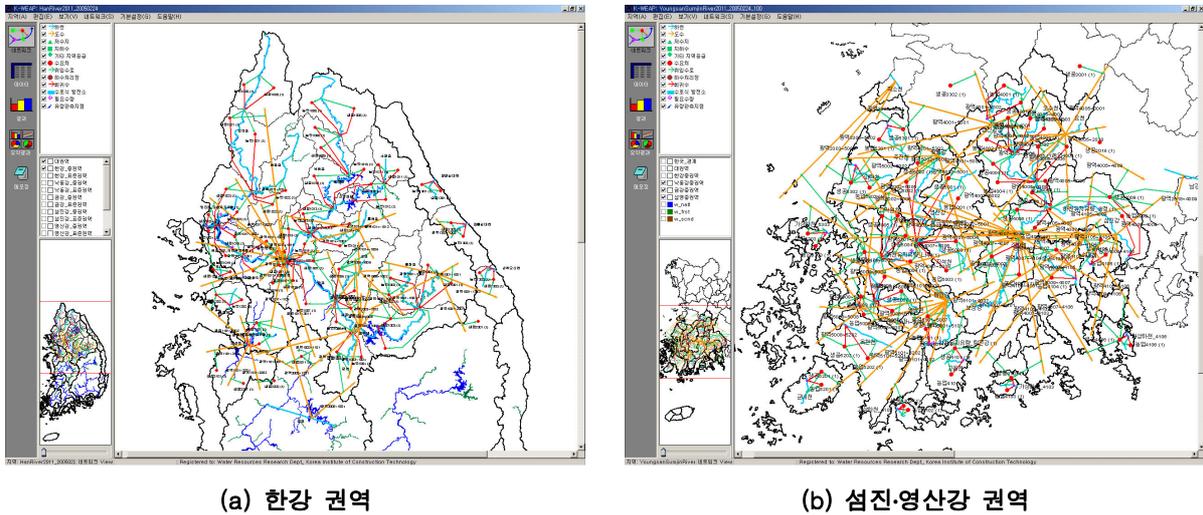
3.2 물 수지 분석 기초자료 구축

K-WEAP을 이용하여 물 수지 분석을 수행한 후 그 결과를 활용하여 4대 권역에 대한 물 수급 전망을 수행하기 위해서는 먼저 분석에 필요한 기초자료를 구축하는 것이 필요하다. 물 수지 분석을 위해서는 먼저 유역 구분과 함께 유역에 대한 수요량 및 하천유량 자료를 정리해야 하며, 유역에 위치한 댐과 같이 대표적인 수자원 공급 시설물의 정보를 수집하여야 한다. 금번 보완계획에서 물 수지 분석을 위한 유역의 구분은 수자원단위지도를 활용하여 전국을 117개 중권역으로 나누어 수행하였으며, 각 중권역별 용수수요량은 생활, 공업 및 농업용수와 같이 용도별로 적절한 방법을 활용하여 추정하였다. 또한 하천유량은 탱크모형을 활용하여 117개 중권역별로 산정하였으며, 댐 유입량의 활용이 가능한 중권역에서는 탱크모형을 통해 추정된 유출량을 대신하여 댐 유입량을 활용하였다.

3.3 물 수지 분석 네트워크의 구성

K-WEAP은 하도를 기준으로 물 수지 분석 네트워크를 구성하도록 되어 있는 모형으로 이는 기존 방법과 차이를 보이게 되는 요소이며, 화면을 통해 실제와 유사한 물 수지 네트워크를 갖추도록 구성이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 본 연구에서는 물 수지 분석 대상 지역인 전국 4대 권역(한강, 낙동강, 금강, 섬진

영산강권역)에 대해 K-WEAP을 이용하여 물 수지 네트워크를 구축하였으며, 그림 2는 이 중 한강과 섬진-영산강권역에 대한 물 수지 분석 네트워크 구축 화면을 나타내고 있다. 그림에서와 같이 K-WEAP을 이용하여 네트워크를 구축함으로써 대상 지역 전반에 대한 물 수급 구조를 보다 쉽게 파악할 수 있으며, 사용자의 입장에서 쉽게 수정 및 보완이 이루어질 수 있다.



(a) 한강 권역

(b) 섬진-영산강 권역

그림 2. K-WEAP을 이용한 물 수지 네트워크의 구축

3.4 K-WEAP 모형 및 물 수지 분석 네트워크 검증

K-WEAP 모형을 이용한 물 수지 분석 결과와 물 수지 분석 네트워크의 검증을 위해 각 권역별로 대표 지점을 선택하여 이용하였다. 미래에 대한 하천유량 실측치가 없으므로 2003년 수요량과 유출량 자료를 이용하여 실제 유출량 관측치와 K-WEAP을 통한 물 수지 분석 결과 중 하천유량 계산결과를 이용하여 검증을 수행하였다. 그림 3은 낙동강권역의 하천유량 계산결과와 진동수위관측소의 실측 하천유량을 비교하여 나타낸 결과로서 두 가지 결과가 유사한 경향을 나타내고 있음을 알 수 있으며, 이는 물 수지 분석을 위한 네트워크와 분석을 위해 이용된 기초자료가 비교적 합당함을 의미한다고 할 수 있다. 또한 이를 통해 K-WEAP 모형의 적용성을 판단할 수 있다.

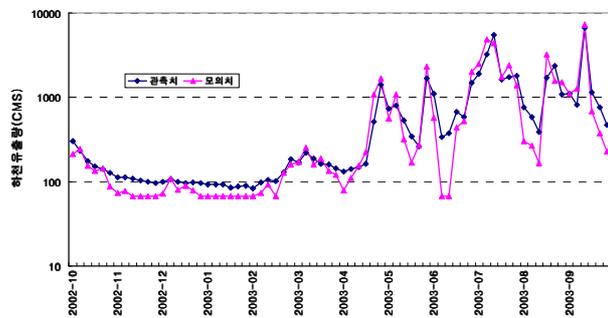


그림 3. K-WEAP 모형 및 물 수지 분석 네트워크 검증(낙동강 진동 지점)

3.5 4대 권역 물 수지 분석 결과

물 수지 분석을 위해 기초자료를 수집하고 각 권역에 대한 물 수지 분석 네트워크를 구축한 후 K-WEAP 모형을 이용하여 4대 권역에 대한 물 수지 분석을 수행하였다. 앞서 언급한 물 수지 분석 절차에서와 같이 기초자료를 K-WEAP에 입력하여 수요량과 하천유량, 다목적댐 연계운동을 고려한 물 수지 분석을 수행하였으며, 그 결과에 각 지역별 농업용 저수지와 지하수 이용가능량을 적용하여 최종적인 지역별 물 수급 전망 결과를 제시하였다. 이번 보완계획의 특징으로는 시나리오에 따라 고, 기준, 저수위의 세 가지 경우로 물 수급 전망 결과를 제시한 점을 들 수 있으며, 지역 공급원으로 17,760개소의 농업용 저수지의 공급

량과 지하수 공급가능량을 고려하였다는 점이다.

그림 4는 한강권역에 대해 계산된 최종적인 물 수급 전망 결과를 나타내고 있다. 이번 보완계획의 대상 기간인 1967년부터 2003년까지 37년 동안의 각 연도별 과부족량을 산정하였으며, 이를 토대로 각 권역별 최대 부족이 발생하는 시기를 판단할 수 있다. 그림에서 알 수 있듯이 시나리오에 따라 과부족량 발생 양상이 다르게 나타나고 있음을 알 수 있으며, 최대 부족이 발생하는 시기 또한 달라지고 있다. 이러한 결과를 나타내는 원인은 수요량의 변화에 따라 하천 본류에 위치한 지역에서 발생하는 부족량에 변화가 생기며, 이는 대규모 수요처에 대한 용수공급을 담당하는 다목적댐의 연계운영에 영향을 미쳐 나타나는 결과라 할 수 있다. 특히 한강권역에서는 북한지역에 위치한 금강산댐의 영향에 따라 한강본류의 물 부족이 심화할 경우 1978년의 부족이 크게 나타나며, 한강본류에 대한 물 공급이 해결될 경우 1988년이 최대 갈수년도로 나타나고 있다.

이와 같이 4대 권역별로 이러한 물 수지 분석 결과를 종합하여 수자원장기종합계획 보완을 위한 물 수급 전망 결과를 제시하였으며, 이를 바탕으로 보완계획의 물이용 계획이 수립되었다.

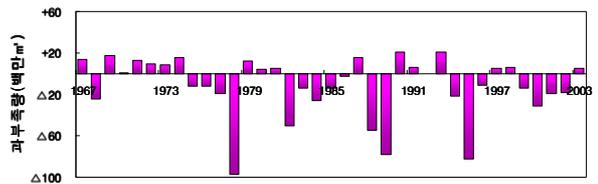
4. 결론

지금까지 K-WEAP 모형을 이용하여 각 권역별로 2003년의 물 수급 현황을 분석하여 이를 하천의 관측 유량과 비교해봄으로써 모형과 구성된 물 수지 분석 네트워크에 대한 검증은 수행하였으며, 각 권역별로 추정된 용수수요량을 이용하여 물 수지 분석을 수행함으로써 목표연도별 물 수급 분석결과를 제시하였다. 물 수급 분석 시 지하수 및 농업용 저수지 등 하천과 다목적댐 이외의 지역 공급원에 대해서도 고려하였으며, 이를 통해 국가 수자원계획 수립을 위한 기반 정보를 제시할 수 있었다.

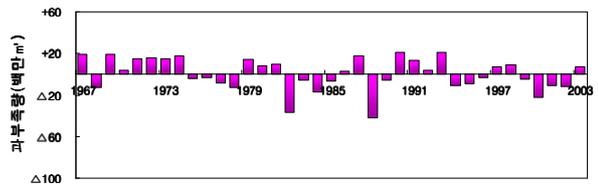
금번 수자원장기종합계획 보완은 계획 과정과 결과에 대한 투명성 확보라는 큰 목표를 가지고 수행되고 있으며, 이를 통해 국가 수자원 관리의 청사진을 제시하고 물 수급 전망 및 용수수급 계획을 수립하고 있다. 금번 보완계획에서는 물 수지 분석을 위해 K-WEAP 모형을 이용하여 있으며, K-WEAP을 이용하여 물 수지 분석을 수행함으로써 일반 대중에게 물 수급 평가 과정에 대한 이해력을 높일 수 있을 것이다. 또한 구축된 물 수지 분석 네트워크를 이용하여 누구나 쉽게 수정 및 보완을 수행할 수 있으므로 투명성 확보 및 공감대 형성이라는 수자원장기종합계획 보완의 목표를 이룰 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

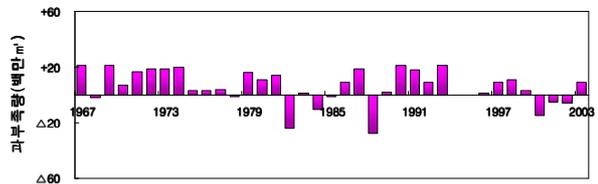
1. 건설교통부(2001), 수자원장기종합계획.
2. 과학기술부(2004), 21세기 프론티어 연구개발사업 - 수자원의 지속적 확보기술개발사업 -, 유역통합물수지 분석 및 수자원계획기술 개발 최종보고서.
3. 과학기술부(2004), 21세기 프론티어 연구개발사업 - 수자원의 지속적 확보기술개발사업 -, K-WEAP 통합 수자원평가계획모형 사용자 안내서.



(a) 고수요 시나리오에서의 연도별 과부족량



(b) 기준수요 시나리오에서의 연도별 과부족량



(c) 저수요 시나리오에서의 연도별 과부족량

그림 4. 한강권역의 물 수급 전망 결과
(목표년도 2011년)