

K-WEAP을 통한 수요관리 평가

Evaluation of the Water demand management based on K-WEAP

최시중*, 서재승**, 이동률***, 문장원****

Si-Jung Choi, Jae-Seung Seo, Dong-Ryul Lee, Jang-Won Moon

요 지

환경부에서는 2000년 3월에 수립·시행된 물 절약 종합대책의 실효성 확보를 위해 시도별로 “물 수요관리 종합계획”을 수립하여 환경부의 승인을 받도록 하였다. 수요관리를 위한 주요 정책 수단은 유수율제고, 절수기기 보급, 수도요금현실화, 중수도 설치, 하폐수처리수 재이용 등이며 2006년까지 서울, 제주도를 제외한 14개 시도에서 물 수요관리 종합계획을 수립하여 승인 받았다.

본 연구에서는 두 가지 측면에서 수요관리 절감량을 평가하고자 하였다. 첫 번째로는 환경부에서 시범평가에 사용하였던 수요관리 수단별 사업추진실적 평가 이외에 지자체에서 절수량을 고려하여 계획하였던 1인 1일급수량 및 유수율과 상수도통계에서 발표된 실제 1인1일급수량 및 유수율 자료를 이용하여 목표달성율을 산정하고 이를 이용해 평가하였다. 두 번째로는 통합수자원평가계획모형인 K-WEAP(Korea-Water Evaluation And Planning System) 모형을 통해 금강권역을 대상으로 사업추진실적 자료 및 절수량 산정식을 사용하여 K-WEAP 모형에서 수요관리 절수량을 산정하고 물수지분석을 수행하여 가용수량을 평가하였다. 수요관리 평가 기반이 구축된 K-WEAP 모형을 통해 여러 시나리오에 따른 수자원 절감가능량 산정 및 정부, 지자체의 수요관리 정책을 평가할 수 있으며 수요관리, 중수도 이용 등 다양한 수자원 보전환경의 변화를 용수수요 추정에 반영할 수 있다. 또한 수요관리 효과 증대방안 향상으로 국가 및 지자체 오염총량관리 계획 및 수자원장기종합계획 수립에 기술적 발전을 도모할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : 수요관리, K-WEAP, 수자원계획

1. 서론

전통적인 수자원 관리 정책은 장래 용수 수요량을 전망하고 이를 공급하기 위한 수자원 개발을 수행하는 공급관리에 주안점을 두어 왔다. 그러나 공급관리 정책은 경제성과 환경적인 문제로 지속적인 실행의 한계를 드러내고 있고 새로운 정책 방향을 필요로 하고 있다. 이런 정책방향에서 한정된 수자원의 재배분과 효율적 이용, 수요관리에 의한 물 절약 정책은 지속가능한 발전을 추구하면서 물 부족의 사회적 대응력을 향상시키기 위한 정책으로 자리 잡아가고 있다. 환경부에서는 2000년에 물 절약 종합대책 발표를 시작으로 시도별 물 수요관리 종합대책을 수립하고 있고, 수자원장기종합계획 수립에서는 수요관리 시나리오에 따른 장래 수요량을 예측하여 발표하였다. 그러나 수요관리 정책에 따른 절감량 및 수요량 평가 시스템의 부재로 수요관리 정책수립이나, 장래 용수수요량 예측에 어려움을 겪고 있다. 이에 따라 물 수요관리 효과를 정량적으로 평가하고, 이를 물 수급전망에 연계할 수 있는 시스템이 필요하다. 또한 수요관리 효과를 향상시키기 위해서는 다양한 지자체별 특성에 따른 수요관리 정책의 우선순위를 결정할 수 있는 의사결정 시스템의 기반을 구축하여 수요관리 정책 수립 시 활용할 수 있어야 한다.

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

** 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원-E-mail : jsseo@kict.re.kr

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

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

본 연구에서는 수요관리의 정량적 평가기법 개발 및 K-WEAP 모형을 통해 수요관리 절감량을 평가하였고, 수요관리 정책 우선순위 도출을 위한 의사결정 시스템 기반을 구축함으로써 수자원정책 수립에 활용하고자 한다.

2. 시도별 물 수요관리 종합계획 실적 평가

환경부에서는 시·도의 물 수요관리 종합계획 수립·시행을 활성화하고 지속적인 관리 체제 확보를 위해 '05년도 물 수요관리 종합계획 성과에 대한 시범평가를 실시하였다. 그러나 환경부의 평가는 사업량 측면만 고려된 것으로 본 연구에서는 환경부에서 시범평가하였던 추진실적 이외에 물 수요관리 종합계획에 계획되어 있는 지자체별 수요관리 목표량과 상수도통계에 수록되는 실측자료를 이용하여 절수사업의 효과를 분석하고, 수요관리 목표의 타당성을 검토해보았다. 검토 항목으로는 상수도 사용량의 단위지표가 되는 1인1일급수량(lpcd)와 우수율제고 사업의 결과를 파악할 수 있는 우수율(%)을 사용하였다. 1인1일급수량 목표달성율은 $(\text{목표값} - \text{실측값}) \times 100 / \text{목표값}$ 으로, 우수율 목표달성율은 $(\text{실측값} - \text{목표값}) \times 100 / \text{목표값}$ 으로 계산함으로써 1인1일급수량과 우수율의 목표달성율이 0보다 크면 목표를 달성한 것이고, 그렇지 않은 경우는 목표를 달성하지 못한 경우를 나타낸다. 그림 1과 2는 2005년과 2006년 시군별 1인1일급수량, 우수율의 목표달성율을 분석한 결과를 나타낸다. 분석한 결과 평균과 표준편차는 각각 -19.0, -9.7로 수요관리 목표를 달성하지 못한 시군이 많음을 알 수 있다. 또한 환경부의 시범평가에서 양호등급 및 보통등급을 받았던 광역시도들의 1인1일급수량 및 우수율의 목표달성율이 0보다 작은 경우도 있었다. 따라서 지자체별 물 수요관리 종합계획 수립시 현실을 반영하여 수요관리 목표를 조금 낮추어 수정할 필요가 있다고 판단된다.

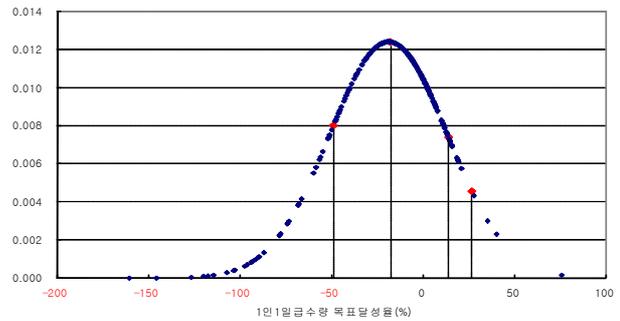


그림 1. 1인1일급수량 목표달성율 분포

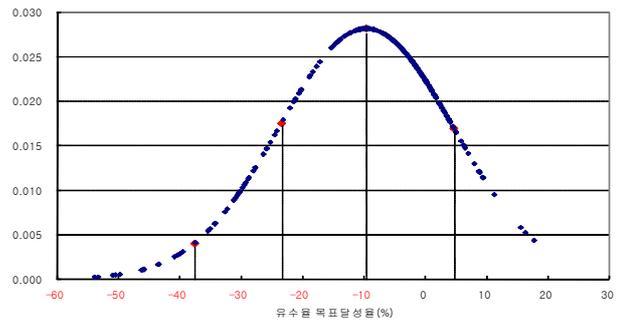


그림 2. 우수율의 목표달성율 분포

3. K-WEAP 모형을 이용한 수요관리 평가

3.1 K-WEAP 모형의 수요관리 평가 방법

K-WEAP 모형에서는 분류법이나 총계법을 사용하여 수요 절감을 위한 다양한 수요관리(Demand-Side Management: DSM) 전략의 효과를 모형화할 수 있다. 분류법은 개별 항목에 대한 물사용량을 변화시키는 방법이다. 예를 들어 효율적인 세탁기의 사용을 촉진하는 계획을 모형화할 경우 세탁기의 물사용량을 감소시키거나(세탁기에 대해 하나의 항목만 있는 경우), 효율적인 세탁기의 비율을 증가시킬 수 있다(세탁기에 기존 세탁기와 효율적인 세탁기의 두 가지 항목이 있을 경우). 분류법은 사용자의 수요 데이터가 이미 최종 용도 또는 기기로까지 분류되어 있는 경우 매우 유용하다. 그러나 대부분의 수요 분석은 그렇게까지 분류되어 있지 않기 때문에 주로 총계법을 이용한다. 총계법은 수요 관리 프로그램에 의해 절감될 수 있는 수요량의 수요처 총수요에 대한 비율을 수요관리절감률에 입력하는 방법이다. 예를 들어 효율적인 세탁기와 변기가 기존

의 것들보다 물소비를 60% 적게 만들었고, 이들이 한 수요처에 대해 총물소비량의 4%를 차지한다면, 수요관리절감률은 2.4%가 되는 것이다.

3.2 K-WEAP 모형을 이용한 물 수급 네트워크 평가

물 수요관리 실적 자료는 환경부에서 현재 2005년에 대한 내용만을 제시하고 있어 이를 평가하기 위해 2005년에 대한 일별 분석을 금강권역에 대해 수행하였다. 물 수요관리 실적이 행정구역별로 제시되어 있기 때문에 생활, 농업용수 수요처를 행정구역별로 구성하였으며, 농업용수 수요처는 수자원장기종합계획(2006~2020) 자료를 이용하여 중권역별로 구성하였다. 자연유출량 산정을 위해 강우-유출 모형인 Tank 모형을 이용하여 중권역별로 산정하였으며 매개변수는 수자원장기종합계획에서 이용한 추정치를 사용하였다. 구축된 금강권역 물 수급 네트워크는 그림 3과 같다. 구축된 물 수급 네트워크와 수량 및 공급시설에 대한 2005년 자료를 이용하여 물수지 분석을 수행하였다. 댐 방류량 자료는 2005년 실제 댐 방류량 자료를 이용하였으며, 각 중권역별 지하수 이용량을 공급시설로 고려하였고, 회귀율 조정 등을 통해 구축된 물 수급 네트워크의 신뢰성을 확인하고자 하였다. 구축된 네트워크 모형과 산정된 수량, 회귀율 등을 검증하기 위해 다목적댐에 대한 실제 저수량 변화와 모의한 결과를 비교하였으며 수위관측소에서 관측된 유량과 모의치를 비교함으로써 구성된 물 수급 네트워크의 신뢰성을 분석하였다. 그림 4는 용담댐 저수량에 대한 실측치와 모의치를 도시한 결과이며, 그림 5는 공주수위관측소에 대한 관측치와 K-WEAP 모형을 통한 모의치 결과를 도시한 것이다. 용담댐과 공주수위관측소에서 관측치와 모의치의 상관계수는 0.994와 0.951을 나타내고 있으며 결과를 통해 구축된 물 수급 네트워크를 이용하는 데는 무리가 없다고 판단된다.

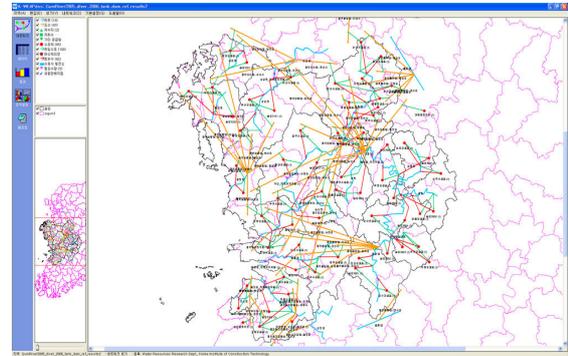


그림 3. 금강권역 물 수급 네트워크

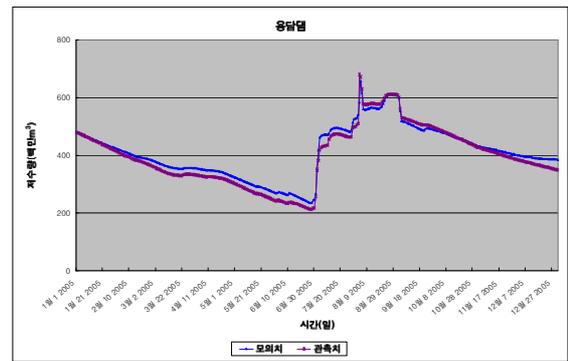


그림 4. 용담댐 저수량 모의치와 관측치

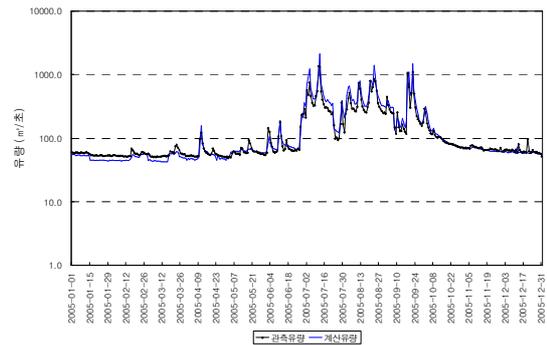


그림 5. 관측유량과 계산유량(공주관측소)

3.3 물 수요관리 평가시스템 구축 및 분석

물 수요관리 평가시스템을 K-WEAP 모형에 구축하기 위해 우선 물 수요관리 종합계획 보고서에 수록되어 있는 각 시군별 절감량을 고려하지 않은 수요계획량 자료와 실적자료를 이용하여 절감량을 산정한 결과를 정리하였다. 환경부에서 제시한 절수량 산정식과 각 시군별 수요관리 실적을 통해 수요관리 절수량을 산정할 수 있으며 이는 그림 6과 같이 K-WEAP 모형에서 산정할 수 있다. K-WEAP 모형에서는 앞서 기술한 바와 같이 분류법이나 총계법을 이용할 수 있으며 본 연구에서는 분류법을 사용하기에는 수요 분석이 최종 용도까지 자세하게 구축되어 있지 않기 때문에 총계법을 이용하였다. 그림 6과 같이 K-WEAP 모형에서 기타 가정을 통해 구축된 각 시군별 실적절감량을 각 수요처의 생활용수 수요량에 대한 비율로 수요관리절감률에 입력하여 수요관리에 대한 물 수급의 변화를 분석할 수 있으며, 과거 혹은 장래의 각 시군별 수요관리 실적자료만

획득할 수 있다면 K-WEAP 모형을 통해 각 시군별 수요관리 절감량을 간단히 산정할 수 있고 절수량 산정식이 바뀐다면 K-WEAP 모형에 구축되어 있는 수요관리 원단위만을 수정함으로써 쉽게 절수량을 산정할 수 있는 장점을 가지고 있다.

K-WEAP 모형을 통해 구축된 물 공급 네트워크와 물 수요관리 절감량, 용수 수요량 자료 등을 이용하여 물수지 분석을 수행하였다. 수요관리 절감에 의한 효과를 분석하기 위해 먼저 금강권역에 포함되어 있는 광역 시도별 물 수요관리 종합계획에서 제시한 각 시군별 절감량을 고려하지 않은 상수도수요량 예측값을 이용한 생활용수 수요량 자료로 입력하여 분석한 결과와 수요관리 절감 실적량 자료를 입력하여 분석한 결과를 비교, 분석하였다. 분석한 결과 2005년에 대해서는 두 가지 경우에 대해 물부족이 발생하지 않았다. 따라서 수요관리 절감에 따른 물 공급의 변화를 알아보기 위해 공급원(자체공급원: 농업용저수지, 광역공급원: 생공전용댐, 하구둑)을 고려하지 않고 하천유출량과 지하수 공급량만을 이용하여 수요관리 고려 여부에 따른 물 부족량 차이를 알아보았다. 금강권역에 대한 물 수요관리 실적량은 총 10.6백만 m^3 이며, 분석 결과 자체공급원과 광역공급원을 고려하지 않은 상태에서 2005년 금강권역 물 부족량은 수요관리 실적을 고려하지 않은 상태에서 474.65백만 m^3 /년이 발생했고, 수요관리 실적을 고려하였을 경우 474.01백만 m^3 /년이 발생함으로써 수요관리 실적을 감안하였을 때 물 부족량이 0.64백만 m^3 /년이 줄어든 것으로 나타났다. 또 다른 하나의 비교 방법으로 공중수위관측소에 흐르는 유량을 비교해 보았다. 수요관리 절감량을 고려하지 않은 경우 공중수위관측소를 흐르는 하천유량의 연총량은 5151.66백만 m^3 이고, 수요관리 절감량을 고려한 경우 연총량은 5154.49백만 m^3 으로써 2.83백만 m^3 의 차이를 보이고 있다. 수요관리를 통해 절약된 양을 물이 부족한 지역으로 공급하기 위해서는 별도의 시설이 필요하지만 현 수자원시스템에서는 그런 시설들이 없기 때문에 물 부족 해소에 큰 도움을 주지 못한 것으로 판단된다. 또 하나의 큰 이유는 수요관리 실적량이 10.6백만 m^3 이긴 하지만 일별 물수지 분석을 통해 입력된 일별 절감량이 0.029백만 m^3 밖에 되지 않으며 물수지 분석 결과를 살펴보면 물 부족이 발생하는 기간이 그리 길지 않아 수요관리 절감 효과가 줄어든 것으로 판단된다.

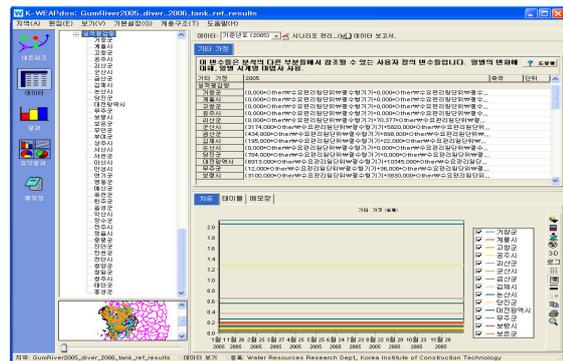


그림 6. K-WEAP 모형을 이용한 수요관리 절감량 산정

5. 결론

본 연구에서는 K-WEAP 모형을 이용하여 구축된 물 순환 네트워크에 대한 분석을 통해 얻은 모의치와 실제 관측치와 비교, 분석함으로써 신뢰성을 확인해보았다. 또한 각 시군별 수요관리 실적이 반영된 절수량을 평가할 수 있도록 K-WEAP 모형에 시스템 기반을 구축하였다. 이를 통해 수요관리 절감량을 검증할 수 있었다. 수요관리 평가 기반이 구축된 K-WEAP 모형을 통해 여러 시나리오에 따른 수자원 절감가능량 산정 및 정부, 지자체의 수요관리 정책을 평가할 수 있으며 수요관리, 중수도 이용 등 다양한 수자원 보전환경의 변화를 용수수요 추정에 반영할 수 있을 것으로 판단된다.

수요관리 평가 기반이 구축된 K-WEAP 모형을 통해 여러 사업수단에 따른 효과를 분석할 수도 있으며, 각 사업수단에 대한 내용을 여러 시나리오로 구축하여 비교, 분석이 가능할 뿐만 아니라 지표수, 지하수, 대체수자원 연계 운영 등을 통해 보다 합리적인 효과를 도출해낼 수 있을 것이다. 또한 K-WEAP 모형은 모든 이해관계자와 정책결정자가 이해할 수 있는 일반적인 과정과 투명한 자료를 제공할 수 있다는 장점을 가지고 있으며 사용한 자료(DB)와 분석결과를 공유함으로써 투명한 의사결정과정을 지원해 줄 수 있을 것이라 판단된다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호

#1-5-3)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 강원도(2004). 강원도 물수요관리 종합계획(안).
2. 건설교통부(2006). 수자원장기종합계획(2006 ~ 2020).
3. 광주광역시(2006). 광주광역시 물수요관리 종합계획.
4. 경기도(2005). 경기도 물수요관리 종합계획.
5. 경상남도(2004). 경상남도 물수요관리 종합계획.
6. 경상북도(2005). 경상북도 물수요관리 종합계획(안).
7. 대구광역시(2005). 대구광역시 물수요관리 종합계획.
8. 대전광역시(2006). 대전광역시 물수요관리 종합계획.
9. 부산광역시(2005). 부산광역시 물수요관리 종합계획.
10. 울산광역시(2005). 울산광역시 물수요관리 종합계획.
11. 인천광역시(2006). 인천광역시 물수요관리 종합계획(안).
12. 전라남도(2005). 전라남도 물수요관리 종합계획.
13. 전라북도(2005). 전라북도 물수요관리 종합계획.
14. 충청남도(2005). 충청남도 물수요관리 종합계획(안).
15. 충청북도(2004). 충청북도 물수요관리 종합계획.