

수요관리에 의한 물수급변화 분석

A Study of Water Budget Analysis According to The Water Demand Management

서재승[†] · 이동률 · 최시중 · 강성규

Jae-Seung Seo[†] · Dong-Ryul Lee · Si-Jung Choi · Seong-Kyu Kang

한국건설기술연구원 수자원환경연구본부 수자원연구실

Water Resource Research Division, Korea Institute of Construction Technology

(2011년 10월 17일 접수, 2011년 11월 28일 채택)

Abstract : In this study, we developed the assessment method that evaluate the water demand management and calculate the water saving volume using water use indicator, and developed the system to link the water saving volume that occur through demand management and water supply and demand. The results from this study, local governments with poor water conditions should be followed to improve the water supply. And, future water demand estimates should be even considering it. We calculated the water saving volume of the Geum River basin using K-WEAP (Korea-Water Evaluation And Planning System) and performed the water budget analysis. We found that the change of river flow, ground water level and reservoir water level, and it can be utilized for other demand.

Key Words : Water Demand Management, K-WEAP, Water Budget Analysis, Water Saving Volume, Water Supply Per Person a Day

요약 : 본 연구에서는 물 사용관련 주요 지표인 1인1일 급수량을 이용하여 수요관리 추진 결과 분석 및 절감량을 산정하고, 수요관리를 통하여 발생하는 절감량을 물 수급전망에 연계할 수 있는 시스템을 개발하였다. 1인1일 급수량 분석결과 상수도 여건이 열악한 지자체는 상수도 보급 개선이 선행되어야 하며, 장래용수수요량 추정시에도 이를 고려하여야 할 것으로 판단된다. 금강권역을 대상으로 수요관리 절감량을 산정하고 K-WEAP (Korea-Water Evaluation And Planning System)을 이용하여 물수지 분석을 수행한 결과 하천유량 변화 및 지하수와 저수지저수량 증가를 확인하였으며, 이는 다른 용도로 활용 가능하다고 판단된다.

주제어 : 수요관리, K-WEAP, 물수지분석, 절감량, 1인1일 급수량

1. 서론

현재의 수자원 정책은 공급관리 정책에서 벗어나 한정된 수자원의 재배분과 효율적 이용, 수요관리 등을 통하여 가용 수자원을 효과적으로 활용하는 정책이 중요시 되고 있다.

환경부에서는 절수기기 및 중수도 설치 확대, 절수형 수도 요금체계 도입, 노후수도관 교체 등 물 절약 종합대책의 정책과제를 내용으로 하는 ‘물 절약 종합대책’을 적극적으로 추진하여 2009년까지 모두 8억 6천 8백만 톤의 수돗물을 절약하는 성과를 거두었다고 발표하였으며,¹⁾ 전국수도종합계획²⁾ 수립시 절감량을 고려하여 장래수요량을 예측하였다. 「수자원장기종합계획³⁾」 수립에서는 통계적인 기법을 적용하여 환경부의 수요관리 정책추진 전후의 물 수요 패턴 차이를 분석하고 이를 수요관리에 의한 절감량으로 구분하여 수요관리 시나리오에 따른 장래수요량을 예측하여 발표하였다.

물 수요관리 프로그램의 평가를 위해서는 1) 프로세스 평가를 위한 데이터를 수집하고, 2) 평가 대상을 선정하여, 3) 프로그램의 효과를 측정한다. 프로그램의 효과 측정의 주요내용은 ① 물 절감량을 어떻게 측정하는가? ② 장래의 물 절감량을 어떻게 전망하는가? ③ 물 절감량을 측정하는데

있어서 불확실성의 수준은 어느정도인가? ④ 전망된 물절감량은 수요관리 프로그램 운용비용 측면에서 적당인가? 그리고 장기 물 공급계획에 반영할 수 있을 만큼 신뢰성이 있는가? 이다. 평가방법에는 공학적인 방법과 통계학적인 방법 또는 여러 가지 방법들을 연계 혼용하여 사용하고 있다.⁴⁾ 국내의 관련연구를 살펴보면, 한국환경정책평가연구원에서는 현재 물 절약 종합대책의 절수실적 평가가 절수기기 원단위 중심으로 이루어지고 있어 원단위에 의한 계량화 방법과 계량화하기 힘든 추진수단에 대한 문제점이 제기되었고, 이에 따라 실제 절수량을 정확히 파악할 수 있고 물 수요관리 실적을 종합적이고 전문적으로 평가할 수 있는 성과지표와 평가시스템이 필요하다고 분석하였다.⁵⁾ 김종원 등은 기존의 물 수요관리 평가가 목표치의 달성에 따른 실적위주의 평가의 틀을 벗어나지 못하고 있으므로, 절수수단 및 지방자치단체의 상수도 재정 여건 등을 종합적으로 고려하여 실적을 평가할 수 있는 모형을 구축하고자 하였으며,⁶⁾ 환경부에서는 시·도의 「물 수요관리 종합계획」수립·시행을 활성화 하고 지속적인 관리체계 확보를 위해 물 수요관리 실적을 위주로 지자체별 물 수요관리 추진성과를 평가하여 그 결과를 발표하고 있다.⁷⁾

수요관리 계획 수립 및 시행을 활성화하고 물 수요전망에

[†] Corresponding author E-mail: jsseo@kict.re.kr Tel: 031-910-0685 Fax: 031-910-0251

수요관리 계획을 고려하기 위해서는 정량적인 평가와 함께 사회적인 변화, 지역의 물 수요 환경들의 변화에 따라 주기적인 수정·보완이 필요하다. 이에 따라 물 수요관리 효과를 정량적으로 평가하고, 이를 물 수급전망에 연계할 수 있는 시스템이 필요하다.

본 연구에서는 수요관리 전후의 1인1일 급수량의 변화를 파악하고, 1인1일 급수량을 이용하여 절감량을 산정하여 수요관리 사업실적 및 원단위를 이용한 절감량과 비교하였다. 또한 통합수자원평가계획 모형인 K-WEAP (Korea Water Evaluation And Planning System)을 이용하여 수요관리의 결과 발생하는 절감량이 물수급에 어떤 변화를 주는지 분석하여 장래 물수급전망에 활용할 수 있도록 하였다.

2. 연구방법 및 결과

2.1. 수요관리 전후의 1인1일 급수량 변화

2009년 12월말 현재 우리나라는 전체인구의 93.5%인 47,336천명이 상수도를 공급받고 있다. 전용공업용수를 제외한 1인1일 급수량은 332 L로 1997년 389 L(전용공업용수는 공업용수 수요량에 포함되어있으므로, 상수도통계에 발표된 1인1일 급수량에서 전용공업용수를 제외하고 다시 계산함) 이후 점점 감소하는 추세이다. 정부에서는 이를 절수기 설치, 중수도 재활용, 누수량 감소 등에 의한 것으로 판단하고 있다.

본 연구에서는 1인1일 급수량의 변화를 파악하기 위하여 수자원장기종합계획에서 사용하였던 1인1일 급수량 예측 방법을 적용하였다. 이를 통하여 수요관리 정책추진 이전의 시계열 자료 분석을 통하여 예측된 1인1일 급수량과 물질약 정책 및 수요관리종합계획이 수립된 이후의 실제 1인1일 급수량과 비교하였다. 실제 1인1일 급수량이 예측 1인1일 급수량보다 낮은 경우에는 정부의 발표와 같이 물수요관리에 의한 것으로 판단할 수 있으며, 동일하거나 높은 경우에는 물 수요관리에 의한 절감효과는 미미하며 오히려 증가추세라고 볼 수 있다. 분석대상 범위는 제주도 및 시계열 자료를 이용하여 예측이 불가능한 곳을 제외한 154개 시군 자료이고, 각 년도의 상수도통계⁸⁾를 이용하여 자료를 수집하였다. 분석결과 Fig. 1(a)와 같이 예측값에 비해 실측값이 높은 시군이 63개, 감소하는 시군이 64개(b), 결정계수 0.9 이상으로 예측값과 비슷한 경향을 보이는 시군 3개(c), 예측값을 기준으로 증가 혹은 감소를 번갈아 보이는 시군이 24개였다(d). 또한 상수도 보급률 및 1인1일 급수량의 크기에 따라 비슷한 경향을 보였고, 상수도 보급률이 낮은 지자체는 상수도 여건개선이 필요하다는 점을 고려하여 상수도 보급률 및 1인1일당 급수량 분포에 따른 그룹별 분석을 시행하였다. 그룹은 기준년도인 1997년의 보급률과 1인1일 급수량 자료를 이용하였으며, 대상 시군 154개의 상수도 보급률과 1인1일 급수량의 평균(각각 57%, 340 L) 및 표준편차(각각 25%, 108 L)를 고려하여 구분하였다. 시계열 예측의 기준년도인 1997년 이후 예측값에 대한 실측값의 크기를 비교하여

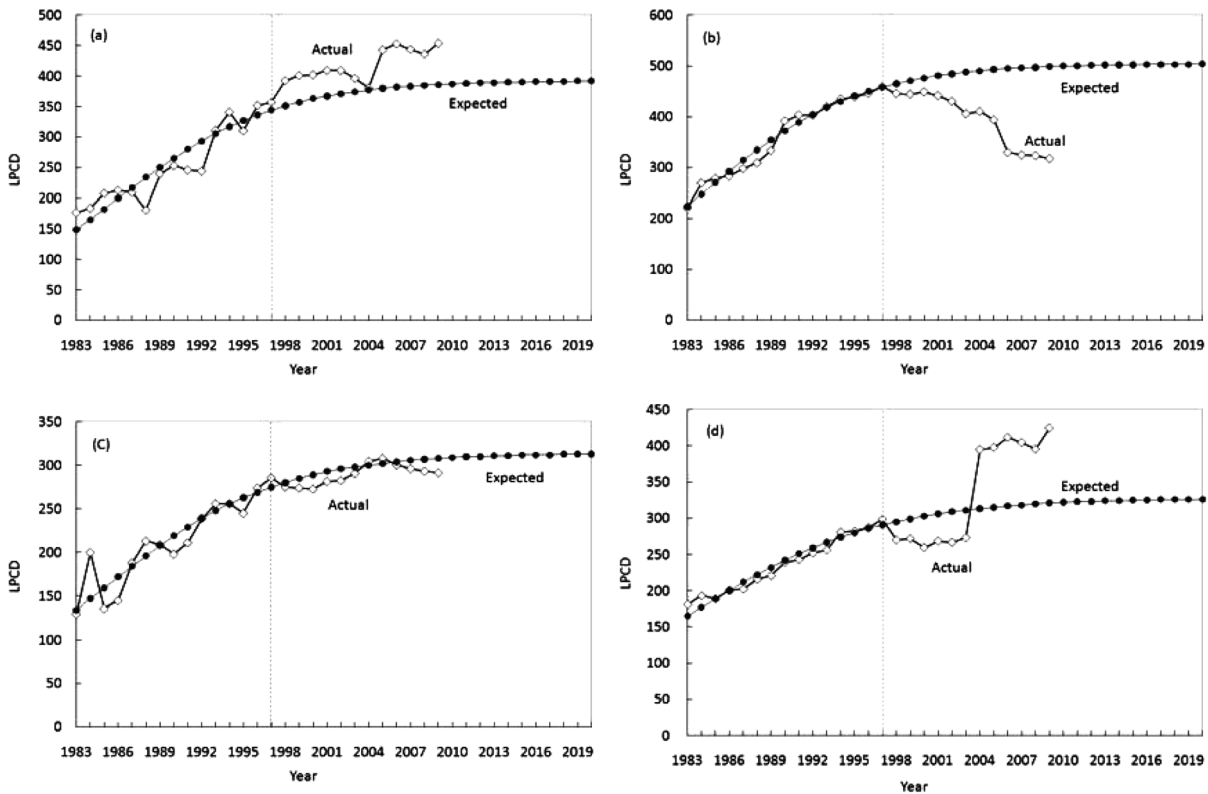


Fig. 1. Change of water supply amount per person a day.

Table 1. Change of water supply amount per person a day by water supply rate

Water Supply Rate (%)	Change	Number of City	Ratio (%)
≤ 40	Low	9	17
	High	28	54
	etc.	15	29
40-60	Low	14	37
	High	20	53
	etc.	4	11
60-80	Low	15	50
	High	9	30
	etc.	6	20
> 82	Low	26	76
	High	6	18
	etc.	2	6

변화를 분석하였으며, 분석결과는 Table 1과 같다. 분석 결과 보급률 40% 이하의 경우(Fig. 1(a)의 경향), 실제 1인1일 급수량이 예측 1인1일 급수량보다 높은 시군은 52개중 28개로 54%였고, 28개 시군 중 24개 시군은 실제 1인1일 급수량이 수요관리계획에서 계획한 1인1일 급수량보다 높은 것으로 나타났다. 보급률 80%를 초과한 경우에는 이와 반대로 34개 시군 중 76%인 26개 시군의 예측 1인1일 급수량이 실제 1인1일 급수량보다 높은 것으로 분석되었다(Fig. 1 (b)의 경향). 1인1일 급수량을 기준으로 분류한 경우에도 비슷한 경향을 보였다.

따라서 상수도 여건이 열악한 지역은 장래의 상수도 보급률 증가 및 1인1일 급수량 증가를 고려한 수요관리 계획 수립이 필요하며 또한 장래용수수요량 추정시에도 이를 고려하여야 할 것으로 판단된다.

2.2. 수요관리에 따른 물수급 변화

서론에 정리하였듯이 수요관리의 결과 2009년까지 모두 8억 6천 8백만 톤의 절감효과를 거두었다는 정부의 발표가 있었다. 본 장에서는 이와 같이 수요관리로 인해 발생한 절감량이 물수급변화에 어떻게 반영되는지 파악하기 위하여 K-WEAP을 이용하여 물수지 분석을 수행하였다. 물수지 분석을 위한 절감량 산정은 환경부에서 적용한 수요관리 사업

실적 및 원단위를 고려하는 방법과 수요관리 전후의 1인1일 급수량 변화를 고려한 방법을 각각 적용하였다.

수요관리 사업실적 및 원단위를 이용한 절감량 산정은 Table 2의 원단위와 사업실적을 이용하여 산정 할 수 있다. Table 2에서 가정용변기의 원단위가 34.8 m³/년 · 개이고 금강권역의 사업실적이 35,548개이므로 절감량은 619 천m³/년이 된다(절감량 = 사업실적(변기수 : 35,548개) × 원단위(34.8 m³/년 · 개) × 0.5 = 618,535 m³/년, 사업실적에 의한 효과가 모두 발생한다고 볼 수 없으므로 일률적으로 50%를 적용함). 1인1일 급수량을 이용한 절감량 산정방법은 다음과 같다. 시도별 물 수요관리 종합계획(안)⁹⁾에서는 시군별 장래 물 수요량을 예측한 후, 유수율 제고, 절수기기 설치 등 물 수요관리 사업계획을 수립하고 사업에 따른 절감량을 산정하여 수요관리 효과를 고려한 장래수요량 및 1인1일 급수량을 예측하였다. 따라서 물수요관리 종합계획 수립 및 시행 이후 상수도 통계에서 발표된 1인1일 급수량은 수요관리 절감효과가 반영된 사용량이라고 할 수 있으므로, 물 수요관리 종합계획에서 예측한 1인1일 급수량과 수요관리 절감효과가 반영된 실제 1인1일 급수량의 차이를 절감량으로 산정하였다.

물수지분석 수행 후 하천유량 변화를 파악하기 위하여 금강의 주요지점인 공주지점과 미호천을 선택하였다. 미호천은 댐방류량의 영향을 받지 않는 비교적 큰 하천으로 회귀율이 물수급에 주는 영향을 분석하였고, 공주지점은 상류에 위치하는 댐의 영향을 받고, 광역상수도에 의한 취수 물수급 네트워크가 복잡하므로 이에 따른 영향을 분석하였다.

금강권역은 21개의 중권역으로 이루어져 있으며, 행정구역은 대전광역시, 충청남도, 충청북도, 전라북도의 대부분의 지역과 경기도 안성시와 경상북도 상주시 일부를 포함하여 40개 시 · 군이 포함되어 있다. 이중, 공주지점의 유량에 영향을 주는 곳은 금강본류 및 본류에 유입되는 지류의 하천에서 취수하거나 광역상수도를 이용하는 32개 시군이고, 미호천하류에 영향을 주는 곳은 천안시, 청주시 등 8개 시군이다. 절감량을 산정한 결과 실적 및 원단위를 이용한 절감량은 금강권역 전체를 대상으로 할 경우 10,630 천m³/년, 공주지점에 영향을 주는 32개 시군의 절감량은 8,230 천m³/년, 미호천에 영향을 주는 시군은 1,214 천m³/년으로 산정되었다. 1인1일 급수량의 변화를 기준으로 절감량을 산정한 결과, 금강권역 전체를 대상으로 한 경우 예측수요량은 610,053 천

Table 2. Basic unit and performance per water demand management measures⁵⁾

Classification	Basic Unit	Performance
Domestic Toilet	34.8 m ³ /year · ea	35,548 ea
Domestic Water Tap	6.6 m ³ /year · ea	112,474 ea
Low Water Use Appliance	Accommodation	1,740 m ³ /year
	Bath House	19,230 m ³ /year
	Golf Course	2 ea
Wastewater Reusing System	m ³ /year	730.7 m ³ /year
Water Pipe Replacement	24,000 m ³ /year · km	216.2 km
Cost Recovery Rate	-0.189/price elasticity	

m³/년이며 실제 물사용량은 612,610 천m³/년으로 물 수요관리 리를 고려하여 예측한 수요량보다 많이 사용한 것으로 나타났다. 그러나 공주시점에 영향을 주는 시군의 경우 예측수요량은 548,747 천m³/년이고 실제 사용량은 547,320 천m³/년으로 1,426 천m³/년이 절감된 것으로 분석되었고, 미호천 하류에 영향을 주는 시군의 절감량은 8,093 천m³/년으로 분석되었다. 이 양은 유수율 제고, 절수기기 보급, 빗물이용시설 설치, 중수도 설치, 처리수 재이용 등 수요관리를 통하여 절감된 양으로 볼수 있다. 이와 같이 수요관리 사업 실적을 절감량과 1인1일 급수량을 이용한 절감량에 차이가 있는 것으로 나타났다. 이는 산정방식의 차이에 의한 것으로 실적을 이용할 경우에는 수요관리 사업실적이 있으면 실적과 원단위를 이용하여 절감량이 산정되나 1인1일 급수량을 이용할 경우에는 사업실적이 있는 경우에도 물수요관리종합계획에서 예측한 1인1일 급수량 보다 실제 1인1일 급수량이 높을 경우 절감량을 산정할 수 없기 때문이다.

2.2.1. K-WEAP 모형을 이용한 물수지분석

K-WEAP 모형은 하천, 댐, 지하수 등 공급원과 수요처 및 광역상수도 등 유역의 물리적인 물이용 순환체계를 컴퓨터 화면지도상에서 구현하고, 수량, 수질, 생태환경, 수요관리 및 수자원정책 시나리오 분석 등을 종합적으로 고려하여 통합 수자원계획 수립을 지원하는 전문 모형이다.¹⁰⁾

K-WEAP 모형은 분류법이나 총계법을 사용하여 수요관리를 반영할 수 있다. 분류법은 개별 항목에 대한 물사용량을 변화시키는 방법으로 사용자의 수요데이터가 최종 용도 또는 기

기로까지 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 비율을수요관리절감률에 입력하는 방법이다.¹¹⁾

2.2.1.1. 물 수급 네트워크의 검증

물 수급 네트워크의 구성은 Fig. 2와 같다. 농업용수의 수요처는 수자원장기종합계획에서 고려하였던 방법과 동일하게 중권역별로 구성하였으며, 생활·공업용수 수요처는 행정구역별로 구성하였다. 행정구역중 권역이 분리되는 시·군은 인구비 및 면적비를 적용하여 고려했고, 생활·공업용수와 농업용수의 회귀율은 각각 65%와 35%를 적용하였다. 강우-유출 모형인 Tank 모형을 이용하여 중권역별로 자연유출량을 산정하였고, 용담댐과 대청댐은 2005년 방류량 자료를 이용하였다. 구축된 물 수급 네트워크와 수요량 및 공급 시설에 대한 2005년 자료를 이용하여 물수지 분석을 수행하였다.

물 수급 네트워크의 검증을 위하여 공주수위관측소의 관측유량과 K-WEAP을 통하여 모의된 유량을 비교하였다. 신뢰성 검증을 위하여 제공된 평균제곱오차(DRMS; daily root mean square), 평균편차의 비율(PBIAS; percent bias), Nash-Sutcliffe 효율성 지수(NSE; Nash-Sutcliffe efficiency) 및 지속 모형 효율성 지수(PME; persistence model efficiency) 등의 통계값을 이용하였다.

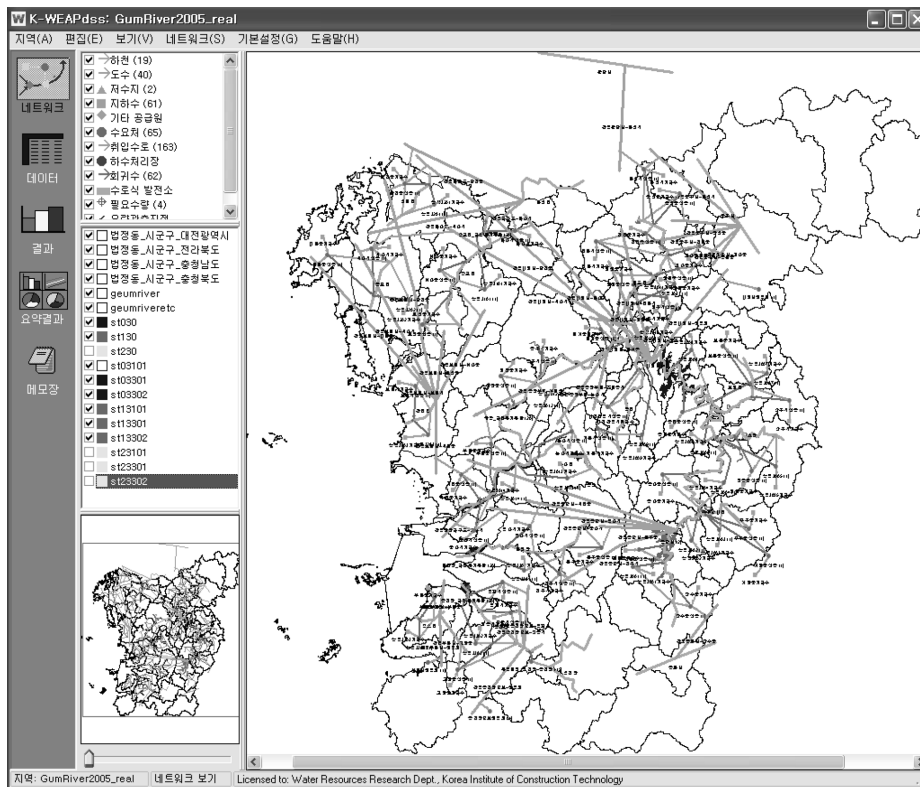


Fig. 2. Water budget network of the Geum River in K-WEAP.¹²⁾

$$DRMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (q_t^{sim} - q_t^{obs})^2} \quad (1)$$

$$PBIAS = \left[\frac{\sum_{t=1}^N (q_t^{obs} - q_t^{sim})}{\sum_{t=1}^N q_t^{obs}} \right] \times 100\% \quad (2)$$

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{t=1}^N (q_t^{sim} - q_t^{obs})^2}{\sum_{t=1}^N (q_t^{obs} - q^{mean})^2} \right] \quad (3)$$

$$PME = 1 - \left[\frac{\sum_{t=1}^N (q_t^{sim} - q_t^{obs})^2}{\sum_{t=1}^N (q_t^{obs} - q_{t-1}^{obs})^2} \right] \quad (4)$$

DRMS(단위 : m³/s) 는 예측오차의 표준편차이며 값이 적을수록 좋다. PBIAS(단위 : m³/s)는 모의된 값(q^{sim})의 관측치(q^{obs})에 대한 과대, 과소추정 여부를 나타내는 것으로 최적값은 0이며, (+)의 값은 과소추정 (-)의 값은 과대추정을 나타낸다. NSE는 관측치의 분산에 대한 잔차분산의 상대적인 크기를 나타내고, PME는 오차의 분산에 대한 잔차분산의 상대적인 크기를 나타낸다. NSE와 PME는 무차원 값이고 최적값은 각각 1이며 0보다는 커야 한다.¹³⁾ 분석결과 Fig. 3과 같이 관측유량과 모의유량의 일별 유량변화가 대체로 일치하였으며, 통계값도 Table 3과 같이 합리적인 수준으로 계산되어 구축된 물 수급 네트워크를 이용하는 데는 무리가 없다고 판단된다.

2.2.1.2. 미호천 하류 하천유량 변화 분석

K-WEAP에서는 수요관리 효과를 반영하기 위하여 1) 수요관리 사업실적 및 원단위를 이용하여거나, 2) 수요관리 효과로 인해 감소되는 1인1일 급수량 및 인구자료를 이용하여 물수지 분석을 수행할 수 있다. 또한 총계법을 이용하여 절감률을 산정하거나 절감량을 산정하여 수요량에서 직접 제외시

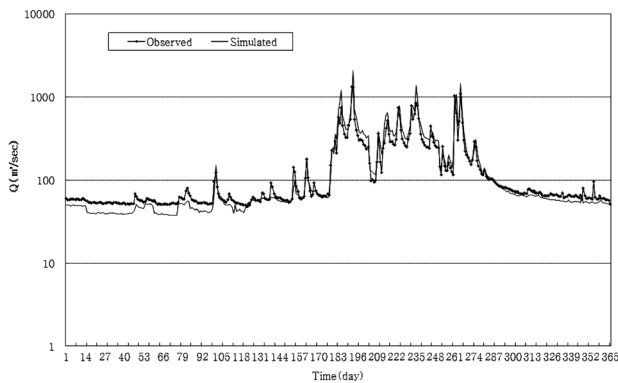


Fig. 3. Verification results of K-WEAP water budget analysis at Gongju.¹²⁾

Table 3. Statistics of the simulated streamflow at Gongju

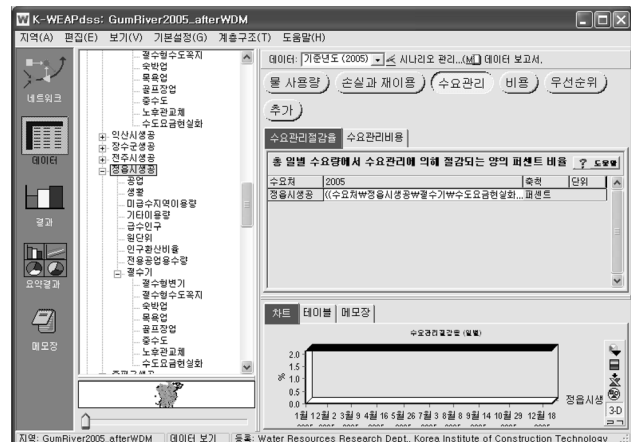
DRMS	PBIAS	NSE	PME	correlation coefficient
84,910	-10,882	0,776	0,415	0,951

킬 수도 있다. 총계법을 이용하여 수요관리 사업실적 및 원단위를 적용하는 방법은 다음과 같다. 먼저 기타가정(프로그램에 속해 있지 않은 사용자 정의 변수 및 수식을 만들 수 있음)에 사업실적 별 원단위를 정의하고, 생공용수 수요처의 사회경제지표에 사업실적을 입력한다(Fig. 4(a)). 수식편집기를 이용하여 수요관리절감률(총수요량에 대한 수요관리 절감량의 비율)을 산정하면(Fig. 4(b)) 그에 따른 따라 수요량이 적용되어 물수지분석을 수행하게 된다. 수요관리 전후의 1인1일 급수량 자료를 이용하기 위해서는 수요처의 사회경제지표에 1인1일 급수량 및 급수인구를 입력하고 수식편집기를 통하여 수요량을 산정하여 물수지분석을 수행하게 된다. 이와 같이 시스템을 구축하면 이후 사업실적이나 1인1일 급수량 등의 자료를 이용하여 간편하게 수요량 산정 및 물수지 분석이 가능하다. 또한 절수량 산정 방법 변화에 따라 산정식이 바뀔 경우에도 기타가정에 수식을 적용하여 쉽게 수정할 수 있다는 장점이 있다.

미호천의 물수지분석을 위하여 검증에 사용하였던 네트워크를 사용하였고, 수요관리에 따른 물수급 변화를 분석하기 위하여 수요관리 전후의 모든 조건은 동일하게 적용하였으며, 생활용수 수요량 자료만 변화하게 된다. 먼저 실적을 이



(a) Input the Work Performance



(b) Calculate the Daily Water Saving Volume

Fig. 4. Water saving volume calculation using K-WEAP.

용한 수요관리를 적용하여 물수지분석 수행후 미호천 최하류의 하천유량을 검토하였다. 실적을 고려한 경우 미호천의 최하류의 연중 하천유량은 Fig. 5와 같다. 실적 고려전후의 유량변화를 보여주고자 하였으나, 하천유량에 비해 절감량에 의한 유량변화가 미미하여 도표를 이용하여 확인이 어려웠다. 분석결과, 수요관리 전의 유량은 1,676.425 백만 m^3 /년, 수요관리후의 유량은 1,676.866 백만 m^3 /년으로 수요관리에 의해 441 천 m^3 /년의 유량이 더 흐르는 것으로 나타났으며, 이는 절감량 1,274 천 m^3 /년의 35%에 해당하는 양이다. 두 번째로, 수요관리 전후의 1인1일 급수량을 이용하여 분석한 결과, 수요관리후에 절감량 8,093 천 m^3 /년의 35%인 2,821 천 m^3 /년의 유량이 더해져 1,679.247 백만 m^3 /년의 유량이 흐르는 것으로 나타났다. 이와 같이 수요절감량이 모두 하천유량 증대에 기여하지 않는 이유는 회귀율에 의해 취수된 생활용수의 35%만 소모되기 때문이며 Fig. 6의 예제로 설명할 수 있다. Fig. 6에서는 생활용수 회귀율은 65%로 하고, 공급 우선순위는 광역상수 및 지하수가 동일하며, 하천을 한단계 낮은 조건으로 분석하였다. 그림을 보면 “A지점”의 경우 “a시”의 수요량은 50 m^3 /sec 감소하였으나 회귀율의 영향으로 하천유량은 17.5 m^3 /sec 증가하였다. “B지점”의 경우에는 “a시”와 “b시”에서 70 m^3 /sec의 절감량이 발생하였으나 “b시”는 우선순위에 의해 광역 및 지하수에서 수요관리 전과 동일한 양인 20 m^3 /sec을 취수하고, 나머지 양을 지하수와 하천에서 취수한

후 취수량의 65%인 52 m^3 /sec를 회귀하므로 “B지점”의 하천유량은 194.5 m^3 /sec 흐르게 된다. 이와 같이 회귀율의 영향으로 수요절감량 70 m^3 /sec의 35%인 24.5 m^3 /sec만 물수급에 영향을 주게 되며, 하천유량의 증대에 기여했다. 그러나 이렇게 증대된 하천유량은 하류로 흘러가는 유량으로 하천유지유량의 증가는 있었지만 추가적인 공급시스템이나 저류시스템이 없다면 용수공급시스템내에 확보되어 유용하게 사용될 수 없는 수량이다.

2.2.1.3. 공주수위표 지점 하천유량 변화 분석

수요관리에 의한 지하수, 댐저수지, 하천의 물수급의 변화를 파악하기 위하여 다음과 같은 조건으로 물수지분석을 수행하였다. 수요관리에 의한 댐 저수량의 변화를 파악하기 위하여 하류에 필요한 양만 방류되도록 부족공급방식(deficit supply)으로 댐운동을 하였고, 수요량 변화에 의한 지하수의 변동을 보기 위하여 지하수와 하천의 수요처선호도를 동일하게 하여 수요절감에 따라 지하수의 취수량도 변화되도록 하였다. 또한 수요관리 전후의 효과를 확실하게 분석하기 위하여 절감량이 더 큰 수요관리 사업실적 자료를 이용하였다. 금강분류의 하류에 위치한 공주지점을 기준으로 분석하기 위하여 공주수위표 지점 상류의 하천 및 광역상수도에서 취수되는 지하체만을 대상으로 하였으며 수요관리 절감량은 7,725 천 m^3 /년이다. 물수지 분석결과 공주지점의 하천유량은 1,754 천 m^3 /년 증가했고, 지하수저수량은 175 천 m^3 /년, 댐 저수량은 128 천 m^3 /년이 증가하여, 절감량의 약 27% 정도의 수량 변화가 있었다. 그러나 증대된 수량 중 1,754 천 m^3 /년은 하류로 흘러가는 유량이며, 수요관리로 인한 물 확보 효과는 저수지(댐) 및 지하수에 증가된 303 천 m^3 /년이라고 볼 수 있다. 이 양은 저류되었다가 다른 용도로 사용가능하다. 수요관리 절감량에 비해 유량변화가 적은 이유는 회귀율, 회귀지점 및 복잡한 용수공급 네트워크 때문이다. 먼저, 회귀율의 영향으로 절감량의 35% 정도가 유량변화에 기여하게 된다. 그러나 Fig. 2와 같이 복잡한 네트워크에 의해, 금강권역의 지하체에서 발생한 수요관리 절감량이 금강권역 물수급변화에 기여하지 못하고 다른 권역의 물수급 변화에 기여하거나, 다른 권역의 지하체에서 발생한 수요관리 절감량이 금강권역의 물수급 변화에 기여하게 되어 회귀율에 의한 변화 이외 추가적인 유량변화가 발생하게 된다. 즉, 생활용수 수요처인 지하체중 일부는 광역상수도를 이용하여 금강분류의 용수를 취수한 후 금강으로 회귀하지 않고 삼교천 등 다른 하천으로 회귀되므로 절감량이 공주지점의 유량변화에 기여하지 못한다. 또한 팔당댐이나 충주댐의 광역상수도와 금강의 하천수를 취수하는 지하체, 금강의 광역상수도와 삼교천, 만경강 등 기타 하천에서 취수하는 지하체 등 복잡한 네트워크에 의해 금강분류의 댐 이외에 다른 댐의 저수량이 증가하거나 삼교천, 만경강 등 다른 하천의 유량증대에 기여하게 된다. 따라서 금강분류의 대청댐, 용담댐의 저수량 변화, 공주지점의 하천유량 변화, 대상 지하체의 지하수저수량 변화만을 고려한 경우 절감량의 35%보다 적은 양의 유량변화가 있었다.

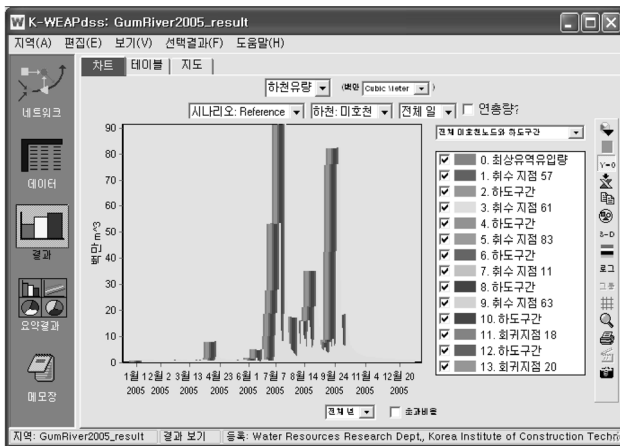


Fig. 5. Streamflow in Miho-cheon after water demand management.

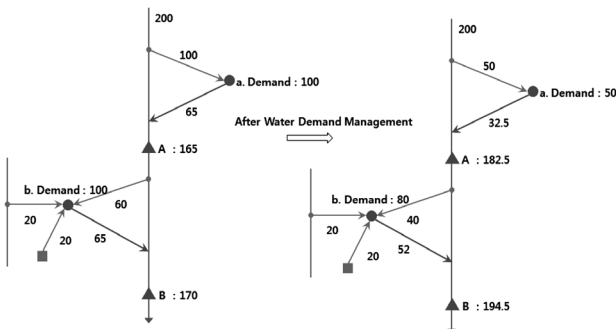


Fig. 6. Example of water budget analysis.

3. 결론

본 연구에서는 1인1일 급수량을 분석하여 물수요관리 이후 상수도 사용량 변화를 파악하고 절감량을 산정하였고, K-WEAP 프로그램을 이용하여 수요관리 효과로 인한 절감량이 물수급변화에 주는 영향을 분석하였다. 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 상수도 여건이 열악한 지역은 장래의 상수도 보급률 증가 및 1인1일 급수량 증가를 고려한 수요관리 계획 수립이 필요하며 또한 장래용수수요량 추정시에도 이를 고려하여야 할 것으로 판단된다.

2) K-WEAP 프로그램을 이용하여 수요관리에 의한 물수급변화를 분석할 수 있는 시스템을 구축하였다. 절감량 산정은 수요관리 사업실적 및 사업수단별 절감량 원단위를 이용하여 산정하는 방법과, 물수요관리계획 수립시 예측한 1인1일 급수량과 수요관리 시행 이후의 실제 1인1일 급수량의 차이를 이용하는 방법이 있다. K-WEAP에서 시스템을 구축하였으므로 장래 변화된 사업실적 및 원단위, 수요관리 전후의 1인1일 급수량 자료를 적용하여 간편하게 물수지분석을 수행할 수 있다.

3) 일별 물수지 분석결과 물수요절감량 전량이 하류에 필요한 수요량이나 하천유지유량에 기여하는 것은 아니며, 각 수요처별 수요절감량과 회귀율을 고려한 결과 일부분만이 하류의 물수급에 영향을 주는 것으로 분석되었다. 이와 같이 수요절감을 통해 추가로 공급할 수 있는 유량은 하류의 하천유지유량 등에 크게 기여할 수 있으나 고시된 하천유지유량을 초과한 유량은 바다로 유실되게 된다. 따라서 별도의 공급시스템이나 저류시스템을 건설하여 절약된 물을 가뭄 시나 물 부족 시 공급한다면 향후 풍부한 물 사용에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

KSEE

참고문헌

1. 환경부, 2007 환경백서, pp.618~619(2007).
2. 환경부, 전국수도종합계획(2007).
3. 건설교통부, 수자원장기종합계획(2006~2020)(2006).
4. Dauane D. Baumann, John J. Boland, and W. Michae Hanemann, "Urban Water Demand Management and Planning", *McGraw-Hill, Inc.*, p.283~301(1997).
5. 한국정책평가연구원, 친환경상품진흥원, 물 수요관리 종합대책 수립연구, p.7, p.24(2006).
6. 국토연구원, 물 수요관리 평가모형의 구축방안 연구(2006).
7. 환경부, 「물수요관리 종합계획」추진성과 시범평가 결과보고, (<http://www.me.go.kr/>).
8. 환경부, 상수도통계(1983~2009).
9. 물 수요관리 종합계획(안), 각 시도(2004~2006).
10. 최시중, 이동률, 문장원, 강성규, "통합수자원평가계획모형 K-WEAP의 적용성," 한국수자원학회지, **43**(7), 625~633(2010).
11. 한국건설기술연구원(2004). 통합수자원평가계획 모형 사용자 안내서, 한국건설기술연구원, pp.4~32.
12. 최시중, 서재승, 이동률, 문장원, "K-WEAP을 통한 수요관리 평가", 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회지, 경주, pp.560~564(2008).
13. Gupta, H. V., Sorooshian, S., and Yapo, P. O, "Status of automatic calibration for hydrologic model: Comparison with multilevel expert calibration." *J. Hydrol. Engineering, ASCE*, **4**(2), 135~143(1999).