

Water accounting에 의한 물관리 지표 산정방안

Estimation of Water Management Index using Water Accounting

류경식*, 황만하**, 정창삼***, 고익환****

Kyong Sik Ryoo, Man Ha Hwang, Chang Sam Jeong, Ick Hwan Ko

요 지

현재 우리나라는 유역전반에 걸쳐 얼마나 많은 유량이 사용되고, 어디에서 사용되며 저류되어 있는지, 생태유지 등을 위해 얼마나 많은 유지 유량이 필요한지, 현재 어느 정도의 유량이 확보되어 있는지 등에 대한 검증된 자료들이 전무한 실정으로 향후 수자원 관리에 있어서 효율적 관리가 매우 어려운 입장이다. 따라서 본 연구에서는 21세기 프론티어 사업의 일환으로 수행중인 ‘유역 물관리 운영 기술 개발’ 과제를 통해 산출된 금강유역의 소유역별 용수이용량 및 유출량 자료 등을 토대로 소유역별 시공간적 물이용 상황을 파악하고 물 관리 지표들을 산정함으로써 효율적인 운영이 가능하도록 하고자 Water accounting을 실시하여 시공간적 Water accounting지수를 산정함으로써 효율적인 운영이 가능하도록 하고자 한다.

핵심용어 : Water accounting, 물수지, 소비성, 이용성, 생산성

1. 서론

현재 우리나라는 유역전반에 걸쳐 얼마나 많은 유량이 사용되고, 어디에서 사용되며 저류되어 있는지, 생태유지 등을 위해 얼마나 많은 유지 유량이 필요한지, 현재 어느 정도의 유량이 확보되어 있는지 등에 대한 검증된 자료들이 전무한 실정으로 향후 수자원 관리에 있어서 효율적 관리가 매우 어려운 입장이다. 따라서 수자원의 효율적인 관리를 위해서 실제 유역의 시공간적인 물이용 상황을 정량적으로 평가할 수 있는 Water accounting이 실시되어야 할 것이다. 그러나 아직까지 Water accounting과 관련한 국내 연구의 사례는 찾아보기 힘들며, 유사한 연구로 물수지 분석만이 진행되어 왔다. 하지만, 물수지 관련 연구는 물 수요를 공급하기 위한 계획차원에서 이루어진 것으로 실제 유역의 시공간적인 물이용 상황을 나타내기는 어렵다. 따라서 통합수자원관리와 같은 보다 실질적인 수자원관리를 위해서 정기적으로 정밀하게 분석되는 Water accounting이 반드시 실시되어야 하며, 특히 향후 가용 수자원의 확보가 더욱 어려운 국내 수자원 환경 상황하에서는 더욱 더 중요하다. 따라서 본 연구에서는 21세기 프론티어 사업의 일환으로 수행중인 ‘유역 물관리 운영 기술 개발’ 과제를 통해 산출된 금강유역의 소유역별 용수이용량 및 유출량 자료 등을 토대로 소유역별 시공간적 물이용 상황을 파악하고 물 관리 지표들을 산정함으로써 효율적인 운영이 가능하도록 하고자 하였다.

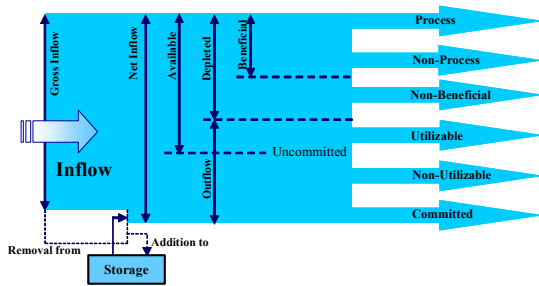
2. Water accounting

2.1 Water accounting의 정의

Water accounting은 대상유역(domain)에 대한 실질적인 물 순환 과정을 정량화하며, 이에 관련된 각종 지표를 산출하는 과정이다. 일반적으로 Water accounting의 분석결과는 대상유역과 시기에 따라 각각 상이하게 나타날 수도 있다. 국내 대부분의 유역들이 개발 계획단계에서는 어느 정도 목표가 되는 지표들을 가지

* 정회원.한국수자원공사 수자원환경연구소 위촉연구원E-mail : ksyoo@chungbuk.ac.kr
** 정회원.한국수자원공사 수자원환경연구소 수석연구원E-mail : hwangmh@kowaco.or.kr
*** 정회원.인덕대학 건설환경설계 교수E-mail : csjeong@induk.ac.kr
**** 정회원.한국수자원공사 수자원환경연구소 소장E-mail : ihko@kowaco.or.kr

고는 있지만, 운영차원에서의 정확한 지표는 없다고 할 수 있다. 검증된 지표의 부재는 부정확한 물 관리로 이어져 수자원운영의 효율성을 떨어뜨릴 수 있으며, 더 나아가 수자원이 부족해질 경우에 대한 대처능력을 저하시킬 수 있다. 따라서, Water accounting을 활용성이 대두될 것이며 이에 대한 구체적인 진행과정은 다음과 같다. 아래의 <그림 1>은 water accounting의 개념을 그림으로 도시하였으며, <표 1>은 <그림 1>에서 표현된 각종 용어들의 정의를 서술했다.



<그림 1> Water accounting의 모식도

유입량은 총유입량(gross inflow)과 순유입량(net inflow)으로 정의될 수 있으며, 이 둘의 차이는 저수지의 유입량과 방류량의 고려 유무에 따라 달라진다. 또한, 유입량은 크게 하류 방류와 이용수량으로 구분되며, 이용수량은 경제적인 이용수(농업, 공업, 생활용수 등)와 비경제적인 이용수(증발산, 등)로 구분할 수 있으며, 또한 경제적인 이용수는 공업용수 등과 같이 인위적 조작(process)이 가능한 용수와 자연작용의 성장 등과 같이 인위적인 조작(non-process)이 없이 사용되는 용수로 구분된다.

2.2 Water accounting의 각종 지표

Water accounting에 활용되는 지표들은 용도에 따라 다양하게 구성될 수 있다. 이 중 일반적으로 사용되어지고 있는 지표들을 나열하면 아래의 <표 2>와 같다. 지표들은 크게 소비성을 나타내는 지표인 Depleted Fraction(DF), 이용성을 나타내는 지표인 Process Fraction(PF), 생산성을 나타내는 지표인 Productivity of Water(PW)의 3가지로 대별된다. DF는 개발가능성이 있는 수자원이 어느 정도이며, 완전개발에 어느 정도 가까이 와 있으며, 대상지역이 향후 수자원 공급 관리에 있어 안전한가 아닌가를 나타내는 지표이다. 예를 들어 그 값이 1.0을 넘는 값을 나타낸다면, 유입량보다 많은 양이 사용되고 있는 것으로 대상지역에서 지하수와 같은 대체 수자원이 대규모로 개발되어 사용되고 있음을 알 수 있다. PF는 대상지역내 총소모 수량 대비 조작 가능한 소모수량의 비, 혹은 대상지역내 총 용수사용수량 대비 조작 가능한 소모수량의 비를 나타내는 것으로, 수자원의 관리 효율성을 평가하는 지표이다. PW는 사용된 단위수량을 통해 얻어진 경제적 가치를 표현한다.

3. 적용대상유역 및 기초자료

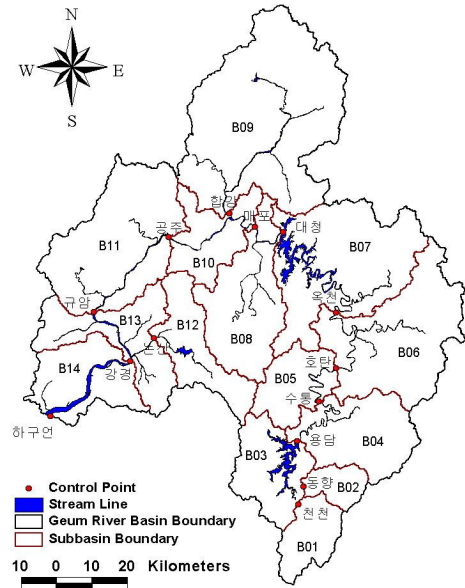
본 연구는 현재 21세기 포인터연구개발사업중 수자원의 지속적 확보기술개발사업의 일환으로 진행되고 있는 “유역 물 관리 운영 기술 개발”에서 적용대상유역으로 선정된 금강유역의 14개 소유역을 대상으로 하였으며, 또한 상기와기에 적용된 RFRS모형을 통해 적용되고 선정된 소유역별 수문자료 및 산정자료를 기반으로 분석하였다. <그림 2>는 적용대상지역인 금강유역의 14개 소유역으로 구분된 유역 분할도이다.

<표 1> Water accounting의 주요 용어에 대한 정의

용어	해설
Available water	유입량 중 의무방류량을 제외한 가용 수자원량
Basin or sub-basin accounting	유역 혹은 소유역 단위의 water accounting
Closed basin	수자원의 이용이 완전히 이루어진 유역
Committed water	하류로 공급되어야하는 의무 방류량
Depleted fraction	process 혹은 non-process에 의해 소모되는 가용수량
Domain	water accounting을 실시하는 대상유역 (시간과 공간에 영향)
Fully committed basin	모든 하류 방류량이 의무 방류량뿐인 유역, 하천용수를 모두 소모한 유역
Gross inflow	대상지역에 들어오는 유입 총량
Net inflow	Gross inflow에서 저수지에서의 변화만큼을 추가한 유량
Non-depletive uses of water	하천수의 취수 없이 용수를 활용하여 경제적 이득을 얻는 용수이용
Non-process depletion	의도된 취수과정보다는 다른 목적들에 의해 임의로 활용되는 유량
Open basin	Uncommitted utilizable outflow가 존재하는 유역
Process depletion	계획된 목적을 위해 전환되거나 소모된 수량
Process fraction	총 소모수량 대비 process depletion의 비
Productivity of water	유입량 대비 생산된 수량의 경제적 가치
Uncommitted outflow	하류에서 필요로 하는 양을 초과하는 방류량
Use level accounting	세부적인 water accounting (특정 항목별)
Utilizable water	하류에서 이용가능한 방류량
Water depletion	유역내에서 향후 이용 불가능한 상태로 사용되거나 취수된 물

<표 2> Water accounting에 이용되는 각종 지표들

해당분야	각종 지표
소비성: Depleted Fraction(DF)	$DF_{net} = \frac{\text{Depletion}}{\text{Net Inflow}}$ $DF_{gross} = \frac{\text{Depletion}}{\text{Gross Inflow}}$ $DF_{available} = \frac{\text{Depletion}}{\text{Available Inflow}}$
이용성: Process Fraction (PF)	$PF_{depleted} = \frac{\text{Process Depletion}}{\text{Total Depletion}}$ $PF_{available} = \frac{\text{Process Depletion}}{\text{Available Water}}$
생산성: Productivity of Water (PW)	$PW_{inflow} = \frac{\text{Productivity}}{\text{Net Inflow}}$ $PW_{depleted} = \frac{\text{Productivity}}{\text{Depletion}}$ $PW_{process} = \frac{\text{Productivity}}{\text{Process Depletion}}$
Relationships	$PW_{depleted} = \frac{PW_{net\ inflow}}{DF_{net}}$ $PW_{process} = \frac{PW_{depleted}}{PF_{net}}$

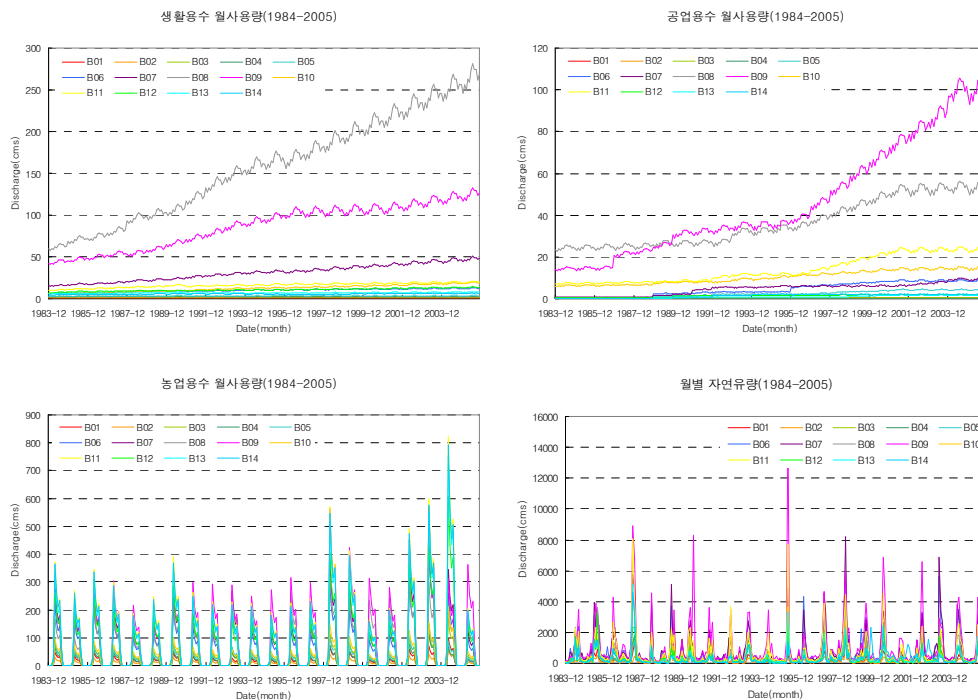


<그림 2> 금강유역 소유역 분할도

4. 결과 및 고찰

4.1 소유역별 용수사용 및 총유입량현황

Water accounting 지수산정을 위하여 과거 용수사용량 및 유역내 유출량(자연유량)을 조사하였으며 그 결과로 1984 ~ 2005년에 걸쳐 월별 현황을 <그림 3>에 도시하였다.

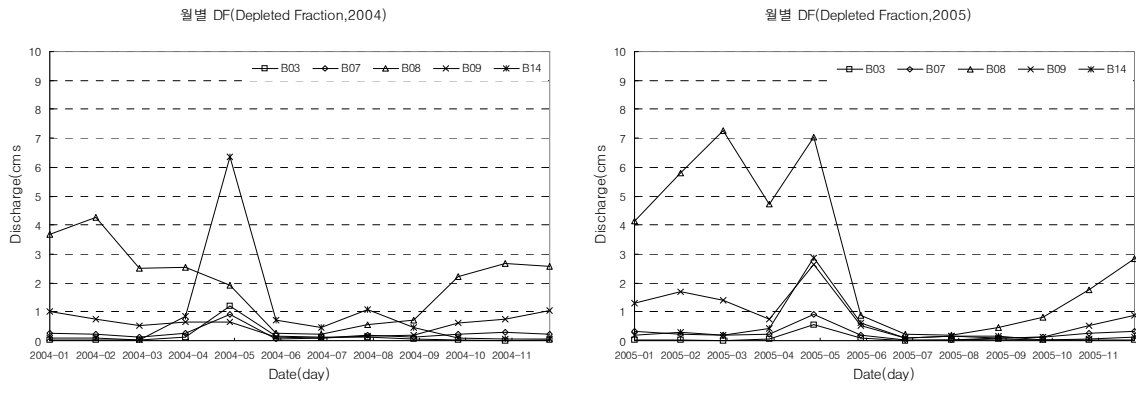


<그림 3> 월별 소유역 용수이용량 및 유출량 현황 (1984 ~ 2005년)

4.2 Water accounting 결과

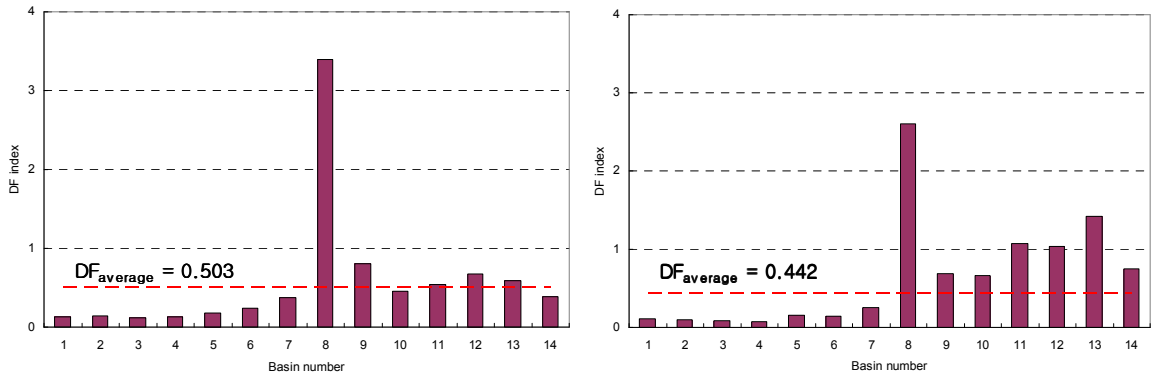
Water accounting은 대상유역(domain)에 대한 실질적인 물 순환 과정을 정량화하며, 이에 관련된 각종 지표를 산출하는 과정이다. Water accounting 지표중 가장 일반적인 지표는 수자원 총량 중 소비의 정도를 나타내는 소비성 지표, 총 소비량 중 인위적 조작에 의해 이용되는 정도를 나타내는 이용성 지표, 총 이용되는 수자원의 생산성을 나타내는 생산성 지표 등을 들 수 있다. 이러한 개념을 바탕으로 본 연구에서는 금강유역에 대해 Water accounting 지표들 가운데 소비성 지표인 DF를 월 및 년별로 산정하였다. 표본 예로, 금강유역의 대표지역으로 용담댐, 대청댐, 대전권, 청주권 및 금강하구역에 대한 월별 DF지수의 변화를 <그림 4>에 도시하였고 홍수기를 제외한 2002~2005년에 대한 년별 DF지수 변동성을 <그림 5>에 도시하였다.

<그림 4>의 결과를 보면, 월별 DF지수는 대체적으로 이수기에 큰 값을 나타내고 홍수기에는 적은 값을 보여주고 있다. 대전권지역을 포함한 8번 소유역은 대체로 이수기에 1.0보다 큰 DF지수를 나타내고 있고 청주권을 포함하는 9번 소유역은 이수기에 1.0을 상회하는 경우를 일부 월에서 발생되고 있다. 또한 매년 5월은 DF지수의 수치가 급상승하고 있는데 이는 농번기의 시작 시기임으로 농업용수의 폭발적인 이용 때문인 것으로 판단된다. <그림 5>의 결과는 소유역별 년 평균 DF지수와 금강유역 전역 평균 DF지수를 나타낸 것으로서 생·공용수의 이용이 많은 8번 소유역이 항상 평균 DF지수를 상회하는 수치를 보여주고 있다.

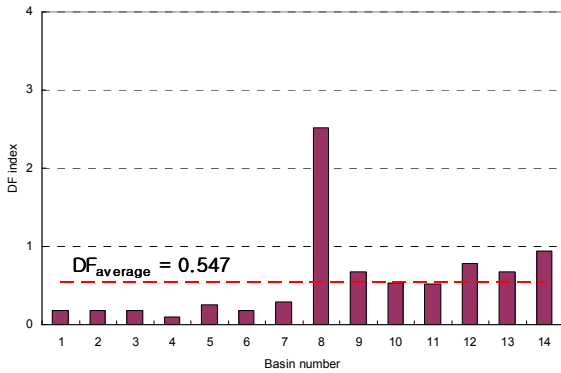


(a) 2004년 (b) 2005년

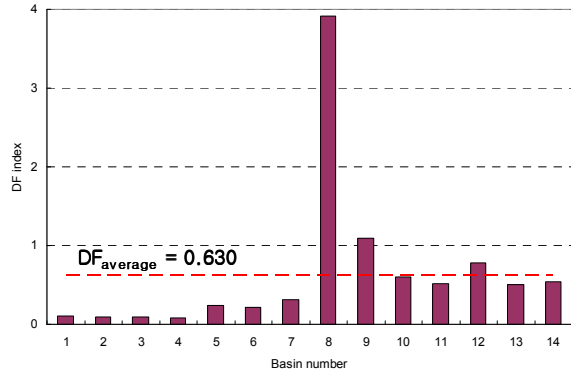
<그림 4> 대표 소유역 월별 Water accounting DF지수



(a) 2002년 (b) 2003년



(c) 2004년



(d) 2005년

<그림 5> 최근 4년간 금강유역의 소유역별 Water accounting DF지수

최종적으로 과거 이수측면에서의 물 공급에서 8번 소유역을 제외한 타 소유역에 대해서 큰 문제가 없었던 것으로 판단되며 8번 소유역도 DF지수가 낮은 상류 유출량을 이용하고 있는 시스템이기 때문에 큰 문제가 없을 것이라 판단된다. 그러나, 본 연구결과는 DF지수만을 토대로 분석한 결과이므로 보다 세분화된 Water accounting 지수를 산정하는 연구는 지속되어야 할 것이다.

5. 결 론

본 연구에서는 21세기 프론티어 사업의 일환으로 수행중인 ‘유역 물관리 운영 기술 개발’ 과제를 통해 산출된 금강유역의 소유역별 용수이용량 및 유출량 자료 등을 토대로 소유역별 시공간적 물이용 상황을 파악하고 물 관리 지표들을 산정함으로써 효율적인 운영이 가능하도록 하고자 하였다.

1. 월별 DF지수는 대체적으로 이수기에 큰 값을 나타내고 홍수기에는 적은 값을 보여주고 있으며 생·공용수의 이용이 많은 8번 소유역이 타 소유역에 비해 월등히 상회하는 수치를 보여주고 있다.

2. 금강유역 전역에 대해서 홍수기를 제외한 년별 평균 DF지수가 0.442~0.63로 나타나 대체적으로 안정적인 공급이 이루어지는 것으로 판단된다.

3. 최종적으로 과거 이수측면에서의 물 공급에서 대전권을 포함한 8번 소유역을 제외한 타 소유역에 대해서 큰 문제가 없었던 것으로 판단되며 해당 소유역도 DF지수가 낮은 상류 유출량을 이용하고 있기 때문에 해당 소유역의 용수이용 불균형에 큰 문제가 없을 것이라 판단된다.

참 고 문 헌

1. Gumbo, B., and P. van der Zaag (2001). Principles of integrated water resources management (IWRM), Global water partnership South Africa, South Africa Youth Forum.
2. IIMI(1997). Accounting for water use and productivity, SWIM paper 1.
3. IWMI(1997). Water Accounting for Intergrated Water Resources Management.
4. Peranginangin, N., and R.Sakthivadive, N. R. Scott, E. Kendy, T. S. Steenhuis (2004), Water accounting for conjunctive groundwater/surface water management: case of the Singkarak-Ombilin River basin, Indonesia, Journal of Hydrology, 292, pp. 1~22
5. Zhu, Z., Giordano, M., Cai, X., Molden, D., (2004), The Yellow River basin: water accounts, and current issues, Water International, 29(1), pp. 2~10.