

통합수자원 관리를 위한 Water accounting 기법의 활용



황만하 |
수자원연구원 수석연구원
hwangmh@kowaco.or.kr



고익환 |
수자원연구원 수자원시스템연구소장
ihko@kowaco.or.kr



정창삼 |
수자원연구원 선임연구원
chs1229@kowaco.or.kr

원관리가 제대로 이루어질 수 없을 것이다. 아울러 인구가 증가 및 산업발달 등에 따른 가용 수자원의 상대적 감소 속에 이를 극복하기 위한 하나의 수단으로서, 효율적인 수자원 관리를 위해서는 정확한 자료의 수집과 분석을 기반으로 한 전략수립이 무엇보다도 필요한 시점이며, 이에 대한 하나의 답을 줄 수 있는 것이 Water accounting이라 할 수 있다. 아직까지 Water accounting과 관련하여 국내에서 체계적인 연구를 한 사례는 없으며, 유사한 연구로는 물수지와 관련된 분석들이 있어왔다. 하지만, 물수지 관련 연구는 물 수요를 공급하기 위한 계획차원에서 이루어진 것으로 실제 유역의 시공간적인 물 이용 상황을 나타내기는 어렵다. 따라서 통합수자원관리와 같은 보다 실질적인 수자원관리를 위해서는 계획차원의 물 이용 계획이 정기적으로 정밀하게 분석되는 Water accounting이 실시되어야 하며, 특히 향후 가용 수자원의 확보가 더욱 어려운 국내 수자원 환경을 고려해 볼 때 반드시 수행되어야 할 분야이다. 이는 Water accounting에 대한 물 이용과 이에 관련된 효율적인 물 관리 지표들이 구해질 경우 유역관리자는 수자원관리를 위한 보다 거시적인 시각을 얻을 수 있고 보다 효율적인 운영을 도모하는데 기여할 수 있을 것이다.

이어지는 글은 Water accounting을 국내에 도입하기 위하여 기본적인 개념과 사용되는 각종 지표들을 설명하고, 국내외 연구현황, 국외의 분석 사례 소개, Water accounting을 기초로 한 수자원 관리의 시대적 변화 등에 대해 기술하고 있다. 아래의 기술되는 Water accounting에 관한 기술적인 내용은 IWMI(International Water Management Institute)의 보고서(IWMI, 1997) 내용을 기초로 하였음을 밝혀둔다.

1. 서론

유역의 효율적인 수자원 관리와 계획을 위해서는 무엇보다도 현재 상태에서의 물 이용에 관한 정량적인 평가가 선행되어야 한다. 특히 국내 수자원의 주요 공급원인 저수지와 하천과 같이 수자원 변동성이 큰 경우에 대해서는 더욱 상세한 분석이 필요하다. 이를 위해서는 유역전반에 걸쳐 얼마나 많은 유량이 사용되고, 어디서 사용되며, 혹은 어디에서 어떻게 저류되고 있으며, 생태 유지 등을 위해 얼마나 많은 유지 유량이 필요하며, 이에 대해 현재 어느 정도의 유량이 공급되어지고 있는지에 대한 검증된 자료들이 정립되어야 한다. 이러한 자료가 충분히 준비되지 않고서는 향후 수자원 관리에 있어서 큰 목표가 될 통합수자

2. Water accounting

2.1 Water accounting의 정의

일반적으로 수자원 이용과 관리를 위해서는 다음과 같은 기본적인 질문에 접하게 된다.

- 유역내의 가용한 수자원의 양은 얼마나 있는가?
- 수자원의 주요 사용자는 누구인가?
- 각 사용자가 어디에서 얼마나 사용하고 있는가?
- 유역 내 이용되고 있는 수자원의 절감여부와 개발 또는 이용 가능성이 있는 수량은 얼마인가?

이러한 질문들에 답하는 과정을 Water accounting이라 할 수 있다. 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 가지고는 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 대처 능력을 저하시킬 수 있다.

Water accounting에 대한 보다 세부적인 과정을 이해하기 위해서는 먼저 물수지에 대한 과정을 이해하여야 한다. 아래의 식(1)은 일반적인 유역에서의 물수지를 개념적으로 설명해주고 있다.

$$Q_{res} = Q_{dif} + T_m + T_{rum} - Q_{ex} - E - CU_d - ET_{pht} - ET_{crop} - \Delta S_r - \Delta S_a \quad (1)$$

여기서,

- Q_{res} : 잉여유량
- Q_{dif} : 상·하류 유량의 차이($Q_{us} = Q_{ds}$)
- Q_{us} : 상류 유입 유량
- Q_{ds} : 하류 유출 유량

T_m : 계측 유역 유입 유량

T_{rum} : 미계측 유역 유입 유량

Q_{ex} : 유역 외로 전환되는 유량

E : 수면 등의 증발량

CU_d : 용수 이용에 따른 소모량

ET_{pht} : 식물에 의한 증발산량(phreatophyte ET)

ET_{crop} : 농작물에 의한 증발산량

ΔS_r : 저수지 저류량

ΔS_a : 토양 저류대에서의 저류량 변화

위의 식(1)에서 잉여유량은 상·하류 유량의 차이와 각종 지류 유입량을 합한 값에서 각종 소모량을 뺀 값이 된다. 일반적으로 상·하류 유량의 차이와 지류 유입량 자료는 관측을 통해 얻어질 수 있다. 하지만, 각종 소모량의 경우 관측과 더불어 적절한 추정방법을 적용하여야하는 경우가 있다. 특히, 증발 및 증발산과 관련된 자료의 생성에는 기상, 수문, 농업 등 다양한 분야에서의 관련 산정법을 적절히 활용하여야한다. 이러한 Water balance 상태의 자료들이 Water accounting의 기초자료가 된다.

이러한 자료를 바탕으로 Water accounting을 실시하는 구체적인 과정은 다음과 같다. 아래의 그림 1은 Water accounting의 개념을 그림으로 도시하고 있으며, 이어지는 표 1은 그림 1에서 표현된 각종 용어들을 정의를 서술하고 있다. 아직까지 표 1에서 제시된 용어들이 우리말로 정의되지 못한 상황이며, 가능한 한 독자의 이해를 돕기 위하여 여기서는 영문 표현을 그대로 사용하였다. 먼저 Water accounting에 사용되는 용어들에 대해 살펴보면 다음과 같다. 유입량은 총유입량과 순유입량으로 정의될 수 있으며, 이 둘의 차이는 저수지의 유입량과 방류량의 고려 유무에 따라 달라진다. 일반적으로 순유입량을 대상유역(domain)에서 유입량으로 고려하게 된다. 또한, 유입량은 크게 하류 방류와 이용수량으로 구분되며, 이용수량은 소비되거나 회귀된다. 이용된 유량은 경제적인 이용수(농업, 공업, 생활용수 등)와 비경제적인 이용수(증발산 등)로 구분할 수 있으며, 경제

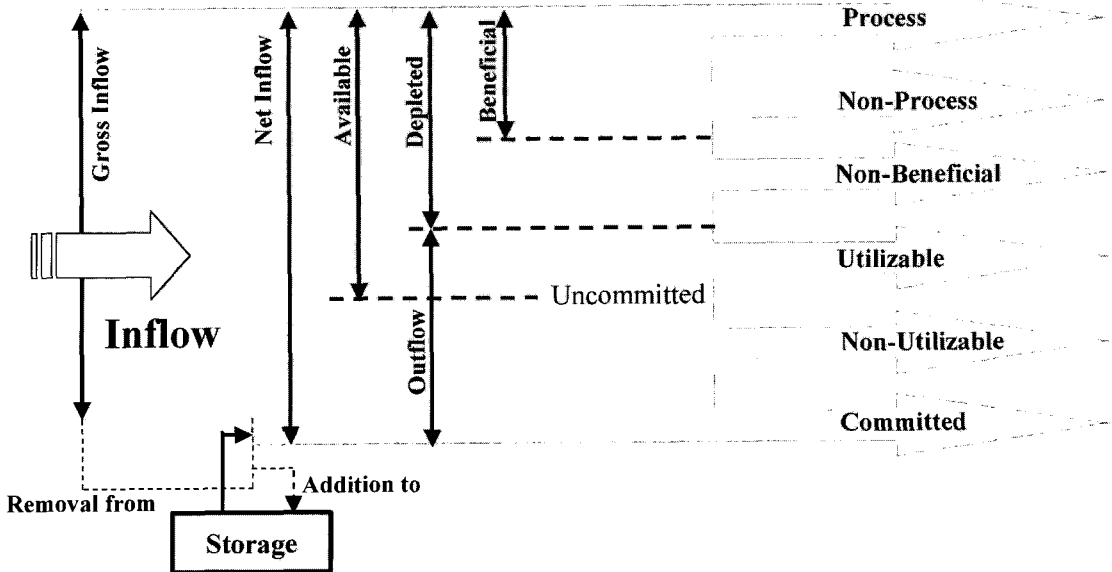


그림 1. Water accounting의 모식도

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 공급되어야 하는 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 이익을 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

적인 이용수는 공업용수 등과 같이 과정을 거치는 것 (process)인 것으로 구분된다. 과 작물재배 등에 이용되는 물과 같이 비과정(non-

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 2와 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, 완전개발(fully committed)에 어느 정도 가까이 와 있으며, 대상지역이 향후 수자원 공급 관리에 있어 안전 한가 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 가용 수자원의 총량 대비 사용수량의 비, 혹은 사용수량 대비 process depletion의 비를 나타내는 것으로, 수자원의 사용 정도를 평가하는 지표이다. PW는 사용된 수량으로부터 얻어지는 정량적인 지표로서, 사용된 단위 수량을 통해 얻어지는 경제적 가치로 표현된다. 예를 들어 농작물의 경우 사용 수량 1톤당 생산 농작물의 무게(kg)로 표현된다. 이 외에도 표에는 언급되지 않은 몇 가지 지표들이 있는데, 그 중 경제적인 이용지표는 활용 수량 대

비 경제적 과정(beneficial process)에 사용되는 수량을 나타내는 지표로서 일반적인 다른 지표들보다 유역의 효율성을 더 잘 표현해 준다고 할 수 있다. 그 이유로는 이 지표가 농업 등과 같이 인간활동에 소비되는 수량과 경제성이 인정되는 생태 시스템에 활용되는 모든 수자원이 고려되고 있기 때문이다. 이어지는 3.2절에서는 이러한 경제적 이용지표에 대한 사례를 나타내고 있는데, 기술될 예를 미리 살펴보면 Kirindi Oya sub-basin(파키스탄)에서는 일반적인 수자원 이용률이 22% 정도이지만, beneficial utilization은 65% 정도에까지도 이르고 있음을 알 수 있다.

이러한 Water accounting에 대한 지표들이 체계적으로 규명되어짐과 동시에 다양하게 구성될 경우 수자원 운영에 관한 거시적인 시각과 목표를 새롭게 할 수 있다.

2.3 Water accounting의 효율성 및 활용

Water accounting을 통해 얻을 수 있는 가장 큰 효과는 수자원을 절약하고, 그 생산성을 향상시킬 수 있다는 것이다. Water accounting은 수자원이 어디에서 사용되고 있는지에 대한 정보제공을 통해 수자원 생산성 평가를 제공함으로써 다음과 같은 효과를 얻을 수 있다.

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	$PW_{depleted} = \frac{PW_{net\ inflow}}{DF_{net}}, PW_{process} = \frac{PW_{depleted}}{PF_{net}}$

- 수자원의 공급 변경을 통한 보다 높은 가치의 부여 및 이윤 창출
- 수자원의 공급목표 변경과 생산성 향상에 대한 범위 산정
- 비경제적인 증발, 오염, 손실을 줄이는 기회 제공

또한 수자원이 어떻게 사용되어지고 배분되어지는가에 대한 충분한 자료를 공유함으로써 하천유역 내 지자체들의 수자원 관련 분쟁을 피하고 최소화하는데 도움을 줄 수 있다. 특히 이러한 정보는 하천유역내 수자원이 풍부하지 않고, 일부 지역에 편중된 수요가 이루어지는 지역에 매우 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

3. 연구 동향 및 사례 분석

본 절에서는 Water accounting과 관련된 미국과 일부 아시아 국가에서의 분석 사례들을 소개하고 이를 통해 Water accounting의 개념과 적용에 대한 이해를 돕고자하였다. 보다 자세한 내용은 첨부된 참고문헌들을 참조하기 바란다.

3.1 국내외 연구 동향

국내에서는 Water accounting의 개념을 이용하여 수자원문제를 조사·분석한 사례는 전무한 편이다. 이와 달리 물수지 분석이나 용수수요 예측과 관련된 연구는 다양하게 진행되어왔으며, 그 용도와 목적에 따라 토목, 농업, 등에서 주된 연구가 이루어져 왔다. 최근에 진행된 연구들을 살펴보면 농업 분야에서는 추태호(2004)가 물수지 분석기법에 의한 농업용수의 회귀율에 관한 연구를 하였고, 이현재와 심명필(2002)은 물수지분석을 기초로 가뭄 시 용수배분 우선 순위의 사결정에 관한 연구를 진행한 바 있다. 그 외에도 건설교통부의 수자원 장기종합개발 기본계획 보고서(건설교통부, 2000)와 '용수수요 추정방법 개선방안' (건설

교통부, 2000), '수리권 거래제도 도입방안 연구' (건설교통부, 2000) 등의 다양한 연구가 진행되어져왔다. 하지만, 앞서 기술한 것과 마찬가지로 Water accounting에 관한 국내 연구는 전무한 편으로 향후 연구가 반드시 진행되어야 하는 분야라 할 수 있다.

국내와 달리 국외에서는 다양한 연구들이 진행되어지고 있다. 미국에서는 각 유역관리기관에서 Water accounting을 실시하고 있고, 아시아와 아프리카 등의 지역에서는 IWMI와 IIMI(International Irrigation Management Institute, <http://www.cgiar.org>) 등의 기관들이 Water accounting system을 운영하고 있다. 이 가운데 일부 참고 문헌을 소개하면 'Low Colorado River Accounting System Demonstration of Technology Colorado Year 2000(U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, 2001)', 'Accounting for water use and productivity,(IIMI, 1997)', 'Water accounting for intergrated water resources management,(IWMI)' 등을 들 수 있다.

3.2 사례 분석

3.2.1 Water accounting의 기본적인 3가지 사례

Water accounting에 대한 이해를 돕기 위해 현장수준(Field-level), 서비스수준(Service-level), 유역 수준(Basin-level)의 3가지의 분석 사례를 나타내어보았다. 이 예는 IIMI(1997) 보고서를 분석한 사례로서, 현장 및 서비스 수준의 평가는 인도의 바크라의 예이며, 유역수준의 평가는 이집트의 나일강 유역의 예이다. 목적을 위해 필요로 하는 수준의 Water accounting이 각각 적용될 수 있으며, 점진적으로 현장수준, 서비스 수준, 유역수준으로 확대 분석해 나아갈 수 있다. 이어지는 표 3~표 5는 각각의 결과를 나타낸 것으로 보다 자세한 내용은 참고문헌의 본문을 참조하기 바란다.

3.2.2 하천유역에서의 다양한 용수수요에 대한 예

본 절에서 소개하는 예는 하천유역에서의 다양한

표 3. Field-level accounting(예)

	Wheat (mm)	Cotton (mm)	Annual (mm)
Inflow			
Irrigation	324	393	717
Precipitation	42	206	252
Subsurface	0	0	0
Lateral seepage flows	0	0	0
GROSS INFLOW	366	599	969
Storage Change	+14	+22	+24
NET INFLOW	352	577	945
Depletion			
Transpiration(process)	291	401	692
Evaporation(non-process)	60	175	251
TOTAL DEPLETION	351	576	943
Outflow			
Surface runoff			
Deep percolation	1	1	2
TOTAL OUTFLOW	1	1	2
Performance			
Depleted Fraction(gross)	$351/366=0.96$	$576/599=0.96$	$943/969=0.97$
Process Fraction(depleted)	$291/351=0.83$	$401/576=0.70$	$692/943=0.73$
Production(kg/ha)	4,000	2,380	
Production per unit net inflow(kg/m ³)	$4,000/3,520=1.14$	$2,380/5,770=0.41$	
Production per unit total depletion(kg/m ³)	$4,000/3,510=1.14$	$2,380/5,760=0.41$	
Production per unit process depletion(kg/m ³)	$4,000/2,910=1.37$	$2,380/4,010=0.59$	

용수 수요를 Water accounting을 통해 분석한 사례이다. 아래의 그림 2는 스리랑카의 Kirindi Oya 소유역에 대한 Water accounting 분석사례를 나타내고 있는데, 그림에서 나타난 수치는 연간 사용된 수량을 백만톤 단위로 나타내고 있다. 이 분석사례에서 우선 생각해보아야 할 사항은 '어떻게 수자원이 사용되고 있는가?'에 대한 것이다. Water accounting은 유역내의 모든 수자원 소비를 규명하는 것으로, 계획되거나 때로는 알려지지 않은 수자원의 소비처(그림 2에서 나타난 산림의 물 소비)에 대한 항목까지도 규명되어진다. 이 예에서 알 수 있듯이, 일반적으로 수자원 계획에서 고려되지 않았던 항목인 산림에 이용되는 수량이 전체 가용 수자원의 43%에 이르고 있

음을 알 수 있다. 산림이 대상지역에 생태환경에 중요한 위치를 차지하며, 대상지역 사람들에게 음식, 펄프, 주거환경 등을 제공하는 주요한 요소이기는 하지만, 일반적으로 수자원계획에서는 고려되지 않고 있는 것이 현실을 감안할 때 Water accounting을 통해 그 비중을 가늠해보는 것은 중요한 일이라 할 수 있다. 다음으로 고려되어지는 사항은 '어디에서 물을 절약할 수 있느냐와 자연생태계 유지를 위해 필요한 수량은 어느 정도인가?'에 대한 내용들이다. 이 유역은 농업과 임업이 주가 되는 지역으로, 향후 수자원 정책의 목표는 바다로 빠져나가는 수량을 줄이고 활용 유량을 늘이는 것이다. 이를 위해 수자원 가운데 '물 절약이 가능한 부분의 모색'과 '하류 생태

표 4. Service-level accounting(예)

	Component value (mm/year)	Total (mm/year)
Inflow		652
Gross Inflow	402	
Surface diversions	191	
Precipitation		
Subsurface sources from outside domain	59	
Surface drainage sources from outside domain		
Storage Change		98
Surface	n.a.	
Subsurface	98	
Net Inflow		554
Depletive use		
Process depletion,(ET)	533	
Non-process depletion		n.a.
Flows to sinks	n.a.	
Other evaporation	n.a.	
ET from non-crop vegetation	n.a.	
Total Depletion		533
Outflow		
Total utilizable outflow		21
Surface outflow		
Subsurface	21	
Committed water	n.a.	
Domestic use	n.a.	21
Industrial use	n.a.	
Environmental use	n.a.	
Downstream uses	21	
Uncommitted water		0
Available water		533
Indicators		
Depleted Fraction(gross)		533/652=0.82
Depleted Fraction(net)		533/554=0.96
Depleted Fraction(available)		533/533=1.00
Process fraction(depleted)		533/533=1.00
Process fraction(available)		533/533=1.00

표 5. Basin-level accounting(예)

	Component value (km³)	Total (km³)
Inflow		53.7
Gross Inflow		
Surface diversions	53.2	
Precipitation	0	
Subsurface sources from outside domain	0.5	
Surface drainage sources from outside domain		
Storage Change		0
Surface	0	
Subsurface	0	
Net Inflow		53.7
Depletive use		
Process depletion,(ET)		36.4
Evapotranspiration	34.8	
M&I	1.6	
Non-process depletion		3.2
Flows to sinks	n.a.	
Other evaporation (phreatophytes, free water surface)	3.2	
Total Depletion		39.6
Outflow		
Total outflow		14.1
Surface outflow from rivers	1.8	
Surface outflow from drains	12.3	
Subsurface outflow	0	
Committed water		9.8
Navigation	1.8	
Environment maintenance(assumed)	8.0	
Uncommitted water	14.1-9.8	4.3
Available water	53.7-9.8	43.9
Available for irrigation	43.9-1.6	42.3
Indicators	39.6/53.7	0.74
Depleted Fraction(gross and net)	36.4/39.6	0.92
Process fraction(depleted)	36.4/43.9	
Process fraction(available)		
Gross value of production(1992 US\$)	6,450 million	
Productivity per unit of water depleted by irrigation	6.45/36.3	0.19
Productivity per unit of water available to irrigation	6.45/41.9	0.15
Productivity per unit inflow	6.45/55.3	0.12

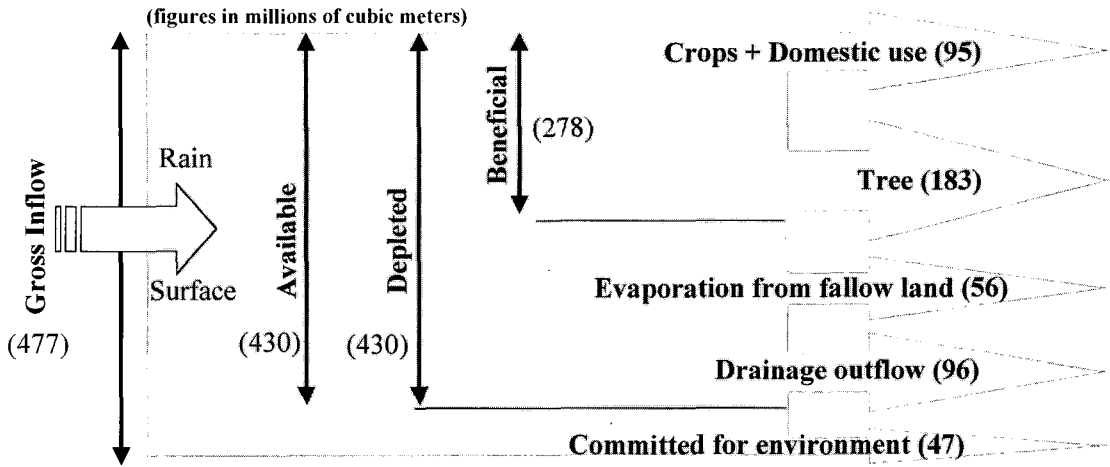


그림 2. Kirindi Oya 소유역의 water accounting 분석사례

표 6. 회귀율 관측을 통한 도시지역에 대한 domestic consumptive use factor 산정 사례

City	Diversion	Wastewater or Return Flow	Domestic Consumptive use	Domestic Consumptive Use Factor
Boulder City, NV	5,430	1,368	4,062	0.75
Boulder City, NV (Household Use Only)	3,133	1,280	1,853	0.59
Laughlin, NV	5,313	946	4,367	0.82
Needles, CA (w/Measured Return)	3,119	459	2,660	0.85
Needles, CA (w/Measured Return & Unmeasured Return)	3,119	1,707	1,412	0.45
Yuma, AZ	25,645	10,743	14,902	0.58
Robert B. Griffith Water Project, NV	315,631	136,588	179,043	0.57
			Average	0.66

계를 위해 필요한 수량 산정' 등에 많은 연구가 이루어지고 있다. 하류 생태계를 위해 필요한 수량은 4,700만 톤으로 산정 되었지만, 이에 대해서는 보다 많은 연구가 필요하다고 판단되어지고 있다.

3.2.3 Domestic consumptive use factor의 산정 예

Water accounting에 대한 또 하나의 사례로서 미국 LCRAS(Lowwer Colorado River Accounting

System)에서 산정한 Colorado River 유역내 도시지역의 domestic consumptive use factor에 관한 내용을 들 수 있다. 표 6은 회귀율 관측을 통해 domestic consumptive use factor를 산정한 예로서 domestic consumptive use를 diversion으로 나누어 산정한 값으로 평균적으로 0.6 정도의 값을 나타내고 있음을 알 수 있다. 아직까지 국내에서는 관측을 통해 이러한 지표의 산정이 제대로 이루어진 사례는 미진하다. 하지만, 이러한 지표의 산정은 향후 중장기 유출모형의 적

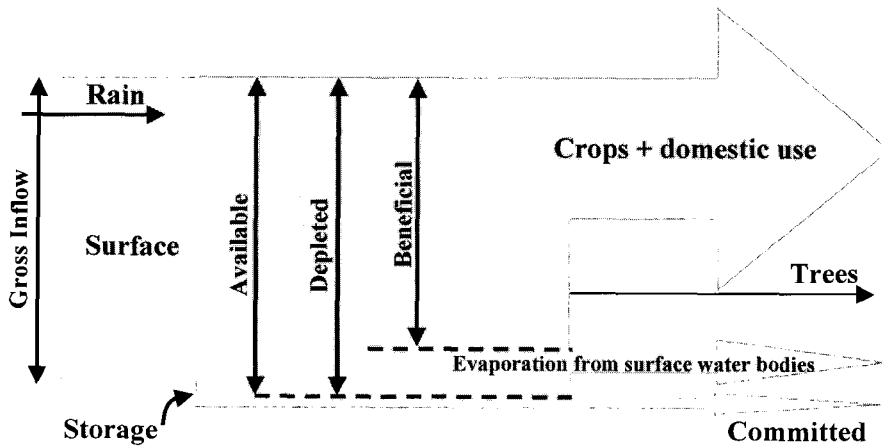


그림 3. Chistian 소유역의 water accounting diagram

절한 적용과 실질적인 수자원 운영 등과 같은 통합 수자원 운영을 위해서 반드시 필요한 자료로 이에 대한 보다 많은 연구가 필요하다고 할 수 있다.

3.2.4 Closed basin에 관한 분석 사례

가용 수자원이 모두 다 소모하는 유역을 'closed basin'이라 규정하고 있다. 최근 도시화에 따라 이러한 특성을 지니는 유역이 확산되어지고 있는 추세라 할 수 있는데, 아래의 그림 3은 closed basin에 관한 하나의 사례로 파키스탄의 Chistian 소유역에 대한 Water accounting diagram을 나타내고 있다. 그림에서 살펴보면, 모든 가용 용수가 활용되고 있으며, 비경제성을 지닌 취수가 거의 없음을 알 수 있다. 이러한 유역들이 용수 부족이 예상되는 미래 수자원 문제에 대비하는 유일한 대안은 용수의 재활용과 관리 기술의 향상, 수자원 재배분을 통한 생산성 향상에 주력하는 것이다. 우리나라에도 이러한 유역이 일부 발생하고 있어 이러한 closed basin 사례에 대한 분석과 해결방안에 관한 연구가 이루어져야 할 것이다.

4. 결론

지금까지는 Water accounting의 기본적인 개념

과 적용방법, 사례 분석 등에 대해 고찰하였다. Water accounting은 실질적 조사를 통해 현재까지의 수자원 운영에 대한 설계도를 작성하는 작업으로 미래의 수자원계획과 운영을 위한 기초 작업이 되는 필수적인 작업이라할 수 있다. 향후 Water accounting이 실제 국내 유역에 적용될 경우 수자원의 효율적 배분과 운영, 경제성 향상, 수자원 관련 분쟁 해결을 위한 기초 자료 등에 널리 사용될 수 있을 것으로 기대된다. 또한 Water accounting에서 얻어지는 각종 자료를 이용하여 다음과 같은 기법들을 적용할 경우 수자원의 생산성이 많이 향상될 수 있을 것으로 기대해본다. 첫째로는, 물 소비가 작은 새로운 농작물 개발, 물소비가 작은 경제성이 높은 작물로의 재배 전환 유도, 관계배수의 시설개선을 통한 회귀율 향상 등의 방법들을 이용한 소비 수량의 생산성 향상을 들 수 있다. 둘째로는 기존 시설의 관리기술 향상, 저류시설 추가, 회귀수의 재활용 등을 통한 여유 방류량(uncommitted outflow)의 적극 활용을 들 수 있다. 그 외에도 비경제적 물 소비의 감소 유도, 사용자간의 물 재분배 등을 이용할 경우 수자원의 생산성을 현재보다 높은 수준으로 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

이러한 효과들을 고려해 볼 때 통합수자원관리라는 큰 목표를 향해 가고 있는 국내 하천유역들에 대

한 Water accounting은 반드시 실시되어야 한다고 판단된다. 특히 하천수의 이용이 고도화되고 있는 일부 유역에 대해서는 우선적인 적용이 필요하다. 향후 Water accounting에 대한 요소들이 규명되면 다음과 같은 분야에서 활용이 가능할 것으로 기대된다.

- 수자원 정책에 대한 의사결정 자료 제공
- 통합수자원 관리를 위한 지표선정 및 관리
- 장기 유출 모의에서의 적절한 수문량의 평가
- 장래 수자원 계획 수립에서의 지표 및 방향 제공

현재 우리나라는 과거 50~80년대 경제성장과 인구증가에 따른 용수수요에 대비하던 수자원 개발의 단계에서 각종 이용 용수의 효율적인 관리와 이용을 통한 수자원의 효율적인 배분의 시대로 이동하는 상황에 있다. 따라서 Water accounting을 통한 수요 관리와 수자원의 가치향상, 배분관리, 향후 발생 가능한 유역간의 분쟁 등에 대비하는 노력이 절실히 요구되는 시점이라 할 수 있다.

참고문헌

- 이현재, 심명필(2002). 계층분석과정(AHP)에 의한 가뭄시 용수배분 우선순위 의사결정, 한국수자원학회 논문집, pp.703~714.
- 추태호(2004). 물수지분석 기법에 의한 양수장 몽리구역내 농업용수 회귀율 연구, 한국수자원학회 논문집, pp. 249~255.
- Gumbo, B., and P. van der Zaag(2001). Principles of integrated water resources management(IWRM), Global water partnership South Africa, South Africa Youth Forum.
- IIMI(1997). Accounting for water use and productivity, SWIM paper 1.
- IWMI(1997). Water Accounting for Intergrated Water Resources Management.
- 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.