

대유역 유출모의를 위한 적정 용수량 산정

Optimal Estimation of Water Use for Runoff Simulation in the Large-Scale Basin

류경식*, 황만하**, 유양수***

Kyong Sik Ryoo, Man Ha Hwang, Yang Soo Yoo

요지

통상적인 용수량 산정방법은 원단위법과 같은 간접적인 추정방법이 이용되고 있으나 이러한 산정방법은 유역의 용수수요량 측면만을 고려하여 산정된 것이기 때문에 사실적으로 유역내에서 이용되는 용수량과는 많은 차이를 발생한다. 특히 농업용수 이용량은 증발산량과 같은 기상상황과 침투량과 같은 유역상황을 비롯하여 농업수리시설물의 공급현황 등과 같은 다양한 요인들에 의해 영향을 받기 때문에 기존 산정결과와는 큰 차이를 보인다. 따라서 본 연구에서는 효율적인 물관리를 위해서 반드시 필요한 유역의 실사용량을 추정하기 위해 기존의 산정방법을 보다 사실적인 결과가 도출될 수 있도록 개선하고자 한다.

핵심용어 : 대규모 유역, 유출모의, 용수이용량, SSARR 모형

1. 서 론

최근 우리나라는 매년 반복되고 있는 홍수와 가뭄, 가속화되는 수질 및 환경오염, 물 사용량의 증가로 인한 물 부족과 물 분쟁 등에 대한 사회적 어려움을 슬기롭게 극복하기 위하여 물관리의 새로운 패러다임을 적극 반영한 유역단위의 보다 종합적이고 과학적인 통합 수자원 관리체계의 정착과 이를 지원하는 기술을 개발하고자 노력하고 있다. 그러나 유역 물관리를 위해서는 대규모 유역을 대상으로 하고 있기에 기존의 소규모 유역내의 유출모의방법과는 달리 많은 불확실성을 내포하고 있어 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다. 이 중 대표적인 어려움은 유역내에 산발적으로 분포하고 있는 용수이용의 정량적 파악일 것이다.

통상적으로 대규모의 유역에 대한 용수이용량을 파악하기 위해서는 원단위법과 같은 간접적인 추정방법이 흔히 이용되고 있다. 이러한 간접적인 방법은 기상상황과 유역유출상황에 둔감하게 반응하여 수요량과 이용량의 차이가 거의 발생하지 않는 생·공용수에 적합한 산정방법이라 할 수 있으나 강우 및 증발에 직접적인 영향을 받고 유역의 유출상황에 민감한 농업용수는 수요량과 이용량이 여러 가지 요인에 따라 달라질 수밖에 없다. 따라서 본 연구에서는 보다 현실적인 농업용수 이용량을 추정하기 위해서 유역내 분산되어 있는 수리시설물별로부터 공급되어지고 있는 용수량과 하천유량과의 관계를 규명하고 이를 유역관리모형에 반영할 수 있도록 수식화함으로서 보다 양질의 모의결과를 도출할 수 있도록 하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 대상유역 및 기상자료

본 연구의 대상유역은 최근 프론티어사업의 일환으로 실시간 물관리 운영시스템이 구축되고 있는 금강유

* 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 공동연구원 · E-mail : ksryoo@chungbuk.ac.kr

** 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 수석연구원 · E-mail : mhhwang@kwater.or.kr

*** 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 원장 · E-mail : yooy@kwater.or.kr

역이다. 본 유역은 신뢰성 높은 수문자료를 획득하기 위해 다년간 유역정밀조사와 현장조사를 실시한 바 있을 뿐만 아니라 유역내 용수이동경로를 명확히 분석한 유역으로서 본 연구의 목적에 부합한 유역이기에 대상유역으로 선정하였다.

또한 본 연구에서는 건설교통부, 한국수자원공사, 기상청 및 농업기반공사 등에서 관할하는 강우관측소중 관측기록이 대체로 양호한 지점을 대상으로 1983~1988년은 37개소, 1989~1992년은 45개소, 1993년은 39개소, 1994~1995년은 40개소, 1996~1999년은 41개소, 2000년 이후는 53개소의 강우 관측소를 선별하여 해당 관측소의 일 강수량 자료를 이용하였다. 상기한 기상관측소의 일강수량 자료에 대해 신뢰성 검증을 실시하였으며, 그 결과 장·단기에 걸쳐서 결측자료가 발생하거나 신뢰성이 의문이 생기는 강수자료가 발생되어 이에 대한 보정을 강우량 보정기법인 RDS방법을 통해 실시하였다. 또한 증발량자료는 강수량자료처럼 많은 관측소에서 관측되지 않을뿐더러 장기간의 관측자료를 보유하고 있는 곳을 찾기는 더더욱 어려운 설정이다. 그러나 본 연구의 대상유역내에 위치한 대전기상관측소의 증발량자료는 해당기간을 모두 만족할뿐만아니라 금강 유역을 금강유역의 중심부에 위치하고 있어 본 연구의 농업용수량 추정시에 유역대표치로 이용할 수 있었다.

2.2 용수이용량

용수이용량은 용수이용패턴에 따라 크게 생·공용수 이용량과 농업용수 이용량으로 구분된다. 생·공용수량은 연중 큰 편차없이 일정량이 이용되며 또한 대체로 대규모의 수리시설물인 댐 등에 의해 공급되어지기 때문에 수량파악 및 관리가 잘 이루어지는 편이다. 따라서 본 연구에 적용한 생·공용수량은 기준댐 용수공급능력 조사보고서의 자료를 이용하였으며 농업용수량은 상기 보고서를 참조하여 아래 방법에 의해 산정하였다.

2.2.1 영농방식에 따른 농업용수량

본 분석에서는 이양재배가 이루어지고 있는 수리안전답만을 대상으로 실시하였으며 이양재배를 위한 재배관리 용수량을 구성하는 요소로는 묘대정지기, 순수묘대기, 묘대이양기, 이양본답기 및 본답기로 세분화하여 필요수량을 산정하였다.

2.2.2 유효우량 산정방법

강우에 의해 공급되는 농업용수량인 유효우량을 산정하기 위해서는 담수심의 변화가 반영되어져야 하기 때문에 침투량과 물꼬의 제한 높이 등이 가정되어야 한다. 따라서 본 분석에서는 단위논의 일평균 침투량을 농어촌진흥공사 농어촌연구원 토양조사반에서 전국 일원의 사업지구별로 조사한 침투량 결과(1870~1998)중 금강수계 평균 침투량인 5.3mm로 가정하였으며 물꼬의 제한 높이는 농촌용수 수요량조사 종합보고서(농림부, 1999)를 참조하여 $D_{max} = 80mm$, $D_{min} = 20mm$ 로 가정하였다. 또한 극소한 강우량은 벗잎의 차단 등으로 인해 실제 용수로 기여하지 못하기 때문에 5.0mm이하 일강우량은 무효우량으로 가정하였다.

표 1. 담수심 조건에 따른 담수심 및 유효우량변화

조건	당일 담수심	유효우량
$D_{max} < D(t-1) + Ra(t) - U(t)$	D_{max}	$D_{max} - D(t-1) + U(t)$
$D_{min} < D(t-1) + Ra(t) - U(t) \leq D_{max}$	$D(t-1) + Ra(t) - U(t)$	$Ra(t)$
$D(t-1) + Ra(t) - U(t) \leq D_{min}$	D_{min}	$Ra(t)$

여기서 D_{max} : 최대담수심(mm), D_{min} : 최소담수심(mm), $Ra(t)$: t일의 강수량(mm/day)

일반적으로 단위 논에서의 유효우량($Re(t)$)산정은 당일 담수심($D(t)$), 전일 담수심($D(t-1)$), 필요수량($Req(t)$) 및 소비수량($U(t)$)과의 관계로 다음 식과 같이 정의될 수 있다(김현영, 1988). 그러나 실제 유효우량은 당일의 강우량과 필요수량 및 담수심의 조건에 따라 달리 산정될 수 있기 때문에 표 1과 같이 담수심의 3가지 조건에 의해 당일 담수심 및 유효우량이 산정된다.

$$D(t) = D(t-1) + Re(t) + Req(t) - U(t) \quad (1)$$

$$Re(t) = D(t) - D(t-1) - Req(t) + U(t) \quad (2)$$

여기서 $U(t) = ET(t) + I(t)$
 $I(t)$: t일의 침투량(mm/day)

2.3 유역관리모형에 의한 용수이용량 검증방법

상기 방법에 의해 산정된 용수량은 수요측면에서 산정된 결과로서 가뭄시에 손실량이 타 시기보다 커짐으로 인해 농업용수가 더 많이 이용되는 그릇된 결과를 내포하고 있다. 따라서 본 과정에서는 상기방법에 의해 산정된 결과를 유역관리모형에 적합한 형태의 자료로 반영하기 위해 수리시설물별 용수량이 하천수에 끼치는 영향과 유역관리모형에 적용하여야 하는 적정용수량 및 회귀율을 정의한 것이다.

2.3.1 수리시설물이 하천수에 끼치는 영향

농업용 수리시설물로는 저수지, 양수장, 보 및 관정 등이 대표적 시설물이다. 이 시설물들은 하천수량의 변화에 각기 다른 영향을 준다. 저수지의 경우는 저수지내의 용수를 공급한 후 이에 대한 회귀수가 하천으로 유입됨으로서 저수지에 의한 공급이 많은 지역은 하천수량이 증대되는 효과가 나타나며 양수장 및 보는 직접 하천에서 취수한 원수를 용수로 이용한 후 회귀수만을 하천으로 방류하기 때문에 양수장 및 보에 의한 용수공급이 많은 지역은 하천수량을 감소시킨다. 또한 지하수를 원수로 공급하는 관정은 직접적으로 하천수를 이용하지는 않지만 하천에 근접한 관정은 저하된 지하수위를 충족하기 위해 인근 하천수를 흡수할 수 있고 지하수의 흐름은 장기간에 걸쳐 이루어지기 때문에 관정에 의한 용수공급이 하천수량에 끼치는 영향은 다른 농업용 수리시설물에 비해 미미할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 관정에 의한 영향을 고려하지 않았다.

2.3.2 유역관리모형에 반영할 합리적인 이용량 및 회귀율

상기에 기술한 바와 같이 농업용 수리시설물들은 하천수량에 각기 다른 영향을 미치기 때문에 본 연구에서는 유역관리모형을 이용한 하천유량모의시에 각 소유역별로 해당시설물의 현황 및 파급효과를 고려하기 위해 총 관개면적(IA_T), 저수지 관개면적(IA_S), 농업용수 총 수요량(S_T), 침투량(I) 및 증발량(E)을 이용하여 유역관리모형의 입력자료로 적합한 농업용수량(U_T) 및 회귀율(R_A)을 다음 식(3)과 식(4)을 이용하여 산정하였다.

$$U_T = \frac{IA_T - IA_S}{IA_T} \times S_T \quad (3)$$

$$R_A = \frac{IA_T}{IA_T - IA_S} \times \frac{I}{E+I} (\%) \quad (4)$$

3. 결과 및 고찰

3.1 농업용 수리시설물 현황

금강유역내 농업용 수리시설물은 크게 저수지, 양수장, 관정, 보 등이 있으며, 주로 시·군과 한국농촌공사

에서 관리하고 있다. 농업용 저수지는 하류의 관개지구에 직접적으로 관개용수를 공급하는 주수원공이 대부분이며, 양수장은 금강 본류나 지천에서 직접 취수하는 1단 양수장과, 1단 양수장으로부터 송수된 물을 다시 양수하는 2단 혹은 3단 양수장으로 이루어진 경우가 많아 본 연구에서는 주수원공의 역할을 하는 양수장만을 대상으로 농업용 수리시설물의 현황을 조사하였으며 이에 대한 결과를 유역관리모형의 소유역기준에 준하여 표 2와 같이 구성하였다.

표 2. 금강유역 농업용 수리시설물 현황

소유역 번호	소유역구분	합계		저수지		양수장		보	
		갯수	관개면적	갯수	관개면적	갯수	관개면적	갯수	관개면적
1	천천지점 상류	120	1,565.2	43	950.8	6	139.5	71	474.9
2	동향지점 상류	73	821.7	35	517.2	0	0.0	38	304.5
3	용담댐 상류	158	1,627.4	72	1,014.8	10	161.8	76	450.8
4	용담댐 ~ 수통지점	183	1,428.5	51	569.7	11	141.0	121	717.8
5	수통지점 ~ 호탄지점	188	2,150.0	68	879.4	24	443.2	96	827.4
6	호탄지점 ~ 옥천지점	265	6,697.0	117	4,285.4	60	1,408.7	88	1,002.9
7	옥천지점 ~ 대청댐 상류	305	7,458.9	146	5,657.0	44	705.1	115	1,096.8
8	대청댐 ~ 매포지점	301	3,462.7	48	842.2	34	741.1	219	1,879.4
9	미호천 상류 ~ 합강지점	750	14,990.6	299	9,012.1	38	1,612.0	413	4,366.5
10	매포지점 ~ 공주지점	101	2,396.0	36	619.3	17	1,211.2	48	565.5
11	공주지점 ~ 규암지점	372	7,914.0	117	3,042.6	60	2,327.0	195	2,544.4
12	논산지점 상류	141	2,384.3	59	1,532.0	11	306.6	71	545.7
13	규암지점 ~ 강경지점	172	13,099.1	99	3,636.6	36	9,140.0	37	322.5
14	강경지점 하류	106	7,351.1	95	6,392.3	5	939.1	6	19.7
합 계		3,235	73,346.5	1,285	38,951.4	356	16,221.0	1,594	15,118.8

3.2 일별 농업용수 공급량 산정결과

일별 순물소모량인 수요량은 일별 증발산량과 침투량에 의해 결정되어지거나 일별 공급량은 강수량의 크기와 담수심의 높이에 의해 결정되어지기 때문에 일단위 용수량에서 서로 차이가 발생된다. 따라서 본 분석에서는 공급측면에서 농업용수 수요량을 일단위로 재분배를 실시하였으며 그 결과중 표본예로 무주 남대천(B04) 및 미호천유역(B09)에 대해 2006년도 단위면적당 일별 농업용수 공급량을 상기 산정방법을 통해 산정 결과를 그림 1 및 2에 도시하였다.

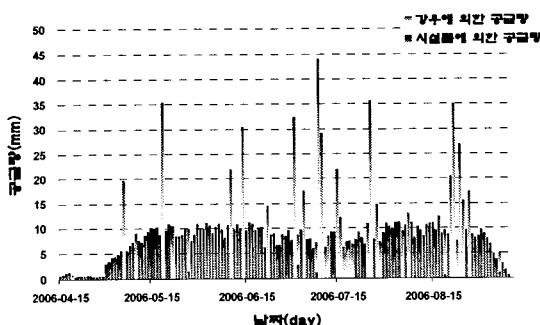


그림 1. 단위면적당 일별 농업용수 공급량
(무주 남대천유역, B04)

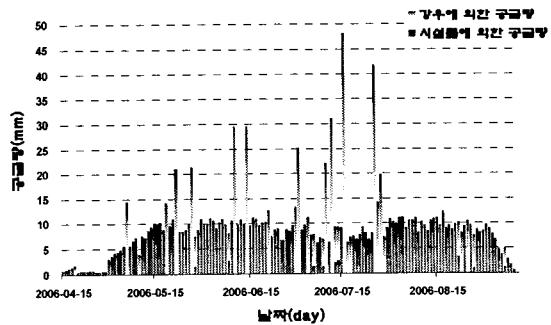


그림 2. 단위면적당 일별 농업용수 공급량
(미호천유역, B09)

3.3 농업용수 이용량 산정 및 연별 용수이용현황 분석

일반적으로 가뭄년은 강수량이 적고 대기가 건조하여 상대적으로 증발량이 높아지는 시기이기 때문에 순물소모개념으로 산정된 농업용수 수요량은 상대적으로 평년에 비해 증가된다. 그러나 실제 이용량은 유역의 유출량 감소로 인해 필요수량을 충족시키지 못함으로서 평년 용수이용량보다 적은 용수가 이용될 것이다. 따라서 상기에 산정된 농업용수량은 단순한 순물소모개념에서 산정된 결과이기 때문에 실제 단위 논에서 이용되는 용수량이라 할 수 없기에 강우-유출모델을 이용하여 유역의 유출상황을 파악하고 이를 반영하여 실제 용수이용량을 추정한 결과는 그림 3 및 4와 같다.

그림 3의 결과, 기존에 산정된 농업용수 수요량은 큰 가뭄이 발생했던 1988, 1992, 1996, 2001 및 2006년에 많은 수요량이 필요하였으나 실제 유역상황 및 기상상황을 반영하여 분석한 이용량은 가뭄이 발생했던 해는 평년의 이용량보다 적게 이용되었을 것으로 산정되었다. 또한 그림 4에 의하면 가뭄해의 용수량은 시설물의 의준도가 상대적으로 평년 용수량보다 높게 나타났다.

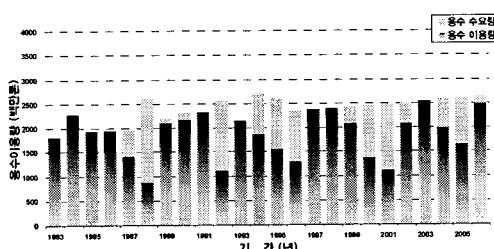


그림 3. 연별 농업용수 수요량 및 이용량
(금강유역)

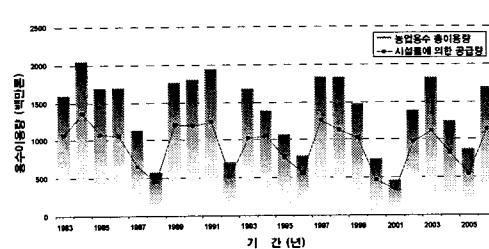


그림 4. 연별 농업용수 총이용량 및
시설물 공급량 (금강유역)

4. 결 론

본 연구에서는 효율적인 물관리를 위해서 반드시 필요한 유역의 실사용량을 추정하기 위해 기상 및 유역 유출상황을 반영한 유역관리모형을 통해 보다 사실적인 결과를 도출하고자 한다.

(1) 영농방식에 따른 농업용수량을 산정하기 위해 묘대정기기, 순수묘대기, 묘대이앙기, 이앙본답기 및 본답기에 대한 각각의 필요수량을 산정하고 단수심 추적이론을 이용하여 유효우량을 산정하였다.

(2) 각각의 농업용수리시설물은 유역의 유출에 직접적으로 영향을 끼치기 때문에 시설물별 현황을 조사하여 소유역별 적정용수량과 회귀율을 결정하였고 이를 토대로 연별 농업용수 이용량을 산정한 결과, 기존 수요량과 달리 농업용수량은 가뭄년에 적게 이용되고 평년에는 수요량을 거의 만족하고 있음이 확인되었다.

감 사 의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술 개발사업단의 연구비지원(과제번호: 1-6-2)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부·한국수자원공사(1998). 기존댐 용수공급 능력조사(금강수계).
2. 농림부·농어촌진흥공사(1999). 농촌용수 수요량조사 종합보고서.
3. 김현영(1988). 관개용 저수지의 일별 유입량과 방류량의 모의발생, 박사학위논문, 서울대학교.
4. 한국수자원공사(2004). 실시간 물 관리 운영 시스템 구축 기술 개발.
5. USACE (1991). SSARR User manual, North Pacific Div., Portland.