SWAT 모형을 이용한 농업용저수지 거동 분석
Evaluation of Irrigation Reservoir Operation using SWAT Model

박기욱* · 오승태** · 조진훈***
Ki-Wook Park · Seung-Tae Oh · Jin-Hoon Jo
*한국농어촌공사 농어촌연구원 주임연구원 · E-mail : pku@ekr.or.kr
**한국농어촌공사 농어촌연구원 연구원 · E-mail : ost74@ekr.or.orr
***한국농어촌공사 농어촌연구원 수석연구원 · E-mail : jjjhjo@ekr.or.kr

요 지

본 연구는 수자원의 지속적 확보기술 개발의 기본 모형인 SWAT 모형의 농촌용수지구 적용을 통해, 모형의 적용성을 평가하고, 지속적인 개선을 목표로 한다. 우리나라의 농촌용수지구인 이동저수지 상류유역인 농업소유역에 SWAT 모형을 적용하였다. 단위유역에 대한 모형의 적용결과 분석은 미산저수지내 관개량 입력자료와 저수지 운영자료로부터 모형의 거동 분석을 실시하였다. 이동저수지 유역에 포함된 단위유역에 대한 토지이용도, 토양도, 강우관측자료 등 입력자료를 구축하였으며, 논에서의 관리성분 및 저수지 관리성분을 각각 DB화하여 구축하였다. SWAT 모형의 개선을 위하여 모형을 구성하고 있는 논지대에 대한 관리성분을 관개량 측정자료로부터 일별 관개량을 고려할 수 있도록 제시하였다. 단위 유역에 대한 SWAT 모형의 적용결과 관측된 일별 저수량과 SWAT모형과 AGRIMAN모형에 의해 산정된 저수량의 변화가 유사한 경향을 보이고 있는 것으로 나타났다

이 지구는 관개지구의 환원수량, 저수지의 여수로 방류량 및 용수 사용량 등에 따라 저수지의 유입하천 및 하류하천의 장기유출량에 복잡한 형태로 영향을 미치고 있다. 이러한 농업용수 이용에 따른 농촌유역의 유출량, 저수량, 관개량 등 각 수문요소에 대한 정량적 분석이 필요하다. 본 연구에서는 단위유역에 대한 모형의 거동을 분석한 결과 농촌유역내에서의 수문성분의 검토가 가능하였으며, 이로부터 본 연구에서 목표로 하고 있는 농촌용수의 물수지 해석 및 수원공의 적정운영을 위한 기초기술이 개발이 가능할 것으로 판단되었다.

핵심용어 : SWAT, 농촌용수구역, 농업용저수지

1. 서론

21세기 우리 농업은 국민식량공급과 함께 수자원, 토양, 환경 등 자연보전과 휴식처 제공 및 지역사회의 공간유지기능으로 확대되었고 1995년 농어촌정비법에 의하여 벼의 생육에 필요한 농업용수개념이 농촌에서의 생활, 공업, 농업, 수산, 환경용수 등 종합적인 농촌용수 개념으로 전환 되어 농촌용수의 다원적 기능을 충족시키기 위한 충분한 수자원 확보가 필요하게 되었다. 또한 최근에 정부가 추진하고 있는 친환경농산물 생산을 위한 GAP(우수농산물관리제도)인증을 위해서는

물과 토양에서 안전성이 보장이 되어야 하므로 농촌용수의 수량, 수질, 논과 밭의 토양에 대한 관리는 매우 중요하게 되었다.

우리나라의 농업용수는 현재 대부분이 논의 관개용수로 사용되고 있고 농업용수 이용량은 전체 물이용량의 48%를 차지하고 있으며 농업용수관리는 용수원의 부족과 관개시설의 미비, 물관리 관행의 문제 등이 있으며 이러한 문제점들을 개선하고 효율적인 물관리를 실행하기 위해서는 물관리의 기본인 수위와 유량을 측정하는 유량관측시설의 설치가 선행되어야 한다.

지금까지 합리적인 용수수급계획과 물관리 개선을 목적으로 하는 모형개발이 많이 이루어지고 있지만 다양한 수문학적인 현상을 잘 재현하는 모형은 그리 많지 않다. SWAT 모형은 유출, 토양수분변화, 지하수 충전량, 경작형태에 따른 비점오염원 해석, 동일한 토지이용에서의 토양침투량 개별 산정이 가능하므로 윤환관개 및 절수 등의 합리적인 관개계획을 수립하는데 매우 적용성이 높다. 또한 작물의 종류에 따른 증발산량을 산정하여 관개수량을 결정할 수 있으며 GIS/RS 기술과 연계하여 종합적인 농촌용수의 효율적인 관리가 이루어질 수 있는 준분포형 수문순환형 모형이다.

SWAT(Soil and Water Assessment Tool) 모형은 미국 농무성에서 개발되었으며 미국 뿐만 아니라 유럽에서도 아주 널리 사용되는 공개프로그램(Public domain)으로서 대규모의 복잡한 유역에서 토양과 토지이용 및 토지관리 상태에 따른 물과 유사 및 화학물질의 거동을 장기간에 걸쳐 예측하는 모형이다.SWAT-K(Korea) 모형은 수문, 환경, 생태학 등의 여러 분야에서 국내에 적용되고 있지만 여러 기초자료 부족으로 인하여 그 사용이 제한되고, 어렵게 적용되고 있는 것이 사실이다.

본 연구에서는 SWAT 모형을 본 연구원에서 운영하고 있는 농촌용수종합시험지구에 적용하여 우리나라 농촌지역의 유역현황과 작부체계 및 재배기술에 적용하도록 데이타베이스를 수정・보완하여 우리나라의 영농형태 및 특성을 잘 반영할 수 있는 모형으로 개선하고자 한다.

2. SWAT-K 모형의 적용

SWAT 모형의 구동을 위해서 필요로 하는 자료로는 대상지구의 HRU 및 소유역 구분을 위한 DEM, 토지이용도, 토양도, 하천도 등의 수치지도와 물수지 분석을 위한 강수량 등의 기상자료가 요구된다. 관개용수의 공급에 대해 분석을 필요로 하는 경우에는 수원공(저수지, 양수장 등)의 위치, 제원 등의 일반자료를 필요로 하고, 수원공으로부터의 방류량 및 작부시기 등의 현장 조사자료를 필요로 한다. 그 이외에 관개지구로부터의 회귀수량에 따른 유출량의 변화를 보정하기 위해서는 시기별 담수심 및 물꼬높이 등의 자료를 필요로 한다.

따라서 SWAT모형의 적용을 위해서는 대상지구의 선정과 모형의 운용에 필요한 입력자료를 구축함에 있어 세심한 주의를 필요로 하게 되며, 농업지역을 포함하는 광범위한 유역의 경우 수원공으로부터의 관개용수 공급과 이용에 대한 자료의 수집과 분석을 통해 모형의 실행결과에 대한 정확도를 제고할 필요가 있을 것이다.

가. 대상유역의 선정

본 연구에서는 “수자원의 지속적 확보기술개발 사업”을 통해 개발된 SWAT-K 모형의 적용을

위한 대상유역으로 농업용 저수지를 포함하는 관개지구를 선정하였다. 선정된 대상지구는 경기도 용인시, 평택시에 위치하고 있는 이동저수지 관개지구이며, 농업용수 관리 전문기관인 한국농어촌공사 농어촌연구원에서는 경기도 평택의 이동저수지와 그 관개지구인 이동지구를 2000년부터 관개용수수급 해석을 위한 시험지구로 설치 운영하여 시험지구 현장 계측 및 분석을 통하여 유역, 수원공, 관개지구의 유출량, 저수량, 관개량, 배수량을 포함한 다년간의 계량화된 물관리 기초자료를 축척하고 이를 용수수급 계획 및 물관리개선 등 관련연구에 활용하고 있다.

대상지구의 유역면적 9,300ha이며 유역내 3개의 강우관측지점과 4개의 하천수위 관측지점의 관측자료를 활용하여 장기유출량 추정에 대해 분석하였다. 분석에 사용되는 수문관측자료는 2000년~2006년 관측자료를 활용하였다.

유역의 구분은 1:25,000 수치지형도를 이용하여 작성하였으며 유역의 토지이용별 면적 및 토양특성 등을 구하였다. 유역면적은 이동유역이 9,300ha로 가장 크고 미산유역이 422ha로 가장 작으며 다양한 크기의 유역면적 분포를 보이고 있다. 유역의 토지이용 상태는 상류유역인 용덕과 미산유역은 산림이 90% 이상이며 이동유역은 산림이 73% 정도를 차지하고 논이 16%, 밭이 4% 그리고 기타 7% 정도로 구성되었다. 하천의 유역특성은 덕성교지점으로 기준으로 4,244ha이며 임야 3,440ha로 81%를 차지하며 밭이 3.0% 이다. 재인교지점의 유역면적은 1,600ha이며 임야는 1,220ha로 76%이며 밭이 63ha로 4.0%로 나타났다.

종합시험지구에는 미산, 용덕, 이동저수지가 있으며 관개구역별 필요수량 산정량과 실제 급수량 비교를 통한 관개효율분석을 실시한 결과 종합시험지구의 3개의 저수지에서 전체 관개구역에 대해 평균적으로 필요수량 산정량의 153%를 관개구역에 공급한 것으로 나타났다. 특히 이동저수지는 필요수량의 200%를 공급하였는데 이는 관개시설의 미비로 인한 용수공급체계의 비효율성, 물관리 관행으로 인하여 과다하게 관개된 것으로 나타났다.

그림 1 유역도 및 관측기 위치 및 전경

표 1 저수지 제원

구 분		저 수 지 명		
		이 동	용 덕	미 산
면적(ha)	유 역	9,300	1,250	442
	관 개	2,063	261	199
저수량(천㎥)	유효저수량	17,200	1,003	1,698
저수위(m)	만 수 위	11.70	9.50	16.50
	홍 수 위	14.19	10.50	19.00
제 당(m)	높 이	17.5	13.4	25.0
	길 이	660	299	251
	여수토형식	텐터게이트	물넘이	물넘이

나. 수리시설 현황

대상지구의 주요수리시설로는 저수지 3개소(용덕, 미산, 이동저수지)와 양수장 3개소(원암, 덕성, 은산양수장) 그리고 평야부 관개면적은 2,063ha이다.

시험지구의 저수지는 이동저수지와 상류에 있는 용덕·미산저수지가 있다. 이는 농업용저수지로 유역면적은 이동저수지가 9,300ha 이고 용덕저수지는 1,250ha, 미산저수지는 442ha이며 유효저수량은 이동저수지가 17,200천㎥이며 용덕저수지는 1,003천㎥, 미산저수지는 1,698천㎥이다. 관개면적은 이동저수지는 2,063ha, 용덕저수지는 261ha, 미산저수지는 199ha이다.

2. 모형입력자료 구축

가. MGT 성분입력

SWAT모형의 관개모듈은 SWAT모형의 담수 HRU의 수문해석 모듈과 관리성분(Management, MGT) 모듈에 대한 변경으로 구성되어 있다.

표 2 관개지구에 대한 HRU 제어 명령 및 입력자료

변수명	내 용
IRR	- 관개용수 수원 종류 0 : 무관수, 1: 하천(reach), 2 : 저수지(reservoir), 3 : 천수대수층(shallow aquifer), 4: 심수대수층(deep aquifer) 5 : 유역외부
IRRNO	- 관개용수 수원의 위치(하천지류, 소유역, 저수지 번호) 1 : 지류번호, 2 : 저수지 번호, 3, 4 : 소유역 번호 5 : 사용하지 않음
FLOWMIN	- 하천의 최소유량(minimum in-steam flow) - IRR=1인 경우에만 설정 - 관개용수량은 FLOWMIN 이상의 경우에만 가능(하천유지유량 개념)
DIVMAX	- 하천의 최대 관개용수량 - 하천에서 HRU로 취수되는 수량은 DIVMAX를 초과할 수 없음
IPOT	- 담수여부 설정 - 해당 HRU를 요면/저류지역으로 지정함으로써 담수상태 모의가능
POT_VOLX	- 최대 담수량(10^4m^3)
POT_VOL	- 현재 담수량(10^4m^3)

MGT성분은 논지대에 대한 수원공 종류, 일련번호, 최소유량, 최대담수량 등을 입력하여 관개시 수원공의 용수거동을 분석하게 된다. 단위유역내 미산저수지의 최대담수량은 총수혜면적에 최대담수심 60mm를 고려하였을 때 89,580 m^3으로 계산되었다.

표 3 관개지구에 대한 관리기능의 개요

MGT_OP	관리기능	내용
1	planting/beginning of growth season	작물종류, 작물생장의 시점, 수확지수
2	irrigation operation	HRU에 공급하는 관개용수량, 관개일시(월, 일)
3	fertilizer application	시비일수(월, 일), DB 상의 비료 종류 지정
4	pesticide application	살충제 살포일시(월, 일), 살충제종류 지정
5	harvest and kill operation	수확일시(월, 일) : 수확과 동시에 작물 소멸
6	tillage operation	배수토관을 통한 배수일시(월,일), 배수토관종류
7	harvest only operation	다년생작물 등의 수확일시(월,일), 수확지수, 요율
8	kill/end of growing season	HRU의 작물생장 중단일시(월,일)
9	grazing operation	건초/꼴 등의 수확일시(월,일) : 건초수확지수
10	auto irrigation initialization	수분스트레스(water stress) 설정, 관개시기(월,일)
11	auto fertilizer initialization	질소스트레스(nitorgen stess), 시비일시(월,일)
12	street sweeping operation	도시지역의 청소시기(월,일),오물제거효율 등
13	release and impound	담수/방류시기(월,일)
0	end of year rotation flag	공란설정(더이상의 기능이 없음)

관개지구에 대한 관리기능은 표 4에 나타낸 바와 같이 구분할 수 있으며 벼를 대상으로 하는 관개지구에 용수를 공급하고 있으므로 관리기능은 벼에 대한 MGT 성분을 입력하도록 구성하였다. SWAT 모형의 적용을 위한 MGT의 세부 적용내용은 표 24와 같다.

표 4 단위유역의 벼에 대한 MGT 성분 입력 내용

MGT_OP	관리기능	입력내용
1	planting/beginning of growth season	April 20
2	irrigation operation	May 1 (IRR_AMT = 40mm, IRR_SALR=0mg/l)
3	fertilizer application	Auto fertilizer : May 1
4	pesticide application	Auto pesticide : may 1
5	harvest and kill operation	Oct. 10
6	tillage operation	Crust buster / CNop : 74.00
7	harvest only operation	-
8	kill/end of growing season	-
9	grazing operation	-
10	auto irrigation initialization	May 1
11	auto fertilizer initialization	May 1
12	street sweeping operation	-
13	release and impound	-
0	end of year rotation flag	-

나. 저수지 속성입력

단위유역내 저수지에 대한 운영기록으로부터 필요한 저수지 자료를 구축하였다. 저수지 자료는 일별 최대, 최소 유출량, 월별 목표저수량 및 일평균 관개량을 대표적으로 입력하고 있다. 다음의 표 5에는 SWAT에서 입력하는 저수지 자료의 상세를 보여주고 있다.

표 5 저수지 속성 입력 자료의 상세

구분	설명	단위	범위
MORES	저수지 운영 개시(월)	월	1-12
IYRES	저수지 운영 개시(년)	년	0-9999
RES_ESA	만수면적(비상여수토)	ha	1.0-3000.0
RES_EVOL	저수량(비상여수토)	10^4m^3	15.0-3000.0
RES_PSA	만수면적(여수토)	ha	10.0-3000.0
RES_PVOL	만수면적(여수토)	10^4m^3	10.0-100.0
RES_VOL	초기저수량	ha	10.0-100.0
RES_SED	초기유사농도	mg/l	1.5-5000.0
RES_NSED	평상시 유사농도	mg/l	1.5-5000.0
RES_K	저측투수계수	mm/hr	0.0-1.0
IRESCO	유출량 적용방법	-	1.연평균유출량 2.실측값 3.모의-목표치
RES_RR	여수토를 통한 일별 유출량	m^3/s	0.0-1000.0
IFLOOD1R	건기 시작월	월	1-12
IFLOOD2R	건기 종료월	월	1-12
NORARGR	저수지가 목표수위까지 도달소요시간	일	-
WUNTNF	관개량과 유출량의 비율	-	-

3. 결과 및 고찰

가. 용수공급량 분석

관측된 모니터링 자료로부터 SWAT 모형의 입력자료를 구축하기 위하여 일별 용수공급조건을 도출하기 위하여 월별 용수공급량 및 관개일수로부터 일별 평균관개량을 산정하였다.

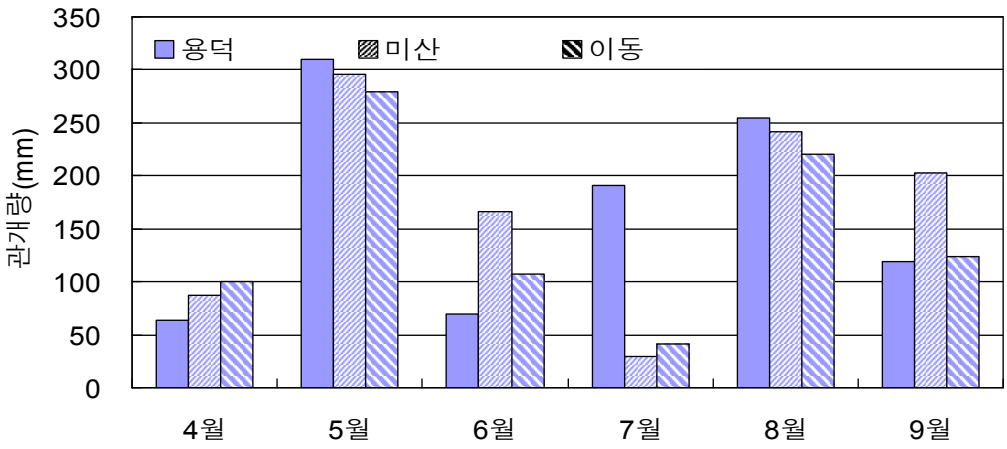

그림 2 월별 용수공급량

표 6 관개지구 일별 평균 관개량

구분	4월	5월	6월	7월	8월	9월	비고
관개량	4	9	7	3	5	2	

나. 농업용저수지 저수량 변화 모의

시험지구내 선정된 저수지의 저수량 변화를 검토한 결과 관측된 일별 저수량과 SWAT모형과 AGRIMAN모형에 의해 산정된 저수량의 변화가 유사한 경향을 보이고 있는 것으로 나타났다. 기존의 생육단계별로 필요한 적정담수심을 단시간에 공급하는 것으로 모의하였던 것에 비해 일별로 평균공급량을 공급하도록 입력자료를 구축하여 모의함에 따라 실제 용수공급에 따른 저수량 변화와 유사한 결과를 얻은 것으로 판단된다.

그러나 모의된 결과는 연간 저수량 변화와 저수지가 고갈되는 시기 등 몇 가지 차이가 나타나고 있는 것으로 보여 중간낙수시기, 저수지 운영을 위한 사전방류 등의 인자들을 추가적으로 반영하는 것이 요구된다.

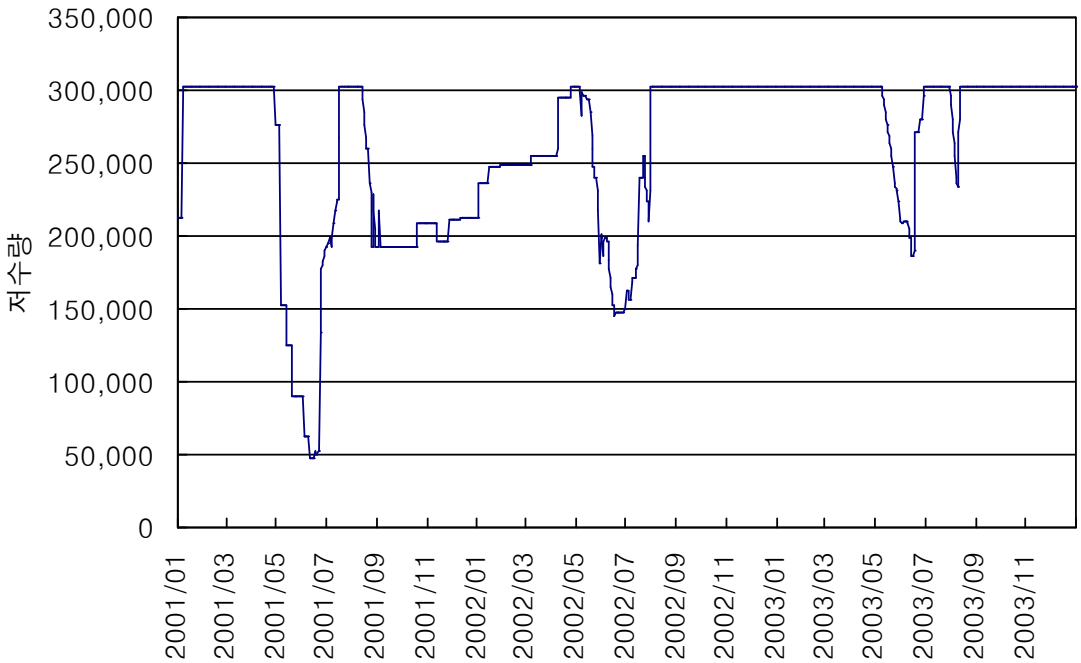

그림 3 대상지구의 저수율 현황

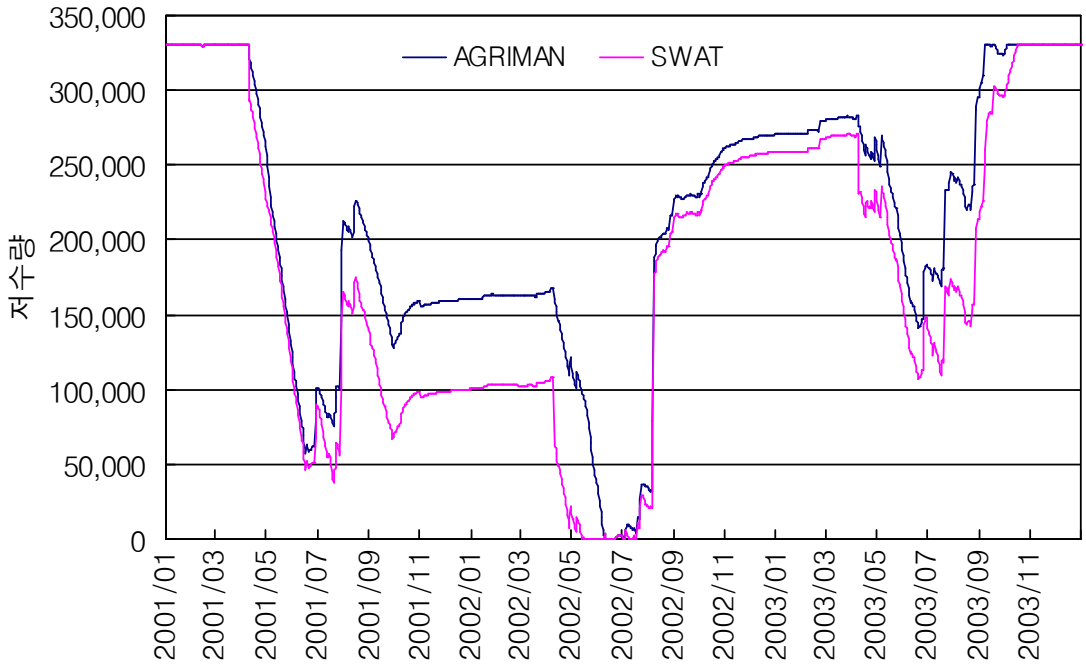

그림 4 SWAT-K 적용 결과

4. 결론

본 연구는 수자원의 지속적 확보기술 개발의 기본 모형인 SWAT 모형의 농촌용수지구 적용을 통해, 모형의 적용성을 평가하고, 지속적인 개선을 목표로 한다. 우리나라의 농촌용수지구인 이동저수지 상류유역인 농업소유역에 SWAT 모형을 적용하였다. 단위유역에 대한 모형의 적용결과 분석은 미산저수지내 관개량 입력자료와 저수지 운영자료로부터 모형의 거동 분석을 실시하였다.

1. 이동저수지 유역에 포함된 단위유역에 대한 토지이용도, 토양도, 강우관측자료 등 입력자료를 구축하였으며, 논에서의 관리성분 및 저수지 관리성분을 각각 DB화하여 구축하였다.
2. SWAT 모형의 개선을 위하여 모형을 구성하고 있는 논지대에 대한 관리성분을 관개량 측정자료로부터 일별 관개량을 고려할 수 있도록 제시하였다.
3. 단위 유역에 대한 SWAT 모형의 적용결과 관측된 일별 저수량과 SWAT모형과 AGRIMAN 모형에 의해 산정된 저수량의 변화가 유사한 경향을 보이고 있는 것으로 나타났다

이 지구는 관개지구의 환원수량, 저수지의 여수로 방류량 및 용수 사용량 등에 따라 저수지의 유입하천 및 하류하천의 장기유출량에 복잡한 형태로 영향을 미치고 있다. 이러한 농업용수 이용에 따른 농촌유역의 유출량, 저수량, 관개량 등 각 수문요소에 대한 정량적 분석이 필요하다. 본 연구에서는 단위유역에 대한 모형의 거동을 분석한 결과 농촌유역내에서의 수문성분의 검토가 가능하였으며, 이로부터 본 연구에서 목표로 하고 있는 농촌용수의 물수지 해석 및 수원공의 적정운영을 위한 기초기술이 개발이 가능할 것으로 판단되었다.

감 사 의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단(과제번호 2-2-3, 50%)과 한국농어촌공사(50%)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 한국건설기술연구원(1999). 시험유역의 운영 및 수문특성 조사·연구.
2. 한국건설기술연구원(2000). 시험유역의 운영 및 수문특성 조사·연구.
3. 문종필, 김태철(2006). SWAT2000 모형을 이용한 갑천수계의 소유역별 유출량 추정, 한국농공학회논문집, 제48권 제5호. pp. 29~38.
4. KARICO, Research on Improvement of Rural Water Supply and Operation of the Experimental Site, 2002.
5. KICT, Operation and Research on the Hydrological Characteristics of the Experimental Catchment-Review of Duration of Design Storm-, 2001.