

# 농업용 저수지 운영을 고려한 SLURP 모형의 수문학적 거동 분석

A Study on Hydrologic Variation Analysis for  
Agricultural Reservoir Using SLURP Model

박민지\*, 박근애\*\*, 김성준\*\*\*

Min Ji Park, Geun Ae Park, Seong Joon Kim

## 요    지

본 연구에서는 SLURP 모형을 이용하여 농업용 저수지의 수문학적 영향을 분석하고자 하였다. 안성천 유역내 공도수위관측소 지점의 상류유역을 대상으로, 유역내 고삼 및 금광 농업용 저수지를 고려하여 두 저수지 지점 및 공도 지점에서 저수지의 고려시 및 미고려시에 대한 각각의 하천 유출 거동을 분석하였다. 우선 공도수위관측소의 9개년(1998~2006) 동안의 일별 하천 유출량 자료를 이용하여 모형의 보정(1999, 2002, 2004)과 검증(1998, 2006)을 실시한 결과, 보정과 검증기간의 Nash-Sutcliffe 모델효율계수는 각각 0.70~0.82 %, 0.56~0.61 %이었다. 금광 및 고삼 저수지 지점에서는 저수지 고려 및 미고려시 유출율의 차이는 2개년에 대하여 각각 10.5~31.1 %의 차이를 보였다. 한편 공도지점에서의 하천유출량은 3.7 %, 7.2 %의 차이를 보여 두 저수지 유역에서 발생한 유역 유출량이 저수지 운영에 의하여 저류 및 방류시키는 영향을 반영한 것으로 판단되었다.

핵심용어 : SLURP, 농업용 저수지, NDVI, TOPAZ

## 1. 서 론

장기유출모형인 SLURP(Semi-distributed Land Use-based Runoff Processes)는 저수지, 댐, 조절장치, 관개계획에 의한 효과를 고려하여 강수에서 유출까지의 물의 순환을 모의하는 물리적인 모형으로서 유역 내 수자원 관리방법의 변화에 대한 효과를 평가하고, 기후변화와 토지피복상태의 변화와 같은 외부적인 요인들이 이수축면의 얼마나 영향을 미치는지에 관해서 판단할 수 있는 모형이다(김병식 등, 2003). 본 연구에서는 SLURP 모형에서 농업용 저수지의 고려 유무에 따른 유역 물수지와 하천 유출량을 모의하여 농업용 저수지의 수문학적 영향을 분석하고자 한다.

## 2. SLURP 모형 개요

SLURP 수문모형은 토지피복별로 세분화되는 ASAs(Aggregated Simulation Areas)로 알려진 공간 단위로부터 일단위 강우-유출을 수문해석하며, 입력자료는 지형자료(ASA 평균고도값, 수로 연장, 토지피복상태 등), 시계열자료(기온, 강수 등), 물리적 매개변수(조도계수, 차단계수) 등을 이

\* 정희원 · 건국대학교 대학원 사회환경시스템공학과 박사과정 · E-mail : iamg@konkuk.ac.kr

\*\* 정희원 · 건국대학교 대학원 지역건설환경공학과 박사수료 · E-mail : dolpin2000@konkuk.ac.kr

\*\*\* 정희원 · 건국대학교 생명환경과학대학 사회환경시스템공학과 부교수 · E-mail : kimsj@konkuk.ac.kr

용한다. 시계열 자료는 기상관측소에서 실측한 값을 사용하며, 매개변수들은 측정·추정·보정된 값을 사용한다. 모형의 유출모의는 각각의 토지피복별 격자 매트릭스와 ASAs 소유역에 대한 연직방향 물수지 해석에 의하여 이루어지며, 이는 수관저류, 강설초기저류, 급속저류(지표면저류, 토양충저류 등), 완속저류(지표하저류 등)의 네 가지 수직구조로 구성된다. 지형자료의 경우는 GIS 와 수치지형 분석 기법을 사용하여 획득할 수 있다.

### 3. 대상 하천의 개요

본 연구에서 적용한 유역은 안성천의 공도 수위관측소를 유역출구로 하는 상류유역으로, 이 유역의 면적은 약 371.1km<sup>2</sup>, 주 하천의 유로연장은 26.8km, 유역 평균폭은 14.0km, 유역 평균 표고는 EL. 113.6m, 유역 평균경사는 10.6%이다. 행정구역상으로는 안성시, 천안시와 용인시가 각각 90.2%, 1.0%, 8.7%를 차지하는 이 유역은 지난 20여년간 공단, 택지, 골프장 조성 등의 도시지역과 산림지역, 농경지 등 유역내 토지이용의 변화가 꾸준히 전진된 지역이다. 유역내 농업용저수지로는 고삼저수지와 금광저수지를 포함하고 있다(Fig. 1).

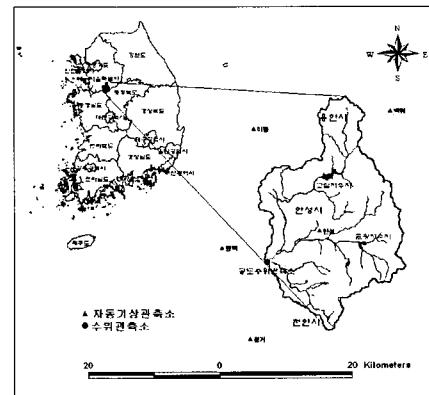


Fig. 1. Study area

### 4. 입력자료 구축

SLURP 모형에서는 유역과 근거리 기상관측소의 기상자료를 이용하여 Theissen 가중법에 의해 각각의 ASAs 소유역에 해당하는 기상자료로 변환되어 사용된다. 기상청의 자동기상관측소(AWS: Auto Weather Station)인 안성, 용인, 이동, 평택, 성거 등 5개 관측소를 사용하여 1998 ~ 2006년까지 9개년의 일별 강우량, 풍속, 평균, 최고, 최저 온도 자료를 이용하였고, 그 외에 상대습도, 일조시간, 이슬점온도는 수원 기상관측소의 일별 기상자료를 획득하였다. 모형의 보정에 사용할 유량자료는 공도수위관측소의 일별 유량자료를 이용하였다. 또한, 저수지 고려를 위해 한국동 촌공사 안성지사의 금광과 고삼 저수지의 일별 수위와 방류량 자료를 입력하였다. 공간해상도 30m × 30m의 DEM을 구축하였으며, 토지피복도는 2000년 4월 29일 Landsat ETM+ 영상을 이용하여 총 8개(1.수역, 2.시가화, 3.나지, 4.습지, 5.초지, 6.산림, 7.논, 8.밭)의 항목으로 구축하였다. 이 두 지형 자료를 이용하여 저수지를 고려한 7개의 소유역으로 분할하였다.

### 5. 결과 및 고찰

#### 5.1 모형의 검보정

모형의 보정은 공도수위관측소의 3개년(1999, 2002, 2004)간의 일별 하천 유출량 자료를 이용하여 실시하였으며, 모형의 검증은 보정된 매개변수를 적용하여 1개년(1998, 2006)에 대하여 실시하였다. 모형의 보정시 SCE-UA(Shuffled Complex Evolution-University of Arizona) 최적화 기법(Duan 등, 1994)을 이용하여 매개변수를 최적화하였다. 최적화 시행 후 참고문헌을 조사하여 모형에서 민감한 8개의 매개변수를 선정하여 Table 1과 같이 보정하였다. Table 2는 모형의 검보정 결과를 요약한 것이며, Fig. 2는 관측치와 비교한 그래프이다. 보정기간에 대한 평균

Nash-Sutcliffe(1970)의 모델효율계수는 0.62 ~ 0.78, RMSE(Root Mean Square Error)는 2.47 ~ 15.43mm이었으며, 검증기간에 대한 Nash-Sutcliffe의 모델효율계수는 0.60 ~ 0.67, RMSE(Root Mean Square Error)는 3.66 ~ 17.87mm로 나타났다.

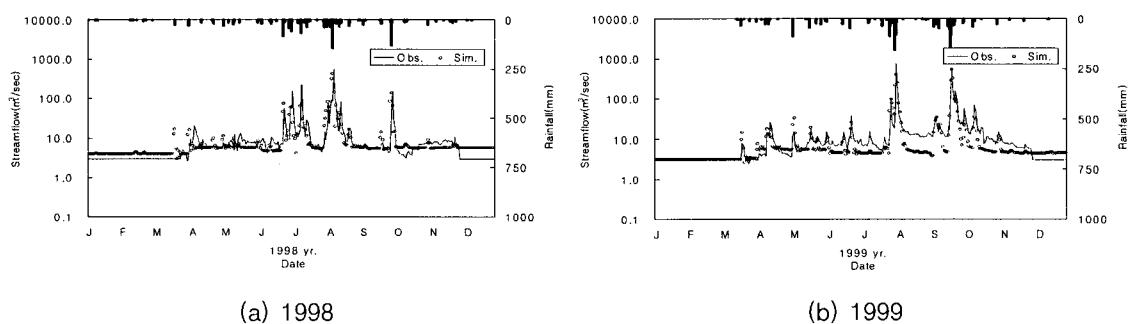
Table 1. Summary of Model Calibration and its Mean Parameters

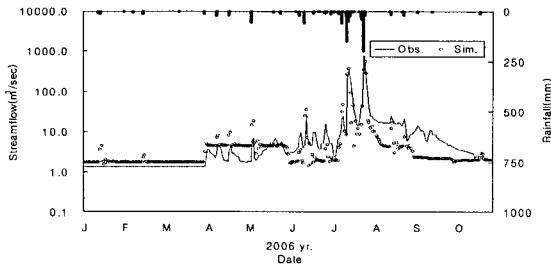
	Description	1998 yr.		1999 yr.		2006 yr.		Mean	
		Forest	Paddy	Forest	Paddy	Forest	Paddy	Forest	Paddy
1	Initial contents of snow store(mm)	1.18	2.57	2.17	3.57	1.75	1.57	1.70	2.57
2	Init. contents of slow store (% of max)	58.57	77.44	18.57	17.44	3.86	1.74	27.00	32.21
3	Maximum infiltration rate (mm/day)	115.00	113.50	174.60	153.50	114.6	113.50	134.73	126.83
4	Retention constant for fast store	5.00	5.94	5.00	5.94	25.00	29.94	11.67	13.94
5	Maximum capacity for fast store(mm)	390.00	400.00	330.00	334.80	245.70	234.80	321.90	323.20
6	Retention constant for slow store	27550.00	26650.00	20550.00	20650.00	21250.00	20050.00	23116.67	22450.00
7	Maximum capacity for slow store(mm)	1.70590.00	71680.00	70590.00	71680.00	80590.00	81680.00	73923.33	75013.33
8	Precipitation factor	2.095	0.90	1.39	1.25	1.25	1.10	1.20	1.08

Table 2. Comparison Simulated Results with Observed Discharge

year	Observation			Simulation			Statistical summary			Note
	P(mm)	Q(mm)	Q(%)	Q(mm)	Q(%)	RMSE (mm)	Coefficient variation	Correlation coefficient	Nash-sutcliffe	
1998	1,534.0	1,007.9	65.7	1,058.4	69.0	2.26	1.57	0.85	0.73	C
1999	2,082.0	1,316.7	63.2	1,230.9	59.1	2.83	2.83	0.91	0.82	C
2002	1,231.7	816.0	66.2	790.9	64.2	3.08	2.86	0.80	0.56	V
2004	1,217.0	784.0	64.4	655.5	53.9	2.83	2.54	0.85	0.61	V
2006	1,275.8	955.6	74.9	783.4	61.4	3.49	2.33	0.84	0.70	C

note) P:Precipitation, Q:Streamflow, QR:Ratio of sim. Q/obs. P, V:verification, C:calibration, ET: Evapotranspiration.



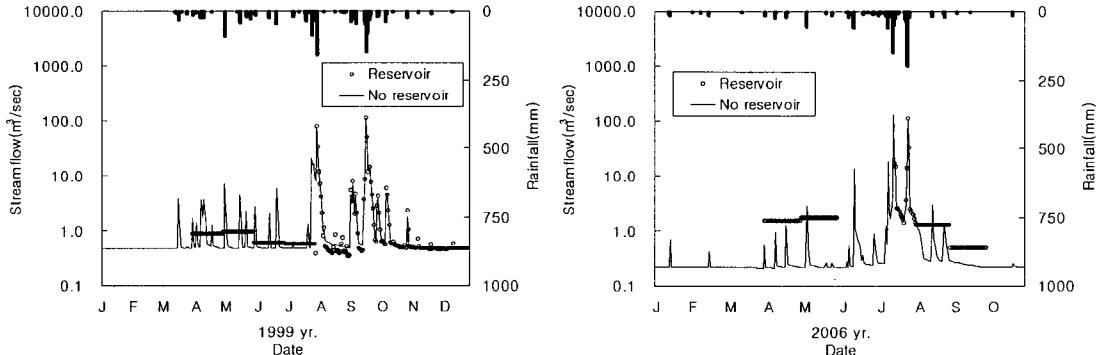


(c) 2006

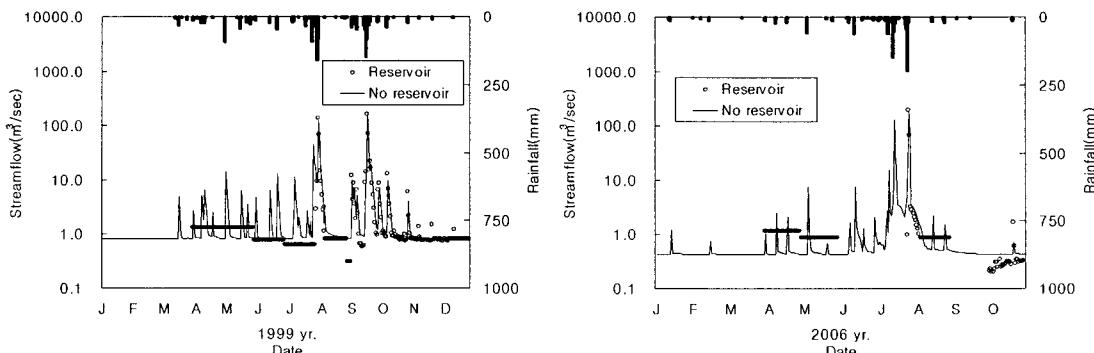
Fig. 2. Comparison simulated result with observed streamflowCalibration)

## 5.2 농업용 저수지를 고려한 수문분석

Fig. 3의 (a), (b)에서 보는 바와 같이, 두 저수지 지점에서 저수지 고려유무에 따라 관개기가 시작되는 4월부터는 저수지에 의한 저류 및 방류 조절패턴을 살펴볼 수 있다. 4월부터 7, 8월 사이에 강우로 인하여 변동이 심한 자연유출량을 인위적으로 일정량 방류하는 것을 볼 수 있으며, 금광과 고산 저수지 유출유역은 3월부터 6월 말까지는 저수량의 인위적인 방류로 인한 확연한 차이, 7월 ~ 8월 중순의 홍수기에는 확실한 저류기능을 그리고 8월 말 ~ 9월 초에는 다시 관개를 위하여 방류를 시도한 패턴을 볼 수 있다.



(a) Geumgwang Reservoir Watershed



(b) Gosam Reservoir Watershed

Fig. 3 Comparison Simulated Result with and without Agricultural Reservoir Data

## 6. 요약 및 결론

본 연구에서는 SLURP 모형에서 농업용 저수지의 고려 유무에 따른 유역 물수지와 하천 유출량을 모의하여 농업용 저수지의 수문학적 영향을 분석하고자 하였다. 안성천 유역내 공도수위관측소 지점의 상류유역을 대상으로, 유역내 고삼 및 금광 농업용 저수지를 고려하여 두 저수지 지점 및 공도 지점에서 저수지의 고려시 및 미고려시에 대한 각각의 하천유출 거동을 분석하였다. 본 연구를 통해 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

1. 저수지 유역을 고려한 SLURP 모형의 구동을 위하여, 고삼저수지 유역, 금광저수지 유역, 두 저수지를 제외한 공도수위관측소 상류 유역의 3개로 나누어 TOPAZ를 구동하였으며, 각각의 지형학적 매개변수를 수작업으로 합치는 방법으로 대상유역을 총 7개의 소유역으로 분할한 입력자료를 구축할 수 있었다.
2. 모형의 보정은 공도수위관측소의 일별 하천 유출량 자료를 이용하여 3개년(1998, 1999, 2006) 동안, 모형의 검증은 보정된 매개변수를 적용하여 2개년(2002, 2004)에 대하여 실시하였다. 보정기간에 대한 평균 Nash-Sutcliffe(1970)의 모델효율계수는  $0.70 \sim 0.81$ , RMSE(Root Mean Square Error)는  $2.36 \sim 3.49\text{mm}$ 로 나타났으며, 검증기간에 대한 Nash-Sutcliffe의 모델효율계수는 0.56, 0.61, RMSE(Root Mean Square Error)는  $2.83 \sim 3.08\text{mm}$ 로 모의되었다.
3. 금광 및 고삼 저수지 지점에서는 저수지 고려 및 미고려시 유출율의 차이가 2개년(1999, 2004)에 대하여 각각  $3.67 \sim 12.63\%$ ,  $7.23 \sim 31.08\%$ 의 차이를 보였다. 두 저수지의 고려 유무에 따라 공도지점에서의 하천 유출율의 차이는 2개년에 대해 각각 4.2%, 5.3%로 저수지 고려시가 작게 모의되었는데 이는 상류 유역에서 발생한 유역 유출량이 저수지에 의하여 저류되는 효과를 반영한 것으로 판단되었다. 강우시에는 유출량을 저수지가 충분히 저류함으로서 공도지점에서의 유출량이 적게 모의된 것으로 판단되었다.

### 감사의 글

이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. R01-2006-000-10343-0).

### 참고문헌

1. 김병식, 서병하, 김형수, 김남원 (2003). “SLURP 모형을 이용한 하천 유출량 모의.” 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제 23권, 제4B호, pp. 289-303.
2. Duan, Q., Sorooshian, S.S., and Gupta,V.K. (1994). “Optimaluseofthe SCE-UA globaloptimization method forcalibrating watershed models.” Journal of Hydrology, Elsevier, Vol. 158, pp. 265-284.
3. Kite, G.W. (1993). “Application of a land class hydrological model to climatic change.” Water Resources Research, Water Resources Research, Vol. 29, No 7, pp. 2377-2384.
4. Nash, J. E., and Sutcliff, J.V. (1970). “River flow forecasting through conceptual models. Part 1: A discussion of principles.” Journal of Hydrology, Vol. 10, pp. 282-290.