

## 농촌 소유역에 대한 GWLF 모형의 적용성 검토

### The Application of the GWLF model for Rural Small Watershed

황 세 운\* · 장 태 일\*† · 박 승 우\*\* · 강 문 성\*\*\*

Hwang, Sye Woon · Jang, Taecil · Park, Seung Woo · Kang, Moon Seong

#### Abstract

This study reviews the applicability of the GWLF (Generalized Watershed Loading Function) model, which is based on a loading function that requires only a relatively small amount of data, in a small agricultural watershed. The hydrological data was collected from 1996 to 2004 for a study area based on the HP#6 upper stream reservoir small watershed area. This data was then used to calibrate and verify the model. A simulation based on the model yielded  $R^2$  values of 0.47~0.89. This is considered to have high applicability when compared to the simulation and the observed results, which yielded relatively high values of  $R^2$  for SS (Suspended Solid), TN (Total Nitrogen), and TP (Total Phosphorus) of 0.58, 0.47 and 0.62, respectively. This study provides a useful approach for researchers selecting appropriate models to use the insufficient measuring data for rural watersheds.

*Keywords : GWLF model, Hydrology, Water quality, Agricultural basin*

#### I. 서 론

우리나라는 급속한 경제 성장을 바탕으로 산업화가 진행되고, 농촌의 도시화 및 이농 현상 등에 의해 수질 문제를 비롯한 환경적 사회 문제가 부각되고 있으며, 이를 해결하기 위한 중요한 과정으로서

미 계측지역 등의 수질을 예측하기 위한 모델의 선정과 적용에 대한 연구가 끊임없이 이루어지고 있다.

수질 모델링은 수질에 영향을 미치는 폐수의 유입, 수체의 유량, 유속, 기하학적 구조, 기상조건 등의 수체 내에서 일어나는 물리적, 화학적 작용을 수식화하여 수질을 예측 평가하는 작업을 말하며, 실험하기 어렵거나, 비용 또는 시간이 많이 요구되어 현실적으로 분석이 불가능한 문제들에 관하여 다양한 시나리오와 상황을 고려하여 그 결과를 예측 및 평가할 수 있도록 해 주는데 사용된다. 따라서 수질 모형들은 환경문제에 관한 의사결정 과정에 있어서 중요한 도구로 등장하였으며, 이를 적용하기 위해서는 수체의 수리학적 특성, 오염부하량,

\* 서울대학교 지역시스템공학부 대학원  
\*\* 서울대학교 지역시스템공학부 교수  
\*\*\* Research scholar, Department of Biosystems Engineering, Auburn University  
† Corresponding author. Tel.: +82-2-880-4591  
Fax: +82-2-873-8725  
E-mail address: uriduri7@snu.ac.kr

수질 현황 등에 대한 조사가 선행되어야 한다. 그러나 현실적으로 급속한 도시화가 진행되고 있는 반면, 하천관리가 지역 발전 수준에 미치지 못하는 농촌 소유역의 하천 수질 관리를 위해 수질 모델을 적용함에 있어 지역적 특성 자료 구축 미흡과 오염원 관리 및 규제 한계 등의 문제는 수질관리의 성공적 수행의 제한 조건이라 할 수 있다. 또한 각 소유역에 대해 HSPF, SWAT과 같은 세부적인 인자를 비교적 정밀하게 고려하는 유역 모델을 적용하기에는 자료가 부족하여, 보정을 통한 최적 매개변수 추정으로 이를 해결해야 하며, 모델링의 수행이 경제적·효율적 측면에서 합당치 않을 수 있다. 특히 대상 유역에 대해 가장 합당하고 경제적인 모델을 선정하는 것은 매우 어려우며, 중요한 선행작업이라 할 수 있다.

GWLF(Gneralized Watershed Loading Fuc-tion) 모형은 도시와 농촌, 산림의 복합 유역에 대한 점원 및 비점오염의 영양물질 부하량을 산정·평가하기 위한 목적으로 코넬 대학(Cornell University)의 Haith(1987) 등이 개발한 모형으로 보정을 위한 수질 자료 없이 수질 미 계측 지역에 대한 오염부하량을 예측할 수 있는 모형이며, 최초 뉴욕주 북부지방의 중규모 유역에 대해 성공적으로 적용성이 검증된 바 있다. 최근 체서피크 만의 참탱크 강 유역(Lee et al., 2000)을 대상으로 수문, 유사, 영양물질을 분석하기 위해 적용되었다. 또한 GWLF 모형을 오염총량 관리(Total Maximum Daily Loads, TMDL)를 위해 최적관리기법과 관련하여 적용하는 수단에 대한 연구(Yagow et al., 2004)가 이루어지는 등, 미국에서의 오염총량 및 비점원오염 관리를 위한 모델링에 GWLF 모형이 적용되는 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 국내에서는 경기도 이천시 복하천 상류의 소유역에 대한 적용성이 검토된 바 있으며(Jang et al., 2001), 최근 경안천 유역(Yu et al., 2003)과 추령천 유역(Kim, 2003)에 대해 영양 물질 부하량 산정을 위한 적용성이 검증 되는 등, 본 모형의 기

본적인 수질 예측 기능에 대해 국내 농촌 소유역의 특성과 상수원보호구역 등 정밀한 수질 관리가 요구되는 지역의 특성을 고려하는 적용성 평가에 대한 연구가 이루어지고 있다.

본 연구에서는 농촌 소유역에 대한 오염 부하량을 효율적으로 산정하기 위해 대상 유역을 선정하여, 지방자치단체 및 행정 관공서로부터 자료를 수집하고 비교적 적은 양의 자료를 이용하여 도시 및 농촌 복합 유역의 유출 및 오염부하량을 모의하는 GWLF 모형을 적용하여, 선정된 농촌 소유역에 대한 적용성을 검토하였으며, 동일 유역에 대해 비교적 정밀한 모델(detailed Model)을 적용한 선행 연구의 결과와 비교·분석하였다.

## II. GWLF 모형의 개요

GWLF (Haith et al., 1992) 모형은 사용자가 사용하기 편리한 환경을 도입하여 소규모 정화시설에 대한 발생 오염부하량을 고려하는 모델로서, 도시 유출 모듈을 SWMM(Huber and Dickinson, 1988), STORM(Hydrologic Engineering Center, 1977)과 같은 도시 유출 전용 모형의 기작과 유사한 절차로 보완개발된 모델이다.

본 모델에서 모의하는 질소와 인의 경우, 하천에서의 월별 부하량은 다음 식 (1)과 식 (2)로 표현된다.

$$LD_m = DP_m + DR_m + DG_m + DS_m \dots \dots \dots (1)$$

$$LS_m = SP_m + SR_m + SU_m \dots \dots \dots (2)$$

여기서,  $LD_m$ 은 용존상태 영양물질,  $LS_m$ 은 고형상태 영양물질의 월별 발생 부하량을 의미한다. 그리고  $DP_m$ 은 점오염원,  $DR_m$ 은 농촌 지역의 유출,  $DG_m$ 은 지하수,  $DS_m$ 은 정화조와 같은 소규모 가정용 하수처리장치(septic system)로부터 발생하는 양이다.  $SP_m$ ,  $SR_m$ ,  $SU_m$ 은 각각 고형

점오염원, 농촌지역과 도시지역으로부터 발생하는 영양물질 부하량을 의미한다.

본 모형에서 하천의 영양물질의 이동은 용존(dissolved)상태의 흐름과 고형(solid phases)상태의 흐름으로 나누어진다. 용존상태의 영양물질은 유출, 점오염원, 하천으로 유입되는 지하수에 의해 이동하며, 고형의 영양물질은 점오염원, 토양유실, 도시로부터 발생하는 씻김(wash off)에 의한 유출 등에 의하여 하천으로 유입된다. GWLF 모형은 분포형 모형(distributed model)으로 유출(runoff, urban wash off) 및 침식(erosion), 그리고 지하수에 대한 총괄 매개변수 선형저수지 모델(lumped parameter linear reservoir model)의 적용으로 비점오염을 모의한다. Fig. 1은 GWLF 모형의 구성을 설명하는 그림으로 영양염류 모의를 위한 수문기작을 보여주고 있다. 모형은 토지이용에 따른 유출곡선지수와 증발산 부모형, 지하수 유출 부모형, 유사 부모형, 그리고 오염원에 따른 영양물질 부모형으로 구성되어 있다.

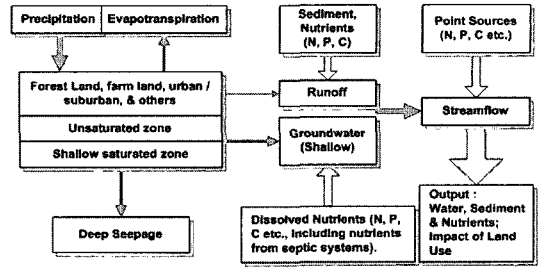


Fig. 1 Structure of the GWLF model

### III. 시험구역 및 자료구축

#### 1. 시험구역의 개요

농촌 소유역에 대한 GWLF 모형의 적용성을 평가하기 위하여 경기도 화성시 발안면과 팔탄면에 위치한 발안저수지 유역을 대상유역으로 선정하였다. 유역면적 29.79 km<sup>2</sup>의 발안저수지 유역은 농업용 저수지인 기천저수지와 발안저수지를 포함하고 있다. 발안저수지 유역은 토지이용과 저수지 위

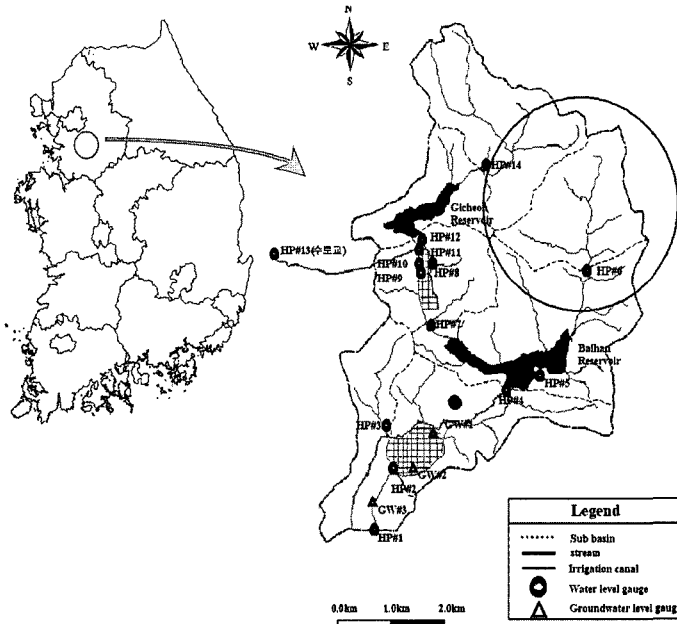


Fig. 2 Monitoring networks of Baran study watershed

치를 고려하여 7개의 소유역으로 구분되며, 소유역 구분과 소유역별 수문관측 지점의 위치는 Fig. 2에서 보는 바와 같다.

서울대학교 농공학과(현 지역시스템공학부)는 이 유역에 대해 1996년부터 현재까지 수문과 수질에 대한 모니터링을 실시하고 있다. 본 연구에서는 하천 수질 모형의 적용성을 검토하고 도시화에 따른 수질 변화를 예측하고 평가하기 위하여 발안저수지 상단에 위치한 HP#6 소유역을 대상유역으로 하였으며, 유역면적은 3.84 km<sup>2</sup>, 유로장은 3.1 km로서 행정구역상으로 봉담읍 왕림리의 93%, 세곡리의 25%, 그리고 당하리의 15%가 해당된다.

## 2. 자료구축

### 가. 수문 자료

GWLF 모형의 입력자료로 활용되는 기상자료는 강우량(cm)과 기온(℃)이다. 자료기간 1996년부터 2004년까지 발안 시험유역으로부터 약 10 km 거리에 위치한 수원기상대에서 관측하여 제공되는 기상자료를 수집하였다.

HP#6 소유역 말단의 하천 수위 측정을 위해 압력식 수위계(WL-14, Global Water)를 설치하여 운영하고 있으며, 2005년에는 부자식 수위계(Thalimedes, OTT)를 추가로 설치하여 자료를 수집하고 있다. Fig. 3은 자료기간(1996년~2004년)의 수집된 수위자료를 정리한 시계열을 강우량과 함께 도시한 것이며, Fig. 4는 구축한 수위-유량 관계를 이용하여 산출한 유출량을 도시한 그림이다.

Fig. 5와 Fig 6은 수집한 수위자료로부터 유출량을 산정하기 위한 실측 유량과 수위와의 관계를 도출한 그림으로 자료기간 중 1996~1998년과 2003~2004년의 관계를 나타내고 있으며, 결정계수(R<sup>2</sup>)는 각각 0.90과 0.98로 높게 나타났다.

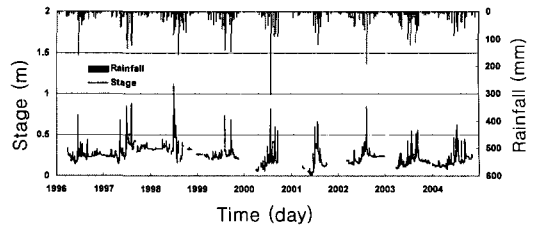


Fig. 3 Daily streamflow stage at the HP#6 station

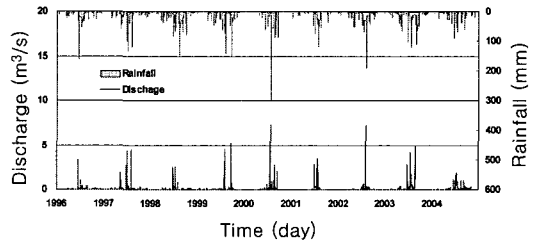


Fig. 4 Daily streamflow hydrograph at the HP#6 station

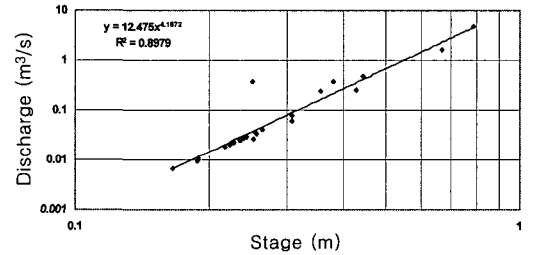


Fig. 5 Stage-discharge relationship (1996~1998)

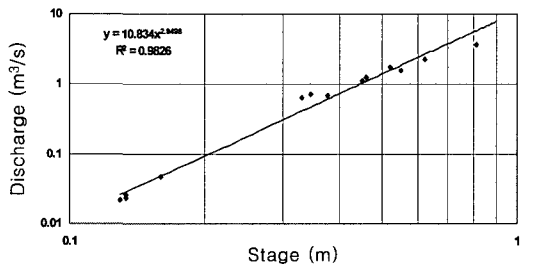


Fig. 6 Stage-discharge relationship (2003~2004)

### 나. 수질 자료

수질 자료는 월 1회의 정기적 샘플링과 하천이 고수위일 경우 유량측정과 함께 샘플링을 실시하여 총 월 1회 이상의 하천수 시료를 채취함으로써 구

축하였다. 실험은 서울대학교 농업생명과학대학 부속 법정 연구지원기관인 농업과학공동기기센터(NICEM)를 통해 기본적인 수질항목(pH, DO, COD, SS, TN, TP)에 대해 공정시험법에 따라 수행하였다. Fig. 7과 Fig. 8은 자료기간에 대한 실

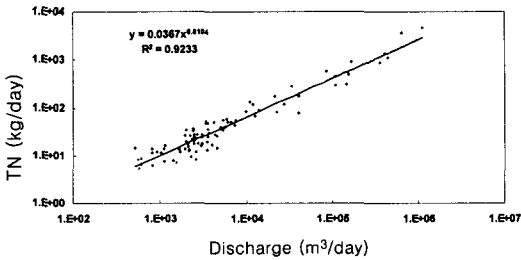


Fig. 7 Load-discharge relationship (TN)

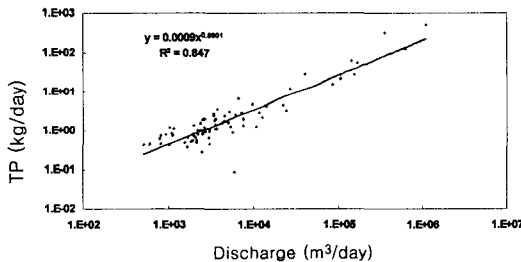


Fig. 8 Load-discharge relationship (TP)

측 유량과 부하량 간의 관계를 도시한 그림이며, 이로부터 산출한 일유량에 대한 미세측 일 부하량을 발생시키게 된다.

다. 오염원 자료

점오염 부하량을 산정하기 위하여 관공서(화성시청, 봉담면 주민자치센터, 2005)를 통해 생활계, 산업계, 축산계, 그리고 토지계로 나누어 시험유역의 오염원 자료를 수집하였다. Table 1은 수집한 오염원 자료와 원단위를 적용한 연간 점오염 발생 부하량을 정리한 것이다.

라. 기타 유역 특성 자료

CN 값을 산정하기 위한 시험유역의 토양도는 농촌진흥청에서 제작한 1:25,000의 정밀토양도를 이용하여 작성하였다(Jung et al., 2004). 미국 자연자원보호청(Natural Resources Conservation Service, NRCS)에서 제시한 수문학적 토양군의 분류 기준과 각 토양군에 속하는 대표 토양을 바탕으로 토지이용도를 적용하여 토지 이용별 CN값을 산정하였다. 토지이용별 유출곡선지수(Lim, 1997)는 토양도를 이용하여 산출한 수문학적 토양군도와

Table 1 Calculation of annual pollutant loading for each sources

Item	Unit generation load		Number	Annual pollutant load		
	TN	TP		TN	TP	
Population	(g/capita/day)		(capita)	(kg/year)		
	13	1.45	2,096	9.946	1,109	
Live-stock	(Unit)	(g/head/day)		(head)	(kg/year)	
	Milk cow	161.8	56.7	58	3,666	1,285
	Swine	27.7	12.2	35	379	167
	Poultry	1.1	0.4	1693	723	263
Industry	(Unit)	(g/m <sup>3</sup> )		(ea)	(kg/year)	
	Manufacturing	40	4	42	7,429	724
	Construction	50	5	3	176	18
	Others	59.9	6	18	1,586	159

Table 2 Curve number values for each land uses (AMC II)

Land use	Hydrologic Soil Group (%)				CN
	A	B	C	D	
Paddy	4.0	11.9	9.6	0.4	78
Upland	0.4	1.9	1.5	0.1	83
Forests	22.0	20.5	3.7	0.8	67
Farmstead	3.7	9.4	9.3	0.7	75
Water					0.2

토지 이용도를 이용하여 산정하였다. 다음 Table 2는 토지이용 별로 각 수문학적 토양군에 해당하는 면적비율과 AMC II에 대한 CN값을 산정하여 정리한 표이다.

모형의 입력자료로 활용되는 유역의 특성 자료로서 농업지역의 월별 식생피복 정도를 의미하는 증발산 피복 계수와 월별 평균 일조시간, 작물 경작 여부, 그리고 USLE 강우 가식성 인자를 결정하기 위한 월별 계수 등을 GWLF 모형 매뉴얼(Haith et al., 1992)에서 유역의 지형 특성에 맞는 값을 찾아 적용하였으며, Table 3은 본 연구에서 적용한 이들 값을 정리한 것이다. 유출 특성에 관여하는 지하수 감수 계수(groundwater recession coeff., /day)와 침윤 계수(seepage coeff., /day)는 보정을 통해 산정하여 적용하였다.

또한, GWLF 모형에서는 토지이용별 배출수에 대한 총질소와 총인의 농도로부터 비점오염 부하량의 일부를 산출하게 되는데, 산지, 밭의 배출수 농

Table 4 Nutrient concentrations of drainage water from paddy field

Item	Date					
	2004			2005		
	07.12	08.12	08.26	06.30	07.21	08.31
TN	0.22	0.27	0.30	0.989	0.781	0.887
TP	ND	0.03	0.08	0.020	ND	0.067
SS	ND	ND	4	223	17	19.0

ND: Not detected

도(M.O.E., 1995; 2003)는 환경부에서 제시한 전국 평균값을 적용하였으며, 논 배출수의 경우는 Table 4와 같이 시험유역 내 일반논을 선정하여 2004년과 2005에 걸쳐 샘플링한 결과를 사용하였다. 그 평균 농도는 총질소가 0.57 mg/L, 총인은 0.05 mg/L로 산정되었다.

#### IV. 결과 및 고찰

##### 1. 모형의 보정

모형의 보정을 위해 시행착오법을 통하여 매개변수를 추정하였으며, 보정기간은 1996년에서 1999년까지로 4년간의 수문 자료를 이용하였다. Fig. 9와 Fig. 10은 보정 결과를 보여주고 있으며 R<sup>2</sup>는 0.47~0.91, RMSE(Root Mean Square Error)는 2.11~5.72, RMAE(Root Mean Absolute Error)는 0.04~0.44 범위의 값을 보였다. Table 5는 유

Table 3 Input factors for calculation of evapotranspiration

Item	Month											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
ET Cover coef.	0.30	0.30	0.30	0.95	0.95	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95	0.30	0.30
Day length (hrs)	9.8	10.6	11.8	13.0	14.0	14.4	14.2	13.4	12.2	11.1	10.1	9.5
Growing season	-	-	-	-	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	-	-
Erosivity coef.	0.12	0.12	0.12	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.12	0.12	0.12

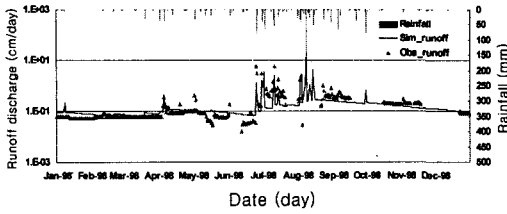


Fig. 9 Observed and simulated runoff (1998)

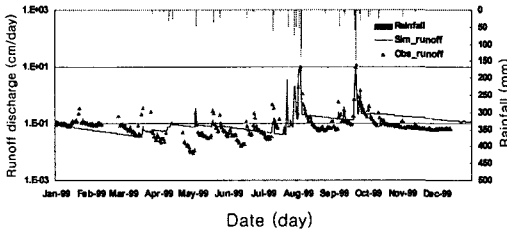


Fig. 10 Observed and simulated runoff (1999)

출에 대한 보정에 관여한 매개변수를 정리한 것이며, Table 6은 실측치와 모의 결과를 자료기간에 대한 유출율과 오차통계량을 비교·정리한 것이다.

## 2. 모형의 검정

검정기간은, 계측기 결함과 기상이변 등으로 인한 결측이 많은 2000년과 2001년을 제외한 2002년에서 2004년까지 3년간이며, Fig. 11과 Fig. 12는 검정 결과를 보여주고 있다. Table 7은 실측치와 모의 결과를 통계량을 이용하여 비교·정리한 것으로, 모의된 유출량과 실측치의  $R^2$ 는 0.81~0.86, RMSE는 3.26~4.03, RMAE는 0.15~0.47

Table 5 Transport parameters

Parameter	Description	Unit	Variable	Initial value	Calibrated value	Literature range /comments
Sediment delivery ratio	Annual sediment yield/annual erosion	None	SDR	0.08	0.27	Site-dependent
Baseflow recession	Ground water recession coefficient	/day	r	0.052	0.0461	0.01-0.2
Seepage	Deep seepage coefficient(loss)	/day	s	0.000	0.0191	Calibration
IUS	Initial unsaturated available water capacity	cm	IUS	10	10	Only affects first few month
UAWC	Unsaturated available water capacity	cm	UAWC	10	11	Calibration
ISS	Initial saturated storage	cm	ISS	0	0	Only affects first few months

Table 6 Simulated runoff for calibration period

Year	Rainfall (mm)		Obs. span (day)	Runoff (mm)			Runoff ratio			$R^2$	Bias	c	d
	a	b		obs.	sim.		obs.	sim.					
					a	b		a	b				
1996	883	780	274	345	239	236	0.44	0.31	0.30	0.91	0.38	2.11	0.44
1997	1204	1204	348	788	672	653	0.65	0.56	0.54	0.87	0.37	3.30	0.20
1998	1621	955	273	564	886	429	0.59	0.55	0.45	0.67	0.53	3.68	0.33
1999	1515	1254	299	719	836	713	0.57	0.55	0.57	0.70	0.10	5.72	0.04

a: For total span    b: For observed span    c: RMSE (mm/day)    d: RMAE (mm/day)

Table 7 Simulated runoff for verification period

Year	Rainfall (mm)		Obs. span (day)	Runoff (mm)			Runoff ratio			R <sup>2</sup>	Bias	c	d
	a	b		obs.	sim.		obs.	sim.					
					a	b		a	b				
2002	1247	1191	298	657	563	510	0.55	0.47	0.43	0.86	0.32	4.03	0.15
2003	1515	1117	238	677	775	457	0.61	0.69	0.41	0.85	0.91	3.70	0.47
2004	1192	1155	312	731	591	478	0.65	0.51	0.41	0.81	0.70	3.26	0.38

a: For total span    b: For observed span    c: RMSE (mm/day)    d: RMAE (mm/day)

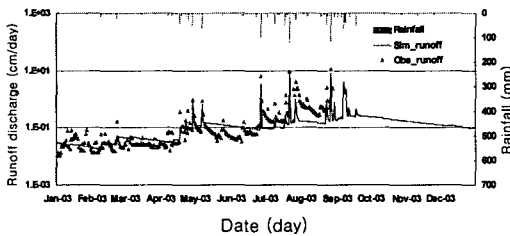


Fig. 11 Observed and simulated runoff (2003)

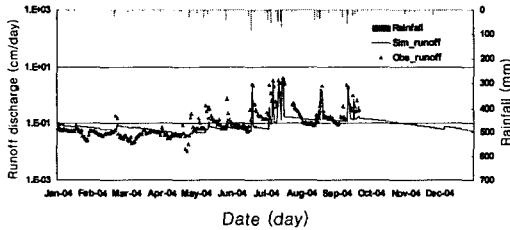


Fig. 12 Observed and simulated runoff (2004)

의 범위 값을 보였다.

### 3. 모형의 평가

모형의 매개변수는 RMSE와 RMAE의 최소 통계치에 의해 결정되며, RB(Relative Bias), RMSE, RMAE, Nash-Sutcliffe Efficiency Index (EI) (Nash and Sutcliffe, 1970), 그리고 결정계수 (R<sup>2</sup>)의 통계적 측정치는 모형의 모의 평가에 쓰인다 (Kang, 2002; Kang and Park, 2003; Kang et al., 2006). RB는 모의치와 관측치 사이의 계통적 오차(systematic error)를 나타내며, RMSE와 RMAE는 계통적 오차와 확률 오차(random error)

를 측정한다. R<sup>2</sup>은 관측치의 총 평균제곱 오차에 대한 예측치의 평균제곱 오차의 비이다. R<sup>2</sup>와 EI는 0에 가까우면 모형의 예측이 나쁘다는 것을 말하고, 1에 가까우면 모형의 예측이 정확하다는 것을 나타낸다(Santhi et al., 2001). Ramanarayanan et al. (1997)은 R<sup>2</sup>와 EI에 대해 각각 0.6 및 0.5 이상이면 모형의 예측이 허용되거나 만족할 만하다고 제안하였다. R<sup>2</sup>은 모형의 모의 정확도 검증에 널리 사용되고 있으나, 만약 모형에 편차(bias)가 있다면 확률 오차에 대한 정확한 평가가 이루어질 수 있게 주의를 하여야 한다(Maidment, 1993). 따라서 모형의 적용성 평가를 위해서는 RB, RMSE, RMAE, 그리고 EI 등의 복합적인 평가가 이루어져야 한다.

Fig. 13~Fig. 15에서는 유역 유출에 대한 보정과 검정을 통하여 매개변수를 보정하고 부하함수를

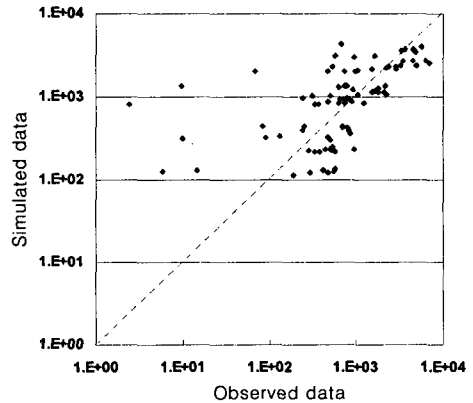


Fig. 13 Scatter diagram of monthly sediments(kg/month)



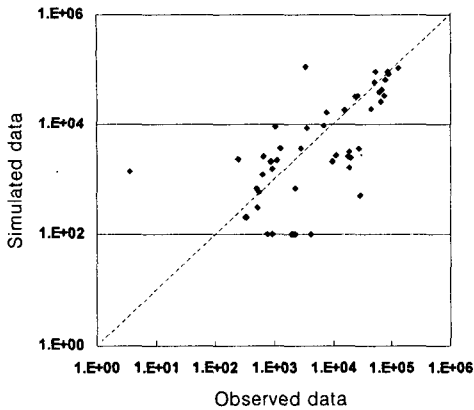


Fig. 14 Scatter diagram of monthly TN (kg/month)

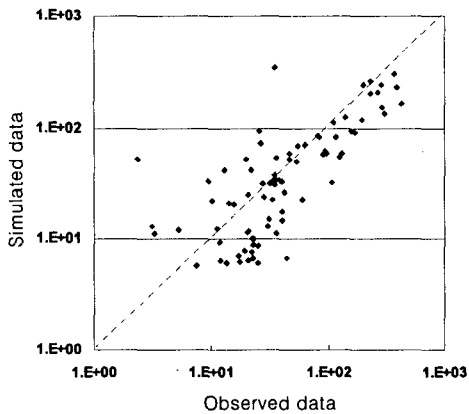


Fig. 15 Scatter diagram of monthly TP (kg/month)

이용한 수질 모의를 실시하여 자료기간(1996~2004)의 실측자료와 모의한 월별 부하량을 비교하였다. 각각에 대한  $R^2$ 를 산정한 결과 유사량은 0.40~0.98, TN은 0.50~0.94, 그리고 TP는 0.59~0.97로 나타났으며, 특정 연도를 제외한 자료기간 전체에 대하여 0.6 이상의 양호한 값을 나타내었다. Table 8과 Table 9는 본 연구에서 GWLF 모형의 보·검정에 의한 결과를 나타낸 표이며, 모형의 정확도를 비교하기 위하여 동일 유역에 대해 SWAT 모형(Kang, 2002)과 HSPF 모형(Kim, 2004)을 적용한 연구 사례의 유출량과 수질에 대한 모의·실측 결과를 정리하여 모형의 효율을 비교하였다. 비교 결과, 유출의 경우  $R^2$ 은 GWLF 모형이 0.67~0.91, SWAT 모형이 0.87~0.93, HSPF 모형은 0.84~0.92, 유사량의 경우  $R^2$ 은 GWLF 모형이 0.40~0.98, SWAT 모형이 0.77~0.89, HSPF 모형은 0.58~0.68, TN의 경우  $R^2$ 은 GWLF 모형이 0.50~0.94, SWAT 모형이 0.84~0.85, HSPF 모형은 0.43~0.81, 그리고 TP의 경우  $R^2$ 은 GWLF 모형이 0.59~0.97, SWAT 모형이 0.81~0.85, HSPF 모형은 0.70~0.76로 나타났다. 모형의 효율을 평가하기 위해서 사용한 효율지수 EI는 추정치와 실측치가 일치하면 1.0이며, 그 값이 0과 1.0 사이에 있으면 추정치를 사용하는 것이 실측치의 평균을 이용하는 것보다 좋은 결과를 얻을 수 있으

Table 8 Runoff simulation comparison with established research

Year	Rainfall (mm)	Runoff (mm)		Runoff ratio		$R^2$			RMSE (mm/day)			RMAE (mm/day)			EI		
		Obs.	Sim.	Obs.	Sim.	This study	Kang (2002)	Kim (2004)	This study	Kang (2002)	Kim (2004)	This study	Kang (2002)	Kim (2004)	This study	Kang (2002)	Kim (2004)
1996	780	345	236	0.44	0.30	0.91	0.93	0.92	2.11	2.29	2.10	0.44	0.40	0.40	0.69	0.93	-
1997	1,204	788	653	0.65	0.54	0.87			3.30			0.20			0.65		
1998	955	564	429	0.59	0.45	0.67	-	-	3.68	-	-	0.33	-	-	0.51	-	-
1999	1,254	719	713	0.57	0.57	0.70	0.87	0.84	5.72	6.21	6.03	0.04	0.51	0.49	0.66	0.87	-
2002	1,191	657	510	0.55	0.43	0.86	-	-	4.03	-	-	0.15	-	-	0.68	-	-
2003	1,117	677	657	0.61	0.59	0.85	-	-	3.70	-	-	0.47	-	-	0.66	-	-
2004	1,155	731	678	0.65	0.59	0.81	-	-	3.26	-	-	0.38	-	-	0.61	-	-

Table 9 Sediment, TN and TP simulation comparison with established research

	Year	Obs. (kg/ha/year)	Sim. (kg/ha/year)	R <sup>2</sup>			EI		
				This study	Kang (2002)	Kim (2004)	This study	Kang (2002)	Kim (2004)
Sediment	1996	109.96	110.34	0.95	0.77	0.68	0.23	0.70	-
	1997	365.89	243.58	0.66					
	1998	188.19	305.40	0.40	-	-			
	1999	441.24	267.97	0.96	0.89	0.58	0.84	0.89	-
	2002	385.50	234.16	0.98	-	-			
	2003	403.38	215.92	0.50	-	-			
	2004	313.55	157.45	0.83	-	-			
TN	1996	20.57	21.30	0.53	0.84	0.81	0.38	0.73	-
	1997	40.21	29.84	0.60					
	1998	29.24	37.00	0.76	-	-			
	1999	33.77	39.11	0.90	0.85	0.43	0.48	0.89	-
	2002	32.32	32.94	0.94	-	-			
	2003	36.70	31.25	0.77	-	-			
	2004	50.28	20.88	0.50	-	-			
TP	1996	1.02	1.22	0.94	0.81	0.70	0.46	0.42	-
	1997	2.17	2.36	0.59					
	1998	1.61	2.70	0.66	-	-			
	1999	1.91	2.83	0.97	0.85	0.76	0.65	0.19	-
	2002	1.78	2.33	0.94	-	-			
	2003	2.09	2.22	0.90	-	-			
	2004	2.71	1.52	0.87	-	-			

며, 계산된 EI가 0 보다 작으면 모형의 추정 결과가 나쁘거나 실측 자료가 일관성이 없음을 의미한다. 본 연구 결과, 모형의 EI는 유출이 0.51~0.69, 유사량이 0.23~0.84, 그리고 영양염류의 경우는 0.38~0.65로 나타났으며, SWAT 모형의 경우는 유출이 0.87~0.93, 유사량이 0.70~0.89, 영양염류의 경우는 0.19~0.89로 나타났다. GWLF 모형의 경우 유출은 일단위로 모의가 되는 반면, 영양염류의 경우는 월단위로 모의 출력된 값을 사용하였기 때문에 유출에 비하여 영양염류의 EI가 상대적으로 낮게 나타난 것으로 사료되며, 전체 자료기 간에서는 비교적 양호한 결과를 나타내었다. 연구

결과들의 통계치는 기존 연구 결과와 비교하였을 때 소유역에 대한 GWLF 모형의 적용 가능성을 잘 보여주고 있어 농촌 소유역과 같은 미 계측지역 등의 수질 예측에 적합한 것으로 나타났다.

향후, 본 연구는 GWLF 모형의 특성을 고려하여 농촌 소유역과 같은 자료가 부족한 유역에 활용도를 높임으로서 오염총량제를 위한 소유역 모델링과 하수재이용 및 최적관리기법 적용 등의 유역 수질환경 영향 분석에 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

## V. 요약 및 결론

본 연구에서는 하천관리가 지역 발전 수준에 미치지 못하는 농촌 소유역의 하천 수질 관리를 위해 수질 모델을 적용함에 있어 지역적 특성 자료 구축이 미흡함과 오염원 관리 및 규제 한계 등의 문제를 제기하고 중규모(mid-range) 모델의 적용성을 평가해보고, 동일 대상유역에 대해 비교적 정밀한 다른 모형(SWAT, HSPF)을 적용한 선행 연구 결과와 일유출량 모의 결과의 실측치와의 일치 여부를 비교하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 모델의 적용성 검토를 위하여 대상유역을 선정하고 기상, 수문, 수질자료와 오염원 현황을 비롯한 유역 특성 자료를 조사하고 수집하였다.

2. 보정과 검정 과정에서 모의된 일 유출량은  $R^2$ 가 0.40~0.98로 강(2002)과 김(2004)의 연구 결과와 비교해 볼 때, GWLF 모형은 농촌 소유역에 대해 적용성이 있는 것으로 판단된다.

3. GWLF 모형을 적용하여 보정과 검정의 과정을 거쳐 모의한 오염부하량과 실측치를 비교한 결과,  $R^2$ 가 유사량은 0.40~0.98, TN은 0.50~0.94, TP는 0.59~0.97로 나타났으며, 이는 수질 모의가 월단위로 이루어지므로 자료수가 많지 않다는 사실을 고려할 때 높은 정확도라 판단되며, 모형의 효율지수도 유출이 0.51~0.69, 유사량이 0.23~0.84, 그리고 영양염류의 경우는 0.38~0.65로 비교적 양호한 값을 나타내었다.

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원 (과제번호: 4-5-2)에 의해 수행되었습니다.

## References

1. Haith, D. A. & L. L. Shoemaker, 1987, Generalized watershed loading functions for stream flow nutrients, *Wat. Res. Bull.*, 23(3): 471-478.
2. Haith, D. A., Ross Mandel & R. S. Wu, 1992, Generalized Watershed Loading Functions Ver. 2.0 User's Manual, Department of Agricultural & Biological Engineering, Cornell university.
3. Hwa-Seong City in Korea, 2005, Statistical data of HWA-SEONG City. (in Korean)
4. Hydrologic Engineering Center, 1997, Storage, Treatment, Overflow, Runoff Model, STORM, User's Manual, Generalized Computer Program 723-S8-L7520, U. S. Army Corps of Engineers, Davis, CA, August.
5. Jang, J. S., Lee, N. H., 2001, Application of GWLF Model to Predict Watershed Pollutant Loadings, *Journal of Korea Society of Rural Planning*, 7(1): 77-88. (in Korean)
6. Jung, K. H., et al., 2004, USLE/RUSLE Factors for National Scale Soil Loss Estimation Based on the Digital Detailed Soil Map, *Korean J. Soil Sci. Fert.*, 37(4): 199-206. (in Korean)
7. Kang, M. S., 2002, Development of Total Maximum Daily Loads Simulation System Using Artificial Neural Networks for Satellite Data Analysis and Nonpoint Source Pollution Models, Ph.D. thesis, Seoul National University. (in Korean)
8. Kang, M. S., Park, S. W., 2003. Development and application of total maximum daily loads simulation system using nonpoint source pollution model. *J. Korea Water Resources Assoc.*, 36(1): 117-128.
9. Kang, M. S., S. W. Park, J. J. Lee, and K. H. Yoo., 2006. Applying SWAT for TMDL Programs to a Small Watershed Containing

- Rice Paddy Fields. *Agricultural Water Management*, 79(1): 72-92.
10. Kim, J. G., 2004, Application of GWLF model in churyeong-cheon watershed, M.S. thesis, Chonbuk National University. (in Korean)
  11. Kim, S. M., 2004, Analysis of Wastewater Reuse Effects on TMDL Using Nonpoint Source Pollution Models, Ph.D. thesis, Seoul National University. (in Korean)
  12. Lim, S. J., 1997, Estimating Runoff Curve Number for Rice Paddies, *Water Resources Research*, 30(4): 379-387. (in Korean)
  13. Ministry of Environment in Korea, 1995, A Survey Research on Non-point source. (in Korean)
  14. Ministry of Environment in Korea, 2003, Management Policies on Non-point source. (in Korean)
  15. Lee, K. Y., T. R. Fisher, T. E. Jordan, D. L. Correll, and D. E. Weller, 2000, Modeling the hydrochemistry of the Choptank River Basin using GWLF and Arc/Info: 1. Model calibration and validation, *Biogeochemistry*, 49(2), pp. 143-173.
  16. Maidment, D. R., 1993. Handbook of hydrology, McGraw-Hill, Inc., New York San Francisco Washington, D. C..
  17. Nash, J. E., and J. V. Sutcliffe, 1970, River Flow Forecasting Through Conceptual Models: 1. A Discussion of Principles, *Journal of Hydrology*, 10: 282-290.
  18. Ramanarayanan, T. S., Williams, J. R., Dugas, W. A., Hauck, L. M., McFarland, A. M. S., 1997. Using APEX to identify alternative practices for animal waste management. *ASAE Paper 97-2209*.
  19. Santhi, C., Arnold, J. G., Williams, J. R., Hauck, L. M., Dugas, W. A., 2001. Application of a watershed model to evaluate management effects on point and nonpoint source pollution. *Trans. of ASAE*, 44(6): 1559-1570.
  20. U.S. Environmental Protection Agency, 1988, Storm Water Management Model, Version 4: User's Manual. U.S. Environmental Protection Agency, Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, Athens, Georgia.
  21. Yagow, G., 2004, Using GWLF for Development of "Reference Watershed Approach" TMDLs, *An ASAE/CSAE Meeting Presentation*, Paper Number. 042262.
  22. Yu, H. J., Park, S. S., 2003, Application of a Loading Function Model to Estimate Monthly TN and TP Loads in Kyungan Stream Watershed, *Korean Society on Water Quality*, 19(4): 367-375. (in Korean)