

# SWAT-WASP 모형을 이용한 농촌유역의 수질예측에 관한 연구

## A Study on the Water Quality Prediction in Rural Watershed Using SWAT-WASP Model

권 명 준\* · 권 순 국 (서울대)  
Kwun, Myeong Jun · Kwun, Soon Kuk

### Abstract

For the assessment of the level of stream pollution, SWAT-WASP model linked with GIS was applied to a representative rural watershed and evaluated for its applicability through calibration and verification using observed data. Using daily water yields, sediment yields and nutrient discharge simulated by SWAT model, WASP input file was build. Point source pollutant and water quality change in stream was considered in WASP model. For the model application, digital maps were constructed for watershed boundary, land-use, soil series, digital elevation, and topographic data of Bok-Ha watershed using GRASS. The model application results showed that the simulated runoff was in a good agreement with the observed data and indicated reasonable applicability of the model.

### I. 서론

농촌지역의 수질 오염정도를 추정하기 위한 수질예측기법으로서는 일반적으로 모델링 기법이 널리 사용되고 있다. 이러한 비점오염원모형 중에 유역단위에 적용할 수 있고, 연속적인 적용시간을 가지며, 장기간 동안의 오염물질에 대한 공간적인 농도변화를 예측하기 위한 장기수질예측모형에는 SWRRB, SWAT모형이 있다. 그러나 SWRRB모형은 모의할 수 있는 소유역의 개수가 10개로 한정되어 있고, 영양물질에 대한 모의가 불가능한 제약이 있다. 이러한 단점을 보완한 것이 SWAT모형이다.

하지만, 우리나라의 농촌지역의 경우 토지이용형태가 복잡하고, 점원오염원에 의한 오염도 심각하며, 하천의 경우에 보가 있어 하천수질에 영향이 크므로 이에 대한 고려가 필요하다. 비점오염원모형에서는 점원오염의 입력과 하천에서의 수질변화와 모의할 수 있는 수질항목에 제약이 있으므로 하천수질예측모형과의 연계가 필요하다. 이러한 하천수질예측모형으로 WASP 모형은 수체에 대한 동적 분할 모형으로서 시간에 따른 입력치의 변화를 고려할 수 있어 연중

변화는 물론 짧은 시간 간격 사이의 수질성분 변화를 분석하는 데에도 대단히 유용하다.

본 연구의 목적은 대상유역에 대하여 비점오염원모형인 SWAT모형과 하천수질예측모형인 WASP모형을 연계한 SWAT-WASP모형의 적용성을 평가하는데 있다.

## II. 연구방법

### 1. 모형의 개요

#### 1.1 SWAT모형의 개요

SWAT모형은 일 단위의 모의가 가능한 분포형 대개변수모형으로서 크게 4가지의 부모형으로 구성되어 있다. 수문 부모형과 토양유실 부모형, 영양물질 부모형, 하도추적 부모형으로 구분할 수 있다. SWAT/GRASS모형은 GRASS와 SWAT모형이 결합된 구조로서 모형의 입력자료 구성을 위한 전처리시스템과 출력결과의 분석 및 시각적 표현을 위한 후처리 시스템 및 SWAT모형이 있는데 모형의 구조는 Fig. 1과 같다.

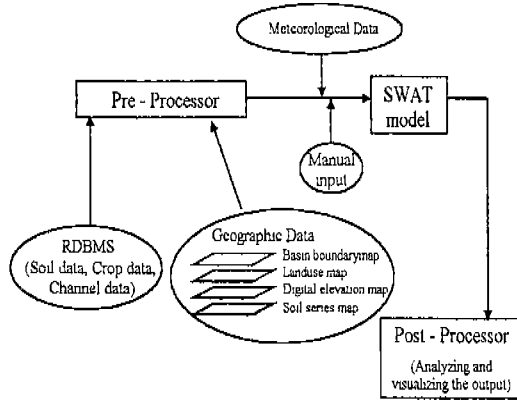


Fig. 1 SWAT/GRASS모형의 구조

#### 1.2 WASP모형의 개요

WASP 모형의 구성은 수리모형인 DYNHYD5와 부영양화 모형인 EUTRO5, 독성물질 모형인 TOXI5로 구성되어 있다. EUTRO5 모형은 동적모형으로서 하천, 호수, 하구의 부영양화와 관련된 수질의 시간변화를 공간변화와 더불어 계산하는 구획모형이다. 모형의 주된 구성은 예측 및 출력 조절, 모형의 구획 구성, 이류 및 확산, 경계조건 농도, 점오염원과 외부 오염부하, 반응계수, 환경자료 및 초기 농도로 되어 있다. 모형에서 시간에 따른 농도의 변화는 전 구획으로부터의 이류와 확산, 그리고 외부부하로 계산되며 반응식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial C}{\partial t} = & - \frac{\partial}{\partial x}(U_x C) - \frac{\partial}{\partial y}(U_y C) - \frac{\partial}{\partial z}(U_z C) \\
 & + \frac{\partial}{\partial x}(E_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(E_y \frac{\partial C}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial x}(E_z \frac{\partial C}{\partial z}) \\
 & + S_L + S_B + S_K
 \end{aligned}$$

여기서, C는 농도, t는 시간, U는 유속, E는 확산계수, S는 오염부하량, 침자는 각 방향을 나타

낸다. 이러한 EUTRO5 모형에서 모의발생하는 수질항목은 NH3, NO3, PO4, Chl-a, BOD5, DO, Org-N, Org-P의 8개 항목을 기준으로 34개 파생 수질항목이 관련된다.

### 1.3 SWAT-WASP 연계모형

SWAT-WASP모형에서는 SWAT모형에서 생성되는 일별 유출량, 유사량 및 영양염류량을 WASP모형의 입력자료로 받아들이고, 점원오염을 고려하여 새로운 WASP모형의 입력화일을 생성한 후 WASP모형에서 하천 본류구간에서의 일단위 수질예측을 실시하였다.

## 2. 모형의 적용

### 2.1 대상유역현황

모형의 적용을 위한 대상유역은 경기도 이천시에 위치한 복하천 상류지역으로서 이천시, 용인시, 광주군 3개 지역에 분포 있다. 복하천 유역은 유역면적 78.52km<sup>2</sup>, 수로연장 18km로써 지천을 중심으로 13개의 소유역으로 구분되어있다. 대상유역의 토지이용은 임야가 71.5%, 논 18.5%, 밭 6.8%, 거주지역 3.0%, 기타지역이 0.2%로 구성되어있다. 대상유역의 수문 및 수질 계측망과 유역현황은 Fig. 2와 같다. WASP모형의 구성을 위하여 경기도의 복하천 하천정비 기본계획을 참고하여 Fig. 3과 같이 수리적으로 비슷한 특성을 지닌 37개 구획으로 하고, 단면적, 특성길이, 부피 등을 도출하였다.

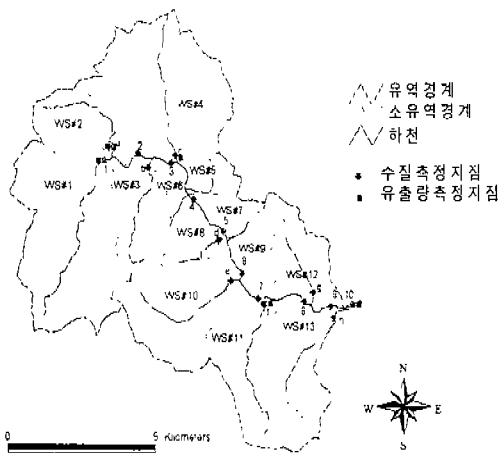


Fig. 2 경기도 이천시 복하천 유역

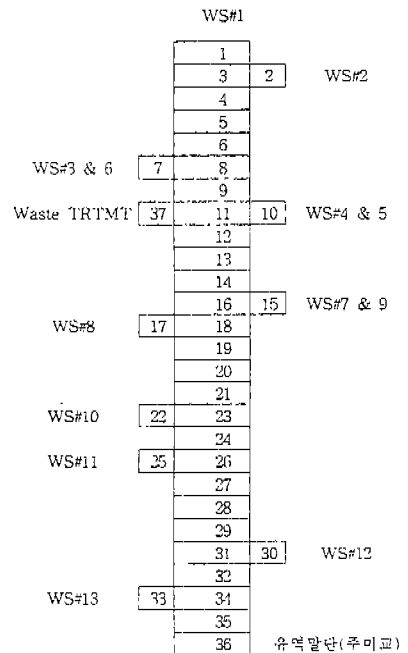


Fig. 3. WASP모형 적용을 위한 복하천의 분할 모식도

### III. 모형의 보정 및 검증

SWAT-WASP모형의 보정은 크게 유출량과 유사량 및 영양염류량의 세부분으로 구분된다. 본 연구에서는 유출량에 대한 모형의 보정 및 검증을 소유역별 자료와 유역출구점에서의 자료를 바탕으로 실시하였다.

유출량의 보정은 1998년에 소유역(WS#1, WS#2, WS#4, WS#11)출구에 설치한 압력식 수위계와 1996년에 유역말단인 주미교에 설치한 자기식 수위계의 수위자료와 수위-유량관계곡선에 의하여 산출된 실측 유출량에 대하여 각각의 소유역에 대한 유출량의 보정과 전체 유역에 대한 보정을 동시에 실시하였고, 동일한 보정방법에 의하여 1996년과 1997년의 유역말단에서의 실측 유출량자료와 비교하여 검증하였다. WS#4와 WS#11은 13개 소유역 중에서 논이 차지하는 비율이 높은 곳으로 다른 두 소유역에 비하여 유출율이 51%와 57%로 적게 실측되었다. 보정 및 검증결과는 다음의 Table. 1과 Fig. 4~ Fig. 10과 같다. 보정결과 실측치와 모의치의 상관관계는 상관계수 0.70~0.84로 분석되었다. 검증결과는 1996년 실측치와 비교하여 유출율 58%, 상관계수 0.77를 얻었으며, 1997년 실측치와 비교하여 유출율 68%, 상관계수 0.94의 상관정도를 나타내었다.

Table. 1 유출량의 보정 및 검증결과

		Rainfall (mm)	Water Yield (mm)		유출율 (%)		상관계수 (R)
			Observed	Simulated	Observed	Simulated	
			Data	Data	Data	Data	
보정결과 (’98.4.1 ~11.30)	WS#1	1636.1	1032.5	1082.4	63	66	0.70
	WS#2		1235.6	1205.8	76	74	0.72
	WS#4		827.8	815.8	51	51	0.76
	WS#11		949.0	936.1	58	57	0.82
	유역출구점		1010.2	1028.1	57	58	0.84
검정결과 (’96.3.1~9.30)	유역출구점	973.6	557.9	568.0	57	58	0.77
검정결과 (’97.4.1~9.30)	유역출구점	1038.3	726.8	706.1	70	68	0.94

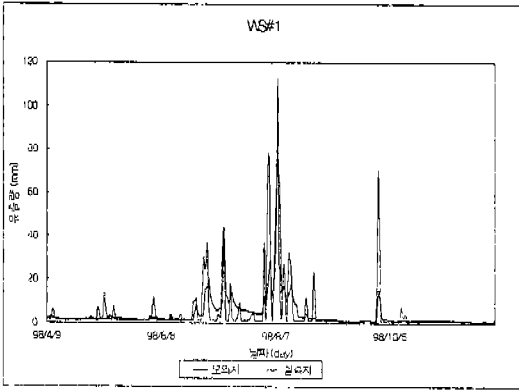


Fig. 4 WS#1의 유출량 보정결과

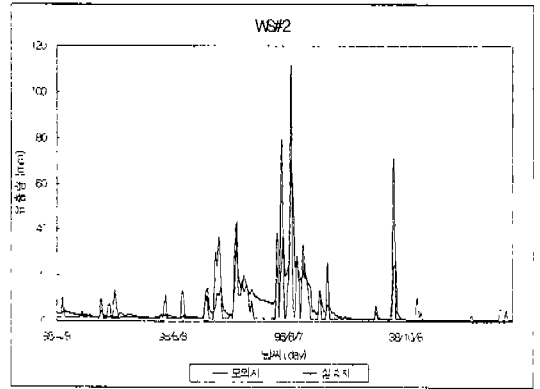


Fig. 5 WS#2의 유출량 보정결과

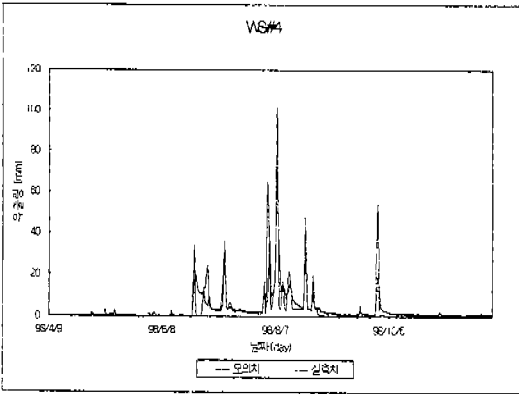


Fig. 6 WS#4의 유출량 보정결과

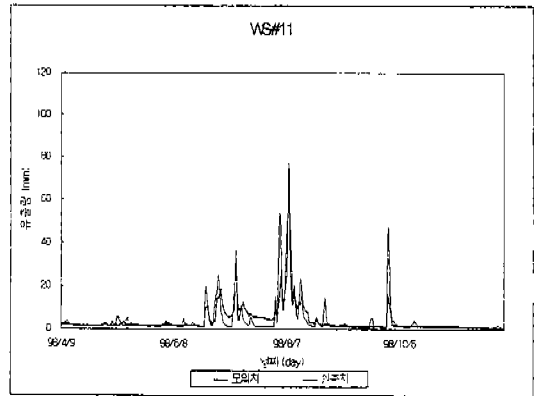


Fig. 7 WS#11의 유출량 보정결과

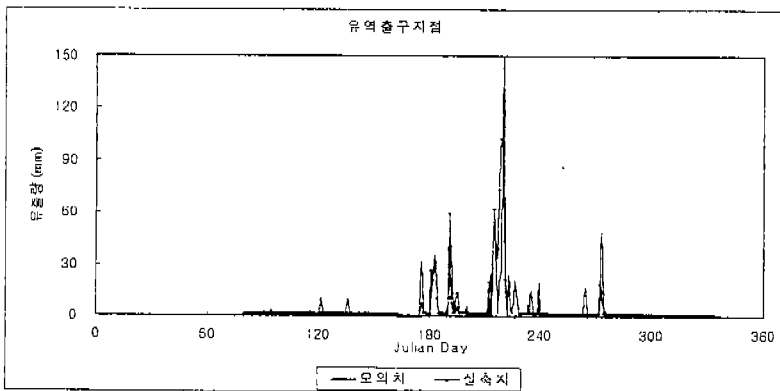


Fig. 8 전체 유역출구에서의 유출량 보정 (1998년)

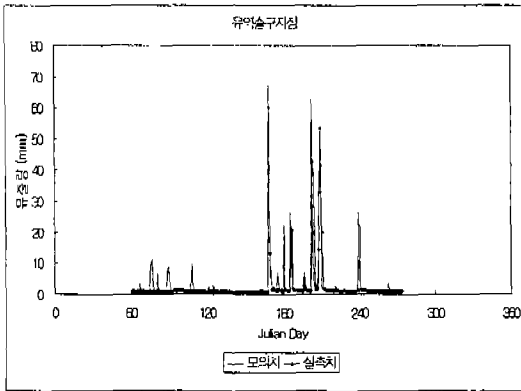


Fig. 9 전체 유역 출구에서의 유출량의 검정 (1996)

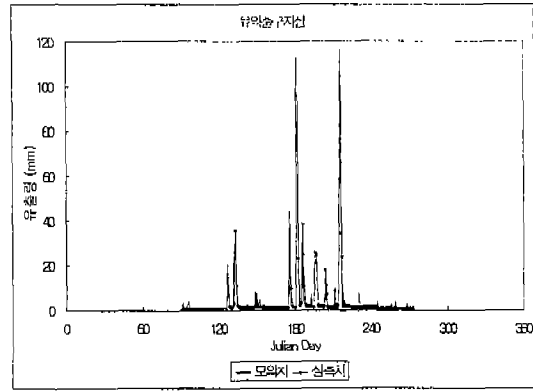


Fig. 10 전체 유역출구에서의 유출량의 검정 (1997)

#### IV 요약 및 결론

농촌하천유역의 수질예측을 위하여 GIS와 연계된 비점원오염모형인 SWAT모형과 하천수질예측모형인 WASP모형을 연계한 SWAT-WASP모형을 경기도 이천시에 위치한 북하천 유역에 적용하였으며, 유출량에 대한 보정 및 검정을 실시하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. SWAT모형의 일별 유출량, 유사량 및 영양염류량을 WASP모형의 입력자료로 이용하여 WASP모형에서 수질예측을 실시하도록 하였다.
2. SWAT-WASP모형의 유출량 보정 및 검정을 위하여 소유역(WS#1, 2, 4, 11)과 유역말단인 주미교에 수위계를 설치하여 일별 유출량을 실측하고 이를 모형에서 모의된 모의치와 비교하였다.
3. 1998년 실측자료를 바탕으로 한 유출량의 보정결과 상관계수(R) 0.70~0.84의 상관정도를 나타내었으며, 1996년과 1997년의 유역출구점에서의 실측치와 검정한 결과 상관계수(R) 0.77, 0.94의 상관정도를 나타내었다.

#### 참고문헌

1. 김지훈, 1997, 지리정보시스템을 이용한 SWAT/GRASS 모형의 적용, 서울대학교 석사학위논문
2. 김진택, 박승우, 1997, 농업 비점원오염 모형을 위한 GIS 호환모형의 개발 및 적용, 한국농공학회지, 39(1) : 41-47
3. 농림수산부, 1996, 농림수산 통계연보 : 56-58
4. 천경수, 1997, 비점오염원 수질 모델링. 한국 수자원 학회지, 30(4) : 46-53.
5. Arnold, J. G., and J. R. Williams, R. Srinivasan, K.W. King, and R.H. Griggs, 1995, SWAT-Soil and Water Assessment Tool, Draft Users Manual, USDA-ARS, Temple, TX.

6. T. Karvonen, H. Koivusalo, M. Jauhiainen, J. Palko, K. Wepling, 1999, A hydrological model for predicting runoff from different land use areas, *J. of Hydrology*, 217 : 253-265
7. U.S. CERL, 1988, GRASS Reference Manual, ver. 4.0, U.S. Army Corps of Engineers, Champaign, IL.
8. Vijay P. Singh, 1995, Computer Models of Watershed Hydrology, Water Resources Publications : 595-626
9. Williams, J. R., A. D. Nicks, and J. G. Arnold, 1985, Simulator for Water Resources in Rural Basins, *J. of Hydraulics Eng.*, 111(6) : 970-986