

**시역환경**

## 갯천유역의 영양염류 유달부하량 산정을 위한 SWAT2000 모형의 적용성 평가

### Evaluation of SWAT2000 Model Application for Estimating Delivered Nutrients Load for the Gap Stream Watershed

문종필\* · 김태철\*\*,†

Jong-Pil Moon · Tai-Cheol Kim

#### Abstract

In order to estimate delivered nutrients load from non-point sources in the Gap stream watershed in Daejeon, a distributed watershed model SWAT2000 was used so that it could predict the impact of land management practices on water, sediments and chemicals yields in large complex watersheds with varying soils, land uses and management condition over long period of time. The SWAT2000 was applied to the Daejeon (Indong), Yudeung (Boksu) and Gap (Hoeduck) streams for TMDL (Total Maximum Daily Load) of nutrients. The observed water quality and streamflow data of the year of 2002 and 2003 were used for calibration, and those of the year 2004 and 2005 were used for validation. Simulated results were evaluated by Estimation Efficiency Analysis (COE), Regression Analysis ( $R^2$ ) and Relative Error (R.E.) for the nutrients amounts on the monthly and yearly basis by comparing observed load with estimated load obtained by using SWAT2000 simulations. The COE value for T-N was ranged from 0.59 to 0.78,  $R^2$  values for T-N ranged from 0.65 to 0.84, and R.E values for T-N load ranged from 4% to 20%. COE value for T-P was ranged from 0.59 to 0.73,  $R^2$  values for T-P ranged from 0.67 to 0.82, and R.E values for T-P load ranged from 3% to 25%. Estimated results of SWAT2000 simulation for 3 sites (Indong, Boksu, Hoedeok) were reasonably satisfactory. This study indicated that SWAT2000 model could be applicable to estimate the nutrients load from the Gap stream watershed in Korea.

*Keywords* : Nutrient Load, SWAT2000, Non-point source, Gap stream, TMDL

#### I. 서론

최근 하천수질오염의 오염원중 비점오염원이 50% 이상을 차지하고 있으며 비점오염원의 발생은 강우 발생시 산지 및 농경지에서 주로 발생하는다. 일반적으로 농경지에서 재배작물의 종류와 경

\* 충남대학교 농업과학연구소  
\*\* 충남대학교 농업생명과학대학  
† Corresponding author. Tel.: +82-42-821-5797  
Fax: +82-42-821-8883  
E-mail address: dawast@cnu.ac.kr

작형태는 하천의 유출량과 유사발생에 영향을 미치고 있으며 유사발생시 토양입자에 의해 운송되는 영양염류(질소, 인)는 하천 및 호소의 수질악화 및 부영양화의 원인이 되고 있다. 도시지역에서의 비점오염원<sup>2)</sup> 발생은 비강우시에는 토양, 도로, 주차장, 하수관거 및 건설현장에 잠재적으로 존재하다가 강우시 유출수와 함께 짧은시간에 대량으로 유출된다. 이와같이 강우에 의한 비점오염원의 유출형태는 지역과 토지이용에 따른 편차<sup>3)</sup>가 있음을 확인할 수 있으며 정확하고 효율적인 비점오염원 부하량 산정을 위해서는 강우와 유출수, 강우와 유사발생, 강우와 비점오염원의 유출관계를 잘 표현할 수 있는 방법이 요구되고 있다. 그러한 방법중의 하나로 수문순환모형에 의한 비점오염원 부하량 산정방법이 많이 시도되고 있으며 GIS와 RS를 이용한 토지이용분석이 현저하게 증가되는 추세이므로 GIS와 연계된 비점오염원 모형이 매우 많이 개발되고 있다.

국내에 소개된 비점오염원 모형은 ANSWERS, AGNPS, CREAMS, SWRRB, SWAT2000 모형 등이 있다. 최근에 많이 쓰이고 있으며 비점오염원의 유출형태를 잘 나타내고 있는 수문순환형 비점오염원 모형은 SWAT2000 모형으로서 대상유역에서의 장기간의 유출량, 유사량, 비점오염물질에 대한 부하량 변화를 모의할 수 있는 모형<sup>1)</sup>이다. 또한 GIS로 연계되어 있어 모형의 입출력자료를 수치지도로 이용할 수 있어 자료 입력에 대한 많은 시간과 노력이 절약되며 소유역 단위의 비점오염원 부하량 예측이 가능한 모형이다. SWAT2000 모형이 적용된 사례를 살펴보면 미국 Newyork주의 Cannonsville 유역의 수질총량규제 적용<sup>23)</sup>으로 인한 토양침식량과 인의 오염부하량에 대한 연구를 코넬대학에서 하였으며 텍사스주의 Sugar Creek에서 농약에 대한 유출 추적과 Bosque강 유역의 질소와 인에 대한 오염부하량에 대한 추정<sup>19)</sup>을 실시하였다. 국내에서는 용담댐 유역의 비점오염물질 부하량 산정<sup>20)</sup>을 위하여 SWAT2000 모형이 적용

된 바가 있다.

본 연구에서는 SWAT2000 모형에 대한 국·내외의 적용사례를 바탕으로 대전광역시 갑천유역의 영양염류 유달부하량 산정을 위하여 갑천수계를 구성하고 있는 대전천, 유등천, 갑천에 대하여 SWAT2000 모형을 적용하고 갑천유역에 대한 SWAT2000 모형의 적용성 판단 및 영양염류 유달부하량 산정에 필요한 최적 매개변수를 결정하였다.

## II. 재료 및 방법

수계오염총량관리기술지침<sup>16)</sup>에 따라 대전광역시에서 산정해 놓은 생활계, 산업계, 축산계에 대한 배출부하량에 소유역별 점유율과 유달계수를 곱하여 소유역별로 배출되는 점오염원 부하량을 산정<sup>9)</sup>하여 SWAT2000 모형에 점오염원 자료로 입력하였고 비점오염원에 대한 발생부하량은 SWAT2000 모형에서 추정된 유달부하량과 하천에서 실측되는 유달부하량을 비교하여 모형검증을 실시하였다.

### 1. 대상유역

SWAT2000 모형에 의한 비점오염원 부하량 산정은 종래의 원단위 산정에 필요한 토지이용별 수

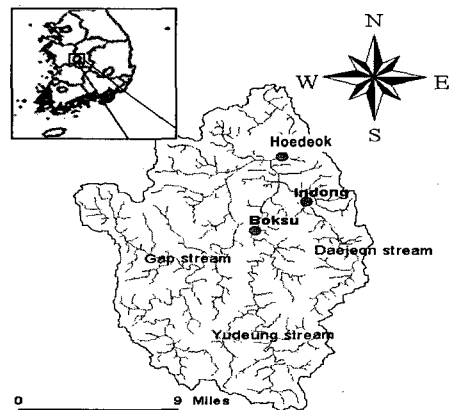


Fig. 1 Gap stream watershed map

량, 수질조사를 실시하지 않았고 모형의 검정을 위해 대전광역시 3대 하천의 합류지점인 회덕지점과 3대 하천의 상류부인이면서 산지, 농경지 지역과 도시지역이 구분이 잘 이루어진 인동지점(대전천), 복수지점(유등천)을 각각의 소유역 및 갑천천체에 대한 검정지점으로 설정하여 적용하였다. (Fig. 1)

## 2. 오염원 현황조사

대전광역시 갑천수계의 오염원 발생부하량 및 배출부하량을 산정하기 위하여 행정구역별 생활계, 산업계, 축산계 오염 발생량 및 배출량<sup>21)</sup>에 대해 조사하였으며 이미 대전광역시 및 충청남도에서 제

Table 1 Target level of total influent and effluent load for administrative districts<sup>5),22)</sup>

Administrative districts		2002 Year					
		BOD <sub>5</sub> (kg/day)		T-N (kg/day)		T-P (kg/day)	
		Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
Total		172,624	30,119	32,629	14,431	4,245	1,227
Daejeon city sum		168,618	29,092	31,324	13,679	4,032	1,163
Daejeon city	Dong-gu	23,157	3,440	5,017	881	572	95
	Jung-gu	18,780	2,460	4,476	555	501	65
	Seo-gu	36,838	5,716	8,538	1,387	1,054	153
	Yuseong-gu	27,191	11,253	6,508	9,354	722	653
	Daedeok-gu	62,652	6,222	6,785	1,501	1,183	197
Chungcheongnamdo sum		4,006	1,027	1,305	752	213	64
Chungcheong namdo	Gyeryong-city	2,560	538	768	407	89	31
	Geumsan-gun	137	54	53	38	8	3
	Nonsan-city	1,308	435	484	308	117	31

Administrative districts		Target year of 2010					
		BOD <sub>5</sub> (kg/day)		T-N (kg/day)		T-P (kg/day)	
		Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
Total		194,705	34,219	37,481	15,083	4,889	1,298
Daejeon city sum		189,782	33,099	35,846	14,150	4,633	1,229
Daejeon city	Dong-gu	21,934	3,235	4,628	779	529	88
	Jung-gu	21,315	2,686	5,044	528	565	69
	Seo-gu	42,615	6,286	10,017	1,388	1,252	168
	Yuseong-gu	36,172	14,201	8,534	9,881	967	691
	Daedeok-gu	67,745	6,691	7,622	1,574	1,321	212
Chungcheongnamdo sum		4,923	1,120	1,635	933	256	69
Chungcheong namdo	Gyeryong-city	3,225	458	982	492	113	35
	Geumsan-gun	153	58	46	29	8	3
	Nonsan-city	1,545	577	607	412	135	32

시하고 있는 수계오염총량관리기술지침에 따라 산정된 오염원 발생부하량 및 배출량에 대한 자료<sup>4),5),8),22)</sup>를 획득하여 모형의 입력자료로서 이용하였다. 최근 자료는 아직 자료의 검정이 이루어지지 않아 획득할 수가 없었고 자체적으로 오염원을 직접조사하기에는 엄청난 시간과 경비가 예상되어 충청남도 금강 오염총량관리 기본계획서(2005년 4월)와 대전광역시 오염총량관리 기본계획서(2005년 4월)에서 제시된 자료를 이용하였으며 토지계에서 발생하는 오염 배출량을 제외한 생활계, 산업계, 축산계에서 배출되는 배출부하량만을 점오염원으로 계산하였다. (Table 1)

### 3. 수질자료 및 유출량 조사

비점오염원 유달부하량 산정을 위하여 인동, 복수, 회덕지점의 인근에 설치된 환경부 물환경정보시스템에서 제공되는 월별 수질자료(2002~2005년)를 가지고 SWAT 모형에 대한 보정, 검정을 실시하였다. 또한 유출량 자료를 확보하기 위하여 2002년부터 2005년까지 건설부에서 발행된 수문조사연보와 금강수계 유량측정보고서<sup>11),12),13)</sup>에서 제시된 수위-유량 관계곡선식을 이용하여 인동, 복수, 회덕지점의 유출량자료를 구축하였으며 2005년 유출량 자료 구축을 위해 인동과 복수지점은 자체적으로 유량조사를 실시하여 수위-유량 관계 곡선식을 작성하였다. (Table 4)

### 4. SWAT2000 모형

SWAT2000 모형<sup>6),7)</sup>은 대유역 규모의 장기간의 연속적인 분포형 매개변수형 수문·수질모형이다. 이 모형은 장기간의 미계측유역의 수자원관리, 유수량, 비점오염원 부하량 등을 예측할 수 있다. 또한 GIS자료를 이용하여 공간과 시간이 고려된 데이터를 입력하여 다양한 수문학적인 과정을 모의하여 장기 유출량 및 비점오염원 부하량을 예측할 수

있는 모형<sup>1)</sup>으로서 미국 환경청(EPA)에서 제시하고 있는 비점오염원 모형이다.

#### 가. GIS 기본 입력자료

갑천수계에 대한 수치표고모형(DEM)자료는 해상도가 30 m이며 미국지질조사국(USGS)과 동일한 형식으로 생성된 DEM 자료를 환경부에서 제공받았다.

토지피복지도(중분류)는 환경부에서 제공받았으며 우리나라 실정에 맞게 검토한 것으로 OECD 환경통계작성 등 국가간 환경협력에도 염두를 두어 작성한 것이므로 SWAT2000 모형 적용에는 무리가 없다. 특히 논에 대한 분류는 일반 미국의 농지와 분류하기 위하여 RICE 라는 토지이용을 사용하여 구분하였다.

토양도는 농촌진흥청의 농업과학기술원에서 제공받은 개략토양도(1:250,000)를 사용하였고, 각 토양통에 관련된 속성과 SWAT 매뉴얼에서 제시하는 계산법으로 12개의 토양통에 대한 토양침식계수(K)를 포함한 21개의 토양 관련 데이터베이스를 구축하였다. 갑천유역의 수계도는 수자원공사에서 제공받아 사용하였다.

#### 나. 수문기상자료

대전 관측소의 일별 강수량자료 및 기후자료를 2002년 1월부터 2005년 12월까지 입력하였으며 기상자료로서는 기온자료(최대, 최소), 일사량자료를 이용하였고 대전과 금산지점의 풍속, 상대습도자료<sup>25),27)</sup>를 이용하였다.

#### 다. 점오염원 배출부하량 산정 및 유달계수

SWAT2000 모형에 토지계를 제외한 오염원 배출부하량을 점오염원으로 가정하여 모형에 입력하였고 토지계에 대한 하천으로의 유달 부하량 즉 비점오염원은 모형자체에서 모의 발생하도록 하였다. 대전광역시의 행정구역별로 발생하는 총배출부하량을 2002년부터 2005년까지의 증가율을 고려하여

**Table 2 Administrative occupied ratio for subbasins**

SWAT2000 subbasin (ID)	Administrative occupied ratio (Subbasin area / Daejeon city area)
Gap stream upstream (2)	Seo-gu(0.76)+Yuseong-gu(0.40)+Nonsan City, Gyeryong-city, Geumsan-gun(Gapcheon A)
Gap stream downstream (6)	Seo-gu(0.16)+Yuseong-gu(0.41)+Daedeok-gu(0.14)
Yudeung stream upstream (1)	Jung-gu(0.58)+Geumsan-gun(Yudeung A)
Yudeung stream downstream (3)	Seo-gu(0.080)+Jung-gu(0.24)
Daejeon stream upstream (4)	Dong-gu(0.70)+Jung-gu(0.16)
Daejeon stream downstream (5)	Dong-gu(0.29)+Jung-gu(0.02)+Daedeok(0.04)

**Table 3 Nutrients delivery ratio for subbasins**

Subbasin (ID)	Nutrients delivery ratio	
	T-N	T-P
Gap stream upstream (2)	0.84	0.41
Gap stream downstream (6)	0.67	0.20
Yudeung stream upstream (1)	0.48	0.11
Yudeung stream downstream (3)	0.57	0.15
Daejeon stream upstream (4)	0.52	0.13
Daejeon stream downstream (5)	0.52	0.13

2002년부터 2005년까지의 행정구역별 배출부하량을 작성하였으며 소유역별 배출부하량은 행정구역 점유율을 행정구역별 배출부하량에 곱하여 산정하였고 배출부하량과 하천으로의 유달부하량은 다르므로 대전광역시 금강 오염총량관리 기본계획의 수질모델링시 제시된 갑천유역의 소유역별 유달율을 산술평균<sup>4),6)</sup>하여 사용하였다. (Table 2, 3)

또한 환경기초시설에서 발생하는 대전하수종말처리장과 제 3, 4공단 폐수종말처리장에서 발생하는 일일 배출량은 행정구역별 배출부하량에서 제외시켜 그대로 점오염원 입력자료로 사용하였다.

**라. 시비량 및 농약 사용량**

SWAT2000 모형에는 비료사용량 및 경작형태를 mgt 파일에 입력하게 되어 있으므로 주요 작물과 생육기별 시비량과 농약 사용량을 입력하여야 한다.

**마. 토양의 질소 인 농도**

SWAT2000 모형에서는 소유역별 토지이용형태에 따라 토양표면층 유기질 질소, 질산성 질소와 유기질 인, 수용성 인의 초기농도를 입력하게 되어 있으므로 토지이용형태별로 입력가능하다

**바. 비점오염원 매개변수 예민도**

비점오염원 유달부하량에 대한 보정을 실시하기 위해서는 먼저 지표면 유출에 의해 유실되는 유사량에 대한 보정을 실시하여야 한다. 왜냐하면 지표면유출량은 주하천으로 운송되는 영양염류의 양에 지배적인 역할을 하기 때문이다. MUSLE (Modified USLE) 식에서도 유사량은 침투 유출량과 밀접하게 관계가 있는 것을 볼 수 있다.

$$Sed = 11.8(Q \cdot q \cdot A)^{0.56} K \cdot LS \cdot C \cdot P \cdot CFRG \dots (1)$$

- 여기에서 Sed = 일 침식토사량(metric ton/day),
- Q = 지표면 유출량(mm/ha)
- q = 피크 홍수량(m<sup>3</sup>/s),
- A = 유역면적(ha)
- K = 토양 침식인자,
- LS = 지형인자
- C = 작물관리 지수,
- P = 토양보존공 지수,
- CFRG = 굽은 입자 지수

이 중에서도 가장 영향을 크게 미치는 것은 토양 침식인자 K 값으로 알려져 있으므로 유사량에 대

한 실측자료가 전무하여 K의 값을 줄여서 영양염류의 부하량값이 실측치에 가까워지도록 조정하였다.

1) 총질소(T-N) 부하량 보정

지표면유출, 중간유출, 침투에 의해 운송되는 질산염<sup>17)</sup>의 양은 아래 3가지 식으로 나타낼 수 있으며

$$NO_{3, surf} = \beta_{NO_3} \cdot CONC_{NO_3, mobile} \cdot Q_{surf} \quad (2)$$

· 지표면 유출

$$NO_{3, lat, by} = \beta_{NO_3} \cdot CONC_{NO_3, mobile} \cdot Q_{lat, by} \quad (3)$$

· 중간유출

$$NO_{3, perc, by} = \beta_{NO_3} \cdot CONC_{NO_3, mobile} \cdot w_{perc, by} \quad (4)$$

· 침투

상기의 3가지 식에서 공통적으로 쓰이는  $\beta_{NO_3}$ 는 질산염 침투계수로서 침투되는 질산염에 비례하여 지표면 유출로 유실되는 질산염의 양을 결정하게 된다. 모형내에서  $\beta_{NO_3}$ 는 bsn 파일의 NPERCO라는 매개변수명으로 표현되며 0.01부터 1.0의 값을 가지며 NPERCO가 0에 가까워질수록 유출에 의한 질산염의 농도는 0에 가까워지고 1에 가까워질수록 침투되는 질산염과 동일한 농도로 지표면 유출로 유출된다. 질소에 대한 보정은 NPERCO에 의해 보정하였으며 참고문헌에서 제시된 예민도는 Fig. 2<sup>24)</sup>와 같다.

2) 총인(T-P)부하량 보정

SWAT2000 모형은 강우유출수에 의해 발생하는

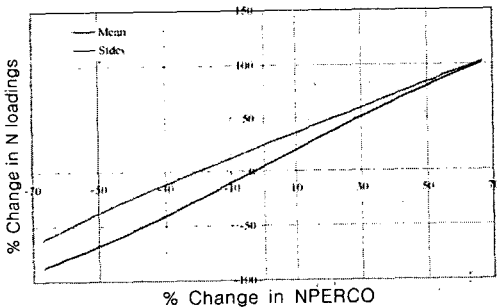


Fig. 2 Sensitivity to NPERCO

인의 양을 인 침투계수(PPERCO), 토양과 유출수에서의 인의 농도비를 나타내는 토양분리계수(PHOSKD)와 인 유효지수(PSP)에 의해 보정을 실시하며 이 매개변수들은 bsn 파일내에 있다. 이 중에서도 PPERCO와 PHOSKD가 지표면 유출시 인의 부하량을 산정할 때 가장 예민한 매개변수<sup>18)</sup>이며 더욱 상세히 서술하면 다음과 같다.

PPERCO(10m<sup>3</sup>/mg)=상부토양 10 mm에 존재하는 용존성 인의 농도와 침투되는 인의 농도와의 상관계수 (10에서 17.5까지 있으며 작을수록 유실되는 인의 부하량은 작아짐)

PHOSKD(m<sup>3</sup>/mg)=상부토양 10 mm에 존재하는 용존성 인의 농도와 지표면유출되는 인의 농도와의 상관계수 (0에서 175까지 있으며 작을수록 인의 부하량은 커짐)

참고문헌에서 제시된 두 매개변수에 대한 예민도는 Fig. 3, 4<sup>24)</sup>와 같다.

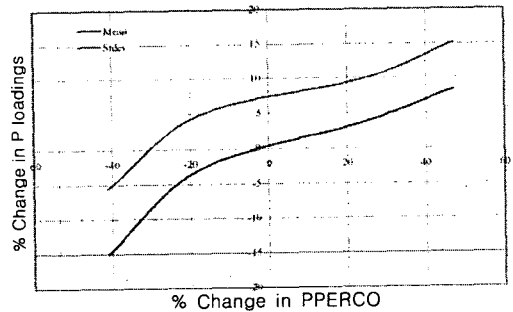


Fig. 3 Sensitivity to PPERCO

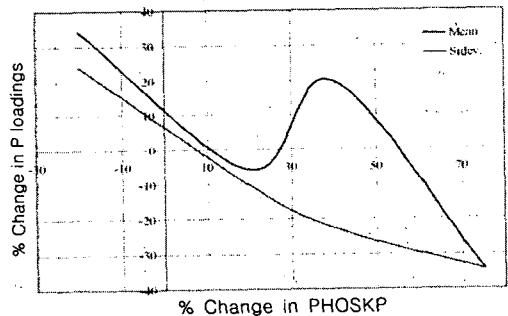


Fig. 4 Sensitivity to PHOSKD

사. 모형 실행결과에 대한 평가 방법<sup>14)</sup>

평가지수법<sup>15)</sup>은 보통 수문모형의 평가에 주로 사용되고 있으며 평가지수(COE)는 다음과 같이 정의된다.

$$COE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\beta_{mi} - \beta_{ci})^2}{\sum_{i=1}^n (\beta_{mi} - \bar{\beta}_m)^2}$$

여기서 COE는 부하량에 대한 평가지수, n은 비교일수,  $\beta_{mi}$ 는 관측유출량,  $\beta_{ci}$ 는 추정유출량,  $\bar{\beta}_m$ 는 전기간에 걸친 평균 부하량

COE는  $-\infty$  에서 1까지의 값을 가지며 이상적인 경우에 COE=1이고 이것은 추정값과 관측값과의 관계에 대해 1:1로 동일함을 나타낸다.

COE값이 0보다 큰 것은 추정값과 실측값이 서로 긍정적인 관계를 가지는 것이고 이것은 실측된 자료를 대신하여 추정된 자료를 사용할 수 있도록 하는 것이다. 또한 평가지수에 대한 보완방법으로 결정계수( $R^2$ ) 값을 추가적으로 제시하였으며 보정기간의 오염원 총부하량에 대한 평가는 상대오차를 이용하여 평가하였다.

III. SWAT2000 모형의 적용

1. 소유역 분할 및 유출량 자료

시험대상유역을 8개의 소유역으로 분할하고 복수, 인동, 회덕 지점에서의 유출량 및 수질자료를 이용하여 유달부하량을 산정하였으며 최종 검정지점인 회덕지점의 상류유역인 6개의 소유역을 대상으로 분석하였다.

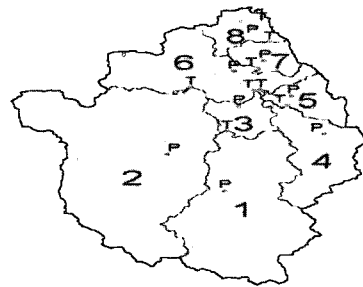


Fig. 5 Water quality investigation sites and point source locations (P: A point source location, T: A water quality investigation site)

Table 4 Yearly stage-discharge equations for stations<sup>(11),(12),(13)</sup>

Station	Year	Stage - discharge equation	Range
Indong	2002~2003	$Q = 7.627h^{0.892}$	$0.01 \leq h \leq 0.26$
		$Q = 44.17h^{2.191}$	$0.26 < h \leq 1.89$
	2004~2005	$Q = 0.231H^{7.376}$	$0.96 < H \leq 2.75$ (H=h+1)
Boksu	2002	$Q = 0.041(h+0.782)^{7.027}$	$0.16 \leq h \leq 1.14$
		$Q = -45.840h^2 + 472.963h - 476.06$	$1.14 < h \leq 2.88$
	2003~2004	$Q = 35.166(h-0.430)^{3.672}$	$0.78 \leq h \leq 1.80$
		$Q = 248.070(h-1.290)^{1.182}$	$1.80 \leq h \leq 2.95$
	2005	$Q = 1.725(h+0.172)^{8.01}$	$1.00 < h < 1.57$
$Q = 318.469(h-1.247)^{0.693}$		$1.57 < h < 2.67$	
Hoedeok	2002~2003	$Q = 227.841(h-0.614)^{1.549}$	$0.67 \leq h \leq 3.95$
		$Q = 234.477 \times (h-0.68)^{1.667}$	$0.73 \leq h \leq 2.65$
	2004~2005	$Q = 436.918 \times (h-1.1)^{1.1589}$	$2.65 < h \leq 4.07$



모형의 검정을 위한 유출량 자료를 확보하기 위하여 2002년부터 2005년까지 인동지점의 수위에 적용된 연도별 수위-유량곡선식은 Table 4와 같다.

## 2. 수질자료 및 소유역별 점오염원 입력

모형의 보정을 위하여 2002년부터 2005년까지의 환경부 물환경정보시스템<sup>26)</sup>에서 제공하는 수질 자료를 이용하여 모형의 보정과 검정에 사용하였다. 점오염원 부하량은 소유역별 배출부하량에 유달 계수를 곱하여 산정하고 점오염원 발생지점은 소유역의 중심으로 하였으며 Fig. 5와 같이 입력하였다.

## 3. 비점오염원 입력자료

### 가. 비료 및 농약 사용량 및 경작형태 입력

논에는 벼를 입력하고 농약 사용량은 추천 시비량인 ha당 200 kg을 입력하였으며 지역적으로 경작개시 시기가 약간 차이가 있으므로 대전지역에서 행해지고 있는 전형적인 벼농사 경작형태에 따라 시비량을 입력하였다. 그리고 밭에는 배추<sup>10)</sup>를 입력하고 비료 1,400 kg를 사용하는 것으로 입력하였으며 농약 사용량은 소량 입력하였다.

### 나. 토양의 질소 및 인의 초기농도

모형에서는 유역별 토지이용형태에 따라 토양표면층 유기질 질소, 질산성 질소와 유기질 인, 수용성 인의 초기농도를 입력하게 되어 있으므로 토지 이용형태별로 입력가능하다. 본 연구에서는 실측값과 가까워지도록 초기농도를 조절하여 보정하였으므로 실제 토양의 농도를 반영할 수 없는 단점이 있고 소유역별 농도를 다르게 하여 입력<sup>18)</sup>하였다.

## 4. 모형의 보정

우선적으로 모형의 보정을 위하여 2002년부터 2003년 자료를 가지고 T-N, T-P 부하량에 대한 매개변수보정을 실시하였다.

Table 5 Optimized parameters for T-N and T-P load of SWAT simulation for subbasins

Parameter	Gap stream watershed
	All subbasins (8 Subbasins)
Phosphorus Percolation Coefficient (PPERCO)	14
Phosphorus Soil Partitioning Coefficient (PHOSKD)	150
Nitrate Percolation Coefficient (NPERCO)	0.4

### 가. T-N, T-P 부하량 최적 매개변수 결정

인동, 복수, 유성, 회덕지점에서의 관측된 환경부 물환경정보시스템의 수질 자료를 이용하여 2002년부터 2003년까지의 월단위의 자료를 가지고 보정을 실시하였다.

T-N 보정에는 질산염 침투계수(NPERCO)를 T-P 보정에는 인침투계수(PPERCO)와 인토양분리계수(PHOSKD)를 조절하여 보정 하였으며 결정된 최적 매개변수는 Table 5와 같다.

### 나. 보정결과 및 고찰

모형의 보정결과 월별 T-N 부하량은 COE지수가 0.67~0.72, 결정계수는 0.68~0.73을 보였고 보정기간동안의 총부하량은 11%~20%의 상대오차를 보였다. 월별 T-P 부하량은 COE지수가 0.70~0.78, 결정계수가 0.74~0.82, 총부하량은 7%~18%의 상대오차를 보였다. (Table 6)

Table 6 SWAT2000 calibration results for T-N and T-P load (2002~2003)

Site	Monthly loading				Total loading	
	COE		R <sup>2</sup>		R.E.	
	T-N	T-P	T-N	T-P	T-N	T-P
Indong	0.72	0.78	0.73	0.79	15%	7%
Boksu	0.67	0.70	0.68	0.74	20%	18%
Hoydeok	0.69	0.73	0.73	0.82	11%	16%

모형의 보정을 위하여 3지점 모두 유역내 산지점유율이 높아 산지에서 발생하는 유사량에 의하여 운송되는 유기질 질소와 유기질 인의 초기농도를 조절하여 보정하였고 3개 지점의 상류유역을 제외한 하류지역은 도시지역의 불투수성지역이 대부분이므로 유사가 적게 발생하는 것으로 모의되어 질산성 질소와 수용성 인의 초기농도를 조절하고 질소 침투계수와 인 침투계수 등을 조절하여 보정하였다.

#### IV. 모형의 검증

##### 1. 검증결과 및 고찰

보정과정에서 결정된 최적의 매개변수를 가지고 유출량과 T-N, T-P의 부하량을 2004년부터 2005년에 적용하여 검증하였다. 또한 보정과정에서 정해진 최적 매개변수를 이용하여 2004년부터 2005년까지의 자료를 월별 부하량과 총 부하량에 대하여 검증하였으며 검증결과는 Table 7과 같다.

##### 가. T-N 부하량

T-N 부하량에 대한 검증결과 SWAT2000 모형에 의해 예측된 월별 T-N 부하량은 양호한 결과를 보였고 월별 상관성은 다소 높은 것으로 판단

Table 7 SWAT2000 validation results for T-N and T-P load (2004~2005)

Site	Monthly loading				Total loading	
	COE		R <sup>2</sup>		R.E	
	T-N	T-P	T-N	T-P	T-N	T-P
Indong	0.79	0.68	0.84	0.67	4%	3%
Boksu	0.69	0.59	0.65	0.80	11%	25%
Hoedeok	0.63	0.73	0.75	0.73	9%	9%

되었다.

회덕지점에서 예측된 T-N 부하량이 홍수기에는 낮게 산정되고 갈수기에는 크게 산정되는 것을 알 수 있었으며 월별부하량의 예측경향은 실측값의 경향과 유사하였다

검정결과 월별 T-N 부하량에 대한 예측값은 COE지수가 0.63~0.79의 값을 보였고 결정계수는 0.65~0.84를 나타냈으며 총부하량에 대해서는 상대오차는 4%~11% 였으나 질소의 예측량은 전체적으로 홍수기에는 다소 작게 갈수기에는 다소 높게 나타났다. (Fig. 6, 7, 8)

##### 나. T-P 부하량

월별 T-P 부하량은 보정기간과 마찬가지로 모형평가 결과가 매우 양호하였고 월별 상관성도 매우 높았다.

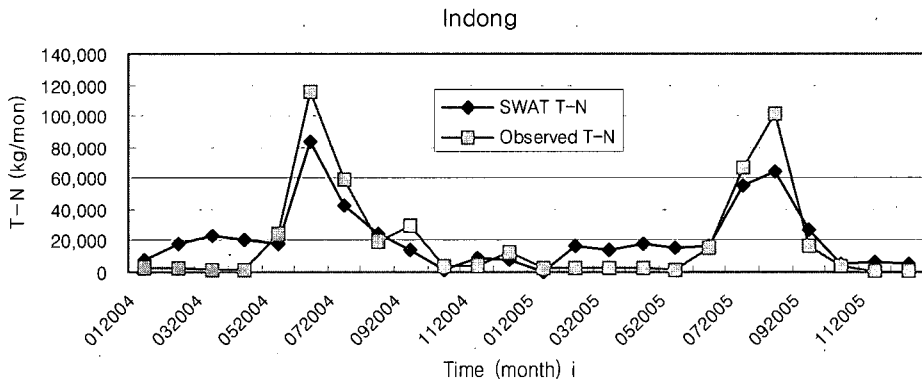


Fig. 6 Comparison between monthly SWAT T-N and observed T-N load for Indong

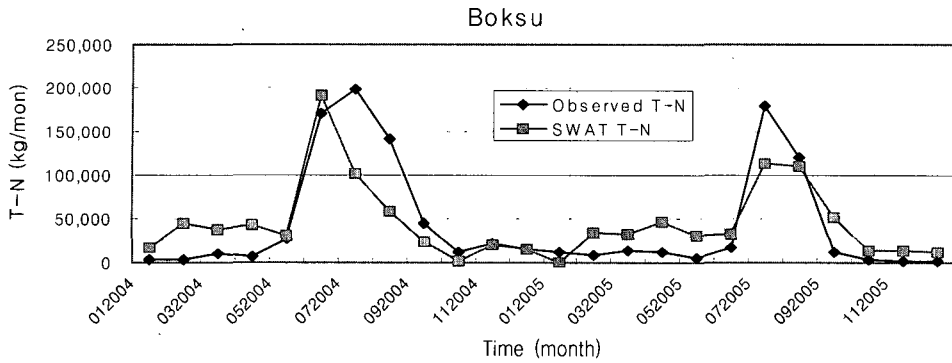


Fig. 7 Comparison between monthly SWAT T-N and observed T-N load for Boku

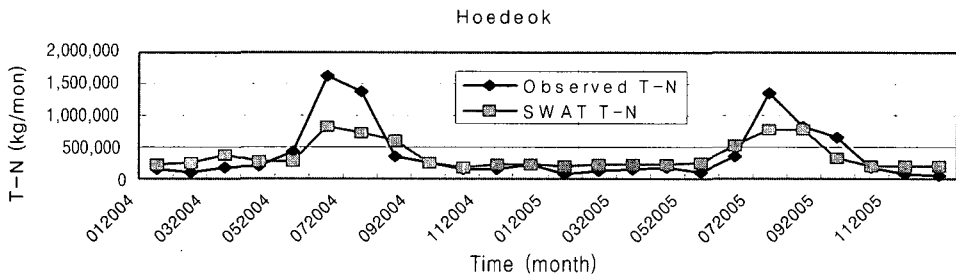


Fig. 8 Comparison between monthly SWAT T-N and observed T-N load for Hoedeok

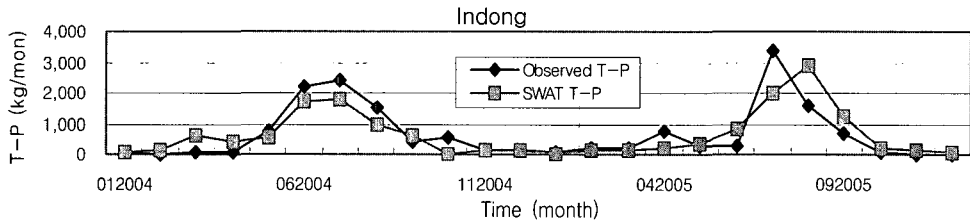


Fig. 9 Comparison between monthly SWAT T-P and observed T-P load for Indong

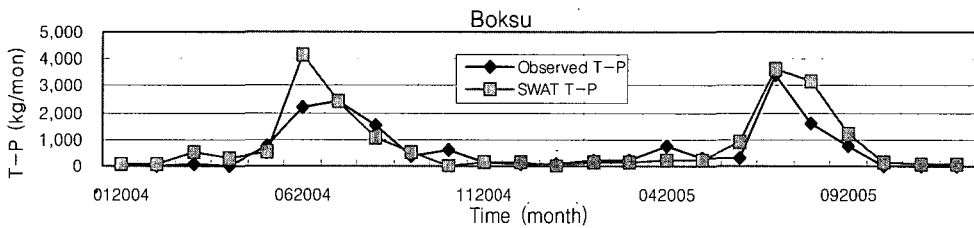


Fig. 10 Comparison between monthly SWAT T-P and observed T-P load for Boku

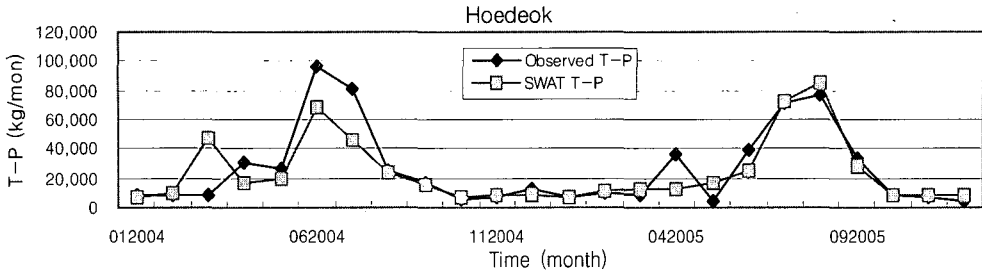


Fig. 11 Comparison between monthly SWAT T-P and observed T-P load for Hoedeok

또한 T-P 에 대한 월별 부하량에 대한 COE지수가 0.59~0.73을 보였고 결정계수는 0.67~0.80의 값을 나타냈으며 총부하량에 대한 상대오차는 3%에서 크게는 25%의 오차를 보였다. 인에 대한 부하량 예측은 전체적으로 양호하며 홍수기와 갈수기 모두 매우 정확하게 예측되고 있음을 알 수 있었다. (Fig. 9, 10, 11)

### V. 결 론

SWAT2000 모형에 의한 대전광역시 갑천수계의 비점오염원 부하량 산정을 위해 3대 하천인 유등천, 대전천, 갑천에 적용하였으며 2002년부터 2005년까지의 유량과 수질자료를 이용하여 SWAT 2000 모형의 비점오염원 부하량 산정에 대한 적용성 평가를 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 복수, 인동, 회덕지점에 적합한 T-N 부하량 보정을 위해 NPERCO(질소 침투계수)와 T-P부하량 보정을 위해 PPERCO(인 침투계수)와 PHOSKP(인 토양분리계수)의 최적 매개변수값을 결정하여 갑천유역에 적용하였다.
2. SWAT2000 모형으로 복수, 인동, 회덕지점의 T-N에 대한 부하량을 추정할 결과 양호한 결과를 얻었으며 갑천하류인 회덕지점에서는 월별 부하량에 대해 COE지수가 0.59~0.78의 값을 보였고 결정계수는 0.65~0.84의 값을 나타냈으며 총 부하량에 대한 상대오차가 4%~20%의 값을 보였다.
3. 복수, 인동, 회덕지점의 SWAT2000 모형에

의해 추정된 T-P에 대한 부하량을 평가한 결과 월별부하량에 대해 COE지수가 0.59~0.73의 값을 보였고 결정계수는 0.67~0.82의 값을 나타냈으며 총부하량에 대한 상대오차가 3%~25%의 값을 보였다.

4. 대전광역시 갑천수계에 SWAT2000 모형을 적용한 결과 적용 가능한 것으로 판단되며 갑천유역과 같이 토지이용이 다양한 지역에서 매우 우수한 모형이나 우리나라에 적용시 오염원의 종류 및 유출형태가 다르므로 사용시 주의를 요한다.

본 연구는 대전환경기술개발센터의 2005년도 연구개발사업 지원에 의해 이루어진 것이며, 이에 감사드립니다.

### References

1. Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S. and J. R. Williams, 1998, Large-area hydrologic modeling and assessment: Part 1. Model development, J. American Water Resources Association 34(1), pp. 73-89
2. Bang, K. W., Lee, J. H. and M. J. Yu, 1997, A Study on the Runoff Characteristics of Nonpoint Sources in Small Urban Watersheds, Journal of Korean Society on Water Quality 13(1), pp. 79-99
3. Choi, K. S., Na, E. H. and S. S. Park, 2000, Application of a Non-Point Source Model for the Prediction of Land Use Impact on Water

- Qualities, Journal of Korean Society on Water Quality 16(7), pp. 565-572
4. Daejeon Metropolitan City, 2004, Total Water Pollution Load Management Plan for Geum River
  5. Daejeon Metropolitan City, 2005, Total Water Pollution LoPad Management Plan for Geum River
  6. Di Luzio, M., Srinivasan, R. and J. G. Arnold, 2001, Soil and Water Assessment Tool ArcView Interface Manual, Version 2000, Temple, TX: Blackland Research Center Texas Agricultural Experiment Station.
  7. Di Luzio, M., Srinivasan, R. and J. G. Arnold, 2002, Integration of watershed tools and SWAT model into BASINS, Journal of American Water Resources Association 38(4), pp. 1127-1141
  8. Keum River Basin Environmental Office, 2002, Keum River Basin Statistical Data Book of Environment.
  9. Kim, S. M., 1995, A Study for Water Quality Variations of Keum River Downstream Using QUAL2E Model, Master's Thesis, Chungnam National University.
  10. Ministry of Agricultural & Forestry, 2004, Agricultural & Forestry Statistical Yearbook
  11. Ministry of Construction and Transportaion, 2002, Flood Discharge Measuring Survey Report in Gab stream Watershed.
  12. Ministry of Construction and Transportaion, 2003, Flood Discharge Measuring Survey Report in Gab stream Watershed.
  13. Ministry of Construction and Transportaion, 2005, Flood Discharge Measuring Survey Report in Gab stream Watershed.
  14. Moon, J., Srinivasan, R. and J. H. Jacobs, 2004, Stream Flow Estimation Using Spatially Distributed Rainfall in the Trinity River Basin, Texas, Transaction of The ASAE 47(5), pp. 1445-1451
  15. Nash, J. E. and J. V. Sutcliffe., 1970, River flow forecasting through conceptual models. Part I. A Discussion of Principles. Journal of Hydrology 10(3), pp. 282-290.
  16. National Institute of Environmental Research, 2004, Total Watershed Pollution Load Management Technical Manual
  17. Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R. and J. R. Williams., 2001, Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation, Version 2000, Temple, TX: Blackland Research Center Texas Agricultural Experiment Station.
  18. Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R. and J. R. Williams., 2001, Soil and Water Assessment Tool User's Manual, Version 2000, Temple, TX: Blackland Research Center Texas Agricultural Experiment Station.
  19. Saleh, A., Arnold, J. G., Gassman, P. W., Hauck, L. M., Rosenthal, W. D., Williams, J. R. and A. M. S. McFarland, 2000, Application of SWAT for The Upper North BOSQUE River Watershed, Transaction of The ASAE 43(5), pp. 1077-1087
  20. Seo, D., Kim, J.S and K. M. Yu, 2005, Application of SWAT model for estimation of non-point source Load from Yondam Dam Watershed Area, Proceedings of the 2005 Annual Conference of the Korean Society of water and wastewater
  21. The Province of Chungcheongnam-Do, 2003, Environment-friendly River Comprehensive Plan for Geum River
  22. The Province of Chungcheongnam-Do, 2005, Total Water Pollution Load Management Plan for Geum River
  23. Tolson, B. A. and C. A. Shoemaker, 2004, Watershed Modeling of the Cannonsville Basin Using SWAT2000, Technical Report, School of Civil and Environmental Engineering, Cornell University
  24. <http://faculty.abe.ufl.edu/~klc/abe6254/swatapp03.pdf>
  25. <http://www.kma.go.kr>
  26. <http://water.nier.go.kr>
  27. <http://www.wamis.go.kr>