

# 오염부하량 산정을 위한 GWLF 모형의 적용

장 중 석 \* · 이 남 호 \*

\*한경대학교 농촌공학과

## Application of GWLF Model to Predict Watershed Pollutant Loadings

Jang, Jung Seok · Lee, Nam Ho

Hankyung University

### ABSTRACT

In order to evaluate the applicability of GWLF model which can efficiently estimate non-point and point source pollutant loadings in rural watershed including urban district, the model was applied to an experimental watershed. The model was calibrated using observed data such as daily runoffs, sediment yields, T-N, and T-P. Simulated daily runoffs and sediment yields by the model using calibrated parameters were in good agreement with the observed data. There were difference between the simulated and observed nutrient loading which was considered reasonable. The simulated results by the model showed that T-N, T-P and sediment yields were dependent on the amount of stream runoff discharge and land use. GWLF model is believed to applicable to estimate amount of pollutant loading of non-point source pollution for the water quality control of agricultural watersheds.

### I. 서 론

하천 및 호소의 수질관리를 위한 수단으로 수질예측 모형이 이용되고 있다. 수질예측 모형에서는 유역 내의 오염물질의 각종 반응, 이동, 침전 등의 여러 과정을 설명하게 되나, 이것은 오염물질의 부하량이 적정하게 산정되었다는 것을 전제로 하게 된다. 그러므로 유역으로부터 유입되는 오염부하량을 정확하게 산정하는 것은 수질보전대책수립 및 수질관리를 위한 가장 우선적인 과제라 할 수 있다.

오염부하량은 크게 점오염부하량과 비점오염부하량으로 구분할 수 있다. 점오염부하량은 발생원과 흐름

경로가 비교적 명확하여 부하량의 산정이 용이하나, 비점오염부하량은 강우사상과 연계되어 유역의 도처에서 집중적인 배출특성을 보이거나, 지하수에 용해되어 점진적으로 하천에 유입되는 등 흐름 경로가 명확하지 않아 부하량의 산정이 쉽지 않다(전, 1977; 최, 1996).

비점오염부하량을 산정하기 위한 방법으로는 단순한 원단위법으로부터, 단위 부하량을 나타내는 배출계수(export coefficients)법, 유량-부하량 관계식으로부터 추정하는 방법, 부하함수(loading function)를 이용하는 방법, 정밀한 화학적인 모의과정을 통해 추정하는 방법, 수문학적 모형을 이용한 방법에 이르기까지 그 연구의 목적이나 수준에 따라 다양하다(Haith, 1992:

\* 키워드 : GWLF, 부하함수, 오염부하량, 비점오염, 농촌소유역, 유역관리

업, 1996).

원단위법(김, 1996; 박 등, 1997) 및 단위부하량법은 유역의 토지이용과 관련되어 단위면적에 대한 연평균 영양물질의 배출량을 개략적으로 산정하는데 적용하게 되나 계절적인 부하량의 변동을 파악하거나 수질오염을 관리하는 수단을 개발하는 데에는 사용될 수 없는 단점이 있으며, 정밀한 화학적 모의모형들은 영양물질의 유입, 유출, 운송과 손실을 기계적으로 잘 설명해 주며, 영양물질의 부하를 가장 완벽하게 설명해 줄 수는 있으나, 수질문제를 다루는데 있어 너무 많은 데이터를 필요로 하는 단점이 있다.

부하함수를 이용하는 방법은 경험적인 배출계수와 화학적 모의모형의 복잡성을 절충한 공학적이고 수문학적인 접근 방법이라고 볼 수 있다. 부하함수에서는 물과 유사의 이동에 국한해서 모델링을 하게 되며, 영양물질의 화학적 거동은 무시되거나 단순한 경험적 관계식으로 나타내게 되어 화학적 모의모형들을 현실적으로 사용할 수 없을 때 영양물질의 부하량을 산정하는데 유용한 수단이 될 수 있다.

GWLF(Haith 와 Shoemaker, 1992) 모형은 농촌지역 및 도시지역을 포함하는 복합유역으로부터 하천으로 유입되는 용존상태와 고체상태의 질소와 인의 오염부하량을 산정하여 유역의 수질관리에 적용하기 위해 개발된 모형으로 영양물질 부하함수와 수문순환을 고려하여 유역단위에서의 영양물질 및 유사 부하량을 장기간 모의할 수 있는 연속형 모형이며, 수문순환은 총괄형 매개변수 모형을 채택하고 있다.

본 연구의 목적은 GWLF 모형의 유출량 산정 및 오염부하량 산정방법을 시험유역에 적용하여 모형의 주요 매개변수를 보정하고, 유역에서의 오염부하량을 산정하여 그 결과를 고찰함으로써 모형의 적용가능성을 검토하는데 있다.

## II. GWLF 모형의 구성

### 1. 모형의 개요

GWLF 모형에서는 농촌지역 및 도시지역을 포함하는 복합유역으로부터 하천으로 유입되는 용존상태와

고체상태의 질소와 인의 오염부하량을 산정하며, 유역내의 점원오염부하량도 고려하게 된다.

농촌지역으로부터의 용존성 오염부하량은 용해된 오염물질의 농도와 하천 유출량을 곱하여 산정하며, 고체상태(solid-phase)의 오염물질 부하량은 시기별 유사 발생량과 유사내의 영양물질의 평균 농도를 고려하여 산정한다. 하천유출량은 SCS 유출수법(Ogrosky 와 Mockus, 1964)을 적용하여 지표면 유출량과 지하수 유출량으로 구분되어 산정하며, 지하수 유출량은 총괄형 매개변수를 이용하여 불포화 및 얇은 포화층의 수분함량의 변화를 추적하는 일별 물수지 방식에 의해 산정한다. 토양 침식량은 USLE 공식에 의해 산정하고, 유사부하량은 토양 침식량과 유사운송비에 의해 계산하게 된다.

도시지역에서의 오염물질은 고체상태로 부하된다고 가정하며, Amy 등(1974) 및 Sartor 와 Boyd(1972) 등에 의해 제안된 일반적인 물질의 축적 및 배출이론을 적용하고 있다. 점원 부하량은 일정량으로 가정하여 산정하게 되며 유역추적 방법은 고려하지 않고 있으며, 별도의 오수처리 시스템에 의한 영양물질 부하량을 산정하게 되는데 일별 기준배출량과 유역내의 인구수로부터 산정하게 된다.

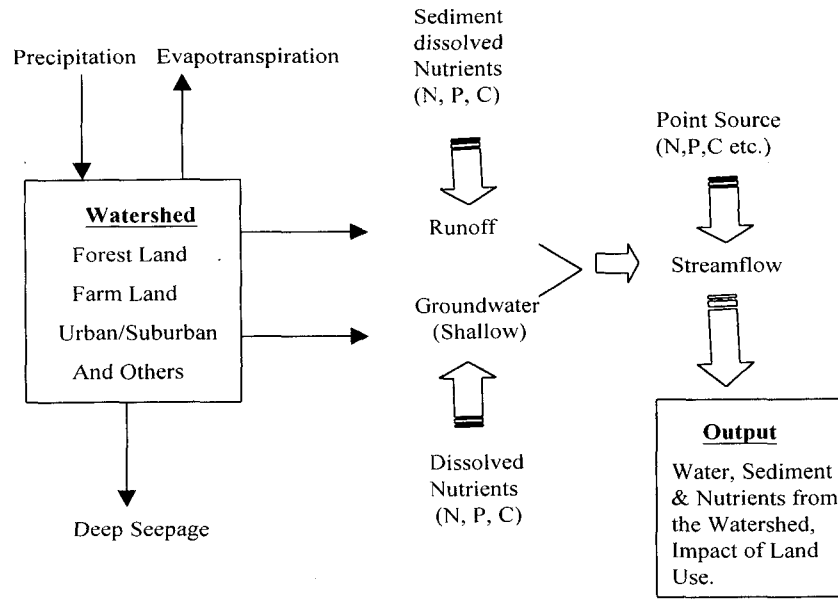
GWLF 모형에서는 기본적으로 월별 오염부하량을 산정하게 되는데 월별 부하량은 일별 산정값을 합산하여 계산되므로 일별 모의도 가능하다. 영양물질의 부하량은 용존상태 및 유사에 부착된 상태의 질소와 인의 부하량 및 점원오염원 및 오수처리 시스템에서의 부하량을 모두 포함하게 되며 모형의 구조는 <그림 1>과 같다.

## 2. 농촌지역의 오염부하

### 가. 용존성 오염물질

농촌지역 토지이용에 따른 오염물질은 각 오염원으로부터 유출되는 용존성 오염물질  $LD_m$ (kg)은 용존농도와 유량을 곱하여 산정한다.

$$LD_m = 0.1 \sum_k \sum_{t=1}^{d_m} Cd_k Q_{kt} AR_k \quad (1)$$



<그림 1> Structure of GWLF model

여기서,  $Cd_k$  = 오염원 k의 유량내의 영양물질 농도 (mg/l)

$Q_{kt}$  = 오염원 k의 일별 유출량 (cm)

$AR_k$  = 오염원 k의 면적 (ha),  $dm$  = 월별 총 일수.

유출량은 SCS의 유출수법에 의해 산정한다.

나. 고체상태(solid-phase)의 오염물질 유사부착된 고체상태의 오염물질 부하량  $SR_m$  (kg)은 월별유사량( $Y_m$ , Mg)에 유사내 평균 영양물질의 농도( $c_s$ , mg/kg)를 곱하여 산정한다.

$$SR_m = 0.001 c_s Y_m \quad (2)$$

오염원 k로부터의 t일의 침식량(Mg)은 다음 식으로부터 산정 한다.

$$X_{kt} = 0.132 RE_t K_k (LS)_k C_k P_k AR_k \quad (3)$$

여기서,  $K_k$ ,  $(LS)_k$ ,  $C_k$ ,  $P_k$  는 각각 USLE 공식의 토양침식능, 지형, 식생 및 피복처리 상태계수를 나타내고 있으며,  $RE_t$ 는 강우의 침식능

(MJ-mm/ha-h)을, 상수 0.132는 SI단위로 환산하기 위한 계수이다.

침식능은 Richardson 등(1983)이 제안한 경험공식에 의해 결정되며, Haith 와 Merrill(1987)에 의해 보정된 식을 적용하고 있다.

$$RE_t = 64.6 a_t R_t^{1.81} \quad (4)$$

여기서,  $a_t$ 는 계절 및 지형에 따라 변하는 강우침식 계수를,  $R_t$ 는 강우량을 나타내고 있으며, j월의 유역에서의 총 유사공급량은 다음과 같다.

$$SX_j = DR \sum_{k=1}^{d_j} \sum X_{kt} \quad (5)$$

여기서,  $DR$ 은 유사운송비(sediment delivery ratio)이며, j월의 유역에서 발생된 유사의 운송량은 j월의 유출량의 운송능에 따른다. j월의 운송능  $TR_j$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$TR_j = \sum_{t=1}^{d_j} Q_t^3 \quad (6)$$

유사 공급량  $SX_j$ 는 각 월의 운송능에 의해 배분

되는데 각 월의 총유사 운송능은  $B_j$ 에 비례하며  $B_j$ 는 다음과 같다.

$$B_j = \sum_{h=j}^{12} TR_h \quad (7)$$

각 m월의 유사부하량  $Y_m$  (Mg)에 기여하게 되는 유사량  $X_j$ 는  $TR_m / B_j$ 이다. 총 월별 부하량은 선행월의 모든 기여량을 합하게 된다.

$$Y_m = TR_m \sum_{j=1}^m (X_j / B_j) \quad (8)$$

### 3. 도시지역의 오염부하

도시유출모형은 Amy 등(1974) 및 Sartor 와 Boyd(1972)등에 의해 제안된 일반적인 물질의 축적 및 배출이론에 근거하고 있으며, 수학적 이론은 Overton 과 Meadows(1976)의 이론을 적용하고 있다.

시간이 지남에 따라 도시의 지표면에 축적된 오염물질은 강우사상에 의해 쓸려 내려간다. 만약  $N_k(t)$ 가 도시지역의 오염원(토지이용) k의 t일의 오염물질 누적량(kg/ha)이라면 비강우기 때의 누적율(the rate of accumulation)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{dN_k}{dt} = n_k - \beta N_k \quad (9)$$

여기서,  $n_k$ 는 누적상수(kg/ha-day)를,  $\beta$ 는 소모율상수(day<sup>-1</sup>)를 나타내고 있으며, 이를 정리하면 식 (10)과 같다.

$$N_k(t) = N_{k0} e^{-\beta t} + (n_k / \beta) (1 - e^{-\beta t}) \quad (10)$$

여기서, t = 0 일 경우  $N_{k0} = N_k(t)$ 이며, 식 (11)의 극대값  $N_{k, \max}$ 는 다음 식과 같다.

$$N_{k, \max} = \lim_{t \rightarrow \infty} N_k(t) = n_k / \beta \quad (11)$$

Sartor 와 Boyd(1972)의 경험치에 따라 오염물질 누

적량  $N_k(t)$ 는 약 12일 후 최대값을 가지게 되므로,

$N_{k0} = 0$  일 때 누적량은

$$0.90 (n_k / \beta) = (n_k / \beta) (1 - e^{-20\beta}), \text{ or } \beta = 0.12 \text{ 가 된다.}$$

식 (10)을 다시 나타내면 식 (12) 및 식 (13)과 같다.

$$N_k(t_2) = N_k(t_1) e^{-0.12 \Delta t} + (n_k / 0.12) (1 - e^{-0.12 \Delta t}) \quad (12)$$

$$N_{k, t+1} = N_k e^{-0.12} + (n_k / 0.12) (1 - e^{-0.12}) \quad (13)$$

여기서,  $N_{kt}$  (kg/ha)는 t일의 오염물질 누적량이다. 식 (13)은 오염물질의 배출량을 고려하면 다음 식과 같다.

$$N_{k, t+1} = N_k e^{-0.12} + (n_k / 0.12) (1 - e^{-0.12}) - W_{kt} \quad (14)$$

여기서,  $W_{kt}$ 는 t일의 k 오염원의 오염물질의 배출량 (kg/ha)을 나타내며 다음 식과 같다.

$$W_{kt} = w_{kt} [N_{kt} e^{0.12} + (n_k / 0.12) (1 - e^{-0.12})] \quad (15)$$

여기서,  $w_{kt}$ 는 Amy 등(1974)에 의해 제시된 1차 배출함수를 나타내고 있으며, 식 (16)과 같다.

$$w_{kt} = 1 - e^{-1.81 Q_{kt}} \quad (16)$$

도시지역의 월별 오염물질의 배출부하량은 다음식과 같다.

$$SU_m = 0.1 \sum_k \sum_{t=1}^{d_m} W_{kt} AR_k \quad (17)$$

### 4. 지하수에 의한 오염부하

지하수에 의해 하천으로 유입되는 영양물질의 월별 부하량  $DG_m$ 은 다음과 같다.

$$DG_m = 0.1 C_g AT \sum_{t=1}^{d_m} G_t \quad (18)$$

여기서,  $C_g$  = 지하수내의 영양물질 농도(mg/l)

$AT$  = 유역면적(ha)

$G_t$  = t일의 하천으로의 지하수 유입량(cm).

지하수 유출량은 총괄형 매개변수모형을 적용하여 산정하며, 지하수 유출량 산정 모형에서는 불포화층과 얇은 포화층, 깊은 포화층의 토양습윤함량은 동일한 것으로 처리하였다. 불포화층과 얇은 포화층에 있어서의 일별 물수지식은

$$U_{t+1} = U_t + R_t - Q_t - E_t - PC_t \quad (19)$$

$$S_{t+1} = S_t + PC_t - G_t - D_t \quad (20)$$

여기에서,  $U_t$ ,  $S_t$ 는 불포화층 및 얇은 포화층의 t일의 토양수분함량을 의미하며

$Q_t$ ,  $E_t$ ,  $PC_t$ ,  $G_t$ ,  $D_t$ 는 각각 유역유출량, 증발산량, 얇은 포화층으로의 침투량, 하천으로의 지하수 유출량, 깊은 포화층으로의 침투량 등을 나타내고 있다.

### III. 대상유역 및 수문자료

#### 1. 대상유역

모형의 적용을 위한 대상유역은 경기도 이천시에 위치한 복하천 상류 지역이며, 유역면적 78.98km<sup>2</sup>, 유로 연장 17km로서 지형은 비교적 경사가 완만하고 단조로운 전형적인 농촌지역의 특성을 가진 유역으로서, 토지이용은 임야가 64%, 논 17.5%, 밭 10.0%, 대지 1.9%, 기타가 6.6%로서 대체적으로 상류 유역에서는 임야의 구성비율이 높으며 중하류로 갈수록 낮아지는 경향을 보이고 있다.

#### 2. 적용자료

##### 가. 기상 및 하천유량 자료

일별 강우량 및 기온자료는 대상지구 인근에 위치한 이천 기상 관측소로부터 획득하였다. 실측 하천유출량 자료는 유역 최말단인 주미교 지점에서 '92년

서 '94년까지 측정된 자료를 활용하였다.

#### 나. 수질측정 자료

수질측정자료는 유역의 최말단인 주미교 지점에서 '92년부터 '97년까지 측정된 수질 및 유수량 자료를 이용하였다. 측정된 항목별 수질자료는 수위-유량 관계식을 이용하여 당일의 부하량으로 산정하였으며, 실측 유출량 자료가 없는 날짜의 부하량은 동일 유역에서 연구를 수행한 바 있는 엄(1996)의 유출량 자료를 활용하였으며, 유수량 자료는 김(1998)의 자료를 활용하였다.

#### 다. 운송매개변수(Transport parameters)

##### 1) 유출곡선지수(Runoff curve numbers)

수문학적 토양군을 분류하기 위해 정밀토양도를 분석한 결과 복하천 유역의 토양통은 모두 54개로 나타났다. 주요 토양통은 삼각, 상주, 예천, 사촌 토양통인 것으로 나타났다.

토지이용과 수문학적 토양군의 조합에 따라 결정되는 유출곡선지수는 최 등(1996), 김 등(1994)에 의하면 SCS CN법에 의한 장기유출량 산정시 5일 선행 강우량에 따라 t일의 실제적인 유출곡선지수를 구할 경우 유출곡선지수의 불연속문제를 완전히 극복할 수 없다고 하였다. 그러므로 최 등(1996)은 설계홍수량 산정을 위한 선행강우조건으로 CN을 산정하는 방법의 불연속성을 보완하기 위해 일별 토양수분에 의한 CN을 계산하는 방법을 제안한 바 있으며, 김 등(1994)은 여러 강우 사상에 대해 이론 CN값과 역 추정 CN값을 비교하고 보정계수를 도입하여 수정 유출곡선지수식을 제안한 바 있다.

본 연구에서는 두 방법의 장점을 이용하여 본 모형의 유출곡선지수식을 변경 적용하였다. SCS에서는 AMC I은 유출잠재능이 최저인 경우, AMC III은 최대인 경우로 정의하였으므로(최 등, 1996), 일별 토양수분이 유효수분저류능( $U^*$ , available soil water capacity)의 50%일 경우 AMC II의 CN값이라 가정할 수 있다. 따라서 일별 토양수분이 유효수분저류능의 50% 보다 작으면 식 (21)에 의하여, 50% 보다 크게

되면 식 (22)에 의하여 CN 값을 산정 하였다.

$$CN = a \times CN_{II} + (1-a) \times CN_I \quad (23)$$

$$CN = a \times CN_{II} + (1-a) \times CN_{III} \quad (24)$$

여기서, a는 CN 보정계수이다.

한편 박(1998)은 토양군별 유출곡선지수를 면적 가중평균하여 유출량을 산정하는 것 보다 각 토지이용 형태별 수문학적 토양군을 하나의 유출단위로 유출량을 산정 할 경우 보다 정확한 유출량을 산정 할 수 있다고 하였다. 이러한 연구결과를 토대로 본 연구에서도 각 토지이용별 토양군을 하나의 유출단위로 보았다.

### 2) 증발산 피복계수 (Evapotranspiration cover coefficients)

피복계수는 작물의 재배력이나 파종후 일수 등 작물의 성장단계를 고려하여 결정하게 된다. 그러나 작물의 종류, 성장단계가 각기 다르므로 유역전체의 토지이용에 적용하기 위한 일관된 자료를 구하는 것은 사실상 어려운 관계로 연구에서는 유역의 피복계수는 작물을 심기전이나 추수후 작물의 잎이 거의 없을 경우 0.2-0.3 정도가 될 것이며 작물의 잎이 무성할 때 1.0이 될 것으로 가정하였다.

### 3) 지하수 유출

GWLF 모형의 지하수 부분모형에서는 유효 불포화층의 토양수분저류능  $U^*$ , 감쇄곡선상수 (recession constant)  $r$  및 침윤상수 (seepage constant)  $s$  등의 매개변수가 필요하다. 이론적으로 토양수분저류능은 유역의 평균 작물 근근역과 평균 토양유효수분함량을 곱한 값과 같다. 토양유효수분함량은 평균 불포화층의 평균깊이에 따라 결정되며, 유역조사에 따라 경험적으로 알 수 있다. 감쇄곡선계수  $r$ 을 결정하기 위해서는

하천유출량을 나타나는 수문곡선분리 등 일반적인 방법을 이용한다.

본 연구에서의 불포화층의 유효토양수분함량 복하천 유역의 주요 토양통별 유효토심이 50~100cm인 점을 감안하여, 평균유효토심 75cm에 0.1cm/cm의 유효수분함량을 가정하고 이를 곱하여 7.5 cm를 초기값으로 적용하였다. 지하수 감쇄곡선계수  $r$ 은 '93년 8월 17일의 수문곡선의 감퇴부를 분석하여 0.058을 초기값으로 결정하였으나 여러 개의 수문곡선에서 분리된 값을 구할 수 없어 매개변수로 처리하였다.

### 4) 침식과 유사(erosion and sediment)

USLE 공식의  $K_k, (LS)_k, C_k, P_k$  등은 토지이용별로 산정하였는데 그 결과는 <표 2>와 같다.

<표 2> USLE factor of land use

Land use	USLE factor			
	K	C	P	LS
Forest	0.23	0.001	1.0	4.0
Paddy	0.25	0.0	0.25	1.0
Upland	0.17	0.03	0.5	2.0

### 라. 영양물질 매개변수(Nutrient parameters)

#### 1) 토지이용에 따른 영양물질의 농도

본 연구에서 논외의 경우 홍 등(1989)의 자료를 사용하였으며 밭외의 경우는 최 등(1997)의 자료를 적용하여 오염부하량을 산정하였는데 그 결과는 <표 3>과 같다.

산림지역에서의 하천 유출수에 대한 영양물질 농도는 우리나라에서 연구된 자료를 찾을 수 없어 Omernik(1977)에 의해 제시된 값을 적용하였으며, 적용된 값은 산지지역의 산림이 95% 이상으로 보고 T-N은 0.19 mg/l, T-P는 0.006 mg/l 를 적용하였다.

<표 3> Maximum and mean concentration of drained water from cropland

T-N(mg/l)				T-P(mg/l)			
Paddies		Uplands		Paddies		Uplands	
max	mean	max	mean	max	mean	max	mean
15.620	3.840	-	0.80	1.380	0.574	-	1.69

2) 지하수 및 토양함유 영양물질

농촌지역의 오염원으로부터의 유사에 부착된 고체 상태의 영양물질은 토양내 평균 영양물질 함량에 ER 값(Enrichment ratio)을 곱해서 산정하게 되며, 본 연구에서는 한 등(1997)이 금강유역 농업지대의 토양 및 수질오염연구를 위해 실측한 토양내 T-N 및 T-P 함량(mg/kg)자료를 적용하였다. 한 등(1997)이 실측한 동 유역의 T-N 함량은 138~3,999 mg/kg 범위였으며 전체 평균은 1,150.8 mg/kg으로, T-P의 경우 10~670 mg/kg 범위였으며 전체 평균은 271.4 mg/kg

으로 분석되었다.

지하수내의 영양물질 농도는 하천에서의 농도가 지하수내의 농도를 나타낸다고 볼 수 없으나 <표 3>의 값을 기준으로, 최(1996)의 중소규모 농촌유역의 비점 오염물질 배출특성연구 자료를 비교하여 적용하였다.

3) 점원오염

유역내의 점원오염은 생활계, 산업계 및 축산계로 구분하여 산정 하였으며 생활계 부하의 주원인인 생활하수의 발생 원단위 및 인구수와 월간 부하량 산정 내역은 <표 4>와 같다.

<표 4> Monthly pollutant loading from rural domestic sewage

Population	Primitive unit (g/capita/day)		Pollutant mass (kg/day)		Pollutant mass (kg/month)	
	T-N	T-P	T-N	T-P	T-N	T-P
10,284	1.0	0.4	10.28	4.11	308.4	123.3

<표 5> Monthly discharged pollutant mass from industrial wastewater

Type	Number	Discharge (m <sup>3</sup> /day)	Primitive unit (g/m <sup>3</sup> /day)		Pollutant mass (kg/day)		Pollutant mass (kg/month)	
			T-N	T-P	T-N	T-P	T-N	T-P
Food	5	2,610	15.86	7.34	41.39	19.15	1241.7	574.5
Textile	5	24	5.69	3.45	0.14	0.08	4.20	2.40
Others	20	268	35.4	11.47	9.49	3.07	284.7	92.1
Total	30	2,902	-	-	51.02	22.30	1530.6	669.0

<표 6> Pollutant mass unit discharge from livestock

(gr/head/day)

Item	Type A		Type B		Type C	
	T-N	T-P	T-N	T-P	T-N	T-P
Korean Cow	38.3	0.88	35.9	1.08	47.9	1.1
Milk Cow	46.5	1.04	43.5	1.28	58.1	1.3
Pig	9.7	0.12	9.1	0.59	12.2	0.6

<표 7> Monthly discharged pollutant mass from livestock

Item	Type A		Type B		Type C		Total
	Number	Pollutant (kg/day)	Number	Pollutant (kg/day)	Number	Pollutant (kg/day)	
Korean Cow	T-N	-	175	6.28	649	31.09	1,121.1
	T-P	-		0.19		0.71	
Milk Cow	T-N	-	549	23.88	1,281	74.43	2,949.3
	T-P	-		0.70		1.67	
Pig	T-N	1,200	7,672	69.81	4,367	53.28	4,040.7
	T-P	0.15		4.52		2.62	
Total	T-N	1,200	8,406	99.97	6,297	158.80	8,111.1
	T-P	0.15		5.41		5.00	

유역내의 수질에 영향을 미치는 폐수배출산업체는 비교적 규모가 큰 공장이 5개소이며 사업소 현황, 배출원 및 배출부하량은 <표 5>와 같다.

유역내의 축산현황은 '93년을 기준으로 하였으며, 가축에 의한 오염물질 배출 원단위는 주로 분뇨에 의한 것으로 발생량이 많은 소와 돼지 등을 대상으로, 축산폐수 발생 원단위 자료 및 축산폐수 정화시설의 제거율을 고려하여 산정하였다. 배출부하량은 김 등(1993) 및 농림부(1993)에서 적용한 바와 같이 허가대상(A), 규제대상(B) 및 비규제대상 농가(C)로 구분하여 적용하였다. 적용된 배출 원단위는 <표 6>과 같고, 가축사육두수 및 월간 발생부하량은 <표 7>과 같다.

이상의 점원오염원을 모두 합산하면 월간 부하량은 T-N의 경우 9,950.1 kg/월, T-P의 경우 1,109.1 kg/월이며, 유역의 평균 유달율 20.0% (농림부, 1994)를 적용하여 점원오염부하량은 T-N의 경우 1,990 kg/월, T-P의 경우는 221.8 kg/월을 적용하였다.

**IV. 모형의 적용**

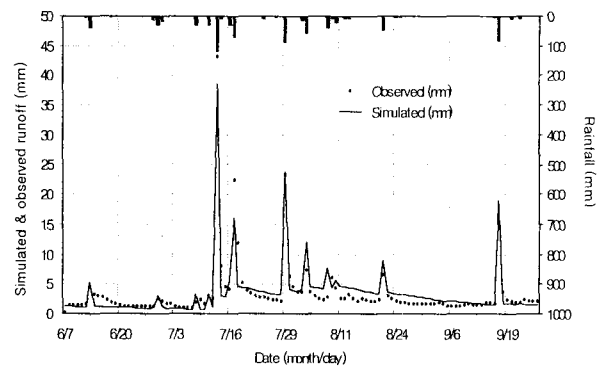
본 모형의 매개변수 보정은 유출 관련 매개변수, 유사량 관련 매개변수, 영양물질 매개변수로 구분되며, 본 연구에서는 유출관련 매개변수를 먼저 보정하고, 유사량 관련 매개변수, 영양물질에 매개변수 순으로 보정을 실시하였다.

**1. 유출량**

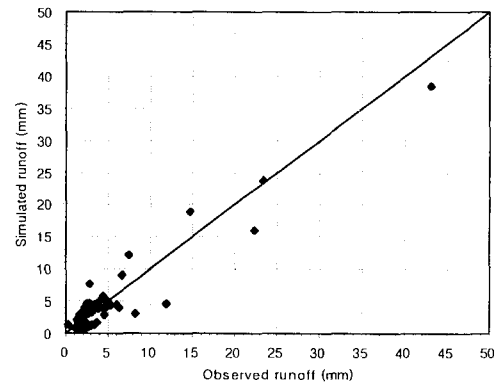
유출 관련 매개변수의 보정은 '93년 6월7일 ~ 9월 26일까지 복하천 유역출구점에서 측정한 유출량 자료를 이용하였다. 보정을 위하여 선정된 매개변수로는 불포화층의 유효토양수분함량, 지하수 감쇄상수, 침윤상수, 수정 유출곡선지수식의 CN 보정계수 a 등이다. 선정된 매개변수는 시행착오법에 의해 RMS 오차, 상

관계수가 최적값을 갖도록 보정하였으며, 보정 결과는 <표 8>과 같다.

유출량 모형의 보정 결과를 살펴보면 모의발생기간 동안의 실측 및 모의 발생 일 유출량은 각각 380.9mm와 389.7mm로 약 2.3%의 상대오차로서 유사한 경향을 보이고 있다. 일 유출에 대한 실측 및 모의 발생 값은 <그림 2>와 같으며, RMS 오차는 1.69mm/day로 나타났다. <그림 3>은 실측치와 모의치를 비교한 것으로 실측 및 모의치가 비교적 잘 일치하고 있었다.



<그림 2> Observed and simulated daily runoff (calibrated, 1993)



<그림 3> Comparison of observed and

<표 8> Calibrated value of runoff paramters

Item	Description	Values	
		Initial	Final
U	Unsaturated zone available soil water capacity	7.50	7.50
r	Groundwater recession constant	0.058	0.026
s	Deep seepage constant	0.00	0.009
a	CN modifying factor	0.5	0.70



simulated runoff (calibrated, 1993)

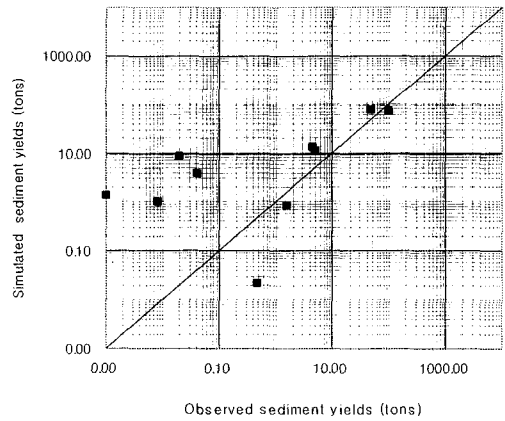
2. 유사량

유역의 유사량은 김(1998)이 복하천 유역에서 실측한 자료를 활용하였다. 유출량 모형의 보정에 적용한 '93년도에는 유사량 실측 자료가 없어 '97년도의 유량-유사량 농도 관계식을 통해 산정한 유역에서의 일별 유사량 자료를 모의치와 비교함으로써 모형의 매개변수를 보정하였다.

유사 모형을 보정하기 위한 매개변수로는 USLE 공식의 토양 침식능 인자(K) 및 지형인자(LS)와 같이 토양구성비, 지형조건에 따른 입력계수는 제외하고, 작물경작인자 (C), 침식조절공인자(P) 및 강우 침식능계수(a)를 대상으로 선정하였다. 보정된 매개변수들의 초기 입력자료와 보정결과는 <표 9>와 같다.

유사량에 대한 모의 결과를 살펴보면 강우가 많은 경우에는 적은 값을, 강우가 적을 경우에는 많은 값이 산정되었다. 그러나 전반적으로는 실측치와 근사한 경

향을 보이고 있으며, 김(1998)의 연구결과와 비교적 일치하고 있었다. 이를 정리하면 <표 10> 및 <그림 4>와 같다.



<그림 4> Observed and simulated sediment yields

<표 9> Calibrated value of nutrient paramters

Item	Description	Land use	Values	
			Initial	Final
C	Cover & management factor	Forests	0.001	0.001
		Paddy	0.0	0.0
		Upland	0.003	0.001
P	Supporting practice factor	Forests	0.058	0.026
		Paddy	0.25	0.22
		Upland	0.7	0.5
a	Rainfall erosivity coefficients	Cool season	0.008	0.008
		Warm season	0.25	0.13

<표 10> Comparison of observed and simulated sediment yields

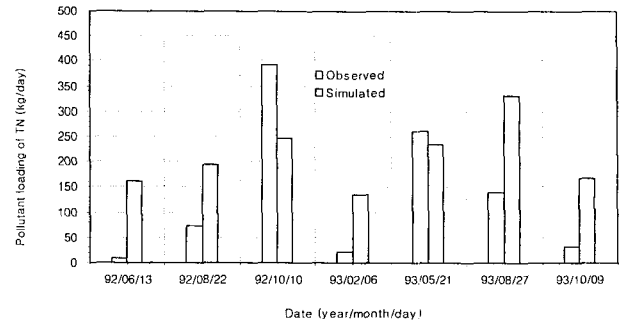
Date (1997)	rainfall (mm)	Observed (tons)	Simulated (tons)	Simulated (tons) (* 김, 1998)
05/12	39.5	0.02	8.459	2.924
05/13	51.0	4.453	13.433	12.230
05/14	1.5	0.472	0.023	0.002
05/29	25.5	0.041	3.831	0.939
05/30	14.5	0.001	1.379	0.129
07/01	136.0	46.905	79.282	62.030
07/04	12.5	0.008	1.054	0.122
07/05	45.5	4.848	10.926	8.704
07/06	11.0	1.54	0.836	0.173
08/04	131.5	97.167	74.598	75.500

3. 영양물질

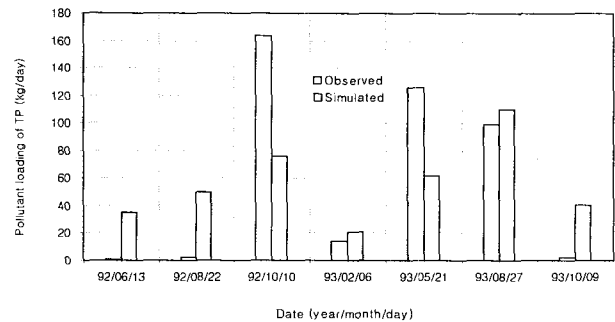
영양물질에 대한 모형의 보정은 '92~'93년간 실측한 T-N, T-P 자료를 이용하였다. 영양물질에 대한 매개변수는 토지이용에 따른 배출수의 영양물질 농도 (mg/l), 지하수 및 토양함유 영양물질 (mg/kg) 등이 있으며, 월 단위로 입력되는 점원부하량과 오수처리 시스템의 배출량도 전체 영양물질 부하량에 영향을 미치게 된다.

이러한 매개변수들은 직접 측정자료가 없어 일반적인 연구결과를 바탕으로 입력자료를 작성하였기 때문에 매개변수의 보정이 매우 어려웠다. 보정된 매개변수는 영양물질 부하량에 크게 영향을 미치는 지하수 내의 T-N, T-P 농도와 유사내에 포함되어 있는 T-N, T-P 함유량이며, 그 외의 입력자료는 인용한 연구결과를 그대로 사용하였다.

매개변수 보정결과 지하수에 포함되어 있는 T-N 농도와 유사내의 T-N 함유량에 대한 입력자료는 인용한 연구결과를 그대로 준용하기로 하였으며, T-P의 경우에는 엄(1996) 및 한(1997)의 연구결과 보다 상향된 값을 적용하였다. 모형의 보정 결과를 요약하면 <표 12> 및 <그림 5~6>과 같다.



<그림 5> Comparison observed and simulated T-N



<그림 6> Comparison observed and simulated T-P

<표 11> Calibrated value of sediment paramters

Item	Description	Values	
		Initial	Final
T-N	Nitrogen in groundwater	0.7	0.7
	Nitrogen in sediment	1,150.8	1,150.8
T-P	Phosphorus in groundwater	0.1	0.4
	Phosphorus in sediment	271.4	380.0

<표 12> Comparison of observed and simulated nutrient loadings

Date	T-N (kg/day)			T-P (kg/day)		
	Observed	Simulated	Simulated ※엄(1996)	Observed	Simulated	Simulated ※엄(1996)
92/06/13	8.3	161.1	11.9	0.5	35.4	19.9
92/08/22	72.9	193.1	113.8	2.7	49.8	17.7
92/10/10	392.1	248.7	133.4	163.2	76.0	10.6
93/02/06	22.3	135.9	94.1	13.7	21.4	4.5
93/05/21	260.3	247.4	236.4	125.7	61.7	99.8
93/08/27	140.3	332.3	132.9	99.1	110.2	17.2
93/10/09	31.5	167.3	106.4	2.5	41.1	6.4

모형의 보정 결과를 살펴보면 T-N, T-P 모두 유출량이 적을 경우에는 모의치가 실측치 보다 큰 값을 보이고 있다. 이러한 이유는 월별로 일정한 값이 입력자료로 사용되는 점오염부하량이 비 강우기에도 유출량에 관계없이 하천으로 유입되기 때문이며, 상대적으로 원단위에 의해 산정된 점오염부하량이 과대하게 산정된 것으로 생각된다.

T-N, T-P 영양물질에 대한 보정 결과 실측치에 근사한 값을 모의할 수는 없었으나 영양물질의 경우 유입경로의 다양함과 거동의 복잡함으로 인해 정확한 일 단위 유입부하량의 산정이 어려운 점을 감안한다면 본 모형은 점원 및 비점원을 포함한 오염부하량 산정에 적용성이 있는 것으로 나타났다.

## V. 요약 및 결론

본 연구에서는 도시지역을 포함하는 농촌지역에서 비점원오염원 및 점오염원에 의한 오염물질 부하량을 효과적으로 해석할 수 있는 GWLF 모형을 대상유역에 적용하여 오염부하량을 산정하고 그 결과를 고찰한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 정밀토양도에 의한 수문학적 토양군의 분류방법을 정립하고, SCS-CN법에 의한 장기유출량 산정시 유출곡선지수의 불연속 문제를 극복하기 위해 일별 토양수분변화를 고려한 수정 유출곡선지수식을 제안하였다.
2. 유출량 관련 매개변수를 선정하고 실측자료에 의해 보정 하였으며, 각 매개변수의 민감도를 분석하였다. 모형의 보정 결과 실측치와 모의치 간의 RMS 오차는 1.69mm/day로 나타났으며, 모의발생기간 동안의 실측 및 모의발생 일 유출량은 각각 380.9mm와 389.7mm로 약 2.3%의 상대오차를 보였다.
3. 유사량 관련 매개변수를 선정하고 실측 유사량 자료에 의해 보정 하였으며, 모형의 보정 결과 강우가 적을 경우에는 모의치가 실측치 보다 큰 값을,

강우량이 많을 경우에는 적은 값을 나타냈으나 실측치와 큰 차이는 없었다.

4. GWLF 모형을 이용하여 일별, 월별 오염부하량을 모의발생시켜 대상유역의 오염부하 특성을 고찰하였다. 그 결과 일별 오염부하량은 T-N, T-P 모두 유출량의 증감에 따라 민감하게 반응하였으며, 비강우기에도 상대적으로 적은 양이지만 점원오염원 및 지하수 유출량에 의해 영양물질의 유입이 지속되는 것으로 판단되었다.

## 참고문헌

1. 김성준. 1996. 농어촌소유역 하천수질관리를 위한 GIS의 응용. 한국 GIS 학회지 4(2):147~157.
2. 김지훈. 1998. 지리정보시스템을 이용한 SWAT/GRASS 모형의 적용. 서울대학교 석사학위논문.
3. 김진택 외. 1997. 농업비점원오염 모형을 위한 GIS호환모형의 개발 및 적용(II), 한국농공학회지 39(2):53~61.
4. 김진택, 박승우. 1994. 경사지 경종에 따른 유출 및 토양유실에 관한 연구. 한국농공학회지 36(1):73~61.
5. 김한태 외. 1993. 농촌지역에서의 수질오염 특성에 관한 연구. 한국환경농학회지 12(2):129~143.
6. 농림부, 농어촌진흥공사. 1994. 농어촌용수환경관리에 관한 연구(III).
7. 박희성. 1998. 위성영상을 이용한 토지이용분류 및 유출곡선번호의 추정. 서울대학교 석사학위논문.
8. 박승우 외. 1997. 소유역의 토지이용에 따른 비점오염 부하량. 한국농공학회지 39(3):115~127.
9. 엄명철 외. 1996. 탱크모형을 이용한 일별 오염부하량의 산정. 한국농공학회지 39(3):92~100.
10. 최진용 외. 1996. 지리정보 시스템을 이용한 장기

- 유출모형의 개발(Ⅲ), 한국농공학회지 39(3):52~63.
11. 최중대. 1996. 중소규모 농촌유역의 비점원오염물질 배출특성, 한국농촌환경연구회 발표자료 모음집.
  12. 한강완 외. 1997. 금강유역 농업지대의 토양 및 수질오염, 한국환경농학회지 16(1):19~24.
  13. 홍성구 외. 1989. 농경지로부터의 오염물질 유출 부하특성, 한국농공학회지 31(3): 92-102.
  14. Amy, G., et al.. 1974. Water Quality Management Planning fro Urban Runoff, EPA-440/0-75-004, U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC.
  15. Haith, D.A.. 1992. GWLF(Generalized Watershed Loading Functions) User's Manual.
  16. Haith, D.A. and L.L. Shoemaker. 1987. Generalized Watershed Loading Functions for stream flow nutrients. Water Resources Bulletin 23(3):471~478.
  17. Haith, D.A. and D.E. Merril. 1987. Evaluation of a daily rainfall erosivity model, Transactions of the ASAE 30(1):90~93.
  18. Haith, D.A.. 1985. An Event-based procedure for estimating monthly sediment yields, Transactions of the ASAE 28(6):1916~1920.
  19. Meyer, L.D. and W.H. Wischmeier. 1969. Mathematical simulation of the process of soil erosion by water. Transactions of the ASAE 12(6):754~758.
  20. Ogrosky, H.O., and V. Mockus. 1964. Hydrology of Agricultural Lands, Handbook of Applied Hydrology, McGraw-Hill, New York, Ch.21.
  21. Omernik, J.M.. 1977. Nonpoint Source-Stream Nutrient level Relationships: A Nationwide Study, EPA-600/3-77-105, U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC.
  22. Overton, D.E. and M.E. Meadows. 1976. Storm Water Modelling, Academic Press, New York, NY.
  23. Richardson, C.W., et al.. 1983. Estimation of Erosion Index from Daily Rainfall Amount, Transactions of the ASAE 26(1):153~157.160.
  24. Sartor, J.D., and G.B. Boyd. 1972. Water Pollution Aspects of Street Surface Contaminants, EPA-R2/72-081, U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC.