

## BASINS/HSPF를 이용한 용담댐 유역의 오염부하량 산정

장재호 · 윤춘경\* · 정광욱 · 전지홍<sup>1</sup>

(건국대학교 환경과학과, <sup>1</sup>한국환경정책·평가연구원)

Pollutant Loading Estimate from Yongdam Watershed Using BASINS/HSPF. Jang, Jae-Ho, Chun-Gyeong Yoon\*, Kwang-Wook Jung and Ji-Hong Jeon<sup>1</sup> (Department of Environmental Science, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea; <sup>1</sup>Environmental Engineer Research Division, Korea Environment Institute, Seoul 143-701)

A mathematical modeling program called Hydrological Simulation Program-FORTRAN (HSPF) developed by the United States Environmental Protection Agency (EPA) was applied to the Yongdam Watershed to examine its applicability for loading estimates in watershed scale. It was run under BASINS (Better Assessment Science for Integrating point and Nonpoint Sources) program, and the model was validated using monitoring data of 2002~2003. The model efficiency of runoff was high in comparison between simulated and observed data, while it was relatively low in the water quality parameters. But its reliability and performance were within the expectation considering complexity of the watershed and pollutant sources and land uses intermixed in the watershed. The estimated pollutant load from Yongdam watershed for BOD, T-N and T-P was 1,290,804 kg yr<sup>-1</sup>, 3,753,750 kg yr<sup>-1</sup> and 77,404 kg yr<sup>-1</sup>, respectively. Non-point source (NPS) contribution was high showing BOD 57.2%, T-N 92.6% and T-P 60.2% of the total annual loading in the study area. The NPS loading during the monsoon rainy season (June to September) was about 55~72% of total NPS loading, and runoff volume was also in a similar rate (69%). However, water quality was not necessarily high during the rainy season, and showed a decreasing trend with increasing water flow. Overall, the BASINS/HSPF was applied to the Yongdam watershed successfully without difficulty, and it was found that the model could be used conveniently to assess watershed characteristics and to estimate pollutant loading in watershed scale.

**Key words :** BASINS/HSPF, watershed modeling, runoff, water quality, nonpoint source pollution, loading estimate

### 서 론

최근 급격한 인구증가와 산업발달로 인하여 수자원 확보와 수질관리가 주요 관심사가 되고 있는 가운데 유역 내 하천이나 호소의 수질개선을 위한 다양한 연구가 수

행되고 있다. 효과적인 수질관리를 위해서는 수계별 물의 용도와 수급현황, 하천의 수질 및 이화학적 특성을 파악하고, 수리와 수문특성 및 수환경생태계에 대한 종합적이고 체계적인 오염실태에 대한 조사자료의 축적이 이루어져야 한다. 또한 유역에서 오염원의 발생규모와 하천과 호소의 오염부하 특성을 조사하여 오염부하량을 정확하

\* Corresponding author: Tel: 02) 450-3747, Fax: 02) 446-2543, E-mail: chunyoonyoon@konkuk.ac.kr

게 산정하는 것이 수질관리의 중요한 선결과제이다. 유역의 수문·수질영향에 대한 기술적 분석은 최근 환경부에서 시행하고 있는 오염총량관리와 연계하여 고려할 필요가 있으며 오염총량관리는 수질모델링(water quality modeling)에 관한 조항을 포함하고 있다.

시·공간적으로 변화하는 오염부하량과 다양한 오염저감대책에 따른 오염부하량의 변화를 예측하고 오염물질 배출원이 목표수질 설정지점에 미치는 영향 등을 분석하기 위해 수질모델의 적절한 선택과 적용이 중요하다. 이러한 목적으로 많이 사용되고 있는 유역단위 수질모델링으로는 ANSWERS (Beasley *et al.*, 1981), SWRRB (Williams *et al.*, 1985), HSPF (Johanson *et al.*, 1984), AGNPS (Young *et al.*, 1989), SWAT (Arnold *et al.*, 1998) 등이 있다. 이 중에서 유역의 오염총량관리에 적용가능한 모형으로 미국 농무성(U.S. Department of Agriculture, USDA)에서 개발한 SWAT (Soil and Water Assessment Tool) 모형과 미국 환경청(U.S. Environmental Protection Agency, USEPA)에서 개발한 HSPF (Hydrological Simulation Program-Fortran) 모형이 각각의 목적에 따라 많이 이용되고 있으며, 하천수질에서 점원과 비점오염원의 영향을 평가하기 위해 BASINS (Better Assessment Science Integrating Point and Non-Point Source)와 통합·운용되고 있다(USEPA, 2001). BASINS의 다양한 Tool은 유역을 분할하고 각각의 분할된 유역에 대하여 토지이용상태를 분류하며, WinHSPF모의를 위한 초기값을 손쉽게 생성시켜 줌으로써 HSPF모형의 적용을 더욱 용이하도록 구성되어 있다. HSPF모형은 모형의 적용에 필요한 방대한 자료와 많은 노력을 최소화 되도록 개발되어 왔으며, 광범위한 수문·수질과정의 장기모의가 가능하도록 일련의 구조화된 모듈로 구성되어 있다. Application 모듈에는 투수지형(perVIOUS land)에서의 수문 및 수질을 모의하는 PERLND와 불투수지형(impervious land)의 수문 및 수질을 모의하는 IMPLND, 수체내의 수리 및 수질을 모의하는 RCHRES로 나누어져 있으며, 각각의 모듈에는 물의 흐름에 관계된 부분과, 토사유출, 영양염류 등 수질에 관계되는 부분으로 구분되며, 이들 모듈의 구조와 기능에 관한 자세한 정보는 문헌에서 찾을 수 있다(Donigan and Crawford, 1976; Donigan *et al.*, 1984; Bicknell *et al.*, 1993; Chen *et al.*, 1998a, b).

본 연구에 적용한 HSPF 모형은 장기간에 걸쳐 크고 작은 규모와 복잡한 유역의 수리·수질에 관한 다양한 현상들을 모의하기 위해 개발되었고(Bicknell *et al.*, 1996), 다양한 수문학적 조건(Alberk *et al.*, 2004)과 비점원 오염(Fontaine and Jacomino, 1997), 토지피복관리와

홍수제어 시나리오(Brun and Band, 2000), 최적관리기법(BMPs) 또는 오염총량(TMDL)을 모의하기 위해 광범위하게 사용되어왔다. 캐나다에서는 퀘벡주에 78 ha규모의 유역으로부터 수문 및 살충제의 이동과정을 규명하는데 적용된 바 있고(Laroche *et al.*, 1996), 터키 Seydi Suyu 유역(Albek *et al.*, 2004)과 미국 북동부의 유역에 산림경사지(Johnson, 2003)에 대한 수문모의에 적용되었으며, 미국 Polecat Creek 유역의 유출량과 유사량 모의에 사용되었다(임 등, 2003). 국내에서는 황룡강 유역의 장기유출해석(박과 김, 2002)과 양평군 흑천 유역의 격자크기에 따른 유출량 분석(Jeon *et al.*, 2002) 등 유출관련 해석에 적용된 바 있고, 비점오염부하량 추정하기 위해 새만금 유역(Jeon, 2004) 및 발안 유역(김과 박, 2004) 등에서 적용되었고 낙동강유역의 하천유량과 비점오염부하량을 모의하기 위해 적용된 바 있다(Chun *et al.*, 2001). 본 연구에서는 용담댐 유역을 대상으로 2002년과 2003년의 2년간의 모니터링 자료를 이용하여 BASINS/HSPF모형을 보정한 후 유역의 오염부하특성을 정량적으로 분석하면서 본 모형의 댐유역 오염관리에 적용성을 검토하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구대상지역

본 연구의 대상지역은 용담댐지구로서 금강의 최상류에 위치하며, 동경 127° 20' ~ 127° 45', 북위 36° 00' ~ 35° 35'와 무주군의 1개 면(안성면)과 진안군의 8개 읍·면(진안읍, 용담면, 안천면, 동향면, 상전면, 부귀면, 정천면, 주천면), 장수군의 5개 읍·면(장수읍, 장계면, 천천면, 계남면, 계북면)을 포함한 충청남도, 전라북도, 경상남도의 경계에 걸쳐있다. 산업화가 덜 이루어진 편이어서, 토지이용의 대부분이 산림이거나 농경지이고 1일 오·폐수 배출량은 23천톤/일이며(환경부, 2002), 점오염 및 비점오염원의 분포가 많지 않아 하천의 수질은 대체적으로 양호한 편이다. 대상지역은 930 km<sup>2</sup>의 유역과 32.24 km<sup>2</sup>의 저수지에 815 × 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>의 수자원을 확보할 수 있는 저수지 댐지구이다. 한반도의 전형적인 기후특성인 Monsoon 기후권에 속하며, 연평균 기온은 10.8°C이고 연평균 강수량은 1,316 mm이다. 인구는 57,000여명이고, 산업의 과반수이상을 농업(55.5%)이 차지하고 있다. 유역의 수위 관측소는 11개소가 설치되어 있으며, 이 중에서 용담댐의 댐수위 관측소와 천천, 동향 등 3개의 하천수위 관측소는 댐운영을 위한 실시간 통신관측소이고, 주자천의 주

천교, 정자천의 석정교, 진안천의 상도치고, 장계천이 동정교, 연화교, 구랑천의 주교교, 대마교 등 7개 관측소는

시험구역 운영을 위해 하천에 설치되었다. 양약제, 대곡제, 벽남제 등 3개 관측소는 농업용 저수지 유입량을 추정하기 위해 저수지에 설치되어 있다(Fig. 1). 관측은 01년 5월부터 시작되어서 현재까지 지속적으로 이루어지고 있다.

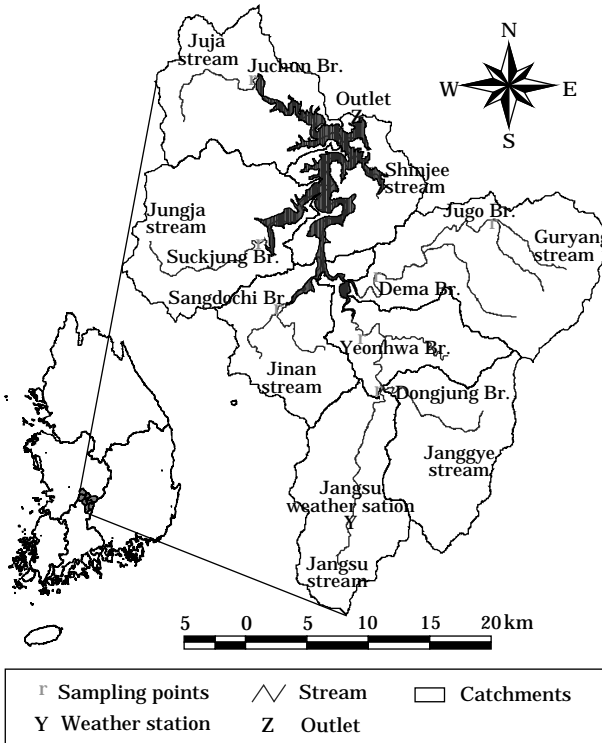


Fig. 1. Study area and monitoring points.

2. BASINS 적용방법

BASINS (Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources)는 USEPA에서 TMDL의 효율적인 운영을 위해 유역과 점오염원 및 비점오염원을 종합하고, 방대한 GIS자료와 오염원자료에 쉽게 접근할 수 있도록 개발된 유역관리 시스템이다. BASINS Utility tool을 적용하여 대상유역의 GIS 자료를 Fig. 2와 같이 구축하였다. 수치고도모델(DEM)자료와 하천도는 수자원공사, 행정경계와 토지이용도는 환경부에서 1998년도에 제작된 자료를 이용하였다. 전체 유역에서 26개의 소유역 경계를 추출하였고, 토지이용도는 산림과 밭, 논, 주거지, 하천, 기타 등 6가지로 분류하였는데, 분류결과 산림이 68.2%, 논·밭이 각각 14.16%, 10.33%로 나타났다(Table 1).

유역에 대한 오염정도 파악을 위하여 실측한 오염원자료를 BASINS내에 입력한 후 Assessment Tools의 Target Analysis를 수행하였다. 용담댐 유역에 대하여 유역 모형적용을 위해 DEM자료와 BASINS Delineate Tool을 이용하여 소유역별 토양특성과 토지이용특성을 중첩하였

Table 1. Land use distribution of the watershed.

Classification	Forest	Upland	Paddy	Residual	Water	Others
Area (km <sup>2</sup> )	634.3	131.7	96.07	29.95	37.39	0.74
%	68.20	14.16	10.33	3.22	4.02	0.08

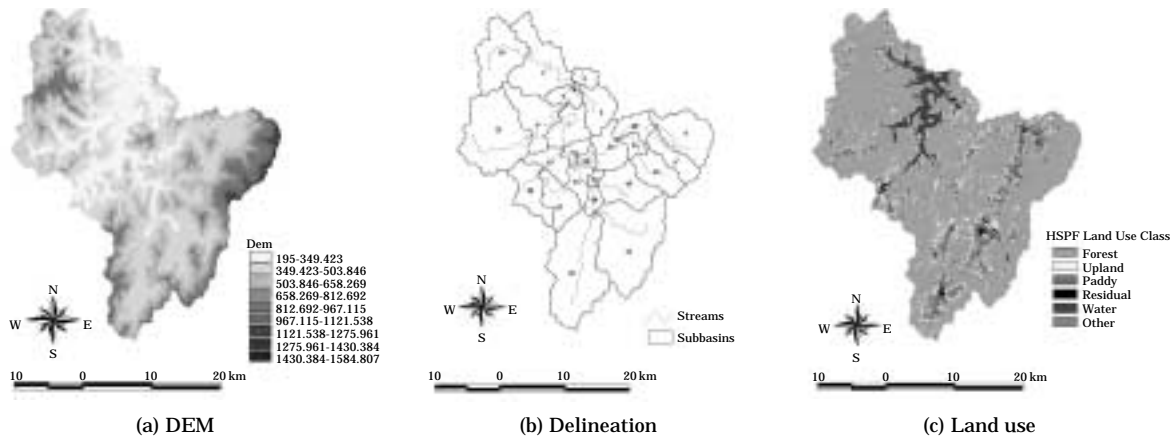


Fig. 2. Result of BASINS application.

으며, 유역모형으로 HSPF를 적용하였다. 일반적으로 소유역 분류 및 각각의 소유역에 따른 토지이용분류는 유역모형 적용시 필수 요소이나, 많은 시간과 노력을 필요로 하며 개인의 주관에 포함될 가능성이 있다. 그러나 BASINS는 GIS자료를 이용하기 때문에 사용하기 쉽고 유역모형을 모의 하는데 있어 보다 객관성을 높일 수 있을 것이다.

### 3. HSPF 적용방법

HSPF (Hydrological Simulation Program-Fortran) 모형은 TMDL의 효과적인 지원을 위하여 USEPA에서 개발하였으며, 농촌과 도시가 혼재된 지역에 대한 수역과 하천에 이르기까지의 수문과정 및 오염물질의 거동을 모의할 수 있다. HSPF는 PERLND와 IMPLND 및 RCHRES의 세 가지 주요 모듈을 포함하며 본 연구에서는 PERLND와 RCHRES 모듈이 사용되었고, 대상유역의 불투수지역은 무시할 만큼 작기 때문에 IMPLND 모듈은 사용하지 않았다. PERLND의 PWATER 섹션은 surface flow와 interflow, ground-water behavior를 포함한 물수지를 모의하는 프로그램의 주요 요소이다. PERLND의 SNOW 섹션에서는 축적과 용설이 모의된다. RCHRES 모듈에서는 HYDR 섹션이 하천의 수리학적 거동을 모의하기 위해 이용되었다. HSPF를 이용한 유역모델링에서 보다 중요한 것은 유역의 수학적 표현과 기상자료의 준비, 수리학적 time series와 인자의 평가, 보정과 검증절차이다. Time series는 EPA에서 개발된 WDM (Watershed Data Management)라고 불리는 독립형 자료관리 프로그램을 통해서 입력되며 이 인자들은 UCI (User's Control Input) 파일을 통해서 HSPF에 제공되어 진다.

HSPF 적용을 위해서는 기상자료와 오염원자료 및 수질측정자료 등이 필요한데, 기상자료는 Watershed Data Management (WDM) 파일형태로 저장되어야 하므로 장수 기상관측소에서 관측한 자료로써 2002년~2003년도 시별 기상자료(강수량, 최대최소 기온, 절대습도, 풍속, 일사량 등)를 제공받아 WDM 파일형태로 변환시켜 UCI (User's Control Input) 파일을 통해 입력하였다. 하천 수위 및 수질 측정자료는 Fig. 1에서 같이 농업용저수지에 설치된 3개소와 용담댐 수위관측소를 제외한 7개 지역에서 측정한 자료이다. 유량은 2001년 10월~2003년 9월까지 일단위로 측정된 자료와 수질은 2002년~2003년까지 평·갈수기 9회, 홍수기 3회 이상 측정된 자료를 사용하였다. 오염원 자료는 환경부에서 제공하는 인구현황과 축산현황, 배출업소현황, 환경기초시설현황 등을 이용

하여 국립환경연구원의 수계오염 총량관리기술 지침을 기초로 각 소유역별 생활계, 산업계, 축산계, 매립계, 양식계에 대하여 산정하였다. HSPF 모형에 의하여 유출량과 수질을 예측하였고, 모형의 효율을 평가하기 위해 모형지수를 산정하였다. 모형의 보정 후 7개 소유역으로 분할하여 각 소유역의 점원과 비점원 오염부하량을 산정하여 비교분석하였다.

## 결과 및 고찰

HSPF 모형의 보정을 위해 수질측정지점 중 동정교, 대마교, 연화교, 주천교 등 4개지점을 대상으로 2002년부터 2003년까지의 수문, 수질 실측자료를 이용하였다. 보정기간은 2002년~2003년까지 연중 일별로 이루어졌고, 보정항목은 유출량, 온도, DO, BOD, T-N, T-P순으로 진행하였다. 모형의 적용성을 평가하기 위해 보정된 매개변수를 이용한 검증 작업도 병행하여야 하나 2004년부터 현재까지의 실측자료에 대한 정보획득이 미흡하여 수행하지 못하였다. 모형의 보정을 위한 최적화 기법으로 단순시행착오법을 사용하였고, 모형의 추정 오차를 평가하기 위해 결정계수  $R^2$  (coefficient of determination)을 사용하였으며 목적함수로서 RMSE (root mean square error)와 모형의 효율지수인 EF (model fit efficiency)를 사용하였다.

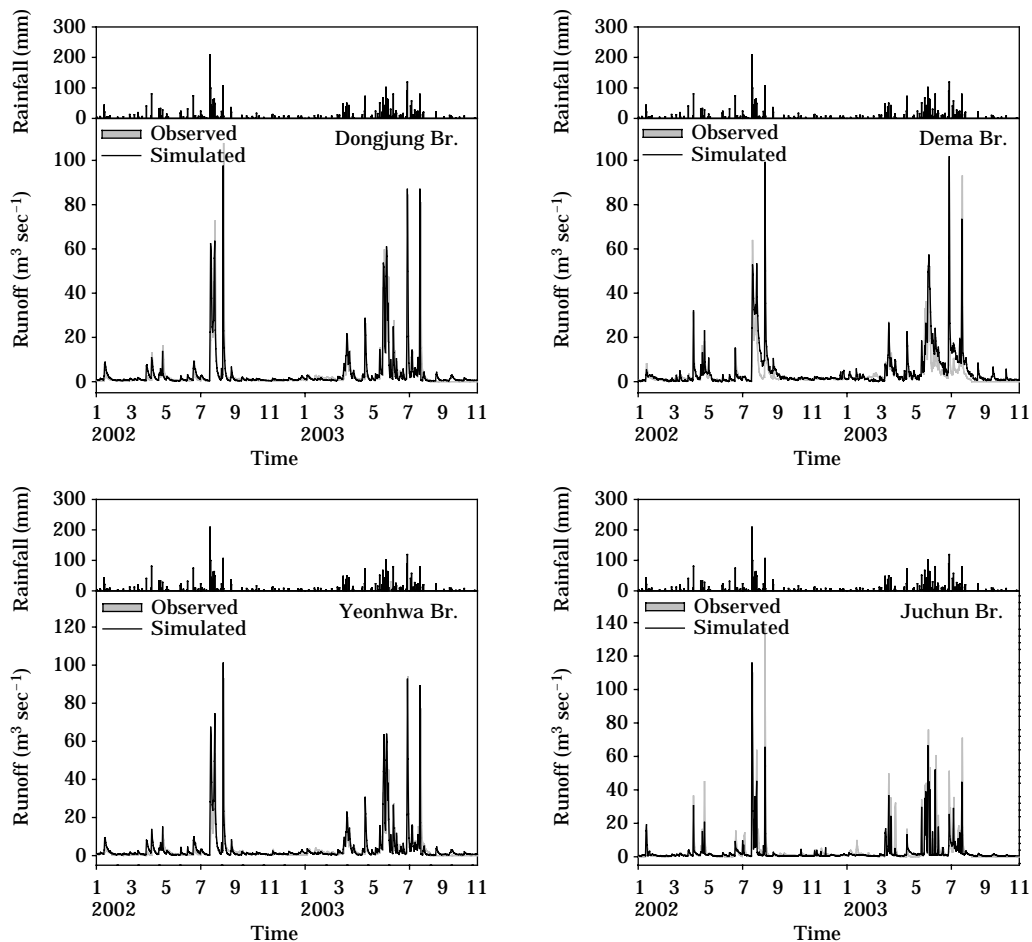
### 1. 유출량 예측

HSPF 모형의 유출량에 대한 보정은 민감도 분석결과, 총유출량과 침투유량에 대하여 변위가 큰 변수부터 수정하였다. HSPF 모형의 유출에 비교적 큰 영향을 주는 인자는 LZSN, INFILT, AGWRC, UZSN, DEEPER, INTFW, 그리고 IRC 등으로 분석되었다. Table 2는 유출에 대한 매개변수의 보정결과를 나타내며, HSPF 모형에 대한 주요 연구결과에서 이용한 보정결과와 비교하였는데, 최종값은 다른 연구자들이 내놓은 결과와 유사한 범위를 나타내었다.

Fig. 3은 모형의 보정 기간인 2002년~2003년 동안 각 보정지점에 대한 유출량의 실측치와 모의치를 비교하여 나타내고 있다. 유량의 경우 4개의 실측지점 모두 유사하게 모의하였는데, PERLND 모듈 중 토양침투능 인자 (INFILT), 지하수 감소계수 (AGWRC) 및 토양단층별 함수 저장능 인자 (UZSN, LZSN)의 안정화가 그 원인으로 생각된다. Fig. 4는 보정에 사용된 전 자료기간의 실측 유출량과 모의 유출량의 산포도이며, 주천교의 경우는 분산

**Table 2.** HSPF parameter values for hydrologic simulation.

Parameter	Definition	Final calibrated value	Im (2003)	Chew <i>et al.</i> (1991)	Laroche <i>et al.</i> (1996)	Engelmann <i>et al.</i> (2002)	Model range
LZSN	Lower zone nominal Storage (in)	5.8	4.3 ~ 5.8	5	14.2	5	0.01 ~ 100.0
INFILT	Soil infiltration capacity index (in/hr)	0.38	0.047 ~ 0.075	0.05 ~ 0.17	0.23	0.04	0.0001 ~ 100.0
AGWRC	Groundwater recession coefficient (day <sup>-1</sup> )	0.85 ~ 0.97	0.88 ~ 0.91	0.98	0.99	0.99	0.001 ~ 0.999
UZSN	Upper zone nominal storage (in)	0.4 ~ 1.5	0.35 ~ 1.0	0.01 ~ 0.06	0.76	0.7	0.01 ~ 10.0
DEEPFR	Fraction of groundwater inflow to deep recharge	0.08	0.05 ~ 0.45	-	-	0.18	0.0 ~ 1.0
INTFW	Interflow inflow parameter	1.9 ~ 5.5	1.0 ~ 1.7	0.75 ~ 1.0	9.83	0.5	0.0 ~ none
IRC	Interflow recession parameter (day <sup>-1</sup> )	0.4 ~ 0.8	0.3 ~ 0.5	0.6 ~ 0.8	0	0.5	1.0E-30

**Fig. 3.** Calibration of observed and simulated daily mean streamflow.

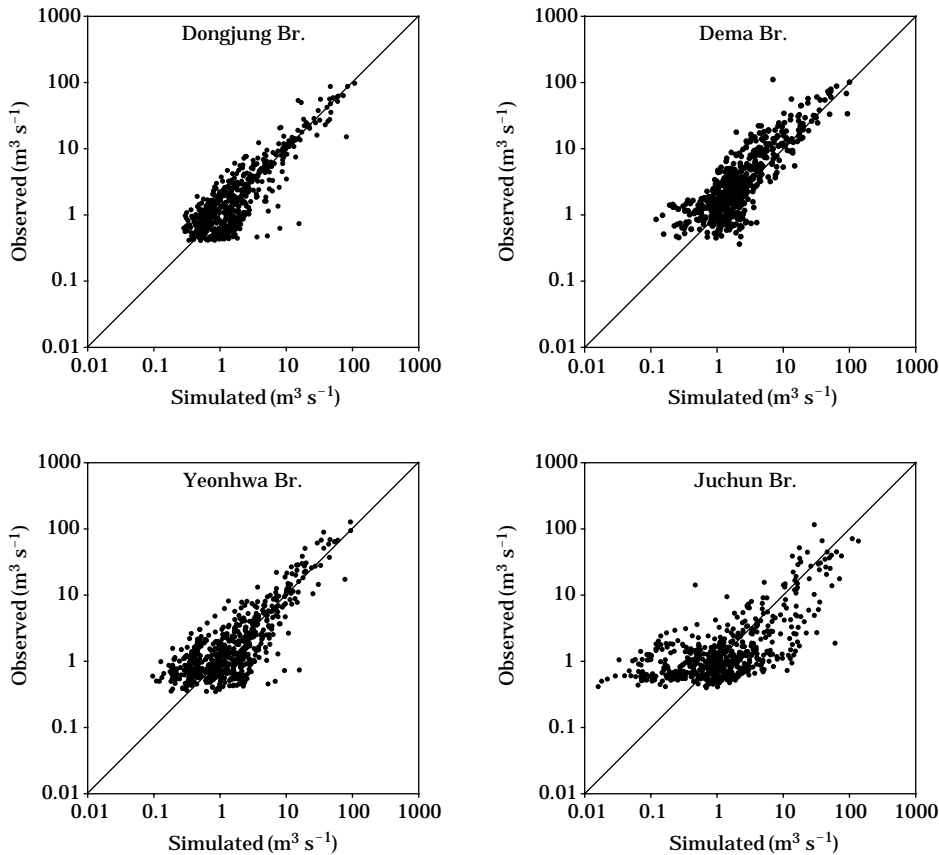


Fig. 4. Scatterplots of observed and simulated daily flow.

Table 3. Model performances with monitoring data of runoff (calibration).

Station	R <sup>2</sup>	RMSE	EF
Dongjung Br.	0.82	1.39	0.81
Dema Br.	0.69	2.76	0.55
Yeonhwa Br.	0.80	1.85	0.68
Juchun Br.	0.54	2.75	0.53

정도가 다른 지점에 비하여 많았으며 outlier들이 있기는 하지만 대체적으로 분포의 흩어진 폭이 비교적 좁게 나타나 모의치가 실측치에 근접함을 알 수 있었다.

Table 3은 실측치와 모의치를 이용하여 모형의 효율지표를 평가한 결과를 나타내고 있다. 결측 기간을 제외한 모형의 보정기간에 대한 모의 결과는 R<sup>2</sup>가 0.54~0.82, RMSE가 1.39~2.76, EF가 0.53~0.81로 비교적 모의치가 실측치의 경향을 근접하게 반영하는 것으로 나타났다. 모형의 적용성을 알아보기 위한 결정계수(R<sup>2</sup>)는 0.0~1.0 범위의 값을 가지며, 1.0에 가까울수록 모의치가 실측치의 경향을 잘 반영한다. 그러나 결정계수는 단지

무작위 오차만을 평가하는 것으로서 오차의 정도를 나타 내지는 못한다. 따라서 오차의 정도를 나타내기 위해 일반적으로 mean error (ME), mean absolute error (MAE), root mean square error (RMSE, %), 및 model fit efficiency (EF) 등을 사용한다. 만일 모든 예측치와 실측치 자료가 일치한다면, 통계치는 ME=0.0, RMSE=0.0, 그리고 EF=1.0를 나타낼 것이다. EF의 경우 그 값이 0과 1.0 사이에 있으면 모의치를 사용하는 것이 실측치의 평균을 이용하는 것보다 좋은 결과를 얻을 수 있으며, 계산된 EF가 0보다 작으면 모형의 예측결과가 나쁘거나 실측자료가 일관성이 없음을 의미한다(강과 박, 2003). 본 연구에서는 RMSE와 EF를 GenScn Util 내의 효율산정 tool을 이용하여 산정하였고 식 1), 2)로 나타낼 수 있다. 모델효율을 나타내는 효율지수들은 solute transport models (Elmaloglou and Malamos, 2000), hydrologic models (Johnson *et al.*, 2003) 및 soil water dynamics (Antonopoulos and Wyseure, 1998)을 평가하는데 사용되어 왔다.

$$RMSE=100 \left( \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 / n}{\bar{O}} \right)^{1/2} \quad (1)$$

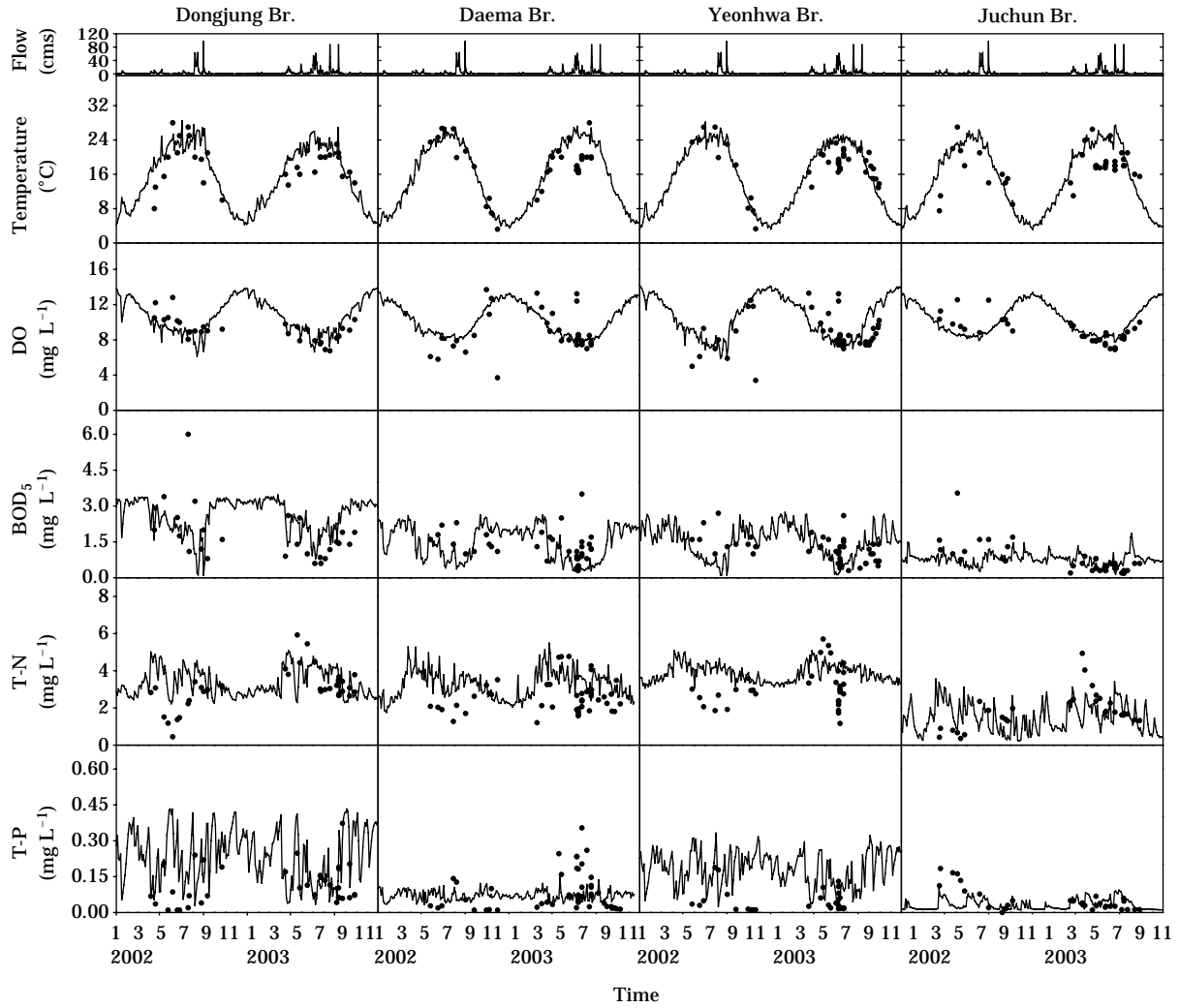


Fig. 5. Comparison of observed and simulated water qualities.

Table 4. HSPF parameter values for simulation of water quality.

Parameter	Definition	Unit	Final calibrated value	Range
ELEV	Mean RCHRES elevation	ft	180 ~ 423	0 ~ 30,000
KEVAP	Evaporation coefficient	none	2.24 ~ 4.24	none
KBOD20	BOD decay rate at 20°C	hr <sup>-1</sup>	0.004 ~ 0.201	> 1.0E-30
KODSET	Rate of BOD settling	ft · hr <sup>-1</sup>	0.027 ~ 0.439	> 0
REAK	Reaeration coefficient	hr <sup>-1</sup>	0.2	> 1.0E-30

$$EF = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \right) \quad (2)$$

여기서,  $P_i$ 는 예측값,  $O_i$ 는 실측값,  $n$ 은 채수횟수, 그리고  $\bar{O}$ 는 실측값의 평균이다.

## 2. 수질예측

수질에 대한 HSPF 모형의 보정은 유출과 동일한 자료 기간에 대해 실시하였으며 (Fig. 5) 각 수질인자에 대한 보정은 변위가 큰 변수부터 수정하였다. 온도에 비교적 큰 영향을 주는 인자는 ELEV와 KEVAP 등으로 분석되

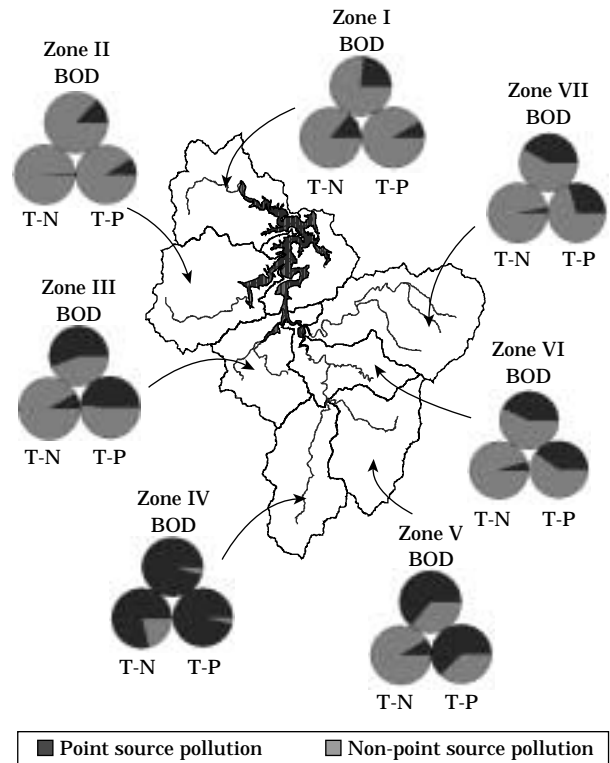
**Table 5.** Model performances with monitoring data of water quality (calibration).

Calibration point		R <sup>2</sup>	RMSE	EF
Dongjung Br.	TW	0.92	5.07	0.48
	DO	0.98	1.20	0.32
	BOD	0.50	0.65	-0.13
	T-N	0.83	1.38	0.50
	T-P	0.26	0.18	-2.32
Dema Br.	TW	0.96	4.10	0.38
	DO	0.95	1.85	0.07
	BOD	0.61	0.82	0.66
	T-N	0.84	1.24	-1.95
Yeonhwa Br.	TW	0.96	3.68	0.42
	DO	0.79	4.00	0.58
	BOD	0.66	0.75	0.63
	T-N	0.89	1.21	-0.62
Juchun Br.	TW	0.93	5.83	0.37
	DO	0.98	1.38	0.05
	BOD	0.50	0.74	-0.32
	T-N	0.53	1.45	0.55
T-P	0.34	0.06	-0.26	

였으며, DO와 BOD의 경우는 KBOD20과 KODSET 및 REAK에 크게 영향을 받았다. 영양물질의 경우 PERLND 모듈의 ACCUM, IFLW, GRND 등의 인자들을 월별로 수정하였다. Table 4는 영양물질을 제외한 수질에 대한 매개변수의 보정결과이다.

예측된 결과를 살펴보면 비교적 온도와 DO는 실측치와 예측치의 높은 상관성을 나타낸 반면에, BOD, T-N, T-P의 경우 실측치와 예측치가 특정지역에서 서로 상이한 결과가 나타나기도 하였다. T-N은 T-P에 비해 보다 정확한 예측치를 나타내었으나 T-N과 T-P 모두 예측치가 실측치에 비해 상대적으로 높게 평가되는 경향이 있었는데, 이는 오염원자료의 보다 정밀한 조사를 통해 매개변수를 지속적으로 보정 및 검증하는 작업이 필요할 것으로 판단된다. 전반적으로 유역 내 복잡한 토지이용 및 오염부하 형태를 고려해 볼 때 허용할 수 있는 범위 내에서 수질을 묘사한 것으로 생각된다.

Table 5는 각 측정지점의 수질에 대한 결정계수, 목적 함수 및 모형의 효율지수를 나타낸다. 수질에 대한 모형 효율지수(EF)는 특정항목 및 측정지점에 따라 음수값을 나타내었는데, 모형의 예측결과가 다소 나쁘거나 실측자료의 일관성이 없음을 보여주는 결과이며, 수질 매개변수에 대한 지속적인 보정 및 검증작업이 필요할 것으로 생각된다.



**Fig. 6.** Total pollutant loads assessment in watershed scale.

### 3. 오염부하량 산정

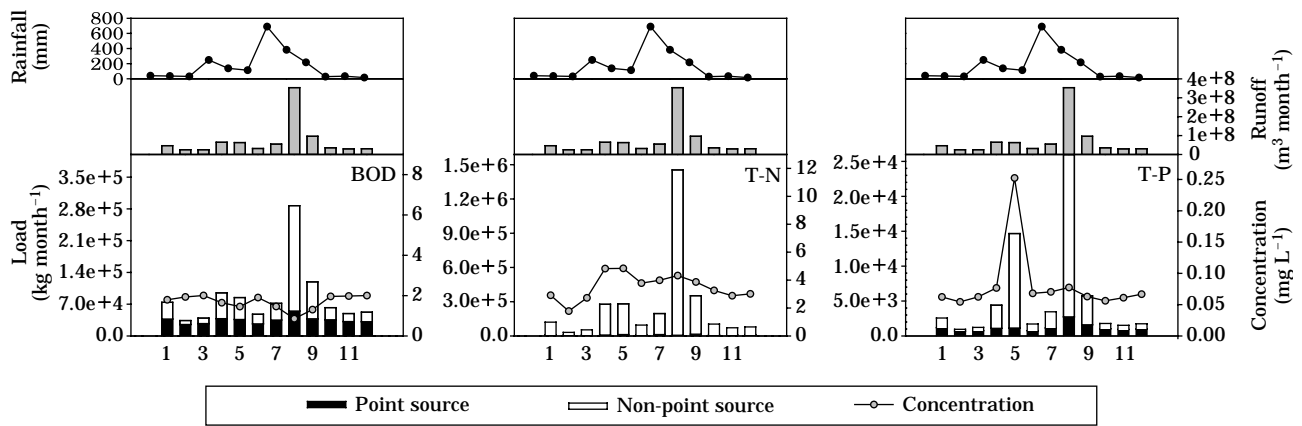
유역 오염부하량을 비교하기 위해 유역경계에 준해 Fig. 6과 같이 I(주자천), II(정자천), III(진안천), IV(장수천), V(장계천), VI(천천) 및 VII(구량천)인 7개 지역으로 분할하였다. 2003년도 유역 오염부하량의 월별 분포 비교 및 강우시 오염부하량을 분석하였으며, 각 분할지역별 오염부하량 및 비율을 산출하여 오염원의 배출현황을 분석하였다. Table 6에는 각 소유역별 오염물질들의 부하량을 요약하였다. 유역말단부에서의 유출량은  $1,297 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ yr}^{-1}$ 로 산정되었고, 오염물질 부하량은 BOD와 T-N, T-P가 각각  $1,290,804 \text{ kg yr}^{-1}$ ,  $3,753,750 \text{ kg yr}^{-1}$ ,  $77,404 \text{ kg yr}^{-1}$ 로 나타났으며, 이들의 비점오염부하량이 차지하는 비율은 각각 57.2%, 92.6%, 60.2%정도로 나타났다.

I, II, VI, VII지역의 영양물질 부하는 대부분은 비점오염원으로부터 발생하는 것으로 분석되었는데, 이 지역들은 대부분이 임야로 형성되어 있어 공업단지의 입지가 매우 불리하고, 현재 위치한 산업시설도 소규모이며 다분히 지역적인 산업이 대부분인 실정이다. 또한 상수원보호구역이 지정되어 있어 토지개발에 한계가 있다. 따라서



**Table 6.** Point and Nonpoint source pollution load assessment.

Parameter		I	II	III	IV	V	VI	VII	Total
Flow ( $10^6 \text{ m}^3 \text{ yr}^{-1}$ )		203.1	225.7	131.5	13.4	134.9	384.8	203.1	1,296.5
BOD (%)	point	23.3	13.4	55.8	95.5	64.2	42.9	41.9	42.8
	nonpoint	76.7	86.6	44.2	4.5	35.8	57.1	58.1	57.2
T-N (%)	point	14.2	0.4	8.1	78.7	8.9	4.8	2.7	7.4
	nonpoint	85.8	99.6	91.9	21.3	91.1	95.2	97.3	92.6
T-P (%)	point	8.6	9.1	48.8	96.2	62.5	40.0	29.4	39.8
	nonpoint	91.4	90.9	51.2	3.8	37.5	60.0	70.6	60.2



**Fig. 7.** Monthly pollutant load and pollutant source composition.

이 지역은 산림지역 및 농경지역의 강우유출과 영양물질 원의 관리미흡으로 많은 비점원오염이 발생하는 것으로 판단되었다. 반면에, III, IV, V지역에서는 점오염원이 영양물질 부하에 크게 영향을 주고 있는데, 이 지역은 진안군과 장수군으로 거주 인구 비율이 높으며 축산농가 및 산업시설이 비교적 많이 입지한 진안읍과 장수읍을 포함하고 있다.

Fig. 7에서는 2003년 용담댐 유역의 월별 점오염부하량과 비점오염부하량으로 나타내었다. 연간 배출되는 비점오염부하량 중 강우기(6월~9월)에 배출되는 부하량은 연간 비점오염부하량의 55~72%이며, 강우기간 동안의 69% ( $783.6 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ yr}^{-1}$ )를 차지하는 유출량을 고려해 볼 때 오염부하량이 강우유출량에 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 강우에 의한 유출이 증가하면 오염부하량도 증가하나 수질농도는 비례하여 증가하지 않으며 오히려 감소하는 현상을 나타내었다. 본 연구지역에서는 다른 년도와 비교하여 2002년(1,699 mm)과 2003년(2,208 mm) 강우량이 많았고, 이는 결국 하절기 많은 강우에 의한 희석효과로 인해 수질이 감소하는 것으로 사료된다.

## 적 요

본 연구는 용담댐 유역 2002~2003년 동안의 모니터링 자료를 이용하여 BASINS/HSPF 모형의 보정을 통하여 본 모형의 댐 유역관리에 적용성을 검토하였다.

1. BASINS는 유역의 오염현황을 신속하고 용이하게 파악가능하고 예측모형의 입력자료를 자동적으로 생성해 주기 때문에, HSPF와 같은 유역종합 수질모형을 사용자의 목적에 맞게 적용할 수 있었다. BASINS 적용을 위한 핵심 GIS자료인 유역도와 하천도, DEM, 토지이용도, 수질측정자료 등을 BASINS 형식에 맞게 변환·입력하여 그 적용성을 확인하였다.

2. 유역단위 오염 부하량을 추정하기 위하여 HSPF 모형을 이용해서 모형의 보정 기간인 2002~2003년까지의 유출량 및 수질을 모의 분석하였다. 모의결과 유출량에 대한 모형효율은 높았으나 수질의 경우 보정지점 및 특정항목에서 모형 효율이 상대적으로 낮게 나타나서 보다 상세한 측정자료 확보 및 보정이 필요할 것으로 판단되

었다. 하지만 유역이라는 광범위하고 복합적인 특성을 고려해 볼 때 허용할 수 있는 범위의 수질을 묘사한 것으로 판단된다.

3. 용담댐 유역의 부하량 산정결과, 유출량이  $1,296.5 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ yr}^{-1}$ 이었고, 각 오염원별로 비점오염부하량이 차지하는 비율은 각각 57.2%, 92.6%, 60.2% 정도로 유역내 비점오염부하량 비율이 높게 나타났다. 연간 배출되는 비점오염부하량 중 강우기(6월~9월)에 배출되는 부하량은 55~72%로 나타났고, 이 기간 동안의 유출량이 69%임을 고려할 때 오염부하량이 강우 유출량에 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 그러나 수질농도는 유량증가에 따라 비례하여 증가하지 않았고 오히려 감소하는 경향이 나타났다.

4. 본 연구에서는 용담댐 유역에 대한 BASINS/HSPF의 적용성을 검증하였으며, 현재 오염총량계산에 있어서 원단위방법에 의한 오염부하량산정의 개선필요성이 제기되고 있는 상황에서 BASINS/HSPF를 이용한 오염부하량 산정에 대한 적극적인 검토가 필요하다고 판단된다.

## 사 사

본 연구는 농림부 농림기술개발사업인 '새만금 유역의 비점오염원 제어와 관리기술 개발'의 연구지원에 의해 수행되었습니다.

## 인 용 문 헌

- 강문성, 박승우. 2003. 비점원오염모델을 이용한 오염총량모의 시스템의 개발 및 적용, 한국수자원학회논문집 **36**: 117-128.
- 김상민, 박승우. 2004. 농촌 소유역의 오염부하 추정을 위한 HSPF 모형의 보정과 검증, 한국수자원학회논문집 **37**: 643-651.
- 박남희, 김 철. 2002. 황룡강 유역의 장기 유출분석을 위한 HSPF. 모형연구, 2002. 한국수자원학회 학술발표회논문집 **1**: 170-175.
- 임상준, M. B. Kevin, S. Mostaghimi, 조재필. 2003. HSPF와 SWAT 모형을 이용한 산림유역의 유출 및 유사량 추정, 한국농촌학회 **9**: 59-64.
- 환경부. 2002. 용담댐 수질오염방지대책, <www.me.go.kr>.
- Albek, M., U.B. Ogutveren and E. Albek. 2004. Hydrological modeling of Seydi Suyu watershed (Turkey) with HSPF. *Journal of Hydrology* **285**: 260-271.
- Antonopoulos, V.Z. and G.C.L. Wyseure. 1998. Modeling of water and nitrogen dynamics on an undisturbed soil and a restored soil after open-cast mining. *Agricultural Water Management* **37**: 21-40.
- Arnold, J.G., R. Srinivasan, R.S. Muttiah and J.R. Williams. 1998. "Large area hydrologic modeling and assessment, Part I: model development". *Journal of the American Water Resources Association* **34**(1): 73-89.
- Beasley, D.B. and L.F. Huggins. 1981. ANSWERS Users Manual. EPA-905/9-82-001, U.S. EPA, Region V. Chicago, IL.
- Bicknell, B.R., J.C. Imhoff, J.L. Kittle, A.S. Donigian and R.C. Johanson. 1993. Hydrological Simulation Program -FORTRAN User's Manual for Release 10, Environmental Research Laboratory Office of Research and Development US Environmental Protection Agency, Athens, GA., EPA/600/R-93/174.
- Bicknell, B.R., J.C. Imhoff, J.L. Kittle, A.S. Donigian and R.C. Johanson. 1996. Hydrologic simulation program-FORTRAN user's manual, v.12, Athens, GA., USEPA.
- Brun, S.E. and L.E. Band. 2000. Simulating runoff behavior in an urbanizing watershed. *Computer, Environment and Urban Systems* **24**: 5-22.
- Chen, Y.D., R.F. Carsel, S.C. Mccutcheon and W.L. Nutter. 1998a. Stream temperature simulation of forested riparian areas: I. Watershed-scale model development. *Journal of Environmental Engineering-ASCE* **124**: 304-315.
- Chen, Y.D., S.C. Mccutcheon, D.J. Norton and W.L. Nutter. 1998b. Stream temperature simulation of forested riparian areas: II. Model application. *Journal of Environmental Engineering-ASCE* **124**: 316-328.
- Chun, K.C., R.W. Chang, G.P. Williams, Y.S. Chang, D. Tomasko, K. LaGory, J. Ditmars, H.D. Chun and B.K. Lee. 2001. "Water quality issues in the Nakdong river basin in the Republic of Korea". *Environ Engineering and Policy* **2**: 131-143.
- Donigian, A.S. and N.H. Crawford. 1976. Modelling Non-point Pollution from the Land Surface, Environmental Research Laboratory, Athens, Georgia, EPA/600/3-EP76-083.
- Donigian, A.S., J.C. Imhoff, B.R. Bicknell and J.L. Kittle. 1984. Application Guide for Hydrological Simulation Program-FORTRAN (HSPF), EPA.
- Elmaloglou, S. and N. Malamos. 2000. Simulation of soil moisture content of a prairie field with SWAP93. *Agricultural Water Management* **43**: 139-149.
- Engelmann, C.J.K., A.D. Ward, A.D. Christy and E.S. Bair. 2002. Application of the BASINS Database and NPSM Model on a Small Ohio Watershed, *J. Am. Water Resour. Assoc.* **38**: 289-300.

- Fontaine, T.A. and V.M.F. Jacomino. 1997. Sensitivity analysis of simulated contaminated sediment transport. *J. Am. Water Resour. Assoc.* **33**: 313-326.
- Im, S.J., K.M. Brannan and S. Mostaghimi. 2003. Calibration and validation of the HSPF model on an urbanizing watershed in Virginia, USA., *Water Engineering Research* **4**: 141-154.
- Jeon, J.H. 2004. BASINS/HSPF-Paddy DEVELOPMENT FOR WATERSHED MANAGEMENT IN KOREA, Ph.D thesis, Konkuk university, Korea.
- Jeon, J.H., J.H. Ham, C.G. Yoon, and S.J. Kim. 2002. Effects of DEM Resolution on Hydrological Simulation in BASINS-HSPF Modeling, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* **44**: 25-35.
- Johanson, R.C., J.C. Imhoff, J.L. Kittle and A.S. Donigian. 1984. Hydrological Simulation Program-FORTRAN (HSPF): User's Manual for Release & EPA-600/3-84-066. U.S. Environmental Protection Agency, Athens, GA.
- Johnson, M.S., W.F. Coon, V.K. Mehta, T.S. Steenhuis, E.S. Brooks and J. Boll. 2003. Application of two hydrologic models with different runoff mechanisms to a hillslope dominated watershed in the northeastern US: a comparison of HSPF and SMR. *Journal of Hydrology* **284**: 57-76.
- Laroche, A.M., J. Gallichand, R. Lagace, and A. Pesant. 1996. "Simulation atrazine transport with HSPF in an agricultural watershed". *Journal of Environmental Engineering* **22**: 622-630.
- USEPA. 2001. *Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources (BASINS) v.3.0 User's Manual*, EPA-823-B01-001, Washington, D.C., Office of Water, USEPA.
- Williams, J.R., A.D. Nicks and J.G. Arnold. 1985. Simulator for Water Resources in Rural Basins, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE **111**: 970-986.
- Young, R.A, C.A. Onstad, D.D. Bosch and W.P. Anderson. 1989. "AGNPS: A nonpoint source pollution model for evaluating agricultural watersheds". *Journal of Soil and Water conservation* **44**(2): 168-173.

(Manuscript received 4 March 2006,  
Revision accepted 9 June 2006)