



# 유역 수문 및 수질해석을 위한 HSPF모형 소개



정 광 옥 |

(사)한국수계환경연구소 소장  
jungkw@konkuk.ac.kr

## 1. 서론

수질오염총량제의 도입으로 정부와 지자체는 지역 개발을 위해 하천으로 유입되는 오염부하량을 예측하고 적절하게 관리하여 목표수질을 달성하기 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 오염물질의 배출은 배출기 준치를 준수하더라도 동일한 수역에 집중되어 오염물질의 양이 자정 능력을 초과하는 경우에는 수질기준을 달성하지 못하기 때문에 유역내의 모든 오염원을 관리할 수 있는 유역별 오염총량관리가 필요하다. 하지만 유역에서 발생하는 오염물질의 양은 하수처리장 방류수, 산업체의 개별방류, 정화조 유출, 불명수의 유입, 축산, 그리고 농경지의 비점오염 등에 영향을 받기 때문에 정확하게 예측하여 관리하는 일은 매우 어렵다. 최근들어 수질오염총량제도의 확대 적용으로 인해 비점오염원의 중요성이 강조된 이후 수계 수질 관리에 있어 유역 및 수질모델링에 대한 중요성이 대두되었으며, 최근 들어서는 수질관리에 있어 관련모델의 사용빈도가 증가하고 있는 추세이다.

수질모형(water quality model)은 오염물질이 배출되어 하천, 호소 또는 바다로 이동되는 과정에서

생성되거나 소멸되는 물리적, 화학적, 생물학적인 상호작용을 수학적으로 추정하기 위한 모형으로 오염총량 관리에 널리 이용되고 있다. 유역단위 수질 모형으로는 STORM, ANSWERS, DR3M-QUAL, SWRRBWQ, SWMM, SWAT, HSPF 등이 있으며 그중 유역의 오염총량관리를 위해 이용되고 있는 모형으로는 USDA에서 개발한 SWAT (Soil and Water Assessment Toll) 모형과 USEPA와 USGS에서 개발한 HSPF (Hydrological Simulation Program - Fortran) 모형을 널리 사용하고 있다. SWAT모형은 밭농사가 주인 미국의 농촌유역에 적용하기 위한 모형인 반면에 도시와 농촌을 동시에 모의 할 수 있는 모형으로서 도시와 농촌이 혼재된 만경유역에 적용성이 클 것으로 판단되며, 오염총량관리의 선진국인 미국에서 수질오염총량제(TMDL)를 위한 연구와 정책적용 등에 HSPF를 선정하여 이용하고 있다(US EPA, 1997).

최근들어 HSPF 모형은 장기간에 걸쳐 크고 작은 규모와 복잡한 유역의 수리·수질에 관한 다양한 현상들을 모의하기 위해 개발되었고(Bicknell et al., 1996), 국내에서는 화성호유역의 오염부하량의 정량적평가(정 등, 2007)과 소양강유역(윤 등, 2007), 남한강상류유역(윤 등, 2007), 새만금유역(Jeon et al., 2007), 팔당댐 상류유역(Jung et al., 2008)등에 부하량 산정 및 점 및 비점오염원저감을 평가하기 위한 틀로 적용하고 있다.

특히, 환경부에서는 4대강의 수질을 예측하고 사전 예방적 수질관리를 위해서 현재 4대강에 대한 수



질예보를 수행하고 있는데, 유역의 수문 및 수질을 예측하기 위해 HSPF모형을 사용하고 있다. 본 기사에서는 현재 활발하게 활용되고 있는 유역수문 및 수질예측 모델인 HSPF에 대해서 소개하고자 한다.

## 2. HSPF모형

### 2.1 BASINS

HSPF (Hydrological Simulation Program-Fortran) 모형은 미국 환경청(U.S. Environmental Protection Agency, USEPA)에서 개발한 유역모형으로서 1950년대에 스탠포드 유역 모형(Stanford Watershed Model)으로 처음 개발되었다. 하지만 입력변수를 준비하는데 지형학적 정보, 기상자료, 점오염원 등 광범위한 자료를 구축해야 하기 때문에 손쉽게 구동하기 어려운 문제점을 해결하기 위해 BASINS

(Better Assessment Science for Integrating point and Nonpoint Source)라는 소프트웨어를 개발하여 HSPF모형의 입력자료 구축을 도와준다(USEPA, 2001). BASINS는 미국 EAP에서 개발한 통합시스템으로 TMDL (Total Maximum Daily Loading)을 적용하기 위해 각종 지형학적인 정보, 기상자료, 오염원자료, 대상하천의 수질 등의 정보를 구분하여 제공하며 QUAL2E, SWAT, PLOAD, WinHSPF, AQUATOX 모형의 입력자료 생성을 지원한다. TMDL을 위한 오염원할당을 위해서는 분산된 데이터를 관리하고 체계적으로 구분하여 이용하여야 하는데, 최근 발달한 원격탐사기법(Remote sensing)과 GIS (Geographic information system) 기술을 이용하여 공간 분포데이터를 분석하여 TMDL 적용 시 의사결정에 도움을 주는 시스템이다. BASINS 유역통합시스템에는 많은 공간, 기상, 수질 데이터를 분석할 수 있는 툴인 Target, Assess, Data mining을 이용하여 관리대상 유역과 소유역을 구분

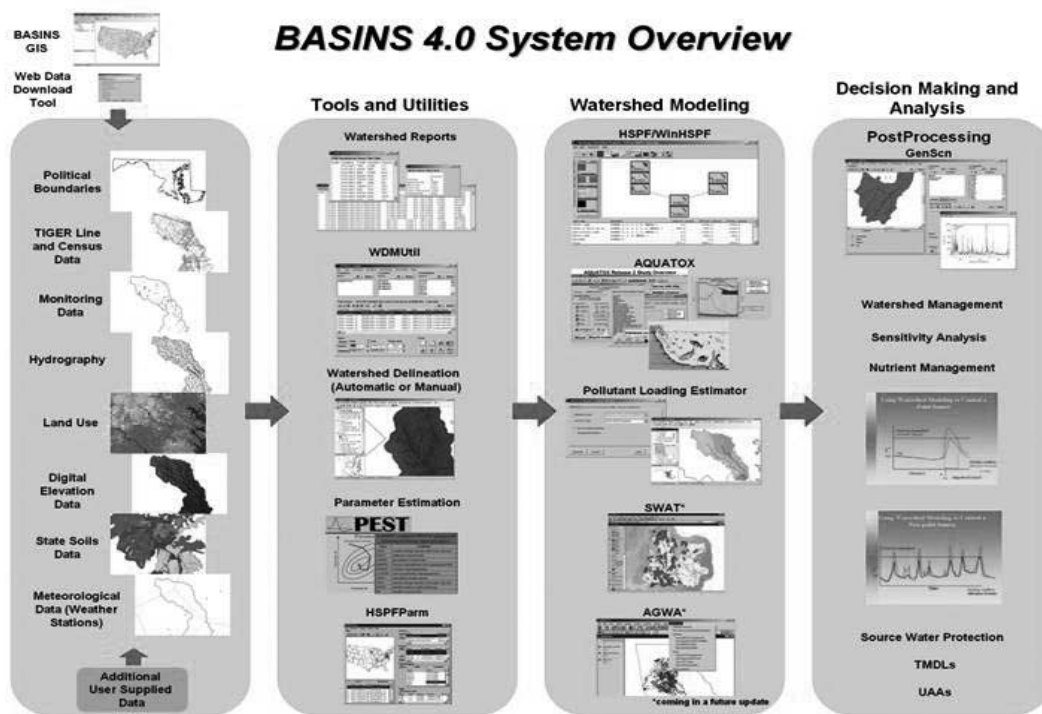


그림 1. BASINS모형의 개요



하며 필요한 경우 데이터를 추출해내게 된다. 또한 GenScn, WS Delineation, Reporting, Import local data 등과 같이 데이터를 분석하거나 유역모형이나 수질모형을 구동하기 위한 데이터를 생성하고 모형의 후처리 과정을 도와주는 툴이 포함되어 있다. BASINS는 USEPA 웹사이트에서 무료로 제공되며, 연계 소프트웨어인 ArcView와 확장 팩인 Spatial Analyst extension이 있으면 이용이 가능하다. 최근에는 오픈 GIS툴인 MapWindow에서 구동되는 BASINS4.0을 개발하여 배포하여, 범용성을 확대하고 있는 모델이다.

## 2.2 HSPF모형의 개요

HSPF (Hydrological Simulation Program - Fortran) 모형은 1960년대 초반 스탠포드 유역모형 (Stanford Watershed Model)으로 처음 개발되었다. 1970년대에는 수질 기작이 추가되었으며, 1970년대 후반에는 소프트웨어 공학 설계를 이용하여 몇 개의 모형을 연계하여 포트란(Fortran) 프로그램으로 개발하였다. 1980년대에는 전후처리 소프트웨어가 추가되었으며, USGS (U.S. Geological Survey)의 WDM (Watershed Data Management) 시스템이 USGS와 USEPA에 의해 공동으로 개발되었다. 1990년대에는 HSPF 모형의 매개변수를 추정하는 전문가 프로그램인 HSPEXP (USGS, 1994), 입출력 관리 시스템인 WDMUtil, 사용자 편의 시스템을 이용하여 모형을 손쉽게 구동하도록 개발된 HSPF의 호환 모형인 WinHSPF와 HSPF 모형의 결과를 시각적으로 보여 주기 위한 GenScn 모형 등이 개발되었다.

### 1) HSPF모형의 구조

HSPF모형의 구조는 주 모형 아래 Run Interpreter, Operations Supervisor, Run Interpreter, Operating Module, Time Series Management System과 같은 부모형을 가지고 있다.

Run Interpreter는 사용자가 작성한 입력파일 (UCI; Users Control Input)을 읽고 해석할 수 있는 부프로그램들의 집합체이며, Operations Supervisor는 Run Interpreter가 작성한 내부 정보에 따라 적절한 Application 혹은 Utility Module을 불러들여 실행하는 서버루틴이다.

Operating Module은 application module 혹은 utility module을 말하며 실행을 위한 작동을 실행하는 모듈로서 매시간 하나의 모듈을 불러들여 internal scratch pad (INSPAN)에 따라 실행되어진다. Application 모듈에는 투수지형에서의 수문 및 수질을 모의하는 PERLND 모듈과 불투수지형의 수문 및 수질을 모의하는 IMPLND 모듈, 수체내의 수리 및 수질을 모의하는 RCHRES 모듈로 나누어져 있으며, 각각의 모듈에는 물의 흐름에 관계된 부분과, 토사유출, 영양염류 등 수질에 관계되는 부분이 섹션(Section)으로 구분된다.

### 2) PERLND

모의될 유역은 몇 개의 카테고리를 기준으로 분할되어 모의되며 이러한 경계는 사용자의 정의에 따라 분류되지만, 일반적으로 유사한 수리학적 특성을 기준으로 정의된다. 유역모형에서는 물이나 침전물, 수질오염물질은 유역에서 발생하여 하류의 유역으로 흘러가거나 하천이나 호소로 유입된다. 물수지에 영향을 줄 정도의 침투가 일어나는 토지를 투수층으로 간주한다. PERLND에서의 주요한 모듈은 융설을 모의하는 SNOW, 지표면에서의 토양유실을 모의하는 SEDMNT, 물 수지를 모의하는 PWATER, 수질을 모의하는 PQUAL이 있으며, 그 외의 다른 항목은 보조적인 기능을 수행한다(그림 2).

### 3) IMPLND 모듈(Impervious Land Segment)

HSPF의 IMPLND모듈의 개요도는 <그림 3>과 같으며 왼쪽에서 오른쪽으로 실행된다. 대부분의 모듈들은 PERLND의 모듈과 유사하며, SNOW와 ATEMP모듈은 투수층과 불투수층 모두 사용된다. IWATER는

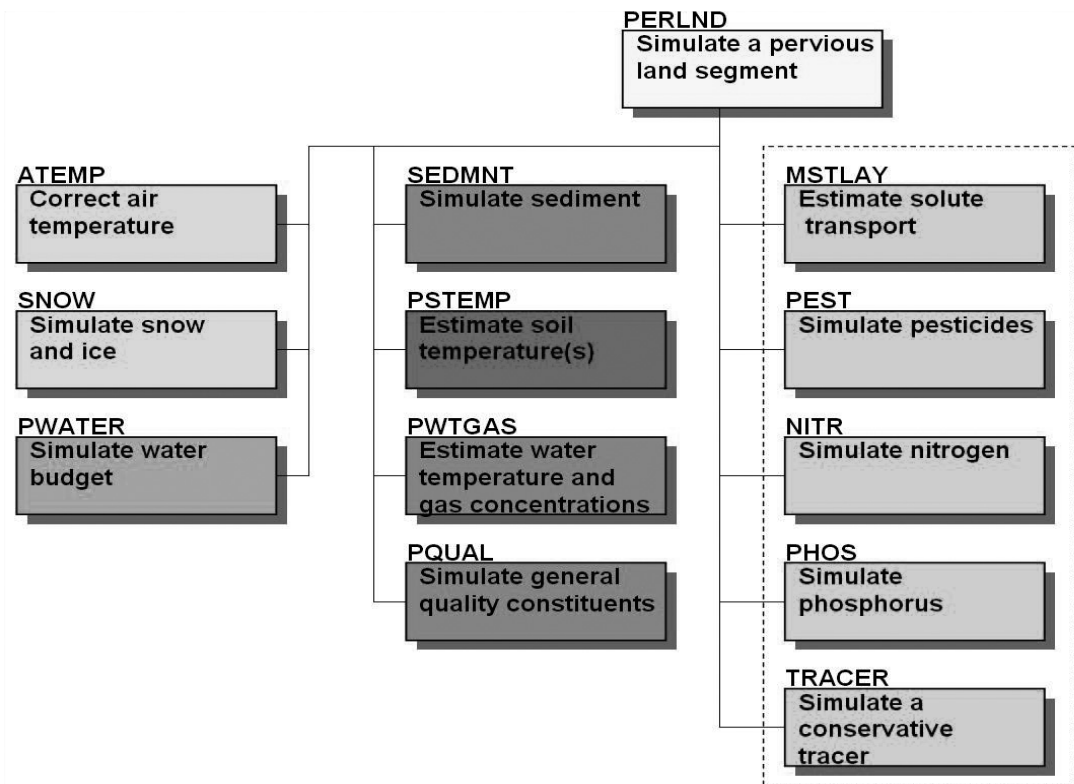


그림 2. PERLND module 구조

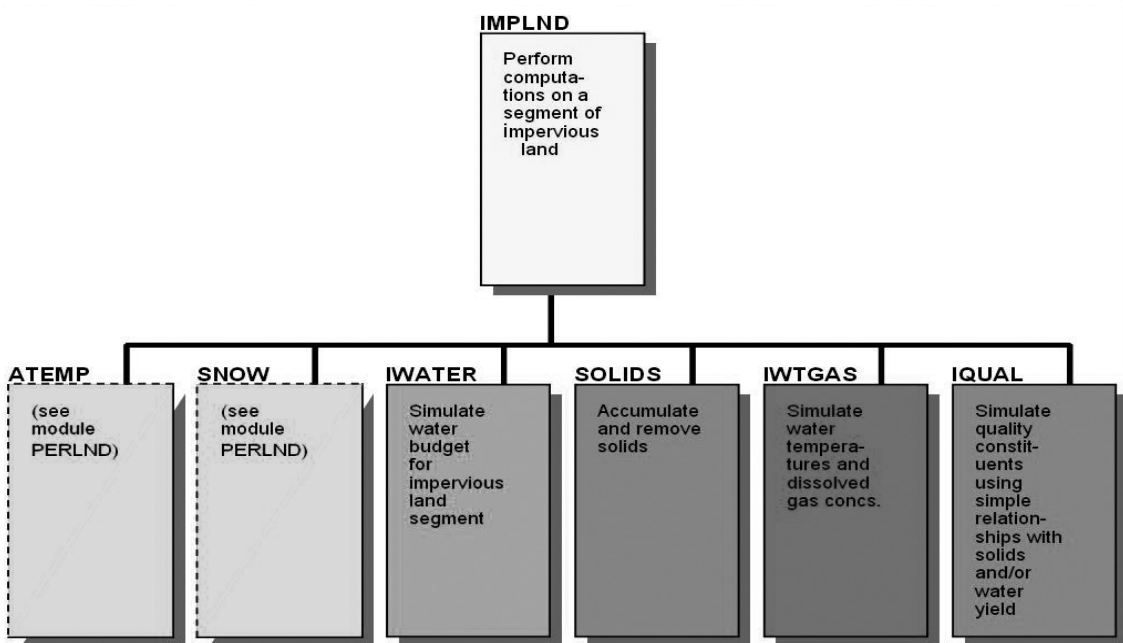


그림 3. 불투수층의 segment processes



PERLND모듈의 PWATER와 상응하며, SOLID는 SEDMNT, IWTGAS는 PWTGAS, IQUAL은 PQUAL과 상응한다. IMPLND는 침투와 그로 인한 지표아래의 유출을 포함하지 않기 때문에 PERLND보다는 간단하다.

#### 4) RCHRES

RCHRES는 수로나 완전혼합으로 가정할 수 있는 호소에서 일어나는 과정을 모의한다. RCHRES에서의 물의 흐름은 단일방향의 흐름으로 가정하고 RCHRES를 통한 물질의 유입은 PERLND와 IMPLND에서 계산된 결과가 유입된다. 오염원이나 상류 RCHRES에서의 물과 오염물질들은 하류 RCHRES의 하나의 유입구로 유입되며 RCHRES에서의 유출은 여러 개의 유출구 중 하나의 유출구를 통해 유출된다. RCHRES에서는 유출경로로는 취수, 웨어방류, 인위적인 배수, 자연유하 등 일반하천 뿐만 아니라 댐이나 저수지의 방류형태도 묘사할 수 있는 장점을 갖고 있다(그림 4).

#### 5) 기타모듈

TSS (Time Series Store)나 WDM에 들어 있는 자료를 다른 파일로 복사한다. 사용자가 COPY를 작동하면서 time series의 time step을 변경할 수 있는 COPY Module, 계속되는 자료를 plotter 상에 표시하거나 다른 소프트웨어에 입력하기 위해 ASCII 파일로 변환하는 PLTGEN Module, 생성된 자료를 도표로 나타내는 DISPLY Module, 통계학적 계산을 위해 분석의 빈도, 기간, 편위 분석을 수행하고, 독성 등을 분석하는 DURANL Module, 새로운 자료나 다른 시계열 자료를 생성하기 위하여 1개 또는 2개의 시계열 자료로 변환하는 GENER Module, PLTGEN file이나 EXT-TARGETS Block의 WDM file, 또는 NETWORK Block으로부터 시계열 자료들을 복사하는 MUTSIN Module, 수체 내에서 수질을 모의하는 RQUAL 등의 모듈을 탑재하고 있다.

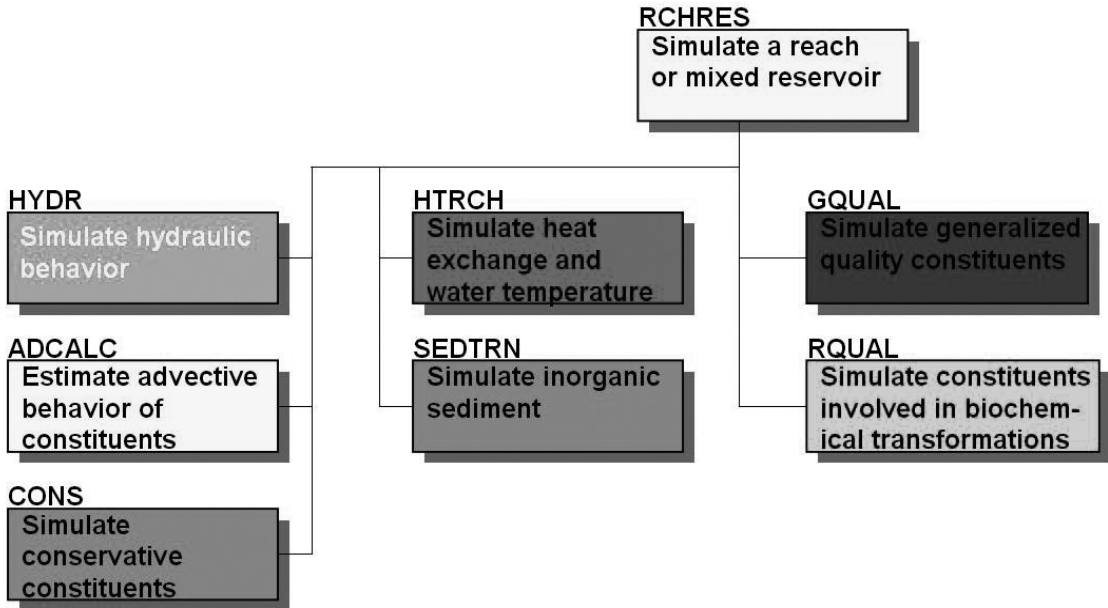


그림 4. RCHRES modul 의 구조





### 3. HSPF의 적용

#### 1) 유역수문

HSPF모형을 이용하여 화성호 유역에 적용성을 평가하였다. <그림 5>는 화성호 유역의 소유역 구분 및 모니터링 위치도를 나타내었다. HSPF모형은 수질자료는 2009~2010년 데이터를 이용하여 보정하였으며, 수문자료는 2012년 시단위 모니터링 데이터를 이용하여 검증하였다. 시단위 모니터링 데이터를 이용하여 유역수문을 검증한 결과 예측값이 실측값을 잘 반영하고 있는 것으로 평가되었다<그림 6>.

수질 모의는 2009~2010년 측정된 환경부 측정데이터를 이용하여 보·검증 하였으며 그 결과는 <그림 7>과 같다. 일부 관측된 자료가 모의치와는 차이를 보이는 값을 나타내기도 하지만, 전체적인 수질 경향을 잘

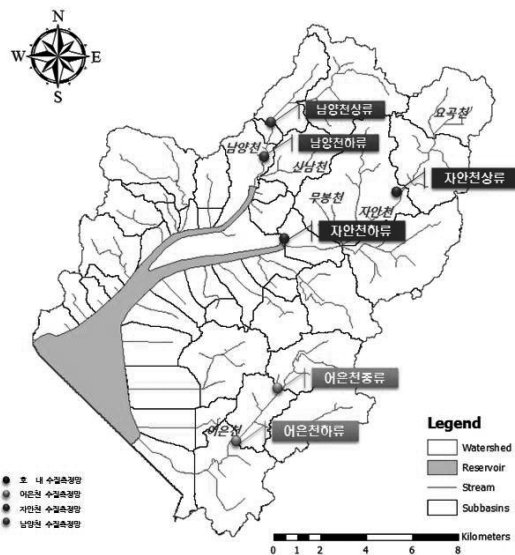
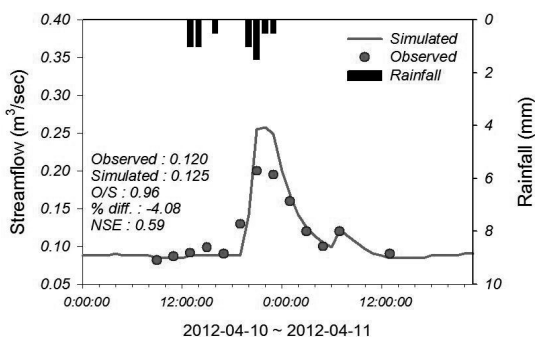
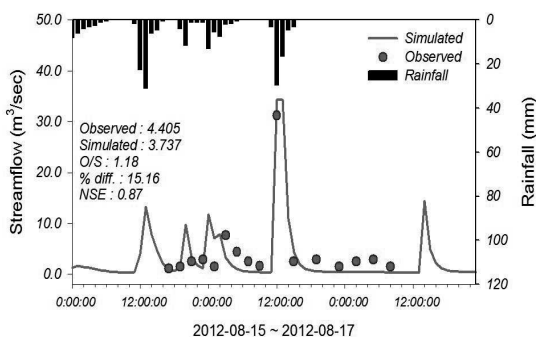


그림 5. 화성호 유역의 모니터링 위치 및 소유역 구분

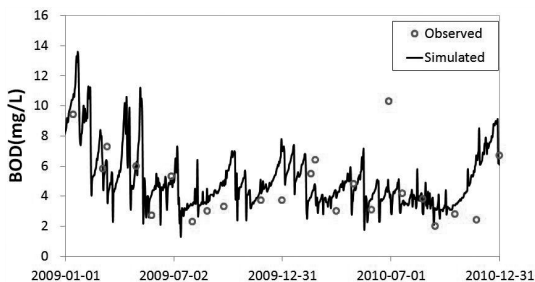


(a) 남양천하류 (2012-04)

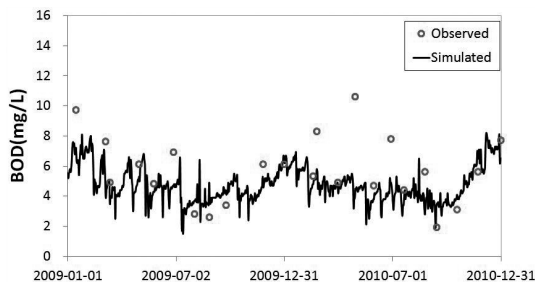


(b) 남양천하류 (2012-08)

그림 6. HSPF모형의 수문 보·검증 결과

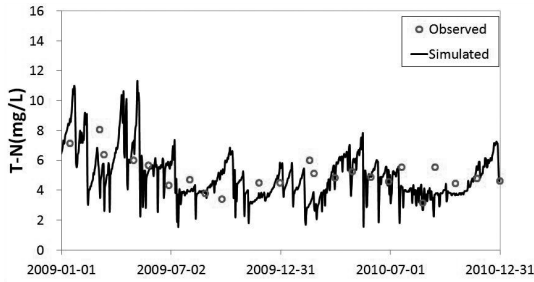


(a) 남양천 중류지점 BOD 모의결과

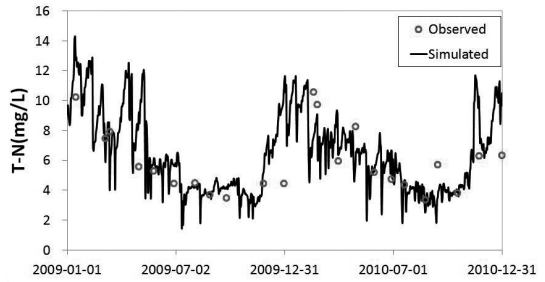


(b) 남양천 하류지점 BOD 모의결과

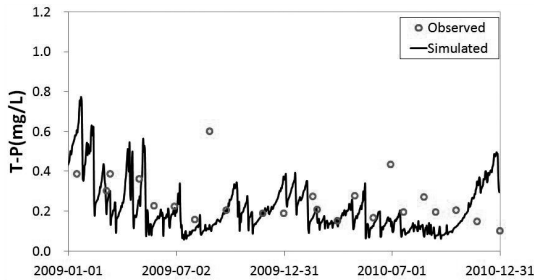
그림 7. HSPF 모형의 수질 보·검증 결과



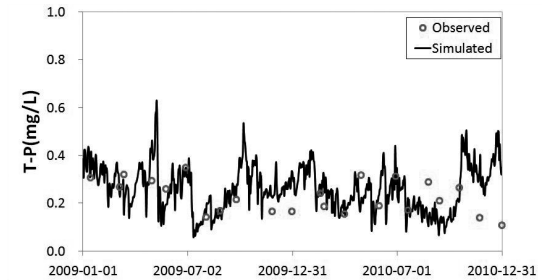
(c) 남양천 중류지점 T-N 모의결과



(d) 남양천 하류지점 T-N 모의결과



(e) 남양천 중류지점 T-P 모의결과



(f) 남양천 하류지점 T-P 모의결과

그림 7. HSPF 모델의 수질 보·검증 결과 (계속)

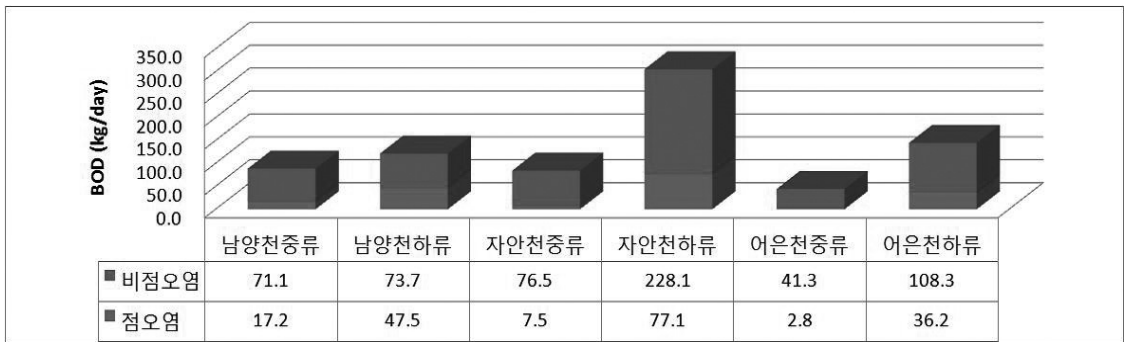


그림 8. 화성호 유역의 점 및 비점오염 배출량 비교

반영하고 있는 것으로 평가되었다. <그림 8>은 유역내 점 및 비점오염원의 양을 정량화한 그림이다. 이 뿐만 아니라, 각종 점 및 비점오염 저감시설에 의한 수질개선효과 평가에도 다양하게 활용될 수 있는 장점을 갖고 있는 모형이다.

#### 4. 소개를 마치면서

HSPF모형은 유역의 복잡한 수문 및 수질예측에 효과적이며, 점 및 비점오염배출량 산정, 수질오염총량제 평가, 유역물수지 변화, 탁수발생, 유역의 병원성미생물, 유역관리를 통한 수질개선효과, 유역내 오염원변화에 따른 수질평가 등 다양한 분야에 적용이 가능하다.



뿐만 아니라 환경부에서는 4대강에 대한 수질예보를 위해 HSPF모델을 국내 실정에 맞게 지속적으로 개선하고 있으며, 모델구동을 위한 각종 데이터 DB의 정확

도향상을 위해 노력하고 있기 때문에 활용성이 점차 증가할 것으로 판단된다. ☺

### 참고문헌

1. Bicknell, B.R., Imhoff, J.C., Kittle, J.L., Donigian, A.S., and Johanson, R.C. 1996. 『Hydrological Simulation Program-Fortran (HSPF): User's Manual Release 11』. US Environmental Protection Agency: Athens, GA.
2. 정광욱, 윤춘경, 장재호, 김형철, 2007, BASINS/HSPF를 이용한 화성유역 오염부하량의 정량적 평가, 한국농공학회지, 49(2), 61-74.
3. 윤춘경, 한정운, 정광욱, 장재호, 2007, 소양강댐 유역의 오염부하량 산정을 위한 BASINS/WinHSPF 적용, 한국육수학회지, 40(2), 201-213.
4. 윤춘경, 신아현, 정광욱, 장재호, 2007, BASINS/WinHSPF를 이용한 남한강 상류유역의 비점오염원 저감 효율평가, 한국물환경학회지, 23(6), 951-960.
5. Jeon, J.H., Yoon, C.G., Jung, K.W., Jang, J.H., 2007, HSPF-Paddy simulation of water flow and quality for the Saemangeum watershed in Korea, Water Science and Technology, 56(1), 123-130.
6. Jung, K.W., Yoon, C.G., Jang, J.H., and Kong, D.S., 2008, Estimation of pollutant loads considering dam operation in Han River Basin by Basin/Hydrological Simulation Program - Fortran, Water Science and Technology, 58(12), 2329-2338.
7. US EPA. 1997. Compendium of tools for watershed assessment and TMDL Development. EPA-841-B-97-006, US Environmental Protection Agency, Office of WATER, Washington, DC.
8. US EPA. 2001. 『Better assessment science integrating point and nonpoint-sources: BASINS version 3.0 user's manual』. EPA-832-F-01-021, US Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC.