[UCI]I804:24011-200000236540

2008年 8月
碩士學位論文

南江의 BASINS/WinHSPF 모델適用에 關한 研究

朝鮮大學校 大學院

環境生命工學科

姜 在 鴻

南江의 BASINS/WinHSPF 모델適用에 關한 硏究

A Study on BASINS/WinHSPF Application to Nam-River Watershed

2008年 8月 25日

朝鮮大學校 大學院

環境生命工學科

姜 在 鴻

南江의 BASINS/WinHSPF 모델適用에 關한 研究

指 導 敎 授　申 大 允

이 論文을 工學碩士學位 申請論文으로 提出함.

2008年 4月

朝鮮大學校 大學院

環境生命工學科

姜　在　鴻

姜在鴻의 工學碩士學位 論文을 認准함

審査委員長　朝鮮大學校　敎授　崔 炯 一　印

審 査 委 員　國立環境科學院 研究官　柳 德 熙　印

審 査 委 員　朝鮮大學校　敎授　申 大 允　印

2008年 5月

朝鮮大學校 大學院

목 차

Ⅰ. 서론 ····· 1

Ⅱ. 이론적 배경 ·····3
1. 유역 ·····3
2. 유역관리 필요성 ·····4
3. 오염물질의 유달경로 ·····5
4. 유역모형의 분류 및 적용 범위 ·····6
(1) 모형의 사용목적에 따른 분류 ·····6
(2) 유역모형의 적용 범위 ·····10
5. BASINS ·····12
(1) 통합관리시스템 ·····12
(2) BASINS 개요 ·····12
(3) BASINS의 구성요소 ·····14
(4) BASINS Utilities ·····16
6. WinHSPF 모형 ·····19
(1) WinHSPF 개요 ·····19
(2) WinHSPF 구조 ·····20

Ⅲ. 연구내용 및 방법 ·····27
1. 연구대상지역 ·····27
(1) 일반현황 ·····27
(2) 토지이용현황 ·····28
2. BASIN 구축 ·····29
(1) 수치고도모델 ·····31
(2) 토지이용도 ·····32
(3) 유역도 ·····33
(4) BASINS 구축 결과 ·····34

3. WinHSPF 구축 ····· 35
(1) 모형의 적용방법 ····· 35
(2) 입력자료 ····· 35
(3) WinHSPF 구축 결과 ····· 38

Ⅳ. 연구결과 ····· 39
1. WinHSPF의 유량 및 수질 검·보정 ····· 39
(1) 유량 모의 결과 ····· 40
(2) 수질 모의 결과 ····· 44
(3) 배출부하량 산정 ····· 54
(4) 유달율 산정 ····· 54

Ⅴ. 결론 ····· 56

Ⅵ. 참고문헌 ····· 57

List of Tables

Table 1. Basin classification of the united states ····· 4
Table 2. A descriptive list of model components-Simple-Range model ····· 7
Table 3. A descriptive list of model components-Mid-Range model ····· 8
Table 4. A descriptive list of model components-Detailed model ····· 9
Table 5. Range of application of watershed Models-Simple Methods ····· 10
Table 6. Range of application of watershed Models-Mid Methods ····· 11
Table 7. Range of application of watershed Models-Detailed Methods ····· 11
Table 8. Overview of HSPF application modules ····· 21
Table 9. City population and area in study ····· 28
Table 10. BASINS database ····· 29
Table 11. Modified BASINS database for this study ····· 30
Table 12. Weather Data ····· 37
Table 13. Parameter values for hydrologic simulation ····· 40
Table 14. Model performances in the stations of Nam river monitoring data 42
Table 15. General Calibration/Validation Target or Tolerances for HSPF applications ····· 43
Table 16. Simulation result for water qualities ····· 53
Table 17. Yearly pollutant load from 2003 to 2006 ····· 54
Table 18. Comparison of pollutant delivery ····· 55

List of Figures

Fig. 1. BASINS overview ····· 13
Fig. 2. BASINS components ····· 14
Fig. 3. Overview national environmental databases ····· 14
Fig. 4. Overview BASINS assesment tools ····· 16
Fig. 5. Overview BASINS utilities ····· 16
Fig. 6. Overview BASINS watershed characterization reports ····· 18
Fig. 7. Overview of HSPF structure ····· 20
Fig. 8. Structure chart for PERLND module ····· 22
Fig. 9. Impervious land segment processes ····· 23
Fig. 10. Structure chat for IMPLND module ····· 24
Fig. 11. Structure chart for RCHRES module ····· 25
Fig. 12. Flow of materials through a RCHRES ····· 25
Fig. 13. Location of study area ····· 27
Fig. 14. Digital Elevation Model ····· 31
Fig. 15. Landuse map of Nam river basin for BASINS ····· 32
Fig. 16. Basin boundary ····· 33
Fig. 17. Initial screen of BASINS ····· 34
Fig. 18. Outline of model prediction ····· 35
Fig. 19. WinHSPF structure in Nam-river Basins ····· 38
Fig. 20. Calibration point of WinHSPF in study area ····· 39
Fig. 21. Daily rainfall and observed and simulated daily mean runoff for calibration period at Nam river A,B ····· 41
Fig. 22. Calibration and verification of daily water qualities from 2004 to 2007 Nam river A ····· 45
Fig. 23. Calibration and verification of daily water qualities from 2004 to 2007 Nam river B ····· 46
Fig. 24. Calibration and verification of daily water qualities from 2004 to 2007 HAM YANG 1 ····· 47

Fig. 25. Calibration and verification of daily water qualities from 2004 to 2007 HAM YANG 2 ····· 48
Fig. 26. Calibration and verification of daily water qualities from 2004 to 2007 KYUNG HO 1 ····· 49
Fig. 27. Calibration and verification of daily water qualities from 2004 to 2007 KYUNG HO 2 ····· 50
Fig. 28. Calibration and verification of daily water qualities from 2004 to 2007 IM River ····· 51
Fig. 29. Calibration and verification of daily water qualities from 2004 to 2007 NAM River 1 ····· 52

Abstract

Delivery ratio is a barometer to evaluate runoff characteristics of pollutants within basin areas. DR is critical to determine water quality target and allotment loads in the process of setting up basin management plans such as TMDL. unfortunately, however, calculation of DR under the condition of standard flow and that in unobserved basin is difficult in korea because of a lack of data.

The target location of this research includes both point source and non-point source. Thereby, we selected BASINS/winHSPF for evaluation. Based on BASINS, the research established GIS data including basin map and riverine map. Together with that, it built a model by converting six weather factors to WDM files. The weather factors include precipitation from 2003 to 2006 of the target locations which had been divided into 40 sub-basin areas. The model boasts superior pre-analysis function with useful tools and utilities.

Validation and verification of the model was conducted based on precipitation data collected at 7 locations and water quality data of another 8 locations. The fit efficiency of model and the regression coefficient which shows similarity between simulation values and observed values and observed values, were ranged from 68.4 to 77.4 and from 0.78 to 0.83 respectively, according to the locations. In addition, the percent difference of BOD, T-N, and T-P was from 1.2 to 32.9%, from 8.3 to 31.1%, and from 1.2 to 26.0% respectively, thereby BASINS/winHSPF which is selected in this study, is found to be appropriate for simulation of daily flow and water quality in target basins.

DR was calculated utilizing discharge loads of unobserved sub-basin and delivery load of unobserved locations obtained not by actual evaluation but by simulation through validation & verification. annual

average DR of BOD, T-N and T-P were 0.97~1.50, 2.23~3.21, and 0.81~1.09 respectively. Thereby, the level of T-N was highest. Net DR of dependent basin excluding influence of upstream basin was 1.50~1.70, 0.55~0.69, and 0.24~0.31, all of which are lower than those of independent basin area.

As for DR of independent basin about which validation data was obtained, utilization of basin model such as BASINS/winHSPF is reasonable to reflect daily flow. And as for others with few data, regression obtained according to land use type is available.

DR of dependent basin should exclude influence of upstrem basin. Thereby, it is required to select model which is able to calculate delivery by tributary as well as net delivery load via sheet flow.

Utilizing the model suggested by this research, DR of unobserved basin will be calculated, which will help determine priorities in management of basin areas.

Ⅰ. 서론

우리나라는 산 높고 물이 맑은 금수강산으로서 어디서든 마음 놓고 하천수를 먹고 목욕하며 살 수 있었으나, 20세기 접어들어 일제통치와 6. 25전란을 겪으면서 국토가 벌거숭이 민둥산이 된 이후부터 농업용수 부족, 홍수범람 등 이수문제가 대두되었다. 더구나 1960년대 이후 인구증가와 급속한 도시화·산업화로 인해 용수 수요가 대폭 증가하여 치수와 용수확보를 위한 저수지, 댐건설 등이 시작되었다.

하천 상류에 물을 가둠으로써 생·공, 농업용수 등 용수는 어느 정도 확보되었으나 강수량이 6~9월에 편중되고 유출속도가 빨라서 유출률이 높으며 하천 유지수가 적어 환경용량이 작기 때문에 하천수가 오염되기 쉽다. 물 소비증가와 함께 도시, 공장 등 점오염원에서 배출하는 오염물질이 많아져 하천오염이 심화되어 왔다.

우리나라 수처리시설 보급은 상수처리 시설이 1900년 말부터 설치되고, 분뇨처리시설이 1960년대 말부터 도입되었다. 산업폐수처리 시설이 1970년대 말부터 도입되고 1980년대 말부터는 하수처리시설, 1990년대 말부터는 하수종합처리시설이 도입되어 가동되어 왔다. 40여년 동안 점오염관리를 중점적으로 추진해 왔지만 4대강의 목표수질을 달성하지 못하였다.

이와 같이 하천의 목표수질 달성이 어렵게 된 주요원인은 용수 확보를 위해 상류에 저수지와 대형 댐들을 축조하여 하천 유지수량이 부족해지고, 1970년대 이후 난방연료로서 화석연료를 사용하고, 농사에 퇴비대신 화학비료를 사용함으로써 산림지역, 농경지, 하천 등에 많은 동식물들의 사체가 퇴적되어 강우 시 유출되는 비점오염물질이 폭발적으로 증가하였기 때문이다.

정부에서는 1998년부터 수질오염총량관리제를 시행하여 점오염원 처리시설의 배출기준을 농도에서 부하량으로 전환하고, 유역단위 오염물질 배출량을 할당하고 이를 준수하도록 관리하고 있다.

수질오염총량관리제는 각 경제 주체의 책임을 강화하여 목표수질 한도 내에서 지역과 배출원의 오염물질 배출총량을 할당하고 환경보존과 지역개발을 병행하며, 오염물질 배출구조 및 수질모델링 등을 기반으로 수질관리의 효율을 제고하여 목표수질을 달성하기 위한 유역관리제도이다. 공공수역의 수질을 보전하고 수자원

이용과 관련된 지역간의 분쟁해소 및 유역공동체의 경제적, 환경적 형평과 상생을 도모하는 보다 근원적이고 광범위한 수질관리정책이라고 볼 수 있다.

수질모델링은 수질관리 및 처리시설 등의 관리대책과 환경문제에 대한 영향을 평가하는데 중요하며 이러한 모델링을 통한 장래 수질예측은 수역의 목표수질 및 수질기준에 도달하거나 현재의 수질을 유지하는데 큰 도움이 되므로 경제적이고 합리적인 수질보전대책을 수립할 수 있게 된다.

유역모델은 적용지역과 모델의 복합성, 계산시간에 따라 다양하게 구분할 수 있는데, WinHSPF는 농촌과 도시 특성이 혼재된 유역에 효과적으로 적용할 수 있는 모델이고, BASINS는 GIS를 기반으로 USEPA에서 개발한 것으로 유역의 공간적인 특성과 여러 정보를 연결시켜주는 프로그램이다. 환경관련 정보를 손쉽게 검색할 수 있으며, 수질자료 평가에 필요한 여러 가지 tool을 제공하고, 다양한 유역모델과 수질모델 시스템 내에서 실행할 수 있으므로 처리시간이 단축된다.

본 연구에서는 BASINS/WinHSPF 모델을 이용하여 낙동강수계 남강 유역을 대상으로 유역의 지형, 수문, 수질자료를 구축하여 모델의 적용성을 평가하였으며, 향후 비점오염관리 등 낙동강수계 남강유역의 유역관리 및 수질관리정책 수립을 위한 기초 자료로 활용될 것으로 기대된다.

II. 이론적 배경

하천 및 호소의 장래 수질변화를 예측하기 위하여 유역모델을 적용하거나 개발하기 위한 연구는 1990년대 후반부터 실시되어 왔으며, 최근에는 오염총량관리제 도입과 더불어 유역의 오염물질 발생량을 삭감하기 위한 연구가 진행되고 있다.

하천이나 호소의 수질은 유역의 환경영향을 반영한 것이다. 유역의 발생원에서 배출된 오염물질은 대상수역에 유입하는 동안 희석·확산·이류·침전·흡착·탈착·용해·분해·침투·소류·생물에 의한 섭취 등 자연현상뿐만 아니라 취수·배수·예취·청소 등의 인위적 행위가 가해져 복잡한 경로를 거치게 된다.

이 경우 오염물질은 물에 용해되거나 현탁된 상태로 물을 따라 하류로 이동한다. 오염물질의 이동현상을 효과적으로 파악하기 위해서는 해당유역의 수리학적 특성, 오염 배출원의 분석, 수질 현황 및 수계특성 등의 조사가 선행되어야 한다.

최근 GIS(Geographic Information System)와 수질관리프로그램을 연계하여 하천의 장래 수질을 시나리오에 의해 예측하려는 수질모의기법이 연구되고 있다. 유역모델은 각 지역 수계별 토지이용현황, 행정구역, 오염원 분포 등 각종 공간정보가 수치지도 형태로 구축되어 오염현황을 파악하기 쉽고, GIS와 수질관리모델을 연계할 경우 모델 입력자료를 쉽게 추출하여 사용할 수 있으며, 모델링 결과의 정확도를 향상시킬 수 있다는 측면에서 연구되고 있다.

1. 유역

유역은 일반적으로 크기에 따라 대유역(River-Basin),중유역(Sub-basin), 소유역(Watershed)으로 구분한다.

유역이란 물이 모여서 흘러드는 주위 지역으로 자연수계의 수리학적 경계로 이루어진 영역이며 지표수, 지하수, 토양 동식물 외에 인간에 의한 인위적인 영향을 포괄한다. 우리나라에는 분류기준이 제정되어 있지 않지만, 미국의 경우 Table 1에 나타낸 바와 같이 유역면적에 따라 집수구역 0.15~1.5km^2, 단위유역 2.5~25km^2, 소유역 25~250km^2, 중유역 250~2,500km^2 및 대유역 2,500~25,000km^2 등 5개 부류로 구분하고 있다.

Table 1. Basin classification of the United States

Unit	Area (km^2)	effect	Case
집수구역 (catchment)	0.15-1.5	매우강함	BMP 및 단지계획
단위유역 (subwatershed)	2.5-25	강함	하천구분 및 관리
소유역 (watershed)	25-250	보통	유역에 기반한 지구설정
중유역 (subbasin)	250-2,500	약함	대유역 계획
대유역 (basin)	2,500-25,000	매우 약함	대유역 계획

2. 유역관리 필요성

수질은 유역에서의 경제활동 및 관리정도에 따라 달라진다. 행정기관의 정책수립 및 집행만으로 수질을 개선하기는 어려우며, 여러 행정기관이 설치되어 있는 대규모 유역일수록 막대한 예산이 소요된다. 현재 진행되고 있는 유역관리 대책은 관리대상 규모가 방대하고 목표설정이 명확하지 않기 때문에 오염원을 명확히 규명하고 효율적으로 수질을 개선하기 어렵다. 또한 정책수립 및 집행과정에 이해당사자의 참여노력도 미흡하다.

선진국에서는 수자원을 지역 또는 유역단위로 관리한다는 관점에서 지역공동체의 자발적 협력을 기초로 소유역 중심의 유역관리를 시행하고 있다. 유역관리 개념이 규제중심에서 지역주민의 자발적 참여로 변화되고 소유역별 유역공동체가 참여형태로 규모가 작아진 것이다.

따라서 유역관리의 효율성을 제고하기 위해서 소규모유역을 중심으로 정책집행 및 관리방안을 모색하는 것이 바람직하다. 또한 유역 내 각 집단이 공동으로 참여하는 유역공동체를 결성하여 활동하는 것이 필요하다.

3. 오염물질의 유달경로

오염물질은 물을 따라 이동하므로, 오염현상을 이해하고 괄리대책을 수립하기 위해서는 우선 오폐수의 유출경로를 파악하여야 한다. 물의 유출 해석은 수자원·수문학 분야에서 깊게 연구되고, 데이터, 유출 모델 등의 방법론도 제시되고 있다. 적설지대의 하천과 하수의 수질에 대한 평가기법은 아직 확립되어 있지 않다.

점오염원 및 비점오염원의 배출부하 유출경로를 살펴보면 우선 가정배수는 배수유입구 도랑·수로를 경유해서 하천에 유출되어 본천을 흐른다. 밭에서 배출되는 비료는 강우나 인위적인 관개에 의해 표면유하나 지하로 침투되어 하천으로 유출되며, 하천을 따라 유하한다. 유하하는 동안 오염물질은 주로 침전, 퇴적, 토양흡착 등 물리적 자정력에 의해 감소되며, 산화·분해되거나 식물체에 흡수되어 화학적·생물학적 자정현상에 의해 삭감되기도 한다.

침전되거나 퇴적된 오염물질은 강수 시 소류에 의해 하류로 유하한다. 따라서 청천 시(晴天時)와 우천 시(雨天時) 유달율은 크게 다르다. 또 식물의 생장·고사는 수질의 계절적 변동이나 장기적 변동에 영향을 미친다. 도랑 청소·진흙치우기·하천 청소·수초의 예취 등의 인위적 조작도 오염물질의 이동에 큰 영향을 끼친다.

하천수와 지하수는 연결되어 있고 하천에 지하수가 유입되거나, 반대로 하천으로부터 침투되어 복류수르 형성하기도 한다. 표류수가 흐르지 않아도 복류수의 유하를 고려해야하는 경우도 있다. 세굴된 도랑이나 수로에서는 도중에 배수가 지하로 침투해 버리는 경우도 있다. 토양 침투형의 정화조 등과 같이 적극적으로 배수를 지하로 침투시키는 처리시설이 보급되어 있는 지역에서는 오염물질의 이동과정에서 지하수와 하천수의 상호작용을 고려해야 한다.

오염물질이 일단 체류지로 유입되는 경우에는 강우가 있어도 물이 넘치기 전에는 유출이 일어나지 않으며 소류 효과도 별로 없으므로 대량의 오염물질이 축적된다. 하천에는 취수용의 보가 설치되어 있어, 그것에 의한 체류의 영향도 크다. 이러한 경우에는 SS의 침전과 식물 플랑크톤의 증식에 의한 유기물의 증가를 고려해야 한다. 본격적인 댐 저수지를 경유하는 경우는 이러한 효과가 유달율에 주는 영향도 상당히 커질 것이다. 물론 이들 보와 댐으로부터의 취수수량 및 오염물질의 감소도 고려해야 한다. 따라서 오염물질의 유출·유달 과정을 정확히 이론화하는 것은 상당히 어렵다는 것을 알 수 있다.

4. 유역모형의 분류 및 적용범위

(1) 모형의 사용목적에 따른 분류

오염총량관리를 위해서는 토지이용에 따른 오염물질 유출부하를 평가할 수 있는 유역모형이 필요하다. 또한 수질개선을 위한 다양한 삭감시나리오가 수계의 수질에 미치는 영향을 평가하기 위해서 유역 모델의 적용이 필요하다. 이러한 유역모델에는 모델의 복잡성, 계산 시간, 모의 기술 등에 따라 simple method, mid-range model, detail model로 나눌 수 있다(Hashim, 2002).

가) Simple methods

Simple methods는 최소한의 자료와 노력으로 빠른 결과를 도출할 수 있으나 그 결과의 정확성은 떨어지며, 주로 유역의 지리학적 특성과 오염물질의 경험적 관계식으로 산정된다.Table 2에 Simple methods의 모델을 나타내었다.

나) Mid-range model

Mid-range model은 유역의 오염물질 삭감 계획을 위한 우선 지역 선정이나 넓은 지역의 오염원 평가 등을 위해 사용된다. 간단한 가정으로부터 시작하기 때문에 예측에 대한 정확성이 부족하고 분석의 한계가 있다.Table 3에 Mid-range model의 모델을 나타내었다.

다) Detailed methods

Detailed methods는 정확한 결과를 획득할 수 있으나 그만큼 방대한 자료와 모니터링을 요구하며, 보정 및 검증에 많은 시간과 노력을 필요로 한다. Table 4에 Detailed methods의 모델의 모델을 나타내었다.

Detailed model은 유출량과 토양 유실량을 모의하기 위해 더욱 복잡한 공식을 이용한다. 수문묘사에서는 각각의 물수지 공식을 이용하며(침투, 증발산, 기저유출, 차단), 토양유실예측을 위해서 물리적인 개념을 이용한다(토양 이탈, 이동, 침전). Detail 단계에서는 다양한 오염원으로부터 오염원 특징의 정확한 구분과 오염물질 거동의 자세한 묘사, 대안별 오염물질의 생성, 이동, 제거 등의 자세한 묘사를 필요로 한다. Detail 단계에서 유출이나 수질의 단일 강우사상모의 혹은

연중 모의를 실시함으로써 사업의 목적을 달성할 수 있는 설계기준을 수립하는데 도움을 준다.

Table 2. A descriptive list of model components-Simple Methods

Model	Main Landuse	Hydrology	Erosion/ Sediment	Pollution Load	Pollutant	Time Scale
EPA Screening Procedures	Mixed	N/A	USLE-MUSLE	Loading function, potency factors	Wide range	Mean annual
Simple Method	Urban	Runoff coef.	N/A	Mean conc.	NURP data: TSS, P, Metal O&G	Variable (annual, monthly, event)
Regression Method	Urban	N/A	N/A	Regression equations	TSS, N, P, COD, Metal	Storm event
SLOSS/ PHOSP	Rural	N/A	USLE	Loading functions	P	Mean annual
Watershed	Mixed	N/A	USLE	Unit area loading	Wide range	Mean annual
FAWA	High-ways	Runoff coef.	N/A	Median conc.	TSS, N, P, Organics ,Metal	Storm event
WMM	Mixed	Runoff coef.	N/A	Event mean conc.	N, P, lead, zinc	Mean annual

[a] oil and gas

Table 3. A descriptive list of model components-Mid-Range model

Model	Main Landuse	Hydrology	Erosion/ Sediment	Pollution Load	Pollutant	Time Scale
SITE-MAP	Mixed	SCS curve number	N/A	Runoff conc.	N, P	Storm event, continuous
GWLF	Mixed	SCS curve number	MUSLE	Unit area loading	N, P	Storm event, continuous
P8-UCM	Urban	SCS curve number (modified), TR20	N/A	Nonlinear accumulation	TSS, N, P, metal	Storm event, continuous
Auto-QI	Urban	Water balance	N/A	Accumulation and wash-off	Wide Range	Storm event, continuous
AGNPS	Rural	SCS curve number	MUSLE	Potency factor	N, P	Storm event
SLAMM	Urban	Small storm -based coef.	N/A	Nonlinear accumulation and wash-off	N, P, COD, bacteria, metal	Storm event, continuous

Table 4. A descriptive list of model components-Detailed model

Model	Main Landuse	Hydrology	Erosion/ Sediment	Pollution Load	Pollutant	Time Scale
STORM	Urban	Runoff coef. - SCS curve number - Unit hydrograph	USLE	Buildup/ washoff functions	N, P, COD, metal	Continuous
ANSW -ERS	Rural	Distributed Storage model	Detachment transport equation	Potency factor (correlation with sediment)	N/A	Storm-event
DR3M -QUAL	Urban	Surface storage balance kinematic wave method	Related to runoff volume and peak	Buildup/ washoff functions	TSS,N,P organics, metal	Continuous
SWRR -BW/ SWAT	Rural	SCS curve number	MUSLE	Loading function	N, P, COD, metal, bacteria	Continuous
SWMM	Urban	Nonlinear Reservoir	MUSLE	Buildup/ washoff functions	Wide range	Continuous Storm-event
HSPF	Mixed	Water balance of land surface and soil process	Detachment transport equation	Loading/ washoff functions and subsurface conc.	Wide range	Continuous Storm-event

(2) 유역모형의 적용 범위

계획의 수립, 대안별 평가, 수질에 미치는 영향분석에 따라 모델의 적용 범위는 Table 5~7과 같다. 대부분의 모형은 Screening 단계에 적용이 가능하고 Simple methods는 연간모의를 기본으로 하기 때문에 Screening 단계의 적용에 제한되어 있다. 몇몇 Mid-range model (GWLF, SITEMAP, AGNPS)은 점오염과 비점오염을 통합적으로 평가할 수 있어 Screening 단계에 매우 적용성이 높다.

SLAMM, P8-UCM, SIMPTM는 주로 도시지역을 적용대상으로 하기 때문에 도시 강우유출 관리기법을 평가하며 중간단계의 적용에 유용하다. SWMM, HSPF, DR3M, STORM, SWAT 등은 다양한 점오염원과 비점오염원의 상세한 묘사가 가능하며, 이러한 모델의 결과를 이용하여 관리기법을 평가하거나, 설계기준을 수립하는데 이용된다.

Table 5. Range of Application of Watershed Models-Simple Methods

(● high ◐ medium ○ low)

Simple Methods	Watershed Analysis			Control Analysis		Receiving Water Quality
	Screening	Intermediate	Detail	Planning	Design	
EPA Screening	●	-	-	-	-	○
Simple Method	●	-	-	○	-	-
Regression	●	-	-	-	-	-
SLOSS/ PHOSP	○	-	-	-	-	-
Watershed	●	-	-	○	-	-
FAWA	●	-	-	○	-	○
WMM	●	○	-	◐	-	-

Table 6. Range of Application of Watershed Models-Mid-Range Methods

(● high ◐ medium ○ low)

Mid range Model	Watershed Analysis			Control Analysis		Receiving Water Quality
	Screening	Intermediate	Detail	Planning	Design	
SITE MAP	●	○	○	◐	-	○
GWLF	●	◐	○	-	-	-
P8-UCM	●	◐	◐	○	●	-
Auto-QI	●	●	○	◐	○	○
AGNPS	●	●	○	●	○	○
SLAMM	●	◐	◐	●	◐	○

Table 7. Range of Application of Watershed Models-Detailed methods

(● high ◐ medium ○ low)

Detailed Methods	Watershed Analysis			Control Analysis		Receiving Water Quality
	Screening	Intermediate	Detail	Planning	Design	
STORM	●	●	○	●	○	○
ANSWERS	●	●	◐	●	○	○
DR3MQUAL	◐	●	●	●	◐	◐
SWRRBW/ SWAT	◐	●	●	●	◐	◐
SWMM	◐	●	●	●	◐	-
HSPF	◐	●	●	●	◐	●

HSPF나 SWMM과 같은 Detail model들은 Screen 단계의 적용에 수많은 인자들의 초기값을 적용함으로써 시간과 필요한 입력 자료를 줄일 수 있다. 도시유출모의가 가능한 SWMM, HSPF, SLAMM, P8-UCM, DR3M-QUAL등은 많은 설계기준을 제공할 수 있지만, 많은 입력자료와 사용자의 전문성을 요구하며, 적절한 입력값과 결과값의 해석이 필요하다.

5. BASINS

(1) 통합관리시스템

유역관리 모형시스템은 사용하기 쉬워야 하며, 모형들 간 필요한 database와 연계가 가능해야 하며 사용자가 원하는 분석을 쉽게 지원해야 한다.

모형 자체의 알고리즘 개발과 기존 모형의 보완 뿐 아니라, 현재 유역모형에 대한 연구 및 개발활동의 많은 부분은 모형사용자와 시스템과의 상호작용에 초점을 맞추고 있다. 모형개발에 있어서 Graphical User Interface(GUI)를 이용한 인터페이스 적용은 모형에 필요한 자료의 입력과 모형 결과의 분석, 보정 및 검증과정을 더욱 용이하게 하였다.

GIS의 발전은 모형분야에 큰 영향을 주고 있는데 GIS는 유역모형에 필요한 자료의 전처리에 탁월한 기능을 가지고 있다. 최근 들어서는 많은 모형들이 GIS와 밀접하게 연계되어 GIS기반 하에 자료의 수정과 모형의 결과 분석을 용이하게 하고 있다. 또한, GIS연계의 또 다른 예는 방대한 자료를 관리하고 다양한 모형들을 지원해주는 통합관리시스템이며 가장 대표적인 예가 Watershed Screening and Targeting Tool(WSTT)과 Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Source(BASINS)이다. BASINS는 GIS 기반의 GUI(Graphic User Interface)를 가지고 있는 다목적 환경분석시스템으로서 유역과 수질에 근거한 연구를 수행할 수 있다. 이러한 시스템의 목적은 자료의 전처리와 분석, 모형의 적용을 하나의 시스템 내에서 완전히 통합하는데 있다.

(2) BASINS 개요

BASINS는 USEPA에서 개발한 유역오염관리를 위한 다목적 환경분석 시스템으로 개발목적은 환경정보 분석, 환경시스템 분석지원, 유역오염관리기법의 평가를 위한 기본 틀을 제공하는 것이다.

BASINS은 유역오염분석 및 관리를 위해 개발되었기 때문에 미국의 TMDL에 이용된다. 기존 유역개념의 오염관리에서는 자료의 전처리, 정보의 요약, 지도와 표 생성, 모형적용 등과 같은 일련의 과정이 각각 분리되어 여러 가지 tool과 software등을 이용하여 왔으나, 이러한 분리된 과정은 정보를 통합하는데 어려움이 있으며 많은 시간과 노력을 필요로 하였다. 그러나 BASINS은 사용자가 친숙한

window interface를 기반으로 하기 때문에, 환경적인 정보를 손쉽게 검색할 수 있으며, 분석을 위한 여러 가지 tool을 제공하고 다양한 유역모형과 수질모형을 시스템 내에서 실행할 수 있으므로, 유역의 분석시간을 줄여주고 다양한 정보를 효율적으로 손쉽게 획들 할 수 있다는 장점을 가진다. Fig. 1은 유역오염관리를 위한 정책 결정시 BASINS의 적용 흐름도이다.

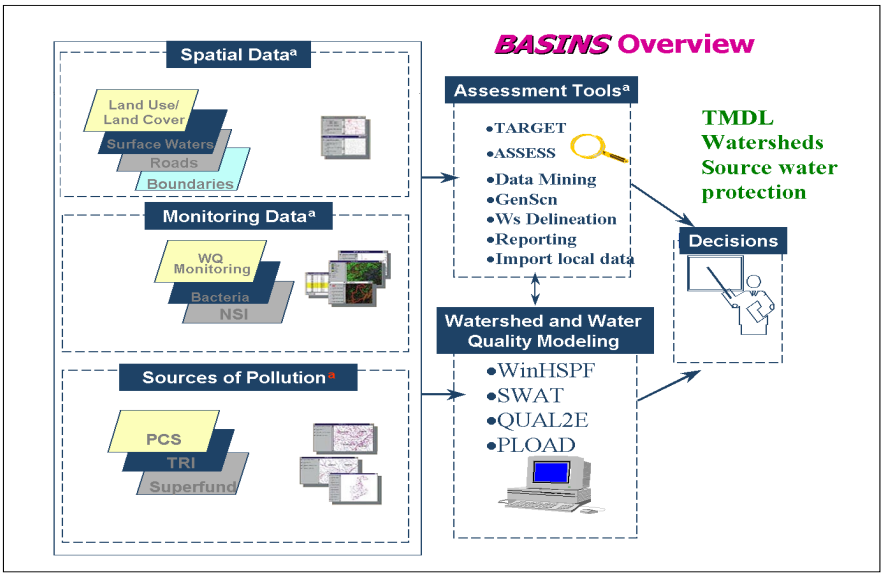


Fig. 1. BASINS Overview.

(3) BASINS의 구성요소

BASINS는 유역과 수질분석을 위한 6가지의 구성요소로 이루어져 있다(Fig. 2).

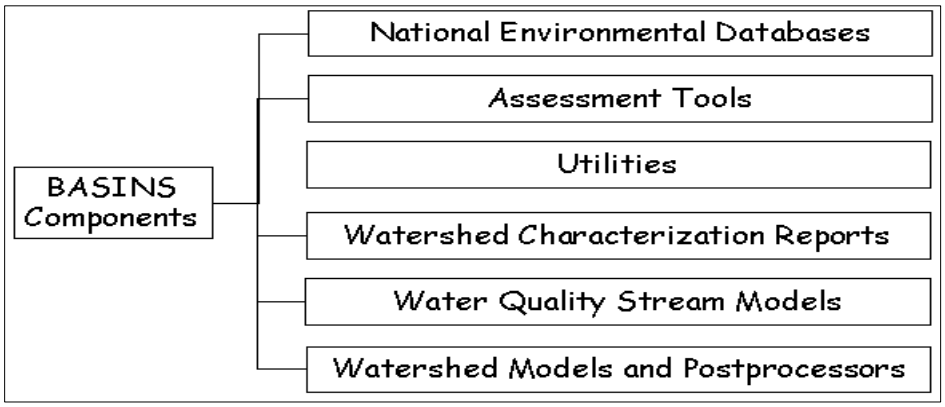


Fig. 2. BASINS Components.

가) National environmental databases

National Environmental Databases는 BASINS을 실행시키기 위해 필요한 정보들의 집합체이다. Base cartographic data는 유역이나 행정의 경계를 나타내는 자료이며, Environmental background data는 하천도, 토지이용도, 토양도 등이 포함된다(Fig. 3).

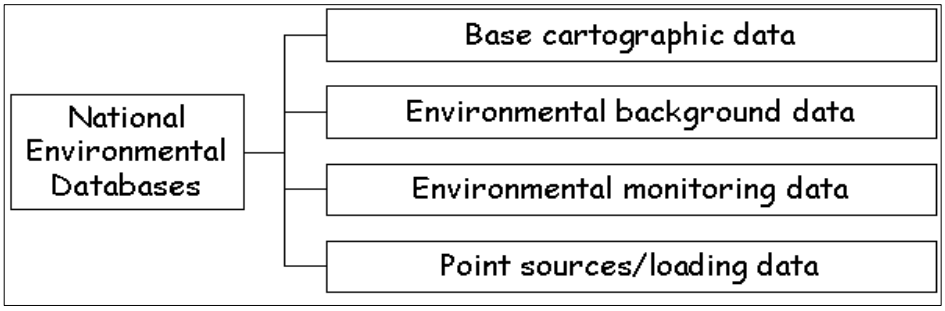


Fig. 3. Overview National Environmental Databases.

나) BASINS Assessment tools

BASINS에서는 3개의 지리정보적인 분석 툴(BASINS Assessment tool)을 이용하여 지역간 혹은 지점간의 유역분석 기능을 갖고 있고 BASINS Assessment tool의 구성요소는 Fig. 4와 같다.

Target은 유역간의 오염평가 기능이고, Assess는 하나의 유역 내에서 혹은 선택된 유역내에서의 지점들 간의 오염평가 기능이며, Data Mining에서는 하나의 지점 혹은 선택된 지점에 대한 환경적인 모든 database를 제공해 준다.

① Target

Target은 유역의 수질모니터링 자료 혹은 점오염부하량 자료를 기초로 하여 유역간의 광범위한 평가를 실시할 수 있도록 해준다. 이 Tool은 모든 유역 혹은 하나 이상의 유역을 평가하는데 적합하며, 선택된 유역내에 존재하는 지점과 관련된 방대한 자료를 통합하고 유역을 기본으로 한 그 결과를 요약하도록 개발되었다. 수질모니터링 자료나 점오염원자료를 요약하고 사용자가 선택한 수질항목에 대하여 가장 오염정도가 심한 순서로 순위를 부여하여 대유역의 수질에 문제가 발생하였을 경우 주요 관리유역을 손쉽게 파악하는데 도움을 준다.

② Assess

Assess는 Target과 동일한 자료를 이용하지만, 선택된 유역내에 포함된 지점들 간의 오염정도에 대한 순위를 설정함으로써 주요관리 유역내의 오염을 유발시키는 지점을 파악할 수 있게 해준다. 이 분석은 수계의 수질상태와 잠재 오염부하량과의 상호관계를 파악하는데 매우 중요한 의미를 가진다.

③ Data Mining

Data mining은 선택된 지점과 관련된 모든 환경자료를 map과 table을 이용하여 제공함으로써 raw data의 정보적인 가치를 부여한다.

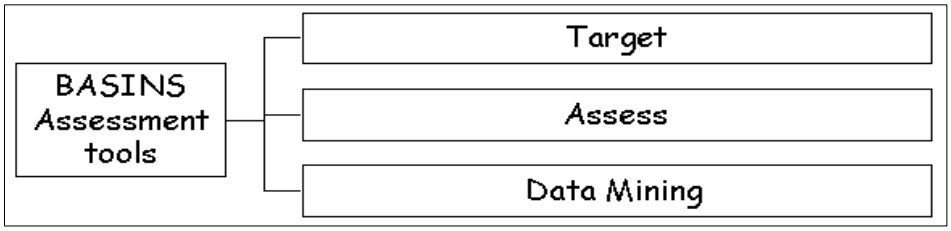


Fig. 4. Overview BASINS Assessment tools.

(4) BASINS Utilities

BASINS Utilities는 Fig. 5와 같이 6개의 구성요소로 이루어져 있다.

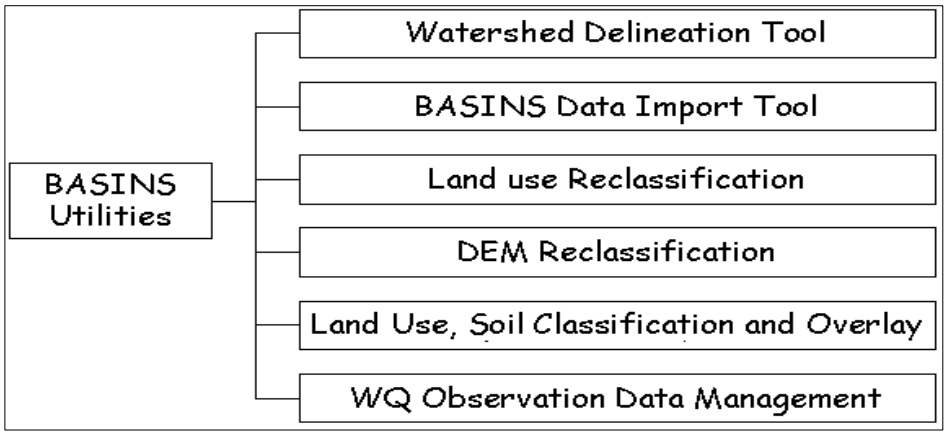


Fig 5. Overview BASINS Utilities.

가) Watershed Delineation Tool

유역모형을 적용하기 위해서는 소유역 분류가 반드시 이루어져야 할 뿐 아니라 소유역 및 소유역내의 하천에 대한 지형학적인 정보(유역 혹은 하천경사, 소유역 면적, 하천길이 등)를 필요로 한다. 이를 위해 제공된 툴이 Watershed Delineation Tool로써 BASINS을 이용한 유역모형적용에 있어 매우 중요한 툴 중의 하나이다. Watershed Delineation Tool에는 Manual Delineation Tool과 Automatic Delineation Tool, Predefined Delineation Tool로 구성되어 있다.

Manual Delineation Tool 세부 하천도나 다른 지형학적인 자료를 이용하여 사용자가 직접 소유역을 디지타이징 하는 방법이다.

Automatic Delineation Tool 수치고도모델(Digital Elevation Model; DEM)을 이용하여 자동적으로 소유역을 분류하는 방법이다. 사용자는 소유역의 개수 및 크기에 제한을 줄 수 있다.

Predefined Delineation Tool 이미 생성된 소유역도와 하천도 출구지점의 theme을 불러오는 Tool이다.

나) Land Use Reclassification

모형의 적용 및 분석에 필요한 토지이용 카테고리로 재분류하는 툴이다.

다) Land Use, Soil Classification and Overlay

유역모형의 적용을 위해서는 소유역에 대한 토지이용 혹은 토양 정보를 필요로 하며 Land Use, Soil Classification and Overlay를 이용하여 소유역에 토양도 및 토지이용도를 중첩시켜 유역모형에 필요한 정보를 추출해 내는 중요한 툴이다.

라) Water Quality Observation Data Management

Water Quality Observation Data Management를 이용하여 BASINS window상에서 수질측정지점을 추가, 수정 및 삭제할 수 있다.

마) Watershed Characterization Reports

BASINS Watershed Characterization Reports는 유역을 특징을 정하는 중요한 정보들을 요약하여 Table과 Map을 생성하며, 유역특성을 비교하는데 사용된다(Fig. 6).

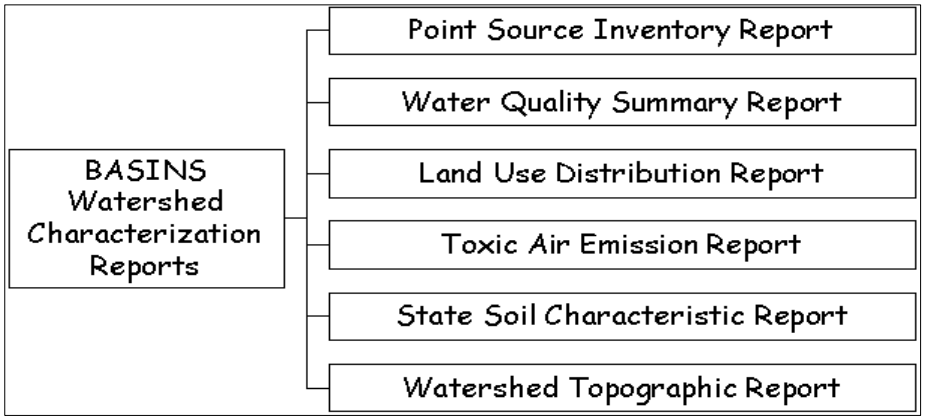


Fig 6. Overview BASINS Watershed Characterization Reports.

바) BASINS Models

BASINS에 포함된 수질모형에는 EPA의 Simple Method를 이용한 PLOAD, 하천수질모형인 QUAL2E, 유역모형인 WinHSPF와 SWAT 모형으로 구성되어 있으며, 모형의 실행 시 모형에 필요한 입력인자들이 자동적으로 입력되어진다.

① PLOAD (GIS Pollutant Loading)

우리나라의 원단위와 매우 흡사한 모형으로, 오염원별 단위면적당 연간 부하량을 기초로 하여 소유역별 부하량을 산정한다. 원단위는 미국의 지역별, 토지이용별 실측자료를 기초로 하여 database화 되어 있으며, QUAL2E (Enhanced Stream Water Quality Models)는 확산-분산의 물질이동 방정식(advection-dispersion mass transport equation)을 기초로 하는 1차원 정상상태 하천수질모형이다.

② SWAT (Soil and Water Assessment Tool)

토지관리기법이 다양한 토양과 토지이용, 관리상태에 따라 수계, 침전물, 농업의 화학물질이 미치는 영향을 예측하기위해 개발된 유역모형이며, WinHSPF는 비점오염원의 지표유출과 오염물질부하를 묘사하여 수량과 수질을 예측하는 유역모형이다.

6. WinHSPF 모형

(1) WinHSPF의 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 추가 되었으며, USGS(U.S. Geological Survey)의 WDM(Watershed Data Management) 시스템이 USGS와 USEPA에 의해 공동으로 개발되었다(USGS, 2000). 1990년대에는 HSPF 모형의 매개변수를 추정하는 전문가 프로그램인 HSPEXP(USGS, 1994), 입출력 관리 시스템인 WDMUtil(USEPA, 2001), 사용자 편의 시스템을 이용하여 모형을 손쉽게 구동하도록 개발된 HSPF의 호환 모형인 WinHSPF(USEPA, 2001)와 HSPF 모형의 결과를 시각적으로 보여 주기 위한 GenScn(USEPA, 2001) 모형 등이 개발되었다.

HSPF 모형은 WDM을 이용하여 입출력 자료의 전후처리 및 통계분석 그래픽 지원 등을 제공하고 있다. 계산 시간 간격은 1분부터 수백년까지의 기간에 대한 모의가 가능하며, 현재까지 수 ha 크기의 시험포장단위에서 160,000km^2의 Chesapeake만에 이르기까지 다양한 유역에 적용되었다(USGS, 2000)

또한, HSPF는 Time-Series를 기본으로 하여 자료를 직접적으로 접근하기 때문에 방대한 파일을 입력하고 수정하는데 편리하며, 모형이 상대적으로 단일화되었기 때문에 조작이 간단하고, 시스템은 Top-Down Programming 기술에 의해 개발되었기 때문에 모형을 수정하거나 새로운 모듈을 추가하는데 상대적으로 용이하다.

HSPF모형은 모형의 적용에 필요한 방대한 자료와 노력을 최소화 되도록 개발되어 왔으며, HSPF는 광범위한 수문·수질과정을 장기 모의가 가능하도록 일련의 구조화된 모듈로 구성되어 있다. 복잡한 모형일수록 자료관리에 많은 노력이 요구되나 HSPF는 자료를 직접적으로 접근할 수 있는 Time Series Management System에 가깝도록 개발되었다. 모의 모듈은 Time Series가 저장되어 있는 파일로부터 입력을 받으며 모의 결과를 다시 Time Series에 저장함으로써 자료 관리에 있어 시간과 노력을 최소화 할 수 있다.

또한, HSPF 모델은 유역내의 토지이용에 따른 특정 오염물질의 비점오염 부하를

계산하며, 강우에 따른 물의 흐름을 하천의 수질오염모의와 연결시키는데, 광범위한 유역조건에 적용이 가능하고, 모델을 효과적으로 사용할 수 있도록 HSPFEXP, ANNIE, WDMutil, METCMP, IOWDM 등과 같은 보조프로그램이 개발되어 있다.

그러나, 시간별 기온, 강수량, 증발량과 같은 엄청난 양의 자료를 필요로 하며, 비분산형 모델로써 소유역에 대해 평균적인 매개변수 값을 사용하며, 하천의 흐름을 한 방향(unidirectional flow)으로 가정하여 조석을 반영하지 못하는 수리학적 한계와 하천 바닥의 조류나 식물성 플랑크톤, 동물성 플랑크톤 등과 같은 조류에 관계된 수질 모의에 한계가 있다(Donigian, 2000).

(2) WinHSPF 구조

HSPF모형의 구조는 Fig. 7과 같으며, 주 모형 아래 Run Interpreter, Operations Supervisor, Run Interpreter, Operating Module, Time Series Management System과 같은 부 모형을 가지고 있다.

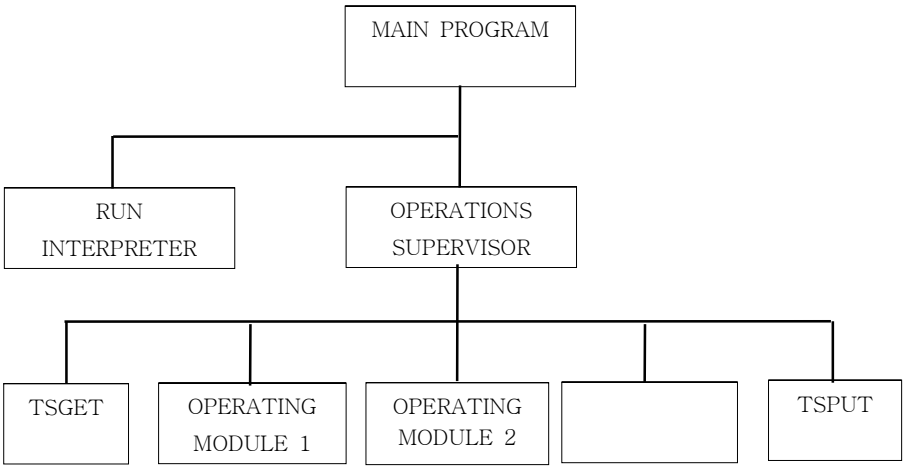


Fig. 7. Overview of HSPF structure.

Run Interpreter는 사용자가 작성한 입력파일(UCI; Users Control Input)을 읽고 해석할 수 있는 부프로그램들의 집합체이며, 일련의 작동과 관련된 시스템을 지시하는 내부정보를 만들어 지시파일을 생성해주며 초기상태와 각각의 작동에 필요한 인자를 적절한 파일의 형태로 저장해주는 역할을 한다.

Operations Supervisor는 Run Interpreter가 작성한 내부 정보에 따라 적절한 Application 혹은 Utility Module을 불러들여 실행하는 서브루틴이다. Operating

module은 application module 혹은 utility module을 말하며 실행을 위한 작동을 실행하는 모듈로서 매시간 하나의 모듈이 불러들여 internal scratch pad (INSPAN)에 따라 실행되어진다. Operations Supervisor에 의해 적절한 모듈이 불러진다. Time Series Management System는 이 부 모형에는 TSGET와 TSPUT로 구성되어 있다. TSGET(get time series)는 모형에 필요한 기상자료 등을 읽어 들이고 실행결과를 사용자가 지정한 시간 간격으로 TSPUT(put time series)에 입력되어진다.

Application 모듈에는 투수지형(pervious land)에서의 수문 및 수질을 모의하는 PERLND 모듈과 불투수지형(impervious land)의 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(Table 8).

Table 8. Overview of HSPF Application Modules

Application Module		
PERLND	IMPLND	RCHRES
Snow	Snow	Hydraulics
Water	Water	Conservative
Sediment	Solids	Temperature
Quality	Quality	Sediment
Pesticide		Nonconservative
Nitrogen		BOD/DO
Phosphorus		Nitrogen
Tracer		Phosphorus
		Carbon
		Plankton

가) PERLND Module

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(Fig. 8).

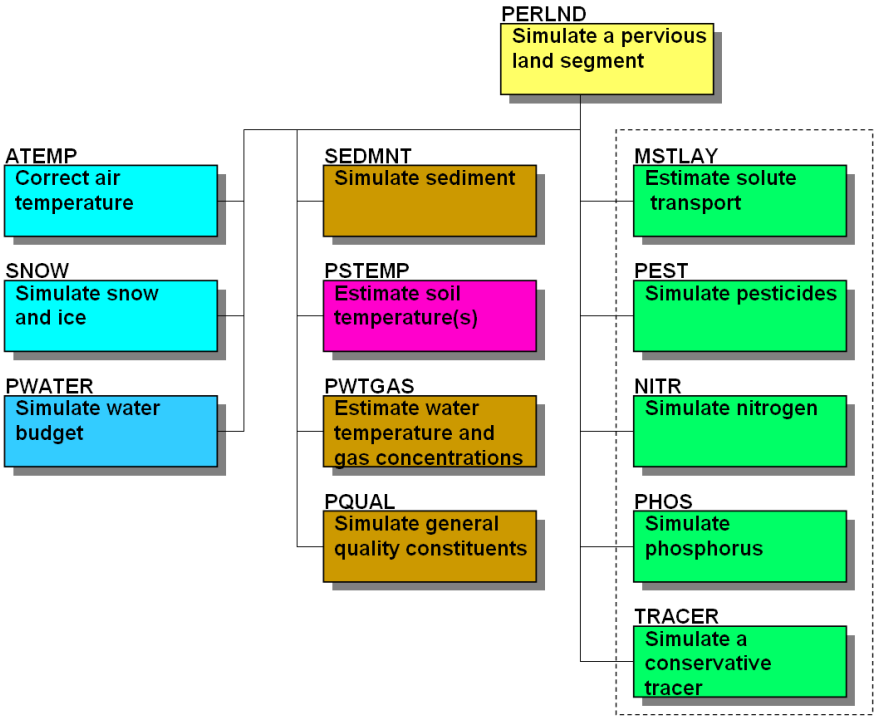


Fig. 8. Structure chart for PERLND module.

나) IMPLND Module(Impervious Land Segment)

불투수층에서의 침투는 매우 작거나 일어나지 않는다. 불투수층에서의 물질순환과정은 Fig. 9와 같다. 융설은 축적되고 융해되며 물은 저장되거나 증발된다. 오염물질들은 지표면에 축적되고 제거된다. 물과 부유물질, 다양한 오염물질은 유역에서 발생하여 아래의 유역이나 하천 혹은 저수지로 유입된다.

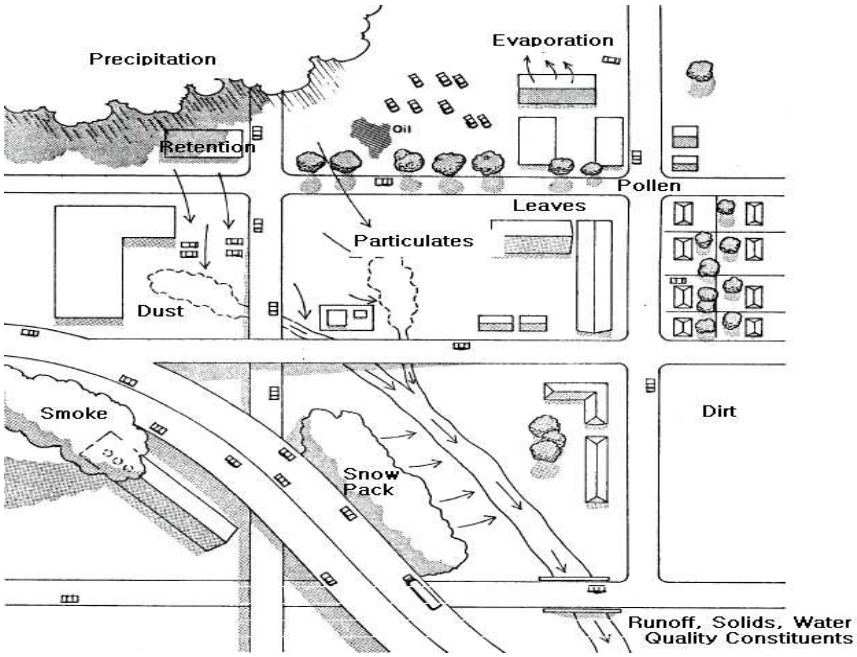


Fig. 9. Impervious land segment processes.

HSPF의 IMPLND모듈의 개요도는 Fig. 10과 같으며 왼쪽에서 오른쪽으로 실행된다. 대부분의 모듈들은 PERLND의 모듈과 유사하며, SNOW와 ATEMP모듈은 투수층과 불투수층 모두 사용된다. IWATER는 PERLND모듈의 PWATER와 상응하며, SOLID는 SEDMNT, IWTGAS는 PWTGAS, IQUAL은 PQUAL과 상응한다. IMPLND는 침투와 그로 인한 지표아래의 유출을 포함하지 않기 때문에 PERLND보다는 간단하다.

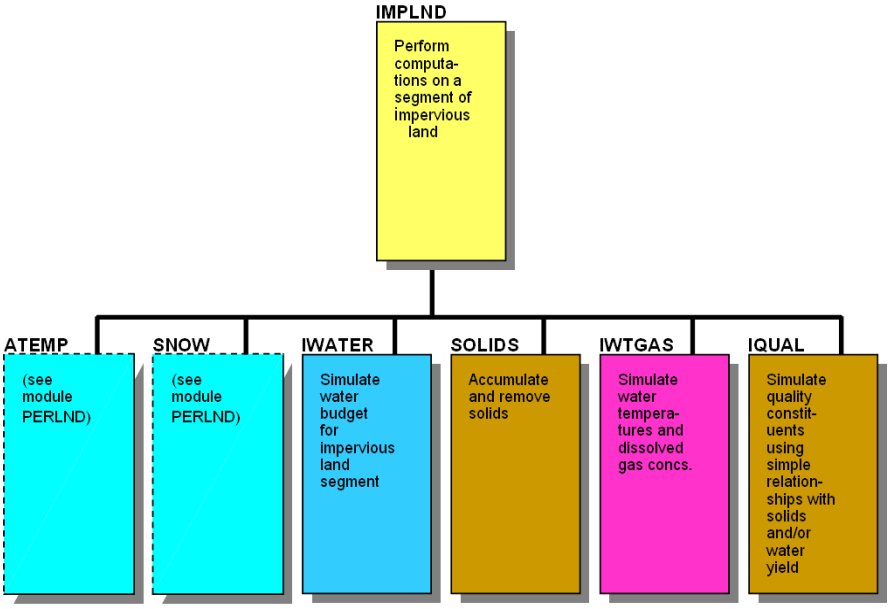


Fig. 10. Structure chat for IMPLND module.

다) RCHRES

RCHRES는 수로나 완전혼합으로 가정할 수 있는 호소에서 일어나는 과정을 모의한다. RCHRES에서의 물의 흐름은 단일방향의 흐름으로 가정하고 RCHRES를 통한 물질의 유출입은 Fig. 12와 같다. 오염원이나 상류 RCHRES에서의 물과 오염물질들은 하류 RCHRES의 하나의 유입구(INFLO)로 유입되며 RCHRES에서의 유출은 여러개의 유출구(OFLO) 중 하나의 유출구를 통해 유출된다.

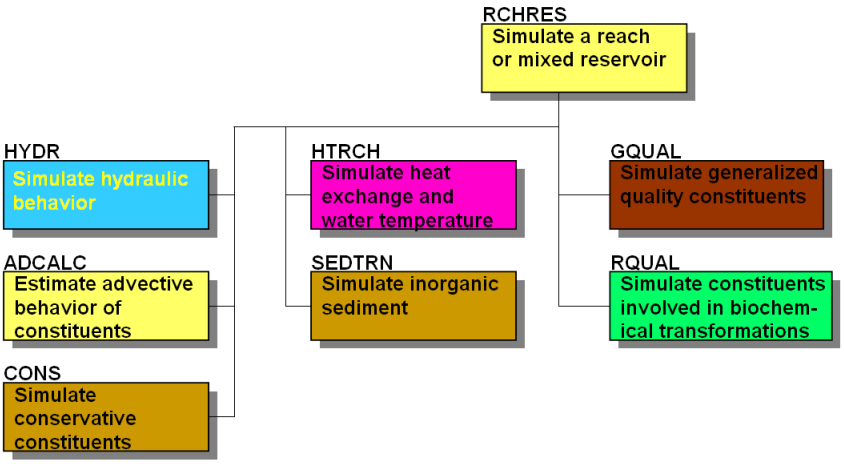


Fig. 11. Structure chart for RCHRES module.

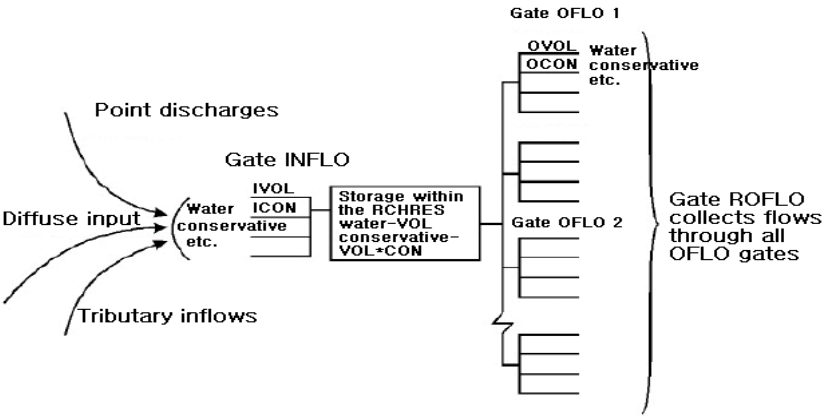


Fig. 12. Flow of materials through a RCHRES.

라) COPY Module

TSS (Time Series Store)나 WDM(Watershed Data Management)에 들어 있는 자료를 다른 파일로 복사한다. 사용자가 COPY를 작동하면서 time series의 time step을 변경 할 수 있다.

마) PLTGEN Module

계속되는 자료를 plotter 상에 표시하거나 다른 소프트웨어에 입력하기 위해 ASCII 파일로 변환한다.

바) DISPLY Module

생성된 자료를 도표로 나타낸다.

사) DURANL Module

통계학적 계산을 위해 분석의 빈도, 기간, 편위 분석을 수행하고, 독성 등을 분석한다.

아) GENER Module

새로운 자료나 다른 시계열 자료를 생성하기 위하여 1개 또는 2개의 시계열 자료로 변환한다.

자) MUTSSIN Module

PLTGEN File이나 EXT-TARGETS Block 의 WDM file 또는 Network Black으로부터 시계열 자료들을 복사해 온다.

Ⅲ. 연구내용 및 방법

1. 연구대상지역

(1) 일반현황

본 연구의 대상지역인 남강의 유역면적은 1,751㎢로서 낙동강 전체 유역면적 23,326㎢의 13.3%에 해당된다. 남강은 낙동강 하류서부권역의 제1지류로서 낙동강 수질 및 유지용수에 중요한 하천이며, 경상남도 함양군 서상면에 소재한 남덕유산(해발 1,507m)에서 발원하여 남쪽으로 유하하면서 함양군의 위천, 산청군의 임천강 및 양천강, 그리고 남강댐에서 지리산에서 유하한 덕천강과 합류된다.(Fig. 13).

남강은 남강댐에 유입된 후 진주시 상평동 지점에서 유로를 동북쪽으로 바꾸어 유하하면서 영천강, 반성천, 석교천, 의령천, 함안천 등과 차례로 합류하여 의령군 지정면 성산리 지점에서 낙동강 본류와 합류한다.

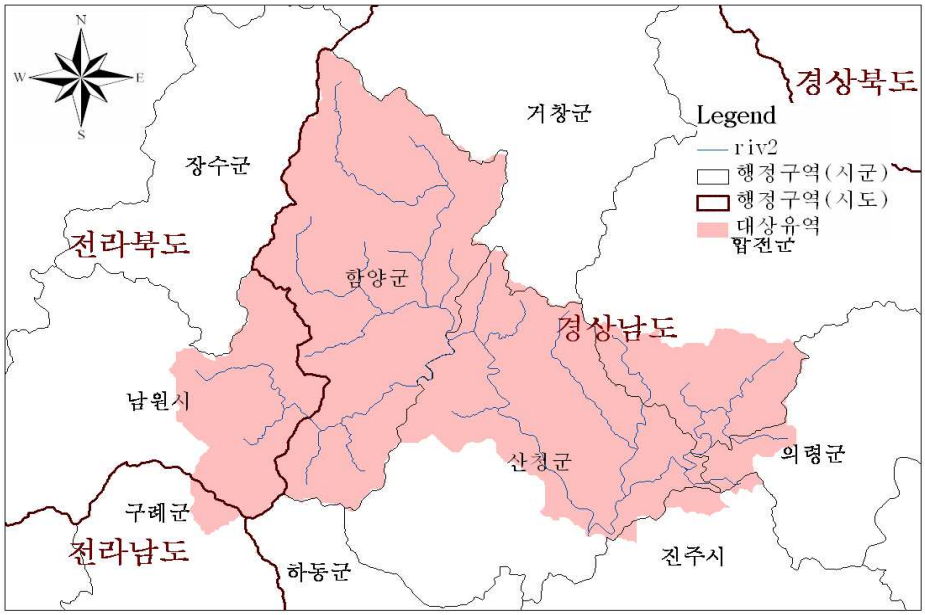


Fig. 13. Location of study area.

Table 9. City population and area in study

시·도	시·군·구	포함 동리수(개)	인구(인)	Area(㎢)
경상북도	거창군, 산청군 의령군, 진주시 함양군, 합천군	547	80,960	1,482.9
전라북도	남원시	82	12,712	240.1
전라남도	구례군	1	359	28.0
계	8	630	94,301	1,751

남강유역은 남강댐을 경계로 남강 상류유역과 하류유역으로 구분된다. 남강상류유역은 유역면적이 2,285㎢, 유로연장은 108㎞로서 남강유역의 66%를 점유하고 덕유산과 지리산 등 표고 200m 이상의 산지부가 거의 70%에 이르러 하천경사가 급하고 침식이 많다. 연평균강수량은 1,417㎜로서 전국 연평균강수량(1,274㎜)보다 많고(111%), 낙동강유역 연평균강수량(1,167㎜)보다 많은(121%) 다우지역에 속한다.

남강하류는 남강댐에서 진주시를 관통하여 함안군과 의령군을 경계로 낙동강 유입부로서 유역면적은1,181㎢, 유로연장은 104.5㎞이다. 남강 유역면적의 34%를 점유하며 진주시 등 오염원에 의해 수질이 악화되고 있다(진주시, 2004).

(2)토지이용현황

조사대상유역의 토지면적은 약 1,766㎢이며, 이중 산림지역이 1,303㎢로 전체면적의 약 74%이다. 농림지역은 362㎢로서 점유율은 약 21%이고, 시가화 건조지역 42㎢, 초지 19㎢, 나지 15㎢, 습지 10㎢ 등이다.

2. BASINS 구축

U.S.EPA에서 제공하는 BASINS 프로그램의 기본적인 구동을 위해서는 행정경계 자료 및 하천도, DEM, 토지이용도, 토양도 등의 환경기초 자료와 수질모니터링 지점 및 측정자료 등의 환경모니터링 자료 그리고 환경기초시설 자료 등이 필요하다 (Table 10). 이러한 기초자료는 프로그램 내에 포함되어 있거나 인터넷을 통하여 제공된다. BASINS 프로그램에 포함된 자료는 미국자료이므로, 본 연구에서는 우리나라 자료를 입력하여 연구유역의 자료를 생성하였으며 그 결과를 Table 11에 나타내었다.

Table 10. BASINS database

Base cartographic data	·EPA Regions ·State and county boundary ·Hydrologic unit boundary
Environmental background data	·Ecoregions ·Reach File 1 ·DEM ·Land use-land cover ·State Soil and Geographic database ·NHD
Environmental monitoring data	·Water quality monitoring station and data summaries ·Bacteria monitoring stations and data summaries ·Water quality stations and observation data ·National Sediment Inventory stations and databases ·USGS gage station ·Weather stations sites
Point source / loading data	·Permit Compliance System(PCS) ·Toxic Release Inventory

Table 11. Modified BASINS database for this study

Base cartographic data	·Unit map ·Mid map ·Great map ·City & Provinces map	National Institute of Environmental Research
Environmental background data	·Reach map ·DEM ·Landuse	National Institute of Environmental Research
Environmental monitoring data	·Water quality station ·Weather observed station ·Water-level observed station	National Institute of Environmental Research
Point source / loading data	·Point pollutant loads	National Institute of Environmental Research

(1) 수치고도모델(Digital Elevation Model; DEM)

수치고도모델(DEM)은 대상지역을 격자로 나누고, 각 격자의 평균 고도값과 각 격자간의 위상(Topology)관계가 포함되어 있으며, 대상지역의 지형을 나타낸 수치자료이다. 또 수치고도모델에는 대상유역의 하천 흐름도와 유역 기울기 등이 나타나 있다.

본 연구에 사용한 수치고도모델은 환경부에서 제공한 경위도 30m 크기의 격자에 대한 평균지반 고도값이 ASCII 형태로 저장되어 있는 정수자료이며, 연구대상유역의 DEM은 Fig. 14.와 같다.

BASINS에서 수치고도모델은 Automatic Delination Utility를 이용한 소유역 분할 시 이용되며 유역모델 적용 시 매우 중요한 자료이다. 수치고도모델을 이용하여 새롭게 생성된 유역도의 면적 및 유역 평균 경사, 유역 폭, 유역 길이, 하천길이, 하천평균경사 하천 폭 등과 같이 지형학적인 인자를 구축할 수 있다.

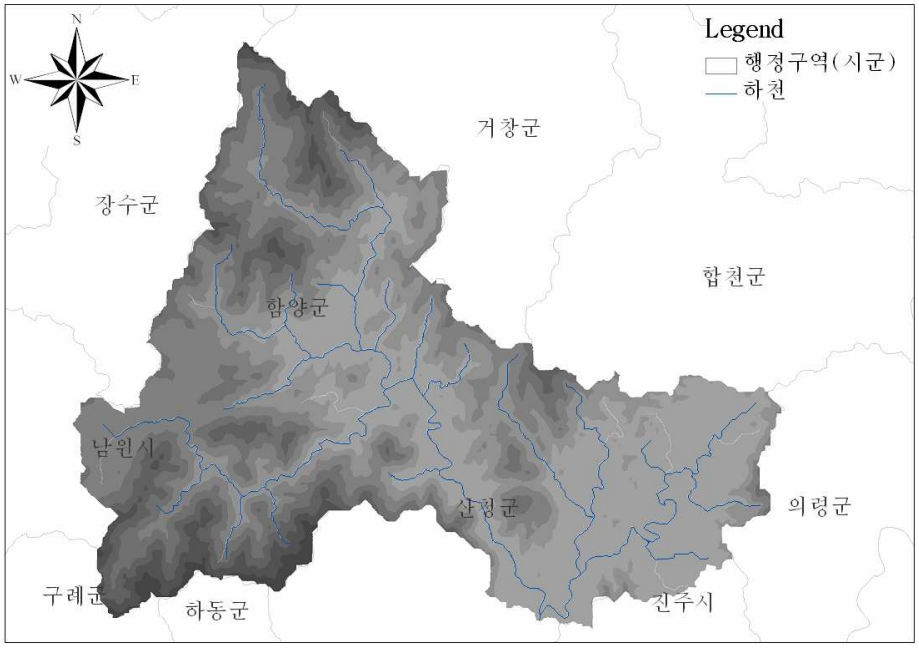


Fig. 14. Digital Elevation Model.

(2) 토지이용도

BASINS에서의 토지이용도는 Landuse and Soil Definition Utility를 이용하여 토지이용도를 중첩시킴으로써 분할된 소유역에 대한 각각의 토지이용정보를 추출해 내는데 사용된다. 자료의 형태는 ArcView의 shapefile형태나 grid형태 모두 이용할 수 있다. 본 연구에 사용된 2000년 환경부 토지이용도 남강유역의 토지 이용도이다. 하천, 행정구역, 수역, 나지, 습지, 초지, 농업지역, 산림지역의 분포를 알수 있으며 전체 1,766㎢중 대부분이 산림지역이 1,303㎢로(74%), 농림지역이 362㎢(21%), 시가화건조지역 42㎢(2%), 초지, 수역, 나지, 습지 순으로 산림지역이 가장 많은 부분을 차지하고 있다.

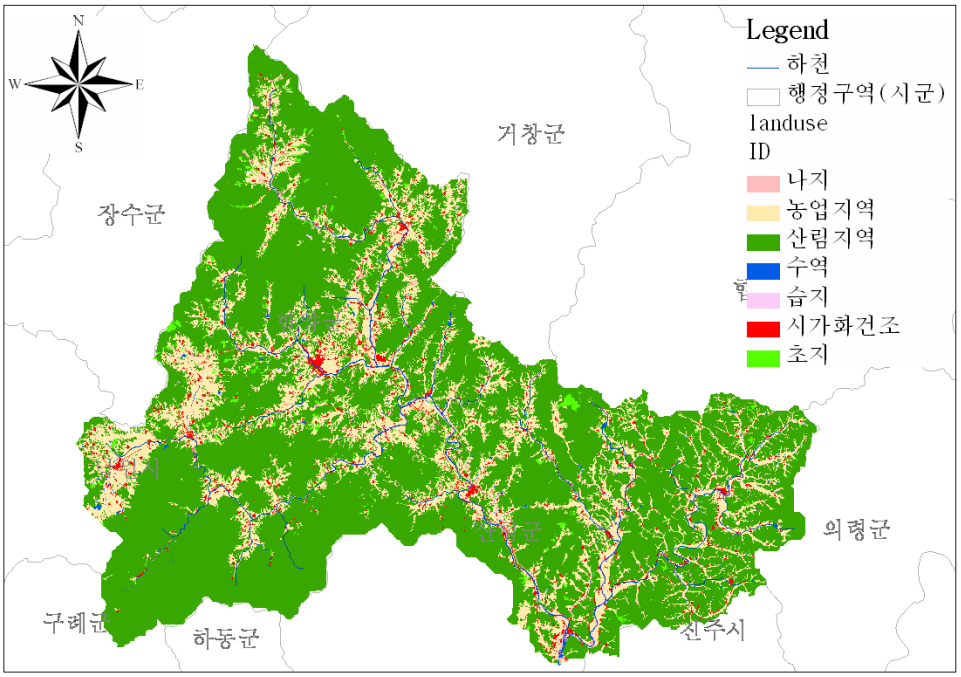


Fig. 15. Land use map of Nam river Basin for BASINS.

(3) 유역도

BASINS의 Watershed Delineation Utility에는 Automatic과 Manual Delineation 그리고 Predefined Data가 있다. Automatic 방법은 DEM의 Grid cell을 기반으로 하여 유역에서 물의 흐름을 통하여 유역경계를 자동으로 생성하며, Manual Delineation은 사용자가 직접유역을 그리는 방법으로 정확성을 위하여 기초자료가 요구되며, 분할된 유역을 다른 곳에서 적용할 수 있는 'Import Predefined Data' extension이 있다.

본 연구에서는 DEM 및 하천도(rf1)을 기반으로 Automatic Delineation Utility를 이용하였다. Threshold Area를 200ha로 하여 오염총량관리단위유역 말단을 중심으로 40개의 소유역을 생성하였으며, 최상류 지역은 3번 유역, 유역 최하류는 32번 유역으로 나타났다. 그 결과는 Fig. 16와 같다.

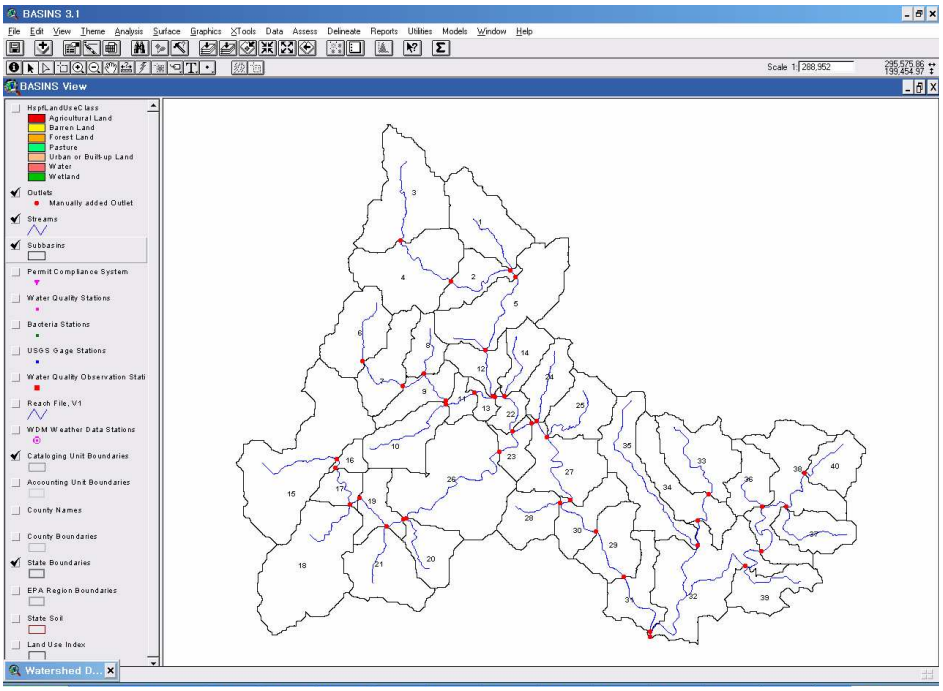


Fig. 16. Basin boundary.

(4) BASINS 구축 결과

BASINS를 실행시키기 위해서 기존에 구축된 각종 GIS 정보를 연결시켜주는 ArcView Project File (.apr)을 생성시킴으로써 BASINS를 구축하였으며 그 결과는 Fig. 17과 같다.

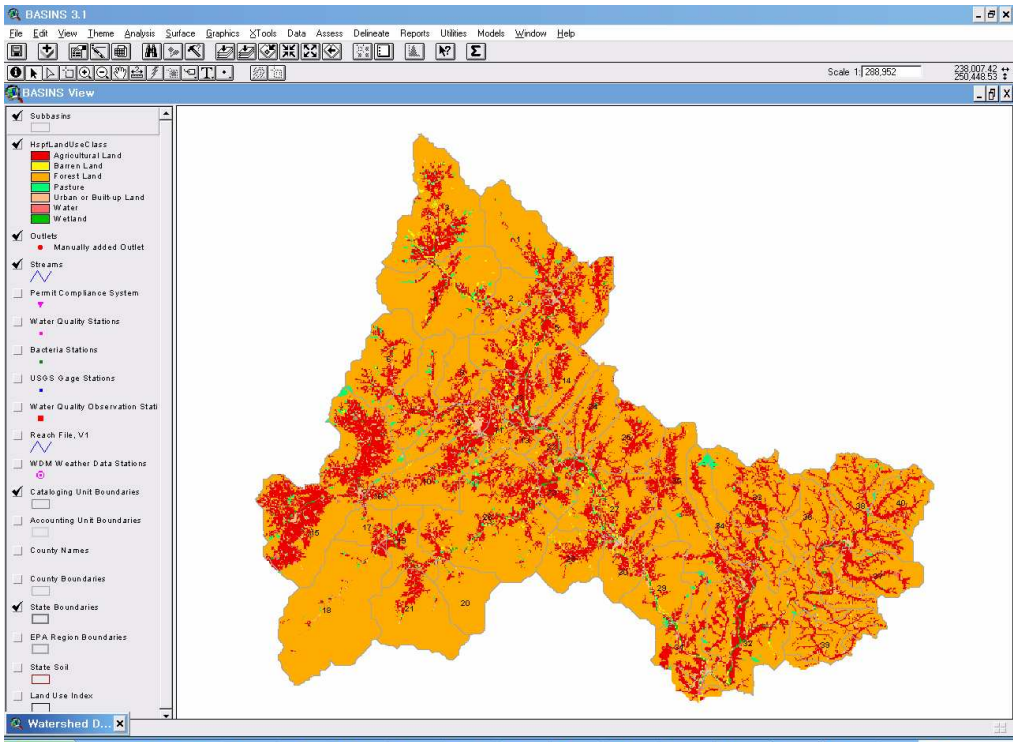
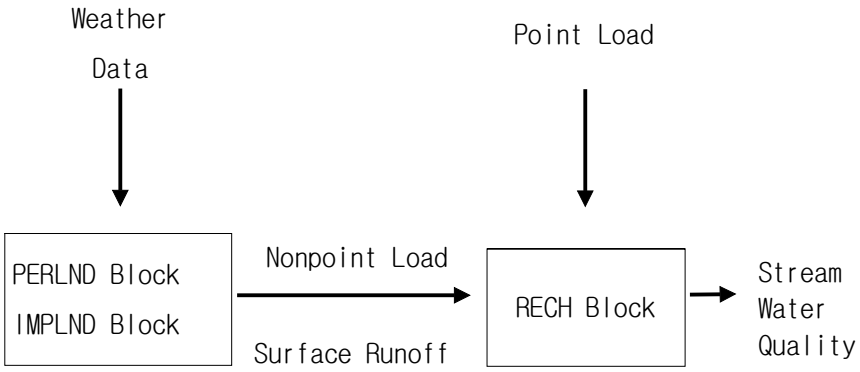


Fig. 17. Initial screen of BASINS.

3. WinHSPF 구축

(1) 모형의 적용방법

WinHSPF 모형을 이용한 유역에서의 오염부하량 및 하천에서의 수질예측 개요도는 Fig. 18과 같다. WinHSPF의 PERLND Block과 IMPLND Block은 기상자료를 입력받아 유역에서의 유출량 및 비점 오염부하량을 모의하며, 유역에서의 비점오염부하량과 하천으로 유입 되는 점오염부하량을 이용하여 RCH Block에서는 하천에서의 수질을 예측한다. 따라서 수질측정지점의 평상시 및 강우 시 실측자료를 대상으로 모형의 보정 및 검증을 거침으로써 하천에서의 수질반응 및 유역에서의 비점오염 유출과 관련된 인자를 결정한다.



* : Input data, ** : OuT-Put

Fig. 18. Outline of model prediction.

(2) 입력자료

WinHSPF 모형은 많은 양의 입력자료를 필요로 하는데, 각 유역의 면적, 경사, 하천 단면, 토지이용 등의 자료는 구축된 BASINS와 연계 구동하여 자동 구축하였으며, 시간단위의 기상자료 및 점오염원 자료, 취수자료 등 방대한 자료를 저장 관리할 수 있는 WDM Utility를 이용하여 구축한 후 모형과 연계 구동하였다.

WDM Utility는 BASINS와 HSPF모형의 적용을 위해 기상자료를 WMD(Watershed Data Management) 형식으로 저장하여 시계열 자료를 관리하고 처리한다. WDMUtil 프로그

램은 사용자 편의 시스템을 제공하여 사용자로 하여금 쉽게 BASINS와 HSPF모형의 입출력자료를 관리하도록 도와준다(USEPA, 2001).

본 연구에서 이용한 기상자료는 산청 관측소에서 관측한 강우량, 기온, 증발량, 전운량, 이슬점온도, 일사량, 풍속에 대하여 4년간(2003~2006)의 시간자료를 기상청으로부터 제공받아 이용하였으며, 40개의 유역에 적합한 기상자료를 선택하기 위해 ArcView GIS 3.3을 이용하여 Thiessen법으로 면적을 분할하였다.

WinHSPF 모의를 위해서는 일반적으로 13개 항목의 기상자료를 필요로 하는데, 이 중 7개 기상자료(강우량, 기온, 증발량, 전운량, 이슬점온도, 일사량, 풍속)는 기상관측소의 관측값을 사용하였고 나머지 기상자료는 WDM Utility를 이용하여 산정한 후 WDM파일 형태로 변환 구축하였다(Table 12). 또한, 대상유역내의 하수처리장 방류유량 및 수질 자료와 취수지점의 취수량 자료를 WDM파일 형태로 변환 구축하였다.

Table 12. Weather Data (WDM)

Parameter Name	Parameter Type	Unit	Method
PREC	precpitation : hourly	in/hr	obserbed
EVAP	evaporation : daily	in	obserbed
TMAX	air temperature : daily maximum	deg.F	obserbed
TMIN	air temperature : daily minimum	deg.F	obserbed
ATEM	air temperature : hourly	deg.F	disaggregated daily to hourly
DPT-P	dewpoint temperature :daily	deg.F	obserbed
DEWP	dewpoint temperature : hourly	deg.F	disaggregated daily to hourly
DCLO	cloud cover : daily	tenth	obserbed
CLOU	cloud cover : hourly	tenth	disaggregated daily to hourly
WIND	windspeed : hourly	mph	disaggregated daily to hourly
SOLR	solar radiation : hourly	ly/hr	disaggregated daily to hourly
DEVT	potential evaportranspiration : daily	in	computed
PEVT	potential evapotranspiration : hourly	in/hr	disaggregated daily to hourly

(3) WinHSPF 구축 결과

BASINS Models Tools를 이용하여 WinHSPF를 구축하여 기상자료, PCS, 취수자료를 저장하였고, 모의 결과자료를 저장할 수 있는 WDM파일과 연계시켰으며, 최상류 유역은 3번 유역이며 하류유역은 32번 유역으로 나타났다 (Fig. 19).

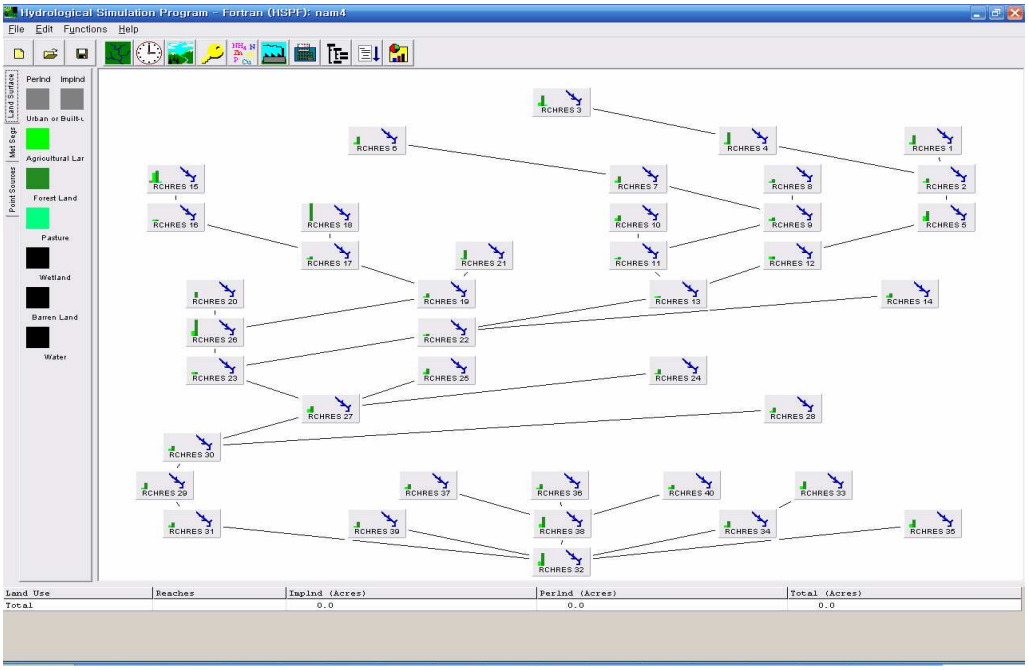


Fig. 19. WinHSPF Structure in Nam-river Basins.

Ⅳ. 연구결과

1. WinHSPF 의 유량 및 수질 검·보정

WinHSPF 모형의 수질보정지점은 수질총량관리 단위유역인 남강 A와 남강 B 지점 및 환경부 수질측정망 지점인 함양위천1, 2, 경호강 1, 2, 임천, 남강천 등 8개 지점을, 유량보정은 환경부 총량관리 유량측정 지점인 남강 A와 남강 B 지점 및 건교부 유량측정 지점인 안의, 함양, 마천, 임천, 산청 등 7지점에 대하여 실시하였다(Fig. 20).

수질 및 유량 검·보정기간은 2003년부터 2006년까지이며 연중 일별 자료를 중심으로 보정이 이루어졌고, 유출량, 수온, DO, BOD_5, T-N, T-P순으로 진행하였다. 또한, 시·공간적 변화에 따른 유량 및 수질 모의를 위해서는 해당 연도별 토지이용자료를 사용하여야 하지만, 본 연구에서는 보정 기간 동안 토지이용 변화는 없는 것으로 가정하여 보정하였다.

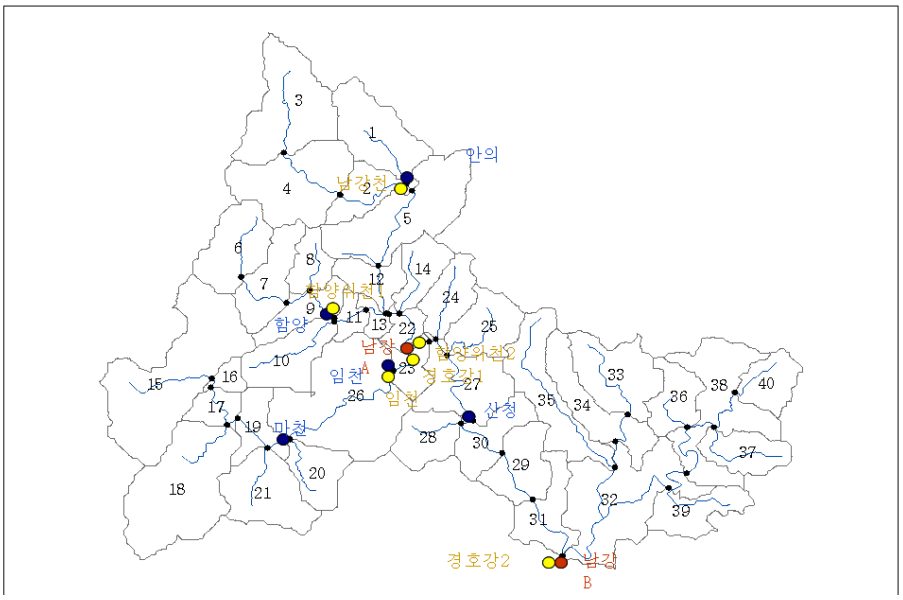


Fig. 20. Calibration point of WinHSPF in study area.

(1) 유량 모의 결과

매개변수의 민감도를 분석한 결과, 유량 보정에 비교적 큰 영향을 주는 인자는 LZSN, INFILT, AGWRC, UZSN, INTFW, IRC 등으로 나타났다.

유량의 보정은 총 유출량과 첨두유량에 변위가 큰 변수부터 수정해 나갔으며, 각 변수의 초기값과 보정 후의 최종 값은 Table 13에 제시하였다.

Table 13. Parameter values for hydrologic simulation

Para-meters	Description	Final Value	Kim (2003)	Im (2003)	Chew et al. (1991)	Laroche et al. (1996)	Enge-lmann et al. (2002)
LZSN	Lower zone nominal storage (in)	4.0-5.7	4.0	4.3-5.8	5	14.2	5
INFILT	Soil infiltration capacity index (in/hr)	0.035-0.07	0.08	0.047-0.075	0.05-0.17	0.23	0.04
AGWRC	Groundwater recession coefficient (day^{-1})	0.65-0.90	0.98	0.88-0.91	0.98	0.99	0.99
UZSN	Upper zone nominal storage (in)	0.4-1.4	0.15	0.35-1.0	0.01-0.06	0.76	0.7
DEEPFR	Fraction of groundwater inflow to deep recharge	0.03-0.32	0	0.05-0.45	-	-	0.18
LZET-P	Lower zone ET parameter	0.3-0.8	0.2-0.4	0.2-0.7	0.2-0.6	0-0.8	0.42
INTFW	Interflow inflow parameter	0.8-1.4	1.28	1.0-1.7	0.75-1	9.83	0.5
IRC	Interflow recession parameter (day^{-1})	0.4-0.7	0.5	0.3-0.5	0.6-0.8	0	0.5

Fig. 21에서 보는 바와 같이 유량은 전체적으로 실측값의 연간변화가 강우의 연간변화를 잘 반영하는 것으로 나타났다.

총량유량 측정지점의 보정결과를 보면 남강A의 경우 R^2는 0.83, RMSE는 34.260 CMS 그리고 EF는 77.4를, 남강B의 경우 R^2는 0.78, RMSE는 23.001 CMS 그리고 EF는 68.4 를 나타냈다(Table. 14). 모형의 적용성을 알아보기 위한 방법으로 그래픽을 이용한 비교와 통계학적 여러 기법이 있는데(Donigian, 2001). 이 중 통계학적 방법의 결정계수(R^2)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 나타내지는 못한다.

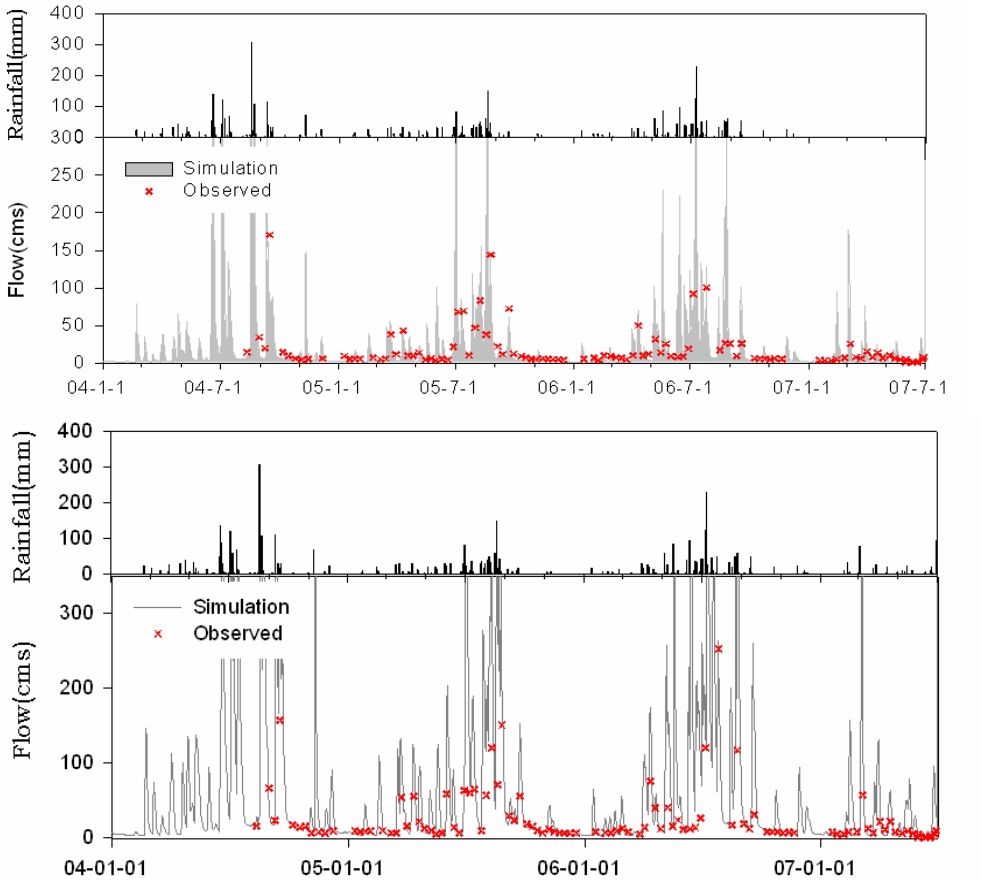


Fig. 21. Daily rainfall and observed and simulated daily mean runoff for calibration period at Nam river A(up) Nam river B(down).

Table. 14. Model performances in the stations of Nam river monitoring data (runoff)

Station	Obseved Number	Coef. of Determination (R^2)	Root mean square error (RMSE,CMS)	Model fit efficiency (% EF)
남강A	111	0.83(Good)	34.260	77.4
남강B	104	0.78(Good)	23.001	68.4

V.G. : Very Good, G. : Good, F : Fair, P : Poor

따라서 오차의 정도를 나타내기 위해 Root Mean Square Error (RMSE) Model Fit Efficiency (EF) 등을 사용하였다. 모형의 효율을 평가하기 위해서 사용한 효율지수는 다음 식과 같이 계산한다(Nash and Sutcdliffe, 1970) :

$$RMSE = \left(\sum_{i=1}^{n} \frac{Pi - Oi}{n} \right)^{1/2} \times 100 \quad \text{---------- 식 4-1}$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} (Oi - Pi)^2}{\sum_{i=1}^{n} Oi - \overline{P}} \times 100 \quad \text{---------- 식 4-2}$$

여기서

Pi : 예측치, Oi :실측값, : $\overline{P_i}$ 실측치 평균, n : 측정횟수

모든 예측치와 실측치 자료가 같은 경우, 통계치는 RMSE=0.0 and EF=100%를 나타낼 것이다. 모의값에 실측값의 점들이 얼마나 잘 맞는가를 나타내는 EF는 1:1에 가깝다.

모형의 보·검증은 모형의 수행 기준으로 과거 20년 넘게 중요한 논제로 남아 있다(Thomann, 1980; Thomann,1982; Donigian, 1982; ASTM,1984;). 최근 TMDL의 결정, 환경성 평가, 유해성 평가 등의 관심으로 모형의 사용에 대한 보장(Assurance)은 더욱 활발히 논의되고 있다(Donigian, 2001). 아직까지 모형의 수행기준에 대한 연구가 미흡하지만, Donigian(2000)은 과거 10년 넘게 HSPF 모형의 연구와 논의를 바탕으로 모형의 보·검증 결과에 대한 신뢰 구간을 제시하였으며 R^2 값이 0.6

이하는 Poor, 0.6~0.7은 Fair, 0.7~0.8은 Good, 0.8이상은 Very Good으로 제시할 수 있으며, %Difference 는 Very good 15이하 Fair는 25~35를 제시하였다.

Table 15. General Calibration/Validation Target or Tolerances Applications

Daily Flows Criteria Between Simulation and Record Values

	Poor	Fair	Good	Very Good
R^{2*}	< 0.6	0.6 - 0.7	0.7 - 0.8	> 0.8

Water Quality/Nutrients Criteria Between Simulation and Record Values

	Fair	Good	Very Good
% Difference*	< 15	15 - 25	25 - 35

* R^2; Nash and Sutcliffe, 1970), % Difference(ASCE, 1993)

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{P}_i)^2} \quad \%Diff. = \frac{\sum_{i=1}^{n} O_i - \sum_{i=1}^{n} P_i}{\sum_{i=1}^{n} O_i} \times 100$$ -------- 식 4-3

여기서 ,

Pi : 예측치, *Oi* :실측값, $\overline{P_i}$: 실측치 평균, n : 측정횟수

본 연구의 유출량 모의 결과 위의 통계학적 기법으로 모형의 적용성을 평가하면 남강A와 남강B유역은 신뢰성(Assurance)이 높은 구간에 해당된다.

(2) 수질 모의 결과

WinHSPF의 수질 보정은 BOD, NITRO, PHOS에 대하여 변위가 큰 변수부터 수정하였다. 수질의 실측치와 예측치의 유사한 정도는 앞에서와 같이 상관계수의 값을 구함으로써 확인할 수 있다.

HSPF 모델의 BOD값은 BODOX, KBOD20, TCBOD, TW, BOD 등의 매개변수를 보정하였다. T-N 값은 유기질소, 암모니아성질소 및 질산성질소의 예측값을 합한 것이며, KTAM20, TCNIT, TAM, KNO320 등의 매개변수를 보정하였다.

T-P값은 유기인과 무기 인산염의 예측값을 더한 값이며, ALR20, ORP, PHYTO 등의 매개변수를 보정하였다.

8개 지점의 수질 모의 결과는 Fig. 22부터 Fig. 29와 같으며 모의치 및 실측치를 "% Difference"로 분석한 결과 DO 는 4.3~17.3% 로 오차허용범위는 Very Good~Good으로 평가 되었으며, BOD 는 1.2~2.9%로 Very Good~Fair 이었다(Table 16). 그리고 T-N은 일부지점에서 실측치와 모의치가 상관성이 낮은 것으로 나타났으나, 그 외 지점은 8.3~31.1%로 Very Good~Fair 이였으며, T-P는 1.2~26.0%로 Very Good~Fair 로 나타났다. 일부지점의 T-N을 제외하면 대부분의 보정 결과는 유역모형을 사용하여 수체의 수질을 모의하기에 적합한 것으로 나타났다.

질소성분의 경우는 질산화, 탈질화 및 대기의 질소고정 등 반응 기작이 다양하기 때문에 하천 내에서 질소의 태별 변화에 적절한 매개변수를 찾지 못한 것으로 판단되며, 보다 정밀한 보정 및 검증이 필요할 것으로 사료된다.

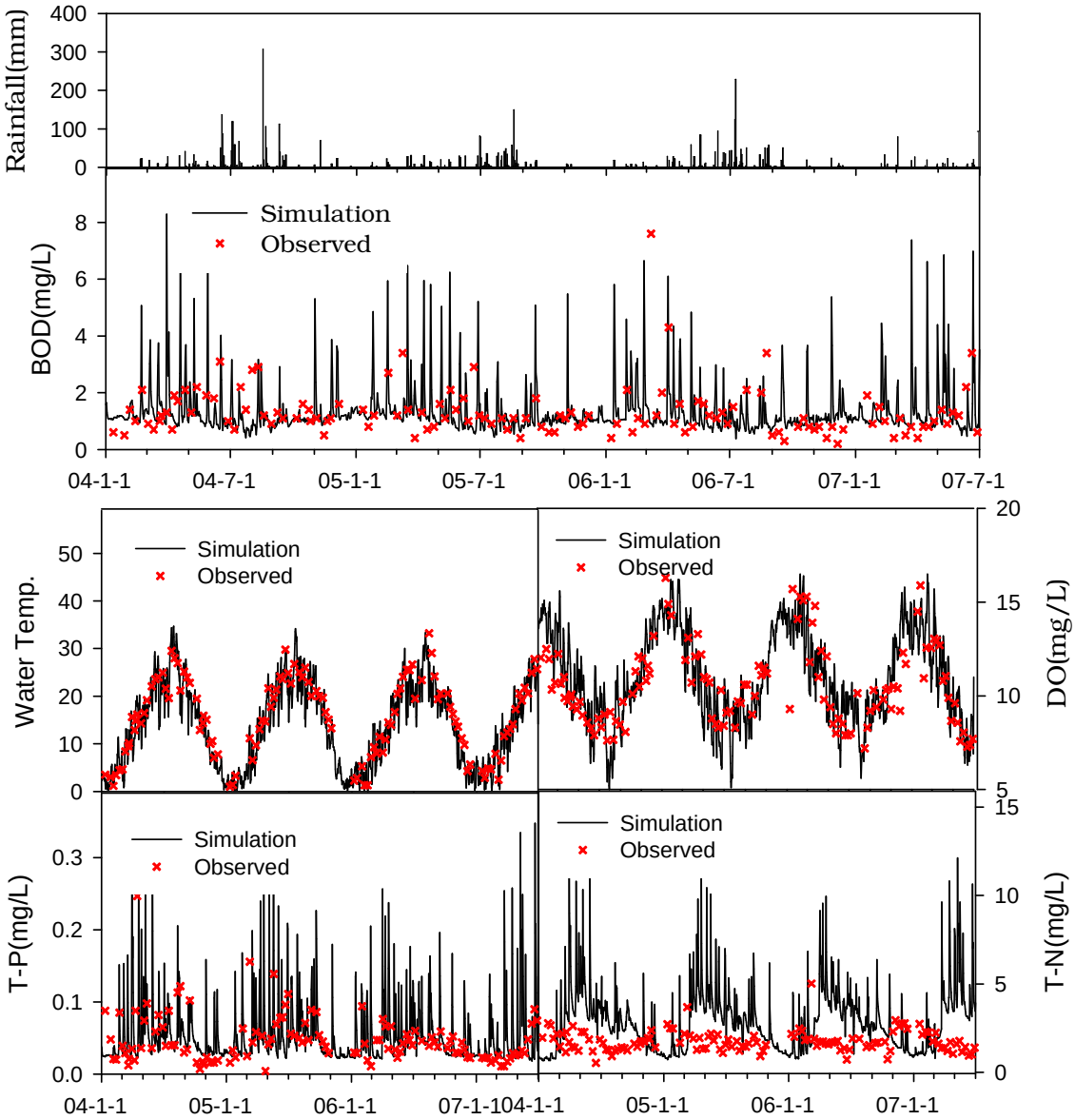


Fig. 22. Calibration and verification of daily water qualities from 2004 to 2007 Nam River A

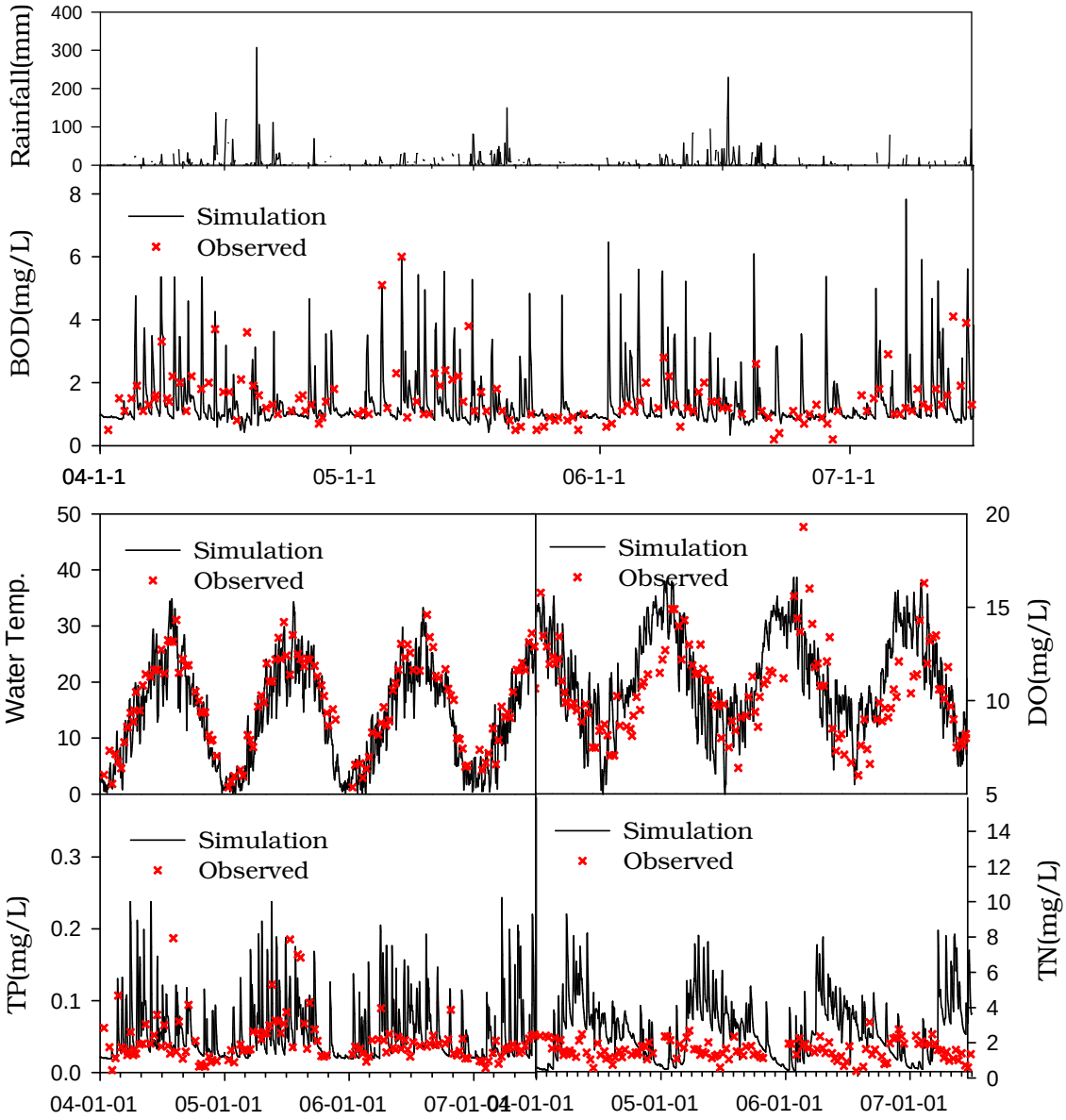


Fig. 23. Calibration and verification of daily water qualities from 2004 to 2007 Nam River B.

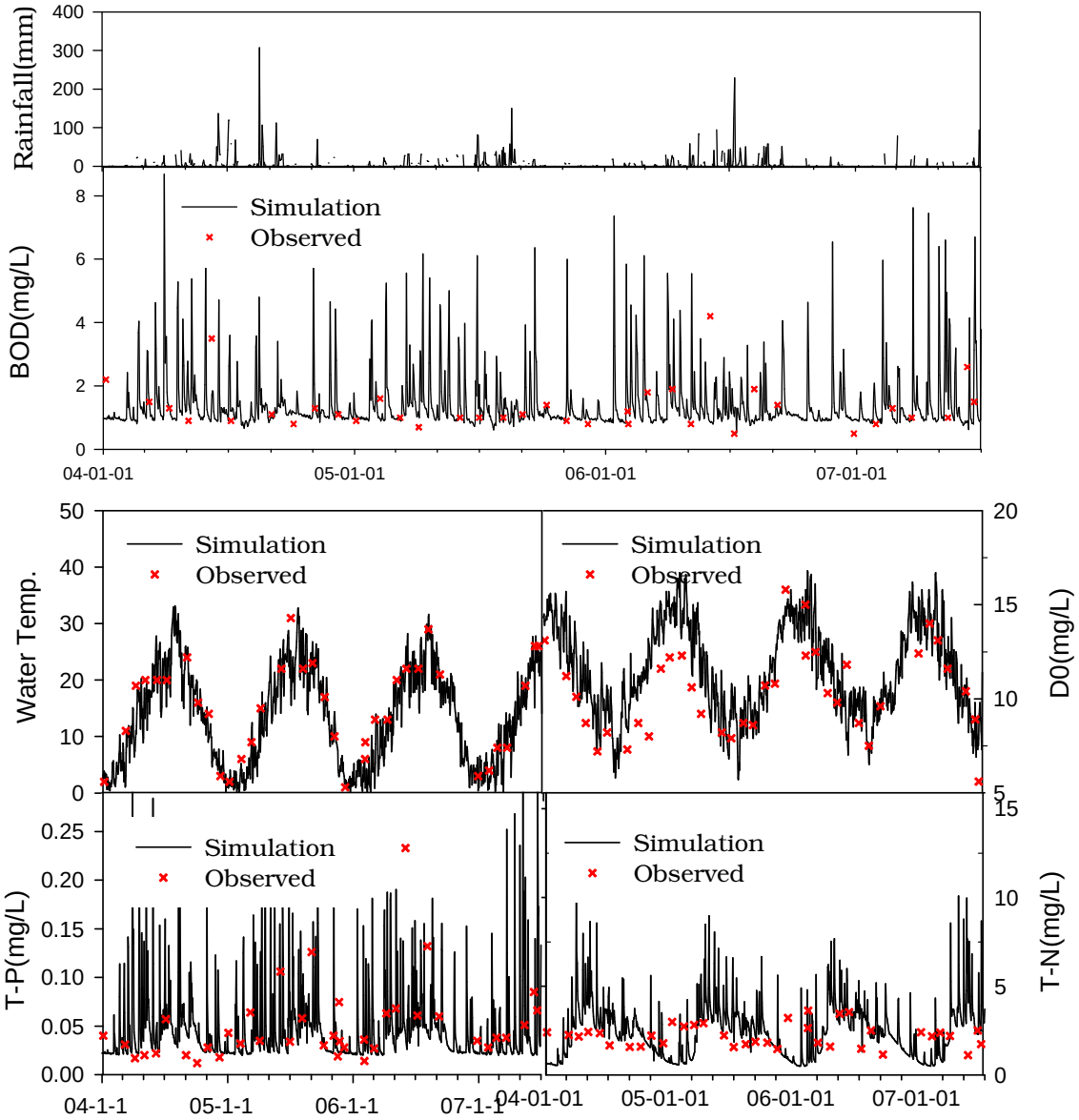


Fig. 24. Calibration and verification of daily water qualities from 2004 to 2007 HAM YANG 1.

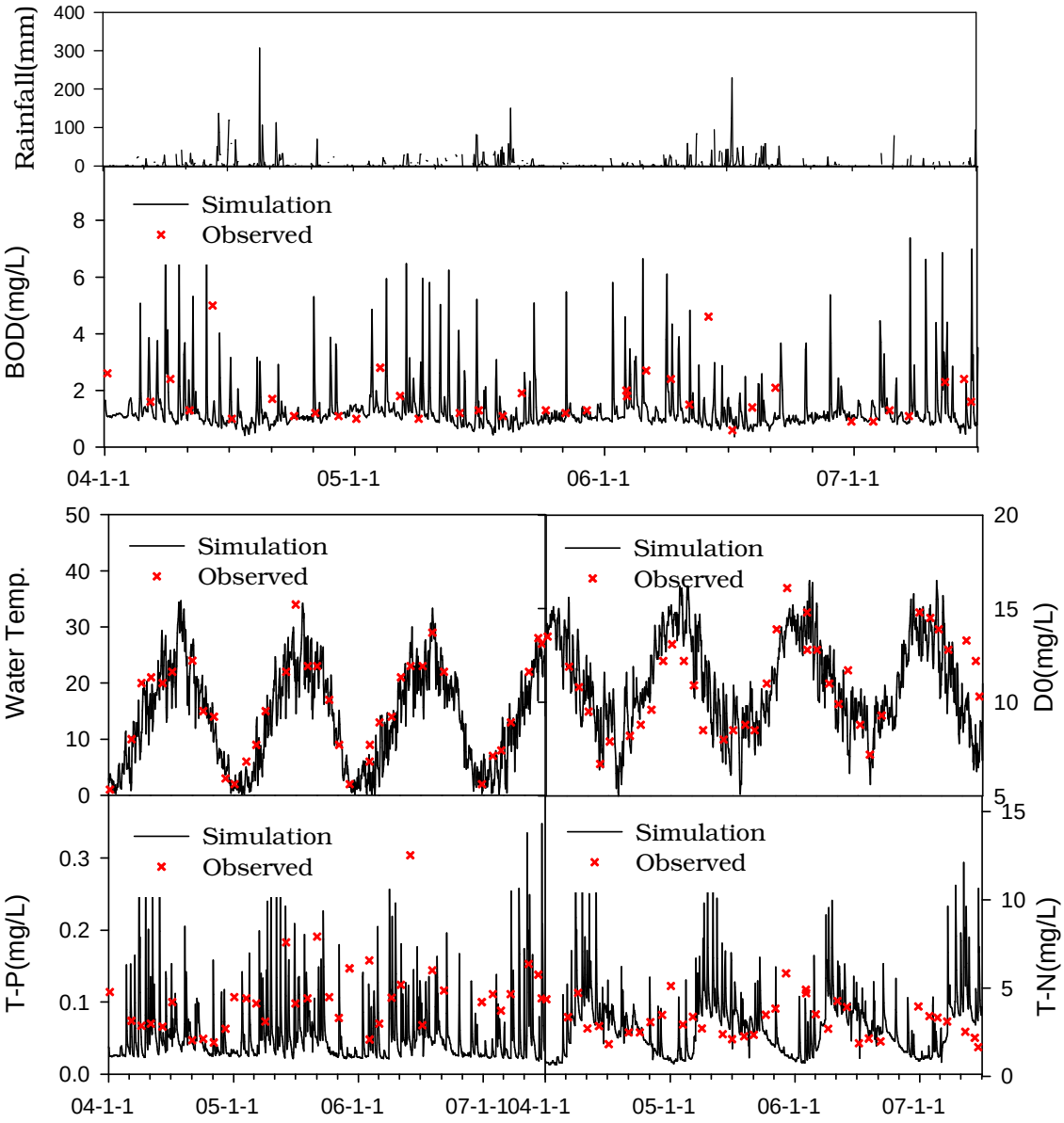


Fig. 25. Calibration and verification of daily water qualities from 2004 to 2007 HAM YANG 2.

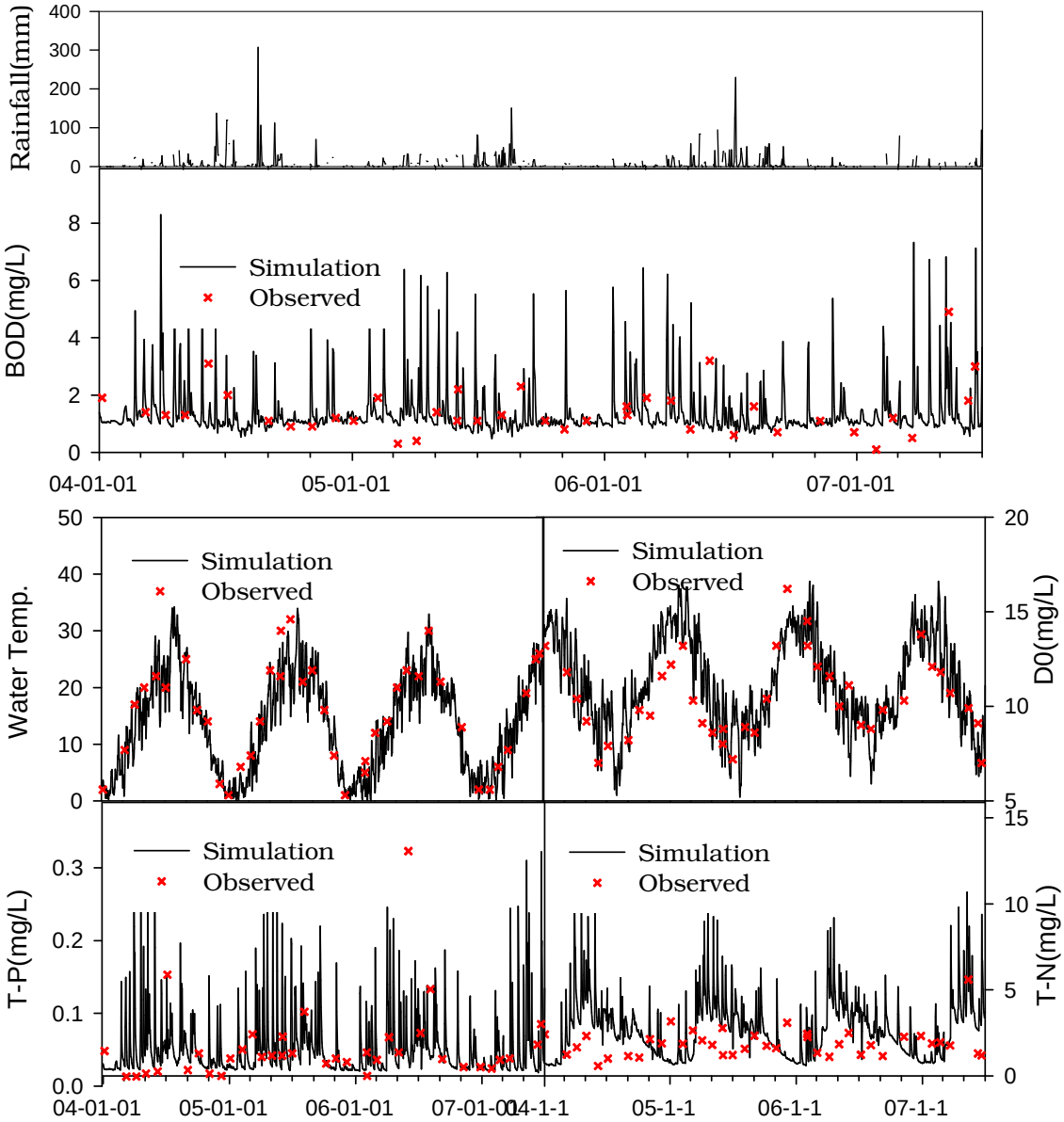


Fig. 26. Calibration and verification of daily water qualities from 2004 to 2007 KYUNG HO 1.

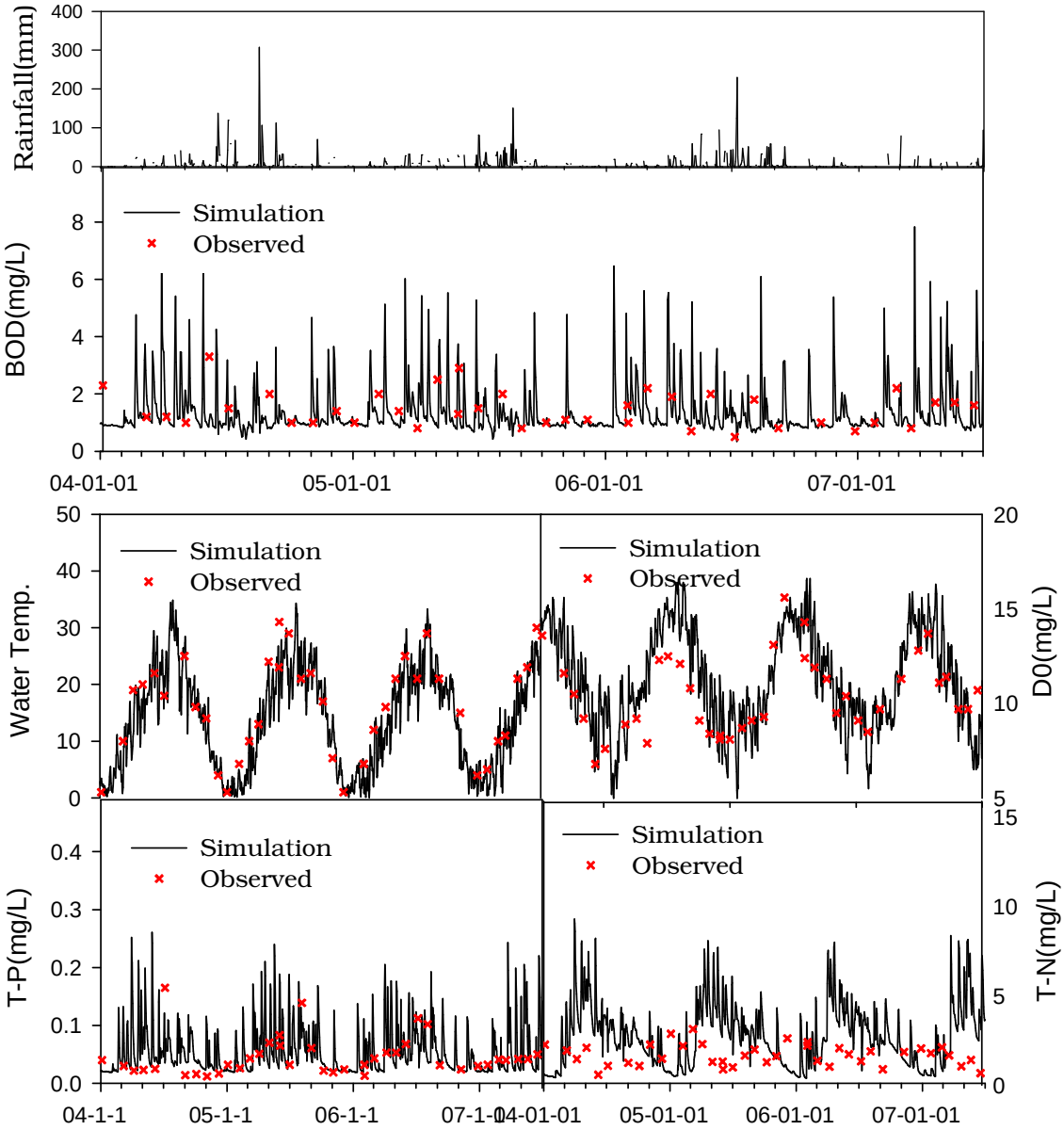


Fig. 27. Calibration and verification of daily water qualities from 2004 to 2007 KYUNG HO 2.

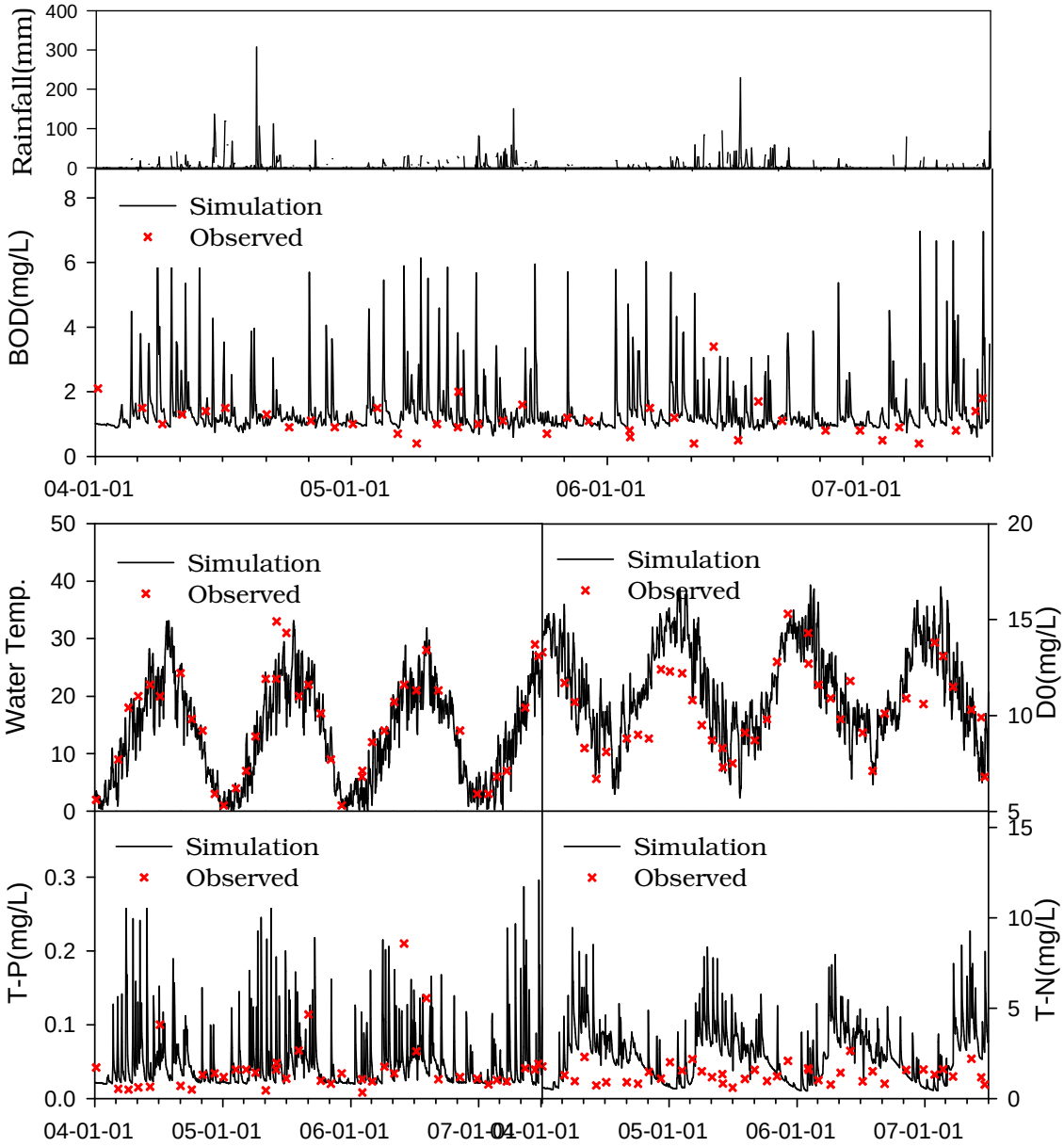


Fig. 28. Calibration and verification of daily water qualities from 2004 to 2007 IM River.

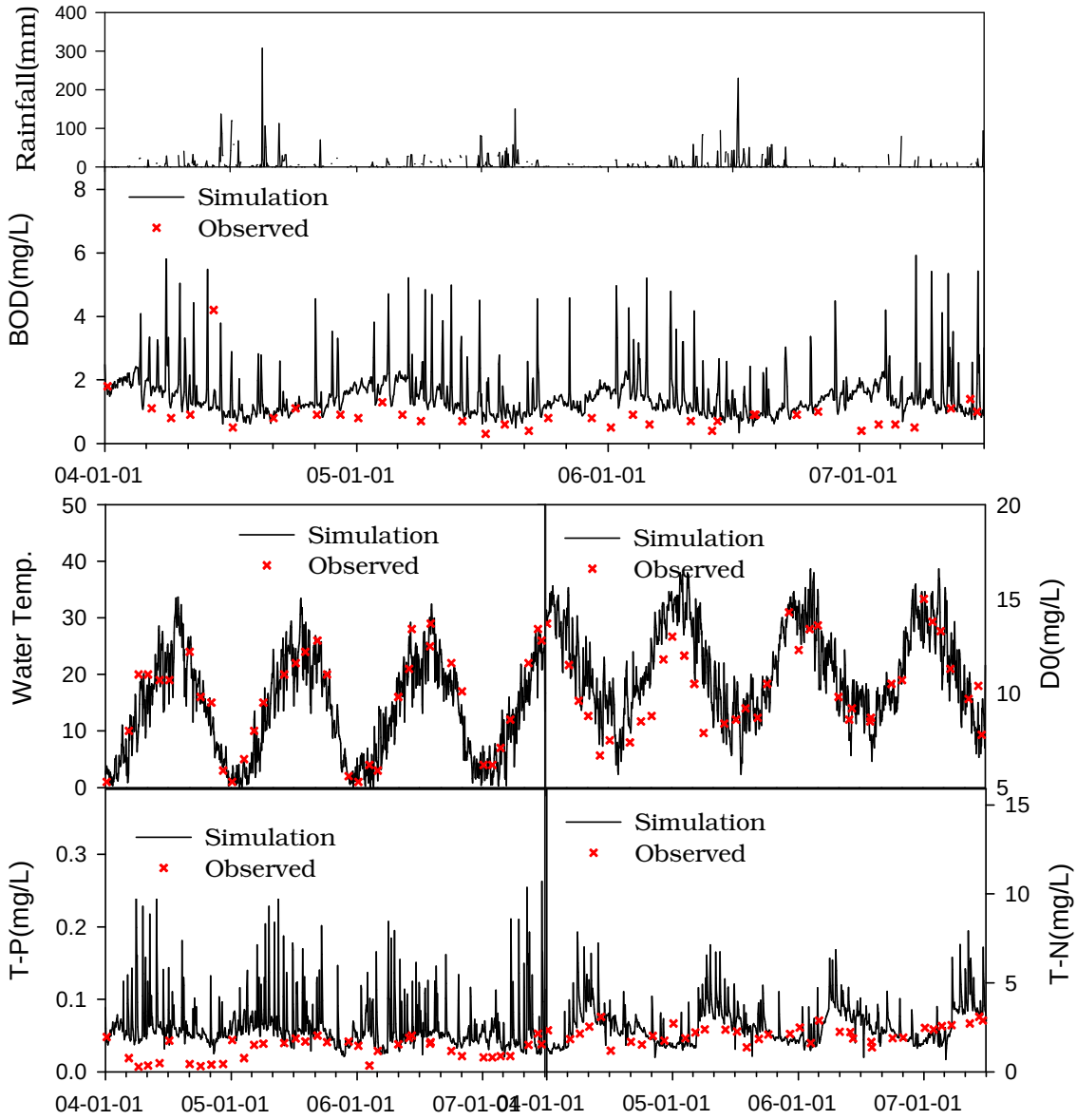


Fig. 29. Calibration and verification of daily water qualities from 2004 to 2007 NAM River 2.

Table 16. Simulation result for water qualities

Station	Constituent	Observed Number	Observed (mg/L)	Simulated (mg/L)	% Difference	General Tolerances
Nam River A	DO	166	11.37	10.88	4.3	Very Good
	BOD	168	1.81	2.06	14.3	Very Good
	T-N	173	1.78	2.12	18.6	Good
	T-P	168	0.06	0.06	4.6	Very Good
Nam River B	DO	167	10.22	11.06	8.3	Very Good
	BOD	169	1.53	1.36	11.4	Very Good
	T-N	164	1.66	2.03	22.2	Good
	T-P	164	0.06	0.06	7.0	Very Good
Ham Yang 1	DO	51	9.95	11.67	17.3	Good
	BOD	51	1.20	1.34	11.9	Very Good
	T-N	51	2.20	2.38	8.3	Very Good
	T-P	51	0.06	0.04	23.4	Good
Ham Yang 2	DO	51	10.57	11.31	7.0	Very Good
	BOD	51	1.59	1.24	22.1	Good
	T-N	5	5.21	3.92	24.8	Fair
	T-P	51	0.11	0.13	23.0	Good
Kyung ho 1	DO	54	10.06	11.36	12.9	Very Good
	BOD	54	1.29	1.30	1.2	Very Good
	T-N	54	1.88	2.46	31.1	Fair
	T-P	54	0.07	0.05	25.6	Fair
Kyung ho 2	DO	54	10.08	11.24	11.4	Very Good
	BOD	54	1.35	1.28	4.8	Very Good
	T-N	54	1.68	2.20	31.0	Fair
	T-P	54	0.05	0.05	10.7	Very Good
Im River	DO	53	9.98	11.56	15.8	Good
	BOD	53	1.06	1.35	27.3	Fair
	T-N	53	1.41	2.05	45.9	NR
	T-P	53	0.05	0.05	1.2	Very Good
Nam River 1	DO	53	9.58	10.80	12.7	Very Good
	BOD	53	0.83	1.10	32.9	Fair
	T-N	53	2.02	2.48	22.8	Good
	T-P	53	0.04	0.06	26.0	Fair

*NR : Not Relation between observed and simulation

(3) 배출부하량 산정

유역의 배출부하량은 오염원조사를 통하여 수계오염총량관리 기술지침에 따라 산정하였으며, Table 17에 나타내었다. 대상유역에서 배출되는 BOD, T-N 및 T-P부하량은 각각 18,197~18,386 kg/day, 10,988~11,308 kg/day 및 1,059~1,107kg/day 이었으며 연간 큰 변동은 없었다.

Table 17. Yearly pollutant load from 2003 to 2006

(Unit : kg/day)

Year	BOD	T-N	T-P
2003	18,197	10,988	1,059
2004	18,253	11,075	1,072
2005	18,282	11,146	1,083
2006	18,333	11,227	1,095
2007	18,386	11,308	1,107

각 40개 소유역의 배출부하량은 소유역의 면적에 따라 큰 차이를 보였으나 연간 변동은 크지 않았다.

(4) 유달율 산정

기존의 유달율 산정 방법은 실측에 의한 유달율이 가장 정확한 것으로 알려져 있다. 그러나 이는 가능한 모든 유량 조건을 대변할 수 있는 충분한 실측자료의 확보가 전제되어야 한다. 유역으로부터의 오염물질 유출은 대부분의 경우 강우시에 표면유출에 의하며, 융설에 의한 유출 등 극히 제한된 기간을 제외하면 비강우시에는 표면 유출이 거의 일어나지 않는다고 볼 수 있다.

따라서 유달율 산정의 정확성을 높이려면 표면유출을 일으키는 강우기에 많은 자료의 확보가 필요하나 현행 일정 주기 방식의 수질 유량조사로는 연간 강우 중 일부의 강우만이 측정될 개연성이 높고, 특히 홍수기에는 안전상의 문제로 자료 확보가 더욱 어려워 고유량 조건의 실측자료 확보를 위한 수질유량조사 방법에 대한 보완이 있어야 한다. 이와 같이 유달율은 유달율 산정방법 및 유달율 산정에

필요한 자료의 양과 질에 따라 크게 좌우되기 때문에 산정된 유달율 값에 대한 비교시 세심한 주의가 필요하다.

아직 특정유역에 대한 모든 유량 조건의 실측이 선행된 사례가 없으며, 본 연구에서도 모든 유량조건의 실측이 이루어지지 않아 유달율의 참값을 산정하는데 어려움이 있어 산정방법별 단순 비교하였다.

유역의 유량조건은 남강수계의 과거 10년 평균 저수량 및 평수량 조건에서 분석하였으며, 실측은 오염총량관리 목표수질 변동 확인을 위하여 단위유역 말단 측정자료로부터 추정된 유달율·비유량 회귀식으로부터 산정한 결과이고, 유역모형은 유역모형의 적용 결과 최상류 소유역의 모의 결과 자료를 이용하여 추정된 유달율·비유량 회귀식으로부터 산정된 결과이다.

Table 18. Comparison of pollutants delivery

Area	Constituent	Flow	Obseved	Simulated
Nam River	BOD	Low	0.08	0.12
		Mean	0.18	0.34
	T-N	Low	0.14	0.20
		Mean	0.34	0.65
	T-P	Low	0.03	0.04
		Mean	0.09	0.15

Ⅴ. 결론

유역에 수질오염오염총량관리를 도입하기 위한 목적으로 낙동강 수계의 지류인 남강유역을 대상으로 BASINS/WinHSPF모형을 적용하였다. 지형, 수문, 수질 등의 자료를 구축하여 모형의 보정과 검정을 통해 모형의 적용성을 평가한 결괴 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 남강유역은 산림, 농경지 등 비점오염원과, 도시화, 산업화된 점오염원이 혼합되어 있어 오염원 및 수질특성을 반영한 WinHSPF모형을 연구모델로 선택하고, BASINS를 이용하여 유역의 지형, 기상, 수문, 오염원, 반응계수 등 자료를 통합관리하여 모형을 구축하였다.

2. 대상유역을 남강A와 남강B로 나누고 2004~2007년 강수량에 대한 유출량을 산정 한 결과 결정계수(R^2)는 각각 0.83과 0.78로서 높은 상관관계를 나타내었다. 강우량과 유량의 보정결과 전체적으로 실측값의 연간변화가 강우의 연간 변화를 잘 반영하는 것으로 나타났다.

3. 8개 지점의 수질모의결과 오차허용범위는 DO는 4.3~17.3%로서, very good~good, BOD는 1.2~2.9%로서 very good~fair, T-P는 1.2~26.0%로서 very good~fair, T-N은 8.3~31.3%로 very good~fair로 나타났다.

유역모형 보정결과는 일부지점의 T-N을 제외하고는 적합하였다. 질소화합물은 질산화, 탈질화 및 대기의 질소고정 등 반응메커니즘이 다양하고, 하천의 질소동태매개변수를 찾기 어려워 정밀한 보정 및 검증이 요구된다.

4. 저수와 평수 시 연평균유달율은 유역모델 산정값은 BOD 0.12~0.34, T-N 0.20~0.65, T-P 0.04~0.15이고, 실측값은 0.08~0.18 0.14~0.34, 0.03~0.09이었다.

5. 남강의 배출부하량은 BOD 18,197~18,386 kg/day, T-N 0,988~11,308 kg/day 및 T-P 1,059~1,107kg/day이며 연간 변동은 미미하다.

6. BASINS/WinHSPF모델은 강우유출과 수질예측에 유용한 것으로 평가되어 수질오염총량관리시행에 활용성이 높을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 강원도, 2006, 낙동강수계 강원도 오염총량관리기본 계획.

2. 고재영, 2007, HSPF모형을 이용한 농촌유역에서의 대장균 모의, 서울대학교, 석사학위 논문

3. 국립환경연구원, 2004. 수계오염총량관리기술지침

4. 김승필, 2005, BASINS/HSPF를 이용한 탄천유역의 수질 수문 모델링, 한양대학교 석사학위논문.

5. 박민지, 2004, HSPF모형을 이용한 토지이용변화에 따른 유출 변화 분석, 한국수자원학회 논문집 38권 6호 p.495-504

6. 박정아, 2005, 유역형상과 오염부하배출의 특성을 고려한 유달계수 산정방법, 충북대학교 석사학위논문.

7. 배명순, 2003, 지형정보학을 이용한 오염부하유출계수 산정 충북대학교 박사학위 논문집

8. 송혜원, 2006, 경안천 수계 유역관리 효과분석을 위한 HSPF-QUAL2K 모델연계 적용에 관한 연구, 이화여자대학교 석사학위논문.

9. 양원모, 2007, BASINS/HSPF를 이용한 강우시 감돈저수지 유역 모델링에 관한 연구, 전남대학교 대학원

10. 이은실, 1998, 하천수질보전을 고려한 토지이용 적지분석 충북대학교 석사학위 논문.

11. 유혜은,2006, 유역모형을 이용한 대청호 유역의 오염물질 유달율 산정 한국물환경학회 추계학술발표회 논문집.

12. 장재호, 2005, BASINS/HSPF를 이용한 용담댐 유역의 오염부하량 산정에 관한 연구, 건국대학교 석사학위 논문.

13. 한정윤, 2007, BASINS/WinHSPF를 이용한 소양강댐 유역관리 방안 연구, 건국대학교 석사학위 논문

14. 환경부, 2003. 오염총량관리제도 해설 <www.me.go.kr>.

15. 환경부, 2004, 수질오염총량관리 업무편람.

16. 환경부, 2006, 물환경관리기본계획-4대강 대권역 수질보전 기본계획10-15).

17. 황하선, 2007, 우리나라 수질오염총량제에 있어 유역특성을 고려한 BASINS/WinHSPF의 적용성 연구, 건국대학교 박사학위 논문.
18. 國松孝男, 村岡活爾 編著, 1989, 河川汚濁のモデル解析, 技報堂出版
19. ASCE task committee on definition of criteria for evaluation of watershed models. (1993). Criteria for Evaluation of Watershed Models. J. Irrig. Drain. Eng., 119(3), 429-442.
20. ASTM, 1984. Standard Practice for Evaluating Environmental Fate Models of Chemicals. Designation E978-84. American Society of Testing Materials. Philadelphia, PA. 8p.
21. Beasley, D. B. and L. F. Huggins, 1981. ANSWERS Users Manual. EPA-905/9-82-001, U.S. EPA, Region V. Chicago, IL.
22. Donigian, Jr., A.S., and N. H. Crawford, 1976a. Modeling Pesticides and Nutrients on Agricultural Lands, Environmental Research Laboratory, Athens, GA, EPA 600/2-7-76-043, pp. 317
23. Donigian, Jr., A.S., 1982. Field Validation and Error Analysis of Chemical Fate Models. In: Modeling Fate of Chemicals in the Aquatic Environment. Dickson et al, (eds), Ann Arbor Science Publishers, Ann Arbor, MI. 303-323 p.
24. Donigian, Jr., A.S., 2000. HSPF Training Workshop Handbook and CD. Lecture #19. Calibration and Verification Issues, Slide #L19-22.
EPA Headquarters, Washington Information Center, 10-14 January, 2000. Presented and prepared for U.S. EPA, Office of Water, Office of Science and Technology, Washington, D.C.
25. Hashim, N.B 2002. Watershed, Hydrodynamic, and Water Quality Models for Total Maximum Daily Load. Ph.D. diss. Mississippi State, Mississippi. Ind.: Mississippi State University.
26. Nash, J. E. and Sutcliffe J. V., 1970, River flow forecasting through conceptual models. Part 1: A discussion of principles. J. of Hydro., Vol. 10, 282-290.
27. Thomann, R.V. 1980. Measures of Verification. In: Workshop on Verification of Water Quality Models. Edited by R.V. Thomann and T. O. Barnwell. EPA-600/9-80-016. U.S. EPA, ORD, Athens, GA. pp. 37-59.
28. Thomann, R.V. 1982. Verification of Water Quality Models. Jour. Env.

ngineering Div. (EED), Proc. ASCE, 108:EE5, October.
29. U.S. EPA., 2001a. 'Better Assessment Science Integrating point and Nonpoint Sources, BASINS Version 3.0 User's Manual'. EPA 823-B-01-001.
30. South Carolina, 2004. Total Maximum Daily Load Development for the Upper Broad River Watershed_Fecal Coliform Bacteria, South Carolina Department of Health and Environmental Control, 2004. 9.
31. U. S. EPA, 2001b, A Tool for Managing Watershed Modeling Time-Series Data(WDMUtil) Version 2.0 User's Manual, Contract No. 68-C-98-010(Work Assignment No.2-50), Washington, D.C., Office of Water, U. S. EPA
32. U. S. Geological Survey(USGS), 1994. Users Manual for an Expert System(HSPEXP) for Calibration of the Hydrological Simulation Program-Fortran, Water-Resources Investigations Report 94-4168, Reston, VA, Hydrologic Analysis Support Section, USGS
33. U. S. Geological Survey(USGS), 2000. Water Resources Applicat-ions Software :HSPF, <htT-P://water.usgs.gov/software/hspf.html> U.S. Department of Agriculture, Morris, MN.

감사의 글

국립환경과학원에 들어온게 엊그제 같은데 벌써 2년이라는 시간이 흘렀습니다. 부족한 저에게 논문을 쓸 수 있게 도와주신분들께 이 자리를 빌어 감사의 마음을 전하려 합니다. 먼저 저에게 지속적인 가르침과 많은 조언을 해주시고 힘든 객지생활에 아버지처럼 작은 것 하나하나 챙겨주신 류덕희 과장님께 머리숙여 감사드립니다.

그리고 논문의 결실을 볼 수 있도록 저에게 충고와 격려로 보살펴 주신 신대윤 교수님께 머리숙여 감사드립니다. 자상한 지도와 세심한 지적으로 저의 논문 심사를 도와주신 최형일 교수님께 감사드립니다. 학교에 올때 마다 인자한 웃음으로 반겨주신 정오진, 이성기, 정경훈 교수님께도 감사드립니다.

바쁘신 중에서도 언제나 웃으면서 저의 논문을 도와주신 박주현 연구사님, 친형처럼 따끔한 충고와 사랑으로 유역모델을 가르쳐주신 황하선 박사님께도 감사드립니다. 그리고 항상 관심과 격려를 해주신 박준대 연구관님, 김경현 연구관님, 이수웅 연구사님. 정제호 연구사님, 신창민 연구사님, 김진이 박사님, 오승영 박사님, 박재홍 박사님 이창희 박사님, 문은영 전문위원, 김동우 전문위원, 최윤호 전문위원 님께도 감사드립니다. 힘들고 지칠때 진심으로 걱정해주신 정유진 박사님, 나은혜 연구관님, 현경이 누나에게도 감사드립니다. 또한 항상 고민을 들어준 민수누나, 항상 좋은 말씀을 해주신 영산강 물환경 연구소의 김석규 박사님과 은택이 형에게도 진심으로 감사드립니다. 과학원의 모든걸 알려준 지금은 한 가정의 멋찐 남자 종광이형, 일처리에 놀랄만한 능력을 보인 선정 샘, 그리고 이제 곧 결혼하는 지영이 누나와 열공하는 혜진이에게 감사의 마음을 전합니다.

과학원 생활에서 활력소를 불어넣어준 토양지하수과 대근이형, 지철이형, 성민이형, 그리고 지금은 연구사가 된 종하형에게 감사의 마음을 전합니다. 친동생처럼 과학원에 잘 적응하게 도와준 종주형과 대영이형, 홍표형, 성범이형 에게도 감사의 마음을 전합니다. 수질총량과의 바른생활 사나이 일권이 형, 과학원에서 공부할수 있게 도와주신 이영재 박사님께도 감사드립니다.

건국대학교의 꽃미남 정광욱 박사님과 몸짱 재호형님, 럭셔리보더 승재형 무뚝뚝하지만 꼼꼼히 가르쳐주고 챙겨준 한필이형과 장원이에게도 감사의 마음을 전합니다.

학부생때부터 친동생처럼 아껴주고 이뻐해주신 옥란이 누나에게 진심으로 감사의 마음을 전합니다. 실험실의 NO.2이며 워드의 달인 영선이형, 항상 뭐든지 열심히 하는 수영이, 힘든일은 다하면서 항상 웃음을 잃지 않는 강일이, 똘망 똘망 영리하고 예의바른 영란이, 멋쟁이 쾌남 영호형에게 감사의 마음을 전합니다. 진로에 대해서 진심으로 걱정해주며 많은 도움을 준 영산강청의 안승이 형에게도 진심으로 감사의 마음을 전하며, 학부생때부터 아무것도 모르는 나에게 힘을 주며, 논문을 쓸때까지 세밀히 도와준 이쁜이 세름이에게

감사의 마음을 전합니다.

광주에 있는 하나뿐인 내 의형제 동생인 주성이, 농협에서 열심히 일하는 착하고 이쁜 경아, 엄청난 돈을 벌고 있는 골목대장 본점 사장님인 염사마 종윤이, 열심히 포천시민의 치안을 담당하는 민중의 지팡이 승균이, 열심히 일하며 공부하는 삼성맨 동현이, 잘생기고 끼많은 재원이, 가수보다 더 노래를 잘 부르는 종선이, 한 가정을 책임지고 있는 한비아빠 진우에게도 감사의 마음을 전합니다.

우리 무등산 모임의 회장 용락이, 꿈을 향해 열심히 공부하는 형철이와 상률이, 성격 좋고 몸 좋은 바다낚시에 달인 하영이, 프로골퍼 성준이, 친구들 일이라면 언제든지 달려오는 진용이, 서울에서 외로움을 함께 나눈 정한이에게도 감사의 마음을 전합니다. 외롭고 힘들때 항상 불러서 위로와 격려를 해준 친형같은 태호형 정말 감사합니다. 그리고 구미에서 열심히 일하는 우리 형 재복이 형에게도 감사드립니다.

잘생기고 인기 많은 석사 성훈이, 항상 뭐든지 열심히 하는 재민이, 모든 면에서 해박한 지식을 가지고 있는 경주, 뭐든지 한번 집중하면 끝을 보는 성재에게도 감사의 마음을 전합니다. 항상 자주 연락하지 못해도 끈끈한 우정을 지켜주는 친구들에게 진심으로 감사의 마음을 전합니다.

군생활을 인연으로 지금까지 인생의 등대처럼 항상 절 믿어주시고, 이끌어 주시며, 참된 인생의 길을 알게 해주신 존경하는 백형석 대장님께 머리 숙여 감사드립니다.

마지막으로 열심히 공부하고 착하게 자라준 동생 미진이와 못난 아들을 믿고 너무나 많은 것을 베풀어 주시고, 아무런 걱정 이 학문에만 정진할 수 있도록 끝없는 사랑과 힘을 주신 이 세상에서 가장 존경하는 아버지, 어머니께 진심으로 감사드립니다.

2008년 6월 논문을 마치며...

저작물 이용 허락서

학 과	환경생명공학과	학 번	20077194	과 정	석사
성 명	한글 : 강 재 홍 한문 : 姜 在 鴻 영문 : Kang jae hong				
주 소	전남 화순군・읍 광덕리 272-132				
연락처	E-mail : kjh0435@nate.com				
논문 제목	한글: **남강의 BASINS/WinHSPF 모델적용에 관한 연구**				
	영문: **A study on BASINS/WinHSPF application to Nam-River watershed**				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건 아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함.
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집과 형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포・전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물 이용의 허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음.
7. 소속 대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송・출력을 허락함.

동의여부 : 동의(○) 반대( )

2008 년 8 월 일

저작자 : 강 재 홍 (인)

조선대학교 총장 귀하