

T0009570

GOVP1200628244

최            종  
연구보고서

BASINS 및 WASP을 이용한 화성유역과  
호소의 통합수질예측시스템 개발

Development of integrated prediction of water  
quality of Hwasung watershed and reservoir  
using BASINS and WASP

연구기관

건국대학교

농림부

## 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “BASINS 및 WASP을 이용한 화성유역과 호소의 통합수  
질예측시스템 개발에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2006년 7월 14일

주관연구기관명 : 건국대학교

총괄연구책임자 : 윤 춘 경

세부연구책임자 : 황 순 진

연구 원 : 정 광 욱

연구 원 : 장 재 호

연구 원 : 전 지 흥

연구 원 : 함 종 화

연구 원 : 김 형 철

연구 원 : 손 주 연

여 백

# 요 약 문

## I. 제 목

BASINS 및 WASP을 이용한 화성유역과 호소의 통합수질예측시스템 개발

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

### 1. 기술적 측면

- 인구 증가, 산업발달 및 도시화의 결과로 유역에서 다량의 오염물질이 발생하여 수계로 유입되고 있으며, 이로 인한 하천 및 호소 수질오염은 국가적인 사안이 되었음.
- 기존의 오염원 관리는 방류수 수질기준 규제에 의한 점오염원 감소에 주력하여 그 동안 수질개선에 많은 기여를 해 온 것은 사실이나, 비점원오염을 포함한 오염부하량의 양적 증가와 집중화로 인한 환경용량을 초과한 오염물질이 수계에 유입되어 호소나 하천의 부영양화가 심화되고 있음.
- 수자원 확보 목적으로 많은 농업용 저수지 및 담수호를 조성하여 수량 측면에서는 크게 도움이 되었으나, 이러한 정체성 수역에 영양염의 과다유입은 수계의 부영양화를 초래하여 수자원 가치를 떨어뜨릴 뿐만 아니라 건강한 생태계 교란을 야기할 수 있음.
- 수질관리의 첫 번째 단계는 수계에 유입되는 오염부하량 산정 및 그에 따른 하천이나 호소의 수질변화를 합리적으로 이해하고 예측하는 작업인데, 평상시와 강우시에 유역내 점원 및 비점원 오염부하량의 유입에 대한 산정방법이 비합리적이어서 수질예측결과의 신뢰성에 대한 논란이 지속되고 있음.
- 유역의 오염부하량 산정에는 단순한 회귀식을 사용하는 방법부터 지형자료 및 오염원자료 등을 활용하여 상세하게 모델링하는 첨단기법까지 가능하며, 최근에는 컴퓨터성능 및 GIS/RS 기술 등의 급속한 발전으로 예전에는 시도

하기 어려웠던 종합적인 유역오염부하량 산정기법 개발에 노력하고 있음.

- 환경부 등 수질관리 정부부처에서는 그 동안 사용해 오던 유역오염부하량 산정기법인 원단위방법을 지양하고 BASINS를 사용한 첨단 모델링기법으로 전환하여 오염총량제를 추진하는데 도움을 주고, 많은 농업용 저수지를 관리하는 농업분야에서도 저수지 유역의 오염부하량을 BASINS로 산정 할 수 있는 기법을 개발하여 유역오염부하량 산정체계의 확립이 절실함.

## 2. 경제·산업적 측면

- 우리나라의 수자원 총량은 약 1,267억  $m^3$ 으로 이 중에서 966억  $m^3$ (76%)이 증발산·바다로 직접유출을 통해 손실되며 실제 이용가능량은 301억  $m^3$ 으로 수자원 총량의 24%에 불과하며, 이용가능수량의 약 50%(149억  $m^3$ )가 농업용수로 이용되고 있어 수자원계획에 부담이 되고 있음.
- 부족한 수자원을 충족시키기 위해서 농업용 저수지를 꾸준한 조성한 결과, 우리나라 전체 수혜면적 827천 ha 중 512천 ha(62%)가 농업용 저수지에 의해 의존하고 있는 실정임.
- 호소의 부영양화는 물의 이용과 생태계의 건전한 기능수행을 저해하는 조류(일반적으로 유해한 조류)의 비정상적인 대발생을 초래하며, 국내 농업용저수지의 상당부분에서 그 부작용이 나타나고 있어 수질복원비용에 많은 비용이 예상됨.
- 수질오염대책을 수립하는 과정에서 유역오염부하량에 적용해왔던 원단위방법에 대한 적합성이 의문시되면서, 많은 재원이 소요되는 저수지 수질복원비용의 수질개선효과에 대한 확신이 부족한 상태임.

## 3. 사회·문화적 측면

- 1996년 시화호의 오염은 시화지역주민들이 환경오염 피해의식을 갖게 하였고, 새만금호 수질문제에 대한 불확실은 사회적인 갈등을 야기하기도 하였으며 정부의 순차적 개발방침도 시민단체들에게는 불만족스러운 상태임.
- 수질관리가 악화된 담수호는 사회적인 문제를 일으키는 반면에 생태학적으로 건강한 담수호는 수자원확보 외에도 국민들에게 휴식처를 제공하는 등 소중한 국토자원의 기능을 훌륭하게 수행할 수 있다는 유익한 측면이 수질보호가 잘 이루어지고 있는 많은 저수지에서 확인되고 있음.
- 유역에서의 효율적인 오염관리는 저수지 수질보호를 위한 필수요소이며, 4대강 유역을 포함하여 전국적으로 확대 적용하는 오염총량제는 앞으로 유역

오염관리에 많은 변화를 초래할 것으로 예상됨.

- 유역오염부하량의 합리적인 산정과 그에 따르는 효율적인 유역관리대책수립은 하구담수호를 포함한 많은 농업용저수지들의 수질개선에 기여하여 수자원가치 제고나 생태계복원 외에도, 자연생태 관광지나 환경교육장 등으로 유용하게 활용될 수 있음.
- 수질보전에 기본단계인 오염부하량 산정이 불합리할 경우에는 그에 따른 수질예측이 잘못되어 과도한 환경대책에 의한 불필요한 비용지출을 초래하거나 미흡한 대책은 노력 후에도 가시적인 효과가 나타나지 않아 정책의 신뢰성문제를 야기할 수 있음.
- 따라서, 농업용저수지 유역의 오염부하량을 첨단기술이 접목된 합리적인 수질모델링으로 산정하고 그에 따르는 수질예측기법을 향상시킴으로서 수질관리대책의 효율성과 신뢰성을 제고시킬 필요가 있음.

### III. 연구개발 내용 및 범위

- 우리나라 농촌유역의 지형 및 토지이용 특성을 합리적으로 고려할 수 있는 유역오염관리를 수질예측에 BASINS를 적용하는 기법을 개발하여 유역 오염원관리 및 저수지 수질보전에 기여하고자 함.
- 저수지 유역에서 발생하는 점원 및 비점원 오염을 합리적으로 고려할 수 있고, 동적으로 구동되며 유역모형에서부터 하천모형을 거쳐서 호소모형까지 종합적으로 모의할 수 있는 통합수질예측기법을 개발하여, 오염총량제 실시와 함께 농업용저수지의 오염부하량에 대한 효율적 관리가 가능하도록 함.

#### 1. 연구내용

##### 가. 유역관리모형 개발

오염총량관리(TMDL) 적용을 위해 미환경부(USEPA)에서 개발한 BASINS는 사용자 편의 시스템인 GUI(Graphic User Interface)환경으로 GIS를 기반으로 하고 있으며 미국에서 TMDL에 공식적인 도구로 사용하고 있는데, 우리나라에서도 오염총량제에 이 기법의 적용을 시도 중이며, 본 연구에서는 농업용저수지 유역의 통합적인 오염원관리 및 오염부하량 산정에 BASINS를 응용하여 적용할 수 있는 유역관리모형을 개발하고자 함.

- 각종 GIS 지형자료 및 토양자료, 기상자료, 수질측정자료 등을 BASINS에

필요한 입력자료에 맞게 변환하여 입력시켜 BASINS 구축.

BASINS 내 Assessment Tool 및 Utility Tool을 사용하여 유역분석에 필요한 인자 추출.

BASINS 내 유역모형이 HSPF와 SWAT 등이 있는데 이들을 사용하여 우리나라 논과 같은 토지이용도 모의할 수 있는 형태로 modify하여 우리나라 농촌유역특성에 맞도록 유역관리모형 개발.

#### 나. 현장조사

유역관리모형 개발에 필요한 지형자료와 오염원자료 축적 그리고 유역오염 부하 특성을 파악하기 위하여, 유역내 오염원 조사, 점원 및 비점원오염 부하량 측정, 주요 하천지점에서의 유량 및 수질변화 등을 실측하여 개발한 모형의 보정에 사용할 계획임.

주요 지점의 수문조사 및 수질조사를 실시하여 유역모형의 보정 및 검증에 사용할 계획임.

유역내 비점원오염 형태를 파악하기 위하여 토지이용과 강우강도별 오염부하특성을 조사하고, 유역내 비점원오염을 저감시킬 수 있는 최적관리기법을 제시하고자 함.

호소내의 월 1회 샘플을 통해 호내의 오염물질의 거동특성을 파악하고 모든 조사지점에서 표층, 중층, 저층으로 구분하여 조사하여 수평적, 수직적 수질변화를 고려하여 모두 분석하여 화성호에 특성에 대해 평가하고자 함.

#### 다. 호소모형 적용

1983년 미환경부에서 개발된 WASP모형은 저수지, 하천, 하구, 해양 등의 수질을 모의 할 수 있는 3차원 분석이 가능한 모형으로, 조위의 영향을 받는 하구까지 수질모의에 세계적으로 널리 이용되고 있으며 현재 WASP7모형까지 개발되었는데, 본 연구에서는 다른 연구에서 충분히 적용성이 인정되고 많이 사용되고 있는 WASP5모형을 적용하고자 함.

WASP5모형을 사용하여 유역에서 유입되는 부하량이 호소수질에 미치는 영향을 파악하고, 유역오염관리대책에 의한 부하량 저감의 호소수질개선효과를 분석하여 효율적인 유역관리대책수립에 도움을 주고자 함.

화성호 수문조작이 수질에 미치는 영향을 검토하여 배수갑문 조작이 수질에 미치는 영향에 대해 분석하고자 하였으며, 년별로 다르게 유입되는 오염부하량에 따른 담수호의 수질변화에 대해 분석하고자 함.

#### IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

본 연구는 화성지구 화성호의 유역전체에 대한 인문·사회·자연환경의 특성을 파악하여 BASINS/HSPF 유역모형을 적용하여 유역에서 배출되는 오염물질의 특성에 대해서 파악하였으며, 앞으로 조성될 화성호의 수질예측을 위해서 WASP5모형을 적용하였고, 수질보전을 위한 자연정화기법과 담수호 수질관리방안에 대한 대책을 제시하는 내용을 포함하고 있다.

유역특성 파악을 위해서는 유역내의 인구, 토지이용, 축산, 산업 및 환경기초시설 등을 조사하였고, 이들을 오염원의 종류에 따라 생활계, 축산계, 산업계 및 자연계(산림과 농경지 등)로 구분하였으며, 이들의 파악은 환경부, 시청이나 면사무소에 소장된 자료와 현지답사를 통해 이루어졌다. 또한, GIS(Geographic Information System)와 원격탐사(RS, Remote Sensing)기법을 이용하여 유역의 지형적 특성을 분석하였는데, 이러한 방법은 유역의 특성을 첨단기술에 의하여 정확하고 신속하게 분석할 수 있다는 장점 때문에 사용이 신속히 확대되고 있다. 이와 같이 화성유역에 관하여 정리된 컴퓨터 지형자료는 유역 및 담수호관리에 앞으로 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

수질예측을 위해서는 먼저 유입지천의 수질현황을 파악하는 것이 필요하기 때문에 유역내 대표적인 세 개의 지천인 남양천, 자안천, 그리고 어은천을 중심으로 7개 지점에서 평수기와 강우시로 나누어 수질모니터링을 실시하였다. 전체 측정지점은 평수기에 월평균 2회를 지속적으로 약 32개월간 실시하였으며, 강우시 일주기 조사는 2003년에 5회, 2004년에 3회 유량과 수질에 대하여 5 군데 주요 측정지점에서 상세조사를 실시하였다. 이 상세조사 측정지점에는 압력식 자동수위계를 설치하여 수위를 지속적으로 기록하였다. 하천의 유량은 수위-유량 관계식을 도출하여 산정하였으며, 수질항목은 Standard Methods에 따라서 분석하였다. 측정된 수질과 유량자료, 구축된 GIS자료, 그리고 수집된 오염원 현황을 이용하여 수질에 기여하는 토지이용과 오염원간의 관계에 대해서 규명하여, 향후 다른 연구지역에서도 이용할 수 있는 간단한 분석 방법을 소개하였는데, 유역내의 토지이용 설계자나 관리자들에게 수질을 보전하기 위한 방법을 제시한다.

BASINS/HSPF 모형의 적용은 유역오염분석 및 관리를 위해 개발되었으며 선진국인 미국의 TMDL을 평가하고 관리하는 기법으로 사용되고 있



다. 기존의 유역개념의 오염관리에서는 자료의 전처리, 정보의 요약, 지도와 표 생성, 모형적용 등과 같은 일련의 과정을 각각 분리되어 여러 가지 tool과 software 등을 이용하여 실시하였다. 그러나 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 제공하며, 다양한 유역모형과 수질모형을 시스템 내에서 실행할 수 있으므로, 유역의 분석시간을 줄이며 다양한 정보를 효율적으로 손쉽게 획득 할 수 있다는 장점을 가진다. 현재 우리나라는 오염총량제가 진행되고 있는 실정이나 적절하게 수계오염의 정도를 파악하는 적절한 tool이 없는데, BASINS/HSPF모형은 우리나라에 적용성을 검증하였으며, 총량제를 평가하는 기법으로 적극 추천한다.

현장에서 측정된 수질자료들은 세 개의 지천을 통하여 유입되는 연간 부하량의 산정에 사용하였고, 또한 미측정 지역에서 유입될 오염부하량의 예측에도 활용하였다. 이렇게 산출된 측정지역과 미측정지역을 포함한 전체유역에서 유입되는 총부하량이 화성호 수질예측에 적용하였다. 오염부하량 산정에는 유역모델인 BASINS/HSPF을 적용하여 산정하고 비교하였으며, 화성호의 수질예측에는 WASP5를 사용하였다. 화성호의 수질예측에는 월 1회 실측한 측정 자료를 이용하였다. HSPF 모형과 WASP5 모형을 연계하여 적용할 경우 장점인, 실측값을 잘 반영하는 HSPF 모형의 유출유량과 부하량을 WASP5모형에 경계조건으로 이용할 수 있기 때문에 모형의 신뢰성을 확보 할 수 있을 것으로 판단된다. 하지만, 경계조건을 일단위나 시간단위로 입력할 경우 WASP5모형의 입력자료 생성에 많은 시간과 노력이 필요하나 HSPF와 WASP5 모형을 연계하는 tool을 개발하여 두 모형을 통합적으로 관리할 수 있게 하였다.

화성호의 수질개선을 위해서는 자연정화기법을 적용하였으며, 그 중에서 인공습지와 우수지를 연계하여 설치하는 방안을 고려하였다. 인공습지와 우수지의 소요면적은 산정한 부하량과 이에 반응하는 호소수질의 예측결과를 검토하여 미래 완공될 담수호에 HSPF/WASP5모형을 이용하여 장래 수질을 예측하였다. 수질개선방안의 기본개념은 유역에서 지천을 통하여 유입되는 하천수에 함유된 오염물질은 본 저수지에 들어가기 전에 간척지에 조성되는 인공습지를 통과하면서 침전, 여과, 분해, 흡수 등을 거쳐서 제거되고, 또 습지를 통과한 후에 다시 우수지로 유입되어 증발, 침전, 분해, 흡수 등의 과정을 거치면서 추가로 개선되도록 하였다. 또한, 호소운영에서 예상되는 여러 가지 문제

들과 이에 대한 대책으로써 관리 및 복원기법들을 조사하여 항목별로 정리함으로써 향후 화성호가 조성된 후에 호소관리에 활용할 수 있도록 하였다.

# SUMMARY

## (영문 요약문)

### I. TITLE

Development of integrated prediction of water quality of Hwasung watershed and reservoir using BASINS and WASP

### II. OBJECTIVES AND SIGNIFICANCE

Korea is a densely populated country, with about 47 million people living in <math>100,000 \text{ km}^2</math>. The annual average precipitation is 1,274 mm, which is about 130% of the world average, but the per capita water availability is <math><10\%</math> of the world average because of the high population density. The degraded quality of surface water has been significantly improved by restoration efforts, and as of 2005, about 80% of domestic wastewater is collected and treated by public sewer systems.

However, the water quality in streams and lakes often does not meet established standards, and periodic algal blooms in many reservoirs imply that further restoration efforts are needed. Water quality improvement cannot be achieved without proper control of nonpoint-source pollution, in addition to point-source pollution. The "Special Act on Watershed Management for Four Major Rivers," enacted in 1998, includes a number of programs that aim to improve, maintain, and restore water quality in national water systems. These programs include discharge limits, permits for point-sources, funding for wastewater treatment facilities, and a total pollutant load control(T-PLC) program, which is similar to the total daily maximum load(TMDL) in the U.S., to control overall pollution, including point and nonpoint-sources.

Surface runoff carries residues of human activities from the land into stream systems and is affected by the land use type. Lenat and Crawford(1994) found that agricultural land uses produced the highest

nutrient concentrations. Similarly, using the BASINS model to examine the relationship between land use and surface water quality in Ohio, Tong and Chen(2002) showed that land use types correlated with most water quality characteristics. Other researchers have also provided evidence of a strong tie between land use types and water quality characteristics(Bolstad and Swank, 1997; Gburek and Folmer, 1999; Liu et al., 2000). Many water pollution problems have been caused by changes in land use patterns in sub-basins as population pressures and economic activities increase(Lee and T.F, 1991). This study integrates spatial dimension into the investigation the relationship between land use and water quality. By integrating spatial dimension into the study, it is expected that findings of the study are able to directly address about strategies and methods for planners, land managers and policy makers in efforts to sustain appropriate water quality.

The accurate estimation of pollutant loads from watersheds and the prediction of water quality in receiving waters are important for the effective application of the T-PLC program. BASINS/HSPF is a comprehensive package developed by the U.S. Environmental Protection Agency(EPA) for simulating water quality for a wide range of organic and inorganic pollutants from complex watersheds(Bicknell et al., 2001). WinHSPF has been widely used for watershed management to simulate:(1) various hydrologic conditions(Albek et al., 2004),(2) nonpoint-source pollutants(Fontaine and Jacomino, 1997),(3) land use management and flood control scenarios(Brun and Brand, 2000), and(4) Best Management Practices(BMPs) or Total Maximum Daily Load(TMDL)(Hashin, 2001). When using a model, engineers and planners are interested in the reliability of the model ouT-Put to assess model verification and the selection of appropriate models(Melching et al., 1991), and several studies reported model reliability(e.g., Melching and Yoon, 1996; Riddle, 2001). nonpoint-source pollution largely depends on rainfall and pollutant concentrations can vary during the rainfall event(Perona et al., 1999). Rainfall patterns of the Asian monsoon region are so intensive that the effect on the nonpoint-source loading should be taken into consideration. Watershed model simulation and calibration processes might affect decision-making in water quality management.

Many polder projects have been built during the last decades along the western coast of the Korean peninsula aiming to expand farmland and secure water resources. The estuarine reservoirs made in the course of the projects are directly influenced by the tributary watersheds. These reservoirs are located at the downstream boundary of large watershed areas, and the pollutant loads received generally are much higher than natural lakes (Cooke et al., 1989). The water quality of the estuarine reservoirs is one of the current issues causing national debate on the polder projects in Korea. Reliable watershed assessment and loading estimation are important in water quality management for these reservoirs, and computer simulations often are used.

In this study, the applicability of BASINS/HSPF to the pollutant loading estimation linked with WASP5 for evaluating water quality of estuarine reservoir called Hwasung. The BASINS/HSPF linked with WASP5 is a powerful and comprehensive tool of estimate watershed pollutant and estuarine reservoir for predicting future water quality and pollutant source management.

## 1. Technical Aspects

- Results of increasing pollutants from increased population, industrialization, and urbanization, water qualities of national river and reservoir was decreased last few decade in Korea.
- The pollutant control project of Korea, mainly controlling point-source of regulation of water quality of WWT-Ps. Recently, many administrator and researcher is interested in non-point-source pollution from watershed.
- Many agricultural and estuarine reservoir has a role for secure water resource, however water qualities was decreased because of heavy nutrient loading.
- First stage of water quality management is a calculation of pollutant source and integrated comprehension of water quality variance in river and reservoir, however methods of calculation of pollutant source is not comprehensive.

- Recently, improved computer and GIS/RS technique is aid for calculating comprehensive pollutant source from very complicated watershed data.
- BASINS/HSPF is a comprehensive package for simulating water quality for a wide range of organic and inorganic pollutants from complex watersheds, therefore use of this tool is applicable for watershed management and TMDL for Korean watershed.

## 2. Economic Aspects

- Korea is a water shortage country, and agricultural water use is about 50% of total water resource. Agricultural water source is manly fed from agricultural and estaurine reservoir.
- Many reservoir suffer from eutrophication, because of heavy nutrient loading. And, cost of water quality restoration and confidence of effects of water improvement is shorted. Therefore, comprehensive technique(BASINS/HSPF linked WASP5) of watershed and reservoir water quality in river and reservoir is aid for recover of confidence in water quality restoration effects.

## 3. Social and Cultural Aspects

- Eutrophication of reservoirs causes massive algal blooms preventing from sound water use and ecosystem functioning. More than half of whole Korean reservoirs are experiencing the water quality deterioration and thus it is easy to find its adverse effects across the whole country.
- Due to the increasing demand of water resources and ecosystem service from the numerous agricultural reservoirs in near future, it is necessary to turn the focus of national water quality management policy into them including ecological sightseeing and environmental education facility.
- Comprehensive modeling of watershed and reservoir for accurate estimation of pollutant loading is useful for suitable management of a countermeasure of water quality.

### III. CONTENTS AND SCOPE

- Development of BASINS/HSPF model for applicable to our rural watershed and landuse aspect is make for management of watershed pollutant source and conservation of reservoir water quality.
- Development of integrated model from watershed to reservoir worked dynamic status is make for management of agricultural reservoir pollutant source and Korea total maximum daily load(TMDL).

#### 1. Development of integrated watershed and reservoir model

The accurate estimation of pollutant loads from watersheds and the prediction of water quality in receiving waters are important for the effective application of the T-PLC program. BASINS/HSPF is a comprehensive package developed by the U.S. Environmental Protection Agency(EPA) for simulating water quality for a wide range of organic and inorganic pollutants from complex watersheds.

- Many geographic information system(GIS) such as landuse, digital elevation model(DEM), map of river and watershed, location data of weather station and pollutant source is necessary for construction of BASINS, however majorities of GIS data of Korea is necessary modification of data format and structure.
- Three main geographically based tools TARGET, ASSESS, and Data Mining were developed to assess in-stream water quality conditions and point-source discharges at the regional, watershed, and stream segment levels.
- The Hydrological Simulation Program - FORTRAN(HSPF) was modified to simulate estimates of watershed pollutant loads in paddy farming regions. Dike height and the Dirac delta function were added to a modified HSPF code(HSPF-Paddy) to incorporate the behavior of ponded water and nutrients in rice paddy fields.

#### 2. Monitoring of watershed and reservoir

- For development of watershed model, we collected GIS data and pollutant

source including point and non-point-source data. We measure water flow level and water quality samples for calibration of watershed(HSPF) and water quality model(WASP5).

- Investigation upon relationships between collected land uses and water quality characteristics on subbasin scale and zone scales of this study confirms that land use in upland is directly associated with concentration of pollution in receiving water.

### 3. Application of water quality model called WASP5

- The water quality analysis simulation program-5(WASP5) is applicable to reservoir, stream, estuarine and sea water for simulation of water quality, that is wide spread in the world for water quality simulation.
- WASP5 is used for water quality variable affected pollutant source, that is used for management of watershed pollutant control.
- Hwasung reservoir is maintain control of sea gate because the sea water was introduced into the reservoir once a day to control water quality until completion of the watershed management practice, therefore this study is considered the effects of controlling sea gate.

## IV. RESULTS AND APPLICABILITY

Most projects of tideland reclamation with dike construction produce estuarine reservoirs, which may result in water quality problems due to blocking of natural flow of stream water to the sea. External loadings to the reservoirs through tributaries are major concerns in a concerned water quality management. The water quality of a reservoir is greatly influenced by watershed drainage, and accurate estimation of pollutant is indispensable for in the reservoir management. Concentrations of the microorganisms in stream water and conventional parameters were monitored in the 13 water quality monitoring sites located in a rural watershed of Hwasung estuarine reservoir. The indicator of microorganisms showed strong correlation between them, and regression equations with  $R^2 \geq 0.70$  may be used for estimating one from other microorganisms. The



relationships between water quality parameters obtained in this study may be used to infer one unknown pollutant concentrations from the measured pollutant loadings. This methodology could be applied to other areas where the watershed characteristics are not significantly different from the study area.

The influence of land use and pollutant source on water quality was investigated using 3-yrs monitoring data of major influent stream in Hwasung reservoir watershed. The seven water quality station(N1, N2, J1, J3, J4, E2, E3) were used analysis of land use and pollutant effect, and six water quality station(N3, N4, J2, J5, E1, E4) were used analysis of waster quality status. Water quality parameter were positively correlated with residential and forest, negatively with paddy and upland especially during dry period. During wet period, correlation between land use and water quality was less apparent. Population and livestock density was correlated well to water quality parameter than just number of population and livestock.

Investigation upon relationships between land uses and water quality characteristics on sub-basin scale and zone scales of this study confirms that land use in upland is directly associated with concentration of pollution in receiving water. Much more significant and stronger relationships of these relationships in close proximity of land uses to streams were found in this study. To maximize the effectiveness of land management and limited resources in sustaining better water quality, policy makers and land management practices need to pay more close attention to riparian buffer areas. Behavior of land use effects on water quality over different zone scales is not consistent in regression analysis. In part, it might be due to insufficient sampling station numbers in the study as well as complex nature of the relationships. It is suggested that much more considerations upon catchment characteristics and biochemical process must be brought into the analytical framework to clarify our understanding the true nature of relationships between land uses and water quality. Thus, it is expected that zonal analysis accompanied with investigation on

sub-basin scale would be greatly helpful in making rational land use and management decisions on watershed for better water quality.

Applicability of HSPF-Paddy was examined on the Hwasung watershed in Korea, and the calibration/verification result was satisfactory in both water flow and water quality parameters. Simulation result for daily water flow was less accurate than the one of monthly simulation, and it might be attributed to the errors in input and observed data as well as rainfall variation in the mountainous study area. This result was obtained from watershed scale application for 5-year simulation, where land uses are mixed including residential, farm land, forest, and industrial areas. Especially paddy rice fields are about one-third of the total study area, and HSPF-Paddy simulated the watershed reasonably well. Overall, the HSPF-Paddy was found to be adequate to simulate watershed where substantial paddy rice fields are included, and its application in the paddy farming region is recommended for water quality management and BMPs evaluation and influents of water flow and pollutant source in WASP5 models.

Applicability of BASINS/HSPF-Paddy was evaluated on the Hwasung watershed in Korea, and the calibrations with dry-day and wet-day monitoring data for pollutant loading estimation were reviewed during 2002-2005. This study has demonstrated the advantage of using BASINS in watershed modeling coupled with GIS. BASINS provided various tools to delineate the watershed into land segments and river reaches, reclassify land use, and parameterize for HSPF-Paddy simulation. HSPF-Paddy is a well-known comprehensive watershed model, and it was found to be applicable in the simulation of loading estimates from a Korean watershed. Input parameters are numerous and difficult to prepare manually and extensive monitoring data are needed in WinHSPF simulation, and BASINS can provide an easy-to-use approach and more objectivity. Overall, BASINS/HSPF-Paddy was applicable and found to be a powerful tool in pollutant loading estimation from a watershed, and its use in Korea is recommended.

BASINS/HSPF linked with WASP5 was easily applicable for the agricultural watershed with agricultural reservoir as well as estuarine reservoir. These system is developed for managing automatically simulation with batch file. Therefore, administrator of reservoir controlled this model and can be use to manage water quality in reservoir.

# CONTENTS

## (영 문 목 차)

### **Chapter 1. Introduction**

- Section 1. Background of the research
- Section 2. Research needs
- Section 3. Objectives and scopes
- Section 4. Expected effects
- Section 5. Applicability of research results
- Section 6. Participated researchers

### **Chapter 2. Study Area**

- Section 1. Watershed condition

### **Chapter 3. Field Experiment and Data Analysis**

- Section 1. Building on-site analysis systems
- Section 2. Field measurement and analysis
- Section 3. Monitoring flow and water quality at watershed
- Section 4. Development of regression model for water quality prediction
- Section 5. Analysis of water quality effect on land uses
- Section 6. Correlation analysis between water quality and land uses and  
pollutions in stream buffer zone
- Section 7. Regression analysis between water quality and land uses in  
sub-basins
- Section 8. Application of the QUAL2E model and risk assessment for  
water quality management in Hwasung watershed
- Section 9. Water quality of freshwater and results and discussions

### **Chapter 4. BASINS development**

- Section 1. Watershed model selection

Section 2. Introduction of BASINS

Section 3. Introduction of HSPF

Section 4. Introduction of WASP5

**Chapter 5. BASINS/HSPF and WASP5 model applications**

Section 1. BASINS/HSPF preparation in advance

Section 2. BASINS/HSPF application

Section 3. WASP5 application

**Chapter 6. BASINS/HSPF and WASP5 development for integrating watershed management**

Section 1. BASINS/HSPF and WASP5 development for integrating watershed management

Section 2. Water quality improvement plan by natural treatment

Section 3. Water quality prediction at freshwater times in Hwasung watershed

**Chapter 6. Water quality control techniques within freshwater**

Section 1. Algae control

Section 2. Macrophyte removal

Section 3. Storages of eutrophication tap water source

**Chapter 8. Conclusion**

**Chapter 9. References**

**Appendix**

# 목 차

요 약 문 .....	3
목 차 .....	21
<b>제 1 장 서 론 .....</b>	<b>39</b>
제 1 절 연구배경 .....	39
제 2 절 연구개발의 필요성 .....	40
1. 기술적 측면 .....	40
2. 경제·산업적 측면 .....	41
3. 사회·문화적 측면 .....	42
제 3 절 연구개발의 목표 및 내용 .....	42
1. 최종목표 .....	43
2. 연구내용 .....	43
제 4 절 기대효과 .....	45
1. 기술적 측면 .....	45
2. 경제·산업적 측면 .....	45
제 5 절 활용방안 .....	46
제 6 절 연구진의 구성 .....	50
1. 연구진의 구성 .....	50
2. 총괄연구책임자 .....	51
3. 협동·세부·위탁연구책임자 .....	51
4. 연구원 .....	52
<b>제 2 장 조사대상지구 .....</b>	<b>53</b>
제 1 절 유역의 수계현황 .....	53
1. 유역의 토지 이용 .....	53
2. 유역의 토양특성 .....	55
3. 유역의 수계현황 .....	57

제 3 장 현장 측정 및 자료 수집 .....	59
제 1 절 현장 분석 체계 구축 .....	59
1. 현장 측정지점의 선정 .....	59
2. 수질 분석체계 구축 .....	63
제 2 절 화성호의 현장조사 및 분석 .....	64
1. 조사기간 및 지점 .....	64
2. 조사항목 및 분석방법 .....	65
3. 통계분석 .....	66
제 3 절 유역의 유량 및 수질 측정 .....	67
1. 하천 단면 측정 및 유량 측정 .....	67
2. 수질 모니터링 자료 정리 .....	70
제 4 절 수질 예측을 위한 회귀모형의 개발 .....	91
1. 모형 개발의 목적 .....	91
2. 강우시와 비강우시의 영양물질의 태별 변화 .....	92
3. 수질항목간의 상관관계 분석 및 회귀 모형의 적용 .....	94
4. 지표미생물간의 회귀관계식 도출 .....	95
제 5 절 유역의 토지 이용이 수질에 미치는 영향 분석 .....	99
1. 연구의 목적 .....	99
2. 분석에 이용된 토지이용과 오염원자료 .....	100
3. 수질 항목간의 상관관계분석 .....	101
4. 토지이용과 수질항목간의 상관관계 .....	103
5. 수질항목과 인구 및 축산 사육두수의 상관관계 .....	105
6. 연구결과의 이용방안 .....	107
제 6 절 하천 buffer zone의 토지이용과 오염원이 수질간의 상관성 분석	109
1. 연구의 목적 .....	109
2. 연구 방법 .....	110
3. 화성유역의 수질특성 .....	111
4. 토지이용과 가축분포 .....	112
5. Buffer zone별 토지이용과 수질 상관성 .....	113

6. Buffer zone별 주요오염원과 수질과의 상관관계 분석 .....	114
7. 도출된 연구성과의 활용방안 .....	117
제 7 절 화성유역의 소유역의 토지이용과 수질간의 회귀분석 .....	118
1. 연구의 목적 .....	118
2. 연구지역 .....	119
3. 유역의 수질과 토지이용 특성 .....	120
4. 수질항목과 토지이용간의 상관관계 분석 .....	122
5. 토지이용과 수질간의 회귀분석 .....	124
6. 도출된 연구성과에 대한 고찰 .....	126
7. 도출된 연구성과의 적용 .....	127
제 8 절 화성유역 남양천의 QUAL2E 적용과 위해성 평가 .....	128
1. 연구의 목적 .....	128
2. 연구의 방법 .....	130
3. QUAL2E모형 적용 .....	131
4. 위해성 평가방법 .....	132
5. QUAL2E모형의 검·보정 결과 .....	134
6. 위해성 평가 .....	136
7. 연구결과의 활용방안 .....	138
제 9 절 담수호의 수질 조사 및 결과 고찰 .....	138
1. 조사결과 및 고찰 .....	139
2. 화성호 수질변화 분석의 요약 .....	188
<b>제 4 장 BASINS 유역모형 개발 .....</b>	<b>191</b>
제 1 절 유역모델 수행 .....	191
1. 모델 선정 .....	191
제 2 절 BASINS 모형 .....	202
1. BASINS 구성요소 .....	203
2. National environmental databases .....	204
3. BASINS Assessment tools .....	204
5. BASINS Utilities .....	205



6. BASINS Models .....	207
제 3 절 HSPF 모형의 개요 .....	209
1. HSPF 모형의 목적 및 범위 .....	209
2. HSPF 개요 .....	210
3. 논 <그림 4-111> 호수 중앙부분의 2004년 영양물질 모의 결과모의를 위한 기본 개념 .....	248
4. HSPF-Paddy 모델 개발 .....	252
5. HSPF-Paddy 모델 .....	258
제 4 절 WASP5 모형의 개요 .....	263
1. WASP5 모형 .....	263
<b>제 5 장 BASINS/HSPF 유역모형과 WASP5 호소모형의 적용 .....</b>	<b>275</b>
제 1 절 BASINS/HSPF 유역모형 구축 .....	275
1. BASINS의 Assessment tool .....	275
2. BASINS-Delinated tool을 이용한 대상유역 소유역분할 .....	276
3. BASINS-Utility tool을 이용한 소유역별 토지 이용 정보 생성 .....	277
4. BASINS-WDMUtil을 이용한 유역모형에 사용되는 기상자료 입력 .....	278
5. BASINS-WDMUtil을 이용한 유역모형에 사용되는 점오염원 입력 .....	279
6. BASINS-Model을 이용한 유역모형 입력파일 자동생성 .....	282
제 2 절 BASINS/HSPF 유역모형 적용 .....	283
1. HSPF모형의 유출량 민감도 분석 .....	285
2. HSPF모형의 유량 보정 .....	288
3. HSPF 모형의 수질의 검·보정 결과 .....	291
4. 부하량 산정 .....	316
제 3 절 WASP5 호소모형 적용 .....	325
1. 대상 담수호에서 측정된 수질자료에 대한 호소구축 .....	325
2. WASP 모형의 입력자료 산정 .....	328
3. 수문조작이 호소 수질에 미치는 영향 검토 .....	329
4. WASP5 호소모형의 모의 .....	329

<b>제 6 장 BASINS/HSPF와 WASP5의 통합유역관리 모형 개발</b> .....	<b>359</b>
제 1 절 BASINS/HSPF와 WASP5의 통합유역관리 모형 개발 .....	359
1. BASINS/HSPF모형의 구동을 위한 준비 .....	359
2. WASP5 모형의 구동 .....	360
3. WASP5 모형의 안정화를 위한 작업 .....	361
제 2 절 자연정화 방법에 의한 수질개선 방안 조사 .....	363
1. 토양식처리방법 .....	363
2. 수중처리방법 .....	364
3. 처리방법과 지역조건 .....	366
제 3 절 화성담수호의 담수화 시기의 수질 예측 .....	376
1. 비점오염을 제어하기 위한 습지 적용 .....	376
2. WASP5모형 구동 .....	377
3. 2012년 점원오염원의 입력 .....	379
4. 2012년을 예측을 위한 HSPF와 WASP5 모형의 구동 .....	380
5. 인공습지를 설치하여 운영한 2012년 화성담수호의 수질 모의 .....	383
<b>제 7 장 담수호내 수질 제어기법 조사</b> .....	<b>389</b>
제 1 절 조류 제어 .....	389
1. 인의 불활성화 .....	390
2. 퇴적물제거 .....	392
3. 희석과 세척 .....	393
4. 인공순환 .....	395
5. 심층수폭기 .....	396
6. 심층수배제 .....	396
7. 퇴적물산화 .....	397
8. 먹이그물 조절 .....	397
9. 조류제거제 .....	399
제 2 절 대형 수초의 제거 .....	400
1. 퇴적물제거 및 퇴적물경운 .....	401
2. 수위강하 .....	402

3. 음영과 퇴적층 덮기 .....	403
4. 생물학적 통제 .....	405
5. 수확 .....	408
6. 제초제 .....	410
제 3 절 부영양 상수원 저수지 .....	413
1. 상수원저수지 관리 .....	414
2. 색도 .....	415
3. 맛과 냄새 .....	415
4. Trihalomethane 생산 .....	416
5. 산성화된 호소 .....	416
6. 산성화된 호소표면에 석회 투입 .....	416
7. 퇴적층에 염기물질의 주입 .....	417
8. 기계적으로 하천에 투입 .....	418
9. 유역에 석회석 투입 .....	418
10. 염기성 지하수의 공급 .....	419
제 8 장 요약 및 결론 .....	421
참고문헌 .....	428
부록 .....	438

## 표 목차

<표 2-1> 화성유역의 주요 샘플링 지점의 토지이용과 주요하천 주변의 토지 이용분포 .....	54
<표 2-2> 화성유역의 토양분포과 토양특성 .....	56
<표 3-1> 수질측정을 위한 분석 방법 구축 .....	63
<표 3-2> 화성호의 수질 조사지점의 위치 정보 .....	65
<표 3-3> 화성유역의 측정지점별 수질 평균 결과 .....	72
<표 3-4> 화성유역의 측정지점별 수질 평균 결과 .....	73
<표 3-5> 지표미생물의 기하평균과 측정된 지표미생물의 비율 .....	97
<표 3-6> 수질항목간의 Pearson correlation coefficient .....	102
<표 3-7> 수질과 토지이용간의 Pearson correlation coefficient .....	104
<표 3-8> 수질과 오염원간의 Pearson correlation coefficient .....	106
<표 3-9> 연구지역의 수질특성 .....	111
<표 3-10> 연구지역의 토지 이용현황 .....	112
<표 3-11> 연구지역의 가축 분포 .....	113
<표 3-12> Buffer zone별 토지이용과 수질 상관성 분석 .....	115
<표 3-13> Buffer zone과 주요오염원과 수질 상관성 결과 .....	116
<표 3-14> 본 연구에 사용된 주요 수질항목의 평균 농도 .....	121
<표 3-15> 화성유역의 주요 하천의 buffer zone별 토지이용 특성 .....	122
<표 3-16> 토지이용과 측정지점간의 상관관계분석 .....	123
<표 3-17> Buffer zone별 토지이용과 수질과의 상관성 분석 .....	124
<표 3-18> Zone 별로 분석된 토지이용과 하천수질의 회귀분석 결과 .....	125
<표 3-19> 남양천 유역의 각 Reach별 소유역의 토지 이용 .....	131
<표 3-20> 모형의 검·보정 기간별 모니터링 결과 .....	132
<표 3-21> 남양천 유역에서 QUAL2E 모형을 이용해서 산출된 위해도 값	138
<표 3-22> 2003년 9월~2006년 1월간 화성호 하천 유입부에서 정점별 수층에 따른 수질 평균값 및 표준편차(최대/최소) .....	141
<표 3-23> 2003년 9월~2006년 1월간 화성호 개방 수역에서 정점별 수층에 따른 수질 평균값 및 표준편차(최대/최소) .....	142

<표 3-24> 2003년 9월~2006년 1월간 화성호 하천유입부에서 봄철(3~5월)수질 평균값 및 표준편차(최대/최소) .....	143
<표 3-25> 2003년 9월~2006년 1월간 화성호 개방수역에서 봄철(3~5월)수질 평균값 및 표준편차(최대/최소) .....	144
<표 3-26> 2003년 9월~2006년 1월간 화성호 하천유입부에서 여름철(6~8월)수질 평균값 및 표준편차(최대/최소) .....	145
<표 3-27> 2003년 9월~2006년 1월간 화성호 개방수역에서 여름철(6~8월)수질 평균값 및 표준편차(최대/최소) .....	146
<표 3-28> 2003년 9월~2006년 1월간 화성호 하천유입부에서 가을철(9~11월)수질 평균값 및 표준편차(최대/최소) .....	147
<표 3-29> 2003년 9월~2006년 1월간 화성호 개방수역에서 가을철(9~11월)수질 평균값 및 표준편차(최대/최소) .....	148
<표 3-30> 2003년 9월~2006년 1월간 화성호 하천유입부에서 겨울철(12~1월)수질 평균값 및 표준편차(최대/최소) .....	149
<표 3-31> 2003년 9월~2006년 1월간 화성호 개방수역에서 겨울철(12~1월)수질 평균값 및 표준편차(최대/최소) .....	150
<표 4-1> 모형의 종류 및 구성요소 - Simple Methods .....	192
<표 4-2> 모형의 종류 및 구성요소 - Mid-Range Methods .....	193
<표 4-3> 모형의 종류 및 구성요소 - Detailed Methods .....	194
<표 4-4> 모형의 입·출력 자료 - Simple Methods .....	195
<표 4-5> 모형의 입·출력 자료 - Mid-Range Methods .....	196
<표 4-6> 모형의 입·출력 자료 - Detailed Methods .....	197
<표 4-7> 유역모형의 적용 수준 - Simple Methods .....	199
<표 4-8> 유역모형의 적용 수준 - Mid-Range Methods .....	199
<표 4-9> 유역모형의 적용 수준 - Detailed Methods .....	200
<표 4-10> 연구기간동안의 영농활동 .....	261
<표 4-11> EUTRO5 systems and complexity levels .....	268
<표 5-1> Modified BASINS database for KOREA .....	275
<표 5-2> 화성유역과 담수호의 제원 .....	284
<표 5-3> 3개의 주요하천 말단부의 수질 .....	317

<표 5-4> 년별 세 개의 주요하천에서 발생하는 점오염원과 비점오염원	324
<표 5-5> 화성담수호의 각 segment의 제원	327
<표 5-6> EUTRO 모형 보정에 사용된 반응상수와 다른 연구자들의 결과	357
<표 6-1> 화성유역과 화성담수호의 제원	378
<표 6-2> WASP5 모형에 사용된 보정인자의 값	379
<표 6-3> HSPF 모형으로 산정된 2012년의 주요 3개의 하천의 유출량과 평균 수질 농도	381
<표 6-4> 모형을 통해 계산된 담수호의 평균 수질	382
<표 6-5> 세 개의 주요하천에 인공습지의 평균 유입유량과 유출입 농도	385
<표 6-6> 담수호로 유입되는 평균 유입부하량의 비교	385
<표 6-7> 인공습지 가동 유무에 따른 화성담수호의 수질개선효과 분석	386

## 그림 목차

<그림 2-1> 화성유역의 토지이용 분류 .....	53
<그림 2-2> 화성유역의 토양특성 .....	55
<그림 3-1> 화성유역의 수질 및 유량 측정 지점 .....	59
<그림 3-2> 측정지점의 압력식 수위계설치 전경 .....	60
<그림 3-3> 측정지점의 수질 샘플링 전경 .....	61
<그림 3-4> 하천의 유역환경 변화 .....	62
<그림 3-5> 화성호의 수질 조사지점 .....	64
<그림 3-6> 유량 측정 지점의 하천 단면 측정 결과 .....	67
<그림 3-7> 단면측정과 유량조사 사진 .....	68
<그림 3-8> 측정지점의 수위-유량 관계식 .....	69
<그림 3-9> 화성 유역의 수질 측정 지점 .....	70
<그림 3-10> 화성 유역의 주요 하천의 수질 변화 패턴 분석 .....	74
<그림 3-11> 남양천의 N1과 N2 지점의 대장균, 탁도, DO, BOD <sub>5</sub> , COD, 그리고 SS의 농도 비교 .....	77
<그림 3-12> 남양천의 N1과 N2 지점의 영양물질 농도 비교 .....	78
<그림 3-13> 남양천의 DO, BOD <sub>5</sub> , T-N, 그리고 T-P의 농도변화 .....	79
<그림 3-14> 남양천의 COD, Chl- <i>a</i> , coliform bacteria, SS, 그리고 NH <sub>3</sub> -N의 농도변화 .....	80
<그림 3-15> 자안천의 J1, J3, J4 지점의 대장균, 탁도, DO, BOD <sub>5</sub> , COD, 그리고 SS의 농도 비교 .....	82
<그림 3-16> 자안천의 J1, J2, 그리고 J3 지점의 영양물질의 농도 비교 .....	83
<그림 3-17> 자안천의 DO, BOD <sub>5</sub> , T-N, 그리고 T-P의 농도변화 .....	84
<그림 3-18> 자안천의 COD, Chl- <i>a</i> , coliform bacteria, SS, 그리고 NH <sub>3</sub> -N의 농도변화 .....	85
<그림 3-19> 어은천의 E2와 E3 지점의 대장균, 탁도, DO, BOD <sub>5</sub> , COD, 그리고 SS의 농도 비교 .....	87
<그림 3-20> 어은천의 E2와 E3 지점의 영양물질 농도 비교 .....	88
<그림 3-21> 어은천의 DO, BOD <sub>5</sub> , T-N, 그리고 T-P의 농도변화 .....	89

<그림 3-22> 자안천의 COD, Chl- <i>a</i> , coliform bacteria, SS, 그리고 NH <sub>3</sub> -N의 농도변화 .....	90
<그림 3-23> 영양물질의 강우시와 평수기의 태별 변화 .....	93
<그림 3-24> 주요 오염물질의 상관관계 분석 결과 .....	95
<그림 3-25> 지표미생물 간의 회귀식 도출 .....	96
<그림 3-26> 연구에 적용된 3개 하천의 buffer zone .....	111
<그림 3-27> 연구대상지역의 모니터링 사이트와 분할된 소유역 .....	120
<그림 3-28> 화성유역의 주요하천과 나머지 지역의 수질특성 비교 .....	121
<그림 3-29> 대상유역과 QUAL2E 모형의 구성 .....	131
<그림 3-30> 남양천 유역의 모형의 검·보정 결과 .....	135
<그림 3-31> 위해성 평가를 위한 monte-carlo simulation 결과 .....	137
<그림 3-32> 2003년 9월~2006년 1월동안 화성호의 상·하류구간에서 주요 정점별 수온의 월 변동 .....	151
<그림 3-33> 2003년 9월~2006년 1월동안 화성호의 상·하류구간에서 주요 정점별 DO의 월변동 .....	152
<그림 3-34> 2003년 9월~2006년 1월동안 화성호의 상·하류구간에서 주요 정점별 pH의 월변동 .....	155
<그림 3-35> 2003년 9월~2006년 1월동안 화성호의 상·하류구간에서 주요 정점별 전기전도도의 월변동 .....	158
<그림 3-36> 2003년 9월~2006년 1월동안 화성호의 상·하류구간에서 주요 정점별 염분도의 월변동 .....	159
<그림 3-37> 2003년 9월~2006년 1월동안 화성호의 상·하류구간에서 주요 정점별 탁도의 월변동 .....	162
<그림 3-38> 2003년 9월~2006년 1월동안 화성호의 상·하류구간에서 주요 정점별 부유물질의 월변동 .....	163
<그림 3-39> 2003년 9월~2006년 1월동안 화성호의 상·하류구간에서 주요 정점별 BOO의 월변동 .....	166
<그림 3-40> 2003년 9월~2006년 1월동안 화성호의 상·하류구간에서 주요 정점별 COD의 월변동 .....	167
<그림 3-41> 2003년 9월~2006년 1월동안 화성호의 상·하류구간에서 주요	



정점별 총질소의 월변동 .....	168
<그림 3-42> 2003년 9월~2006년 1월동안 화성호의 상·하류구간에서 주요 정점별 유기질소의 월변동 .....	169
<그림 3-43> 2003년 9월~2006년 1월동안 화성호의 상·하류구간에서 주요 정점별 암모니아의 월변동 .....	170
<그림 3-44> 2003년 9월~2006년 1월동안 화성호의 상·하류구간에서 주요 정점별 질산의 월변동 .....	171
<그림 3-45> 2003년 9월~2006년 1월동안 화성호의 상·하류구간에서 주요 정점별 아질산의 월변동 .....	172
<그림 3-46> 2003년 9월~2006년 1월동안 화성호의 상·하류구간에서 주요 정점별 총인의 월변동 .....	174
<그림 3-47> 2003년 9월~2006년 1월동안 화성호의 상·하류구간에서 주요 정점별 유기인의 월변동 .....	175
<그림 3-48> 2003년 9월~2006년 1월동안 화성호의 상·하류구간에서 주요 정점별 용존 무기인의 월변동 .....	176
<그림 3-49> 2003년 9월~2006년 1월동안 화성호의 상·하류구간에서 주요 정점별 Chlorophyll-a의 월변동 .....	179
<그림 3-50> 화성호의 하천 유입부(HL1, HL2, HL4)에서 chlorophyll-a와 주요 환경요인의 연관성을 나타낸 단순 분포(2003년 9월~2006년 1월) .....	180
<그림 3-51> 화성호의 하천 유입부(HL1, HL2, HL4)에서 chlorophyll-a와 주요 환경요인의 연관성을 나타낸 단순 분포(2003년 9월~2006년 1월) .....	181
<그림 3-52> 화성호의 개방수역(HL3, HL5, HL6)에서 chlorophyll-a와 주요 환경요인의 연관성을 나타낸 단순 분포(2003년 9월~2006년 1월) .....	182
<그림 3-53> 화성호의 개방수역(HL3, HL5, HL6)에서 chlorophyll-a와 주요 환경요인의 연관성을 나타낸 단순 분포(2003년 9월~2006년 1월) .....	183
<그림 3-54> 화성호의 하천유입부와 개방수역에서 chlorophyll-a와 주요 환경요인의 연관성을 나타낸 단순 분포(2003년 9월~2006년 1월) .....	184
<그림 3-55> 화성호의 하천유입부와 개방수역에서 chlorophyll-a와 주요 환경요인의 연관성을 나타낸 단순 분포(2003년 9월~2006년 1월) .....	185
<그림 3-56> 화성호의 수질 평균값과 표준편차를 이용한 각 정점별 공간적	

분포 비교(2003년 9월 ~ 2006년 1월) .....	186
<그림 3-57> 화성호의 수질 평균값과 표준편차를 이용한 각 정점별 공간적 분포 비교(2003년 9월 ~ 2006년 1월) .....	187
<그림 4-1> BASINS의 적용 흐름도 .....	203
<그림 4-2> BASINS 구성요소 .....	204
<그림 4-3> National Environmental databases 구성요소 .....	204
<그림 4-4> BASINS Assessment tools 구성요소 .....	205
<그림 4-5> BASINS Utilities 구성요소 .....	205
<그림 4-6> BASINS Watershed Characterization Reports 구성요소 .....	207
<그림 4-7> HSPF structure 구성요소 .....	212
<그림 4-8> HSPF Application Modules 구성요소 .....	214
<그림 4-9> PERLND module 구성요소 .....	215
<그림 4-10> IMPLND module 구성요소 .....	216
<그림 4-11> 불투수층에서의 과정 .....	216
<그림 4-12> RCHRES 물질 이동 흐름도 .....	217
<그림 4-13> RCHRES module 구성요소 .....	217
<그림 4-14> 물의 순환 .....	219
<그림 4-15> 지표면에서의 침투량과 기저유출계산 .....	220
<그림 4-16> 토양 상층 저류 .....	221
<그림 4-17> 토양하층으로 이동하는 침투와 침투 비율 .....	222
<그림 4-18> 지표유출의 형태 .....	224
<그림 4-19> RCHRES module의 HYDR 흐름도 .....	226
<그림 4-20> 하천에서 수심에 의한 수량 계산 .....	227
<그림 4-21> 토양유실 과정 .....	228
<그림 4-22> PERLND module의 SEDMNT 흐름도 .....	229
<그림 4-23> 수체에서의 토양유실과정 .....	232
<그림 4-24> Module의 SEDTRN에서 무기 침전물질의 모의 흐름도 .....	233
<그림 4-25> PERLND module의 PQUAL 흐름도 .....	236
<그림 4-26> 용존산소 물질 수지 .....	239
<그림 4-27> BOD 유입원과 침전 .....	239

<그림 4-28> 유기질소원과 침전, 변환 .....	244
<그림 4-29> 무기인원의 source와 침전, 변환 .....	245
<그림 4-30> 논에서의 수문해석 개념도 .....	249
<그림 4-31> Dirac delta 함수에 의한 수질변화 개념도 .....	250
<그림 4-32> Continuous source 함수에 의한 수질변화개념도 .....	252
<그림 4-33> 투수층에서의 물수지 분석을 모의하는 PWATER 흐름도 .....	253
<그림 4-34> HSPF에서의 침투와 기저유출, 잠재지표유출량 개념도 .....	254
<그림 4-35> 수정된 HSPF-Paddy에서의 침투와 기저유출 .....	255
<그림 4-36> HSPF에서 투수층에서의 영양물질 모의 흐름도 .....	256
<그림 4-37> HSPF-Paddy 초기화면 .....	258
<그림 4-38> 물꼬 높이와 관개수량 변화를 위한 timeseries 입력 .....	259
<그림 4-39> SPEC-ACTIONS에 의한 시비투여 기입 .....	259
<그림 4-40> HSPF-Paddy 모형 검증을 위한 연구대상지구 .....	260
<그림 4-41> HSPF-Paddy를 이용한 필지논에서의 담수심 및 지표유출 모의 결과 .....	261
<그림 4-42> HSPF-Paddy를 이용한 논 표면수의 T-N 및 T-P 모의결과	262
<그림 5-1> BASINS-Assessment tool의 적용 .....	276
<그림 5-2> BASINS-Delinated tool을 이용한 소유역 분할 .....	277
<그림 5-3> BASINS-Utility tool을 이용한 토지 이용정보 생성 .....	278
<그림 5-4> HSPF구동을 위한 기상자료 생성 .....	279
<그림 5-5> 1999년도 유역의 점오염원 분포(배출부하량) .....	280
<그림 5-6> 2003년도 유역의 점오염원 분포(배출부하량) .....	281
<그림 5-7> BASINS에 의해 자동 생성된 Win-HSPF 입력파일 .....	282
<그림 5-8> 화성유역의 형상과 유량 수질 검·보정 지점 .....	284
<그림 5-9> DEEPER, FOREST, INFILT, 그리고 KVARY 보정인자의 민감 도 분석 .....	286
<그림 5-10> AGWRC, AGWET-P, UZSN, 그리고 INTFW 보정인자의 민감 도 분석 .....	287
<그림 5-11> IRC, LZET-P, LSZN 그리고 BASET-P 보정인자의 민감도 분 석 .....	288

<그림 5-12> N1과 N2 지점의 hourly 모의 결과 .....	289
<그림 5-13> E2, E3, 그리고 J1 지점의 hourly 모의 결과 .....	289
<그림 5-14> N1, N2, 그리고 J2 지점의 daily 유출량 보정 결과 .....	290
<그림 5-15> N1(아파트 지점)의 DO, 온도, BOD <sub>5</sub> , SS의 모의 결과 .....	292
<그림 5-16> N1(아파트 지점)의 영양물질 모의결과 .....	293
<그림 5-17> N2(행가교 지점)의 DO, BOD <sub>5</sub> , 수온, SS의 모의 결과 .....	294
<그림 5-18> N2(행가교 지점)의 영양물질 모의 결과 .....	295
<그림 5-19> N3(쌍송교 지점)의 DO와 BOD <sub>5</sub> 의 모의 결과 .....	296
<그림 5-20> N3(쌍송교 지점)의 영양물질 모의 결과 .....	297
<그림 5-21> N4(남양천말단 지점)의 DO와 BOD <sub>5</sub> 의 모의 결과 .....	298
<그림 5-22> N4(남양천말단 지점)의 영양물질 모의 결과 .....	299
<그림 5-23> J1(자안교 지점)의 DO, BOD <sub>5</sub> , 수온, 그리고 SS 모의 결과 ..	300
<그림 5-24> J1(자안교 지점)의 영양물질 모의 결과 .....	301
<그림 5-25> J2(온석교 지점)의 DO와 BOD <sub>5</sub> 의 모의 결과 .....	302
<그림 5-26> J2(온석교 지점)의 영양물질 모의 결과 .....	303
<그림 5-27> J3(노하교 지점)의 DO, BOD <sub>5</sub> , 수온, 그리고 SS 모의 결과 ...	304
<그림 5-28> J3(노하교 지점)의 영양물질 모의 결과 .....	305
<그림 5-29> J4(석포교 지점)의 DO, BOD <sub>5</sub> , 수온, 그리고 SS 모의 결과 ...	306
<그림 5-30> J4(석포교 지점)의 영양물질 모의 결과 .....	307
<그림 5-30> E1(어은천 상류)의 DO와 BOD <sub>5</sub> 의 모의 결과 .....	308
<그림 5-31> E1(어은천 상류)의 영양물질 모의 결과 .....	309
<그림 5-32> E2(배다리교)의 DO, BOD <sub>5</sub> , 수온, 그리고 SS 모의 결과 .....	310
<그림 5-33> E2(배다리교)의 영양물질 모의 결과 .....	311
<그림 5-34> E3(마산교 지점)의 DO, BOD <sub>5</sub> , 수온, 그리고 SS 모의 결과 ...	312
<그림 5-35> E3(마산교 지점)의 영양물질 모의 결과 .....	313
<그림 5-36> E4(어은천 말단)의 영양물질 모의 결과 .....	314
<그림 5-37> E4(어은천 말단)의 영양물질 모의 결과 .....	315
<그림 5-38> 화성유역의 큰 세하천의 월별 오염부하량의 비교 .....	318
<그림 5-39> 화성유역의 큰 세하천의 년별 오염부하량의 비교 .....	319
<그림 5-40> 화성유역의 연간 월별 오염부하량의 비교(2000 - 2001년) .....	320

<그림 5-41> 화성유역의 연간 월별 오염부하량의 비교(2002 - 2003년) .....	321
<그림 5-42> 화성유역의 연간 월별 오염부하량의 비교(2004 - 2005년) .....	322
<그림 5-43> 내부개답 완료전 WASP모형의 segment 모식도와 유역현황 ·	325
<그림 5-44> 내부개답 완료후 WASP모형의 segment 모식도와 유역현황 ·	328
<그림 5-45> 화성담수호의 수심-용적곡선 .....	329
<그림 5-46> 화성유역의 WASP5모형을 이용한 수질 모의 지점 .....	330
<그림 5-47> 남양천 유입부의 2003년 모의 결과 .....	331
<그림 5-48> 남양천 유입부의 영양물질 2003년 모의 결과 .....	332
<그림 5-49> 자안천의 2003년 수질 모의 결과 .....	333
<그림 5-50> 자안천의 2003년 영양물질 모의 결과 .....	334
<그림 5-51> 남양천과 자안천의 합류부 2003년 수질 모의 결과 .....	335
<그림 5-52> 남양천과 자안천의 합류부 2003년 영양물질 모의 결과 .....	337
<그림 5-54> 어은천 유입부의 2003년 수질 모의 결과 .....	338
<그림 5-55> 어은천 유입부의 영양물질 2003년 수질 모의 결과 .....	339
<그림 5-56> 호수중앙부의 2003년 수질 모의 결과 .....	340
<그림 5-57> 호수중앙부의 영양물질 2003년 수질 모의 결과 .....	341
<그림 5-58> 배수갑문 주변의 2003년도 수질 모의 결과 .....	342
<그림 5-59> 배수갑문 주변의 2003년도 영양물질 모의 결과 .....	343
<그림 5-60> 남양천 유입부의 2004년 수질 모의결과 .....	344
<그림 5-61> 남양천 유입부의 2004년 영양물질 모의결과 .....	345
<그림 5-62> 자안천 유입부의 2004년 수질 모의 결과 .....	346
<그림 5-63> 자안천 유입부의 2004년 영양물질 모의 결과 .....	347
<그림 5-64> 남양천과 자안천 합류부의 2004년 수질 모의 결과 .....	348
<그림 5-65> 남양천과 자안천 합류부의 2004년 영양물질 모의 결과 .....	349
<그림 5-66> 어은천 유입부의 2004년 수질 모의 결과 .....	350
<그림 5-67> 어은천 유입부의 2004년 영양물질 모의 결과 .....	351
<그림 5-68> 호수 중앙부분의 2004년 수질 모의 결과 .....	352
<그림 5-69> 호수 중앙부분의 2004년 영양물질 모의 결과 .....	353
<그림 5-70> 배수갑문 주변의 2004년 수질 모의 결과 .....	354
<그림 5-71> 배수갑문 주변의 2004년 영양물질 모의 결과 .....	355

<그림 5-72> 내부개답 전 WASP 모형 모의 결과의 연평균 수질(유량가중평균) .....	356
<그림 6-1> HSPF 모형의 실행파일 .....	360
<그림 6-2> HSPF구동 후 출력된 OUT 파일의 형태 .....	360
<그림 6-3> WASP5 모형의 경계조건 생성 .....	361
<그림 6-4> DYNHYD5 모형의 구동 .....	361
<그림 6-5> EUTRO5 모형의 구동 .....	361
<그림 6-6> WASP5 모형의 안정화 .....	362
<그림 6-7> WASP5 모형의 출력형태 변환 .....	362
<그림 6-8> 완속침윤방법에 의한 수질개선시스템의 소요부지 산정 .....	368
<그림 6-9> 급속침윤방법에 의한 하수처리시스템의 소요부지 산정 .....	370
<그림 6-10> 지표유하방법에 의한 하수처리시스템의 소요부지 산정 .....	371
<그림 6-11> 비점오염원 제어를 위한 인공습지의 위치도 .....	376
<그림 6-12> 적용된 WASP5 모형의 개략도 .....	377
<그림 6-13> 2012년 기준으로 산정된 HSPF유입부하량 .....	380
<그림 6-14> 2012년에 예측된 HSPF의 유출량과 수질의 시간적인 변화 .....	381
<그림 6-15> 습지처리시설의 가동 없이 예측한 2012년의 담수호내 수질 .....	382
<그림 6-16> 문헌평균을 이용한 2012년 화성담수호의 수질변화 .....	383
<그림 6-17> 석문호의 보정인자를 이용한 2012년 화성담수호의 수질변화 .....	383
<그림 6-18> NPS-WET으로 계산된 습지적용시 유출량과 유출입 농도 .....	384
<그림 6-19> 인공습지처리시설의 가동후 2012년의 담수호내 수질 .....	386
<그림 6-20> 문헌평균을 이용한 2012년 화성담수호의 수질변화 .....	387
<그림 6-21> 석문호의 보정인자를 이용한 2012년 화성담수호의 수질변화 .....	387

## 제 1 장 서 론

---

# 제 1 장 서 론

## 제 1 절 연구배경

화성지구 간척지 개발사업은 공업화, 도시화로 인하여 전용되는 농지의 대체개발과 수자원 확보를 위하여 경기도 화성시 우정면, 장안면, 남양면, 마도면, 서신면 등 5개면에 걸쳐 간척지 4,482 ha, 담수호 1,730 ha 등 총 매립면적 6,212 ha를 개발하여 4,482 ha의 농지 및 5,440만 m<sup>3</sup>의 수자원을 확보하기 위한 간척지 개발 사업이다. 일부 잉여수자원은 도수로(시우간선)을 이용하여 인근 시화지구에 공급함으로써 탄도 간척 농지의 부족한 수량을 보충할 계획으로 있다.

주요 공사 중 외곽시설 공사는 방조제 2조 9.8 km, 배수갑문 1개소, 진입도로 4조 8.8 km, 선착장 2개소가 있으며, 내부개발 공사는 양수장 1개소, 용·배수로 25조 80 km, 방수제 10조 37 km, 농지조성 4,482 ha 등이다. 당초 본 지구는 화성시 서신면과 우정면 앞 바다인 남양만을 개발하는 우정단지와 안산시 대부도 서남부의 산사지를 개발하는 대부단지로 크게 나뉘었는데 대부단지는 사업타당성의 문제로 매립면허 변경승인을 받아 현재는 구봉단지만 남아있으며, 예산상 및 사업공정상의 문제로 우정단지를 먼저 개발하였다. 우정단지는 서신면 궁평리와 우정면 매향리 사이에 방조제를 축조하여 6,212 ha의 매립지를 개발하여 4,482 ha의 간척농지 그리고 1,730 ha의 담수호(화성호)에 5,440 m<sup>3</sup>의 수자원을 확보하기 위한 간척지개발사업이다. 이 수자원은 내부개발이 완료되면 4,482 ha의 간척농지와 1,320 ha의 배후지 등 총 5,802 ha의 농경지에 농업용수로 공급될 예정이다.

최근에 시화호사례를 중심으로 하구담수호에 대한 수질문제가 국민적 관심사로 떠오르면서, 화성지구 우정단지에 조성예정인 화성호의 수질에 관한 점검 및 수질보전을 위한 대책이 필요하게 되었다. 최근 간척지구 담수호의 수질이 유역 내 각종 오염원에 의해 점차 오염됨으로서 농업 용수원의 활용에 제약을 받고, 또한 여론의 관심이 집중되는 점을 감안하여, 본 지구 담수호의 수질을 관리하기 위한 종합적인 수질개선대책사업을 시작하였다. 담수호 수질보전을 위해서는 수질오염을 유발하는 오염물질의 부하량감소가 필수적이며 이를 바탕으로 호소내의 적절한 관리가 이루어져야 원하는 수질을 유지할 수 있다. 오염물질의 부하는 호소외측 유역으로부터 유입되는 외부부하량과 호소내측 퇴적물 등에서 발생하는 내부부하량으로 구분할 수 있는데, 화성호처럼 호소가 처음 형성되는 시기에는 외부부하량이 대부분을 차지하며, 특히 담수호



의 형성초기부터 외부부하량을 효율적으로 통제하는 조치는 초기의 수질뿐만 아니라 장기적인 호소수질관리를 위해서도 매우 중요한 역할을 한다.

본 연구에서는 화성지구에 BASINS/HSPF모형으로 유역의 유입부하량을 산정하는 방법을 구축하고, 산정된 부하량을 이용하여 WASP5 모형으로 구축하여 담수호내의 수질을 예측함으로써 유역과 담수호의 수질을 통합적으로 관리할수 있는 방안을 제시하고자 한다. 또한, 유역의 유입부하량을 저감하기 위한 각종 BMPs를 적용할 경우 발생할 수 있는 효과에 대해서 검토할 수 있는 통합시스템을 제시하여 향후 다양한 조건의 담수호의 수질예측에 기여하고자 한다.

## 제 2. 절 연구개발의 필요성

### 1. 기술적 측면

- 인구 증가, 산업발달 및 도시화의 결과로 유역에서 다량의 오염물질이 발생하여 수계에 유입되고 있으며, 이로 인한 하천 및 호소 수질오염은 국가적인 사안이 되었음.
- 기존의 오염원 관리는 방류수 수질기준 규제에 의한 점오염원 감소에 주력하여 그 동안 수질개선에 많은 기여를 해 온 사실이나, 비점원오염을 포함한 오염부하량의 양적 증가와 집중화로 인한 환경용량을 초과한 오염물질이 수계에 유입되어 호소나 하천의 부영양화가 심화되고 있음.
- 수자원 확보 목적으로 많은 농업용 저수지 및 담수호를 조성하여 수량 측면에서는 크게 도움이 되었으나, 이러한 정체성 수역에 영양염의 과다유입은 수계의 부영양화를 초래하여 수자원 가치를 떨어뜨릴 뿐만 아니라 건강한 생태계 교란을 야기할 수 있음.
- 수질관리의 첫 번째 단계는 수계에 유입되는 오염부하량 산정 및 그에 따른 하천이나 호소의 수질변화를 합리적으로 이해하고 예측하는 작업인데, 평상시와 강우시에 유역내 점원 및 비점원 오염부하량의 유입에 대한 산정방법

이 비합리적이어서 수질예측결과의 신뢰성에 대한 논란이 지속되고 있음.

- 유역의 오염부하량 산정에는 단순한 회귀식을 사용하는 방법부터 지형자료 및 오염원자료 등을 활용하여 상세하게 모델링하는 첨단기법까지 가능하며, 최근에는 컴퓨터성능 및 GIS/RS 기술 등의 급속한 발전으로 예전에는 시도하기 어려웠던 종합적인 유역오염부하량 산정기법 개발에 노력하고 있음.
- 환경부 등 수질관리 정부부처에서는 그 동안 사용해 오던 유역오염부하량 산정기법인 원단위방법을 지양하고 BASINS를 사용한 첨단 모델링기법으로 전환하여 오염총량제를 추진하고 있어서, 많은 농업용 저수지를 관리하는 농업분야에서도 저수지 유역의 오염부하량을 BASINS로 산정 할 수 있는 기법을 개발하고 유역오염부하량 산정체계의 확립이 절실함.

## 2. 경제·산업적 측면

- 우리나라의 수자원 총량은 약 1,267억  $m^3$ 으로 이 중에서 966억  $m^3$ (76%)이 증발산·바다로 직접유출을 통해 손실되며 실제 이용가능량은 301억  $m^3$ 으로 수자원 총량의 24%에 불과하며, 이용가능수량의 약 50%(149억  $m^3$ )가 농업용수로 이용되고 있어 수자원계획에 부담이 되고 있음.
- 부족한 수자원을 충족시키기 위해서 농업용 저수지를 꾸준한 조성한 결과, 우리나라 전체 수혜면적 827천 ha 중 512천 ha(62%)가 농업용 저수지에 의해 의존하고 있는 실정임.
- 호소의 부영양화는 물의 이용과 생태계의 건전한 기능수행을 저해하는 조류(일반적으로 위해한 조류)의 비정상적인 대발생을 초래하며, 국내 농업용저수지의 상당부분에서 그 부작용이 나타나고 있어 수질복원비용에 많은 비용이 예상됨.
- 수질오염대책을 수립하는 과정에서 유역오염부하량에 적용해왔던 원단위방법에 대한 적합성이 의문시되면서, 많은 재원이 소요되는 저수지 수질복원비용의 수질개선효과에 대한 확신이 부족한 상태임.

### 3. 사회·문화적 측면

- 1996년 시화호의 오염은 시화지역주민들이 환경오염 피해의식을 갖게 하였고, 새만금호 수질문제에 대한 불확실은 사회적인 갈등을 야기하기도 하였으며 정부의 순차적 개발방침도 시민단체들에게는 불만족스러운 상태임.
- 수질관리가 악화된 담수호는 사회적인 문제를 일으키는 반면에 생태학적으로 건강한 담수호는 수자원 확보 외에도 국민들에게 휴식처를 제공하는 등 소중한 국토자원의 기능을 훌륭하게 수행할 수 있다는 유익한 측면이 수질 보호가 잘 이루어지고 있는 많은 저수지에서 확인되고 있음.
- 유역에서의 효율적인 오염관리는 저수지 수질보호를 위한 필수요소이며, 4대강 유역을 포함하여 전국적으로 확대 적용하는 오염총량제는 앞으로 유역 오염관리에 많은 변화를 초래할 것으로 예상됨.
- 유역오염부하량의 합리적인 산정과 그에 따르는 효율적인 유역관리대책수립은 하구담수호를 포함한 많은 농업용저수지들의 수질개선에 기여하여 수자원가치 제고나 생태계복원 외에도, 자연생태 관광지나 환경교육장 등으로 유용하게 활용될 수 있음.
- 수질보전에 기본단계인 오염부하량 산정이 불합리할 경우에는 그에 따른 수질예측이 잘못되어 과도한 환경대책에 의한 불필요한 비용지출을 초래하거나 미흡한 대책은 노력 후에도 가시적인 효과가 나타나지 않아 정책의 신뢰성문제를 야기할 수 있음.
- 따라서, 농업용저수지 유역의 오염부하량을 첨단기술이 접목된 합리적인 수질모델링으로 산정하고 그에 따르는 수질예측기법을 향상시킴으로서 수질관리대책의 효율성과 신뢰성을 제고시킬 필요가 있음.

## 제 3 절 연구개발의 목표 및 내용

## 1. 최종목표

- 우리나라 농촌유역의 지형 및 토지이용 특성을 합리적으로 고려할 수 있는 유역오염관리용 수질예측에 BASINS를 적용하는 기법을 개발하여 유역 오염원관리 및 저수지 수질보전에 기여하고자 함.
- 저수지 유역에서 발생하는 점원 및 비점원 오염을 합리적으로 고려할 수 있고, 동적으로 구동되며 유역모형에서부터 하천모형을 거쳐서 호소모형까지 종합적으로 모의할 수 있는 통합수질예측기법을 개발하여, 오염총량제 실시와 함께 농업용저수지의 오염부하량에 대한 효율적 관리가 가능하도록 함.

## 2. 연구내용

### 가. 유역관리모형 개발

- 오염총량관리(TMDL) 적용을 위해 미환경부(USEPA)에서 개발한 BASINS는 사용자 편의 시스템인 GUI(Graphic User Interface)환경으로 GIS를 기반으로 하고 있으며 미국에서 TMDL에 공식적인 도구로 사용하고 있는데, 우리나라에서도 오염총량제에 이 기법의 적용을 시도 중이며, 본 연구에서는 농업용저수지 유역의 통합적인 오염원관리 및 오염부하량 산정에 BASINS를 응용하여 적용할 수 있는 유역관리모형을 개발하고자 함.
- 각종 GIS 지형자료 및 토양자료, 기상자료, 수질측정자료 등을 BASINS에 필요한 입력자료에 맞게 변환하여 입력시켜 BASINS 구축.
- BASINS 내 Assessment Tool 및 Utility Tool을 사용하여 유역분석에 필요한 인자 추출.
- BASINS 내 유역모형이 HSPF와 SWAT 등이 있는데 이들을 사용하여 우리나라 논과 같은 토지이용도 모의할 수 있는 형태로 modify하여 우리나라 농촌유역특성에 맞도록 유역관리모형 개발.

#### 나. 유역조사

- 유역관리모형 개발에 필요한 지형자료와 오염원자료 축적 그리고 유역오염부하 특성을 파악하기 위하여, 유역내 오염원 조사, 점원 및 비점원오염 부하량 측정, 주요 하천지점에서의 유량 및 수질변화 등을 실측하여 개발한 모형의 보정에 사용할 계획임.
- 주요 지점의 수문조사 및 수질조사를 실시하여 유역모형의 보정 및 검증에 사용할 계획임.
- 유역내 비점원오염 형태를 파악하기 위하여 토지이용과 강우강도별 오염부하특성을 조사하고, 유역내 비점원오염을 저감시킬 수 있는 최적관리기법을 제시하고자 함.

#### 다. 호소모형 적용

- 1983년 미환경부에서 개발된 WASP모형은 저수지, 하천, 하구, 해양 등의 수질을 모의 할 수 있는 3차원 분석이 가능한 모형으로, 조위의 영향을 받는 하구까지 수질모의에 세계적으로 널리 이용되고 있으며 현재 WASP7모형까지 개발되었는데, 본 연구에서는 적용성이 인정된 WASP5모형을 적용하고자 함.
- WASP5모형을 사용하여 유역에서 유입되는 부하량이 호소수질에 미치는 영향을 파악하고, 유역오염관리대책에 의한 부하량 저감의 호소수질개선 효과를 분석하여 효율적인 유역관리대책수립에 도움을 주고자 함.
- 화성호 수문조작이 수질에 미치는 영향을 검토하여, 화성호 수질과 해수유통 사이의 상관관계를 분석하고자 함.

## 제 4 절 기대효과

### 1. 기술적 측면

- 오염총량관리제도에 부응하여 유역의 합리적 오염부하량 산정기법 제시
- 정확한 수질예측을 통한 과학적이고 체계적인 수질보전대책 수립
- 목표수질을 만족시킬 수 있는 다양한 대안들의 검증과 평가에 기여
- 농업용 저수지 수질의 개선대책들의 합리적인 평가 가능

### 2. 경제 · 산업적 측면

- 최적 유역환경 및 수질개선 대책수립이 가능해져서 환경대책비용 절감 효과
- 신뢰성 있는 수질예측을 통한 유역 및 저수지 수질환경 개선사업 촉진
- 저수지 수질개선으로 수자원 가치 향상
- 저수지 주변생태계 보전으로 관광증진 및 생태환경 교육 효과

## 제 5 절 활용방안

본 연구는 화성지구 화성호의 유역전체에 대한 인문·사회·자연환경의 특성을 파악하여 BASINS/HSPF 유역모형을 적용하여 유역에서 배출되는 오염물질의 특성에 대해서 파악하였으며, 앞으로 조성될 화성호의 수질예측을 위해서 WASP5모형을 적용하였고, 수질보전을 위한 자연정화기법과 담수호 수질관리방안에 대한 대책을 제시하는 내용을 포함하고 있다.

유역특성 파악을 위해서는 유역내의 인구, 토지이용, 축산, 산업 및 환경기초시설 등을 조사하였고, 이들을 오염원의 종류에 따라 생활계, 축산계, 산업계 및 자연계(산림과 농경지 등)로 구분하였으며, 이들의 파악은 환경부, 시청이나 면사무소에 소장된 자료와 현지답사를 통해 이루어졌다. 또한, GIS(Geographic Information System)와 원격탐사(RS, Remote Sensing)기법을 이용하여 유역의 지형적 특성을 분석하였는데, 이러한 방법은 유역의 특성을 첨단기술에 의하여 정확하고 신속하게 분석할 수 있다는 장점 때문에 사용이 신속히 확대되고 있다. 이와 같이 화성유역에 관하여 정리된 컴퓨터 지형자료는 유역 및 담수호관리에 앞으로 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

수질예측을 위해서는 먼저 유입지천의 수질현황을 파악하는 것이 필요하기 때문에 유역내 대표적인 세 개의 지천인 남양천, 자안천, 그리고 어은천을 중심으로 7개 지점에서 평수기와 강우시로 나누어 수질모니터링을 실시하였다. 전체 측정지점은 평수기에 월평균 2회를 지속적으로 약 32개월간 실시하였으며, 강우시 일주기 조사는 2003년에 5회, 2004년에 3회 유량과 수질에 대하여 5 군데 주요 측정지점에서 상세조사를 실시하였다. 이 상세조사 측정지점에는 압력식 자동수위계를 설치하여 수위를 지속적으로 기록하였다. 하천의 유량은 수위-유량 관계식을 도출하여 산정하였으며, 수질항목은 Standard Methods에 따라서 분석하였다. 측정된 수질과 유량자료, 구축된 GIS자료, 그리고 수집된 오염원 현황을 이용하여 수질에 기여하는 토지이용과 오염원간의 관계에 대해서 규명하여, 향후 다른 연구지역에서도 이용할 수 있는 간단한 분석 방법을 소개하였는데, 유역내의 토지이용 설계자나 관리자들에게 수질을 보전하기 위한 방법을 제시한다.

BASINS/HSPF 모형의 적용은 유역오염분석 및 관리를 위해 개발되

있으며 선진국인 미국의 TMDL을 평가하고 관리하는 기법으로 사용되고 있다. 기존의 유역개념의 오염관리에서는 자료의 전처리, 정보의 요약, 지도와 표 생성, 모형적용 등과 같은 일련의 과정을 각각 분리되어 여러 가지 tool과 software 등을 이용하여 실시하였다. 그러나 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 제공하며, 다양한 유역모형과 수질모형을 시스템 내에서 실행할 수 있으므로, 유역의 분석시간을 줄이며 다양한 정보를 효율적으로 손쉽게 획득 할 수 있다는 장점을 가진다. 현재 우리나라는 오염총량제가 진행되고 있는 실정이나 적절하게 수계오염의 정도를 파악하는 적절한 tool이 없는데, BASINS/HSPF모형은 우리나라에 적용성을 검증하였으며, 총량제를 평가하는 기법으로 적극 추천한다.

연안해역과 연결된 만을 막아 조성된 간척호는 호내의 해수가 담수로 희석되고 또한 저층으로부터 소금기가 호수물 속으로 용출되면서 담수화를 거친다. 하구호는 완공 초기에는 해수와 담수의 중간적 성향을 띠는 독특한 수환경을 나타내며, 지리적 여건에 따른 수리·수문학, 유역의 지형 및 오염원 특성 그리고 물질순환 특성에 반응하여 독특한 생물상을 나타낼 수 있다.

간척 하구호의 담수화의 기간은 유입하천의 수량과 강우 등에 의해 좌우되는데, 하구호는 하천중간에 만들어진 인공호와는 달리 하천수가 바다로 나가는 마지막 지점에 만들어지기 때문에 상류의 오염물질이 유입되어 축적되고 이들은 긴 체류시간을 거치면서 호수의 수질을 악화시키고 부영양화현상을 유발시킬 수 있는 가능성이 상존하게 된다. 우리나라 대부분의 인공 간척호들은 이미 부영양화를 경험하였거나 그 과정이 진행되고 있어 수자원의 효율적 이용을 저해하고 있다(Kim et al. 1997).

하구호의 효율적 관리를 위해서 호소의 생성기원과 특성을 이해하고 호수형성 초기부터 지속적인 수질 및 생물상 모니터링에 의한 장기 기초자료의 확보가 매우 중요하다. 특히 외부 영양물질의 유입과 내부 영양물질의 동태학에 대한 이해는 호수내의 생태계의 이해에 필수적인 부분이다. 수질자료는 하구호 관리를 위한 기초자료로 매우 중요한 가치를 가지며, 비슷한 수생태계의 현상을 이해하고 예측하는데 귀중한 역할을 한다. 예를 들어, 식물플랑크톤은 수생태계를 구성하는 기초생물인데, 이·화학적 그리고 생물학적 요인에 의



해 그 분포와 군집구조가 결정되며, 특히 화성호와 같은 연안역의 성질을 띤 지역에서는 담수의 유입으로 인하여 외양역보다 군집이 더욱 복잡하며 그 변화상이 다양할 뿐만 아니라(Parsons et al., 1984), 육상으로부터 영향을 많이 받으므로 외양역과는 달리 육상의 인구 밀집정도나 공단조성 정도 등의 차이에 따라 해역별로 환경의 차이가 나고 그 변화의 폭이 커지게 되는 것이다(고등, 1997).

하구의 만을 막아 담수호로 조성하는 사례는 과거 20 - 30년 동안 국내에서 평택호, 남양호, 시화호 등을 포함하는 10개 이상의 대형호수가 있었으나, 이들 인공호의 대해 호수형성 초기부터의 지속적인 기초자료의 축적은 미비한 실정이다. 이러한 측면에서 화성호는 조성초기부터 담수화과정을 통한 수질변화를 연구할 수 있는 매우 훌륭한 조건을 가지고 있다.

화성호는 방조제가 완공되기 전에는 해수가 자유롭게 유입되어, 해수의 출입을 통한 희석효과로 인하여 방조제 내측(호수조성지역 내)의 수질은 비교적 양호한 편으로 나타났으나, 최근의 연구결과 방조제 형성 과정 및 이후의 교란을 거치면서 부영양화가 어느 정도 진행된 것으로 드러났다(황, 2002, 2003). 이러한 이유는 환경기초시설이 없는 유역으로부터 유출되는 생활하수와 축산폐수, 그리고 농경지로부터 나오는 비점오염원의 영향으로 유입하천수 내 유기물과 영양염류의 농도가 상대적으로 높은 상태를 유지하고 있기 때문으로 판단된다.

화성호의 하구둑 조성 이전에 하구둑 건설에 따른 화성호 수질에 대한 예측연구가 일부 수행된 있고(경기도, 2002), 또한 화성호 내부와 외역의 수질변화 이에 따른 생태변화 조사가 이미 이루어진 바가 있으나(황, 2002, 2003), 호소와 하천을 포함하는 유역의 통합적 수질관리를 위한 연구는 아직 없어 이에 대한 연구가 매우 필요하다. 이러한 측면에서 화성호와 유입하천을 연계한 수질변화 분석은 향후 화성호 수자원의 이용과 관리, 환경보전 등을 위해서 체계적이고 통합적인 수질관리모델을 개발하는데 기초적인 자료로 활용될 수 있다. 나아가 인공간척호의 관리와 생태계보전을 위해 생물상의 구조와 기능을 포함하는 종합적인 연구로 발전될 수 있는 기반을 마련하는데 본 연구의 중요성이 크게 제기된다.

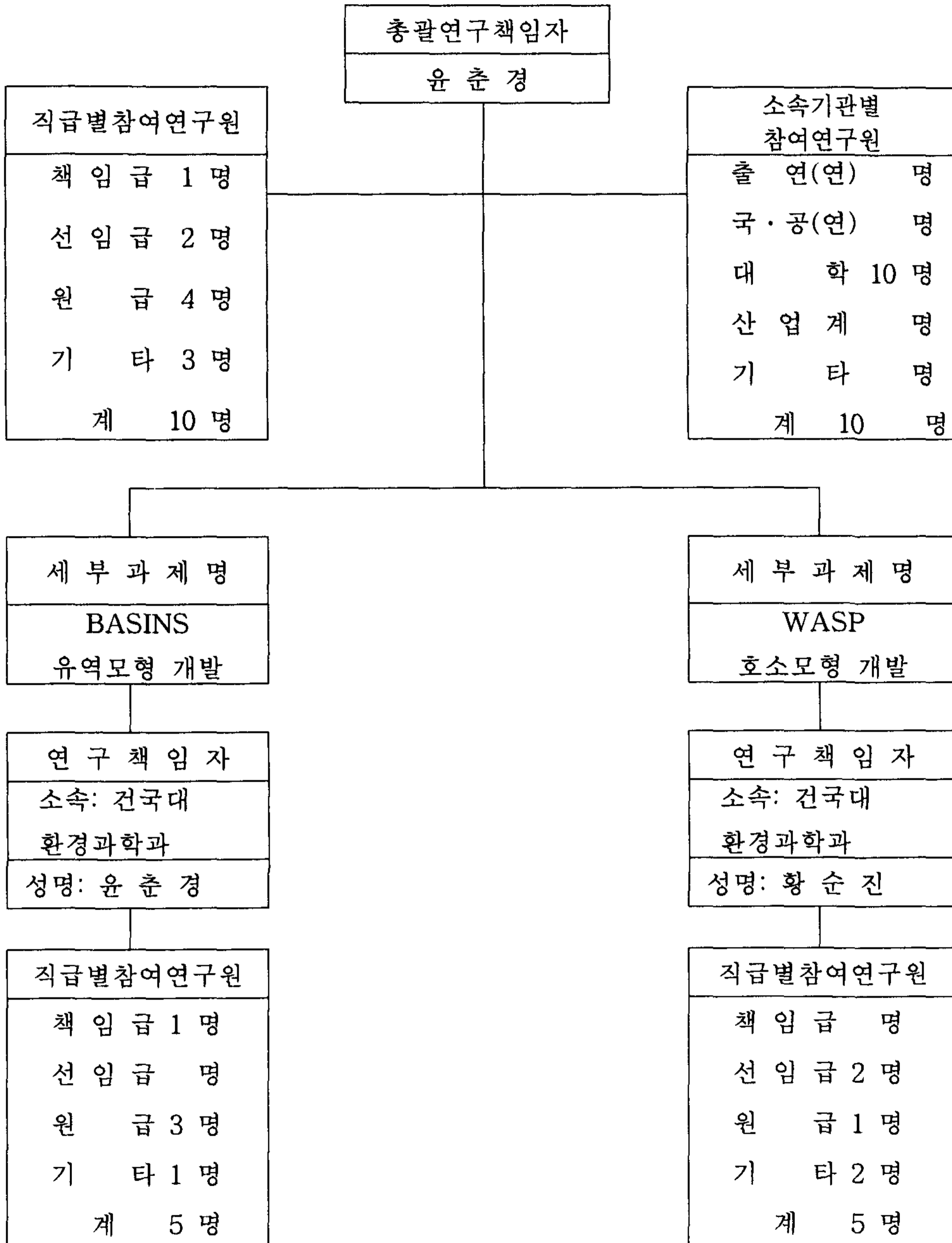
현장에서 측정된 수질자료들은 세 개의 지천을 통하여 유입되는 연간

부하량의 산정에 사용하였고, 또한 미측정 지역에서 유입될 오염부하량의 예측에도 활용하였다. 이렇게 산출된 측정지역과 미측정지역을 포함한 전체유역에서 유입되는 총부하량이 화성호 수질예측에 적용하였다. 오염부하량 산정에는 유역모델인 BASINS/HSPF을 적용하여 산정하고 비교하였으며, 화성호의 수질예측에는 WASP5를 사용하였다. 화성호의 수질예측에는 월 1회 실측한 측정 자료를 이용하였다. HSPF 모형과 WASP5모형을 연계하여 적용할 경우 장점은, 실측값을 잘 반영하는 HSPF 모형의 유출유량과 부하량을 WASP5모형에 경계조건으로 이용할 수 있기 때문에 모형의 신뢰성을 확보 할 수 있을 것으로 판단된다. 하지만, 경계조건을 일 단위나 시간단위로 입력할 경우 WASP5 모형의 입력자료 생성에 많은 시간과 노력이 필요하나 HSPF와 WASP5모형을 연계하는 tool을 개발하여 두 모형을 통합적으로 관리할 수 있게 하였다.

화성호의 수질개선을 위해서는 자연정화기법을 적용하였으며, 그 중에서 인공습지와 우수지를 연계하여 설치하는 방안을 고려하였다. 인공습지와 우수지의 소요면적은 산정한 부하량과 이에 반응하는 호소수질의 예측결과를 검토하여 미래 완공될 담수호에 HSPF/WASP5모형을 이용하여 장래 수질을 예측하였다. 수질개선방안의 기본개념은 유역에서 지천을 통하여 유입되는 하천수에 함유된 오염물질은 본 저수지에 들어가기 전에 간척지에 조성되는 인공습지를 통과하면서 침전, 여과, 분해, 흡수 등을 거쳐서 제거되고, 또 습지를 통과한 후에 다시 우수지로 유입되어 증발, 침전, 분해, 흡수 등의 과정을 거치면서 추가로 개선되도록 하였다. 또한, 호소운영에서 예상되는 여러 가지 문제들과 이에 대한 대책으로써 관리 및 복원기법들을 조사하여 항목별로 정리함으로써 향후 화성호가 조성된 후에 호소관리에 활용할 수 있도록 하였다.

## 제 6 절 연구진의 구성

### 1. 연구진의 구성



2. 총괄연구책임자

가. 인적사항

성명	국문	윤춘경 (한문) 尹春庚	직위 (급)	교수
	영문	Yoon, Chun Gyeong		
주소	주택	서울시 광진구 광장동 577 현대파크빌 1066-2201	(전화 : 02-3436-2657) (FAX : )	
	직장	서울시 광진구 화양동 1번지 건국대학교 생명환경과학대학 지역건설환경공학과	(전화 : 02-450-3747) (FAX : 02-446-2543)	
주민등록번호	560608-1231213(만 50 세)			

나. 학력

연도(부터 ~ 까지)	학력	전공	학위
1974~1982	서울대학교	농공학	학사
1986~1988	The Uni.of Texas - Austin	토목환경공학	석사
1990~1994	Rutgers University	토목환경공학	박사
최종학위논문제목	Uncertainty Analysis in Stream Water Quality Modeling: Reliability and Data Collection for Variance Reduction		

다. 경력

연도(부터 ~ 까지)	기관	직위(직명)	비고
1995 - 현재	건국대 환경과학과	교수	
1993 - 1994	Dept. of Env. Protection State of New Jersey	Environmental Scientist III	
1988 - 1990	Pico-Winsor Env. Eng. Co	Technical Mgr.	

3. 협동·세부·위탁연구책임자

구분	세부과제명	성명	소속기관 (부서)	직위	연구 참여 직급	전공 및 학위				참여 율 (%)
						학위	년도	전공	학교	
세부	BASINS 유역모형개발	윤춘경	건국 대학교	교수	책임 급	박사	1994	환경 공학	미국 Rutgers 주립대	20
세부	WASP 호소모형개발	황순진	건국 대학교	부교수	선임 급	박사	1995	호소 생태 학	미국 Kent 주립대	20

4. 연구원

세부과제명 담당연구내용	성명	소속기관 및 부서	직위	연구 참여 직급	전공 및 학위				참여 율 (%)
					학위	년도	전공	학교	
BASINS 유역모형 개발	윤춘경	건국대	교수	책임 연구원	박사	1994	환경공학	러커스 주립대	20
	정광욱	건국대	박사 과정	연구원	석사	2003	농공학	건국대	20
	전지홍	건국대	박사 과정	연구원	석사	2000	농공학	건국대	15
	함종화	건국대	박사 과정	연구원	석사	2000	농공학	건국대	15
	장재호	건국대	박사 과정	연구원	석사	2005	농공학	건국대	10
	김형철	건국대	박사 과정	연구원	석사	2006	지역건설 환경공학	건국대	10
	한정윤	건국대	석사 과정	연구보 조원	학사	2005	지역건설 환경공학	건국대	10
	이새봄	건국대	석사 과정	연구보 조원	학사	2005	지역건설 환경공학	건국대	10
	구원석	건국대	석사 과정	연구보 조원	학사	2003	농공학	건국대	10
	이승재	건국대	석사 과정	연구보 조원	학사	2006	지역건설 환경공학	건국대	10
신아현	건국대	석사 과정	연구보 조원	학사	2006	지역건설 환경공학	건국대	10	
WASP 호소모형 개발	황순진	건국대	부교수	선임 연구원	박사	1995	호소 생태학	Kent 주립대	20
	신재기	건국대	Post Doc	선임 연구원	박사	1998	호소 생태학	인제대	30
	김호섭	건국대	박사 과정	연구원	석사	1999	호소 생태학	강원대	10
	손주연	건국대	석사 과정	연구보 조원	학사	2005	지역건설 환경공학	건국대	10
	엄성화	건국대	석사 과정	연구보 조원	학사	2005	지역건설 환경공학	건국대	10
	김난영	건국대	석사 과정	연구보 조원	학사	2005	해양학	한양대	10
	유경아	건국대	석사 과정	보조 연구원	학사	2003	농공학	건국대	10

## 제 2 장 조사대상지구

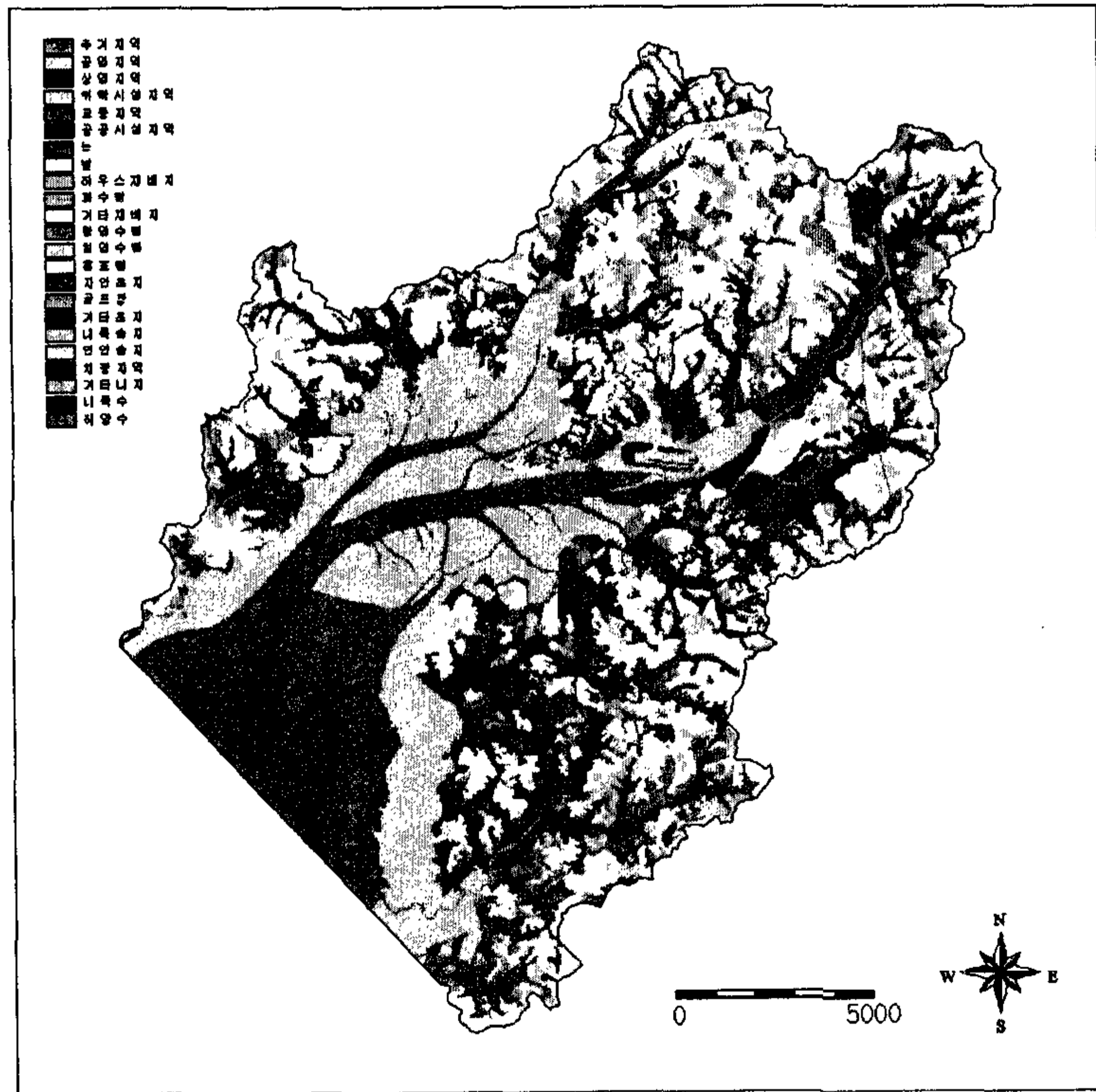
---

## 제 2 장 조사대상지구

### 제 1 절 유역의 수계현황

#### 1. 유역의 토지 이용

연구대상지역의 토지이용상태는 <그림 2-1>과 같다. <표 2-1>은 우리나라 환경부에서 제공하는 토지피복분류를 분석한 결과로 비점오염원은 오염물질이 한곳에서 집중적으로 발생하지 않고 넓고 분산된 지역에 걸쳐서 발생하는 것으로 토지, 농지, 도시 등에서 발생하는 오염원을 의미하는데, 본 지구는 담수호를 포함한 유역면적 16,489.5 ha중 매 산림이 4,789 ha로서 전체의 29%, 밭이 2,954 ha로서 18%, 논이 6,097.3 km<sup>2</sup>로서 37%, 주거지역이 1,529 ha으로 9.3%, 기타가 15.5 km<sup>2</sup>으로 6.50%를 차지하고 있다.



<그림 2-1> 화성유역의 토지이용 분류

하천별로는 남양천은 전반적인 토지 이용이 농경지와 산림으로 구성되어 있으

며 하천오염의 주된 오염원인 주거지역은 약 8%로 나타났으며 산림이 약 40%를 차지한다. 자안천의 경우는 논이 37%를 차지하고 있으며 주거지역이 11%로 3개의 하천중에서 가장 높은 수준이었다. 어은천은 산림이 29%로 가장 적은 수준이었으며, 논과 밭의 점유율이 가장 큰 것으로 나타났다.

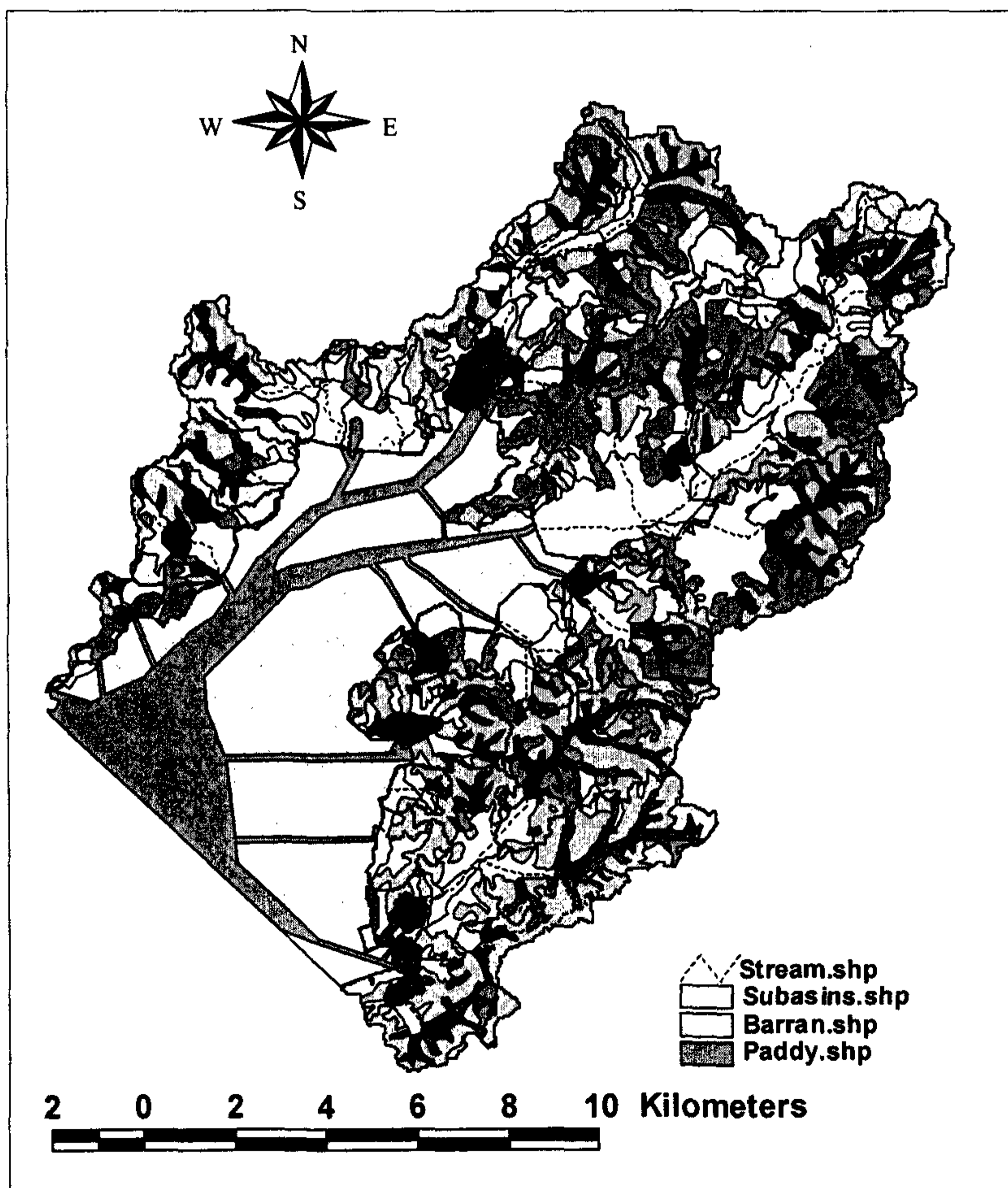
<표 2-1> 화성유역의 주요 샘플링 지점의 토지이용과 주요하천 주변의 토지 이용분포

소유역	주거지역		논		밭		산림		기타		총면적 (ha)
	Area (ha)	%	Area (ha)	%	Area (ha)	%	Area (ha)	%	Area (ha)	%	
N1	40.7	9.3	112.7	25.8	90.1	20.7	191.5	43.9	1.3	0.3	436.2
N2	124.6	10.1	181.7	14.8	257	20.9	631.2	51.4	34.1	2.8	1,228.6
J1	7.4	1.7	175.6	41	17.6	4.1	225.6	52.7	1.9	0.4	428.1
J3	205.3	11.8	599.9	34.4	192.8	11.1	666.2	38.2	77.5	4.5	1,741.7
J4	85.9	6.4	535.3	40.1	253.8	19	344.4	25.8	116.7	8.7	1,336.1
E2	112.2	10.9	366.7	35.5	308.5	29.9	187.5	18.2	57.3	5.6	1,032.2
E3	146.1	19.1	281.2	36.7	112.5	14.7	226.3	29.5	0.1	0	766.1
남양천	228.6	8.1	686.2	24.4	523.5	18.6	1,219.9	43.3	157.1	5.6	2,815.3
자안천	601.2	11.6	1,845.6	35.6	678.1	13.1	1,686.9	32.6	369.9	7.1	5,181.7
어은천	333.5	13.2	1,037.2	41	557.1	22	462.2	18.3	142.5	5.6	2,532.5
총합	1,529.2	9.3	6,097.3	37	2,954	17.9	4,789.9	29	1,119.1	6.8	16,489.5



## 2. 유역의 토양특성

대상유역의 토양도(1:50000)와 토양특성은 <그림 2-2>와 <표 2-2>와 같다. 대상유역의 토양특성을 살펴보면, 충적토이고 사질인 Afd가 45.57%를 차지함으로써 가장 많은 비율을 나타내었으며 충적토이며 미사식양질인 Fma가 27.64%, 암색토인 사양질인 Mvb가 17.43%를 차지하는 것으로 나타났으며, 기타가 9.57%인 것으로 나타났다. 배수정도를 보면 Afd가 약간 양호한 토양이며 Fma가 약간 불량하였으며, Mvb가 매우 양호한 토양인 것으로 조사되었다.



<그림 2-2> 화성유역의 토양특성

<표 2-2> 화성유역의 토양분포과 토양특성

번호	토양 부호	토양통	배수 정도	토양 종류	토심	토양명	토지 이용	Unit(km <sup>2</sup> )	Unit(%)
1	A f a	화봉	2. 약간 양호	3. 사양질	3. 깊음	1. 충적토	3. 밭	1.80	1.37
2	A f b	신답	2. 약간 불량	3. 사양질	2. 보통	1. 충적토	2. 논	0.84	0.64
3	A f c	화봉	2. 약간 양호	1. 사질	1. 얇음	1. 충적토	1. 황무지	0.04	0.03
4	A f d	황룡	2. 약간 양호	1. 사질	1. 얇음	1. 충적토	1. 황무지	45.57	34.62
7	A n c	월곡	2. 약간 양호	3. 사양질	2. 보통	2. 퇴적토	2. 논	4.74	3.60
9	A p a	극락	3. 약간 불량	8. 미사식양질	3. 깊음	1. 충적토	2. 논	0.18	0.14
10	A p b	화동	3. 약간 양호	7. 식양질	3. 깊음	3. 적황색토	2. 논	2.81	2.13
11	A p c	본량	3. 약간 불량	7. 식양질	2. 보통	1. 충적토	2. 논	2.49	1.89
12	A p d	강동	3. 불량	8. 미사식양질	3. 깊음	1. 충적토	2. 논	0.75	0.57
13	A p g	호계	2. 양호	7. 식양질	1. 얇음	1. 충적토	3. 밭	0.66	0.50
15	F m a	덕하	3. 약간 불량	8. 미사식양질	3. 깊음	1. 충적토	2. 논	27.64	21.00
17	F m d	공덕	3. 약간 불량	8. 미사식양질	3. 깊음	1. 충적토	2. 논	8.18	6.12
19	M a a	오산	1. 매우 양호	7. 식양질	3. 깊음	5. 암쇄토	4. 임야	1.19	0.90
23	M l b	-	1. 매우 양호	3. 사양질	1. 얇음	-	4. 임야	0.41	0.31
25	M m b	청산	1. 매우 양호	3. 사양질	1. 얇음	5. 암쇄토	4. 임야	0.66	0.50
28	M u a	망실	2. 양호	7. 식양질	2. 보통	6. 갈색사립토	4. 임야	1.44	1.09
29	M u b	오대	2. 양호	3. 사양질	1. 얇음	7. 살색산립토	4. 임야	0.27	0.20
30	M v a	무등	1. 매우 양호	7. 식양질	1. 얇음	5. 암쇄토	4. 임야	2.43	1.84
31	M v b	무등	1. 매우 양호	3. 사양질	1. 얇음	5. 암쇄토	4. 임야	17.43	13.24
33	R a b	달천	2. 양호	7. 식양질	3. 깊음	3. 적황색토	4. 임야	7.06	5.36
36	R e a	삼각	1. 매우 양호	7. 식양질	1. 얇음	5. 암쇄토	4. 임야	3.25	2.47
37	R l a	평창	2. 양호	7. 식양질	3. 깊음	3. 적황색토	4. 임야	0.02	0.01
39	R O	-	4. 매우 불량	12. 암석	0. 없음	8. 암석노출지	1. 황무지	1.27	0.97
Total								131.64	100

### 3. 유역의 수계현황

화성지구 유역내의 주요하천으로는 남양만에 위치한 남양천, 신남천과 팔탄면에 위치한 자안천, 그리고 우정면에 위치한 어은천 등이 있다.

#### 가. 남양천

남양천은 남양만에 유입되고 있는 준용하천으로 유역면적 19.90 km<sup>2</sup>, 유로연장 8.05 km, 유역평균폭 2.34 km, 유역형상계수 0.28인 유역을 형성하고 있다. 이 유역은 경기도 화성시 남양동, 북양동, 송림동, 마도읍 쌍송동 등 2개면 4개동을 차지하고 있고, 유역의 북쪽은 남전천이 흐르고 있고, 남쪽은 신남천이 흐르고 있다. 이 유역의 동북방향에서 서남방향으로 306번 지방도가 유역 중심부를 통과하고 있으며, 화성시 남양읍과 비봉읍, 팔탄읍 경계를 이루고 있는 무봉산(EL. 140 m)에서 발원하여 이로부터 북양리, 남양리의 2개리에서 남서방향으로 흘러서 남양만으로 유입되는 하천이다. 유역의 동쪽에는 무봉산(EL. 140 m), 남쪽에 고초봉(EL. 120 m), 북쪽과 서쪽에 EL. 100 m 이내의 야산들이 분수령을 형성하며 유역을 이루고 있다.

#### 나. 신남천

신남천은 유역면적 5.40 km<sup>2</sup>, 유로연장 3.50 km, 유역평균폭 1.54 km, 유역형상계수 0.44인 유역을 형성하고 있다. 이 유역은 남양천 남쪽에 위치하여 경기도 화성군 남양읍 신남리를 차지하고 있으며, 유역의 북쪽은 남양천이 흐르고 있고, 남쪽은 자안천이 흐르고 있다. 이 유역은 화성시 남양동과 신남동의 경계를 이루고 있는 야산(EL. 135 m)에서 발원하여 남쪽으로 완만하게 흘러서 남양만으로 유입한다. 각 하천별 토지이용현황을 살펴보면, 남양천유역의 경우 임야가 10.48 km<sup>2</sup>로 전체 유역면적의 52.7%를 차지하고 있으며, 농경지 32.4%, 그리고 대지 1.7%를 차지하고 있는 것으로 조사되었다. 또한, 신남천유역의 경우도 임야 52.6%, 농경지 32.2%, 대지 1.7%로 남양천 유역과 유사한 경향을 보였다.

#### 다. 자안천

자안천 유역은 동경 126° 48' 15" ~ 126° 54' 39", 북위 37° 07' 31" ~ 37° 13' 02" 사이에 위치하고 있으며, 유역의 북쪽 및 동쪽으로 준용하천인 동화천 유역과 발안천 유역, 서쪽으로 남양천 유역이 접경을 이루고 있으며, 그 유역면적은 52.63 km<sup>2</sup>, 그리고, 유로연장은 13.07 km이다. 자안천은 화성시 비봉읍 자안동의 태행산(EL. 292 m)에서 발원하여 약 2.2 km남쪽으로 흐르

며, 태행산에서 발원하여 좌안쪽으로 유입하는 지류인 요곡천과 합류한다. 그리고 남서방향으로 흘러서 좌우안측으로 유입하는 지류인 요곡천과 합류한다. 그리고 남서 방향으로 흘러서 좌우안측의 농경지대를 통과하여 팔탄면 조암리에 위치한 대성저수지를 지나 계속 남서방향으로 흐른다. 이어서 무봉산(EL. 143 m)에서 발원하여 남쪽으로 흘러 유입되는 지류인 무봉천과 합류한 뒤 서쪽 방향으로 흘러 서해로 유입된다.

#### 라. 어은천

어은천은 경기도 화성시 장안면 어은리를 기점으로 남서쪽으로 흘러서 경기도 화성시 우정면 화산리 남양만에 유입되고 있는 준용하천으로 유역면적 23.50 km<sup>2</sup>, 유로연장 6.00 km로서 하구부에는 주로 염전으로 해안과 접해 있다. 또한 금의리에서 발원하여 떡우지를 지나 남쪽으로 흘러 좌우 농경지에 물을 공급해 주는 떡우천과 합류한다. 이 유역은 경기도 화성시의 우정면 화산리, 운평리, 한각리, 조암리, 떡우리, 화수리와 장안면 사곡리, 사랑리, 어은리, 금의리 등 2면 10리의 전부 또는 일부를 차지하고 있는 소하천으로 유역의 형상은 나뭇가지 모양이다.

## 제 3 장 현장측정 및 자료수집

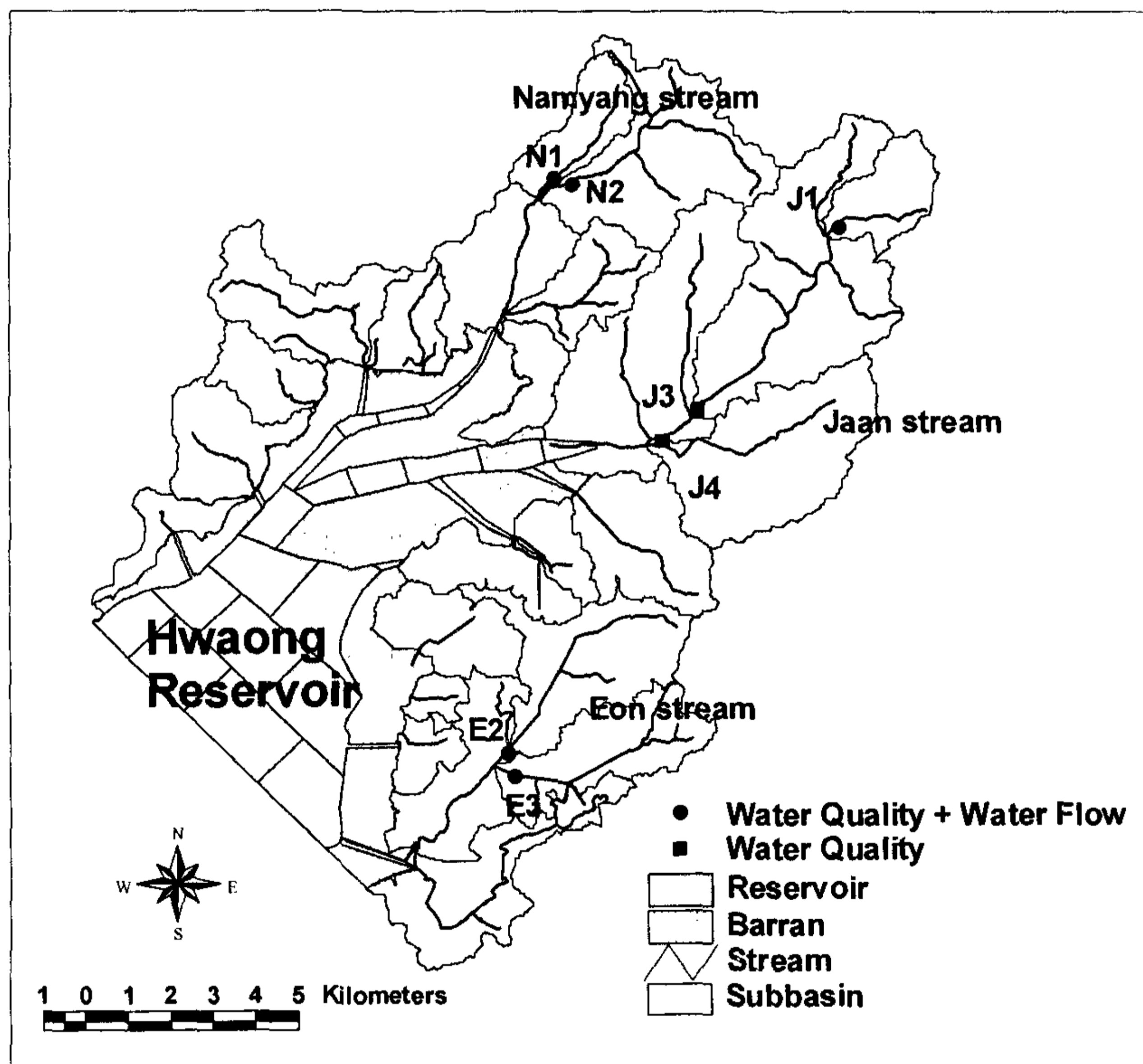
---

## 제 3 장 현장 측정 및 자료 수집

### 제 1 절 현장 분석 체계 구축

#### 1. 현장 측정지점의 선정

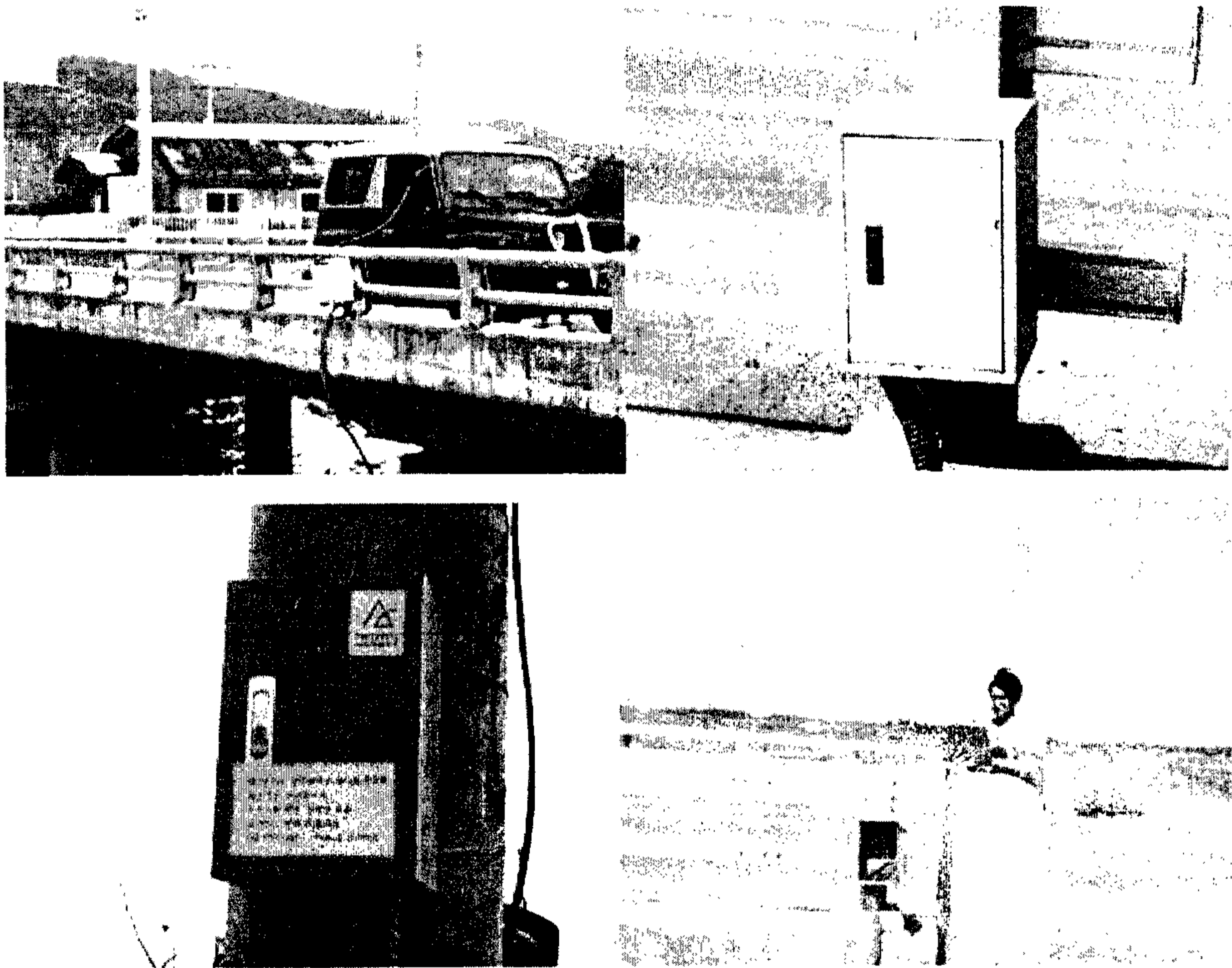
<그림 3-1>은 현장 분석 체계 구축을 위해 선정된 측정지점이다. 조사대상지구인 화성담수호는 3개의 주요 하천이 흘러들어가는 특징을 갖고 있다.



<그림 3-1> 화성유역의 수질 및 유량 측정 지점

따라서 주요 3개의 하천을 중심으로 현장 분석 체계를 구축하였다. 남양천에 N1과 N2의 를 선정하여 수질과 유량 측정하였으며, 자안천은 J1, J3, 그리고 J4의 3개 지점을 선정하였으며, 선정된 지점중 J1에서는 유량과 수질을

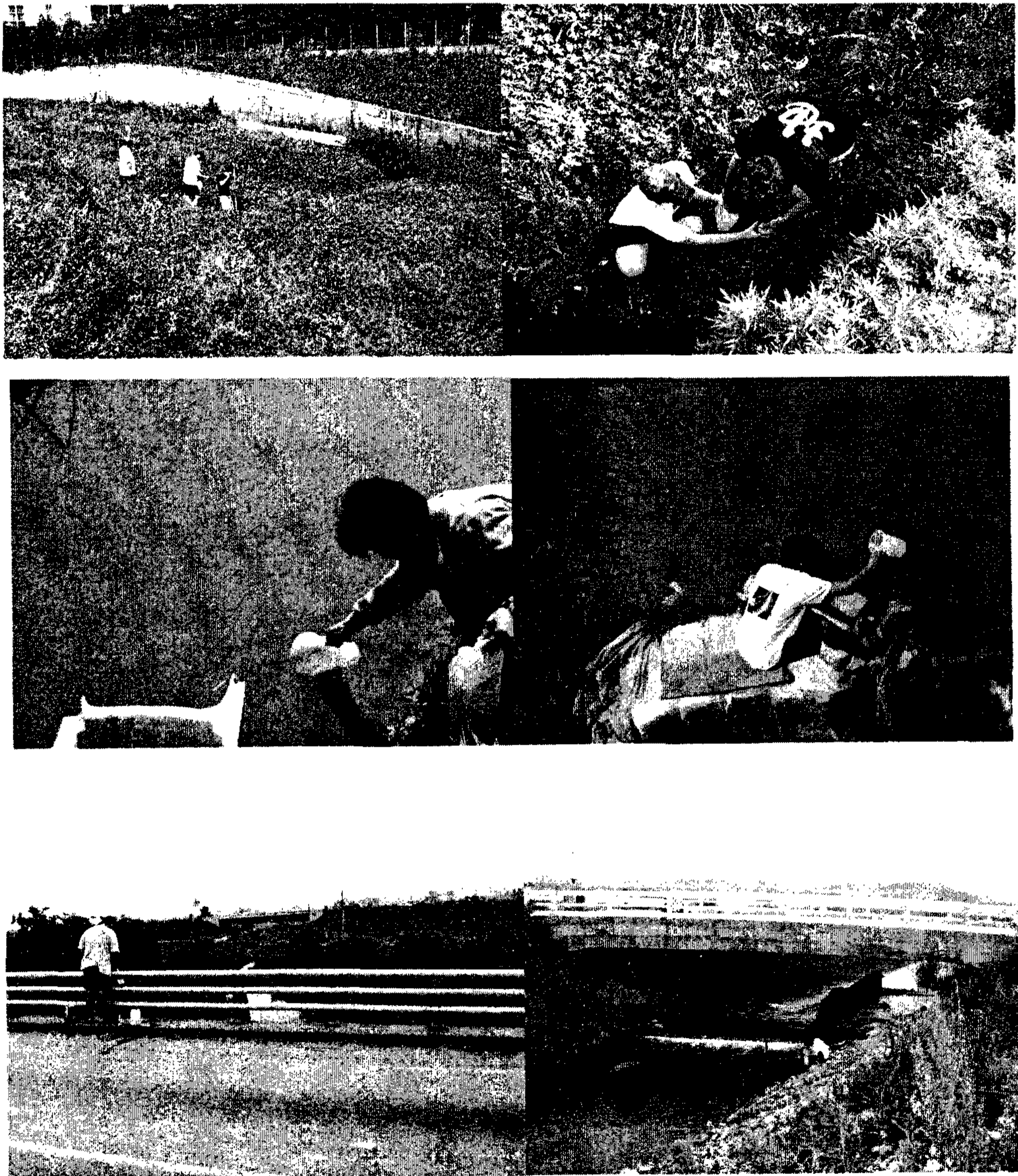
동시에 모니터링 하였고, J3와 J4는 수질만 측정하는 측정지점으로 선정하여 분석하였다. 어은천은 E2와 E3 지점을 선정하여 모니터링 하였으며 두 지점 모두 수질과 유량을 동시에 측정하였다. 남양천의 두 지점을 선정한 이유는 화성유역 중에서 가장 많은 인구가 밀집한 지역으로 비도시 유역의 전형적인 밀집형태의 주거 및 상업 환경을 반영할 수 있는 지점이기 때문이다. 자안천의 J1지점은 오염이 심하지 않은 지역을 대표할 수 있는 지점이며, J3과 J4 지점은 담수호로 유입되는 부하량을 산정하기 위해 선정한 지점이다. 어은천의 E2와 E3지점은 어은천의 유입부하량을 산정하기 위한 지역으로 특히 E3지점은 오염도가 심한지역으로 부하량에 큰 영향을 주는 측정지점이다.



<그림 3-2> 측정지점의 압력식 수위계설치 전경

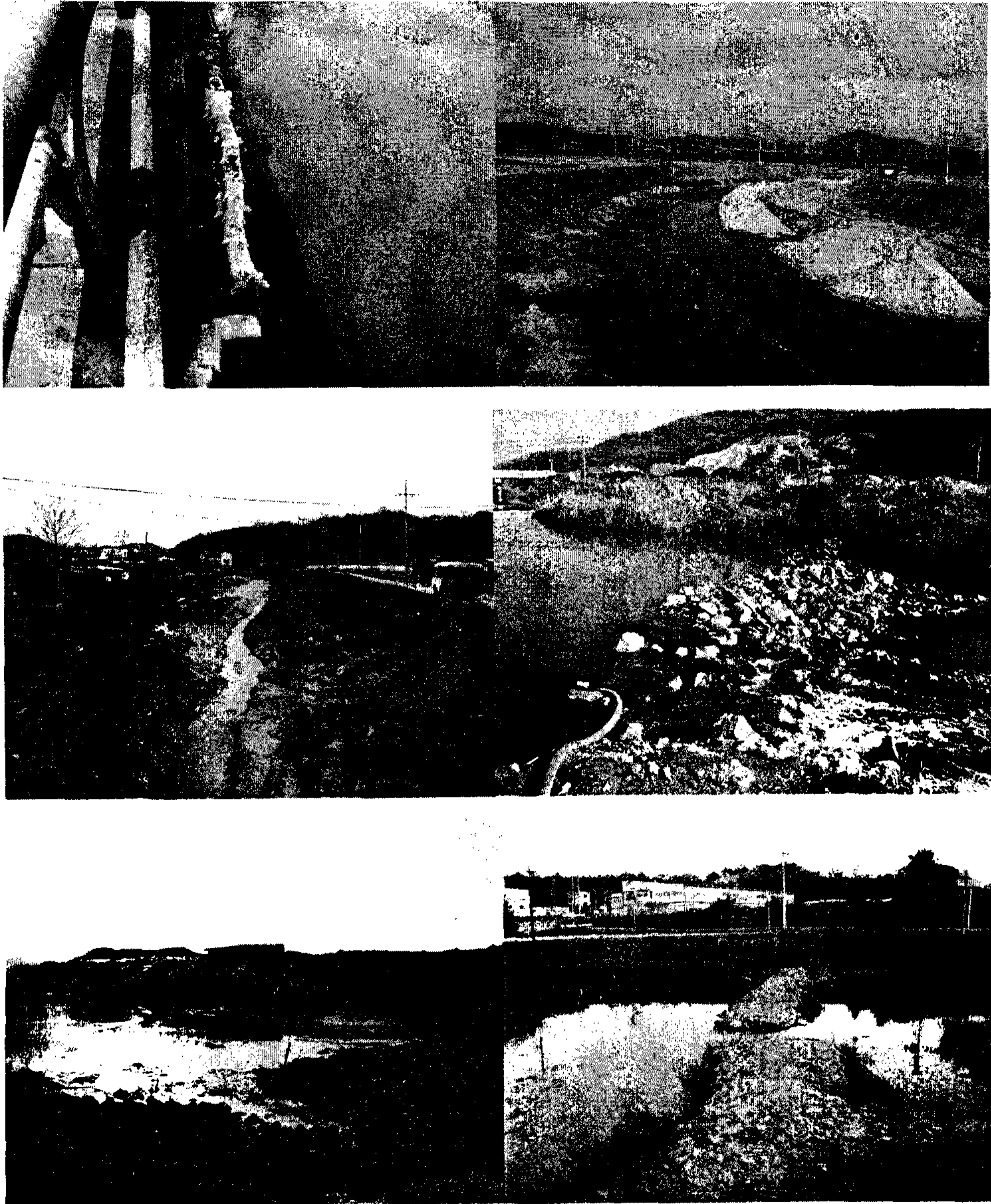
<그림 3-2>은 하천에 설치된 압력식 수위계와 작업하는 전경을 찍은 사진이다. <그림 3-3>는 하천의 수질을 샘플링하는 사진이다. <그림 3-4>는 최근 화성유역의 하천환경변화를 나타낸 사진이다. 남양천과

자안천은 측정기간 동안 하천정비 사업 때문에 수질에 영향을 미쳤으며, 남양천의 경우 마도공단의 건립을 위해 남양천의 물을 대부분 가두어 마도공단 조성사업에 사용하였다. 이 과정에서 상류측정지점의 유속이 느려져 조류가 발생하는 등 수질 환경에 많은 영향을 미쳤다.



<그림 3-3> 측정지점의 수질 샘플링 전경





<그림 3-4> 하천의 유역환경 변화

2. 수질 분석체계 구축

유역조사인 하천의 경우 월 2회 샘플하여 실험하였으며, 호소의 경우는 월 1회 측정하였다. 수질측정 항목은 BOD<sub>5</sub>, COD, DO, SS, pH, EC, 수온, chl-*a*, 질소계(T-N, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, Org-N), 인계(T-P, PO<sub>4</sub>-P)와 미생물은(total coliform, fecal coliform, *E. coli*)등 총 18개 항목이었다. 샘플을 취한 후 ORION사의 Model 550 pH meter로 온도와 pH를 측정하였으며, EC는 ORION사의 Model 550 EC Meter로 측정하였다. 또한, DO(Dissolved oxygen, 용존산소량)는 온도의 영향을 많이 받으므로 즉시 분석하였다. 분석방법은 한국공정시험법에 의해 분석하였으며, 자세한 분석 방법은 <표 3-1>과 같다. 미생물 분석은 최적확수시험법(MPN)을 사용하였으며 total coliform은 Lauryl triptose broth를 사용하였고, fecal coliform은 EC broth를 사용하였으며, *E. coli*는 EC-MUG broth를 사용하였는데 이들 모두 DIFCO사의 시약을 사용하였다.

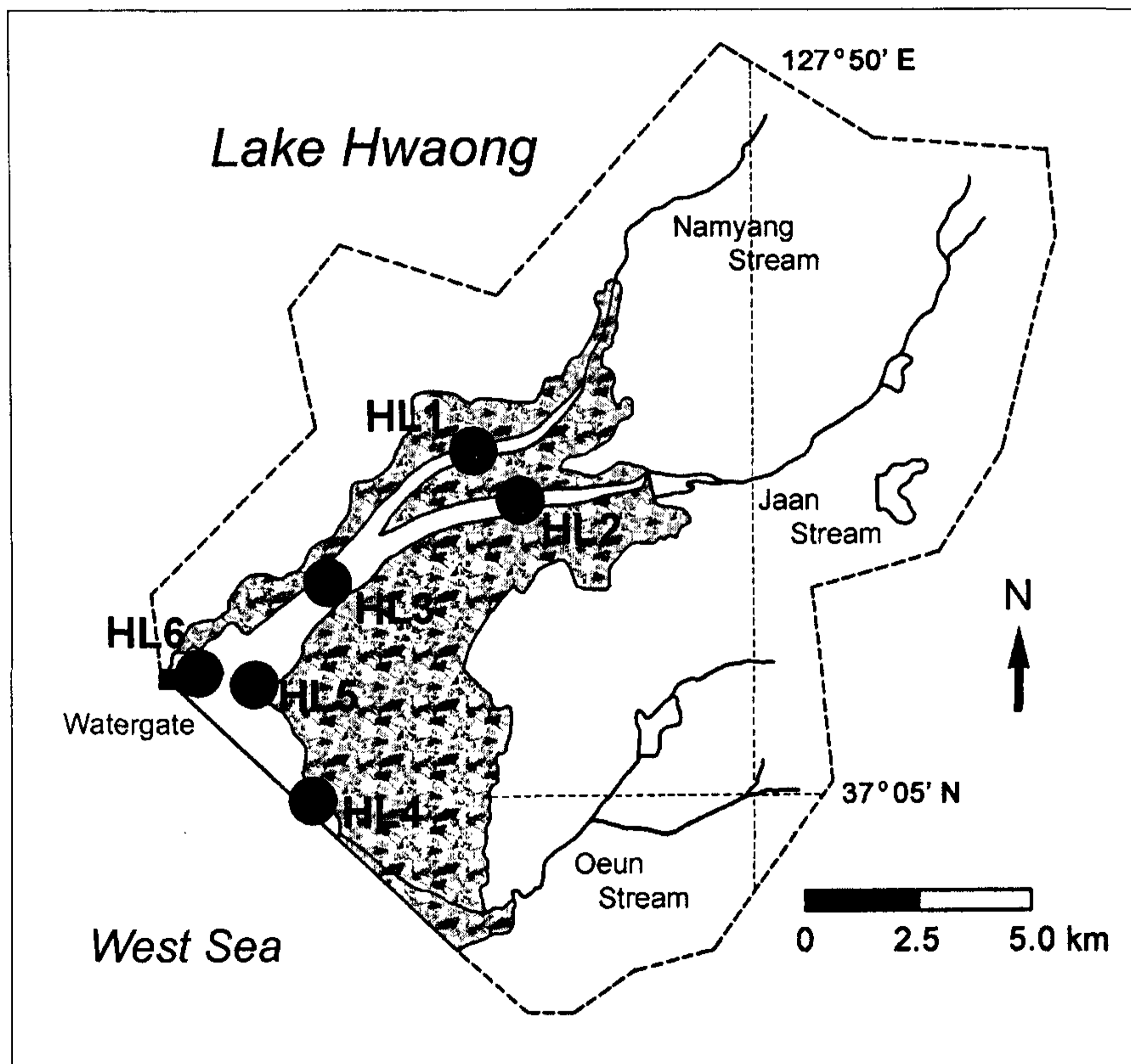
<표 3-1> 수질측정을 위한 분석 방법 구축

Constituents	Methods	Remark
DO	한국공정시험법 제4항 2.	격막 전극법
BOD <sub>5</sub>	한국공정시험법 제5항 1.	
COD	한국공정시험법 제6항 1.	중크롬산칼륨법
SS	한국공정시험법 제8항 1.	유리섬유 여지법
<u>질소계</u> T-N NH <sub>3</sub> -N NO <sub>2</sub> -N NO <sub>3</sub> -N Organic nitrogen	한국공정시험법 제14항 2. 한국공정시험법 제11항 1. 한국공정시험법 제12항 1. 한국공정시험법 제13항 1.	카드뮴 환원법 인도페놀법 디아조법 자외선 흡광광도법 $N_{org} = T-N - NH_3 - NO_2 - NO_3$
<u>인 계</u> T-P PO <sub>4</sub> -P POP	한국공정시험법 제15항 1. 한국공정시험법 제16항 1.	염화제일주석 환원법 아스코르빈산 환원법 $POP = T-P - PO_4 - P$
<u>미생물</u> Total coliform Fecal coliform <i>E. coli</i>	한국공정시험법 제37항 1. 한국공정시험법 제40항 1. SM 9221-F	최적 확수 시험법(MPN)

## 제 2 절 화성호의 현장조사 및 분석

### 1. 조사기간 및 지점

화성호의 현장조사 및 수질분석은 2003년 9월부터 2006년 1월까지 수행하였다. 수질조사지점은 화성호 내의 전체 6개 지점을 선정하였으며<그림 3-5>, 하천 유입부의 세 지점(HL1: 남양천 유입부, HL2: 자안천 유입부, HL4: 어은천 유입부)과 호수 개방수역의 세 지점(HL3, HL5, HL6)에서 조사하였다 <표 3-2>. 모든 조사지점에서 표층, 중층, 저층으로 구분하여 수직적 조사를 수행하였다. 따라서 본 조사는 화성호내의 수평적, 수직적 수질변화를 고려하여 모두 분석하였다. 또한, 현장 환경이 악화되었거나 동계의 결빙된 시기에는 조사가 가능한 범위까지 적용하였다.



<그림 3-5> 화성호의 수질 조사지점

<표 3-2> 화성호의 수질 조사지점의 위치 정보

조사지점	GPS 위치	비 고
화성호	HL 1 N 37°08' 40.5" E 126°44' 47.7"	남양천 유입부
	HL 2 N 37°08' 22.0" E 126°45' 09.4"	자안천 유입부
	HL 3 N 37°07' 35.1" E 126°43' 41.2"	남양천-자안천 합류 후
	HL 4 N 37°05' 18.0" E 126°42' 56.8"	어은천 유입부
	HL 5 N 37°06' 29.5" E 126°42' 12.2"	호수 중앙부
	HL 6 N 37°06' 38.4" E 126°41' 26.0"	배수갑문 인접부

## 2. 조사항목 및 분석방법

조사항목은 물리화학적 수질항목을 대상으로 하였고 총 18 항목에 대한 조사를 수행하였다. 생물요인을 제외한 무생물적 또는 생화학적 요인들은 수질오염공정시험법(1990) 및 미국표준수질시험법(APHA, 1997)을 기초로 분석하였다.

현장에서 pH meter(Istack) 이용해 수소이온농도(pH)를 측정하였으며, 수온, 전기전도도, 염분은 CTD를 이용하여 그리고, 용존산소는 azide 변법으로 측정하였다(APHA, 1997).

수질분석을 위한 시료를 각 지점에서 Niskin sampler를 이용하여 채수하였으며, 영양염 분석을 위한 시료는 미리 산세척된 250 mL, 2 L 폴리에틸렌 병에 담아 실험실로 운반하였다. 실험실에 운반된 시료는 부유물질 측정을 위해 일정량의 시료를 미리 측정된 GF/F 여과지로 여과하였으며, 여과액은 용존 무기 영양염 분석을 위해, 그리고 원수는 입자성영양염 분석을 위해서 각각 2N 염산으로 세척된 250 ml 플라스틱 용기에 담아 분석 전 까지 -20℃에서 냉동 보관하였다. 분석은 일주일 이내에 모두 이루어졌다.

부유물질(SS)은 여과전 여과지의 무게와 여과후 100℃ Dry oven에서 건조된 여과지의 무게차로 부터 계산하였다. 부유입자성물질(Suspended particulate matter, SPM)은 측정된 SS를 500℃에서 태운 후 무게차이로 계산하였다(APHA, 1995). 용존무기인(soluble reactive phosphorus; SRP)과 총용존무기인(Total reactive phosphorus; TRP)는 ascorbic acid 법으로 분석되었고, 암모니아(NH<sub>3</sub>-N)와 아질산성(NO<sub>2</sub>-N), 질산성 질소(NO<sub>3</sub>-N)는 각각

phenate(4500 NH<sub>3</sub>-F, APHA, 1995), Colorimetric(4500 NO<sub>2</sub>-B, APHA, 1995) 그리고 카드뮴 환원법으로 측정하였다. 총인(T-P)은 과망간산칼륨(persulfate)으로 분해한 후, ascorbic acid 법으로 용존무기인 농도를 측정하였으며, 총질소(T-N)는 과망간산칼륨으로 분해한 후 카드뮴 환원법으로 질산성질소의 농도를 정량하였다. 화학적 산소요구량(CODMn)는 알칼리성 과망간산법으로 측정하였다. 생물학적 산소요구량(BOD)는 시료를 20℃ 암조건에서 5일간 배양한 후에 azide변법으로 용존산소농도를 측정하여, 배양전의 용존산소 농도와의 차이로부터 산출하였다(APHA, 1997).

엽록소 a 농도 측정을 위해 일정량의 시료를 GF/F여과지로 여과하였고, 여과지를 90% 에탄올에 넣어 24시간 동안 냉암소에 보관한 후, 추출된 엽록소의 흡광도를 흡광광도계를 이용하여 측정하였으며, Parsons et al.(1984)에 따라 계산하였다.

### 3. 통계분석

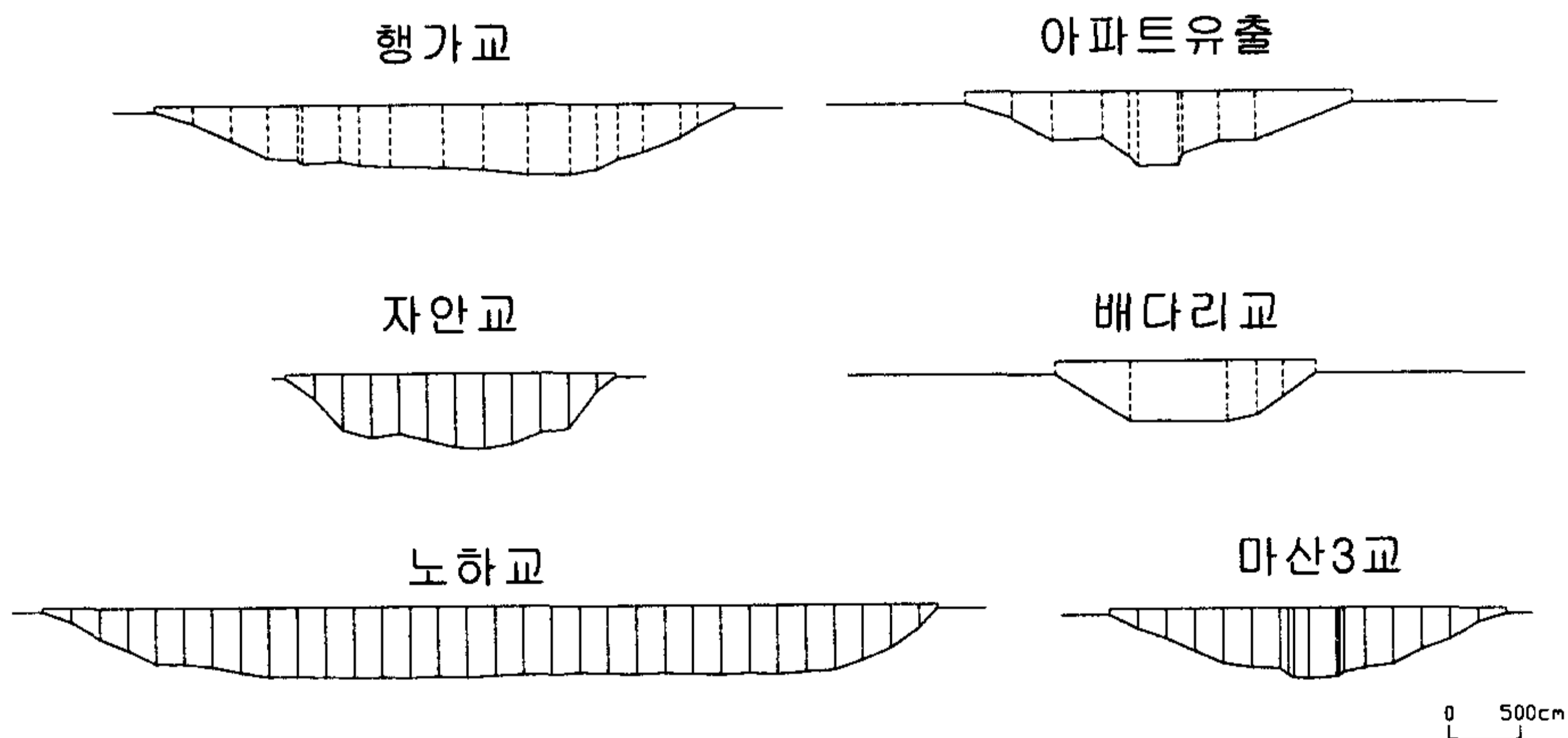
지점간의 수질비교는 one-way ANOVA를 이용해 분석하였고, 수질 항목 간의 상호관계는 Pearson's correlation analysis를 통해 수행되었다. 유의수준은  $P < 0.05$ 를 기준으로 하였다. 실험기간동안 수집된 자료는 통계용 전산 프로그램인 SPSS(Ver. 12)를 이용하여 상관분석 및 회귀분석이 이루어졌다. 상관분석은 두 변수 사이의 관계의 정도를 측정하고 표현하려는 분석이다. 상관분석은 상관계수( $r$ )은 두 변수간의 상관관계의 강도를 나타내는 지표이며, -1에서 +1사이의 값을 갖는다. 음의 값의 경우는 둘 사이의 관계가 반대로 변하는 특성이 있음을 의미하며 양의 값은 비례하여 증가하는 경향을 나타낸다.  $r$ -값이 유의수준 1% 내에 있으면 고도의 상관관계가 있다는 것을 의미하고, 유의수준 5%내에 있으면 보통의 상관관계를 인정하며, 5%보다 클 경우는 상관관계가 성립되지 않는다고 판단하였다. 회귀분석은 두 변수 사이의 함수적 관계를 나타내는 통계적 기법이다. 본 연구에서는 실측치와 회귀곡선 사이의 차이를 최소화시킴으로써 곡선을 유도하는 최소제곱에 의한 회귀분석을 실시하였다. 이렇게 추정된 회귀식에 대한 결정계수( $R^2$ )를 산정하고 F-검정을 하여 회귀식의 적합성을 판단하였다. F-검정은 측정데이터를 추정모형으로부터 설명가능한 부분을 설명할 수 없는 부분으로 나눈값이며, F-검정값이 클수록 유의확률( $p$ )가 작아지게 되어 "추정모형은 의미가 없다"라는 귀무가설을 기각하기 때문에 "추정모형은 의미가 있다"라는 결론을 내리게 된다(Paul and Linfield, 1998).

### 제 3 절 유역의 유량 및 수질 측정

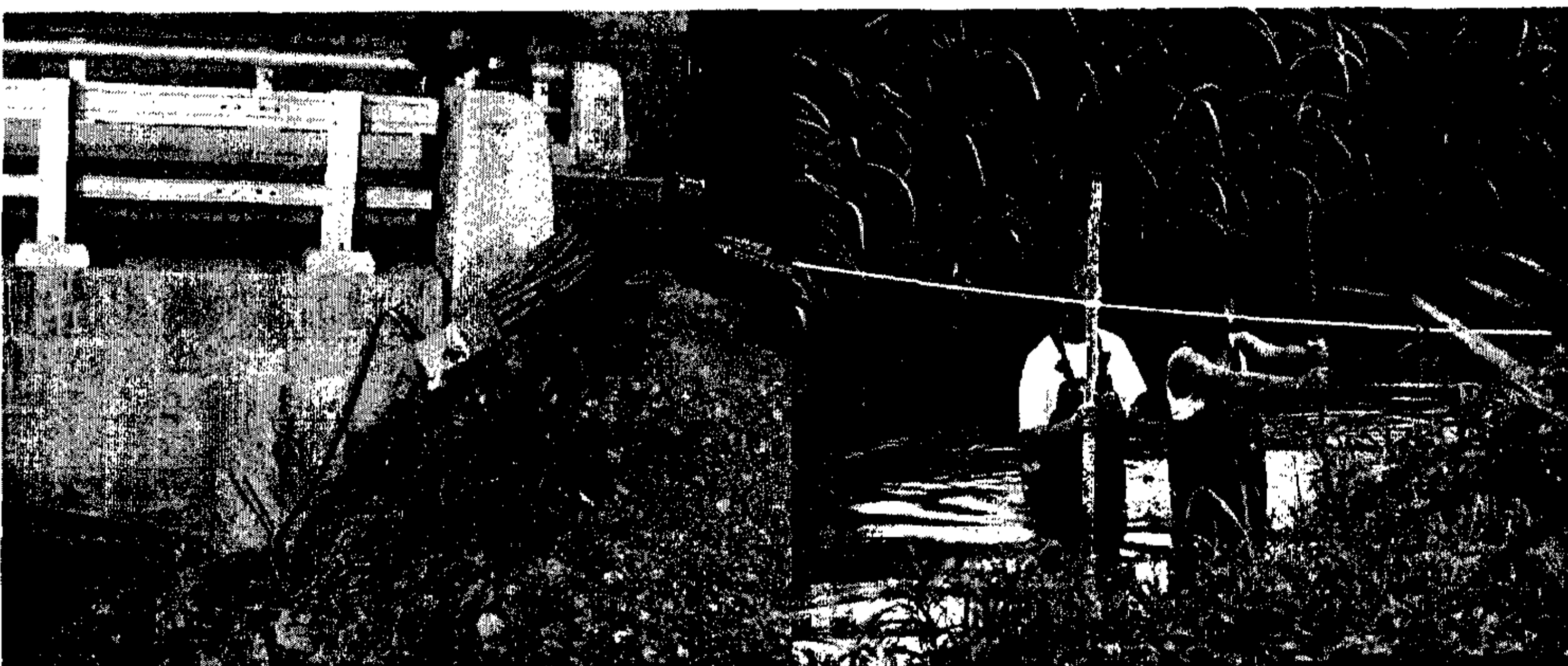
#### 1. 하천 단면 측정 및 유량 측정

수위계 설치 지점은 남양천의 행가교와 아파트 지점, 자안천의 자안교 지점, 어은천의 배다리교지점 등 총 4개의 압력식 수위계를 설치하였다. 압력식 수위계로 얻은 데이터를 사용하여 H-Q식을 만들고 유량으로 환산하고자 지속적인 모니터링을 실시하고 있다. 유속측정을 위한 유속계는 회전축이 유속 방향인 프로펠러형 유속계를 사용하였다. 유량측정은 평수기에 월 1회 측정하였으며, 전체유역에서 가장 중요도가 높은 지점에 우선적으로 설치하였다.

지속적인 유량 실측으로 수위-유량 관계곡선을 산출하기 위하여 유량 실측지점에 대한 하천단면 측정과 유량측정을 하였으며 측정된 단면의 결과는 <그림 3-6>이다. 하천유량측정시 야간에 극심한 강우가 올 경우 하천 중앙으로 들어가서 유량을 측정하는 것은 거의 불가능하기 때문에, 교각위에서부터 수면까지의 거리를 측정하고 유속을 측정하여 하천의 유량을 계산하는 방식을 취하였다. <그림 3-7>은 하천의 단면 측정과 유량을 측정하는 사진이다. 조사 기간 동안 각 측정지점의 수위-유량 곡선을 이용하여 구하였으며, <그림 3-8>과 같다.

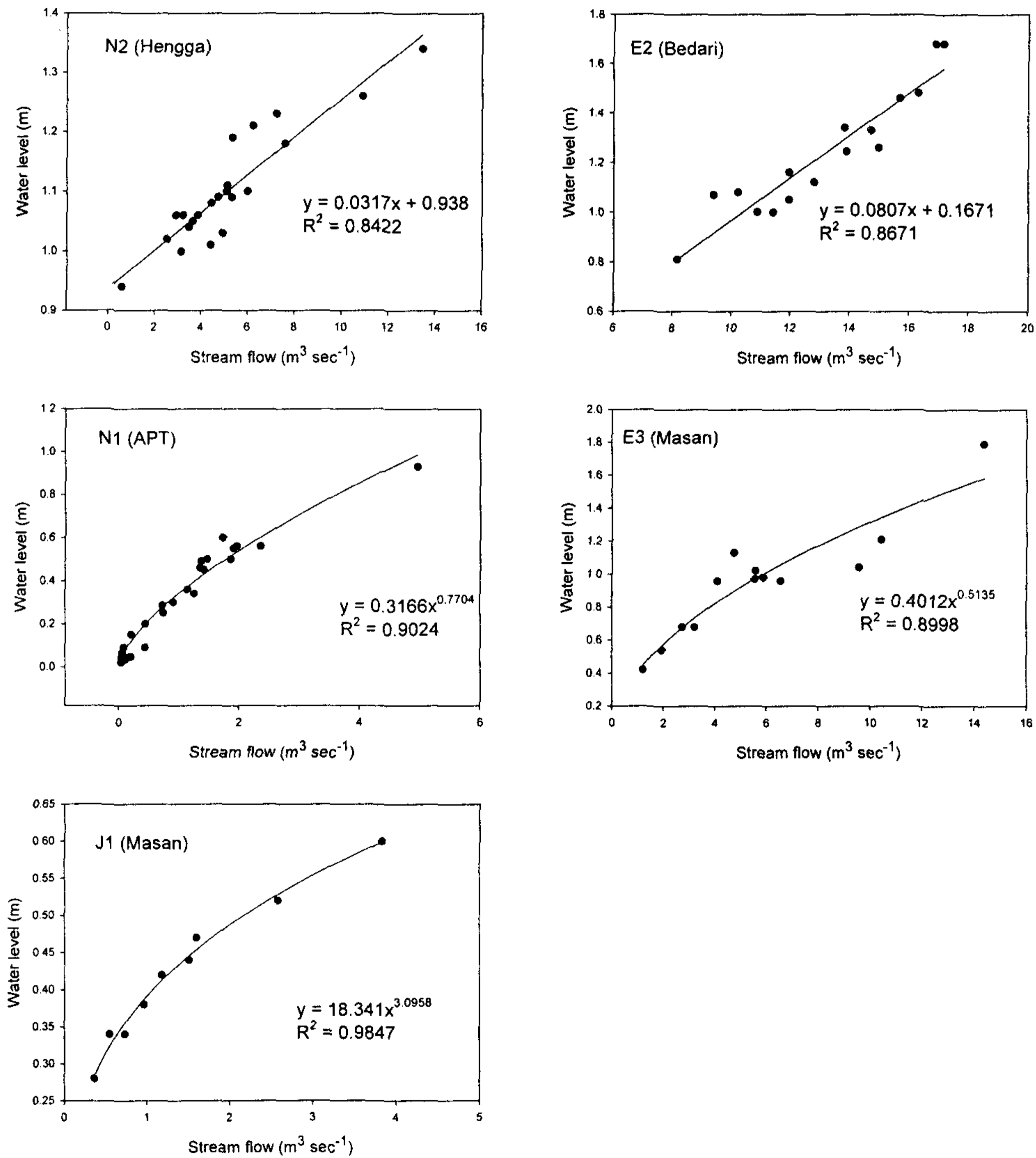


<그림 3-6> 유량 측정 지점의 하천 단면 측정 결과



<그림 3-7> 단면측정과 유량조사 사진

N2지점인 행가교 지점과 E2지점은 배다리교 지점은 수위와 유량과의 관계곡선식이 직선의 형태로 측정되었다. 이 지역은 다른 측정지점에 비해 하천폭이 넓고 급격한 경사를 보이는 곳이기 때문인 것으로 판단된다<그림 3-6>. 하지만, N1지점인 아파트, E3지점인 마산, 그리고 J1지점인 자안교의 경우 하천단면의 가장 낮은 부분으로 평수기의 물이 흐르지만, 강우시에는 유출에 의해 유량이 급격하게 증가하는 경향을 나타내는 지점들이다.

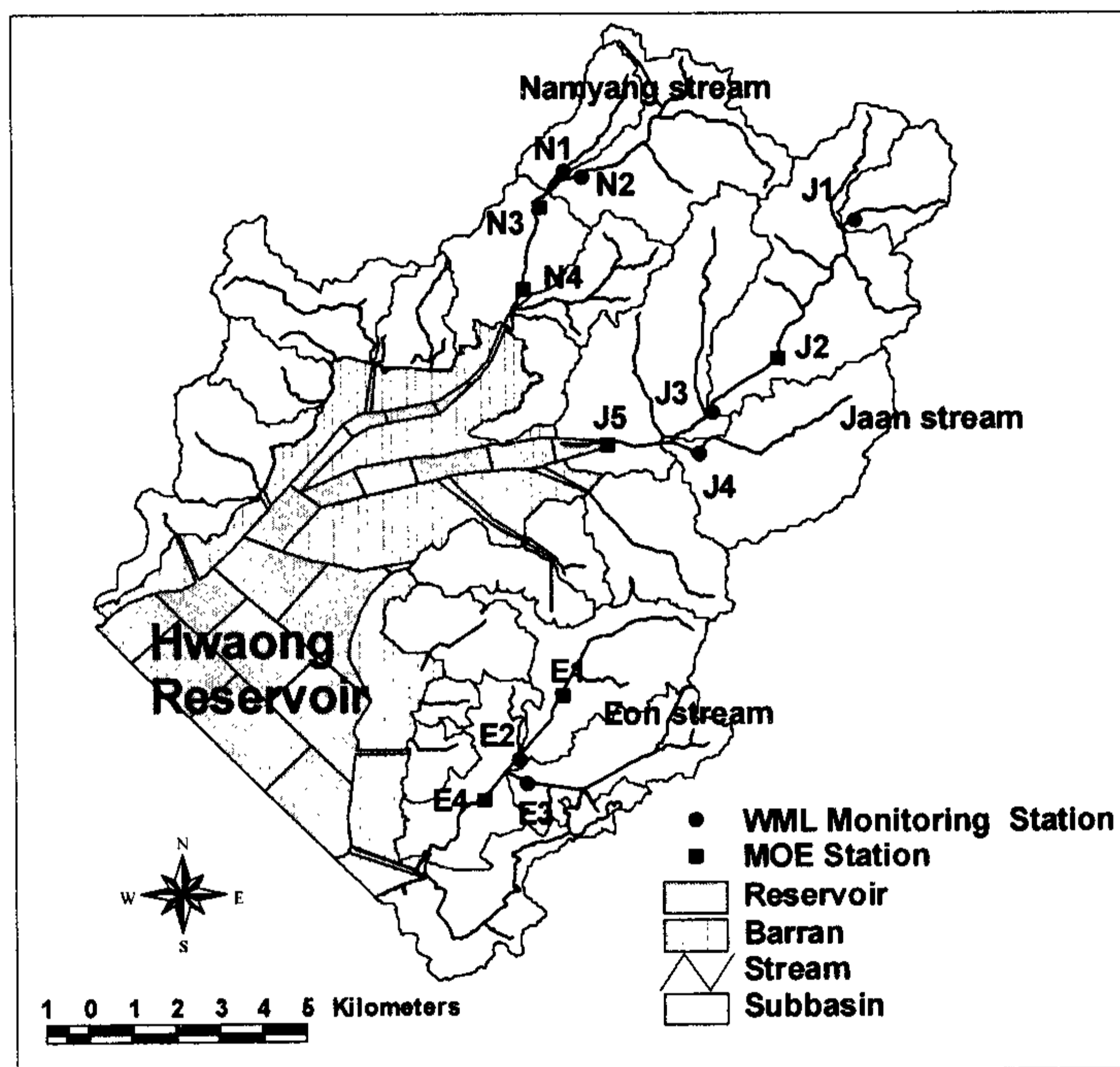


<그림 3-8> 측정지점의 수위-유량 관계식



## 2. 수질 모니터링 자료 정리

남양천은 N1, N2, N3, 그리고 N4의 측정지점이 있으며, N1과 N2 측정지점에서 유출량을 측정하였다. 자안천은 J1, J2, J3, J4, 그리고 J5 5개 지점에서 수질을 측정하였으며, 어은천의 수질 검·보정 지점은 E1, E2, E3, 그리고 E4지점이다. 측정 지점 중 유역환경관리 연구실에서 측정한 N1, N2, J1, J3, J4, E2, 그리고 E3 지점은 2003년 9월부터 2005년 12월까지 총 2년 4개월이며, 환경부 유역환경청에서 측정한 나머지 측정지점은 2002년부터 2005년까지 총 4년간의 모니터링 자료를 이용하였다.



<그림 3-9> 화성 지역의 수질 측정 지점

측정지점의 비강우시 주요 수질 인자의 분석결과는 <그림 3-10>과 같이 Box plot으로 표현하였다. Box plot은 분포의 대칭성, 자료의 중심위치, 산포의 정도, 분포 상하부분의 집중정도, 이상점 등을 파악할 수 있는 장점을 가진 표현방식이며, 상자의 가장자리는 자료를 순서대로 늘어놓았을 때 5%, 25%, 50%, 75%, 그리고 95%와 그 범위를 벗어난 이상치를 확인할 수 있는 장점을 갖고 있다(Paul and Linfield, 1998). 남양천의 경우에는 인구밀도가 높

은 N1지점이 가장 좋지 않은 수준이었으며, N2지점과 합류하여 하류인 N3와 N4지점으로 갈수록 수질이 개선되었으나 다른 하천에 비해 나쁜 수준이었다. 자안천은 남양천과 어은천에 비해 상대적으로 오염도가 낮았으며 상하류의 수질변화가 크지 않은 것으로 평가되었다. 어은천은 조암저수지에서 발원한 물이 많은 오염부하량을 배출하는 조암읍을 통과하는 E3지점에서 가장 좋지 않은 수질을 보였다.

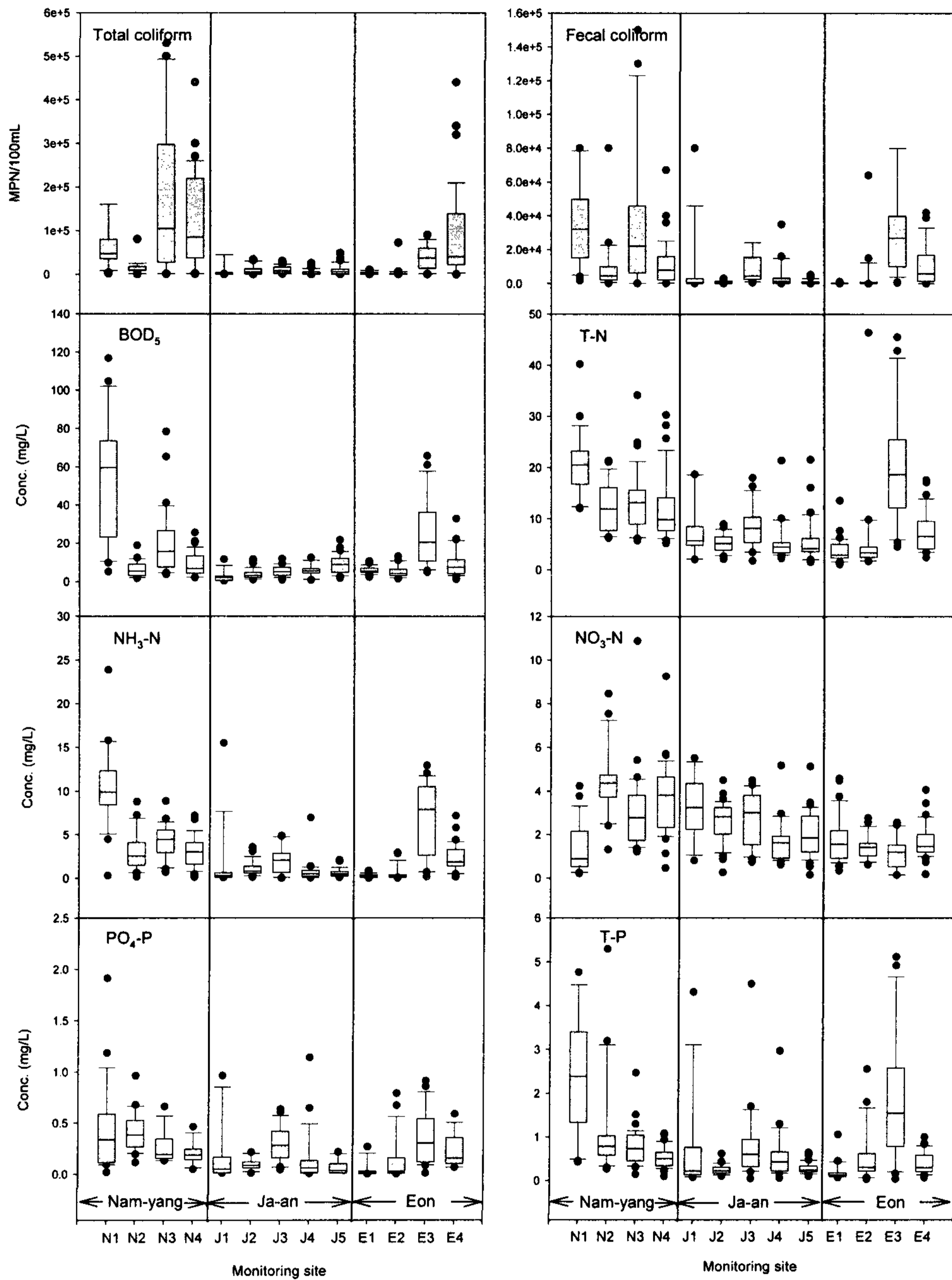
<표 3-3>과 <표 3-4>는 화성유역의 측정지점별 평균 농도를 나타낸다.

<표 3-3> 화성유역의 측정지점별 수질 평균 결과

Station	Variable	DO	BOD <sub>5</sub>	COD	T-N	SS	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	T-P	PO <sub>4</sub> -P	TC	FC	<i>E. coli</i>
		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	MPN/100mL	
N1	Median	4.2	59.4	54.3	20.5	40.5	9.9	0.9	2.39	0.34	47,500	33,500	8,850
	Min.	0.8	5.0	16.8	12.0	9.0	0.3	0.2	0.42	0.02	1,600	1,600	17
	Max.	8.0	116.8	119.6	40.2	86.0	23.9	4.2	4.76	1.91	160,000	160,000	90,000
	Mean	4.4	53.6	55.9	20.7	41.6	10.3	1.4	2.40	0.41	64,573	41,470	12,862
N2	Median	9.9	5.3	17.0	11.9	6.0	2.5	4.4	0.78	0.38	10,000	4,500	1,500
	Min.	6.0	1.6	2.1	6.2	2.5	0.2	1.3	0.26	0.11	160	80	32
	Max.	18.4	18.8	78.8	21.3	42.5	8.8	8.5	5.29	0.96	80,000	80,000	25,000
	Mean	10.6	6.1	21.7	12.0	8.0	3.2	4.5	1.11	0.42	14,724	9,819	3,460
N3	Median	5.0	15.7	13.1	13.1	18.0	4.4	2.8	0.73	0.19	23,000	115,000	-
	Min.	2.2	3.5	5.9	5.7	2.3	0.7	1.2	0.14	0.13	25	400	-
	Max.	10.3	78.3	36.9	34.1	47.0	8.9	10.9	2.47	0.66	320,000	1,100,000	-
	Mean	5.0	20.4	13.5	13.5	19.6	4.2	3.0	0.79	0.25	47,987	213,673	-
N4	Median	6.7	6.7	9.2	9.8	34.0	3.0	3.8	0.50	0.19	8,000	85,000	-
	Min.	3.1	1.9	4.3	5.1	15.3	0.1	0.5	0.09	0.05	33	830	-
	Max.	12.6	25.5	22.2	30.2	156.7	7.2	9.2	1.08	0.46	67,000	440,000	-
	Mean	7.3	9.0	10.9	12.0	39.7	3.1	3.6	0.53	0.20	11,279	120,714	-
J1	Median	11.0	4.9	16.8	8.1	18.5	2.1	3.0	0.60	0.28	8,000	4,500	1,700
	Min.	6.7	0.7	5.2	1.7	3.3	0.0	0.7	0.04	0.04	1,200	450	80
	Max.	15.1	11.7	52.1	17.9	57.1	4.9	4.5	4.49	0.64	144,000	144,000	144,000
	Mean	11.3	5.3	20.6	8.5	21.0	2.1	2.7	0.83	0.30	16,536	14,602	9,813
J2	Median	9.3	3.1	6.4	5.1	11.5	0.8	2.8	0.22	0.08	350	5,000	-
	Min.	3.1	0.9	3.0	2.1	2.4	0.1	0.3	0.10	0.01	13	150	-
	Max.	16.2	11.6	19.9	8.9	81.3	3.5	4.5	0.61	0.21	3,000	34,000	-
	Mean	8.7	3.8	7.0	5.2	16.8	1.1	2.6	0.24	0.09	682	9,830	-

<표 3-4> 화성유역의 측정지점별 수질 평균 결과

Station	Variable	DO	BOD <sub>5</sub>	COD	T-N	SS	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	T-P	PO <sub>4</sub> -P	TC	FC	E. coli
		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	MPN/100mL	
J3	Median	11.3	5.5	18.5	4.5	21.5	0.5	1.6	0.42	0.06	650	506	176
	Min.	6.0	0.7	6.6	2.2	1.3	0.0	0.6	0.05	0.00	50	12	5
	Max.	18.9	12.4	65.6	21.3	63.0	6.9	5.2	2.96	1.14	72,000	64,000	12,000
	Mean	11.4	5.7	25.1	5.5	24.3	0.8	1.7	0.58	0.14	4,576	4,330	857
J4	Median	10.6	4.2	17.3	3.3	35.9	0.3	1.4	0.30	0.02	650	506	176
	Min.	4.3	1.3	3.4	1.7	6.0	0.0	0.6	0.02	0.01	50	12	5
	Max.	15.4	13.0	62.1	46.4	76.0	2.9	2.8	2.55	0.79	72,000	64,000	12,000
	Mean	10.2	5.1	21.0	5.6	35.8	0.5	1.4	0.60	0.12	4,576	4,330	857
J5	Median	9.5	8.8	9.9	4.2	37.8	0.5	1.8	0.23	0.03	500	6,000	-
	Min.	4.4	1.7	5.1	1.5	6.4	0.1	0.1	0.10	0.01	3	50	-
	Max.	19.9	21.6	21.8	21.5	92.0	2.1	5.1	0.64	0.21	5,300	48,000	-
	Mean	9.9	9.0	11.1	5.5	40.0	0.6	2.0	0.27	0.06	1,050	8,693	-
E1	Median	7.5	5.3	9.0	2.9	21.8	0.2	1.5	0.13	0.01	90	900	-
	Min.	3.1	2.2	5.8	1.1	5.3	0.0	0.3	0.06	0.00	5	67	-
	Max.	15.0	10.5	17.2	13.5	120.0	0.9	4.6	1.05	0.27	1,100	10,000	-
	Mean	7.9	5.7	9.3	3.6	27.9	0.3	1.8	0.18	0.04	176	2,804	-
E2	Median	5.5	20.5	42.1	18.6	26.0	7.9	1.2	1.55	0.30	38,000	27,000	7,200
	Min.	1.7	4.8	8.6	4.5	4.5	0.2	0.1	0.03	0.01	260	520	28
	Max.	8.0	65.7	96.1	45.5	102.0	12.9	2.6	5.11	0.91	90,000	80,000	25,000
	Mean	5.0	24.8	45.8	20.7	30.7	6.8	1.1	1.85	0.37	37,984	31,462	8,181
E3	Median	10.5	2.0	9.9	5.6	5.5	0.3	3.2	0.30	0.05	1,300	550	180
	Min.	6.5	0.2	2.3	2.0	0.5	0.1	0.8	0.07	0.00	4	5	5
	Max.	16.9	11.5	37.1	18.7	19.0	2.4	5.5	5.17	0.96	45,000	80,000	14,000
	Mean	10.9	2.7	11.7	6.7	8.1	0.5	3.3	1.01	0.17	7,744	7,504	1,333



<그림 3-10> 화성 유역의 주요 하천의 수질 변화 패턴 분석

각 측정지점의 수질을 토지이용별로 평가하면 N1과 E3 지점이 오염된 하천수질을 나타내었는데, 두 지역은 인구가 밀집되어 있는 지역으로 높은 FC와 NH<sub>3</sub>-N의 농도가 측정되었고 NO<sub>3</sub>-N의 농도가 낮은 상태였기 때문에 처리되지 않은 오염물질이 하천으로 직접 유입되는 특징을 갖는 유역이다. 지점 J1는 유역의 상류에 위치하고 있어 상대적으로 좋은 수질을 유지하고 있다. 지점 J4와 E2의 경우에는 하천주변에 많은 수초가 자라는 하천으로 측정지점 상류의 농업용 저수지로 물을 저장하기 때문에 넓은 하천에 비해 수량이 적은 하천이다. 지점 J3는 FC와 NH<sub>3</sub>-N의 농도가 약간 높게 측정되었으나, 수초대에 의한 자정작용으로 BOD<sub>5</sub>와 SS의 농도는 낮은 수준이나 T-N과 T-P는 높은 수준이었다.

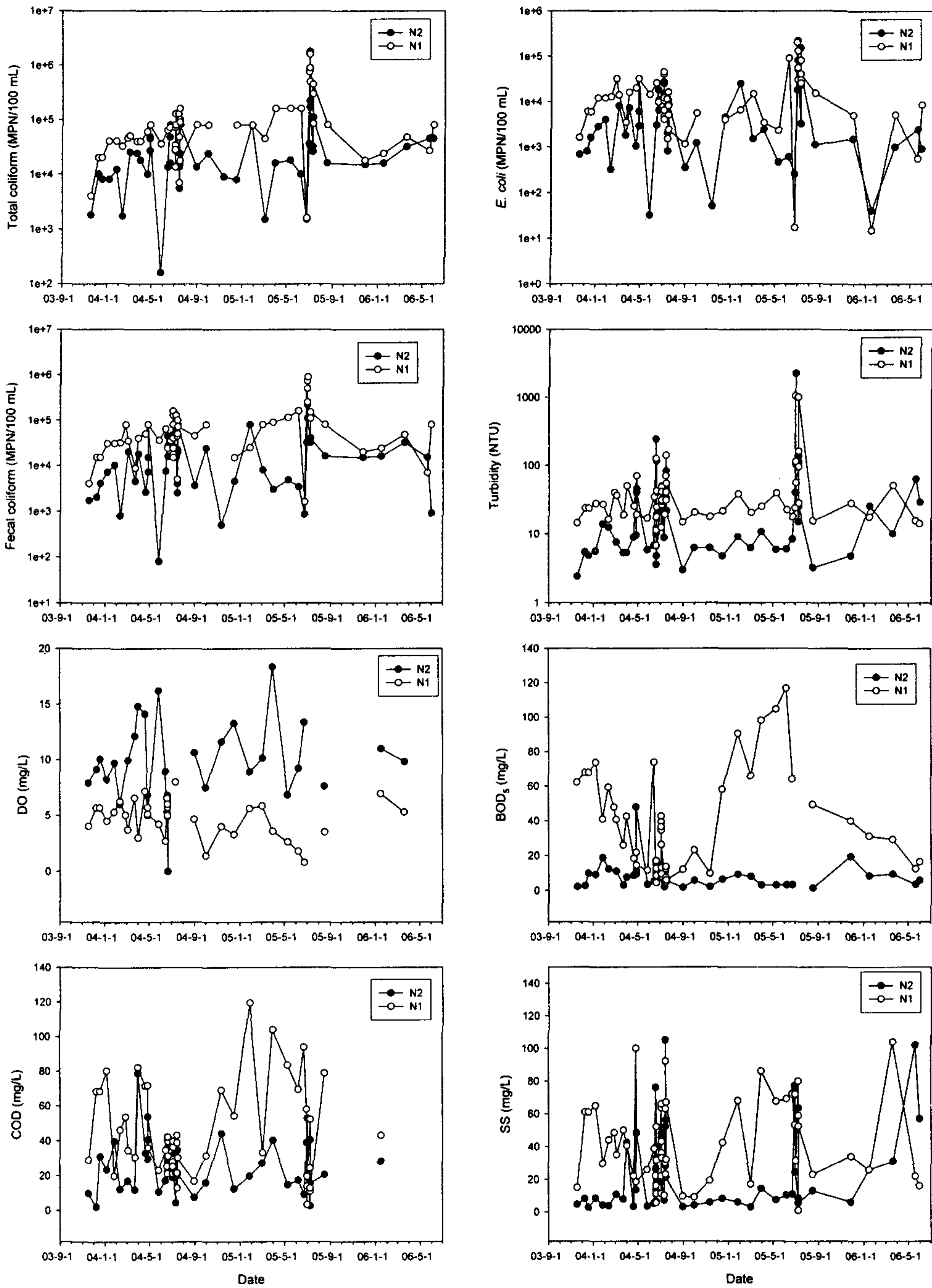
지점 E1과 E2는 상류의 저수지의 방류량에 직접적인 영향을 받는 하천으로 주변 토지이용이 대부분 논으로 둘러싸인 지점이다. 화성담수호에 유입되는 큰 하천인 남양천, 자안천, 어은천중 남양천의 N1과 N2 지점, 그리고 어은천의 E3지점이 수질관리상 중요한 지점으로 적절한 관리가 필요한 것으로 나타났다. 현재 N1과 N2의 하천수질개선을 위해 남양 하수처리장이 신설중이며, E3지점은 수질개선을 위해 조암하수처리장이 건설 중이므로 완공 후에는 하천수질이 개선될 것으로 예상되며, 담수호로 유입되는 오염부하량도 줄어 담수호 수질관리에 도움을 줄 것으로 판단된다.

#### 가. 남양천

<그림 3-11>은 N1과 N2지점의 대장균, 탁도, DO, BOD<sub>5</sub>, COD, 그리고 SS를 나타낸 그래프이다. N1 지점은 아파트 유출지점으로 많은 양의 생활하수가 적은 유량이 유입되어 오염도가 심각한 지역으로 지표 미생물인 total coliform, fecal coliform, *E. coli*의 농도가 각각 평균 64,573, 41,470, 그리고 12,862 MPN/100 mL 수준으로 매우 높게 나타났다. 평균 BOD<sub>5</sub>의 농도도 50 mg/L 이상을 나타낸다. N2 지점은 N1 지점보다는 상대적으로 낮은 수준이었으나, 다른 하천에 비해 비교적 높은 수준을 나타내었다.

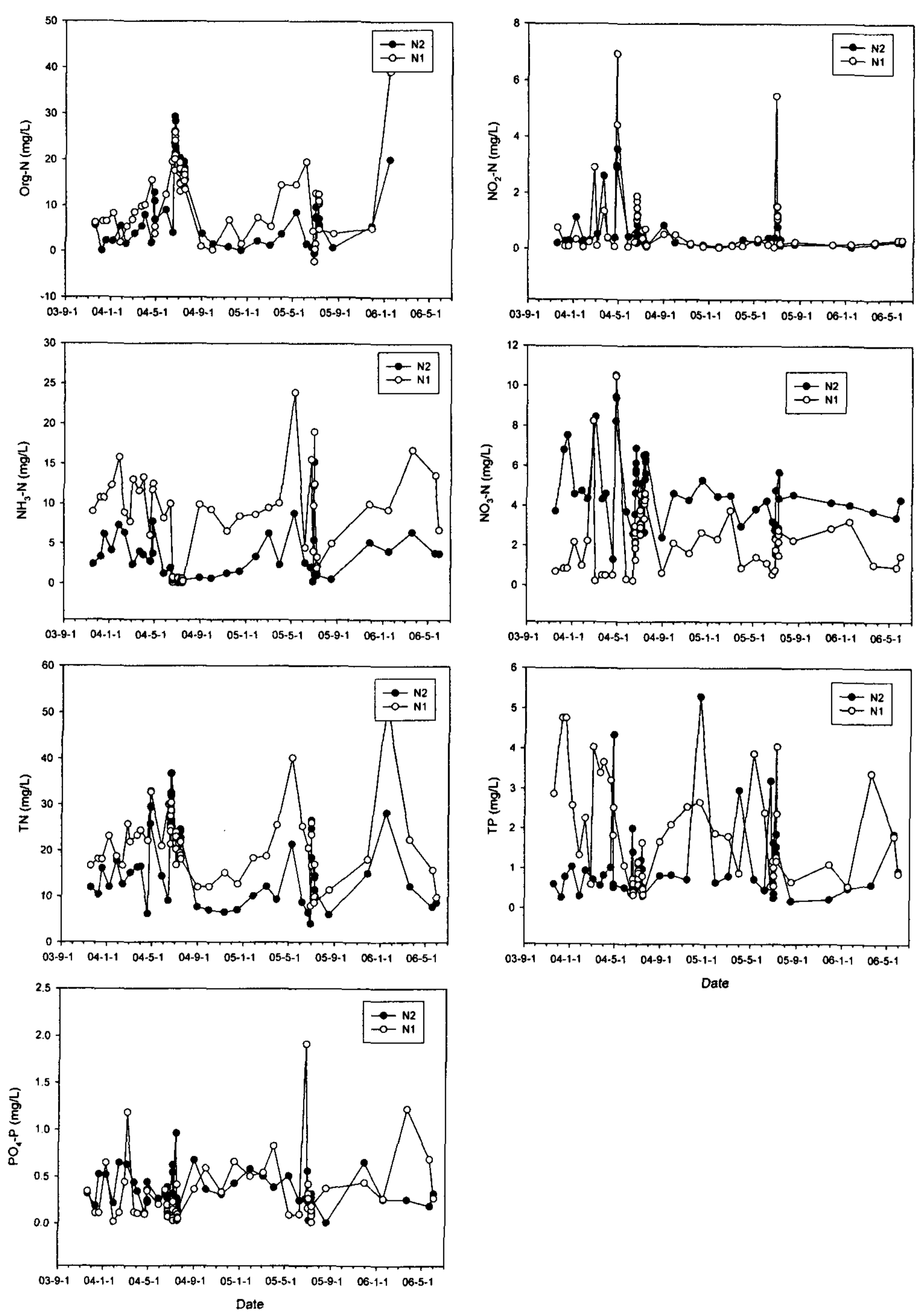
<그림 3-12>는 영양물질의 농도변화를 나타낸 그림이다. 다른 항목과 마찬가지로 N1 지점의 수질오염이 심각하여 T-N과 T-P의 농도가 평균 20.7과 2.40으로 매우 높은 수준을 나타내었다. 또한 질소의 형태별로 볼 경우, NH<sub>3</sub>-N의 농도가 상대적으로 높은 수준이었다. 이는 주변에 오염원이 가까이 있다는 것을 의미하고 주변에 생활하수가 직접 유입되고 있음을 추측할 수 있다. <그림 3-11>과 <그림 3-12>는 강우시에 측정된 데이터를 포함한 자료이다.

<그림 3-13>와 <그림 3-14>은 한강유역환경청에서 측정한 수질성과를 이용하여 2002년 5월부터 2005년 7월까지 남양천의 수질변화를 나타낸 그래프이다. 측정지점의 위치는 <그림 3-9>의 N3, N4측점지점이며 수질변화 추세는 N3지점의 경우 실선으로 N4지점의 경우는 2점 쇄선으로 표시하여 구분하였다. <그림 3-13>은 DO, BOD<sub>5</sub>, T-N 그리고 T-P의 수질변화를 나타내고 있다. 전체적인 경향은 수질이 악화되고 있는 것을 보여주고 있다. 특히, 상류인 N3지점에서 높은 수준의 농도를 나타내었으나 하류인 N4지점에서 수질이 개선되는 것을 알 수 있다.

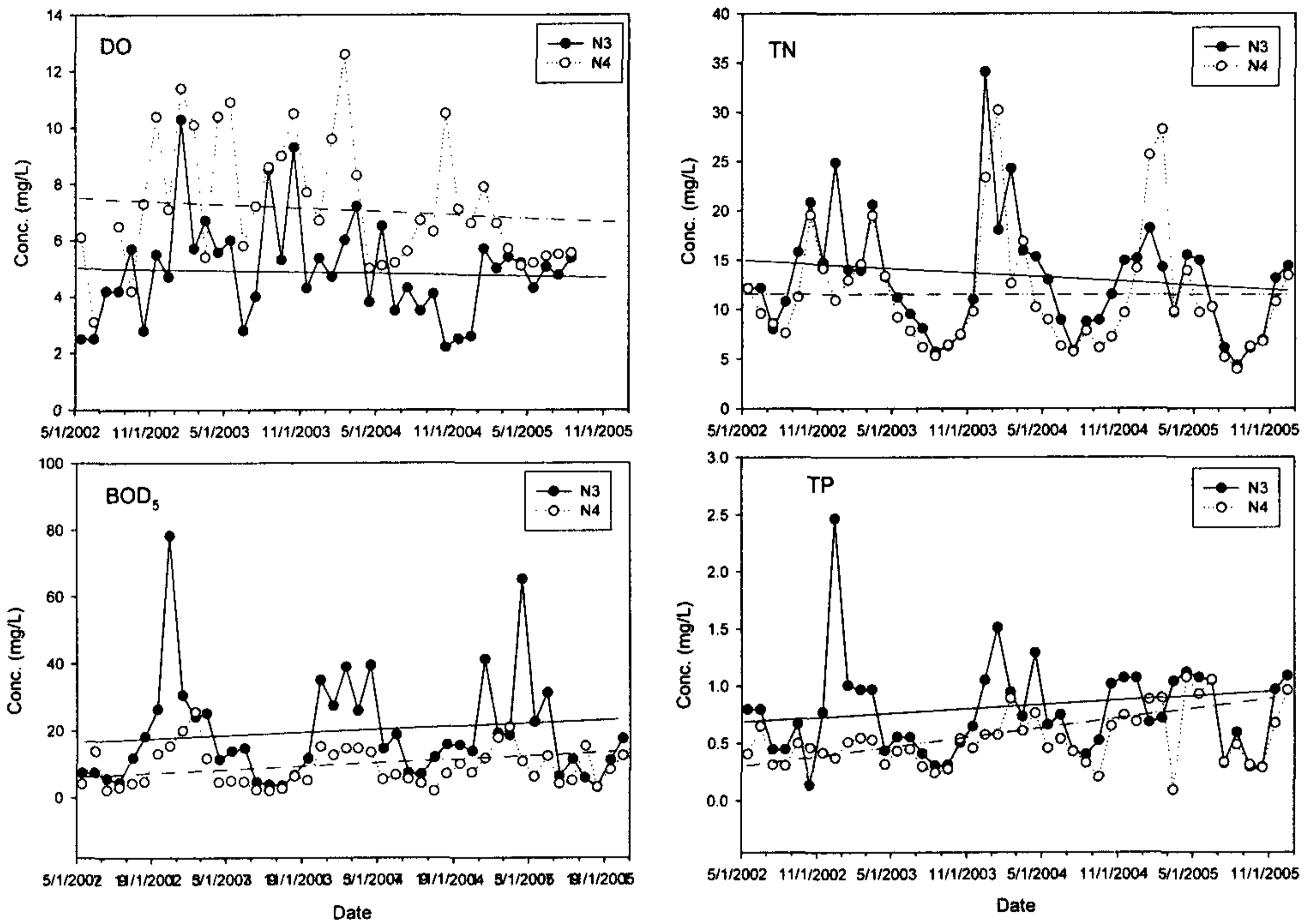


<그림 3-11> 남양천의 N1과 N2 지점의 대장균, 탁도, DO, BOD<sub>5</sub>, COD, 그리고 SS의 농도 비교



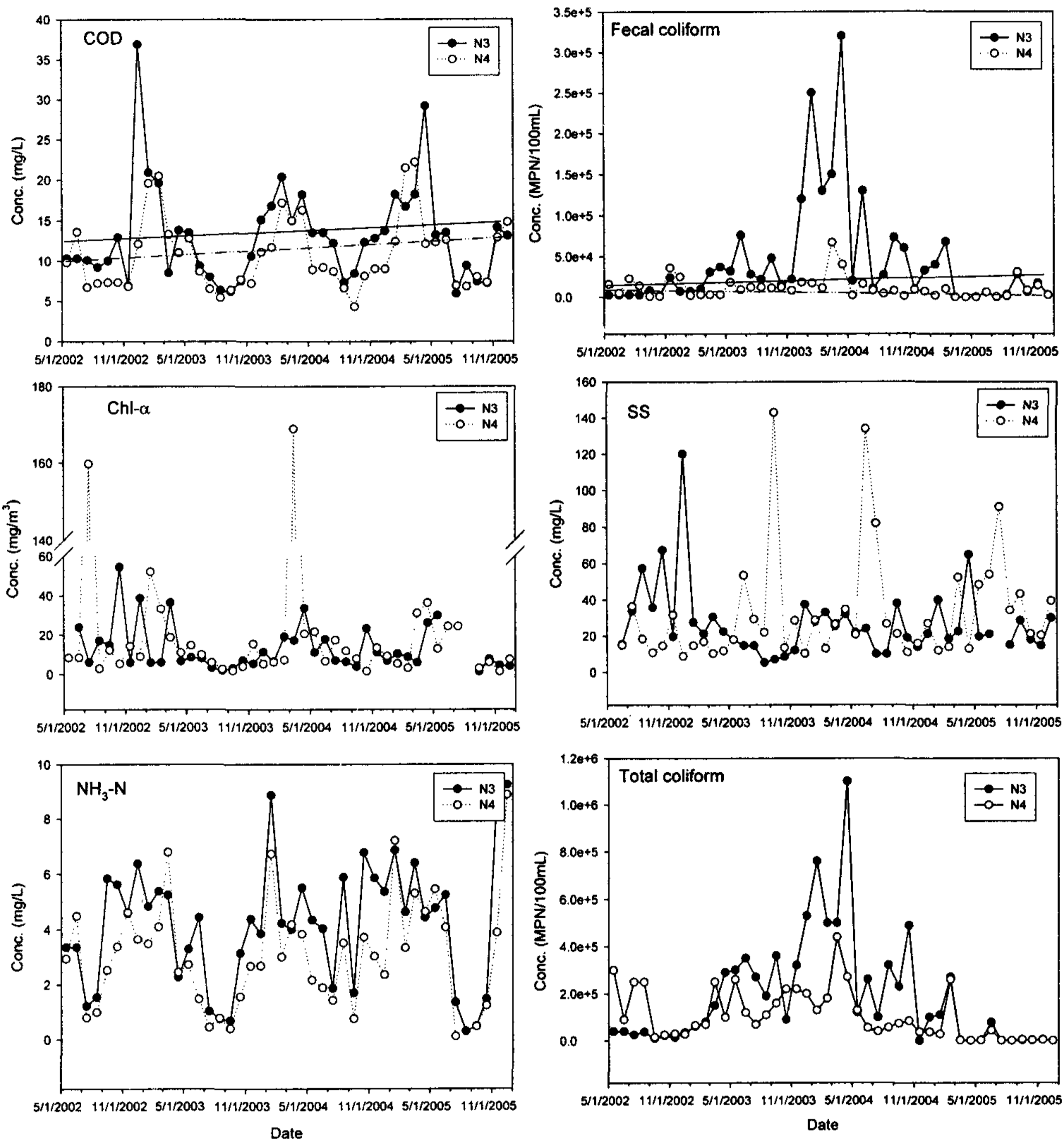


<그림 3-12> 남양천의 N1과 N2 지점의 영양물질 농도 비교



<그림 3-13> 남양천의 DO, BOD<sub>5</sub>, T-N, 그리고 T-P의 농도변화

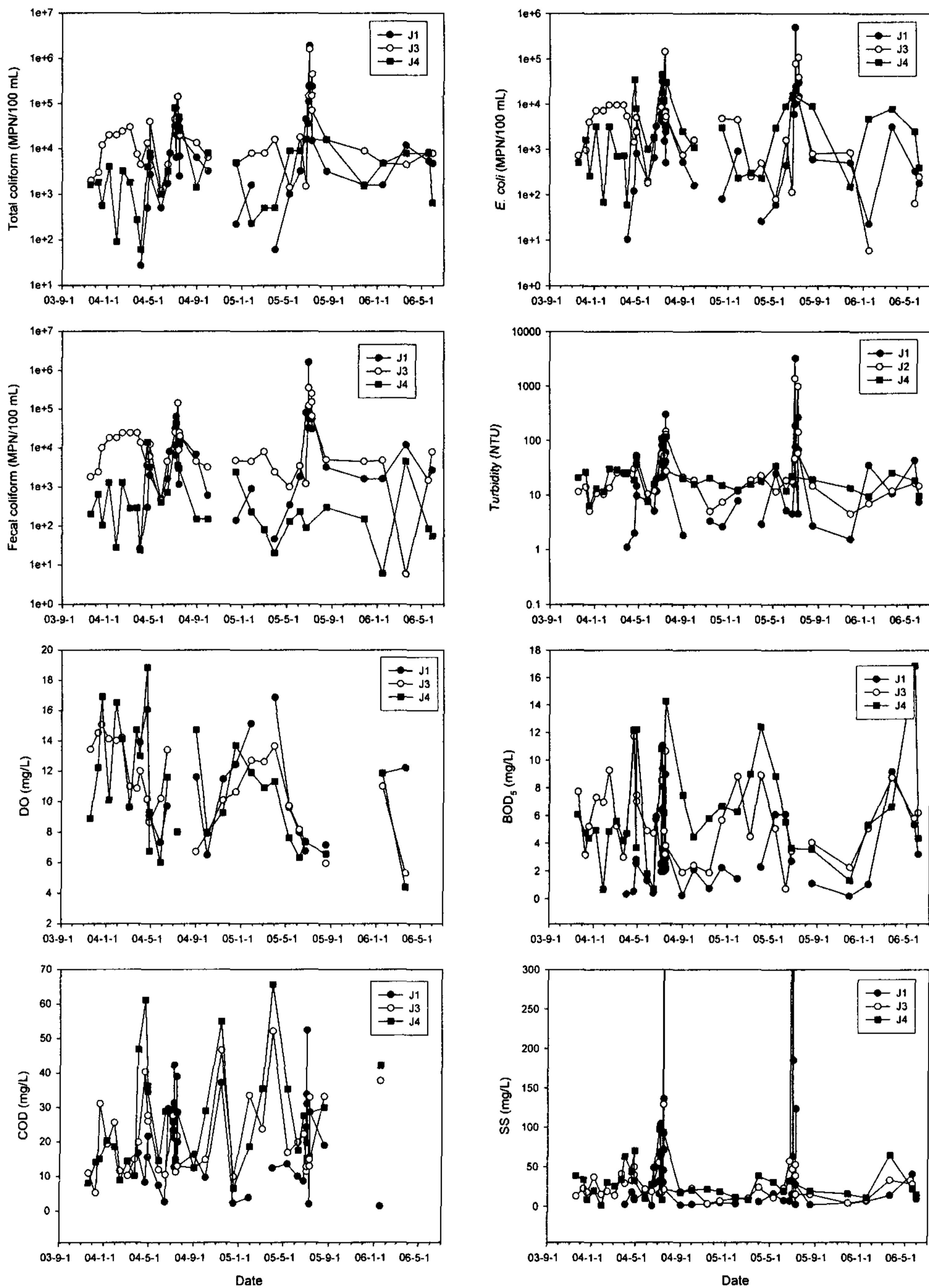
DO농도의 경우 N3지점이 약 5.1 mg/L를 나타내었는데 N4지점은 평균 약 7.5 mg/L를 나타내었으나 시간이 지나면서 DO농도가 감소하는 경향을 보였다. BOD<sub>5</sub>의 경우는 N3지점이 평균 21.2 mg/L로 매우 높은 수준이었으나 N4 지점은 9.3 mg/L로 비교적 낮은 수준이었다. T-N의 경우는 점차 감소하는 경향을 나타내었으나 N3, N4지점이 각각 13.7, 12.2 mg/L를 나타내어 아직도 높은 수준인 것을 알 수 있다. T-P의 경우는 약간 증가하는 경향을 나타내나 시기별로 큰 차이를 보였다. Fecal coliform의 경우는 N3지점이 매우 높게 측정되었으며 하류지점인 N4지점에 들어서서는 크게 감소하는 것으로 평가되었다. N3지점은 소도시의 주거지역을 지나면서 유입된 오염원에 의해 크게 증가하다가 자정작용에 의해 N4지점에서는 감소하는 것으로 판단된다. SS의 경우 상류인 N3지점에서는 감소하는 경향을 하류인 N4지점에서는 증가하는 경향을 나타내었다. Chl-*a*의 경우는 하류가 높은 수준이었으며, NH<sub>3</sub>-N의 경우는 상류가 높은 수준이었다 <그림 3-14>.



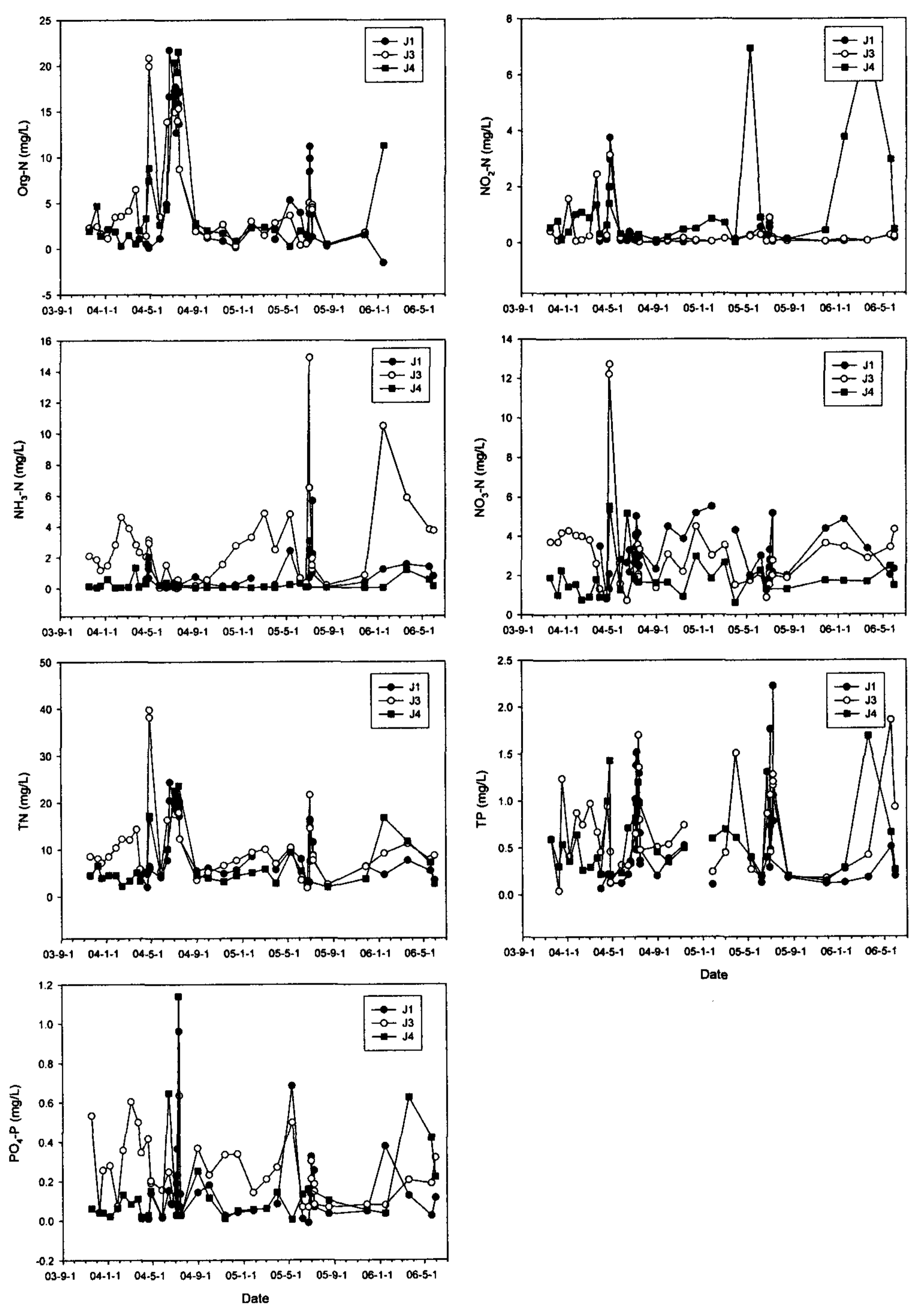
<그림 3-14> 남양천의 COD, Chl-*a*, coliform bacteria, SS, 그리고 NH<sub>3</sub>-N의 농도변화

#### 나. 자안천

<그림 3-15>와 <그림 3-16>은 자안천에서 유역환경관리 연구실에서 모니터링 한 결과를 그래프로 나타내었다. 수질의 경우 상류부인 J1에서는 비교적 양호한 수질이였으나 하류부인 J3 지점을 통과할 때 수질이 악화된 것을 알 수 있다. 자안천의 경우는 다른 생활하수가 직접적으로 유입되는 특성을 갖지는 않으나 가장 큰 유역면적을 갖고 있으며, 주변에 논과 산업시설이 위치하고 있기 때문에 비점오염원의 유입 등에 의해 영향을 받는다. 본 그래프는 강우시에 측정된 자료를 포함하여 그린 그래프이다.

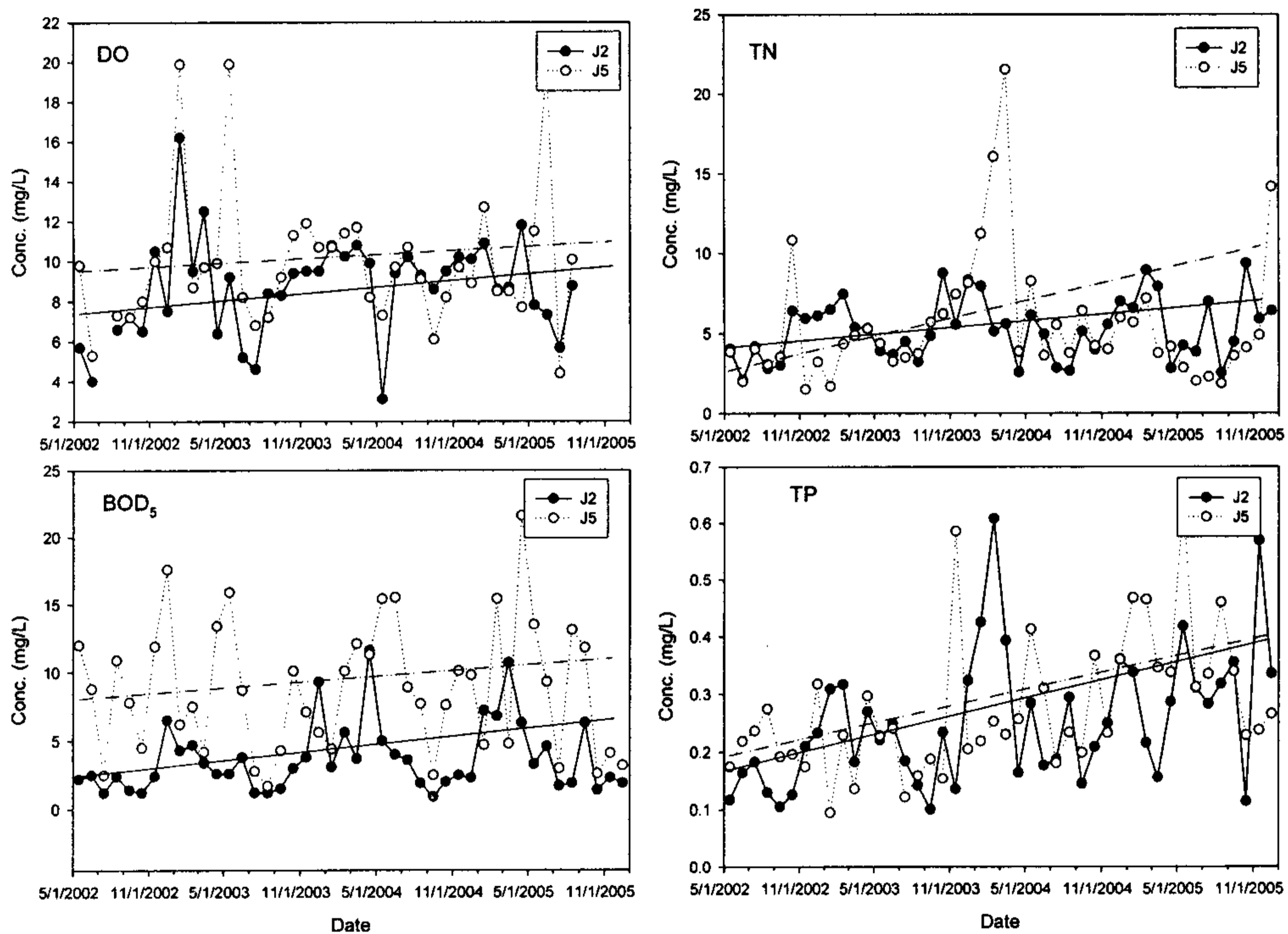


<그림 3-15> 자안천의 J1, J3, J4 지점의 대장균, 탁도, DO, BOD<sub>5</sub>, COD, 그리고 SS의 농도 비교



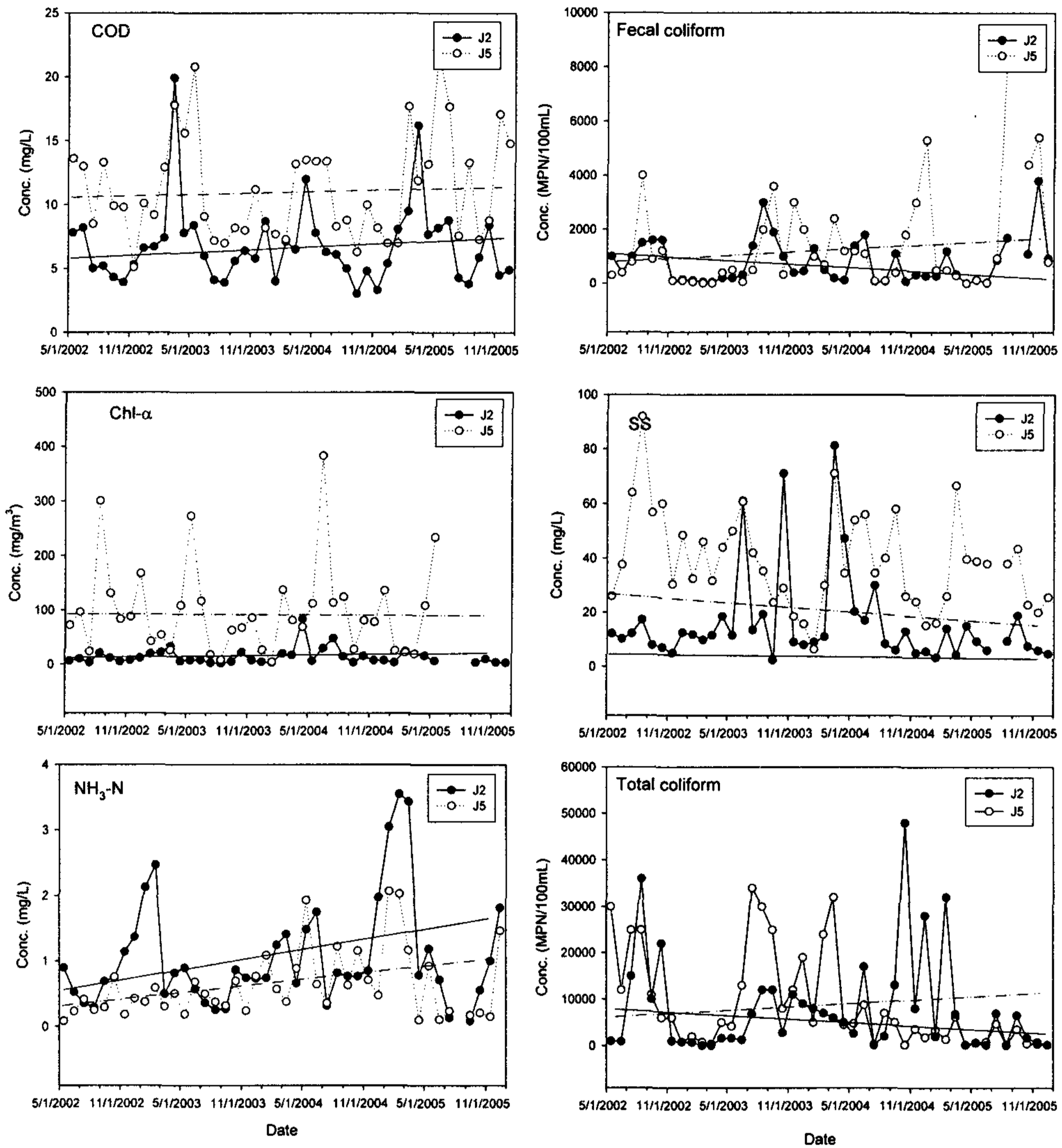
<그림 3-16> 자안천의 J1, J2, 그리고 J3 지점의 영양물질의 농도 비교

자안천 유역은 상류에서 발원한 물이 중류인 J2지점을 지날 때까지 큰 오염원 없이 흘러오게 되며 하천주변의 토지이용은 주로 논이 대부분인 특징을 지니고 있다. 하지만, J3지점 주변에 많은 산업체들이 위치해 있기 때문에 일부분의 산업하수에 의해 하천이 오염되는 것으로 평가되었다. 또한 J5의 측정지점에 현대자동차 앞의 수문 앞에 위치해 있기 때문에 채수지점 바로 위쪽에 조성된 하천형 호수의 수질에 큰 영향을 받는 것으로 평가되었다. <그림 3-17>과 <그림 3-18>는 하천의 주요수질을 그림으로 나타내었으며 수질변화를 경향을 알아보기 위해 J2지점은 실선으로 J5지점은 2점 쇄선으로 표시하였다.



<그림 3-17> 자안천의 DO, BOD<sub>5</sub>, T-N, 그리고 T-P의 농도변화

DO의 경우 남양천보다 높은 상태를 유지하는 것으로 나타났으며 오염이 덜된 하천으로 평가되었다. 또한, J5지점은 <그림 3-18>의 Chl-a의 농도가 높게 나타났는데 낮시간의 광합성에 의해 DO농도 상승이 영향을 주었을 것으로 판단된다.



<그림 3-18> 자안천의 COD, Chl- $\alpha$ , coliform bacteria, SS, 그리고 NH<sub>3</sub>-N의 농도변화

BOD<sub>5</sub>의 경우 J2와 J5지점이 각각 3.9와 9.1 mg/L로 나타났는데, 자안천은 하류에 오염원이 밀집해 있기 때문이다. COD의 경우도 유사한 결과를 나타내었다. J5지점의 T-N과 T-P의 농도는 시간이 2002년 5월부터 급격한 증가추세를 나타내는데, 많은 오염원증가가 영향을 준 것으로 판단된다. T-P의 경우는 상류지점인 J2지점에서도 유사한 증가추세를 나타내었다. 분변성 대장균 군인 Fecal coliform의 경우도 하류인 J5지점이 높은 수준이었다. 상류인



J2지점은 감소하는 경향을 나타내었으나 J5지점에서는 약간 증가하는 경향을 나타내었다. SS의 경우는 전체적인 경향은 감소하나 2005년 들어 증가하는 경향을 나타내었는데 이는 상류유역의 하천정비공사로 인한 영향인 것으로 판단된다. Chl-*a*의 경우는 J5지점이 J2지점보다 월등히 높은 수준이었는데 이유는 하천폭이 급격하게 증가하여 체류시간이 증가하였으며, 현대자동차 앞에 제수문을 설치하여 조작하였기 때문에 조류가 증가할 수 있었다. NH<sub>3</sub>-N의 경우도 하류인 J5지점에서 높은 수준을 나타내었다.

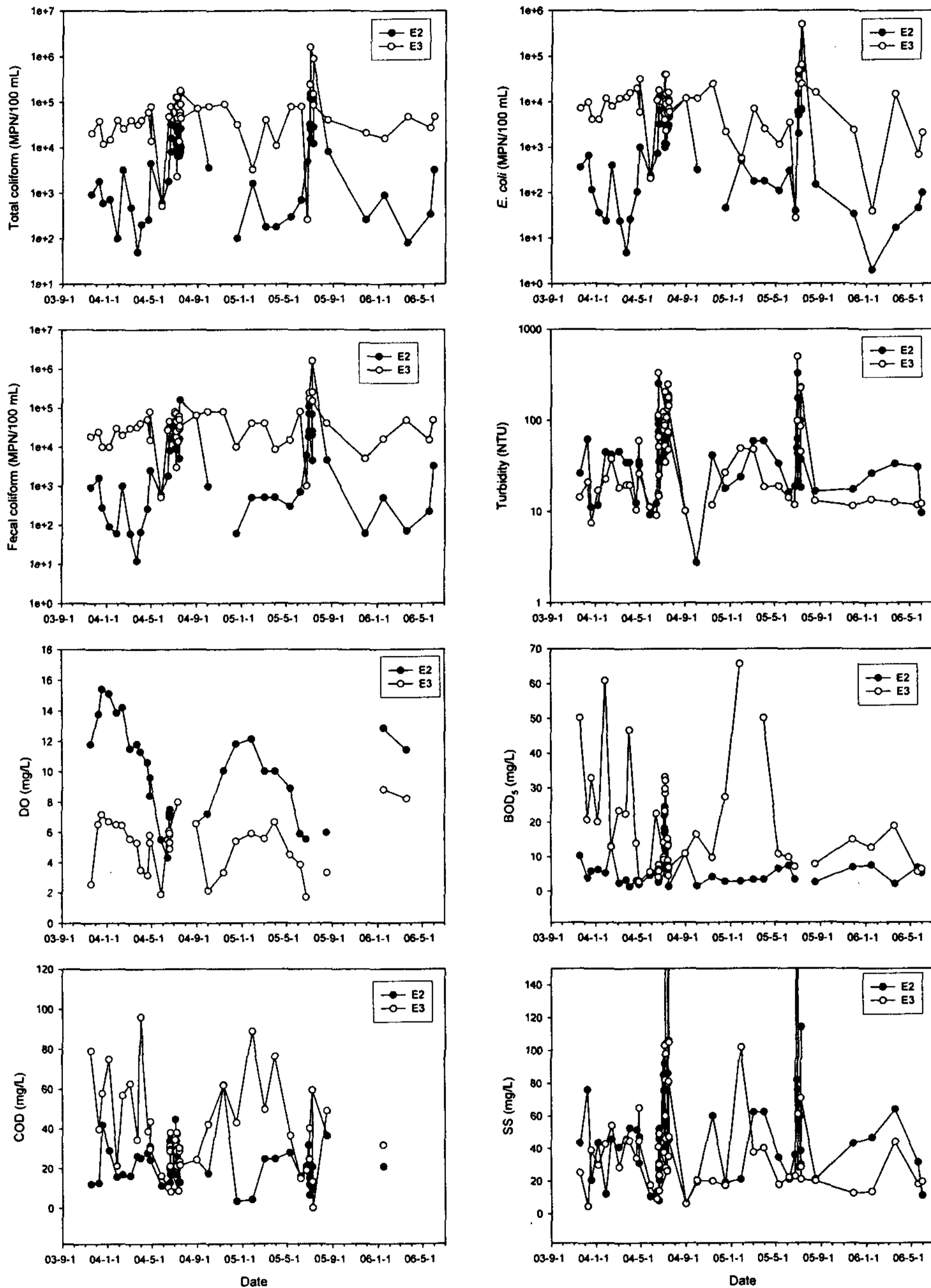
#### 다. 어은천

<그림 3-19>와 <그림 3-20>은 어은천의 E2와 E3의 지점의 모니터링 수질 자료를 나타낸 그림이다. 본 그래프는 강우시에 측정된 데이터를 포함하여 작성하였다. E2 지점인 배다리교는 저수지에서 발원한 하천이 화성담수호로 흘러들어가는 중간에 위치한 지점으로 특별한 점오염원이 없기 때문에 하천의 수질은 양호한 수준이다. 이해 반해 E3 지점은 조암읍을 통과한 후 많은 양의 오염물질이 물속에 포함되어 있기 때문에 수질이 악화되어 남양천의 N1(아파트 유출)지점 다음으로 오염도가 심각한 지점이다. N3지점은 total coliform, T-N, 그리고 T-P가 각각 37,984 MPN/100 mL, 45.8, 그리고 1.85 mg/L를 나타내었다. 질소의 형태별로 살펴보면 암모니아성 질소의 형태가 가장 많은 것으로 나타났다.

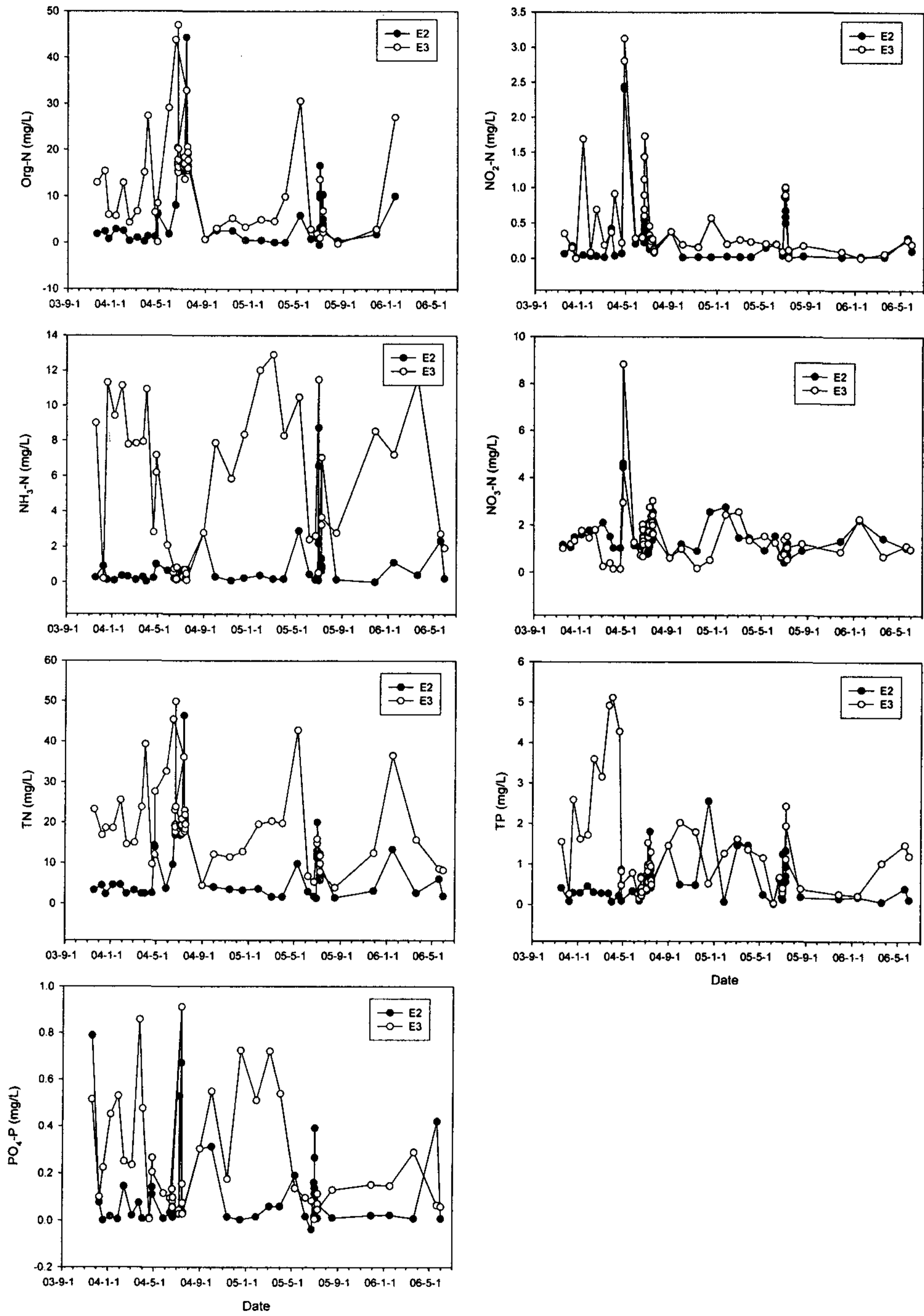
어은천은 조암저수지에서 발원하여 배다리교를 지나 조암읍을 통과하는 하천이 합류하게 되는데 수질이 악화된 상태이다. 따라서 하류에서의 농도는 크게 악화되게 된다. 조암천 하류에서 조암읍을 통과하는 하천을 만나기 전까지의 주변 토지이용은 대부분 논이며 주 오염원으로는 농지배수가 대부분이며 기타 산재되어 있는 생활계로부터 유입되는 오염원 양은 극히 제한적인 것으로 평가된다. 하지만, 배다리교를 지난 시점에서 조암읍을 통과하는 하천이 합류하여 어은천 수질에 악영향을 미치고 있다. <그림 3-21>과 <그림 3-22>은 어은천의 주요수질인자의 농도변화를 나타내는 그림이다.

조암저수지에서 발원한 후 얼마 지나지 않아 측정하는 E1지점의 경우 조암저수지의 수질에 큰 영향을 받는다. 하지만 전체적인 수질은 양호한 편이었으며 2005년도 들어 T-P농도가 증가하는 경향을 나타내었으나, 우려할 만한 수준은 아닌 것으로 나타났다. Chl-*a*와 DO 농도만이 상류인 E1지점이 E4지점보다 높은 수준이었는데, 저수지의 수질에 영향을 받는 하천에 나타날 수 있는 결과이다. E4지점의 평균수질은 DO, BOD<sub>5</sub>, COD, T-N, T-P, Fecal coliform SS, Chl-*a*, NH<sub>3</sub>-N의 수질이 각각 6.9, 10.0, 10.7, 7.8, 0.4 mg/L, 12,058

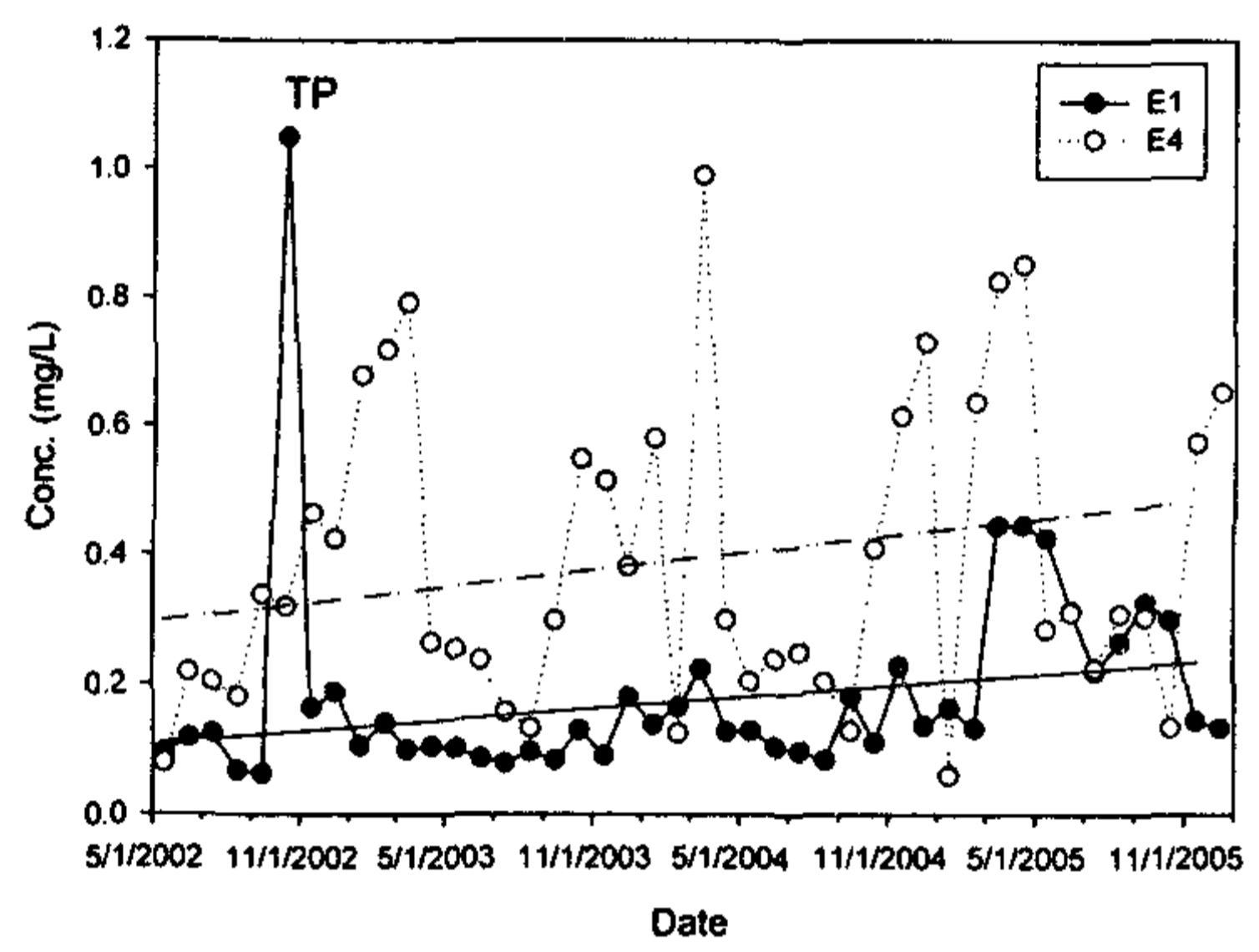
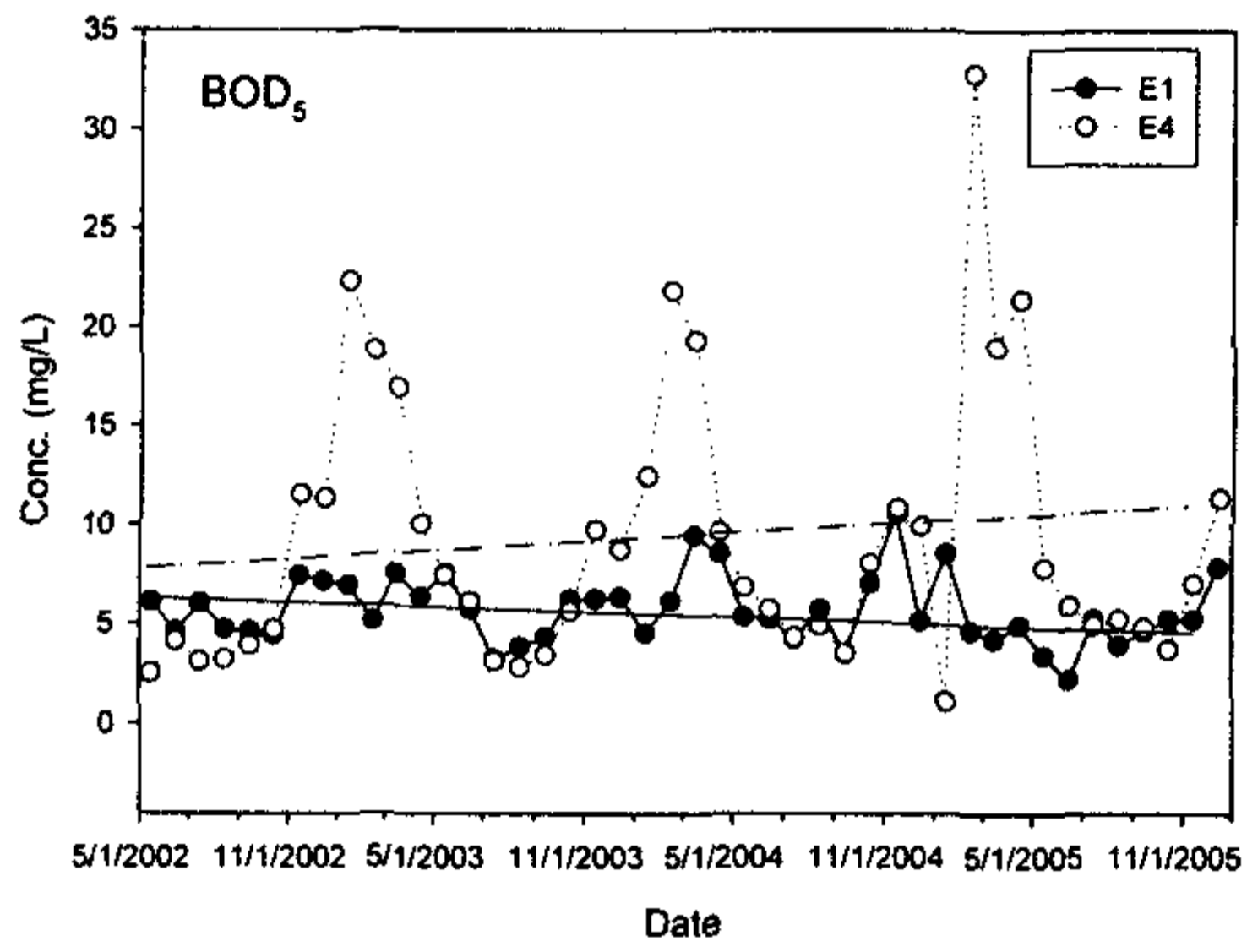
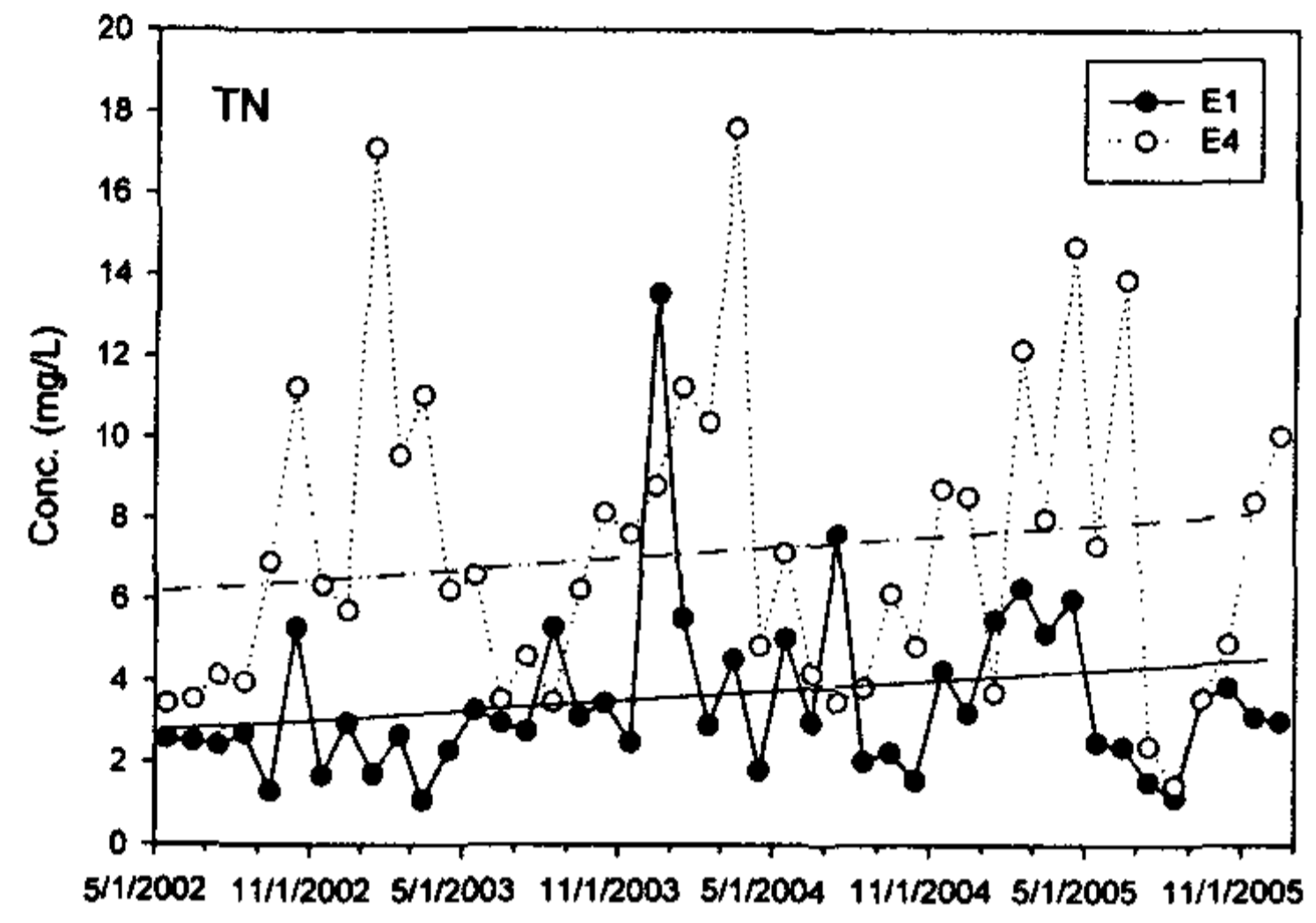
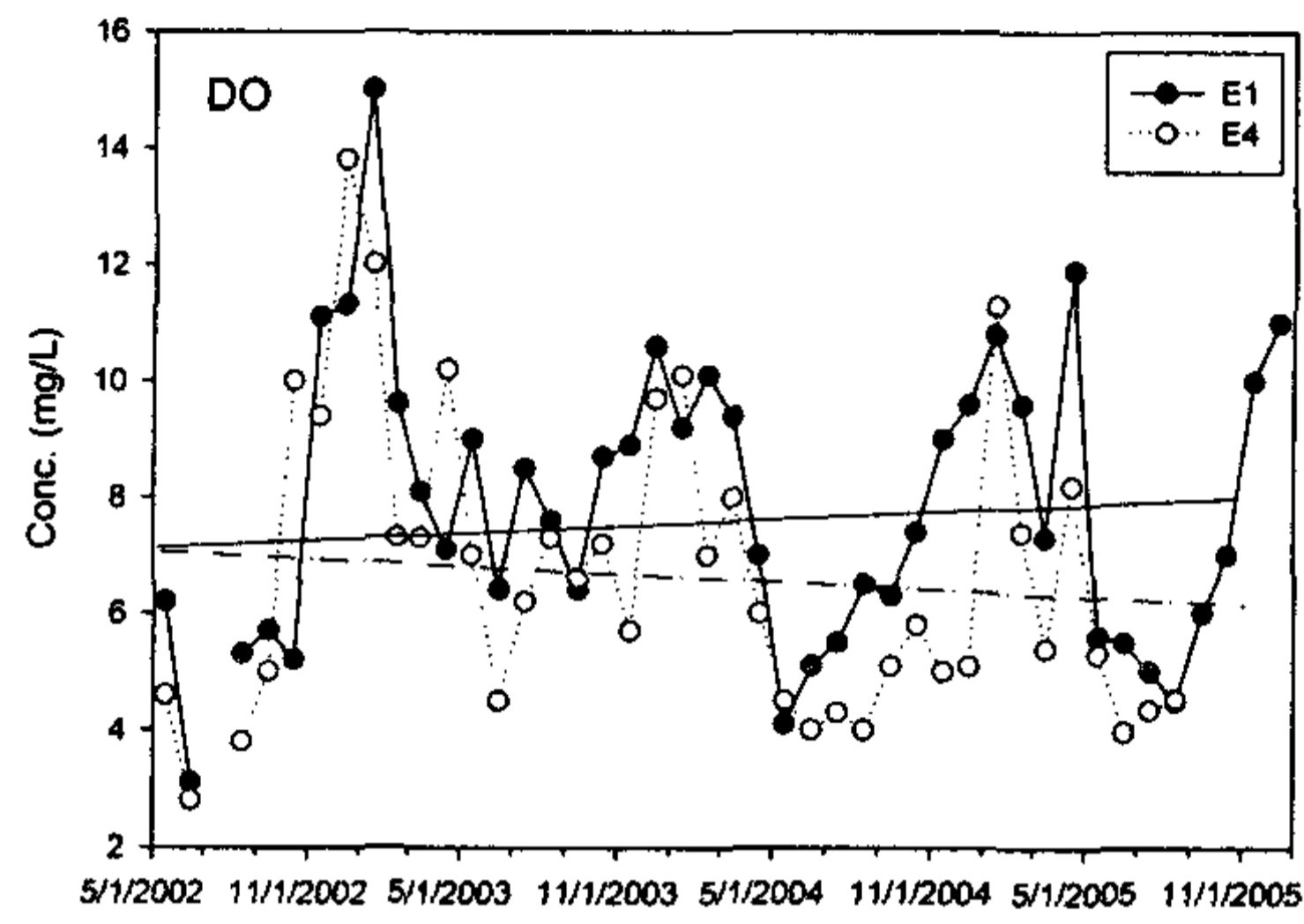
MPN/100mL, 39.5 mg/L, 31.9 mg/m<sup>3</sup>, 2.4 mg/L로 나타났다.



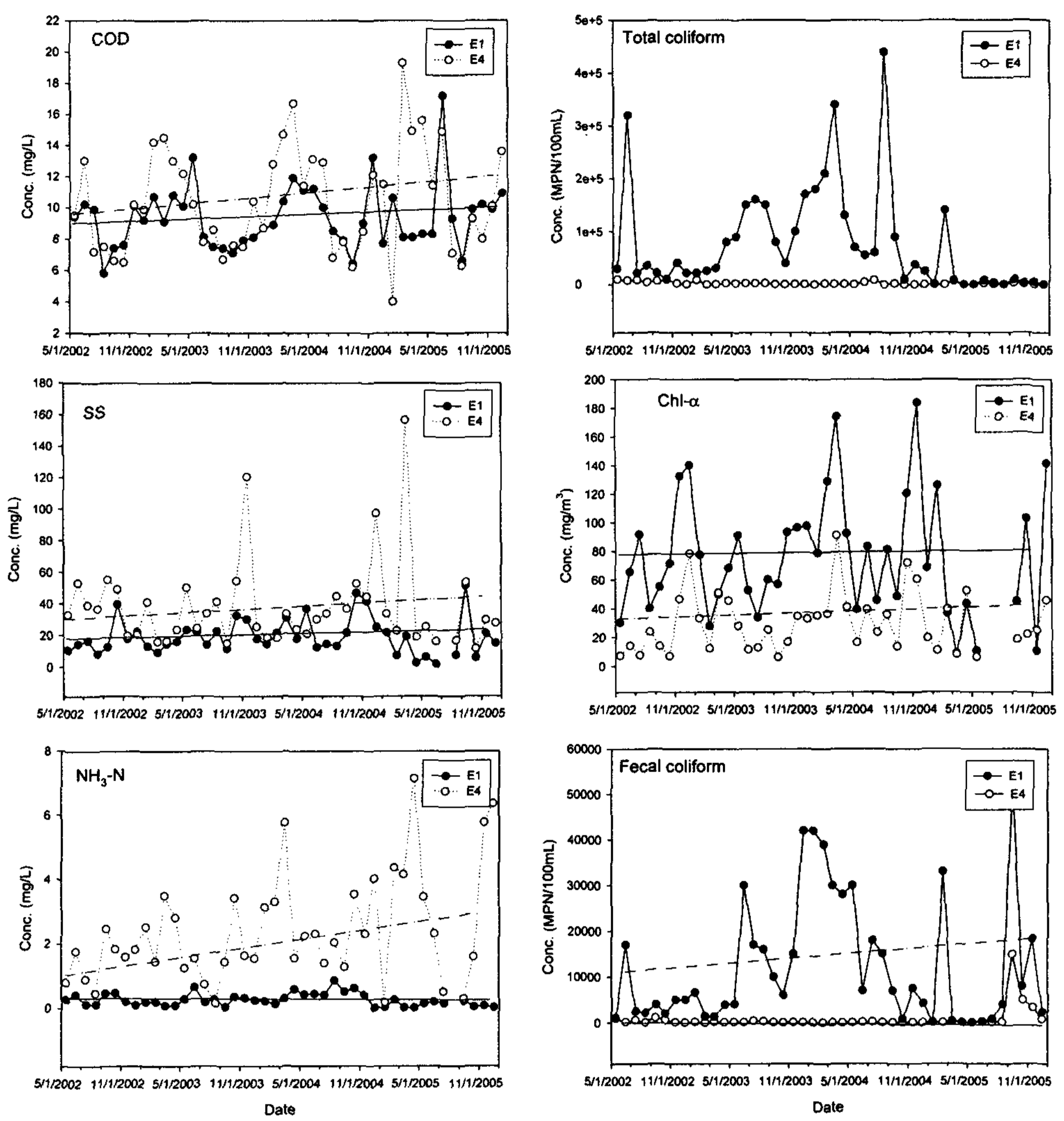
<그림 3-19> 어은천의 E2와 E3 지점의 대장균, 탁도, DO, BOD<sub>5</sub>, COD, 그리고 SS의 농도 비교



<그림 3-20> 어은천의 E2와 E3 지점의 영양물질 농도 비교



<그림 3-21> 어은천의 DO, BOD<sub>5</sub>, T-N, 그리고 T-P의 농도변화



<그림 3-22> 자안천의 COD, Chl- $\alpha$ , coliform bacteria, SS, 그리고 NH<sub>3</sub>-N의 농도변화

## 제 4 절 수질 예측을 위한 회귀모형의 개발

### 1. 모형 개발의 목적

하구 담수호가 위치한 지역에서는 담수화 진행과정에서 담수와 해수 생태계가 공존하게 되며, 유역말단에 위치하는 지형적인 특징으로 많은 양의 오염물질이 유입되기 때문에 건강한 수생태계를 유지하기 위해서는 많은 노력이 필요하게 된다. 비도시 유역인 화성지역은 수질이 양호한 상류부에서 남양동과 조암읍을 거치면서 급격하게 수질이 악화되는 특징을 갖고 있다. 이는 비도시 시가지역의 정화조유출이나 처리되지 않고 유입되는 불명수에 의해 하천 수질이 오염된다고 평가할 수 있다. Griffin et al.(1999)은 정화조가 밀집한 지역에서는 영양물질이나 분변성 오염물질에 의해 하천수가 오염된다고 하였으며, 사질토인 경우 지하수의 오염이 하천수에 영향을 줄 수 있다고 보고하고 있다(Paul et al., 1997). David et al.(1995)과 Eran and David(1996)는 적절하게 차집되지 않고 유출되는 가정하수가 하천 수질에 큰 영향을 미친다고 보고하였다.

유역 말단 지역은 하수처리장 방류수, 정화조유출, 불명수의 유입, 축산, 그리고 농경지의 비점오염 등 오염부하량이 축적되어 하천의 수질문제를 발생시키고 있으며, 담수호로 유입되어 호수 수질에 좋지 않은 영향을 미치고 있다. 농경배수에 의해 질소와 인 등의 영양물질, 부유물질, 대장균, 농약 등도 하천의 수질에 영향을 주며 호소로 유입되어 심각한 부영양화를 발생시킨다고 보고하였다(Donoso et al., 1999). 최근 GIS기법의 발전으로 보다 손쉽게 토지 이용상태를 파악할 수 있으며 원하는 유역에 적용할 수 있기 때문에 유역에 대한 이해와 관리에 활용가능성이 크다. 투수면적비율이 큰 비도시 유역, 특히 시비가 이루어지는 농경지와 가축을 사육하는 축산지역이 많은 유역의 경우 질소와 인, 유기물질 등이 토양에 축적되어 수계로 유입될 때 이들 사이에 일정한 상관성을 갖고 수계로 유입될 것으로 추정되며 토지이용과도 일정한 관계를 나타낸다(Buck et al., 2004). 수질평가에 있어 두 개 이상 항목들 간의 관계를 규명지음으로써 이들 사이의 거동을 조사하는 기법이 자주 쓰인다. 이러한 기법은 결측된 수질 항목을 이와 관련된 다른 항목에 대한 정보를 사용하여 보충할 수 있을 뿐 아니라, 측정된 수질 관측치를 이용하여 미래의 수질을 예측하는데 이용될 수 있다. 항목들 간의 거동을 조사하는 방법에는 상관분석과 회귀분석을 이용하는데 이러한 분석들은 항목들 간의 수학적 관계를 평가하기 위한 가장 단순하면서도 널리 쓰이는 통계적인 모델 기법이다.

그 동안 수행된 학술적인 연구를 살펴보면, 총인과 부유물질의 부하비율(kg/ton)은 연간 단위면적당 부유물질의 부하량(SS  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$ )과는 지수적인 관계가 있다(Wall et al., 1996). 탁도와 총인, 총질소, 대장균군과는 양의 선형적인 관계가 있으며(Christensen et al, 2001), Donigian et al.(1995)는 비점오염원을 계산하는 방법으로는 원단위법, 통계학적기법, 회귀식이나 상관관계를 이용하여 산정할 수 있다고 하였다.

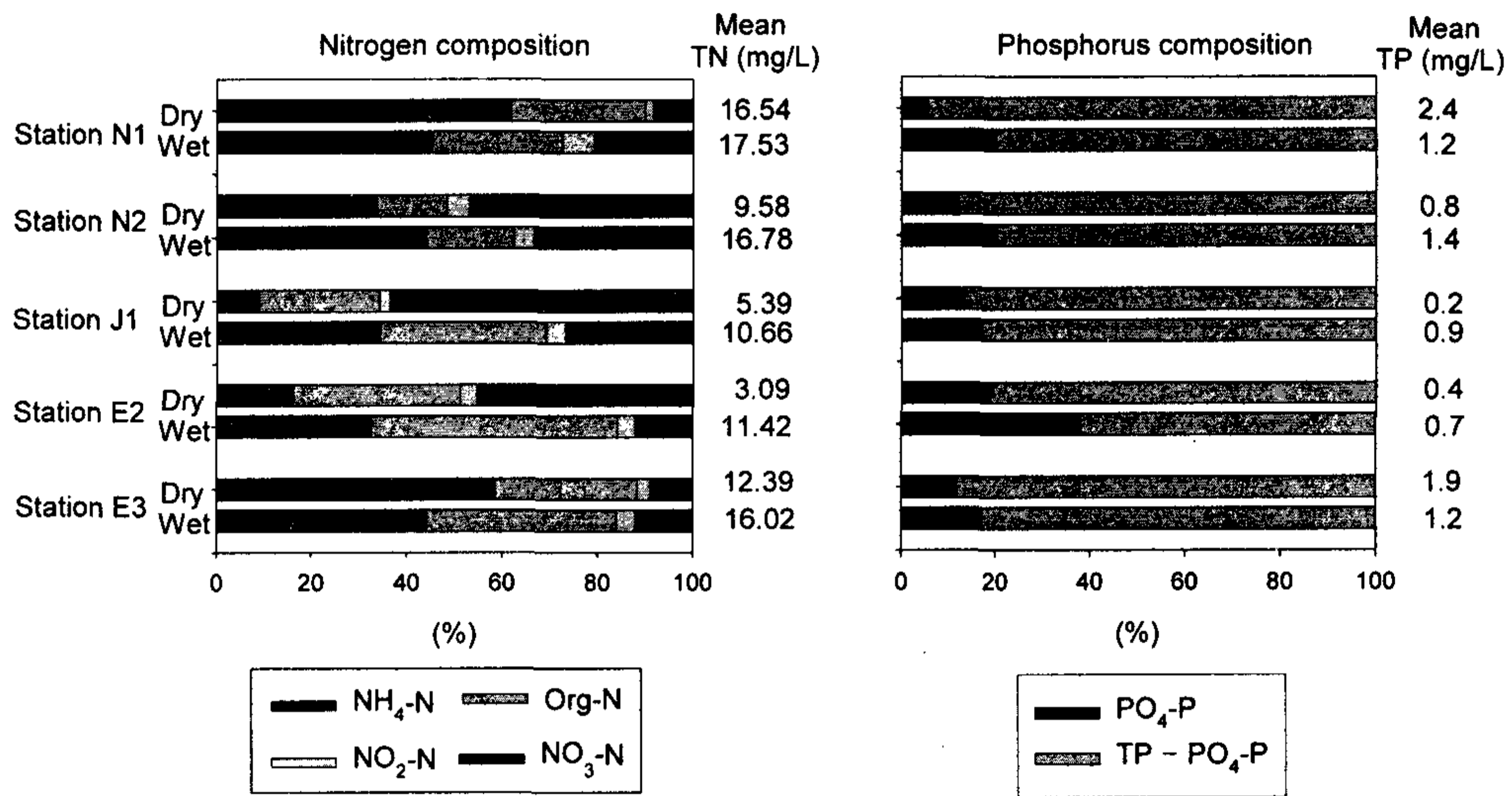
본 연구에서는 화성유역의 13개 지점에서 측정한 강우시와 비강우시에 조사한 수질자료를 이용하여 하천수질현황을 분석하였다. 수질항목간의 상관분석과 회귀분석을 통해서 비도시 유역에서 오염물질간의 유출거동을 파악하여 수질예측에 필요한 기초 자료를 제공하여 수질관리에 도움을 주고자 한다.

## 2. 강우시와 비강우시의 영양물질의 태별 변화

영양물질은 본 연구지역과 같이 유역말단에 위치한 담수호에 부영양화를 일으키는 제한요소이기 때문에 수질평가를 위한 중요 항목이다. 질소성분은 단백질의 구성에 중요한 요소이며 유전물질을 포함하고 있다. 식물과 미생물들은 무기질소를 유기물의 형태로 전환시키며, 수환경에서의 무기질소는 산화상태에 따라서 질산염( $\text{NO}_3^-$ ), 아질산염( $\text{NO}_2^-$ ), 암모늄염( $\text{NH}_4^+$ )와 질소분자( $\text{N}_2$ ) 형태로 존재한다. 질소의 형태별 변화는 오염원의 유입시기에 따라 변하기 때문에 질소형태를 통해 점오염이나 비점오염의 유입에 대한 평가를 가능하게 해준다.

일반적으로 암모니아성질소는 자연계에서는 토양이나 수체의 질산화 유기물이나 무기물로부터 발생하지만 양은 작으며, 미생물에 의해 분해되어 형태를 바꾸거나 가스로서 대기로 휘발된다. 또한 암모니아성질소는 산업, 가정하수, 농지배수 등의 오염원 유입에 의해서 발생하며, 높은 암모니아는 수생태계의 독성물질이 된다. 질산성질소는 자연수에 존재하는 일반적인 형태이나 일반적으로 질산화 미생물에 의해 아질산성질소로부터 변하게 되며, 유기질소는 자연적으로는 조류와 박테리아의 소멸에 의해 형성되며, 빠르게 암모니아성 질소로 변화한다. <그림 3-23>은 강우시와 비강우시 측정지점별 질소와 인의 구성성분과 평균농도를 나타낸 그림이다. 생활하수가 주된 오염원인 지점 N1과 E3는 비강우시 높은 암모니아성 질소의 농도를 나타내며, 강우시에는 다른 측정지점과 다르게 암모니아성 질소의 비율이 낮아지는데 이는 강우에 의한 비점오염에서는 암모니아성 질소농도가 상대적으로 낮기 때문으로 판단된다. 지

점 N2는 비강우시 암모니아성 질소의 비율이 높으나 강우시에도 많은 오염물질의 유입으로 암모니아성 질소의 비율이 높아지는 것으로 나타났다. 이유는 인구수와 돼지사육두수가 많아서 강우시 비점오염에 높은 암모니아성 질소성분이 다량 함유되어 유입되었기 때문으로 판단된다. 지점 J1과 E2는 오염원이 적기 때문에 비강우시는 질산성 질소 비율이 높게 나타나고, 강우시에는 암모니아성 질소 비율이 높아지는 경향을 보였다.



<그림 3-23> 영양물질의 강우시와 평수기의 태별 변화

과 함께 이동한다. 지점 N1과 E3는 비강우시에 약 2 mg/L의 높은 농도를 나타내었으나 강우시 감소하는 경향을 나타내는데 점오염원에 의해 높아졌던 농도가 강우시 희석되어 낮은 농도를 나타내기 때문으로 판단된다. N2, J1, E2 지점은 강우시 수질 농도가 더 높아지는 경향을 나타내었는데 이는 강우시 비점오염원의 유입으로 높아진 것으로 판단된다. 이 경향은 평상시 높은 농도를 나타내는 N1과 E3지점과는 다른 경향을 보였는데, 평수기에 오염된 하천에서는 비점오염원이 유입되더라도 많은 유량의 유입으로 인의 농도가 감소하는 것을 알 수 있다.

인은 수생태계 유지에 중요한 물질로 용존성과 입자성으로 존재하며 일반적으로 조류성장의 제한인자(limiting factor)이기 때문에 주요관리 물질이다. 자연계의 인은 주로 정인산염과 유기성 또는 무기성으로 존재하는데, 유기

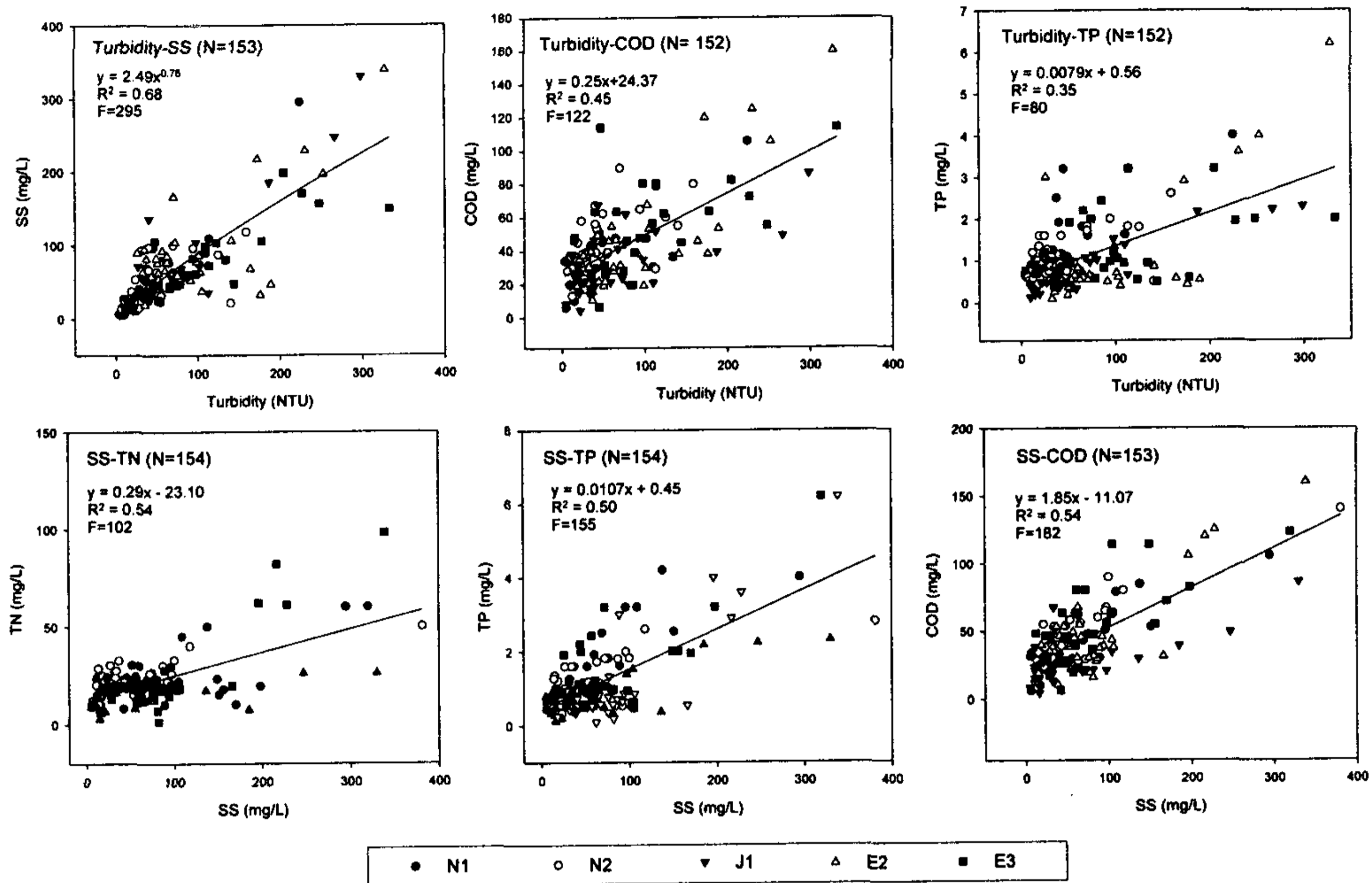


성 인산염은 식물 등의 유기잔재물로부터 공급되고, 무기성 정인산염은 인회석과 같은 광물질에 의해 공급된다. 인 성분은 점토질 입자나 토양유기물에 대한 흡착성이 크기 때문에 토양

### 3. 수질항목간의 상관관계 분석 및 회귀 모형의 적용

<그림 3-24>는 상관계수가 높은 항목들의 회귀분석 결과이며, SS와 Turbidity가 0.68으로 높은 결정계수를 나타내었으며 지수적인 상관관계를 나타내었다. Turbidity-COD, Turbidity-T-P, COD-SS, COD-T-P, COD-T-N, SS-T-N, 그리고 SS-T-P는 회귀분석결과 선형의 상관성을 갖으며 각각 0.45, 0.35, 0.54, 0.47, 0.49, 0.40, 0.50의 결정계수를 보였으며, F-검정을 통해 회귀식의 적합성을 판정하였다. F-검정결과 결과값이 80이상을 나타내었고, 유의확률(p값)은 1% 이하로 회귀식이 측정데이터를 잘 반영하고 있다. 각 지점별로 유역의 오염원유출특성이나 토지이용 등이 상이함에도 모든 지점을 통합하여 분석한 결과 SS, COD, 그리고 T-P사이에는 약 0.50의 비교적 높은 결정계수를 나타내었는데, 이는 우리나라 비도시 유역의 오염원 특성이 일반적으로 유사함을 의미한다.

본 연구에서 작성한 회귀식들은 유역의 특성에 영향을 받을 수 있으나 일반적으로 화성지구 외에도 자료가 부족한 다른 비도시 유역에도 특히 하구담수호 유역에서는 기본계획단계에서 참고자료로 사용이 가능할 것으로 판단된다. 화성유역과 같이 담수화가 진행되는 담수호에서는 유역에서 발생하는 오염물질의 부하량을 평가하여 적절하게 관리하는 것이 중요한데, 과학적인 모니터링으로 수질항목간의 관계가 정의된다면, 탁도와 같이 실시간으로 모니터링이 가능한 측정항목을 이용하여 오염부하 배출 수준을 예측하여 유역이나 담수호 관리에 이용할 수 있을 것으로 판단된다.



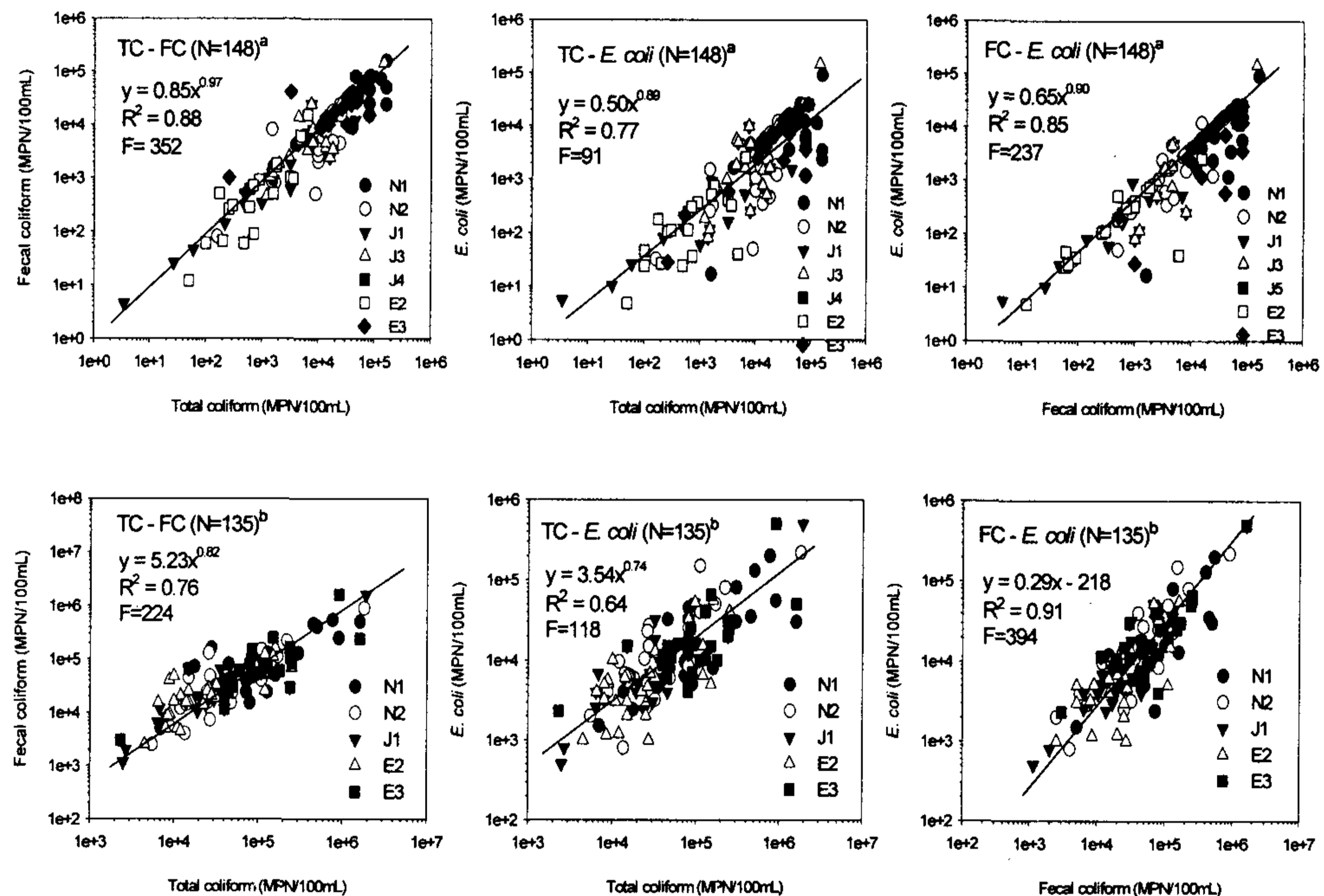
<그림 3-24> 주요 오염물질의 상관관계 분석 결과

#### 4. 지표미생물간의 회귀관계식 도출

<그림 3-25>는 유역환경관리 연구실에서 측정한 강우시와 비강우시의 TC, FC, *E. coli*를 이용하여 회귀분석을 실시하였으며, 결정계수(R<sup>2</sup>)과 F-검정값을 함께 나타내었다. F-검정결과 결과값이 90이상을 나타내었고, 유의확률(p값)은 1% 유의수준에서 고도의 상관성을 갖는 것으로 평가되었다. 비강우시는 모든 측정지점의 데이터를 합하여 분석 하였으며, 강우시는 N1, N2, J1, E2, E3를 대상으로 하였다. 비강우시는 지표미생물간의 회귀식이 거듭제곱의 형태로 나타났으며, 결정계수(R<sup>2</sup>)는 약 0.80으로서 상당히 높은 결정계수를 나타내었다. 강우시 측정자료는 비강우시보다 낮은 결정계수를 보였으나 FC와 *E. coli*와의 회귀식에서는 0.91의 높은 결정계수를 나타내었다. 지표미생물의 경우 높은 상관관계를 나타내어, 여러 항목을 측정하기 어렵거나 제한적인 데이터가 존재할 경우 지표미생물 하나의 항목으로 다른 항목을 추정할 수 있을 것으로 판단된다.

<표 3-5>은 측정지점의 항목별 평균값과 항목간의 비를 나타낸 표이다. FC/TC비가 높은 지역은 정화조나 생활하수 불명수나 축산과 같은 직접적

인 비점오염 유입이 발생하기 때문에 적절한 관리가 필요하다. N1과 E3지점이 약 70%이상의 높은 FC/TC비를 나타내었으며, 이 지역은 인구가 밀집한 지역으로 정화조 유출이나 불명수의 유입이 주요 오염원인 것으로 추정된다. 강우 시에는 비강우시보다 지표미생물의 평균 농도가 3~4배 높아졌는데 이는 축산 등 토지이용별 비점오염원의 유입에 의해 증가하는 것으로 판단된다(Brezonik and Stadelmann, 2002; Gardi, 2001). *E. coli*/FC비는 강우시와 비강우시 모두 20 - 30% 범위로 평가되었다. Total coliform(총대장균군, TC), Fecal coliform(분변성대장균군, FC), *E. coli*(대장균, *Escherichia coli*)는 미생물적 측면에서 수질오염의 평가기준이 되는 지표생물로서 미생물에 의한 오염으로부터 안정성의 평가 및 모니터링을 위해 일반적으로 사용되고 있다(Weiner, 2000). 지표미생물의 조건은(1) 측정이 용이하고,(2) 오염된 물에서만 측정되며,(3) 다른 오염물질과 상관성을 갖고,(4) 병원성 미생물보다 소멸하는 속도가 늦어야한다(USEPA, 1999). Total coliform은 자연계의 모든 대장균을 나타내며, Fecal coliform은 온혈동물의 장에서 배출되는 분변성 대장균을, *E. coli*는 분변성 대장균 중에서 질병과 상관성이 높은 항목으로 평가되고 있다.



<sup>a</sup>: Data of WML in dry period    TC: Total coliform    <sup>b</sup>: Data of WML in wet period    FC: Fecal coliform

<그림 3-25> 지표미생물 간의 회귀식 도출

USEPA는 *E. coli*가 분변에 의한 오염을 보다 잘 표현하는 항목으로 보고하였다(USEPA, 1986). 지표미생물의 검출정도는 휴양용수, 음용수, 수생태계의 보호를 위해서 법률로서 규제하고 있다. WHO에서는 휴양용수의 규제를 위해서 대장균검출정도를 규제하고 있으며 분변성 대장균의 경우 최근 5회 샘플에서 기하평균의 검출정도 50%가 100/100 mL이하이고, 90%가 1,000/100 mL보다 낮아야 한다고 규정하고 있다. USEPA에서는 *E. coli*의 평균검출정도가 30일 동안 최소 5개의 샘플에서 126/100 mL보다 낮을 것을 권고하고 있다(USEPA, 1999). 우리나라의 환경기준을 살펴보면 수영이 가능한 상수용수 2급과 수산용수 2급에서 총대장균군을 1,000 MPN/100 mL로 제한하고 있다. 또한 상수원수 1급과 자연환경보전용수에서는 총대장균군수를 50 MPN/100 mL로 제한하고 있으며 화성유역의 하천은 분변성 오염물질에 노출되어 있음을 알 수 있다. 본 연구에서 측정된 지표미생물 검출정도는 국제적인 권고치는 물론 우리나라 수질기준에도 부적합하며 적절한 개선대책이 필요한 것으로 나타났다.

<표 3-5> 지표미생물의 기하평균과 측정된 지표미생물의 비율

Station	Dry day						Wet day					
	Geometric mean (MPN/100 mL)				Ratio (%)		Geometric mean (MPN/100 mL)				Ratio (%)	
	N	TC	FC	<i>E.coli</i>	F/T <sup>1</sup>	E/F <sup>2</sup>	N	TC	FC	<i>E.coli</i>	F/T	E/F
N1	23	43,956	32,033	6,119	72.9	19.1	33	103,604	80,568	17,162	77.8	21.3
N2	22	8,367	4,133	1,265	49.4	30.6	34	38,316	30,999	11,140	80.9	35.9
J1	16	856	571	189	66.7	33.2	27	33,394	24,399	7,649	73.1	31.4
E2	23	762	502	163	65.9	32.4	36	20,984	19,403	4,385	92.5	22.6
E3	24	21,763	19,760	4,387	90.8	22.2	23	82,047	57,154	15,786	69.7	27.6
mean	21.6	15,141	11,400	2425	68.2	29.6	30.6	55,669	42,505	11,224	78.8	29.1

<sup>1</sup>F/T : Fecal coliform/Total coliform

<sup>2</sup>E/F : *E. coli*/Fecal coliform

#### 라. 개발된 모형의 적용방안

본 연구는 전형적인 비도시 유역을 대상으로 하천의 물리, 화학, 생물학적인 수질인자들의 상관분석을 실시하고 높은 상관성을 보이는 항목에 대해

회귀분석 하였다. 화성 담수호로 유입되는 3개의 주요하천의 수질을 평가한 결과 남양천의 N3지점과 어은천의 E3지점이 중점적인 관리가 필요한 것으로 평가되었으며, 이 지점에 현재 설치중인 하수처리장이 완공될 경우 화성 담수호로 유입되는 하천수질개선과 담수호로 유입되는 부하량이 상당히 감소할 것으로 판단된다. 강우시 상관관계를 분석한 결과 탁도와 SS는 지수적인 상관성을 나타내었으며 회귀식의 결정계수가 0.68이었고, SS와 COD, T-P, 그리고 T-N의 회귀식은 선형의 상관성을 나타내며 약 0.5의 결정계수를 보였다. 보다 합리적이고 체계적인 모니터링을 통해 오염물질의 상관성을 규명한다면, 탁도와 같이 실시간 모니터링이 가능한 항목을 이용해서 다른 수질항목을 하여 발생하는 부하량을 산정하여 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 지표미생물의 경우 강우시와 비강우시 모두 상호간에 높은 상관관계를 나타내며 회귀분석 결과 약 0.7이상의 결정계수를 보였다. 지표미생물의 경우 자료가 부족할 경우 하나의 자료로 다른 항목을 추정하는데 이러한 회귀식들이 참고자료로 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서 발표한 수질오염물질 사이의 회귀식들은 유역의 특성에 영향을 받으나 화성지역은 물론, 자료가 부족한 다른 비도시 유역에서도 기본 계획단계에서 기초자료로서 활용이 가능할 것으로 판단된다.

## 제 5 절 유역의 토지 이용이 수질에 미치는 영향 분석

### 1. 연구의 목적

인구 증가, 산업발달 및 도시화의 결과로 유역에서 다량의 오염물질이 발생하여 수계로 유입되고 있으며, 이로 인한 하천 및 호소 수질오염은 국가적인 사안이 되고 있다. 기존의 오염원 관리는 방류수 수질기준 규제에 의한 점오염원 배출 저감에 주력하였고, 그 동안 수질개선에 많은 기여를 해 온 것은 사실이다. 비점원오염을 포함한 오염부하량의 양적 증가와 집중화로 인한 환경용량을 초과한 오염물질이 수계에 유입되어 호소나 하천의 부영양화가 심화되고 있다.

유역내의 효과적인 토지이용과 오염원관리는 건전한 하천생태를 유지하기 위해 반드시 필요하다. 특히 하구 담수호와 같이 유역말단에 위치한 지형적인 특징으로 많은 양의 오염물질이 유입되는 호수는 오염원관리에 더 많은 노력이 필요하게 된다. 우리나라 하구 담수호 유역은 대부분 주거지역을 포함하는 전형적인 비도시 유역의 형태를 보이기 때문에 토지이용과 오염원의 분포 등 유역전반에 대한 이해가 필요하다. 본 연구의 대상지역인 화성유역은 수질이 양호한 상류부에서 비도시 시가지지역을 거치면서 급격하게 수질이 악화되는 특징을 갖고 있다. 이는 비도시 시가지지역의 정화조 유출이나 처리되지 않고 유입되는 불명수에 의해 하천수질이 오염된다고 판단할 수 있다.

유역말단 지역은 하수처리장 방류수, 정화조유출, 불명수의 유입, 축산, 그리고 농경지의 비점오염 등 오염부하량이 축적되어 하천의 수질문제를 발생시키고 있으며, 하구 담수호로 유입되어 호수 수질에 악영향을 미치고 있다 (Donoso *et al.*, 1999). 유역에서 발생하는 오염의 평가하기 위해서는 복잡한 데이터와 분석도구가 필요하기 때문에 적절한 평가를 위해서는 많은 시간과 노력이 필요하다. 하천의 수질에 영향을 주는 토지이용의 평가는 오염원의 배출시간과 배출공간에 따라 독립적으로 변화하는 특징을 갖고 있다 (Allan *et al.*, 1997; Townsend *et al.*, 2003).

최근 우리나라는 오염총량제의 도입으로 전국에 걸쳐 인구, 축산, 산업, 토지, 양식, 매립장, 하수처리장 등 방대한 자료를 축적하여 행정구역 단위별로 발생하는 배출부하량을 산정하는데 이용하고 있으나, 계산과정이 복잡하고 많은 시간이 필요하기 때문에 신속한 유역 평가에는 아직 개선할 부분이 남아있는 상태이다. 비도시 유역은 오염물질의 배출구조가 비교적 단순하기 때문에 수집된 기본 오염원자료만으로도 오염원에 대한 평가가 어느 정도 가능

할 것으로 추정된다. 투수면적비율이 큰 비도시 구역, 특히 시비가 이루어지는 농경지와 축산을 사육하는 축산지역이 많은 구역의 경우 질소와 인, 유기물질 등이 토양에 축적되어 수계로 유입될 때 이들 사이에 일정한 상관성을 갖고 수계로 유입될 것으로 추정되며, 토지이용과 오염원자료 사이에 일정한 관계를 나타낼 것으로 판단된다.

본 연구에서는 화성구역의 13개 수질측정지점에서 측정한 강우시와 비강우시의 하천수질 데이터, 이용하여 토지이용과 오염원자료가 하천수질에 미치는 영향에 대해 통계적으로 분석하였으며 본 연구지역과 유사한 비도시 구역관리에 응용할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

## 2. 분석에 이용된 토지이용과 오염원자료

### 가. 대상지역

대상지역은 화성간척지구의 구역으로 동경  $126^{\circ}45' \sim 126^{\circ}55'$ , 북위  $37^{\circ}10' \sim 37^{\circ}15'$ 에 위치하고 있으며, 담수호로 유입되는 하천이 여러 개인 특징을 갖고 있다. 담수호로 유입되는 주요하천인 남양천 구역의 4개, 자안천 구역에 5개, 그리고, 어은천 지점의 4개 지점의 수질을 분석하였다. 소유역의 구분은 수치고도자료와 GIS 기법을 이용하여 주요 수질측정지점과 오염원을 고려하여 분할하였다 <그림 3-9>.

### 나. 샘플채취 및 수질 분석 방법

시료채취지점은 화성담수호로 유입되는 주요 3개 하천인 남양천, 자안천, 어은천에서 이루어 졌으며, 남양천은 4개 지점에서, 자안천은 5개 지점에서, 어은천은 4개 지점에서 측정되었다. 측정지점 중 건국대학교 구역환경관리 연구실에서 측정된 자료는 N1, N2, J1, J3, J4, E2, E3의 7개 지점이며, N3, N4, J2, J5, E1, E4의 6개 지점은 환경부 한강유역환경청의 데이터를 이용하였다. N1, N2, J1, J3, J4, E2, E3지점의 측정 기간은 2003년 11월부터 2005년 7월까지이며, N3, N4, J2, J5, E1, E4지점의 2002년 5월부터 2005년 7월까지 자료를 이용하였다. 비강우시는 약 2주 간격으로 측정하였으며 총 데이터 수는 150~155개, 강우시는 약 2~4시간 간격으로 N1, N2, J1, E2, E3 지점에서 실시하였고 총 데이터 수는 135~153개, 환경부 자료는 1개월에 1회 비강우시를 기준으로 측정되었고 총 데이터 수는 223개였다.

#### 다. 상관분석

수집된 자료는 통계용 프로그램인 SPSS(Ver. 12)를 이용하여 상관분석이 이루어졌다. 상관분석은 두 변수 사이의 관계의 정도를 측정하고 표현하려는 분석이다. 상관분석은 상관계수( $r$ )은 두 변수간의 상관관계의 강도를 나타내는 지표이며, -1에서 +1사이의 값을 갖는다. 음의 값의 경우는 둘 사이의 관계가 반대로 변하는 특성이 있음을 의미하며 양의 값은 비례하여 증가하는 경향을 나타낸다.  $r$ -값이 유의수준 1% 내에 있으면 높은 상관관계가 있다는 것을 의미하고, 유의수준 5%내에 있으면 보통의 상관관계를 인정하며, 5%보다 클 경우는 상관관계가 성립되지 않는다고 판단하였다.

#### 3. 수질 항목간의 상관관계분석

<표 3-6>은 남양천의 4개 지점, 자안천의 5개 지점, 그리고 어은천의 4개 지점의 총 221~233개 데이터를 이용하여 비강우기에 수질간의 Pearson 상관계수를 구하였다. 강우기는 남양천의 2개 지점, 자안천의 1개 지점, 그리고 어은천의 2개 지점의 총 135~155개의 데이터를 이용하였다.



<표 3-6> 강우기와 비강우기의 수질항목간의 Pearson correlation coefficient

Dry Period(n: 221-233)											
Parameter	BOD <sub>5</sub>	SS	COD	TN	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	TP	PO <sub>4</sub> -P	TC	FC	<i>E. coli</i>
BOD <sub>5</sub>	1	<b>0.25</b>	<b>0.66</b>	<b>0.57</b>	<b>0.73</b>	-0.16	<b>0.47</b>	<b>0.28</b>	<b>0.47</b>	<b>0.15</b>	<b>0.28</b>
SS		1	<b>0.24</b>	0.05	<b>0.15</b>	-0.24	0.05	-0.02	0.01	0.01	0.09
COD			1	<b>0.42</b>	<b>0.61</b>	-0.22	<b>0.52</b>	<b>0.27</b>	<b>0.31</b>	-0.05	0.13
T-N				1	<b>0.67</b>	0.08	<b>0.44</b>	<b>0.43</b>	<b>0.43</b>	<b>0.22</b>	<b>0.26</b>
NH <sub>3</sub> -N					1	-0.09	<b>0.56</b>	<b>0.41</b>	<b>0.42</b>	<b>0.17</b>	0.10
NO <sub>3</sub> -N						1	-0.05	0.12	-0.04	0.09	-0.03
T-P							1	<b>0.25</b>	<b>0.30</b>	0.03	<b>0.20</b>
PO <sub>4</sub> -P								1	<b>0.21</b>	0.01	0.10
TC									1	<b>0.68</b>	<b>0.60</b>
FC										1	<b>0.77</b>
<i>E. coli</i>											1
Wet Period(n: 135-154)											
BOD <sub>5</sub>	1	<b>0.21</b>	-0.00	0.10	-0.00	0.06	<b>0.32</b>	0.16	0.16	0.09	0.07
SS		1	<b>0.74</b>	<b>0.30</b>	0.12	-0.16	<b>0.70</b>	<i>0.17</i>	<b>0.70</b>	<b>0.34</b>	<b>0.31</b>
COD			1	<b>0.38</b>	-0.04	-0.22	<b>0.63</b>	0.11	<b>0.71</b>	<b>0.28</b>	<b>0.29</b>
T-N				1	<b>0.39</b>	0.12	<b>0.21</b>	<b>0.22</b>	<b>0.35</b>	<b>0.43</b>	<b>0.43</b>
NH <sub>3</sub> -N					1	<b>0.41</b>	0.05	<b>0.26</b>	0.09	0.13	0.08
NO <sub>3</sub> -N						1	-0.01	<b>0.34</b>	-0.04	-0.19	-0.18
T-P							1	<b>0.21</b>	<b>0.72</b>	0.15	0.06
PO <sub>4</sub> -P								1	<b>0.26</b>	0.08	0.08
TC									1	<b>0.31</b>	<b>0.28</b>
FC										1	<b>0.79</b>
<i>E. coli</i>											1

\*Bold values are statistically significant at p<0.01, italics at p<0.05.

비강우시 상관관계는 BOD<sub>5</sub>가 NO<sub>3</sub>-N을 제외하고 모든 항목과 양의 상관관계를 갖으며 유의수준 1%에 있었다. 이는 BOD<sub>5</sub>가 수질오염의 지표항목으로 가치가 있으며, 다른 오염물질의 거동과 유사하다는 것을 알 수 있다. NH<sub>3</sub>-N의 경우에도 NO<sub>3</sub>-N과 *E. coli*를 제외하고 모든 항목에서 양의 상관관계를 갖으며 유의수준 1%에 있었다. 비강우시에 0.5이상의 상관계수를 보이는 수질항목은 BOD<sub>5</sub>와 COD, T-N, NH<sub>3</sub>-N, COD - NH<sub>3</sub>-N, T-N - NH<sub>3</sub>-N, COD - T-P, NH<sub>3</sub>-N - T-P, 지표미생물이었다. BOD<sub>5</sub>, COD, T-N, T-P, NH<sub>3</sub>-N, 그리고 지표미생물은 점원오염에 직접적으로 영향을 받는 항목으로 정화조 유출, 불명수 유입, 그리고 일부 축산의 점오염원의 유입과 하천의 자

정작용을 통해 분해되기에는 하천의 길이와 유량이 적은 비도시 유역의 특징이 반영된 것으로 판단된다. 일반적으로 하천이 잘 발달되고 유량이 많은 유역에서  $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 유입된 오염물질이 미생물에 의한 자정작용으로  $\text{NH}_3\text{-N}$ 이 분해되어 높은 농도를 보이지만, 비도시 유역의 특징 때문에  $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 다른 대부분의 수질항목에서 음의 상관관계를 나타낸 것으로 판단된다.

강우시에는 SS와 대부분 다른 수질인자간의 상관계수가 높게 나타났으며,  $\text{BOD}_5$ 와  $\text{NH}_3\text{-N}$ 의 경우에는 비강우시보다 수질인자간의 상관성이 약해지거나 음의 상관관계를 보였다. SS가 강우시에 높은 상관성을 보인 이유는 비점오염원의 유입과 함께 많은 양의 토사가 유입되기 때문이다. 특히 SS와 COD, T-N, T-P, TC, T-P 와 COD, TC, TC 와 COD, FC 와 *E. coli* 사이에는 0.5의 상관계수를 나타내었으며, 상관계수도 약 0.6~0.7로 비강우시보다 높은 상관성을 나타내었다. Jeon *et al.*(2001)에 의하면 비도시 소유역의 주요오염물질간의 상관관계를 분석한 결과 비강우시에도 SS, COD, T-N, 그리고 T-P 사이에 높은 상관계수를 나타내었으며 강우시에는 더 높은 상관계수를 나타내었다고 보고하였다.

#### 4. 토지이용과 수질항목간의 상관관계

<표 3-7>는 N1, N2, J1, J3, E2, E3 지점의 수질자료를 대상으로 토지이용(도시, 논, 밭, 산림, 논+밭)의 점유율을 상관분석하여 Pearson 상관계수를 나타내었다. 분석은 비강우시와 강우시로 구분하여 실시하였다. 비강우시의 토지이용별 상관관계는 주거지역과는  $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 경우를 제외하고는 양의 상관관계를 나타내었으며  $\text{PO}_4\text{-P}$ 와 *E. coli*를 제외하고는 모두 유의수준 1%이었다. 논인 경우는 모든 항목에서 음의 상관관계를 보였고 SS,  $\text{NO}_3\text{-N}$ , *E. coli*를 제외한 모든 수질항목에서 유의수준 1%이내의 상관관계를 보였다.  $\text{BOD}_5$ 와  $\text{NH}_3\text{-N}$ 과는 약 -0.60으로 높은 상관계수 값을 나타내었다. Yoon *et al.*(2003)에 의하면, 물관리가 논인 배출부하량에 큰 영향을 주며 비료를 투입하는 일정시기에 배출을 억제하면 논에서의 오염물질 부하량을 줄일 수 있다고 보고하였다.

<표 3-7> 수질과 토지이용간의 Pearson correlation coefficient

Parameter	Dry Period(n=148-153)					Wet Period(n=135-154)				
	Residential	Paddy	Upland	Forest	P+U*	Residential	Paddy	Upland	Forest	P+U
BOD <sub>5</sub>	<b>0.24</b>	<b>-0.60</b>	0.10	<b>0.32</b>	<b>-0.47</b>	<b>0.34</b>	<b>-0.28</b>	<i>0.20</i>	-0.04	0.19
COD	<b>0.33</b>	<b>-0.38</b>	0.10	0.12	<b>-0.27</b>	<b>0.22</b>	0.01	0.10	-0.15	0.00
SS	<b>0.26</b>	<i>-0.20</i>	<b>0.31</b>	<i>-0.19</i>	0.05	0.08	0.15	0.04	<i>-0.17</i>	-0.10
T-N	<b>0.42</b>	<b>-0.42</b>	-0.04	<b>0.27</b>	<b>-0.42</b>	0.08	-0.13	<i>0.19</i>	-0.07	-0.09
NH <sub>3</sub> -N	<b>0.38</b>	<b>-0.61</b>	0.02	<b>0.37</b>	<b>-0.55</b>	0.02	-0.14	0.06	0.06	0.07
NO <sub>3</sub> -N	<b>-0.30</b>	-0.05	<i>-0.20</i>	<b>0.34</b>	<i>-0.20</i>	<b>-0.22</b>	<b>-0.54</b>	-0.07	<b>0.52</b>	<i>0.20</i>
T-P	<b>0.21</b>	<b>-0.36</b>	-0.04	<b>0.27</b>	<b>-0.36</b>	-0.15	<b>-0.47</b>	0.02	<b>0.37</b>	0.09
PO <sub>4</sub> -P	<i>0.19</i>	<b>-0.29</b>	-0.06	<b>0.24</b>	<b>-0.31</b>	<i>0.16</i>	-0.11	0.02	0.01	0.07
TC	<b>0.26</b>	<b>-0.47</b>	-0.01	<b>0.30</b>	<b>-0.44</b>	0.04	-0.03	-0.09	0.09	<i>0.19</i>
FC	<b>0.27</b>	<b>-0.33</b>	-0.05	<b>0.22</b>	<b>-0.34</b>	0.06	-0.01	-0.09	0.07	<i>0.17</i>
<i>E. coli</i>	0.15	<i>-0.20</i>	-0.07	0.15	<b>-0.24</b>	0.05	-0.02	-0.09	0.08	0.15

\*P+U: Paddy + Upland

Bold values are statistically significant at p<0.01, italics at p<0.05

연구대상지역인 화성유역은 하천수량이 부족한 지역으로 물관리가 엄격하여 논에서의 오염물질 배출이 적기 때문에 논과 하천수질과는 음의 상관관계를 나타낸 것으로 판단된다. 또한, 시가가 발달한 소유역의 경우는 적은 유량에 상대적으로 많은 오염물질이 유입되었기 때문에 양의 상관관계를 나타내었다. Griffin *et al.*(1999)은 정화조가 밀집한 지역에서는 영양물질이나 분변성 오염물질에 의해 하천수가 오염된다고 하였으며, 사질토인 경우 지하수의 오염이 하천수에 영향을 줄 수 있다고 보고하고 있다(Paul *et al.*, 1995). David *et al.*(1995)과 Eran and David(1996)는 적절하게 차집되지 않고 유출되는 가정하수가 하천수질에 큰 영향을 미친다고 보고하였는데 본 연구대상지역과 유사한 결과로 판단된다. 밭의 경우는 BOD<sub>5</sub>, COD, SS, NH<sub>3</sub>-N에는 양의 상관관계를 나타내었고, 나머지는 음의 상관관계를 나타내었으나 SS와 NO<sub>3</sub>-N을 제외하고는 유의성이 없었다. 밭의 점유율과 SS는 유의수준 1% 이내로 양의 상관관계를 나타내었는데, 밭은 많은 양의 토사를 유출시키는 특징을 갖고 있기 때문에 SS의 농도에 일부 영향을 준 것으로 판단된다. 산림의 경우에는 SS를 제외하고 모두 양의 상관관계를 보이는 것으로 평가되었는데, 산림이 하천수질에 악영향을 미친다고 평가하기 보다는 토지이용은 산림으로 구분되거나 산림지역에 위치한 축산이나 기타 오염배출시설들이 위치하고 있기 때문인 것으로 판단된다.

강우시의 상관성을 분석한 결과 비강우시에 비해 일반적으로 상관관계의 유의성이 적은 것으로 평가되었다. BOD<sub>5</sub>와 COD의 경우에는 유의수준 1%에서 상관성을 보였으나, 비강우시 보다는 약한 상관성을 나타내었다. 비강우시에 하천의 수질은 주거지역의 처리되지 않고 직접 유입되는 오염원에 주로 영향을 받지만, 강우시에는 논, 밭, 산림, 축산 등 비점오염이 다량 유입되어 하천수질에 영향을 주기 때문에, 비강우시에 주거지역에 영향을 받지 않은 측정지점의 수질과 큰 차이를 보이지 않기 때문이다. 논인 경우에는 강한 음의 상관관계를 나타내었으나 비점오염원의 유입으로 상관성이 약화되었으며 NO<sub>3</sub>-N과 T-P의 경우에는 오히려 높아지는 결과를 보였다. 강우시 논에서의 유출은 밭과 축산과 같은 지역과는 다르게 토사 등의 SS의 유출이 상대적으로 적기 때문에 SS와 높은 상관성을 보이는 T-P와는 유의수준 1%에서 음의 상관성을 보이며, NO<sub>3</sub>-N의 경우도 다른 토지이용보다는 NO<sub>3</sub>-N의 유출이 적기 때문에 음의 상관성을 나타낸 것으로 판단된다. 주거지역에서는 양의 상관관계를 나타내었고, 논은 음의 상관관계를 나타내었다. 산림의 경우에는 NO<sub>3</sub>-N과 T-P와는 유의수준 1%에서 양의 상관성을 보였으며 다른 항목에서는 상관성을 보이지 않았다. Borken and Matzner(2004)와 Band *et al.*(2001)에 의하면 산림지역에서 강우시 유출되는 질소의 형태는 NO<sub>3</sub>-N의 형태가 대부분이며 유출량과 비례하는 경향을 보였다고 보고하였으며, 본 유역에서도 산림지역에서 유출되는 NO<sub>3</sub>-N에 영향을 받은 것으로 판단된다. T-P와 높은 상관성을 보인 이유는 강우시 산림지역에 대부분 위치한 축산에서 유출되는 비점오염에 영향을 받은 것으로 판단된다.

##### 5. 수질항목과 인구 및 축산 사육두수의 상관관계

<표 3-8>은 인구, 젓소, 한우, 돼지, 그리고 축산의 총합과 수질항목 간의 상관분석 결과와 단위면적당 인구와 축산의 사육두수를 산정하여 상관분석한 결과를 Pearson 상관계수로 정리한 표이다. 인구와 축산 사육두수의 상관관계를 분석한 결과 인구의 경우에는 BOD<sub>5</sub>와 SS를 제외하고는 양의 상관관계를 보였으나 토지이용의 주거지역보다 낮은 상관성을 보였는데, 유역면적이 고려되지 않았기 때문이다. 비강우시에 축산의 사육두수와 수질과의 상관성을 분석한 결과 젓소사육두수와 유의수준 1%내의 음의 상관관계를 보였으며, 상관계수는 낮으나 한우, 돼지, 축산전체도 유사한 결과를 보였다. 일부항목을 제외하고는 인구수와 축산의 사육두수가 수질과의 상관관계가 낮거나 음의 상관관계를 보였는데, 이유는 비강우시에는 가축의 오염원 유출이 적고, 하천에 인접하지 않은 경우에는 거의 영향을 주지 않기 때문이다.

<표 3-8> 수질과 오염원간의 Pearson correlation coefficient

Dry Period(n=148-153)										
Parameter	PP	DC	BC	Pig	TL	PP/A	DC/A	BC/A	Pig/A	TL/A
BOD <sub>5</sub>	-0.01	<b>-0.58</b>	<b>-0.35</b>	<b>-0.31</b>	<b>-0.36</b>	<b>0.35</b>	<b>-0.39</b>	-0.13	-0.12	<i>-0.18</i>
COD	0.15	<b>-0.38</b>	<b>-0.24</b>	<i>-0.17</i>	<i>-0.21</i>	<b>0.39</b>	<b>-0.30</b>	-0.11	-0.02	-0.07
SS	-0.11	<b>-0.32</b>	<b>-0.41</b>	<b>-0.28</b>	<b>-0.30</b>	0.10	<b>-0.33</b>	<b>-0.36</b>	<b>-0.21</b>	<b>-0.28</b>
T-N	<b>0.33</b>	<b>-0.38</b>	-0.05	<i>-0.20</i>	<b>-0.22</b>	<b>0.56</b>	<i>-0.20</i>	0.13	-0.03	-0.04
NH <sub>3</sub> -N	<i>0.20</i>	<b>-0.53</b>	<i>-0.19</i>	<b>-0.25</b>	<b>-0.29</b>	<b>0.51</b>	<b>-0.37</b>	0.01	-0.05	-0.10
NO <sub>3</sub> -N	0.09	<b>0.35</b>	<b>0.57</b>	<b>0.33</b>	<b>0.36</b>	<i>-0.16</i>	<b>0.26</b>	<b>0.42</b>	<b>0.27</b>	<b>0.32</b>
T-P	0.11	<b>-0.36</b>	-0.12	<b>-0.21</b>	<b>-0.23</b>	<b>0.34</b>	<i>-0.16</i>	0.07	-0.07	-0.08
PO <sub>4</sub> -P	<b>0.23</b>	-0.11	0.15	0.01	0.00	<b>0.25</b>	-0.12	0.14	0.08	0.07
TC	0.08	<b>-0.47</b>	<b>-0.21</b>	<b>-0.26</b>	<b>-0.29</b>	<b>0.34</b>	<b>-0.32</b>	-0.04	-0.11	-0.15
FC	0.12	<b>-0.39</b>	<i>-0.18</i>	<b>-0.23</b>	<b>-0.26</b>	<b>0.33</b>	<b>-0.26</b>	-0.03	-0.11	-0.15
<i>E. coli</i>	0.04	<b>-0.23</b>	-0.09	-0.12	-0.14	0.12	<b>-0.24</b>	-0.08	-0.09	-0.13
Wet Period(n=135-154)										
BOD <sub>5</sub>	<i>0.23</i>	<i>-0.18</i>	-0.06	0.10	0.11	<b>0.32</b>	<b>-0.49</b>	<b>-0.28</b>	<i>0.22</i>	0.06
COD	0.13	-0.03	-0.04	-0.02	-0.02	0.16	-0.13	-0.13	0.01	-0.02
SS	0.02	0.03	-0.04	-0.08	-0.09	0.01	0.05	-0.05	-0.10	-0.07
T-N	0.01	0.03	0.01	0.07	0.04	-0.02	-0.15	-0.14	0.08	0.06
NH <sub>3</sub> -N	-0.02	-0.12	-0.06	0.01	0.02	0.03	<b>-0.21</b>	-0.12	0.06	-0.01
NO <sub>3</sub> -N	0.08	<i>0.17</i>	<b>0.38</b>	<b>0.46</b>	<b>0.48</b>	-0.06	0.02	<b>0.30</b>	<b>0.48</b>	<b>0.43</b>
T-P	<i>0.20</i>	0.08	0.12	0.14	0.15	<i>0.17</i>	-0.04	0.04	<i>0.16</i>	0.14
PO <sub>4</sub> -P	0.08	<i>0.20</i>	<b>0.35</b>	<b>0.41</b>	<b>0.42</b>	-0.08	0.01	<b>0.22</b>	<b>0.42</b>	<b>0.39</b>
TC	0.05	-0.15	-0.07	-0.03	0.00	0.14	-0.12	-0.02	0.02	-0.05
FC	0.07	-0.12	-0.05	-0.02	0.01	0.15	-0.08	0.00	0.02	-0.04
<i>E. coli</i>	0.08	-0.06	0.00	0.01	0.04	0.13	-0.03	0.05	0.04	0.00

PP: Population; DC: Dairy cattle; BC: Beef cattle; TL(Total Livestock): DC+BC+Pig; A: area(ha).

단위면적당 인구나 수질항목간의 상관분석결과 단위면적당 인구가 높을수록 높은 상관관계를 나타내었다. 이는 밀집된 주거 지역에는 많은 오염물질이 단순히 소유역내 인구수의 영향보다는 집중적으로 발생하며 비도시 지역인 화성유역에서는 적절한 차집을 통해 처리하지 못하는 지역특성이 반영된 결과라고 판단되며, 토지이용에서 주거지역과 유사한 결과를 나타내었다. NO<sub>3</sub>-N의 경우를 제외하고는 모두 양의 상관관계를 나타내었으며 SS 와 *E. coli*를 제외하고 모두 유의수준 1%의 상관성을 나타내었다. 하지만, 축산의 경우는 사육두수만으로 평가한 것보다 상관관계가 낮아지긴 했지만 음의 상관관계를 나타내었다. 축산이 수질에 좋은 영향을 준다고 평가하기 보다는 축산이

위치한 곳이 대부분 산지 등 하천과 멀리 떨어진 곳에 위치하기 때문에 비강우시는 하천수질에 영향을 덜 준다고 평가된다.

강우시 인구나 축산의 사육두수와 하천수질과의 상관관계를 분석한 결과 비강우시의 상관성을 갖는 음의상관관계에서 음의 상관관계가 약해지거나 양의 상관관계 값을 나타내었는데, 이유는 강우시에 축산에서 오염물질이 유출되어 하천수질에 영향을 미친것이라 평가할 수 있다. Christensen *et al.*,(2001)은 turbidity, T-N, T-P, 그리고 TC와는 양의 선형적인 관계가 있다고 보고하였으며, Buck *et al.*(2004)는 초지가 대부분에 두 개의 구역에서 토지이용의 비율에 따른 수질의 상관관계를 분석한 결과 초지의 점유율과 conductivity, NO<sub>3</sub>-N, T-N, T-P와 유의수준 1%의 상관관계를 보였다고 보고하였다. Rodgers *et al.*(2003)은 축산과 FC와는 직접적인 상관성을 갖는다고 평가하였다. 하지만 본 연구에서는 상관성이 없는 것으로 평가되었는데, 우리나라의 경우는 소규모 농가에서 실시하며 방목하여 기르는 형태가 아니기 때문으로 판단된다.

## 6. 연구결과의 이용방안

본 연구는 전형적인 비도시 구역인 화성유역을 대상으로 토지이용과 인구나 축산의 사육두수를 이용하여 수질항목과의 상관분석을 실시하였다. 화성담수호로 유입되는 3개의 주요하천의 수질을 평가한 결과 남양천의 N1과 N2지점과 어은천의 E3지점이 특별한 관리가 필요한 것으로 평가되었으며, 이 지점에 설치중인 하수처리장이 완공될 경우 화성담수호로 유입되는 하천수질 개선과 담수호로 유입되는 부하량이 상당히 감소할 것으로 판단된다. 토지이용과 하천수질과의 상관성 분석결과 주거지역의 경우 양의 상관관계를 보였는데, 생활하수의 유입이 직접적인 원인인 것으로 판단되었다. 비도시 구역에서는 형성된 주거지역의 정화조의 정비와 하수처리장 신설, 하수관거 정비 등의 관리가 필요하며, 본 연구지역과 같이 하구담수호가 위치한 지역에서는 더욱 중요하고 간척지토지이용에서도 고려해야 하는 사안이다. 논인 경우에는 수질항목들과 유의성을 갖는 음의 상관관계를 나타내었는데, 논은 오염물질을 배출하는 측면보다 하천생태에 좋은 영향을 미치는 것으로 평가되었다.

인구와 수질과의 상관분석결과 낮은 상관성을 나타내었으며, 단위면적당 인구수로 분석했을 때에는 비교한 결과 높은 상관계수를 나타내었다. 따라서 인구수로 유역의 오염물질 배출을 평가하기 보다는 밀도를 고려해서 평가하는 것이 합리적이다. 축산의 경우는 단위면적당 오염원을 고려하여 평가할 경우

사육두수로 평가하는 것 보다 합리적인 결론을 보였으나 상관성은 높지 않았다.

본 연구는 토지이용과 인구나 축산 등 오염원자료를 이용하여 수질항목 간의 상관성을 분석한 결과이며 비도시 유역의 오염부하특성을 이해하는데 도움을 주며, 유역특성이 유사한 지역에서는 본 연구와 유사한 방법으로 유역내 오염원 특성을 파악하여 합리적인 관리계획을 세우는데 응용할 수 있을 것으로 판단된다.

## 제 6 절 하천 buffer zone의 토지이용과 오염원이 수질간의 상관성 분석

### 1. 연구의 목적

유역내의 효과적인 토지이용과 오염원관리는 건전한 하천생태를 유지하기 위해 반드시 필요하다. 특히 하구담수호와 같이 유역말단에 위치한 지형적인 특징으로 많은 양의 오염물질이 유입되는 호수는 오염원관리에 더 많은 노력이 필요하게 된다. 최근 우리나라는 오염총량제의 도입을 전국에 걸쳐 인구, 축산, 산업, 토지, 양식, 매립장, 하수처리장 등 방대한 자료를 축적하여 행정구역 단위별로 발생하는 배출부하량을 산정하는데 이용하고 있으나, 계산 과정이 복잡하고 많은 시간이 필요하기 때문에 신속한 유역 평가에는 아직 개선할 부분이 남아있는 상태이다. 비도시 유역은 오염물질의 배출구조가 비교적 단순하기 때문에 수집된 기본 오염원자료만으로도 오염원에 대한 평가가 어느 정도 가능할 것으로 추정된다. 투수면적비율이 큰 비도시유역, 특히 시비가 이루어지는 농경지와 축산을 사육하는 축산지역이 많은 유역의 경우 질소와 인, 유기물질 등이 토양에 축적되어 수계로 유입될 때 이들 사이에 일정한 상관성을 갖고 수계로 유입될 것으로 추정된다. 우리나라 하구 담수호 유역은 대부분 주거지역을 포함하는 전형적인 비도시 유역의 형태를 보이기 때문에 토지이용과 오염원의 분포 등 유역전반에 대한 이해가 필요하다. 본 연구의 대상지역인 화성유역은 수질이 양호한 상류부에서 비도시 시가지지역을 거치면서 급격하게 수질이 악화되는 특징을 갖고 있다. 이는 비도시 시가지지역의 정화조 유출이나 처리되지 않고 유입되는 불명수에 의해 하천수질이 오염된다고 판단할 수 있다.

유역말단 지역은 하수처리장 방류수, 정화조유출, 불명수의 유입, 축산, 그리고 농경지의 비점오염 등 오염부하량이 축적되어 하천의 수질문제를 발생시키고 있으며, 하구 담수호로 유입되어 호수 수질에 악영향을 미치고 있다(Donoso *et al.*, 1999). 하구지역에서 fecal coliform의 농도는 하천으로부터의 거리에 영향을 받는다고 가정하여 도시지역과 농업지역, 인구와 주택밀도, 정화조밀도에 가중거리 값을 계산하여 적용시켰다. 오염원으로부터 발생하는 오염물질 총량을 발생부하량(generation load)이라 하고 폐수처리장과 같은 환경기초시설을 통하여 삭감된 후 유역으로 배출되는 오염물질량을 배출부하량(discharge load)이라 한다. 또한 배출부하량은 소형 지천을 통하여 하천수계까지 도달되는 과정에서 자정되어 다시 감소되는데, 이 때 하천수계까지 도달된



부하량을 유달부하량(delivery ratio)이라 한다.

또한 하천으로 부터의 거리가 멀어질수록 회석, 침전, 탈착 등의 물리적 작용에 의하여 유역에서 발생하는 오염원의 양이 줄어들게 되어 주요 지천에 미치는 영향이 줄어들 것이고, 하천에서의 거리가 가까운 곳에서 발생하는 배출부하량은 회석, 침전, 탈착 등의 물리적 작용이 일어날 수 있는 거리가 제한되어 먼 곳에서 발생하는 오염부하량 보다 많은 영향을 줄 것으로 추정된다.

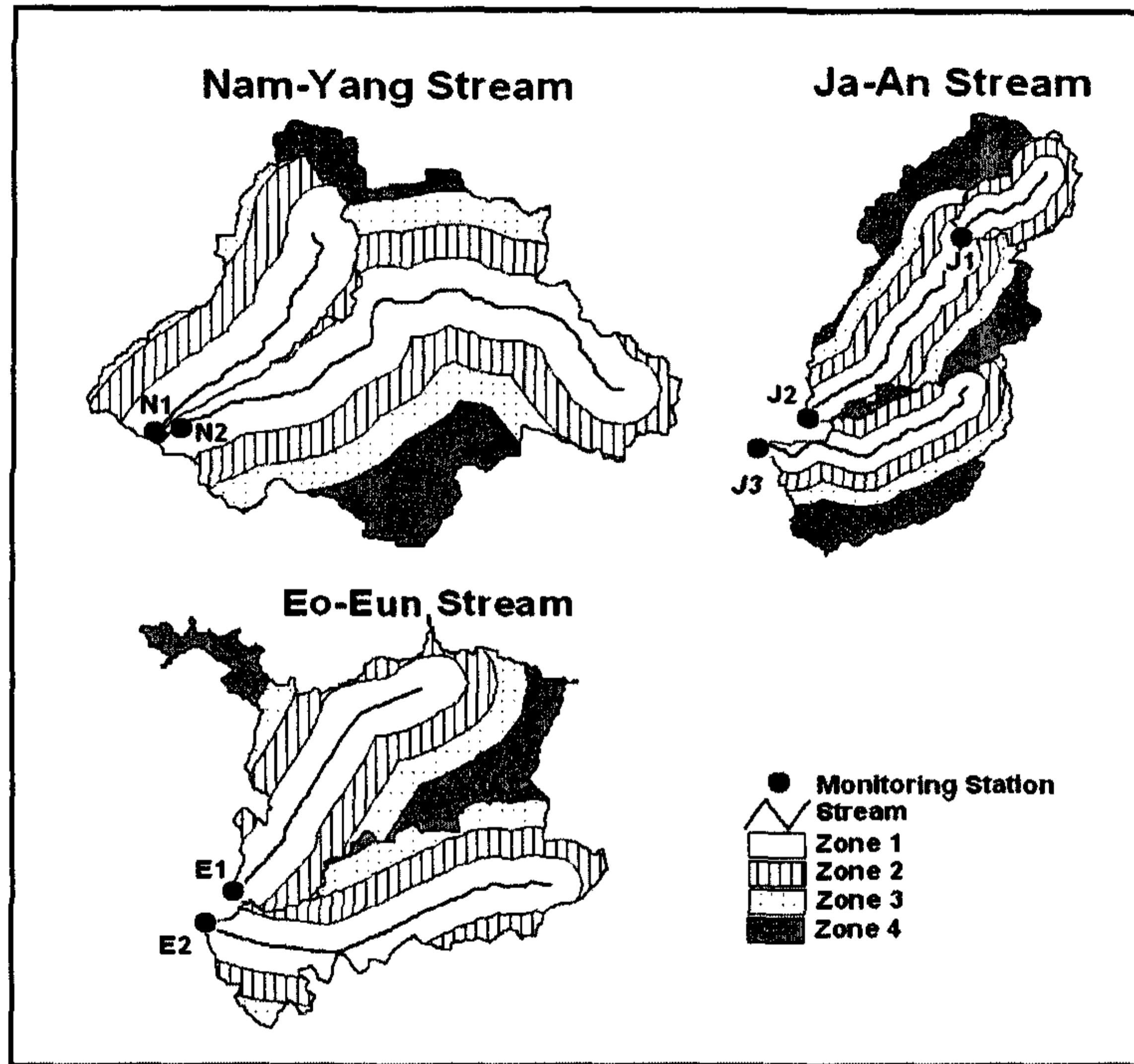
본 연구에서는 화성유역의 3개의 주요하천인 남양천, 자안천, 어은천의 주요 지류를 각각 4개의 buffer zone으로 나눈 후, 하천에서 거리에 따라 수질이 어느 정도의 영향을 미치는가를 파악 하고, 하천에 영향을 적게 주는 지역으로 오염원을 분산시키는 방안을 제시하고자 한다.

## 2. 연구 방법

샘플은 평상시 N1, N2, J1, J2, J3 및 E1의 6개 지점에서 2003년 11월 - 2005년 12월동안 2주 간격으로 채취하였고, 강우시에는 N1, N2, J1, E1 및 E2 5개 지점에서 폭우가 내리는 동안 1-4시간 간격으로 샘플을 채취하였다.

Landsat Thematic Mapper(TM; 30-m resolution)와 Indian Remote Sensing(IRS)-1C panchromatic images(5.8-m resolution)의 1999년 5월 21일과 2000년 2월 29일 자료를 이용하였으며, Arc view 3.3에서 Digital Elevation Model(DEM)을 이용하여 3개의 주요하천의 소유역을 구분하였고, 남양천에 2개, 자안천에 3개, 어은천에 3개의 수질측정지점과 일치하는 7개의 소유역을 형성하였다. 대부분의 주거지는 정화조의 영향을 가장 크게 받았고, 논은 생장기에는 담수가 되어있는 특징을 가지고 있었으며, 농경지는 상대적으로 작은 면적의 밭에서 많은 작물을 생산한다. 각 토지이용의 백분율과 가축의 사육비율은 유역 내에서 분석하고 계산되어진다.

GIS의 하천도를 기준으로 수질에 영향을 끼칠 수 있는 4개의 buffer zone을 나누었다. 3개의 buffer zone은 하천으로부터 각각 400 m 의 간격으로 떨어져 있으며, Zone 4는 Zone 1-3의 외곽에 있는 지역으로 간주하였다 <그림 3-26>.



<그림 3-26> 연구에 적용된 3개 하천의 buffer zone

수집된 자료는 통계프로그램인 SPSS for Windows 12.0을 이용하여 통계분석이 이루어졌다. 토지이용 백분율과 가축사육 비율은 평상시와 홍수시기에 수질특성과 관련이 있으며, *E. coli* 데이터는 10~150,000 MPN(most probable number)  $100 \text{ mL}^{-1}$ 의 범위로 값의 차이가 많기 때문에 log값을 취해서 데이터의 편차를 줄여주었다. 또한 정리된 자료를 이용하여 상관분석을 실시하였다.

### 3. 화성유역의 수질특성

본 연구지역에서  $\text{BOD}_5$ 와 T-N, T-P, *E. coli*의 평상시 수질은 각각 15.3 mg/L와 11.7 mg/L, 1.21 mg/L, 5,561 mg/L이며 강우시의 수질은 각각 13.4 mg/L와 21.4 mg/L, 1.20 mg/L, 27,000 mg/L이다. 두 결과를 비교해 보면 강우시 수질이 평상시 수질보다 T-N은 약 2배, *E. coli*는 약 5배 높은 것을 알 수 있으며 BOD와 T-P는 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

<표 3-9> 연구지역의 수질특성

Water Quality Characteristics		Min.	Max.	Mean	Std.
Baseflow period	BOD(mgL <sup>-1</sup> )	0.2	116.8	15.3	22.7
	T-N(mgL <sup>-1</sup> )	1.7	46.4	11.7	9.3
	T-P(mgL <sup>-1</sup> )	0.02	5.29	1.21	1.28
	<i>E. coli</i> (MPN 100 mL <sup>-1</sup> )	5	144,000	5,561	14,614
Stormflow period	BOD(mgL <sup>-1</sup> )	1.3	47.9	13.4	10.8
	T-N(mgL <sup>-1</sup> )	1.4	98.0	21.4	12.5
	T-P(mgL <sup>-1</sup> )	0.09	6.2	1.20	1.02
	<i>E. coli</i> (MPN 100 mL <sup>-1</sup> )	500	500,000	27,000	66,995

#### 4. 토지이용과 가축분포

화성 유역의 토지이용 형태는 주거지가 9.3%, 논 37%, 밭 17.9%, 산림 29.1%인 전형적인 비도시 형태이다. 하지만 인구증가에 따라 인구 1000명 이상의 중소 도시의 비율이 늘어나고 있고, 이러한 도시에서 흘러나오는 오염물질이 하수처리장을 거치지 않고 하천으로 직접 흘러나오고 있기 때문에 심각한 하천수질의 오염을 초래하고 있다.

N1과 N2의 산림면적은 각각 43.9%와 51.4%로 비율이 높은 반면 논 면적은 각각 25.8%와 14.8%로 상대적으로 낮은 비율을 나타내었으며, J2의 산림면적은 52.7%로 절반이 넘는 비율을 나타내었다. 주거지역의 면적은 N1과 J2, J3의 비율이 낮게 나타났으며, N1지역은 인구수가 가장 많은 반면에 낮은 주거면적으로 높은 인구밀도를 보여주고 있다. 주거지역은 하천의 수질에 직접적인 영향을 미치는 주요 수질오염 인자이고 경사와 유역의 거리에 영향을 많이 받는다.

<표 3-10> 연구지역의 토지 이용현황

Sub-basins	Residential		Paddy		Agricultural		Forest		Other		Total Area
	Area	%	Area	%	Area	%	Area	%	Area	%	
N1	40.7	9.3	112.7	25.8	90.1	20.7	191.5	43.9	1.3	0.3	436.2
N2	124.6	10.1	181.7	14.8	257	20.9	631.2	51.4	34.1	2.8	1228.6
J1	7.4	1.7	175.6	41.0	17.6	4.1	225.6	52.7	1.9	0.4	428.1
J2	205.3	11.8	599.9	34.4	192.8	11.1	666.2	38.2	77.5	4.5	1741.7
J3	85.9	6.4	535.3	40.1	253.8	19.0	344.4	25.8	116.7	8.7	1336.1
E1	112.2	10.9	366.7	35.5	308.5	29.9	187.5	18.2	57.3	5.6	1032.2
E2	146.1	19.1	281.2	36.7	112.5	14.7	226.3	29.5	0.1	0.0	766.1
Total	1529.2	9.3	6097.3	37.0	2954.0	17.9	4789.9	29.1	1119.1	6.8	16489.5

Area in ha.

<표 3-11> 연구지역의 가축 분포

Sub-basins	Cattle		Hogs		Total	
	NL	SR	NL	SR	NL	SR
N1	496	1.14	1,769	4.05	2,265	5.19
N2	3,448	2.81	13,035	10.61	16,483	13.42
J1	869	2.03	105	0.25	974	2.27
J2	1,289	0.74	1,733	1	3,023	1.74
J3	1,702	1.27	3,517	2.63	5,218	3.91
E1	2,159	2.09	2,445	2.37	4,604	4.46
E2	1,748	2.28	3,817	4.98	5,565	7.26
Total	11,711	12	26,421	26	38,132	38

#### 5. Buffer zone별 토지이용과 수질 상관성

<표 3-12>에는 buffer zone별 수질 상관성에 대해서 pearson 상관계수를 산정하여 나타내었으며, 굵은 글씨는 1%의 유의수준에서, 기울임 글씨는 5%의 유의수준에서 상관성을 갖는다.

<표 3-7>의 평수기에는 하천의 buffer zone별로 수질과의 상관성을 분석하지 않았을 때에도 하천수질과 주거지역의 토지이용과는 1%의 유의수준에서 상관성을 나타내었다.

<표 3-12>에서 주거지역중 Zone 1에서는 평수기에 NO<sub>3</sub>-N과 SS를 제외한 모든 수질항목이 0.1%의 유의수준에서 상관성을 가지고 있었는데 이는 하천 가까이에 있는 주거지역이 하천수질에 좋지 않은 영향을 미친다는 것을 의미한다. Zone 2의 경우 평수기에는 T-N만이 0.05%의 유의수준에서 상관성을 가지고 있어 거리가 멀어짐에 따라 하천 수질에 미치는 영향이 작음을 알 수 있다. Zone 3와 Zone 4의 경우에는 음의 상관관계를 가지게 되는데 이는 하천으로부터 멀리 떨어진 곳의 주거지역이 하천에 긍정적인 영향을 미치고 있다기보다 지역의 특성상 하천으로부터 멀어지면서 주거지가 줄어들어 주거지의 영향이 크게 나타나지 않는 것으로 해석된다. 그리고 강우기의 경우에는 Zone 1번과 2번의 상관성이 높게 나타났는데 이는 강우가 지속되면서 주거지의 오염물질이 씻겨내려 오면서 수질에 악영향을 미치게 된다. 이를 통해 수질을 보호하기 위한 토지이용의 분포는 하천 주변으로 주거지역이 밀집할 경우 악영향을 줄 수 있다는 결론을 내릴 수 있다.

논의 경우에는 많은 연구자들이나 일반인들이 생각하기에 논이 오염물질을 배출하는 배출원으로 생각하고 있지만 평수기 Zone 1에서 SS를 제외

한 모든 항목이 음의 상관관계를 나타내는 것으로 보아 하천수질에 긍정적인 영향을 미치고 있다고 판단할 수 있다. 밭의 경우에도 마찬가지로 Zone 1에서 음의 상관관계를 갖는 항목들이 많아 수질에 악영향을 미친다고 할 수 없었다. 논과 밭의 Zone 2와 Zone 3, Zone 4는 Zone 1보다 상관성이 없거나 양의 상관성을 나타내는데 이는 Zone 1에서 나타나던 수질의 긍정적인 효과가 없어지거나 수질에 나쁜 영향을 미치는 것으로 나타났다. 강우기의 경우에는 논과 밭에서 모두 음의 상관관계가 없어지거나 양의 상관관계로 나타나 오염물질이 유입됨을 알 수 있다.

산림의 경우에는 SS와 COD의 경우는 모두 음의 상관관계로 하천 수질에 긍정적인 효과를 기대할 수 있었고 강우기에  $\text{NO}_3\text{-N}$ 과  $\text{PO}_4\text{-P}$ 가 양의 상관관계를 가지는 것을 알 수 있다.

#### 6. Buffer zone별 주요오염원과 수질과의 상관관계 분석

<표 3-13>은 단위면적당 주요오염원과 수질과의 상관계수를 분석하여 나타내었다. 평상시 Zone 1에서 단위면적당 인구수와 수질과의 상관관계 분석한 결과  $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 *E. coli*를 제외한 나머지 항목이 1%와 5% 유의수준에서 양의 상관성을 갖는 것으로 나타났고, Zone 2에서도  $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 *E. coli*를 제외한 나머지 항목이 모두 1% 유의수준에서 양의 상관성을 갖는 것으로 나타났다. 하지만 Zone 3과 Zone 4로 갈수록 상관계수의 크기가 줄어들거나 상관성을 가지지 않게 된다. 결국 단위 면적당 인구수와 수질간의 상관관계는 하천으로부터의 거리에 반비례하는 경향을 나타낸다. 강우기 Zone 1에서  $\text{BOD}_5$ 는 1%의 유의 수준의 양의 상관관계, COD와 T-P는 5%의 유의수준의 양의 상관관계를 가질 뿐 나머지는 상관성이 매우 낮게 나타났는데 이는 Zone 2, Zone 3, Zone 4에서도 비슷한 경향을 나타냈다. 그 원인으로는 강우시에 많은 양의 오염물질이 하천으로 유입되지만 그와 함께 많은 유량이 함께 유입되기 때문이다. 따라서 기존에 오염도가 높은 하천에서는 오히려 희석되는 효과를 나타낼 것이며, 오염도가 높지 않은 지역에서는 평상시의 농도보다 높아지고, 강우시에 수질과의 상관성이 낮아진 것으로 판단된다.

<표 3-12> Buffer zone별 토지이용과 수질 상관성 분석

Water quality	Baseflow(n = 148-153)				Stormflow(n = 135-154)			
	Resi.	Paddy	Agri.	Forest	Resi.	Paddy	Agri.	Forest
Zone 1(0 - 400 m)								
BOD <sub>5</sub>	<b>0.45</b>	<b>-0.38</b>	-0.15	-0.11	<b>0.48</b>	<b>-0.33</b>	<i>0.26</i>	<b>-0.31</b>
COD	<b>0.35</b>	<b>-0.23</b>	-0.06	<b>-0.23</b>	0.13	0.01	0.10	<b>-0.22</b>
T-N	<b>0.53</b>	<b>-0.43</b>	<b>-0.31</b>	-0.10	0.13	-0.06	<i>0.19</i>	-0.12
NH <sub>3</sub> -N	<b>0.60</b>	<b>-0.52</b>	<b>-0.27</b>	-0.10	<i>0.20</i>	<i>-0.20</i>	0.05	-0.04
NO <sub>3</sub> -N	0.09	<b>-0.34</b>	<b>-0.21</b>	<b>0.51</b>	<b>0.29</b>	<b>-0.56</b>	<i>-0.17</i>	<b>0.34</b>
T-P	<b>0.36</b>	<b>-0.32</b>	<b>-0.23</b>	0.00	<i>0.17</i>	-0.12	-0.03	-0.09
PO <sub>4</sub> -P	<b>0.38</b>	<b>-0.38</b>	<b>-0.22</b>	0.04	<b>0.24</b>	<b>-0.42</b>	-0.06	<b>0.23</b>
<i>E. coli</i>	<b>0.23</b>	<i>-0.20</i>	-0.12	-0.06	0.08	-0.09	-0.09	0.01
SS	0.11	0.09	0.10	<b>-0.38</b>	-0.09	<i>0.18</i>	0.04	-0.11
Zone 2(400 - 800 m)								
BOD <sub>5</sub>	-0.11	0.10	0.04	-0.06	<b>0.39</b>	-0.04	<b>0.33</b>	-0.11
COD	-0.06	<i>0.17</i>	0.01	<i>-0.18</i>	0.04	0.15	0.01	<i>-0.19</i>
T-N	<i>-0.19</i>	0.14	<i>-0.17</i>	-0.04	<i>0.17</i>	-0.02	<i>0.19</i>	-0.05
NH <sub>3</sub> -N	-0.12	0.07	-0.04	0.00	<i>0.18</i>	-0.09	0.16	0.05
NO <sub>3</sub> -N	0.10	<b>-0.54</b>	0.06	<b>0.62</b>	<b>0.42</b>	<b>-0.61</b>	<b>0.35</b>	<b>0.55</b>
T-P	-0.15	0.07	-0.10	0.02	0.10	-0.01	0.02	-0.02
PO <sub>4</sub> -P	0.00	-0.12	-0.03	<i>0.17</i>	<b>0.37</b>	<b>-0.48</b>	<b>0.32</b>	<b>0.42</b>
<i>E. coli</i>	0.04	-0.02	-0.02	0.03	0.01	-0.02	-0.03	0.03
SS	-0.05	<b>0.33</b>	0.05	<b>-0.41</b>	-0.13	<i>0.19</i>	-0.12	<i>-0.17</i>
Zone 3(800 - 1200 m)								
BOD <sub>5</sub>	<b>-0.33</b>	0.04	-0.12	0.09	0.11	0.08	<b>0.29</b>	-0.13
COD	<i>-0.19</i>	0.16	-0.04	-0.08	0.13	<i>0.18</i>	0.05	<i>-0.19</i>
T-N	<b>-0.31</b>	0.06	0.00	0.04	0.05	0.05	0.13	-0.08
NH <sub>3</sub> -N	<b>-0.34</b>	0.00	0.00	0.11	-0.05	-0.07	0.09	0.05
NO <sub>3</sub> -N	-0.01	<b>-0.56</b>	<b>0.33</b>	<b>0.49</b>	-0.11	<b>-0.55</b>	<b>0.37</b>	<b>0.46</b>
T-P	<b>-0.27</b>	-0.01	-0.08	0.11	0.16	0.02	<i>0.16</i>	-0.06
PO <sub>4</sub> -P	-0.12	-0.14	<i>0.19</i>	0.15	-0.04	<b>-0.40</b>	<b>0.34</b>	<b>0.32</b>
<i>E. coli</i>	-0.01	-0.04	0.06	0.04	-0.01	-0.04	0.01	0.04
SS	-0.08	<b>0.38</b>	-0.14	<b>-0.32</b>	0.09	<i>0.18</i>	-0.08	<i>-0.16</i>
Zone 4(1200 - above)								
BOD <sub>5</sub>	<b>-0.26</b>	<b>0.46</b>	-0.02	<b>-0.40</b>	<b>0.28</b>	<i>0.25</i>	<b>0.37</b>	<b>-0.29</b>
COD	<i>-0.16</i>	<b>0.40</b>	0.08	<b>-0.38</b>	0.05	<b>0.22</b>	<i>0.20</i>	<b>-0.23</b>
T-N	<b>-0.28</b>	<b>0.32</b>	-0.15	<b>-0.24</b>	0.14	0.07	0.14	-0.09
NH <sub>3</sub> -N	<b>-0.27</b>	<b>0.36</b>	-0.13	<b>-0.29</b>	0.08	0.00	0.05	-0.01
NO <sub>3</sub> -N	0.06	<b>-0.64</b>	<b>-0.31</b>	<b>0.68</b>	<b>0.23</b>	<b>-0.60</b>	<b>-0.30</b>	<b>0.55</b>
T-P	<b>-0.21</b>	<i>0.20</i>	-0.13	-0.12	0.10	0.06	0.10	-0.08
PO <sub>4</sub> -P	-0.09	-0.01	<i>-0.19</i>	0.05	<b>0.24</b>	<b>-0.44</b>	<i>-0.18</i>	<b>0.39</b>
<i>E. coli</i>	0.05	0.06	-0.10	-0.06	-0.02	0.00	-0.02	0.00
SS	-0.03	<b>0.49</b>	<b>0.21</b>	<b>-0.53</b>	-0.04	<i>0.18</i>	0.10	<i>-0.17</i>

Bold values are statistically significant at  $p < 0.01$ , italics at  $p < 0.05$

<표 3-13> Buffer zone과 주요오염원과 수질 상관성 결과

parameter	Baseflow(n = 148-153)				Stormflow(n = 135-154)			
	PP/A	DC/A	BC/A	Pig/A	PP/A	DC/A	BC/A	Pig/A
Zone 1(0 - 400 m)								
BOD <sub>5</sub>	<b>0.42</b>	<b>0.50</b>	<b>0.64</b>	<b>0.53</b>	<b>0.32</b>	<b>0.38</b>	<b>0.47</b>	<b>0.38</b>
COD	<b>0.45</b>	<b>0.30</b>	<b>0.46</b>	<b>0.33</b>	<i>0.19</i>	0.01	0.06	0.00
T-N	<b>0.59</b>	<b>0.23</b>	<b>0.51</b>	<b>0.33</b>	0.02	<i>0.17</i>	0.13	0.13
NH <sub>3</sub> -N	<b>0.57</b>	<b>0.44</b>	<b>0.69</b>	<b>0.53</b>	0.10	<i>0.20</i>	<b>0.24</b>	<b>0.22</b>
NO <sub>3</sub> -N	-0.25	0.01	0.00	0.12	-0.05	<b>0.33</b>	<b>0.38</b>	<b>0.45</b>
T-P	<b>0.36</b>	<b>0.24</b>	<b>0.41</b>	<b>0.31</b>	<i>0.19</i>	0.00	0.09	0.04
PO <sub>4</sub> -P	<b>0.26</b>	0.15	<b>0.31</b>	<b>0.25</b>	-0.07	<b>0.28</b>	<b>0.29</b>	<b>0.35</b>
<i>E. coli</i>	0.16	0.09	<i>0.18</i>	0.14	0.11	0.00	0.07	0.04
SS	<i>0.19</i>	<i>0.21</i>	<i>0.18</i>	0.11	0.03	-0.14	-0.15	-0.17
Zone 2(400 - 800 m)								
BOD <sub>5</sub>	<b>0.43</b>	<b>0.49</b>	<b>0.63</b>	<b>0.52</b>	<b>0.35</b>	<b>0.38</b>	<b>0.50</b>	<b>0.38</b>
COD	<b>0.45</b>	<b>0.30</b>	<b>0.47</b>	<b>0.32</b>	<b>0.21</b>	0.02	0.10	0.00
T-N	<b>0.58</b>	<b>0.23</b>	<b>0.52</b>	<b>0.31</b>	0.06	<i>0.18</i>	<i>0.16</i>	0.14
NH <sub>3</sub> -N	<b>0.56</b>	<b>0.43</b>	<b>0.67</b>	<b>0.51</b>	0.10	<i>0.20</i>	<b>0.23</b>	<b>0.22</b>
NO <sub>3</sub> -N	-0.27	-0.02	-0.08	0.12	-0.10	<b>0.31</b>	<b>0.29</b>	<b>0.45</b>
T-P	<b>0.35</b>	<b>0.23</b>	<b>0.41</b>	<b>0.29</b>	<i>0.18</i>	0.00	0.10	0.04
PO <sub>4</sub> -P	<b>0.25</b>	0.14	<b>0.28</b>	<b>0.24</b>	-0.09	<b>0.27</b>	<b>0.24</b>	<b>0.35</b>
<i>E. coli</i>	0.15	0.08	0.15	0.14	0.09	0.00	0.06	0.04
SS	<b>0.24</b>	<b>0.22</b>	<b>0.25</b>	0.11	0.04	-0.13	-0.12	-0.17
Zone 3(800 - 1200 m)								
BOD <sub>5</sub>	<b>0.42</b>	<i>0.18</i>	<b>0.34</b>	0.15	<b>0.39</b>	<i>0.26</i>	<b>0.40</b>	<b>0.30</b>
COD	<b>0.41</b>	0.09	<b>0.29</b>	0.09	<i>0.16</i>	-0.02	0.11	-0.04
T-N	<b>0.59</b>	0.08	<b>0.42</b>	0.04	0.07	<i>0.17</i>	0.15	0.11
NH <sub>3</sub> -N	<b>0.59</b>	0.18	<b>0.45</b>	0.14	0.14	0.11	0.14	<i>0.17</i>
NO <sub>3</sub> -N	-0.05	<b>0.25</b>	0.07	<b>0.24</b>	0.16	<b>0.41</b>	<b>0.28</b>	<b>0.57</b>
T-P	<b>0.36</b>	0.08	<b>0.28</b>	0.05	<b>0.21</b>	0.04	<i>0.17</i>	0.08
PO <sub>4</sub> -P	<b>0.34</b>	0.14	<b>0.26</b>	0.11	0.12	<b>0.38</b>	<b>0.26</b>	<b>0.46</b>
<i>E. coli</i>	0.16	-0.03	0.05	-0.01	0.10	-0.04	0.03	0.03
SS	0.12	0.01	0.10	-0.10	-0.03	-0.12	-0.07	-0.18
Zone 4(1200 - above)								
BOD <sub>5</sub>	<b>0.34</b>	-0.21	<i>0.21</i>	-0.24	<b>0.32</b>	0.11	<b>0.34</b>	0.12
COD	0.28	-0.15	<i>0.17</i>	-0.13	0.09	-0.08	0.04	-0.09
T-N	<b>0.41</b>	-0.11	<b>0.31</b>	-0.21	0.04	0.11	0.11	0.07
NH <sub>3</sub> -N	<b>0.46</b>	-0.12	<b>0.34</b>	-0.21	0.11	0.07	0.12	0.09
NO <sub>3</sub> -N	0.09	<b>0.48</b>	<b>0.25</b>	<b>0.29</b>	<b>0.25</b>	<b>0.57</b>	<b>0.44</b>	<b>0.64</b>
T-P	<b>0.25</b>	-0.09	<i>0.18</i>	-0.16	<i>0.16</i>	0.05	0.15	0.07
PO <sub>4</sub> -P	<b>0.32</b>	0.10	<b>0.30</b>	-0.03	<i>0.19</i>	<b>0.49</b>	<b>0.38</b>	<b>0.52</b>
<i>E. coli</i>	0.10	-0.13	0.01	-0.14	0.06	-0.03	0.02	0.00
SS	-0.02	-0.26	-0.09	-0.22	-0.05	-0.14	-0.10	-0.16

Bold values are statistically significant at  $p < 0.01$ , italics at  $p < 0.05$

가축(젓소, 한우, 돼지)의 경우 또한 평수기에 Zone 1에서 Zone 4로 거리가 멀어질수록 상관성이 낮아지는 경향을 뚜렷하게 나타냈다. 젓소와 돼지의 경우에는 Zone 4에서의 수질과 단위면적당 가축두수와 수질에서 음의 상관계수가 나타났는데 이는 먼 지역의 사육지역이 하천수질에 긍정적인 영향을 미친다고 판단하기 보다는 하천으로부터 먼 거리의 사육지역은 하천수질에 영향을 덜 준다고 판단하는 것이 보다 합리적이다. 강우시에도 평수기와 비슷한 경향을 나타낸다. 하지만 강우시에는 회석에 의한 결과로 인해 평수기보다 상관성이 낮게 나타났는데, 이를 통해 단위 면적당 젓소의 두수와 하천과의 상관관계는 하천으로부터의 거리가 멀어질수록 낮게 나타났다.

## 7. 도출된 연구성과의 활용방안

제 4 절에서는 하천의 토지이용이 수질에 미치는 영향에 대해서 규명하였는데, 본 절에서는 buffer zone을 하천으로부터 400 m 씩 거리를 두어 토지이용과 단위면적당 주요 오염원에 대해서 분석한 결과, 하천과 가장 근접한 지역에 위치한 토지이용 중에서 주거지역이 하천수질과 1%유의수준에서 양의 상관성을 나타내었다. 이는 하천주변에 위치한 주거지역에 수질에 악영향을 미친다고 할 수 있으며, 하천으로부터 거리가 멀어질수록 그 영향이 적어지는 것으로 나타났다. 또한 논외의 경우에는 강한 음의 상관성을 나타내었는데, 논외의 경우는 오염물질을 배출하는 시설이기 보다는 전체 토지이용의 측면에서는 오히려 오염을 정화하는 기능을 나타내었다.

강우시에는 회석효과로 인해 상관성이 약해지는 결과를 보였으나, zone 2와 3에서는 오히려 수질과 상관성이 증가하였다. 이는 유출에 의해 오염물질을 하천으로 이동시켰다고 볼 수 있다.

본 장에서 연구한 성과는 하천의 토지이용이 중요하며, 특히 하천과 가까운 지역의 토지이용이 중요하다는 것을 알 수 있다. 또한 하천수질을 관리할 경우 하천 주변의 주거지역에서 발생하는 생활하수나 정화조 등에서 발생하는 불명수 등을 적절하게 처리하는 것이 필요할 것으로 판단된다.



## 제 7 절 화성구역의 소유역의 토지이용과 수질간의 회귀분석

### 1. 연구의 목적

5절과 6절에서는 주요 3개의 하천에 대해서 토지이용과 주요오염원과의 상관관계를 전체 구역대상과, buffer zone별로 상관성을 분석하였다. 이번 절에서는 3개의 주요하천을 포함한 나머지 소유역의 토지이용과 관계를 규명하고자 zone별로 분석하여 상관분석 하였으며 토지이용별 결과를 명확하게 규명해 주기 위해서 회귀분석을 실시하였다.

구역내에서 토지이용과 수질과의 관계는 강한 상관성을 갖는다고 많은 연구자들에 의해 보고되고 있다(e.g., Bolstad and Swank, 1997; Gburek and Folmer, 1999; Lenat and Crawford, 1994 Liu et al., 2000; Omernik, 1981; Tong and Chen, 2002). 강우에 의한 표면유출은 대부분이 이전 연구에 의해서 하천으로 오염물질을 이동시키기 때문이다. 자세하게 살펴보면 많은 연구들은 특별한 토지이용과 연관을 갖고 있으며 오염되는 오염물질이나 영양물질이 다르다고 보고하고 있다. 예를 들어 Lenat and Crawford(1994)는 농경지역의 토지이용이 질소와 인과 같은 영양물질과 상관성이 있다고 보고하였고, Fisher et al.(2000)는 또한 질소와 인, 그리고 fecal coliform과 농경지가 상관성이 크다고 보고하였다. Tong and Chen(2002)은 주거지역과 상업지역, 그리고 농업지역의 토지이용이 질소와 인, 그리고 fecal coliform과 상관성이 있다고 발표하였다. 이와 같은 연구결과는 직접적으로 토지이용과 상관성을 갖고 있고 차단, 침투, 여과, 흡착, 증발산과 같은 수리학적 특성에 의해서 연관이 있다. 이 같은 이전 연구에서의 발견은 토지이용에 대해서 계획하는 개발자에게는 중요한 정보를 줄 수 있다.

하지만, 이 같은 많은 증거들이 토지이용과 수질과의 강한 상관성을 알려주더라도 실질적으로 사용하기 위해서는 어느 정도 제한적이다. 이유 중의 하나는 공간적인 분포를 고려하지 않은 경우가 대부분이기 때문이다. 몇몇의 연구에서는 공간적인 분석을 시도하여 다양한 토지이용형태의 위치와 수질간의 관계에 대해서 연구 보고 하였다(Tong and Chen, 2002 Buck et al., 2004; Johnson et al., 1997; Griffith, 2002). 하지만 Baker(2003)는 공간적인 토지이용의 분포가 수질과의 관계를 명확하게 설명하기에는 부족한 측면이 있다고 하였다. 대부분의 연구에서는 전체 구역수준의 분산된 데이터를 이용하여 상관관계에 대한 규명이 대부분이었기 때문에 복합적인 토지이용이 미치는 영향에

대해서 직접적으로 분석해 내지 못한 특징을 갖고 있다.

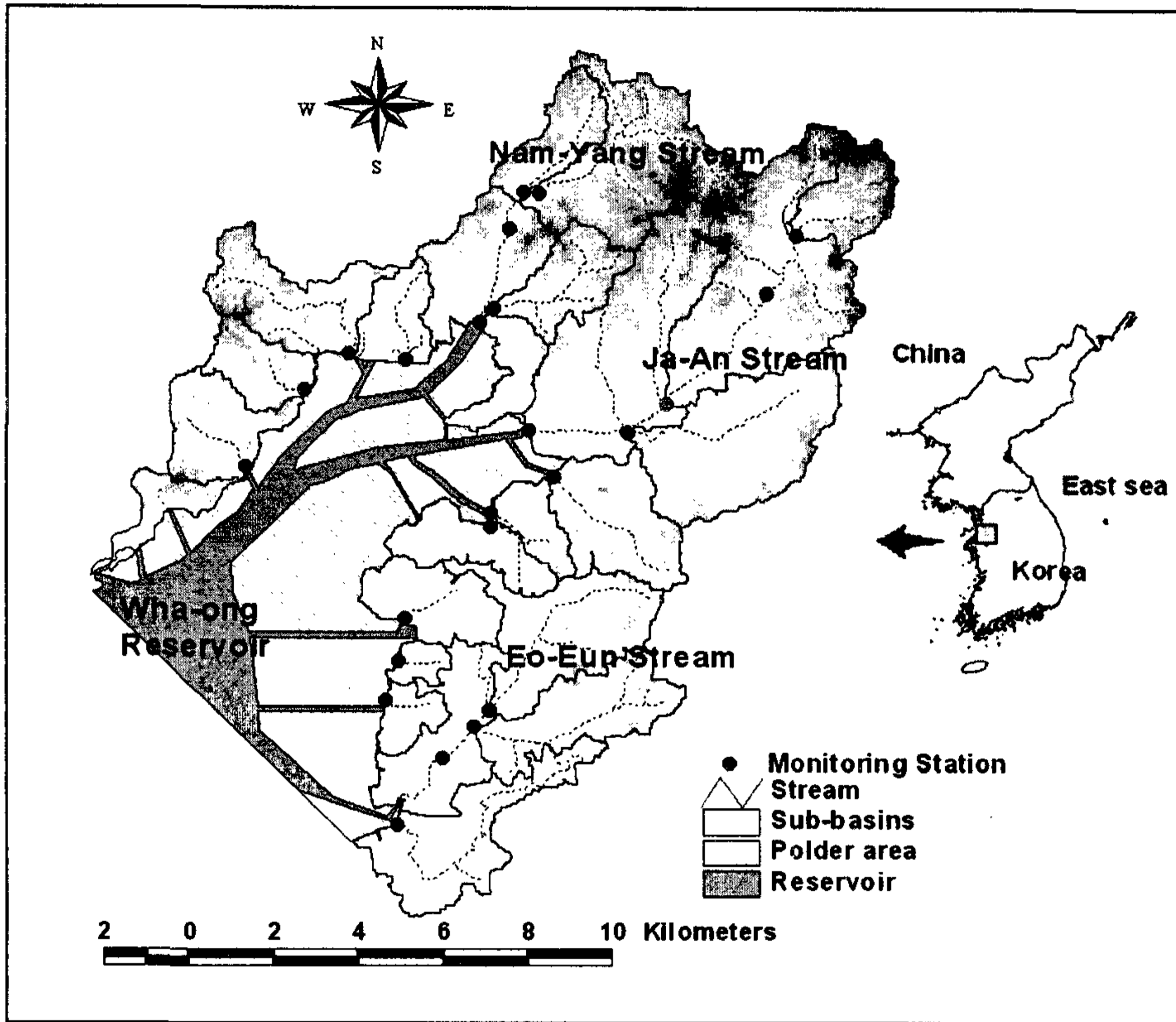
본 연구에서는 공간적으로 분포된 토지이용과 수질간의 상관성을 조사하고 회귀분석 함으로서 토지이용을 관리하거나 정책을 세우는 계획자들에게 접근할 수 있는 방법에 대해 제시하고자 한다.

## 2. 연구지역

화성유역이며 화용유역의 총면적은 16,500 ha이며 대략 52400명이 거주하고 있다. 또한 상당한 수준의 가축들이 존재하고 있다. 화성간척지의 면적은 4,480 ha이고 담수호의 표면적은 1,730 ha이고 평균 수심은 2.8 m 이다. 연평균 강수량은 2001-2005년동안 1,324 mm이었으며, 여름철에 강우가 집중하는 아시아 몬순 기후적 특성을 갖고 있다.

<그림 3-27>은 본 연구에 사용된 측정지점과 소유역을 나타내고 있다. 수질 샘플은 2006년 4월부터 6월까지 진행하였으며, 유역환경관리 연구실에서 총 16개의 수질항목을 분석하였으나, 본 연구에서는 BOD<sub>5</sub>, T-N, T-P, 그리고 *E. coli*를 이용하여 상관분석과 회귀분석을 실시하였다. 통계분석은 SPSS ver. 12를 이용하였다.

Landsat Thematic Mapper(TM; 30-m resolution)와 Indian Remote Sensing(IRS)-1C panchromatic images(5.8-m resolution)의 1999년 5월 21일과 2000년 2월 29일 자료를 이용하였으며, Arc view 3.3에서 Digital Elevation Model(DEM)을 이용하여 3개의 주요하천의 소유역을 구분하였고, 남양천에 2개, 자안천에 3개, 어은천에 3개의 수질측정지점과 일치하는 7개의 소유역을 형성하였다. 대부분의 주거지는 정화조의 영향을 가장 크게 받았고, 논은 생장기에는 담수가 되어있는 특징을 가지고 있었으며, 농경지는 상대적으로 작은 면적의 밭에서 많은 작물을 생산한다. 각 토지이용의 백분율과 가축의 사육비율은 유역 내에서 분석하고 계산되어진다.



<그림 3-27> 연구대상지역의 모니터링 사이트와 분할된 소유역

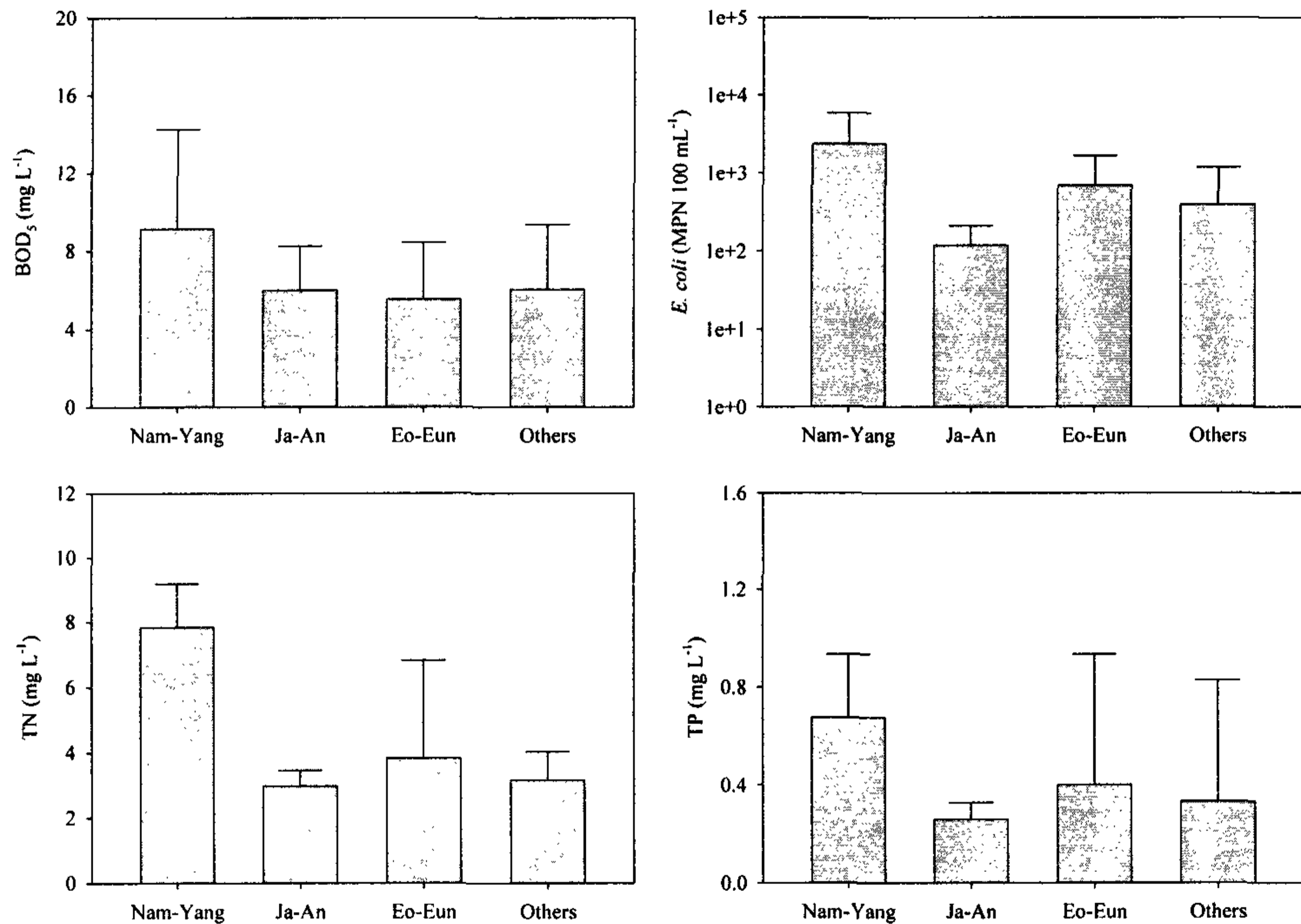
### 3. 유역의 수질과 토지이용 특성

측정된 BOD<sub>5</sub>, T-N, T-P, *E. coli*의 평균 수질은 6.36, 5.41, 0.54 mgL<sup>-1</sup>, 그리고 849 MPN 100 mL<sup>-1</sup>를 나타내었으며, 그 결과는 표 <3-14>와 <그림 3-28>에 정리되어 있다. 다른 하천과 비교해 볼때 남양천의 수질은 다른 유역보다 수질이 좋은 낮은 수준이었다. 평균 BOD<sub>5</sub>, T-N, T-P, 그리고 *E. coli*의 농도가 9.6 mgL<sup>-1</sup>, 9.54 mgL<sup>-1</sup>, 1.14 mgL<sup>-1</sup>, and 1,906 MPN 100 mL<sup>-1</sup>를 나타내었다. <표 3-15>는 화성유역의 주요 3개의 하천의 buffer zone 별 토지이용특성이다.

<표 3-14> 본 연구에 사용된 주요 수질항목의 평균 농도

	Minimum	Maximum	Mean	Std. D.	Remarks
BOD <sub>5</sub>	2.2	19.4	6.36	3.51	mgL <sup>-1</sup>
T-N	1.89	16.0	5.41	3.17	mgL <sup>-1</sup>
T-P	0.12	2.02	0.54	0.42	mgL <sup>-1</sup>
<i>E. coli</i>	10.0	5,930	848	1,475	MPN 100 mL <sup>-1</sup>

n = 24



<그림 3-28> 화성유역의 주요하천과 나머지 지역의 수질특성 비교

유역별로 살펴보면 남양천은 산림이 약 47%를 차지하고 있는 지역이며, 자안천의 경우에는 논이 약 33%로 산림 지역의 36%와 유사한 수준이었다. 어은천의 경우에는 산림이 약 70%를 차지하고 있으며, 주거지역이 약 12%로 나타났다.

<표 3-15> 화성유역의 주요 하천의 buffer zone별 토지이용 특성

Stream	Buffer*	Residential		Paddy		Agriculture		Forest		Others	
		Area	%	Area	%	Area	%	Area	%	Area	%
Nam- Yang	Zone1	137.6	11.2	383.1	31.1	252.8	20.5	311.5	25.3	148.4	12.0
	Zone2	63.6	6.5	155.7	16.0	161.5	16.6	474.7	48.7	118.4	12.2
	Zone3	20.3	3.7	115.7	21.3	80.7	14.9	297.5	54.8	28.8	5.3
	Zone4	7.3	3.2	34.0	14.9	29.6	12.9	137.2	60.0	20.5	9.0
	Sum	229	6.2	688	20.8	524	16.2	1,221	47.2	316	9.6
Ja- An	Zone1	229.4	12.8	814.4	45.4	157.3	8.8	290.6	16.2	300.4	16.8
	Zone2	184.9	11.8	446.8	28.4	292.7	18.6	559.4	35.6	87.8	5.6
	Zone3	104.1	10.7	304.2	31.1	116.4	11.9	386.3	39.5	66.4	6.8
	Zone4	82.9	8.6	280.3	29.1	111.9	11.6	451.2	46.9	35.3	3.7
	Sum	601	11.0	1,846	33.5	678	12.7	1,687	34.6	490	8.2
Eo- Eun	Zone1	138.9	12.8	569.4	52.6	107.2	9.9	146.0	13.5	121.5	11.2
	Zone2	136.3	16.9	259.3	32.1	191.6	23.7	194.3	24.1	26.2	3.2
	Zone3	37.6	8.8	133.3	31.3	145.3	34.1	105.4	24.7	4.8	1.1
	Zone4	20.7	9.1	75.3	33.1	113.0	49.7	16.8	7.4	1.7	0.7
	Sum	333.5	11.9	1037.3	37.3	557.1	29.3	462.5	69.6	154.1	4.1
Sum		1,163.6	29.0	3,571.3	91.6	1,759.8	58.3	3,370.8	151.4	960.2	21.9

\*Buffer Zone 1: 0 - 400 meter, Buffer Zone 2: 401 - 800 meter, Buffer Zone 3: 801 - 1,200 meter, and Buffer Zone 4: 1,201 - 1,600 meter.

#### 4. 수질항목과 토지이용간의 상관관계 분석

<표 3-16>는 소유역별 전체 토지이용과 수질간의 상관성을 분석한 결과이다. 주거지역은 1% 유의수준에서 BOD<sub>5</sub>, T-N, 그리고 *E. coli*에서 상관성을 나타내었다. 이 결과는 주거지역에서 발생하는 오염물질이 하천수질에 악영향을 미치는 다른 연구결과와 같은 결과이다(Tong and Chen, 2002; Sliva and Williams, 2001; Ren et al., 2003).

<표 3-16> 토지이용과 측정지점간의 상관관계분석(Pearson correlation coefficient)

	Residential	Paddy	Agricultural	Forest	Others
BOD <sub>5</sub>	0.35	-0.34	-0.03	-0.29	-0.16
T-N	0.41	-0.29	-0.07	-0.26	-0.28
T-P	0.32	-0.35	-0.01	-0.27	-0.09
<i>E. coli</i>	0.51	-0.28	-0.20	-0.35	-0.31

n=24.

굵은 글씨는 1%의 유의 수준에서 상관성을 갖는 것을 의미하며 기울임꼴은 5%의 유의수준에서 유의한 수준을 의미한다. 왜냐하면, 화성유역의 경우 하수처리장이 설치되지 않은 지역으로 개별정화조를 설치하여 이용하고 있기 때문에 적절하게 생활하수가 관리되지 않고 있다. 특별한 결과는 논외의 경우 BOD<sub>5</sub>와 T-P에서 5%의 유의수준에서 음의 상관성을 나타내었다. 논외의 위치는 대부분 하천주변에 형성되어 있기 때문에 논외의 독은 오염물질을 일부 저류하는 특징을 갖기 때문에 하천의 수질 개선에 도움을 준다고 판단할 수 있다.

#### Buffer zone별 토지이용과 수질간의 상관관계분석

Buffer zone별로 토지이용을 분할하여 수질간의 상관성을 분석한 것은 <표 3-16>보다 더 흥미있는 결과를 보여주며, <표 3-17>과 같다. 주거지역은 zone 1에서 하천수질과 유의한 유의성을 갖으며 zone 2, 3, 그리고 4와는 확실하게 구분된다. 특히 BOD<sub>5</sub>( $r = 0.43, p < 0.01$ ), T-N( $r = 0.58, p < 0.01$ ), T-P( $r = 0.43, p < 0.05$ ) and *E. coli*( $r = 0.53, p < 0.01$ )와 같이 고도의 상관성을 나타낸다. 하지만, zone 2, 3, 그리고 4번에서는 상관성을 보이지 않거나 약화되는 특징을 갖고 있다. 하지만, 논에서는 주거지역과 상반된 결과를 나타내었다. 주거지역의 경우 전부 양의 상관성을 보였으나, 논외의 경우는 BOD<sub>5</sub>( $r = -0.34, p < 0.1$ ), T-N( $r = -0.35, p < 0.1$ ) and T-P( $r = -0.35, p < 0.1$ )에서는 음의 상관성을 나타내었으며, *E. coli*의 경우에도 유의하지는 않았으나 음의 상관성을 나타내었다.

밭지역과 산림 그리고 기타 토지이용은 zone 별로 다소 이해하기 힘든 결과를 나타내었다.

<표 3-17> Buffer zone별 토지이용과 수질과의 상관성 분석

Water quality	zone	Residential	Paddy	Agricultural	Forest	Others
BOD <sub>5</sub>	zone1	<b>-0.43</b>	-0.34	-0.17	-0.22	-0.13
	zone2	-0.05	-0.35	-0.11	-0.34	-0.10
	zone3	-0.09	-0.26	-0.42	-0.38	-0.04
	zone4	-0.29	<b>-0.51</b>	-0.26	-0.04	-0.19
T-N	zone1	<b>-0.58</b>	-0.35	-0.31	-0.18	-0.38
	zone2	-0.05	-0.29	-0.04	-0.3029	-0.15
	zone3	-0.08	-0.35	-0.28	-0.386	-0.11
	zone4	-0.11	-0.28	-0.17	-0.0727	-0.19
T-P	zone1	<b>-0.43</b>	-0.35	-0.32	-0.22	-0.30
	zone2	-0.03	-0.34	-0.03	-0.289	-0.03
	zone3	-0.21	-0.23	-0.42	-0.35	-0.05
	zone4	-0.01	-0.09	-0.36	-0.236	-0.07
<i>E. coli.</i>	zone1	<b>-0.53</b>	-0.24	-0.03	-0.237	-0.31
	zone2	-0.24	<b>-0.37</b>	-0.04	-0.375	-0.22
	zone3	-0.06	-0.30	-0.27	-0.349	-0.14
	zone4	<b>-0.58</b>	-0.12	-0.06	-0.2429	-0.23

n=24.

#### 5. 토지이용과 수질간의 회귀분석

<표 3-16>와 <표 3-17>에서 토지이용과 하천수질간의 상관관계를 어느 정도 규명하였다. 하지만, 토지이용과 하천 농도사이에 어떠한 관계를 가지고 어느 정도 하천수질에 기여하는지에 대해 평가하기 위해서 회귀분석을 실시하였다. 상관분석은 1개의 변수가 변하는데 다른 변수가 어떠한 크기로 변하는지에 대한 분석이다. 하지만, 회귀분석의 경우 한가지 토지이용패턴에 따라서 수질항목이 받는 영향에 대해서 양적으로 판단을 내릴 수 있는 장점을 갖고 있다.

<표 3-18>에는 유역을 전체로 했을 경우와 buffer zone별로 분석한 토지이용과 수질간의 회귀분석 결과에 대해서 정리하였다. 회귀분석의 결과는 <표 3-15>와 다소 상반된 결과를 나타내었다. 하지만, zone별로 분류해서 수질상관성을 분석한 <표 3-16>이 보다 합리적인 결과를 주는 것이라 판단된다. 또한 zone 1의 경우에는 상관분석을 통해 규명한 연구성과가 합리적으로 회귀분석 되었으며, 예측할 수 있는 범위 안에 있었다.

<표 3-18> Zone 별로 분석된 토지이용과 하천수질의 회귀분석 결과

	Variables	Zone 1 model		Zone 2 model		Zone 3 model		Zone 4 model	
		b	$\beta$	b	$\beta$	b	$\beta$	b	$\beta$
BOD <sub>5</sub>	Residential	-0.27	-0.48	-0.06	-0.11	-0.14	-0.21	-0.15	-0.36
	Paddy	-0.04	-0.18	-0.01	-0.01	-0.06	-0.26	<b>-0.06</b>	-0.57
	Agricultural	-0.12	-0.26	-0.14	-0.27	-0.16	-0.51	-0.05	-0.44
	Forests	-0.12	-0.33	-0.09	-0.48	-0.01	-0.02	-0.01	-0.09
	F	1.73		1.07		0.56		<b>3.44</b>	
	R <sup>2</sup>	0.27		0.18		0.25		0.51	
T-N	Residential	<b>-0.41</b>	-0.82	-0.10	-0.20	-0.10	-0.16	-0.05	-0.13
	Paddy	-0.15	-0.76	-0.01	-0.04	-0.06	-0.27	-0.04	-0.40
	Agricultural	<b>-0.29</b>	-0.68	-0.09	-0.20	-0.07	-0.25	-0.02	-0.19
	Forests	<b>-0.23</b>	-0.71	-0.08	-0.48	-0.01	-0.10	-0.01	-0.21
	F	<b>5.99</b>		0.85		1.09		0.73	
	R <sup>2</sup>	0.55		0.15		0.19		0.18	
T-P	Residential	<b>-0.04</b>	-0.64	-0.01	-0.06	-0.01	-0.01	-0.01	-0.11
	Paddy	-0.01	-0.67	-0.01	-0.26	-0.01	-0.32	-0.01	-0.24
	Agricultural	<b>-0.03</b>	-0.64	-0.01	-0.04	-0.02	-0.51	-0.01	-0.34
	Forests	-0.03	-0.69	-0.01	-0.12	-0.01	-0.22	-0.01	-0.21
	F	<b>3.16</b>		0.66		1.21		0.81	
	R <sup>2</sup>	0.40		0.12		0.21		0.20	
<i>E. coli.</i>	Residential	<b>172.9</b>	-0.72	-109.7	-0.44	-106.4	-0.36	<b>86.86</b>	-0.68
	Paddy	-64.66	-0.66	-4.78	-0.05	-21.15	-0.20	-3.93	-0.12
	Agricultural	-57.61	-0.28	-29.76	-0.13	-42.98	-0.31	-7.19	-0.21
	Forests	-112.3	-0.73	-43.57	-0.53	-11.18	-0.18	-2.72	-0.13
	F	<b>3.19</b>		2.30		1.36		2.76	
	R <sup>2</sup>	0.40		0.32		0.23		0.45	

df = 24.

특별한 점은 논외의 경우 상관분석을 통해서도 음의 상관성을 나타내었는데 회귀분석 결과 수질을 악화시킨다는 결과를 얻었다. BOD<sub>5</sub>의 경우 1차적으로 주거지역이 가장 많은 기여를 하는 것으로 나타났는데, zone 1의 경우( $b = 0.27$ ,  $\beta = 0.48$ ,  $p < 0.1$ )와 zone 4( $b = 0.15$ ,  $\beta = 0.36$ ,  $p < 0.1$ )를 나타내었다. 하지만, 밭의 경우는 음의 상관성을 나타내었지만 논외의 경우는 양의 상관성( $b = 0.06$ ,  $\beta = 0.57$ ,  $p < 0.05$ )을 나타내었다.

T-N의 경우는 zone별로 토지이용과 수질간의 관계를 잘 보여주고 있다. Zone 1의 경우 주거지역에서 양의 상관성을 나타내었으며( $b = 0.41$ ,  $\beta =$



0.82,  $p < 0.01$ ), 논( $b = 0.15$ ,  $\beta = 0.76$ ,  $p < 0.1$ )과 밭( $b = 0.29$ ,  $\beta = 0.68$ ,  $p < 0.1$ )의 경우에도 양의 상관성을 나타내다. 또한 산림의 경우에도 양의 상관성을 나타내었다( $b = 0.23$ ,  $\beta = 0.71$ ,  $p < 0.05$ ). 수질에 대한 zone 1에서의 기여율은 약 55%로 계산되었다.

T-P의 경우에는 T-N과 유사한 결과를 보였다. 하지만, *E. coli*의 경우에는 zone 1과 zone 4와는 상반된 결과를 나타내었다. *E. coli*의 경우 zone 1과 zone 4의 기여율이 각각 40과 45%로 예측하지 못한 결과를 나타내었다.

## 6. 도출된 연구성과에 대한 고찰

### 가. 토지이용과 수질간의 상관분석과 회귀분석

본 연구에서 도출한 상관분석과 회귀분석을 통해서 토지이용이 하천수질을 악화시킬 수 있다는 결론을 얻을 수 있었다. 특히 주거지역의 토지이용은 본 연구를 통해서 수질에 미치는 주된 영향임을 파악할 수 있었다. 하지만, 논·밭의 경우에는 상관분석과 회귀분석에서 상이한 결과를 나타내었다. 논은 상관분석에는 음의 상관성을 보였으나, 회귀분석에서 zone 1에서 BOD<sub>5</sub>와 zone 4에서 T-N의 경우가 양의 상관성을 나타내었다. 특히 밭 지역은 음의 상관성을 상관분석에서 나타내었으나 회귀분석에서는 양의 상관성을 나타내었다.

이 같은 결과는 기존의 상관분석에서 찾아내지 못한 회귀분석의 독특한 결과이다. 하지만, 다른 많은 연구자들은 밭의 토지이용이 하천수질의 영양물질의 주요한 오염원으로 판단하고 있다(Lenat and Crawford, 1994; Tong and Chen, 2002; Arheimer and Liden, 2000; Gardi, 2001; Woli, 2004; Fisher et al., 2000). 또한, 산림의 경우에도 양의 상관성을 갖는 것으로 평가되었다.

이같이 상관분석의 경우와 회귀분석의 경우 결과가 다를 수 있는데 이는 상관분석이 갖고 있는 한계점일 것으로 판단된다. 따라서, 토지이용과 수질과의 관계를 살펴보기 위해서는 회귀분석을 통해서 분석해 내는 것이 보다 합리적일 것이라고 생각된다. 비록, 많은 선행 연구에서 상관분석을 통해서 분석을 하여 토지이용이 수질에 미치는 영향에 대해서 연구하였지만, 한계점을 갖고 있다고 할 수 있다(e.g., Tong and Chen, 2002; Buck et al., 2004; Sliva and Williams, 2001).

Bolstad and Swank(1997)은 하천수질과 상가건물간의 상관성을 조사하기 위해서 회귀분석을 이용하였다. 회귀분석이 상관분석에 비해서 수질과의 상관성을 밝히는데 많이 이용되지 않는 이유는 시간과 노력이 상대적으로 많

이 요구되기 때문이다.

#### 나. Buffer zone별 토지이용과 수질간의 관계

상관분석과 회귀분석 결과 토지이용과 수질 간에 흥미 있는 결과를 나타내었다. 많은 연구자들에 의해서 하천주변의 완충지대의 중요성에 대해서 언급되었다(Johnson et al., 1997; Silva and Williams, 2001; Osborne and Wiley, 1988; Delong and Brusven, 1991). 본 연구에서도 zone 1에서의 토지이용이 수질에 기여하는 부분이 상당함을 알 수 있었다. 따라서 하천의 수질관리를 위해서 토지이용에 대한 관리를 하게 된다면 완충대를 설치하여 운영하는 것이 중요할 것으로 생각된다(e.g., Vought et al., 1995; Anbumozhi et al., 2005).

#### 7. 도출된 연구성과의 적용

토지이용과 수질간의 상관분석과 회귀분석을 전체 토지이용과 buffer zone별로 분석한 결과 밭의 경우는 하천수질에 악영향을 주는 토지이용으로 나타났다. 따라서, 토지이용을 관리할 경우 그 효과를 극대화하기 위해서는 하천 주변의 토지를 적극적으로 매입하여 관리하는 것이 중요할 것으로 판단된다. 또한, 본 연구에서는 상관분석을 이용해서 결과를 내는 것도 중요하지만, 상관분석과 회귀분석을 동시에 사용하여 결과를 도출 하는 것이 보다 합리적 일 것이라 판단된다.

## 제 8 절 화성유역 남양천의 QUAL2E 적용과 위해성 평가

### 1. 연구의 목적

하천은 생명의 근원인 물의 이동통로이며, 생태계 순환과정의 중심축으로서 하천환경이 국민생활에 미치는 영향은 매우 크다. 본 연구의 대상인 화성유역은 방조제가 체절된 후 수질관리상의 문제로 화성호에 염도가 높은 해수가 유통되고 있으나, 일부 노출된 간석지는 간수 등에 의한 염의 세탈이 이루어지면서 해안성 염습지에서 담수습지로의 천이가 활발하게 일어나며 다양한 생물 서식환경 및 경관이 창출될 것으로 예상된다. 이러한 생태환경이 변함에 따라 간척중기와 말기로 구분하여 개발용도를 크게 생물 서식처 및 생태체험·교육 공간, 수질정화·관리 공간, 편의·관리·상업 공간, 레저·휴양 공간 등으로 구상하였고, 간척말기에 서식처 및 기능을 보전하는 범위 내에서 방문자의 심신 수련 및 건전한 야외활동이 추가되었다(성지영, 2005). 화성간척지구를 생태공원 및 레저·휴양 공간으로 조성하기 위해서는 인공 담수호 및 상류 하천의 수질개선 및 생물서식공간과 다양한 토지용도가 고려되어야 한다. 화성유역은 수질이 양호한 상류부에서 비도시 시가지역을 거치면서 개별 정화조유출, 불명수의 유입, 축산 및 비점원오염으로 인해 급격하게 수질이 악화되는 특징을 갖고 있다. 그 과정에서 하구담수호는 유역말단에 위치하는 지형적인 특징으로 많은 양의 오염물질이 유입된다. 따라서 건강한 수생태계를 유지하기 위해서는 특별한 노력이 필요하다.

하천수질의 적절한 관리를 위해서 유역 내에서 발생할 수 있는 물리, 화학, 생물학적인 현상을 이해해야 하고 다양한 상황을 잘 묘사할 수 있는 수질모형의 적용이 필요한데, 이를 위해 많은 과학적 연구가 수행되어 왔고 이론과 실험을 바탕으로 여러 가지 수질 모형들이 개발되었다. 국내 모형연구가 시작된 이래로 지금까지 하천 수질모의에 가장 널리 사용되어온 QUAL2E는 USEPA가 수년간 환경기술을 통합하여 개발한 다인자 하천 수질모형이다(Brown and Barnwell, 1985). 국내에서는 전국주요하천 기초조사시 QUAL2E모형을 사용하였고, 한강유역 환경보전 종합계획사업시 적용된 바 있다(환경부, 1983). 박청길(1993a, 1993b) 등은 QUAL2E모형을 낙동강 유역에 적용하여 용존산소에 대한 물리, 화학 및 생물학적인 과정을 규명하였다. 이건호(1999) 등은 한강 수계 상류에 위치하고 있는 평창강과 주천강 유역을 대상으로 QUAL2E모형을 이용하여 유역오염부하량 저감효과 및 유출 토사의 영향을 예

측한 바 있고, 충청남도 보건환경연구원(2005)은 유구천을 대상으로 QUAL2E 모형을 이용하여 유구천의 수질오염도와 강수량에 따른 하천 유량의 변화가 하천의 수질 변화에 어떠한 영향을 미치는가를 평가하였다.

국외에서는 Tolman(1992)과 DeGasperi and Khangaonkar(1997)가 하천의 DO개선과 조류제어를 위해 적용하였고, Steynberg et al.(1995)과 Venter et al.(1997)은 QUAL2E모형을 사용한 미생물의 수질관리 가능성에 대하여 논의하였다. Wangne and Tisdale(1996)은 호소에서 유로에 따른 인의 거동을 평가하기 위해 QUAL2E모형을 적용하였고, 대만의 *Kao-Ping River*에서는 수자원의 재분배와 오염원 방지법의 효과를 조사하기 위해 적용하였으며(Ning et al., 2001), 미처리된 하수가 유입되는 지표수에서의 세제성분 등의 오염물질이 생태에 미치는 위험을 평가하기 위해 적용되었다(McAvoy et al., 2003). 이와 같이 QUAL2E모형은 하천의 수질관리를 위해 다양하게 적용되어 왔다.

하천이나 담수호에서 수영, 수쿠버다이빙, 낚시 및 윈드서핑 등의 레저활동을 즐기는 동안 오염된 물을 섭취하거나 접촉할 경우 병원성 세균에 의한 건강상의 위험성이 높다. 국내·외에서는 수영이나 수상레저 등의 활동과 관련해서 병원·위생학적인 안전성 확보가 우선적으로 중요하기 때문에 일반적으로 지표미생물로 사용하고 있는 대장균 군(total coliform, TC), 분원성 대장균 군(fecal coliform, FC), 그리고 대장균(*E. coli*) 등을 기준으로 엄격히 규제하고 있으며, 국제기관에서는 레저용수에 대한 수질기준을 제시하고 있다. USEPA(1986)는 레저, 어패류의 양식 및 음용수 등의 물사용에 따른 보건위생을 위하여 분변성 지표미생물을 적용한 환경수질기준을 제안하였다. 유럽공동체에서는 수영용수에 대한 지표미생물인 TC, FC, Fecal streptococci, Salmonella 및 Enteroviruses의 수질기준에 대해 제안한 바 있고(EC, 1976), UNEP/WHO(1996)에서는 지중해에 대한 수영용수 환경수질기준을 제안하였다. WHO(1998)에서는 미생물기준을 포함한 레저용수 수질기준을 제시하였으며 인체 위해성 및 수질기준에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 화성 간척지구가 휴양공간으로 안전하게 이용되기 위해서는 담수호와 상류유역의 수질관리와 함께 위해성 평가를 통한 체계적인 안전성검토가 필요하다. 위해성 평가를 위해서는 역학조사를 통한 접근이 필요하지만 하천에서 레저활동으로 인해 발생할 수 있는 위생 문제에 대한 역학적 연구는 미흡한 실정이다.

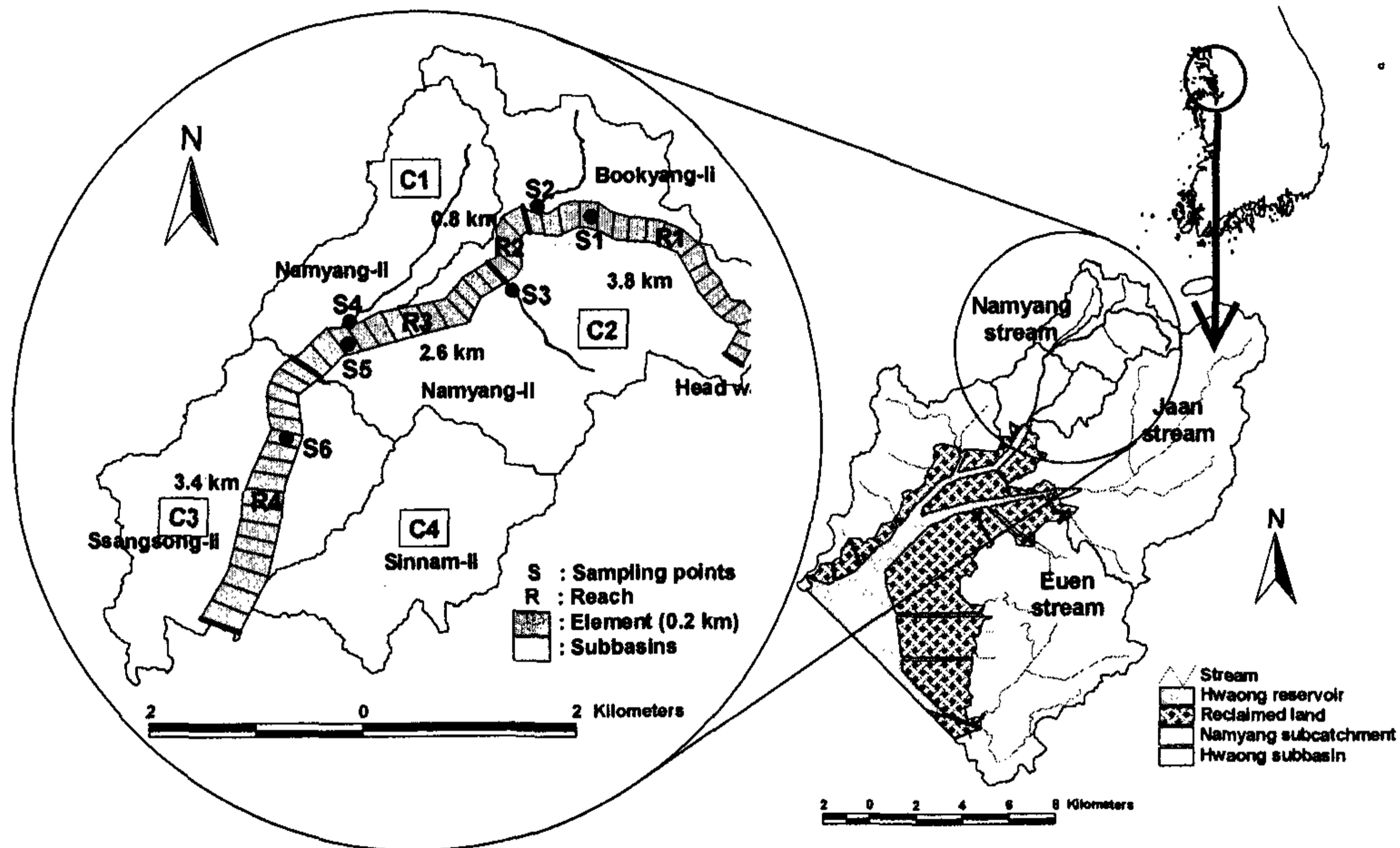
본 연구에서는 하천이나 담수호에서 레저나 여가 활동시에 오염된 물을 섭취하여 발생할 수 있는 인체 위험에 대해 초점을 두었으며, QUAL2E모형을 이용하여 화성유역의 남양천 구간의 일반수질인자 및 *E. coli* 농도를 모의하였고, 레저활동간 *E. coli*와 같은 병원성 미생물이 인체에 미칠 수 있는 영

향에 대하여 미생물학적 위해성 평가를 통하여 화성 담수호의 안전한 용수이용에 필요한 기초자료를 제공하고자 한다.

## 2. 연구의 방법

<그림 3-29>에서와 같이 남양천, 자안천, 어은천 등 3개의 소규모 하천이 담수호로 유입되고 있으며, 남양천의 경우는 수질이 양호한 상류부에서 비도시 시가지역인 남양리를 지나면서 급격하게 수질이 악화되는 특징이 있다. 화성유역의 토지이용은 농경지와 산림이 대부분을 차지하는 전형적인 비도시 지역 특성을 나타내고 있다. 남양천 유역은 <표 3-19>과 같이 산림과 농경지가 각각 87%이상을 점유하고 있고, C1과 C2와 같이 도시화가 진행된 지역은 주거지역이 약 9~10%로 대부분의 인구나 경제활동이 집중하고 있다. 이 지역 하천에서 조사되는 지표성 미생물의 농도가 다른 지역에 비하여 높게 나타났는데, 이유는 인구가 밀집되어 있고 정화조 유출이나 불명수의 유입이 주요 오염원인 것으로 추정된다.

시료채취지점은 화성 담수호로 유입되는 세 개의 주요하천 중 남양천에서 이루어 졌으며 남양천 구간별로 S1, S2, S3, S4, S5 및 S6의 6개 지점에서 샘플을 채취하였다. 유량은 유속계(Swoffer model 3000)를 이용한 하천유속측정과 하천의 수심을 측정하여 산출하였고, 수질분석항목은 DO, SS, BOD<sub>5</sub>, T-N, NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NH<sub>3</sub>-N, T-P, PO<sub>4</sub>-P, *E. coli*이며, 모든 항목은 공정시험법에 의해 분석하였다.



<그림 3-29> 대상유역과 QUAL2E 모형의 구성

<표 3-19> 남양천 유역의 각 Reach별 소유역의 토지 이용

Sub-basin	Residential		Paddy		Upland		Forest		Etc.		Total Area (ha)
	Area (ha)	%	Area (ha)	%	Area (ha)	%	Area (ha)	%	Area (ha)	%	
C1	40.7	9.3	112.7	25.8	90.1	20.7	191.5	43.9	1.3	0.3	436.2
C2	124.6	10.1	181.7	14.8	257.0	20.9	631.2	51.4	34.1	2.8	1228.6
C3	7.4	1.7	175.6	41.0	17.6	4.1	225.6	52.7	1.9	0.4	428.1
C4	28.5	6.0	179.3	37.5	114.1	23.9	149.9	31.4	6.4	1.3	478.2
Total	201.1	6.8	649.3	29.8	478.8	17.4	1,198.2	44.8	43.7	1.2	2571.1

### 3. QUAL2E모형 적용

본 연구에서 모형에 적용한 남양천 유로연장은 10.6 km이고, 4개의 모의 channel로 구분하였으며, element의 길이는 0.2 km로 하였다. 본류구간은 reach 1~4까지이며, S2, S3, S4가 포함된 3개의 하천지류에서 점오염원이 유입되는 것으로 구성하였다. <그림 3-29>에서와 같이 R1, R2, R3 및 R4의 연장은 각각 3.8 km, 0.8 km, 2.6 km, 3.2 km이며 19, 4, 13, 16개의 element로

각각 분할하였다.

모형의 보정 및 검정에 이용된 하천유량과 수질자료는 각각 현장 실측하였다. 조사지점은 상류 유입하천과 점오염원으로 가정한 유입지천을 포함하여 6개 지점이다. 모형 입력자료 및 보정을 위해 2005년 8월 17일 측정자료를 이용하였고, 검정자료로 2004년 12월 16일 측정자료를 이용하였다. 각 지점의 유량과 수질은 <표 3-20>에 나타내었다. 남양천의 수질은 상·하류와 시기에 따라 차이가 있고, 하천말단인 S6 지점에서는 BOD<sub>5</sub>의 경우 58.2 mg/L, T-N의 경우 12.7 mg/L, T-P의 경우 2.7 mg/L로 높게 측정되었으며, 분변성 미생물지표인 *E. coli*도 15,000 MPN/100 mL로 높게 검출되었다.

<표 3-20> 모형의 검·보정 기간별 모니터링 결과

Sampling point	S1		S2		S3		S4		S5		S6	
	C	V	C	V	C	V	C	V	C	V	C	V
Flow ( $\times 10^{-3} \text{m}^3/\text{s}$ )	0.5	1.0	42.6	14.0	19.9	5.0	50.0	93.0	128.9	146.4	431.6	380.0
BOD <sub>5</sub> (mg/L)	4.9	1.3	11.5	2.9	6.4	1.4	17.0	11.9	3.4	1.5	58.2	49.4
T-N(mg/L)	5.7	6.5	5.8	3.7	7.0	5.9	10.4	7.6	7.6	6.9	12.7	11.4
NH <sub>4</sub> -N(mg/L)	1.1	0.2	2.3	0.5	1.5	0.5	5.3	2.7	1.3	1.4	8.4	4.9
T-P(mg/L)	4.4	5.6	2.2	2.9	5.3	1.5	3.8	3.4	5.7	5.3	2.7	2.3
<i>E. coli</i> (MPN/100mL)	1,920	6,400	6,400	6,400	1,800	6,400	6,000	7,200	1,000	6,400	6,000	15,000

C : calibration data(sampled on 16 December 2004).

V : verification data(sampled on 17 August 2005).

#### 4. 위해성 평가방법

인체위해성 평가는 사람이 환경적 위협에 노출되었을 경우, 발생 가능한 영향을 정성 또는 정량적으로 분석하는 과정이다. 즉 인체 유해물질에 대한 역학적, 임상적, 독성학적 및 환경학적 연구결과로부터 수학적 모델을 이용해 노출 조건하에서 인간에 미칠 수 있는 위해범위를 예측하고 평가하는 것이다. 이러한 평가는 위험성 확인(hazard identification), 노출 평가(exposure assessment), 용량-반응 평가(dose-response assessment) 및 위해도 결정 및 불확실성 분석(risk characterization)의 주요 4단계를 통해 수행된다.

Beta-Poisson model은 음용수의 병원성 미생물에 의한 감염 위험을 평가하기 위해 개발되어(Haas et al., 1993) 광범위하게 사용되어왔다. Beta-Poisson model은 1개의 미생물만으로도 감염을 일으킬 수 있다는 가정하의 경험적 모형이며 식(1)과 같다.

$$P_I = 1 - \left[1 + \frac{N}{N_{50}} (2^{1/\alpha} - 1)\right]^{-\alpha} \quad \text{-----}(1)$$

여기서,  $P_I$  : risk of infection by ingesting pathogens in drinking water;  $N$  : number of pathogens ingested;  $N_{50}$  : number of pathogens that will infect 50% of the exposed population;  $\alpha$  : slope parameter(The ratio  $N/N_{50}$  and  $P_I$ ).

$P_I$ 는 병원성 미생물을 섭취하였을 때 발생할 수 있는 위험도이며,  $N$ 은 섭취되는 미생물의 농도,  $N_{50}$ 는 섭취한 사람의 50%가 감염될 수 있는 농도,  $\alpha$ 는 섭취와 발병과의 상관관계를 나타내는 계수이다. 발병가능성은 병원성 미생물에 감염될 경우 개인의 상태에 따라 질병으로 발전되지 않을 수도 있으며, 이는 개인적인 특성에 따라서 다르다. 따라서 충분한 조사에 의한 분석이 필요하지만, 섭취와 질병과의 뚜렷한 상관성을 찾아내는 것은 매우 어렵다. 발병가능성은  $P_{D:I}$ 로서 구할 수 있으며 노출된 농도와는 관계없는 값이며 식(2)와 같다.

$$P_D = P_{D:I} \times P_I \quad \text{-----}(2)$$

여기서,  $P_D$  : risk of infected person becoming diseased or ill;  $P_{D:I}$  : possibility of an infected person developing clinical disease.

발병가능성은 장내바이러스의 경우 바이러스의 종류와 관찰대상에 따라 1 ~ 97% 까지 다양하다. 많은 데이터에 의해 정확한 발병가능성이 확인되기 전까지는 일반적으로 중간 값인 50%를 사용하고(Hass et al. 1993), 본 연구에서도 50%로 가정하였다. 음용수로서 병원성 미생물을 섭취할 경우 보통한 종류 이상이며 섭취량, 연령, 건강상태, 그리고 민감도 등 다양한 형태의 실험과정을 거쳐 정확한 발병가능성을 확인할 수 있다. 질병감염에 의해 사망할



확률은 매우 낮지만 무시할 수준은 아닌 것으로 보고되고 있다.

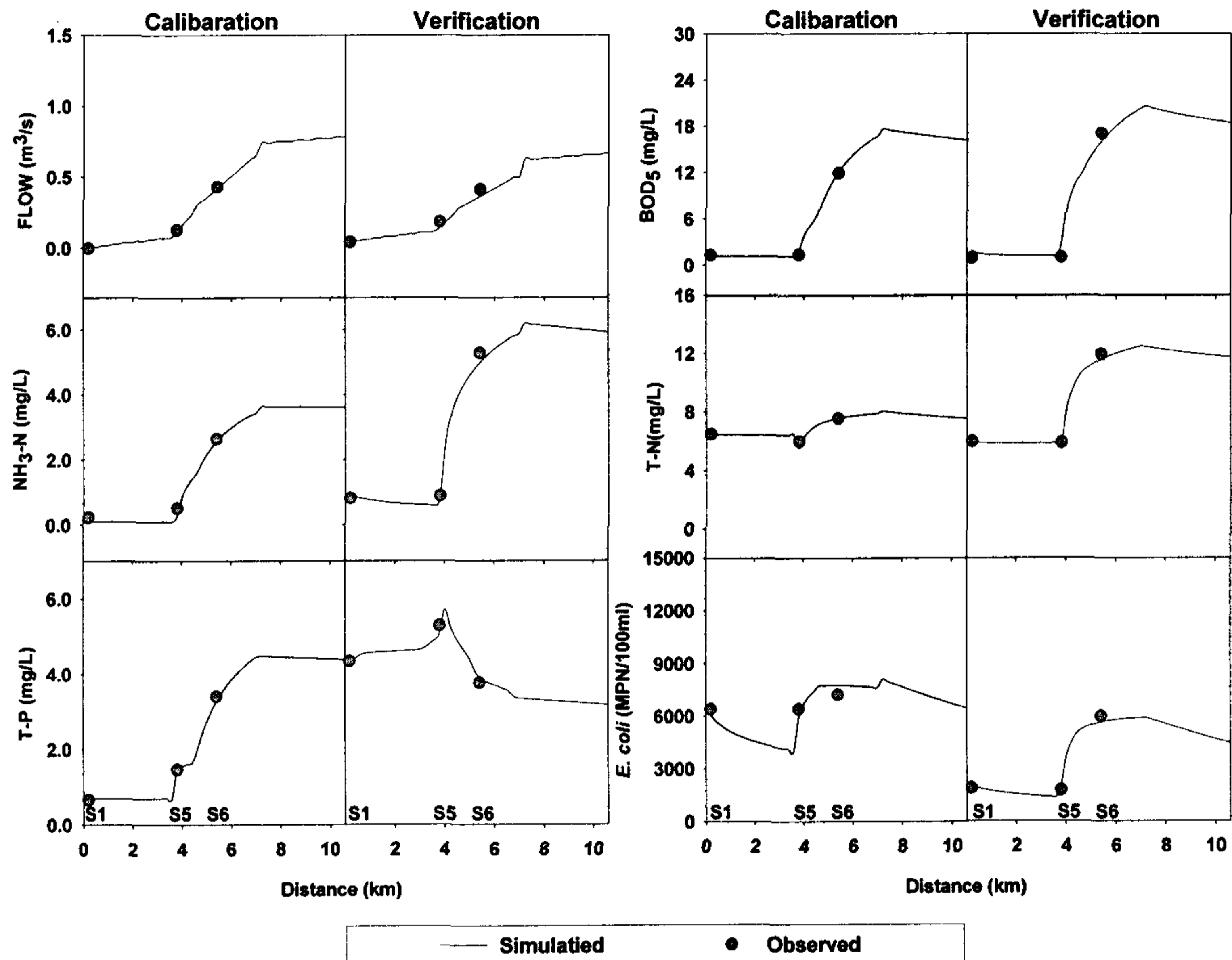
#### 5. QUAL2E모형의 검·보정 결과

2회 측정된 현장자료를 이용하여 보정 및 검정하였다. 34개 반응계수 중 본 연구의 모의 대상 수질항목인 BOD, T-N, T-P의 생성 및 소멸에 관련된 것으로 모의 결과에 큰 영향을 미칠 것으로 예상되는 BOD 등 13개 항목의 반응계수를 선정하였고, 남양천에 대한 모형보정은 모델링의 시작지점인 head water와 각 reach의 끝지점의 유량과 수질을 경계조건으로 입력하여 모의값과 실측값이 일치할 때까지 reach별로 각종 반응계수를 수정하여 진행하였다. <그림 3-30>는 유량, BOD<sub>5</sub>, NH<sub>3</sub>-N, T-N, T-P 및 *E. coli*에 대한 검·보정 결과이며 QUAL2E모형은 각 수질항목별로 실측치에 대한 재현성이 높은 것으로 나타났다.

QUAL2E모형의 검·보정 결과에 대하여 통계용 전산프로그램인 SPSS(Ver. 12)를 이용하여 모형신뢰도 분석을 수행하였다. 신뢰도 분석은 상관관계수(r)를 활용하였는데, 일반적으로 0.3 이하이면 약한 상관관계, 0.3~0.7은 보통의 상관관계, 0.7 이상이면 강한 상관관계를 의미한다(고광백 등, 1998). 본 연구에서는 검·보정결과, 실측값과 모의값의 상관성을 살펴보면 각각 보정시 0.90~0.99과 검정시 0.94~0.99로 높은 상관관계를 나타내었다.

TC, FC 및 *E. coli*는 미생물적 측면에서 수질오염의 평가기준이 되는 지표생물로서 미생물에 의한 오염으로부터 안전성의 평가 및 모니터링을 위해 일반적으로 사용되고 있다. TC는 자연계의 모든 대장균 군을 나타내며, FC는 온혈동물의 장에서 배출되는 분변성 대장균을 나타내는 항목이고 *E. coli*는 사람과 동물의 분변에 많이 존재하며, 신선 분변 1 g 중에 10<sup>9</sup>의 농도로 추정되고 있다(WHO, 1993). *E. coli*와 같은 병원성 미생물은 분변에 의한 오염을 보다 잘 표현하는 항목으로서 음용수의 미생물학적 안전성을 평가하기 위해 오래전부터 사용되어 왔고(USEPA, 1986), 실제 *E. coli*는 장내질환을 일으키며 구토, 설사 심지어는 사망에 이르기까지 그 위험이 널리 알려져 있다. 분변성 미생물은 인간과 기타 온혈동물의 장내에 보편적으로 존재하는 지표미생물로서 분변성 미생물이 수계에 많다는 것은 질병을 일으킬 수 있는 병원성세균이 존재할 확률이 크다는 의미이다. Erin et al.(2001) 등은 레저용수의 1회 채취한 샘플에서 FC가 800 CFU/100 mL 수준까지 검출되었는데, FC가 240 CFU/100 mL보다 높은 수준에서는 *Cryptosporidium*과 *Giardia*가 검출되었으며, 6~322 CFU/100 mL 범위에서도 장내 바이러스가 검출되었다고 보고한 바

있다. 일반적으로 처리되지 않은 하수나 비점오염원이 수계에 직접 방류되면 하천생태는 오염에 쉽게 노출되며 그 오염된 하천환경을 이용하는 사람에게도 건강상의 영향을 크게 미칠 수 있다.



<그림 3-30> 남양천 유역의 모형의 검·보정 결과

병원성 미생물지표는 휴양용수, 음용수 및 수생태계의 보호를 위해서 법률로서 규제하고 있으며 미국의 TMDL의 규제항목에 포함되어있다(USEPA, 2001). 우리나라 수질환경기준을 살펴보면 수영이 가능한 상수용수 2급과 수산용수 1급에서 TC를 1,000 MPN/100 mL로 제한하고 있다. USEPA(1986)는 담수호에서 하루에 1,000명의 수영자 중 8명이 발병할 수준으로 *E. coli*는 126 CFU/100 mL이고 enterococci는 33 CFU/100 mL 수준으로 휴양용수 기준을 제안하였고, WHO(1998)는 해수에서 50 intestinal enterococci/100 mL과 담수에서 400 *E. coli*/100 mL를 기존 수영용수 수질기준에 추가하였다. EU는 해안에서 *E. coli*에 대하여 excellent quality 250 cfu/100 mL와 good quality 500

cfu/100 mL으로 규제하고 있으며, UNEP/WHO에서는 최근 12회 샘플 중 80%와 95%의 FC농도가 각각 100 MPN/100 mL와 2,000 MPN/100 mL이하로 규제되어야 한다고 제시하였다(George Kamizoulis and Louis Saliba, 2004). 그 밖의 Poland나 Former USSR에서는 해양 레저용수 기준으로 *E. coli*에 대해 각각 100개/100 mL이하, 1,000개/100 mL이하로 규제하고 있다(WHO, 1999). 본 연구에서 남양천 구간의 모의결과 보건위생학적으로 중요한 지표인 *E. coli*의 경우 각 하천구간마다 element를 평균한 값이 R1은 4,801 MPN/100 mL, R2는 7,206 MPN/100 mL, R3는 7,733 MPN/100 mL, R4는 7,173 MPN/100 mL으로 모의되었고(Table 4), 휴양용수에 대한 국내 및 국제적인 수질기준보다 초과된 것으로 나타났다.

## 6. 위해성 평가

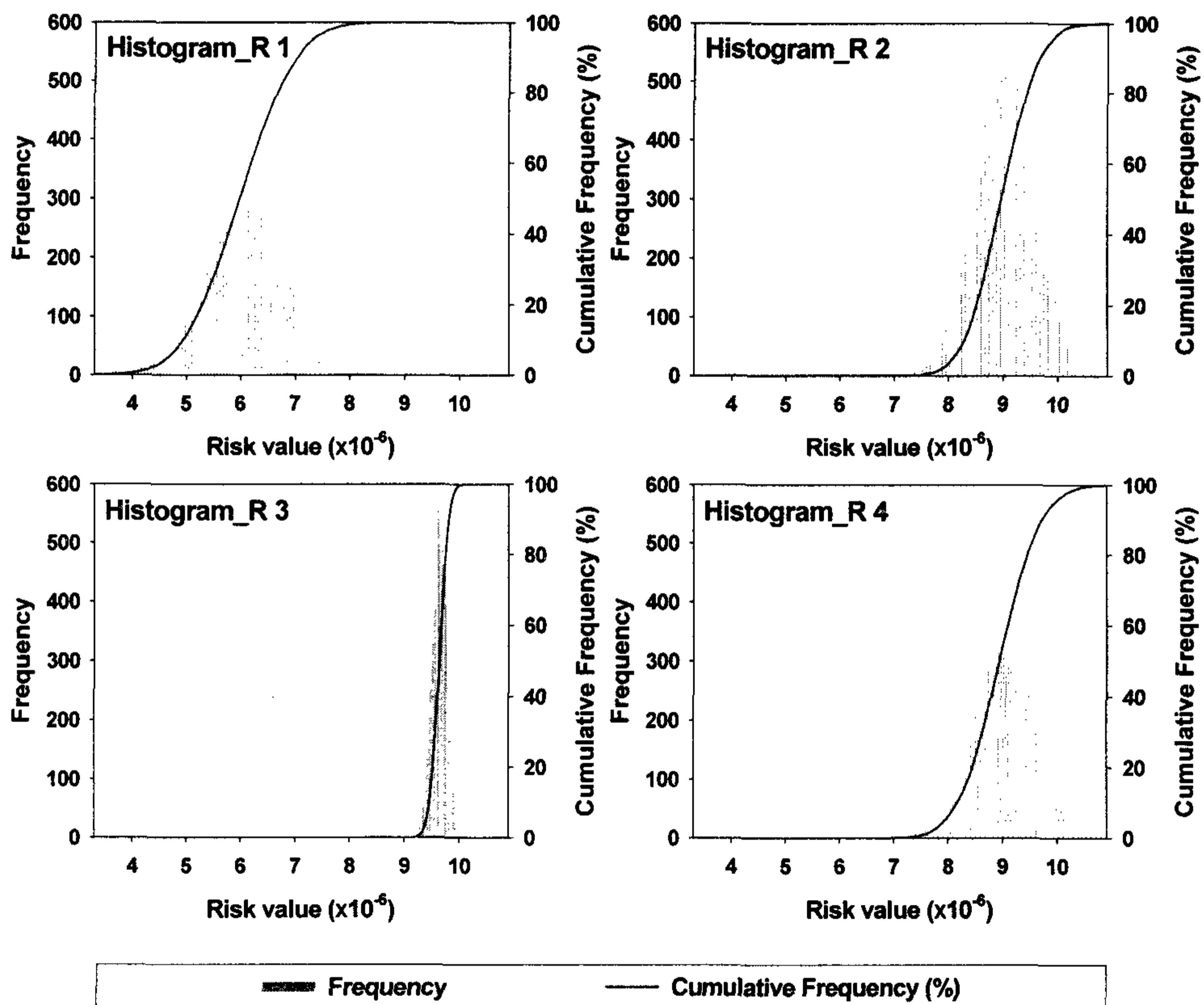
본 연구에서는 Beta-Poisson모형을 사용하여 인체에 대한 미생물 위해성 평가를 하였다. 하천에서 레저활동 중에 오염된 하천수를 섭취했을 때 발생할 수 있는 감염위험을 Hass et al.(1999)에 의해 보고된  $N_{50} = 8.6 \times 10^7$ 과  $\alpha = 0.1778$ 의 값을 인용하였으며, 인간이 하천에서 수영을 하는 동안 섭취할 수 있는 양을 50 mL/hr로 제안된 자료에 따라(Dennis, 2002) 본 연구에서도 최대 50 mL/hr 섭취기준을 참고로 평가하였다. 본 연구에 사용된  $N_{50}$ 와  $\alpha$  값은 음용수로 2 L를 섭취하였을 때 발생할 수 있는 위험도이며 섭취량은 1/40가량 작기 때문에 위험을 1/40로 낮추어 계산하였다.

불확실성을 감소시키기 위한 평가방법으로는 확률론적 위해성 평가를 이용하며, 오염물질의 위해도를 평가할 때 사용된 각 인자들의 불확실성까지 포괄하여 고려하는 방법이다. 본 연구에서는 Monte-Carlo simulation을 이용하였으며 <그림 3-31>, Beta-Poisson모형의 적용에 앞서 QUAL2E모형을 이용하여 모의된 각 하천구간별 element의 *E. coli* 농도에 대한 평균과 표준편차를 산정하였다. *E. coli* 예측결과를 Beta-Poisson모형에 입력하여 참고 섭취량인 50 mL/hr를 고려한 후 정규분포로 10,000회 반복하여 95% 신뢰구간의 위해도 값을 산정한 결과가 <표 3-21>에 요약되어있다.

남양천의 각 구간별 위해도를 산정한 결과 R1은  $7.3 \times 10^{-6}$ , R2는  $9.8 \times 10^{-6}$ , R3는  $9.9 \times 10^{-6}$ 로 평가되었고, 하천말단인 R4는  $1.0 \times 10^{-5}$ 로 하류로 이동하면서 점차 높은 수준의 위해도 값을 나타내었다. USEPA(1992)에서는 하수처리수를 작물에 관개한 경우 사람이 그 작물을 섭취하여 1년 동안 노출되었을 때 장내 질병에 관한 위해도 값이  $10^{-4}$ 보다 작을 경우 안전한 것으로 판

단하였다. 또한 위해도 값이  $10^{-6} \sim 10^{-8}$ 은 자연계에 노출될 경우 질병의 이동이 가능한 수준이며 질병을 일으킬 가능성이 있는 수준으로 평가하고 있다. Tanaka et al.(1993)에 의하면 골프코스에 2차 처리수를 추가처리 없이 관개할 경우  $10^{-4}$  이상의 위해도 값을 갖으며, 염소로 소독한 2차 처리수 관개시  $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 의 위해도 값 나타내며, 소독하지 않을 경우  $10^{-1} \sim 10^{-2}$  로 높다고 보고하였다.

본 연구에서 측정된 지표미생물의 위해성 평가 결과 휴양용수로서 안전에 큰 위험이 없을 것으로 판단된다. 그러나  $10^{-6} \sim 10^{-8}$ 정도의 위해도에서는 질병의 이동이 가능한 범위라는 점을 고려한다면, 화성유역의 오염발생원에서 보다 충분한 처리를 통하여 하류측 수계의 수질이 휴양용수로서의 사용에 적합하도록 적절한 대책을 세워야 할 것으로 생각된다.



<그림 3-31> 위해성 평가를 위한 monte-carlo simulation 결과

<표 3-21> 남양천 유역에서 QUAL2E 모형을 이용해서 산출된 위해도 값

Reach		R1	R2	R3	R4
<i>E. coli</i> (MPN/100mL)	Mean. <sup>a</sup>	4,801	7,206	7,733	7,173
	S.D. <sup>b</sup>	649	431	114	489
Risk value		$7.3 \times 10^{-6}$	$9.9 \times 10^{-6}$	$9.9 \times 10^{-6}$	$1.0 \times 10^{-5}$

<sup>a</sup> : geometric mean.

<sup>b</sup> : standard deviation.

### 7. 연구결과의 활용방안

화성유역 체절에 따라 조성되는 담수호와 유입하천에서의 레저활동이 안전하게 이루어지기 위해서는 인체건강에 안전한 수질의 확보가 우선되어야 한다. 이 지역의 수질안전을 평가하기 위해서 남양천 소유역에 대해 현장자료를 이용하여 QUAL2E모형을 적용하여 모의하였고 유량, BOD<sub>5</sub>, NH<sub>3</sub>-N, T-N, T-P, *E. coli*에 대한 검·보정을 실시하였다. 검·보정결과에 의하면 모의값이 실측값을 잘 반영하였으며 모형의 검증에 위해 신뢰도를 분석한 결과 r값이 0.90이상으로 높게 나타났다. 모의결과에 의하면 현재의 조건에서는 남양천 구간의 지표미생물 *E. coli*의 농도가 국내 및 국제 휴양용수기준을 모두 초과할 것으로 예측되었다.

Beta-Poisson모형에 의해서 예측한 결과값을 활용하여 위해도 값을 산정하였고, 인자들 간의 불확실성을 고려하여 Monte-Carlo simulation을 적용한 후 95% 신뢰구간의 위해도를 평가하였다. 위해도 평가결과는 남양천 구간에서  $7.3 \times 10^{-6} \sim 1.0 \times 10^{-5}$ 으로 장내질병을 유발가능한 수준인  $10^{-4}$ 보다 낮아서 안전에 직접적인 문제를 야기하지는 않을 것으로 판단되었다. 그러나, 담수호와 직접 연결되어 낚시나 수영과 같은 레저활동을 하기에 수량이 풍부한 조건을 갖추고 있는 R4지점 등의 경우에 위해도 범위가 질병이동이 가능한 수준인  $10^{-6} \sim 10^{-8}$ 정도를 초과하였다. 이러한 결과에 의하면, 현재 상태에서는 남양천 구간의 하천용수를 휴양용수로 사용하기에 직접적인 위해성은 낮으나 질병 이동가능성이 있는 범위로써, 인체에 안전한 휴양용수 수질확보를 위해서는 유역의 오염발생원에서 오폐수처리를 통해 하천수질이 휴양용수로서의 사용에 적합하도록 충분한 차집시설과 환경기초시설의 설치운영이 필요할 것으로 판단된다.

## 제 9 절 담수호의 수질 조사 및 결과 고찰

### 1. 조사결과 및 고찰

화성호에서 2003년 9월~2006년 1월 동안에 조사된 정점별 수층에 대한 수질환경의 평균값, 표준편차 및 최대·최소값을 요약한 것은 <표 3-22>~<표 3-23>에 나타내었고, 계절별로 정리한 기초자료는 <표 3-24>~<표 3-31>과 같다.

#### 가. 수온의 시공간적 변화

화성호에서 2003년 9월~2006년 1월 동안의 수온변화는  $-0.7\sim 33.4^{\circ}\text{C}$ 의 범위이었고, 평균값은  $12.3^{\circ}\text{C}$ 이었다<그림 3-32>, <표 3-22>~<표 3-23>. 수온은 정점 1에서 4월에 가장 높았고, 1월에 가장 낮았다. 수온은 전 정점에서 여름철에 높고 겨울철에 낮은 경향이 현저하여 계절적인 영향이 반영되었다. 계절적인 수온 분포는 봄(3~5월), 여름(6~8월), 가을(9~11월) 및 겨울(12~2월)에 평균값(범위)은 각각  $12.0^{\circ}\text{C}$ ( $2.1\sim 33.4^{\circ}\text{C}$ ),  $23.4^{\circ}\text{C}$ ( $19.6\sim 28.1^{\circ}\text{C}$ ),  $14.0^{\circ}\text{C}$ ( $1.9\sim 25.1^{\circ}\text{C}$ ) 및  $4.3^{\circ}\text{C}$ ( $-0.7\sim 19.7^{\circ}\text{C}$ )이었다. 하천의 유입부보다 호수의 저층에서 약간 낮은 값을 나타내어 수심에 의한 영향과 개방수역의 특성을 잘 반영되었다(그림 2, 표 1~2). 조사지점별로 수온의 변이가 관찰되었으며 하천유입 지점에서의 지점별 차이가 개방수역지점 보다는 약간 더 뚜렷하였다. 특히 동계기간 동안 남양천과 어은천 유입지점(HL1, HL4)에서의 수온이 가장 낮은 분포를 보였다.

수층에서 수직적 분포의 차이는 상대적으로 크지 않았으나, 남양천 유입지점을 제외하고는 다른 지점들에서 표층의 수온이 가장 높게 나타났다 <그림 3-33>. 특히 정점 HL5~6구간을 제외하고는 남양천, 자안천 및 어은천의 유입부와 그 합류점 부근에서만 12~2월 동안은 결빙현상이 관찰되었으며 이때의 수온은 영하( $-0.7\sim -0.1^{\circ}\text{C}$ )로 나타났다. 반면에 수온이 표층과 중층보다 저층이 더욱 높은 양상을 기록한 경우도 주기적으로 관찰되었는데 가을~봄 기간에 해당하였다. 이것은 하천 유입수와 대기의 온도에 의한 영향이 컸던 것으로 보여진다.

표층에서의 수질 항목간 상관성 분석을 기초로 할 때 수온은 용존산소, 전기전도도 및 염분도와 유의한 음의 상관성을 나타내어, 특히 동계기간 갈수기 동안 하천으로 부터의 유입수가 상대적으로 적음을 시사하며 이로 인해 호수내의 해수영향이 있었음을 반영하였다.

나. 용존산소(DO)의 시공간적 변화

호수내 용존산소의 평균값은 11.2 mg/L이었고, 범위는 2.0~21.6 mg/L로서 시공간적 변동 폭이 매우 큼을 알 수 있었다 <그림 3-34>. 또한 경시적 변화에서 수온이 낮은 겨울철에 높은 농도로 특징 지워졌다. 본 조사기간 동안 수층에 따른 DO의 차이가 큰 시기는 수온이 높은 7월과 9월이었고, 이러한 경향은 자안천 유입부에서 현저하였다. 따라서 DO의 변동에 수온이 가장 큰 요인으로 작용함을 알 수 있었다.

<표 3-22> 2003년 9월~2006년 1월간 화성호 하천 유입부에서 정점별 수층에 따른 수질 평균값 및 표준편차(최대/최소)

Stations factors	1			2			4		
	표층	중층	저층	표층	중층	저층	표층	중층	저층
Temp. (°C)	14.6±8.6 (33.4/-0.6)	14.6±8.1 (30.1/0.5)	16.4±7.5 (28.8/2.0)	12.8±8.2 (27.8/1.0)	12.1±8.0 (25.1/1.8)	12.9±7.1 (23.7/2.1)	12.9±8.0 (26.2/0.0)	13.0±7.9 (25.1/-0.2)	13.6±7.7 (24.4/-0.1)
DO (mg/l)	10.2±4.7 (19.8/2.0)	10.4±4.1 (20.0/3.7)	10.4±4.2 (20.0/3.6)	12.1±3.3 (19.6/7.3)	10.4±4.1 (20.0/3.8)	9.3±4.5 (20.0/2.9)	11.6±3.2 (18.2/6.0)	11.3±3.0 (16.8/6.0)	11.1±3.1 (16.7/5.9)
pH	8.0±0.6 (9.1/6.8)	8.0±0.5 (9.2/7.1)	8.0±0.4 (9.0/7.5)	8.2±0.3 (9.2/7.8)	8.1±0.2 (8.6/7.6)	7.9±0.2 (8.4/7.5)	8.1±0.2 (8.6/7.7)	8.1±0.2 (8.6/7.7)	8.1±0.2 (8.6/7.7)
Cond. (mS/cm)	110.0±387.0 (1,926.0/3.3)	34.4±12.0 (46.4/2.2)	36.1±11.4 (46.0/2.7)	34.0±12.3 (46.5/5.0)	39.9±6.1 (46.9/23.2)	41.6±4.3 (47.2/32.4)	37.7±8.1 (46.6/19.1)	38.8±6.4 (46.7/25.5)	39.2±5.8 (46.5/27.0)
Salinity (psu)	19.9±9.1 (30.0/1.2)	23.0±8.3 (30.6/1.4)	24.3±7.9 (30.3/1.6)	22.8±8.7 (30.7/2.9)	26.8±4.2 (31.0/14.4)	28.1±2.5 (31.2/23.0)	24.9±6.0 (30.6/10.8)	25.6±4.8 (30.7/15.1)	26.1±4.3 (30.7/16.7)
Turb. (NTU)	23.9±25.3 (128.0/6.8)	22.6±26.0 (133.0/5.9)	32.6±47.8 (246.0/8.4)	10.3±4.3 (18.3/2.3)	7.2±3.8 (16.7/2.4)	12.6±10.9 (43.2/2.2)	12.4±12.3 (56.7/1.3)	12.3±12.1 (56.6/1.9)	14.6±13.9 (68.7/3.0)
SS (mg/l)	61.2±32.7 (163.0/17.2)	68.6±37.4 (195.0/20.5)	88.2±63.2 (331.0/21.3)	58.2±21.2 (85.6/18.4)	61.3±20.6 (85.2/16.8)	72.9±29.9 (130.0/16.4)	62.3±24.9 (131.8/21.2)	64.4±24.5 (126.6/18.4)	70.5±27.3 (146.8/25.2)
Chl- <i>a</i> (ug/l)	36.4±37.7 (138.4/2.1)	36.9±41.7 (182.0/4.1)	42.1±57.8 (286.3/3.2)	52.5±73.1 (348.2/3.9)	16.4±12.8 (52.4/2.2)	10.6±9.9 (39.0/0.5)	14.6±16.3 (69.5/2.8)	12.5±14.7 (54.4/2.3)	13.5±15.0 (56.3/2.6)
BOD (mg/l)	8.3±5.1 (20.9/1.3)	8.2±4.6 (21.1/1.9)	7.7±4.5 (18.0/1.8)	6.5±3.5 (16.0/0.7)	5.2±3.6 (17.0/1.4)	3.9±2.4 (9.7/0.8)	4.4±2.2 (10.4/0.9)	3.9±1.9 (7.4/0.7)	4.0±2.0 (7.5/1.1)
COD (mg/l)	11.9±6.5 (22.7/3.6)	10.3±5.0 (20.3/2.1)	10.1±4.5 (20.6/3.5)	9.5±4.6 (19.7/1.3)	8.1±3.9 (18.6/3.2)	7.2±3.3 (14.3/3.1)	8.7±2.8 (13.7/2.6)	8.7±3.5 (15.6/3.5)	8.5±2.7 (13.0/3.4)
T-N (ug/l)	3,107.0±1,175.0 (5,117.6/660.9)	2,664.9±1,244.7 (5,190.4/226.7)	2,499.8±1,023.0 (4,410.3/992.9)	2,181.3±984.8 (3,933.1/446.3)	2,021.6±989.7 (3,883.1/512.8)	1,985.9±979.0 (4,673.8/666.0)	1,895.4±870.9 (3,454.9/354.4)	1,969.9±891.5 (3,609.4/523.0)	1,975.4±1,030.8 (3,770.2/349.3)
Org-N (ug/l)	1,718.0±1,050.1 (3,893.2/15.0)	1,811.5±1,055.0 (4,631.6/218.7)	1,778.2±938.3 (4,083.2/471.5)	1,560.3±886.0 (3,814.5/346.5)	1,572.9±899.9 (3,498.2/372.6)	1,483.1±871.1 (4,237.4/330.8)	1,341.9±812.1 (3,055.2/237.5)	1,431.0±845.4 (3,441.5/435.9)	1,457.7±967.9 (3,450.9/273.1)
NH <sub>3</sub> -N (ug/l)	617.6±926.5 (4,225.7/0.0)	246.4±270.9 (1,094.5/0.0)	189.4±222.7 (859.2/0.0)	117.5±113 (391.5/1.4)	109.7±139.0 (552.1/0.0)	165.3±214.2 (660.8/0.0)	136.7±140.3 (456.6/0.0)	150.7±169.8 (673.0/2.1)	137.2±142.0 (548.1/1.3)
NO <sub>3</sub> -N (ug/l)	712.5±867.4 (3,204.3/0.0)	547.5±848.2 (3,244.7/5.7)	494.1±753.6 (2,925.9/0.0)	462.5±553.8 (2,373.5/5.7)	302.0±186.8 (662.3/0.0)	310.3±164.2 (519.7/0.0)	386.5±286.4 (1,054.5/0.0)	362.7±252.1 (931.8/3.3)	351.8±232.0 (895.8/3.3)
NO <sub>2</sub> -N (ug/l)	85.9±118.1 (474.9/0.9)	59.6±106.0 (464.2/0.5)	38.2±63.9 (268.5/0.0)	41.0±59.3 (231.4/0.0)	37.1±74.4 (354.7/0.9)	27.2±32.6 (124.9/0.2)	30.2±31.6 (102.7/0.2)	25.5±24.0 (91.1/3.0)	28.8±29.5 (101.3/2.7)
T-P (ug/l)	224.2±127.8 (654.1/67.0)	164.4±84.9 (376.2/58.3)	140.9±58.7 (289.9/52.2)	104.6±55.3 (276.8/34.4)	100.2±138.5 (714.4/32.5)	65.9±26.3 (121.9/22.7)	70.1±59.0 (266.4/19.4)	64.9±51.3 (263.9/22.7)	67.3±46.6 (226.2/22.7)
Org-P (ug/l)	151.6±93.1 (442.5/36.1)	122.1±65.5 (273.0/34.1)	112.6±58.6 (260.6/1.6)	85.3±45.1 (196.7/32.8)	79.7±126.5 (644.2/11.5)	38.9±18.9 (72.7/9.8)	50.5±54.7 (240.4/11.1)	46.2±47.1 (235.6/9.8)	51.6±41.7 (193.2/9.8)
SRP (ug/l)	72.7±80.0 (296.4/1.6)	42.3±43.0 (155.5/1.6)	28.3±27.3 (114.5/1.6)	19.3±23.4 (80.1/1.6)	20.6±23.6 (83.4/1.6)	27.0±27.6 (93.2/1.6)	19.6±21.6 (94.8/1.3)	18.7±22.8 (93.2/1.4)	15.7±16.1 (62.1/1.5)



<표 3-23> 2003년 9월~2006년 1월간 화성호 개방 수역에서 정점별 수층에 따른 수질 평균값 및 표준편차(최대/최소)

Stations factors	3			5			6		
	표층	중층	저층	표층	중층	저층	표층	중층	저층
Temp. (°C)	11.6±8.8 (28.1/0.4)	10.8±8.5 (24.5/0.7)	11.6±7.4 (23.5/1.1)	11.1±9.1 (26.6/-0.4)	10.6±8.6 (24.4/-0.4)	11.2±8.1 (24.3/-0.6)	10.9±9.0 (27.3/-0.7)	10.6±8.5 (24.3/-0.7)	10.5±8.4 (24.0/0.0)
DO (mg/l)	12.7±3.3 (21.6/6.9)	11.3±4.3 (20.5/5.6)	9.9±4.6 (20.0/3.3)	12.7±2.9 (19.6/9.1)	11.9±3.7 (20.0/7.3)	11.5±3.8 (20.0/5.7)	12.3±2.8 (20.6/7.9)	11.7±2.9 (20.1/7.4)	11.3±2.9 (18.2/6.4)
pH	8.2±0.2 (8.9/7.8)	8.1±0.2 (8.6/7.6)	8.0±0.2 (8.6/7.6)	8.2±0.2 (8.7/7.7)	8.0±0.3 (8.6/7.0)	8.0±0.2 (8.6/7.6)	8.2±0.3 (9.0/7.6)	8.1±0.2 (8.6/7.6)	8.1±0.2 (8.5/7.6)
Cond. (mS/cm)	36.4±10.5 (47.0/7.6)	41.8±4.1 (46.8/35.1)	42.0±4.0 (47.5/31.9)	37.9±9.1 (46.9/14.2)	41.2±5.1 (47.9/31.0)	42.2±3.8 (47.5/35.9)	38.3±9.7 (47.4/8.3)	40.3±6.3 (49.7/24.8)	41.6±4.5 (48.4/34.6)
Salinity (psu)	24.4±7.4 (31.0/4.5)	27.8±2.8 (31.3/23.0)	28.3±2.4 (31.4/22.9)	25.1±6.7 (31.0/8.3)	27.4±3.6 (31.7/19.6)	28.2±2.7 (31.6/22.6)	25.4±6.9 (31.2/4.8)	26.7±4.6 (31.9/13.2)	27.6±3.2 (32.3/22.1)
Turb. (NTU)	9.1±10.6 (46.6/1.5)	4.7±3.6 (17.7/1.7)	9.1±5.1 (21.3/3.3)	5.3±2.8 (12.3/0.9)	4.5±2.5 (12.5/1.4)	7.1±4.8 (23.1/1.9)	5.3±2.4 (11.5/2.1)	5.7±2.9 (13.8/2.4)	4.8±3.0 (14.1/2.0)
SS (mg/l)	54.7±24.2 (98.8/12.0)	59.4±21.3 (85.2/14.4)	65.4±23.5 (110.5/19.2)	56.4±21.6 (90.8/13.6)	59.8±21.8 (92.4/10.4)	61.8±25 (99.5/12.0)	55.1±21.8 (79.6/10.8)	58.5±21.4 (80.7/14.0)	62.1±20.4 (78.8/12.0)
Chl-a (ug/l)	20.5±21.5 (92.4/3.1)	10.4±11.7 (50.8/1.5)	9.2±10.9 (37.3/0.8)	15.4±17.5 (84.5/2.0)	9.8±11.2 (56.2/1.5)	7.1±7.4 (24.1/1.4)	14.5±20.9 (103.7/2.1)	8.5±6.8 (25.9/1.5)	6.0±5.7 (20.1/1.2)
BOD (mg/l)	4.7±1.7 (8.1/1.6)	3.6±2.5 (9.7/0.8)	3.0±1.8 (6.9/0.8)	3.7±1.6 (7.4/1.1)	3.2±1.7 (7.1/0.7)	2.6±1.6 (6.0/0.6)	3.2±1.5 (6.9/0.7)	3.0±1.3 (6.1/1.0)	2.5±1.5 (5.8/0.6)
COD (mg/l)	8.6±2.7 (11.7/3.0)	7.5±3.2 (13.4/2.8)	7.7±3.2 (14.5/2.7)	8.6±3.2 (13.4/3.4)	7.9±2.8 (13.2/3.3)	7.9±2.7 (11.9/3.4)	8.7±3.1 (14.8/3.5)	9.1±4.2 (21.1/2.9)	8.1±3.4 (13.8/2.7)
T-N (ug/l)	1,939.8±984.6 (3812.5/318.6)	2,018.5±1,090.4 (4,167.6/471.9)	2,000.6±1,021.5 (4,597.5/364.6)	1,802.9±949.2 (3,671.8/308.4)	1,880.9±1,006.5 (3,803.5/354.4)	1,900.9±1,057.6 (4,406.8/288.0)	1,826.1±879.4 (3,571.2/415.7)	1,915±976.6 (3,709.9/323.7)	1,971.2±1,040.3 (4,295.9/267.5)
Org-N (ug/l)	1,453.8±940.6 (3566.7/210.7)	1,591.9±985 (3,777.2/191.6)	1,490±915.6 (4,169.9/239.5)	1,407.8±865.8 (3,565.5/232.4)	1,504.2±911.4 (3,700.9/183.9)	1,448.9±950.8 (4,111.8/50.8)	1,358±763.2 (3,357.7/312.6)	1,465.6±833.5 (3,506.4/232.8)	1,549.8±916.8 (3,980.7/179.6)
NH <sub>3</sub> -N (ug/l)	64.5±62.0 (252.2/0.0)	76.6±105 (344.2/0.0)	155.4±211.5 (686.4/0.0)	43.6±40.7 (138.5/0.0)	51.8±72.0 (259.4/0.0)	90.1±144.7 (650.7/0.0)	51.7±51.3 (214.3/0.0)	58.3±59.5 (220.7/0.0)	60.9±70.5 (264.8/0.0)
NO <sub>3</sub> -N (ug/l)	390.6±413.6 (1,704.3/0.0)	326.6±190.6 (742.5/0.0)	331.7±155.5 (595.9/79.2)	330.1±271.4 (1,092.2/5.7)	308.0±187.6 (671.3/0.0)	340.6±167.1 (621.9/0.0)	389.1±365.6 (1,614.4/8.1)	368.0±255.5 (1,125.2/20.0)	338.3±192.2 (675.8/64.9)
NO <sub>2</sub> -N (ug/l)	30.9±48.5 (191.6/0.2)	23.4±33.1 (121.4/0.0)	23.5±25.5 (94.0/0.7)	21.5±30.2 (110.0/0.0)	16.9±26.0 (127.6/0.0)	21.3±25.8 (100.0/0.0)	27.3±37.1 (138.8/0.4)	23.1±28.3 (109.1/0.0)	22.3±26.4 (101.3/0.4)
T-P (ug/l)	84.4±133.8 (699.7/30.9)	59.3±45.9 (206.3/19.4)	62.7±32.3 (133.6/17.8)	43.8±18.6 (96.3/26.3)	41.2±23.1 (116.1/19.4)	43.9±25.8 (122.7/16.2)	42.7±22.8 (129.3/24.4)	39.4±17.9 (91.6/22.7)	40.9±20.0 (106.3/24.4)
Org-P (ug/l)	73.3±119.7 (621.2/22.9)	42.1±33.4 (162.3/4.9)	31.3±17.1 (71.7/7.8)	36.5±17.2 (90.4/11.5)	29.9±16.8 (81.4/9.5)	24.5±16.0 (63.6/3.8)	33.4±22.4 (119.7/9.8)	27.4±13.8 (71.8/8.2)	25.5±13.0 (63.3/3.3)
SRP (ug/l)	11.1±16.3 (78.4/1.6)	17.2±22.8 (91.6/1.4)	31.4±32.5 (112.9/1.6)	7.3±10.2 (48.9/1.3)	11.3±15.1 (65.3/1.3)	19.3±21.8 (79.1/1.4)	9.3±10.8 (44.0/1.4)	12.0±10.4 (37.5/1.5)	15.4±17.2 (70.2/1.6)

<표 3-24> 2003년 9월~2006년 1월간 화성호 하천유입부에서 봄철(3~5월)수질 평균값 및 표준편차(최대/최소)

Stations factors	1			2			4		
	표층	중층	저층	표층	중층	저층	표층	중층	저층
Temp. (°C)	18.5±9.8 (33.4/8.0)	18.0±8.6 (30.1/7.5)	18.5±7.8 (28.8/7.4)	12.6±6.7 (20.9/6.9)	11.0±7.4 (19.8/3.6)	10.5±6.5 (18.1/3.8)	13.1±7.8 (20.4/2.7)	13.2±6.9 (20.1/5.0)	13.6±6.5 (19.5/6.3)
DO (mg/l)	13.0±4.5 (16.4/5.3)	13.2±3.5 (16.1/7.4)	13.1±3.4 (16.1/7.6)	12.9±2.1 (15.7/10)	11.4±3.4 (15.2/6.1)	9.9±3.3 (13.1/5.2)	11.4±2.3 (14.5/9.2)	11.5±2.2 (14.5/9.4)	11.5±2.5 (14.8/9.1)
pH	8.0±0.5 (8.6/7.4)	8.1±0.3 (8.4/7.8)	8.1±0.2 (8.4/7.9)	8.2±0.3 (8.5/7.9)	8.0±0.2 (8.2/7.7)	7.9±0.2 (8.2/7.6)	8.0±0.2 (8.3/7.8)	8.0±0.2 (8.3/7.8)	8.0±0.2 (8.3/7.8)
Cond. (mS/cm)	35.0±15.5 (45.5/4.7)	41.3±4.5 (46.4/34.9)	41.7±4.3 (45.3/34.8)	36.7±13.1 (46.5/12.1)	42.6±4.8 (46.4/34.2)	43.0±4.4 (46.4/34.7)	42.6±4.5 (46.6/35.6)	42.7±4.4 (46.7/35.7)	42.7±4.4 (46.3/35.2)
Salinity (psu)	23.6±10.5 (30.0/2.7)	27.9±2.4 (30.6/23.7)	28.4±2.1 (30.0/24.5)	25.0±9.1 (30.7/7.1)	29.0±1.9 (30.5/25.4)	29.5±1.2 (30.6/27.2)	28.9±2.1 (30.6/24.8)	29.1±2.1 (30.7/25.2)	29.3±1.9 (30.7/25.7)
Turb. (NTU)	23.0±15.6 (44.4/7.6)	15.8±9.3 (30.1/5.9)	19.5±8.7 (30.0/8.4)	10.5±4.4 (18.3/6.5)	7.8±4.6 (16.7/3.6)	11.0±9.1 (24.9/2.2)	6.5±5.7 (16.6/2.0)	6.6±4.8 (15.1/1.9)	9.2±4.6 (16.4/5.0)
SS (mg/l)	70.6±19.6 (90.6/43.2)	76.1±15.4 (90.3/46)	98.4±41.3 (180.0/64.8)	68.4±13.2 (78.4/42.4)	73.7±5.6 (84.2/68.8)	81.1±30.6 (109.8/23.6)	62.6±14.2 (74.8/35.6)	65.2±18.2 (90.8/34.4)	71.7±20.3 (91.3/33.6)
Chl-a (ug/l)	34.4±25.4 (69.1/11.0)	24.0±16.5 (55.8/9.4)	30.8±27.1 (74.9/12.3)	32.6±45.5 (125.3/10.7)	11.3±5.0 (17.9/4.7)	12.2±7.4 (24.5/5.2)	6.6±2.7 (10.0/3.2)	5.6±2.6 (9.2/2.7)	8.2±7.7 (23.3/2.8)
BOD (mg/l)	8.8±5.7 (17.0/1.3)	7.8±2.6 (11.5/4.7)	9.1±5.0 (17.6/4.5)	6.5±2.1 (8.7/4.1)	3.9±1.1 (5.4/2.8)	3.6±0.7 (4.4/2.8)	3.3±0.4 (3.8/2.9)	3.5±1.0 (5.1/2.6)	3.9±1.5 (6.2/2.4)
COD (mg/l)	12.5±7.3 (22.2/5.6)	7.7±3.8 (12.9/2.1)	10.5±4.6 (18.2/7.1)	8.6±4.7 (14.5/2.8)	6.2±2.5 (9.9/3.2)	6.0±2.3 (9.7/4.3)	6.8±2.9 (10.8/2.6)	7.4±4.8 (15.6/3.5)	6.5±2.5 (9.8/3.4)
T-N (ug/l)	3,030.9±935.2 (3,864.5/1,488.5)	2,473.6±615.4 (3,470.9/1,830.7)	2,438.3±1,043.6 (3,629.1/1,074.7)	1,965.5±855.2 (2,945.1/620.0)	2,135.2±951.3 (3,063.8/681.3)	2,123.1±890.8 (2,894.3/676.2)	2,008.5±1,069.2 (3,131.7/487.2)	1,936±982.1 (3,126/568.9)	2,020.6±1,203.2 (3,499.1/574.1)
Org-N (ug/l)	2,123.7±1,059.0 (3,167.8/652.4)	2,123.4±600.8 (3,133.4/1,562.9)	2,098.3±955.8 (3,298.6/1,067.9)	1,592.2±708.5 (2,595.7/612.9)	1,752.3±797.3 (2,761.5/672.2)	1,691.4±705.3 (2,516.6/643.4)	1,686±972.0 (2,874.6/487)	1,620.2±906.0 (2,858.9/560.4)	1,668.4±1,160.8 (3,235.5/548.2)
NH <sub>3</sub> -N (ug/l)	458.2±782.4 (1,848.8/0.0)	106.3±113.2 (257.0/0.0)	56.2±82.6 (201.9/4.6)	85.3±93.0 (188.3/1.4)	92.5±99.6 (231.9/3.2)	91.3±86.9 (202.7/0.0)	22.6±29.3 (71.4/0.0)	24.3±30.8 (76.1/2.1)	33.9±38.4 (98.6/1.3)
NO <sub>3</sub> -N (ug/l)	410.2±453.1 (1,187.8/0.0)	235.6±135.6 (343.4/5.7)	276.6±159.8 (388.3/0.0)	259.0±185.4 (496.1/5.7)	280.7±166.8 (424.3/0.0)	327.5±185.0 (505.1/24.7)	291.1±185.8 (482.7/0)	282.0±182.3 (491.6/3.4)	308.8±191.8 (482.7/3.4)
NO <sub>2</sub> -N (ug/l)	38.7±76.6 (175.5/0.9)	8.4±8.0 (21.5/0.9)	7.1±8.4 (21.5/0.0)	29±47.3 (112.4/0.0)	9.6±5.9 (18.4/3.2)	12.9±6.7 (23.6/6.9)	8.8±10.8 (27.4/0.2)	9.4±10.6 (28.1/3.0)	9.5±10.2 (27.4/2.7)
T-P (ug/l)	173.5±55.1 (224.3/102.4)	94.6±25.7 (123.5/63.7)	108.3±58.6 (203.7/52.2)	80.8±53.2 (170.2/40.7)	44.2±8.6 (53.9/32.5)	40.0±17.6 (67.1/22.7)	34.3±14.6 (52.3/19.4)	37.6±16.2 (59.7/22.7)	44.8±23.6 (81.1/22.7)
Org-P (ug/l)	111.3±49.7 (170.5/36.1)	82.1±34.8 (120.3/34.1)	97.4±51.5 (175.5/47.5)	70.3±54.4 (167.2/37.7)	39.8±9.1 (50.3/27.9)	31.3±21.4 (65.0/12.6)	28.1±18.1 (50.6/11.1)	35±16.9 (57.7/18.0)	41.6±24.5 (79.0/19.7)
SRP (ug/l)	62.3±77.4 (188.3/3.2)	12.5±14.5 (37.4/3.2)	10.8±11.2 (28.2/1.6)	10.5±17.2 (41.3/2.0)	4.4±2.8 (8.9/1.6)	8.7±12.3 (30.5/1.6)	6.2±8.9 (22.0/1.3)	2.7±1.4 (4.7/1.4)	3.1±1.3 (4.7/1.6)

<표 3-25> 2003년 9월~2006년 1월간 화성호 개방수역에서 봄철(3~5월)수질 평균값 및 표준편차(최대/최소)

Stations factors	3			5			6		
	표층	중층	저층	표층	중층	저층	표층	중층	저층
Temp. (°C)	11.4±8.1 (22.4/3.5)	9.2±7.3 (19.6/2.6)	9.0±6.1 (17.7/3.8)	11.1±8.6 (21.5/2.8)	9.5±7.2 (18.7/2.6)	8.8±6.9 (17.9/2.2)	9.7±7.6 (20.1/2.1)	9.2±6.7 (17.7/2.5)	9.0±6.6 (17.2/2.3)
DO (mg/l)	12.6±1.2 (13.7/10.8)	11.2±2.5 (14.1/7.5)	10.3±3.2 (13.2/5.2)	11.4±1.9 (13.4/9.1)	11.1±2.3 (13.1/7.3)	11.3±2.6 (13.1/6.8)	11.4±2.0 (13.7/8.8)	11.7±1.3 (13.3/10.1)	11.9±1.2 (13.4/10.2)
pH	8.1±0.2 (8.3/7.8)	8.0±0.2 (8.2/7.7)	7.9±0.2 (8.1/7.6)	8.1±0.2 (8.3/7.7)	7.8±0.4 (8.2/7.0)	7.9±0.2 (8.1/7.6)	8.0±0.2 (8.4/7.6)	8.0±0.3 (8.4/7.6)	8.1±0.2 (8.4/7.9)
Cond. (mS/cm)	41.4±4.9 (46.3/34.4)	43.3±4.5 (46.4/35.1)	43.9±4.0 (47.1/36.6)	42.2±5.1 (46.6/33.9)	43.8±4.7 (47.9/35.2)	43.9±4.2 (47.5/36.1)	42.3±5.2 (47.4/34.7)	43.4±5.1 (49.7/35.3)	43.5±4.8 (48.4/35.5)
Salinity (psu)	28.2±2.7 (30.5/24.3)	29.6±1.5 (30.6/26.7)	30.0±1.4 (31.2/27.5)	29.0±2.2 (30.9/25.1)	29.9±1.4 (31.7/27.4)	30.1±1.3 (31.6/28.0)	28.8±2.7 (31.2/25.2)	29.4±2.1 (31.9/26.6)	29.7±2.0 (32.3/27.0)
Turb. (NTU)	6.3±4.0 (14.3/3.5)	5.4±6.1 (17.7/2.2)	8.3±4.9 (14.5/3.8)	5.4±3.5 (12.3/2.8)	5.0±3.7 (12.5/2.6)	5.7±3.6 (11.6/2.2)	4.7±3.5 (11.5/2.1)	5.8±4.3 (13.8/2.5)	3.8±1.4 (5.1/2.3)
SS (mg/l)	61.4±21.7 (80.0/18.8)	63.6±24.1 (85.2/16.8)	70.0±29.7 (110.5/19.2)	61.2±20.0 (74.8/21.2)	62.2±23.1 (81.0/16.8)	65.9±28.2 (90.8/12.0)	63.4±20.9 (75.6/21.2)	67.5±25.0 (80.7/16.8)	63.2±25.2 (78/12.4)
Chl-a (ug/l)	12.3±8.4 (28.5/5.6)	4.7±3.5 (11.5/2.1)	5.3±4.6 (14.2/1.3)	5.7±4.8 (14.6/2.0)	4.0±2.1 (7.3/1.5)	3.0±1.6 (5.9/1.4)	4.5±1.9 (7.3/2.1)	4.0±2.4 (8.2/1.5)	4.4±2.8 (9.2/1.2)
BOD (mg/l)	4.2±1.1 (5.5/2.4)	2.5±0.8 (3.7/1.4)	2.6±0.6 (3.1/1.7)	2.9±1.2 (4.1/1.1)	2.7±1.0 (4.0/1.3)	2.1±0.8 (2.9/1.3)	2.6±1.0 (3.7/1.1)	2.6±0.9 (3.7/1.2)	2.4±1.0 (3.9/1.0)
COD (mg/l)	7.3±3.0 (11.3/3.0)	5.8±3.6 (12.0/2.8)	5.9±3.2 (11.1/2.7)	6.3±2.9 (10.6/3.4)	5.8±2.2 (9.3/3.3)	5.9±2.3 (9.5/3.4)	7.5±4.3 (14.8/3.5)	9.0±7.2 (21.1/3.1)	6.9±4.4 (13.8/2.9)
T-N (ug/l)	1,843.6±944 (2,919.7/517.9)	2,008.6±997.4 (2,964.9/584.3)	2,085.8±946.9 (3,094.9/793.7)	1,969.6±1,068.1 (3,044.1/359.5)	2,060.1±1,036.6 (3,162.8/512.8)	1,900.5±1,015.3 (2,778.4/374.8)	1,820.6±901.5 (2,628.6/415.7)	1,944.7±907.7 (2,703.4/548.5)	1,975.9±1,023.5 (2,897.1/369.7)
Org-N (ug/l)	1,549.7±842.9 (2,654.1/502.0)	1,593.1±872.9 (2,457.9/497.3)	1,611.7±787.3 (2,589.7/703.5)	1,646.1±963.8 (2,690.6/298.6)	1,670.3±889.3 (2,767.8/445.7)	1,478.7±874.1 (2,361.2/284.6)	1,435.2±774.3 (2,220.3/346.0)	1,556.1±780.5 (2,390.7/453.9)	1,601.3±902.8 (2,498.2/281.9)
NH <sub>3</sub> -N (ug/l)	41.7±34.9 (96.3/11.6)	46.2±46.7 (116.5/0.0)	79.6±88.0 (222.1/0.0)	26.3±31.9 (78.4/2.1)	41.1±56.7 (142.1/9.2)	59.2±75.2 (190.2/0.0)	38.6±39.6 (104.0/0.0)	30.8±31.3 (83.1/6.8)	32.8±33.9 (86.2/0.0)
NO <sub>3</sub> -N (ug/l)	243.3±155.6 (428.8/3.4)	357.7±170.5 (518.6/76.8)	381.5±174.9 (523.1/79.2)	286.3±141.8 (433.3/50.8)	338.4±176.8 (532.1/48.4)	352.3±169.7 (505.1/79.2)	333.1±175.2 (518.6/60.2)	346.5±187.3 (594.9/76.8)	330.8±187.4 (594.9/76.8)
NO <sub>2</sub> -N (ug/l)	8.9±8.2 (22.2/0.9)	11.5±6.4 (22.6/6.2)	13.0±8.4 (27.8/6.9)	10.9±8.0 (25.0/4.6)	10.4±5.6 (20.1/5.8)	10.3±5.4 (19.4/6.2)	13.6±7.4 (25.3/8.3)	11.3±3.3 (16.0/8.0)	11.0±3.2 (16.3/8.3)
T-P (ug/l)	47.8±13.6 (66.2/32.5)	25.5±6.0 (34.4/19.4)	34.3±13 (52.3/17.8)	33.4±6.8 (44/26.3)	23.9±4.4 (30.3/19.4)	23.5±4.6 (27.6/16.2)	30.8±6.9 (40/24.4)	28.1±4.6 (33.1/22.7)	29.9±8.0 (44/24.4)
Org-P (ug/l)	43±10.0 (53.4/29.5)	21.9±6.5 (32.8/16.4)	24.5±10.2 (39.3/13.1)	30.6±6.1 (39.3/24.7)	20.9±6.2 (29.1/13.1)	17.1±7.2 (24.7/8.2)	27.5±6.0 (34.4/21.3)	23±6.7 (27.9/11.5)	25.4±10.0 (41/13.1)
SRP (ug/l)	4.8±4.6 (12.8/1.6)	3.6±1.7 (5.8/1.6)	9.9±8.1 (22.8/1.6)	2.8±1.4 (4.7/1.3)	3.0±2.0 (6.3/1.3)	6.4±6.0 (16.2/1.6)	3.3±2.1 (6.6/1.4)	5.1±3.9 (11.2/1.6)	4.4±3.9 (11.2/1.6)

<표 3-26> 2003년 9월~2006년 1간 화성호 하천유입부에서 여름철(6~8월)수질 평균값 및 표준편차(최대/최소)

Stations factors	1			2			4		
	표층	중층	저층	표층	중층	저층	표층	중층	저층
Temp. (°C)	25.2±2.7 (28.0/22.6)	25.0±2.4 (27.5/22.7)	24.9±2.5 (27.4/22.5)	24.7±2.8 (27.8/22.2)	22.2±2.0 (24/20.1)	21.7±2.1 (23.7/19.6)	23.3±2.6 (26.2/21.2)	23.2±2.0 (25.1/21.1)	23.1±1.8 (24.4/21.1)
DO (mg/l)	8.6±2.3 (11.1/6.7)	7.9±1.7 (9.7/6.4)	7.4±1.2 (8.6/6.3)	10.3±2.5 (13.0/8.2)	5.8±1.0 (6.7/4.7)	3.7±0.3 (4.0/3.4)	7.8±0.8 (8.7/7.2)	7.8±1.3 (8.6/6.3)	7.7±1.2 (8.5/6.4)
pH	8.4±0.5 (9.1/8.0)	8.4±0.5 (9.2/8.0)	8.3±0.5 (9.0/8.0)	8.5±0.5 (9.2/8.1)	8.0±0.4 (8.6/7.6)	7.8±0.2 (8.2/7.5)	8.1±0.2 (8.4/8.0)	8.1±0.2 (8.4/7.8)	8.1±0.2 (8.3/7.8)
Cond. (mS/cm)	25.8±15.8 (41.9/3.3)	26.5±15.9 (42.2/3.5)	28.8±14.5 (43.0/6.5)	27.4±15.0 (42.8/5.0)	37.0±5.0 (43.7/30.5)	39.9±2.7 (44.3/37.5)	30.6±8.1 (40.2/19.1)	33.8±5.4 (40.6/25.5)	34.9±5.0 (40.8/27.0)
Salinity (psu)	16.9±10.5 (27.4/2.0)	17.4±10.7 (27.6/2.0)	19.0±10.0 (28.1/3.7)	18.0±10.2 (27.9/2.9)	24.5±3.9 (28.6/19.1)	26.6±1.8 (29.1/24.4)	20.0±6.3 (26.4/11.5)	22.2±4.4 (26.4/15.6)	23.0±4.0 (26.5/16.7)
Turb. (NTU)	14.1±4.2 (17.5/7.5)	17.6±9.9 (33.5/7.2)	23.1±6.8 (31.7/14.0)	9.3±2.2 (11.9/6.1)	5.9±2.1 (7.7/2.4)	5.9±0.7 (6.6/5.1)	9.2±10.1 (26.9/1.3)	8.1±5.2 (17.0/3.8)	8.2±4.5 (15.7/4.4)
SS (mg/l)	54.6±25.1 (85.2/29.6)	62.9±32.7 (112.0/30.0)	73.4±35.1 (110.8/34.0)	49.1±20.5 (71.2/27.5)	57.0±24.3 (74.0/16.8)	62.2±16.4 (79.5/36.4)	55.5±12.3 (74.0/45.0)	52.9±20.7 (73.2/18.4)	58.9±20.3 (76.8/25.2)
Chl-a (ug/l)	84.1±42.0 (138.4/44.5)	88.3±63.9 (182.0/37.5)	53.3±23.2 (90.1/34.2)	132.3±129.1 (348.2/39.6)	25.7±19.8 (52.4/4.9)	3.9±2.5 (8.2/1.9)	13.6±12.4 (34.8/4.2)	15.3±19.8 (50.3/2.5)	14.7±17.9 (46.3/2.7)
BOD (mg/l)	5.1±2.6 (8.2/2.2)	4.9±2.7 (8.1/1.9)	4.8±2.6 (7.8/1.8)	4.7±2.9 (8.2/1.7)	3.3±2.1 (6.8/1.4)	1.6±0.7 (2.6/0.8)	3.0±2.0 (6.1/0.9)	3.1±2.2 (6.6/0.7)	2.8±1.6 (5.2/1.1)
COD (mg/l)	10.2±4.3 (17.0/6.5)	9.9±3.9 (16.6/7.0)	8.6±1.9 (11.6/6.8)	10.3±2.6 (12.8/6.5)	7.3±1.7 (9.7/5.6)	5.7±1.0 (6.9/4.4)	8.6±2.3 (12.6/6.9)	8.4±3.0 (13.5/6.2)	8.6±2.2 (11.8/6.4)
T-N (ug/l)	3,024.7±797.7 (4,291.2/2,175.8)	2,977.8±739.1 (4,196.9/2,252.2)	2,675.6±647.7 (3,586.1/1,794.1)	2,814.8±536.2 (3,568.1/2,108.5)	2,654.8±497.3 (3,443/2,211.8)	2,415.5±373 (2,986.2/1,973.7)	2,197.5±252.1 (2,430.5/1,816.5)	2,306.7±457.4 (2,795.3/1,722.2)	2,498.6±859.1 (3,770.2/1,641.4)
Org-N (ug/l)	1,775.4±1,062.8 (2,878.2/288.9)	1,819.7±1,029.3 (2,771.2/275.2)	1,672.6±843 (2,376.2/544.4)	1,958.9±878.7 (2,658.1/639.5)	2,026.4±852.2 (3,301.4/949.9)	1,596.5±514.1 (2,037.8/951.6)	1,487.7±686 (2,120.8/651.1)	1,687.2±671.4 (2,375.0/961.9)	1,831±1032.4 (3,450.9/857.4)
NH <sub>3</sub> -N (ug/l)	297.4±205.7 (560.4/19.0)	215.8±168.3 (424.4/3.0)	188.3±155.4 (405.5/0.9)	146.3±126.3 (323.8/13.8)	255.0±221.7 (552.1/5.2)	418.6±268.1 (660.8/88.2)	176.9±137.7 (383.2/55.1)	149.1±105.8 (285.0/40.4)	164.8±85.5 (286.5/54.4)
NO <sub>3</sub> -N (ug/l)	835.7±1,328.6 (3,204.3/95.8)	833.9±1,352.2 (3,244.7/100.6)	798.8±1,191.1 (2,925.9/165.5)	652.7±968.4 (2,373.5/91.0)	350.9±192.7 (662.3/134.2)	376.2±119.9 (499.7/189.5)	485.6±372.6 (1,039.6/177.5)	436.9±284.7 (931.8/196.7)	471.3±291.6 (895.8/175.1)
NO <sub>2</sub> -N (ug/l)	116.3±201.1 (474.9/2.2)	108.3±199.3 (464.2/0.5)	16.0±15.7 (35.3/0.5)	56.8±98.9 (231.4/0.2)	22.4±19.8 (47.5/2.2)	24.2±20.6 (53.8/4.5)	47.3±44.9 (99.2/7.6)	33.4±29.5 (82.6/6.9)	31.6±27.4 (77.7/7.6)
T-P (ug/l)	196.0±48.9 (252.9/132.8)	181.3±44.3 (232.5/124.2)	133.4±50.2 (208.7/75.2)	159.3±77.4 (276.8/94.8)	98.0±59.3 (196.5/42.4)	77.8±25.5 (106.3/50.7)	56.8±19.5 (83.4/32.5)	57.5±14.3 (78.4/39.1)	59.6±25.7 (98.1/27.6)
Org-P (ug/l)	151.3±58.1 (241.4/83.6)	143.9±55.8 (219.5/68.8)	108.5±69.8 (193.6/1.6)	126.4±45.4 (196.7/78.7)	68.8±53.6 (150.8/11.5)	30.7±24.2 (67.2/9.8)	36.5±21.3 (70.5/19.7)	42.2±20.9 (62.3/9.8)	43.7±13.1 (59.0/22.9)
SRP (ug/l)	44.7±35.2 (80.1/4.4)	37.4±31.2 (83.4/5.9)	24.9±28.3 (73.5/5.1)	32.9±33.9 (80.1/5.1)	29.2±34.9 (83.4/3.6)	47.1±31.5 (93.2/8.2)	20.3±14.5 (45.7/11.3)	15.3±16.2 (42.4/2.9)	15.8±15.3 (39.1/1.5)

<표 3-27> 2003년 9월~2006년 1월간 화성호 개방수역에서 여름철(6~8월)수질 평균값 및 표준편차(최대/최소)

Stations factors	3			5			6		
	표층	중층	저층	표층	중층	저층	표층	중층	저층
Temp. (°C)	24.9±3.1 (28.1/22.0)	22.5±1.9 (24.5/20.8)	21.7±1.7 (23.5/20.2)	24.3±2.5 (26.6/21.7)	22.7±1.6 (24.4/21.2)	22.1±2.1 (24.3/20.1)	24.4±2.9 (27.3/21.6)	22.9±1.3 (24.1/21.6)	22.5±1.3 (24/21.5)
DO (mg/l)	10.8±1.8 (12.2/8.7)	6.7±0.4 (7.1/6.3)	4.5±0.8 (5.2/3.7)	10.9±2.4 (13.7/9.1)	9.1±2.9 (12.5/7.3)	8.0±0.8 (8.9/7.5)	10.0±1.9 (11.6/7.9)	8.4±1.5 (10.1/7.4)	8.1±1.7 (9.9/6.7)
pH	8.4±0.4 (8.9/8.1)	8.0±0.2 (8.3/7.7)	7.8±0.2 (8.1/7.6)	8.4±0.3 (8.7/8.0)	8.1±0.3 (8.5/7.8)	7.9±0.2 (8.2/7.7)	8.4±0.4 (9.0/7.8)	8.1±0.3 (8.6/7.8)	8.0±0.4 (8.5/7.6)
Cond. (mS/cm)	29.9±13.7 (43.0/7.6)	39.5±3.4 (44.8/35.6)	40.7±2.9 (45.1/37.1)	31.2±10.6 (42.3/14.2)	38.9±3.1 (43.6/36.0)	40.4±2.8 (44.3/37.2)	30.9±13.5 (44.2/8.3)	37.9±4.4 (45.3/34.7)	38.8±3.7 (44.2/35.0)
Salinity (psu)	19.7±9.4 (28.1/4.5)	26.2±1.9 (29.4/24.3)	27.1±1.6 (29.6/25.6)	20.5±7.6 (27.5/8.3)	25.8±2.1 (28.5/23.0)	26.9±1.6 (29.0/24.7)	20.4±9.4 (29.0/4.8)	25.1±2.9 (29.7/22.3)	25.7±2.2 (29.0/23.0)
Turb. (NTU)	5.2±2.1 (6.9/1.5)	3.3±1.4 (5.2/1.7)	8.7±7.6 (21.3/3.3)	5.2±2.7 (7.8/0.9)	3.6±1.3 (5.0/1.4)	4.4±2.1 (7.4/1.9)	7.1±1.5 (9.5/5.3)	6.3±2.6 (9.1/3.5)	7.0±5.7 (14.1/2.7)
SS (mg/l)	52.7±20.5 (73.6/24.0)	55.7±24.5 (75.5/14.8)	70.3±12.8 (85.2/59.4)	54.1±18.3 (76.0/33.5)	62.3±13.3 (78.5/43.6)	62.9±21.7 (84.5/28.0)	53.9±15.3 (70.8/31.5)	63.4±10.1 (70.5/45.6)	67.8±10.6 (77.5/54.4)
Chl- <i>a</i> (ug/l)	47.6±34.0 (92.4/4.8)	8.7±9.0 (24.2/2.7)	3.3±2.6 (7.7/1.5)	35.9±30.6 (84.5/5.3)	17.2±22.2 (56.2/2.6)	6.1±9.6 (23.2/1.6)	30.6±43.3 (103.7/2.2)	6.3±4.9 (14.7/2.4)	3.7±4.5 (11.7/1.3)
BOD (mg/l)	5.1±1.9 (8.1/3.2)	1.8±1.3 (3.9/0.9)	1.8±1.2 (3.9/0.8)	4.6±2.1 (7.4/2.0)	2.6±1.5 (4.9/1.4)	1.5±1.2 (3.5/0.6)	2.5±1.8 (5.1/0.7)	2.0±1.2 (3.7/1.0)	1.6±1.3 (3.9/0.6)
COD (mg/l)	10.2±0.9 (11.2/8.8)	7.1±1.2 (8.6/5.5)	7.1±1.0 (7.9/5.4)	10.4±2.1 (13.4/8.5)	8.4±1.9 (9.8/5.3)	7.9±2.3 (10.0/4.4)	9.6±2.1 (12.2/6.4)	9.0±2.2 (11.5/6.6)	8.7±1.7 (10.1/6.3)
T-N (ug/l)	2,463.3±638.9 (3,552.1/1,987.2)	2,617.2±613.7 (3,422.5/2,005.2)	2,530.9±435.3 (3,013.5/1,830.0)	2,055.3±359.1 (2,440.8/1,538.1)	2,323.5±550.7 (3,197.5/1,749.2)	2,225.0±583.5 (3,149.8/1,623.4)	2,250.4±387.6 (2,714.8/1,708.8)	2,297.2±594.2 (3,081.6/1,569.5)	2,344±556.1 (3,122.5/1,659.4)
Org-N (ug/l)	1,842.6±1,067.2 (3,438.1/462.9)	1,986.8±763.0 (3,155.7/1,033.3)	1,676.0±521.5 (2,081.1/818.4)	1,568.7±601.6 (2,103.7/661.8)	1,834.9±418.8 (2,353.4/1,359.4)	1,542.8±433.8 (1,993.3/1,066.4)	1,551.2±528.1 (2,059.6/747.3)	1,666.2±428.6 (2,139.2/1,197.9)	1,735.4±394.4 (2,239.1/1,336.1)
NH <sub>3</sub> -N (ug/l)	66.4±60.3 (157.6/6.1)	185.7±145.6 (344.2/33.7)	444.8±234.5 (686.4/90.8)	58.4±17.0 (81.5/38.7)	109.8±111.2 (259.4/11.5)	244.4±235.7 (650.7/69.9)	110.8±60.7 (214.3/63.7)	135.5±69.9 (220.7/79.9)	139.5±89.7 (264.8/50.3)
NO <sub>3</sub> -N (ug/l)	517.5±667.7 (1,704.3/107.8)	428.0±247.1 (742.5/186.2)	386.8±151.3 (595.9/177.5)	401.3±350.9 (1,017.1/151.1)	365.5±232.8 (671.3/181.7)	423.0±151.0 (621.9/237.6)	550.9±596.5 (1,614.4/230.4)	477.3±235.2 (765.6/285)	453.5±197.9 (675.8/267.1)
NO <sub>2</sub> -N (ug/l)	36.7±60.5 (142.9/0.2)	16.6±13.4 (34.3/1.7)	23.4±20.4 (56.9/6.2)	27.0±46.7 (110.0/0.8)	13.3±14.0 (33.3/0.7)	14.8±8.4 (26.0/6.9)	37.5±57.2 (138.8/6.2)	18.2±16.7 (45.8/6.6)	15.6±12.4 (34.3/5.9)
T-P (ug/l)	71.3±26.2 (96.5/40.4)	79±72.2 (206.3/31.0)	95.7±38.2 (133.6/42.4)	52.9±14.4 (68.6/29.3)	47.4±8.9 (57.1/36.1)	45.7±25.4 (82.9/17.8)	54.8±42.1 (129.3/27.6)	36.5±12.6 (57.1/24.4)	40.1±13.6 (63.7/29.3)
Org-P (ug/l)	64.1±25.7 (88.5/36.1)	51.3±63.1 (162.3/4.9)	29.7±24.5 (68.5/7.8)	48.3±13.0 (60.6/26.2)	30.5±16.9 (49.2/9.5)	11.2±6.8 (19.2/3.8)	44.5±42.4 (119.7/19.7)	20.9±8.3 (32.1/9.8)	18.6±10.8 (31.1/4.9)
SRP (ug/l)	7.2±3.3 (11.2/2.2)	27.7±23.5 (55.5/2.8)	66±32.5 (112.9/21.1)	4.7±2.7 (8.0/2.1)	16.9±16.2 (40.7/4.4)	34.5±30.5 (79.1/6.3)	10.3±7.9 (21.3/1.5)	15.6±12.0 (32.5/1.5)	21.5±17.9 (50.6/6.3)

<표 3-28> 2003년 9월~2006년 1월간 화성호 하천유입부에서 가을철(9~11월)수질 평균값 및 표준편차(최대/최소)

Stations factors	1			2			4		
	표층	중층	저층	표층	중층	저층	표층	중층	저층
Temp. (°C)	14.2±4.7 (22.2/9.5)	14.3±4.9 (22.1/8.9)	16.1±5.3 (22.1/9.9)	14.2±6.1 (24.6/6.8)	14.0±7.1 (25.1/4.7)	16.2±4.6 (23.3/10.0)	14.3±6.1 (23.6/5.3)	14.7±6.5 (23.6/5.2)	15.7±5.6 (23.6/9.4)
DO (mg/l)	6.9±3.2 (12.1/2.0)	7.4±1.9 (10.2/3.7)	7.2±1.9 (9.0/3.6)	9.8±2.0 (13.7/7.3)	8.3±2.0 (10.4/3.8)	7.5±2.3 (9.9/2.9)	11.2±3.4 (16.8/6.0)	10.5±2.9 (15.0/6.0)	9.9±3.1 (14.8/5.9)
pH	8.0±0.4 (8.4/7.2)	7.9±0.3 (8.4/7.4)	7.8±0.3 (8.3/7.5)	8.1±0.2 (8.4/7.8)	8.0±0.2 (8.2/7.9)	7.9±0.2 (8.2/7.6)	8.1±0.3 (8.6/7.7)	8.1±0.2 (8.4/7.7)	8.1±0.2 (8.3/7.7)
Cond. (mS/cm)	267.5±670.2 (1926.0/17.9)	30.2±13.0 (43.0/2.2)	32.0±12.9 (43.4/2.7)	30.9±12.1 (42.7/6.3)	36.6±6.7 (43.9/23.2)	39.2±4.1 (44.6/32.4)	34.0±7.8 (42.4/19.9)	35.4±6.3 (43.1/27.2)	35.9±5.1 (43.5/30.5)
Salinity (psu)	18.1±10.0 (29.1/1.2)	20.3±9.4 (29.2/1.4)	21.5±9.1 (29.4/1.6)	20.7±8.9 (29.0/3.7)	24.4±4.9 (29.1/14.4)	26.4±2.5 (29.3/23.0)	21.5±5.8 (27.6/10.8)	22.5±4.9 (28.2/15.1)	23.0±3.6 (28.5/19.2)
Turb. (NTU)	31.9±42.7 (128/9.6)	30.9±45.3 (133.0/8.1)	49.6±86.8 (246.0/10.5)	10.5±3.5 (17.9/6.8)	6.2±2.3 (9.6/3.9)	11.7±7.4 (24.8/5.4)	20.9±18.0 (56.7/5.3)	19.6±19.1 (56.6/4.1)	24.7±21.8 (68.7/3.0)
SS (mg/l)	61.3±49.6 (163.0/17.2)	63.8±57.4 (195.0/20.5)	85.2±101.5 (331.0/21.3)	48.4±22.1 (79.2/18.4)	51.2±18.8 (72.4/16.8)	62.9±21.2 (90.4/35.2)	65.1±39.1 (131.8/25.2)	71.9±32.5 (126.6/33.7)	75.5±39.1 (146.8/35.2)
Chl-a (ug/l)	24.5±29.9 (93.4/5.5)	22.5±25.1 (83.1/4.1)	24.2±27.5 (90.5/3.2)	33.0±25.6 (65.7/3.9)	9.8±7.9 (24.5/2.2)	4.7±3.7 (12.3/0.5)	24.9±24.8 (69.5/2.8)	20.1±19.1 (54.4/2.3)	19.0±21.7 (56.3/2.6)
BOD (mg/l)	7.1±3.4 (11.8/3.3)	6.9±2.4 (10.5/3.5)	5.9±2.7 (10.7/2.9)	5.7±2.4 (8.2/0.7)	4.7±1.8 (6.9/2.5)	4.1±2.5 (7.5/1.5)	5.9±2.7 (10.4/2.5)	4.2±2.3 (6.7/1.8)	4.4±2.3 (7.5/1.1)
COD (mg/l)	10.3±6.5 (22.7/3.6)	10.0±5.3 (20.3/3.6)	9.5±5.4 (20.6/3.5)	7.8±4.0 (13.6/1.3)	7.7±3.3 (13.0/3.8)	7.4±3.5 (12.5/3.1)	9.2±2.5 (13.7/5.2)	9.6±2.5 (12.8/5.9)	9.4±2.5 (13.0/5.7)
T-N (ug/l)	2,994.5±1,613.8 (5,117.6/660.9)	2,793.3±1,618.7 (5,190.4/885.7)	2,624.8±1,404.1 (4,410.3/1,069.6)	2,190.7±1,175.2 (3,933.1/604.7)	1,951.5±1,251.0 (3,883.1/512.8)	2,043.4±1,378.9 (4,673.8/666.0)	1,960.5±1,078.3 (3,454.9/354.4)	2,143.2±1,159.2 (3,609.4/660.9)	1,939.1±1,190.1 (3,765.9/349.3)
Org-N (ug/l)	1,676.6±1,237.2 (3,893.2/279.7)	1,799.3±1,439.3 (4,631.6/416.3)	1,788.6±1,280.2 (4,083.2/471.5)	1,466.8±1,135.8 (3,814.5/346.5)	1,450.7±1,141.0 (3,498.2/372.6)	1,543.2±1,315.9 (4,237.4/330.8)	1,337.9±973.4 (3,055.2/237.5)	1,564.1±1,125.5 (3,441.5/566.4)	1,416.0±1,087.7 (2,937.3/273.1)
NH <sub>3</sub> -N (ug/l)	337.1±364.0 (1,025.3/13.2)	221.6±206.5 (549.7/10.7)	169.6±174.8 (517.5/12.4)	125.4±141.6 (391.5/3.4)	88.3±68.7 (216.7/12.4)	145.1±181.5 (571.9/14.8)	122.9±131.5 (354.4/9.9)	121.6±108.3 (308.2/37.1)	123.4±114.6 (318.9/8.5)
NO <sub>3</sub> -N (ug/l)	872.9±1,048.4 (3,020.2/60.2)	692.9±988.9 (2,979.8/46.3)	583.8±885.7 (2,710.3/76)	542.7±539.1 (1,457.2/62.4)	329.9±214.5 (635.4/36.5)	304.2±180.6 (519.7/34.2)	453.6±335.7 (1,054.5/81.2)	416.1±320.1 (884.8/34.2)	347.6±248.5 (581.5/46.0)
NO <sub>2</sub> -N (ug/l)	107.9±118.8 (317.0/9.7)	79.5±87.8 (242.2/1.4)	82.8±94.9 (268.5/1.0)	55.7±55.6 (147.0/1.0)	82.6±115.8 (354.7/3.1)	51.0±44.2 (124.9/7.3)	46.1±28.9 (102.7/19.1)	41.4±27.2 (91.1/18.0)	52.1±36.0 (101.3/16.7)
T-P (ug/l)	261.1±193.7 (654.1/67.0)	202.7±112.5 (376.2/58.3)	170.1±71.3 (289.9/56.4)	96.6±22.4 (130.0/62.9)	154.8±227.1 (714.4/45.7)	81.4±25.3 (121.9/52.2)	123.5±81.6 (266.4/42.4)	107.8±82.7 (263.9/37.5)	104.5±65.4 (226.2/30.9)
Org-P (ug/l)	202.1±132.1 (442.5/41.5)	154.1±86.6 (273.0/34.4)	129.5±74.2 (260.6/36.3)	73.9±33.1 (117.2/32.8)	120.4±212.1 (644.2/27.9)	41.8±16.8 (72.7/26.9)	88.3±86.2 (240.4/14.8)	71.1±84.3 (235.6/14.8)	77.1±65.7 (193.2/9.8)
SRP (ug/l)	59.0±70.3 (211.6/11.2)	48.6±39.6 (119.4/19.2)	40.6±31.5 (114.5/16.5)	22.8±24.3 (78.4/4.7)	34.3±20.7 (70.2/12.7)	39.5±26.0 (81.7/12.0)	35.2±29.9 (94.8/4.4)	36.7±32.1 (93.2/4.4)	27.5±19.4 (62.1/6.6)

<표 3-29> 2003년 9월~2006년 1월간 화성호 개방수역에서 가을철(9~11월)수질 평균값 및 표준편차(최대/최소)

Stations factors	3			5			6		
	표층	중층	저층	표층	중층	저층	표층	중층	저층
Temp. (°C)	13.2±7.0 (24.9/2.9)	13.2±8.4 (23.5/2.4)	14.7±5.5 (23.2/7.6)	12.5±8.1 (24.0/2.1)	12.6±8.4 (23.5/1.9)	13.9±6.8 (22.9/3.7)	12.9±7.9 (24.3/3.2)	12.8±8.1 (24.3/2.4)	12.9±8.1 (23.3/2.0)
DO (mg/l)	10.4±1.8 (12.1/6.9)	8.7±1.7 (10.8/5.6)	7.6±2.4 (10.2/3.3)	11.4±1.0 (12.2/9.2)	9.8±1.6 (11.6/7.5)	9.2±1.8 (11.0/5.7)	11.2±1.0 (12.1/9.2)	10.2±1.1 (11.7/9.0)	9.4±1.8 (11.7/6.4)
pH	8.2±0.2 (8.4/7.9)	8.0±0.2 (8.3/7.6)	8.0±0.2 (8.3/7.6)	8.2±0.1 (8.3/8.1)	8.1±0.2 (8.3/7.9)	8.1±0.2 (8.3/7.7)	8.2±0.1 (8.4/8.0)	8.2±0.1 (8.2/8.0)	8.1±0.1 (8.2/7.8)
Cond. (mS/cm)	30.9±10.7 (42.3/13.3)	39.5±3.5 (45.0/36.3)	39.1±3.9 (44.0/31.9)	33.1±9.4 (43.0/19.2)	37.4±5.0 (43.9/31)	39.8±3.4 (44.2/35.9)	34.7±9.5 (45.1/18.2)	35.8±7.4 (44.2/24.8)	39.1±3.9 (44.8/34.6)
Salinity (psu)	20.7±8.1 (28.7/7.8)	25.5±2.6 (29.5/23.0)	26.3±2.3 (29.1/22.9)	20.8±7.1 (28.1/9.5)	23.8±3.7 (28.7/19.6)	25.7±2.5 (29.0/22.6)	22.0±6.9 (29.6/9.7)	22.7±5.8 (28.9/13.2)	25.1±3.0 (29.4/22.1)
Turb. (NTU)	6.0±1.8 (8.0/2.9)	3.7±1.9 (6.6/2.0)	9.2±5.1 (17.3/3.5)	4.6±2.1 (8.6/2.1)	3.7±1.6 (6.4/1.9)	8.0±7.1 (23.1/2.6)	4.5±2.0 (8.1/3.1)	4.6±1.8 (7.3/2.4)	4.4±2.1 (8.3/2.0)
SS (mg/l)	39.9±21.6 (68.4/12.0)	53.3±18.9 (72.4/14.4)	54.0±20.5 (81.6/26)	46.8±19.4 (70.8/17.6)	51.0±20.0 (73.6/12.0)	51.3±28.8 (99.5/17.6)	43.1±21.1 (75.6/19.2)	45.2±21.2 (74.0/14.0)	55.3±20.6 (72.4/12.0)
Chl-a (ug/l)	15.8±13.8 (40.5/3.1)	5.2±5.4 (16.6/1.5)	3.6±2.7 (7.8/0.8)	11.8±6.3 (19.5/3.4)	5.7±3.5 (12.0/1.8)	3.7±2.2 (8.7/2.2)	10.9±8.2 (24.2/2.1)	7.5±5.8 (17.0/2.1)	2.6±0.8 (3.6/1.6)
BOD (mg/l)	4.6±2.1 (7.6/1.6)	3.2±2.2 (6.8/0.8)	2.7±1.9 (5.6/0.8)	3.5±1.5 (5.8/1.6)	3.3±2.5 (7.1/0.7)	2.6±1.8 (6.0/0.6)	3.7±1.9 (6.9/2.1)	3.1±1.2 (5.0/1.8)	2.4±1.6 (4.7/0.7)
COD (mg/l)	8.8±2.6 (11.7/5.1)	7.3±3.0 (10.4/3.2)	8.0±2.9 (10.9/4.3)	9.0±2.4 (11.6/5.7)	8.5±2.8 (12.7/4.4)	8.9±2.7 (11.9/4.1)	8.6±2.8 (13.3/4.6)	8.5±3.4 (12.3/2.9)	7.6±3.6 (12.2/2.7)
T-N (ug/l)	2,016.2±1,178.2 (3,812.5/318.6)	1,974.5±1,409.3 (4,167.6/471.9)	1,939.8±1,402.8 (4,597.5/364.6)	1,778.4±1,272.5 (3,671.8/308.4)	1,831.6±1,326.1 (3,803.5/504.1)	2,037.8±1,525.2 (4,406.8/288.0)	1,853.7±1,198.4 (3,571.2/584.3)	1,866.8±1,335.9 (3,709.9/323.7)	2,002.8±1,515.2 (4,295.9/267.5)
Org-N (ug/l)	1,355.6±1,117.9 (3,566.7/210.7)	1,522.4±1,288.7 (3,777.2/191.6)	1,485.4±1,327.2 (4,169.9/239.5)	1,308.1±1,164.2 (3,565.5/232.4)	1,428.2±1,297.6 (3,700.9/183.9)	1,554.9±1,474.9 (4,111.8/50.8)	1,314.9±1,055.9 (3,357.7/312.6)	1,342.1±1,175.0 (3,506.4/232.8)	1,552.5±1,411.2 (3,980.7/179.6)
NH <sub>3</sub> -N (ug/l)	89.4±82.6 (252.2/10.7)	74.2±100.2 (288.4/0.0)	116.3±177.9 (547.2/13.9)	48.8±53.7 (138.5/0.0)	48.1±65.8 (192.8/5.4)	66.0±94.1 (271.1/1.4)	39.0±45.7 (132.7/4.0)	48.1±47.4 (126.8/0.5)	57.7±68.1 (206.9/7.6)
NO <sub>3</sub> -N (ug/l)	513.1±456.8 (1,261.8/46.0)	325.2±184.1 (602.1/53.1)	294.8±173.1 (532.1/88.7)	383.6±367.4 (1,092.2/57.9)	321.9±210.3 (592.7/31.8)	368.6±179.5 (602.1/69.7)	452.4±401.5 (1,278.3/60.2)	427.9±358.8 (1,125.2/74.5)	343.8±224.3 (606.8/65)
NO <sub>2</sub> -N (ug/l)	58.0±62.6 (191.6/1.4)	52.6±48.2 (121.4/1.0)	43.2±32.6 (94.0/13.2)	37.8±34.1 (100.7/0.4)	33.4±42.6 (127.6/2.1)	48.3±32.8 (100.0/14.2)	47.4±40.4 (109.1/2.4)	48.8±39.1 (109.1/15.3)	48.7±34.8 (101.3/15.3)
T-P (ug/l)	151.6±223.8 (699.7/40.7)	76.3±46.5 (178.4/47.3)	72.4±24.7 (116.1/44.0)	55.0±25.2 (96.3/32.5)	59.7±32.1 (116.1/34.2)	63.2±30.3 (122.7/35.8)	52.5±14.3 (73.8/31.2)	56.6±22.9 (91.6/34.2)	58.9±25.9 (106.3/30.9)
Org-P (ug/l)	129.6±201.9 (621.2/22.9)	45.4±24.4 (86.9/23.4)	28.8±14.0 (52.8/8.2)	39.9±26.4 (90.4/11.5)	39.6±24.1 (81.4/18.5)	32.7±15.6 (53.5/9.8)	35.5±19.9 (66.4/9.8)	36.2±21.3 (71.8/8.2)	31.3±18.5 (63.3/3.3)
SRP (ug/l)	22.0±25.2 (78.4/3.0)	31.0±29.7 (91.6/7.4)	43.5±29.1 (107.9/22.4)	15.1±16.1 (48.9/3.2)	20.0±20.4 (65.3/7.4)	30.5±19.4 (71.9/14.5)	17.0±15.1 (44.0/3.2)	20.4±9.4 (37.5/9.6)	27.6±20.6 (70.2/9.6)

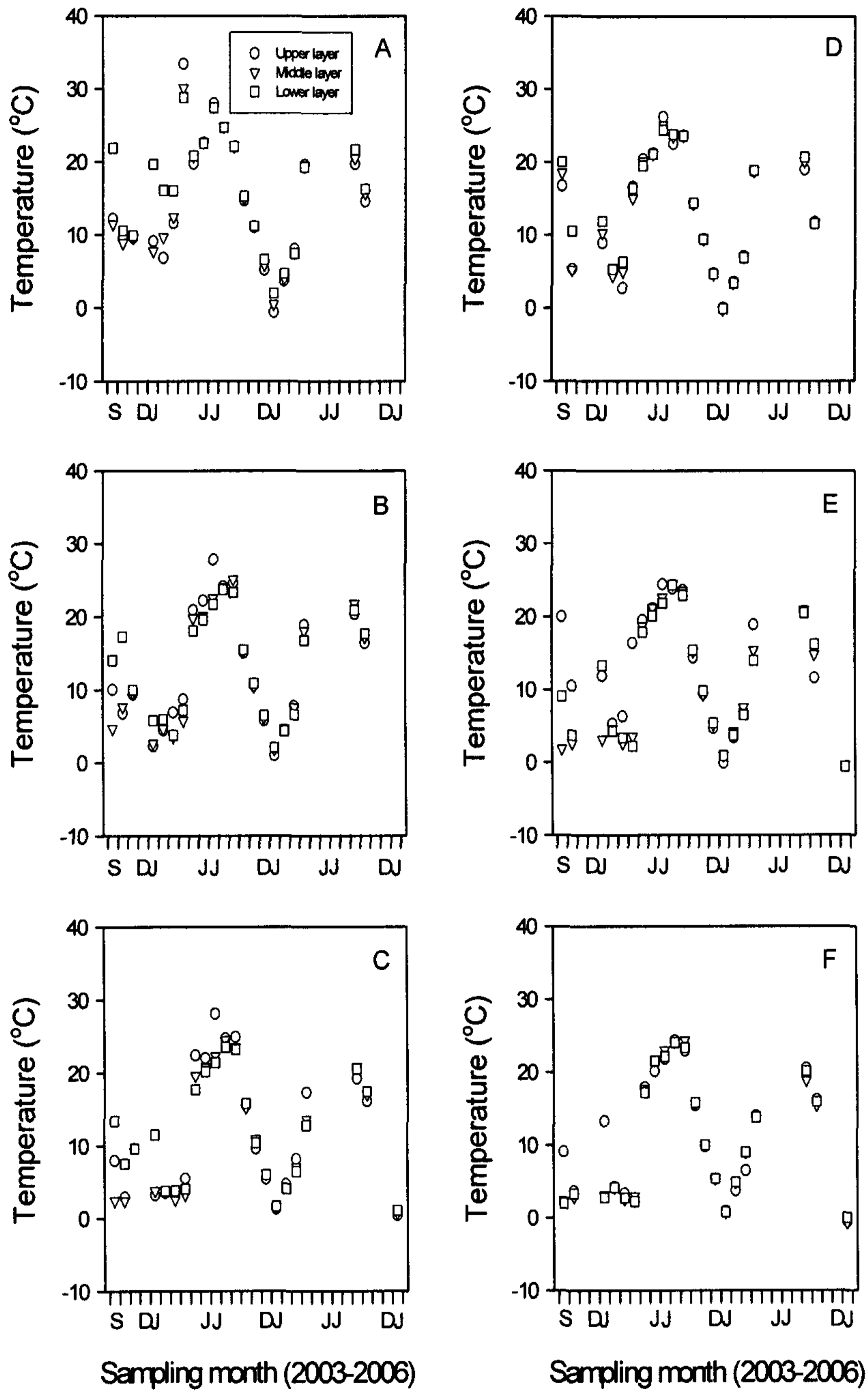
<표 3-30> 2003년 9월~2006년 1월간 화성호 하천유입부에서겨울철(12~1월)수질 평균값 및 표준편차(최대/최소)

Stations factors	1			2			4		
	표층	중층	저층	표층	중층	저층	표층	중층	저층
Temp. (°C)	4.8±3.6 (9.1/-0.6)	5.6±3.5 (9.7/0.5)	9.8±7.6 (19.7/2.0)	3.6±1.9 (5.8/1.0)	4.0±1.7 (6.2/1.8)	4.9±1.8 (6.5/2.1)	4.4±3.2 (8.9/0.0)	4.5±3.8 (10.3/-0.2)	5.0±4.4 (11.9/-0.1)
DO (mg/l)	13.6±4.6 (19.8/8.8)	14.0±3.7 (20.0/10.1)	14.7±3.4 (20.0/10.9)	16.2±2.3 (19.6/14.3)	15.5±2.8 (20.0/13.3)	15.1±3.0 (20.0/12.4)	14.5±2.1 (18.2/13.1)	14.3±1.5 (16.8/13.0)	14.2±1.5 (16.7/12.7)
pH	7.6±0.7 (8.5/6.8)	7.7±0.7 (8.7/7.1)	7.9±0.5 (8.6/7.5)	8.1±0.3 (8.6/7.9)	8.2±0.2 (8.6/8.0)	8.1±0.2 (8.4/7.9)	8.2±0.2 (8.5/8.0)	8.2±0.2 (8.6/8.0)	8.2±0.2 (8.6/8.0)
Cond. (mS/cm)	32.3±5.5 (38.9/24.9)	40.9±4.0 (46.0/36.4)	43.3±2.6 (46.0/39.1)	42.3±2.7 (45.1/38.0)	44.9±2.5 (46.9/40.6)	45.5±2.6 (47.2/41.0)	44.1±2.1 (45.9/40.7)	43.8±2.2 (45.8/40.1)	44.1±2.5 (46.5/40.0)
Salinity (psu)	21.1±4.0 (25.2/15.5)	27.3±2.2 (30.2/24.5)	29.1±0.8 (30.3/28.4)	28.4±0.9 (29.7/27.6)	30.2±0.6 (31.0/29.7)	30.7±0.5 (31.2/30.2)	29.6±0.6 (30.2/28.8)	29.4±0.5 (30.1/28.7)	29.7±0.6 (30.6/29.0)
Turb. (NTU)	23.9±14.9 (38.5/6.8)	24.0±14.4 (39.9/7.8)	34.1±16.0 (54.4/16.1)	10.9±7.1 (18.3/2.3)	9.3±5.6 (15.5/2.7)	22.7±16.7 (43.2/5.8)	10.8±3.9 (14.3/4.9)	13.1±6.0 (20.1/4.4)	13.1±4.8 (17.3/5.3)
SS (mg/l)	56.3±22.6 (73.8/17.2)	73.1±26.8 (89.2/25.6)	95.5±32.5 (128.4/41.6)	70.6±21.3 (85.6/34.4)	66.8±26.5 (85.2/20.0)	89.9±46.1 (130.0/16.4)	64.7±25.1 (83.2/21.2)	64.3±24.6 (81.2/21.2)	73.6±25.8 (90.0/28.8)
Chl-a (ug/l)	10.3±7.2 (18.3/2.1)	24.3±17.0 (53.7/12.2)	73.1±119.3 (286.3/16.1)	27.6±16.2 (50.3/8.3)	24.0±10.2 (39.5/11.8)	24.9±9.1 (39.0/16.6)	11.0±8.3 (25.7/5.8)	7.5±5.7 (17.7/3.9)	10.9±5.9 (21.0/7.1)
BOD (mg/l)	13.0±6.4 (20.9/4.4)	14.2±5.3 (21.1/6.3)	12.2±4.5 (18.0/6.2)	9.8±4.9 (16.0/3.3)	9.5±5.3 (17.0/3.6)	6.4±2.2 (9.7/3.7)	4.7±1.5 (6.4/2.5)	4.6±2.0 (7.4/2.0)	4.8±2.1 (7.5/1.8)
COD (mg/l)	15.5±7.7 (22.2/6.3)	13.9±5.8 (20.1/6.5)	12.3±5.3 (18.4/6.7)	12.1±6.6 (19.7/4.6)	11.6±5.9 (18.6/4.7)	9.8±4.5 (14.3/4.4)	9.9±3.4 (13.4/6.1)	9.0±4.2 (13.6/4.2)	9.2±3.4 (12.2/5.3)
T-N (ug/l)	3,445.5±1,157.6 (4,376.5/1,544.7)	2,337.8±1,636.0 (4,165.4/226.7)	2,185.6±774.1 (3,038.2/992.9)	1,748.7±1,051.0 (2,809.1/446.3)	1,387.2±682.4 (2,009.7/523.0)	1,327.2±456.4 (1,764.9/809.0)	1,389±757.2 (2,144.4/390.1)	1,458.9±777.9 (2,292.6/523.0)	1,457.8±765.4 (2,333.0/466.8)
Org-N (ug/l)	1,321.4±851.5 (2,058.7/15.0)	1,510.8±916.7 (2,393.9/218.7)	1,546.9±375.1 (1,923.1/918.2)	1,279.5±685.6 (1,946.4/414.8)	1,135.4±497.7 (1,660.8/522.1)	1,065.2±292.8 (1,370.2/728.6)	857.7±397.4 (1,253.1/387.5)	825.9±327.4 (1,135.5/435.9)	931.9±389.7 (1,358.6/321.1)
NH <sub>3</sub> -N (ug/l)	1,545.9±1,562.3 (4,225.7/297.3)	456.6±453.6 (1,094.5/0.0)	355.3±361.9 (859.2/0.0)	108.2±89.2 (237.7/13.9)	15.5±13.3 (27.0/0.0)	18.5±19.1 (47.3/0.0)	230.1±167.2 (456.6/0.0)	313.5±251.0 (673.0/4.9)	232.4±226.7 (548.1/9.4)
NO <sub>3</sub> -N (ug/l)	634.9±226.8 (918.3/285.3)	340.2±280.5 (621.9/5.7)	263.4±219.5 (460.2/0.0)	347.5±281.9 (608.4/15.2)	229.8±186.7 (417.5/0.0)	237.1±173.3 (406.3/0.0)	289.1±211.7 (478.2/1.0)	305.2±228.1 (507.4/3.3)	280.9±204.2 (449.0/3.3)
NO <sub>2</sub> -N (ug/l)	67.5±19.4 (92.6/51.8)	30.1±19.1 (55.2/2.3)	20.1±12.0 (31.6/0.2)	13.5±6.6 (18.8/2.3)	6.5±6.5 (16.7/0.9)	6.4±5.9 (14.5/0.2)	12.1±8.4 (24.6/1.6)	14.4±6.4 (23.1/5.9)	12.5±4.5 (16.1/5.2)
T-P (ug/l)	244.2±106.5 (363.6/74.9)	156.0±73.7 (258.7/74.9)	134.5±30.9 (168.6/94.4)	86.2±45.9 (140.7/34.4)	71.3±26.4 (111.2/47.4)	55.1±8.6 (63.6/40.7)	44.6±5.5 (48.9/35.0)	48.0±7.3 (60.4/42.4)	45.4±6.3 (52.3/39.9)
Org-P (ug/l)	111.1±46.1 (182.5/67.2)	88.9±11.7 (103.3/73.3)	105.1±27.9 (151.0/76.2)	77.5±39.0 (124.6/32.8)	65.2±23.5 (103.3/45.8)	50.1±10.1 (60.4/36.9)	34.1±9.9 (45.8/23.8)	31.3±10.5 (42.5/20.5)	33.7±11.7 (50.6/20.5)
SRP (ug/l)	133.0±115.1 (296.4/1.6)	67.0±65.4 (155.5/1.6)	29.4±27.4 (63.7/1.6)	8.7±6.9 (16.2/1.6)	6.1±4.7 (12.9/1.6)	5.1±4.9 (13.7/1.6)	10.5±8.6 (21.9/1.6)	16.7±15.0 (34.2/1.6)	11.7±9.7 (21.1/1.6)

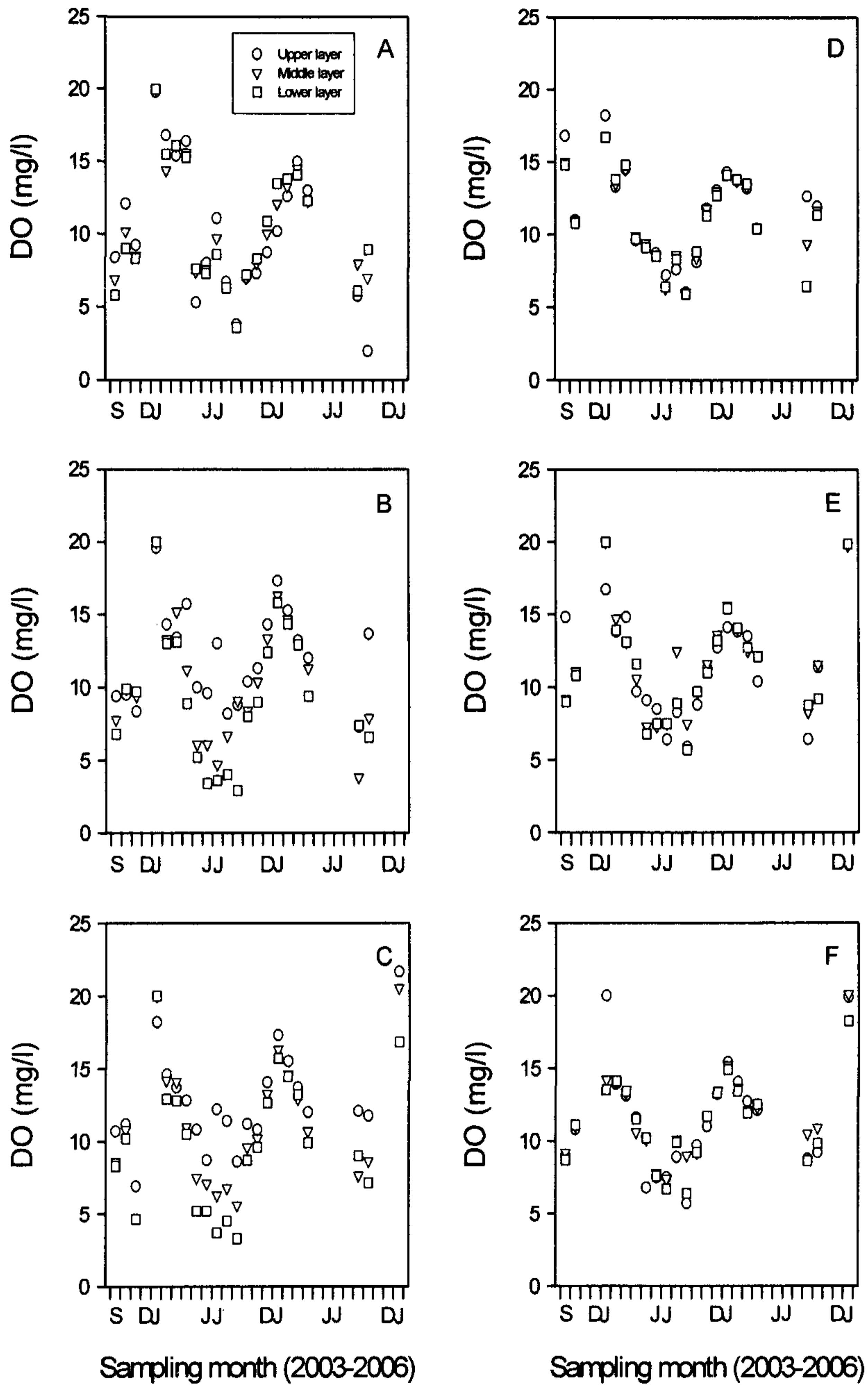


<표 3-31> 2003년 9월~2006년 1월간 화성호 개방수역에서 겨울철(12~1월)수질 평균값 및 표준편차(최대/최소)

Stations factors	3			5			6		
	표층	중층	저층	표층	중층	저층	표층	중층	저층
Temp. (°C)	3.1±1.9 (5.5/0.4)	3.4±2.0 (6.2/0.7)	4.7±3.8 (11.6/1.1)	2.9±2.3 (4.8/-0.4)	2.9±2.2 (5.1/-0.4)	4.5±4.9 (13.3/-0.6)	2.9±2.4 (5.3/-0.7)	2.9±2.4 (5.4/-0.7)	3.0±2.2 (5.4/0.0)
DO (mg/l)	16.9±2.8 (21.6/14.1)	16.5±3.1 (20.5/13.3)	15.4±2.8 (20.0/12.7)	16.3±2.2 (19.6/14.1)	16.3±2.9 (20.0/13.6)	16.1±3.1 (20.0/13.2)	15.6±2.6 (20.6/13.6)	15.1±2.5 (20.1/13.5)	14.6±1.9 (18.2/13.3)
pH	8.3±0.2 (8.6/8.1)	8.3±0.2 (8.6/8.1)	8.2±0.2 (8.6/7.9)	8.3±0.2 (8.6/8.1)	8.2±0.4 (8.6/7.6)	8.2±0.2 (8.6/8.0)	8.3±0.2 (8.5/8.1)	8.3±0.1 (8.5/8.1)	8.2±0.1 (8.4/8.0)
Cond. (mS/cm)	44.2±2.3 (47.0/40.7)	44.8±2.3 (46.8/41.0)	45.0±2.1 (47.5/42.1)	44.6±2.6 (46.9/40.4)	45.1±2.4 (47.5/41.4)	45.0±2.5 (47.3/41.4)	44.8±2.5 (47.2/41.0)	44.5±2.8 (47.1/41.0)	45.1±2.6 (47.5/41.5)
Salinity (psu)	29.6±1.2 (31.0/27.4)	30.2±1.1 (31.3/28.2)	30.1±1.3 (31.4/27.8)	29.9±1.2 (31.0/27.8)	30.2±1.2 (31.3/28.0)	30.2±1.3 (31.2/27.6)	30.0±1.2 (31.2/27.8)	29.9±1.6 (31.1/26.8)	30.2±1.3 (31.4/27.7)
Turb. (NTU)	19.0±18.4 (46.6/3.2)	6.3±3.1 (11.9/3.7)	10.0±3.8 (14.1/3.8)	6.1±3.4 (10.8/2.7)	5.8±2.5 (10.0/3.2)	9.6±3.1 (13.3/4.3)	5.3±2.1 (9.0/2.8)	6.6±2.8 (10.7/3.1)	4.5±1.0 (5.5/2.8)
SS (mg/l)	69.7±26.2 (98.8/26.0)	65.5±21.6 (79.2/21.6)	72.0±27.2 (99.2/22.8)	64.8±27.9 (90.8/13.6)	65.5±29.4 (92.4/10.4)	69.2±21.7 (92.0/32.0)	61.8±26.2 (79.6/10.8)	61.1±22.1 (74.5/17.2)	64.2±24.1 (78.8/15.6)
Chl-a (ug/l)	12.5±4.6 (18.6/7.0)	23.5±15.2 (50.8/6.8)	25.7±10.3 (37.3/9.7)	12.1±5.1 (19.2/5.8)	14.2±5.0 (21.8/6.5)	15.9±6.2 (24.1/6.2)	15.5±5.4 (22.1/8.3)	15.9±7.2 (25.9/3.5)	13.4±6.0 (20.1/3.5)
BOD (mg/l)	4.9±1.7 (7.2/2.7)	6.3±2.4 (9.7/3.0)	4.7±1.6 (6.9/2.2)	4.0±1.3 (5.9/2.1)	4.0±1.3 (5.2/1.8)	4.0±1.5 (5.6/1.5)	3.7±1.1 (5.1/2.1)	4.1±1.4 (6.1/2.0)	3.3±1.8 (5.8/1.3)
COD (mg/l)	8.2±3.6 (11.5/4.2)	9.4±4.0 (13.4/3.4)	9.4±4.2 (14.5/5.2)	8.5±4.3 (13.1/4.2)	8.7±3.6 (13.2/4.8)	8.5±3.0 (11.9/5.2)	8.9±3.5 (13.1/4.7)	10.1±4.4 (16.6/5.0)	9.2±3.7 (13.0/4.3)
T-N (ug/l)	1,481.8±965.7 (3,078.4/471.9)	1,579.4±1,076.1 (3,466.2/497.4)	1,569.0±811.2 (3,051.2/553.6)	1,482.4±888.9 (2,772.3/374.8)	1,420±871.1 (2,765.5/354.4)	1,471.4±824.7 (2,632.8/420.8)	1,444.8±744.0 (2,670.3/563.8)	1,628.0±929.6 (2,748.5/482.1)	1,619.9±795.6 (2,745.1/630.2)
Org-N (ug/l)	1,180.7±758.7 (2,491.5/397.5)	1,343.0±981.7 (3,162.6/473.6)	1,239.6±743.2 (2,595.6/326.0)	1,191.4±697.3 (2,247.1/369.1)	1,178.8±767.5 (2,473.7/354.4)	1,222.1±720.0 (2,346.5/420.8)	1,182.9±662.9 (2,339.0/373.1)	1,367.4±827.3 (2,420.1/330.5)	1,348.9±668.0 (2,349.4/553.7)
NH <sub>3</sub> -N (ug/l)	48.9±49.1 (131.4/0.0)	13.7±10.9 (23.0/0.0)	29.7±18.1 (48.6/5.8)	39.6±47.1 (127.8/0.0)	16.8±13.3 (37.7/0.0)	15.3±12.8 (29.4/0.0)	28.1±17.2 (47.3/0.0)	28.9±17.4 (46.9/0.0)	22.7±14.3 (36.6/4.9)
NO <sub>3</sub> -N (ug/l)	244.2±176.6 (444.6/0.0)	217.7±146.8 (347.9/0.0)	293.6±130.5 (429.2/91.0)	244.8±166.5 (399.6/5.7)	218.4±139.1 (368.1/0.0)	229.5±141.5 (363.6/0.0)	227.0±137.5 (372.6/8.1)	224.8±135.3 (390.6/20.0)	241.9±134.8 (395.1/64.9)
NO <sub>2</sub> -N (ug/l)	8.1±6.7 (18.8/0.2)	5.0±7.3 (18.1/0.0)	6.0±4.9 (13.1/0.7)	6.6±6.5 (18.1/0.0)	6.0±6.2 (16.0/0.0)	4.4±5.7 (13.8/0.0)	6.9±8.7 (23.1/0.4)	7.0±8.2 (22.4/0.0)	6.4±6.1 (16.7/0.4)
T-P (ug/l)	36.0±4.5 (42.8/30.9)	51.4±21.2 (93.7/35.0)	46.1±16.5 (73.3/28.4)	31.8±3.2 (36.1/26.9)	28.9±5.5 (34.4/21.9)	36.7±17.1 (65.2/20.3)	31.3±3.0 (34.4/26.0)	31.1±1.6 (32.8/29.3)	29.7±4.8 (36.1/24.6)
Org-P (ug/l)	30.9±4.2 (36.1/25.4)	47.5±21.0 (89.3/32.0)	41.6±17.8 (71.7/24.6)	27.7±5.0 (34.4/20.5)	25.6±6.8 (32.8/18.8)	32.4±19.0 (63.6/15.6)	26.7±6.1 (32.8/16.4)	26.1±5.5 (31.2/16.4)	24.6±8.0 (34.4/13.1)
SRP (ug/l)	5.1±4.5 (12.9/1.6)	3.9±3.8 (11.2/1.4)	4.4±4.6 (13.7/1.6)	4.2±4.0 (12.1/1.6)	3.4±2.7 (8.8/1.6)	4.3±4.8 (13.7/1.4)	4.6±6.1 (17.0/1.6)	5.0±5.3 (15.3/1.6)	5.1±5.3 (15.3/1.6)



<그림 3-32> 2003년 9월~2006년 1월동안 화성호의 상·하류구간에서 주요 정점별 수온의 월변동(A: HL1, B: HL2, C: HL3, D: HL4, E: HL5, F: HL6)



<그림 3-33> 2003년 9월~2006년 1월동안 화성호의 상·하류구간에서 주요 정점별 DO의 월변동(A: HL1, B: HL2, C: HL3, D: HL4, E: HL5, F: HL6)

각 정점별로 용존산소의 계절별 차이(8.0~15.3 mg/L)는 상당히 높았으나, 정점별 차이(10.3~12.0 mg/L)는 비교적 크지 않았다<그림 3-33>. 또한 DO가 5.0 mg/L이하인 경우는 빈 산소상태로서 다른 시기보다 7월~9월 사이에 강하게 나타났고, 정점 HL1~HL3 수역의 중층과 저층에서만 관찰되었다. 표층에서 관찰된 것은 2005년 10월에 HL1에 해당하였고, 이것은 미처리된 하수를 다량 포함하는 상류 하천수의 유입에 의한 영향으로 볼 수 있었다. 또한 개방수역의 HL6(수문 부근)에서 상대적으로 낮은 평균값을 보였으며 이 지점에서는 수층별 평균농도의 차이가 적어서 수문조작에 의한 인위적인 해수 유통의 영향이 컸던 것으로 판단되었다. 이와 관련하여, 전체적인 수직분포의 변이 정도로 판단할 때 개방수역이 하천유입부 지점보다 변동 범위가 작았으며 이는 해수유통으로 인한 영향이 개방수역에서 더 컸고, 상류부에는 그 영향이 적었음을 의미한다.

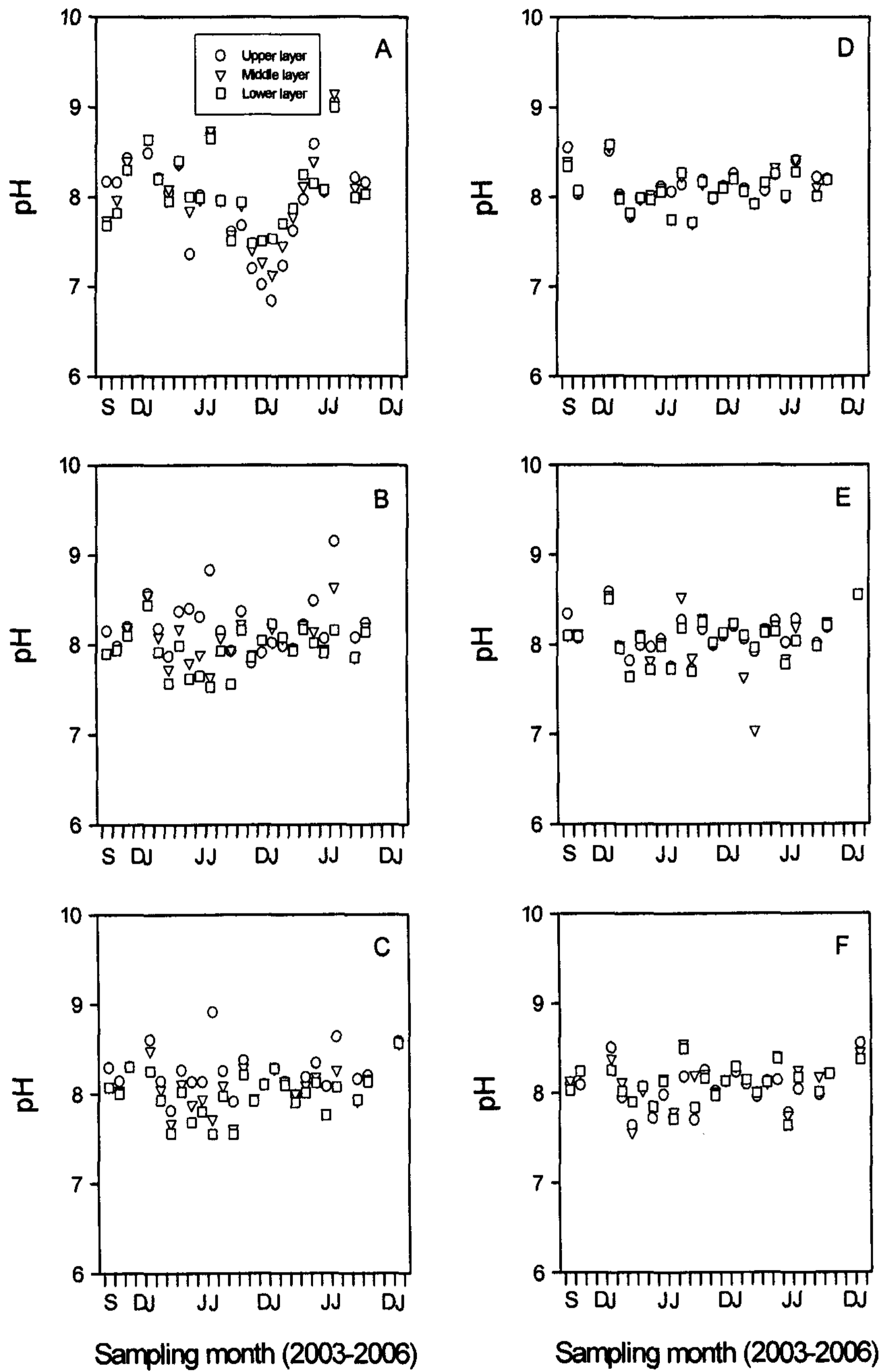
표층에서의 용존산소는 pH, 전기전도도, 염분도와 유의한 상관성을 보여, 겨울철의 수온과 갈수기의 영향을 반영하였다. 특히, 아질산성 질소와는 유의한 음의 상관성을 나타내어 겨울 동안 호내에서 아질산성 질소의 상대적인 고갈이 있었음을 반영하였다.

#### 다. pH의 시공간적 변화

화성호의 전 조사지점에서 수중 pH의 계절적 변이는 다른 수질항목에 비하여 상대적으로 적었다. pH는 범위와 평균값이 각각 6.8~9.2, 8.1이었다<그림 3-34>. pH의 변동 폭은 다른 정점에 비해 HL1에서 1.5~2.3범위로서 조금 컸고 다른 정점들에서는 평균값(8.06~8.13) 부근에서 소폭의 증감 변이를 보였다. 또한 pH의 계절적 변동은 DO의 경향과 유사하였으나 DO에 비해 다소 후행하는 구조를 나타냈다. 공간적으로 볼 때 하천 유입부 지점이 호수 개방수역 지점보다 상대적으로 높은 분포를 보였으며 이는 개방수역 지점보다 하천 유입부지점에서의 상대적인 높은 Chl-*a* 농도와 관련 할 때 조류의 광합성에 의한 영향을 반영하는 것으로 추정된다. 수직적 분포에서는 전반적으로 표층에서 가장 높은 pH가 관찰되었다. 표층에서의 pH는 Chl-*a* 농도와 유의한 상관성을 나타내어, 조류에 의한 광합성이 하천유입부와 호내 pH 변화에 주요한 원인중의 하나로 추정되었다. 표층에서의 pH는 Chl-*a*, 부유입자성 물질, BOD, COD와 유의한 상관성을 나타내었으며, 이 결과는 조사기간 동안 호수 내에서 식물성플랑크톤이 pH 및 이와 관련된 산소 생산 및 소비에 큰 영향을 미쳤음을 시사한다.

#### 라. 전기전도도 및 염분도의 시공간적 변화

전기전도도는 물 속에 존재하는 이온의 농도를 나타내며, 기수 또는 해양 수역에서는 일반적으로 염분도와 밀접한 관련이 있다. 조사기간 동안 전기전도도의 변화에서 평균값은 43.0 mS/cm이었고, 2.2~47.9 mS/cm범위로 높게 나타나 기수환경의 특성을 그대로 반영하였다. 본 조사기간 동안 전기전도도의 변화는 하천유입부와 호수지점에서 상당히 뚜렷한 차이를 나타내었다. 즉, 수문에서 가까운 정점이 상류수역보다 변이의 폭이 적어 해수유통에 의한 영향을 반영하였으며 이 영향은 다른 계절보다 겨울철에 더욱 크게 나타났다 <그림 3-35>. 모든 조사지점에서 심층으로 갈수록 전기전도도의 값이 높게 나타났고, 다른 계절에 비해 5~9월기간에 낮은 농도를 기록하였는데 이것은 춘계 또는 장마 강우에 의한 담수 유입이 컸던 시기에 해당하였다.



<그림 3-34> 2003년 9월~2006년 1월동안 화성호의 상·하류구간에서 주요 정점별 pH의 월변동(A: HL1, B: HL2, C: HL3, D: HL4, E: HL5, F: HL6)

염분도는 전 수역에서 유사한 양상을 보였고, 평균값과 범위는 각각 25.7 psu, 1.2~32.3 psu이었다<그림 3-36>. 하천 유입부와 개방수역에서 평균값(범위)이 각각 24.6 psu(1.2~31.2 psu), 26.8 psu(4.5~32.3)이었고, 봄철, 여름철, 가을철 및 겨울철에 평균값이 각각 28.6 psu, 22.5 psu, 22.8 psu, 29.2 psu로서 계절적인 차이가 현저하였다<표 3-22>~<표 3-23>. 염분도는 다른 항목에 비해 수층의 구배가 뚜렷한 대표적인 항목에 해당하였다. 전 수역의 저층에서 가장 높은 농도를 보였고 담수 유입이 큰 시기에 표층 또는 중층의 농도가 현저하게 감소하는 특성을 보였다.

호수의 표층을 포함하는 전층에서의 전기전도도의 변화는 염분도의 변화와 거의 일치하여( $r=0.999$ ,  $p<0.001$ ), 화성호의 해수유통의 결과를 명료하게 나타내었다. 부유성 입자의 농도와 유의한 상관성은 해수가 호내로 유입될 때의 수체의 교란으로 인한 것으로 판단된다. 이 두 가지 요인들과의 양의 상관성과는 달리 전기전도도는 Chl-*a*, BOD, COD, 질소, 인의 농도와는 모두 유의한 음의 상관성을 나타내어 해수의 유입은 식물플랑크톤의 발달과 영양염에 대해 모두 희석효과를 나타내는 것으로 추정된다. 전기전도도와 염분도는 다른 수질항목에 대하여 모두 일치하는 상관성을 나타내어, 조사기간동안 전기전도도는 호내의 염분도 변화를 그대로 반영한 것으로 판단된다<그림 3-35>, <그림 3-36>.

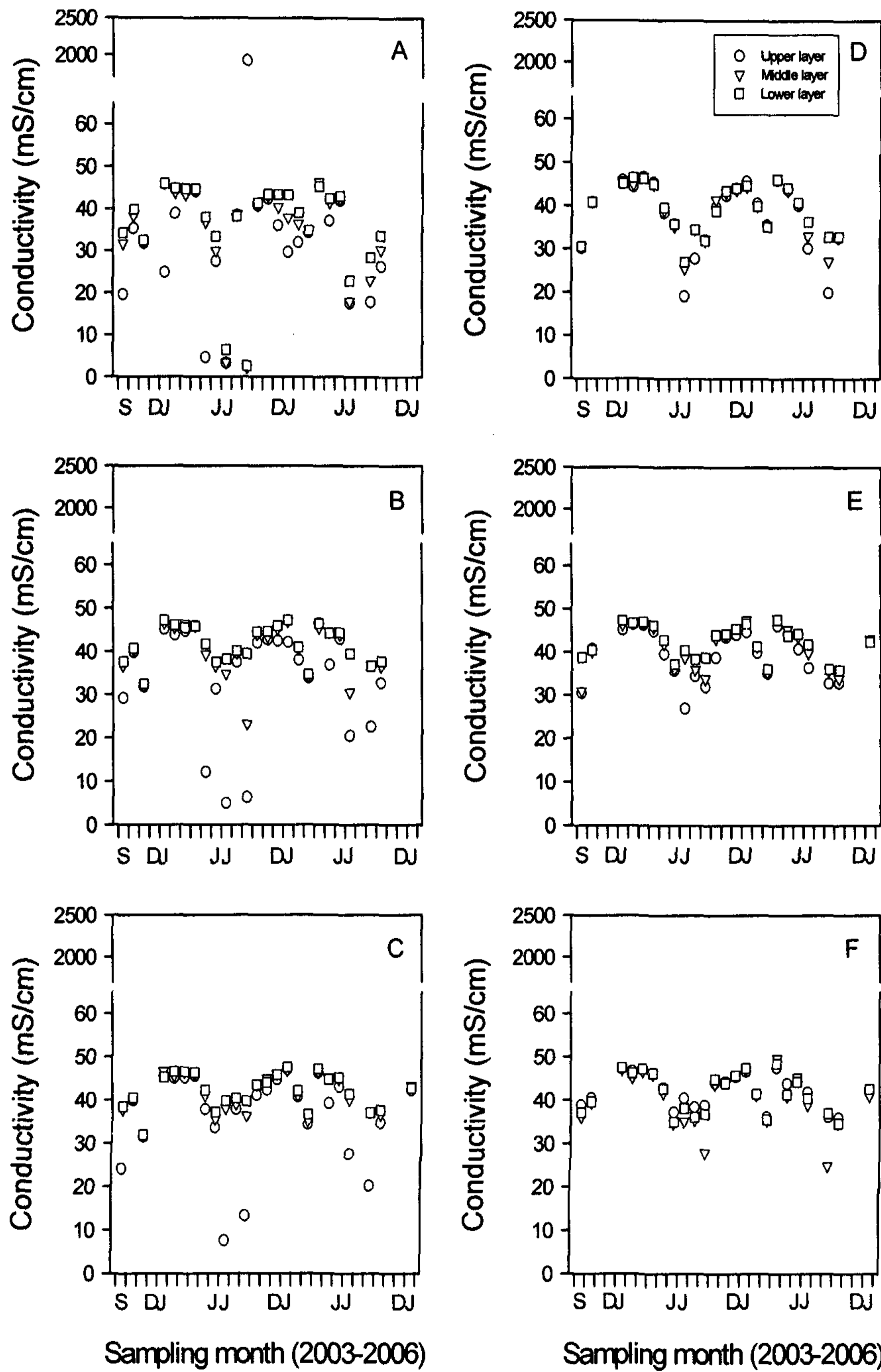
#### 마. 탁도의 시공간적 변화

조사기간 동안 탁도의 시공간적 변이가 상당히 크게 나타났다. 수중 탁도는 유기물 또는 무기물의 함량과 입자의 크기에 의한 성분적 영향과 그 비율에 따라 수준을 달리할 수 있다. 화성호에서 탁도의 범위는 0.9-246.0 NTU이었고, 평균값은 11.3 NTU이었다<그림 3-37>. 정점별로는 범위와 평균값이 각각 HL1에서 5.9~246.0 NTU(26.3), HL2에서 2.2~43.2 NTU(10.0), HL3에서 1.5~46.6 NTU(5.9), HL4에서 1.3~68.7 NTU(13.1 NTU), HL5에서 0.9~23.1 NTU(5.6), HL6에서 2.0~14.1 NTU(5.3)로서 하천유입부 지점들에서의 탁도가 호수 개방수역 지점들에 비해 비교적 높게 나타났다<그림 3-37>. 특히 수문지점과 호수 중앙부에서 탁도 농도와 변이의 정도는 상대적으로 매우 적었다.

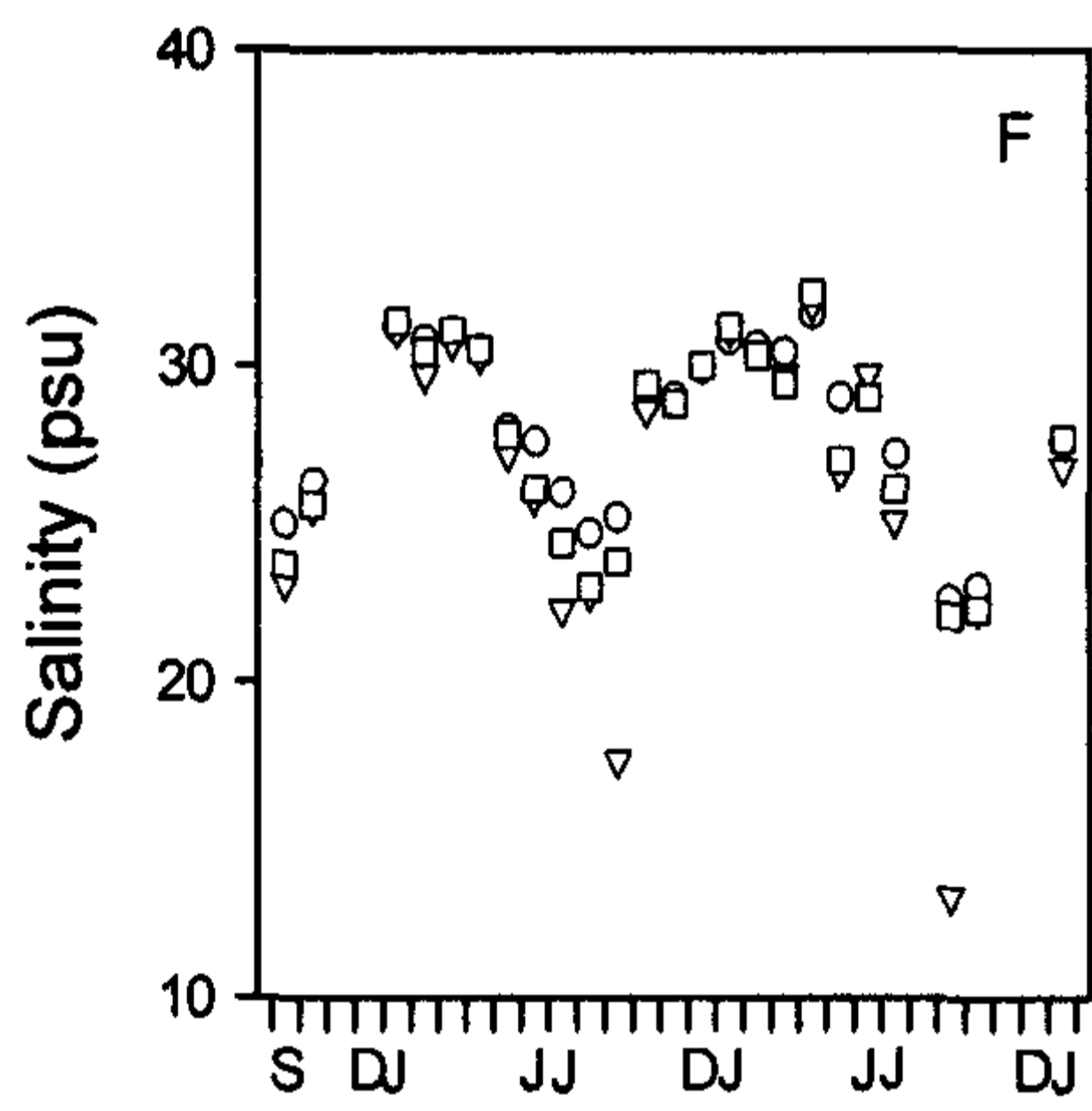
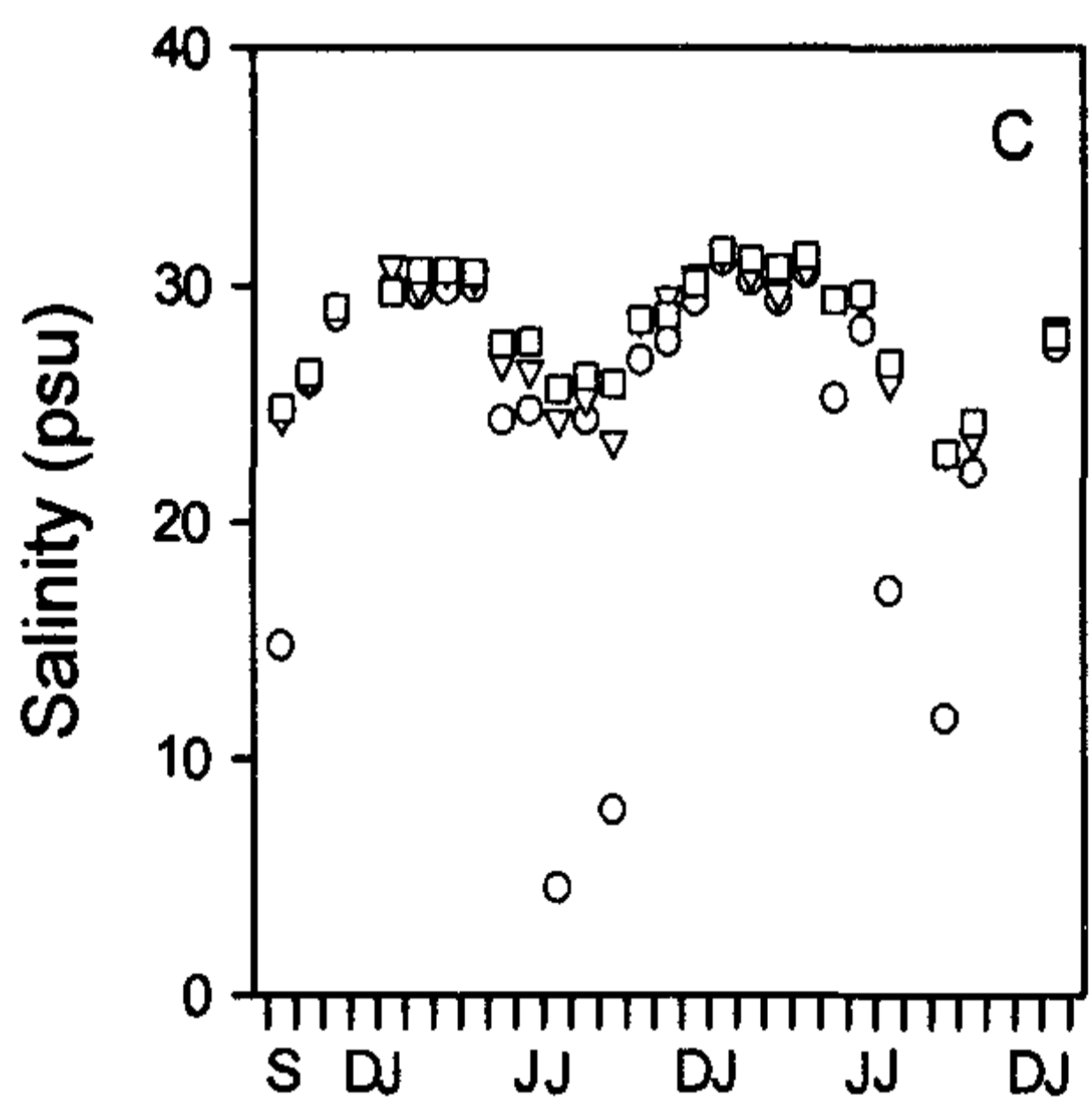
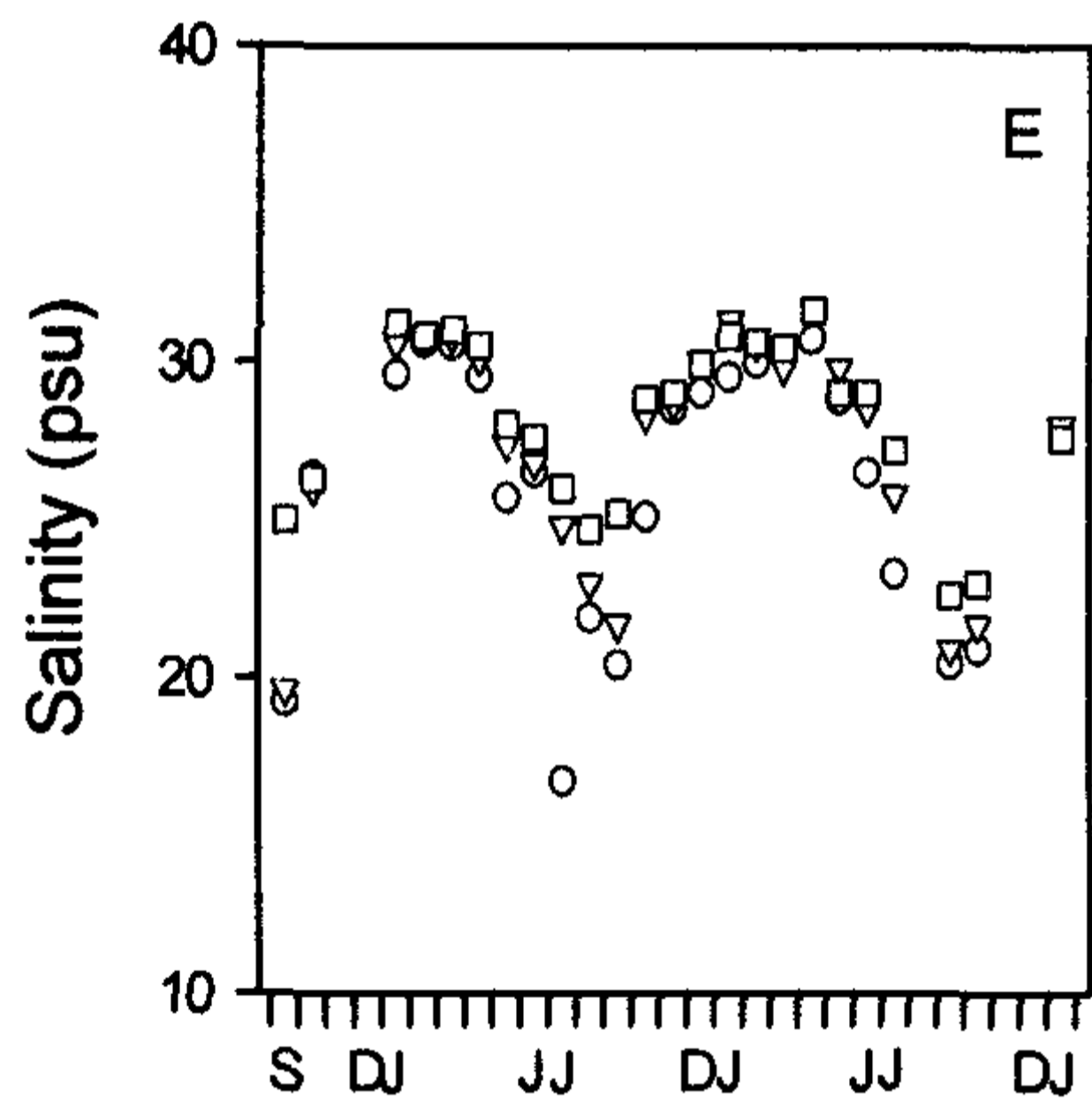
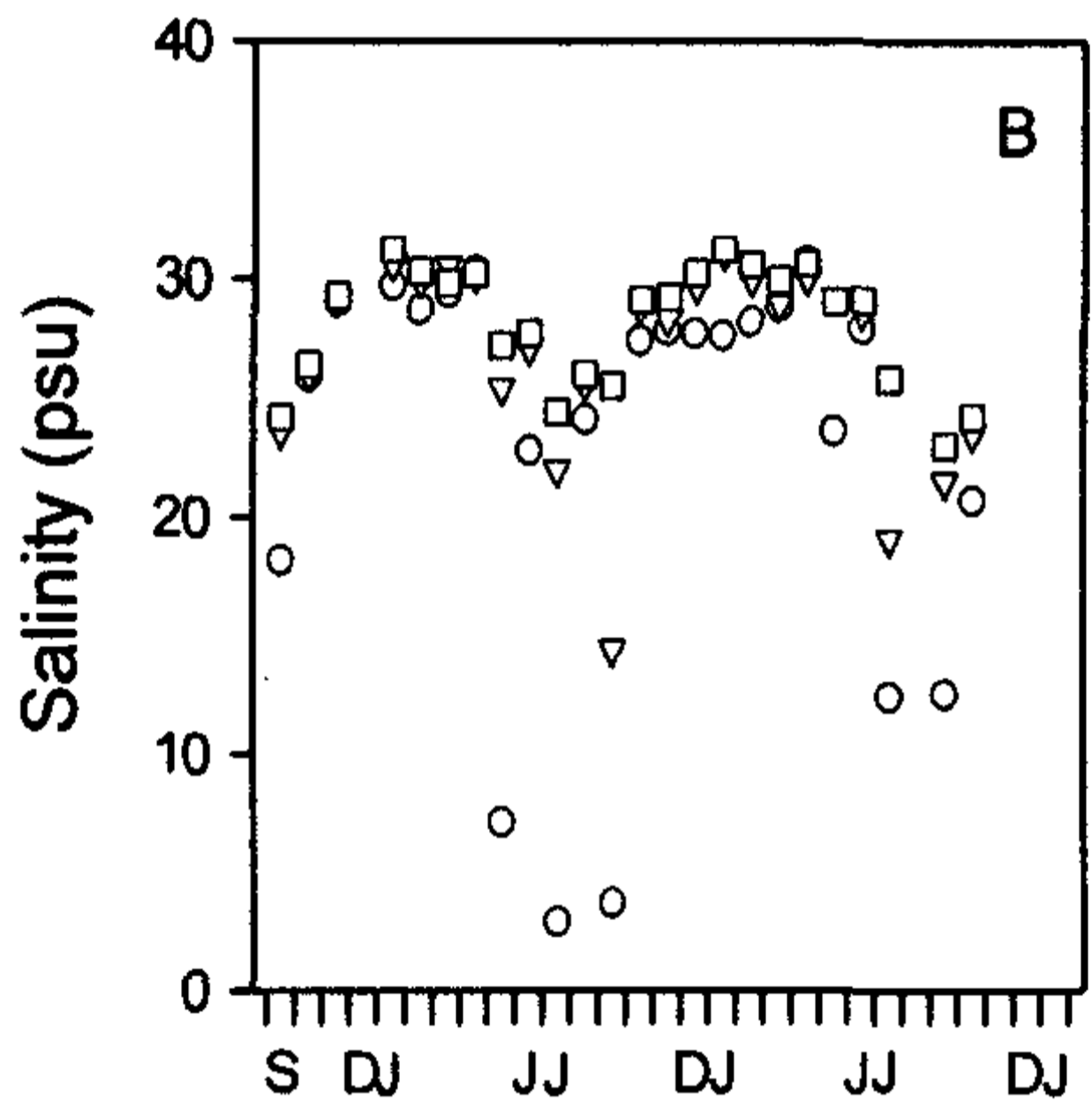
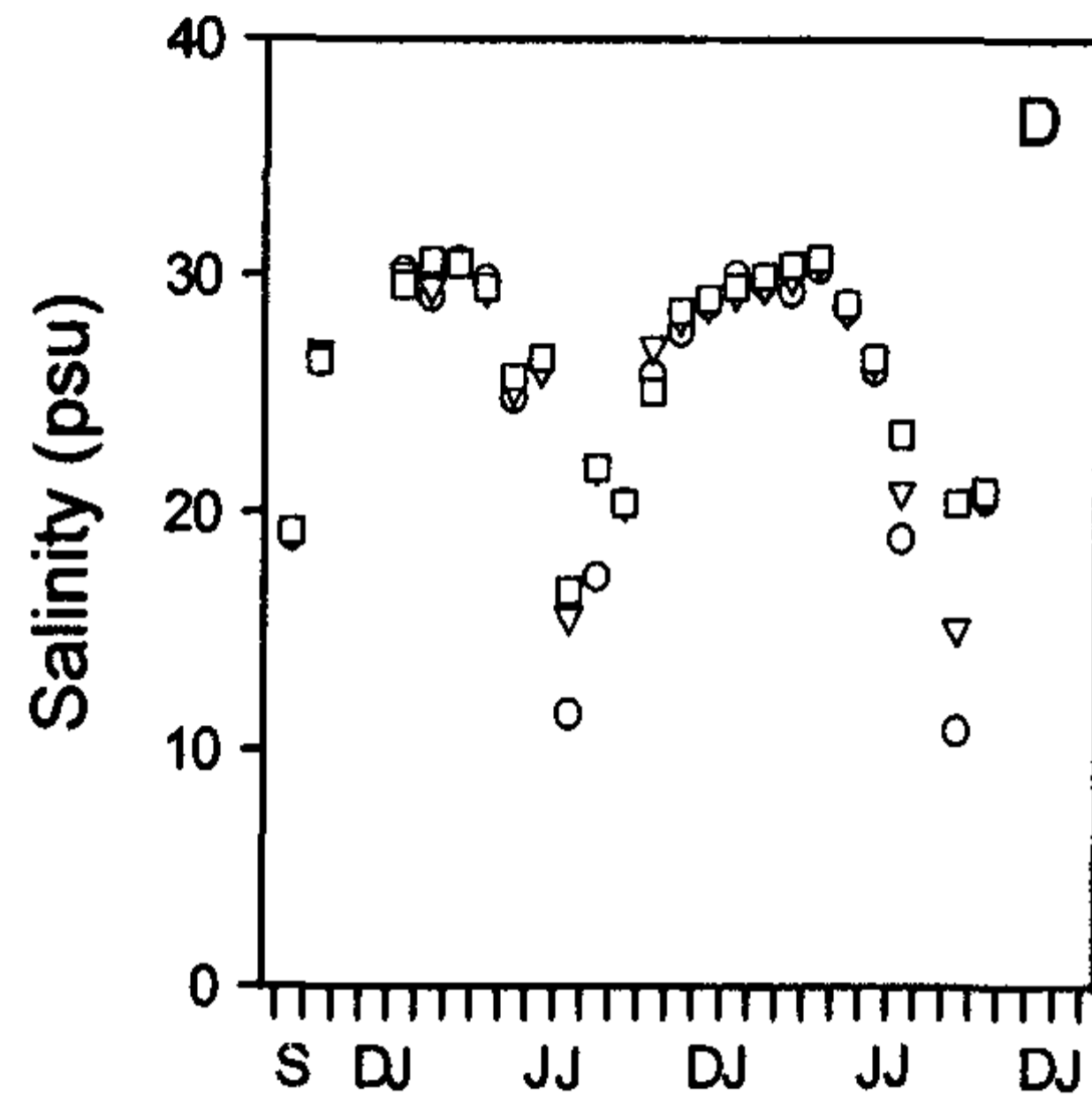
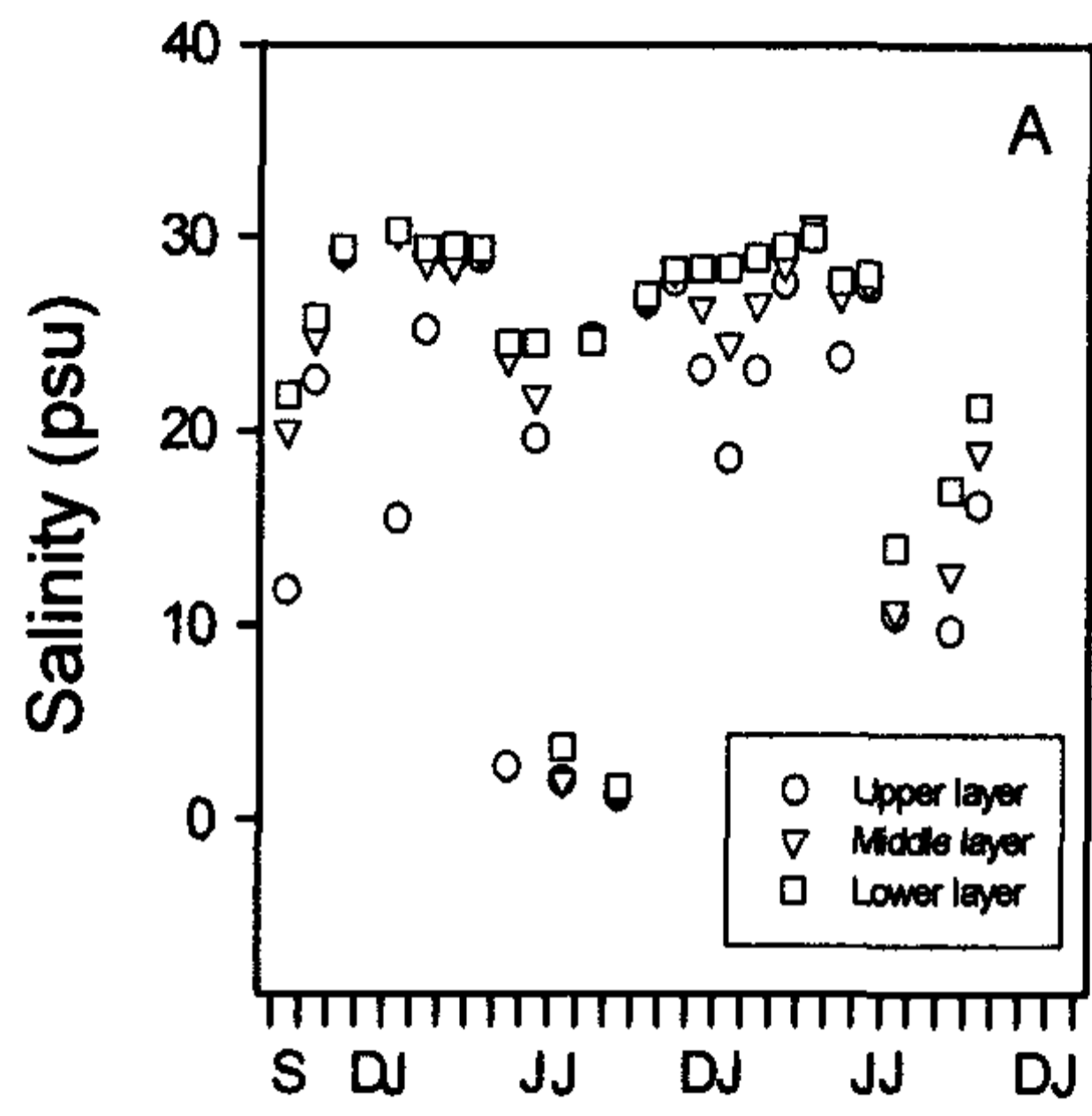
전반적으로 심층의 탁도가 표층과 중층의 탁도에 비해 높은 경우가 빈번하여 해수유입의 영향을 반영하였다. 표층에서 탁도의 경시적 변화는 전 수역에서 높았으며 수문에 근접할수록 현저하게 급감하는 경향을 보였다. 표층

에서의 탁도 변화는 수질항목 중에서 Chl-*a* 및 SPM의 변화와 가장 높은 유의성을 나타냈으며, 영양염 중에서는 총인, 유기인, 총질소와 높은 상관성을 보임으로써 조사기간 동안 화성호 탁도 변화에 생물학적 입자(식물성 플랑크톤)와 무기입자의 영향이 상당히 높았던 것으로 판단된다.





<그림 3-35> 2003년 9월~2006년 1월동안 화성호의 상·하류구간에서 주요 정점별 전기전도도의 월변동(A: HL1, B: HL2, C: HL3, D: HL4, E: HL5, F: HL6)



Sampling month (2003-2006)

Sampling month (2003-2006)

<그림 3-36> 2003년 9월~2006년 1월동안 화성호의 상·하류구간에서 주요 정점별 염분도의 월변동(A: HL1, B: HL2, C: HL3, D: HL4, E: HL5, F: HL6)

#### 바. 부유물질 농도의 시공간적 변화

화성호에서 부유물질(suspended particulate matter, SPM)은 평균값과 범위가 각각 63.4 mg/L, 10.4~331.0 mg/L이었다<그림 3-38>. 정점별 수층에서 평균값(범위)은 각각 HL1에서 72.7 mg/L(17.2~331.0), HL2에서 64.1 mg/L(16.4~130.0), HL3에서 59.8 mg/L(12.0~110.5), HL4에서 65.7 mg/L(18.4~146.8), HL5에서 59.3 mg/L(10.4~99.5) 및 HL6에서 58.6 mg/L(10.8~80.7)로서 하천 유입부인 상류에서 댐(수문)의 하류로 갈수록 감소됨이 현저하였다. 이러한 경향은 전술한 하천유입부의 저층수에서 탁도가 가장 높고, 수문 부근에서 가장 낮은 상태를 잘 반영하였다.

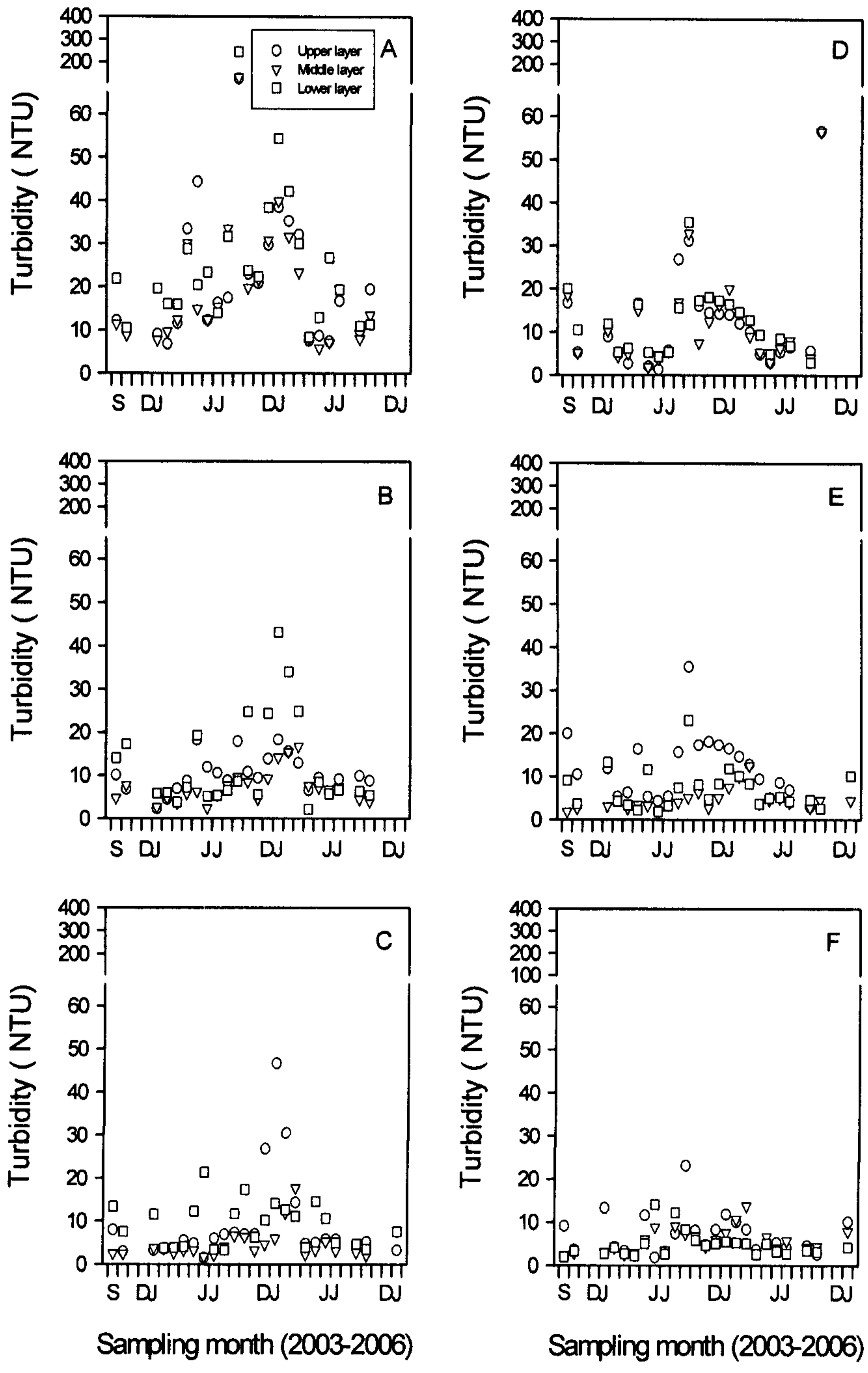
호수전반에 걸쳐 부유물질의 변화는 Chl-*a*의 농도와 음의 상관성을 나타내어, 화성호에서의 특히 2월과 3월의 높은 부유물질의 농도가 빛을 제한하는 요인으로 작용하여 식물성플랑크톤의 광합성을 저해하였을 가능성이 제시되었다<그림 3-49>. 또한 SPM의 농도가 BOD와 COD와도 음의 상관성을 나타낸 것은 이 시기동안 화성호의 산소소비에 식물성플랑크톤의 기여도가 높았음을 반영하는 것이다.

#### 사. BOD와 COD의 시공간적 변화

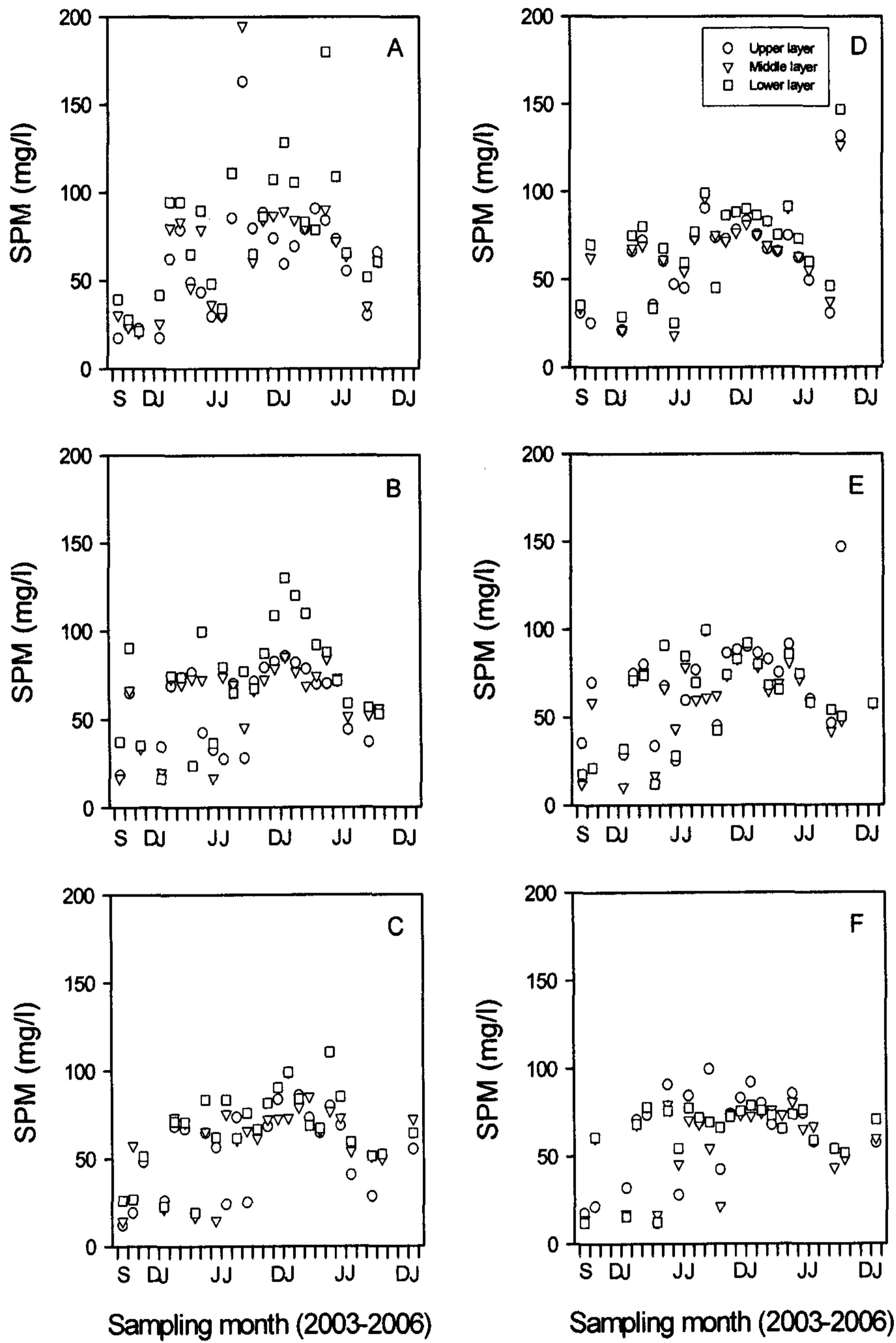
조사시기 동안 화성호 내의 BOD와 COD의 변화는 거의 일치하여 두 항목간의 매우 높은 상관성을 보여주었다<그림 3-37>, <그림 3-38>. 화성호 전 조사지점에서 BOD와 COD 농도의 경시적 변화에서 범위와 평균값은 각각 0.6~21.1 mg/L, 4.5 mg/L와 1.3~22.7 mg/L, 8.7 mg/L로 나타났다(그림 9, 10). BOD와 COD는 다른 정점에 비해 HL1에서 평균값(범위)이 각각 8.1 mg/L(1.3~21.1), 10.8 mg/L(2.1~22.7)로서 가장 높았고, 표층, 중층 및 저층의 수직분포에서도 차이가 컸다. 또한 BOD와 COD는 봄철에 4.2 mg/L(1.0~17.6), 7.4 mg/L(2.1~22.2), 여름철에 3.2 mg/L(0.6~8.2), 8.7 mg/L(4.4~17.0), 가을철에 4.3 mg/L(0.6~11.8), 8.7 mg/L(1.3~22.7), 겨울철에 6.6 mg/L(1.3~21.1), 10.2 mg/L(3.4~22.2)로서 계절적인 차이도 관찰되었다.

두 항목의 공간적 변화는 하천유입부 지점에서 더욱 뚜렷하였으며 전반적으로 하천유입부 지점에서의 농도가 호수개방수역 지점에서보다 높게 나타났다. 이는 유역으로부터의 영양염 및 유기물의 유입에 의한 영향으로 추정된다. 하천유입부 지점에서의 매우 높은 BOD, COD 농도가 나타났으며 이때의 높은 Chl-*a*의 농도와 일치하였다. 따라서 하천유입부 지점에서의 높은 BOD, COD는 동식물성플랑크톤의 큰 발달과 무기입자의 농도와 직접관련이

있었을 것으로 유추된다. 이 결과는 조사기간 동안 표층에서 BOD, COD 농도와 Chl-*a* 간의 유의한 양의 상관성으로 반영되었다. 또한 이 두 가지 항목은 질소와 인의 항목들과 유의한 양의 상관성을 나타냈으며, 또한 이들은 모두 Chl-*a*와도 유의성을 보임으로써 화성호에서 조사기간동안 영양염(질소, 인)-식물성플랑크톤-BOD-COD의 인과관계를 추정하게 하였다.



<그림 3-37> 2003년 9월~2006년 1월동안 화성호의 상·하류구간에서 주요 정점별 탁도의 월변동(A: HL1, B: HL2, C: HL3, D: HL4, E: HL5, F: HL6)



<그림 3-38> 2003년 9월~2006년 1월동안 화성호의 상·하류구간에서 주요 정점별 부유물질의 월변동(A: HL1, B: HL2, C: HL3, D: HL4, E: HL5, F: HL6)

#### 아. 질소 농도의 시공간적 변화

본 연구에서 조사한 질소는 총질소, 유기질소, 무기질소의 세 형태이며 무기질소는 암모니아성질소, 질산성질소, 아질산성질소를 포함하였다. 총질소의 범위와 평균값은 각각 표층에서 308.4~5,117.6  $\mu\text{g/L}$ (2,125.4), 중층에서 226.7~5,190.4  $\mu\text{g/L}$ (2,078.5), 저층에서 267.5~4,673.8  $\mu\text{g/L}$ (2,055.6)이었다 <그림 3-42>. 또한 유기질소의 범위와 평균값은 각각 표층에서 15.0~3,893.2  $\mu\text{g/L}$ (1,473.2), 중층에서 218.7~4,631.6  $\mu\text{g/L}$ (1,562.9), 저층에서 267.5~4,597.5  $\mu\text{g/L}$ (1,534.6)이었고<그림 3-43>, 총질소에서 유기질소가 차지하는 비율은 각각 표층 69.3%, 중층 75.2%, 저층 74.7%이었고, 무기질소는 각각 표층 30.7%, 중층 24.8%, 저층 25.3%이었다.

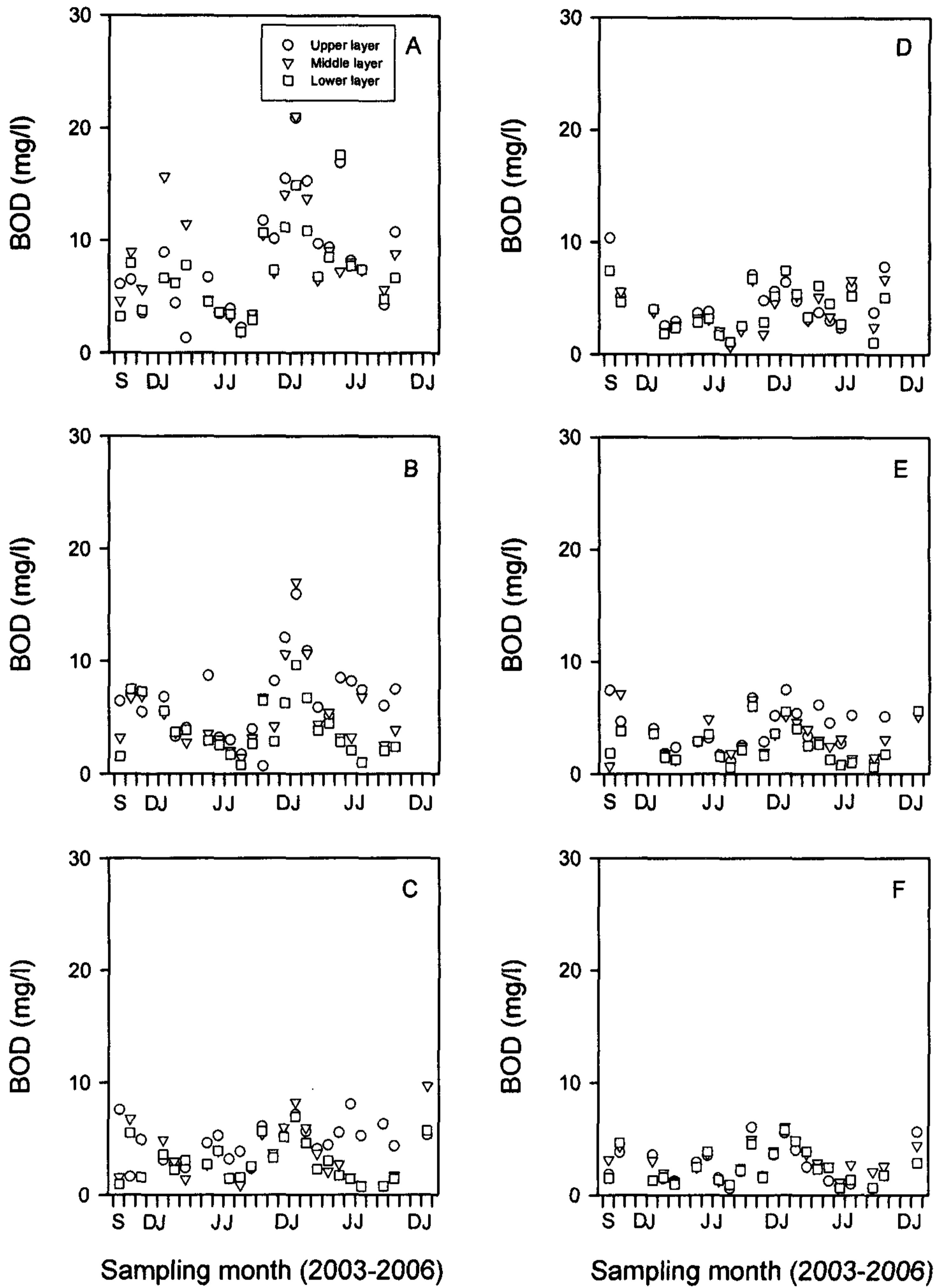
정점별 총질소의 평균값이 HL1에서 2,752.2  $\mu\text{g/L}$ , HL2에서 2,062.9  $\mu\text{g/L}$ , HL3에서 1,986.3  $\mu\text{g/L}$ , HL4에서 1,946.9  $\mu\text{g/L}$ , HL5에서 1,861.6  $\mu\text{g/L}$ , HL6에서 1,904.1  $\mu\text{g/L}$ 로서 개방수역(평균값 1917.3  $\mu\text{g/L}$ )보다 하천 유입부(평균값 2,255.7  $\mu\text{g/L}$ )에서 조금 높은 양상을 보였다. 유기질소는 총질소의 변동 양상과 유사하였고 해가 거듭할수록 전 수역에서 급격하게 증가하는 분포를 보였다.

무기질소중에서 암모니아의 범위는 표층, 중층, 저층에서 각각 0.0~4,225.7  $\mu\text{g/L}$ , 0.0~1,094.5  $\mu\text{g/L}$ , 0.0~859.2  $\mu\text{g/L}$ 이었고<그림 3-43>, 평균값은 각 정점별 표층, 중층, 저층에서 HL1 617.6  $\mu\text{g/L}$ , 246.4  $\mu\text{g/L}$ , 189.4  $\mu\text{g/L}$ , HL2 117.5  $\mu\text{g/L}$ , 109.7  $\mu\text{g/L}$ , 165.3  $\mu\text{g/L}$ , HL3 64.5  $\mu\text{g/L}$ , 76.6  $\mu\text{g/L}$ , 155.4  $\mu\text{g/L}$ , HL4 136.7  $\mu\text{g/L}$ , 150.7  $\mu\text{g/L}$ , 137.2  $\mu\text{g/L}$ , HL5 43.6  $\mu\text{g/L}$ , 51.8  $\mu\text{g/L}$ , 90.1  $\mu\text{g/L}$ , HL6 51.7  $\mu\text{g/L}$ , 58.3  $\mu\text{g/L}$ , 60.9  $\mu\text{g/L}$ 로서 상류에서 하류로 갈수록 현저하게 감소하였다. 정점별 수직분포에서 HL1, HL4 및 HL5는 표층에서 우세하였으나 HL2~HL3는 중층과 저층에서 높은 농도를 보였고, 특히 HL1은 변화 구조가 매우 복잡하였다<그림 3-43>.

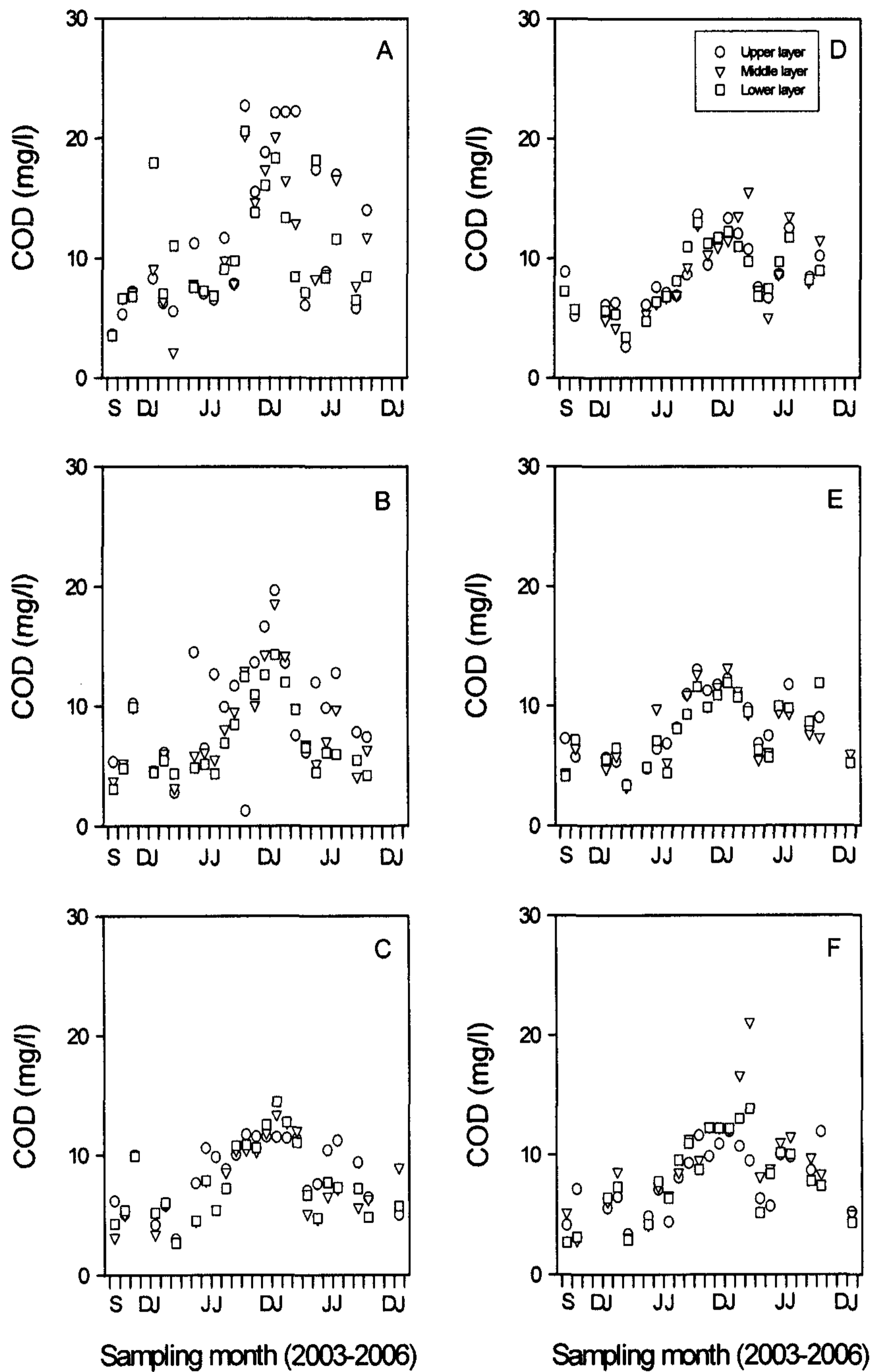
질산의 범위는 표층, 중층, 저층에서 각각 0.0~3,204.3  $\mu\text{g/L}$ , 0.0~3,244.7  $\mu\text{g/L}$ , 0.0~2,925.9  $\mu\text{g/L}$ 이었고<그림 3-44>, 평균값은 각 정점별 표층, 중층, 저층에서 HL1 712.5  $\mu\text{g/L}$ , 547.5  $\mu\text{g/L}$ , 494.1  $\mu\text{g/L}$ , HL2 462.5  $\mu\text{g/L}$ , 302.0  $\mu\text{g/L}$ , 310.3  $\mu\text{g/L}$ , HL3 390.6  $\mu\text{g/L}$ , 326.6  $\mu\text{g/L}$ , 331.7  $\mu\text{g/L}$ , HL4 386.5  $\mu\text{g/L}$ , 362.7  $\mu\text{g/L}$ , 351.8  $\mu\text{g/L}$ , HL5 330.1  $\mu\text{g/L}$ , 308.0  $\mu\text{g/L}$ , 340.6  $\mu\text{g/L}$ , HL6 389.1  $\mu\text{g/L}$ , 368.0  $\mu\text{g/L}$ , 338.3  $\mu\text{g/L}$ 로서 HL1~HL3에서 수층 또는 계절적 차이가 현저하게 관찰되었고, HL4~HL6는 비교적 적었다. 질산은 수체의 용존 산소 농도가 높은 겨울철과 유입량이 급증하는 여름철에 농도가 높은 특성을 보였다(그림 14). 아질산의 범위는 표층, 중층, 저층에서 각각 0.0~474.9  $\mu\text{g/L}$ ,

0.0~464.2  $\mu\text{g/L}$ , 0.0~268.5  $\mu\text{g/L}$ 이었고, 평균값은 각 정점별 표층, 중층, 저층에서 HL1 85.9  $\mu\text{g/L}$ , 59.6  $\mu\text{g/L}$ , 38.2  $\mu\text{g/L}$ , HL2 41.0  $\mu\text{g/L}$ , 37.1  $\mu\text{g/L}$ , 27.2  $\mu\text{g/L}$ , HL3 30.9  $\mu\text{g/L}$ , 23.4  $\mu\text{g/L}$ , 23.5  $\mu\text{g/L}$ , HL4 30.2  $\mu\text{g/L}$ , 25.5  $\mu\text{g/L}$ , 28.8  $\mu\text{g/L}$ , HL5 21.5  $\mu\text{g/L}$ , 16.9  $\mu\text{g/L}$ , 21.3  $\mu\text{g/L}$ , HL6 27.3  $\mu\text{g/L}$ , 23.1  $\mu\text{g/L}$ , 22.3  $\mu\text{g/L}$ 로서 암모니아와 질산 농도에 비해 높지 않았고, 다른 무기질소와 마찬가지로 상류에서 하류로 갈수록 감소하는 경향이 뚜렷하였다<그림 3-45>.

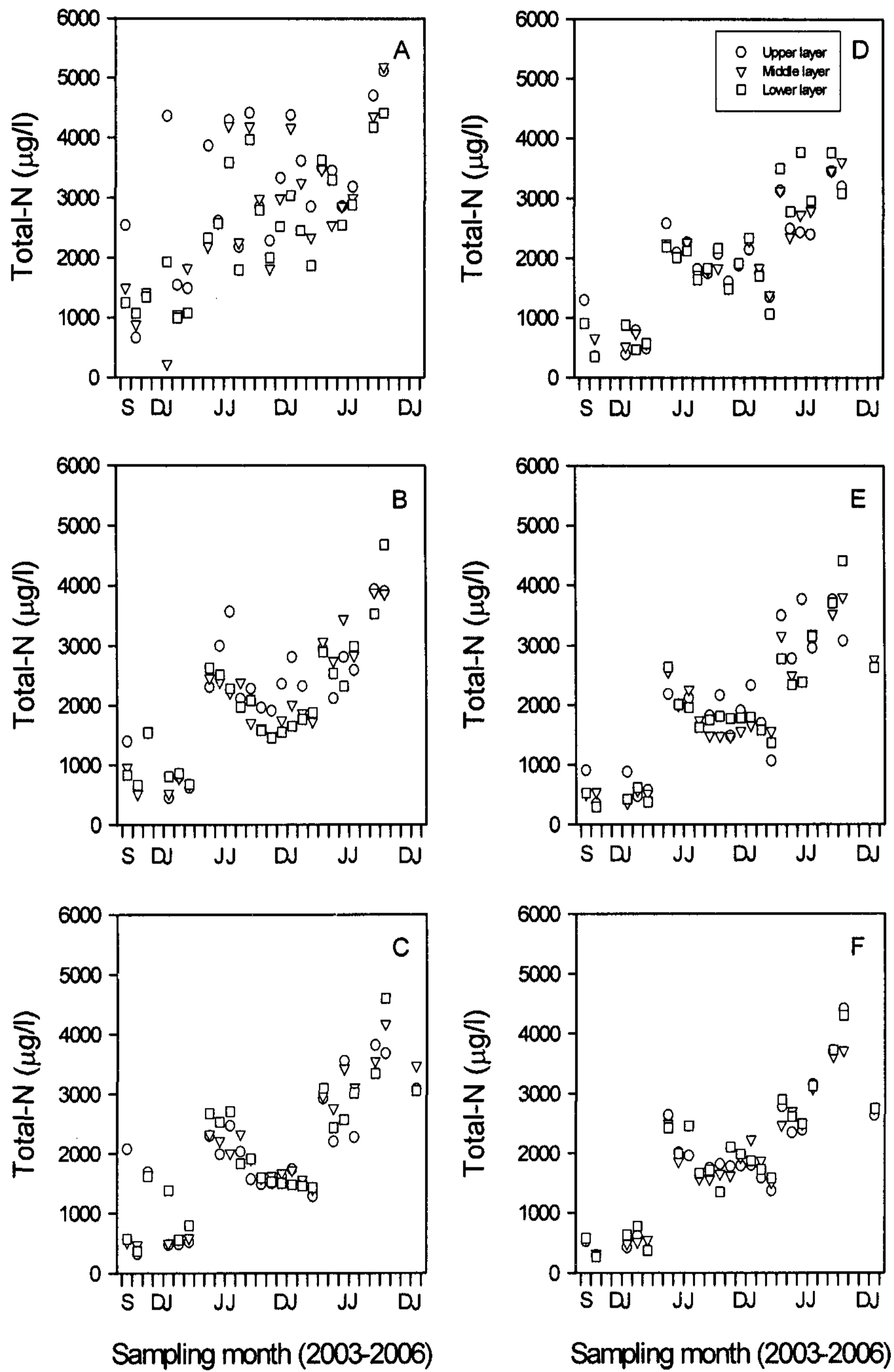




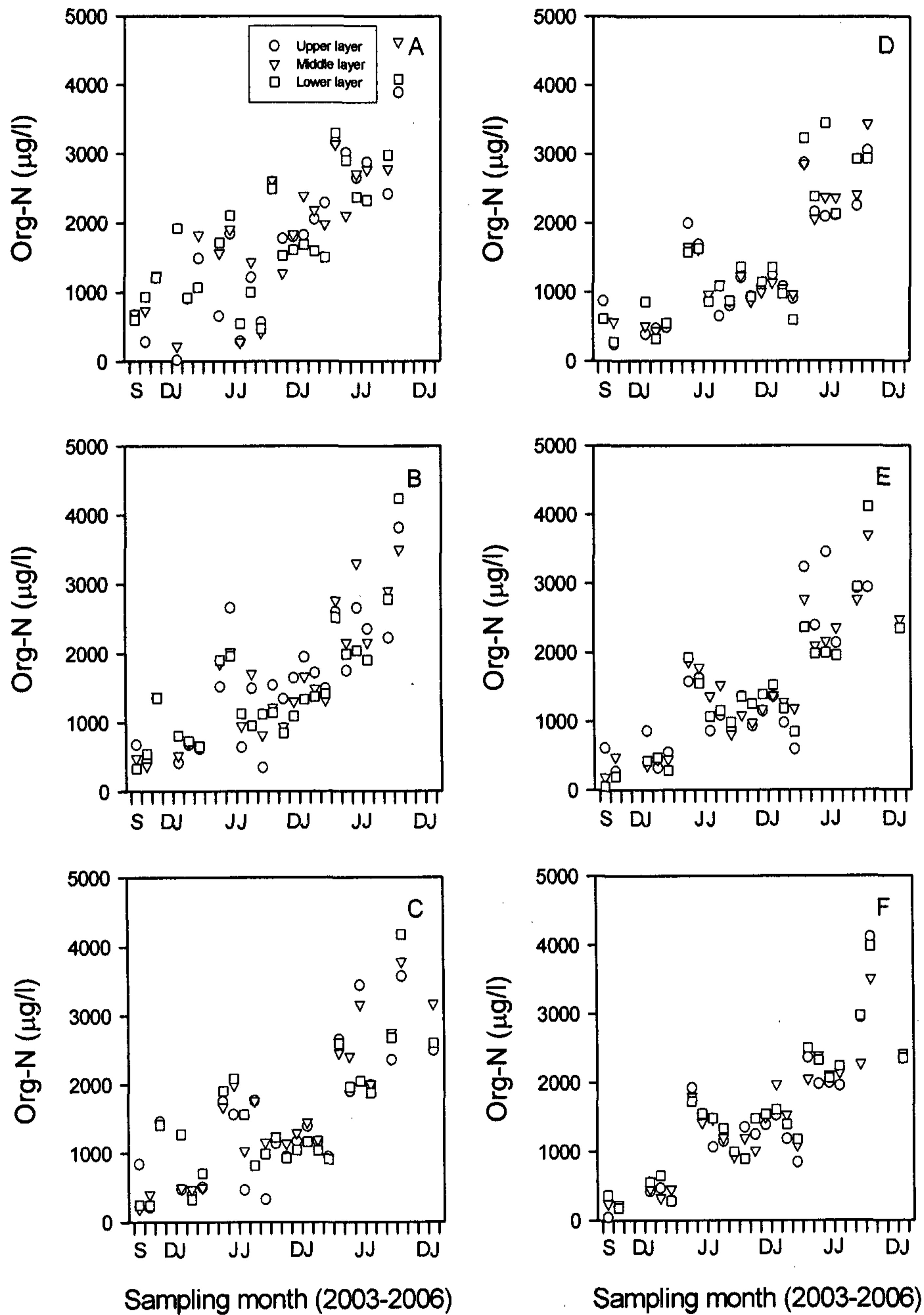
<그림 3-39> 2003년 9월~2006년 1월동안 화성호의 상·하류구간에서 주요 정점별 BOO의 월변동(A: HL1, B: HL2, C: HL3, D: HL4, E: HL5, F: HL6)



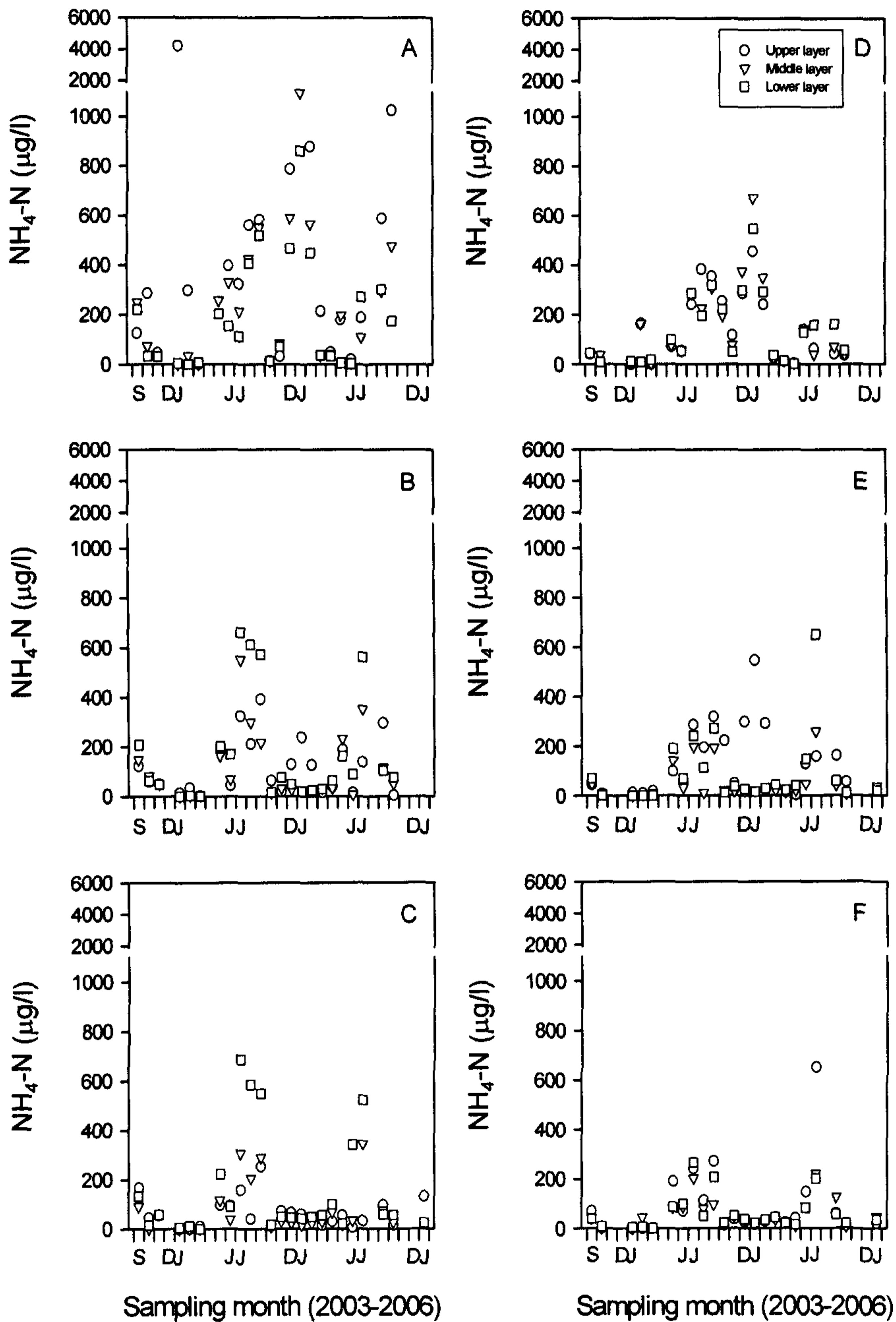
<그림 3-40> 2003년 9월~2006년 1월동안 화성호의 상·하류구간에  
서 주요 정점별 COD의 월변동(A: HL1, B: HL2, C: HL3, D: HL4,  
E: HL5, F: HL6)



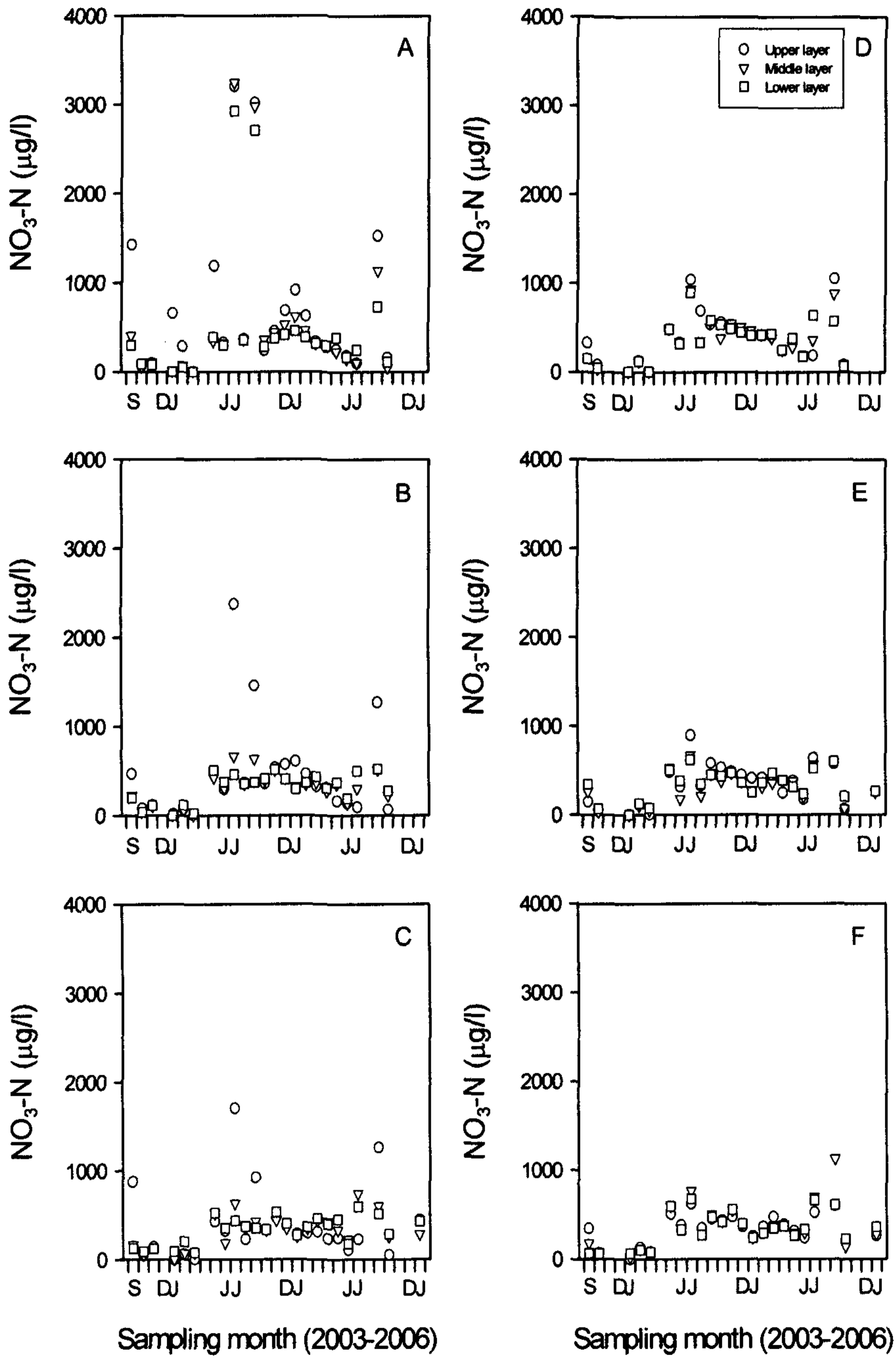
<그림 3-41> 2003년 9월~2006년 1월동안 화성호의 상·하류구간에서 주요 정점별 총질소의 월변동(A: HL1, B: HL2, C: HL3, D: HL4, E: HL5, F: HL6)



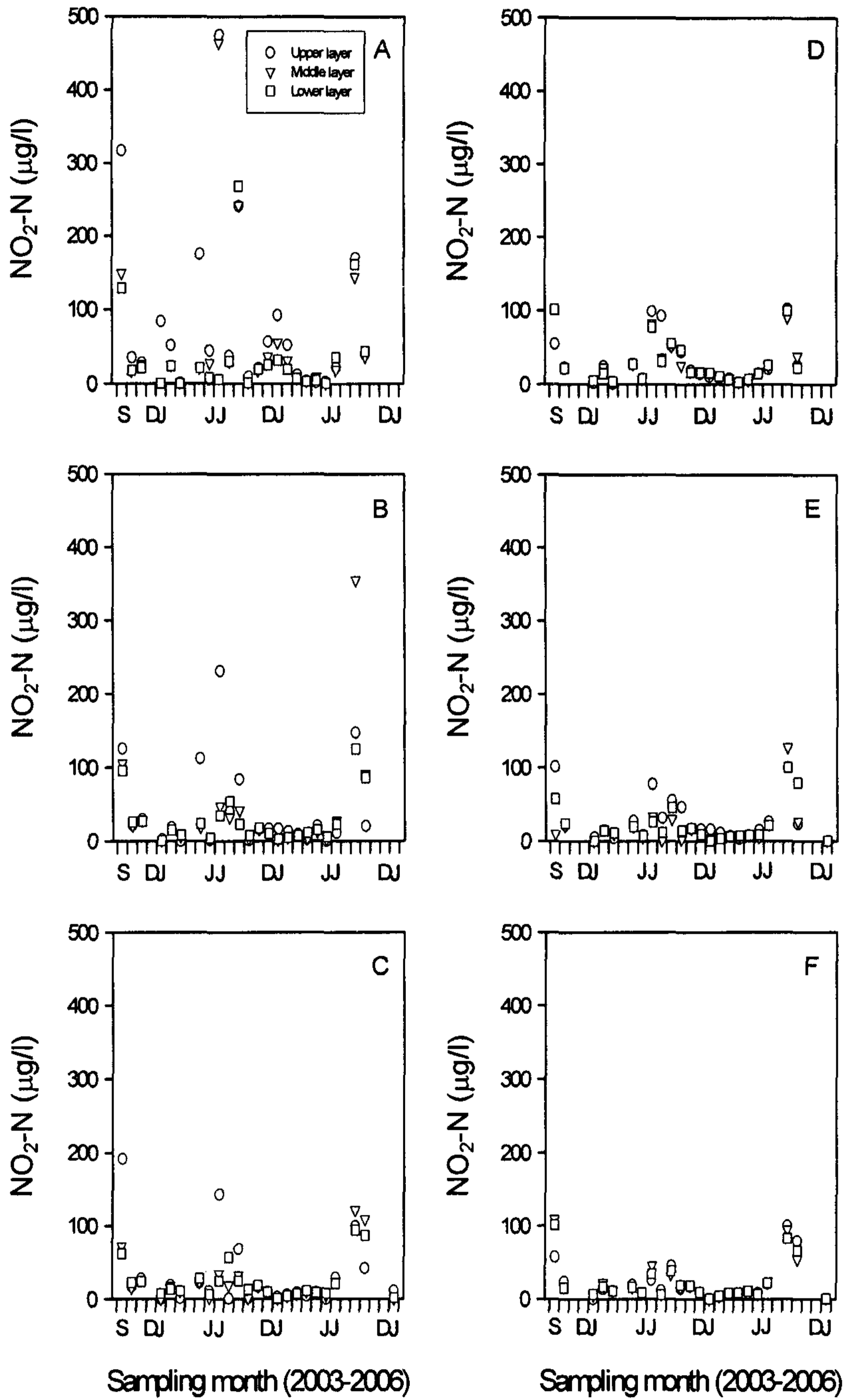
<그림 3-42> 2003년 9월~2006년 1월동안 화성호의 상·하류구간에서 주요 정점별 유기질소의 월변동(A: HL1, B: HL2, C: HL3, D: HL4, E: HL5, F: HL6)



<그림 3-43> 2003년 9월~2006년 1월동안 화성호의 상·하류구간에서 주요 정점별 암모니아의 월변동(A: HL1, B: HL2, C: HL3, D: HL4, E HL5, F: HL6)



<그림 3-44> 2003년 9월~2006년 1월동안 화성호의 상·하류구간에서 주요 정점별 질산의 월변동(A: HL1, B: HL2, C: HL3, D: HL4, E: HL5, F: HL6)



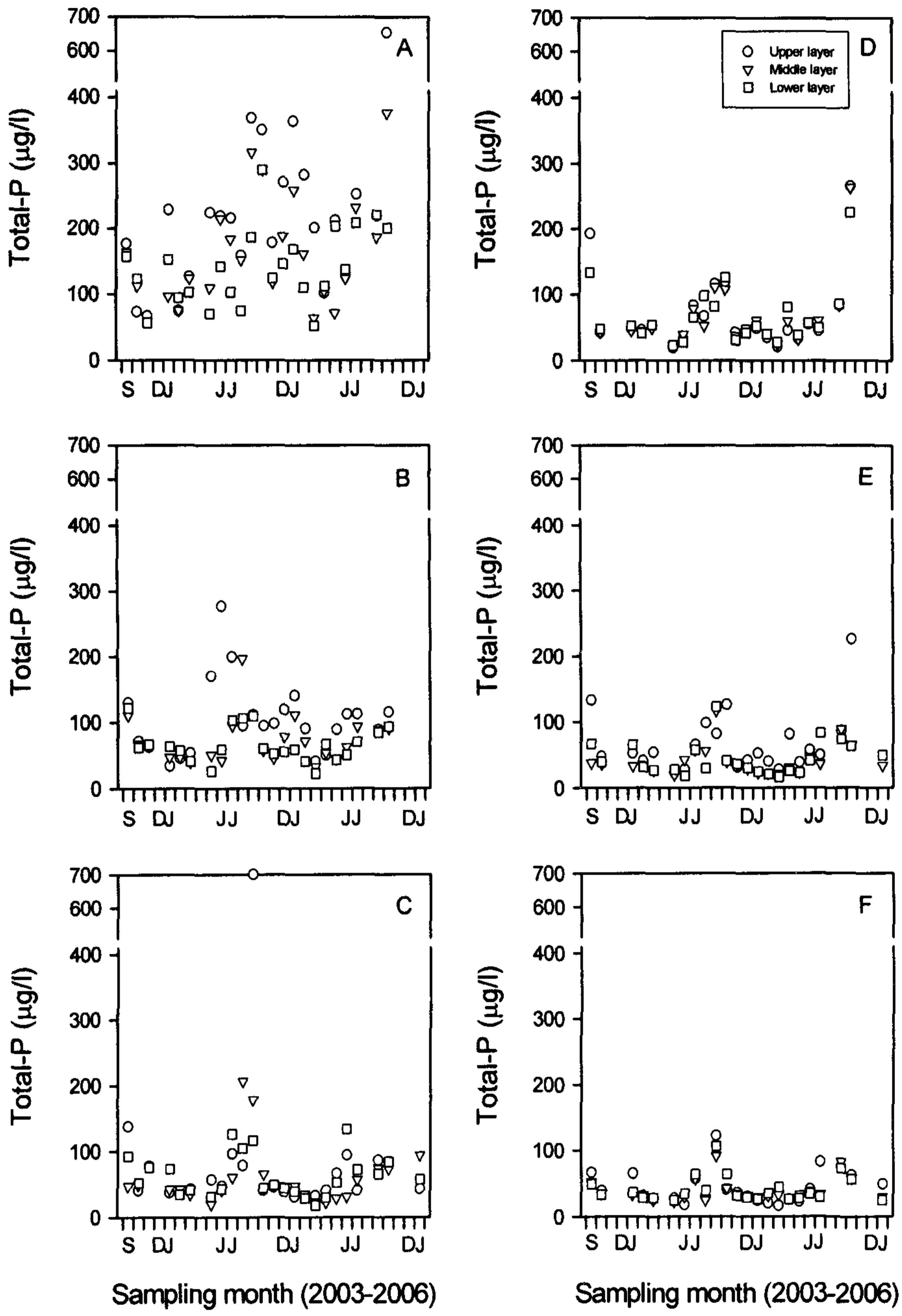
<그림 3-45> 2003년 9월~2006년 1월동안 화성호의 상·하류구간에서 주요 정점별 아질산의 월변동(A: HL1, B: HL2, C: HL3, D: HL4, E: HL5, F: HL6)

모든 질소태의 경우에 있어 하천유입부 지점들의 농도가 개방수역 지점들의 농도에 비해 높았고 경시적 변화도 상대적으로 더 컸다<그림 3-41> ~ <그림 3-45>. 특히 하천유입부에서의 월별 농도변화는 남양천과 자안천 지점(HL1, HL2)이 주도하였으며 이 지점의 질소농도가 모든 경우에 있어 가장 높게 나타남으로써 영양염의 유입이 다른 유역에 비해 상대적으로 높았음을 반영하였다. 특히 남양천의 유입수는 개방수역 지점에서의 총질소와 유기질소의 농도변화에 영향을 준 것으로 추정된다. 이것은 개방수역 HL3 지점의 심층에서 총질소와 유기질소의 농도가 다른 지점에 비해 매우 높게 나타난 결과와 일치한다. 2004년 1월에 남양천 유입지점(HL1) 표층에서 나타난 매우 높은 총질소 농도는 암모니아 농도의 피크와 일치하며 이 시기의 같은 지점의 중층과 심층의 높은 Chl-a의 농도로 반영된 것으로 유추된다.

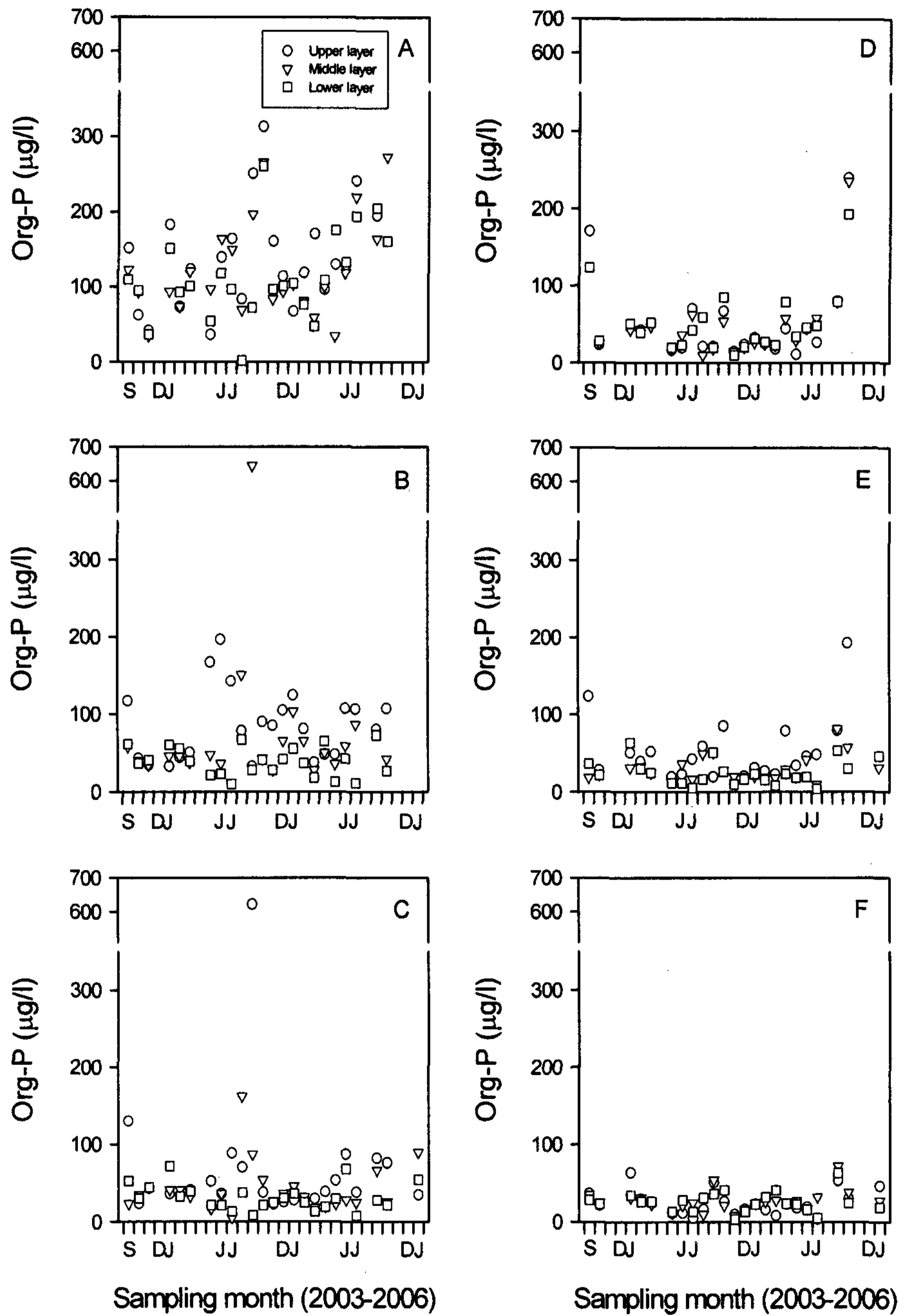
총질소와 유기질소의 경시적 변화와는 다르게 질산성질소와 아질산성질소의 변화는 하천유입지점과 호수개방수역 지점에서 상대적으로 차이가 적었다<그림 3-43>, <그림 3-44>. 그러나 암모니아성 질소의 농도는 하천유입 지점들이 개방수역 호수지점들 보다 매우 높게 나타났으며 이 차이는 표층에서 가장 뚜렷하였다<그림 3-45>. 특히, 겨울철 동안에 개방수역 지점들에서 무기질소의 농도변화는 미미하였고 농도도 낮게 나타났다.

화성호 개방수역 표층에서 모든 질소형태들의 농도변화는 Chl-a 농도 변화와 상관성이 매우 높게 나타났으나, 하천유입부 지점에서는 질산성질소, 아질산성질소, 유기질소와의 상관성만 보였다. 이 분석 결과는 호수 개방수역 지점에서의 식물성플랑크톤 발달이 하천유입 지점에 비해 질소의 영향을 더 크게 받는 것으로 유추할 수 있다.

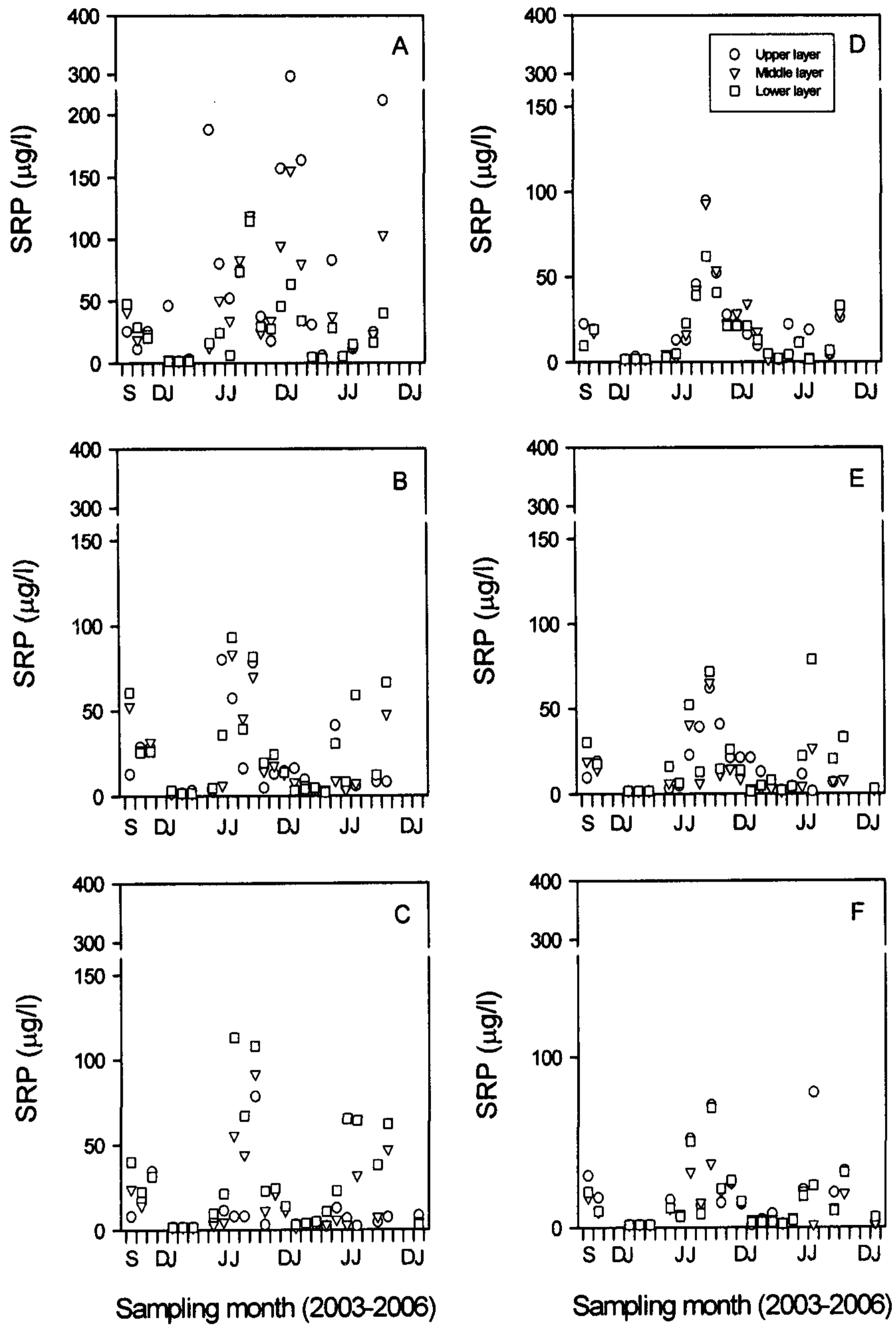




<그림 3-46> 2003년 9월~2006년 1월동안 화성호의 상·하류구간에서 주요 정점별 총인의 월변동(A: HL1, B: HL2, C: HL3, D: HL4, E: HL5, F: HL6)



<그림 3-47> 2003년 9월~2006년 1월동안 화성호의 상·하류구간에서 주요 정점별 유기인의 월변동(A: HL1, B: HL2, C: HL3, D: HL4, E: HL5, F: HL6)



<그림 3-48> 2003년 9월~2006년 1월동안 화성호의 상·하류구간에서 주요 정점별 용존 무기인의 월변동(A: HL1, B: HL2, C: HL3, D: HL4, E: HL5, F: HL6)

#### 자. 인농도의 시공간적 변화

질소태 영양염의 공간적 분포와 마찬가지로 화성호에서 인 농도는 하천유입지점들이 호수 개방수역 지점들 보다 항상 높게 나타났다<그림 3-46> ~ <그림 3-48>. 조사기간동안 총인, 유기인, 무기인 농도의 범위(평균값)는 각각 17.8~714.4  $\mu\text{g/L}$ (81.2), 1.6~644.2  $\mu\text{g/L}$ (59.0), 1.3~296.4  $\mu\text{g/L}$ (22.1)이었다. 총인에서 유기인과 무기인이 차지하는 비율은 각각 72.7%, 27.3%로서 유기인이 차지하는 비율이 더욱 높았다. 총인의 평균값은 각 정점별 표층, 중층, 저층에서 HL1 224.2  $\mu\text{g/L}$ , 164.4  $\mu\text{g/L}$ , 140.9  $\mu\text{g/L}$ , HL2 104.6  $\mu\text{g/L}$ , 100.2  $\mu\text{g/L}$ , 65.9  $\mu\text{g/L}$ , HL3 84.4  $\mu\text{g/L}$ , 59.3  $\mu\text{g/L}$ , 62.7  $\mu\text{g/L}$ , HL4 70.1  $\mu\text{g/L}$ , 64.9  $\mu\text{g/L}$ , 67.3  $\mu\text{g/L}$ , HL5 43.8  $\mu\text{g/L}$ , 41.2  $\mu\text{g/L}$ , 43.9  $\mu\text{g/L}$ , HL6 42.7  $\mu\text{g/L}$ , 39.4  $\mu\text{g/L}$ , 40.9  $\mu\text{g/L}$ 이었고<그림 3-46>, 유기인의 평균값은 각 정점별 표층, 중층, 저층에서 HL1 151.6  $\mu\text{g/L}$ , 122.1  $\mu\text{g/L}$ , 112.6  $\mu\text{g/L}$ , HL2 85.3  $\mu\text{g/L}$ , 79.7  $\mu\text{g/L}$ , 38.9  $\mu\text{g/L}$ , HL3 73.3  $\mu\text{g/L}$ , 42.1  $\mu\text{g/L}$ , 31.3  $\mu\text{g/L}$ , HL4 50.5  $\mu\text{g/L}$ , 46.2  $\mu\text{g/L}$ , 51.6  $\mu\text{g/L}$ , HL5 36.5  $\mu\text{g/L}$ , 29.9  $\mu\text{g/L}$ , 24.5  $\mu\text{g/L}$ , HL6 33.4  $\mu\text{g/L}$ , 27.4  $\mu\text{g/L}$ , 25.5  $\mu\text{g/L}$ 이었다<그림 3-47>. 총인과 유기인의 분포는 유사한 형태를 보였고, 수층의 생물 또는 부유물질의 농도에 의한 영향이 지배적이었다. 무기인의 평균값은 각 정점별 표층, 중층, 저층에서 HL1 72.7  $\mu\text{g/L}$ , 42.3  $\mu\text{g/L}$ , 28.3  $\mu\text{g/L}$ , HL2 19.3  $\mu\text{g/L}$ , 20.6  $\mu\text{g/L}$ , 27.0  $\mu\text{g/L}$ , HL3 11.1  $\mu\text{g/L}$ , 17.2  $\mu\text{g/L}$ , 31.4  $\mu\text{g/L}$ , HL4 19.6  $\mu\text{g/L}$ , 18.7  $\mu\text{g/L}$ , 15.7  $\mu\text{g/L}$ , HL5 7.3  $\mu\text{g/L}$ , 11.3  $\mu\text{g/L}$ , 19.3  $\mu\text{g/L}$ , HL6 9.3  $\mu\text{g/L}$ , 12.0  $\mu\text{g/L}$ , 15.4  $\mu\text{g/L}$ 로서 총인과 유기인에 비해 수층 변화가 뚜렷하였다<그림 3-48>. 또한 정점별로는 HL1에서 매우 복잡한 증감 양상을 보였고, 그 외 다른 지점에서는 여름철 장마 이후에 급증하는 패턴을 보였다.

조사기간 동안 분석된 세가지 인 형태 모두 남양천 유입부지점(HL1)에서 가장 높았다. 이 결과는 질소 농도의 분포와 일치하며 남양천 유입수가 다른 하천에 비해 상대적으로 높은 영양상태임을 알 수 있었다.

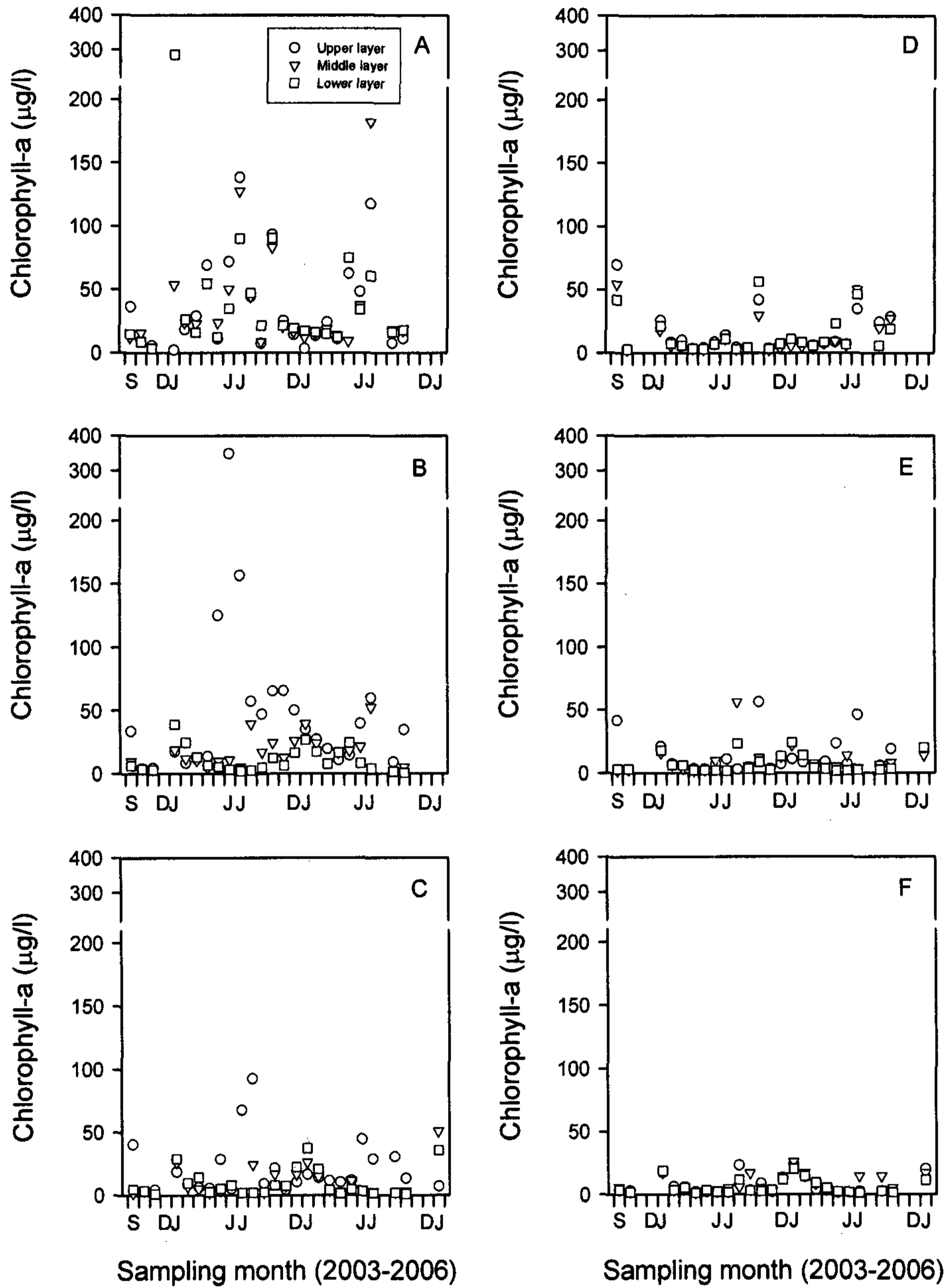
총인과 유기인 농도의 분포는 가을과 겨울 기간동안 큰 차이는 나타나지 않았으나, 무기인의 경우는 가을과 겨울의 차이가 뚜렷하였고 겨울동안에 하천유입 지점과 호수개방수역 지점 모두에서 매우 낮은 값을 보였다<그림 3-46> ~ <그림 3-38>. 겨울동안의 낮은 무기인 농도는 갈수기동안의 해수유입에 의한 희석효과와 함께 특히 하천 유입부 지점들에서 높은 Chl-*a*의 농도와 관련이 있을 것으로 추정되나 무기인 농도와 Chl-*a* 농도간에 유의한 상관성은 나타나지 않았다. 1월과 9월 중에 남양천 유입부 표층에서 총인, 유기인, 무기인농도 모두가 계절적인 피크를 나타냈으며, 이 결과는 이시기 동안 높은 무기입자의 농도가 반영되었을 것으로 유추된다.

화성호 표층에서 세 가지 인의 농도변화는 질소 변화와 마찬가지로 염분도 및 전기전도도와 음의 상관성을 보임으로써 해수의 유입에 의한 희석 효과가 있었음을 반영하였고, Chl-*a*, BOD, COD와의 높은 양의 상관성은 화성호에서의 인이 식물성 플랑크톤의 성장과 무기입자의 농도와 큰 관련이 있으며 발달된 식물플랑크톤은 수중의 산소소비에 상당한 한 영향을 미친 것으로 생각할 수 있다.

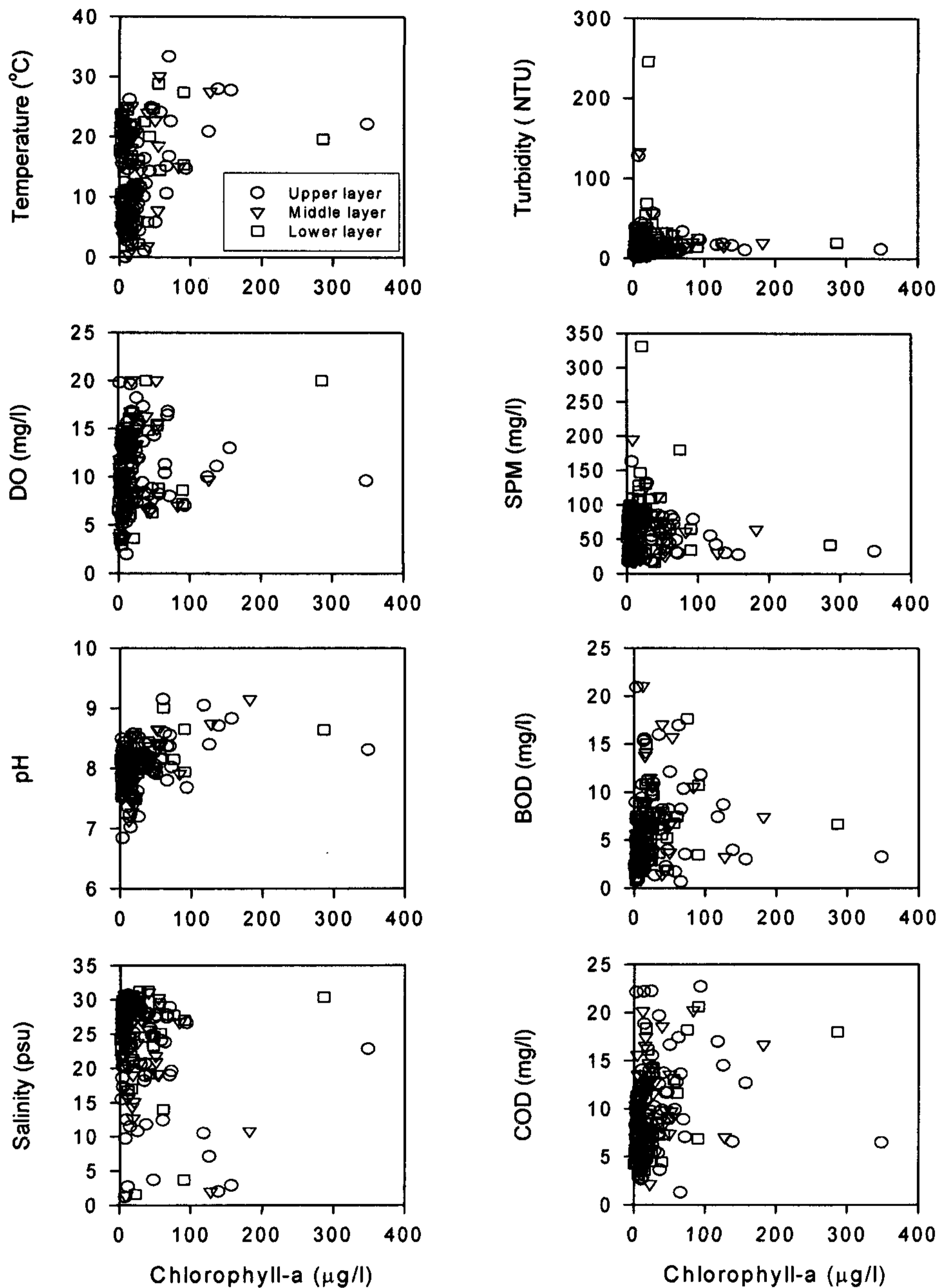
#### 차. Chl-*a* 농도의 시공간적 변화

조사기간 동안 화성호에서 Chl-*a*의 농도는 시공간적으로 상당한 변이를 나타냈으며, 특히 하천 유입지점의 농도가 호수 개방수역지점에 비하여 상대적으로 높았으며 변이의 정도도 심하였다<그림 3-49>. 호수의 전 수역에서 Chl-*a*의 평균 농도(범위)는 표층에서 25.7  $\mu\text{g/L}$ (2.0~348.2), 중층에서 15.8  $\mu\text{g/L}$ (1.5~182.0) 및 저층에서 14.8  $\mu\text{g/L}$ (0.5~286.3)이었다. 또한 하천유입부의 표층, 중층, 저층에서 각각 38.5  $\mu\text{g/L}$ (2.1~384.2), 26.5  $\mu\text{g/L}$ (2.2~182.0), 13.5  $\mu\text{g/L}$ (2.6~286.3)이었고, 개방수역에서는 13.4  $\mu\text{g/L}$ (2.0~103.7), 10.8  $\mu\text{g/L}$ (1.5~56.2), 9.7  $\mu\text{g/L}$ (0.8~37.3)를 보여 표층에서 식물플랑크톤의 생산성이 높음을 알 수 있었다.

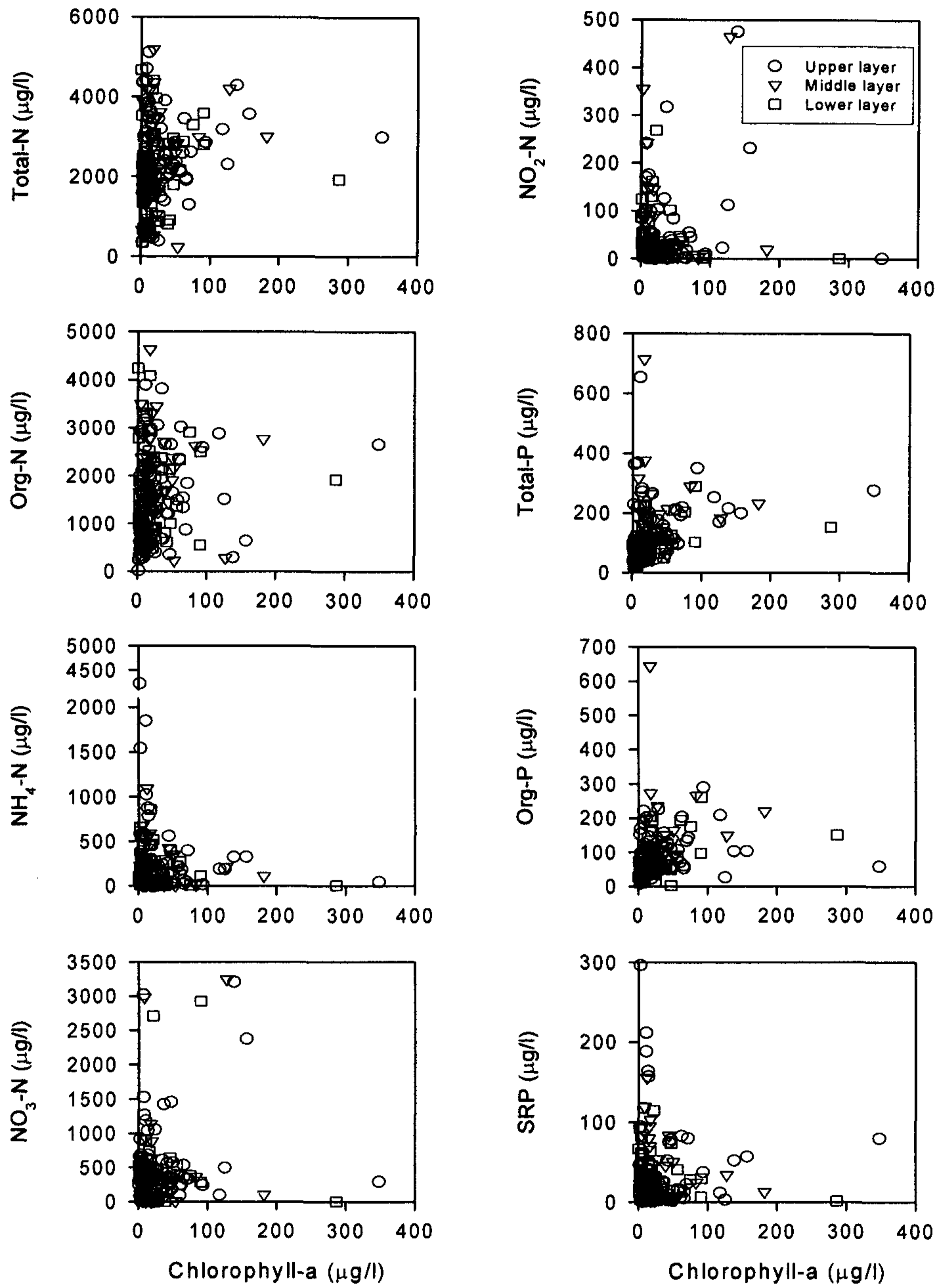
화성호 표층에서의 Chl-*a* 농도변화는 전반적으로 pH, 탁도, 질산성질소, 총인, BOD, COD 등과 유의한 상관성을 보여 질소와 인이 식물플랑크톤 발달에 영향을 주었던 것으로 추정되며 이는 결과적으로 수중의 pH 변화와 생물화학적 산소소비에도 상당한 영향을 준 것으로 생각된다.



<그림 3-49> 2003년 9월~2006년 1월동안 화성호의 상·하류구간에서 주요 정점별 Chlorophyll-a의 월변동(A: HL1, B: HL2, C: HL3, D: HL4, E: HL5, F: HL6)

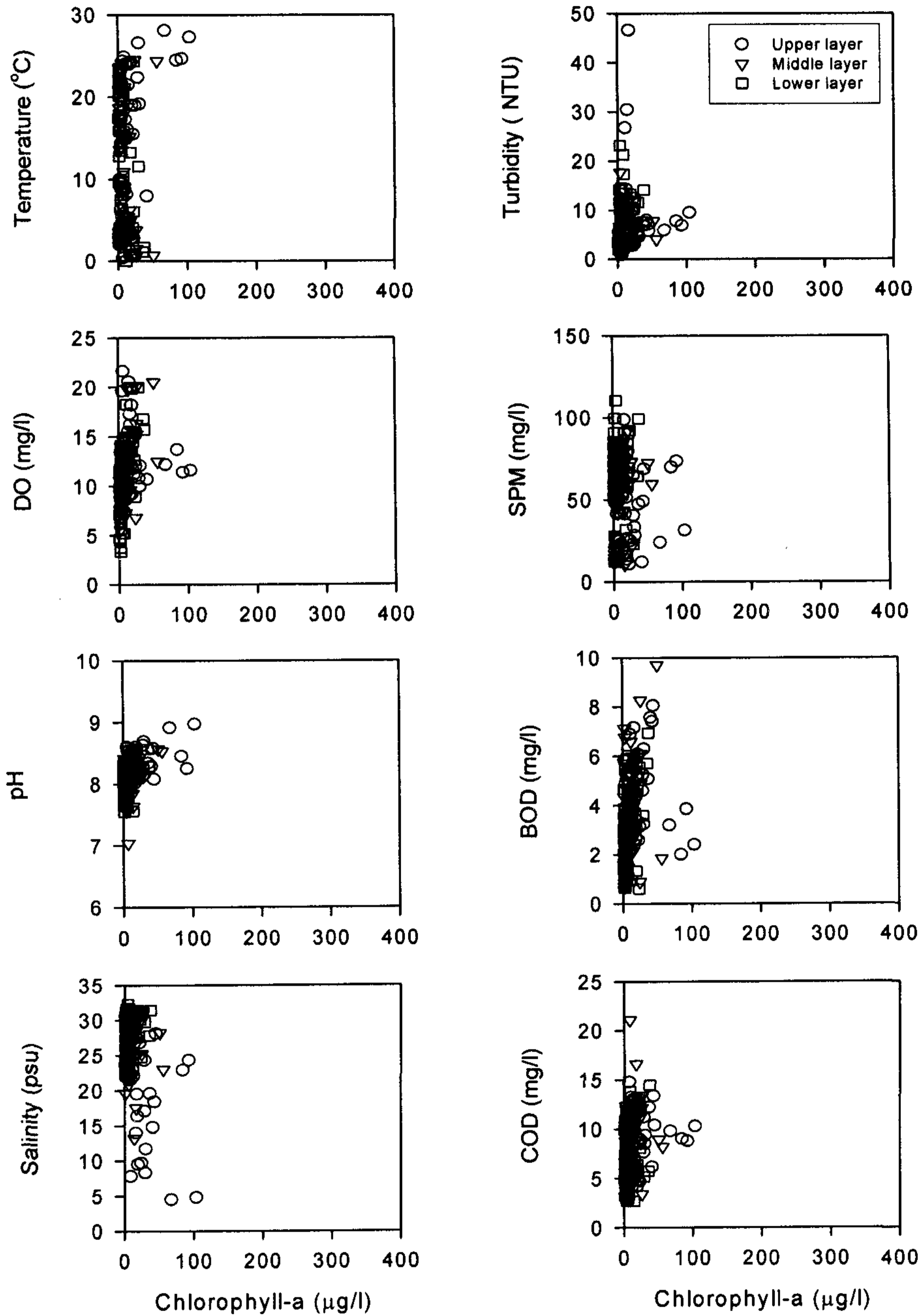


<그림 3-50> 화성호의 하천 유입부(HL1, HL2, HL4)에서 chlorophyll-a와 주요 환경요인의 연관성을 나타낸 단순 분포(2003년 9월~2006년 1월)

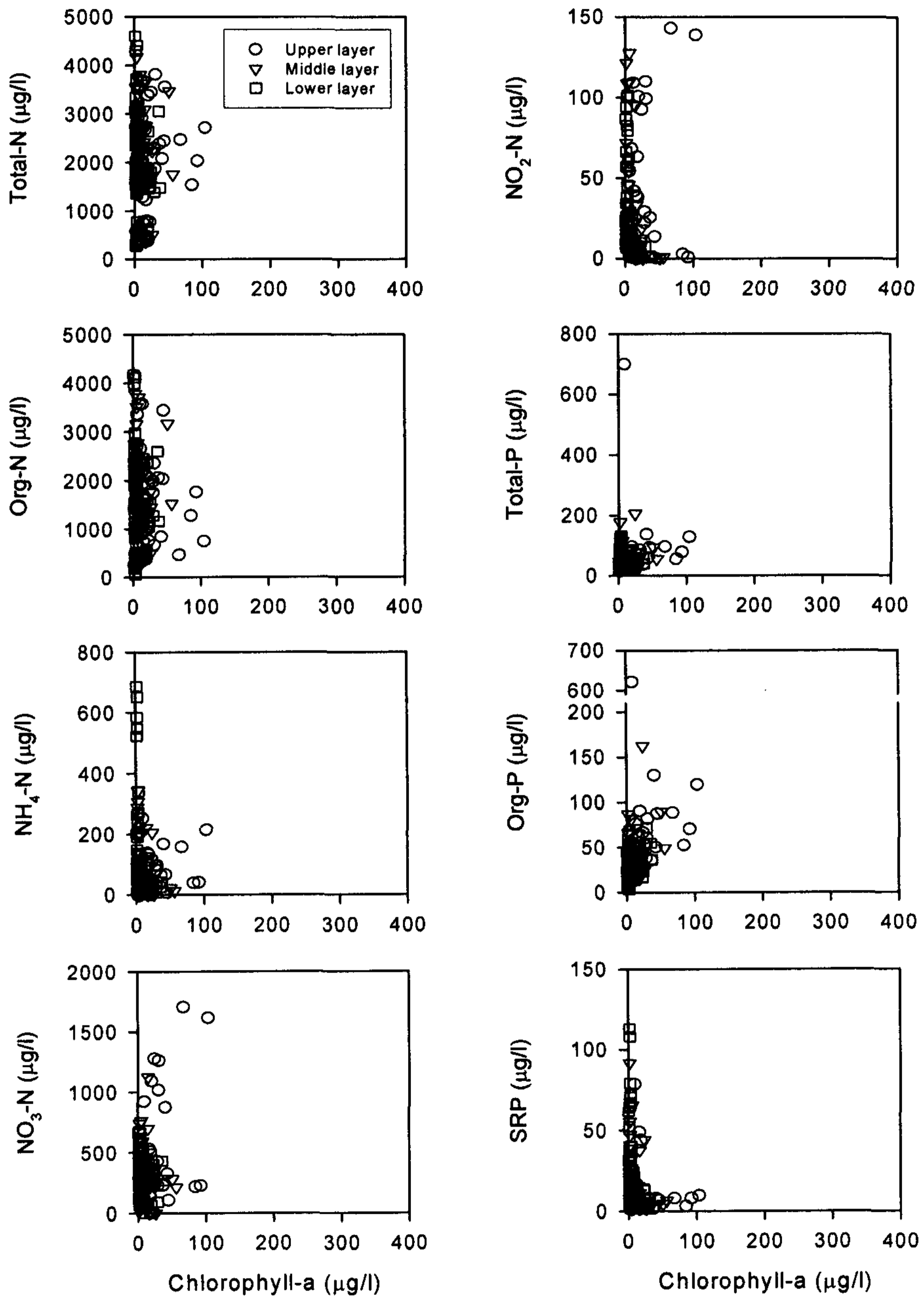


<그림 3-51> 화성호의 하천 유입부(HL1, HL2, HL4)에서 chlorophyll-a와 주요 환경요인의 연관성을 나타낸 단순 분포(2003년 9월~2006년 1월)

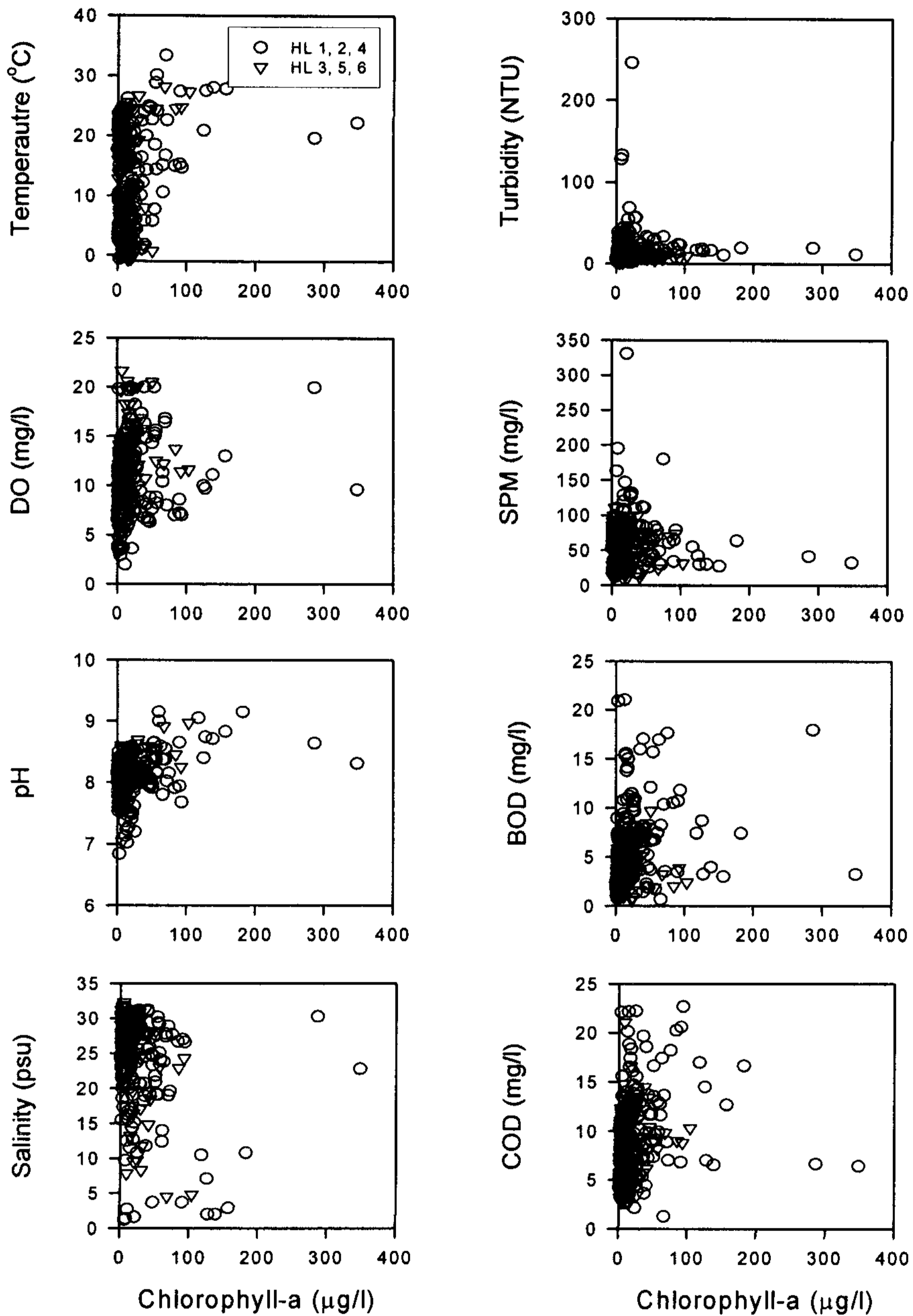




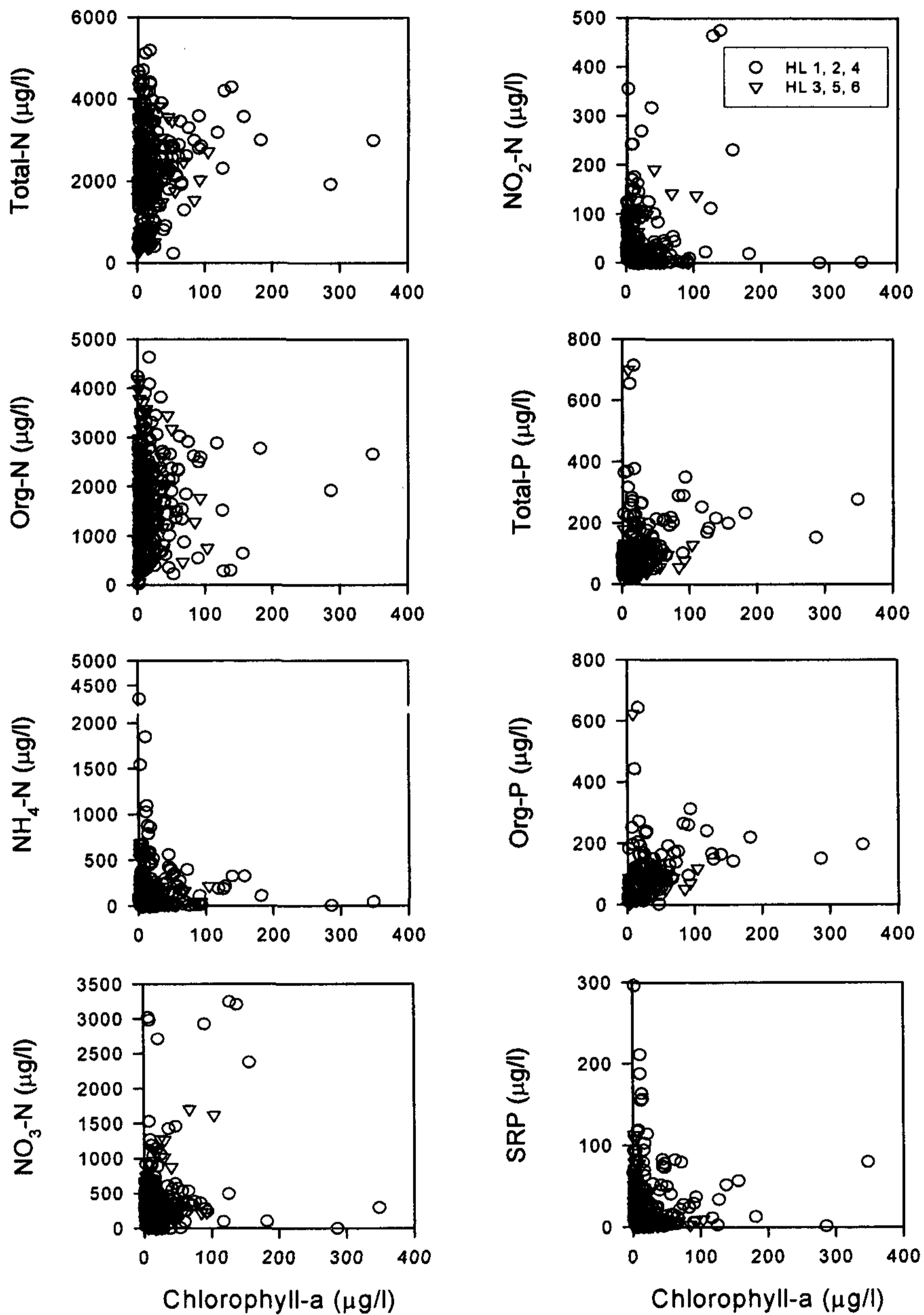
<그림 3-52> 화성호의 개방수역(HL3, HL5, HL6)에서 chlorophyll-a와 주요 환경요인의 연관성을 나타낸 단순 분포(2003년 9월~2006년 1월)



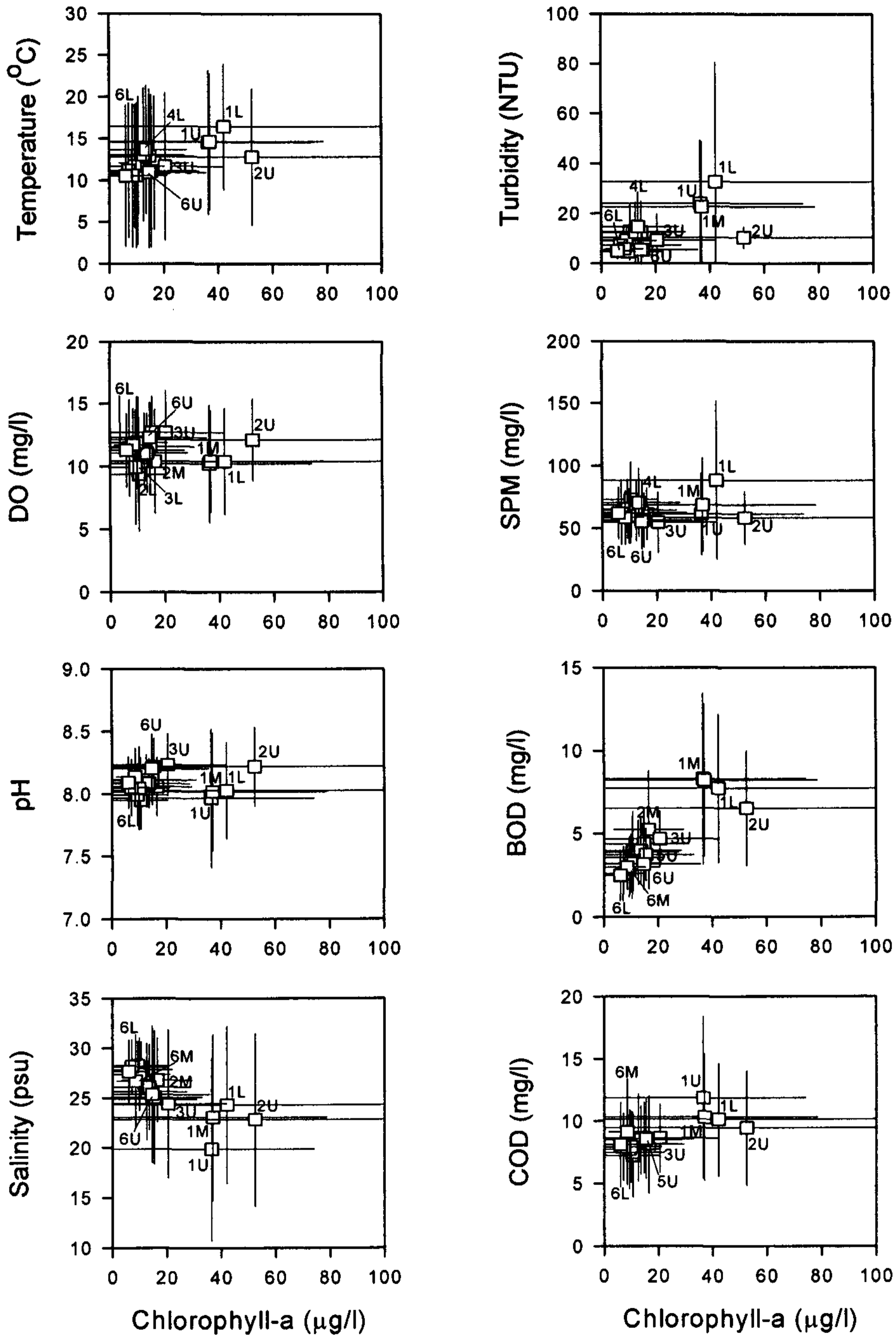
<그림 3-53> 화성호의 개방수역(HL3, HL5, HL6)에서 chlorophyll-a와 주요 환경요인의 연관성을 나타낸 단순 분포(2003년 9월~2006년 1월)



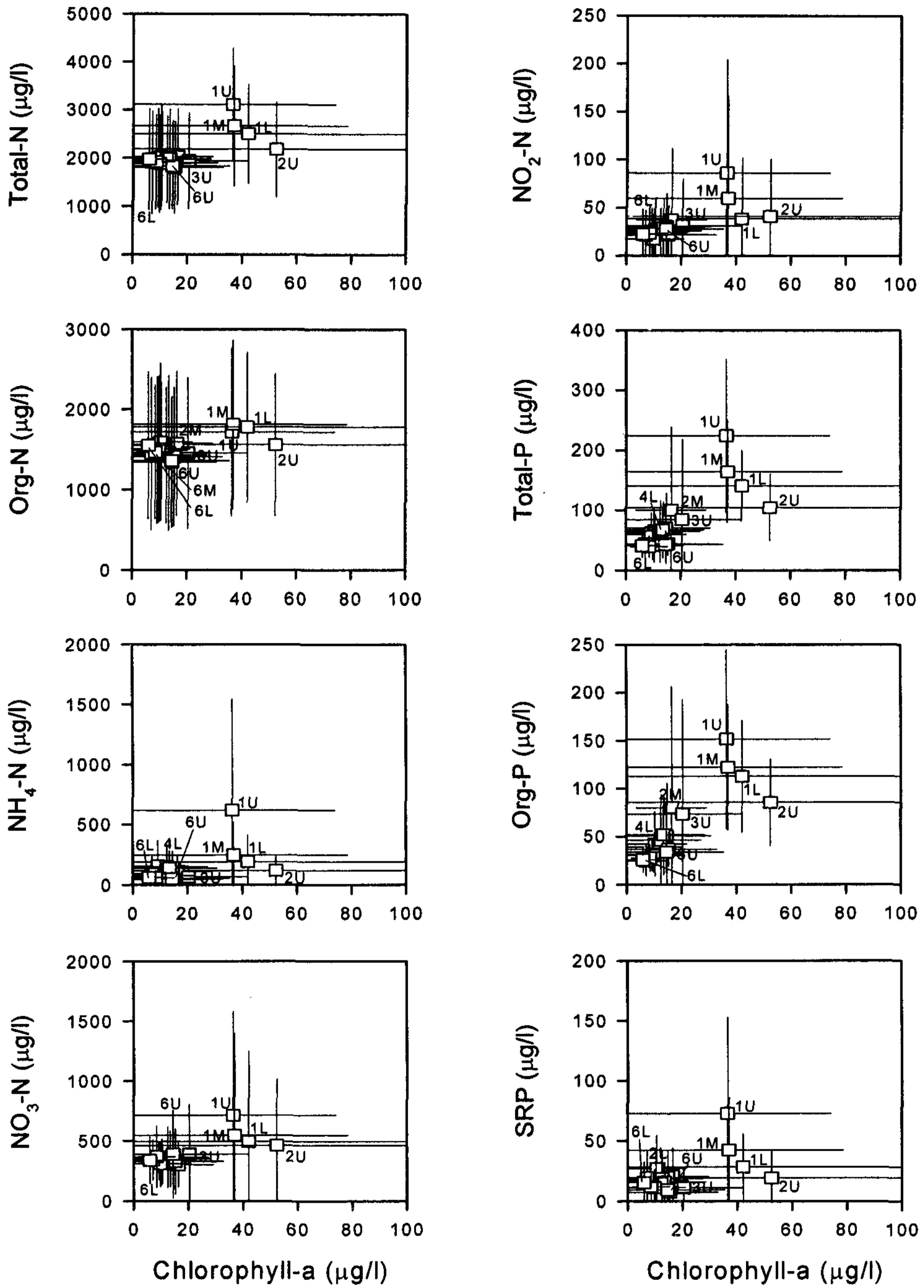
<그림 3-54> 화성호의 하천유입부와 개방수역에서 chlorophyll-a와 주요 환경요인의 연관성을 나타낸 단순 분포(2003년 9월~2006년 1월)



<그림 3-55> 화성호의 하천유입부와 개방수역에서 chlorophyll-a와 주요 환경요인의 연관성을 나타낸 단순 분포(2003년 9월~2006년 1월)



<그림 3-56> 화성호의 수질 평균값과 표준편차를 이용한 각 정점별 공간적 분포 비교(2003년 9월~2006년 1월)



<그림 3-57> 화성호의 수질 평균값과 표준편차를 이용한 각 정점별 공간적 분포 비교(2003년 9월~2006년 1월)

## 2. 화성호 수질변화 분석의 요약

화성호에서 2003년 9월부터 2006년 1월까지 조사된 결과 중 호수내 수질의 부영양화로 인한 결과 반영되는 것은 chlorophyll-a(Chl-a) 농도의 증감 양상이 주요하게 반영될 수 있었다. 하천유입부와 개방수역에서 Chl-a와 주요 환경요인의 상호 관련성을 파악하기 위하여 <그림 3-50> ~ <그림 3-55>에 도시하였다.

하천유입부에서 Chl-a의 증가는 수온이 20°C 이상에서 100 µg/L을 초과하는 현상이 현저하였고, 이때, DO와 pH는 각각 10 mg/L와 8.0를 상회하였다. 염분도의 관계에서 Chl-a는 양극화 현상이 나타났는데 적조 수준을 월등히 초과한 100~200 µg/L 범위는 15 psu 이하에서 관찰되었으나 >200 µg/L은 20 psu 이상에서 관찰되었다<그림 3-50>. 탁도와 SPM은 상대적으로 낮은 분포를 보였는데 생물학적 요소보다 무기입자의 영향이 더욱 지배적임을 알 수 있었다. 이러한 영향은 유기물 지표인 BOD와 COD 항목에서도 어느 정도 반영되었다. 수중 영양염과 Chl-a의 관계에서 유기질소와 유기인은 Chl-a 농도가 높을 때 비교적 높았으나 이와 반대로 무기질소와 무기인은 Chl-a의 농도가 높을 때 급감하거나 고갈되는 양상도 나타났다<그림 3-51>. 특히 무기질소는 암모니아의 농도에서 현저하게 작용됨을 알 수 있었다.

개방 수역에서 Chl-a는 하천유입부에 비해 극도로 높은 수준을 보이지는 않았으나 50 µg/L 이상은 표층에서 4회 관찰되었고, 5°C 이하의 저수온기에도 2회 관찰되었다<그림 3-52>. 이 시기는 염분의 농도가 20 psu 이상일 때로서 기수성 식물플랑크톤이 번성하였던 것으로 추정되어지며 저염성 식물플랑크톤도 2회 번성하였다. 이러한 식물플랑크톤의 번성은 다른 환경요인에도 직간접적으로 관련되었으며 특히 무기영양염의 변동에 있어 상류부보다 관련성이 덜 민감하였다<그림 3-53>. 이러한 결과는 호수의 수문학적 구조와 밀접한 관련성이 있는 것으로 보여지며 수문 개폐에 따른 해수의 유입 정도에 따라 상류부의 생물량이 하류부의 개방수역에 이송되었을 가능성이 매우 높다.

하천 유입부와 개방수역간의 비교에서 Chl-a는 하천유입부에서 월등히 우세한 환경으로 구분되었고, 개방수역에서는 하천유입부와 가까운 정점 HL3에서 높은 수준을 보였다. 이러한 내용은 전 항목에서 동일하게 반영되어 호수의 수질관리를 위해서는 유역의 하천 뿐만 아니라 저수심 수역에 대한 관리가 중요함을 지적하는 것이다. 또한 정점별 평균값과 편차를 이용하여 비교한 결과에서 정점 HL1은 전체 수층에서 높은 농도를 유지하였고, HL2는 표층에서 높았다<그림 3-54>. 반면에 다른 지점은 수심이 증가하고 해수 유입이 빈번한 HL6로 갈수록 감소하는 뚜렷한 구배를 두고 있었다.

화성호는 현재까지도 갑문조작에 의해 해수가 주기적으로 유통되고 있는 인공호이기 때문에 수질의 변화가 호 내의 수질변화와 생태학적 현상은 크게 하천유입수와 해수유통과 관련된 수문학, 그리고 강우량에 지배적인 영향을 받고 있다고 판단된다. 현재 화성호는 수질 악화를 막고자 만조와 간조시기에 배수갑문을 빈번하게 개폐하고 있다. 이러한 배수갑문의 조작은 화성호내 물의 회석 효과는 있으나 퇴적층의 심한 물리적 교란을 발생시키고 있다. 또한, 염분도는 강우기 표층을 제외하고는 아직 기수역 또는 해역의 염분도를 반영함으로써 담수호 또는 담수화 진행 상태라고 판단하기는 매우 어려운 상황이다.

본 조사에서 현재 화성호의 수질상태는 주기적인 회석이 일어나는 방조제 부근에서 호수 중앙부 정도까지는 심각한 상태는 아닌 것으로 판단된다. 그러나 하천 유입부(남양천 유입부)에서는 유입 오염물질의 영향이 큰 것으로 나타났다. 특히 질소와 인에 의한 호수의 영양 상태는 부영양 수준이었다. 특히 풍수해인 2003년도에 수행된 연구(황, 2003) 결과에 따르면 많은 강우량은 유역으로부터 질소와 인의 유입을 동반하였으며, 이는 호수 내의 높은 농도로 반영되었다. 그러나 강우시 SS 및 부유성 유기물질의 유입량이 많아 호수의 기초 생산이 빛에 의해 제한되어 식물플랑크톤의 대발생으로 이어지지 않는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 해수 유통이 진행되는 동안 반복적으로 꾸준히 나타날 것으로 예상된다.

최근의 선행연구 결과에 의하면(황, 2003), 화성호의 동· 식물 플랑크톤의 생물상은 담수에 기원하는 종들이 여름 동안 때로 관찰되었고, 또한 우점종으로 나타날 때도 있었다. 그러나 선행강우가 많았을 때만 이러한 현상이 관찰되었기 때문에 현재 화성호의 부유생물상이 변화도 강우사상에 상당히 의존하는 것으로 추측된다. 그러나 하천을 통한 지속적인 담수 생물의 유입은 수시종의 발달을 야기하는 결과를 낳을 것으로 예상된다. 따라서 수중 플랑크톤의 생활형에서 염분도의 중요성은 널리 잘 알려진 바와 같이 향후 이에 대한 생물상의 조성을 지속적으로 모니터링하는 것도 중요한 과제로 볼 수 있었다.

화성호 생태계는 개방수역에서는 물리·화학적인 교란 상태에 있다고 판단되며, 안정적이지 못하여 정상적인 먹이 사슬의 발달이 진행되지 못하고 있는 것으로 생각된다. 이러한 상황은 해수 유통이 정지될 때 까지 지속될 것으로 판단되며, 이 기간 동안은 해수의 유통과 강우사상에 따른 하천수 유입이 화성호의 수질변화를 좌우하는 가장 큰 요인으로 작용할 것이므로 수질관리계획을 수립함에 있어 중요하게 고려할 사안으로 생각된다.



## 제 4 장 *BASINS* 유역모형 개발

---

## 제 4 장 BASINS 유역모형 개발

### 제 1 절 유역모형 수행

#### 1. 모델 선정

##### 가. 모델의 사용목적에 따른 분류

오염총량관리는 여러 가지 대안들이 수계의 수질에 미치는 영향을 평가하기 위해서 유역모형의 적용이 필요하다. 이러한 유역모형에는 모델의 복잡성, 계산시간 등에 따라 simple method, mid-range model, detail model로 나눌 수 있다. simple methods는 요구되는 자료가 작으나 그 결과의 정확성은 떨어진다. 반면에 detail model은 정확한 결과를 획득할 수 있으나 그만큼 방대한 자료와 모니터링을 요구하며, 보정 및 검증에 많은 시간과 노력을 필요로 한다.

대부분의 유역모형은 3가지의 구성요소로 이루어져 있다.

- 수문 요소 : 하천의 유량 및 강우시 유출량 추정
- 토양 유실 요소 : 유역에서 수계로 유출하는 토양유실량 추정
- 수질 요소 : 오염부하량 예측

<표 4-1>~<표 4-2>은 모델에서 오염부하량을 계산하기 위한 공식이다.

<표 4-1> 모형의 종류 및 구성요소 - Simple Methods

모형	적용대상 유역	수문 해석	토양유 실해석	오염부하해석	대상오염물질	모의시간 단위
EPA Screening Procedures	혼재된 유역	없음	USLE- MUSLE	Loading function, potency factors	광범위	연평균값
Simple Method	도시유역	유출 계수	없음	평균농도	부유물질, 인,금속, 유류와 가스	연평균, 월평균, 강우사상 별
Regression Method	도시유역	없음	없음	회귀관계식	부유물질, 질 소, 인, COD, 금속	강우사상
SLOSS/PH OSP	농촌유역	없음	USLE	Loading functions	인	연평균
Watershed	혼재된 유역	없음	USLE	원단위법	광범위	연평균
FAWA	도로유역	유출 계수	없음	중간값 농도	부유물질, 질소, 인, 유기물, 금속	강우사상
WMM	혼재된 유역	유출 계수	없음	강우시 평균 농도	질소, 인, 납, 구리	연평균

USDA-SCS에서 개발된 curve number equation(CNE)는 하천의 유출량을 예측하는데 주로 사용되며(SITEMAP, GWLF, P8-UCM, AGNPS, STORM, SWRRBQ), Universal Soil Loss Equation(USLE)는 농촌유역에서의 토양유실을 예측하는데 널리 이용되고 있다(EPA screening procedures, Water Screen, Watershed, LOSS-PHOSPH, GWLF, AGNPS, STORM, SWRRBQ). 농촌 지역의 오염부하는 loading function 이나 potency factors 등이 자주 이용되며(EPA screening procedures, Water Screen, AGNPS, SWRRBQ, HSPF), 도시지역의 경우 unit area loading rate(GWLF)나 buildup & wash-off function(STORM, SWMM)등이 주로 이용된다. 이렇게 유사한 모의공식을 사용함에도 모델들은 공간적인 세분 정도와 계산 시간 단위에 따라 모형의 수준이 구별된다.

<표 4-2> 모형의 종류 및 구성요소 - Mid-Range Methods

모형	적용대상 유역	수문해석	토양유 실해석	오염부하해석	대상오염 물질	모의시간단 위
SITEMAP	혼재된 유역	SCS CN값	없음	지표유출농도	질소, 인	강우사상, 장기간연속 모의
GWLF	혼재된 유역	SCS CN값	수정된 USLE	원단위법	질소, 인	강우사상, 장기간연속 모의
P8-UCM	도시유역	수정된 SCS CN값, TR20	없음	Nonlinear accumulation	부유물질, 질소, 인 ,금속	강우사상, 장기간연속 모의
Auto-QI	도시유역	물수지	없음	Accumulation and wash-off	제한없음	강우사상, 장기간연속 모의
AGNPS	농촌유역	SCS CN값	수정된 USLE	Potency factor	질소, 인	강우사상
SLAMM	도시유역	Small storm-bas ed coefficient	없음	Nonlinear accumulation and wash-off	질소, 인, COD, 박테리아, 금속	강우사상, 장기간연속 모의

Detailed model은 유출량과 토양유실량을 모의하기 위해 더욱 복잡한 공식을 이용한다. 수문묘사에서는 각각의 물수지 공식을 이용하며(침투, 증발산, 기저유출, 차단), 토양유실예측을 위해서 물리적인 개념을 이용한다(토양이탈, 이동, 침전). 시간단위 계산의 오염물질 유출예측에는 지수감소공식(exponential decay function)이 널리 이용된다(SWMM). 이러한 계수들은 오염물질의 종류와 지역적 특성에 따라 큰 차이가 있기 때문에 보정 및 검증이 어려우며 많은 시간과 노력을 요구하며 대부분의 경우 추가적인 실험이라든지, 현장측정을 필요로 한다.

<표 4-3> 모형의 종류 및 구성요소 - Detailed Methods

모형	적용대상 구역	수문해석	토양유실 해석	오염부하 해석	대상오염 물질	모의시간 단위
STORM	도시구역	유출계수: SCS CN값: 단위도법	USLE	축적/탈착 방정식	질소, 인, COD, 금속	장기간연 속모의
ANSWERS	농촌구역	분포저류 모형	탈착/이동 방정식	Potency factor (침전물과의 상호관계)	없음	강우사상
DR3M -QUAL	도시구역	지표저류 물수지, kinematic wave 법	유출량과 유출고와 의 관계식	축적/탈착 방정식	부유물질, 질소, 인 유기물, 금속	장기간연 속모의
SWRRBW Q/SWAT	농촌구역	SCS CN값	수정된 USLE	부하함수	질소, 인, COD, 금속, 박테리아	장기간연 속모의
SWMM	도시구역	비선형저 류	수정된 USLE	축적/탈착 방정식	광범위	강우사상, 장기간연 속모의
HSPF	혼재된 구역	지표와 지하의 물수지	탈착/유실 공식	지 표면; 축 적/탈착 / 지 하면; 기저 유출농도, 지 하수 유출 농 도	광범위	강우사상, 장기간연 속모의

모형을 실행하고 보정 및 검증은 거치는데 필요한 입력자료의 양과 형태와 필요로 하는 결과물은 모델 선택에 있어서 반드시 고려되어야 한다. 모델에 사용되는 공식의 형태에 따라서, 모형이 요구되는 입력자료는 구역의 특성자료에서부터 시별 기상자료, 오염물질의 이동계수, 현장 모니터링 자료 등을 필요로 한다.(표 4-4)에서(표 4-6)까지는 각각의 모형에 필요한 입력자료와 결과를 요약한 표이다.

<표 4-4> 모형의 입·출력 자료 - Simple Methods

모형	주요 입력자료	주요 출력자료
EPA Screening Procedures	유역 및 토지이용자료 부하인자(기본값)	연평균 유수량 및 오염물질부하량
Simple Method	연 강수량, 토지이용과 불투수층 자료	유출량, 강우사상별/연간 오염물질부하량
Regression Method	연평균 강수량, 1월달 평균 최저 기온 유역면적과 토지이용상태, 불투수층면적비	연평균 토양유실량 인부하량
SLOSS/PH OSP	강우침식인자, 토양, 작물, 지형, 토지이용 자료	연평균 토양유실량 인부하량
Watershed	강우침식인자, 토지이용과 토양인자, 원단위, BMPs 경제성 정보	연평균 부하량, BMPs 경제성평가
FAWA	유입유량자료, 평상시/강우기 평균 농도	강우유출량과 농도와의 통계분석결과; 하류수계에 주는 영향
WMM	토지이용/토양자료 연간 강수량, 증발량, 강우시 평균농도, 호소 및 하천의 수문학적 특성, BMPs 제거효율	연간 도시지역과 농촌지역에서의 점오염 및 비점오염부하량; septic tanks 포함; BMPs적용시 감소량; 호소내에서의 부영양상태 평가; 금속농도

<표 4-5> 모형의 입·출력 자료 - Mid-Range Methods

모형	주요 입력자료	주요 출력자료
SITEMAP	기상 및 수문자료(시별/일별); 최대 1년 유역 및 수로 인자, 점오염원 및 비점오염원 인자	유출량 및 영양물질 부하량 오염부하량 할당
GWLF	기상 및 수문자료, 일별 토지이용 및 토양인자 영양물질 부하율	월별 혹은 연별 유출량, 유사량 및 영양물질 부하량
P8-UCM	기상 및 수문자료, 시별 강우사상 토지이용 및 토양인자 BMPs 제거율	일별 유출량, 오염물질부하량 BMPs 제거 효과
Auto-QI	시별/일별 강우량, 유역 및 토지이용자료 BMPs 제거율	연속/강우사상별 유출량 및 오염물질 부하량
AGNPS	유역 및 토지이용, 관리방안, 토양자료 강우자료, 지형학적 자료 BMPs 제거율	강우사상별 유출량 및 침투유량, 유사량, 영양물질부하량, COD 농도
SLAMM	시별 강우량 자료, 오염원특성, 면적, 토양, 불투수층, 교통구조물 특성	오염물질부하량, BMPs 평가 및 경제성평가

유역모형은 토지이용형태에 따라 발전되어 왔다. detail model 중에서도 BASINS/HSPF모형은 농촌지역과 도시지역이 혼재된 복잡한 유역에 가장 적당한 모형이다. SWMM, STORM과 DR3M-QUALM은 주로 도시유역의 모의를 위해 개발되었으며, ANSWERS와 SWRRB/SWAT은 농촌유역의 적용에 가장 적합하다. Mid-range model 중에서는 SITEMAP과 GWLF는 도시와 농촌유역 모두 적용이 가능하다. 특히 GWLF는 다양한 계산시간단위로 장기모의가 가능하며, 토지이용의 변화와 점원오염 혹은 비점원오염부하의 변화에 따른 유역에서의 반응 등을 평가할 수 있다. P8-UCM과 SLAMM과 같은 도시유역에 적합한 모형은 도시지역의 홍수시 유출에 대한 관리기법을 평가하는데 이용된다. Simple method는 지역적 특성에 적합한 경험적인 관계식을 이용하여 도시지역과 농촌지역 모두 적용이 가능하다.

<표 4-6> 모형의 입·출력 자료 - Detailed Methods

모형	주요 입력자료	주요 출력자료
STORM	시별 강우량 오염물질축적 및 유실인자 유출계수 및 토양자료	강수사상별 유출 및 오염물질 부하량 저류 및 처리시설적용 시별 수문도 및 수질곡선
ANSWERS	시별 강우량, 유역, 토지이용, 토양자료, BMPs 설계자료	강수사상별 유출량 및 침투유량, 유사량 탈착 및 이동 농촌유역 BMPs적용 효과
DR3M -QUAL	기상학적·수문학적 자료, 유출과 관련된 유역특성자료, 수로의 직경 및 kinematic wave 인자, 저류지의 특성, 오염물질축적 및 유실인자	연속적인 유출량 및 오염물질 부하량 장기모의 강수사상에 대한 요약 수문곡선 및 수질곡선
SWRRBW Q/SWAT	기상학적·수문학적 자료 유역 및 하류수계인자 토지이용 및 토양자료 저류지 및 저수지자료	연속적인 유량 및 침전물 부하량 장기모의 침투유량 수질농도 및 부하량
SWMM	기상학적·수문학적 자료 토지이용자료 축적 및 유실계수 감소계수	연속/강수사상별 유출량 및 오염물질부하량 하천 및 호소를 통한 오염물질 이동 유역관리기법 분석
HSPF	기상학적·수문학적 자료 토지이용자료 부하인자 및 유실인자 하류수계 특성인자 감소계수	사용자 정에 따른 유출량 및 오염물질부하량(최소 시별) 하천수계에 미치는 영향 평가 유역관리기법 분석

사업의 목적에 따라서 모형의 적용은 screening, intermediate, detail 로 구분될 수 있다. Simple methods는 대부분이 screening 단계에 적용되며, mid-range와 detail model은 보다 폭넓은 단계에 적용이 가능하다. 일반적으로



Screening 단계는 점오염원과 비점오염원과의 단순 비교와 같이 초기 계획수립단계에 적용되는데, 다양한 토지이용상태와 오염원에 대한 평가가 이루어질 수 있으며, 이를 토대로 계획수립의 정밀도를 높일 수 있다.

Intermediate 단계에서는 다양한 점오염원과 비점오염원을 유발시키는 지형학적 분석이 보다 자세히 묘사되며, 특정한 점오염원 혹은 비점오염원에 대한 평가와 일차적인 각 대안별 평가와 선택이 이루어진다.

detail 단계에서는 다양한 오염원으로부터 오염원 특징의 정확한 구분과 오염물질의 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.

계획의 수립, 대안별 평가, 수계의 수질에 미치는 영향분석에 따른 모델의 적용 범위는 <표 4-7>~<표 4-9>와 같다. 표에서 보는 바와 같이 대부분의 모형은 screening 단계에 적용가능하다. 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, SIMPTM은 주로 도시지역을 적용대상으로 하기 때문에 도시 강우 유출 관리기법을 평가하며 intermediate 단계의 적용에 유용하다. SWMM, HSPF, DR3M, STORM, SWRRB/ SWAT 등은 다양한 점오염원과 비점오염원의 상세한 묘사가 가능하며, 이러한 모델의 결과를 이용하여 관리기법을 평가하거나, 설계기준을 수립하는데 이용된다.

<표 4-7> 유역모형의 적용 수준 - Simple Methods

모형	유역분석			대안분석		하천수질 모의
	Screening	Intermediate	Detailed	계획	설계	
EPAScreening	●	-	-	-	-	○
SimpleMethod	●	-	-	○	-	-
Regression	●	-	-	-	-	-
SLOSS/PHOSP	○	-	-	-	-	-
Watershed	●	-	-	○	-	-
FAWA	●	-	-	○	-	○
WMM	●	○	-	◐	-	-

<표 4-8> 유역모형의 적용 수준 - Mid-Range Methods

모형	유역분석			대안분석		하천수질 모의
	Screening	Intermediate	Detailed	계획	설계	
SITEMAP	●	○	○	◐	-	○
GWLF	●	◐	○	-	-	-
P8-UCM	●	◐	◐	○	●	-
Auto-QI	●	●	○	◐	○	○
AGNPS	●	●	○	●	○	○
SLAMM	●	◐	◐	●	◐	○

<표 4-9> 유역모형의 적용 수준 - Detailed Methods

모형	유역분석			대안분석		하천수질 모의
	Screening	Intermediate	Detailed	계획	설계	
STORM	●	●	○	●	○	○
ANSWERS	●	●	◐	●	○	○
DR3M-QUAL	◐	●	●	●	◐	◐
SWRRBQ /SWAT	◐	●	●	●	◐	◐
SWMM	◐	●	●	●	◐	-
HSPF	◐	●	●	●	◐	●

● high    ◐ medium    ○ low

HSPF나 SWMM과 같은 detail model의 screen 단계의 적용은, 수많은 인자들의 초기값을 적용함으로써 시간과 필요한 입력자료를 줄일 수 있다. 도시유출모의가 가능한 SWMM, HSPF, SLAMM, P8-UCM, DR3M-QUAL 등은 수많은 설계기준을 제공할 수 있지만, 수많은 입력자료와 사용자의 전문성을 요구하며, 적절한 입력값과 결과값의 해석이 필요하다.

나. 하구담수호의 유입부하량 예측을 위한 유역모형 선정  
 본 연구의 유역모형 적용은 화성유역관리 사업의 목적을 충분히 반영할 수 있는 모형을 각 단계별로 선별하여 최적의 유역모형을 선정하였다.

· 화성사업에 모델적용 목적은?  계획수립  설계기준수립

Mid-Range model : P8-UCM, SLAMM

Detail models : DR3M-QVAL, SWRRBQ/SWAT, SWMM, HSPF

· 요구되는 모형의 수준은?  mid-range  detail

Detail models : DR3M-QVAL, SWRRBQ/SWAT, SWMM, HSPF

· 연속모의가 필요한가?  예  아니요

DR3M-QVAL, SWRRBQ/SWAT, SWMM, HSPF

· 영양물질 모의가 필요한가?  예  아니요

DR3M-QVAL, SWRRBQ/SWAT, SWMM, HSPF

· 화성 유역의 오염부하특성은?  agriculture  urban  mixed

HSPF

최근 들어서 유역모형은 GIS 프로그램과 연계된 통합관리시스템이 꾸준히 개발되었다. 근래에 미국의 TMDL 적용을 위해 개발된 통합관리시스템중의 하나가 BASINS이다. 특히 BASINS는 ArcView GIS 환경하에서 구동되기 때문에 사용자 편의 시스템이 제공되며, 현재의 유역평가에서부터 모형을 통한 미래의 유역상황을 평가할 수 있다. 그리고 모형적용을 위한 전처리가 하나의 시스템에서 손쉽게 이루어진다. 특히 BASINS가 포함하는 모형으로는 QUAL2E, SWAT, HSPF 등이며, HSPF 또한 BASINS에 맞게 개발되었다. 따라서 본 연구에는 BASINS/HSPF를 화성 유역에 적용하고자 한다.

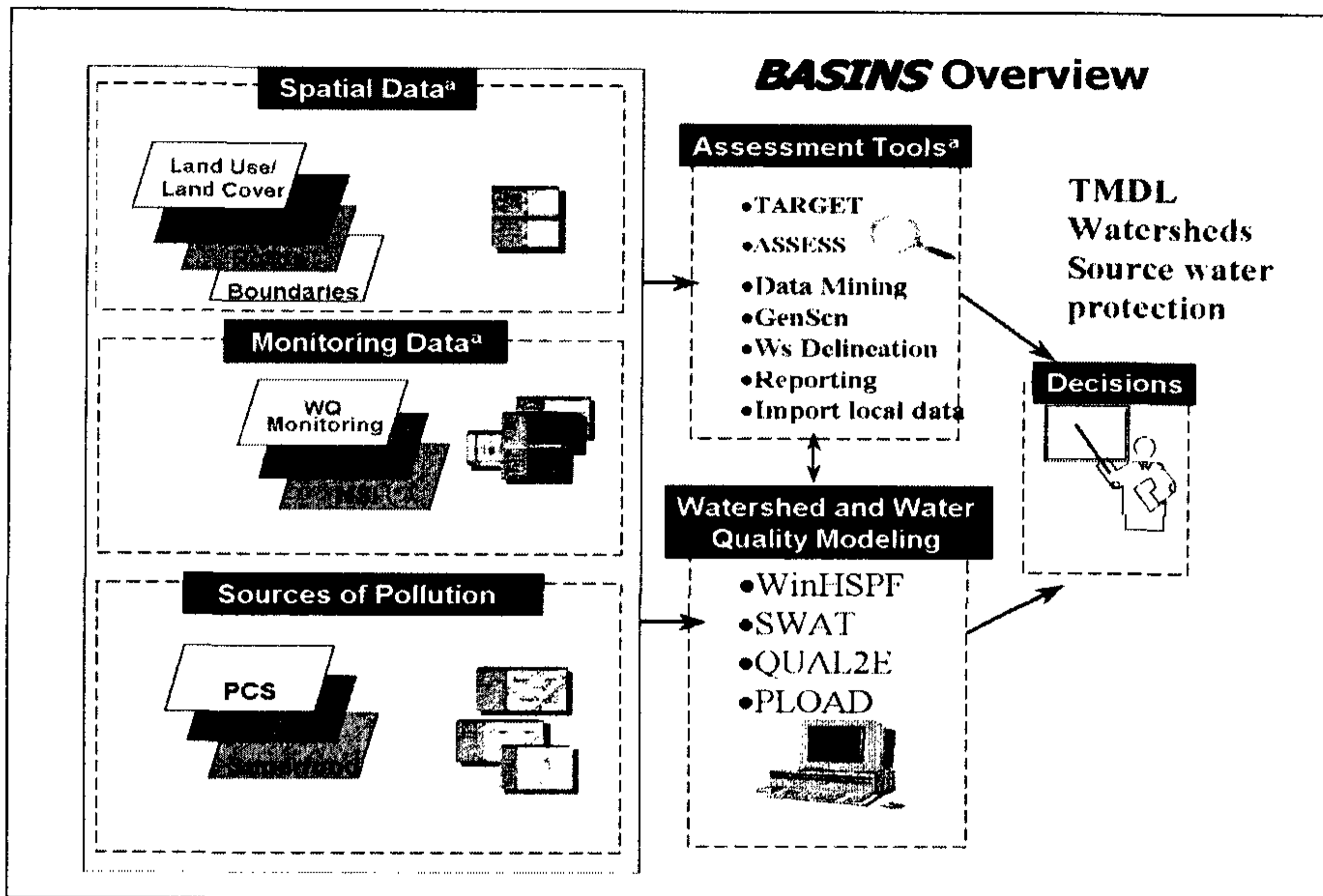
## 제 2 절 BASINS 모형

BASINS는 유역과 수질에 대한 손쉬운 평가와 점원오염과 비점오염을 통합적으로 관리하기 위해 개발되었다. BASINS는 개선된 분석 기술을 이용한 중요 환경적인 데이터들을 필요로 한다. 환경프로그램의 몇 가지 프로그램은 의사결정이나 환경관리 계획의 여러 단계에서 복합적인 시스템의 적용을 위해 개발되었으며 아래와 같은 장점을 갖고 있다.

- 환경적인 정보를 분석하는데 용이하게 한다.
- 환경적인 시스템의 분석을 지원한다.
- 유역오염관리기법의 평가를 위한 기본틀을 제공한다.

BASINS은 유역오염분석 및 관리를 위해 개발되었기 때문에 미국의 TMDL에 적용에 이용된다. 기존의 유역개념의 오염관리에서는 자료의 전처리, 정보의 요약, 지도와 표 생성, 모형적용 등과 같은 일련의 과정을 각각 분리되어 여러 가지 tool과 software 등을 이용하여 실시하였다. 그러나 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 제공하며, 다양한 유역모형과 수질모형을 시스템 내에서 실행할 수 있으므로, 유역의 분석시간을 줄이며 다양한 정보를 효율적으로 손쉽게 획득할 수 있다는 장점을 가진다.

<그림 4-1>은 유역오염관리를 위한 정책결정시 BASINS의 적용 흐름도이다.

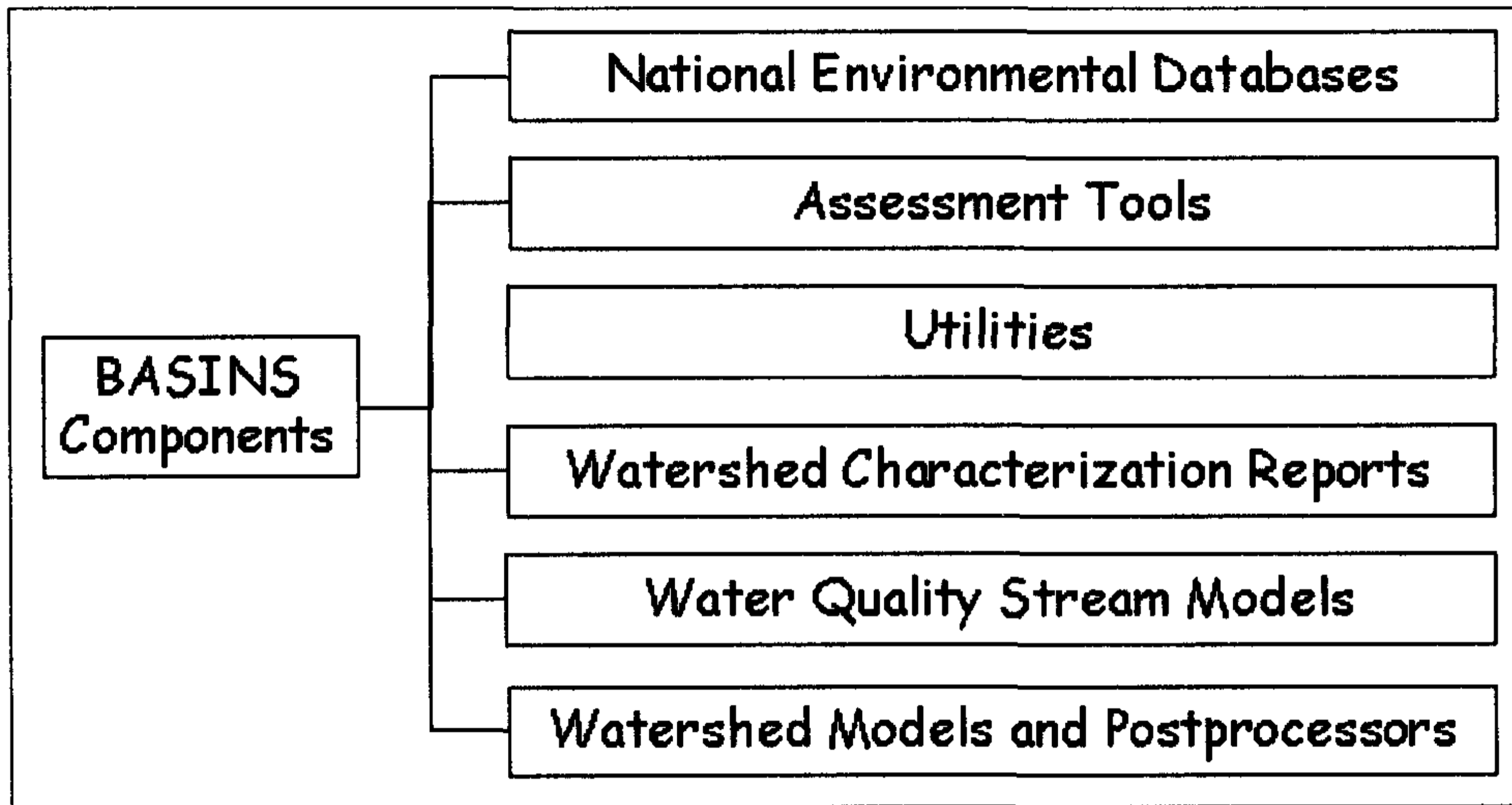


<그림 4-1> BASINS의 적용 흐름도

적용 흐름도를 살펴보면 먼저 토지이용, 토지피복, 하천도, 도로, 경계 등의 공간데이터와 수질측정자료, 미생물 등의 측정자료와 함께 국가 데이터 베이스로 구축되어 있는 오염원자료를 이용하여 복합적으로 관리하게 된다. 이렇게 통합적으로 관리되고 있는 정보를 이용하여 TARGET, ASSESS, Data Mining을 이용하여 문제가 되는 유역과 소유역을 구분하며 필요한 경우 데이터를 추출해내게 된다. 또한 GenScn, Ws Delineation, Reporting, Import local data 등을 이용하여 데이터를 분석하거나 유역모형이나 수질모형을 구동하기 위한 데이터를 생성해 주게 된다. 이런 과정을 통해서 오염총량관리를 가능하게 하며 정책관리자나 사용자가 의사결정을 하게 된다.

### 1. BASINS 구성요소

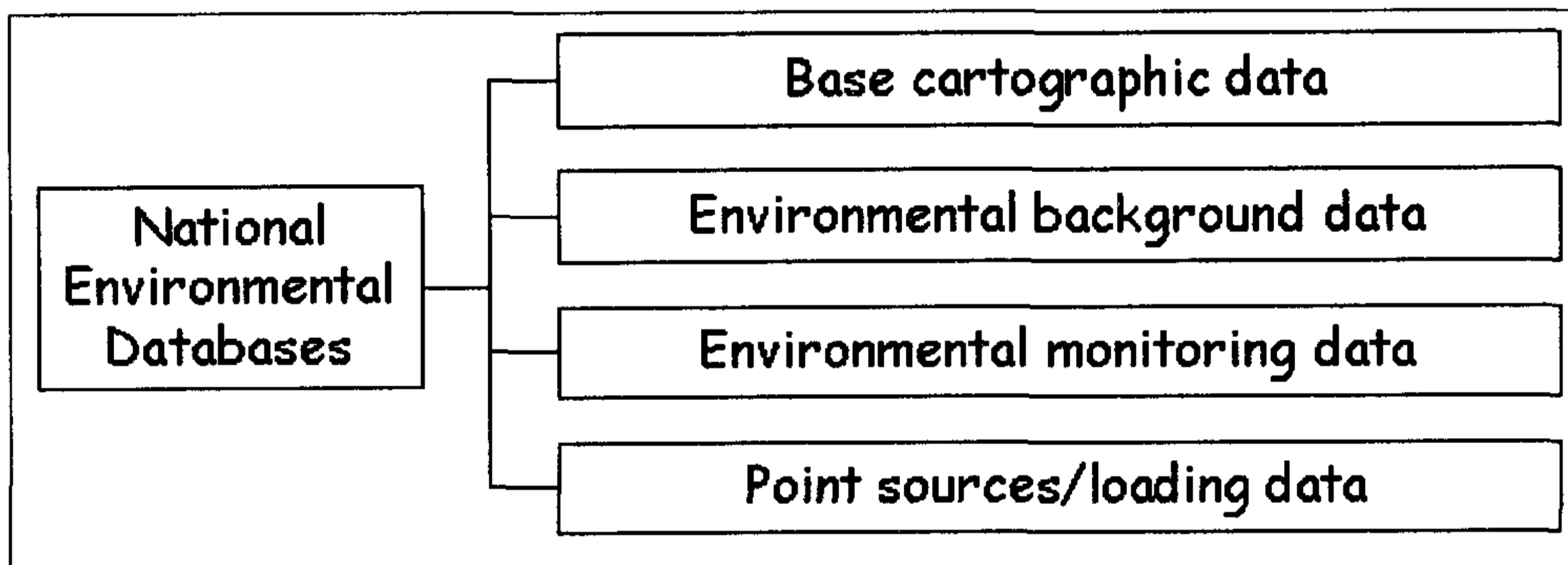
BASINS는 유역과 수질 분석을 실행하기 위해서 6가지의 구성요소로 이루어져 있다 <그림 4-2>.



<그림 4-2> BASINS 구성요소

## 2. 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 포함한다 <그림 4-3>.



<그림 4-3> National Environmental databases 구성요소

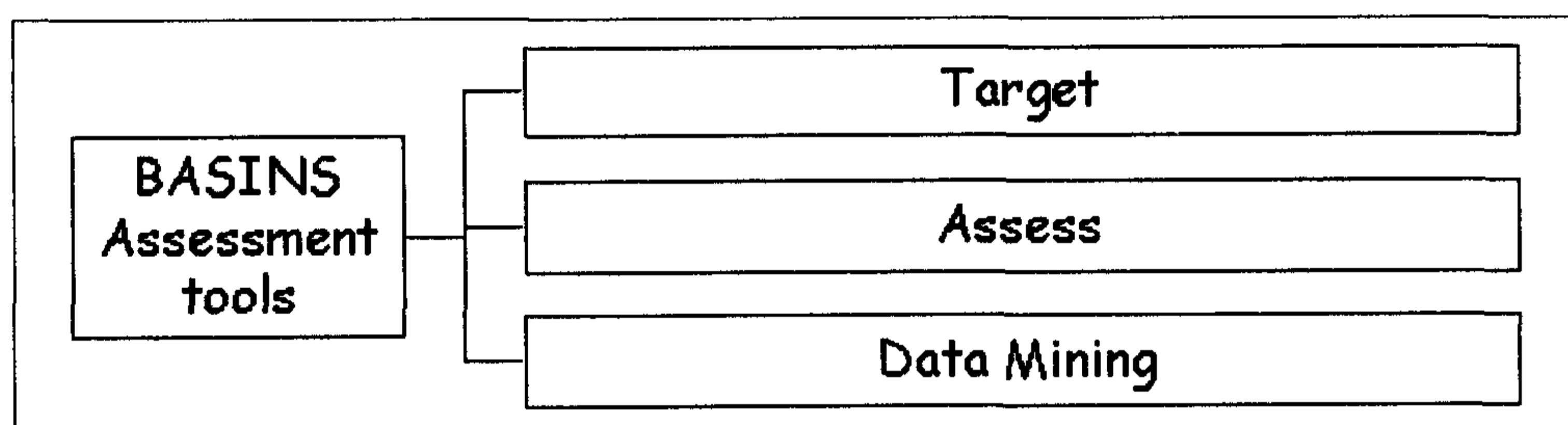
## 3. BASINS Assessment tools

BASINS에서는 3개의 지리정보적인 분석 tool(BASINS Assessment tool)을 이용하여 지역간 혹은 지점간의 유역분석을 제공해 주며 BASINS Assessment tool의 구성요소는 <그림 4-4>과 같다. Target은 유역간의 오염 평가가 이루어지며, Assess는 하나의 유역 내에서 혹은 선택된 유역 내에서의

지점들간 오염평가가 이루어지며, Data Mining에서는 하나의 지점 혹은 선택된 지점에 대한 환경적인 모든 database를 제공해 준다.

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

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



<그림 4-4> BASINS Assessment tools 구성요소

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

## 5. BASINS Utilities

BASINS Utilities는 <그림 4-5>와 같이 6개의 구성요소로 이루어져 있다.

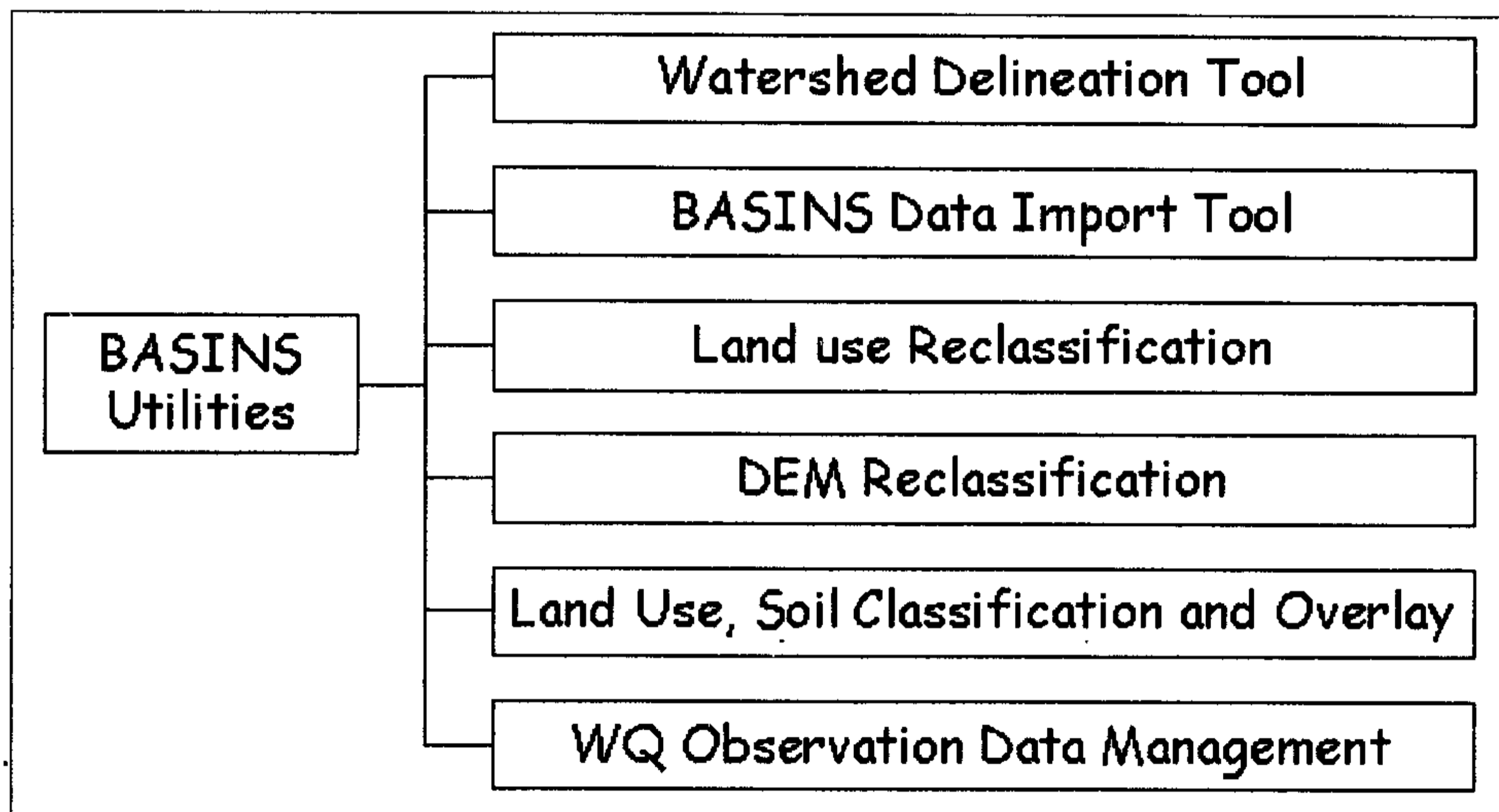
### 가. Watershed Delineation Tool

유역모형을 적용하기 위해서는 소유역분류가 반드시 이루어져야 할 뿐 아니라 소유역 및 소유역내의 하천에 대한 지형학적인 정보(유역 혹은 하



천경사, 소유역면적, 하천길이 등)를 필요로 한다. 이를 위해 제공된 틀이 Watershed Delineation Tool로써 BASINS을 이용한 유역모형적용에 있어 매우 중요한 tool 중의 하나이다. Watershed Delineation Tool에는 Manual Delineation Tool과 Automatic Delineation Tool, Predefined Delineation Tool로 구성되어 있다.

Manual Delineation Tool. 세부하천도나 다른 지형학적인 자료를 이용하여 사용자가 직접 소유역을 디지털화 하는 방법이다. Automatic Delineation Tool. 수치고도모델(Digital Elevation Model; DEM)을 이용하여 자동적으로 소유역을 분류하는 방법이다. 사용자는 소유역의 개수 및 크기에 제한을 줄 수 있으며, 원하는 측정지점이나 중점관리지점을 중심으로 소유역을 분할할 수 있다.



<그림 4-5> BASINS Utilities 구성요소

Predefined Delineation Tool. 이미 생성된 소유역도와 하천도, 출구지점의 theme을 불러오는 틀이다.

나. Land Use Reclassification

모형의 적용 및 분석에 필요한 토지이용 카테고리 재분류하는 틀이다.

다. Land Use, Soil Classification and Overlay

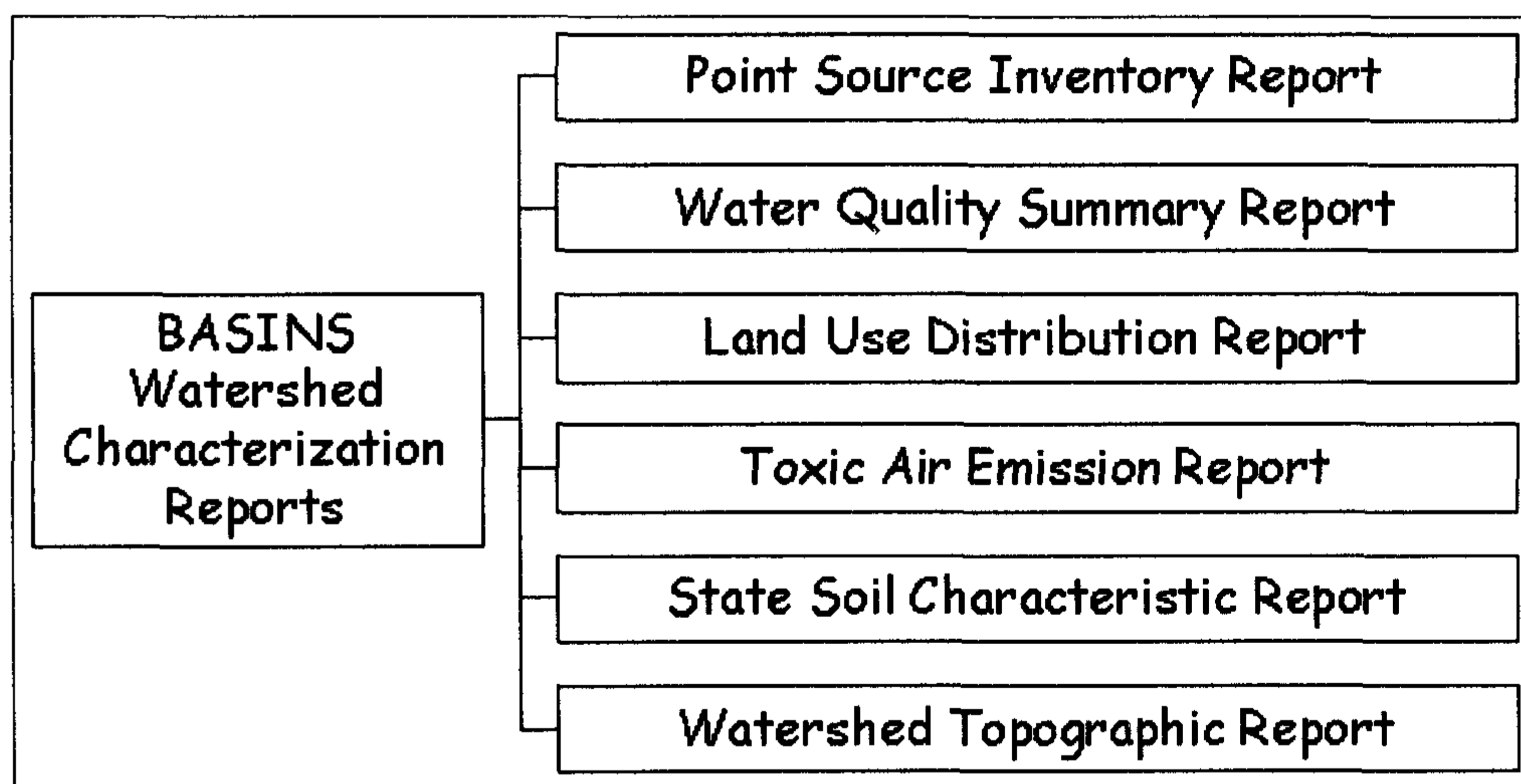
유역모형의 적용을 위해서는 소유역에 대한 토지이용 혹은 토양 정보를 필요로 하며 Land Use, Soil Classification and Overlay를 이용하여 소유역에 토양도 및 토지이용도를 중첩시켜 유역모형에 필요한 정보를 추출해 내는 중요한 tool이다.

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 특징짓는 중요한 정보들을 요약하여 Table과 Map을 생성하며, 유역특성을 비교하는데 사용된다.



<그림 4-6> BASINS Watershed Characterization Reports 구성요소

6. BASINS Models

BASINS에 포함된 수질모형에는 EPA의 Simple Method를 이용한 PLOAD, 하천수질모형인 QUAL2E, 유역모형인 WinHSPF, SWAT모형으로 구성되어 있으며, 모형의 실행시 모형에 필요한 입력인자들이 자동적으로 입력되어진다.

가. PLOAD(GIS Pollutant Loading) : 우리 나라의 원단위와 매우 흡사한 모형으로, 오염원별 단위면적당 연강 부하량을 기초로 하여 소유역별 부하량

을 산정한다. 원단위는 미국의 지역별, 토지이용별 실측자료를 기초로 하여 database화 되어있다.

- 나. QUAL2E(Enhanced Stream Water Quality Models) : 확산-분산의 물질 이동 방정식(advection-dispersion mass transport equation)을 기초로 하는 1차원 정상상태 하천수질모형이다.
- 다. SWAT(Soil and Water Assessment Tool) : 토지관리기법(land management practices)이 다양한 토양과 토지이용, 관리상태에 따라 수계, 침전물, 농업의 화학물질이 미치는 영향을 예측하기 위해 개발된 유역모형이다.
- 라. WinHSPF(Windows interface to Hydrological Simulation Program -Fortran) : 비점오염원의 지표유출과 오염물질부하를 묘사하여 수량과 수질을 예측하는 유역모형이다.

## 제 3 절 HSPF 모형의 개요

### 1. HSPF 모형의 목적 및 범위

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. 1980년대에 모형의 전·후 처리 소프트웨어가 추가되어 모형구동을 위한 편의 시설을 확충하였다. HSPF모형은 준분포형, 개념적 모형으로 차단, 토양수분, 지표유출, 중간유출, 기저유출, 적설심, 수분함량, 융설, 증발산, 지하수 충전, DO, BOD, 온도, 농약, 대장균, 유사운송, 토립자의 크기, 하천의 유출, 저수지 유출, pH, 질소, 인, 식물성플랑크톤, 동물성플랑크톤 등을 모의할 수 있으며, 장기간에 걸쳐 크고 작은 규모와 복잡한 유역의 수리·수질에 관한 다양한 현상들을 모의하기 위해 개발된 모형이다. 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).

HSPF모형은 투수층(PERLND)과 불투수층(IMPLND)로 토지 이용단위로 구분하여 모의되며, 이곳에서 유출되는 오염물질이 하천(RCHRES)으로 유입되는 형태로 구성되어 있으며, 각각의 모듈에는 물의 흐름, 토사유출, 영양염류, 대장균, 식물성 플랑크톤 등을 구분하여 모의한다(Bicknell et al., 1996).

불투수층은 일반적으로 도시지역, 도로, 산업지역 등 특정 토지이용에 점유율 구분하여 적용할 수 있으며, 침투하지 않고 직접 유출되는 형태로 모의된다. 투수층은 3개의 층으로 가정하여 모의되는데 상층부(Upper zone), 하층부(Lower zone), 지하수(Ground water)로 구분하여 모의되며 상층부에서는 유출(Runoff), 하층부에서는 중간유출(Interflow), 지하수는 기저유출(Base flow)로 하천으로 유입되게 된다. 모형에서의 토사 생성 및 유실 공식은 ARM과 NPS모형을 기본으로 하고 있다. HSPF 모델에서 투수지역의 토사유실을 모의하는 모듈은 SEDMNT이며, 강우에 의한 토양의 탈착에 대한 관리기법 인자는 USLE공식의 P값을 기본으로 한다. 투수지역의 수질 모의는 오염물질과 강우시 발생하는 토사, 또는 유출수와의 경험적인 관계식을 이용한다. 모형내에

서의 투수지역 일반적인 수질모의는 PQUAL모듈에서 이루어지며 4개의 서브루틴에 의해 계산된다. 서브루틴 OXRX는 주로 용존산소와 BOD를 계산하며, NUTRX는 무기질소와 무기인, PLANK는 플랑크톤과 이와 관련된 반응, 그리고 PHCARB는 pH와 무기탄소를 계산한다.

HSPF모형은 모형의 적용에 필요한 방대한 자료와 많은 노력을 최소화 되도록 개발되어 왔다. HSPF는 광범위한 수문·수질과정을 장기모의가 가능하도록 일련의 구조화된 모듈로 구성되어 있다. 복잡한 모형일수록 자료관리에 많은 노력이 요구되나 모형개발자들은 종종 합리적인 자료관리를 위한 요소의 개발을 간과하고 있는 것도 사실이다. HSPF는 자료를 직접적으로 접근할 수 있는 time series management system에 가깝도록 개발되었다. 모의가 이루어지는 모듈은 time series가 저장되어 있는 파일로부터 입력을 받으며 모의 결과를 다시 time series에 저장함으로써 자료관리에 있어 시간과 노력을 최소화 할 수 있다.

초기의 HSPF는 다음과 같은 기존의 모형을 기초로 하여 개발되었다.

- Hydrocomp Simulation Programming(HSP)
- nonpoint-source(NPS) Model
- Agricultural Runoff Management(ARM) Model
- Sediment and Radionuclides Transport(SERATRA)

HSPF 모형은 단순히 위의 모형들을 연결시키는 것이 아니라 다양한 새로운 시뮬레이션 모듈들이 추가되어 있다.

HSPF는 현재 발표된 모형들 중에서 보다 포괄적이며 효과적인 수자원 계획수립이 가능하기 때문에 수자원계획자에게 매우 유용한 tool이 되었으며, 프로그램의 장점은 다음과 같다.

- time-series를 기본으로 하여 자료를 직접적으로 접근하기 때문에 방대한 파일을 입력하고 수정하는데 편리하다.
- 모형이 상대적으로 단일화되었기 때문에 조작이 간단하다.
- 시스템은 top-down programming 기술에 의해 개발되었기 때문에 모형을 수정하거나 새로운 모듈을 추가하는데 상대적으로 용이하다.

## 2. HSPF 개요

HSPF 모델은 유역내의 토지이용에 따른 특정 오염물질의 비점오염 부하를 계산하며, 강우에 따른 물의 흐름을 하천의 수질오염모의와 연결시킨다.

HSPF 모델의 장·단점은 다음 몇 가지로 요약될 수 있다.

- HSPF 모델은 광범위한 유역조건에 적용이 가능하고, 본 모델을 효과적으로 사용할 수 있도록 HSPFEXP, ANNIE, WDMutil, METCMP, IOWDM 등과 같은 보조프로그램이 개발되어 있다.

- 미국 내 충분한 기초자료를 바탕으로, USEPA와 USGS 등과 같은 여러 기관들의 지원을 받아 여러 지역에 적용되고 있으며 계속해서 유지 발전되고 있다.

- 그러나 본 모델은 시간별 기온, 강수량, 증발량과 같은 엄청난 양의 자료를 필요로 하며, 비분산형 모델로써 소유역에 대해 평균적인 매개변수 값을 갖는다. 그리고, 하천의 흐름을 한 방향으로 가정하여 조석을 반영하지 못하는 수리학적 한계와 하천 바닥의 조류나 식물성 플랑크톤, 동물성 플랑크톤 등과 같은 조류에 관계된 수질 모의에 한계가 있다.

가. 모형의 구조

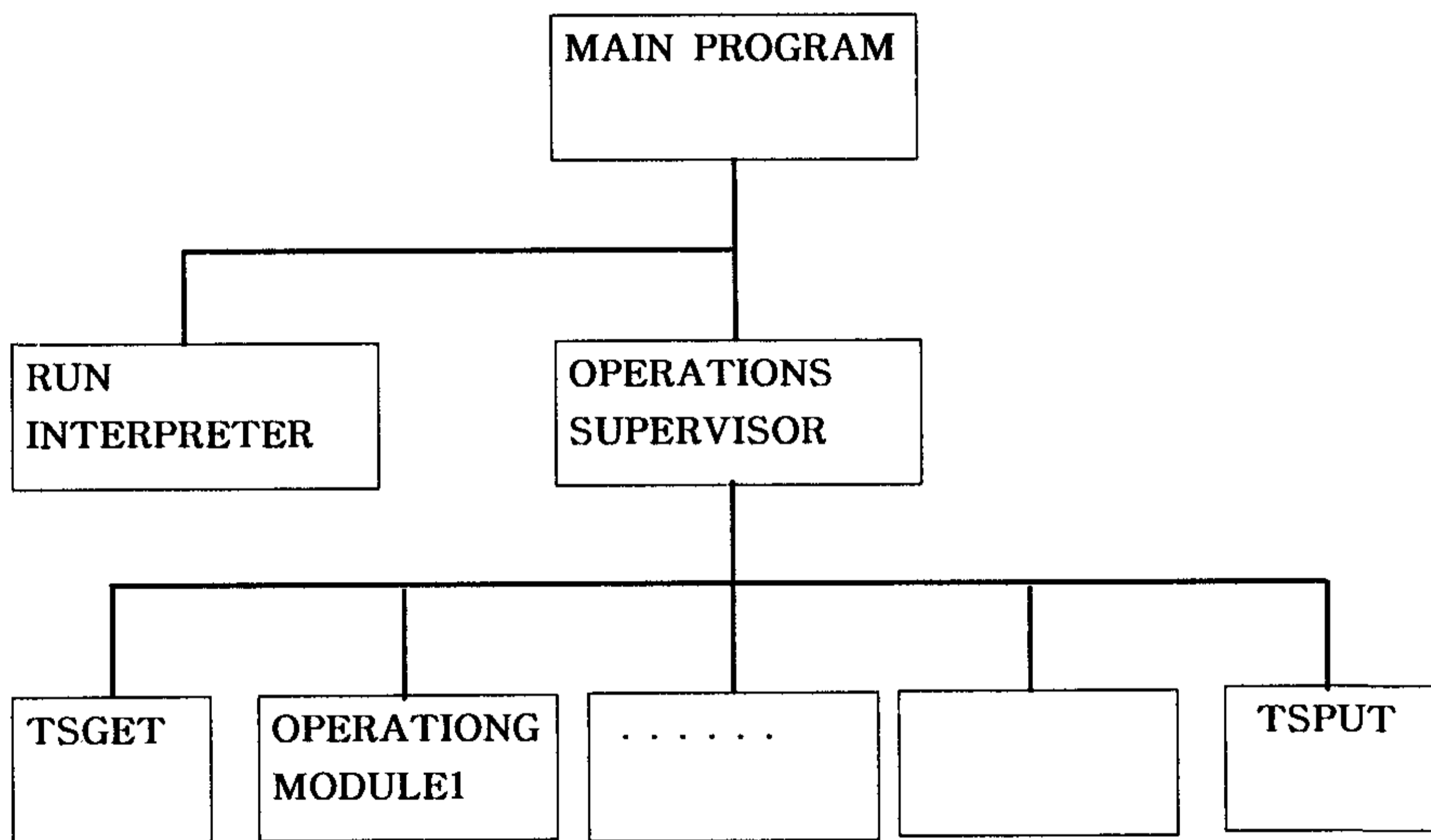
HSPF의 구조는 <그림 4-7>과 같다.

1) Run Interpreter

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

2) Operations Supervisor

Run Interpreter가 작성한 내부 정보에 따라 적절한 application 혹은 utility module을 불러들여 실행하는 서브루틴이다.



<그림 4-7> HSPF structure 구성요소

3) Operating Module

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.

4) Time Series Management System

TSGET와 TSPUT로 구성되어 있다. TSGET(get time series)는 모

형에 필요한 기상자료 등을 읽어들이고 실행결과를 사용자가 지정한 시간간격으로 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.

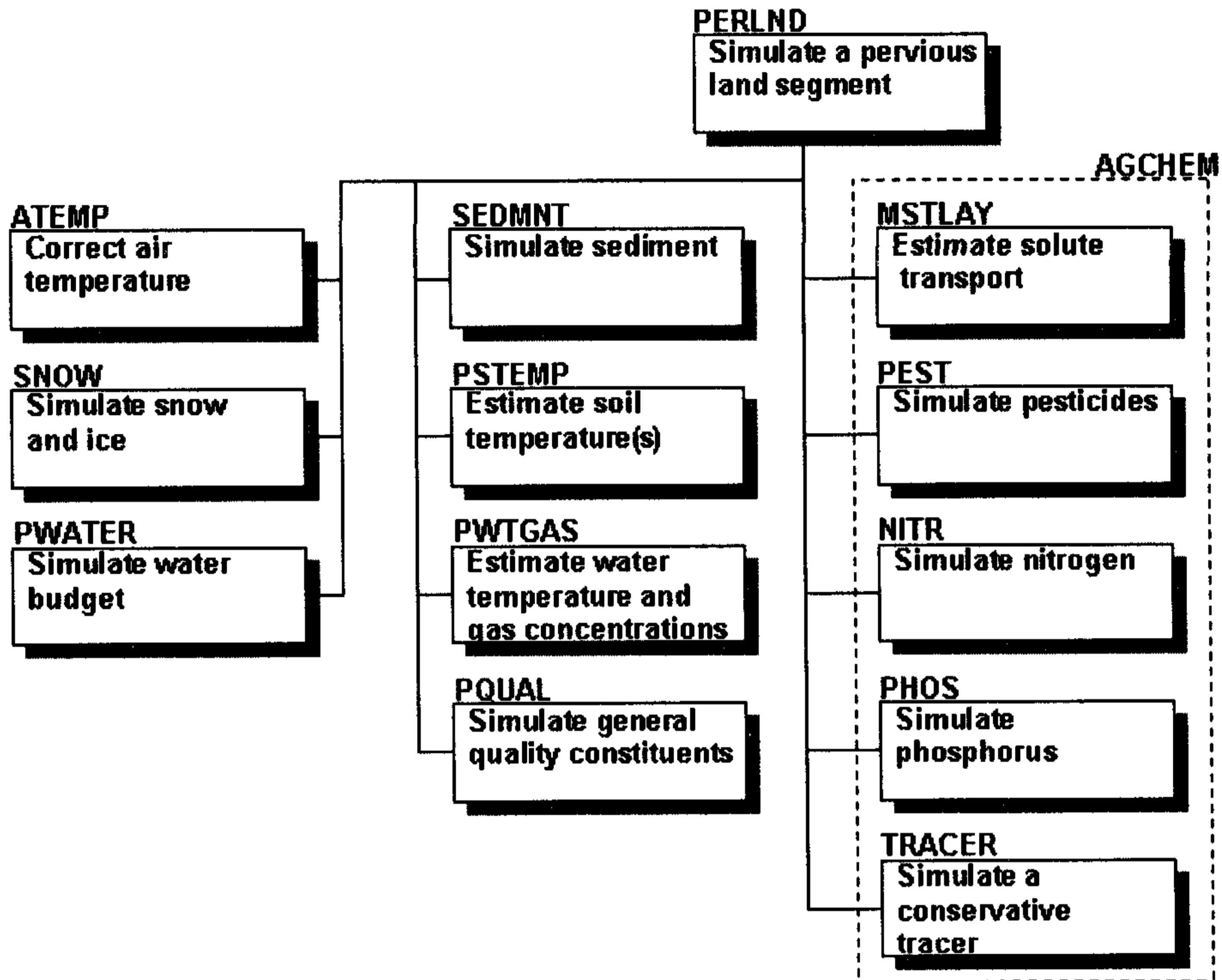
Application Module		
PERLND	IMPLND	RCHRES
Snow	Snow	Hydraulics
Water	Water	Conservative
Sediment	Solids	Temperature
Quality	Quality	Sediment
Pesticide		Nonconservative
Nitrogen		BOD/DO
Phosphorus		Nitrogen
Tracer		Phosphorus
		Carbon
		Plankton

<그림 4-8> HSPF Application Modules 구성요소

### 5) PERLND

모의될 유역은 몇 개의 카테고리를 기준으로 분할되어 모의되며 이러한 경계는 사용자의 정의에 따라 분류되지만, 일반적으로 유사한 수리학적 특성을 기준으로 정의된다.





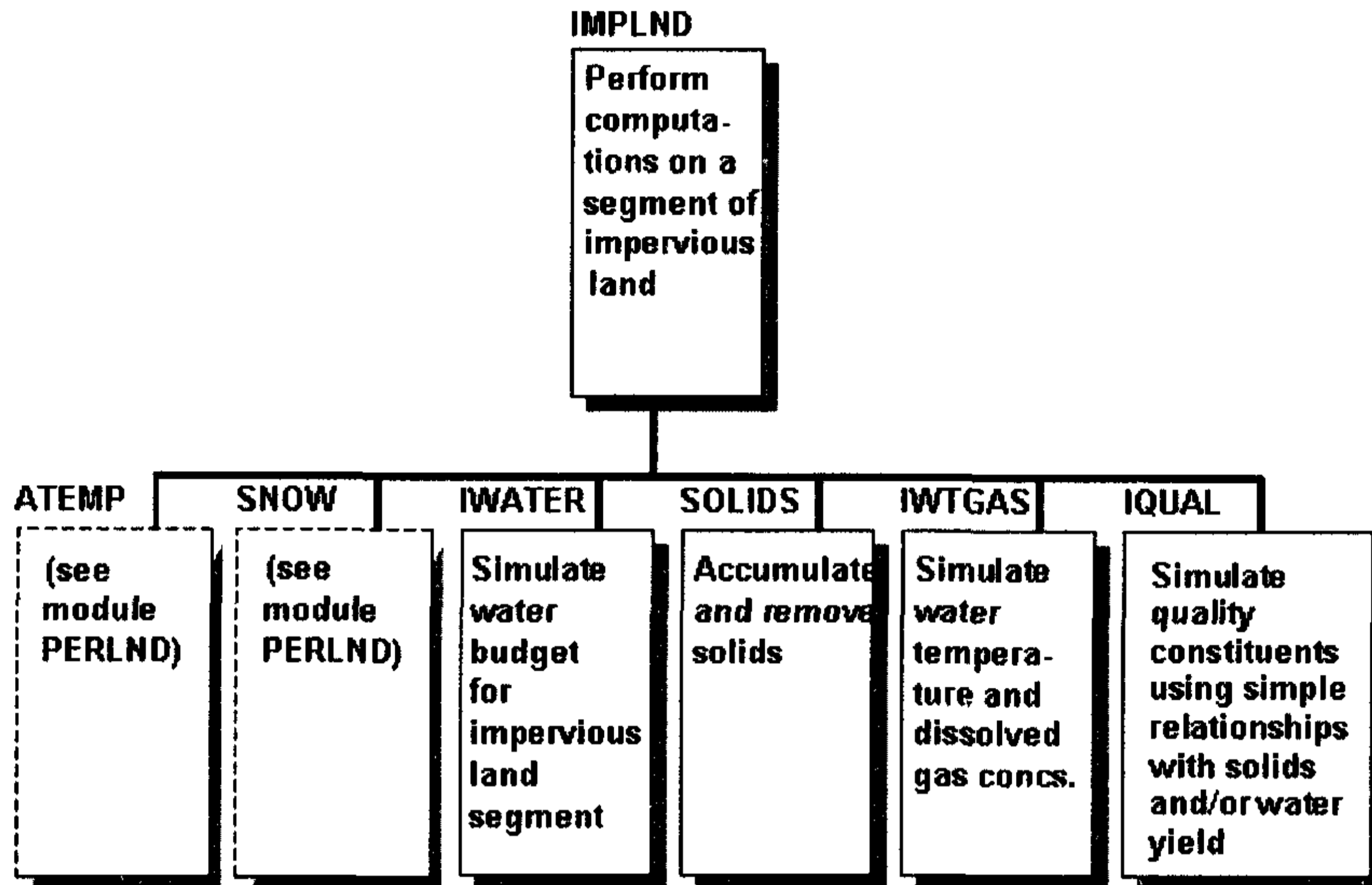
<그림 4-9> PERLND module 구성요소

유역모형에서는 물이나 침전물, 수질오염물질은 유역에서 발생하여 하류의 유역으로 흘러가거나 하천이나 호소로 유입된다. 물수지에 영향을 줄 정도의 침투가 일어나는 토지를 투수층으로 간주한다. PERLND에서의 주요한 모듈은 용설을 모의하는 SNOW, 지표면에서의 토양유실을 모의하는 SEDMNT, 물수지를 모의하는 PWATER, 수질을 모의하는 PQUAL과 AGCHEM 등으로 구성된다. 그 외 용설과 토양온도모의를 위해 대기온도를 보정하는 ATEMP, 유출수의 수온과 AGCHEM의 반응상수, 용존산소와 이산화탄소의 용해도 등에 영향을 주는 토양온도를 모의하는 PSTEMP 등이 있다.

#### 6) IMPLND

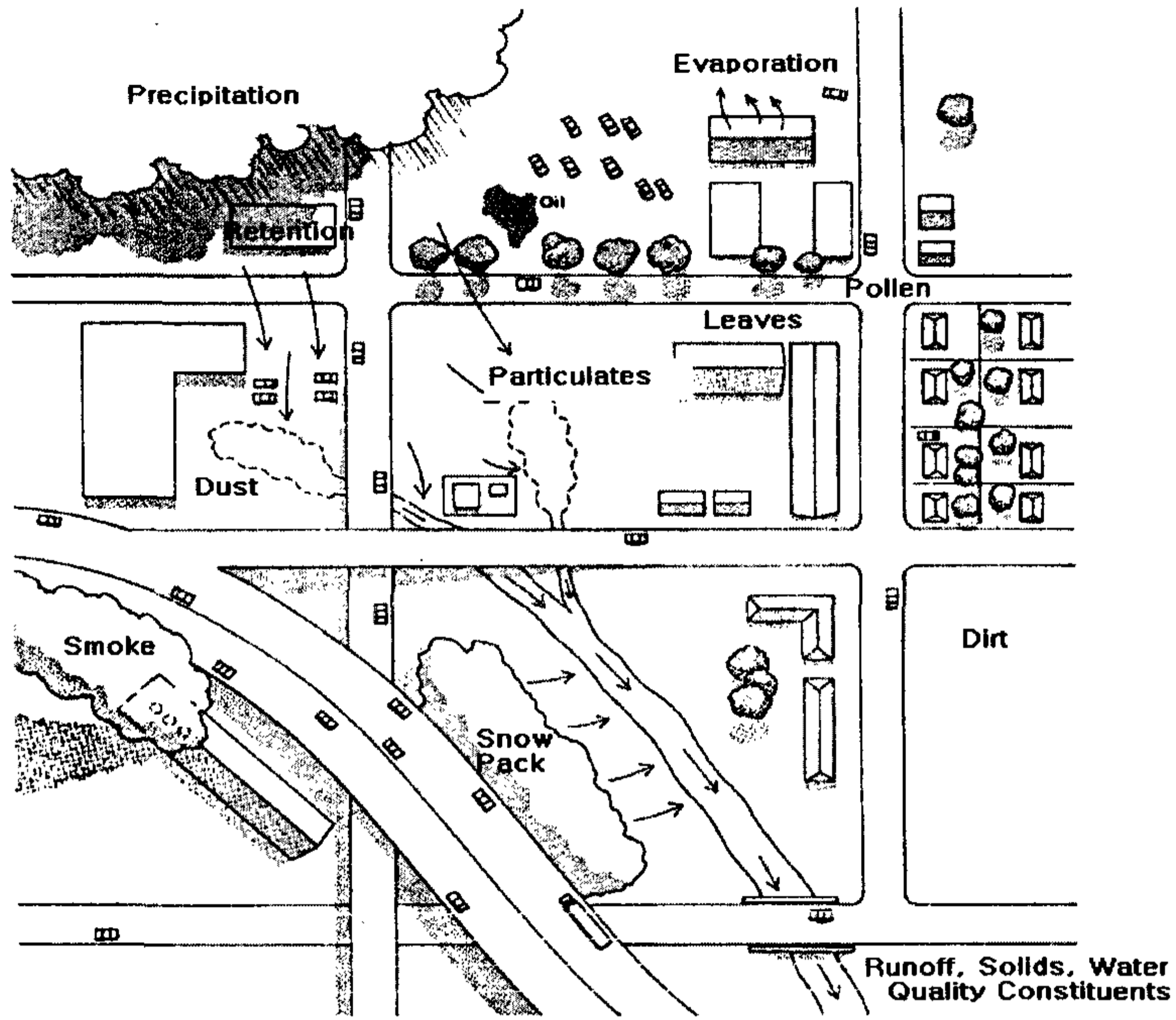
HSPF의 IMPLND모듈의 개요도는 <그림 4-10>과 같으며 왼쪽에서 오른쪽으로 실행된다. 대부분의 모듈들은 PERLND의 모듈과 유사하며 SNOW와 ATEMP모듈은 투수층과 불투수층 모두 사용된다. IWATER은 PERLND모

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



<그림 4-10> IMPLND module 구성요소

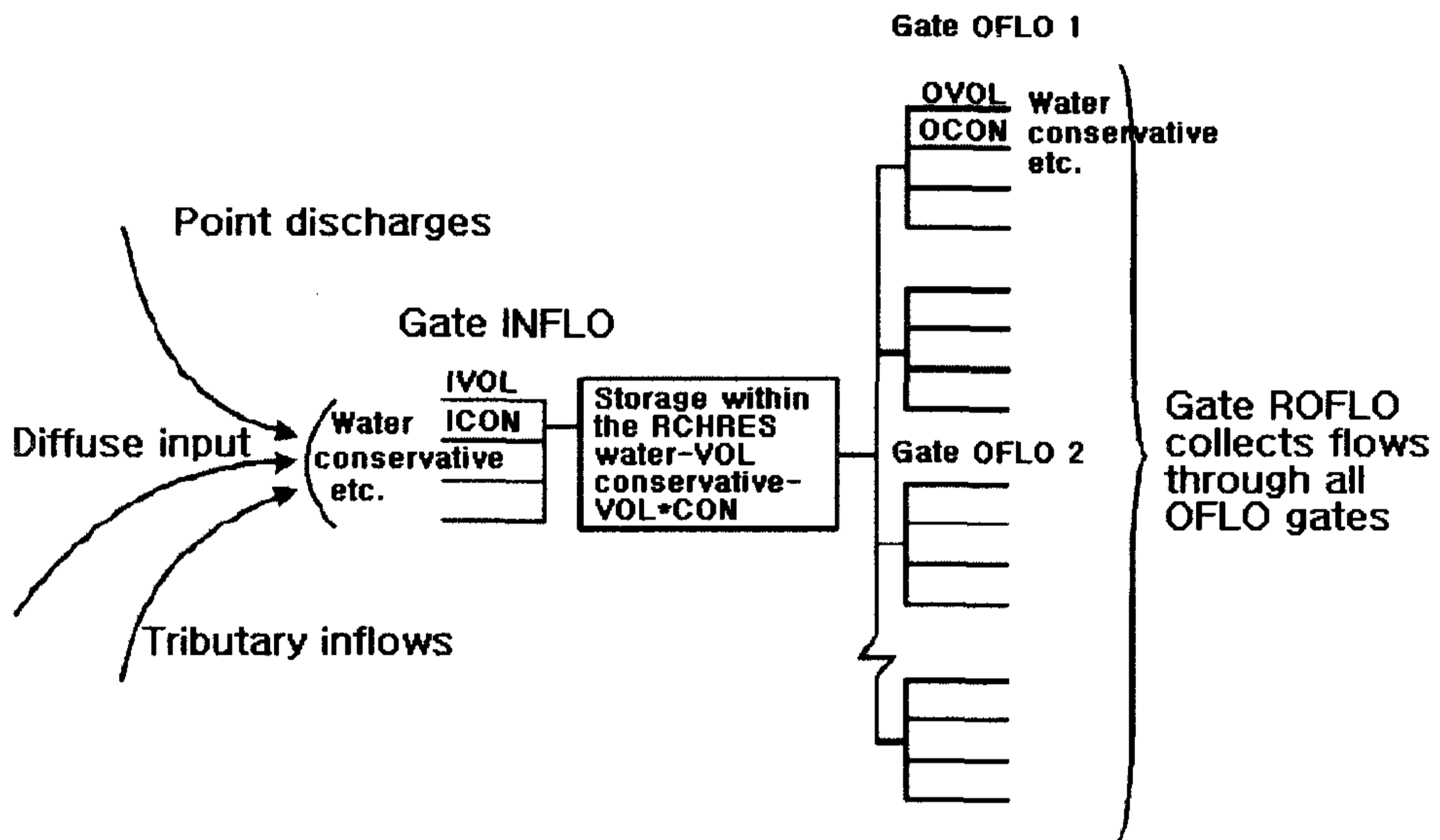
불투수층에서의 침투는 매우 작거나 일어나지 않는다. 불투수층에서의 물질순환과정은 <그림 4-11>과 같다. 용설은 축적되고 용해되며 물은 저장되거나 증발된다. 오염물질들은 지표면에 축적되고 제거된다. 물과 부유물질, 다양한 오염물질은 유역에서 발생하여 아래의 유역이나 하천 혹은 저수지로 유입된다. 불투수층에 관한 모의는 주로 도시지역으로 분류된 토지이용에서 발생하며, 도시지역의 피복 정도를 모형에서 결정하여 사용할 수 있다. 불투수층을 적절하게 모의하기 위해서는 불투수층에서 축적되는 오염물질의 양을 결정하는 부분에 심여를 기울여야 한다.



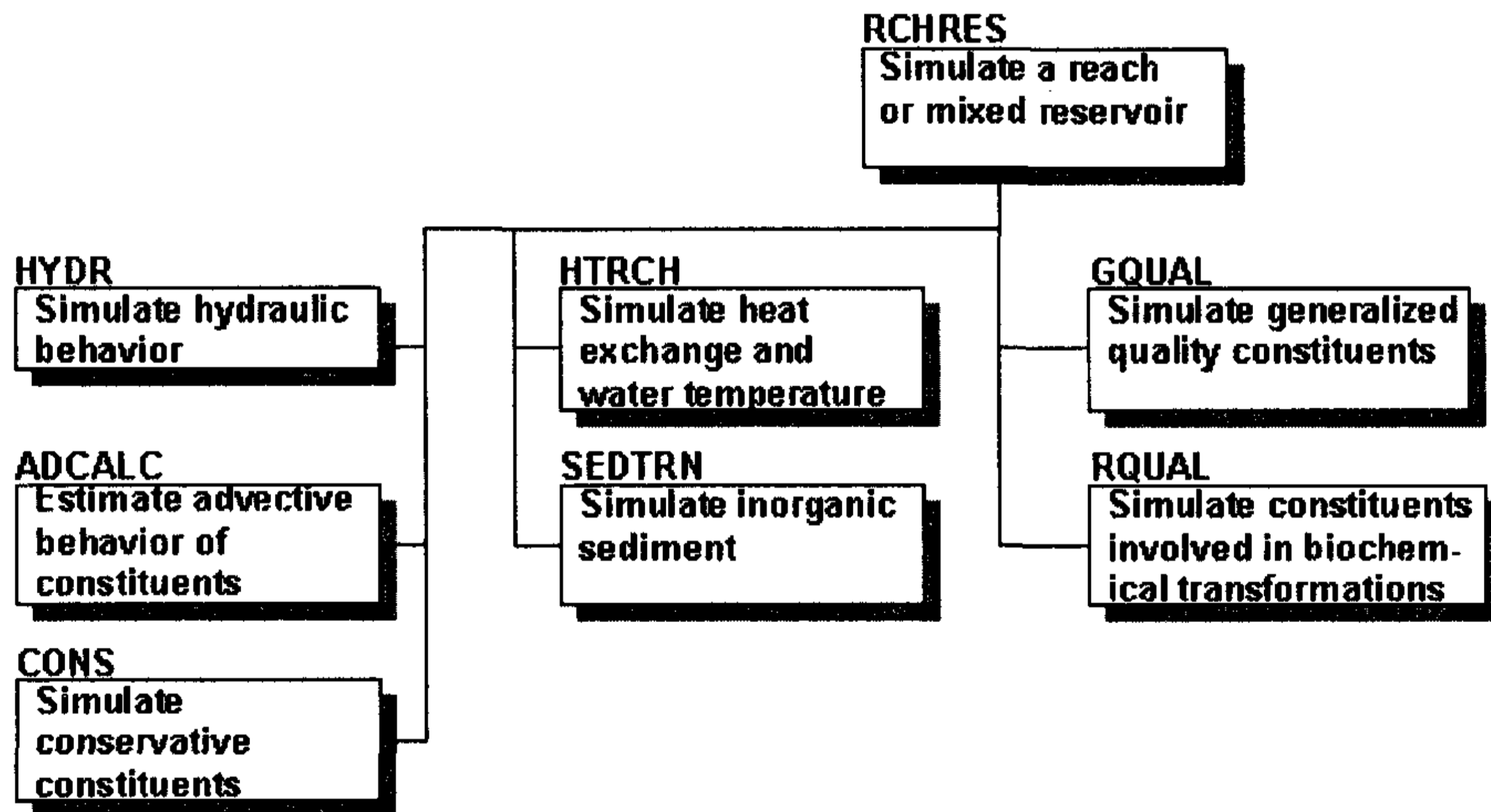
<그림 4-11> 불투수층에서의 과정

### 7) RCHRES

RCHRES는 수로나 완전혼합으로 가정할 수 있는 호소에서 일어나는 과정을 모의한다. RCHRES에서의 물의 흐름은 단일방향의 흐름으로 가정하고 RCHRES를 통한 물질의 유출입은 <그림 4-12>와 같다. 오염원이나 상류 RCHRES에서의 물과 오염물질들은 하류 RCHRES의 하나의 유입구(INFLO)로 유입되며 RCHRES에서의 유출은 여러개의 유출구(OFLO) 중 하나의 유출구를 통해 유출된다.



<그림 4-12> RCHRES 물질 이동 흐름도



<그림 4-13> RCHRES module 구성요소

나. 모형의 수문 및 수리모의

- 1) 투수지역의 수문모의(PWATER)

PWATER는 물수지를 계산하며 주로 유역에서의 총 유출량을 산정하는데 이용된다. PWATER에 사용되는 입력자료는 용설모의 유무에 따라 좌우된다. 만약에 용설모의가 고려되지 않는다면 입력파일은 잠재증발산량과 강수량만 요구되나 용설모의가 고려된다면, 대기온도, 강수량, 강설량, 눈에서의 얼음함량 등과 같은 자료를 필요로 한다.

투수지역의 수문학적 구성요소에는 강수(rainfall and snow), 식물에 의한 차단(interception), 저류(depression storage), 증발산(evapotranspiration), 지표수 유출(surface runoff), 기저유출(interflow), 지하수 유출(groundwater flow) 등이 있으며, 시간에 따른 각각의 요소들의 변화는 토지이용, 토양의 피복상태, 선행 강우조건 등에 따른다.

<그림 4-14>는 일반적인 유역에서의 물수지를 도시화한 것이며 아래와 같이 표현된다.

$$P + SWI + GWI = ET + SWO + GWO + \Delta S$$

where;

P = precipitation

SWI = surface water inflow

SWO = surface water outflow

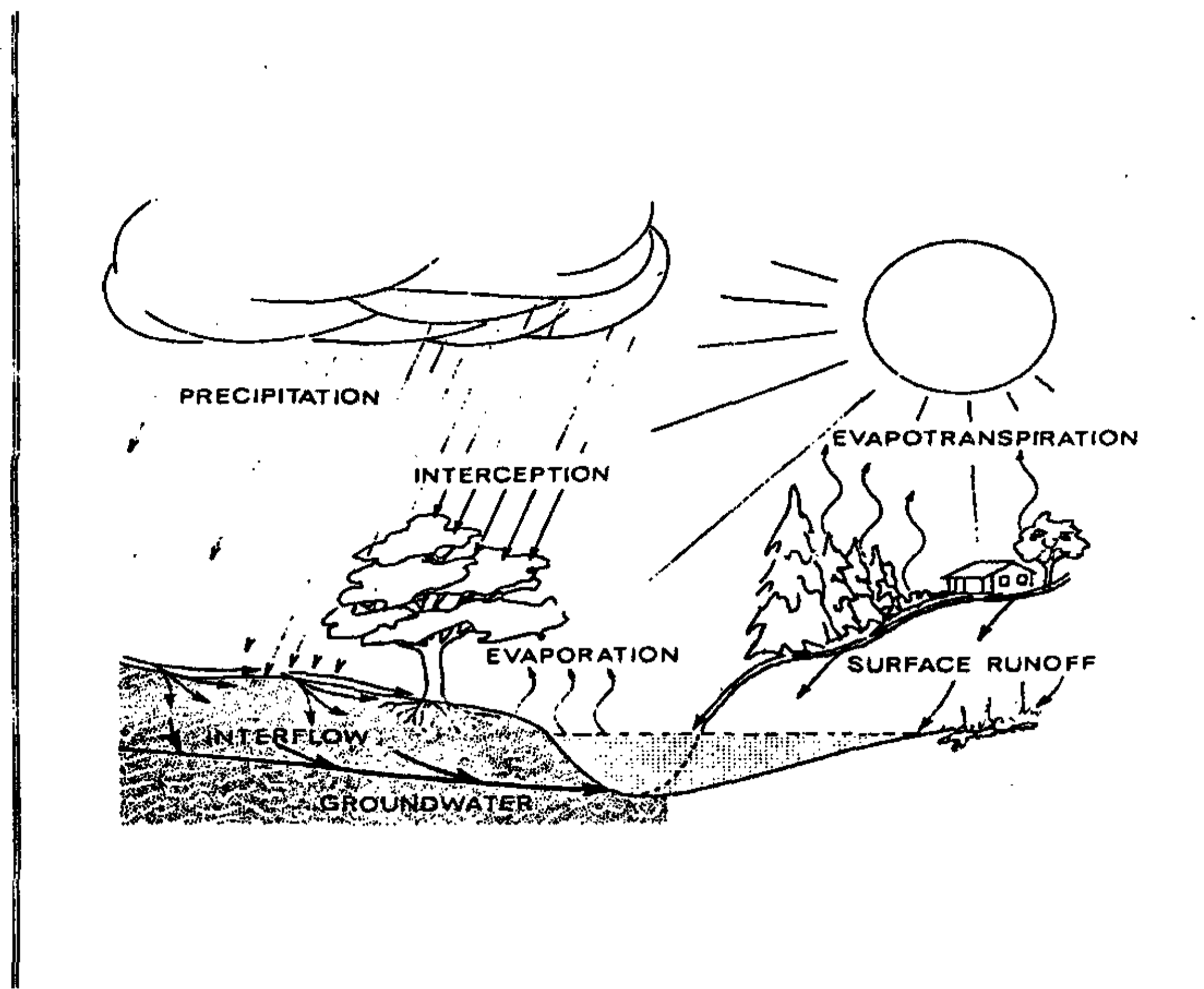
GWI = groundwater inflow

GWO = groundwater outflow

ET = evapotranspiration

$\Delta S$  = change in storage

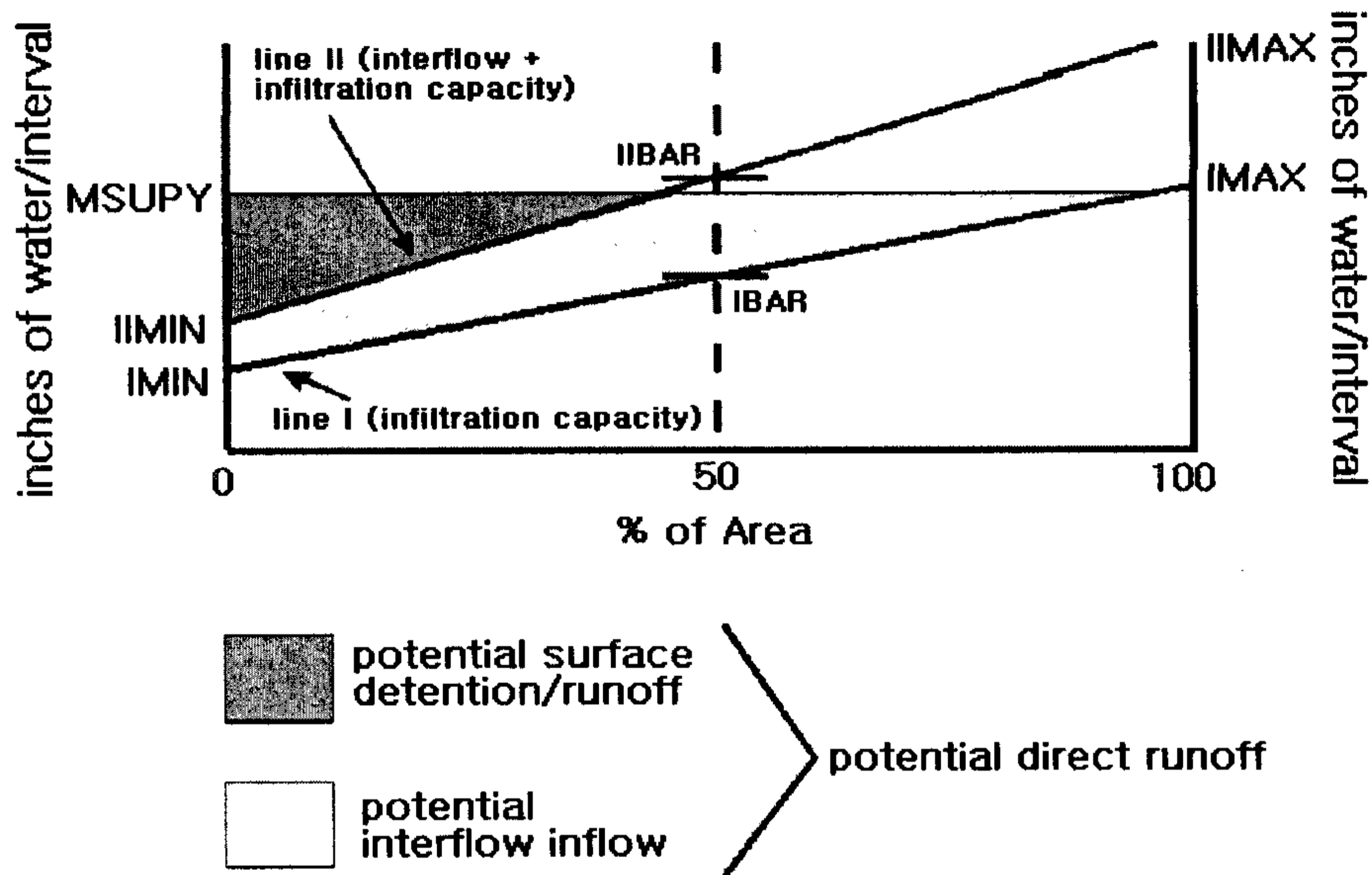
지표저류에 유입된 물은 침투와 지표유출을 계산하는데 이용된다. 직접 침투된 물은, 토양하층(lower zone), 지하수(groundwater storage)로 이동하고, 그 외의 물은 토양상층(upper zone storage)에 저장되거나 지표유출이나 기저유출을 발생시키고, 지표면위에 저장되어 서서히 땅속으로 침투된다. 침투와 지표유출의 과정은 동시에 일어난다. 지표면이 매우 거칠고 기울기가 매우 낮으면 지표로 유출되는 유속이 매우 낮아 침투시간을 증가시켜 총 지표유출량을 감소시킨다.



<그림 4-14> 물의 순환

가) 침투

HSPF에서의 침투방정식은 토양수분함량에 따라 침투량이 결정되는 Philips의 방정식을 기본으로 하고 있다. <그림 4-15>은 PWATER모듈에서 침투/기저유출/지표유출함수를 나타내는 그림이다.



<그림 4-15> 지표면에서의 침투량과 기저유출계산

두 개의 선은 지표면에서의 잉여 수분(MSUPY)과 침투되거나 기저유출에 사용되는 물로 구분지며 기본 방정식은 다음과 같다.

$$IBAR = (INFILT / (LZS / LZSN)^{INFEXP}) \cdot INFFAC$$

$$IMAX = INFILD \cdot IBAR$$

$$IMIN = IBAR - (IMAX - IBAR)$$

$$RATIO = INTFW \cdot 2.0^{LZS / LZSN}$$

where;

IBAR = mean infiltration capacity over the land segment(in/interval)

INFILT = infiltration parameter(in/interval)

LZS = lower zone stroage(inches)

LZSN = parameter for lower zone nominal stroage(inches)

INFEXP = exponent parameter greater than one

INFFAC = factor to account for frozen ground effects, if applicable

IMAX = maximum infiltration capacity(in/interval)

INFILD = parameter giving the ratio of maximum to mean infiltration capacity over the land segment

IMIN = minimum infiltration capacity(in/interval)  
 RATIO = ratio of the ordinates of line II to line I  
 INTFW = interflow inflow parameter

가) 토양상층에서의 거동(Upper Zone Behavior)

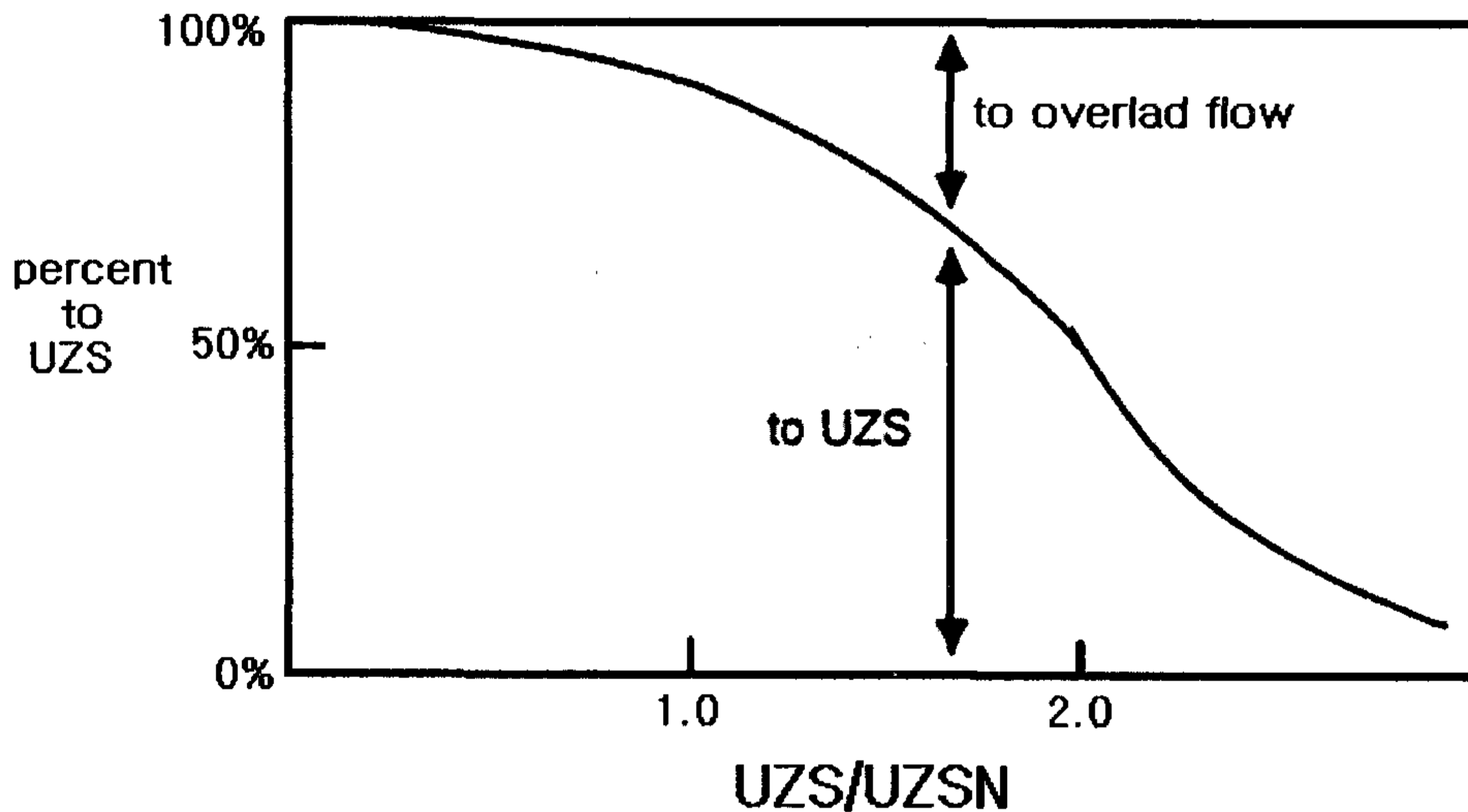
토양상층에서는 다음과 같은 경험식에 의해 해석된다.

$$PERC = 0.1 \cdot INFILT \cdot INFFAC \cdot UZSN \cdot (UZRAT - LZRAT)^3$$

where;

PREC = percolation from the upper zone(in/interval)  
 INFILT = infiltration parameter(in/interval)  
 INFFAC = factor to account for frozen ground, if any  
 UZSN = parameter for upper zone nominal stroage(inches)  
 UZRAT = ratio of upper zone storage to UZSN  
 LZRAT = ratio of lower zone storage to lower zone nominal

stroage(LZSN)



<그림 4-16> 토양 상층 저류



나) 토양하층에서의 거동(lower Zone Behavior)

토양하층으로의 물의 유입은 직접침투, 침투, 토양하층으로부터의 횡 유입의 합으로 이루어져 있으며 그 방정식은 다음과 같다.

$$LZFRAC = 1.0 - LZRAT \cdot (1.0 / (1.0 + INDX)) \in DX$$

when LZRAT is less than 1.0, and by

$$LZFRAC = (1.0 / (1.0 + INDX)) \cdot INDX$$

when LZRAT is greater than 1.0. INDX is defined by:

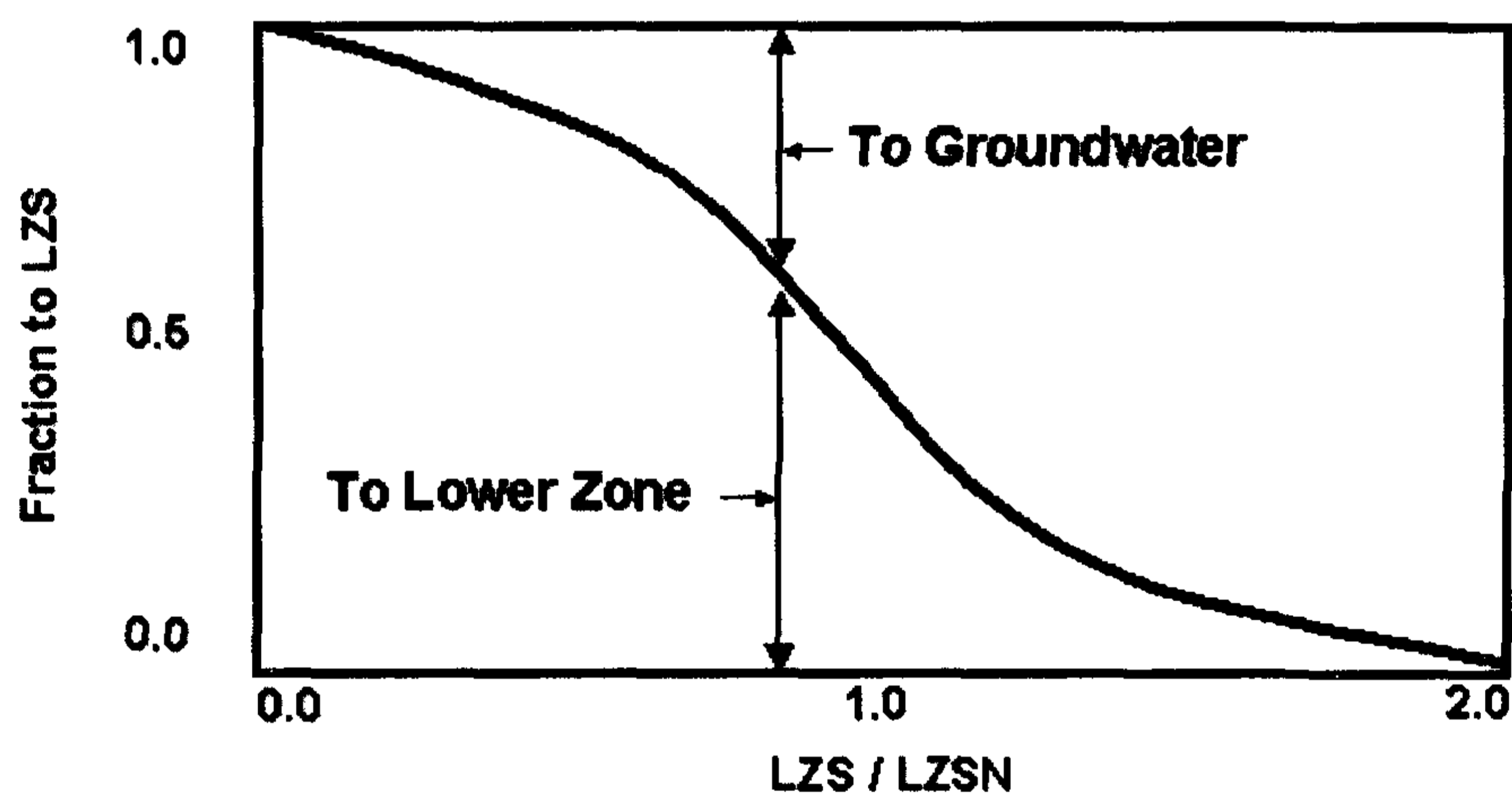
$$INDX = 1.5 \cdot ABS(LZRAT - 1.0) + 1.0$$

where;

LZFRAC = fraction of infiltration plus percolation plus lower zone lateral inflow that enters LZS

LZRAT = LZS/LZSN

ABS = function for determining absolute value



<그림 4-17> 토양하층으로 이동하는 침투와 침투 비율

다) 기저유출

기저유출은 저류량과의 선형적인 관계를 가정으로 하여 recession 인자와 유입과 유출과의 함수에 의해 계산되어진다.

$$IFWO = (IFWK1 \cdot INFLO) + (IFWK2 \cdot IFWS)$$

where;

IFWO = interflow outflow(in/interval)

INFLO = inflow into interflow storage, including lateral inflow  
(in/interval)

IFWS = interflow storage at the start of the interval(inches)

$$IFWK1 = 1.0 - (IFWK2/KIFW)$$

$$IFWK2 = 1.0 - \text{EXP}(-KIFW)$$

$$KIFW = -\text{ALOG}(IRC) \cdot \Delta 60 / 24.0$$

where;

IRC = interflow recession parameter(per day)

DEL60 = number of hr per interval

24.0 = number of hours per day

EXP = exponential function

ALOG = natural logarithm function

라) 지표유출

지표유출은 Chezy-Manning 공식과 저류깊이와 유출과의 경험식을 이용하여 추정한다.

SURSM( SURSE 일 경우

$$SURO = \Delta 60 \cdot SRC \cdot (SURSM \cdot (1.0 + 0.6 (SURSM/SURSE)^3)^{1.67}$$

SURSM )= SURSE 일 경우

$$SURO = \Delta 60 \cdot SRC \cdot (SURSM \cdot 1.6)^{1.67}$$

where;

SURO = surface outflow(in/interval)

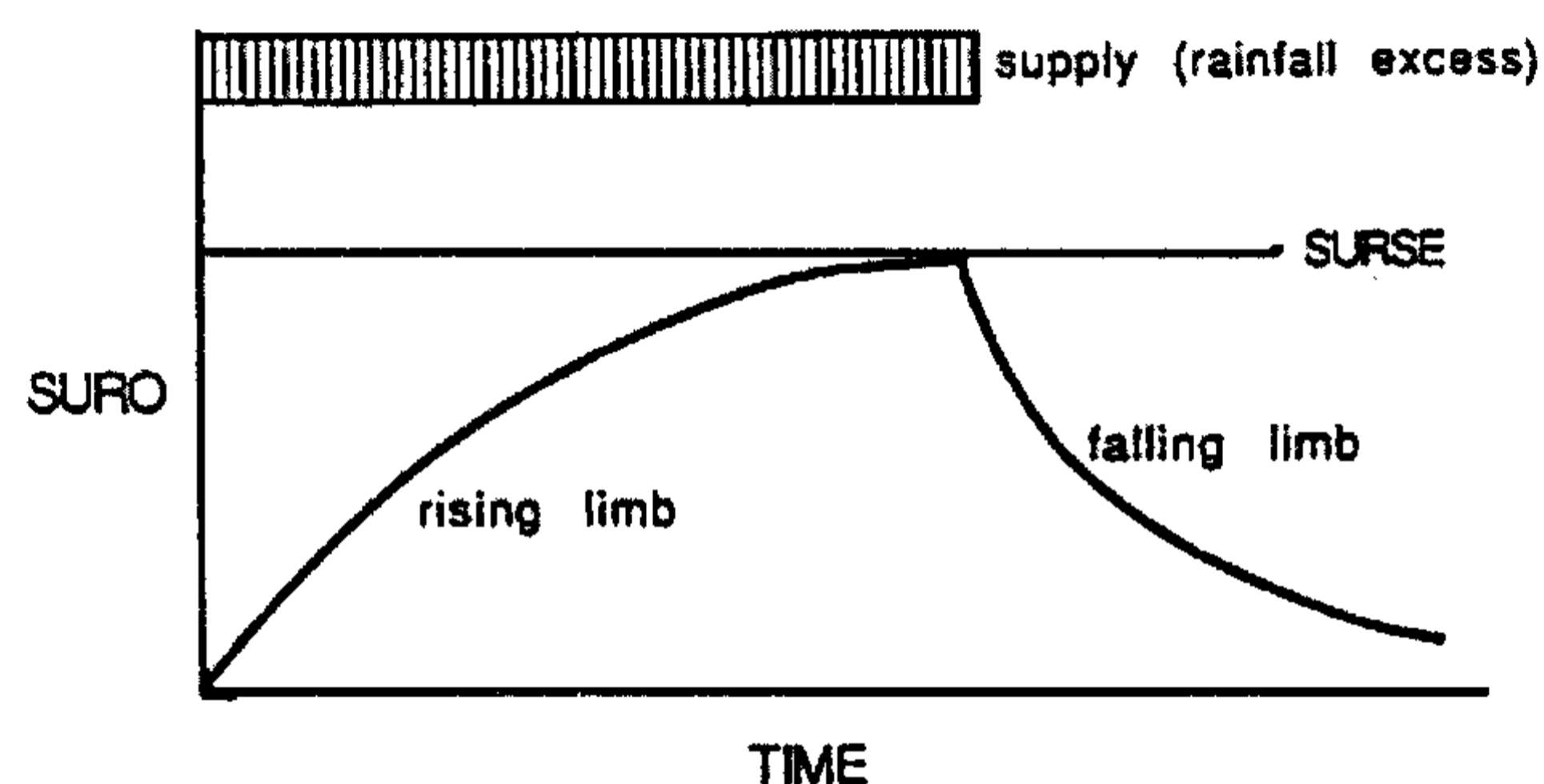
DEL60 = DELT/60.0(hr/interval)

SRC = routing variable, described below

SURSM = mean surface detention storage over the time interval(in)

SURSE = equilibrium surface detention storage(inches) for current supply rate

위의 첫 번째 공식은 지표유출량이 증가하는 경우이며, 두 번째 공식은 지표유출량이 평행에 다달했거나 감소하는 경우이다<그림 4-18>.



<그림 4-18> 지표유출의 형태

평행지표저류량은 다음과 같은 공식에 의해 산정된다.

$$SURSE = DEC \cdot SSUPR^{0.6}$$

where;

DEC = calculated routing variable, described below

SSUPR = rate of moisture supply to the overland flow surface

$$DEC = 0.00982 \cdot NSUR \cdot LSUR / \sqrt{(SLSUR)}^{0.6}$$

$$SRC = 1020.0 \cdot (\sqrt{(SLSUR)} / (NSUR \cdot LSUR))$$

where;

NSUR = Manning's n for the overland flow plane

LSUR = length of the overland flow plane(ft)

SLSUR = slope of the overland flow plane(ft/ft)

## 2) 수체내의 수리모의(RCHRES)

하천에서의 저류 및 흐름은 <그림 4-19>와 같다. 지표유출이나 기저 유출수가 RCHRES로 들어올 때는 INFLO의 문으로 들어오며 이 때의 유입량을 IVOL이라 한다. 모의하는 동안 RCHRES에 남아있는 물의 양을 OVOL(N)이라 하고 RCHRES로부터 유출되는 총량을 ROVOL이라 한다.

강우에 의해 수면으로 직접 유입되고 증발에 의해 손실되며 강우와 증발량은 time series의 형태로 각각 PREC, POTEV라는 이름으로 직접 입력된다. 수체내에서의 물수지는 다음과 같다.

$$VOL - VOLS = IVOL + PRSUPY - VOLEV - ROVOL$$

where;

VOL = volume at the end of time step

VOLS = volume at the start of time step

ROVOL = outflow volume

IVOL = inflow volume

PREC = volume of precipitation

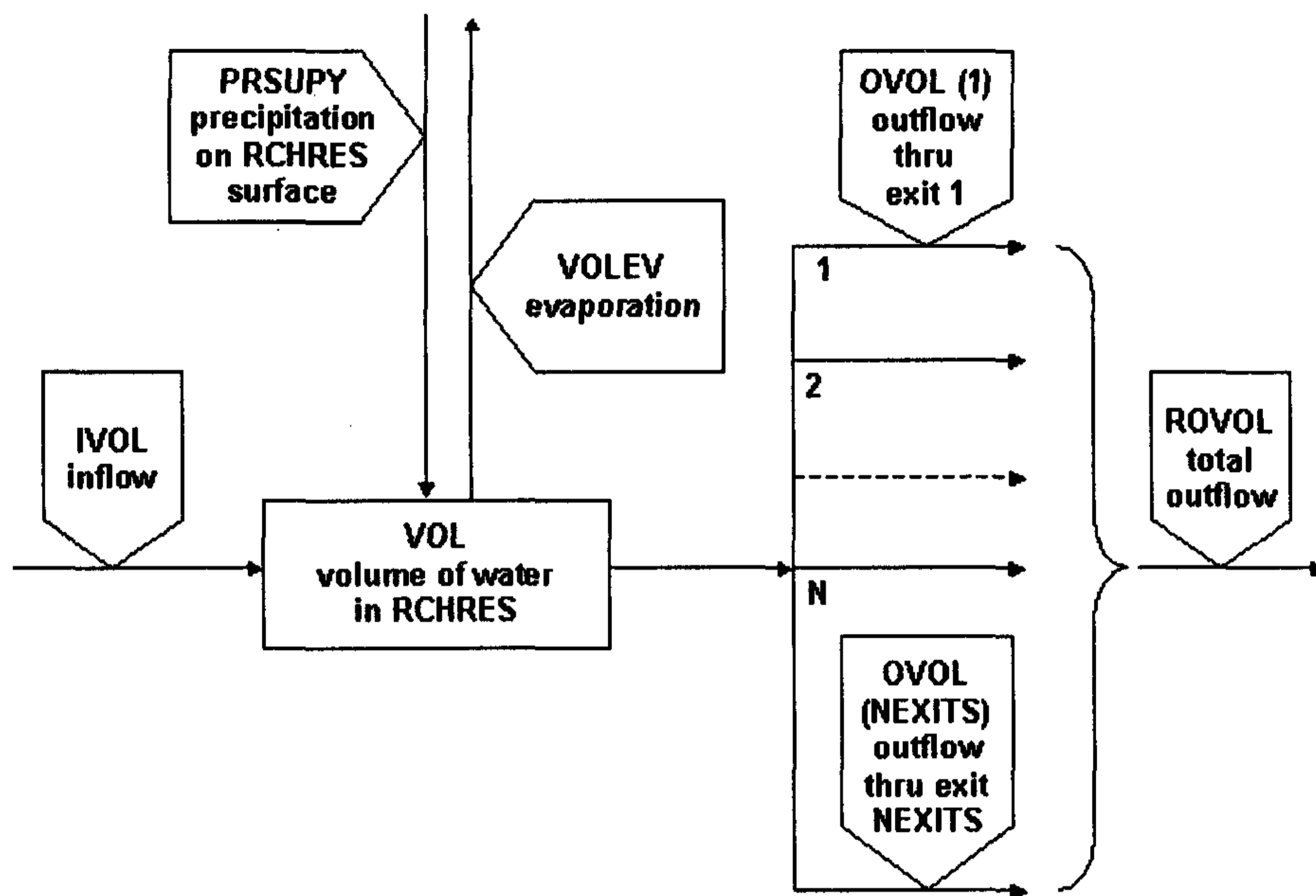
EVAP = volume of evaporation 이다.

이것은 다시 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$VOL = VOLT - ROVOL$$

where;

VOLT = IVOL + PRSUPY - VOLEV + VOLS



<그림 4-19> RCHRES module의 HYDR 흐름도

RCHRES에서 유출되는 총수량은 다음과 같다.

$$ROVOL = (KS \cdot ROS + COKS \cdot ROD) \cdot DELTS$$

where;

KS = weighting factor(0(= KS(= 0.99)

COKS = 1.0 - KS(complement of KS)

ROS = total rate of outflow from the RCHRES at the start of the interval

ROD = total rate of demanded outflow for the end of the interval

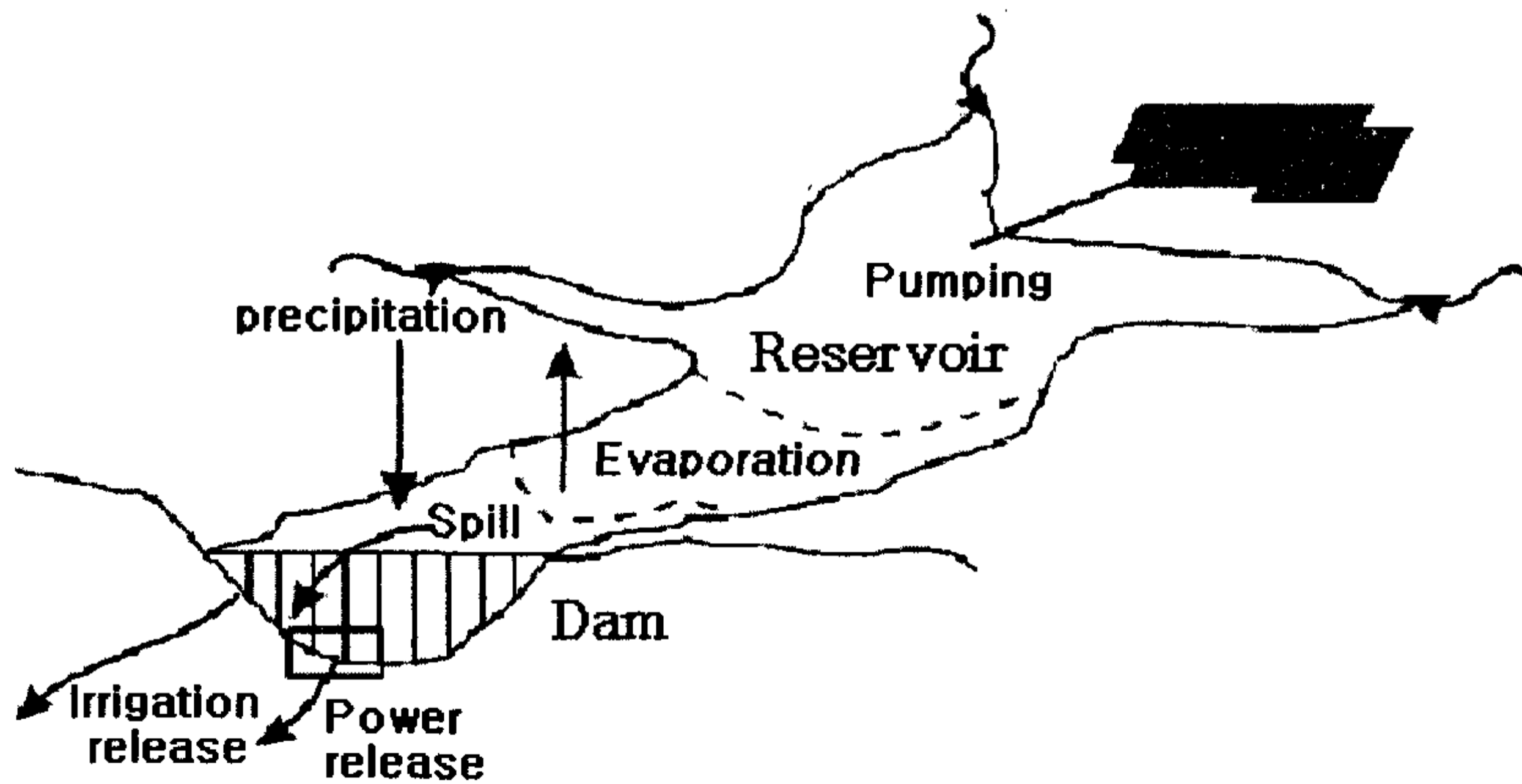
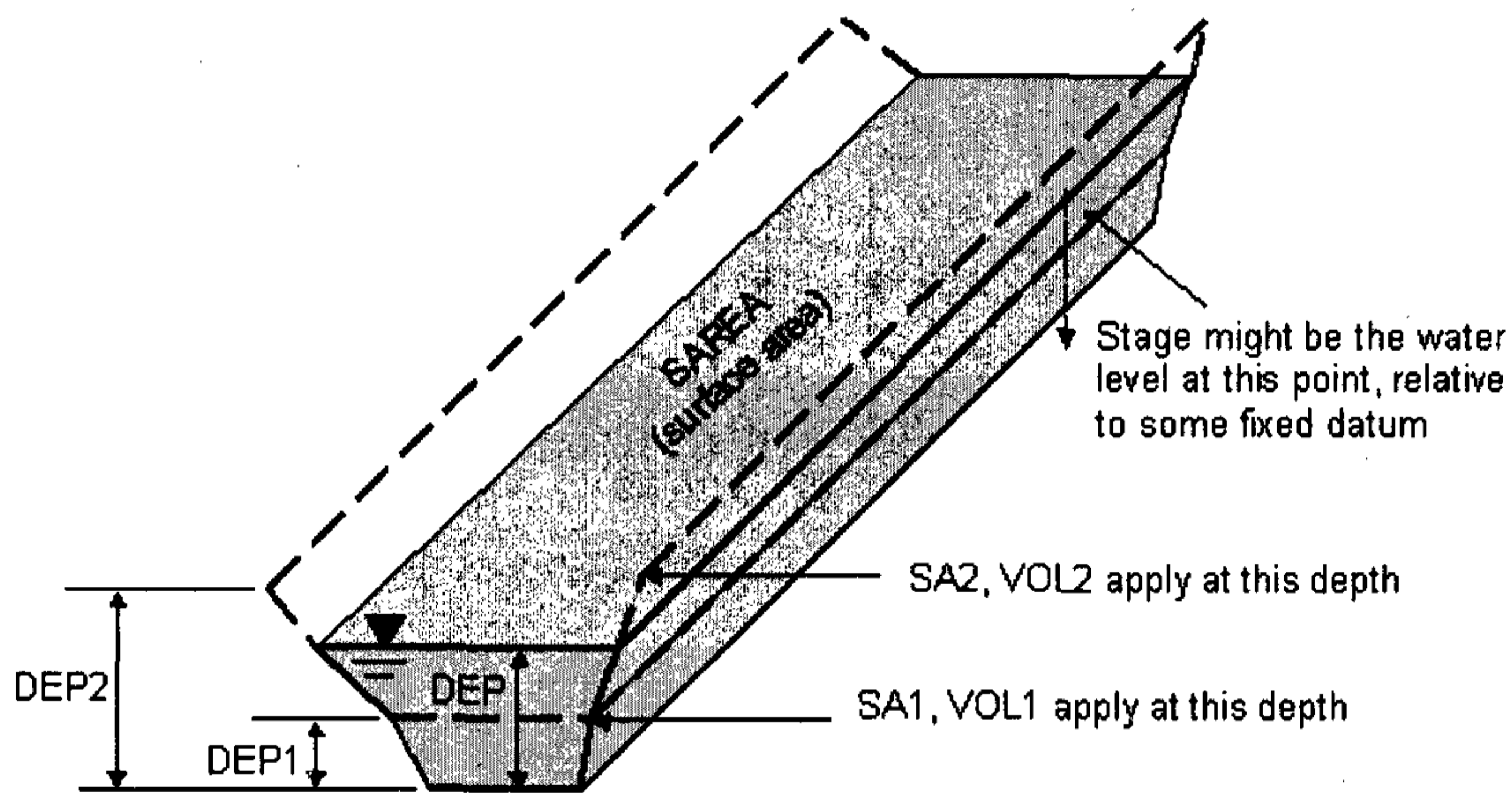
DELTS = simulation interval in seconds

여기에서 평균 유출량은 RCHRES의 시작점과 끝점에서의 중량가중평균값이다. 중량가중 인자인 KS값은 초기값을 쓰거나 사용자정의에 의해 값이 주어진다. 그러나 이 값이 0에서 1까지 증가시킬 때마다 유출량 계산의 불안정성이 점점 커지기 때문에 이 값을 사용할 때는 매우 조심해야 한다. 이론적으

로 KS 값이 0.5일 때 가장 안정적인 결과를 얻을 수 있다. 초기값인 0.0을 사용하면 유출량의 떨림 현상은 없어지나 결과값의 정확성은 떨어진다. 사용자가 0.0의 값을 사용하지 않을 경우 이 값을 정할 때 매우 신중해야 하며 반드시 0.5 이상의 값을 사용하지 않아야 한다.

HSPF는 하천이나 호소를 동일한 모듈에서 모의하기 때문에 RCHRES의 형태에 대한 가정이 없으며 단면적에 대한 자료를 필요로 하지 않으며 <그림 2-20>과 같은 개념화된 하천이나 호소에 대하여 다음과 같은 가정을 기초로 한다.

- 하천의 깊이에 대한 수표면적, 저류되는 수량과의 관계는 변하지 않는다.

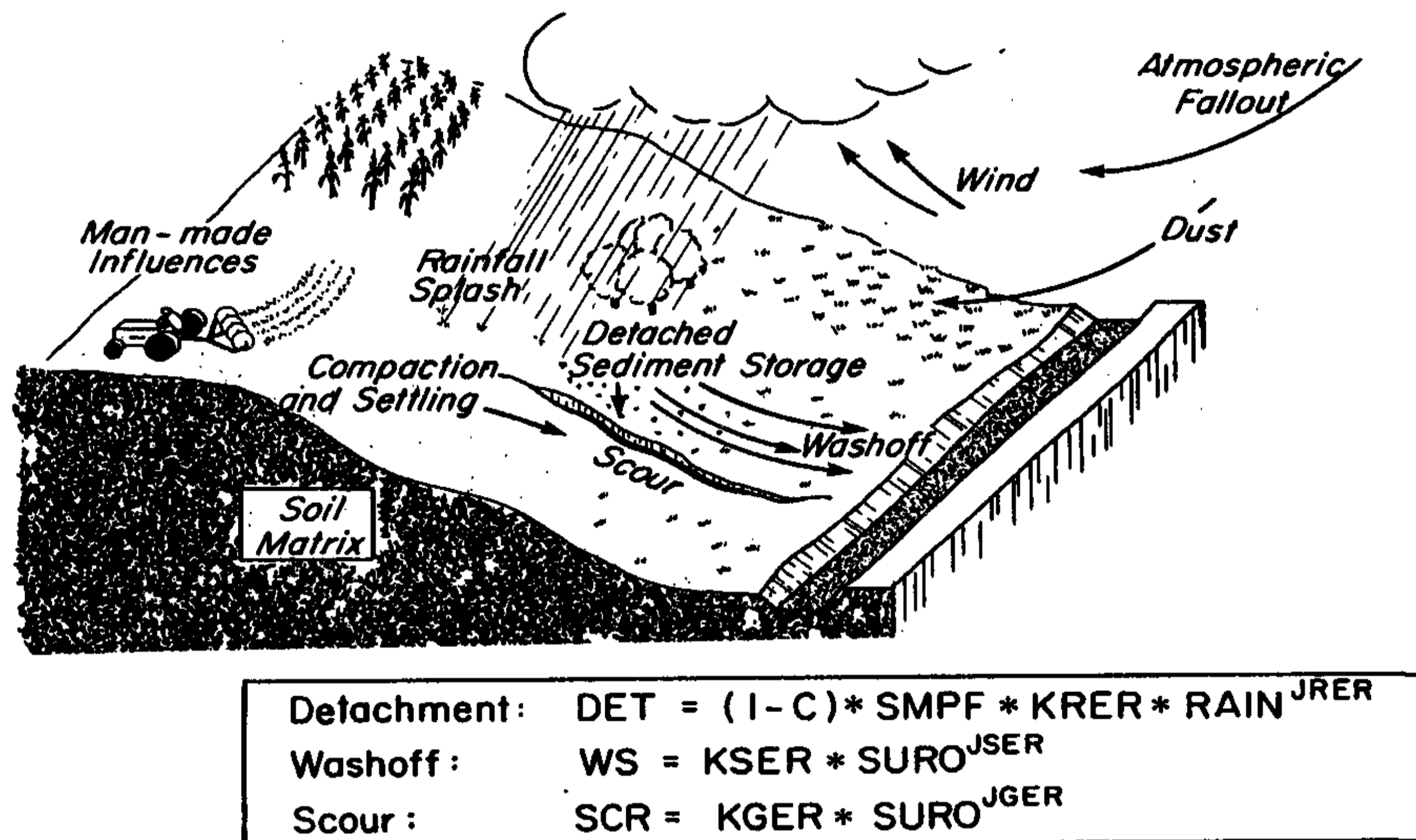


<그림 4-20> 하천에서 수심에 의한 수량 계산

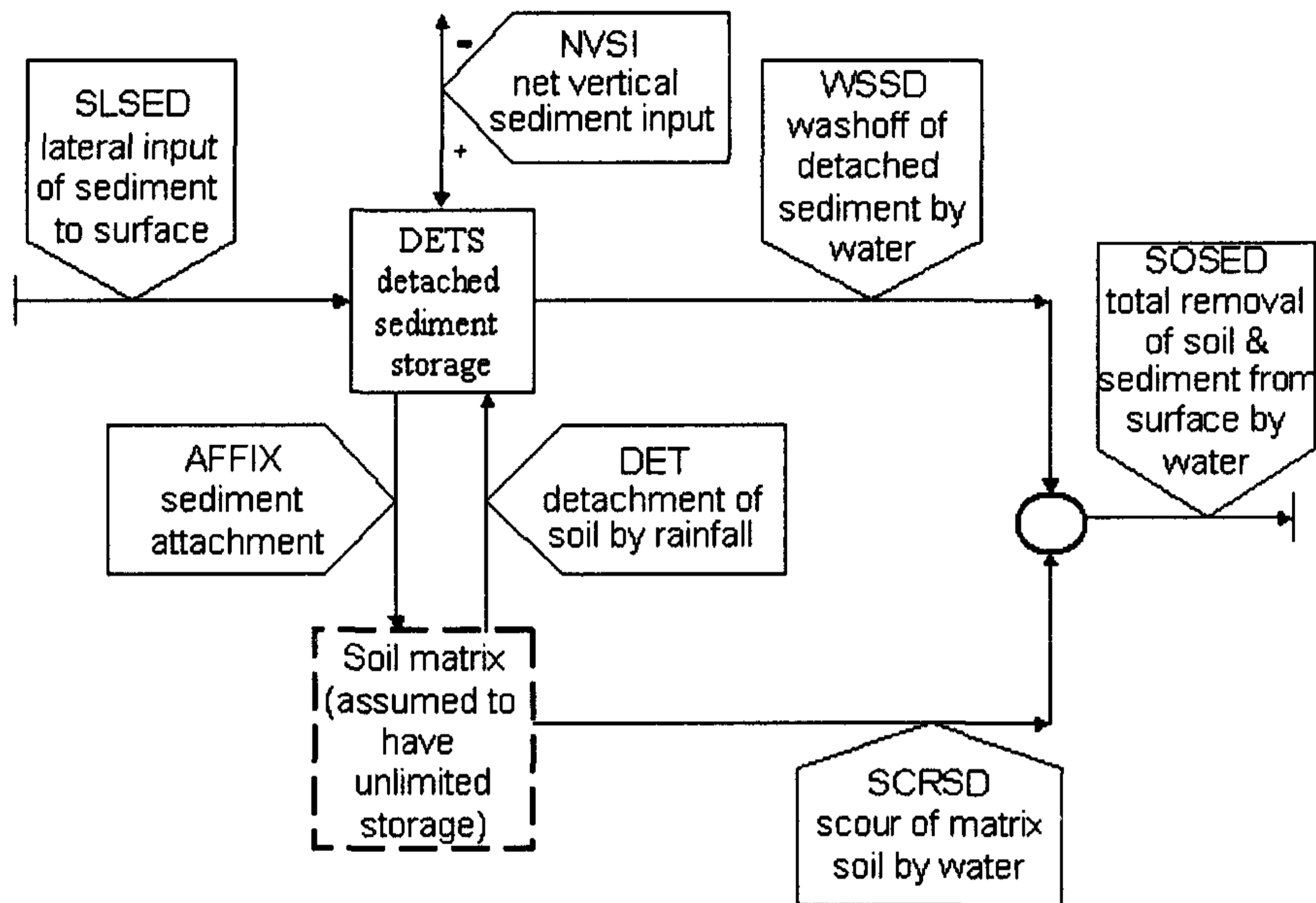
3) 모형의 토사유실 모의

가) 투수지역에서의 토사유실(SEDMNT)

모형에서의 토사 생성 및 유실 공식은 ARM과 NPS모형을 기본으로 하고 있다. 강우에 의한 토양의 탈착에 대한 관리기법 인자는 USLE공식의 P 값을 기본으로 한다. 유역에서의 토사유실의 발생과 이동과정은 <그림 4-21> 과 같다. HSPF 모델에서 투수지역의 토사유실을 모의하는 모듈은 SEDMNT이며 <그림 4-22>는 SEDMNT 모듈의 구조를 나타내는 그림이다.



<그림 4-21> 토양유실 과정



<그림 4-22> PERLND module의 SEDMNT 흐름도

(1) 탈착(detached sediment)

대기 중에서 떨어진 빗방울은 kinetic energy를 가지며 이는 토양입자를 분리시켜 지표유출과 함께 이동하며 이를 공식화하면 다음 식과 같다.

$$DET = DELT60 \cdot (1.0 - CR) \cdot SMPF \cdot KRER \cdot (RAIN / \nabla T60)^{JRER}$$

where;

DET = Sediment detachment from soil matrix by rainfall(tons/ac/interval)

DELT60 = Number of hours in interval

SMPF = Supporting management practice on soil properties

KRER = Detachment coefficient, dependint on soil properties

RAIN = Rainfall(in/interval)

JRER = Detachment exponent, dependent on soil properites

(2) 이송(transport)

탈착된 침전물의 유실을 모의하기 위해서는 지표유출에 의한 침전물 이송능을 추정하고 탈착된 침전물의 총량과 비교하여 모의되어야 한다. 본 모



형의 침전물 이송능(transport capacity)은 다음 식과 같다.

$$STCAP = DELT60 \cdot KSER \left( (SURS + ROSU) / DELT60 \right)^{JSER}$$

where;

STCAP = Capacity for removing detached sediment(tons/ac/interval)

KSER = Coefficient for transport of detached sediment

SORS = Surface water storage(inches)

SURO = Surface outflow of water(inch/interval)

장기간의 건기 후 강우사상이 시작될 때는 이송현상이 지배적인 경우 (transport limiting)이며, 강우의 중간과 끝 무력이나 작은 강우 사상에는 침강 현상(sediment limiting)이 지배적인 경우로 다음 식으로 표현된다.

$$IFSTCAP > DETS, (SEDIMENT LIMITING)$$

$$WSSD = DETS \cdot SURO / (SURS + SURO)$$

$$IFSTCAP < DETS, (TRANSPORT LIMITING)$$

$$WSSD = STCAP \cdot SURO / (SURS + SURO)$$

where;

WSSD = Washoff of detached sediment(tons/ac/interval)

(3) 들뜸(scour of matrix soil by water)

지표유출을 통한 침전물의 유실(들뜸)은 다음 식에 의해 계산된다.

$$SCRSD = (SURO / (SURS + SURO)) \cdot DELT60 \cdot KGER \cdot (SURS + SURO) / DELT60^{JGER}$$

where;

KGER = Coefficient for scour of the matrix soil

JGER = Exponent for scour of the matrix soil

따라서, 투수지역에서의 토양유실은 강우에 의해 탈착된 양이 지표유출을 통해 이송되는양(WSSD)과 지표면의 흐름이 토양을 들뜨게 한 양(SCRSD)의 합으로 계산된다.

#### (4) 축적과 흡착(atached sediment)

침전물의 축적과 흡착은 단순히 탈착된 침전물의 양만 감소시켜 준다. 토양의 침전물 source는 제한되지 않은 것으로 간주하기 때문에 축적과 흡착된 양을 토양의 침전물 source에 추가하지 않으며 단순히 탈착된 침전물의 양만 감소시켜 계산하며 계산식은 다음 식과 같다.

$$DETS(t) = DETS(t-1) \cdot (1.0 - AFFIX) + NVIS$$

where;

DETS = Storage of detached sediment(tons/acre)

AFFIX = Fraction by which DETS decrease each day as a result of soil compaction(lb/acre/day)

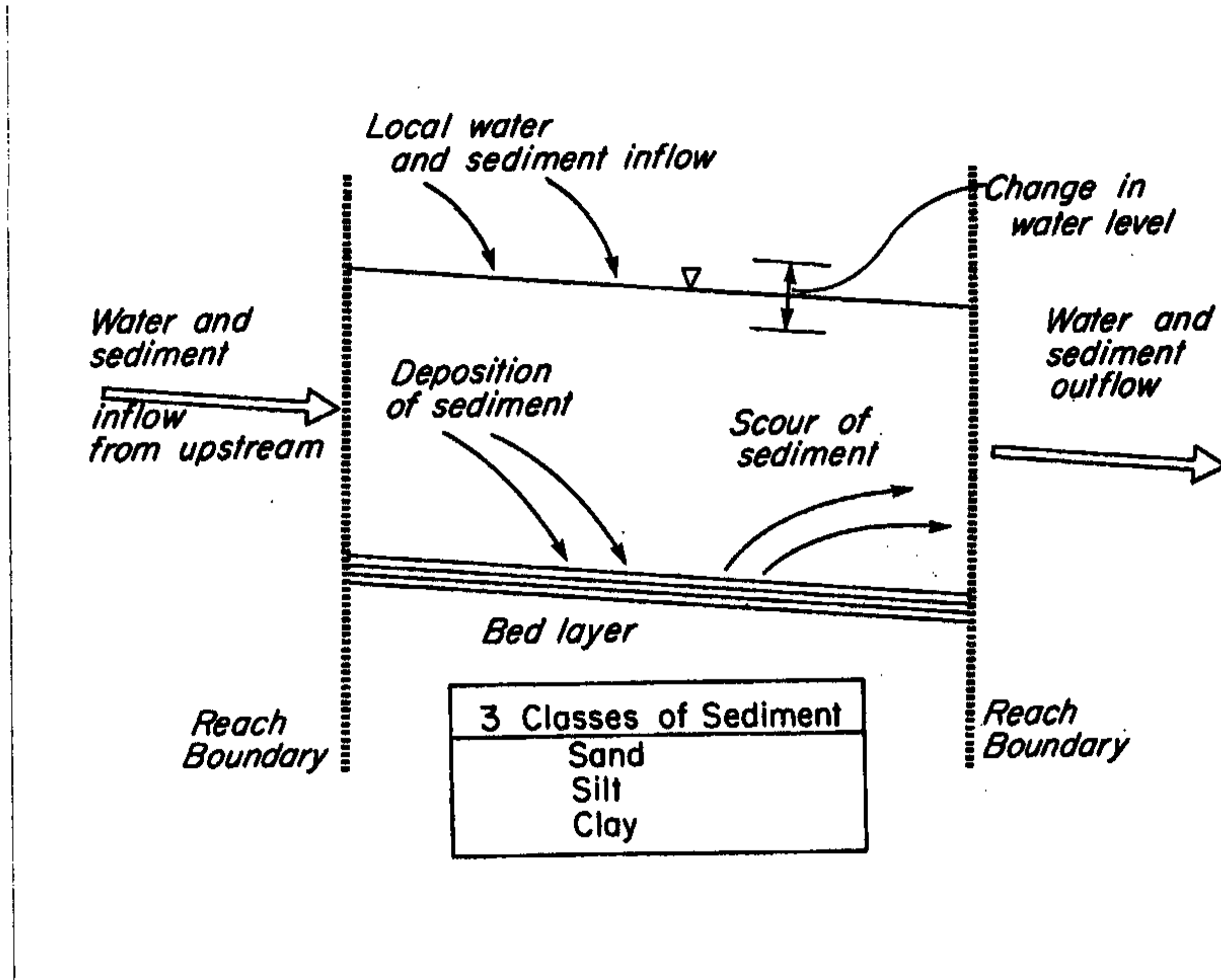
#### 나) 수체내에서의 토사유실(SEDMNT)

침전물의 이동과 흡착은 토양의 입자크기에 크게 좌우된다. 따라서 HSPF에서는 침전물을 sand 와 silt, clay로 분류하고 각각의 입력인자를 필요로 하며 다음과 같다.

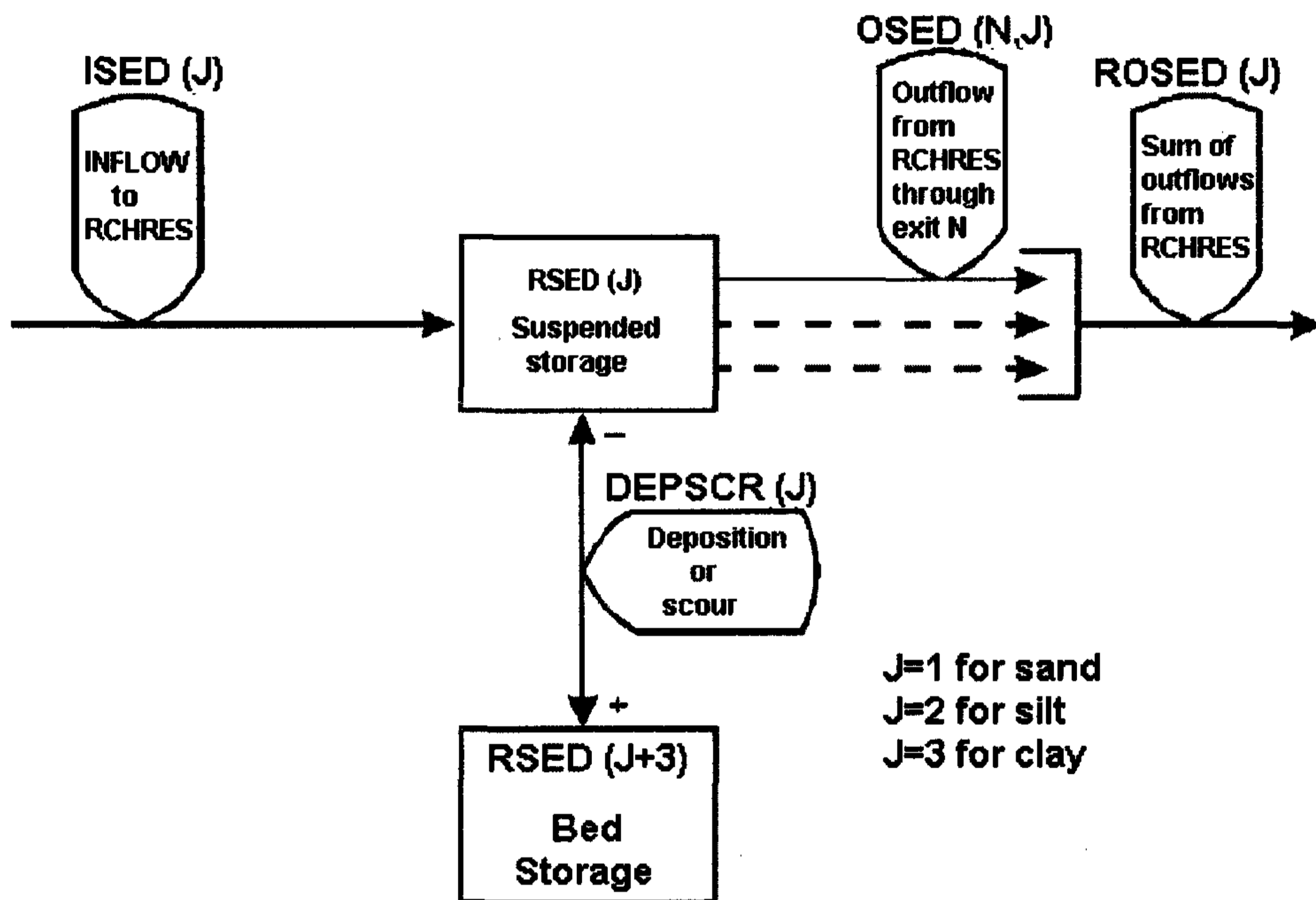
- 입자의 직경 -D
- 입자의 침전 속도 - W
- 입자 밀도 - RHO
- 침전에 대한 한계 전단응력 - TAUCD
- 들뜸(scour)에 대한 한계 전단응력 - TAUCS
- 침식계수 - M

수체 내에서의 토양유실에 사용되는 입력인자는 어떠한 공식을 쓰는가에 따라 결정되는데, Toffaleti 방법의 경우 median bed sediment diameter(DB50)과 입자 침전 속도(W)가 사용되며 Colby 방법의 경우 DB50과

KSAND, EXPSND를 필요로 한다.



<그림 4-23> 수체에서의 토양유실과정



<그림 4-24> Module의 SEDTRN에서 무기 침전물질의 모의 흐름도

HSPF에서는 침전물질의 들뜸과 축적은 수리학적 특성에 영향을 받지 않는 것으로 가정한다. sand와 silt, clay는 RCHRES 바닥의 각각 다른 곳으로 축적되는 것으로 가정 한다. sand와 silt, clay가 RCHRES에 차지하는 양은 다음 식에 의해 계산된다.

$$VOLSED(J) = RSED(J+3)/P(J) \cdot 10^6$$

where;

$VOLSED(J)$  = volume occupied by bed sediment of fraction J( $m^3$  or  $ft^3$ )

$RSED(J+3)$  = bed storage of sediment fraction J( $mg \cdot m^3/l$  or  $mg \cdot ft^3/l$ )

$RHO(J)$  = particle density of fraction J( $g/cm^3$ )

각각의 항목에 대하여 침전된 양이 더해지며, 총 량은 다음과 같은 공식에 의해 계산되어 진다.

$$VOLSEDA = VOLSED / (1.0 - POR)$$

where;

VOLSEDA = volume of bed adjusted to account for volume occupied by materials other than sediment

VOLSED = volume of sediment contained in the bed(sand+silt+clay)

POR = porosity of bed sediment(ratio of pore volume to total volume)

침전물질의 총량이 구해지면 다음과 같은 식에 의해 침전물의 깊이가 계산되어 진다.

$$BEDDEP = VOLSEDA / (LEN \cdot BEDWID)$$

where;

BEDDEP = depth of bed(m or ft)

VOLSEDA = volume of bed(m<sup>3</sup> or ft<sup>3</sup>)

LEN = length of RCHRES(m or ft)

BEDWID = effective width of bed for calculation of bed thickness(an input parameter expressed in m or ft)

· Toffaleti method

이 방법은 하천을 2차원으로 간주하고 수심을 4개의 층(bed zone, low zone, middle zone, upper zone)으로 나누어 모래의 이송량을 계산한다. 이 방법에는 수온과 입자의 직경, 침강속도, 기울기 등의 자료가 필요하다.

· Colby method

실측 자료를 토대로 만들어진 경험식으로 모래의 이송에 관계된 계산은 수력직경과 유속, 입자의 직경으로부터 도출된다.

· Power function

$$PSAND = (KSAND) \cdot (AVVELE)^{EXP\ SND}$$

where;

PSAND = Potential sand concentration

AVVELE = Average velocity  
KSAND = Coefficient(input parameter)  
EXPSND = Exponent(input parameter)

점착성 토사인 silt와 clay의 침강과 들뜸현상은 다음 식과 같이 전단력의 계산을 통해서 표현된다.

$$S(Scourrate) = M(T/TCS - 1.0)$$
$$D(Depositrate) = W \cdot CONC \cdot (1.0 - T/TAUCD)$$
$$T(Shearstress) = SLOPE \cdot GAM \cdot HARD$$

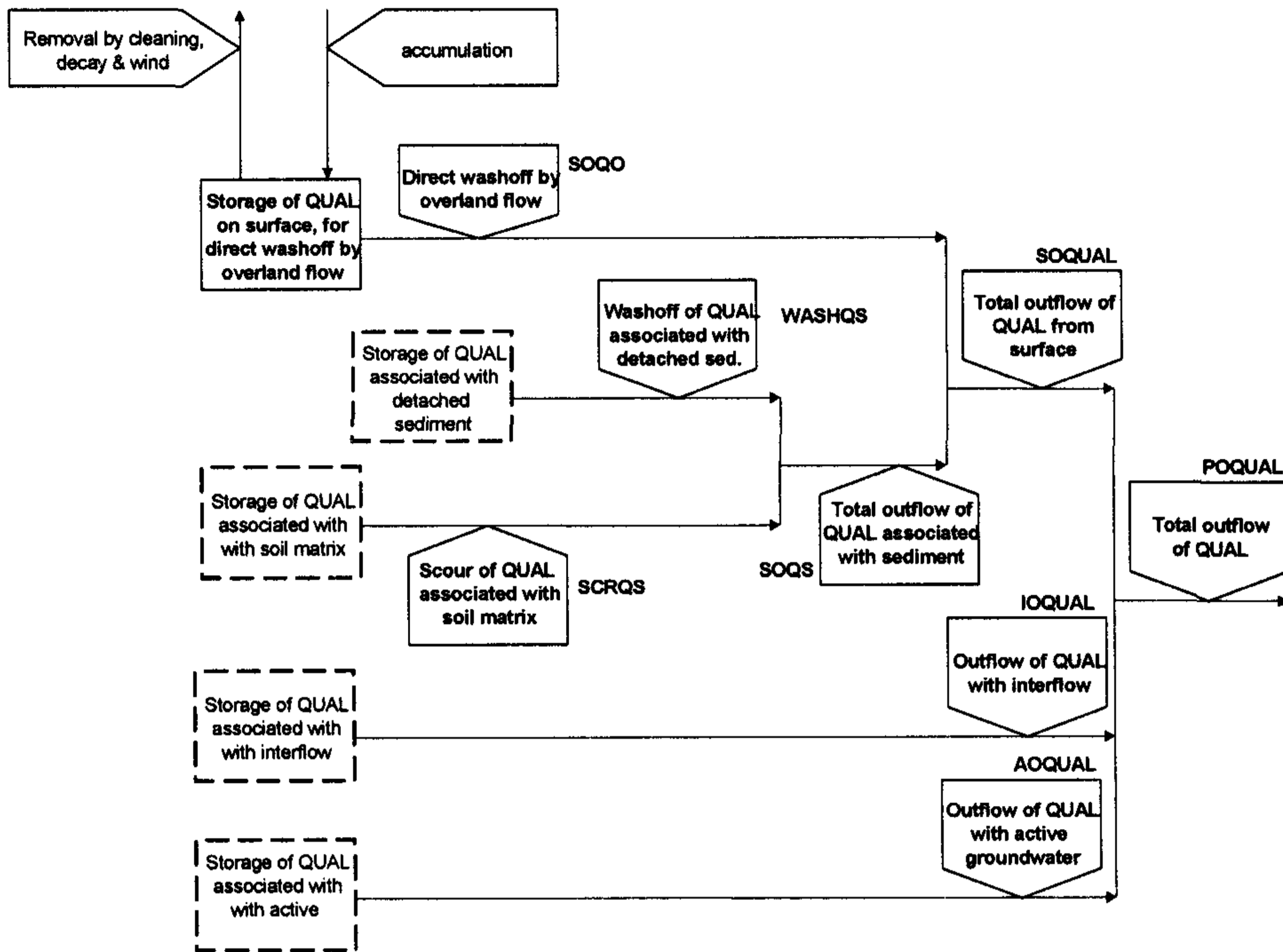
where;

M = Erodibility coefficient(lb/ft<sup>2</sup>/hr)  
TAUCS = Critical shear stress for scour(lb/ft<sup>2</sup>)  
TAUCD = Critical shear stress for deposition(lb/ft<sup>2</sup>)  
CONC = Suspended sediment(lb/ft<sup>2</sup>)  
GAM = Density of water(lb/ft<sup>2</sup>)  
HARD = Hydraulic radius

#### 4) 모형의 수질 모의

##### 가) 투수지역의 수질모의(PQUAL)

투수지역의 수질 모의는 오염물질과 강우시 발생하는 토사, 또는 유출수와 경험적인 관계식을 이용한다. 모형내에서의 투수지역 일반적인 수질모의는 PQUAL모듈에서 이루어지며 그 흐름도는 <그림 4-25>와 같다.



<그림 4-25> PERLND module의 PQUAL 흐름도

(1) 유실된 토사에 의한 모의

유실된 토양에 흡착된 오염물질은 다음과 같은 식에 의해 계산된다.

$$WASHQS = WSSD \cdot POTFW$$

where;

WASHQS = flux of quality constituent associated with detached sediment washoff(quantity/ac per interval)

WSSD = washoff of detached sediment(tons/ac per interval)

POTFW = washoff potency factor(quantity/ton)

(2) 오염물질의 축적 및 유실에 의한 모의

오염물질의 축적의 기작은 다음 식으로 표현된다.

$$SQO = ACQOP + SQOS(1.0 - REMQOP)$$

where;

$$PEMQOP = ACQOP/SQOLIM$$

SQO = Storage of available quality constituent on the surface

ACQOP = Accumulation rate of the constituent

SQOS = SQO at the start of the interval

SQOLIM = limit for SQO, if no washoff occurs

오염물질 유실의 기작은 다음 식으로 표현된다.

$$SOQO = SQO \cdot (1.0 - \text{EXP}(-SURO \cdot WAFAC))$$

where;

$$WSFAC = 2.3/WSQOP$$

SOQO = washoff of the quality constituent from the land surface

SURO = surface out flow of water

WSQOP = rate of surface runoff that result in 90% washoff in one hour

(3) 기저유출에서의 수질모의

기저유출에서의 수질모의는 다음과 같은 식에 의해 모의된다.

$$OCONC = LIFAC \cdot LICONC + (1.0 - LIFAC) \cdot CONC$$

where;

OCONC = effective outflow concentration

LIFAC = lateral inflow weighting factor for soil laye

LICONC = lateral inflow concentration

CONC = outflow concentration computed from other algorithms and parameters

나) 수체내에서의 수질모의(RQUAL)

RQUAL은 생화학적 수질반응을 해석하며 다음과 같은 수질항목을 모의한다.

- dissolved oxygen
- biochemical oxgen demand
- ammonia



- nitrite
- nitrate
- orthophosphorus
- phytoplankton
- benthic algae
- zooplankton
- dead refractory organic nitrogen
- dead refractory organic phosphorus
- dead refractory organic carbon
- total inorganic carbon
- pH
- carbon dioxide
- total organic nitrogen
- total organic phosphorus
- total organic carbon
- potential biochemical oxygen demand

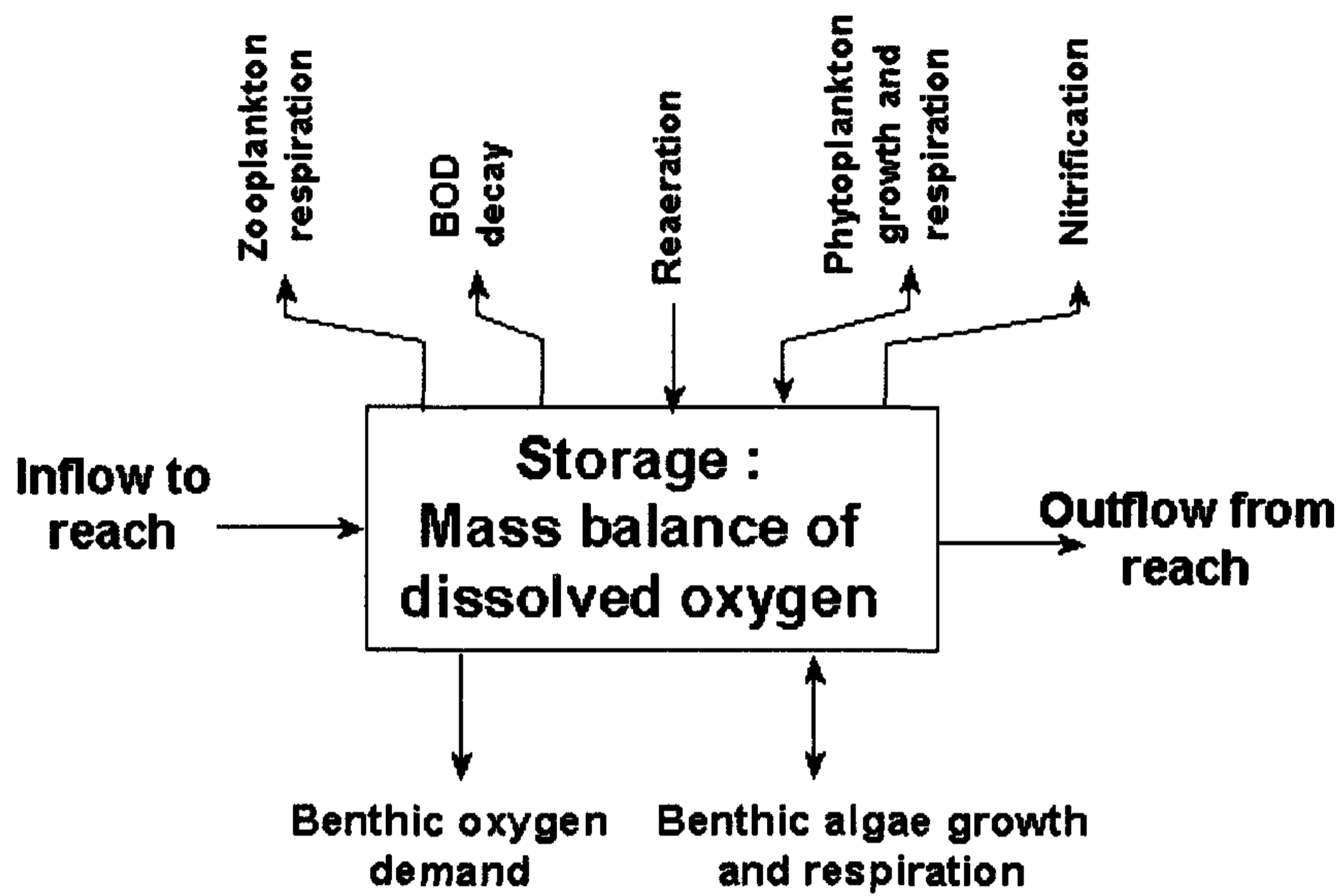
RQUAL은 4개의 서브루틴에 의해 계산되며 다음과 같다.

- OXR<sub>X</sub> : 주로 용존산소와 BOD를 계산
- NUTR<sub>X</sub> : 무기질소와 무기인을 계산
- PLANK : 플랑크톤과 이와 관련된 반응을 계산
- PHCARB : pH와 무기탄소를 계산

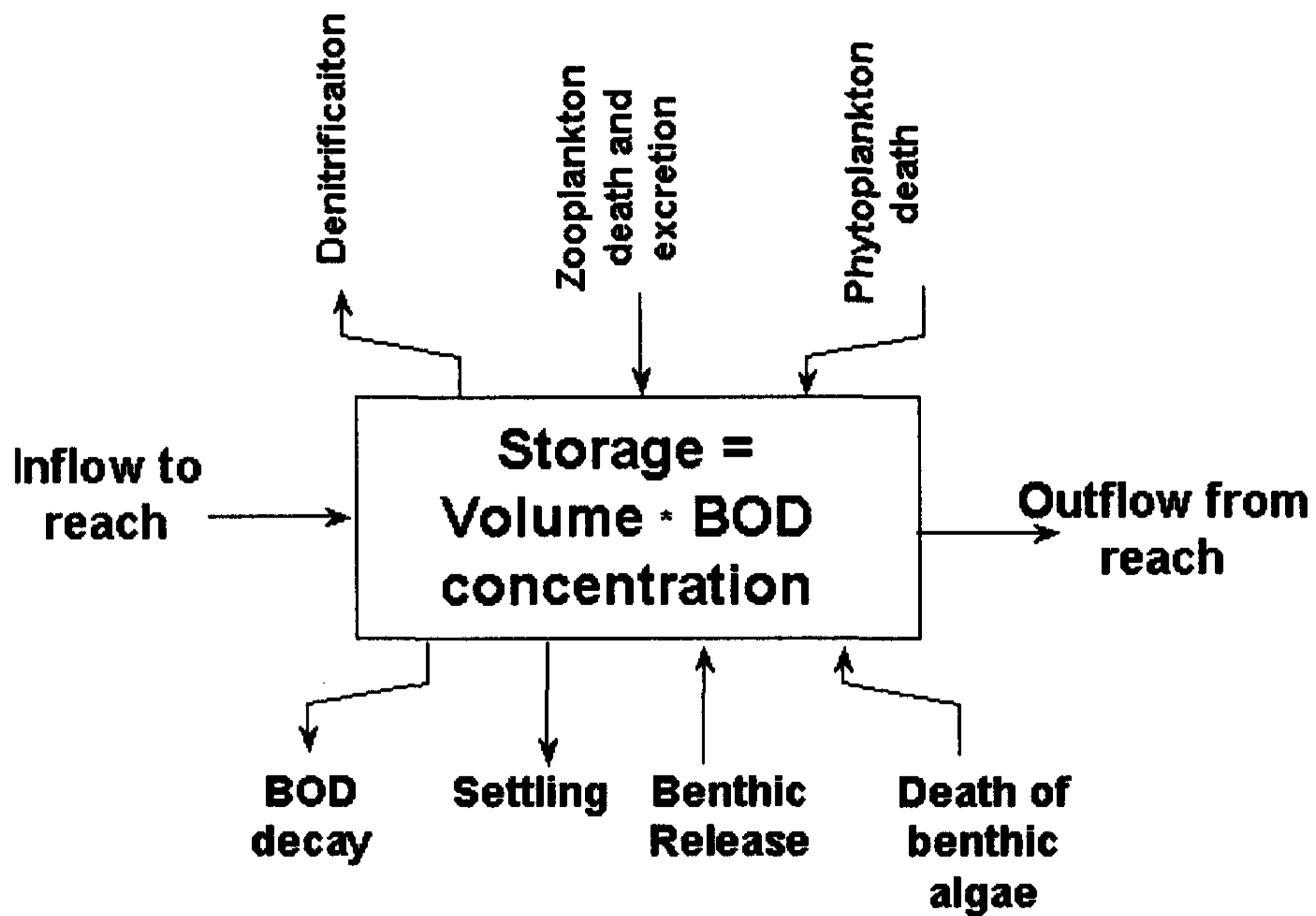
(1) 용존산소(DO)와 생물학적 산소 요구량(BOD)

RCHRES의 OXR<sub>X</sub>에 의해 DO와 BOD가 모의되며 다음과 같은 과정에 의해 DO 수치가 결정된다<그림 4-26>.

- DO와 BOD의 수직확산
- BOD의 침전
- 침전물에서의 산소 요구량(SOD)
- 침전물에서의 BOD 용출
- 재폭기 및 BOD분해에 의한 DO 소모



<그림 4-26> 용존산소 물질 수지



<그림 4-27> BOD 유입원과 침전

(2) 침전물에서의 산소 요구량(SOD)

침전물에서의 산소요구량은 다음과 같은 식에 의해 계산된다.

$$BENOX = BENOD \cdot (TCBEN^{TW - 20}) \cdot (1.0 - \text{Exp}(-EXPOD \cdot DOX))$$

where;

BENOX = amount of oxygen demand exerted by benthal muds  
(mg/m<sup>2</sup>/interval)

BENOD = reach dependent benthal oxygen demand at 20 degrees C  
(mg/m<sup>2</sup>/interval)

TCBEN = temperature correction factor for benthal oxygen demand

TW20 = water temperature - 20.0(deg C)

EXPOD = exponential factor to benthal oxygen demand function(default  
value = 1.22)

DOX = dissolved oxygen concentration(mg/l)

BENOX가 계산되어지면 다음과 같은 식에 의해 DO가 계산되어 진다.

$$DOX = DOX - BENOX \cdot DEPCOR$$

where;

DEPCOR = factor which converts from mg/m<sup>2</sup> to mg/l, based on the  
average depth of water in the RCHRES during the simulation interval  
(DEPCOR is calculated in subroutine RQUAL)

(3) 침전물에서의 BOD 용출

침전물에서의 BOD 용출모의는 다음과 같은 식에 의해 모의된다.

$$RELBOD = (BRBOD(1) + BRBOD(2) \cdot \text{Exp}(-EXPREL \cdot DOX)) \cdot SCRFAC$$

where;

RELBOD = BOD released by bottom muds(mg/m<sup>2</sup> per interval)

BRBOD(1) = base release rate of BOD materials(aerobic conditions)(mg/m<sup>2</sup>/interval)

BRBOD(2) = increment to bottom release rate due to decreasing dissolved oxygen concentration

EXPREL = exponential factor to BOD benthic release function(default value = 2.82)

DOX = dissolved oxygen concentration(mg/l)

SCRFAC = scouring factor dependent on average velocity of water(SCRFAC is calculated in subroutine RQUAL)

#### (4) 재폭기

재폭기의 일반화된 공식은 다음과 같다.

$$DOX = DOXS + KOREA \cdot (SATDO - DOXS)$$

where;

DOX = dissolved oxygen concentration after reaeration(mg/l)

KOREA = reaeration coefficient(greater than zero and less than one)

SATDO = oxygen saturation level for given water temperature(mg/l)

DOXS = dissolved oxygen concentration at start of interval(mg/l)

#### (5) 호소에서의 재폭기

호소에서의 재폭기는 수표면면적, 용량, 풍속에 의해 계산된다.

$$WINDF = WINDSP \cdot (-0.46 + 0.136 \cdot WINDSP)$$

where;

WINDF = wind speed factor in lake reaeration calculation

WINDSP = wind speed(m/sec)

#### (6) 하천에서의 재폭기

㉠ 에너지 손실에 의한 모의(Tsivoglou-Wallace, 1972)

$$KOREA = REAKT \cdot (DELTHE/FLOTIM) \cdot (TCGINV^{(TW - 20.)})$$

*DELTS*

where;

REAKT = escape coefficient with a typical value between 0.054/ft and 0.110/ft.

DELTHE = drop in energy line along length of RCHRES(ft)

FLOTIM = time of flow through RCHRES(seconds)

TCGINV = temperature correction coefficient for gas invasion rate with a default value of 1.047

DELTS = conversion factor from units of /second to units of /interval

Ⓢ Covar's method(하천의 깊이 및 유속에 의한 모의)

$$KOREA = REAK \cdot (AVVELE^{EXPREV}) \cdot (AVDEPE^{EXPRED}) \cdot (TCGINV^{TW-20}) \cdot DELT60$$

where;

KOREA = reaeration coefficient(per interval)

REAK = empirical constant for reaeration equation(/hour)

AVVELE = average velocity of water(ft/s)

EXPREV = exponent to velocity function

AVDEPE = average water depth(ft)

EXPRED = exponent to depth function

TCGINV = temperature correction coefficient for reaeration defaulted to 1.047

DELT60 = conversion factor from units of per hour to units of per interval

PEAK와 EXPREV, EXPRED는 수체의 수심과 유속에 좌우되며 3가지의 경험식에 의해 그 값이 결정된다.

Formula	depth	velocity	PEAK	EXPREV	EXPRED
Owen	2ft	-	0.906	0.67	-1.85
Churchill	2ft	high	0.484	0.969	-1.673
O'Connor-Dobbin	2ft	low	0.538	0.5	-1.5

㉔ 사용자 정의에 의한 모의

PEAK와 EXPREV, EXPRED의 값을 사용자가 직접 입력함으로써 모의하는 방법이다.

· BOD 분해

BOD는 CBOD를 의미하며 1차 반응식을 따른다.

$$BODOX = KBOD20 \cdot TCBOD^{TW - 20} \cdot BOD$$

where;

BODOX = quantity of oxygen required to satisfy BOD decay(mg/l per interval)

KBOD20 = BOD decay rate at 20 degrees C(/interval)

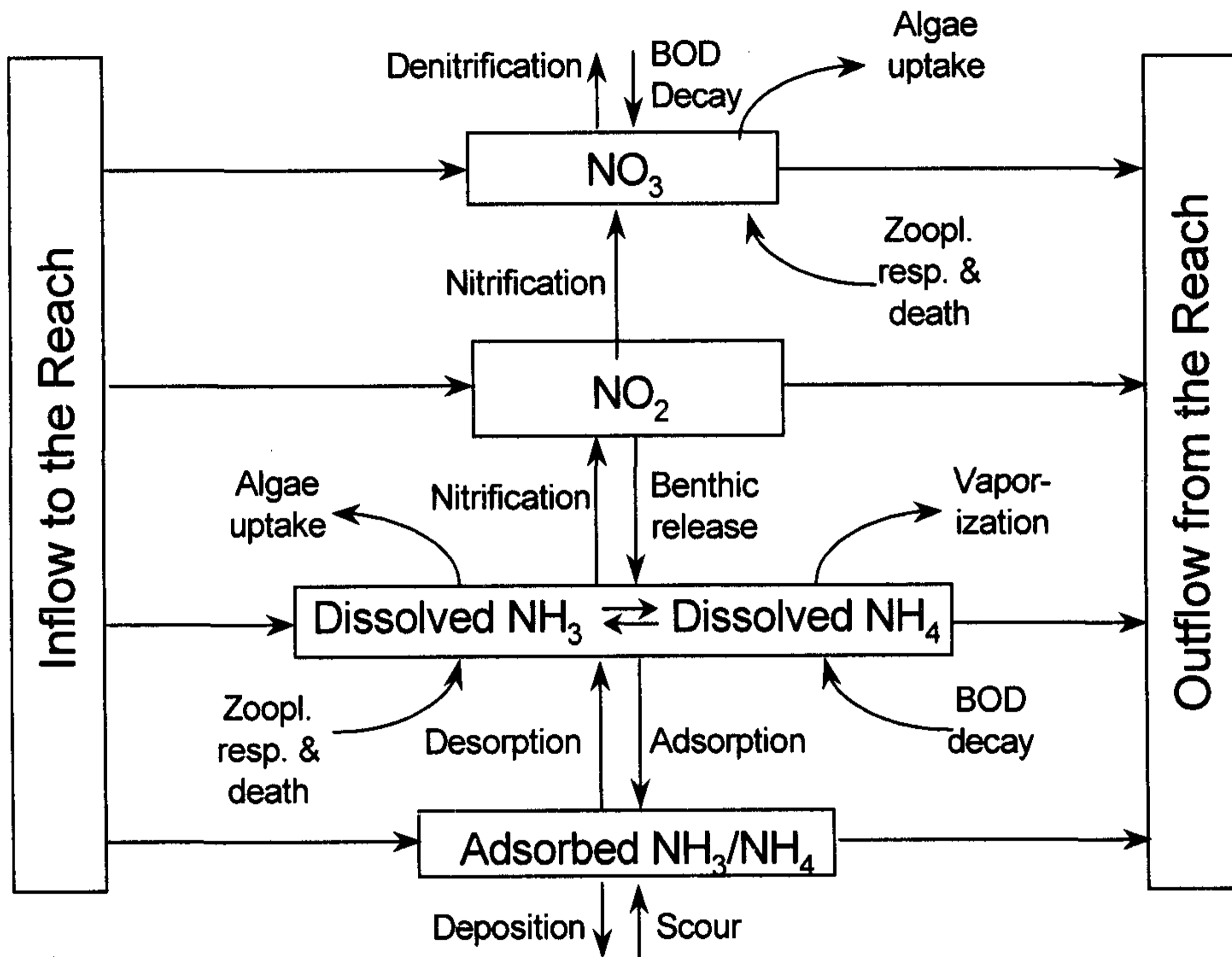
TCBOD = temperature correction coefficient, defaulted to 1.075

TW = water temperature(degrees C)

BOD = BOD concentration(mg/l)

다) 질소 및 인

수계의 수질을 모의할 때 대부분의 경우 영양물질(질소와 인)을 고려한다. 질소의 경우 다양한 형태로 존재하며, 수계의 용존산소를 고갈시키며 조류의 번성을 부추기며 때로는 독성을 띠기도 한다. 인의 경우에는 수생 생태계의 중요한 에너지원으로 이용되기 때문에 대부분의 경우 조류성장의 제한 영양물질이기도 하다. HSPF 모델에서 유기 질소와 유기인의 모의에 관여하는 모듈은 NUTRX 이며, <그림 4-28>과 <그림 4-29>와 같은 기작으로 모의한다.



<그림 4-28> 유기질소원과 침전, 변환

(1) 침전물에서의 용출

침전물에서의 용출은 다음과 같은 공식에 의해 계산되어 진다.

$$R E L E A S = B R C O N ( I ) \cdot S C R F A C \cdot D E P C O R$$

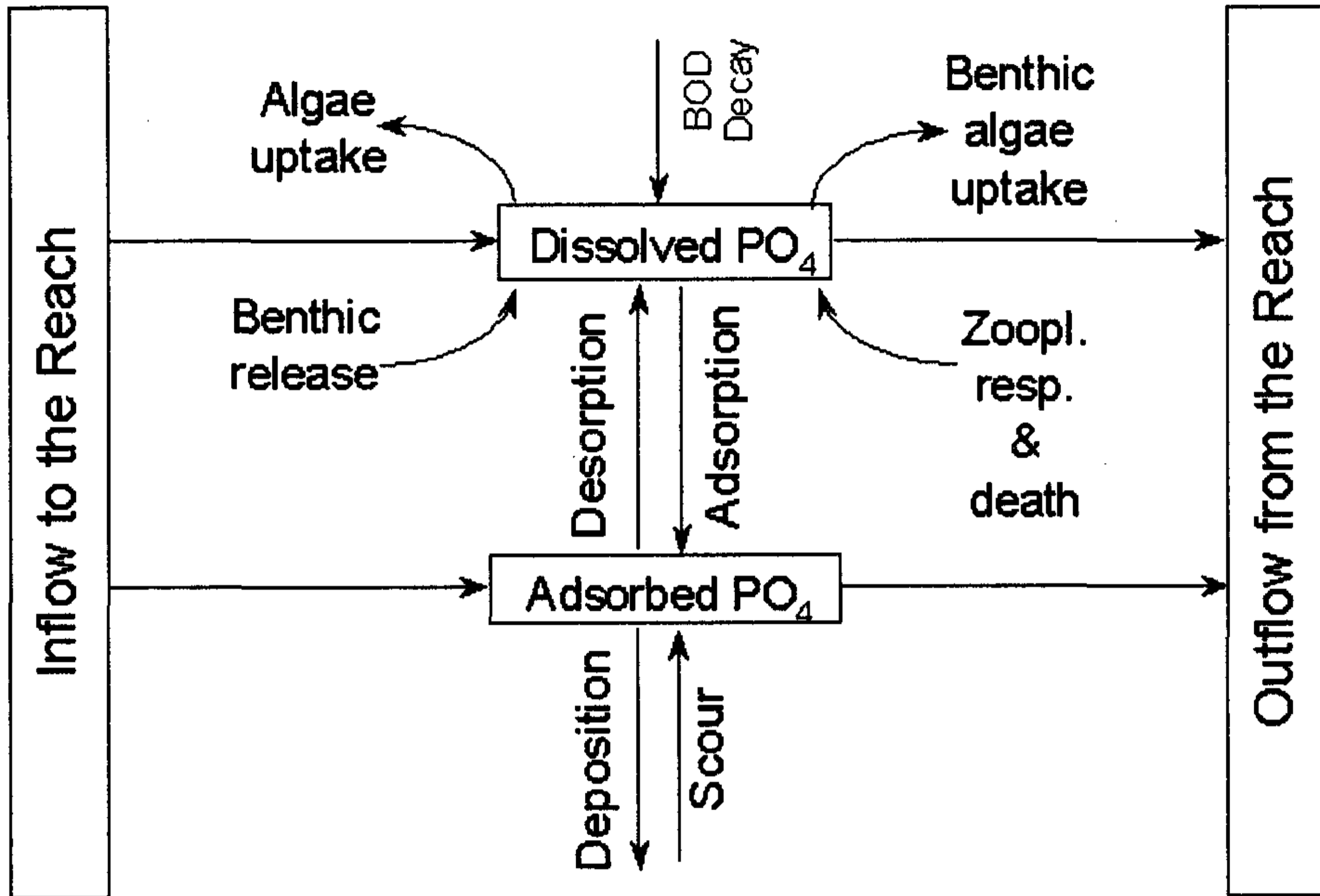
where;

RELEAS = amount of constituent released(mg/l per interval)

BRCON(I) = benthic release rate(BRTAM or BRPO4) for constituent(mg/m<sup>2</sup> per interval)

SCRFAC = scouring factor, dependent on average velocity of the water(SCRFAC is computed in RQUAL)

DEPCOR = conversion factor from mg/m<sup>2</sup> to mg/l(computed in RQUAL)



<그림 4-29> 무기인원의 source와 침전, 변환

(2) 질산화 과정

1차 방정식에 의해 질산화 과정이 일어나며 NH<sub>3</sub>에서 NO<sub>2</sub>로의 산화는 다음과 같다.

$$TAMNIT = KTAM20 \cdot TCNIT^{TW - 20} \cdot TAM$$

where;

TAMNIT = amount of NH<sub>3</sub> oxidation(mg N/l per interval)

KTAM20 = ammonia oxidation rate coefficient at 20 degrees C(/interval)

TCNIT = temperature correction coefficient, defaulted to 1.07

TW = water temperature(degrees C)

TAM = total ammonia concentration(mg N/l)

NO<sub>2</sub>에서 NO<sub>3</sub>로의 산화는 다음과 같다.

$$NO2N = KNO220 \cdot TCNIT^{TW - 20} \cdot NO2$$



where;

NO2NIT = amount of NO<sub>2</sub> oxidation(mg N/l/interval)

KNO220 = NO<sub>2</sub> oxidation rate coefficient at 20 degrees C(/interval)

NO<sub>2</sub> = nitrite concentration(mg N/l)

1 mg의 NH<sub>3</sub>-N가 NO<sub>2</sub>-N로 산화되는데 필요한 산소의 량은 3.43 mg이고 1 mg의 NO<sub>2</sub>-N가 NO<sub>3</sub>-N로 산화되는데 필요한 산소의 량은 1.14 mg이며 질산화과정에 의해 소모된 산소의 량은 다음과 같이 계산된다.

$$DODEMD = 3.22 \cdot TAMNIT + 1.11 \cdot NO_2 \ni T$$

where;

DODEMD = loss of dissolved oxygen from the RCHRES due to nitrification(mg O/l per interval)

### (3) 탈질화 과정

탈질화 반응은 1차 반응에 의해 다음과 같다.

$$DENNO_3 = KNO_{320} \cdot TC DEN^{TW - 20} \cdot NO_3$$

where;

DENNO<sub>3</sub> = amount of NO<sub>3</sub> denitrified(mg N/l per interval)

KNO<sub>320</sub> = NO<sub>3</sub> denitrification rate coefficient at 20 degrees C(/interval)

TC DEN = temperature correction coefficient for denitrification

NO<sub>3</sub> = nitrate concentration(mg N/l)

### (4) NH<sub>4</sub><sup>+</sup>와 PO<sub>4</sub><sup>-</sup>의 흡착 및 탈착

침전물질에 대한 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>와 PO<sub>4</sub><sup>-</sup>의 흡착 및 탈착은 다음과 같다.

$$SNUT(J) = DNUT \cdot ADPM(J)$$

where;

SNUT(J) = equilibrium concentration of adsorbed nutrient on sediment

fraction J(mg/kg)

DNUT = the equilibrium concentration of dissolved nutrient(mg/l)

ADPM(J) = adsorption parameter(or Kd) for sediment fraction J(l/kg)

· NH<sub>3</sub>의 휘발

암모니아의 휘발은 물과 공기층을 통한 2중층 모형을 기본으로 하여 모의되며 다음과 같다.

$$\frac{1}{KR} = KRINV = \frac{1}{NH_{3KL}} + \frac{8.21 \cdot 10^{-5} \cdot TWKELV}{HCNH_3 \cdot NH_{3KG}}$$

where;

KR = overall mass transfer coefficient(cm/hr)

KRINV = inverse of coefficient(hr/cm)

NH<sub>3KL</sub> = liquid film mass transfer coefficient(cm/hr)

NH<sub>3KG</sub> = gas film mass transfer coefficient(cm/hr)

HCNH<sub>3</sub> = Henry's Law Constant for ammonia(atm-m<sup>3</sup>/mole)

8.21E-5 = the ideal gas constant(atm-m<sup>3</sup>/K/mole)

TWKELV = water temperature(degrees K)

liquid-film coefficient는 재복기율과의 관계를 기본으로 하고 다음과 같다.

$$NH_{3KL} = KOREA \cdot AVDEPM \cdot 100 / DELT60 \cdot 1.878 \frac{EXP_{NVL}}{2}$$

where;

KOREA = the oxygen reaeration rate(per interval)

AVDEPM = average depth of the reach(m)

100 = conversion from meters to centimeters

DELT60 = conversion from units of per interval to units of per hour

1.878 = ratio of molecular weight of oxygen(32) to ammonia(17)

EXP<sub>NVL</sub> = user-specified exponential factor

gas-film coefficient는 바람에 의한 증발에 영향을 받으며 다음과 같다.

$$NH\ 3\ KG = 700 \cdot WINDSP \cdot 1.057 \frac{EXP\ NVG}{2}$$

where;

700 = an empirical constant relating the wind speed in m/s and the evaporation rate in cm/hr

WINDSP = wind speed(m/s)

1.057 = ratio of water molecular weight to that of ammonia

EXP NVG = user-specified exponential factor

휘발에 대한 1차감소계수는 다음과 같다.

$$KNVOL = KR \cdot DE\ LT60 / (AVDEPM \cdot 100)$$

where;

KNVOL = first-order rate constant for volatilization(/interval)

100 = conversion from units of 1/cm to 1/m

따라서, 휘발에 의한 손실은 다음과 같다.

$$NH3\ VLT = KNVOL \cdot TAM$$

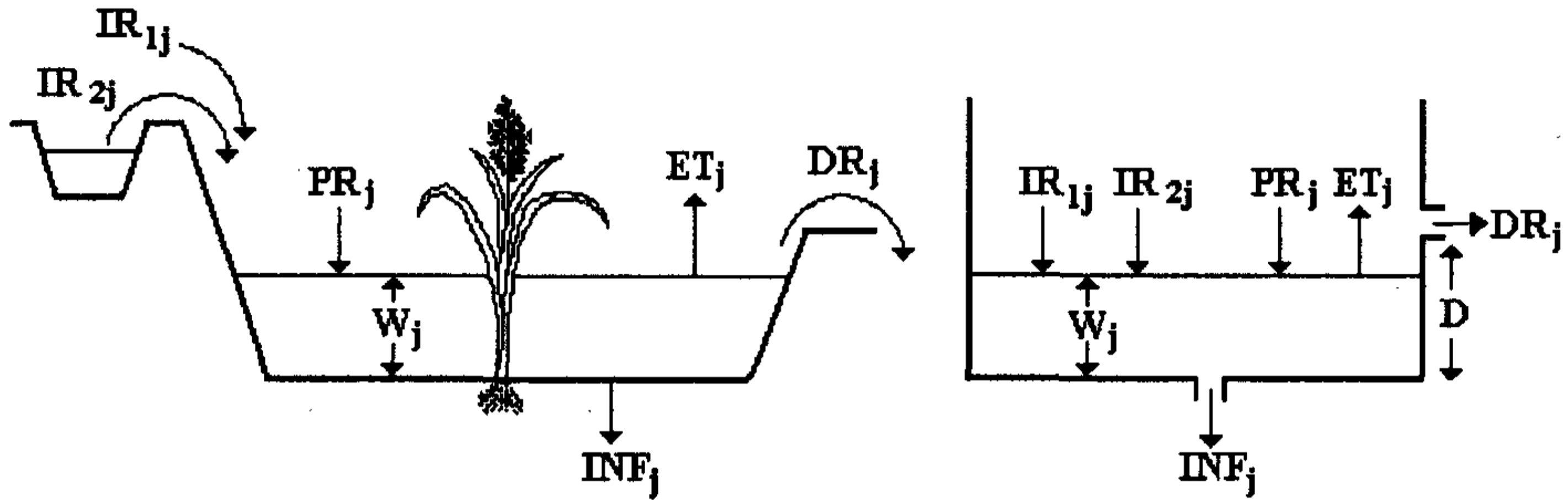
where;

NH3VLT = volatilization loss during the interval(mg N/l)

TAM = concentration of total ammonia(mg N/l)

### 3. 논 <그림 4-111> 호수 중앙부분의 2004년 영양물질 모의 결과모의를 위한 기본 개념

논에서의 물수지 개념도는 <그림 4-30>과 같다. 논에서의 유입수량은 관개, 윗논유입, 강우, 그리고 유출량에는 증발산량, 침투량, 지표유출로 구성되어 있다.



<그림 4-30> 논에서의 수문해석 개념도

논에서의 주된 유입원인 비료는 영농기간 동안 일정한 양이 일정한 기간에 일정한 형태로 투입된다. 또한 영농초기의 관개와 영농후기의 완전낙수로 인하여 당해연도의 부하는 다음해의 수질에 영향을 미치지 못하기 때문에, 관개-시비-낙수-수확과 같은 일련의 과정은 해마다 일정한 경향을 가지면 반복하게 될 것이다. 본 연구에서 개발된 모형은 다음과 같은 특징을 가진다.

- 논은 완전혼합반응조(CSTR)이다.
- 계산단위를 일별로 하는 daily continuous model이다.
- 예측 가능한 수질항목은 T-N, T-P이다.
- 논에서의 영양물질의 주요 공급원은 비료와 침전물에서의 용출이다.

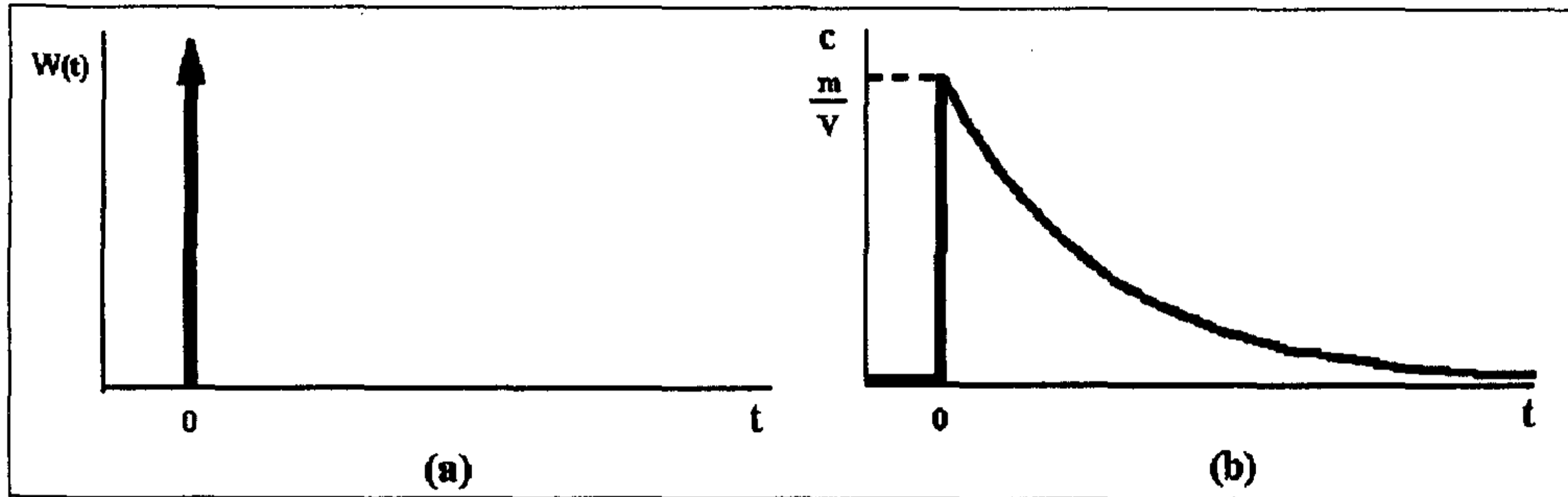
#### 가. 시비에 의한 수질 모의

1) Dirac delta 함수(혹은 impulse loading)은 상대적으로 짧은 시간에 다량의 오염물질이 유입되는 현상, 예를 들어 수계에 갑작스런 사고로 인한 오염원의 유출과 같은 현상을 해석하는데 많이 사용된다. 비료의 유입 또한 일시적으로 다량의 영양물질이 유입되므로 delta 함수로써 시비에 의한 농도변화에 모의가 가능할 것으로 판단하였다. Delta 함수는  $t=0$ 에서 무한히 길고 얇은 선의 형태를 가지며 면적은 1이 된다. 이는 다음과 같은 특성을 가지고 있다 <그림 4-31a>:

$$\delta(t) = 0, \quad t \neq 0$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1$$

t = time



<그림 4-31> Dirac delta 함수에 의한 수질변화 개념도

순간적으로 수계로 유입되는 오염물질은 다음과 같이 표현한다.

$$W(t) = m \delta(t)$$

$W(t)$  = rate of mass loading

$m$  = quantity of pollutant mass discharged

여기서,  $m$ 은 순간적으로 유입되는 오염물질의 양이며 delta 함수는 T-1의 차원을 가진다. 또한 1차 반응역학을 갖는 CSTR의 물질수지에 대한 정상상태 및 일반해는

$$\frac{dc}{dt} + \lambda c = \frac{W(t)}{V}$$

$c$  = concentration

$\lambda$  = parameter

$V$  = system volume

이며, 위 두 식에 대입하면 다음과 같다.

$$\frac{dc}{dt} + \lambda c = \frac{m \delta(t)}{V}$$

이 식의 특수해는 다음과 같다.

$$c = \frac{m}{V} e^{-\lambda t}$$

이 해는 순간적으로 유입된 오염물질이 수계의 전체에 혼합되어 초기농도가  $m/V$ 가 됨을 의미한다. 따라서 농도는  $\lambda$ 의 값에 따라 지수적으로 감소하는 일 반해 다음 식과 일치하는 것을 알 수 있다.

$$c = c_0 e^{-\lambda t}$$

나. 바닥에서의 용출에 의한 수질모의

시비를 제외하고 고려되어야 할 항목은 주요 바닥에서의 용출이다. 즉, 비교적 수질이 양호한 관개수를 유입하였을 경우 논 표면수는 논바닥에서 의 용출에 의한 기본농도(background concentration)을 가지게 되는데, 이는 수학적으로 continuous source 함수로써 표현할 수 있다. 이는  $t=0$ 에서  $W$ 로 불연속성으로 상승하는 on-off 함수로써 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} W(t) &= 0, & t < 0 \\ W(t) &\neq 0, & t \geq 0 \end{aligned}$$

여기서  $W$ 는 바닥에서의 일정 수준의 부하( $M T^{-1}$ )이며, 특수해는 다음과 같다.

$$c = \frac{W}{\lambda V} (1 - e^{-\lambda t})$$

이 해는 0에서 출발하여 새로운 정상상태의 농도에 접근한다. 위 식에서 시간이  $\infty$ 가 되었을 때 지수항이 매우 작아져 다음 식의 정상상태의 농도와 같아 진다.

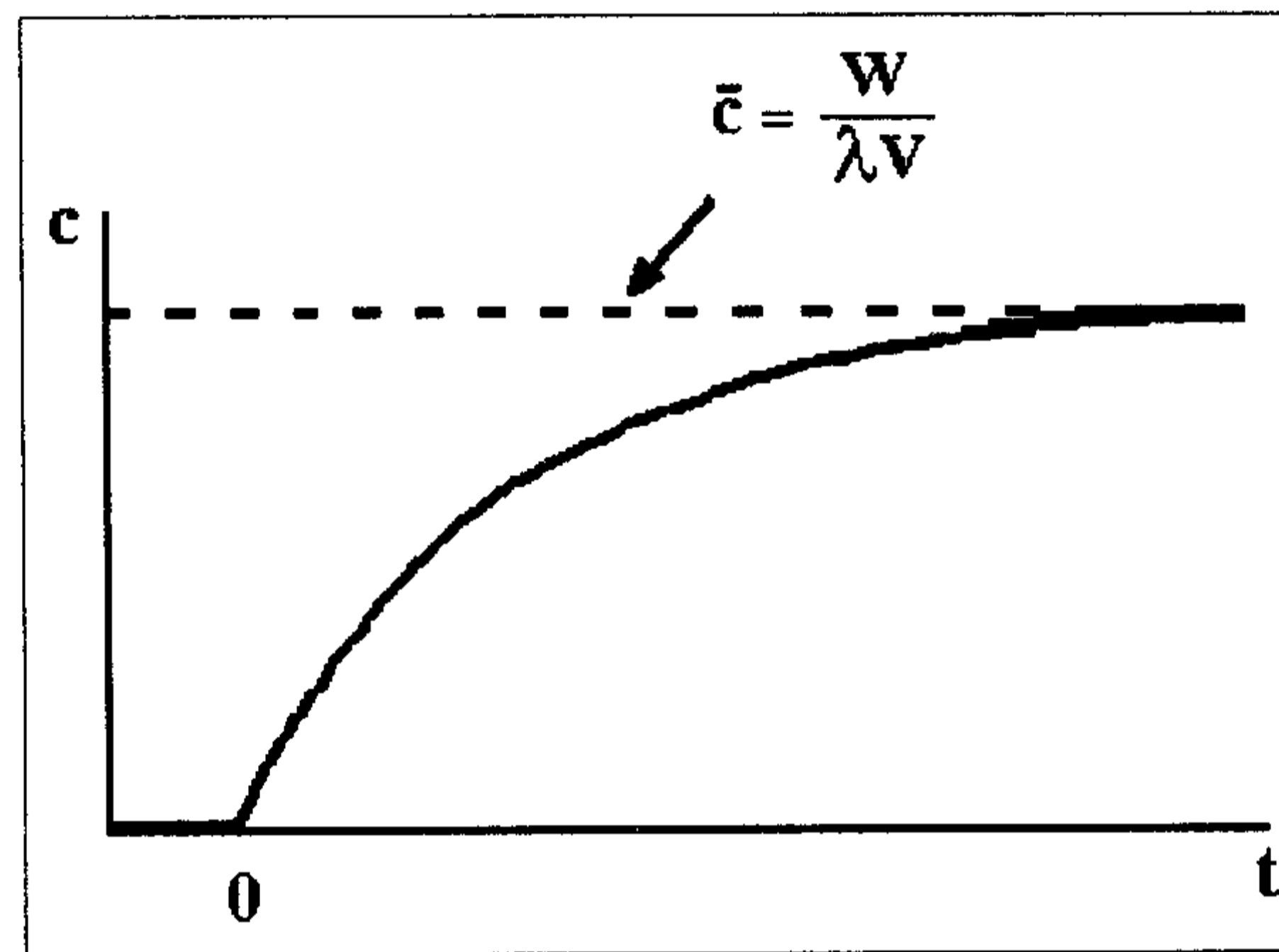
$$c = \frac{W}{Q + kV + vA_s}$$

- Q = volumetric flow rate
- k = first-order reaction coefficient

$v$  = settling velocity  
 $A_s$  = surface area of the sediments

따라서, 두 매개변수는 계단부하에 대한 반응을 나타내며, 정상상태가 되었을 때의 농도는 반응의 크기를 나타낸다<그림 4-32>.

$$c = \frac{W}{\lambda V}$$



<그림 4-32> Continuous source 함수에 의한 수질변화개념도

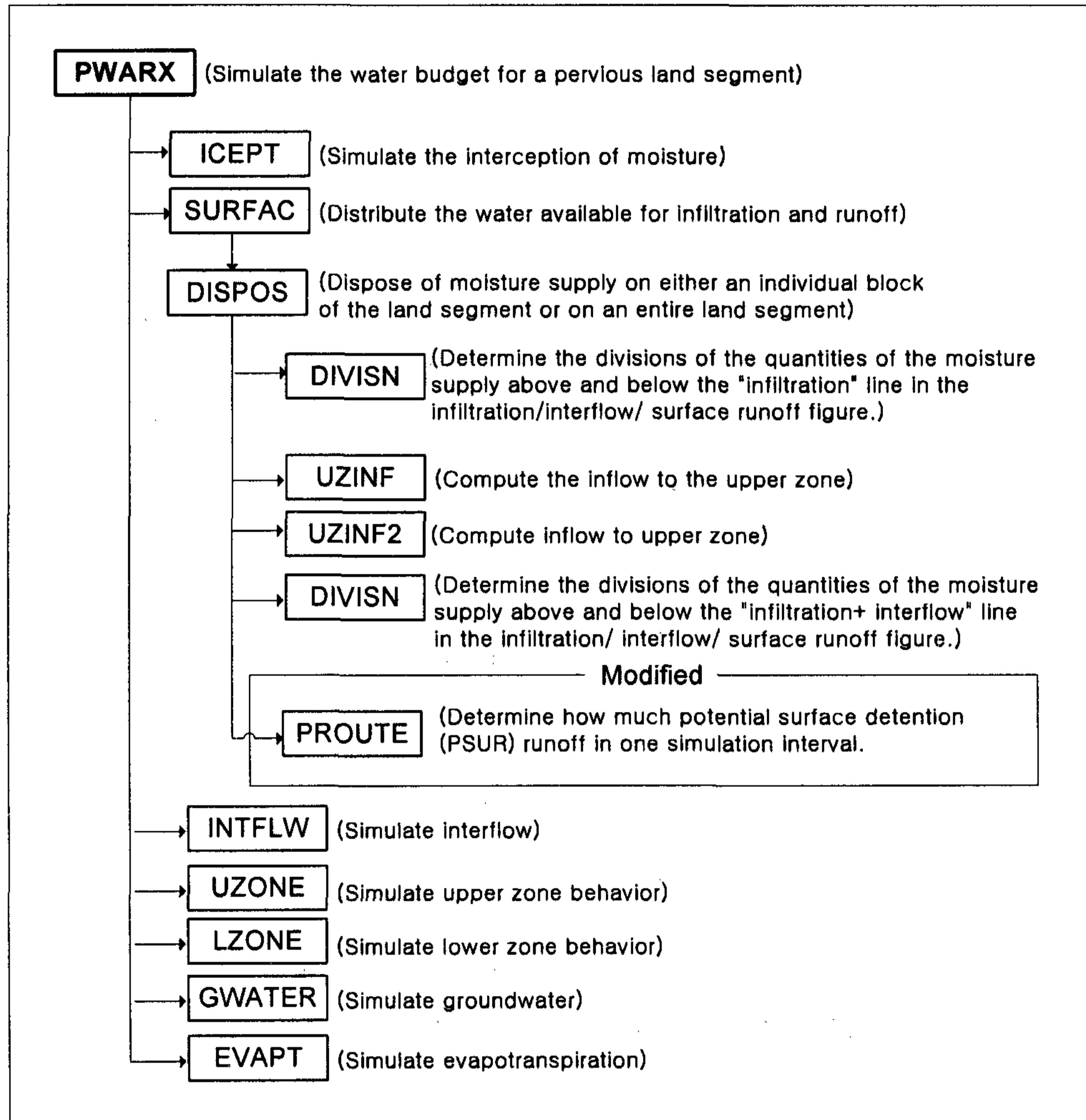
그러나 본 모형은 동적모델(dynamic model)이기 때문에 다음 식을 적용할 경우, 증발산이나 침투에 의해 담수체적이 작아지면 논에서의 농도는 지속적으로 증가하게 된다. 바닥에서의 용출은 일정농도에서 평행 상태를 유지하는 것을 감안해 볼 때, 본 모형에 적용하기 위해서는 바닥에서의 부하  $W$ 를 고정시키는 것보다 정상상태의 농도를 고정시키는 것이 타당할 것으로 판단되어 다음과 같은 식을 사용하였다.

$$c = c (1 - e^{-\lambda t})$$

#### 4. HSPF-Paddy 모델 개발

##### 가. 지표 유출

투수층에서의 물수지 해석을 위한 HSPF의 흐름도는 <그림 4-33>와 같다.



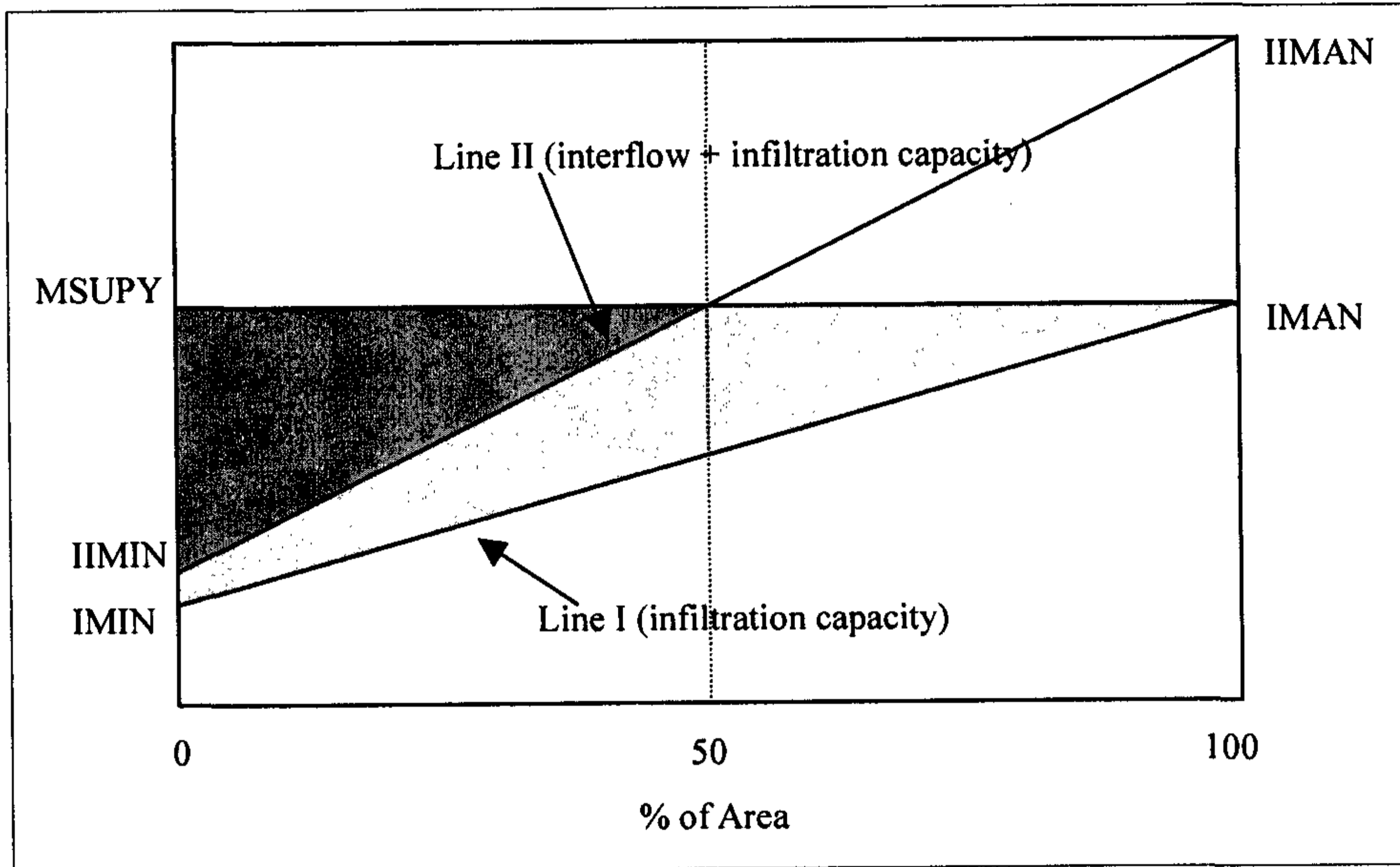
<그림 4-33> 투수층에서의 물수지 분석을 모의하는 PWATER 흐름도

식물 등에 의한 차단이 모의되며, 식물에 의한 저류 후 남은 물의 양(CEPO)은 서브루틴 ICEPT에 의해 모의된다. 저류 후 남은 잉여의 물은 침투되거나 지표 유출되며, 서브루틴 DISPOS, DIVISN, UZINF, PROUTE를 포함하는 서브루틴 SURFAC에 의해 침투량과 지표유출량이 모의된다.

지표면에 공급된 잉여의 공급량(MSUPY)은 <그림 4-34>와 같이 두

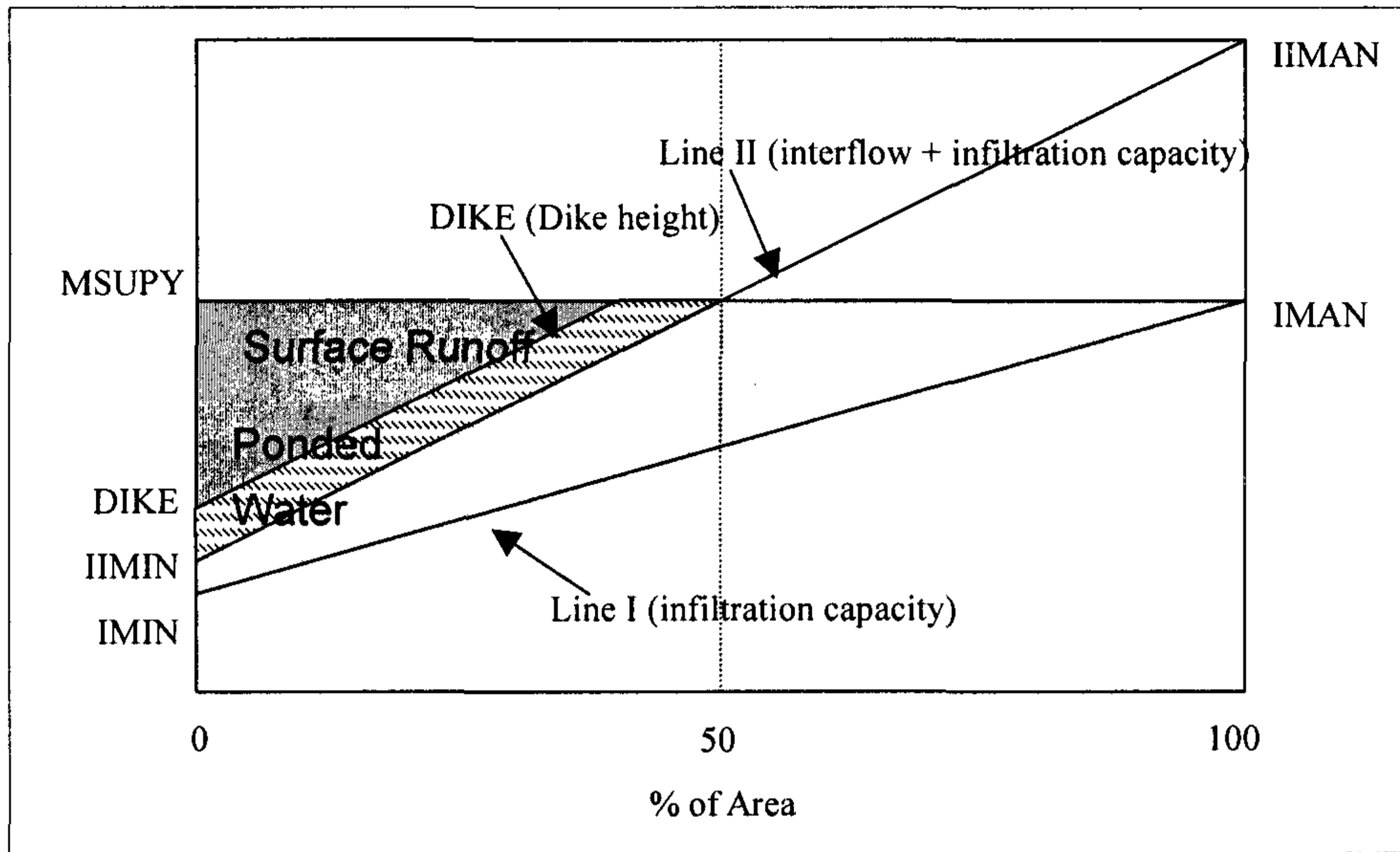


개의 line에 의해 침투량과 기저유출량이 결정되며, line I과 line II는 서브루틴 DIVISN에 의해 결정된다. 잉여 공급량 중 line I 만큼의 값은 지하로 침투되며, line II와 line I 과의 차이만큼은 기저유출로 손실된다. MSUPY와 line II와의 차이 값인 잠재 지표 유출량(PSUR)은 서브루틴 DISPOS에서 계산되며, 잠재지표유출량 중 실제 지표 유출량은 서브루틴 PROUTE에서 계산된다.



<그림 4-34> HSPF에서의 침투와 기저유출, 잠재지표유출량 개념도

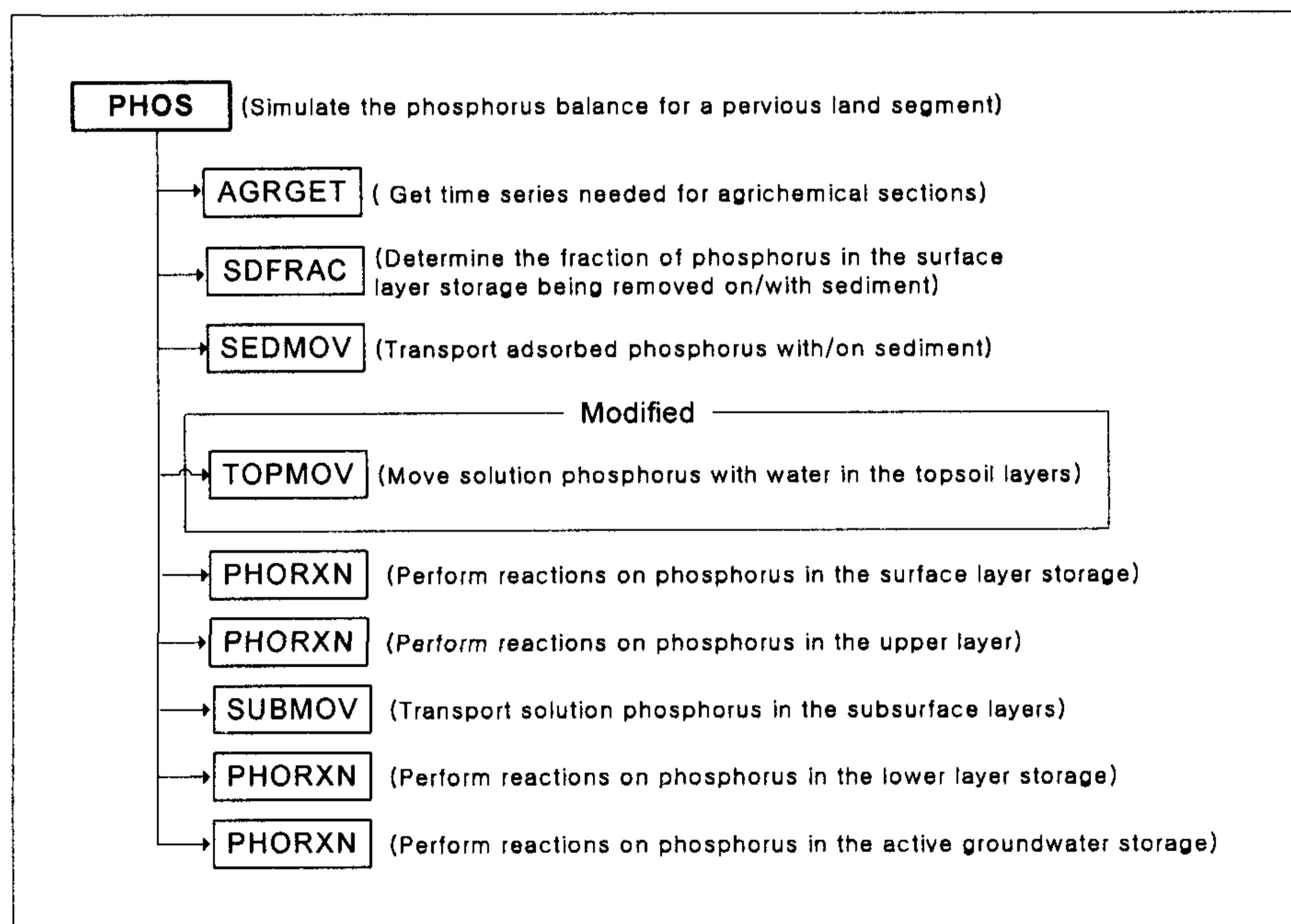
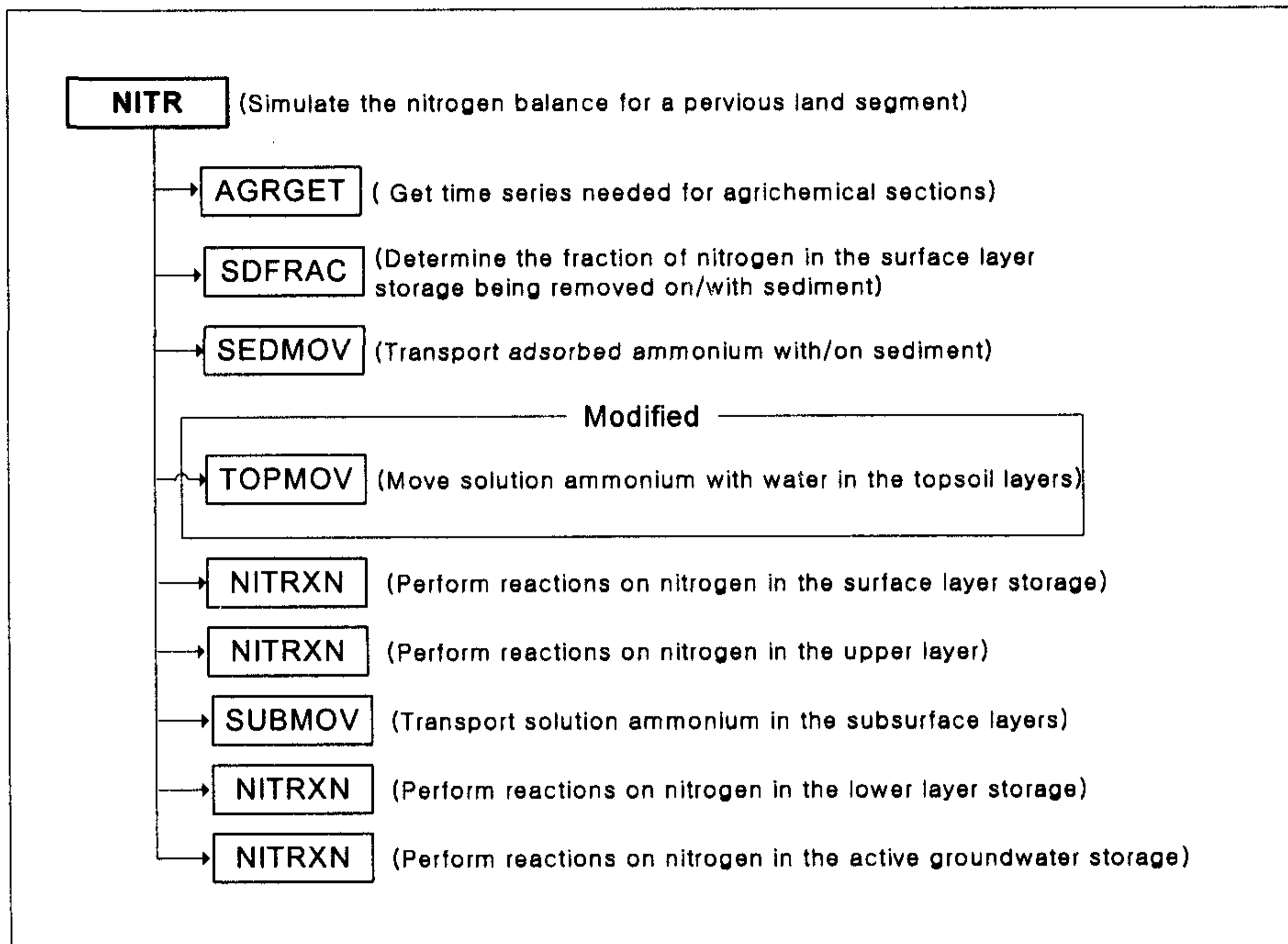
그러나 논외의 경우, 잠재지표유출량인 PSUR은 물꼬 높이에 의해 전량 지표유출로 발생하지 않는다. 본 연구에서 개발된 HSPF(HSPF-Paddy)에서의 침투와 기저유출, 잠재지표 유출량 개념도는 <그림 4-35>과 같다. MSUPY에서 line II 값과의 차이값에 물꼬 높이인 DIKE의 높이만큼을 뺀 값을 잠재지표유출량으로 하였다. 수정된 HSPF-Paddy에서는 잠재지표유출량이 0보다 큰 경우, 지표 저류량은 DIKE가 되며, 0보다 작은 경우 지표유출은 일어나지 않으며, 기저유출이 일어나고 침투가 이루어진 이후의 잉여공급량 전량은 물꼬에 의해 지표면에 저류되도록 하였다.



<그림 4-35> 수정된 HSPF-Paddy에서의 침투와 기저유출, 잠재지표유출량 개념도

2) 영양물질 모의

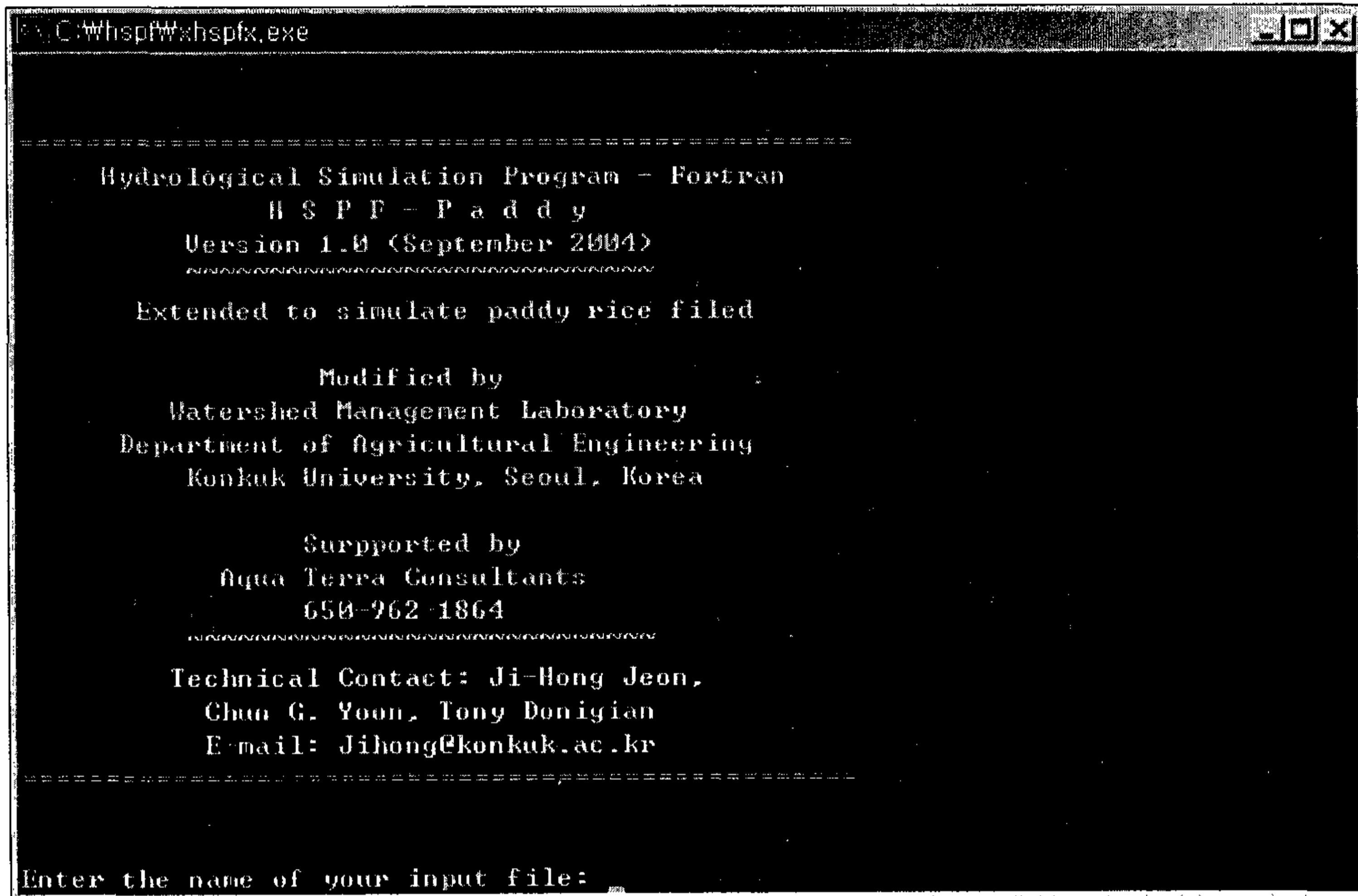
HSPF의 투수층에서의 질소 및 인 모의는 서브루틴 NITR과 PHOS에서 모의 되며 흐름도는 <그림 4-36>과 같다.



<그림 4-36> HSPF에서 투수층에서의 영양물질 모의 흐름도

서브루틴 NITRXN에서는 식물에 의한 질산성 질소와 암모니아성 질소의 흡수와 식물 잔재물에 의한 유기질소의 유입, 탈질화, 질산성질소와 암모니아성 질소의 고정, 유기질소의 무기화, 대기 질소 고정, 암모니아성 질소의 휘발, 암모니아성 질소의 흡착과 탈착 등을 모의 한다. PHORXN에서는 일차 반응식이나 Freundlich method에 의한 인산염의 흡착 및 용출에 대해서 모의 한다. 암모니아성 질소와는 달리, 일반적으로 인산염의 대부분은 토양입자에 흡착하기보다는 양이온과 결합한다. 이는 암모니아성 질소에 비해 인산염이 토양 내에서 이온의 형태로 덜 용해되는 이유이다.

흡착성 암모니움과 인, 그리고 입자성 유기질소가 지표에서의 sediment에 흡착되는 량과 sediment와 함께 유실되는 량은 서브루틴 SDFRAC와 SEDMOV에서 모의 된다. 용존성 질소와 인은 지표면에 저류되어 지표유출시 서브루틴 SUBMOV에서 유출되는 량이 모의된다. 수정된 HSPF-Paddy에서는 시비에 의해 투여된 영양물질은 저류된 논물에 용해되어 Dirac delta 함수에 의해 투여된 량이 감소하며, 잉여 공급된 물량이 침투나 기저유출 후 물꼬 높이 보다 높은 경우 지표유출과 함께 영양물질이 유출되는 것으로 수정하였다. 따라서 Dirac delta 함수는 서브루틴 TOPMOV 직전에 추가 하였다. 시비에 의해 유입된 질소와 인의 형태는 용해성 암모니아성 질소 (SAMSU)와 용해성 인(SP4SU)으로 하였으며, uci 입력파일에서 SPEC-ACTIONS에 의해 시비는 지표면에 이루어지는 것으로 하였다. 수정된 HSPF-Paddy 모형의 초기화면은 <그림 4-37>과 같다.



<그림 4-37> HSPF-Paddy 초기화면

## 5. HSPF-Paddy 모델

### 가. HSPF-Paddy 입력파일

#### 1) 물꼬 높이와 관개량

비영농기간에서의 논은 물꼬 높이가 없기 때문에 논에서의 오염물질 배출의 경우 HSPF-Paddy 모형은 original HSPF equation에 의해 모의한다. 반면에 영농기간의 경우, 물꼬 높이와 관개수량의 시간에 따른 변화를 입력 자료에 의해 입력하여야 한다. 시간에 따른 입력자료의 변화는 timeseries에 의해 입력되어 지는데, 관개수량의 경우 IRRINP라는 이름으로 original HSPF에 모의 될 수 있으나, 물꼬 높이의 변화의 경우 HSPF-Paddy에 DIKE라는 이름으로 추가되어 졌다. 따라서 물꼬 높이의 변화와 관개수량의 시간에 따른 변화는 입력파일의 EXT SOURCES블럭에서 timeseries형태로 <그림 4-38>와 같이 입력하여야 한다.

```

EXT SOURCES
<-Volume-> <Member> SsysSgap<--Mult-->Tran <-Target vols> <-Grp> <-Member-> ***
<Name> x <Name> x tem strg<-factor->strg <Name> x x <Name> x x ***
WDM2 1000 DIKE ENGL SAME PERLND 13 EXTNL DIKE
WDM2 1001 IRRINP ENGL SAME PERLND 13 EXTNL IRRINP

```

<그림 4-38> 물꼬 높이와 관개수량 변화를 위한 timeseries 입력

## 2) 시비

일반적으로 인비료(P)은 기비에 전량 투여되나, 질소질 비료의 경우 기비, 이삭비, 분얼비에 걸쳐 시비된다. 시비는 입력파일의 SPEC-ACTIONS 블록에서 <그림 4-39>와 같이 입력하여야 한다. <그림 4-39>의 경우, DISTRB에서는 시비 첫날 이후 투여율을 의미하며, 총 10일이라는 기간동안 시비 첫 날 전량이 투여되었다는 것을 의미한다. UVNAME에서는 인/질소질 비료의 형태를 의미하며 용해성 인과 용해성 암모니아성 질소가 전량 투여 된 것으로 하였다.

```

*** fertilizer application.
DISTRB 1 10 DY 1 SHIFT 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0 0 0 0 0
DISTRB 2 10 DY 1 SHIFT 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0 0 0 0 0
***kwr> <unam>< > <vari><1><2><3> <frc> < > <vari><1><2><3> <frc> < >
UVNAME FERTN1 1 SAMSU 1.0 QUAN
UVNAME FERTP1 1 SP4SU 1.0 QUAN
***oper><f><-l><>< ><yr><m><d><h><m><><> <vari><1><2><3><a><-value--> <> <> <> <>
PERLND 13 1999 5 18 12 1 FERTN1 += 68.6 YR 1 8
PERLND 13 1999 5 18 12 1 FERTP1 += 8.6 YR 1 8
PERLND 13 1999 6 6 12 1 FERTN1 += 29.6 YR 1 8
PERLND 13 1999 7 23 12 1 FERTN1 += 19.6 YR 1 8

```

<그림 4-39> SPEC-ACTIONS에 의한 시비투여 기입

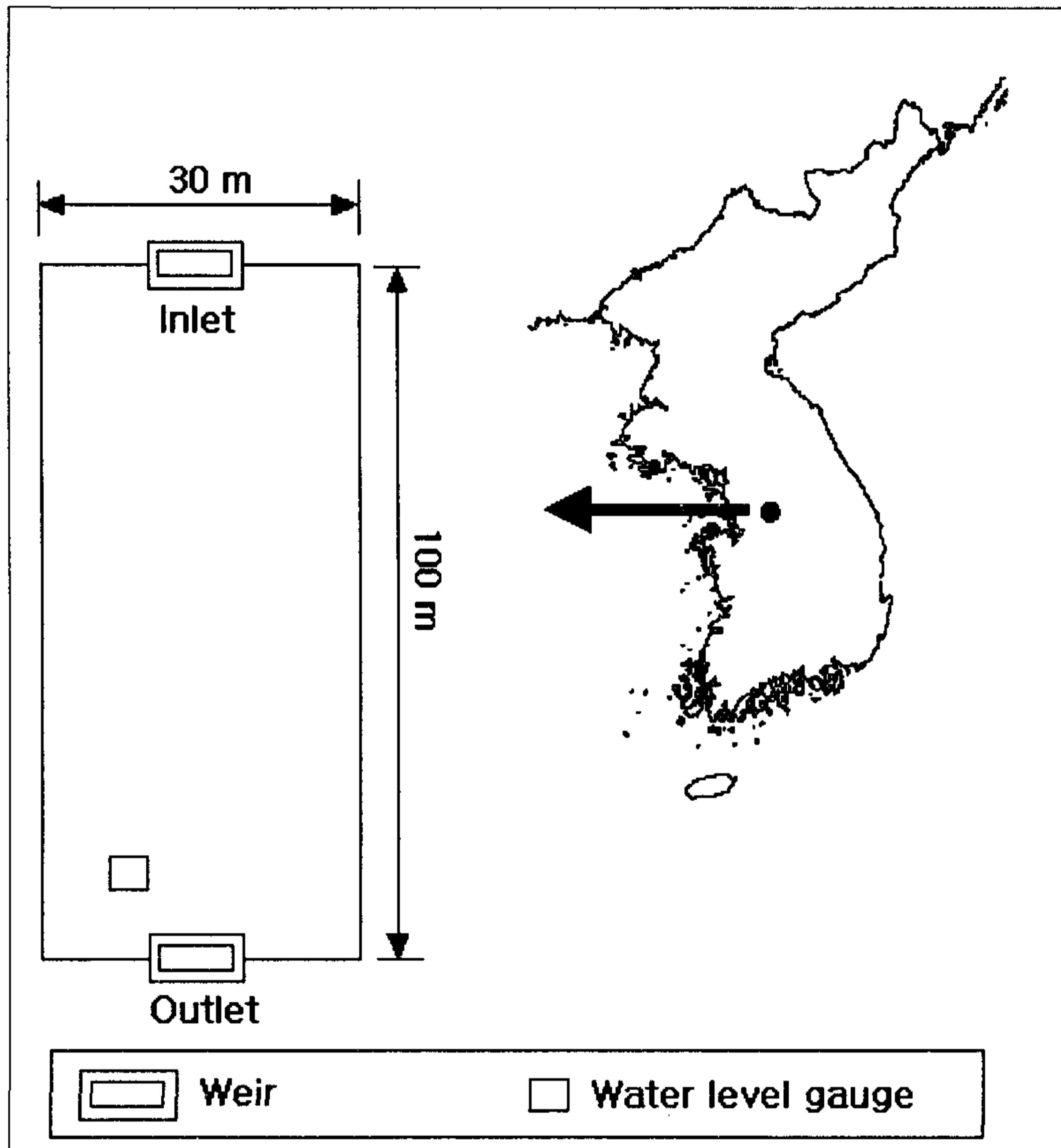
OPER에서는 시비된 날짜와 시비량을 나타내며, <그림 4-39>에서는 1999년 5월 18일 12시에 68.6 N lb/ac, 8.6 P lb/ac, 6월 6일 12시에는 29.6 N lb/ac, 7월 23일 12시에는 19.6 N lb/ac가 기비, 이삭비, 분얼비로써 각각 투여 된 것을 나타낸다.

## 나. HSPF-Paddy 모형의 검증

### 1) 연구대상 지역

필지논을 대상으로하여 HSPF-Paddy의 모의 능력을 검증하였으며, 건국대학교 부속농장(경기도 여주군 가남면소재)을 선정하여 지하수 관개 필지

논의 모니터링 자료를 축적하였으며 <그림 4-40>과 같다. 면적은 약 3,000 m<sup>2</sup>, 으로서 시험구의 유입구와 유출구에 각각 가로 30 cm, 세로 22 cm의 사각 weir를 설치하여 물꼬 높이를 조절하였으며 윗 논에서의 유입과 지표유출량을 측정하였고, 시험구내 자동수위계를 설치하여 논에서의 담수심과 관개수량을 측정하였다.



<그림 4-40> HSPF-Paddy 모형 검증을 위한 연구대상지구

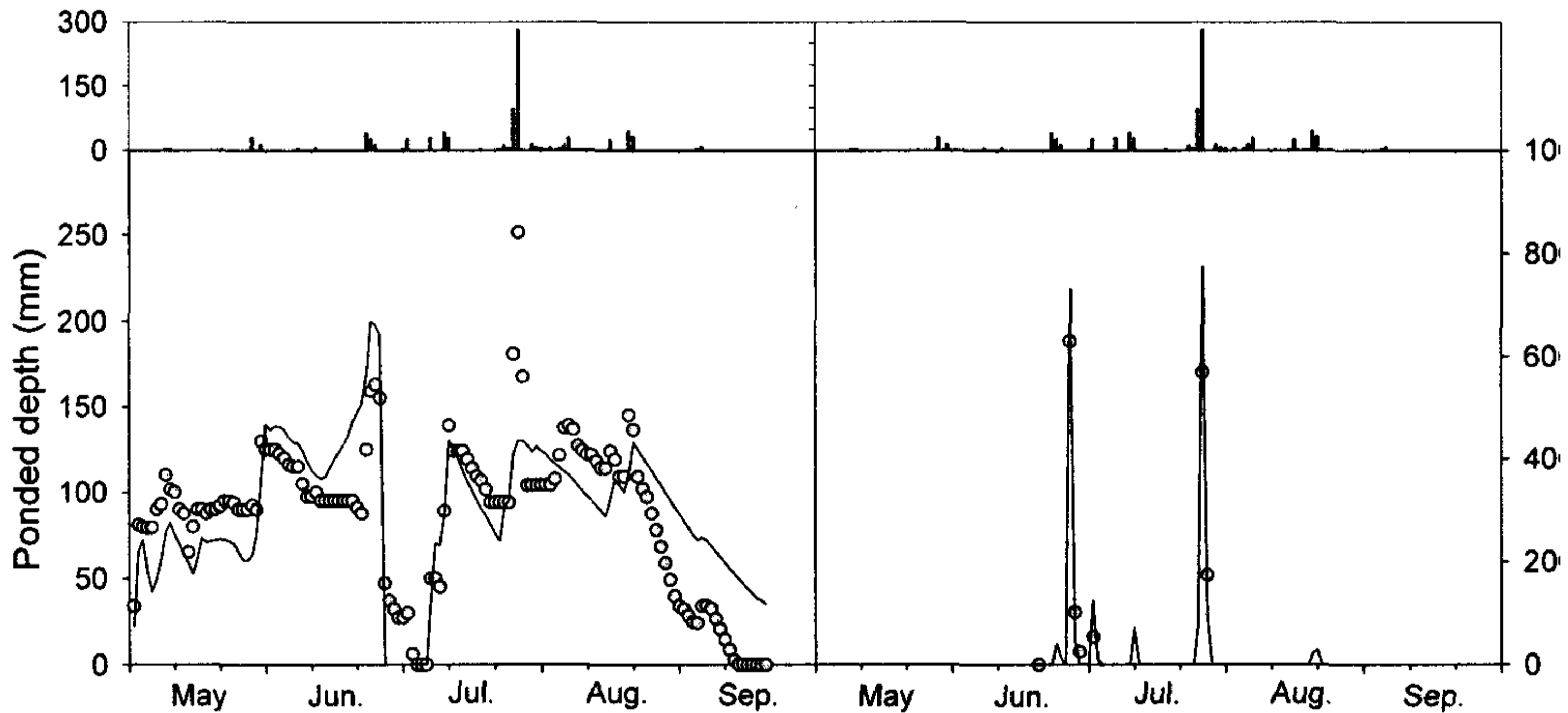
연구기간동안 영농활동은 <표 4-10>와 같다. 투입된 시비량은 농업과 학기술원 고시 표준시비량을 따랐으며, 인과 칼륨은 전량 기비에 투입되었고, 질소는 기비, 이삭비, 분얼비로 각각 나누어 투입하였다.

<표 4-10> 연구기간동안의 영농활동

2002	영농활동	비고
May 17	기비	19.64 P kg/ha, 55.00 N kg/ha
May 27	이앙	15×30cm, 4 plants/hill
Jun. 7	이삭비	33.00 N kg/ha
July 26	분얼비	22.00 N kg/ha
Oct. 12	수확	-

2) 보정 결과

연구기간동안 지하수 관개논의 담수심과 유출고에 대한 실측치와 예측치의 비교는 <그림 4-41>와 같다. 모형의 예측결과 담수심이 실측된 지하수 관개논의 경우 담수심 예측을 통한 신뢰성 있는 유출고 예측이 가능하였다.

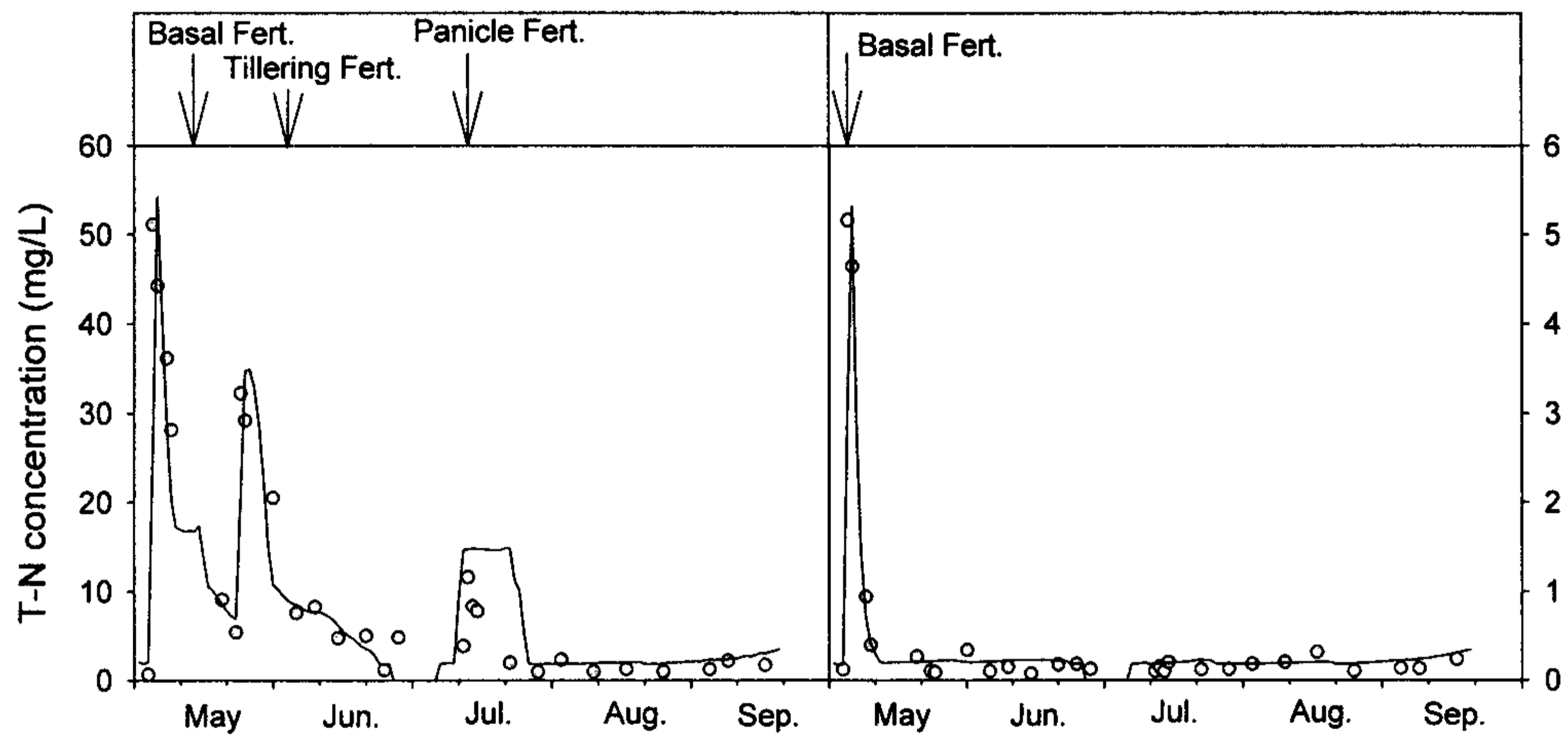


<그림 4-41> HSPF-Paddy를 이용한 필지논에서의 담수심 및 지표유출모의결과

HSPF-Paddy를 이용한 논표면수의 수질모의 결과는 <그림 4-42>과 같다. 논 표면수의 영양물질 농도는 비료에 의해 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 특히 다량의 시비가 이루어지는 영농초기의 기비에 의해서 높은 T-N 과 T-P 농도를 나타내었으며 시비 투여이후 농도는 급속히 감소하는 것으로 나타나 전형적인 Dirac delta 함수를 나타내었다. 인의 경우 영농초기 기비에



의해 전량이 투여되기 때문에 5월달에 높은 농도를 나타내었으나, 질소의 경우  
 기비, 이삭비, 분얼비로 각각 나누어 투여되기 때문에 최소한 5월과 6월까지는  
 높은 농도를 나타내었다. 그러나 큰 강우에 의한 지표유출 발생 시기에서는 배  
 경농도(background concentration)를 나타내었다.



<그림 4-42> HSPF-Paddy를 이용한 논 표면수에서의 T-N 및 T-P 모의결과

## 제 4 절 WASP5 모형의 개요

수질관리에 있어서 현재의 수질은 측정된 자료를 이용하여 현황을 파악할 수 있으나, 수질예측에는 현재의 수질 상태를 기초로 한 초기조건과 적절한 경계조건 등을 사용하여 장차 예상되는 조건의 수질을 예측하는 데에는 모델링기법이 사용된다. 수계의 오염물질은 흐름, 확산, 침전 및 회석에 의하여 이동하나 그 중에서 비보존성 물질은 생화학적 반응이 일어나게 되고, 수계의 수질이동은 복합적으로 진행되므로 예측하기 어렵다. 수질예측모델에서는 수계의 수리 및 수문의 특성과 오염 배출원의 특성을 파악하여, 대상 수계를 하나의 시스템으로 가정하고, 여러 변수의 상관관계를 수리학적 수질모델로 예측한다.

화성담수호의 수질은 공사완료 후 유속의 감소, 체류시간의 증가, 간척농지에서의 영양물질의 유입 등으로 인해 수질이 악화될 것으로 예상된다. 하지만 적절한 위치에 적절한 오염물질 삭감대책을 적용하면 우정호의 수질을 보호하고 상당한 개선효과를 기대할 수 있을 것이다. 여기에서는 화성지구 간척지개발사업의 결과 화성담수호 수질의 변화를 예측하고, 유역 및 간척농지에서 유입되는 오염물질을 어느 정도까지 저감시켜야 원하는 수질을 유지할 수 있는가를 파악하기 위하여, USEPA에서 개발한 대표적인 호소 모델인 WASP5모델(Ambrose et al., 1991)을 사용하여 예측하였다.

### 1. WASP5 모형

WASP5 모형은 저수지, 하천, 하구, 해양 등에서 수체의 이동과 BOD, DO 등 주요 수질항목, 그리고 부영양화 관련 항목과 독성물질의 이동, 상호반응에 대한 모의가 가능하며, 수계에 대해 요소별(element)로 구획(segment) 분할이 가능한 Box형 모델로서, 각 요소를 하나의 BOX로 간주하는 요소분할 모델이다. 이 모델은 시간에 따른 변화를 고려할 수 있으므로, 연중 변화는 물론 짧은 시간 간격의 수질변화의 분석이 가능하며, 필요에 따라 1, 2, 3차원 분석이 가능한 모델이다.

미국 EPA의 Great Lake Program의 일부로 Di Toro 등에 의해 처음 개발된 후, 수 차례의 적용을 통한 결과분석을 바탕으로 수정과 보완을 거친 WASP(Water Quality Analysis Simulation Program)모형은 크게 유체의 거동을 모의하는 DYNHYD부분과 수질성분의 거동과 상호작용을 모의하는

WASP부분으로 나누어진다. DYNHYD모형은 수질예측모형의 수행을 위한 수리학적 입력자료인 수위, 유속, 유량 등을 제공하는 모형으로 개발되어 왔으며, WASP부분은 다시 부영양화, BOD, DO의 변화 등 보편적인 수질오염을 분석하는 EUTRO모형과 유기화합물, 중금속, 퇴적물 등에 의한 독성오염을 분석하는 TOXI모형으로 구성되어 있다.

#### 가. 수리모형(DYNHYD5, Hydrodynamic Model)

WASP5 모델에서 수체의 흐름특성 등을 모의하는 수리모델인 DYNHYD5 모델은 수체의 질량 및 운동량보존법칙으로부터 유도된 연속방정식과 운동방정식을 유한차분식(finite difference method)으로 풀어 유속, 유량, 수심 등을 구한다.

#### 나. 기본수질모형(Basic Water Quality Model, WASP)

물질수지식 : 수체에서 오염이송의 주요 원인이 되는 요소는 유량, 확산, 각 물질간 상호반응 등이며, 유역에 관한 지형, 지질, 토지이용, 수문, 기상 등 광범위한 자료가 요구되고, 예측되는 항목별로 그 반응들을 다 고려해 주어야 하기 때문에 확산계수나 물질 상호반응을 구별하기 위한 계수의 산정은 매우 어렵고 중요하므로 수질항목간의 관계를 잘 살펴보아야 한다. 물질이송에서 고려해야 할 물리적 작용으로는 유속이송, 확산이송, 열수지 관계를 고려할 수 있다. 유속이동은 요소(element)사이의 에너지와 용존 물질 혹은 부유 물질을 전달하며, 확산은 열과 질량을 전달한다.

구획화(segmentation) : WASP에서의 계산격자망은 분할된 구획(segment)으로 구성되며 x, y, z 방향의 3차원구획화가 가능하다. 수심방향의 수직 분할은 다음과 같은 4가지 유형으로 구별된다.

- ① Surface(epilimnion layer, 표수층): 수질
- ② Subsurface(hypolimnion layer, 심수층): 수질
- ③ Upper bed(upper benthic layer, 저면표층): 하상퇴적물
- ④ Lower bed(lower benthic layer, 저면심층): 하상퇴적물

물질전달 : 물질전달은 수층의 흐름, 저면에서의 공극수 흐름, 고형물의 침전, 퇴적, 세굴, 강우 및 증발의 6개의 유동장(flow field)을 통해 유체 및 영양염류의 이송과 확산을 모의할 수 있다.

수층에서 이송(water column field) : 수리모델(DYNHYD5)을 이용하지 않는 경우 유속(V), 유량(Q), 수심(D), 수로폭(B)간 관계는 다음 식을 이용하여 표현한다.

$$V=aQ^b, \quad D=cQ^d, \quad B=eQ^f$$

유량 및 유속 등 수리측정자료가 미비하거나 없을 경우에는 수리모델 (DYNHYD5)를 모의하여야 하며 이 경우는 DYNHYD5의 결과치가 수질모델의 자료로 입력되어진다.

수층에서의 확산(water column dispersion) : 요소간 확산이송은 요소간의 농도차와 확산계수, 단면적에 비례하며 하구, 호소, 저수지 등에서 중요한 역할을 한다.

운송장(flow field) :

① Advection flows in the water column

이류: 수질요소들을 하류로 운반하며 내적인 희석을 일으킨다.

분산: 저농도와 고농도 지역을 서로 혼합, 희석시킨다.

② Pore water flows

퇴적바닥층에서 공극수의 이동. 용존수질요소는 공극수에 의하여 운반되며 공극수의 확산에 의하여 바닥층과 수체 사이에 교환된다.

③, ④, ⑤ Sediment1, 2, 3 transport field

침전, 재부유 및 퇴적에 의한 오염입자의 운반을 특정 지움.

3가지의 고체들은 모래, silt, 점토 혹은 유기체, phytoplankton, 무기체로써 사용자가 크기를 정할 수 있다.

⑥ 수표면 요소에서의 증발과 강우를 나타냄.

WASP5의 동수역학 모형인 DYNHYD5는 수로구간에 대한 1차원 연속방정식과 운동량 방정식을 이용해서 그해를 구한다.  
운동방정식은 아래와 같다.

$$\frac{\partial U}{\partial t} = -U \frac{\partial U}{\partial x} + a_g + a_f + a_w$$

여기서, U=수로축에 따른 유속(m/sec), x=수로축에 따른 거리(m), t=시간(sec), ag=중력가속도(m/sec<sup>2</sup>), af=마찰가속도(m/sec<sup>2</sup>), aw=바람에 의한 응력가속도(m/sec<sup>2</sup>)이다.

연속방정식은 아래와 같다.

$$\frac{\partial A}{\partial t} = -\frac{\partial Q}{\partial x} = -U \frac{\partial A}{\partial x} - A \frac{\partial U}{\partial x}$$

여기서, A=단면적(m<sup>2</sup>), Q=유량(m<sup>3</sup>/sec)이다.

연속방정식은 일정폭 B의 직사각형 수로에 대해서 다음과 같이 기술된다.

$$\frac{\partial U}{\partial x} = \frac{1}{R} \frac{\partial H}{\partial t} - \frac{U}{R} \frac{\partial H}{\partial x}$$

여기서, R=동수반경(m), H=수면표고(m)이다.

운동방정식과 연속방정식에 의한 해는 link-node 기법에 의해 U과 H의 값을 구하게 된다. 즉 각 시간대에서 운동방정식은 질량이송 계산에 대한 유속이 주어짐으로써 link에서 해를 구하고 연속방정식은 오염물 농도계산에 대한 수두가 주어짐으로써 node에서 해를 구한다.

#### 다. 부영양화모형(Eutrophication Model, EUTRO5 Model)

수질을 결정하는 중요한 식물성 플랑크톤의 양은 무기 영양염류의 직·간접적인 영향을 받는다. 이러한 모델은 일반적으로 식물성 플랑크톤의 증식을 중심으로 여러 가지 부영양화 현상 및 그와 관련된 많은 인자(수온, 일사량, 영양염류 등)의 생물학적, 화학적, 물리학적 상호관계를 포함하며, 수체 내의 인, 질소 등의 영양염류와 용존산소, 탄소화합물을 주요 인자로 수질변수간의 상호작용을 통한 수질변화를 파악하고, 다음과 같은 복잡도에 따라 6단계별 모의가 가능하며 <표 4-11>에 요약되어 있다.

EUTRO 모형은 동적모형으로서 하천, 호수, 하구의 부영양화와 관련된 수질의 시간변화를 공간변화와 더불어 계산하는 구획모형이다. 모형은 예측 및 출력 조절, 모형의 구획 구성, 이류 및 확산, 경계조건 농도, 점오염원 및 외부 오염부하, 반응계수, 환경자료, 초기 농도 등으로 구성되어 있다.

EUTRO5 모형에서 시뮬레이션 가능한 수질항목은  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$ ,  $\text{Chl-}a$ , CBOD, DO, Org-N, Org-P의 8개 항목을 기준으로 34개 파생 수질항목이 관련된다. 예측에 관련된 각각의 수질인자는 다음 그림과 같이 상호 연결된 순환고리를 가지고 있으며, 한 가지 수질항목의 변화는 다른 수질항목의 변화와 직접적으로 연결되어 있다. 그림에서 보는 바와 같이 EUTRO5에서는 QUAL2 모델에서 DO가 중심 수질항목인것과는 달리 조류( $\text{Chl-}a$ )가 중심에 있으며, 조류의 성장·사멸·침전에 따라 ON, OP, CBOD, DO,  $\text{NH}_a$ ,  $\text{NO}_a$ ,  $\text{PO}_4$  농도에 영향을 미친다.

조류와 관련된 시스템 성립을 위한 가정조건은 다음과 같다.

1. 조류의 산소 생성과 소비는 같다(호흡과 광합성).
2. 조류의 이산화탄소 생성과 소비는 같다(호흡과 광합성).
3. 조류의 CBOD 생성과 소비는 같다(조류의 유기물 흡수와 사멸 후 분해).

모형을 적용함에 있어서 가용한 수질자료의 종류에 따라, 복잡도1은 CBOD, DO의 2개 항목을 Modified Street-Phelph's 모델을 이용하여 모델링 하며, 복잡도2는 복잡도1에  $\text{NH}_3$ 가 추가되고, 복잡도4 이상에서는 모두 8개의 수질이 입력되어야 하며, 이를 정리하면 아래 표와 같다.

<표 4-11> EUTRO5 systems and complexity levels

System number	Water quality constituent	Complexity levels					
		1	2	3	4	5	6
1	Ammonia nitrogen(NH <sub>3</sub> -N)		0	0	0	0	0
2	Nitrate nitrogen(NO <sub>3</sub> -N)			0	0	0	0
3	Inorganic phosphorus(PO <sub>4</sub> -P)				0	0	0
4	Phytoplankton carbon				0	0	0
5	Carbonaceous BOD(CBOD)	0	0	0	0	0	0
6	Dissolved oxygen(DO)	0	0	0	0	0	0
7	Organic nitrogen(ON)			0	0	0	0
8	Organic phosphorus(OP)				0	0	0
Complexity level							
1	Streeter-Phelps BOD-DO eq. with SOD						
2	Modified Streeter-Phelps BOD-DO eq. with NBOD						
3	Linear DO balance with nitrification						
4	Simple eutrophication						
5	Intermediate eutrophication						
6	Intermediate eutrophication with benthos						

1단계(Streeter-Phelps BOD-DO eq. with SOD) : EUTRO5 모델 중 가장 간단한 모형으로 침전물 산소 요구량, 재폭기 등을 포함하여 수질항목 중 BOD, DO만 포함하여 해석한다.

2단계(Modified Streeter-Phelps BOD-DO eq. with NBOD) : BOD를 탄소 BOD(CBOD)와 질소 BOD(NBOD)로 구분하여 해석한다.

3단계(Linear DO balance with nitrification(완전 선형 DO 평형 모형)) : NBOD를 광물화 과정과 질산화 과정을 나누어, 주어진 식물성 플랑크톤에서 광합성과 호흡의 영향을 고려하여 해석한다.

4단계(Simple eutrophication(단순 부영양화 반응 모형)) : 영양염류 순환과 DO평형에 영향을 미치는 식물성 플랑크톤의 성장사멸 과정을 포함하는 데, 성장은 무기질소, 무기인, 빛 등의 제한을 받으며 8가지 주 수질인자를 모두 포함하여 해석한다.

5단계(Intermediate eutrophication) : 비선형효과 및 탈질소화 과정이

포함됨

6단계(Intermediate eutrophication with benthos) : 수질항목과 수저생물군의 상호작용까지 다를 수 있다. 본 연구에서는 5단계의 복잡도를 적용하여 예측하였다. 복잡도 5단계에서는 수체를 표수층과 심수층으로 구분하고, 수체로부터 퇴적층으로 침강 및 퇴적물로부터 수체로의 용출도 고려가 된다. 그러나, 복잡도 6단계와 같이 상세한 퇴적층과의 물질이동은 고려되지 않는다.

수체내의 수질항목에 대한 물질수지식은 확산, 유동, 생화학적 변환, 외부로부터의 부하 등이 고려되어진다. 3차원에 대한 물질수지식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} = & - \frac{\partial}{\partial x}(U_x C) - \frac{\partial}{\partial y}(U_y C) - \frac{\partial}{\partial z}(U_z C) \\ & + \frac{\partial}{\partial x}(E_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(E_y \frac{\partial C}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(E_z \frac{\partial C}{\partial z}) \\ & + S_L + S_B + S_K \end{aligned}$$

여기서, C=수질 항목 농도(mg/L), U=각 방향별 유속(m/day), E=확산 계수(m<sup>2</sup>/day), S<sub>L</sub>=확산용적당 부하량(g/m<sup>3</sup>-day), S<sub>B</sub>=경계 부하량(g/m<sup>3</sup>-day), S<sub>K</sub>=전 동수학적 변화율(g/m<sup>3</sup>-day)이다. 이 식을 물의 흐름방향만을 고려하여 정리하면 다음 식과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial t}(AC) = \frac{\partial}{\partial x}(-U_x AC + E_x A \frac{\partial C}{\partial x}) + A(S_L + S_B) + AS_K$$

호수의 물리적, 생물 화학적 과정들이 수체 내 영양물질, 식물플랑크톤, 유기탄소물질, 용존산소 사이의 이송, 확산과 상호작용에 영향을 주는데 EUTRO5에서는 이러한 과정들을 통해 8개의 수질항목을 모의할 수 있다. 고려되는 반응물질의 상호작용은 식물플랑크톤 반응역학, 인 순환, 질소 순환, 용존산소수지의 4가지 시스템으로 구성된다.

**Chl-a** : 식물성 플랑크톤의 반응은 다른 모든 수질항목에 영향을 주는 부영양화의 중심 역할로 가정되며, 반응식은 식물성 플랑크톤의 성장, 사멸, 침강으로 표현된다. 식물 플랑크톤의 생체량 감소에 대한 침강효과는 주어진 단면적과



침강속도, 수체의 수심에 의해 결정되며, 각 수질항목의 용존율에 의해서도 영향을 받는다.

$$S_M = (R_g - R_d - R_s) \Delta t$$

growth    death    settling

① growth( $R_g$ :성장률) : 자연환경에서 식물성 플랑크톤의 성장률은 플랑크톤의 종류, 광도와 일사량, 영양염류의 요구량에 의존하며, 최적의 일사량과 영양염류에서 20°C 최대 성장률로부터 다음과 같이 나타낸다.

$$R_g = k_{1c} X_{RT} X_{RI} X_{RN}$$

여기서,  $X_{RT}$  = 온도 보정 계수,  $X_{RI}$  = 일사량 제한 계수,  $X_{RN}$  = 영양염류 제한 계수이다.

② death( $R_d$ :사멸률) : 식물성플랑크톤의 사멸은 내생호흡, 동물성 플랑크톤에 의한 포식, 다른 물질에 의한 감염 등으로 이루어진다. 내부 계산시 만약 식물성 플랑크톤의 호흡률이 성장률보다 크게 되면, 식물 플랑크톤 탄소 혹은 생체량의 순손실이 생긴다. 내생 호흡률은 온도에 의존한다.

$$R_d = k_{1R}(T) + k_{1D} + k_{1G} Z(t)$$

여기서,  $k_{1R}(T)$  = 온도 보정률( $\text{day}^{-1}$ ),  $k_{1D}$  = 사멸률(살균, 독성물질의 영향)( $\text{day}^{-1}$ ),

$k_{1G}$  = 단위 동물플랑크톤 군집당 식물 플랑크톤의 섭취율( $\text{day}^{-1}$ ),  $Z(T)$  = 식물플랑크톤을 섭취하는 동물 플랑크톤 군집( $\text{mgC/L}$ )이다.

③ settling( $R_s$ :침강속도) : 자연수에서 침강은 수직난류, 밀도경사, 종의 생리학적 상태 등에 따라 이루어진다.

$$R_s = \frac{V_s}{D}$$

**Nitrogen** : 암모니아성 질소와 질산성 질소는 모두 섭취되어 식물 플랑크톤의 세포증식에 이용될 수 있다. 그러나 생리학적 이유로 암모니아 질소가 선호된

다. 암모니아 선호식에서 PNH<sub>3</sub>는 NH<sub>3</sub>-N농도가 최대 질소농도에 대한 반포화 상수 KmN을 크게 초과하면 1에 접근하고, NO<sub>3</sub>-N의 존재상태에서 NH<sub>3</sub>-N이 0에 접근하면 0에 접근한다. 식물플랑크톤이 호흡이나 사멸했을 때 살아있는 유기물은 비생체 유기물과 무기물질로 재순환된다. 식물플랑크톤이 호흡하고 사멸하는 동안 세포내 질소분을 fON은 유기물의 비율이며, (1-fON)은 암모니아성 질소의 무기상태 비율을 나타낸다. 모델 개발자는 비생체 유기질소의 광물화를 모든 식물플랑크톤 수준에서 일차 반응율로 증가하도록 반포화 상수 Km<sub>pc</sub>가 0이 되도록 하여 인 순환과 같은 반응속도가 진행되도록 제안하였다.

① NH<sub>3</sub>-N(암모니아성 질소) : 식물성 플랑크톤의 사멸과 광화작용으로 증가되고 식물성 플랑크톤의 성장과 질산화에 의해서 감소된다.

$$S_{K1} = + K_{71} \theta_{71}^{T-20} \left( \frac{C_4}{K_{mpc} + C_4} \right) C_7 - R_g a_{nc} P_{NH_3} C_4$$

mineralization    algal growth

$$- K_{12} \theta_{12}^{T-20} \left( \frac{C_6}{K_{NT} + C_6} \right) C_1 + R_d a_{nc} (1 - f_{ON}) C_4$$

nitrification    death

② NO<sub>3</sub>-N(질산성 질소) : 질산화에 의해서 증가되고 식물성 플랑크톤의 성장과 탈질작용에 의해서 감소된다.

$$S_{K2} = + K_{12} \theta_{12}^{T-20} \left( \frac{C_6}{K_{NT} + C_6} \right) C_1 - R_g a_{nc} (1 - P_{NH_3}) C_4$$

nitrification    growth

$$- K_{2D} \theta_{2D}^{T-20} \left( \frac{K_{NO_3}}{K_{NO_3} + C_4} \right) C_2$$

denitrification

③ Org-N(유기성 질소) : 유기성 질소는 식물성 플랑크톤의 사멸로 증가되고 광화 작용과 침강에 의해서 감소된다.

$$S_{K3} = + R_g a_{nc} f_{ON} C_4 - K_{71} \theta_{71}^{T-20} \left( \frac{C_4}{K_{mpc} + C_4} \right) C_7 - \frac{V_{S3}}{D} (1 - f_{DI}) C_7$$

death    mineralization    settling

**Phosphorus** : 생성된 식물 플랑크톤 탄소 각 mg마다 무기인  $a_{pc}$  mg이 섭취되었다가 식물플랑크톤이 호흡이나 사멸할 때 생체량은 비생체성 유기물질과 무기물질로 재순환된다. 소비하거나 잃어버린 식물플랑크톤 탄소 각 mg마다 인  $a_{pc}$  mg이 수체로 돌아간다. 분율  $f_{op}$ 는 유기성을 의미하며, 반면,  $(1-f_{op})$ 는 무기형태로 살아있는 식물플랑크톤 세포들에 의해 섭취될 수 있다. 식물플랑크톤이 이용할 수 있기 위해서는 비생체성 유기인은 광물화 혹은 미생물 분해에 의해 무기인으로 변환되어야만 한다.

식물성 플랑크톤 생체량이 적을 때는 재순환 요인인  $20^{\circ}\text{C}$ 에서 용존유기인의 가수분해율  $K_{83}$  값을 적게 하여 반응속도를 느리게 하도록 포화 재순환 메카니즘을 사용해야 한다. 반응률은 식물플랑크톤이 계속 증가되지 않도록 조절해야 한다. 내부계산시  $K_{mpc}$ 는 0으로 권장되는데 이는 모든 식물 플랑크톤 농도 수준에서도 일차반응률로 광물화를 진행시키기 위해서이다.

①  $\text{PO}_4$ (무기성 인) : 무기성 인은 식물성 플랑크톤의 사멸과 광화작용으로 증가되고 성장에 의해서는 감소가 된다.

$$S_{K8} = \underbrace{R_d a_{pc} (1 - f_{op}) C_4}_{\text{death}} + \underbrace{K_{83} \theta_{83}^{T-20} \left( \frac{C_4}{K_{mpc} + C_4} \right) C_8}_{\text{mineralization}} - \underbrace{R_g a_{pc} C_4}_{\text{growth}}$$

② Org-P(유기성 인) : 유기성 인은 식물성 플랑크톤의 사멸로 증가되고 광화작용과 침강에 의해서 감소된다.

$$S_{K8} = \underbrace{R_d a_{pc} f_{op} C_4}_{\text{death}} - \underbrace{K_{83} \theta_{83}^{T-20} \left( \frac{C_4}{K_{mpc} + C_4} \right) C_8}_{\text{mineralization}} - \underbrace{\frac{V_{S8}}{D} (1 - f_{D8}) C_8}_{\text{settling}}$$

**CBOD/DO** : 용존산소의 감소는 수체내의 호기성 미생물의 호흡반응과 저질에서의 미생물의 혐기성 반응에 의해서 일어난다.

① CBOD : CBOD는 식물성 플랑크톤의 사멸로 증가하고 탄소화합물의 산화, 유기물의 침강, 탈질작용에 의해 감소한다.

$$S_{K5} = a_{oc}k_1C_4 - K_d\theta_d^{T-20}C_5 - \frac{V_{S3}}{D}(1-f_{D5})C_5$$

death                      oxidation                      settling

$$- \frac{5}{4} \frac{32}{14} k_{2d}\theta_{2d}^{(T-20)} \left( \frac{K_{NO3}}{K_{NO3} + C_6} \right) C_2$$

denitrification

탈질산화 반응은 낮은 용존산소 상태에서 CBOD를 감소시킨다. 내부 계산시 NO<sub>3</sub>-N 1mg이 감소될 때 탄소  $\frac{5}{4} \left( \frac{12}{14} \right)$ mg이 감소되는데 이는 CBOD를  $\frac{5}{4} \left( \frac{12}{14} \right) \left( \frac{32}{12} \right)$ mg 로 감소시킨다.

② DO : 용존산소는 수체내의 호기성 미생물의 호흡반응과 저질에서의 미생물의 혐기성 반응에 의해 감소되고, 재폭기와 광합성에 의한 산소의 공급으로 증가된다.

$$S_{K6} = k_2(C_s - C_6) - k_d\theta_d^{T-20} \left( \frac{C_6}{K_{BOD} + C_6} \right) C_5$$

reaeration                      oxidation

$$- \frac{64}{14} k_{12}\theta_{12}^{T-20} \left( \frac{C_6}{K_{NIT} + C_6} \right) C_1 - \frac{SOD}{D} \theta_s^{T-20}$$

nitrification                      sediment demand

$$+ R_g \left( \frac{32}{12} + \frac{48}{14} \frac{14}{12} (1 - P_{NHB}) \right) C_4 - \frac{32}{12} k_{1R}\theta_{1R}^{T-20} C_4$$

phytoplankton growth                      respiration

질산화는 수체 용존산소의 중요한 소멸인자로 고려된다. 계산시 암모니아 질소 1mg이 산화될 때, 산소 64/14 mg이 소모된다. 내부계산에서는 반포화상수 KNIT에 의해 질산화율이 반으로 감소될 때 용존산소의 농도로 계산한다.

광합성은 대기 중의 탄소를 고정하고 수체내의 용존산소를 생산한다. 광합성에 의한 용존산소의 생산율은 식물 플랑크톤 세포내 구성물질의 화학양론비 상수에 의존하고 식물 플랑크톤의 성장률에 비례한다. 식물 플랑크톤 성

장에 의해 생산된 식물 플랑크톤탄소 1 mg에 의해  $\frac{32}{12}$  mg의 O<sub>2</sub>가 생산된다. 식물플랑크톤 성장으로 인한 용존산소의 공급은 수체 내 이용 가능한 암모니아성 질소 발생원이 고갈되고, 식물플랑크톤이 이용 가능한 NO<sub>3</sub>를 이용하기 시작할 때부터 시작된다. 식물 플랑크톤 호흡은 광합성의 역반응으로 수체 내 용존산소를 감소시킨다. 식물플랑크톤의 호흡에 의해 식물플랑크톤 탄소 1 mg이 소모되면, 산소( $\frac{48}{14}$ ) mg도 소모된다. 식물플랑크톤의 사멸은 산화되는 유기탄소를 제공한다. EUTRO5의 반응식은 식물플랑크톤 탄소를 CBOD로 재순환시킨다.

**제 5 장 *BASINS/HSPF* 유역모형과  
*WASP5* 호소모형의 적용**

---

## 제 5 장 BASINS/HSPF 유역모형과 WASP5 호소모형의 적용

### 제 1 절 BASINS/HSPF 유역모형 구축

<표 5-1>은 BASINS와 HSPF 모형을 구축하기 위해 필요한 자료를 나열하였다. 아래와 같은 GIS자료와 하천도, 토지피복분류, 토양도등을 각 기관에서 지원받아 본 연구에 적용하였다.

<표 5-1> Modified BASINS database for KOREA

Base cartographic data	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 단위유역도*</li> <li>· 중권역유역도</li> <li>· 대권역유역도</li> <li>· 시도 경계도</li> <li>· 시군경계도</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>건교부/수자원공사</li> <li>건교부/수자원공사</li> <li>건교부/수자원공사</li> <li>건교부/수자원공사</li> <li>건교부/수자원공사</li> </ul>
Environmental background data	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 홍수터</li> <li>· 다목적댐</li> <li>· 개략하천도*</li> <li>· DEM*</li> <li>· 토지피복도*</li> <li>· 토양도**</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>건교부/수자원공사</li> <li>건교부/수자원공사</li> <li>건교부/수자원공사</li> <li>수자원공사</li> <li>수자원공사</li> <li>농업과학기술원</li> </ul>
Environmental monitoring data	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 수질측정지점</li> <li>· 기상관측지점</li> <li>· 강우관측지점</li> <li>· 수위관측지점</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>건교부/수자원공사</li> <li>건교부/수자원공사</li> <li>건교부/수자원공사</li> <li>건교부/수자원공사</li> </ul>
point-source / loading data	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 점오염부하량*</li> </ul>	환경부

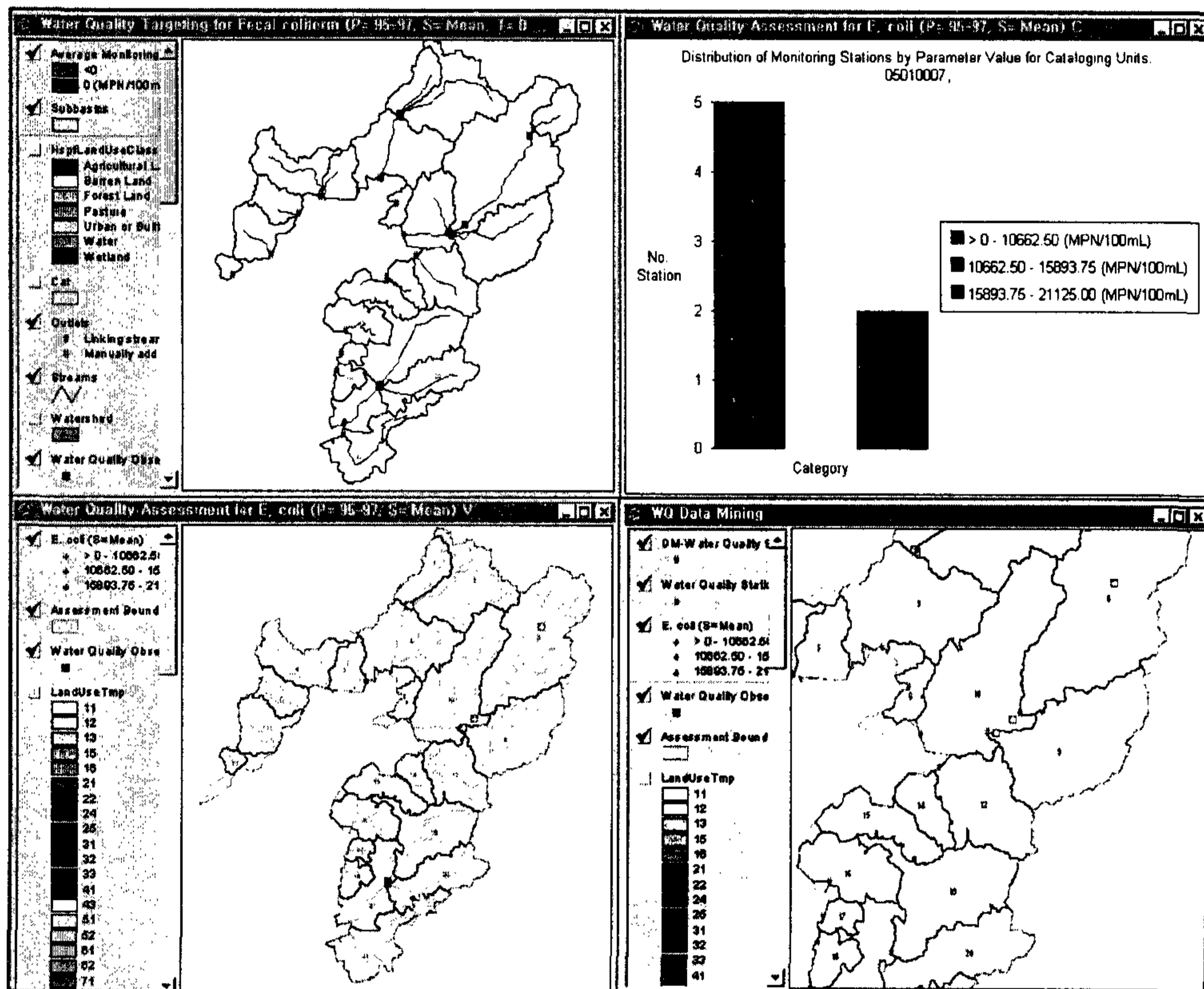
\* 유역모형(HSPF, SWAT) 적용시 필요한 자료

\*\* SWAT적용시 필요한 자료

#### 1. BASINS의 Assessment tool

<그림 5-1>은 BASINS를 화성호에 적용된 결과를 이용하여

BASINS- Assessment tool을 이용한 유역의 주요 관리지점 파악하는 것을 보여주고 있는 그림이다. Target, Assess, Data mining을 이용 주요 관리지점을 파악 모니터링 및 모형 보정시 반영. Target Water Quality는 유역대상 전체의 수질을 평가하는 도구이며, Assess는 관심지역 수질과 배출부하를 평가하기 위한 도구이다. Data Mining을 통해 원하는 지점의 데이터를 추출할 수 있다. BASINS의 경우 넓은 유역에 수질이 변하고 있을때, 문제가 되는 소유역과 측정지점을 찾아내기 때문에 사용자가 손쉽게 파악할 수 있는 장점을 갖기 때문에 수질 예·경보에 적용성이 큰 것으로 판단된다.



<그림 5-1> BASINS-Assessment tool의 적용

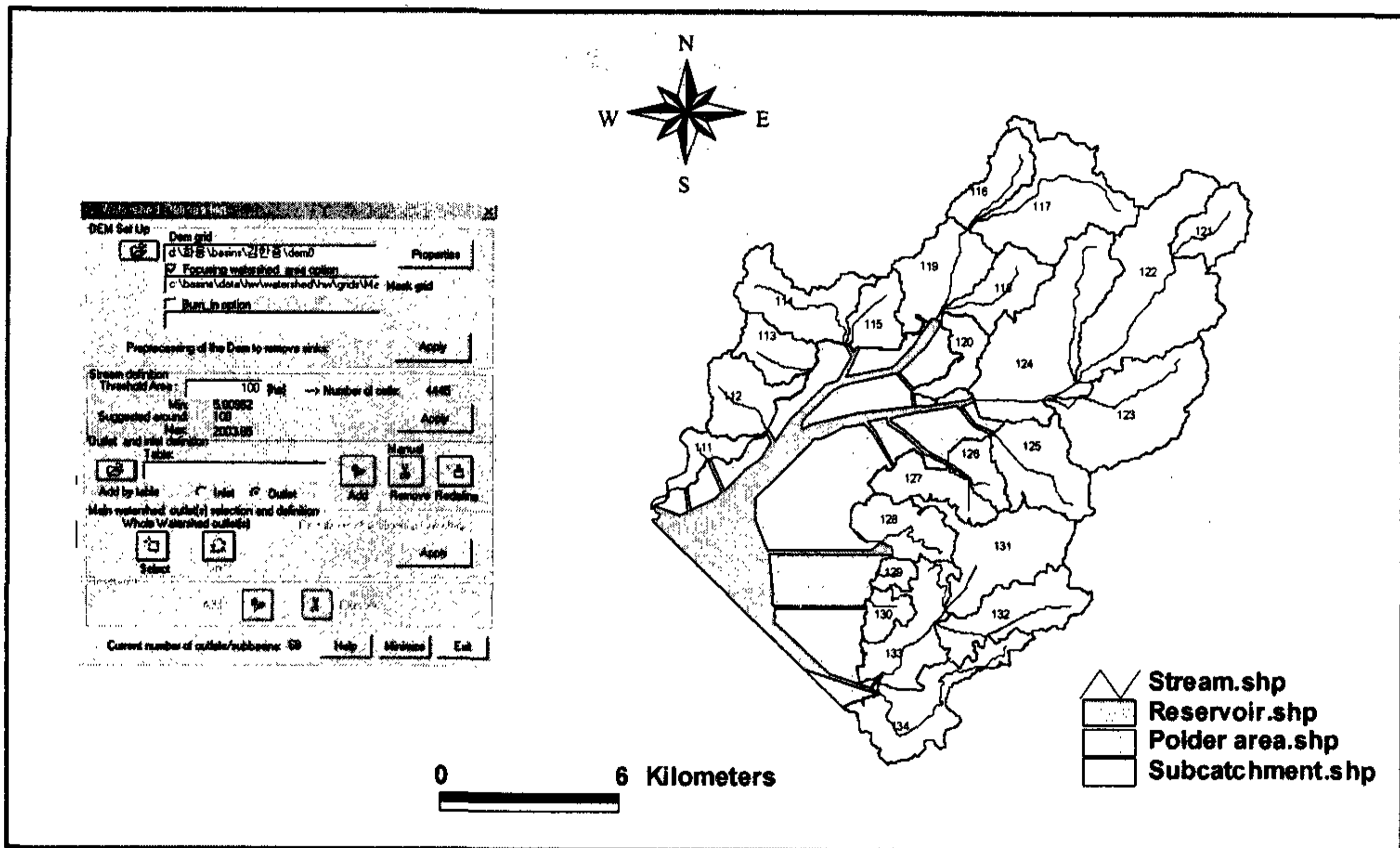
## 2. BASINS-Delinated tool을 이용한 대상유역 소유역분할

BASINS-Delinated tool을 이용한 그림과 생성된 소유역은 <그림 5-2>와 같다. 수치지도와 실제 하천도를 burning하여 1개의 소유역의 크기를 선택한 후 적용하면 소유역이 분할되며, 모델러가 원하는 수질측정지점과 중점



관리지역을 고려하여 총 34개의 소유역으로 분할하였다. 단위유역의 소유역으로 분할할 경우에는 수질측정지점, 하수처리장, 주요오염원 배출시설, 인구의 분포, 특별한 목적등을 고려하게 분할하여야 한다.

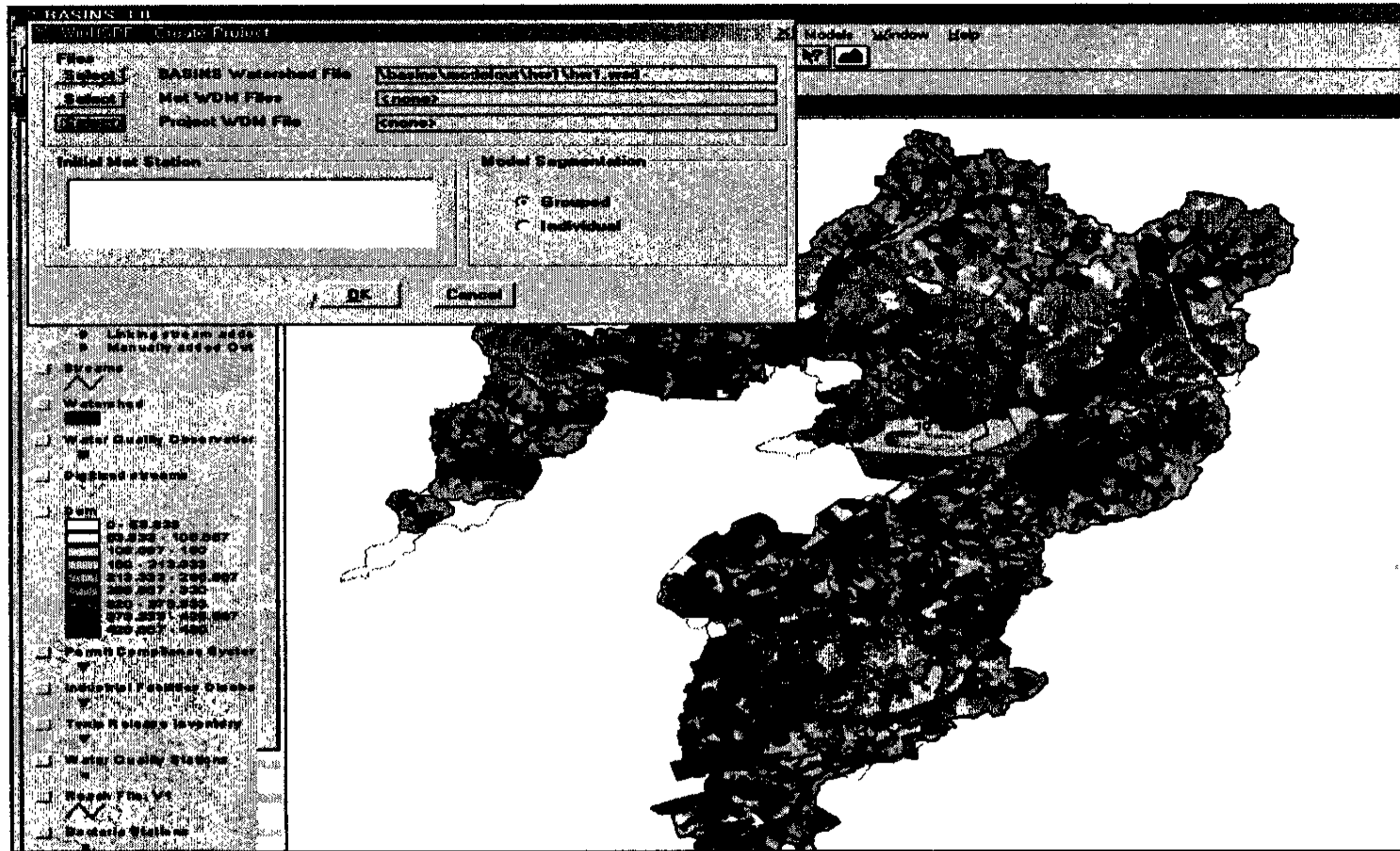
본 연구에서는 남양천의 수질측정지점을 고려하여 총 4개의 소유역으로 분할하였는데, 남양천의 본류에서 행가고 까지를 하나의 소유역으로, 아파트가 위치하고 상류에서 처리되지 않고 생활하수가 유입된다고 추정되는 지점을 기점으로 소유역을 분할하였다. 자안천은 총 5개의 소유역으로 구분하여 수질측정지점에서 나온 데이터를 모형의 검·보정에 이용하고자 하였다. 어은천의 경우는 조암저수지에서 발원하는 본류에서 배다리교까지를 하나의 소유역으로 나누고 조암면의 인구집중지역을 통과하는 하천의 마산교를 기점으로 본류와 합류되기 전의 지점을 설정하여 총 3개의 소유역으로 구분하였다.



<그림 5-2> BASINS-Delinated tool을 이용한 소유역 분할

### 3. BASINS-Utility tool을 이용한 소유역별 토지 이용 정보 생성

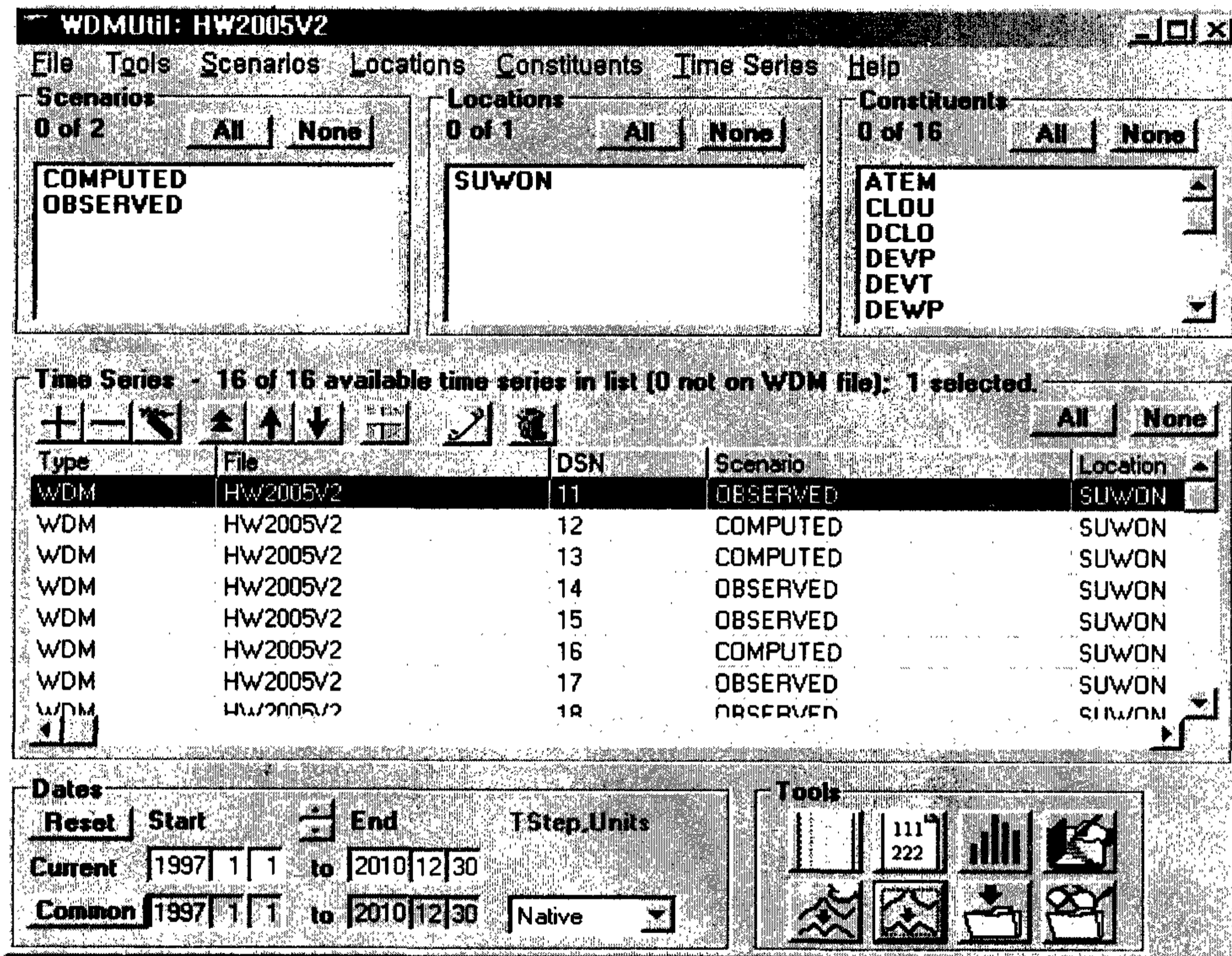
환경부에서 제공받은 토지피복분류 데이터를 이용하여 도시, 논, 밭, 산지, 나지, 습지, 저수지, 초지 등을 BASINS내에 입력하였으며 <그림 5-3>와 같다. 화성유역은 농경지가 약 26% 이고 산지가 45%인 전형적인 농촌유역 형태를 보이고 있으나, 최근 들어 개발이 진행 중인 지역이다.



<그림 5-3> BASINS-Utility tool을 이용한 토지 이용정보 생성

#### 4. BASINS-WDMUtil을 이용한 유역모형에 사용되는 기상자료 입력

HSPF 적용을 위해서는 기상자료를 wdm(watershed data management)파일 형태로 저장되어야 하며 필요한 기상자료는 화성유역에서 가장 가까운 수원기상상태의 자료를 기상청에서 제공받아 wdm 형태로 변환시켰으며 그 결과는 <그림 5-4>과 같다.



<그림 5-4> HSPF구동을 위한 기상자료 생성

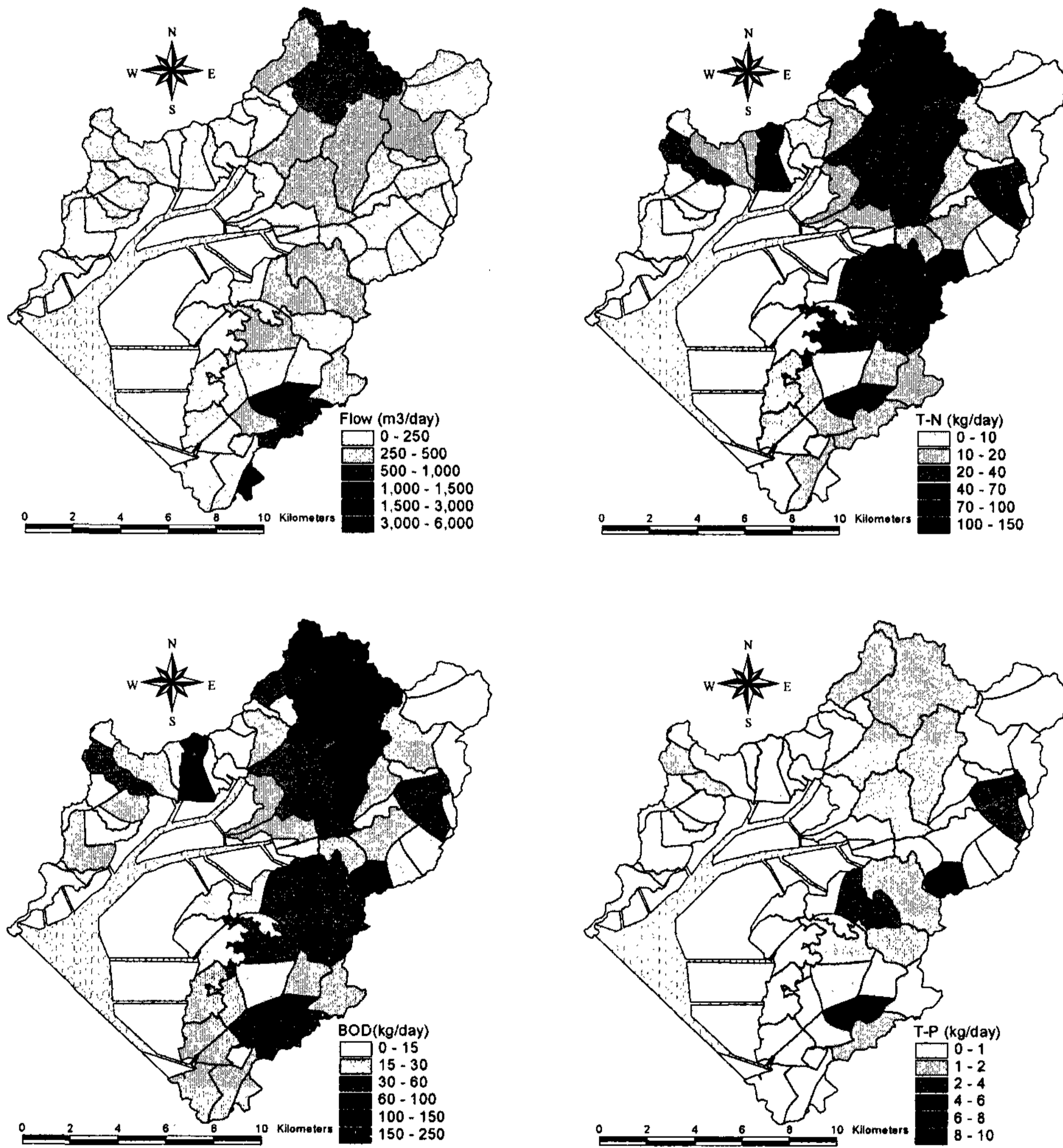
5. BASINS-WDMUtil을 이용한 유역모형에 사용되는 점오염원 입력

1999년과 2003년 11월-2004년 3월 동안 모형의 보정을 위해서 1999-2003년 화성지구 환경영향조사보고서의 자료를 이용하여 점오염원을 산정하였다. 오염원 자료는 인구현황과 축산현황, 배출업소 현황, 환경기초시설 현황 등을 이용하였으며, 환경부 수계오염총량관리기술지침에 의해 배출부하량을 산정하여 각 소유역별 유입오염원 입하였다.

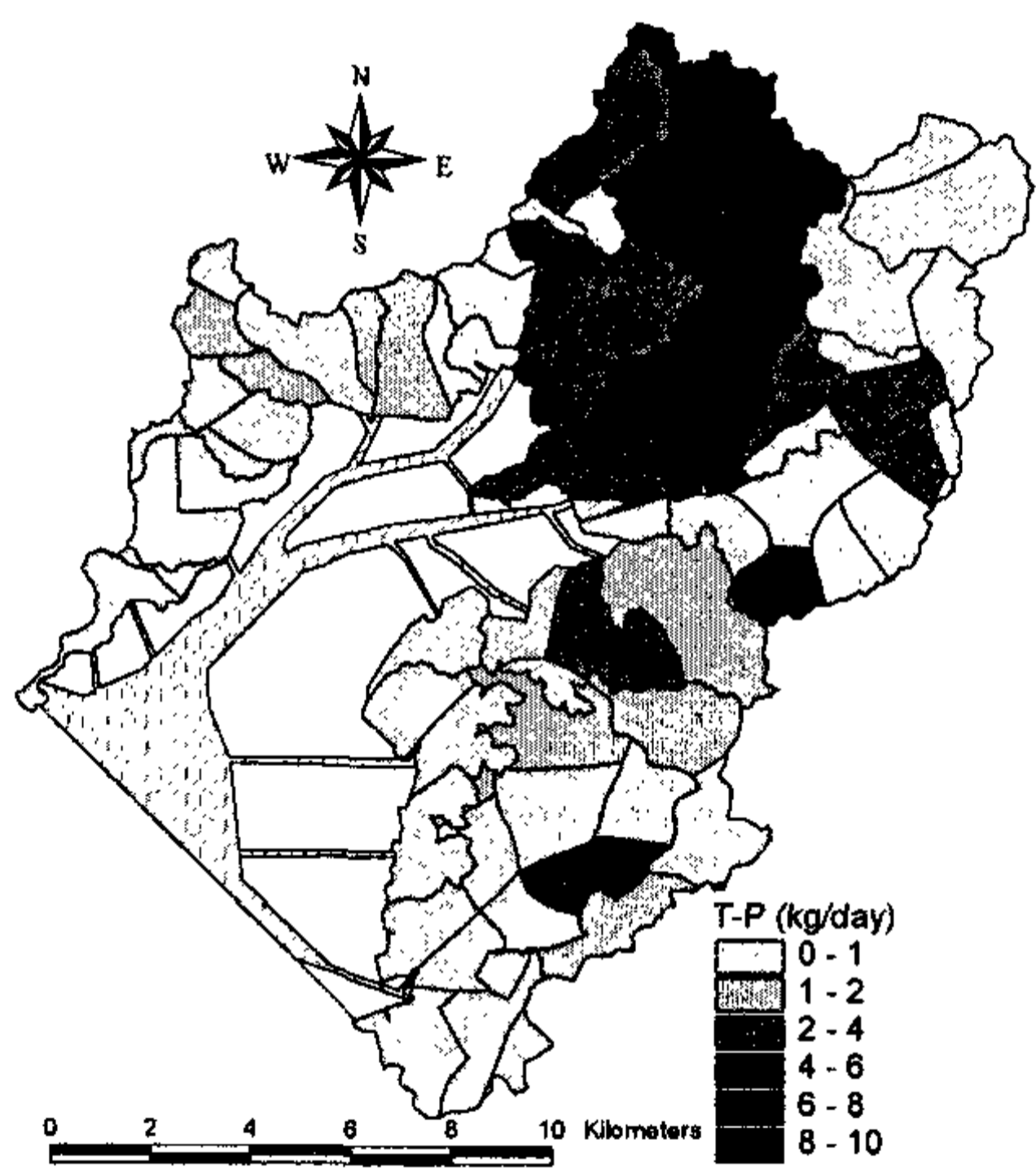
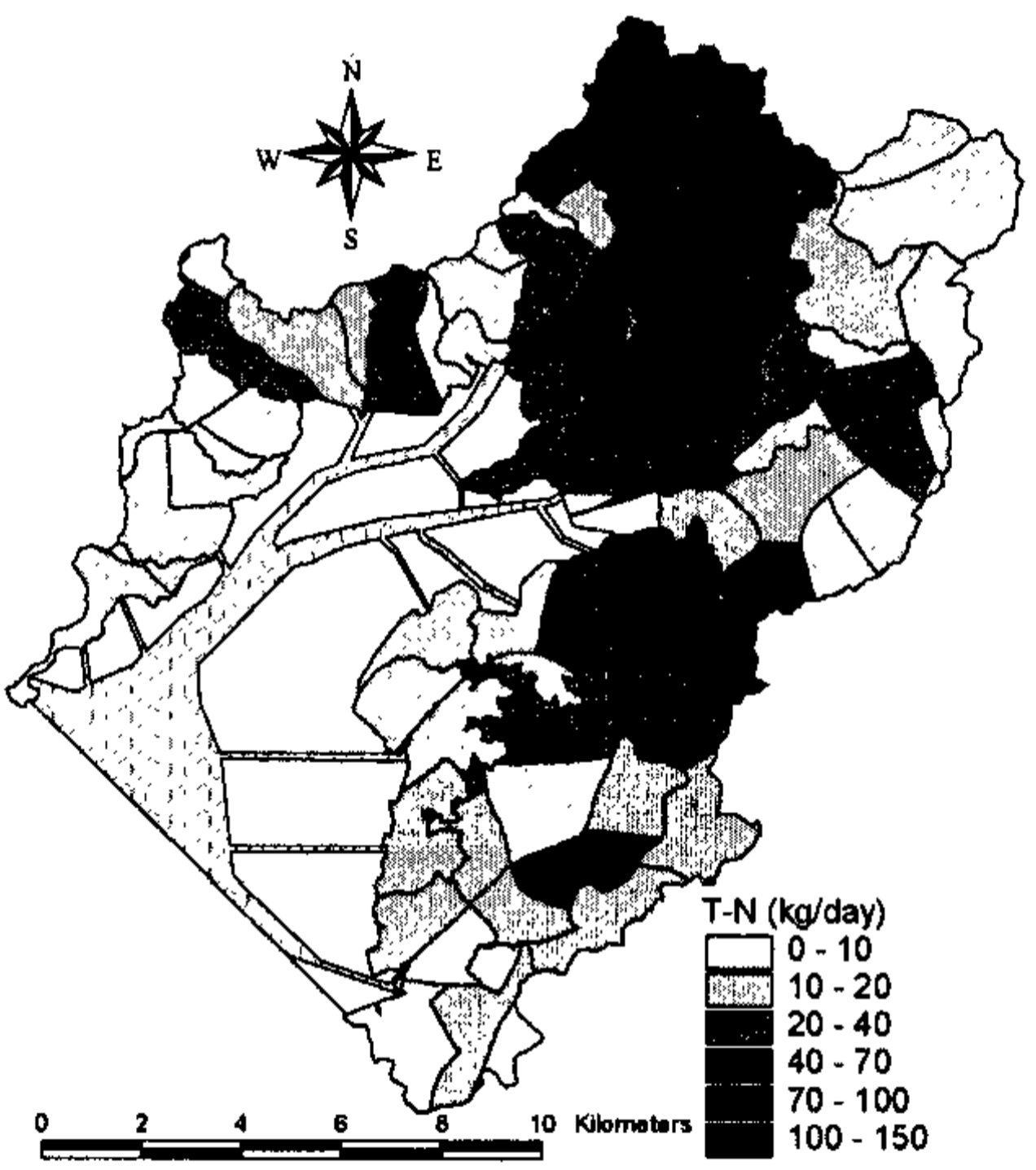
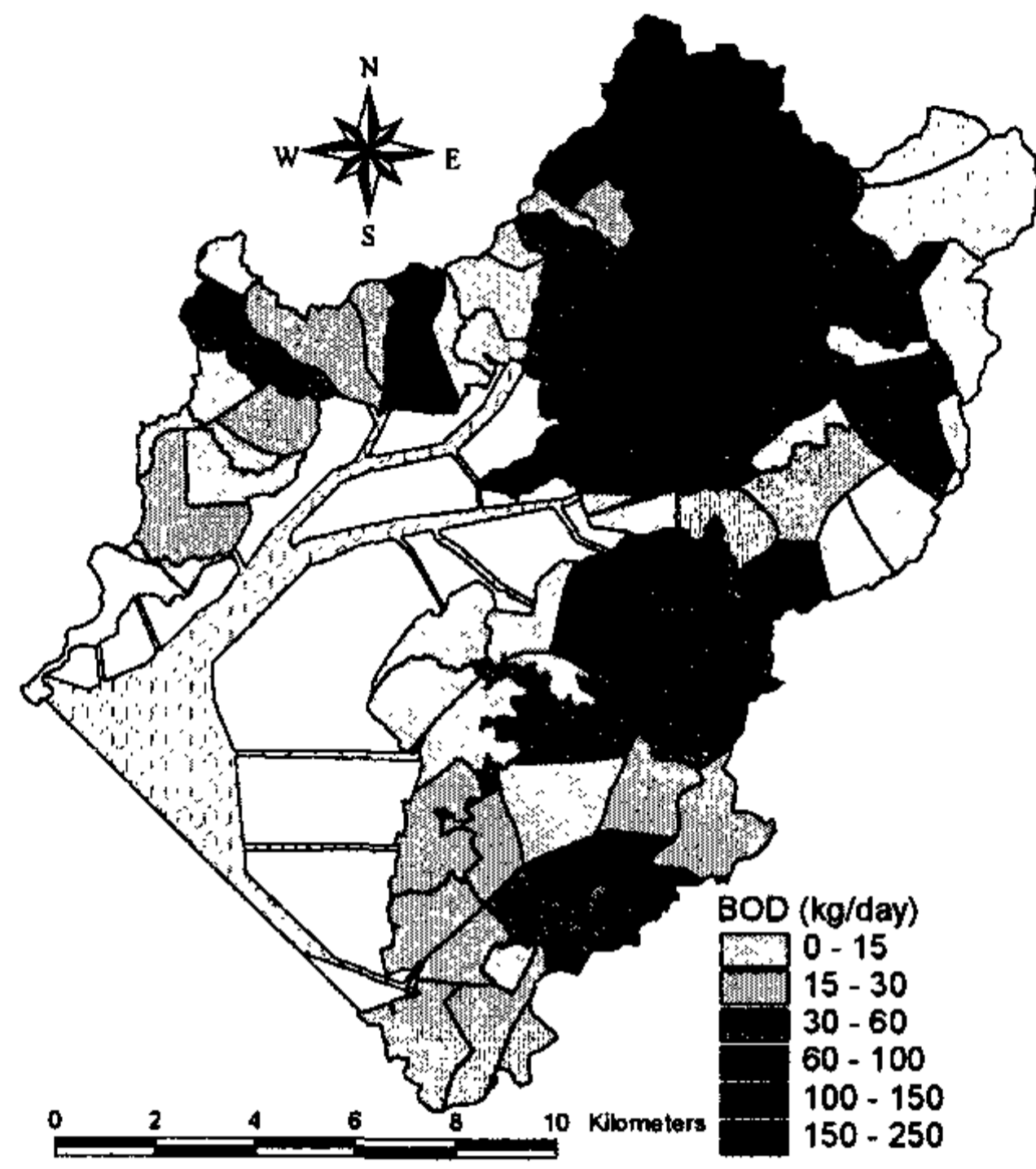
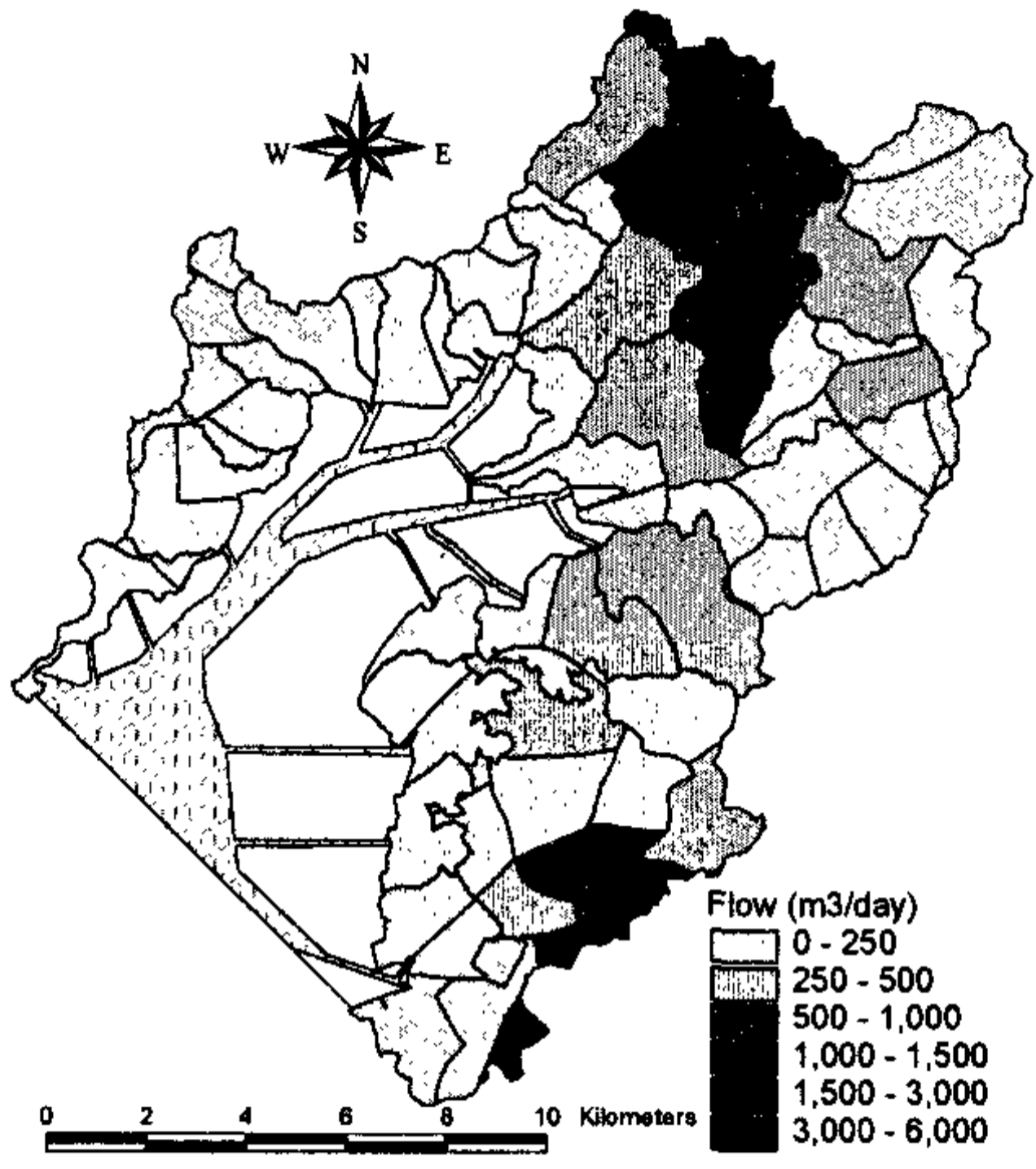
HSPF 구동을 위한 점오염원 자료는 wdm(watershed data management)형태로 계산된 유량과 부하량을 각하천의 질소와 인의 태별 수질분포를 고려하여 NO<sub>3</sub>-N, TAM, ORN, ORP, BOD, PO<sub>4</sub>-P 를 그림-5와 같이 입력하였으며, 유역의 2002년 기준 점원오염 분포는 <그림 5-5>과 <그림 5-6>과 같이 입력하였으며, 그 결과는 <그림 5-4>과 같은 형태의 WDM파일형태이다.

<그림 5-5>은 1999년도를 기준으로 하여 오염부하량을 산정한 결과를 유역내에 뿌려준 결과이다. 그림에서 보는 것과 같이 남양동 유역과 어은천의 마산교를 지나는 조암읍 지역에서 많은 오염물질 배출이 있는 것으로 계산

되었다. <그림 5-6>은 2003년을 기준으로 오염부하량을 산정하여 유역에 입력하여 표현한 값은 같은 스케일의 1999년의 오염부하량 보다 급격하게 증가한 것을 알 수 있다. 또한 1999년에는 조암읍의 경우에는 배출되는 오염부하량이 남양동에 비해 크게 나타났으나, 2003년을 기준으로 오염원을 계산한 경우에는 남양동이 더 큰 것으로 계산되었다.



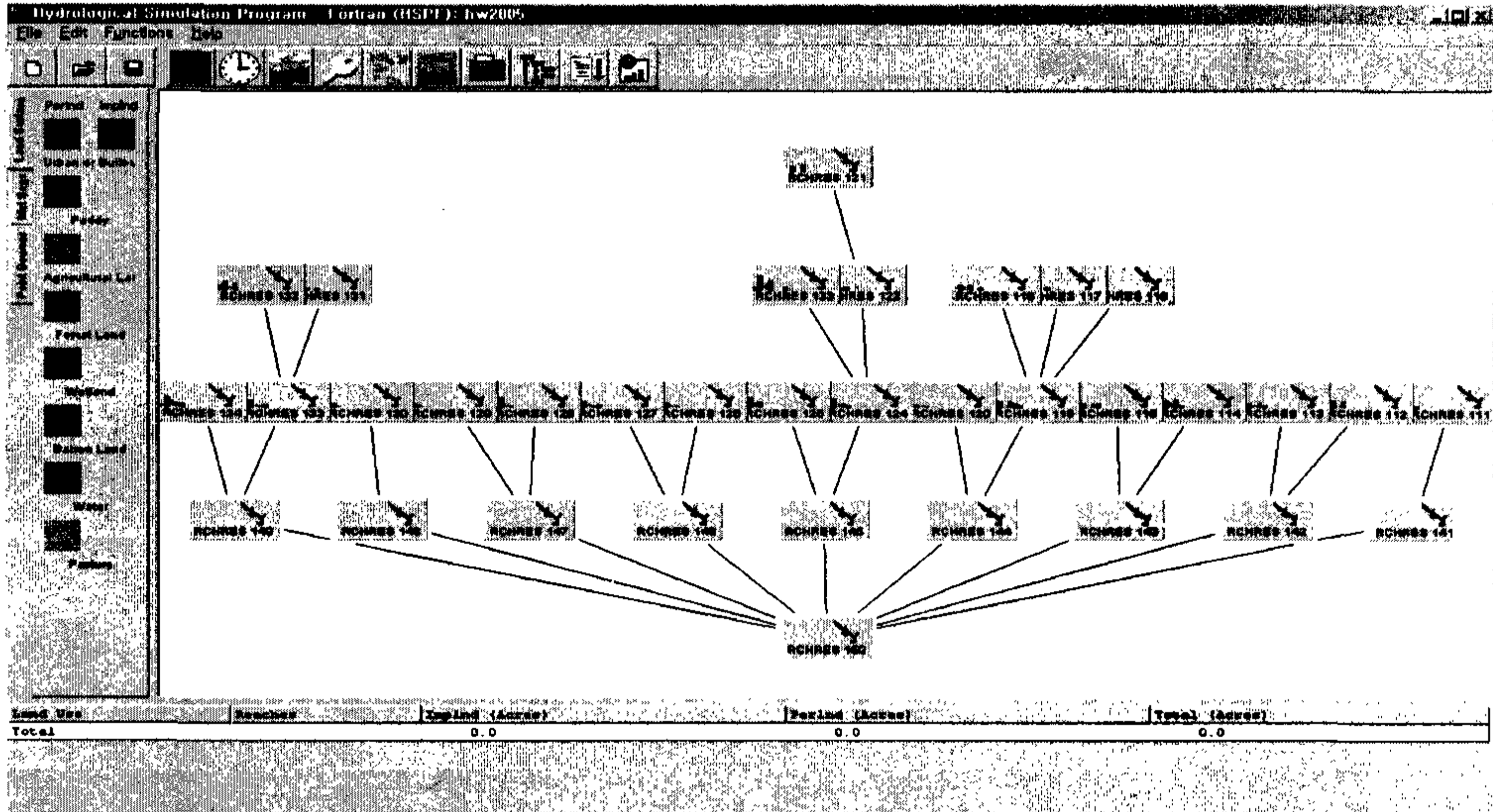
<그림 5-5> 1999년도 유역의 점오염원 분포(배출부하량)



<그림 5-6> 2003년도 유역의 점오염원 분포(배출부하량)

## 6. BASINS-Model을 이용한 유역모형 입력파일 자동생성

구축한 하천도, 유역도, 소유역도, 토지 이용 정보, 기상자료, 점오염 자료를 이용하여 BASINS와 연계된 Win-HSPF 모형의 입력파일 생성하였으며 <그림 5-7>과 같다.

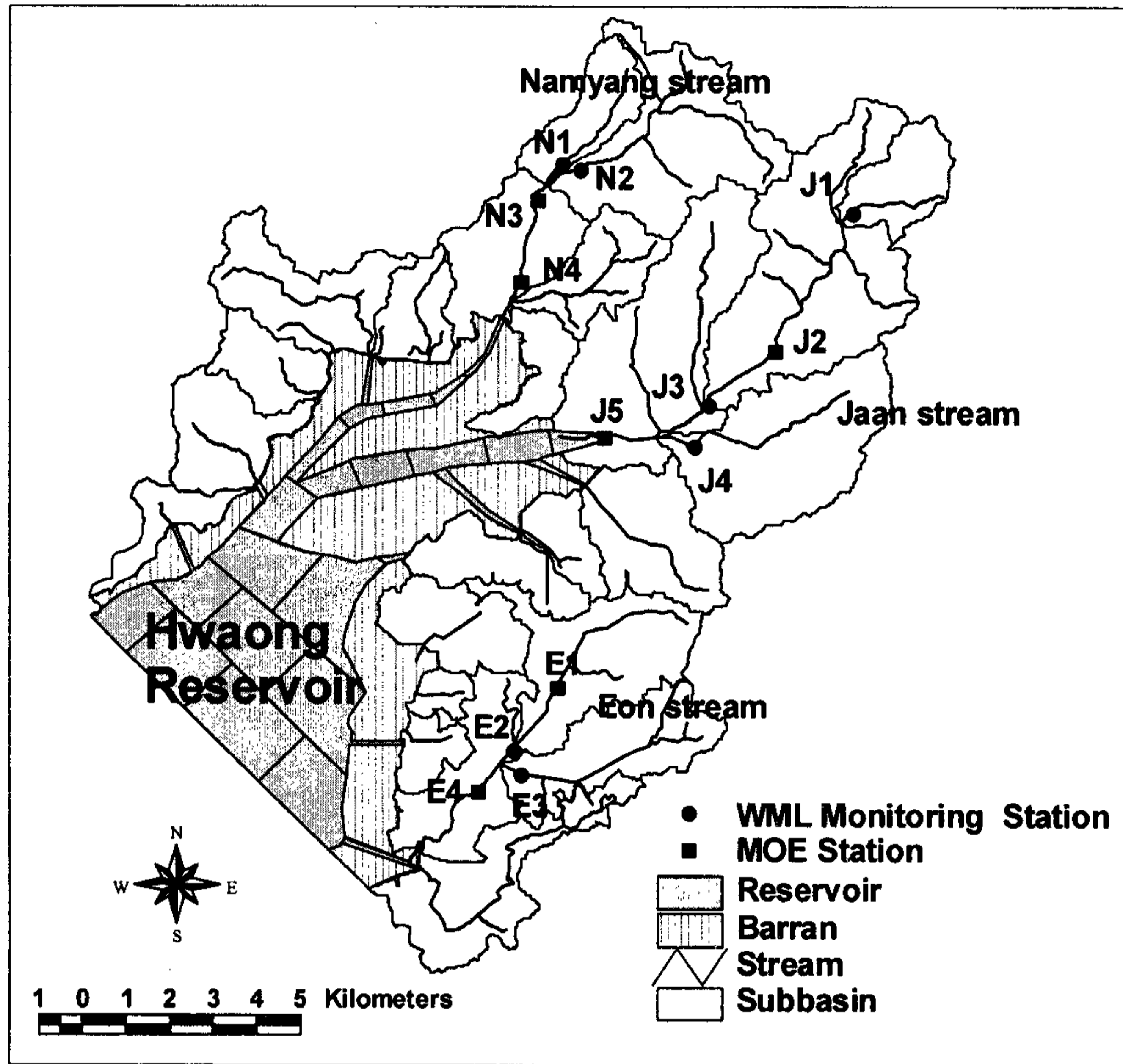


<그림 5-7> BASINS에 의해 자동 생성된 Win-HSPF 입력파일

## 제 2 절 BASINS/HSPF 유역모형 적용

화성 유역은 1개의 단위유역으로 이루어져 있으며, 남양천은 남양만에 유입되고 있는 준용하천으로 유역면적 19.90 km<sup>2</sup>, 유로연장 8.05 km, 유역평균폭 2.34 km, 유역형상계수 0.28인 유역을 형성하고 있고, 자안천은 유역면적 52.63 km<sup>2</sup>, 유로연장 13.07 km, 유역평균폭 4.03 km, 유역형상계수 0.31인 유역을 형성하고 있으며, 어은천은 유역면적 23.50 km<sup>2</sup>, 유로연장 7.10 km, 유역평균폭 3.31 km, 유역형상계수 0.47인 유역을 형성하고 있으며 유역과 담수호의 제원과 그림은 <표 5-2>과 <그림 5-8>과 같다.

남양천은 N1, N2, N3, 그리고 N4의 측정지점을 수질 검·보정지점으로 하였으며, N1과 N2, N3 측정지점에서 유출량을 검·보정하였다. 자안천은 J1, J2, J3, J4, 그리고 J5 5개 지점에서 수질을 검·보정하였으며, 유출량 검·보정지점은 J1과 J3 지점이다. 어은천의 수질 검·보정 지점은 E1, E2, E3, 그리고 E4지점이며, 유출량 검·보정지점은 E2와 E3지점이다. 본 보고서에서는 수질 검·보정 지점이 총 13개 지점이며, 유출량 검·보정지점은 6개 지점이다. 검·보정 기간은 유역환경관리 연구실에서 측정한 N1, N2, J1, J3, J4, E2, 그리고 E3 지점은 2003년 9월부터 2005년 12월까지 총 2년 4개월이며, 환경부 유역환경청에서 측정한 나머지 측정지점은 2002년부터 2005년까지 총 4년간 모의하였다.



<그림 5-8> 화성유역의 형상과 유량 수질 검·보정 지점

<표 5-2> 화성유역과 담수호의 제원

구 분	값
총 면적(ha)	1,730
유역면적(ha)	2.8
평균수심(m)	20
최대수심(m)	$53.4 \times 10^6$
담수호 체적( $m^3$ )	23,500
평균체류기간(days)	250
체류기간의 범위(days)	5-510

HSPF모형은 모형 반응상수를 각각의 소유역에 동일하게 적용하는 group calibration과 individual calibration 방법이 있으나, 본 연구의 적용지역은 유역의 형태가 단순하며 소유역별 오염물질 유출형태의 차이가 크지 않기



때문에 group calibration을 이용하여 검·보정 하였으며, 하천 하상의 영양물질이 과도하게 축적되어 있는 남양천의 N1(아파트) 지점과 자안천의 E3(마산교) 지점은 individual을 이용하여 다른 보정계수를 이용하였다.

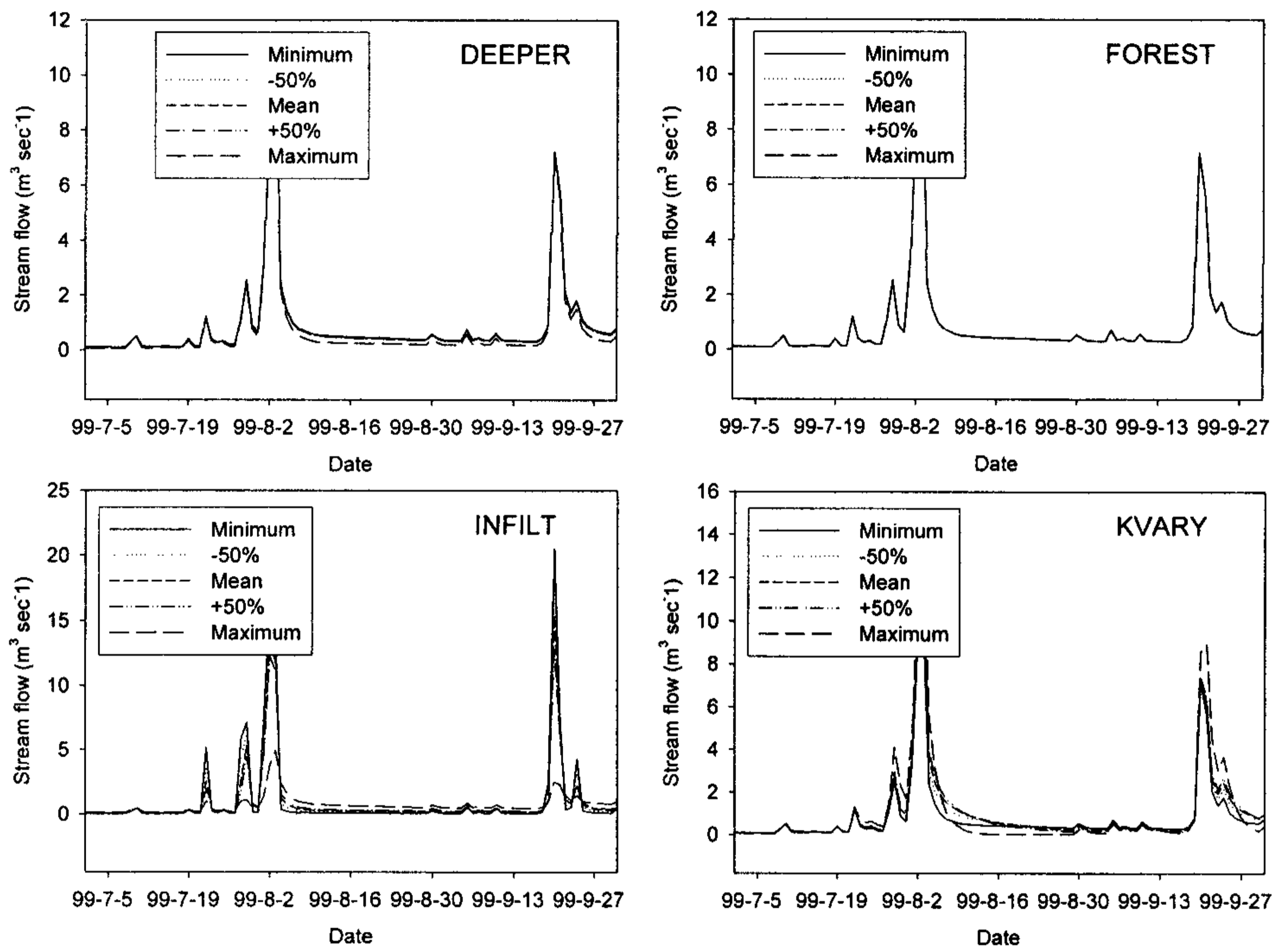
### 1. HSPF모형의 유출량 민감도 분석

민감도 분석은 모델변수에 대한 모델의 반응을 평가하여 모델에 대한 이해를 도모하거나 입력변수, 경계조건 등과 연관된 불확실성으로 인한 모델의 신뢰도 분석을 위해서 실시한다. 민감도는 하나의 변수의 변화에 따른 결과의 변화이므로 민감도 계수는 정규화된 편미분 형태의 식으로 나타낼수 있으며 민감도 계수를 해석적으로 구하지 못하는 경우에는 미소한 입력변수의 증분으로 개략적으로 구할수 있다.

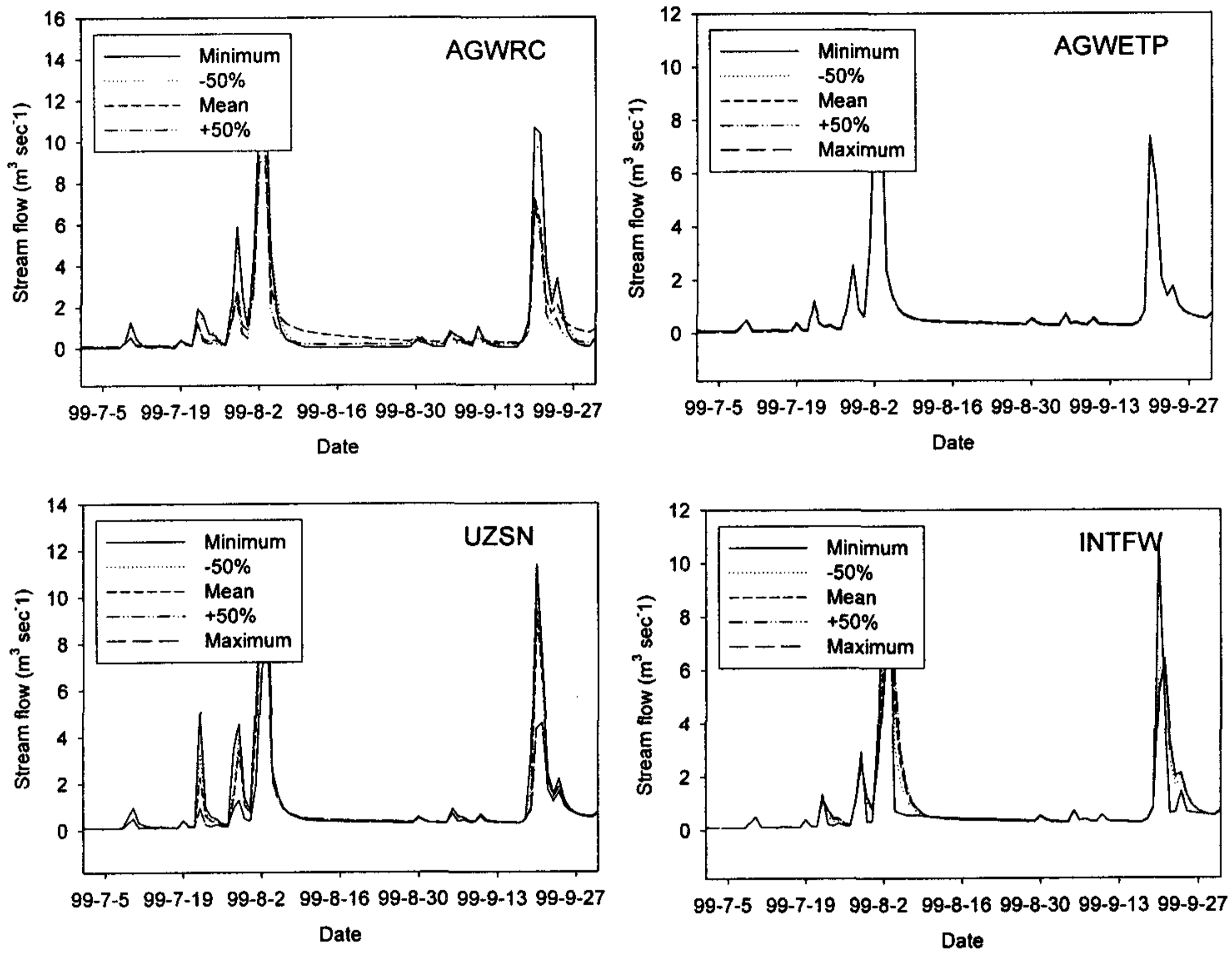
본 연구에서는 하천의 유출량에 영향을 주는 반응인자 12개를 선정하여 민감도 분석을 실시하였으며, 분석방법은 모형에서 기본적으로 제시해주는 값과 상한과 하한의 50%를 선택하였으며, 최대값과 최소값에 대해서도 평가하여 반응인자값의 변화에 따른 유출량의 변화에 대해 비교 평가하였다. <그림 5-9>부터 <그림 5-11>까지의 그림이 각 인자에 따른 민감도 분석 결과이다.

유출량에 관계된 매개변수들의 보정은 아래와 같다. 첫째, 강우에 의해 유역으로 들어온 경우와 증발산이나 지하수로 유입으로 인해 유역밖으로 나가는 경우의 물의 양과 실측을 통하여 파악된 유역에 들어오고 나가는 물의 양을 비교하여 전체적인 물수지를 파악하였다.

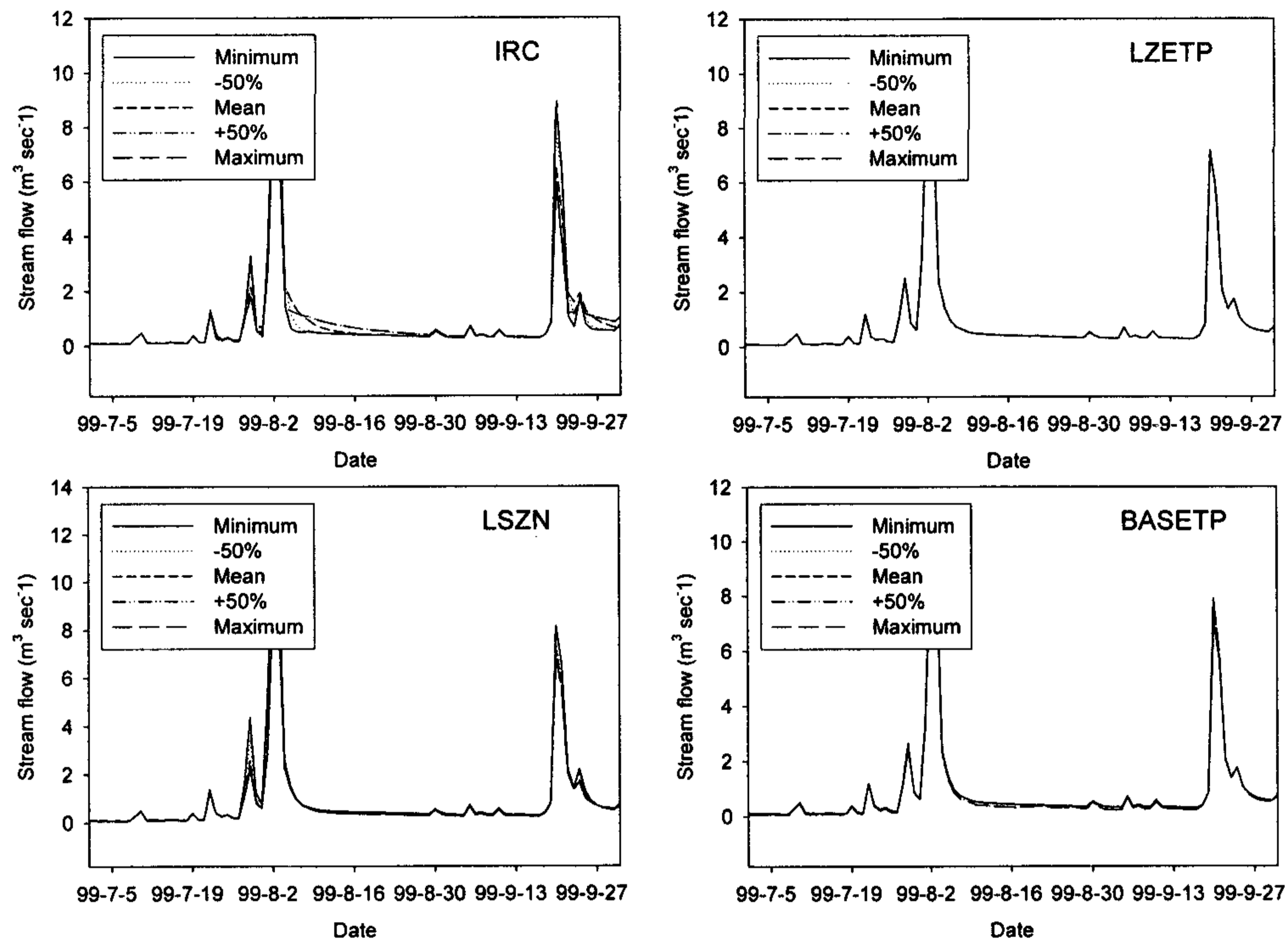
둘째, 물이 땅에 스며들고, 지하수나 수체로 들어가는 과정의 침투계수를 조절하여 실측 유량과 맞추는 과정을 통해서 유량이 적을 때와 많을 때의 분포를 조정하였고, 다음으로 침투 유량의 크기와 침투 유량 이후, 기저유량으로 돌아오는 시기를 조정하였다. 유량은 토사유출에 상당한 영향을 주며, 토사에 흡착되어 하천으로 유입되는 오염물질의 부하량과 밀접한 관계가 있다. 따라서 수질관련 항목의 보정을 위해서는 정확한 유량의 보정이 선행되어야 한다. 유량의 보정에는 INFILT(투수능지표), LZSN(토양의 수분저장능력), AGWRC(지하수지체정도), INTFW(중간유출수 유입정도), IRC(중간유출 회귀 보정인자), KVAR(지하저장능), INTFW(중간유출량 보정인자)등이 중요한 매개변수로 작용하는 것으로 나타났다.



<그림 5-9> DEEPER, FOREST, INFILT, 그리고 KVARY 보정인자의 민감도 분석



<그림 5-10> AGWRC, AGWET-P, UZSN, 그리고 INTFW 보정인자의 민감도 분석

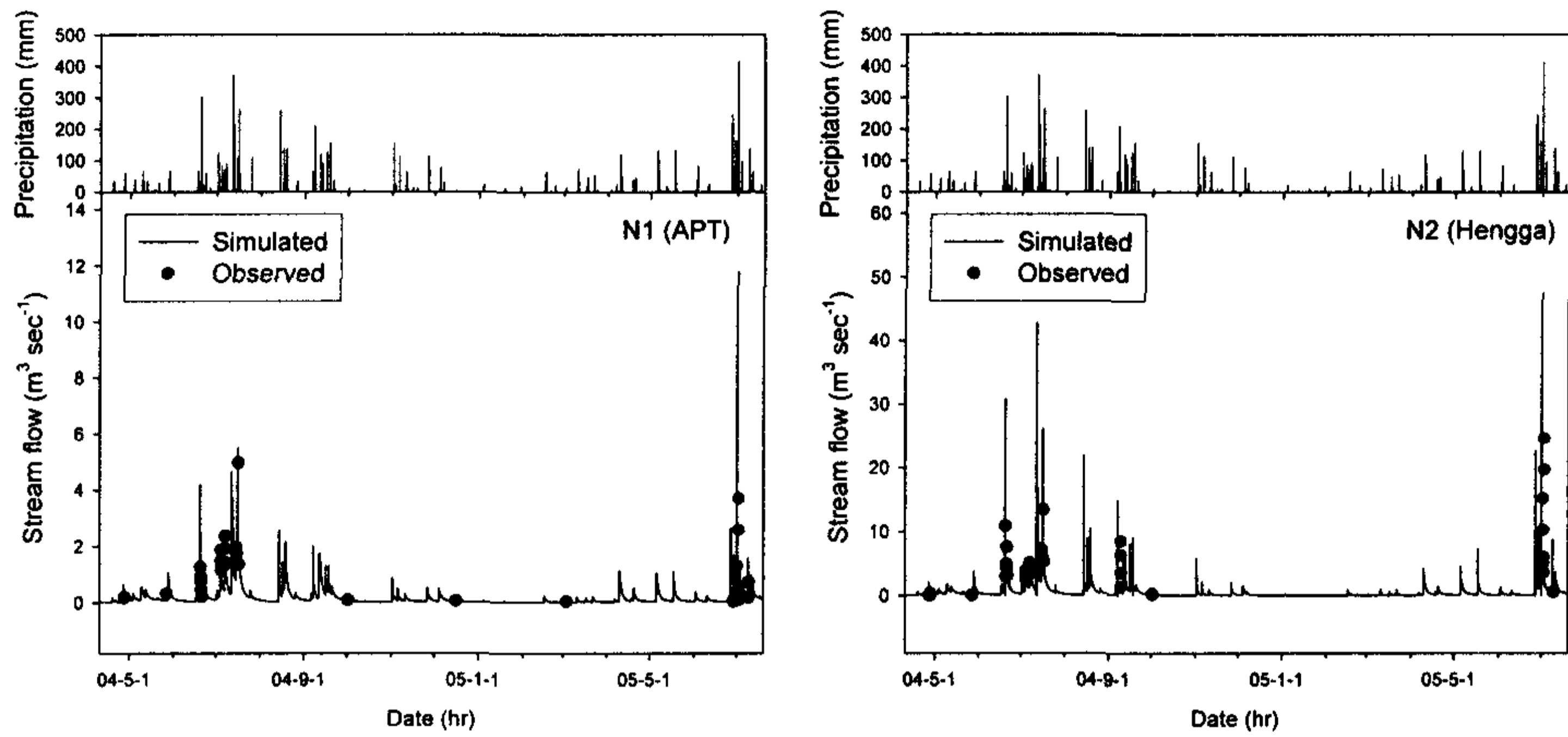


<그림 5-11> IRC, LZET-P, LSZN 그리고 BASET-P 보정인자의 민감도 분석

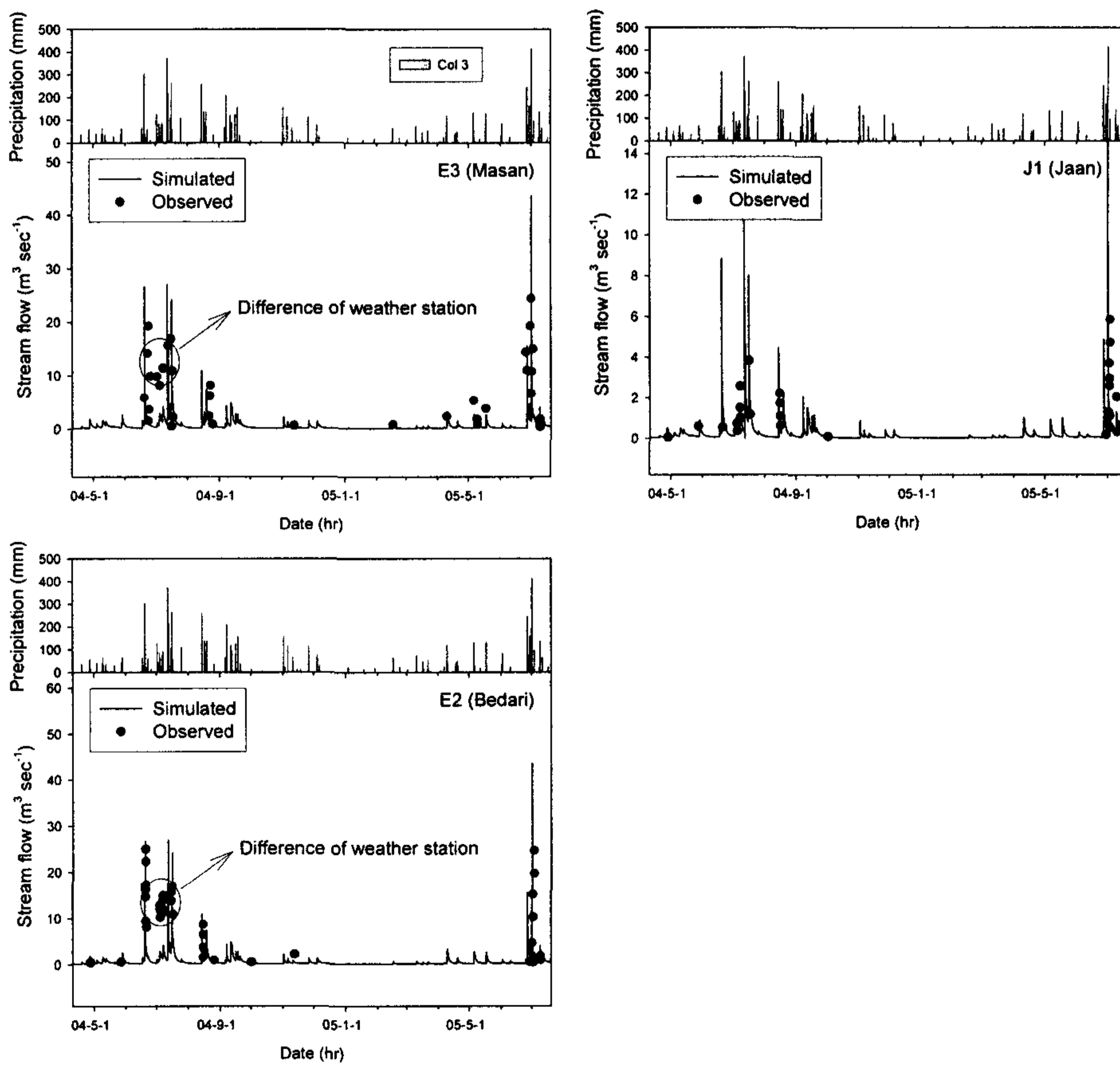
## 2. HSPF모형의 유량 보정

구축한 모형과 실측한 유량 데이터를 이용하여 유량을 보정하였으며 그 결과는 <그림 5-12> - <그림 5-13>과 같다. <그림 5-12>는 N1지점인 아파트 측정지점과 N2지점인 행가교 지점의 유출량을 시간별로 모의한 결과이다. 시간별 변화는 유역환경연구실에서 실측한 지점이다. 모의 결과와 실측결과가 어느 정도 일치함을 나타내고 있다.

<그림 5-13>는 J1 자안교 지점, E2 배다리교 지점, E3 마산교 지점의 시간별 유출량 모의 결과이다. 그림과 같이 실측한 자료와 예측한 자료가 어느 정도 일치함을 보이고 있다. 하지만, M2와 M3 지점에서 강우가 발생하여 유출이 일어나기는 하였지만 유출량이 낮은 수준을 보인시기가 있었다. 이유는 화성유역에서 발생하는 강우량을 이용하여 모형을 구동한 것이 아니고, 수원기상대의 강우량 자료를 이용하여 모의하였기 때문에, 지역적인 차이에 의한 차이가 반영된 것이라 판단된다.

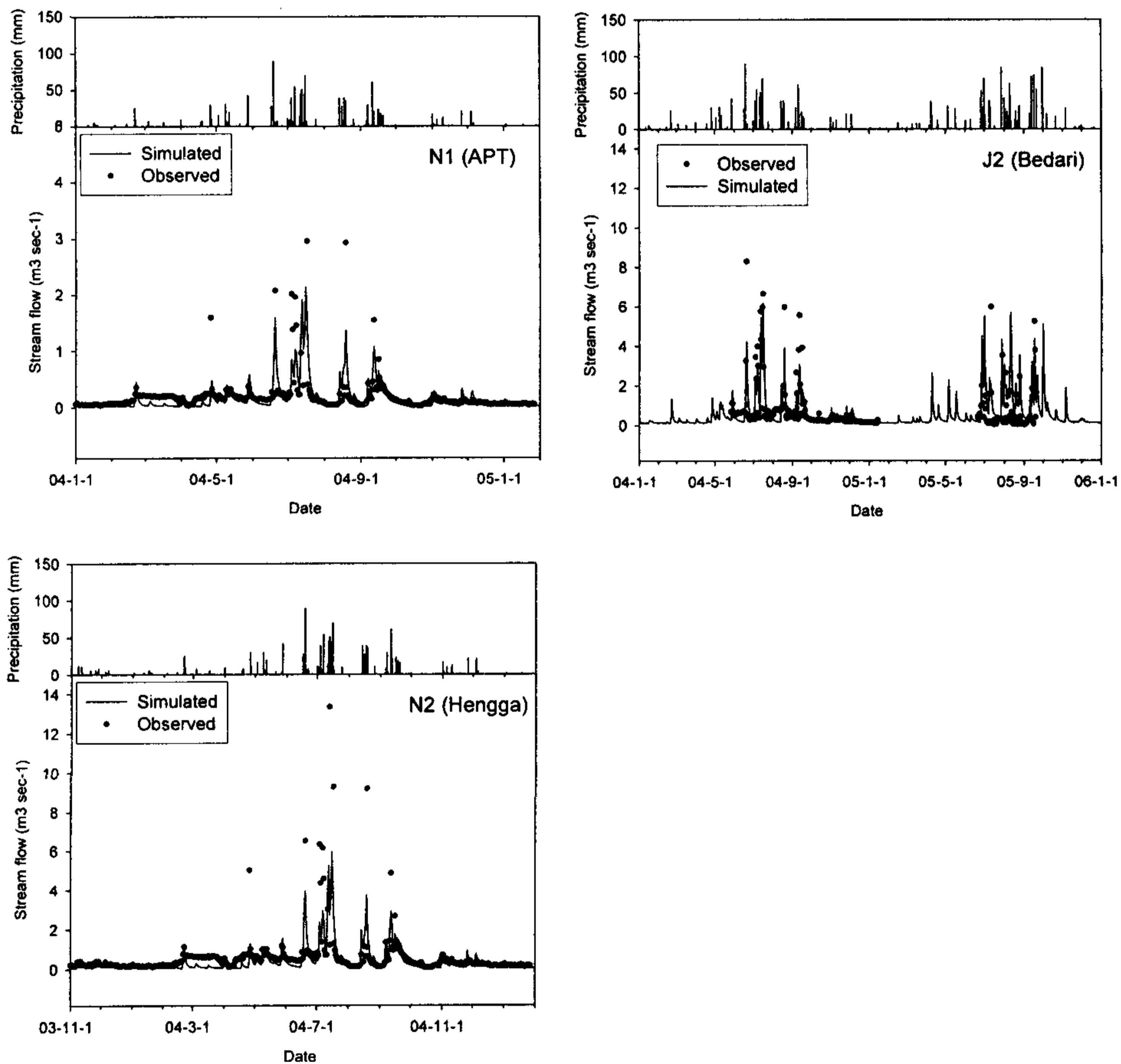


<그림 5-12> N1과 N2 지점의 hourly 모의 결과



<그림 5-13> E2, E3, 그리고 J1 지점의 hourly 모의 결과

<그림 5-14>은 N1, N2, 그리고 J2 지점의 일별 유출량의 모의 결과를 나타내고 있다. 실측된 유출량은 <그림 3-8>에서 실측된 수위-유량곡선을 이용하여 압력식 수위계로부터 얻은 압력식 수위자료를 이용하여 산정하였다. 모의 결과, 실측유량과 예측 유량이 다소 맞지 않은 경향을 보이는데, hourly 모의결과와 유사하게 강우량 자료를 사용한 곳의 위치가 수원기상대이기 때문에 일부 다르게 나타났지만, 어느 정도 실측값을 반영하고 있는 것으로 나타났다. 특히 N2지점의 경우는 <그림 3-4>와 같이 일정한 기간에 하천정비공사와 물을 막아 농업용수로 이용하는 등, 적은 유량을 갖는 하천특성에도 많은 변수를 갖고 있기 때문에, 강우에 의한 정상상태만을 모의하는 HSPF모형과 모의 결과가 다르게 나타난 것으로 판단된다.



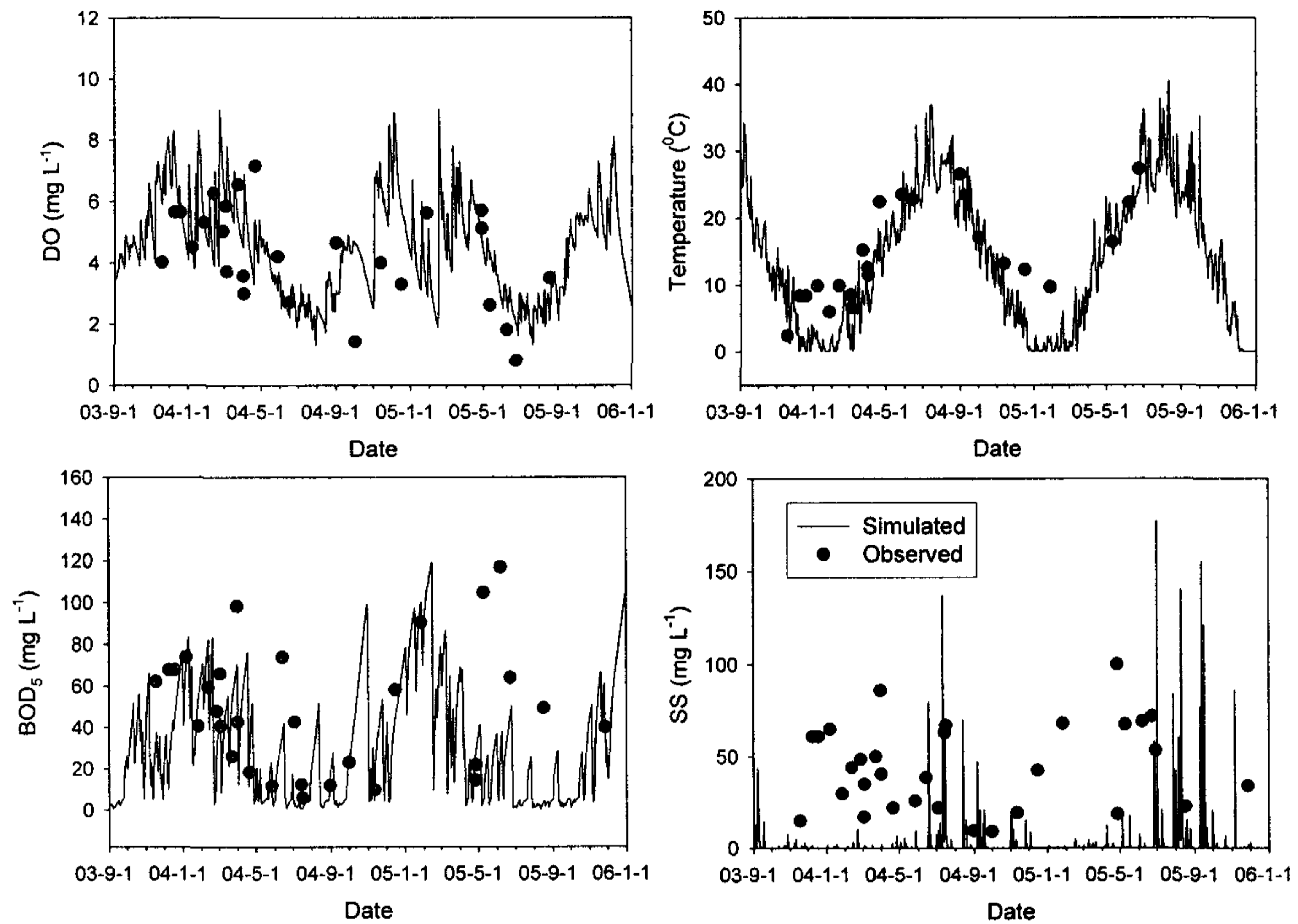
<그림 5-14> N1, N2, 그리고 J2 지점의 daily 유출량 보정 결과

### 3. HSPF 모형의 수질의 검·보정 결과

수질 검·보정은 온도, DO, BOD<sub>5</sub>, T-N, T-P, NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P의 항목에 대해서 실시하였으며 <그림5-15> - <그림 5-38>과 같다.

#### 가. N1(아파트 측정지점)

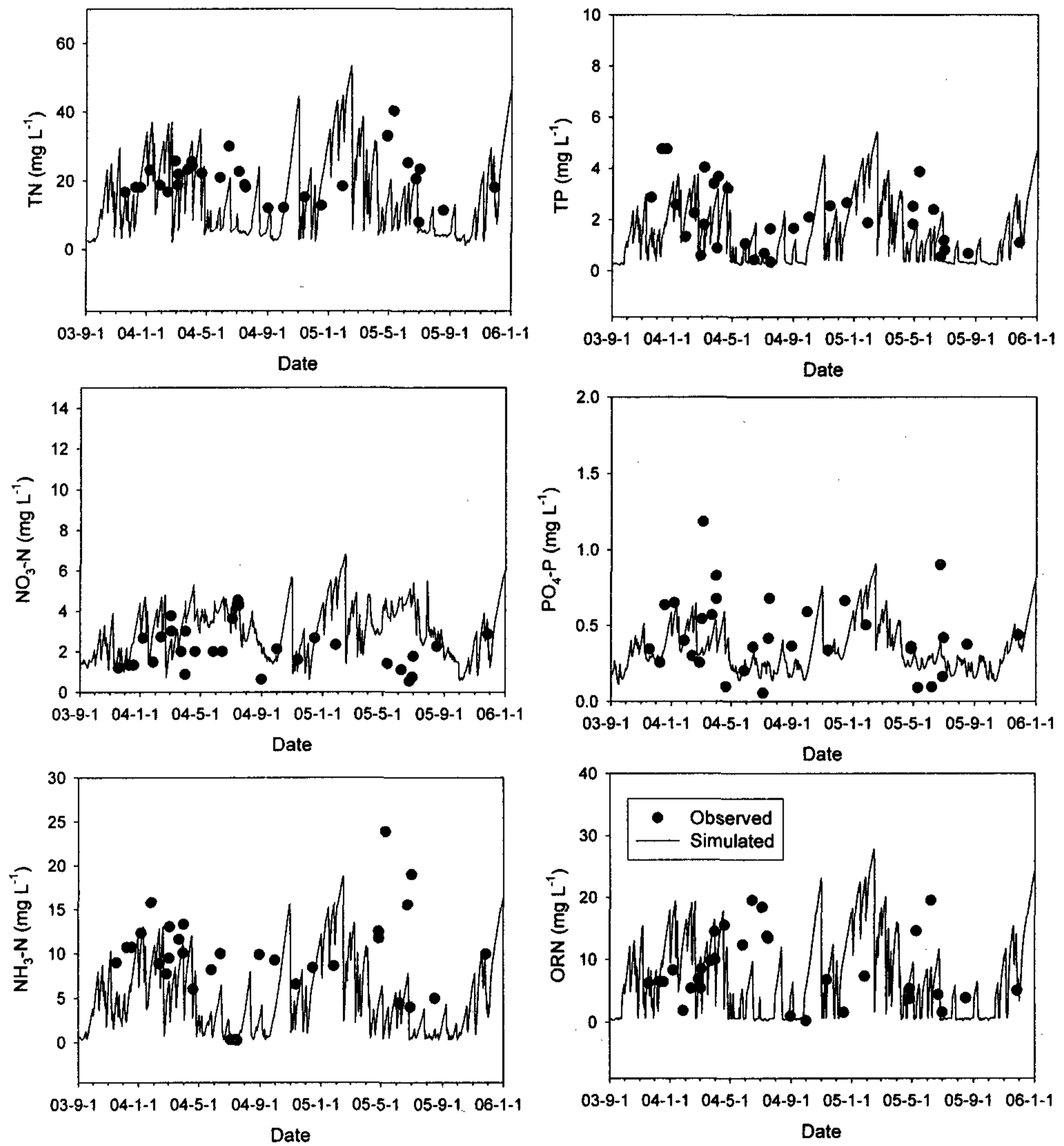
아파트 측정지점은 남양천 본류와 합류하기 직전의 소하천으로 유량은 많지 않으나, 남양동의 인구와 상업밀집지역을 지나면서 많은 양의 오염물질이 유입되어 수질이 악화된 지역적인 특징을 갖고 있다. 이 지역은 처리되지 않은 정화조 오수가 각종 상가의 오수들이 직접하천으로 유입되는 지역으로 하천의 유량이 적은 유입되는 오염부하량이 많기 때문에 화성유역에서 가장 수질이 악화된 측정지점이다. <그림 5-15>는 아파트 측정지점의 DO, BOD<sub>5</sub>, SS의 측정값을 나타낸 그래프이다. 아파트 지점의 악화된 하천에서의 DO는 매우 낮은 수준이었으며, BOD<sub>5</sub>의 경우에도 높은 경우 100이상을 보이는 하천으로서 매우 오염된 수준이었다. 하지만, BOD<sub>5</sub>의 전체적인 변화패턴을 적절하게 반영하고 있는 것으로 나타났으며, 온도 또한 적절하게 모의되었다. SS의 경우에는 강우시 유역으로부터 유입되는 시기에 SS가 급격하게 증가하는 경향을 보였으나 평상시에 측정자료와는 많은 차이를 보였다. 이는 SS에 대한 검·보정이 이루어지지 않았기 때문이다.



<그림 5-15> N1(아파트 지점)의 DO, 온도, BOD<sub>5</sub>, SS의 모의 결과

<그림 5-16>은 영양물질의 검·보정 결과이다. 영양물질의 경우 T-N과 T-P의 경우 전체적인 수질 변화 패턴을 적절하게 반영하는 것으로 의되었으며, 질소의 경우 질산화 과정에 있는 유기질소(Org-N), NH<sub>3</sub>-N, 그리고 NO<sub>3</sub>-N과 인의 PO<sub>4</sub>-P의 경우도 하천의 수질경향을 적절하게 반영하고 있는 것으로 나타났다.

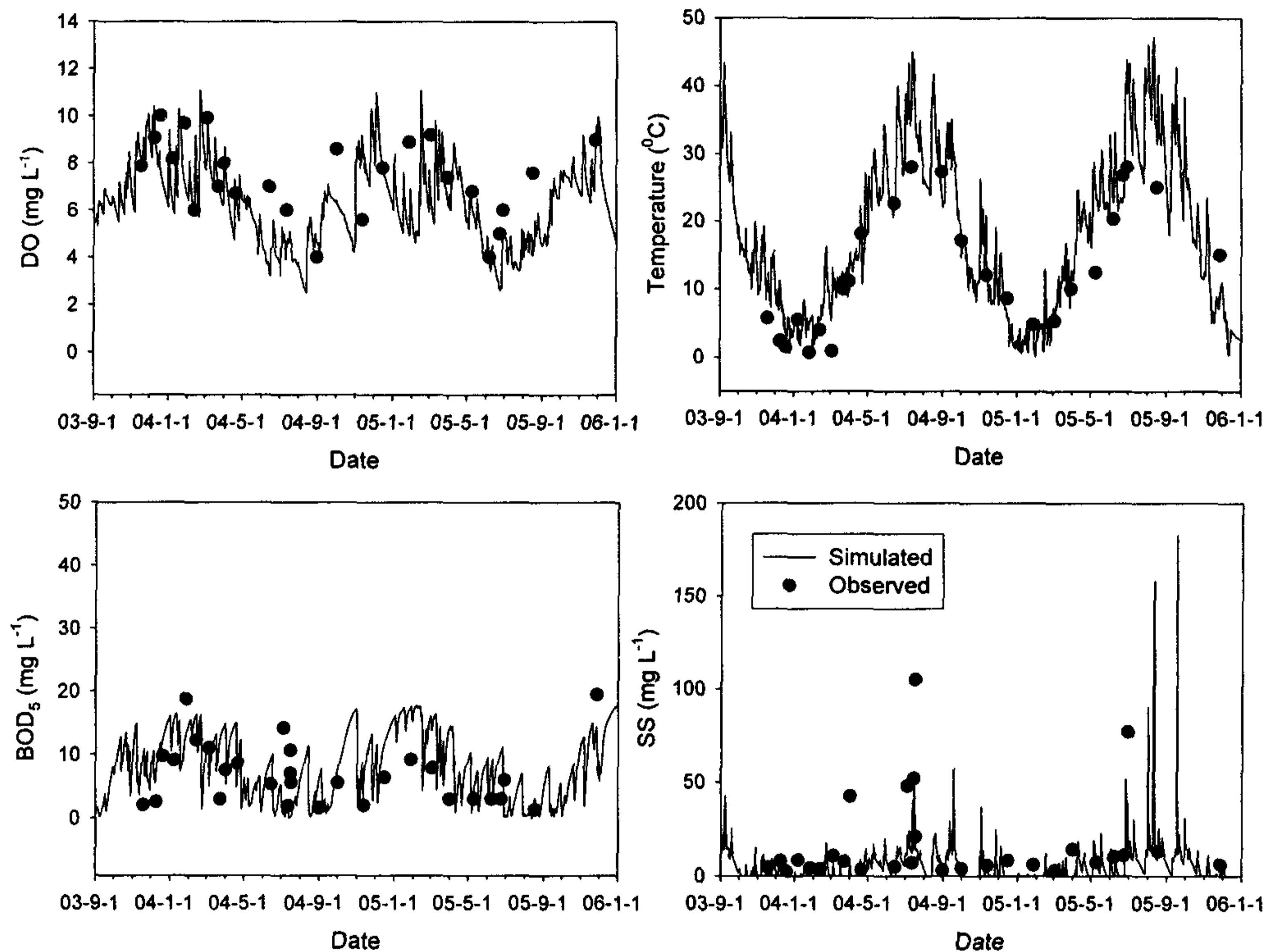




<그림 5-16> N1(아파트 지점)의 영양물질 모의결과

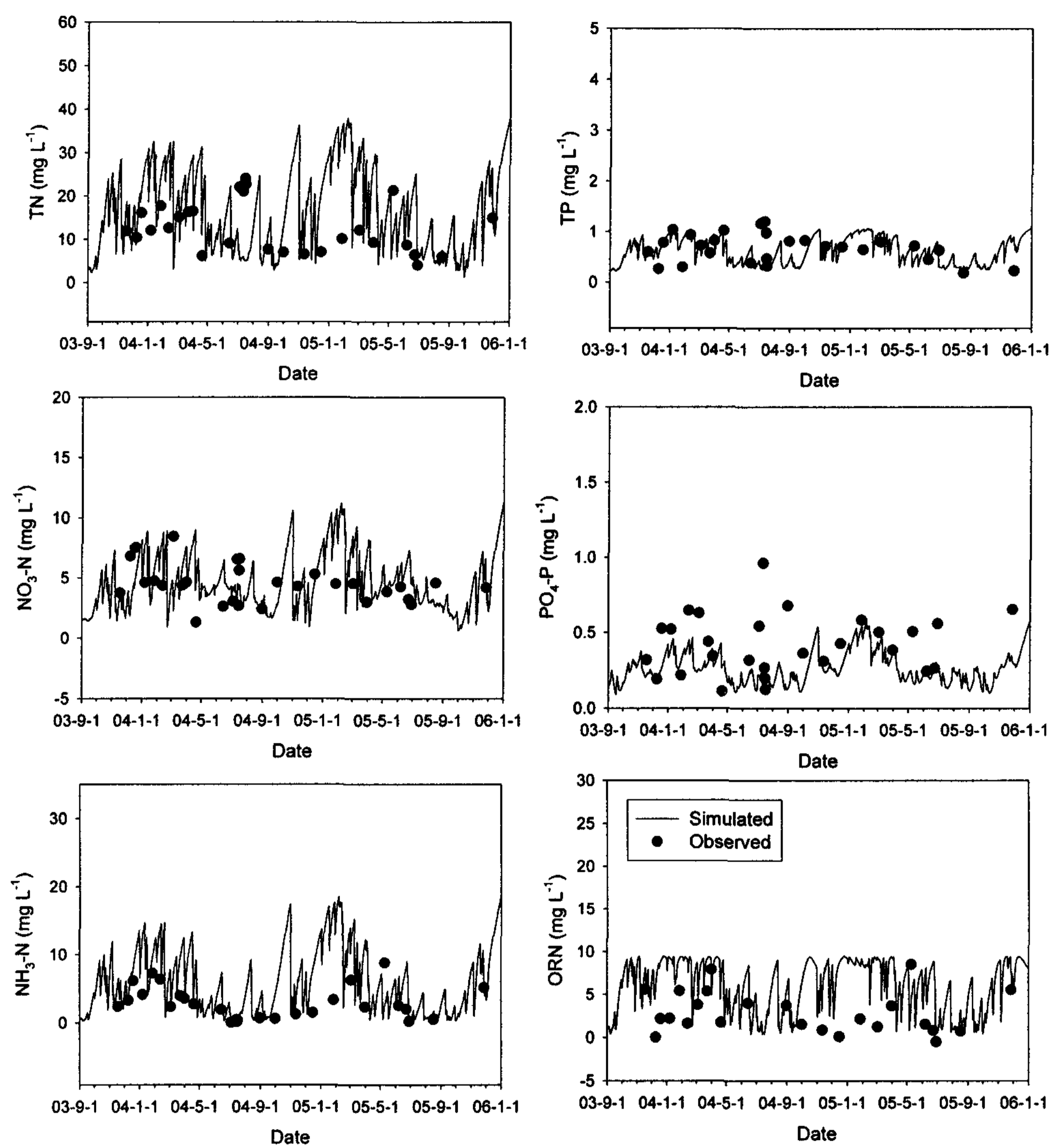
나. N2(행가교) 측정 지점

행가교 지점은 남양천의 본류하천에 있는 측정지점으로 남양동의 시가지에 끝에 위치하고 있는 지점으로 아파트 측정지점보다는 덜 오염되었으나 다른 측정지점과 비교하였을 때 상대적으로 수질이 악화된 지점이다. 이는, 적절하게 처리되지 않고 유입되는 생활하수가 주요 오염원인 것으로 판단된다. <그림 5-17>는 행가교의 DO, BOD<sub>5</sub>, 수온, SS의 모의 결과이다.



<그림 5-17> N2(행가교 지점)의 DO, BOD<sub>5</sub>, 수온, SS의 모의 결과

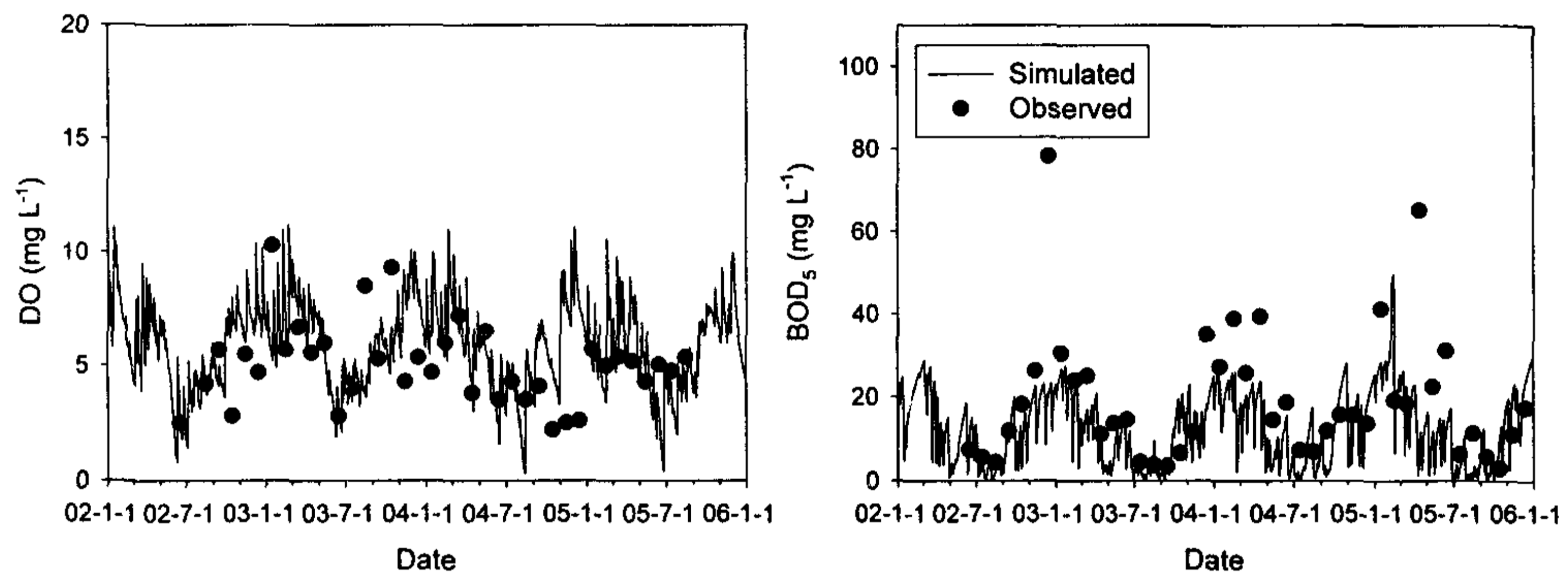
<그림 5-18>은 행가교 지점의 영양물질 모의 결과 이다. 행가교의 경우 질소가 높을 경우에는 40 mg/L 이상을 나타내었으며, 인의 경우는 1 mg/L로 비교적 높은 수준이었다. 영양물질의 형태별로 모의 결과를 보아도 수질의 변화 경향을 적절하게 표현하고 있는 것으로 판단된다.



<그림 5-18> N2(행가교 지점)의 영양물질 모의 결과

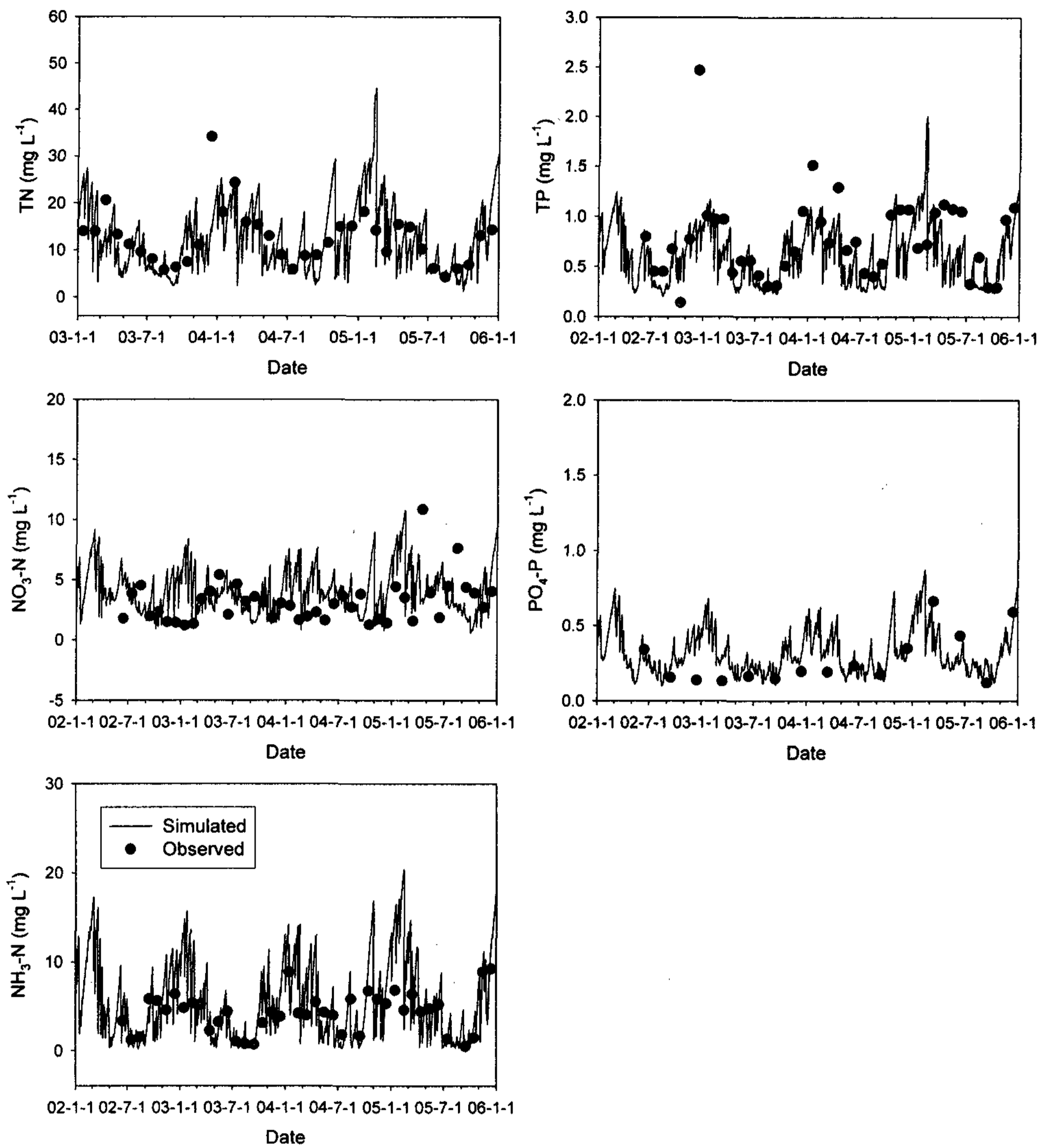
다. N3(쌍송교 지점)의 모의 결과

쌍송교 지점은 N1과 N2지점이 합류한 후 약 2km를 유하하여 내려온 후의 지점으로 주변에 많은 축사가 위치하고 있기 때문에 추가적인 오염이 발생할 가능성이 있는 지역이다. <그림 5-19>는 쌍송교 지점의 DO와 BOD<sub>5</sub>의 모의 결과를 나타내고 있다. 측정지점의 DO의 변화 경향은 계절적인 변화를 잘 반영하고 있는 것으로 모의되었으며, BOD<sub>5</sub>의 경우도 실측값의 농도변화를 적절하게 반영하고 있는 것으로 나타났다. 본 측정지점은 환경부 유역환경청에서 측정하는 지점으로 온도를 측정하지 않는 지역이기 때문에 모의 결과를 나타내지 않았다.



<그림 5-19> N3(쌍송교 지점)의 DO와 BOD<sub>5</sub>의 모의 결과

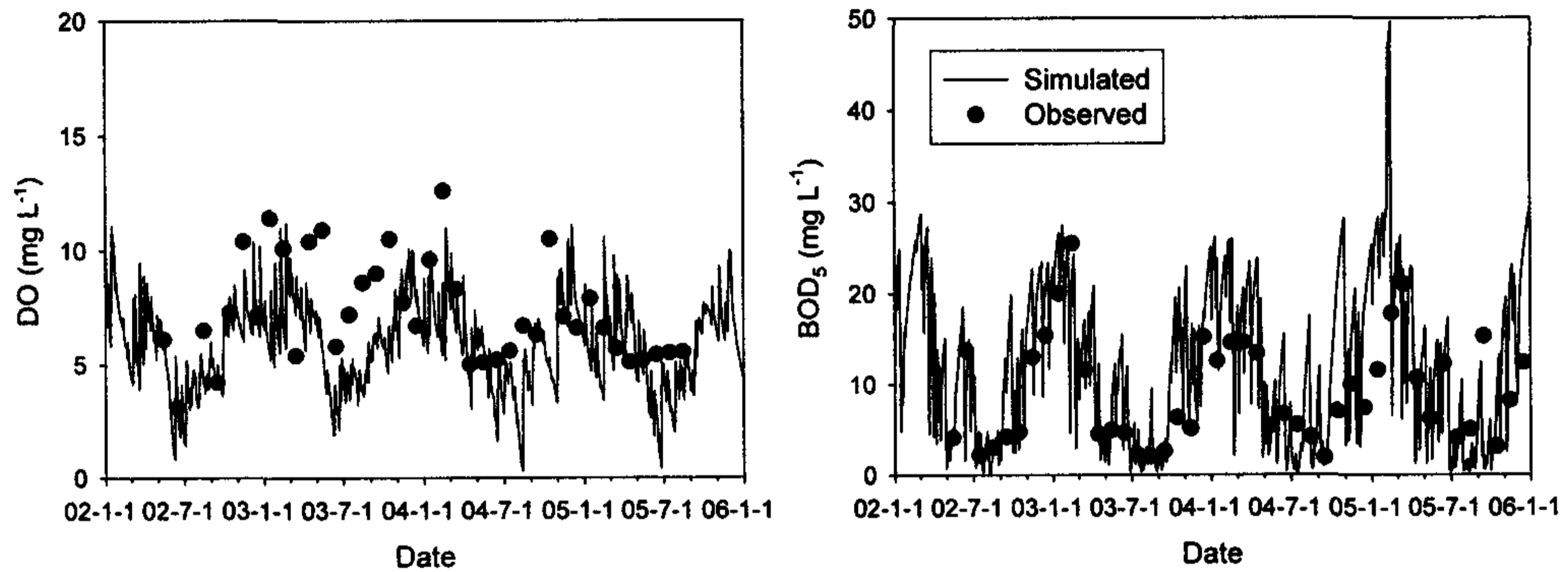
<그림 5-20>은 영양물질 모의 결과를 나타낸 그래프이다. 4년간의 실측자료를 이용하여 모의한 결과 실측값을 모의값이 잘 반영하고 있는 것으로 나타났다.



<그림 5-20> N3(쌍송교 지점)의 영양물질 모의 결과

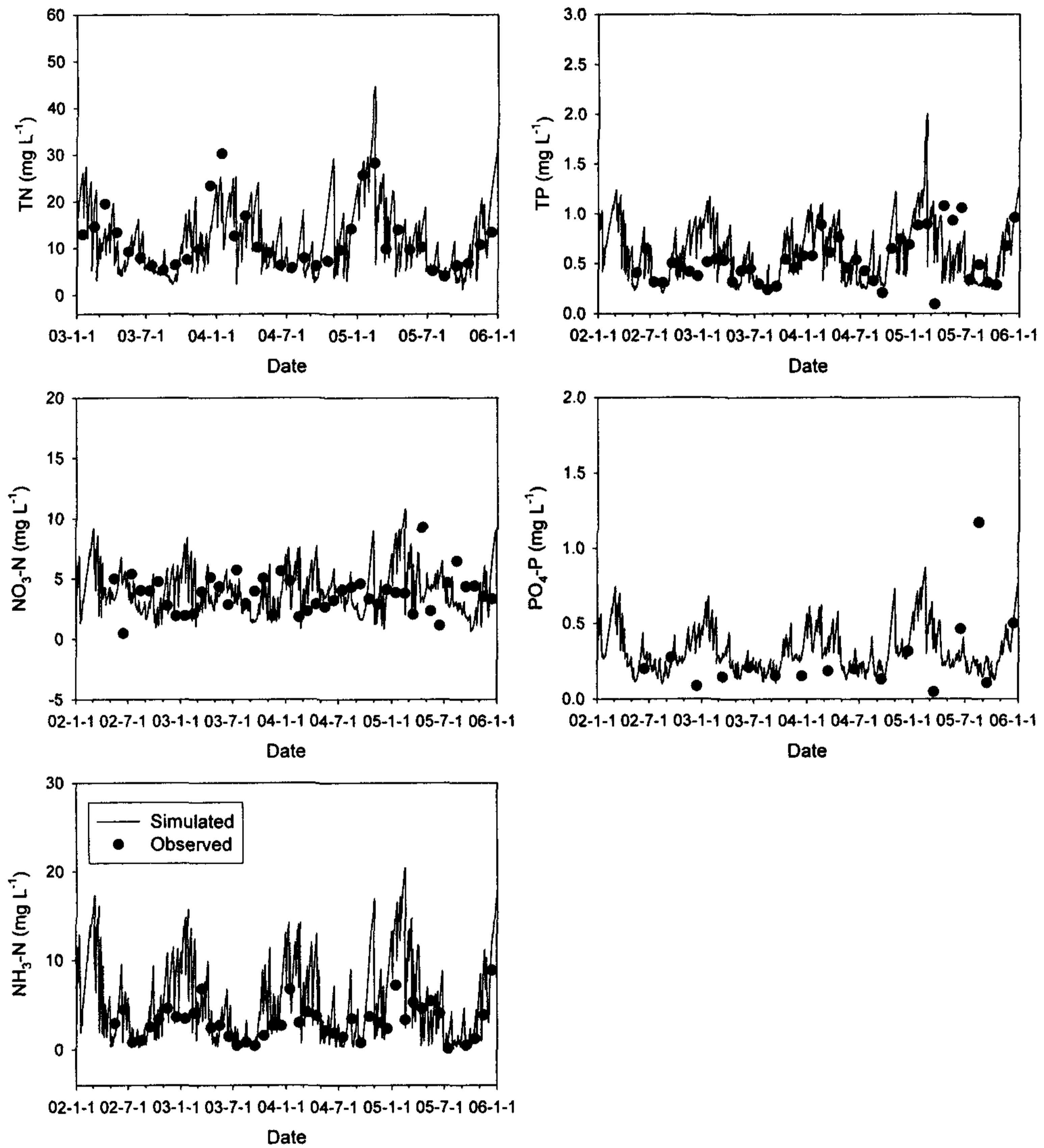
라. N4(남양천말단 지점)의 모의 결과

남양 말단 지점은 남양천과 신남천이 합류하여 화성호로 유입되기 전에 측정된 지점이다. 남양천으로 합류되는 신남천은 주거지역과 주요 오염원이 축산이 공존하고 있는 지역으로 남양천과 유사한 수준의 수질을 나타내고 있다. DO의 경우 실측값보다 모의 값이 약간 높은 경향을 나타내나 BOD5의 경우에는 모의값이 실측값을 적절하게 반영하고 있는 것으로 나타났다 <그림 5-21>.



<그림 5-21> N4(남양천말단 지점)의 DO와 BOD<sub>5</sub>의 모의 결과

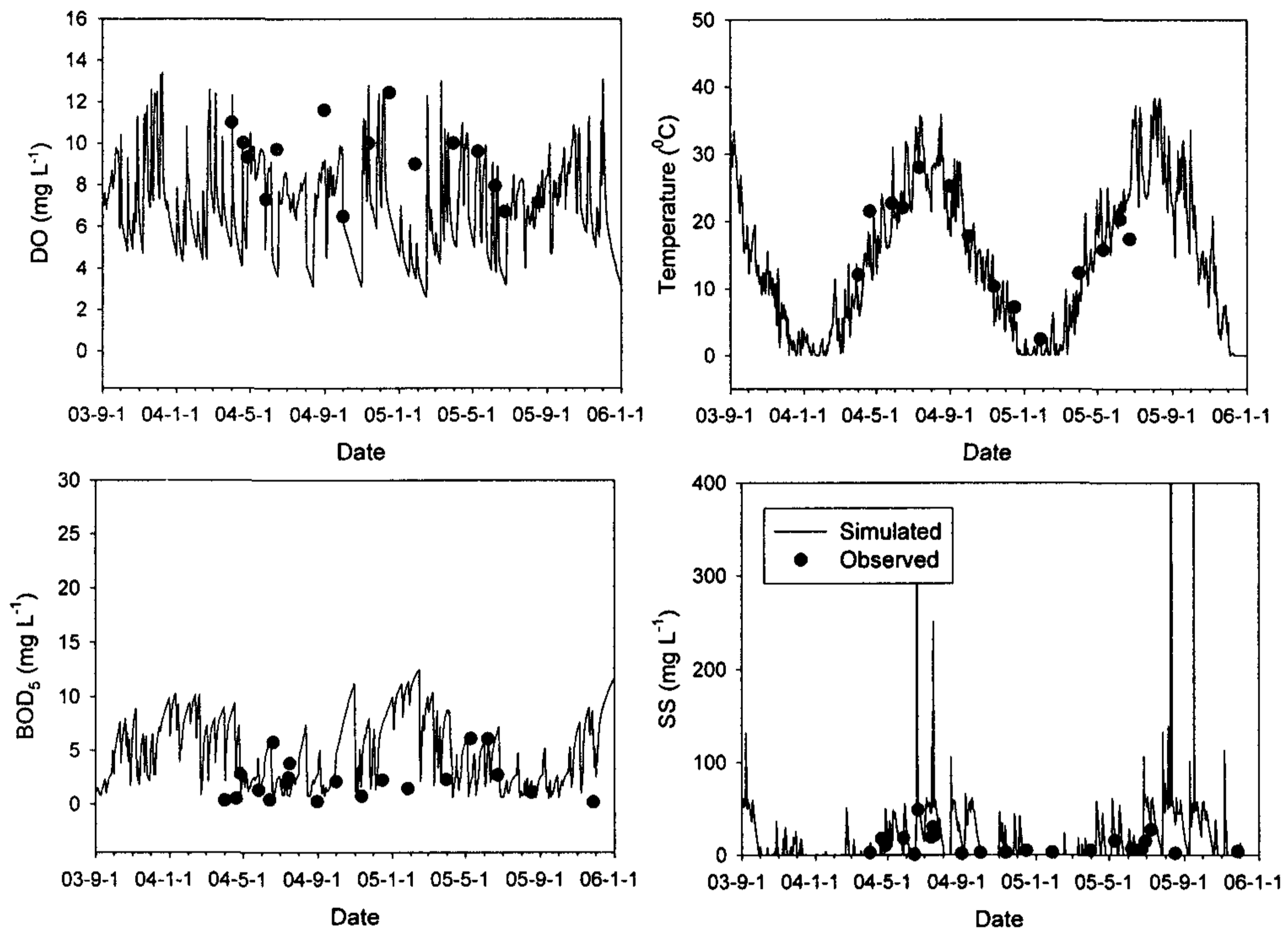
남양천말단 지점은 남양천 중류인 쌍송교 지점보다 영양물질의 농도가 높아진 것을 볼 수 있다 <그림 5-22>. 이는 하천의 자정작용보다 외부에서 유입되는 유입부하가 크기 때문인 것으로 판단된다. 남양천은 화성호로 유입되는 3개의 큰 하천중 가장 오염도가 심한 하천으로 화성담수호의 수질 관리에 필수적으로 관리해야 하는 하천으로 판단된다.



<그림 5-22> N4(남양천말단 지점)의 영양물질 모의 결과

마. J1(자안교 지점)의 모의 결과

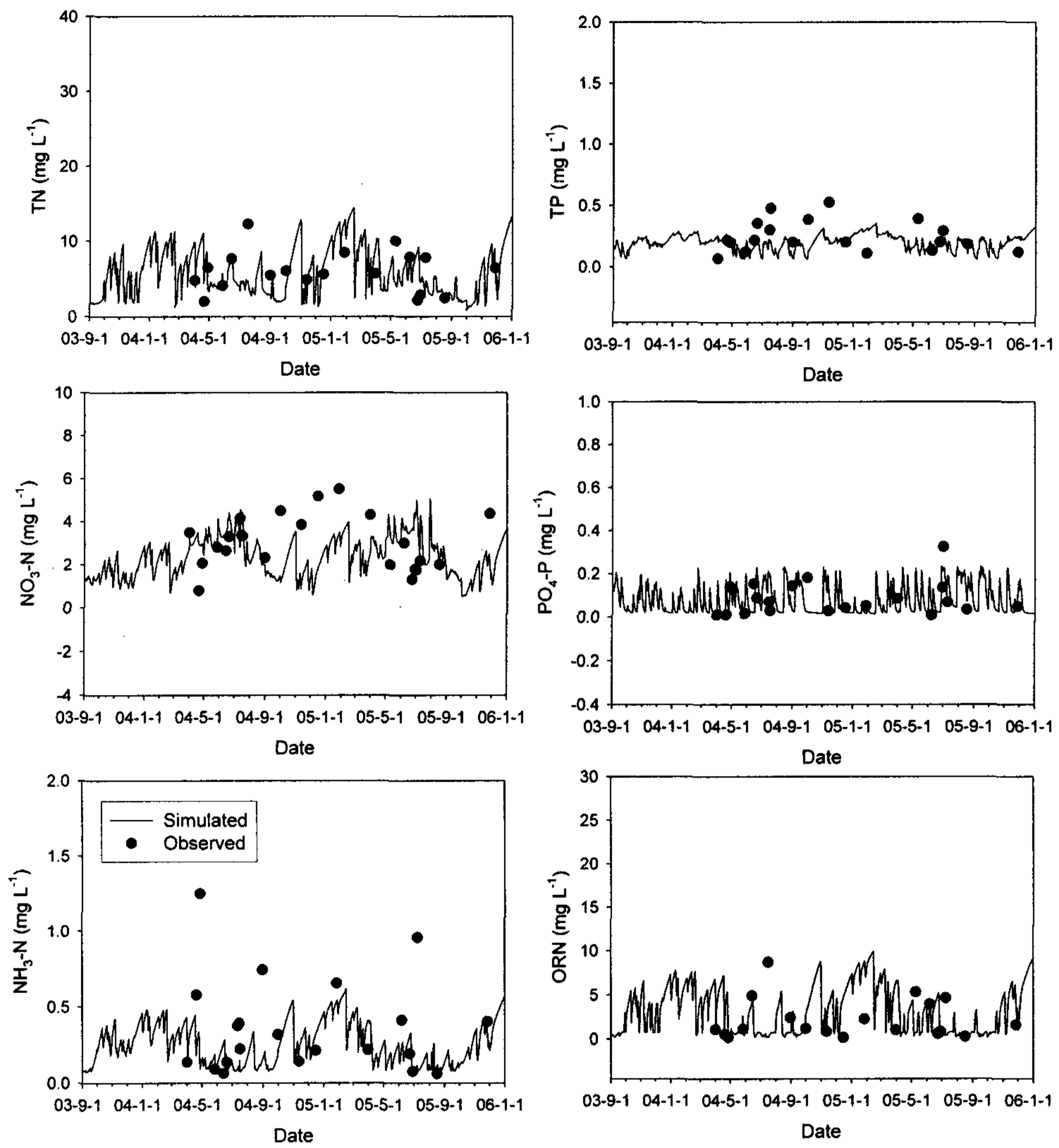
자안교 지점은 자안천의 최상류부에 위치하고 있는 지역으로 상류유역은 대부분의 토지이용이 산림과 논으로 이루어져 있기 때문에 오염이 많이 진행되지 않은 특징을 갖고 있는 지점이다. <그림 5-23>은 자안교 지점의 모의 결과 실측값을 잘 반영하고 있는 것으로 나타났다.



<그림 5-23> J1(자안교 지점)의 DO, BOD<sub>5</sub>, 수온, 그리고 SS 모의 결과

자안교 지점은 비교적 깨끗한 수질을 나타내고 있으며, 총질소와 총인 뿐만 아니라 형태별 상태로 비교적 유사하게 모의된 것으로 판단된다. HSPF 모형은 하천의 수질이 매우 좋지 않은 N1(아파트 지점)에도 적용이 가능하며 비교적 수질이 양호한 J1(자안교 지점)에도 적용가능성이 큰 것으로 나타났다.

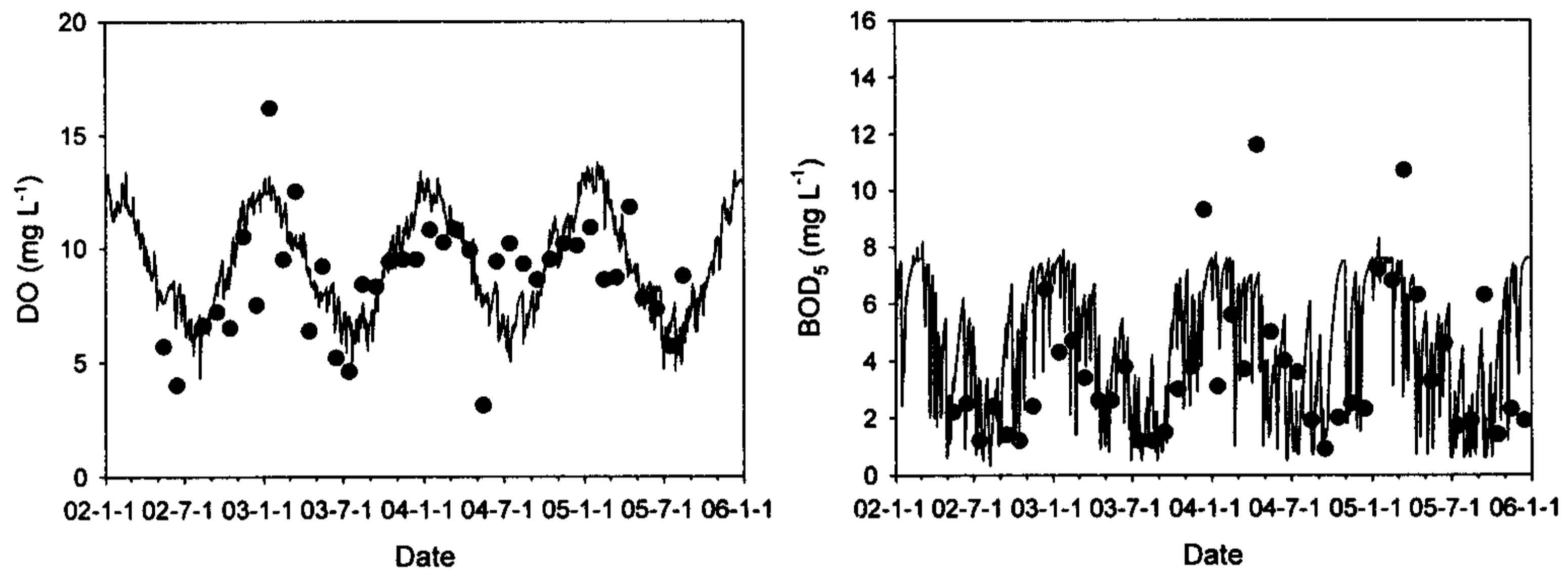




<그림 5-24> J1(자안교 지점)의 영양물질 모의 결과

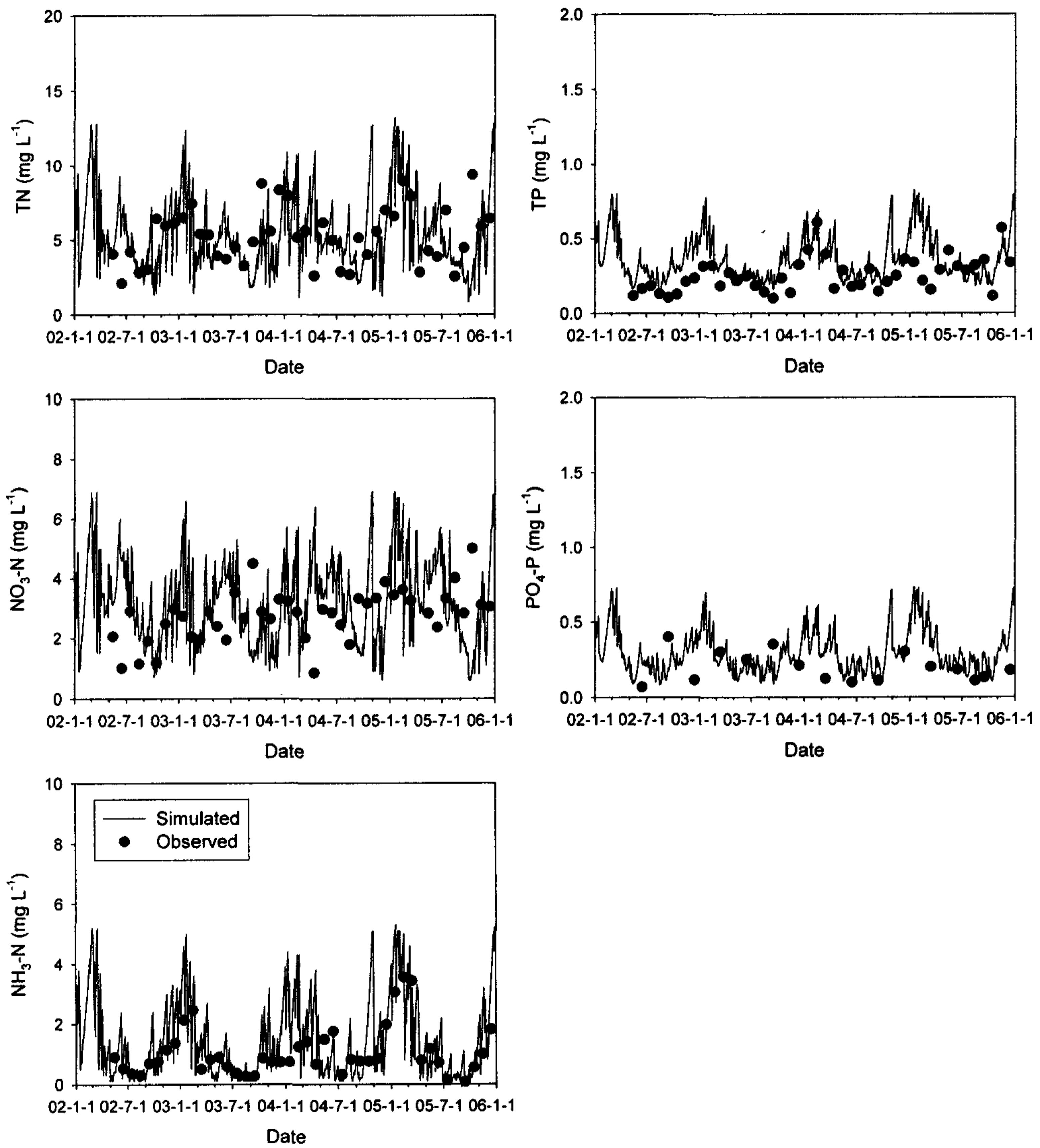
바. J2(온석교 지점)의 모의 결과

온석교 지점은 상류에서 발원한 물이 내려오다가 동방저수지로 일정 부분 흘러 들어가서 농업용수로 사용된다. 이때 동방저수지에서 하천으로 다시 방류하는 방류구 바로 아래에 있는 지점이다. <그림 5-25>는 DO와 BOD<sub>5</sub>의 모의 결과를 나타내는 그래프로, 온석교 지점의 경우 일부 튀는 값을 나타내기는 하지만, 수질의 변화 패턴을 적절하게 표현하고 있는 것으로 판단된다.



<그림 5-25> J2(온석교 지점)의 DO와 BOD<sub>5</sub>의 모의 결과

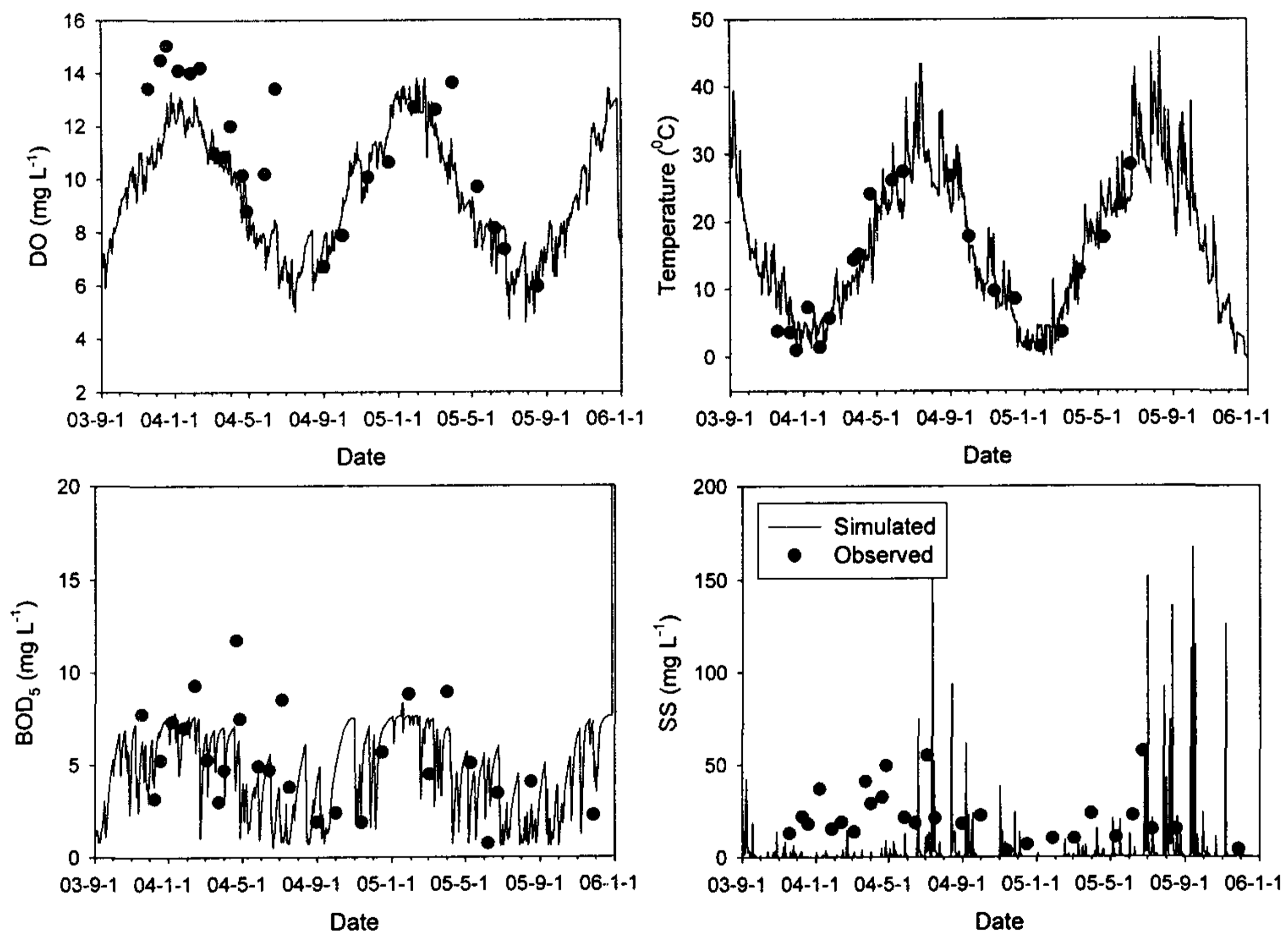
온석교 지점의 영양물질의 모의 결과는 <그림 5-26>이다. 모의 결과 지점의 수질 특성을 질소와 인의 형태별로 잘 반영하고 있는 것으로 판단된다.



<그림 5-26> J2(온석교 지점)의 영양물질 모의 결과

사. J3(노하교 지점)의 모의 결과

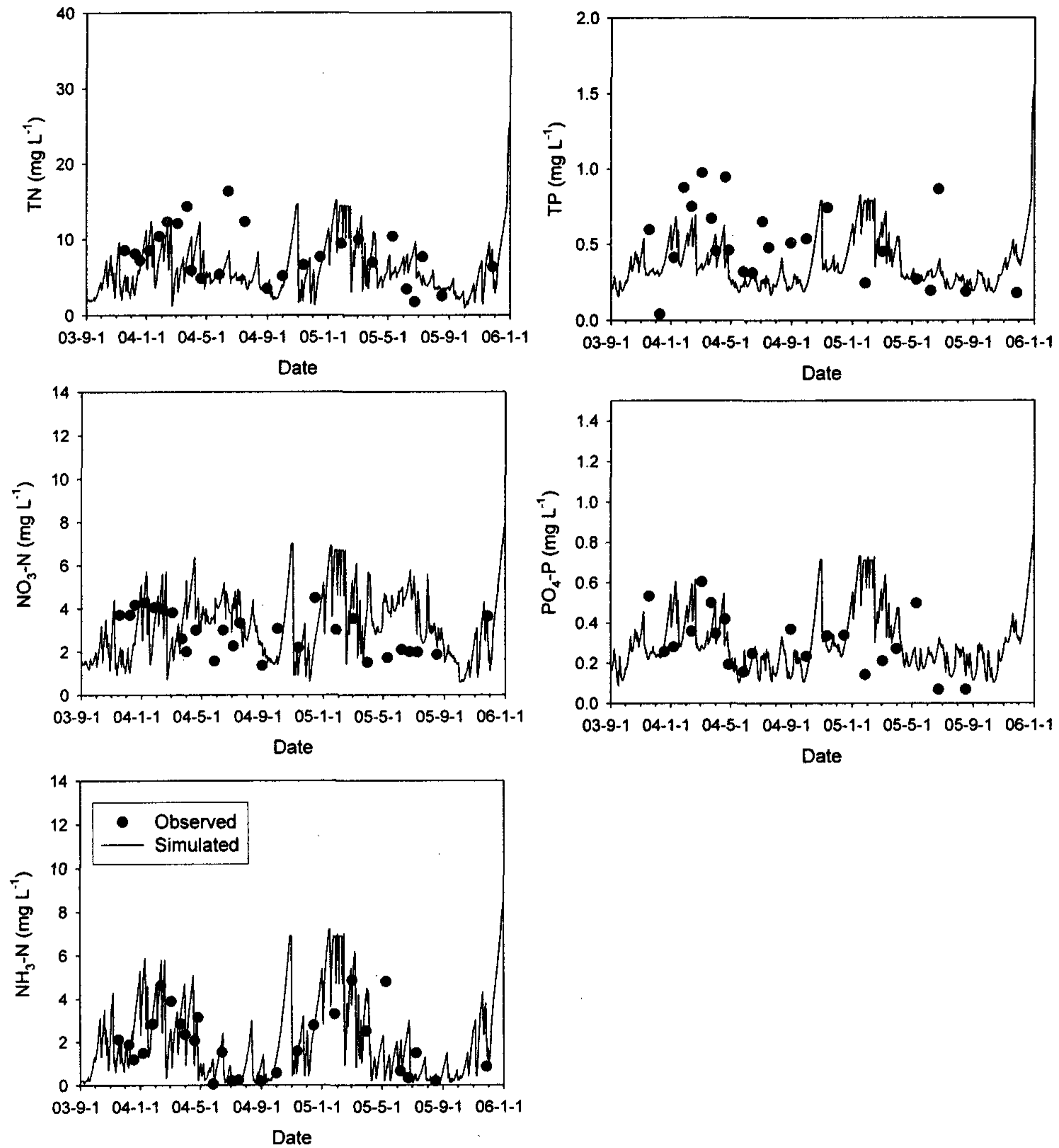
노하교 지점은 화성시에 위치한 현대자동차 연구소가 시작되기 직전에 있는 지점으로 주변의 토지이용은 대부분이 논으로 이루어져 있는 지점이다. <그림 5-27>은 DO, BOD<sub>5</sub>, 수온, 그리고 SS 모의 결과를 나타내는 그래프이다. DO의 경우 2003년도 후반부터 2004년도 초기에 높은 DO 농도를 나타내었는데, 이는 하천정비를 위해서 하천에 공사가 이루어지면서 물리적인 많은 양의 오염물질들이 하천으로 유입되고 상대적으로 유속은 느리기 때문에 조류가 발생하여 낮에 광합성을 통한 산소공급이 이루어 졌기 때문이다. 마찬가지로 BOD<sub>5</sub>의 경우 2004년 5-6월중에 높은 실측농도를 나타냈는데 하천정비의 영향으로 오염물질이 유입되었기 때문이다. 수온과 SS는 비교적 실측값을 잘 반영하고 있는 것으로 나타났다.



<그림 5-27> J3(노하교 지점)의 DO, BOD<sub>5</sub>, 수온, 그리고 SS 모의 결과

노하교 지점은 수질도 하천정비 공사의 영향으로 비슷한 시기에 높은

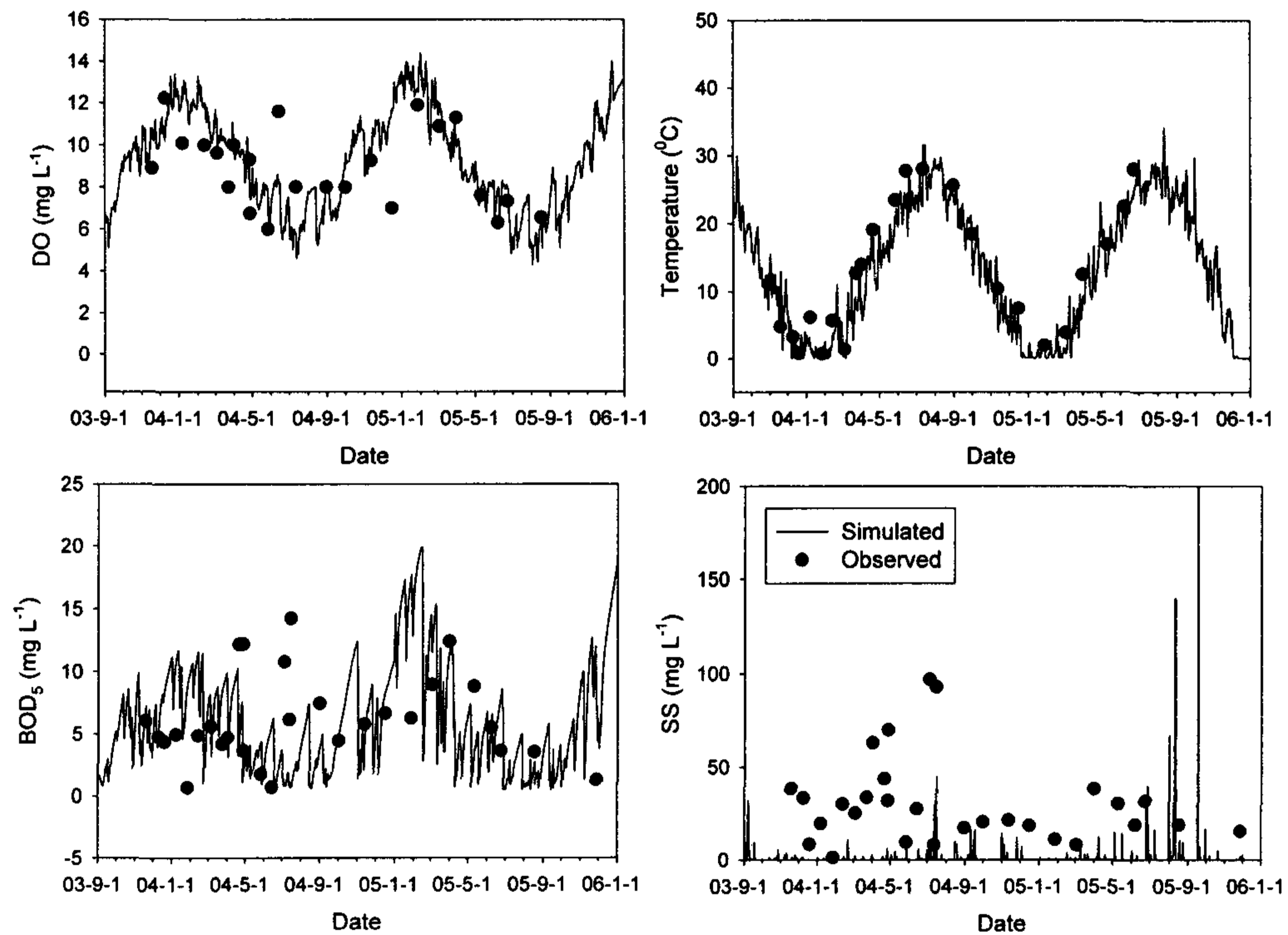
수준이었으나 전체적인 실측값을 모의값이 잘 반영하고 있는 것으로 나타났으며 <그림 5-28>와 같다.



<그림 5-28> J3(노하교 지점)의 영양물질 모의 결과

아. J4(석포교 지점)의 모의 결과

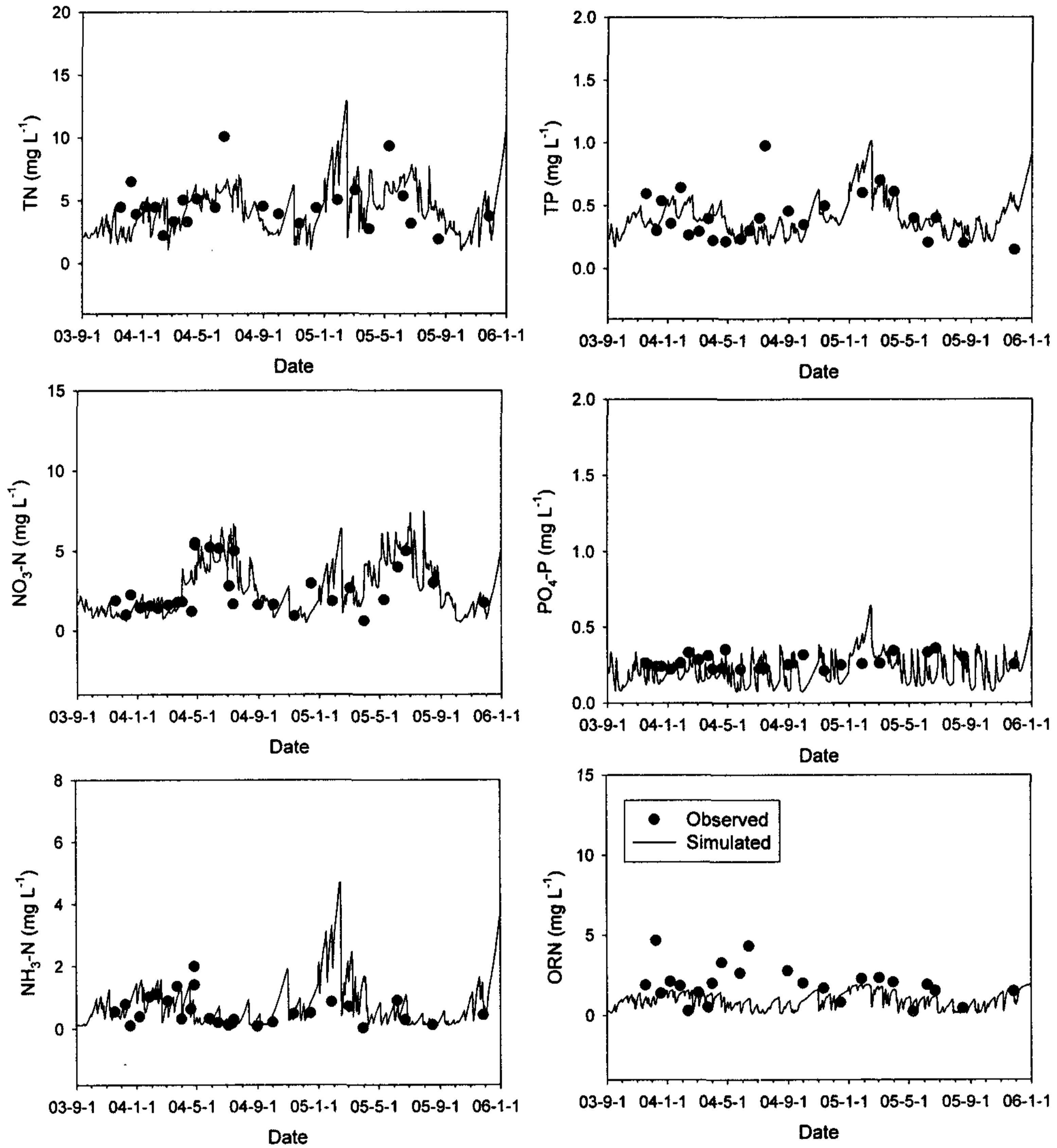
석포교 지점의 수원은 상류에 위치한 동방저수지에 영향을 받는 지점이다. 따라서 동방저수지의 수질에 가장 많은 영향을 받는 지점이며, 또한 농업수로 이용하기 위해 석포교 아래에 모래로 임시 보를 만들어 물을 저류하고 있기 때문에 조류가 발생하여 수질에 영향을 주는 지점이다. <그림 5-29> J4(석포교 지점)의 DO, BOD<sub>5</sub>, 수온, 그리고 SS 모의 결과를 나타내고 있다. 석포교 지점은 조류가 발생하여 DO가 다른 지역보다 높은 특징을 갖고 있으며, 다른 수질은 비교적 실측값을 잘 반영하고 있는 것으로 나타났다.



<그림 5-29> J4(석포교 지점)의 DO, BOD<sub>5</sub>, 수온, 그리고 SS 모의 결과

석포교 지점의 영양물질 수질 특성을 잘 반영하고 있는 것으로 나타났다. <그림 5-30>은 영양물질의 모의 결과를 보여 주고 있다. 영양물질의 경우 뚜렷한 오염원이 없는 특징을 갖고 있지만, 하천수질이 비교적 악화된 상태

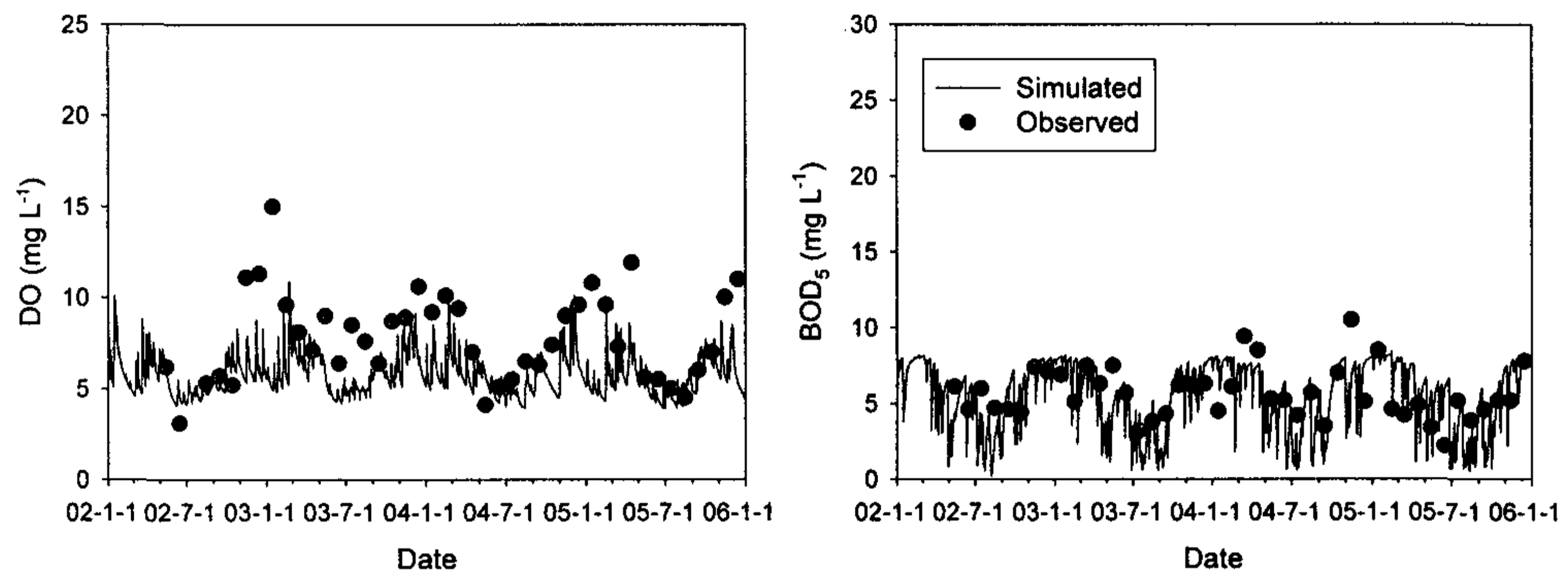
를 나타내는데 이는 동방저수지의 수질과 하천 내에 보의 역할로 인한 내부생산에 의한 영향으로 판단된다.



<그림 5-30> J4(석포교 지점)의 영양물질 모의 결과

자. E1(어은천 상류)지점의 모의 결과

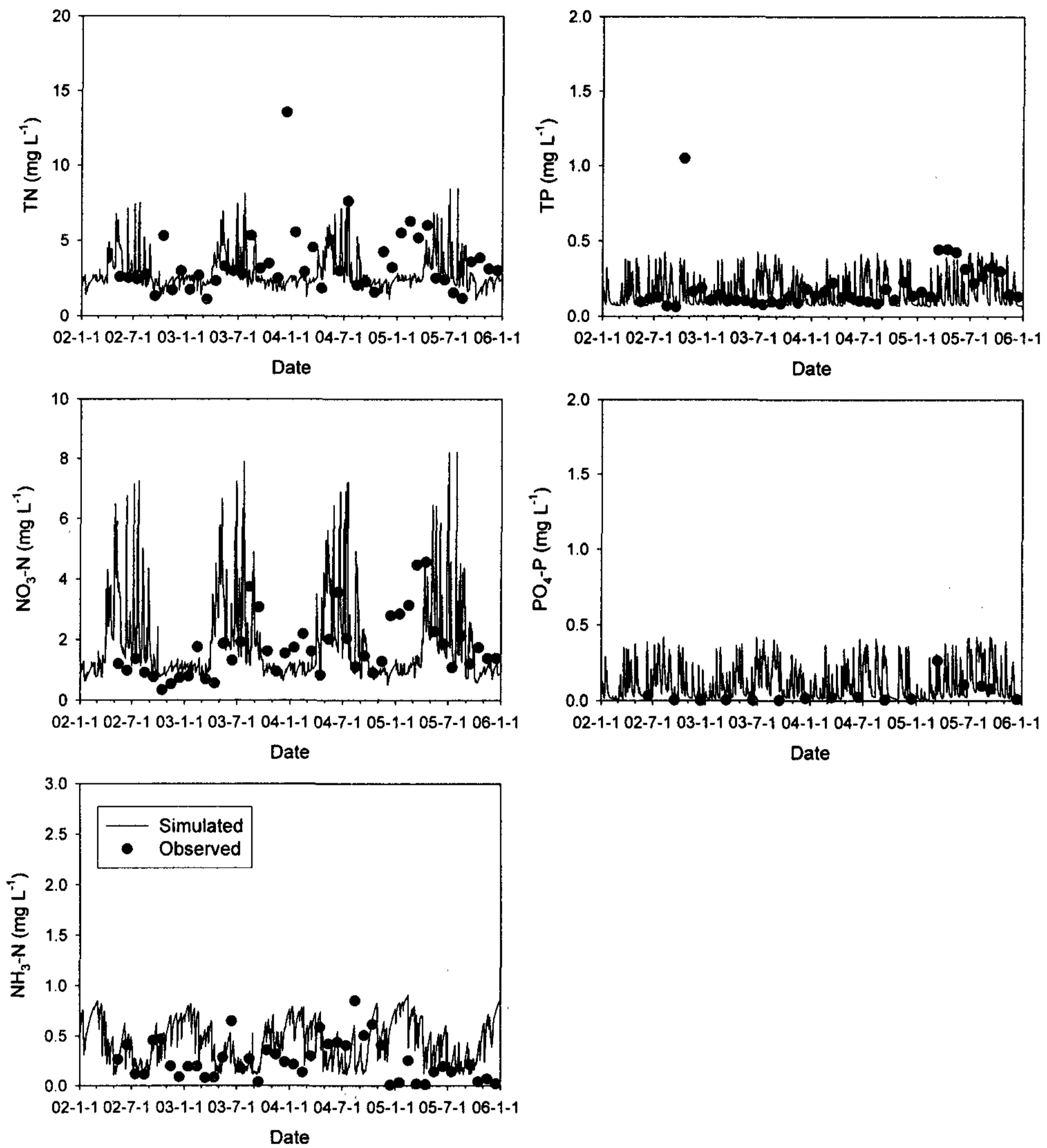
어은천 상류지점은 먹우지에서 발원한 물이 흘러가는 하천인 어은천의 상류지점이다. 본 지점 상류의 토지이용은 대부분이 산림과 논이 점유하고 있으며, 비교적 수질이 양호한 지점이다. <그림 5-30>은 측정지점의 DO와 BOD<sub>5</sub>의 실측값과 모의값을 나타낸 그래프이다. 실측값을 잘 반영하고 있는 것으로 나타났으며, BOD<sub>5</sub>의 농도는 10 mg/L이하를 나타내고 있다.



<그림 5-30> E1(어은천 상류)의 DO와 BOD<sub>5</sub>의 모의 결과

어은천 상류지점의 영양물질 모의 결과는 <그림 5-31>와 같다. 비교적 실측값을 잘 반영하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 생활계나 축산과 같은 직접적인 오염원이 적기 때문에 NH<sub>3</sub>-N의 농도가 다른 하천에 비해 낮은 수준이었다.

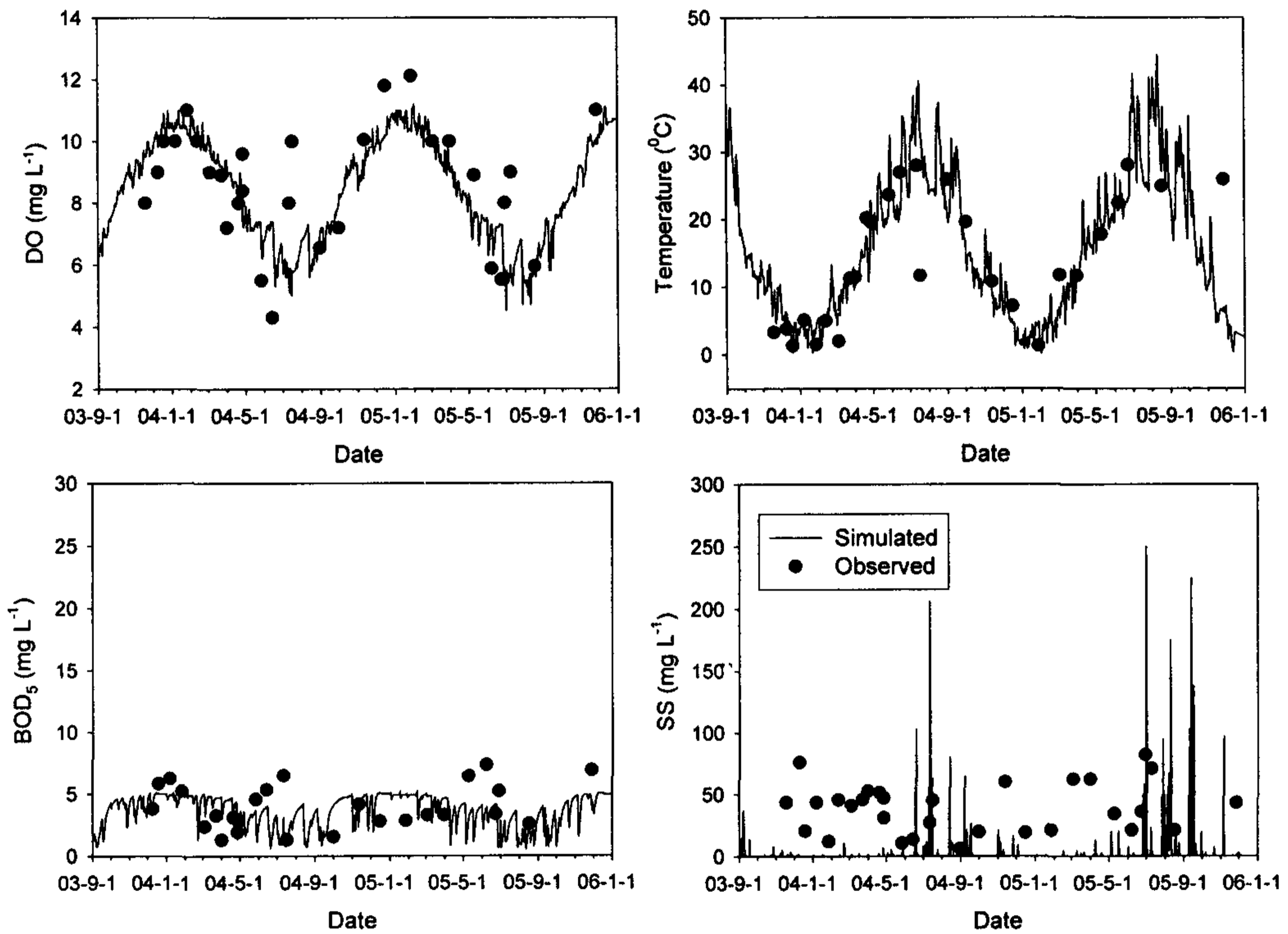




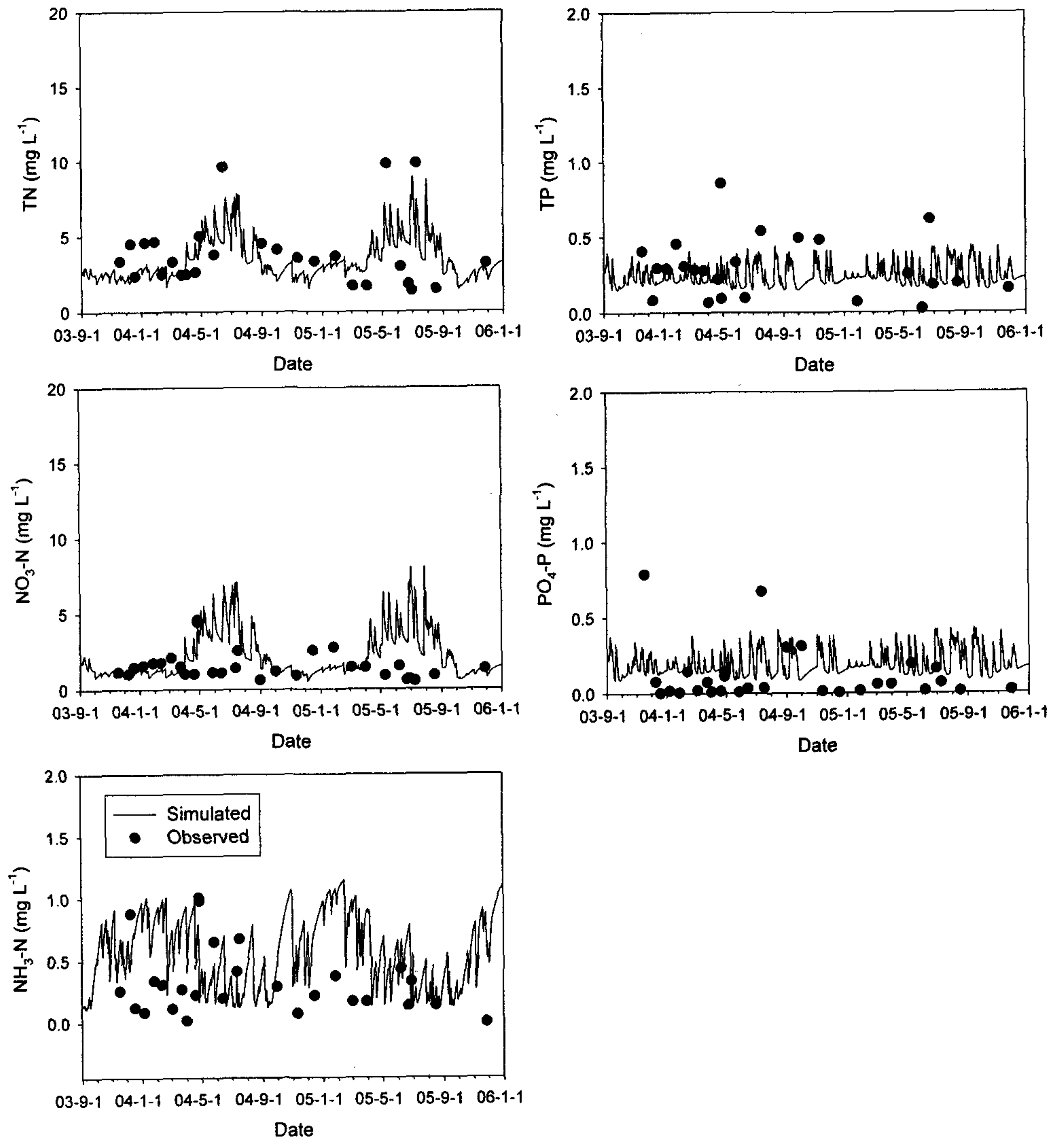
<그림 5-31> E1(어은천 상류)의 영양물질 모의 결과

차. E2(배다리교 지점)의 모의 결과

배다리교 지점은 어은천 상류에서 발원한 물이 흐르는 주 하천에 위치한 지점으로 조암리를 통과한 수로와 만나기 직전의 하천으로 비교적 양호한 수질을 나타내는 지점이다. <그림 5-32>은 배다리교의 DO, BOD<sub>5</sub>, 수온, 그리고 SS 모의 결과를 나타내고 있다. 전반적으로 수질변화 패턴을 잘 표현하는 것으로 나타났다. <그림 5-33>은 배다리교의 영양물질의 모의결과를 나타내고 있으며 수질의 변화패턴을 잘 반영하고 있다.



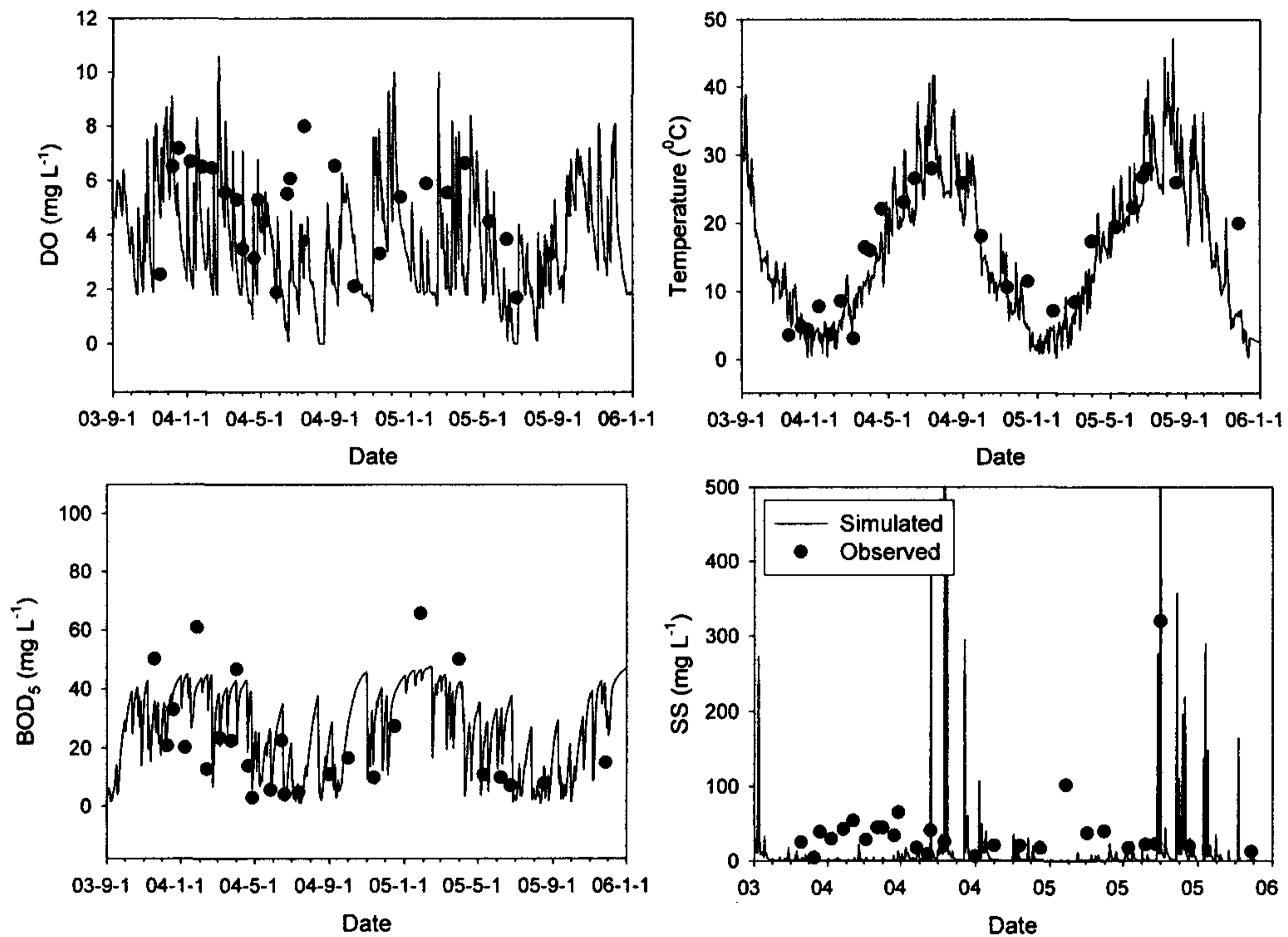
<그림 5-32> E2(배다리교)의 DO, BOD<sub>5</sub>, 수온, 그리고 SS 모의 결과



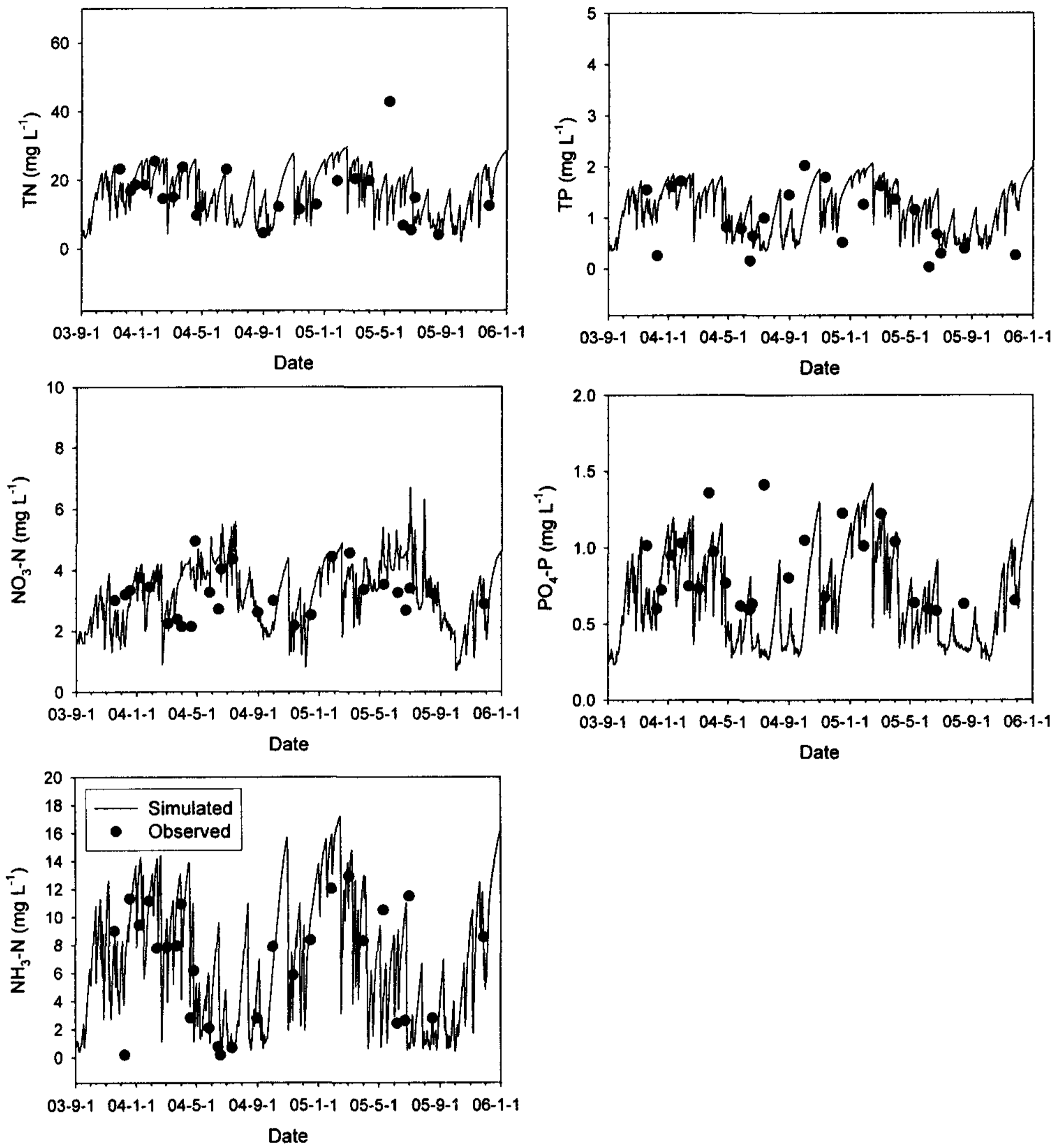
<그림 5-33> E2(배다리교)의 영양물질 모의 결과

카. E3(마산교지점)의 모의 결과

마산교 지점은 조암읍을 통과하면서 많은 양의 오염물질들이 유입되어 하천의 수질이 악화된 지역으로 BOD<sub>5</sub>의 농도가 높을 경우에는 60 mg/L를 나타내는 지역이다. <그림 5-34>는 DO, BOD<sub>5</sub>, 수온, 그리고 SS 모의 결과를 나타내고 있다. <그림 5-35>은 영양물질의 농도변화 패턴을 나타내는 그래프이며 실측값을 잘 표현하는 것으로 나타났다.



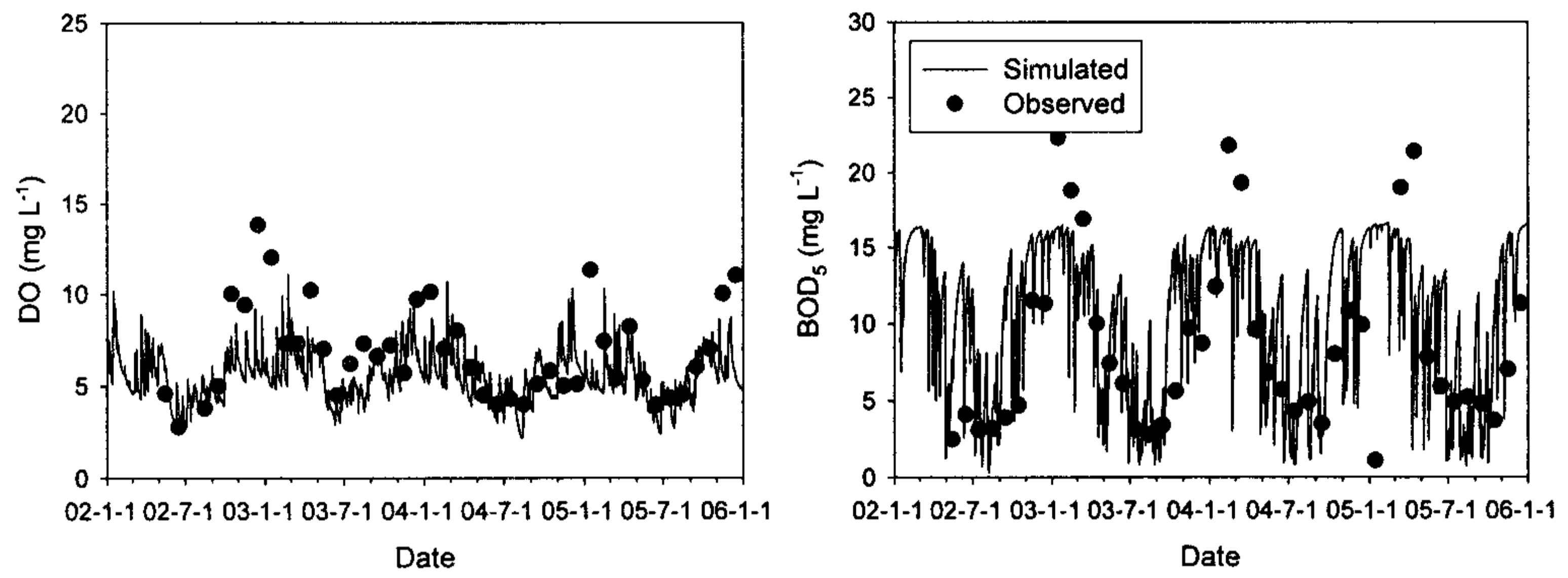
<그림 5-34> E3(마산교 지점)의 DO, BOD<sub>5</sub>, 수온, 그리고 SS 모의 결과



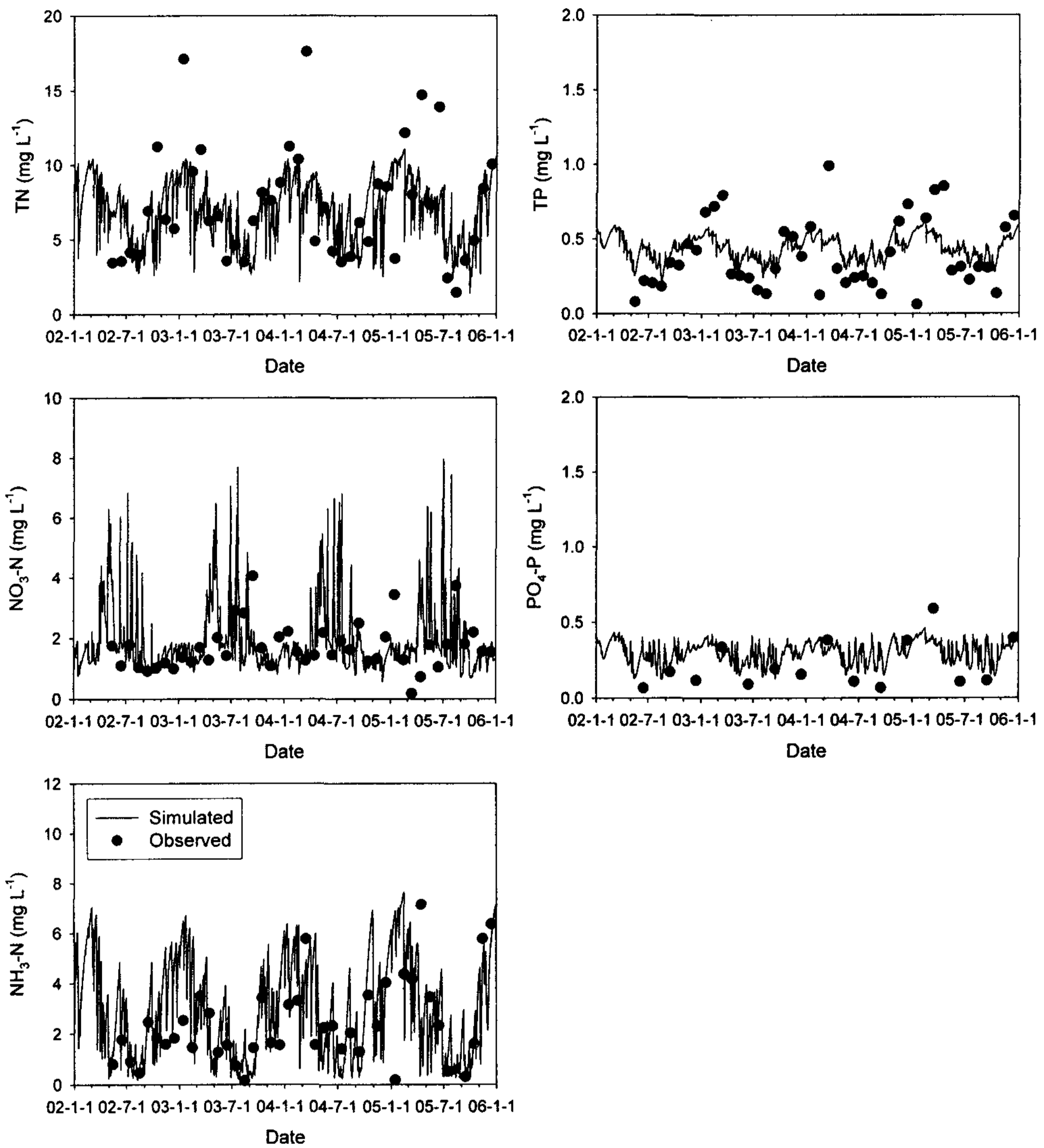
<그림 5-35> E3(마산교 지점)의 영양물질 모의 결과

타. E4(어은천 말단)의 모의 결과

어은천 말단 지점은 배다리교에서 흘러 들어오는 비교적 수질이 양호한 물과 마산교에서 흘러 들어오는 오염이 심각한 물과 합류하여 내려오는 지점이다. <그림 5-36>는 DO와 BOD<sub>5</sub>의 수질을 나타내고 있다. <그림 5-37>는 영양물질의 모의결과를 보여주는 그림이다.



<그림 5-36> E4(어은천 말단)의 영양물질 모의 결과



<그림 5-37> E4(어은천 말단)의 영양물질 모의 결과

#### 4. 부하량 산정

##### 가. 월별 부하량 산정

<그림 5-38>는 화성유역의 큰 3개 하천인 남양천, 자안천, 그리고 어은천의 오염부하량을 월별로 비교한 그림이다. 화성 담수호로 유입되는 오염부하량의 크기는 자안천, 남양천, 어은천 순으로 높은 것으로 나타났다. 하천의 오염은 남양천과 어은천에 비해 자안천이 깨끗한 수준이나, 유역면적이 넓고 담수호로 유입되는 유입량이 많기 때문에 자안천이 가장 많은 양을 담수호로 배출 시키는 것으로 나타났다.

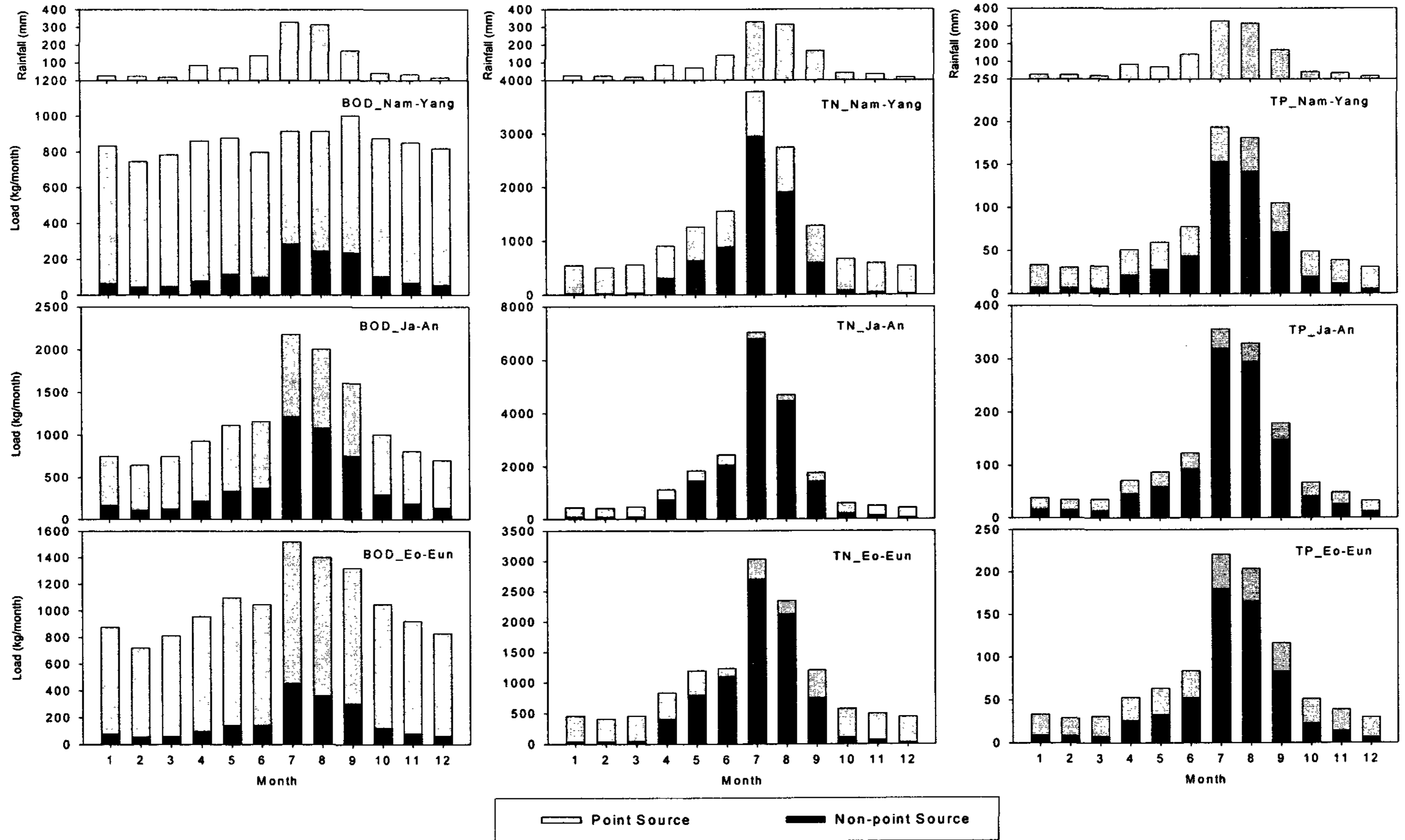
부하량은 강우량에 따라 증가하는 경향을 나타내었는데, 많은 비가 집중되는 6, 7, 8, 그리고 9월에 많은 부하량이 발생하는 것으로 평가되었다. 하지만, BOD의 경우가 T-N과 T-P보다 강우량에 의한 부하량 발생에 대한 영향을 덜 받는 것으로 평가되었는데, 이는 BOD발생의 많은 부분이 점오염원에 의해서 유출되기 때문인 것으로 판단된다.

월별 오염부하량을 하천별로 비교해 보면 남양천과 어은천의 경우가 점오염의 비율이 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 특히 남양천의 경우에는 강우량에 따라 부하량의 차이가 크지 않았는데, 이유는 강우시에는 하천수질의 농도가 희석효과에 의해서 급격히 낮아 지기 때문에 월별 부하량의 차이가 크지 않았기 때문이다. <표 5-3>은 2003년부터 2005년까지 3년간의 월평균 수질을 나타낸 표이다. 전체적인 수질변화 경향을 보면 비가 많이 오는 6월부터 8월까지의 수질이 다른 기간보다 낮은 것을 알 수 있다. 따라서, 비가 많이 오는 시기에 부하량은 높을지라도 하천 수질은 오히려 깨끗한 수준이며, 부하량과 하천수질이 동시에 공통적으로 변화하지 않는다는 것을 알 수 있다. 하천의 수질은 남양천이 가장 좋지 않은 수준이었으며, 어은천과 자안천 순이었다. BOD의 농도는 어은천이 가장 좋지 않았으나, T-N과 T-P의 경우에는 남양천이 가장 좋지 않았다.

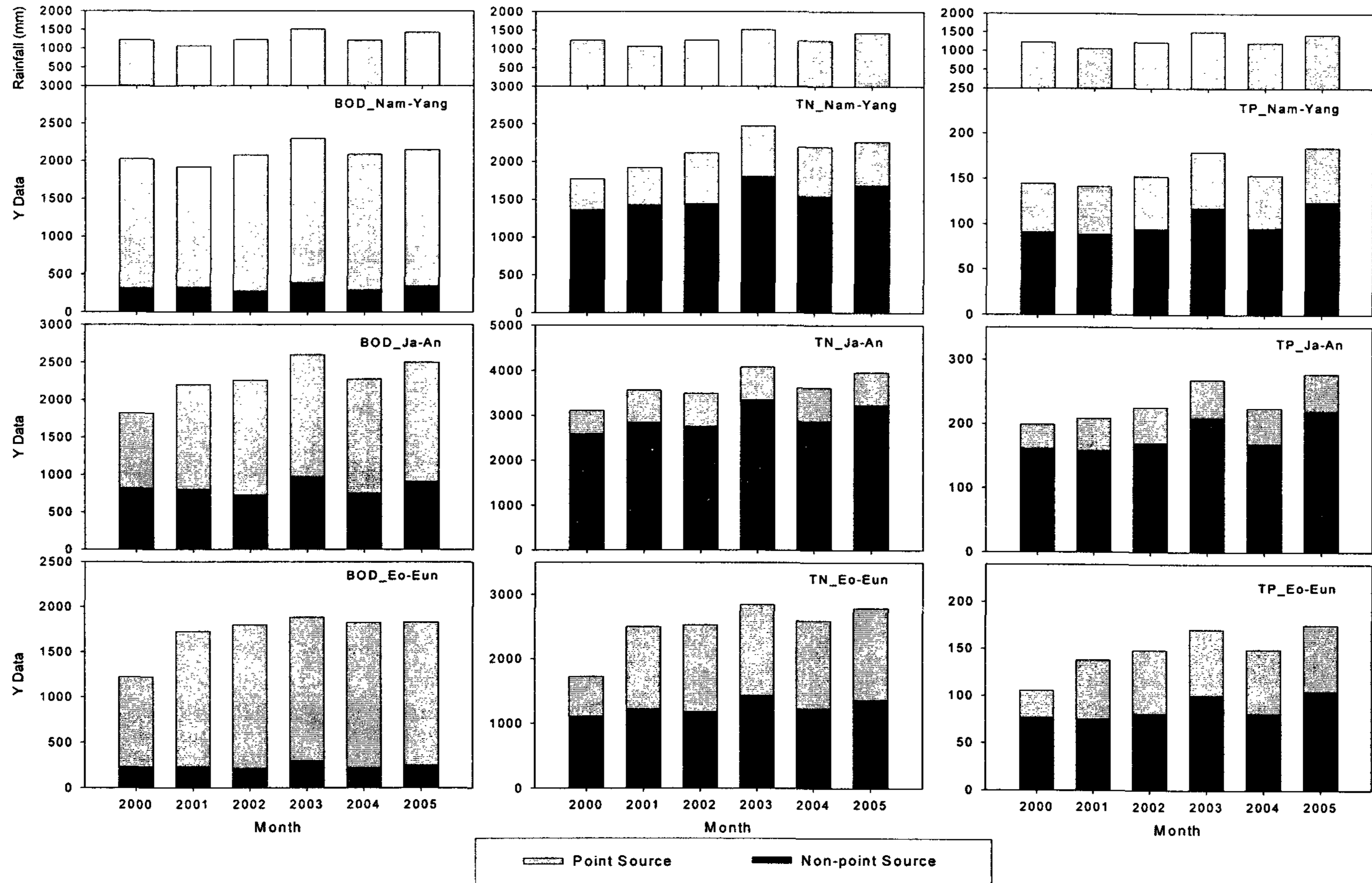


<표 5-3> 3개의 주요하천 말단부의 수질

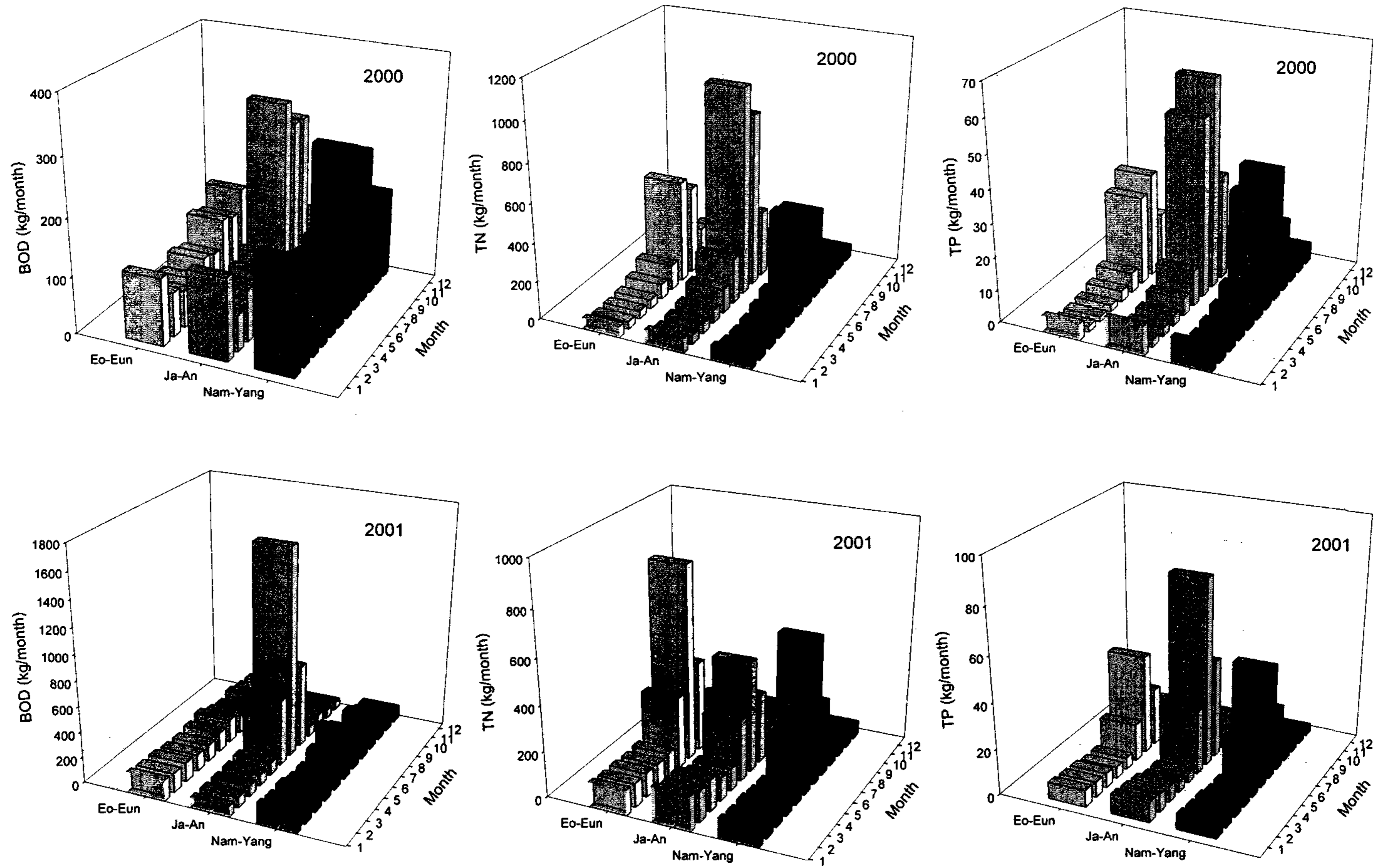
	Nam-Yang(N4)			Ja-An(J5)			Eo-Eun(E4)		
	BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P
Jan.	14.7	22.9	0.66	5.1	6.2	0.26	11.9	10.7	0.44
Feb.	19.3	18.5	0.78	11.0	9.2	0.32	24.5	10.7	0.49
Mar.	15.7	15.4	0.41	7.0	10.1	0.24	18.4	12.2	0.87
Apr.	9.5	12.5	0.72	15.4	4.4	0.30	13.7	8.6	0.47
May	5.5	9.3	0.60	14.9	5.2	0.43	7.3	7.0	0.25
Jun.	7.9	8.1	0.68	11.2	3.0	0.29	5.9	7.2	0.26
Jul.	3.9	5.7	0.35	4.9	3.8	0.21	4.1	3.5	0.21
Aug.	3.7	5.7	0.35	7.5	3.1	0.28	4.3	2.9	0.21
Sep.	6.6	6.3	0.26	6.2	5.2	0.24	3.9	5.3	0.24
Oct.	5.5	7.1	0.49	6.8	4.8	0.25	5.8	6.0	0.36
Nov.	7.8	10.0	0.63	7.1	5.5	0.35	9.2	8.3	0.57
Dec.	11.7	17.0	0.74	6.2	9.4	0.28	10.0	9.1	0.59
Mean	9.3	11.5	0.6	8.6	5.8	0.3	9.9	7.6	0.4



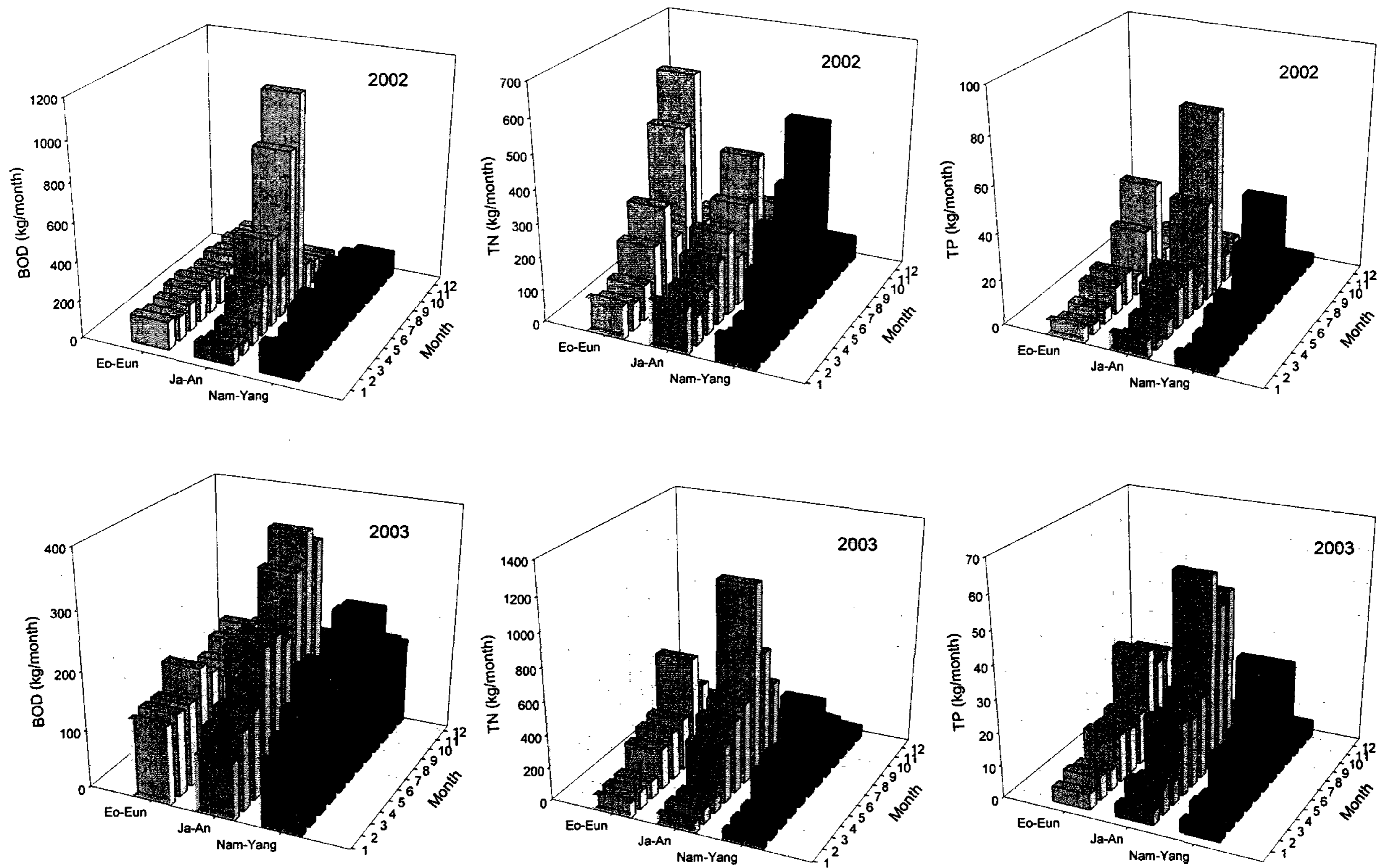
<그림 5-38> 화성유역의 큰 세하천의 월별 오염부하량의 비교



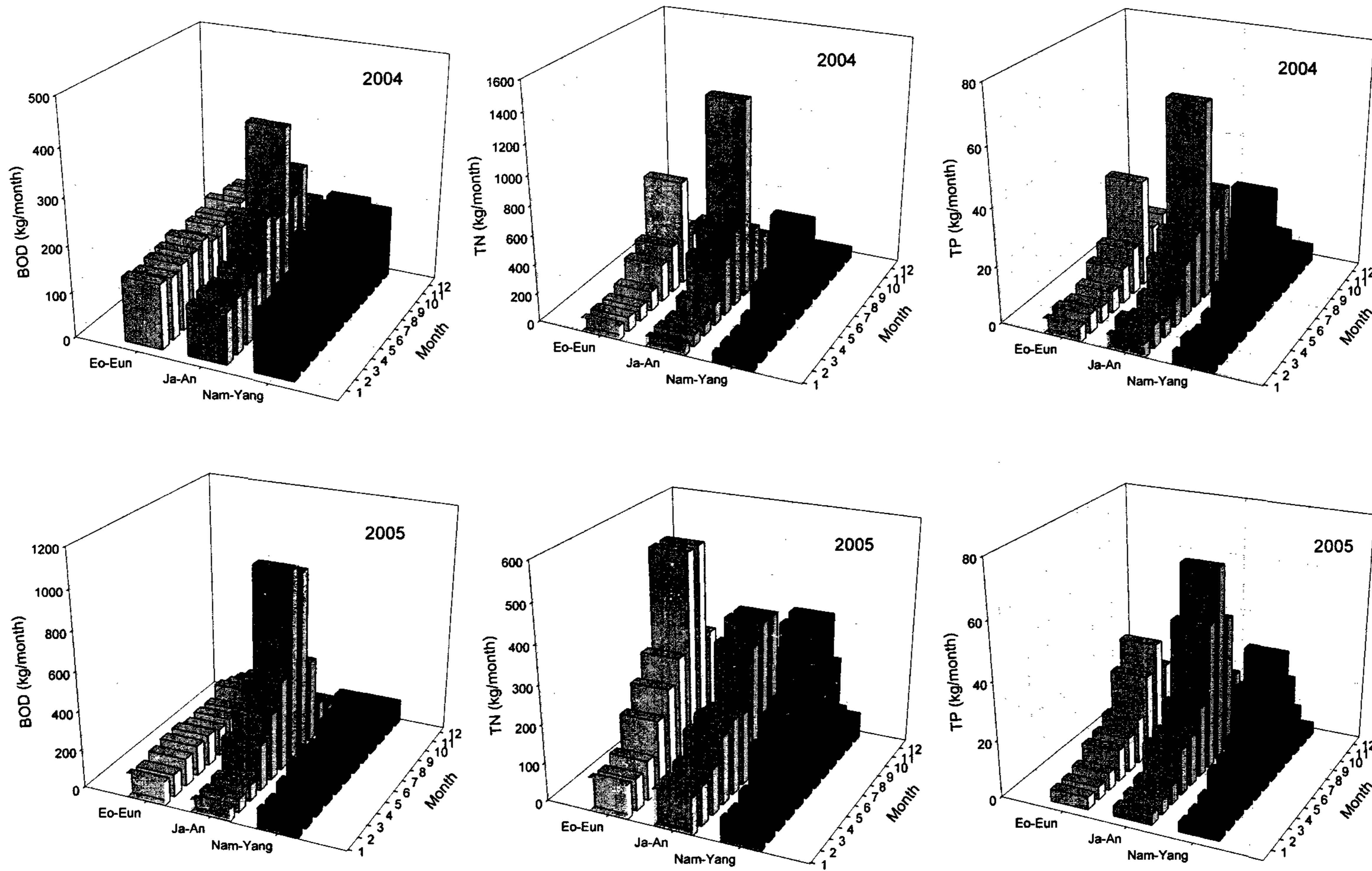
<그림 5-39> 화성유역의 큰 세하천의 년별 오염부하량의 비교



<그림 5-40> 화성유역의 연간 월별 오염부하량의 비교(2000 - 2001년)



<그림 5-41> 화성유역의 연간 월별 오염부하량의 비교(2002 - 2003년)



<그림 5-42> 화성유역의 연간 월별 오염부하량의 비교(2004 - 2005년)

#### 나. 연별 부하량 비교

<그림 5-39>은 화성유역의 큰 세하천의 연별 오염부하량을 비교한 그래프이다. 모형에 입력된 오염부하량은 1999년을 기준으로 2000년까지 오염부하량이 입력되었으며 2001년부터 2005년까지는 2003년도를 기준으로 수집된 오염원자료를 이용하여 모의한 결과이다.

연별 오염부하량의 차이를 살펴보면, 2000년을 제외하고는 강우량에 의해 영향을 받는 것을 알 수 있다. 강우량이 많은 시기에는 많은 오염부하량이 발생하며, 강우량이 적은 시기에는 낮은 오염부하량이 발생하는 것을 알 수 있다. 오염부하량은 유출량에 오염농도의 곱으로 정의되기 때문에 강우량이 많은 해에는 많은 유출이 발생하게 되고, 발생된 많은 유출은 부하량에 영향을 주기 때문이다. 하천별로 연간 유출되는 부하량은 세 하천에서 큰 차이는 보이지 않았으나 유역면적이 가장 넓은 자안천에서 가장 많은 오염부하량이 발생하는 것을 알 수 있다. <표 5-4>에서 보는 것과 같이 BOD의 경우는 점오염원에서 주로 발생하며 T-N과 T-P의 경우에는 비점오염원이 주요 오염원인 것을 알 수 있다. 세 하천별로 살펴보면 비점오염원의 양은 토지이용에 따라 차이가 있을 수 있지만, 대체적으로 유역면적에 비례하게 된다.

<표 5-4> 년별 세 개의 주요하천에서 발생하는 점오염원과 비점오염원

	Year	Non-point-source(kg/year)			point-source(kg/year)		
		BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P
Nam-Yang	2000	232	1,106	77	991	622	28
	2001	235	1,221	75	1,491	1,280	63
	2002	214	1,180	81	1,584	1,348	67
	2003	296	1,436	100	1,587	1,408	70
	2004	223	1,231	81	1,602	1,360	68
	2005	249	1,363	105	1,580	1,424	70
Ja-An	2000	823	2,587	162	999	526	37
	2001	802	2,848	158	1,401	713	51
	2002	730	2,752	170	1,532	741	56
	2003	973	3,349	210	1,631	734	59
	2004	750	2,871	169	1,528	744	56
	2005	911	3,229	220	1,593	733	58
Eo_Eun	2000	320	1,358	91	1,704	410	54
	2001	329	1,423	88	1,593	495	53
	2002	278	1,440	94	1,802	673	58
	2003	391	1,800	118	1,908	673	62
	2004	293	1,538	95	1,794	653	58
	2005	348	1,684	124	1,801	576	60

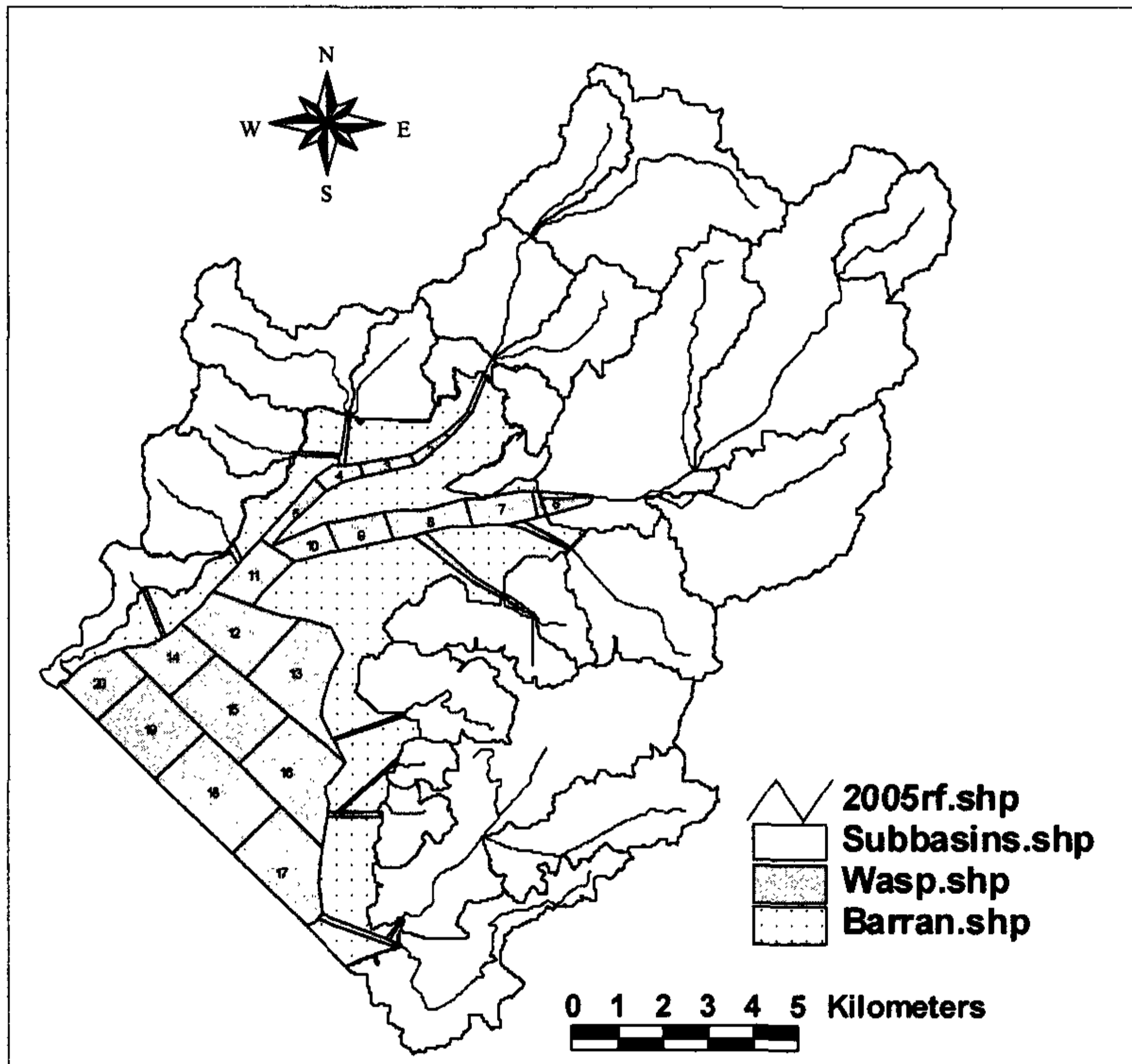
<그림 5-40>부터 <그림 5-42>은 화성유역의 큰 세 하천의 월별 오염부하량을 1년 단위로 나타낸 그림이다. 강우량의 경향에 따라 발생하는 부하량의 크기가 변화하는 것을 알 수 있다. 따라서 부하량의 영향은 강우량에 크게 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 또한 강우량의 정도에 따라 각 하천에서 발생하는 부하량의 정도가 바뀌는 것을 알 수 있다. 특히 비점오염원이 대부분을 차지하고 있는 T-N의 경우가 강우량에 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.



### 제 3 절 WASP5 호소모형 적용

#### 1. 대상 담수호에서 측정된 수질자료에 대한 호소구축

내부개답이 이루어 지지 않은 상황인 현재와 개답 후 대한 WASP 호소모형을 구축하였다. <그림 5-43>은 현재상태의 모습을 구축한 그림이며 총 20개의 segment로 나누었으며, 담수호와 나지의 경계는 환경부에서 제공하는 토지피복도를 이용하였는데, Landsat Thematic Mapper(TM; 30-m resolution)와 Indian Remote Sensing(IRS)-1C panchromatic images(5.8-m resolution)의 1999년 5월 21일과 2000년 2월 29일 자료로 만들어진 토지피복분류이다. 수심 자료는 농업기반공사에서 제공하는 수심고도자료를 Arcview 3.0을 이용하여 평균수심을 구하여 모형에 적용하였다. <그림 5-44>은 화성지구의 내부개답을 거쳐 생성된 논과 용수계통도를 기본으로 작성한 모형으로 개답완료시점에 이용하기 위해서 29개의 segment로 분할하여 모의하였다.



<그림 5-43> 내부개답 완료 전 WASP모형의 segment 모식도와 유역현황

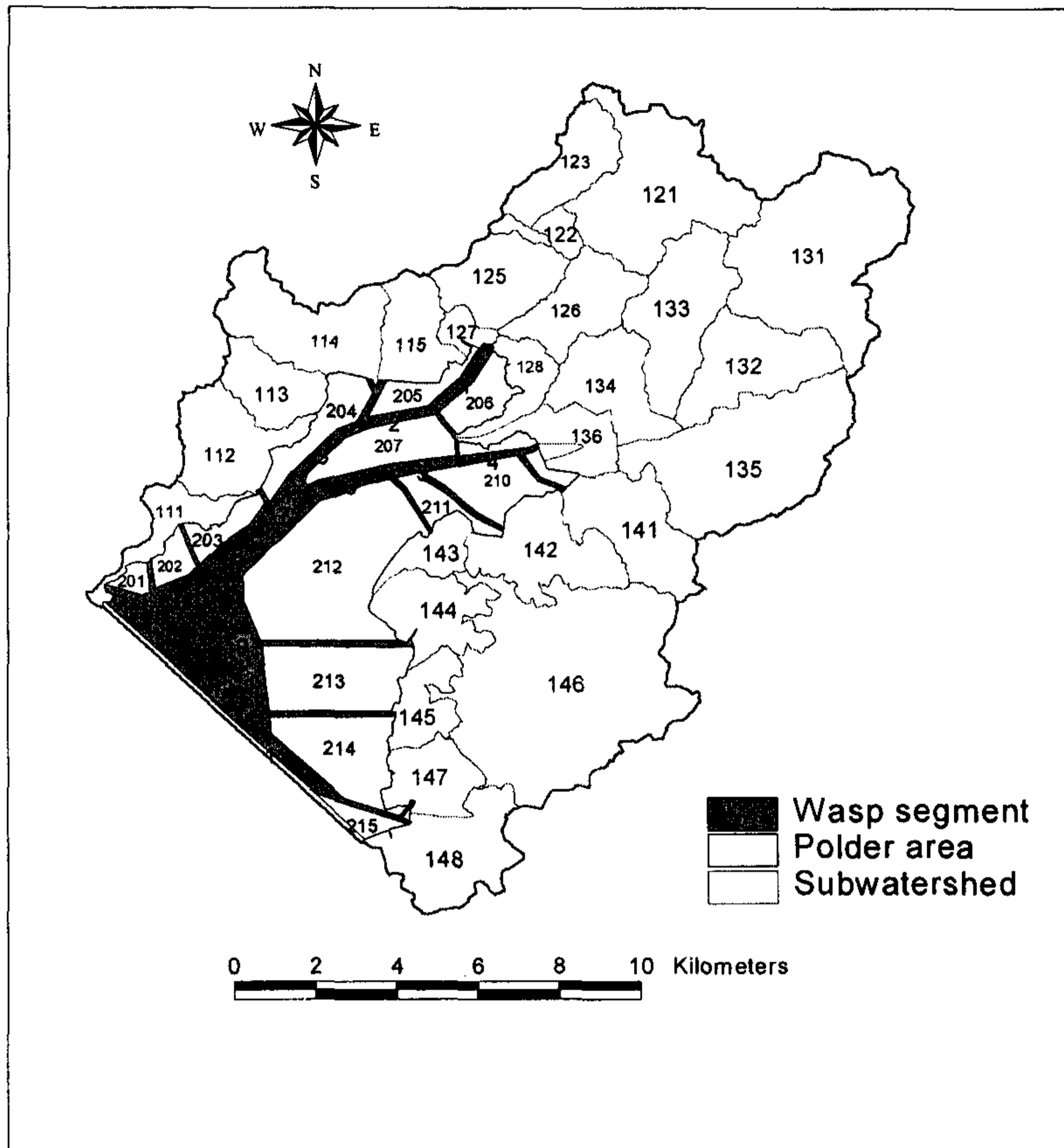
가. 화성담수호의 segment 제원

<표 5-5>는 화성담수호의 각 segment의 제원을 나타내는 표이다. 기존 유역에서의 오염부하는 물론, 새로 조성될 간척농지의 농지배수도 표에 나타난 각 구획으로 부하시키는 것으로 HSPF상에서 모의하여 경계조건으로 활용하였다. 구획설정은 가능하면 각 소유역의 부하량이 미치는 영향을 파악할 수 있도록 분할하였으며, 구획간의 완전혼합도 동시에 고려하여 <그림 5-43>과 같이 분할하여 이용하였다.

<표 5-5> 화성담수호의 각 segment의 제원

Segment No.	Junction No.	수표면적 (m <sup>2</sup> )	평균수심 (m)	폭 (m)	길이 (m)
	1	112,959	1.698	113	1000
1	2	178,676	1.698	113	1582
2	3	188,703	2.262	201	938
3	4	327,076	3.298	283	1156
	5	130,398	3.623	119	1100
4	6	356,721	3.623	373	956
5	7	556,992	5.081	309	1802
	8	380,224	2.608	380	1000
6	9	481,079	2.608	380	1265
	10	164,195	2.786	127	1294
7	11	948,196	3.210	643	1475
	12	357,512	2.318	156	2299
8	13	988,172	4.465	550	1797
9	14	829,206	5.351	652	1272
10	15	699,649	7.092	599	1168
	16	53,112	2.542	132	401
11	17	1,278,173	8.542	876	1459
12	18	2,551,295	5.575	1953	1307
	19	100,000	2.198	100	1000
13	20	3,432,239	2.198	1596	2151
14	21	1,636,751	9.443	1179	1388
15	22	3,183,624	4.158	2125	1498
16	23	3,318,485	2.732	2029	1636
	24	265,218	1.401	143	1853
17	25	2,952,998	2.942	1955	1511
18	26	3,621,647	4.995	2388	1516
19	27	2,746,964	9.230	1802	1525
20	28	1,602,847	9.656	1047	1531
	29	100,000	9.656	100	1000
	30	100,000	2.732	100.0	1000.0
	31	100,000	9.443	100.0	1000.0

<그림 5-44>은 내부개답이 완료된 시기의 WASP5의 모식도를 나타내고 있다. <그림 5-43>을 이용해서 모형을 보정한 후 그 보정인자를 그대로 이용하여 미래의 담수호에 적용하였다. 총 13개의 소유역으로 분할하여 모의하였다.



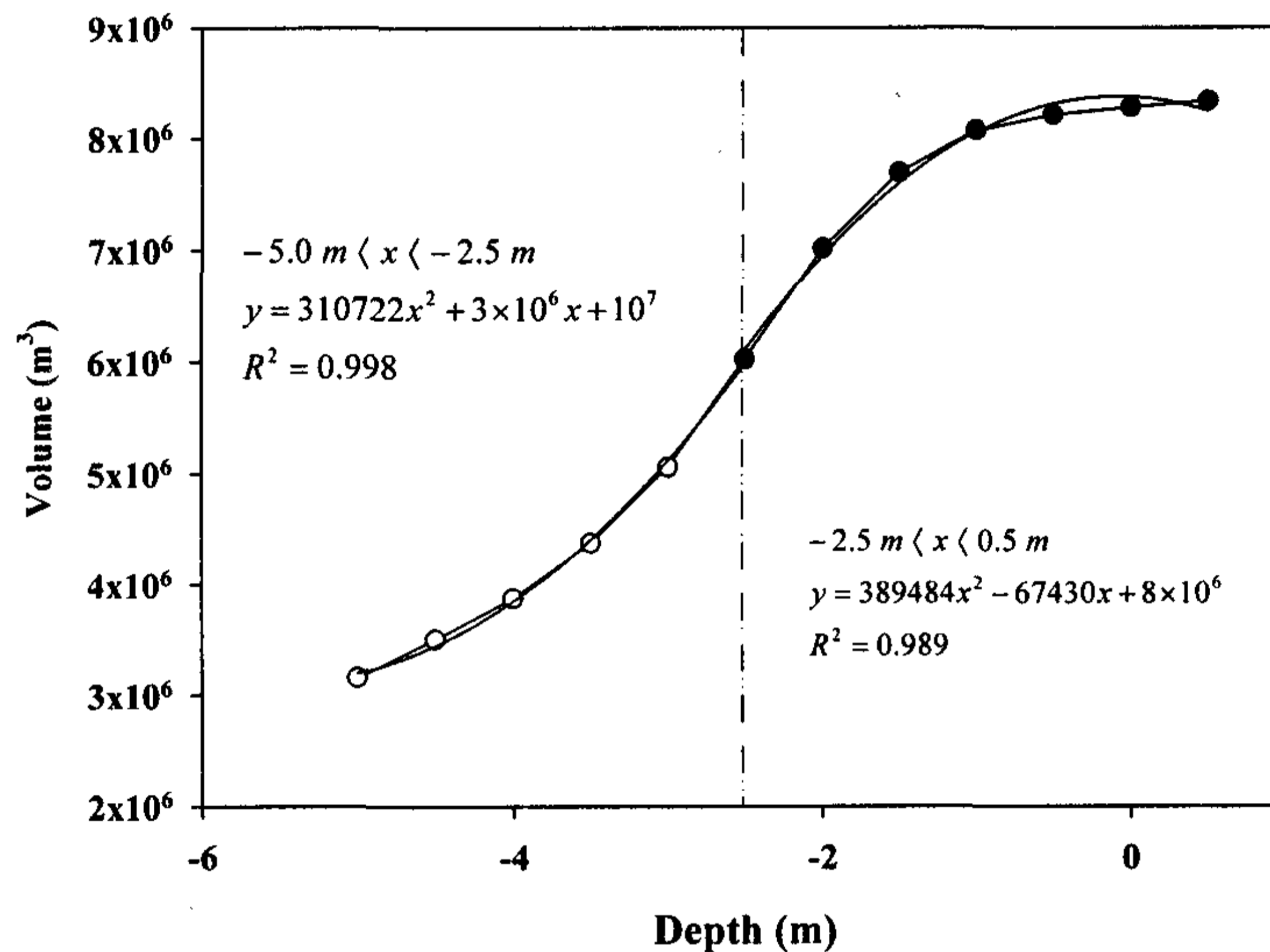
<그림 5-44> 내부개답 완료후 WASP모형의 segment  
모식도와 유역현황

## 2. WASP 모형의 입력자료 산정

WASP에 의한 수질예측에는 유량과 오염부하량의 입력이 중요한데, 유량을 입력하는 방법은 대상 수체의 평균수심과 평균유속을 유량계수법을 이용하여 주어진 유량에 대하여 내부적으로 계산하거나, 부모형인 DYNHYD모형을 이용하여 입력자료를 생성한 후 이를 EUTRO에 입력시켜 수질을 모의시킬 수 있다. 제 1 절의 HSPF 모형을 통해 산정한 일단위 유량과 부하량을 HYDRO와 EUTRO의 경계조건에 반영하여 모의하였다. 모형 구동에 필요한 기상데이터인 강우량, 풍속, 기온 등은 화성담수호와 가장 근접한 기상대인 수원기상대의 측정자료를 이용하였다.

### 3. 수문조작이 호소 수질에 미치는 영향 검토

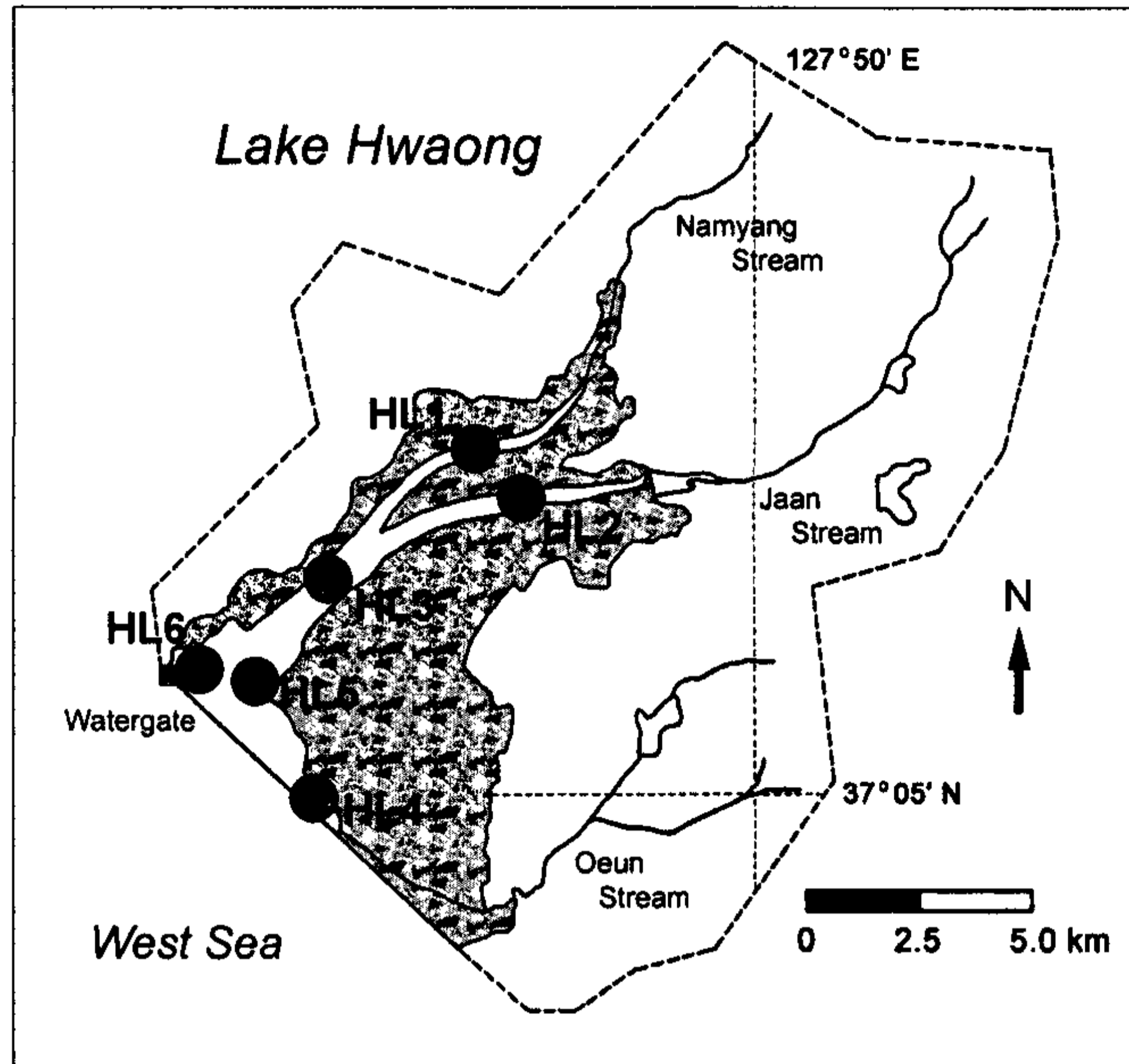
배수 갑문 조절에 의한 담수호의 수질변화 모하기 위해 담수호 배수 갑문 조작자료를 이용하여 모형을 구축하였다. 현재 화성호는 담수호의 수질보호를 위해서 1일 평균 2회 정도 배수갑문을 조절하고 있으며, 장마기간에는 홍수방지를 위해서 1일 6-8회 정도 배수갑문을 조절하고 있음. 따라서 현재 상황을 모델링하기 위해서 농업기반공사의 배수갑문 조작자료를 이용하여 WASP5모형의 모의에 반영하였다. 배수갑문 조작자료에는 호내측의 갑문조작 전후의 수위가 표시되어 있기 때문에 <그림 5-45> 과 같은 수심-용적곡선을 이용 유입과 유출유량을 산정하여 모델링에 반영하였다.



<그림 5-45> 화성담수호의 수심-용적곡선

### 4. WASP5 호소모형의 모의

담수호의 수질개선을 위해 배수갑문을 조작하여 해수를 유통시킨 시기로 HYDRO의 group E를 이용하여 배수갑문 조작을 반영하였다. 본 연구의 시작 시점이 2003년 11월부터 모니터링을 시작하였기 때문에, 본 연구사업을 통해 측정된 자료를 이용하였다. 수질을 보정하기 위한 지점은 <그림 5-46>와 같이 남양천 유입부인 HL1 지점, 자안천 유입부인 HL2지점, 자안천과 남양천의 합류부인 HL3지점, 어은천 유입부인 HL4, 호수중앙인 HL5 지점, 그리고 배수갑문 주변인 HL6지점의 총 6개 지점에서 실시하였다.



<그림 5-46> 화성유역의 WASP5모형을 이용한 수질 모의 지점

모형의 보정은 1년을 주기로 변화하는 담수호의 수질을 파악하기 위해서 1년 단위로 모의하였다. 본 연구에서는 2003년, 2004년에 측정된 실측자료를 이용하여 검·보정 하였으며 그 결과는 아래 그림과 같다. 현재 배수갑문을 조작하기 때문에 해수의 농도가 모델안에 포함되었는데 모델에 사용된 해측의 농도는 농촌공사의 화성지구 환경영향 조사보고서의 농도를 이용하였다. 2005년도 측정 자료를 배수갑문 조작자료를 입수하지 못하였기 때문에 제외하였다.

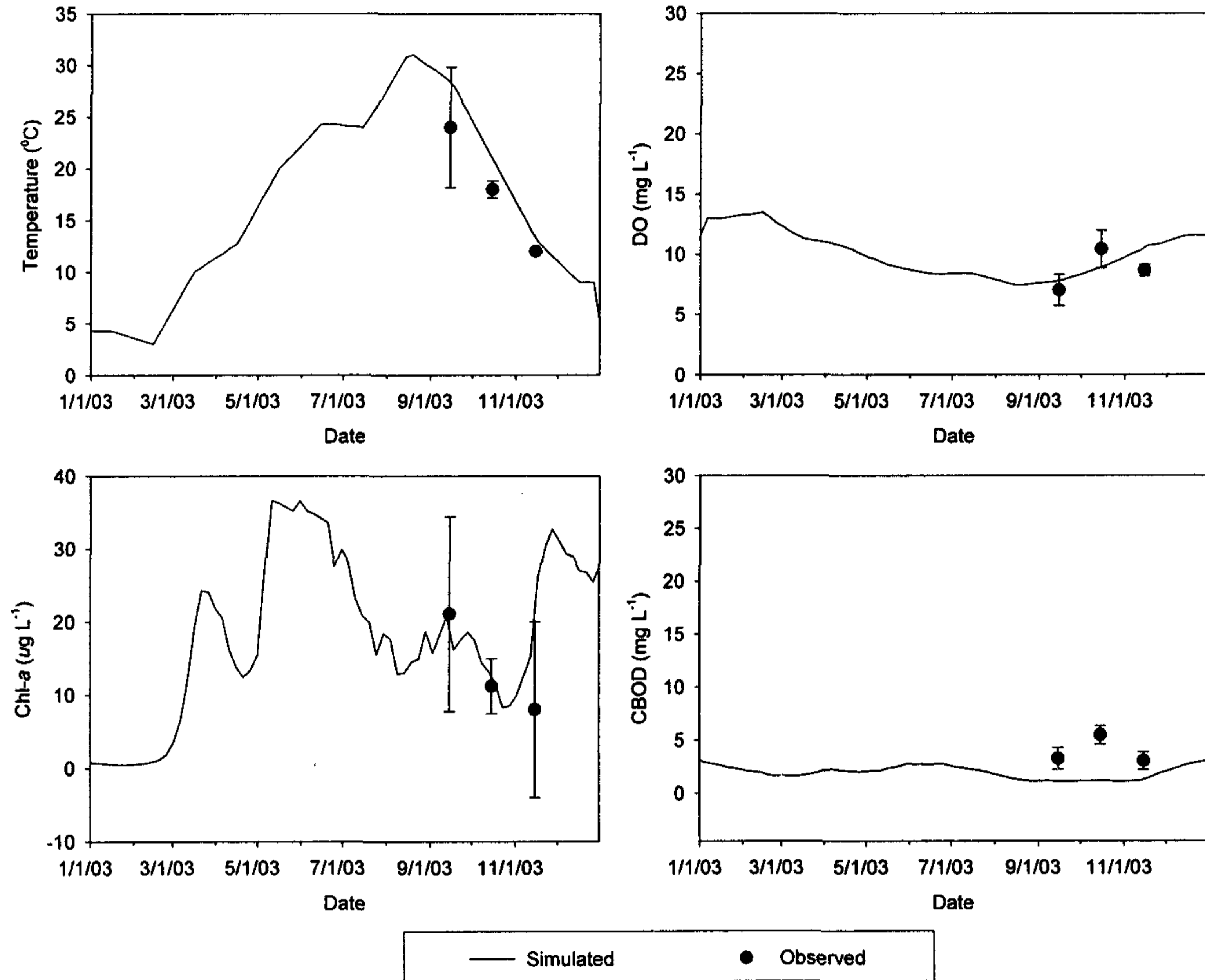
모델의 모의결과는 시간의 경과에 따른 수질농도를 평가하기 위해 시간간격을 두고 그래프로 나타내었으며, 또한 수질의 전체적인 변화패턴을 알아보기 위해서 2003년도를 기준으로 보정한 자료를 이용하여 모의한 결과를 유량가중평균농도를 구하여 Arc-View 3.2a를 이용하여 나타내었다.

가. 2003년도 측정자료를 이용한 WASP5의 수질 모의

1) HL1(남양천 유입부 )

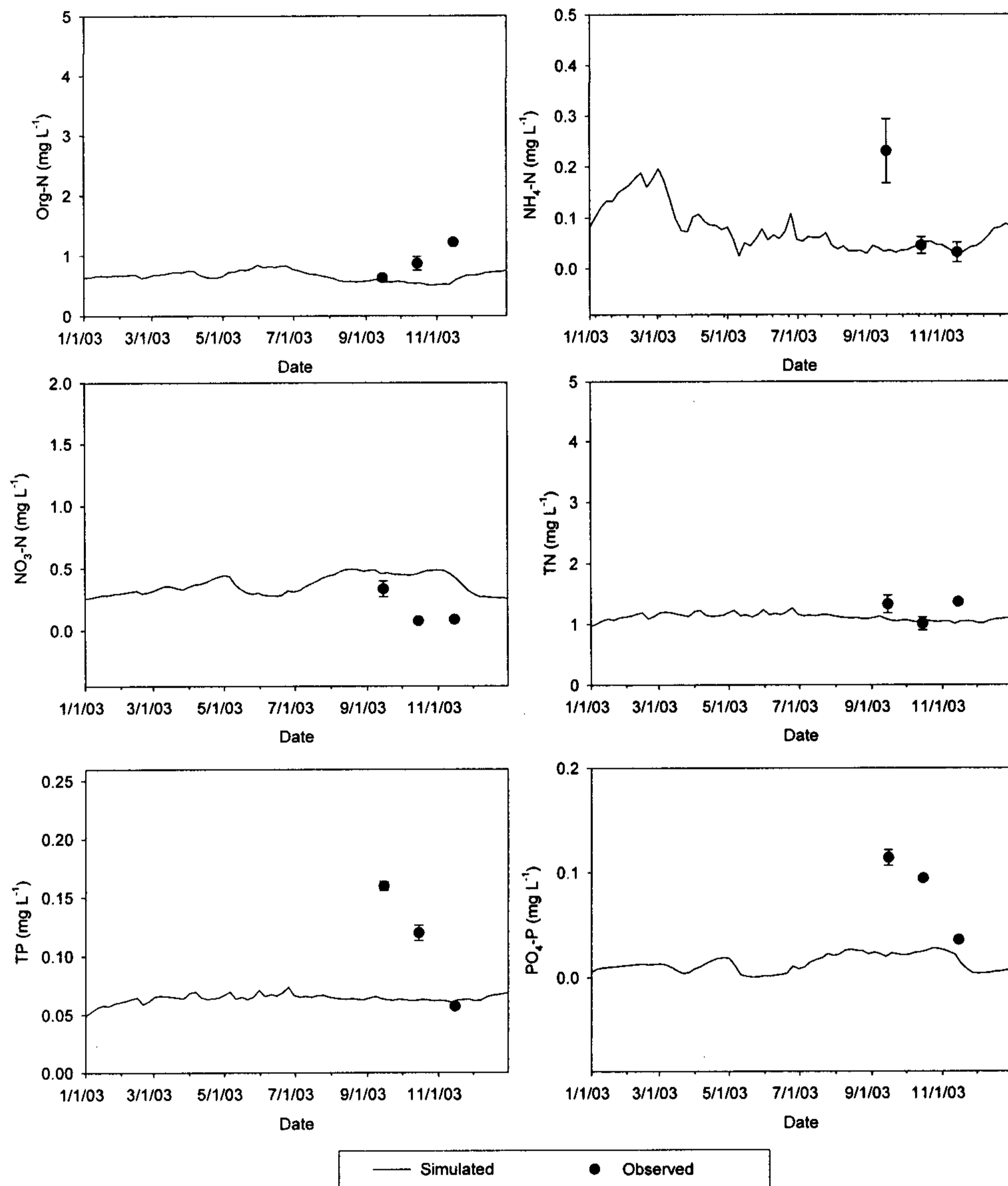
남양천 유입부의 수질모의 결과를 나타내고 있다. 온도, DO, Chl-*a*, 그리고 CBOD를 나타내고 있다 <그림 5-47>. 전반적으로 정확히 일치하지는 않으나 범위내에 있는 것을 알 수 있다. 하지만, 본 연구의 시작시점이 2003년

7월부터기 때문에 실질적인 샘플링은 9월부터 행해졌다.



<그림 5-47> 남양천 유입부의 2003년 모의 결과

따라서 측정된 데이터는 9, 10, 11월 3개월을 데이터만을 이용하여 표시하였다. <그림 5-48>은 남양천의 영양물질 모의 결과이다. 영양물질 모의 결과는 T-N을 제외한 나머지 항목에서 일부 실측값을 반영하지 못하는 결과를 나타내었는데, 이는 2004년 실측치를 중심으로 모형의 보정하였기 때문이다. NH<sub>3</sub>-N의 경우에는 9월 데이터가 매우 크게 측정되었으며, Org-N은 점차 증가하는 경향을 보였고, NO<sub>3</sub>-N은 점차 감소하는 패턴을 나타내었어. 총인의 경우는 9월과 10월 데이터가 크게 측정되었는데, 현재 보정된 모의값이 실측값을 잘 반영하지 못하였다.



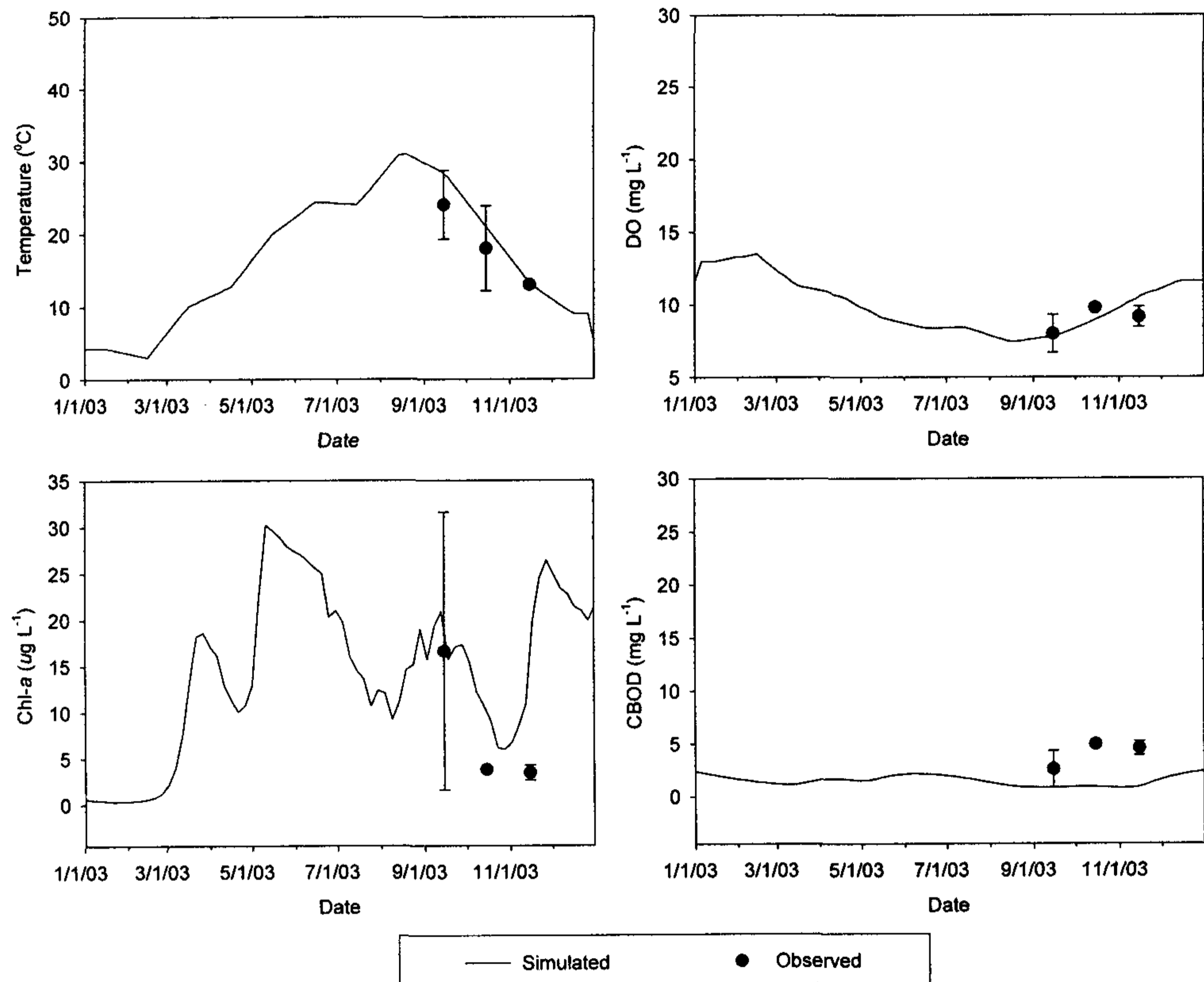
<그림 5-48> 남양천 유입부의 영양물질 2003년 모의 결과

2) HL2(자안천 유입부)

<그림 5-49>와 <그림 5-50>은 자안천 유입부의 모의 결과를 나타내는 그림이다. <그림 5-49>의 결과에서 온도와 DO는 모의치가 실측치를 적절

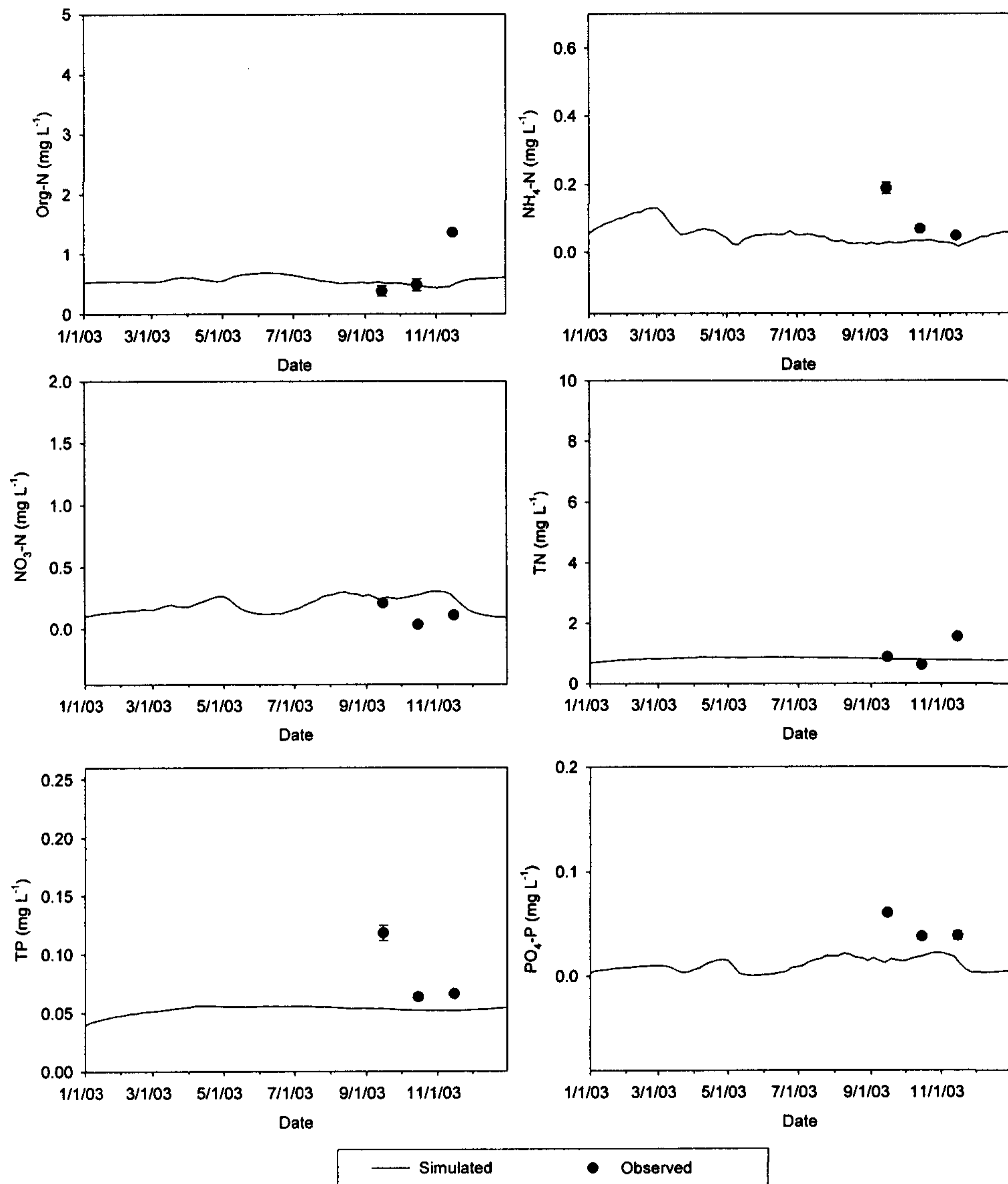


하게 반영하고 있으나 CBOD값은 낮은 수준이었다. 본 지점의 경우는 자안천의 하천수질에 영향을 주로 받는 지점으로 하천의 경우 샘플링 시기마다 약간의 오차가 발생할 수 있다.



<그림 5-49> 자안천의 2003년 수질 모의 결과

<그림 5-50>은 자안천의 영양물질 모의 결과를 나타내고 있다. 영양물질의 경우 NO<sub>3</sub>-N을 제외하고는 모의값의 실측값보다 낮은 수준이었다. 하지만, 모의하고자 하는 농도와 큰 차이를 나타내지는 않았으며, 2004년도 보정 결과를 그대로 이용하여, HSPF 유입농도가 다르게 하여 평가하였기 때문이다.

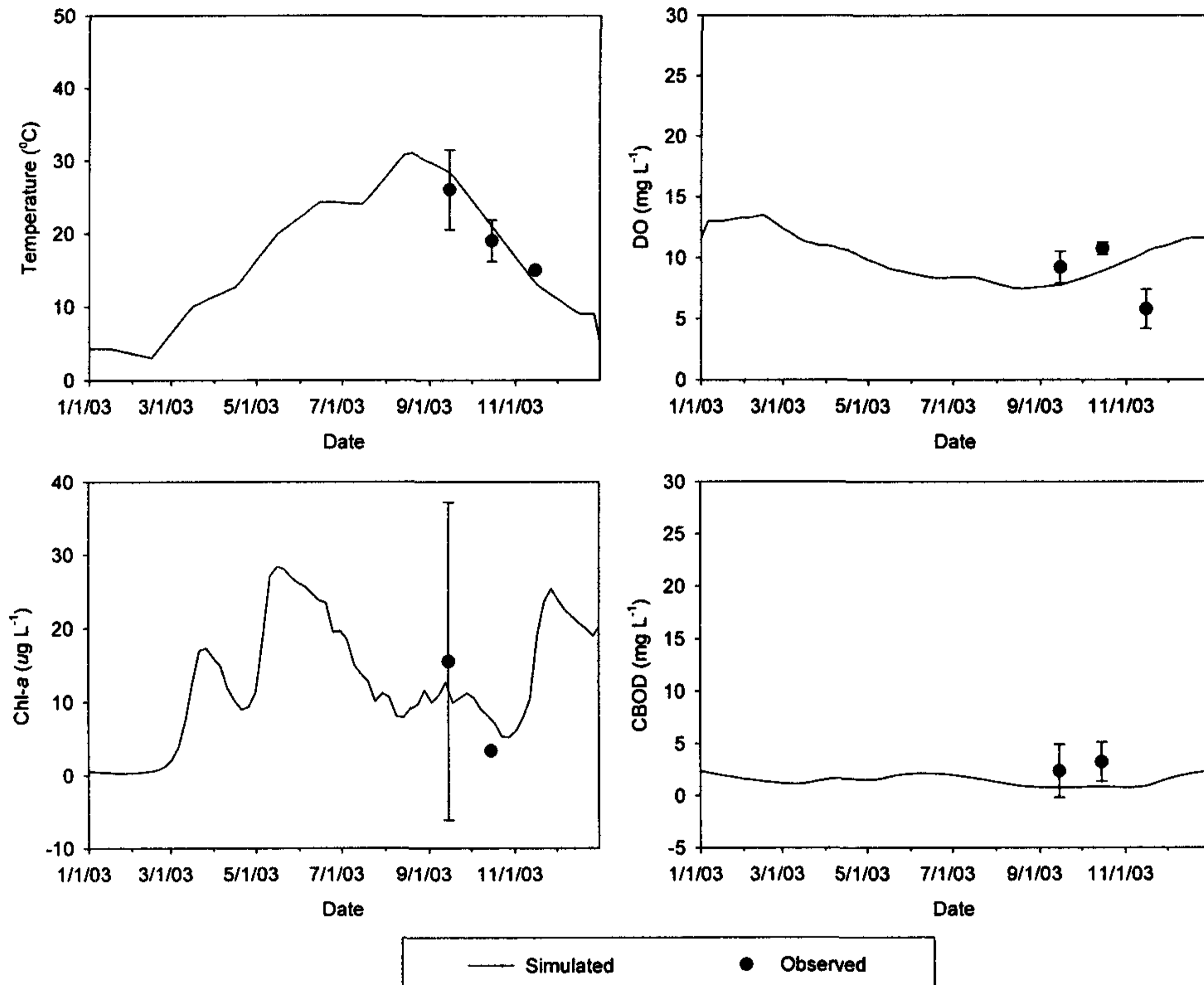


<그림 5-50> 자안천의 2003년 영양물질 모의 결과

### 3) HL3(남양천과 자안천의 합류후 지점)

본 지점은 남양천과 자안천이 합류한 직후의 측정지점이다. <그림 5-51>와 <그림 5-52>는 합류후의 지점을 모의값과 함께 나타내고 있다. 본

연구지역은 남양천과 자안천이 합류되는 지점으로 수심이 어느 정도 수준이 하천에서 호수로 변하는 경계지점이다. <그림 5-51>는 합류부의 온도, DO, Chl-*a*, 그리고 CBOD의 농도를 나타내는 그림이다. 앞의 하천의 결과보다는 모의값이 실측값을 잘 반영하고 있는 것으로 나타났다.

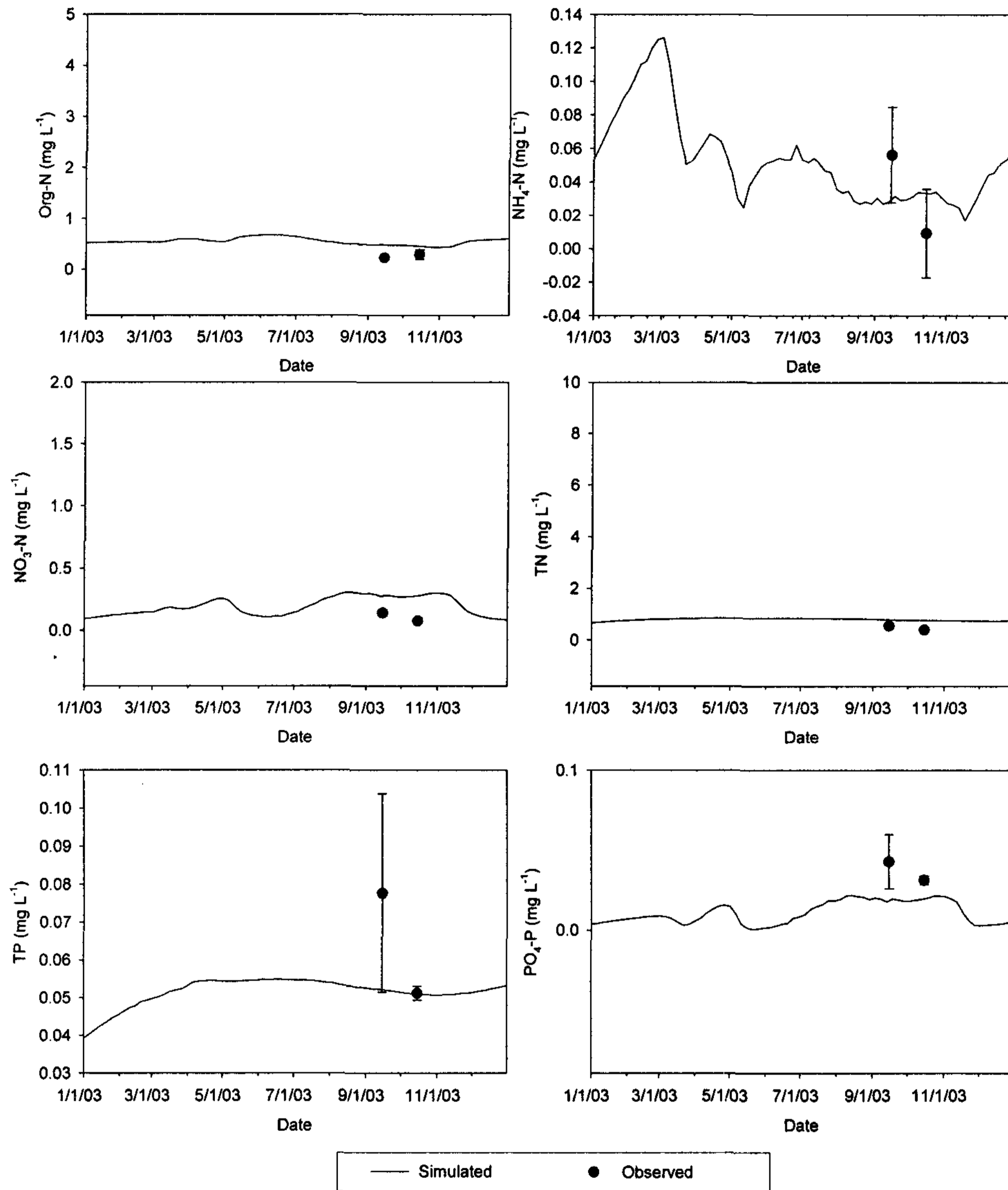


<그림 5-51> 남양천과 자안천의 합류부 2003년 수질 모의 결과

<그림 5-52>는 남양천과 자안천의 합류부의 2003년 영양물질의 모의 결과를 나타내는 그래프이다. Org-N, NO<sub>3</sub>-N, 그리고 T-N의 경우는 모의값이 약간 높은 수준이었고, NH<sub>3</sub>-N의 농도는 두 측정값의 차이가 있기 때문에 모의값이 두 실측값 사이에 존재하였다. T-P와 PO<sub>4</sub>-P의 실측값보다 약간 낮은 수준으로 모의되었는데, 앞의 2 지점인 남양천과 자안천 유입부보다는 실측값을 잘 반영하고 있었다. 이 같은 특징을 나타내는 이유는 모형의 보정을 주로 호수중앙부분인 HL5와 배수갑문 주변인 HL6 부분을 중심으로 하였기 때문에 하천의 유입부는 다른 측정지점에 비하여 실측값을 잘 반영하지 못하는 특징

을 갖고 있다.

또한 하천의 유입부는 강우나 기타 오염원의 유입으로 수질이 급격하게 반영하는 특징을 갖고 있으며, 담수호로서의 특징보다는 하천에 가깝기 때문에 수질이 급격하게 변화하는 실측값의 특징을 나타내었다.

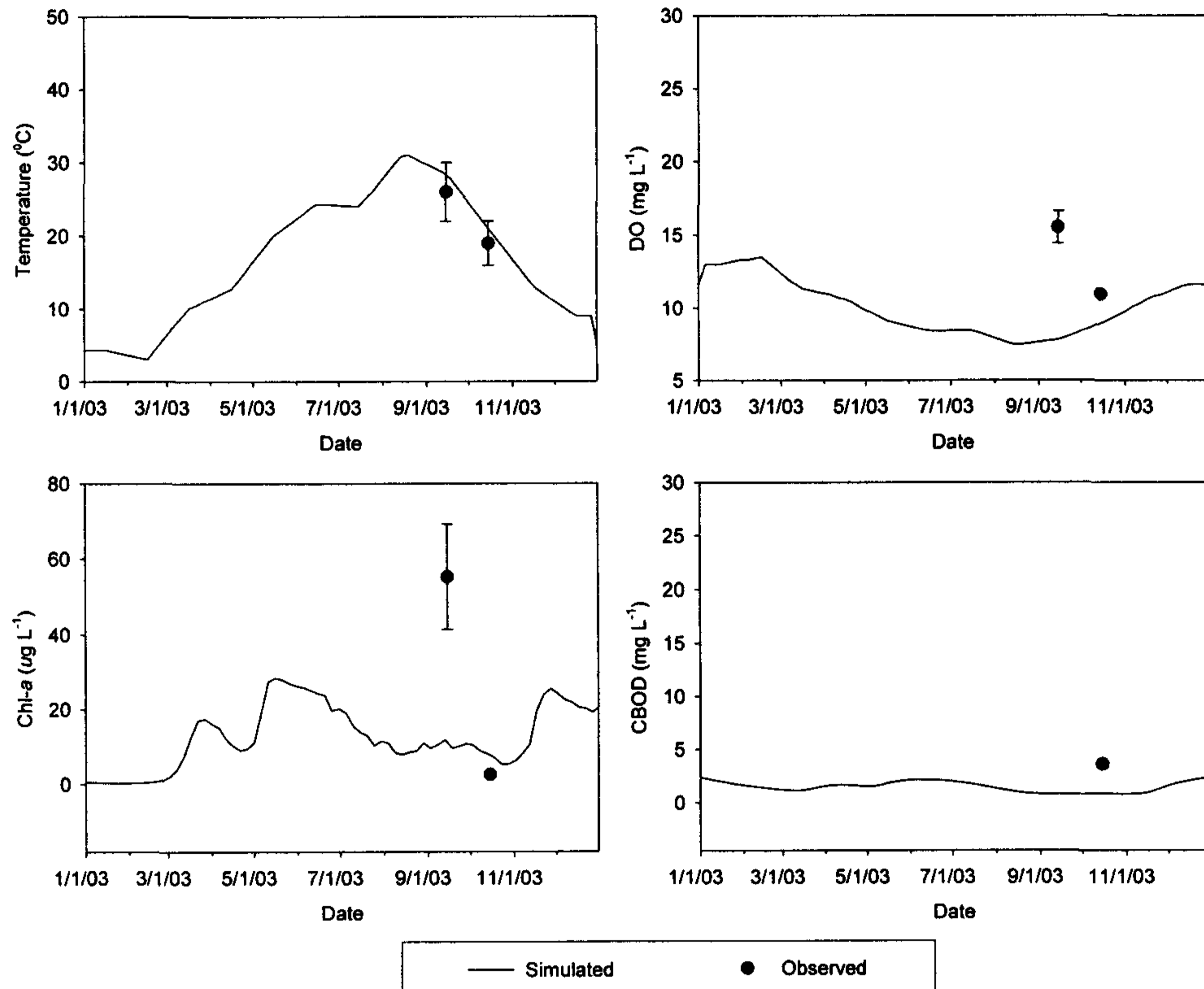


<그림 5-52> 남양천과 자안천의 합류부 2003년 영양물질 모의 결과

#### 4) HL4(어은천의 유입부)

어은천 유입부는 화성담수호에 유입되는 하천중 화성시 조암읍을 통과하여 유입하는 하천으로 다른 하천에 비해 유속이 느린 특징을 갖고 있다. <그림 5-53>과 <그림 5-54>는 어은천 유입부의 실측값과 모의값을 나타내었

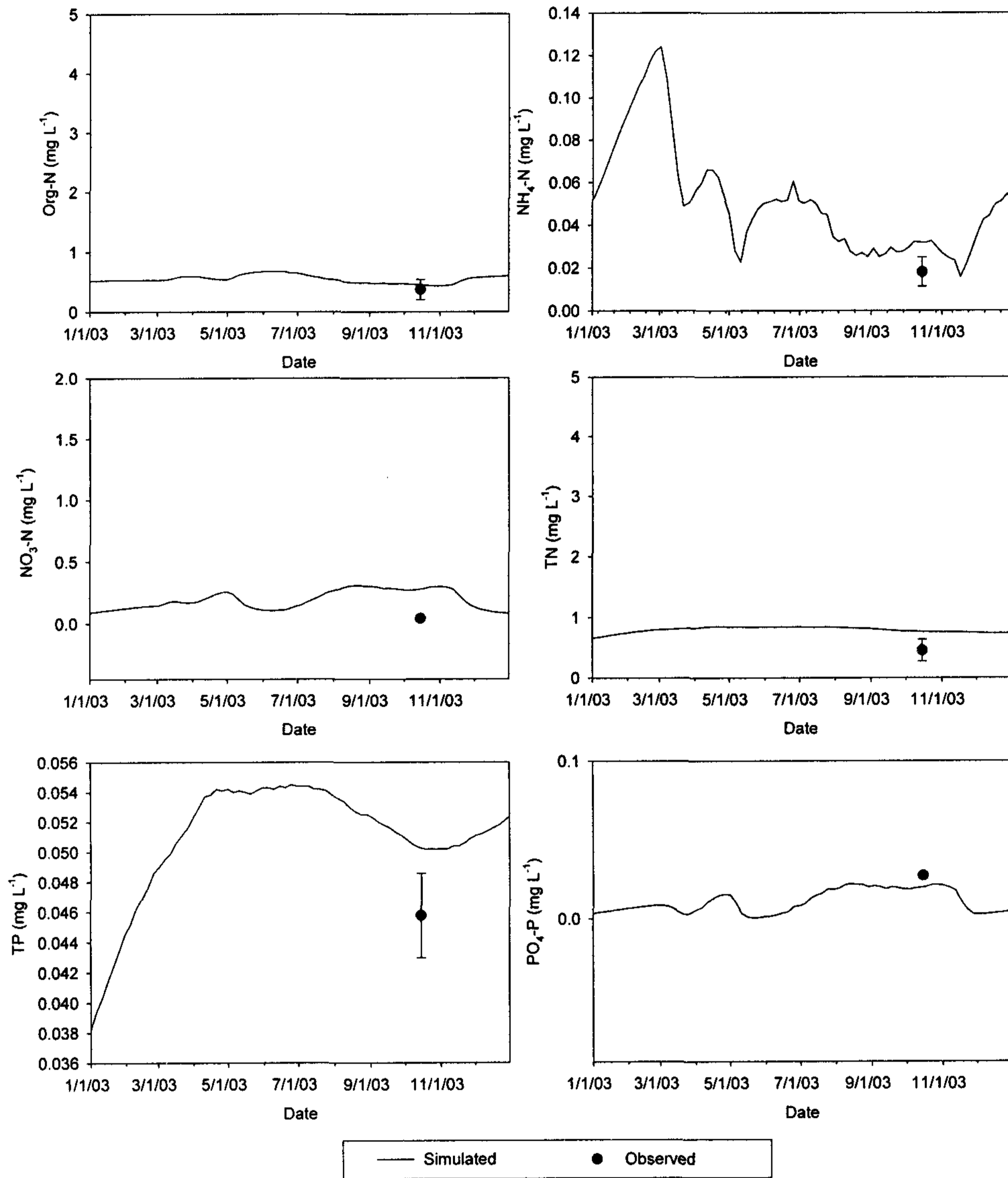
다. <그림 5-53>은 어은천의 온도, DO, Chl-*a*, 그리고 CBOD의 모의값을 실측값과 함께 나타낸 그래프이다. 온도의 경우는 실측값을 잘 나타내었으나 나머지 항목은 모의값이 약간 낮은 수준이었다.



<그림 5-54> 어은천 유입부의 2003년 수질 모의 결과

또한 실측값의 경우는 한 지점의 농도를 나타내지만, 본 그래프에서 나타내고 있는 것은 하나의 segment의 농도를 나타내고 있기 때문에 한 측정 지점의 특정시기에 샘플한 모든 데이터를 범위 안에 들게 모의하는 것은 어려운 일이라 생각된다. 하지만 어느 정도 모의값이 실측값을 잘 반영하고 있는 것으로 판단된다.

<그림 5-55>는 어은천 유입의 2003년 영양물질 모의결과를 나타내고 있는 그래프이다. 아래 그림의 경우 실측값이 1개의 데이터 밖에 존재하지 않기 때문에 직접적인 비교를 하긴 힘들지만, 실측값과 모의값의 차이가 크지 않은 수준이었다.

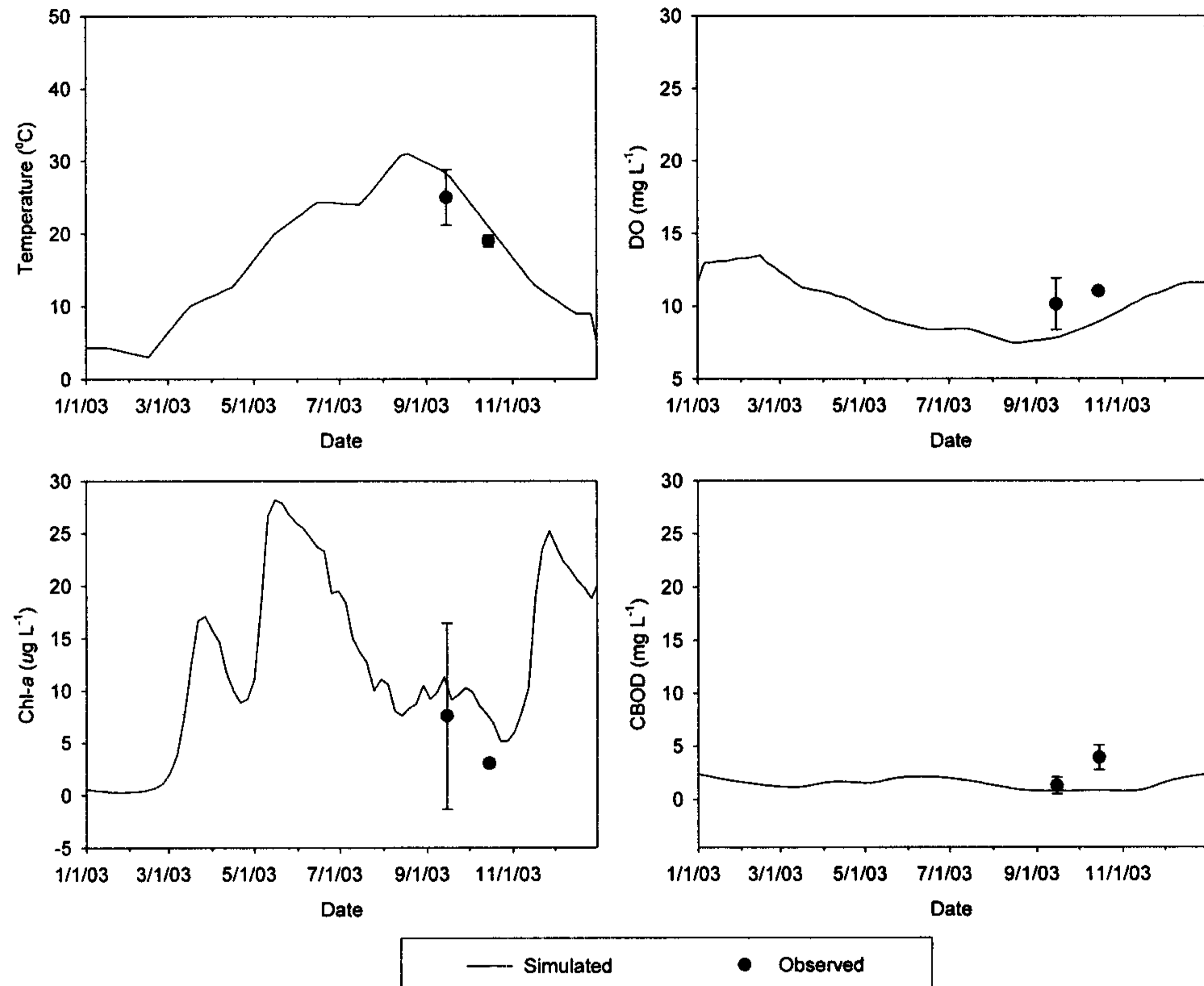


<그림 5-55> 어은천 유입부의 영양물질 2003년 수질 모의 결과

5) HL5(호수중앙 부분)

<그림 5-56>은 호수중앙부분의 온도, DO, Chl-*a*, 그리고 CBOD의 농도와 실측값을 나타낸 그래프이다. 측정값은 2회 측정값을 이용하여 모의하였는데 실측값을 잘 반영하는 것으로 나타났다. 호수중앙지점은 3개의 주요하천

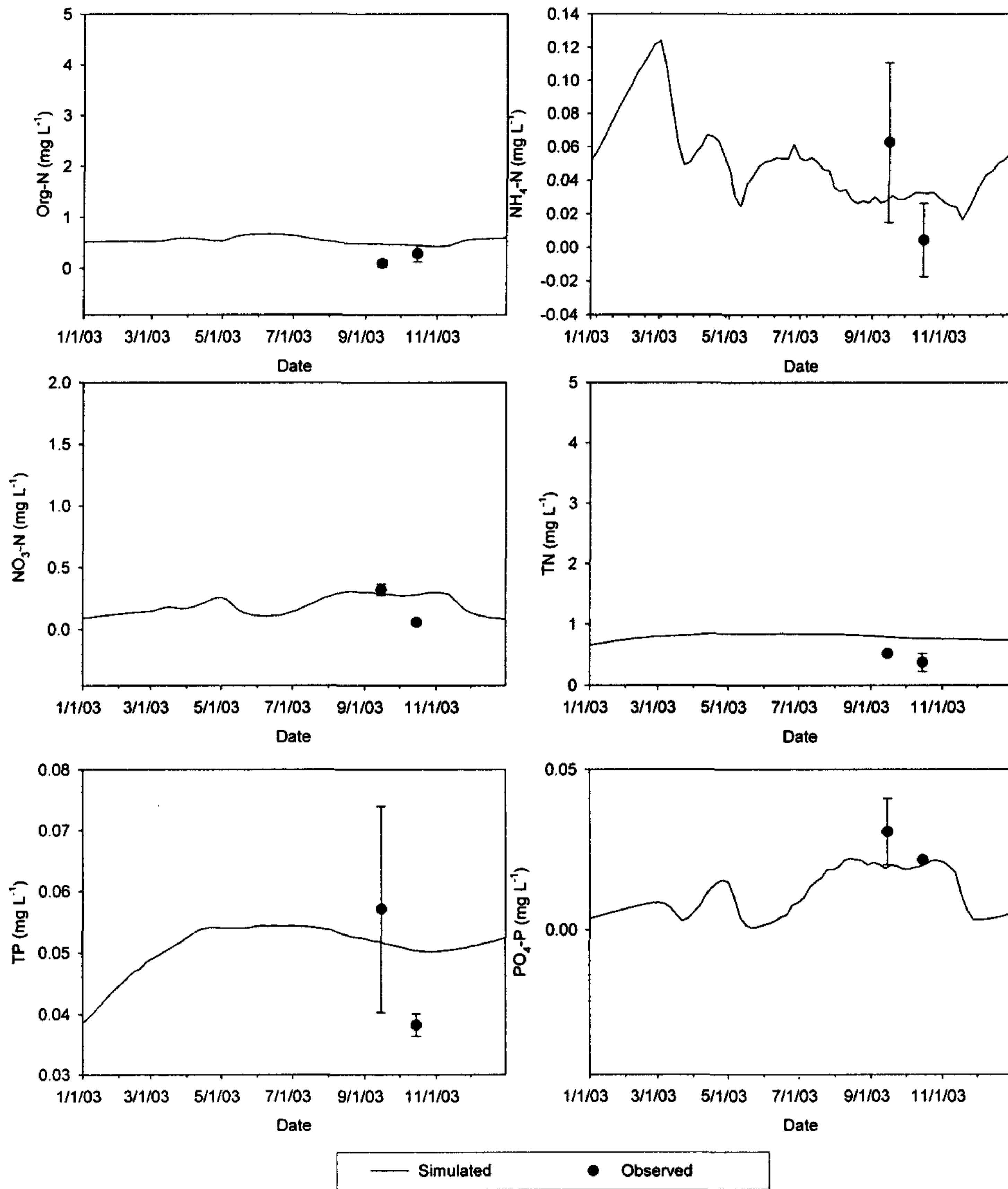
과 각각의 지점에서 유입되는 소하천, 그리고 배수갑문을 통해서 유입되는 해수가 공존하는 지점으로 해수와 담수 두가지 특성을 모두 나타내고 있는 특징을 갖고 있다.



<그림 5-56> 호수중앙부의 2003년 수질 모의 결과

<그림 5-57>는 호수중앙부분의 영양물질 모의결과를 나타낸 그림이다. 영양물질의 모의는 앞의 측정지점보다 모의값이 실측값을 잘 반영하고 있는 것으로 나타났다. 실측값의 농도차이가 크에도 불구하고 모의값이 잘 반영하고 있는 것을 볼 수 있다.



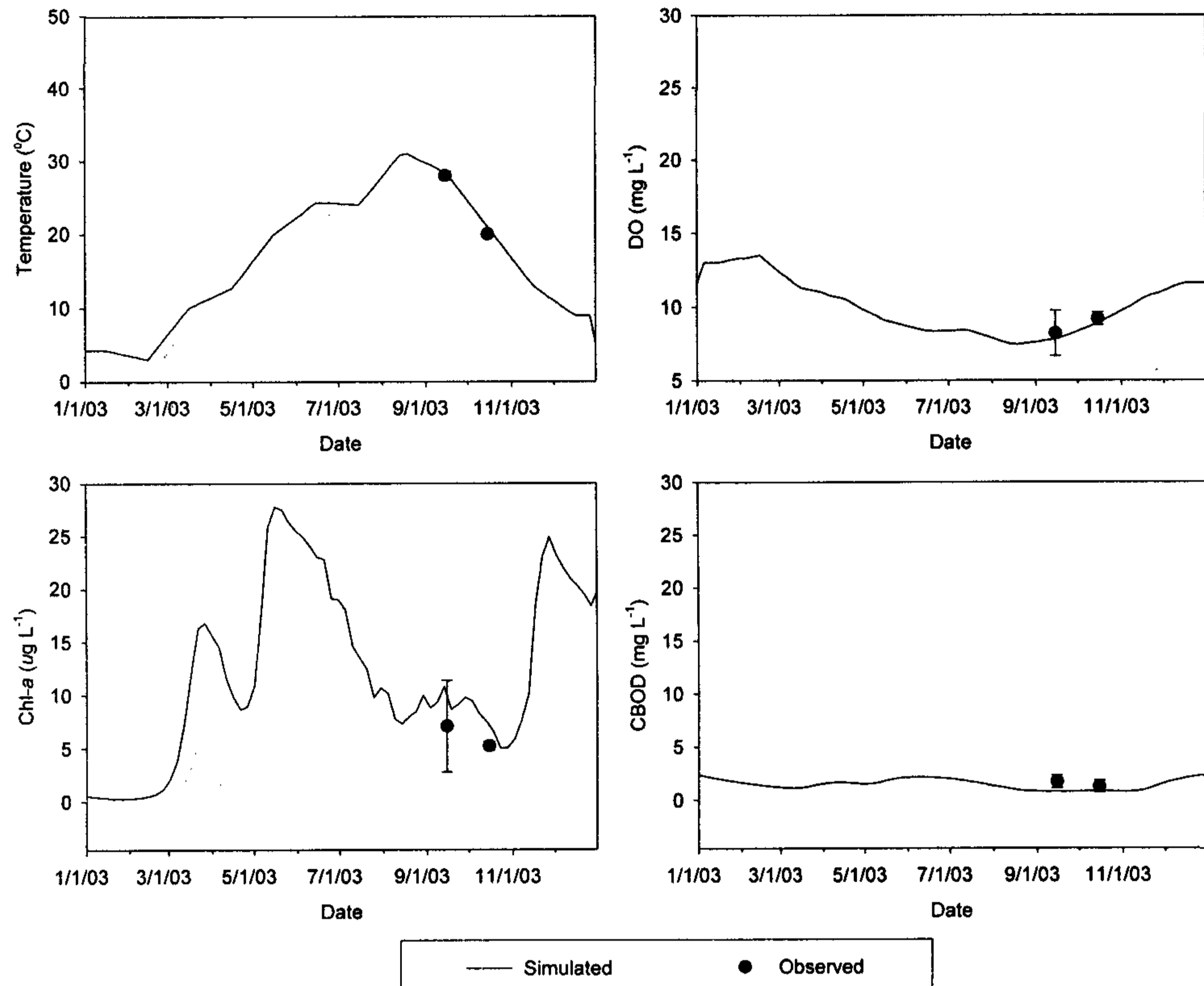


<그림 5-57> 호수중앙부의 영양물질 2003년 수질 모의 결과

#### 6) HL6(배수갑문 주변)

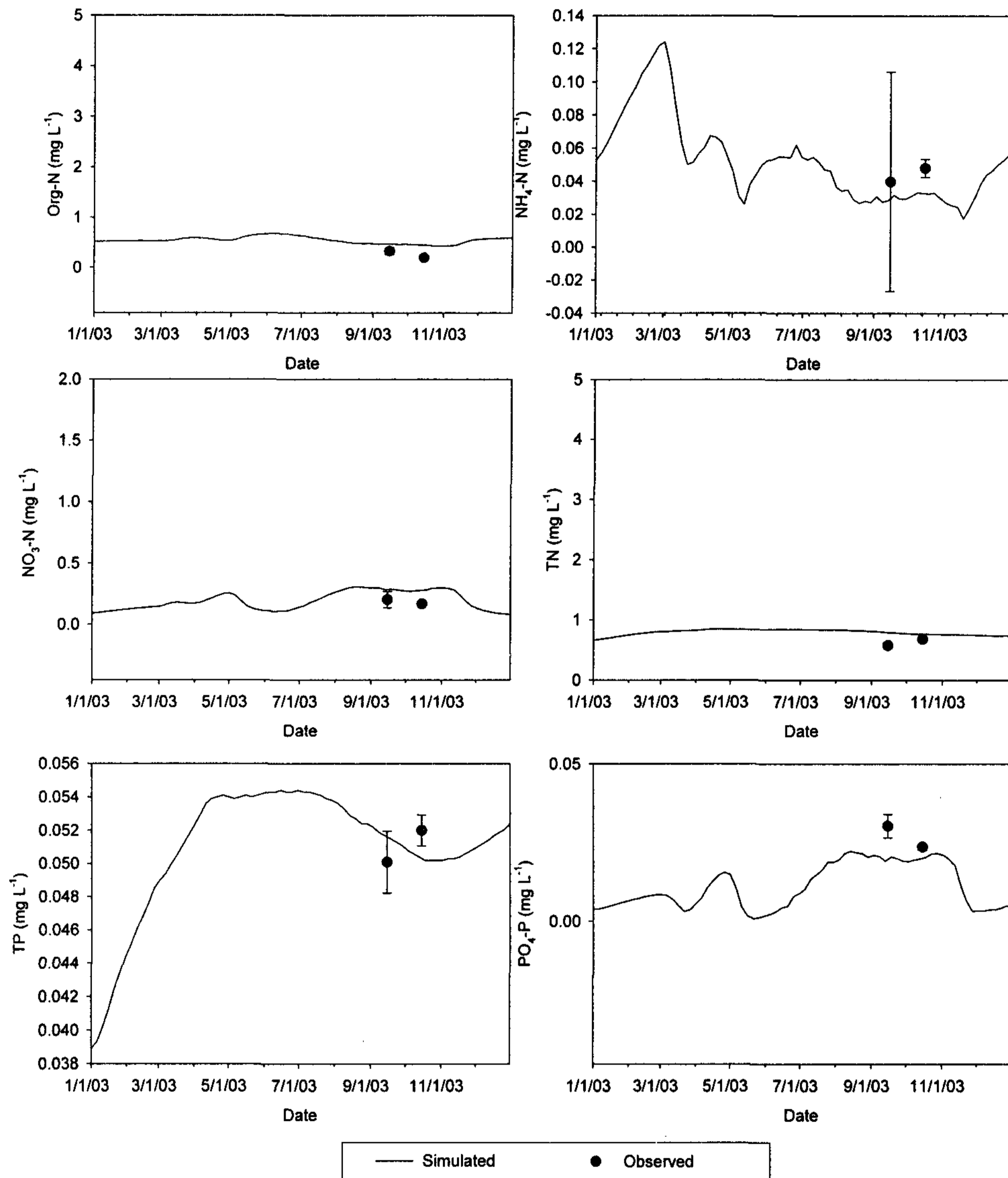
본 측정지점은 배수갑문이 위치한 지점으로 해수가 유입되고 담수호의 물이 유출되는 지점으로 해수와 담수가 바로 만나는 측정지점이다. 따라서 샘플링 시기에 따라 해수와 담수의 형태가 급격하게 변할 수 있는 가능성이

있는 측정지점이다. <그림 5-58>는 배수갑문 주변의 온도, DO, Chl-*a*, 그리고 CBOD의 농도를 나타내고 있는 그래프이다. 그래프에서 볼 수 있듯이 실측값을 잘 반영하고 있는 것을 알 수 있다.



<그림 5-58> 배수갑문 주변의 2003년도 수질 모의 결과

<그림 5-59>은 배수갑문 주변의 영양물질을 모의한 결과이다. 영양물질의 경우를 보면, 실측값을 모의값이 잘 반영하고 있는 것을 알 수 있다. 본 모의 결과는 주로 2004년도 실측값을 이용하여 나타낸 것으로서 실측값은 2회로 적지만 측정데이터가 맞는 것으로 보아 적절하게 보정된 모형으로 판단된다.



<그림 5-59> 배수갑문 주변의 2003년도 영양물질 모의 결과

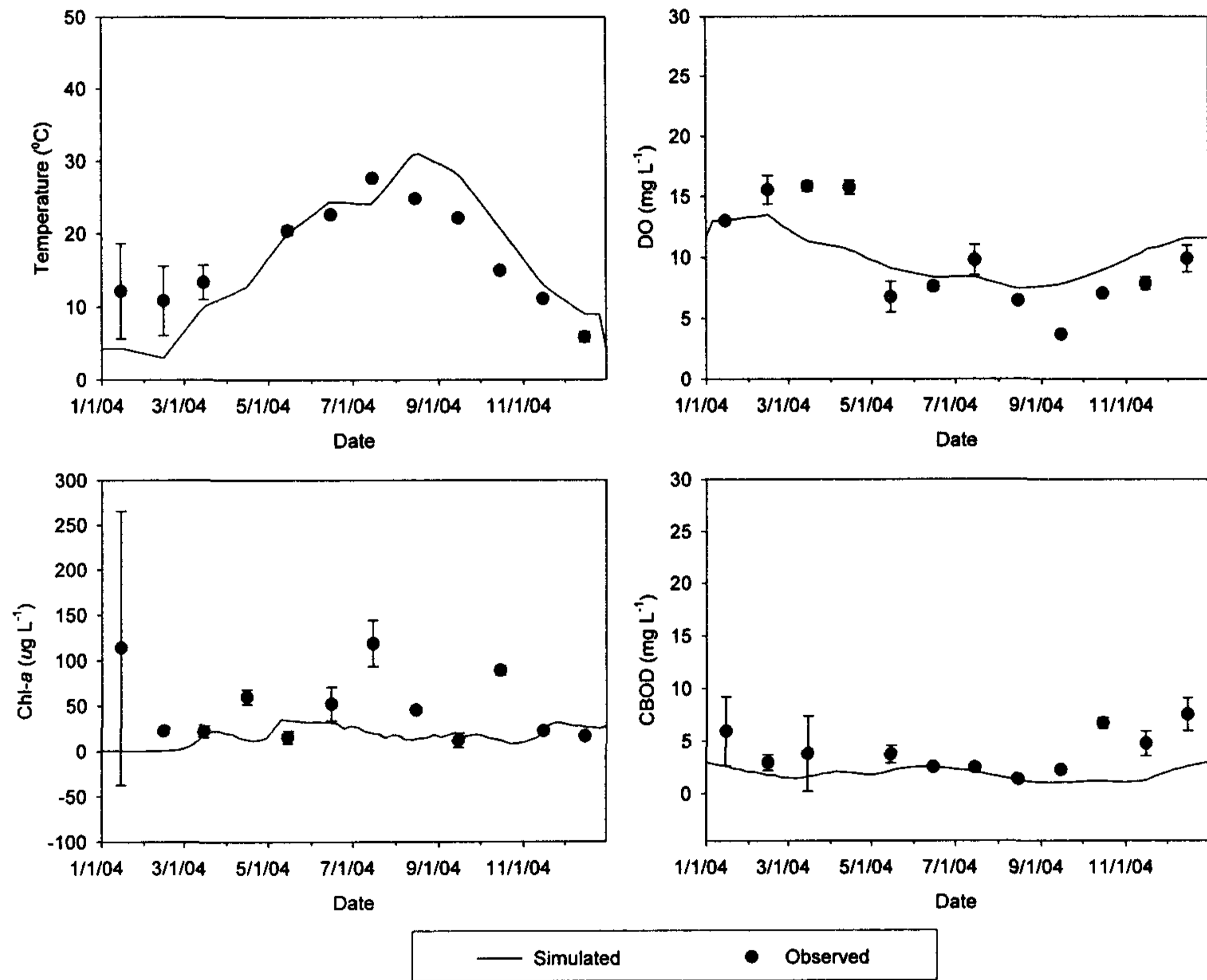
나. 2004년 자료를 이용한 WASP5의 수질 모의

WASP5 모형의 보정은 2004년도의 실측값을 주로 이용하여 보정하였으며, 이 보정값을 이용하여 2003년과 2005년에 적용하여 검정하는 형태로서 모형의 신뢰도를 측정하였다. 농촌공사에서 조작한 배수갑문 조작일지를 이용하여 유출입량을 산정하여 모형에 적용하였으며, HSPF에서 유출되는 유출량

과 부하량을 경계조건으로 활용하였다. 아래에는 각 측정지점별로 실측값과 모의값을 함께 그래프로서 표현하였다.

1) HL1(남양천 유입부)

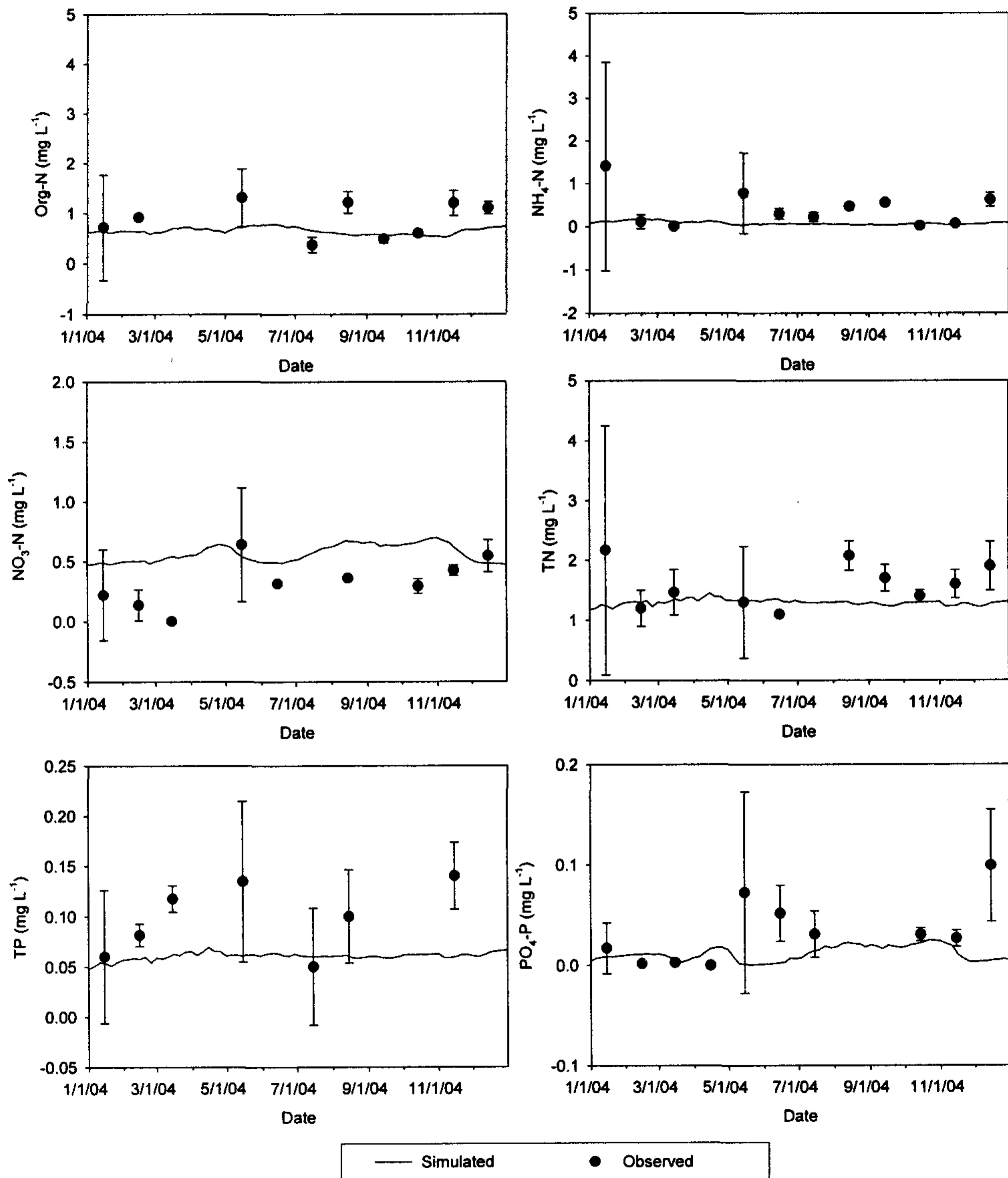
<그림 5-60>은 남양천 유입부의 수질모의 결과를 나타내는 그래프이다. 수질모의 결과 실측값의 경향을 모의값이 어느 정도 잘 반영하고 있는 것을 알 수 있다. 하천의 유입부인 남양천은 하천의 특징을 갖고 있지만, 변화는 변화패턴을 나타내고 있다.



<그림 5-60> 남양천 유입부의 2004년 수질 모의결과

<그림 5-61>은 남양천 유입부의 2004년 영양물질 모의 결과를 나타내고 있다. 영양물질 모의 결과를 보면 전체적인 패턴이 실측값을 잘 반영하고 있는 것으로 판단된다. 하지만, 일부자료는 실측값과 거리가 있는 부분도 있지

만, 남양천의 경우 유출의 정도나 상류에서 각종 하천정비사업이나 기타 오염원의 유입으로 하천수질이 일정하지 못한 특징을 갖고 있어서 수질의 편차가 심한 편이다.

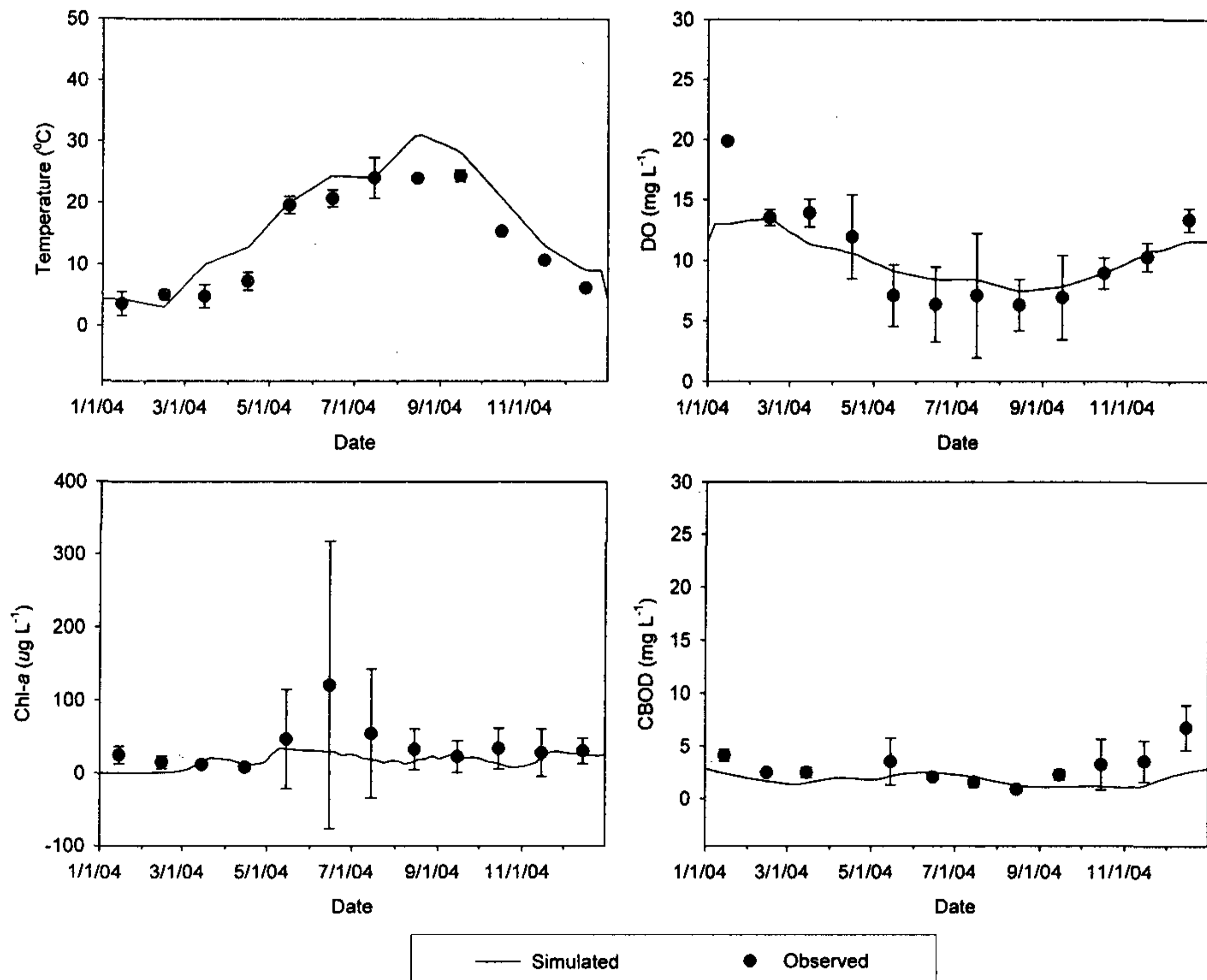


<그림 5-61> 남양천 유입부의 2004년 영양물질 모의결과

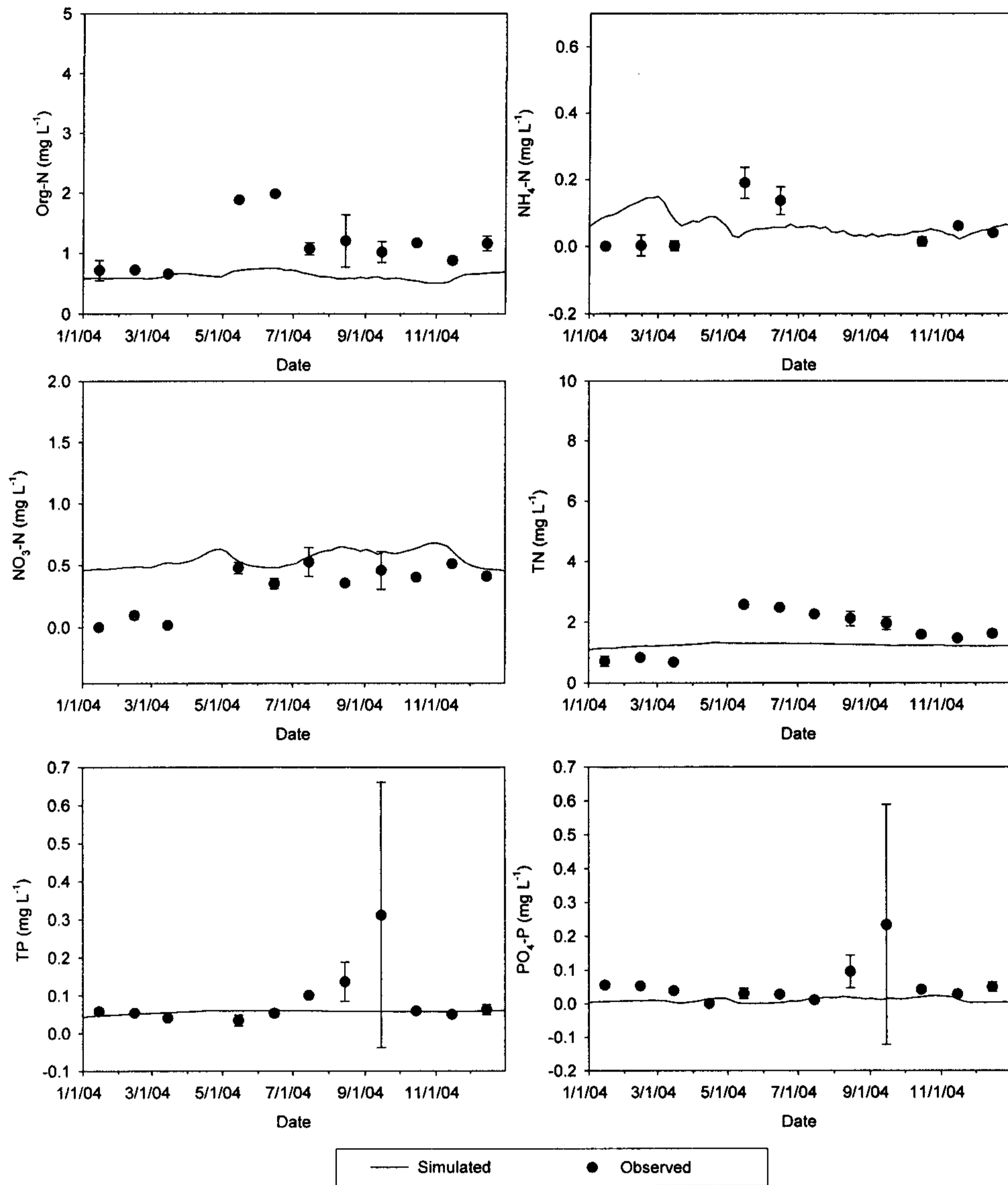
2) HL2(자안천 유입부)

<그림 5-62>와 <그림 6-63>는 자안천 유입부의 수온, DO, Chl-a, 그리고 CBOD의 수질과 영양물질을 모의하여 실측값과 비교한 그래프이다. <그림 5-62>는 실측값을 모의값이 잘 반영하는 것으로 나타났으며 Chl-a의 농도가 여름철에 급격히 증가하는 경향을 나타내는 특징이 나타났다. 하지만, 수표면, 중간, 하층부를 모니터링한 결과의 표준편차내에 존재하는 수준이었다. 이 지점은 현대자동차의 배수갑문에서 유출되는 유입수가 영향을 주는 지점으로 현대자동차 앞의 저수지를 통과하면서 여름철에 조류가 번성하였기 때문이다.

<그림 5-63>는 자안천 유입부의 영양물질 모의결과를 나타내는 그림이다. 영양물질 모의는 실측값과 예측값 사이에 존재하였으나, 특정항목의 특정지점에서는 낮은 수준이거나 높은 수준을 나타내었다. 본 측정지점은 자안천의 유입부로서 하천에 영향을 많이 받기 때문에 실측값을 전부 반영하는 데는 어려움이 있었으며, 또한 하천 중앙부와 배수갑문 조작지점을 위주로 모형을 보정하였기 때문이다.



<그림 5-62> 자안천 유입부의 2004년 수질 모의 결과

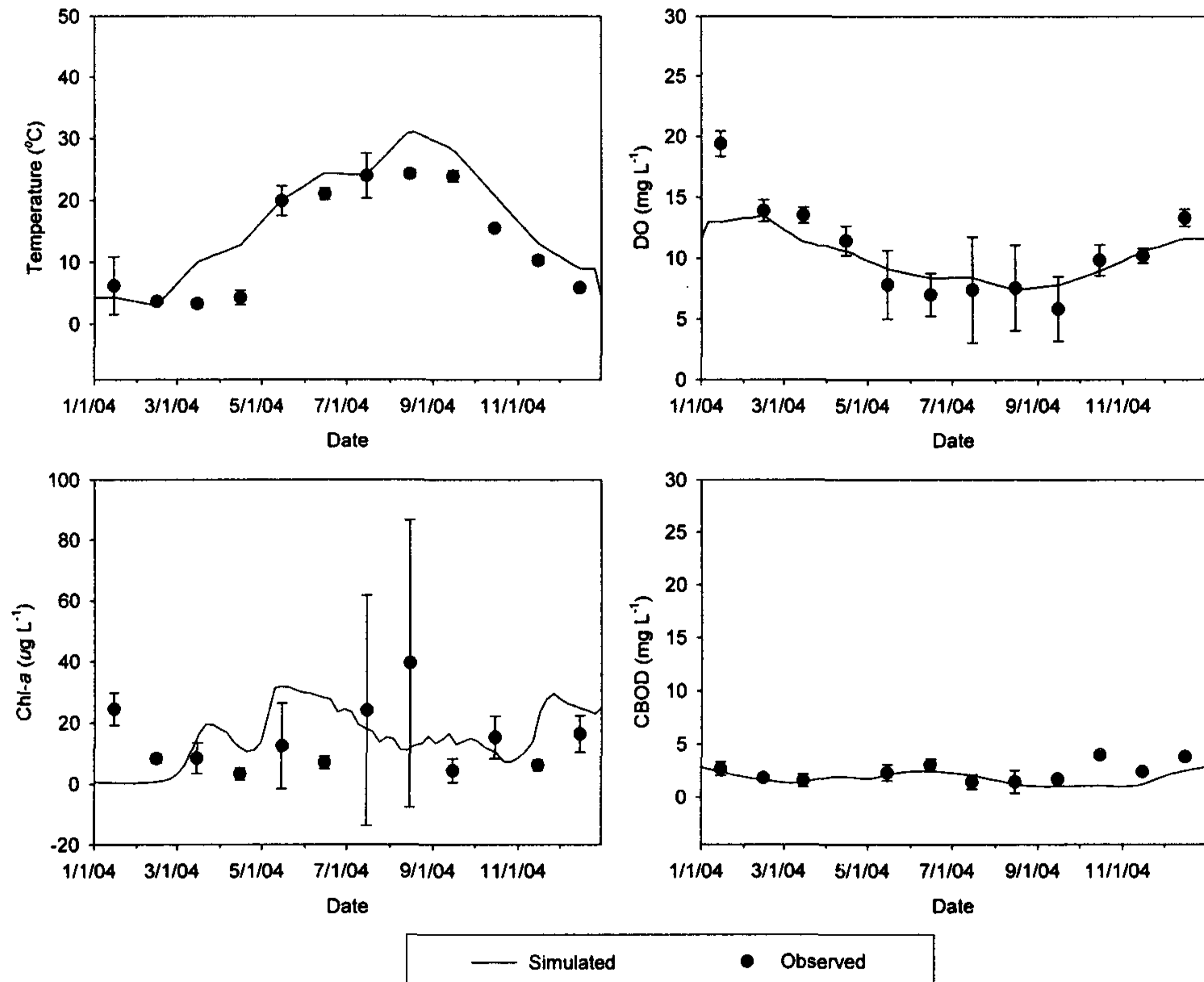


<그림 5-63> 자안천 유입부의 2004년 영양물질 모의 결과

3) HL3(남양천과 자안천의 합류부)

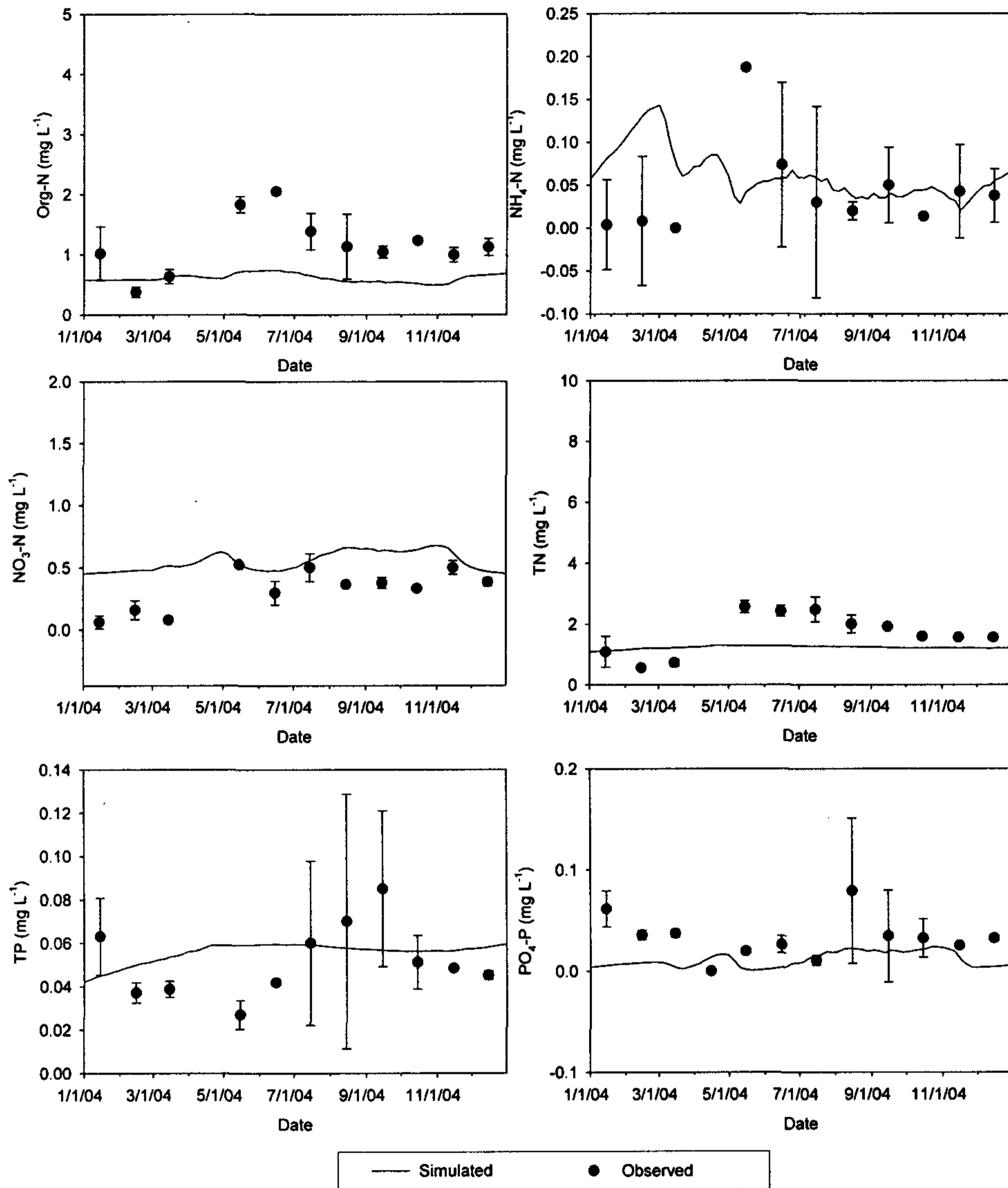
<그림 5-64>과 <그림 5-65>지점은 남양천과 자안천의 합류부의 수

온, DO, Chl-*a*, 그리고 CBOD의 수질과 영양물질을 모의하여 실측값과 비교한 그래프이다. 남양천과 자안천이 만나는 지점으로 하천과 담수호의 특징이 공존하는 지점이다. <그림 5-64>의 경우 실측값을 모의값이 어느 정도 잘 반영하고 있음을 알 수 있다. <그림 5-65>의 경우에 실측값과 예측값이 많은 차이를 나타내기도 하지만 일정한 범위 안에 있는 것으로 판단된다.



<그림 5-64> 남양천과 자안천 합류부의 2004년 수질 모의 결과



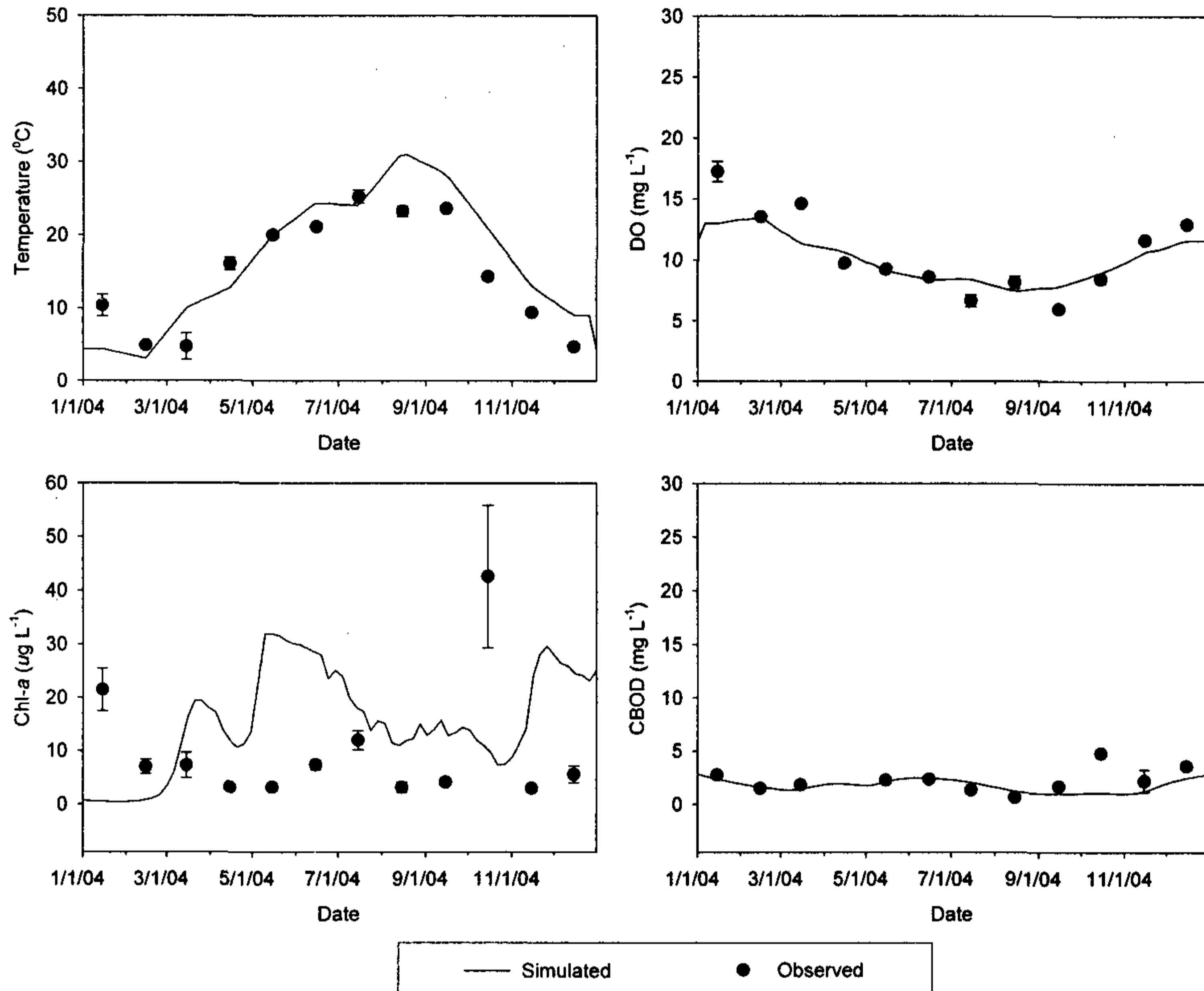


<그림 5-65> 남양천과 자안천 합류부의 2004년 영양물질 모의 결과

4) HL4(어은천 유입부)

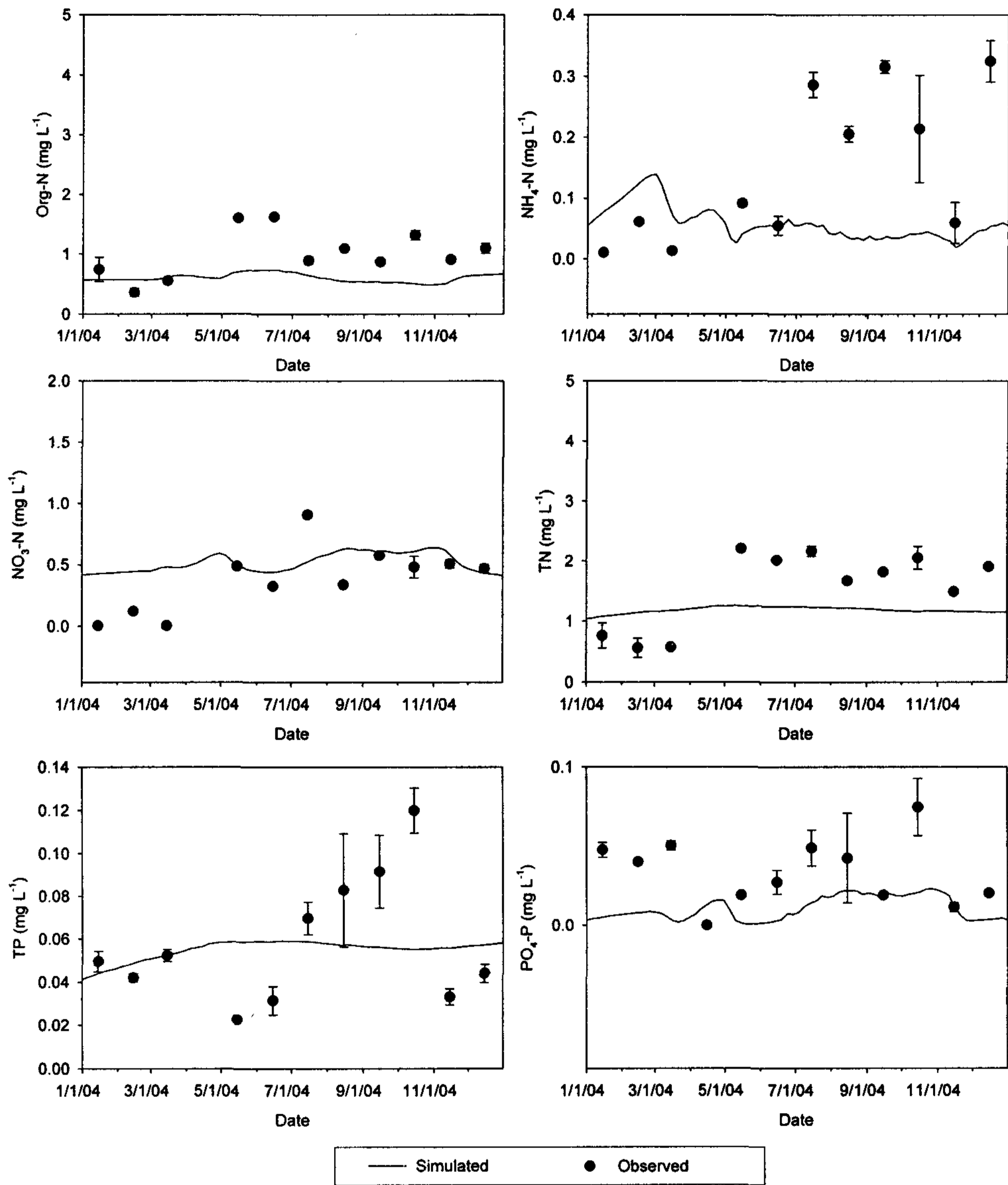
<그림 5-66>과 <그림 5-67>는 어은천 유입부의 수온, DO, Chl-*a*, 그리고 CBOD의 수질과 영양물질을 모의하여 실측값과 비교한 그래프이다. <그림 5-66>의 경우는 모의 값이 실측값을 잘 반영하고 있는 것을 알 수 있

다. 하지만, Chl-a의 경우에는 실측값의 변화를 모의값이 잘 반영하지 못하는 것으로 판단된다.



<그림 5-66> 어은천 유입부의 2004년 수질 모의 결과

<그림 5-67>는 영양물질 모의 결과를 나타내는데, 영양물질의 급격한 변화를 잘 반영하지 못하고 있다. 어은천 유입부는 하천으로부터 유입되는 농도에 영향을 크게 받는 지점인데 하천의 실측값이 급격하게 변화했기 때문이다.

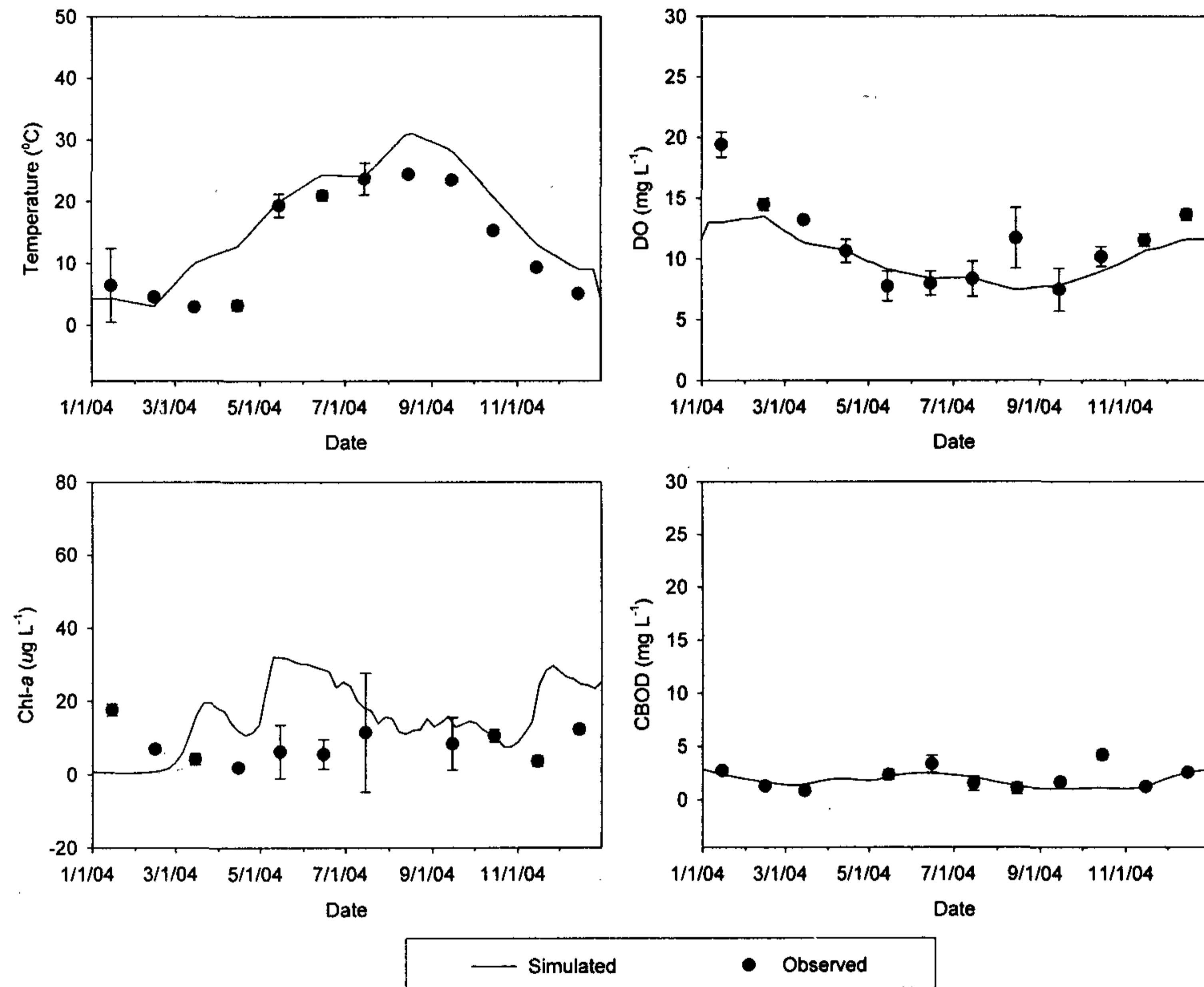


<그림 5-67> 어은천 유입부의 2004년 영양물질 모의 결과

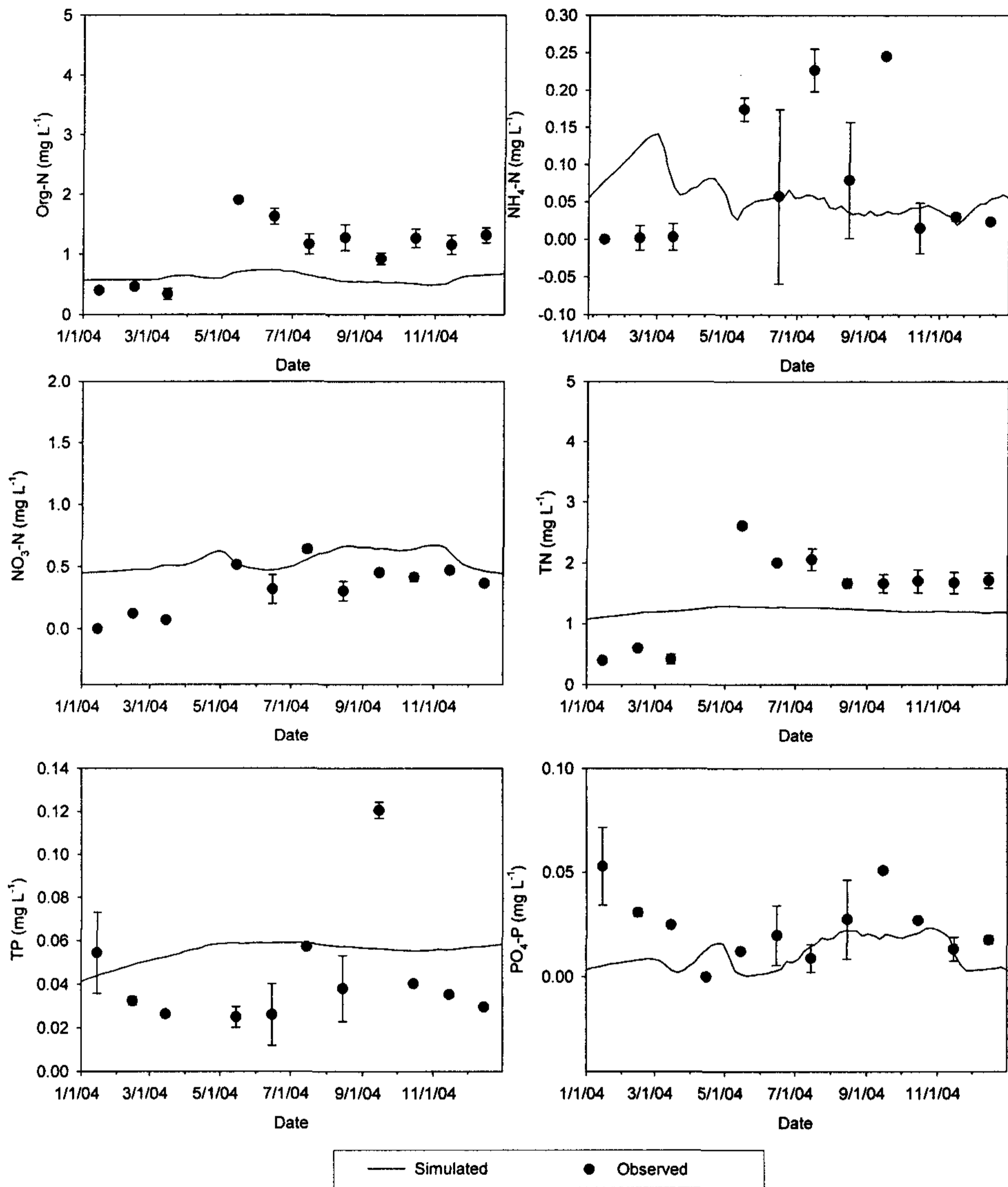
5) HL5(호수중앙부분)

<그림 5-68>과 <그림 5-69>은 호수중앙 부분의 수온, DO, Chl-*a*, 그리고 CBOD의 수질과 영양물질을 모의하여 실측값과 비교한 그래프이다.

<그림 5-68>에서 보듯이 Chl-*a*의 농도가 실측값과 상의하나 모두 범위 안에 있는 수준이었다. <그림 5-69>는 영양물질의 실측값과 모의값을 나타낸 그림이다. 실측값의 변화 패턴을 전부반영하지는 못하나 어느 정도 실측값을 나타내고 있는 것으로 판단된다.



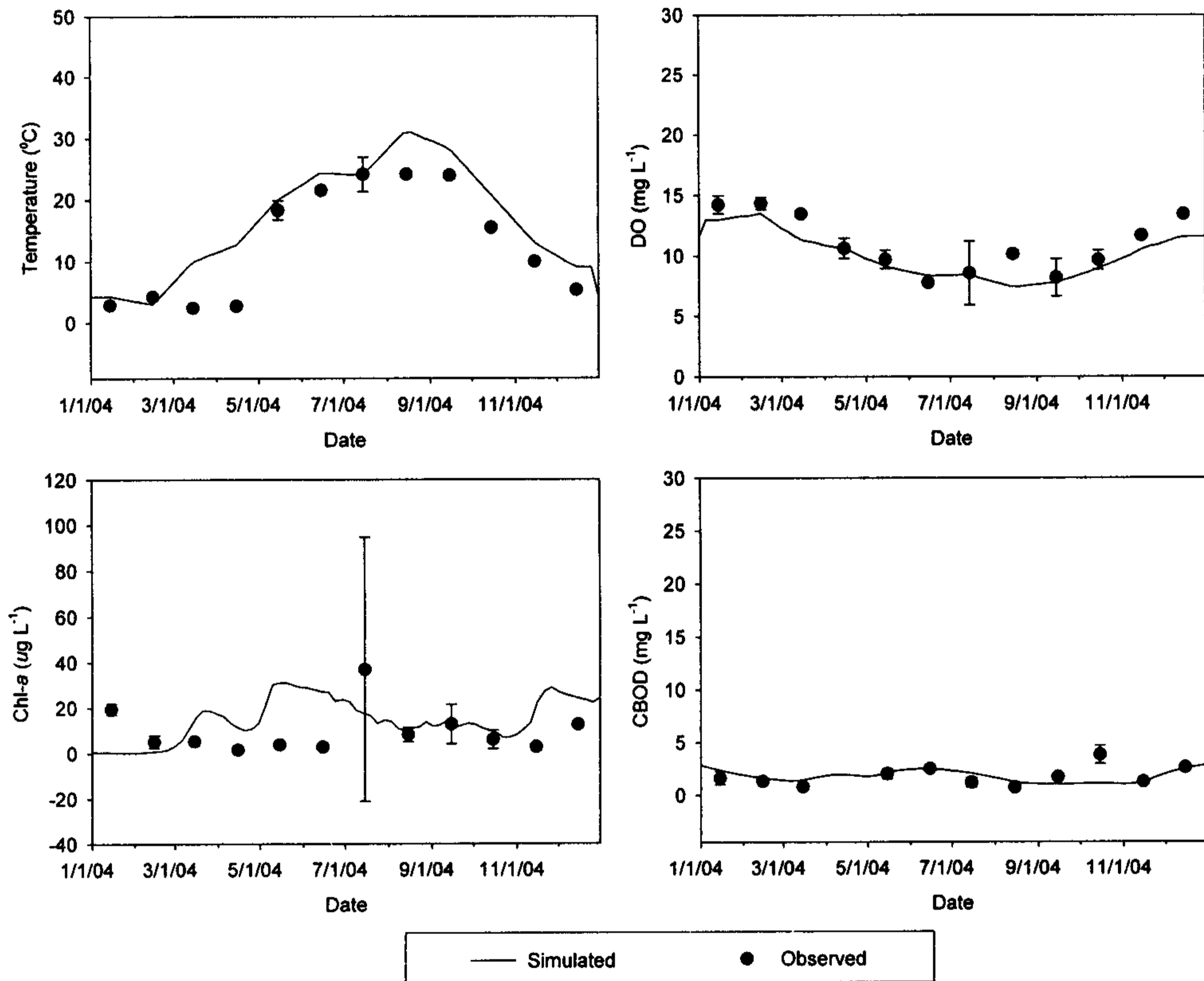
<그림 5-68> 호수 중앙부분의 2004년 수질 모의 결과



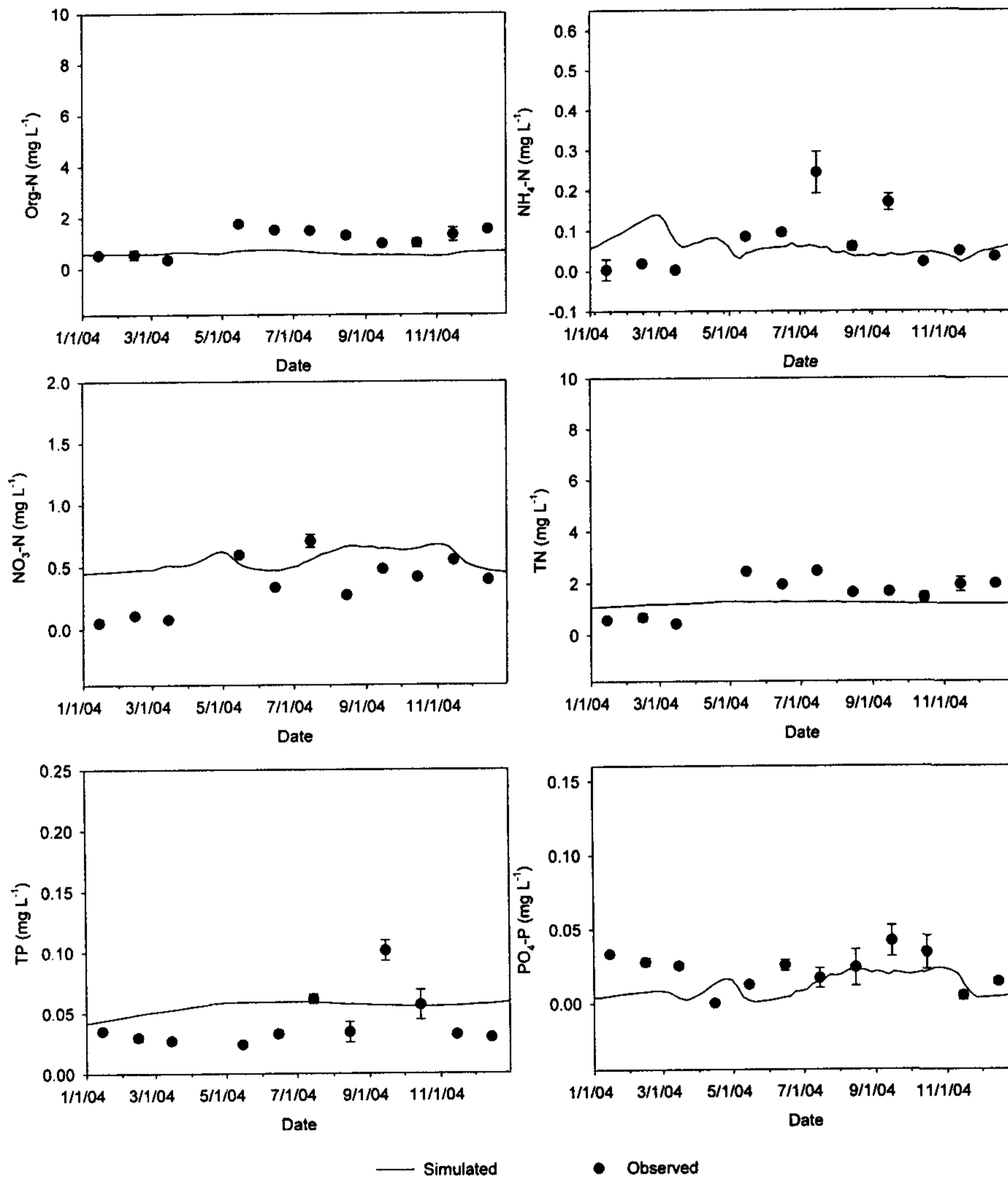
<그림 5-69> 호수 중앙부분의 2004년 영양물질 모의 결과

6) HL6(배수갑문 주변)

<그림 5-70>과 <그림 5-71>은 배수갑문 주변의 수온, DO, Chl-*a*, 그리고 CBOD의 수질과 영양물질을 모의하여 실측값과 비교한 그래프이다. 배수갑문 주변의 실측값을 모의값이 어느 정도 반영하고 있는 것을 알 수 있다.

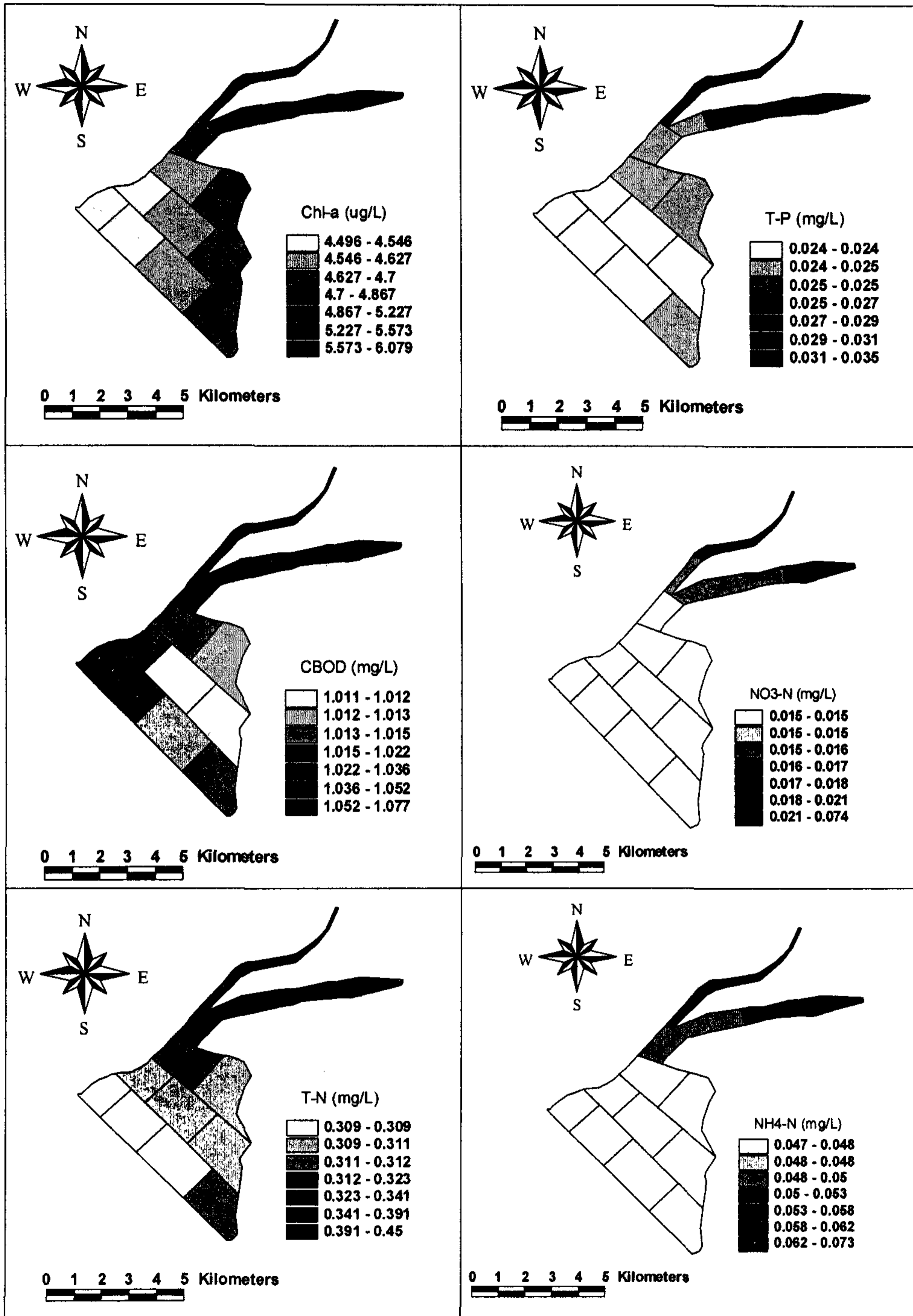


<그림 5-70> 배수갑문 주변의 2004년 수질 모의 결과



<그림 5-71> 배수갑문 주변의 2004년 영양물질 모의 결과

<그림 5-72>는 2003년도를 기준으로 보정한 인자를 이용하였으며 담수호의 수질개선을 위한 배수갑문 조절이 시행되는 것으로 모의하여 유량 가중 평균하여 표현한 그래프이다. 본그림에서 알 수 있는 것은 초기 오염원이 유입되는 유입부에서 오염이 심하다가 호내로 갈수록 수질이 양호해지는 것을 알 수 있다. 하지만, CBOD의 경우에는 호와 가까운 곳에 위치한 곳의 수질이 좋지 않은 것으로 나타났는데, 이는 해역의 수질과 호내에서 생산되어 다시 CBOD로 전환되는 메커니즘에 의한 것으로 판단된다.



<그림 5-72> 내부개답 전 WASP 모형 모의 결과의 연평균 수질(유량가중평균)



<표 5-6>은 다른 연구자들에 의해 적용된 WASP5의 보정 인자들의 값이다. 반응상수의 보정은 담수호내의 실측자료를 바탕으로 이루어지는데 현재 화성담수호는 호소가 만들어지지 않은 상태로 호 내 실측자료가 다른 담수호나 호수와는 다른 패턴을 갖고 있다. 현재 배수갑문을 조절하여 해수가 유통되고 있기 때문이며, 본 연구에서 적용한 반응상수를 아래와 같이 적용하였다.

<표 5-6> EUTRO 모형 보정에 사용된 반응상수와 다른 연구자들의 결과

Const.Code	화성호	Manual	<sup>1)</sup> 황	<sup>2)</sup> 유	<sup>3)</sup> 신	<sup>4)</sup> 박	남양호	해남호	시화호
K1320C(11)	0.12	0.09-0.13	0.08	0.1	0.0005	0.1	0.25	0.025	0.02
K1320T(12)	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.045	1.08
KNIT(13)	2	2	-	2	2	2	2	2	0.5
K140C(21)	0.01	0.09	-	0.05	0.92	0.1	0.3	0.025	0.09
K140T(22)	1.08	1.045	-	1.08	1.08	1.08	1.05	1.08	1.08
KNO3(23)	0.15	0.1	-	0.2	0.25	0.25	0.1	0.1	0.1
K1C(41)	2.3	2	1.2	2	2	2	2	2.5	0.45
K1T(42)	1.08	1.069	1.068	1.06	1.07	1.07	1.068	1.02	1
CCHL(46)	28	30	30	25	25	25	-	30	50
IS1(47)	350	200-750	500	300	400	4000	-	200	400
KMNG1(48)	0.025	0.025	0.025	0.08	0.025	0.025	-	0.025	0.01
KMPG1(49)	0.0008	0.001	0.006	0.008	0.015	0.015	-	0.001	0.002
K1RC(50)	0.125	0.125	0.15	0.0005	0.0001	0.125	0.012	0.125	0.06
K1RT(51)	1.05	1.045	0.045	1.045	1.05	1.05	1.045	1.045	1.047
K1D(52)	0.04	0.02	0.02	0.04	0.01	0.01	0.02	0.06	0.02
KPZDC(55)	0.05	0.02	-	-	0.7	-	-	0.02	0.0004
KPZDT(56)	1.08	1.08	-	-	1.08	-	-	1.08	1
PCRB(57)	0.025	0.025	0.025	0.01	0.15	0.025	0.005	2.025	0.01
NCRB(58)	0.175	0.25	0.2	0.1	0.25	0.25	0.02	0.25	0.25
KDC(71)	0.03	0.16-0.21	0.16	0.15	0.039	0.25	0.001	0.03	0.01
KDT(72)	1.045	1.05	1.05	1.05	1.04	1.05	1.047	1.045	1.047
KDSC(73)	0.0004	0.0004	-	-	0.0045	-	-	0.0004	0.0004
KDST(74)	1.08	1.08	-	-	1.08	-	-	1.08	1.08
OCRB(81)	2.667	2.6667	-	3	2.67	2.667	2.667	2.667	2.67
K2(82)	-	-	-	-	0.00006	-	0.3	-	0.01
K1013C(91)	0.065	0.075	0.02	0.03	0.45	0.45	0.03	0.05	0.075
K1013T(92)	1.045	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.045	1.02
KONDC(93)	0.0004	0.0004	-	-	0.00004	-	-	0.0004	0.0004
KONDT(94)	1.08	1.08	-	-	1.08	-	-	1.08	1.08
K58C(100)	0.16	0.22	0.22	0.04	0.24	0.22	0.0004	0.075	0.004
K58T(101)	1.045	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.045	1.047
KOPDC(102)	0.0004	0.0004	-	-	0.00011	-	-	0.0003	0.04
KOPDT(103)	1.08	1.08	-	-	1.08	-	-	1.08	1.08

1) 황인성(1991), 2) 유명진 등(1993), 3) 신동석(1993), 4) 박영진(1996)

**제 6 장 *BASINS/HSPF*와 *WASP5*의  
통합유역관리 모형 개발**

---

## 제 6 장 BASINS/HSPF와 WASP5의 통합유역관리 모형 개발

### 제 1 절 BASINS/HSPF와 WASP5의 통합유역관리 모형 개발

BASINS/HSPF와 WASP5모형을 이용한 통합유역관리 모형 개발의 단계는 다음과 같다.

1. BASINS 구축
  - Utility를 이용한 각종 모형 입력자료 및 부하량, 주요 관리지역의 선정
2. HSPF 모형의 구동 및 출력파일 생성
3. HSPF 모형의 OUT파일을 이용한 WASP5 모형의 입력 유량과 부하량 생성
4. HYNHYD5 모형의 구동
5. EUTRO5 모형의 구동
6. 안정화를 위한 EUTRO5 모형의 연속구동(20회)
7. 결과 파일을 segment와 수질항목을 원하는 형태로 출력

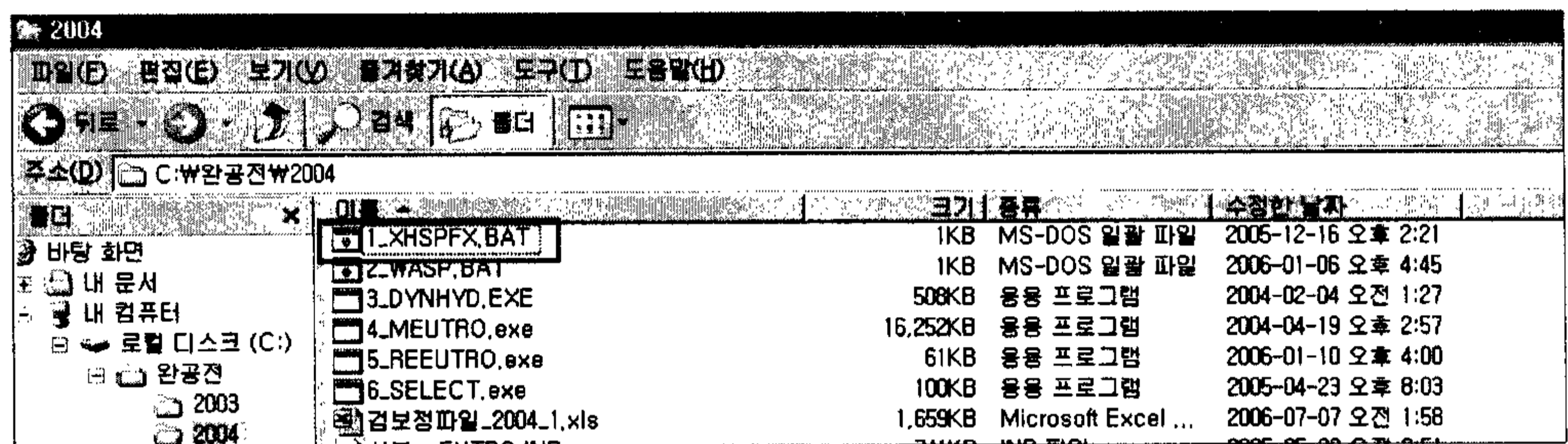
#### 1. BASINS/HSPF모형의 구동을 위한 준비

HSPF모형을 구동하기 위해서는 BASINS기반으로 제작된 WDM(Watershed data management) 파일이 필요하게 된다. WDM파일에 저장되는 자료의 형태는 크게 세가지로 분류할 수 있다. 기상자료를 구축하여 저장하는 형태의 WDM파일과, 오염원 현황을 소유역별로 구분하여 저장하는 WDM파일, 그리고 최종 결과파일이 저장되는 WDM파일이 필요하다. 하지만, WDM파일은 일반적인 텍스트 형태나 DB형태로 불러와서 용이하게 사용하지 못하기 때문에 HSPF모형의 OUT-PUT Manager부분에서 담수호로 유입되는 하천의 유출량과 부하량을 따로 정리하게 하여야 한다.

HSPF모형의 구동은 WINDOW기반에서 구동할 수 있는 WinHSPF와

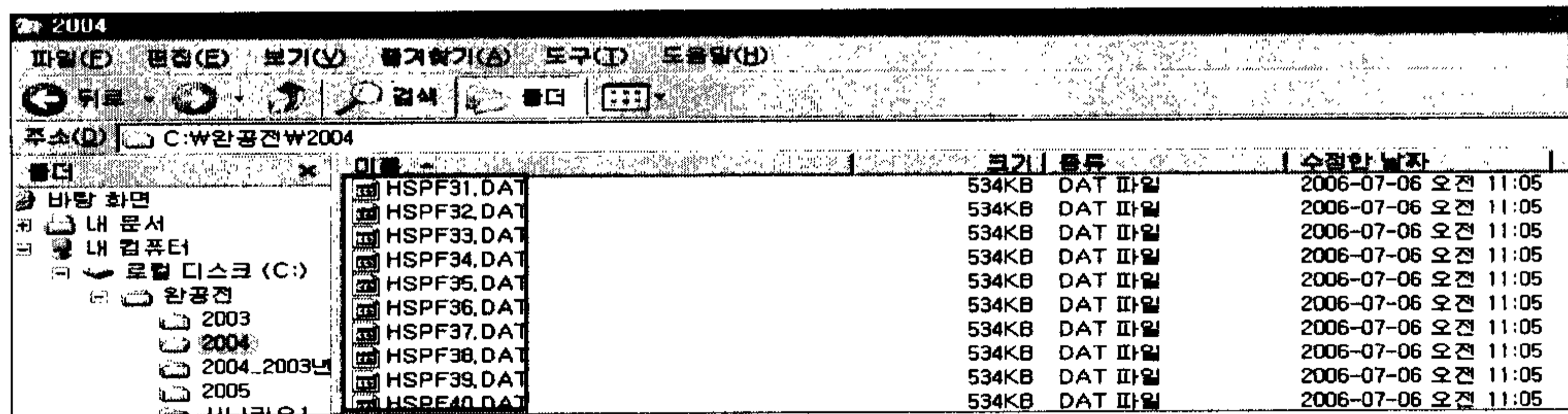
DOS기반에서 구동할 수 있는 실행파일 형태가 있는데 본 연구에서는 구동속도가 빠르고 모형구동의 결과를 쉽게 알 수 있는 DOS기반의 실행파일을 이용하여 구동하였다. WDM 파일들이 동일한 폴더내에 존재해야만 모형을 구동할 수 있다. <그림 6-1>은 DOS기반으로 실행되는 HSPF모형의 실행파일형태를 보여주고 있으며, 아래 창에서 보이는 가장 윗부분의 1\_XHSPFX.BAT파일을 실행하게 되면 HSPF모형이 구동하게 된다.

구동된 파일은 <그림 6-2>와 같이 WASP5모형에 적용하기 쉬운 파일의 형태인 텍스트파일 형태로 저장된다. 아래 보이는 HSPF\*\*.DAT파일이 구동된 OUT을 원하는 형태로 저장되어 출력된 형태이다.



<그림 6-1> HSPF 모형의 실행파일

아래와 같이 텍스트 파일로 불러들여서 WASP 모형의 수리모형인 DYHYD5와 수질모형인 EUTRO5 모형의 입력파일 형태로 전환하는데 사용하게 된다.

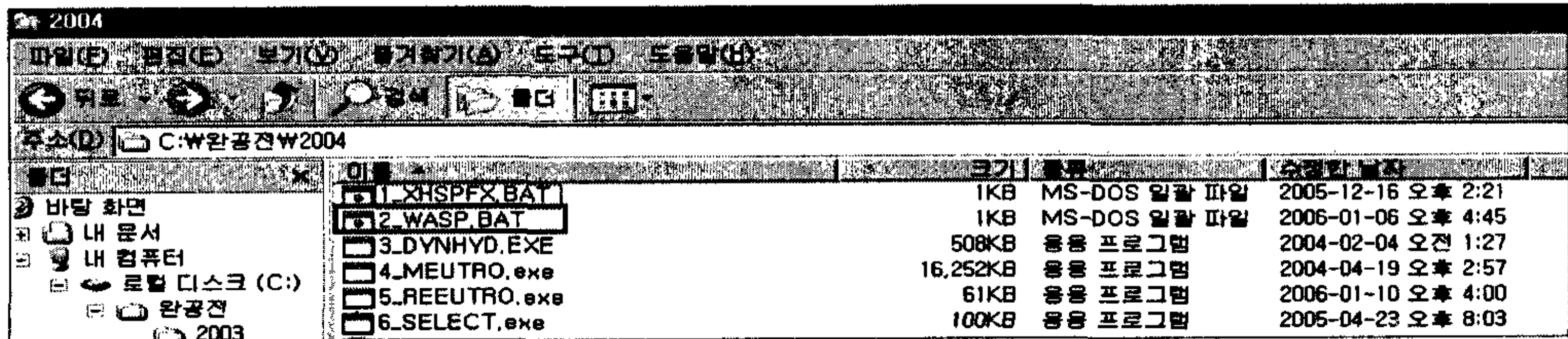


<그림 6-2> HSPF구동 후 출력된 OUT 파일의 형태

## 2. WASP5 모형의 구동

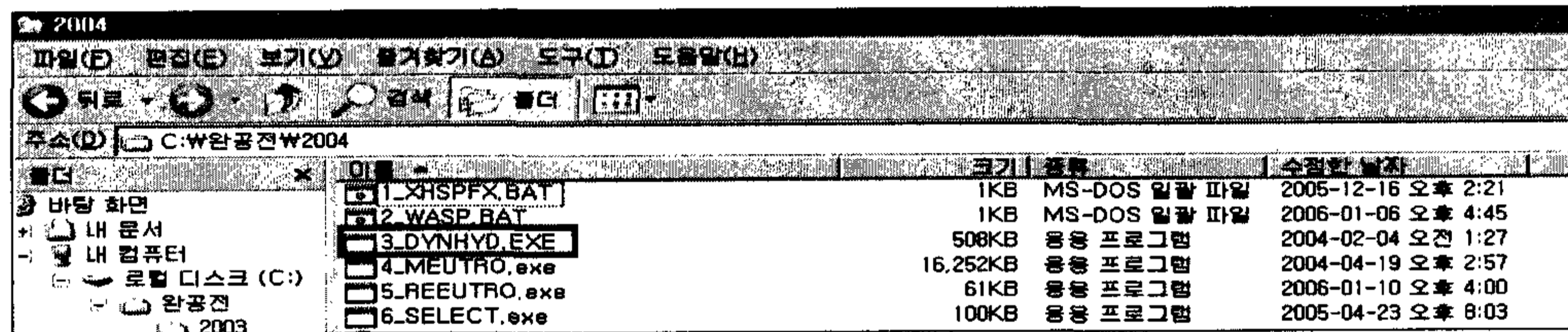
### 가. DYNHYD5모형의 구동

<그림 6-3>은 WASP5 모형의 DYNHYD5와 EUTRO5 모형의 경계조건을 HSPF 모형의 출력파일을 이용해서 입력해 주는 부분 실행하는 실행파일이다.



<그림 6-3> WASP5 모형의 경계조건 생성

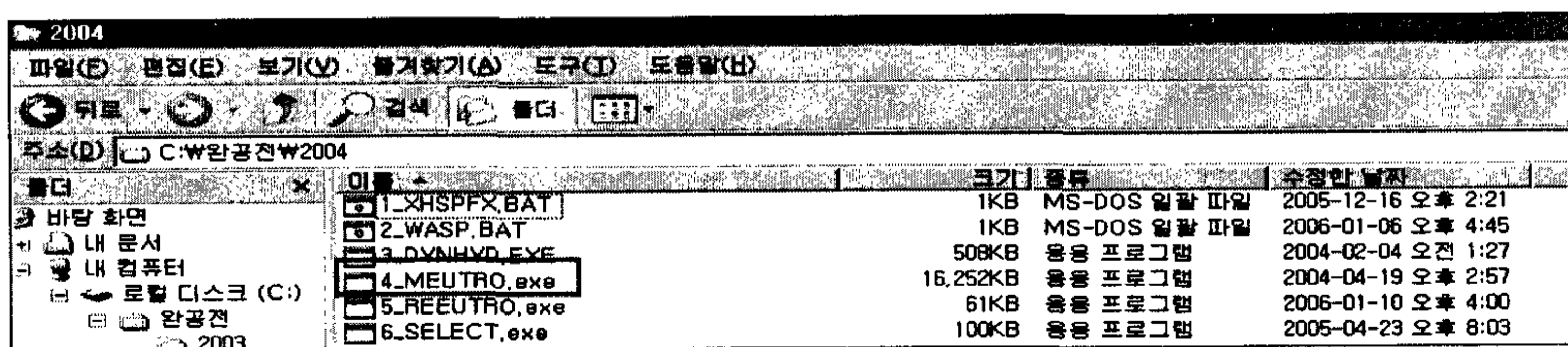
이 실행파일을 실행하게 되면 HSPF의 OUT 파일의 유량과 부하량이 원하는 DYNHYD5와 EUTRO5모형의 경계조건으로 입력되어 구동을 위한 준비가 완료되게 된다. 아래 <그림 6-4>와 같이 3\_DYNHYD.EXE 파일을 실행하게 되면, DYNHYD5모형이 구동하게 된다.



<그림 6-4> DYNHYD5 모형의 구동

#### 나. EUTRO5 모형의 구동

EUTRO5모형은 아래 그림과 같이 4\_MEUTRO.EXE파일을 통해 실행할 수 있다.



<그림 6-5> EUTRO5 모형의 구동

#### 3. WASP5 모형의 안정화를 위한 작업

WASP5모형의 경우 안정화 단계를 거쳐야 되는데 <그림 6-6>과 같이 5\_REEUTRO.EXE파일을 실행하게 되면 20회가 구동되기 때문에 안정화되게 된다.

이름	크기	종류	수정일/날짜
1.XHSPFX.BAT	1KB	MS-DOS 일괄 파일	2005-12-16 오후 2:21
2.WASP.BAT	1KB	MS-DOS 일괄 파일	2006-01-06 오후 4:45
3.DYNHYD.EXE	508KB	응용 프로그램	2004-02-04 오전 1:27
4.MEUTRO.exe	16,252KB	응용 프로그램	2004-04-19 오후 2:57
5.REEUTRO.exe	61KB	응용 프로그램	2006-01-10 오후 4:00
6.SELECT.exe	100KB	응용 프로그램	2005-04-23 오후 8:03

<그림 6-6> WASP5 모형의 안정화

마지막으로 <그림 6-7>과 같이 WASP5 모형의 출력형태를 변환해주기 위해 6\_SELECT.EXE파일을 실행하게 된다.

이름	크기	종류	수정일/날짜
1.XHSPFX.BAT	1KB	MS-DOS 일괄 파일	2005-12-16 오후 2:21
2.WASP.BAT	1KB	MS-DOS 일괄 파일	2006-01-06 오후 4:45
3.DYNHYD.EXE	508KB	응용 프로그램	2004-02-04 오전 1:27
4.MEUTRO.exe	16,252KB	응용 프로그램	2004-04-19 오후 2:57
5.REEUTRO.exe	61KB	응용 프로그램	2006-01-10 오후 4:00
6.SELECT.exe	100KB	응용 프로그램	2005-04-23 오후 8:03

<그림 6-7> WASP5 모형의 출력형태 변환

## 제 2 절 자연정화 방법에 의한 수질개선 방안 조사

자연정화방법(natural treatment)이란 토양, 식물, 또는 미생물과 같은 자연자원들의 정화능력을 이용하여 오염된 환경을 개선하는 방법을 가리킨다. 이러한 방법을 이용하여 수질을 개선하는 기법은 기계적인 수질개선방법에 비하여 에너지소모가 적고, 유지관리가 용이하며, 소요경비가 낮고, 오니발생량이 적어서 2차오염의 우려가 적은 장점이 있다. 이러한 방법들은 농촌지역과 같이 사용 가능한 공간이 상대적으로 넓은 지역에 유리하며, 옛날부터 사용해오던 방법으로는 침출지(leaching field), 안정지(stabilization pond), 토지처리(land treatment)등이 있다. 근래에 개발되고 있는 방법으로는 부엽식물(floating plants)을 이용한 수중처리(aquatic system)와 정수식물(emergent plants)을 이용한 습지처리(wetland treatment) 등이 있는데, 여기에서 사용되는 식물들은 처리성능의 증진과 영양염의 제거기능 때문에 많은 관심을 받고 있으며, 이들을 사용한 처리기술들이 독특한 영역으로 부각되고 있다.

### 1. 토양식처리방법

오염된 물을 투입시키는 지점, 이동경로, 또는 처리율 등에 따라 침출지와 흡착지(absorption fields)같은 지중처리(subsurface treatment), 그리고 완속침윤(slow rate infiltration)이나 급속침윤(rapid rate infiltration) 또는 지표유하(overland flow)와 같은 토지처리 등으로 구분할 수 있다.

#### 가. 지중처리

하수종말처리시설이 없는 지역에서 가장 보편적으로 사용되고 있으며 대표적인 하수처리방법으로서 정화조를 생각할 수 있다. 이 방법은 정화조에 의해 전처리를 거친 유출수가 배관이나 방류시설에 의해 처리에 적합한 토양으로 이루어진 지하에 투입되는데 현장처리(on-site treatment)라고도 불리며,

침윤을 저하를 방지하기 위해서는 고형성분과 유기성분의 제거가 필요하다. 이러한 방법은 단독주거형태에서부터 밀집형 소규모부락, 그리고 상용건물에 이르기까지 적용이 다양한데 계속사용이 가능하지만 토양의 수리학적 수용능력을 고려하여 주기적으로 안정기간을 갖는 것이 좋다.

#### 나. 토지처리

하수를 지면에 살포하여 처리하는 방법으로써 하수의 토양내 흐름특성에 따라 완속침윤과 급속침윤으로 구분한다. 지표유하방법은 완만한 경사의 지표면에 하수를 살포하여 판상흐름을 형성하며 처리한다. 완속침윤과 지표유하방법에서는 지면에 식물의 생장이 중요한 요소이나 급속침윤에서는 식생의 역할이 거의 무시된다. 완속침윤과 지표유하방법들은 토양표층의 풍부한 미생물과 식물의 뿌리를 통한 흡수 등으로 인하여 수질을 효과적으로 개선할 수 있다.

### 2. 수중처리방법

수중처리에는 안정지, 부엽식물을 이용한 처리, 정수식물을 이용한 습지처리 등이 있는데 일반적으로 연속적인 흐름에 의해 유출수는 주변의 표면수에 방류하게 된다. 시스템은 기후조건에 따라 계절적일 수 있으나 처리목적에 따라서는 연중 계속 가동시킬 수도 있다.

#### 가. 안정지(stabilization ponds)

연못은 수질개선에 과거 수천년 동안 사용되어 왔으며, 연못 속의 미생물 또는 작은 식물이나 동물들에 의하여 수질을 개선하는데 일반적으로는 인위적인 폭기를 하지 않는다. 하수의 농도가 매우 높은 경우에는 혐기성(anaerobic)처리를 하고 보통일 경우에는 임의성(facultative)처리를 한다. 이와 같은 안정지를 이용한 처리는 토양을 이용한 처리보다 일반적으로 면적이 적게 필요하며, 처리효율은 연못의 흐름이 통제 가능한 경우 2차처리 기준정도를



만족시킬 수 있다.

#### 나. 부엽식물을 이용한 수중처리

과거에는 물고기나 기타 다른 수중생물의 생산에 하수가 다양하게 사용되어 왔으나, 그 목적이 주로 생물생산이었으며 하수처리는 부수적이었다. 근래에는 하수처리에 목적을 두고 부엽식물들을 실험한 결과 그 효능이 확인되면서 이 부분에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이 부엽식물들은 수면에 떠있음으로 해서 햇빛의 침투를 막아 조류(algae)의 번식을 억제하고, 하수성분을 직접 흡수하여 처리하기도 하며, 더욱 중요한 기능은 뿌리가 미생물에게 서식처를 제공하는 역할을 하여 이들로 하여금 오염물질을 신속하고 효과적으로 처리하게 한다. 그러나 이와 같은 시스템은 기후조건에 제약을 받아서 자연환경이 적합하지 않을 경우에는 처리효율 유지에 관한 추가연구가 필요하다.

#### 다. 습지처리

습지란 수면이 지표와 같거나 지상에 일정기간이상 유지되어 토양의 수분이 포화상태가 되어 이러한 환경에 적응하는 식물들이 서식하고 있는 지역을 말한다. 자연적으로는 매우 다양한 형태의 습지가 존재하고 있으며 필요에 따라서는 인공습지를 조성하기도 한다. 자연습지는 일반적으로 강이나 바다와 육지가 접하는 지역에 위치하며, 육지로부터 유입되는 오염물질을 수자원에 들어가기 전에 정화시켜 보내는 자정능력의 중요한 역할을 하고 있다. 인공습지는 수질개선시설의 일부로써 조성되며, 일반적으로 불투수층바닥에 토양, 골재, 또는 다른 재료를 넣어서 정수식물을 지지할 수 있도록 하며, 이 층을 오염된 물이 통과하도록 하는데 지표유출형(SF, surface flow)과 지하유출형(SSF, subsurface flow system)으로 구분할 수 있다. SF에서는 수면이 대기에 노출되어 수면을 통한 재폭기(reaeration)가 중요한 산소공급원이며, SSF에서는 수면이 투수성재료의 표면과 같거나 낮아서 식물에 의해 뿌리로 운반되는 산소가 주요 공급원이다. 두 가지 방법 모두에게 식생이 중요한데, 이들에

의한 오염물질의 직접흡수보다는 오히려 수면을 덮어서 조류의 번식 억제, 뿌리는 미생물의 서식처 및 여과기능, 그리고 뿌리를 통한 산소공급과 같은 기능들이 수질개선에 더욱 중요하다.

### 3. 처리방법과 지역조건

자연정화시스템에서는 지역특성과 환경조건이 일반 하수처리시설보다 더욱 중요하다. 일반적으로 처리방법을 선정하는 과정은 첫째로 처리의 목적을 어떤 방법이 만족시킬 수 있는가를 살펴보고, 둘째로 예상되는 후보부지에 대한 충분한 자료를 수집한 다음, 셋째로 현장방문을 통해 타당성을 확인하고, 끝으로 최종설계를 위하여 필요시 구체적인 자료조사가 필요하다. 이에 필요한 자료로써는 지형, 토양의 종류 및 투수성, 온도, 강우량, 증발산량, 토지사용 방법, 농업의 형태, 지하수의 깊이와 수질, 지표수나 지하수로의 방류가능성 등이다. 지역적 조건이 모든 방법을 만족시킬 수 있는 곳은 거의 없으므로, 지역조건에 부적합한 방법을 제외시켜 나가면서 사용목적에 최적인 방법의 선정에 접근해 가는데 여기에는 물론 경제성도 함께 검토되어야 한다.

#### 가. 토양식처리

##### 1) 현장처리

현장처리는 완속침윤이나 급속침윤방법과 같은 토지처리와 달리 연중 계속 사용하므로 시스템이 얼지 않도록 충분한 피복이 필요하며, 소요면적은 소규모 내지 중규모시설의 경우 주로 토양의 투수계수와 하수의 설계유입량에 의해 결정된다. 현장처리에 바람직한 지역적 특성은 다음과 같다.

- 토양의 종류 : clay loam to sandy loam, 투수계수  $1.0 < k < 3.5$  mm/hr
- 암상까지의 깊이 : 1.5 m 이상
- 지하수면까지의 깊이 : 1.5 m 이상

- 경사 : 20% 미만

초기계획단계의 부지면적 산정에는 다음과 같은 공식을 사용할 수 있는데 여기에는 부지내에 처리시설외의 면적까지를 고려하여 50%가 추가로 포함되어 있다.

$$A = \frac{1.5 Q}{k}$$

여기에서,  $A = m^2$ ,  $Q = m^3/day$ , 그리고  $k = m^3/m^2 \cdot day$ 이다. 대규모시설 ( $Q > 20 m^3/day$ )인 경우는 주로 지하수조건에 의해 영향을 받는다.

## 2) 완속침윤처리

이 방법은 식생을 중요한 처리요소로 하고 있으며, 하수의 투입이 식물의 생장기간에 국한되는데 계절적인 식물을 사용하면 파종과 수확기간 때문에 더욱 제한적이다. 산림을 이용한 경우는 1년 내내 적용이 가능하다. 만약 1년 중에 일부기간동안의 사용이 불가능할 경우에는 그 기간 동안 하수를 저장할 수 있는 시설이 필요하며, 이러한 목적으로는 3-5 m 깊이 정도의 연못이 사용되어 전처리기능을 겸하게 한다. 완속침윤방법에 바람직한 지역조건은 다음과 같다.

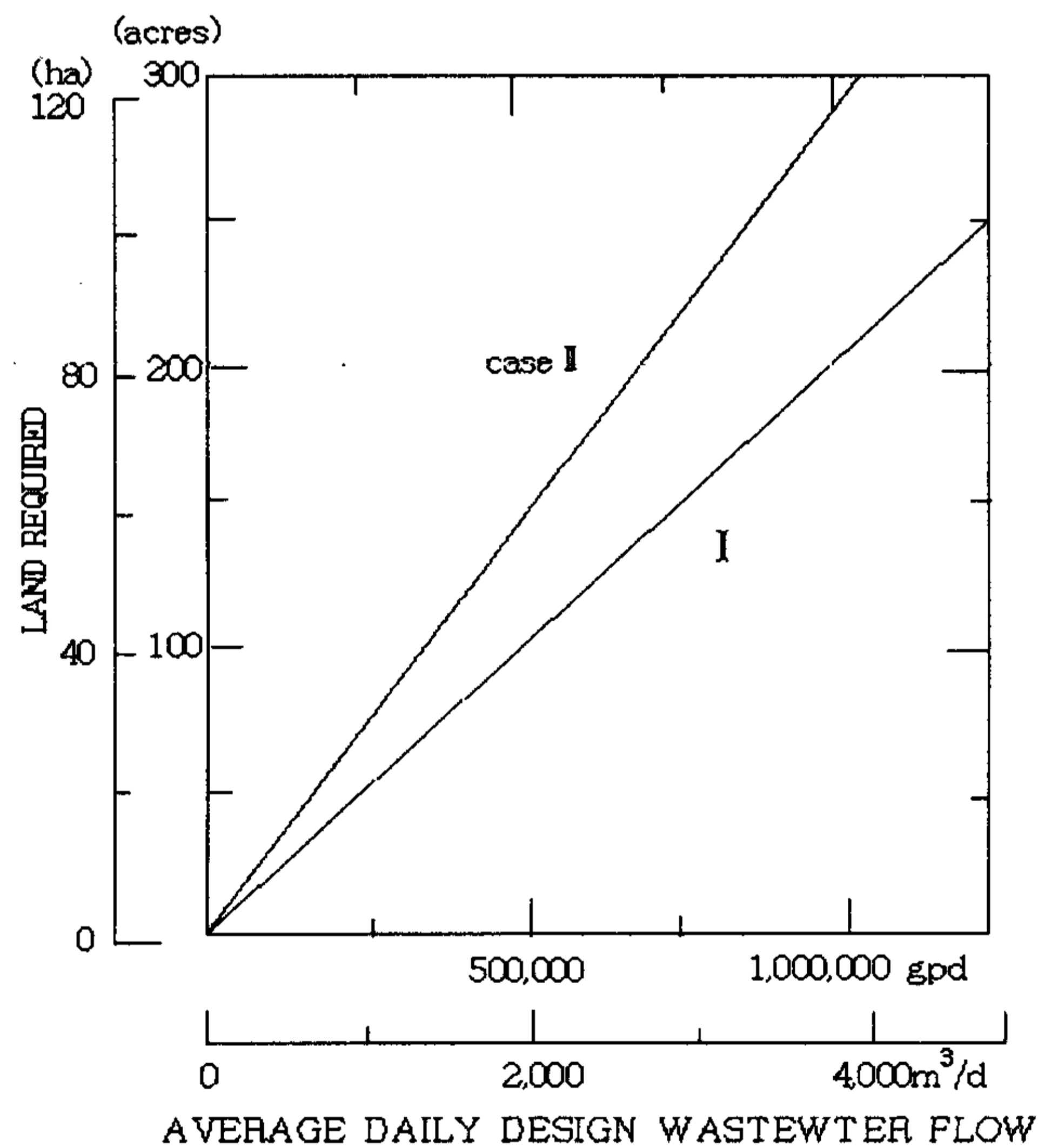
- 토양의 종류 : clay loam to sandy loam, 투수계수  $k > 1.5 \text{ mm/hr}$
- 암상까지의 깊이 : 1.5 m 이상
- 지하수면까지의 깊이 : 1.5 m 이상
- 경사 : 농업지역은 15% 미만, 산림지역은 20% 미만

초기계획단계의 부지면적 산정에는 <그림 6-8>을 사용할 수 있는데 그림에서 case-I은 따뜻한 기후에 1년에 12개월 내내 처리가 가능한 경우로써 소요면적  $A = 19 \times 10^{-5}(Q)$ 로 표현되며, case-II는 추운 기후로서 1년에 6개월

만 처리가 가능한 경우이며 소요면적  $A = 28 \times 10^{-5}(Q)$ 로 나타낸다. Case-I과 case-II사이의 사용기간에 따라 비례적으로 산정한다. 이 그림은 계획단계에서 참고자료 정도로 사용이 가능하며 실제설계를 위해서는 보다 상세한 조사를 필요로 한다. 그림에서 사용된 설계유입량은 저장시설이 필요 없는 경우이며 다음과 같이 계산한다.

$$Q_d = \frac{Q_a (365)}{N}$$

여기에서,  $Q_d$  = 지면에 살포될 평균 1일설계유입량,  $m^3/day$ ,  $Q_a$  = 하수의 평균 1일발생량,  $m^3/day$ ,  $N$  = 지면살포 처리시스템의 운영일수이다.

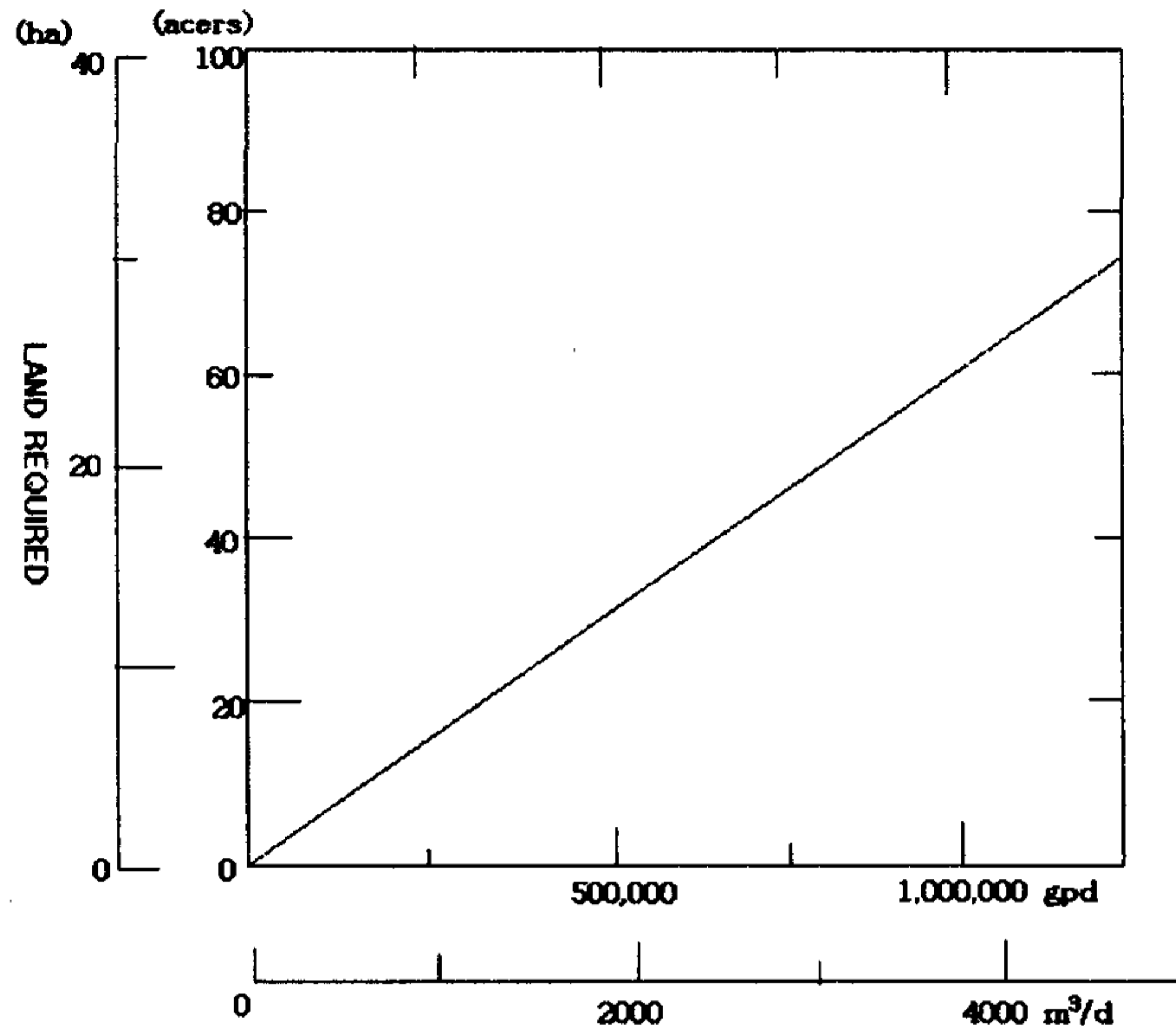


<그림 6-8> 완속침윤방법에 의한  
수질개선시스템의 소요부지 산정

### 3) 급속침윤처리

이 방법은 지표의 식생에 영향을 받지 않기 때문에 계절적 제약이 상대적으로 적다. 그러나 지나치게 많이 투입할 경우에는 지하수질보호에 주의해야 한다. 급속침윤처리는 세심하게 관리하면 질산염(nitrate)이나 다른 오염물질의 농도를 음용수수질기준을 만족시킬 정도로 처리할 수 있다. 이 처리시설의 위치는 지표를 통해 투입된 하수가 짧은 거리를 지하로 침윤하다가 수평이동하여 근접해 있는 지표수로 유입되는 지역이 유리하다. 주변에 지하수를 음용수로 사용할 가능성이 없는 지역이 급속침윤처리시설의 적용에 적합하다. 초기계획단계의 부지면적 산정에는 <그림 6-9>를 사용할 수 있으며 소요면적 곡선은  $A = 19 \times 10^{-5}(Q)$ 로 표현된다. 이 그림에 의한 산정면적에는 전처리 시설, 진입로, 그리고 처리에 직접 사용되지 않는 다른 부분까지 고려한 면적이다. 이 자료는 계획단계에 참고로 사용되며 실제설계용은 아니다. 급속침윤 처리에 좋은 조건은 다음과 같다.

- 토양의 종류 : sand to sandy loam, 투수계수  $k > 1.5 \text{ mm/hr}$
- 암상까지의 깊이 : 5 m 이상
- 지하수면까지의 깊이 : 5 m 이상
- 경사 : 10% 미만
- 홍수로 인한 침수가능성이 없을 것



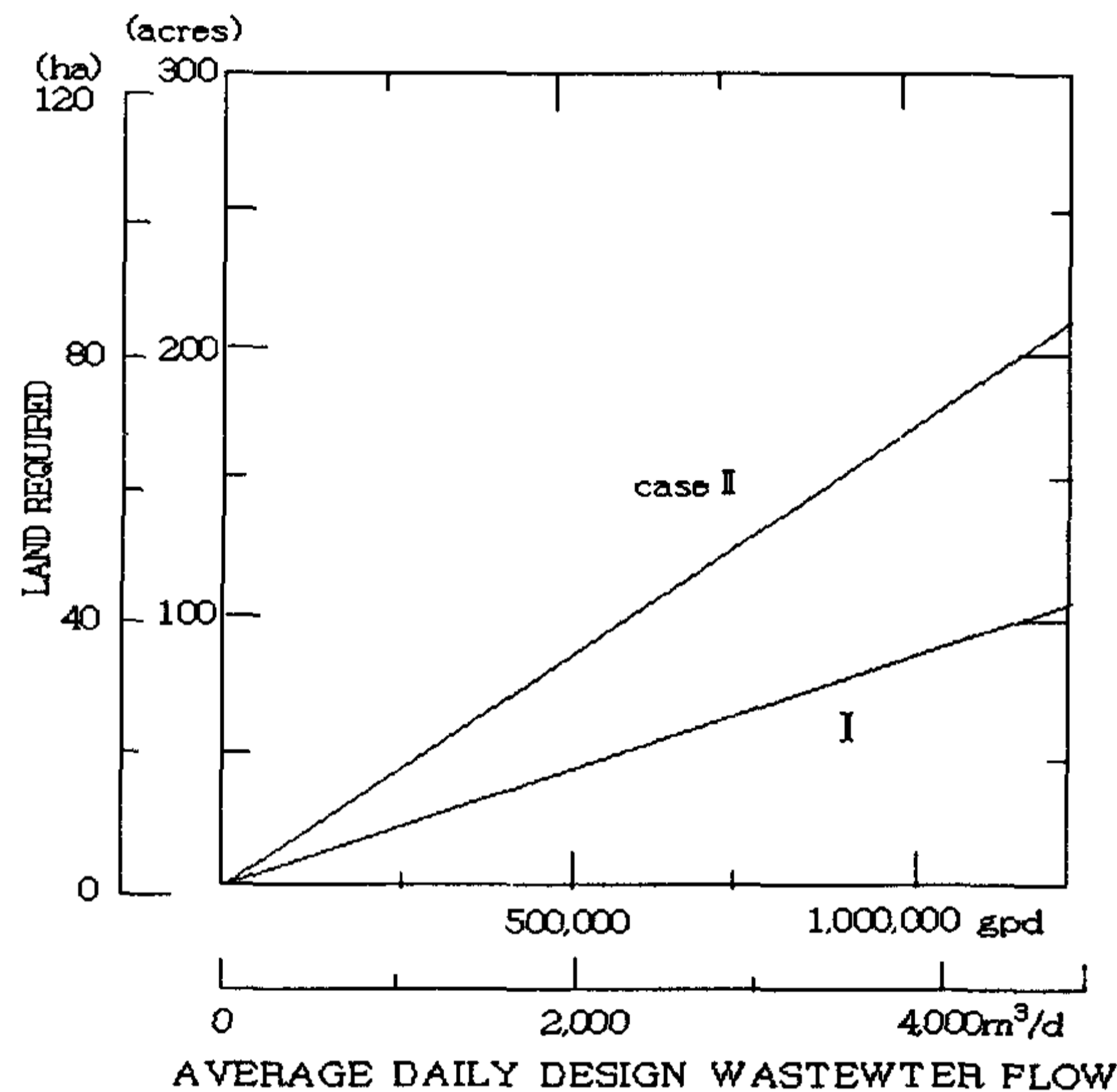
<그림 6-9> 급속침윤방법에 의한  
하수처리시스템의 소요부지 산정

#### 4) 지표유하처리

이 방법은 비교적 불투수층 토양에 하수가 판상흐름을 형성하며 그곳에 있는 식생의 자정작용에 의해 주로 처리되는데, 처리 후에 지표수에 합류하는 시스템으로서 완속침윤방법에 비해 적합한 지역의 선택폭이 좁다. 이 방법은 2차 처리에서 고도처리까지 전처리과정과 수리학적 부하량에 따라 매우 다양하게 적용할 수 있으며, 추운 지역에서의 성공사례도 있으나 계절적 운영이 일반적이다. 이 방법을 적용하는데 예상되는 소요면적은 <그림 6-10>에 나타나 있는데, case-I은 따뜻한 기후에 1년에 12개월 내내 처리가 가능한 경우로써 소요면적  $A = 9 \times 10^{-5}(Q)$ 로 표현되며, case-II는 추운 기후에 1년에 6개월만 처리가 가능한 경우이며 소요면적  $A = 17 \times 10^{-5}(Q)$ 로 나타낸다. 하수의 설계유입량은 완속침윤방법과 같이 식 5-2으로 계산한다. 지표유하방법에 적합한 지역조건은 다음과 같다.

- 토양의 종류 : clay to clay loam, 투수계수  $0 < k > 6 \text{ mm/hr}$

- 岩床까지의 깊이 : 1 m 이상
- 지하수면까지의 깊이 : 1 m 이상
- 경사 : 0 - 15%



<그림 6-10> 지표유하방법에 의한  
하수처리시스템의 소요부지 산정

#### 나. 수중처리

이 방법은 유입된 하수가 시스템을 통과한 후 방류되는 방법으로써 주변의 수자원에 영향을 주는데 토양식보다는 지역적 특성에 영향을 적게 받는다. 불투수층 토양이 좋으나 다짐이나 첨가제사용, 또는 불투수층 바닥재료 등을 사용하여 필요한 만큼 투수계수를 낮출 수 있다. 유출수 방류방법에는 중력식이 좋고, 경사가 너무 심하지 않아야 하고, 굴착이 필요할 경우에는 암반이나 지하수위가 높지 않으며, 홍수예상지역이 아니어야 한다. 또한 수중식물의 성장에 적합한 온도가 필요하며 지형의 경사가 3~4%를 넘지 않는 것이 경제적이다.

### 1) 안정지

여기에서는 호기성, 임의성, 부분혼합폭기형, 그리고 통제유출형 연못에 대하여 검토해 본다. 아래와 같은 공식들은 제방, 진입로, 그리고 이외에 처리에 직접 사용되지 않는 부분도 포함된 면적으로서 초기단계의 계획에 사용할 수 있다. 실제 설계에는 이 공식들을 사용하지 않으며, 현장특성에 맞는 pilot 실험 등을 통한 보다 정확한 자료를 이용하여 설계해야 한다.

$$\text{호기성 연못} : A_a = \frac{(3.2) q}{1000}$$

여기에서  $A_a$  = 예상소요면적(ha)이고,  $q$  = 일일 설계유입량( $\text{m}^3/\text{day}$ ) 인데, 이 공식은 온도가 따뜻하며 체류기간은 30일, 1m 깊이에, BOD 부하율이 90  $\text{kg}/\text{ha} \cdot \text{day}$ 이하로 가정할 경우에 적용되는 공식이다.

$$\text{임의성 연못(case-I)} : A_{f1} = \frac{(5.1) q}{1000}$$

여기에서  $A_{f1}$  = 예상소요면적(ha)이고,  $q$  = 일일 설계유입량( $\text{m}^3/\text{day}$ ) 인데, 이 공식은 겨울온도가  $5^\circ\text{C}$ 이상으로 따뜻하며 체류기간은 60일, 1.5 m 깊이에, BOD 부하율이 60  $\text{kg}/\text{ha} \cdot \text{day}$ 이하로 가정할 경우에 적용되는 공식이다.

$$\text{임의성 연못(case-II)} : A_{f2} = \frac{(8.5) q}{1000}$$

여기에서  $A_{f2}$  = 예상소요면적(ha)이고,  $q$  = 일일 설계유입량( $\text{m}^3/\text{day}$ ) 인데, 이 공식은 겨울온도가  $5^\circ\text{C}$  이하로 추우며 체류기간은 80일, 1.5 m 깊이에, BOD 부하율이 80  $\text{kg}/\text{ha} \cdot \text{day}$ 이하로 가정할 경우에 적용되는 공식이다.

$$\text{부분혼합폭기형 연못} : A_{pm} = \frac{(2.9) q}{1000}$$



여기에서  $A_{pm}$  = 예상소요면적(ha)이고,  $q$  = 일일 설계유입량( $m^3/day$ )인데, 이 공식은 온도가 춥고 체류기간은 50일, 2.5 m 깊이에, BOD 부하율이 100  $kg/ha \cdot day$ 이하일 경우에 적용되는 공식이다.

$$\text{통제유출형 연못} : A_{cd} = \frac{(16.3) q}{1000}$$

여기에서  $A_{cd}$  = 예상소요면적(ha)인데, 이 공식은 체류기간이 180일이고 깊이가 1.5 m 정도로 가정할 경우에 적용되는 공식이다.

## 2) 부엽식물을 이용한 수중처리

이 방법은 부엽식물을 처리요소에 포함하는 시스템으로써 많이 사용하는 부엽식물로는 hyacinth와 duckweed 등이 있다. 이들은 모두 수면에서 번식하여 햇빛의 침투를 차단하여 조류의 번식을 억제하며, hyacinth의 잘 발달된 뿌리는 미생물이 부착할 서식처 역할을 하여 미생물에 의한 오염물질의 처리가 매우 효과적이다. 주기적으로 수확을 하면 영양염의 제거가 가능하며 필요한 면적은 아래 공식에 의해 산정한다. 이 공식들은 초기계획단계에서 대안들끼리의 비교를 위한 공식들로서, 실제 설계에는 현장실험을 포함한 상세한 검토를 거쳐 결정한다.

$$\text{Hyacinth사용 2차처리용 임의성 연못} : A_m = \frac{(9.5) q}{1000}$$

여기에서  $A_m$  = 예상소요면적(ha)이고  $q$  = 일일 설계유입량( $m^3/day$ )인데, 이 공식은 수온이 10°C 이상인 따뜻한 기후에 체류기간이 50일, 1.5 m 깊이의 연못에 BOD부하율이 30  $kg/ha \cdot day$  이하, 1년에 한번 수확할 경우에 적용되는 공식이다.

$$\text{Hyacinth 사용 고도처리용 연못} : A_{ht} = \frac{(0.71) q}{1000}$$

여기에서  $A_{ht}$  = 예상소요면적(ha)이고  $q$  = 일일 설계유입량( $m^3/day$ )인데, 이 공식은 2차처리 유출수가 유입되며 수온이  $10^{\circ}C$  이상이고, 체류기간이 6일, 1 m 이하 깊이에 BOD부하율이  $50 \text{ kg/ha} \cdot \text{day}$  이하, 수시로 수확할 경우에 적용되는 공식이다.

$$\text{Hyacinth 사용 2차처리 폭기형 연못} : A_{ah} = \frac{(1.5) q}{10000}$$

여기에서  $A_{ah}$  = 예상소요면적(ha)이고  $q$  = 일일 설계유입량( $m^3/day$ )인데, 이 공식은 전처리한 하수가 유입되며 수온이  $10^{\circ}C$  이상으로 따뜻하고, 체류기간이 5일, 1 m 깊이 연못에 BOD부하율이  $300 \text{ kg/ha} \cdot \text{day}$  이하, 매월 수확할 경우에 적용되는 공식이다.

$$\text{Duckweed 사용 수질개선용 연못} : A_{dw} = \frac{(2.0) q}{1000}$$

여기에서  $A_{dw}$  = 예상소요면적(ha)이고  $q$  = 일일 설계유입량( $m^3/day$ )인데, 이 공식은 임의성 연못의 처리유출수가 유입되고 수온이  $7^{\circ}C$  이상이고, 체류기간이 20일, 2 m 이하의 깊이인 연못에 BOD부하율이  $30 \text{ kg/ha} \cdot \text{day}$  이하일 경우 적용되는 공식이다.

#### - 습지처리

초기단계의 계획과정에서 지역선정과 소요면적의 산정에 사용되는 공식은 다음과 같다. 마찬가지로 이 공식들도 실제설계에 직접 사용하지는 않는다.

$$\text{지표유출형 습지} : A_{fw} = \frac{(8.2) q}{1000}$$

여기에서  $A_{fw}$  = 예상소요면적(ha)이고  $q$  = 일일 설계유입량( $m^3/day$ )인데, 이 공식은 체류기간이 7일, 0.1 m의 깊이인 연못에 전처리된 하수의 BOD부하율이 100 kg/ha · day 이하일 경우에 적용되는 공식이다.

$$\text{지하유출형 습지 : } A_{sf} = \frac{(2.7) q}{1000}$$

여기에서  $A_{sf}$  = 예상소요면적(ha)이고  $q$  = 일일 설계유입량( $m^3/day$ )인데, 이 공식은 체류기간이 7일, 0.8 m 이하의 깊이인 연못에 전처리된 하수의 BOD부하율이 150 kg/ha · day 이하일 경우에 적용되는 공식이다.

#### 4. 농지배수 처리에 적용가능한 자연정화 수질개선방법

농지배수 수질개선에 적용가능한 방법으로는 지역특성을 고려할 때 앞에서 열거한 인공습지와 안정지, 그리고 정화논을 생각할 수 있다. 인공습지는 수심이 낮아서 전반적으로 호기성처리가 가능하고, 식물의 성장이 자체적인 흡수뿐만 아니라 근권에 미생물 서식에 유리한 환경을 조성하여 생물학적 처리를 촉진시킨다. 정화논은 농지배수를 처리하기 위한 시비를 하지 않은 논을 말하며 처리 원리는 얕은 담수와 식물성장이라는 점에서 인공습지와 매우 유사하다. 뿐만 아니라, 처리시설측면에서의 정화논은 곡물 수확이라는 경제적 측면과 수확을 통한 시스템내 영양물질 축적 방지라는 환경적인 측면에서 모두 유리하다.

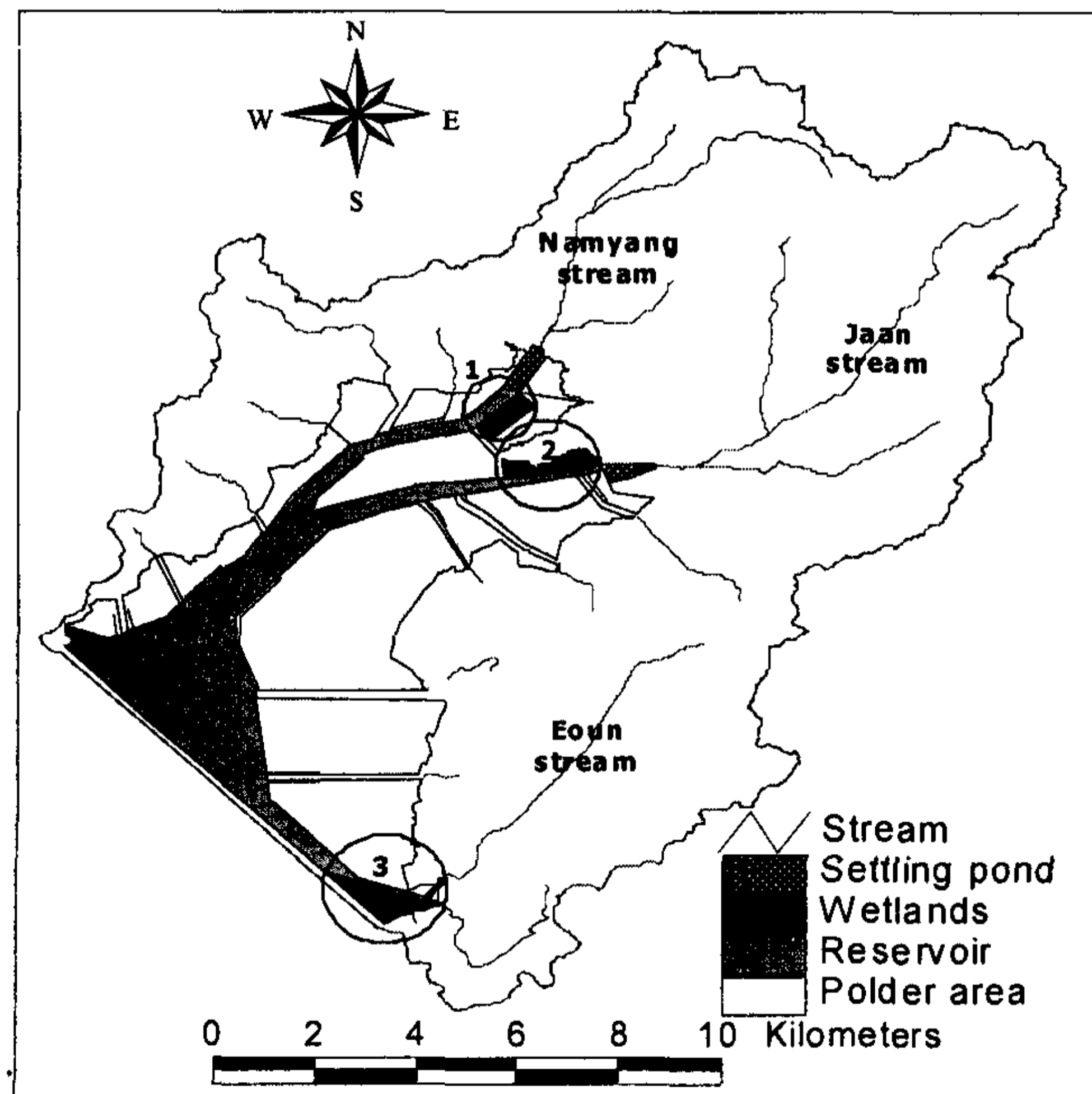
안정지 또는 유수지와 같은 연못시스템은 습지에 비하여 수심이 상대적으로 깊고 유속이 느려서 고형물질의 침전에 유리하다. 따라서, 고형물질에 부착된 영양물질과 유기물질 제거에 유리하며, 체류기간을 연장하면 생물학적 처리효과도 기대할 수 있다.

### 제 3 절 화성담수호의 담수화 시기의 수질 예측

#### 1. 비점오염을 제어하기 위한 습지 적용

대부분의 인들은 토양과 흡착하여 이동하게 되는데, 비도시 유역에서는 강우시에 발생하는 많은 양의 토사와 함께, 담수호로 유입되어 부영양화를 일으키게 된다. 비도시 유역에서는 초기 강우시에 많은 양의 오염물질들이 발생하여 담수호로 유입되게 되는데, 이는 농경지에 살포되는 비료성분과 각종 토지이용에 비강우시동안 축적된 오염물질들이 초기유출과 함께 수계로 이동하기 때문이다.

현재 화성담수호의 수질개선을 위해서 설치된 인공습지는 총 면적 236 ha에 127 ha는 인공습지를 설치하고 나머지 81 ha는 저류지를 설치하여 비점오염원을 제어하기 위한 습지로 이용하고자 하고 있으며 담수호로 유입되는 주요 세 개의 하천말단에 과 같이 설치할 계획이다



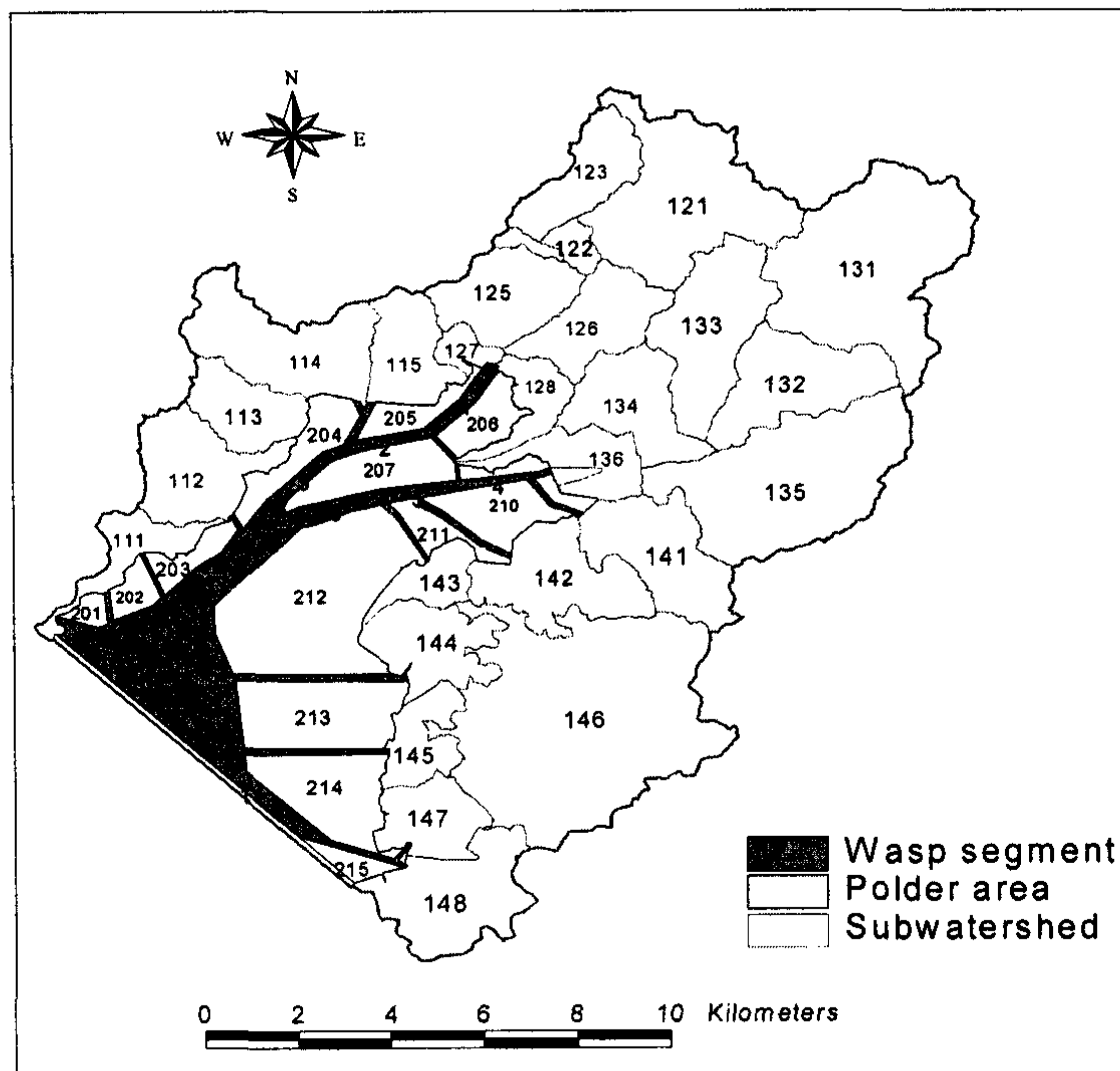
<그림 6-11> 비점오염원 제어를 위한 인공습지의 위치도

하지만, 종전에 설치 계획된 인공습지 이외에 <그림 6-11>과 같이 새로운 설치될 것으로 가정하고 인공습지의 효과에 대해서 모델링 하였다. 습지 1은 새롭게 설치되었으며 그 면적은 65 ha이고 습지 2는 102 ha의 면적, 그리고 습지 3은 62 ha가 설치된다고 가정하여 총 264 ha의 습지가 설치된다고 가정하였다.

Ham(2005)에 의해 검·보정된 습지 모형인 NPS-WET을 이용하여 본 연구에 적용하였다.

## 2. WASP5모형 구동

화성담수호는 2002년에 완공되었고, 2006년 현재 담수화가 진행 중이지 않은 상태이다. 화성담수호의 표면적은 약 1,730 ha, 평균 수심은 약 2.8 m이고 중간 수리학적 체류시간은 250일이다 <표 6-1>. 현재 간척지의 일부분이 농지화가 이루어진 상태이며 지속적으로 진행되고 있는 시기이다.



<그림 6-12> 적용된 WASP5 모형의 개략도

<표 6-1> 화성유역과 화성담수호의 제원

Parameter	Value
Surface area(ha)	1,730
Mean depth(m)	2.8
Maximum depth(m)	20
Volume(m <sup>3</sup> )	53.4×10 <sup>6</sup>
Watershed area(ha)	23,500
Median hydraulicretention time(days)	250
Range of hydraulic retention time(days)	5 - 510

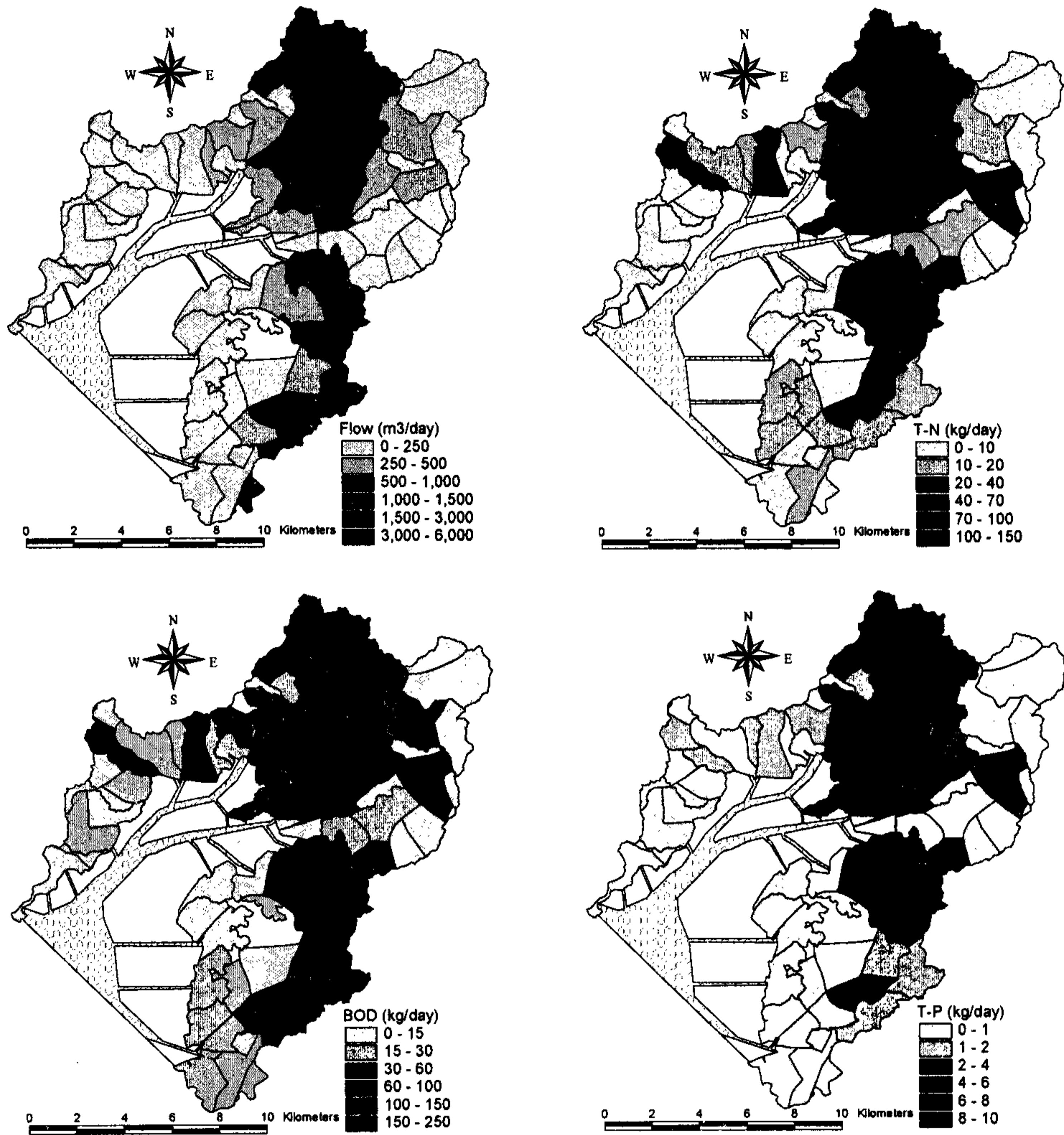
현재 상태를 이용해서 보정한 WASP5의 인자값들을 사용하여 미래 완공될 담수호를 예측하는 것은 어렵다. <표 5-5>에서 보는 것과 같이 일부값들이 보정인자 값들이 다른 연구자들에 의해서 적용된 값보다 크게 적용된 것들이 있다. 따라서 미래 담수화가 진행되는 시기에는 <표 6-2>를 이용해서 모델링 하였다. 석문호는 화성호와 같이 담수화가 진행된 호수로 화성호와 지리적으로 근접해 있기 때문에 선정하여 적용하였으며, 다른 문헌저사를 통해서 국내 담수호와 호소에 사용된 값을 평균을 이용하여 미래 예측이 이용하였다.

<표 6-2> WASP5 모형에 사용된 보정인자의 값

Const. code	manual	석문호	다른 문헌평균	Const. code	manual	석문호	다른 문헌평균
K12C	0.09-0.13	0.050	0.095	K1RT	1.045	1.00	1.045
K12T	1.08	1.080	1.080	K1D	0.02	0.06	0.020
KNIT	2.0	0.500	1.571	KPZDC	0.02	0.020	0.020
K20C	0.09	0.100	0.094	KPZDT	1.08	1.080	1.080
K20T	1.045	1.025	1.045	KDC	0.16-0.21	0.0500	0.1500
KNO3	0.1	0.100	0.136	KDT	1.050	1.045	1.050
K1C	2.0	1.2	1.669	KDSC	0.0004	0.0004	0.0004
K1T	1.069	1.09	1.064	KDST	1.08	1.080	1.080
LGHTS	1.0	1.0	1.0	KBOD	-	0.500	0.500
PHIMX	720.0	720.0	720.0	OCRB	2.6667	2.667	2.667
XKC	0.017	0.017	0.017	K71C	0.075	0.200	0.043
CCHL	30.0	30.0	31.4	K71T	1.08	1.025	1.061
IS1	200-750	300.0	367.9	KONDC	0.0004	0.0002	0.0004
KMNG1	0.025	0.025	0.025	KONDT	1.08	1.080	1.080
KMPG1	0.001	0.001	0.001	FON	1	0.500	0.500
PCRB	0.025	0.025	0.025	K83C	0.22	0.120	0.128
NCRB	0.25	0.25	0.196	K83T	1.08	1.045	1.067
NUTLIM	0	1.0	1.0	KOPDC	0.0004	0.0003	0.0004
KMPHY	0	1.0	1.0	KIPDT	1.08	1.080	1.080
K1RC	0.125	0.125	0.125	FOP	1	0.500	0.500

### 3. 2012년 점원오염원의 입력

현재 화성담수호 주변의 경기도 화성시는 수도권과 가까운 곳에 위치한 특성으로 많은 주거지역과 공업지역이 개발되어 오염부하량을 가중시키고 있다. 따라서 미래 담수화가 진행되고 난 후의 오염부하량을 산정하여 적용함으로써 미래 담수호 수질을 예측하고자한다. <그림 4-34>와 <그림 4-35>에서는 1999년 기준 부하량과 2003년 기준부하량을 산정하였는데, 2012년 부하량은 농촌공사에서 화성간척사업에 대한 화성지구환경영양평가 변환 평가 보고서에 실린 예측 부하량을 이용하여 산정하였다. <그림 6-13>는 2012년 기준으로 산정된 부하량의 각 소유역별 분포를 나타내고 있다.



<그림 6-13> 2012년 기준으로 산정된 HSPF유입부하량

#### 4. 2012년을 예측을 위한 HSPF와 WASP5 모형의 구동

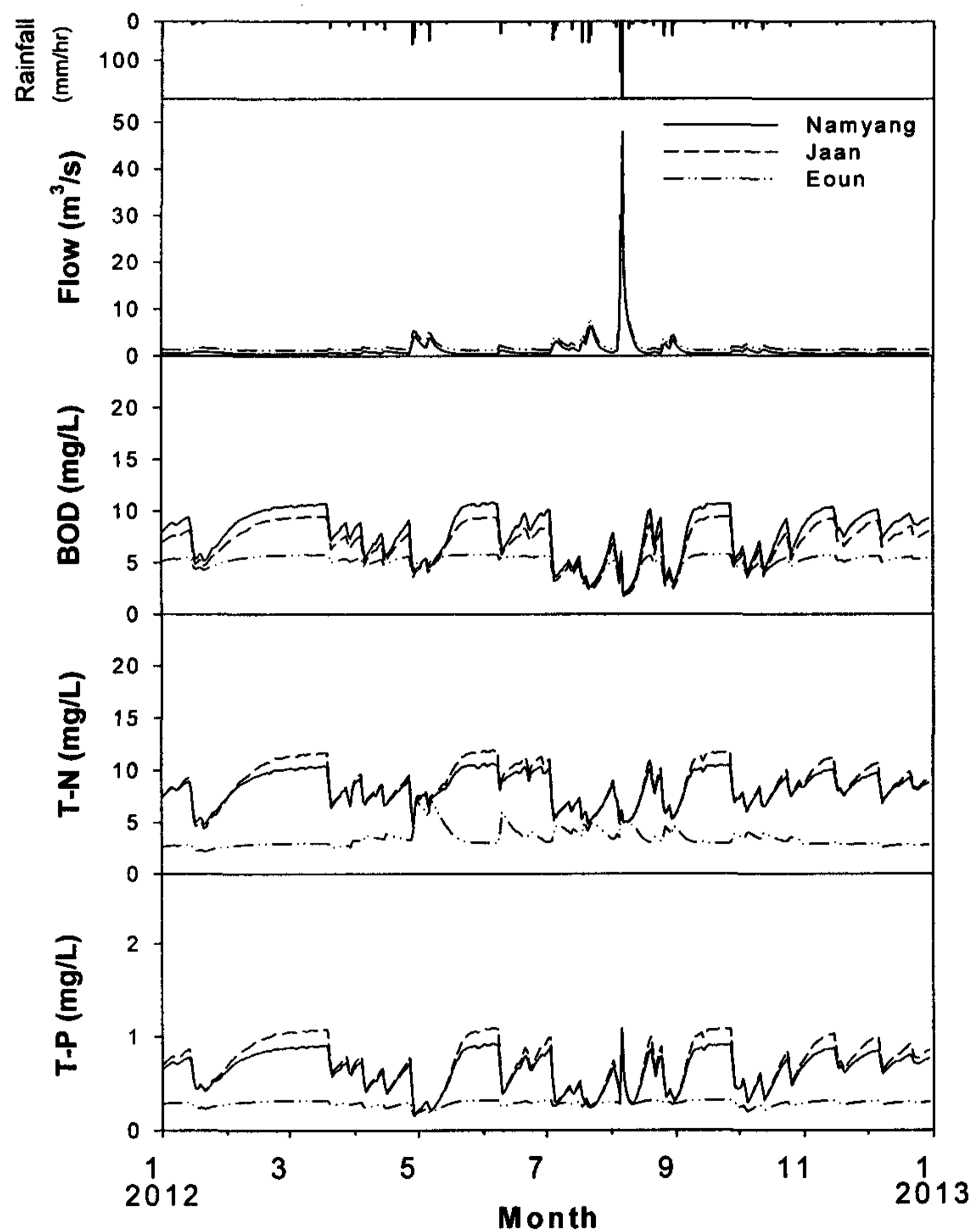
##### 가. HSPF 유역모델링

미래 하천수질을 예측하기 위해서 HSPF 모형이 사용되었는데, 2012년에는 하수처리장이 설치되지 않은 상태를 유지한다고 가정하였다. 주요 세 개의 하천에서 발생하는 하천의 유출량과 수질에 대해서 나타낸 표는 <표 6-3>과 같다. 또한 유출량과 수질농도의 변화는 <그림 6-14>과 같다. 기준강우량은 2003년의 강우량을 이용하여 예측하였다.



<표 6-3> HSPF 모형으로 산정된 2012년의 주요 3개의 하천의 유출량과 평균 수질 농도

Stream	Flow (m <sup>3</sup> /day)	BOD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
남양천	1.138	7.8	8.4	0.64
자안천	1.568	6.9	8.8	0.72
어은천	1.999	5.1	3.4	0.29



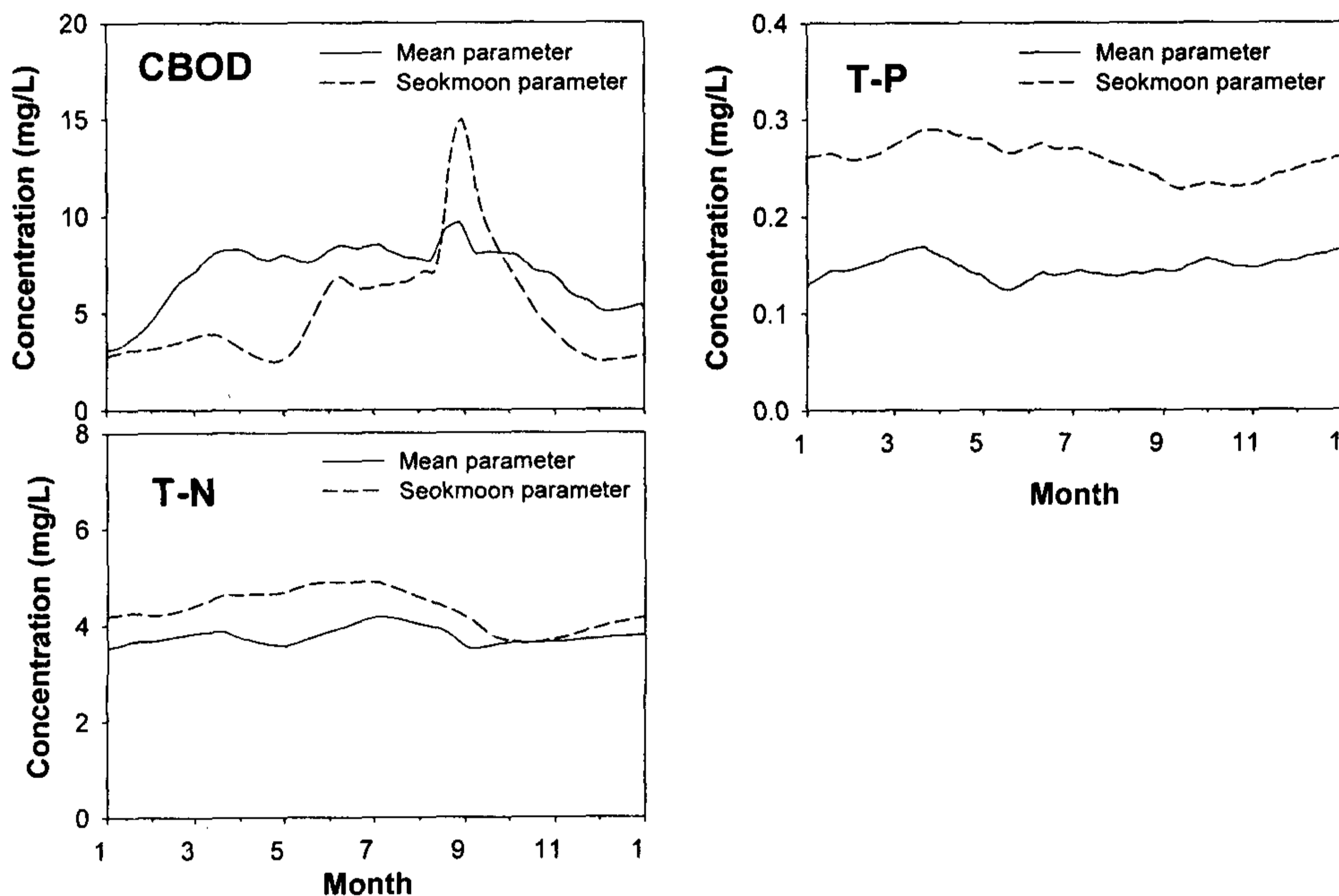
<그림 6-14> 2012년에 예측된 HSPF의 유출량과 수질의 시간적인 변화

나. WASP5 호소모형의 적용

위에서 산정된 유역내의 오염부하량을 WASP5 호소모형의 입력자료로 이용하여 2012년의 담수호 수질을 예측하였다. 화성담수호의 보정인자들은 화성담수호가 완전하지 않은 상태였기 때문에 <표 6-2>의 석문담수호의 보정인자와 문헌고찰의 평균값으로 예측하였다. <그림 6-15>은 석문호와 문헌 평균 보정인자의 값으로 모의한 2012년의 수질을 예측한 결과값으로 평균 값은 <표 6-4>와 같다.

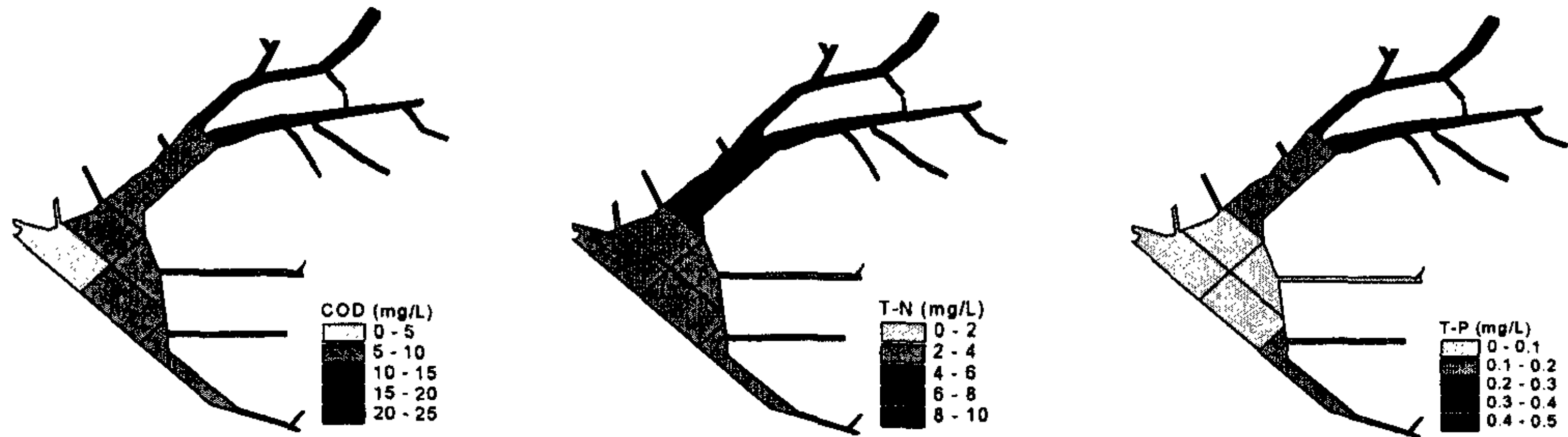
<표 6-4> 모형을 통해 계산된 담수호의 평균 수질

	CBOD	T-N	T-P
문헌평균 값을 이용	7.1	4.0	0.18
석문호의 값을 이용	5.1	4.3	0.26

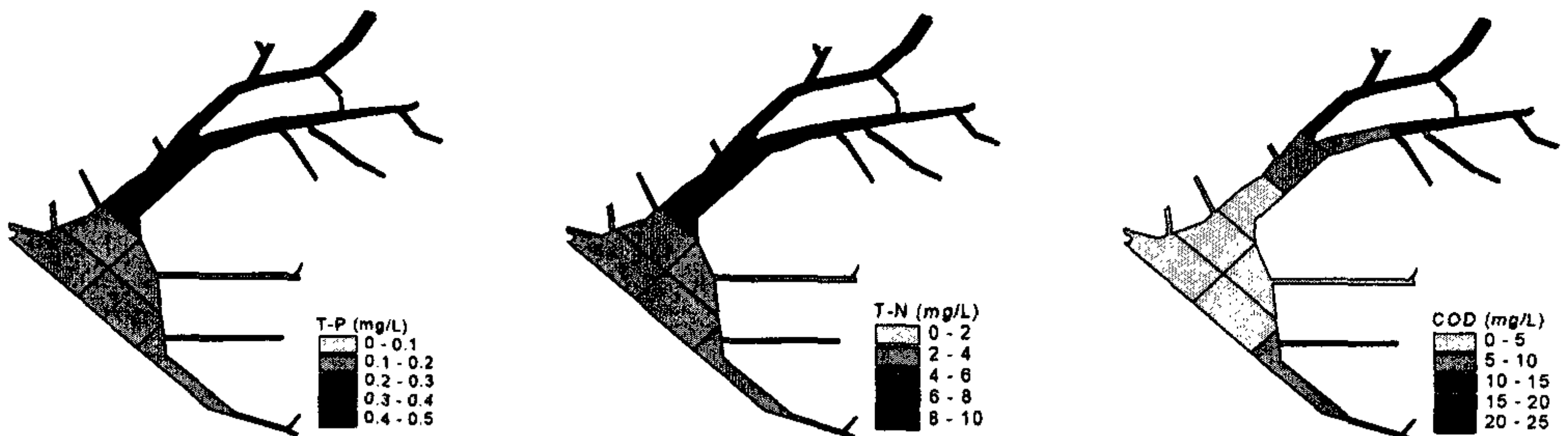


<그림 6-15> 습지처리시설의 가동 없이 예측한 2012년의 담수호내 수질

<그림 6-16>과 <그림 6-17>은 습지처리시설의 설치 없이 화성담수호의 수질을 예측한 결과를 Arcview 3.0을 이용하여 나타낸 그림이다. 석문호의 인자를 이용한 것과 문헌 평균값을 이용한 것과 주요 오염물질별로 나타나는 수질 특성이 다름을 알 수 있다.



<그림 6-16> 문헌평균을 이용한 2012년 화성담수호의 수질변화



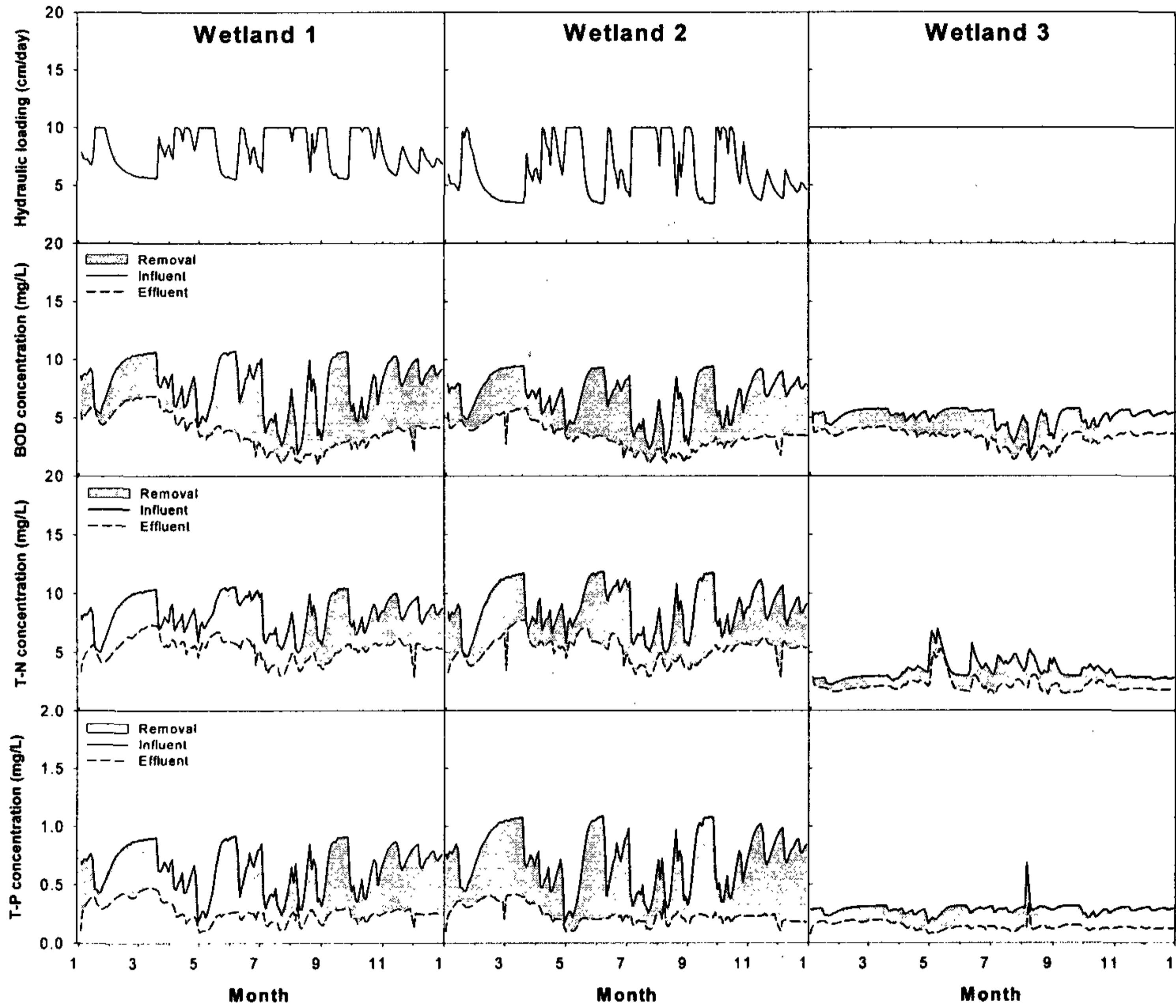
<그림 6-17> 석문호의 보정인자를 이용한 2012년 화성담수호의 수질변화

## 5. 인공습지를 설치하여 운영한 2012년 화성담수호의 수질 모의

### 가. 습지 모형의 적용

인공습지를 이용하여 모형을 구동하기 위해서 유입 수리학적 부하는 3개의 습지 모두 10 cm/day로 설계하여 적용하는 것으로 가정하였다. 연평균 BOD, T-N, 그리고 T-P의 처리효율은 각각 36 ~ 50%, 36 ~ 39%, 그리고 52 ~ 64%의 처리효율을 나타내고, 그 결과는 <표 6-5>와 같다. <그림 6-18>는 NPS-WET을 적용하여 일 유출량과 유출농도를 보여주는 그림이다. <표 6-6>는 담수호로 유입되는 전체 유입부하량을 비교한 표이다. 하루에 유입되는 BOD, T-N, 그리고 T-P의 유입부하량은 습지처리시설이 없을 때와 비교하면 BOD는 2.8 ton/day에서 2.2 ton/day로 저감되었으며, T-N은 3.4

ton/day에서 2.8 ton/day로 그리고 T-P는 0.26 ton/day에서 0.19 ton/day로 감소되어 담수호로 유입되는 것으로 나타났다.



<그림 6-18> NPS-WET으로 계산된 습지적용시 유출량과 유출입 농도

<표 6-5> 세 개의 주요하천에 인공습지의 평균 유입유량과 유출입 농도

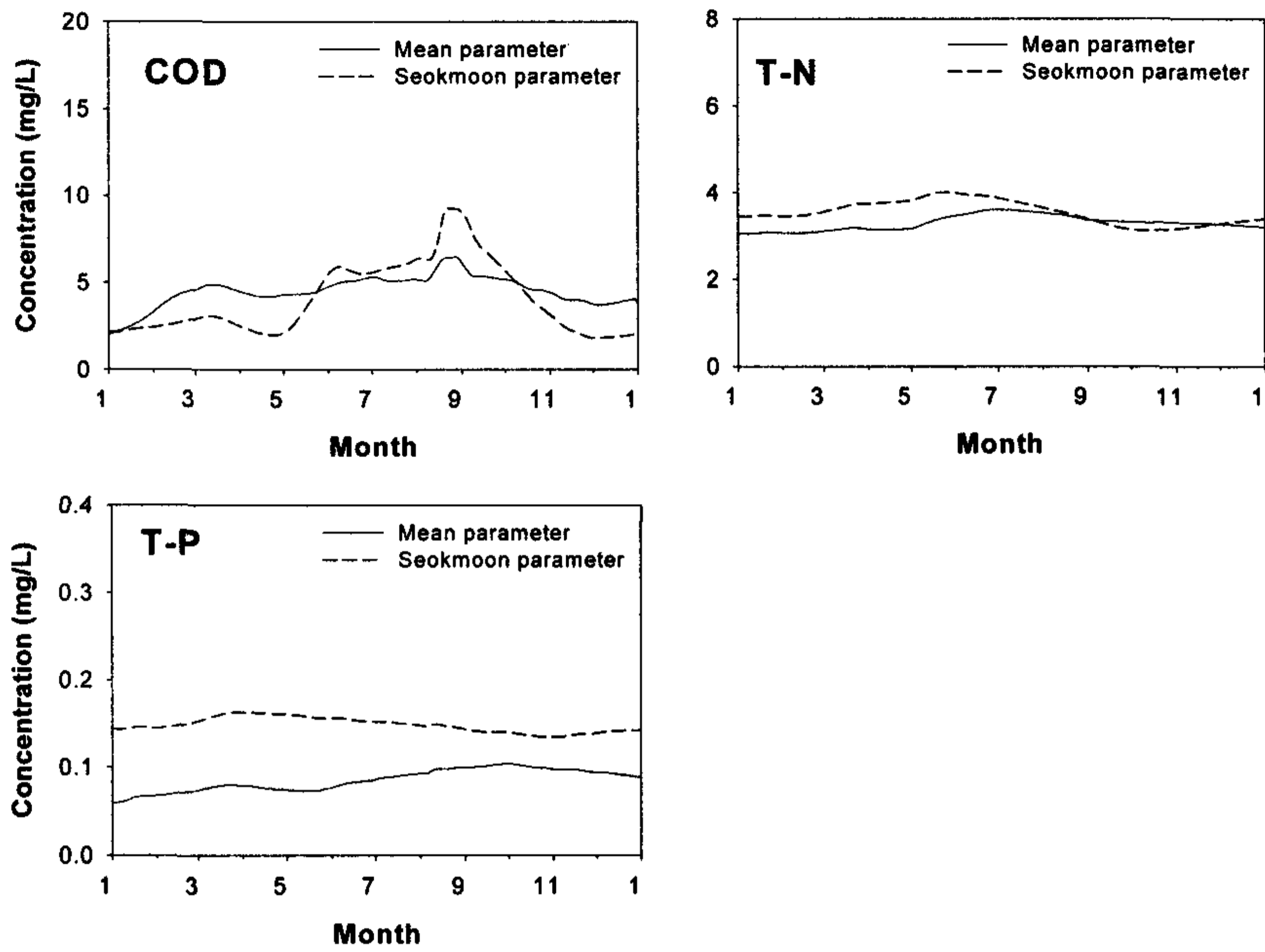
		Wetland 1		Wetland 2		Wetland 3	
		conc. (mg/L)	removal rate(%)	conc. (mg/L)	removal rate(%)	conc. (mg/L)	removal rate(%)
Hydraulic loading (cm/day)		8.0		6.5		10.0	
BOD	Inf.	7.8	50.3	6.9	50.2	5.1	35.6
	Eff.	3.8		3.3		3.3	
T-N	Inf.	8.4	36.2	8.8	39.1	3.4	37.5
	Eff.	5.3		5.2		2.1	
T-P	Inf.	0.65	58.0	0.72	63.8	0.29	51.9
	Eff.	0.26		0.24		0.14	

<표 6-6> 담수호로 유입되는 평균 유입부하량의 비교

	BOD	T-N	T-P
	mass(ton/day)	mass(ton/day)	mass(ton/day)
without wetlands	2.8	3.4	0.26
with wetlands	2.2	2.8	0.19

#### 나. WASP5 호소 모형의 적용

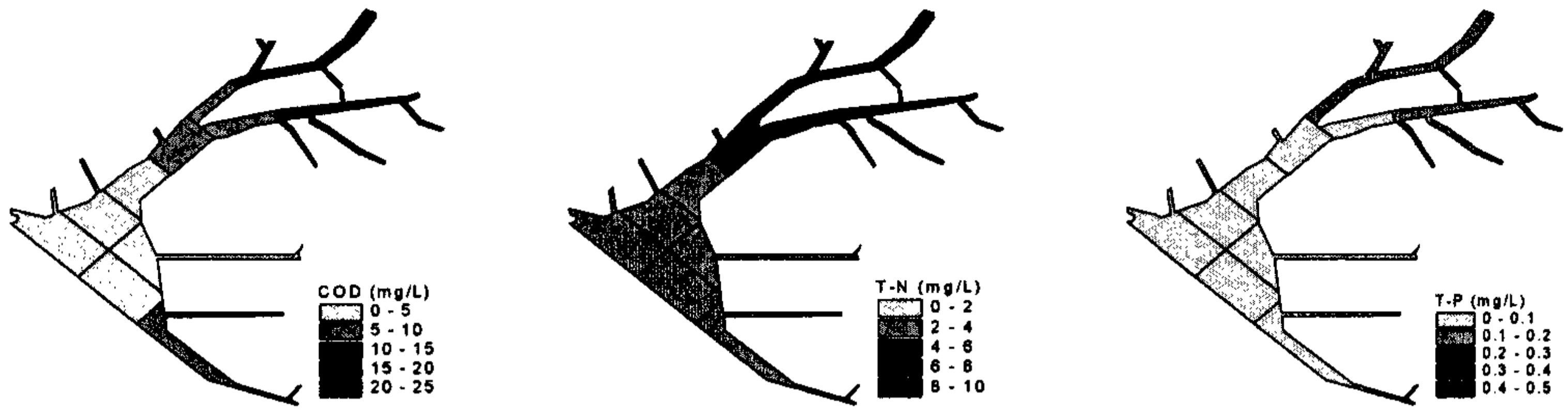
습지를 이용하여 화성담수호를 예측한 결과값은 <그림 6-19>와 같다. <그림 6-15>과 비교하였을 때 예측된 수질이 크게 개선된 것을 알 수 있다. <표 6-7>은 습지처리시설을 가동하지 않은 경우와 가동한 경우의 수질개선효과를 정리하였다. 습지를 적용할 경우 CBOD, T-N, 그리고 T-P의 수질개선효율은 각각 약 30%, 15%, 그리고 40%의 개선효과가 나타날 것으로 분석되었다. <그림 6-20>와 <그림 6-21>은 인공습지를 설치한 후의 수질 농도를 Arcview 3.0을 이용하여 나타낸 그림으로 <그림 6-16>와 <그림 6-17>의 수질보다 개선된 것을 확인할 수 있다.



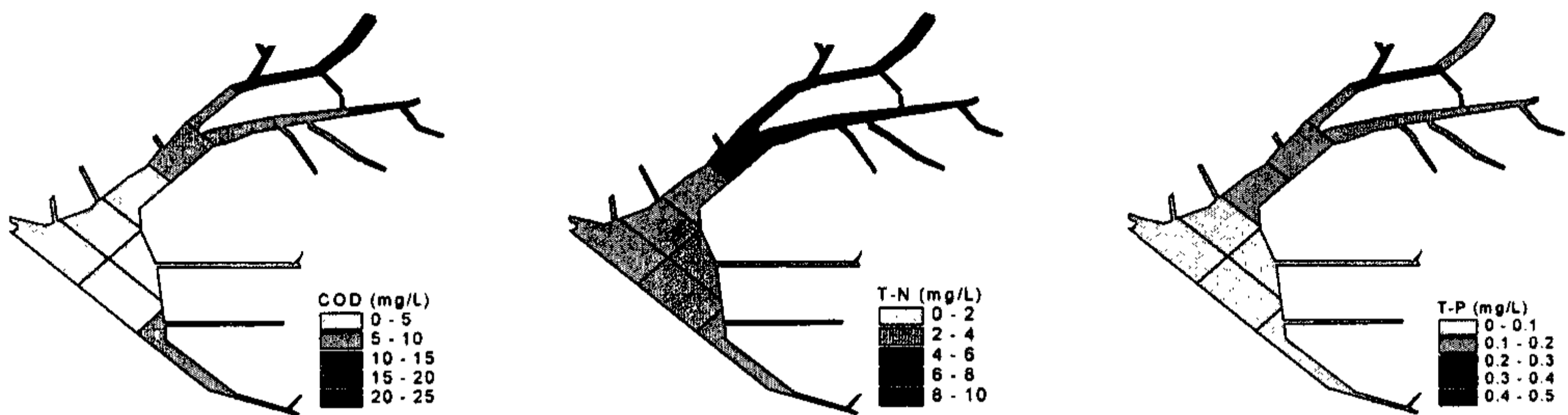
<그림 6-19> 인공습지처리시설의 가동후 2012년의 담수호내 수질

<표 6-7> 인공습지 가동 유무에 따른 화성담수호의 수질개선효과 분석

	CBOD	T-N	T-P
<u>인공습지 가동전</u>			
문헌 평균 보정인자 값	7.1	4.0	0.18
석문호 보정인자 값	5.1	4.3	0.26
<u>인공습지 적용</u>			
문헌 평균 보정인자 값	4.7	3.4	0.10
석문호 보정인자 값	4.0	3.5	0.15
<u>수질 개선 효율</u>			
문헌 평균 보정인자 값	33.6%	14.7%	43.5%
석문호 보정인자 값	21.3%	18.1%	42.6%



<그림 6-20> 문헌평균을 이용한 2012년 화성담수호의 수질변화



<그림 6-21> 석문호의 보정인자를 이용한 2012년 화성담수호의 수질변화

## 제 7 장 담수호내 수질제어기법 조사

---



## 제 7 장 담수호내 수질 제어기법 조사

여기에서는 담수호에 사용되는 주요 복원과 관리기법들을 문헌을 통하여 조사하였다. 모든 처리기법들은 인간의 질병을 치료하는 처방전처럼 효과, 부작용, 그리고 한계점들이 있다. 호수나 저수지의 사용자들이 겪는 문제는 크게 불유쾌한 조류, 과도한 뿌리형 식물(잡초나 대형수초)과 조류매트, 음용수의 맛, 냄새, 색깔과 유기물질, 그리고 산성화된 호소문제 등이다. 이 주요문제 분야들에 대해서는 여러 가지 호소내 기술들이 적절하게 적용되면 효과가 지속적으로 있으며, 일반적으로 부작용이 없는 것으로 밝혀졌다. 이 과정들을 적절한 호소문제와 함께 그들의 생태학적 원리, 적용방법(mode of action), 효과(간단한 사례를 포함), 잠재적 부작용, 그리고 추가이득과 비용 등에 관하여 요약하였다. 이제부터 설명할 호소내 기술의 효율성은 특별히 언급하지 않으면, 항상 영양물질, silt, 그리고 유기물질 등의 호소내 유입이 통제된 것으로 가정하고 있다. 대부분의 호소내 처리는 이러한 물질들이 지속적으로 유입되면 처리노력이 급속히 압도당하여 효과가 제대로 나타나지 않는다(U.S.EPA, 1990).

### 제 1 절 조류 제어

호소에서 가장 문제를 발생시키는 형태는 잡초층과 혼합된 섬유행태의 조류매트, 식물성플랑크톤으로 불리는 자유롭게 떠다니는 미세한 세포들이 수면에 녹색스킴을 형성하여 맛과 악취문제를 일으키는 경우들이다. 조류는 거의 대부분이 세포분열로 번식한다. 성장조건이 알맞으면(따뜻하고, 빛이 충분하며, 영양물질이 풍부하면), 조류는 급격히 번식하여 며칠사이에도 매우 높은 수화현상에 이른다.

Blue-green algae(남조류)를 포함하는 식물성플랑크톤의 번성을 통제하는 요인들이 조류 관리 및 억제를 위한 기본적인 노력이 된다. 호소내 조류의 농도를 식물의 필수영양물질의 농도와 직접 관련시켜 표현할 수 있으며, 많은 경우에 이 원소는 “인”이다. 종종 호수나 유역은 조류의 성장을 억제할 수 있을 정도로 인의 농도를 낮추기 위하여 조절이 가능하다. 그러므로 어떤 복원 방법은 인의 유입통제 또는 호소내에서 인의 용출이나 순환을 감소시키는 데에 집중한다. 인과 비교하여, 다른 필수영양물질(탄소나 질소 같은) 등은 조류 통제를 위한 조절이 매우 어렵다. 그러나 조류성장에 중요한 다른 요인 중에는 빛과 같이 장기적인 효과를 위하여 조절이 가능한 것들도 있다. 빛과 다른 영

양물질들이 풍부할 때에는, 조류세포를 깊고 어두운 곳에 인공적으로 순환시키는 것과 같은 방법이 장기적인 통제를 위하여 사용될 수 있다. 다른 경우에는, 특별히 영양물질의 조절이 불가능할 경우에는, 조류세포를 포획하는 동물들의 숫자를 늘림으로서 억제할 수도 있다.

## 1. 인의 불활성화

1) 원리: 어떤 호수나 저수지에서는 저장된 인에서 용출이 너무 많아 인의 유입량이 상당히 감소하여도 수화현상이 지속되는 경우가 있다. 인의 침전은 물기둥의 인을 제거하는 기능이 있으며, 인의 불활성화는 반면에 환경적으로 안전이 허락되는 범위에서 되도록 많은 aluminum sulfate를 투입하여 호소퇴적물에서 인의 용출을 장기적으로 억제하는 방법이다. 두 가지 모두 물기둥의 인 농도를 조류성장을 억제할 정도로 낮추기 위한 노력이다.

2) 적용방법: 인, 칼슘, 그리고 알루미늄은 무기성인과 결합(흡착)가능한 염류를 가지고 있거나, 물기둥에서 인을 함유한 입자를 플록형태로 제거할 수 있다. 이 원소들 중에서 알루미늄 가장 많이 사용되는데 이유는 산소농도가 낮거나 무산소상태를 포함한 광범위한 생태조건에서 인이 그 염류에 단단히 부착하기 때문이다. 실제로, aluminum sulfate(alum,  $Al_2(SO_4)_3$ )나 sodium aluminate( $Na_2Al_2O_4$ )는 물에 투입되면, 정확하게 콜로이드 상태의 aluminum hydroxide( $Al(OH)_3$ ) 집합체가 형성된다. 이 집합체는 밤색플록을 형성하며 커지는데, 이때 플록내 표면에 흡착한 인과 약간의 유기물 또는 유기물입자들은 함께 몇 시간 또는 수일 내에 바닥에 침전한다. 플록이 퇴적물표면에 침전한 후에는, 물이 매우 깨끗해 질 것이다. 만약에 충분한 alum을 투입하면, 약 2.5~5.0 cm두께의( $Al(OH)_3$ )층이 퇴적물을 덮을 것이며 “내부부하”로 불리는 물기둥으로의 인 용출을 상당기간 지연시킬 수 있다. 많은 호소에서는, 외부영양물질의 부하를 충분히 우회시켰다고 가장할 때, 이것은 조류세포들이 영양물질의 부족으로 굶어죽는 다는 것을 의미한다. 반면에, 어떤 처리하지 않은 호소에서는, 퇴적물에서의 영양물질 용출로 계속하여 조류 수화현상이 지속할 것이다.

이러한 방법을 적용하기에 좋은 대상은 영양물질이 호소로 유입되지 않고 다른 지역으로 우회가 이루어졌고, 진단-타당성조사에서 내부인의 용출이 높은 것으로 나타난 호소이다. 저수지와 같은 수몰지는 영양물질의 억제가 불가능하기 때문에 좋은 후보가 아니다. Alum을 적게 사용하면 인을 제거(침

전)할 수는 있으나, 호소바닥 퇴적물의 인 용출을 장기간에 걸쳐 통제(불활성화)하지는 못한다. 과학자들이 조류의 성장과 번식에 활용되는 형태라고 믿고 있는 용해상태의 무기물 인은 이러한 플록에 단단히 흡착한다. 플록이 호소바닥에 침전한 후에는 서서히 가라앉아 고화작용을 통하여 계속적으로 인을 흡착하고 있어서, 이러한 기능은 인의 용출을 억제하는 장벽의 역할을 한다. 인의 불활성화는 조류제거제와는 어떤 형태로도 유사하지 않으며, 이들과 같이 분류하지 않아야 한다는 점을 명확히 이해해야 한다. 정확하게 적용되었을 경우에는(잠재적 부작용 참조), 인의 불활성화방법은 비독성이며 영양물질의 억제를 통하여 장기적으로 조류를 통제한다. 반면에 조류제거제방법은 목표로 하는 조류 외에도 다른 많은 생물에게 광범위하게 유독한 물질을 투입하여 조류를 통제하는 방법이다.

3) 효과: 인의 불활성화방법은 열층리 현상이 일어나는 많은 자연호소에서 매우 효과적이며 그 효과가 장기간에 걸쳐 나타났는데, 특히 적절한 양을 퇴적층에 투입하고 영양물질의 유입을 우회시킨 경우에 그렇다. 저수지에 적용한 사례는 거의 없는데 이유는 영양물질을 우회시키기 어렵고, 따라서 처리효과가 매우 짧을 것이며, 많은 유입수량은 플록을 세척해 나가거나 또는 영양물질이 풍부한 다른 실트층이 플록층을 덮어버리기 때문이다. 성공적인 처리는 보통의 소규모 호소나 농업용 연못뿐만 아니라, 대규모 깊은 호소에서도 가능하다. 처리의 수명은 많은 경우에 5년, 그리고 10년 이상으로 지속되기도 하였다. 알고 층리현상이 없는 호소는 층리현상이 있는 것보다 처리효과가 짧은 경향이 있다. 경우에 따라서는, 인을 흡착한 플록층이 새로운 인이 풍부한 퇴적층에 의하여 덮이는 경우도 있었다. Alum처리에 대한 호소들의 일반적인 반응은 인농도의 급격한 감소, 투명도의 큰 증가(그리고 잡초를 위한 조건개선), 조류 수화의 강도와 기간의 뚜렷한 감소 등이다.

4) 잠재적 부작용: Aluminum salts의 호소내 투입은 심각한 부작용의 가능성이 있으므로 반드시 사용량에 주의를 기울여야 한다. 독성문제의 가능성은 호소물의 알카리도와 pH에 직접적인 관련이 있다. 이 방법을 적용하기 전에 진단-타당성조사에서 알카리도와 pH를 반드시 조사해야 한다. Alum이나 aluminum sulfate( $Al_2(SO_4)_3$ )를 투입하면, pH 6~8사이에서 aluminum hydroxide( $Al(OH)_3$ )가 바로 형성된다. 이것은 앞에서 언급한 바와 같이 눈에 보이는 침전물이나 플록이다. 그러나, alum을 투입하는 동안에 초기 알카리도나 물의 완충용량에 따라서 속도는 다르나 알카리도나 pH가 내려갈 것이다.

연수(soft water)의 경우에는 적은 양의 slum만 사용하여도 알카리도가 소모되어 pH가 6이하로 내려갈 수 있다. pH가 6이하에서는  $\text{Al}(\text{OH})_2$ 와  $\text{Al}_3^+$ 가 지배적인 형태가 된다. 이들 모두 호소생물중에 독성이 있다. 따라서 완충이 잘되며 硬水인 호소가 이런 종류의 처리에 적합한 대상인데, 이유는 alum이 독성 형태로 변환될 걱정 없이 다량의 alum을 투입할 수 있기 때문이다. 연수인 호소는 원하지 않는 pH의 변화를 방지하고 충분한  $\text{Al}(\text{OH})_3$ 를 형성하여 인의 용출을 억제하기 위해서는 완충기능을 공급하여 주는데, 주로 sodium aluminate( $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$ )나 탄소형태의 염류를 추가로 사용한다. 또 다른 잠재적인 부작용으로는 급작스러운 물 투명도의 개선인데, 이것은 기존 잡초의 번성을 깊은 물속까지 확산시킬 수 있다.

5) 비용: 인의 불활성화는 인 용출의 장기적인 통제를 위하여 호소퇴적층에 투입하는데 초기비용이 높을 것이다. 예를 들면, Ohio에 있는 West Twin Lake는 16ha를 처리하는데 100톤의 alum을 사용하였다(Cooke et al. 1986). 현재가격으로, \$14,000정도이다. 그러나 실제로는 인건비가 많이 차지하는 부분으로 화학약품의 사용량에 따라 결정된다. 보다 신속하게 적은 비용으로 투입하는 방법이 개발되어야 한다. 인의 불활성화는 장기적인 처리방법이므로 비용을 그에 따른 상환식으로 계산해야 한다. Peterson(1982)은 이런 기준으로 보면, 영양물질의 제거와 조류통제를 위한 퇴적물제거보다 저렴하다는 것을 보여주었다. 만약 물기둥의 인을 제거할 정도만 사용하면, 초기비용이 매우 낮을 것이나, 장기적인 효과는 급격히 감소할 것이다.

## 2. 퇴적물제거

1) 원리: 호소 퇴적물에서 조류성장을 자극하는 영양물질의 용출은 가장 영양분이 많은 층을 제거하여 통제할 수 있다. 이 방법은 유입물질의 적절한 우회나 처리가 전제된다면 호소내 영양물질의 농도와 조류생산을 상당히 낮출 수 있다.

2) 적용방법: 다양한 조건에 적용 가능한 여러 가지 형태의 준설장비가 있는데, 끝 부분에 절단기가 달린 유압식이 가장 많이 사용된다. 절단기는 퇴적물을 느슨하게 만들어 80~90% 함수비의 슬러리 상태로 파이프를 통하여 준설지역에서 버리는 지역까지 관통하여 운송된다. 다른 종류의 준설방법으로 grap-bucket과 같은 형이 특수한 상황에 사용된다. 일반적으로 비록 사적인 호소라도 준설작업을 시작하기 전에 관계기관의 허가가 요구된다.

3) 효과: 영양물질의 용출지연을 위한 퇴적물의 제거는 매우 효과적이다. 좋은 사례가 Sweden에 있는 Lake Trummen인데, 상부 1m가 매우 영양물질이 풍부하였다. 이 층을 제거하여 호소 평균 수심을 1.08m에서 1.74m로 증가시켰고, 독으로 막은 만과 상류측 연못에서 처분하였다. 연못에서 되돌아오는 물은 인의 제거를 위하여 alum처리를 하였다. 호소의 총인 농도는 급격히 좋아졌으며 9년 동안 낮은 상태를 유지하고 있다. 영양물질이 풍부한 퇴적층은 조류억제를 위하여 실시하지만, 준설은 흔히 호소를 깊게 하고 대형수초를 제거하거나 억제하기 위하여 실시된다.

4) 잠재적 부작용: 호소나 주변지역에 미칠 수 있는 심각한 부작용의 가능성이 매우 높다. 그러나 이러한 많은 문제들은 잠시 동안이고, 적절한 계획에 의하여 최소화시킬 수 있다. 가장 환경적으로 심각한 문제일 수 있는 것은 퇴적물과 함께 이동하는 탁하고 영양물질이 많은 물을 처분할 충분한 장소를 확보하지 못하는 경우이다. 준설한 퇴적물 슬러리가 가라앉을 때까지 충분히 오랜 동안 저류하지 못하면, 탁하고 영양물질이 많은 표면유출수가 하천이나 호소에 유입될 것이다. 이것들이 유입되는 수계는 탁하고, 조류 수화현상, 산소고갈 등과 같은 문제들이 발생할 것이다. 이러한 문제들은 준설작업 기간 동안 일어날 것이지만 이러한 상황은 일시적이다. 끝으로, 준설이 이루어지기 전에 퇴적물의 중금속(특히, 구리와 비소는 제초제에 매우 많이 사용되므로), 염화탄수화물, 그리고 다른 유독성물질들에 대하여 성분분석이 선행되어야 한다. 만약에 이러한 성분들이 높은 농도로 함유되어 있으면, 비용이 많이 들지만 특별한 조치를 취해야 한다. 이렇게 잠재적 부작용의 가능성이 높지만, 적절한 준설지역의 선정과 처분장소의 확보는 이들을 최소화시킬 것이다.

5) 비용: 퇴적물의 제거는 비용이 비싸다. Peterson(1981)에 의하면 1988년 기준으로 환산하면 \$ 0.4 ~ 23.25/yd<sup>3</sup> 범위에 있었으며, 유압식 준설의 경우 2 ~ 3/yd<sup>3</sup> 정도이면 적정가격이었다. 준설비용은 준설현장, 진입, 오니의 특성, 그리고 다른 요인들에 따라 변동 범위가 매우 크다. 그리고 그 가격들에는 처분, 운반, 또는 측정비용이 포함되어 있지 않다. Peterson(1982)은 인의 용출을 통제하는 방법으로서 인의 불활성화가 퇴적물의 제거보다 가격이 저렴하다고 결론지었다.

### 3. 회석과 세척

1) 원리: 호소에 필수영양물질의 농도가 낮으면 조류수화현상은 일어날 확률이 낮다. 영양물질이 풍부한 물은 호소에 유입되기 전에 우회 또는 처리하는 것이 이상적이기는 하지만, 다른 추가적인 공급원에서 영양물질이 낮은 물을 충분히(회석) 투입하여 호소내에서 영양물질의 농도를 낮추고 조류세포를 세척하게 할 수 있다. 또한, 많은 분량의 추가적인 수량은 영양물질의 농도가 낮음 여부에 관계없이 조류의 성장속도보다 빨리 세척하는데 사용될 수도 있다.

2) 적용방법: 인은 종종 조류의 성장을 제한하는 요소이다. 호소물의 인의 농도는 유입수의 농도, 세척율 또는 수리학적체류기간, 그리고 물이 시스템을 통과하면서 입자로 바닥에 퇴적하는 순손실량의 함수이다. 인의 농도가 낮은 물을 추가하면, 실제 인의 유입량은 증가하나, 세척율과 유입수의 농도에 따라 평균농도는 낮아질 것이다. 농도는 또한 인이 퇴적물에서 손실되는 비율이 감소하고 회석을 방해하는 것들에 의해 영향을 받는다. 세척율이 낮은 호소는 적합한 대상이 아닌데 이유는 세척수가 전혀 인이 없는 경우가 아니면 오히려 호소내 농도가 증가할 수 있기 때문이다(Uttormark and Hutchins, 1980). 내부적 인의 용출은 효과 평가를 더욱 복잡하게 한다. 회석은 세포를 씻어내는 역할을 한다. 이 사실들은 이와 같은 방법을 처방하기 전에 호소구역의 체적뿐만 아니라 물과 영양물질의 수지를 생각하게 한다. 세척은 조류의 생물량을 씻어냄으로서 통제할 수 있다. 그러나 효과적이기 위해서는 세척율이 조류의 세포성장을 가까이 되어야 한다. 하루에 호소 체적의 10~15%정도 세척율이면 충분하다고 판단된다.

3) 효과: 회석과 세척의 사례는 매우 적게 문서화되어 있는데, 이유 중에는 그만한 양의 물을 확보하기가 어렵고, 특히 영양물질이 낮은 물은 더욱 그렇다. 가장 잘 문서화된 경우는 Washington주의 Moses Lake이며(Welch and Petmont, 1980; Cooke et al. 1986), 거기에서는 영양물질이 낮은 Columbia River를 우회시켜 호소를 통과하게 하였다. 물 교환율이 10~20%/일 정도가 되었고, 탁도와 조류수화문제가 극적으로 개선되었으며 이 방법의 효과를 입증하였다.

4) 잠재적 부작용: 배출구가 추가되는 방류량을 감당할 수 있어야 하며, 또한 늘어나는 방류량이 하류에 부작용을 줄 수 있다. 호소에 회석과 세척용으로 유입시키기는 물은 유입 전에 유독성 물질이 없음을 확인하여야 한다.

또한, 유입되는 물에 의한 생물학적 이동도 고려되어야 한다.

5) 비용: 비용은 펌프의 필요여부, 상세한 엔지니어링, 배출구구조 보강, 그리고 새로운 물과의 간격 등의 현장여건에 따라 크게 변할 수 있다.

#### 4. 인공순환

인공순환은 압축공기를 호소바닥에서 파이프나 세라믹 산기관을 통해서 호소에 공급하여 열층리를 제거하고 열층리의 형성을 방지한다. 공기방울이 올라오는 기둥이 충분한 힘이 있으면, 호소전체의 혼합을 통하여 상부와 하부 물 사이의 온도차를 제거한다. 조류수화는 다음 중 하나나 또는 조합에 의하여 억제될 수 있다.

① 빛이 부족한 조류군락에서는 호소바닥까지 혼합을 통하여 세포에게 빛의 공급이 부족한 어두운 시간을 증가시켜 순탄소동화작용을 감소시킬 것이다.

② 호소바닥에 산소공급을 통하여 퇴적물에서의 인의 용출을 억제하여 내부영양물질부하를 감소시킨다.

③ 초기혼합에서 바닥에 탄소가 풍부한 물 공급뿐만 아니라 빠른 순환과 대기와 물 사이의 접촉은, 물 속의 이산화탄소 농도를 증가시켜 blue-green조류를 유독성이 낮은 green조류로 바뀌도록 할 수 있다.

④ 조류를 섭취하는 동물성플랑크톤이 바닥까지 혼합되면, 시각으로 먹이를 찾는 물고기에게 덜 먹힐 것이다. 만약 동물성플랑크톤이 살아있으면 그들에 의한 조류세포의 소비가 증가할 것이다.

결과는 경우에 따라 크게 다르다. 대부분의 경우는, 낮은 용존산소에 의한 문제(예를 들면, 깊은 댐방류의 경우와 같이)는 해결되었다. 약 절반의 경우에는, 여름동안에 상부와 하부의 작은 온도차이가 유지되었으며 조류수화는 감소하였다. 다른 경우에는, 인과 탁도는 증가하고 투명도는 낮아졌다. 상수원 저수지에 인공순환을 적절히 적용하면 철과 망간의 문제는 제거할 수 있다. 원하는 목적을 달성하지 못한 경우에는 호소화학이나 장비문제에 의해서 일어났을 것이다. Lorenzen과 Fast(1977)는 적절히 혼합하려면, 호소면적 acre당 1.3 ft<sup>3</sup>/min 정도로 공기를 유입시켜야 호소에 산소를 유지할 수 있다고 결론지었다. 과소설계가 이 방법 실패의 중요 요인이다. 이 부분은 매우 특수화된 분야이다: 그러므로, 시스템은 인공순환에 경험이 있는 전문가에 의하여 설계되어

야 한다. 알맞은 공기압력은 현장조건에 따라 다르다. 조류통제도 특정한 호소의 pH나 알카리도와 같은 화학조건에 따라 다르다. 비용은 낮으며 주로 콤프레서와 배관 및 산기관의 가격이다.

## 5. 심층수폭기

심층수폭기는 인공순환과 목적과 방법에서 다르다. 인공순환은 호소 바닥에서 압축공기를 산기관을 통하여 공급하는 반면에, 심층수폭기는 대부분 부양기(air-lift)를 이용하여 깊은 호소의 차가운 심층수를 호소의 표면까지 끌어올린다. 물은 대기와 접촉을 통하여 폭기가 이루어지며, 이산화탄소와 메탄가스와 같은 것들은 없어지고 물은 심층수로 되돌아간다. 이 방법에서는 열층리를 파괴하고자 하는 의도가 없다.

이 방법을 자주 활용하는 곳은 호소의 심층수가 일반적으로 무산소층이며 이곳의 찬물에서 서식하는 물고기를 유지하기 위한 경우이다. 다른 경우는 심층수에서 취수하는 상수원의 맛과 냄새를 제거하기 위한 경우이다. 이 경우는 산소를 공급하여 화학적인 조건을 음용수에서 흔히 색도와 관련이 있는 철과 망간이 침전하기 좋은 상태를 만들어 준다. 또한, 이 방법은 심층수에서 방류하는 물의 품질을 개선하기 위하여 실시할 수도 있다. 심층수의 폭기가 철과 결합을 증진시켜 호소 퇴적물에서 용출을 억제하여, 불쾌한 조류를 성공적으로 통제할 사례가 문서화된 것은 거의 없다. 심층수폭기 중에 철을 추가로 공급하여 인의 제거를 증진시켜서 호소내부 인의 용출을 통제할 수 있을 것이다. 심층수폭기는 산소농도와 철의 농도가 높으면 인의 불활성화방법 형태가 되어 조류의 통제를 약간 향상시킬 수 있을 것이다. 심층수폭기가 음용수 원수를 효과적으로 개선시키고 조류 과잉번성을 통제할 성공적인 사례는 Walker 등(1989)에 의해 발표되었다. 심층수폭기시설은 다량의 심층수에 적절히 작용할 수 있어야 한다. 이러한 시설을 얕은 호소나 저수지에 적용하는 일이 있다면 조심스럽게 사용해야 한다.

심층수폭기방법의 비용은 필요한 압축공기의 양에 좌우된다(심층수면적, 호소의 산소비율, 그리고 열층리의 정도의 함수). 이에 대한 계산은 Kortman(1989)의 발표에 나타나 있다.

## 6. 심층수배제

층리된 부영양 호수나 저수지의 차갑고 깊은 층은 상층부의 물보다 영양물질 농도가 높을 수 있다. 이 층이 어떤 방법에 의해 표층수에 합해지게 되면 영양물질을 공급하게 되고 조류수화현상을 촉발시킬 수 있다. 이러한 현



상은 한랭전선이 통과할 때나 봄과 가을의 전도기간에 자연적으로 일어날 수 있다. 심층수배제의 목적은 이 영양물질이 풍부하고 산소가 없는 물을 댐의 깊은 곳에 설치된 방류구나 사이폰을 이용하여 제거하여, 호소의 인 손실을 가속화시켜 표층수의 인 농도를 감소시키는 것이다. 그러, 이 방법의 효과에 대한 문서화된 사례는 거의 없다.

심각한 부작용이 가능하다. 방류수는 수질이 낮은 물로서 폭기나 다른 처리가 요구될 수도 있으며, 이러한 물의 방류에는 중앙정부나 지방정부의 허가가 필요할 수 있다. 또한, 심층수의 방류는 열적인 불안정을 초래하여 층리현상의 파괴되어 영양물질이 풍부하고 무산소인 물을 표층수에 공급하여 조류수화를 촉발시킬 수도 있다. 그러나, 생태계에는 부작용이 있을 것 같지 않다. 비용은 비교적 낮아서 펌프, 배관, 그리고 폭기시설의 경비정도를 포함할 것이다.

## 7. 퇴적물산화

이것은 최근에 개발된 방법으로서 매우 실험적인 방법이다(Ripl, 1976). 이 방법의 목적은 퇴적물에서 인의 불활성화방법과 같이 인의 용출을 감소시키는 것이다. 만약에 퇴적물에 철이 부족하면, ferric chloride( $FeCl_3$ )를 공급하여 인의 침전을 향상시킨다. 석회( $Ca(OH)_2$ )도 역시 투입하여 퇴적물의 pH가 7.0~7.5를 유지하여 탈질과정에 가장 적합한 조건을 유지해준다. 그리고, calcium nitrate( $Ca(NO_3)_2$ )를 퇴적물의 상부 25 cm에 주입하여 유기물의 산화 및 분해, 그리고 탈질현상을 증진시킨다. 이 전체 과정은 처음 시작한 W. Ripl에서 명명되어 RIPLOX라고 불린다.

Sweden에 있는 Lake Lillesjon에서는 10.5 acre의 면적에 평균수심이 1.78 m 정도인데 이 방법으로 처음으로 처리되었다. 비용은 \$112,000로써 주로 장비개발과 예비조사에 투입되었고, 화학약품의 비용은 \$7,000정도이었다. 그 처리는 퇴적물 인의 용출율을 극적으로 낮추었으며, 적어도 2년간은 지속되었다. Minnesota Lake의 일부분도 처리되었는데, 외부로부터 과다 오염부하가 처리효과를 압도하였다. 그러나, 부작용은 보고되지 않았다.

## 8. 먹이그물 조절

Shapiro등(1975)이 처음 제안한 방법으로 "biomanipulation"이라고 불리는데, 그들은 고가의 장비나 화학약품의 사용 없이도 호소수질을 크게 개선할 수 있다고 믿었다. 어떤 호소에서는 공공수역의 조류량이 영양물질의 양보다도 동물성플랑크톤의 섭취에 의하여 통제될 수 있다. 동물성플랑크톤은 미세

한 갑작류동물로서, 어떤 호소에서 발견되는데, 여러 개의 군락으로서 여름에는 전체 표층수의 조류, 박테리아, 그리고 작은 유기물 등을 매일 여과할 정도로 섭취할 수 있다. 가장 효과적인 동물성플랑크톤 포획자는 보다 광범위한 범위에 걸쳐 보다 많은 입자를 제거할 수 있는 가장 큰 규모의 종류들이다. 어떤 호소에서는, Florida에서와 같이 아열대성지역에서, 이렇게 큰 동물성플랑크톤이 존재하지 않는다. 다른 호소에서는, 대규모 동물성플랑크톤이 특정한 물고기에 의하여 선별적으로 섭취되는데, 이러한 물고기에는 거의 모든 물고기의 치어(fry)와 bluegill, pumpkinseed, 농어(perch), 청어(shad) 등이 있다.

입이 큰 농어(big mouth bass), welleye, 북부참꼬치(northern pike)와 같은 육식성물고기 어미들이 지배적인 호소에서는, 몸집이 큰 동물성플랑크톤이 존재할 가능성이 많은데, 이유는 그들의 포획자가 없어졌기 때문이다. 그러므로 어떤 종류의 조류번성은 감소하는데, 이유는 이러한 조건에서 동물성플랑크톤이 증식할 수 있기 때문이다. 역으로, 동물성플랑크톤을 먹는 물고기가 지배적인 호소에서는 조류의 포획이 감소하여, 보다 더 조류水華현상을 심화시킬 수 있다. 이와 같은 종류의 먹이사슬 내에 있는 동물을 이용하여 조류를 통제하는 방법은 “top-down(위에서 아래로)”방법이며 영양물질을 억제하여 통제하는 “bottom-up(아래에서 위로)”방법의 개념과 다르다.

동물성플랑크톤을 먹는 물고기의 밀도는 물고기극약, 수위강하, 겨울 동안의 죽임, 아니면 이들의 포획용 물고기를 넣어주어서 감소시킬 수 있다. 그러나, welleye와 같은 포획자를 넣는 방법은 영양물질의 공급이 많고, 어떤 종류의 blue-green조류처럼 눈에 잘 보이지 않는 것들이 많은 경우에는 측정할 만한 조류의 “top-down”통제가 이루어지지 않을 수 있다. 아귀(angler)와 같은 것을 넣어서 포획성물고기를 제거하는 것은 이해가 되지 않는다. 또한, 동물성플랑크톤을 먹는 물고기(gizzard shad와 같은)를 깨끗한 물의 위하여 호소에 넣는 것도 생태적으로 이해가 잘 안 된다. 그러나 낚시가 최우선순위라면, gizzard shad와 같은 동물성플랑크톤을 먹는 물고기들은 하위 생산자와 상위계급을 연결해주는 필수적인 연결기능을 한다. 그러나 특히 작은 호소에서는, 이처럼 작은 민물고기들의 밀도를 통제함으로써 얻어지는 이득이 호소관리 사업을 성공적으로 달성할 수 있도록 보장하기에 충분하다.

조류를 섭취하는 동물성플랑크톤의 밀도에 영향을 주는 다른 조건들은 무산소심층수인데, 부영양 호소에서 많이 나타나며, 동물성플랑크톤들이 시각에 의해 먹이를 잡아먹는 물고기를 피하여 낮에 숨을 수 있는 장소를 없어서 동물성플랑크톤의 사망률을 증가시킨다. 폭기시설이 이 문제를 해결해줄 수 있을 것이다. 다른 동물성플랑크톤의 사망률을 높이는 요인은 농경지유출과

함께 유입된 온 농약성분이다. 조류의 일시적 통제를 위하여 투입한 copper sulfate도 조류에게 필요한 투입량보다 훨씬 낮은 경우에도 동물성플랑크톤의 사망률을 역시 높일 수 있다. 동물성플랑크톤의 심하게 많은 사망은 copper처리방법에서 조류가 다시 회복되는 경우를 설명할 수 있다.

다른 종류의 호소투명도를 향상시킬 수 있는 생물조절방법으로는 잉어(carp)나 메기류(bullhead)와 같이 바닥을 다니며 먹이를 찾아 먹는 물고기를 제거하는 것이다. 바닥에서 먹이활동을 하는 것은 이 물고기들이 먹이를 먹고 소화시키면서 물기둥에 상당한 영양물질을 용출하는 것으로 밝혀졌다. 그러나 이 물고기들을 없애는 것은 매우 어려운데 이유는 이들이 아주 낮은 산소량에서도 상당량의 물고기극약의 농도에서도 잘 견디기 때문이다. 생물조절방법의 비용은 알려져 있지 않다. 물고기극약은 비싸며 많은 경우에는 죽은 고기를 청소하는 비용도 비쌀 것이다. 물론, 포획성 물고기를 넣어서 먹이그물을 재조절하는 것은 호소에 따라 다를 것이다.

## 9. 조류제거제

Copper sulfate( $\text{CuSO}_4$ )가 가장 널리 사용되는 조류제거용 화학약품이다. 이것은 어떤 지역에서는 제한이 있지만 먹는 물에 사용할 수 있도록 등록되어 있다. Simazine도 조류통제에 많이 사용된다. 구리는 조류의 탄소동화작용을 억제하며 질소의 신진대사를 바꾸어 놓는다. 실제로, copper sulfate는 마대나 나일론 백에 입자(물에 용해됨)를 담아서 보트 뒤로 던진다. 염기성 물(알칼리도가 150 mg/L as  $\text{CaCO}_3$  이상)이나 유기물이 많은 물에서는 구리는 용액에서 빨리 손실되어 비효과적으로 생각된다. 이러한 경우에는, 액체 킬레이트된 형태를 가끔 사용한다. 이 형태는 구리가 조류를 죽일 정도로 장기간 물에 잔류하게 해준다. 식물성플랑크톤(불쾌한 blue-green조류를 포함하여)이나 잡초 안의 섬유성 매트를 형성한 것들이 모두 1~2 mg  $\text{CuSO}_4$ /L정도(0.8 mg Cu/L)의 사용량에서 죽는다. 사용량, 효과, 그리고 환경적인 영향들은 Cook and Carlson(1989)의 참고문헌에서 찾을 수 있다.

Copper sulfate는 반응이 일시적이고 추가투입을 필요로 하지만, 가끔은 효과적이다. 그러나 여러 가지 부작용이 있다: 짧은 기간에 너무 과도한 면적을 처리하면 물고기에 독성이나 산소고갈 등이다. Hanson and Stefan은 Minnesota 호소그룹들에 들에 58년간 copper sulfate를 사용하였는데, 일시적인 조류통제에는 효과적이거나, 산소고갈, 내부 영양물질 순환 증가, 가끔은 물고기 폐사, 퇴적물에 구리 누적, 어떤 blue-green조류는 저항성이 커지고, 그리고 물고기와 물고기-먹이 군락에 바람직하지 않은 영향을 미치는 것 같았다. 그

들은 일시적 조류통제를 위하여 장기적인 호소의 질 저하를 초래하였다고 결론지었다.

조류제거제의 비용은 사용량, 효과의 지속성, 그리고 살포비용과 관련이 있다. 식물성플랑크톤의 통제를 위하여 일반적으로 사용하는 양은 입자형의 경우 5.4 lbs/acre-ft이며, 킬레이트형태는 0.6 gallon/acre-ft로서 \$22/acre-ft 정도이었다. 적용방법은 액체 킬레이트형태가 보다 빠르며 입자형태보다 효과도 오래 지속한다고 주장하여, 연간으로 살펴보면 특히 경수의 경우에 입자형태 사용한 비용과 비슷하다고 한다. 여기에는 허가비용, 투입자의 보험비용 등은 포함되어 있지 않다.

## 제 2 절 대형 수초의 제거

뿌리형과 부유성 식물들이 과잉번식하는 것은 호소와 저수지 사용자들에게 불쾌감을 주는 주요 문제 중의 하나이다. 심한 경우에는, 연못이나 얇고, 따뜻하며, 빛이 잘 비치는 미국남부의 호소와 수로에서는 잡초(대형수초라고도 불린다)가 호소면적 전체를 덮는 경우도 있다. 잡초는 휴양활동을 분명히 저해하고 호소의 심미적인 가치를 빼앗아 간다. 그들은 또한 상당량의 영양물질과 유기물을 물기둥에 공급할 수 있어서, 아마도 조류수화를 촉진하고 용존 산소 소모율을 증가시킬 것이다.

대형수초는 꽃과 씨앗 그리고 조각에서 뿌리를 뺀 무성생식에 의한 번식으로 재생산한다. 대형수초의 성장률은 특히 water hyacinth, hydrilla, milfoil과 같은 종류들의 경우 변동폭이 매우 크다. 대부분의 잡초가 영양분을 뿌리를 통하여 섭취하므로, 물기둥의 영양물질을 침전을 통하여 퇴적층으로 이동시킨 호소에서는 뿌리형 수초가 더욱 번성할 것이다. 퇴적물이 지나치게 유기성이거나 무기성(모래)이면 대형수초가 영양물질을 이러한 종류의 퇴적물에서는 섭취하기가 어렵기 때문에 성장이 저조할 수도 있다. 지난 수년 동안 대형수초의 관리는 자르거나 제초제를 사용하는 방법을 주로 사용하여왔다. 장기적으로 효과를 나타낼 수 있는 대안의 개발이 아주 부족한데, 부분적으로는 최근까지 우리가 대형수초 생리와 그들의 성장에 영향을 미치는 환경요인들에 대하여 이해가 부족했기 때문이다.

## 1. 퇴적물제거 및 퇴적물경운

1) 원리: 퇴적물제거는 깊이를 더하여 빛을 제약하거나, 식물이 좋아하는 퇴적물을 제거하고 모래만 남겨놓아서 추수식물 잡초의 성장을 억제할 수 있다. 준설과 경운은 뿌리를 제거하여 식물의 성장을 제약한다.

2) 적용방법: 퇴적물의 제거는 앞에서 조류제거 부분을 통해 상당히 자세히 설명하였다. 제거된 퇴적물의 양, 그리고 수심이 더해져서 변한 빛의 투과량들은 추수식물의 장기적인 통제에 성공여부에 매우 중요하다. Secchi 판에 의해 간단하게 표기한 물의 투명도와 대형수초의 최대생장수심(MDC, maximum depth of colonization)은 직접적인 관계가 있는 것 같다. Cranfield 등은 Florida와 Wisconsin지역의 MDC를 Secchi 깊이와의 관계에 다음과 같은 공식을 제안하였다. 여기에서 SD는 Secchi depth로써 단위는 m이다.

State	Equation
Florida	$\text{Log MDC} = 0.42 \text{ Log SD} + 0.41$
Wisconsin	$\text{Log MDC} = 0.79 \text{ Log SD} + 0.25$

예를 들면, Florida 호소가 secchi 깊이가 1.83 m이면 우리는 수변에서 얼마나 멀리까지 뿌리형 대형수초가 자랄 것으로 예상하는가? 간단한 계산기에 의하여 답을 구할 수 있으며, 그 것은 얼마나 깊은 곳까지의 수변지역이 최소한의 추수식물이 자랄 수 있는지 제안해 준다. 이 경우에는, Log 1.83 은 0.26이므로 공식에 대입하면 다음과 같다.

$$\text{Log MDC} = (0.42 \times \log 1.83) + 0.41 = (0.42 \times 0.26) + 0.41 = 0.52$$

MDC를 m로 구하기 위해서는 0.52를 역대수하면 3.31 m가 된다. 이것은 약간의 추수식물이 3.31 m 수심까지 자라며, 수심이 얕아지면서 점점 잡초의 밀도가 증가할 것으로 예상된다. 이 예제에서, 수심을 10 ft에서 11 ft로 증가시키기 위하여서는 매우 많은 양의 퇴적물이 제거되어야 한다. 수심측량에 의하면 이것을 확인할 수 있다. 또한 침식방지나 인의 불활성화 같이 물의 투명도를 크게 개선시키는 방법들은 잡초의 분포와 번성을 향상시킬 수 있다. 이것은 특히 hydrilla와 같은 남부지방의 불쾌한 외래종잡초의 경우에 그럴 수 있다. Hydrilla는 천연종보다 빛이 부족해도 자랄 수 있어서, 통제하는데 더 깊게 파고 비용이 많이 들어서 아마 불가능한 것 같다.

Rototiller나 경운기계를 활용하여 경운하는 것은 새로운 방법으로 현

재 개발 중이며, rototiller는 유압에 의하여 작동하는 경운도구가 부착된 바지선 같은 것으로서, 뿌리를 찢어내는데 3~4 m까지 내릴 수 있다. 또한 호소의 수위가 내려가면, 경운기계는 단단한 퇴적물위에서 트랙터 뒤에 붙이면 90%까지 뿌리를 제거할 수 있다.

3) 효과: 퇴적물의 제거는 퇴적물의 공급원이 통제되면, 장기적인 대형수초 통제에 효과적이다. 호소의 투광대 밑을 준설하는 것은 대형수초의 성장을 방지할 것이다. 그러나, 준설의 비용이 가끔 이 방법의 사용에 의문을 갖게 한다. Rototilling을 통하여 뿌리를 제거하는 것은 2~3회 수확하는 정도의 효과가 있을 것이다.

4) 잠재적 부작용: 퇴적물제거의 부작용은 조류통제 부분에서 이미 언급하였다.

5) 비용: 비용은 조류통제에서 설명하였다. Newroth and Soar(1986)에 의하면 rototiller와 경운기계 사용은 제초제와 수확에 소요되는 비용과 유사하나, 운영속도가 더 느리다.

## 2. 수위강하

1) 원리와 적용방법: 퇴적층을 빙결기나 건조기에 일정기간 노출시키는 것은 여러 가지 관리방법을 수행할 수 있는 기회를 제공한다. 어떤 뿌리형 식물들은 이러한 조건에서 영구적으로 피해를 입고, 전체식물은 뿌리와 씨앗식물들은 빙결기에 2~4주 정도 노출되면 죽는다. 그러나 어떤 종류들은 영향을 받지 않거나 증가하기도 한다. 수위강하는 또한 댐이나 도크의 보수, 물고기관리, 퇴적물제거, 그리고 식물성장을 억제하기 위하여 퇴적물덮기 같은 것들을 할 수 있도록 해준다.

2) 효과: Cooke 등(1986)은 74개 수생식물의 수위강하에 대한 반응을 요약했는데, 많은 사례들을 통하여 세 가지 중요한 사실을 입증하였다.

① 결빙과 건조가 요구된다: 젖고 차가운 퇴적물이나 눈에 덮힌 젖은 퇴적물은 식물에 별로 나쁜 영향을 주지 않을지도 모른다.

② 이 기술을 현장조건에 따라 다르다.

③ 성공적인 결빙-건조방법을 위해서는 2년씩 실시하다가 중지하다가를 교차적으로 수행하여 저항성품종이 자리잡지 못하도록 하여야 한다.

두 가지 사례가 이 점들을 설명해준다. Beard(1973)는 Wisconsin주의 Murphy Flowage에 겨울 수위강하방법을 설명하였다. 이전에는 75acre가 봄과 여름에 낚시가 금지되었는데, 이유는 pondweeds, coontail, Eurasian watermilfoil, 그리고 water lily 등의 밀도가 너무 많아서였다. 64 acre를 강하하여 노출시켰더니, 물론 어떤 저항성종류는 증가했지만 낚시조건이 크게 개선되었다. Geiger(1983)는 Oregon lake에서 Eurasian watermilfoil을 통제하기 위하여 겨울 수위강하를 시도하였다. 온화하고 습한 겨울의 태평양 북서부는 충분한 빙결을 제공하지 못하며 잡초가 오히려 증가하였고 2,4-D를 사용할 수밖에 없었다.

3) 잠재적 부작용: 어떤 지역은 수위강하 후에 조류수화를 겪었다. 원인은 분명하지 않으나 퇴적물에서의 영양물질의 용출이나 또는 잡초와의 경쟁이 없어졌기 때문일 것이다. 수위강하의 가장 큰 문제는 호소사용의 손실이다. 건조와 결빙은 물고기먹이로 필수적인 저서생물의 풍부함을 급격히 감소시킨다. 그리고 나머지 구역에 산소고갈이 생겨서 물고기 폐사로 이어질 수 있다. 작은 체적의 시스템은 용존산소를 관측해야 하며 필요하면 폭기시설을 사용해야 한다.

4) 비용: 만약에 호소가 댐에 의하여 조절된다면 비용은 작을 것이다. 추가비용이라면 호소사용의 손실일 것이다.

### 3. 음영과 퇴적층덮기

1) 원리 및 적용방법: 수중에 안료를 사용하는 것과 수면을 덮거나 퇴적층을 플라스틱으로 덮어서 식물에게 필요한 빛의 투과를 차단하여 식물의 성장을 통제하는 방법은, 뿌리형 식물은 빛이 필요하며 물리적장애물을 뚫고 자라지 못한다는 잘 알려진 사실에 의해 발달되었다. 실트, 모래, 진흙, 그리고 자갈 등도 사용되었는데, 물론 식물들이 단기간에 그곳에 뿌리를 내릴 수 있다. 퇴적층덮개용 물질은 polyethylene, polypropylene, fiberglass, nylon등이 도크주변이나 수영구역과 같이 작은 면적에는 완전한 식물제거를 위하여 사용이 가능하다. 넓은 구역은 종종 처리하지 못하였는데 이유는 재료비와 적용비용이 비싸기 때문이다.

2) 효과: Engel(1982)은 퇴적층덮기의 장점을 그들의 사용경험에 근거하여 다음과 같이 나열하였다:

- ① 사용은 특정구역에 제한된다.
- ② 스크린은 눈에 뜨이지 않으며 수변을 교란하지 않는다.
- ③ 그들은 수확하는 사람이나 모타보트가 닿지 않는 곳에 설치될 수 있다.
- ④ 유독성물질이 사용되지 않는다.
- ⑤ 좁은 면적에는 설치가 용이하다.

그리고 단점은 다음과 같다:

- ① 그것은 문제의 원인을 치료하지 않는다.
- ② 비용이 비싸다.
- ③ 넓은 면적이나 장애물이 있으면 설치가 어렵다.
- ④ 급한 경사지역에서는 미끄러지고, 밑 부분에서 발생한 가스에 의해 수면으로 떠오를 수 있다.
- ⑤ 제거나 이동이 어려울 수 있다.
- ⑥ 설치 중에 찢어질 수 있다.
- ⑦ 어떤 물질은 햇빛에 상한다.
- ⑧ 허가가 필요할 수 있다.

성공적인 사용에는 재질선택과 설치의 품질에 관련이 있다. 가장 효과적인 재질은 가스가 통과하는 스크린으로 fiberglass, polypropylene, nylon 등이 있고, 그보다 낮은 것은 일반마대종류이다. Polyethylene과 인조고무는 그 하부에 가스를 가둔다. 적합한 설치에는 스크린이 퇴적물위에 곧바로 평평하게 놓이고, 막대기나 앵커를 이용하여 안전하게 고정시킨다. 이것은 식물이 많이 자라는 지역에서는 어려우므로, 봄이나 겨울의 수위강하시기가 설치에 적합하다. 깊은 물에서는 스쿠버다이버들이 설치하는데, 이에 따라 비용이 훨씬 더 소요된다. 실트의 유입율에 따라, 퇴적층덮개는 식물이 뿌리내릴 침전물에 의해 다시 덮일 수 있다. 스크린은 그 때가 되면 제거하여 청소해야 한다.

표면에 음영(그늘)을 주는 것은 관심을 거의 끌지 못했다. Polyethylene 천을 호소수면에 떠있게 하는 방법은 Mayhew and Runkel(1962)에 의해 잡초를 가리기 위하여 실시되었다. 그들은 만약 덮개가 식물이 숙성하기 전인 봄에 덮는다면 2~3주의 덮기가 여름동안 potamogeton을 완전히 제거하는 것을 발견하였다. Coontail도 역시 통제되었으나, chara에는 효과가 없었다. 이 방법은 도크나 해수욕장과 같이 작은 구역에는 기존방법의 대안으로



서 성공적일 수 있다. 안료는 연못과 같이 작은 면적에서 조류나 잡초에 빛을 제한하기 위해 사용되었다.

3) 잠재적 부작용: 퇴적층덮기의 부작용은 거의 없다. 저서생물이 죽을 수 있지만(Engel, 1982), 용존산소 고갈은 문제되지 않았다.

4) 비용: Cook and Kennedy(1989)에 의하면 좁은 지역이 아니면 비용이 상대적으로 많이 소요되는 것으로 나타났다.

#### 4. 생물학적 통제

1) 원리: 향후 북미의 많은 지역에서 수생식물을 지속적으로 통제할 수 있는 능력의 상당한 향상은 식물을 먹는, 또는 식물을 발병시켜 통제하는 생물, 또는 수확이나 수위강하, 그리고 제초제사용과 같은 현재방법과 이들 생물들과의 조합에 의하여 이루어질 것이다. 생물학적 통제의 목표는 식물의 통제를 고가의 기계나 유독성물질의 사용 없이 장기적으로 이루고자 하는 것이다.

2) 적용방법 : Grass carp은 외래종으로서(1962년에 인도네시아에서 수입되었음), 대형수초를 계절스럽게 먹는 소비자로 알려져 있다. 그들은 성장률이 매우 빠르다(최대 2.5 kg/yr, Smith and Shireman, 1983). 이와 같이 대식가와 빠른 성장률의 조합은 몇 계절 내에 수생식물들을 통제, 또는 근절시킬 수 있다. Grass carp는 수생식물들을 바로 동등하게 먹지 않는다. 일반적으로, 그들은 alligatorweed, water hyacinth, cattail, spatterdock, water lily와 같은 것들은 피한다. 그들이 좋아하는 식물종류는 elodea, pondweeds, hydrilla 등이다. 과소 수용은 자기들이 좋아하는 종류에 대한 선별적인 섭취를 하여, 다른 좋아하지 않는 종류는 오히려 증가할 수 있다. 반면에 과잉 수용하게 되면 잡초를 근절할 것이다. 선호하는 식물의 종류는 Nall and Schardt(1980), Van Dyke et al.(1984), 그리고 Cook and Kennedy(1989)에 나열되어 있다.

Insects로서는 10개의 곤충종류가 격리된 상태로 미국에 수입되어 USDA에서 실험을 거쳐 미국내 수계에 방류가 허가되었다. 이 곤충들은 남부 지역 주의 수계에 한정되어 있으며, 특히 alligatorweed와 water hyacinth를 통제하기 위하여 사용된다. 현재는 아직 북쪽지역 식물에는 외래종 곤충이 이용되지 않고 있다. 이 10종 곤충의 생애는 키우는 식물에서 이루어져서 그들의 분포는 물려있는 지역에 국한된다. 또한, 그들은 온도 때문에 남부지역의 주들

에 한정되어 있다. 그들의 번식률은 목표하는 식물보다 느리다. 그러므로, 비록 수확이나 제초제사용과 같은 방법으로 현장에서 식물밀도가 감소하는 곳에서는 이들과 함께 종합적으로 사용하여 향상될 수 있으나, 통제속도가 느리고 곤충들은 잔류하는 식물들에만 모여있다.

3) 효과 : Grass carp는 여러 주에서 공공적 또는 개인적인 사용이 금지되어 있지만 다른 여러 주에서 사용되었다(예를 들면, Florida, Texas, Alkansas). 그들은 미국 내에서 철저한 검증을 거치고 있다. 대부분의 연구에서는 물고기가 불쾌한 잡초의 감소나 제거에 약간 부작용이 있었으나 극히 효과적이었다. 두 가지 사례가 그들의 사용하였다. Martyn et al.(1986)은 grass carp 배수염색체(재생산이 가능함)를 Houston의 상수공급원인 Texas의 Lake Conroe에 투입하였다. 최대 번성시에는 침수성잡초가 전체호소면적 20,000 acre의 44%를 덮었다. 대부분의 식물은 hydrilla이었으나 milfoil과 cattail도 많았다. 1981년 9월에서 1982년 9월까지 20 cm이상 크기의 280,000마리 grass carp를 잡아넣었다. 1983년 10월까지 모든 관수식물이 없어졌다. 이러한 근절과 함께 식물성플랑크톤 조류가 증가하였고, 투명도가 감소하였으며, 플랑크톤과 관련이 있는 물고기가 증가하였다. 물고기 중에서 잡초와 관련이 있는 종류는 감소하였다.

Van Dyke et al.(1984)은 grass carp 배수염색체를 Florida의 3개 호수와 1개 저수지에서 투입하여 그 효과를 연구하였다. Hydrilla는 6년동안 제거되었고, 아마도 완전히 근절된 것 같았다. 몇 개의 뿌리형 식물은 잔류하였다. Illinois pondweed는 저수지에서 제거되었으며, milfoil은 크게 줄었다. 4개 현장에서의 통제는 서서히 일어났으나 장기적으로 효과는 지속되었다. Eurasian watermilfoil은 저수지에 되돌아 왔는데, 이유는 분명히 carps들이 저수지를 떠났기 때문이다. Grass carp는 적은 숫자를 넣어서 부분적으로 제거하고자 하는 관점에서는 잡초관리방법으로 성공적이지 못했다. Shireman et al.(1983)는 Florida의 Lake Pearl에서 hydrilla의 침입을 막기 위하여 약간의 제초제와 적은 숫자의 carp을 사용하여 이런 방법을 적용하고자 하였다. Carp은 제초제를 사용하였는데도 2년 만에 계속 증가하였고, 2년 후에는 식물의 밀도에 영향을 미칠 정도로 증가하여 드디어 식물의 근절이 시작되었다.

물고기의 수용률은 식물의 크기, 다양성, 퍼져있는 정도, 그리고 관리 목표에 따라 지역적으로 매우 크게 다르다. 물고기 투입량과 좋아하는 먹이에 대한 상세한 자료는 Cooke and Kennedy(1986)에 나타나 있다.

Insects는 alligatorweed와 water hyacinth를 통제하는데 매우 효과적

이었다. 예를 들면, Sanders and Theriot(1986)에 의하면 water hyacinth weevil(곤충)이 1974년부터 Louisiana에서 water hyacinth의 분포감소에 적어도 50%는 책임이 있다고 하였다. 곤충에 의한 통제는 다른 관리방법과 합해질 때 특히 효과적이다. 두 가지 사례가 이 점을 설명해 준다.

Haag(1988)는 Florida의 완전히 water hyacinth로 덮인 연못에서 연구하였다. Weevils는 적은 숫자가 발견되었다. 연못의 약 20%는 장벽으로 분리시키고, 나머지 연못에는 매월 25%씩 면적을 증가시켜가면서 2,4-D를 살포하였다. 분리지역의 Weevil 밀도는 서서히 증가하였으며 다음해까지는 연못전체 water hyacinth의 100%를 제거하였다. 이러한 근절은 alligatorweed의 침입을 허용했는데 이것의 번식은 alligatorweed flea beetle에 의해 조절되었다. 이 연구는 흔히 사용되는 제초제에 의한 잡초근절은 또한 곤충도 제거하여, 잡초의 빠른 회복을 가능하게 한다는 결론을 뒷받침한다. 저수지에 잡초가 남아있게 하면서 곤충을 자라게 하면, 잡초의 장기적인 통제를 가능하게 할 만큼 곤충의 밀도가 늘어난다.

4) 잠재적 부작용: Grass carp는 호소의 구조에 커다란 변화를 초래할 수 있다. 이 물고기들이 과도하게 자라고 있으면, 거의 모든 수생식물의 근절은 확실하며, 그 결과로 영양물질 농도의 증가, blue-green algae의 수화, 탁도, 그리고 물고기군락의 어떤 변화 등이 일어날 것이다. 그러나, 장기적인 수생식물들의 근절효과는 아직 이해가 저조하다. Grass carp를 수문학적으로 개방된 수계(저수지나 인공연못)에 넣으면, 이들이 달아나므로 식물이 성장하기에 바람직한 곳에서는 다시 식물생산이 이루어 질 것이라는 중요한 의문점이 있다. 이들이 재생산하기 위한 환경조건이 까다로워서 미국의 북부지역에서는 장해가 된다고 알려져 있지만, 미국 내에서 grass carp는 확실히 재생산되고 있다. 최근에는 불임성 삼배수염색체인 grass carp가 개발되어, 미국내 많은 주에서 허용되었다. 그들의 재생산은 불가능하지만, 수문학적으로 개방된 저수지 같은 곳에서의 많은 숫자가 달아나면 하류에 수생식물이 필요로 하는 지역의 하천에 심각한 문제를 일으킬 수 있다. Insects는 대형수초가 제거되면서 발생하는 수생식물의 변화를 제외하고는 곤충에 의한 심각한 환경적 부작용은 아직 관측되지 않았다.

5) 비용: 생물학적통제방법의 가격비교는 아직 없으나, 이 방법들은 화학적, 기계적 처리방법과 같은 전통적인 방법보다 훨씬 저렴할 것 같다. 후자의 기술들은 장비비 외에도 재료비, 인건비, 그리고 보험료 등이 자주 다시

소요된다. Shireman(1982)와 Shireman et al.(1985)는 Florida의 Lake Baldwin에서 hydrilla의 일시적 통제에 총 \$117,332를 사용하였다. Hydrilla 문제는 grass carp을 이용하여 제거하였으며 경비는 \$8,499(\$43/acre)이었다. 제초제나 수확처리와 달리 grass carp을 넣는 방법 한가지만으로 수년간 효과가 지속되었으므로 경비산정 때에 고려해야 한다. 비교하자면, Florida에서 수확에 드는 비용은 쉽게 \$1,000/acre, 화학적처리에 드는 비용은 \$200~400/acre의 범위에 있다. 미국 북부지역의 호소에서도 거의 같다. Shireman(1982)는 또한 37,000 acres의 hydrilla를 화학적으로 처리하는데 1977년에 \$9,100,000이 소요되었는데, 만약에 20 cm 이상 크기의 물고기 밀도를 14마리 이상/acre로 투입하여 처리하였다면 약 \$1,700,000정도 소요되었을 것이라고 지적하였다.

## 5. 수확

1) 원리: 수확은 불쾌한 잡초와 관련조류를 잘라서 제거하는 방법이다. 식물이 호소에 남아서 죽고, 분해되어, 영양물질과 유기물을 용출시키는 제초제 사용방법과는 달리, 수확기계가 식물과 관련된 영양물질 그리고 유기물을 제거하기 때문에 식물이 뻗뻗이 자라고 외부부하량이 적은 호소에서는 다소 효과가 있을 것이다. 어떤 상수공급원 시스템에서는 원수에 유기물분자를 낮추기 위하여 이 방법을 사용하는데, 이 유기물분자는 처리시설에서 염소와 반응하여 암유발가능성이 있는 trihalomethanes를 생성한다. 수확기는 식물이 자라던 지역을 제초제와 같이 처리 후 기다리지 않고 또한 다른 종류에 심각한 위험을 주지 않는 상태로 깨끗이 청소할 수 있다.

2) 적용방법: 전형적인 수확기계 낮은 바지선에 한 개의 수평봉과 두 개의 수직봉이 연결되어 있고, 한 콘베이어가 자른 식물을 기계에 잡고 있고 다른 콘베이어는 이것을 재빨리 하차시킨다. 어느 제작회사는 수변까지 연결하는 콘베이어를 판매하여 수확기가 트럭에 상차하는 것을 도와서 식물을 자르는 속도를 빠르게 한다. 수확기는 규모와 저장용량에 따라 6 m<sup>3</sup>에서 23 m<sup>3</sup>까지 다양하다. 절단속도는 기계에 따라서 0.2~0.4 acre/hr 정도이다. 바지자체는 alum투입과 같은 다른 개선방법에서도 유용하게 사용될 수 있다. 잡초의 처분은 일반적으로 문제가 안 되는데, 이유 중에는 호소변 주택에서나 농민들이 멀치나 비료로 사용할 것이기 때문이다. 또한, 수생식물은 90%이상이 수분이기 때문에 그들의 건조부피는 상대적으로 적다.

3) 효과: 대부분의 수확방법은 잠재적으로 문제성이 있을 물질을 투입

하지 않고 불쾌한 잡초를 일시적으로 처리하는 데에는 효과가 있다. 식물이 다시 자라는 속도는 매우 빠르는데(며칠에서 몇 주), 특히 남부지역의 호소에서는 자르는 속도보다 자라나는 속도가 더 빠를 수 있다. 북부지역 호소에서도 효과를 거둔 사례들이 몇 가지 있다. Ohio에 있는 LaDue Reservoir에서는 1982년 7월 전통적인 방법으로 수확하였는데, 운전자가 잡초층을 주거지역의 잔디처럼 취급하여 단순하게 잘라냈다. Eurasian water milfoil의 뿌리들은 약 1~5cm의 높이로 남겨두었는데 경쟁적으로 21일내에 다시 성장하였다. 반면에, 절단기를 2cm 아래까지 더 낮추었을 경우에는, 뿌리의 절단으로 계절내내 milfoil의 통제가 이루어졌다(Conyers and Cooke, 1983). 물론, 이러한 절단기술은 퇴적층이 단단하거나 수심이 깊어서 절단기 선단부(보통 1.5~2.0 m)가 진흙까지 내려갈 수 없으면 사용이 어렵다. 오직 식물의 윗부분만 잘랐을 경우에는, 재성장이 빠를 것이다. 이월효과(다음 해에 저성장)가 있다는 증거가 있으며 특히 한 계절에 여러 번 잘랐을 경우에 그렇다.

어떤 종류는 다른 종류에 비하여 수확에 더 예민하다. Nicholson(1981)은 New York의 Chautauqua lake에서 milfoil이 분산된 이유는 수확에 책임이 있다고 주장하였는데, 이유는 수확기가 식물의 조각을 분산시켜 그곳에서 새로운 성장이 시작하였기 때문이다. 반면에, 그는 pondweeds는 성적 재생산으로 주로 번식하기 때문에 조각에 의한 재생산은 훨씬 저조할 것으로 생각했다. 수확에 대한 실제 복원효과의 자료는 상당량의 영양물질의 제거나 물기둥으로의 영양물질이나 유기물의 용출량 감소에 관한 부분은 자료가 많지 않다. 영양물질의 부하가 중간정도이고 잡초밀도가 높다면 인의 연간 순부하량의 40~60%까지 제거될 수 있다. 이 정도는 많은 경우에 상당한 영양물질의 감소이다. Milfoil은 여름동안 물기둥에 인을 더해주는 주요공급자인데, 이것은 이 식물을 제거하여 조류에 영양물질의 공급을 감소시킬 수 있다는 것을 강하게 주장한다. 반면에, 수확자체는 물기둥에 인의 농도를 증가시키는데, 퇴적물의 기계적인 교란이나 퇴적물에서 영양물질의 용출조건을 개선을 통하여 이루어진다. 수확기의 잡초통제와 성장기간 동안의 재성장을 최소화시키기 위한 효과적인 사용에는 영향권을 충분히 취급할 수 있는 용량을 구입하는 것, 적합한 절단기술의 사용, 그리고 처분구역을 수확지구에서 가까운 곳에 확보하는 것 등이 필요하다.

4) 잠재적 부작용: 다음 내용들이 수확의 가능한 부작용들이다:

① 식물의 절단과 제거는 에너지와 인건비가 많이 필요하여 비용이

비싸다.

② 단위시간당 작은 면적만 처리하여 호소사용자를 불만족스럽게 할 수 있다.

③ 높은 가격의 장비가 요구된다.

④ 식물조각들이 성장구역을 확산시킬 수 있다.

⑤ 작은 물고기가 죽을 수 있다.

⑥ 작업 깊이에 한계가 있다.

⑦ 작업에 좋은 기상이 요구된다.

⑧ 기계의 잦은 고장, 특히 용량이 작은 것을 구입하였을 때 그렇다.

5) 비용: Midwest에서 수확에 소요된 비용은 극단적인 경우를 제외하면 \$140~310/acre 범위로서 제초제사용(Florida에서 \$1,000/acre가 보통 넘는다)보다 저렴하다. 특정사업의 비용은 장비비, 인건비, 유류비, 처분비, 그리고 비가동시간 등이 포함된다. 인건비의 산정에는 PC용으로 US Army Corps of Engineers(Hutto and Sabol, 1986)에서 개발한 HARVEST라는 모델을 사용할 수 있다. 이 모델은 US Army Corps of Engineers Waterway experiment Station의 Research Program에서 구할 수 있다.

## 6. 제초제

1) 원리와 적용방법: 불쾌한 잡초들을 독살하는 것은 가장 오래된 관리방법이다. 제초제를 대신할 수 있는 대안이 아직도 그렇게 많지 않다. 제초제산업은 성장했으며 점차 조심스럽게 규제하게 되어, sodium arsenite와 같이 매우 위험하고 유독성이 큰 물질은 비목표인 생태계에 독성이 훨씬 낮고 분해가 가능한 물질로 교체되었다. 제초제방법은 효과적인 단기적인 관리방법으로 잡초를 몇 주나 몇 달간 급속하게 감소시킬 수 있다. 제초제사용은 호소복원방법에는 포함하지 않는데, 이유는 잡초의 원인이 제거되지 않고 영양물질이나 유기물이 제거되지 않기 때문이다. 식물들은 남아 죽어서 분해된다. 새로운 식물이 빠르게 다시 자랄 것이며 어떤 경우에는 처리 전보다 더 자랄 수 있다.

제초제의 사용은 논쟁의 여지가 있으며 심리적인 부담이 있는데, 이유 중에는 그들의 장점과 단점에 대하여 찬성론자와 반대론자 사이에 이해가 저조했기 때문이다. 예를 들면, Shireman et al.(1982)의 지적에 따르면, 제초제사용은 당시에 Florida와 다른 남부지역에서 외래종인 water hyacinth로부터 수면을 열어 놓을 수 있는 유일한 수단이었다. 이러한 경우에는 식물을 먹는 곤

충과 같은 장기적인 처리방법이 나오기까지는 화학약품을 사용하여 처리하는 것이 필요하였다. 그들의 광범위한 기후에의 적용은 계절적으로 잡초를 근절하기 위하여 가끔 사용되며, 이것은 논란의 여지가 더 많은데 특히 동일한 경제적 대안들이 환경적 부작용을 적게 지니고 있기 때문이다.

제초제사용의 많은 반대론자들은 물고기와 물고기 먹이 생물에 미치는 부작용을 두려워한다. 어떤 화학약품은 다량 사용하면 유독하나, 대부분은 수생동물에 독성이 낮다. 제초제가 인간에 미치는 영향은 잘 알려지지 않았으며, 그들의 사용이 생태계에 미치는 장기적인 결과에 대한 자료가 없다. 제초제 사용을 결정한 호소관리자는 사용할 때 모든 적절한 주의를 기울여야 한다. 어떤 화학약품은 특정 종류의 잡초에 효과가 있으므로 불쾌한 잡초를 조심스럽게 파악해야 한다. 사용자는 제초제사용수칙을 정확히 따라야 하며 반드시 검증된 상품만 사용하고, 투입시에 적절한 보호장구를 착용하며 바람직한 식물은 보호해야 한다. 대부분의 주에서는 제초제사용자를 허가제로 하고 있으며 적절한 보험을 소지하고 있어야 한다. 관리계획을 선택하기 전에 고려해야 할 중요한 요인들 중에는 다음 사항들이 포함된다.

① 처리 면적과 체적이 얼마인가? 적절한 사용량은 이 요인들에 따른다.

② 어떤 종류를 통제할 것인가? 이것은 제초제 종류와 사용량을 결정한다.

③ 장기적인 비용은 얼마나 되나? 제초제는 다시 투입되어야 하며, 경우에 따라서는, 2~3회/계절 투입해야 하는 경우도 있다.

④ 수자원의 사용처는 무엇인가? 대부분 제초제는 투입 후 일정기간 수자원의 사용을 제한한다(며칠간).

⑤ 투입자는 자격증이 있고 보험에 들었으며, 관련기관의 허가를 받았는가?

잡초식물을 파악하고 적합한 화학약품의 선정과 사용량 등에 관한 유용하고 잘 알려진 여러 가지 참고문헌이 있다: Aquatic Weeds, 1979, Fisheries Bulletin No.4, Department of Conservation, Springfield, IL 62706; 그리고 특히 Aquatic Plant Identification and Herbicide Use Guide by Westerdahl and Getsinger(1988).

2) 효과: 다음은 자주 사용되는 제초제를 간략하게 설명하였다.

① Diquat: 탁한 물에서는 그 효과가 활발하지 않은데, 이유는 입자에 흡착하기 때문이다. 물 속에 오래 잔류할 수 없으나, 호소퇴적물에서 독성을

몇달정도 유지할 수 있다. 많은 사용자들이 이물질과 copper sulfate를 같이 사용하여 지속적이고 광범위한 제초제-조류제거제 효과를 거둔다. 독자는 앞에서 기술한 구리의 독성을 주의해야 한다.

② Endothal: Endothal은 여러 형태로 판매된다: 액체(Aquathol K), 입자형dipotassium salt(Aquathol), 그리고 N, N-dimethyl-alkylanine Hydrothal의 액체 또는 입자형 등이 있다. 효력은 몇 주에서 몇 달까지 지속한다. Potassium salt 형태는 물 속에 2~46일 까지 잔류해 있다.

③ 2,4-D: 2,4-D는 sodium이나 potassium의 salt로서 액체나 입자형, 그리고 ester로 판매된다. 일반적으로 관수식물의 통제를 위해서 18~36 lbs/acre 정도 사용하는데, 가장 흔히 dimethylamine salt나 butoxyethaolester(BEE) 형태가 사용된다. 이 제초제는 특히 Eurasian watermillfoil과 water hyacinth의 입에 투입하였을 때 아주 효과적이다. 2,4-D는 물 속에서 짧은 기간 남아있으나 진흙에서는 몇 달간 검출되기도 한다.

④ Glyphosate: 이 물질은 부유식물과 정수식물에는 유효하나, 침수식물에는 효과가 적다.

⑤ Fluridone: Fluridone은 정수식물과 관수식물의 제초제로 액체나 알약과 같은 형태로 판매된다. 이것은 지속성이 많은 물질로서 투입 후 7~10일 후까지 효과가 나타나지 않는다. 모든 계절에 통제효과는 확실하며, 퇴적물은 식물에 대한 유독성을 일년 이상 지속할 수 있다. 선택한 제초제의 종류에 관계없이 사용수칙을 엄수하는 것이 매우 중요하며, 각 주마다 그에 대한 규정이 있다.

3) 잠재적 부작용: 모두는 아니지만 많은 비목표성 수생생물들이 방금 언급한 제초제에 대하여 높은 내성을 지니고 있는 것 같다. Diquat는 특정 갑각류와 물고기의 중요한 먹이에 유독성이 있어서 제외이다. 중요한 환경적인 영향은 영양물질을 물기둥에 용출하는 것과 식물의 분해과정에서 용존산소를 소모하는 것이다. 처리 후에는 조류수화, 용존산소의 고갈, 퇴적층에서의 영양물질 용출 등이 나타날 수 있다. 또 다른 심각한 문제는 영향을 받지 않는 종류가 목표로 하려 제거한 종류를 대체하는 것이다. Stonewort 와 pondweeds 와 같은 식물은 가끔 처리한 구역을 점령한다. 목표로 한 잡초가 조류수화나 저항성잡초로 대체될 때에는 다른 화학약품이 사용되어야 할 것이다. 이것은 제초제처리법의 비용을 증가시킨다. Shireman et al.(1982)은 다음과 같은 호소는 처리한 후에 거의 예외 없이 바람직하지 않은 수질변화를 어쩔 수 없이 겪게 될 것이라고 주의하였다.



- ① 수온이 높다.
- ② 다량의 식물생체량이 처리되어야 한다.
- ③ 얇고, 영양물질이 풍부하다.
- ④ 호소의 많은 부분이 처리되어야 한다.
- ⑤ 폐쇄성 또는 유입이 없는 서식처.

4) 비용: 제초제방법은 처리하는 것에 비하면 가격이 비싸다. 그들은 복원적인 이득은 없고, 다음 성장기에 이월시키는 효과도 없으며, 일년에 여러 번 투입해야 하는 경우도 있다. 단기적인 경제성은 바람직하게 높을 수 있으나, 장기적인 경제성은 매우 낮다. 미국북부 지역에서는 수확이나 제초제방법들은 acre당 처리비용이 거의 유사하나, grass carp를 사용하여 처리하는 방법은 이들 보다 훨씬 저렴할 수 있다. 그러나 수확기계는 영양물질과 잠재적인 trihalomethane의 공급원이며 용존산소를 소모하는 유기물을 제거하여 다음 계절에 이월효과가 있을 것이다.

수확과 제초제방법의 비용에 관한 어느 연구에서는 수확방법이 오직 첫해에만 장비구입 때문에 비용이 많이 소요되었다. 다음 해부터는 유지비, 운영비, 보험료, 잡초처분비용 등이 화학약품 자체 비용보다 낮았다. 수확방법은 이 사례에서 \$115/acre이고 제초제방법은 \$266/acre이어서, 5년간을 비교해보면 제초제의 재료비나 투입가격의 상승을 고려하지 않으면, 제초제사용이 영양물질이나 유기물의 제거의 이득도 없이 2.6배나 많은 비용이 소요된다 (Conyers and Cooke, 1983).

Shireman(1982)는 Florida에서 화학적방법과 생물학적방법(greass carp)의 hydrilla 통제에 소요되는 비용을 비교하였다. 화학적방법은 1977년에 37,000 acre를 처리하는데 \$9,100,000이 소요되었고, 반면에 grass carp의 투입은 \$1,710,000이 소요되었다. 물론 grass carp는 처리효과가 서서히 나타나고, 제초제는 빠르고 짧은 기간의 통제에 효과적이다. 지역적으로 제초제방법에 소요되는 비용의 차이가 예상될 수 있다.

### 제 3 절 부영양 상수원 저수지

지표수 상수원 저수지의 물을 먹는 사람들은 가끔 유쾌하지 않은 맛, 냄새, 그리고 색깔을 검출하게 된다. 그들은 사용자들에게 잘 알려지지 않은 보다 심각한 문제에 관하여 모를 것이나, 상수처리시설의 관리자나 중앙, 지방

정부의 담당자들에게 걱정거리는 처리한 물에서 유독성물질이 함유되어 있을 가능성이 있다. 유독성물질들은 대지에서의 표면유출(예를 들면 제초제)을 통하여 상수원으로 직접 들어갈 수 있다. 그들은 또한 상수처리과정에서 사용한 화학약품과 원수에 자연적으로 있던 함유되어 있던 유기물분자와 결합하여 trihalomethane(THM)과 같이 위험가능성이 있는 물질들을 생성할 수 있다. 상수처리에서 많은 문제들은 상수공급저수지의 부영양 상태에서 비롯된다. 좋지 않은 맛과 냄새는 조류수화 때문이다. 이러한 조류들 중에는 blue-green algae, 가축들에게 치명적인 유독성물질을 생성하며, 사람들의 여름철 질병과도 관계가 있을 수 있다.

음용수에 색깔이 있는 것은 일반적으로 원수에 철과 망간이 다량 함유되어 있는 경우에 일어난다. 이것은 원수의 취입구가 깊은 곳에 위치하여 무산소의 심층수를 취수하는 경우에 일어난다. THM은(chloroform이 이 종류이다) 소독제로서 미생물을 제거하고자 원수에 투입하는 염소와 원수 중의 어느 유기물들이 화합하여 생성된다. 유기물들은 유역에서, 주로 식물의 분해 산물, 그리고 저수지의 잡초와 조류에서 유래한다. 보다 부영양인 수역에서는 유기물 분자의 농도가 더 높을 것으로 예상된다. THM은 발암성물질로 믿고 있다. US EPA에서는 처리수의 THM농도가 1.0 mg/L가 초과하지 않도록 상한선을 규정하고 있다. 상수공급시스템에서 다른 부영양화와 관련된 문제는 실트가 누적되어 점진적인 저수용량의 감소, 원수를 처리하기 위하여 소요되는 비용의 급증, 그리고 처리과정에서 여과시설의 막힘현상 같은 것들이다.

### 1. 상수원저수지 관리

음용수의 수질을 개선하는 전통적인 방법은 정수처리시설을 개선시키는 것이다. 가끔은 이것이 효과적이며 특히 상수원이 좋은 상태이면 그렇다. 그러나 다른 경우는 화학약품 사용의 증가나 추가장비가 설치되어야 하는 경우도 있다. 제초제나 다른 원수에 함유된 유기물을 제거하기 위한 GAC(granular activated carbon)처리의 경우에, 초기에 시설설치 비용만 웬만한 규모의 도시의 경우 수백만불이 필요하고 여기에 또한 많은 운영비용이 소요된다.

원수의 수질이 좋을수록 상수를 만드는데 소요되는 비용이 적을 것이다. 궁극적으로는 유역과 저수지의 보호와 저수지관리 및 복원에 소요되는 비용이 처리시설의 많은 개조 및 증가되는 화학약품의 비용보다 적을 수 있다. 그러나 이미 지적하였듯이 저수지는 보호가 매우 어려운데, 이유는 가끔 배수구역이 저수지에 비하여 상대적으로 넓어서, 일반적으로 여러 개의 행정구역과

인간의 사용이 다양하고 통제가 불가능하기 때문이다. 도시나 관리기관에서는 토지구매, 하수처리시설의 향상, 도시 우수의 방류수질 개선, 그리고 토지이용자들에게 현대식 농업방법을 사용하도록 도움을 주는 등의 장기적인 노력에 착수해야 한다.

배수구역관리에 한 가지 대안이나 추가할 수 있는 방법은 강에 alum과 같은 화학약품을 사용하여 인이 저수지에 유입되기 전에 제거하는 방법이다. 이것은 저수지 이전에 우수지를 만들거나 하천에 화학약품을 투입하는 것을 포함할 수 있다. 다른 대안은 강물을 작고 잡초가 없는 구역에 우회시켜서 그곳에서 실트를 침전시키고 플록형성제를 투입할 수 있다.

고속도로, 철도, 그리고 산업지역에 가까운 상수원저수지는 유독성물질이 쏟아지는 사고의 위험이 크다. 이러한 상황에 대하여 보호되거나 준비된 저수지는 거의 없다. 앞에서 언급한 실트침전구역은 3~5일 정도의 공급량을 저류할 수 있도록 충분히 커서 비상시에 대비할 수 있어야 한다. 이론적으로는 이 장에서 설명한 대부분의 기술들은 수질개선에나, 나쁜 수질의 물을 우회시킨 후에 실제로 저수지의 수질개선에 사용될 수 있다. 그러나, 실제에는 저수지는 규모가 크고 유입부하량의 감소가 어려워서 저수지에 복원기술은 적용하기가 쉽지 않다. 다음 구절들은 음용수 수질문제와 가능한 저수지내 해결방안들이다.

## 2. 색도

무산소인 원수에는 철과 망간이 나타난다. 세 가지 가능한 해결방안이 있는데 인공순환, 심층수폭기, 취입구를 심층수에서 표층수로 이동 등이다. 표층수에서 취수는 맛과 냄새문제가 있을 수 있고, 폭기시설이 얕은 저수지의 층리현상을 파괴하여 조류수화를 촉발할 수 있다.

## 3. 맛과 냄새

조류수화, 특히 blue-green algae는 허용할 수 없는 맛과 냄새를 일으킬 뿐만 아니라 여과시설을 막히게 하며 처리약품의 사용을 증가시킨다. 영양물질의 우회가 적합하지 않으면 해결방안이 거의 없다. 인공순환이 깊은 저수지의 플랑크톤성 조류 생산성을 낮출 수 있으나 얕은 곳에서는 효과적이지 않을 것이다. 퇴적물의 영양물질 용출을 감소시키는 방법인 퇴적물제거와 인의 불활성화는 결국에는 높은 부하량에 압도당할 것이나, 몇 년간 정도의 수질개선효과는 있을 가능성이 있다. Copper sulfate나 조류제거제는 단기적인 감소

를 나타내지만 종종 처리 후에 조류수화와 THM을 생성할 수 있는 물질들의 용출이 더욱 증가한다.

#### 4. Trihalomethane 생산

배수구역내에서 유기물의 THM 예비물질 분자의 공급원을 찾고 그들의 발생을 감소시킬 수 있는 적절한 토지관리기법을 적용해야 한다. 소택지(marsh)는 중요한 공급원으로 알려져 있다. 유기물의 상당량이 퇴적물, 잡초, 그리고 조류에서 유래하는데, 이것은 이들의 저수지내 관리가 THM생산을 상당히 줄일 수 있다는 것을 강력히 뒷받침한다. 다른 가능성은 깨끗한 우물물을 공급하여 취입구에 있는 물을 희석하는 것이다. 수질과 THM예비물질 통제 등을 다른 저수지관리에 관한 유익한 참고문헌이 있다(Cooke and Carlson, 1989).

#### 5. 산성화된 호소

산성화된 물은 많은 수생생물에 좋지 않다. 산성수의 높은 수소 및 알루미늄 이온들은 수생생물들의 이온조절기능(삼투조절기능의 장애)에 영향을 미친다. 물고기와 다른 생물들에 미치는 주요 악영향은 생체내에서 sodium chloride(소금)의 용출이다. 일반적으로 중요한 낚시용 물고기의 손실은 pH가 6이하에서 나타난다. 산성화된 호소는 토양의 자연적 완충용량이 없는 곳과 산성비나 다른 인위적 또는 자연적 과정에 의하여 산성화된 수계에서 일어난다. 이러한 많은 호소들에서는 건강하고 재생산적 수산업이 불가능하다. 어떤 호소는 약한 산성인데 이유는 자연적으로 산성토양을 통과하기 때문이며 폐광에서 나오는 산성배수도 많은 하천과 호소에 영향을 미친다.

호소는 중성화시킬 수 있는 물질의 투입이나 다른 기술에 의해 효율적으로 관리나 복원되어 바라는 수산업을 가능하게 할 수 있는데 주로 사용할 수 있는 5가지 방법을 설명하고자 한다. 대부분의 기술은 석회석(limestone)을 상류 하천, 호소표면, 또는 호소유역에 투입하는 것이다. 다른 두 가지는 염기성물질을 호소퇴적물에 주입하는 것과 알칼리성 지하수를 호소에 공급하는 방법이다. 이들 나중의 두 가지 중화시키는 방법은 적용한 사례가 아주 적다.

#### 6. 산성화된 호소표면에 석회 투입

1) 원리: 석회석은 자연적으로 존재하는 광물질로서 종종 지표수 완충시스템의 중요한 요소로써 수계에 투입하였을 때 산성을 중화시키는 염기성물질이다. 석회석은 위산과다일 때 제산제를 사용하면 제산제가 위산을 중화시키

는 것과 같다. 대부분 제산제의 성분은 calcium carbonate( $\text{CaCO}_3$ )으로 석회석에 있는 성분과 같다. 농업에도 석회석사용이 많이 이루어지는데 석회석은 가격이 저렴하고 구입이 용이하다.

2) 적용방법: 석회석은 물에 녹으면 pH를 점진적으로 증가시킨다. 가끔은 충분한 분량을 투입하여 일부는 퇴적층에 침전하게 하는 것이 좋다. 이와 같은 석회석 퇴적물은 시간을 두고 오랫동안 서서히 지속적으로 용해된다. 일반적으로 석회를 뿌린 수계는 pH가 7~9정도의 수중이 된다. 석회석을 산성화된 물의 표면에 투입하면, 용해된 aluminum 농도가 감소하는데 이유는 aluminum이 중성인 물에서는 용해성이 낮기 때문이다. 또한, aluminum의 독성상태( $\text{Al}_3^+$ 와  $\text{Al}(\text{OH})_2$ )는 pH가 6이상이면 더 이상 지배적인 상태가 아니다. 호소물에 녹은 aluminum은 물고기나 다른 수생생물에 비독성인 수준으로 환원된다. 가장 흔히 사용되는 방법은 석회석과 물의 슬러리 상태를 배에 타고 수면으로 살포하는 것이다. 경우에 따라 배의 근접이 어려우면 헬리콥터에 의한 석회석살포도 사용된다.

3) 효과: 호소수면에 석회석을 살포하는 것은 물의 체류기간이 6개월 이상인 호소에서 효과적인 것으로 나타났다. 예를 들면, 체류기간이 6년인 호소에 석회석을 투입하고 난 후에 보통 10년간은 중성을 유지할 것이다. 체류기간이 매우 짧은 경우에는 다른 기술을 권장하는데, 이유는 직접 석회석살포의 효과가 너무 짧게 나타나기 때문이다. 석회석의 직접살포가 호소의 산성화문제를 약화시키는 데 가장 널리 사용되는 방법이다. 이것은 Scandinavian 국가들에서 산성화된 호소를 중화시키는데 널리 사용되어 오고 있다. 예를 들면, 1977년부터 Sweden에서는 5,000개 호소를 석회석으로 처리해오고 있다.

4) 잠재적 부작용: 석회석투입이 그 지역 물고기들의 사망을 야기한 경우도 약간 있었다. 개별적으로는 중금속농도에 의한 물고기사망을 일으킨 경우도 약간 있었다. 이러한 경우들은 가끔 부적절한 처리와 석회석투입 직후 물고기를 집어넣었기 때문이었다. 또한, 중금속농도가 높은 호소를 처리할 경우에 물고기사망이 일어날 수 있다. 예를 들면, Canadian 금속제련소에 가까운 호소에 석회석을 투입했을 때 물고기아가미에 금속수산화물이 관측되었다.

## 7. 퇴적층에 염기물질의 주입

이 방법은 아직 몇 군데 호소에 적용해 본 실험단계의 방법이다

(Lindmark, 1982, 1985). 이 기술은 석회석, 수화석회(hydrated lime), 또는 sodium carbonate와 같은 염기물질을 산성화된 호소의 퇴적층에 주입하는 것이다. 이것은 호소물 pH를 점진적으로 변화시켜 봄과 가을의 전도현상 때 물기둥의 산성 중화기능을 증가시킨다. 이 기술은 또한 퇴적물에서 물기둥으로 인을 용출시켜 호소의 생산성을 증가시켜 결국에는 물고기에게 이득이 되게 하는 것으로 나타났다. 이 기술은 일반적으로 작고, 얇으며, 부드러운 유기물 퇴적층, 그리고 장비와 물질의 이동에 필요한 접근이 가능한 곳에서만 가능한 방법이다. 실내실험에서는, Rippl(1980)에 의하면 수면에 투입하는 것보다 효과가 5~7배나 오래 지속한 것으로 나타났다. 이 기술은 저서생물군락을 교란하고 물기둥 탁도를 증가시켜서 석회석 투입 비용보다 더 많은 대가를 지불할 수 있다.

#### 8. 기계적으로 하천에 투입

상류측 하천에 기계를 사용하여 지속적으로 석회석을 투입하며 산성화된 호소를 중화시킬 수 있다. 여러 가지의 하천투입 장비가 있다. 자주 사용되는 것은 건조한 또는 슬러리 상태의 석회석을 하천에 직접 자동으로 투입하는 장비이다. 전기나 battery 의하여 작동하는 투입기에서 나오는 석회석의 투입량은 원격측정되는 수질이나 수문학적 인자들에 의하여 적정투입량이 계산되도록 프로그램 되어 있는 microprocessor에 의하여 자동으로 통제된다. 중화시키는 물질의 투입량이 유량에 의해 작동하는 투입기는 유량의 흐름에 따라 변한다.

이 장비에 의하여 처리한 호소는 많지 않은데 이유는 장비의 개발이 만족스럽지 못하고, 흐르는 시스템을 처리하는데 어쩔 수 없는 여러 가지 문제들이 있기 때문이다. 예를 들면, 흐름이 갑자기 바뀌는 조건에서 조절이 어렵고 기계적인 장비의 적절한 작동을 보장할 수 없으며, 특히 폭우기간이나 빙결 온도에서 그렇다. 처리는 계속적이며, 비싸고, 일반적으로 다른 모든 방법이 실패한 경우가 아니면 권장하지 않는다.

#### 9. 유역에 석회석 투입

호소유역의 일부분에 석회석을 투입하는 것은 - 토양 또는 유역 석회석투입 - 이라고 불리기도 하는데 미국에서 실험단계로 고려중이다. 수면에 염기물질을 직접 투입하는 것의 대안으로써, 그 주된 장점이 이런 종류의 투입이 효과가 더 지속적이라는 점이다. 호소가 유역에 투입한 석회석에 대해서 서서히 반응을 나타내는 것은 산-염기의 급격한 반응 가능성, 중금속이나 물고

기 독성에 미칠 수 있는 영향 등을 감소시킨다. 여기에서 토양은 호소와 하천을 제외한 그리고 건조하고 습한 지역을 포함한 넓은 의미로 사용된다. 유역에 석회석을 투입한 경험에 의하면 석회석을 물의 주요 통로에 투입하는 것이 중요하다. 이것은 전체 유역의 처리를 피하고 석회석 필요량을 감소시킨다. 유역에 석회석투입은 상대적으로 흔한 방법은 아니지만, 근래에 증가되고 있다. 예를 들면, Sweden에 처리한 석회석처리의 전체 사례 가운데 1983년에는 2%이었는데, 1987년에는 이 방법이 15% 사용되었다.

유역에 석회석을 투입하는 것은 특별히 체류기간이 짧은 호소(6개월 이내)에 적용이 가능한데, 이유는 직접 호소에 석회를 투입하는 것보다 훨씬 그 효과가 오래 지속되기 때문이다. 또한, 이 방법이 부분적인 산성조건의 심각성이나 토양에서 유독성 aluminum이 물로 용출되는 것을 감소시킨다. 비록 직접 호소에 석회석을 투입하는 것보다 비용은 많이 소요되나, 전체적인 비용으로 비교하면 더 오랫동안 효과가 지속되기 때문에 유사하거나 더 낮을 수 있다. Rosseland and Hindar(1988)은 Norway에 있는 Lake Tjonnstrond에서는 지난 30년간 유역에 석회석을 투입하는데 사용한 비용이 1년간 호소에 직접 석회석을 투입한 비용보다 낮았다.

#### 10. 염기성 지하수의 공급

가까운 곳에서 염기성의 물을 펌프하여 공급하는 것은 산성화된 호소를 중화하는 가능한 기술로 제안되어 왔다. 심층지하수를 펌프하여 산성화된 호소에 공급하는 것이 실행가능한데 이유는 이들이 종종 주위의 지표수보다 염도(alkalinity)를 더 가지기 때문이다. 이 방법은 Pennsylvania와 Wisconsin에서 실험되었다. Pennsylvania에서는 우물에서 지하수를 성공적으로 펌프하여 Linn Run의 산성화된 구간을 중화시켜서 하천에 송어양식업을 지속시킬 수 있었다. Wisconsin의 사례는 발표되지 않았다. 여기에서 고려해야 할 중요한 점은 지속적인 펌핑으로 인하여 지하수 대수층의 고갈이 가능하다는 점이다. 이 방법이 대규모로 적용되었는지 또는 이 방법의 비용이 다른 산성화된 호소의 중화방법에 소요된 비용보다 저렴한지 알려지지 않았다.

## 제 8 장 요약 및 결론

---



## 제 8 장 요약 및 결론

본 연구에서는 BASINS/HSPF모형과 WASP5모형을 이용하여 유역과 담수호 수질을 통합적으로 관리할 수 있는 모형을 구축하였다. 각종 GIS자료와 기상자료 그리고 유역내 오염원자료를 조사를 통해서 획득하여 BASINS모형을 구축하였다.

유역환경관리 연구실에서 실측한 2년 4개월간의 자료와 4년간의 환경부 유역환경청의 자료를 이용하여 화성 담수호로 유입되는 주요 세 개의 하천에 수질을 모의하였다. HSPF모형을 구동하여 화성유역에 적용할 수 있는 모형을 통해서 화성담수호로 유입되는 유입하천의 유출량과 유입부하량을 산정하였다.

화성담수호내의 WASP5 모형의 구동은 3년간 측정된 데이터를 이용하였으며 모의하였다. 현재 화성담수호는 수질개선을 위해서 해수를 유통 중에 있기 때문에 농촌공사에서 배수갑문 조작일지를 받아서 유입유출량을 계산하여 모형에 반영하였다. 또한 화성담수호가 담수화 시기를 거치고 난 후에 수질을 예측해 보기 위해서 현재 많은 연구자들에 의해서 연구된 보정인자의 평균과 담수화가 완료된 화성담수호 주변의 담수호인 석문호의 보정인자를 이용하여 2012년의 수질을 예측하였다.

현재 화성담수호에 적용 예정인 인공습지의 처리효율을 평가하기 위해서 농촌공사 농어촌연구원에서 관리하고 있는 석문지구 인공습지의 처리효율을 이용하여 인공습지 설치에 의한 담수호의 수질개선 효과를 분석하였다.

본 연구를 통하여 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 각 측정지점의 수질을 토지이용별로 평가하면 N1(아파트), N2(행가교), 그리고 E3(마산교) 지점이 오염된 하천수질을 나타내었는데, 두 지역은 인구가 밀집되어 있는 지역으로 높은 FC와 NH<sub>3</sub>-N의 농도가 측정되었고 NO<sub>3</sub>-N의 농도가 낮은 상태였기 때문에 처리되지 않은 오염물질이 하천으로 직접 유입되는 특징을 갖는 유역이다. 화성담수호에 유입되는 큰 하천인 남양천, 자안천, 어은천중 남양천의 N1과 N2 지점, 그리고 어은천의 E3지점이 수질관리상 중요한 지점으로 적절한 관리가 필요한 것으로 나타났다. 현재 N1과 N2의 하천수질개선을 위해 남양 하수처리장이 신설중이며, E3지점은 수질개선을 위해 조암하수처리장이 건설 중이므로 완공 후에는 하천수질이 개선될 것

으로 예상되며, 담수호로 유입되는 오염부하량도 줄어 담수호 수질관리에 도움을 줄 것으로 판단된다.

2. 유역환경관리 연구실에서 실측한 자료와 환경부의 한강유역환경청의 데이터를 이용하여 화성의 주요 세하천인 남양천, 자안천, 그리고 어은천의 지난 4년간의 수질을 분석한 결과 수질이 점차 악화되는 것으로 나타났다. 시기별로 수질의 차이가 있었지만, 화성유역의 도시화로 인한 많은 인구의 유입과 산업시설의 입주로 인해 유량이 충분하지 않은 하천을 오염시키고 있는 것으로 나타났다. 따라서 화성담수호의 수질개선을 위해서는 유역의 오염원관리가 필요한 것으로 판단된다.

3. 본 연구는 전형적인 비도시 유역을 대상으로 하천의 물리, 화학, 생물학적인 수질인자들의 상관분석을 실시하고 높은 상관성을 보이는 항목에 대해 회귀분석 하였다. 화성 담수호로 유입되는 3개의 주요하천의 수질을 평가한 결과 남양천의 N3(쌍송교)지점과 어은천의 E3(은석교) 지점이 중점적인 관리가 필요한 것으로 평가되었으며, 이 지점에 현재 설치중인 하수처리장이 완공될 경우 화성 담수호로 유입되는 하천수질개선과 담수호로 유입되는 부하량이 상당히 감소할 것으로 판단된다. 강우시 상관관계를 분석한 결과 탁도와 SS는 지수적인 상관성을 나타내었으며 회귀식의 결정계수가 0.68이었고, SS와 COD, T-P, 그리고 T-N의 회귀식은 선형의 상관성을 나타내며 약 0.5의 결정계수를 보였다. 보다 합리적이고 체계적인 모니터링을 통해 오염물질의 상관성을 규명한다면, 탁도와 같이 실시간 모니터링이 가능한 항목을 이용해서 다른 수질항목을 하여 발생하는 부하량을 산정하여 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 지표미생물의 경우 강우시와 비강우시 모두 상호간에 높은 상관관계를 나타내며 회귀분석 결과 약 0.7이상의 결정계수를 보였다. 지표미생물의 경우 자료가 부족할 경우 하나의 자료로 다른 항목을 추정하는데 이러한 회귀식들이 참고자료로 이용될 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서 발표한 수질오염물질 사이의 회귀식들은 유역의 특성에 영향을 받으나 화성지역은 물론, 자료가 부족한 다른 비도시 유역에서도 기본계획단계에서 기초자료로서 활용이 가능할 것으로 판단된다.

4. 토지이용과 하천수질과의 상관성 분석결과 주거지역의 경우 양의 상관관계를 보였는데, 생활하수의 유입이 직접적인 원인인 것으로 판단되었다. 비도시 유역에서는 형성된 주거지역의 정화조의 정비와 하수처리장 신설, 하수

관거 정비 등의 관리가 필요하며, 본 연구지역과 같이 하구담수호가 위치한 지역에서는 더욱 중요하고 간척지토지이용에서도 고려해야 하는 사안이다. 논인 경우에는 수질항목들과 유의성을 갖는 음의 상관관계를 나타내었는데, 논은 오염물질을 배출하는 측면보다 하천생태에 좋은 영향을 미치는 것으로 평가되었다. 인구와 수질과의 상관분석결과 낮은 상관성을 나타내었으며, 단위면적당 인구수로 분석했을 때에는 비교한 결과 높은 상관계수를 나타내었다. 따라서 인구수로 유역의 오염물질 배출을 평가하기 보다는 밀도를 고려해서 평가하는 것이 합리적이다. 축산의 경우는 단위면적당 오염원을 고려하여 평가할 경우 사육두수로 평가하는 것 보다 합리적인 결론을 보였으나 상관성은 높지 않았다. 본 연구는 토지이용과 인구와 축산 등 오염원자료를 이용하여 수질항목간의 상관성을 분석한 결과이며 비도시 유역의 오염부하특성을 이해하는데 도움을 주며, 유역특성이 유사한 지역에서는 본 연구와 유사한 방법으로 유역내 오염원 특성을 파악하여 합리적인 관리계획을 세우는데 응용할 수 있을 것으로 판단된다.

5. Buffer zone을 하천으로부터 400 m 씩 거리를 두어 토지이용과 단위면적당 주요 오염원에 대해서 분석한 결과, 하천과 가장 근접한 지역에 위치한 토지이용 중에서 주거지역이 하천수질과 1% 유의수준에서 양의 상관성을 나타내었다. 이는 하천주변에 위치한 주거지역에 수질에 악영향을 미친다고 할 수 있으며, 하천으로부터 거리가 멀어질수록 그 영향이 적어지는 것으로 나타났다. 또한 논인 경우에는 강한 음의 상관성을 나타내었는데, 논인 경우는 오염물질을 배출하는 시설이기 보다는 전체 토지이용의 측면에서는 오히려 오염을 정화하는 기능을 나타내었다. 강우시에는 회석효과로 인해 상관성이 약해지는 결과를 보였으나, zone 2와 3에서는 오히려 수질과 상관성이 증가하였다. 이는 유출에 의해 오염물질을 하천으로 이동시켰다고 볼 수 있다. 하천 주변의 토지이용이 중요하며, 특히 하천과 가까운 지역의 토지이용이 중요하다는 것을 알 수 있다. 또한 하천수질을 관리할 경우 하천 주변의 주거지역에서 발생하는 생활하수나 정화조 등에서 발생하는 불명수 등을 적절하게 처리하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

6. 본 연구에서 도출한 상관분석과 회귀분석을 통해서 토지이용이 하천수질을 악화시킬 수 있다는 결론을 얻을 수 있었다. 특히 주거지역의 토지이용은 본 연구를 통해서 수질에 미치는 주된 영향임을 파악할 수 있었다. 하지만, 논인 경우에는 상관분석과 회귀분석에서 상이한 결과를 나타내었다. 논은

상관분석에는 음의 상관성을 보였으나, 회귀분석에서 zone 1에서 BOD<sub>5</sub>와 zone 4에서 T-N의 경우가 양의 상관성을 나타내었다. 특히 밭 지역은 음의 상관성을 상관분석에서 나타내었으나 회귀분석에서는 양의 상관성을 나타내었다. 토지이용과 수질간의 상관분석과 회귀분석을 전체 토지이용과 buffer zone 별로 분석한 결과 밭의 경우는 하천수질에 악영향을 주는 토지이용으로 나타났다. 따라서, 토지이용을 관리할 경우 그 효과를 극대화하기 위해서는 하천 주변의 토지를 적극적으로 매입하여 관리하는 것이 중요할 것으로 판단된다. 또한, 본연구에서는 상관분석을 이용해서 결과를 내는 것도 중요하지만, 상관분석과 회귀분석을 동시에 사용하여 결과를 도출 하는 것이 보다 합리적일 것이라 판단된다.

7. 화성유역 체절에 따라 조성되는 담수호와 유입하천에서의 레저활동이 안전하게 이루어지기 위해서는 인체건강에 안전한 수질의 확보가 우선되어야 한다. 이 지역의 수질안전을 평가하기 위해서 남양천 소유역에 대해 현장자료를 이용하여 QUAL2E모형을 적용하여 모의하였고 유량, BOD<sub>5</sub>, NH<sub>3</sub>-N, T-N, T-P, *E. coli*에 대한 검·보정을 실시하였다. 검·보정결과에 의하면 모의값이 실측값을 잘 반영하였으며 모형의 검증을 위해 신뢰도를 분석한 결과 r값이 0.90이상으로 높게 나타났다. 모의결과에 의하면 현재의 조건에서는 남양천 구간의 지표미생물 *E. coli*의 농도가 국내 및 국제 휴양용수기준을 모두 초과할 것으로 예측되었다.

8. Beta-Poisson모형을 이용하여 미생물 위해성 평가를 실시하였다. 예측한 결과값을 활용하여 위해도 값을 산정하였고, 인자들 간의 불확실성을 고려하여 Monte-Carlo simulation을 적용한 후 95% 신뢰구간의 위해도를 평가하였다. 위해도 평가결과는 남양천 구간에서  $7.3 \times 10^{-6} \sim 1.0 \times 10^{-5}$ 으로 장내질병을 유발가능한 수준인  $10^{-4}$ 보다 낮아서 안전에 직접적인 문제를 야기하지는 않을 것으로 판단되었다. 그러나, 담수호와 직접 연결되어 낚시나 수영과 같은 레저활동을 하기에 수량이 풍부한 조건을 갖추고 있는 R4지점 등의 경우에 위해도 범위가 질병이동이 가능한 수준인  $10^{-6} \sim 10^{-8}$ 정도를 초과하였다. 이러한 결과에 의하면, 현재 상태에서는 남양천 구간의 하천용수를 휴양용수로 사용하기에 직접적인 위해성은 낮으나 질병 이동가능성이 있는 범위으로써, 인체에 안전한 휴양용수 수질확보를 위해서는 유역의 오염발생원에서 오폐수처리를 통해 하천수질이 휴양용수로서의 사용에 적합하도록 충분한 차집시설과 환경기초시설의 설치운영이 필요할 것으로 판단된다.

9. 화성호는 현재까지도 갑문조작에 의해 해수가 주기적으로 유통되고 있는 인공호이기 때문에 수질의 변화가 호 내의 수질변화와 생태학적 현상은 크게 하천유입수와 해수유통과 관련된 수문학, 그리고 강우량에 지배적인 영향을 받고 있다고 판단된다. 현재 화성호는 수질 악화를 막고자 만조와 간조시기에 배수갑문을 빈번하게 개폐하고 있다. 이러한 배수갑문의 조작은 화성호내 물의 회석 효과는 있으나 퇴적층의 심한 물리적 교란을 발생시키고 있다. 또한, 염분도는 강우기 표층을 제외하고는 아직 기수역 또는 해역의 염분도를 반영함으로써 담수호 또는 담수화 진행 상태라고 판단하기는 매우 어려운 상황이다.

본 조사에서 현재 화성호의 수질상태는 주기적인 회석이 일어나는 방조제 부근에서 호수 중앙부 정도까지는 심각한 상태는 아닌 것으로 판단된다. 그러나 하천 유입부(남양천 유입부)에서는 유입 오염물질의 영향이 큰 것으로 나타났다. 특히 질소와 인에 의한 호수의 영양 상태는 부영양 수준이었다. 화성호 생태계는 개방수역에서는 물리·화학적인 교란 상태에 있다고 판단되며, 안정적이지 못하여 정상적인 먹이 사슬의 발달이 진행되지 못하고 있는 것으로 생각된다. 이러한 상황은 해수 유통이 정지될 때 까지 지속될 것으로 판단되며, 이 기간 동안은 해수의 유통과 강우사상에 따른 하천수 유입이 화성호의 수질변화를 좌우하는 가장 큰 요인으로 작용할 것이므로 수질관리계획을 수립함에 있어 중요하게 고려할 사안으로 생각된다.

10. 현재 제공되고 있는 HSPF모형은 그 적용성이 세계적으로 널리 인정되었으나, 논이 많은 비중을 차지하는 유역의 경우 HSPF의 적용에 한계점이 있는 것으로 나타났다. 필지논을 대상으로 실측한 자료를 이용하여, 논을 모의할 수 있도록 HSPF를 수정(HSPF-Paddy)함으로써, 시간에 따른 물꼬 높이 및 관개수량 변화, 시비투여 등을 모의할 수 있도록 입력파일을 생성하여 모의한 결과 HSPF-Paddy 모델으로도 논을 모의할 수 있는 것으로 나타났다.

11. HSPF-Paddy 모형을 적용하여 화성유역의 총 7개 측정지점에서 유출량과 수질에 대한 검보정 결과 실측값을 예측값이 잘 반영하는 것으로 나타났다. 화성유역과 같이 도시와 농촌이 혼재된 유역에 적용성이 큰 것으로 나타났다. 또한 화성유역과 같이 유역이 작고 수량이 부족한 지역에도 적용성이 있는 것으로 판단된다.

12. 화성 담수호로 유입되는 오염부하량의 크기는 자안천, 남양천, 어은천 순으로 높은 것으로 나타났다. 하천의 오염은 남양천과 어은천에 비해 자안천이 깨끗한 수준이나, 유역면적이 넓고 담수호로 유입되는 유입량이 많기 때문에 자안천이 가장 많은 양을 담수호로 배출 시키는 것으로 나타났다. 부하량은 강우량에 따라 증가하는 경향을 나타내었는데, 많은 비가 집중되는 6, 7, 8, 그리고 9월에 많은 부하량이 발생하는 것으로 평가되었다. 하지만, BOD의 경우가 T-N과 T-P보다 강우량에 의한 부하량 발생에 대한 영향을 덜 받는 것으로 평가되었는데, 이는 BOD발생의 많은 부분이 점오염원에 의해서 유출되기 때문인 것으로 판단된다. 월별 오염부하량을 하천별로 비교해 보면 남양천과 어은천의 경우가 점오염의 비율이 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 특히 남양천의 경우에는 강우량에 따라 부하량의 차이가 크지 않았는데, 이유는 강우시에는 하천수질의 농도가 희석효과에 의해서 급격히 낮아 지기 때문에 월별 부하량의 차이가 크지 않았기 때문이다.

13. WASP5모형의 보정은 1년을 주기로 변화하는 담수호의 수질을 파악하기 위해서 1년 단위로 모의하였다. 본 연구에서는 2003년, 2004년에 측정된 실측자료를 이용하여 검·보정 하였으며 그 결과는 아래 그림과 같다. 현재 배수갑문을 조작하기 때문에 해수의 농도가 모델안에 포함되었는데 모델에 사용된 해측의 농도는 농촌공사의 화성지구 환경영향 조사보고서의 농도를 이용하였다. 시기별로 차이는 있으나 실측값을 모의값이 잘 반영하고 있는 것으로 나타났다.

14. 배수갑문을 조절에 가장 민감하게 반응하는 측정지점인 배수갑문 주변의 segment인 본 지점은 다른 항목까지 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. 우리나라 기후 패턴상 여름철에 비가 많이 내리기 때문에 배수갑문을 조절하게 되는 시기가 비슷하기 때문에 최종 배수갑문 조절양에는 큰 차이가 없지만 수질에는 어느 정도 영향을 줄 수 있음을 의미한다. 따라서, 적절하게 배수갑문을 조절하는 것은 수질개선에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다. 그리고, 배수갑문 주변의 경우는 배수갑문의 조작에 더 큰 영향을 받을 수 있으며, 배수갑문이 위치한 지역의 일정부분들은 확산에 의한 영향이 일정부분 존재하는 것으로 나타났다.

15. HSPF의 출력형태를 WASP5의 입력파일 형태로 변환하는 작업은 많은 시간과 노력을 필요로 하는 작업이다. 본 연구에서는 이를 보다 쉽게 작

업하기 위해서 모든 과정과정을 자동화하여 적용하였으며, 그 결과 담수호의 관리자나 연구자가 손쉽게 원하는 결과를 얻을 수 있게 하였다.

17. 인공습지를 이용하여 모형을 구동하기 위해서 유입 수리학적인 부하는 3개의 습지 모두 10 cm/day로 설계하여 적용하는 것으로 가정하였다. 연평균 BOD, T-N, 그리고 T-P의 처리효율은 각각 36~50%, 36~39%, 그리고 52~64%의 처리효율을 나타내었다. 인공습지를 설치하여 처리할 경우 하루에 유입되는 BOD, T-N, 그리고 T-P의 유입부하량은 습지처리시설이 없을때와 비교하면 BOD는 2.8 ton/day에서 2.2 ton/day로 저감되었으며, T-N은 3.4 ton/day에서 2.8 ton/day로, 그리고 T-P는 0.26 ton/day에서 0.19 ton/day로 감소되어 담수호로 유입되는 것으로 나타났다.

## 참고문헌

- 경기도. 2002. 화성호 수질개선대책.
- 고광백, 이재준, 전홍석. 1998. 환경통계학(Statistics for Environmental Engineers), 동화 기술.
- 박청길, 송교육, 박혜영. 1993a. 낙동강 수계 수질관리를 위한 모델링(1), 수질보전, 9(1).
- 박청길, 송교육, 안육성. 1993b. 낙동강 수계 수질관리를 위한 모델링(2), 수질보전, 9(1).
- 성지영. 2005. 화성지구 간척생태공원 토지이용계획, 2005년 한국농공학회 학술발표회 논문집, 72.
- 이건호, 허인량, 정의호, 최지용, 이용석. 1999. 한강상류 유역 수질보전에 관한 연구(2), 수질보전, 15(3).
- 충청남도 보건환경연구원. 2005. QUAL2E모형을 이용한 소하천 관리방안 연구.
- 환경부. 1983. 「한강유역 환경보전 종합계획사업」, 하천수질 예측부문.
- 황순진. 2002. 화성호 조성에 따른 수질오염도 및 생태계 변화 추이. 안산환경기술개발센터 조사보고서
- 황순진. 2003. 화성호 조성에 따른 수질오염도 및 생태계 변화 추이(II). 안산환경기술개발센터 조사보고서
- Arheimer B., and Liden R. 2000. Nitrogen and phosphorus concentrations from agricultural catchments-influence of spatial and temporal variables. *Journal of Hydrology*, 227(1-4): 140-159.
- Allan, J. D., Erickson, D. L., and Fay, J. 1997. The influence of catchment land use on stream integrity across multiple spatial scale. *Freshwater Biology*. 37: 149-161.
- Ambrose, R. B., Woo, T., Martin, J. L., Connoly, J. P., and Schanz, R. W. 1991. WASP5.x, A Hydrodynamic and Water Quality Model: Model Theory, User's Manual, and Programmer's Guide, U.S. Environmental Protection Agency, Athens, GA.
- Anbumozhi V., Radhakrishnan J., and Yamaji, E. 2005. Impact of riparian buffer zones on water quality and associated management considerations. *Ecological Engineering*, 24: 517-523.
- APHA. 1995. Standard Methods for the Examination of Water and



- Wastewater(19th edition.) American Public Health Association, Washington, D.C., USA.
- APHA. 1997. Standard methods for the examination of water and wastewater, 19th ed., American Public Health Association, Washington, D. C., USA.
- Baker A. 2003. Land use and water quality. *Hydrological Process.*, 17: 2499-2501.
- Band, L. E., Tague, C. L., Groffman, P., and Belt, K. 2001. Forest ecosystem processes at the watershed scale: hydrological and ecological controls of nitrogen export. *Hydrological Processes.* 15: 2013-2028.
- Beard, T. D. 1973, Overwinter Drawdown: Impact on the Aquatic Vegetation in Murphy Flowage, Wisconsin Tech. Bull. No. 61, Wisc. Dep. Nat. Resour., Madison
- Bicknell B. R., Imhoff J. C., Kittle J. L., Donigian A. S ., and Johanson, R. C. 1996. Hydrological Sumulation Program-Fortran(HSPF): User's Manual Release 11. US Environmental Protection Agency: Athens, GA.
- Bolstad P. V.; Swank W. T. 1997. Cumulative impacts of land use on water quality in a southern Appalachian watershed. *Journal of American Water Research Association*, 33(3): 519-534.
- Borken, W. and Matzner, E. 2004. Nitrate leaching in forest soils: an analysis of long-term monitoring sites in Germany. *Journal of Plant Nutrient Soil Science.* 167: 277-283.
- Brezonik P. L., and Stadelmann, T. H. 2002. Analysis and predictive models of stormwater runoff. *Water Research* 36(7): 215-223.
- Brown, L. C. and Barnwell, Jr. T. O. 1985. Computer program Documentation for the enhanced stream water quality model QUAL2E, U. S. Environmental Protection Agency, Environmental Research Laboratory, GA. EPA/600-3-85/065.
- Buck, O., Niyogi, D. K., and Townsend, C. R. 2004. Scale-dependence of land use effects on water quality of streams in agricultural catchments. *Environmental pollution.* 130: 287-299.
- Christensen V. G., Rasmussen P. P., and Ziegler, A. C. 2001. Real-Time Water-quality Monitoring and Regression Analysis to Estimate

- Nutrient and Bacteria Concentrations in Kansas. Proceedings of the 5th International Conference on Diffuse Pollution(IAWQ).
- Conyers, G. L. and Cooke, G. D. 1983. A comparison of the costs of harvesting and herbicides and their effectiveness in nutrient removal and control of macrophyte biomass. Pages 317-21 in Lake Restoration, Protection, and Management. Proc. 2nd Annu. Conf. N. Am. Lake Manage. Soc., Vancouver, B.C. EPA-440/5-83-001. U. S. Environ. Prot. Agency, Washington, DC.
- Cooke, G. D. and Carson, R. E. 1989. Reservoir Management for Water Quality and THM Precursor Control. Am. Water Works Ass. Res. Found. Denver, Co.
- Cooke, G. D. and Kennedy, R. H. 1989. Water Quality Management for Reservoirs and Tailwaters, Report 1, In-Lake Reservoir Water Quality Management Techniques, Tech. Rep. E-89-1, U.S. Army Corps of Engineers, Vicksburg, MS.
- Cooke, G. D., Welch, E. B., and Peterson, S. A. 1986. Lake and Reservoir Restoration, Butterworth Publ., Boston.
- David B., Eran F. and Kevin, G. 1995. Characterizing the quantity and quality of domestic wastewater inflows. Water Science and Technology. 31(7): 13-24.
- DeGasperi C. L. and Khangaonkar, T. A steady-state model of the Willamette river: implications for flow control of dissolved oxygen and phytoplankton biomass. In River Quality Dynamics and Restoration(A. Laenena and D. A. Dunnette, eds), pages 163-171. New York: Lewis Publishers.
- Delong D. D. and Brusven, M. A. 1991. Classification and spatial mapping of riparian habitat with application toward management of streams impacted by nonpoint source pollution. Journal of Environmental Management, 15(4): 565-571.
- Donigian, A. Jr., Huber, W. and Barneswell, T. Jr. 1995. Modeling of nonpoint source water quality in urban and nonurban areas, in Nonpoint pollution and Urban Stormwater Management, V. NovoT-Ny(ed.), Technomic Publishing Co., Inc, Lancaster, PA., 299-307.

- Donoso, G., Cancino, J. and A. Magri. 1999. Effects of agricultural activities on water pollution with nitrates and pesticides in the central valley of Chile, *Water science and Technology* 39(3): 49-60.
- Engel, S. 1982. Evaluating sediment blankets and a screen for macrophyte control in lakes, *Off Inland lake Renewal*, Wis. Dep. Nat. Resour., Madison.
- Eran, F. and David, B. 1996. Quantifying the inherent uncertainty in the quantity and quality of domestic wastewater. *Water Science and Technology* 33(2): 65-78.
- Erin K. L., Jerzy, L., and Joan. B. R. 2001. Human enteric viruses and parasites in the marine environment, *Methods in Microbiology*, 30: 559-588.
- Fisher D. S., Steiner J. L., Endale D. M., Stuedemann J. A., Schomberg H. H., Franzluebbbers A. J., and Wilkinson S. R. 2000. The relationship of land use practices to surface water quality in the Upper Oconee Watershed of Georgia. *Forest Ecology and Management*, 128: 39-48.
- Gardi C. 2001. Land use, agronomic management and water quality in a small Northern Italian watershed. *Agric. Ecosystem Environment* 87(1): 1-12.
- Gburek W. J., Folmer G.. J. 1999. Flow and chemical contributions to streamflow in an upland watershed: a baseflow survey. *Journal of Hydrology*, 217: 1-18.
- Geiger, N. S. 1983. Winter drawdown for the control of Eurasian watermilfoil in an Oregon Oxbow Lake, EPA-440/5-83-001, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- Gorge K. and Louis. S. 2004. Development of coastal recreational water quality standards in the mediterranean, *Environment International*, 30: 841-8543.
- Griffin, D. W., Gibson III, C. J., Lipp, E. K., Riley, K., Paul, J. H. and J. B. Rose. 1999. Detection of viral pathogens by reverse transcriptase PCR and of microbial indicators by standard methods in the canals of the Florida Keys. *Applied and Environmental Microbiology* 65: 4118-4125.
- Griffith J. A. 2002. Geographic techniques and recent applications of remote sensing to landscape-water quality studies. *Water, Air, and Soil Pollution*,

138: 181-197.

- Haag, K. H., 1988, Effective control of waterhyacinth using *Neochetina* and limited herbicide application, *J. Aquat. Plant Manage.* 24: 70-85.
- Ham, J. H. 2005. Nonpoint-source pollution control using constructed wetlands and integrated watershed modelling. PhD thesis, Department of Rural Engineering, Konkuk University, Seoul, Korea(in Korean).
- Hass, C. N., Rose, J. B., Gerba, C., and Regli, S. 1993. Risk assessment of virus in drinking water. *Risk Analysis.* 13: 545-552.
- Hass, C. N., Rose, J. B., and Gerba, C. P. 1999. Quantitative Microbial Risk Assessment, John Wiley, New York, Chapter 9: 396-440.
- Hutto, T. D. and Sabol, B .M., 1986. Application of HARVEST, mechanical simulation model, as an operational aquatic macrophyte management decision tool. *Lake Reserv. Manage.* 2: 267-270.
- Jeon, J. H., Yoon, C. G., and Ham, J. H. 2001. Analysis of relationships among the pollutant concentrations in non-urban area. *Korean Journal of Limnology* 34(3): 215-222.(in Korean).
- Johnson L., Richard C., Host G., and Arthur J. 1997. Landscape influences on water chemistry in Midwestern stream ecosystems. *Journal Freshwater Biology* 37: 193-208.
- Kim, B. and Park, J-H., Hwang, G., and Choi, K. 1997. Eutrophication of large freshwater ecosystems in Korea. *Korea Journal of Limnology* 30: 512-517.
- Kortman, R. W. 1989, Aeration technologies and sizing methods, *Lake Line*, 9:6-7, 18-19.
- Lenat D. R., and Crawford J. K.(1994). Effects of land use on water quality and aquatic biota of and aquatic biota of three North Carolina Piedmont Streams. *Hydrobiologia*, 294(3): 185-200.
- Lindmark, G. K. 1982. Acidified lakes: sediment treatment with sodium carbonate-a remedy? *Hydrobiologia.* 92: 537-547.
- Lindmark, G. K. 1985. Sodium carbonate injected into sediment of acidified lakes: a case study of Lake Lila Galtsjon treated in 1980. *Lake Reserv. Manage.* 1: 89-93.
- Liu A. J., Tong S. T. Y., and Goodrich J. A. 2000. Land use as amitigation strategy for the water-quality impacts of global warming: A scenario

- analysis on two watersheds in the Ohio River Basin. *Environmental Engineering Policy*, 2: 65-76.
- Lorenzen, M. W. and Fast, A. W. 1977. A Guide to Aeration/Circulation Techniques for Lake Management, EPA-600/3-77-004, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- Martyn, R. D., Noble, R. L., Bettoli, P. W., and Maggio, R. C. 1986. mapping aquatic weeds with aerial color infrared photography and evaluating their control by grass carp, *J. Aquat. Plant Manage.* 24: 46-56.
- Mayhew, R. D. and Runkel, S. T. 1962. The control of nuisance aquatic vegetation with black polyethylene plastic, *Proc. Iowa Academic Science* 69: 302-307.
- McAvoy D. C., Asscheleyn, P., Peng, C., Morrall, S. W., Casilla, A. B., Lim, J. M. U., and Gregorio, E. G. 2003. Risk assessment approach for untreated wastewater using the QUAL2E water quality model. *Chemosphere* 52: 55-66.
- Nall, L. E. and Schardt, J. D. 1980. Large scale operations management test using the white amur at Lake Conway, Fla Aquatic Macrophytes Pages 249-72, U.S. Army Corps of Engineers, Vicksburg, MS.
- Newroth, P. R. and Soar, R. J. 1986. Eurasian watermilfoil management using newly developed technologies, *Lake Reservore Management* 2: 252-257.
- Nicholson, S. A. 1981. Changes in submersed macrophytes in Chautauqua Lake. 1937-75. *Freshw. Biol.* 11: 523-530.
- Ning, S. K., Chang, N. B., Yang, L., Chen, H. W., and Hsu, H. Y. 2001. Assessing pollution prevention program by QUAL2E simulation analysis for the Kao-Ping River Basin, Taiwan, *Environmental Management*, 61: 61-76.
- Omernik J. M., Abernathy A. R., and Male L. M. 1981. Stream nutrient levels and proximity of agricultural and forest land to streams. Some relationships. *Journal of Soil and Water Conservation*, 36: 227-231.
- Osborne L. L. and Wiley M. J. 1998. Empirical relationship between land use/cover and stream water quality in an agricultural watershed. *Journal of Environmental Management*, 26: 9-27.

- Parsons, T. R., Takahashi, M., and Hargrove, B. 1984. *Biological Oceanographic Processes*(3rd ed.): New York(Pergamon Press).
- Paul, J. H., Rose, J. B., Jiang, S., Zhou, X., Cochran, P., Kellogg, C., Kang, J. B., Griffin, D., Farrah, S. and Lukasik, J. 1995. Evidence for ground water and surface marine water contamination by waste disposal wells in the Florida Keys. *Water Research* 31: 1448-1454.
- Paul, M. B. and Linfield, C. B. 1998. *Statistics for environmental engineers*. Lewis.
- Peterson, S.A. 1981 *Sediment Removal as a Lake Restoration Technique*, EPA-600 /3-81-013, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- Peterson 1982. Lake restoration by sediment removal, *Water Res. Bull.*, 18: 423-35.
- Ren W., Zhong Y., Meligrana J., Anderson B., Watt W. E., Chen J., and Leung H. K. 2003. Urbanization, land use, and water quality in Shanghai. *Environment International*, 29: 649-659.
- Ripl, W. 1976. Biochemical oxidation of polluted lake sediment with nitrate - a new lake restoration method, *Ambio*, 5: 132-135.
- Rodgers, P., Soulsby, C., Hunter, C., and Petry, J. 2003. Spatial and temporal bacterial quality of a lowland agricultural stream in northeast Scotland. *The Science of the Total Environment* 314-316,(289-302).
- Rosseland, B. O. and Hindar, A. 1988. Liming of lakes, rivers, and catchments in Norway. *Water Air Soil Pollutant* 41: 165-188.
- Sanders, D. R., Sr., and Theriot, E. A. 1986. Large scale operations management test(LSOMT) of insects and pathogens for control of waterhyacinth in Louisiana, II, results for 1982-83. Tech. REp. A-85-1, U.S. Army Corps of Engineers, Vicksburg, MS.
- Shapiro, J., LaMarra, V., and Lynch, M. 1975. Biomanipulation: An ecosystem approach to lake restoration, Pages 85-96 in P. L. Brezonik and J. L. Fox, eds. *Symposium on Water Quality Management and Biological Control*, University of Florida, Gainesville.
- Shireman, J. V. 1982. Cost analysis of aquatic weed control: fish versus chemicals in a Florida lake. *Progr. Fish-Cult.* 44: 199-200.
- Shireman, J. V. 1983, *Ecological Impacts of Integrated Chemical and*

- Biological Aquatic Weed Control, EPA-660/3-83-098, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- Shireman, J. V., Hoyers, M. V., Maceina, M. J., and Canfield, D. E. 1985. The water quality and fishery of Lake Baldwin, Florida four years after macrophyte removal by grass carp. Pages 201-6 in lake and reservoir management. Proc. 4th Annu. Conf. N. Am. Lake Manage. Soc., McAfee, NJ.
- Sliva, L., and Williams D. D. 2001. Buffer zone versus whole catchment approaches to studying land use impact on river water quality. *Water Resource*, 35(14): 3462-3472.
- Smith, C. R. and Shireman, J. V. 1983. White Amur Bibliography, Misc. Pap, A-83-7, U.S. Army Corps of Engineers, Jacksonville, FL.
- Steynberg, M. C., Venter, S. N., Wet, C. M. E. de, Plessis, G. du, Holts, D., Rodda, N., and Kfir, R. 1995. Management of microbial water quality: new perspectives for developing areas. *Water Science and Technology* 32: 183-191.
- Tolman, R. A. 1992. Modified QUAL2E modeling of a stream acutely impacted by photosynthesis and respiration. *Water resources planning and management: saving a threatened resource. In Search of Solutions, Proceedings of the Water Resources Sessions at Water Forum. ASCE, New York, USA, 194-199.*
- Tong S. T. Y., and Chen W.(2002).Modeling the relationship between land use and surface water quality.*Journal of EnvironmentalManagement*, 66(4): 377-393.
- Townsend, C. R., Doleddec, S., Norris, R. Peacock, K. Arbuckle, C. J. 2003. The influence of scale and geography on relationships between stream community composition and landscape variables: description and prediction. *Freshwater Biology. Functional Ecology* 3: 385-397.
- UNEP/WHO(United Nations Environment Programme/World Health Organization). 1996. Assessment of the state of microbiological pollution of the Mediterranean Sea. Document UNEP(OCA)/MED WG.104/Inf.9. United Nations Environment Programme, Athens.
- USEPA. 1986. Ambient water quality criteria for bacteria-1986. EPA 440-584-002. Washington, D.C.:USEPA Protection Agency.

- USEPA. 1986. Bacteriological ambient water quality criteria for marine and fresh recreational waters, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- USEPA. 1990. The Lake and Reservoir Restoration Guidance Manual, Second Edition, EPA-440/4-90-006, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., pp.119-120.
- USEPA. 1992. Manual, Guidelines for water reuse. USEPA/625/R-92/004. US Agency international development. <http://www.epa.gov>. Assessed 9 Aug. 2002.
- USEPA. 1999. Draft guidance for water quality-based decisions: the TMDL process. Washington, D.C.:USEPA Protection Agency.
- USEPA. 2001. Better assessment science integrating point and nonpoint-sources: BAINS version 3.0 user's manual. EPA-832-F-01-021, US Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC.
- USEPA. 2001. "Protocol for developing pathogen TMDLs", EPA 841-R-00-002, Washington, DC. [www.epa.gov/owow/tmdl/pathogen/pathogen.htm](http://www.epa.gov/owow/tmdl/pathogen/pathogen.htm).
- Uttormark, P. D. and Hutchins, M. L. 1980 Input-output models as decision aids for lake restoration, *Water Resource Bulletin* 16: 494-500.
- Van Dyke, J. M., Leslie, A. J., Jr., and Nall, L. E. 1984. The effects of the grass carp on the aquatic macrophytes of four Florida lakes, *J. Aquatic Plant Management* 22: 87-95.
- Venter, S. N., Steynberg, M. C., C. Wet, M. E. de, Hohls, D., Plessis, G. du, and Kfir, R. 1997. A situational analysis of the microbial water quality in a peri-urban catchment in South Africa. *Water Science and Technology* 35: 119-124.
- Vought L. B. -M., Pinay G., Fuglsang A., and Ruffinoni, C. 1995. Structure and function of buffer strips from a water quality perspective in agricultural landscape. *Landscape and Urban Planning* 31: 323-331.
- Walker, W. W., Jr., Leslie, A. J., and Nall, L. E. 1989. Design and evaluation of eutrophication control measures for the St. Paul water supply, *Lake Reservoir Manage* 5(1): 71-83.
- Wall G. J., Bos A. W., Marshall, A. H. 1996. The relationship between



- phosphorus and suspended sediment loads in Ontario watersheds. *Journal of Soil and Water Conservation* 51: 504-507.
- Wangne, R. A. and Tisdale, T. S. 1996. Framework for phosphorus transport modeling in the lake Okeechobee watershed. *Journal of American Water Resources Association* 32: 57-73.
- Weiner, R. W. 2000. *Applications of Environmental chemistry*. Lewis.
- Welch, E. B. and Patmond, C. R. 1980, Lake restoration by dilution: Moses Lake, Washington, *Water Res.*, 14: 1317-1325.
- WHO. 1993. *Guidelines for drinking-water quality 2nd Edition*.
- WHO. 1998. *Guidelines for Safe Recreational-water Environments: Coastal and Fresh-waters*, EOS/DRAFT/98.14 English only Distribution: Limited, WHO Protection of the Human Environment, Water, Sanitation and Health Series, WHO, Geneva.
- WHO. 1999. *Health Based Monitoring of Recreational Waters: The Feasibility of a New Approach(The 'Annapolis Protocol')*, WHO/SDE/WSH/99.1, WHO Protection of the Human Environment, Water, Sanitation and Health Series, WHO, Geneva.
- Woli K. P., Nagumo T., Kuramochi K., and Hatano R. 2004. Evaluating river water quality through land use analysis and N budget approaches in livestock farming areas. *The Science of the total environment* 329: 61-74.
- Yoon, C. G., Ham J. H. and Jean, J. H. 2003. Mass balance analysis in Korean paddy rice culture, *Paddy and Water Environment* 1(2): 99-106.

여 백

## 부 록

---

1. 유역모형의 적용
2. 하천 수질 측정자료
3. 담수호내 수질 측정자료
4. 폐수 배출시설 현황

여 백

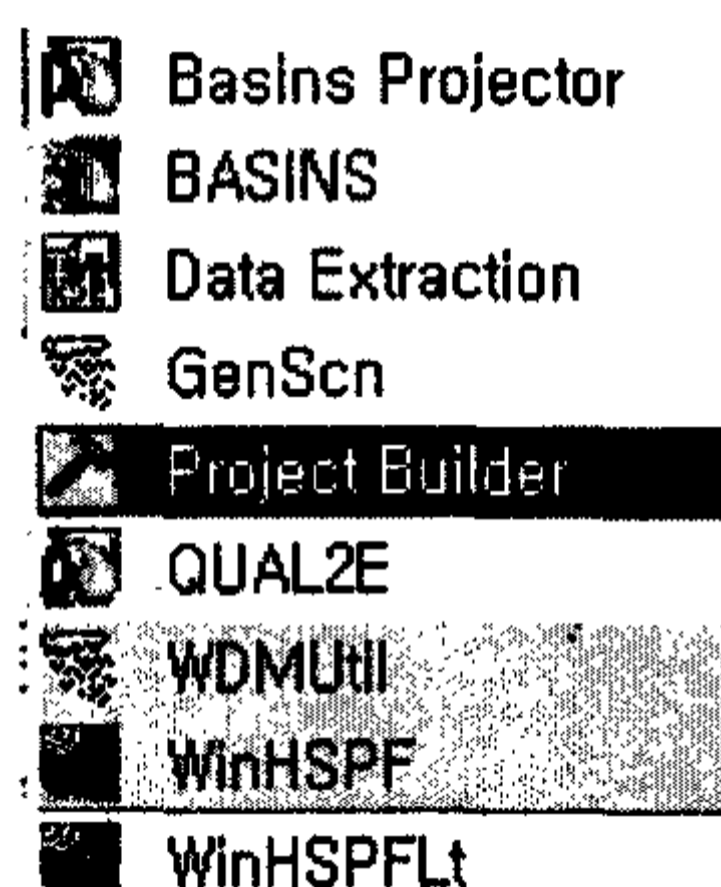
## <부 록 1. 유역모형의 적용>

### 1.1 BASINS

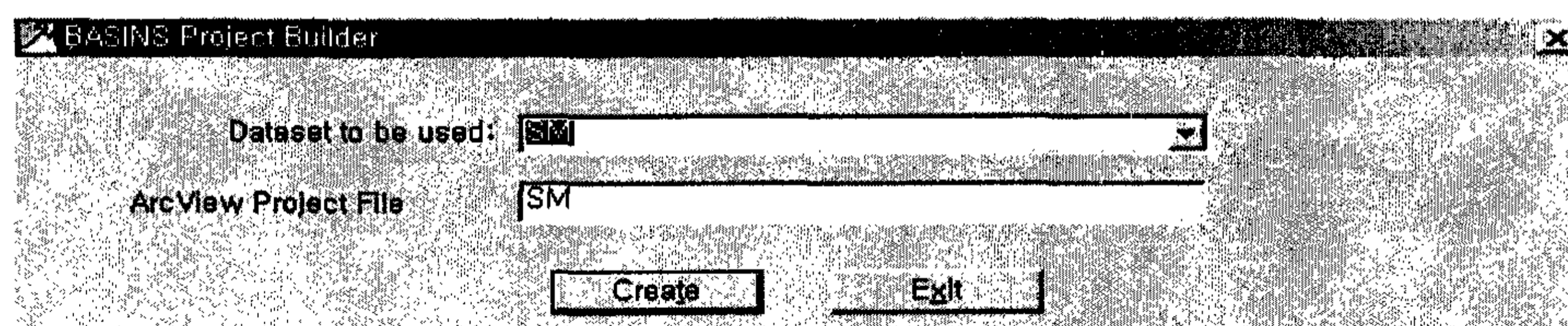
#### 1.1.1 Project Builder

BASINS를 실행시키기 위해서는 위에서 구축된 각종 GIS를 연결시켜주는 ArcView Project File (.apr)을 생성시킴으로써 BASINS 초기화면을 로딩시켜야 하며 이는 Project Builder라는 프로그램에서 실행이 된다.

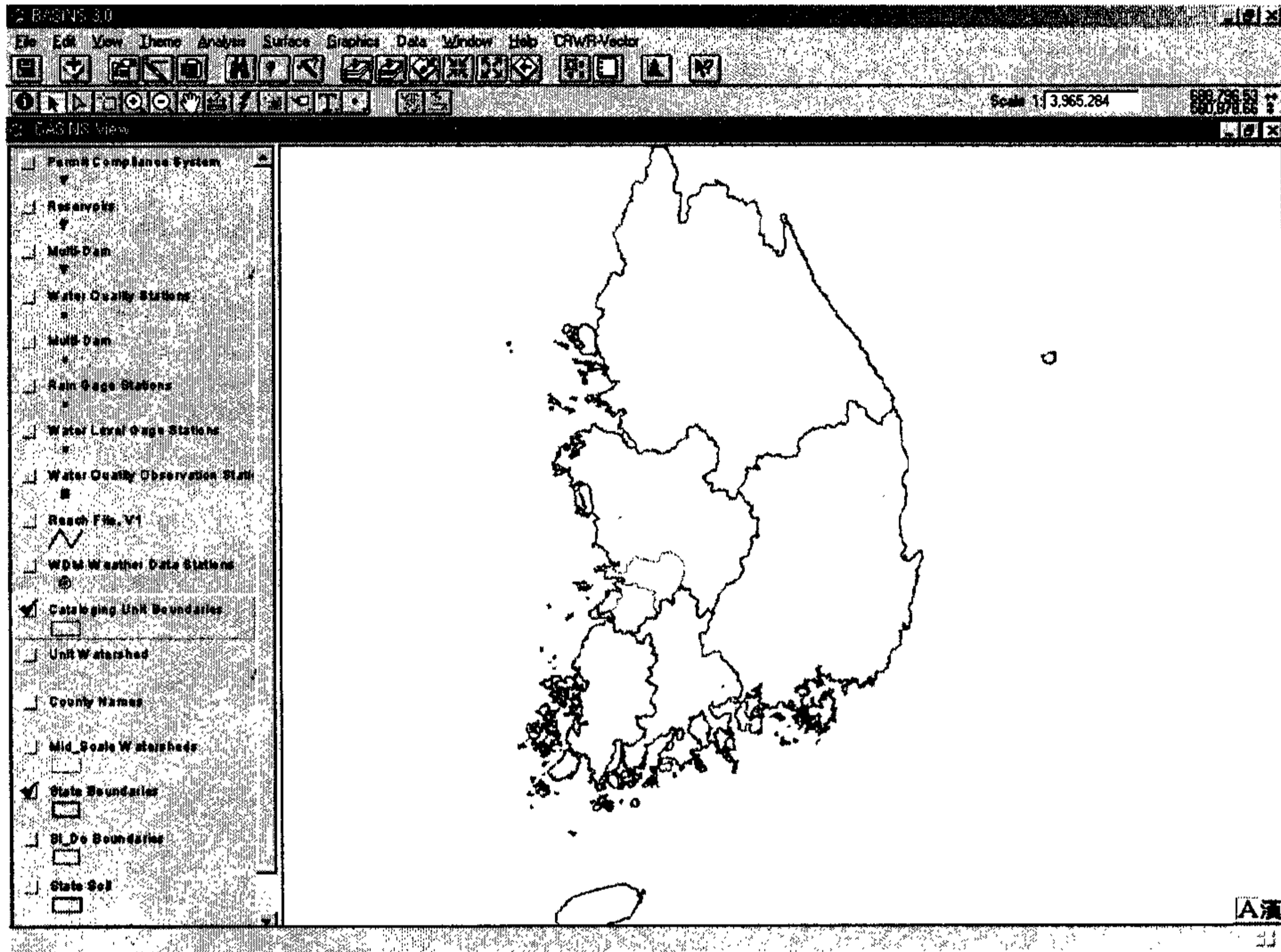
1) 시작/프로그램/BASINS/Project Builder를 클릭한다.



2) “Dataset to be used”란에는 BASINS적용을 위해 구축된 BASINS/data 내의 폴더 이름이 나타나며, 여기에 새만금 database폴더인 SM을 선택한 후, “ArcView Project File”란에는 새롭게 생성될 .apr파일 이름을 쓴다.

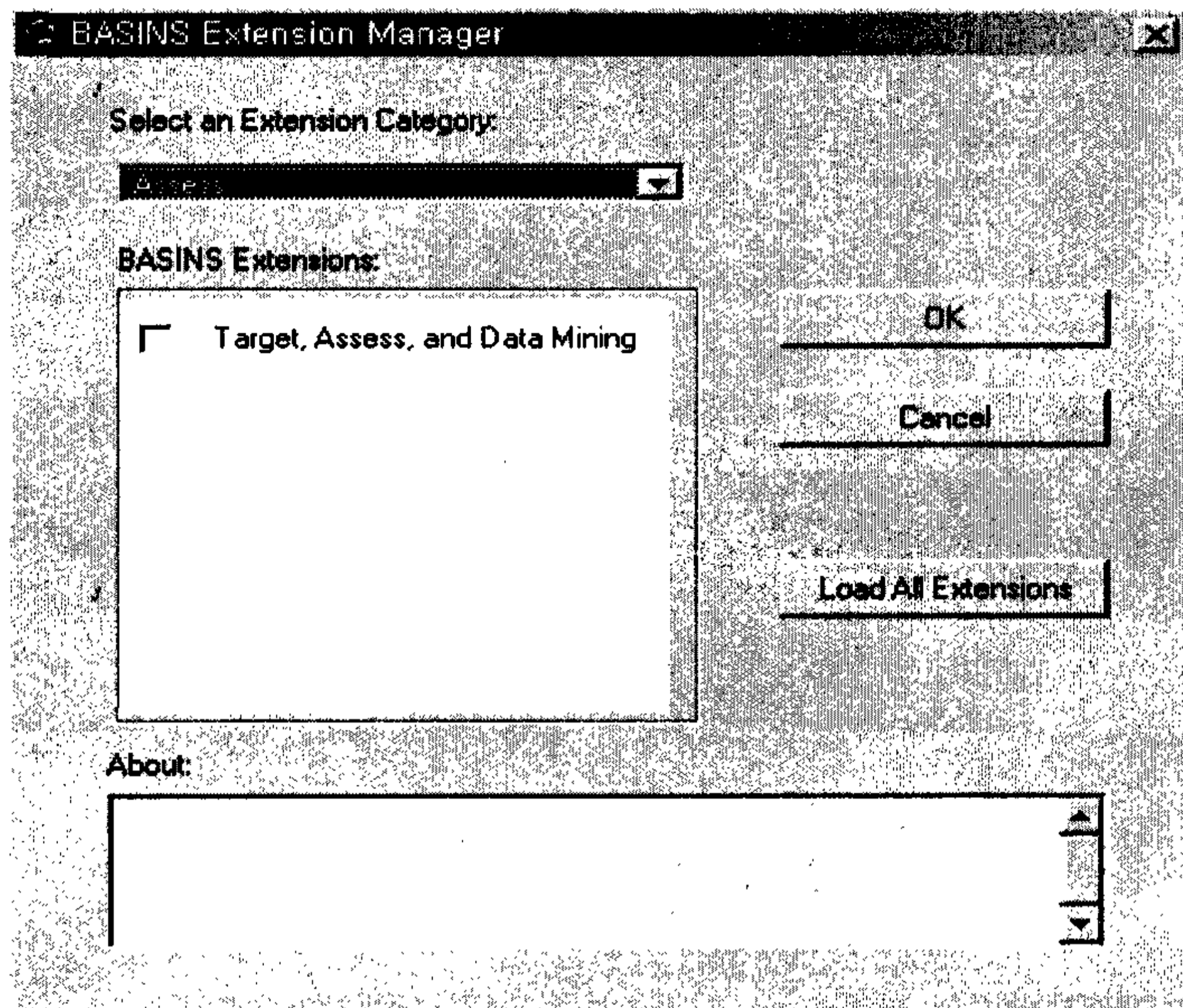


3) Create를 누르면 다음과 같은 BASINS초기화면이 나타난다. 저장 후에는 BASINS 아이콘을 클릭하여 BASINS/apr 폴더 내에 사용자가 원하는 파일 이름(SM.apr)을 선택하면 된다.



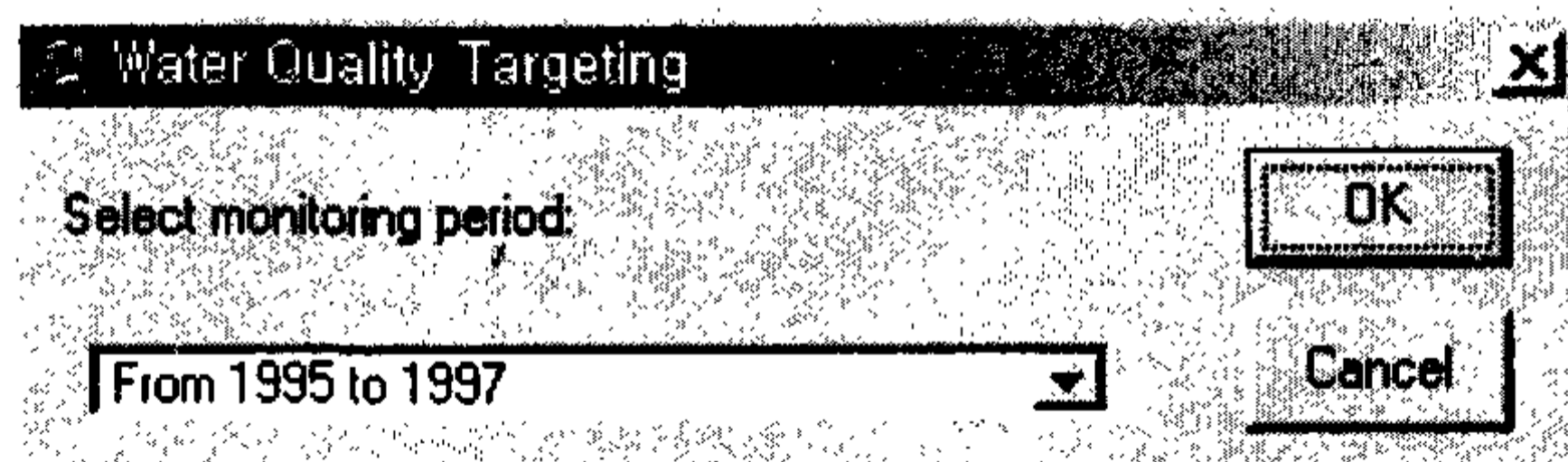
### 1.1.2 BASINS Assessment Tools

BASINS Assessment Tools를 적용하기에 앞서 BASINS에 필요한 메뉴바를 로딩하여야 한다. 이를 위해서는 File/BASINS Extensions(Ctl+B)를 선택하면 “BASINS Extension Manager”라는 창이 나타나며 Load All Extensions를 클릭하면 BASINS에 필요한 모든 메뉴바가 생성된다.

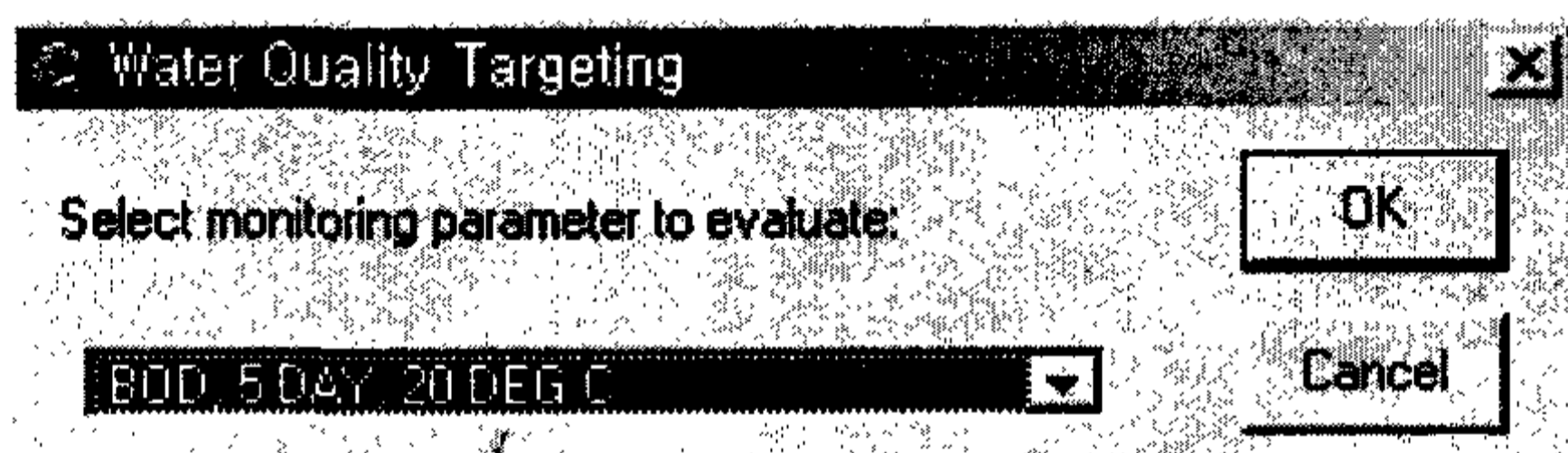


가. Target

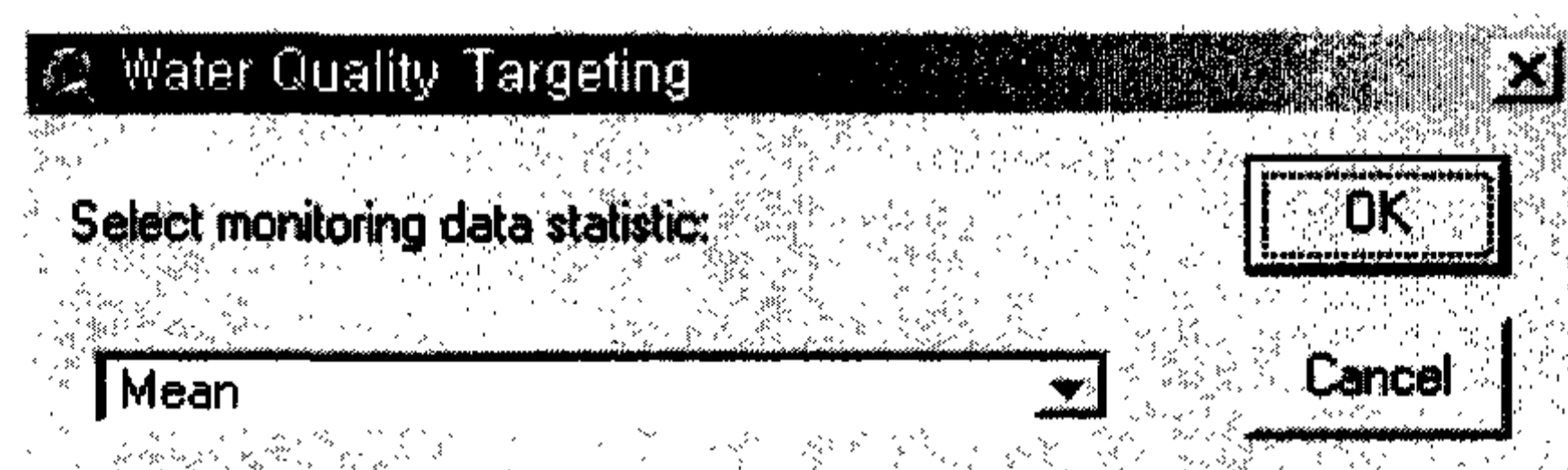
- 1) BASINS/ASSESS/Target water quality를 누른다.
- 2) 모니터링 기간을 선택한다.



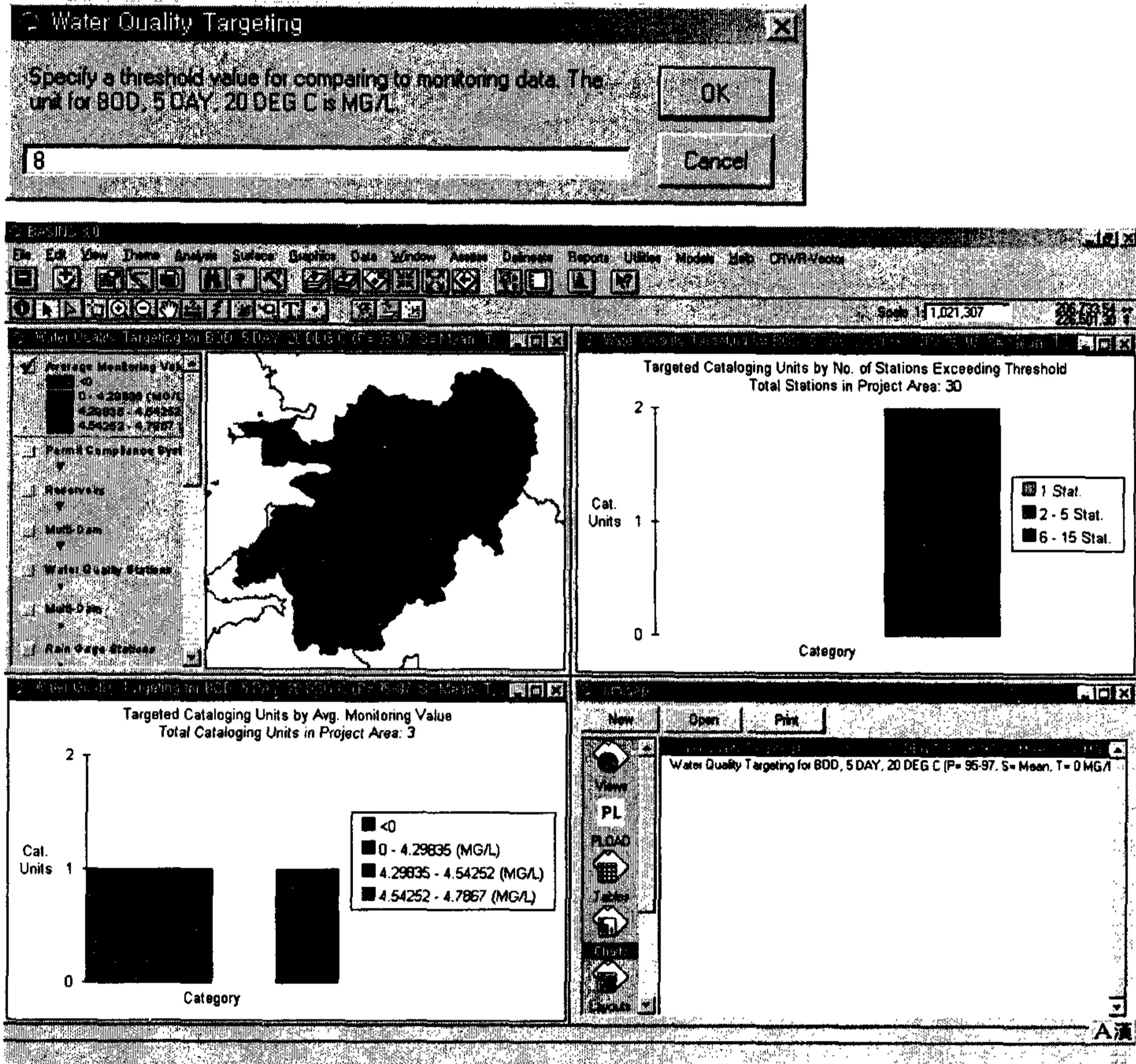
- 3) 평가될 수질항목을 선택한다.



- 4) 분석될 통계 값을 선택한다.



5) 기준값을 선택한다. 여기서는 하천수 수질기준인 BOD<sub>5</sub> 8mg/L을 선택하였다.

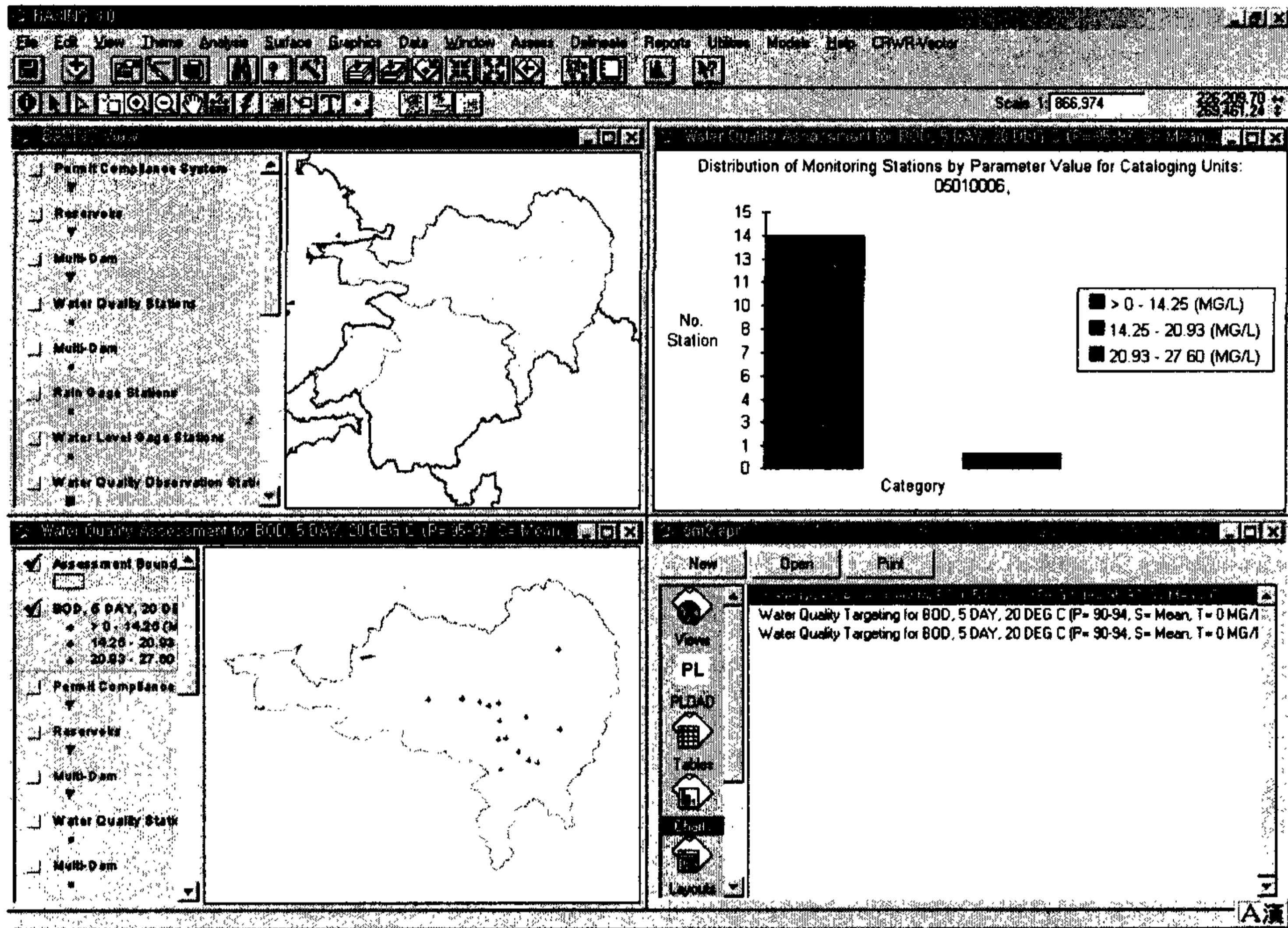


나. Assess

1) Assess가 적용될 유역을 Cataloging Unit Boundaries에서 “Select feature”을 이용하여 선택 후 BASINS/ASSESS/assess water quality를 클릭한다.

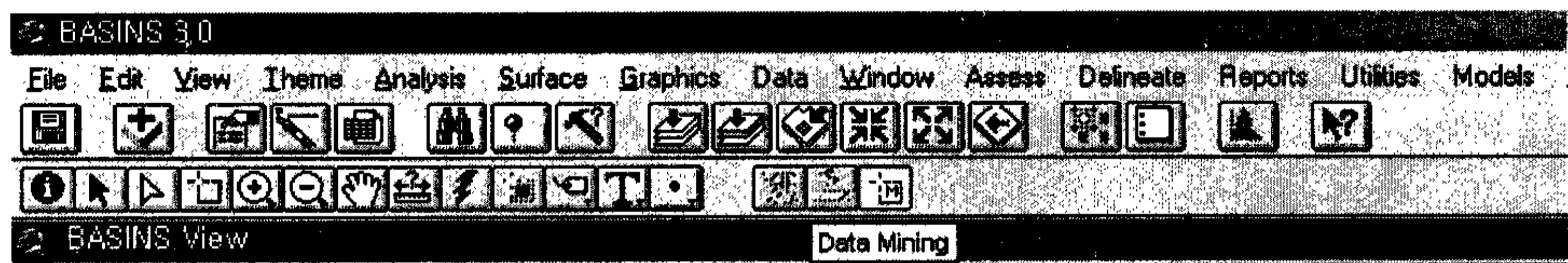
2) 모니터링 기간과 평가될 수질항목, 분석될 통계값을 선택하면 다음과 같은 결과가 나타난다.





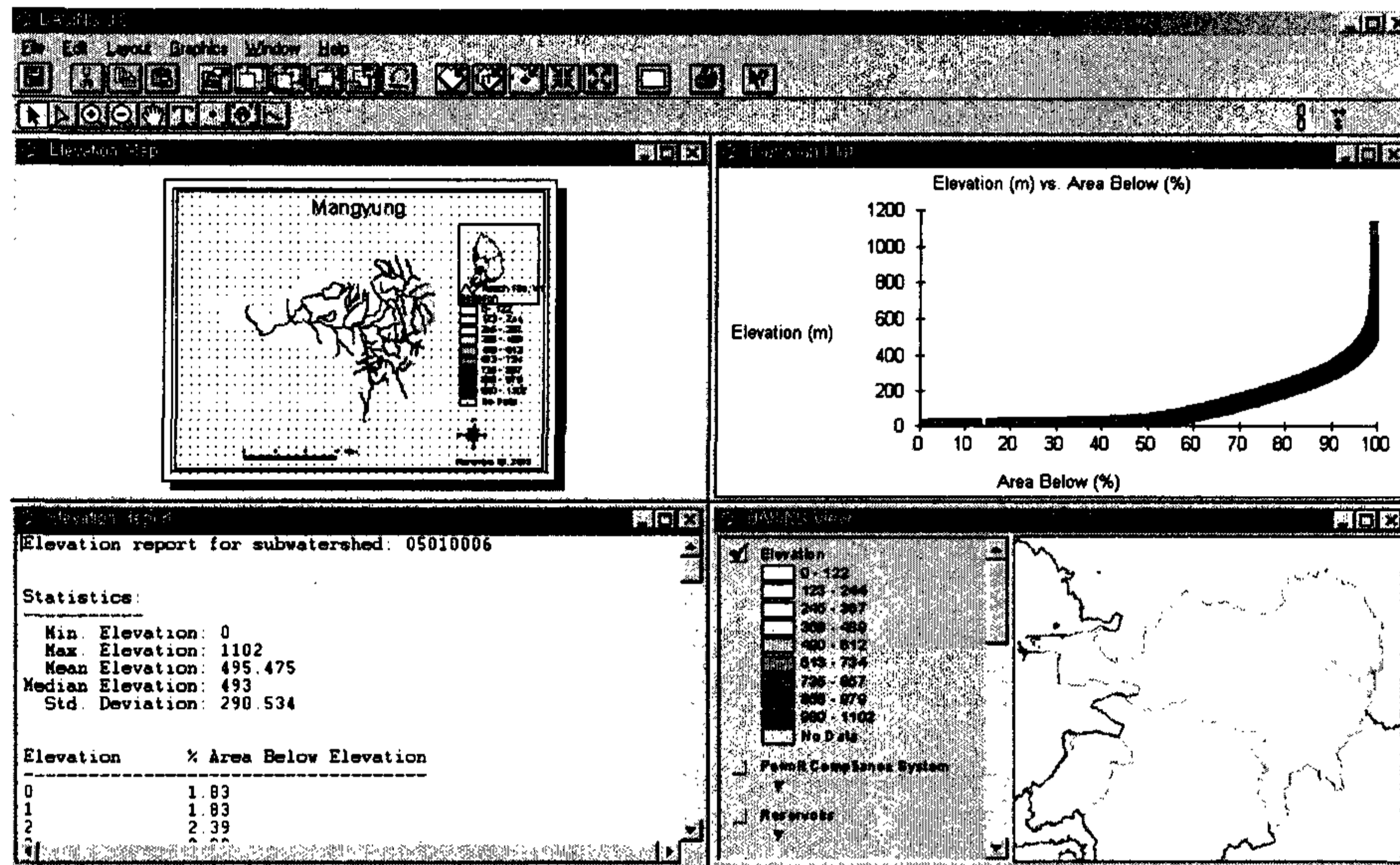
다. Data mining

1) Water Quality Stations Theme을 활성화시키고, Data Mining 버튼을 누른다.




2) 분석하고자 하는 지점을 선택하면 다음과 같은 결과가 나타난다.

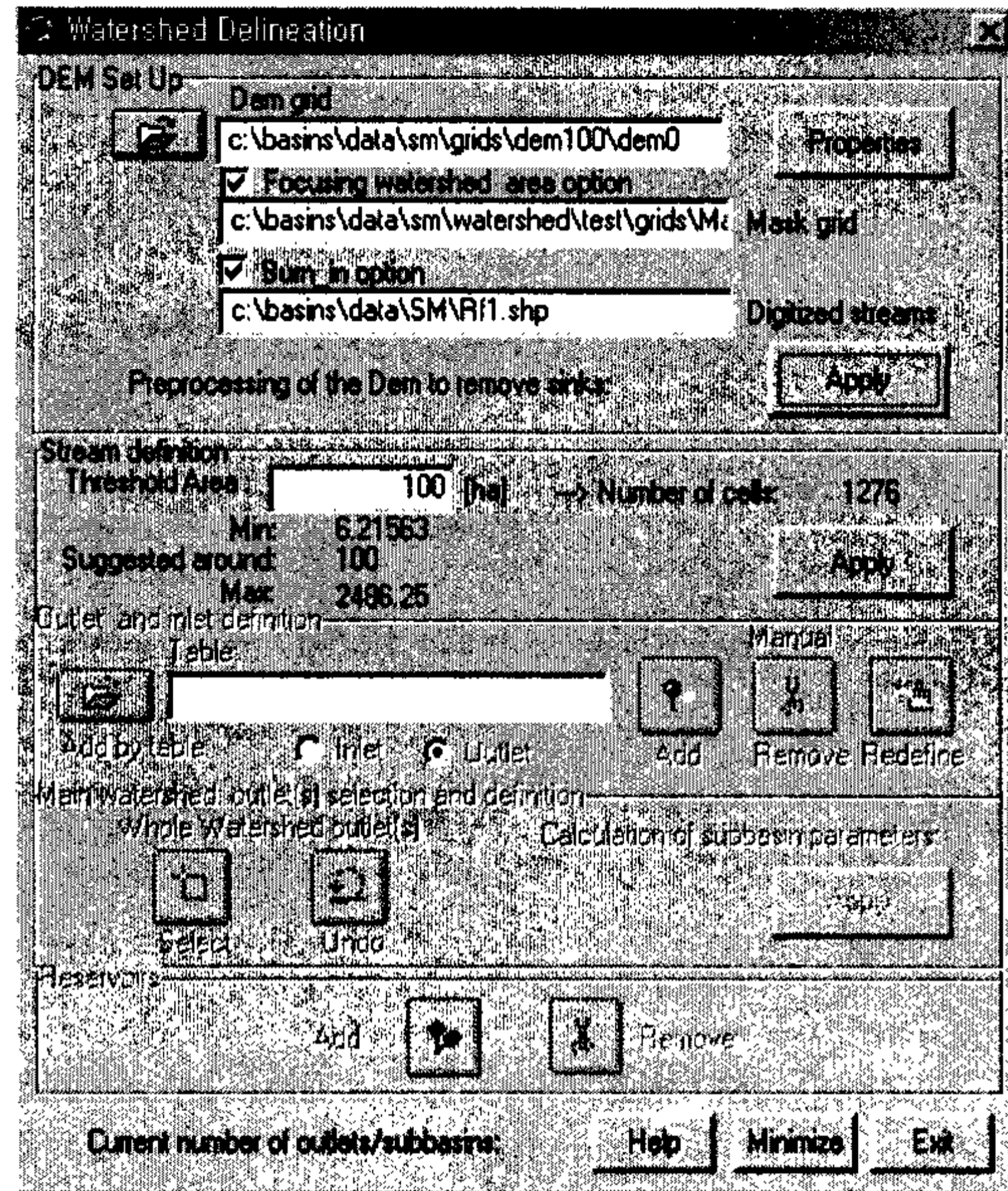




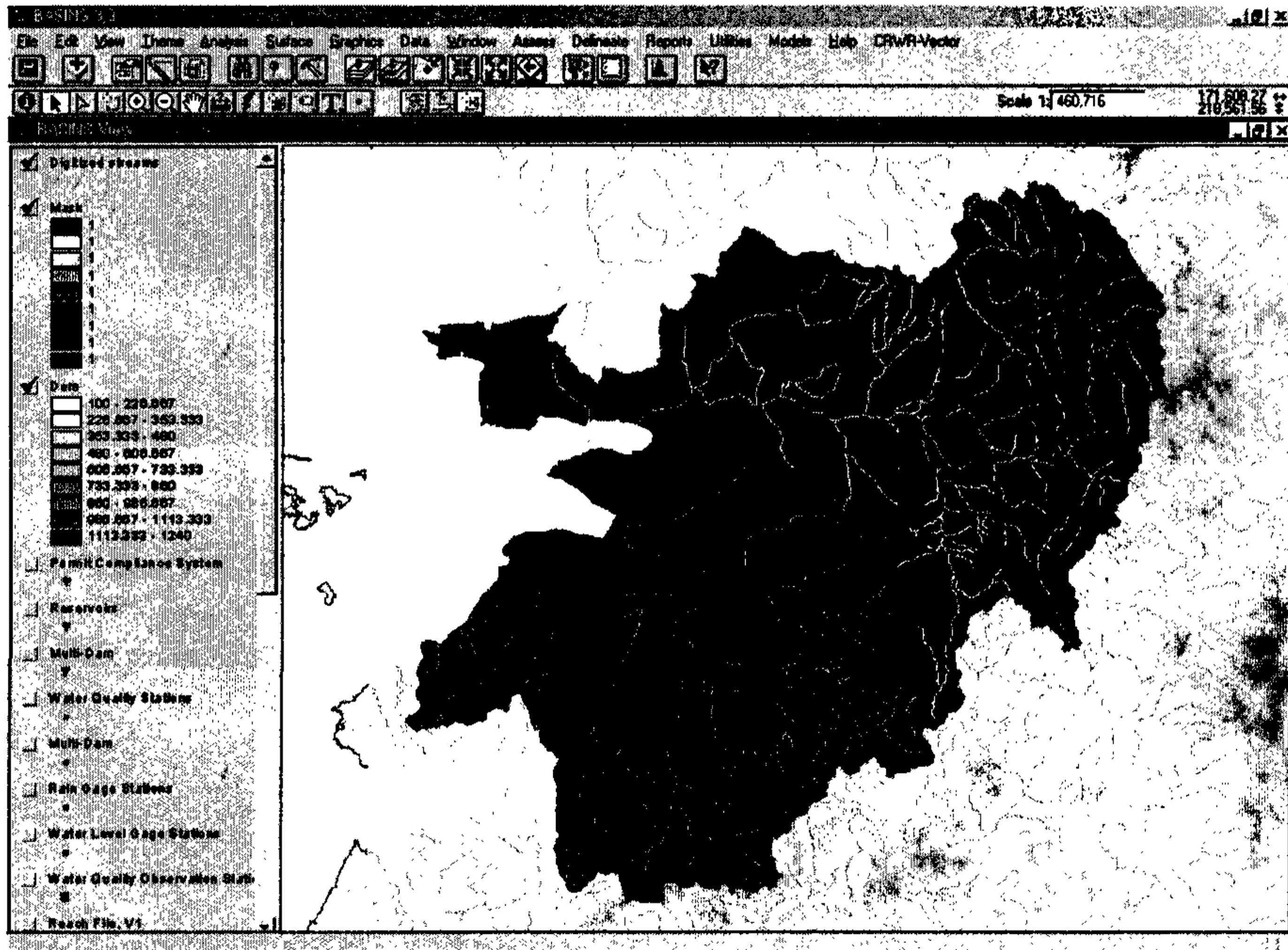
### 1.1.4 BASINS Utility Tools

가. Delineate

- 1) Delineate 메뉴에서 원하고자 하는 옵션을 선택(Automatic)한다
- 2) Watershed Delineation 창이 다음과 같이 나타나면, DEM SetUp에서 Load DEM grid 버튼(  )을 누른다.
- 3) DEM이 현재 BASINS 창에 나타나있지 않으면, Set the DEM grid 창에서 "Load DEM grid from disk"를 선택하여 DEM의 경로를 지정한다.
- 4) 필요시 Focusing watershed area option (Cataloging Unit Boundaries) 과 Burn in option (Reach File V1)을 선택하고 Properties를 클릭하여 사용된 DEM의 격자크기를 확인한다.

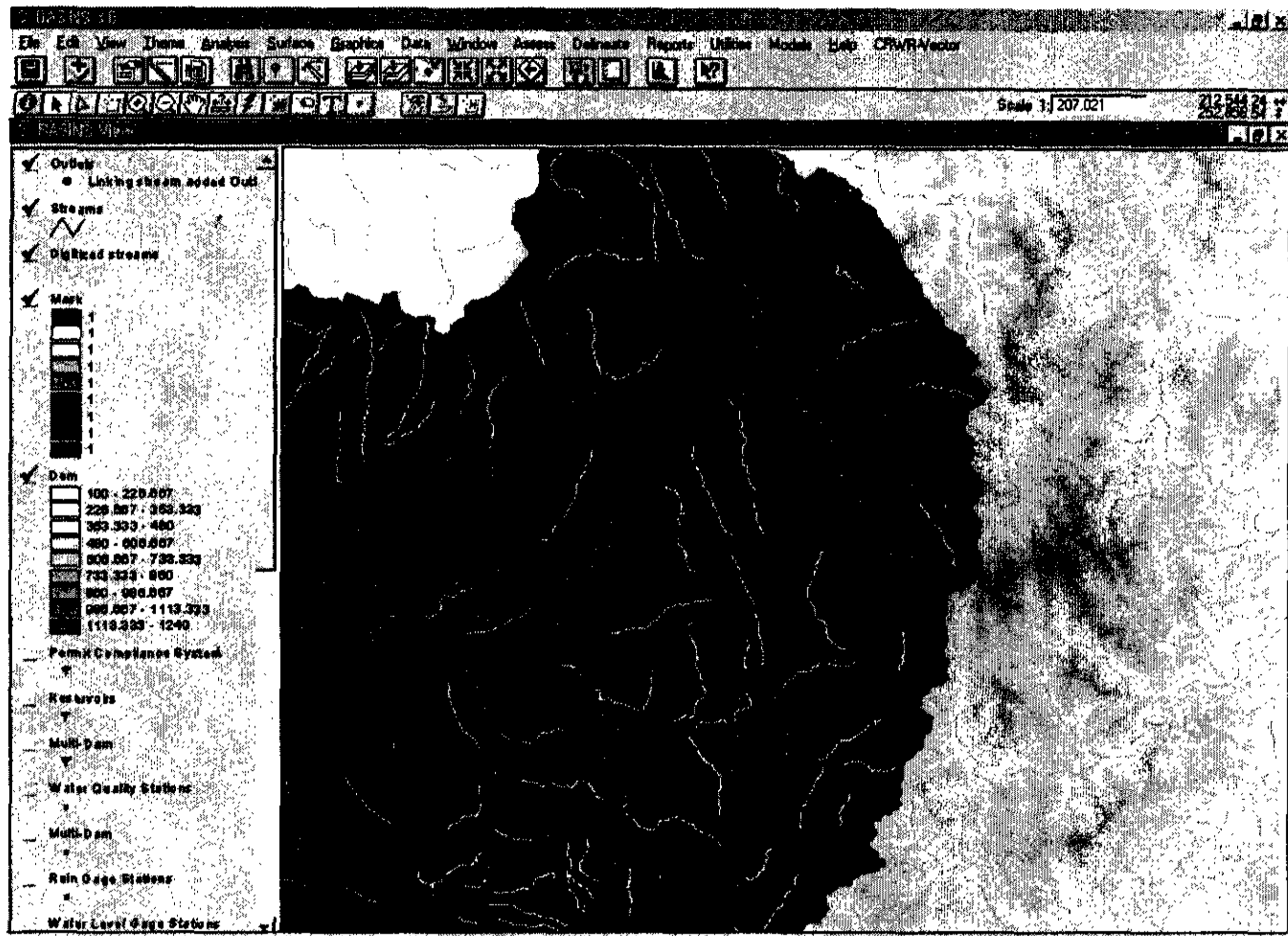




5) Apply를 클릭하면 다음과 같은 결과가 나타난다.



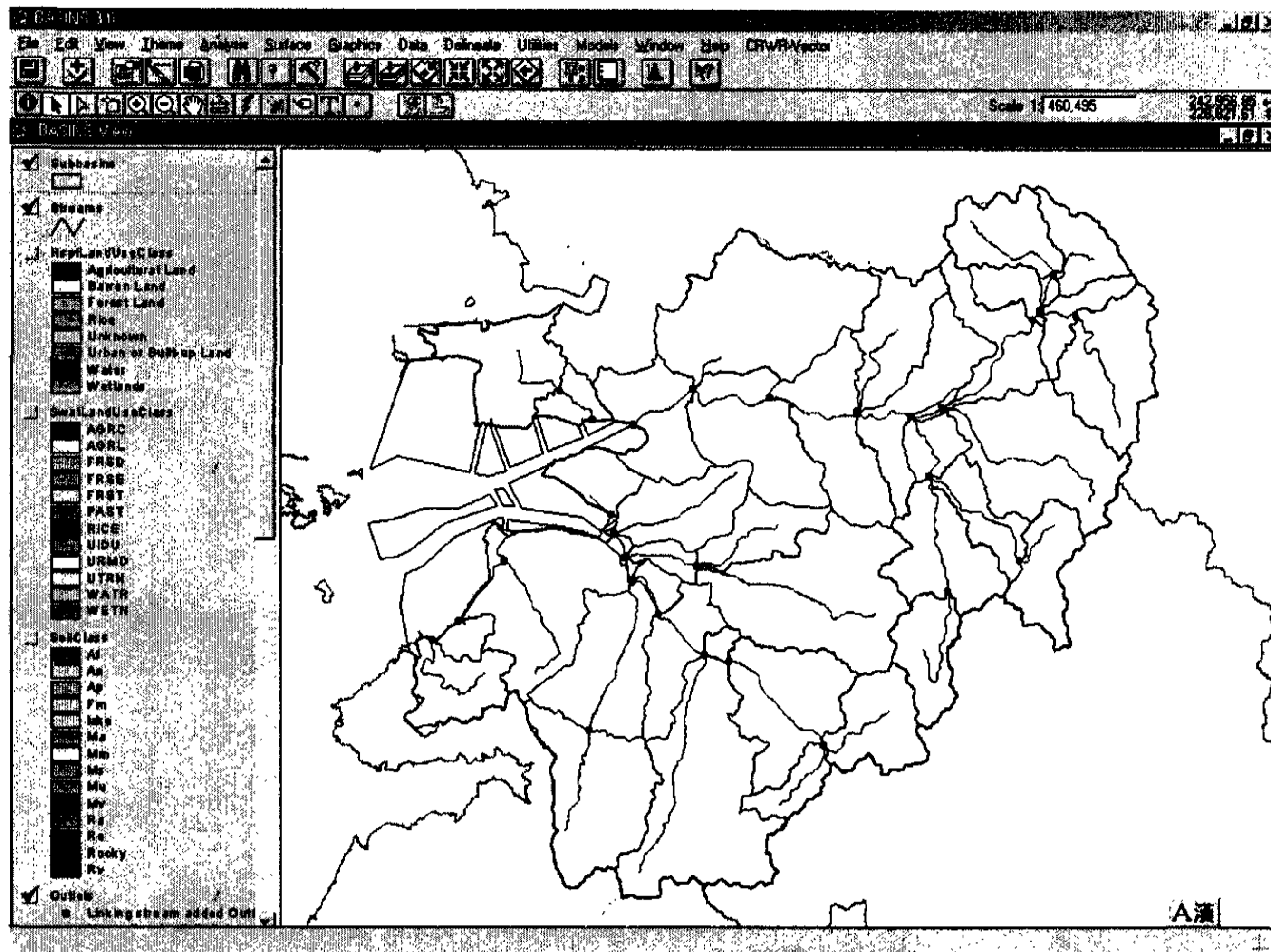
6) Stream definition에서 최소유역면적을 설정하고 Apply를 누르면 다음과

간은 결과가 나타난다.



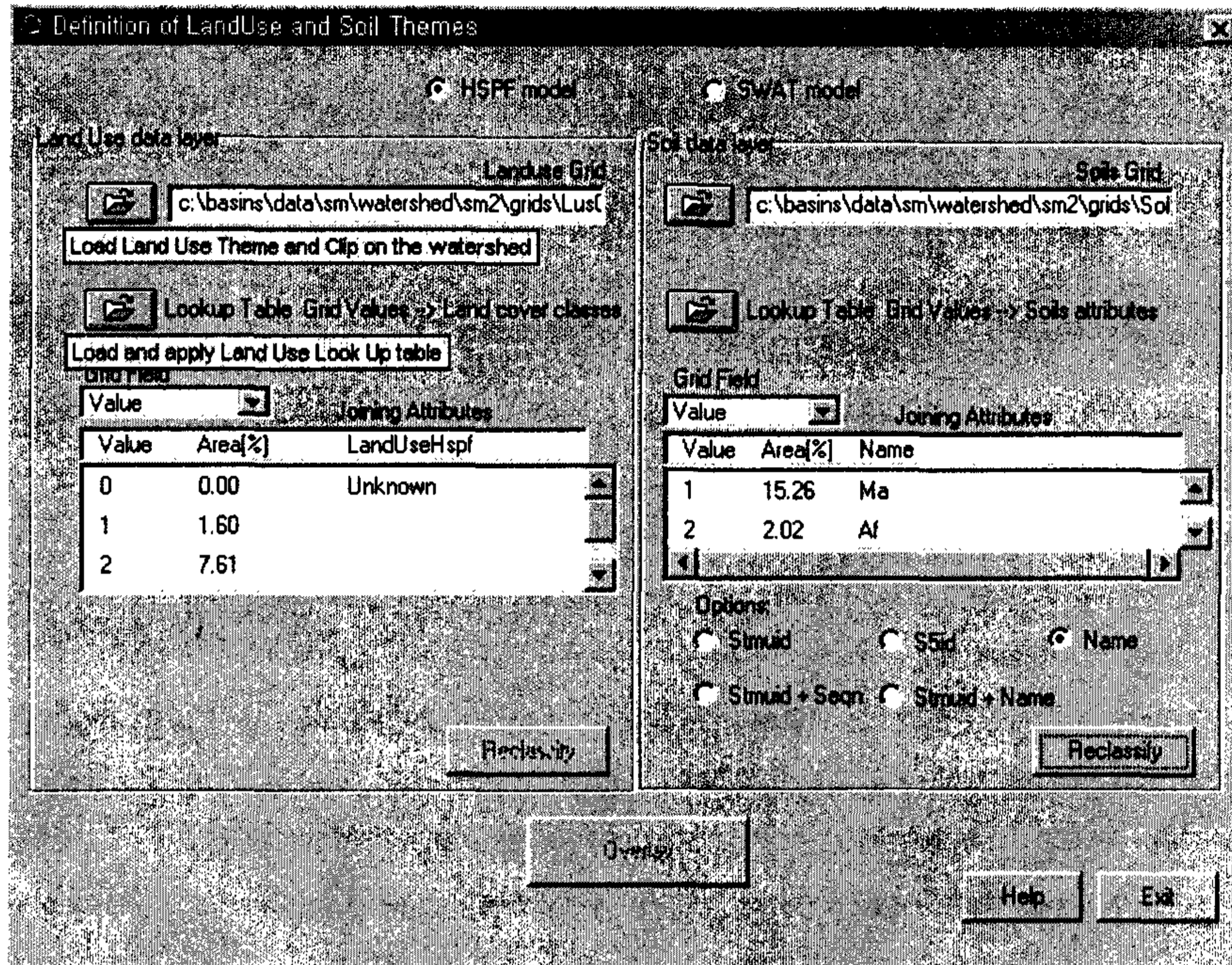
7) Outlet and Inlet definition에서 추가할 출구점을  버튼을 이용하고, 제거할 출구점은  버튼을 이용하여 유역의 출구점을 조절한다.

8) Main watershed outlet selection and definition을 버튼을 클릭하고 BASINS View에서 최저 말단부를 선택하고 Apply 버튼을 누르면 소유역과 소유역에 따른 새로운 하천도가 생성되며 그 결과는 다음과 같다.

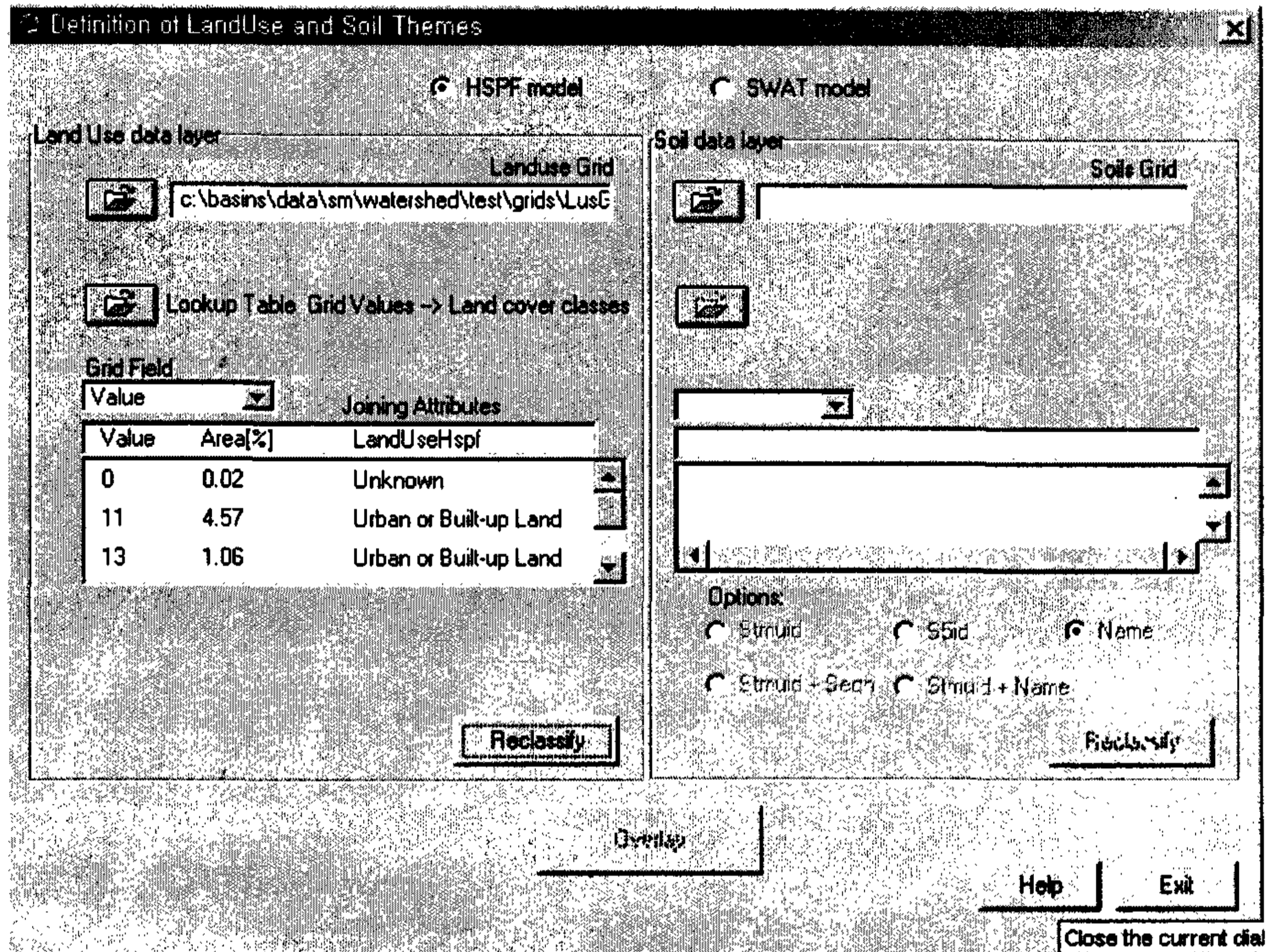


나. Land Use and Soil Definition

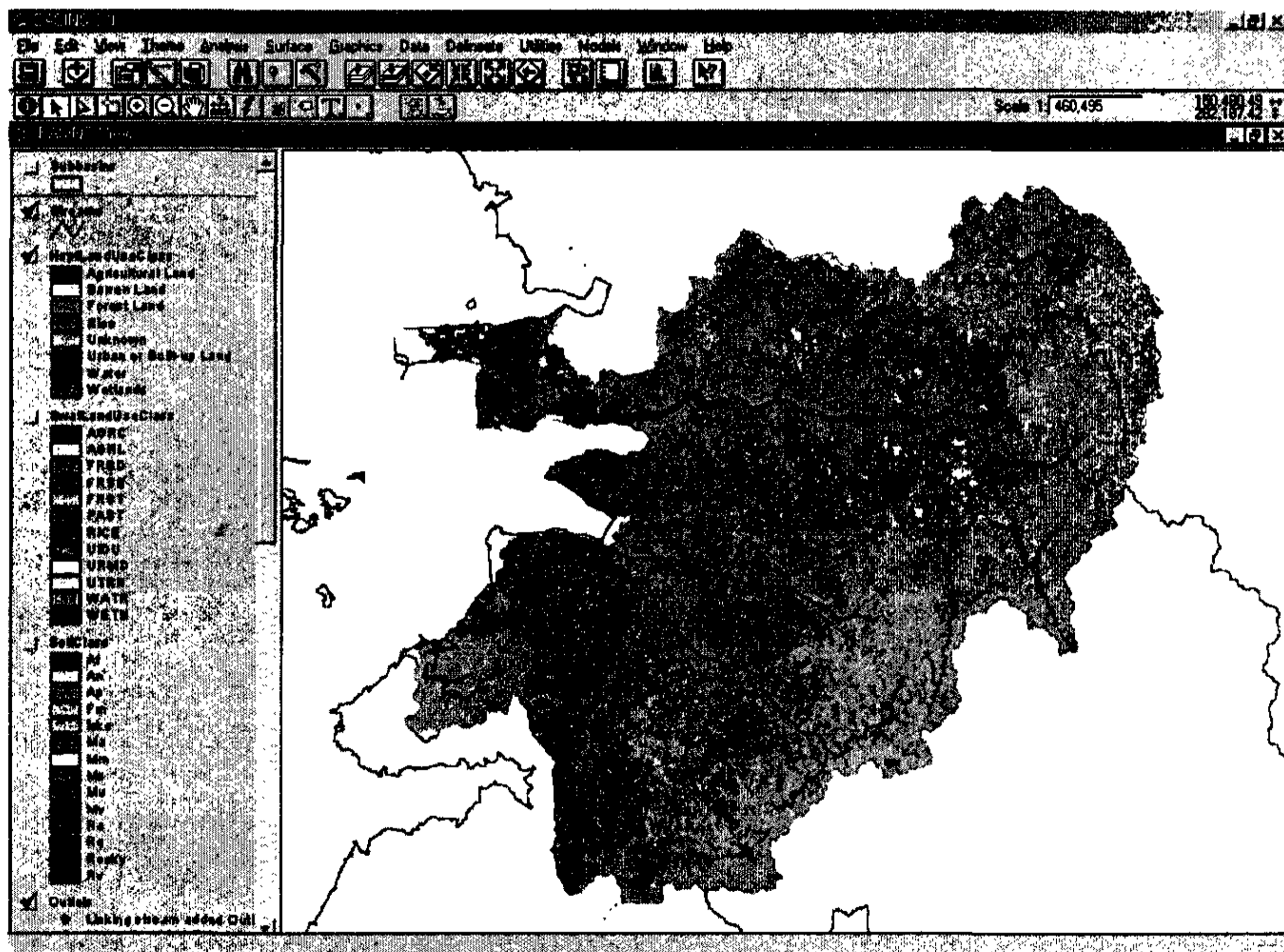
- 1) Utilities메뉴에서 Land Use and Soil Definition을 클릭한다.
- 2) Definition of LandUse and Soil Themes창에서 적용하고자할 모형을 선택한다(HSPF model 옵션을 선택).
- 3) Load Land Use Theme and Clip on the watershed버튼을 누르면 Set the Landuse grid창이 뜨는데, land use theme이 Basins View에 로딩되어 있지 않기 때문에 "Load Landuse theses(s) from disk"를 선택한 후 shape 형태의 land use 파일경로(C\BASINS\data\SM\landuse\landuse.shp)를 지정해준다.



4) Load and apply Land Use Look Up table 버튼을 누르면 Table Grid Value 창이 나타나며, 본 연구에서는 landuse를 LULC USGS 기준으로 분류를 하였기 때문에 Built in LULC USGS table을 선택한다.




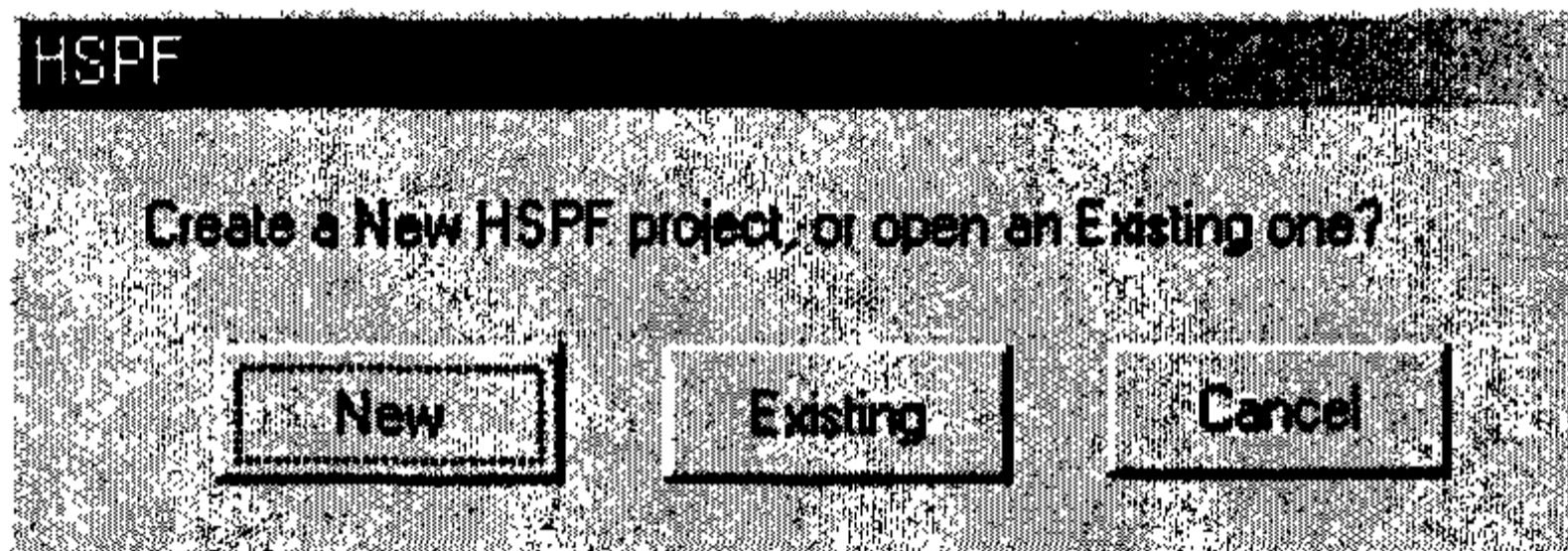
5) Reclassify 버튼을 누르면 다음과 같은 결과가 나타난다.



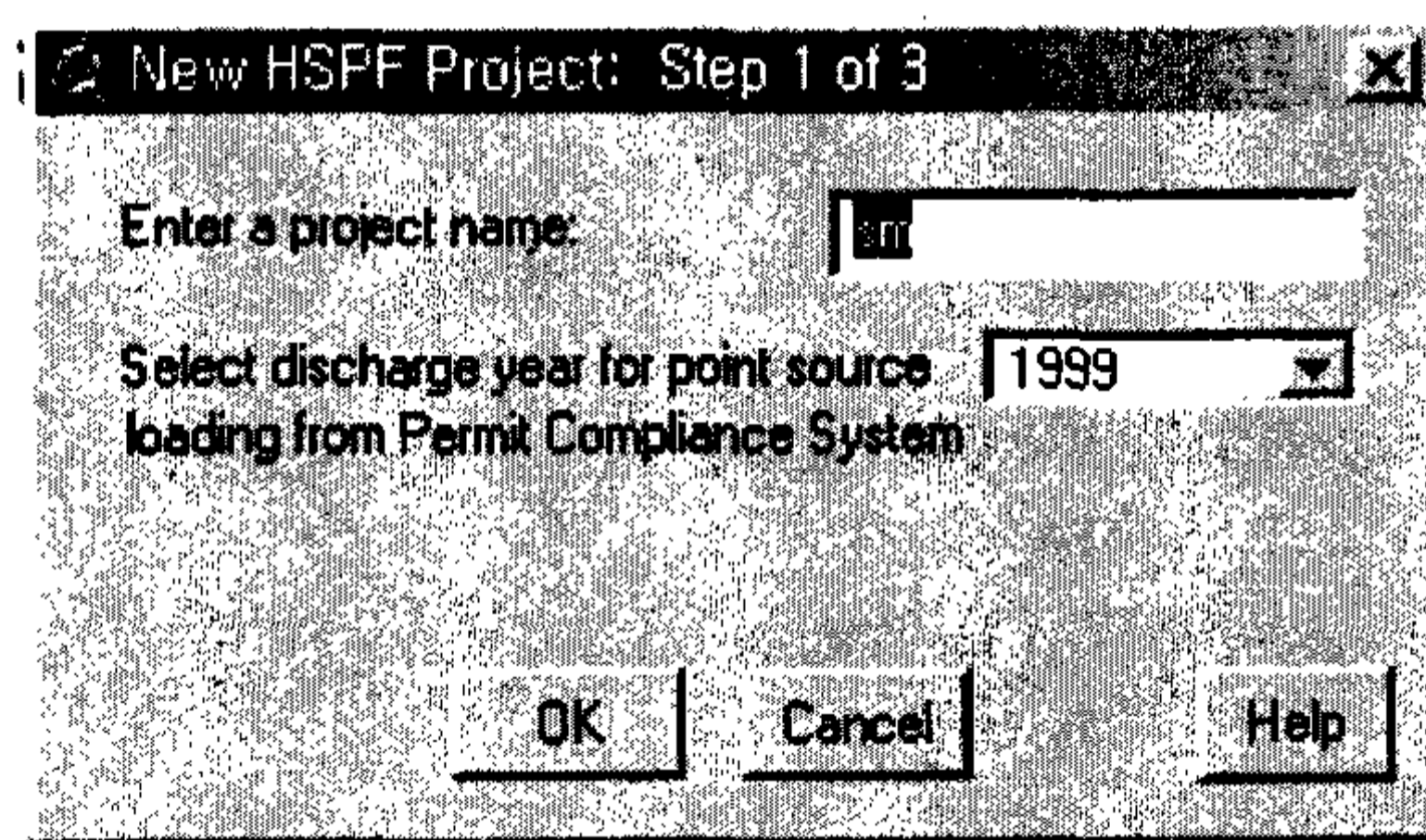


## 1.1.5 BASINS Models Tools

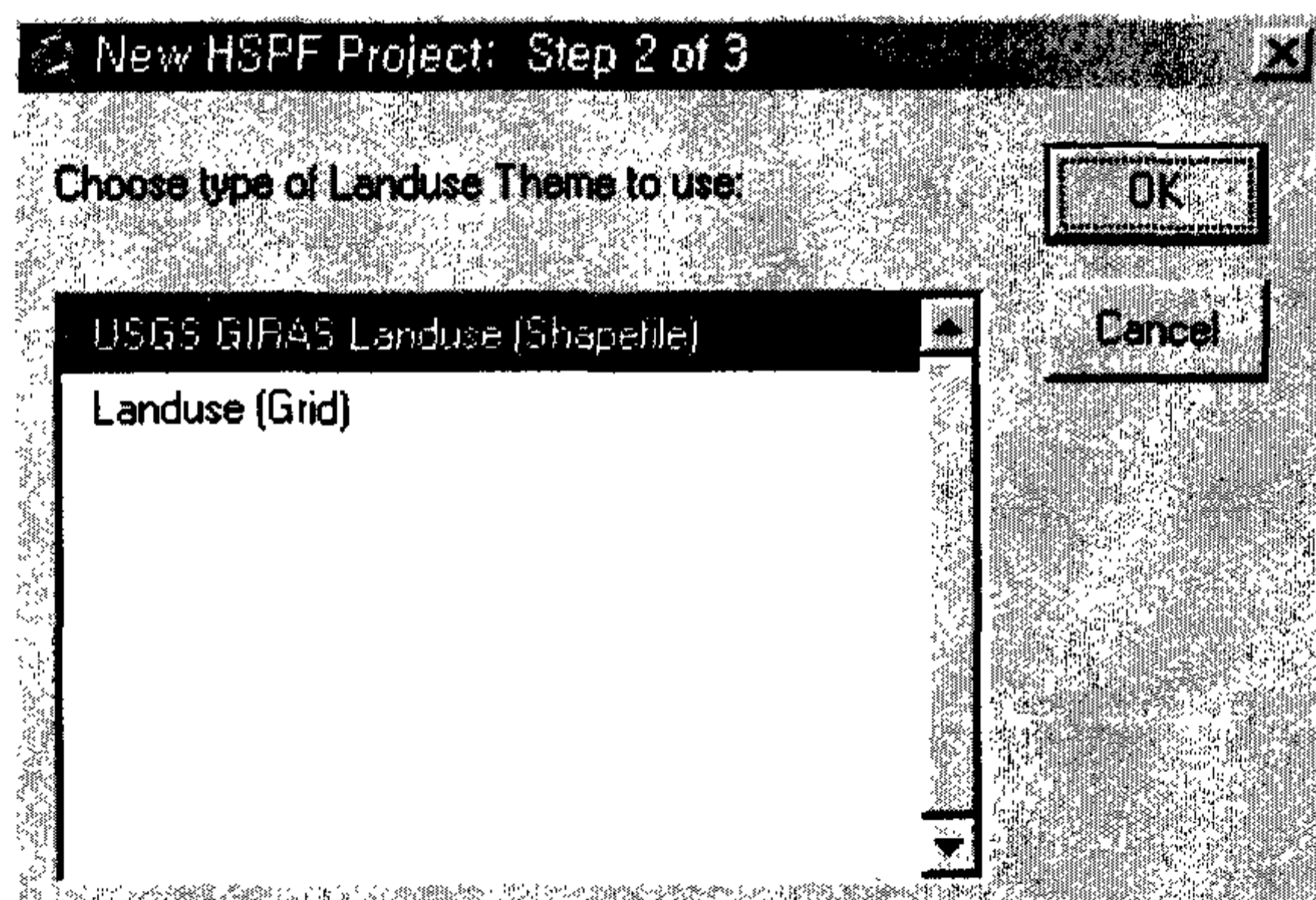
- 1) BASINS View에서 Subbasins Theme을 활성화시키고 모형을 적용하고자 하는 소유역을 Select feature()을 이용하여 선택한다.
- 2) Models메뉴에서 HSPF를 선택한다.
- 3) 새로운 HSPF 입력파일을 생성하려면 New버튼을 클릭한다.



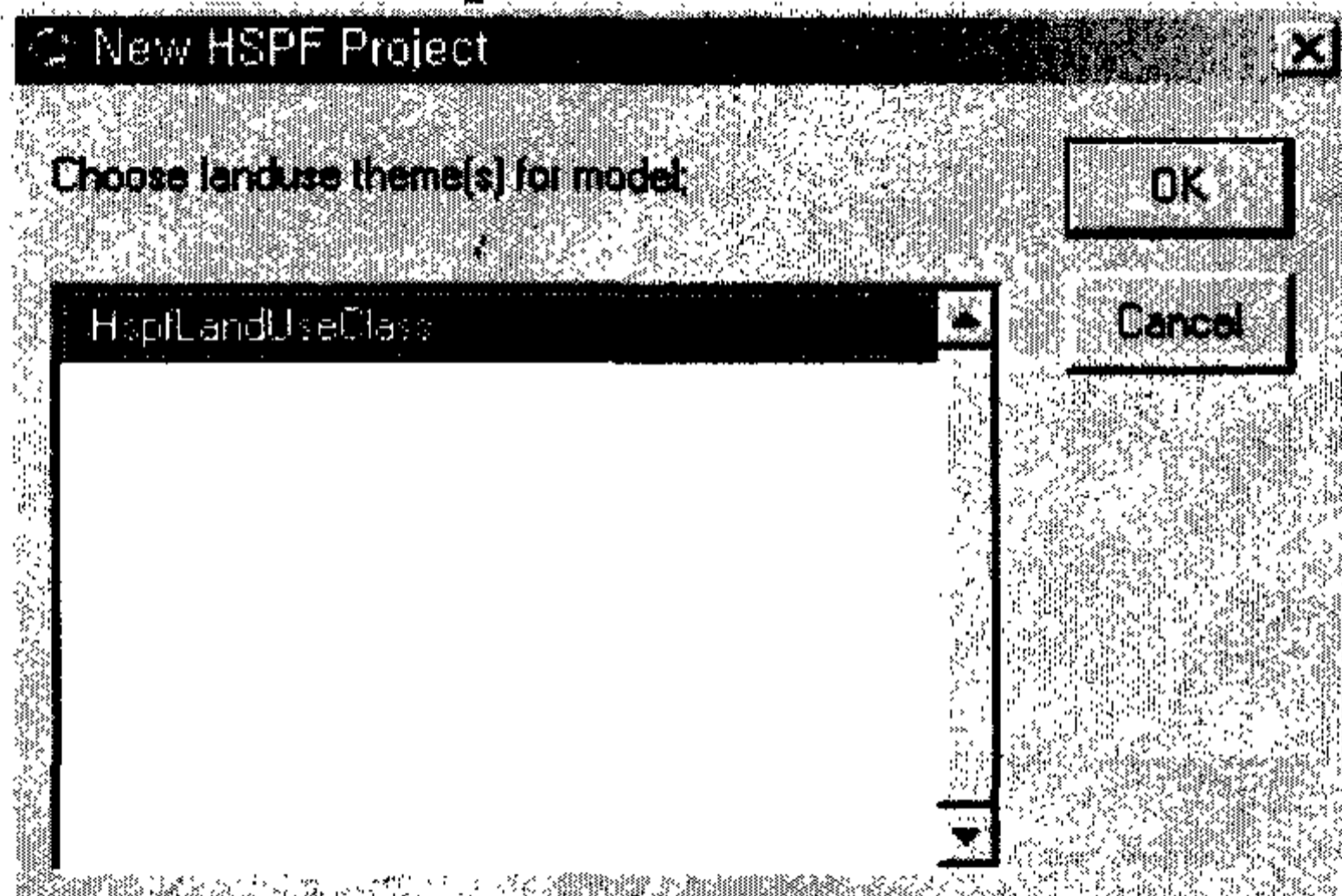
- 4) New HSPF Project: Step 1 of 3 창에서 project name에 새롭게 생성될 HSPF파일이름을 입력한다.



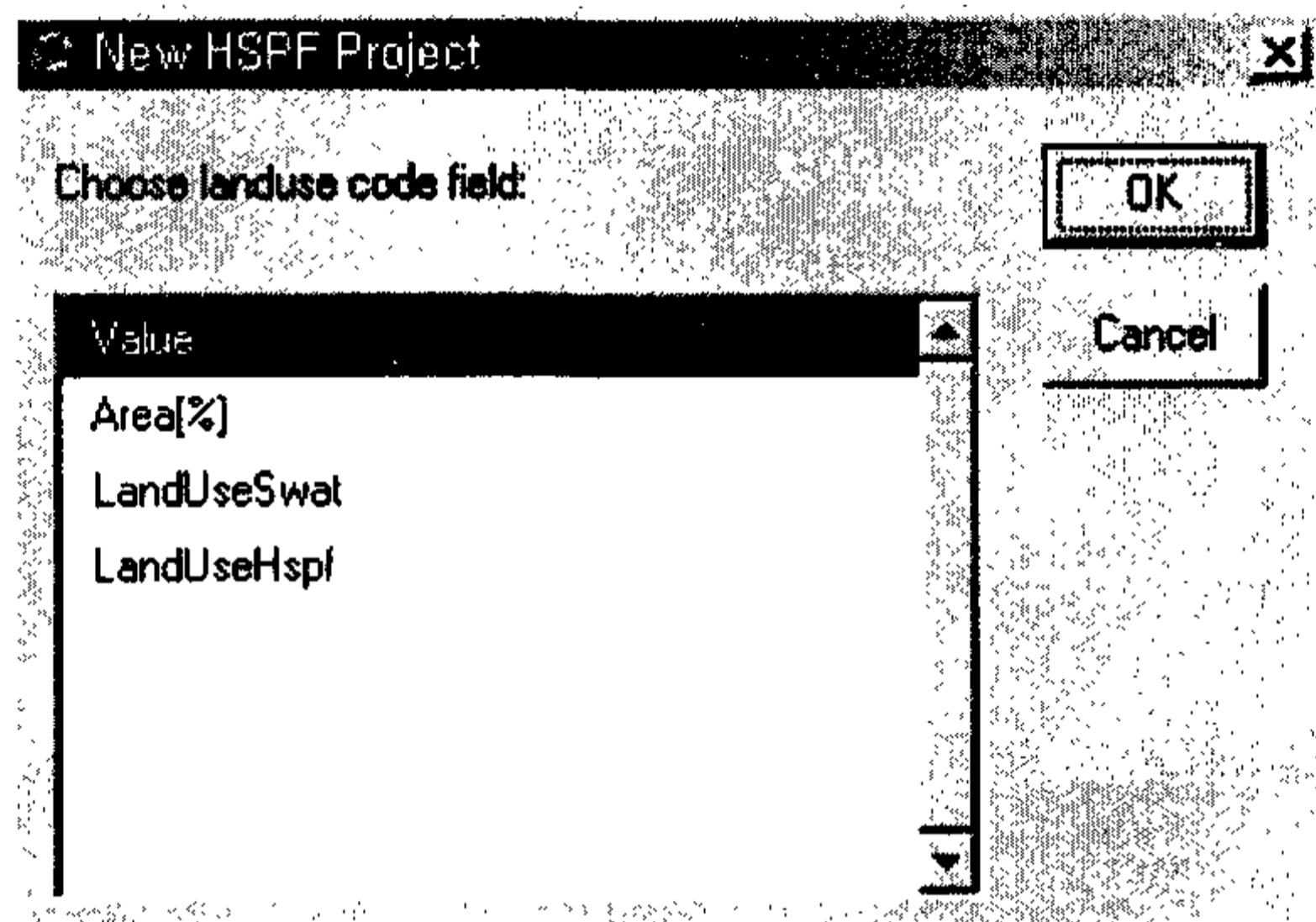
- 5) New HSPF Project: Step 2 of 3 창에서 Land Use type을 Landuse(Grid)를 선택한다.



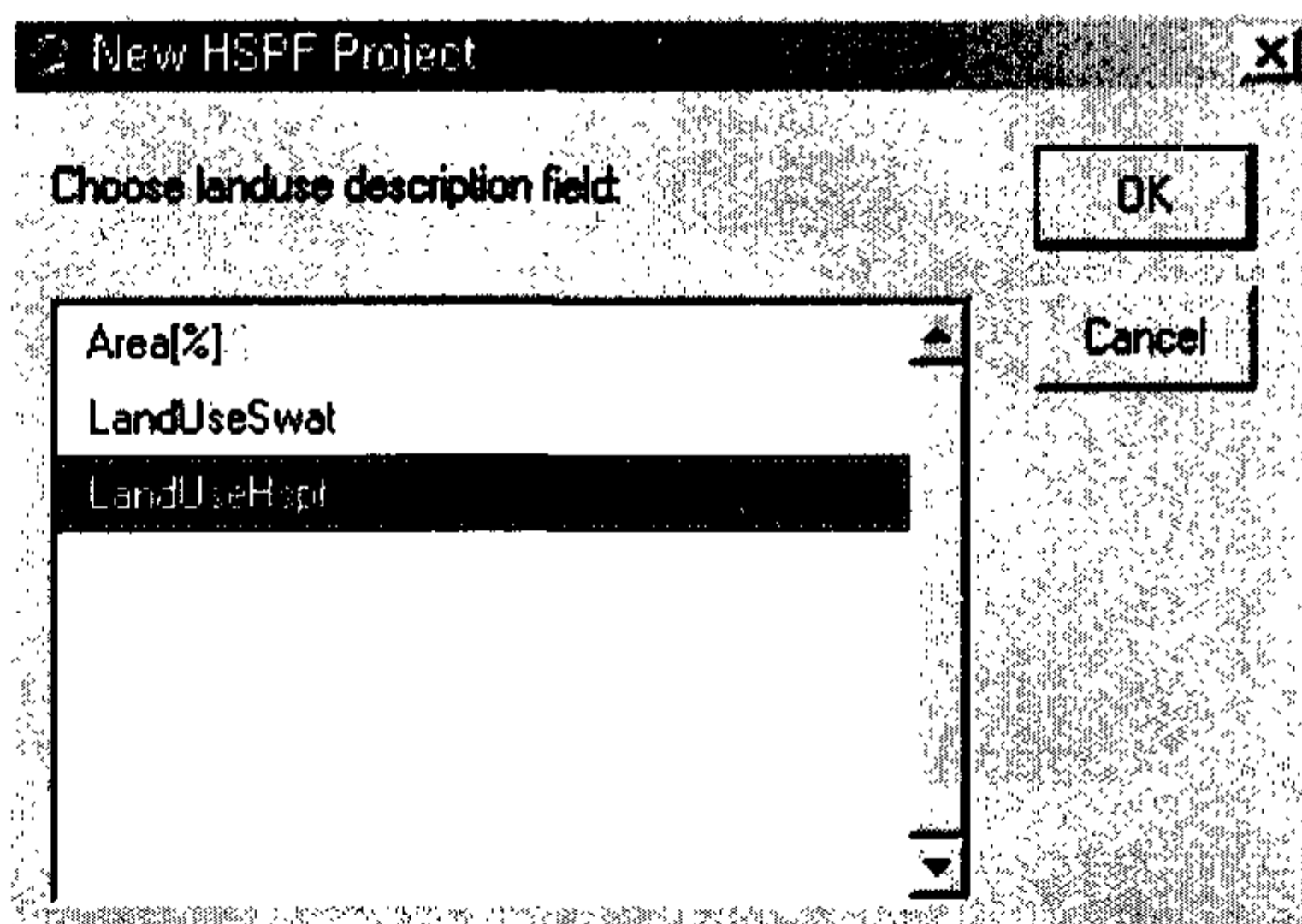
6) New HSPF Project의 Choose landuse theme(s) for model 창에서 HspflandUseClass를 선택한다.



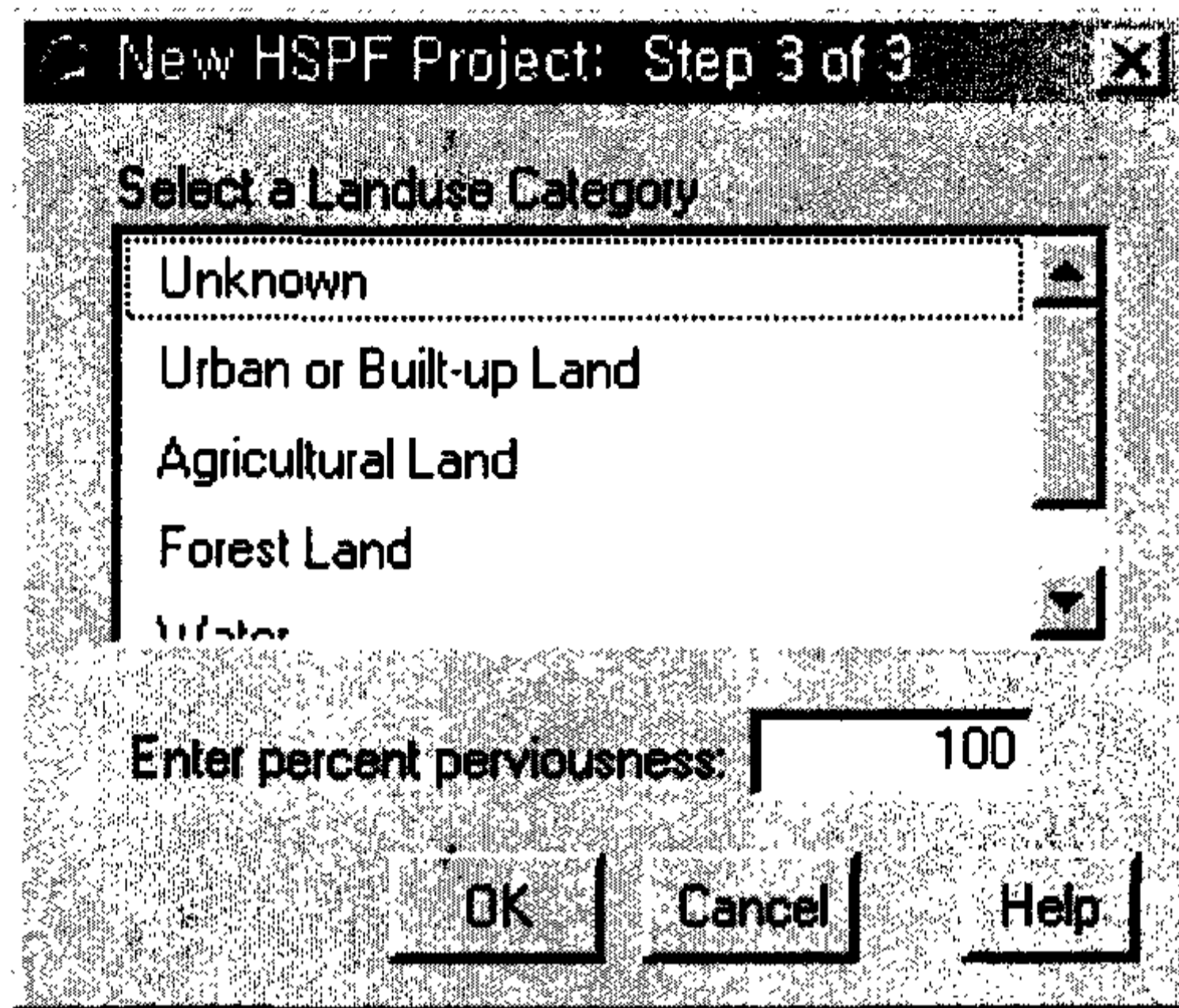
7) New HSPF Project의 Choose landuse code field 창에서 Value를 선택한다.



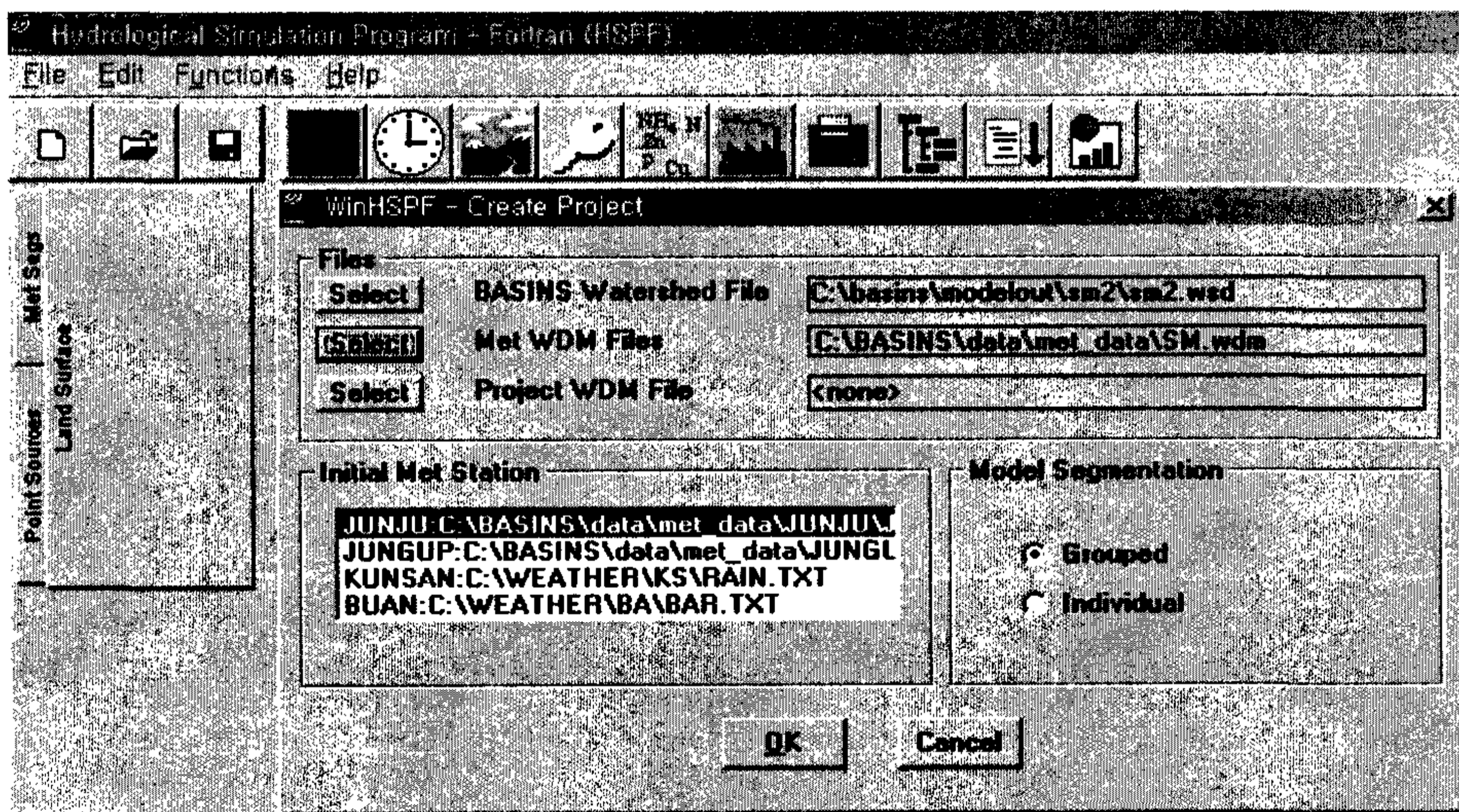
8) New HSPF Project의 Choose landuse description field 창에서 LandUseHspf를 선택한다.



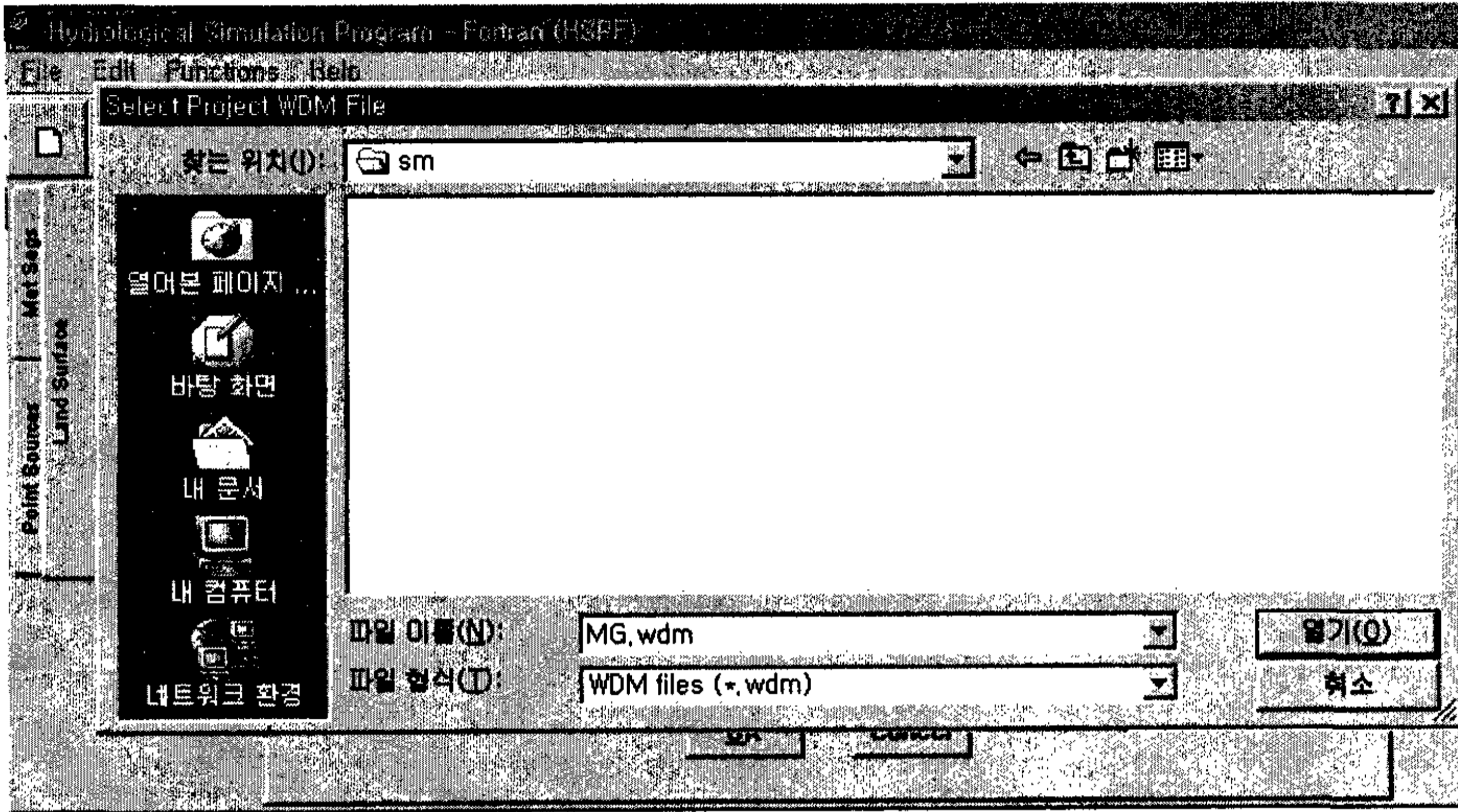
9) New HSPF Project: Step 3 of 3의 Select a Landuse Category창에서 각각의 토지이용에 대한 불투수층 면적비율을 입력한다.



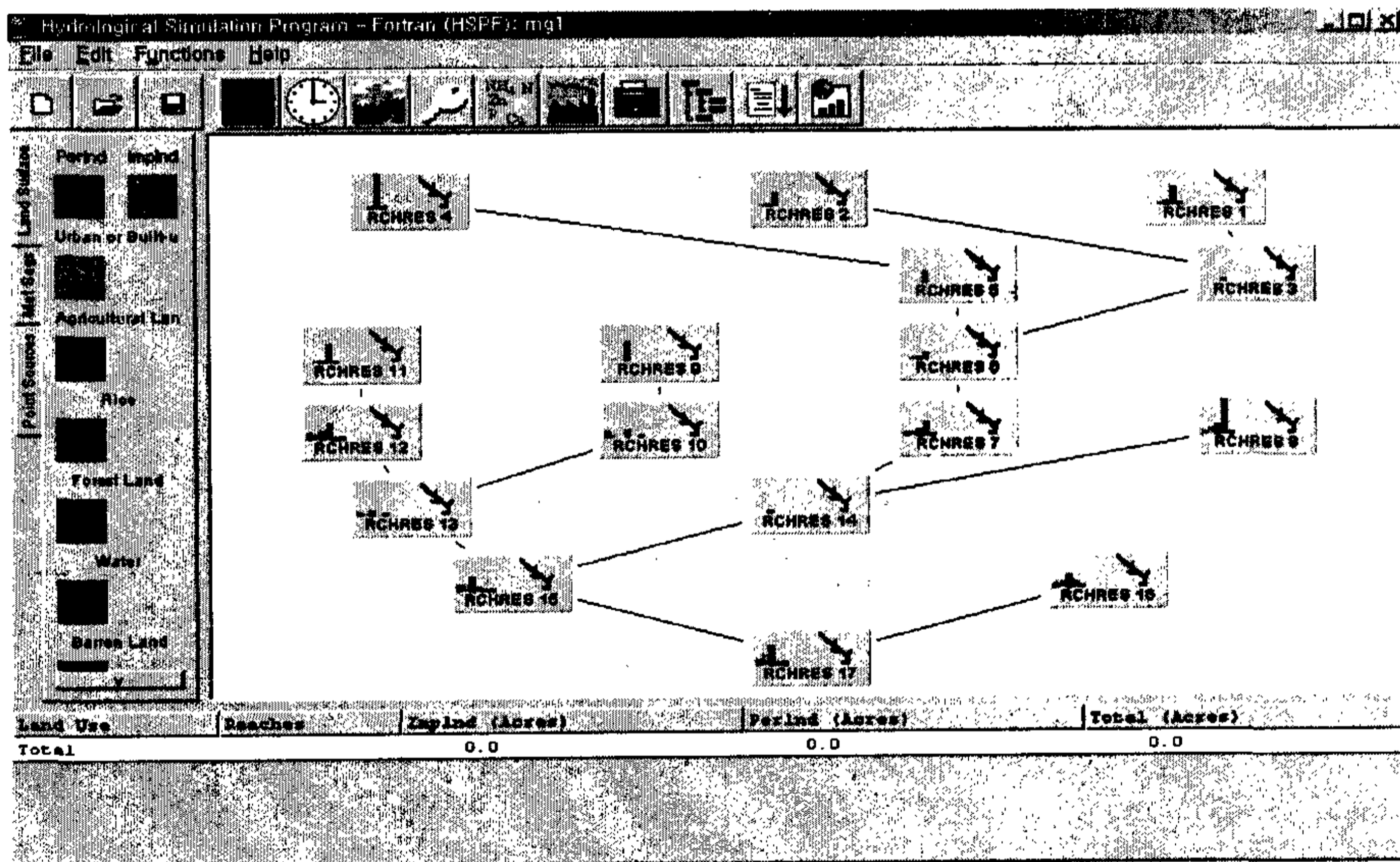
10) 다음과 같은 WinHSPF 기본창이 나타나면 Select Met WDM Files 버튼을 누른 후 기상자료가 저장된 wdm file의 경로 (C:\BASINS\data\met\_data\SM.wdm)를 지정한다.



11) Select Project WDM File 버튼을 누른 후 HSPF의 결과값이 저장될 wdm file의 경로(C:\BASINS\modelout\SM)를 지정하고 새롭게 생성될 파일이름(MG.wdm)을 입력한다.




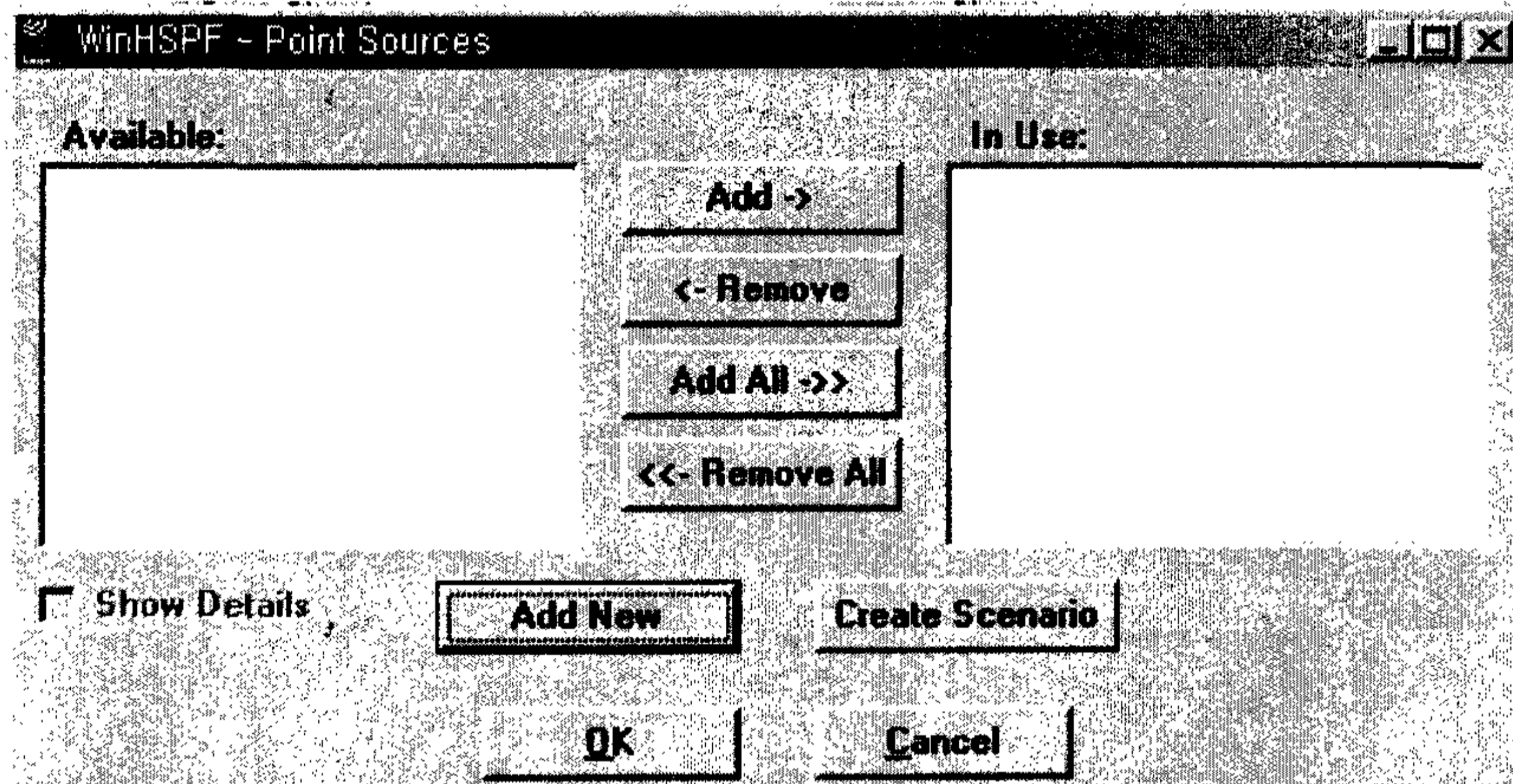
12) OK 버튼을 누르면 다음과 같은 HSPF 초기 화면이 나타난다.



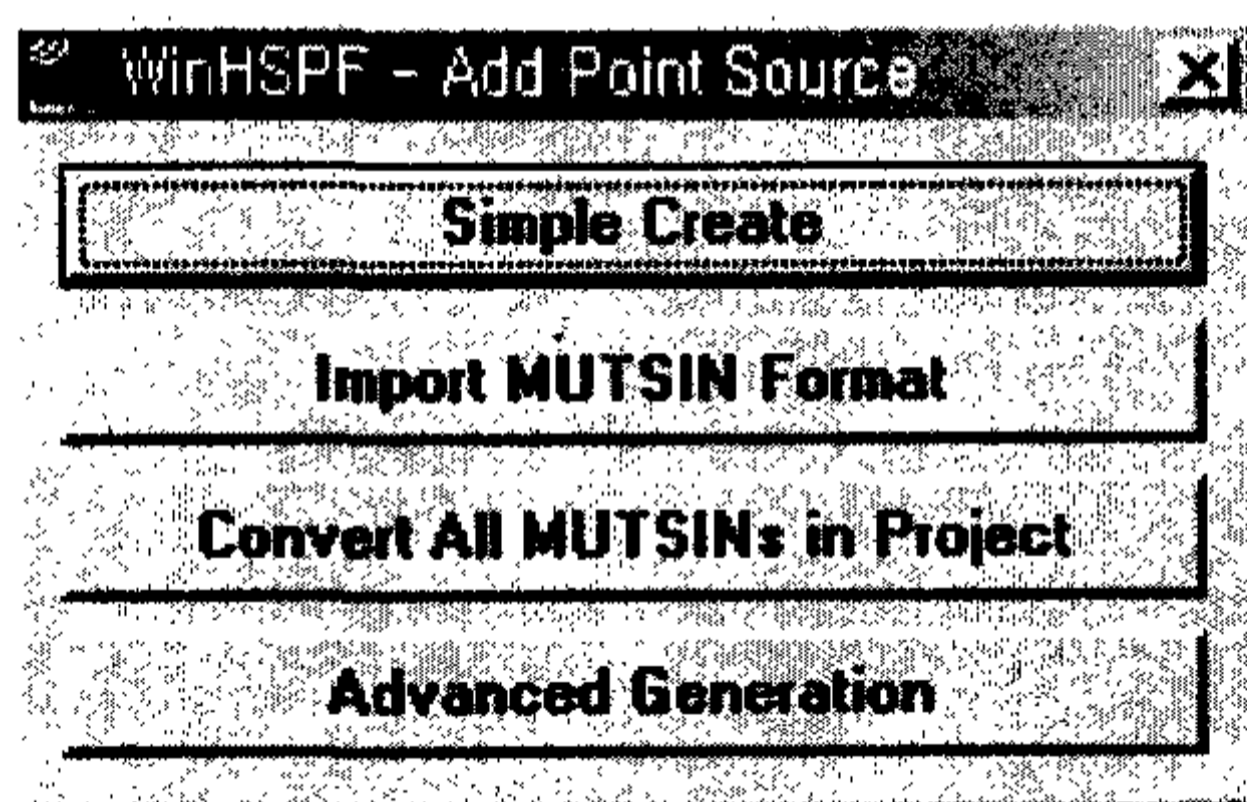
## 1.2 HSPF

### 1.2.1 HSPF 오염부하량 구축

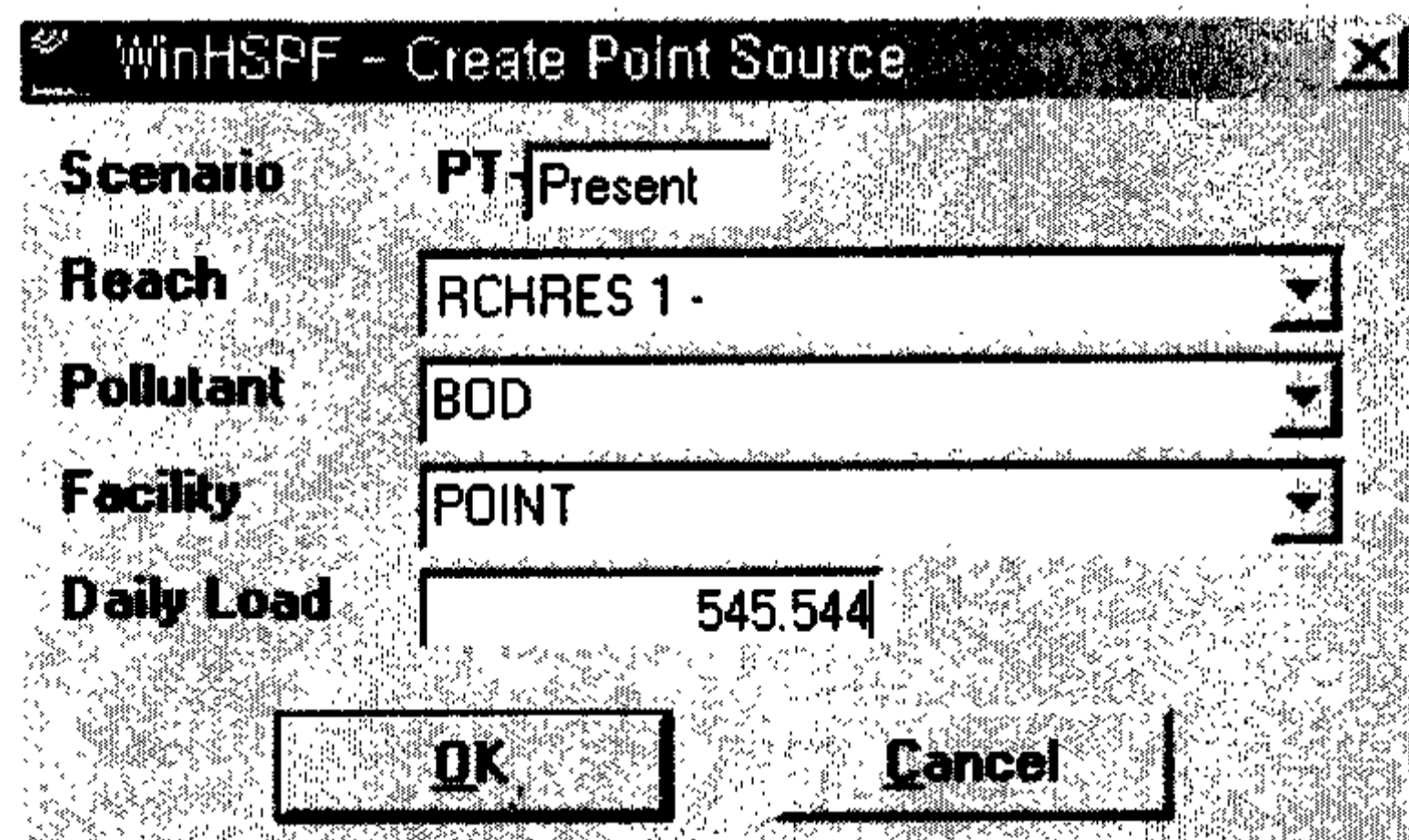
1) HSPF의 Point source 버튼()을 클릭한다.



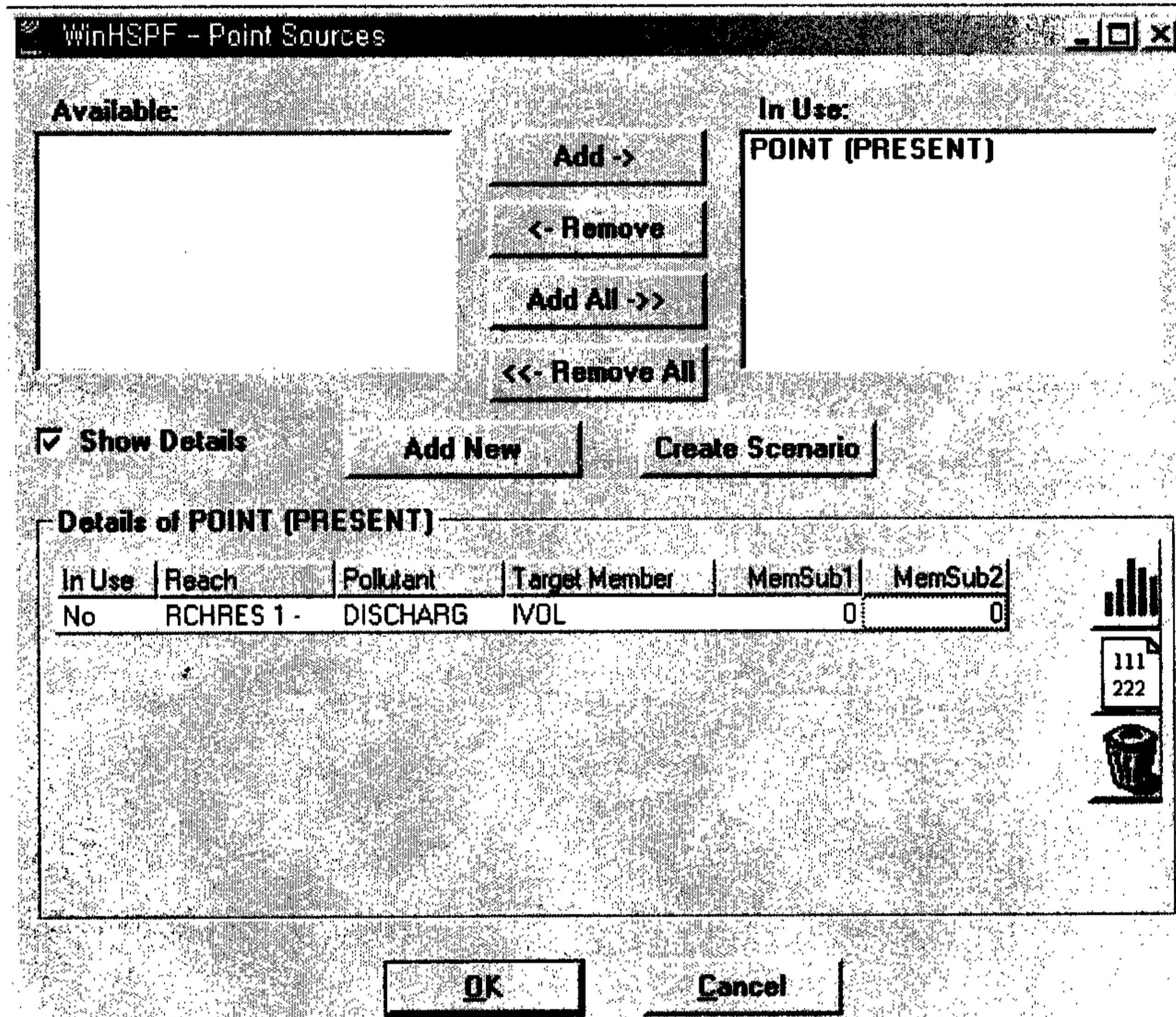
2) 새로운 점오염원을 추가하기 위해서 Add New버튼을 클릭한다.



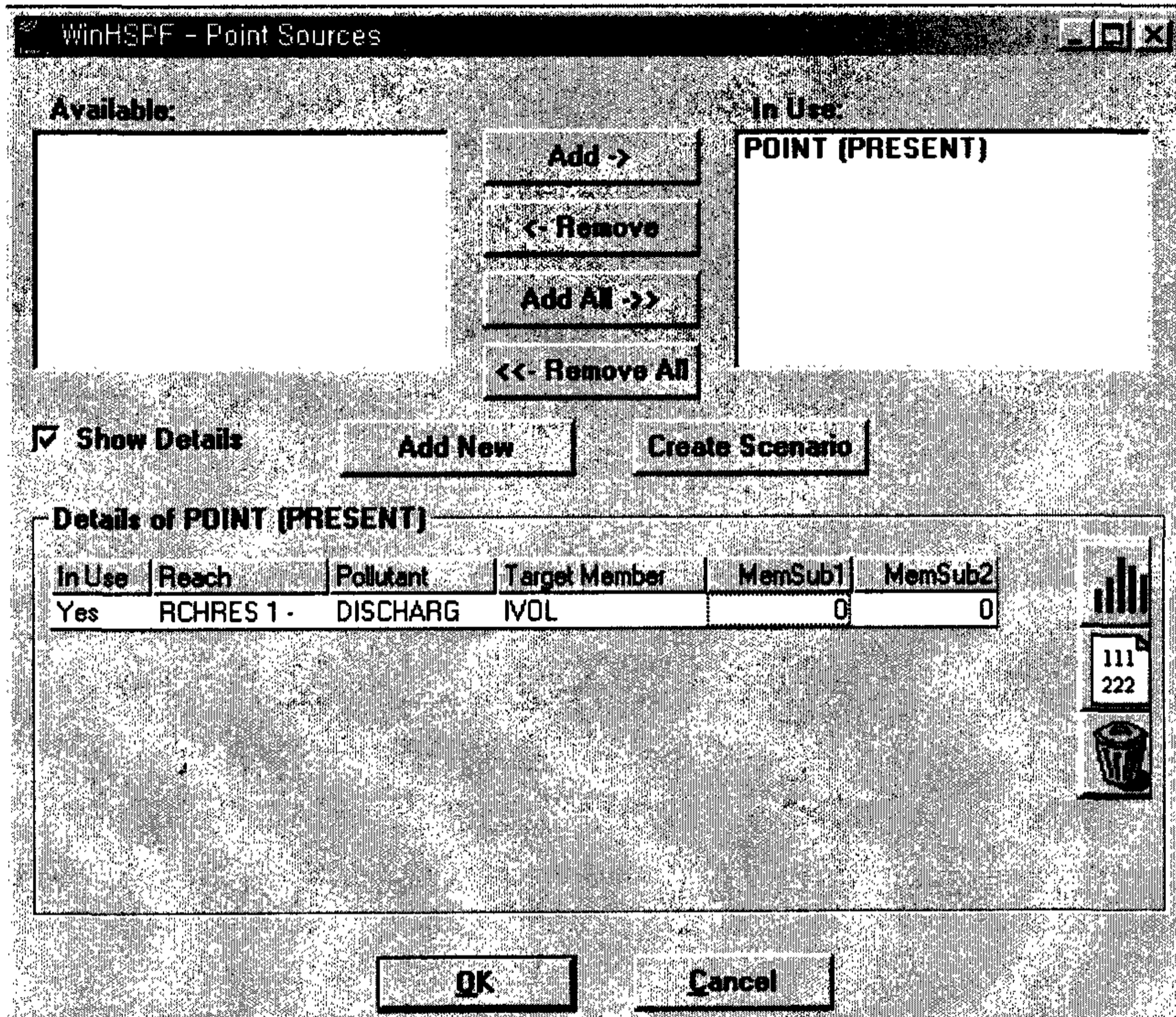
3) WinHSPF - Add Point Source창에서 Simple Create 버튼을 클릭하여, 오염원이 유입되는 하천번호, 오염물질의 종류, 부하량 등을 입력한다.




4) WinHSPF - Point Source 창의 "Available:"에 새롭게 기입한 오염원이 나타나며 이를 선택하여 Add버튼( **Add ->** )을 클릭하여 "In Use:"로 이동시킨다.

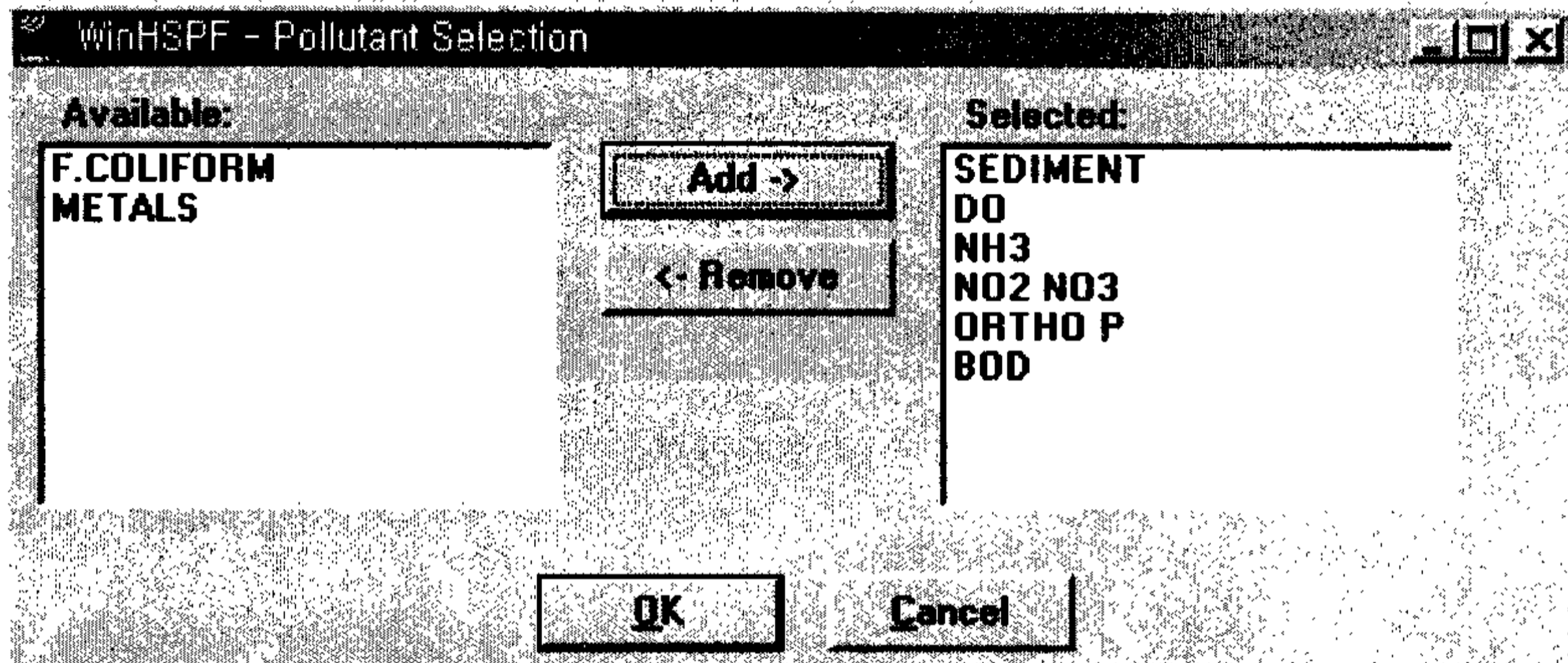


5) Details of POINT (PRESENT) 창의 각각의 항목을 필요에 맞게 수정하여 OK 버튼을 누른다.




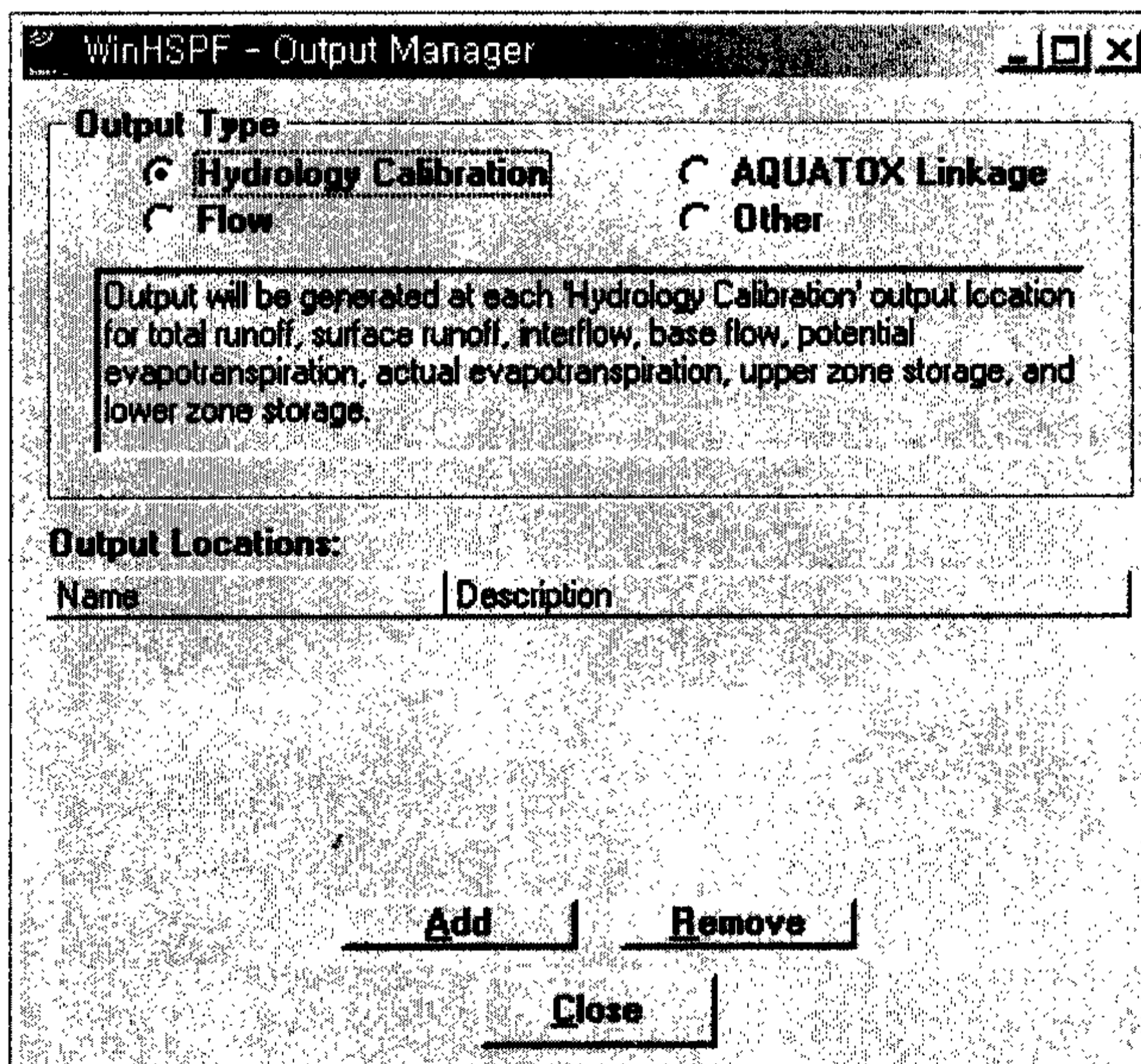
## 1.2.2 수질항목 선택

- 1) Pollutant Selection 버튼(  )을 클릭한다.
- 2) WinHSPF-Pollutant Selection창의 "Available:"에 모의하고자 하는 수질항목을 선택하여 Add버튼을 눌러 Selected로 이동시킨 후 OK버튼을 누른다.



## 1.2.3 출력항목 선택

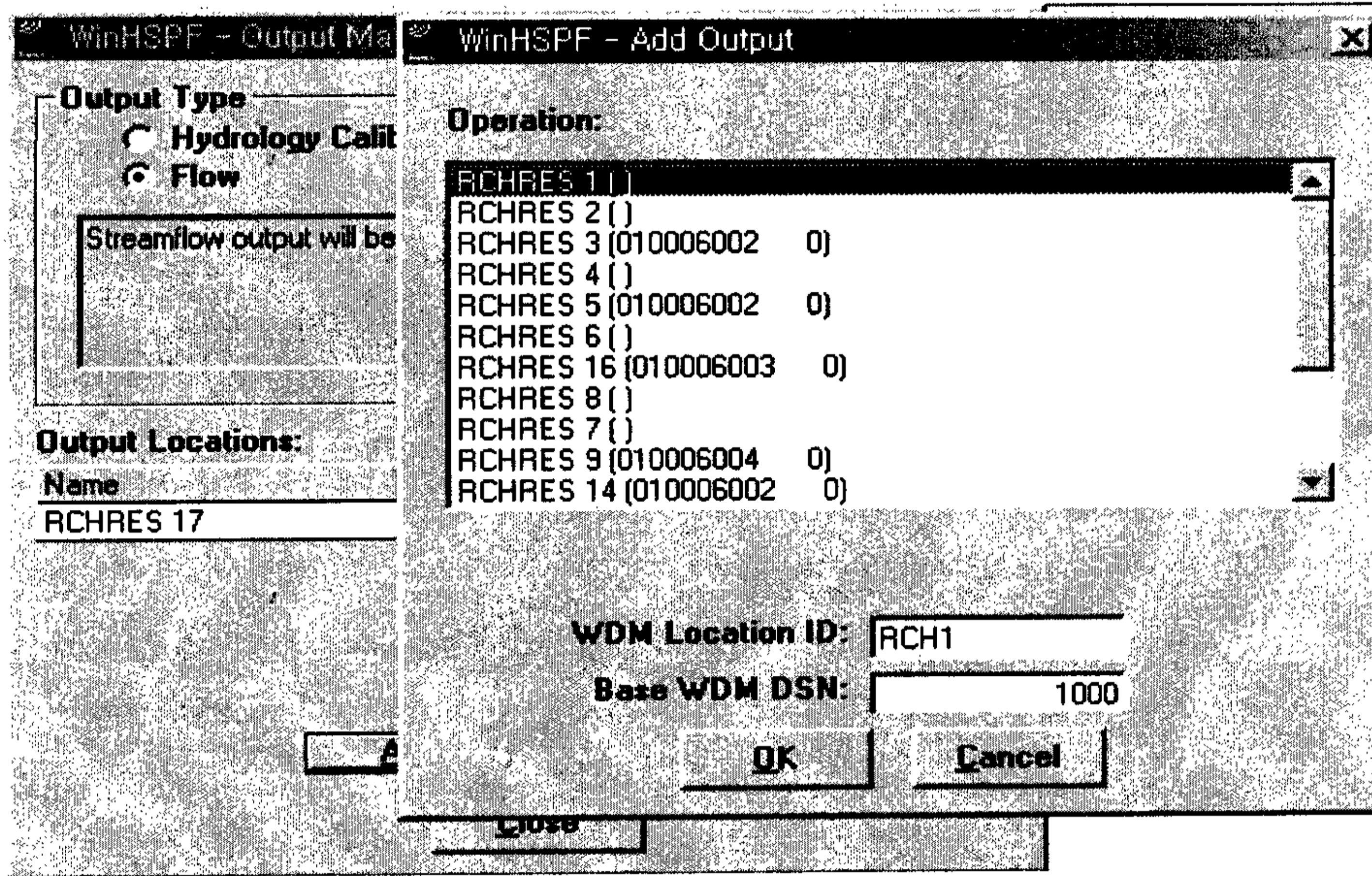
Output manager버튼(  )을 누른다.



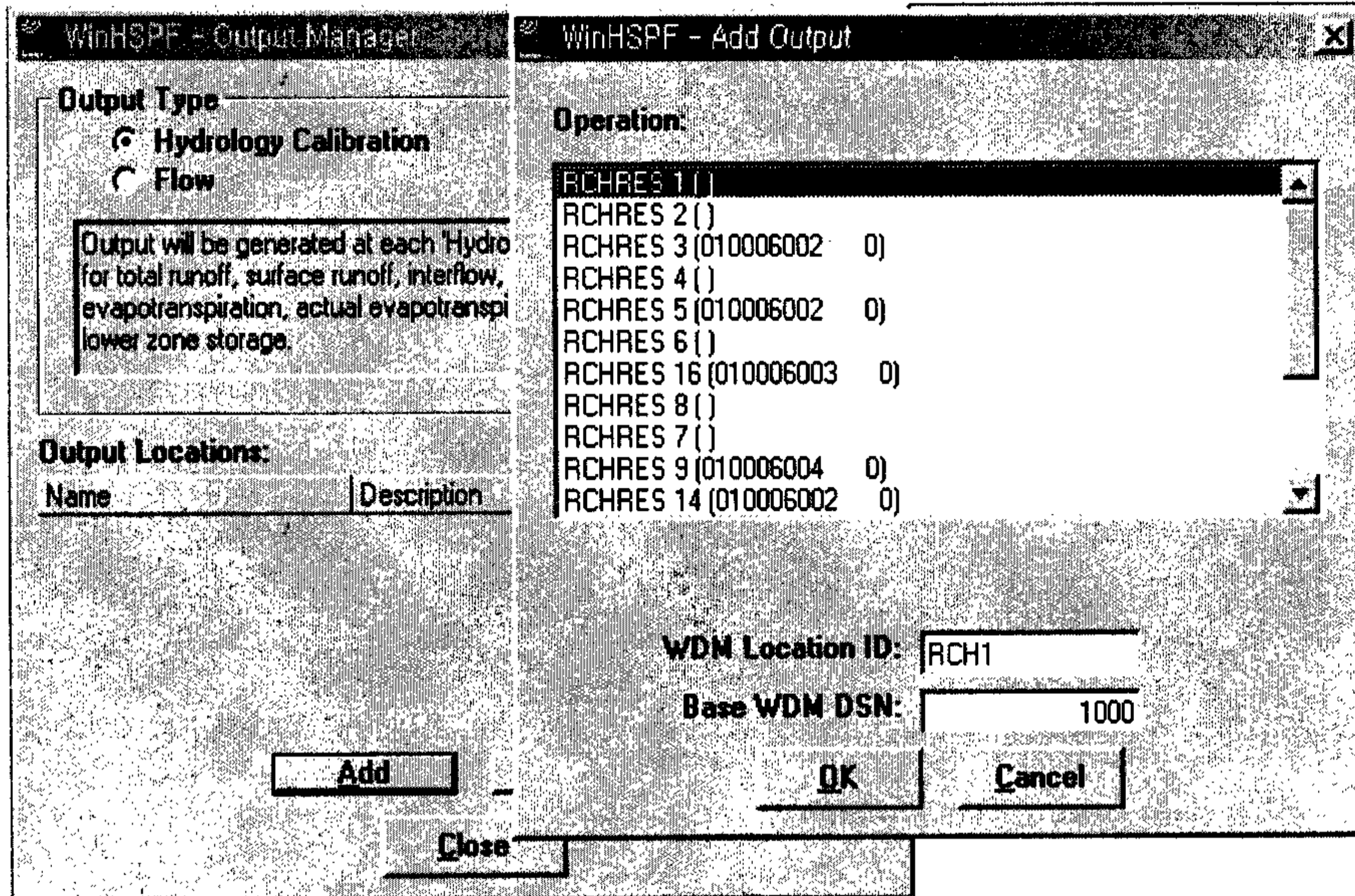
가 수문관련



1) 유량의 경우 최하류를 기본적으로 출력되도록 되어있다. 그 외의 지점을 추가시키기 위해서는 Add 버튼을 눌러 출력하고자 하는 Reach번호를 선택하고 OK버튼을 누른다.

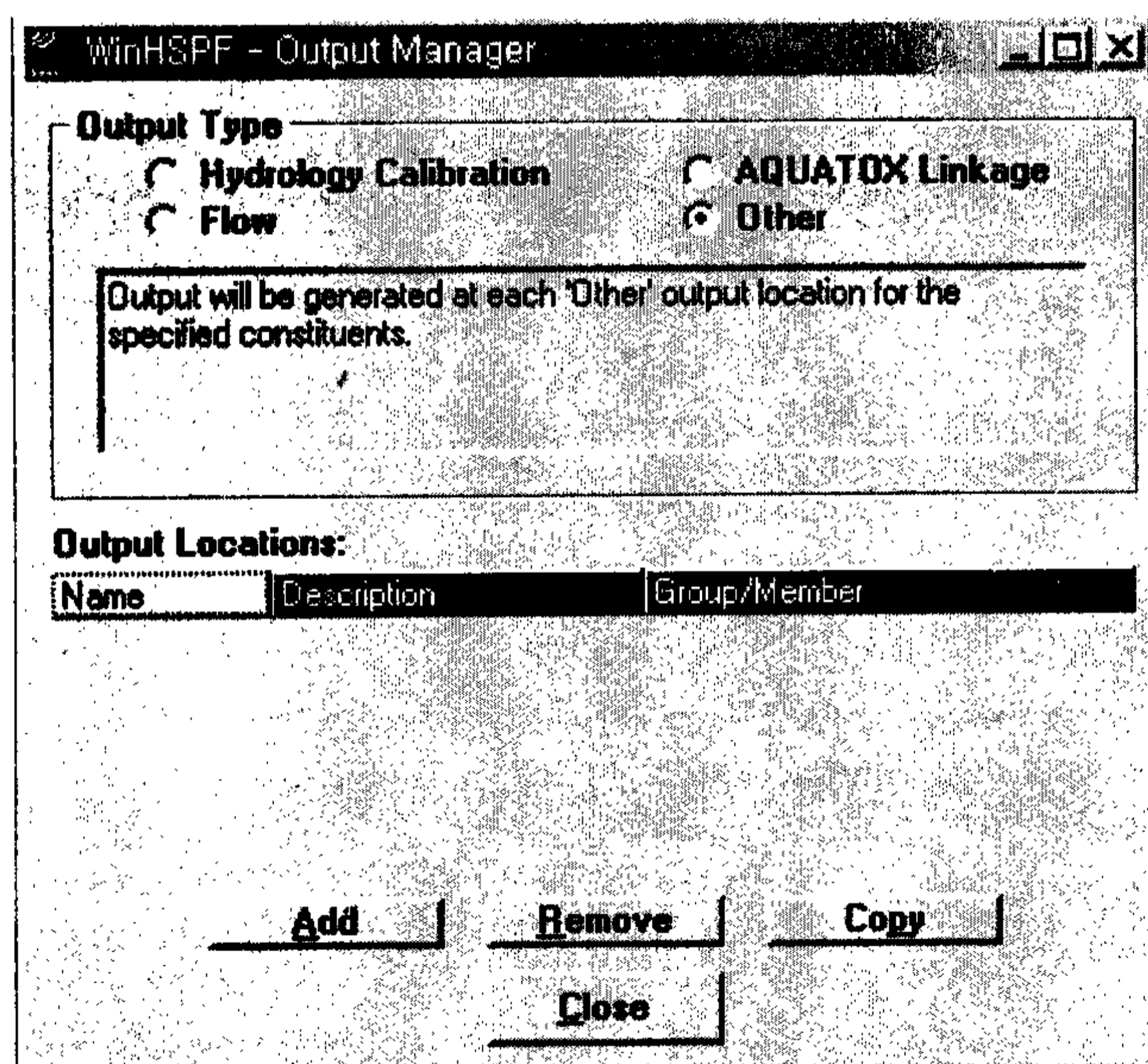


2) 보다 자세한 수문학적 모의 결과(총 유출량, 지표유출량, 기저유출량, 토양상층저류깊이, 토양하층저류깊이 등)를 보고자 할 경우 WinHSPF-Output Manager창의 Hydrology Calibration 옵션 버튼을 선택하고 원하는 Reach 번호를 선택하여 OK버튼을 누른다.

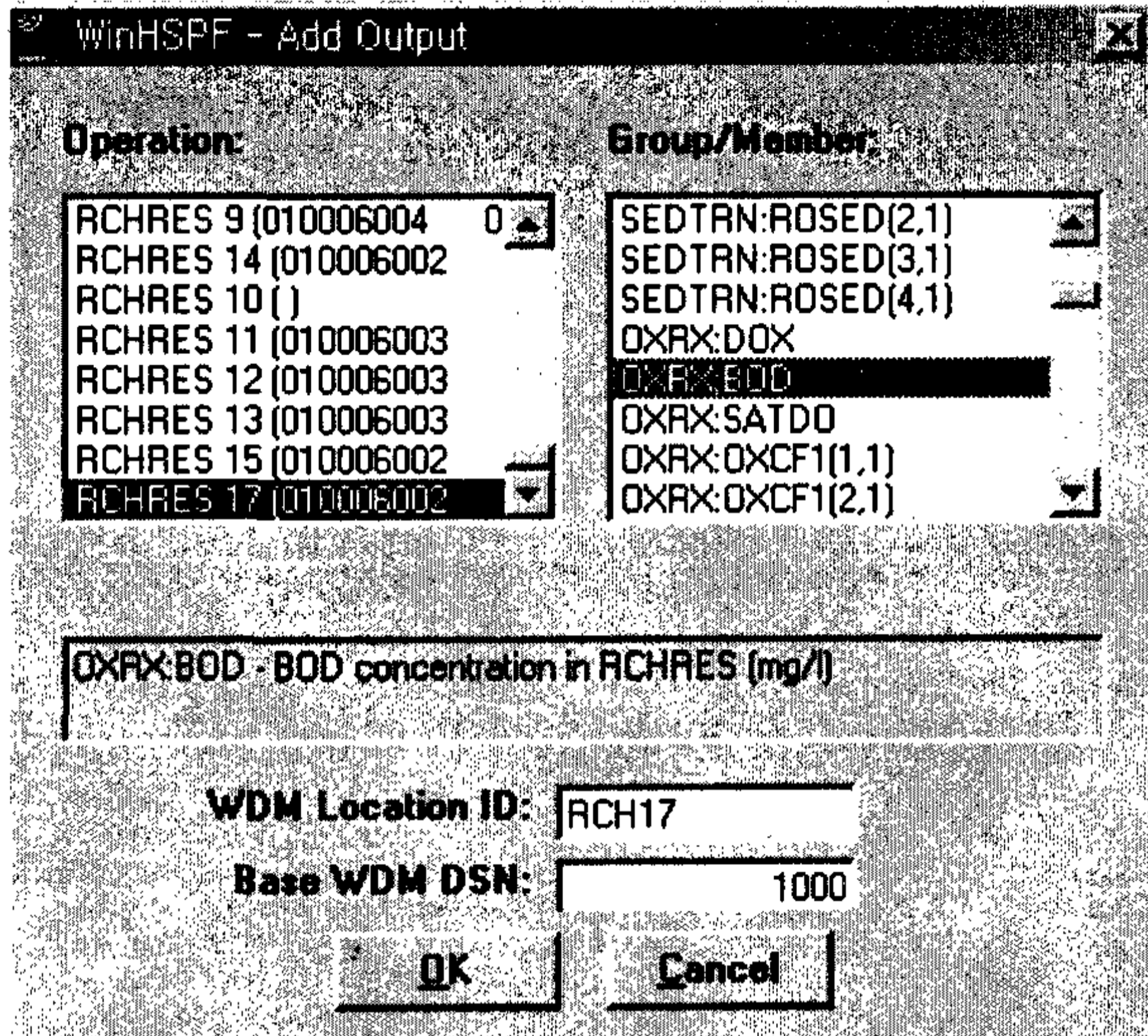


나. 수질관련

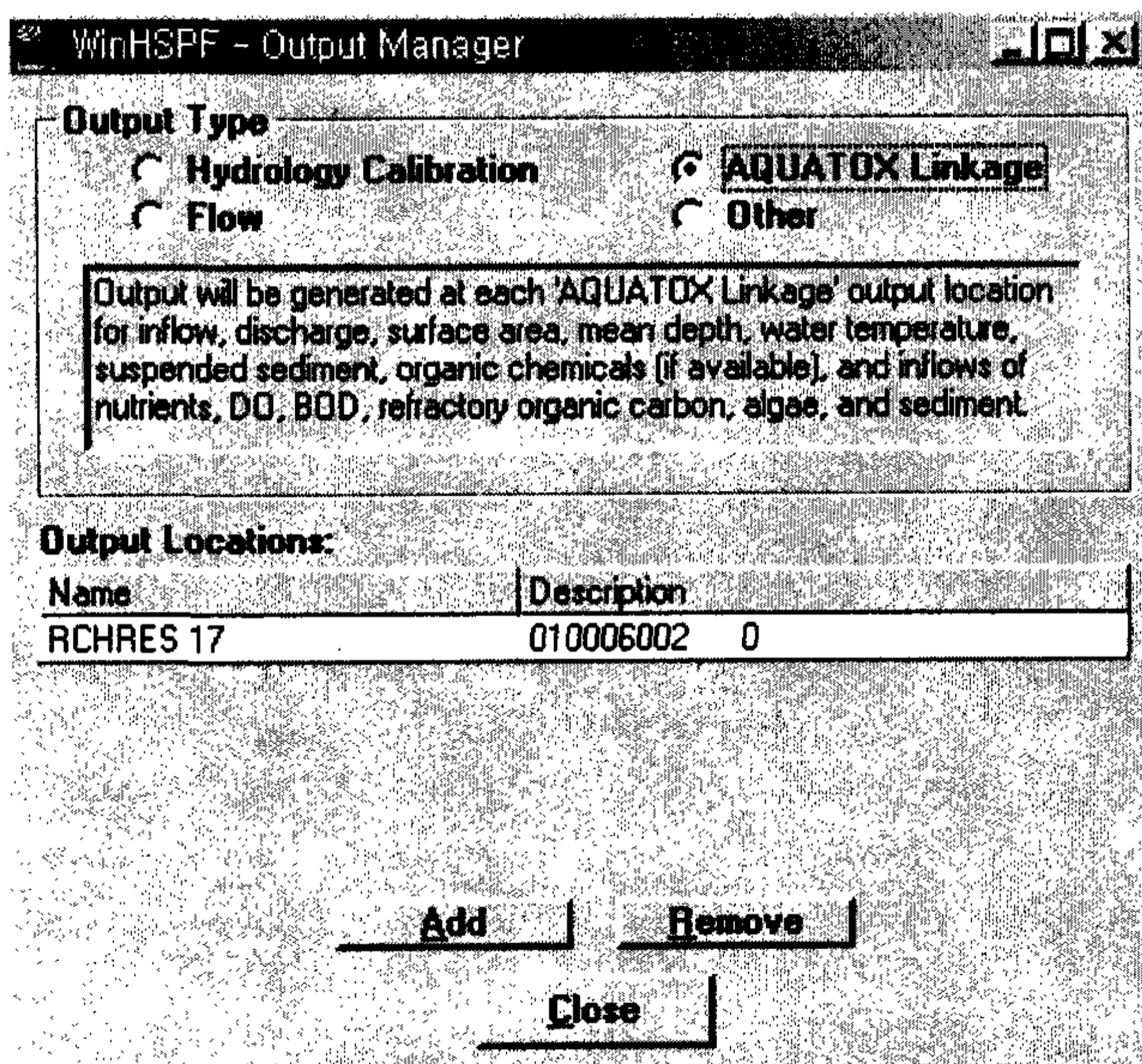
1) WinHSPF-Output Manager 창의 Others 옵션버튼을 선택한다.




2) Add 버튼을 눌러 출력하고자 하는 지점과 수질항목을 선택한다.

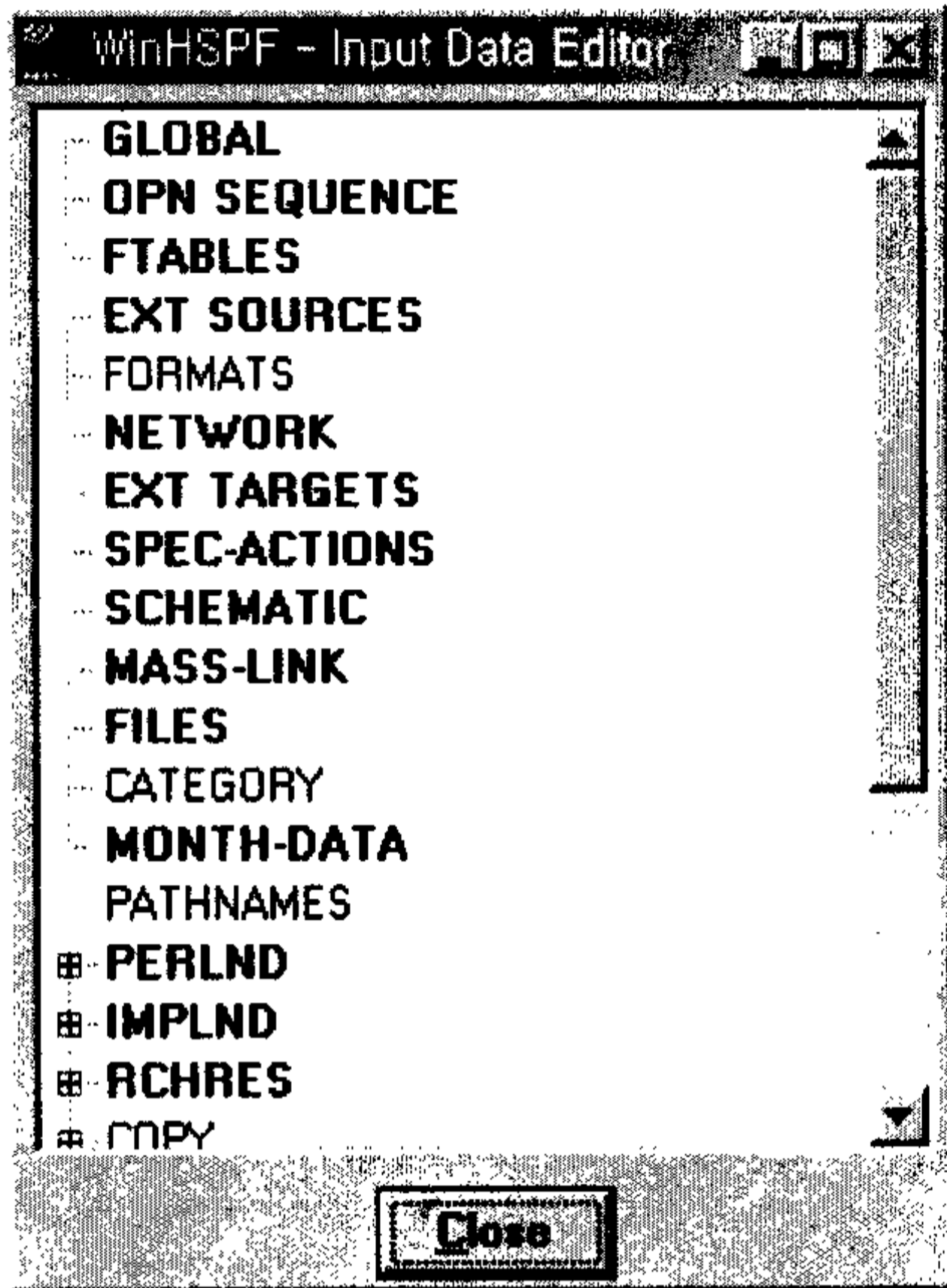


3) 하천에 대한 일반적인 항목(유입·유출유량, 수온, DO, BOD, sediment, nutrients, phytoplankton 등)을 출력항목으로 추가시킬 경우 AQUATOX Linkage 옵션을 선택하고, 추가하고자 하는 reach번호를 선택한다.

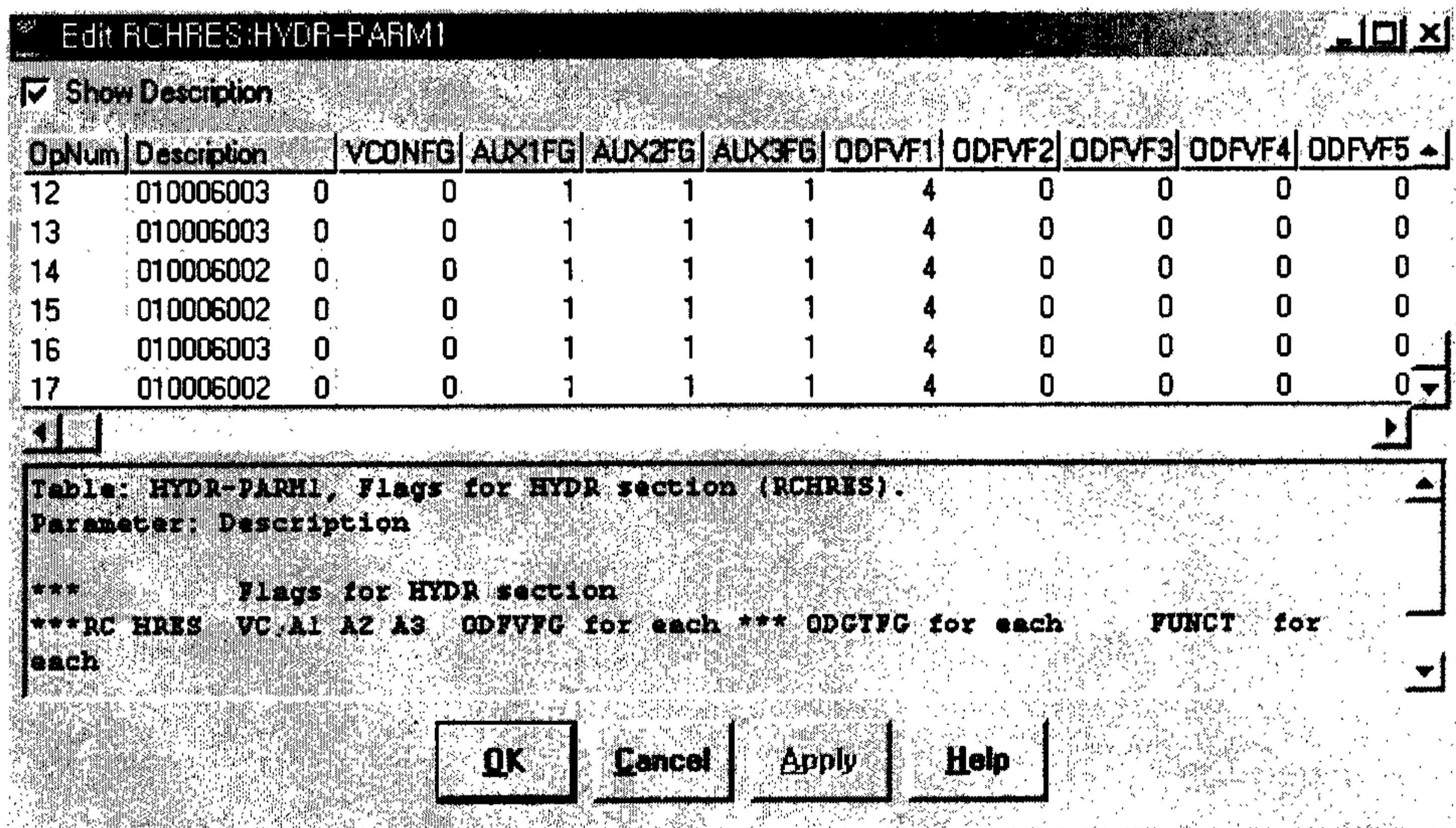


## 1.2.4 모델인자 수정


1) Input Data Editor버튼()을 누른다.

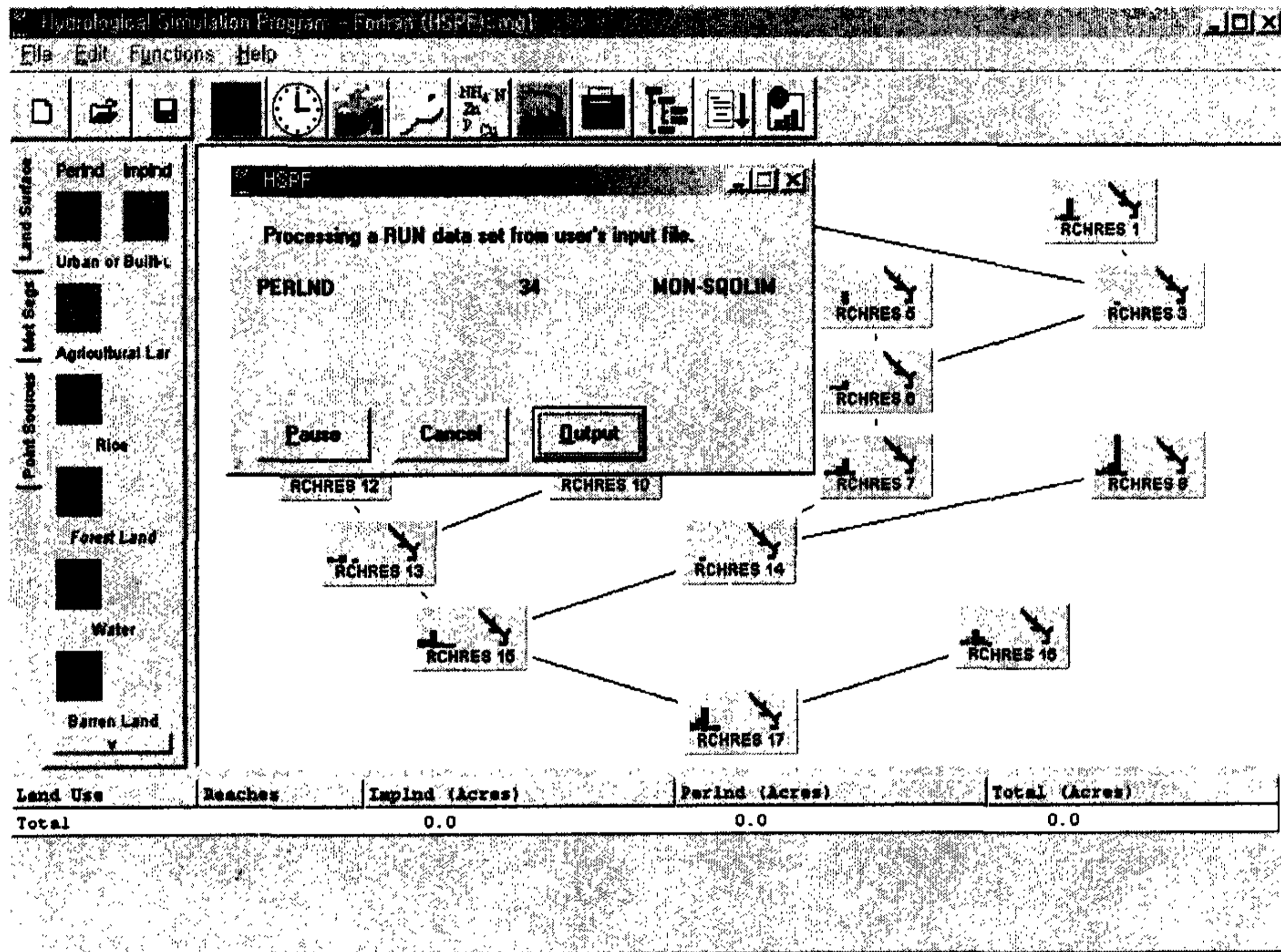


2) 수정하고자 하는 인자를 선택하면 관련된 인자들이 표의 형태로 나타나며, 인자를 수정한다.




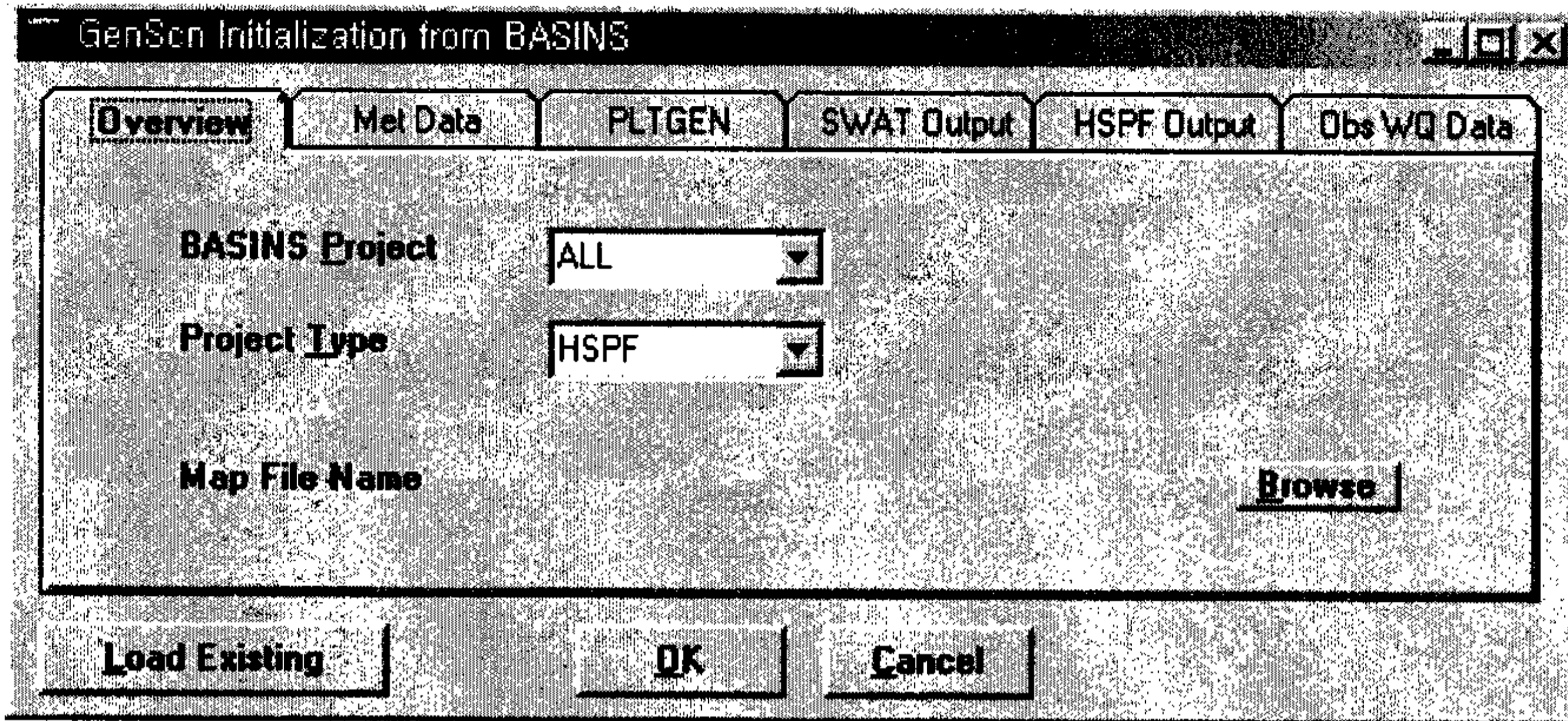
## 1.2.5 모형의 실행

Run HSPF 버튼()을 클릭하면 모형이 실행된다.

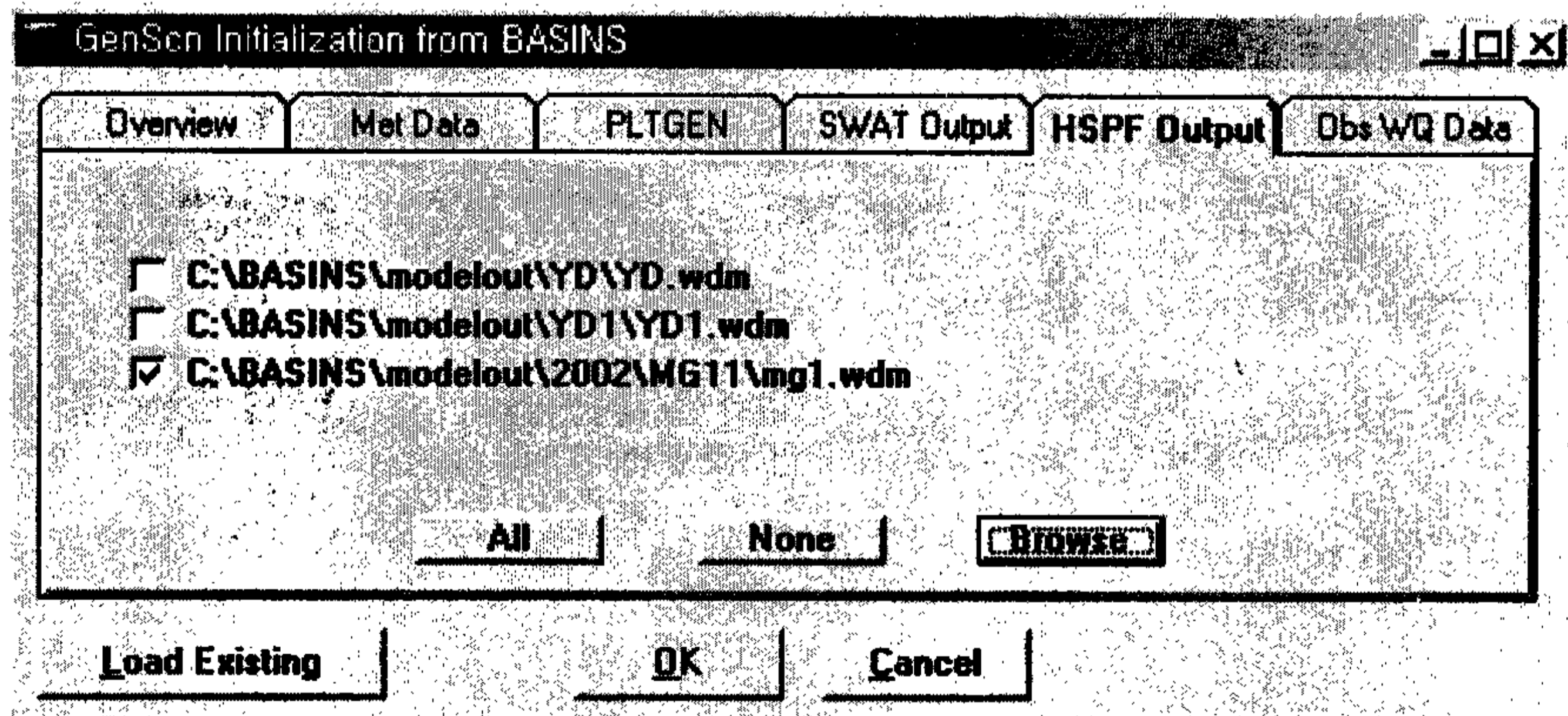


## 1.2.6 결과값 출력

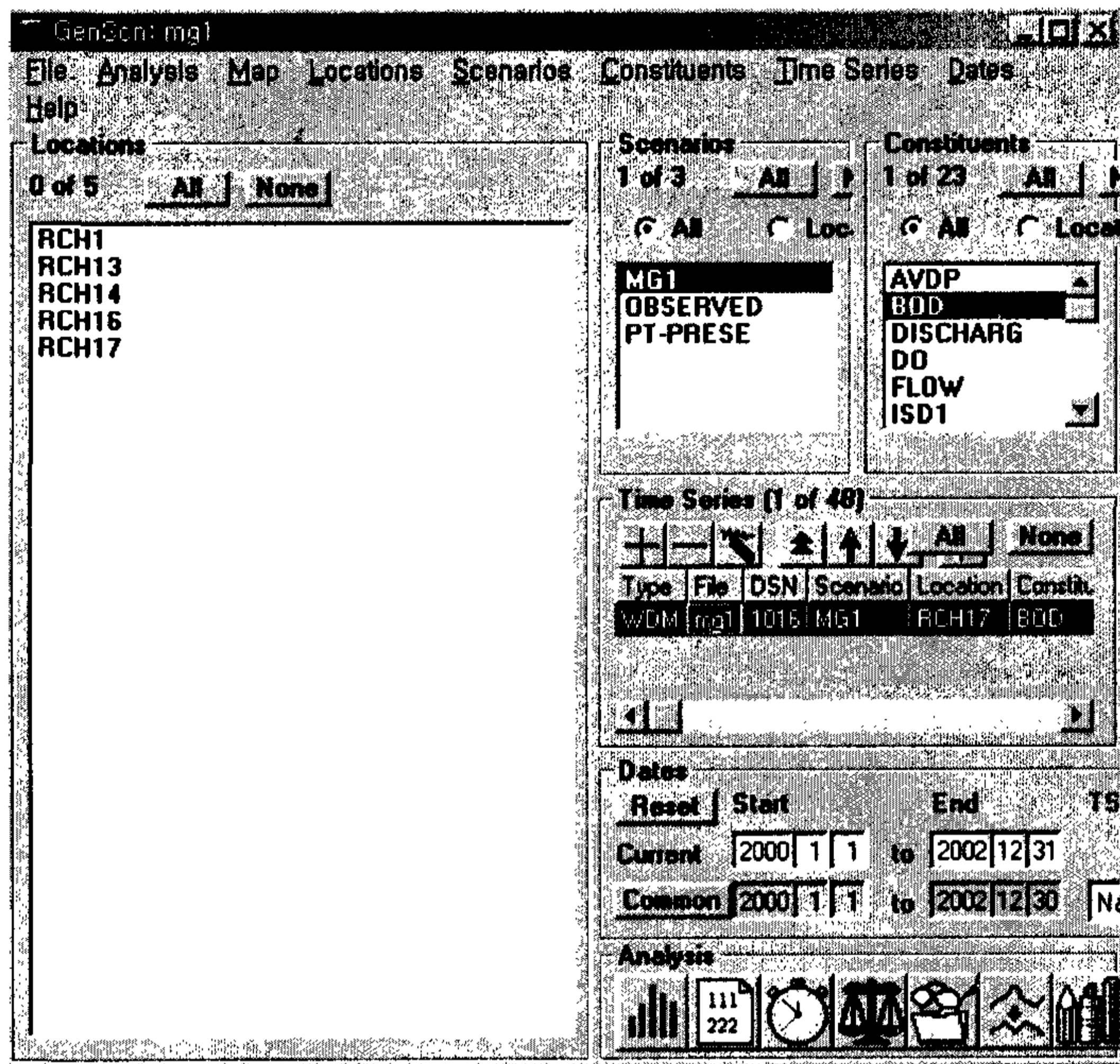
- 1) View Output through GenScn 버튼()을 클릭한다.
- 2) Project Type을 HSPF로 한다.

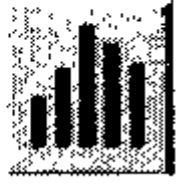
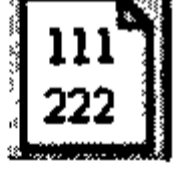


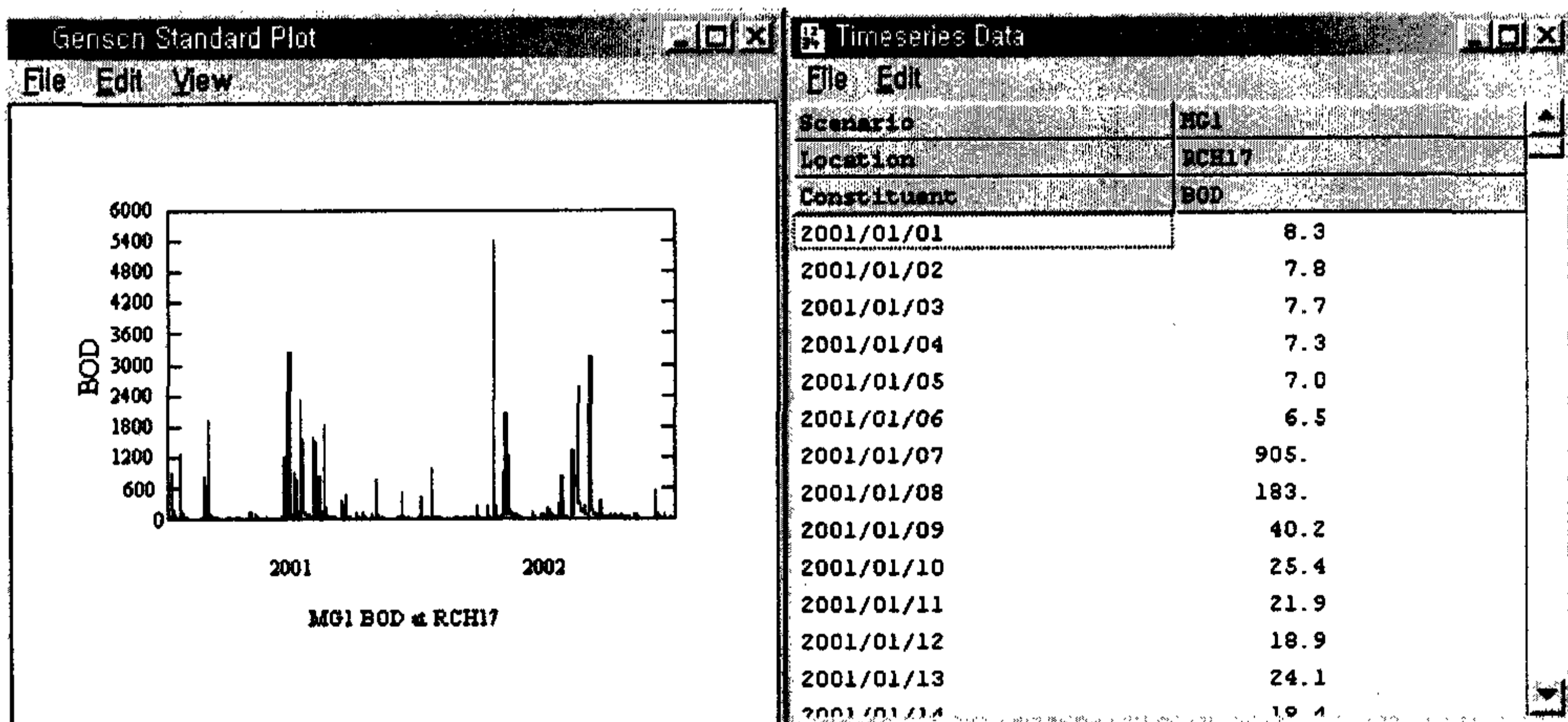
3) HSPF Output 탭을 선택하고, 원하는 wdm 파일(출력값을 입력하는 wdm 파일)을 선택한다. 보기에 나와있지 않을 경우 Browse를 클릭한 후 경로를 지정하고 원하는 wdm 파일을 직접 선택하면 GenScn 프로그램이 나타난다.



4) GenScn에서 원하는 Scenarios(결과값을 원할 경우 결과값이 저장되는 wdm파일이름을 선택)를 선택하고 Constituents에서 원하는 수질항목을 선택한 후 Time Series의 Add to Time-Series List버튼(+)을 누르면 원하는 수질항목과 관련된 결과값이 time-series의 형태로 나타난다.

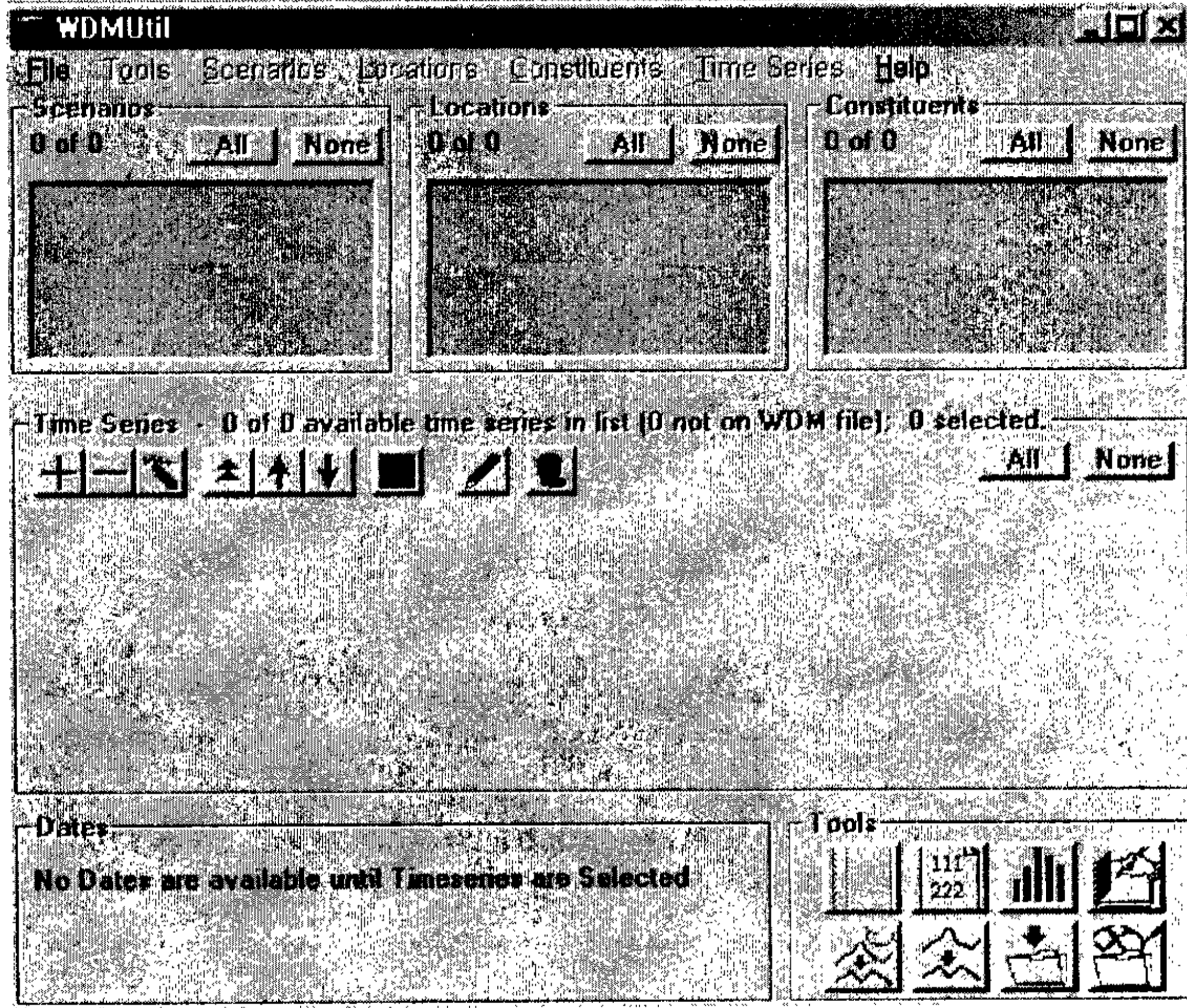


5) 원하는 time-series를 선택하고 Analysis의 Generate Graphs버튼()  
 혹은 List Timeseries Values버튼()을 클릭함으로써 결과값을 그래프나 표  
 로써 출력할 수 있다.

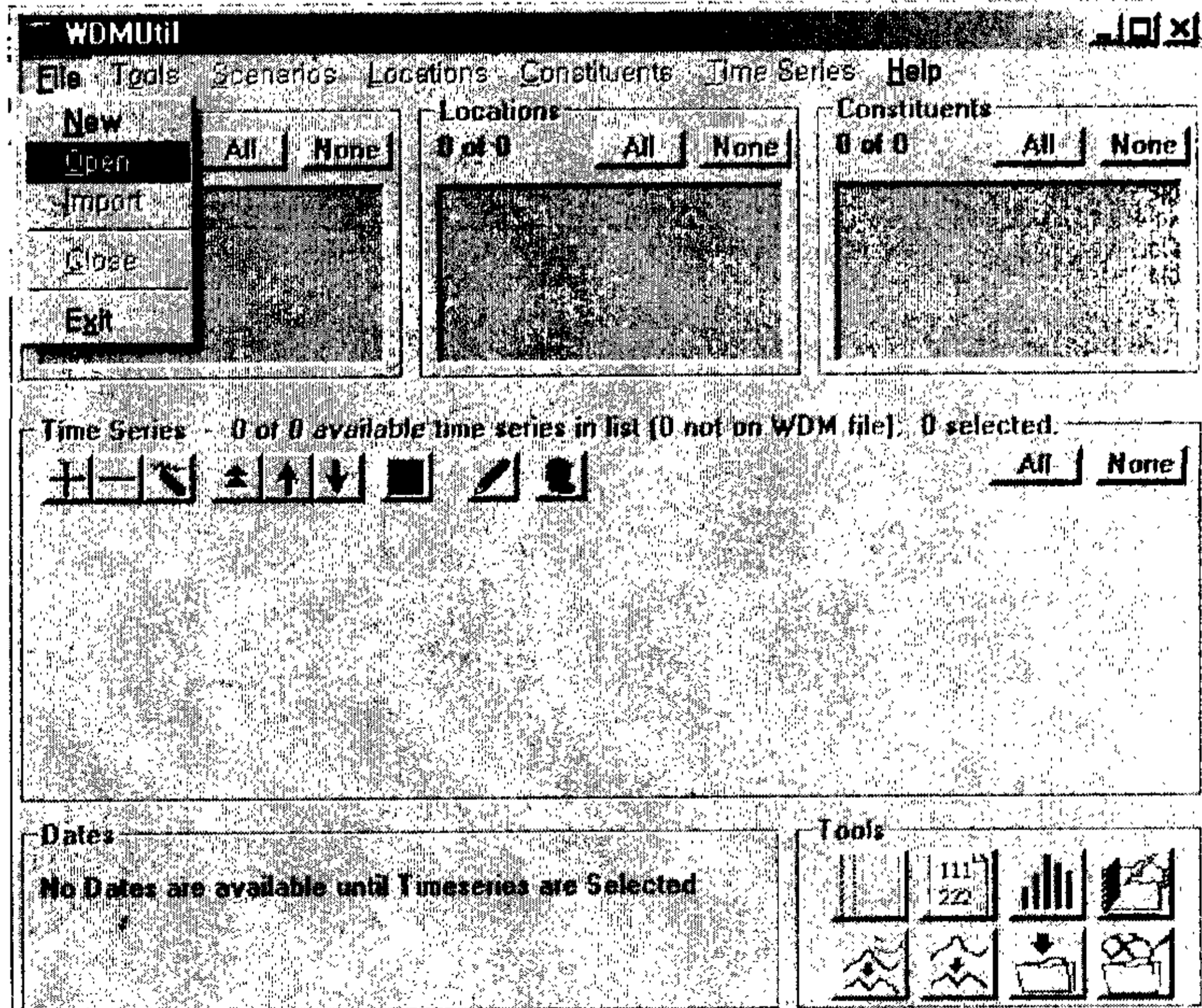


## 2.1.2 모형 구동후 결과값 추출

wdmutil을 실행시키게 되면 아래와 같은 파일이 활성화 되게 된다.

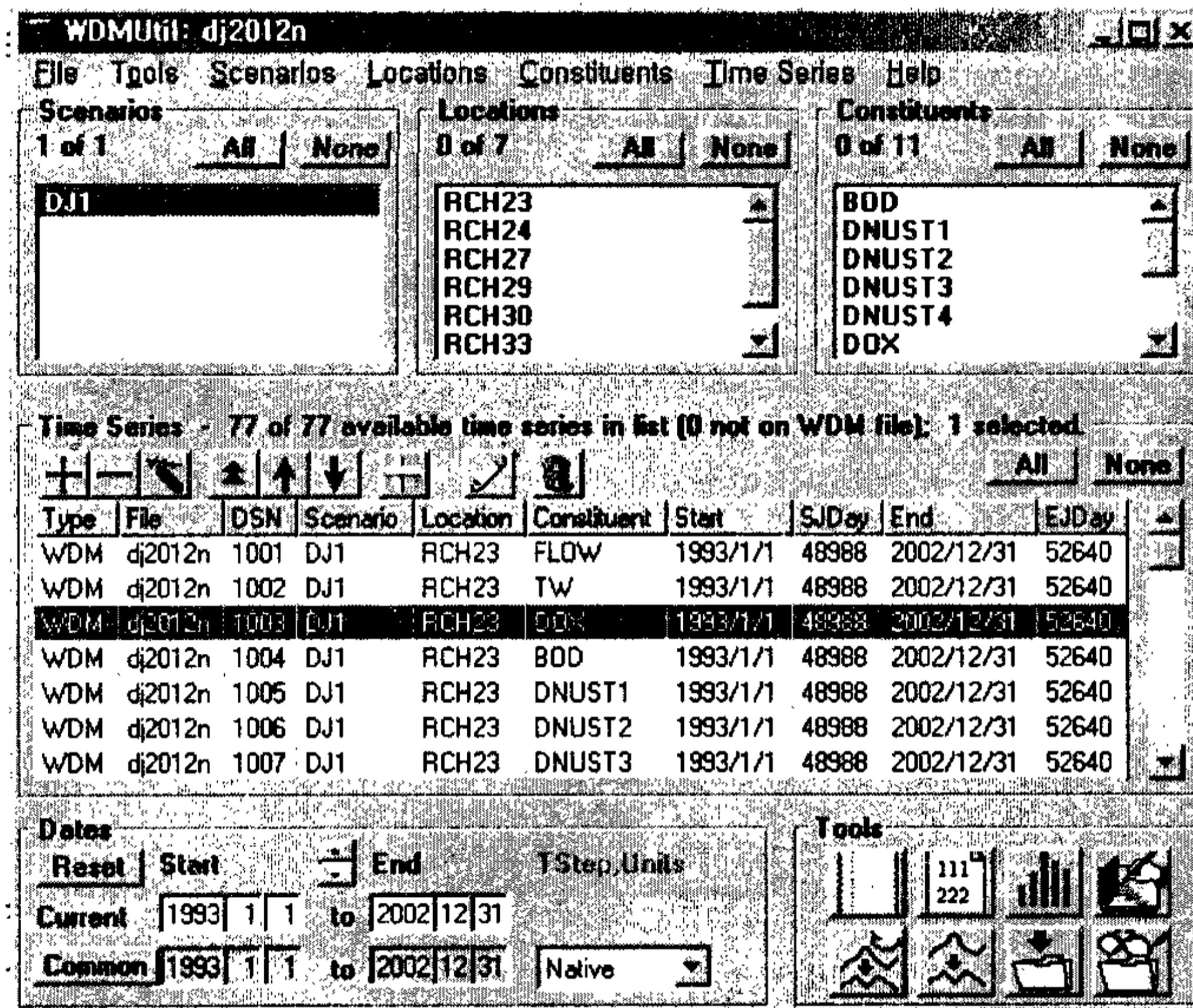


이렇게 활성화 된 wdmutil의 파일을 누르고 모형이 구동된 폴더로 가서 결과값이 저장된 wdm파일을 선택하게 된다.

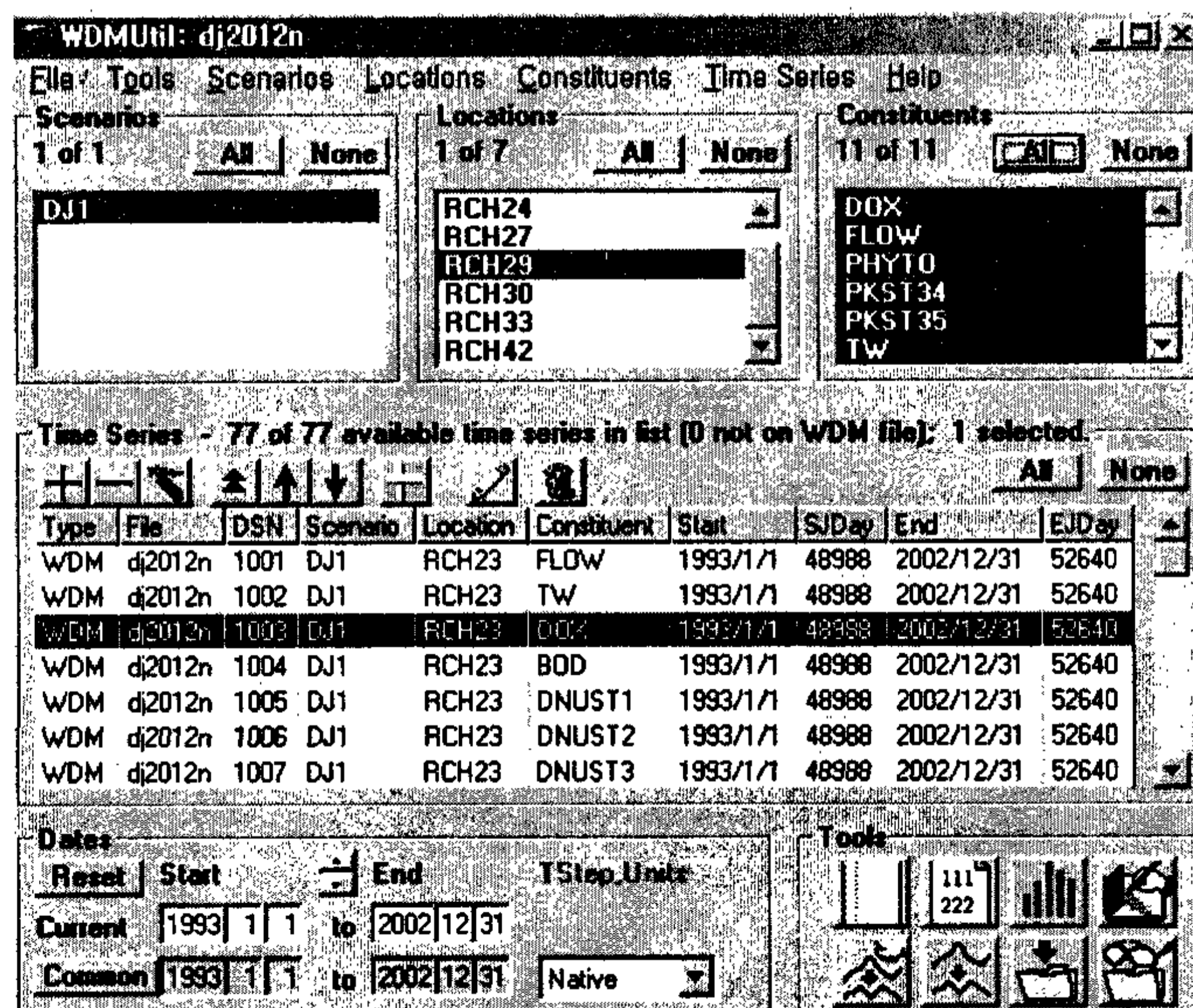




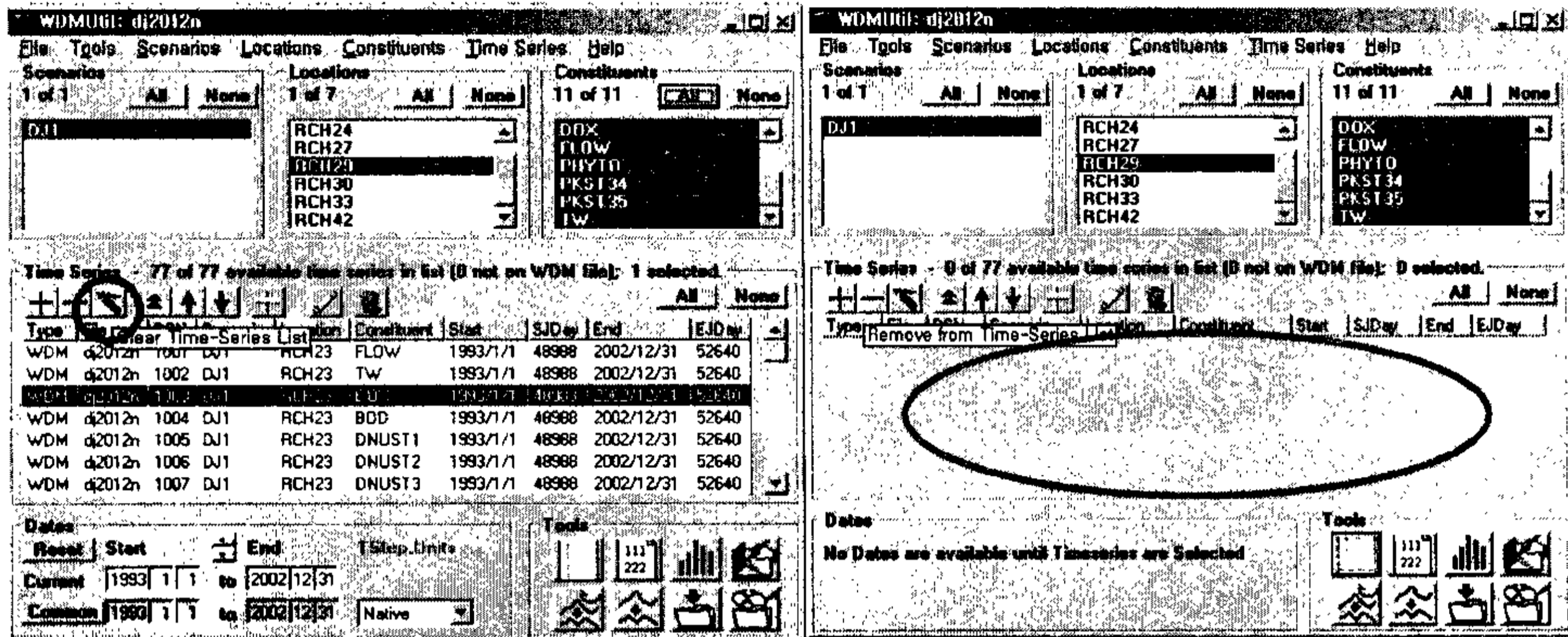
결과파일을 읽어들이면, 아래와 같은 결과파일을 읽어 드릴수있게 된다.



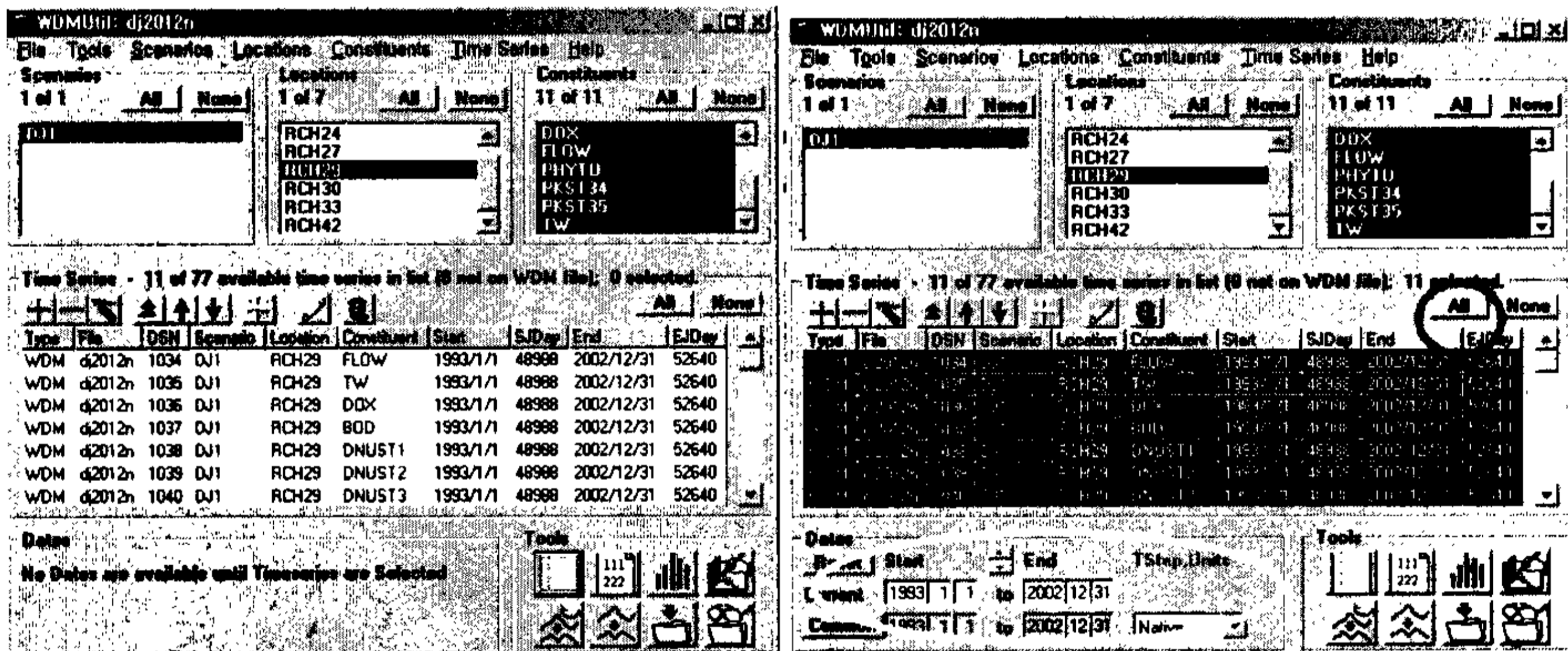
결과파일을 읽어드린후 원하는 Scenarios 인 DJ1을 선택하고 원하는 지점인 RCH29를 선택한후 Constituent중에 원하는 항목인 DOX, FLOW, PHTO, PKST34, PKST35, TW 등을 선택하거나, All을 누르면, 모의된 항목전체를 선택할수 있다.



선택된것만 wdm에서 보는 방법은 아래 그림의 빨간색 동그라미로 표현된 것을 클릭하게 되면 아래 선택되어 활성화된 전 항목이 삭제 되어 나타나게 된다.



아래 그림에서 “+”를 클릭하게 되면 위에 선택된 항목들이 표현되게 된다.



표현된 것을 아래의 그림에서 빨간색 원으로 표시된 All을 누르면 노란색 원으로 보이는 dates를 설정할 수 있다. 이 기간을 설정하여 원하는 기간의 데이터를 추출할 수 있다.

아래 Tools가 있는데 좌측 첫 번째 있는 틀은 데이터를 요약된 형태를 보여주는 아이콘이고 두 번째 숫자로 써져있는 아이콘은 선택된 시기의 데이터를 보여주는 아이콘이다. 막대그래프 모양은 결과를 그래프로 보여주는 아이콘이다. 이상의 세 아이콘을 이용하면 모형의 결과치를 얻어낼 수 있다.

<부 록 2. 하천 수질 측정 자료>

N1 (APT)	시간	TC	FC	E.coli	EC	SAL	탁도	DO	BOD	COD	SS	유기 질소	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	TN	PO <sub>4</sub> -P	TP
		(MPN/100ml)			( $\mu$ s/cm)	(‰)	(NTU)	(mg/l)										
2003-11-18		4,000	4,000	4,000	589.0	0.3	14.4	4.0	62.2	28.9	30.0	6.2	9.0	0.8	0.7	16.7	0.35	2.87
2003-12-09		20,000	15,000	15,000	712.0	0.3	23.6	5.7	67.7	68.6	61.0	6.4	10.7	0.1	0.8	18.1	0.11	4.76
2003-12-19		20,000	15,000	15,000	712.0	0.3	23.6	5.7	67.7	68.6	61.0	6.4	10.7	0.1	0.8	18.1	0.11	4.76
2004-01-07		40,000	30,000	30,000	549.8	0.2	27.7	4.5	73.8	80.4	65.0	8.3	12.3	0.3	2.2	23.1	0.65	2.58
2004-01-27		40,000	30,000	24,000	1142.0	0.0	27.0	5.3	41.0	19.9	29.8	1.8	15.8	0.1	1.0	18.7	0.00	1.33
2004-02-12		32,000	32,000	32,000	700.0	0.3	16.4	6.3	59.4	46.3	44.0	5.4	8.9	0.2	2.2	16.7	0.11	2.25
2004-03-04		50,000	35,000	35,000	966.0	0.4	36.3	3.7	40.7	34.4	35.0	8.5	13.0	0.1	0.2	21.9	1.18	4.04
2004-03-23		40,000	8,750	7,000	692.0	0.2	18.9	6.6	26.0	30.5	50.0	9.2	11.6	1.9	0.5	23.3	0.12	3.40
2004-04-01		40,000	40,000	40,000	847.0	0.4	50.0	3.0	42.6	82.2	40.5	10.1	13.3	0.4	0.5	24.3	0.11	3.67
2004-04-20		60,000	50,000	50,000	737.0	0.3	25.2	3.0	18.4	71.5	22.0	15.5	6.0	0.1	0.5	22.1	0.10	3.21
2004-02-27	1:40	45,000	80,000	25,000	321.0	3.4	40.0	5.0	47.9	53.8	48.5	6.9	7.7	2.9	8.2	25.7	0.44	0.59
2005-04-27	13:35	80,000	80,000	15,000	682.0	0.1	70.0	5.7	21.8	71.8	100.0	3.7	11.7	6.9	10.5	32.9	0.36	1.82
2005-04-27	18:00	80,000	80,000	80,000	472.0	0.2	19.0	5.1	14.4	36.0	18.5	5.3	12.5	4.4	10.5	32.7	0.35	2.52
2004-05-27		36,000	36,000	20,000	733.0	0.3	16.9	4.2	11.6	23.1	25.8	12.3	8.2	0.1	0.3	20.9	0.20	1.07
2004-06-14		64,000	64,000	64,000	718.0	0.3	34.3	2.7	73.8	34.6	38.6	275.2	10.0	0.3	0.2	285.7	0.36	0.42
2004-06-19	23:40	72,000	24,000	24,000	224.9	0.0	125.0	6.5	10.1	25.4	22.0	26.0	0.2	1.0	3.0	30.1	0.20	0.73
2004-06-20	3:20				256.6	0.0	42.1	5.7	8.8	22.0	16.5	24.9	0.1	1.2	1.3	27.5	0.13	0.40
2004-06-20	6:50				275.0	0.0	24.5	4.9	15.9	39.7	11.0	17.6	0.1	1.2	2.4	21.3	0.09	0.33
2004-06-20	11:10				311.0	0.1	17.5	6.0	8.5	21.1	5.5	25.9	0.1	1.7	2.6	30.3	0.10	0.44
2004-06-20	15:10	-	-	-	327.0	0.1	11.9	5.0	12.5	31.3	31.5	20.9	0.4	1.5	2.2	24.9	0.09	0.40
2004-06-20	18:50	-	-	-	362.0	0.1	6.7		16.9	42.3	52.0	24.1	0.5	1.9	2.1	28.7	0.09	0.62
2004-06-20	9:00	-	-	-	386.0	0.1	11.3		4.2	21.1	16.0	20.1	0.7	1.5	1.9	24.1	0.07	0.33
2004-07-04	10:40	128,000	128,000	40,000	4.6	0.0	49.3		12.9	29.2	63.5	17.6	0.4	0.4	2.7	21.0	0.19	0.79
2004-07-04	13:40	80,000	80,000	45,000	4.9	0.0	48.1		7.9	29.2	36.0	18.1	0.6	0.4	2.6	21.7	0.15	0.74
2004-07-04	18:25	80,000	80,000	12,000	5.6	0.0	27.0		9.3	29.2	21.5	13.0	0.6	0.7	2.5	16.8	0.00	0.54
2004-07-04	11:05	34,000	26,000	4,600	236.3	0.0	40.0		34.7	36.3	66.0	17.0	0.5	0.4	3.1	21.0	0.23	1.14

2004-07-04	13:55	28,000	160,000	13,000	212.0	0.0	40.9		34.5	27.9	43.0	17.7	0.5	0.4	2.9	21.5	0.06	0.93
2004-07-04	17:35	13,600	17,600	4,000	231.6	0.0	26.3		42.6	25.4	22.0	18.4	0.3	0.3	3.6	22.6	0.06	0.68
2004-07-04	20:36	72,000	40,000	6,400	252.1	0.0	29.3		39.3	22.0	33.0	19.3	0.7	0.3	3.6	23.9	0.00	0.74
2004-07-04	23:40	128,000	24,000	10,400	253.6	0.0	31.0		36.5	39.7	22.0	18.0	0.5	0.7	3.8	22.9	0.00	0.87
2004-07-04	11:55	80,000	15,000	12,000	288.6	0.0	12.3		26.2	21.1	11.0	14.7	0.6	0.4	4.5	20.2	0.00	0.58
2004-07-12	21:28	128,000	72,000	11,200	258.4	0.0	19.1		5.0	21.6	10.0	16.3	0.3	0.7	4.2	21.5	0.12	0.44
2004-07-15	12:30	48,000	44,000	8,000	200.3	0.0	69.8		12.3	38.9	63.0	13.8	0.3	0.1	4.5	18.8	0.42	1.64
2004-07-15	19:47	7,000	5,000	1,500	205.6	0.0	41.0		13.6	43.2	30.0	15.3	0.6	0.2	3.3	19.4	0.00	0.80
2004-07-16	17:15	100,000	100,000	16,000	133.8	0.0	140.0		13.6	30.3	92.0	17.6	0.3	0.1	4.1	22.1	0.10	0.50
2004-07-16	21:30	160,000	50,000	8,000	217.9	0.0	30.8		7.4	21.6	23.0	16.6	0.3	0.2	4.6	21.8	0.06	0.52
2004-07-16	3:20	90,000	50,000	5,000	180.0	0.0	40.4		4.7	13.0	32.0	13.8	0.3	0.1	4.6	18.9	0.00	0.47
2004-07-17	11:20	17,600	72,000	2,400	159.2	0.0	54.1		5.9	30.3	67.0	13.4	0.3	0.1	4.3	18.1	0.05	0.34
2004-08-31		80,000	45,000	1,150	124.4	0.0	14.8	4.7	11.9	16.8	9.5	1.0	9.9	0.5	0.6	12.0	0.36	1.67
2004-10-01		80,000	80,000	5,500	0.5	0.2	20.5	1.4	23.1	31.5	9.0	0.2	9.3	0.5	2.1	12.1	0.59	2.09
2004-11-12		-	-	-	0.5	0.2	17.7	4.0	9.7	69.1	19.3	6.8	6.5	0.2	1.6	15.1	0.34	2.54
2004-12-16		80,000	15,000	4,000	493.0	0.2	21.7	3.3	58.2	54.3	42.4	1.6	8.4	0.1	2.7	12.7	0.66	2.66
2005-01-27		80,000	25,000	6,500	442.0	0.2	38.1	5.6	90.5	119.6	68.0	7.3	8.6	0.0	2.3	18.3	0.50	1.87
2005-03-03		45,000	80,000	15,000	440.0	0.2	20.5	5.9	66.0	33.1	17.0	5.4	9.5	0.1	3.8	18.8	0.54	1.80
2005-03-31		160,000	50,000	3,400	588.8	0.2	25.0	3.6	98.2	104.0	86.0	14.4	10.1	0.1	0.9	25.5	0.83	0.88
2005-05-10		160,000	114,000	2,300	730.0	0.3	39.1	2.6	104.7	83.5	67.5	14.6	23.9	0.3	1.4	40.2	0.09	3.87
2005-06-07		160,000	160,000	90,000	643.0	0.2	22.3	1.8	116.8	69.5	69.0	19.5	4.4	0.1	1.1	25.2	0.10	2.39
2005-06-23		1,600	1,600	17	717.0	0.3	17.6	0.8	64.0	93.8	72.0	4.4	15.5	0.1	0.5	20.5	1.91	0.54
2005-06-29		760,000	740,000	200,000	420.0	0.1	23.6			58.1	53.3		4.0	5.4	0.7	7.9	0.16	1.18
2005-07-01	10:30	500,000	900,000	130,000	183.0	0.0	1044.0			14.0	762.5	1.6	19.0	1.1	1.8	23.4	0.42	0.81
2005-08-17		80,000	80,000	15,000	490.0	0.1	15.4	3.5	49.4	78.9	23.0	3.9	5.0	0.3	2.3	11.4	0.37	0.66
2005-11-27		18,000	20,000	5,000			28.1		40.0		34.0	5.0	10.0	0.2	2.9	18.0	0.44	1.10
2006-01-16		24,000	24,000	15	378.0	0.2	17.7	7.0	31.2	43.3	26.0	39.2	9.3	0.2	3.2	51.8	0.27	0.55
2006-03-20		48,000	48,000	5,100	724.0	0.2	51.2	5.3	29.3		103.8		16.8	0.3	1.0	22.4	1.22	3.39
2006-05-20		27,000	7,000	550			15.6		12.4		22.0		13.6	0.3	0.9	15.8	0.69	1.80
2006-05-31		80,000	80,000	8,500			14.2		16.5		16.0		6.7	0.3	1.5	9.8	0.27	0.87

N2 (HG)	시간	TC	FC	E.coli	EC	SAL	탁도	DO	BOD	COD	SS	용기 질소	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	TN	PO <sub>4</sub> -P	TP
		(MPN/100ml)			( $\mu$ s/cm)	(%)	(NTU)	(mg/l)										
2003-11-18		1,800	1,700	680	441.0	0.2	2.4	7.9	2.1	9.8	4.5	5.6	2.4	0.2	3.7	11.9	0.32	0.60
2003-12-09		10,000	2,000	800	116.2	0.0	5.4	9.1	2.6	2.1	8.0	0.0	3.3	0.3	6.8	10.4	0.19	0.26
2003-12-19		8,000	4,000	1,600	522.0	3.2	4.8	10.0	9.7	31.1	2.5	2.2	6.1	0.3	7.5	16.1	0.53	0.78
2004-01-07		8,000	7,000	2,800	416.0	0.2	5.6	8.2	9.1	23.6	8.5	2.2	4.1	1.1	4.6	12.0	0.52	1.04
2004-01-27		12,000	10,000	4,000	477.3	0.0	13.9	9.7	18.8	39.7	4.3	5.4	7.3	0.3	4.7	17.7	0.22	0.30
2004-02-12		1,700	800	320	518.0	0.2	12.5	6.0	12.3	12.2	3.8	1.6	6.3	0.3	4.3	12.6	0.65	0.94
2004-03-04		25,000	20,000	8,000	496.0	0.2	7.5	9.9	11.0	17.0	10.8	3.8	2.3	0.5	8.5	15.1	0.63	0.73
2004-03-23		24,000	4,500	1,800	554.0	0.2	5.3	12.1	3.0	11.8	7.8	5.4	4.0	2.6	4.4	16.3	0.44	0.57
2004-04-01		18,000	18,000	7,200	216.0	0.0	5.3	14.8	7.6	78.8	42.5	7.9	3.6	0.4	4.6	16.5	0.34	0.82
2004-04-20		10,000	2,600	1,040	562.6	0.0	8.9	14.1	8.6	32.9	3.3	1.8	2.7	0.4	1.3	6.2	0.11	1.02
2004-04-27	1:00	27,000	7,200	2,880	270.2	0.1	44.9	5.0	11.4	40.6	48.0	10.9	6.0	3.0	9.4	29.3	0.25	4.34
2004-04-27	17:40	48,000	15,000	6,000	374.0	0.1	9.5	6.8	9.3	29.4	13.5	12.8	3.7	3.6	9.5	29.5	0.22	0.51
2004-04-27	1:40	45,000	80,000	32,000	321.0	3.4	40.0	5.0	47.9	53.8	48.5	6.9	7.7	2.9	8.2	25.7	0.44	0.59
2004-05-27		160	80	32	438.0	0.1	5.8	16.2	3.3	10.6	3.5	9.0	1.2	0.4	3.7	14.3	0.26	0.51
2004-06-14		13,500	7,500	3,000	543.8	0.0	6.7	8.9	5.3	17.1	5.0	4.0	1.9	0.5	2.6	9.0	0.32	0.38
2004-06-19	22:20	80,000	45,000	18,000	190.0	0.0	241.0	5.3	16.9	42.3	76.0	23.5	0.2	0.5	2.8	26.9	0.27	2.00
2004-06-20	24:00	-	-	-	190.7	0.0	114.0	6.2	16.2	40.6	40.0	22.9	0.2	0.2	3.6	26.9	0.39	1.41
2004-06-20	3:00	48,000	27,000	10,800	231.5	0.0	39.8	6.5	11.8	29.6	13.5	20.5	0.2	0.4	4.6	25.7	0.30	0.74
2004-06-20	6:20	-	-	-	261.4	0.0	19.0	0.0	11.8	29.6	26.0	21.5	0.7	0.3	5.2	27.7	0.15	0.50
2004-06-20	9:10	16,000	16,000	6,400	273.1	0.0	10.5	6.8	8.5	21.1	26.5	26.1	0.2	0.6	5.7	32.6	0.20	0.47
2004-06-20	14:50	-	-	-	304.0	0.1	9.9	6.4	11.5	28.7	6.5	29.3	0.1	1.2	6.1	36.7	0.20	0.44
2004-06-20	18:35	-	-	-	315.0	0.1	3.6	0.0	14.5	36.3	33.0	25.1	0.1	0.9	5.8	31.8	0.19	0.36
2004-06-21	9:20	-	-	-	332.0	0.1	4.7	6.5	11.2	27.9	21.5	28.3	0.3	1.2	6.9	36.8	0.18	0.42
2004-07-04	10:15	80,000	80,000	25,000	4.8	0.0	42.2	0.0	14.2	31.8	48.0	18.4	0.1	0.6	3.0	22.0	0.54	1.16
2004-07-04	13:20	27,000	48,000	15,000	4.5	0.0	48.6	0.0	9.4	27.5	45.5	20.3	0.1	0.5	3.1	24.0	0.62	1.09
2004-07-04	16:45	27,000	48,000	27,000	5.1	0.0	23.5	0.0	7.1	18.9	18.5	15.0	0.1	0.5	5.1	20.7	0.32	0.80
2004-07-04	10:15	80,000	80,000	25,000	4.8	0.0	42.2	0.0	14.2	31.8	48.0	18.4	0.1	0.6	3.0	22.0	0.54	1.16
2004-07-04	13:20	27,000	48,000	15,000	4.5	0.0	48.6	0.0	9.4	27.5	45.5	20.3	0.1	0.5	3.1	24.0	0.62	1.09
2004-07-04	16:45	27,000	48,000	27,000	5.1	0.0	23.5	0.0	7.1	18.9	18.5	15.0	0.1	0.5	5.1	20.7	0.32	0.80
2004-07-04	10:40	128,000	128,000	40,000	4.6	0.0	49.3	0.0	12.9	29.2	63.5	17.6	0.4	0.4	2.7	21.0	0.19	0.79

2004-07-04	13:40	80,000	80,000	45,000	4.9	0.0	48.1	0.0	7.9	29.2	36.0	18.1	0.6	0.4	2.6	21.7	0.15	0.74
2004-07-04	18:25	80,000	80,000	12,000	5.6	0.0	27.0	0.0	9.3	29.2	21.5	13.0	0.6	0.7	2.5	16.8	0.03	0.54
2004-07-12		25,000	15,000	12,000	233.6	0.0	8.7	8.0	1.9	4.3	7.0	14.2	0.2	0.2	6.5	21.1	0.96	1.20
2004-07-15	12:40	13,600	4,000	800	201.0	0.0	70.5	0.0	10.7	34.6	52.0	19.5	0.5	0.2	2.7	22.7	0.27	0.98
2004-07-15	19:55	5,500	2,500	2,000	206.3	0.0	34.5	0.0	7.1	19.9	31.0	16.2	0.0	0.1	5.3	21.7	0.23	0.98
2004-07-16	18:05	17,000	22,000	8,000	144.5	0.0	82.2	0.0	7.1	19.9	105.0	18.2	0.1	0.1	5.6	24.1	0.20	0.47
2004-07-16	22:04	24,000	19,200	10,400	169.4	0.0	48.2	0.0	6.6	21.6	56.0	17.9	0.3	0.1	6.2	24.5	0.13	0.39
2004-07-16	3:25	15,000	45,000	5,500	186.8	0.0	31.3	0.0	5.3	34.6	28.0	15.9	0.1	0.1	6.4	22.5	0.16	0.31
2004-07-17	11:25	80,000	80,000	8,500	214.5	0.0	21.7	0.0	5.6	21.6	21.0	15.6	0.4	0.1	6.6	22.7	0.12	0.32
2004-08-31		13,500	3,600	345	88.8	0.0	3.0	10.6	1.6	7.4	3.0	3.7	0.7	0.8	2.4	7.6	0.68	0.82
2004-10-01		24,000	24,000	1,200	0.3	0.1	6.2	7.5	5.5	16.1	4.0	1.5	0.6	0.2	4.6	7.0	0.36	0.83
2004-11-12		9,000	500	50	352.0	0.1	6.2	11.6	2.0	44.1	5.7	0.9	1.2	0.1	4.3	6.5	0.31	0.71
2004-12-16		8,000	4,500	4,500	344.0	0.1	4.8	13.3	6.4	12.5	8.2	0.1	1.5	0.1	5.3	7.0	0.43	5.29
2005-01-27		80,000	80,000	25,000	380.0	0.1	9.0	8.9	9.2	19.8	6.0	2.2	3.3	0.1	4.5	10.1	0.58	0.65
2005-03-03		1,500	8,000	1,500	415.0	0.2	6.2	10.1	7.9	27.2	3.0	1.2	6.2	0.1	4.5	12.1	0.50	0.80
2005-03-31		16,000	3,000	2,400	410.0	0.1	10.7	18.4	3.0	40.3	14.3	3.7	2.3	0.3	3.0	9.3	0.38	2.96
2005-05-10		18,000	4,800	460	489.0	0.2	5.9	6.8	3.0	14.7	7.3	8.5	8.8	0.2	3.8	21.3	0.51	0.72
2005-06-07		10,000	3,400	600	474.0	0.2	6.0	9.2	3.0	17.3	10.3	1.5	2.5	0.4	4.2	8.7	0.24	0.45
2005-06-23		1,500	850	250	513.0	0.2	8.3	13.4	3.0	9.0	11.0	0.8	2.0	0.4	3.2	6.4	0.26	3.19
2005-06-29		36,000	32,000	18,000	457.0	0.1	39.7	0.0		38.9	77.0		0.2	1.5	2.8	4.0	0.56	0.63
2005-07-01	15:11	220,000	220,000	80,000	218.0	0.0	102.0	0.0		3.2	74.0	7.5	15.2	0.8	3.0	26.5	0.23	0.26
2005-07-01	19:50	170,000	110,000	50,000	253.0	0.0	39.0	0.0		20.5	24.5	7.2	5.4	1.0	4.8	18.4	0.28	0.36
2005-07-09	0:50	32,000	32,000	3,200	357.0	0.1	14.8	0.0		2.6	8.5	7.1	1.0	0.3	5.7	14.1	0.19	1.26
2005-07-09	6:53	26,000	130,000	23,000	195.0	0.0	134.0	0.0		40.4	302.0	10.3	1.2	0.1	2.9	14.5	0.11	1.85
2005-07-09	09:50	110,000	150,000	150,000	165.0	0.0	110.0	0.0		2.6	63.6	5.4	1.5	0.1	2.8	9.8	0.32	1.36
2005-07-09	15:00	110,000	40,000	40,000	242.0	0.0	25.0	0.0		15.6	5.5	5.9	1.0	0.1	4.4	11.4	0.27	1.54
2005-08-17		16,000	16,000	1,100	350.0	0.1	3.2	7.6	1.4	20.6	13.0	0.7	0.5	0.2	4.6	6.0	0.01	0.18
2005-11-27		15,000	15,000	1,500			4.8		19.5		6.0	5.5	5.1	0.2	4.2	15.0	0.65	0.23
2006-01-16		16,000	16,000	40	297.4	0.1	25.5	11.0	8.4	28.3	26.0	20.1	4.0	0.1	4.1	28.2	0.26	0.50
2006-03-20		32,000	32,000	1,000	511.0	0.2	10.1	9.8	9.4		31.0		6.4	0.2	3.7	12.2	0.26	0.60
2006-05-20		45,000	15,000	2,400			62.9		3.4		102.0		3.8	0.3	3.4	7.8	0.19	1.86
2006-05-31		45,000	900	900			29.0		5.8		57.0		3.7	0.2	4.3	8.6	0.32	0.93

J1 (JA)	시간	TC	FC	E.coli	EC	SAL	탁도	DO	BOD	COD	SS	유기 활소	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	TN	PO <sub>4</sub> -P	TP
		(MPN/100ml)			( $\mu$ s/cm)	(%)	(NTU)	(mg/ℓ)										
2004-04-01		27	26	10	346.0	0.1	1.1	13.9	0.3	16.6	2.5	1.1	0.1	0.1	3.5	4.7	0.01	0.07
2004-04-20		500	300	120	270.3	0.0	2.0	16.1	0.5	8.3	17.8	0.5	0.6	0.1	0.8	2.0	0.01	0.22
2004-04-27	12:40	6,400	6,400	2,560	281.5	0.1	14.5	9.3	2.8	21.6	10.5	0.2	1.3	3.0	2.1	6.5	0.14	0.20
2004-04-27	17:00	2,700	2,000	800	285.5	0.1	9.6	9.1	2.5	15.6	8.0	0.1	0.7	3.8	1.3	5.8	0.14	0.12
2004-05-27		500	500	200	247.2	0.0	8.0	7.3	1.3	7.4	18.0	1.1	0.1	0.1	2.8	4.1	0.02	0.12
2004-06-14		1,700	1,600	640	303.0	0.1	5.0	9.7	0.4	2.6	0.5	4.9	0.1	0.1	2.6	7.7	0.15	0.22
2004-06-20	8:55	8,000	8,000	3,200	191.0	0.0	19.5		5.7	28.7	48.5	16.6	0.1	0.4	3.3	20.5	0.09	0.35
2004-06-21	9:50				235.8	0.0	11.6		5.9	29.6	28.0	21.7	0.1	0.4	2.2	24.4	0.08	0.33
2004-07-04	11:31	32,000	32,000	32,000	3.1	0.0	80.1		2.4	28.4	68.0	17.2	0.1	0.2	2.2	19.8	0.19	1.02
2004-07-04	14:05	32,000	32,000	18,000	3.3	0.0	38.6		2.5	26.7	31.5	16.6	0.1	0.2	2.7	19.6	0.23	0.77
2004-07-04	17:45	32,000	32,000	6,000	3.7	0.0	20.7		1.9	23.2	15.5	15.1	0.2	0.1	3.0	18.5	0.03	0.48
2004-07-07	11:30	6,400	6,400	4,000	139.4	0.0	72.7		9.4	31.3	63.0	15.0	0.1	0.2	3.1	18.3	0.14	0.97
2004-07-07	14:20	40,000	40,000	5,600	126.3	0.0	98.0		11.0	42.3	104.0	17.7	0.2	0.2	3.0	21.0	0.37	1.52
2004-07-07	18:00	45,000	45,000	4,000	151.7	0.0	34.7		8.3	21.1	32.0	15.8	0.2	0.1	4.1	20.1	0.03	0.79
2004-07-07	21:00	80,000	45,000	12,000	132.3	0.0	110.0		6.4	28.7	97.0	17.2	0.3	0.1	3.4	21.0	0.23	1.38
2004-07-07	0:00	36,000	64,000	9,600	145.9	0.0	39.3		6.4	29.6	56.0	17.2	0.1	0.1	4.0	21.5	0.09	0.66
2004-07-08	12:40	20,000	12,000	5,200	160.5	0.0	21.9		3.6	12.7	16.0	12.7	0.4	0.1	5.0	18.2	0.03	0.48
2004-07-12		45,000	12,000	1,500	139.3	0.0	22.7		2.0	14.7	19.0	13.9	0.4	0.2	4.1	18.7	0.96	1.00
2004-07-15	13:50	19,200	10,400	4,000	107.0	0.0	299.0		9.0	38.9	330.0	15.8	0.3	0.1	2.4	18.7	0.14	1.30
2004-07-15	19:22	2,500	1,150	500	122.3	0.0	38.8		2.5	19.9	30.0	15.8	0.4	0.1	3.4	19.6	0.07	0.80
2004-07-16	17:15	30,000	17,000	3,000	92.7	0.0	113.0		2.9	19.9	136.0	17.0	0.1	0.0	2.5	19.7	0.03	0.66
2004-07-16	22:20	24,000	13,600	2,400	107.3	0.0	58.6		2.3	28.5	71.0	17.2	0.1	0.0	3.0	20.3	0.03	0.32
2004-07-16	3:00	6,800	12,000	6,800	120.7	0.0	40.4		2.1	13.0	45.0	13.6	0.1	0.0	3.3	17.1	0.03	0.36
2004-07-17	10:50	20,000	20,000	5,200	127.8	0.0	27.0		3.8	13.0	21.0	8.7	0.2	0.0	3.3	12.3	0.03	0.48
2004-08-31		6,400	6,800	520	55.9	0.0	1.8	11.6	0.2	16.3	1.5	2.4	0.7	0.0	2.3	5.5	0.14	0.20
2004-10-01		3,200	600	160	0.3	0.4	0.0	6.5	2.1	9.6	2.5	1.2	0.3	0.1	4.5	6.0	0.18	0.38
2004-11-12					0.3	0.1	3.3	11.5	0.7	37.1	2.7	0.8	0.1	0.0	3.9	4.8	0.03	0.52
2004-12-16		220	140	80	259.0	0.1	2.6	12.4	2.2	2.3	4.8	0.1	0.2	0.0	5.2	5.6	0.04	5.17
2005-01-27		1,600	900	900	264.0	0.1	7.8	15.1	1.4	3.8	3.0	2.2	0.7	0.0	5.5	8.5	0.05	0.11
2005-03-03		4	5	6	6.5	7.5	8.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5	19.50	20.50

2005-03-31		60	46	26	274.4	0.1	2.9	16.9	2.3	12.3	5.5	1.0	0.2	0.1	4.3	5.7	0.08	4.30
2005-05-10		1,000	340	60	261.4	0.0	24.7	9.6	6.1	13.5	15.8	5.3	2.4	0.3	2.0	10.0	0.68	0.39
2005-06-07		3,200	1,800	440	169.0	0.0	5.2	8.0	6.1	9.9	7.3	3.9	0.4	0.6	3.0	7.9	0.01	0.13
2005-06-23		45,000	80,000	14,000	283.3	0.0	4.5	6.7	2.7	8.5	6.8	0.6	0.2	0.1	1.3	2.2		1.31
2005-06-29		36,000	32,000	6,000	213.0	0.0	15.8			24.2	15.0	0.8	0.1	0.2	1.8	2.9	0.13	0.29
2005-07-01	10:00	1,900,000	1,600,000	500,000	126.0	0.1	3271.0			52.3	2315.0	11.1	2.1	0.9	1.8	15.9	0.32	1.76
2005-07-01	12:02	240,000	110,000	20,000	120.0	0.0	187.0			19.6	185.0	3.8	0.7	0.6	2.4	7.4	0.08	1.76
2005-07-01	14:45	250,000	85,000	25,000	134.0	0.0	77.0			31.0	62.5	8.4	3.0	0.6	2.8	14.8	0.07	0.74
2005-07-01	19:15	110,000	55,000	10,000	154.0	0.0	43.8			33.7	33.5	9.8	2.5	0.7	3.3	16.3	0.21	0.48
2005-07-09	1:10	150,000	55,000	15,000	286.0	0.0	4.5			1.9	2.5	1.3	2.2	0.1	5.2	8.7	0.07	0.78
2005-07-09	7:20	240,000	30,000	30,000	122.0	0.0	267.0			15.6	123.5	3.8	5.7	0.1	2.0	11.5	0.25	2.22
2005-07-09	10:25	15,000	65,000	15,000	117.0	0.0	67.9			28.5	27.5	4.6	1.0	0.0	2.2	7.8	0.07	1.06
2005-08-17		3,200	3,200	600	212.9	0.0	2.7	7.2	1.1	18.9	2.0	0.2	0.1	0.1	2.0	2.4	0.03	0.18
2005-11-27		1,600	1,600	500			1.5		0.2		4.0	1.6	0.4	0.0	4.4	6.4	0.05	0.12
2006-01-16		1,600	1,600	23	228.6	0.1	35.5	11.9	1.0	1.4	6.7		1.2	0.0	4.8	4.6	0.38	0.13
2006-03-20		12,000	12,000	3,200	0.1	7.5	10.7	12.2	9.2		14.0		1.5	0.1	3.3	7.6	0.13	0.18
2006-05-20		5,400	1,500	330			43.3		5.4		40.3		1.4	0.2	2.0	5.4	0.02	0.51
2006-05-31		4,800	2,700	180			7.4		3.2		9.0		0.8	0.2	2.3	3.4	0.11	0.20



J3 (NH)	시간	TC	FC	E.coli	EC	SAL	탁도	DO	BOD	COD	SS	용기 질소	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	TN	PO <sub>4</sub> -P	TP
		(MPN/100ml)			( $\mu$ S/cm)	(%)	(NTU)	(mg/l)										
2003-11-18		2,000	1,800	720	614.0	0.2	11.4	13.4	7.7	10.9	13.0	2.3	2.1	0.4	3.7	8.5	0.5	0.6
2003-12-09		3,000	2,400	960	168.8	0.1	14.0	14.5	3.2	5.2	22.0	2.4	1.9	0.1	3.7	8.1	0.04	0.04
2003-12-19		12,000	10,000	4,000	699.0	0.3	5.1	15.1	5.2	31.1	18.0	1.7	1.2	0.2	4.2	7.2	0.26	1.24
2004-01-07		20,000	18,000	7,200	618.0	0.2	10.7	14.1	7.3	19.3	37.0	1.1	1.5	1.6	4.3	8.5	0.28	0.41
2004-01-27		20,000	18,000	7,200	1380.0	0.0	10.3	14.0	7.0	25.6	15.3	3.4	2.8	0.1	4.0	10.4	0.07	0.87
2004-02-12		24,000	24,000	9,600	1100.0	0.2	13.5	14.2	9.3	11.6	19.0	3.5	4.6	0.1	4.0	12.3	0.36	0.75
2004-03-04		30,000	24,000	9,600	834.0	0.3	25.5	11.0	5.3	10.2	13.8	4.1	3.9	0.2	3.8	12.1	0.60	0.97
2004-03-23		7,500	24,000	9,600	1207.0	0.5	24.5	10.9	3.0	14.9	41.0	6.4	2.8	2.4	2.6	14.3	0.50	0.67
2004-04-01		4,500	13,500	5,400	941.0	0.4	24.5	12.0	4.7	19.8	29.0	2.0	2.3	0.2	1.3	5.8	0.35	0.46
2004-04-20		13,500	3,600	1,440	1649.0	0.9	29.9	10.2	11.7	40.4	32.5	1.4	2.1	0.3	1.1	4.8	0.42	0.94
2004-04-27	12:00	4,250	6,000	2,400	359.0	0.1	52.9	8.8	7.5	25.9	49.5	20.8	3.1	3.1	12.7	39.8	0.19	0.46
2004-04-27	16:40	40,000	12,500	5,000	456.0	0.2	51.0	8.7	7.0	27.7	39.5	19.9	2.9	3.1	12.2	38.2	0.20	0.13
2004-05-27		1,200	450	180	59.6	0.2	10.4	10.2	4.9	11.9	21.5	3.5	0.1	0.2	1.6	5.3	0.16	0.32
2004-06-14		4,500	4,500	1,800	745.0	0.3	11.9	13.4	4.7	10.5	18.5	13.9	1.5	0.2	0.7	16.3	0.25	0.31
2004-07-04	18:00	45,000	25,000	8,500	4.2	0.0	56.0		8.5	27.5	55.0	14.9	0.2	0.2	2.3	17.5	0.03	0.65
2004-07-12		144,000	144,000	144,000	293.4	0.0	51.9	8.0	4.9	11.2	18.0	13.9	0.0	0.2	3.6	17.9	0.64	1.70
2004-07-15	14:05	24,000	8,800	6,400	145.6	0.0	145.0	0.0	3.2	13.0	129.0	15.3	0.3	0.2	2.1	17.8	0.03	1.36
2004-07-15	19:10	45,000	25,000	4,500	172.1	0.0	127.0	0.0	10.6	21.6	92.0	15.3	0.6	0.1	1.9	17.9	0.03	0.80
2004-07-17	10:50	20,000	20,000	5,200	127.8	0.0	27.0	0.0	3.8	13.0	21.0	8.7	0.2	0.0	3.3	12.3	0.03	0.48
2004-08-31		13,500	4,500	750	104.8	0.0	21.5	6.7	1.9	12.4	18.0	1.9	0.2	0.0	1.4	3.5	0.37	0.51
2004-10-01		6,400	3,200	1,600	0.5	0.2	18.6	7.9	2.4	14.8	22.5	1.4	0.6	0.1	3.1	5.1	0.23	0.54
2004-11-12		-	-	-	0.3	0.0	5.0	10.1	1.9	46.6	3.3	2.7	1.6	0.2	2.2	6.6	0.34	0.74
2004-12-16		4,800	4,800	4,800	355.0	0.1	7.4	10.6	5.7	10.0	6.8	0.3	2.8	0.1	4.5	7.6	0.34	4.49
2005-01-27		8,000	4,500	4,500	604.0	0.2	11.8	12.7	8.8	33.5	10.0	3.0	3.3	0.1	3.0	9.4	0.14	0.24
2005-03-03		8,000	8,000	250	768.0	0.1	18.6	12.6	4.5	23.7	10.0	1.4	4.9	0.2	3.5	10.0	0.21	0.45
2005-03-31		16,000	2,400	500	1218.0	0.6	22.7	13.6	8.9	52.1	23.6	2.8	2.5	0.1	1.5	6.9	0.27	1.51
2005-05-10		1,400	1,000	80	616.0	0.2	11.5	9.7	5.1	16.8	10.8	3.6	4.8	0.2	1.7	10.4	0.50	0.27
2005-06-07		18,000	3,400	1,600	1384.0	0.7	18.5	8.2	0.7	19.8	22.5	0.4	0.6	0.3	2.1	3.4	0.07	0.19
2005-06-23		1,500	1,200	115	490.0	0.0	18.0	7.4	3.4	22.1	57.1	0.5	0.3	0.0	0.9	1.7	0.07	0.86
2005-07-01	12:22	1,600,000	350,000	80,000	147.0	0.0	1390.0			11.3	997.1	4.3	14.9	0.9	1.5	21.6	0.21	1.07

2005-07-01	19:00	150,000	120,000	15,000	189.0	0.0	46.5			12.7	47.0	5.0	6.5	0.9	2.1	14.5	0.30	0.45
2005-07-09	7:35	450,000	150,000	40,000	365.0	0.1	998.0			12.9	52.5	4.8	1.9	0.2	2.7	8.6	0.18	1.17
2005-07-09	10:55	150,000	250,000	110,000	188.0	0.0	143.0			32.9	38.5	4.5	1.2	0.1	2.0	7.6	0.15	1.28
2005-07-09	15:48	70,000	65,000	13,500	188.0	0.0	58.5			14.8	15.0	4.2	1.5	0.1	2.0	7.6	0.08	1.21
2005-08-17		16,000	5,000	800	364.0	0.1	14.7	6.0	4.1	33.2	15.0	0.4	0.2	0.1	1.9	2.5	0.07	0.19
2005-11-27		9,000	4,500	850			4.6		2.3		4.0	1.8	0.9	0.1	3.6	6.3	0.08	0.18
2006-01-16		4,800	4,800	6	41400.0	0.2	7.1	11.0	5.1	37.7	8.3	4.9	10.5	0.1	3.5	9.2	0.08	0.27
2006-03-20		4,500	6	0	804.0	0.4	12.0	5.3	8.8		33.0		5.9	0.1	2.9	11.2	0.21	0.42
2006-05-20		8,500	1,500	65			16.5		5.8		28.0		3.8	0.3	3.4	7.8	0.19	1.86
2006-05-31		8,000	8,000	250			14.7		6.2		13.5		3.7	0.2	4.3	8.6	0.32	0.93

J4 (SP)	시간	TC	FC	E.coli	EC	SAL	탁도	DO	BOD	COD	SS	유기질소	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	TN	PO <sub>4</sub> -P	TP
		(MPN/100ml)			( $\mu$ s/cm)	(%)	(NTU)	(mg/ℓ)										
2003-11-18		1,600	500	200	6610.0	4.2	20.7	8.9	6.1	8.0	38.5	1.9	0.5	0.1	1.9	4.5	0.06	0.59
2003-12-09		1,800	1,600	640	335.0	0.1	26.1	12.2	4.8	14.1	33.5	4.7	0.8	0.1	1.0	6.5	0.04	0.30
2003-12-19		560	260	104	3230.0	1.6	6.4	16.9	4.4	15.0	8.5	1.4	0.1	0.2	2.2	3.9	0.04	0.54
2004-01-07		4,000	3,200	1,280	2167.0	1.3	13.2	10.1	5.0	20.4	19.8	2.1	0.4	0.6	1.4	4.5	0.02	0.36
2004-01-27		90	69	28	1380.0	0.0	11.4	16.5	0.7	18.5	1.3	1.9	1.0	0.0	1.5	4.5	0.06	0.64
2004-02-12		3,200	3,200	1,280	2665.0	1.3	29.9	14.1	4.9	8.8	30.3	0.3	1.1	0.1	0.7	2.2	0.13	0.26
2004-03-04		1,800	700	280	3550.0	1.8	28.9	9.6	5.6	14.3	25.3	1.4	0.9	0.1	0.9	3.3	0.08	0.29
2004-03-23		270	720	288	380.0	2.0	25.3	14.7	4.2	10.1	33.8	0.5	1.4	1.3	1.8	5.0	0.11	0.39
2004-04-01		60	60	24	580.0	3.1	25.3	13.0	4.7	46.8	63.0	2.0	0.3	0.1	0.9	3.3	0.02	0.22
2004-04-20		4,000	35,000	14,000	451.0	2.6	18.8	18.9	12.2	61.2	43.8	3.3	0.6	0.3	0.9	5.1	0.03	1.00
2004-04-27	12:00	8,000	8,000	3,200	2867.0	1.7	48.5	6.8	3.7	36.3	70.0	7.4	2.0	2.0	5.4	16.8	0.15	1.43
2004-04-27	16:40	8,000	8,000	3,200	1208.0	0.6	36.4	9.3	12.2	34.6	32.0	8.8	1.4	1.6	5.5	17.3	0.15	0.21
2004-05-27		1,000	1,000	400	2660.0	1.4	7.5	6.0	1.8	14.6	9.5	2.6	0.3	0.2	1.3	4.4	0.02	0.24
2004-06-14		3,200	1,800	720	370.0	1.9	15.6	11.6	0.7	28.8	27.5	4.3	0.2	0.4	5.2	10.1	0.65	0.71
2004-07-04	18:00	80,000	45,000	12,000	10.6	0.0	106.0	0.0	10.8	25.8	97.0	20.3	0.1	0.3	1.8	22.6	0.03	0.81
2004-07-12		25,000	12,000	3,500	192.3	0.0	37.8	8.0	6.2	14.7	8.0	19.3	0.2	0.2	1.7	21.3	1.14	1.20
2004-07-15	19:00	50,000	30,000	3,000	216.7	0.0	116.0	0.0	14.3	28.5	93.0	21.5	0.3	0.1	1.7	23.6	0.03	0.98
2004-08-31		1,400	2,500	150	760.0	0.3	20.1	14.7	7.5	12.4	17.3	2.8	0.1	0.0	1.6	4.5	0.25	0.46
2004-10-01		8,000	1,100	150	1.1	0.6	15.6	8.0	4.5	28.9	20.5	2.0	0.2	0.0	1.6	3.9	0.12	0.35
2004-11-12		-	-	-	1.3	0.7	20.1	9.3	5.8	54.8	21.5	1.7	0.5	0.1	0.9	3.1	0.01	0.50
2004-12-16		5,000	3,000	2,400	2213.0	1.3	15.0	13.7	6.7	6.6	18.5	0.8	0.5	0.1	3.0	4.4	0.05	2.96
2005-01-27		230	230	230	2071.0	1.2	12.2	11.9	6.3	18.5	11.0	2.3	0.9	0.0	1.8	5.0	0.06	0.60
2005-03-03		500	300	80	2139.0	1.3	15.6	10.9	9.0	35.4	8.0	2.3	0.7	0.1	2.7	5.8	0.06	0.70
2005-03-31		500	230	20	3230.0	0.5	17.9	11.3	12.4	65.6	38.3	2.1	0.0	0.0	0.6	2.7	0.14	0.61
2005-05-10		9,000	3,000	130	1752.0	0.9	34.2	7.6	8.8	35.2	30.6	0.2	6.9	0.2	1.9	9.3	0.01	0.40
2005-06-07		9,000	9,000	230	3700.0	2.0	11.8	6.3	5.5	17.3	19.0	1.9	0.9	0.3	2.2	5.3	0.13	0.21
2005-06-23		16,000	16,000	90	3880.0	2.0	21.9	7.3	3.6	27.4	31.8	1.5	0.3	0.1	1.3	3.2	0.16	0.40
2005-08-17		16,000	9,000	300	1001.0	0.4	19.1	6.6	3.6	30.0	19.0	0.4	0.1	0.0	1.3	1.9	0.10	0.20
2005-11-27		1,500	150	150			13.4		1.3		15.5	1.5	0.4	0.0	1.7	3.7	0.05	0.15
2006-01-16		4,800	4,800	6	1069.0	0.6	9.6	11.9	5.4	42.1	11.3	11.2	3.8	0.0	1.7	16.7	0.04	0.29
2006-03-20		8,000	8,000	4,500	6640.0	4.2	25.6	4.4	6.6		64.4		7.2	1.2	1.7	11.7	0.63	1.69
2006-05-20		8,000	2,500	85			18.4		16.9		22.0		3.0	0.5	2.5	7.1	0.42	0.66
2006-05-31		650	400	55			9.6		4.4		14.5		0.5	0.1	1.5	2.6	0.22	0.26

E2 (BE)	시간	TC	FC	E.coli	EC	SAL	탁도	DO	BOD	COD	SS	유기질소	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	TN	PO <sub>4</sub> -P	TP
		(MPN/100ml)			( $\mu$ s/cm)	(%)	(NTU)	(mg/ℓ)										
2003-11-18		900	900	360	464.0	0.2	26.1	11.8	10.2	12.0	43.5	1.8	0.3	0.1	1.2	3.3	0.79	0.41
2003-12-09		1,800	1,600	640	100.3	0.0	61.0	13.8	3.8	12.5	76.0	2.4	0.9	0.2	1.1	4.5	0.08	0.08
2003-12-19		600	280	112	6750.0	3.6	11.0	15.4	5.8	41.8	20.5	0.7	0.1	0.0	1.5	2.3	0.00	0.29
2004-01-07		720	90	36	477.0	0.2	11.7	15.1	6.3	28.9	43.5	2.9	0.1	0.0	1.6	4.6	0.02	0.29
2004-01-27		100	60	24	311.3	0.0	44.7	13.9	5.2	15.6	12.1	2.5	0.3	0.0	1.8	4.7	0.01	0.45
2004-02-12		3,200	1,000	400	1833.0	0.9	41.9	14.2	13.0	16.8	45.5	0.4	0.3	0.0	1.8	2.5	0.14	0.30
2004-03-04		480	60	24	704.0	0.4	45.6	11.5	2.4	16.2	40.8	1.0	0.1	0.0	2.1	3.3	0.02	0.28
2004-03-23		50	12	5	710.0	0.3	34.5	11.8	3.3	26.1	45.8	0.2	0.3	0.4	1.5	2.4	0.07	0.28
2004-04-01		200	66	26	1422.0	0.7	34.5	11.3	1.3	25.2	52.5	1.4	0.0	0.0	1.0	2.5	0.01	0.07
2004-04-20		260	260	104	739.0	0.3	12.4	10.6	3.1	27.7	51.3	1.3	0.2	0.1	1.0	2.6	0.01	0.22
2004-04-27	10:30	4,500	2,500	1,000	612.0	0.3	35.0	8.4	2.9	31.1	47.0	6.3	1.0	2.4	4.6	14.4	0.14	0.86
2004-04-27	15:40	4,500	2,500	1,000	613.0	0.3	32.5	9.6	1.9	24.2	31.0	6.0	1.0	2.4	4.4	13.9	0.11	0.09
2004-05-27		600	600	240	917.0	0.4	9.2	5.5	4.6	11.1	10.5	1.8	0.7	0.2	1.1	3.8	0.01	0.33
2004-06-14		1,800	1,800	720	1150.0	0.5	12.2	4.3	5.3	11.9	13.5	8.0	0.2	0.3	1.1	9.6	0.03	0.10
2004-06-19	23:20	32,000	32,000	12,800	612.0	0.0	253.0	6.0	2.5	12.7	8.0	17.0	0.2	0.2	1.8	19.2	0.05	0.68
2004-06-19	11:30	80,000	45,000	18,000	282.7	0.0	333.0	6.1	4.1	20.3	41.0	20.3	0.2	0.6	2.0	23.1	0.13	0.64
2004-06-20	2:50	-	-	-	747.0	0.3	75.1	7.0	6.8	33.8	52.0	15.4	0.1	0.3	1.2	17.0	0.03	0.27
2004-06-20	8:00	16,000	16,000	6,400	585.4	0.0	91.3	7.4	7.6	38.0	31.0	17.6	0.2	0.4	1.3	19.5	0.03	0.26
2004-06-20	10:13	-	-	-	553.6	0.0	103.0	7.2	5.9	29.6	29.0	16.8	0.1	0.4	1.5	18.8	0.02	0.20
2004-06-20	12:36	8,000	8,000	3,200	502.0	0.2	105.0	7.5	3.4	16.9	46.0	16.9	0.1	0.5	1.5	19.1	0.02	0.23
2004-06-20	17:10	-	-	-	465.8	0.0	65.0	7.3	3.9	19.4	27.0	16.5	0.2	0.4	1.5	18.6	0.02	0.20
2004-06-21	10:20	-	-	-	560.4	0.0	35.1	7.0	7.4	37.2	20.5	15.2	0.1	0.5	1.3	17.1	0.01	0.25
2004-07-04	10:45	12,000	20,000	1,200	9.3	0.0	62.4		6.5	17.2	85.0	15.6	0.6	0.2	0.9	17.3	0.03	0.54
2004-07-04	13:50	27,000	27,000	990	9.4	0.0	50.3		7.5	31.8	75.5	15.4	0.5	0.2	0.8	16.9	0.03	0.36
2004-07-04	18:25	9,000	9,000	5,100	9.8	0.0	36.7		7.0	44.7	38.5	17.6	0.3	0.1	0.8	18.8	0.03	0.34
2004-07-07	11:30	8,800	40,000	5,600	316.0	0.1	72.3		24.5	33.8	104.0	16.0	0.3	0.2	1.3	17.7	0.03	0.65
2004-07-07	14:05	22,400	13,600	4,000	330.0	0.1	51.8		22.1	38.0	62.0	15.9	0.4	0.2	1.1	17.6	0.53	0.56
2004-07-07	18:30	15,000	25,000	3,000	365.0	0.1	44.4		16.9	29.6	58.0	15.5	0.4	0.1	1.1	17.2	0.03	0.50
2004-07-07	20:52	6,500	15,000	4,000	330.0	0.1	56.7		9.2	16.9	92.0	16.3	0.4	0.1	1.0	17.9	0.03	0.65
2004-07-07	23:50	15,000	15,000	6,500	334.0	0.1	51.8		18.2	19.4	54.0	16.1	0.4	0.1	1.1	17.8	0.03	0.56
2004-07-08	11:50	8,500	8,500	1,150	316.0	0.1	53.2		17.4	37.2	41.0	17.5	0.4	0.1	1.6	19.7	0.03	0.54
2004-07-12		6,500	15,000	2,500	345.0	0.0	64.1	8.0	6.5	13.0	27.0	44.3	0.4	0.2	1.4	46.4	0.67	1.80

2004-07-15	14:30	11,000	5,000	3,000	203.1	0.0	101.0		12.9	30.3	86.0	16.9	0.5	0.1	1.4	18.9	0.03	0.70
2004-07-15	18:26	8,000	5,000	5,000	207.6	0.0	141.0		14.6	30.3	106.0	16.0	0.4	0.2	1.6	18.2	0.03	0.85
2004-07-16	16:05	10,000	48,000	10,000	174.5	0.0	176.0		6.6	21.6	46.0	16.0	0.3	0.1	1.7	18.1	0.03	0.42
2004-07-16	21:25	10,000	16,000	10,000	182.7	0.0	164.0		13.6	13.0	166.0	19.0	0.3	0.1	1.5	20.9	0.03	0.57
2004-07-16	3:18	26,000	28,000	4,600	178.9	0.0	189.0		6.0	30.3	105.0	17.6	0.2	0.1	1.5	19.3	0.03	0.53
2004-07-17	10:48	160,000	160,000	5,000	251.5	0.0	70.5		1.3	21.6	45.0	16.3	0.7	0.1	2.5	19.7	0.04	0.54
2004-08-31		72,000	64,000	12,000	136.3	0.0	10.1	6.6	10.9	24.2	6.0	0.7	2.8	0.4	0.6	4.5	0.30	1.45
2004-10-01		3,600	960	320	0.4	0.1	2.8	7.2	1.5	17.3	19.5	2.6	0.3	0.0	1.2	4.1	0.31	0.49
2004-11-12		-	-	-	398.0	0.1	41.2	10.1	4.2	62.1	60.0	2.5	0.1	0.0	0.9	3.5	0.02	0.48
2004-12-16		100	60	46	624.0	0.1	17.8	11.8	2.8	3.4	19.0	0.5	0.2	0.0	2.6	3.3	0.00	2.55
2005-01-27		1,600	500	500	513.0	0.2	23.8	12.1	2.8	4.2	21.0	0.5	0.4	0.0	2.8	3.7	0.02	0.07
2005-03-03		176	506	176	631.0	0.3	58.6	10.0	3.3	24.6	62.2	0.0	0.2	0.0	1.5	1.7	0.06	1.46
2005-03-31		176	506	176	631.0	0.3	58.6	10.0	3.3	24.6	62.2	0.0	0.2	0.0	1.5	1.7	0.06	1.46
2005-05-10		300	300	110	871.0	0.4	33.2	8.9	6.4	27.8	34.3	5.8	2.9	0.2	0.9	9.8	0.19	0.25
2005-06-07		700	700	300	1009.0	0.5	16.1	5.9	7.3	15.8	21.0	0.8	0.4	0.2	1.5	3.0	0.02	0.02
2005-06-23		4,800	6,000	40	1054.0	0.5	18.7	5.5	3.4	20.9	35.9	1.0	0.1	0.0	0.6	1.8		0.62
2005-06-29		32,000	18,000	6,000	460.0	0.1	49.2			31.6	82.0	-0.5	0.3	0.9	0.6	1.4	0.16	0.18
2005-07-01	5:06	15,000	25,000	2,000	776.0	0.0	21.2			17.4	28.5	2.6	8.7	1.0	0.6	13.0	0.11	0.55
2005-07-01	9:25	150,000	110,000	5,000	748.0	0.3	43.0			24.6	57.0	3.3	6.6	0.9	0.5	11.2	0.02	0.13
2005-07-01	12:46	250,000	70,000	40,000	502.0	0.3	328.0			11.7	339.0	10.4	0.1	0.7	0.9	12.1	0.39	0.51
2005-07-01	14:15	120,000	120,000	15,000	564.0	0.2	173.0			6.5	217.0	9.7	2.2	0.5	0.6	13.0	0.27	1.24
2005-07-01	18:25	25,000	25,000	2,000	711.0	0.0	62.2			15.0	76.0	16.6	2.5	0.6	0.4	20.1	0.14	0.36
2005-07-09	1:45	12,000	4,400	-	586.0	0.0	18.2			12.5	30.0	4.1	0.6	0.1	1.2	7.1	0.05	0.70
2005-07-09	7:50	120,000	25,000	6,500	266.0	0.0	231.0			20.6	114.3	3.8	1.3	0.1	0.6	5.8	0.01	0.93
2005-07-09	11:20	96,000	68,000	52,000	324.0	0.1	98.6			12.8	38.5	10.3	0.8	0.1	1.0	12.2	0.11	1.32
2005-07-09	16:10	28,000	20,000	6,800	408.0	0.1	37.0			9.4	60.0	5.1	0.9	0.1	0.7	6.9	0.05	0.57
2005-07-09	7:58	900,000	1,600,000	500,000	290.0	0.1	227.0			59.5	70.8	2.2	7.1	0.0	0.5	9.8	0.07	1.94
2005-08-17		8,000	4,500	150	338.0	0.1	16.5	6.0	2.6	36.3	21.0	0.4	0.1	0.0	0.9	1.5	0.01	0.19
2005-11-27		260	60	34			17.5		6.9		43.0	1.8	0.0	0.0	1.3	3.2	0.02	0.15
2006-01-16		900	500	2	362.0	0.1	26.1	12.9	7.6	20.8	46.5	10.0	1.1	0.0	2.2	13.4	0.02	0.19
2006-03-20		80	70	17	704.0	0.2	33.3	11.4	2.1		64.0		0.4	0.0	1.4	2.6	0.01	0.07
2006-05-20		340	220	46			30.5		6.8		31.3		2.3	0.3	1.0	6.1	0.42	0.40
2006-05-31		3,200	3,200	100			9.6		5.2		11.0		0.2	0.1	1.0	1.9	0.01	0.12

E3 (MA)	시간	TC	FC	E.coli	EC	SAL	탁도	DO	BOD	COD	SS	용기 질소	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	TN	PO <sub>4</sub> -P	TP
		(MPN/100mℓ)			(μs/cm)	(‰)	(NTU)	(mg/ℓ)										
2003-11-18		20,000	18,000	7,200	1268.0	0.7	14.3	2.6	50.2	79.1	25.3	12.9	9.0	0.4	1.0	23.3	0.51	1.55
2003-12-09		38,000	24,000	9,600	200.6	0.0	20.7	6.5	20.7	39.7	4.5	15.4	0.2	0.1	1.2	16.9	0.10	0.26
2003-12-19		12,000	10,000	4,000	1465.0	0.7	7.4	7.2	32.9	57.9	39.0	6.0	11.3	0.0	1.3	18.6	0.22	2.59
2004-01-07		15,000	10,000	4,000	1730.0	1.0	17.1	6.7	20.2	75.0	29.8	5.7	9.4	1.7	1.8	18.6	0.45	1.61
2004-01-27		40,000	30,000	12,000	524.7	0.0	22.7	6.5	60.9	21.3	42.8	12.9	11.2	0.1	1.5	25.6	0.53	1.72
2004-02-12		26,000	20,000	8,000	546.0	0.2	37.7	6.5	12.9	56.8	54.0	4.3	7.8	0.7	1.8	14.6	0.25	3.60
2004-03-04		40,000	30,000	12,000	877.0	0.4	18.3	5.6	23.5	62.8	28.5	6.7	7.8	0.2	0.2	15.0	0.23	3.16
2004-03-23		32,000	32,000	12,800	1667.0	0.8	19.5	5.3	22.5	34.5	45.0	15.1	7.9	0.4	0.4	23.8	0.86	4.91
2004-04-01		40,000	40,000	16,000	1268.0	0.6	19.5	3.5	46.7	96.1	44.5	27.3	10.9	0.9	0.1	39.3	0.47	5.11
2004-04-20		60,000	50,000	20,000	992.0	0.5	10.4	3.2	13.9	38.7	34.0	6.5	2.8	0.2	0.1	9.7	0.01	4.28
2004-04-27	11:00	14,000	15,000	6,000	181.5	3.7	59.9	5.3	2.9	43.6	65.0	0.1	6.2	2.8	3.0	12.0	0.27	0.82
2004-04-27	16:00	80,000	80,000	32,000	570.2	4.1	26.0	5.8	2.7	29.8	44.5	8.5	7.2	3.1	8.8	27.6	0.21	0.48
2004-05-27		520	520	208	972.0	0.4	11.2	1.9	5.6	16.2	17.5	29.1	2.1	0.3	1.3	32.7	0.12	0.78
2004-06-14		48,000	27,000	10,800	1212.0	0.5	9.1	5.5	22.6	10.5	9.0	43.8	0.8	0.3	0.7	45.5	0.10	0.16
2004-07-12		13,600	13,600	5,600	266.2	0.0	107.0	8.0	4.8	8.6	26.0	32.9	0.7	0.3	2.4	36.2	0.91	1.00
2004-06-19	11:30	80,000	45,000	18,000	282.7	0.0	333.0	6.1	4.1	20.3	41.0	20.3	0.2	0.6	2.0	23.1	0.13	0.64
2004-06-20	3:00				314.0	0.1	114.0	5.8	7.6	38.0	49.0	16.8	0.1	0.6	1.8	19.3	0.08	0.41
2004-06-20	8:20				345.0	0.1	65.9	5.3	6.3	31.3	23.0	17.8	0.2	0.7	0.7	19.4	0.06	0.26
2004-06-20	10:30				365.0	0.1	51.4	5.9	5.9	29.6	49.0	15.1	0.2	0.9	1.5	17.7	0.05	0.23
2004-06-20	12:42				393.0	0.1	25.0	5.3	5.7	28.7	30.0	16.1	0.2	1.1	1.4	18.9	0.06	0.31
2004-06-20	17:55				422.0	0.1	15.5	4.9		21.1	14.0	47.0	0.2	1.4	1.3	49.9	0.06	0.22
2004-06-21	10:30				572.8	0.0	14.7			8.3	23.5	20.2	0.8	1.7	1.2	23.9	0.10	0.31
2004-07-04	10:55	128,000	72,000	40,000	5.6	0.0	123.0		9.8	36.1	103.0	17.0	0.4	0.5	1.5	19.4	0.03	0.54
2004-07-04	14:00	80,000	45,000	5,500	5.6	0.0	78.5		9.1	34.4	47.0	16.7	0.4	0.3	1.7	19.2	0.03	0.57
2004-07-04	18:25	80,000	80,000	4,000	6.9	0.0	35.1		14.1	28.4	37.5	16.3	0.6	0.2	1.2	18.3	0.03	0.39
2004-07-07	11:43	2,300	3,000	2,300	240.7	0.0	94.1		29.7	20.3	82.0	17.0	0.5	0.3	1.7	19.5	0.03	0.98
2004-07-07	14:15	40,000	19,200	10,400	210.3	0.0	109.0		28.4	38.0	98.0	16.7	0.3	0.3	1.7	18.9	0.03	0.93
2004-07-07	18:50	40,000	17,600	8,800	237.8	0.0	52.4		23.2	31.3	46.0	17.0	0.4	0.2	2.0	19.6	0.03	0.94
2004-07-07	21:02	128,000	72,000	40,000	220.2	0.0	205.0		33.1	29.6	198.0	17.0	0.5	0.2	1.7	19.4	0.03	1.52
2004-07-07	0:00	45,000	25,000	15,000	219.7	0.0	87.7		29.7	28.7	60.0	18.4	0.3	0.2	2.0	20.9	0.04	0.82

2004-07-08	12:40	80,000	45,000	15,000	341.0	0.1	34.6		32.1	21.1	28.0	13.7	0.7	0.2	2.8	17.3	0.03	0.55
2004-07-12	22:41	13,600	13,600	5,600	266.2	0.0	107.0		4.8	8.6	26.0	32.9	0.7	0.3	2.4	36.2	0.91	1.00
2004-07-15	14:35	60,000	60,000	16,000	153.1	0.0	248.0		15.2	28.5	156.0	15.8	0.2	0.1	1.6	17.8	0.15	1.29
2004-07-15	8:52	50,000	30,000	11,000	140.4	0.0	134.0		8.9	30.3	80.0	20.6	0.1	0.1	2.1	22.9	0.16	0.94
2004-07-16	16:20	180,000	60,000	10,000	144.2	0.0	178.0		13.3	23.4	105.0	19.4	0.3	0.1	2.0	21.9	0.08	0.59
2004-07-16	21:30	90,000	50,000	7,000	178.2	0.0	74.2		7.4	23.4	47.0	15.5	0.3	0.1	2.4	18.4	0.03	0.49
2004-07-16	3:24	90,000	50,000	7,000	214.2	0.0	47.4		4.5	21.6	35.0	16.0	0.5	0.1	3.0	19.6	0.03	0.47
2004-07-17	11:00	44,000	34,000	6,000	188.6	0.0	144.0		6.9	21.6	81.0	17.7	0.1	0.1	1.6	19.6	0.03	0.49
2004-08-31		72,000	64,000	12,000	136.3	0.0	10.1	6.6	10.9	24.2	6.0	0.7	2.8	0.4	0.6	4.5	0.30	1.45
2004-10-01		80,000	80,000	12,000	0.9	0.0	0.4	2.1	16.5	42.1	20.5	3.1	7.9	0.2	1.0	12.2	0.55	2.02
2004-11-12		90,000	80,000	25,000	0.9	0.5	11.8	3.3	9.8	61.9	20.0	5.3	5.8	0.2	0.2	11.4	0.18	1.79
2004-12-16		32,000	10,000	2,200	866.0	0.4	26.6	5.4	27.4	43.0	17.3	3.4	8.4	0.6	0.5	12.8	0.72	0.52
2005-01-27		3,250	40,000	575	860.0	0.4	49.0	5.9	65.7	88.8	102.0	5.0	12.0	0.2	2.4	19.6	0.51	1.26
2005-03-03		40,000	40,000	7,000	789.0	0.4	47.6	5.6		49.7	37.5	4.6	12.9	0.3	2.6	20.4	0.72	1.62
2005-03-31		11,000	8,500	2,500	785.0	0.4	18.4	6.7	50.1	76.2	40.0	9.9	8.3	0.2	1.4	19.8	0.54	1.36
2005-05-10		80,000	15,000	1,150	1046.0	0.5	18.7	4.5	10.7	36.5	17.8	30.6	10.5	0.2	1.5	42.8	0.14	1.15
2005-06-07		80,000	80,000	3,500	997.0	0.4	14.1	3.9	9.9	14.8	22.3	2.9	2.4	0.2	1.3	6.7	0.10	0.03
2005-06-23		260	1,000	28	1063.0	0.5	11.8	1.7	7.1	18.9	22.9	2.0	2.6	0.1	0.7	5.4	0.08	0.67
2005-07-01	13:00	240,000	170,000	30,000	230.0	0.3	502.0			24.4	320.0	1.0	11.5	0.9	1.4	14.8	0.01	0.30
2005-07-01	18:40	1,600,000	240,000	50,000	335.0	0.0	98.1			40.1	61.0	13.6	0.5	1.0	0.7	15.9	0.01	0.41
2005-07-09	7:58	900,000	1,600,000	500,000	290.0	0.1	227.0			59.5	70.8	2.2	7.1	0.0	0.5	9.8	0.07	1.94
2005-07-09	11:30	150,000	250,000	65,000	256.0	0.0	85.4			13.2	28.5	6.9	3.2	0.1	1.5	11.8	0.11	2.43
2005-07-09	16:15	85,000	150,000	25,000	326.0	0.1	44.9			0.1	21.0	3.0	3.7	0.1	1.1	7.9	0.05	1.12
2005-08-17		40,000	40,000	16,000	465.0	0.1	13.0	3.3	7.8	48.9	20.0		2.8	0.2	1.2	4.0	0.13	0.39
2005-11-27		21,000	5,000	2,400			11.5		15.0		12.5	2.9	8.5	0.1	0.9	12.4	0.15	0.26
2006-01-16		16,000	16,000	40	441.0	0.2	13.5	8.8	12.7	31.7	13.5	27.1	7.2	0.0	2.3	36.6	0.15	0.23
2006-03-20		48,000	48,000	15,000	762.0	0.2	12.6	8.2	19.0		44.0		11.6	0.1	0.7	15.7	0.29	1.02
2006-05-20		27,000	15,000	690			11.7		5.5		18.0		2.7	0.3	1.1	8.6	0.07	1.47
2006-05-31		48,000	48,000	2,100			12.1		6.4		19.5		1.9	0.2	1.0	8.2	0.06	1.20

### <부 록 3. 담수호내 수질 측정 자료>

1. 화옹호의 상·하류 구간에서 조사 분석된 주요 수질 환경요인의 기초자료 (2003년 9월)

Factors stations	Temp. (°C)	DO (mg/l)	pH	Cond. (mS/cm)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	TSS (mg/l)	Chl-a (ug/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	T-N (ug/l)	Org-N (ug/l)	NH <sub>4</sub> -N (ug/l)	NO <sub>3</sub> -N (ug/l)	NO <sub>2</sub> -N (ug/l)	T-P (ug/l)	Org-P (ug/l)	SRP (ug/l)
1-상	12.2	8.4	8.2	19.6	11.8	12.2	17.2	36.4	6.1	3.6	2,541.2	673.5	125.6	1,425.1	317.0	177.0	151.4	25.6
1-중	11.5	6.9	7.7	31.7	20.0	11.5	30.4	12.1	4.6	3.6	1,497.5	692.1	249.9	406.2	149.3	164.0	122.5	41.5
1-하	21.9	5.8	7.7	34.2	21.8	21.9	39.2	14.7	3.2	3.5	1,245.3	598.5	220.4	297.2	129.2	157.5	109.6	47.9
2-상	10.1	9.4	8.2	29.2	18.2	10.1	18.4	33.8	6.4	5.3	1,396.6	680.2	122.9	467.8	125.6	130.0	117.2	12.8
2-중	4.7	7.8	7.9	36.7	23.6	4.7	16.8	9.8	3.2	3.8	963.0	482.5	148.9	226.1	105.6	110.6	57.9	52.7
2-하	14.1	6.8	7.9	37.6	24.2	14.1	37.2	6.2	1.5	3.1	831.9	330.8	207.9	197.7	95.5	121.9	61.2	60.7
3-상	8.0	10.7	8.3	24.1	14.8	8.0	12.0	40.5	7.6	6.2	2,077.3	842.8	167.6	875.3	191.6	138.1	130.1	8.0
3-중	2.5	8.6	8.1	37.8	24.4	2.5	14.4	1.5	1.6	3.2	524.3	191.6	91.7	169.2	71.9	47.4	23.4	24.0
3-하	13.4	8.3	8.1	38.4	24.8	13.4	26.0	4.6	0.9	4.3	569.7	248.5	132.8	126.6	61.8	92.7	52.8	39.9
4-상	16.8	16.8	8.6	30.2	19.0	16.8	30.8	69.5	10.4	8.9	1,295.8	870.6	42.5	328.0	54.7	193.2	170.8	22.4
4-중	18.5	15.0	8.4	30.4	19.1	18.5	33.7	54.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4-하	20.0	14.8	8.3	30.5	19.2	20.0	35.2	41.8	7.5	7.3	907.5	610.8	45.2	150.3	101.3	133.2	123.6	9.6
5-상	3.5	12.2	8.1	30.9	19.5	3.5	17.6	17.8	3.0	6.1	796.6	567.9	28.2	137.2	63.3	47.4	44.2	3.2
5-중	1.9	9.2	8.1	31.0	19.6	1.9	12.0	1.8	0.7	4.4	504.1	183.9	47.9	262.8	9.5	37.7	18.5	19.2
5-하	9.1	9.0	8.1	38.8	25.0	9.1	17.6	3.1	1.8	4.1	524.3	50.8	70.2	345.8	57.5	66.8	36.5	30.3
6-상	3.2	11.6	8.4	35.9	23.0	3.2	19.2	11.9	2.7	4.6	756.2	312.6	58.6	275.9	109.1	47.4	44.2	3.2
6-중	2.4	9.2	8.1	36.1	23.1	2.4	14.0	5.7	3.1	5.2	579.8	246.8	41.6	182.3	109.1	52.3	34.7	17.6
6-하	2.0	8.7	8.0	37.1	23.7	2.0	12.0	3.6	1.5	2.7	574.7	367.2	38.9	67.3	101.3	49.0	28.2	20.8



2. 화옹호의 상·하류 구간에서 조사 분석된 주요 수질 환경요인의 기초자료 (2003년 10월)

Factors stations	Temp. (°C)	DO (mg/l)	pH	Cond. (mS/cm)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	TSS (mg/l)	Chl-a (ug/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	T-N (ug/l)	Org-N (ug/l)	NH <sub>4</sub> -N (ug/l)	NO <sub>3</sub> -N (ug/l)	NO <sub>2</sub> -N (ug/l)	T-P (ug/l)	Org-P (ug/l)	SRP (ug/l)
1-상	9.6	12.1	8.2	35.3	22.6	9.6	24.4	9.6	6.5	5.3	660.9	279.7	285.6	60.2	35.3	73.3	62.1	11.2
1-중	8.9	10.2	8.0	38.3	24.8	8.9	23.6	15.5	9.0	6.7	885.7	737.1	73.3	57.9	17.4	112.2	93.0	19.2
1-하	10.5	9.0	7.8	39.8	25.8	10.5	27.6	8.5	8.0	6.6	1,069.6	933.4	31.8	86.3	18.1	123.5	94.8	28.8
2-상	6.8	9.5	8.0	39.8	25.9	6.8	64.8	3.9	7.0	4.8	604.7	446.7	59.5	76.8	21.7	71.7	42.9	28.8
2-중	7.7	9.9	8.0	40.2	26.0	7.7	66.4	3.9	6.8	5.2	512.8	372.6	82.7	36.5	21.0	66.8	39.7	27.2
2-하	17.3	9.9	7.9	40.7	26.4	17.3	90.4	3.6	7.5	4.8	666.0	543.6	62.2	34.2	26.0	62.0	36.4	25.6
3-상	2.9	11.2	8.1	39.9	25.9	2.9	19.2	3.1	1.6	5.1	318.6	210.7	45.2	46.0	16.7	40.9	23.3	17.6
3-중	2.4	10.8	8.0	40.2	26.0	2.4	57.6	3.6	6.8	5.1	471.9	403.5	0.0	53.1	15.3	49.0	34.6	14.4
3-하	7.6	10.2	8.0	40.5	26.3	7.6	26.8	3.4	5.5	5.4	364.6	239.5	13.9	88.7	22.4	52.3	29.9	22.4
4-상	5.3	11.0	8.0	40.8	26.5	5.3	25.2	2.8	5.1	5.2	354.4	237.5	9.9	83.9	23.1	42.5	23.4	19.2
4-중	5.2	11.0	8.1	41.1	26.8	5.2	62.4	2.3	5.6	5.9	660.9	566.4	37.1	34.2	23.1	42.5	25.0	17.6
4-하	10.5	10.8	8.1	40.8	26.4	10.5	69.6	2.6	4.7	5.7	349.3	273.1	8.5	46.0	21.7	47.4	28.2	19.2
5-상	2.1	11.2	8.1	39.6	25.7	2.1	60.0	3.4	5.8	5.7	308.4	232.4	0.0	57.9	18.1	34.4	21.6	12.8
5-중	2.6	11.1	8.1	40.1	26.0	2.6	58.4	2.6	7.1	6.4	543.4	480.3	10.3	31.8	21.0	36.1	21.7	14.4
5-하	3.7	10.8	8.1	40.5	26.3	3.7	21.2	3.1	3.8	7.1	288.0	193.1	1.4	69.7	23.9	39.3	21.7	17.6
6-상	3.2	11.8	8.2	39.4	25.5	3.2	57.2	2.6	5.8	6.9	584.3	504.8	4.0	60.2	15.3	31.2	21.6	9.6
6-중	2.9	11.0	8.2	39.4	25.5	2.9	60.4	2.1	4.3	2.9	323.7	232.8	0.5	74.5	16.0	34.4	24.8	9.6
6-하	3.3	11.1	8.2	39.6	25.6	3.3	60.8	1.8	4.7	3.2	267.5	179.6	7.6	65.0	15.3	32.8	23.2	9.6

3. 화옹호의 상·하류 구간에서 조사 분석된 주요 수질 환경요인의 기초자료 (2003년 11월)

Factors stations	Temp. (°C)	DO (mg/l)	pH	Cond. (mS/cm)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	TSS (mg/l)	Chl-a (ug/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	T-N (ug/l)	Org-N (ug/l)	NH <sub>4</sub> -N (ug/l)	NO <sub>3</sub> -N (ug/l)	NO <sub>2</sub> -N (ug/l)	T-P (ug/l)	Org-P (ug/l)	SRP (ug/l)
1-상	9.5	9.2	8.4	31.9	29.1	-	22.6	5.5	3.5	7.2	1,380.0	1,211.4	45.2	95.1	28.3	67.0	41.5	25.4
1-중	9.6	8.5	8.4	32.0	29.2	-	20.5	4.1	5.7	7.2	1,420.0	1,248.3	35.4	110.0	26.3	58.3	34.4	23.9
1-하	9.9	8.3	8.3	32.5	29.4	-	21.3	3.2	3.8	6.8	1,340.0	1,212.4	30.0	76.0	21.6	56.4	36.3	20.2
2-상	9.4	8.4	8.2	31.7	29.0	-	34.6	4.4	5.5	10.2	1,540.0	1,346.9	48.4	115.1	29.5	62.9	34.4	28.5
2-중	9.6	9.4	8.2	32.0	29.1	-	33.6	3.2	6.9	9.9	1,570.0	1,387.3	49.7	105.2	27.9	65.4	33.8	31.6
2-하	10.0	9.7	8.1	32.4	29.3	-	35.2	2.8	7.3	9.9	1,540.0	1,352.8	48.2	112.1	26.9	66.7	40.6	26.0
3-상	9.6	6.9	8.3	31.5	28.7	-	48.1	4.2	4.9	10.0	1,690.0	1,462.1	56.3	143.7	27.9	77.8	43.4	34.4
3-중	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3-하	9.6	4.6	8.3	31.9	29.1	-	51.5	0.9	1.6	9.9	1,620.0	1,414.0	57.7	124.2	24.1	75.6	44.3	31.3
4-상	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4-중	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4-하	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5-상	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5-중	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5-하	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6-상	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6-중	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6-하	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

4. 화옹호의 상·하류 구간에서 조사 분석된 주요 수질 환경요인의 기초자료 (2004년 1월)

Factors stations	Temp. (°C)	DO (mg/l)	pH	Cond. (mS/cm)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	TSS (mg/l)	Chl-a (ug/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	T-N (ug/l)	Org-N (ug/l)	NH <sub>4</sub> -N (ug/l)	NO <sub>3</sub> -N (ug/l)	NO <sub>2</sub> -N (ug/l)	T-P (ug/l)	Org-P (ug/l)	SRP (ug/l)
1-상	9.1	19.8	8.5	24.9	15.5	9.1	17.2	2.1	8.9	8.3	4,361.0	15.0	4,225.7	657.3	84.1	228.8	182.5	46.3
1-중	7.8	20.0	8.7	46.0	30.2	7.8	25.6	53.7	15.7	9.1	226.7	218.7	0.0	5.7	2.3	96.8	93.6	3.2
1-하	19.7	20.0	8.6	46.0	30.3	19.7	41.6	286.3	18.0	6.7	1,927.7	1,923.1	4.4	0.0	0.2	152.7	151.0	1.6
2-상	2.3	19.6	8.6	45.1	29.7	2.3	34.4	17.4	6.8	4.6	446.3	414.8	13.9	15.2	2.3	34.4	32.8	1.6
2-중	2.7	20.0	8.6	46.5	30.6	2.7	20.0	18.9	5.3	4.7	523.0	522.1	0.0	0.0	0.9	47.4	45.8	1.6
2-하	5.8	20.0	8.4	47.2	31.2	5.8	16.4	39.0	5.6	4.4	809.0	808.8	0.0	0.0	0.2	63.6	60.4	3.2
3-상	3.2	18.2	8.6	45.5	29.9	3.2	26.0	18.6	3.1	4.2	471.9	471.7	0.0	0.0	0.2	37.7	36.1	1.6
3-중	3.8	20.0	8.5	46.6	30.8	3.8	21.6	26.0	4.9	3.4	497.4	497.4	0.0	0.0	0.0	42.5	40.9	1.6
3-하	11.6	20.0	8.3	45.2	29.7	11.6	22.8	28.9	3.6	5.2	1,381.1	1,276.9	5.8	91.0	7.4	73.3	71.7	1.6
4-상	8.9	18.2	8.5	45.9	30.2	8.9	21.2	25.7	4.0	6.1	390.1	387.5	0.0	1.0	1.6	47.4	45.8	1.6
4-중	10.3	16.8	8.6	45.8	30.1	10.3	21.2	17.7	3.8	4.9	523.0	508.8	4.9	3.3	5.9	44.2	42.5	1.6
4-하	11.9	16.7	8.6	45.2	29.6	11.9	28.8	21.0	4.0	5.6	880.6	859.1	13.0	3.3	5.2	52.3	50.6	1.6
5-상	2.8	18.2	8.6	46.8	30.9	2.8	13.6	19.2	4.4	4.8	374.8	369.1	0.0	5.7	0.0	36.1	34.4	1.6
5-중	3.2	20.0	8.5	46.3	30.6	3.2	10.4	15.9	3.8	4.8	354.4	354.4	0.0	0.0	0.0	32.8	31.2	1.6
5-하	13.3	20.0	8.5	47.3	31.2	13.3	32.0	17.7	3.6	5.5	420.8	420.8	0.0	0.0	0.0	65.2	63.6	1.6
6-상	2.8	15.0	8.4	46.6	30.7	2.8	10.8	22.1	2.6	4.7	773.3	763.6	0.0	8.1	1.6	34.4	32.8	1.6
6-중	3.1	14.2	8.4	47.1	31.1	3.1	17.2	17.4	3.1	6.1	482.1	456.9	0.0	20.0	5.2	32.8	31.2	1.6
6-하	2.8	13.5	8.3	47.5	31.4	2.8	15.6	18.9	1.3	6.4	630.2	553.7	4.9	64.9	6.6	36.1	34.4	1.6

5. 화옹호의 상·하류 구간에서 조사 분석된 주요 수질 환경요인의 기초자료 (2004년 2월)

Factors stations	Temp. (°C)	DO (mg/l)	pH	Cond. (mS/cm)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	TSS (mg/l)	Chl-a (ug/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	T-N (ug/l)	Org-N (ug/l)	NH <sub>4</sub> -N (ug/l)	NO <sub>3</sub> -N (ug/l)	NO <sub>2</sub> -N (ug/l)	T-P (ug/l)	Org-P (ug/l)	SRP (ug/l)
1-상	6.8	16.8	8.2	38.9	25.2	6.8	62.0	18.3	4.4	6.3	1,544.7	910.3	297.3	285.3	51.8	74.9	73.3	1.6
1-중	9.7	14.4	8.2	43.9	28.7	9.7	79.6	23.6	6.3	6.5	1,054.3	920.1	34.4	74.5	25.3	74.9	73.3	1.6
1-하	16.1	15.5	8.2	44.8	29.4	16.1	94.4	26.3	6.2	7.0	992.9	918.2	0.0	50.8	23.9	94.4	92.7	1.6
2-상	4.5	14.3	8.2	43.8	28.7	4.5	68.8	8.3	3.3	6.1	803.9	676.1	34.4	74.5	18.8	45.8	44.1	1.6
2-중	4.7	13.3	8.1	45.5	29.9	4.7	73.2	11.8	3.6	6.0	783.5	704.4	2.3	60.2	16.7	47.4	45.8	1.6
2-하	6.0	13.0	7.9	46.0	30.3	6.0	74.4	24.8	3.7	5.5	860.1	728.6	2.3	114.7	14.5	57.1	55.5	1.6
3-상	3.5	14.6	8.1	45.0	29.6	3.5	68.4	8.6	2.7	5.8	477.0	397.5	0.5	60.2	18.8	34.4	32.8	1.6
3-중	3.7	14.2	8.1	45.5	29.9	3.7	73.6	6.8	3.0	5.9	563.8	473.6	0.0	72.1	18.1	42.5	40.9	1.6
3-하	3.8	12.9	7.9	46.5	30.6	3.8	71.2	9.7	2.2	6.0	553.6	326.0	12.1	202.4	13.1	34.4	32.8	1.6
4-상	4.9	13.3	8.0	44.4	29.1	4.9	66.0	8.3	2.5	6.3	788.6	472.5	165.0	126.6	24.6	45.8	42.6	3.2
4-중	4.4	13.5	8.0	44.8	29.5	4.4	67.6	5.6	2.0	4.2	742.6	435.9	164.1	119.5	23.1	44.2	42.5	1.6
4-하	5.3	13.8	8.0	46.5	30.6	5.3	74.8	7.1	1.8	5.3	466.8	321.1	9.4	121.8	14.5	40.9	39.3	1.6
5-상	4.8	14.8	8.1	46.2	30.4	4.8	68.8	8.0	2.1	5.0	553.6	463.4	0.0	72.1	18.1	29.6	28.0	1.6
5-중	4.6	14.7	8.0	46.7	30.8	4.6	70.8	6.5	1.8	5.8	563.8	440.0	4.9	102.9	16.0	34.4	32.8	1.6
5-하	4.3	13.9	8.0	46.7	30.8	4.3	70.8	6.2	1.5	6.5	614.9	469.8	0.0	131.3	13.8	31.2	29.6	1.6
6-상	4.4	14.9	8.1	45.1	29.6	4.4	67.6	8.3	2.1	8.0	563.8	373.1	43.4	124.2	23.1	32.8	31.2	1.6
6-중	4.2	14.0	8.1	45.2	29.7	4.2	68.4	3.5	2.0	8.6	512.8	330.5	45.2	114.7	22.4	32.8	31.2	1.6
6-하	4.2	14.1	8.0	46.2	30.4	4.2	68.4	3.5	1.6	7.3	773.3	647.9	5.8	102.9	16.7	28.0	26.3	1.6

6. 화옹호의 상·하류 구간에서 조사 분석된 주요 수질 환경요인의 기초자료 (2004년 3월)

Factors stations	Temp. (°C)	DO (mg/l)	pH	Cond. (mS/cm)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	TSS (mg/l)	Chl-a (ug/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	T-N (ug/l)	Org-N (ug/l)	NH <sub>4</sub> -N (ug/l)	NO <sub>3</sub> -N (ug/l)	NO <sub>2</sub> -N (ug/l)	T-P (ug/l)	Org-P (ug/l)	SRP (ug/l)
1-상	11.6	15.4	8.1	44.0	28.8	11.6	78.4	28.9	1.3	5.6	1,488.5	1,487.6	0.0	0.0	0.9	126.7	123.5	3.2
1-중	12.5	16.1	8.1	43.4	28.5	12.5	83.2	22.7	11.5	2.1	1,830.7	1,824.1	0.0	5.7	0.9	123.5	120.3	3.2
1-하	16.0	16.1	8.0	44.7	29.5	16.0	94.4	15.9	7.8	11.0	1,074.7	1,067.9	6.8	0.0	0.0	102.5	100.8	1.6
2-상	6.9	13.4	7.9	44.7	29.4	6.9	73.6	11.8	4.1	2.8	620.0	612.9	1.4	5.7	0.0	53.9	50.7	3.2
2-중	3.6	15.2	7.7	46.4	30.5	3.6	69.6	10.6	2.8	3.2	681.3	672.2	3.2	0.0	5.9	39.3	37.7	1.6
2-하	3.8	13.1	7.6	45.4	29.8	3.8	73.6	13.0	3.9	4.3	676.2	643.4	0.0	24.7	8.1	40.9	39.3	1.6
3-상	3.5	13.7	7.8	45.1	29.8	3.5	66.8	6.2	2.4	3.0	517.9	502.0	11.6	3.4	0.9	42.5	40.9	1.6
3-중	2.6	14.1	7.7	46.4	30.6	2.6	70.8	5.0	1.4	2.8	584.3	497.3	0.0	76.8	10.2	34.4	32.8	1.6
3-하	3.8	12.8	7.6	46.4	30.6	3.8	70.8	14.2	3.1	2.7	793.7	703.5	0.0	79.2	11.0	40.9	39.3	1.6
4-상	2.7	14.5	7.8	46.6	30.6	2.7	72.0	10.0	2.9	2.6	487.2	487.0	0.0	0.0	0.2	52.3	50.6	1.6
4-중	5.0	14.5	7.8	46.7	30.7	5.0	69.2	6.2	2.6	3.5	568.9	560.4	2.1	3.4	3.1	49.0	47.4	1.6
4-하	6.3	14.8	7.8	46.3	30.5	6.3	80.0	5.6	2.4	3.4	574.1	548.2	18.7	3.4	3.8	53.9	52.2	1.6
5-상	2.8	13.4	7.7	46.1	30.5	2.8	74.8	3.0	1.1	3.4	359.5	298.6	2.1	50.8	8.1	26.3	24.7	1.6
5-중	2.6	13.1	7.7	46.8	30.8	2.6	75.6	3.5	1.3	3.3	512.8	445.7	9.2	48.4	9.5	26.3	24.7	1.6
5-하	3.3	13.1	7.6	47.0	31.0	3.3	73.6	5.9	1.3	3.4	374.8	284.6	0.0	79.2	11.0	26.3	24.7	1.6
6-상	2.1	13.7	7.6	47.4	31.2	2.1	72.4	5.9	1.1	3.5	415.7	346.0	0.0	60.2	9.5	24.7	23.1	1.6
6-중	2.5	13.3	7.6	46.6	30.7	2.5	78.4	4.7	1.2	3.1	548.5	453.9	6.8	76.8	11.0	24.7	23.1	1.6
6-하	2.7	13.4	7.9	47.2	31.1	2.7	78.0	5.3	1.0	2.9	369.7	281.9	0.0	76.8	11.0	28.0	26.3	1.6

7. 화옹호의 상·하류 구간에서 조사 분석된 주요 수질 환경요인의 기초자료 (2004년 4월)

Factors stations	Temp. (°C)	DO (mg/l)	pH	Cond. (mS/cm)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	TSS (mg/l)	Chl-a (ug/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	T-N (ug/l)	Org-N (ug/l)	NH <sub>4</sub> -N (ug/l)	NO <sub>3</sub> -N (ug/l)	NO <sub>2</sub> -N (ug/l)	T-P (ug/l)	Org-P (ug/l)	SRP (ug/l)
1-상	33.4	16.4	8.4	44.1	28.9	33.4	48.8	69.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1-중	30.1	15.6	8.4	44.5	29.2	30.1	46.0	55.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1-하	28.8	15.3	8.4	44.7	29.4	28.8	64.8	54.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-상	8.7	15.7	8.4	45.9	30.3	8.7	76.4	13.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-중	5.8	11.2	8.2	45.8	30.1	5.8	72.8	4.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-하	7.2	8.9	8.0	45.8	30.2	7.2	23.6	6.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3-상	5.5	12.8	8.3	45.5	29.9	5.5	18.8	5.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3-중	3.2	11.0	8.1	45.9	30.3	3.2	16.8	2.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3-하	4.1	10.5	8.0	46.3	30.5	4.1	19.2	2.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4-상	16.6	9.6	8.0	45.3	29.8	16.6	35.6	3.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4-중	15.1	9.9	8.0	44.8	29.4	15.1	34.4	3.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4-하	16.4	9.7	8.0	44.9	29.5	16.4	33.6	3.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5-상	3.8	9.7	8.1	45.9	30.3	3.8	21.2	2.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5-중	3.5	10.6	8.1	45.8	30.1	3.5	16.8	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5-하	2.2	11.6	8.1	46.2	30.5	2.2	12.0	2.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6-상	3.0	9.8	8.0	45.8	30.2	3.0	21.2	2.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6-중	3.0	10.6	8.0	46.0	30.3	3.0	16.8	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6-하	2.3	11.5	8.1	46.2	30.5	2.3	12.4	1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

8. 화옹호의 상·하류 구간에서 조사 분석된 주요 수질 환경요인의 기초자료 (2004년 5월)

Factors stations	Temp. (°C)	DO (mg/l)	pH	Cond. (mS/cm)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	TSS (mg/l)	Chl-a (ug/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	T-N (ug/l)	Org-N (ug/l)	NH <sub>4</sub> -N (ug/l)	NO <sub>3</sub> -N (ug/l)	NO <sub>2</sub> -N (ug/l)	T-P (ug/l)	Org-P (ug/l)	SRP (ug/l)
1-상	19.7	5.3	7.4	4.7	2.7	44.4	43.2	11.0	6.7	11.2	3,864.5	652.4	1,848.8	1,187.8	175.5	224.3	36.1	188.3
1-중	20.7	7.4	7.9	36.8	23.7	14.9	78.8	23.7	4.7	7.9	2,184.8	1,562.9	257.0	343.4	21.5	109.6	96.7	12.9
1-하	20.8	7.6	8.0	38.0	24.5	20.5	89.6	12.3	4.5	7.5	2,324.1	1,712.3	201.9	388.3	21.5	70.2	54.1	16.2
2-상	20.9	10.0	8.4	12.1	7.1	18.3	42.4	125.3	8.7	14.5	2,306.1	1,513.5	184.0	496.1	112.4	170.2	167.2	3.0
2-중	19.8	6.1	7.8	39.3	25.4	6.3	72.4	9.8	3.5	5.9	2,458.8	1,853.1	163.1	424.3	18.4	50.6	47.5	3.0
2-하	18.1	5.2	7.6	41.7	27.2	19.3	99.6	5.2	2.9	4.9	2,629.5	1,898.1	202.7	505.1	23.6	26.0	21.3	4.7
3-상	22.4	10.8	8.1	37.8	24.3	4.8	64.8	28.5	4.6	7.7	2,297.1	1,749.8	96.3	428.8	22.2	57.1	52.5	4.7
3-중	19.6	7.5	7.9	41.0	26.7	3.2	65.6	3.7	2.7	4.5	2,328.5	1,670.9	116.5	518.6	22.6	19.4	16.4	3.0
3-하	17.7	5.2	7.7	42.2	27.5	12.3	83.6	5.2	2.7	4.5	2,674.4	1,901.5	222.1	523.1	27.8	30.9	21.3	9.6
4-상	20.4	9.2	8.0	38.4	24.8	2.0	60.4	4.0	3.7	6.1	2,580.0	1,998.5	71.4	482.7	27.4	19.4	16.4	3.0
4-중	20.1	9.4	8.0	39.0	25.2	1.9	61.2	2.7	3.2	5.4	2,247.7	1,651.9	76.1	491.6	28.1	22.7	18.0	4.7
4-하	19.5	9.1	8.0	39.6	25.7	5.3	67.6	2.8	2.9	4.8	2,184.8	1,576.1	98.6	482.7	27.4	22.7	19.7	3.0
5-상	21.5	9.1	8.1	38.9	25.1	3.3	63.2	14.6	4.1	6.8	2,229.7	1,693.1	78.4	433.3	25.0	44.0	39.3	4.7
5-중	18.7	7.3	7.8	42.0	27.4	3.3	66.4	2.1	3.0	4.9	2,557.6	1,863.3	142.1	532.1	20.1	19.4	13.1	6.3
5-하	17.9	6.8	7.7	42.8	28.0	11.6	90.8	2.0	2.9	4.9	2,638.4	1,923.7	190.2	505.1	19.4	27.6	11.5	16.2
6-상	20.1	8.8	7.9	39.6	25.7	3.9	66.0	4.9	3.7	6.1	2,292.6	1,644.6	104.0	518.6	25.3	24.4	21.3	3.0
6-중	17.7	10.1	7.9	41.7	27.2	6.0	79.6	3.2	2.5	4.1	2,494.7	1,800.7	83.1	594.9	16.0	22.7	11.5	11.2
6-하	17.2	10.2	7.9	42.6	27.8	5.1	76.0	3.4	2.5	4.2	2,422.9	1,725.4	86.2	594.9	16.3	24.4	13.1	11.2

9. 화옹호의 상·하류 구간에서 조사 분석된 주요 수질 환경요인의 기초자료 (2004년 6월)

Factors stations	Temp. (°C)	DO (mg/l)	pH	Cond. (mS/cm)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	TSS (mg/l)	Chl-a (ug/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	T-N (ug/l)	Org-N (ug/l)	NH <sub>4</sub> -N (ug/l)	NO <sub>3</sub> -N (ug/l)	NO <sub>2</sub> -N (ug/l)	T-P (ug/l)	Org-P (ug/l)	SRP (ug/l)
1-상	22.6	8.0	8.0	27.5	19.6	12.3	29.6	71.8	3.5	7.0	2,616.0	1,844.5	396.8	330.0	44.8	219.4	139.3	80.1
1-중	22.7	7.6	8.0	30.0	21.8	12.4	36.4	50.1	3.7	7.4	2,580.0	1,905.5	330.0	316.5	28.1	214.5	163.9	50.6
1-하	22.5	7.3	8.0	33.4	24.5	23.4	48.0	34.7	3.6	7.2	2,571.1	2,111.3	153.0	298.5	8.3	142.4	118.0	24.4
2-상	22.2	9.6	8.3	31.3	22.8	11.9	32.7	348.2	3.2	6.5	2,997.7	2,658.1	44.3	294.0	1.4	276.8	196.7	80.1
2-중	20.1	6.1	7.9	36.6	27.1	2.4	16.8	10.8	3.1	6.1	2,395.9	2,022.1	68.3	303.0	2.4	42.4	36.1	6.3
2-하	19.6	3.4	7.7	37.5	27.7	5.1	36.4	3.0	2.6	5.1	2,512.7	1,963.2	170.0	374.9	4.5	58.8	22.9	35.8
3-상	22.0	8.7	8.1	33.6	24.7	1.5	56.4	4.8	5.3	10.6	1,987.2	1,560.7	94.7	321.0	10.8	47.3	36.1	11.2
3-중	20.8	7.1	7.9	35.6	26.4	1.7	14.8	8.8	3.9	7.9	2,216.3	1,989.5	38.8	186.2	1.7	40.7	36.1	4.7
3-하	20.2	5.2	7.8	37.1	27.6	21.3	62.0	7.7	3.9	7.9	2,530.6	2,081.1	90.8	352.4	6.2	42.4	21.3	21.1
4-상	21.2	8.7	8.1	35.8	26.4	1.3	47.2	8.4	3.8	7.6	2,086.0	1,688.8	55.1	334.4	7.6	32.5	19.7	12.9
4-중	21.1	8.6	8.1	35.3	26.0	3.8	18.4	7.0	3.1	6.2	2,027.6	1,621.4	55.9	343.4	6.9	39.1	36.1	3.0
4-하	21.1	8.5	8.1	35.8	26.5	4.4	25.2	6.7	3.2	6.4	2,005.2	1,626.7	54.4	316.5	7.6	27.6	22.9	4.7
5-상	21.7	9.1	8.2	34.3	25.2	0.9	41.6	5.3	5.9	11.8	2,126.4	1,765.0	59.8	294.0	7.6	29.3	26.2	3.0
5-중	21.2	7.3	8.0	36.1	26.8	1.4	43.6	9.7	4.9	9.8	1,996.2	1,777.0	32.6	181.7	4.9	42.4	36.1	6.3
5-하	20.1	7.5	8.0	37.2	27.6	1.9	28.0	1.7	3.5	7.1	2,009.7	1,549.0	69.9	383.9	6.9	17.8	11.5	6.3
6-상	21.6	7.9	8.2	35.2	25.9	6.8	55.2	3.4	3.2	6.4	2,032.1	1,594.0	84.6	343.4	10.1	27.6	22.9	4.7
6-중	21.6	7.8	8.2	34.7	25.8	8.9	45.6	3.3	3.7	7.3	1,857.0	1,417.6	86.2	343.4	9.7	29.3	21.3	8.0
6-하	21.5	7.6	8.1	35.0	26.1	14.1	54.4	1.9	3.9	7.7	1,987.2	1,549.2	99.4	330.0	8.7	34.2	27.9	6.3



10. 화옹호의 상·하류 구간에서 조사 분석된 주요 수질 환경요인의 기초자료 (2004년 7월)

Factors stations	Temp. (°C)	DO (mg/l)	pH	Cond. (mS/cm)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	TSS (mg/l)	Chl-a (ug/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	T-N (ug/l)	Org-N (ug/l)	NH <sub>4</sub> -N (ug/l)	NO <sub>3</sub> -N (ug/l)	NO <sub>2</sub> -N (ug/l)	T-P (ug/l)	Org-P (ug/l)	SRP (ug/l)
1-상	28.0	11.1	8.7	3.3	2.0	16.3	30.0	138.4	4.0	6.5	4,291.2	288.9	323.0	3,204.3	474.9	216.1	163.9	52.2
1-중	27.5	9.7	8.7	3.5	2.0	15.4	30.0	127.7	3.2	7.0	4,196.9	275.2	212.8	3,244.7	464.2	183.3	149.2	34.2
1-하	27.4	8.6	8.7	6.5	3.7	14.0	34.0	90.1	3.5	6.8	3,586.1	544.4	110.3	2,925.9	5.6	103.0	96.7	6.3
2-상	27.8	13.0	8.8	5.0	2.9	10.6	27.5	156.7	3.0	12.7	3,568.1	639.5	323.8	2,373.5	231.4	199.7	142.6	57.1
2-중	22.5	4.7	7.6	34.8	22.0	5.5	74.0	4.9	2.0	5.6	2,211.8	949.9	552.1	662.3	47.5	94.8	11.5	83.4
2-하	21.7	3.6	7.5	38.2	24.4	5.3	79.5	1.9	1.7	4.4	2,283.6	1,128.3	660.8	460.2	34.3	103.0	9.8	93.2
3-상	28.1	12.2	8.9	7.6	4.5	5.9	24.0	67.6	3.2	9.8	2,467.8	462.9	157.6	1,704.3	142.9	96.5	88.5	8.0
3-중	22.3	6.3	7.7	38.0	24.3	2.1	75.5	2.7	1.6	5.5	2,005.2	1,033.3	306.7	630.9	34.3	60.4	4.9	55.5
3-하	21.4	3.7	7.6	39.7	25.6	3.4	83.5	1.7	1.5	5.4	2,710.3	1,561.5	686.4	437.7	24.6	126.0	13.1	112.9
4-상	26.2	7.2	8.1	19.1	11.5	5.8	45.0	14.0	1.9	7.1	2,261.2	880.1	242.3	1,039.6	99.2	83.4	70.5	12.9
4-중	25.1	6.3	7.8	25.5	15.6	5.6	54.5	11.0	2.1	6.8	2,261.2	961.9	285.0	931.8	82.6	78.4	62.3	16.2
4-하	24.4	6.4	7.8	27.0	16.7	5.4	59.5	10.9	1.7	6.8	2,117.5	857.4	286.5	895.8	77.7	65.3	42.6	22.7
5-상	26.6	10.0	8.7	14.2	8.3	4.6	33.5	30.1	3.3	8.5	1,870.4	661.8	81.5	1,017.1	110.0	68.6	60.6	8.0
5-중	22.6	7.5	7.8	38.8	24.8	3.5	78.5	2.6	1.7	5.3	2,261.2	1,359.4	197.2	671.3	33.3	57.1	16.4	40.7
5-하	21.8	7.5	7.7	40.5	26.0	3.2	84.5	1.6	1.5	4.4	1,955.8	1,066.4	241.5	621.9	26.0	57.1	4.9	52.2
6-상	27.3	11.6	9.0	8.3	4.8	9.5	31.5	103.7	2.4	10.3	2,714.8	747.3	214.3	1,614.4	138.8	129.3	119.7	9.6
6-중	23.0	7.4	7.8	35.2	22.3	3.5	70.5	5.1	1.3	6.6	2,485.7	1,471.7	202.7	765.6	45.8	57.1	24.6	32.5
6-하	22.1	6.7	7.7	38.1	24.4	2.7	77.5	1.7	1.4	6.3	2,458.8	1,483.9	264.8	675.8	34.3	63.7	13.1	50.6

11. 화옹호의 상·하류 구간에서 조사 분석된 주요 수질 환경요인의 기초자료 (2004년 8월)

Factors stations	Temp. (°C)	DO (mg/l)	pH	Cond. (mS/cm)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	TSS (mg/l)	Chl-a (ug/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	T-N (ug/l)	Org-N (ug/l)	NH <sub>4</sub> -N (ug/l)	NO <sub>3</sub> -N (ug/l)	NO <sub>2</sub> -N (ug/l)	T-P (ug/l)	Org-P (ug/l)	SRP (ug/l)
1-상	24.9	6.7	8.0	38.5	24.8	17.5	85.2	44.5	2.2	11.7	2,175.8	1,212.1	560.4	365.9	37.5	158.8	83.6	75.2
1-중	24.8	6.4	8.0	38.7	24.9	33.5	112.0	44.3	1.9	9.8	2,252.2	1,436.5	424.4	361.4	29.8	152.2	68.8	83.4
1-하	24.7	6.3	8.0	38.2	24.6	31.7	110.8	47.1	1.8	9.1	1,794.1	1,001.5	405.5	356.9	30.2	75.2	1.6	73.5
2-상	24.1	8.2	8.2	37.5	24.1	8.8	70.0	57.3	1.7	9.9	2,108.5	1,490.5	211.8	365.9	40.2	94.8	78.7	16.2
2-중	24.0	6.7	8.1	39.6	25.6	7.7	69.6	39.3	1.4	8.1	2,386.9	1,703.9	298.3	352.4	32.3	196.5	150.8	45.7
2-하	23.7	4.0	7.9	40.1	26.0	6.5	64.8	2.5	0.8	6.9	1,973.7	951.6	611.5	356.9	53.8	106.3	67.2	39.1
3-상	24.7	11.4	8.3	37.8	24.3	6.9	73.6	92.4	3.9	8.8	2,032.1	1,764.4	40.4	226.7	0.7	78.4	70.5	8.0
3-중	24.5	6.8	8.1	39.0	25.2	4.1	60.8	24.2	0.9	8.6	2,333.0	1,756.7	205.2	352.4	18.7	206.3	162.3	44.0
3-하	23.5	4.5	8.0	40.3	26.1	3.3	61.6	1.9	1.6	7.2	1,830.0	818.4	584.3	370.4	56.9	104.7	37.7	67.0
4-상	22.5	7.6	8.1	27.8	17.3	26.9	74.0	4.2	0.9	6.9	1,816.5	651.1	383.2	689.3	93.0	67.0	21.3	45.7
4-중	23.5	8.6	8.2	34.5	21.9	17.0	73.2	2.5	0.7	7.0	1,722.2	1,108.7	225.0	352.4	36.1	52.2	9.8	42.4
4-하	23.8	8.3	8.3	34.5	21.9	15.7	76.8	2.7	1.1	8.2	1,641.4	1,084.9	195.3	330.0	31.2	98.1	59.0	39.1
5-상	24.5	13.7	8.5	35.9	22.9	7.8	70.0	84.5	2.0	9.0	1,538.1	1,278.9	38.7	217.7	2.8	55.5	52.5	3.0
5-중	24.4	12.5	8.5	36.0	23.0	4.0	59.6	56.2	1.8	8.2	1,749.2	1,523.8	11.5	213.2	0.7	55.5	49.2	6.3
5-하	24.3	8.9	8.2	38.4	24.7	7.4	69.6	23.2	0.6	8.1	1,623.4	1,151.1	112.9	347.9	11.5	29.3	16.4	12.9
6-상	24.4	10.5	8.5	35.6	22.7	7.0	64.4	7.0	1.1	9.3	1,708.8	1,380.1	77.5	244.6	6.6	34.2	19.7	14.5
6-중	24.1	10.1	8.6	35.5	22.8	9.1	68.4	5.9	1.0	8.5	1,569.5	1,197.9	79.9	285.0	6.6	24.4	9.8	14.5
6-하	24.0	9.9	8.5	36.1	23.0	12.2	72.0	11.7	0.9	9.5	1,659.4	1,336.1	50.3	267.1	5.9	39.1	31.1	8.0

12. 화옹호의 상·하류 구간에서 조사 분석된 주요 수질 환경요인의 기초자료 (2004년 9월)

Factors stations	Temp. (°C)	DO (mg/l)	pH	Cond. (mS/cm)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	TSS (mg/l)	Chl-a (ug/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	T-N (ug/l)	Org-N (ug/l)	NH <sub>4</sub> -N (ug/l)	NO <sub>3</sub> -N (ug/l)	NO <sub>2</sub> -N (ug/l)	T-P (ug/l)	Org-P (ug/l)	SRP (ug/l)
1-상	22.2	3.8	7.6	1,926.0	1.2	128.0	163.0	7.2	3.3	7.9	4,412.5	568.2	582.6	3,020.2	241.5	368.6	250.8	117.8
1-중	22.1	3.7	7.6	2.2	1.4	133.0	195.0	8.4	3.5	7.9	4,187.9	416.3	549.7	2,979.8	242.2	316.1	196.7	119.4
1-하	22.1	3.6	7.5	2.7	1.6	246.0	331.0	21.4	2.9	9.8	3,967.8	471.5	517.5	2,710.3	268.5	186.6	72.1	114.5
2-상	24.6	8.8	7.9	6.3	3.7	17.9	28.0	47.0	4.0	11.7	2,279.1	346.5	391.5	1,457.2	84.0	111.2	32.8	78.4
2-중	25.1	9.1	7.9	23.2	14.4	9.6	45.5	16.9	3.1	9.5	1,708.8	815.0	216.7	635.4	41.6	714.4	644.2	70.2
2-하	23.3	2.9	7.6	39.5	25.5	8.6	77.0	4.6	2.6	8.5	2,081.5	1,116.3	571.9	370.4	22.9	109.6	27.9	81.7
3-상	24.9	8.6	7.9	13.3	7.8	7.3	25.0	8.9	2.4	10.0	1,569.5	326.2	252.2	922.8	68.3	699.7	621.2	78.4
3-중	23.5	5.6	7.6	36.3	23.4	6.6	66.0	2.0	2.4	10.4	1,906.4	1,156.6	288.4	428.8	32.6	178.4	86.9	91.6
3-하	23.2	3.3	7.6	39.7	25.8	11.7	76.0	2.3	2.5	10.8	1,910.9	986.6	547.2	352.4	24.6	116.1	8.2	107.9
4-상	23.6	6.0	7.7	32.1	20.4	31.2	90.5	3.8	2.5	8.7	1,744.7	801.0	354.4	536.6	52.7	116.1	21.3	94.8
4-중	23.6	6.0	7.7	32.0	20.4	32.9	96.5	4.4	2.1	9.3	1,794.1	870.7	308.2	563.5	51.7	111.2	18.0	93.2
4-하	23.6	5.9	7.7	32.0	20.4	35.5	99.0	4.3	2.5	11.0	1,825.5	869.6	318.9	581.5	55.5	81.7	19.7	62.1
5-상	24.0	9.2	8.1	22.8	14.0	5.2	41.5	16.5	2.4	11.4	1,228.2	518.5	138.5	532.1	39.2	78.4	29.5	48.9
5-중	23.5	7.5	7.9	33.9	21.7	5.1	61.0	5.5	2.5	10.9	1,488.7	810.3	192.8	455.7	29.8	116.1	50.8	65.3
5-하	22.9	5.7	7.7	38.8	25.2	23.1	99.5	3.1	2.1	9.3	1,749.2	981.4	271.1	451.2	45.5	122.7	50.8	71.9
6-상	24.3	9.2	8.1	26.5	16.4	6.2	51.5	18.7	2.6	9.2	1,659.4	978.9	132.7	509.6	38.2	63.7	19.7	44.0
6-중	24.3	9.0	8.2	27.9	17.5	7.3	54.5	17.0	2.5	11.3	1,560.5	925.4	96.4	505.1	33.7	91.6	54.1	37.5
6-하	23.3	6.4	7.8	36.8	23.8	8.3	69.5	2.9	2.2	10.9	1,713.2	999.0	206.9	469.2	38.2	106.3	36.1	70.2

13. 화옹호의 상·하류 구간에서 조사 분석된 주요 수질 환경요인의 기초자료 (2004년 10월)

Factors stations	Temp. (°C)	DO (mg/l)	pH	Cond. (mS/cm)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	TSS (mg/l)	Chl-a (ug/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	T-N (ug/l)	Org-N (ug/l)	NH <sub>4</sub> -N (ug/l)	NO <sub>3</sub> -N (ug/l)	NO <sub>2</sub> -N (ug/l)	T-P (ug/l)	Org-P (ug/l)	SRP (ug/l)
1-상	14.7	7.0	7.7	40.8	26.6	23.0	79.3	93.4	11.8	22.7	2,854.0	2,591.0	13.2	240.1	9.7	350.5	313.1	37.5
1-중	15.0	7.0	7.9	40.9	26.7	19.8	60.7	83.1	10.5	20.3	2,988.7	2,615.2	10.7	361.4	1.4	289.9	265.5	24.4
1-하	15.3	7.2	7.9	41.4	27.0	23.8	64.7	90.5	10.7	20.6	2,791.1	2,497.2	12.4	280.6	1.0	289.9	260.6	29.3
2-상	15.1	10.4	8.4	42.0	27.4	10.8	71.2	65.6	0.7	1.3	1,960.3	1,539.7	62.6	356.9	1.0	94.8	90.2	4.7
2-중	15.4	8.4	8.2	43.9	28.8	8.4	66.4	24.5	6.7	13.0	1,618.9	1,215.1	12.4	388.3	3.1	57.1	42.6	14.5
2-하	15.5	8.0	8.2	44.5	29.1	24.8	67.2	12.3	6.5	12.5	1,574.0	1,141.1	14.8	410.8	7.3	60.4	41.0	19.4
3-상	15.5	11.2	8.4	41.1	26.8	6.9	66.0	21.4	6.1	11.7	1,484.2	1,137.6	10.7	334.4	1.4	40.7	37.7	3.0
3-중	15.2	9.6	8.3	43.4	28.5	6.3	61.6	16.6	5.4	10.4	1,583.0	1,243.8	8.2	330.0	1.0	65.3	54.1	11.2
3-하	15.8	8.7	8.2	43.5	28.5	17.3	66.8	7.8	5.6	10.9	1,592.0	1,227.9	16.5	334.4	13.2	44.0	21.3	22.7
4-상	14.3	8.1	8.2	39.7	25.8	16.1	73.6	41.9	7.1	13.7	2,068.1	1,210.0	254.6	559.0	44.4	119.4	67.2	52.2
4-중	14.3	8.4	8.2	41.5	27.0	7.5	75.2	29.7	6.7	12.8	1,830.0	1,228.5	196.1	379.4	26.0	107.9	54.1	53.9
4-하	14.4	8.8	8.2	38.8	25.1	17.3	45.2	56.3	6.8	13.0	2,162.4	1,361.3	222.5	532.1	46.5	126.0	85.2	40.7
5-상	15.2	11.1	8.3	43.0	28.1	8.6	61.2	10.8	5.3	10.3	1,452.8	1,158.3	9.1	285.0	0.4	32.5	27.9	4.7
5-중	15.2	9.7	8.3	43.2	28.3	6.4	62.4	12.0	6.6	12.7	1,484.2	1,085.8	21.4	374.9	2.1	39.1	27.9	11.2
5-하	15.4	9.7	8.3	44.0	28.8	8.1	42.4	8.7	6.0	11.6	1,812.1	1,353.0	11.5	433.3	14.2	40.7	26.2	14.5
6-상	15.1	10.6	8.3	42.8	27.9	8.1	23.2	10.6	6.9	13.3	1,479.7	1,084.4	9.1	383.9	2.4	57.1	50.8	6.3
6-중	15.6	9.2	8.2	43.7	28.6	6.8	21.6	5.2	5.0	9.5	1,650.4	1,196.4	19.0	419.8	15.3	42.4	21.3	21.1
6-하	15.8	9.2	8.2	44.8	29.4	5.8	66.4	2.4	4.5	8.7	1,349.5	892.8	22.3	415.3	19.1	63.7	41.0	22.7

14. 화옹호의 상·하류 구간에서 조사 분석된 주요 수질 환경요인의 기초자료 (2004년 11월)

Factors stations	Temp. (°C)	DO (mg/l)	pH	Cond. (mS/cm)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	TSS (mg/l)	Chl-a (ug/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	T-N (ug/l)	Org-N (ug/l)	NH <sub>4</sub> -N (ug/l)	NO <sub>3</sub> -N (ug/l)	NO <sub>2</sub> -N (ug/l)	T-P (ug/l)	Org-P (ug/l)	SRP (ug/l)
1-상	11.0	7.3	7.2	42.4	27.7	20.9	88.4	25.4	10.2	15.5	2,283.6	1,775.4	31.3	455.7	21.2	178.4	160.6	17.8
1-중	11.2	8.0	7.4	43.0	28.3	21.7	84.0	20.6	7.2	14.7	1,816.5	1,272.2	84.1	442.2	18.0	117.8	83.6	34.2
1-하	11.2	8.3	7.5	43.4	28.3	22.4	86.0	21.4	7.4	13.8	1,996.2	1,531.0	70.9	374.9	19.4	124.3	96.7	27.6
2-상	10.6	11.3	7.8	42.7	27.8	9.4	79.2	65.7	8.2	13.6	1,910.9	1,338.7	19.0	536.6	16.7	98.1	85.2	12.9
2-중	10.5	10.4	7.9	43.3	28.3	4.5	72.4	12.5	4.2	10.1	1,493.2	937.1	30.5	509.6	16.0	45.7	27.9	17.8
2-하	10.9	9.0	7.9	44.6	29.2	5.6	87.2	6.4	2.9	10.9	1,452.8	844.8	75.8	514.1	18.0	52.2	27.9	24.4
3-상	9.6	10.8	7.9	42.3	27.6	7.0	68.4	4.2	3.4	11.6	1,502.2	944.3	71.7	469.2	17.0	45.7	22.9	22.7
3-중	10.9	10.2	8.0	45.0	29.5	3.2	72.4	7.2	3.7	10.3	1,623.4	1,137.8	30.5	437.7	17.4	47.3	26.2	21.1
3-하	10.4	9.6	7.9	44.0	28.7	6.3	81.6	7.2	3.3	10.6	1,524.6	925.2	48.6	532.1	18.7	48.9	24.6	24.4
4-상	9.4	11.8	8.0	42.4	27.6	14.5	72.8	3.3	4.8	9.5	1,605.5	936.5	117.8	532.1	19.1	42.4	14.8	27.6
4-중	9.4	11.8	8.0	43.1	28.2	12.5	71.6	2.4	1.8	10.4	1,502.2	861.1	77.5	545.5	18.0	37.5	14.8	22.7
4-하	9.4	11.3	8.0	43.5	28.5	18.1	86.4	3.2	2.9	11.3	1,484.2	930.1	50.3	487.2	16.7	30.9	9.8	21.1
5-상	8.8	12.0	8.1	42.2	27.5	3.2	70.8	4.9	1.6	11.6	1,610.0	1,027.2	61.0	505.1	16.7	32.5	11.5	21.1
5-중	9.3	11.6	8.0	43.9	28.7	2.7	73.6	3.7	1.9	9.9	1,470.7	972.5	16.5	464.7	17.0	34.2	19.7	14.5
5-하	9.8	11.0	8.0	44.2	29.0	4.7	74.0	2.2	1.6	9.9	1,776.1	1,248.8	36.3	473.7	17.4	35.8	9.8	26.0
6-상	10.0	11.7	8.0	45.1	29.6	3.1	75.6	2.1	2.1	10.7	1,479.7	920.2	34.6	505.1	19.8	40.7	9.8	30.9
6-중	10.0	11.7	8.0	44.2	28.9	4.4	74.0	3.0	1.8	12.3	1,623.4	1,013.7	46.2	545.5	18.0	34.2	8.2	26.0
6-하	10.0	11.7	8.0	43.9	28.8	4.7	72.4	3.4	1.6	12.2	2,099.5	1,475.5	51.1	554.5	18.4	30.9	3.3	27.6

15. 화옹호의 상·하류 구간에서 조사 분석된 주요 수질 환경요인의 기초자료 (2004년 12월)

Factors stations	Temp. (°C)	DO (mg/l)	pH	Cond. (mS/cm)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	TSS (mg/l)	Chl-a (ug/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	T-N (ug/l)	Org-N (ug/l)	NH <sub>4</sub> -N (ug/l)	NO <sub>3</sub> -N (ug/l)	NO <sub>2</sub> -N (ug/l)	T-P (ug/l)	Org-P (ug/l)	SRP (ug/l)
1-상	5.2	8.8	7.0	36.1	23.2	29.7	73.8	14.3	15.5	18.8	3,330.1	1,799.5	786.7	687.0	56.9	271.0	113.9	157.1
1-중	5.9	10.1	7.3	40.5	26.4	30.8	86.6	16.4	14.1	17.4	2,991.0	1,833.1	589.3	532.1	36.6	188.3	93.4	94.8
1-하	6.6	10.9	7.5	43.4	28.4	38.4	107.2	19.3	11.2	16.1	2,517.2	1,609.1	465.1	417.5	25.5	146.5	100.8	45.7
2-상	5.8	14.3	7.9	42.4	27.7	13.8	82.4	50.3	12.1	16.7	2,360.0	1,642.5	128.3	572.5	16.7	119.4	104.9	14.5
2-중	6.2	13.4	8.0	45.1	29.7	9.4	78.8	26.0	10.6	14.3	1,751.4	1,298.9	26.3	417.5	8.7	78.4	65.6	12.9
2-하	6.5	12.4	8.0	45.9	30.2	24.4	108.6	16.6	6.3	12.6	1,551.6	1,087.7	47.3	406.3	10.2	55.5	41.8	13.7
3-상	5.5	14.1	8.1	44.7	29.3	26.8	83.6	10.3	5.3	11.5	1,618.9	1,166.7	65.3	377.1	9.9	38.3	25.4	12.9
3-중	6.2	13.3	8.1	45.9	30.4	4.6	72.8	16.6	6.0	11.8	1,670.6	1,291.0	23.0	347.9	8.7	47.3	36.1	11.2
3-하	6.1	12.7	8.1	45.8	30.1	10.2	90.4	22.2	5.1	12.5	1,499.9	1,043.2	45.1	401.8	9.7	44.0	30.3	13.7
4-상	4.7	13.1	8.1	44.1	28.8	14.3	78.0	5.8	5.6	11.4	1,874.9	1,094.8	287.2	478.2	14.7	45.7	23.8	21.9
4-중	4.6	13.0	8.1	43.8	28.7	16.3	76.4	3.9	4.6	10.9	1,897.4	998.3	375.2	507.4	16.5	48.9	20.5	28.4
4-하	4.7	12.7	8.1	44.1	29.0	17.3	88.2	7.1	5.2	11.8	1,908.6	1,144.3	299.2	449.0	16.1	41.6	20.5	21.1
5-상	4.8	14.1	8.1	44.6	29.3	6.2	80.8	10.9	3.7	12.3	1,713.2	1,258.5	46.0	399.6	9.2	32.5	20.5	12.1
5-중	5.1	13.6	8.1	45.7	30.0	5.1	83.0	12.8	3.6	11.6	1,565.0	1,168.5	18.0	368.1	10.4	28.4	19.7	8.8
5-하	5.4	13.2	8.1	45.4	29.9	8.3	83.0	13.1	3.6	10.9	1,785.1	1,386.7	25.9	363.6	8.9	30.1	16.4	13.7
6-상	5.3	13.6	8.1	46.2	30.4	4.7	77.6	11.8	3.6	11.0	1,540.3	1,130.5	27.1	372.6	10.1	33.4	16.4	17.0
6-중	5.4	13.5	8.2	45.7	30.0	6.0	73.4	14.4	3.9	12.2	1,926.6	1,493.7	33.3	390.6	9.0	31.7	16.4	15.3
6-하	5.4	13.3	8.1	45.7	30.0	5.1	75.6	11.7	3.7	12.2	1,982.7	1,541.7	36.6	395.1	9.4	28.4	13.1	15.3

16. 화옹호의 상·하류 구간에서 조사 분석된 주요 수질 환경요인의 기초자료 (2005년 1월)

Factors stations	Temp. (°C)	DO (mg/l)	pH	Cond. (mS/cm)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	TSS (mg/l)	Chl-a (ug/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	T-N (ug/l)	Org-N (ug/l)	NH <sub>4</sub> -N (ug/l)	NO <sub>3</sub> -N (ug/l)	NO <sub>2</sub> -N (ug/l)	T-P (ug/l)	Org-P (ug/l)	SRP (ug/l)
1-상	-0.6	10.2	6.8	29.7	18.6	38.5	59.2	3.1	20.9	22.1	4,376.5	1,823.5	1,542.1	918.3	92.6	363.6	67.2	296.4
1-중	0.5	12.1	7.1	37.9	24.5	39.9	89.2	12.2	21.1	20.1	4,165.4	2,393.9	1,094.5	621.9	55.2	258.7	103.3	155.5
1-하	2.0	13.5	7.5	43.3	28.4	54.4	128.4	17.2	15.0	18.4	3,038.2	1,687.1	859.2	460.2	31.6	168.6	104.9	63.7
2-상	1.0	17.3	8.0	42.1	27.6	18.3	85.6	34.9	16.0	19.7	2,809.1	1,946.4	237.7	608.4	16.7	140.7	124.6	16.2
2-중	1.8	16.3	8.2	46.9	31.0	14.2	85.2	39.5	17.0	18.6	2,009.7	1,660.8	22.1	325.5	1.4	111.2	103.3	8.0
2-하	2.1	15.8	8.2	47.2	31.2	43.2	130.0	26.7	9.7	14.3	1,650.4	1,330.6	18.8	298.5	2.4	58.8	55.7	3.0
3-상	1.3	17.3	8.3	47.0	31.0	46.6	98.8	16.4	7.2	11.5	1,735.7	1,389.1	58.8	285.0	2.8	30.9	27.9	3.0
3-중	1.5	16.3	8.3	46.8	31.3	6.0	73.2	25.9	8.3	13.4	1,717.7	1,444.1	15.5	258.1	0.0	47.3	45.9	1.4
3-하	1.7	15.7	8.3	47.5	31.4	14.1	99.2	37.3	6.9	14.5	1,475.2	1,161.3	41.7	271.6	0.7	39.1	36.1	3.0
4-상	0.0	14.3	8.3	45.7	30.0	14.0	83.2	8.2	6.4	13.4	2,144.4	1,253.1	456.6	424.3	10.4	48.9	32.8	16.2
4-중	-0.2	14.2	8.2	44.5	29.2	20.1	81.2	5.4	7.4	11.5	2,292.6	1,135.5	673.0	469.2	14.9	60.4	26.2	34.2
4-하	-0.1	14.1	8.2	44.7	29.5	16.5	90.0	10.9	7.5	12.2	2,333.0	1,358.6	548.1	410.8	15.6	52.2	31.1	21.1
5-상	0.7	16.2	8.2	46.9	31.0	9.3	90.8	16.8	5.9	13.1	1,816.5	1,489.7	31.0	294.0	1.7	32.5	29.5	3.0
5-중	0.9	15.6	8.2	47.5	31.3	7.5	92.4	21.8	5.2	13.2	1,659.4	1,364.4	19.6	271.6	3.8	22.7	19.7	3.0
5-하	0.9	15.4	8.2	46.6	30.8	11.8	92.0	24.1	5.5	11.9	1,794.1	1,524.6	15.5	253.6	0.4	24.4	22.9	1.4
6-상	0.6	15.5	8.3	47.2	31.2	6.4	79.6	21.4	5.1	11.4	1,601.0	1,340.9	19.6	240.1	0.4	26.0	22.9	3.0
6-중	0.7	15.2	8.3	47.1	31.1	7.6	72.8	25.9	6.1	12.1	2,229.7	1,973.7	20.4	235.6	0.0	29.3	24.6	4.7
6-하	0.8	14.9	8.3	47.4	31.2	5.5	78.8	20.1	5.8	12.2	1,865.9	1,607.9	22.1	235.6	0.4	26.0	22.9	3.0

17. 화옹호의 상·하류 구간에서 조사 분석된 주요 수질 환경요인의 기초자료 (2005년 2월)

Factors stations	Temp. (°C)	DO (mg/l)	pH	Cond. (mS/cm)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	TSS (mg/l)	Chl-a (ug/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	T-N (ug/l)	Org-N (ug/l)	NH <sub>4</sub> -N (ug/l)	NO <sub>3</sub> -N (ug/l)	NO <sub>2</sub> -N (ug/l)	T-P (ug/l)	Org-P (ug/l)	SRP (ug/l)
1-상	3.7	12.6	7.2	32.0	23.1	35.3	69.1	13.6	15.3	22.2	3,615.3	2,058.7	878.0	626.4	52.2	282.5	118.8	163.7
1-중	4.0	13.3	7.5	36.4	26.6	31.7	84.3	15.4	13.8	16.5	3,251.5	2,188.5	564.8	466.9	31.2	161.2	81.1	80.1
1-하	4.7	13.8	7.7	39.1	29.0	42.2	105.7	16.1	10.9	13.4	2,452.1	1,596.9	447.6	388.3	19.3	110.4	76.2	34.2
2-상	4.4	15.3	8.0	38.0	28.2	15.6	82.0	27.2	10.9	13.6	2,324.1	1,717.5	126.6	466.9	13.0	90.7	81.1	9.6
2-중	4.7	14.7	8.1	40.6	30.0	15.5	77.0	23.8	10.7	14.2	1,868.2	1,490.7	27.0	345.7	4.9	71.9	65.6	6.3
2-하	4.4	14.4	8.1	41.0	30.6	34.1	119.9	17.2	6.7	12.0	1,764.9	1,370.2	24.1	365.9	4.7	40.7	36.9	3.9
3-상	4.8	15.5	8.1	40.7	30.2	30.5	86.0	13.9	5.6	11.4	1,508.9	1,167.5	37.2	298.5	5.7	31.7	28.7	3.0
3-중	4.3	14.6	8.1	41.0	30.5	11.9	79.2	14.8	6.0	12.7	1,560.5	1,189.3	22.5	345.7	3.1	35.0	32.0	3.0
3-하	4.1	14.5	8.1	42.1	31.1	12.6	84.0	20.7	4.6	12.8	1,452.8	1,034.5	48.6	365.9	3.8	28.4	24.6	3.9
4-상	3.6	13.8	8.1	40.7	29.7	12.0	75.2	7.1	4.8	12.1	1,746.9	1,080.7	241.8	415.3	9.2	35.0	25.4	9.6
4-중	3.4	13.8	8.1	40.1	29.6	14.6	75.2	5.0	5.3	13.6	1,839.0	1,050.8	350.4	426.5	11.3	42.4	24.6	17.8
4-하	3.4	13.8	8.1	40.0	30.0	14.7	86.4	8.2	5.4	11.0	1,699.8	976.5	292.4	419.8	11.1	39.9	27.0	12.9
5-상	4.7	14.7	8.1	40.4	30.2	10.8	79.7	12.1	4.7	11.8	1,663.8	1,320.9	32.7	305.3	5.0	33.4	30.3	3.0
5-중	4.2	14.1	7.6	41.4	30.6	10.0	78.5	14.6	4.6	11.2	1,612.2	1,271.8	20.4	314.2	5.7	21.9	18.8	3.0
5-하	3.7	14.1	8.1	41.4	30.6	10.1	79.9	13.9	4.0	10.7	1,580.8	1,184.4	29.4	363.6	3.3	20.3	15.6	4.7
6-상	4.8	13.8	8.1	41.0	30.1	9.0	76.9	14.3	4.1	13.1	1,520.1	1,150.3	31.0	334.4	4.3	30.9	28.7	2.2
6-중	4.9	13.7	8.2	41.2	30.4	10.7	74.5	17.1	4.9	16.6	1,868.2	1,529.3	27.4	307.5	4.0	30.9	26.2	4.7
6-하	4.9	13.4	8.1	41.5	30.3	5.3	76.0	14.6	4.8	13.0	1,722.2	1,393.0	33.1	291.8	4.3	35.0	32.0	3.0



18. 화옹호의 상·하류 구간에서 조사 분석된 주요 수질 환경요인의 기초자료 (2005년 3월)

Factors stations	Temp. (°C)	DO (mg/l)	pH	Cond. (mS/cm)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	TSS (mg/l)	Chl-a (ug/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	T-N (ug/l)	Org-N (ug/l)	NH <sub>4</sub> -N (ug/l)	NO <sub>3</sub> -N (ug/l)	NO <sub>2</sub> -N (ug/l)	T-P (ug/l)	Org-P (ug/l)	SRP (ug/l)
1-상	8.0	15.0	7.6	34.3	27.6	32.1	79.0	24.2	9.7	22.2	2,854.0	2,293.8	214.0	334.4	11.8	201.4	170.5	30.9
1-중	7.5	14.5	7.8	34.9	28.6	23.4	79.4	18.6	6.5	12.9	2,337.5	1,983.1	35.1	312.0	7.3	63.7	59.0	4.7
1-하	7.4	14.1	7.9	34.8	29.5	30.0	83.0	15.0	6.8	8.4	1,865.9	1,506.6	35.9	316.5	6.9	52.2	47.5	4.7
2-상	7.8	13.2	8.0	33.9	28.8	12.9	78.4	19.6	5.9	7.5	1,839.0	1,488.6	15.5	325.5	9.4	40.7	37.7	3.0
2-중	7.6	13.0	8.0	34.2	28.9	16.7	68.8	8.2	4.4	9.9	1,726.7	1,320.6	31.9	365.9	8.3	32.5	27.9	4.7
2-하	6.6	12.9	7.9	34.7	29.9	24.9	109.8	7.7	3.8	9.7	1,879.4	1,409.8	29.4	433.3	6.9	22.7	18.0	4.7
3-상	8.2	13.7	8.0	34.4	29.3	14.3	73.2	11.4	4.1	11.3	1,282.1	945.9	15.5	312.0	8.7	32.5	29.5	3.0
3-중	7.1	12.9	8.0	35.1	29.6	17.7	85.2	3.6	3.7	12.0	1,403.4	934.4	29.4	433.3	6.2	22.7	18.0	4.7
3-하	6.5	13.2	7.9	36.6	30.7	11.1	68.8	4.1	2.3	11.1	1,430.3	907.6	55.5	460.2	6.9	17.8	13.1	4.7
4-상	7.1	13.2	7.9	35.6	29.3	10.0	67.2	5.9	3.2	10.8	1,349.5	908.2	27.0	406.3	8.0	21.1	18.0	3.0
4-중	7.0	13.3	7.9	35.7	29.9	9.1	69.2	4.5	3.1	15.6	1,385.4	966.1	27.8	383.9	7.6	24.4	22.9	1.4
4-하	6.9	13.5	7.9	35.2	30.4	12.8	82.8	5.4	3.4	9.8	1,066.5	594.4	36.8	428.8	6.6	27.6	22.9	4.7
5-상	8.6	13.1	8.0	33.9	29.4	12.3	68.6	7.3	3.5	10.6	1,511.1	1,152.0	34.3	316.5	8.3	34.2	31.1	3.0
5-중	7.5	12.5	7.0	35.2	29.8	12.5	64.6	7.3	4.0	9.3	1,565.0	1,179.3	21.2	356.9	7.6	21.1	18.0	3.0
5-하	6.5	12.7	8.0	36.1	30.4	8.3	67.8	3.7	2.5	9.5	1,367.4	844.2	43.3	473.7	6.2	16.2	8.2	8.0
6-상	9.0	12.1	8.0	34.7	29.0	11.5	74.2	7.3	3.1	14.8	1,439.3	959.7	42.5	428.8	8.3	35.8	34.4	1.4
6-중	9.0	12.1	8.0	35.3	29.7	13.8	76.2	8.2	3.7	21.1	1,506.7	1,085.0	34.3	379.4	8.0	32.5	27.9	4.7
6-하	9.0	11.9	8.0	35.5	29.4	5.1	73.2	9.2	3.9	13.8	1,578.5	1,178.2	44.1	347.9	8.3	44.0	41.0	3.0

19. 화옹호의 상·하류 구간에서 조사 분석된 주요 수질 환경요인의 기초자료 (2005년 4월)

Factors stations	Temp. (°C)	DO (mg/l)	pH	Cond. (mS/cm)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	TSS (mg/l)	Chl-a (ug/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	T-N (ug/l)	Org-N (ug/l)	NH <sub>4</sub> -N (ug/l)	NO <sub>3</sub> -N (ug/l)	NO <sub>2</sub> -N (ug/l)	T-P (ug/l)	Org-P (ug/l)	SRP (ug/l)
1-상	19.6	13.0	8.0	45.5	30.0	7.6	90.6	11.0	9.4	6.0	3,496.3	3,167.8	48.7	276.2	3.5	102.4	96.4	5.9
1-중	19.4	12.3	8.1	46.4	30.6	8.2	79.2	13.8	9.1	7.1	3,470.9	3,133.4	42.6	291.8	3.0	104.6	100.2	4.4
1-하	19.3	12.3	8.3	45.3	30.0	8.4	78.4	12.3	8.5	7.1	3,629.1	3,298.6	32.0	295.7	2.8	112.7	109.1	3.6
2-상	18.9	12.0	8.2	46.5	30.7	6.5	69.6	10.7	5.1	6.1	2,945.1	2,595.7	37.3	309.4	2.7	50.2	48.1	2.0
2-중	18.1	11.3	8.2	45.4	30.0	7.6	74.4	16.5	5.4	6.8	3,063.8	2,761.5	32.7	266.4	3.2	53.9	50.3	3.6
2-하	16.8	9.4	8.2	46.4	30.6	2.2	92.0	16.4	4.4	6.5	2,894.3	2,516.6	63.2	303.6	10.9	67.1	65.0	2.0
3-상	17.3	12.0	8.2	46.3	30.5	4.8	64.6	10.2	4.4	7.0	2,919.7	2,654.1	30.4	231.3	3.9	40.6	38.6	2.0
3-중	13.6	10.7	8.1	46.4	30.6	2.2	66.0	2.4	2.1	5.1	2,964.9	2,457.9	68.5	428.6	9.9	22.3	19.4	2.8
3-하	12.8	9.9	8.0	47.1	31.2	3.9	67.2	1.3	3.0	6.6	3,094.9	2,589.7	99.0	395.4	10.9	29.6	19.0	10.6
4-상	18.8	10.4	8.1	46.0	30.3	4.9	65.8	7.5	3.8	7.6	3,131.7	2,874.6	11.4	243.0	2.7	45.8	44.5	1.3
4-중	18.8	10.5	8.2	46.5	30.6	5.4	66.2	7.8	5.1	7.3	3,126.0	2,858.9	13.3	250.8	3.0	59.7	57.7	2.0
4-하	18.9	10.4	8.2	46.1	30.7	9.4	75.2	8.6	6.2	6.8	3,499.1	3,235.5	14.1	246.9	2.7	81.1	79.0	2.0
5-상	18.9	11.6	8.2	46.6	30.9	4.7	66.6	5.1	3.3	3.6	3,044.1	2,690.6	14.1	334.8	4.6	34.0	32.8	1.3
5-중	15.4	12.2	8.2	47.9	31.7	3.8	69.0	4.6	3.0	5.5	3,162.8	2,767.8	13.3	375.9	5.8	30.3	29.1	1.3
5-하	14.0	12.1	8.1	47.5	31.6	3.7	65.4	2.9	2.6	6.3	2,778.4	2,361.2	22.5	387.6	7.1	25.2	23.2	2.0
6-상	14.4	12.4	8.1	47.1	31.2	3.0	75.6	4.2	2.1	5.8	2,628.6	2,220.3	22.1	377.8	8.3	28.9	25.3	3.6
6-중	14.0	12.3	8.1	49.7	31.9	2.8	73.4	4.4	2.9	8.1	2,470.3	2,050.0	22.5	389.5	8.3	27.4	25.4	2.0
6-하	13.8	12.5	8.1	48.4	32.3	2.6	65.6	4.9	2.3	5.1	2,897.1	2,498.2	20.2	370.0	8.7	25.9	23.9	2.0

20. 화옹호의 상·하류 구간에서 조사 분석된 주요 수질 환경요인의 기초자료 (2005년 5월)

Factors stations	Temp. (°C)	DO (mg/l)	pH	Cond. (mS/cm)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	TSS (mg/l)	Chl-a (ug/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	T-N (ug/l)	Org-N (ug/l)	NH <sub>4</sub> -N (ug/l)	NO <sub>3</sub> -N (ug/l)	NO <sub>2</sub> -N (ug/l)	T-P (ug/l)	Org-P (ug/l)	SRP (ug/l)
1-상	-	-	8.6	37.2	23.8	8.8	83.7	62.6	17.0	17.4	3,451.0	3,016.9	179.7	252.8	1.6	212.9	129.9	82.9
1-중	-	-	8.4	41.6	27.0	5.9	90.3	9.4	7.3	8.3	2,544.3	2,113.4	196.6	225.3	9.0	71.5	34.1	37.4
1-하	-	-	8.2	42.5	27.7	13.0	180.0	74.9	17.6	18.2	3,297.6	2,906.1	4.6	382.5	4.3	203.7	175.5	28.2
2-상	-	-	8.5	36.9	23.6	9.5	70.0	14.4	8.5	12.0	2,117.5	1,750.2	188.3	158.4	20.6	89.2	47.9	41.3
2-중	-	-	8.2	44.5	29.2	7.1	84.2	17.9	3.2	5.2	2,745.2	2,154.1	231.9	347.1	12.1	44.7	35.8	8.9
2-하	-	-	8.0	44.2	29.0	8.4	87.8	24.5	2.8	4.5	2,536.0	1,989.0	161.2	370.7	15.0	43.1	12.6	30.5
3-상	-	-	8.3	39.2	25.2	5.0	80.0	11.6	5.5	7.6	2,201.2	1,896.5	54.7	241.0	9.0	66.2	53.4	12.8
3-중	-	-	8.2	45.1	29.5	3.3	77.0	11.5	2.7	4.7	2,761.9	2,405.1	16.7	331.4	8.7	28.5	22.7	5.8
3-하	-	-	8.1	44.7	29.3	14.5	110.5	4.6	1.7	4.7	2,435.5	1,956.2	21.3	449.4	8.7	52.3	29.6	22.8
4-상	-	-	8.3	43.8	28.6	3.0	74.8	8.7	3.0	6.7	2,494.1	2,161.8	3.0	323.6	5.8	33.1	11.1	22.0
4-중	-	-	8.3	43.6	28.5	3.1	90.8	9.2	3.4	5.1	2,351.8	2,064.0	2.1	280.3	5.4	32.4	28.9	3.5
4-하	-	-	8.3	44.2	28.8	5.0	91.3	23.3	4.5	7.5	2,778.7	2,387.6	1.3	382.5	7.2	38.5	34.2	4.3
5-상	-	-	8.3	41.8	27.5	5.7	72.5	2.0	2.5	6.9	2,703.4	2,396.1	2.5	296.0	8.7	28.5	25.0	3.5
5-중	-	-	8.2	45.3	29.8	4.6	81.0	4.9	2.5	6.1	2,502.5	2,095.2	19.7	378.6	9.0	22.4	19.7	2.7
5-하	-	-	8.1	43.8	29.0	5.0	85.5	1.4	1.3	5.7	2,343.5	1,979.7	40.1	315.7	8.0	22.4	18.1	4.3
6-상	-	-	8.4	39.0	25.2	4.9	70.8	2.7	2.8	7.1	2,326.7	2,005.5	24.3	280.3	16.6	40.0	33.5	6.6
6-중	-	-	8.4	40.9	26.6	6.7	80.7	2.0	2.6	8.8	2,703.4	2,390.7	7.6	292.1	13.0	33.1	27.3	5.8
6-하	-	-	8.4	41.3	27.0	5.0	73.8	2.2	2.5	8.4	2,611.3	2,322.6	13.4	264.6	10.7	27.0	22.7	4.3

21. 화옹호의 상·하류 구간에서 조사 분석된 주요 수질 환경요인의 기초자료 (2005년 6월)

Factors stations	Temp. (°C)	DO (mg/l)	pH	Cond. (mS/cm)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	TSS (mg/l)	Chl-a (ug/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	T-N (ug/l)	Org-N (ug/l)	NH <sub>4</sub> -N (ug/l)	NO <sub>3</sub> -N (ug/l)	NO <sub>2</sub> -N (ug/l)	T-P (ug/l)	Org-P (ug/l)	SRP (ug/l)
1-상	-	-	8.1	41.9	27.4	7.5	73.2	48.3	8.2	8.9	2,856.6	2,653.1	19.0	182.3	2.2	132.8	128.5	4.4
1-중	-	-	8.1	42.2	27.6	7.2	72.0	37.5	8.1	8.7	2,860.1	2,710.3	3.0	146.2	0.5	124.2	118.3	5.9
1-하	-	-	8.1	43.0	28.1	26.8	108.8	34.2	7.8	8.4	2,543.0	2,376.2	0.9	165.5	0.5	137.6	132.5	5.1
2-상	-	-	8.1	42.8	27.9	6.1	71.2	39.6	8.2	9.8	2,808.9	2,655.9	13.8	139.0	0.2	112.3	107.2	5.1
2-중	-	-	8.0	43.7	28.6	6.8	73.2	21.2	3.2	7.0	3,443.0	3,301.4	5.2	134.2	2.2	62.6	59.0	3.6
2-하	-	-	7.9	44.3	29.1	5.7	71.6	8.2	2.0	6.1	2,321.5	2,037.8	88.2	189.5	5.9	50.7	42.5	8.2
3-상	-	-	8.1	43.0	28.1	5.8	68.8	44.7	8.1	10.4	3,552.1	3,438.1	6.1	107.8	0.2	94.1	87.5	6.7
3-중	-	-	7.8	44.8	29.4	5.2	73.2	4.6	1.6	6.6	3,422.5	3,155.7	33.7	228.0	5.1	31.0	28.2	2.8
3-하	-	-	7.8	45.1	29.6	10.6	85.2	3.5	1.4	7.7	2,570.3	2,044.4	340.4	177.5	7.9	133.6	68.5	65.1
4-상	-	-	8.0	40.2	26.0	5.4	62.0	6.5	2.4	8.7	2,430.5	2,097.7	140.2	177.5	15.2	55.5	44.2	11.3
4-중	-	-	8.0	40.6	26.4	6.3	62.8	5.9	2.8	8.7	2,727.1	2,375.0	139.3	196.7	16.0	57.0	45.0	12.0
4-하	-	-	8.0	40.8	26.5	8.6	72.8	6.8	2.7	9.7	3,770.2	3,450.9	129.3	175.1	14.8	57.0	45.8	11.3
5-상	-	-	8.0	42.3	27.5	5.7	76.0	16.7	4.3	9.2	2,301.0	2,103.7	45.4	151.1	0.8	53.9	51.8	2.1
5-중	-	-	7.8	43.6	28.5	5.0	71.2	13.6	3.1	9.5	2,413.5	2,161.1	48.0	199.1	5.2	46.0	41.6	4.4
5-하	-	-	7.8	44.3	29.0	5.3	74.4	1.7	0.8	10.0	2,386.2	1,993.3	147.1	237.6	8.3	41.2	19.2	22.0
6-상	-	-	7.8	44.2	29.0	5.3	70.8	2.2	0.7	9.7	2,416.9	1,975.1	113.8	321.8	6.2	46.0	24.7	21.3
6-중	-	-	7.8	45.3	29.7	4.1	65.6	2.4	1.2	11.0	2,491.9	2,104.6	87.8	292.9	6.6	38.1	16.8	21.3
6-하	-	-	7.6	44.2	29.0	3.2	76.4	1.9	0.6	10.1	2,491.9	2,068.7	82.6	333.8	6.7	34.1	15.9	18.2

22. 화옹호의 상·하류 구간에서 조사 분석된 주요 수질 환경요인의 기초자료 (2005년 7월)

Factors stations	Temp. (°C)	DO (mg/l)	pH	Cond. (mS/cm)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	TSS (mg/l)	Chl-a (ug/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	T-N (ug/l)	Org-N (ug/l)	NH <sub>4</sub> -N (ug/l)	NO <sub>3</sub> -N (ug/l)	NO <sub>2</sub> -N (ug/l)	T-P (ug/l)	Org-P (ug/l)	SRP (ug/l)
1-상	-	-	9.1	17.6	10.5	16.8	55.2	117.5	7.4	17.0	3,183.9	2,878.2	187.7	95.8	22.2	252.9	241.4	11.5
1-중	-	-	9.2	18.0	10.8	19.5	64.0	182.0	7.4	16.6	2,999.8	2,771.2	109.0	100.6	18.9	232.5	219.5	13.0
1-하	-	-	9.0	22.9	14.0	19.4	65.2	60.5	7.4	11.6	2,883.9	2,329.6	271.7	247.3	35.3	208.7	193.6	15.1
2-상	-	-	9.2	20.5	12.4	9.1	44.0	59.9	7.4	12.8	2,590.8	2,350.8	138.0	91.0	10.9	112.6	106.9	5.8
2-중	-	-	8.6	30.5	19.1	7.3	51.6	52.4	6.8	9.7	2,836.2	2,154.7	351.3	302.6	27.6	93.9	86.7	7.2
2-하	-	-	8.2	39.5	25.8	6.6	58.8	4.0	1.0	6.0	2,986.2	1,901.5	562.3	499.7	22.7	70.1	11.2	58.9
3-상	-	-	8.6	27.5	17.1	5.7	40.6	28.7	5.3	11.2	2,277.1	1,987.0	33.0	228.0	29.2	40.4	38.2	2.2
3-중	-	-	8.3	40.0	25.9	3.1	54.0	2.9	0.9	7.2	3,108.9	1,999.0	344.2	742.5	23.2	56.5	24.9	31.6
3-하	-	-	8.1	41.3	26.7	4.9	59.4	1.5	0.8	7.3	3,013.5	1,874.6	521.9	595.9	21.2	71.8	7.8	64.0
4-상	-	-	8.4	30.2	18.9	6.6	49.4	34.8	6.1	12.6	2,393.0	2,120.8	63.7	187.2	21.3	45.5	26.8	18.7
4-중	-	-	8.4	33.1	20.9	8.1	55.4	50.3	6.6	13.5	2,795.3	2,369.0	40.4	360.3	25.6	60.8	57.9	2.9
4-하	-	-	8.3	36.4	23.3	6.9	60.0	46.3	5.2	11.8	2,958.9	2,135.1	158.3	639.1	26.4	49.7	48.3	1.5
5-상	-	-	8.6	29.4	18.4	7.1	49.2	43.1	7.4	13.4	2,440.8	2,034.1	66.4	326.6	13.6	57.4	50.2	7.2
5-중	-	-	8.2	39.9	25.8	4.0	58.6	4.0	1.4	9.3	3,197.5	2,353.4	259.4	562.2	22.5	36.1	9.5	26.6
5-하	-	-	8.0	41.8	27.2	4.2	58.0	2.4	1.0	9.8	3,149.8	1,954.2	650.7	523.7	21.2	82.9	3.8	79.1
6-상	-	-	8.3	31.3	19.6	6.8	47.4	36.5	5.1	12.2	2,379.4	2,059.6	63.7	230.4	25.6	37.0	35.5	1.5
6-중	-	-	8.3	38.9	25.1	5.8	67.0	14.7	2.7	11.5	3,081.6	2,139.2	220.7	699.2	22.5	33.6	32.1	1.5
6-하	-	-	8.2	40.4	26.1	2.7	58.8	1.3	1.4	10.0	3,122.5	2,239.1	200.5	660.8	22.2	29.3	4.9	24.5

23. 화옹호의 상·하류 구간에서 조사 분석된 주요 수질 환경요인의 기초자료 (2005년 9월)

Factors stations	Temp. (°C)	DO (mg/l)	pH	Cond. (mS/cm)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	TSS (mg/l)	Chl-a (ug/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	T-N (ug/l)	Org-N (ug/l)	NH <sub>4</sub> -N (ug/l)	NO <sub>3</sub> -N (ug/l)	NO <sub>2</sub> -N (ug/l)	T-P (ug/l)	Org-P (ug/l)	SRP (ug/l)
1-상	19.7	5.8	8.2	17.9	9.7	9.9	30.0	7.5	4.3	5.8	4,706.1	2,420.3	587.7	1,528.0	170.0	219.7	194.8	24.9
1-중	20.5	8.0	8.1	23.1	12.7	8.1	35.4	18.4	5.7	7.8	4,359.7	2,781.6	294.3	1,139.3	144.5	187.2	163.8	23.4
1-하	21.7	6.1	8.0	28.4	17.0	11.0	51.8	16.2	4.8	6.5	4,178.5	2,982.0	301.1	734.1	161.3	221.3	204.8	16.5
2-상	20.4	7.3	8.1	22.6	12.5	9.9	37.0	9.0	6.0	7.8	3,933.1	2,221.1	296.2	1,268.9	147.0	88.8	80.7	8.2
2-중	21.8	3.8	7.9	36.9	21.5	4.4	52.2	2.2	2.5	4.1	3,883.1	2,897.7	115.8	515.0	354.7	88.0	75.3	12.7
2-하	20.9	7.4	7.9	36.6	23.0	6.4	56.4	1.4	2.0	5.5	3,527.0	2,778.5	104.0	519.7	124.9	84.7	72.7	12.0
3-상	19.2	12.1	8.2	20.2	11.7	4.6	28.4	30.5	6.3	9.4	3,812.5	2,354.5	96.8	1,261.8	99.3	86.3	82.0	4.4
3-중	20.8	7.6	7.9	37.2	23.0	2.7	51.2	2.0	0.8	5.7	3,544.6	2,746.6	74.4	602.1	121.4	73.8	66.4	7.4
3-하	20.5	9.0	7.9	37.0	22.9	4.7	51.4	1.7	0.8	7.2	3,338.8	2,671.7	58.1	515.0	94.0	65.5	27.7	37.8
4-상	19.0	12.7	8.2	19.9	10.8	5.7	30.8	24.5	3.8	8.4	3,454.9	2,254.8	42.9	1,054.5	102.7	84.7	80.3	4.4
4-중	20.1	9.4	8.1	27.2	15.1	4.1	37.6	19.9	2.5	8.0	3,462.9	2,416.3	70.6	884.8	91.1	83.8	79.5	4.4
4-하	20.7	6.4	8.0	32.8	20.4	3.0	46.4	5.8	1.1	8.2	3,765.9	2,930.1	162.1	573.9	99.8	86.3	79.7	6.6
5-상	19.0	11.8	8.3	19.2	9.5	3.8	26.6	19.5	3.4	8.7	3,381.1	2,087.1	101.0	1,092.2	100.7	96.3	90.4	5.9
5-중	20.9	8.3	8.0	35.8	20.9	2.9	42.0	6.5	1.5	7.6	3,526.6	2,763.8	42.5	592.7	127.6	88.8	81.4	7.4
5-하	20.5	8.8	8.0	36.1	22.6	4.6	54.0	2.5	0.6	8.7	3,707.9	2,945.4	60.4	602.1	100.0	73.8	53.5	20.3
6-상	19.0	12.1	8.3	18.2	9.7	3.2	25.0	24.2	3.1	8.9	3,445.2	2,045.9	28.5	1,278.3	92.6	73.8	66.4	7.4
6-중	18.8	10.5	8.2	24.8	13.2	4.2	43.4	14.5	2.1	9.7	3,619.9	2,273.0	126.8	1,125.2	94.9	83.0	71.8	11.2
6-하	20.1	8.6	8.0	36.9	22.1	3.5	54.2	2.6	0.7	7.8	3,719.3	2,972.3	57.4	606.8	82.8	73.0	63.3	9.7

24. 화옹호의 상·하류 구간에서 조사 분석된 주요 수질 환경요인의 기초자료 (2005년 10월)

Factors stations	Temp. (°C)	DO (mg/l)	pH	Cond. (mS/cm)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	TSS (mg/l)	Chl-a (ug/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	T-N (ug/l)	Org-N (ug/l)	NH <sub>4</sub> -N (ug/l)	NO <sub>3</sub> -N (ug/l)	NO <sub>2</sub> -N (ug/l)	T-P (ug/l)	Org-P (ug/l)	SRP (ug/l)
1-상	14.6	2.0	8.2	26.3	16.2	19.5	65.6	11.2	10.8	14.0	5,117.6	3,893.2	1,025.3	159.0	40.1	654.1	442.5	211.6
1-중	15.7	7.0	8.1	30.3	19.0	13.5	60.6	17.7	8.9	11.8	5,190.4	4,631.6	475.8	46.3	36.6	376.2	273.0	103.2
1-하	16.3	8.9	8.0	33.6	21.3	11.4	60.2	17.7	6.7	8.5	4,410.3	4,083.2	172.9	110.7	43.5	200.8	160.8	40.1
2-상	16.4	13.7	8.2	32.7	20.7	8.8	54.4	34.8	7.5	7.4	3,900.6	3,814.5	3.4	62.4	20.3	115.6	107.5	8.1
2-중	17.2	7.9	8.2	36.6	23.5	3.9	56.0	4.9	3.9	6.3	3,862.5	3,498.2	49.9	223.4	90.9	90.2	42.3	47.9
2-하	17.7	6.6	8.1	37.7	24.2	5.4	52.8	0.5	2.4	4.2	4,673.8	4,237.4	75.6	274.4	86.3	93.4	26.9	66.6
3-상	16.1	11.7	8.2	34.7	22.1	5.2	52.0	13.2	4.4	6.5	3,675.2	3,566.7	14.8	51.7	42.0	83.6	76.3	7.3
3-중	17.0	8.6	8.2	36.6	23.5	2.0	49.6	3.1	1.7	6.3	4,167.6	3,777.2	25.9	255.6	108.8	73.0	25.9	47.1
3-하	17.4	7.1	8.1	37.6	24.2	3.5	52.2	0.8	1.4	4.8	4,597.5	4,169.9	55.8	285.1	86.7	83.6	21.7	61.9
4-상	11.8	12.0	8.2	32.7	20.6	56.7	131.8	28.6	7.8	10.2	3,200.2	3,055.2	38.1	81.2	25.7	266.4	240.4	26.0
4-중	11.7	11.7	8.2	32.7	20.7	56.6	126.6	27.3	6.7	11.5	3,609.4	3,441.5	40.2	89.3	38.4	263.9	235.6	28.4
4-하	11.6	11.4	8.2	32.9	20.9	68.7	146.8	19.0	5.1	9.0	3,078.9	2,937.3	56.2	62.4	23.0	226.2	193.2	33.0
5-상	14.9	11.9	8.2	34.0	21.6	5.6	50.2	9.4	3.0	9.2	3,671.8	3,565.5	4.1	75.9	26.4	63.1	54.3	8.9
5-중	14.8	11.5	8.3	33.9	21.7	4.5	47.8	8.1	3.1	7.3	3,803.5	3,700.9	5.4	70.5	26.7	65.6	57.5	8.1
5-하	16.2	9.2	8.2	35.9	23.0	2.6	50.2	3.4	1.8	11.9	4,406.8	4,111.8	11.0	204.6	79.3	63.1	30.1	33.0
6-상	15.6	11.2	8.2	34.8	22.2	4.9	50.2	6.0	2.4	7.0	3,571.2	3,357.7	5.4	153.7	54.4	53.3	35.8	17.4
6-중	15.4	10.9	8.2	34.8	22.3	4.5	48.4	5.2	2.6	8.4	3,709.9	3,506.4	6.1	142.9	54.4	58.2	38.4	19.8
6-하	15.9	9.8	8.2	34.6	22.3	3.2	51.8	1.6	1.8	7.4	4,295.9	3,980.7	20.0	228.8	66.3	56.6	24.3	32.3

25. 화옹호의 상·하류 구간에서 조사 분석된 주요 수질 환경요인의 기초자료 (2006년 1월)

Factors stations	Temp. (°C)	DO (mg/l)	pH	Cond. (mS/cm)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	TSS (mg/l)	Chl-a (ug/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	T-N (ug/l)	Org-N (ug/l)	NH <sub>4</sub> -N (ug/l)	NO <sub>3</sub> -N (ug/l)	NO <sub>2</sub> -N (ug/l)	T-P (ug/l)	Org-P (ug/l)	SRP (ug/l)
1-상	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1-중	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1-하	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-상	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-중	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-하	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3-상	0.4	21.6	8.6	42.2	27.4	3.3	55.2	7.0	5.3	5.0	3,078.4	2,491.5	131.4	444.6	10.9	42.8	34.7	8.2
3-중	0.7	20.5	8.6	43.3	28.2	7.8	72.4	50.8	9.7	8.9	3,466.2	3,162.6	21.2	282.3	0.1	93.7	89.3	4.4
3-하	1.1	16.8	8.6	42.7	27.8	7.6	64.4	35.5	5.7	5.7	3,051.2	2,595.6	24.8	429.2	1.5	57.1	54.3	2.9
4-상	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4-중	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4-하	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5-상	-0.4	19.6	8.6	42.8	27.8	2.7	54.8	5.8	3.3	4.2	2,772.3	2,247.1	127.8	391.9	5.4	26.9	23.3	3.6
5-중	-0.4	19.8	8.6	43.1	28.0	4.5	57.6	13.7	5.2	6.0	2,765.5	2,473.7	37.7	253.8	0.3	33.3	31.2	2.1
5-하	-0.6	19.9	8.6	42.4	27.6	10.1	57.6	20.1	5.6	5.2	2,632.8	2,346.5	21.2	264.8	0.3	49.2	46.3	2.9
6-상	-0.7	20.6	8.5	42.6	27.8	4.3	58.0	15.1	4.5	5.2	2,670.3	2,339.0	47.3	282.3	1.7	30.1	28.0	2.1
6-중	-0.7	20.1	8.5	41.0	26.8	7.9	60.0	16.8	4.4	5.0	2,748.5	2,420.1	46.9	280.1	1.4	29.3	27.2	2.1
6-하	0.0	18.2	8.4	42.5	27.7	4.3	70.8	11.5	2.9	4.3	2,745.1	2,349.4	33.7	361.3	0.7	24.6	18.7	5.9



## <부 록 4. 폐수배출시설 현황>

### ○ 유역내 축산폐수배출시설현황

No.	업소명	소재지	대표자	업종코드	배출량 (m <sup>3</sup> /day)	종별(종)
1	주) 풍년식품	경기도 화성시 태안읍 능리	황성욱	기타식료품 제조	1	5
2	일광자동차공업사	경기도 화성시 태안읍 반월리	고동영	운수장비 수선 및 세차 또는 세척시설	4	5
3	(주)엔텍	경기도 화성시 태안읍 반월리	이준구	장난감, 장식품 및 일용품 제조시설	9	5
4	상우공업사	경기도 화성시 태안읍 반월리		운수장비 수선 및 세차 또는 세척시설	1	5
5	동신주유소	경기도 화성시 태안읍 반월리	이정욱	운수장비 수선 및 세차 또는 세척시설	2	5
6	기흥 IC 주유소	경기도 화성시 태안읍 반월리	박계순	운수장비 수선 및 세차 또는 세척시설	1	5
7	영진공업	경기도 화성시 태안읍 반월리	서광수	고무제품 제조	5	5
8	동양주유소	경기도 화성시 태안읍 반월리	손충남	플라스틱 제품 제조	8	5
9	신흥정밀	경기도 화성시 태안읍 병점리	최화봉	전자부품, 영상, 음향 및 통신장비 제조시설	5	5
10	태홍카센타	경기도 화성시 태안읍 안녕리	이순서	운수장비 수선 및 세차 또는 세척시설	3	5
11	상아제관(주)	경기도 화성시 태안읍 안녕리	강송수	조립금속제품 제조시설	5	5
12	21세기 주유소	경기도 화성시 태안읍 안녕리		운수장비 수선 및 세차 또는 세척시설	7	5
13	대림제약(주)	경기도 화성시 태안읍 안녕리	이순국	의약품, 의료용 제조	1	5
14	(주)중외제약	경기도 화성시 태안읍 안녕리	최현식	의약품, 의료용 제조	760	2
15	(주)성경급식	경기도 화성시 태안읍 진안리	조경선	곡물가공시설	15	5
16	유림셀프세차장	경기도 화성시 태안읍 진안리	대표자		1.5	5
17	철성 주유소	경기도 화성시 매송면 원평리	이범필	운수장비 수선 및 세차 또는 세척시설	2	5
18	신중앙 정비	경기도 화성시 비봉면 양노리	심도진	운수장비 수선 및 세차 또는 세척시설	2	5
19	마도 공업사	경기도 화성시 마도면 슬항리	안희석	운수장비 수선 및 세차 또는 세척시설	3	5
20	한주케미칼(주)	경기도 화성시 마도면 송정리	권택영	기타 화학제품 제조	10	5
21	시화자동차 공업주식회사	경기도 화성시 송산면 사강리	김일웅	운수장비 수선 및 세차 또는 세척시설	1	5
22	(주)우원유업	경기도 화성시 서신면 전곡리	고형복	낙농품 제조, 가공	9	5
23	오아시스 세차장	경기도 화성시 서신면 송교리		운수장비 수선 및 세차 또는 세척시설	1	5
24	새천년자동차정비공 업사	경기도 화성시 팔탄면 매곡리	유치열	운수장비 수선 및 세차 또는 세척시설	7	5
25	경기유지공업(주)	경기도 화성시 팔탄면 울암리	김치홍	동, 식물성 유지제조	155	4

26	한미약품 공업(주)	경기도 화성시 팔탄면 하저리	정지석	의약품,의료용 제조	60	4
27	델리치푸드(주)	경기도 화성시 팔탄면 서근리	윤승하	낙농품 제조, 가공	1	5
28	명인제약 주식회사	경기도 화성시 팔탄면 노하리	이행명	의약품,의료용 제조	5	5
29	(주)화성온천주유소	경기도 화성시 팔탄면 매곡리	천미경	운수장비 수선 및 세차 또는 세척시설	8	5
30	(주)세화 P&C	경기도 화성시 팔탄면 가재리	이훈구	의약품,의료용 제조	1	5
31	덕성주유소	경기도 화성시 팔탄면 월문리	정덕조	운수장비 수선 및 세차 또는 세척시설	2	5
32	화성 LPG충전소	경기도 화성시 팔탄면 구장리		운수장비 수선 및 세차 또는 세척시설	3	5
33	한독화장품(주)	경기도 화성시 팔탄면 구장리	박효석	화장품 제조	1	5
34	경일산업	경기도 화성시 팔탄면 구장리	임진수	고무제품 제조	10	3
35	(주)늘푸른	경기도 화성시 장안면 독정리	안상교	기타식료품 제조	35	5
36	가정식품	경기도 화성시 우정읍 조암리	이덕상	기타식료품 제조	10	5
37	경진여객운수(주)	경기도 화성시 우정읍 조암리	함영일	운수장비 수선 및 세차 또는 세척시설	3	5
38	기아자동차(주)화성공장	경기도 화성시 우정읍 이화리	김영귀	조립금속제품 제조시설	5,110	1
39	기아자동차(주)화성공장	경기도 화성시 우정읍 이화리		조립금속제품 제조시설	5,110	1
40	대아레미콘(주)	경기도 화성시 우정읍 석천리	이형신	기타 비금속광물 제조	1	5
41	태경식품(주)	경기도 화성시 향남면 백토리	성낙규	기타식료품 제조	2	5
42	(주)태호내츄럴푸드	경기도 화성시 향남면 동오리	강태호	기타식료품 제조	8	5
43	동원세차장	경기도 화성시 향남면 평리	서인석	운수장비 수선 및 세차 또는 세척시설	3	5
44	경동제약(주)	경기도 화성시 양감면 대양리	유덕희	의약품,의료용 제조	17	5
45	(주)삼천리 제약	경기도 화성시 양감면 대양리	김태성	의약품,의료용 제조	1	5
46	제일산업(주)	경기도 화성시 양감면 대양리		펄프,종이 및 종이제품 제조	44	5
47	(주)유니콤	경기도 화성시 양감면 대양리	박홍표	펄프,종이 및 종이제품 제조	27	5
48	주식회사 삼천리	경기도 화성시 양감면 대양리	김태성	의약품,의료용 제조	2.95	5
49	동양메이저(주)화성공장	경기도 화성시 양감면 신왕리		기타 비금속광물 제조	2	5
50	(주)삼덕자원	경기도 화성시 양감면 사창리	배원섭	장난감, 장식품 및 일용품 제조시설	3	5
51	삼부 식품	경기도 화성시 양감면 사창리	이해중	과실 및 채소가공, 저장, 처리	7	5
52	유환종합상사	경기도 화성시 양감면 송산리	유경식	플라스틱 제품 제조	0.1	5
53	(주)보락제 1공장	경기도 화성시 양감면 송산리	정기련	방향유 제조	90	4
54	(주)보락제 2공장	경기도 화성시 양감면 송산리		조미료 및 식품첨가물제조	51	4

55	일심가구산업	경기도 화성시 동탄면 반송리	김해림	달리분류되지않은 장난감, 장식품 및 일용품 제조시설	1	5
56	대성가구산업(주)	경기도 화성시 동탄면 반송리	구은섭	달리분류되지않은 장난감, 장식품 및 일용품 제조시설	4	5
57	동탄 공업사	경기도 화성시 동탄면 석우리	오석현	운수장비 수선 및 세차 또는 세척시설	7	5
58	(주)중앙고속	경기도 화성시 동탄면 석우리	김홍래	운수장비 수선 및 세차 또는 세척시설	10	5
59	청수식품공업(주)	경기도 화성시 동탄면 송리	곽재섭	전분 및 당류제조	3	5
60	르노삼성자동차 주식회사	경기도 화성시 동탄면 영천리	제롬스톨	운수장비 수선 및 세차 또는 세척시설	32	5
61	평화특수고무(주)	경기도 화성시 동탄면 영천리	이용학	고무제품 제조	1	5
62	아산제약 주식회사	경기도 화성시 동탄면 영천리	황문수	의약품,의료용 제조	3	5
63	(주)합동하이텍 글라스	경기도 화성시 동탄면 영천리	이성모	유리 및 유리제품 제조	4	5
64	국제식품	경기도 화성시 동탄면 오산리	임춘하	비알콜성 음료품제조	117	4
65	한국효소 주식회사	경기도 화성시 동탄면 오산리		기타식료품 제조	30	5
66	(주)용화정밀 오산공장	경기도 화성시 동탄면 장지리		조립금속제품 제조시설	11	5
67	(주)두원냉기	경기도 화성시 동탄면 장지리	박상록	장난감, 장식품 및 일용품 제조시설	1	5
68	환경종합식품(주)	경기도 화성시 동탄면 장지리	김은자	기타식료품 제조	12	5
69	덕흥제선(주)	경기도 화성시 동탄면 장지리	손정환	제철시설	5	5
70	(주)용화정밀 오산공장	경기도 화성시 동탄면 장지리		조립금속제품 제조시설	11	5
71	현대자동차(주)화성출고 센터	경기도 화성시 동탄면 증리		운수장비 수선 및 세차 또는 세척시설	14	5
72	(주)국영지엔엠	경기도 화성시 동탄면 증리	최재원	요업제품 제조	19	5
73	(주)한동	경기도 화성시 동탄면 증리	이오직	의약품,의료용 제조	1	5
74	현대자동차	경기도 화성시 동탄면 증리	김동진	운수장비 수선 및 세차 또는 세척시설	10	5
75	재생공업사	경기도 화성시 남양동	박승민	운수장비 수선 및 세차 또는 세척시설	2	5
76	남양농업 협동조합	경기도 화성시 남양동	홍은수	과실 및 채소가공, 저장, 처리	35	5
77	영진약품공업(주)	경기도 화성시 남양동	김종인	의약품,의료용 제조	68	4
78	동수원 남양병원	경기도 화성시 남양동	변상현	사진촬영 및 처리	6	5
79	정석산업	경기도 화성시 남양동	정석	기타 비철금속 산업시설	8	5
80	우성	경기도 화성시 남양동	대표자	유리 및 유리제품 제조	15	5
81	기영식품	경기도 화성시 남양동	박기영	기타식료품 제조	50	4
82	남양주유소	경기도 화성시 남양동	이정현	운수장비 수선 및 세차 또는 세척시설	8.64	5
83	화성농기구센터	경기도 화성시 봉담읍 동화리	이재록	운수장비 수선 및 세차 또는 세척시설	2	5

84	동양매직(주)	경기도 화성시 봉담읍 동화리	염용운	조립금속제품 제조시설	95	4
85	(주)명성식품	경기도 화성시 봉담읍 동화리	장명수	도축, 고기가공	8	5
86	주식회사 한농식품	경기도 화성시 봉담읍 동화리	진광호	과실 및 채소가공, 저장, 처리	22	5
87	보원경금속(주)	경기도 화성시 봉담읍 동화리	이경환	조립금속제품 제조시설	38	5
88	주식회사 연합유리	경기도 화성시 봉담읍 분천리	이홍근	유리 및 유리제품 제조	12	5
89	프라임베이커리 주식회사	경기도 화성시 봉담읍 상기리		기타식료품 제조	11	5
90	덤섬식품(주)	경기도 화성시 봉담읍 상기리	최상업	기타식료품 제조	13	5
91	(주)화성유통	경기도 화성시 봉담읍 수영리	조남규	도축, 고기가공	192	4
92	신광산업	경기도 화성시 봉담읍 수영리	현장환	조립금속제품 제조시설	2	5
93	동광산업	경기도 화성시 봉담읍 수영리	배정욱	조립금속제품제조시설	1	5
94	일화모직공업(주)	경기도 화성시 봉담읍 수영리	김영성	섬유표백, 염색 및 가공	1,068	2
95	한일약품공업(주)	경기도 화성시 봉담읍 와우리	대표자	의약품,의료용 제조	45	4
96	한일제관(주)	경기도 화성시 봉담읍 와우리	정호발	기타 철강, 압연, 압출, 연신 및 제관시설	156	4
97	파마시아 코리아(주)	경기도 화성시 봉담읍 와우리		살균,살충제,농업용화학 제품 제조	25	5
98	아일인텍(주)	경기도 화성시 봉담읍 와우리		조립금속제품 제조시설	3	5
99	수원중기 공업사	경기도 화성시 봉담읍 왕림리	최중윤	운수장비 수선 및 세차 또는 세척시설	1	5
100	(주)유니온메탈	경기도 화성시 안석동	이권희	황산, 질산, 염산 제조	7	5
101	(주)정남유화	경기도 화성시 정남면 고지리	이완표	기타 기초화학물 제조	3	5
102	(주)위터웍스 유진	경기도 화성시 정남면 고지리	이정욱	조립금속제품 제조시설	6.9	5
103	일진경금속(주)	경기도 화성시 정남면 쾌랑리	홍순갑	조립금속제품 제조시설	125	4
104	신호유통(주)	경기도 화성시 정남면 귀래리	김그레이스	도축, 고기가공	140	3
105	주)정산산업	경기도 화성시 정남면 덕절리	김성녕	화장품 제조	15	5
106	정남식품	경기도 화성시 정남면 망월리	김정남	기타식료품 제조	24	5
107	주)기린 수원공장	경기도 화성시 정남면 보통리	이학기	곡물가공시설	529	3
108	(주)기린 수원공장	경기도 화성시 정남면 보통리		곡물가공시설	529	3
109	(주)기린 수원공장	경기도 화성시 정남면 보통리	노황	곡물가공시설	529	3
110	(주)기린알티아이 수원공장	경기도 화성시 정남면 보통리		곡물가공시설	529	3
111	(주)샤론	경기도 화성시 정남면 신리	이영하	세탁시설	8	5
112	대진 텍스타일	경기도 화성시 정남면 신리	김종대	요업제품 제조	20	5
113	대진테스타일	경기도 화성시 정남면 신리	김종대	세탁시설	45	5
114	구주제약(주)	경기도 화성시 정남면 제기리	김명섭	의약품,의료용 제조	10	5
115	우성	경기도 화성시 활초동	김선구	유리 및 유리제품 제조	15	5

○ 유역내 축산폐수배출시설현황

No	대표자	소재지	축종	사육두수	축사면적	공해물처리방법	폐수처리개
1	김경희	경기도 화성시 태안읍 반정리	돼지	550	1,322	액비	퇴비
2	임삼수	경기도 화성시 태안읍 황계리	돼지	350	1,388	액비	퇴비
3	박상진	경기도 화성시 태안읍 기안리	젓소	45	501	톱밥발효	퇴비
4	현광호	경기도 화성시 태안읍 기안리	젓소	40	500	톱밥발효	퇴비
5	지일성	경기도 화성시 태안읍 안녕리	젓소	400	4,958	액비	퇴비
6	이선홍	경기도 화성시 매송면 천천리	젓소	40	918	톱밥발효	퇴비
7	이순구	경기도 화성시 매송면 송라리	돼지	600	1,000	무처리	퇴비
8	김재성	경기도 화성시 비봉면 청요리	젓소	44	963	퇴비	퇴비
9	심용보	경기도 화성시 비봉면 자안리	젓소	61	989	퇴비	퇴비
10	이종후	경기도 화성시 마도면 석교리	돼지	400	1,398	톱밥발효	퇴비
11	강순식	경기도 화성시 마도면 청원리	돼지	280	1,322	액비	퇴비
12	이길선	경기도 화성시 마도면 청원리	돼지	2,000	2,300	액비	퇴비
13	이승훈	경기도 화성시 마도면 청원리	돼지	1,200	4,958	액비	퇴비
14	박종철	경기도 화성시 마도면 고모리	돼지	500	1,253	액비	퇴비
15	정찬일	경기도 화성시 마도면 고모리	돼지	400	1,156	액비	퇴비
16	홍승규	경기도 화성시 송산면 독지리	한우	28	2,226	톱밥발효	퇴비
17	김명철	경기도 화성시 송산면 마산리	돼지	950	2,517	톱밥발효	퇴비
18	박용국	경기도 화성시 송산면 마산리	젓소	73	1,122	톱밥발효	퇴비
19	최영주	경기도 화성시 송산면 마산리	젓소	50	1,008	톱밥발효	퇴비
20	김영철	경기도 화성시 송산면 지화리	돼지	800	1,264	톱밥발효	퇴비
21	김형재	경기도 화성시 서신면 매화리	한우	80	1,045	톱밥발효	퇴비
22	이녹영	경기도 화성시 팔탄면 하저리	젓소	82	1,252	액비	퇴비
23	김장겸	경기도 화성시 팔탄면 창곡리	돼지	520	1,173	액비	퇴비
24	김창환	경기도 화성시 팔탄면 창곡리	돼지	1,165	1,752	액비	퇴비
25	김정학	경기도 화성시 팔탄면 가재리	돼지	450	1,983	액비	퇴비
26	노승직	경기도 화성시 팔탄면 가재리	가금	15,000	1,917	톱밥발효	퇴비
27	김성겸	경기도 화성시 팔탄면 울암리	젓소	107	1,547	톱밥발효	퇴비

28	김성용	경기도 화성시 팔탄면 울암리	돼지	1,300	1,484	액비	퇴비
29	안교완	경기도 화성시 팔탄면 울암리	돼지	2,000	2,931	액비	퇴비
30	이상현	경기도 화성시 팔탄면 울암리	젖소	93	1,833	액비	퇴비
31	조한덕	경기도 화성시 팔탄면 울암리	젖소	170	2,750	톱밥발효	퇴비
32	박용일	경기도 화성시 팔탄면 노하리	젖소	38	1,973	톱밥발효	퇴비
33	이한유	경기도 화성시 팔탄면 덕우리	젖소	100	1,183	퇴비	퇴비
34	삼성양돈	경기도 화성시 팔탄면 서근리	돼지	10,000	14,669	액비	퇴비
35	변호승	경기도 화성시 팔탄면 화당리	젖소	150	2,762	톱밥발효	퇴비
36	나경수	경기도 화성시 팔탄면 매곡리	젖소	75	1,355	톱밥발효	퇴비
37	신덕현	경기도 화성시 팔탄면 해창리	젖소	85	1,037	액비	퇴비
38	권오식	경기도 화성시 장안면 석포리	돼지	750	1,157	위탁	퇴비
39	권인식	경기도 화성시 장안면 석포리	돼지	2,500	6,611	퇴비	퇴비
40	장희경	경기도 화성시 장안면 석포리	돼지	600	1,322	위탁	퇴비
41	조한구	경기도 화성시 장안면 수촌리	돼지	880	1,273	위탁	퇴비
42	차용길	경기도 화성시 장안면 수촌리	돼지	3,000	4,500	위탁	퇴비
43	박성원	경기도 화성시 장안면 독정리	돼지	1,950	4,372	위탁	퇴비
44	김득중	경기도 화성시 장안면 덕다리	돼지	400	1,036	위탁	퇴비
45	장정섭	경기도 화성시 장안면 덕다리	돼지	800	1,036	위탁	퇴비
46	이대근	경기도 화성시 우정읍 운평리	돼지	800	1,650	퇴비	퇴비
47	주영승	경기도 화성시 우정읍 운평리	돼지	1,100	1,650	무처리	퇴비
48	금경연	경기도 화성시 우정읍 주곡리	돼지	1,500	2,217	무처리	퇴비
49	김학훈	경기도 화성시 우정읍 주곡리	돼지	1,200	2,020	톱밥발효	퇴비
50	주영오	경기도 화성시 우정읍 주곡리	돼지	1,200	2,215	위탁	퇴비
51	김귀태	경기도 화성시 우정읍 이화리	돼지	1629	2,280	톱밥발효	퇴비
52	김동기	경기도 화성시 우정읍 이화리	돼지	2,000	3,300	톱밥발효	퇴비
53	김기복	경기도 화성시 우정읍 화산리	돼지	1	1,322	톱밥발효	퇴비
54	김선근	경기도 화성시 향남면 상두리	돼지	3,000	1,050	액비	퇴비
55	정용채	경기도 화성시 향남면 백토리	한우	400	3,816	톱밥발효	퇴비
56	김대준	경기도 화성시 향남면 갈천리	젖소	29	1,032	톱밥발효	퇴비
57	최보혁	경기도 화성시 향남면 동오리	돼지	1,000	1,889	퇴비	퇴비
58	이군재	경기도 화성시 양감면 신왕리	젖소	55	3,721	톱밥발효	퇴비
59	김태선	경기도 화성시 양감면 사창리	젖소	48	3,225	톱밥발효	퇴비
60	김태성	경기도 화성시 양감면 사창리	젖소	80	3,527	액비	퇴비
61	박성엽	경기도 화성시 양감면 사창리	돼지	1,300	1,529	퇴비	퇴비
62	신명식	경기도 화성시 양감면 사창리	돼지	2,500	5,434	액비	퇴비
63	신영식	경기도 화성시 양감면 사창리	돼지	1,500	6,329	퇴비	퇴비
64	예종혁	경기도 화성시 양감면 사창리	돼지	300	2,620	톱밥발효	퇴비
65	윤대열	경기도 화성시 양감면 사창리	돼지	3,500	13,576	무처리	퇴비

66	이진우	경기도 화성시 양감면 사창리	돼지	1,500	1,276	무처리	퇴비
67	한귀진	경기도 화성시 양감면 정문리	젓소	65	3,128	톱밥발효	퇴비
68	윤희완	경기도 화성시 양감면 송산리	돼지	550	1,368	톱밥발효	퇴비
69	이만교	경기도 화성시 양감면 송산리	젓소	97	3,633	톱밥발효	퇴비
70	정우농장	경기도 화성시 양감면 송산리	가금	22,000		퇴비	퇴비
71	김종우	경기도 화성시 양감면 용소리	가금	20,000		퇴비	퇴비
72	박동준	경기도 화성시 양감면 용소리	돼지	380	1,650	액비	퇴비
73	신건수	경기도 화성시 양감면 용소리	젓소	85	6,455	톱밥발효	퇴비
74	장덕훈	경기도 화성시 양감면 용소리	돼지	200	2,732	무처리	퇴비
75	박노은	경기도 화성시 양감면 대양리	돼지	1,000	2,527	무처리	퇴비
76	이광행	경기도 화성시 양감면 대양리	돼지	100	2,066	액비	퇴비
77	함종호	경기도 화성시 양감면 대양리	가금	10,000	2,970	퇴비	퇴비
78	최경섭	경기도 화성시 동탄면 오산리	돼지	635	1,023	퇴비	퇴비
79	김동환	경기도 화성시 남양동	돼지	1,000	1,440	퇴비	퇴비
80	김동환	경기도 화성시 남양동	돼지	640	1,452	퇴비	퇴비
81	김애자	경기도 화성시 남양동	돼지	800	2,080	퇴비	퇴비
82	김원순	경기도 화성시 남양동	돼지	1,600	1,856	퇴비	퇴비
83	박용배	경기도 화성시 남양동	돼지	1,800	2,574	퇴비	퇴비
84	박창내	경기도 화성시 남양동	돼지	1,000	1,120	퇴비	퇴비
85	우성출	경기도 화성시 남양동	돼지	320	1,600	퇴비	퇴비
86	이선구	경기도 화성시 남양동	돼지	4,000	1,600	퇴비	퇴비
87	이정배	경기도 화성시 남양동	돼지	2,000	1,667	퇴비	퇴비

○ 유역내 양식장 폐수배출시설현황

No.	소재지	종류	면적_시설	어종
1	경기도 화성시 봉담읍 왕림리	가두리	1,422	붕어,기타
2	경기도 화성시 봉담읍 상기리	기타	2,008	역돔,잉어,기타
3	경기도 화성시 비봉면 양노리	가두리	886	메기,기타
4	경기도 화성시 비봉면 삼화리	가두리	1,188	미꾸라지
5	경기도 화성시 비봉면 쌍학리	가두리	4,950	메기,잉어
6	경기도 화성시 비봉면 쌍학리	가두리	276	붕어,가물치
7	경기도 화성시 비봉면 청요리	가두리	1,855	메기,기타
8	경기도 화성시 마도면 쌍송리	기타	364	열대어
9	경기도 화성시 송산면 지화리	가두리	10,820	잉어,붕어,기타
10	경기도 화성시 송산면 육일리	기타	125	자라
11	경기도 화성시 서신면 전곡리	기타	20,817	대하
12	경기도 화성시 서신면 전곡리	가두리	3,335	비단잉어,금붕어
13	경기도 화성시 서신면 전곡리	기타	34,433	대하

14	경기도 화성시 서신면 전곡리	기타	33,937	대하
15	경기도 화성시 서신면 장외리	기타	140,296	대하
16	경기도 화성시 서신면 장외리	기타	28,740	대하
17	경기도 화성시 서신면 송교리	기타	1,010	철갑상어
18	경기도 화성시 서신면 제부리	기타	531	넙치,우럭,농어,놀래미, 전복
19	경기도 화성시 서신면 매화리	기타	465	역돔
20	경기도 화성시 서신면 백미리	기타	6,100	대하
21	경기도 화성시 팔탄면 기천리	가두리	1,836	붕어,잉어
22	경기도 화성시 팔탄면 기천리	가두리	1,840	붕어,잉어
23	경기도 화성시 팔탄면 구장리	가두리	2,984	메기,기타
24	경기도 화성시 장안면 수촌리	가두리	3,391	붕어,잉어
25	경기도 화성시 우정읍 호곡리	기타	33,579	대하,송어
26	경기도 화성시 우정읍 호곡리	기타	28,514	대하,송어
27	경기도 화성시 우정읍 호곡리	기타	34,616	대하
28	경기도 화성시 우정읍 호곡리	기타	37,558	대하,송어
29	경기도 화성시 우정읍 이화리	가두리	2,054	가물치,기타
30	경기도 화성시 우정읍 이화리	가두리	2,805	가물치,붕어
31	경기도 화성시 우정읍 이화리	가두리	492	가물치,기타
32	경기도 화성시 우정읍 매향리	기타	4,731	수어
33	경기도 화성시 우정읍 화산리	기타	47,850	송어
34	경기도 화성시 우정읍 화산리	기타	37,934	송어
35	경기도 화성시 우정읍 국화리	가두리	2,000	우럭
36	경기도 화성시 우정읍 국화리	가두리	2,000	우럭
37	경기도 화성시 우정읍 국화리	가두리	2,000	우럭
38	경기도 화성시 향남면 하길리	기타	280	잉어,붕어
39	경기도 화성시 양감면 용소리	가두리	1,035	관상어
40	경기도 화성시 양감면 용소리	가두리	2,358	관상어
41	경기도 화성시 양감면 대양리	기타	1,300	자라
42	경기도 화성시 정남면 쾌랑리	가두리	1,233	참붕어,우럭
43	경기도 화성시 정남면 쾌랑리	가두리	531	메기,미꾸라지
44	경기도 화성시 동탄면 장지리	가두리	1,377	잉어,메기
45	경기도 화성시 동탄면 장지리	가두리	937	잉어,메기
46	경기도 화성시 남양동	기타	222	열대어
47	경기도 화성시 남양동	기타	142	열대어
48	경기도 화성시 남양동	기타	454	관상어
49	경기도 화성시 남양동	기타	1,280	관상어
50	경기도 화성시 남양동	기타	13,060	대하
51	경기도 화성시 남양동	기타	364	열대어
52	경기도 화성시 남양동	기타	630	관상어
53	경기도 화성시 남양동	기타	263	열대어



## <부 록 5. 발생 부하량 현황>

법 정 동	발생부하량 (BOD)	발생부하량 (TN)	발생부하량 (TP)	배출부하량 (BOD)	발생부하량 (TN)	발생부하량 (TP)
경기도 화성시 장안면 사랑리	5,560	1,618	567	1,828	1,028	176
경기도 화성시 장안면 금의리	795,590	181,745	66,009	151,426	83,421	12,685
경기도 화성시 장안면 노진리	27,800	8,090	2,835	9,140	5,139	880
경기도 화성시 향남면 제암리	11,575	2,629	882	1,041	630	66
경기도 화성시 향남면 상신리	223,329	56,274	20,115	20,082	13,494	1,507
경기도 화성시 향남면 구문천리	356,922	81,563	29,305	32,095	19,558	2,196
경기도 화성시 향남면 하길리	91,065	24,455	9,839	8,189	5,864	737
경기도 화성시 향남면 화리현리	22,984	5,472	1,758	4,991	2,721	319
경기도 화성시 향남면 상두리	680,005	173,891	72,773	64,779	43,447	5,686
경기도 화성시 향남면 백토리	1,108,880	263,323	99,667	99,711	63,142	7,468
경기도 화성시 향남면 길성리	34,320	7,592	2,347	3,086	1,820	176
경기도 화성시 향남면 요리	280,178	69,969	29,532	25,194	16,778	2,213
경기도 화성시 향남면 수직리	119,856	26,514	8,195	10,778	6,358	614
경기도 화성시 향남면 갈천리	130,365	33,335	14,536	11,722	7,993	1,089
경기도 화성시 향남면 증거리	160,275	41,018	17,862	14,412	9,836	1,338
경기도 화성시 향남면 송곡리	29,568	6,541	2,022	2,659	1,568	151
경기도 화성시 향남면 동오리	256,433	63,116	25,988	23,059	15,134	1,947
경기도 화성시 향남면 관리	47,520	10,512	3,249	4,273	2,521	243
경기도 화성시 향남면 도이리	101,868	26,143	8,703	9,160	6,269	652
경기도 화성시 향남면 행정리	55,372	15,082	5,150	4,979	3,616	386
경기도 화성시 향남면 방축리	17,232	4,278	1,402	1,550	1,026	105
경기도 화성시 향남면 장짐리	88,764	20,451	6,461	7,982	4,904	484
경기도 화성시 양감면 신왕리	50,040	14,562	5,103	4,500	3,492	382
경기도 화성시 양감면 사창리	3,188,639	745,987	298,954	290,489	180,692	22,706
경기도 화성시 양감면 정문리	184,613	42,056	14,143	20,942	12,176	1,338
경기도 화성시 양감면 송산리	414,465	96,795	35,341	46,928	27,863	3,267
경기도 화성시 양감면 용소리	842,653	193,408	70,878	81,662	49,215	5,771
경기도 화성시 양감면 요당리	113,980	33,169	11,624	13,967	9,745	1,245
경기도 화성시 양감면 대양리	542,865	125,790	48,512	58,628	35,589	4,585
경기도 화성시 정남면 발산리	99,386	21,873	7,402	18,507	9,855	1,168
경기도 화성시 정남면 쾌량리	135,236	32,796	11,992	35,624	17,932	3,263
경기도 화성시 정남면 보통리	96,896	25,470	8,568	19,918	11,506	1,529
경기도 화성시 정남면 관항리	491,438	109,801	41,487	71,295	41,134	5,608
경기도 화성시 정남면 오일리	244,290	60,718	24,526	27,815	17,377	2,213
경기도 화성시 정남면 백리	81,088	20,670	6,807	17,481	9,938	1,267
경기도 화성시 정남면 문학리	401,816	94,091	31,275	52,629	33,965	3,700
경기도 화성시 정남면 신리	241,706	52,617	18,921	27,889	15,582	1,962
경기도 화성시 정남면 계향리	42,757	10,356	3,402	8,399	4,694	554
경기도 화성시 정남면 귀래리	1,979,708	437,693	135,997	179,737	106,130	10,351
경기도 화성시 정남면 제기리	41,382	10,369	2,931	9,915	6,138	641

경기도 화성시 정남면 덕절리	28,309	5,988	2,178	4,243	2,393	326
경기도 화성시 정남면 음양리	130,182	29,129	8,928	33,663	17,744	2,083
경기도 화성시 정남면 망월리	749,868	188,280	79,341	101,358	60,392	8,875
경기도 화성시 정남면 수면리	155,392	33,461	12,438	13,973	8,024	932
경기도 화성시 정남면 내리	527,069	125,873	51,041	112,908	59,306	10,760
경기도 화성시 정남면 금복리	13,344	3,883	1,361	4,387	2,467	422
경기도 화성시 정남면 고지리	276,506	61,713	21,973	25,528	15,118	1,713
경기도 화성시 정남면 용수리	56,656	16,182	5,860	9,783	5,920	935
경기도 화성시 동탄면 오산리	143,054	39,253	15,032	16,544	12,406	1,410
경기도 화성시 동탄면 청계리	3,101	1,133	297	1,018	810	91
경기도 화성시 동탄면 반송리	244,327	63,759	24,957	69,725	37,686	6,926
경기도 화성시 동탄면 석우리	63,258	17,761	5,659	10,544	7,261	759
경기도 화성시 동탄면 영천리	14,289	4,257	1,085	3,930	2,905	277
경기도 화성시 동탄면 중리	11,292	4,255	942	3,234	3,079	253
경기도 화성시 동탄면 신리	272,428	61,153	20,061	36,471	21,517	2,341
경기도 화성시 동탄면 목리	79,967	20,621	8,177	10,283	6,764	823
경기도 화성시 동탄면 산척리	91,654	25,008	9,573	9,681	6,978	821
경기도 화성시 동탄면 장지리	107,897	29,229	11,440	13,178	9,831	1,122
경기도 화성시 동탄면 방교리	111,393	26,218	8,160	16,165	9,572	1,019
경기도 화성시 동탄면 금곡리	4,390	2,045	390	1,484	1,605	120
경기도 화성시 남양동	12,981,571	4,479,841	1,212,536	3,212,074	2,805,630	265,855
경기도 화성시 태안읍 진안리	18,904	5,501	1,928	2,098	1,511	184
경기도 화성시 태안읍 병점리	206,264	51,454	21,136	22,652	14,318	1,906
경기도 화성시 태안읍 능리	223,885	49,334	18,014	25,294	13,876	1,919
경기도 화성시 태안읍 기산리	135,919	35,137	12,311	12,222	8,426	923
경기도 화성시 태안읍 반월리	15,344	4,170	1,423	3,018	1,789	245
경기도 화성시 태안읍 반정리	84,640	21,817	9,391	7,611	5,231	704
경기도 화성시 태안읍 황계리	708,523	179,921	78,896	65,870	43,999	6,150
경기도 화성시 태안읍 배양리	296,533	68,877	25,644	31,492	18,842	2,304
경기도 화성시 태안읍 기안리	71,328	19,504	6,671	6,414	4,677	500
경기도 화성시 태안읍 송산리	63,940	18,607	6,521	7,476	5,294	662
경기도 화성시 태안읍 안녕리	259,964	71,671	24,594	26,298	18,594	2,137
경기도 화성시 봉담읍 상리	755,828	179,267	57,488	147,313	81,210	9,486
경기도 화성시 봉담읍 내리	204,412	59,227	20,721	22,852	16,356	1,980
경기도 화성시 봉담읍 수영리	367,895	87,417	28,166	40,330	24,544	2,830
경기도 화성시 봉담읍 동화리	51,782	12,860	4,612	4,656	3,084	346
경기도 화성시 봉담읍 와우리	8,812	2,454	845	2,785	1,548	254
경기도 화성시 봉담읍 분천리	178,108	43,509	17,103	26,730	15,638	1,970
경기도 화성시 봉담읍 왕림리	304,799	81,564	31,872	27,408	19,558	2,388
경기도 화성시 봉담읍 세곡리	95,166	22,968	9,042	11,304	6,831	854
경기도 화성시 봉담읍 당하리	8,252	2,484	835	858	715	72
경기도 화성시 봉담읍 마하리	53,239	13,242	4,403	4,787	3,175	330
경기도 화성시 봉담읍 유리	149,952	33,171	10,252	14,104	8,253	808
경기도 화성시 봉담읍 덕리	36,552	9,716	3,284	3,287	2,330	246
경기도 화성시 봉담읍 덕우리	38,016	8,410	2,599	7,051	3,767	428
경기도 화성시 봉담읍 상기리	235,112	55,954	17,918	23,234	14,503	1,499
경기도 화성시 우정읍 원안리	171,048	38,536	12,031	44,797	23,411	2,874

경기도 화성시 우정읍 호곡리	230,740	56,902	18,598	65,434	35,173	4,988
경기도 화성시 우정읍 운평리	1,036,690	243,982	92,068	303,420	150,261	27,002
경기도 화성시 우정읍 한각리	31,328	8,638	2,964	9,812	5,442	883
경기도 화성시 우정읍 떡우리	412,029	94,206	31,269	112,479	57,749	8,120
경기도 화성시 우정읍 화수리	515,153	121,081	41,643	117,822	64,599	9,299
경기도 화성시 우정읍 주곡리	1,067,307	264,054	101,795	363,536	177,566	33,908
경기도 화성시 우정읍 이화리	670,752	166,365	68,741	243,548	114,975	24,327
경기도 화성시 우정읍 석천리	95,120	25,543	8,671	29,097	16,023	2,527
경기도 화성시 우정읍 매향리	405,985	89,084	31,896	70,598	39,463	5,547
경기도 화성시 우정읍 화산리	231,225	56,151	18,196	64,773	34,708	4,806
경기도 화성시 우정읍 조암리	261,704	59,832	18,827	69,427	36,456	4,595
경기도 화성시 매송면 천천리	62,549	17,781	5,937	12,047	7,818	1,028
경기도 화성시 매송면 원평리	128,416	36,520	12,824	26,064	15,681	2,383
경기도 화성시 매송면 어천리	33,720	9,555	3,315	8,566	4,957	782
경기도 화성시 매송면 숙곡리	529,565	135,697	58,140	55,589	36,378	5,061
경기도 화성시 매송면 야목리	95,951	23,329	7,484	10,050	6,416	657
경기도 화성시 매송면 송라리	129,240	33,198	13,006	14,562	9,877	1,254
경기도 화성시 매송면 원리	5,820	1,420	409	1,544	905	99
경기도 화성시 비봉면 양노리	80,654	21,305	8,676	10,259	6,579	935
경기도 화성시 비봉면 남전리	11,330	3,278	870	2,963	2,103	204
경기도 화성시 비봉면 유포리	1,746	426	123	463	271	30
경기도 화성시 비봉면 삼화리	59,746	15,680	5,595	8,845	5,585	647
경기도 화성시 비봉면 구포리	252,450	66,964	23,709	26,845	18,069	2,135
경기도 화성시 비봉면 쌍학리	314,845	79,708	28,190	36,256	23,093	2,729
경기도 화성시 비봉면 청요리	110,350	27,964	9,247	11,186	7,326	774
경기도 화성시 비봉면 자안리	145,456	33,263	10,468	13,079	7,976	784
경기도 화성시 마도면 석교리	89,137	22,088	8,773	14,216	8,284	1,123
경기도 화성시 마도면 두곡리	24,824	6,966	2,407	7,899	4,401	727
경기도 화성시 마도면 송정리	47,748	11,610	3,769	11,248	6,134	781
경기도 화성시 마도면 쌍송리	136,302	33,696	12,409	31,485	16,208	2,844
경기도 화성시 마도면 청원리	1,365,646	328,465	129,558	246,973	132,953	22,746
경기도 화성시 마도면 슬항리	51,428	14,597	5,067	10,557	6,359	944
경기도 화성시 마도면 해문리	55,968	12,381	3,827	5,033	2,969	287
경기도 화성시 마도면 백곡리	461,678	107,235	38,450	73,361	39,955	5,691
경기도 화성시 마도면 금당리	892,614	194,962	72,251	116,834	64,499	8,748
경기도 화성시 마도면 고모리	975,066	214,670	76,642	122,335	70,792	8,985
경기도 화성시 송산면 사강리	144,312	32,156	9,979	16,610	9,461	981
경기도 화성시 송산면 봉가리	47,360	11,718	3,836	4,259	2,810	287
경기도 화성시 송산면 삼촌리	9,504	2,102	650	2,450	1,272	151
경기도 화성시 송산면 용포리	69,696	15,418	4,765	10,255	5,618	613
경기도 화성시 송산면 고정리	21,400	5,122	1,650	1,924	1,228	124
경기도 화성시 송산면 쌍정리	70,897	16,505	5,935	6,375	3,958	445
경기도 화성시 송산면 천등리	21,845	5,152	1,916	4,002	2,217	274
경기도 화성시 송산면 신천리	5,280	1,168	361	1,361	707	84
경기도 화성시 송산면 독지리	129,228	29,867	9,452	20,213	11,302	1,346
경기도 화성시 송산면 마산리	307,810	78,261	31,203	35,963	22,757	2,893
경기도 화성시 송산면 고포리	155,542	37,686	12,424	16,290	10,146	1,079

경기도 화성시 송산면 지화리	334,563	82,585	33,536	40,895	25,011	3,206
경기도 화성시 송산면 중송리	77,676	20,364	7,169	10,130	6,398	763
경기도 화성시 송산면 육일리	604,124	135,231	42,071	63,980	37,079	3,839
경기도 화성시 송산면 칠곡리	297,721	67,456	22,468	44,936	24,926	2,848
경기도 화성시 서신면 전곡리	71,808	15,885	4,910	10,179	5,602	606
경기도 화성시 서신면 상안리	192,480	41,811	14,263	24,751	13,611	1,546
경기도 화성시 서신면 광평리	24,428	5,598	1,764	3,569	2,004	244
경기도 화성시 서신면 장외리	61,776	13,666	4,224	8,479	4,685	504
경기도 화성시 서신면 송교리	255,906	55,294	19,561	26,733	15,052	1,704
경기도 화성시 서신면 흥법리	139,920	30,952	9,567	20,911	11,434	1,251
경기도 화성시 서신면 사곶리	23,232	5,139	1,588	3,684	2,001	221
경기도 화성시 서신면 매화리	568,825	124,500	42,982	59,656	33,951	3,766
경기도 화성시 서신면 용두리	290,252	66,010	20,643	31,771	18,560	1,910
경기도 화성시 서신면 백미리	47,260	13,753	4,820	4,250	3,298	361
경기도 화성시 팔탄면 하저리	54,092	14,488	4,913	6,282	4,157	459
경기도 화성시 팔탄면 창곡리	280,275	70,000	29,486	25,911	17,127	2,255
경기도 화성시 팔탄면 기천리	20,344	4,888	1,578	1,829	1,172	118
경기도 화성시 팔탄면 가재리	442,486	98,872	36,664	45,282	26,355	3,100
경기도 화성시 팔탄면 구장리	50,696	12,689	4,176	4,559	3,043	313
경기도 화성시 팔탄면 울암리	1,873,542	427,770	164,687	169,356	103,001	12,397
경기도 화성시 팔탄면 노하리	403,906	98,153	31,861	42,197	26,370	2,765
경기도 화성시 팔탄면 덕천리	35,470	9,301	3,893	3,189	2,230	292
경기도 화성시 팔탄면 지월리	45,300	10,603	3,378	11,339	6,042	757
경기도 화성시 팔탄면 덕우리	346,586	84,978	30,450	34,355	21,913	2,486
경기도 화성시 팔탄면 서근리	1,471,658	373,588	162,753	132,332	89,582	12,196
경기도 화성시 팔탄면 월문리	214,899	49,038	17,659	19,324	11,759	1,323
경기도 화성시 팔탄면 화당리	792,756	172,169	62,011	72,703	41,967	4,738
경기도 화성시 팔탄면 고주리	169,526	42,982	17,340	18,079	11,672	1,481
경기도 화성시 팔탄면 매곡리	77,721	20,571	8,478	6,989	4,933	635
경기도 화성시 팔탄면 해창리	146,181	33,709	11,590	20,854	11,797	1,363
경기도 화성시 장안면 어은리	93,128	21,610	6,853	24,144	12,779	1,650
경기도 화성시 장안면 석포리	1,885,193	442,845	174,531	339,173	185,460	29,884
경기도 화성시 장안면 수촌리	902,961	252,235	96,120	205,503	125,676	19,749
경기도 화성시 장안면 독정리	1,039,019	243,318	94,613	264,847	134,312	25,053
경기도 화성시 장안면 장안리	472,291	122,805	48,785	169,933	83,631	16,928
경기도 화성시 장안면 덕다리	576,890	132,560	50,942	138,580	70,834	12,759

법 정 동	발생부하량 (BOD)	발생부하량 (TN)	발생부하량 (TP)	배출부하량 (BOD)	발생부하량 (TN)	발생부하량 (TP)
경기도화성시남양동	244,951	18,253	1,663	10,506	5,768	1,019
경기도화성시태안읍진안리	14,915	1,397	47	474	948	47
경기도화성시태안읍병점리	135	328	52	135	21	5
경기도화성시태안읍능리	300	113	4	44	66	4
경기도화성시태안읍기산리	0	0	0	0	0	0
경기도화성시태안읍반월리	774,404	280,711	14,264	13,213	54,894	14,104
경기도화성시태안읍황계리	0	0	0	0	0	0
경기도화성시태안읍배양리	185	0	0	0	0	0
경기도화성시태안읍안녕리	227,306	10,967	5,267	7,522	880	5,084
경기도화성시봉담읍상리	0	0	0	0	0	0
경기도화성시봉담읍수영리	450,567	66,849	25,954	15,473	58,623	10,832
경기도화성시봉담읍동화리	69,830	7,674	6,883	5,600	6,005	1,464
경기도화성시봉담읍와우리	142,096	7,547	30,969	10,004	2,826	447
경기도화성시봉담읍분천리	4,712	1,512	6	1,512	756	6
경기도화성시봉담읍왕림리	149	7	1	132	7	1
경기도화성시봉담읍덕우리	26	51	6	0	0	0
경기도화성시봉담읍상기리	2,435	2,836	88	506	1,518	88
경기도화성시우정읍주곡리	0	0	0	0	0	0
경기도화성시우정읍이화리	1,026,701	411,750	464,154	161,067	411,750	85,902
경기도화성시우정읍석천리	92	0	0	92	0	0
경기도화성시우정읍화산리	0	0	0	0	0	0
경기도화성시우정읍조암리	6,468	1,208	40	1,644	652	40
경기도화성시매송면원평리	313	15	2	252	15	2
경기도화성시비봉면양노리	313	15	2	252	15	2
경기도화성시마도면두곡리	0	0	0	0	0	0
경기도화성시마도면쌍송리	277	0	0	0	0	0
경기도화성시마도면슬항리	462	22	3	384	22	3
경기도화성시송산면사강리	149	7	1	132	7	1
경기도화성시서신면전곡리	2,151	2,415	173	238	380	10
경기도화성시서신면송교리	149	50	1	132	3	1
경기도화성시팔탄면하저리	113,040	4,710	471	1,260	2,331	471
경기도화성시팔탄면가재리	1,088	20	8	132	20	8
경기도화성시팔탄면구장리	1,697	14,717	5,997	415	668	16
경기도화성시팔탄면울암리	567,700	487	649	2,444	163	163
경기도화성시팔탄면노하리	4,139	129	47	64	129	42
경기도화성시팔탄면덕우리	0	0	0	0	0	0
경기도화성시팔탄면서근리	810	3	1	44	3	1
경기도화성시팔탄면월문리	313	15	2	252	15	2
경기도화성시팔탄면고주리	47,690	1,757	452	0	0	0
경기도화성시팔탄면매곡리	2,339	110	16	1,896	110	16
경기도화성시장안면석포리	0	0	0	0	0	0
경기도화성시장안면독정리	7,320	4,136	128	184	2,208	128
경기도화성시장안면사곡리	313	15	2	0	0	0
경기도화성시장안면노진리	0	0	0	0	0	0
경기도화성시향남면평리	775	36	5	384	22	3

경기도화성시향남면제암리	0	0	0	0	0	0
경기도화성시향남면상신리	555,157	21,532	6,184	40,135	17,649	5,441
경기도화성시향남면백토리	4,028	237	7	252	126	7
경기도화성시향남면동오리	2,698	105	39	143	42	8
경기도화성시향남면방축리	0	0	0	0	0	0
경기도화성시양감면신왕리	1,151	0	0	252	0	0
경기도화성시양감면사창리	26,959	498	51	393	39	18
경기도화성시양감면정문리	141	6	7	0	0	0
경기도화성시양감면송산리	348,741	10,443	1,508	7,410	7,351	1,182
경기도화성시양감면요당리	0	0	0	0	0	0
경기도화성시양감면대양리	15,346	4,099	1,627	959	1,055	216
경기도화성시정남면발산리	0	0	0	0	0	0
경기도화성시정남면패랑리	115,758	5,036	5,677	15,756	5,036	1,050
경기도화성시정남면보통리	472,774	98,541	3,322	72,254	66,696	3,322
경기도화성시정남면문학리	22	73	0	0	0	0
경기도화성시정남면신리	7,728	225	219	697	225	182
경기도화성시정남면귀래리	293,000	37,065	4,835	5,149	8,826	1,177
경기도화성시정남면제기리	4,694	820	209	137	21	32
경기도화성시정남면떡절리	12,199	942	94	1,422	63	94
경기도화성시정남면망월리	14,357	2,836	88	3,024	1,512	88
경기도화성시정남면내리	0	0	0	0	0	0
경기도화성시정남면고지리	3,329	577	26	29	192	26
경기도화성시동탄면오산리	199,392	6,889	280	3,970	4,519	280
경기도화성시동탄면반송리	1,233	54	61	348	15	17
경기도화성시동탄면석우리	3,574	125	18	2,148	125	18
경기도화성시동탄면영천리	4,734	2,509	297	519	836	99
경기도화성시동탄면중리	11,618	1,198	38	2,598	166	32
경기도화성시동탄면장지리	12,832	2,002	1,006	2,450	817	183
경기도화성시동탄면송리	2,272	78	16	64	78	16

법 정 동	발생부하량 (BOD)	발생부하량 (TN)	발생부하량 (TP)	배출부하량 (BOD)	발생부하량 (TN)	발생부하량 (TP)
경기도 화성시 남양동	257,273	50,177	13,915	257,273	50,177	13,915
경기도 화성시 봉담읍 왕림리	10,441	2,022	552	10,441	2,022	552
경기도 화성시 봉담읍 상기리	153,980	30,031	8,328	153,980	30,031	8,328
경기도 화성시 우정읍 이화리	39,290	7,607	2,078	39,290	7,607	2,078
경기도 화성시 우정읍 매향리	362,789	70,756	19,622	362,789	70,756	19,622
경기도 화성시 우정읍 화산리	6,578,203	1,282,971	355,789	6,578,203	1,282,971	355,789
경기도 화성시 비봉면 양노리	6,505	1,260	344	6,505	1,260	344
경기도 화성시 비봉면 삼화리	8,723	1,689	461	8,723	1,689	461
경기도 화성시 비봉면 쌍학리	38,372	7,430	2,029	38,372	7,430	2,029
경기도 화성시 비봉면 청요리	13,620	2,637	720	13,620	2,637	720
경기도 화성시 마도면 쌍송리	27,913	5,444	1,510	27,913	5,444	1,510
경기도 화성시 송산면 지화리	79,446	15,382	4,202	79,446	15,382	4,202
경기도 화성시 송산면 육일리	9,585	1,869	518	9,585	1,869	518
경기도 화성시 서신면 전곡리	24,487	4,741	1,295	24,487	4,741	1,295
경기도 화성시 팔탄면 기천리	26,991	5,226	1,428	26,991	5,226	1,428
경기도 화성시 팔탄면 구장리	21,910	4,242	1,159	21,910	4,242	1,159
경기도 화성시 장안면 수촌리	24,898	4,821	1,317	24,898	4,821	1,317
경기도 화성시 향남면 하길리	21,471	4,188	1,161	21,471	4,188	1,161
경기도 화성시 양감면 용소리	24,913	4,824	1,318	24,913	4,824	1,318
경기도 화성시 양감면 대양리	99,688	19,443	5,392	99,688	19,443	5,392
경기도 화성시 정남면 쾌랑리	3,899	755	206	3,899	755	206
경기도 화성시 동탄면 장지리	16,991	3,290	899	16,991	3,290	899

법 정 동	발생부하량 (BOD)	발생부하량 (TN)	발생부하량 (TP)	배출부하량 (BOD)	발생부하량 (TN)	발생부하량 (TP)
경기도화성시남양동	115,061	51,288	4,674	115,061	51,288	4,674
경기도화성시신남동	58,485	33,538	2,996	58,485	33,538	2,996
경기도화성시장덕동	34,214	20,344	1,690	34,214	20,344	1,690
경기도화성시안석동	21,392	16,900	1,374	21,392	16,900	1,374
경기도화성시활초동	16,617	14,129	1,106	16,617	14,129	1,106
경기도화성시온석동	24,291	16,294	1,473	24,291	16,294	1,473
경기도화성시무송동	43,905	19,013	1,756	43,905	19,013	1,756
경기도화성시북양동	61,935	25,734	2,532	61,935	25,734	2,532
경기도화성시송림동	21,543	15,857	1,180	21,543	15,857	1,180
경기도화성시수화동	19,009	13,094	1,024	19,009	13,094	1,024
경기도화성시장전동	15,706	15,203	1,180	15,706	15,203	1,180
경기도화성시신외동	12,288	11,229	808	12,288	11,229	808
경기도화성시문호동	20,495	22,925	1,768	20,495	22,925	1,768
경기도화성시시동	21,450	19,604	1,487	21,450	19,604	1,487
경기도화성시원천동	17,544	12,736	1,038	17,544	12,736	1,038
경기도화성시태안읍진안리	83,465	24,102	2,805	83,465	24,102	2,805
경기도화성시태안읍병점리	83,162	22,229	2,568	83,162	22,229	2,568
경기도화성시태안읍능리	60,452	22,865	2,230	60,452	22,865	2,230
경기도화성시태안읍기산리	32,814	11,062	1,112	32,814	11,062	1,112
경기도화성시태안읍반월리	82,770	28,030	2,958	82,770	28,030	2,958
경기도화성시태안읍반정리	29,960	14,140	1,515	29,960	14,140	1,515
경기도화성시태안읍황계리	27,064	10,848	1,028	27,064	10,848	1,028
경기도화성시태안읍배양리	21,584	10,218	908	21,584	10,218	908
경기도화성시태안읍기안리	29,915	17,246	1,357	29,915	17,246	1,357
경기도화성시태안읍송산리	61,776	20,393	2,067	61,776	20,393	2,067
경기도화성시태안읍안녕리	112,672	41,289	4,351	112,672	41,289	4,351
경기도화성시봉담읍상리	49,429	25,818	2,244	49,429	25,818	2,244
경기도화성시봉담읍내리	25,857	23,642	1,781	25,857	23,642	1,781
경기도화성시봉담읍수영리	77,725	23,276	3,057	77,725	23,276	3,057
경기도화성시봉담읍동화리	66,678	20,906	2,512	66,678	20,906	2,512
경기도화성시봉담읍와우리	66,862	15,961	1,891	66,862	15,961	1,891
경기도화성시봉담읍수기리	19,058	7,203	704	19,058	7,203	704
경기도화성시봉담읍분천리	32,447	16,787	1,483	32,447	16,787	1,483
경기도화성시봉담읍왕림리	52,935	17,098	1,827	52,935	17,098	1,827
경기도화성시봉담읍세곡리	15,978	5,950	582	15,978	5,950	582
경기도화성시봉담읍당하리	21,973	7,460	773	21,973	7,460	773
경기도화성시봉담읍마하리	12,451	6,643	584	12,451	6,643	584
경기도화성시봉담읍유리	16,212	8,028	718	16,212	8,028	718
경기도화성시봉담읍덕리	14,294	7,715	650	14,294	7,715	650
경기도화성시봉담읍덕우리	26,948	9,200	879	26,948	9,200	879
경기도화성시봉담읍하가동리	8,508	8,518	567	8,508	8,518	567
경기도화성시봉담읍상기리	39,146	25,930	2,193	39,146	25,930	2,193
경기도화성시우정읍원안리	23,823	17,019	1,299	23,823	17,019	1,299
경기도화성시우정읍호곡리	38,333	29,180	2,635	38,333	29,180	2,635
경기도화성시우정읍떡우리	26,730	17,156	1,442	26,730	17,156	1,442
경기도화성시우정읍화수리	33,685	22,116	1,861	33,685	22,116	1,861
경기도화성시우정읍주곡리	52,462	34,512	3,018	52,462	34,512	3,018
경기도화성시우정읍이화리	113,784	45,047	4,706	113,784	45,047	4,706
경기도화성시우정읍석천리	95,299	30,058	3,156	95,299	30,058	3,156
경기도화성시우정읍운평리	35,182	31,263	2,362	35,182	31,263	2,362



경기도화성시우정읍한각리	19,698	13,979	1,243	19,698	13,979	1,243
경기도화성시우정읍매향리	44,574	26,283	2,123	44,574	26,283	2,123
경기도화성시우정읍화산리	50,636	31,954	2,760	50,636	31,954	2,760
경기도화성시우정읍조암리	46,454	20,565	1,903	46,454	20,565	1,903
경기도화성시우정읍국화리	1,449	1,834	113	1,449	1,834	113
경기도화성시매송면천천리	22,655	13,203	1,068	22,655	13,203	1,068
경기도화성시매송면원평리	26,489	16,378	1,378	26,489	16,378	1,378
경기도화성시매송면어천리	29,619	16,872	1,412	29,619	16,872	1,412
경기도화성시매송면숙곡리	19,235	14,491	1,132	19,235	14,491	1,132
경기도화성시매송면야목리	60,675	33,447	3,112	60,675	33,447	3,112
경기도화성시매송면송라리	53,143	24,797	2,274	53,143	24,797	2,274
경기도화성시매송면원리	23,681	13,751	1,353	23,681	13,751	1,353
경기도화성시비봉면양노리	81,475	34,889	3,245	81,475	34,889	3,245
경기도화성시비봉면남전리	19,980	18,573	1,387	19,980	18,573	1,387
경기도화성시비봉면유포리	20,072	11,424	1,033	20,072	11,424	1,033
경기도화성시비봉면삼화리	48,120	36,254	2,960	48,120	36,254	2,960
경기도화성시비봉면구포리	71,629	27,624	2,688	71,629	27,624	2,688
경기도화성시비봉면쌍학리	27,298	23,671	1,713	27,298	23,671	1,713
경기도화성시비봉면청요리	27,070	17,835	1,469	27,070	17,835	1,469
경기도화성시비봉면자안리	41,466	19,955	1,799	41,466	19,955	1,799
경기도화성시마도면석교리	18,333	11,207	915	18,333	11,207	915
경기도화성시마도면두곡리	25,653	11,993	1,082	25,653	11,993	1,082
경기도화성시마도면송정리	29,709	18,671	1,574	29,709	18,671	1,574
경기도화성시마도면쌍송리	37,989	15,784	1,438	37,989	15,784	1,438
경기도화성시마도면청원리	46,053	29,494	2,527	46,053	29,494	2,527
경기도화성시마도면슬항리	19,675	14,511	1,324	19,675	14,511	1,324
경기도화성시마도면해문리	15,273	12,825	878	15,273	12,825	878
경기도화성시마도면백곡리	22,429	15,487	1,206	22,429	15,487	1,206
경기도화성시마도면금당리	28,150	15,864	1,362	28,150	15,864	1,362
경기도화성시마도면고모리	15,437	12,197	939	15,437	12,197	939
경기도화성시송산면사강리	45,709	21,676	1,816	45,709	21,676	1,816
경기도화성시송산면봉가리	17,507	11,085	907	17,507	11,085	907
경기도화성시송산면삼존리	51,707	25,544	2,359	51,707	25,544	2,359
경기도화성시송산면용포리	19,445	16,174	1,294	19,445	16,174	1,294
경기도화성시송산면고정리	34,799	27,541	1,965	34,799	27,541	1,965
경기도화성시송산면쌍정리	24,199	22,692	1,647	24,199	22,692	1,647
경기도화성시송산면천등리	15,632	11,884	857	15,632	11,884	857
경기도화성시송산면신천리	12,140	11,375	823	12,140	11,375	823
경기도화성시송산면독지리	20,152	22,847	1,660	20,152	22,847	1,660
경기도화성시송산면마산리	28,125	18,210	1,472	28,125	18,210	1,472
경기도화성시송산면고포리	26,901	19,575	1,409	26,901	19,575	1,409
경기도화성시송산면칠곡리	18,929	12,771	996	18,929	12,771	996
경기도화성시서신면전곡리	35,924	25,429	2,069	35,924	25,429	2,069
경기도화성시서신면상안리	33,727	19,452	1,547	33,727	19,452	1,547
경기도화성시서신면광평리	18,225	10,406	817	18,225	10,406	817
경기도화성시서신면장외리	18,421	15,119	1,114	18,421	15,119	1,114
경기도화성시서신면송교리	24,994	14,654	1,168	24,994	14,654	1,168
경기도화성시서신면제부리	14,411	7,726	642	14,411	7,726	642
경기도화성시서신면홍법리	14,885	11,865	885	14,885	11,865	885
경기도화성시서신면사곶리	19,891	16,465	1,401	19,891	16,465	1,401
경기도화성시서신면매화리	30,157	16,700	1,321	30,157	16,700	1,321
경기도화성시서신면용두리	30,873	23,629	1,921	30,873	23,629	1,921
경기도화성시송산면지화리	22,852	18,048	1,367	22,852	18,048	1,367

경기도화성시송산면중송리	19,738	14,623	1,128	19,738	14,623	1,128
경기도화성시송산면육일리	22,135	13,095	1,034	22,135	13,095	1,034
경기도화성시서신면궁평리	23,589	17,764	1,300	23,589	17,764	1,300
경기도화성시서신면백미리	15,352	16,547	1,204	15,352	16,547	1,204
경기도화성시팔탄면하저리	75,632	25,288	2,749	75,632	25,288	2,749
경기도화성시팔탄면창곡리	45,239	18,476	1,808	45,239	18,476	1,808
경기도화성시팔탄면기천리	25,185	19,552	1,506	25,185	19,552	1,506
경기도화성시팔탄면가채리	43,140	21,303	1,810	43,140	21,303	1,810
경기도화성시팔탄면구장리	67,881	26,879	2,745	67,881	26,879	2,745
경기도화성시팔탄면울암리	105,037	32,696	3,518	105,037	32,696	3,518
경기도화성시팔탄면노하리	71,606	36,121	3,512	71,606	36,121	3,512
경기도화성시팔탄면덕천리	38,614	14,009	1,405	38,614	14,009	1,405
경기도화성시팔탄면지월리	15,037	9,448	870	15,037	9,448	870
경기도화성시팔탄면덕우리	34,629	13,272	1,344	34,629	13,272	1,344
경기도화성시팔탄면서근리	17,353	7,569	706	17,353	7,569	706
경기도화성시팔탄면월문리	15,586	7,948	678	15,586	7,948	678
경기도화성시팔탄면화당리	7,035	4,390	464	7,035	4,390	464
경기도화성시팔탄면고주리	46,213	13,213	1,590	46,213	13,213	1,590
경기도화성시팔탄면매곡리	40,113	10,073	1,194	40,113	10,073	1,194
경기도화성시팔탄면해창리	23,169	13,309	1,240	23,169	13,309	1,240
경기도화성시장안면어은리	36,405	18,657	1,633	36,405	18,657	1,633
경기도화성시장안면석포리	72,338	38,367	3,653	72,338	38,367	3,653
경기도화성시장안면수촌리	79,015	46,497	3,969	79,015	46,497	3,969
경기도화성시장안면독정리	107,220	52,673	5,135	107,220	52,673	5,135
경기도화성시장안면장안리	121,932	80,451	7,655	121,932	80,451	7,655
경기도화성시장안면덕다리	24,338	18,708	1,673	24,338	18,708	1,673
경기도화성시장안면사랑리	28,179	16,043	1,441	28,179	16,043	1,441
경기도화성시장안면금의리	34,447	24,943	1,769	34,447	24,943	1,769
경기도화성시장안면사곡리	45,791	26,553	2,366	45,791	26,553	2,366
경기도화성시장안면노진리	41,746	30,497	2,712	41,746	30,497	2,712
경기도화성시향남면평리	24,956	7,228	858	24,956	7,228	858
경기도화성시향남면발안리	15,202	5,824	593	15,202	5,824	593
경기도화성시향남면제암리	17,096	10,048	961	17,096	10,048	961
경기도화성시향남면상신리	138,401	49,152	5,167	138,401	49,152	5,167
경기도화성시향남면구문천리	57,080	31,645	2,549	57,080	31,645	2,549
경기도화성시향남면백토리	29,390	12,877	1,219	29,390	12,877	1,219
경기도화성시향남면길성리	10,136	8,282	640	10,136	8,282	640
경기도화성시향남면요리	10,471	7,625	576	10,471	7,625	576
경기도화성시향남면수직리	12,479	7,018	603	12,479	7,018	603
경기도화성시향남면갈천리	9,940	4,369	407	9,940	4,369	407
경기도화성시향남면증거리	8,765	8,098	588	8,765	8,098	588
경기도화성시향남면송곡리	16,500	7,034	625	16,500	7,034	625
경기도화성시향남면동오리	39,157	18,195	1,631	39,157	18,195	1,631
경기도화성시향남면관리	11,258	5,535	485	11,258	5,535	485
경기도화성시향남면도이리	24,703	18,762	1,361	24,703	18,762	1,361
경기도화성시향남면행정리	22,248	10,979	886	22,248	10,979	886
경기도화성시향남면방축리	15,282	13,910	909	15,282	13,910	909
경기도화성시향남면장짐리	25,017	10,808	992	25,017	10,808	992
경기도화성시양감면신왕리	44,158	24,678	2,188	44,158	24,678	2,188
경기도화성시향남면하길리	54,361	45,734	3,116	54,361	45,734	3,116

경기도화성시향남면화리현리	16,768	9,816	801	16,768	9,816	801
경기도화성시향남면상두리	15,251	9,689	801	15,251	9,689	801
경기도화성시양감면사창리	78,421	34,981	3,373	78,421	34,981	3,373
경기도화성시양감면정문리	20,782	12,497	1,114	20,782	12,497	1,114
경기도화성시양감면송산리	66,878	26,293	2,595	66,878	26,293	2,595
경기도화성시양감면용소리	37,438	21,468	1,954	37,438	21,468	1,954
경기도화성시양감면요당리	56,603	26,697	2,323	56,603	26,697	2,323
경기도화성시양감면대양리	56,546	27,078	2,436	56,546	27,078	2,436
경기도화성시정남면발산리	36,766	17,414	1,708	36,766	17,414	1,708
경기도화성시정남면괘랑리	76,066	27,959	2,847	76,066	27,959	2,847
경기도화성시정남면보통리	50,578	19,993	1,945	50,578	19,993	1,945
경기도화성시정남면관항리	23,100	16,266	1,292	23,100	16,266	1,292
경기도화성시정남면오일리	16,962	8,800	874	16,962	8,800	874
경기도화성시정남면백리	17,422	11,164	902	17,422	11,164	902
경기도화성시정남면문학리	37,440	21,294	1,806	37,440	21,294	1,806
경기도화성시정남면신리	34,279	9,821	1,089	34,279	9,821	1,089
경기도화성시정남면계향리	25,780	14,708	1,391	25,780	14,708	1,391
경기도화성시정남면귀래리	25,042	13,739	1,283	25,042	13,739	1,283
경기도화성시정남면제거리	21,325	12,742	973	21,325	12,742	973
경기도화성시정남면덕절리	33,014	11,572	1,091	33,014	11,572	1,091
경기도화성시정남면음양리	17,520	13,424	932	17,520	13,424	932
경기도화성시정남면망월리	21,593	12,020	1,094	21,593	12,020	1,094
경기도화성시정남면수면리	7,628	4,756	410	7,628	4,756	410
경기도화성시정남면내리	12,240	5,015	449	12,240	5,015	449
경기도화성시정남면금복리	10,209	6,399	588	10,209	6,399	588
경기도화성시정남면고지리	22,742	7,639	776	22,742	7,639	776
경기도화성시정남면용수리	10,646	5,445	527	10,646	5,445	527
경기도화성시동탄면오산리	125,422	31,805	3,836	125,422	31,805	3,836
경기도화성시동탄면청계리	27,749	13,112	1,181	27,749	13,112	1,181
경기도화성시동탄면반송리	37,074	15,994	1,446	37,074	15,994	1,446
경기도화성시동탄면석우리	48,414	18,961	1,887	48,414	18,961	1,887
경기도화성시동탄면영천리	63,935	19,853	2,135	63,935	19,853	2,135
경기도화성시동탄면중리	141,552	43,343	4,567	141,552	43,343	4,567
경기도화성시동탄면신리	83,182	31,739	3,088	83,182	31,739	3,088
경기도화성시동탄면목리	20,677	15,373	1,138	20,677	15,373	1,138
경기도화성시동탄면산척리	19,019	14,455	1,130	19,019	14,455	1,130
경기도화성시동탄면장지리	49,367	26,037	2,271	49,367	26,037	2,271
경기도화성시동탄면송리	30,482	14,330	1,365	30,482	14,330	1,365
경기도화성시동탄면방교리	29,319	16,312	1,503	29,319	16,312	1,503
경기도화성시동탄면금곡리	20,878	13,857	1,173	20,878	13,857	1,173