

# GIS 하천수질정보를 활용한 수질모델링 시스템 개발

## Development of Water Quality Management System Using GIS DB

엄 명 철\*, 조 국 현\*,  
Eom, Myung-Chul, Jo, Guk-Hyun,  
이 광 야\*, 김 계 현\*\*  
Lee, Kwang-Ya, Kim, Kye-Hyun

### Abstract

The purpose of this study is to construct a Water Quality Management System (WQMS) for the Saemangeum watershed based on the linkage of water quality model, i.e. QUAL2E, and GIS database to estimate water quality effectively in this area. There are three major river systems on this study area, the Mangyeong, Dongjin and Wonpyeong rivers.

Input data are automatically generated through the calculation of the pollutant loading and inflow concentration from the point and non-point sources. The developed system is composed of three different phases, such as pre-process, model performance and post-process. The model performance is supported by the database at pre-process phase and model performance results were shown in the graphs and attribution data at post-process phase.

The measured data from the Mangyeong, Dongjin and Wonpyeong rivers are used to evaluate the applicability of WQMS. The WQMS shows higher reliability, and it is expected to contribute to the effective management and improvement of water quality modeling in the Saemangeum watershed since the system reduces complications of using a model in DOS operating environment and increases the accuracy of water quality analysis.

### I. 서 론

하천의 수질관리는 유역의 오염원을 정확히 파악하여 수계에 유입된 오염물이 하천 내에서 작용되는 물리, 화학, 생물학적 자정작용과 하천의 수량변화를 모델링을 통하여 규명함으로써 이루어진다. 따라서 하천수질 모델링의 궁극적인 목적은 신뢰성 높은 수질 모델을 이용

하여 목표수질을 유지·달성하기 위하여 오염 부하량의 분배나 규제를 보다 합리적으로 수행하는데 필요한 대안을 제시하는데 있다.

현재 하천의 수질관리를 위하여 다양한 모형들이 개발되어 있다. 이 중 QUAL2E 모형은 미국의 USEPA에서 개발되어 국내 여러 하천에 적용되어, 그 적용성이 다양하게 검증된 바 있다. 그러나 QUAL2E 모형은 DOS 기반에서 실행됨으로써 모델 실행 과정이 복잡하고, 모

\* 농업기반공사 농어촌연구원 (libero87@karico.co.kr)  
\*\* 인하대학교 지리정보공학과 (kyehyun@inha.ac.kr)

키워드 : WQMS, 수질모델, GIS, 데이터베이스

델 결과를 분석하는데 많은 어려움이 발생되었다. 이러한 어려움을 최소화하기 위해서는 윈도우 기반의 하천모형을 운용하기 위한 시스템 구축이 필요하며, 나아가 GIS 기반의 사용자에게 보다 편리한 모델링 환경을 제공할 수 있는 설계가 요구된다.

본 연구에서는 유역 수질의 효과적인 관리와 수질 모델의 효율적인 활용을 위하여 GIS를 기반으로 수질모델과 지형 및 문자 데이터베이스를 통합한 모델링 시스템 (Water Quality Management System)을 개발하고 이를 국내 하천에 적용하여 그 적용성을 검토하였다.

WQMS의 수질모델은 국내 하천 수질분석에 여러 번 적용된 바 있는 QUAL2E (미국EPA, 1995) 모델을 적용하였으며, 적용 대상하천은 새만금 방조제 공사에 의해 향후 조성되는 새만금호로 유입하는 주요 하천인 만경강 및 동진강, 원평천으로 설정하였다. 모델의 입력자료는 조사된 점 및 비점오염원 자료로부터 오염부하량과 유입농도의 산정에 의해 자동 생성되도록 하였다. 개발된 시스템의 구현 단계는 전처리와 모델링 실행, 후처리의 세 단계로 구분될 수 있다. 전처리 단계는 DB에 의해 모델 실행을 지원하며 후처리 단계에서는 GIS를 이용하여 모델실행 결과를 그래프와 속성자료로 확인할 수 있도록 하였다.

## II. 내용 및 방법

### 1. 데이터베이스 구축

유역의 오염원에 관한 환경정보는 도형정보와 속성정보로 구성되며, 도형정보는 지형도와 토양도를 중심으로 1: 5,000 축척의 지형도를 이용하여 등고선, 도로, 하천도, 철도, 건물, 지류, 시설물, 행정 및 지역경계 등 총 9가지 주제에 대한 레이어를 추출하여 구축하였다 (Table 1).

속성정보는 인구, 가축, 산업체, 양식장, 토지이용, 온천 현황 및 환경기초시설 현황 자료



Fig. 1. Administrative boundary

Table 1. Map and attribute DB

Map DB			Attribute DB
Layer	Scale	Layer type	
Topography	1 : 5K	Line	· Population · Poultry · Industry · Landuse · Spa, etc. · Sewage treatment plant · Water quality · Water use
Stream flow	1 : 5K	Line	
Administration boundary	1 : 25K	Polygon	
Watershed boundary	1 : 25K	Polygon	
Sampling station	-	Point	
Soil map	1 : 25K	Polygon	
Vegetation	1 : 50K	-	
Irrigation canal	1 : 25K	Line	
Treatment area	1 : 50K	Polygon	

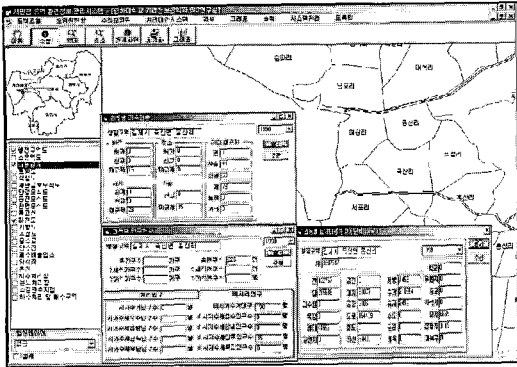


Fig. 2. DB of population, poultry and landuses

입농도, 수온 등의 평균치를 사용하여 정상상태의 하천수질을 예측한다. 모델에 사용되는 하천수계는 수리학적 특성이 유사한 대구간(reach)으로 나누고, 대구간은 계산요소(element)로 이루어진다. 계산요소는 물질수지의 형태에 따라 상류수원 요소, 기본표준 요소, 합류점 직상류 요소, 합류점 요소, 최종지점 요소, 유입요소, 유출요소 등이 있다. 모델에서 계산가능한 수질항목은 BOD5, COD, 영양물질 등 총 19개의 항목으로 구성된다.

모델의 실행에 필요한 경계유량은 유역 물수지 모델을 통해 산정된 소유역별 월별 유출량 결과를 이용하였으며, 장기적인 수질변화를 모의하기 위해 월별로 파라미터의 보정을 실시하고, 수질변화를 모의하였다.

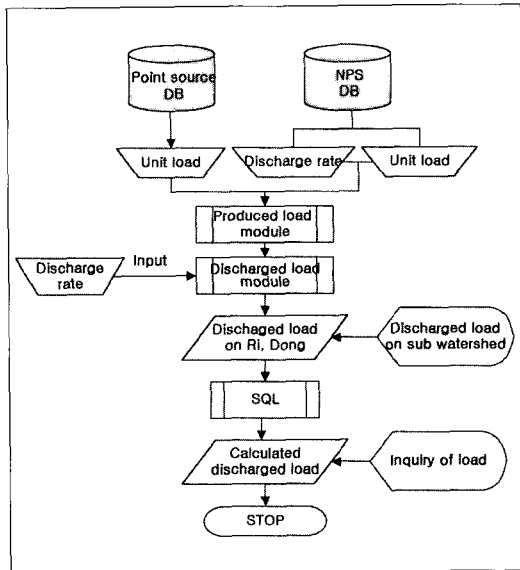


Fig. 3. Calculation procedure of pollutant load

를 수집하였다. 이를 오염원 단위를 이용하여 발생부하량 및 배출부하량을 산정하고 하천의 실측자료를 이용하여 실제 하천으로 유입하는 BOD, T-N, T-P 유입부하량을 산정하였다 <Fig. 3>.

## 2. 하천수질 예측모델

본 연구에서 사용한 하천수질 모델인 QUAL2E는 정상상태의 1차원 수질예측 모델로서, 유량, 유

## 3. GIS 도입 및 활용

### 가. GIS와 모델링의 연계

GIS와 모델링의 연계 방식은 크게 세 가지로 구분된다. 임시통합방식은 GIS와 환경모델이 독립적으로 개발된 후 자료는 GIS에 의하여 추출되고 모델은 독립적으로 실행되며, 결과는 사용자의 판단에 의하여 분석된다. 부분통합 방식에서 GIS는 자료를 공급하고 모델의 결과

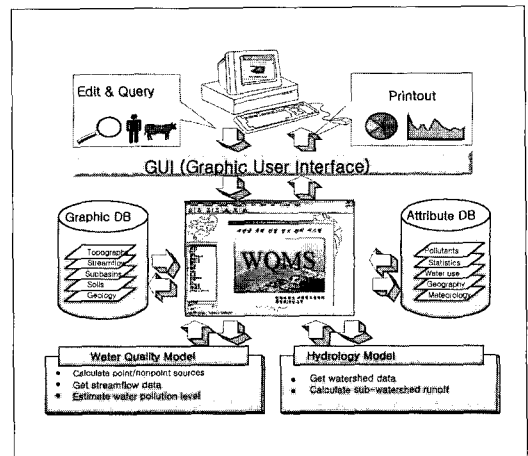


Fig. 4. Structure of WQMS

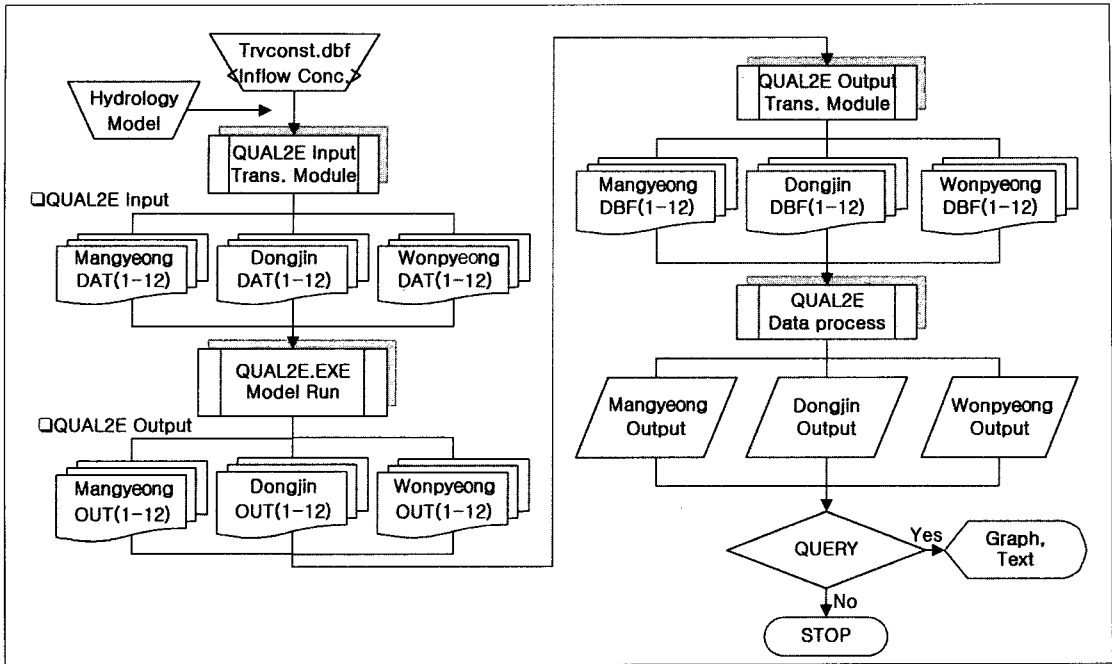


Fig. 5. Modeling procedure of WQMS

를 처리하고 표현하는 기능을 한다. 완전통합 방식에서 모델은 GIS내에서 개발이 완료되고, GIS에 저장된 자료에 접근하고, 환경 모델링에 관련된 모든 작업이 하나의 인터페이스 환경 내에서 가능하게 된다.

본 연구에서는 GIS와 하천수질 모델을 완전 통합시킴으로써 자료의 공간적 표현과 관리에 있어 보다 효율적으로 활용할 수 있게 하였으며, 하천에 유입되는 오염 농도 예측, 유역의 비점오염부하 파악 등이 가능하도록 하였다. 구축된 하천수질 모델링은 효율적인 모델 활용을 위한 방안으로 사용자 인터페이스를 고려하여 입력자료 관리부분과 모델실행을 위한 도움말 기능을 설계하였다. 시스템 구조는 Fig. 4와 같으며, 하천수질 모델링 시스템 실행 단계의 자료 흐름은 Fig. 5와 같다.

나. 모델 실행

본 연구에서 적용한 하천수질 모델링 시스템

의 과정은 크게 세 단계로 구분하였다. 우선적으로 하천수질 모델링 전처리 단계와 하천수질 모델링의 실행 단계, 그리고 하천수질 모델링의 후처리 단계로 구분하여 시스템을 개발하였다. 전처리 단계에서는 QUAL2E 모델 입력 자료의 생성 및 편집이 가능하게 하였으며, 모델 실행 단계에서는 QUAL2E 모델을 실행하고, 후처리 단계에서는 GIS와 연계하여 모델실행 결과를 확인할 수 있도록 하였다.

전처리 단계에서 생성된 모델 입력자료를 이용하여 모델링을 실행하기 위한 순서는 다음과 같다. 먼저 QUAL2E 모델을 실행하기 위해서는 출력될 결과파일을 입력한다. 입력되는 파일은 출력파일(\*.out), 도식파일(\*.plt)이며, 모델 실행결과는 두 파일에 나누어져 저장된다. 출력파일(\*.out)은 크게 8개 부분으로 나누어져 출력된다. 첫째, 입력자료와 함께 본격적인 수질 시뮬레이션을 시작하기 전에 결정되었거나 계산된 자료인 일조량, 기상자료 등이 출력된다. 둘째, 모델링 대상 수질항목별로 예

Table 2. Model input data group

Num	Data group	Num	Data group
1	Title Data	13	Initial Condition (2)
2	Program Control	14	Increment Inflow (1)
3	Algae, N, P, Light Factor	15	Increment Inflow (2)
4	Temp. Correction Factor	16	Stream Junction Data
5	DATA TYPE2	17	Headwater Data (1)
6	Flow Data	18	Headwater Data (2)
7	Comp, Element Data	19	Point Load (1)
8	Hydraulics Data	20	Point Load (2)
9	Coef of BOD and DO	21	DAM Reaeration
10	Coef of N and P	22	Downstream Boundary (1)
11	Coef of Alg/Other	23	Downstream Boundary (2)
12	Initial Condition(1)	24	Climatology Data

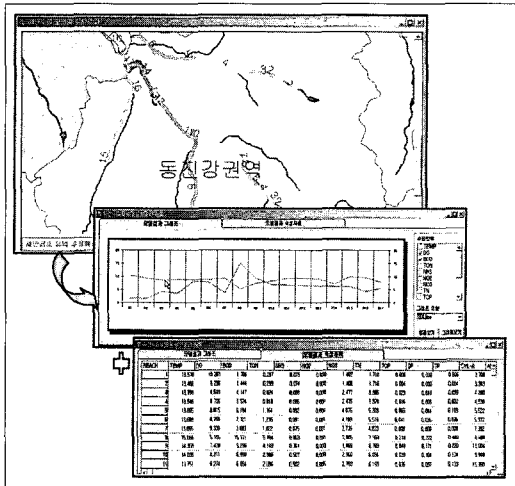


Fig. 6. Output of WQMS

측된 수질 결과가 출력된다. 셋째, 수학적 계산 결과인 유량, 유속, 유하시간, 수심, 하폭, 체적, 하상면적, 하로단면, 확산계수 등이 출력된다. 넷째, 반응계수의 값이 요약되어 제시된다. 다섯째, 수질예측 결과인 15가지 수질항목에 대한 시뮬레이션 결과가 요약 제시된다. 여섯째, 조류에 관련된 데이터인 Chl-a농도, algae 성장-소멸율, 침강속도, NH<sub>3</sub> 선호도, algae 자체로 인한 일조차단과 algae 성장률

( $\omega$ )을 결정하는 FL, FN, FP 등이 출력된다. 일곱째, 용존산소 데이터인 수온, 포화용존산소농도, DO 농도, DO 불포화 농도, DAM에 의한 재포기(mg/L), 저농도 DO로 인한 질산화작용(nitrification) 억제계수(KNITRIF) 등이 출력된다. 여덟째, BOD-DO 곡선이 출력된다. 두번째 단계에서는 실제 모델을 실행하는 단계로 입력된 출력, 도식 파일을 이용하여 QUAL2E 모델을 실행하게 된다.

모델링 실행 후 결과파일은 \*.out과 \*.plt 파일이 출력되며, 이 중 \*.out 파일은 모델실행 결과에 대한 문서형태의 파일로 구성되어 있고, \*.plt 파일은 모델실행 결과가 결과 항목별로 기록된다. 파일 헤더에는 파일 서술자가 기록되며, 내용 부분에는 순차적으로 결과 내용이 출력된다. 모델링 결과를 도식 처리하기 위해서 출력파일의 구성 항목에서 모델조정 요소와 하천의 기하학적 요소, 기상요소를 제외한 하천의 수질에 관계되는 요소를 추출하게 된다. 추출된 수질항목을 각 reach별로 직관적으로 확인할 수 있도록 GIS와 완전 통합하여 그래프와 속성자료 형태로 도식 처리하였다.

### Ⅲ. 모형의 적용

#### 1. 새만금 유역

새만금 유역은 전라북도의 김제, 군산, 부안 등 5개 시와 3개 군을 포함한다. 유역면적은 총 3,300 km<sup>2</sup>이고, 주요 하천은 만경강과, 동진강, 원평천 등이며, 유역은 크게 만경강 권역, 동진강 권역, 원평천 권역, 서해 권역, 새만금호 등 5개 권역으로 나누어진다(Fig. 7).

본 연구에서는 새만금 하구담수호의 수질관리를 위한 호소 예정수역으로 유입되는 오염물질량을 산정하기 위해, 주 유입하천인 만경강 및 동진강, 원평천에 대해 하천 권역별로 수질모델링을 실시하였다. 유역을 관리하기 위한 속성 및 도형 DB는 리동 단위의 행정구역별로 자료를 축적하였고, 오염부하량 산정 역시 리동별로 산정한 후 하천 권역별로 분리하였다. 하천수질을 모의하기 위한 QUAL2E 모델 입력자료는 24개의 그룹으로 구분되며 각각의 그룹은 DB로 관리되고 편집 및 각 자료그룹에 대한 상세정보의 확인이 가능하다.

#### 2. 수질모델의 적용

WQMS의 하천수질모델의 적용 대상유역은 새만금호 상류유역의 주 하천인 만경강 및 동진강, 원평천이다. 대상하천의 분할은 Table 2에서 보는 바와 같이 한 개 element의 길이는 500 m로 하였으며 reach수는 만경강이 24개, 동진강 17개, 원평천 6개이며, 총 element 수는 각각 76개, 54개, 40개이다(Table 3).

점오염원은 만경강 51개, 동진강 37개, 원평천 11개이며 하천의 길이는 각각 38.0km, 27.0km, 20.0km이다. 원평천의 경우 지류가 없고, 점오염원 및 댐이 상대적으로 적기 때문

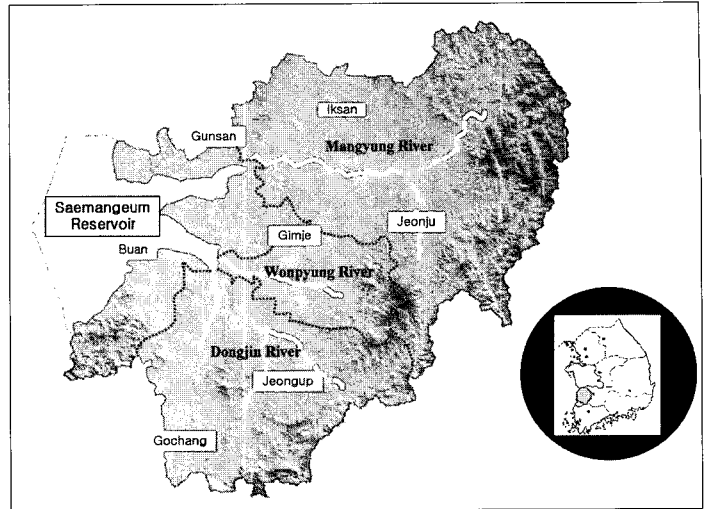


Fig. 7. Sketch of Saemangeum watershed

에 하천의 길이에 비해 reach의 개수가 적었다. 댐이 존재하면 일반적으로 댐을 경계로 reach를 분할하는데 댐의 높이와 댐 위로 물이 모두 흐르는 것으로 보아 보를 댐으로 표현하였다.

#### 3. 모형의 적용결과

하천수질예측 모형의 적용성을 검토하기 위해 모형의 보정을 실시하였다. 보정은 수질 실측치를 이용하여 하천별, 월별로 실시하였다. 1997년 만경강, 동진강, 원평천의 수질측정지점 중 감조구역의 영향을 받지 않는 최하류 지점인 만경 제수문, 동진 제수문 및 죽산교 지점에 대한 모형의 보정결과는 Fig. 8~Fig. 10과 같다.

모형의 보정 결과 만경강, 동진강 원평천의 최하류 지점인 만경 제수문, 동진 제수문, 죽산교 모두 보정에 있어서는 대부분의 수질항목에서 실측치와 예측치가 잘 일치함을 알 수 있었다. 그러나 이는 모형의 대상구간 중 특정 지점에 대한 월별 보정 결과만을 나타낸 것이며, 모형의 대상 구간 전체에 대해서는 실측치와 다소 차이를 나타내는 지점도 있다.

Table 3. Segmentation of rivers

Segmentation type	Mangyeong River	Dongjin River	Wonpyeong River
Length of element	0.5km	0.5km	0.5km
Number of element (length)	76 (38.0km)	54 (27.0km)	40 (20.0km)
Number of reach	24	17	6
Number of point source	51	37	11
Number of stream	1	2	0
Number of dam	13	6	2

#### IV. 요약 및 결론

수질예측을 위한 모델링 단계에서, DOS 기반 모델은 입력자료의 생성 및 편집 단계, 모델 실행 단계, 모델실행 결과 확인 단계가 각각 독립적인 과정으로 분리되어 있는 단점이 있다. 이를 보완하고 체계적인 하천수질관리를 위해 WQMS(Water Quality Management System)을 개발하였다.

WQMS는 모델 입력자료의 생성 및 편집과 모델 실행, 모델링 결과 조회를 하나의 시스템에 통합시킴으로써 입력자료의 가공과 모델의

실행, 결과 조회가 일괄적으로 처리된다. 모델 입력자료의 생성 및 편집은 \*.dat 파일 포맷으로 텍스트 편집을 위한 별도의 응용프로그램에서 대상 하천의 모델 입력자료를 입력하게 된다. 생성된 파일은 하천수질모델(QUAL2E.exe)을 실행 후 입력파일을 입력하고, 출력과 도식파일을 순차적으로 입력 후에 모델이 실행되게 된다. 모델 실행 결과는 \*.out과 \*.plt 파일의 분석 과정을 통해 Reach별 수질항목을 추출하여 결과 자료를 \*.dbf 파일을 생성하여 관리하였다. 입력자료 가공 모듈에서는 트리모형을 이용하여 자료그룹별로 입력자료를 관리할 수 있

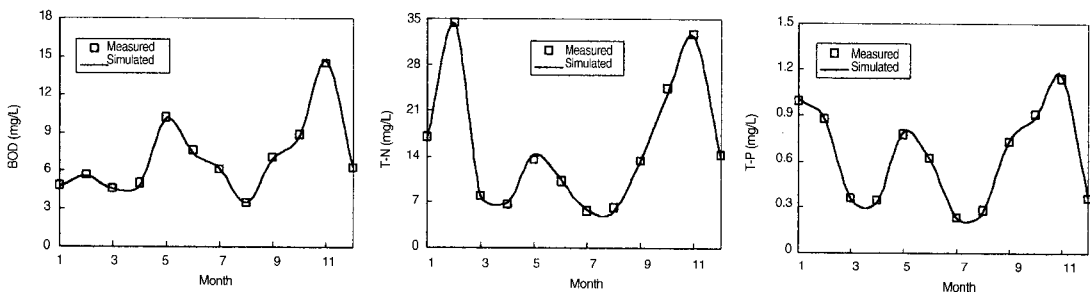


Fig. 8. Measured and simulated water quality (Mangyeong river, 1997)

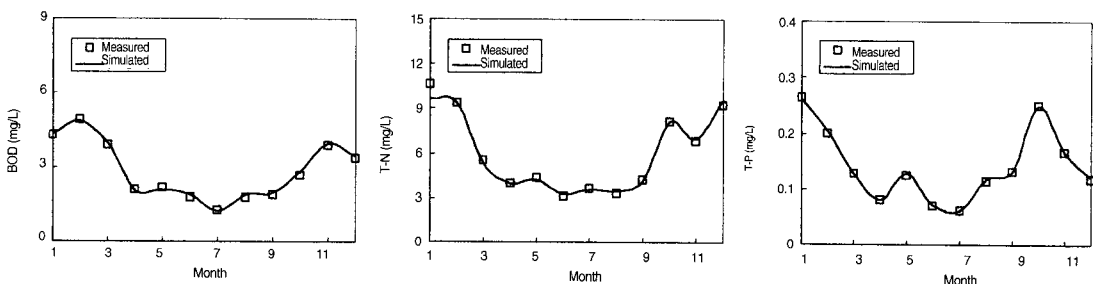


Fig. 9. Measured and simulated water quality (Dongjin river, 1997)

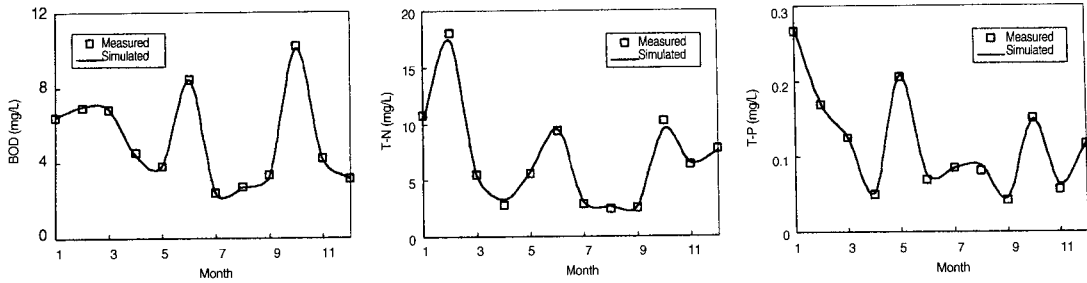


Fig. 10. Measured and simulated water quality (Wonpyeong river, 1997)

게 하였다. 모델결과 도식 모듈에서는 모델실행결과 수질항목(19개)을 GIS 기능을 이용하여 도형과 속성자료로 분리하여 각각 자동 도식 처리함으로써 모델결과 확인을 위한 추가적인 분석작업이 필요 없도록 하였다. 따라서 모델에 대한 전문적인 지식이 없는 사용자에게도 효율적인 방법을 제공하여 하천의 수질관리에 있어 개선된 방법의 제공이 가능하였다.

Model". *Journal of Environmental Quality*, pp. 25-35.

### 참고문헌

1. 농업기반공사 농어촌연구원, 2001, 새만금유역 GIS 도입을 위한 환경자료 DB 구축.
2. 농업기반공사 농어촌연구원, 2001, 새만금호 수질관리 및 수환경개선 조사연구(Ⅱ).
3. 새만금사업 환경영향 공동조사단, 2000, 새만금사업 환경영향공동조사 결과보고서.
4. Brown, L. C., and Barnwell, T. O., *The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS : Documentation and User Manual*, EPA.
5. Chen, C. L., L. E. Gomez, C. W. Chen, C. M. Wu, J. J. Lin, and I. L. Cheng, 1995. "An Intergrated Watershed Management Model with GIS and Windows Application", *The International Symposium on Water Quality Modeling*, Orlando, Florida, pp. 251-262.
6. Tim, U. S. and R. Jolly, 1994, "Evaluating Agricultural Nonpoint-Source Pollution Using Intergrated Geographic Information Systems and Hydrologic/Water Quality