

## GIS기반의 하천수질관리시스템 구축 및 활용에 관한 연구

최연웅\* · 성동권\*\* · 전형섭\*\*\* · 조기성\*\*\*\*

### A Study on the Development and Application of GIS-based Stream Water Quality Management System

Yun-Woong Choi\* · Dong-Gwon Sung\*\* · Hyeong-Seob Jeon\*\*\* · Gi-Sung Cho\*\*\*\*

#### 요 약

최근 환경문제에 대한 관심이 많아지고 그 중요성이 부각되면서 관련 기관이 요구하는 정보량은 증가하고 있으며, 수요 또한 급증하고 있다. 오염총량제 실시를 앞두고 환경 관련 정보를 효율적이고 체계적으로 관리할 수 있는 정보관리체계가 필요하게 되었고, 특히, 도형자료에 의하여 관련정보를 효율적으로 관리, 분석할 수 있는 GIS의 개발과 적용이 세계각국을 비롯한 국내의 정부기관, 개인기업체, 관련학술분야에서 활발히 진행되고 있으며, 하천수질분야의 적용성이 인정되고 있다.

본 연구에서는 GIS를 이용하여 행정구역별, 유역별 오염부하량을 산정하고, 수질 예측 모델로서 국내 많은 지역에서 적용된바 있는 QUAL2E 모델을 GIS에 유기적으로 연계시켜 모델을 구동시키며 그 결과를 시각적으로 처리함으로써 오염부하량 산정으로부터 모의 결과를 시각화하는 일련의 과정을 통합하였다. 특히 GIS에 수질모델을 연계시킴으로써 기존연구에서는 미진했던 수질예측이 가능한 하천수질관리시스템을 구축하였으며 그 활용방법을 제시하였다.

주요어 : GIS, 수질모델, 통합, 수질관리

\* 전북대학교 대학원 토목공학과 박사과정 (Ph. D. Candidate, Department of Civil Engineering, Chonbuk National University, Duckjin-Dong, Duckjin-Gu, Chonju, Chonbuk, Korea, 561-756)

\*\* 송원대학 토목과 겸임교수 (Adjunction Faculty Member, Division of Civil Engineering, Songwon College, Kwangcheon-dong, Seo-gu, Kwangju City, Korea, 502-742)

\*\*\* 전북대학교 부설 공학연구원 공업기술연구소 연구원 (Researcher, The Reserch Institute of Industrial Technology, Chonbuk National University, Duckjin-Dong, Duckjin-Gu, Chonju, Chonbuk, Korea, 561-756)

\*\*\*\* 전북대학교 토목공학과 교수, 전북대학교 부설 공학연구원 공업기술연구소 연구원 (Professor, Department of Civil Engineering, Chonbuk National University, Researcher, The Reserch Institute of Industrial Technology, Chonbuk National University, Duckjin-Dong, Duckjin-Gu, Chonju, Chonbuk, Korea, 561-756)

**ABSTRACT** : Recently, as the social interest about environmental problems is increased and the importance is highlighted, the related information and the demand of information are increased. And, the Total Pollution System will be executed soon. Therefore, the information management system which can manage and analysis related information efficiently and systematically become required. Especially, the development and application of GIS which can effectively manage and analyze information using spatial data have been processing by government, private institute, and related academic institute of all over the world. also their potentiality of application have been recognizing.

The main purpose of this study is to develop the stream water quality management system which can simulate future water quality using water quality model(QUAL2E) and be integrated the whole step from calculating pollutant load divided by administrative district and watershed to displaying the result of modeling visually.

**keywords** : GIS, Water quality Model, Integration, Water quality Management

## 1. 서 론

최근 환경문제에 대한 관심이 많아지고 그 중요성이 부각되면서 관련 기관이 취급하는 정보량이 급격히 증가하고 있으며, 수요 또한 급증하고 있다. 특히, 오염총량제 실시를 앞둔 상황에서 환경 관련 정보를 효율적이고 체계적으로 관리할 수 있는 정보관리체계가 필요하게 되었고, 특히, 도형자료에 의하여 관련정보를 효율적으로 관리, 분석할 수 있는 지형공간정보체계(GIS : Geo-Spatial Information System)의 적용이 세계각국을 비롯한 국내의 정부기관, 개인기업체, 관련학술분야에서 활발히 진행되고 있으며, 하천수질분야의 적용성이 인정되고 있다.

미국 환경청(EPA)에서는 1980년대 중반부터 하천의 수질관리에 GIS를 적용하기 시작하여 DBMS, 및 웹 기술을 바탕으로

하이퍼미디어 자료처리가 가능하고, 사용자 검색이 편리하며, 플랫폼에 관계없이 자료처리가 가능한 환경정보시스템을 구축하여 운영하고 있으며, 현재 환경감시 및 평가계획 (EMAP : Environmental Monitoring and Assessment Plan)을 수행하면서 단순한 정보입력 및 검색시스템의 기능을 넘어서서 환경정보를 가공·분석하여 고부가가치 환경정보를 제공할 수 있는 시스템으로 발전시켜 나가고 있다. 특히 하천유역의 환경 및 생태계 연구를 보조하기 위한 다목적 환경분석 시스템으로서 BASINS (Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Source)를 개발하여 환경정보의 취득을 용이하게 하고, 유역환경 연구와 모델링의 통합된 틀을 제공하며, 점오염원과 비점오염원의 관리 및 분석을 지원하고 있다. (EPA, 1998)

본 연구에서는 지형공간정보체계를 이용하여 행정구역별, 유역별 오염부하량을 산

정하고, 수질모델을 구동시키기 위한 전처리 과정으로서 수질모델의 입력파일을 생성하여 모델을 구동시키고 후처리 과정으로서 결과를 시각화하도록 인터페이스를 개발함으로써 오염부하량 산정으로부터 모의 결과를 시각화하는 일련의 과정을 통합하고, 특히 수질모델과 GIS를 연계함으로써 기존의 GIS를 이용한 하천관리에 관한 연구들에서 미진하게 다루었던 수질예측이 가능한 환경정보시스템을 구축하였으며 그 활용방법에 관하여 연구하였다. 수질 예측모델로는 국내 많은 지역에서 적용된바 있는 QUAL2E 모델을 활용하였다.

## 2. GIS와 수질모델의 연계

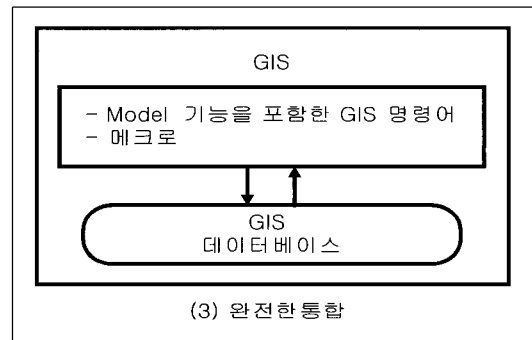
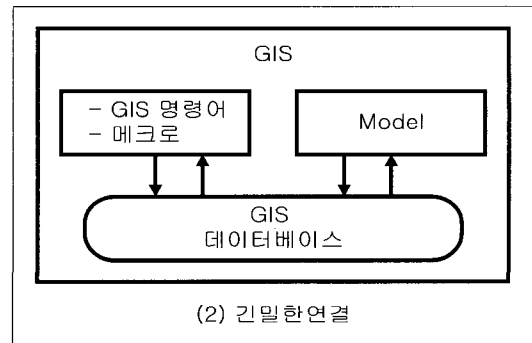
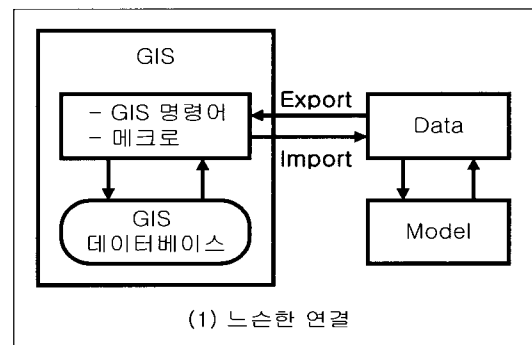
GIS와 수질모델을 연계하는 방법은 크게 느슨한연결(Loose-coupling), 긴밀한연결(Close-coupling), 완전한통합(Full integration)의 세가지형태로 구분될 수 있다. (Goodchild, Hanining and Wise, 1992; Goodchild, 1993)

느슨한연결방법은 수질모델에 필요한 데이터들을 GIS를 이용하여 추출하고 GIS와 수질모델의 사이에 ASCII 파일이나 binary 파일을 사용하여 데이터를 Export/Import 함으로써 연결하는 방법으로 가장 기본적인 방법으로 GIS와 수질모델사이에 사용자가 데이터를 Export/Import 시키는 별도의 작업이 요구된다.

긴밀한연결방법은 GIS와 수질모델을 매크로 언어나 Fortran, 혹은 C 와 같은 언어로 두 시스템간에 인터페이스를 개발함으로써 연결시키는 방법으로 이것은 개발자가 GIS

와 수질모델의 데이터 구조등을 이해하고 있어야 하나 인터페이스를 통하여 사용자의 개입이 없으므로 이전의 느슨한연결 방법보다 강력한 방법이라고 할 수 있다.

완전한 통합은 GIS 소프트웨어가 제공하는 매크로언어나 기타 호환 가능한 다른 언어를 이용하여 기존의 수질모델을 새롭



[그림 1] GIS와 수질모델의 통합방법

계 구성하여 GIS 소프트웨어 내에 완전히 내장시키는 방법으로 GIS와 수질모델간의 인터페이스등의 작업에 대한 필요성이 없어지는 장점이 있으나 다른 GIS 소프트웨어와의 호환이 되지 않는 단점이 있다.

본 연구에서는 GIS와 수질모델을 연계하는 방법으로 두 시스템간의 인터페이스를 개발하는 긴밀한연결방법을 사용하였다. [그림 1]은 GIS와 수질모델의 연계방법에 대한 모식도이다.

### 3. QUAL2E 모형

QUAL2E는 1960년말 Texas Water Development Board (TWDB)에 의해 만들어져 1970년대 초 EPA에서 주요 하천에 적용 가능한 QUAL-I으로 발전시킨 이후 EPA 주도로 계속적인 발전을 거듭해 지금의 QUAL2E까지 변형·발전된 모형으로서 그리스, 벨기에, 스페인, 남아프리카, 대만, 태국등의 나라에서 사용되고 있으며 특히 우리나라에도 한강, 금강, 형산강, 북한강등 많은 하천에서 적용되어 그 타당성이 인정받고 있다. (이소향, 1998)

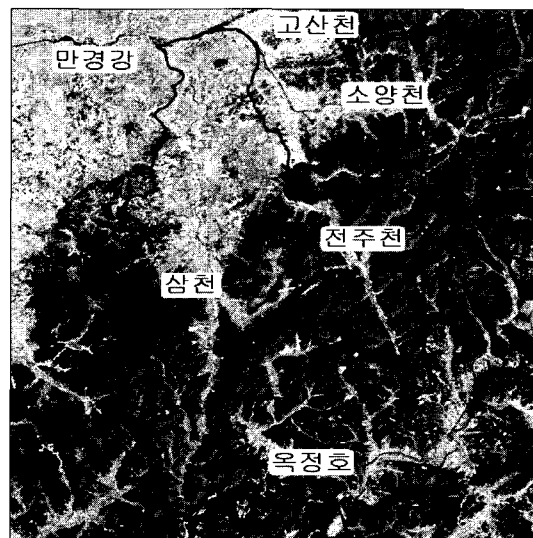
QUAL2E 모형은 해석방향을 유체 흐름 방향으로 하고 횡방향으로는 완전 혼합을 가정한 1차원 모형으로 수리학적으로는 정상동류에 대하여 적용이 가능하며, 수질의 계산에 있어서는 기상조건의 일 변화에 따른 수질(수온 및 용존산소)변동과 순간적으로 부하된 오염원에 대한 준동적 모의를 제외하고는 정상상태의 수질을 모의하며, 3개의 보존성물질, 대장균수, 1개의 비보존성물질, BOD, 유기질소, 암모니

아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소의 4개의 질소순환 요소들, 유기인, 용존인의 2개의 인순환요소들, 조류, DO, 수온의 총 15가지의 수질항목에 대하여 모의할 수 있다. (Linfield C. Brown and Thomas O. Barnwell, Jr., 1997; 문추연, 1997; 이소향, 1998; 이준희, 1999)

## 4. 적용 및 분석결과

### 4.1 연구대상 지역

본 연구의 대상지역은 만경강 지류인 전라북도 전주천 유역으로 만경강 합류지점부터 전주천의 지류인 삼천의 합류지점까지의 전주천 일부구간과 지류인 삼천을 대상으로 하였다. [그림 2]는 대상지역에 대한 위성영상에 삼천-전주천의 전체 유역을 표시한 유역현황도이다.



[그림 2] 대상지역 현황도

## 4.2 자료 입력

### 1) 도형자료

도형자료로는 도엽명 삼례, 읍내, 반월, 전주, 신정, 상두, 원천, 관촌의 총 8매의 1 : 25,000 수치지형도에서 Arc/Info를 이용하여 레이어 별로 직접 추출하여 수계망도, 수리시설물 위치도, 하천중심선을 입력하였고, 유역도는 속성자료의 구축단위인 행정구역 경계와 수치지형도상의 등고선을 고려하여 총 10개의 소유역으로 구분하여 입력하였다. 특히 하천이 도심을 지나는 경우 유역분할의 어려움으로 인하여 전주천 상류에서부터 전주시 시가화 지역을 지나 삼천과의 합류지점까지를 하나의 유역으로 구분하였다. 행정구역도는 1 : 40,000의 전주시 행정지도와 1 : 123,000의 완주군 행정지도를 입력하였고, 소유역별 오염물질의 최종 배출지점은 수계망도를 참고하여 입력하였다. 각 도형자료의 형식과 축척은 <표 1> 과 같다.

<표 1> 도형자료 구축 현황

주 제 도	축 척	형 태
행 정 구 역 도 (전주)	1:40,000	Polygon
행 정 구 역 도 (완주)	1:123,000	Polygon
유 역 도	1:25,000	Polygon
수 계 망 도	1:25,000	Line
수리시설물위치도	1:25,000	Point
하 천 중 심 선	1:25,000	Line

또한, QUAL2E 모델 적용을 위하여 삼천 상류의 수질관측지점인 삼천취수장 부근을 수원으로 하고 만경강 합류지점까지를 수질 모의 구간으로 설정하였으며, 이

구간의 하천중심선을 QUAL2E 모델의 모의 기본단위인 구간(Reach)로 구분하여 입력하고 전 구간을 계산요소로서 500m 씩 구분하여 입력하였다.

### 2) 속성자료

속성자료는 크게 소유역별 오염부하량 산정시에 사용되는 오염원 자료와 QUAL2E 모델의 입력파일 생성에서 사용되는 자료로 구분하여 "\*.dbf"의 형태로 입력하여 자료기반화하였다.

본 연구에서 소유역별 오염부하량의 산정에 있어서 1999년 8월 환경부의 “오염총량관리계획의 수립지침(안) (환경부, 1999)에서 제시하고 있는 방법 및 원단위를 이용하였으며 이 방법에서 필요로 하는 각 오염원별 항목에 대하여 <표 2>와 같이 자료를 입력하였다.

<표 2> 오염원 데이터 구축현황

구 분	구축현황 (항목)
생활계 오염원	처리구역/미처리구역
	합류식/분류식
	시가화지역/비시가화지역
	가정/사업장 수거식/수세식(오수정화시설/단독정화 시설/무처리)
축산계 오염원	한우/젓소/돼지/가금
	허가/신고/미규제
	돌땀발효/퇴비화/액비화/퇴비+액비/ 위탁/기타/미처리
산 업 폐 수	표준산업분류/폐수발생량/폐수방류량
토 지 이 용	수역/농경지/산림/거주지역

오염원 자료는 1997년을 기준년도로 하였으며 점오염원으로는 행정구역별 인구에 의한 생활계 오염원, 가축에 의한 축산계 오염원, 공장등의 산업시설에서 배출되는 산업폐수를 고려하였으며, 비점오염원으로는 지목별 토지이용현황을 고려하였다.

QUAL2E 모델 입력파일 생성에 사용되는 속성자료는 수리학적 특성자료와 수질관련자료로 크게 구분할 수 있으며 속성자료 구축현황은 <표 3>과 같다.

<표 3> QUAL2E 입력파일 생성을 위한 속성자료의 현황

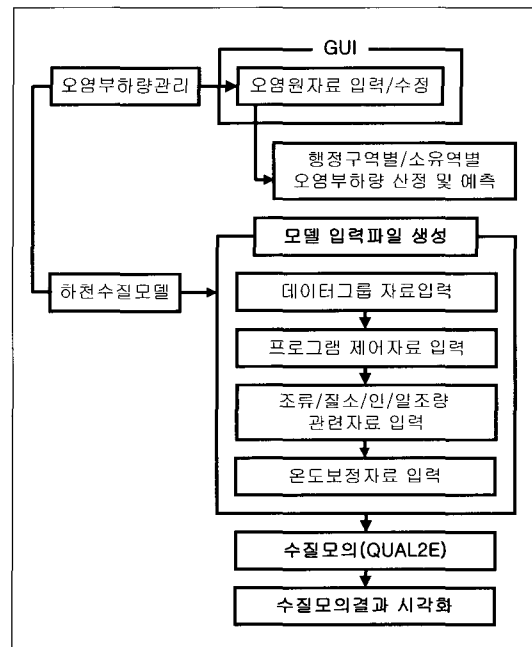
구분	구축현황(항목)
수리학적 변수	확산계수(K)/사면경사 I/사면경사 II/하상폭/수로경사/매닝조도계수(n)
수질관련 변수	각 구간(Reach)별 : K1, K3, K4, K2, 입력오염물질에 대한 분해속도/침전율/산화율/용출율/분해율/소멸율
	점오염원 및 상류수원에 대한 : 유량/수온/DO/BOD/보존성물질 I, II, III /비보존성물질/대장균군/클로로필-a/유기질소/암모니아성질소/아질산성질소/질산성질소/유기인/용존인

본 연구에서는 수리학적 특성자료에서 대상하천의 단면을 사다리꼴로 고려하였고, 대상지역의 전체 유역에 대하여 소유역을 구분할 때 소유역에서 발생하는 모든 오염물질이 유역의 최종 배출지점에서 하천에 유입되며, 유역내 모든 오염원들이 유역전체에 균일하게 분포되어있다고 가정하였다. 또한, 하천의 특성상 하천의

최하류단에서의 조건이 그 상류지역에 미치는 영향이 없기 때문에 수질관련변수 중 하류경계조건은 고려하지 않았으며, 증분유입량은 없다고 가정하였다.

### 4.3 하천 수질관리시스템 구축

본 연구에서의 시스템은 PC ArcView 3.1 환경에서 PC ArcView의 객체지향 프로그래밍 언어인 Avenue를 사용하여 유역별 오염부하량을 산정하고, QUAL2E 모델의 입력파일을 생성하여 수질 모의를 수행하며, 모의 결과를 시각화하는 3가지 기능을 구현하여 하천수질에 대한 예측을 시도하였고, PC ArcView의 Extension인 Dialog Designer를 이용하여 GUI를 구현하였다. [그림 3]은 시스템 개요를 보여준다.

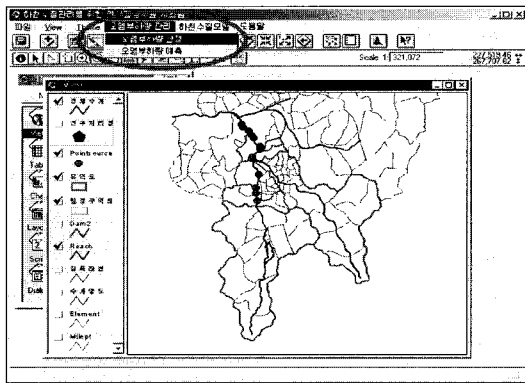


[그림 3] 시스템 개요

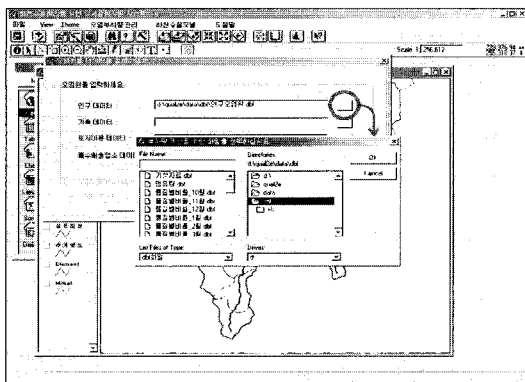
1) 시스템 개요

(1) 오염부하량 산정

오염부하량의 산정기능은 입력한 행정구역별 오염원 데이터와 “오염총량 관리계획의 수립지침(안)의 원단위와 발생/배출/유달부하량 산정방법을 이용하여 유역별로 산정하였다. [그림 4]는 부하량산정을 위한 오염원데이터 입력화면으로서, 오염원데이터의 입력은 [그림 5]와 같이 GUI를 통하여 마우스로 직접 입력 할 수 있도록 하였다.



[그림 4] 부하량산정을 위한 메뉴창



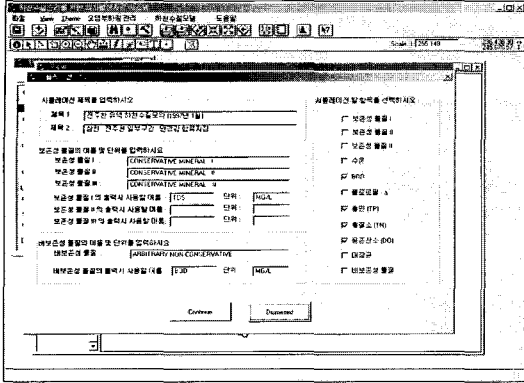
[그림 5] 오염원데이터 입력창

(2) QUAL2E 모델을 이용한 수질모의

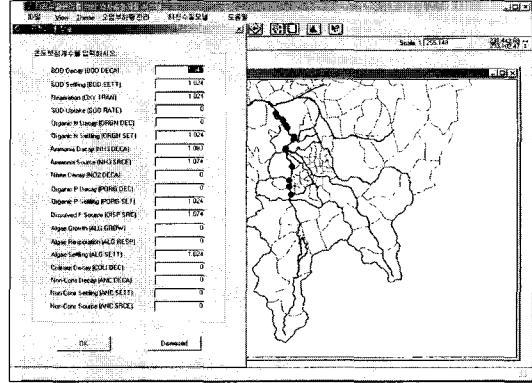
QUAL2E 모델을 이용한 하천수질모의를 위해 먼저 QUAL2E 모델의 입력파일을 생성하게 된다. QUAL2E 모델은 Fortran으로 개발된 모델로서 개발 언어의 특성상 입력 형식이 일정하여 구축된 도형 및 속성데이터를 이용하여 일정형식의 입력파일을 생성해줌으로써 모델 구동이 가능하다.

QUAL2E 모델의 입력파일 중 모의제목, 3개의 보존성물질 및 1개의 비보존성물질의 입·출력시 이름과 단위, 그리고 모의할 항목등의 데이터 그룹부분과 프로그램 수행을 제어하는 각종 입출력 옵션 및 프로그램 전체에 영향을 미치는 데이터들을 입력하는 프로그램 제어부분은 [그림 6], [그림 7]과 같이 대화창에서 직접 선택하거나 입력/수정이 가능하도록 구현하였다. 특히 프로그램 제어부분의 경우 모의 모드별로 필수 입력값을 따로 선택하도록 하였다. 예를 들어 정적모드를 선택하는 경우 동적모드에서만 입력하도록 하고있는 모의시간 간격, 최대 모의기간, 수질변동에 대한 결과출력의 시간간격은 선택할 수 없도록 구현하였다.

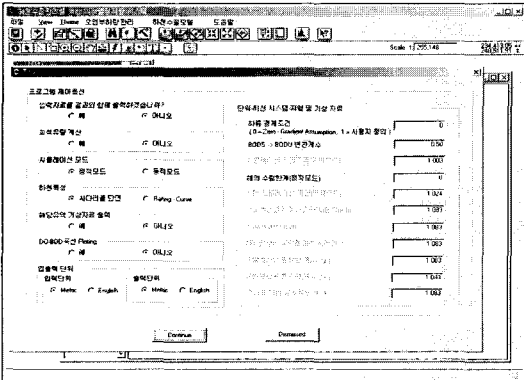
또한, 조류/질소/인/일조량 및 온도보정계수 입력부분에 대해서도 [그림 8], [그림 9]와 같이 대화창에서 설정된 초기값을 수정하도록 하였으며, 생성할 입력파일명은 [그림 10]과 같이 직접 입력하도록 하였다.



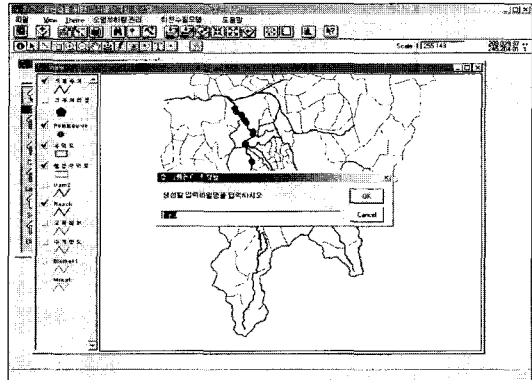
[그림 6] 데이터 그룹 부분 입력창



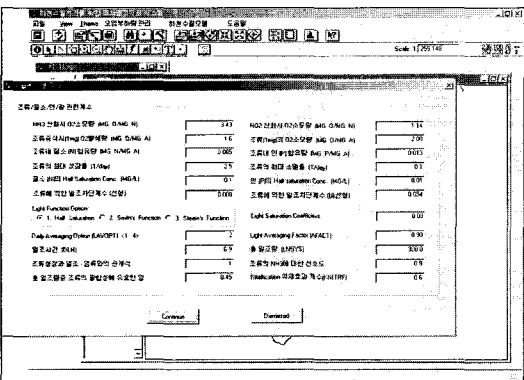
[그림 9] 온도보정계수 입력창



[그림 7] 프로그램 제어부분 입력창



[그림 10] QUAL2E 입력파일명 입력창

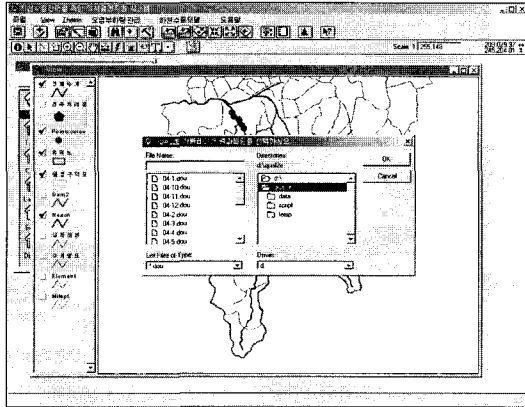


[그림 8] 조류/질소/인/일조량 관련계수 입력창

(3) 모의 결과의 시각화

QUAL2E 모델은 모델 구동 후 텍스트 형식의 결과파일을 생성하며, 이 또한 입력파일과 같이 일정한 형식을 갖는다. 이에 본 연구에서는 [그림 11]과 같이 생성된 결과 파일을 선택함으로써 선택된 결과 파일에 대하여 화면 또는 출력물의 형태로 작성될 수 있도록 구현하였다.





[그림 11] 모의 결과파일 선택창

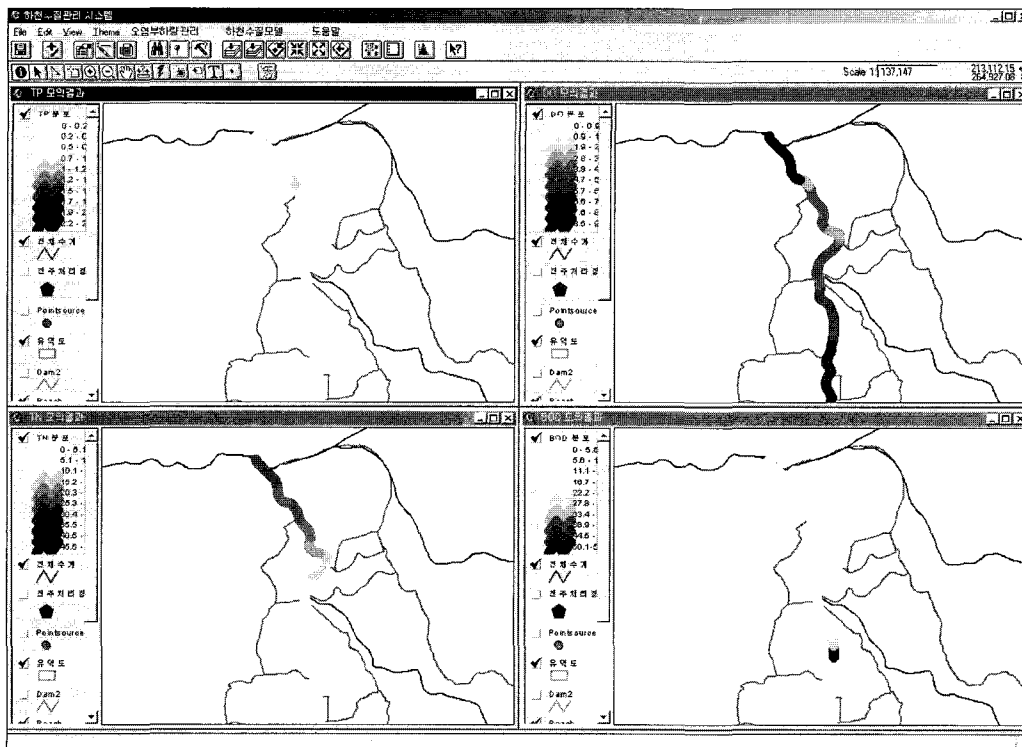
모의 결과를 나타낸 것이다.

[그림 12]에서 1997년 10월 대상하천의 BOD 농도를 살펴보면 상류수원부근에서는 낮은 오염도를 나타내고 있으나, M-5-4 유역과 M-5-5 유역을 지나면서 농도가 급격히 증가함을 볼 수 있다. 이는 이 지역이 전체 오염부하량에 가장 큰 영향을 미치는 생활계 오염원인 인구가 밀집되어 있기 때문인 것으로 판단된다.

## 2) 하천 수질의 예측

[그림 12]는 1997년 월별 모의 결과중 유역별 유출량이 가장 적어 갈수기로 판단되는 10월의 BOD, DO, TN, TP에 대한

본 연구에서는 1997년 오염원자료를 이용하여 보정한 QUAL2E 모델의 보정치를 이용하고 오염원 데이터를 변경하여 2004년



[그림 12] 1997년 10월의 모의 결과

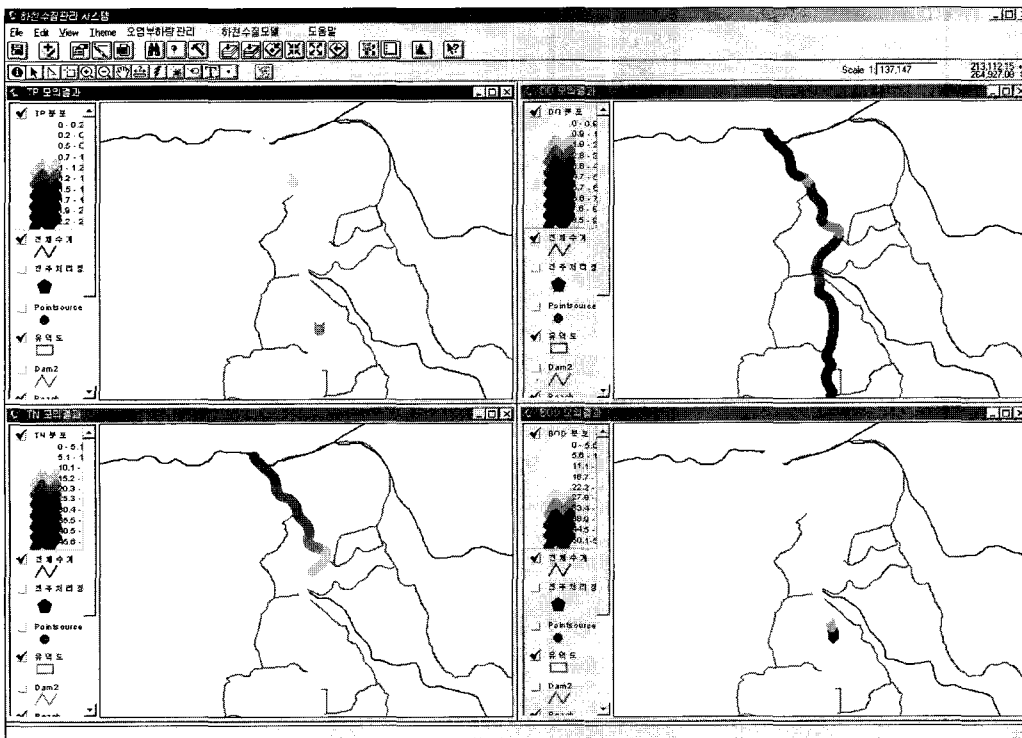
대상하천의 수질변화를 예측하였다. 2004년 예측 오염원 데이터는 본 연구에서 고려했던 생활계, 축산계, 토지이용, 산업폐수의 오염원 중 그 양이 가장 많아 소유역에 대한 오염부하량에 영향을 가장 많이 미치는 것으로 판단되는 생활계 오염원만을 고려하였다. 2004년 예측인구는 “전주시 하수도 정비 기본계획변경 보고서”(전주시, 1999)를 참고하였다.

[그림 13]은 2004년 10월 대상하천에 대한 수질예측 결과를 나타낸 것으로 전반적으로 1997년의 모의 결과와 유사한 양상을 보이고 있음을 알 수 있다. 또한, 수질모의 결과 2004년 대상지역 하류에서의 BOD 농도는 하천수질환경기준(환경부, 1991) V 등

급의 BOD 규제량  $10\text{mg}/\ell$  을 달성하고 있는 것으로 나타났으나, 삼천과 전주천의 합류지점 부근에서의 BOD 농도는 하천수질환경기준은 II등급으로 규제량인  $3\text{mg}/\ell$  를 상회하는 것으로 나타나고 있어 이 지역에 대한 BOD 저감대책이 필요할 것으로 판단할 수 있다.

### 5. 결 론

본 연구는 하천 수질관리에 있어 수질모형을 연계한 GIS기반의 하천수질관리 시스템을 구축하고 활용하기 위한 연구로서 GIS를 이용하여 각 행정구역 및 소유역별



[그림 13] 2004년 10월의 수질 예측 결과

로 오염부하량을 산정하여 비교함으로써 특정의 공공수역을 대상으로 유역으로부터 대상수계에 유입되는 오염물질의 총량을 수질환경기준이 준수될 수 있는 일정수준(허용총량)이하가 되도록 오염원을 관리하도록 하고있는 오염총량관리제에서의 활용성을 확인하였다.

또한, 수질모델의 전·후 처리에 GIS를 이용할 수 있는 인터페이스를 개발하는 방법으로 GIS를 이용한 하천관리에 수질모델을 유기적으로 연계시킴으로써 기존 GIS를 이용한 하천관리에 관한 연구들에서 미진하게 다루었던 수질예측이 가능한 하천수질관리시스템을 구축하였다.

마지막으로, 오염부하량을 산정하고, 수질 모의를 수행하며, 모의 결과를 시각화하는 일련의 과정을 하나의 시스템에 통합함으로써 수질 모의의 수행과 그 결과 분석을 용이하게 하였고 특히, 수질모델의 수질모의 결과를 GIS환경에서 시각적으로 표현하도록 시스템을 구현함으로써 모델에 대한 전문지식이 없는 일반인들도 현황을 쉽게 알아보고 비교·분석할 수 있도록 하였으나 향후, 일반인을 대상으로 한 수질정책의 효과를 극대화 하기 위하여 인터넷과의 연계가 필요할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- 장태연, 1997, "GIS를 이용한 하천의 오염도 산정", 인하대학교 대학원 박사학위논문
- 이준희, 1998, "팔당호로 유입되는 비점오염원의 추정에 관한 연구", 성균관대학교 대학원 석사학위논문
- 이소향, 1998, "QUAL2E 모델을 이용한 한강 하류부의 수질모델링", 광운대학교 대학원 석사학위논문
- 문추연, 1999, "지리정보체계(GIS)와 수질관리모형에 의한 하천 수질 파악기법", 동아대학교 대학원 박사학위논문
- 전주시, 1999, "전주시 하수도정비 기본계획변경 보고서"
- 전주시, 1999, "전주천 자연하천 조성사업 기본 및 실시설계 보고서"
- 환경부, 1999, "오염총량관리계획의 수립 지침(안)"
- 환경부, 1991, "환경부고시 제91-35호 수역별 환경기준 적용등급 및 달성기간"
- EPA, 1998, "Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources - BASINS Version 2.0 : User's Manual."
- Linfield C. Brown and Thomas O. Barnwell, Jr., 1987, "The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS : Documentation and User Manual."
- Goodchild, M., Haining, R. and Wise, S. et al., 1992, "Integration GIS and Spatial data analysis: Problems and possibilities", International journal of Geographic Information System, Vol. 6, No. 5, pp. 407-423
- M. F. Goodchild, 1993, "Environmental Modeling with GIS", Oxford University Press, pp. 39-42