

# GSIS를 이용한 유역수질관리방안 연구

## The Study of Watershed Water Quality Management using GIS

최연웅\*    성동권\*    조기성\*\*

### 1. 서    론

급속한 도시화와 인구증가에 의한 무분별한 국토개발과 토지이용형태의 다변화로 오·폐수를 비롯한 다양한 오염물질의 하천유입이 증가하여 하천의 수질은 날로 심각해지고 있다. 특히 상수원 보호의 필요성이 고조됨에 따라 오염원에 대한 체계적인 관리가 필요하게 되었으며, 유역수질 관리에는 현재의 수질 뿐만 아니라 장래의 수질을 정확하게 예측해야 하기 때문에 수질 모델에 의한 관리가 효과적이라고 할 수 있다.<sup>1,2)</sup>

현재, 수질관리를 위한 여러 가지 수질 모델들이 개발되어 있으며 이런 수질 예측모델들에 각종 수질관리 대안에 따른 가정을 적용시킴으로서 실제 실험을 통하지 않고 각종 수질관리 대안의 효과를 사전에 평가하는 수단으로 사용하고 있다. 또한, 관련정보를 효율적으로 관리, 분석할 수 있는 지형공간정보시스템(GSIS)의 개발과 적용에 관한 연구들이 국내·외 정부기관, 개인기업체, 관련학술분야에서 활발히 진행되고 있다.<sup>2)</sup>

본 연구는 GSIS와 수질모델을 통합한 유역수질관리에 대한 연구로서, 공간자료를 효과적으로 처리 및 표현할 수 있고, 손쉬운 GUI를 구축할 수 있는 GSIS와 기존의 유역수질모델 중 우리나라의 실정에 적합하여 비교적 정확하고 또한 그 적용이 간단하여 많은 지역에서 실제 적용되어 그 적용성이 검증된 QUAL2E 모델의 통합에 관하여 연구하였다.

### 2. 적용 및 고찰

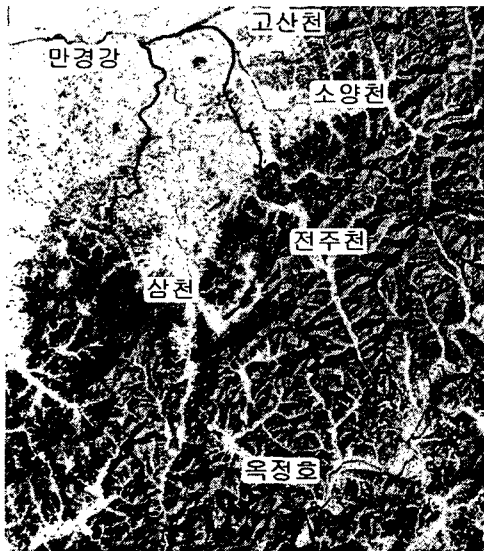
#### 2.1 대상지역 및 연구내용

본 연구는 전라북도 전주시에 삼천-전주천 유역을 대상지역으로 하였으며 <그림 2.1>은 대상지역에 대한 유역현황도이다. 연구내용은 크게 모델에 입력될 인자들의 공간자료의 취득 및 구축, 원단위를 이용한 오염부하량 산정방법과 도형자료를 연계하여 소유역별 부하량을 산정하기 위한 내부루틴의 작성, GSIS환경에서 QUAL2E 모델을 구동하기 위한 인터페이스의 개발, QUAL2E 모델을 이용한 대상지역의 수질 모의, GSIS 환경에서 QUAL2E 모델의 모의 결과의 시각화를 위한 인터페이스 개발로 나눌 수 있다.

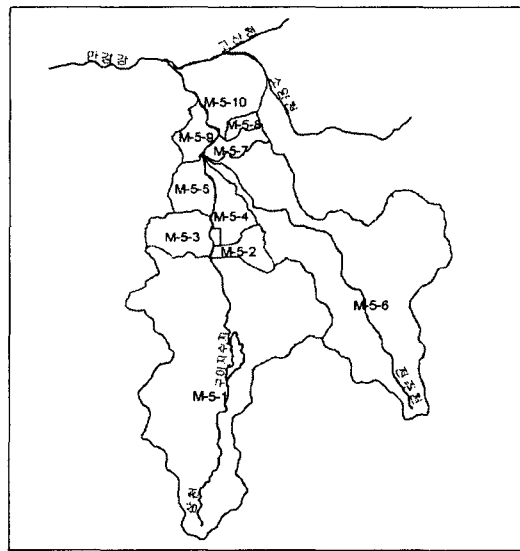
---

\* 전북대학교 공과대학 토목공학과 박사과정

\*\* 전북대학교 공과대학 토목환경공학부 부교수, 전북대학교 공업기술연구소 연구원



<그림 2.1> 대상지역 현황도



<그림 2.2> 유역현황 및 수계망도

위의 같은 연구를 위하여 사용된 GIS 툴로는 ESRI사의 PC ArcView 3.1을 사용하였다. 또한, 소유역 오염부하량의 산정과 QUAL2E 모델의 적용 및 모의 결과를 시각화하기 위한 인터페이스 개발을 위하여 PC ArcView에서 지원하는 객체지향 프로그래밍 언어인 Avenue를 이용하였다.

QUAL2E에서 모의 가능한 수질항목으로는 3개의 보존성물질, 대장균류, 1개의 비보존성물질, BOD, 유기질소, 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소의 4개의 질소순환 요소들, 유기인, 용존인의 2개의 인순환요소들, 조류, 용존산소, 수온등의 15가지의 항목이 있다.<sup>5,6,7)</sup> 그러나, 본 연구에서는 이들 항목 중에서 하천의 수질을 나타내는데 일반적으로 이용되고 있는 BOD와 부가적으로 용존산소, 총질소(TN) 및 총인(TP)을 고려하였다.

## 2.2 자료 입력

### 2.2.1 도형자료 입력

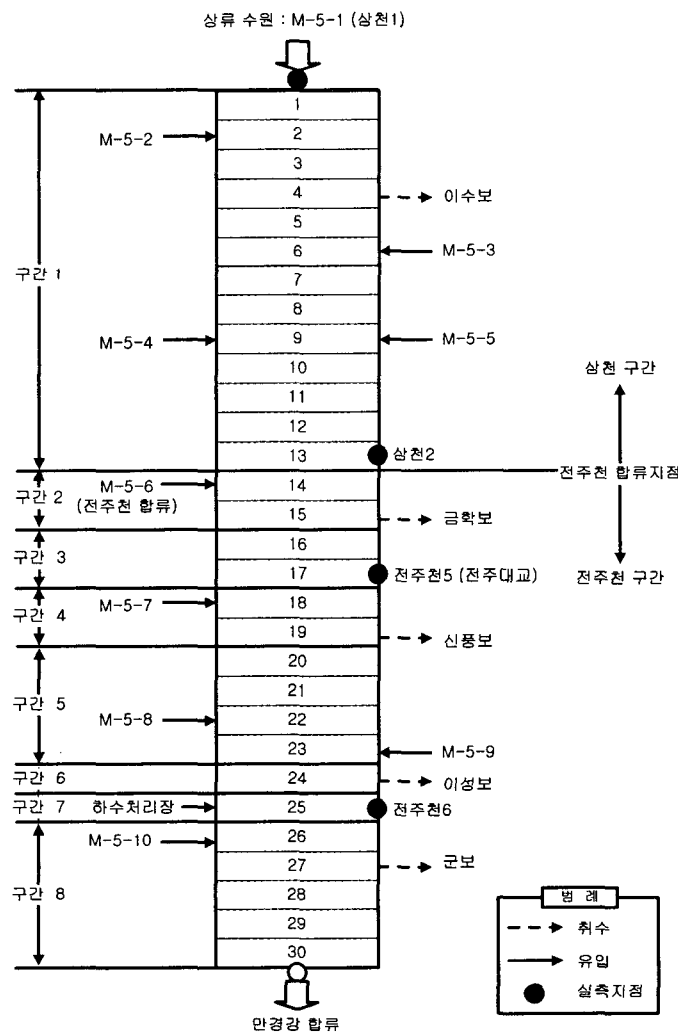
도형자료로서는 등고선도와 수계망도, 행정구역도, 유역도, 수리시설물 위치도, 실폭하천도 등을 입력하였고, 소유역별 오염물질의 최종 배출지점은 수계망도를 참고하여 입력하였다. 이들 자료는 도엽명 삼례, 읍내, 반월, 전주, 신정, 상두, 원천, 관촌의 총 8도엽의 1 : 25,000 수치지형도에서 Arc/Info를 이용하여 레이어 별로 직접 추출하였고, 행정구역도의 경우는 1 : 40,000의 전주시 행정지도와 1 : 123,000의 완주군 행정지도를 트랜싱후 스케닝과 벡터라이징하여 폴리곤으로 입력하였다.

대상지역에 대한 유역도는 속성자료의 구축단위인 행정구역과 수치지형도상의 등고선을 고려하고 유역의 강우 유출수가 하천으로 집수되는 경로 및 전주천 수계의 유역과 수역특성을 이용하여 총 10개의 소유역으로 구분하여 입력하였고, 특히, 도심지의 경우 시가화 지역에 대한 유역분할에 어려움이 있어 삼천과 전주천의 합류지점으로부터 전주시내를 포함하여 전주천 상류까지를 하나

의 유역으로 분류하였다. <그림 2.2>는 대상지역에 대하여 입력한 유역도에 수계망을 표시한 것이다.

QUAL2E모델 적용을 위하여 수질측정지점인 삼천취수장 상류보(세내보)를 수원으로 입력하여 삼천 상류로부터 직할하천 구간인 전주천 일부구간을 지나 만경강 합류지점까지를 수질모의구간으로 정하였다. 또한 구간의 구분은 수치지형도로부터 하천중심선을 추출하여 이를 하천의 수질 측정지점을 고려하여<sup>10)</sup> 수리학적인 특성이 유사한 구간별로 구분하여 입력하였고, 모의 결과를 시각화하기 위하여 Arc/Info의 Route-System 기능을 이용하여 수치지형도로부터 추출된 하천중심선을 500m길이의 계산요소로 분할하여 입력하였다.

또한, 분할한 각 소유역에서 배출되는 오염물질이 하천에 유출되는 유역의 최종 배출지점 위치를 수원과 점오염원으로 분류하여 입력하였다. 전주시 하수종말처리장은 분할한 소유역과는 별도로



<그림 2.3> 수질모의 구간에 대한 모식도  
로 하나의 점오염원으로서 고려하여 배출지점 및 처리장의 위치를 각각 입력하였으며, 농업용수

및 기타용수로 이용하기 위한 하천상의 취수지점을 점오염원으로 입력하였다. 또한, 각 지점간의 위치를 식별하기 위하여 수치지형도로부터 추출한 하천중심선을 이용하여 최종 오염물질 배출 지점별로 분할하여 입력하였다. 하천의 수질 모의 결과를 시각화하기 위하여 소양천, 고산천, 만경강 등의 대상유역 주위의 하천들의 하천중심선을 수치지형도로부터 추출하여 입력하였고, 수치지형도로부터 수리시설물을 추출하여 입력하였다.

<그림 2.3>은 QUAL2E 적용을 위하여 수원인 삼천 상류로부터 만경강 합류지점까지의 각 구간과 계산요소, 그리고 점오염원들의 위치를 나타낸 모식도이다.

## 2.2.2 속성자료 입력

속성자료는 크게 소유역별 오염부하량 산정에 사용되는 자료와 QUAL2E 입력파일 생성에서 사용되는 자료로 나누어 입력하였으며, 입력한 도형자료와 연결하기 위하여 공유 필드를 포함하여 입력하였다.

### 1) 오염부하량 산정을 위한 오염원 자료 입력

본 연구에서는 소유역별 오염부하량을 산정하기 위해 오염원 자료의 기준년도를 1997년으로 하고, 오염원 중 점오염원으로는 인구에 의한 생활계 오염원과 가축사육에 의해 발생하는 축산계 오염원 및 공장 등 산업시설에서 배출되는 공장폐수를 고려하였다. 비점오염원으로는 전, 답, 대지, 임야, 기타 지역 등 토지이용에 따라 강우시 발생하는 오염원을 고려하였다.

<표 2.1>은 오염원 자료의 구축현황 및 구성을 나타내고 있다.

<표 2.1> 오염원 자료의 구축 현황 및 구성

구분	파일명	필드구성	비 고
인구 오염원	인구오염원.dbf	① 처리구역/미처리구역 ② 합류식/분류식 ③ 시가화지역/비시가화지역 ④ 가정/사업장 ⑤ 수거식/수세식(오수정화시설/단독정화시설/무처리)	※ 각 자료는 모두 행정구역별로 입력되었으며 필드구성에서의 각 번호는 선행번호의 각 항목에 대하여 각각 분류하여 입력하였다.
가축 오염원	축산분뇨자원 화시설.dbf	① 한우/젖소/돼지/가금 ② 허가/신고/미규제 ③ 톱밥발효/퇴비화/액비화/퇴비+ 액비/위탁/기타/미처리	
산업 폐수	표준산업분류 오염원.dbf	행정구역명/상호명/표준산업분류/방류지역/폐수발생량/폐수방류량/처리형태	
토지이용	토지이용.dbf	행정구역명/전/답/임야/대지/기타	

### 2) QUAL2E 입력파일 생성을 위한 속성자료 입력

QUAL2E 모델의 적용을 위하여 사용되는 입력파일은 자료의 헤더부분이라고 할 수 있는 타이

들 자료 그룹, 전체 프로그램을 제어하는 프로그램 컨트롤 부분 및 조류, 질소, 인, 빛, 온도보정에 대한 각종 계수들을 입력하는 부분, 하천의 구간식별 및 위치입력 부분, 희석유량 관련자료 입력부분, 계산요소유형 식별자료 입력부분, 수리학적 특성 자료 입력부분, BOD와 DO, 질소와 인, 조류 및 기타 반응계수 입력부분, 초기조건 입력부분, 중분유입량 입력부분, 하천의 합류점자료 입력부분, 상류수원 자료 입력부분, 점오염원 자료 입력부분, 수리시설물에 의한 재폭기 자료 입력부분, 하류경계조건 입력부분, 기상자료 입력부분, BOD와 DO의 플로팅구간에 대한 정보입력부분의 총 16가지 부분으로 나눌 수 있는데 이 중 속성자료로 입력하는 것들은 크게 수리학적 변수 및 수질 관련 변수와 기타 변수로 구분할 수 있다. <표 2.2>는 본 연구에서 QUAL2E 입력파일 생성을 위하여 구축한 속성자료의 현황 및 구성을 보여주고 있다.

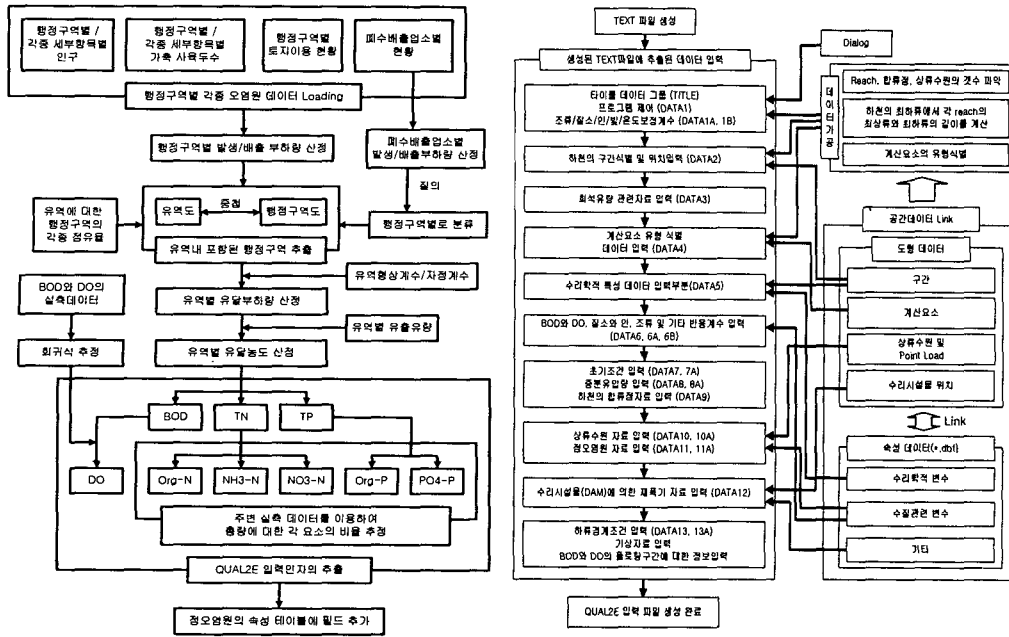
<표 2.2> QUAL2E 입력파일 생성을 위한 속성자료의 현황 및 구성

구분		파일명	필드구성	비고
수리학적 변수	수리학적 특성 자료 (DATA5)	수리학적계수.dbf	확산계수(K)/사면경사 I/사면경사 II/하상폭/수로경사/매닝조도계수(n)	
수질 관련 변수	BOD/DO/조류/질소/인 관련계수 (DATA 6, 6A, 6B)	수질반응계수_00.dbf	K <sub>1</sub> , K <sub>3</sub> , K <sub>4</sub> , K <sub>2</sub> 옵선, K <sub>2</sub> , 입력오염물질별 분해속도/침전율/산화율/용출율/분해율/소멸율	월 별 로 총 12 개 생성
	상류수원 자료 (DATA 10, 10A)	Headwater.dbf	유량/수온/DO/BOD/보존성물질 I, II, III/비보존성물질, Coli/Chl-a/Org-N/NH <sub>3</sub> -N/NO <sub>2</sub> -N/NO <sub>3</sub> -N/Org-P/PO <sub>4</sub> -P	
	점오염원 입력자료 (DATA11, 11A)	점오염원.dbf		

특히, QUAL2E 모델에서는 대상지역 수계내의 구간을 모의의 기본단위로 보기 때문에 속성 데이터베이스는 구간을 대상으로 하여 구축하였다. 또한 본 연구에서는 수리학적 특성자료에서 대상 하천의 단면을 사다리꼴으로 고려하였고, 대상지역의 전체 유역에 대하여 소유역을 구분할 때 소유역에서 발생하는 모든 오염물질이 유역의 최종 배출지점에서 하천에 유입된다고 가정하였으며, 하천의 특성상 최하류의 조건이 상류지역에 미치는 영향이 없기 때문에 수질관련변수 중 초기조건, 중분유입, 하류경계조건은 고려하지 않았다.

### 2.3 오염물질 부하량 산정을 위한 프로그램 개발

본 연구에서는 소유역별 오염물질의 부하량을 산정하기 위하여 행정구역별로 입력된 오염원 자료와 1999년 8월 환경부<sup>11)</sup>의 “오염총량관리계획의 수립지침(안)”에 첨부된 오염부하량 원단위와 산정방법을 이용하여 행정구역별 발생부하량을 산정하였다. <그림 2.4>는 오염부하량 산정을 위한 프로그램의 전체적인 흐름도로서, 오염원 중 인구, 가축, 토지이용 자료의 경우에는 도형자료로 입력된 행정구역도와 유역도를 중첩하여 각 유역에 포함되는 행정구역들을 추출하고, 속성자료로서 입력한 소유역에 포함된 행정구역들의 토지, 인구, 가축 점유율을 이용하여 각 유역별 오염원을 산정하여 부하량을 계산하였고, 폐수배출업소별로 입력된 산업폐수 오염원의 경우에는 입력된



<그림 2.4> 오염부하량 산정 프로그램의 흐름도 <그림 2.5> 입력파일 생성 프로그램의 흐름도

모든 폐수배출업소별로 발생 및 배출 부하량을 먼저 산정하고 질의기능을 이용하여 유역내 모든 폐수배출업소 중 전주시 하수종말처리장으로 방출하지 않고 하천으로 배출되는 오염부하량을 행정구역별로 합산하여 산정한 후 인구, 가축, 토지이용 자료와 같은 방법으로 행정구역도와 유역도를 중첩하여 유역별 행정구역을 추출하고 점유율을 적용하여 유역별 부하량을 산정하였다.

각 유역별로 산정된 BOD, TN, TP의 배출부하량으로부터 환경부<sup>11)</sup>의 “오염총량 관리계획 수립 지침(안)”의 유달부하량 산정방법에 의해 산정된 유역의 최종 배출구에서의 유달부하량과 속성자료로 입력된 유역별 유출량으로부터 유역별 유달농도를 산정하였고, 이로부터 QUAL2E 수질 입력인자인 DO, BOD, 유기질소, 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소, 유기인, 용존인을 추정하였다.

DO는 주변 수질관측소에서 1997년에 측정된 BOD와 DO의 실측자료를 이용하여 회귀분석을 실시하여 BOD와 DO의 관계에 의한 회귀식을 추출하였으며, 추출된 회귀식을 이용하여 각 유역 최종 배출지점에서의 DO 량을 추정하였다. 질소(N)와 인(P)계열 인자의 입력은 주변 수질관측소에서 측정된 실측자료를 이용하여 1997년 월별로 총질소에 대한 유기질소, 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소의 비율과 총인에 대한 유기인, 용존인의 비율을 산정하였고 이를 이용하여 유역 배출지점에서의 값을 추정하였다.

#### 2.4 GIS를 이용한 QUAL2E 입력파일 생성

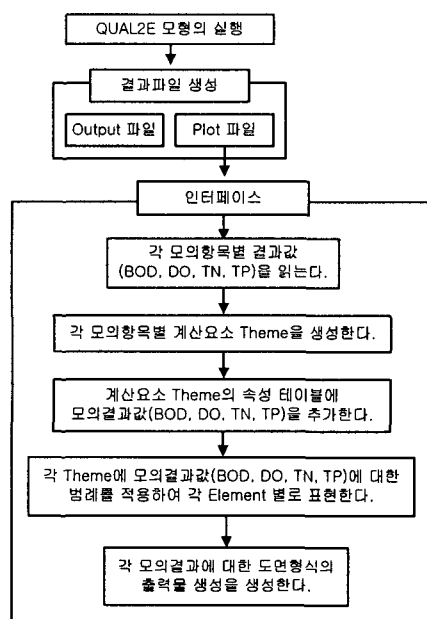
QUAL2E 모델은 FORTRAN으로 개발된 프로그램으로서 모델의 입력자료는 크게 총 16개의 항목으로 구분되어 있으며 각 항목에 관하여 일정한 입력형식을 갖는다.

본 연구에서는 타이틀 자료 그룹, 프로그램 제어, 조류/질소/인/빛/온도보정계수 입력부분에 대해서는 대화상자에서 직접 입력하도록 하였고, 하천의 구간식별 및 위치입력 자료와 계산요소유형 식별자료의 경우는 입력한 자료를 연산을 통해 가공하여 입력하도록 하였다. 또한 각 부분에 대하여 입력된 도형자료 및 이와 연계된 속성자료를 이용하여 필요한 인자를 추출하여 입력파일을 생성하였다. <그림 2.5>는 QUAL2E 입력파일을 생성하는 전체적인 순서를 나타내고 있다.

### 2.5 GIS를 이용한 수질 모델링 결과의 시각화

QUAL2E는 실행 후 모의 결과에 대하여 출력 파일과 플롯(Plot) 파일을 생성하게 되는데, 이중 플롯 파일은 행렬의 형태를 하고 있어 필요한 결과값을 추출하기에 용이하다. 따라서, 본 연구에서는 플롯 파일을 모델링 결과의 시각화를 위해 사용하였다.

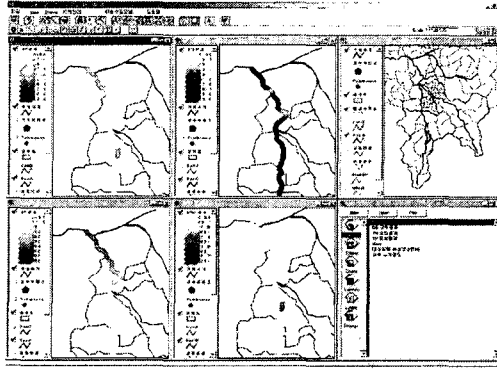
<그림 2.6>은 모의결과의 시각화를 위한 프로그램의 흐름도이다.



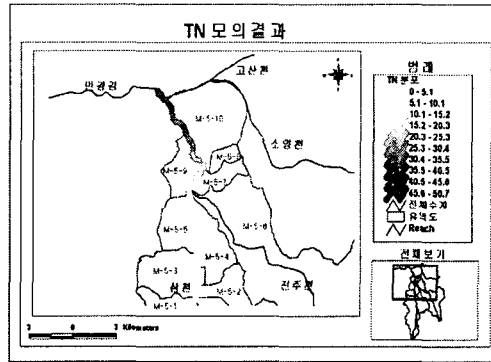
<그림 2.6> 모의결과 시각화 프로그램의 흐름도

<그림 2.7>는 1997년 월별 모의 결과 중 유역별 유출량이 가장 적어 갈수기라고 분류한 10월의 BOD, DO, TN, TP에 대하여 모의결과를 화면상에 나타낸 것이다.

<그림 2.8>은 모의결과를 도면형식으로 자동 생성한 출력물의 일례로서 <그림 2.7>의 결과 중 TN에 대한 모의결과를 보여주고 있다.



<그림 2.7> 1997년 10월의 모의 결과



<그림 2.8> 모의결과의 도면출력의 일례

### 3. 결 론

본 연구는 하천 수질관리에 있어 GIS와 하천 수질모델과의 통합환경의 구축에 관한 연구로서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 수질모델 구동을 위한 전·후처리에 GIS를 이용하는 Flexible coupling 방법으로 수질모델의 입력파일 작성과 모의 결과의 시각화를 위한 인터페이스를 개발함으로써 GIS와 수질모델 간의 통합환경을 구축할 수 있었다.

둘째, 수질 모델링의 결과를 하천의 각 계산요소별로 시각적으로 표현함으로써 하천 오염현황 및 오염정도를 용이하게 비교할 수 있도록 하였다.

셋째, GIS와 수질모델의 통합환경을 구축함으로써 하나의 통합적인 틀 안에서 소유역별 오염부하량 산정 및 수질 모의를 가능하게 하여 유역환경 및 수질연구를 용이하게 하고, 모델구동에 있어서의 현저한 시간단축과 더불어 더 많은 문제에 대한 다양한 결과를 쉽게 얻을 수 있으며, 유역 환경자료 관리에 용이함을 기할 수 있었다.

마지막으로 원단위를 이용한 소유역별 오염부하량 산정은 해당 유역의 특성을 완전히 반영할 수 없으므로, 차후 비점오염원의 정량적 산정 등의 기능을 갖는 모델을 접목시키는 연구가 필요하



며, 뿐만 아니라 일반인들을 대상으로 한 하천 수질관리정책의 효과를 극대화시킬 수 있도록 인터넷과의 연계가 요구된다.

## 참고문헌

1. 성동권, “GIS를 이용한 환경데이터베이스 구축과 Simulation에 관한 연구”, 전북대학교 대학원 석사학위논문, 1998.
2. 장태연, “GIS를 이용한 하천의 오염도 산정”, 인하대학교 대학원 박사학위논문, 1997.
3. Dennis L. Corwin and Peter J. Vaughan, “Modeling Nonpoint Source Pollutants in the Vadose Zone with GIS”, *Environmental Science & Technology*, Vol. 31, No. 8, pp.2157-2175, 1997.
4. 최현상, “GIS와 연계한 추계학적 하천 수질해석”, 경북대학교 대학원 석사학위논문, 1997.
5. Linfield C. Brown and Thomas O. Barnwell, Jr. “The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS : Documentation and User Manual”, 1987.
6. 이준희, “팔당호로 유입되는 비점오염원의 추정에 관한 연구”, 성균관대학교 대학원 석사학위논문, 1998.
7. 문추연, “지리정보체계(GIS)와 수질관리모형에 의한 하천 수질 파악기법”, 동아대학교 대학원 박사학위논문, 1997.
8. 전주시, “전주시 하수도정비 기본계획변경 보고서”, 1999.
9. 전주시, “전주천 자연하천 조성사업 기본 및 실시설계 보고서”, 1999.
10. 환경부, “수질측정망 운영계획”, 1999.
11. 환경부, “오염총량관리계획의 수립지침(안)”, 1999.
12. EPA, “Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources - BASINS Version 2.0 : User’s Manual”, 1998.

