

## 농업용수 수질보전을위한 종합관리시스템 개발

서영제(농업기반공사 조사설계처 부장)

이승호(농업기반공사 농어촌연구원 책임연구원)

이광야(농업기반공사 조사설계처 수문품셈부 계장)

1. 서론
  2. 연구 대상지역
  3. 연구동향
  4. 연구내용
    - 4.1 시스템 구성
    - 4.2 데이터베이스 구축
    - 4.3 오염부하량 산정
    - 4.4 모델과의 연계
    - 4.5 처리대안 선정
  5. 연구결과 및 고찰
  6. 결론
- 참고문헌

## 1. 서론

급격한 산업 발전에 따른 수질 환경오염의 심각성은 인간의 생활환경을 위협하고 있으며, 이러한 수질오염의 효과적인 개선을 위해서는 수집된 오염원 정보를 바탕으로 수질예측 모델을 사용하여 대상지역내의 수질오염 상황을 정량적으로 분석할 수 있어야 한다. 또한 분석의 결과를 바탕으로 지역에 알맞은 수질오염 개선책이 제시되어야 한다(시스템공학 연구소, 1995). 이러한 과정에서 효과적인 농업용수의 수질개선을 위해서는 많은 유형의 정보, 즉 농업용수 수질오염과 관련되는 인문, 사회, 지리적 측면의 광역의 정보가 확보되어야 한다. 기존에 행해지고 있는 수계의 분포와 기본적인 토지이용 유형만을 이용한 오염량 예측방식으로는 농업생산량의 증가와 주거지역의 확산에 대응할 수 있는 유기적이고 장기적인 농업용수 수질정책의 수립이 불가능한 실정이다(농림수산부, 1992).

이러한 문제점의 해결방안으로서 지리정보시스템(GIS; Geographical Information Systems)이 수질 환경분야에서의 활용이 빠르게 확산되고 있다. 지리정보시스템의 가장 큰 이점은 일정 지역내의 도형자료와 관련되는 모든 속성자료들이 컴퓨터를 이용한 수치지도의 형태로 저장되어 사용자의 요구에 맞추어 저장, 검색, 수정, 삭제, 추가 및 분석 등이 용이하다는 점이다. 이러한 GIS의 기능을 이용하여 수질오염 관리에 있어서 각 지역의 수계와 토지이용, 행정구역, 인구분포 현황 등의 각종 공간정보가 수치지도 형태로 구축되어 용이한 정보의 검색과 관리가 용이하다는 이점이 있다. 또한, 각종 오염원 관련 자료는 수질 모델과 자동 연결이 가능하므로 수계별 오염확산의 현황이 손쉽게 파악될 수 있다는 이점이 있으며, 모델링 결과를 바탕으로 지역 특성에 적합한 오염물질 처리대안의 도출 역시 가능하다. 따라서, GIS를 기반으로 오염원 데이터베이스와 수질예측모델, 오염원의 삭감을 위한 처리대안시스템의 연계가 공간상의 위치를 기반으로 통합적으로 이루어질 수 있으므로 농업용수 수질관련 제반과정을 종합적으로 포함할 수 있는 수질정보 종합관리시스템의 개발이 가능하다. 또한 GIS에서는 모든 자료가 그래픽으로 도식될 수 있도록 공간좌표를 기반으로 데이터베이스가 구축되므로 전문 지식이 적은 사용자도 시각적인 도식과 더불어 문제점 해결을 위한 접근이 용이하다는 이점이 있다(김계현, 1998).

이러한 취지에서 본 연구에서는 농업용수 수질오염의 예측과 관리를 위한 제반 오염원 데이터베이스와 수질오염 예측을 위한 확산모델, 확산모델링 결과를 바탕으로 오염원의 삭감을 위한 적정 대안을 제시할 수 있는 처리대안시스템을 효율적으로 연계할 수 있는 수질정보 종합관리시스템의 구축이 이루어졌다.

## 2. 연구 대상지역

본 연구의 대상지역은 삼교호 유역으로서 우리나라의 중서부에 위치하며 충청남도의 천안시, 아산시, 예산군, 당진군, 홍성군, 연기군, 청양군 등 두 개시와 다섯개군의 전체 또는 일부를 포함한다. 삼교호 유역면적은 총 1,640 km<sup>2</sup>로서 크게 삼교천과 무한천, 곡교천 세 개의 유역으로 나뉘어지며(Fig. 2.1), 대상유역의 주하천인 삼교천은 충남 홍성군 장곡면 기러기재(표고 344.9 m)에서 발원하여 홍성읍과 삼교읍을 거쳐서 무한천, 곡교천 등의 지류와 합류하여 삼교호로 유입된다(금강환경관리청, 1997).

삼교호 유역의 대표적인 오염원으로는 인구, 가축, 토지 및 관광시설 등을 들 수 있다. 세부적으로 삼교천유역에서 배출되는 총 BOD량은 19,678 kg/day로 가축에서 대략 50%가 배출되고 있다. 무한천의 경우도 유사한 오염원 배출현황을 보이며, 곡교천 유역의 경우 배출되는 총 BOD량은 25,051 kg/day로 인구에서 대략 50%가 배출되고 있다. 특히 곡교천의 경우 다른 유역보다 산업 및 관광시설에 의한 오염부하량의 배출 기여가 높은 실정이다.

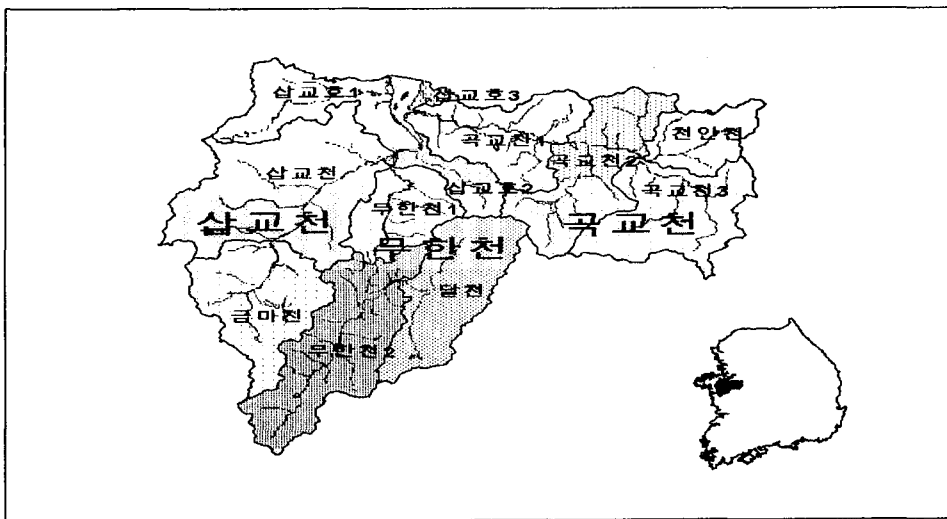


Fig. 2.1 Study area

### 3. 연구동향

최근 들어 수질환경문제는 그 범위가 광대하고 복잡하며 수질 관련 정보량이 급증하고 있어 기존의 수질관리 방식에 의한 정보처리만으로는 한계가 있는 실정이다. 따라서 이러한 방대한 양의 수질정보를 운용할 수 있는 시스템의 구축은 수질관리뿐만 아니라 수자원의 개발과 운용, 유지 등과 같은 보다 광범위한 측면에서 고려되어야 한다. 또한, 미국, 일본, 프랑스 등의 선진국에서는 구축된 수질정보관리시스템을 통하여 수질정보와 모델과의 연계를 통하여 보다 효율적인 유역 관리가 이루어지고 있다. 이러한 외국의 사례로서 미국의 환경청(EPA)내 정보관리국에서는 모델과 GIS 및 전문가시스템을 이용하여 수질을 비롯한 각 분야의 환경정보시스템을 구축하고 있으며, 일본과 유럽 등에서도 이와 유사한 시스템을 구축, 운용하고 있다(환경부, 1998). 덴마크의 Naranjo와 Larsen(1998)은 Alto Iguacu 강유역에 대하여 GIS와 수질 모델과의 연계를 통하여 기존의 수질모델에서 고려하지 못했던 비·점오염원의 공간적인 분포를 고려하여 오염부하에 대한 평가 및 유역관리를 시도하였다. Kang과 Bartholic(1994)은 미국 Michigan의 Sycamore Creek 소유역에서 농업지역의 비점오염원 관리를 위하여 GIS, 데이터베이스, 모델, 전문가시스템을 통합한 수질관리시스템을 구축하였다.

국내사례로서는 환경부의 G-7 사업에서 수행된 수질정보 종합관리시스템 구축 사례가 있으며(시스템공학연구소, 1995), 시화호유역 환경정보관리시스템 구축을 위한 연구사업에서는(한국수자원공사, 1997) GIS를 활용하여 시화호유역의 각종 도형자료와 오염원자료, 오염부하량자료, 수질 현황자료를 구축하여 전반적인 오염원의 현황 파악 및 수질개선 대안의 제시를 위한 자료의 분석에 활용되었다.

## 4. 연구 내용

본 연구의 목적은 농업용수의 종합적이고 효율적인 수질 오염관리를 위한 수질정보 종합관리시스템의 개발에 있으며 세부적으로는 오염원 데이터베이스의 구축과 수질모델과 GIS의 연계를 통한 전체 모델링 과정의 도식 및 수계별 오염확산의 파악, 그리고 지역 특성에 적합한 오염물질 삭감을 위한 처리대안시스템의 개발을 포함한다.

오염원 데이터베이스의 구성은 GIS를 기반으로 도형과 속성자료인 오염원 데이터베이스로 나누어 구축되었다. 구축된 오염원 데이터베이스로부터 필요한 정보를 추출하여 소유역별 배출부하량을 산출할 수 있도록 하였으며, 산출된 배출부하량은 수질모델의 입력자료로 활용될 수 있도록 하였다. 아울러 GIS와 수질모델의 연계를 통한 모델의 운용과 수질오염 예측과정의 도식이 가능하도록 하였다. 수질모델은 하천 수질모델인 QUAL2E와 호소수질모델인 WASP5의 두 모델을 병행하여 운용함으로써 대상구역의 하천과 삼교호 수질모의에 모두 적용할 수 있도록 하였다. 이러한 모델의 수질예측 결과를 바탕으로 대상구역의 목표수질을 만족할 수 있는 삭감량을 산정하여 소유역별로 배분하여 계층분석법에 의한 의사결정 기법을 이용하여 지역특성에 적합한 처리공법이 선정되도록 하였다.

### 4.1 시스템 구성

GIS를 기반으로 농업용수의 종합적이고 효율적인 수질오염 관리를 위하여 개발된 수질정보 종합관리시스템은 경제적인 측면과 사용자 편의를 고려하여 윈도우 기반의 GIS 도구를 이용하여 개발되었다. 시스템 구성은 크게 오염원 정보의 구축 및 검색과 모델과의 연계, 그리고 오염물질 처리대안선정을 위한 세부분으로 나뉘어진다. 오염원 정보의 구축 및 검색은 구축된 도형과 속성 데이터베이스로부터 GIS의 공간색인 기법을 이용하여 사용자가 원하는 정보를 쉽게 추출하여 검색 및 입력·수정·조회가 가능하도록 이루어졌다. 또한 이러한 기본적인 정보제공과 아울러 유역내 오염배출량을 파악하는 기능과 함께 산출된 오염배출량을 이용하여 대상구역의 오염확산을 예측하는 하천 및 호소 수질모델로 구성되었다. 이를 바탕으로 유역내 오염이 상대적으로 심한 지역을 파악하고 오염삭감을 위한 대안을 마련하는 처리공법선정시스템으로 연결되도록 하였다. 아울러 GIS와 모델 및 처리공법선정의 용이한 연계를 위한 기능들이 모두 GUI(Graphic User Interface)를 바탕으로 구현되도록 함으로써 사용자의 편의를 최대한 제공하도록 하였다(Fig. 4.1).

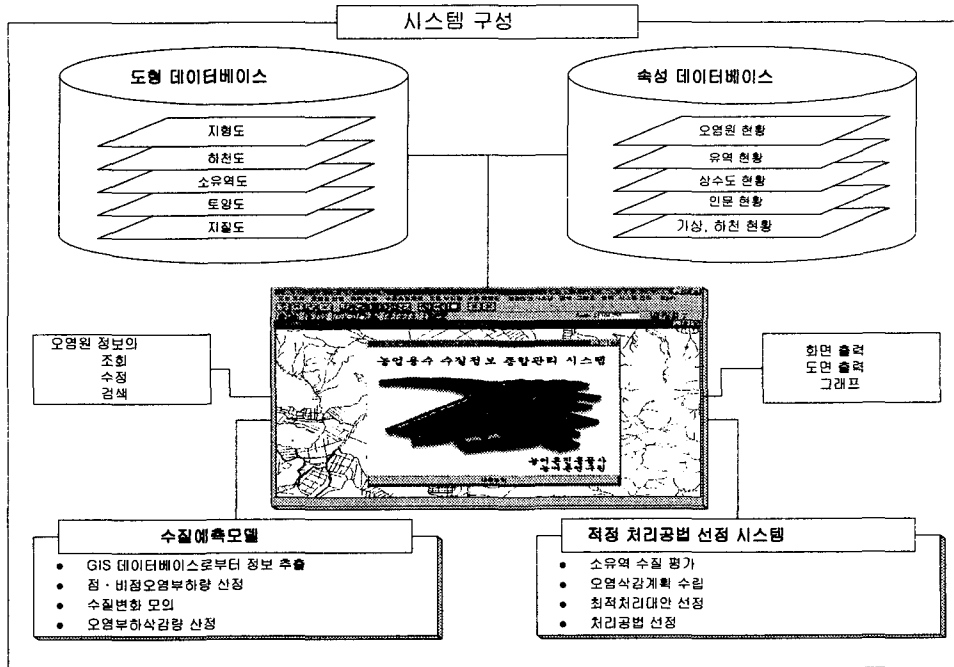


Fig. 4.1 Overall system structure

## 4.2 데이터베이스 구축

도형 데이터베이스는 지형도, 하천도, 소유역도, 행정구역도 등의 6가지 주제로 구분하였으며, 소유역도와 행정구역도는 디지털화되어 입력되었다. 지형도, 하천도, 토양도 및 지질도는 스캐닝에 의한 격자구조의 레이어를 벡터구조로 변환하여 위상구조를 정립한 후 공간 데이터베이스내에 주제별 레이어의 형태로 구축되었다(Table 4.1).

Table 4.1. Details of the graphic database

Theme	Scale (Resolution)	Custodian	Year produced	Content	Coverage type
Contour	1:5,000	NGI <sup>1)</sup>	1994	Elevation	Line
Hydrography	1:5,000	NGI	1994	Stream	Line
Sub-basin	1:5,000	NGI	1994	39 sub-basins	Polygon
Administrative boundary	1:56,000~ 1:105,000	Municipalities	1995	Ri · dong boundary	Polygon
Soil	1:50,000	RDC <sup>2)</sup>	1971	58 soil types	Polygon
Geology	1:250,000	KIGAM <sup>3)</sup>	1995	Vocanic rocks etc.	Polygon

1) NGI : National Geography Institute      2) RDC : Rural Development Corporation  
 3) KIGAM : Korea Institute of Geology, Mining and Materials

속성 데이터베이스는 유역의 오염원, 용수, 인문, 기상 및 하천 현황 등을 들 수 있으며, 속성정보의 구축에는 그래프와 수치입력, 사진입력이 포함되었다(Table 4.2).

Table 4.2 Details of the attribute database

Category	Item	Sub-Items	Collection Unit
Type of pollution sources	Types of nightsoil treatment	Number of households, Total population, Type of nightsoil collection	Town
	Livestock	Number of cattles, hogs, poultry	Village
	Land use	Number of cattles, hogs, poultry	Village
	Livestock wastewater	Field, Rice field, Residential area, Forestry, Meadow, Orchard, Total area	Village
	Industry	Name, Address, Business type, Product, Discharging wastewater quantity	Village
	Tour	Type of tour facility, Address, Number of tourist, Sewage quantity	Village
	Environmental facility	Facility name, Address, Capacity, Concentration of pre/post treatment, Removal rate	Village
Water usage	Water supply	Date, Temperature, Salinity, pH, DO, COD, BOD, SS, T-N, NH <sub>4</sub> -N, NO <sub>3</sub> -N, NO <sub>2</sub> -N, Chl-a, T-P, PO <sub>4</sub> , Cu, Pb, Mn, Zn	Location
	Water resource protection area	Total population, Water supply population, Supply rate, Exclusive water supply, Temporary water supply, etc(well, fountain), Capacity, Quantity of water supply	Town
	Intake source	Basin, Name, Territorial jurisdiction, Type of water resource, Appointed date, Related intake station	City/ County
General statistics	House	Basin, Name, Address, Type of water resource, Capacity, Quantity of water supply, Water supply population	City/ County
	Drain-pipe	Single house, Apartment, Tenement house, Number of household	City/ County
	Sewerage rate(area)	Length, Planned length, Supply rate, Conflux form, Divergent form	City/ County
	Sewerage rate(population)	Sum, Conflux form, Divergent form, Planned area, Disposal area, Other area, Supply rate	City/ County
	Meteorology	Total population, Conflux form, Divergent form, Sewage treatment area, Pipe linkage, Supply rate	City/ County
Stream	Geometric characteristic of watershed	Temperature, Precipitation, Evapotranspiration, Moisture, Wind speed	Month
	Width and slope of watershed	Stream name, Watershed area, Length, Average width, Shape Coefficient, Average elevation, Slope of watershed	Watershed
		Stream, Interval, Stream width, Slope of stream	Watershed

### 4.3 오염부하량 산정

유역의 오염부하량은 적용되는 원단위에 따라 큰 차이를 보일 수 있다는 점을 고려하여 본 연구에서는 환경부에서 발행된 전국호소환경현황조사 및 주요 호소환경영향권역설정보고서의 원단위를 적용하여 소유역별 오염배출부하량을 산정하였다(환경부, 1995).

전체 대상유역은 일차적으로 삽교천, 무한천, 곡교천의 세유역으로 분할되었으나 오염부하량의 계산을 위하여 전체 유역은 12개의 소유역으로 세분되었다. 소유역별 오염부하량을 산출을 위하여 우선적으로 소유역별 오염원 현황 파악을 위하여 행정구역과 소유역 경계를 중첩한 커버리지를 만들고 여기에 원단위를 적용하여 부하량이 산출되도록 하였다. 오염원 산출을 위한 세부적인 과정은 기존의 GIS를 기반으로 한 오염부하량 산출방식(김계현, 1997)에 의거하여 이루어졌다. 행정구역별 오염원 현황이 갱신될 경우에는 중첩한 커버리지의 자료 또한 갱신되도록 하여 오염부하량이 자동적으로 재계산되도록 하였다. 산출된 오염부하량은 해당 메뉴를 이용한 조회 및 검색이 가능하도록 하였다.

#### 4.4 모델과의 연계

GIS와 모델의 연계는 공통의 인터페이스를 기반으로 필요한 데이터 파일이 교환되도록 설계하였다. 수질예측을 위하여 하천에 대하여는 QUAL2E(Brown과 Barnwell, 1997)가 사용되었으며, 호소 수질에 대하여는 WASP5(Ambroseer Martin, 1993) 모델이 사용되었다. QUAL2E와 WASP5 모델의 병행사용은 호소뿐만 아니라 하천구간까지 확장하여 연구대상지역 전반에 걸친 수질 예측이 가능하였으며, 모델링 결과 또한 그래픽의 형태로 사용자에게 제공되어 하천구간별로 시간에 따라 출력된 그래프를 이용하여 수질예측 결과를 조회할 수 있도록 하였다. 이러한 GIS와 모델과의 연계는 시각적인 수질 모델의 운용이 가능하였고 모델결과의 이해가 용이하였다. 또한 모델결과는 처리대안 선정시스템에서 삭감량을 산정하기 위한 입력자료로 활용되었다.

#### 4.5 처리대안 선정

GIS의 기능을 이용하여 추출된 지역특성 및 사회, 인문, 경제적 현황 등에 대한 정보들과 모델 결과를 고려하여 대상유역의 최적의 처리공법을 선정되도록 하였다. 처리대안의 선정은 의사결정기법의 하나인 계층분석법(Harker, 1989)을 이용하여 농촌지역의 오염저감에 적합한 처리공법이 대안으로서 선정되도록 하였다. Fig. 4.2는 대상유역의 선택에서 지역특성에 따른 처리공법 선정에 이르기까지의 과정을 보여주는 것으로, 대상유역의 선택과 함께 목표수질 등급이 설정되면, GIS와 연계된 수질 예측 모델링을 통하여 현재의 수질을 입력받아 선택된 대상유역의 삭감량이 산정되도록 하였다. 이어서 소유역별 오염원 자료로부터 계산된 삭감가능한 오염부하량과 그 한계를 고려하여 인구, 가축, 산업, 관광, 양식장, 토지이용 등 오염원별로 BOD, TN, TP의 삭감량이 배분되도록 하였다. 삭감방식은 삭감량 할당에 있어서 원인제공자인 배출자에게 부담을 지운다는 측면에서 수질오염에 기여하는 정도가 클수록 더 많은 양의



삭감이 되도록 하였다. 오염원별 삭감량이 할당되면 소유역에 대해 오염물질 배출부하량, 분뇨처리형태, 상수원 보호구역 현황, 재정상황 등에 관한 자료를 오염원 데이터베이스로부터 제공받아 처리 우선지역을 결정하게 되며(환경부, 1998) 그 결과는 화면에 표시되도록 하였다. 이후 최우선순위로 선정된 소유역에 대하여 처리공법 선정을 위한 시스템이 구동되도록 하였다.

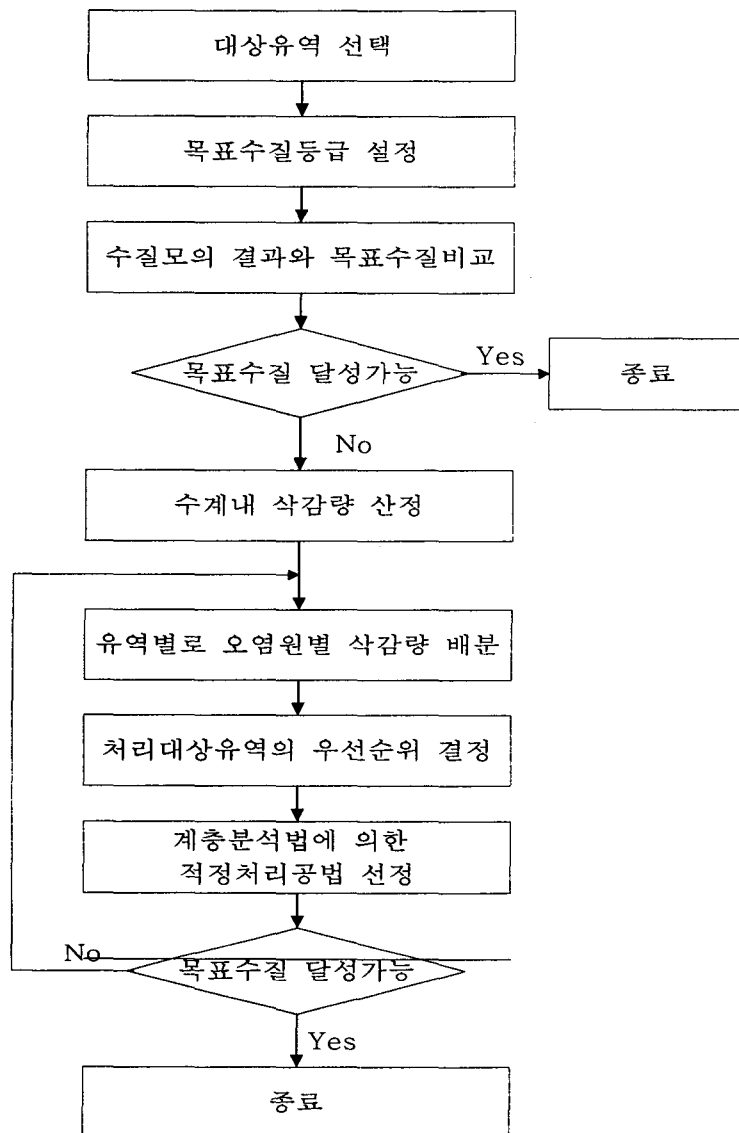


Fig. 4.2 Selection process of the optimal treatment method

처리공법의 선정에 있어서 실질적으로 지역특성과 의사결정자의 의향이 일치하는 방식을 합리적으로 선택하는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서 지역특성에 따른 처리공법의 선정을 강조하는 의사결정기법으로서 Satty(1980)에 의하여 제창된 계층분석법을 적용하였다. 본 시스템에 적용된 계층분석법은 다양한 평가기준과 지역특성을 고려하여 처리대상 유역의 정보를 시스템 상에서 제공받아 사용자가 이를 참조하여 처리공법을 선정하도록 하였다. 공법선정을 위한 최상위 평가요소로는 처리성능, 건설비용, 유지관리 및 환경영향이 포함되었다. 최상위 평가요소는 각각의 하부 평가요소(BOD 평균제거율, 부하변동 대응특성, 유지비용 등)에 의해 평가되어 Fig. 4.3과 같은 계층구조를 형성하며 이를 바탕으로 각 요소별 중요도 설정을 함으로써 지역특성에 적합한 처리공법이 선정되도록 하였다(한국건설기술연구원, 1985).

이러한 각 요소에 대한 중요도 설정은 Saaty에 의해 연구된 9점 척도(Table 4.3)를 적용하여 비교대상이 쌍을 이루어 판단되게 함으로써 복잡한 의사결정 문제를 단순화시켰다. 처리대안에 포함되는 처리공법으로는 표준활성슬러지법, 산화구법, 회분식활성슬러지법, 회전원판법, 접촉산화법, 장기폭기법, 살수여상법 등을 들 수 있다.

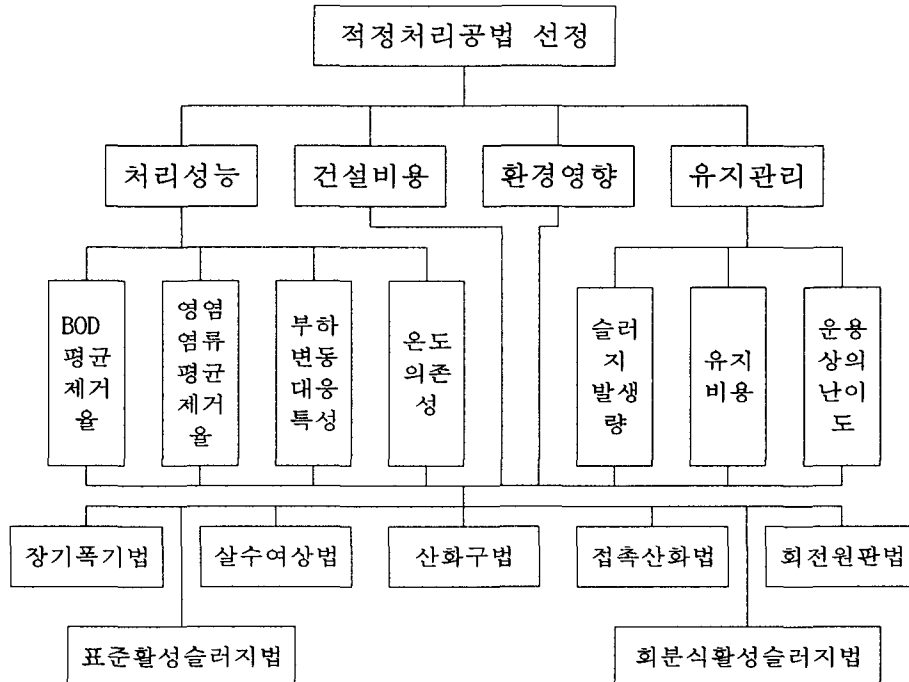


Fig. 4.3 A Hierarchical selection process of the treatment method

Table 4.3 Nine-point scales in the analytic hierarchy process

Value	Definition
1	Equally important and preferred
3	Moderately important and preferred
5	Strongly important and preferred
7	Very strongly important and preferred
9	Extremely important and preferred
2,4,6,8	Compromise to adjust

### 5. 연구결과 및 고찰

본 연구에서 개발된 시스템을 적용하여 연구 대상지역인 삼교호 유역을 크게 세유역으로 나누어 오염부하량을 산정한 결과 삼교천과 무한천 유역에서는 주로 가축에서, 그리고 곡교천 유역에서는 폐수 배출 및 인구에 의한 오염원 배출부하의 기여도가 높게 나타났다. Fig. 5.1은 유역을 12개의 소유역으로 세분하여 오염부하량을 산정한 결과로서 BOD 배출부하량을 그래프로 표시하였다. 여기에서 삼교천과 무한천 유역은 가축, 곡교천은 인구 및 폐수에 의한 BOD 배출부하량이 각각 상대적으로 크게 나타났으며 특히 천안천 소유역의 경우 인구가 집중적으로 거주하고 있음을 알 수 있다.

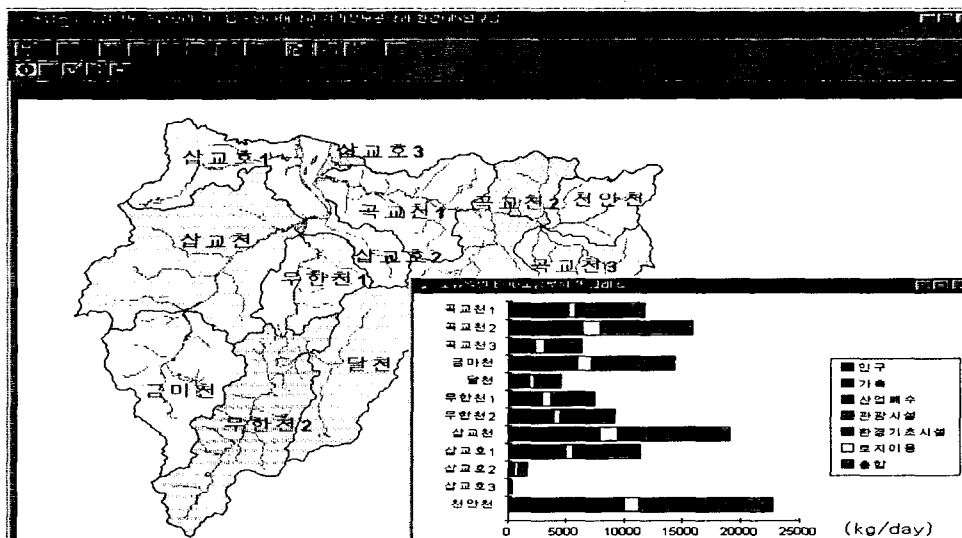


Fig. 5.1 Amount of the pollutant loadings of individual sub-basins

본 연구에서는 삼교천, 무한천 및 곡교천의 세유역 가운데 농촌지역인 삼교천 유역을 대상으로 본 연구에서 개발된 시스템을 적용하여 수질예측모델과 처리대안 선정시스템을 운용하였다. 시스템의 적용을 위하여 삼교천 유역은 11개의 소유역으로 세분되었으며, 각 소유역별로 오염부하량이 계산되었다. 계산된 오염부하량은 수문모델을 통해 산정된 유출량을 이용하여 본류로 유입되는 수질오염농도가 계산되었고, 계산된 수질오염농도는 모델의 입력자료로 제공되어 삼교천의 주요지점별 수질변화를 모의하였다.

Fig. 5.2는 QUAL2E 수질모델에 대한 BOD와 TN, TP에 대한 수질모의 결과를 하천구간별로 보여주고 있으며, Fig. 5.3은 WASP5의 수질모델의 운용결과로서 사용자가 선택한 삼교천의 세그먼트 16인 지점에 대하여 시간(1년)에 따른 DO 농도 변화를 보여주고 있다. 모델 운용의 결과로서 상류에서 하류를 거쳐 급격한 수질변화는 없었으며, BOD의 경우 하천 전체적으로 6.0mg/l 이하로써 농업용수 수질기준을 만족하는 대체로 양호한 수치였다. 농도는 상류에서 하류로 갈수록 감소하였으며 이는 BOD의 유입감소 및 하천의 자연정화기능에 의한

것으로 판단된다. 또한 호소내 DO의 농도도 전체적으로 기준치를 상회하는 양호한 상태를 보였다.

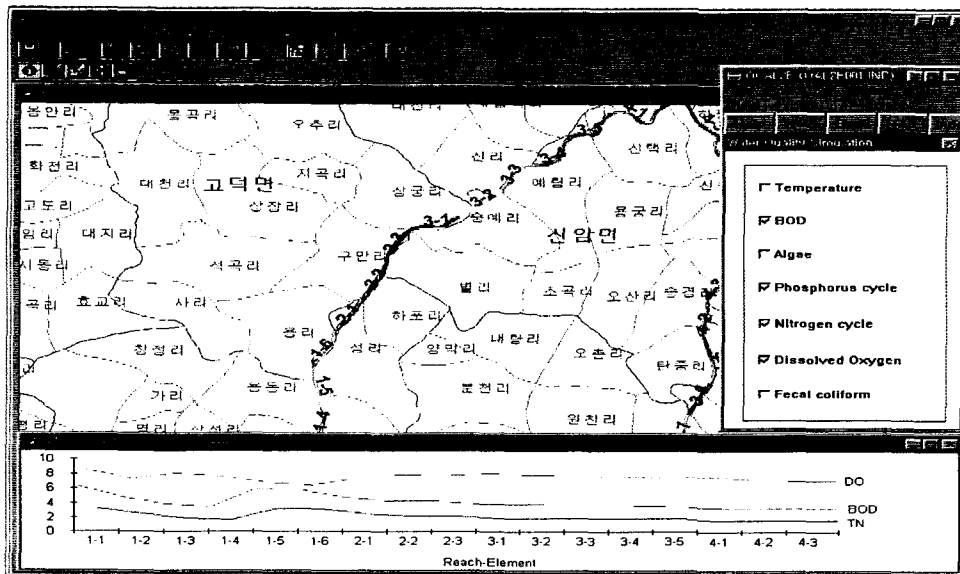


Fig. 5.2 Modeling results from QUAL2E

위에서 본 바와 같이 본 연구 대상유역은 수질이 대체로 양호했기 때문에 임의로 수질이 악화된 상황(9.7mg/l)을 설정하여 개발된 오염물질처리대안시스템의 적용가능성을 검토하였다. 대상유역이 농촌지역이기 때문에 이를 만족하기 위한 농업용수 수질등급(8mg/l)을 목표

수질로 설정하였고 그에 따라 Fig. 5.4와 같이 삭감량을 세부 소유역별로 결정하였다. 소유역별 처리대상 우선순위의 결정에 있어서는 기존의 환경부에서 조사된 방식을 기초로 하여 유역내 오염부하량 통계, 유역별 분뇨처리 현황, 상수원 보호구역 지정 여부, 유역에 속한 지방자치단체의 재정 자립도 등을 근거로 유역 우선순위를 결정하였다(환경처, 1993). 이러한 자료의 분석 결과 Fig. 5.5에서와 같이 석우천이 최우선 삭감대상 유역으로 결정되었다. 석우천을 대상으로 의사결정기법인 계층분석법을 도입하여 Fig. 5.6과 같이 처리공법 선정을 위한 처리 성능, 건설비용, 환경영향 등 주요 요소에 대한 평가요소의 중요도를 설정하였으며, 하부 평가요소도 동일한 방식으로 이루어졌다. 결국 Fig. 5.7과 같이 평가요소의 중요도 합성에 의한 결과로서 산화구법이 오염물질을 처리하는 대안으로서 가장 적절한 처리공법으로 선정되었다.

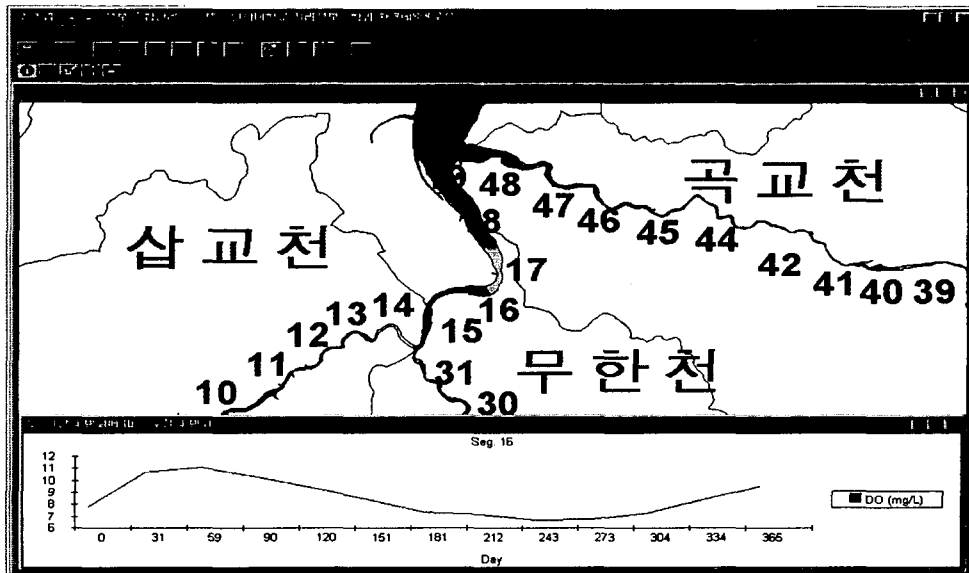


Fig. 5.3 Modeling results from WASP5

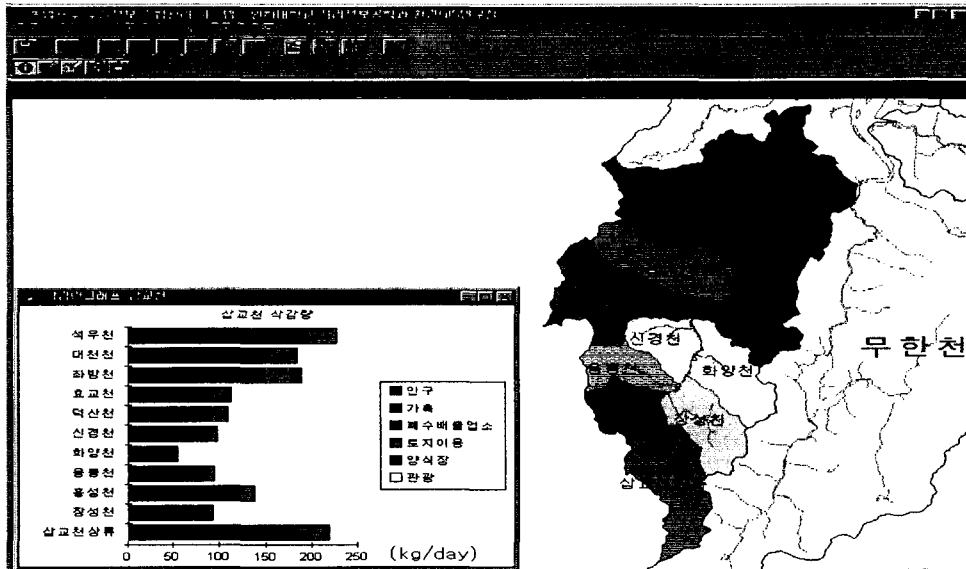


Fig. 5.4 Pollutant reduction amount of individual sub-basins

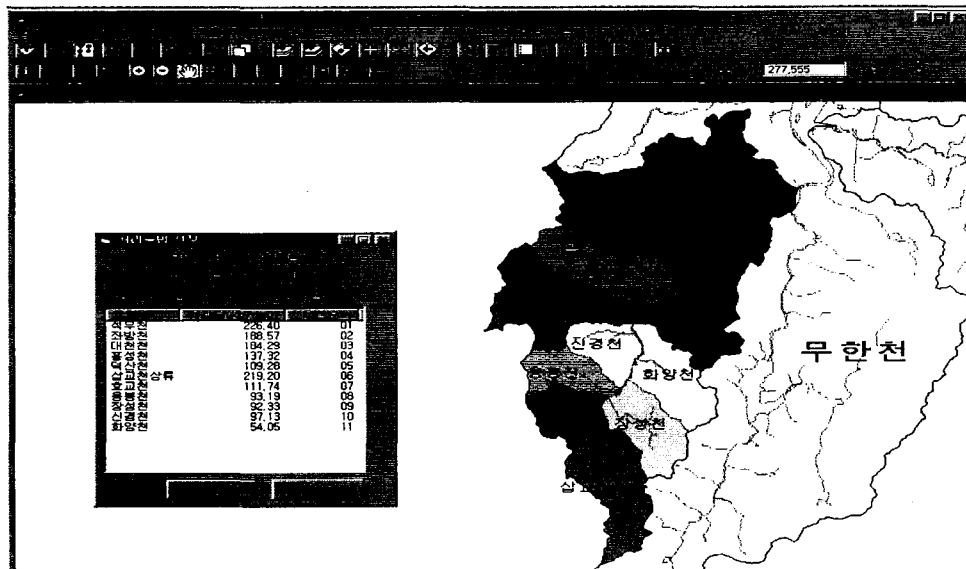


Fig. 5.5 Determination of the ranks of the sub-basins for pollutant reduction

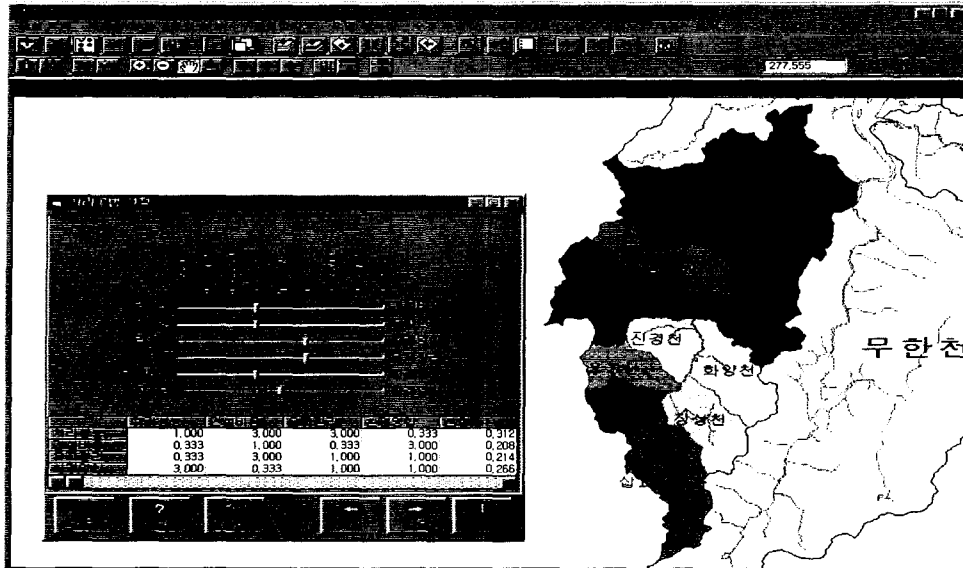


Fig. 5.6 Results of setting priorities for evaluation factors of individual treatment methods

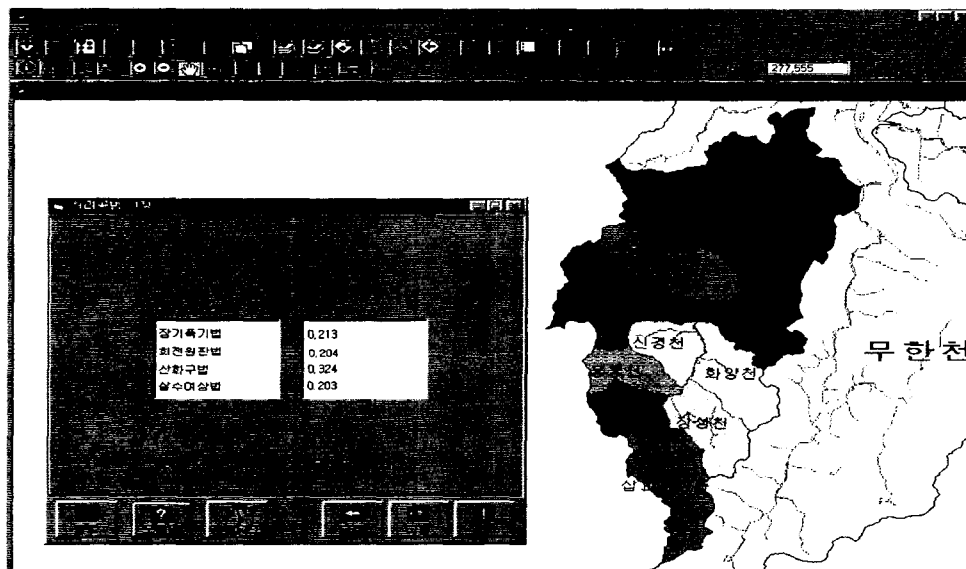


Figure 5.7. Selection of optimum treatment method considering the individual evaluation factors

## 6. 결론

농업용수 수질정보 종합관리시스템을 구축함으로써 환경관련 정보의 체계적인 구축과 더불어 유역별 오염원 현황 및 오염 부하량의 산정, 자료의 주기적 수정과 갱신이 용이하였다. 나아가 GIS와 모델을 연계함으로써 GIS 데이터베이스로부터 추출된 정보를 모델 입력자료로 이용하여 GIS 도식기능을 통한 수질모의 결과의 시각적이고 공간적인 파악이 가능하였다. 또한, 특정 수계내에서 발생된 오염발생량의 효율적 삭감을 위하여 지역특성에 적합한 처리공법의 대안을 제시하여 줌으로써 의사결정자들에게 편리한 지원 도구의 제공이 가능하였다. 아울러 GUI 기반에서 각종 오염원 정보의 검색과 조작이 용이하게 함으로써 전문적 지식이 없는 일반인도 사용할 수 있도록 하여 보다 개방된 환경을 통한 용이한 수질환경개선이 가능하도록 하였다.

향후 연구에서는 우선적으로 정확도 높은 오염원의 관리와 오염확산의 예측을 위하여 기존에 구축된 속성 및 도형 데이터에 대한 정확도의 검증과 향상에 대한 연구가 필요시 된다. 이를 위하여 경제성과 현실성이 높은 항공사진과 인공위성 영상 등의 혼합활용방안도 고려되어야 한다. 이는 토지이용 현황자료 등을 포함한 기존의 높은 데이터 구축비용을 절감할 수 있으며, 토지이용 현황자료의 정확도 향상에 따른 각종 분석의 정확도 및 신뢰성을 증가시킬 수 있을 것으로 사료된다. 또한 수질예측 모델링과 함께 유역내 수리·수문 모델링에 관한 연구도 추가되어 가능한 현실세계에 근접한 모델링의 결과 제시가 이루어져야 한다. 이를 위하여 보다 깊이 있는 GIS의 활용 방안의 연구와 함께 근래 미국 EPA 주도하에 이루어지고 있는 BASIN 모델 연구(U.S. EPA, 1998)와 같이 국내에서도 우리 여건에 적합한 GIS기반의 점 및 비점 오염원 관리를 위한 모델링 연구도 추진되어야 한다.

이러한 노력을 바탕으로 처리대안선정시스템과의 연계도 보다 이론적인 뒷받침과 함께 자료가 보완되어 효율성과 정확도가 높은 의사결정 지원기능이 향상되리라 보며, 나아가 전반적인 수질오염의 현황 파악 및 예측, 통제, 감시 기능의 지원을 위한 종합적인 수질정보관리시스템의 구현이 이루어지리라 본다.



## 참고문헌

- 금강환경관리청(1997) '96 금강중권역 수질오염현황.
- 김계현(1998) GIS 개론, 대영사. pp. 155~158.
- 김계현, 정동일, 김주완, 최정단, 성만규, 하성룡(1997) "Identifying critical areas of urban water pollution using a GIS." 대한환경공학회 영문학회지, 제2권,제2호, pp.73-81.
- 농림수산부(1992) 농어촌용수 환경관리에 관한 연구(I).
- 시스템공학연구소(1995) 수질정보 종합관리시스템 개발.
- 한국수자원공사(1997) 시화호 수질관리대책수립 연구.
- 한국건설기술연구원(1985) 폐수처리시스템 개발현황 조사연구.
- 환경부(1998) 환경정보화 장기종합계획(1998~2005).
- 환경부(1995) 전국호소환경 조사 및 주요 호소영향권역설정(2차) 보고서.
- 환경부(1998) 환경기초시설 투자 우선순위 결정 및 종합정비 기본계획 수립 연구.
- 환경처(1993) 수질관리를 위한 오염물질처리대안선정시스템 개발.
- Ambrose, R.B., and Martin, J.L.(1993) The Water Quality Analysis Simulation Program, WASP5. EPA.
- Brown, L.C., and Barnwell, T.O.(1987) The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS : Documentation and User Manual. EPA.
- Kang, Y., and Bartholic, J.(1994) "A GIS-based agricultural nonpoint source pollution management system at the watershed level." ASPRS/ACSM, pp.281~289.
- Harker, P.(1989) The art and science of decision making: The analytic hierarchy process. springer-verlag Berlin-heidelberg.
- Naranjo, E., and Larsen, H.(1998) "An integrated model to assess pollution loads with the use of GIS." Hydroinformatics 98, Balkema, Rotterdam, ISBN 90-5410983-1, pp. 409~417.
- Saaty, T. L.(1980) Multicriteria decision making : The analytic hierarchy process. McGraw-Hill, New York.
- U.S. EPA(1998) Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources, Version 2.0.