

# QUAL2E 모델을 적용한 GIS기반 농촌수질모의 시스템 개발

## Development of GIS based Agricultural Water Quality Simulation System using QUAL2E

이철용\* · 김계현

Cholyoung Lee, Kyehyun Kim

인하대학교 공과대학 지리정보공학과 박사과정\* khsakura82@inhaian.net

인하대학교 공과대학 지리정보공학과 교수 kyehyun@inha.ac.kr

### 요 약

이 연구는 우리나라에서 흔히 사용되고 있는 수질모델링 기법 중의 하나인 QUAL2E 모델을 GIS기반의 수질관리 시스템에 적용하여 농촌지역에서 활용 가능한 수질모의 시스템을 개발하는 것을 목표로 한다. 수질모의 시스템의 개발을 위해 기본적으로 지형도, 하천도, 행정구역도, 표준구역도 등으로 이루어진 도형 데이터베이스와 오염원 자료, 환경실측자료 등으로 이루어진 속성 데이터베이스를 구축하였다. 수질모의는 GIS 기반의 농촌수질모의 시스템 상에서 이루어지도록 설계하였으며 간단히 소유역별 배출 오염부하량을 조정함으로써 여러 조건에 대한 수질모의가 가능하다. 대상구역은 삼교천 상류부터 31km 구간이고 총 5개의 소유역을 포함한다. 수리계수 산정은 HEC-RAS를 사용하였으며 수리계수 산정결과를 시스템 상에 미리 저장하여 수질모의 시 자동으로 입력되어 사용된다. 소유역별 배출 오염부하량을 조정함으로써 수질변화 경향 차이를 시스템 상에서 쉽게 확인할 수 있었고, 다양한 삭감시나리오의 작성에 시스템이 활용 가능함을 확인하였다. 향후 연구에서는 체계적이고 효율적인 농촌지역 수질관리 지원을 위하여 수질모의 시스템을 이용한 실질적인 관리방안 마련 연구 및 시스템 보완 개발 연구가 뒤따라야할 것이다.

### 1. 서 론

지난해 한·미간 자유무역협상이 전격 타결됨에 따라 농업 분야에 있어서도 무한 경쟁 시대가 도래 하는 등 농업 환경에도 큰 변화가 일고 있다. 이런 변화는 농업인구의 도시 유입을 늘려 유희농지의 증가 및 경쟁력을 잃은 농산물의 생산 대신 농지전용과 난개발을 유도하는 등 농업 환경 악화에 큰 영향을 미치고 있다. 그리고 농업 환경의 악화는 다시 농촌지역 수질 악화에도 직접적인 영향을 미치고 있다. 특히 수질관리가 미흡한 지역의 경우 그 악화 정도가 급속도로 진행되고 있는데 농업용수는 물론 식수 보급에도 문제를 야기 시킬 지경에까지 이르고 있는 실정

이다. 따라서 농촌지역에 대해서도 도시지역 못지않게 체계적이고 효율적인 수질관리 방안 마련이 중요한 사안으로 대두되고 있다. 그러나 도시지역에 비해 농촌지역에 대한 수질관리 체계 구축이나 관련 연구는 실질적으로 부족한 것이 사실이다.

한편 수질관리에 필요한 환경정보는 대개 다양한 오염원 속성과 위치 및 시간으로 구성되어 있어 그 양이 방대하고 관리에 있어서도 동시에 처리해야만 하는 특성을 갖고 있다. 다시 말해 수질관리를 위한 환경정보의 관리나 분석은 단순한 문자 정보의 나열로써 이루어질 수 없다. 한편 이런 문제점에 대하여 GIS는 공간 및 속성의 특성을 동시에 반영한 조회 및 관리가 가능하기 때문에 앞에서 제기된

문제점을 극복할 수 있음은 물론, GIS와 수질모델의 연동을 통해 고차원적인 분석 지원도 기대할 수 있다. 따라서 GIS기반의 수질관리 및 모의 시스템 개발은 수질 관리에 있어 최적의 대안이 될 수 있다.

이런 배경에서 본 연구는 농촌지역의 효율적인 수질관리를 지원하는 GIS기반의 수질관리 및 모의 시스템을 개발하는 것을 우선 목표로 하고 있다. 이를 위해 우선적으로 농촌지역 오염원의 발생 및 배출 과정을 공간적으로 확인할 수 있는 GIS기반의 수질관리 시스템을 개발한다. 이후 개발한 수질관리 시스템을 기반으로 다양한 조건에 따른 주요하천에 대한 수질모의가 가능한 수질모의 시스템으로 발전 개발한다. 그리고 다양한 조건에 따라 실제 수질모의를 수행하고, 수질모의 결과를 수치지도 상에서 조희함으로써 수질변화 경향을 공간 위에서 확인한다. 마지막

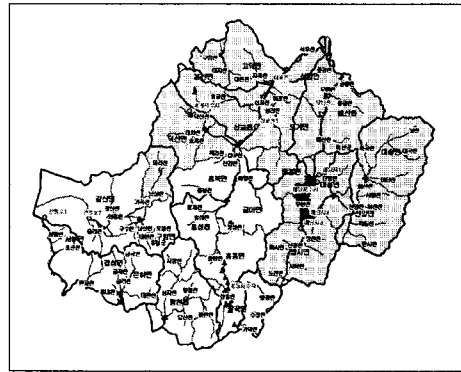


그림 1. 연구대상지역

바와 같이 충청남도 홍성군과 예산군을 포함하는 2개군, 4개읍, 8개면으로 전체면적은 약 987km<sup>2</sup>이다. 주요하천으로는 삼교천과 예산천이 있으며, 예산천의 중간지점에는 예당저수지가 위치하고, 삼교천의 중점에는 삼교호가 위치하고 있다. 그림 1에서 확인할 수 있듯이 연구대상지역은

표 2. 속성 데이터베이스 구축 내역

대분류항목	중분류항목	소분류항목
오염원현황 (리동 및 유역단위)	인구현황	인구합계, 하수처리지역 분류식인구, 하수처리지역 합류식인구, 하수처리지역 무처리인구, 하수미처리지역 수세식인구, 시가 하수미처리지역 수거식인구, 하수미처리지역 무처리인구 (시가, 비시가), 가정인구, 영업인구
	가축현황	한우, 젓소, 돼지, 개, 말, 양, 사슴, 가금 등 사육두수 (허가대상, 신고대상, 신고미만)
	토지이용현황	논, 밭, 임야, 대지, 목장, 도로, 골프장, 기타 등 지목별 면적
	폐수배출업소현황	업소명, 소재지, 업종코드, 주요생산품, 가동여부, 물공급량, 물사용량, 폐수발생량(발생량, 방류량, 증발량, 재이용량, 위탁처리량, 해양투기량) 배출수(BOD, COD, SS, TN, TP)
수질현황	환경기초시설현황	각 처리장별 시설명, 소재지, 시설용량, 처리리, 측정월, 방류량, 반입량(분뇨, 정화시설오니), 유입수수질(BOD, COD, SS, TN, TP), 방류수수질(BOD, COD, SS, TN, TP)
	수질현황	측정소이름, 측정월, 유량, 수온, 대장균수, 투명도, pH, BOD, COD, SS, TN, TP, DO 등

으로는 여러 수질모의의 결과를 비교하여 정량적인 오염물 삭감시나리오 작성에 대해 간단히 고찰하고자 한다.

## 2. 연구내용

### 2.1 연구대상지역

연구의 대상지역은 그림 1에서 보이는

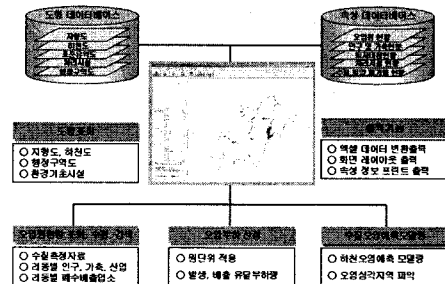


그림 2. 시스템 구성도

표 1. 도형 데이터베이스 구축 내역

구분	구축내용	축척	레이어 형태	자료 출처
기본도	지형도	1:25K	Line	국토지리정보원
	하천도(주요, 세부)	1:25K	Polygon	국토지리정보원
	행정구역도	1:5K	Polygon	국토지리정보원
	건물	1:25K	Polygon	국토지리정보원
	도로	1:25K	Line	국토지리정보원
	지류	1:25K	Line	국토지리정보원
	등고선	1:25K	Line	국토지리정보원
주제도	공통유역도	1:25k	Polygon	국토해양부
	표준유역도	1:25k	Polygon	국토해양부
	농업단지	-	Point	환경부
	상수원보호구역	-	Point	환경부
	배출시설 제한구역	-	Point	환경부
	폐수배출 허용기준	-	Point	환경부
	산업단지	-	Point	환경부
	정수장	-	Point	환경부
	양수장	-	Point	환경부
	분류처리시설	-	Point	환경부
	매립장	-	Point	환경부
	매립장침출수처리시설	-	Point	환경부
	하수종말처리시설	-	Point	환경부
	농공단지폐수처리시설	-	Point	환경부

서해안으로 직접 유입되는 하천과 삼교천을 통해 방류되는 하천 등 다양한 배출경로를 가지고 있어 체계적인 수질관리가 필요한 지역이다.

## 2.2 시스템 설계 및 구성

GIS기반의 농촌수질관리 및 모의를 위한 시스템 개발을 위한 기본적인 시스템 구성은 그림 2와 같다. 개발을 위하여 미국 마이크로소프트사의 Visual Basic 6.0와 미국 ESRI사의 MapObject 2.3를 사용하였으며 Windows XP 체제에서 구동이 가능하게 제작하였다. 데이터베이스는 크게 도형 데이터베이스와 속성 데이터베이스로 나뉘어 이루어져 있는데, 도형 데이터베이스에는 대상지역에 대한 지형도, 하천도, 표준유역도 등의 자료가 포함되어있고, 속성 데이터베이스에는 환경부에서 조사한 오염원 및 오염부하량 자료, 수질모의를 위한 수리자료 등이 포함되어있다. 자세한 데이터베이스 구축내역은 표 1과

2와 같다.

시스템의 주요기능으로는 오염원 현황관리, 오염부하량 조회, 수질오염예측 모델링, 도형조회, 출력기능이 있다. 각 기능들은 GIS기반에서 수질관리를 위한 다양한 환경자료의 관리, 편집, 분석을 지원한다. 각 기능들은 시스템 상에 주제별로 나뉘어져 메뉴로 정리되었으며 메인화면에서 쉽게 실행할 수 있도록 설계하였다.

수질오염예측을 위한 수질모의 프로그램으로는 미국에서 개발한 QUAL2E 모델 프로그램을 사용하였다. QUAL2E 모델은 하천수질예측에 중요한 유체이동과 오염물질 확산을 1차원적으로 해석하고, 많은 점오염원과 비점오염원, 하천의 지류 및 용수취수 등을 다양하게 정상상태로 모의할 수 있다. 모의대상 수질항목은 DO, BOD, 수온, 부유조류 등의 총 15가지 수질인자이고, 1차원 운반 및 확산식에 의해 모의결과가 얻어진다.

QUAL2E 모델을 이용한 수질오염예측 대상구간은 삼교천 상류유역 본류 31km 구간으로 설정하였고, 구간모식도는 그림

4와 같다. 대상구간은 1km 간격의 요소로 분할하여 수질변화 경향을 1km 간격으로 31개의 요소로 확인할 수 있도록 하였다. 본류 모의 구간에 대한 수리계수는 HEC-RAS를 이용하여 구하였으며 시스템 상에 저장되어 있어 수질모의 시 자동으로 입력되어 사용된다. 유역은 총 5개의 소유역으로 분할하였고, 각 소유역별로 산정한 배출부하량은 본류의 유입 오염부하량으로 사용된다. 사용자 편의를 위하여 유입 오염부하량은 간단히 화면상에서 수정이 가능하도록 설계하였다. 그림 5는 이와 관련한 초기치 입력 인터페이스를 나타내는데 다양한 경우에 대한 수질모의가 가능하며 모의결과도 즉시 확인할 수 있다. 또한 각 오염원별 유입 오염부하량 입력치의 수정도 가능한데 이는 오염원에 따라 차등적인 삭감시나리오의 작성을 가능하게 한다.

한편, 수질모의를 위한 배출오염부하량 산정은 2004년 기준의 환경부에서 실시한 오염원조사 자료를 이용하여 이루어졌다. 전체 오염부하량 산정 과정은 환경부 수질오염총량관리제도 기술지침에 제시된 방법을 따랐다. 생활계, 산업계, 축산계, 양식계의 4가지 점오염원과 토지이용계의 1가지 비점오염원에 대한 BOD, T-N, T-P의 발생오염부하량을 표준 소유역별로 산정하였다. 이후 다양한 배출 경로의 특성을 반영하여 각 소유역의 배출오염부하량을 산정하였고 이를 수질모의 기본 초기 입력치로 설정하였다. 또한 만약 초기 입력치에 대한 특별한 수정작업을 하지 않을 경우 자동으로 위의 산정 결과를 초기 입력치로 하여 모델 초기파일을 작성하도록 시스템을 개발하였다.

### 3. 연구결과 및 고찰

GIS기반의 농촌수질모의 시스템을 이용하여 삼교천 본류 31km 구간에 대하여 수질모의를 수행하였다. 두 가지 경우에 대하여 수질모의 결과를 획득하였고, 각 경우에 대한 초기 입력치는 표 3과 같다.

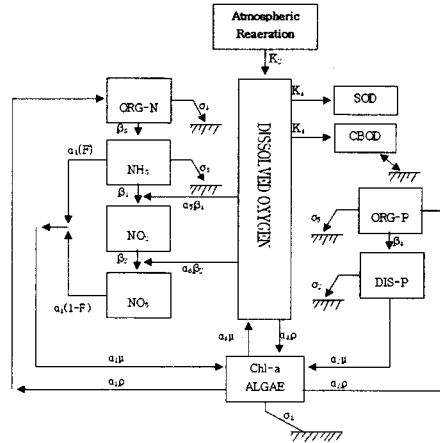


그림 3. QUAL2E 모듈 구성도

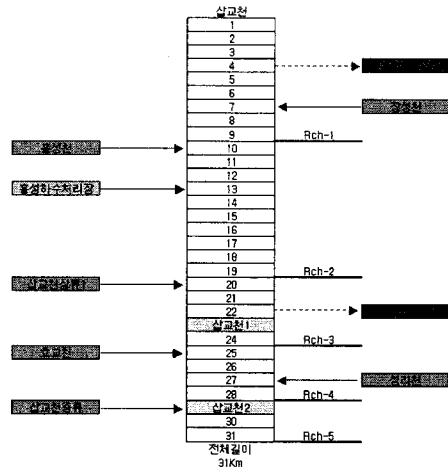


그림 4. 수질모의를 위한 구간모식도

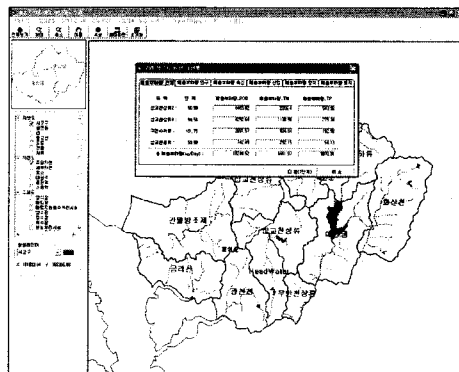


그림 5. 소유역별 오염배출부하량 입력

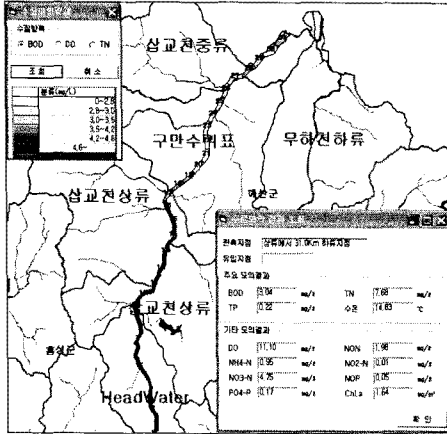


그림 6. 시나리오 1의 수질모의 결과

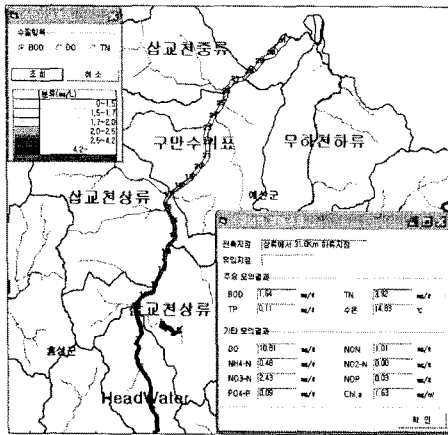


그림 7. 시나리오 2의 수질모의 결과

표 3의 시나리오 1은 2004년 실측 오염원 자료를 이용하여 산정한 배출오염부하량을 나타내고, 시나리오 2는 시나리오 1의 모든 오염원에 대해 배출오염부하량을 절반 삭감하였을 경우의 배출오염부하량을 나타낸다. 그림 6과 7은 각 경우에 대한

모의결과를 하천도 상에서 조회한 모습을 나타내며, 그림 8은 두 가지 경우에 대한 전체 구간에서의 수질변화를 그래프로 표현하여 비교한 것이다.

그림 8에서 확인할 수 있듯이 삼교천 본류 구간의 최종 배수지점인 31km의 요소지점에서의 BOD 수치는 삭감 이전인 시나리오 1의 경우에서 약 3ppm 이었고, 절반의 삭감 이후인 시나리오 2의 경우에서 약 1.5ppm 이었다. 만약 수질관리 담당자가 31km 요소지점에서의 최종 BOD 수치를 항상 2ppm 이하로 유지시켜야 한다면 시나리오 2는 하나의 삭감시나리오로써 관리대안이 될 수 있을 것이다. 또한 그림 7에서 확인할 수 있듯이 수질변화 경향도 수치지도 상에서 쉽게 확인할 수 있었고 각 요소지점에서의 다양한 수질인자의 수질모의 결과 역시 조회가 가능하였다. 이런 공간기반의 조회기능은 수질과 인근 공간과의 관계 분석을 용이하게 하여 공간과 수질과의 관계를 분석하고 규명하는 데 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

한편, 이 연구는 농촌지역에 대한 효율적인 수질관리를 지원하는 GIS기반의 수질관리 및 모의 시스템을 개발하는 것을 주요 목표로 하였다. 따라서 다양한 시나리오의 작성을 통한 최적관리방안 마련에 관해서는 이 연구에서 깊이 있게 다루지 않았다. 그러므로 향후 연구에서는 실제로 다양한 시나리오를 적용하고 경제성 분석 등을 가미한 결과 분석을 통해 수질관리를 위한 정량적인 최적관리방안 마련 연구가 뒤따라야 할 것이다. 그리고 궁극적으로는 최적관리방안을 현실에 실제로 반영하여 실질적인 농촌지역 수질관리와

표 3. 수질모의를 위해 소유역별 오염배출부하량 입력치

소유역 구분	시나리오 1			시나리오 2		
	BOD [kg/day]	T-N [kg/day]	T-P [kg/day]	BOD [kg/day]	T-N [kg/day]	T-P [kg/day]
삼교천상류2	8483.82	2056.40	543.92	4241.91	1028.20	271.96
삼교천상류1	4292.64	1178.58	279.34	2146.32	589.29	139.67
구만수위표	2691.57	934.84	192.92	1345.79	467.42	96.46
삼교천중류	742.49	292.15	54.13	371.25	146.08	27.07
배출오염부하량 합계	16210.52	4461.97	1070.31	8105.27	2230.99	535.16

## 참 고 문 헌

1. 국립환경연구원, 수계오염총량관리 기술지침, 2002.
2. 김계현, 환경GIS, 문운당, 2007.
3. 농업기반공사, 새만금유역 GIS 도입을 위한 환경자료 DB구축(I), 1999.
4. 엄명철, 조국현, 이광야, 김계현, "GIS 하천수질정보를 활용한 수질모델링시스템 개발", 한국관개배수학회지, Vol.9, No.2, pp.51-58, 2002.
5. 이혁, "GIS기반의 통합유역관리시스템 구축 방법에 관한 연구", 석사학위논문, 인하대학교, 2005.

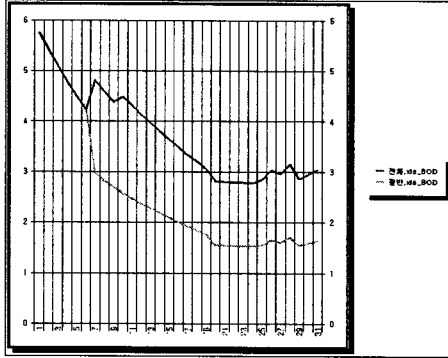


그림 8. 수질모의 결과 비교 그래프

개선을 이룩해야 할 것이다.

## 4. 결론 및 향후 연구

이 연구에서는 QUAL2E 모델 프로그램을 적용한 GIS기반의 농촌지역 수질모의 시스템을 개발하였고, 실측 오염원자료를 이용하여 산정한 오염부하량을 모델에 적용하여 수질모의를 수행하였다. 수질모의 결과 조희를 통해 기 개발된 시스템이 수질관리 분야에서 적극적으로 활용될 수 있음을 확인할 수 있었다. 특히 본 연구에서 개발된 시스템은 다양한 삭감시나리오의 작성을 지원하였고, 삭감시나리오에 따른 수질모의가 가능하였다. 이런 기능은 수질관리 측면에서 다양한 분석 및 의사결정을 지원할 것으로 예상되어 향후 활용도가 높을 것으로 예상된다.

그러나 본 연구는 GIS기반의 농촌지역 수질관리 및 모의를 지원하는 시스템의 개발에 그 목표를 하고 있어 다양한 조건을 적용한 삭감시나리오와 그에 따른 수질모의 결과 분석에는 미흡한 실정이다. 따라서 향후 연구에서는 시스템을 이용하여 다양한 조건에 따른 수질모의를 수행하고, 다각도의 분석을 통해 최적관리방안을 제시하는 연구가 뒤따라야 할 것이다. 또한, 연구 결과는 현실세계에 반영되도록 하여 농촌지역의 실질적인 수질관리과 개선에 기여도가 높을 것으로 예상된다.