

GIS와 WASP5 수질모델의 유기적 통합에 관한 연구

최성규* · 김계현**

A Study on the Systematic Integration of WASP5 Water Quality Model with a GIS

Seong-Kyu CHOI* · Kye-Hyun KIM**

요 약

오늘날 환경공학분야에서는 지표상의 유체와 오염물질 흐름에 대한 화학적·생물학적 프로세스를 보다 정확하고 효과적으로 파악하기 위하여 GIS 기법을 적용하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나, 공간적으로 표현되는 지표오염부하와 호수·하천 프로세스 간의 연계는 상대적으로 미흡한 실정이다. 이러한 연속성의 부재로 인하여 공간적인 오염원 특성과 수질모델의 연계 방안이 요구되고 있다. 본 연구의 목적은 GIS 소프트웨어인 Arcview와 USEPA의 수질 모델인 WASP5를 양방향으로 연계하여 오염부하와 수질모델의 입·출력 관계를 구현하는 것이다. 연구의 범위는 연구 동향 및 사례 분석, GIS를 이용한 점오염부하 및 비점오염부하 산출, WASP5 모델링, GIS와 모델의 연계 등을 포함한다.

본 연구는 GIS를 이용한 전처리(수질모델 입력 자료 생성), WASP5 수질 모델링, GIS를 이용한 후처리(수질 모델링 결과 출력)의 절차로 수행되었다. 전처리 단계에서는 소유역별 오염부하량을 산정한 후, 격자 분석 등을 통하여 모델링의 기본 단위가 되는 세그먼트를 분할하고 각 세그먼트로 유입되는 경계농도를 산출하였다. 그리고 WASP5 수질 모델링 단계에서는 실측치를 이용하여 모델을 보정하고 모델링 결과를 분석하였다. 마지막으로 후처리 단계에서는 모델 결과를 GIS 형태의 자료로 변환하고, 이를 그래프나 주제도 형태로 표현하였다. 본 연구에서 구현된 인터페이스는 수질 관리를 위한 기본적인 환경을 제공하기 때문에 수질 정책 수립이나 의사 결정에 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

주요어 : 수질모델, 오염원, WASP5, ArcView, Avenue

* (주) 유니세코 기술연구소 연구원

** 인하대학교 지리정보공학과 부교수

ABSTRACT : In today's environmental engineering practice, many technologies such as GIS have been adopted to analyze chemical and biological process in water bodies and pollutants movements on the land surface. However, the linkage between spatially represented land surface pollutants and the in-stream processes has been relatively weak. This lack of continuity needs to develop a method in order to link the spatially-based pollutant source characterization with the water quality modeling. The objective of this thesis was to develop a two-way(forward and backward) link between ArcView GIS software and the USEPA water quality model, WASP5. This thesis includes a literature review, the determination of the point source and non-point source loadings from WASP5 modeling, and the linkage of a GIS with WASP5 model. The GIS and model linkage includes pre-processing of the input data within a GIS to provide necessary information for running a model in the forms of external input files. The model results has been post-processed and stored in the GIS database to be reviewed in a user defined form such as a chart, or a table. The interface developed from this study would provide efficient environment to support the easier decision making for water quality management.

Keywords : Water Quality Model, Pollutant source, WASP5, ArcView, Avenue

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

GIS는 환경 모델과 결합되어 환경 모델의 입·출력 자료 획득, 구성, 분석, 도시할 수 있는 기능을 제공함으로써 그 적용성을 널리 인정받고 있다. 환경 모델링에 GIS를 사용하면 지형적 특성을 보다 쉽고 정확하게 획득할 수 있으므로 유역 분할, 강우 자료를 이용한 유출 해석, 비점오염부하 계산 등에 적용될 수 있다(Saunders, 1996; Newell, et al., 1992; Maidment, et al., 1996).

현재 환경공학 분야에서는 GIS 기법을

적용한 다양한 연구가 활발히 진행되고 있으나, 공간적으로 표현되는 지표오염부하와 호수·하천 프로세스간의 연계는 상대적으로 미흡한 실정이다. 이러한 연속성의 부재로 인하여 공간적인 오염원 특성 파악이 용이한 GIS와 수질모델의 연계 방안이 요구되고 있다. 호수·하천(담수 호 및 유입 하천)의 수질 예측을 위해서는 QUAL2E, WQPRS, Multiple Box 등의 모델보다는 호소, 강, 하구에 대하여 부정류적으로 1, 2, 3차원 해석이 가능한 WASP5 모델이 적합하다. 본 연구의 목적은 GIS 도구인 ArcView와 USEPA의 수질 모델인 WASP5를 양방향으로 연계하여 오염부하와 수질모델의 입·출력 관계를

구현하고, 수질 정책 수립이나 수질관리를 위한 기본적인 통합환경을 제공하는데 있다.

1.2 연구 범위

본 연구는 GIS를 이용한 전처리(수질모델 입력 자료 생성), WASP5 수질 모델링, GIS를 이용한 후처리(수질 모델링 결과 출력)의 절차로 수행되었다. 전처리 단계에서는 소유역별 오염부하량을 산정한 후, 모델링의 기본 단위가 되는 세그먼트를 분할하고 각 세그먼트로 유입되는 경계농도를 산출하였다. 그리고 WASP5 수질 모델링 단계에서는 실측치를 이용하여 모델을 보정하고 모델링 결과를 분석하였다. 마지막으로 후처리 단계에서는 모델 결과를 GIS 형태의 자료로 변환하고, 이를 그래프나 주제도 형태로 표현하였다.

2. 연구 동향

2.1 기초이론 (WASP5 수질 모델)

WASP5 모델은 WASP(Di Toro et al., 1983)의 수정모델이며, 수체 및 저층을 포함한 유역에 대한 동수역학적으로 모의가 가능하며, Great Lakes의 부영양화 및 PCB 오염 문제, Potomac Estuary의 부영양화, James River Estuary의 kepone 오염, Delawares Estuary의 휘발성 유기물 오염 등의 수질문제를 해결하는데 성공적으로 적용된 바 있다.

WASP5 모델은 DYNHYD5, EUTRO5, TOXI5로 구성되어 있다. 생태학적 부영양화 모델인 EUTRO5는 동수역학 모델의 결과를 파일로 받아 부피, 유량, 수심, 유속 등의 자료를 받아 해석하며, 예측 수질 항목으로는 부영양화와 관련된 8개 항목(NH₃-N, NO₃-N, PO₄-P, Chl-a, CBOD, DO, O-N, O-P)과 보존성 물질인 염도를 계산한다. EUTRO5는 질량 보존의 법칙에 기초를 두고 있으며 모델링 및 출력 통제, 세그먼트, 이류 및 분산에 의한 수송, 경계조건 농도, 점 및 비점오염원, 역학적 변수·상수 및 시간함수, 초기 농도 등의 7개 그룹의 입력자료를 필요로 한다.

EUTRO5는 물질수지식을 기본으로 하며, 흐르는 유체의 미소체적에 대한 물질수지식을 전체 요소로 확장하고, 수송 및 오염부하량, 변환 상수 값을 나타냄으로써 차별화할 수 있다. 이를 수직 및 수평 방향의 수질이 균질한 1차원의 단순식으로 가정하여 x, y에 대하여 적분하고 유속과 확산에 의한 이동항, 오염부하량, 변환항을 정리하면 다음 식과 같다. EUTRO5는 One-step Euler 방법을 이용하여 수치계산을 수행한다.

$$\frac{\partial(AC)}{\partial t} = -\frac{\partial(U_x AC)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}(E_x A \frac{\partial C}{\partial x}) + AS_T$$

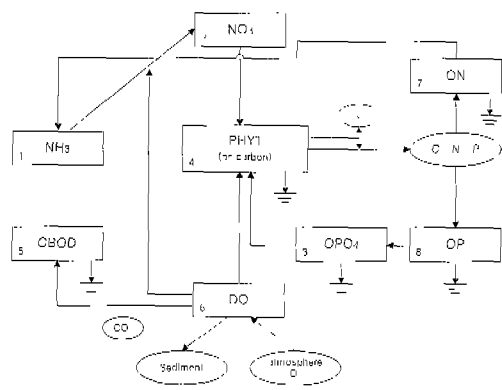
A : 단면적 (m²)

Q : 유량 (AUx) (m³/sec)

ST : 총오염부하 변화율 (SI+Sb+S_k) (g/m³ · day)

부영양화 모델인 EUTRO5는 PEM(Thomann and Fitzpatrick, 1982)의 간략화 모델이다. 이 모델은 탄소화합물의 산화, 질

산화작용 및 하상에서의 산소요구량과 산소부족시의 탈질작용, CO₂, NH₃, NO₃를 이용한 조류의 산소 생성과 사멸 등의 각 요소간 상호작용을 생태학적으로 고려한 모델로서 조류농도를 중심으로 각 상호작용을 다루고 있다.



[그림 1] WASP5 모델에서 고려되는 수질 변수

EUTRO5 모델은 6가지의 복잡도 수준에 따라 다양한 모델링이 가능한데, 지배 방정식은 수질 항목에 따라 기초 물질수지식과 여기에 반응과정을 나타내는 식들을 결합하여 항목별 오염도를 계산한다. BOD와 DO만을 계산할 때에는 질소, 인산, 식물성 플랑크톤의 계산단계를 생략할 수 있다.

EUTRO5 모델에서 고려되는 수질인자는 [그림 1]에 나타난 바와 같이 모두 8개로 NH₃-N, NO₃-N, PO₄-P, Chl-a, CBOD, DO, Organic-N, Organic-P 등이다.

2.2 GIS와 WASP을 연계한 연구 사례

유역 관리를 위하여 토지이용에 의한

오염부하를 파악하고 이에 따른 저수지의 수질을 예측하는 연구가 타이완에서 발표되었다(Chen, et al., 1995). 이 연구에서는 모델 개발을 위하여 GIS를 어떻게 이용했는지 정확하게 열거하지는 않았지만, 부영양화를 모의하기 위하여 몇 개의 방정식과 WASP5의 EUTRO5를 사용하였다.

버팔로에 있는 뉴욕주립대학과 수질 모델링 전문기업인 Limno-Tech에 의하여 유역관리 및 모델링 시스템인 GEO-WAMS가 개발되었다(Depinto, et al., 1994). GEO-WAMS는 Buffalo River 일부 지역의 용존산소를 모의하기 위하여 ArcInfo와 WASP4를 연계하였으며 공간분석, 모델 시나리오 관리, 모델입력자료 설정 및 편집, 모델입력자료 포맷 변환, 모델결과 판독, 모델 보정 등의 기능을 제공하고 있다. Tim과 Jolly의 연계 방식 구분에 따르면 GEO-WAMS는 부분 통합 정도의 연계라고 볼 수 있으나 모델과 ArcInfo의 연계가 다소 복잡한 면이 있다.

3. 연구 방법

3.1 연구 절차

본 연구는 GIS와 수질 모델인 WASP5를 연계하기 위한 것이며 본 연구의 과정은 크게 3 단계로 구분할 수 있다. 그림 3-1은 본 연구의 진행 과정인 1) GIS를 이용한 전처리(pre-processing), 2) WASP5 수질 모델링, 3) GIS를 이용한 후처리(post-processing)를 보여주고 있다.

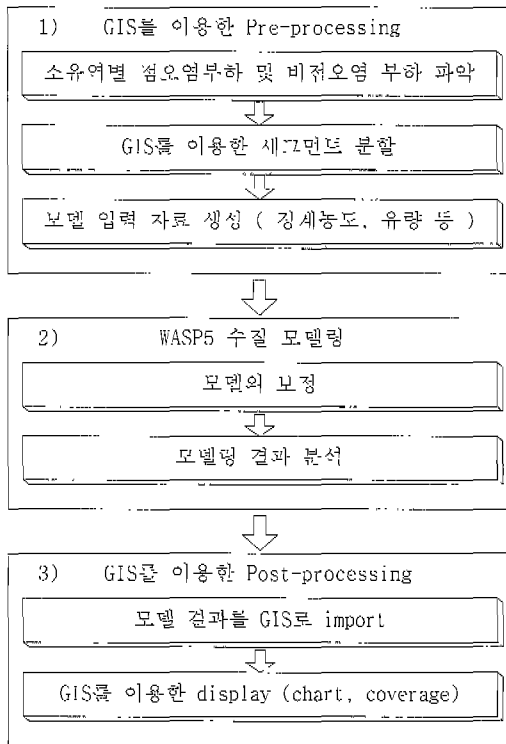
3.2 연구 지역 및 자료

삼교호 유역은 우리나라의 중서부에 위치하고 있으며, 충청남도의 천안시, 아산시, 예산군, 당진군, 홍성군, 연기군, 청양군 등 2시 5군의 전체 또는 일부를 포함하고 있다. 그리고 삼교천 유역, 무한천 유역 및 곡교천 유역으로 이루어져 있다.

삼교천은 충남 홍성군 장곡면 기러기재 (표고 344.9 m)에서 발원하여 홍성읍과 삼교읍을 거쳐서 무한천, 곡교천 등의 지류와 합류하여 삼교호로 유입하며, 유역 면적은 1,939.6 km²이다[그림 2].



[그림 3] 연구 대상 지역 (삼교호 유역)



[그림 2] 연구 절차 및 흐름

삼교호 유역은 도시지역과 농촌지역이 잘 조화되어 있으며 오염원이 다양하기 때문에 오염발생의 증가가 예상되는 지역이다. 본 연구에서는 오염원 현황 파악 및 모델 입력 자료 생성을 위하여 지형도, 하천도, 소유역도, 행정구역도 등의 도형자료와 인구, 가축, 토지이용, 수질 측정자료 등의 속성자료를 사용하였다(<표 1>, <표 2>).

<표 1> 도형 자료 내용

주제	축척	구축 내용
지형도	1 : 5,000	등고 간격 5m
하천도	1 : 25,000	높은 차수와 하천과 건천까지 구축
소유역도	1 : 5,000	39개 소유역으로 구분
행정 구역도	1 : 56,000 ~ 1 : 105,000	법정 리·동 단위 구축

<표 2> 속성 자료 내용

분류	세부 항목	수집 단위
인구	수거식 인구, 수세식 인구	읍·면
가축	한우, 젓소, 돼지, 가금	리·동
폐수배출 업소	업소명, 소재지, 종별, 업소명, 주생산품, 폐수발생량, 폐수배출량	업소별
토지이용	전, 답, 대지, 임야, 목장, 과수원, 기타	리·동
양식장	종류, 소재지, 면허면적, 시설면적	업소별
하천 수질	지점, 시기, 수온, 염도, pH, DO, COD, BOD, SS, TN, TP, Chl-a 등	실측 지점별

3.3 점오염부하 및 비점오염부하 산정

유역 내에 존재하는 오염원으로부터 발생된 오염물질은 수체에 도달하는 과정에서 유역의 특성이나 지천의 물리·화학·생물학적 작용과 같은 다양한 자정작용에 의하여 그 양이 변화된 후에 최종적으로 분류에 유입되며, 수질오염은 수계로 유입된 오염물질의 부하량과 유량에 의해서 그 정도가 결정된다.

오염부하는 원칙적으로는 발생원마다 발생량과 발생형태가 다르므로, 대상에 포함되는 모든 발생원에 대하여 각각의 오염부하 발생량을 실측하여야 하나, 발생원 모두에 대해 계속적으로 오염부하량을 실측하는 것은 불가능하다. 또한 원단위에 대한 각 기관의 조사·연구는 각기 고유의 목적을 가지고 있기 때문에 반드시 보편적으로 적용될 수 있는 것은 아니다. 본 연구에서는 발생부하 원단위에 정화조나 처리시설등의 처리에 의한 부하량

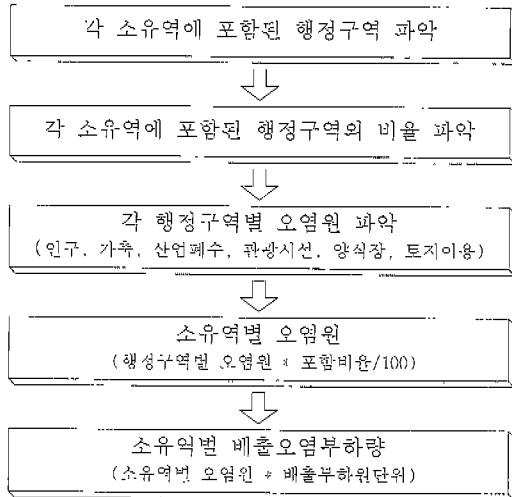
삭감정도를 고려하여 산출된 배출부하 원단위를 사용하여 배출부하량을 산정하였으며, 원단위에 대한 정확한 규정이 마련되어 있지 않은 상황이므로 환경부에서 1995년 6월에 발간된 전국 호소환경 현황조사 및 주요 호소영향권역설정(2차) 보고서의 원단위를 참고하였다.

1) 세부 소유역별 오염부하량 산정

유역에 존재하는 오염원은 배출점이 일정한 점오염원과 배출점을 결정하기가 어려운 비점오염원으로 구분할 수 있다. 점오염원에 의한 오염 부하량은 파악하기가 용이하나 비점오염원에 의한 오염부하량은 강우에 따른 표면 유출에 의하여 수계에 유입되는 경우가 많아 발생부하량 뿐만 아니라 수계에 직접적인 영향을 주는 유달부하량의 파악도 어렵게 한다. 또한 수질 오염원에 대한 정보가 특정 수계에 영향을 줄 수 있는 유역 단위로 이루어져야 함에도 불구하고, 인구분포 등과 같은 점오염원 자료나 토지이용 현황과 같은 비점오염원 자료는 행정구역별로 수집·관리되기 때문에 이들 정보를 유역별 정보로 전환하는 작업이 필요하게 된다.

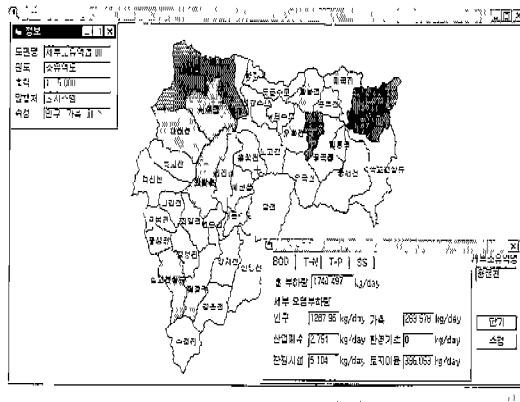
소유역별 오염부하량을 산출하기 위해서는 소유역별 오염원 현황을 파악하여야 한다. 그러나 행정구역 경계와 유역 경계가 일치하지 않기 때문에 중첩한 주제도의 단위 폴리곤별 오염원 현황은 면적비를 고려하여 구하게 된다. 행정구역별 오염원 현황과 소유역도를 중첩하여 얻어진 소유역별 오염원 현황자료에 배출 원단위를 곱하여 오염부하량을 산정하는 계산

절차는 [그림 4]와 같다.



[그림 4] 소유역별 배출부하 계산 절차

소유역별 배출부하는 인구, 가축, 산업 폐수, 환경기초시설, 관광시설등의 점오염 원과 토지이용현황등의 비점오염원으로 구분되어지며, 이렇게 얻어진 배출부하량은 유달부하량 및 경계농도 계산에 이용되어진다 [그림 5].



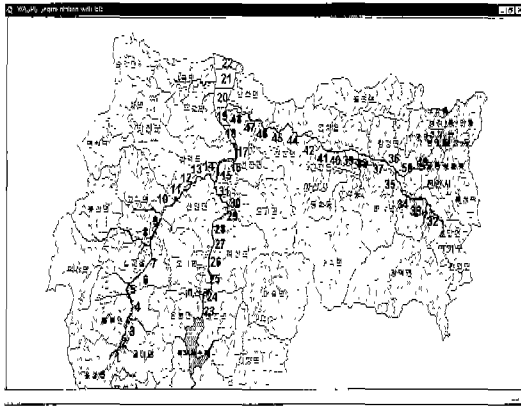
[그림 5] 소유역별 배출부하 계산 결과

3.4 GIS를 이용한 세그먼트 분할

GIS로부터 추출된 지형/수문 정보를 이용하면 유역의 수질 모델링에 필요한 세그먼트 분할 작업을 보다 객관적인 관점에서 수행할 수 있다. 이렇게 얻어진 각 세그먼트는 길이, 단면적, 산포도 등의 모델 변수가 균일하고, 세그먼트 내의 흐름은 완전 혼합된다는 가정을 가진다. 각 세그먼트가 분할되면 점오염부하 및 비점오염부하의 유입농도가 산출되어지며, 물리/화학적 매개변수들과 함께 WASP5의 입력자료로 사용되게 된다.

1) 등간격 세그먼트 분할

삼교호 유역의 WASP5 모델은 호소뿐만 아니라 하천 구간까지 확장하여 연구 지역 전반에 걸친 수질 예측을 가능하게 하였다. 등간격 세그먼트 분할을 위하여 1:5,000 축척의 도형자료(하천도, 소유역도 등)와 하천 단면 자료 등이 사용되었다. 삼교호 유역은 2Km 간격의 50개의 세그먼트로 분할되었으며, 각 세그먼트는 단면폭, 표면적, 수심, 체적 등이 동일한 모델링의 기본 단위로 사용되어진다. 세그먼트의 분할은 ArcInfo GRID 모듈의 LINEGRID 명령으로 만들어진 하천 GRID의 셀 개수를 참조하여 ArcView에서 하천도를 분할하는 방식으로 얻어졌기 때문에, 실질적인 작업은 벡터 기반으로 이루어졌다.[그림 6]



[그림 6] GIS를 이용한 세그먼트 분할

<표 3> 삼교호 지역의 세그먼트별 수리특성

세그먼트 번호	길이 (km)	단면폭 (m)	표면적 (m ²)	수심 (m)	체적 (m ³)
1	2	92.58	185,154	0.2	36,915
2	2	23.66	47,318	0.2	8,532
3	2	30.40	60,807	0.2	11,281
4	2	72.66	145,325	0.2	27,933
5	2	84.87	169,736	0.4	62,347
6	2	71.27	142,543	0.4	49,309
7	2	38.70	77,405	0.4	21,881
8	2	67.72	135,433	0.6	62,230
9	2	154.46	308,930	0.6	164,679
10	2	188.95	377,902	0.8	219,961

2) 세그먼트별 수리 특성 파악

삼교호 지역의 세그먼트는 하천도, 하천 단면자료 등을 이용하여 수리특성에 따라 분할하였기 때문에 단면폭, 표면적, 수심, 체적 등의 자료가 포함되어 있다. <표 3>은 삼교호 지역의 50개 세그먼트 중 1~10 세

그먼트의 수리특성을 보여주고 있다.

3.5 수문 특성 파악

삼교호 지역은 삼교천, 무한천 및 곡교천으로 나누어지며, 삼교천의 유역면적은 616.63km², 유로연장은 42.1km이고, 무한천의 유역면적은 460.38km², 유로연장은 48.3km이며, 곡교천의 유역면적은 557.81km², 유로연장은 49.5km이다. 삼교천은 충남 홍성군 장곡면 기러기재(표고 344.9 m)에서 발원하며, 홍성읍과 삼교읍을 거쳐서 무한천, 곡교천 등의 지류와 합류하여 삼교호로 유입된다. 유역의 평균 고도는 약 60m, 유역의 평균경사는 약 20%이고 비교적 평야가 많은 편이다.

삼교천 유역내에는 우량 관측소가 3개소, 수위 관측소가 6개 있으며, 이외에도 기상청, 농어촌진흥공사 및 수자원공사 등에서 관리하는 다수의 수문관측소가 있다. 수질 모델링을 위한 유량자료로는 기상청 아산측후소의 1997년의 강우량 자료를 이용하였다[그림 7].

1997년 월별 평균 강우량 (단위 : mm)												
Year	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
1997	233	283	507	693	678	1202	2649	2722	1340	511	489	241

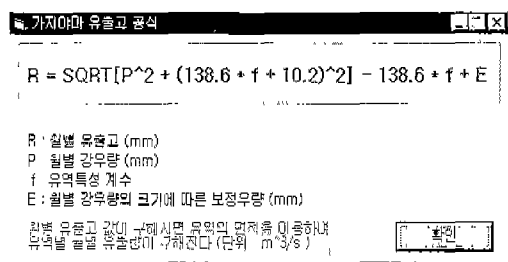
[그림 7] 아산 측후소의 1997년 월평균 강우량

1) 소유역별 유출량 파악

우리나라의 경우, 농업용수 개발과 관련된 유출 해석시에는 전통적으로 가지야마 공식에 의존하여 왔으며, 최근 들어 컴퓨터 기반 모델에 의한 유출 해석이 수행되고 있다. 본 연구에서는 유출 해석에

중요한 인자로 사용되는 토지이용도가 구축되지 않았고 대상 유역 면적이 2600km²를 넘지 않으므로, 가지야마 공식을 이용하여 월별 유출량을 산출하였다.

아산 측우소의 1997년 월별 평균 강우량과 오염부하량 등에 가지야마 유출고 공식을 적용하여 소유역별 유출량을 파악하였으며, 유역의 특성계수인 f값은 유역의 경사와 유출능을 대표하는 상수로써, DEM으로부터 얻어낸 유역경사와 하천도로부터 얻어낸 농수로 패턴, 유로연장, 토지이용현황(경작지, 임야) 등을 이용하여 산정하였다. 하천 분류 부근 농경지(평야지대)의 특성 계수는 대부분 1.0 (경작지 및 임야가 많고 경사가 완만하여 손실수량 중에 해당)이 부여되었다. [그림 8]은 각 세부 소유역의 유출고를 구하는데 사용된 가지야마 유출고 공식을 세부적으로 보여주고 있다.



[그림 8] 가지야마 유출고 공식

각 소유역의 월별 유출량은 유역특성을 고려한 가지야마 유출고 공식에 의해 산출된 월별 유출고에 유역의 면적을 곱하여 얻어진다[그림 9].

[그림 9] 세부 소유역의 월별 유출량

2) 유달부하량 및 경제농도 계산

어떤 유역에서 오염물질이 발생되어 하천에 유입될 때 대상 하천의 유역에서 실측된 유입 부하량은 그 유역의 오염원에서 발생되어 배출되는 부하량에 비해 작게 나타난다. 이때 실측된 유입부하량에 대한 배출부하량의 비를 유달율이라 한다. 유달율은 유역 면적, 인구 현황, 축산 등의 유역 특성에 의해 많은 영향을 받는다. 그리고 지천에서 유입되는 오염물질은 화학 및 생물학적인 자정작용에 의하여 감소되며, 이러한 작용에 의해 감소되는 비율을 정화율이라 한다. 유달율과 정화율을 합하여 유출율이라 하는데, 유출율은 지역에서 발생된 오염물질이 호소로 유입되는 비율을 말한다.

삽교호 유역에서 각 하천의 유달율은 상류쪽의 대표 지점을 선정하여 다음 식을 이용하여 계산하였다.

$$R = \frac{T}{P}, \quad T = C \times Q \times \alpha$$

- R : 유달율(%)
- T : 유달부하량(kg/day) ; 실측 수질
- P : 배출부하량(kg/day) ; 유역별 오염원
- C : 유입수 농도(mg/l)
- Q : 유입수량(m³/s)
- α : 단위 환산 계수

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
01 남양천	11.17	10.11	00.63	08.86	07.55	07.26	05.52	05.50	06.00	00.09	00.03	10.48
02 문정천	01.26	03.26	00.24	01.36	01.44	01.43	00.44	00.43	00.72	01.97	02.24	03.75
04 함곡천	09.47	07.30	00.00	00.50	04.30	04.34	02.25	02.24	02.70	05.10	05.01	07.68
05 양정천	07.12	05.35	04.76	02.95	03.49	04.43	01.73	01.72	02.16	04.03	04.76	06.71
06 도당수리	04.59	03.79	02.93	01.75	02.16	02.12	01.05	01.04	01.34	02.58	02.93	04.00
07 평안천	23.99	15.73	01.27	15.09	17.17	17.01	11.52	11.48	13.02	13.50	01.27	21.03
08 덕유천	05.99	05.05	04.67	02.00	03.49	03.49	01.85	01.81	02.27	04.17	04.07	05.39
09 경향수고	03.23	02.81	02.19	01.24	01.55	01.52	00.71	00.71	00.93	01.88	02.10	00.00
10 본부천	02.76	02.29	01.73	00.95	01.19	01.19	00.90	00.90	00.90	01.48	01.73	02.48
11 새터천	05.91	04.95	03.95	02.12	02.71	02.64	01.15	01.14	01.26	03.34	03.95	05.36
12 도당천	03.84	03.54	02.88	01.71	02.02	02.00	01.17	01.15	01.49	02.97	02.89	03.97
13 양정천	06.36	04.57	03.27	04.76	04.60	01.52	02.29	02.27	02.30	03.59	03.27	04.84
14 양정천	06.42	04.85	03.96	02.28	02.74	02.70	01.40	01.47	01.82	03.51	03.93	05.03
15 룡정천	05.90	21.37	15.34	08.75	11.14	10.01	04.05	04.00	05.33	13.62	15.34	21.37
16 강구천	03.25	07.18	05.75	03.88	04.30	04.31	02.51	02.50	03.00	05.18	05.75	07.87
17 공포천	05.09	04.44	03.80	02.52	02.88	02.86	01.90	01.08	02.16	03.30	04.80	04.81
18 고도천	09.07	09.38	08.49	03.39	04.30	04.30	01.45	01.44	02.23	05.65	05.48	09.87
19 강방천	05.76	04.92	03.80	02.39	02.05	02.03	01.54	01.53	01.89	03.42	03.80	05.16

[그림 10] 소유역별 BOD, TN, TP 월별 유달 농도

실측 유량과 유달율의 관계를 이용하여 선형 회귀식을 구함으로서, 각 하천별 유달율을 추정해 볼 수 있다. 이렇게 소유역의 월별 유달농도가 계산되면 WASP5 모델 입력자료를 위한 경계농도를 계산할 수 있다. [그림 10]과 [그림 11]은 소유역의 월별 유달농도와 모델 입력자료를 위한 경계농도 계산과정을 보여주고 있다.

3.6 WASP5 수질 모델의 입력자료 생성

유역의 수리·수문학적 특성과 오염 배출원의 특성을 파악한 후에는 대상 유역을 하나의 시스템으로 가정하여 여러 변수의 상관관계를 수리학적 수질 모델로써 예측하는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 삼교호 유역의 수질을 파악하기 위하여 USEPA의 WASP5의 부프로그램인 EUTRO5 수질 모델을 사용하고 있으며, WASP5의 수질 예측 결과는 다시 GIS 자료 형태로 표현되어 다른 자료들과 함께 유역 관리를 위한 중요한 자료로 사용되게 된다.

본 연구에서는 GIS 자료들로부터 얻어진 오염부하 자료 및 수리·수문 자료를 바탕으로 WASP5 수질 모델의 입력 자료를 자동으로 생성할 수 있도록 하였다. WASP5의 입력 자료를 생성하기 위해서는 각 입력 자료에 대한 세부사항을 파악하여야 한다. WASP5 모델을 이용하면 모의하고자 하는 대상 지역의 변화상황을 쉽게 모의할 수 있으며, 시간에 따라 변화하는 유동, 확산, 점 또는 비점오염원의 유입, 그리고 경계조건 등을 나타낼 수 있다.

하천	항목	유달에 따른 유달율 계산식 (x: 유량, y: 유달율)
삼교천	BOD	$y = 0.0402 + 0.0427x$
	TN	$y = 0.0978 + 0.2786x$
	TP	$y = 0.0266 + 0.0721x$
무한천	BOD	$y = 0.0412 + 0.0742x$
	TN	$y = 0.0254 + 0.2023x$
	TP	$y = -0.0558 + 0.1355x$
곡교천	BOD	$y = 0.0412 + 0.0742x$
	TN	$y = 0.0254 + 0.2023x$
	TP	$y = -0.0558 + 0.1355x$

[그림 11] 각 하천별 유달율 계산식과 경계농도 계산 과정

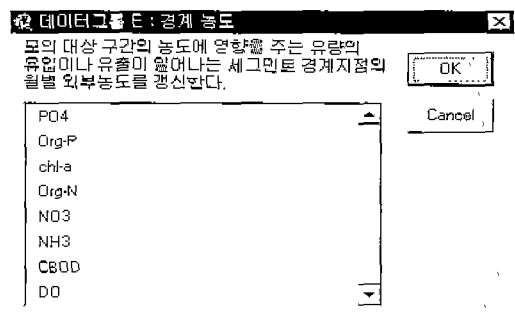
1) WASP5의 입력 자료 생성

WASP5의 입력자료는 총 10개의 그룹으로 나누어져 있으며, 세부사항은 <표 4>와 같다.

<표 4> WASP5의 입력 자료

Group	입력 자료
A	Model Identification, Simulation Control
B	Exchange Coefficients
C	Volumes
D	Flows
E	Boundary Concentrations
F	Waste Loads
G	Parameters
H	Constants
I	Time Functions
J	Initial Conditions

GIS를 통하여 구축된 자료들과 수질 관련 자료를 이용하면 유량, 경계 농도와 같은 WASP5 입력 파일을 자동으로 생성할 수 있다.

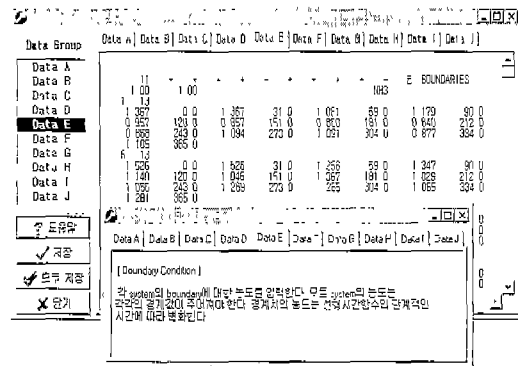


[그림 12] WASP5 입력 파일 생성을 위한 인터페이스

입력 파일의 생성을 위한 GUI는 [그림 12]와 같다. EUTRO5 모델링에 필요한 정

적 변수와 매개변수를 설정하는 등의 과정을 통하여 전체적인 입력 자료가 생성되어진다. 그리고, 유량과 경계농도 등의 자료는 GIS 자료들과 Avenue를 통하여 자동으로 생성된다.

이렇게 생성된 모델 입력 자료는 각 데이터 그룹별로 조회할 수 있으며 이를 직접 편집하는 것도 가능하다. 이러한 인터페이스를 통하여 전체 데이터 그룹을 조회할 수 있으며, 각 데이터 그룹에 대한 간단한 도움말도 제공한다[그림 13].



[그림 13] WASP5 입력 자료 조회 및 편집을 위한 인터페이스

3.7 삼교호 유역의 WASP5 모델링

연 3회 실측한 수질 분석 결과와 WASP5 모델의 사용자 지침서를 이용하여 모델에 사용된 반응상수를 보정하였다. 반응상수를 보정한 결과 질소의 질화반응과 관계가 있는 K12C는 WASP5 사용자 지침서 범위의 약 1/10 정도가 되었으며, 탈질화반응과 관계가 있는 K20C는 지침서보다 조금 작은 값인 0.07을 사용하였다. CBOD와 관련이 있는 KDC는 지침서의 범위보

다 약간 큰 값인 0.25를 사용하였으며, 플랑크톤 성장과 관계가 있는 KMNG1과 KMPG1은 0.5와 0.05를 적용하였다. K1D와 K1G는 각각 지침서보다 적은 0.01과 0.002를 사용하였다.

3.8 GIS를 이용한 모델 결과의 출력

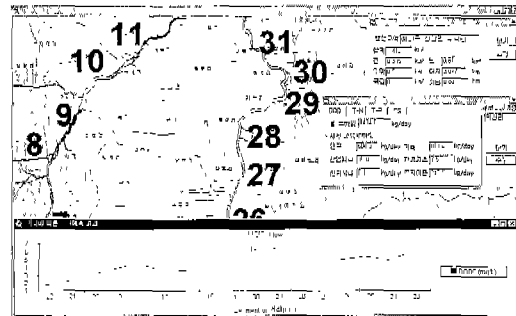
수질 모델링 결과가 산출되면 이를 GIS 자료로 변환하여 여러 수질 관련 자료들과 같이 표현할 수 있다. 수질 모델링 결과와 오염원현황, 오염부하량, 하천 수질 등의 다양한 수질 환경 자료들을 동시에 표현하고 분석한 결과는 지역의 효율적으로 관리를 위한 중요한 정보로 사용되게 된다.

모델 결과를 GIS 형태의 자료로 변환하기 위해서 *.EDF의 포맷을 파악하고 이를 테이블 형태의 자료로 변환한 다음, 세그먼트 등의 도형자료와 연계하였다.

EUTRO5의 모의 결과는 *.EDF 파일에 저장되며 각 세그먼트에 대한 42개의 역학적 변수가 저장되어 있다. WASP5는 DOS 운영체제에서 수행되는 모델로서 GIS와 직접적인 연계가 불가능하기 때문에 모델 결과를 GIS 자료 형태로 변환하기 위해서 ArcView의 스크립트 언어인 Avenue를 사용하였다.

모델 결과가 GIS 자료로 변환되면 주제도 형태나 그래프 형태로의 출력이 가능하다. [그림 14]는 무한천의 세그먼트 30 지점의 토지이용현황, 해당 구역의 오염부하량 등의 수질 관련 자료와 무한천 본류의 모델링 결과를 동시에 보여주고 있다. 이러한 인터페이스를 통하여 수질 결

과 및 수질 관련 자료를 다양한 형태로 표현할 수 있으므로 수질 환경과 관련된 작업을 매우 효율적으로 수행할 수 있다.



[그림 14] GIS를 이용한 무한천 본류의 수질 결과 표현

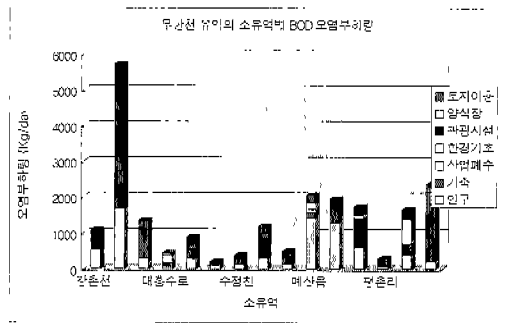
4. 연구 결과 및 고찰

4.1 점오염부하 및 비점오염부하 산정

삼교호 유역은 삼교천, 무한천, 곡교천으로 나눌 수 있으며, 본 연구에서는 이를 39개의 소유역으로 세분하였다. 본 연구에서 구현된 인터페이스를 이용하면 오염원 현황 조회 및 오염부하량 산정을 매우 효과적으로 수행할 수 있었다. [그림 15]는 무한천 유역의 각 소유역별 BOD 배출부하량을 보여주고 있으며, 총 BOD와 각 오염원의 기여도를 쉽게 파악할 수 있다. 이러한 자료는 수질 모델링의 입력 자료를 위한 기초 자료뿐만 아니라 각 유역의 수질 현황을 파악하는 유용한 자료로 사용된다.

본 연구의 인터페이스를 이용하면 오염원 현황 자료로부터 오염부하량을 자동

산정할 수 있으나, 단순히 오염원에 원단위를 곱하여 산정하였기 때문에 사용한 원단위에 많은 영향을 받는다는 문제점이 있다.



[그림 15] 무한천 유역의 각 소유역별 BOD 배출부하량

본 연구지역에는 실측 원단위가 없으므로 환경부에서 발간된 전국 호소환경 현황조사 및 주요 호소영향권역설정(2차) 보고서(환경부, 1995. 6)의 원단위를 참고하여 배출 원단위를 산정하였다.

현재까지는 실측 원단위가 없는 경우, 참고한 원단위의 출처를 명확히 하고 오염부하량을 산정해 왔다. 이러한 이유로 환경부에서는 오염총량관리계획수립지침을 마련하였으며, 이 지침에는 실측 원단위가 없을 경우의 발생 부하량 산정 방법과 배출 부하량 산정 방법을 매우 명확하게 제시하고 있다.

본 연구에서는 회귀분석식을 이용하여 배출 부하량으로부터 유달 부하량을 산정하였으나 유출 특성을 고려한 유달부하량 계산을 위해서는 토지이용도가 필수적이라 할 수 있으나 본 연구에서는 고려하지 않았다.

4.2 지형 특성을 이용한 수문 특성 및 수리 특성 파악

본 연구에서는 수질 모델링의 단위가 되는 세그먼트를 효율적으로 구분하기 위하여 흐름 거리, 흐름 방향 등을 고려한 격자 분석을 통하여 삼교호 유역을 50개의 세그먼트로 분할하였다. 등고선 자료 등을 이용하여 TIN을 생성하였고, 생성된 TIN을 이용하여 DEM 자료를 생성하였다. 이렇게 생성된 DEM의 sink와 peak를 제거하여 DEM을 보정한 후 GIS의 격자 분석 기능을 이용하여 삼교호 유역의 수문학적 특성을 파악하였다. 삼교호 유역의 소유역별 유출량 파악을 위하여 아산 측우소의 1997년 월별 평균 강우량과 오염부하량 등에 가지야마 유출고 공식을 적용하였으며, 유역의 특성 계수는 DEM과 하천도를 이용하여 생성되었다.

삼교호 유역의 세그먼트는 DEM과 하천도, 하천단면자료 등을 이용하여 수리 특성에 따라 분할하였기 때문에 단면폭, 표면적, 수심, 체적 등의 자료가 포함되어 있다. 이러한 수문 특성 및 수리 특성 자료는 수질 모델링을 위한 중요한 자료로 입력되어지게 된다.

4.3 모델 보정 및 수질 모델링 결과

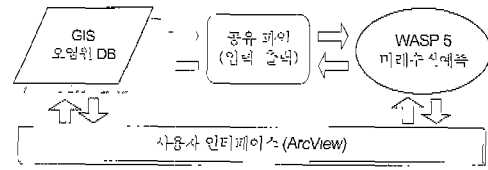
모델의 보정을 위하여 여러 가지 매개 변수 및 상수를 변경하며 모델의 적용성을 검정한 후, 경계조건, 유량, 상수, 시간 함수를 사용하여 수질 모델링을 수행하였다. 수질은 모델링 지역의 지형적·수리학적·수문학적 계수와 계절적 오염부하

에 따라 달라지기 때문에 많은 실측 자료가 필요하다. 그리고 수질 항목 농도 예측의 중요한 인자는 유역에서의 유량과 오염부하에 따라 영향을 많이 받으므로 유입 유량과 수질 실측을 많이하여 유달율을 정확히 계산하거나 토지이용도, 토양도 등을 이용하여 연구 지역의 유출 특성을 파악하여야 한다. 본 연구에는 토지이용도 부재등의 이유로 유출 특성 파악을 위하여 선형 회귀식을 이용하였으나, 유역의 토지이용도 등의 자료가 구축되면 좀더 정확한 유출 특성 파악이 가능할 것이라 생각된다.

본 연구는 GIS와 수질 모델의 부분 통합에 관한 것이므로 세부적인 분석 과정이나 특성 파악 결과를 이용한 인터페이스 구현에 더 중점을 두고 수행되었다. 그렇기 때문에 충분한 수질 및 유입 유량의 실측 자료가 구축되면 좀더 세부적인 모델 보정이 이루어질 수 있을 것이다.

4.4 GIS와 WASP5 수질모델의 연계

GIS와 WASP5의 연계는 ArcView의 스크립트 언어인 Avenue를 통하여 이루어졌다[그림 16]. 이러한 연계가 가능하기 위해서는 여러 수질 관련 자료가 테이블로 입력되어야 하며, 입력 파일과 결과 파일을 GIS와 WASP5로 상호 변환 가능하도록 하여야 한다. 이러한 자료의 상호 변환을 통하여 GIS에서 생성된 입력 파일은 WASP5의 입력 포맷에 적합한 형태로 생성되며, 모델링 결과 파일은 GIS에서 표현 가능한 테이블 형태로 만들어진다.



[그림 16] GIS와 WASP5 수질모델의 연계

ArcView는 사용자에게 익숙한 Windows 기반의 GIS 소프트웨어로서 GUI와 인터페이스 구현이 비교적 간단하고, 주제도나 테이블 등을 이용한 다양한 표현이 가능하기 때문에 본 연구에서는 WASP5와의 연계를 위하여 ArcView를 사용하였다.

GIS와 WASP5를 연계하기 위해서는 WASP5의 물질수지식과 수질 반응식에 대한 이해가 선행되어야 한다. 본 연구에서 수행된 연계는 사용자가 WASP5에서 사용되는 매개변수에 대한 기본적인 이해가 있다는 가정 하에 구현되었다. 그리고 ArcView에 익숙한 사용자라면 본 연구에서 구현한 인터페이스 이외의 작업도 손쉽게 수행할 수 있을 것으로 사료된다.

WASP5 모델의 매개변수는 Avenue를 이용하여 구현된 입력 상자를 통하여 설정되며, 유량 및 경계농도는 DEM 및 수질 관련 자료로부터 추출한 정보를 바탕으로 생성되어 진다. 그러나 WASP5가 DOS 모드에서 수행되는 모델이기 때문에 모델을 수행하기 위해서는 ArcView 상에서 DOS 프롬프트를 거쳐야 하는 큰 제약이 있다. 이러한 상태에서 실행되는 모델은 DOS에서 직접 수행되는 것보다 매우 느린 단점도 있다.

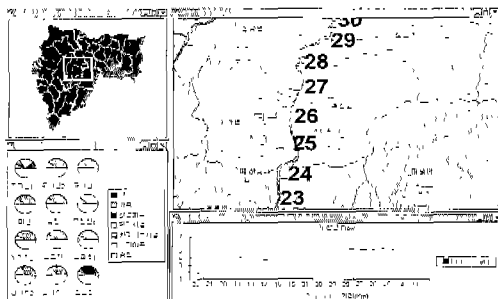
이러한 형태의 연계는 많은 단점과 제약을 가지고 있지만, 이를 바탕으로 보다

효율적이고 제약이 적은 연계 방식을 구현할 수 있을 것이다. 또한 GIS의 위상 구조나 네트워크 분석 등을 이용하면 자료의 형태에 종속적이지 않고 비교적 유연한 형태의 연계도 가능할 것이라 사료된다.

4.5 결과 출력을 위한 인터페이스

유역 관리나 수질 관리와 같이 공간적인 현상을 파악하고 제어하기 위해서는 다양한 형태의 자료와 표현 방식이 필요하다. GIS는 이러한 요구를 매우 충실히 충족시켜주고 있기 때문에 환경뿐만 아니라 여러 분야에서 GIS 기술을 접목시키기 위하여 노력하고 있다.

본 연구에서 구현된 인터페이스를 이용하면 수질 예측 자료와 수질 관련 자료를 동시에 다양한 형태로 조회할 수 있다. [그림 17]은 본 연구에 사용된 오염부하량 자료, 세그먼트 관련 도형 자료, 수질 예측 결과 자료 등을 다양한 형태로 보여주고 있다. 이러한 인터페이스는 오염원 현황 파악이나 시각적 분석을 지원하는 매우 유용한 기능을 수행하게 된다.



[그림 17] 수질 및 유역 자료의 다양한 표현

5. 결 론

본 연구는 GIS를 이용하여 수질 모델링에 필요한 입력 자료를 생성하고, 수질 모델링을 수행한 후 결과를 다시 GIS로 변환하여 다양한 수질 관련 자료들과 출력이 가능한 인터페이스를 제시하였다. GIS는 수질 모델링의 수문학적 변수들을 자동 생성하고 다양한 자료들을 통합 분석할 수 있는 환경을 지원하는 매우 유용한 도구라 생각된다. 그러나 효율적이고 정확한 분석을 위해서는 신뢰할만한 자료의 사용이 필수적이다. 보다 객관적이고 정확한 결과를 위해서는 분석에 사용된 자료들의 정확도 분석이 수행되어야 할 것이다. 또한 토지이용도와 토양도를 이용한 유출 분석을 수행하면 정확한 경계 농도 및 유량 산정에 도움이 될 수 있을 것이다.

WASP5는 유입 유량 자료를 최대 10개 밖에 입력하지 못하기 때문에 삼교호 유역과 같이 넓은 유역에는 유입 유량이 고르게 분배되지 못한다는 단점이 있다. 따라서 삼교호 유역과 같은 대유역에 WASP5 모델이 적용될 경우에는 모델을 수정하여 유입 유량 입력 한계를 없애거나, 모델링 지역을 몇 개로 세분하여 각각을 수질 모델링하는 것이 더 효과적일 것으로 판단된다. 그러나 정확한 수질 모델링을 위해서는 충분한 수질 및 유입 유량의 실측 자료의 확보가 무엇보다 중요하다. 현재 환경부의 환경정보 DB구축사업이나 수자원공사의 수자원 단위지도 구축사업, 국립지리원의 공통주제도 사업 등을 통하여 환경정보 관련 표준화가 수행되고 있으므로

로 추후에는 현재보다 다양한 자료들을 손쉽게 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서 구현된 인터페이스는 수질 관리를 위한 기본적인 환경을 제공하기 때문에 수질 정책 수립이나 의사 결정에 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다. 뿐만 아니라 수질 분야에 전문지식이 없는 일반 대중과의 의사 소통에도 매우 큰 기여를 할 것으로 사료된다.

6. 사사

본 연구는 '97년부터 '99년에 이르기까지 농업기반공사 농어촌연구원의 농촌환경연구실 지원을 받아 삼교담수호 수질개선사업을 위한 "농업용수 수질정보 종합관리시스템 구축" 연구과제로 진행되었으며, 연구에 많은 지원을 해주신 윤경섭 실장님과 이승호 박사께 심심한 감사표현을 포함합니다.

참 고 문 헌

- 1) Chen, C.L., L.E. Gomez, C.W. Chen, C.M. Wu, J.J. Lin, and I.L. Cheng. 1995. "An Integrated Watershed Management Model with GIS and Windows Application". The International Symposium on Water Quality Modelling, Orlando, Florida, pp. 242-250.
- 2) DePinto, J.V., H.W. Calkins, P.J. Densham, J.F. Atkinson, W. Guan, H. Lin and P.W. Rodgers. 1994. "An Approach for Integrating GIS and Watershed Analysis Models". Microcomputers in Civil Engineering, Blackwell Publishers, Cambridge, Massachusetts, 9 : pp. 251-262.
- 3) Maidment, D.R. 1992. A Grid-Network Procedure for Hydrologic Modelling. Hydrologic Engineering Center, US Army Corps of Engineers, Davis, California.
- 4) Maidment, D.R. 1993. "Developing a spatially distributed unit hydrograph by using GIS". Application of Geographic Information System in Hydrology and Water Resources Management, Vienna, Austria.
- 5) Newell, C.J., H.S. Rifai, and P.B. Bedient. 1992. Characterization of Non-Point Sources and Loading to Galveston Bay. Galveston Bay National Estuary Program, Webster, Texas.
- 6) Olivera, F. and D.R. Maidment. 1996. "Runoff Computation Using Spatially Distributed Terrain Parameters". Proceeding of the ASCE - North American Water and Environment Congress '96, Anaheim, California.
- 7) Robert B. Ambrose, T.A. Wool, and J.L. Martin. 1993. The Water Quality Analysis Simulation Program, WASP5 Part A : Model Documentation. Environmental Research Lab., Office of Research and Development, U.S. EPA.
- 8) Saunders, W.K. 1996. A GIS Assessment of Non-point Source Pollution in the San Antonio-Nueces Coastal Basin. University of Texas at Austin, Department of Civil Engineering, Austin, Texas.
- 9) Stuart, N. and C. Stocks. 1993. "Hydrologic modelling within GIS : an integrated

- approach". Application of Geographic Information Systems and Water Resources, IAHS, Vienna, Austria, pp. 319-329.
- 10) Tim, U.S. and R. Jolly. 1994. "Evaluating Agricultural Nonpoint-Source Pollution Using Integrated Geographic Information Systems and Hydrologic/Water Quality Model". Journal of Environmental Quality, 23 : pp. 25-35.
- 11) Ye, Z. 1996. Map-Based Surface and Subsurface Flow Simulation Models : An Object-Oriented and GIS Approach, University of Texas at Austin, Department of Civil Engineering, Austin, Texas.
- 12) 김계현. 1998. GIS 개론. 대영사.
- 13) 김계현, 최성규, 1998, GIS를 이용한 삼교천 유역의 오염원 현황 파악. 1998년 환경공학회 춘계학술연구발표회 논문초록집, pp.622-623.
- 14) 농어촌진흥공사, 1996, 담수호의 수질변화 예측모형 연구.
- 15) 농어촌진흥공사, 1997, 농업용수 수질정보 종합관리 시스템 개발(I).
- 16) 농어촌진흥공사, 1998, 농업용수 수질정보 종합관리 시스템 개발(II).
- 17) 최성규, 김계현, 1999, GIS와 WASP5 수질 모델링 연계방안 연구, 한국GIS학회 추계학술대회 발표요약문, pp. 34-38.
- 18) 환경부, 1995, 전국 호소환경 현황조사 및 주요 호소영향권역 설정(2차) 보고서.