

GIS와 WASP5 수질 모델의 연계방안 연구

최성규 · 김계현

인하대학교 지리정보공학과 환경GIS연구실

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

오늘날 환경공학분야에서는 지표상의 유체와 오염물질 흐름에 대한 화학적·생물학적 프로세스를 보다 정확하고 효과적으로 파악하기 위하여 GIS와 같은 기법들을 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 미환경보존국(USEPA)의 수질 모델인 WASP5를 양방향으로 연계하여 오염부하와 수질모델의 입·출력 관계를 구현함으로써 수질 정책 수립이나 수질 관리를 위한 기본적인 통합 환경을 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 실효치를 이용하여 모델을 보정하고 모델링 결과를 분석하였다. 마지막으로 후처리 단계에서는 모델 결과를 GIS 형태의 자료로 변환하고, 이를 그래프나 주제도 형태로 표현하였다.

2. 연구 동향

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 용존산소(dissolved oxygen)를 모의하기 위하여 Arc/Info와 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(partial integration) 정도의 연계라고 볼 수 있으나 모델과 Arc/Info의 연계가 다소 복잡한 면이 있다.

3. 연구 방법

본 연구는 점오염부하 및 비점오염부하 산정, 세그먼트 분할, 수문 및 수리 특성 파악 등을 통하여 WASP5 수질 모델에 필요한 입력자료를 효율적으로 생성한 후, WASP5 수질 모델을 수행하였다. WASP5 수질 모델링 결과가 계산되어 지면 이를 GIS 자료로 변환하여 유역 및 수질 관련 자료들과 같이 다양한 형태로 제공되도록 하였다.

3.1 연구 지역 및 자료

본 연구는 도시지역과 농촌지역이 잘 조화되어 있으며 오염원이 다양하기 때문에 오염발생의 증가가 예상되는 삼교호 유역을 연구 대상 지역으로 하였다. 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. 오염원 현황 파악 및 모델 입력 자료 생성을 위하여 지형도, 하천도, 소유역도, 행정구역도 등의 도형자료와 인구, 가축, 토지이용, 수질 측정자료 등의 속성자료를 사용하였다.

3.2 점오염부하 및 비점오염부하 산정

본 연구에서는 배출부하 원단위를 사용하여 배출부하량을 산정하였으며, 환경부에서 발간된 전국 호소환경 현황조사 및 주요 호소영향권역설정(2차) 보고서(환경부, 1995. 6)의 원단위를 참고하였다.

소유역별 오염부하량을 산출하기 위해서는 소유역별 오염원 현황을 파악하여야 한다. 그러나 행정구역 경계와 유역 경계가 일치하지 않기 때문에 유역별 오염원 현황을 계산하기 위해서 polygon-in-polygon과 point-in-polygon 기법이 사용되었다.

3.3 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 깊이, 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. 삼교호 유역의 WASP5 모델은 호소뿐만 아니라 하천 구간까지 확장하여 연구 지역 전반에 걸친 수질 예측을 가능하게 하였으며 삼교호 유역을 50개의 세그먼트로 분할하였다.

3.4 삼교호 유역의 수문 특성 및 수리 특성 파악

삼교호 유역은 삼교천, 무한천 및 곡교천으로 나누어지며, 삼교천의 유역면적은 616.63 km², 유로연장은 42.1 km이고, 무한천의 유역면적은 460.38 km², 유로연장은 48.3 km이며, 곡교천의 유역면적은 557.81 km², 유로연장은 49.5 km이다. 유역의 평균 고도는 약 60m, 유역의 평균경사는 약 20%이고 비교적 평야가 많은 편이다.

아산 측우소의 1997년 월별 평균 강우량과 오염부하량 등에 가지야마 유출고 공식을 적용하여 소유역별 유출량을 파악하였으며, 유역의 특성계수인 f 값은 DEM과 하천도를 이용하여 생성하였다. 하천 분류 부근 농경지(평야 지대)의 특성 계수는 대부분 1.0 (경작지 및 임야가 많고 경사가 완만하여 손실우량 중에 해당)이 부여되었다. 각 소유역의 월별 유출량은 유역특성을 고려한 가지야마 유출고 공식에 의해 산출된 월별 유출고에 유역의 면적을 곱하여 얻어진다. 실측 유량과 유달율의 관계를 이용하여 선형 회귀식을 구함으로써, 각 하천별 유달율을 추정해 볼 수 있다. 이렇게 소유역의 월별 유달농도를 계산한 후 WASP5 모델 입력자료를 위한 경계농도를 계산하였다.

3.5 WASP5 수질 모델링

WASP5는 DYNHYD5, EUTRO5, TOXI5로 구성되어 있으며, 생태학적 부영양화 모델인 EUTRO5는 흐르는 유체의 미소체적에 대한 물질수지식을 기본으로 한다(식 3.1).

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial(U_x C)}{\partial x} - \frac{\partial(U_y C)}{\partial y} - \frac{\partial(U_z C)}{\partial z} + \frac{\partial(E_x \frac{\partial C}{\partial x})}{\partial x} + \frac{\partial(E_y \frac{\partial C}{\partial y})}{\partial y} + \frac{\partial(E_z \frac{\partial C}{\partial z})}{\partial z} + S_1 + S_2 + S_3 \quad \text{<식 3.1>}$$

C : 수질성분의 농도(mg/ℓ)

t : 시간(days)

U_x, U_y, U_z : 종방향, 횡방향, 수직방향의 유속(m/day)

E_x, E_y, E_z : 종방향, 횡방향, 수직방향의 확산계수(m²/day)

S₁ : 오염부하량(점 및 비점오염원) (g/m³ · day)

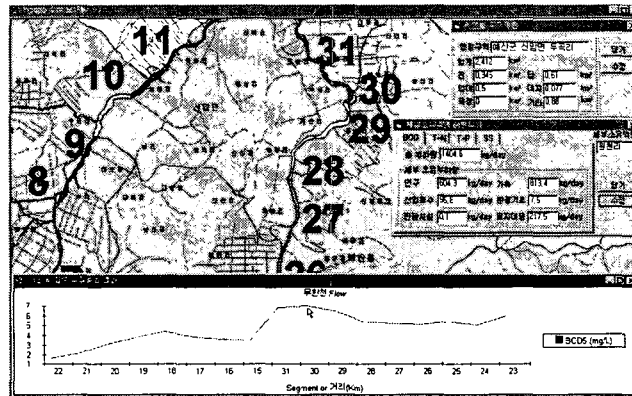
S₂ : 경계오염부하(상, 하류 및 바닥층, 대기) (g/m³ · day)

S₃ : 총 전환율 (source +, sink -) (g/m³ · day)

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

3.6 GIS를 이용한 모델 결과의 출력

GIS로 모델 결과가 import되면 coverage 형태나 그래프 형태로의 출력이 가능하다. 그림 1은 세그먼트 30의 시간별 BOD5의 변화를 보여주고 있다. 이러한 인터페이스를 통하여 수질 결과 및 수질 관련 자료를 다양한 형태로 표현할 수 있으므로 수질 환경과 관련된 작업을 매우 효율적으로 수행할 수 있다.



<그림 1> GIS를 이용한 무한천 본류의 수질 결과 표현

4. 연구 결과 및 고찰

GIS와 WASP5의 연계는 ArcView의 스크립트 언어인 Avenue를 통하여 이루어졌다. 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. 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 다양한 수질 관련 자료를 동시에 다양한 형태로 조회할 수 있다.

5. 결론

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 자료들을 사용하여야 한다. 또한 토지이용도와 토양도를 이용한 유출 곡선 산출등을 통한 유출 분석을 수행하면 더 정확한 경계 농도 및 유량 산정에 도움이 될 수 있을 것이다. 정확한 수질 모델링을 위해서는 충분한 수질 및 유입 유량의 실측 자료의 확보가 무엇보다 중요하다. 현재 환경부는 환경정보 DB 구축사업이나 수자원 단위지도 구축 등을 통하여 환경정보의 표준화를 이끌고 있으므로 추후에는 현재보다 다양한 자료들을 손쉽게 얻을 수 있을 것이다.

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 역할을 수행할 수 있을 것이다.

6. 참고 문헌

1. 김계현, 최성규. 1998. GIS를 이용한 삼교천 유역의 오염원 현황 파악. 1998년 환경공학회 춘계학술연구발표회 논문초록집, pp.622-623.
2. 농어촌진흥공사 1997 농업용수 수질정보 종합관리 시스템 개발(I)
3. 농어촌진흥공사 1997 농업용수 수질정보 종합관리 시스템 개발(II)
- 4 .Maidment DR 1996 GIS in Water Resource.
<http://www.ce.utexas.edu/prof/maidment/gishydro>