

저수지 유역의 오염부하 산정 시스템 개발

System Development for the Estimation of Pollutant Loads on Reservoir

심 순 보* / 이 요 상** / 고 덕 구***
Shim, Soon Bo / Lee, Yo Sang / Koh, Deuk Koo

Abstract

An integrated system of GIS and water quality model was suggested including the pollutant loads from the watershed. The developed system consists of two parts. First part is the GIS module. The geographic information system of the study area was built to provide the information on landuse and several surface factors concerning the overland flow processes of water and pollutants. Second part is the modeling modules which include storm event pollutant load model(SEPLM), non-storm event pollutant load model(NSPLM), and river water quality simulation model(RWQSM). Models can calculate the pollutant load from the study area. The databases and models are linked through the interface modules resided in the overall system, which incorporate the graphical display modules and the operating scheme for the optimal use of the system. The developed system was applied to the Chungju multi-purpose reservoir to estimate the pollutant load during the four selected rainfall events between 1991 and 1993, based upon monthly basis and seasonal basis in drought flow, low flow, normal flow and wet flow.

Keywords: integrated system, GIS, model, storm event, pollutant load

요 지

본 연구의 목적은 강우시 지표수의 흐름을 통해 유출되는 오염부하 산정 시스템을 개발하고, 정상류 흐름의 성격을 띠는 점원오염의 월별, 수기별 오염부하를 산정하기 위한 각종 수질 인자별 발생부하와 배출부하 사이의 관계를 규명하여, 각 지천 소유역의 월별 및 수기별 오염부하를 산정하는 모형시스템을 개발하는 것이다. 또한 댐 상류 하천 구간에 대한 수질 모델링을 통하여 댐유입부의 오염부하를 산정하는데 있다. 대상유역의 토지 이용분포와 지표수 유출거동에 관련된 지상인자들의 파악을 위해 인공위성 원격탐사 이미지를 분석하여 토지이용 분포를 규명하고, 기타 지형공간정보를 구축하여, 이들로부터 모형의 운영에 필수적인 지상인자들을 합성하여, 모형의 입력자료로 사용될 수 있도록 하는 일련의 과정을 체계화하였다. 또한 개발된 개개의 모형을 체계적으로 결합하여 사용을 쉽게 하기 위하여, GIS-모형간의 인터페이스 모듈과 그래픽 출력시스템 등 응용소프트웨어를 개발하여, 원격탐사 기법에 의한 저수지 오염 부하량 산정 모형과 전체시스템의 통합을 완료하였다. 개발된 모형시스템을 이용하여 1991년에서 1993년 사이에 관측된 4개 호우사상에 대한 비점오염원의 부하를 시험적으로 산정하였으며, 충주댐의 월별 및 수기에 따른 오염부하도 아울러 산정하였다.

핵심용어 : 통합시스템, GIS, 모형, 홍수사상, 오염부하량

-
- * 충북대학교 공과대학 토목공학과 교수
 - ** 한국수자원공사 수자원연구소 환경연구팀 선임연구원
 - *** 한국수자원공사 수자원연구소 수자원연구팀 선임연구원

1. 서 론

저수지 수질 문제는 유역에 대한 각종 오염원의 발생 규모와 하천, 호소에 대한 오염 부하 특성이 규명되어 있어야 하므로 유역의 오염 발생원별 발생과 배출, 오염물질의 수체로의 유입-유출 등과 같은 오염물질의 이동 메커니즘 파악, 오염물질 산정에 필요한 각종 자료를 효과적으로 생성하는 방법의 선정이 선행되어야 할 것이며, 파악된 결과에 따라 적절한 대책을 수립하여야 한다.(심순보 등, 1992) 점오염원에 대한 오염발생 총량을 파악하는 기준으로서 각각의 단위개체가 배출하는 오염물질의 양인 원단위 개념을 도입하였으며, 면원 오염에서 오염물질의 양과 거동은 유역에 대한 지형대학적, 수문사상적 특성에 의해 좌우된다는 사실에 근거하여 지형정보시스템(환경처와 과학기술처, 1993; Gililand와 Baxter-Potter, 1987; Hession과 Shanhlitz,

1988)을 이용하여 구체적 요소를 분석하였다. 비점오염원 관리는 오염원들이 광범위한 지역에 걸쳐 존재하며 수문순환과정 등 복잡한 자연현상에 수반되기 때문에 사회적, 기술적으로 복잡하며 그 특성 규명이 어렵다.(Wischmeier와 Smith, 1978; 농림수산부와 농어촌진흥공사, 1993) 따라서, 유역 내에서 토양 및 오염물질유실 잠재지역의 위치를 규명하고,(Foster와 Highfill, 1983; Hudson, 1971) 그 정량적 분석을 실시함으로써 잠재 오염 감소와 면원 오염으로부터 수질보호를 효율적으로 실시할 수 있다.(김진택, 1995)

본 연구의 주목적은 다목적 저수지 유역으로부터 저수지에 유입되는 오염부하 산정을 위하여 지형정보시스템, 영상 및 문자 데이터베이스, 적용 형태별 수질모의 모형 및 인터페이스 모듈 등을 유기적으로 결합한 오염부하 산정시스템(Fig. 1 참조)을 개발하여 이의 실용화를 유도하는데 있다.

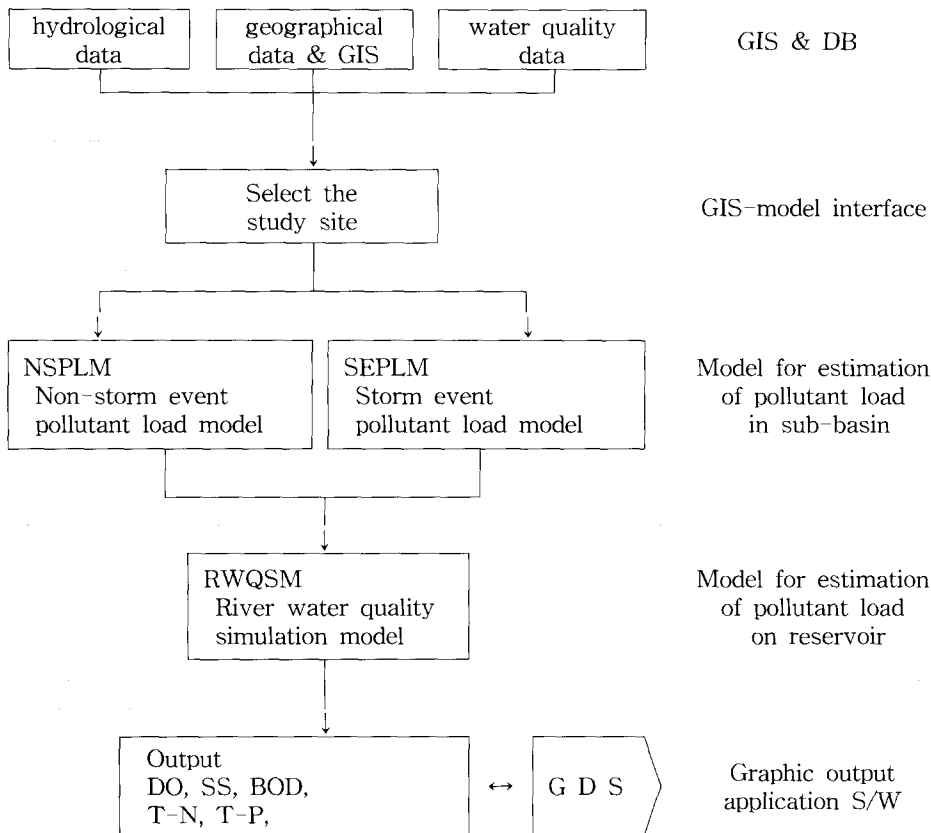


Fig. 1. Concept of Estimation Model for Pollutant Load

2. 오염부하 산정 방법론

2.1 지표유출이 없는 경우

본 경우는 강우가 발생하지 않은 때와 비록 강우가 발생하여도 지표면 유출이 형성되지 않을 때를 지칭하며, 지천이나 하천으로 유입하는 오염 물질은 여러 구간에서 물질이동방정식을 고려하여 오염변화를 계산한다.

비강우시에 오염부하를 산정하는데는 여러 가지 방법(Thomann과 Muller, 1987)이 있으나 본 연구에서는 지천을 따라 하천으로 유입되는 유입지천의 수질을 추정하기 위하여 현장에서 실측한 유달률을 이용하여 비강우시 오염부하 모형인 NSPLM(non-storm event pollutant load model)을 구성하였다.

2.2 지표유출에 의한 오염부하

강우시란 강우현상으로 의하여 직접유출 또는 지표면 유출이 형성되는 경우를 말하며, 강우시 오염부하 산정은 유출수에 포함되어 오염을 일으키는 오염부하를 산정하는 것이다.(Peirce, 1980) 강우시 오염부하 모형은 농업 비점오염원 관리모형인 AGNPS 모형을 수정·보완하여 강우사상에 의한 유출, 유사, 총인, 총질소 및 COD성분 등을 추정할 수 있는 매개변수모형으로써, 유역내 오염원의 위치와 기여 정도를 추정할 수 있도록 되어있다.(Mitchell 등, 1993 ; Obrien, 1990) 특히 grid경사 및 흐름의 방향계산, flow path계산, CN값의 산정등이 수행될 수 있도록 전처리 프로그램을 개발하여 전처리 프로그램의 출력결과를 입력할 수 있도록 모형의 I/O 부분을 수정하였고, 유역을 여러 개의 격자망으로 분할하여, 각 격자간의 지형적 특성에 따라 강우-유출 및 오염물질 이동 상황을 모의할 수 있는 분산형 모형인 강우시 오염부하 모형 SEPLM(storm event pollutant load model)을 구성하였다.

SEPLM 모형은 3개의 주요 부모형으로 구성하며, 계산과정은 먼저 유역 자료와 격자 cell별 입력자료를 처리하고, 각 cell에 대해 각각의 수문, 유사, 수질 등의 성분량을 계산하며, cell에서 유거하는 유출 성분량들을 계산한 다음 마지막으로 이들을 유역의 출구까지 추적한 후 유역 출구에서의 유출량, 유사량 및 오염물질의 양을 계산하도록 되어있다.

2.3 하천수질 모형

저수지 상류지역의 하천 수계에서 나타나는 수질변화를 예측하기 위하여 하천수질 모형인 QUAL2E를 구간

으로 수정·보완하여 RWQSM (River Water Quality Simulation Model)을 구성하였다. (Brown과 Barnwell, 1987) 구성된 모형은 부유물질의 침전과 부상에 의한 수질모의와 하천바닥으로 부터의 용출을 조류에 의한 유기질소 방출도 고려할 수 있게 하였을 뿐만 아니라 자료의 관리를 용이하게 하기위하여 입출력 module을 수정하였다.

3. 오염부하 산정시스템의 적용

3.1 연구대상 유역

대상 저수지 유역은 남한강 수계의 충주 다목적 댐 저수지 유역을 선정하였다. 충주 다목적 댐 저수지의 유역면적 6,648 km² 내에서 발생하는 강우-유출 현상과 점 및 면오염으로부터의 배출 오염 부하를 산정하기 위하여 전 유역을 하천의 흐름 체계를 고려하여 중·소유역으로 분할하였으며 충주댐의 오염부하를 산정하기 위한 수문자료로써 유역내 강우 관측 자료와 수위 관측자료를 수집·정리하였다. 자료가 수집된 강우 관측소 중 단양, 영월1, 수주, 백운지점 등에서 유역평균강우량 산정을 위하여 각 지점별 Thiessen계수를 구하고 수위자료는 영월2, 영춘의 수위자료로부터 수위-유량관계곡선식을 사용하여 수위자료를 산출했다. 대상유역을 소유역별로 분할하여 그 행정구역 전체 면적에 대한 면적 비를 고려하여 행정구역별 각종 부하현황을 소유역별로 분배하였으며 인구증가를 감안하여 인구 증가율을 산출하고 각 단위 오염원별 오염부하를 산정하였다.

3.2 지형정보 데이터베이스 구축

3.2.1 GIS를 이용한 기본도 작성

대상 유역에 대한 지반 고도를 나타내는 수치고도도를 비롯하여 하천수계도, 유역분할도, 토양도, 토지이용도 등의 기본도를 수치지도로 Fig.2~6 까지 작성함으로써 지형정보시스템을 구축하였다.

각 기본도 및 주제도에 대한 좌표 체계는 TM 좌표계를 기준 좌표계로 하였으며, 지형자료의 통합을 위한 주력 GIS 소프트웨어는 IDRISI 4.1로 하였고 벡터 자료의 처리에 적합한 PC-Arc/Info3.4.2를 병행하여 이용하였다. 그러나 최종적인 자료 및 파일 구조에 있어서는 원격탐사 자료와의 연결이 용이하고 다양한 공간 분석을 통해 모형과의 인터페이스가 용이한 래스터 자료 구조를 선택하였으며, 각 cell의 크기는 500×500 m로 하였다.

Elevation Map of Chungju Dam Watershed



Fig. 2. Digital Elevation Map of Chungju Dam Watershed

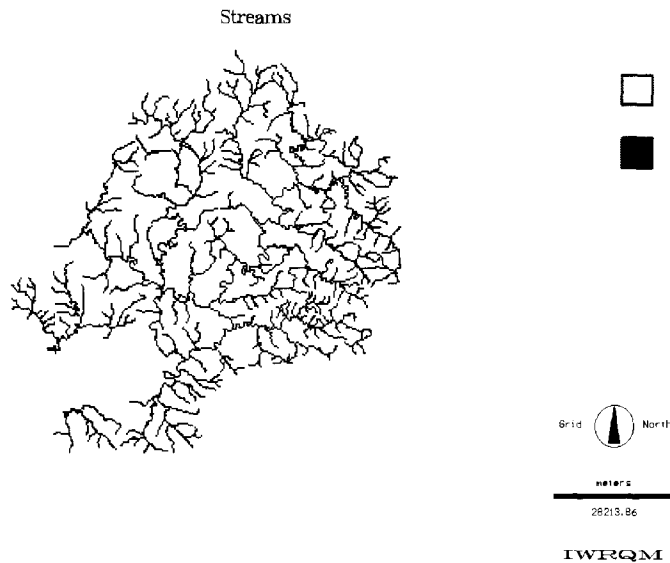


Fig. 3. Stream Network Map of Chungju Dam Watershed

3.2.2 GIS를 이용한 주제도 작성

수치지형자료(DEM, Digital Elevation Model)를 이용하여 등고선, 경사방위각, 경사도 등을 추출하였고, 이들을 이용하여 지형태학적인 특성, 일정 지역의 채광 조건 등의 분석이 가능하게 되었을 뿐만 아니라, 유역 경계 및 유출경로의 추출이 가능하여 수문거동 및 오염물

질 배출양상을 파악하는데도 유용하게 이용할 수 있게 되었다. 본 연구를 통해 도출된 모형이 요구하는 지상인자로서 토양의 침식능을 나타내는 K-Factor의 공간적 분포를 나타내는 K-Factor도와 수문학적 토양균도를 기본도인 토양도로부터 도출하였으며, 원격탐사이미지의 분석을 통해 생성된 토지이용도로부터 시비수준도, 포장관리상태도, C-Factor도, P-Factor도를 도출하였다.

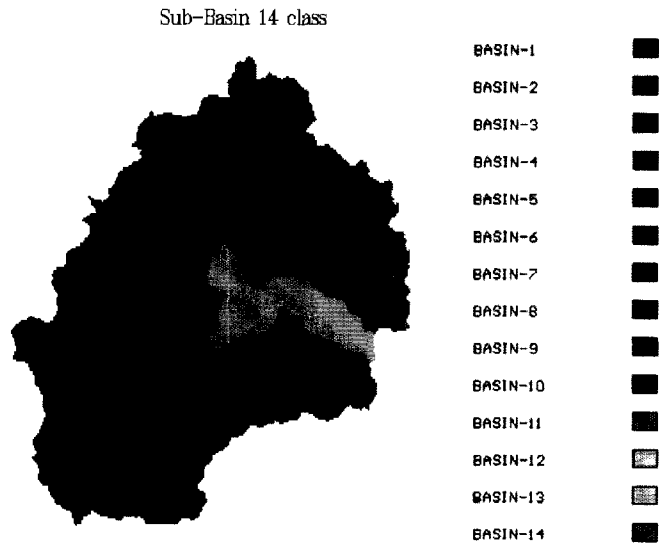


Fig. 4. Sub-basin Map of Chungju Dam Watershed

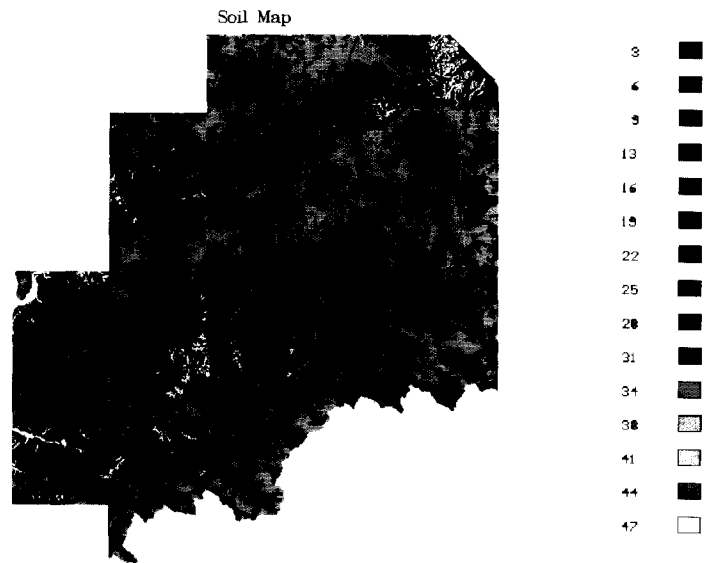


Fig. 5. Soil Group Map of Chungju Dam Watershed

3.3 텍스트 데이터베이스 구축

대상 저수지 유역의 오염부하를 산정하기 위해 대상 유역의 원격탐사 위성영상 이미지로부터 기본도와 주제도를 작성하고, 수문환경, 오염원, 수질조사 자료를 수집하였으며, 지형적 특성을 갖는 각종 자료를 지형정보

시스템화 하였다. 수집된 각종 정보는 그 양과 가짓수에 있어 매우 방대할 뿐만 아니라, 수시로 변화해 가는 동적 특성을 가지고 있어 장차 지속적으로 증가해 가는 정보에 대해서도 유연하게 대처할 수 있어야 할 뿐만 아니라 자료의 입력과 검색이 용이하도록 Qattro Pro for Windows를 이용하여 데이터베이스를 구축하였다.

Landuse Map



Fig. 6. Landuse Map of Chungju Dam Watershed

3.4. 오염부하 산정 시스템 개발

3.4.1 GIS-모형간 인터페이스모듈 개발

각종 데이터베이스 및 지형정보시스템으로부터 오염 부하를 모의하는 프로그램 실행을 위한 각종 입력자료를 정형화된 형태로 생성하기 위하여 개발된 인터페이스

Table 1. Subprogram of GIS-PLM

Sub program	Main function
DATA GEN	1. give a cell number and compose the matrix 2. produce a cell value include cell matrix at every parameter 3. calculate in case of parameter modify 4. make a inputfile, provide the parameter as a form
TOPO	1. read cell elevation and calculate the difference of elevation between cell 2. produce the slope map and the aspect map
STRM CONV	1. calculate a slope and aspect to read cell elevation 2. produce the stream slope map and stream aspect map
KFA CONV	1. calculate a K-factor value from cell of soil map 2. produce the K-factor map
HYD SOIL	1. decide to soil type to read soil map 2. produce the hydrolic soilgroup map
READ SOIL	1. refer to characteristics of soil 2. provide reference result to call program

스모듈(GIS-PLM : GIS - Pollutant Load Model)은 6개의 부프로그램으로 구성되어 있으며 각 부프로그램의 기능은 Table 1 과 같다. 지형정보시스템, GIS sub-model, 영상 및 속성 데이터베이스, 인터페이스 프로그램, 강우 및 비강우시 오염부하 산정 모형으로부터 계산된 결과치들은 RWQSM 입력 format에 맞춰서 출력되도록 하였으며, 이 결과치들이 곧바로 RWQSM의 입력데이터로 넘어가 RWQSM 프로그램이 작동되면서 유역에서 발생되어 저수지로 유입되는 총부하량을 오염물질 항목별로 계산하여 출력하도록 하였다.

3.4.2 시스템 통합

저수지 유역의 오염부하 산정을 위한 여러 가지 작업들을 하나의 체제로 통합하여 오염부하를 보다 정확하고 용이하게 산정하기 위한 시스템 통합을 실시하였다.

통합된 시스템은 개발시 P/C 및 응용 S/W환경하에서 GIS는 DOS용 IDRISI를 사용하였고 DB 및 GUI는 Quattro Pro for Windows를 사용하여 구현하였다. 본 연구를 통해 구축된 각종 데이터베이스와 지형정보시스템, 그리고 본 연구에 사용된 각종 오염부하 산정 모형, 데이터베이스 및 지형정보-오염부하 산정 모형간 인터페이스 모듈과 그래픽 출력을 위한 모듈 등 응용프로그램, 모형 시스템의 운영체제 등은 수많은 파일로 이루어져 있으므로 대용량의 기억공간을 필요로 한다. 따라서 이렇게 많은 파일들을 체계적으로 관리할 수 있도록 디렉토리체계를 설정하고, 필요한 파일을 적

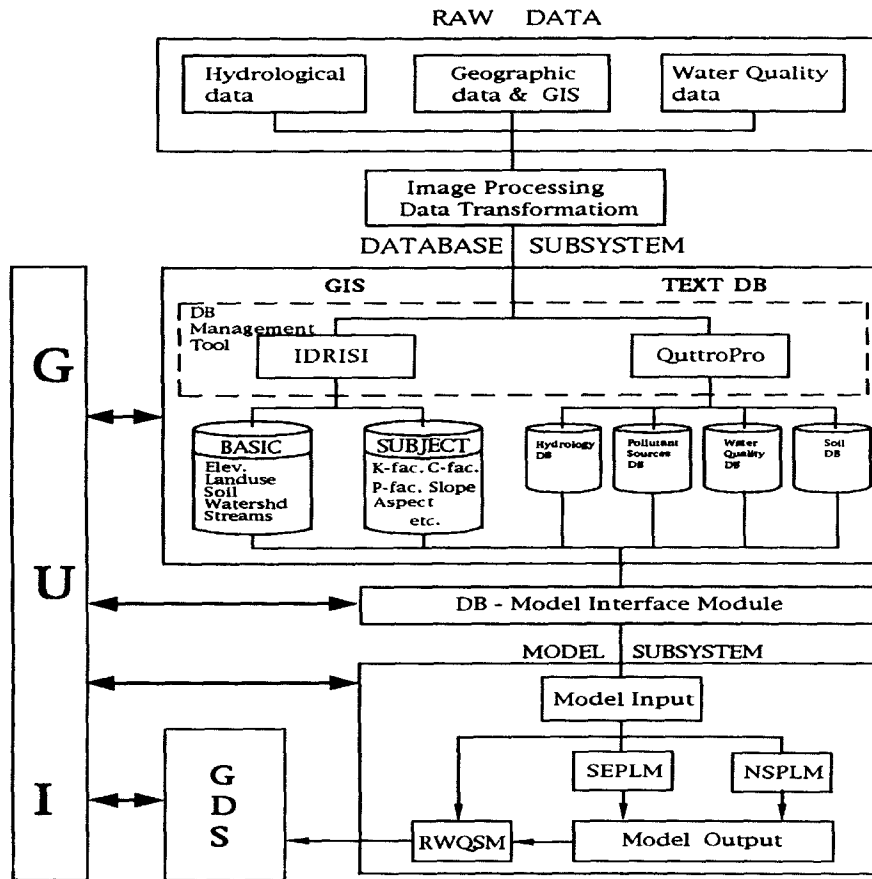


Fig. 7. Integrated System for the Estimation of Pollutant Load on Reservoir

절한 위치에 배치하였으며, 각종 프로그램의 실행을 용이하게 하기 위하여 경로설정을 해줌으로써 모형시스템 요소간에 유기적인 결합이 이루어지도록 Fig. 7과 같이 시스템 통합을 실시하였으며 menu screen은 Fig. 8과 같다.

이와 같이 시스템을 통합하므로써 필요로 하는 대상 유역 자료만 준비되면 사용자는 신속하고 용이하게 대상유역에 대한 오염부하량을 계산할 수 있게 되었으며, 얻어진 결과와 실측치를 반복 비교 분석하여 대상유역에 대한 강우-유출, 토양, 토지이용, 오염물질 유실, 문파라메타 및 토질파라메타등을 데이터화하면 완벽한 오염부하산정 시스템으로 적용이 가능하게 되었다.

4. 시스템의 적용

4.1 비강우시 오염부하 산정

비강우시 오염부하 산정모형인 NSPLM에 의해 산정

된 1993년도 하천 유입부하를 RWQSM 하천수질 모형의 입력자료로 하여 충주댐 상류 남한강 본류 구간에 적용하였다. 그 결과 산정된 주요 지표 유입 하천구간 및 충주댐 저수지 유입 지점에서의 평수기 DO, SS, BOD, T-N, T-P 수질 그래프를 Fig. 9와 10에 제시하였다. 대상 지역에서 하천의 시점은 그래프 상에서 요소number가 0인 송천교지점으로 하였으며, 각 요소별 길이는 1km로 하였다. Fig 9와 10에서 x 축은 하천에서 각 요소별 번호를 나타내는 것으로 280개로 구성되어 있으며, 요소 숫자가 낮은 상류부는 용존산소의 농도가 높으나 하류로 갈수록 용존산소의 농도가 낮아지므로 하류로 갈수록 오염도가 증가되는 것을 예측할 수 있었으며, BOD, SS, T-N, T-P 등의 오염물질 농도가 하류로 갈수록 증가하는 것을 확인할 수 있다. 그래프에서 중간에 오염물질의 농도가 급격히 상승하거나, 용존산소 농도가 급격히 떨어



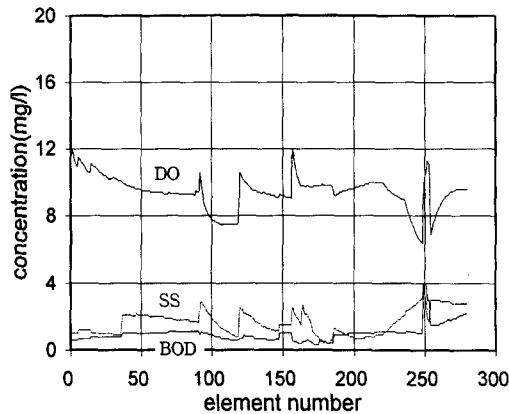
**System Development for the Estimation
of Pollutant Loads on Reservoir**

Project Manager : Prof.Soon-Bo Shim
Research staffs :
Yo-Sang Lee
Duk-Ku Koh

Click the left mouse button to start :



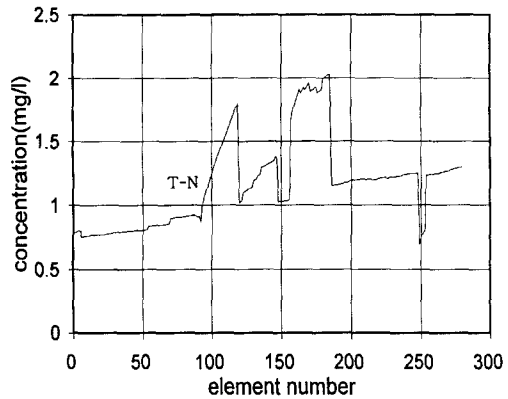
Fig. 8. Main menu of Integrated System



**Fig.9. Water Quality of South-Han River
(185day base flow : DO, SS, BOD)**

지는 것은 지류에 의해 나타나는 현상이며, 시기별 모의 결과에서 갈수기로부터 풍수기로 유량이 많아질 수록 오염물질의 농도는 감소하였고, 용존산소의 농도는 커지는 것을 나타내고 있어 모의 결과의 경향을 신뢰할 수 있었다.

모의를 실시한 충주댐 유입수의 시기별 수질은 Table 2에서 보는 바와 같이 BOD의 경우 0.8~2.2 mg/l, T-N의 경우 1.123~2.636 mg/l, T-P의 경우 0.016~0.074 mg/l로 수기에 따른 오염도가 크게 차이 나는 것으로 나타났다. 월별로 모의한 결과를 충주댐 본류 청풍교 지점에서 실측한 1993년도 월별자료(BOD



**Fig.10. Water Quality of South-Han River
(185day base flow : T-N, T-P)**

: 0.8 ~ 2.2 mg/l, T-N : 0.429 ~ 1.147 mg/l, T-P : 0.035 ~ 0.056 mg/l)와 비교해 보면 BOD와 T-N은 비슷한 수준으로 나타났으나, T-P는 모의 결과가 실측치 보다 낮은 수준으로 나타났다. 따라서 NSPLM과 RWQSM을 대상유역에 장기간 적용하여 수질인자와 지형정보 인자들을 보정하면 정확한 오염부하 산정 모형이 될 것으로 판단되었다.

4.2 강우시 오염부하 산정

기존의 관측 자료를 이용하여 모형의 검증이 용이한 강우시 오염부하 모형인 SEPLM을 충주댐 유역에 적

Table 2. Seasonal Pollutant Load on Chungju Reservoir Unit :ton/day

Item Season	BOD	T-N	T-P	Discharge (CMS)
Drought flow	2.41(2.2)	2.89(2.636)	0.081(0.074)	12.684
Low flow	2.67(1.7)	3.32(2.117)	0.093(0.059)	18.167
Normal flow	3.23(1.3)	4.60(1.850)	0.109(0.044)	28.752
Wet flow	7.92(0.8)	11.12(1.123)	0.158(0.016)	114.596

* ()안의 숫자는 mg/ℓ 농도를 나타냄.

용하고, 기 관찰된 호우사상에 대한 유출량의 실측치와 모의 발생치를 비교함으로써 모형을 검증하였다.

SEPLM의 적용을 위해 1990년에서 1994년 사이에 관측된 호우중 유출수문곡선이 하나의 침투유량을 가지는 강우를 4개 선정하였다. SEPLM 모형의 적용성을 검토하기 위하여 모형에 의해 계산된 유출량을 선정된 강우사상에 해당하는 시점의 수위 관측 기록이 있는 영월2 및 영춘의 유량과 비교하였으며, 비교한 결과는 실측치와 모의치가 근사하게 접근하고 있는 것으로 나타나 유출량 모의 결과는 적용성이 있는 것으로 판단할 수 있었다. 모형의 검증에 사용된 강우자료를 이용하여 SEPLM에 의해 산정된 소유역별 영양물질 농도는 T-N의 경우 평균 유출농도가 0.84~1.32 mg/ℓ였으며, T-P의 경우 0.05~0.15 mg/ℓ로 모의되었다.

5. 결 론

본 논문에서는 저수지유역에서 발생하는 오염물질이 수계에 미치는 부하 산정을 위하여 지형정보시스템 및 데이터베이스 그리고 유역 및 하천수질모형 등을 활용하여 저수지 유역 오염부하 산정시스템을 개발하였다. 본 연구의 수행과정과 각 단계마다의 세부 연구를 통해 얻어진 결과들은 다음과 같다.

(1) 점원오염의 월별 또는 시기별 오염부하를 산정하기 위한 비강우시 오염부하 산정 모형인 NSPLM을 도출하였으며, 강우시 면원 오염부하 산정 모형인 SEPLM과 그리고 댐 상류 하천 구간에서의 수질을 모의 할 수 있는 하천수질 모의모형인 RWQSM을 구성하였다.

(2) 토지이용도, 수치고도도, 하천수계도, 토양도 및 유역분할도 등의 기본도를 구축하여 지형정보시스템화하였고, 이를 이용하여 오염부하 산정에 필요한 각종 주제도인 경사도, 경사방향도, K-Factor도 등을 생성하였다.

(3) 각각의 모형이 요구하는 방대한 양의 입력자료를 지형정보 중심의 데이터베이스로부터 자동으로

추출하여 입력자료를 작성할 수 있도록 하기 위한 GIS - 모형군간의 인터페이스 응용소프트웨어를 개발하였다.

(4) 저수지 유역의 강우시 면원 오염부하 산정 모형(SEPLM), 비강우시 점원오염중심의 오염부하 산정 모형(NSPLM)과 하천구간의 수질을 모의할 수 있는 RWQSM 등과 모형의 입력자료를 지원하기 위한 지형정보시스템, 지형정보시스템 - 모형간의 인터페이스와 모형결과의 그래픽 출력을 위한 응용소프트웨어군을 유기적으로 통합하여 오염부하 산정시스템을 개발하였다.

(5) 강우시 오염부하 산정 모형의 적용성 검증을 위해 충주저수지 유역을 선정하고 모형에 적용하여 충주저수지 유입부에서의 오염부하를 산정하였다.

감사의 글

한국학술진흥재단의 '94 대학 부설연구소 지원과제 '하천 및 저수지의 수자원·수질 종합 최적관리를 위한 의사결정 전문가시스템 개발'의 연구 성과 중 일부이며, 이에 학술진흥재단의 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 김진택 (1995). 농업 비점원 오염모형을 위한 지리자원 정보시스템 호환모형의 개발 및 적용. 박사논문, 서울대학교.
- 농림수산부, 농어촌진흥공사 (1993). 농어촌용수 환경 관리에 관한 연구. 서울대학교 농업개발연구소 연구보고서.
- 심순보, 이재구, 문희정, 신항식 (1992). 도시하천의 수자원 최적 활용을 위한 종합 수질 관리 시스템 개발. 한국과학재단 목적기초연구 보고서.
- 환경처, 과학기술처 (1993). GIS및 원격탐사기법을 이용한 환경정보추출 및 수질 관리 응용시스템 개발.
- Brown, L.C., and Barnwell, T.O. (1987). *The enhanced stream water quality models QUAL2E and QUAL2E_UNCAS : Documentation and user manual. Report # EPA/600/3-87/007*, Athens, GA.
- Foster, G.R., and Highfill, R.E. (1983). "Effect of terraces on soil loss : USLE P factor values for terraces." *J. Soil and Water Conservation*, Vol. 38, pp. 48-51.
- Gilliland, M.W., and Baxter-Potter, W. (1987).

- "A geographic Information system to predict nonpoint source pollution potential." *Water Resource Bulletin*. Vol. 23, No. 2, pp. 281-291.
- Hession, W.C., and Shanholtz, V.O. (1988). "A GIS for targeting nonpoint-source agricultural pollution." *J. of Soil and Water Conservation*, Vol. 43, No. 3, pp. 264-266.
- Mitchell, J.K., Engle, B.A., Srinivasan, R., Bingner, R.L., and Wang, S.S.Y. (1993). "Validation of AGNPS for small mild topography watersheds using an integrated AGNP/GIS." *Advances in Hydro-Science and-Engineering*, Volume I. Part A, Center for Computational Hydroscience and Engineering, University of Mississippi, University, MS. pp. 503-510.
- Hudson, N. (1971). *Soil Conservation*. Cornell University Press, Ithaca, New York.
- O'Brien, L.G. (1990). "NOMIS-A system for managing urban and regional small area statistics." *National GIS, Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 14, No. 1.
- Peirce, J.J. (1980). "Strategies to control nonpoint source water pollution." *Water Resources Bulletin*, Vol. 16, No. 2, pp. 220-225.
- Thomann, R.V., and Muller, J.A. (1987). *Principal of Surface Water Quality Modeling and Control*.
- Wischmeier, W.H., and Smith, D.D. (1978). "Predicting rainfall erosion losses-A guide to conservation planning." *Agric. Handbook 537*, USDA, SEA.

〈최종본 접수일 : 1997년 12월 12일〉