GIS를 이용한 유역의 토지이용별 비점오염부하량 분석

Analysis of Non-point source pollutant loads for Landuse of watershed using Geographic Information System

심 순 보* 정 승 권** 이 요 상***

1. 서 론

유역내로 유입되는 오염물질은 강우유출과정에서 지표유출로 용해되거나, 토사에 부착되어 유실 토양과 함께 하천이나 호소에 유입되어 하류로 이송된다.

이와 같이 공공수역으로 유입되는 오염물질은 크게 점오염원(Point source pollutant)과 비점오염원(Nonpoint source pollutant)으로 구분할 수 있다. 특히 강우에 의해 발생하는 비점오염원이 수계에 유입되는 특성은 대상지역의 토지이용특성, 환경시설현황, 도시현황, 기상학적 특성 및 지형에 따라 다르게 나타난다. 최근 수질오염의 특징이 과거의 대량 발생원의 점오염원에서, 도시강우유출, 농지 등에 의한 다수의 저농도 발생원의 비점오염원에 의한 광역적 수질오염으로 전환되는 상황으로 볼 때, 효율적인 유역의 수질관리를 위해서는 유역별, 토지이용별 비점오염원의 조사를 체계적을 실시하여 비점오염원의 발생을 근본적으로 저감시킬 수 있는 대책을 수립하여야 할 것이다.

본 연구에서는 GIS(Geographic Information System)를 이용하여 유역내 각 지점의 토지이용 특성을 고려하여 토지이용을 구분하고, 이를 바탕으로 분산형 수질모형인 AGNPS(AGricultural NonPoint Sources)를 구동함으로써 유역내 각 지점의 토지이용별 비점오염원 유출과 영향을 분석하고자 한다.

2. AGNPS 모형

AGNPS 모형은 미국 농무성(Agricultural Research Service)과 토양보존국(Soil Consevation Service) 그리고 미네소타 오염조절처(Minnesota Pollution Control Agency, MPCA) 가 공동으로 개발한 단일 호우사상에 대한 분포형 매개변수 모형이다. AGNPS 모형은 수문모형, 토양침식·이송모형, 영양염류모형의 세가지 부모형으로 구성되어 있으며, 유역을 수문특성이 균일한 격자로 구분하여 이들 격자에 대해 각각의 호우사상에 따른 수문인자, 토양침식 및 유사이송, N, P, COD 수질인자등의 성분을 계산하고, 이를 유역의 출구까지 추적해 대상유역의 비점오염 부하량을 산정하도록 구성되어 있다.

* 충북대학교 토목공학과 교수

** 충북대학교 토목공학과 공학석사

*** 한국수자원공사 수자원연구소 선임연구원

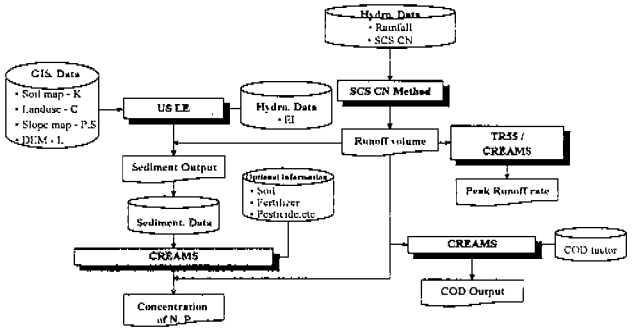

그림 1. Flowchart of AGNPS Model

3. 공간데이터베이스

본 연구에서는 대상유역의 공간정보를 구축하기 위해 GIS의 기본도인 수치고도도, 토지이용도, 토양도, 경사도를 이용하였으며, 기본도의 작성은 대상유역을 디지타이징한 자료를 토대로 본 연구 목적에 부합하도록 GIS Software를 이용하여 변환, 표준화시키는 작업을 하였다.

GIS 자료에 대한 좌표체계는 UTM-52n을 기준으로 하였으며, 구축된 자료의 변환과 출력자료 분석을 위해서는 GIS 소프트웨어는 Arcview(Ver. 3.0a)를 이용하였다.

GIS를 이용하여 ASCII형태로 산정된 유역의 공간정보들은 프로그램밍 언어인 FORTRAN을 이용하여 본 연구에서 사용된 AGNPS 모형의 입력 매개변수 형태에 맞게 프로그래밍 하였다.

3.1 흐름추적

분산형 모형인 AGNPS는 임의의 Cell에서 다른 Cell로의 이동을 추적함으로써 마지막 출구점까지의 유출량과 오염부하량의 흐름을 파악할 수 있다.

본 연구에서는 흐름추적에 따른 흐름방향을 구하기 위해 DEM을 이용하여 특정 Cell과 그에 인접한 8개 Cell의 고도값을 ASCII 형태로 나타내고 고도의 차를 이용하여 흐름방향과 Receiving cell number를 산정하였다.

그림 2는 모형의 입력매개변수 산정 알고리즘을 도시화한 것이다.

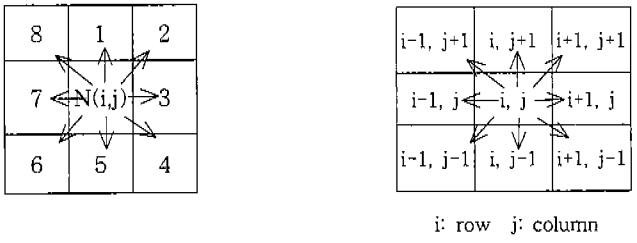

그림 2. Identification number of Flow direction & Receiveing cell number

4. 모형의 적용

4.1 대상유역

본 연구에서는 댐 저수지 유역을 중심으로 유역면적 301.776 km^2인 관촌유역과 117.895 km^2의 면적을 지닌 쌍치유역, 그리고 344.145 km^2의 댐 저수지 유역으로 구성되어있는 섬진강 유역을 대상유역으로 선정하였으며, 섬진강 유역에 거주하는 인구의 주 경제활동은 농·축산업으로 대부분의 토지가 임야(74.8%)와 농경지(15.3%)로 이용되고 있으며, 수질오염원은 주로 생활하수, 농·축산폐수로 볼 수 있다.

본 연구에서는 연구목적에 부합하도록 대상유역인 관촌유역을 300m×300m의 정방형 격자로 나누어 총 3274개의 격자망을 구성하였고, 쌍치유역은 유역면적상 200m×200m의 격자크기를 갖는 총 2872개의 격자망으로 구성하였다. 구성된 유역의 격자망은 그림 3과 같다.

그림 3 Grid map of Som-jin river basin

4. 2 강우사상

본 연구에서는 한국수자원공사 강우관측소가 관측, 기록한 관촌유역과 쌍치유역의 1998년에 발생한 5개의 강우사상 중 비교적 적용가능한 2개의 강우사상을 모형에 적용, 분석하였다. 적용된 수문자료는 표 1과 같다.

표 1. Hydrology data of Som-jin watershed by Rainfall event

Watershed	Date	Total rainfall (inches)	I_{60}max (inch/hour)	Peak discharge (CMS)
Gwan-chon	1998.8. 1~ 3	2.32	0.39	39.82
	1998.8.11~13	3.43	1.22	103.21
Ssang-chi	1998.8. 1~ 3	2.32	0.39	42.72
	1998.8.11~13	1.57	0.83	38.85

AGNPS의 수문모형에서는 유출량과 첨두유량을 계산하는데 필요한 수문 특성 인자를 요구하게 되는데, 이러한 수문인자들은 토지이용에 따라 AGNPS 모형의 매뉴얼로부터 그 값들을 선택, 적용하였다.

본 연구에서는 토지이용도로부터 각 토지이용의 value값을 ASCII file로 추출하여 Fortran 프로그래밍을 통해 해당 토지이용특성에 따라 Overland manning coefficient, Surface condition constant, SCS curve number를 산정, 적용하였으며, 그 결과는 그림 4(a)와 같다.

4.3 토양침식 및 유사이송

AGNPS 모형에서 토양 침식량은 USLE식을 기반으로 하여 산정 되는데, USLE식에 적용되는 강우에너지 인자는 강우사상에 따른 강우강도(I)로부터 운동에너지(E)를 구하고, 구한 운동에너지(E)와 강우강도(I)의 관계식에 의하여 강우에너지(R)값을 산정 하였다.

토양침식인자(K)는 본 연구에서 이미 구축된 토양도로부터 분류된 토양특성에 따라 토양 분류표를 이용하여 산정 하였고, 경사형인자(LS)는 경사각과 경사길이 두 개의 매개변수로 분류되는데, 경사각(%)의 산정은 이미 구축된 경사도(傾斜圖)에 나타나는 값을 이용하였고, 경사면 길이는 격자크기에 따라 관촌유역은 424m(1392ft), 쌍치유역은 283m(928ft)로 구분하여 적용하였다.

식생피복인자(C)는 이미 구축된 토지이용도로부터 토지이용 특성값을 분류하고, 그에 해당하는 C값을 분류표로부터 선정하여 적용하였다. 식생피복인자(P)는 수치고도도로부터 분석된 경사도(傾斜圖)로부터 구해진 경사각(%)을 이용하여 산정할 수 있었다.

산정된 USLE식의 매개변수들을 모형내에서 유사량(Sediment)과 유사퇴적율(Sediment delivery rate)을 산정하게 되고, 그 값들을 GIS scene을 이용해 나타내면 그림 4(b)와 같다.

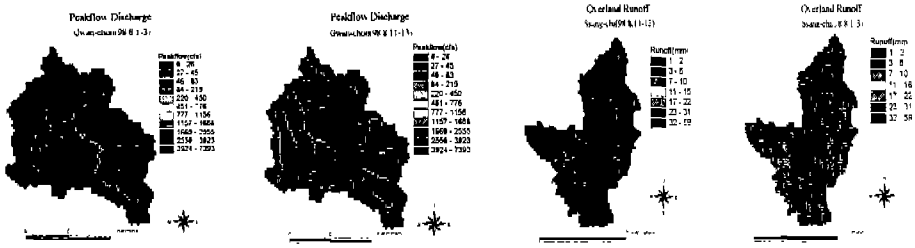

그림 4(a) Hydrology output Overland runoff of Som-jin river basin

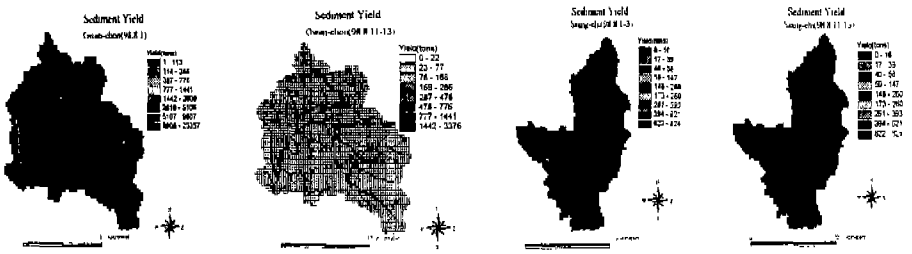

그림 4(b). Sediment yield of Som-jin river basin

4.4 영양염류이송

본 연구에서는 토양내에 함유되어 있는 영양염류량과 토양면 유출시 용해된 영양염류의 농도를 를 통해 영양염류량을 산정하는데, 토양형태에 따라 토양에 대비한 인과 질소의 양, 토양의 공극속에 함유된 인과 질소의 농도 등의 값이 매개변수로 사용된다.

이미 알려진 바와 같이 유출특성은 일반적으로 토지이용특성에 따라 나타난다. 도시적 토지이용이 비점오염원에 끼치는 영향은 각종 생산활동과 토지이용의 고도화, 택지개발 및 도로의 건설 등으로 불투수층의 비율이 높아져 비점오염부하량을 증가시킨다.

또한 비도시적 토지이용이 비점오염원에 끼치는 영향은 농지 및 산지에 대한 과도한 생산추구로 비점오염원 발생은 증가하는 반면 비점오염원을 감소시킬 수 있는 하천변 수림이나 늪지가 파괴되어 비점오염부하량이 증가하게 되는 것이다.

따라서 본 연구에서는 토지이용별 유역의 비점오염부하량을 산정하였고, 그 결과 그림 5와 같은 결과를 나타내었다.

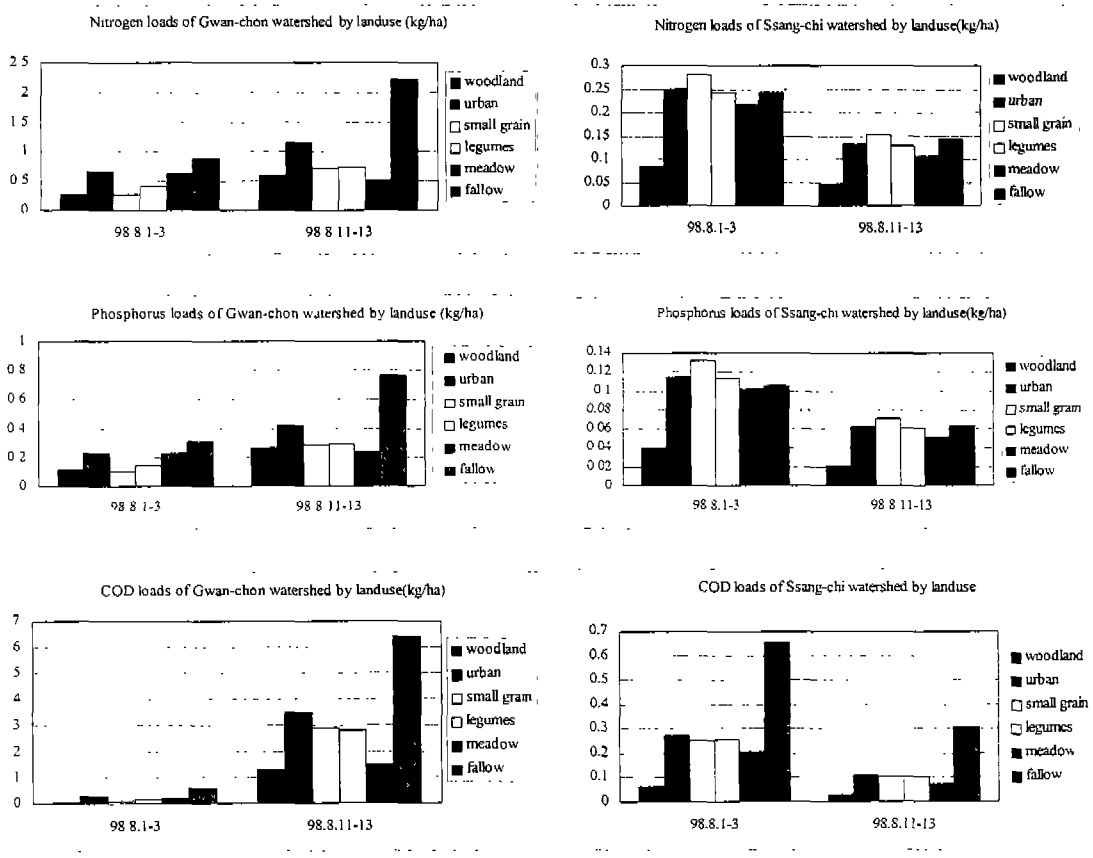

그림 5. Nutrient loads of unit area by landuse

5. 결 론

비점오염원에 의한 수체의 오염 특성과 인과관계 규명은 비점오염원의 간헐성과 공간적인 변수로 인해 제한을 받으며, 비점오염원 관리방안의 선정에 있어서도 토지이용상태, 유역특성에 따른 변수, 수체로 도달하기전의 오염물질의 복잡한 기작 등의 문제로 인해 어려움이 많다. 따라서 과거에는 수질관리가 쉽게 조절될 수 있는 점오염원에 집중되어 있었으나, 점오염원 부하량이 조절가능해 지고, 그 양이 감소함에도 불구하고 회복되지 않는 수체의 오염으로 인해 비점오염원의 중요성은 증가하게 되었고, 그에 대한 관리방안이 필수적인 과제로 부각되게 되었다.

본 연구에서는 공간분석이 가능한 GIS와 분산형 수질모형인 AGNPS를 이용하여 강우시 유역의 지형, 토양 혹은 토지이용상태 등에 따른 유역내의 비점오염원의 유출특성을 파악하고자 98년 8월 1~3일, 98년 8월 11~13일 두 개의 강우사상을 섬진강 유역에 적용하였고, 그에 따른 결론은 다음과 같다.

1) 유역에서 발생하는 토양침식량은 강우강도에 따른 강우에너지 인자로 인해 강우-유출에 비례하여 발생하였고, 토양별로 구분하여 산정한 결과 점토질 토양에서 다른 토양특성에 비해 매우 많은 양의 토양침식이 발생하였다.

2) 유역내에 발생하는 오염부하량의 총량은 토지이용의 대부분을 차지하는 산림지역에서 가장 크게 나타났지만, 단위면적당 오염부하량을 비교하였을 때 산림지에서의 단위면적당 질소 부하량은 최저치를 나타내었고, 휴경지와 도심지에서 많은 양의 질소 부하량이 발생하였다.

인 부하량의 경우 관촌유역은 휴경지와 도심지에서, 쌍치유역은 밭에서 다른 토지이용에 비해 많은 양이 발생하였고, 질소 부하량과 마찬가지로 산림지에서의 단위면적당 부하량은 가장 적게 나타났다.

3) 용해성 물질로만 한정되어 산정되는 COD의 경우 토지이용별 평균 COD 농도값이 가장 큰 휴경지에서 가장 많은 양의 COD가 발생하였고, 강우사상에 따라 비교해 본 결과 강우-유출이 많은 영향을 미침을 알 수 있었다.

6. 참고문헌

1. 김주훈(1999) 지리정보시스템에 의한 유역 비점오염 부하량 산정시스템 개발, 충북대학교 박사학위논문
2. 최지용, 신은성(1998) "농업지역 비점오염원 관리방안 연구" 한국환경정책·평가연구원 연구보고서
3. 환경부(1995) 비점오염원 조사연구사업보고서
4. 김진택(1995) 농업 비점원 오염모형을 위한 지리정보시스템 상호모형의 개발 및 적용, 서울대학교 박사학위논문
5. Abbott, M.B., and J.C. Refsgaard(1996) "Distributed Hydrological Modelling", Kluwer Academic Publishers, pp93-120