

저수지 유역의 오염부하 발생특성

이요상¹⁾ · 심규철²⁾

1. 서론

최근 수질오염의 특징은 과거의 대량 발생원의 점오염원에 의한 수질오염에서, 도시강우유출, 농지 등에 의한 다수의 저농도 발생원의 비점오염원에 의한 광역적 수질오염으로 전환되었다. 따라서 효율적인 유역의 수질관리를 위해서는 유역별, 토지이용별 비점오염원의 조사를 체계적으로 실시하여 비점오염원의 발생을 근본적으로 저감시킬 수 있는 대책을 수립하여야 할 것이다. 본 연구에서는 유역내 각 지점의 토지이용 특성을 고려하여 토지이용을 구분하고, 이를 바탕으로 분산형 수질 모형인 AGNPS를 적용하여 유역내 각 지점의 토지이용별 비점오염원 유출과 영향을 분석하였다.

2. 모형 및 공간 데이터베이스

2. 1 AGNPS 모형

모형은 미국 농무성 ARS와 토양보존국 그리고 미네소타 오염조절처가 공동으로 개발한 단일 호우사상에 대한 분포형 매개변수 모형으로 수문모형, 토양침식·이송모형, 영양염류 모형의 세가지 부모형으로 구성되어 있으며, 유역을 수문특성이 균일한 격자로 구분하여 이들 격자에 대해 각각의 호우사상에 따른 수문인자, 토양침식 및 유사이송, N, P, COD 수질인자 등의 성분을 계산하고, 이를 유역의 출구까지 추적해 대상유역의 비점오염 부하를 산정 하도록 구성되어 있다.

2. 2 공간 데이터베이스

대상 유역에 대한 GIS의 기본도인 수치고도도, 토지이용도, 토양도, 경사도를 AGNPS 모형의 입력 매개변수 산정을 위해 작성하였으며 ASCII형태로 산정된 유역의 공간정보들은 프로그래밍 언어인 FORTRAN을 이용하여 본 연구에서 사용된 AGNPS 모형의 입력 매개변수 형태에 맞게 프로그래밍 하였다. 흐름방향과 흐름방향에 따른 이동 격자번호, 경사길이 등의 매개변수들은 GIS의 DEM 자료를 이용하였고, 토지이용도로 부터는 SCS-CN, Overland Manning coefficient, USLE식의 C factor와 지표면 상태상수 그리고 COD factor를 산정하였다. 토양유실량을 산정하기 위해 필요한 USLE식의 K factor와 SCS CN을 구하기 위해 산정되는 Soil type은 토양도로부터 산정 하였고, DEM으로부터 생성되는 경사도는 USLE식의 S factor와 P factor 산정을 위해 이용된다.

-
- 1) 한국수자원공사 수자원연구소, 선임연구원
 - 2) 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단, 연구관리팀장

2. 3 흐름 추적

분산형 수질모형인 AGNPS는 임의의 Cell에서 다른 Cell로의 이동을 추적함으로써 마지막 출구점까지 침투유량과 오염 부하량의 흐름을 파악할 수 있다. 산정된 Flow direction은 또 다른 입력 매개변수인 Receiving cell number를 생성하게 된다.

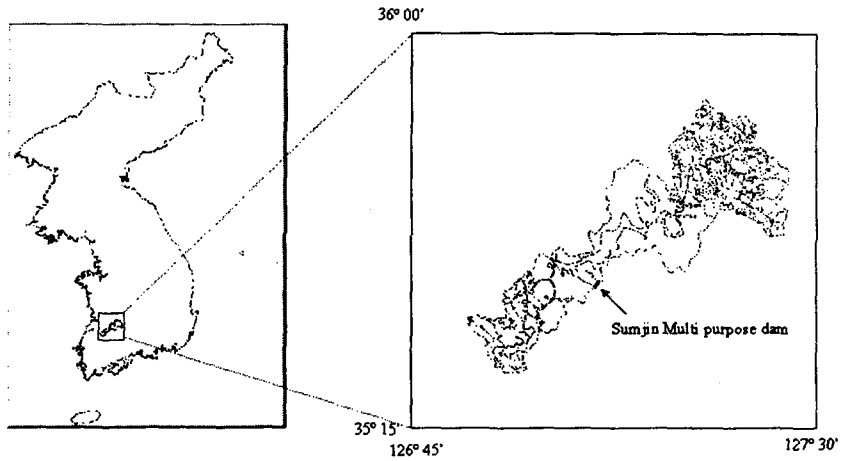
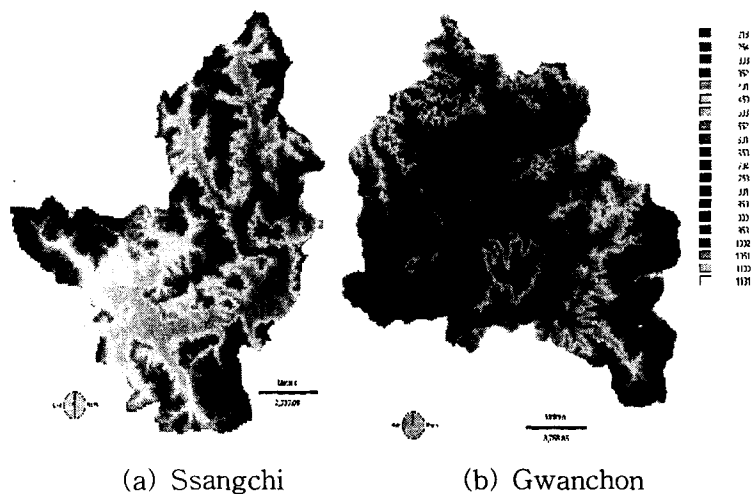


그림 1 대상 유역도

3. 적용

3. 1 대상유역

섬진강댐 유역 중(그림 1) 유역면적이 301.8km²인 관촌유역과 117.9km²의 면적을 지닌 쌍치유역을 대상으로 하였다. 거주하는 인구의 주 경제활동은 농·축산업으로 대부분의 토지가 임야(74.8%)와 농경지(15.3%)로 이용되고 있으며, 수질오염원은 주로 생활하수, 농·축산폐수로 되어 있다. 본 연구에서는 대상유역인 관촌유역과 쌍치유역을 격자망으로 구성하였다(그림 2).



(a) Ssangchi

(b) Gwanchon

그림 2 대상 유역의 DEM

표 1 적용된 강우사상

유역	강우사상	총강우량(mm)	침투유량(CMS)
관촌	98. 8. 1 - 3	59	109.81
	98. 8. 11 - 13	110	275.79
	99. 6. 23 - 25	73	8.82
	99. 7. 1 - 3	49	21.83
	99. 8. 2 - 4	84	146.08
쌍치	98. 8. 1 - 3	59	107.10
	98. 8. 11 - 13	40	89.73
	99. 6. 23 - 25	73	48.30
	99. 7. 1 - 3	74	3.50
	99. 8. 2 - 4	53	51.19

3. 2 Hydrology

본 연구에서 사용한 수문자료는 한국수자원공사 강우관측소가 관측, 기록한 관촌유역과 쌍치유역의 1998년과 1999년 동안에 발생한 5개의 강우사상을 적용하였으며, 선정된 수문자료는 표 1과 같다. AGNPS의 수문모형에서는 유출량과 침투유량을 계산하는데 필요한 수문 특성 인자를 요구하게 되는데, 이러한 수문인자들은 토지이용에 따라 AGNPS 모형의 매뉴얼로부터 그 값들을 선택, 적용하였다. 토지이용도로부터 각 토지이용의 value값을 ASCII file로 추출하여 Fortran 프로그램을 통해 해당 토지이용특성에 따라 Overland Manning coefficient, Surface condition constant, SCS Curve number를 산정, 적용하였으며 그 결과는 다음 그림 3과 같다.

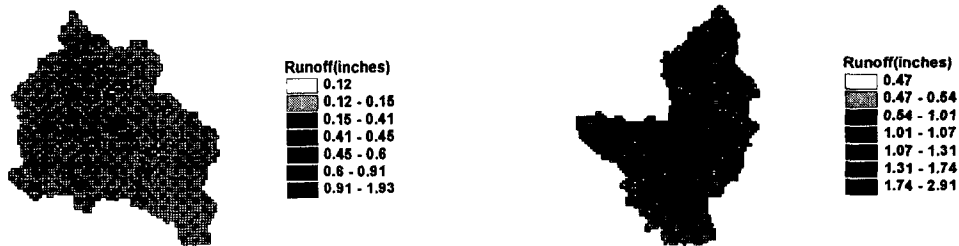


그림 3 대상유역의 유출 (99. 6. 23~25)

3. 3 토양침식과 토사이동

모형에서 토양 침식량은 USLE식을 기반으로 산정되며 토양침식인자(K)는 본 연구에서 이미 구축된 토양도로부터 분류된 토양특성에 따라 토양 분류표를 이용하여 산정 하였다. 경사형인자(LS)에서 경사각(%)의 산정은 이미 구축된 경사도에 나타나는 값을 이용하였고, 경사면 길이는

유역의 격자크기에 따라 구분하여 적용하였다. 식생피복인자(C)는 이미 구축된 토지이용도로부터 토지이용 특성값을 분류하고, 그에 해당하는 값을 적용하였으며 토양보존인자(P)는 DEM으로부터 분석된 경사도로부터 구해진 경사각(%)을 이용하여 산정하였다. 산정된 USLE식의 매개변수들은 모형내에서 유사량(sediment)과 유사 퇴적율(Sediment delivery rate)을 산정하게 되고, 그 값들을 GIS scene을 이용해 나타내면 그림 4와 같다.

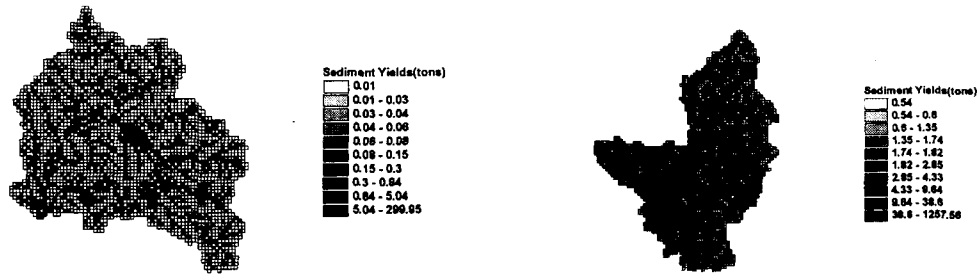


그림 4 대상유역의 Sediment yield (99. 6. 23~25)

표 2 강우시 영양염의 평균농도

유역	강우사상	총강우량 (mm)	N의 평균농도 (mg/L)	P의 평균농도 (mg/L)	COD 평균농도 (mg/L)
관촌	98. 8. 1 - 3	59	8.25	0.088	3.94
	98. 8. 11 - 13	110	7.12	0.052	3.86
	99. 6. 23 - 25	73	8.13	0.168	4.82
	99. 7. 1 - 3	49	6.78	0.096	5.24
	99. 8. 2 - 4	84	8.58	0.090	3.23
쌍치	98. 8. 1 - 3	59	7.01	0.054	1.90
	98. 8. 11 - 13	40	6.03	0.044	2.10
	99. 6. 23 - 25	73	5.69	0.079	2.79
	99. 7. 1 - 3	74	7.23	0.097	3.31
	99. 8. 2 - 4	53	8.03	0.070	2.60

3. 4 오염물질

본 연구에서 사용된 모형은 영양염 부하 산정시 토양에 흡착되어 이송되는 것과 물에 용해되어 유출되는 것으로 구분하여 산정한다. 영양염류량의 산정을 위해서는 토양내에 함유되어 있는 영양염류량과 토양면 유출시 용해된 영양염류의 농도를 알아야 하는데, 모형에서 요구하는 매개변수는 토양정보로서 토양형태에 따라 토양에 대비한 인과 질소의 양, 토양의 공극 속에 함유된 인

과 질소의 농도 등의 값을 요구하게 된다. .

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 증가시키고, 비도시적 토지이용이 비점오염원에 끼치는 영향은 농지 및 산지에 대한 과도한 생산추구로 비점오염원 발생은 증가시키는 반면 비점오염원을 감소시킬 수 있는 하천변 수림이나 늪지가 파괴되어 비점오염부하량이 증가하게 되는 것이다. 따라서 본 연구에서는 토지이용별 구역의 비점오염 부하량을 산정 함으로써 구역의 최적수질관리 방안수립에 이용하고자 하였다. 산정된 각 구역별 오염원별 유출농도는 그림 5, 6과 같다.

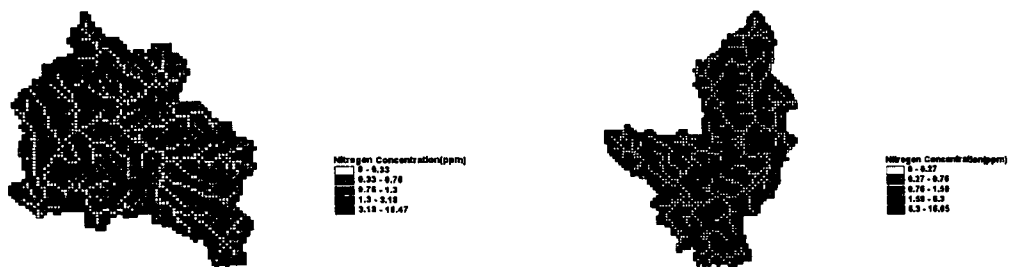


그림 5 강우시 유출수의 질소농도 (99. 6. 23~25)

관촌유역에서 단위 면적당 질소 부하가 가장 크게 산정된 값은 2.21kg/ha(37.33%)로 휴한지에서 측정되었으며 쌍치유역에서는 0.28kg/ha(21.23%)로 곡물밭으로 나타났다. 토지이용에 따른 질소의 평균농도는 표 2와 같다. 관촌 유역에서 단위면적당 인 부하가 가장 크게 산정된 값은 0.76kg/ha로 휴한지에서 산정 되었으며 쌍치 유역에서는 곡물밭에서 0.13kg/ha로 산정 되었다. 관촌유역에서 단위면적당 COD 최대부하는 휴한지에서 6.4kg/ha로 산정 되었고 쌍치 유역에서도 휴한지에서 0.665kg/ha로 산정 되었다



그림 6 강우시 유출수의 인농도 (99. 6. 23~25)

본 연구는 5 개의 강우사상을 선정하여 유역내에 발생하는 오염부하량을 토지이용별로 구분하

여 분석하였으며, 분석결과 유역에서 발생하는 오염부하량은 모두 유출량에 의해 그 양상이 변하는 것으로 나타났다. 특히 토양침식량은 강우에너지 인자에 큰 영향을 받아 강우-유출량에 비례하여 발생하였고, 점토질 토양에서 상대적으로 매우 많은 양의 토양침식이 발생하였다.

4. 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. 본 연구에서는 공간분석이 가능한 GIS와 분산형 수질모형인 AGNPS를 이용하여 강우시 유역의 지형, 토양 혹은 토지이용상태 등에 따른 유역내의 비점오염원의 유출특성을 파악하고자 5개 강우사상에 대하여 모의를 실시하였다.

- 1) AGNPS 모형을 이용한 오염부하 산정값은 측정값과 유사하였다.
- 2) 토양침식은 유출량에 비례하는 것으로 나타났으며 5가지 토양형태중 clay에서 가장 크게 나타났다.
- 3) 질소, 인과 COD의 오염부하 유출이 가장 크게 나타난 것은 유희지이며 가장 작게 나타난 것은 삼림지였다.

참고문헌

1. C. Demuyneck, W. Bauwens, N. De Pauw, I. Dobbelaere and E. Poleman., "Evaluation of Pollution Reduction Scenarios in a River Basin: Application of Long Term Water Quality Simulations.", Wat. Sci. Tech., Vol. 35, No. 9, pp. 65~75, 1997
2. David R. Maidment, 1992. Handbook of Hydrology, McGraw Hill
3. Foster, I., A. Gurnell, and B. Webb(1995), "Sediment and Water Quality in River Catchments", John Wiley & Sons Ltd., pp.97-106
4. Gregory L. Morris, Jiahua Fan, 1997. Reservoir Sediment Handbook, McGraw Hill.
5. Patricia Lohgabucco and Michael R. Rafferty., "Analysis of Material Loading to Cannonsville Reservoir: Advantages of Event-Based Sampling", Journal of Lake and Reservoir Management, 14(2-3), pp. 197~212, 1998.
6. Shim, S.B., Y.S. Lee, D.G. Koh, "System Development for the Estimation of Pollutant Loads on Reservoir", Korea Journal of Hydrosiences, Vol. 10, June, 1999.
7. Vijay P. Singh etc. 1996. Geographical Information System in Hydrology, Kluwer Academic Publishers