

충주댐 상류유역의 유사 및 영양물질 모의 발생

Simulation of sediment and nutrients loadings from Chungju Dam upstream watershed

김철겸*, 김남원**

Chul Gyum Kim, Nam Won Kim

요 지

본 연구에서는 유역의 비점오염물질의 거동을 해석할 수 있는 분포형 모델링 기법으로서 SWAT 모형을 선정하고, 충주댐 유역에 대해 모형 입력자료 및 물리적 매개변수 자료를 구축하였다. 구축된 모형을 이용하여 각 하도구간별 오염원에 따른 오염부하량 발생량을 비교한 결과, 산림지로 구성된 대부분의 상류부 소유역에서 점오염원에 의한 부하량이 매우 작게 나타났으며, 총 오염부하량도 상대적으로 작게 나타났다. 다만, 상류유역 중에서 유역면적이 상대적으로 넓고 유역내 밭의 비율이 높은 송천 유역의 경우는 오염부하량이 다소 높게 나타났다. 그리고 제천시를 포함하고 있는 도시지역인 8번 유역에서는 점오염원에 의한 부하량이 비점오염원에 의한 부하량보다 높게 나타났으며, 유역 전체로는 총질소의 경우 14%, 총인의 경우 23% 정도가 점원에 의한 오염부하량으로 나타났다. 이상의 결과로부터 각 하도구간별로 오염원에 따른 오염부하량을 비교함으로써 대상유역에서의 점오염원과 비점오염원에 의한 부하량의 영향을 검토할 수 있었다.

핵심용어 : 충주댐, SWAT, 오염부하량, 비점오염

1. 서 론

그 동안의 우리나라의 수질보전정책은 도시지역 하수처리장 설치 및 산업폐수처리 의무 부과 등 주로 점오염원 위주로 추진된데 비해 비점오염원에 대한 관심 부족과 관리 소홀로 인해 최근에는 비점오염원에 의한 오염부하량이 해마다 증가하고 있는 추세이다. 팔당상수원의 경우 전체 BOD 배출량의 44.5%가 비점오염원에서 배출되고 있으며, 2020년에는 54.3%까지 증가할 것으로 예측되고 있다 (환경부, 2000). 따라서, 수질오염에 미치는 영향이 큰 비점오염원에 대한 관리 없이는 4대강 상수원의 수질개선 목표 달성에 한계가 있다.

비점오염원은 도시, 도로, 농지, 산지, 공사장 등과 같이 불특정한 장소에서 불특정하게 수질오염을 배출하는 오염원을 말하며, 산지나 논·밭에 비해 도시·공업지역에서 유출량이 높고, 대부분 강우 유출수와 함께 이동하여 유역전반에 걸쳐 많은 오염 현상을 발생시키고 있다.

그렇지만, 이에 대한 관측이 현실적으로 쉽지 않고, 물질 이동에 대한 연구 또한 현재로서는 미미한 편으로 이를 해석할 수 있는 모델링이 필요하며, 강우-유출 관계의 해석뿐만 아니라 비점오염물질의 거동을 해석할 수 있는 기법이 필요하고, 유역의 다양한 물리적 특성과 그 변화를 반영할 수 있는 기법, 즉 물리적 기반의 분포형 모델링 기법이 필요하다.

본 연구에서 활용하고자 하는 SWAT 모형은 유사, 질소, 인 등과 같은 비점오염원의 거동을 유역의 지형, 지질, 기후, 토양, 수문학적 특성, 영농형태 등을 고려하여 모델링함으로써, 오염부하

* 정희원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원 · E-mail : cgkim@kict.re.kr

** 정희원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원 · E-mail : nwkim@kict.re.kr

량을 예측과 관리 및 유역의 물리적 변화에 따른 수문·수질 영향을 평가할 수 있는 장점을 가지고 있다.

여기서는, 충주댐 상류유역에 대해 SWAT 모형을 구축하고, 구축된 모형을 이용하여 각 하도 구간별 오염원에 따른 오염부하량 발생량을 비교함으로써, 유역내 점오염원과 비점오염원에 의한 부하량을 영향을 검토하고자 한다.

2. 자료 및 방법

2.1 대상유역

충주댐 상류 유역을 대상유역으로 선정하였으며, 유역면적은 약 6,648 km²이고, 유로연장은 375 km에 달하며, 3개도 (충청북도, 강원도, 경상북도), 13개 시·군으로 구성되며, 전 국토의 6.7%를 차지하고 있다. 충주호는 만수 시 수표면적 86 km²로서 충주시, 제천시, 단양군과 인접하고 있으며, 풍수기에는 발전 및 여수로 방류 등에 의해 유입수 체류시간이 짧고, 갈수기에는 유입량의 감소로 인하여 유입수의 체류시간과 저수지에서의 체류시간이 길다. 또한 2003년 수질조사 자료에 의한 평가 결과 중영양에서 부영양으로 수질이 변화하고 있고, 저수지 유입 유기물 퇴적량이 증가하고 있기 때문에 부영양화 속도가 빨라지는 것으로 나타났다 (한국수자원공사, 2003).

본 연구에서는 SWAT 모형 적용을 위해 그림 1과 같이 환경부에서 제시하는 오염총량제에 의한 단위유역 구분에 따라 10개의 소유역으로 구분하였다.

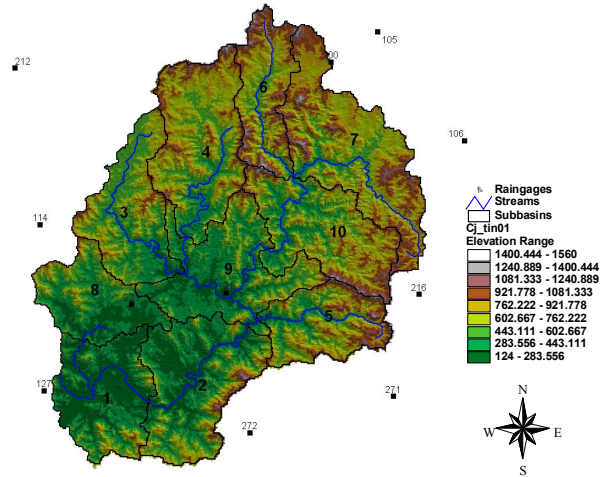


그림 1. 충주댐 유역 소유역 구분

2.2 모형 입력자료 구축

가. 수문 입력자료 구축

SWAT 모형 구축을 위해 환경부의 DEM (300m×300m)과 토지피복도 (1:50,000), 농업과 학기술원의 정밀토양도 (1:25,000) 등의 GIS 자료를 구축하였으며, 하천 생성을 위한 최소 배수 면적 (임계면적)은 1,000 ha로 설정하고, HRU 생성을 위한 토지이용과 토양특성 임계면적 비율은 5%로 설정하여 유역내 10개 소유역에 대해 총 197개의 HRU를 생성하였다 (한국건설기술연구원, 2006). 또한, 증발산량 산정을 위해 필요한 일 기상자료는 대관령, 동해, 원주, 영월, 충주, 태백, 제천, 춘영, 영주 등 9개의 기상청 관할 기상관측소 자료를 활용하였으며, 태양복사량 관측 자료가 없거나 결측된 일부 관측소에 대해서는 Angstrom 공식 (Allen 등, 1998)을 활용하여 일조시간으로부터 환산하여 적용하였다.

나. 오염원 자료 구축

모형내에서 비점오염 모의뿐만 아니라 점 오염원에 대한 고려를 위해 유역내 오염원 총괄 현황 및 각 환경기초시설 (하수종말처리시설, 마을하수처리시설, 분뇨처리시설, 공단 및 축산폐수처리시설)에 대한 시설용량 등을 조사하였다.

표 1은 유역내 오염원에 대한 총괄 현황을 나타낸 것이며, 본 연구에서는 토지에서 발생하는 비점오염원에 대한 것을 제외한 나머지 오염원들로부터의 부하량이 모두 환경기초시설에서 처리 되는 것으로 가정하였다.

「충주댐 관리연보 (한국수자원공사, 2003)」에서 제시하고 있는 환경기초시설이 모두 가동된 다 보고 그 가동 효율은 70%로 가정하였으며, 표 2에 나타난 각 처리시설별 방류수 수질 기준을 적용하여 각 시설별 배출되는 부유물질, 총질소, 총인의 배출부하량을 계산하였으며, 다시 관측 수질자료에서 나타나는 질소 및 총인 항목들의 비율을 고려하여 표 3과 같이 모형 적용을 위해 필요한 항목들에 대한 배출 부하량을 소유역별로 추정하였다. 표 4는 각 항목들에 대한 배출 부하량 산정을 위해 가정한 항목별 배출 비율을 나타낸 것이다.

표 1. 오염원 총괄 현황

구 분		현 황	구 분		현 황	
인구 (인)	도시	205,249	토지 (km ²)	논	134	
	시외	144,901		밭	541	
	소계	350,150		대지	40	
가축 (두)	한우	37,684		임야	5,505	
	젓소	6,220		목장	40	
	말	45		골프장	4	
	돼지	97,404		기타	384	
	가금류	891,468		소계	6,648	
	산양	118,598		산업폐수 (m ³)		41,186
	사슴	5,741				
	소계	1,157,160				

*자료: 충주댐 관리연보 (한국수자원공사, 2003)

표 2. 처리시설별 방류수 수질 기준

처리시설 구분	부유물질(SS) (mg/L)	총질소(T-N) (mg/L)	총인(T-P) (mg/L)	관련법령
폐수종말처리시설	30	60	8	수질환경보전법시행규칙 (제5조 관련)
하수종말처리시설	20	60	8	하수도법시행규칙 (제6조제1항 관련)
분뇨처리시설및축산폐수공공처리시설	30	60	8	오수·분뇨및축산폐수의처리에관한법률 시행규칙 (제9조제1항 관련)

표 3. 소유역별 환경기초시설 배출부하량

소유역	WaterFlow (m ³ /day)	SS (ton/day)	org-N (kg/day)	NO3 (kg/day)	NH3 (kg/day)	NO2 (kg/day)	org-P (kg/day)	min-P (kg/day)
1	440	0.009	1.32	24.27	0.53	0.26	0.18	3.34
2	6,992	0.144	20.97	385.94	8.39	4.19	2.80	53.14
3	1,469	0.029	4.41	81.07	1.76	0.88	0.59	11.16
4	3,836	0.077	11.51	211.75	4.60	2.30	1.53	29.15
5	28	0.001	0.08	1.55	0.03	0.02	0.01	0.21
6	3,702	0.074	11.10	204.33	4.44	2.22	1.48	28.13
7	2,962	0.059	8.89	163.49	3.55	1.78	1.18	22.51
8	49,090	0.982	147.27	2,709.75	58.91	29.45	19.64	373.08
9	9,958	0.199	29.87	549.65	11.95	5.97	3.98	75.68
10	6,961	0.140	20.88	384.24	8.35	4.18	2.78	52.90

표 4. 배출 부하량 내 질소 및 인 항목별 배출 비율

질소 배출 비율 (%)					인 배출 비율 (%)		
T-N	org-N	NO3	NH3	NO2	T-P	org-P	min-P
100	5	92	2	1	100	5	95

2.3 모형 보정 및 검증

비점오염 영양물질인 질소와 인은 물 또는 유사와 함께 이동되고, 다시 유사는 물의 이동에 의해 좌우된다. 따라서 모형 보정을 위해 먼저 유출과 관련된 매개변수를 보정하고, 이후 유사 관련 매개변수, 영양물질 관련 매개변수의 순으로 보정하였다. 이때 영양물질에 관련된 매개변수는 유사 및 유출에도 영향을 미칠 수 있으므로, 유출 관련 매개변수의 보정 후 유사 관련 매개변수를 보정할 때에는 앞선 유출 매개변수를 제외한 유사에 관련된 매개변수에 대해서만 보정을 수행하고, 마찬가지로 영양물질에만 관련된 매개변수만을 이용하여 모형을 보정함으로써 보정 결과가 유사 또는 유출 모의값에 영향을 주지 않도록 하였다.

3. 모형의 적용

유역내 오염원별 유사량 및 오염부하량 특성을 살펴보기 위하여 각 하도 구간별 오염원에 따른 유사량과 오염부하량을 비교하였다.

여기서의 하도구간은 해당 하도구간의 상류유역을 모두 포함하는 것으로서, 충주댐이 위치한 1번이 대상 유역 전체에 대한 결과를 나타내고 있음을 의미한다.

그림 2는 하도별 오염원에 따른 유사량을 비교한 것으로, 대부분의 소유역 하도구간에서 점오염원에 의한 유사량은 거의 없는 것으로 나타났고, 특히 상류인 5번 옥동천 유역에서의 유사량은 점원, 비점원 모두 매우 작은 값으로 모의되었다. 상류에서는 7번 송천 유역에서의 유사량이 많은 것으로 나타나고 있으며, 이의 영향을 받아 하류부인 10번, 9번, 2번, 1번에서의 유사량이 크게 모의되었다.

그림 3은 총질소 부하량을 비교한 것으로, 역시 대부분 산림지로 구성된 상류부인 3, 4, 5, 6, 7번 소유역에서의 점오염원에 의한 부하량이 매우 작게 모의되고 있는 반면, 제천시가 위치한 8번 소유역에서는 상대적으로 비점오염원보다 점오염원에 의한 영향이 더 크게 나타나, 도시지역에서의 점원오염 부하량 관리의 상대적 중요성을 파악할 수 있었다. 나머지 하류부에서는 대체적으로 비점오염원의 영향이 더 크게 나타났다.

그림 4는 하도별 총인 부하량을 비교한 것으로, 총질소와 비슷한 경향을 나타내고 있다. 즉, 상류지역인 3, 4, 5, 6, 7번에서의 점오염원에 의한 부하량은 상대적으로 매우 작게 나타났으며, 제천시가 위치한 8번 소유역에서는 점오염원에 의한 총인 부하량이 비점오염원에 의한 양보다 더 크게 나타났다.

앞선 결과와 마찬가지로 상류유역인 7번 송천 유역은 다른 상류 유역에 비하여 오염부하량이 크게 나타나는데, 이는 유역면적이 넓고 유역내 밭의 면적비율 (11.7%)이 높기 때문인 것으로 생각된다.

표 5는 위의 결과로부터 하도별 오염원에 따른 유사 및 영양물질 부하량 비율을 나타낸 것이다. 도시지역인 8번 소유역에서의 점오염원에 의한 부하량이 상대적으로 크게 나타났으며, 유역 전체로는 총질소의 경우 약 14%, 총인의 경우 23%가 점원에 의한 오염부하량으로 나타났다.

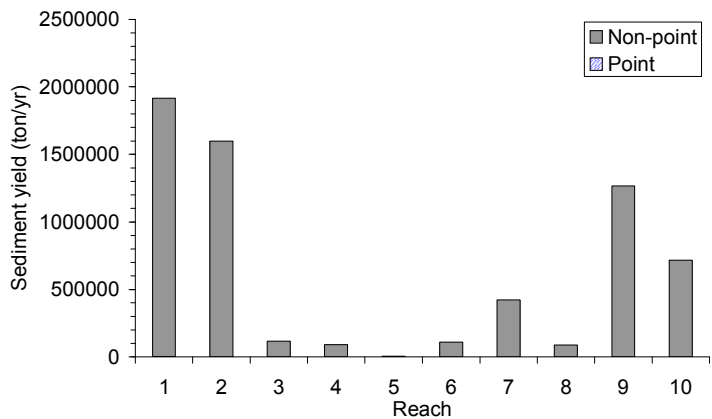


그림 2. 하도별 오염원에 따른 유사량

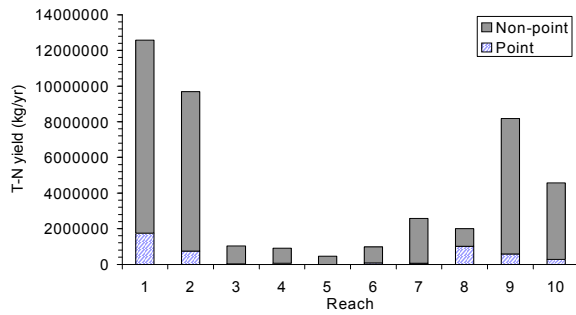


그림 3. 하도별 오염원에 따른 총질소 부하량

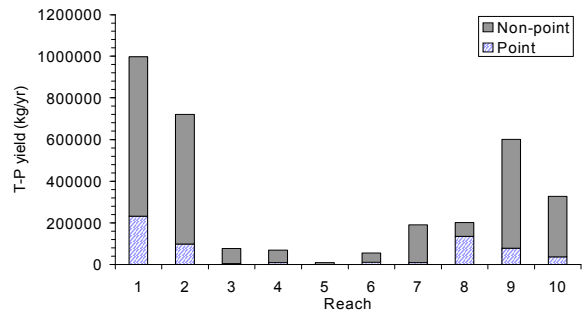


그림 4. 하도별 오염원에 따른 총인 부하량

표 5. 하도별 오염원에 따른 유사 및 영양물질 부하량 비율

하도별	부유물질 (SS)		총질소 (T-P)		총인 (T-P)	
	점원	비점원	점원	비점원	점원	비점원
1	0.2	99.8	13.9	86.1	23.2	76.8
2	0.1	99.9	7.6	92.4	13.5	86.5
3	0.0	100.0	2.9	97.1	5.2	94.8
4	0.0	100.0	7.8	92.2	13.7	86.3
5	0.0	100.0	0.1	99.9	0.8	99.2
6	0.0	100.0	7.8	92.2	18.3	81.7
7	0.0	100.0	2.4	97.6	4.3	95.7
8	1.8	98.2	50.6	49.4	67.1	32.9
9	0.0	100.0	7.2	92.8	13.0	87.0
10	0.0	100.0	6.1	93.9	11.2	88.8

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 유역 유사량 및 오염부하량 해석을 위해 SWAT 모형을 선정하고, 충주댐 유역에 대해 모형 입력자료 및 물리적 매개변수 자료를 구축하였으며, 구축된 모형을 통하여 각 하도 구간별 오염원에 따른 유사 및 오염부하 발생량을 비교하였다.

비교 결과, 산림지로 구성된 대부분의 상류부 소유역에서 점오염원에 의한 부하량이 매우 작게 나타났으며, 총 오염부하량도 상대적으로 작게 나타났다. 다만, 상류유역 중에서 유역면적이 상대적으로 넓고 유역내 밭의 비율이 높은 송천 유역의 경우는 오염부하량이 다소 높게 나타났다. 그리고 제천시를 포함하고 있는 도시지역인 8번 유역에서는 점오염원에 의한 부하량이 비점오염원에 의한 부하량보다 높게 나타났으며, 유역 전체로는 총질소의 경우 14%, 총인의 경우 23% 정도가 점원에 의한 오염부하량으로 나타났다. 이상의 결과로부터 각 하도구간별로 오염원에 따른 오염부하량을 비교함으로써 대상유역에서의 점오염원과 비점오염원에 의한 부하량의 영향을 검토할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 2-2-2)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 한국수자원공사 (2003). 충주댐 관리연보.
2. 환경부 (2004). 수질오염총량관리 업무편람.