

충주댐 상류유역의 유사량 및 오염부하량 발생의 시공간적 특성

Characteristics of temporal and spatial distribution of sediment and pollutant loads from the Chungju Dam upstream watershed

김철겸*, 김남원**, 이정은***, 이병주****

Chul Gyum Kim, Nam Won Kim, Jeong Eun, Byong Ju Lee

요 지

본 연구에서는 준분포형 물리모형인 SWAT 모형을 통하여 유역 유사량 및 오염부하량 발생의 시공간적 특성을 파악하기 위해 충주댐 상류유역을 대상으로 모형을 구축 적용하였다. 대상유역에 대한 유출·유사·영양물질 관련 매개변수의 보정 및 모형 검증을 수행한 결과, 유출에 대해서는 모형효율지수 0.8 정도의 안정적인 결과를 얻을 수 있었으며, 유사와 인에 대해서는 대략적인 정성적 경향을 파악할 수 있었다. 구축된 모형을 통하여 대상유역에 대해 배수면적별 비유사량의 일정한 관계를 도출할 수 있었으며, 식생에 따른 단위면적별 발생 유사량 및 오염부하량을 검토함으로써 식생별 침식 및 부하량 발생 정도를 평가할 수 있었다. 또한, 하도구간별 오염원에 따른 유사 및 오염부하량을 검토하고, 월별 평균 유사량과 오염부하량을 검토함으로써 시공간적인 분포 특성을 파악할 수 있었다. 아울러 유역내 토양보전기법의 적용에 따른 유사 및 총질소, 총인의 저감효과도 평가할 수 있었다.

핵심용어 : 충주댐, SWAT, 유사량, 오염부하량, 비점오염

1. 서 론

충주호는 충주시, 제천시, 단양군과 인접하고 있으며, 풍수기에는 발전 및 여수로 방류 등에 의해 유입수 체류시간이 짧고, 갈수기에는 유입량의 감소로 인하여 체류시간이 긴 특징을 가지고 있다. 이런 이유로 인해 갈수기의 경우 상류로부터 유입된 오염물질이 오랜 기간 체류하면서 호소내 수질문제를 야기하고 있으며, 2003년 수질조사 자료에 의한 평가 결과에 따르면, 충주호의 수질상태가 중영양상태에서 부영양상태로 변하고 있고, 유입되는 유기물 퇴적량이 증가하고 있어 부영양화가 빠르게 진행되고 있는 것으로 나타났다 (한국수자원공사, 2003).

본 연구에서는 충주댐 상류유역을 대상으로 물리적 매개변수를 바탕으로 한 준분포형 모형인 SWAT을 적용하여, 유역 규모에 따른 유사량 특성과 식생에 따른 유사 및 오염부하량 발생 특성, 하도구간별 그리고 월별 오염원에 따른 유사 및 오염부하량 특성을 검토함으로써 공간적·시간적인 분포 특성을 파악하고자 하며, 아울러 토양보전기법의 적용에 따른 유사 및 오염부하량의 저감 효과에 대해서도 평가하고자 한다.

* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원 · E-mail : cgkim@kict.re.kr
** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 책임연구원 · E-mail : nwkim@kict.re.kr
*** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · E-mail : jeus22@kict.re.kr
**** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · E-mail : bilee@kict.re.kr

2. 모형의 구축

2.1 대상유역

충주댐 상류 유역을 대상유역으로 선정하였으며, 유역 면적은 약 6,648 km²이고, 유로연장은 375 km에 달하며, 3 개도 (충청북도, 강원도, 경상북도), 13개 시·군으로 구성되며, 전 국토의 6.7%를 차지하고 있다.

본 연구에서는 SWAT 모형 적용을 위해 그림 1과 같이 환경부에서 관할하고 있는 수질측정망을 기준으로 14 개의 소유역으로 구분하였다.

2.2 모형 입력자료 구축

SWAT 모형 구축을 위해 환경부의 DEM (100m×100m)과 토지피복도 (1:50,000), 농업과학기술원의 정밀토양도 (1:25,000) 등의 GIS 자료를 구축하였으며, 하천 생성을 위한 최소 배수면적 (임계면적)은 5,000 ha로 설정하고, HRU 생성을 위한 토지이용과 토양특성 임계면적 비율은 3%로 설정하여 유역내 14개 소유역에 대해 총 406개의 HRU를 생성하였다 (한국건설기술연구원, 2007).

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 조사하였으며, 「충주댐 관리연보 (한국수자원공사, 2003)」에서 제시하고 있는 환경기초시설이 모두 가동된다 보고 가동 효율은 70%로 가정하였다.

2.3 모형 보정 및 검증

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.

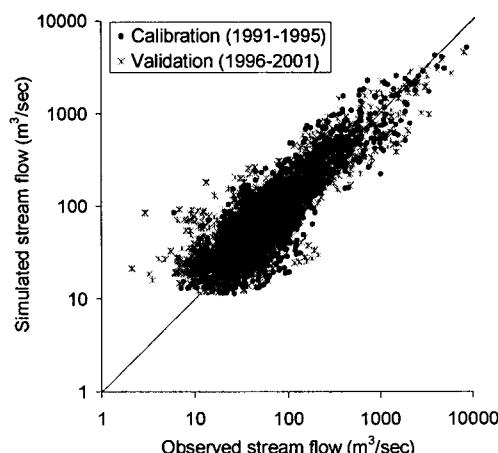


그림 2. 유량 보정 및 검증 결과

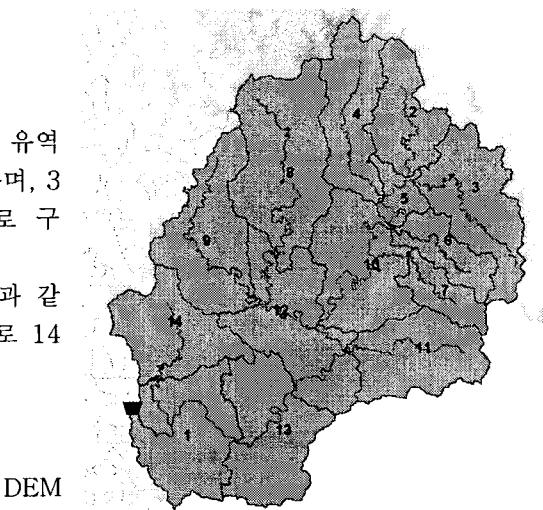


그림 1. 충주댐 유역 소유역 구분

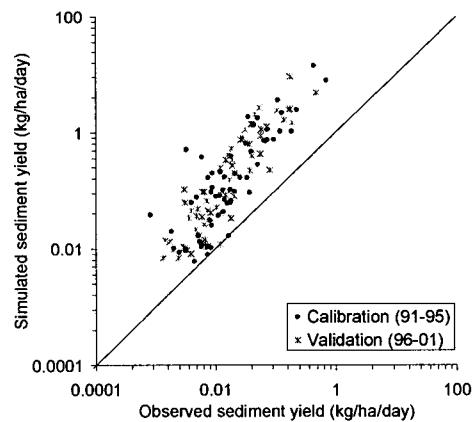


그림 3. 유사량 보정 및 검증 결과

McCuen (2003)이 제시한 분할 표본절차에 따라 1991~2001년의 11개년에 대한 유출 및 수질자료를 대상으로, 1991~1995년 자료는 보정에 이용하고, 이후 1996~2001년의 자료는 모형 검증에 이용하였다.

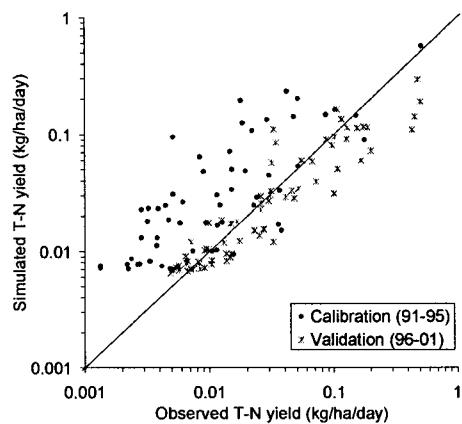


그림 4. 총질소 부하량 보정 및 검증 결과

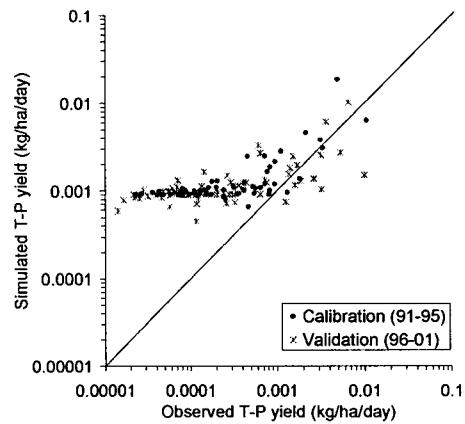


그림 5. 총인 부하량 보정 및 검증 결과

3. 모형의 적용

3.1 배수면적에 따른 유사 발생 특성

배수면적에 따른 유사량을 검토하기 위해 대상유역인 충주댐 유역의 각 하도구간별 모의된 유사량을 이용하여 상류에서부터 배수면적 크기별로 비유사량 (유사량/배수면적)의 특성을 검토한 결과, 그림 6과 같이 별표 (*)의 자료를 제외할 경우 일정한 경향을 얻을 수 있었으며, 배수면적 1,000 km^2 이상인 경우에는 약 0.55 ton/ha/yr 정도의 값을 가지는 것으로 나타났다.

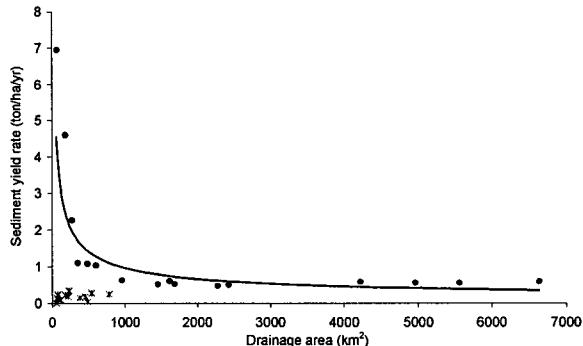


그림 6. 배수면적에 따른 비유사량 관계

3.2 식생에 따른 유사 및 오염부하 발생 특성

장기적인 측면에서의 토지이용 변화 및 식생의 변화 등에 따른 유사량과 오염부하량 발생 특성을 알아보기 위해 각 식생피복 및 토지이용에 대한 부하량 정도를 검토하였다.

토지이용에 따른 단위면적당 발생 침식량을 비교한 결과, 밭 (AGRR)에서의 토양침식이 가장 크고, 다음은 논 (RICE)으로 나타났으며, 산림지인 활엽수 (FRSD), 침엽수 (FRSE), 혼합림 (FRST)에서의 침식은 매우 작은 것으로 나타났다.

단위면적당 오염부하량을 식생별로 비교한 결과, 침식량과 마찬가지로 밭과 논에서의 발생 부하량이 크게 나타났으며, 산림지는 상대적으로 작고, 특히 산림지에서의 총인 발생량은 매우 작게 나타났다.

3.3 하도구간별 유사 및 오염부하 특성

유역내 오염원별 유사량 및 오염부하량 특성을 살펴보기 위해 충주댐 유역의 각 하도구간별 오염원에 따른 유사량과 오염부하량을 비교하였다.

유사량의 경우, 대부분의 소유역 하도구간에서 점오염원에 의한 유사량은 거의 없는 것으로 나타났고, 특히 상류인 6번 어천, 7번 지장천, 11번 옥동천 유역에서의 유사량은 점원, 비점원 모두 매우 작은 값으로 모의되었다. 상류유역 중에서는 8번 평창강 유역과 14번 제천천 유역에서의 유사량이 많은 것으로 나타났다.

오염부하량의 경우도 유사량과 마찬가지로 대부분의 산림지로 구성된 상류부 유역에서 점오염원에 의한 영향이 거의 없는 것으로 나타났고, 반면에 제천시가 위치한 14번 소유역에서는 점오염원에 의한 영향이 상대적으로 크게 나타나, 도시지역에서의 점원오염 부하량 관리의 상대적 중요성을 파악할 수 있었다. 유역 전체로는 총질소의 경우 약 9%, 총인의 경우 16% 정도가 점원에 의한 오염부하량으로 나타났다.

3.4 월별 유사 및 오염부하 특성

시기별로 오염부하량 발생 및 오염원별 영향 정도를 파악하기 위해 1991년부터 2001년의 총 11개년에 대해 월별 평균 유사량 및 오염부하량을 검토하였다.

유사량의 경우, 그림 7과 같이 전체 유역에서 발생하는 오염부하량 중에서 점원에 의한 영향은 크지 않음을 알 수 있으며, 발생량의 대부분은 강우가 집중되는 7~9월에 많이 나타나는 것을 볼 수 있다. 총질소와 총인의 경우는 점오염원에 의한 부하량이 연중 일정하게 나타났으며, 비점오염원에 의한 부하량은 유사와 마찬가지로 여름철에 많이 발생하였다.

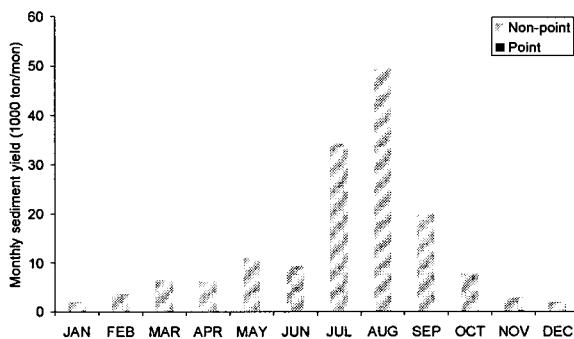


그림 7. 오염원에 따른 월별 유사량 변화

3.5 토양보전기법 적용 효과

토양보전기법의 적용에 따른 유사 및 오염부하량 저감효과를 검토하기 위해 유역내 논과밭에 대해 각각 계단전과 등고선 재배를 적용한 경우와 그렇지 않은 경우의 부하량 정도를 비교하였다.

유사량의 경우, 그림 8과 같이 보전기법을 적용한 경우 적용하지 않은 경우에 비해 그 효과가 연도별로 14.9~21.2% 정도 나타나고 있으며, 평균적으로는 18% 정도 저감효과가 있는 것으로 모의되었다.

총질소 부하량의 경우는 연도별로 2.8~6.7% (평균 5%) 정도 나타났고, 총인의 경우는 연도별로 15.6~22.5% (평균 19%) 정도의 저감효과를 얻을 수 있었다.

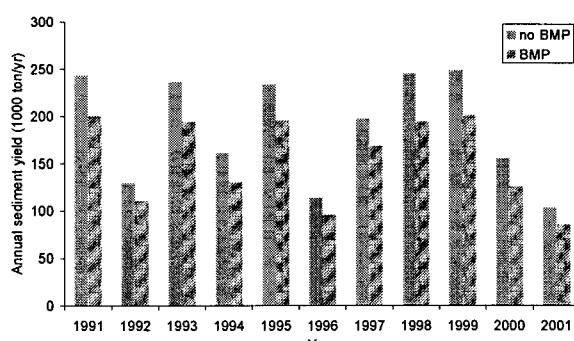


그림 8. BMP 적용에 따른 유사량 비교

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 준분포형 물리모형인 SWAT 모형을 통하여 유역 유사량 및 오염부하량 발생의 시공간적 특성을 파악하기 위해 충주댐 상류유역을 대상으로 모형을 구축 적용하였다.

먼저 대상유역에 대한 유출·유사·영양물질 관련 매개변수의 보정 및 모형 검증을 수행하고 이에 대한 통계치 결과를 분석한 결과, 유출에 대해서는 모형효율지수 0.8 정도의 비교적 안정적인 결과를 얻을 수 있었으며, 유사와 인에 대해서는 대략적인 정성적 경향만 파악할 수 있었다.

유사 거동의 공간적인 분포를 파악하기 위해 배수면적별 비유사량 자료를 검토한 결과, 일정한 관계를 도출할 수 있는 것으로 나타났으며, 식생에 따른 단위면적별 발생 유사량 및 오염부하량을 검토함으로써 식생별 침식 및 부하량 발생 정도를 판단할 수 있는 개략적인 평가를 할 수 있었다. 또한, 하도구간별 오염원에 따른 유사 및 오염부하량을 검토한 결과, 산림지로 구성된 대부분의 상류유역에서 점오염원에 의한 부하량이 매우 작게 나타났으며, 총 오염부하량도 상대적으로 작게 나타났다. 도시지역인 14번 제천천 유역에서는 다른 소유역들에 비해 점오염원에 의한 부하량이 더 크게 나타났으며, 유역 전체로는 총질소의 경우 9%, 총인의 경우 16% 정도가 점원에 의한 오염부하량으로 나타났다.

월별 평균 유사량과 오염부하량 변화를 살펴본 결과는, 강우가 집중되는 7~9월에 유사량 및 오염부하량이 크게 나타나는 것을 알 수 있었으며, 특히 총질소와 총인의 경우 점오염원에 의한 부하량이 연중 일정하게 발생하는 반면 비점오염원에 의한 부하량은 강우 유출과 관련되어 여름철에 많이 발생하는 것으로 나타났다.

아울러, 유역내 토양보전기법의 적용 효과를 파악하기 위해, 충주댐 유역의 논과 밭에 대해 각각 계단전과 등고선 재배를 적용한 경우와 그렇지 않은 경우를 비교한 결과, 보전기법을 적용한 경우 유역 출구에서의 유사 유출은 18%, 총질소 부하량은 5%, 총인 부하량은 19% 정도의 저감효과를 갖는 것으로 나타났다.

이상의 결과로부터 개략적으로나마 유역내 각 식생별 오염부하량 발생 특성을 파악할 수 있었고, 각 하도구간별로 오염원에 따른 오염부하량을 비교함으로써 점오염원과 비점오염원에 의한 부하량의 영향을 검토할 수 있었다. 또한, 오염 부하량의 월별 발생 특성과 토양보전기법의 적용에 따른 저감 효과도 평가할 수 있었다.

향후 유사 및 영양물질 관련 매개변수를 좀 더 보완함으로써 모형 결과의 신뢰도를 향상시키고, 구축된 모형에 여러 토지관리기법에 따른 부하량의 영향을 평가함으로써, 유역의 유사량 및 오염부하량 모의를 통한 오염총량관리 등의 유역관리시스템으로 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

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

참고문헌

1. 한국건설기술연구원 (2007). 지표수 수문성분 해석시스템 개발, 수자원의 지속적 확보기술개발사업, 21세기 프론티어연구개발사업, 과학기술부.
2. 한국수자원공사 (2003). 충주댐 관리연보.
3. 환경부 (2004). 수질오염총량관리 업무편람.
4. McCuen, R. H. (2003). Modeling hydrologic change: statistical methods, Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers.