

유역 규모 및 식생에 따른 영양물질 이동특성에 대한 비교 연구

A comparative study on the characteristics of nutrient transport with catchment scales and vegetation types

김철겸*, 김남원**

Chul Gyum Kim, Nam Won Kim

요 지

본 연구에서는 비교적 대규모 유역인 충주댐 유역에 대해 SWAT 모형을 구축하여 모형의 보정과 검증을 수행한 후, 이를 적용하여 대상유역에서의 유역 규모 및 식생에 따른 유사 및 오염부하량 발생 특성에 대해서 검토함으로써, 분포형 모형을 이용한 유사 및 오염부하량 발생의 공간적인 특성과 대상유역의 오염부하량 발생 특성에 대해서 살펴보았다. 모형 보정 및 검증 결과, 유출에 대해서는 모형효율지수 0.6 이상의 비교적 안정적인 결과를 얻을 수 있었으며, 유사와 인에 대해서는 대략적인 정성적 경향만 파악할 수 있었다. 반면 질소에 대해서는 정성적인 모의뿐만 아니라 어느 정도 정량적인 모의도 가능한 것으로 나타났다. 모형 결과를 이용하여 각 하도구간별 배수면적 크기별로 비유사량을 검토한 결과 일정한 관계를 도출할 수 있었으며, 식생 형태별 단위면적당 침식량 및 오염부하량을 비교함으로써, 식생별 침식 영향 및 오염부하량 발생 특성을 판단할 수 있는 개략적인 평가를 할 수 있었다.

핵심용어 : 충주댐, SWAT, 유사량, 오염부하량

1. 서 론

유역에서의 침식 및 유사 발생은 작물의 생산성을 감소시키고, 유역내 작물의 종류를 변경하거나 또는 토지이용 상태를 변화시키는 주요한 요인이 되고 있기 때문에, 최근에는 작물 생산성 감소가 토지이용에 미치는 영향이나 반대로 토지이용에 따른 유실의 영향 등에 관심이 모아지고 있다. 특히 이는 장기적인 측면에서의 토지이용 변화 및 식생의 변화에 따른 유역 유사량의 변화에 예측에 중요하다. 따라서 유역전반에 걸친 물의 이동과 유사량 및 오염물질의 시공간적인 거동을 능동적으로 해석하기 위해 과거 집중형 모형에서 최근에는 분포형 모형에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 연구에서는 비교적 대규모 유역인 충주댐 유역에 대해 SWAT 모형을 구축하여 모형의 보정과 검증을 수행한 후, 이를 적용하여 대상유역에서의 유역 규모 및 식생에 따른 유사 및 오염부하량 발생 특성에 대해서 검토함으로써, 분포형 모형을 이용한 유사 및 오염부하량 발생의 공간적인 특성과 대상유역의 오염부하량 발생 특성에 대해서 살펴보려고 한다.

2. 자료 및 방법

2.1 대상유역

본석대상지역인 충주댐 상류유역의 면적은 약 6,648 km²이고 유로연장은 375 km에 달하며, 3개도 (충청북도, 강원도, 경상북도) 13개 시·군으로 구성되며, 전국토의 6.7%를 차지하고 있다.

* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원 · E-mail : cgkim@kict.re.kr
** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원 · E-mail : nwkim@kict.re.kr

충주호는 만수시 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 모형의 적용을 위해 그림 1과 같이 환경부에서 제시하는 오염총량제에 의한 단위유역 구분에 따라 10개의 소유역으로 구분하였다.

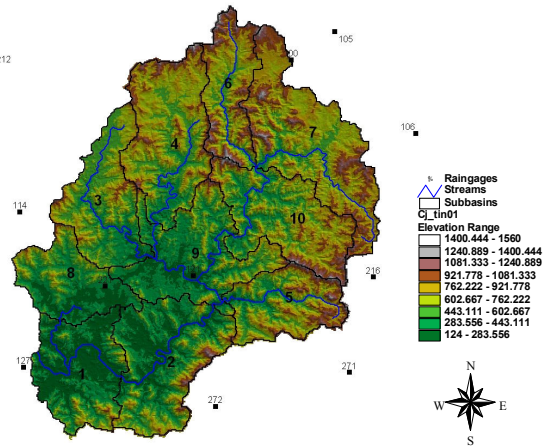


그림 1. 충주댐 유역 소유역 구분

2.2 모형 입력자료 구축

SWAT 모형 구축을 위해 환경부의 DEM (300m×300m)과 토지피복도 (1:50,000), 농업과학기술원의 정밀토양도 (1:25,000) 등의 GIS 자료를 구축하였으며, 하천생성을 위한 최소배수면적 (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). 증발산량 산정을 위해 필요한 일기상자료는 대관령, 동해, 원주, 영월, 충주, 태백, 제천, 춘양, 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.

2.3 모형 보정 및 검증

McCuen (2003)이 제시한 분할표본절차에 따라 1997~2004년에 대한 유출 및 수질자료를 대상으로, 1997~2000년 자료는 보정에 적용하고, 이후 2001~2004년의 자료에 대해서는 모형 검증에 이용하였다. 또한 모형내 매개변수의 초기화를 위해 1995년부터 모형을 구동하였다.

그림 2와 그림 3은 각각 유출 매개변수 보정 전과 후의 관측 및 모의 수문곡선을 비교한 것으로서, 풍수기보다는 갈수기에 초점을 맞추어 모형 보정을 수행하였다. 보정 전후 모두 전반적으로 첨두유량에 대한 모의치가 관측치보다 낮게 나타나고 있으나, 보정 후에는 그 차이가 다소 감소되는 것을 볼 수 있으며, 그 경향도 잘 모의하는 것으로 나타났다. 특히 보정 후에 수문곡선 감수부 부분에서 많은 개선이 된 것을 볼 수 있다.

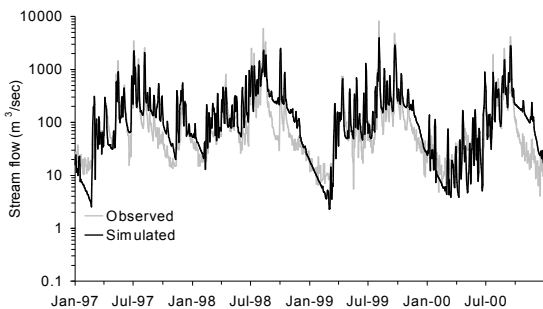


그림 2. 보정 전의 관측 및 모의 수문곡선

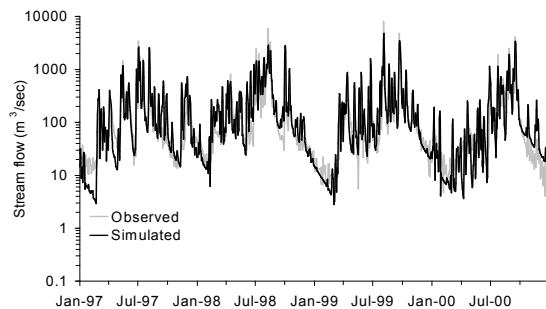


그림 3. 보정 후의 관측 및 모의 수문곡선

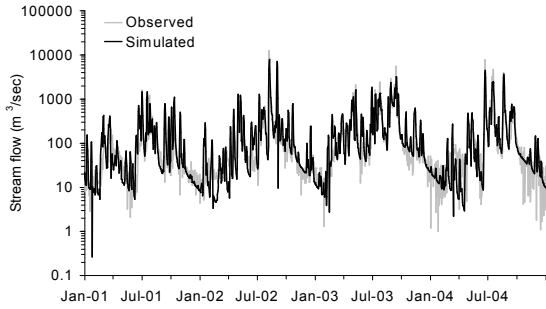


그림 4. 유출에 대한 모형 검증 결과

났다. 그러나 연간 총 유출에 있어서는 모의치가 관측치에 비해 다소 크게 나타났으며, 이는 앞선 보정과 검증 결과에 나타난 것과 같이 겨울과 봄철에 모의치가 관측치보다 다소 크게 모의되어 나타난 것으로 판단된다. 유출 보정 및 검증 결과에 대한 모형 효율은 각각 0.64와 0.60으로서 비교적 양호한 결과를 보였다.

유사 및 영양물질의 경우 주로 월 1~4회 정도의 간격으로 비연속적인 관측을 하기 때문에 유출 수문곡선과 같은 비교를 할 수 없어, 그림 6~8과 같이 일대일 그래프로 비교하였다.

유출과 달리 유사 및 영양물질은 많은 복잡한 과정을 수반하고, 대부분 경험적인 해석에 의한 수식들에 의해 모의되고 있으며, 관측치에서 포함될 수 있는 오차가 매우 크기 때문에 정량적인 해석에 많은 어려움이 있었으며, 이에 따른 관련 매개변수 보정도 쉽지 않았다.

그림 6은 유사량에 대한 보정 및 검증 결과로서 모의치의 대부분이 관측치보다 크게 나타났다. 결정계수는 양호하게 나타났지만, 모형 효율이나 다른 통계치 결과로 판단할 때 정량적인 해석이 곤란하였으며 대략적인 경향만 판단할 수 있었다.

그림 7은 총인 부하량에 대한 결과로서 유사량과 마찬가지로 대부분의 모의치가 관측치에 비하여 크게 나타났으며, 대략적인 경향 파악만 가능하였다.

그림 8은 총질소에 대한 보정 및 검증 결과로서 그래프상이나 통계치 결과로 판단할 때, 비교적 양호한 결과를 얻을 수 있었으며, 정성적인 해석뿐만 아니라 정량적인 해석도 가능함을 보여주었다.

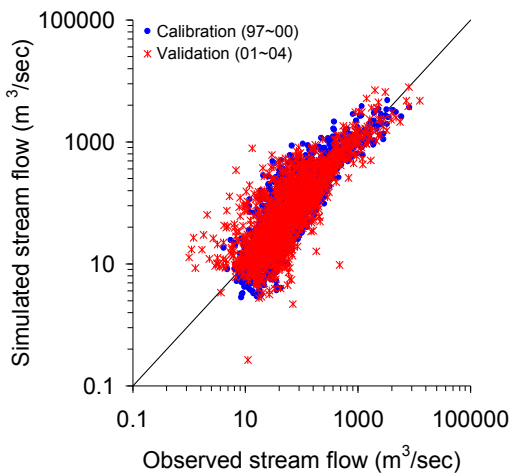


그림 5. 관측유량 및 모의유량 비교

그림 4는 모형 검증 기간인 2001~2004년에 대하여 보정된 유출 매개변수를 적용하여 모형을 적용한 결과이다. 보정 결과와 마찬가지로 2002년 이후 침투처에서 모의치가 다소 낮게 모의되고 있으나 수문곡선의 모양을 잘 따르고 있으며, 감수부 부분에서도 안정적으로 모의하는 것으로 나타났다.

그림 5는 일 유량자료에 대해 관측치와 모의치를 일대일 그래프상에 나타낸 것으로 비교적 보정과 검증 기간 모두 잘 일치하는 것으로 나타

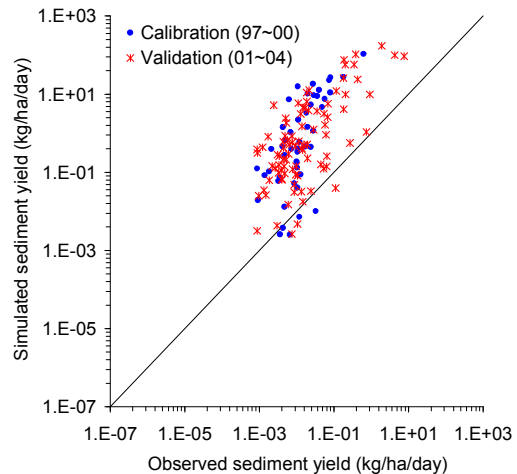


그림 6. 유사량 보정 및 검증 결과

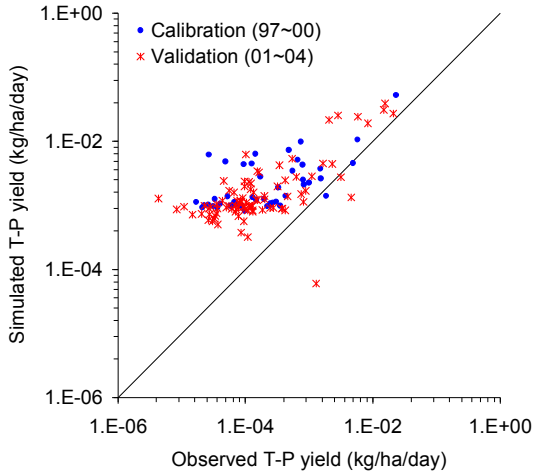


그림 7. 총인 부하량 보정 및 검증 결과

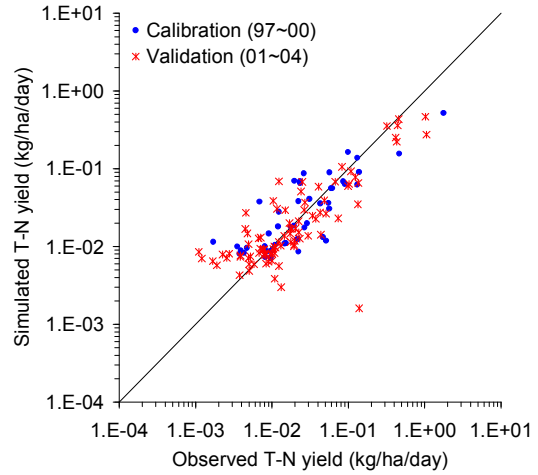


그림 8. 총질소 부하량 보정 및 검증 결과

3. SWAT 모형의 적용

3.1 유역규모에 따른 유사량 특성

유역 규모에 따른 유사량을 검토하기 위해, 대상유역인 충주댐 유역의 각 하도구간별 모의된 유사량을 이용하여 상류에서부터 배수면적 크기별로 비유사량 (유사량/배수면적)의 특성을 검토하였다.

여기서는 처리시설에서의 배출 부하량 (점원 부하량)에 의한 영향을 배제하기 위하여 점원 부하량을 고려하지 않고 토지에서 발생하는 비점원 오염부하량에 의한 영향만 모의하였다.

그림 9는 배수면적에 따른 비유사량의 관계를 나타낸 것으로서, 자료가 많지 않아 정확한 관계를 도출하는 것이 쉽지는 않지만, 그림의 곡선과 같이 어느 정도 일정한 경향을 나타내는 것으로 보아 대상유역에 대해서 대략적인 비유사량 발생 특성을 파악할 수 있었다. 좀 더 유역을 세분화하여 보다 많은 배수면적별 비유사량 자료를 비교하고, 또한 여러 다른 유역에 대해서도 이와 같은 관계를 파악해 나간다면, 각 유역별 비유사량 특성을 평가하는데 좋은 지표가 될 수 있을 것으로 생각된다.

3.2 식생에 따른 유사량 및 오염부하량 특성

침식 및 유사 발생은 작물의 생산성을 감소시키고, 유역내 작물의 종류를 변경하거나 또는 토지이용상태를 변화시키는 주요한 요인이 되고 있기 때문에, 최근에는 작물 생산성 감소가 토지이용에 미치는 영향이나 반대로 토지이용에 따른 유실의 영향 등에 관심이 모아지고 있다. 특히 이는 장기적인 측면에서의 토지이용 변화 및 식생의 변화에 따른 유역 유사량의 변화 예측에 중요하다.

그림 10은 대상유역인 충주댐 유역의 각 식생형태별 비유사량을 비교한 것이다. 여기서의 비유사량은 하도에서의 유사량이 아니고, 각 식생에서 발생한 단위면적당 침식량을 표시한 것이다.

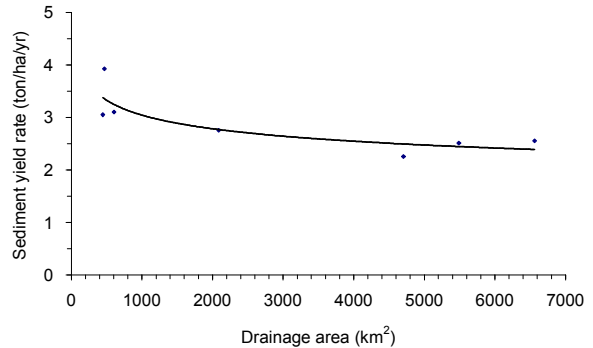


그림 9. 충주댐 유역의 배수면적에 따른 비유사량

밭 (AGRR)에서의 토양침식이 가장 크고, 다음은 논 (RICE)으로 나타났으며, 산림지인 활엽수 (FRSD), 침엽수 (FRSE), 혼합림 (FRST)에서의 침식은 매우 작은 것으로 나타났다.

그림 11은 총질소와 총인에 대한 단위면적당 오염부하량을 식생별로 비교한 것으로서, 유사량과 마찬가지로 밭과 논에서의 발생 부하량이 크게 나타났으며, 산림지는 상대적으로 작고, 특히 산림지에서의 총인 발생량은 거의 없는 것으로 나타났다.

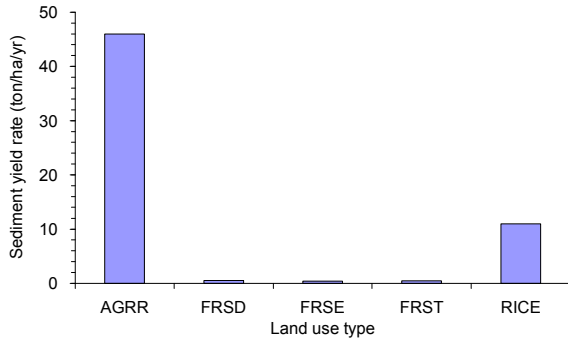


그림 10. 식생에 따른 비유사량 비교

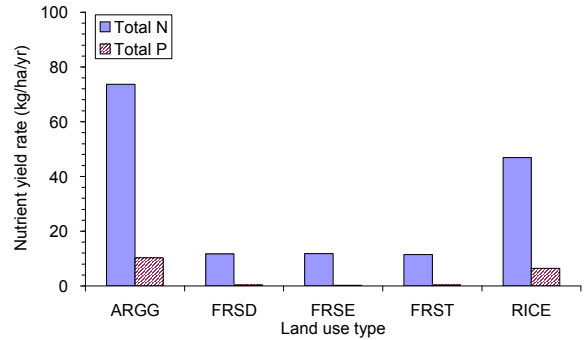


그림 11. 식생에 따른 영양물질 부하량 비교

4. 요약 및 결론

SWAT 모형을 이용한 국내 유역의 유사량 및 오염부하량 해석을 위하여, 충주댐 상류유역에 대해 모형을 구축하여 유출·유사·영양물질 관련 매개변수의 보정 및 모형 검증을 수행하였다. 또한 구축된 모형을 이용하여 유역 규모 및 식생에 따른 유사량과 오염부하량의 특성에 대하여 검토함으로써, 분포형 모형을 이용한 유사 및 오염부하량의 공간적인 특성과 대상유역의 오염부하량 발생 특성에 대해서 살펴보았다.

연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 충주댐 유역을 대상으로 유출, 유사, 영양물질 관련 매개변수에 대한 순차적인 보정 및 검증을 수행하고 이에 대한 통계치 계산 결과로부터 판단할 때, 유출에 대해서는 모형효율지수 0.6 이상의 비교적 안정적인 결과를 얻을 수 있었으나, 유사와 인에 대해서는 대략적인 정성적 경향만 파악할 수 있었다. 질소에 대해서는 정성적인 모의뿐만 아니라 어느 정도 정량적인 모의도 가능한 것으로 나타났다.

(2) 유사 거동의 공간적인 분포를 파악하기 위해 배수면적별 비유사량 자료를 검토한 결과, 일정한 관계를 도출할 수 있는 것으로 나타났으며, 식생에 따른 단위면적별 발생 유사량을 검토함으로써 식생별 침식 영향을 판단할 수 있는 개략적인 평가를 할 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.
3. McCuen R. H. (2003). Modeling hydrologic change: statistical methods, Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers.