

소양댐 상류유역의 유사 발생에 대한 시공간적 특성

Temporal and spatial characteristics of sediment yields in the Soyang Dam upstream watershed

김철겸*, 김남원**

Chul Gyum Kim, Nam Won Kim

요 지

본 연구에서는 한강 상류의 소양댐 유역을 대상으로 SWAT-K 모형을 적용하여, 토지이용별, 하도구간별, 월별 및 연별 유사 발생을 비교 검토하였다. 모형 보정과 검증은 거쳐 대상유역에 대해 유출과 유사 모의의 정성적, 정량적 적용성을 검토하였으며, 이로부터 대상유역에서의 시공간적인 유사량 자료를 확보하였다. 확보된 유사량 자료를 이용하여 토지이용별 토양 유실량을 산정하고 기존 다른 연구자들의 결과와 비교함으로써 침식 영향을 판단할 수 있는 개략적인 평가를 하였다. 댐 상류로부터의 유입 유사량의 발생 원인 지역을 파악하기 위하여 모형으로부터 추정된 각 하도구간별 유사량을 오염원에 따라 점원, 비점원으로 구분하여 비교해 본 결과 비점원에 의한 영향이 99% 이상으로 나타났으며, 고랭지밭이 많이 분포한 자운천 상류유역을 제외하고는 대부분의 상류 소유역에서의 유사량이 작게 나타났다. 월별 유사량 분석 결과, 소양댐으로 유입되는 총 유사량의 88%가 여름철인 7~9월에 집중적으로 발생하는 것으로 나타났으며, 연도별 분석에서는 소양호의 고탁도가 문제가 되었던 2006년의 유사 발생이 다른 해에 비해 상대적으로 높은 것으로 나타났다.

핵심용어 : 소양댐, 유사, 비점오염, SWAT-K

1. 서 론

유사는 입자 크기에 따라 미세 유사의 경우 하도나 수체에서의 탁도 문제를 비롯하여 영양물질이나 중금속 등과 결합하여 호소나 하천에서의 부영양화 등의 수질 문제를 일으키기도 하며, 입자가 큰 유사는 하도 퇴적을 일으켜 통수능을 감소시킴으로써 하천 범람이나 하도의 불안정화를 유발하거나, 하류의 댐, 저수지 등의 내용적을 감소시킴에 따라 준설에 따른 막대한 예산의 투입이 불가피하게 되며(이은정 등, 2006), 안정적인 수자원 확보에도 문제를 일으키게 된다. 또한 지속적인 퇴적과 침식은 장기적인 하상의 변동을 유발하게 되며, 이는 결국 유역의 수문 순환의 변화와 함께 통합적인 수자원의 해석과 계획, 관리 등에 영향을 준다. 따라서, 질적, 양적으로 안정된 수자원의 확보와 유역내 정확한 물순환을 해석하기 위해서는 유사 발생의 시공간적인 파악을 통해 유사의 발생 원인과 발생 지역, 그리고 발생 규모 및 발생 기간 등에 대한 정확한 규명이 필요하다.

그러나, 침식과 퇴적의 복잡하고 광범위한 과정을 거쳐 발생하는 유사에 대한 정량적인 관측이 많이 부족한 현실을 고려할 때, 간단한 경험 공식이나 모델링 기법들에 의해 유사를 예측하는 방법이 많이 사용되고 있으며, 최근에는 GIS와 같은 공간해석기법을 도입한 분포형 모형들을 이용하여 시공간적인 거동 특성을 규명하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 그렇지만, 여전히 유사량

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

해석 알고리즘의 대부분이 경험적인 매개변수를 많이 포함하고 있고, 현장에서 관측되는 유사량 자료 또한 불확실성이 높고 제한적이기 때문에, 정량적인 예측보다는 정성적인 예측 수준에 머무르고 있다(김철겸 등, 2007).

본 연구에서는 최근 국내 활용도가 점차 높아지고 있는 SWAT 모형을 국내 유역에 적합하도록 개선한 SWAT-K 모형을 이용하여, 한강 상류의 소양댐 유역을 대상으로 토지이용별, 하도구 간별, 월별 및 연별 유사 발생을 비교 검토하고자 한다.

2. 모형의 구축

2.1 대상유역

대상유역은 그림 1과 같이 북한강 상류의 소양댐 상류유역으로서, 유역면적은 약 2,690 km²이며, 토지이용 중 산림지의 비율이 95%로서 매우 높고, 그 외 논과 밭 등의 비율은 매우 낮게 나타나 비교적 자연상태의 댐 상류유역임을 알 수 있다.

모형 적용을 위해 그림 1과 같이 환경부 수질측정망과 수위관측소를 기준으로 10개 소유역을 구분하고, 수문해석을 위한 최소단위인 HRU 생성을 위해 토지이용과 토양특성의 임계면적 비율은 모두 3%로 설정하였다(한국건설기술연구원, 2008).

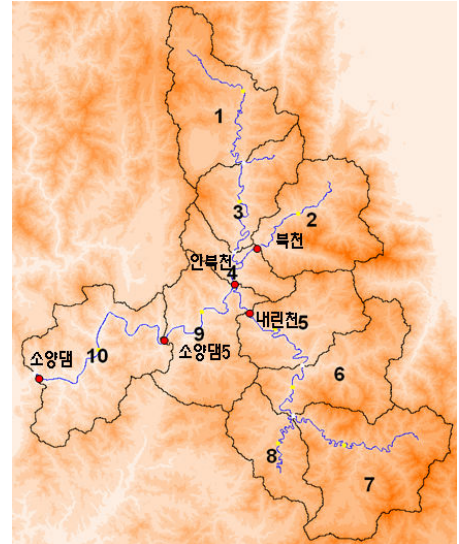


그림 1. 소양댐 유역 소유역 구분

2.2 모형 보정 및 검증

모형 보정을 위해 먼저 유출과 관련된 매개변수를 보정하고, 이후 유사 관련 매개변수를 보정하였다. 이때 유사에 관련된 매개변수는 유출에도 영향을 미칠 수 있으므로, 앞선 유출 매개변수를 제외한 유사에 관련된 매개변수에 대해서만 보정을 수행하였다. 모형 적용을 위한 자료기간은 2001~2007년으로서, 모형내 변수 및 모의 결과의 안정화를 위해 모의기간 이전 3년을 워밍업 기간으로 두었다. 그림 2는 소양댐 지점에서의 유출 보정 결과를 나타낸 것이며, 그림 3은 일유출을 일대일로 비교한 것으로서 일부 갈수기 동안의 차이를 제외하고는 비교적 관측치의 경향을 잘 따르는 것으로 나타났다. 그림 4는 소양댐 지점, 내린천 지점, 인북천 지점에서의 유사에 대한 관측 및 모의부하량을 비교한 것으로서 관측값의 대부분이 비강우시 위주로 되어 있기 때문에 강우시에 모의되는 높은 부하량과는 비교가 곤란하지만 대체적으로 그 경향을 잘 모의하는 것으로 나타났다.

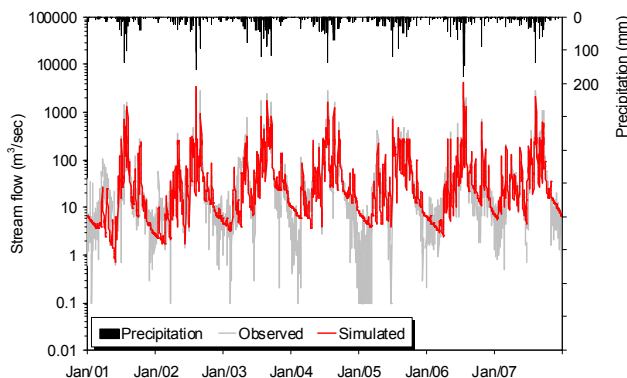


그림 2. 유출 수문곡선 비교

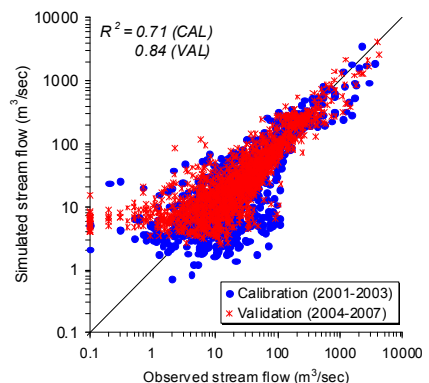


그림 3. 일유출 비교

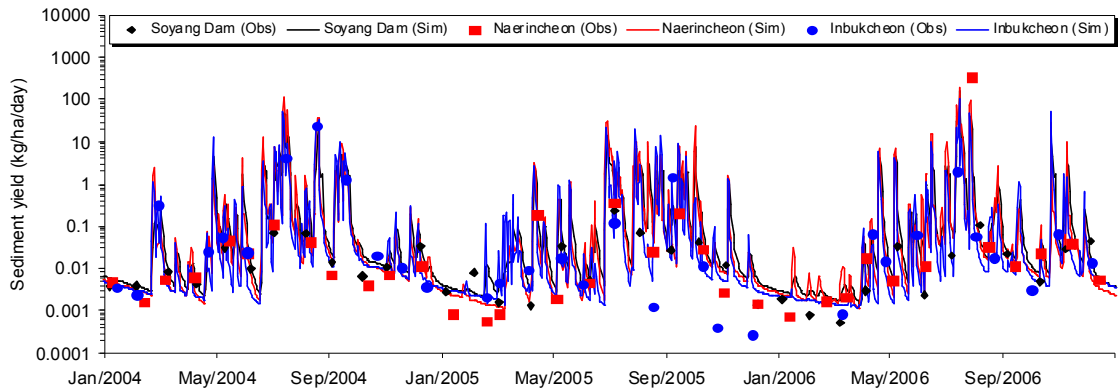


그림 4. 관측 및 모의 유사량 비교

3. 유사거동의 시공간적 해석

3.1 토지이용별 유사 발생 특성

그림 5는 모형에 의해 계산된 각 토지이용별 연평균 유실량과 기존 다른 연구자들의 결과와 비교한 것이다. 각 지역별 지형 및 토양, 식생 특성, 그리고 기후적 특성 등으로 인하여 연구자별로 서로 다른 값을 나타내고 있지만 대체적인 경향은 비슷한 것으로 나타났다. 토지이용별로는 밭에서의 발생량이 가장 크고, 논과 산림에서의 발생량은 매우 적은 것으로 나타났다. 즉, 밭에서의 토양 침식이 가장 많이 발생하고 있으며, 산림지나 논에서의 침식은 상대적으로 심각하지 않음을 간접적으로 파악할 수 있다.

3.2 하도구간별 유사량 특성

댐 상류로부터의 유입 유사량의 발생 원인 지역을 파악하기 위하여 모형으로부터 추정된 각 하도구간별 유사량을 오염원에 따라 점원, 비점원으로 구분하여 비교해 보았다. 그림 6에 나타난 바와 같이 비점원에 의한 영향이 99% 이상으로 나타났으며, 대부분의 상류 소유역에서의 유사량이 작게 나타났다. 다만 상류 7번 소유역의 유사량이 다소 높게 나타났는데, 이는 해당 소유역내 위치한 자운천 상류의 고랭지 밭(약 691 ha)에 의한 결과로 보여지며, 이 영향으로 하류측인 6번→5번→9번→10번 하도구간에서의 유사량이 높게 나타났다.

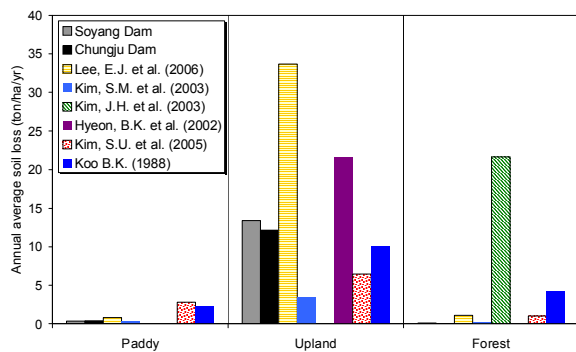


그림 5. 토지이용별 발생 유사량

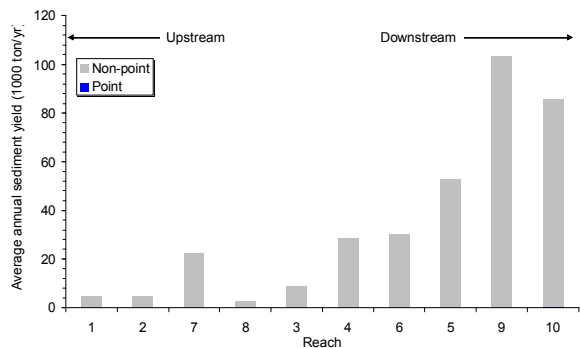


그림 6. 하도구간별 유사량

3.3 월별 연별 유사량 특성

그림 7은 대상기간에 대해 월별 평균 유사량을 비교한 것이며, 그림 8은 연도별 유사량을 나타낸 것이다. 전체 유사량의 약 88% 정도가 여름철인 7~9월에 집중적으로 발생하고 있으며, 연도별로는 2006년 유사량이 높게 나타났는데, 실제로도 2006년 7월에 상류의 집중 호우시 농경지 유실과 산사태 등으로 약 19억톤의 고농도 흙탕물이 소양강댐으로 유입되어 최고 탁도가 328 NTU에 이르는 등 탁도 현상이 매우 심각했었는데, 이를 잘 설명하고 있음을 알 수 있다.

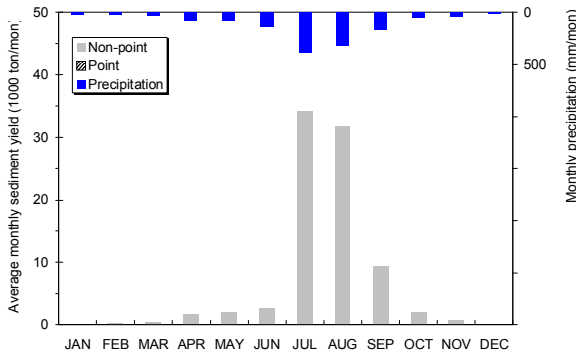


그림 7. 월별 유사량

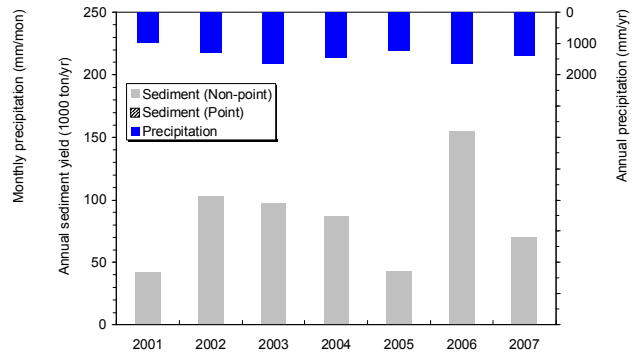


그림 8. 연도별 유사량

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 SWAT 모형을 국내 유역에 적합하도록 개선한 SWAT-K 모형을 이용하여, 한강 상류의 소양댐 유역을 대상으로 토지이용별, 하도구간별, 월별 및 연별 유사 발생을 비교 검토하였다.

먼저 모형 보정과 검증을 거쳐 대상유역에 대해 유출과 유사 모의의 정성적, 정량적 적용성을 검토하였으며, 이로부터 대상유역에서의 공간간적인 유사량 자료를 확보하였다. 확보된 유사량 자료를 이용하여 토지이용별 토양 유실량을 산정하고 기존 다른 연구자들의 결과와 비교함으로써 침식 영향을 판단할 수 있는 개략적인 평가를 하였다.

댐 상류로부터의 유입 유사량의 발생 원인지역을 파악하기 위하여 모형으로부터 추정된 각 하도구간별 유사량을 오염원에 따라 점원, 비점원으로 구분하여 비교해 본 결과 비점원에 의한 영향이 99% 이상으로 나타났으며, 고랭지밭이 많이 분포한 자운천 상류유역을 제외하고는 대부분의 상류 소유역에서의 유사량이 작게 나타났다.

월별 유사량 분석 결과, 소양댐으로 유입되는 총 유사량의 88%가 여름철인 7~9월에 집중적으로 발생하는 것으로 나타났으며, 연도별 분석에서는 소양호의 고탁도가 문제가 되었던 2006년의 유사 발생이 다른 해에 비해 상대적으로 높은 것으로 나타났다.

이상의 결과로부터 유사 발생에 대한 원인지역 분석 및 규모, 발생 시기 등에 대한 정량적, 정성적인 규명을 하였으며, 이는 유역내 정교한 수문성분 해석과 함께 비점오염의 원인 물질이 되는 유사량의 정확한 진단 및 관리를 통해 양적·질적으로 안정된 수자원의 확보에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 2-2-3)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 구분경 (1988). 유역내 토지이용상태가 수질에 미치는 영향에 관한 연구, 석사학위논문, 서울대학교.
2. 김상민, 박승우, 강문성 (2003). “GIS와 USLE를 이용한 아산만 유입 유사량 추정.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제36권, 제6호, pp. 1059-1068.
3. 김상욱 (1995). 토지이용변화에 따른 경안천 유역 토양유실에 관한 연구, 석사학위논문, 서울대학교.
4. 김주훈, 김경탁, 연규방 (2003). “GIS를 이용한 토양침식 위험지역 분석.” **한국지리정보학회지**, 한국지리정보학회, 제6권, 제2호, pp. 22-32.
5. 김철겸, 이정은, 김남원 (2007). “충주댐 상류유역의 유사 발생에 대한 시공간적인 특성.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제40권, 제11호, pp. 887-898.
6. 이은정, 조영경, 박승우, 김학관 (2006). “작부체계를 고려한 새만금유역의 토양유실량 추정.” **한국농공학회논문집**, 한국농공학회, 제48권, 제6호, pp. 101-112.
7. 한국건설기술연구원 (2008). 지표수 수문성분 해석시스템 기술 실용화, 수자원의지속적확보기술개발사업, 21세기 프론티어연구개발사업, 과학기술부.