소양댐 상류유역에 대한 강우-유출-유사 상호 관계 규명

Investigation on the relationship of rainfall-runoff-sediment yields for the Soyang Dam upstream watershed

김철겸*, 김남원**
Chul Gyum Kim, Nam Won Kim

요 지

본 연구에서는 충분히 보정되고 검증되어진 SWAT-K 모형으로부터 생성된 자료를 이용하여 강우-유출-유사 사이의 상호 관계를 도출해 보았다. 소양댐 상류유역을 대상으로 유역내 각 지점별 강우에 따른 유출 및 유사, 유출과 유사의 상호 관계 등을 도시하여 검토한 결과, 약 40 mm 이하의 강우에 대해서는 유사 발생이 많지 않음을 알 수 있었으며, 그 이상의 강우에 대해서 강우와 유사 사이에 이차원 관계의 회귀식을 유도할 수 있었다. 또한, 유출과 유사 사이에도 거듭제곱 형태의 관계식을 유도할 수 있었으며 그에 따른 결정계수도 높게 나타나 상호간의 회귀식이 매우 상관성이 높음을 알 수 있었다. 이와 같은 관계로부터 향후 복잡한 모형을 이용하지 않아도 대상유역의 특정 지역에 대해 강우로부터 유출이나 유사를 추정하는데 비교적 간편하고 신뢰성 있게 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 소양댐, 강우, 유출, 유사, SWAT-K

1. 서 론

강우에 의한 토양 침식은 크게 강우의 낙하타격과 유출로 인하여 발생한다. 이러한 침식은 기후, 토양, 식생, 지형 등 지역적인 특성에 의해 영향을 받기 때문에 강우, 유출, 유사가 상호 일률적인 비례 관계에 있지 않으며, 지역의 특성에 따라 그 증감의 영향이 다르고 나타나고, 무엇보다 강우에 의한 영향이 매우 크게 나타난다. 토양침식 및 유사량 산정을 위해 최근 활용도가 높은 분포형이나 준분포형 모형의 경우 시공간적인 분포 자료를 생성시켜 주기 때문에 다양한 분석을 하는데 매우 편리하지만, 다른 한편으로는 그만큼 입력하고 조정해야 할 변수가 많기 때문에 초보자나 실무에서 손쉽게 사용하기에는 많은 어려움이 있다(한국건설기술연구원, 2008).

토양침식량 산정에 많이 활용되고 있는 USLE(Universal Soil Loss Equation)를 특정 호우사상이나 단일 호우사상에 대해 적용이 가능하도록 보완하여 개발된 MUSLE (Modified USLE)(Williams와 Berndt, 1972)는 USLE에서 사용한 강우에너지 관련 인자를 유출에너지 인자로 대치함으로써 강우-유출 관계의 해석에 의한 유사량 예측을 개선하고, 유역 모형과 결합하여 보다 넓은 범위의 유역 단위의 침식 및 유사량을 산정하는데 활용되고 있다.

본 연구에서는 유역 유출 해석 및 유사량과 유역 비점오염 해석을 위해 최근 활용도가 높아지고 있는 SWAT 모형을 국내 여건에 맞게 개선한 SWAT-K 모형을 활용하여, MUSLE 기법에 의해 산정된 침식량 및 유사량 자료와 모의된 유출 자료로부터 강우-유출-유사 사이의 상호 관계를 검토하고자 한다.

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

2. 모형의 구축 및 적용

2.1 대상유역 및 모형 구축

대상유역은 그림 1과 같이 북한강 상류의 소양댐 상류유역으로서, 유역면적은 약 2,690 ㎢이며, 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).

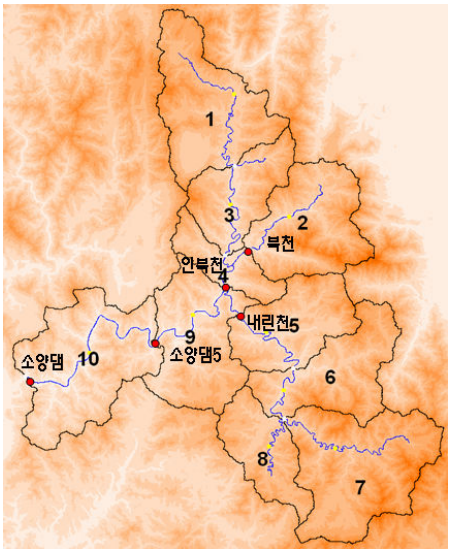


그림 1. 소양댐 유역 소유역 구분

2.2 모형 보정 및 검증

보정 및 검증을 위한 대상기간은 최근의 2001~2007년으로 선정하였으며, 이 중 2001~2003년을 보정기간으로 하여 유출 및 유사 관련 매개변수를 보정하였으며, 보정된 매개변수를 적용하여 2004~2007년의 기간에 대해 모형 결과를 검증하였다.

유출 보정과 관련해서는 유역내 비교적 자료 상태가 양호한 최종 출구점의 소양댐 지점의 관측 유입량 자료를 이용하여 모형의 유출량과 비교하였으며, 유사 보정과 관련해서는 환경부에서 월 1회 간격으로 관측하고 있는 소양댐, 소양댐5, 내린천, 인북천, 북천 지점의 SS 농도를 이용하여 해당 지점의 모의 유출량으로부터 관측부하량을 추정하였다.

그림 2은 2001~2003년의 보정기간에 대한 일별 관측 및 모의 수문곡선을 비교한 것이며, 그림 3은 월별 유출량을 일대일로 비교한 것으로서, 일부 갈수기 동안의 차이를 제외하고는 모형의 결과가 관측치의 경향을 잘 따르는 것으로 나타났다. 보정기간과 검증기간에 대한 일 유출량의 Nash-Sutcliffe 모형효율지수(Nash and Sutcliffe, 1970)는 각각 0.71과 0.84로 나타났으며, 결정계수 R^2은 각각 0.71과 0.82로 나타나 모의 결과의 신뢰성을 충분히 확보할 수 있었다.

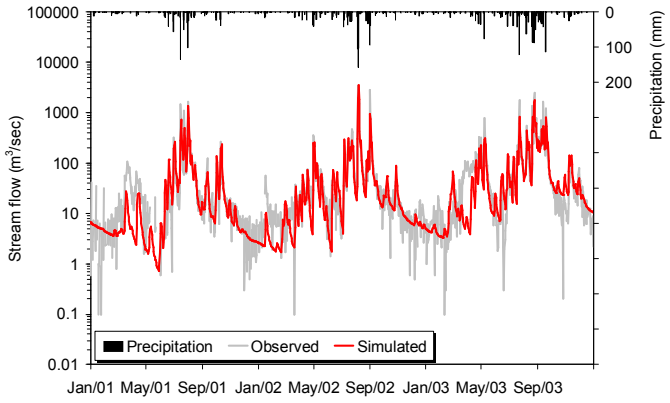


그림 2. 유출 수문곡선 비교

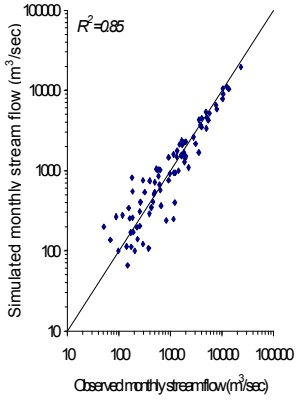


그림 3. 월 유출량 일대일 비교

그림 4와 그림 5는 소양댐 지점에서의 관측 및 모의유사량을 비교한 것으로서, 결정계수의 값이 0.51(보정)과 0.75(검증)로서 모의 결과의 정성적 평가에서 매우 상관성이 높은 것으로 나타

났다. 그러나, 모형효율지수는 모두 음의 값으로 나타나 정량적인 모의에 있어서는 충분한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

그림 6과 그림 7은 상류측의 내린천 지점에서의 유사량 비교 결과로서, 결정계수의 값은 1.0(보정)과 0.77(검증)로서 매우 높은 상관성을 보이고 있으나, 모형효율지수는 검증의 경우 0.51, 보정의 경우는 음의 값을 보여 마찬가지로 정량적 모의에 있어 많은 주의가 요구되는 것으로 판단된다.

이러한 결과는 현재 관측되는 SS의 농도가 대부분 비강우시 위주로 되어 있고, 관측 위치 및 관측 시점에 따라서 매우 큰 변화를 가지기 때문에 관측값에서 오는 불확실성과 함께, 모형에서 적용하고 있는 유사량 산정 알고리즘이 매우 경험적이고 개념적인 매개변수를 이용하고 있기 때문에, 유출과 같은 정량적인 평가에 있어 많은 한계를 지니고 있는 것으로 판단된다.

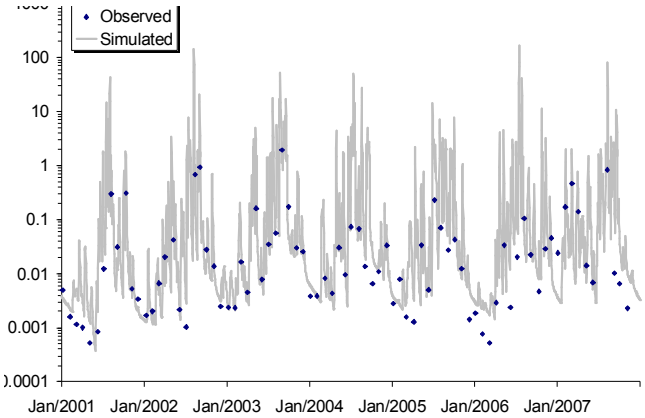


그림 4. 관측 및 모의 유사량 비교(소양댐 지점)

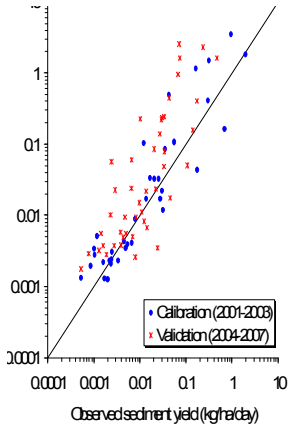


그림 5. 유사량 비교(소양댐 지점)

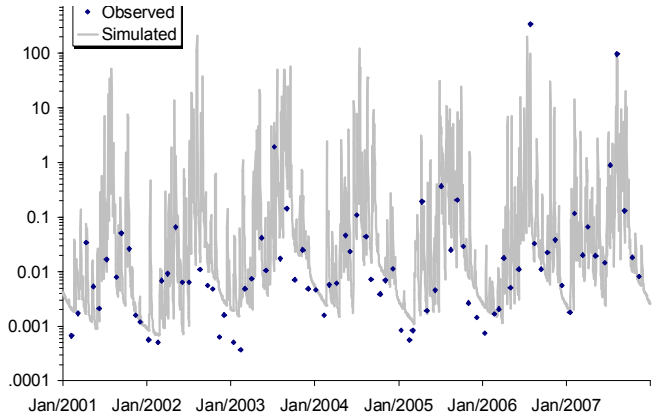


그림 6. 관측 및 모의 유사량 비교(내린천 지점)

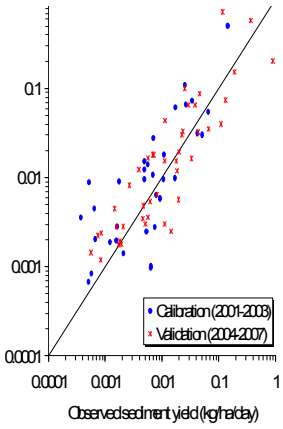


그림 7. 유사량 비교(내린천 지점)

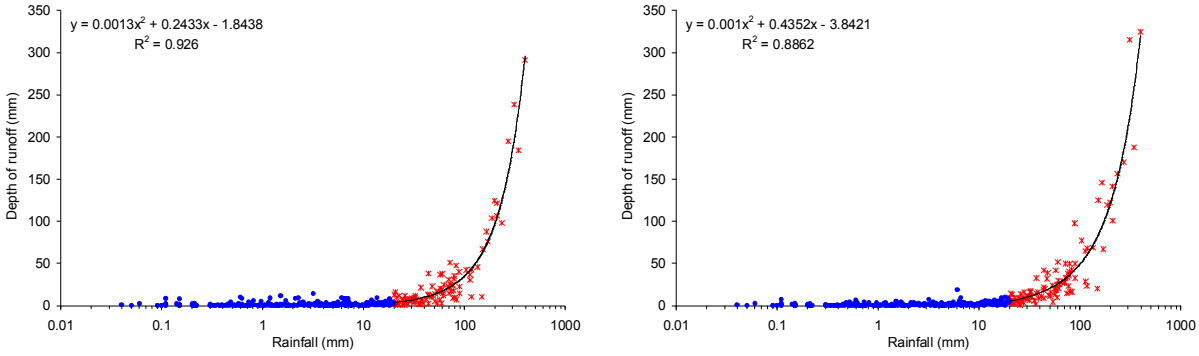
3. 모형의 적용

USLE에서의 침식량은 강우의 동에너지와 30분 최대강우강도에 곱에 의해서 크게 좌우되며, MUSLE에서는 지표유출량과 첨두유출율에 의해 침식량의 크기가 결정된다. 여기서 지표유출량과 첨두유출율은 다시 기후, 토양, 식생, 지형 등 지역적인 특성에 의해 영향을 받기 때문에 강우, 유출, 유사가 상호 일률적인 비례 관계에 있지 않으며, 지역의 특성에 따라 그 증감의 영향이 다르

게 나타나고, 무엇보다 강우에 의한 영향이 매우 크게 나타난다. 따라서, 본 연구에서는 강우량과 유출량, 그리고 유사량의 상호 증감 관계를 살펴보았다(김철겸 등, 2007)

3.1 강우에 따른 유출량 검토

그림 8은 연속된 강우량에 대해 모형으로부터 산정된 유출량의 관계를 나타낸 것으로서, 소양댐과 내린천 지점 모두 약 20 mm 이하의 강우량에 대해서는 유출이 거의 나타나지 않으며, 그 이상의 강우량에 대해서는 강우량과 유출고 사이에 이차원 관계의 회귀식을 유도할 수 있었다. 다른 지점들에 대해서도 비슷한 관계를 도출할 수 있었으며, 회귀식의 결정계수는 0.78(북천)~0.95(소양댐5)로서 매우 높은 상관성을 보여, 각 소유역별 강우량에 따른 개략적인 유출량을 예측하는데 활용될 수 있을 것으로 판단된다.



(a) 소양댐 지점 (b) 내린천 지점

그림 8. 강우사상별 강우량과 유출고와의 관계

3.2 강우-유사-유출 관계 검토

그림 9와 그림 10은 각각 소양댐 지점과 내린천 지점에 대해 강우사상별로 강우-유출-유사 사이의 상호관계를 관계를 나타낸 것이다. 그림과 같이 약 40 mm 이하의 강우량에 대해 유사량이 거의 나타나지 않았으며, 그 이상에 대해서는 강우-유사 사이에 이차원의 회귀식을 유도할 수 있었다. 다른 지점들에 대해서도 마찬가지의 결과를 얻을 수 있었으며, 회귀식의 결정계수는 0.49(북천)~0.92(소양댐)로서 북천을 제외하고는 높은 상관성을 나타내었다. 유출과 유사의 관계에서도 20 mm 이상의 강우에 대해 그림과 같은 거듭제곱 형태의 관계를 얻을 수 있었으며, 회귀식의 결정계수는 0.87(내린천)~0.95(소양댐)의 값을 나타내었다.

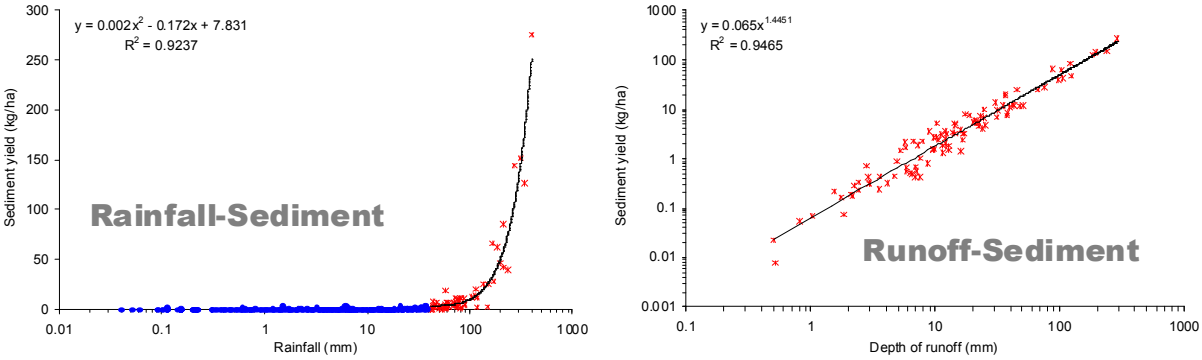


그림 9. 강우-유출-유사 관계(소양댐 지점)

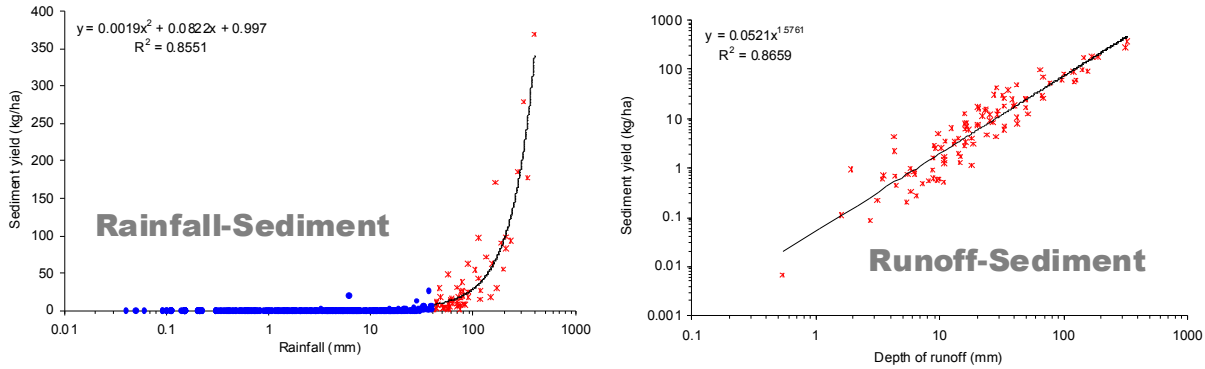


그림 10. 강우-유출-유사 관계(내린천 지점)

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 충분히 보정되고 검증되어진 SWAT-K 모형으로부터 생성된 자료를 이용하여 강우-유출-유사 사이의 상호 관계를 도출해 보았다.

소양댐 상류유역을 대상으로 유역내 각 지점별 강우에 따른 유출 및 유사, 유출과 유사의 상호 관계 등을 도시하여 검토한 결과, 약 20 mm 이상의 강우에 대해서 강우와 유출 사이의 이차원 관계의 회귀식을 유도할 수 있었으며, 각 지점별로 회귀식의 결정계수는 0.78(북천)~0.95(소양댐5)로서 매우 높은 상관성을 보였다. 강우에 따른 유사의 관계에서는 약 40 mm 이하의 강우에 대해서는 유사 발생이 많지 않음을 알 수 있었으며, 그 이상의 강우에 대해서 강우와 유출 사이에 이차원 관계의 회귀식을 유도할 수 있었고, 회귀식의 결정계수는 0.49(북천)~0.92(소양댐)로서 북천을 제외하고는 높은 상관성을 나타내었다. 유출과 유사의 관계에서도 20 mm 이상의 강우에 대해 거듭제곱 형태의 관계를 얻을 수 있었으며, 회귀식의 결정계수는 0.87(내린천)~0.95(소양댐)의 값을 나타내었다.

이와 같은 관계로부터 향후 복잡한 모형을 이용하지 않아도 대상유역의 특정 지역에 대해 강우로부터 유출이나 유사를 추정하는데 비교적 간편하고 신뢰성 있게 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

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

참고문헌

1. 김철겸, 유상연, 김남원 (2007). 충주댐 상류유역의 강우에 따른 유출 및 유사발생 특성 검토, 대한토목학회 학술발표회논문집.
2. 한국건설기술연구원 (2008). 지표수 수문성분 해석시스템 기술 실용화, 수자원의지속적확보기술개발사업, 21세기 프론티어연구개발사업, 과학기술부.
3. Nash, J.E. and Sutcliffe, J.V. (1970). “River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles.” Journal of Hydrology, 10(3), pp. 282-290.
4. Williams, J. R., and H. D. Berndt (1972). “Sediment yield computed with universal equation.” Journal of the Hydraulics Division: Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 98, pp. 2087-2098.