걸리 침식 평가를 위한 SATEEC, nLS, USPED 연계 모형의 개발 및 적용

Development and Application of Integrated Model Using SATEEC, USPED and nLS for Gully-erosion Evaluation

강현우* · 박윤식** · 김남원*** · 임경재****

Hyunwoo Kang · Youn Shik Park · Nam Won Kim · Kyoung Jae Lim

요 지

기상변화와 지구온난화로 인해 국지성 호우의 강도와 빈도가 늘어나고 있으며 이로 인해 소양강, 도암댐, 임하댐 유역의 탁수 문제 등, 토양 유실에 관한 문제가 심각해지고 있다. 정확한 토양 유실 모의를 위하여 지난 수 십 년간 Universal Soil Loss Equation(USLE) 등의 모형이 사용되었지만 이러한 모형들에 관한 연구 중 강한 집중 호우에 의해 발생하는 걸리 침식(Gully Erosion)을 적용한 경우는 많지 않다. 이에 본 연구에서는 걸리 침식을 고려한 토양 유실량 및 유사량 산정을 위하여 입력자료가 간단하고 ArcView GIS를 기반으로 융합이 가능한 Sediment Assessment Tool for Effective Erosion Control (SATEEC) system, nLS, Unit Stream Power-based Erosion/Deposition (USPED) 연계 모형을 개발하여 강원도 양구군 해안면 유역에 적용하였다. 기존 SATEEC system에서는 강우 시 유역에서 발생하는 면상 침식(Sheet Erosion), 세류 침식(Rill Erosion)의 모의만이 가능하였지만, 본 연구에서 개발한 연계모형에서는 nLS 모형을 이용한 걸리 헤드 발생 지역 선정과 USPED 모형을 이용한 걸리 발생 지역에서의 토양 유실량 산정이 가능하기 때문에, 걸리 침식을 고려한 토양 유실량 산정이 가능하다. 연계 모형의 모의 결과 해안면 유역의 최종 유출구에서 발생하는 평균 유사량은 101,933 ton/year 로 산정 되었다. 토양 유실량과 유사량을 모의함에 있어, 면상, 세류, 걸리 침식을 종합적으로 고려해야 실제 지형에서 발생하는 토양 유실량 및 유사량을 좀 더 정확하게 예측할 수 있을 것이며, 본 연구에서 개발된 연계 모형을 이용한다면 실제 유역에서 발생하는 여러 형태의 토양 유실을 모의 할 수 있을 것이라 판단된다.

핵심용어 : 토양유실, SATEEC system, nLS, USPED

* 정회원 · 강원대학교 지역건설공학전공 · E-mail : kangbari@nate.com
** 정회원 · 강원대학교 지역건설공학전공 · E-mail : ys0211@nate.com
*** 정회원 · 한국건설기술연구원 · E-mail : nwkim@kict.re.kr
**** 정회원 · 강원대학교 지역건설공학전공 · E-mail : kjlim@kangwon.ac.kr

1. 서론

단시간에 많은 강우량을 보이는 국지성 호우는 토양 유실의 직접적인 원인이 되며, 이로 인해 댐, 하천 등에서의 탁수 문제가 큰 사회적, 환경적 문제로 대두되고 있다. 유역의 토양유실로 인하여 발생하는 문제를 해결하기 위해서는 토양 유실의 시·공간적 발생 현황 및 거동 특성에 관한 연구가 반드시 필요하다. 이러한 연구를 위하여 Universal Soil Loss Equation (USLE) 모형이 개발되어 최근 30여 년 동안 활용되어 왔으며(Wischmeier and Smith, 1978), USLE 기반의 Sediment Assessment Tool for Effective Erosion Control (SATEEC) system (Lim et al., 2005) 모형도 개발되어 이용되고 있다. 하지만 이들 모형은 면상 침식(Sheet erosion)과 세류 침식(Rill erosion)으로 인한 토양 유실량 산정은 가능하나, 같이 강한 국지성 호우로 발생되는 걸리 침식(Gully erosion)을 모의하기에는 많은 한계가 있다.

따라서 본 연구의 목적은 다른 모형에 비하여 비교적 입력 자료가 간단하고 ArcView GIS를 기반으로 연계가 가능한 SATEEC system 과 걸리 헤드(Gully head) 모의가 가능한 nLS (McCuen and Speciess, 1995) 모형, USLE 입력자료 만으로 걸리 침식을 포함한 토양 유실량 산정이 가능한 Unit Stream Power-based Erosion/Deposition (USPED; Mitasova et al., 1996; Mitas and Spiess, 1998) 모형을 연계하여 걸리 침식을 고려한 종합적인 토양 유실량 산정 모형을 개발하고, 개발된 모형을 활용하여 이를 실제 유역에 적용하는 것이다.

2. 연구방법

본 연구에서는 심각한 탁수 발생이 우려되어 소양댐 유역에서 탁수 우선 관리 지역으로 선정된 3개의 유역 중에서 산지를 개간하여 임의로 경작을 하고 있는 임의 경작지의 면적 비율이 높은 강원도 양구군 해안면 유역(61.78 km^2)을 연구 대상 유역으로 선정하였다.

USLE 모형을 기반으로 하고 있는 SATEEC system의 입력자료 중 경사도 인자(USLE S factor)와 경사장 인자(USLE L factor)는 수치표고모형(Digital Elevation Model : DEM)을 이용하여 구축하였고, 강우인자 (USLE R factor)는 해당 지역의 강우자료를 바탕으로 하여 계산된 행정구역별 강우인자를 이용하여 구축하였다. 토양인자 (USLE K factor)는 Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE)(Williams, 1975) 공식에서 계산되었다. 작물인자 (USLE C factor)는 지표를 덮고 있는 식생의 성질을 나타내는 인자로 본 연구에서는 정필균 등(1984)이 제안한 토지 이용별 C 값을 이용하여 연구 유역에 적용하였다. 경작방법인자(USLE P factor)는 박철수(1999)가 제안한 토지이용과 경사도에 따른 경작방법인자를 사용하였다.

nLS 모형은 걸리 헤드 산정 시 식 (1)을 이용한다. McCuen and Speiss (1995)는 다수의 실험을 통해 식 (1)에서 산정된 수치가 100 이상일 때 지표의 흐름이 면상 흐름에서 집중된 흐름으로 바뀌는 위치를 파악하는 중요한 결정기준, 즉 걸리 침식이 발생되기 쉬운 지점(Gully head) 이라고 판단하였다.

$$Gully\ head = \frac{3.3nL}{\sqrt{S}} \qquad \text{----------} \quad (1)$$

n = Manning's coefficient, L = The length of overland flow, S = Slope (m/m)

공식에서 L, S 값은 DEM 으로 계산되며, Mannig's n 값은 Vieux (2004) 가 제안안 토지 이용별 조도계수를 사용하였다.

USPED 모형은 정상적인 조건에서 강우 시 유출에 의해 발생되는 토양에 침식과 침식 과정에서 발생하는 퇴적을 모의하는 모형으로 이는 USLE 입력자료 만으로 연산이 가능하다.

본 연구에서는 걸리 침식을 포함한 토양 유실량과 유사량을 산정하기 위하여 SATEEC system, nLS, USPED 모형을 연계한 시스템을 Arc View GIS를 기반으로 개발하고, 입력 자료 구축 후 실제 유역에 적용, 걸리 침식 모의의 필요성에 대해 분석하였다. 개발된 연계 모형의 연산 과정은 Fig. 1 과 같다.

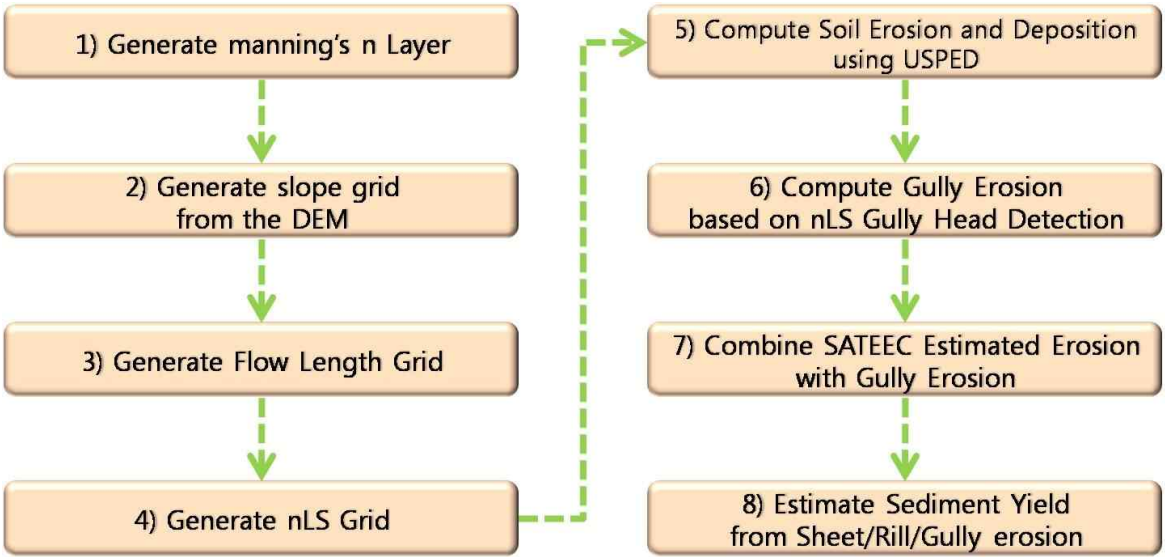
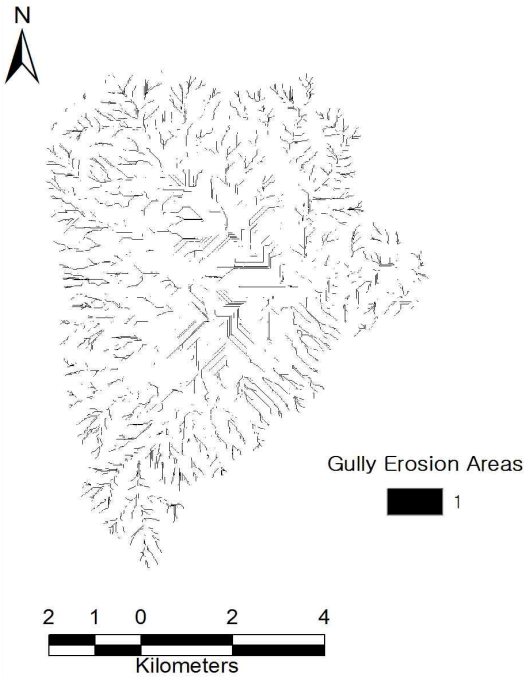


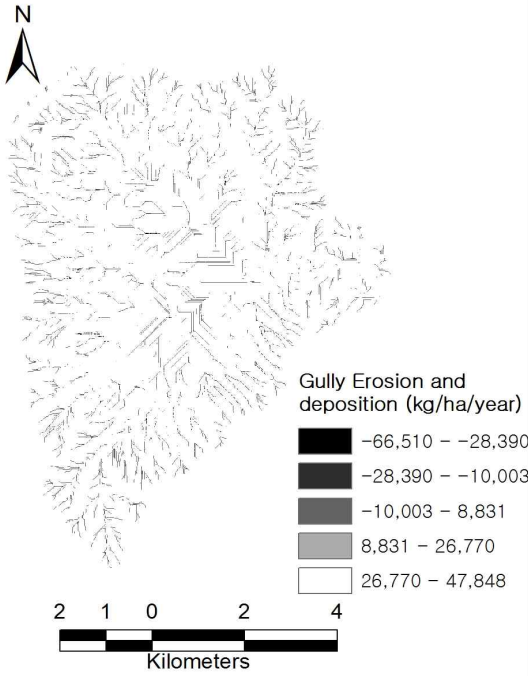
Fig. 1. Modeling process of integrated system using SATEEC, nLS, and USPED.

3. 결과

본 연구에서 SATEEC system, nLS, USPED 모형을 연계하여 강원도 양구군 해안면을 대상으로 걸리 침식을 고려한 토양 유실량과 유역에서의 총 유사량을 산정하였다. Fig. 2(a)는 nLS 모형을 이용하여 모의된 걸리 발생 지점을 나타낸 그림이고, Fig. 2(b)는 걸리 발생 지점에서의 토양 유실, 퇴적량을 나타낸다. Fig. 3(a)는 연계 모형으로 산정된 면상, 세류, 걸리 침식을 모두 고려한 토양 유실량을 나타내고. Fig. 3(b)는 연계 모형으로 산정된 토양 유실량을 바탕으로 유달률을 고려하여 산정된 유역의 최종 유출구에서의 총 유사량이다. 모의 결과 유역의 최종 유출구에서 발생하는 연 평균 유사량은 101,933 ton/year 로 산정 되었다.

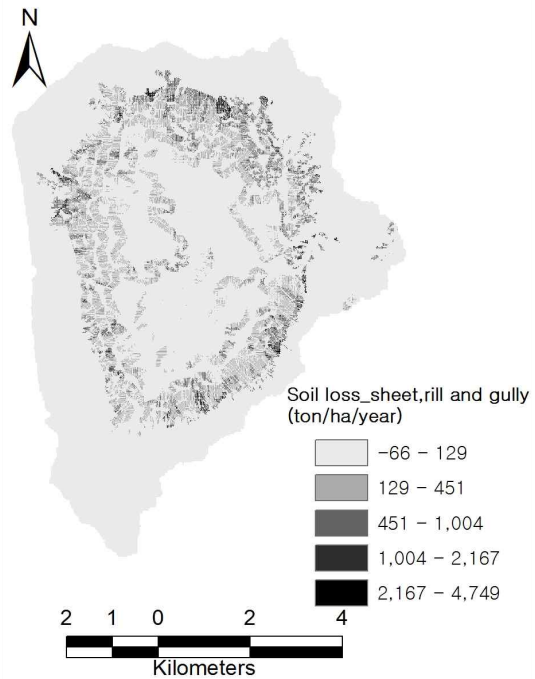


(a) Gully erosion areas

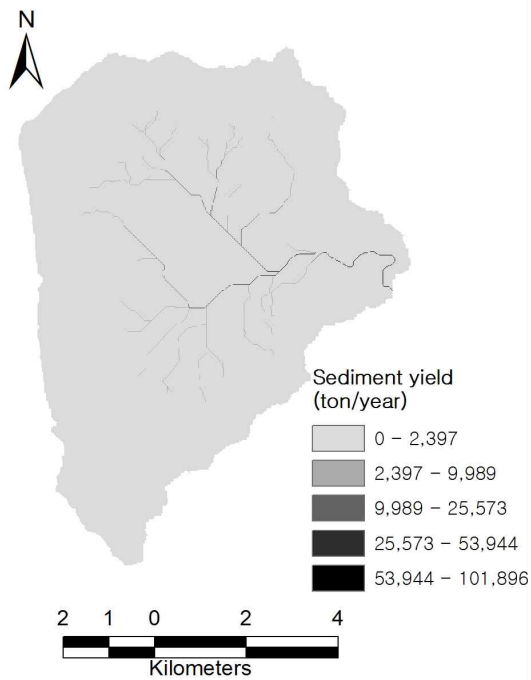


(b) Soil erosion and deposition from the gully head place

Fig. 2. Gully erosion areas and gully erosion grid



(a) Soil loss grid with sheet, rill and gully erosion.



(b) Sediment Yield grid considering sheet, rill and gully erosion

Fig. 3. Soil loss and Sediment Yield grid

4. 결론

1) 토양 유실을 모의함에 있어, 유역에서 발생되는 면상, 세류, 걸리 침식을 종합적으로 고려해야 실제 지형에서 발생하는 토양 유실 및 유사량을 정확하게 모의 할 수 있을 것이라 사료된다.

2) 따라서 본 연구에서 개발 된 SATEEC system, nLS, USPED 연계 모형을 이용한다면 실제 유역에서 발생하는 여러 형태의 토양 유실을 모의 할 수 있을 것이라 판단된다.

참고문헌

1. 박철수, 율문천 (1999). 소유역에서 토지이용에 따른 불특정 오염 Monitoring, 석사학위논문, 강원대학교.
2. Lim, K. J., Sagong, M., Engel, B. A., Tang, Z., Choi, J. and Kim, K. (2005). GIS-based sediment assessment tool. CATENA, **64** pp. 61-80.
3. Mccuen, R. H. and Spiess, J. M. (1995). Assessment of kinematic wave time of concentration. Journal of Hydrologic Engineering, **121**(3) pp. 256-266.
4. Mitas, L. and Mitasova, H. (1998). Distributed erosion modeling for effective erosion prevention. Water Resources Research, **34**(3) pp. 505-516.
5. Mitasova, H., Hofierka, J., Zlocha, M. and Iverson, L. R. (1996). Modeling topographic potential for erosion and deposition using GIS. Int. Journal of Geographical Information Science, **10**(5) pp. 629-641. (reply to a comment to this paper appears in 1997 in Int. Journal of Geographical Information Science, 11(6)).
6. Vieux, B.E., Cui, Z., Gaur, A. (2004). Evaluation of a physicsbased distributed hydrologic model for flood forecasting. Journal of Hydrology, **298** pp. 154-155.
7. Williams, J. R. (1975). Sediment routing for agricultural watersheds. Water Resour. Bull, **11**(5) pp. 965-974.
8. Wischmeier, W. H. and Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. The USDA Agricultural Handbook No. 537.