

RUSLE모형을 이용한 낙동강 상주보까지의 토사유출량 산정

Estimation of Sediment Yield to Sangju-Dam of Nakdong-River Using the RUSLE Model

김 종 희*
Jong Hee Kim

요 지

토사유출량이란 강우가 발생한 지점에서 토양침식에 의해 생산된 토사가 퇴적 및 이송 등의 과정을 거쳐 유역의 특정 지점까지 도달한 토사량을 의미한다. 토사유출량을 정확하게 산정하는 방법은 현재까지 없다. 그러나 유역단위의 대략적인 토사유출량 산정을 위해서는 경험적 모형인 USLE 모형과 수정된 형태의 RUSLE 모형 또는 MUSLE 모형이 보편적으로 사용되고 있다.

최근에는 지형정보시스템(GIS)의 발달로 RUSLE 모형과 MUSLE 모형이 주로 사용되는데 연평균 토사량 산정에는 RUSLE 모형이 사용되며 단일호우에 대한 토사량은 MUSLE 모형이 사용된다. 그러나 이 모형들은 구곡 및 하천에서의 수리학적 특성 반영하기 힘든 단점이 있어서 유출 지점에 따라 유사전달률(SDR)의 개념이 요구된다.

RUSLE 모형과 MUSLE 모형에 사용되는 유사전달률은 외국에서의 경험적 공식으로서 우리나라 유역 실정을 제대로 반영하지 못하는 단점이 있다. 그러므로 추후 연구에는 8~10년 이상의 토사유출량 자료를 바탕으로 그 유역의 유사전달률을 결정하고, 그 결과 값을 이용하여 단일호우 사상의 유출량과 모의유출량을 비교하여 MUSLE 모형의 강우인자인 R값을 산정해야 할 것으로 판단된다.

그 선행 작업으로, 본 연구에서는 RUSLE 모형과 기존의 유사전달률을 사용하여 낙동강 상주보까지의 토사유출량을 산정하였다. 상주보유역은 안동댐유역, 임하댐유역, 안동댐하류유역, 내성천유역, 영강유역으로 구성되며 안동댐유역과 임하댐유역은 댐의 차단으로 본 연구의 토사유출량 산정에서 제외하였다.

핵심용어 : 토사유출량, GIS, RUSLE, MUSLE, 유사전달률(SDR)

* 정희원 · 공학석사 차세대홍수방어기술개발연구단 연구원, (주)지오매니아 E-mail : jhkim7220@naver.com

1. 서론

본 연구에서는 RUSLE 모형과 기존의 유사전달률을 사용하여 낙동강 상주보까지의 토사유출량을 산정하였다. 상주보 유역은 안동댐유역, 임하댐유역, 안동댐하류유역, 내성천유역, 영강유역으로 구성되며 댐에 의한 토사유출 차단으로 안동댐 유역과 임하댐유역을 제외한 안동댐하류유역, 내성천유역, 영강유역의 토사유출량을 산정하였다.

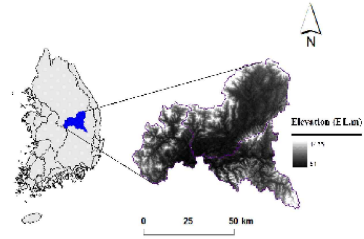


그림 1. 상주보 유역 위치도

2. RUSLE 모형

USLE 및 RUSLE에서 토양침식량의 기본식은 다음과 같이 인자들의 곱으로 나타낼 수 있다.

$$R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

여기서, A는 연평균 토양침식량 (ton/ha/yr), R은 강우침식인자 (J/ha/yr), K는 토양침식인자 (ton/J), LS는 지형인자, C는 토지피복인자, P는 침식조절인자이다.

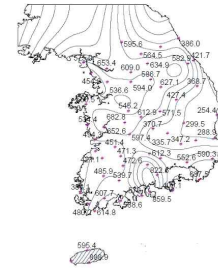


그림 2. RUSLE 강우침식도

2.1 강우침식인자(R)의 산정

강우침식인자(R)의 추정에는 과거 강우 자료를 가지고 각각의 강우 사상에 대해 R값을 산정하여 그 해의 R값을 산정하고 이를 다시 여러 해에 대해 평균하여 산정한다. 국내 연구에서는 이준학 등(2008)이 2007년까지의 강우사상을 고려하여 우리나라 주요 관측지점의 “RUSLE 강우침식도”(그림 2)를 발표하였으며, 본 연구에서는 “RUSLE 강우침식도”의 강우침식인자(R)를 사용하였다.

2.2 토양침식인자(K)의 산정

토양침식인자(K)는 Wischmeier 등(1971)의 토양침식인자 계산표에 의해 산정한 표 1의 값을 적용하였다. 그림 3은 상주보유역의 토양침식인자(K) 주제도이고 표 2는 산정결과이다.

표 1. 토양별 토양침식인자(K)

토양기호	K값	토양기호	K값	토양기호	K값	토양기호	K값
Af	0.39	Fta	0.00	Mu	0.31	Ro	0.00
An	0.31	Ma	0.27	Mv	0.35	Rs	0.20
Ap	0.32	Ml	0.00	Ra	0.21	Rv	0.25
Fb	0.00	Mm	0.18	Re	0.32	Rx	0.33
Fm	0.51	Ms	0.20	Rl	0.00		

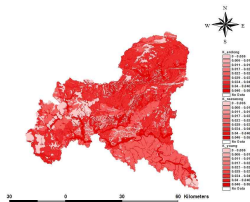


그림 3. 토양침식인자(K) 주제도

표 2. 토양침식인자(K) 산정결과

유역명	토양침식인자(K) 평균값
안동댐하류유역	0.03002
내성천유역	0.03147
영강유역	0.02521

2.3 지형인자(LS)의 산정

Desment와 Govers(1996)는 Foster와 Wischmeier(1974)가 제안한 불규칙사면의 지형인자 LS를 산정하는 식을 바탕으로 GIS환경에서 적용할 수 있는 방법을 제안하였으며 그 식은 다음과 같다.

$$i,j) = \frac{(A(i,j) + D^2)^{m+1} - A(i,j)^{m+1}}{D^{+2} \times x(i,j)^m \times 22.13^m}, \quad m = \frac{\beta}{\beta + 1}, \quad \beta = \frac{\sin\theta/0.0896}{2.96 \times \sin^{0.79}\theta + 0.56} \quad (2)$$

여기서 m 은 경사장지수, $L(i,j)$ 은 (i,j) 번째 셀의 경사장인자, $A(i,j)$ 은 (i,j) 번째 셀이 나누어 받게 되는 상류기여면적, D 은 셀크기(m^2), $x(i,j)$ 는 흐름방향에 직교하는 등고선의 길이, $x(i,j) = (|\sin\alpha(i,j)| + |\cos\alpha(i,j)|) \times l(i,j)$ 은 셀의 방향이다.

McCool 등(1987)의 연구 대상지역의 경사는 0.1%(0.1°)에서 32%(17.7°)의 경사범위를 갖고 있으나 실제로 이 공식은 18%(10.2°)이하 경사를 보이는 지역에서만 적용하기 위해 개발되었다.

$$S = 10.8 \times \sin\theta + 0.03, \quad \theta \leq 5.1^\circ \quad (3)$$

$$S = 16.8 \times \sin\theta - 0.50, \quad \theta > 5.1^\circ$$

Nearing(1997)은 25%(14.0°)미만의 경사에 적용되었던 기존의 선형함수를 일반화하여 연속함수식을 제시하였다. 또한 이 공식은 경사가 25%를 초과하는 경우에도 McCool보다 좋은 결과를 갖는다.

$$S = \frac{17}{1 + \exp(2.3 - 6.1\sin\theta)} \quad (4)$$

본 연구에서 경사도인자(S) 산정시 18% 미만일 때는 McCool의 공식을 그 이상의 경우에는 Nearing의 공식을 사용하였다. 그림 4는 상주보유역의 지형인자(LS) 주제도이고, 표 3은 산정결과이다.

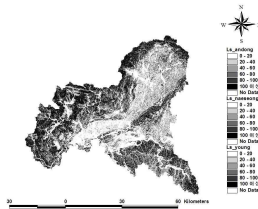


그림 4. 지형인자(LS) 주제도

표 3. 지형인자(LS) 산정결과

유역명	지형인자(LS) 평균값
안동댐하류유역	54.298
내성천유역	53.645
영강유역	76.194

2.5 토지피복인자(C)의 산정

토지피복인자(C)는 Wischmeier 등(1971)이 제시한 값을 이용하여 토지이용에 따른 토지피복인자를 선택하였으며 논과 밭의 경우 0.03, 산림 0.001, 초지 0.01, 나지 0.1, 도시의 경우 0.01의 값을 적용하였다. 그림 5는 상주보유역의 토지피복인자(C) 주제도이고 표 4는 산정결과이다.

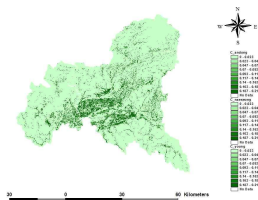


그림 5. 토지피복인자(C) 주제도

표 4. 토지피복인자(C) 산정결과

유역명	토지피복인자(C) 평균값
안동댐하류유역	0.00980
내성천유역	0.01115
영강유역	0.00722

2.6 침식조절인자(P)

침식조절인자(P)는 일반적으로 경작형태로 표현되고 있으며 경작형태로는 등고선재배, 등고선대상재배, 테라스경작 등이 있다. 이와 같은 경작형태는 토양 침식을 조절하는 중요한 역할을 하며 지역적인 특성에 따라 경작형태가 다양하게 나타난다(신계중 1999).

본 연구에서는 표 5의 Wischmeier 등(1978)의 침식조절인자(P)를 사용하였다. 그림 6은 상주보 유역의 침식조절인자(P) 주제도이고 표 6은 산정결과이다.

표 5. 경작형태와 경사에 따른 침식조절인자(P)

Slope (%)	등고선재배	등고선대상재배	테라스경작
0 ~ 7.0%	0.55	0.27	0.10
~ 11.3%	0.60	0.30	0.12
~ 17.6%	0.80	0.40	0.16
~ 26.8%	0.90	0.45	0.18
26.8%~	1.00	0.50	0.20

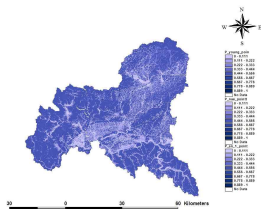


그림 6. 침식조절인자(P) 주제도

표 6. 침식조절인자(P) 산정결과

유역명	침식조절인자(P) 평균값
안동댐하류유역	0.38360
내성천유역	0.37767
영강유역	0.42278

2.7 유사전달률(SDR)

유사전달률(SDR)은 주어진 배수면적에서 유사의 총 침식에 대한 운송된 유사의 비율이다. 유사전달률(SDR)은 유역의 지형적 특성에 많은 영향을 받기 때문에 여러 가지의 식들이 제안되고 있다. 유사전달률(SDR)의 식은 Vanoni(1975), Boyce(1975), USDA(1972)의 식이 있으며 본 연구에서는 Vanoni(1975)식을 사용하였다.

$$noni(1975), \quad SDR = 0.472A^{-0.125} \quad (5)$$

2.8 토사유출량 산정

상주보까지의 토사유출량 산정결과 안동하류유역에서 187,060 ton, 내성천유역에서 422,304 ton, 영강유역에서 277,689 ton으로 연간 총 887,053 ton의 토사유출량이 유출되는 것으로 산정되었다. 표 7은 상주보까지의 유사유출량 산정결과이다.

표 7. 상주보까지의 유사유출량 산정결과

유역명	R (J/ha/yr)	K (ton/J)	LS	C	P	A(ha)	SDR (Vanoni)	유사유출량 (ton/yr)
안동하류	370	0.03002	54.298	0.00980	0.38360	980,374	0.084	187,060
내성천	420	0.03147	53.645	0.01115	0.37767	1,814,613	0.078	422,304
영강	610	0.02521	76.194	0.00722	0.42278	914,397	0.085	277,689

4. 결 론

본 연구는 낙동강 상주보까지 유입되는 토사유출량을 산정하기 위하여 상주보유역을 안동하류유역, 내성천유역, 영강유역의 세 유역으로 나눴다. 또한 경사도와 DEM, 토양도, 토지피복도 GRID를 사용하여 토양침식인자(K), 지형인자(LS), 토지피복인자(C), 침식조절인자(P) 각각의 RUSLE 주제도를 생성하였으며, 기존의 유사전달률 개념을 도입하여 상주보까지의 토사유출량을 산정하였다.

RUSLE 모형에 사용되는 유사전달률(SDR)은 GIS가 사용되기 전 외국에서의 경험적 공식으로서 현재의 RUSLE 모형과 우리나라 유역 실정을 제대로 반영하지 못하는 단점이 있다. RUSLE 모형을 이용하여 산정한 토사유출량은 실측치와 큰 차이가 날 것으로 예상되며 이를 보완하기 위하여 유사전달률(SDR)에 관한 연구가 필요하다.

추후 연구에는 다양한 유역을 대상으로 RUSLE 모형을 이용하여 토사유출량을 산정할 예정이며, 10년 이상의 실측 토사유출량 자료를 사용하여 RUSLE 모형의 유사전달률을 재산정하여 발표할 예정이다.

감 사 의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 건설기술혁신사업(08기술혁신F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 신계중(1999). 지형공간정보체계를 이용한 유역의 토양유실분석, 강원대학교 대학원 박사학위논문
2. 이준학, 정영훈, 허준행(2008). RUSLE의 강우침식도 추정에 관한 연구. **2008년도 한국수자원학회 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회 pp. 1324-1328
3. USDA(1972), Sediment Source, Yields, and Delivery Ratios, National Engineering Handbook, Section 3 Sediment.
4. Boyce, R.C.(1975), Sediment Routing with Sediment Delivery Ratios. In: Present and Prospective Technology for ARS, USDA, Washington, D.C.
5. Desmet, P.J. and Govers, G.(1996). A GIS procedure for the automated calculation of the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation*, Vol.51(5), pp. 427-433.
6. Foster G.R. and Wischmeier W.H.(1974). Evaluating irregular slopes for soil loss prediction, *Transactions of the American Society of Agricultural Engineering*, Vol.17, pp.305-309.
7. McCool, D. K. et al(1987) Revised Slope Steepness Factor for the Universal Soil Loss Equation, *Transactions of the American Society of Agricultural Engineering*, Vol.30(5), pp.1387-1396.
8. Nearing, M.A.(1997), A single, "Continuous function for slope steepness influence on soil loss, *Journal of Soil Science of America*.
9. Wischmeier, W.H., Johson, C.B., Cross, B.V.(1971). A Soil Erodibility Nomograph for Farmland and Construction Sites. *Journal Soil Water Conservation*, Vol.26(5) : 93-189.
10. Vanoni, V.A.(1975), Sedimentation Engineering, Manual and Report American Society of Civil Engineers, New York, N.Y. No.54.