

SATEEC 면적/경사도 유달률 산정 방법에 따른 유사량 분석

Analysis of Sediment Yields at Watershed Scale using
Area/Slope-Based Sediment Delivery Ratio in SATEEC

박윤식*, 임경재**, 김종건*, 허성구*, 박준호*, 안재훈***, 김기성*, 최중대**

Younshik Park, Kyoung Jae Lim, Jonggun Kim, Sunggu Heo,

Joonho Park, Jaehun Ahn, Ki-sung Kim, Joongdae Choi

요 지

현재까지 약 100여개국의 나라에서 Universal Soil Loss Equation (USLE) 가 장기 토양 유실 가능성을 모의하는 데 사용되고 있다. 그러나 RUSLE는 유역에서의 토양 유실 가능성을 모의할 수는 있으나 하천으로 유입되는 유사량을 모의할 수 없으므로, 효과적인 유사량 관리를 위해 유실된 토양 중 얼마나 유역의 최종 유출구로 유입되는 유달률(SDR, Sediment Delivery Ratio)을 고려해야 한다. 이를 위해 Sediment Assessment Tool for Effective Erosion Control (SATEEC) 이 수계내 임의의 지점에서의 유사량을 구하기 위해 개발되었다. 이 SATEEC은 USLE에 기반을 두고 있으나 공간적으로 분포된 유달률 맵을 산정하기 위해 면적에 따른 유달률 공식을 이용할 수 있을 뿐만 아니라, 경사에 따른 유달률 공식을 사용할 수도 있다.

본 연구에서는 이러한 SATEEC을 이용하여 강원도 춘천시 남산면 수동리 지역에서의 면적에 따른 유달률 공식을 사용했을 경우와 경사에 따른 유달률 공식을 사용했을 경우에 따른 각각의 임의 수계의 최종 유출구에서의 유사량을 비교하였다. 같은 면적의 소유역을 갖는 각각의 유출구에서의 유사량을 면적에 의한 유달률(SDR_A) 방법과 하천의 평균경사도를 고려한 유달률(SDR_S) 식을 사용하여 유사량을 비교하였다. SDR_S 에 의한 유사량(SY_S)을 기준으로 하여 SDR_A 에 의한 유사량(SY_A)의 비는 $-37.83\% \sim 44.36\%$ 로 큰 차이를 보였다.

핵심용어 : 유사, 유달률, 유사량, USLE

1. 서 론

USLE 모형은 현재까지 약 100여개국의 나라에서 장기 토양 유실 가능성을 모의하는 데 사용되고 있다. 그러나 RUSLE는 유역에서의 토양 유실 가능성을 모의할 수는 있으나 하천으로 유입되는 유사량을 모의할 수 없다. 그러나 효과적인 유사량 관리를 위해 유실된 토양 중 얼마나 유역의 최종 유출구로 유입되는지 모의하기 위해 유달률 (SDR, Sediment Delivery Ratio) 을 고려해야 한다. 이를 위해 Sediment Assessment Tool for Effective Erosion Control (SATEEC) 이 수계내 임의의 지점에서의 유사량을 구하기 위해 개발되었다. 이 SATEEC은 USLE에 기반을 두고 있으나 공간적으로 분포된 유달률 맵을 산정하기 위해 면적에 따른 유달률 공식을 이용할 수 있을 뿐만 아니라, 경사에 따른 유달률 공식을 사용할 수도 있다.

2. 연구유역의 선정

* 준회원 · 강원대학교 · Baron.Balin@gmail.com

** 정회원 · 강원대학교 · kjlim@kangwon.ac.kr

*** 준회원 · 농업진흥청 고령지 농업연구소

본 연구에서는 북한강 상류의 산촌형 농업을 대표할 수 있는 유역인 강원도 춘천시 남산면 수동리 유역을 연구지역으로 선정하였으며, 유역 면적은 11.17km^2 에 토지는 주로 논, 밭, 시설 하우스, 소규모 축산업 등으로 이용되고 있다. 하천은 강촌을 거쳐 의암댐 하류의 북한강으로 유입되며 수동리 유역의 출구와 북한강과는 약 4km정도 떨어져 있다. 또한 공장 등 점오염원 배출 시설이 없고, 좁고 가파른 산간계곡을 개간하여 농업이 이루어지는 전형적인 산촌형 곡간지 농업이 주된 산업형태이다. 또한 담배, 옥수수, 감자, 콩 등이 주로 재배되는 밭작물이다.

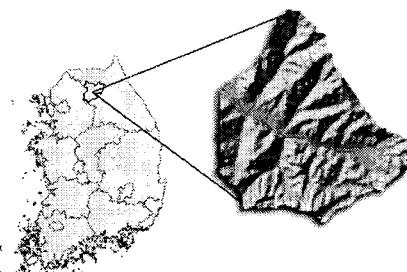


Fig 1. Su-dong watershed and location

3. SATEEC 시스템의 설정

3.1 SATEEC 시스템의 개요

USLE(Universal Soil Loss Equation) 모형은 농경지에서 면상침식(Sheet erosion)과 세류침식(Rill erosion)만을 모의할 수 있는 시험포 모형(Field-scale)이다. 따라서 USLE 모형은 농경지에서 유실된 토양이 하류 하천으로 얼마나 흘러들어가 하류 수계의 택수발생과 이에 따른 수질악화에 얼마나 기여하는지 평가하는데 이용될 수 없다.

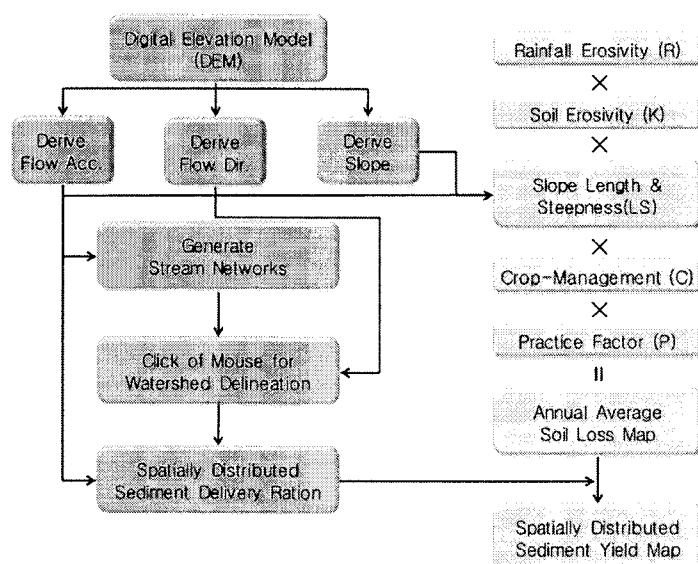


Fig 2. Overview of the SATEEC

이러한 문제를 보완하기 위해 USLE 모형의 입력 자료만을 이용하여 농경지에서 유실된 토양이 얼마나 하류 하천으로 유입되는지를 모의할 수 있는 SATEEC(Sediment Assessment Tool for Effective Erosion Control) 시스템이 이용되고 있다. 이 SATEEC 시스템은 유역내 임의의 지점에서 토양유실방지대책을 수행하였을 경우 하류하천에 얼마나 유사 발생을 저감시킬 수 있는지를 모의하는 시스템으로 유역 단위(Watershed scale)로 적용시킬 수 있는 장점이 있으며 현재 전 세계 9개국(미국, 중국, 일본, 그리스, 독일, 파키스탄, 인도, 호주, 한국)에서 사용되고 있다. 이 SATEEC 시스템은 ArcView GIS를 기반으로 하며, Fig 2에서 보이는 바와 같이 모형의 입력자료(Rainfall erosivity, Soil erosivity, Slope length and steepness, Crop management, Practice factor)만을 이용하여 유역내 유사 발생을 모의할 수 있는 시스템이다.

3. 2 SATEEC 시스템의 입력자료

3.2.1 강우침식능인자(R), 토양침식성인자(K), 식생피복인자(C), 작물경작인자(P)

본 연구에서는 30분 강우강도(I_{30}) 데이터 부족으로 정 등(1999)에 의해 계산된 행정구역별 강우침식능인자를 이용하였다. 본 연구에서는 춘천시에 해당하는 R factor값 464를 사용하였다. 토양침식인자(K)는 어떤 토양의 고유한 침식성을 정량적으로 표시한 것으로 유실량은 토양 침식에 영향을 끼치는 인자가 동일한 경우 토양 특성의 차이로 인하여 달라진다. 토양침식인자는 토양의 물리적, 화학적 성질에 따라 좌우된다. 본 연구에서는 Wischmeier et al.(1978)가 제시한 MUSLE 공식에서 K값을 구하였다. 식생은 유출수의 유속과 강우의 타격력을 감소시키는 한 편, 뿌리에 의한 토양구조의 발달 및 공극률 증가로 강우의 침투율을 증가시킴으로써 토양 유실량을 감소시키는 효과를 갖는다(정 등, 1985). 식생피복인자는 특정한 조건 하에서 식생지역의 토양 유실량과 나지의 토양 유실량과의 비로 나타낸 값으로 정의 되므로, 그 값은 나지에서 1이고 식생지역에서는 1 이하로 된다. 본 연구에서는 정 등(1985)이 제시한 값을 사용하였다. 작물경작인자는 보전영농시설과 경작방법 등에 의한 토양 침식량의 감소를 설명하는 값이다. 이는 등고선 재배, 등고선 대상재배 및 테라스 조성 등으로 인한 효과를 나타내며 상하경(up and down tillage)에서의 토양 유실량을 1로 하였을 때 토양보전농법을 적용하여 감소되는 토양 유실량의 비로서 나타낸다. 본 연구에서는 박(1999)에 의해서 제안한 작물경작인자를 토지이용과 경사도에 따라 이용하였다.

3.2.2 지형자료(DEM)와 경사도와 경사장 인자 (LS)

DEM(Digital Elevation Model)을 이용하여 경사장(Slope length)과 경사도(Slope steepness)를 Moore와 Burch(1985a, 1986b)의 방법을 이용하여 계산해낸다. DEM을 이용하여 LS값을 산정할 때, RUSLE User Guide(Foster et al., 1996)에 따르면 경사장의 실험에 의한 모의 길이는 10.7m(35ft)에서 91.4m(300ft)이나 자연 상태에서 세류가 일어나기 시작하는 경사장 122m(400ft)를 사용할 수도 있다.

4. 연구 목적 및 방법

본 연구의 목적은 USLE 모형의 입력 자료만을 이용하여 농경지에서 유실된 토양이 얼마나 하류 하천으로 유입되는지를 모의할 수 있는 SATEEC 시스템을 사용하여 유역의 유출구에 도달하

는 유사량을 구하기 위한 유달률을 산정하는 과정에서 면적에 의해 산정된 유달률(SDR_A)과 경사에 의해 산정된 유달률(SDR_S)을 사용하였을 때의 차이를 규명하는 것이다. Fig 3에서와 같이 면적이 $A \text{ km}^2$ 으로 동일하고 경사가 각각 θ_1 과 θ_2 로 다른 지역의 경우 Vanoni(1975)에 의해 제시된 SDR_A 는 $0.47 \times A^{-0.125}$ 로 일정한데 비해, SDR_S 는 $0.627 \times \theta_1^{0.403}$ 로 경사도에 따라 다르게 산정된다. 이에 USLE에 의해 모의되는 유사량(Soil Loss)은 각각 다른 값을 가지게 된다.

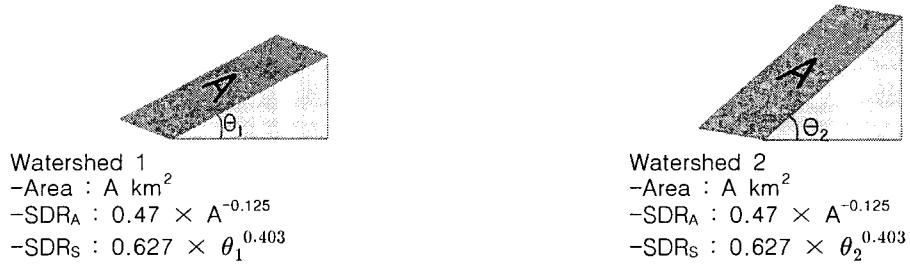


Fig 3. Comparison SDR area based and slope based

이에 따라 해당 연구지역에서 2.19ha로 동일 면적을 갖는 19개의 소유역을 선정하여 SDR_A 와 SDR_S 의 차이 및 각 유달률을 통해 산정된 각 소유역 유출구에서의 유사량을 모의하였다.

5. 결과 및 고찰

Table 1. Result of each watershed

Water-shed	Slope (%)	Area-Based			Slope-Based		
		Ratio	Soil Loss (ton/year)	Sediment Yield (ton/year)	Ratio	Soil Loss (ton/year)	Sediment Yield (ton/year)
1	0.73	0.762	353.125	268.995	0.553	353.125	195.160
2	0.76	0.762	196.000	149.304	0.560	196.000	109.790
3	0.85	0.762	311.250	237.097	0.587	311.250	182.551
4	0.86	0.762	169.688	129.261	0.590	169.688	100.069
5	1.01	0.762	180.125	137.211	0.629	180.125	113.278
6	1.12	0.762	100.813	76.795	0.657	100.813	66.227
7	1.21	0.762	37.375	28.471	0.678	37.375	25.339
8	1.46	0.762	99.188	75.557	0.731	99.188	72.457
9	1.52	0.762	1.938	1.476	0.742	1.938	1.438
10	1.58	0.762	161.938	123.357	0.754	161.938	122.031
11	1.75	0.762	27.750	12.139	0.786	27.750	21.818
12	2.12	0.762	354.125	269.757	0.849	354.125	354.125
13	2.49	0.762	153.438	116.882	0.905	153.438	138.910
14	2.55	0.762	214.688	163.540	0.914	214.688	196.194
15	2.66	0.762	134.500	102.456	0.930	134.500	125.121
16	2.67	0.762	527.250	401.636	0.932	527.250	491.243
17	2.87	0.762	62.438	47.562	0.959	62.438	59.883
18	3.07	0.762	141.813	108.027	0.985	141.813	139.652
19	3.17	0.762	167.938	127.928	0.999	167.938	167.711

본 연구에서는 수동리 지역에서 2.19ha로 동일 면적을 갖지만 경사도가 다른 19개 소유역을 선정해 면적에 의해 산정된 유달률(SDR_A)과 경사도에 의해 산정된 유달률(SDR_S)에 의한 USLE 모형의 유사량을 비교하였다. Table 1에서 보이는 바와 같이 SDR_A 는 19개 소유역에 대해 0.762로 모두 동일한 값을 갖는데 비해 SDR_S 는 경사에 따라 0.553~0.999로 모두 다른 값을 갖음을 알 수 있다. 각 소유역별로 산정된 유달률에 각 소유역에서의 USLE 모형에 의한 토양 유실량을 곱하여 최종 유출구에서의 유사량을 구하였는데, SDR_A 와 SDR_S 에 의해 산정된 각 소유역별 유사량의 차이는 -37.83%(소유역 1)~44.36%(소유역 11)의 차이를 보였으며 유사량은 -73.84ton/yr(소유역 1)~89.61ton/yr(소유역 16)의 차이를 보였다.

6. 요약 및 결론

USLE 모형은 시험포 모형으로서 유역내 유실 토양을 모의하는 것이기 때문에 보다 실용적이기 위해서는 유역의 유출구에서의 유사량을 모의하기 위해 유달률을 고려해야 하나, 유달률을 산정하는데 있어 유역의 면적에 의해 산정하거나 경사도에 따라 산정하는 것에 따라 연구대상 유역의 유출구에서의 유사량은 2.19ha에 해당하는 동일 유역면적을 갖는 소유역에서 -37.83%~44.36%의 큰 차이를 보이는 것으로 나타났다.

유역 형상에 따라서 하천의 생성 및 유출되는 정도, 첨두 유량 등이 변화하기 때문에 유달되는 정도 역시 매우 상이할 것으로 판단되며 유역내 유역 특성에 따라서 같은 모양의 수계에 대해서도 유달되는 정도가 다를 것이다. 또한 하천 밀도가 크고 하천까지의 거리가 짧을수록 많은 양의 유실된 토양이 하류 하천으로 유달 될 것이다. 따라서 해당 유역의 특성을 고려해야 보다 정확한 결과를 이끌어 낼 수 있으며, 이러한 유역의 특성을 고려할 때 경사도뿐만 아니라, 유역의 형상이나 하천의 밀도, 하천까지의 거리 등, 보다 많고 정확한 특성에 대한 연구가 유사량 연구와 병행되어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 구본준(2002). 농촌소유역의 토양유실량 예측을 위한 RUSLE 의 적용성 검토, 석사학위논문, 강원대학교.
2. 정영상 ,권영기, 임형식, 하상건, 양재의(1999). 강원도 경사지 토양 유실예측용 신 USLE의 적용을 위한 강수 인자와 토양 침식성인자의 검토, 한국토양비료학회지, 제32권 제1호, pp. 31 ~ 38.
3. 정필균, 고문환, 엄기태(1985). 토양유실량 예측을 위한 작부인자 검토. 한국토양비료학회지, 제18권 제1호, pp. 113 ~ 114.
4. Foster, G. R., Renard, K. G., Yoder, D. C., McCool, D. K., Weesies, G. A.(1996). User's Guide. Soil & Water Cons. Soc.
5. Lim, K. J., Engel, B. A.(2004). Development of the USPED ArcView GIS Interface for Erosion Control Planning Dept. Research Report. Ag. and Biological Eng, Purdue Univ., IN, USA.
6. Walling, D. E.(1983). The sediment delivery problem. Journal of Hydrology, 제65권, pp. 209~237.
7. Whischmeier, W.H., Smith, D. D.(1978). Predicting Rainfall Erosion Losses; A Guide to Conservation Planning. USDA Agr. Hb. 537, pp. 58.