한 국 방 재 학 회 논 문 집
제9권 6호 2009년 12월
pp. 119 ~ 124

강원지역 시험유역에 대한 RUSLE 인자특성 분석 (II)
- RUSLE 모형의 시험유역 적용을 중심으로 -

Characteristics Analysis for RUSLE Factors based on Measured Data of Gangwon Experimental Watershed(II)

이종설* · 정재학**
Lee, Jong Seol · Chung, Jae Hak

Abstract

In this study, the characteristics of estimating methodology for RUSLE factors such as soil erodibility factor, slope length-steepness factor, and cover management factor were reviewed and then the relative error according to each methodology was analyzed. RUSLE was applied to experimental watershed for 42 storm events and their results were compared with measured sediment yield to examine the applicability of RUSLE. As a result, this paper found that it should be necessary to consider vegetation effect for forest application of RUSLE as cover management was the most sensitive factor. Also, soil erodbility factor was calculated from data of soil series by National Academy of Agricultural Science caused sediment yield to be overestimated because there were big differences between the soil series and on-site soil texture. The 22.7% of maximum relative error was shown according to selecting the rain energy equation. In addition, it will be necessary to verify the RUSLE factors with more data in order to improve their accuracy.

Key words : RUSLE, Soil Erodibility Factor, Slope Length-Steepness Factor, Cover Management Factor

요 지

본 연구에서는 토양침식성 인자, 사면경사길이 인자, 피복관리 인자 등 RUSLE 모형의 각종 인자들의 산정방법의 특성을 검토하고 산정방법간의 오차를 분석하고자 하였다. 또한, 42개의 강우사상에 대해 RUSLE모형을 강원 토사유출 시험유역에 적용하여 토사유출량을 산정하고 그 결과를 관측 토사유출량과 비교함으로써 모형의 적용성을 검토하였다. RUSLE모형의 각종 인자들에 대한 분석결과 피복관리 인자가 가장 민감한 것으로 나타났으며, 산지유역에 RUSLE를 적용하는 경우 식생의 영향을 반드시 고려할 필요가 있다. 또한 국립농업과학원 토양정보시스템의 토양통 자료를 이용하는 경우 현장토양 특성을 반영하지 못해 큰 오차가 발생하는 것으로 나타났다. 강우에너지 산정방법에 따라서는 최대 22.7%의 오차가 발생하는 것으로 나타났으며, 향후 보다 많은 자료를 이용하여 각 인자들을 검증할 필요가 있다.

핵심용어 : RUSLE, 토양침식성 인자, 사면경사길이 인자, 피복관리 인자, 사면길이 멱지수

1. 서 론

산불발생과 같이 산지 환경이 급변하는 지역에서 토사유출의 증가와 이로 인한 토사재해의 위험성은 매우 높게 되는 것이 일반적인 사실이다.

이근상(2005) 등이 GIS를 활용하여 USLE 공식의 매개변수를 산정하여 토사유출량을 예측한 바 있으나, 실측자료와의 비교는 수행되지 않았다. 김민석 등(2007)이 geoWEPP 모형과 RUSLE 모형의 비교분석을 수행한 바 있으나, 각 연구에서 비교분석에 사용된 토사유출량은 월별로 관측된 자료가 대부분이다. 이와 같이 우리나라에서는 현장에서의 실측을 통하여 분석한 사례는 거의 없는 실정이고, 특히 강우사상별로 토사유출량을 실측하는 사례는 매우 드물다.

실측자료를 바탕으로 RUSLE 공식의 강우침식능 인자에 대한 검토 결과는 이미 제시한 바 있으며, 본 연구에서는 여러 가지 방법들을 적용하여 RUSLE 공식의 각종 매개변수를 산정하고 그 결과를 실측된 토사유출량과 비교 분석함으로써 RUSLE 모형의 산지유역 적용성을 검토하고자 한다.

*정회원 · 국립방재교육연구원 방재연구소 시설연구관(E-mail: jlee@nema.go.kr)
**정회원 · 국립방재교육연구원 방재연구소 시설연구사

2. 토사유출 시험유역 및 관측자료

본 연구의 시험유역은 강원도 강릉시 사천면 노동리 산 142번지에 위치하고 있으며, 시험유역은 2001년부터 2006년까지 6년간 운영되었다. 시험유역은 2000년 대규모 산불피해 지역으로 복구조림이 이루어졌으며 유역면적은 0.66 ha이다. 해발고도는 180~215 m의 범위이며, 유역폭은 50-90 m, 유역길이는 124 m인 소규모 유역이다. 유역내에는 폭 30~100 cm 정도의 자연유로가 형성되어 있고 지형적인 특성으로 상시 지하수 유출이 발생하고 있다(그림 1참조). 시험유역은 3개의 소유역으로 구분하였으며, 각 소유역에 대해 2001년 1회의 토양입도분석과 매년 식생피복도를 조사하였다. 농업과학기술원의 수치토양도에 의하면 본 시험유역은 상주통(SAC)과 삼각통(SgE2)로 구성되어 있으며, 현장 토양의 입도분석 결과에 의하면 토양은 대부분 모래(0.1 mm~0.2 mm)로 구성되어 있다. 2000년 산불발생으로 2001년의 식생피복도는 소유역 1과 2의 경우 15%에 불과하였으나 2002년이후에는 대부분의 식생이 85%이상으로 산불이전의 상태로 회복된 것으로 나타났다.

토사유출은 총 42회의 강우사상에 대해 유역의 출구점에서 관측하였고, 강우량은 현장관측이 이루어졌으나 일부 결측으로 인해 인근 강릉기상청 자료를 이용하였다. 42개 강우사상의 최대강우강도는 2.5~64.5 mm/hr, 총강우량은 18.5~788.4 mm, 관측 토사유출량은 0.2~1397.3 kg의 범위이다.

3. RUSLE 공식의 인자산정

본 연구에서 검토하고자 하는 RUSLE 공식은 다음과 같다.

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \qquad (1)$$

여기서 A는 단위면적당 연평균 토양침식량(t/ha)이며, R은 강우침식능 인자(MJ·mm/ha/hr), K는 토양침식성 인자(t·hr·year/MJ/mm), L은 사면 길이인자, S는 사면 경사인자, C는 피복관리인자, P는 토양침식대책인자이고, L, S, C, P는 무차원 인자이며, 각 인자는 다음과 같이 산정하였다.

3.1 강우침식능 인자

강우침식능 인자(R)는 이전 편 논문에서 자세히 기술한 바와 같이, 본 연구에서는 10개의 강우에너지 산정식을 검토하였다. 본 편에서는 10개의 강우에너지 산정식 중 RUSLE, USLE 채택식과 검토결과 높은 상관성을 보인 노재경과 권순국(1984) 제안식, van Dijk 제안식(2002)을 적용하였다. 강우침식능 인자를 산정하기 위하여 총 강우에너지에 곱해지는 30분 최대강우강도는 60분 최대강우강도를 1.279배한 값을 사용하였다.

3.2 토양침식성 인자

본 연구에서는 토양침식성 인자(K)를 산정하기 위해 Wischmeier 등이 제시한 모노그래프의 해석적 관계식 (1)을 사용하였다.

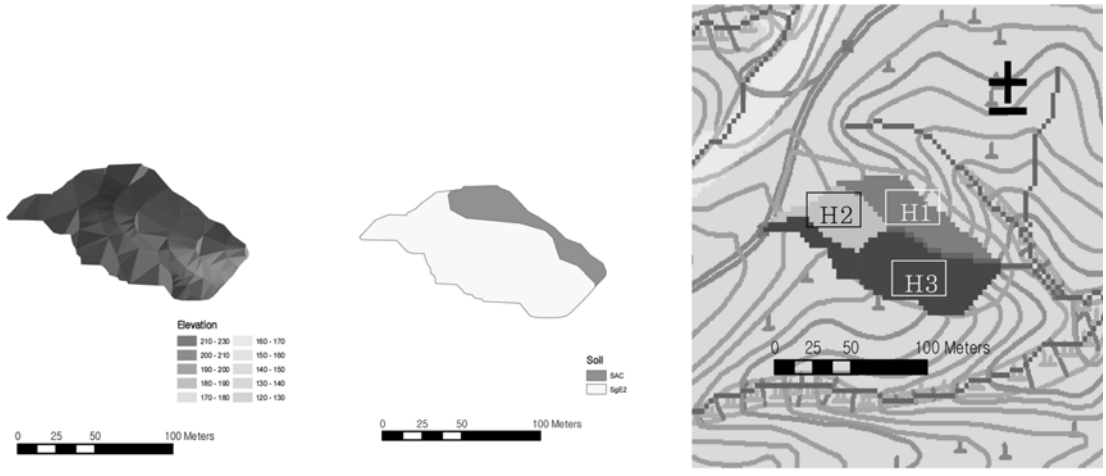
$$K = \frac{2.1\times10^{-4}(12-OM)M^{1.14} + 3.25(S_1-2) + 2.5(P_1-3)}{759} \qquad (1)$$

여기서 OM은 함유 유기물의 백분율, P_1과 S_1은 토양의 투수지수와 구조지수, M은 입경에 있어 주종을 이루는 토립자와 토사전체에 대한 비율에 대한 함수로 다음 식과 같이 표현된다.

$$M = (\%MS + \%VFS)(100 - \%CL) \qquad (2)$$

여기서, MS는 실트 함유백분율(0.002~0.05 mm), VFS는 미사 함유백분율(0.05~0.1 mm), CL은 점토 백분율(0.002 mm 이하)을 나타낸다.

토양침식성 인자는 시험유역에서 샘플링하여 입도분석한 토양자료와 국립농업과학원에서 제공하는 토양통 자료를 이용하여 각각 산정하였으며, 그 결과는 다음 표 1과 같다. 현장분석자료의 모래 구성비는 88.0~90.0%로 토양통 자료의 모래구성비 59.8~70.9%에 비해 훨씬 크고, 유기물 함량과 투



(a) 지형도 (b) 토양도 (c) 소유역

그림 1. 강원지역 시험유역

표 1. 토양침식성 인자 산정결과

구분	소유역	토립자 구성비(%)			M	OM (%)	S_1	P_1	K (t/ha/R)
		VFS	MS	CL					
현장토양	1	3.0	6.0	1.0	891	3.66	4	2	0.0106
	2	3.0	6.0	1.0	891	3.66	4	2	0.0106
	3	5.0	6.0	1.0	1,089	7.08	4	2	0.0092
토양통	1	9.5	22.9	6.2	3,039	1.08	3	2	0.0292
	2	3.5	30	10.2	3,008	0.60	3	2	0.0301
	3	3.5	30	10.2	3,008	0.60	3	2	0.0301

수성도 높다. 따라서, 현장 토양 K값과 토양통에 의한 K값은 상당한 차이가 있으며, 소유역 3의 경우 토양통에 의한 K값이 상대오차 69.4%까지 과대산정하는 것으로 나타났다.

3.3 사면경사길이 인자

RUSLE에서는 사면경사가 9%이상인 경우 다음 식 (3)에 의해 사면경사길이 인자(LS)를 산정한다. 식 (3)에서 멱지수 m은 식 (4)와 같이 표현되며, β는 세류간 침식에 대한 세류 침식의 비로 식 (5)에 의해 산정한다. 사면경사각을 θ라 하면, 사면경사길이 인자는 다음 식으로 표현된다.

$$LS = L \cdot S = \left(\frac{\lambda}{22.13}\right)^{m} \cdot (16.8\sin\theta - 0.50) \quad (3)$$

$$m = \frac{\beta}{(1+\beta)} \quad (4)$$

$$\beta = (\sin\theta/0.0896) / [3.0(\sin\theta)^{0.8}+0.56] \quad (5)$$

USLE에서는 m값을 경사가 1이하, 1~3, 3.5~4.5, 5%에 대해 각각 0.2, 0.3, 0.4, 0.5의 값을 추천하고 있고, McCool 등(1993)은 미국 북서부 밀 경작지역에서 95%의 데이터가 9~48%의 경사를 갖는 사면을 대상으로 하여 분석한 결과, 멱지수 m값으로 0.5를 제안하였다.

한편, Liu 등(2000)은 중국 황토 고원지대의 3개 급경사지역(사면경사 40.0~57.7%)에서 연구를 수행한 결과 57.7%의 사면지역에서 RUSLE가 최대 20%정도 과대 산정하는 것으로 분석하였으며, 최적 m값으로 0.44를 추천하였다. 표2는 RUSLE, USLE(McCool), Liu 등이 제안한 m값을 이용하여 사면경사 길이인자를 산정한 결과이며, 경사가 가장 급한 소유역 2에서는 RUSLE에 의한 것이 Lui등이 제안한 것에 비해 상대오차 13.8%정도 과대산정하는 것으로 나타났으며, 경사가 가장 완만한 소유역 3에서는 7.8%정도 과대산정하는 것으로 나타났다. 본 시험유역 경사는 15.8%~27.3%로 다소 급한 편이고 McCool과 Liu 등의 연구결과를 고려할 때, USLE의 멱지수 m 값을 적용하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

3.4 피복관리 인자

국내 실무에서는 피복관리인자 C를 산정할 때, 여러 가지 요구되는 자료의 부족으로 RUSLE에서 제시된 방법을 적용하지 않고 있으며, Hann(1994)이 제시한 토양침식조절인자(VM) 표로부터 값을 선정하는 경우가 대부분이다. 이 표에 의하여 본 연구의 대상인 산지 유역에서 C를 산정하는 경우 적절한 값을 구하기 어려우며 주관적인 요소가 매우 크다. 뿐만 아니라 소유역 또는 소영역에서의 식생 피복도 등을 적절하게 고려하지 못하기 때문에 보다 신뢰성 있는 토양침식량을 예측하기 위해서는 이에 대한 개선이 필요하다.

최근 피복관리인자를 산정하기 위한 방법으로 NDVI (normalized difference vegetation index)지수를 활용하는 연구가 활발하게 진행 중에 있다. Orr 등(2007)은 동부 스페인에서 산불이후 토양침식의 취약성을 평가하기 위하여 MODIS NDVI 데이터로부터 RUSLE의 C값을 도출하여 토양침식을 산정하였으며, van der Knijff 등(2000)이 제시한 다음 식을 이용하여 NDVI값으로부터 월 C인자를 산정하였다.

$$C = e^{-\alpha(\mathrm{NDVI})/(\beta-\mathrm{NDVI})}$$

여기서 α, β는 NDVI와 C의 상관곡선의 형상을 결정하는 무차원 매개변수로서, van Leeuwen (2005)이 MODIS 데이터를 사용하여 적용한 결과 α는 2.5, β는 1.0의 값이 적절한 값으로 추천하고 있다. 여기에서 최소 NDVI 한계값은 0.05로 설정하였고 그 이하인 경우는 나대지로 간주하여 C 인자는 1로 하였다. Lu 등(2001)은 Pathfinder AVHRR 영상으로부터 추출한 NDVI와 지상관측자료를 이용하여 식생피

표 2. 사면멱지수 값에 따른 LS인자 산정결과

구분	소유역	사면길이 (m)	경사 (%)	사면경사 인자(S)	β	m	사면길이 인자(L)	사면경사 길이인자(LS)
RUSLE	1	20.07	27.30	3.92	1.847	0.649	0.94	3.69
	2	50.09	21.10	2.97	1.635	0.621	1.66	4.93
	3	39.13	15.80	2.12	1.406	0.584	1.40	2.96
USLE. McCool	1	20.07	27.30	3.92	-	0.500	0.95	3.74
	2	50.09	21.10	2.97	-	0.500	1.51	4.47
	3	39.13	15.80	2.12	-	0.500	1.33	2.82
Liu 등	1	20.07	27.30	3.92	-	0.440	0.96	3.76
	2	50.09	21.10	2.97	-	0.440	1.43	4.25
	3	39.13	15.80	2.12	-	0.440	1.29	2.73

복에 대한 다음과 같은 경험식을 제안하였다.

$$V_c = -14 + 14 \times \mathrm{NDVI} \quad (7)$$

여기서 V_c는 다년생 목본피복 백분율(%)이다.

본 연구에서는 연도별로 조사된 식생피복율과 식 (6), 식 (7)을 이용하여 표 3과 같이 연도별-소유역별 C값을 산정하였으며, Hann의 VM값에 의한 경우는 경년별 변화를 고려할 수 없고 임야 및 초지에 해당하는 하나의 값을 선정하였다. 표에 의하면 Hann의 VM값은 NDVI에 의해 산정된 C값에 비해 2001년 소유역 1의 경우 상대오차 75.3%를 과소산정하거나 2005년 소유역 3의 경우 99.9%를 과대 산정하는 결과를 보인다.

3.5 토양보존대책인자

토양 보존대책인자(P)는 사면의 상향 및 하향 경작지로부터의 토양침식에 대한 특정 보존대책에 의한 토양침식량의 비로 정의된다. 토양보존대책인자는 등고선 경작, 등고선 대상재배, 등고선 단구효과, 지표하 배수, 건조 농경지의 조도 효과 등을 고려한다. 본 연구에서는 이 인자를 고려하지 않았으며 1로 가정하였다.

4. RUSLE 모형의 시험유역 적용 및 분석

본 절에서는 RUSLE 모형을 시험유역에 적용하여 토사유출량을 산정하고 이를 관측자료와 비교하여 RUSLE 모형의 적용성을 검토하고자 한다. RUSLE 모형의 인자들은 전 절에서 검토한 바 같이 여러 가지 산정방법 또는 식들이 여러 연구자들에 의해 제안되고 있어 어떤 방법을 선정하는냐에 따라 산정 결과에 많은 차이를 보이고 있다. 표 4는 본 연구에서 각 인자별로 모의한 case를 나타내는 것으로 R인자는 강우에너지식에 따라 4가지(RUSLE 추천식, USLE 추천식, 노재경과 권순국 식, van Dijk 식), K 인자는 토양자료에 따라 2가지(현장토양자료, 토양통자료), LS인자는 멱지수 m의 산정결정 방법에 따라 3가지(RUSLE 추천식, USLE 추천값, Liu 등 추천값), C는 2가지(Knijff의 식생피복율과 NDVI 관계식, Hann의 VM값)으로 구분하여 산정하였다.

그림 2는 42개 강우사상에 대해 계산 토사유출량과 관측 토사유출량을 비교한 것이다. 그림에서 R2K1L1C2는 표 4에서 R은 USLE 추천 강우에너지식을 적용, K는 현장토양자료를 활용, LS는 RUSLE 추천식을 적용, C는 NDVI를 활용하여 산정한 case를 의미한다. 그림 2에서 (a)는 C인자 산정시 표값을 적용한 것으로 NDVI에 의해 식생의 영향을 고려한 (b)~(d)보다 현저히 큰 오차가 발생하고 있음을 알 수 있다.

그림 2(d)는 현장토양자료가 아닌 농업과학기술원에서 제공하는 수치토양도와 토양통을 이용하여 구한 K값을 적용한 것으로 현장토양자료를 사용한 결과에 비해 과대 산정한 결과를 보이고 있다.

표 5는 각 case 별로 계산된 토사유출량 최대값, 최소값, 평균값과 결정계수, 효율성계수를 나타낸 것이다. 효율성계수

표 3. Vc-NDVI관계식 및 표값을 이용한 피복관리인자

구 분	연도	소유역	식생피복 (%)	NDVI	C
Knijff (NDVI)	2001	1	63	0.5500	0.0471
		2	45	0.4214	0.1619
		3	58	0.5143	0.0709
	2002	1	70	0.6000	0.0235
		2	70	0.6000	0.0235
		3	80	0.6714	0.0060
	2003	1	85	0.7071	0.0024
		2	85	0.7071	0.0024
		3	85	0.7071	0.0024
	2004	1	90	0.7429	0.0007
		2	90	0.7429	0.0007
		3	90	0.7429	0.0007
	2005	1	95	0.7786	0.0002
		2	95	0.7786	0.0002
		3	99	0.8071	0.00003
	2006	1	95	0.7786	0.0002
		2	95	0.7786	0.0002
		3	95	0.7786	0.0002
Hann (VM)	2001~ 2006	1	-	-	0.04
		2	-	-	0.04
		3	-	-	0.04

표 4. RUSLE 검토대상 매개변수

Case / 인자	1	2	3	4
R	RUSLE	USLE	Noe & Kwun	van Dijk
K	현장토양	토양통	-	-
LS(m)	RUSLE	USLE	Liu 등	-
C	Knijff	Hann	-	-

는 다음 식으로 표현되며, 모형의 수행성을 판단하는 척도로 1:1 라인에 대한 추정값의 분산을 의미한다. 효율성 계수는 1에 가까운 경우 모형의 추정값이 적절하다고 할 수 있으며, 1에서 $-\infty$까지의 값을 갖는다.

$$CE = 1 - \frac{\sum (X_{pred} - X_{obs})^2}{\sum (X_{obs} - X_{mean})^2} \quad (8)$$

여기서 X_{pred}는 추정값, X_{obs}는 관측값, X_{mean}은 관측값의 평균을 나타낸다.

표 5에 나타난 바와 같이 R1K1L1C1의 경우가 결정계수 0.778로 관측값과 가장 상관성이 높으며, 효율성 계수는 R1K1L3C1의 경우가 가장 적합한 것으로 나타났다. 관측값의 최대값은 1397 kg, 최소값은 0.2 kg, 평균값 140.9 kg으로 이들 값의 단순비교에서 R1K1L3C1이 가장 적절한 추정을 하

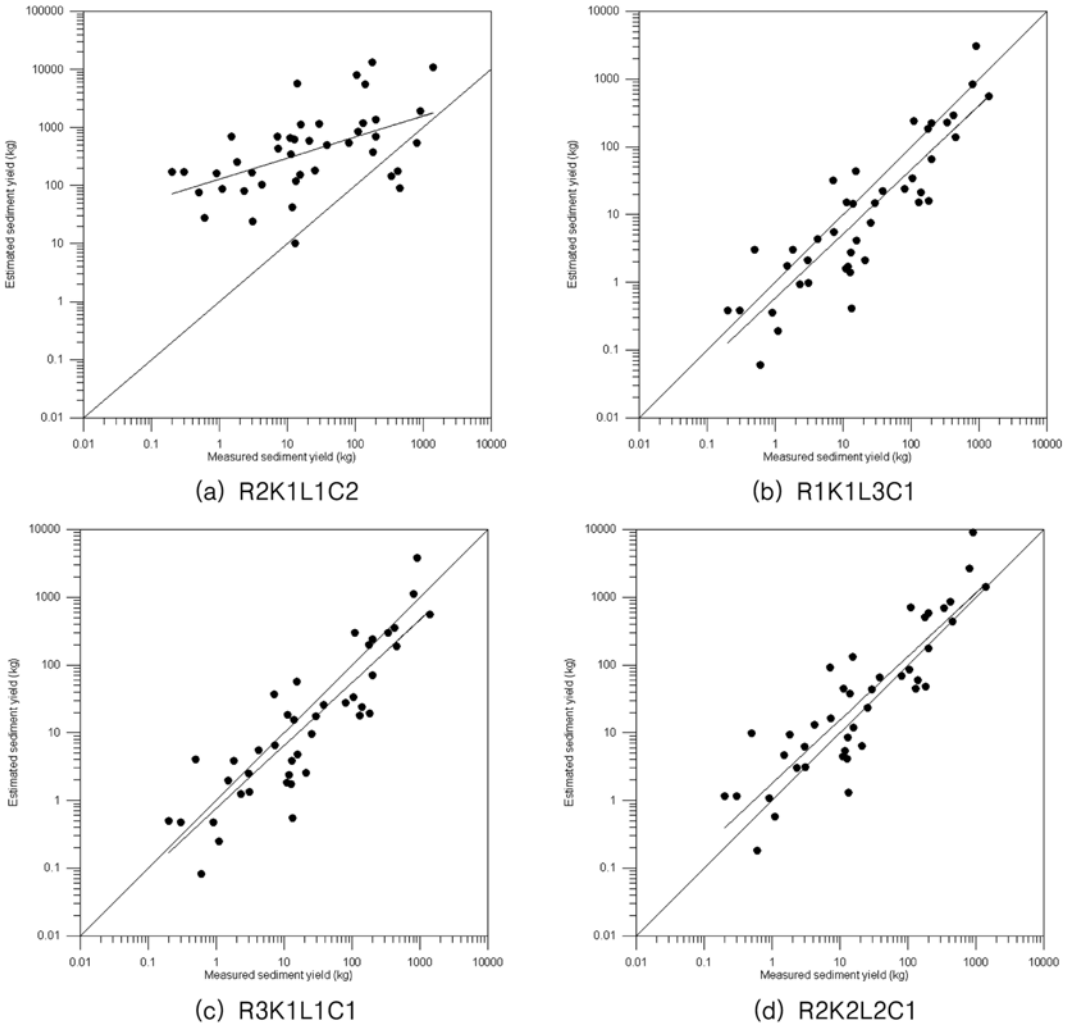


그림 2. 관측 토사유출량과 계산 토사유출량의 비교

표 5. RUSLE 모형의 시험유역 적용결과

	R1K1L1C1	R2K1L1C1	R3K1L1C1	R4K1L1C1	R1K2L1C1	R2K2L1C1	R3K2L1C1	R4K2L1C1
최대값	3370	4359	3798	4136	7536	9749	8493	9250
최소값	0.06	0.09	0.08	0.09	0.14	0.19	0.18	0.20
평 균	159.4	204.0	177.7	194.2	356.0	455.5	396.8	433.5
결정계수	0.778	0.774	0.773	0.774	0.779	0.775	0.775	0.775
효율성계수	-1.11	-2.92	-1.85	-2.46	-13.00	-24.33	-17.59	-21.51
	R1K1L2C1	R2K1L2C1	R3K1L2C1	R4K1L2C1	R1K1L3C1	R2K1L3C1	R3K1L3C1	R4K1L3C1
최대값	3165	4094	3567	3884	3057	3955	3446	3753
최소값	0.06	0.09	0.08	0.09	0.06	0.08	0.08	0.09
평 균	150.5	192.5	167.7	183.2	145.8	186.4	162.4	177.4
결정계수	0.777	0.774	0.773	0.774	0.777	0.774	0.773	0.774
효율성계수	-0.83	-2.38	-1.46	-1.98	-0.69	-2.11	-1.28	-1.75
	R1K1L1C2	R2K1L1C2	R3K1L1C2	R4K1L1C2	R1K2L2C1	R2K2L2C1	R3K2L2C1	R4K2L2C1
최대값	11175	13397	11398	12536	7078	9157	7978	8688
최소값	0.27	0.27	0.27	0.27	0.13	0.18	0.17	0.19
평 균	1213.2	1430.2	1223.5	1358.8	336.0	429.7	374.4	409.1
결정계수	0.270	0.267	0.268	0.269	0.779	0.775	0.775	0.775
효율성계수	-89.35	-119.98	-85.06	-107.41	-11.12	-21.01	-15.12	-18.54

고 있는 것으로 나타났다. 이러한 사실로부터 각 인자들의 곱으로 표현되어 단정할 수는 없으나 사면길이 멱지수는 RUSLE에서 추천한 공식을 적용하는 경우(L1) 과대산정의 원인이 된다고 판단할 수 있다. C를 Hann의 VM값으로부터 선정한 경우(C2) 상관성이 매우 낮으며 3배 이상 과대산정하는 결과를 보이고 있고, 토양통자료를 사용한 경우(K2)도 역시 2배이상 과대산정하고 있음을 알 수 있다.

강우에너지 식의 선택에 따라서는 1.3배(R2와 R1) 정도 차이를 보이고 있으며, 노재경과 권순국 식의 경우(R3) RUSLE 추천식(R1)과 근소한 차이를 보이고 있고 전편의 논문에서 검토한 바와 같이 적용성이 있는 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 토양침식성 인자, 사면경사길이 인자, 피복관리 인자 등 RUSLE 모형의 각종 인자 산정방법의 특성을 검토하고 산정방법간의 오차를 분석하였다. 또한, 강원지역 토사유출 시험유역에 42개의 강우사상을 대상으로 RUSLE 모형을 적용하여 토사유출량을 산정하고 그 결과를 관측 토사유출량과 비교함으로써 RUSLE 모형의 적용성을 검토하였으며 도출한 결론은 다음과 같다.

1) 현장에서 샘플링한 토양입도분석 자료와 수치토양도와 토양통을 이용하여 토양침식성 인자를 각각 산정하였으며, 최대 69.4%의 상대오차가 발생하는 것으로 나타나 침사지 등 토사유출저감시설 계획시 현장토양조사는 토사유출량 예측을 위해 매우 중요한 것으로 판단된다.
2) 식생피복율과 NDVI와의 관계식을 이용하는 방법을 적용하여 피복관리 인자를 산정하고 Hann의 VM값과 비교한 결과 Hann의 VM값은 75.3% 과소 또는 99.9% 까지 과대 산정할 수도 있는 것으로 나타나 산지유역에 RUSLE를 적용할 경우는 식생조건을 적절하게 반영하는 것이 중요한 것으로 판단된다.
3) RUSLE의 사면경사길이 인자 중 사면길이 멱지수는 사면의 경사가 급한 곳에서는 과대산정하는 경향이 있으므로, 적용시 주의가 필요하며 McCool, Liu 등 급경사 지역의 자료분석을 통해 제시한 값을 적용하는 것이 타당한 것으로 판단된다.
4) 인자 산정방법에 따라 24개의 case에 대해 RUSLE 모형을 시험유역에 적용하였으며, 강우에너지 산정방법에 따라서는 최대 22.7%, 토양자료에 따라서는 55.3%, 멱지수 선택에 따라서는 9.3%, 피복관리 인자 산정방법에 따라서는 69.8%의 상대오차가 발생하는 것으로 나타나 피복관리 인자가 가장 민감한 것으로 나타났으며, 산지유역에 RUSLE를 적용하는 경우 식생의 변화를 반드시 고려하여야 할 필요가 있다.

참고문헌

김민석, 김진관, 양동윤, 정관수 (2007) Process Based Erosion Model을 이용한 자연사면에서의 토사유출 산정 : 편마암 지역사례연구, **한국지형학회지**, 제14권 제4호, pp. 107-116.

노재경, 권순국 (1984) 강우특성을 이용한 강우에너지 산정에 관한 연구, **서울대 농학연구**, 제9권, 제2호, pp. 23-31.

이근상, 박진혁, 채효석, 고덕구 (2005) 강우가중치를 이용한 GIS 기반 월별 토사유실량 평가, **한국지리정보학회지**, 제8권, 제3호, pp. 65-73.

Hann, C.T., B.J. Barfield, and Hayes, J.C. (1994) *Design Hydrology and Sedimentology for Small Catchments*. Academic Press, New York, 1994.

Liu B.Y. Nearing, M.A., Shi, P.J. and Jia, Z.W. (2000) Slope length effects on soil loss for steep slopes, *Soil Science Society of America Journal* 64, pp. 1759-1763.

Lu, H., Gallant, J., Prosser, P., Moran, C., ad Proestley, G. (2001) Prediction of sheet and rill erosion over the Australian Continent, Incorporating monthly soil loss distribution, *Technical Report* 13/01, SCIRO Land and Water Canberra, Australia.

McCool D.K., Feorge, G.E., Freckleton, C.K., Douglas, C.L., and Papendick, R.I. (1993) Topographic effect of erosion from ecopland in the Northwestern Wheat Region, *Transaction of ASCE* 36, pp. 771-775.

Orr, B.J., Bautista, S., Alloza, J.A., van Leeuwen, W.J.D., Casady, G.M., Davison, J.E., Wittenberg, L., Malkinson, D., Carmel, Y., and Neary, D.G. (2007) *Satellite-derived Vegetation Dynamics Applied to Post-fire Vulnerability Assessment in Eastern Spain*, International Arid Lands Consortium.

van der Knijff J.M, Jones R.J.A., and Montanarella, L. (2000) *Soil erosion risk assessment in Europe*. EUR 19044 EN. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities; p. 34.

van Dijk, A.I.J.M, Bruijnzeel, L.A. and Rosewell, CJ. (2002) Rainfall intensity-kinetic energy relationships : a critical literature review, *Journal of Hydrology* 261, pp. 1-23.

van Leeuwen W.J.D. and Sammons, G. (2005) *Vegetation dynamics and erosion modeling using remotely sensed data(MODIS) and GIS.* Tenth Biennial USDA Forest Service Remote Sensing Applications Conference 2004, Salt Lake City, UT, U.S. Department of Agriculture Forest Service Remote Sensing Applications Center.

◎ 논문접수일 : 2009년 10월 26일
◎ 심사의뢰일 : 2009년 10월 26일
◎ 심사완료일 : 2009년 11월 06일