

농업 소유역의 토양유실량 예측을 위한 RUSLE의 적용

Application of RUSLE to Estimate Annual Soil Loss from Small Agricultural Watersheds

최 중 대 · 양 재 의 · 박 지 성* · 최 병 용 · 김 도 환 · 최 경 진(강원대)

Choi, Joong Dae · Yang Jae E · Park Ji Sung · Choi Byung Yong ·

Kim Do Hwan · Choi Kyoung Jin

Abstract

RUSLE was applied to estimate annual soil loss from two small agricultural watersheds in Kangwon-do, Korea. GIS input parameters were prepared by using DEMs and soil maps prepared by the NGIS project and Rural Development Administration, respectively. RUSLE parameters were prepared based on existing data and equations. Estimated annual soil loss was graphically presented to easily visualize the large soil loss area. Uplands and vineyards proved to be the two greatest sources for soil erosion. It was suggested to develop effective management practices to reduce the soil erosion from uplands and vineyards.

1. 서론

우리나라의 국토 면적은 약 992만 ha이며, 이 가운데 65.4%에 해당하는 약 649만 ha가 산지이고, 농경지는 21.6%인 약 214만 ha 정도이다. 우리나라의 강수특성상 여름작물 재배기간인 6~9월에 연강수량의 60% 이상의 강우가 집중하고 있으며, 호우도 많아서 토양유실과 비료성분의 유실로 지력이 감소되어 생산성이 감소한다. 또한 유실된 토양은 수로에 퇴적되어 수로의 통수능력이 감소되며 이를 준설하기 위하여 막대한 예산이 투입될 뿐만 아니라 비료 성분의 유실은 하천과 호수의 부영양화를 초래하여 수질 환경에 매우 나쁜 영향을 미치고 있다.

최근의 산업화와 더불어 농경지가 산업 및 생활 용도로 전용됨에 따라, 이에 대처한 경지 보충책 내지는 확장책으로 경사지농업문제 등이 대두되고 있다. 경사지 밭농사는 토양침식도가 높으나, 신선한 야채 및 과일과 같은 경제작물의 재배가 많아지면서 경지면적이 확대되는 추세이다. 따라서 경사 농경지에서 유출수와 바람 등에 의한 토양의 손실이 가중되고 있다.

토양 침식의 물리적 현상을 이해하고 토양침식에 영향을 미치는 제반 인자의 특성을 구명하고자 하는 연구는 실험과 이론적인 방법을 통하여 꾸준히 시도되어 왔다. The Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)는 많은 현장실험 자료를 분석하여 USDA의 W. Wischmeier와 D. Smith 등이 개발한 USLE를 개정한 공식으로 유역의 토양 유실량을 추정하는데 널리 사용되고 있다. RUSLE는 세류 침식 및 세류간 침식에 의한 연평균 토양 유실량 추정하고 특정토양에 대한 토양유실을 허용 유실량 이하로 줄이기 위한 작물 및 영농방법을 모의하기 위한 수단으로 이용된다.

본 연구는 토지보전대책수립에 기초적인 도구로서 사용되어왔던 개정토양유실량공식(RUSLE)과 지리정보 시스템(GIS)을 연구 유역에 적용하여 유역의 토양 침식 정도를 파악하고 토양 유실 취약지도를 만들기 위해 수행되었다. 토양 유실 취약지에 대한 집중적인 영농방안 개선과 지도를 통하여 유역의 효율적인 환경 관리를 수행할 수 있을 것이다.

2. 연구방법

2.1 유역 선정

연구 유역으로 강원도 춘천시 서면 방동리 지역과 남면 수동리 지역을 선정하였다. 이 지역은 북한강 상류 농업 특성을 대표할 수 있는 산촌형 농업과 곡간부 농업이 이루어지는 농업유역이다(Fig.1). 방동리의 경우는 수동리보다 유역이 넓고, 농경 지대의 유역의 경사가 완만하며, 논 밭, 축산, 농가로 이용되는 면적이 넓다.

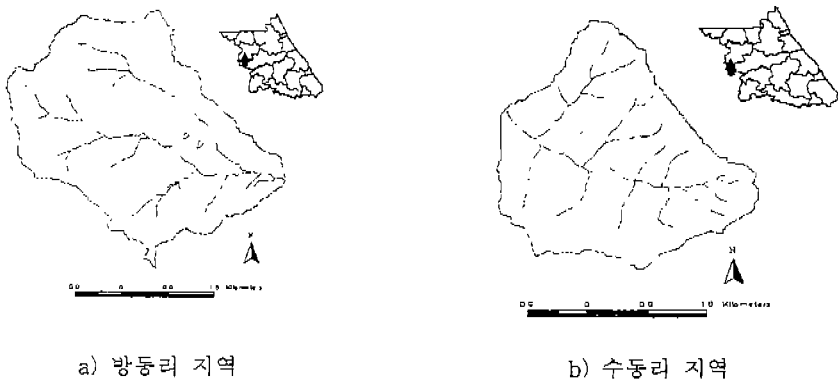


Fig. 1 연구지역 유역도

2.2 적용 모형 이론

RUSLE는 미국 전역에서 실시된 실험자료를 토대로 개발된 실험공식이다. RUSLE는 강우특성, 토양, 지형, 식생 그리고 토지이용상태 등의 인자를 사용하여 한 유역의 평균적 토양 유실량을 다음 공식을 사용하여 예측한다.

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad \text{----- (1)}$$

A = 년평균 토양유실량 (ton/ha/year)

R = 강우/유출 침식인자

K = 토양침식인자

LS = 경사와 경사장 인자

C = 피복인자

P = 작물경작인자

2.3 GIS 입력 자료

2.3.1 지형 자료

GIS 지형자료는 1/25,000 지형도와 토양자료는 1/25,000 정밀 토양도를 이용하여 구축하였다. 지형도는 국립지리원에서 판매하는 수치지형도를 사용하였고 토양도는 농촌진흥청에서 제작한 정밀 토양도를 사용하였다. 기본 주제도는 벡터 형태도 데이터가 구축되어 이를 격자 크기별로 래스터화하고 각각의 속성을 입력하여 입력자료로 이용하였다. DXF(AutoCAD Binary or ASCII Format)형식으로 되어 있는 국립지리원의 지형도는 Arc/Info와 Arc View에서 사용하는 Coverage형태로 전환하였다.

수치고도 자료(Digital Elevation Model, DEM)은 1/25,000 지형도의 등고선자료로부터 작성되었다. 벡터 데이터로 구축된 지형도로부터 DEM을 작성하기 위하여 Arc View Extension인 Spatial Analyst를 사용하였다.

2.3.2 속성 자료

① 강우/유출 침식인자 (R)

강우사상의 침식능을 나타내는 것으로 강우의 운동에너지와 30분 최대강우강도의 적으로 정의한다. 본 연구에서는 정필균(1995)의 연구결과를 참조하여 결정하였다.

② 토양침식인자 (K)

토양 침식성 인자는 어떤 토양의 고유한 침식성을 정량적으로 표시한 것으로, 토양침식에 영향을 끼치는 인자가 동일한 경우 토양특성의 차이로 인한 유실량의 차이를 나타낸다. 토양특성 중 토성, 침투성 등과 관련이 있다. 본 연구에서는 농촌진흥청에서 발행한 정밀 토양도의 물리화학적 특성을 속성자료로 하여 토양침식인자를 계산하였다. 유역내 토양통 별로 토양침식인자는 다음 식에 의하여 계산하였으며 결과로 Table 1에 나타냈다.

$$K = (0.2 + 0.3 \exp(-0.0256 SAN(1 - (\frac{SIL}{100}))) \times (1.0 - (\frac{0.25 CLA}{CLA + \exp(3.72 - 2.95 C)})) \times (1.0 - (\frac{0.7 SM1}{SM1 + \exp(-5.51 + 22.9 SM1)})) \quad \text{----- (2)}$$

여기서, 여기서 SAN, SIL, CLA는 모래, 실트, 점토 함량(%)이고, SM1은 1-SAN/100이다.

Table 1. Determination of K factor

Soil	K	Soil	K	Soil	K	Soil	K
ArC	0.21	Hr	0.19	PxB	0.22	StD	0.24
ArD	0.25	HYB	0.22	SfB	0.39	SuB	0.24
BeB	0.23	HYC	0.24	SgE2	0.25	YbD2	0.23
CaF2	0.22	JiB	0.22	SgD2	0.20	YbE2	0.27
CGB	0.23	KcB	0.21	SmE2	0.29	YcB	0.23
CiC	0.23	MoB	0.22	SND2	0.19	YjC	0.14
Dq	0.21	MoC	0.23	SNE2	0.27	YxB	0.29
Gz	0.27	Ng	0.26	S7NF2	0.26		
HdB	0.22	OaF2	0.29	SqC	0.24		
HEC	0.23	OnE2	0.25	SqD	0.26		
Average				0.23			

③ 경사 및 경사장 인자 (LS)

사면장(L)과 경사도(S)를 별개의 인자로 구분하여 적용하기도 하나 이 두 인자는 서로 일정한 관계를 가지고 있으므로 하나의 경사장 및 경사인자(LS)로 나타내고 있다. LS인자는 지표면흐름이 시작되는 시점부터 퇴적이 발생하거나 채널흐름이 발생하는 시점으로 정의되어 있다. RUSLE식에서의 지형인자는 각 인자들 중에서 값을 추정하는데 어려움이 따를 뿐 아니라 사면장에 따른 유사량의 변화 또한 큰 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 Moore와 Burch에 의해 제안된 식을 사용하였다.

$$LS = ((Flow\ accumulation) * Cell\ size/22.13)^{0.4} * (\sin\ slope/0.0896)^{1.3} \quad \text{----- (3)}$$

④ 작부인자 (C)

작부인자는 특정한 토지 피복에 의한 토양 유실량과 표준포에서 적용한 상하경방법에 따른 유실량의 비이다. 본 연구에서는 토지이용상태를 5종류로 구분하여 Table 2.에서와 같이 값을 부여하였다. 피복 인자에 대한 값은 정필균(1995)의 연구결과를 참조하여 결정하였다.

⑤ 작물경작인자 (P)

작물경작 인자는 강우, 토양, 지형조건이 동일한 경우에 특정한 작물이나 피복조건에서 발생한 토양 유실량과 휴경과 경운조건에서 발생한 토양 유실량의 비로 결정된다. 본 연구에서는 피복인자와 마찬가지로 토지이용상태를 5종류로 구분하고 Table 3. 에서와 같이 값을 입력하였다. 특히, 밭의 P값은 경사도를 고려하여 0.425에서 0.90 사이의 값을 사용하였다.

Table 2. Determination of C factor

Landuse	C
Paddy land	0.001
Uplands	0.310
Forest	0.003
Extensive grassland	0.080
Orchard and Mulberry	0.450

Table 3. Determination of P factor

Landuse	P
Paddy land	0.2
Uplands	0.425~0.90
Extensive grassland	0.3
Orchard and Mulberry	0.5
Forest	0.1

Uplands : 옥수수, 콩, 감자, 깨, 고추, 보리 등을 단작 또는 연작시 평균 C Factor 사용

Extensive grassland : 피복도가 최고 40%로 간주할 때 평균 C Factor 사용

Forest : 임목이 양호한 경우 평균치 0.003을 사용

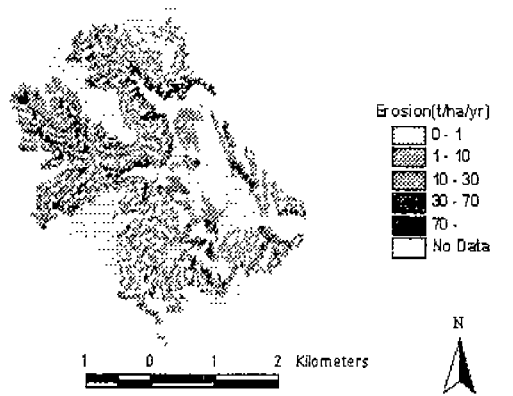
3. 결과 및 고찰

Table 5에는 GIS의 유역평가기능을 이용하여 구한 유역의 토지이용별 평균 경사율 나타냈다. 토지이용도 상 밭과 과수원의 평균 경사는 수동리 유역이 방동리 유역보다 크게 나타났고 따라서 토양 유실량도 수동리의 밭과 과수원에서 매우 높게 나타남을 알 수 있다.

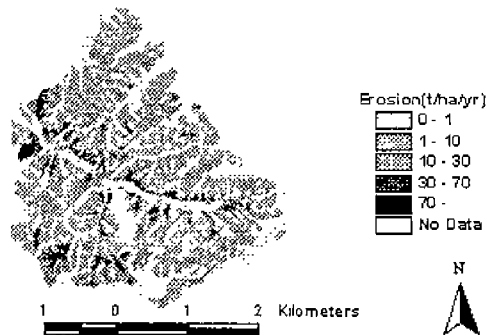
Fig. 2는 RUSLE를 이용하여 각 인자값으로 최종 계산된 토양 유실량 예측도이다. 예측된 연평균 토양 유실량은 방동리 유역인 경우 9.5 ton/ha/year, 수동리 유역은 10.33 ton/ha/year로 나타났다. 이는 토양 허용 유실량 기준(T-Value)인 12 ~13 ton/ha/year 보다 낮은 값을 나타낸다.

그러나, 유역 지역에서 논과 산림 지역은 토양 유실량이 매우 낮고, Table 5에서 나타낸바와 같이 평균 경사가 다른 지역보다 높은 값을 가지는 밭과 과수원 지역의 토양 유실량은 매우 높은 값을 가진다.

밭과 과수원 등과 같이 경사가 비교적 큰 농지이용이 유역의 토사유출에 절대적으로 많은 기여를 하고있기 때문에 환경 친화적인 유역 관리를 위해서는 이들 농지에 대한 집중적인 관리가 요구된다. 경사농지의 환경 친화적인 농업을 위한 대비책으로 작물에 의한 지표면의 피복이나 등고선 방향에 평행하게 작물을 경운하고 재배하는 것과 같은 경작 방법의 개선과, 농촌에서의 보다 활발한 환경 및 영농교육 활동과 홍보가 필요하며 토양 유실 방지 방법 대한 연구지원이 필요하다.



(a) 방동리 유역



(b) 수동리 유역

Fig. 2. RUSLE와 GIS를 이용하여 평가한 연구유역의 토양유실취약도

Table 4. RUSLE로 예측된 토지이용별 토양유실량 (ton/ha/year)

구분	방동리 유역	수동리 유역
논	0.03	0.35
밭	24.75	52.94
초지	9.43	8.33
과수원	29.08	66.64
산림	0.19	0.35
유역전체	9.50	10.33

Table 5. GIS 자료를 이용해 분석한 방동리와 수동리 유역의 토지이용별 경사도

구분	방동리 유역	수동리 유역
유역의 평균고도 (m)	243.28	219.36
유역의 평균경사 (%)	24.74	20.57
밭의 평균경사 (%)	7.13	13.35
논의 평균경사 (%)	3.49	8.83
초지 평균경사 (%)	29.52	21.95
과수원 평균경사 (%)	10.46	20.27
산림 평균경사 (%)	36.25	23.17
주하천 평균경사 (%)	9.21	7.84

본 연구는 교육부 학술진흥재단 '97 및 '98 대학부설연구소 지원사업(과제번호 008)으로 수행된 연구의 일부임.

참고 문헌

1. 정필균 · 고문환 · 임정남 · 엄기태 · 최태웅, 토양유실량 예측을 위한 강우인자의 분석, 한국토양 비료학회지, 16(2), 1983
2. 조진호, 복합 토지이용 특성의 농촌유역에 대한 농업비점원오염모형의 적용, 서울대 석사 학위논문, 1998
3. 이규성, 산림 소유역에서의 토양 유실량 예측을 위한 지리정보시스템의 범용유실식(USLE)에의 적용, 한국임학회지, 83(3),1994
4. 황은 · 조병진 · 서승덕 외 5명, 농지공학