

(R)USLE와 GIS를 이용한 토사유출량 산정에 관한 연구

○정인주**, 손차범*, 박상주**, 김상용***

1. 서론

산업의 발달에 의한 개발은 자연적인 토지피복형태 및 식생 등의 자연상황에 급격한 변화를 초래하여 토양침식이나 퇴적을 유발하게 된다. 이와 같은 토양침식 및 퇴적은 유역의 유출을 증대시키고 하천이나 호소에 환경 문제를 야기 시킬 수 있으며, 하류에 퇴적되어 하천의 통수단면을 감소시켜 홍수시에 범람의 원인이 되기도 한다. 이러한 재해를 방지하기 위해 재해평가제를 실시함으로써 재해의 경감대책 일환으로 토사유출량 산정을 하는데 있어서 관심을 더하고 있다.

본 연구에서는 토사유출량을 산정하는데 있어서 경험식인 USLE(Universal Soil Loss Equation)와 수정된 형태인 Revised-USLE(RUSLE)를 사용할 때 시간 및 인력을 줄이고, 시각적인 효과를 보여줄 수 있는 장점을 가진 GIS를 이용하여 수치고도(DEM), 경사도(Slope), 토지이용도, 토양도 등의 지형자료를 추출하여 적용하고, 우리나라 특정현장에 대한 예상 토사유출량과 각 현장에 대한 재해영향평가서에서 USLE방법 및 RUSLE방법에서의 GIS적용방법에 대해 비교 고찰함으로써 실제 LS인자산정시에 수작업과 GIS작업과의 효율적인 차이와 적용상에 문제점을 알아보고 앞으로의 국내 적용가능성, 문제점 및 대안을 찾아보고자 한다.

2. 연구범위

최근에 연구의 경향은 GIS를 이용하여 토양유실량을 산정하는 연구가 이루어지고 있는 상황이며, 주로 해상도는 20m~30m정도의 Landsat TM과 SPOT 위성데이터를 사용하여 유역의 토양유실량과 비점오염원을 계산할 목적으로 USLE를 사용하였다. 본 연구에서는 국립지리원의 수치지도를 이용하여 DEM의 격자크기를 변화시켜가며 결과를 비교하여 RUSLE방법에서의 LS인자산정시 적정DEM의 크기를 고찰하고 ArcView Script언어인 Avenue를 사용하여 각인자의 산정시 수작업에 의한 방법보다 시간과 노력을 줄일 수 있도록 하였다. 또한 사면길이-사면경사계수 LS값에 대해 같은 경사길이에 대해서도 등경사길이를 어떻게 분할하는가에 따라 LS값이 크게 차이가 나타나므로 경사길이를 하나의 일괄변수(Lumped Parameter)로 보고 계산하는 것과 경사길이를 소구역으로 분할하여 합산한 경우의 값의 차이를 살펴보았다.

이상과 같이 과거 농업지역에서 적용하던 USLE 모형을 유역에 적용할 수 있도록 개선한 모형인 RUSLE모형에 있어서 GIS를 이용하여 토사침식량을 산정할 때 각인자의 적용절차 및 인자의

* 부경대학교 토목공학과 석사과정

** 부경대학교 토목공학과 박사과정

*** 부경대학교 토목공학과 교수

영향분석을 함으로써 토양침식에 지배적인 영향을 미치는 인자를 정량적으로 분석하고자 한다.

3. 연구방법 및 적용

3.1 침식모형의 개요

(R)USLE는 미국 록키산맥 동부의 실험지점에서 합성된 10,000년 이상의 기간에 대한 100만개 이상의 자료를 기초로 개발된 기법으로 농경지의 토양 침식량을 예측할 목적으로 개발되었으며 1970년대 미국 내 판상침식 및 세류침식의 산정에 많이 활용되면서 신뢰도가 높은 공식으로 인정되었고 매개변수를 적절히 산정하면 농경지 이외의 다른 지역에도 범용적으로 적용할 수 있다고 알려져 있다. 이 공식은 현재 개발지의 토사유출량 산정을 위해 재해 영향 평가시 가장 널리 사용되고 있는 공식으로 다음과 같이 표현된다.

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (3.1)$$

3.2 대상유역

본 대상유역은 진주시 서측부에 위치한 평거동 일원으로서 진주시청으로부터 약 4.5km 떨어진 지점에 위치하고, 유역의 북동측은 평거 2지구, 신안지구 택지개발사업이 완료되어 대규모 신주거지로 형성되어 있다. 대상유역의 남측은 남강(국가하천)이 동측에서 북동측으로 흐르고 있고, 본 유역과 인접한 상류측 2.75km 지점에 남강 다목적댐이 위치하고 있다. 대상유역 및 주변지역 도로현황을 살펴보면 남서측 구역계를 따라 광로 3-1호선(B=40m)이 계획(현재 B=8.0m, 2차선) 중이고, 북측으로는 대 3-9호선이 폭 25m, 4차선으로 확장사업중이며, 동측으로는 대 1-1호선(B=35m, 8차로)이 개설되어 있고, 또한 본 대상유역 북측에서 남측으로 대전~통영간 고속도로가 사업지 중앙부를 통과하여 서진주IC로 연결된다.

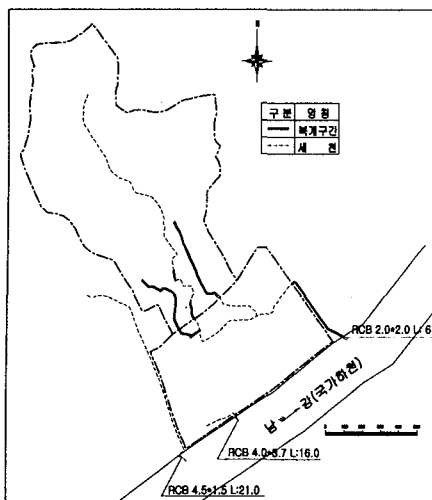


그림 1 대상유역 현황

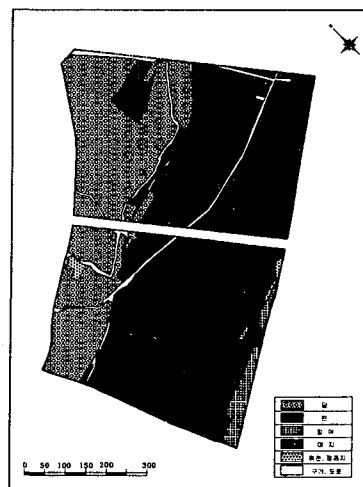


그림2 대상유역 토지이용현황

3.3 RUSLE 인자 추출

3.3.1 강우침식지수 R

R은 강우침식지수 (j/ha)로 정상년 강우의 평균 침식 능력을 나타내는 것으로 연평균 개념과 특정한 호우사상에 대하여 적용되고 연평균 R값은 토양침식량과 강우 인자들간의 상관관계를 분석하여 강우에너지와 EI₃₀지수로 알려진 최대 30분 강우강도의 곱을 100으로 나눈 값으로 산정하며 특정한 빈도의 호우사상에 대해 적용하려면 지속시간별로 간격별 강우강도를 구하여 식(3.2)에 대입하여 운동에너지 E를 계산한다.

$$E = 210 + 89 \log_{10} X \quad (3.2)$$

여기서, E는 주어진 강우강도 X에서의 운동에너지 (m.t/ha/cm), X는 시간간격별 강우강도 (cm/hr)이다. 식(2.2)에서 계산된 운동에너지를 에너지 단위로 바꾸기 위하여 시간간격당 강우량을 곱한 후 호우사상에 대해 구간별로 계산하여 식(3.3)에 대입하면 특정한 빈도의 호우사상에 대하여 R값을 구할 수 있다.

$$R = \frac{(\sum E)I_{30} \max}{100} \quad (3.3)$$

여기서, I₃₀max는 30분 지속 최대 강우강도이다.

강우침식지수 R은 정필균(1983)등이 기상청 산하 51개 관측소에 대하여 6~21년간의 자료를 이용하여 산정한 R값중 본 대상유역을 대표하는 강우사상으로 선정된 진주기상대에 해당하는 값은 424 J/ha이며, 단일호우시의 R값은 빈도별 24시간 지속시간의 단일호우사상에 대한 강우에너지 계수를 적용하였다.

표 1 단일호우사상에 대한 빈도별 강우에너지 계수 (R)

구분	빈 도									비 고
	2년	5년	10년	20년	30년	50년	80년	100년	200년	
R값 J/ha	174	312	427	555	639	750	839	1097	1361	정필균 등의 R값은 424J/ha

3.3.2 토양침식인자 (K)

K는 토양 침식인자로 강우에너지와 유출에 의한 침식능에 저항하는 토양의 저항도를 나타내는 값으로 Erickson의 삼각도표를 이용하여 건설부(1992년)에서 제시한 한국 전역의 토양형별 K값을 개략토양도에 따라 적용할 수 있도록 대표 토양형으로 분류한 표에서 K값을 구할 수 있고 본 연구에서는 대상유역의 1:50,000 개략토양도로부터 resampling 하여 Ro는 0.00, Msa는 0.20, Rsa는 0.20, Raa는 0.21, Rxa는 0.33, Mvb는 0.35와 같이 K값을 적용하였다.

3.3.3 경사면 및 경사인자(LS)

사면의 길이가 15ft 이상인 경우에 대해 USLE의 S 산정기법을 수정하여 다음과 같이 표현된다.

$$S = 10.8 \sin \theta + 0.03 \quad \sin \theta < 0.09 \quad (3.4)$$

$$S = 16.8 \sin \theta - 0.5, \quad \sin \theta \geq 0.09 \quad (3.5)$$

여기서, θ 는 사면경사각이다.

반면 사면길이가 15ft 미만인 경우 세류작용이 발생하지 않기 때문에 S와 사면경사와의 상관관계는 미약하며 이 경우의 관계식은 (3.6)로 표현된다.

$$S = 3.0(\sin \theta)^{0.8} + 0.56 \quad (3.6)$$

RUSLE기법에서 L의 산정공식의 형태는 (3.7)과 같이 산정하고 있다.

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.1} \right)^m \quad (3.7)$$

여기서 λ 는 m 단위의 평면에 투영된 사면의 길이이며 22.1은 표준침식 밭의 m단위 길이이다. 사면경사길이의 멱지수(exponent) m은 (3.8)와 같이 세류 및 세류간 침식의 비 β 와 관련이 있다.

$$m = \frac{\beta}{1 + \beta} \quad (3.8)$$

$$\beta = \frac{11.16 \sin \theta}{3.0(\sin \theta)^{0.8} + 0.56} \quad (3.9)$$

RUSLE기법에 의한 LS인자 산정방법에 의하여 대상구역의 DEM에서 경사도와 방향도를 추출한 다음 reclass하여 X, S, m에 대한 그리드를 생성한 후, 각 레이어를 연산하여 LS 값을 추출하였다.

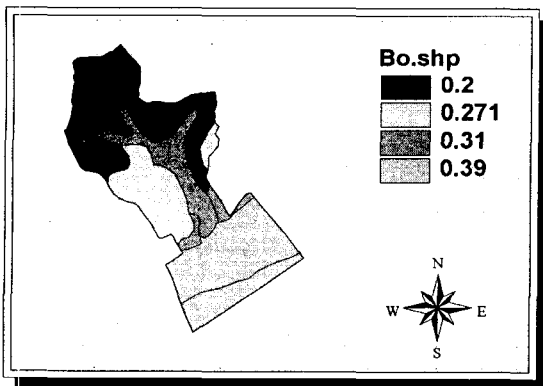


그림 3 대상구역의 (R)USLE K인자

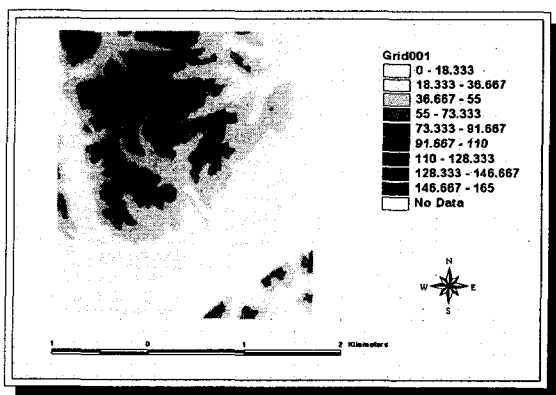


그림 4 대상구역의 수치표고 모델

3.3.4 피복인자 C 및 토양보존인자 P

C는 피복-관리인자로 경작의 종류와 식생의 상태 즉 지표침식을 제어하는 요인인 지상식물의 크기, 지표면 부근의 상태, 지하의 식물 뿌리, 지표면 조도, 토양의 함수량 등에 따라서 달라지는 인자로 농경이나 토양의 관리기법이 침식에 미치는 영향을 반영하거나 토양보존대책 중 토양의 관리가 토양침식에 미치는 상대적 영향을 비교하기 위하여 사용하며 나대지에서의 토양침식량에 대한 임의의 작물이나 토양 덮개 조건에서의 토양 침식량의 비로 정의되고 본 연구에서는 토지이용도를 이용하여 임야는 0.03, 초지는 0.10, 농지는 0.15, 주택지는 0.20, 저수지는 0.00, 도시지역은 0.015, 나대지는 1.00과 같이 C값을 적용하였다. P는 토양보존대책인자로 경작인자와 유사한 인자로서 산층턱을 따른 고랑이나 두둑을 설치한다든지 경사지를 계단식으로 깎는 다든지, 다짐, 침사지 설치, 또는 통제구조물을 설치하는 등의 지표면에 설치된 대책들을 고려해 주는 인자로서 어떤 토양 보존대책을 세운 사면의 상·하 방향 경사지로부터의 토양유실에 대한 보존 대책에 대한 토양유실의 비로 정의되고 이것은 등고선 경작, 등고선 대상재배, 등고선 단구효과, 지표하 배수, 건조한 농경지 조도의 효과를 평가하기 위해 사용하며 Wischmeier등이 제안한 표에 의해 경사도의 범위에 따라 P값을 선정할 수 있다.

4. 토사침식량 분석

토사침식량의 분석을 위하여 추출된 (R)USLE 각 인자인 R, K, L, S, C, P를 곱하였으며, 대상구역의 재해영향평가에서의 수자업에 의한 토사침식량과 비교해보았다. 수자업에 의한 토양공식 (R)USLE에서는 2,859 m³/storm torm의 토사침식량이 발생하였고, 아울러 일본의 사방시설설계기준에 의한 원단위법에서는 4,500 m³/년, GIS를 이용한 토사침식량은 2,143 m³/storm torm 가 발생하였다.

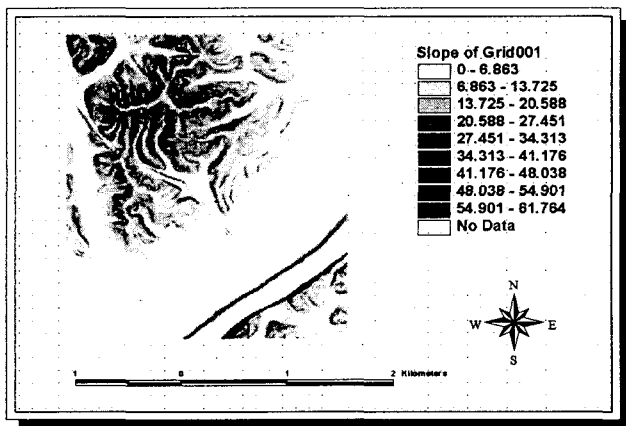


그림 5 대상구역의 지형경사도

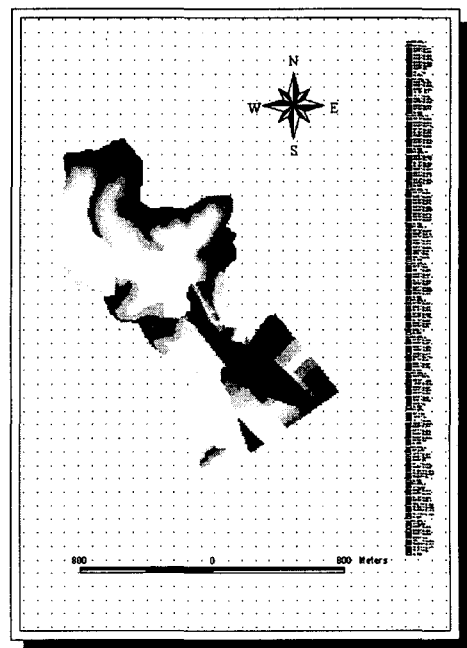


그림 6 대상구역의 (R)USLE LS 인자

5. 결론

본 연구에서의 대상유역은 진주시 평거 2지구 지역이며, 택지개발에 따라 발생할 수 있는 토사 침식량의 산정함에 있어 먼저 이들 공식들에 대해서 수작업에 따라 값을 산정하고, RUSLE모델의 K, LS, C, P인자추출에 GIS기법을 도입하여 각 인자산정과정을 GIS Tool을 이용하여 구축하였다. GIS에 의해 추출된 지형인자를 적용하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 본 연구에서의 R값은 연평균 강우량 자료에 대해 surface interpolation을 실시하여 추출함으로써 기존의 티센망을 활용하여 추출한 강우침식인자에서 발생했던 경계면에서의 과대 오차를 최소화하여 보다 현실성을 고려할 수 있다.

2) 격자크기를 이용한 L인자의 계산은 침식량을 과소 평가할 수 있으며, 퇴적지역을 제외하지 않는 경우는 순수한 침식량을 타나내기보다는 공간적으로 발생 가능한 최대 침식량을 나타내게 된다.

3) 토사침식량을 산정하는데 있어서 GIS 공간분석기법을 이용하여 침식모델링을 수행하고 수작업과의 비교분석에서 그 활용성을 제시하였다.

4) 우리나라와 같이 복잡한 토지이용과 지형에서 GIS를 이용하여 RUSLE모형에 의한 토사침식량을 예측하는 연구는 정량적으로 검증되지 못한 상태이다. 실제 토사침식량은 지형인자 즉, L과 S 값에 따라 크게 변화할 수 있으므로 관측자료를 이용한 인자들의 적절한 보정이 수행된다면 향후 토사유출량을 산정하는데 시간 및 인력을 줄일 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 국립방재연구소(1998), “개발에 따른 토사유출량 산정에 관한 연구(I).”
2. 국립방재연구소(1998), “개발에 따른 토사유출량 산정에 관한 연구(II).”
3. 정휘철, 장종경, 신현석, 2000, “GIS 및 USLE를 이용한 연 토사침식량 산정에의 LS인자영향분석”, 대한토목학회 학술발표회
4. C.T.Haan, B.J. Barfield and J.C. Hayes(1994). Design Hydrology and Sedimentology for Small Catchments. Academic Press
5. Frenette, M, and P.Y.Julien (1987). “Computer modelling of soil erosion and sediment yield from large watershed.” Int. J. Sediment Re., Vol.2, NOV., pp.39-68
6. Knisel, W.G (1980). “CREAMS: a field scale model for chemicals, runoff and erosion from agricultural management systems,” USDA Conservation research report No.26.