

# GIS를 이용한 범용토양손실공식의 활용에 관한 연구

○ 이 용 관\*, 심 명 필\*\*

## 1. 서 론

인간의 모든 개발 활동은 자연적인 토지의 이용현황이나 식생 및 피복형태의 변화를 일으키게 된다. 즉, 개발을 목적으로 지형을 인위적으로 바꾸거나 식생 등을 제거하는 경우 토양침식은 가속화되어 토사유출량은 개발 전보다 수천에서 수만 배까지 증가하게 된다. 이러한 토사유출량의 증가는 개발 전·중·후로 나누어서 볼 때 개발 중에 가장 크게 나타나는 것이 일반적이다. 이렇게 가속화된 토양침식은 유역 하류에 대규모 토사 유출을 유발시켜 상류에서 유실된 토사가 탁류로 형성되어 하류 하천, 호소 등에 환경 문제를 야기 시킬 수 있으며 하류에 퇴적되어 우수 단면적의 감소로 홍수시 범람의 원인이 되기도 한다. 이러한 토사유출량의 증가로 인하여 발생하는 환경 및 경제적인 피해를 토사재해라 하며, 토사재해는 호우와 관련되어 있으며 토사가 어느 한 지점에서 다른 지점으로 이동하여 발생한 환경파괴를 총칭하여 말한다. 인간의 각종 개발활동에 의하여 어떤 유역으로부터 생산, 유출된 토사가 일으킬 수 있는 자연적 및 사회적 환경파괴를 최소화하고 바람직한 환경을 보전하여 유역이나 하천이 본래의 기능을 발휘할 수 있도록 하는 것은 중요한 일이다.

이러한 재해를 방지하기 위해 실시된 재해영향평가제는 1995년에 전문 개정된 자연재해대책법에 근거한 제도로서, 지난 96년부터 행정자치부 방재국의 주도 아래 시행되고 있으며, 재해영향평가제에서는 절개된 사면의 안정성의 검토와 유출량과 토사유출의 증가량을 예측하여 이로 인한 피해를 최소화하려는 목적을 가지고 있다. 지금까지의 재해영향평가에서는 수작업에 의해 계산하므로 시간과 인력이 많이 소모되는 단점이 있는 것으로 판단된다. 최근 들어 GIS를 이용한 토사유출량 산출에 관한 연구가 계속되어 지고 있으며, GIS를 이용하면 계산의 시간과 인력을 절약할 뿐 보다 정확한 계산을 수행 할 수 있을 것으로 판단된다. 지금까지의 연구의 대부분이 위성영상을 이용한 연구였으며, 금번 연구는 위성영상보다는 값이 싸고 처리와 조작이 간단한 NGIS사업에 의해 구축되어 있는 수치지도를 이용하여 토사유출량을 산정하고자 한다.

## 2. 범용토양손실공식(USLE)

토사유출량을 예측하기 위해 개발된 여러 이론 및 경험공식들 중 범용토양손실공식(USLE : Universal Soil Loss Equation)이 가장 타당한 방법으로 알려져 있으며 널리 사용되고 있다. 범용토양손실공식은 1960년 미국의 Wischmerier 와 Smith에 의해 농경지에서의 토양손실 예측을 위해 개발되었으며, 이 공식은 연평균 토양침식 예측을 목적으로 개발되었으며 단일호우에 의한 침식을 추정하기 위하여 많은 수정이 이루어 졌다.

---

\* 인하대학교 토목공학과 석사과정

\*\* 인하대학교 토목공학과 교수

1980년 도로공사시 토양손실량을 예측하는데 적용할 수 있도록 Clyde에 의해 수정되었다. 수정된 공식은 C인자와 P인자를 결합하여 VM이라는 인자를 사용한다.

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad : \text{범용토양손실공식(농경지 적용)} \quad (1)$$

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot VM \quad : \text{범용토양손실공식(도로공사시 적용)} \quad (2)$$

여기서, A : 강우침식도 R의 해당 기간 중 단위 면적에서 침식되어 손실되는 토사량  
(tons/acre/year)

R : 강우침식도(rainfall erosivity) or 강우에너지계수(Rainfall Energy Factor)  
(100ft · tons/acre · in/hr ;  $10^7$ J/ha · mm/hr)

K : 토양침식성 인자(soil erodivity)(tonnes/acre/R ; tons/ha/R)

LS : 지형인자(무차원)

(L : 침식 경사면의 길이 인자, S : 침식 경사면의 경사 인자)

C : 작물형태, 피복상태 등 경작 종류와 형태에 따른 경작 인자(무차원)

P : 등고선 경작 등 토양보전대책 인자(무차원)

VM : 토양침식조절 인자(무차원)

## 2.1 강우침식도(R)

강우침식인자(R)는 년 평균 강우에 의한 침식 능력을 나타내며, 강수입자의 크기와 낙하속도가 강우강도의 증가에 따라 커지므로 강우에너지도 강우강도가 커짐에 따라 증가한다. 년 평균강우에 의한 강우침식인자는 건설부/건기연(1992)에서 우리나라 등R선도(isoerodent map)를 제시하고 있다. 침사지 설계등에 필요한 단일 호우에 의한 강우침식인자는 각 호우사상의 자료로부터 계산하여 사용한다. 단일 호우에 의한 R값은 년 평균값들에 비해 그 신뢰도가 떨어지며 불확실성이 더 크다고 알려져 있다.

## 2.2 토양침식인자(K)

토양침식인자(K)는 강우에너지와 유출에 의해 발생된 침식력에 대한 토양의 저항하는 능력을 나타내는 척도이며, K값은 년중 일정하다고 가정하였고 토양입자 및 분포, 구조, 공극 및 공극 크기, 유기물 함량 등에 관계된다. 표준단위는 0.13 ~ 0.91 (tonnes/ha/R)의 값을 갖는다. K는 9%의 경사면의 길이 72.6ft 인 경작지로 정의되는 표준침식지역에 대한 단위 강우 당 토양손실을 의미한다. K값의 산정 방법은 건교부/건기연(1992)이 Erickson의 삼각형 도표를 이용하여 한국 전역의 토양통별 K값을 추정할 자료를 사용하거나 관계식을 이용하여 구할 수 있다.

$$K = \frac{1}{100} [2.1 \times 10^{-4} M^{1.14} (12 - a) + 3.25(b - 2) + 2.5(c - 3)] \quad (3)$$

여기서, M : (실트와 극세사의 백분율) × (100-점토의 백분율)

a : 유기물 함량(%)

b : 토양구조 코드(1~4)

c : 투수도 등급(1~6)

표 1. c 와 d 의 구분

b	흙의 구조	c	투수성	Soil Texture (Rawls et al. 1982)
1	Very fine granular	1	Rapid	Sand
2	Fine granular	2	Moderate to rapid	Loamy sand, Sandy loam
3	Moderate or coarse granular	3	Moderate	Loam, Silt loam
4	Blocky, platy, massive	4	Slow to moderate	Sandy clay loam, Clay loam
		5	Slow	Silty clay loam, Sandy clay
		6	Very slow	Silty clay, Clay

### 2.3 지형인자(L, S)

강우에 의한 토양 침식은 경사지역의 길이와 경사에 따라 달라지며, L은 유역의 길이인자이고 S는 유역의 경사인자이다. 여기서 유역이란 비교적 균일한 지형특성을 가진 구역을 말하며, 따라서 USLE 공식의 균일한 지형 특성을 가진 소유역에 적용이 가능하다. 사면길이란 유출이 발생되기 시작하는 지점으로부터 흐름이 집중되거나 퇴적이 일어나는 지점까지의 거리로 정의된다. LS인자는 Wischmeier와 Smith(1978)가 제시한 식(4)와 McCool(1987, 1993)에 제시된 식을 이용할 수 있다.

$$LS = \left( \frac{1}{22.1} \right)^m \left( \frac{65.4S^2}{S^2 + 10,000} + \frac{4.6S}{\sqrt{S^2 + 10,000}} + 0.065 \right) \quad (4)$$

여기서, l : 경사길이(m)

S : 경사도(%)

m : 경사에 따라 변하는 지수

0.2 S < 1%

0.3 1 < S < 3%

0.4 3.5 < S < 4.5%

0.5 S > 5%

### 2.4 식생피복인자

식생피복인자는 강우, 토양, 지형조건이 동일한 경우에 특정한 식생피복상태에 따른 토양유실량의 비로 정의되며, 지상식물의 크기, 지표면 부근의 상태, 지하의 식물뿌리, 지표면 조도, 토양의 함수량 등에 따라서 달라진다. 식물들은 강우를 차단하여 강우입자의 낙하 에너지를 감소시킨다.

### 2.5 토양보존대책인자(P)

토양보존대책인자는 사면의 상류와 하류 경작지로 부터의 토양유실에 대한 보존대책지역 토양유실의 비로 정의되며, 등고선 경작, 등고선대상재배, 등고선단구, 지표하 배수, 건조한 농장표면 거칠기 등 침식을 통제할 수 있는 중요한 요소이다.

### 2.6 토양침식조절 인자(VM, 무차원량)

토양침식조절인자(VM)은 경작인자(C)와 토양보전 대책인자(P)를 결합한 것으로 식생 특성과 침식방지 대책을 대표하는 값이다. 값의 범위가 0~1.0 이상까지여서 매우 민감한 결과를 낳는다.

위의 7가지 인자들 중 L, S, C, P, VM 인자값들을 구하는 것은 각 배수구역을 비교적 균일한 지형 특성을 가진 구역으로 세분하여 구해야 하므로 시간과 노력이 많이 소모되는 작업이다. 이 인자들은 구하기 위한 시간과 노력을 줄이기 위해 통합형(Lumped)으로 계산되었으나 GIS를 이용하면 분산형(Distributed)으로 인자값들을 구하는 시간과 노력을 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 각 구역을 세분하여 토사유출량을 구하므로써 기존의 방법보다 정확한 결과를 얻을 수 있을 것이다.

### 3. 적용 및 결과

최근에 연구의 경향은 GIS를 이용하여 토양유실량을 산정하는 연구가 이루어지고 있는 상황이며, 주로 해상도는 20m ~ 30m 정도의 Landsat TM과 SPOT 위성데이터를 사용하여 유역의 토양유실량과 비점오염원의 계산할 목적으로 USLE를 사용하였다. 금번 연구는 국립지리원의 수치지도를 이용하여 DEM의 격자크기를 10m부터 40m까지 변화시켜가며 계산하여 결과를 비교하므로 DEM의 크기와 토양유실량의 민감도 분석을 하고, 대상지역의 토양유실량 산정시 각 지역의 적정 격자 크기를 제시하고자 한다.



그림 2 10m의 결과



그림 3 20m의 결과



그림 4 30m의 결과



그림 5 40m의 결과

NGIS 사업에 의해 구축 되어있는 1:5000 수치지형도를 이용하면 위성영상보다 데이터의 크기가 작아서 처리 및 조작성이 간단하고 데이터의 획득이 용이하다는 장점을 가지고 있으므로 수치지도를 사용하기로 하였다. 프로그램으로는 ARC/INFO, Arc/View와 Avenue를 사용하여 대상 소유역의 토사유실량을 산출한다. 특히, 본 연구에서는 격자망의 크기에 가장 큰 영향을 받을 것으로 보이는 LS인자를 중심으로 격자의 크기를 변화 시켜가며 계산을 수행하였다.

대상 지역으로는 경기도 용인시 수지읍 죽전리 구성면 보정리로 정하였다. 대상면적은 6,957,819 m<sup>2</sup>이고 토지이용현황은 논, 밭, 주거지, 초지, 성립지의 5가지로 분류하여 계산을 수행하였다.

표 2 년 평균 토양유출량

격자망의 크기	년 간 총 토사유출량 (tons / m <sup>2</sup> )
10m×10m	1110.17
20m×20m	1063.84
30m×30m	892.72
40m×40m	836.39

위의 그림 1부터 4는 격자망의 크기를 10m부터 40m까지 변화 시켜가며 계산 한 토양유실량을 보여주고 있다. 표 2는 격자망의 크기에 따른 토사유출량의 결과이다. 표준발의 크기인 22.13m이하의 값은 변화가 적게 나타나고 있으나 30m와 40m의 경우는 상당한 차이가 나는 것을 알 수 있다. 그 이유는 경사장을 1차원적으로 계산하는 경우는 유수의 집중성과 분산성의 2차원적인 형태를 고려하기가 어렵으나 DEM을 사용하여 2차원적인 경사장 개념을 쉽게 적용할 수 있다. 근접 셀이 같은 경사와 방향을 가지고 있을 경우 흐름의 방향을 따라 유속 및 유량에 가중치를 부여하여 계산할 경우 토사유출량이 증가하게 되므로 변화가 심하게 나타난다. 이상의 이유가 본 연구에서 표준발의 크기인 22.12m이하인 경우와 이상인 경우에 차이의 원인으로 분석되어 진다.

#### 4. 결론

본 연구에서 수치지형도를 이용하여 대상 소유역의 토사유실량을 10m 격자부터 40m 격자까지, 특히 격자망의 크기에 가장 큰 영향을 받을 것으로 보이는 LS인자를 중심으로 크기를 변화 시켜가며 계산을 수행하였다. 우리나라의 경우 산악지역이 많이 존재하므로 경사가 대부분 급하기 때문에 LS인자가 DEM의 격자 크기에 영향을 많이 받는 것을 알 수 있었다. 재해영향평가지 GIS를 이용하여 토사유출량을 계산하는 경우 보다 작은 크기의 격자를 사용하여 구하는 것이 보다 정확한 값을 계산할 수 있으나 격자의 크기가 작아지면 데이터의 양은 몇 배로 커진다는 단점이 있다. 토사유출량 계산의 격자크기는 표준발의 크기와 비슷한 20m가 적당한 것을 알 수 있다.

LS, C, P 인자를 GIS를 이용하여 수작업에 의해 방법보다 시간과 노력을 줄일 수 있으며, Script 언어인 Avenue를 사용하여 분석하므로 보다 더 편리하게 계산을 할 수 있다. 이상의 연구에서 볼 수 있듯이 토양손실량을 산정시 GIS의 적용성은 뛰어난 것을 알 수 있다. GIS를 기반으로한 범용토양손실공식은 데이터를 손쉽게 획득할 수 있으므로 앞으로의 발전가능성과 적용능력은 충분하다고 보아진다.

#### 6. 참고문헌

이석민(1994). "지리정보시스템(GIS)을 이용한 부여군 금강유역의 토양 유실 분석." 석사학위논문.

- 김상욱(1995). "토지이용변화에 따른 경안천유역 토양유실에 관한 연구." 석사학위논문.
- 이규성(1994). "산림유역의 토양유실량 예측을 위한 지리정보시스템의 범용토양유실공식(USLE)에 의 적용." Vol. 83, No. 3, pp. 322-330, 한국임학회지.
- 우창호 (1998). "GIS를 이용한 단지개발지의 토양유실량 예측모델에 관한 연구." 박사학위논문.
- 우효섭, 김창완 (1998). "개발사업으로 인한 토양손실량 예측 및 침사지 설계." 제6회 수공학워크 샵 교재, 한국수자원학회.
- David R. Maidment (1992). "HANDBOOK OF HYDROLOGY" PP.12.45-12.55.
- Foster, G.R., and et al(1994), The Revised Universal Soil Loss Equation, Soil Erosion Research Methods, 2nd Edition, Soil and Water Conservation Society, pp.105-124.
- Satoshi UCHIDA(1997). "Estimation of Soil Erosion using USLE and Landsat TM in Rakistan" Proceedings of the 18th Asian Conference on Remote Sensing.
- Roslan Z. A(1997) "Remote Sensing Application in Determination of Land Use Management Factors of the USLE" Proceedings of the 18th Asian Conference on Remote Sensing.