

GIS를 이용한 유역에서의 침식 위험지역 분석

○ 김주훈 · 김경탁* · 연구방**

1. 서론

세계 여러 지역에서 홍수와 토양침식은 매우 중요한 문제로 대두되고 있으며, 농업 유실지역에서 홍수와 침식은 위험요인이 되고 있다. GIS는 침식의 위험도나 침식량을 공간적으로 평가하여 제공할 수 있으며, 많은 연구자들은 토양침식 평가에서 DEM의 효용성을 입증하고 있다(Burrough(1986); De Roo 등(1989); Moore 등(1992,1993)). 현재 유역 모델링을 위한 대부분의 상세한 정보들은 분포형 고도자료 형태의 지형관련 정보들로서 DEM을 이용하여 유역의 모델링을 할 수 있으며, GIS의 여러 기법들은 DEM으로부터 토양침식 모델링을 위한 매우 유용한 것을 계산할 수 있다. 1980년대 GIS는 USLE나 USLE를 수정하여 좀 더 넓은 유역의 토양침식량 계산에 이용하였다(Jetten 등, 1988). Bork와 Hensel(1988)은 광범위한 유역의 토양침식량을 평가하는데 GIS USLE 접근법을 이용하였다. Ferri와 Minacapilli(1995)는 USLE를 확대하여 유사이송항을 모델에 적용하여 유역으로부터 유출하는 유사량을 예측하고자 하였다. 국내의 토양유실에 대한 연구로는 김윤중(1994) 등은 토양유실에 대한 환경영향 평가 분석에서 GIS 및 USLE기법을 이용하여 적용한 바 있으며, 이근상(2001) 등은 토양침식에 영향을 미치는 인자를 GIS 공간분석기법을 활용하여 추출하고자 하였다. 박무종(2001) 등은 실무에서 적용 가능한 모형인 USLE, TRB, MUSLE, SLEMA, Morgan과 Finney 모형을 실 유역에서 토양유실량을 예측 비교하여 모형의 적용성을 검토한 바 있으며, 손광익(2001)은 RUSLE와 MUSLE에 대하여 국내의 적용 가능성을 검토하였다. 또한 오덕근(2002) 등은 확률강우량 자료를 이용하여 빈도별에 따른 토양침식에너지 인자를 산정하여 빈도별 토양유실량을 산정한 바 있다.

본 연구는 무심천 유역의 DEM 자료와 토양도, 토지이용도 등의 지형자료를 이용하여 유역에서 발생하는 토양유실량을 산정하고, 토양침식에 지배적인 영향을 미치는 인자를 분석하고, 이를 바탕으로 유역의 토양침식이 가장 많이 발생할 수 있는 토양 침식 위험지역을 분석하는 것을 목적으로 하고 있다.

2. 본론

USLE 모형은 농업지역의 토양유실량을 산정하기 위하여 Wischmeier와 Smith(1965)에 의해 강우에 의한 토립자의 이탈 및 운송에 의한 개념을 기초로 하여 처음 제안되었으며, 이는 1978년에 수정식을 제안하였다. 이 공식은 Wischmeier와 Johnson, Cross 등에 의해 건설 현장에 확대 적용되었으며, 강우특성, 토양의 종류, 지형, 식생의 피복정도 및 토양관리 방법 등과 관련된 인자들에 대한 연구가 Wischmeier와 Forster 등에 의해 연구되었다. RUSLE 인자들은 토양유실에 있어서 기상, 토양, 지형, 토지이용 등의 영향을 반영한다. 이런 인자들에 의해서 대상 지역의 토양 유실량을 구할 수 있고 그에 따른 토양보존 계획을 수립하는데 사용되기도 한다. RUSLE는 Natural Resource Conservation Service (NRCS, 1995)에 의해서 개발되었으며, USLE 및 RUSLE 식은 다음과 같이 표현하였다.(1971, 1974, 1977)

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (1)$$

2.1 강우침식능인자 (R: Rainfall erosivity factor)

강우침식능 인자는 강우사상(Stormevent)별 빗방울에 의한 타격에너지와 강우의 운동에너지(Kinetic), 그리

* 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 선임연구원

** 충청대학 건설환경시스템과 교수

고 최대강우강도(Maximum 30-minute rainfall intensity)에 의해 결정되는 인자이다. 강우침식능인자를 산출하는 방법은 여러 방법이 있으나 본 연구에서는 A. G. Toxopeus (1998)가 제안한 방정식 식(2)를 사용하였다.

$$R=3.85+0.35 \times P \quad (2)$$

여기서, R = 강우침식능인자, P = 연평균 강우량(mm/yr) 이다.

2.2 지형인자

1) 토양침식 인자(K)

토양침식인자 K는 토양이 강우에 의한 침식에 대해 저항하는 능력을 나타내는 척도로서, 토양입자 및 분포, 구조, 공극 및 공극크기, 유기물 함량 등에 관계된다. 무심천 유역에 대한 토양침식성 인자는 1/25,000의 정밀도 양도(농업과학기술연구원)를 이용하여 총 82개 토양통에 따라 Wischmeier방법으로 적용하였다.

2) 사면경사인자(S)

사면경사인자 S는 사면경사가 토양손실에 미치는 영향을 예측하는데 활용된다. 사면의 길이가 15ft이상인 경우에 대하여 RUSLE의 S 인자는 식 (3)와 (4)를 통해 산정된다.

$$S = 10.8 \sin \theta + 0.03, \sin \theta < 0.09 \quad (3)$$

$$S = 16.8 \sin \theta - 0.5, \sin \theta \geq 0.09 \quad (4)$$

3) 사면길이인자(L)

RUSLE에서는 사면길이 인자 L의 산정공식은 USLE의 식 (5)와 같이 동일하게 유지된다.

$$L = (\lambda / 22.1)^m \quad (5)$$

여기서 λ 는 m단위의 평면에 투영된 사면의 길이이며, 상수 22.1은 표준 침식발의 m단위 길이이다. m은 식 (6)과 같이 세류 및 세류간 침식비 β 와 관련이 있다.

$$m = \beta / (1 + \beta) \quad (6)$$

$$\beta = \frac{11.16 \sin \theta}{3.0(\sin \theta)^{0.8} + 0.56} \quad (7)$$

무심천 유역의 환경부 DEM(1초) 자료로부터 각 격자별 경사각을 추출하여 식 (3)과 (4)의 조건에 부합하는 사면경사인자(S)와 식 (5)의 λ 값을 격자길이 30m로 적용하였으며, 각 격자별 경사각에 따른 식 (6)의 m값과 식 (7)의 β 값을 산정함으로써 각 격자별 사면길이인자(L)를 산정하였다.

4) 식생피복인자(C: Cropping-Management factor) 및 토양보존성 인자

식생피복인자 C는 경작의 종류와 식생의 상태 즉, 지표침식을 제어하는 요인인 지상식물의 크기, 지표면 부근의 상태, 지하의 식물 뿌리, 지표면 조도, 토양의 함수량 등에 따라서 달라지는 피복인자로 지상(above-ground)효과, 지표(surface)효과, 지표하(below-ground)효과를 포함한다. 본 연구의 식생피복인자의 적용은 건설교통부/한국건설기술연구원에서 구축한 토지이용현황도를 이용하여 토지이용별로 적용하였다.

토양보존인자 P는 어떤 토양보존대책을 세운 사면의 상·하 방향 경사지로부터의 토양보존대책에 대한 토양 유실의 비로 정의한다. 이것은 등고선 경작, 등고선 대상재배, 등고선 단구효과, 지표하 배수, 건조한 농경지의 조도의 효과를 평가하기 위해서 사용된다. 토양보존인자 또한 사면경사인자(S)와 사면길이인자(L)과 같은 방법으로 추출된 각 격자별 경사각을 바탕으로 Wischmeier가 제시한 방법을 적용하였다.

3. GIS를 이용한 침식 위험도 평가

연구 대상유역으로는 금강의 제2지류인 무심천 유역으로 무심천은 청주시내 한가운데를 가로질러 미호천에 합류하는 전체 길이 34.5km, 유역면적 177.71km²의 지방2급 하천이다. 본 연구에서는 미호천과 합류하기 전인 금

강홍수통제소의 수위관측소가 있는 지점(유역면적 167.3km²)까지를 연구대상유역으로 하였다. 지형자료는 환경부 DEM, 농업기술원의 정밀토양도(1/25,000) 및 건설교통부의 토지이용현황도 자료를 기본도로 하여 토양침식 위험지수 분석을 위한 주제도를 작성하여 무심천 유역의 토양 침식 위험지역을 분석하였다.

3.1 토양유실량 분석

유역에 대한 토양유실량 분포는 그림 1에 나타낸 바와 같다.

그림 1의 왼쪽은 토지이용별 토양유실량 분포를 나타낸 것으로 나대지, 산림지역, 그리고 과수원 목초지 등 발작물을

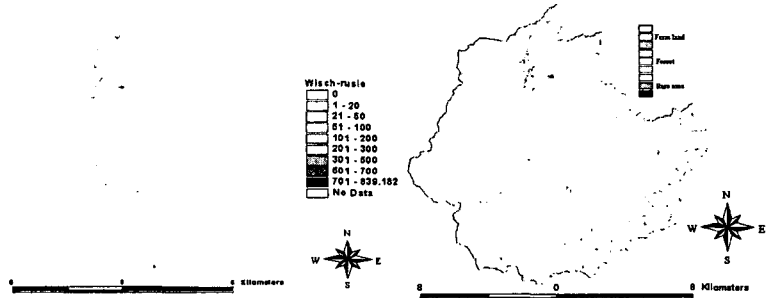


그림 1 Soil losses

경작하는 지역에서 대부분의 토양유실이 발생하고 있음을 알 수 있다. 산림지역의 경우에 토지이용현황도에서 혼합림지역, 침엽수림지역, 활엽수림지역으로 구분되어 있으나, 산림지역에서의 토양유실량 분포는 임분(林分)에 관계되기보다는 그림 2에서 보는바와 같이 지표면 경사(그림 3)에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났으며, 나대지의 경우 지면피복에 관계되는 인자인 C값의 영향이 큰 것으로 판단되며, 토지이용형태별 최대 토양유실량 및 평균 토양유실량은 표 1과 같다.

표 1 Soil losses for each land use

토지이용현황	최대유실량 (ton/ha·yr)	평균유실량 (ton/ha·yr)
산림지역	91.849	21.694
과수원, 목초지 등	108.682	6.444
나대지 및 인공녹지	839.2	125.725
전체유역	839.2	14.8

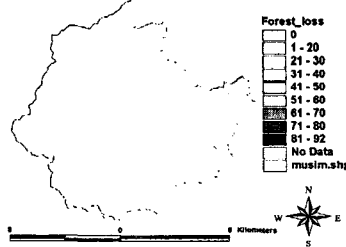


그림 2 Soil losses in forest

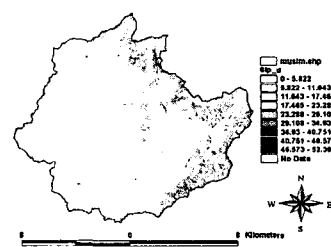


그림 3 Slope

3.3 침식위험지역 분석

침식위험지역은 그림 1의 유역의 토양 유실량 분포에서 토양 유실량이 300ton/ha·yr 이상 발생하는 지역에 대하여 분석하였다. 이 토양 유실 위험 지역에서 토지이용 형태는 나대지 및 인공녹지로 나타났다. 193,730.253m²이 위험지역으로 나타났다. 이는 나대지 및 인공녹지 면적 2,266,162.063m²의 8.5%에 해당하는 면적이다. 이는 유역의 지면경사와도 관계가 있으며, 대부분이 지면 경사도가 20이상인 지역들로 분석되었다. 그림 4는 지면경사도 20 이상인 지역 중에서 토양유실량이 300ton/ha·yr 이상인 지역을 나타낸 것이다.

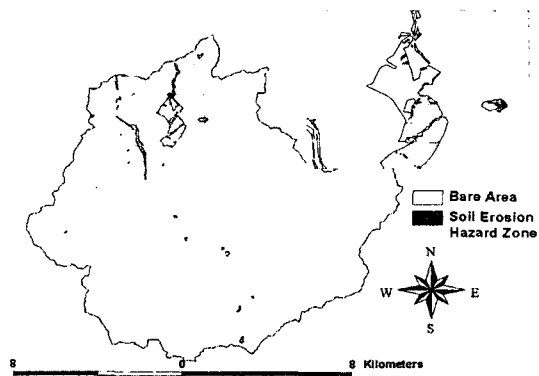


그림 4 Soil Erosion Hazard Zone

4. 결론

본 연구는 토양침식 모형인 RUSLE를 이용하여 무심천 유역의 토양유실량 및 유역에서의 토양 침식 위험지역을 분석, 추정하는 것을 목적으로 하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) RUSLE모형의 입력자료 중 지면경사, 토지이용상태, 토양의 구성, 그리고 지면기복상태 등의 지형과 관련되는 5개의 인자에 대하여 GIS를 이용하여 지형인자 주제도를 작성하였다.
- 2) 작성된 주제도와 바탕으로 무심천 유역의 연평균 강수량 자료를 이용하여 무심천 유역에 대한 토양유실량을 분석하였다. 분석결과 대부분의 토양유실이 발생하는 지역은 나대지 및 인공녹지, 발작물 재배지역, 산림지역의 순으로 토양유실이 발생하는 것으로 나타났다.
- 3) 산림지역의 토양유실량 분석에 있어서 임분의 영향보다는 지면경사도가 토양유실에 크게 기여하는 것으로 나타났다.
- 4) 침식지역에 대한 분석결과 나대지 및 인공녹지가 단위면적당 가장 많은 토양유실량이 발생하였으며, 나대지 및 인공녹지 지역 중에서 지면경사도가 20 이상인 지역인 8.5%정도가 침식위험이 큰 지역으로 분석되었다.
- 5) 토양유실량 분석에서 나대지와 같은 토지피복상태(C) 및 발작물 재배지역의 지면경사에 따른 경작지 이용상태(P) 등의 인자가 토양유실에 많은 영향이 있는 것으로 나타났다. 따라서 RUSLE 및 USLE모형 적용시 C 및 P인자에 대한 적용에 더 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 1-2-1)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 김윤중, 김원형, 유일현, 이석민, 민경덕, 1994. 금강유역 토양 유실 분석을 위한 GIS응용연구, 한국GIS학회 논문집, v.2, n.2, pp.165-174.
- 박무중, 김양수, 2001. 개발지역에서의 토사발생규모와 모형의 적용성 연구, 한국수자원학회논문집.
- 손광익, 2001. 해외 토사유출량 산정공식의 국내 적용성 검토(I) -RUSLE를 중심으로, 한국수자원학회 논문집, 제34권 3호, pp199-208
- 신계중, 1999. 지형정보체계를 이용한 유역의 토양유실 분석, 강원대학교 박사학위 논문
- A.P.J. De Roo. 1998. Modelling runoff and sediment transport in catchment using GIS, Hydrol. Proecess Vol. 12, pp905-922
- Bork, H. R. and Hensel, H. 1988. Computer-aided construction of soil erosion and deposition maps, Geol. Jahr., A104, 357-371
- Burrough, P. A. 1986. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Clarendon Press, Oxford. 193pp.
- Ferri, V. and Minacapilli, M. 1995. Sediment delivery processes at the basin scale, Hydrol. Sci. J., 40, 703-717
- Jetten, V., Henkens, E. J., De Jong, S. M. 1988. The Universal Soil Loss Equation. Version 1.0, release 1.0, distributed. Department of Physical Geography, Utrecht University, The Netherlands.
- Moore, I.D., Gessler, P.E., Nielsen, G.A. 1992. Validation of AGNPS for small watersheds using an integrated AGNPS/GIS system, Paper no. 92-2532. ASCE. 14pp
- TRB. 1980. Design of sedimentation basins, National Cooperative Highway Research Program Synthesis of Highway Practice #70, *Transport Research Board*.