

한국토양유실량 및 토양유실위험지역 분석

Analysis of Korea Soil erosion yields and Soil loss hazard zone

김주훈*, 김경탁**, 이효정***

Joo Hun Kim, Kyeong Tak Kim, Hyo Jeong Lee

요 지

본 연구는 전국 토양유실분포도와 토양유실위험 등급도를 작성하는 것을 목적으로 하였다. 토양유실분포도는 RUSLE를 이용하였고, 강우-유출 침식성인자(R)는 기상청의 59개 기상관측소의 1977년부터 2006년까지(30년간)의 강우량 자료를 이용하여 산정하였다. 빈도분석은 FARD를 이용하였고, 전국 R인자를 빈도별로 산정하였다. 토양유실량 분석결과 토지피복별로 초지, 나지 밭의 크기 순서로 토양유실이 발생하고, 우리나라 전체 평균은 약 17.2 ton/ha 정도의 토양유실이 발생하는 것으로 분석되었다. 5년빈도 강우특성에서 전체 토양유실량은 15,000여 톤의 토양유실이 발생하는 것으로 나타났으며, 토지피복 구분에서는 논, 산림, 밭작물 재배지역에서 많은 토양유실이 발생하는 것으로 분석되었다. 토양침식 위험 등급도 작성은 토양유실위험 등급을 5개 등급으로 구분하여 수행하였다. 분석결과 토양유실위험 2등급인 보통지역이 전체 토양유실량 위험지역의 78.2%로 가장 많은 부분을 차지하고 있으며, 심각한 토양유실 위험지역은 분석지역 전체 중에서 약 1.1%인 1,038km²정도인 것으로 분석되었다. 토지피복별로 심각한 토양유실 위험지역은 나지, 초지, 밭작물 재배지역의 순으로 각각 93.5km², 168.1km², 327.4km² 정도가 심각한 등급의 토양유실 위험지역으로 분석되었다.

핵심용어 : RUSLE, FARD, 토양유실, 토양유실위험지역

1. 서 론

자연적인 침식현상(geological erosion)과 달리, 농경지나 도시, 도로개발 등 인간의 활동은 자연적인 침식보다 훨씬 큰 침식을 유발하며, 이를 가속화된 침식현상(accelerated erosion)이라 한다. 개발사업은 자연상태가 아니라도 논이나 밭 등 오랫동안 경작하여 안정된 지표면의 토양 및 식생상태를 급속히 변화시킨다. 이러한 경우 같은 조건의 비가 오더라도 토양유실은 그 전보다 적게는 몇 배 많게는 몇 만배 이상 급속히 증가한다(Goldman 등, 1986). 이렇게 유역에서 발생한 토사는 결국 개발지역 하류로 이송되어 하류 하천이나 저수지, 호수를 탁하게 만들고, 바닥에 퇴적된다. 특히 부유사의 형태로 이송된 점토나 실트 등 미립토사(fine sediment)는 장시간에 걸쳐 하류 수역의 탁도를 증가시켜 음용수 취수 수질문제는 물론 수환경을 악화시켜 생태 서식처에 직접적인 피해를 준다.

국내의 토양침식 위험도 평가에 관한 연구에서 김주훈 등(2003)은 RUSLE 모형을 이용하여 지면경사 20도 이상이고 토사발생량이 300ton/ha·yr이상인 지역을 침식위험지역으로 평가한 바 있

정회원-한국건설기술연구원 수자원환경연구본부 수자원연구실 선임연구원-E-mail : jh-kim@kict.re.kr
정회원-한국건설기술연구원 수자원환경연구본부 수자원연구실 책임연구원-E-mail : ktkim1@kict.re.kr
정회원-한국건설기술연구원 수자원환경연구본부 수자원연구실 연구원-E-mail : jhj@kict.re.kr

으며, 박경훈(2003)은 토양침식의 위험도에 따른 분류등급을 4등급으로 분류하여 토양침식의 분류 등급별 분포특성을 분석한 바 있고, 박인환 등(2006)은 토양 및 지형조건에 따른 토양침식 잠재성 분석을 실시한 바 있다.

본 연구에서는 현재 가용한 공간자료를 이용하여 한국토양유실도를 작성하고, 이를 바탕으로 Gupta(2001)가 제시한 토양유실 위험 등급도를 작성하여 토지피복별에 따른 토양유실 위험지역을 분석하는 것을 목적으로 하고 있다.

2. RUSLE 인자

USLE 모형은 농업지역의 토양유실량을 산정하기 위하여 Wischmeier와 Smith(1965)에 의해 강우에 의한 토립자의 이탈 및 운송에 의한 개념을 기초로 하여 처음 제안하였다. USDA(1996)는 개발목장이나 삼림과 같은 실험 지점 이외의 토양조건에 대한 토양유실량 산정을 위해 기후인자의 수정, 계절적 변화에 대한 토양의 침식성 인자의 개발, 사면의 길이 및 경사에 대한 수정과 피복식생인자를 산정하는 새로운 계산과정의 개발 등을 추가한 개정범용토양손실공식(RUSLE ; Revised Universal Soil Loss Equation)을 발표하였다.

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

여기서 A는 강우-유출 침식성 인자(R)의 해당기간 중 단위면적에서 침식되는 토양유실량 (ton/ha/yr), R은 강우-유출 침식성 인자(rainfall-runoff erosivity factor), K는 토양침식성 인자 (soil erodibility factor), LS는 지면특성 인자(slope-length and steepness factor, L은 침식 경사면의 길이, S는 침식 경사면의 경사), C는 식생피복 인자(cover management factor)이며, P는 토양 보존 인자(support practice factor)이다.

2.1 강우-유출 침식성 인자(R: Rainfall-runoff erosivity factor)

빈도별에 따른 강우-유출 침식성 인자를 산정하기 위한 강우량 자료는 기상청의 58개 관측소를 대상으로 1977년부터 2006년의 30년간의 강우량 자료를 수집하여 1시간 최대에서 24시간 최대강우량 자료를 추출하고 30분 강우강도는 지역적설계강우의 시간적 분포(건설교통부, 2000)의 계수를 이용하였다. 빈도분석은 국립방재연구소에서 개발한 FARD(Frequency Analysis of Rainfall Data)를 사용하였다.

빈도분석에 이용한 분포형은 Normal, Gamma2, Log-Normal, Log-Pearson 등 12개의 방법을 적용하였고, K-S 검정, χ^2 검정, 그리고 Cramer von Mises(CVM)검정을 통해 적합도 분석을 수행하여 5년 빈도의 강우-유출 침식성 인자를 <그림 1>과 같이 산정하였다.

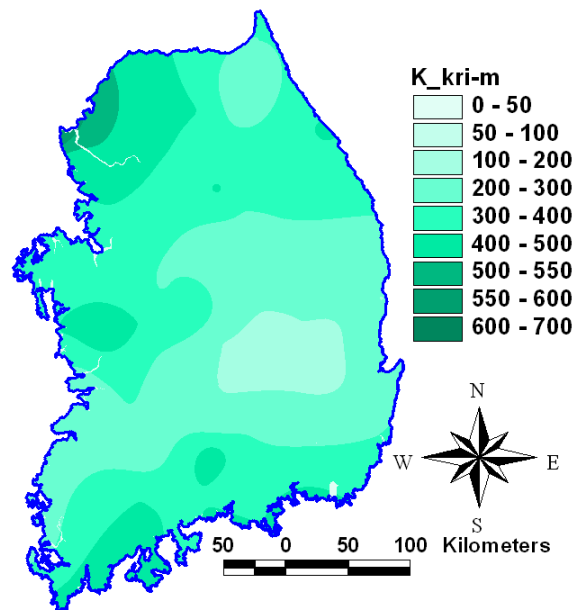


그림 1. R인자(5년 빈도)

2.2 공간특성인자

한국토양유실도 작성을 위한 기본공간자료는 지형분석을 위한 DEM, 토양이 강우에 의한 침식에 저항하는 능력을 나타내는 K 값을 산정하기 위한 토양도, 그리고 지표면의 피복상태를 나타내는 토지피복도자료가 필요하다. 이들 기본공간자료 중 지형특성을 분석하기 위한 원시 DEM 자료는 USGS의 Level-2 자료를 이용하였다. 이 DEM 자료를 30×30m 격자크기로 resampling 하였다. 토양의 구성성분, 유기물함량, 토양의 구조, 및 투수성 등 토양 특성을 나타내는 토양도는 농업과학기술원의 정밀토양도(1/25,000) 자료를 이용하였고, 지면피복자료는 WAMIS의 2000년 토지피복도 자료를 이용하였다.

표 1. 입력인자로 사용된 수치공간자료

| 자료구분 | 자료원 | 해상도 (축척) |
|-------|--------------------|------------|
| DEM | USGS Level-2 | 1 sec/grid |
| 유역경계도 | DEM으로부터 추출 | 30×30m |
| 토지피복도 | 국토해양부 토지피복도(2000년) | 30×30m |
| 토양도 | 정밀토양도 | 1/25,000 |

토양침식성인자(K)는 토양이 강우에 의한 침식에 저항하는 능력을 나타내는 척도로서, 농업과학기술원의 1/25,000의 정밀토양도를 이용하였고, 한국수자원학회(1988)의 토양통별 K값을 적용하였다.

공간지형특성 관련 인자(LS)는 DEM 자료에 대하여 Remotel 등(2001)에 의해서 ArcInfo의 AML(Arc Macro Language)로 개발된 LS 인자 산정 프로그램을 사용하여 계산하였다.

식생피복인자(C)와 토양보존인자(P)는 Dawen 등(2003)이 제시한 값을 기본으로 하여 토양유실량을 산정하였으나 식생피복인자는 산림지역에 대해 신계중(1999)이 제시한 값과의 중간값인 0.01을 채택하여 토양유실량 산정에 적용하였다.

3. 토양유실 분석

3.1 토양유실량 분석

기상청 59개 기상관측소의 1977년부터 2006년까지의 30년간의 자료를 이용하여 우리나라의 전국 R 값을 빈도별로 산정하였다. 빈도분석은 2년, 3년 5년, ..., 200년까지 산정하였다. 그리고 DEM, 정밀토양도, 토지피복도 자료를 이용하여 RUSLE의 각인자별 주제도를 작성하였다.

작성된 주제도를 바탕으로 <그림 2>와 같이 5년 빈도의 한국토양유실량 분포도를 작성하였다. 작성된 한국토양유실량 분포 분석결과 토지피복별로 초지, 나지 밭의 순서로 평균 70.7ton/ha, 66.7ton/ha, 49.5ton/ha의 토양유실이 발생하고, 전체적으로 약 17.2 ton/ha 정도의 토양유실이 발생하는 것으로 분석되었다. 단위면적당 평균토양유실량 분석에서 나지와 초지에서 많은 토양유실이 발생하고 있으나, 5

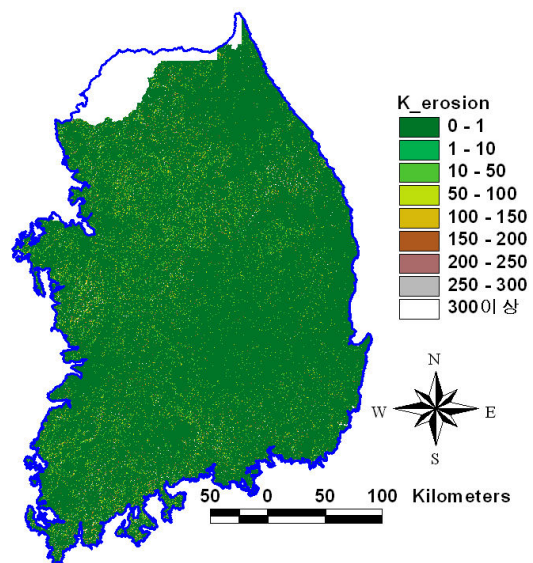


그림 2. 토양유실량 분포(5년 빈도)

년빈도 강우특성에서 전체 토양유실량은 15,000여 톤의 토양유실이 발생하는 것으로 나타났으나 실제로는 논, 산림, 그리고 밭작물 재배지역에서 5,600톤, 3,867톤 및 2,962톤의 많은 토양유실이 발생하는 것으로 분석되었다.

3.2 토양유실 위험도 평가

Gupta(2001)가 제시한 4등급에서 미소위험지역의 아래 등급인 1ton/ha·yr이하의 유실지역을 포함하여 5개 등급으로 구분하여 분석을 수행하였다. 분석 결과 <표 2>에서 보는바와 같이 토양유실위험 등급 2등급인 보통지역이 전체 토양유실량 위험지역의 78.2%로 가장 많은 부분을 차지하고 있으며, 심각한 토양유실 위험지역은 분석지역 전체 중에서 약 1.1%인 1,038km²정도인 것으로 분석되었다.

토지피복별 토양유실 위험등급도 구분에서는 보통 등급의 토양유실 위험지역이 모든 토지피복분류에서 가장 많은 것으로 분석되었다. 또한 심각한(severe) 토양유실 위험지역은 나지, 초지, 밭작물 재배지역의 순으로 각각 93.5km², 168.1km², 327.4km² 정도가 심각한 등급의 토양유실 위험지역으로 분석되었고, 토양유실위험 등급의 공간적 분포는 <그림 3>과 같이 나타났다.

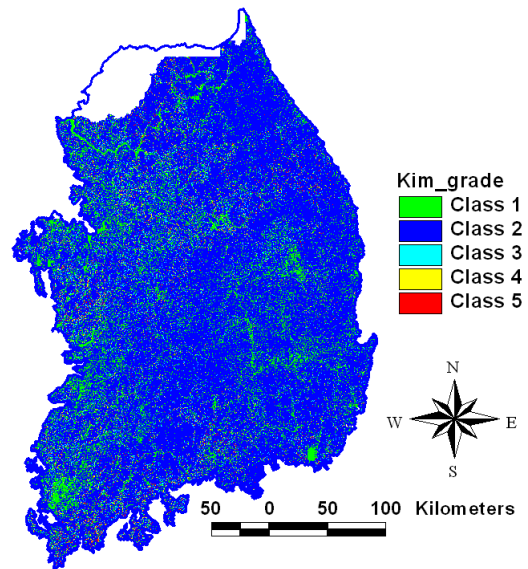


그림 3. 토양유실 위험등급도

표 2. 토지피복별 토양유실량(5년빈도)

| 토지피복도 | 면적(km ² (%)) | 평균유실량 (ton/ha) | 총유실량 (ton) | class1 (%) | class2 (%) | class3 (%) | class4 (%) | class-5 (km ² (%)) |
|-------|-------------------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------------------------|
| 수역 | 1,217(1.37) | 0.0 | 0.0 | 100.0 | - | - | - | - |
| 도시지역 | 3,476(3.90) | 17.7 | 617 | 25.6 | 64.9 | 6.2 | 2.6 | 22.6(0.6) |
| 나지 | 999(1.12) | 66.7 | 666 | 8.0 | 60.0 | 12.7 | 10.5 | 93.5(8.8) |
| 습지 | 54(0.06) | 6.0 | 3 | 62.2 | 35.0 | 2.2 | 0.5 | - |
| 초지 | 1,991(2.24) | 70.7 | 1,408 | 7.9 | 50.1 | 18.7 | 15.1 | 168.1(8.3) |
| 산림 | 59,007(66.26) | 6.6 | 3,867 | 12.2 | 87.8 | 0.1 | 0.0 | - |
| 논 | 16,320(18.33) | 34.3 | 5,600 | 15.5 | 64.0 | 11.4 | 6.6 | 426.7(2.5) |
| 밭 | 5,983(6.72) | 49.5 | 2,962 | 10.9 | 61.1 | 12.9 | 9.8 | 327.4(5.3) |
| 전체 | 89,047(100.0) | 17.2 | 15,301 | 14.3 | 78.2 | 3.9 | 2.5 | 1,038.3(1.1) |

4. 결 론

본 연구에서는 현재 가용한 공간자료를 이용하여 한국토양유실도를 작성하고, 이를 바탕으로 Gupta(2001)가 제시한 토양유실 등급도를 작성하여 토지피복별에 따른 토양유실 위험지역을 분석

하는 것을 목적으로 하고 있다.

한국토양유실량 분포 분석결과 토지피복별로 초지, 나지 밭의 크기 순서로 토양유실이 발생하고, 우리나라의 평균 토양유실은 약 17.2 ton/ha 정도로 발생하는 것으로 분석되었다. 단위면적당 평균토양유실량 분석에서 나지와 초지에서 많은 토양유실이 발생하고 있으나, 5년빈도 강우특성에서 전체 토양유실량은 15,000여 톤의 토양유실이 발생하는 것으로 나타났고, 실제로는 논, 산림, 그리고 밭작물 재배지역에서 많은 토양유실이 발생하는 것으로 분석되었다.

토양유실 위험 등급 분석결과 토양유실 위험등급 2등급인 보통지역이 전체 토양유실량 위험지역의 78.2%로 가장 많은 부분을 차지하고 있으며, 심각한 토양유실 위험지역은 분석지역 전체 중에서 약 1.1%인 1,038km²정도인 것으로 분석되었다. 토지피복별 토양침식 위험등급도 구분에서 심각한 토양유실 위험지역은 나지, 초지, 밭작물 재배지역의 순으로 각각 93.5km², 168.1km², 327.4km² 정도가 심각한 등급의 토양유실 위험지역으로 분석되었다.

감사의 글

본 연구는 기초기술연구회의 일반연구사업(사업명: 위성자료 공공활용 연구, 과제명: 위성영상을 이용한 하천정보생산 및 활용에 관한 연구)과 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원(과제번호 07국토정보C03)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김주훈, 김경탁, 연규방. 2003. GIS를 이용한 유역의 침식위험지역 분석. 한국지리정보학회지. 6(2):22-32
2. 박경훈. 2003. GIS 및 RUSLE기법을 활용한 금호강 유역의 토양침식위험도 평가. 한국지리정보학회지. 6(4):24-36
3. 박인환, 장갑수, 이근상, 서동조. 2006. 토양 및 지형조건에 따른 토양침식 잠재성 분석. 한국환경영향평가학회지 1(1):1-12.
4. Dawen Yang, Shinjiro Kanae, Taikan Oki, Toshio Koike and Katumi Musiake. 2006. Global potential soil erosion with reference to land use and climate changes, Hydrological Processes 17:2913-2928.
5. Goldman, S.J., K. Jackson, and T.A. Bursztynsky. 1986. Erosion and Sediment Control Handbook, Mc-Graw Hill, pp.5.1-5.32.
6. Gupta, H. S. 2001. Terrain Evaluation for Eco-Restoration using Remote Sensing and GIS. <http://agile.lsegi.unl.pt/conference/Brno2001/RemoteSensing.pdf>. pp424-434.
7. Morgan, R. P. C. 1995. Soil erosion and conservation. Longman Group Ltd. ISBN 0-582-24492-7. 198pp.
8. Remortel, V. R., M. Hamilton and R. Hickey(2001). Estimating the LS factor for RUSLE through iterative slope length processing of DEM elevatin data. Cartography 30(1):27-35.
9. USDA. 1996. Predicting soil erosion by water : A Guide to conservation planning with the RUSLE, Agriculture Handbook #703.
10. Wischmeier. W. H. and D.D. Smith. 1965. Predicting rainfall erosion losses from cropland East of the Rocky Mountains. U.S. Dep. Agric., Agricultural Research Service. Agricultural Handbook. No. 537.