

# GIS기반 토사유실모델을 이용한 저수지 사면의 토사유실 영향 분석

이근상<sup>1\*</sup> · 박진혁<sup>1</sup> · 황의호<sup>1</sup> · 고덕구<sup>1</sup>

## The Influence Analysis for Soil Loss in Reservoir Slant using GIS-based Soil Loss Model

Geun-Sang LEE<sup>1\*</sup> · Jin-Hyeog PARK<sup>1</sup> ·  
Eui-Ho HWANG<sup>1</sup> · Deuk-Koo KOH<sup>1</sup>

### 요 약

임동 유역은 지질 및 토지피복 상태가 토사유실에 취약한 특성을 가지고 있어, 강우발생시 토사 유입으로 호소내 수질오염에 큰 영향을 주고 있으며, 특히 이러한 호소내 수질문제의 원인으로 저수지 사면의 토사유실 가능성이 제기되고 있다. 본 연구에서는 저수지 사면에서 발생하는 토사유실 기여율을 평가하기 위해, 최근 GIS 및 위성영상과의 연계가 가능한 RUSLE 모형을 선정하였으며 사면에서 발생하는 토사유실 정확도에 큰 영향을 주는 사면의 범위와 폭 그리고 사면상태를 DB로 구축하기 위해 현지조사를 실시하였다. 임동유역에 대한 토사유실량과 비교하여 저수지 사면에서 발생하는 토사유실량의 영향을 분석한 결과 약 2.64%로 나타났다. 따라서 이러한 결과를 볼 때, 임동 유역의 토사유실량에 비해 저수지 사면의 토사유실 영향은 상대적으로 낮은 것으로 평가되었다.

**주요어 :** 수정범용토사유실공식, 토사유실, 저수지 사면, 영향 분석

### ABSTRACT

Soil particles from rainfall flow into reservoir and give lots of influence in water quality because the geological conditions and landcover characteristics of Imdong watershed have a weakness against soil loss. Especially, reservoir slant is indicated by the main source area of soil loss. This study selected RUSLE model that could apply GIS and satellite image to evaluate the contribution rate of soil loss in reservoir slant. And we carried out an on-the-spot survey for the range, width and condition of reservoir slant that give much influences to the accuracy of soil loss. As the result of evaluation to the influence of soil loss in reservoir slant, it showed 2.64% in comparison with Imdong watershed. In view

of these results, the influence of soil loss in reservoir slant was evaluated in low comparing with Imdong watershed relatively.

**Keywords : RUSLE, Soil Loss, Reservoir Slant, Influence Analysis**

## 서론

여름철 집중 호우에 의한 유역내 토사유실은 하천의 통수능력을 저하시키는 한편 저수지 바닥에 퇴적되어 유효저수량을 감소시키고 호소내에서는 각종 수질오염 등에 영향을 주게 된다. 본 연구대상지인 임하호의 임동유역은 풍화암의 세일층이 많이 분포하고 있고, 다른 유역에 비해 하천주변의 농경지 비율이 매우 높기 때문에 강우발생시 토사유실에 의한 호소내 수질오염 피해가 많이 발생하고 있다. 이와 같이 토사유실은 환경 및 수자원관리 측면에서 많은 문제들을 유발하기 때문에 장기적인 유역대책 수립을 위해서는 토사유실 원인지역을 분석하여 단계적인 보강대책을 강구하는 것이 필요하다.

강우발생시 유역내의 토사유실량을 실측하기에는 비용이나 인력측면에서 그 한계가 있기 때문에 최근 GIS 및 위성영상 데이터를 활용한 토사유실 모델이 많이 등장하고 있으며, 최근 활발한 연구가 진행중인 대표적인 모델로서는 RUSLE (revised universal soil loss equation) 모델이 있다. 특히 국내에서도 농업과학기술원의 정밀토양도나 환경부의 토지피복도 사업이 완료되면서 RUSLE 모델을 활용한 보다 정확한 토사유실 분석이 가능해지고 있다. 대표적인 연구로서, Renard 등(1991)은 RUSLE 모델에 대한 이론을 정립하였으며, 김주훈 등(2003)과 박경훈(2003)은 RUSLE 모형을 활용하여 유역내의 토양침식 위험지역을 분석하였으며, 이근상 등(2003)은 비퇴사량 실측 자료를 활용하여 토양침식의 정량화를 시도했으며 특히 토양도의 축척에 따른 영향성을 검토하여 제시하였다. 또한 이환주(2002)는 토양침식 잠재성 평가시 토양도의 경계부분에서 발

생하는 오차를 최소화하기 위해 퍼지함수를 적용하였다.

저수지 사면은 댐운영에 따른 수위변동에 의해 사면의 범위와 폭이 변하는 특징을 갖는다. 이러한 저수지 사면은 강우발생시 산사태나 토사유실 발생을 억제하기 위해 댐 건설당시 다짐공정 및 횡방향의 골을 형성하여 운영하고 있다. 최근 임동유역내의 저수지에 일부 탁수가 발생하였으며, 이러한 탁수발생의 원인 중 하나로 저수지 사면의 토사유실 가능성이 제기되고 있다.

본 연구에서는 GIS 기반 RUSLE 모델을 이용하여 임하호 유역과 저수지 사면에서의 토사유실량을 산정하였으며, 계산한 토사유실량의 비율을 평가함으로써 저수지 사면에서의 토사유실 영향을 분석하였다. 특히 저수지 사면에서의 토사유실 영향에 가장 큰 변수로 작용하는 저수지 사면의 범위와 폭 그리고 사면의 상태를 분석하기 위해 호소내 현지조사를 통해 저수지 사면의 DB를 구축하였다. 그림 1은 임하댐 전경으로서 댐 부근의 저수지 사면의 위치를 나타낸 것이다.

FIGURE 1. General view of Imha dam

## 연구대상지

임하호 유역은 동경 127°29' ~ 129°18', 북위 35°03' ~ 37°13' 에 위치하고 있으며, 행정구역상으로는 경북 안동시, 영양군 그리고 청송군에 걸쳐 있다. 임하호 유역은 낙동강 수계 북동쪽에 위치하고 있으며, 유역면적은 1,361km<sup>2</sup>이고 유로연장은 반변천을 기준으로 약 98km이다. 본 연구대상지는 임하호의 일부 지역인 임동유역으로서, 대상면적은 103.490km<sup>2</sup>이고 주요 하천으로는 대곡천이 있다(한국수자원공사, 2003).

는 장기간 동안의 토사유실과정에서의 효과를 예측하기 위한 토양 보존 지향적 모델로서 GIS 환경에서 RUSLE를 사용할 경우 셀 단위로 토사유실 잠재성을 표현할 수 있다는 장점이 있다(Andrew, 1999). RUSLE 모형은 강우침식인자(R), 토양침식인자(K), 침식사면의 길이인자(L), 침식사면의 경사인자(S), 식생피복인자(C), 경작인자(P)로 구성되어 있으며, 토사유실량 A는 ton/ha/yr의 단위를 갖는다.

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1)$$

강우침식인자는 강우량과 강우강도에 영향을 받는 인자로서, 일정 강우강도 이하에서는 상대적으로 비침식성 결과를 보이는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 정필균 등(1983)이 발표한 국내의 등강우침식선도와 매우 유사한 값을 나타내는 Toxopeus 경험식을 적용하였다.

$$R = 38.5 + 0.35 \times P_{yr} \quad (2)$$

여기서 R은 강우침식인자(J/m<sup>3</sup>)이고,  $P_{yr}$ 는 연평균 강우량(mm/yr)이다.

강우관측소로는 청송, 부동, 부남, 진보, 석보, 영양, 수비, 일월 관측소의 2003년 강우량 자료를 적용하였다(한국수자원공사, 2003).

TABLE 1. Yearly rainfall in 2003 by raingauge station

FIGURE 2. Study area

## 임동유역의 토사유실량 분석

임동유역의 토사유실량을 분석하기 위해 본 연구에서는 RUSLE 모형을 활용하였다. RUSLE

강우관측소별로 구축한 2003년도 강우량 자료에 대해 Spline 보간을 통해 임동유역의 강우량 분포를 분석한 후, Toxopeus 경험식을 적용하여 강우침식인자를 계산하였다. 본 연구에서는 2003년도 강우자료를 사용하였기 때문에 정필균 등(1983)이 1970~1980의 강우자료를 기초로 작성한 등강우침식선도의 값과는 다소 차이가 발생하였다.

토양침식인자는 강우시 토립자의 입경분포, 조직, 유기물함량, 수분함량, 투수계수, 밀도 및 다짐도 등에 따라 나타나는 토양의 특성을 지수화 한 것이다. 토양침식인자와 토립자 입경분포와의 관계는 범용토양유실공식 연구의 선구자인 Wischmeier(1971)에 의해 삼각형 도표가 제시되었으며, Erickson(1997)이 보완하여 삼각형 도표를 완성하였다. 본 연구에서는 기존의 1:250,000 개략토양도가 갖는 한계를 극복하기 위해, 농업과학기술원에서 구축한 1:25,000 정밀토양도를 이용하여 각 토양별 구성성분 등을 분석하였으며, 이를 Erickson의 삼각형 도표에 적용하여 계산하였다.

지형인자는 사면의 길이인자(L)과 경사인자(S)로 구성되어 있다. 사면의 길이인자는 단위 구획 경사길이인 22.13m에 대한 수평경사길이의 비를 나타낸다. 사면의 길이인자를 계산하기 위해 많은 경험식들이 발표되었으며, 본 연구에서는 토사유실 발생시 방향성 및 상부기여 면적까지를 고려할 수 있는 Desmet과 Govers(1996)의 식 (3)을 적용하였다.

$$L_{ij} = \frac{(A_{ij-m} + D^2)^{m+1} - A_{ij-m}^{m+1}}{D^{m+2} \times x_{ij}^m \times 22.13^m} \quad (3)$$

$L_{ij}$ 는 격자에 대한 침식사면의 길이인자이며  $A_{ij-m}$ 는 격자에 유입되는 상류 기여면적이다. 또한  $D$ 는 격자크기이고  $m$ 은 침식사면길이의 역지수이며,  $x_{ij}$ 는 흐름방향에 직교하는 등고선 길이로서  $(|\sin \alpha_{ij}| + |\cos \alpha_{ij}|)$ 로서 표시가 가능하다. 그리고  $\alpha_{ij}$ 는 격자의 방향이다.

사면의 경사인자는 토양침식에 대한 사면 경사의 영향을 나타내는 인자로서, 본 연구에서는 Nearing(1997)이 제안한 식 (4)를 활용하였다.

$$S = -1.5 + \frac{17}{1 + \exp(2.3 - 6.1 \sin \theta)} \quad (4)$$

여기서,  $\theta$ 는 경사이다.

식생피복인자는 토사유실에 대한 식생피복 및 작물상태 효과를 반영한 인자이다. 지표면의 피복상태가 토사유실에 미치는 영향은 식생으로 인한 빗방울의 운동에너지 경감, 지표류의 유속감소로 인한 토립자의 이송경감 및 퇴적증진, 식생의 뿌리로 인한 토양 덩어리의 이동억제 및 공극증대, 식물의 증산작용과 토양내에서 생물학적 활동증진에 따른 토양수분감소 등이 있다(Dissmeyer와 Foster, 1981). 본 연구에서는 식생피복인자를 계산하기 위해 환경부에서 구축한 토지피복도 자료 및 농경지역의 현지 토지피복조사를 통해 중분류 체계의 토지피복도를 구축한 후, 표 2의 토지피복별 식생피복인자 기준을 적용하였다(박경훈, 2003).

TABLE 2. Cover management factor by landcover types

Landcover type		C
Large Class	Middle Class	
Forest	Coniferous	0.009
	Broad-leaf	0.004
	Mixed	0.007
Agriculture	Dry Field	0.400
	Paddy	0.300
	Orchard	0.200
Grass	Park, cemetery, pasture	0.050
Urban	Low density	0.002
	High density	0.001
	Industrial area	0.000
	Road, railroad	0.000
Barren	Mining, playground	1.000
Water	Stream, reservoir	0.000

경작인자는 여러 유형의 경작형태 따른 토사유실의 비율로서, 경작지 형태는 Contouring, Cropping 그리고 Terracing으로 구분된다. 표 3은 신계중(1999)이 제시한 경작인자로서, 본 연구에서는 밭을 Cropping, 논을 Terracing 그리고 기타 지역을 Contouring 방식으로 적용하였다.

TABLE 3. Support practice factor considering support type and slope

표 4는 임동유역에 대한 RUSLE 인자 및 토사유실량 분석 결과이며, 그림 3은 토사유실량 분포도이다. 본 연구에서는 RUSLE 인자 및 토사유실량 평가를 위한 셀 해상도를 최저 해상도를 갖는 중분류 체계의 토지피복도와 일치시키기 위해 5m로 결정하였다. RUSLE 인자중 셀 해상도에 영향을 받는 인자로는 지형인자(LS)가 있으며, RUSLE 모델의 단위지역인 22.13m로 분석한 결과 평균 지형인자값이 11.034로서 5m로 분석한 10.999와는 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서 지형인자의 해상도에 따른 토사유실량의 최종 결과값에는 큰 변화가 없다고 판단된다.

TABLE 4. RUSLE factors & soil loss for Imdong watershed

FIGURE 3. Soil loss map for Imdong watershed

## 저수지 사면의 토사유실 영향 분석

### 1. 저수지 사면조사

임하댐은 1993년 12월에 준공되었으며, 약 12년의 세월을 거치면서 저수지 사면이 상당히 안정화 된 것으로 평가된다. 저수지 사면의 토사유실량은 저수지 사면의 범위와 폭 그리고 사면을 구성하고 있는 상태에 따라 크게 달라진다.

항공사진측량에 의해 제작된 저수지 지역의 수치지형도에서는 저수지 사면에 대한 범위가 표시되어 있지 않다. 따라서 저수지 사면을 DB로 정의하기 위해서는 정밀항공사진측량에 의한 방법 및 현지지상측량을 병행해야 된다. 그러나 본 연구에서는 비용 및 시간적인 제약상 선박을 이용하여 호소내 육안조사에 의한 저수지 사면의 폭을 결정하는 것을 원칙으로 하였으며, 육안조사의 정확도 향상 및 선박의 통행이 어려운 저지대에 대해서는 토탈스테이

선을 이용한 대변측량을 병행하였다. 저수지 사면의 범위를 지도에 표시하기 위해서는 경계 지역을 결정하는 것이 매우 중요하며, 이를 위해 환경부에서 SPOT 5 영상을 기초로 제작한 중분류 형태의 토지피복도 자료를 이용하였다. 댐 부근의 도근점을 활용하여 토탈스테이션에 의한 좌표측량을 샘플 지역에 실시한 결과 토지피복 클래스의 산림과 저수지 수역의 경계 부분이 저수지 사면의 상단에 해당됨을 알 수 있었다. 따라서 육안 및 토탈스테이션에 의해 구축한 저수지 사면의 폭 정보를 이용하여 산림과 수역클래스의 경계로부터 수역쪽으로 저수지 사면을 결정하여 토지피복 클래스 자료를 편집하였다.

사면의 폭은 수위의 변화에 따라 크게 달라지게 된다. 임하호의 만수위(163.0m)와 저수위(137.0m)의 차이는 약 26m로서 상당한 차이를 보이나, 실제 댐 운영 수위는 2003년을 기준으로 월별로 약간의 차이는 있지만 일반적으로 155~158m로서 큰 차이를 보이지 않은 것으로 확인되었다(한국수자원공사, 2003). 따라서 수위 변화의 차이에 따른 사면의 폭 변화는 그다지 크지 않은 것으로 확인되었으며, 이를 통해 볼 때 본 연구의 조사시점인 2004년 7월의 사면 DB 구축 결과물은 임하호의 일반적인 저수지 사면의 범위와 폭으로 간주하는데 큰 무리가 없다고 판단된다.

FIGURE 5. Survey of reservoir slant with total-station equipment

그림 6은 저수지 사면의 조사를 위한 도면 인덱스이며, 그림 7~9는 각 인덱스별 저수지 사면의 현황을 나타낸 것이다.

FIGURE 6. Index map for the survey of reservoir slant

FIGURE 4. Survey of reservoir slant with boat

## 2. 저수지 사면의 토사유실량 산정

RUSLE 인자중 강우침식인자(R)와 토양침식인자(K)는 임동유역에서 분석한 자료를 이용하여 저수지 사면 지역을 Clipping 하여 계산하였다.

임하댐은 일반적으로 163.5m의 상시만수위 선을 유지하고 있기 때문에, 비교적 최근에 촬영한 항공사진을 이용하여 도화한 1:5,000 수치지형도의 자료에는 160m 이하의 등고 자료가 존재하지 않는 문제가 있었다. 따라서 본 연구에서는 1997년에 실시한 임하댐 저수지의 퇴사량 조사 용역에서 GPS (Global Positioning System)와 Echo-sounder를 이용하여 구축한 호소내 등고선 자료를 1:5,000 수치지형도의 등고선과 합성하였다(한국수자원공사, 1997). 그림 10은 1:5,000 수치지형도를 이용하여 제작한 호소의 지역의 등고선과 퇴사량 조사용역에서 구축한 호소내 등고선을 편집하여 구축한 댐 주변의 지형을 나타낸 것이다.

FIGURE 7. Survey for reservoir slant (A)

FIGURE 8. Survey for reservoir slant (B)

FIGURE 9. Survey for reservoir slant (C)

FIGURE 10. Edited contour map

이러한 등고선을 이용하여 제작한 DEM 자료로부터 Desmet & Govers식과 Nearing 식을 이용하여 저수지 사면에 대한 지형인자(LS)를 구축하였다.

저수지 사면은 육안상 나대지로 보이지만, 실제 저수지 사면은 콘크리트 블럭 등으로 보강한 사면을 비롯하여 암반 그리고 일반 토사 형태의 사면으로 구성되어 있다. 콘크리트 블럭 형태의 사면은 강우에 의한 토사유실이 거의 발생하지 않으며, 암반으로 구성된 사면 역시 부분적으로 토사가 혼재되어 있지만 대부분이 암반으로 구성되어 있어 토사유실이 매우 적게 발생할 것으로 판단된다. 또한 일반 토사 형태의 사면도 그림 11과 같이 상당부분 고결화가 진행되거나 혹은 딱딱하게 굳어진 상태이며 토사유실에 대한 저항력을 높이기 위해 횡방향의 골을 파놓은 형태를 가지고 있었다. 식생피복인자가 강우발생에 대해 각 토지피복이 가지는 저항력이라고 볼 때, 저수지 사면의 다양한 형태에 따른 식생피복인자값을 적절히 조정할 필요가 있으며 특히 토사형태의 사면의 경우 나대지에 해당하는 식생피복인자를 부여하는 것은 무리가 있다고 판단된다. 국내외적으로 이러한 저수지 사면에 대한 토사유실 연구가 거의 없는 관계로 본 연구에서는 현지에서 확인된 사면의 상태를 표 2의 토지피복별 식생피복인자값과 비교 분석하여, 블럭은 0.000, 암반은 0.050 그리고 일반 사면은 0.200의 값을 지정하였다.

경작인자는 1997년에 실시한 퇴사량 조사용역시 구축한 지형도를 이용하여 구축한 DEM을 이용하였으며, 경작형태는 저수지 사면에 대해 모두 Contouring 방식을 적용하여 계산하였다.

표 5는 저수지사면에 대한 RUSLE 인자 및 토사유실량 분석 결과이며, 그림 12는 토사유실량 분포도이다.

TABLE 5 RUSLE factor & soil loss for reservoir slant

FIGURE 11. Reservoir slant of soil type

FIGURE 12. Soil loss map for reservoir slant



### 3. 저수지 사면의 토사유실 영향 분석

저수지 사면에 대한 토사유실 영향을 분석하기 위해, 임동유역 전체에 대한 분석한 토사유실량에 대한 저수지 사면의 토사유실 비율을 계산하였다. 먼저, 임동유역에 대한 총 토사유실량을 분석하기 위해 ZONALSUM ArcGIS 격자합수를 이용하였다. ZONALSUM 격자합수는 해당지역에 대한 Value GRID의 합을 계산하여 제공하는 합수로서, 5m×5m 해상도 계산된 각 격자별 토사유실량(ton/ha/yr)을 임동유역 면적인 103.490km<sup>2</sup> 단위로 환산한 결과 총 토사유실량은 4461.29(ton/103.490km<sup>2</sup>/yr)로 계산되었다. 저수지 사면 구역에 대해서도 ZONALSUM ArcGIS 격자합수를 적용한 저수지 사면의 총토사유실량은 117.68(ton/0.368km<sup>2</sup>/yr)로 계산되었다. 따라서, 임동유역에 대한 저수지 사면의 토사유실 영향은 2.64%로 분석되었으며, 이러한 결과를 볼 때 임동유역의 토사유실량에 비해 저수지 사면의 토사유실 영향은 비교적 적은 것으로 판단되었다.

## 결론

본 연구에서는 GIS 및 위성영상자료와의 연계가 가능하고 중규모 유역에 적합한 RUSLE 모형을 선정하여 임동유역의 토사유실량에 대한 저수지 사면의 토사유실 영향을 분석하였다. 저수지 사면의 토사유실량 계산을 위해 먼저, 임하댐관리단에서 보유하고 있는 선박을 이용하여 호소내 현지조사 및 일부 저지대에 대한 지상측량을 수행함으로써 저수지 사면의 범위와 폭 그리고 사면의 상태를 DB로 구축하였다. 저수지 사면에 대한 RUSLE 인자 중 강우침식인자와 토양침식인자는 Toxopeus 식과 Erickson의 삼각형 도표를 이용하여 계산한 임동유역의 값에 대해 저수지 사면에 해당되는 부분만을 Clipping 하여 분석하였으며, 지형인자는 1/5,000 수치지형도와 1997년에 실시한 댐퇴사량 조사용역시 구축한 등고선을 합성

하여 구축한 DEM 자료를 이용하여 분석하였다. 또한 식생피복인자와 경작인자는 사면의 상태를 콘크리트 블록, 암반 그리고 일반 토사 형태의 사면으로 분류한 토지피복도를 비롯하여 1/5,000 수치지형도와 댐퇴사량 조사용역시 구축한 등고선을 합성하여 구축한 DEM 자료를 이용하여 분석하였다.

임동유역의 총토사유실량은 ArcGIS의 ZONALSUM 격자합수를 이용하여 계산한 결과 4461.29(ton/103.490km<sup>2</sup>/yr)로 분석되었으며, 저수지 사면은 117.68(ton/0.368km<sup>2</sup>/yr)로 분석되었다. 임동유역에 대한 저수지 사면의 토사유실 영향을 비율로 산정시 2.64%를 보였으며, 이러한 결과를 볼 때 임동유역의 토사유실량에 비해 저수지 사면의 토사유실 영향은 비교적 적은 것으로 확인되었다.

본 연구에서는 국내외적으로 저수지 사면에 대한 식생피복인자의 기준이 없는 관계로, 현지에서 조사된 사면의 형태 및 고결화 정도를 고려하여 값을 지정하였다. 따라서, 저수지 사면에 대한 최종 토사유실량 결과값에 다소간의 오차가 수반되어 있다고 판단되므로 향후 연구에서는 이러한 저수지 사면에 대한 토질시험 등을 통한 현실적인 식생피복인자 기준을 제시할 필요가 있다고 사료된다. **KAGIS**

## 참고문헌

- 김주훈, 김경탁, 연규방. 2003. GIS를 이용한 토양침식 위험지역 분석. 한국지리정보학회지 6(2):22-32.
- 박경훈. 2003. GIS 및 RUSLE 기법을 활용한 금호강 유역의 토양침식위험도 평가. 한국지리정보학회지 6(4):24-36.
- 신계중. 1999. 지형공간정보체계를 이용한 유역의 토양유실분석. 강원대학교 대학원 박사논문. 116쪽.
- 이근상, 장영률, 조기성. 2003. 토양침식량 산정에서 토양도 축척에 따른 적정 해상도 분

- 석에 관한 연구. 한국지리정보학회지 6(3). pp. 1-10.
- 이환주. 2002. GIS 공간분석 기법을 활용한 토양침식 잠재성 평가에 관한 연구. 전북대학교 대학원 박사논문. 141쪽.
- 정필균, 고문환, 임정남, 임기태, 최대웅. 1983. 토양유실량 예측을 위한 강우인자의 분석. 한국토양비료학회지 16(2):112-118.
- 한국수자원공사. 1997. 임하댐 저수지 퇴사량 조사 보고서. 197쪽.
- 한국수자원공사. 2003. 임하다목적댐 관리연보. 302쪽.
- Andrew A. Millward and Janet E. Mersey. 1999. Adapting the RUSLE to model soil erosion potential in a mountainous tropical watershed. CATENA 38:109-129.
- Desmet, P.J. and G. Govers. 1996. A GIS procedure for the automated calculation of the USLE LS factor on topographically complex landscape units. Journal of Soil and Water Conservation 51(5):427-433.
- Dissmeyer, G.E. and G.R. Foster. 1981. Estimating the cover management factor in the USLE for forest conditions. Journal of Soil and Water Conservation 36(4):235-240.
- Erickson, A.J. 1997. Aids for estimating soil erodibility - K value class and soil loss tolerance. U.S. Department of Agriculture. Soil Conservation Service. Salt Lake City of Utah.
- Nearing, M.A. 1997. A single, continuous function for slope steepness influence on soil loss. Journal of Soil Science Society of America 61(3):917-919.
- Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies and P.J. Porter. 1991. RUSLE : Revised Universal Soil Loss Equation. Journal of Soil and Water Conservation 46(1):30-33.
- Wischmeier, W.H. 1971. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. Journal of Soil and Water Conservation 26:189-193. **KGIS**