

빈도별 R인자에 의한 토양침식 위험지역 분석

김주훈^{1*} · 오덕근²

Analysis of Soil Erosion Hazard Zone by R Factor Frequency

Joo-Hun KIM^{1*} · Deuk-Keun OH²

요 약

본 연구는 강우-유출 침식성 인자의 빈도별에 따른 토양유실량을 평가하고 이를 바탕으로 유역의 토양침식 위험지역을 분석하는 것을 목적으로 한다. RUSLE는 토양침식량을 분석하는데 이용하였다. 연구지역은 섬진강 수계의 관촌유역을 선정하였다. 빈도별 강우-유출 침식성인자를 얻기 위하여 39년간의 일일최대 강우량 자료를 이용하였다. 확률강우량은 Normal 분포, Log-Normal 분포, Pearson type III 분포, Log-Pearson type III 분포 및 Extreme-I 분포를 이용하였다. 이 중 적합도가 가장 높은 것으로 판단되는 Log-Pearson type III 분포를 채택하였다. Log-Pearson type III 분포는 24시간 확률 강우량을 산정하는데 이용하였고, 빈도별 강우-유출 침식성 인자는 Huff 분포 비로 평가하였다. 분석결과 2년빈도에서 200년 빈도까지 토양유실량은 평균 12.8~68.0ton/ha·yr로 분석되었다. 유역의 토양유실량 분포를 4개 분류등급으로 구분하여 토양침식 위험지역을 분석하였으며, 침식발생 위험지역으로 판단되는 지역은 분류등급 IV로 하였다. 분류등급 IV의 면적은 0.01~5.28km²로 전체 농경지 면적의 0.02~9.06%로 나타났다. 특히, 200년빈도의 경우 분류등급 IV에서 발작물 재배지역이 전체 농경지 면적의 77.1%를 차지하는 것으로 나타났다. 농경지의 경작상태에 따라 토양유실이 큰 영향을 받는 것으로 판단된다.

주요어: 지리정보시스템, 수정범용토양손실공식, 강우-유출 침식성 인자, 침식위험지역

ABSTRACT

The purpose of this study is to estimate soil loss amount according to the rainfall-runoff erosivity factor frequency and to analyze the hazard zone that has high possibilities of soil erosion in the watershed. RUSLE was used to analyze soil loss quantity. The study area is Gwanchon that is part of Seomjin river basin. To obtain the frequency rainfall-runoff erosivity factor, the daily maximum rainfall data for 39 years was used. The probability rainfall was calculated by using the Normal distribution, Log-normal distribution, Pearson type III distribution, Log-Pearson type III distribution and Extreme-I

2004년 5월 13일 접수 Received on May 13, 2004 / 2004년 6월 7일 심사완료 Accepted on June 7, 2004

1 한국건설기술연구원 수자원연구부 Water Resources Research Division, Korea Institute of Construction Technology

2 충북대학교 대학원 토목공학과 Department of Civil Engineering, Chungbuk National University

* 연락처자 E-mail: jh-kim@kict.re.kr

distribution. Log-Pearson type III was considered to be the most accurate of all, and used to estimate 24 hours probabilistic rainfall, and the rainfall-runoff erosivity factor by frequency was estimated by adapting the Huff distribution ratio. As a result of estimating soil erosion quantity, the average soil quantity shows 12.8 and 68.0 ton/ha · yr, respectively from 2 years to 200 years frequency. The distribution of soil loss quantity within a watershed was classified into 4 classes, and the hazard zone that has high possibilities of soil erosion was analyzed on the basis of these 4 classes. The hazard zone represents class IV. The land use area of class IV shows 0.01 - 5.28km², it ranges 0.02 - 9.06% of total farming area. Especially, in the case of a frequency of 200 years, the field area occupies 77.1% of total farming area. Accordingly, it is considered that soil loss can be influenced by land cover and cultivation practices.

KEYWORDS: GIS, RUSLE, Rainfall-Runoff Erosivity Factor, Erosion Hazard Zone

서론

홍수와 침식은 강우분포, 토양, 토지이용과 같은 많은 요인들에 의해 영향을 받는다. 이런 요인들은 시간과 공간에 의해 여러 가지 형태로 나타나며, 유역에서의 토양침식의 위험성을 예측하기 위한 방법으로 GIS 기법이 이용되고 있다.

GIS는 침식의 위험도나 침식량을 공간적으로 평가하여 제공할 수 있으며, 많은 연구자들은 토양침식 평가에서 DEM의 효용성을 입증하고 있다(Burrough, 1986; Moore 등, 1992; 1993). GIS는 USLE나 USLE를 수정하여 토양 침식량 계산에 이용하였으며(Jetten 등, 1988), Bork와 Hensel(1988)은 좀 더 광범위한 유역의 토양침식량을 평가하는데 GIS USLE 접근법을 이용하였다. Ferri와 Minacapilli(1995)는 USLE를 확대하여 유사이송항을 모델에 적용하여 유역으로부터 유출하는 유사량을 예측하였다. Saha(1996)는 USLE의 각 인자별 일정범위에 대하여 가중 값을 부여하여 침식위험에 대한 평가를 한 바 있다.

Mitchell 등(1978)은 미국에서 연평균 36.6~165.6ton/ha · yr의 토양유실을 보고하고 있으며, 아르헨티나의 경우, Buck(1993)은 6~12ton/ha · yr의 토양이 유실된다고 발표하였다. Gupta (2001)는 토양유실량을 4등급으로 분류하여 토양침식 위험지역을 평가하였으며, Morgan(1995)

은 토양유실 추정치 10ton/ha · yr를 농업전문가가 관심을 가져야 될 적정 수준이라고 주장한 바 있다.

국내의 토양유실에 대한 연구로는 토양유실에 대한 환경영향 평가 분석(김윤종 등, 1994), USLE의 LS인자 산정방법과 Quinn 등(1991)이 개발한 다유하방향(multiple flow) 알고리즘을 이용하여 지형인자의 자동계산 방법에 관한 연구(우창호 등, 1998) 등이 있으며, 이근상 등(2003)은 토양침식량 산정에서 토양도 축척에 따른 적정해상도에 대한 분석을 실시한 바 있다.

토양침식 위험도 평가에 관한 연구에서 김주훈 등(2003)은 RUSLE 모형을 이용하여 지면경사 20도 이상이고 토사발생량이 300ton/ha · yr 이상인 지역을 침식위험지역으로 평가한 바 있으며, 박경훈(2003)은 토양침식의 위험도에 따른 분류등급을 4등급으로 분류하여 토양침식의 분류등급별 분포특성을 분석한 바 있다.

토양침식은 유역의 공간적 특성과 수문학적 특성에 의해 좌우되며 아직까지는 토양침식 분류등급에 대한 정확한 기준이 마련되어 있지 않고 국내의 몇몇 연구자들에 의해 침식위험지역을 해석하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 섬진강 수계의 관촌유역에 대하여 강우자료를 분석하여 빈도별에 따른 강우-유출 침식성인자를 산정하고, DEM 자료와 토양도, 토지이용도 등의 수치공간자료를 이용하

여 RUSLE의 지형 및 공간정보 관련 인자를 추출하여 유역에서 발생하는 토양유실량을 빈도별로 산정하고 이를 바탕으로 침식발생 위험지역에 대한 평가를 목적으로 하고 있다.

연구방법 및 범위

1. 토양침식량 분석 이론

USLE 모형은 농업지역의 토양유실량을 산정하기 위하여 Wischmeier와 Smith(1965)가 강우에 의한 토립자의 이탈 및 운송에 의한 개념을 기초로 하여 처음 제안하였고, 1978년에 수정식을 제안하였다. 이 공식은 Wischmeier 등(1971)에 의해 건설 현장에 확대 적용되었다. USDA(1996)는 개발목장이나 삼림과 같은 실험지점 이외의 토양조건에 대한 토양침식량 산정을 위해 기후인자의 수정, 계절적 변화에 대한 토양의 침식성 인자 개발, 사면의 길이 및 경사에 대한 수정과 피복식생인자를 산정하는 새로운 계산과정의 개발 등을 추가한 수정범용토양손실공식(revised universal soil loss equation; RUSLE)을 발표하였다.

RUSLE는 USLE의 방정식 구조를 그대로 사용하고 있지만 토양 유실의 형태가 변화되면서 각 인자들의 관계도 갱신되고 있다. 이 모형은 모의 강우와 실제 유출 자료 및 침식이론으로부터 파생된 경험식이며, 광범위한 지역까지 적용될 수 있게 되었다.

USLE 및 RUSLE 식은 다음과 같다.

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

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)이

며, P는 토양보존 인자(support practice factor)이다.

2. 연구대상 유역

본 연구의 대상 유역은 섬진강 수계의 관촌 유역(유역면적: 304.6km²)으로 지형은 대체로 기복의 차가 크고 급한 경사의 사면이 많이 분포되며, 지형 윤희상 장년기 내지는 만장년기 지형에 속한다. 전체 유역면적의 19.1%가 농경지(58.3km²)로 구성되어 있으며(그림 1), 본 연구에서는 이들 농경지에 대하여 토양유실량 분석 대상으로 하였다.

FIGURE 1. Location of study area

GIS를 이용한 침식 위험도 평가

1. 강우-유출 침식성 인자 산정

본 연구에서 확률강우량을 산정하기 위해 사용한 자료는 관촌유역(성수관측소)의 일일 최대 강우량으로 1971년부터 1999년까지의 강우량 자료를 이용하였다.

빈도별 확률강우량은 Normal, Log-Normal, Pearson type III, Log-Pearson type III, Extreme-I의 방법으로 산정하였다. 통계적 검정결과 Kolmogorov-Smirnov(K-S) 검정 결과 Extreme-I 방법이 적합한 것으로 나타났고,

TABLE 1. Each distribution frequency-rainfall of Gwanchon watershed

χ^2 검정 결과는 Log-Pearson type III 방법이, 왜곡도(skewness)에서는 Log-Normal 방법과 Log-Pearson type III 방법이 적합한 것으로 나타나 종합적 판단결과 Log-Pearson type III 방법에 의한 확률강우량을 채택하였다(표 1).

강우에 따른 R값을 산정하기 위해서는 30분 최대 강우강도에 따른 R값을 계산하여야 한다. 이를 위해서 본 연구에서는 Huff의 강우시간

분포 방법을 적용하였다.

총 호우를 이용하였을 때, 제2구간에서 최대 강우강도가 발생할 확률이 29.9%로 가장 크게 나타났으며, 제4구간에 최대강우강도가 발생할 확률이 20.1%로 가장 낮았다. 또한, 지속기간별로 보면 제2구간에서는 13hr~18hr 구간을 제외한 6hr이하, 13hr~18hr, 19hr~24hr, 25hr이상에서 32.5%, 33.3%, 33.3%, 37.6%으로 가장 높았다.

TABLE 2. Coefficient of the sixth polynomial regression equation

Coefficient	Gwanchon
<i>a</i>	-0.149455
<i>b</i>	0.909133
<i>c</i>	-4.67914E-2
<i>d</i>	3.00960E-3
<i>e</i>	-5.78286E-5
<i>f</i>	4.49530E-7
<i>g</i>	-1.24485E-9

FIGURE 2. Time distribution of areal mean rainfall in second quart storms

$$Y = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4 + fx^5 + gx^6$$

본 연구에서는 제2구간을 채택하여 강우자료를 색출하고 분류된 강우자료를 시간적으로 무차원화 시켰으며, 지속기간비를 구간별로 분류하고 강우량을 크기 순으로 나열하였다. 또한 Weibull 도시위치 공식을 이용, 확률 누가 강우량을 분석하였으며, 제2구간 호우의 무차원 누가곡선은 그림 2와 같다.

그림 2에서 확률곡선 중 50%에 대하여 표 2와 같은 6차 다항회귀식을 유도하였는데, 여기서 Y는 강우량이고, x는 지속기간이며, 또한 a, b, c, ..., g는 상수이다. 이 식을 이용하여 24시간 Huff의 강우량을 산정하였다. Huff 분포비와 확률강우량을 이용한 RUSLE의 강우에너지인자를 표 3과 같이 산정하였다.

2. 지형 및 식생관련 인자

섬진강 수계의 관촌유역에 대한 기본 공간자료는 1:5,000수치지도를 이용하여 작성한 DEM과 국토지리정보원에서 구축한 토지이용현황도(1:25,000), 그리고 농촌진흥청의 1:250,000축척의 개략토양도를 이용하였다.

토양침식성 인자(K)는 기본공간자료 중 개략토양도를 이용하여 건설부의 '댐 설계를 위한 유역단위 비유사량 조사·연구'의 자료를 참조하였다(건설부, 1992). 본 연구에서 사용한 K값은 표 4와 같다.

유역 지형특성에 관계되는 인자(LS)는 DEM 자료에 대하여 Remortel 등(2001)에 의해서 ArcInfo의 AML로 개발된 LS 인자 산정 프

TABLE 3. R factor values of the study area

Frequency(yr)	Rainfall(mm/24hr)	$\Sigma E(m \cdot \text{ton}/\text{ha})$	$I_{30MAX}(\text{cm}/\text{hr})$	$R(10^4 \text{J}/\text{ha} \cdot \text{mm}/\text{hr})$
2	104.9	4633.4	1.72	79.52
5	137.4	6367.5	2.25	143.15
10	157.1	7449.9	2.57	191.49
20	174.8	8439.6	2.86	241.37
25	180.2	8744.4	2.95	257.82
50	196.4	9666.7	3.21	310.63
80	206.9	10270.3	3.39	347.67
100	211.7	10547.7	3.46	365.35
150	220.4	11052.6	3.61	398.57
200	226.5	11408.3	3.71	422.78

TABLE 4. Soil type and K factor categories

Soil type	Af	An	Ap	Ra	Rs	Ro	Ma	Mm	Ms	Mv
K-value	0.39	0.31	0.32	0.21	0.20	0.00	0.27	0.18	0.20	0.35
Area(km ²)	0	39.88	7.89	0.01	0	22.47	10.42	47.68	98.35	75.08

로그래를 사용하여 계산하였다.

식생피복인자(C)는 토지이용현황도를 이용하였고, 토지이용형태별 C값은 국내외 관련문헌(USDS, 1996; 김주훈, 2003; 박경훈, 2003)을 토대로 하여 경지 및 미경지정리답에 대해서는 0.30, 밭작물 재배지역은 0.24, 과수원은 0.3을 지정하여 산정하였다.

토양보존인자(P)는 농경지의 경작형태에 따른 토양침식의 영향을 평가하는 것으로 우리나라는 밭과, 과수원은 주로 등고선 경작, 경지정리답은 계단식의 테라스 경작, 미경지정리답은 등고선 대상경작으로 형태를 갖는다(박경훈, 2003). 이러한 분류기준과 경사분포에 따라 P값을 산정하였다.

3. 토양유실량 산정

RUSLE 모형에 의한 토양유실량의 산정은 24hr 최대 강우량 자료를 사용하여 확률강우량을 산정하였고, 이 확률강우량을 이용하여 빈도별에 따른 R값을 산정하였다. 또, 토양침식성인자, 지면특성인자, 식생피복인자, 토양 보존인자는 GIS를 이용 구축된 기본공간자료로부터 각 지형 및 식생관련 인자를 추출하여 2년에서 200년까지의 24hr 확률강우량에 대하여 유역의 토양유실량을 표 5와 같이 산정하였고, 각 강우-유출 침식성 인자의 빈도별에 따른 유역의 토양유실량 분포 형태는 그림 3에 나타내었다.

(a) 2-year frequency

(b) 20-year frequency

(c) 100-year frequency

(d) 200-year frequency

FIGURE 3. Soil losses map

TABLE 5. Mean soil losses by R frequency

Frequency (yr)	Mean Soil Losses (ton/ha · yr)
2	12.793
5	23.029
10	30.803
20	38.830
25	41.477
50	49.972
80	55.931
100	58.775
150	64.120
200	68.014

4. 침식위험지역 분석

토사발생은 지면경사와 같은 지형학적 특성과 더불어 토지이용상태와 농경지의 관리 상태 등이 밀접한 관계가 있다.

또한 (R)USLE와 같은 모형에서 토양침식의 에너지원이 되는 것은 강우와 이에 따른 유출이 주 에너지원으로서 강우의 패턴에 따라 토양침식량이 매우 다른 양상을 보이게 된다.

Gupta(2001)는 유역의 토양침식에 대하여 200ton/ha · yr인 지역을 심각한 지역(severe), 101 ~ 200ton/ha · yr을 위험지역(high), 51 ~ 100 ton/ha · yr지역을 보통지역(moderate), 그리고 1 ~ 50ton/ha · yr을 미소침식지역(slight erosion)이라고 구분한 바 있다.

표 6은 Gupta(2001)가 제시한 4가지 분류 등급에 의해 산정한 분류등급별 토양유실 면적이

IV의 경우 2년 빈도에서는 0.01km²로 전체 농경지 면적의 0.02%에 해당하며 200년 빈도에서는 5.28km²로 전체 농경지 면적 중 약 9.06%를 차지하는 것으로 분석되었으며, 발작물 재배 지역에서 200년 빈도의 분류등급 IV에 해당하는 면적은 4.07km²로 분류등급 IV의 전체 농경지 면적 중에서 약 77.1%를 차지하고 있는 것으로 분석되었다. 이는 농경지의 경작상태에 큰 영향을 받는 것으로 판단된다.

결론 및 향후 과제

본 연구는 토양침식 모형인 RUSLE를 이용

하여 강우-유출 침식성인자의 빈도별에 따른 토양유실량 및 토양 침식 위험지역을 분석하는 것을 목적으로 하였으며, 분석결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 빈도별에 따른 토양유실량 산정을 위한 강우-유출 침식성 인자는 관촌유역의 39년간의 강우량 자료를 이용하였다. 자료의 분석결과 Log-Pearson type III 분포가 적합한 것으로 나타났으며, 이 분포형 자료를 이용하여 Huff분포 방법을 이용하여 빈도별에 따른 R값을 계산하였다.
- 2) 토양유실량 산정결과 2년 빈도에서 200년 빈도의 평균 토양유실량은 각각 12.8에서

TABLE 6. Soil erosion hazard area by R frequency

Frequency(yr)	Category	Area(km ²)	Rate(%)	Frequency(yr)	Category	Area(km ²)	Rate(%)
200	Class I	28.70	49.23	25	Class I	33.13	56.83
	Class II	8.83	15.15		Class II	8.95	15.35
	Class III	8.15	13.98		Class III	5.50	9.43
	Class IV	5.28	9.06		Class IV	1.79	3.07
150	Class I	29.41	50.45	20	Class I	33.79	59.96
	Class II	8.78	15.06		Class II	8.82	15.13
	Class III	8.73	14.97		Class III	5.02	8.61
	Class IV	4.81	8.25		Class IV	1.49	2.56
100	Class I	29.3	50.26	10	Class I	35.98	61.72
	Class II	8.87	15.21		Class II	7.65	13.12
	Class III	7.50	12.86		Class III	3.68	6.31
	Class IV	4.06	6.96		Class IV	0.72	1.23
80	Class I	30.80	52.83	5	Class I	37.85	64.92
	Class II	8.87	15.21		Class II	6.15	10.55
	Class III	7.25	12.44		Class III	2.11	3.62
	Class IV	3.72	6.38		Class IV	0.22	0.38
50	Class I	31.66	54.31	2	Class I	39.6	67.92
	Class II	8.94	15.33		Class II	2.59	4.44
	Class III	6.80	11.66		Class III	0.31	0.53
	Class IV	2.90	4.97		Class IV	0.01	0.02

68.0ton/ha · yr로 산정되었다.

- 3) 유역의 토양유실량 분포를 4개 분류등급으로 구분하여 토양침식 위험지역을 분석하였으며, 침식발생 위험지역으로 판단되는 분류등급 IV의 토지이용면적은 0.01~5.28km²로 전체 농경지 면적의 0.02~9.06%로 나타났다.
- 4) 발작물 재배 지역에서 200년 빈도에 대한 토양침식 위험지역의 면적은 4.07km²로 위험지역의 전체 농경지 면적 중에서 약 77.1%를 차지하고 있는 것으로 분석되었다.

본 연구에서 제시한 토양침식 위험지역은 외국의 연구에 의해 분류된 토양침식지역 분류 등급으로 분류하였고, 실제 토양침식량에 대하여 실측된 자료와 비교하지 못하여 분석결과의 정확성을 언급하기는 곤란한 점이 있다. 그러나 토양 침식의 주에너지원인 강우-유출 침식성 인자에 대하여 빈도별에 따라 침식위험지역을 분석함으로써 유역 수자원 관리에 있어서 토양 유출 억제시설 등을 설치하는데 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

한편, 우리나라의 경우 유역에서 발생한 토사가 하천으로 유입하는 연구는 아직 미흡한 편이며, 발생토사가 하천에 미치는 영향 등에 대한 추가 연구가 계속되어야 할 것으로 사료된다.

KAGIS

참고문헌

건설부, 한국건설기술연구원. 1992. 댐 설계를 위한 유역단위 비유수량 조사·연구. 287쪽.

김윤중, 김원형, 유일현, 이석민, 민경덕. 1994. 금강유역 토양 유실 분석을 위한 GIS응용연구. 한국GIS학회 논문집 2(2):165-174.

김주훈, 김경탁, 연규방. 2003. GIS를 이용한 유역의 침식위험지역 분석. 한국지리정보학회지 6(2):22-32.

박정훈. 2003. GIS 및 RUSLE기법을 활용한 금호강 유역의 토양침식위험도 평가. 한국지리정보학회지 6(4):24-36.

우창호, 황국웅. 1998. GIS를 이용한 USLE 지형인자(LS) 자동계산 방법에 관한 연구. 한국조경학회지 26(3):162-177.

이근상, 장영률, 조기성. 2003. 토양침식량 산정에서 토양도 축척에 따른 적정 해상도 분석에 관한 연구. 한국지리정보학회지 6(3):1~10.

Bork, H.R. and H. Hensel. 1988. Computer aided construction of soil erosion and deposition maps. Geologisches Jahrbuch H.104, S.357-371.

Buck, J.S.M. 1993. Soil erosion and conservation In: David Pitment(ed). Argentina. In World Soil Erosion and Conservation. Cambridge University Press, pp. 171-192.

Burrough, P.A. 1986. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Monographs on Soil and Resources Survey No 12. Oxford, UK, Clarendon. 193pp.

Ferri, V. and M. Minacapilli. 1995. Sediment delivery processes at the basin scale. Hydrological Science Journal. 40:703-717.

Gupta, H.S. 2001. Terrain evaluation for eco-restoration using remote sensing and GIS. <http://agile.lsegi.unl.pt/conference/Brno2001/RemoteSensing.pdf>. pp.424-434.

Jetten, V., E.J. Henkens and S.M. De Jong. 1988. The Universal Soil Loss Equation. Version 1.0, release 1.0, distributed. Department of Physical Geography, Utrecht University, The Netherlands.

Mitchell, J.K., G.D. Bubenzer, J.R. Mchenry and J.C. Ritchie. 1978. Soil loss estimation from fallout Cesium-137 measurements. In: De Boodt and Gabriel(ed.). Assessment of Erosion. John Wiley & Sons, New York, pp.393-406.

- Moore, I.D., A.K. Turner, J.P. Wilson, S.K. Jenson and L.E. Band, 1993. GIS and land-surface-subsurface process modelling, In: M.F. Goodchild et al.(ed.). Environmental Modelling with GIS. pp.213-230.
- Moore, I.D., P.E. Gessler, G.A. Nielsen, and G.A. Peterson. 1992. Terrain analysis for soil-specific crop management. Soil Specific Crop Mangement: A Workshop on Research and Development Issues. Minnesota Extension Service, University of Minnesota (Agriculture), Minneapolis. 23pp.
- Morgan, R.P.C. 1995. Soil Erosion and Conservation. Longman Group Ltd. ISBN 0-582-24492-7. 198pp.
- Quinn, P.F., K.J. Beven, P. Chevallier and O. Planchon. 1991. The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modeling using digital terrain models. Hydrological Processes 5:59-79.
- Saha, S.K. 1996. Integrated use of remote sensing and GIS for soil erosion hazard modeling - A case study. <http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/1996/ss/ss1005.shtml>.
- USDA. 1996. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the RUSLE. USDA Agriculture Handbook No. 703. 384pp.
- Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1965. Predicting Rainfall Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains. USDA Agriculture Handbook. No. 537. 63pp.
- Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses. USDA Agriculture Handbook No. 282. 47pp.
- Wischmeier, W.H., C.B. Johnson and B.V. Cross. 1971. A soil erodibility nomograph for farm and conservation sites. Journal of Soil and Water Conservation 26(5):189-193. 