

## 클라우드 및 HyGIS기반 토양유실분석 시스템 개발

김주훈<sup>1\*</sup> · 김경탁<sup>1</sup> · 이진원<sup>2</sup>

### Development of Soil Erosion Analysis Systems Based on Cloud and HyGIS

Joo-Hun KIM<sup>1\*</sup> · Kyung-Tak KIM<sup>1</sup> · Jin-Won LEE<sup>2</sup>

#### 요 약

본 연구는 사전재해영향성평가에서 토양유실 분석을 위한 모형을 개발하는 것을 목적으로 하고 있다. 토양유실 분석모형은 클라우드 컴퓨팅 개념을 도입한 인터넷기반 토양유실 분석 시스템과 HyGIS와 연계한 독립형(stand alone) 형태로 개발하였다. 인터넷기반 토양유실 분석 시스템은 사용자가 별도의 SW라이센스의 요구없이 또한 DEM, 토지피복도 등의 기본데이터를 구비할 필요없이 사용자가 직접 강우인자 등의 여러 인자를 적용하여 토양유실 분포도를 작성할 수 있도록 하였다. 또한 HyGIS와 연계한 토양유실 분석 모형의 개발 틀은 GEOMania GMMMap2009의 Add-on 형태로 개발하였고, OECD에서 제안한 토양유실 위험 등급도도 작성할 수 있도록 개발하였다. 두 모형에 대한 토양유실 분석 적용 결과 두 모형 모두 사용상 매우 편리하게 개발된 것으로 판단된다. 향후 다수의 관측소 자료를 이용한 R값 계산, 유역 출구로 이송되는 토양을 분석하는 연구를 통해 본 모형을 지속적으로 개선할 계획이다.

주요어 : 사전재해영향평가, 클라우드 컴퓨팅, HyGIS, RUSLE

#### ABSTRACT

This study purposes to develop a model to analyze soil loss in estimating prior disaster influence. The model of analyzing soil loss develops the soil loss analysis system on the basis of Internet by introducing cloud computing system, and also develops a standalone type in connection with HyGIS. The soil loss analysis system is developed to draw a distribution chart without requiring a S/W license as well as without preparing basic data such as DEM, soil map and land cover map. Besides, it can help users to draw a soil loss distribution chart by applying various factors like direct

2011년 9월 5일 접수 Received on September 5, 2011 / 2011년 10월 7일 수정 Revised on October 7, 2011 /  
2011년 10월 11일 심사완료 Accepted on October 11, 2011

1 한국건설기술연구원 수자원연구실 Water Resources Research Div., KICT

2 한국건설기술연구원 하천해안항만연구실 River · Coastal and Harbor Research Div., KICT

\* 연락처 E-mail : jh-kim@kict.re.kr

rain factors. The tools of Soil Loss Analysis Model in connection with HyGIS are developed as add-on type of GMMMap2009 in GEOMania, and also are developed to draw Soil Loss Hazard Map suggested by OECD. As a result of using both models, they are developed very conveniently to analyze soil loss. Hereafter, these models will be able to be improved continuously through researches to analyze sediment a watershed outlet and to calculate R value using data of many rain stations.

**KEYWORDS :** Prior Disaster Influence Estimation, Cloud Computing, HyGIS, RUSLE

## 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 *et al.*, 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.

국가는 1967년 2월 국토와 국민의 생명·신체 및 재산을 재해로부터 보호하기 위하여 방재계획의 수립과 재해예방·재해응급대책·재해복구 기타 재해대책에 관하여 필요한 사항을 규정함을 목적으로 풍수해 대책법을 제정하였고, 이 법은 1995년 자연재해대책법으로 법령을 변경하였고 2008년 12월까지 36회에 걸친 법률 개정이 이루어져 왔다.

재해영향평가제는 1995년에 개정된 자연재해대책법에 근거한 제도로 지난 1996년부터 내무부 방재국의 주도아래 시행되었다. 이 제

도의 취지는 자연재해대책법 제28조(재해영향평가의 실시)에 제시된 바와 같이 국가 및 지방자치단체가 각종 개발계획을 수립하거나 개발사업에 대하여 승인·인가·허가·면허 또는 결정 등을 하고자 하는 경우 당해 사업이 홍수 등 재해의 가능성과 재해의 정도 및 규모 등에 미치는 영향을 예측·분석하고 재해영향을 줄일 수 있는 방안을 강구하도록 하고 있다.

최근에 일부 개정된 자연재해대책법(법률 제9298호)제4조 1항 및 동법시행령 제6조 1항 및 별표 1에 의거하여 대상사업에 대한 사전재해영향성검토 실시근거를 명확히 확인할 수 있도록 제시하고 있다. 예상재해로는 하천재해, 호우재해, 사면재해, 지반재해, 연안재해, 바람재해 등이 있다. 호우재해는 재해영향 예측 및 평가를 통해 예상된 호우로 인한 내수침수재해, 토사유출재해(토석류 및 유송잡물 포함)가 있으며, 이 중 토사유출재해는 개발사업으로 인해 발생하는 토사유출량을 예측 평가하고 이에 따라 개발전·중·후에 현지 여건에 맞는 적절한 토사유출 저감대책을 수립하도록 하고 있다.

본 연구는 자연재해대책법에 의해 개발사업으로 인한 재해유발요인을 예측·분석하고 이에 대한 대책을 강구하기 위해 수행되고 있는 사전재해영향성평가에서 토양유실도 작성을 위한 토양유실량 분석 모형을 개발하는 것을 목적으로 하고 있다. 토양유실 분석모형은 클라우드 컴퓨팅 개념을 도입하여 웹상에서 사용자가 별도의 SW라이센스의 요구없이 또한 DEM, 토지피복도 등의 기본데이터를 구비할

TABLE 1. 토양유실/유사이송 모형들

Model	Type Spatial	Scale	Temporal scale	Input requirements	Outputs
AGNPS	Conceptual	Small catchment	Event/continuous	High	Runoff, peak rate, erosion, sediment yield
ANSWERS	Physical	Small catchment	Event/continuous	High	Runoff, peak rate, erosion, sediment, sediment yield
CREAMS	Physical	Catchment		High	erosion deposition
SWAT	Conceptual	Catchment/basin	Continuous	High	Runoff, peak rate, erosion, sediment yield
AGWA	Conceptual/ physical	Catchment/basin	Continuous	High	Runoff, peak rate, erosion, sediment yield
KINEROS2	Physical	Hillslope/small catchment	Event	High	Runoff, peak rate, erosion, sediment
EUROSEM	Physical	Small catchment	Event	High	Runoff, erosion, sediment
PERFECT	Physical	Plot/field	Continuous	High	Runoff, erosion
SEDNET	Conceptual/ empirical	Catchment/basin	Annual/ Continuous	High	Suspended sediment, relative contribution from overland flow, gully and bank erosion processes
TOPOG	Physical	Hillslope		High	Erosion hazard
USLE	Empirical	Hillslope	Annual	High	Erosion
RUSLE	Empirical	Hillslope	Annual	High	Erosion
RUSLE-3 D	Empirical/ conceptual	Catchment	Annual	Moderate	Erosion
USPED	Empirical/ conceptual	Catchment	Event/ Annual	Moderate	Erosion/deposition
EROSION- 3D	Physical	Catchment	Event	High	Runoff, erosion, sediment
MMMF	Empirical/ conceptual	Hillslope/ catchment	Annual	Moderate	Runoff, erosion
THORNES	Conceptual/ empirical	Hillslope/ catchment	Annual	Moderate	Runoff, erosion
EPIC	Physical	Hillslope/ catchment	Continuous	High	Erosion
WATEM	Conceptual	Catchment	Annual	Moderate	Erosion
SEAGIS	Empirical/ conceptual	Catchment	Annual	High	Erosion, sediment yield
PESERA	Physical	Hillslope/ regional	Continuous	High	Runoff, erosion, sediments

필요없이 토양유실도를 작성할 수 있는 시스템과 HyGIS와 연계한 독립형(stand alone) 형태로 개발하였다.

## 기본 이론

### 1. 토양유실 모형

토양 유실 모형은 지형에서 발생하는 프로세스와 다양한 인자 사이의 관계를 표현하는 수학적 표현식을 사용한다. 이러한 인자는 일반적으로 지형, 기상 변수, 토양 특성 및 토지 이용 및 토지 피복 특징을 포함한다.

AGNPS(Young *et al.*, 1989), ANSWERS(Beasley *et al.*, 1989), EPIC(Williams *et*

al., 1990) 등 토양유실모형의 상당수는 유명한 범용토양손실공식(USLE, Universal Soil Loss Equation, Wischmeier and Smith, 1965)을 기반으로 하고 있다. 표 1은 토양유실과 관계된 모형들에 대하여 정리한 Merritt *et al.*(2003) 자료를 재정리한 것이다.

## 2. USLE 및 RUSLE모형

USLE 모형은 농업지역의 토양유실량을 산정하기 위하여 Wischmeier and Smith (1965)가 강우에 의한 토립자의 이탈 및 운송에 의한 개념을 기초로 하여 처음 제안하였다. 농업지역의 작은 구획의 대규모의 경험적 데이터 셋(약 10,000 플롯)을 기반으로 작은 하천과 작은 평지에 대한 침식을 분석하기 위해 개발되었으며, 초기에는 경험적으로 약 1ha의 농업지역에 적용했을 때 유효한 것으로 알려졌다. 비록 USLE가 미국에서 개발되었으

나 전 세계적으로 폭넓게 이용되고 있다.

토양유실에 대하여 가장 일반적으로 사용되고 있는 USLE 개념은 지난 35년 동안 수많은 연구자들에 의해 수정되고 적용되었다. Modified USLE(Williams, 1975), Revised USLE (Renard *et al.*, 1997), ANSWERS (Beasley *et al.*, 1989)들은 모두 USLE를 기반으로 하고 있으며, 수정 또는 형식이 개선되고 있다. 표 2는 (R)USLE의 각 인자와 관련된 연구들을 정리한 것이다.

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(식 1).

TABLE 2. (R)USLE의 각 인자관련 연구(Lu, *et al.*, 2003)

Factor	Methods	Reference
<i>R</i>	1년 중 모든 강우에 대한 침식지수 값 이용	Wischmeier and Smith, 1978
	년평균 및 월평균 강우량 이용	Renard and Fremund, 1994
	관측 연 강수량기반의 회귀모형 이용	Millward and Mersey, 1999
	연평균강수와 고도데이터에 의한 R값의 회귀모형 이용	Mikhailova <i>et al.</i> , 1997
	크리깅 통계량과 같은 지형통계방법 이용	Goovaerts, 1999
<i>K</i>	순차 가우시안 시뮬레이션과 같은 시뮬레이션 기법 이용	Wang <i>et al.</i> , 2002
	토양특성(모래-실트-점토비율의 구성, 유기물질, 구조, 그리고 토양 종단(profile)의 투과성)에 따른 경험모형 이용	Wischmeier and Smith, 1978
	토양특성(실트, 모래와 습윤기반의 불안정한 집합체 비율) 기반 회귀식 이용	Angima <i>et al.</i> , 2003
	미농무성(USDA)-NRCS에 의해 공포된 K값 이용	Soil Survey Staff, 1997
	토양입자의 크기 기반	Romken, 1983
<i>LS</i>	순차 가우시안 시뮬레이션과 같은 지형통계방법 이용	Parysow <i>et al.</i> , 2003
	길이와 가파름(steeptness)의 실제 현장 측정에 의한 평가	Wischmeier and Smith, 1978
	다양한 접근방식으로 DEM 데이터로부터 계산	Hickey, 2000 Remortel <i>et al.</i> , 2001
<i>C</i>	개별적인 토양손실 할당량 값과 강우-유출 침식성 인자 이용	Renard <i>et al.</i> , 1997
	원격탐사분류 이미지와 경험적 모델에 의한 개별 C factor 조합	Millward and Mersey, 1999
	지형통계학적 기술	Wang <i>et al.</i> , 2002
<i>P</i>	Greenness index	Ma <i>et al.</i> , 2003
	경험적 데이터	Renard <i>et al.</i> , 1997

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

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 토양보존 인자(support practice factor)이다.

#### 1) 강우-유출 침식성 인자

(R, rainfall-runoff erosivity factor)

R인자는 정상년 강우의 침식능력을 말한다. USLE는 원래 정상년의 R을 기준으로 토양유실량 A를 추정하도록 개발되었다. 연평균 R값의 추정은 과거 강우기록 자료를 가지고 각각의 강우 사상에 대해 R값을 산정하여 그 해의 평균 R값을 구하고 이를 다시 연도에 대해 평균하여 구해진다.

우리나라의 경우 정필균 등(1983)이 기상청 산하 51개 관측소의 1960~1980년대 걸쳐 6~12년의 자료를 이용하여 지점별 연평균 R값과 월평균 강우량의 회귀분석에 의해서 도출된 회귀식을 식 (2)와 같이 산정하였다.

$$Y = 0.0378X^{1.419} (r = 0.78, p < 0.01) \quad (2)$$

여기서 Y는 월평균 R값이고, X는 월평균 강우량이다.

연평균 R값은 건설현장에서 단일 호우에 의한 토양손실량 추정에 직접 사용하기는 곤란하며 재해예방 목적으로 침사지를 설계하는 경우에 침사지의 건설 목적에 따라 다르겠지만 주기적으로 침사지를 준설·정비하는 경우 단일 호우에 의한 토양유실량을 수용하면서 침사지를 관리하는 것이 경제적이기 때문에 이 경우 1년 전체 토양유실량을 예측하고 직

접한 침사지를 설계하는 것이 바람직하다.

한편, 미국 교통연구단(Transportation Research Board, TRB, 1980)는 침사지나 저류지 설계 기준이 되는 특정 생기빈도의 24시간 지속 설계강우에 의한 R값의 산정을 식 (3)과 같이 제시하였다.

$$\bar{E} = 210 + 89 \log_{10} X \quad (3)$$

여기서  $\bar{E}$ 는 침식지수(m-tons/ha-cm)로서 주어진 강우강도 하에서 1cm강우의 운동에너지이며, X는 강우강도(cm/hr)이다.

한편, 강우에너지 E는 침식지수에 강우량을 곱하여 식 (4)와 같이 계산된다.

$$E = P_r \times \bar{E} \quad (4)$$

여기서  $P_r$ 은 강우량(cm)이고, 강우 에너지 인자는 강우에너지와 30분 최대강우강도로 부터 식 (5)와 같이 계산된다.

$$R = \frac{(\sum E) I_{30 \cdot \max}}{100} \quad (5)$$

여기서 R은 강우 에너지 인자( $10^7 \text{ J/ha} \cdot \text{mm/hr}$ )이며,  $\sum E$ 는 총강우에너지로서 분리·이탈된 토사를 이송시키는 능력이며,  $I_{30 \cdot \max}$ 는 30분 지속 최대 강우강도(cm/hr)로 모토양에서 토사를 분리·이탈시키는 능력(강우의 침식력)이다.

#### 2) 토양침식성 인자

(K, soil erodibility factor)

토양의 여러 가지 성질 중 토양 침식에 가장 큰 영향을 주는 특성은 물의 침투능력과 토양구조의 안정성이다. 침투능력은 토양구조의 안정성에 크게 영향을 받을 뿐만 아니라 토성 유기물 함량 토양 깊이에 따라 크게 영향을 받는다.

$K$ 는 토양이 강우에 의한 침식에 대해 저항하는 능력을 나타내는 척도로서, 토양입자 및 분포, 구조, 공극 및 공극크기, 유기물 함량 등에 관계된다. Wischmeier and Smith(1978) 등은 토양에서의 미사(silt)와 극미사(very fine sand, 0.1mm이하)의 함량과 모래(2mm이상), 유기물, 토양구조 투수성 토양 특성에 따라 결정되는 노모그래프를 제시하였다.

미사와 극미사의 구성비가 70%이하의 경우 Wischmeier and Smith(1978)의  $K$  값 추정방법은 다음과 같은 식 (6)으로 표시할 수 있다.

$$100K = 2.1 \times 10^{-4} M^{1.14} (12 - a) + 3.25(b - 2) + 2.5(c - 3) \quad (6)$$

여기서  $M$ =(미사와 극미사의 백분율)×(100-점토의 백분율),  $a$ 는 유기물 함량(%),  $b$ 는 토양 구조 코드(1~4),  $c$ 는 투수도 등급(1~6)이다.

### 2.3. 지면특성 인자(LS, slope-length and slope-steepness factor)

경사길이(L) 계산을 위한 RUSLE 알고리즘은 식 (7)과 같다(Remortel *et al.*, 2001).

$$L = (HPSL/RSL)^m \quad (7)$$

여기서, HPSL(Horizontally Projected Slope Length)는 평면에 투영된 사면이 길이이며, RSL(Reference Slope Length)는 참조경사길이(72.6ft)이다. 사면경사길이의 멱지수  $m$ 은 세류 및 사류간 침식의 비  $\beta$ 와 관련이 있다.

$$m = \frac{\beta}{1 + \beta} \quad (8)$$

$$\beta = \frac{11.16 \sin \theta}{3.0 (\sin \theta)^{0.8} + 0.56} \quad (9)$$

여기서  $\theta$ 는 경사각이고,  $\beta$ 에 대한 값이 주어지면 경사길이 멱함수  $m$ 은 식 (8)에 의해 계산된다. 경사인자(S)는 경사가 토양손실에 미치는 영향을 예측하는데 활용된다. 경사길이가 15Ft 이상인 경우에 대하여 RUSLE는 다음 식으로 표현하였다(McCool *et al.*, 1987).

$$S = 10.8 \times \sin(\text{slope } \angle) + 0.03 : \text{경사} < 9\% \quad (10)$$

$$S = 16.8 \times \sin(\text{slope } \angle) - 0.5 : \text{경사} > 9\% \quad (11)$$

84%까지 교란된 토양에 대한 경사에 대해서도 McLsaac *et al.*(1987)은 여러 가지 경험적 토양손실 데이터를 제시하였다.

반면 15ft 미만인 경우 세류작용이 발생하지 않기 때문에 S와 경사와의 상관관계는 미약하며 이 경우의 관계식은 식 (12)와 같이 제시하고 있다.

$$S = 3.0(\sin \theta)^{0.8} + 0.56 \quad (12)$$

경사면길이가 길고 경사도가 급할수록 침식률이 높고, 경사면길이가 짧거나 평탄할수록 침식률이 낮기 때문에 지형인자(LS)는 예측되는 침식률을 조정하는 역할을 한다.

지형인자 LS는 무차원 상수이며, 경사도(S)와 경사길이(L)가 토양유실에 미치는 영향을 설명하는 인자로서 경사도와 경사길이가 클수록 큰 값을 갖는다. Remortel *et al.*, (2004)은 C++ executable을 이용한 DEM의 격자기반 경사 처리를 통한 RUSLE에 대한 LS 인자를 계산하는 프로그램을 작성하였다.

### 4) 식생피복인자(C, cover management factor), 토양보존인자(P, support practice factor)

(1) 식생피복인자

식생피복인자(C)는 경작의 종류와 식생의 상태 즉, 지표침식을 제어하는 요인인 지상식

물의 크기, 지표면 부근의 상태, 지하의 식물 뿌리, 지표면 조도, 토양의 함수량 등에 따라서 달라지는 인자로 식생의 피복도, 작물의 상태, 토양 조건, 경작 조건 등이 침식에 미치는 영향을 나타낸다. 일반적으로 영구적인 초지, 방목지 및 산림지의 침식량은 농지보다 훨씬 적지만, 도로, 방목 및 임목수확과 같이 식생생장을 방해하는 인간이나 가축 활동이 존재하며 방목지나 산림지역은 많은 토사를 생산하게 된다.

이 인자는 경작의 종류와 식생의 상태 즉 지표침식을 제어하는 요인인 지상식물의 크기, 지표면 부근의 상태, 식물의 뿌리, 지표면 조도, 토양의 함수량 등에 따라서 달라지는 피복인자로 식생피복인자 값의 비율은 식생이 성장하기 전의 나대지와 같은 지역에서는 약 1.0으로 높은 값을 가진다. 그러나 산림이 밀집된 지역이나 곡물의 밀도가 높은 지역에서는 0.1이하로 낮은 값을 갖는다.

토지피복별 C 인자는 신계중(1999), Dawen *et al.*(2003), 박경훈(2003), 김주훈과 오덕근(2004), 김주훈 등(2007) 등 연구자마다 지역특성에 따라 C 인자값을 적용하고 있다.

## (2) 토양보존인자

토양보존인자는 어떤 토양보존대책을 세운 경사면의 상·하 방향 경사지로부터의 토양보존대책에 대한 토양유실의 비로 정의한다. 이것은 등고선 경작, 등고선 대상재배, 등고선 단구효과, 지표하 배수, 건조한 농경지의 조도의 효과를 평가하기 위해서 사용된다. 토양보존 대책을 응용하지 못하는 곳의 인자는 1을 적용하고 있다.

## 인터넷 기반 토양유실 분석 모듈 개발

최근의 IT 트렌드는 클라우드 컴퓨팅이 그린IT와 함께 부상하고 있다. 클라우드 컴퓨팅은 초기 IT 구축 비용을 절감하고 이후 사용자의 확장에 유연하게 대처 가능한 기술로 클

라우드 컴퓨팅의 장점은 물리적인 하드웨어의 대수를 절감하고서도 서비스의 유지가 가능하며, 향후 서비스의 사용자 증가시 별도의 인프라 확장 없이 수요에 탄력적으로 대응할 수 있다. 본 연구에서는 이와같은 장점을 갖고 있는 클라우드 컴퓨팅 개념을 도입한 인터넷 기반 토양유실 분석 모듈을 개발하였다.

## 1. 설계

토양유실 분석 모듈의 아키텍처 특징은 인터넷 기반 아키텍처로서, 사용자는 별도의 라이센스 구매나 DEM, 토지피복도, 토양도 등의 기본 데이터의 구비가 필요하지 않고, 웹서버사이드에서 계산/분석이 수행된 후 결과만 수령하는 구조이다.

토양유실 분석 모듈의 기능상 특징은 분석 대상의 영역지정 방법은 사용자 임의지정, 수치지도 인덱스 범위 지정, 수자원단위지도의 중권역, 표준권역 지정 등 사용자의 지정 방법에 따라 처리할 수 있는 시스템이다.

최신 서비스지향 아키텍처의 핵심 기술인 웹서비스를 채택하여 개발하였다. 이 토양유실 분석모듈은 유연한 확장, 개선이 가능하다. 데이터와 분석 기능은 모두 웹서버 측에서 담당하며 웹 Client는 단순, 경량화 되어 있다. 또한 MS ClickOnce 기술을 채택하여 웹사용자는 별도의 SW 설치과정을 거치지 않는다(그림 1).

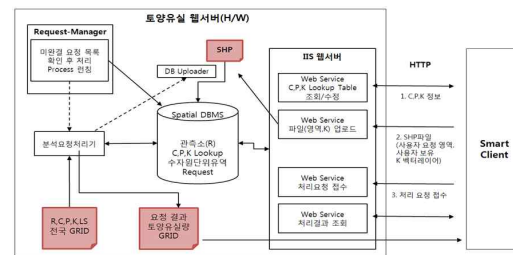


FIGURE 1. 토양유실량 제공 시스템 구성도

## 2. DB 설계

DB의 주요 테이블은 사용자 요청사항에 대

한 정보, 표준유역, C, P를 위한 토지피복도 정보, K를 위한 토양정보 등이다.

토양유실 분석 모듈에서 기본적으로 제공되는 각 인자들은 그리드 데이터로 존재한다. 대용량 그리드 포맷인 RGD 포맷을 사용 중이며, 그리드 데이터의 크기는 남한 전국 30m 급으로 가정시 11500x22300정도의 해상도이다. 데이터 타입은 Double이며 크기는 8 Byte이고  $1.7 \times 10^{-308} \sim 1.7 \times 10^{308}$  까지 표현할 수 있다. R 인자는 빈도별 그리드들 집합 형태로 K, LS, C, P 인자는 각각 하나의 그리드로 보유중이다. C, P 인자 재생성 기능시 필요한 토지피복도 대분류, 중분류 그리드 또한 확보하여 전체 시스템에 사용되는 그리드 데이터들을 구축하였다(그림 2).



FIGURE 2. 토양유실도 제공시스템 DB 다이어그램

### 3. GUI

GUI는 간결하고 직관적으로 구성하였다. 영역을 지정하는 방법은 수자원 단위지도(중역권), 수자원 단위지도(표준권역), 사용자 지정, 수치지도 인덱스 등 4가지 형식을 지원한다. 사용자 지정 파일 업로드시에는 지역명 혹은 유역명을 입력할 수 있어 데이터 식별이 가능하도록 했다.

그림 3과 같이 RUSLE의 토지피복도 및 토양도와 관련된 인자인 C, P, K 테이블은 조회 및 수정 가능하다. 또한 요청 내역 및 처리결과 조회가 가능하며 요청 내역 1건에 대한 생성 결과를 조회 창에서 다운 받을 수 있

다. 뿐만 아니라 이메일 보내기 기능을 구현하여 사용자는 메일로 생성 결과를 직접 다운 받을 수 있는 URL을 제공받는다.

### 4. 서버 사이드 처리 모듈

웹 서버 사이드의 데이터 처리기는 본 기능에 최적화된 콘솔형태이며 OOP기반으로 설계/구축되었다. 사용자의 자료 생성 요청이 발생하면 서버측 상시 모듈은 이를 감지하고 이후 데이터 처리기가 작동한다. 사용자 요청 내역 테이블에서 고유한 ID값을 통해 요청 내역 정보를 확인하고 사용자가 지정한 영역을 그리드 수치 범위로 환산한 후 그리드 데이터 형태로 존재하는 각 R, K, C, P 인자들을 클리핑(Clipping)한다. 잘려진 각 인자 그리드들을 재개산하여 토양유실량 결과 그리드를 만든다. 최종적으로는 이를 압축파일 형태로 만들어 제공한다.

K인자 재생성 기능을 사용할 경우 사용자는 K인자값을 포함하는 자신이 지정한 shp 포맷의 파일을 올릴 수 있다. 이 파일은 토양유실 분석 모듈에서 기준으로 제시하는 테이블 형태를 따라야 하며 조건에 해당될 경우 shp 포맷을 그리드 데이터로 변환 후 사용되어 진다.

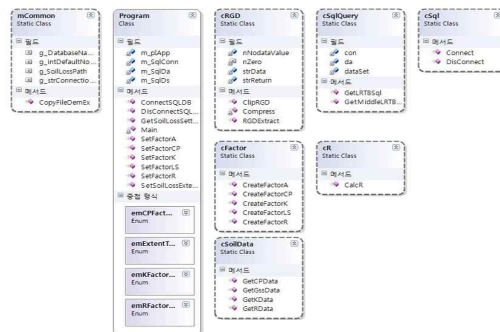


FIGURE 3. 데이터 처리 class 다이어그램

### 5. 적용

개발된 시스템은 그림 4와 같이 인터넷



(<http://krsc.kict.re.kr/RUSLE/rusle.asp>)에서 사용자 토양유실도 작성 버튼을 클릭하면 토양유실도 작성모듈 창이 활성화 되며, 이 창을 통해 요구하는 영역지정, 각 인자값 지정 등이며, 이들 값을 입력하면 토양유실도가 자동으로 생성된다. 그림 5는 그림 4를 통해 작성된 토양유실도를 유역경계로 추출하여 나타낸 것이다.

토양유실도 작성을 위한 영역지정은 중권역(대청댐 하류), 표준권역(무심천) 유역에 대해서 적용하였고, R factor 값은 17.7값을 적용하였고, 나머지 인자값은 모듈이 갖고 있는 기본값을 그대로 적용하였다. 적용결과 최대 토양유실 발생량은 41.53t/ha 였고, 유역평균 토양유실량은 0.63 t/ha로 분석되었다.

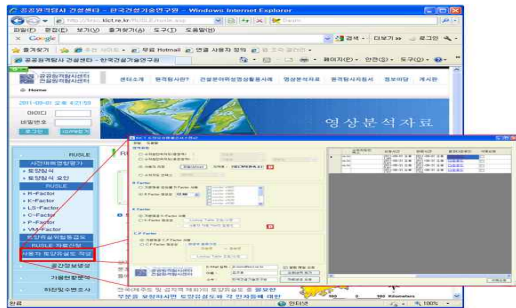


FIGURE 4. 인터넷기반 토양유실 분석 모듈

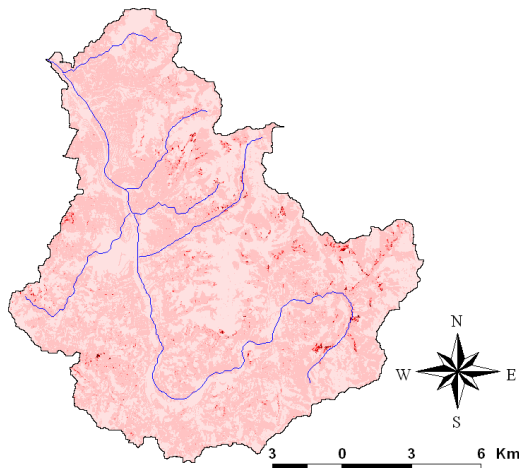


FIGURE 5. 인터넷 기반 토양유실도 작성(예)

## HyGIS-RUSLE 개발

HyGIS(Hydro Geographic Information System)는 GIS를 수자원의 다양한 분야에 손쉽게 적용하기 위해서 컴포넌트 형태로 개발된 시스템이다. HyGIS에서는 DEM을 이용하여 유역 및 하천망의 추출과 지형분석이 가능하며, 하천 네트워크를 기반으로 유역의 다양한 정보를 운용할 수 있다(김경탁 등, 2003; 김경탁 등, 2004). 또한 HyGIS는 데이터베이스를 기반으로 운영되며, GIS를 이용한 수자원 분야의 응용프로그램 개발 시 기반 시스템으로 활용될 수 있다.

HyGIS-Model이란 HyGIS 응용프로그램 중 수자원과 관련된 분석모형과 연계운영할 수 있도록 개발된 것을 총칭하고 있다. HyGIS-Model에서는 공통된 데이터베이스를 통하여 수리·수문·수질모형에 필요한 입력자료를 제공하며, 모형 수행결과를 다시 데이터베이스로 저장하여 DB를 기반으로 통합 운영이 가능하도록 설계하였다.

본 연구에서 개발한 HyGIS와 연계한 토양유실 분석 모형의 개발 틀은 GEOMania GMMMap2009의 Add-on 형태로 개발하였고, 토양유실은 RUSLE 기본식을 통해 분석하도록 하고 있다. 그림 6은 HyGIS-RUSLE를 이용하여 토양유실 분석을 위한 데이터 흐름도이고, 그림 7은 HyGIS-RUSLE의 클래스 다이어그램을 나타내고 있다.

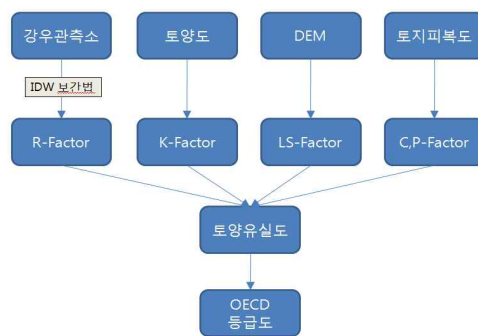


FIGURE 6. HyGIS-RUSLE 데이터 흐름도

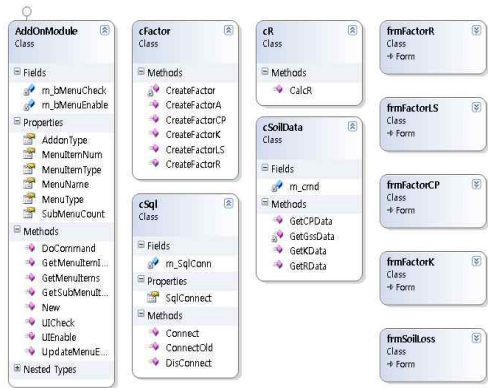


FIGURE 7. HyGIS-RUSLE Class 다이어그램

1. RUSLE-R인자 산정

RUSLE의 인자 중 강우에너지 인자(R)는 단일 호우사상에 의한 토양유실량을 산정할 수 있도록 미국 교통연구단(TRB)의 “Design of Sedimentation Basins”에서 제시하는 24시간 지속시간을 갖는 호우에 대하여 강우에너지인자를 산정하는 방법을 적용하였다.

또한 유역내 다수의 강우관측소가 존재할 때 이들 관측소 자료를 이용하여 평균 강우에너지인자를 산정할 경우 이의 보간방법으로 역거리가중법(IDW, Inverse Distance Weighted)을 적용하였다(그림 8).

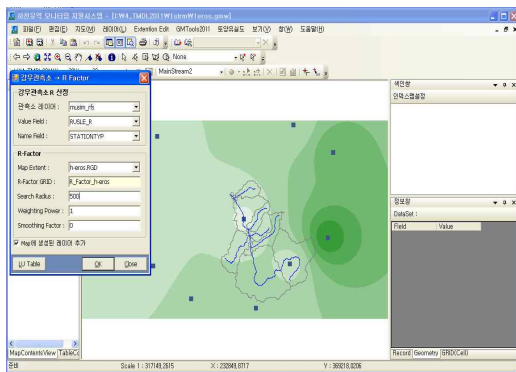


FIGURE 8. HyGIS-RUSLE R인자 계산 창

2. RUSLE-LS 산정

사면길이가 길고 경사도가 급할수록 침식률이 높고, 사면길이가 짧거나 평탄할수록 토양유실률이 낮기 때문에 지형인자(LS)는 예측되는 토양유실률을 조정하는 역할을 한다. 토양유실량 산정을 위한 LS 인자 산정 방법은 다수의 연구자에 의해 연구되었고, 제시된 방법 또한 매우 많다.

본 연구에서는 Remotel *et al.*(2001)은 수평경사길이와 참조경사길이, 그리고 경사가 9%이상 및 이하인 지역을 구분하여, ArcInfo의 AML(Arc Macro Language) 및 C++로 개발한 실행프로그램 등 여러 버전으로 개발한 바 있다. 본 연구의 RUSLE의 LS 인자 계산을 위한 모듈은 Remortel *et al.*(2004)이 C++로 개발한 실행파일을 적용하였다.

3. RUSLE-K, C, P 산정

1) 토양침식성 인자(K, soil erodibility factor)

K 인자는 토양이 강우에 의한 침식에 대해 저항하는 능력을 나타내는 척도로서, 토양입자 및 분포, 구조, 공극 및 공극크기, 유기물 함량 등에 관계된다. 토양도의 경우에는 서울대학교에서 구축한 개략토양도(1/50,000)과 국립농업과학원에서 구축한 정밀토양도(1/25,000) 자료가 있다. Wischmeier (1978)등은 토양에서의 미사(silt)와 극미사(very fine sand, 0.1mm이하)의 함량과 모래(2mm이상), 유기물, 토양구조 투수성 토양 특성에 따라 결정되는 노모그래프를 제시하였으며, 건설부와 한국건설기술연구원(1992)에서는 토양통별 K값을 정리하여 제시하였다(유효섭과 김창완, 1998). 본 연구에서는 기 제시된 토양통별에 따른 K값을 적용할 수 있도록 하였고, 적용한 토양통별 K값을 Lookup table을 통해 수정할 수 있도록 개발하였다.

2) 식생피복 및 토양보존인자

식생피복인자(C)는 식생의 피복도, 작물의

상태, 토양 조건, 경작 조건 등이 침식에 미치는 영향을 나타낸다. 일반적으로 영구적인 초지, 방목지 및 산림지의 침식량은 농지보다 훨씬 적지만, 도로, 방목 및 임목수확과 같이 식생생장을 방해하는 인간이나 가축 활동이 존재하며 방목지나 산림지역은 많은 토사를 생산하게 된다.

토양보전 대책에는 등고선 경작, 대상재배 및 테라스 경작법이 포함된다. 토양보전 대책을 응용하지 못하는 곳의 P인자는 1을 적용한다.

현재 토지피복도는 환경부에서 제작한 대분류 및 중분류 토지피복도가 존재하며 이들 분류별 토지피복도를 적용할 때에 C와 P 인자는 수문학에서 유효강우량 산정에 가장 일반적으로 사용하고 있는 NRCS-CN방법과 같이 연구자에 따라 토지피복형태의 특성에 따라 다양하게 적용되고 있으며, 각 토지피복별 인자값 적용의 변화는 Lookup table을 통해 수정할 수 있도록 개발하였다.

지속시간을 갖는 강우량 자료를 이용하여 R값을 산정하였다.

적용결과 무심천 유역에서 최대 토양유실 발생량은 90.84 t/ha 였고, 유역평균 토양유실량은 0.73 t/ha로 분석되었다.

인터넷 기반 토양유실 모듈의 장점은 클라우드 컴퓨팅 개념을 도입하여 사용자가 별도의 SW라이센스의 요구없이 또한 DEM, 토지피복도 등의 기본데이터를 구비할 필요없이 사용자가 직접 강우인자 등의 여러 인자를 적용하여 토양유실 분포도를 작성할 수 있는 장점이 있으나 단일한 R값을 적용하도록 되어 있어 중규모 이상의 유역에 적용하는데 한계가 있다. 그러나 HyGIS-RUSLE는 분석하고자 하는 유역의 인접한 강우관측소 자료를 모두 적용하여 R값을 산정할 수 있으며, 산정된 R값에 대하여 IDW보간에 의해 R값을 적용할 수 있는 장점을 갖고 있다.

## 결론

본 연구는 토양유실도 작성을 위한 토양유실량 분석 모형을 개발하는 것을 목적으로 하고 있다. 토양유실도 분석모형은 클라우드 컴퓨팅 개념을 도입한 인터넷기반에서 구동되는 모듈과 HyGIS와 연계한 독립형(stand alone) 토양유실도 분석 모형의 형태로 개발하였고, 세부내용을 정리하면 다음과 같다.

인터넷 기반 토양유실 분석 모듈은 사용자가 직접 자료를 입력하거나 기존에 준비되어 있는 입력자료를 활용할 수 있고, 각 인자에 대한 값은 Lookup table을 이용하여 사용자가 RUSLE 인자의 조회/수정 기능을 갖고 있어 사용자가 직접 토양유실도를 제작할 수 있도록 개발하였다.

또한, 기존에 구축한 빈도별 토양유실도를 DB에 저장하고 있어 빈도별에 따른 유역의 토양유실도를 제공받을 수 있도록 하였다. 모듈의 적용은 유역을 대표하는 하나의 강우관측소 값만을 적용할 수 있기 때문에 중규모 이상의 유역에 적용하는 것은 곤란하며 향후 여러 강우관측소 자료를 이용하여 보간한 후

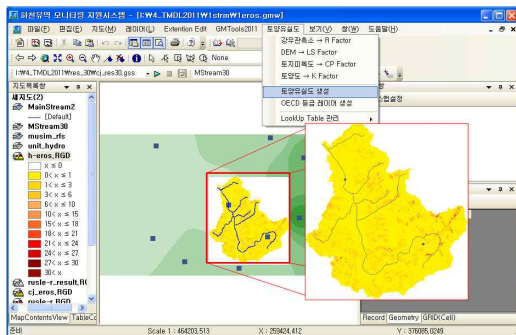


FIGURE 9. 토양유실도 작성 결과

## 4. 적용


개발된 HyGIS-RUSLE 모형을 적용하기 위하여 무심천 유역을 대상으로 토양유실량 분포도를 작성하였다(그림 9). 대상유역인 무심천 유역에 대한 R 인자 값을 계산하기 위하여 표 3과 같이 9개의 관측소에 대하여 같은 시기(2003년 9월 12일 ~ 13일)의 24시간

적용할 수 있는 모듈로 확장할 계획이다.

HyGIS-RUSLE에서 토양유실의 직접적인 에너지원인 강우에너지 인자(R)는 미국 교통연구단(TRB)에서 제시한 24시간 지속기간을 갖는 특정빈도의 R인자를 산정할 수 있도록 하였고, 산정된 R값에 대하여 IDW 방법을 적용하여 분포형 R 인자값을 산정할 수 있도록 개발하였다. 또한, OECD(2001)에서 제시한 토양유실위험등급도를 이용하여 토양유실위험 지역을 찾을 수 있도록 HyGIS-RUSLE모형을 개발하였다

두 모형에 대한 토양유실 분석 적용 결과 두 모형 모두 사용상 매우 편리하게 개발된 것으로 판단하고 있으나 향후 본 연구에서 개발된 토양유실 분석 모형은 다수의 관측소 자료를 이용한 R값 계산, 토양유실 분석뿐만 아니라 실제로 유역 출구로 이송되는 토양을 분석하는 연구를 통해 본 모형을 지속적으로 개선할 계획이다.

## 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 06국토정보B01)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다. 

## 참고 문헌

- 건설부, 한국건설기술연구원. 1992. 댐 설계를 위한 유역단위 비유수량 조사·연구. 287쪽.
- 김경탁, 김주훈, 최윤석, 박동선. 2003. Network 컴포넌트 기반의 수자원지리정보시스템에 관한 연구. 한국지리정보학회지 6(4):122-134.
- 김경탁, 최윤석, 김주훈. 2004. 하천 네트워크 기반의 유역관리시스템 개발을 위한 프로임 워크 공간 DB 구축에 관한 연구. 한국지리정보학회지 7(2):87-97.
- 김주훈, 오덕근. 2004. 빈도별 R인자에 의한 토양침식 위험지역 분석. 한국지리정보학회지 7(2):47-56.
- 김주훈, 이충대, 김경탁, 최윤석. 2007. WAMIS 토지피복도를 활용한 토양유실량 분석-무심천 유역을 대상으로. 한국지리정보학회지 10(4):122-131.
- 박경훈. 2003. GIS 및 RUSLE기법을 활용한 금호강 유역의 토양침식위험도 평가. 한국지리정보학회지 6(4):24-36.
- 신계중. 1999. 지형정보체계를 이용한 토양유실분석. 강원대학교 대학원 박사학위 논문.
- 우효섭, 김창완. 1998. 개발사업으로 인한 토양손실량 예측 및 침사지 설계. 한국수자원학회, 제6회 수공학워크샵 교재, pp. I:10-19.
- 정필균, 고문환, 임정남, 김기태, 최대웅. 1983. 토양유실량 예측을 위한 강우인자의 분석. 한국토양비료학회지 16(2):112-118
- Angima S.D., Stott D.E, O'Neill M.K., Ong C.K. and Weesies G.A. 2003. Soil erosion prediction using RUSLE for central Kenyan highland conditions. Agriculture, Ecosystems, and Environment 97:295-308.
- Beasley, D.B., Huggins, L.F. and Monke, E.J., 1989. ANSWERS—a model for watershed planning. Trans Am Soc Agric Eng 23, 938-944.
- Dawen Yang, Shinjiro Kanae, Taikan Oki, Toshio Koike and Katumi Musiake. 2003. Global potential soil erosion with reference to land use and climate changes, Hydrological Processes 17: 2913-2928.
- Goldman, S.J., K. Jackson and T.A.

- Bursztynsky. 1986. Erosion and Sediment Control Handbook, Mc-Graw Hill, 5.1-5.32pp.
- Goovaerts, P. 1999. Using elevation to aid the geostatistical mapping of rainfall erosivity. *Catena* 34:227-242.
- Hickey, R. 2000. Slope angle and slope length solution for GIS. *Cartography* 29: 1-8.
- LU. D., G. LI., G.S. Valladares and M. Batistella. 2004. Mapping Soil Erosion Risk Rondônia, Brazilian Amazonia : Using RUSLE, Remote Sensing and GIS. *Land Degradation & Develop.* 15:499-512
- Ma J.W., Y. Xue, C.F. Ma and Z.G. Wang. 2003. Linear mixture model applied to Amazonian vegetation classification methods in the Brazilian Amazonia basin. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 70:723-731.
- McCool, D.K., L.C. Brown, G.R. Foster, C.K. Mutchler and L.D. Meyer. 1987. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. *Trans. ASCE* 30:1387-1396.
- McIsaac G.F., J.K. Mitchell and M.C. Hirshi. 1987. Slope steepness effects on soil loss from disturbed lands. *Trans. ASCE* 30:1005-1013.
- Merritt W.S., R.A. Letcher and A.J. Jakeman. 2003. A review of erosion and sediment transport models. *Environmental Modelling & Software* 18:761-799.
- Mikhailova E.A., R.B. Bruabt, S.J. Schwqger and S.D. Smith. 1997. Predicting rainfall erosivity in Hounduras. *Soil Science Society of America Journal* 61:273-279.
- Millward A.A., and J.E. Mersey. 1999. Adapting RUSLE to model soil erosion potential in a mountainous tropical watershed. *Catena* 38:109-129.
- OECD. 2001. Environmental Indicators for Agriculture Vol.3. Part 4. Soil Quality.
- Parysow P., G. Wang, G.Z. Gertner and A.B. Anderson. 2003. Spatial uncertainty analysis for mapping soil erodibility based on joint sequential simulation. *Catena* 53:65-78.
- Remortel, R.D., R.W. Maichle and R.J. Hickey. 2004. Computing the LS factor for the Revised Universal Soil Loss Equation through array-based slope processing of digital elevatin data using a C++ executable. *Computer & Geosciences* 30(2004):1043-1053.
- 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.
- Renard K.G., J.R. Fremund. 1994. Using monthly precipitation date to estimate the R-factor in the revised USLE. *Journal of Hydrology* 157:287-306.
- Renard K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool and D.C. Yoder. 1997. Predicting Soil Erosion by Water : A Guide to Conservaton Planning with the Revised Uinversal Soil Loss Equation (RUSLE). U.S. Dep. Agric., Agricultural Research Service. Agricultural Handbook. No. 703.
- Romken M.J.M. 1983. The soil erodibility factor : a perspective. *Soil Erosion and*

- Conservation 10:445–461.
- Sharpley A.N. and J.R. Williams. 1990. EPIC— Erosion/Productivity Impact Calculator: 1. Model Documentation. USDA Technical Bulletin 1768:235.
- Soil Survey Staff. 1997. National Soil Survey Handbook, Title 430–VI. USDA Natural Resources Conservation Service: Washington, DC.
- Transportation Research Board (National Research Council). 1980. National Cooperative Highway Research Program synthesis of Highway Practice #70 (Design Sedimentation Basins).
- USDA. 1996. Predicting Soil Erosion by Water : A Guide to Conservation Planning with the RUSLE. Agriculture Handbook #703.
- Wang G., G. Wentz, G.Z. Gertner, S. Shinkareva, and A. Anderson. 2003. Mapping multiple variables for predicting soil loss by geostatistical methods with TM images and a slope map. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 69:889–898.
- Wang G., G.Z. Gertner, X. Lui, and A. Anderson 2001, Uncertainty assessment of soil erodibility factor for revised universal soil equation. Catena 46:1–14.
- Wang G., G.Z. Gertner, S. Shinkareva, P. Parysow, and A. Anderson. 2002. Spatial and temporal prediction and uncertainty of soil loss using the revised universal soil equation: a case study of the rainfall–runoff erosivity R Factor. Ecological Modeling 153:143–155.
- Williams, J.R. 1975. Sediment–yield prediction with universal equation using runoff energy factor. p.244–252. *In* Present and prospective technology for predicting sediment yield and sources: Proceedings of the sediment–yield workshop, USDA Sedimentation Lab., Oxford, MS, November 28–30, 1972. ARS–S–40
- Williams, J.R., C.A. Jones, and P.T. Dyke. 1984. A modelling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity. Transactions of the ASAE 27:129–144.
- 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. 282.
- Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall Erosion Losses—A Guide to Conservation Planning. U.S. Dep. Agric., Agricultural Research Service. Agricultural Handbook. No. 537.
- Young, R.A., C.A. Onstad, D.D. Bosch, and W.P. Anderson. 1989. AGNPS: a nonpoint–source pollution model for evaluating agricultural watersheds. Journal of Soil and Water Conservation 44(2):168–173. [KAGIS](#)