



## ArcGIS Model Builder를 이용한 토양유실 우선관리 지역 선정 자동화 모형 개발

### Development of Automatic Extraction Model of Soil Erosion Management Area using ArcGIS Model Builder

금동혁\* · 최재완\*\* · 김익재\*\* · 공동수\*\*\* · 류지철\* · 강현우\* · 임경재\*†

Kum, Donghyuk · Choi, Jaewan · Kim, Ik Jae · Kong, Dong Soo · Ryu, Jichul · Kang, Hyunwoo · Lim, Kyoung Jae

#### ABSTRACT

Due to increased human activities and intensive rainfall events in a watershed, soil erosion and sediment transport have been hot issues in many areas of the world. To evaluate soil erosion problems spatially and temporarily, many computer models have been developed and evaluated over the years. However, it would not be reasonable to apply the model to a watershed if topography and environment are different to some degrees. Also, source codes of these models are not always public for modification. The ArcGIS model builder provides ease-of-use interface to develop model by linking several processes and input/output data together. In addition, it would be much easier to modify/enhance the model developed by others. Thus, simple model was developed to decide soil erosion hot spot areas using ArcGIS model builder tool in this study. This tool was applied to a watershed to evaluate model performance. It was found that sediment yield was estimated to be 13.7 ton/ha/yr at the most severe soil erosion hot spot area in the study watershed. As shown in this study, the ArcGIS model builder is an efficient tool to develop simple models without professional programming abilities. The model, developed in this study, is available at <http://www.EnvSys.co.kr/~sateec/toolbox> for free download. This tool can be easily modified for further enhancement with simple operations within ArcGIS model builder interface. Although very simple soil erosion and sediment yield were developed using model builder and applied to study watershed for soil erosion hot spot area in this study. The approaches shown in this study provides insights for model development and code sharing for the researchers in the related areas.

**Keywords:** USLE; ArcGIS; Model Builder; Sediment; SoilLoss; Soil Erosion

## 1. 서 론

국립환경과학원에서 발간된 2010 한국기후변화 평가보고서에 따르면 한반도가 기온상승으로 인해 '웜풀(Warm pool)엘니' 영향권에 들어 집중호우가 자주 나타나고, 계절 편중적 강수로 인해 유량 편차가 커져 홍수와 가뭄의 발생빈도도 높아질 것으로 전망되었다. 집중호우의 빈도가 높아지면 빗물이 토양을 직접 타격하는 강도와 횡수가 늘어나 농경지 등에서 심한 토양유실 현상이 발생할 수 있다. 강우로 인한 토양유실은 자연스러운 현상이지만, 토양유실이 문제시되는 것은 농경지등

에서 여러 목적으로 사용되어진 화학비료와 농약성분이 토양입자에 흡착되어 하천으로 유입되면서 물에 녹아들어 수체 부영양화를 일으켜 수생태계 악영향을 끼치기 때문이다 (Jung et al., 1998). 특히 해발고도가 높고 산 비탈면을 개간하여 고랭지 농업을 행하는 곳은 다른 지역에 비해 토양유실이 심각하게 발생할 가능성이 크고 (Heo et al., 2005), 생산방식이 비료와 농약 등의 자재를 과다하게 투입하기 때문에 문제시되고 있다 (Ahn, 2005). 이를 해결하기 위해서 토양유실 대책이 수립되어야 하지만, 그 전에 정확한 토양유실의 크기 및 범위에 대한 연구가 선행되어야 한다. 이를 위해서는 장기간 모니터링을 통한 방법이 있지만 시간과 인력, 비용이 많이 들어간다는 단점이 있다.

이런 문제점을 해결하기 위해서 물의 흐름에 따른 오염물질의 이동을 예측하는 Soil and Water Assessment Tool (SWAT) (Arnold et al., 1994), Sediment Assessment Tool for Effective Erosion Control (SATEEC) system (Lim et al., 2003; Lim et al., 2005; Park et al., 2010), Water Erosion

\* 강원대학교 농업생명과학대학 지역건설공학과  
 \*\* 한국환경정책·평가연구원  
 \*\*\* 경기대학교 생명과학과  
 † Corresponding author Tel.: +82-33-250-6468  
 Fax: +82-33-251-1518  
 E-mail: kjlim@kangwon.ac.kr

2011년 1월 3일 투고  
 2011년 1월 24일 심사완료  
 2011년 1월 24일 게재확정

Prediction Project (WEPP) (Flanagan and Livingston, 1995) 등의 모형과 기법들이 개발되었고, 합리적인 의사 결정을 하는데 많은 도움을 주고 있다 (Yoo et al., 2007; Jang et al., 2010; Lim et al., 2010).

하지만 기존 토양유실량 산정 모형들은 여러 분석기법의 모듈 추가로 인해 연산과정이 복잡해지고, 많은 입력 자료들을 필요로 한다. SATEEC 모형 (Park et al., 2010)의 경우 개발자에 의해 모형이 지속적으로 개선되고 있지만 연산시간이 길어지고, 연산과정 중 Input Data를 반복 입력해야 하는 단점을 지니고 있다. 또한 사용자가 원하는대로 수정이 불가능한 단점이 있고, 개발된 모듈 중간 단계 프로세서를 사용자가 임의로 변경할 수 없는 단점이 있다. 또한 모형 개발국의 지형정보조건에 맞춰 모형이 개발되어 지형과 환경 조건이 다른 제3국에 그대로 적용하여 이용하기에는 여러 제한점이 있다. 이 때문에 대다수의 연구자와 이용자들은 기존 모형을 자국의 지형과 환경 조건에 맞게 모형을 개선하려는 연구를 진행하고 있지만 (Kim et al., 2007; Lim et al., 2007), 대다수의 모형들은 프로그램 소스 코드를 공개하지 않고 있기 때문에 모형의 개선이 쉽게 이루어지지 않고 있다. 최근에는 프로그램 소스 코드에 접근할 수 있는 Open Source GIS를 이용한 시스템 구축이 점차 증가하는 추세에 있지만 (Nam, 2006), Open Source GIS를 이용한 모형들도 컴퓨터 프로그래밍 언어를 숙지하지 못한 비전문가는 모형을 정확히 해석하고 개선시키거나 수정 하는 것에 어려움이 있다. 또한 학술문헌을 통해 소개된 토양유실량 산정기법들은 동일한 기능을 구현하기에는 시간과 인력의 중복 투자가 이루어져야 한다는 문제점이 있다. 모형들이 보다 효율적으로 이용되어지기 위해서는 모형의 단순화와 사용자들 간 구축된 모형을 효과적으로 공유하고, 비전문가의 사용자도 손쉽게 모형을 수정 할 수 있는 방법이 모색되어야 한다.

이에 따라 최근 ArcGIS 9.3 버전의 Model Builder GIS 프로그램이 개발되어 (ArcGIS 9.3 manual, 2007) 비전문가의 사용자들도 ArcGIS의 Tool만을 이용하여 다단계의 Process로 이루어지는 모형을 구축하여 여러 사용자들 간에 공유할 수 있고, 사용자는 모형의 연산절차를 직접 단계별로 확인 할 수 있게 되었다. 이를 통해 모형의 빠른 이해와 모형을 사용 목적에 맞게 연산절차를 수정하여 원하는 연구활동이나 실무에 바로 적용하여 이용할 수 있게 되었다. 이미 해외에서는 ArcGIS Model Builder를 이용하여 지하수 보호 모형의 개발과, 경관 개발계획의 적용, 직접 유출량 해석 등이 이루어지고 있지만 (Rhonda et al., 2004; Richard, 2006; Schaller et al., 2009), 국내는 아직 ArcGIS Model Builder를 이용한 연구가 미비한 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 1) ArcGIS Model Builder를 이용하여 토양유실 우선관리 지역 선정 자동화 모형을 개발하고, 2) 연구 대상 유역에 적용하여 개발된 모형의 적용성을 평가하는데 있다. 개발된 모형은 툴박스 형태로 인터넷을 통해 공개함으로써, 관련 분야 연구자 및 실무자들이 직접 활용/수정할 수 있게 할 것이며, 이를 통해 다양한 연구 및 실무 분야에 확장/개발될 수 있으리라 판단된다.

## II. 연구방법

### 1. ArcGIS Model Builder개요

ArcGIS는 지리 정보를 처리하고 작업을 수행하는데 필요한 여러 정보 변환 도구 (Extension)들로 구성되어 있다. 이러한 도구들은 GIS 정보 객체를 처리하는데 사용되어지고, Geoprocessing의 기초를 형성한다. GIS의 Geoprocessing은 기존의 데이터로부터 정보 변환 도구 (Extension)를 통해 새로운 정보를 취득하여 분석 기능에 적용하고 그 결과를 새로운 데이터에 기록하는 일련의 과정을 수행하게 된다.

앞선 일련의 과정들을 Fig. 1처럼 연속적으로 모아 사용자로 하여금 작업 과정을 자동화, 모델 프로그래밍으로 모형화 하는 것이 Geoprocessing Framework를 기초로 한 ArcGIS Model Builder이다. ArcGIS Model Builder는 기존의 ArcToolbox의 공간 분석 도구를 활용하며, 사용자는 원하는 Tool과 Dataset을 연결함으로써 복잡한 GIS작업을 순차적인 단계로 생성한다. 이 분석과정이 Model Builder에 기록되어 손쉽게 분석 작업을 반복 할 수 있게 되며, 기록된 분석과정은 하나의 모형으로 만들어져 사용자간에 방법론 및 처리절차를 공유하고, 사용자는 컴퓨터 프로그래밍 언어를 사용하지 않고 모형을 수정, 개선시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. ArcGIS 9.x부터는 Model Builder

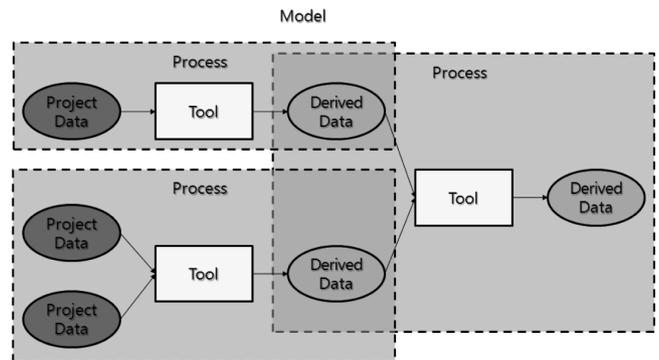


Fig. 1 A conceptual model with different processes using model builder (Manegold, 2003)

의 사용자 Interface의 개선으로 Drag & Drop 환경제공과 동시에 여러 개의 Process 처리가 가능해졌으며, Parameter의 변경 또는 모형의 재실행이 매우 용이해졌다.

## 2. 연구 지역의 선정

본 연구의 목적은 앞에 기술된 바와 같이 Model Builder를 이용하여 토양유실량을 공간적으로 산정하고 소유역별로 토양유실량/유사량을 평가하여 토양유실 우선관리 유역을 선정하는 모형을 개발하는 것이다. 따라서 이렇게 개발된 모형의 적용을 위해서 환경부에서 토양유실 우선관리 유역으로 지정하여 관리하고 있는 강원도 양구군 해안면을 연구 유역으로 선정하였다 (Fig. 2). 이 양구 해안면 유역에서는 임의개간을 통해 고랭지 작물 재배면적이 지속적으로 확장되고 있으며, 강우가 여름철에 집중되어 집중강우로 인한 토양유실이 심각해 소양댐 유역으로 상당량의 탁수가 매년 유입되고 있다 (Han River Basin Commission, 2008). 해안면의 지리적 위치는 북위 38° 15' ~ 38° 20', 동경 128° 15' ~ 128° 10'에 해당된다. 유역면적은 61.78 km<sup>2</sup>이며, 산림이 전체 유역의 58.8 %, 농경지가 37.2 %, 시가화가 1.9 %, 수역이 1.3 %, 나지가 0.6 %, 초지가 0.2 %를 차지하고, 해발고도 600~1000 m인 지역이 44 %를 차지하는 타원형 형태의 분지이다.

## 3. 토양 유실량 산정

### 가. 범용토양손실공식 (USLE)

본 연구에서는 각 소유역별 토양유실량 산정을 위해서 USLE 모형 (Wischmeir and Smith, 1978)을 이용하였다. USLE모형

은 농업지역의 토양손실량을 산정하기 위해 장기적인 연구 결과를 토대로 Wischmeir and Smith (1978)에 의해 제안되었고, 주로 비점오염원관리를 위한 토양유실량 추정에 사용되어지고 있다.

본 연구에서는 식 (1) 범용토양손실공식 (USLE)을 이용하여 토양유실량을 산정한다.

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

- A는 연평균 토양침식량 (*ton/ha/yr*)
- R은 강우침식능인자 ( $\frac{MJ \cdot mm}{ha \cdot hr}$ )
- K는 토양침식성인자 ( $\frac{ton \cdot hr \cdot yr}{MJ \cdot mm}$ )
- LS는 경사도, 경사장 인자
- C는 식생피복인자
- P는 작물경작인자

#### 1) 강우침식능인자 (R factor)

R factor는 해당 지역의 장기강우량 자료를 이용하여 계산되어지며, 본 연구에서는 Jung et al. (1999)에 의해 계산된 R factor를 이용하였다 (Fig. 3). Table 1은 강원도 지역의 행정구역별 R factor를 나타낸다.

#### 2) 토양침식성인자 (K factor)

K factor는 토양 고유의 침식성을 정량적으로 표시한 것으로 Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE) (Williams, 1975)을 이용하여 Kang et al. (2010)이 제시한 양구 해안면 K factor를 이용하였다 (Fig. 4).

#### 3) 작물경작인자 (C factor)

C factor은 환경부에서 배포하는 1:25,000의 대분류 토지피

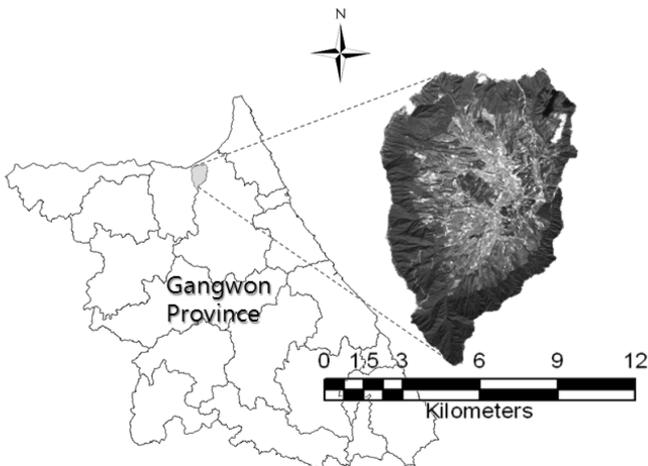


Fig. 2 Location of Haean-myeon watershed, Yanggu, Gangwon province

Table 1 R factors for administrative districts in Gangwon province

Administrative district	R factor	Administrative district	R factor
Kangnung	297	Kosung	250
Samchok	215	Sokcho	255
Yangyang	255	Yongwol	350
Wonju	578	Inje	294
Cheolwon	400	Chuncheon	464
Hwacheon	450	Hongcheon	417
Yanggu	350	Pyongchang	269
Chongson	250	Hoengsung	400

Table 2 C factors for different land uses

Land use		C factor
Fallow/Bared land		1.0
Paddy field		0.34
Upland		0.31
Grassland	(95~100 % cover) Grass	0.003
	Weeds	0.01
	(80 % cover) Grass	0.01
	Weeds	0.04
	(80 % cover) Grass	0.04
	Weeds	0.09
Forest	(75~100 % cover)	0.01
	(40~75 % cover)	0.002~0.004
	(20~40 % cover)	0.003~0.01

Table 3 P factors for different land uses and slopes

Land use	P factor	
Paddy land	0.2	
Upland	Slope	P factor
	0~2 %	0.60
	2~7 %	0.50
	7~12 %	0.60
	12~18 %	0.80
	18~24 %	0.90
	24~30 %	0.95
>30 %	1.00	

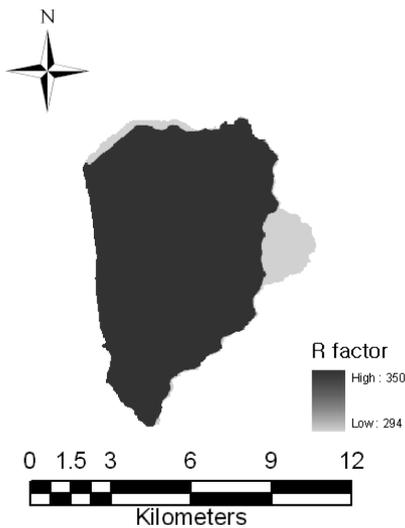


Fig. 3 R factor

복도를 이용하여, Jung et al. (1985) (Table 2)이 제시한 C factor를 이용하였다 (Fig. 5).

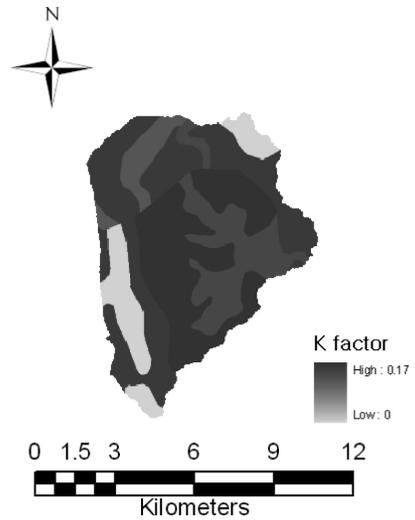


Fig. 4 K factor

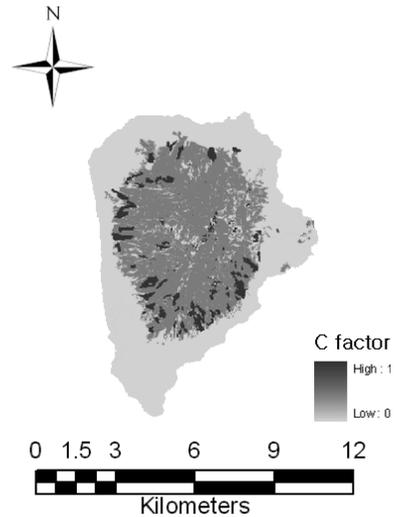


Fig. 5 C factor

4) 작물경작인자 (P factor)

P factor은 Park (1999) (Table 3)이 한 등고선 경작방식을 택한다는 가정 하의, 경사도에 따른 P factor를 이용하였다 (Fig. 6).

5) 경사도, 경사장 인자 (LS factor)

경사장과 경사도의 토양유실에 미치는 영향 인자를 흔히 LS factor로 나타낸다. 본 연구에서는 수치표고모형 (Digital Elevation Model, DEM)을 이용하여 Moore and Burch (1986a, 1986b)이 제안한 식 (2)을 이용하였다 (Fig. 7).

$$LS = \left(\frac{A}{22.13}\right)^{0.6} \left(\frac{\sin\theta}{0.0896}\right)^{1.3} \quad (2)$$

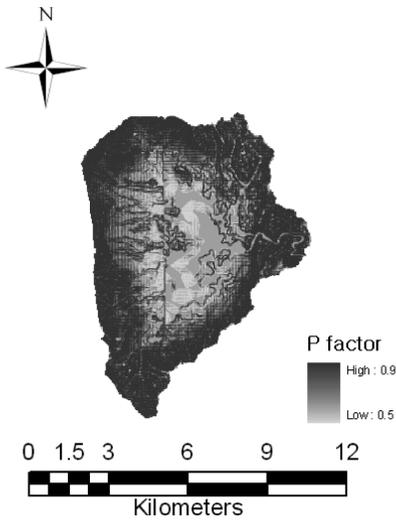


Fig. 6 P factor

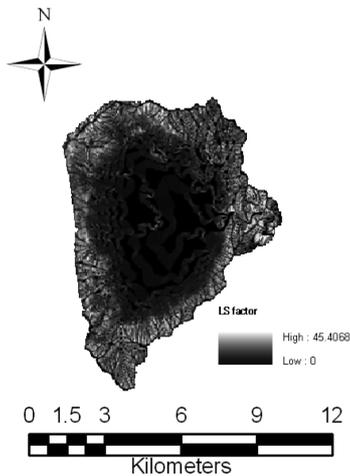


Fig. 7 LS factor

여기서, A는 유역면적 ( $km^2$ ),  $\theta$ 는 경사도 (degree) 나타낸다.

#### 4. 유역면적을 고려한 유달률 산정

유역에서 토양유실 우선관리 유역을 선정하기 위해서는 유역 출구로 유출되는 유사량을 산정하는 것이 중요하다. 따라서 본 연구에서는 앞서 기술된 USLE 모형을 이용하여 토양유실량을 산정하고, 이를 소유역별 유달률을 고려하여 유출되는 유사량을 평가하였다. 총 토양유실에 대한 유사량의 비를 유달률 (Sediment delivery ratio, SDR)이라고 한다. 이번 연구에서는 유달률 산정 공식 중 가장 널리 사용되어지고 있는 Vanoni (1975)제안한 식 (3)을 이용하였다.

$$SDR = 0.472 * A^{-0.125} \quad (3)$$

여기서, A는 유역면적 ( $km^2$ )을 나타낸다.

Model Builder를 이용하여 구축한 모형에서는 각 Process 별로 매개변수를 변경할 수 있기 때문에, Vanoni (1975)가 제안한 유달률 공식 외에 다른 유달률 공식을 적용하고자 할 때는 이를 손쉽게 변경할 수 있으며, 면적기반 유달률 공식이외의 다른 유달률 공식을 적용하고자 한다면 중간 프로세서를 변경하여 구현할 수 있는 장점이 있다. 이 또한 별도의 프로그래밍 작업 없이 수행할 수 있기 때문에, GIS 프로그래밍에 관한 전문 지식이 없는 사람도 손쉽게 모듈을 개발/추가할 수 있다.

#### 5. 토양유실 우선관리 지역 선정 자동화 모형 개발 및 적용

ArcGIS Geoprocessing은 Process를 통해 나온 결과를 다른 Process의 입력 자료로 자동 부여하고, Process를 차례로 엮어 작업을 자동화 할 수 있게 한다. 본 연구에서는 토양유실 우선관리 지역 선정 자동화 모형 개발을 위해 Fig. 8처럼 ArcGIS Model Builder를 이용하여 연산과정을 자동화하였다.

##### 가. 토양유실량 산정

Model Builder는 기본적으로 ArcToolBox의 기능을 이용하여 Process를 형성하게 된다. 하지만 Raster Data의 Field값을 이용하여 수학적 연산을 하는 Raster Calculator는 Process를 통해 나온 결과를 그 다음의 Process로 엮어 작업할 수 있게 하는 Geoprocessing을 지원하지 않아 Model Builder에서는 모든 수학적 연산은 Map Algebra Tool을 이용하였다. LS factor산정에 DEM으로 부터 추출된 유역의 경사도와 유역의 면적을 Map Algebra Tool을 이용하여 Moore and Burch (1986a, 1986b)의 LS산정공식에 적용하며, 산정된 LS와 토양유실량 산정에 필요한 Input Data는 Times Tool을 통해 결합

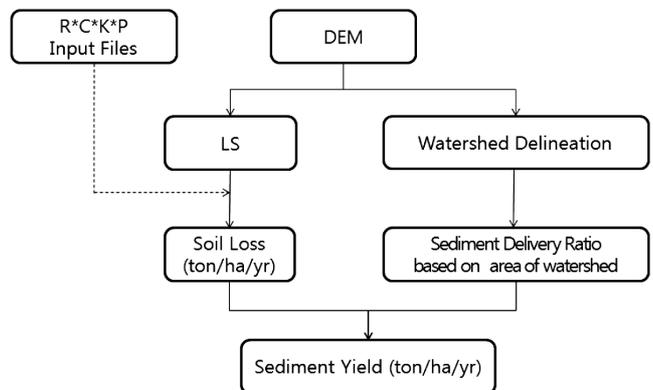


Fig. 8 Overview of the process outline

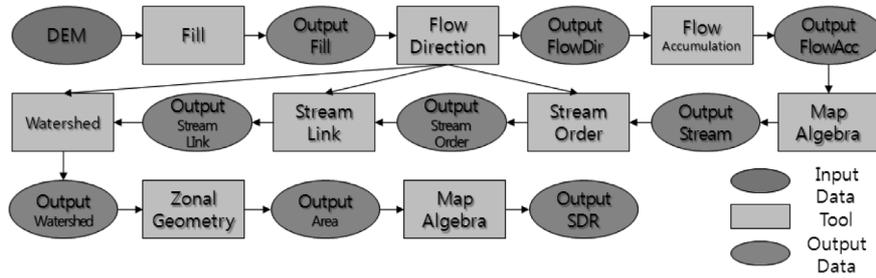


Fig. 10 Sediment delivery ratio computation process

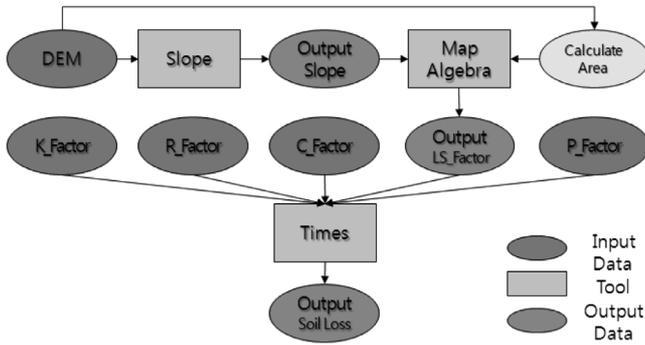


Fig. 9 Soil loss computation process

면적당 유사량이 산정되어야 한다. 단위면적당 유사량을 산정하기 위해 Fig. 11과 같이 2개의 Data의 Field값을 곱하는 Times Tool을 이용하여 소유역별 토양유실량의 총량과 유달률을 곱한다. 이 Process를 통해 나온 Output Data가 이번 연구의 최종적 결과이다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 토양유실 우선관리 지역 선정 자동화 모형 개발 결과

본 연구에서 ArcGIS Model Builder를 이용하여 총 26단계의 Process를 통해 토양유실 우선관리 지역 선정 자동화 모형을 개발하였다. 개발된 모형의 전체 모델은 Fig. 12와 같다. Fig. 12에서 1) 과정은 USLE 공식 (식1)을 이용하여 토양유실량을 산정하는 과정이고, 11단계의 Process로 이루어져있다. 2) 과정은 11단계의 Process로 이루어진 유달률 산정 과정이다. 3) 과정은 1)·2) 과정을 통해 나온 토양유실량과 유달률을 4단계의 Process 거쳐 본 연구의 목적인 토양유실 우선관리 지역을 선정하는 과정이다. 컴퓨터 프로그래밍 언어를 사용하지 않고 ArcGIS의 Model Builder 만을 이용하여 모형이 구축·개발되었다. 이는 기존의 여러 토양유실 산정 모형들에 비해 연산과정이 단순화 되었고, 사용자들은 모형의 연산절차를 쉽게 알 수 있어 보다 쉽게 모형을 이해할 수 있게 되었다.

또한 모형의 사용 방법도 GIS 기반의 SATEEC 모형과 비교해 보면, SATEEC 모형은 토양유실량 분석을 위해 각 단계별로 만들어진 메뉴를 선택해, 분석과정에 필요한 Input Data를 반복적으로 선택해줘야 했지만, ArcGIS Model Builder를 이용하여 개발된 모형은 Fig. 13처럼 연산에 필요한 Input Data를 선택하게 되면 토양유실량을 자동 산정하고, 유역경계를 추출하여 유달률/유사량을 자동으로 평가한다. Fig. 13과 같은 Interface 구성도 컴퓨터 프로그래밍 언어를 사용하지 않고, 단순히 Model Builder에서 Parameter를 추가시키는 것만으로도 Interface 구성이 완료된다.

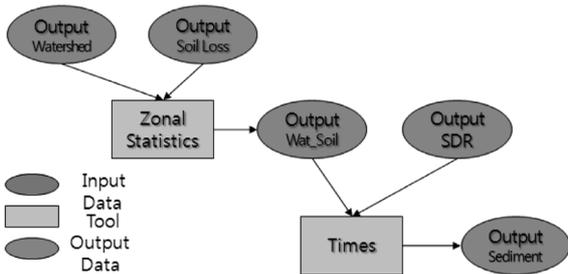


Fig. 11 Sediment yield in high-risk computation process

되어, 새로운 자동화 Process를 형성하였다 (Fig. 9).

#### 나. 유달률 산정

DEM을 이용하여 유역의 면적을 추출하고, Map Algebra Tool에 Vanoni (1975)공식을 적용하여 유달률 맵을 산정하였다. 유역의 면적을 추출하기 위해 DEM으로 부터 하천을 형성하고, 형성된 하천을 이용하여 유역을 산정해야한다. 이 과정을 Model Builder의 Geoprocessing이용하여 각 Process를 차례로 연결하여 유달률 산정 작업을 자동화하였다. 자동화된 산정 방법은 Fig. 10과 같다. 이를 통해서 모든 연산이 자동으로 이루어져 수계를 추출할 수 있게 되었다.

#### 다. 소유역별 토양유실에 따른 유사량 산정

토양유실 우선관리 지역을 선정하기 위해서는 소유역별 단위

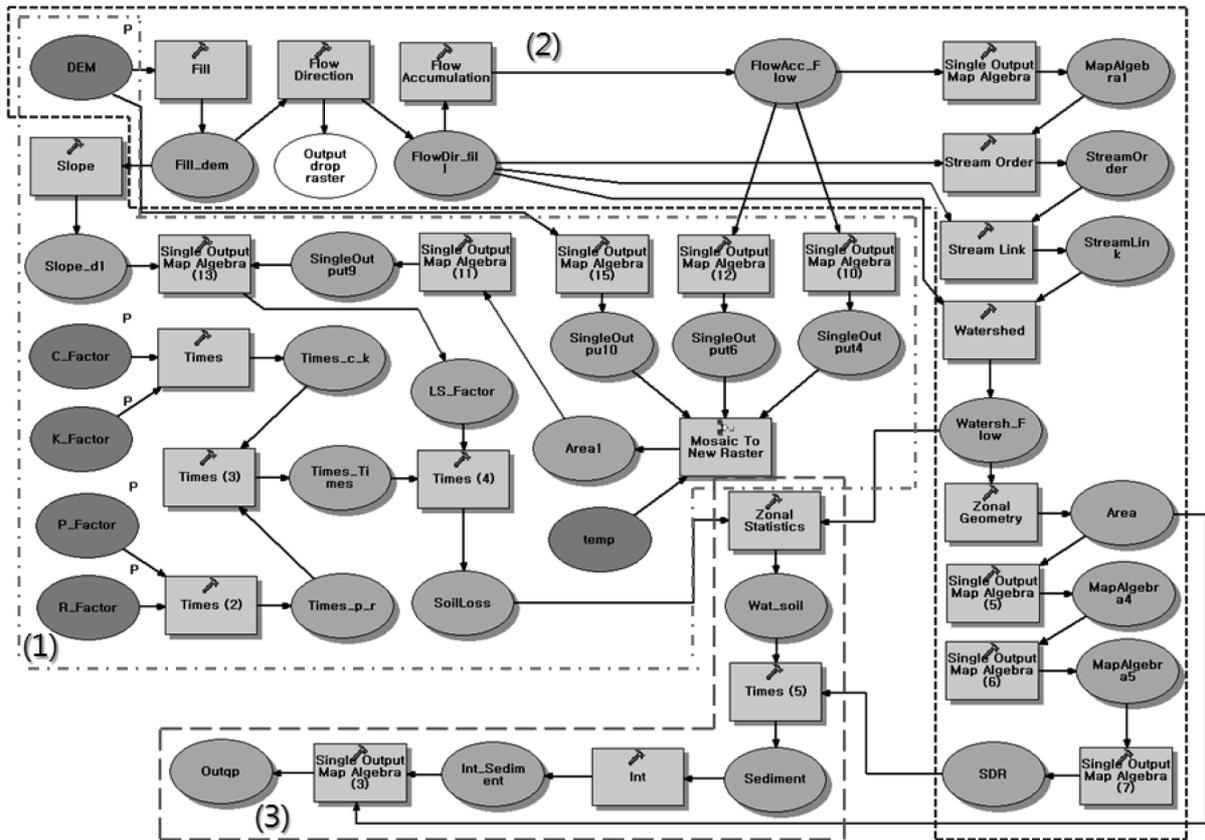


Fig. 12 Overall operation process of the developed model

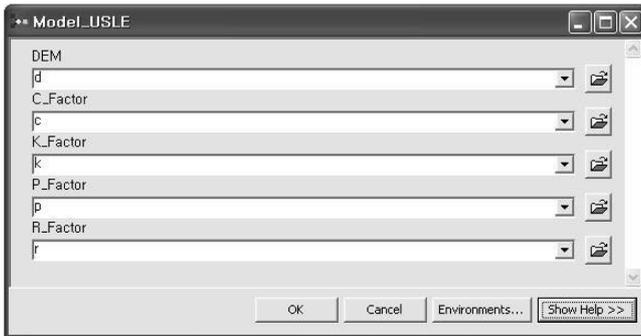


Fig. 13 Interface of the developed model

## 2. 토양유실 우선관리 지역 선정 자동화 모형 적용 결과

본 연구를 통해 개발된 토양유실 우선관리 지역 선정 자동화 모형 모형을 연구대상 유역인 강원도 양구군 해안면에 적용하여 보았다. 적용 결과 양구군 해안면은 Fig. 14와 같이 최대 2409.94 ton/ha/year의 토양유실이 발생하고, 소유역 중에서 5번 소유역이 단위면적당 토양유실에 따른 유사량이 가장 큰 것으로 나타나 우선관리 지역으로 선정되었다 (Fig. 15).

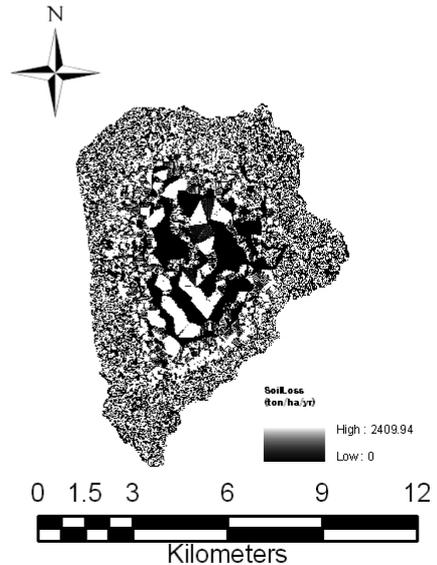


Fig. 14 Soil Loss estimated using the developed model

5번 소유역을 토양유실에 따른 유사 발생 상위 3곳과 지형적 특성을 비교/분석해 보면, 5번 소유역은 단위면적당 숲의 비율이 높았으나, 토양이 지표에 그대로 노출되어 토양유실이

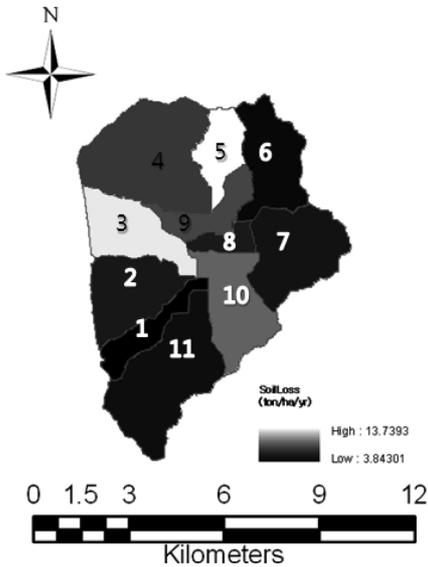


Fig. 15 Calculated sediment yield for each subbasins

Table 4 Comparisons of major crops at four subbasins

Subbasins	3	5	9	10
Forest (%)	30.27	36.48	8.24	27.02
Sugarbeet (%)	12.96	4.81	10.14	8.23
Rice (%)	8.69	13.31	27.16	7.23
Potato (%)	6.27	21.14	12.26	7.93
Pasture (%)	1.28	0.04	0.15	0.26
Other (%)	40.53	24.22	42.05	49.33

쉽게 일어나는 감자 밭의 단위 면적당 비율이 높은 것으로 나타났다 (Table 4).

초지의 단위면적당 비율 또한 다른 소유역에 비해 낮아 5번 소유역은 유실될 토양의 저감기능이 낮고, 이로 인해 토양유실에 따른 유사 발생이 가장 심한 것으로 판단된다.

최종적으로는 토양유실에 따른 소유역별 유사량이 산정되지 만 Model Builder에 분석과정이 기록되어 있고 각 Process별로 연산을 진행 할 수 있어 사용자는 전체 분석과정 중 원하는 Process의 Data만을 얻을 수도 있다.

### 3. 개발된 모형의 확장성

본 연구에서 사용된 Model Builder를 이용하면 다양한 연산을 유기적으로 연계하여 사용자가 원하는 분석을 자동으로 수행할 수 있을 뿐만 아니라, 각 프로세서를 사용자가 손쉽게 별도의 프로그래밍 없이 변경/적용할 수 있다. 본 연구에서 개발된 모형은 크게 토양유실량 산정과 유달률 산정, 그리고 이를

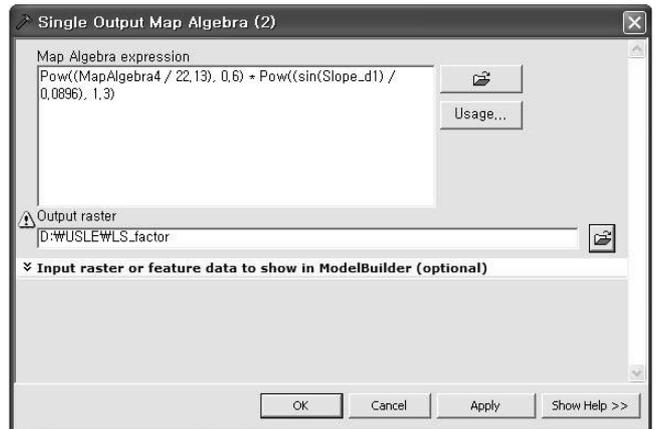


Fig. 16 Parameter official apply using Map Algebra Tool

통한 소유역별 유사량 평가로 나눌 수 있다. Wischmeier & Smith (1965), Moore & Burch (1986a, 1986b), McCool et al. (1987) 등이 제시한 LS 산정기법과, USDA (1972), Boyce (1975), Vanoni (1975), Williams et al. (1975), Yin et al. (2005) 등의 유달률 산정기법 등이 활용될 수 있는데, 기존의 토양유실 및 유사량 평가 모형들은 모형 개발자들이 적용한 산정 기법외의 다른 산정기법을 적용하기에는 모형의 소스 코드 비공개로 인해 수정/적용의 어려움이 있다. 이러한 단점을 해결하기 위하여 이번 연구를 통해 개발된 모형은 Fig. 16처럼 Map Algebra Tool을 이용하여 모형에 적용되어 있던 기법을 사용자가 이용 목적에 맞는 산정기법들을 모형에 쉽게 적용하고 이용 할 수 있다. 그 외에도 사용자들은 각 Process별로 목적에 맞게 모형을 간단히 수정하거나 개선하여 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구를 통해 개발된 모형은 ArcGIS Toolbox 형태로 저장되어 <http://www.EnvSys.co.kr/~sateec/toolbox>를 통해 사용을 원하는 사용자들에게 무료로 공유되며, 홈페이지를 통해 개발된 모형을 사용자의 ArcGIS 프로그램에 적용시키는 방법이 소개되어 있다 (Fig. 17).

## IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 ArcGIS Model Builder를 이용하여 토양유실 우선관리 지역 선정 자동화 모형을 개발하여 양구군 해안면에 적용하였고, 26단계의 Process 절차를 걸쳐 소유역별 유사량이 산정되었다. 토양유실 우선관리 지역으로 선정된 5번 소유역은 단위면적당 13.7 ton/ha/year의 유사 발생으로 산정되었다. 이처럼 ArcGIS Model Builder는 컴퓨터 프로그

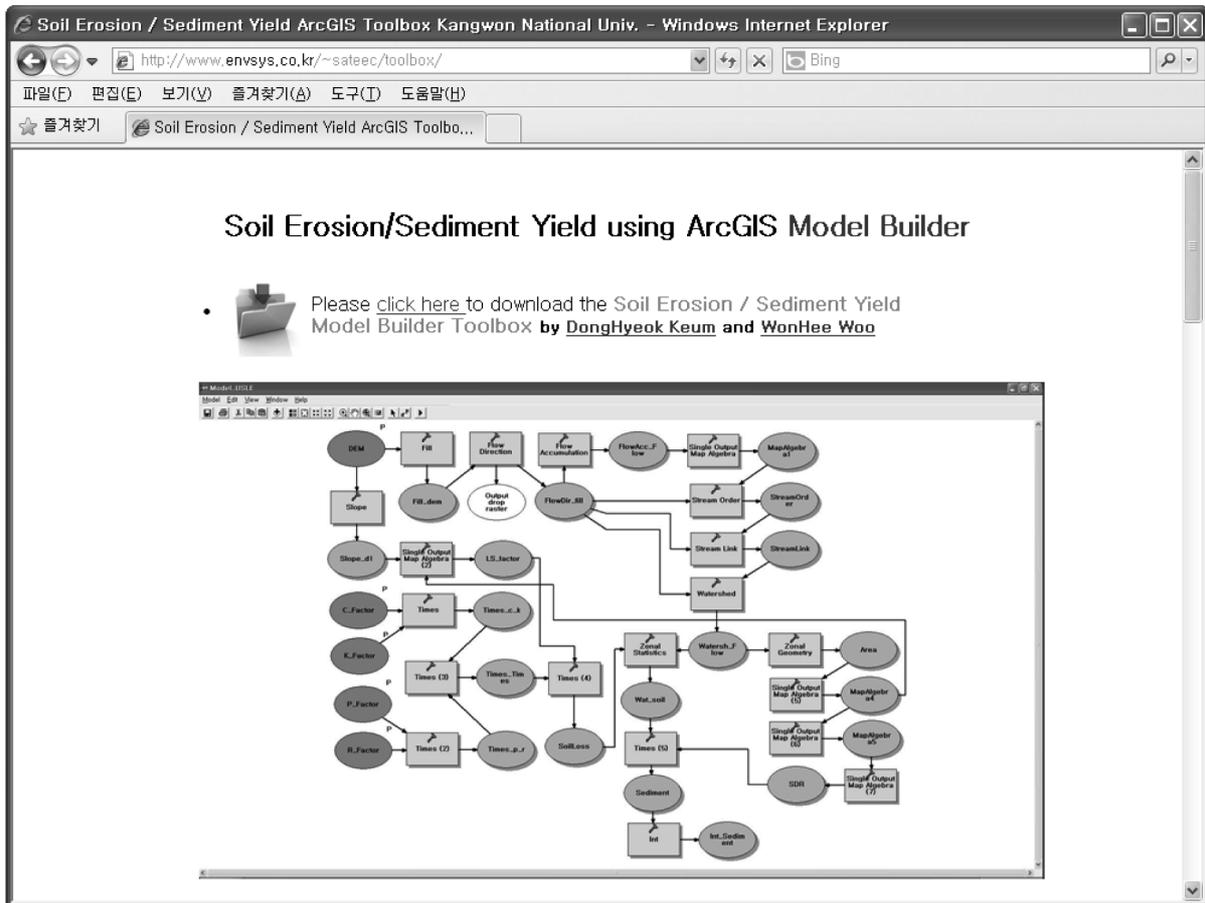


Fig. 17 The main screen of the website

래밍 언어에 대한 전문적인 지식이 없는 사용자도 원하는 모형을 쉽게 구축할 수 있어, 모형을 개발하는데 들어가는 개발비용을 줄이는데 큰 도움이 될 것이고, 각 Process의 처리작업이 연속적으로 조합되어 하나의 모형이 완성되는 것을 시각화하여 보여주기 때문에 모형을 이용하는 이용자들에게 보다 쉽게 모형을 이해, 사용하고, 모형을 사용 목적에 맞게 개선시키는데 큰 도움을 줄 것이라 판단된다. 그리고 컴퓨터 프로그래밍 언어를 이용하여 구축된 모형에 비해 ArcGIS Model Builder를 이용하여 구축된 모형은 불필요한 모듈을 제거하여 연산과정을 단순화시킴으로서 연산시간이 단축되고, 이는 인력비용의 절감으로 이어질 것이다.

본 연구에서 개발된 토양유실 우선관리 지역 선정 자동화 모형은 <http://www.EnvSys.co.kr/~sateec/toolbox>를 통하여 무료로 다운로드 받을 수 있기 때문에 모형의 이용을 원하는 사람은 누구나 사용할 수 있다. 더 나아가서는 개발된 모형이 사용자들간에 개선과 공유가 이루어져 토양유실분야의 연구 활성화를 기대한다.

본 연구는 환경부 Eco-STAR Project (과제번호 07-II-7, 부담 (생태호) 조성기술 및 생태복원 기술개발)의 연구비 지원을 받아 수행되었으며, 이에 깊이 감사드립니다.

## REFERENCES

1. Ahn, J. H., 2005. Policy and research of advanced country for environmentally sound agriculture in highland, 240. Rural Development Administration.
2. Arnold, J. G., and R. Srinivasan, 1994. Integration of a BASIN-SCALE Water Quality Model with GIS. *Journal of the American Water Resources Association* 30(3): 453-462.
3. Boyce, R. C., 1975. Sediment Routing with Sediment-Delivery Ratios. In *Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yield and Sources*. ARS-S-40, USDA, Washington, D. C.

4. ESRI, 2007. ArcGIS 9.3 Manual
5. Flanagan, D. C., and M. A. Nearing, 1995. WEPP User Summary. Report No. 11. USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, Indiana.
6. Heo, S. G., K. S. Kim, M. Sagong, J. H. Ahn, and K. J. Lim, 2005. Evaluation of SWAT Applicability to Simulate Soil Erosion at Highland Agricultural Lands. *Journal of the Korean Society of Rural Planning* 11 (4): 67-75 (in Korean).
7. Jang, W. S., Y. S. Park, J. D. Choi, J. G. Kim, M. H. Shin, J. C. Ryu, H. W. Kang, and K. J. Lim, 2010. Analysis of Soil Erosion Reduction Effect of Rice Straw Mat by the SWAT Model. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 52(3): 97-104 (in Korean).
8. Jung, Y. S., Y. K. Kwon, H. S. Lim, S. K. Ha, and J. E. Yang, 1999. R and K Factors for an Application of RUSLE on the Slope Soils in Kangwon-Do, Korea. *Journal of Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 32(1): 31-38 (in Korean).
9. Jung, P. K., M. H. Ko, and K. T. Um, 1984. Discussion of Cropping Management Factor for Estimating Soil Loss. *Journal of Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 18(1): 7-13 (in Korean).
10. Jung, Y. S., J. E. Yang, C. S. Park, Y. G. Kwon, and Y. K. Joo, 1998. Changes of Stream Water Quality and Loads of N and P from the Agricultural Watershed of the Yulmunchon Tributary of the Buk - Han River Basin. *Journal of Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 31(2): 170-176 (in Korean).
11. Kang, H. W., Y. S. Park, N. W. Kim, Y. S. Ok, W. S. Jang, J. C. Ryu, K. S. Kim and K. J. Lim, 2010. Development and Application of Integrated System with SATEEC, nLS and USPED for Gully Erosion Evaluation. *Journal of Korean Society on Water Quality* 26(4): 637-647 (in Korean).
12. Kim, N. W., H. S. Kim, I. M. Jung, C. G. Kim, Y. S. Won, S. C. Shin, J. E. Lee, H. R. So, C. S. Yoo, D. H. Lee, S. H. Kim, H. S. Shin, W. S. Kim, and B. H. Seoh, 2007. Development of Analysing System for Surface Water Hydrological Components: 21st Century Frontier R&D Program. Korea Institute of Construction Technology.
13. Lim, K. J., J. D. Choi, K. S. Kim, M. Sagong, and B. A. Engel, 2003. Development of sediment assessment tool for effective erosion control (SATEEC) in small scale watershed. *Transactions of the Korean Society of Agricultural Engineers* 45(5): 85-96 (in Korean).
14. Lim, K. J., M. Sagong, B. A. Engel, Z. Tang, J. D. Choi, and K. S. Kim, 2005. GIS-based sediment assessment tool. CATENA.
15. Lim, K. J., Y. S. Park, J. G. Kim, Y. C. Shin, N. W. Kim, S. J. Kim, J. H. Jeon, and B. A. Engel, 2010. Development of Genetic Algorithm-based Optimization Module in WHAT System for Hydrograph Analysis and Model Application. *Computers & Geosciences* 36: 936-944.
16. Lim, K. J., S. G. Heo, Y. S. Park, J. G. Kim, J. H. Park, D. H. Choi, and H. W. Kang, 2007. Development of SWAT ArcView GIS Extension Patch. Kangwon National University GIS Environmental Systems Laboratory, No.0708, <http://www.EnvSys.co.kr/~swat>.
17. Mangegold, J., 2003. Using the Model Builder of ArcGIS 9 for Landscape Modeling. In *Trends in Landscape Modeling*, ed. E. Buchmann, and S. Ervin, 240-245. Wichmann Verlag, Heidelberg.
18. McCool, D. K., L. C. Brown, G. R. Foster, C. K. Mutchler, and D. Meyer, 1987. Revised slope steepness factor for the universal soil loss equation. *Transactions of the ASAE* 30: 1387-1396.
19. Moore, I., and G. Burch, 1986a. Physical Basis of the Length-Slope Factor in the Universal Soil Loss Equation. *Soil Science Society of America Journal* 50: 1294-12983.
20. Moore, I., and G. Burch, 1986b. Modeling Erosion and Deposition: Topographic Effects. *Transactions of the ASAE* 29(6): 1624-1640.
21. Nam, G. W., 2006. Development of GIS Construction Guide as Standards and Open Source Software Basis, 10-102. ministry of information & communication.
22. Park, C. S., 1999. Monitoring of Non-point Pollutants from the Different Land Use in the Yulmunchon Tributary Watershed, the So-yang River Basin. Master's degree, Ind.: Kangwon National University (in Korean).

23. Park, Y. S., J. G. Kim, N. W. Kim, S. J. Kim, J. H. Jeon, B. A. Engel, W. S. Jang, and K. J. Lim, 2010. Development of New R, C and SDR Modules for the SATEEC GIS System. *Computers and Geoscience* 36 (2010): 726-734.
24. Rhonda, M., and J. Alan Glennon, 2004. Building a Groundwater Protection Model. *ESRI ArcUser*. 54-59.
25. Richard, E., 2006. Predicting Post-Wildfire Watershed Runoff Using ArcGIS ModelBuilder. Esri Federal User Conference Proceedings 2006.
26. Schaller, J., T. Gehrke, and N. Strout, 2009. ArcGIS processing models for regional environmental planning in Bavaria. In *Planning Support System: Best Practice and new Methods*, ed. S. Geetman, and J. Stillwell, 243-264.
27. Tarboton, D. G., R. L. Bras, and I. Rodriguez-Iturbe, 1991. On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data. *Hydrologic Processes* 5(1): 81-100.
28. USDA, 1972. Sediment Source, Yields, and Delivery Ratios, National Engineering Handbook, Section 3 Sediment.
29. Vanoni, V. A., 1975. Sedimentation Engineering, Manual and Report No. 54. American Society of Civil Engineers, New York, USA.
30. Williams, J.R., 1975. Sediment routing for agricultural watersheds. *Water Resources Bulletin* 11(5): 965-974.
31. Williams, J. R., 1975. Sediment Yield Prediction with Universal Equation using Runoff Energy Factor. In *Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yield and Sources U.S Department of Agriculture*, 244-252.
32. Wischmeier, W. H., and D. D. Smith, 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. *The USDA Agricultural Handbook* No. 537.
33. Wischmeier, W. H., and D. D. Smith, 1965. Predicting rainfall erosion losses from cropland East of the Rocky Mountains. *The USDA Agricultural Handbook* NO. 282.
34. Yin, Z., S. Walcott, B. Kaplan, J. Cao, W. Lin, M. Chen, D. Lin, and Y. Ning, 2005. An analysis of the relationship between spatial patterns of water quality and urban development in Shanghai, China, *Computers. Environment and Urban Systems* 29: 197-221.
35. Yang, J. E., 2008. The study for preparing countermeasure about reduction of muddy water in Han River Basin, GOVP1200944618. Han River Basin Commission.
36. Yoo. D. S., K. S. Kim, W. S. Jang, M. S. Jun, J. E. Yang, S. C. Kim, J. H. Ahn, and K. J. Lim, 2008. Evaluation of Sediment Yield using Area-weighted Measured Slope and Slope Length at HaeAn Myeon Watershed. *Journal of Korean Society on Water Quality* 24(5): 569-580 (in Korean).