

## 한국형 토양유실공식의 GIS 기반 모형에 의한 금강 유역에 대한 토양유실 우심지역 선정에 관한 연구

김종건<sup>1</sup> · 양재의<sup>2</sup> · 임경재<sup>1</sup> · 김성철<sup>3</sup> · 이기하<sup>4</sup> · 황상일<sup>5</sup> · 유니영<sup>6</sup> · 박윤식<sup>6\*</sup>

<sup>1</sup>강원대학교 지역건설공학과  
<sup>2</sup>강원대학교 바이오자원환경학과  
<sup>3</sup>충남대학교 생물환경화학학과  
<sup>4</sup>경북대학교 건설방재공학부  
<sup>5</sup>한국환경정책평가연구원  
<sup>6</sup>공주대학교 생물산업공학부

## A Study to Define Area of Concern for Potential Soil Loss in Geumgang Watershed by KORSLE-based GIS model

Jonggun Kim<sup>1</sup> · JaeE Yang<sup>2</sup> · Kyoung Jae Lim<sup>1</sup> · Sung Chul Kim<sup>3</sup> · Giha Lee<sup>4</sup> · Sangil Hwang<sup>5</sup> · Nayoung Yu<sup>6</sup> · Youn Shik Park<sup>6\*</sup>

<sup>1</sup>Dept of Regional Infrastructure Engineering, Kangwon National University

<sup>2</sup>Dept of Biological Environment, Kangwon National University

<sup>3</sup>Bio Environmental Chemistry, Chungnam National University

<sup>4</sup>Dept of Construction and Disaster Prevention Engineering, Kyungpook National University

<sup>5</sup>Korea Environment Institute

<sup>6</sup>Rural Construction Engineering, Kongju National University

### ABSTRACT

Universal soil loss equation (USLE) has been frequently employed to estimate potential soil loss in land since it was developed based on the statewide data measured and collected in the United States. The equation is an empirical model mainly used for U.S. soil, thus it has been recently modified to reflect Korean soil conditions and named as Korean Soil Loss Equation (KORSLE). The modified equation was implemented in ArcGIS software, and used for estimation of potential soil loss from 2003 to 2016 in the thirty-eight Water Protection Districts. Five out of the thirty-eight districts were identified as the area of potential soil erosion most severly. In those five districts, potential soil erosion were estimated to be more than 50 Mg/ha/year that requires site investigation under supervision of the Korean Ministry of Environment. Distinctive site characteristics were found in the potential soil loss estimation such that the districts of low potential soil loss had low five factors in the aggregate. However, if one of more factors are dominantly large, the potential soil loss significantly increased. This study provides a useful tool to identify the potential areas for soil erosion and the important factors that play an important role in the estimation process.

**Key words :** KORSLE, GIS, USLE, Soil erosion, Water protection district

### 1. 서 론

토양 유실은 전 세계적으로 가장 중요한 환경적 문제 중의 하나이며, 토양구조의 파괴, 유기물의 손실, 경작 가

능한 토심의 깊이 절감 등 다양한 부정적 영향을 유발한다. 최근에는 다양한 지구 물리학적 특징과 토양 침식 과정의 연관성을 이해하고 토양 유실에 대한 적절한 대안 관리 기법 및 시나리오 분석을 위해 범용토양유실공식

\*Corresponding author : parkyounshik@gmail.com

Received : 2017. 11. 20 Reviewed : 2017. 12. 1 Accepted : 2017. 12. 6

Discussion until : 2018. 2. 28

(Universal Soil Loss Equation; USLE)(Wischmeier and Smith, 1978) 기반의 모형이 광범위하게 활용되고 있다. 그러나 다양한 토지이용에 대한 범용토양유실공식의 유용성이 검증되었음에도 불구하고, 모형의 매개변수 산정 및 계산 능력 면에서 간소화에 대한 요구가 계속되고 있는 실정이다. 특히, 인구 증가나 산업 기술의 발달로 자원 수요가 증가하고, 경작지에서의 과도한 시비 및 관개활동, 산불 등과 같은 이유로 지나치게 토양유실이 발생하고 있다. 특히 이 토양유실이 상수원보호구역에서 발생할 경우 수자원의 가치를 떨어뜨리는 직접적인 요인이 될 수도 있다.

범용토양유실공식은 토양유실량의 예측을 위해 여러 나라에서 사용되고 있으며, 우리나라에서도 널리 이용되고 있다(Lee et al., 2014; Park et al., 2010; Park et al., 2014). 범용토양유실공식은 장기간 동안의 연평균 토양유실량을 산정할 수 있는 경험적인 모형이며, 토양유실량 예측을 위하여 강우침식능인자(Rainfall erosivity factor; R factor), 토양침식성인자(Soil erodibility factor; K factor), 지형인자(Slope and slope steepness factor; LS factor), 지표피복인자(Crop and cover management factor; C factor), 경작방법인자(Conservation practice factor; P factor)의 5개 인자를 필요로 한다(Renard et al., 1997; Wischmeier and Smith, 1965, 1978). 범용토양유실공식은 토양유실에 영향을 주는 인자들에 대한 분석을 통해서 개발된 과학적 근거가 타당한 공식이며, 각 인자의 곱에 의해 토양유실량을 추정할 수 있기 때문에 그 사용이 쉽다는 장점이 있다(식 (1)).

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

여기서,  $A$ 는 단위 면적에서 침식되어 유실되는 토양유실 가능성 추정치( $\text{ton/ha/yr}$ )이며,  $R$ 은 강우침식능인자( $\text{MJ} \cdot \text{mm/ha} \cdot \text{yr} \cdot \text{hr}$ ),  $K$ 는 토양침식성인자( $\text{Mg} \cdot \text{hr/MJ} \cdot \text{mm}$ ),  $LS$ 는 경사장 · 경사도인자(무차원),  $C$ 는 지표피복인자(무차원)이며,  $P$ 는 경작방법인자(무차원)이다.

더욱이, 최근 우리나라에서는 환경부에 의한 ‘표토의 침식현황에 관한 고시’(Ministry of Environment, 2012)에서 이 범용토양유실공식을 사용하도록 제안하기도 하였으며, 국가 차원의 정책에 이르기까지 널리 사용되고 있다. 그리고 최근에는 각 인자에 대해서 우리나라의 최근 기상 자료 등을 이용하여 토양유실량을 산정할 수 있도록 하는 모형(ArcGIS-based Sediment Assessment Tool for Effective Erosion; ArcSATEEC)이 개발된 바 있다(Yu et al., 2017). ArcSATEEC은 ArcGIS 소프트웨어를 기반으로 한 모형으로 일반적으로 사용되고 있는 자료인 수치표고모형, 토지

이용도, 토양도와 함께 모형과 함께 제공되는 데이터베이스를 이용하여, 우리나라의 월별 강우 및 작물의 성장 특성을 고려하여 토양유실량을 추정할 수 있는 모형이다.

그러나, 토양유실량의 추정이 5가지 인자에 의해 이루어진다는 것은 각 인자에 대한 적용 가능성에 대한 고려가 필요하다는 것을 의미하며(Wischmeier and Smith, 1976), 이 공식의 개발에 관련된 문헌들(Wischmeier and Smith, 1965; Wischmeier and Smith, 1978)에 의하면 계산된 토양유실량은 적용 대상 지역에서의 토양 유실의 가능성(potential)을 예측하는 것으로 언급하고 있다. 더욱이 범용토양유실공식은 장기간에 걸친 토양유실량을 예측하는 것이기 때문에, 우리나라와 같이 강우의 특성이 특정 계절에 집중이 되는 경우 계절적 특성을 반영해야 토양유실량 추정이 합리적으로 이루어질 수 있을 것으로 보인다(Risal et al., 2016; Sung et al., 2016).

따라서 본 연구에서는 우리나라의 최근 기상 자료를 활용하여 우리나라의 강우 특성을 반영할 수 있도록 하였으며, 상수원보호구역에서의 상대적인 토양유실량을 평가하였으며, 이를 바탕으로 토양유실 관리대책 우선 지역을 선정하는 사례를 통해 범용토양유실공식의 국내 적용 방법을 제안하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1. KORSLE과 ArcSATEEC 모형의 개요

Korean Soil Loss Equation(KORSLE; Kongju National University, 2015; Kongju National University, 2016)은 연평균 토양유실량을 추정하는 범용토양유실공식을 개선하여 우리나라에서의 월별 토양유실량을 예측할 수 있는 기법이다. 특히, KORSLE은 월별 강우량에 의해서 월별 강우침식능인자를 산정할 수 있는 방법을 제시하고 있으며, 국내 각각의 4대강 유역에 대한 월별 농경지 작물에 대한 지표피복인자를 제시하고 있기 때문에 작물의 생장이 토양유실량에 미치는 영향을 고려할 수 있다는 장점이 있다. 이 KORSLE을 기반으로 하는 ArcSATEEC 모형은 ArcGIS 소프트웨어의 ArcPy 툴의 형태로 개발되었으며, 범용토양유실공식을 기반으로 하여 토양유실량을 예측하는 모형이다. 또한, 우리나라의 계절적 토양유실 발생 특성을 반영하기 위해 월별 강우침식능인자와 지표피복인자를 산정하여 월별 토양유실량을 예측하는 모형이다(Yu et al., 2017). 월별 강우침식능인자는 사용자에 의해 월별 강우량 자료과 함께 Kongju National University(2015)에 제안된 월별 강우침식능인자 산정식을 이용하여 산정되거

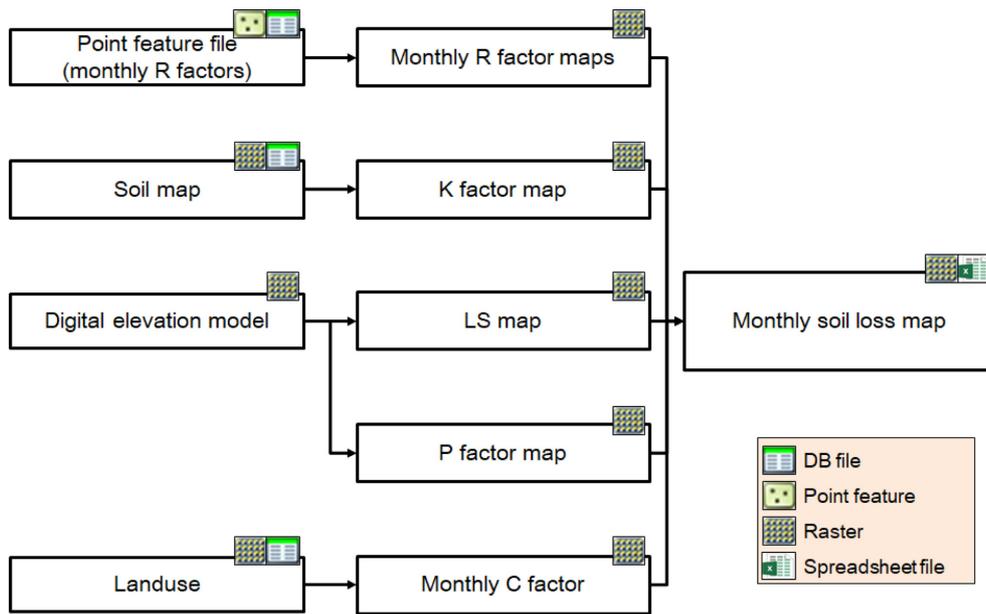


Fig. 1. Schematic flow of ArcSATEEC to estimate soil loss.

Table 1. Description of input data source

Data	Description	Source
Digital elevation model	Scale 1:5,000	National Geographic Information Institute, Ministry of Land, Infrastructure and Transport
Soil map	Scale 1:25,000	National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration
Landuse	Scale 1:25,000	Environmental Geographic Information Service, Ministry of Environment
Rainfall data	Daily precipitation (2003.1.1. - 2016.12.31.)	Korea Meteorological Administration
Water protection district	-	Water Resources Management Information System

나, 혹은 Web EROsivity Module(Risal et al., 2016)에 의해서 산정될 수 있다. 토양침식성인자와 지형인자는 토양도와 수치표고모형을 기반으로 하여 도출되며, 이는 ArcSATEEC 모형에서 자동으로 산정될 수 있다. 지표피복인자는 토지이용도와 모형에서 제공되는 유역별 및 월별 지표피복인자 데이터베이스에 의해서 산정될 수 있다. 즉, 수문모형을 이용하기 위한 기본적인 자료인 강우량, 토양도, 수치표고모형, 토지이용도만 모형에 구축된다면 월별 토양유실량 예측이 가능하다(Fig. 1).

Yu et al.(2017)은 ArcSATEEC 모형을 한강, 낙동강, 금강, 영상강, 섬진강 유역에 대해 적용하여 환경부의 '표토의 침식현황에 관한 고시'에 의한 토양유실량과 비교하였는데, 최근 강우 자료를 이용하여 강우침식능인자를 사용할 경우 수십년 자료에 의해 산정된 강우침식능인자와 공간적으로 큰 차이를 보이는 것을 지적한 바 있다. 특히,

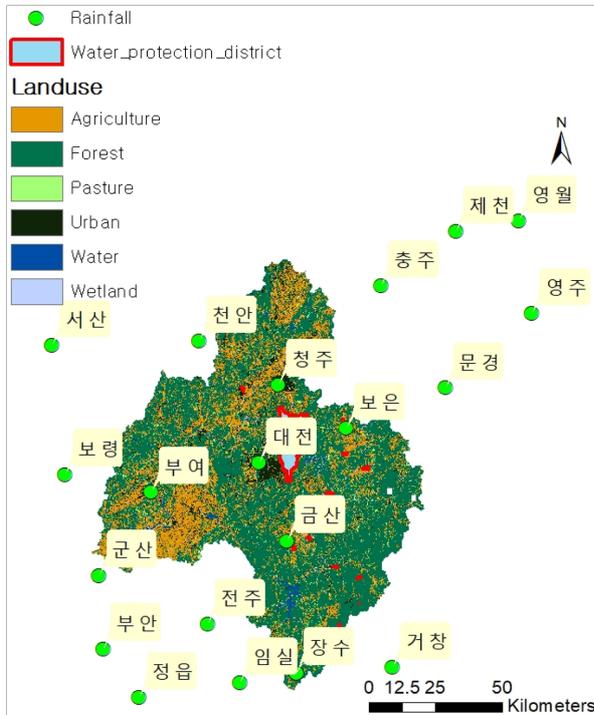
고시에 의한 토양유실량 추정에서는 가능하지 않았던, 월별 토양유실량의 차이를 지적하였는데, 모든 유역에서 연간 발생하는 토양유실의 50%가 7월과 8월에 발생하는 것으로 나타났다.

## 2.2. 연구대상지역

상수원보호구역에서의 토양유실량을 예측하기 위해 본 연구에서는 금강 유역을 대상으로 하였다. ArcSATEEC 모형은 수치표고모형, 토양도, 토지이용도를 필요로 하는데, 수치표고모형은 국립지리원에서 제공하는 1:5,000의 수치지도를 사용하여 30 m의 해상도를 가지는 격자 래스터 파일로 변환하여 구축하였다. 토지이용도는 환경부 환경공간정보서비스에서 제공하는 2005년 대분류 토지피복도(1:25,000)를 이용하였다(Table 1). 금강 유역은 총 면적 9,904 km<sup>2</sup>으로 유역의 59.1%가 산림으로 가장 넓은

**Table 2.** Landuses of Geumgang watershed

	Forest	Agriculture	Urban	Pasture	Water	Wetland
Area (km <sup>2</sup> )	5,855.5	2,500.2	793.1	376.3	227.5	151.8
Percentage (%)	59.1	25.2	8.0	3.8	2.3	1.5



**Fig. 2.** Landuses and the water protection districts in study area.

면적을 차지하고 있으며, 농경지가 25.2%, 시가지지역이 8.0%를 차지하고 있다(Table 2, Fig. 2).

토양유실의 월별 특성을 반영하기 위해서 ArcSATEEC 모형과 함께 제공되는 2000년부터 2014년까지의 강우량 자료에 대한 월별 강우침식능인자 Point feature 데이터베이스를 사용하여도 무방하나, 최근 각 연별 그리고 월별 강우침식능인자의 변화를 고려하기 위해 기상청의 영월, 충주, 서산, 청주, 대전, 군산, 전주, 제천, 보은, 천안, 부여, 금산, 부안, 임실, 정읍, 장수, 영주, 문경, 거창, 보령의 20개 지점의 2003년 1월 1일부터 2016년 12월 31일 까지의 일 단위 강우량 자료를 수집하여 이를 각 지점에 대해서 월별 강우량 자료로 변환한 뒤, Kongju National University(2015)에 의해 제안된 월별 강우침식능인자를 산정하였다. 즉, 최근 14년인 168개월에 대한 강우침식능인자를 각 지점에 대해 산정하여 ArcSATEEC 모형에서 요구하는 강우침식능인자 Point feature 데이터베이스를 구축하여 이용하였다. 강우침식능인자 산정의 예를 유역의 중앙 부분에 위치한 대전 지점의 자료로 들면, 대전 지점

에 대한 월별 강우침식능인자 산정식인 식 (1)에 모의 기간 중 월별 강우량(mm)을 식(1)의 P에 대입하고, 식 (1)의 M변수에 대해서 1월에는 1의 값을, 2월에는 2의 값을 대입하여 산정하였다. 즉, Fig. 2에 표시된 모든 지점들에 대해서, 각 월별 강우량(P)과 월(M)을 대입하여 월별 강우침식능인자를 산정하였다.

$$R_{대전} = 0.2527^{P^{1.4575}} \times M^{0.2518}$$

식 (1) (Kongju National University, 2015)

이와 함께 토양유실의 월별 특성을 반영할 수 있는 지표피복인자는 구축된 모형의 데이터베이스에 의해 자동으로 월별로 산정할 수 있도록 하였다. 상수원보호구역 자료는 국가수자원관리종합정보시스템의 자료를 사용하였으며, 금강 유역 내에는 총 38개의 상수원보호구역이 있는 것으로 나타났다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 연평균 토양유실량 예측

금강유역에 대한 토양유실량을 예측하기 위해서 2003년부터 2016년까지의 강우량 자료가 수집되어 월별 강우 침식능인자가 계산되어 모형의 입력 자료로 사용이 되어 월별 강우침식능인자 지도가 ArcSATEEC 모형에 의해 생성되었다. 즉, 모의 기간인 14년의 각 12개월에 대한 168개의 강우침식능인자 지도가 생성되었다. 토양침식성인자 지도는 모형과 함께 제공되는 자료를 사용하였다. 지형인자 지도와 경작방법인자 지도는 수치표고모형을 입력 자료로 하여 모형에서 생성되도록 하였으며, 지표피복인자는 토지이용도를 입력 자료로 하여 모형의 데이터베이스에 의해 각 월에 해당하는 12개의 지표피복인자 지도가 생성되도록 하였다. 토양유실량은 이 인자 지도의 곱에 의해 계산이 되는데 동일한 월에 해당하는 강우침식능인자와 지표피복인자의 곱이 이루어진 뒤, 연간 변하지 않는 인자인 토양침식성인자, 지형인자, 경작방법인자의 곱이 순차적으로 이루어져 월별 토양유실량이 계산이 되었다 (Fig. 3). 즉, 2016년을 예로 할 때, 2016년 1월에 해당하는 강우침식능인자와 지표피복인자의 곱이 이루어진 뒤,

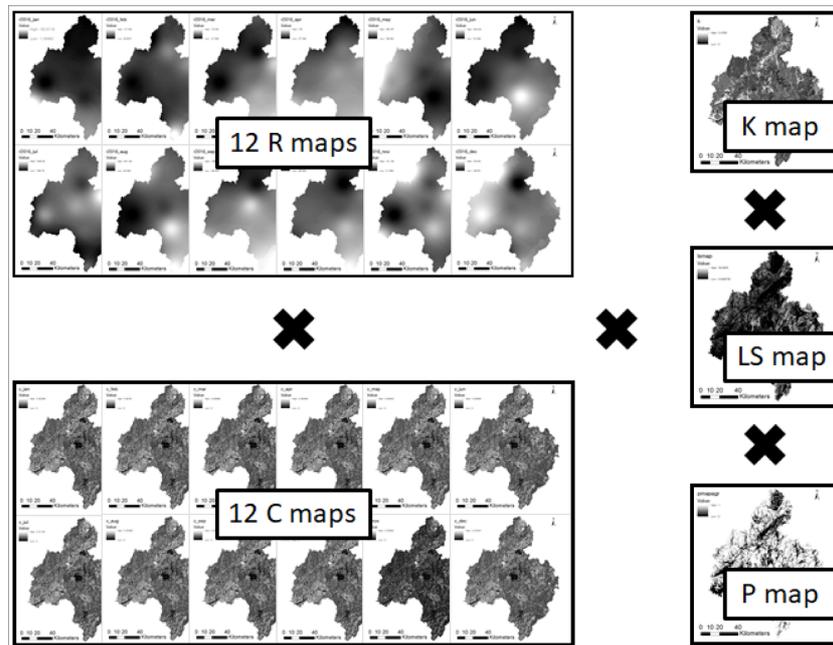


Fig. 3. Soil loss estimations using monthly R maps, K map, LS map, monthly C maps, and P map in 2016.

Table 3. Ranges of factors in 2016

	R	K	LS	C	P	A
Jan.	1.085 - 63.812			0.453		0.025
Feb.	45.687 - 147.406			0.467		0.547
Mar.	12.754 - 153.961			0.510		0.631
Apr.	277.368 - 735.000			0.559		5.399
May	198.609 - 485.497			0.527		2.657
Jun.	70.205 - 286.024	0.000	0.069	0.291	0.000	1.194
Jul.	1540.780 - 2646.090	-	-	0.211	-	17.020
Aug.	63.268 - 447.156	0.077	80.863	0.204	1.000	1.764
Sep.	195.979 - 1098.910			0.239		5.845
Oct.	297.829 - 944.212			0.280		5.173
Nov.	27.769 - 151.793			0.326		0.458
Dec.	108.831 - 243.851			0.375		1.402

나머지 3개 인자의 곱이 이루어져서 2016년 1월에 대한 토양유실량이 예측이 되었다. 그리고 2016년 2월에 해당하는 강우침식능인자와 지표피복인자의 곱이 이루어진 뒤, 2016년 1월의 토양유실량 예측에 사용되었던 동일한 토양 침식성인자, 지형인자, 경작방법인자가 사용이 되어 2016년 2월에 대한 토양유실량이 예측이 되었다. 전체 모의 기간인 2003년부터 2016년에 대한 토양유실량 예측 과정을 볼 때, 강우침식능인자 지도는 해당 월에 대해서 한 번씩만 사용이 되었으며, 모의 기간 중 모든 1월에 대해서는 동일한 지표피복인자 지도가 사용이 되었다. 그리고 모의 기간 중 모든 월에 대해서 동일한 토양침식성인자,

지형인자, 경작방법인자 지도가 사용이 되었다. 그리고 생성된 168개의 월별 토양유실량 지도를 이용하여 하나의 연평균 토양유실량 지도를 생성하였다.

전체 모의 기간인 14년에 대한 168개의 월별 토양유실량 예측 중에서 가장 최근인 2016년 12개월에 대한 토양유실량 예측을 예로 볼 때(Table 3), 강우침식능인자(R)는 7월에 유역 내에서 1540.780 MJ · mm/ha · hr - 2646.090 MJ · mm/ha · hr로 가장 큰 것으로 나타났으며, 1월에 1.085 MJ · mm/ha · hr - 63.812 MJ · mm/ha · hr로 가장 작은 것으로 나타났다. 토양침식성인자(K)는 모의 기간 동안 변하지 않는 값으로 0.000 Mg · hr/MJ · mm - 0.077

Mg · hr/MJ · mm의 범위를 보였다. 지형인자(LS)는 유역의 경사에 따라 0.069에서 80.863의 큰 변화폭을 보였다. 지표피복인자(C)는 작물의 생장이 고려된 것으로 최솟값은 유역 내 위치한 강이나 습지와 같은 수역이 0.000의 값으로 적용되었으며, 최댓값은 농경지에 대한 값으로 작물의 파종 전 토양의 교란이 일어나는 5월에 가장 큰 0.559의 값이 적용되었으며, 최솟값은 작물의 수확 직전인 8월에 0.204로 적용이 되었다. 월별 토양유실량(A)는 강우침식능인자가 최대였던 7월에 가장 큰 17.020 Mg/ha를 보였으며, 1월에 0.025 Mg/ha로 최소를 보였다. 8월은 우리나라의 경우 강우량이 비교적 많은 여름철에 해당되나, 유역 내 강우량에 의해 산정되는 강우침식능인자가 7월과 9월에 비해 낮아 토양유실량 역시 낮게 예측되었다.

### 3.2. 상수원보호구역에 대한 토양유실 우려지역의 선정

금강 유역에는 총 38개의 상수원보호구역이 있으며, 본 연구에서는 이 각각의 구역들에 대해서 연간 단위면적당 발생할 수 있는 토양유실량을 예측하였다. 토양유실량이 가장 크게 예측된 구역의 경우 연간 발생할 수 있는 토양유실량이 60.08 Mg/ha/yr로 나타났으며, 38개의 상수원보호구역 중에 22개의 상수원보호구역은 최근 14년 동안의 기상 조건에 대해 발생할 수 있는 토양유실량이 1.00 Mg/ha/yr 이하로 아주 낮게 예측되었다. 이 구역들은 지표피복상태가 산림지역 혹은 시가지 지역을 포함하거나, 경사가 급하지 않아 지형인자가 낮게 산정된 지역들로 나타났다. 더욱이 금강 유역에서 토양 유실을 일으키는 강우침식능인자는 유역의 북쪽과 서쪽에서 높게 예측된 반면에, 상수원보호구역은 대부분 유역의 동부 및 중부 지역에 위치하고 있기 때문에 토양유실 가능성이 비교적 낮은 것으로 예측되었다. 다시 말해 토양유실 가능성이 낮은 지역은 5개의 인자 중에 특정 인자에 지배적인 영향을 받은 것이 아니라, 각 인자값의 크기가 모두 작은 경향을 보일 때 토양유실 가능성이 낮은 것으로 예측되었다.

38개의 상수원보호구역 중에 10개 구역은 1.10 Mg/ha/yr에서 25.62 Mg/ha/yr의 범위를 보였는데 이는 금강 유역 내 상수원보호구역에서 토양유실 가능성이 가장 큰 구역에 비해 1.83%에서 42.64%에 해당하는 것으로, 이 구역들의 토양유실 가능성은 유역 내 토양유실 가능성이 가장 큰 상수원보호구역과 비교했을 때 절반 미만인 것으로 예측되었다. 즉, 금강 유역 내 상수원보호구역의 58%는 토양유실에 대한 취약성이 거의 없는 것으로 예측되었으며, 38개의 상수원보호구역 중에서 32개(84%)는 토양유실 가능성이 가장 큰 구역에 비해 50% 미만의 토양유실 가능

성을 가지고 있는 것으로 예측되었다.

이와 반대로, 금강 유역 내 상수원보호구역 중에서 토양유실 가능성이 가장 큰 5개의 구역을 정의하였는데 Fig. 4에서 보이는 바와 같이 4개의 구역은 유역의 중앙 부분에 위치하고 있으며, 1개의 구역은 유역의 동남부 지역에 위치하고 있다. 유역의 중앙 부분에 위치한 4개의 구역 중에서 가장 서쪽에 위치한 ㉓구역이 연간 토양유실 가능성이 60.08 Mg/ha/yr로 가장 큰 값으로 예측되었으며 ㉔구역이 57.45 Mg/ha/yr로 연간 토양유실 가능성이 두 번째로 큰 것으로 예측되었다. 5개의 구역 중에 이들 두 구역은 상대적으로 작은 면적을 차지하는 구역이다. ㉓구역의 경우 토양유실 가능성이 크게 예측된 이유는 농경지를 포함하고 있으며, 경사도 및 경사장에 의해 산정되는 지형인자가 최소 0.71에서 최대 7.24의 값으로 토양유실 가능성이 비교적 낮았던 32개 구역에 비해서 상대적으로 큰 경향을 보였다. ㉔구역은 지표피복인자의 값이 큰 농경지를 포함하고 있지 않고 산림 지역만을 포함하고 있다. 하지만, 지형인자의 범위가 최소는 0.07로 비교적 크지 않았으나 최대값은 26.89로 상대적으로 큰 경향을 보였다. 즉, 토양유실 가능성이 가장 큰 두 구역에 대해 분석하였을 때, 농경지를 포함하면서 지형이 토양유실에 취약한 조건을 가지고 있는 것으로 나타났다. 즉, 토양유실에 영향을 주는 인자의 조합 혹은 특정인자가 매우 큰 경향을 보인 구역들이 토양유실 가능성이 매우 큰 것으로 나타났다.

토양유실 가능성이 크게 예측되었던 5개 구역 중에 ㉓, ㉔, ㉕ 구역들은 다른 상수원보호구역들에 비해 큰 면적을 차지하고 있는 구역이기 때문에, 토양유실 가능성이 크게 예측된 이유를 정확하게 정의하기에는 무리가 있다. 따라서 이 구역들에 대해서는 현장조사 등을 통하여 구역의 조건 및 특성으로 세분화하여 추가 분석이 필요할 것으로 판단된다. 예측된 토양유실량의 수치에 대해 살펴보면, ㉓, ㉔, ㉕ 구역의 경우 연간 토양유실량이 50 Mg/ha를 초과하는 지역인데, 2012년에 환경부에 의해 제정된 '표토의 침식 현황 조사에 관한 고시'(Ministry of Environment, 2012)에서는 이 값을 초과하는 지역에 대해서는 추가로 현장조사를 실시하도록 하고 있다. 즉, ㉓, ㉔, ㉕ 구역은 유역 내 상수원보호구역 중에서 토양유실의 가능성이 가장 큰 지역임과 동시에, 토양유실과 관련된 국가의 정책적인 수준에서도 토양유실의 가능성이 비교적 큰 지역으로 판단된다.

따라서 본 연구를 통한 금강 유역 내 상수원보호구역에 대한 토양유실 가능성 예측에 대한 결론을 요약하면, 1) 토양유실 가능성이 낮은 구역들은 토양유실량을 예측하는

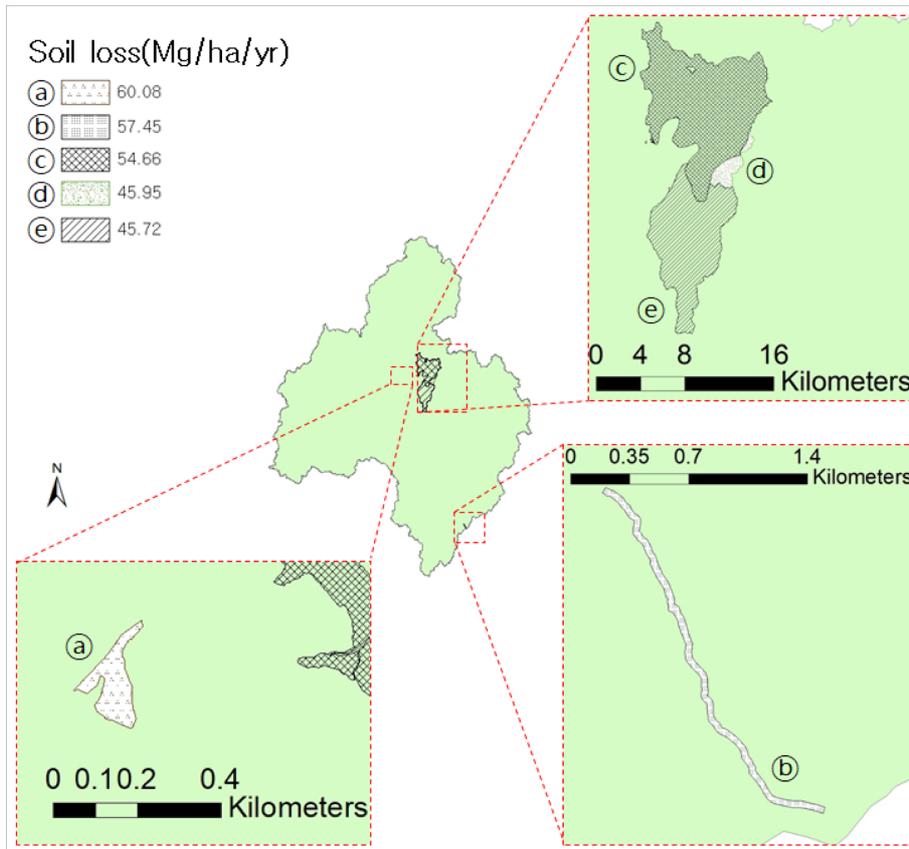


Fig. 4. Locations of the five severe soil loss.

인자들이 전반적으로 작은 것으로 나타났으며, 토양유실 가능성이 큰 구역들은 2) 작지 않은 몇 개의 인자들의 상호작용에 의한 것이거나, 3) 특정 인자가 지배적으로 매우 큰 값을 보인 경우였다. 즉, 토양유실 가능성을 낮추기 위해서는 토양유실에 영향을 주는 조건들이 고르게 관리되어야 한다는 것을 의미하며, 이 조건들 중에 하나 이상에 대한 관리가 이루어지지 않는다면 토양유실 가능성이 커질 수 있음을 의미한다.

#### 4. 요약 및 결론

토양유실량을 예측하는 여러 가지 방법 중에서 범용토양유실공식은 여러 수문 모형들에 적용되고 있을 뿐만 아니라 현재까지 그 자체로 사용되기도 하며, 최근 우리나라의 경우 환경부에 의한 표토 침식 대책 관련 고시에서도 이 공식을 사용하도록 권장하고 있다. 이는 오랜 시간에 걸친 연구를 통해 토양유실에 영향을 주는 인자에 대한 충분한 분석을 통해 타당한 과학적 근거를 바탕으로 개발된 범용토양유실공식이라는 장점과 함께, 토양유실량

산정과정의 간편성, 그리고 공식의 개발 이후 여러 연구자에 의한 오랜 연구를 통한 다양한 지역에 대한 입력 자료의 구축이 충분히 이루어져왔다는 점에서 비롯된 것이라 할 수 있다.

그러나 범용토양유실공식의 개발 및 적용과 관련된 연구 문헌에서 언급하고 있듯이, 공식을 적용하기 전에는 각 인자에 대한 검토가 이루어질 필요가 있다. 특히 우리나라처럼 토양유실에 영향을 주는 인자의 계절적 특성이 뚜렷한 경우, 연별 및 월별 토양유실의 변화가 함께 고려될 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 우리나라의 기상변화를 고려할 수 있는 모형을 이용하여 토양유실량을 예측하였다. 최근 기상변화를 고려할 수 있도록 금강 유역의 내 혹은 인근에 위치한 20개의 강우 측정 지점에서 관측된 2003년부터 2016년까지 강우 자료를 수집 및 적용함으로써 최근 월별 강우 특성을 반영할 수 있도록 하였으며, 연간 지표피복상태의 변화도 모형을 통해 반영하였다. 그리고 범용토양유실공식에 근거한 방법의 토양유실량의 예측은 토양유실 가능성을 추정하는 것이기 때문에, 예측된 값의 절대적인 크기가 아니라 각각의 상수원보호구역에

대한 값의 상대적인 크기를 비교하여 상위 5개의 토양유실이 심각할 것으로 우려되는 지역을 선정할 수 있다. 즉, 본 연구의 적용 사례를 통해 제안하는 것은 다음과 같다. 범용토양유실공식 및 이 공식에 근거한 방법을 이용하여 토양유실량을 예측할 때 고려해야할 사항은 1) 우리나라의 강우 특성을 반영할 수 있을 것, 2) 연중 지표피복상태의 변화를 고려할 수 있을 것, 그리고 3) 토양유실량 예측값의 상대적인 비교에 의해 토양유실량의 심각성을 판단해야 한다는 것이다. 따라서, 토양유실량 예측값의 크기에 중점을 두기 보다는 광범위한 지역에 대한 상대적인 비교에 의한 평가가 수행될 필요가 있다는 것이다.

## 사 사

본 연구는 환경부의 토양지하수오염방지기술개발사업(과제번호 2014000540004) 일환으로 한국환경산업기술원의 지원을 받아 수행되었습니다.

## References

- Kongju National University, 2015, Development of topsoil erosion model for Korea. Yesan-gun: Republic of Korea
- Kongju National University, 2016, Development of topsoil erosion model for Korea. Yesan-gun: Republic of Korea
- Lee, W., Jang, C., Kim, D., Jung, Y., Kang, H., Lim, K.J., and Park, Y.S., 2014, Analysis of temporal change in soil erosion potential at Haeon-myeon watershed due to climate change, *Korean Soc. Soil Sci. Fert.*, **47**(2), 71-79.
- Ministry of Environment, 2012, A bulletin on the survey of the erosion of topsoil. Sejong-si: Ministry of Environment
- Park, Y.S., Kim, J., Kim, N.W., Kim, S.J., Jeon, J.H., Engel, B.A., Jang, W., and Lim, K.J., 2010, Development of new R, C and SDR modules for the SATEEC GIS system, *Comp. Geo.*, **36**(6), 726-734.
- Park, Y.S., Engel, B.A., and Harbor, J., 2014, A web-based model to estimate the impact of best management practices, *WATER*, **6**(3), 455-471.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, D.K., McCool, and Yoder, D.C., 1997, Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). *U.S. Depart of Agriculture Handbook No. 703*.
- Risal, A., Bhattarai, R., Kum, D., Park, Y.S., Yang, J.E., and Lim, K.J., 2016, Application of Web ERosivity Module (WERM) for estimation of annual and monthly R factor in Korea, *CATENA* **147**, 225-237.
- Sung, Y.S., Jung, Y., Lim, K.J., Kim, J., Kim, K.S., Shin, M.H., Kum, D.H., and Park, Y.S., 2016, A study to develop monthly cover management factor database for monthly soil loss estimation, *J. Korean Soc. Ag. Eng.*, **58**(6), 23-30.
- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D., 1965. Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: Guide for selection of practices for soil and water conservation. *U.S. Depart of Agriculture Handbook No. 282*.
- Wischmeier, W.H., 1976, Use and misuse of the universal soil loss equation, *J. Soil Water Conserv.*, **31**, 5-9.
- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D., 1978, Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning Handbook No.537. U. S. Department of Agriculture
- Yu, N.Y, Lee, D.J., Han, J., Lim, K.J., Kim, J., Kim, K.H., Kim, S., Kim, E.S., and Park, Y.S., 2017, Development of ArcGIS-based model to estimate monthly potential soil loss, *J. Korean Soc. Ag. Eng.*, **59**(1), 21-30.