



## 범용토양유실공식의 유역단위 및 개발사업에 대한 적용방안 검토 및 보완에 관한 연구

### A Study to Evaluate and Remedy Universal Soil Loss Equation Application for Watersheds and Development Projects

우원희<sup>a</sup> · 채민서<sup>b</sup> · 박종윤<sup>c</sup> · 이한용<sup>d</sup> · 박윤식<sup>e,f,†</sup>

Woo, Won Hee · Chae, Min Suh · Park, Jong-Yoon · Lee, Hanyong · Park, Youn Shik

#### ABSTRACT

Universal Soil Loss Equation (USLE) is suggested and employed in the policy to conserve soil resources and to manage the impact of development, since soil loss is very essential to nonpoint source pollution management. The equation requires only five factors to estimate average annual potential soil loss, USLE is simplicity provides benefits in use of the equation. However, it is also limitation of the model, since the estimated results are very sensitive to the five factors. There is a need to examine the application procedures. Three approaches to estimate potential soil loss were examined, In the first approach, all factors were prepared with raster data, soil loss were computed for each cell, and sum of all cell values was determined as soil loss for the watersheds. In the second approach, the mean values for each factor were defined as representing USLE factors, and then the five factors were multiplied to determine soil loss for the watersheds. The third approach was same as the second approach, except that the Vegetative and Mechanical measure was used instead of the Cover and management factor and Support practice factor. The approaches were applied in 38 watersheds, they displayed significant difference, moreover no trends were detected for the soil loss at watersheds with the approaches. Therefore, it was concluded that there is a need to be developed and provided a typical guideline or public systems so that soil loss estimations have consistency with the users.

**Keywords:** USLE; nonpoint source management policy; soil loss; soil erosion

#### 1. 서론

도시화에 따른 토지이용의 변화나 강우패턴의 변화에 따라 토양유실은 심각한 문제가 되고 있다. 토양유실로 인해 토양의 생태계훼손, 환경조절 기능약화 등의 문제가 발생되며, 강우유출수에 의해 유실된 토양이 하천으로 유입되어 탁수, 부영양화 등의 추가문제를 야기한다. 토양유실은 환경적인 문

제뿐 아니라 논이나 밭 등과 같은 지역에서 자원의 가치손실로 인식되고 있다 (Park et al., 2019). 토양유실은 대부분 표토에서 발생되며, 표토는 지질 지표면을 이루는 흙으로 유기물, 미생물이 풍부한 토양을 말한다. 표토는 양분을 공급하여 생태계를 유지하는 근간이 되고, 수자원의 순환 및 탄소저장에서 중심적인 역할을 담당하기도 한다 (European Commission, 2006; Bouma, 2014; Oh et al., 2017). 또한 오염물질의 정화 및 자정기능이 있으나 이러한 수많은 이점에도 불구하고 우리나라의 표토 대부분은 지표면의 경사가 급한 지역이 많고, 여름철 집중호우로 인한 토양유실이 심각하여 이에 대한 대책이 시급한 실정이다 (Ministry of Environment; MOE, 2018). 이에 국가 중요자원인 표토의 침식을 방지, 토양유실을 최소화하기 위한 다양한 노력을 기울이고 있다 (Jung et al., 2015).

우리나라에서는 1996년 1월 6일 (법률 제4906호)로 토양환경보전법이 제정된 이후 2011년 4월 5일 토양환경보전법 제6조의2에 ‘표토의 유실현황 조사’가 신설되어 「수도법」에 따른 상수원보호구역과 4대강 유역에 지정·고시된 수변구역에 대해 환경부장관이 표토의 유실현황 및 정도를 조사하여, 환경부령으로 정하는 기준을 초과하는 경우에는 이에 대한 대책을 수립하여 시행토록 규정되었으며, 동법 제6조2 및 같은

<sup>a</sup> PhD Student, Department of Regional Construction Engineering, Kongju National University

<sup>b</sup> MS Student, Department of Regional Construction Engineering, Kongju National University

<sup>c</sup> Senior Research Fellow, Environmental Assessment Group, Korea Environment Institute

<sup>d</sup> PhD Student, Department of Regional Construction Engineering, Kongju National University

<sup>e</sup> Researcher, Industrial Development Institute, Kongju National University

<sup>f</sup> Associate Professor, Department of Regional Construction Engineering, Kongju National University

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: \*\*\*-\*\*\*\*-\*\*\*\* Fax: +81-41-330-1269

E-mail: parkyounshik@gmail.com

Received: January 27, 2023

Revised: March 20, 2023

Accepted: March 21, 2023

법 시행규칙 제5조의2에 따라 2012년 7월 18일 환경부 고시 제2012-124호로 ‘표토의 침식 현황 조사에 관한 고시’가 제정되어 시행되고 있다. 2012년 환경부는 전국을 8개권역으로 나누어 표토침식을 예비조사한 결과, 용도별 토지이용중 공사장 등 나지 지역에서의 평균 토양유실량이 318.58 Mg/ha·yr로 전국 토양유실량 34.56 Mg/ha·yr의 9.2배에 달하며 전국 평균 토양유실량을 초과하는 발지역 평균 93.89 Mg/ha·yr보다 3.4배, 초지 지역 평균 61.13 Mg/ha·yr의 5.2배가 높아 개발사업에서의 토양유실 관리가 필요한 것으로 나타났으며, 토양유실량이 경제협력개발기구(OECD) 토양침식 등급 중 최고인 ‘매우심함’ 등급에 해당된다고 보고되었다(MOE, 2018). 또한 전략환경영향평가 및 환경영향평가 대상이 되는 개발사업의 경우에는 2003년 37,140건에 84.91 km<sup>2</sup>가 이루어졌으나 2011년에는 89,209건에 412.77 km<sup>2</sup>로 개발행위건수는 2.4배, 면적은 4.9배가 증가하여 상대적으로 토양훼손이 이루어지고 있다고 보고되었다(Shin, 2013). 환경영향평가에서 토양유실과 관련된 분석 사례를 살펴보면, ‘도시의 개발’으로 구분되는 A사업은 2022년 0.27 km<sup>2</sup>(외부유역 포함 0.44 km<sup>2</sup>)을 대상으로 하였는데, 토양유실량이 공사 전, 중, 후 0.89 Mg/ha, 28.5 Mg/ha, 0.34 Mg/ha 인 것으로 예측하였다. ‘관광단지의 개발’로 구분되는 B사업은 2021년 0.85 km<sup>2</sup> 규모로 사업이 진행되며 토양유실량이 공사 전 7.0 Mg/ha, 공사 중 278.0 Mg/ha, 공사 후 3.0 Mg/ha 인 것으로 예측하였다. ‘체육시설의 설치’로 구분되는 C사업의 경우 2021년 규모 0.96 km<sup>2</sup>(외부유역 포함 1.24 km<sup>2</sup>)를 대상으로 하였는데 공사 전, 중, 후 토양유실량은 29.8 Mg/ha, 849.1 Mg/ha, 17.7 Mg/ha로 예측하였다. ‘산업입지 및 산업단지의 조성’으로 구분되는 D사업의 경우 2019년 사업규모 0.39 km<sup>2</sup>(외부유역 포함 유역면적 1.32 km<sup>2</sup>)로 공사 전 1.78 Mg/ha, 공사 중 17.7 Mg/ha, 공사 후 0.55 Mg/ha 로 예측하였다(Table 1).

이와 같이, 토양 자원의 관리를 위한 국가의 시행령이나, 개발 사업이 환경에 미치는 영향을 파악하고 동시에 관리하기 위한 평가 등에서 범용토양유실공식(Universal Soil Loss Equation; USLE)(Wischmeier and Smith, 1965; Wischmeier and Smith, 1978)이 이용되고 있다. 이 범용토양유실공식은

단위 면적(ha)에서 발생할 수 있는 토양유실 발생 가능성(Potential Soil Loss, Mg/ha·yr)을 추정하기 위한 공식인데, 토양침식을 일으키는 원인인 강우 조건을 반영하기 위한 강우침식능인자(Rainfall Erodibility Factor; R Factor, MJ·mm/ha·yr·hr), 토양의 침식 발생 가능 정도를 반영하기 위한 토양침식성인자(Soil Erosivity Factor; K Factor, Mg·ha/MJ·mm), 지형이 토양 침식에 미치는 정도를 반영하기 위한 지형인자(Slope Length and Steepness Factor; LS Factor, Dimensionless), 지표 피복에 의한 침식 발생 정도를 반영하기 위한 지표피복인자(Crop and Cover Management Factor; C Factor, Dimensionless), 농경활동이 침식에 미치는 정도를 반영하기 위한 보전관리인자(Conservation Practice Factor; P Factor, Dimensionless)의 다섯 가지 인자만을 요구한다. 범용토양유실공식에 의한 토양유실량은 예측하고자 하는 필지에 대해 다섯 가지 조건에 대한 값을 정의한 뒤에 이를 곱하여 결정하며, 분석 대상 지역이 다양한 조건을 포함하고 있을 경우에는 분석 대상 지역 내 각 지점 또는 필지에 대한 다섯 가지 조건에 대한 값을 곱하여 각각의 지점에 대한 토양유실량을 예측한 뒤에 이를 합하여 분석 대상 지역의 토양유실량으로 정의하여야 한다(Song et al., 2019, Kim et al., 2020). 그러나 앞서 언급된 환경영향평가 등에서도 같이 토양유실을 예측하고자 하는 분석 대상 지역이 넓거나, 또는 다양한 조건을 가지는 경우에는 분석 대상 지역 전체에 대한 각 인자별 대푯값을 결정된 뒤에 이 다섯 개의 대푯값들을 곱하여 토양유실량으로 결정할 수도 있다. 각 인자에 대한 대푯값을 정의하여 토양유실량을 정의할 경우에 각 인자에 대한 조건에 따라 대상 지역을 구분하지 않아도 되기 때문에 연산 과정에서 간편성이 증대될 수는 있겠으나, 이 경우에 각 인자 조건에 의해 지역을 구분하였을 경우와 토양유실량 연산 결과와는 차이가 발생할 가능성이 존재한다. 이러한 두 가지 토양유실량 정의 방법과 함께, 실무에서 이용되고 있는 또 다른 방법으로 범용토양유실공식의 지표피복인자와 보전관리인자를 토양침식조절인자(Vegetative and Mechanical Measure; VM)로 대체하여 적용하는 방법이 있는데, 이 방법은 현재 환경영향평가에서 토양유실량 예측 방법에서 이용되는 방법이다

**Table 1** Soil loss estimation cases in development projects

Classification	Area (km <sup>2</sup> )	Soil loss (Mg/ha)		
		Pre-development	Mid-development	Post-development
A	Urban development	0.89	28.5	0.34
B	Development of tourist complex	7.00	278.0	3.00
C	Installation of sports facilities	29.80	849.1	17.70
D	Development of industrial complex or land	1.780	17.7	0.55

(Transportation Research Board, 1980). 이를 종합하여 볼 때, 범용토양유실공식에 의해서 토양유실량을 예측할 때에는 각 인자 조건마다 토양유실량을 산정한 뒤에 이를 합해야 하나, 실무에서는 이를 응용하여 연산과정을 간소화하여 이용되고 있다. 이러한 간소화된 방법들이 토양유실량 예측에 있어 범용토양유실공식의 접근방법과 얼마나 차이가 발생할 수 있는지에 대한 검토가 필요하며 개발사업에 대한 적용방안 보완이 필요할 것으로 보인다. 이에 본 연구에서는 범용토양유실공식에서 제시하고 있는 방법을 그대로 적용했을 경우와, 실무에서 이용되고 있는 간소화된 범용토양유실공식에 의해서 토양유실량을 산정했을 경우에 대해서 인자의 종류에 의한 예측결과 차이를 분석하고 그 원인을 검토하고자 하였다.

## II. 연구방법

### 1. 토양유실량 산정 방법

본 연구에서는 범용토양유실공식과 이를 응용하여 미국교통연구단 (Transportation Research Board ; TRB)에서 제안한 방법에 대해서 검토하였다. Wischmeier and Smith (1965)와 Wischmeier and Smith (1978)에 의해 개발된 범용토양유실공식 (Kim et al., 2007; Shin et al., 2009; Park et al., 2011; Shin et al., 2015; Yu et al., 2017a; Yu et al., 2017b)은 개발초기 농경지에서 발생하는 토양유실량 산정을 위하여 개발되었으나, 현재에는 농경지 뿐 아니라 각종 개발사업 등 대상지역에서 발생하는 토양유실량을 산정하는데 많이 적용되고 있다. 범용토양유실공식은 필지 단위 모형으로 토양유실량을 산정하고자 하는 필지에 대한 강우침식능인자, 토양침식성인자, 지형인자, 지표피복인자, 보전관리인자를 정의한 뒤에 이를 모두 곱하여 토양유실량으로 정의한다 (식 1).

$$A_{USLE} = R \times K \times LS \times C \times P \quad \text{식 (1)}$$

여기서  $A_{USLE}$ 는 범용토양유실공식에 의한 연평균 토양유실량 ( $Mg/ha \cdot yr$ )이며,  $R$ 은 강우침식능인자 ( $MJ \cdot mm/hr \cdot yr \cdot hr$ )이며,  $K$ 는 토양침식성인자 ( $Mg \cdot hr/MJ \cdot mm$ )이며,  $LS$ 는 지형인자 (무차원)이며,  $C$ 는 지표피복인자 (무차원)이며,  $P$ 는 보전관리인자 (무차원)이다.

강우침식능인자는 강우량과 강우강도를 이용하여 강우 조건이 얼마나 침식을 일으킬 수 있는지를 수치로 표현한 인자이며, 토양침식성인자는 토양의 침식 정도를 표현한 것으로 강우침식능인자의 단위와 상쇄되어 토양유실량이 단위면적당 토양의 무게로 표현될 수 있도록 하는 인자이다. 지형인자

는 경사면의 길이 22.13 m와 경사도 9%를 기준으로 하여 경사 조건이 토양유실량에 미치는 영향을 표현하는 인자이며, 지표피복인자는 지표면을 피복하고 있는 상태에 의해서 토양유실량의 정도를 비율로 표현하며 범위는 0에서 1의 범위를 가진다. 보전관리인자는 농경지에서 고랑의 방향이 토양유실량에 미치는 정도를 비율로 표현한 것으로 지표피복인자와 마찬가지로 0에서 1의 범위를 가진다. 범용토양유실공식은 이 다섯 가지 인자에 의해서 연간 토양유실량을 산정하기 위해서 제시된 경험식으로, 강우 조건, 토양 특성, 지형 조건, 토지피복 상태, 경작 방법을 고려하여 토양유실량을 예측할 수 있는 간단한 공식이다.

$$IF, I \leq 76 \text{ mm/hr} : e = 0.119 + 0.0873 \log_{10} I \quad \text{식 (2)}$$

$$IF, I > 76 \text{ mm/hr} : e = 0.283 \quad \text{식 (3)}$$

$$E = \sum (e \times P) \quad \text{식 (4)}$$

$$R = E \times I_{30 \text{ max}} \quad \text{식 (5)}$$

여기서,  $I$ 는 강우강도 ( $mm/hr$ ),  $e$ 는 강우사상의 시간단위별 운동에너지 ( $MJ/ha \cdot mm$ ),  $P$ 는 강우사상의 시간단위별 강우량 ( $mm$ ),  $E$ 는 강우사상별 운동에너지 ( $MJ/ha$ ),  $I_{30 \text{ max}}$ 는 지속시간 30분 최대강우강도 ( $mm/hr$ ),  $R$ 은 강우침식능인자이다.

강우침식능인자는 식 (2) - (5)에 의해서 계산될 수 있는데, 강우사상에 대해서 강우 간격이 6시간 이내일 경우에는 단일 강우사상으로 간주하며 토양유실이 발생할 수 있는 강우량은 12.7 mm 이상으로 정의하며, 강우량이 12.7 mm 이하인 경우에도 15분 이내 강우량이 6.25 mm일 경우에는 토양유실을 일으킬 수 있는 강우사상으로 정의한다 (Renard et al., 1997; Wischmeier and Smith, 1978). 본 연구에서는 '표토의 침식 현황 조사에 관한 고시' 국내 158개 지점에 대한 값을 표로 제시 (MOE, 2012)하고 있으며 이 값을 이용하여 적용하였다.

$$K = 1.32 \left[ \frac{2.1 \times 10^{-4} \cdot (12 - OM) \cdot M^{1.14} + 3.25(S_1 - 2) + 2.5(P_1 - 3)}{100} \right] / 9.8 \quad \text{식 (6)}$$

$$M = (MS + VFS) \cdot (100 - CL) \quad \text{식 (7)}$$

토양침식성인자 ( $K$ )는 식 (6)과 식 (7)으로 표현된 바와 같이, 유기물 백분율 ( $OM$ , %), 토양 유실에 대한 입경 특성 함수 ( $M$ ), 토양 구조 지수 ( $S_1$ ), 토양 투수 등급 ( $P_1$ ), 미사 백분율

(MS, %), 극세사 백분율 (VFS, %), 점토 백분율 (CL, %)에 의해서 정의될 수 있다.

‘표토의 침식 현황 조사에 관한 고시’는 이 토양침식성인자를 토양통으로 구분하여 정의하고 있으며, 본 연구에서는 이를 이용하여 토양침식성인자를 적용하였다.

$$LS = (\lambda/22.13)^m \times (65.4 \sin^2\beta + 4.5 \sin\beta + 0.0654) \quad \text{식 (8)}$$

$$\begin{aligned} \beta > 0.05 : m &= 0.5 \\ 0.03 < \beta \leq 0.05 : m &= 0.4 \\ 0.01 < \beta \leq 0.03 : m &= 0.3 \\ \beta \leq 0.01 : m &= 0.2 \end{aligned}$$

지형인자 (LS)는 경사장 ( $\lambda$ , m), 경사도 ( $\beta$ , radian), 경사에 따른 변수 (m, 무차원)에 의한 함수에 의해서 정의된다 (식 8).

지표피복인자 (C)는 지표의 피복 상태나 종류에 근거하여 결정할 수 있는데, ‘표토의 침식 현황 조사에 관한 고시’에서

는 지표의 피복 상태를 나지, 논, 밭, 초지, 산림, 과수원으로 구분하여 이 인자에 대한 값을 제시하고 있다 (Table 2). 그리고 Table 2에서 제시되어 있지 않은 도시 지역에 대해서는 Jung et al. (1985)에서 제시된 값인 0.01을 이용하였다.

보전관리인자 (P)는 농경지에서 고랑 등의 경작 형태에 의해 정의될 수 있는데, ‘표토의 침식 현황 조사에 관한 고시’에서는 이 인자에 대해서 논과 밭에서는 경사도를 반영하여 인자를 정의하고, 이외의 토지 피복 조건에 대해서는 모두 1.0을 적용하도록 제시하고 있다 (Table 3).

TRB에서 제안된 방법은 ‘재해영향평가 실무지침 전부개정(안)’ (Ministry of the Interior and Safety; MOIS, 2021)에서 이용되고 있는데, 강우침식능인자, 토양침식성인자, 지형인자를 이용하는 것은 범용토양유실공식과 동일하지만, 범용토양유실공식의 지표피복인자와 보전관리인자 대신에 토양침식조절인자 (VM)을 이용하여 연평균 토양유실량 ( $A_{TRB}$ )를 정의한다 (식 9).

$$A_{TRB} = R \times K \times LS \times VM \quad \text{식 (9)}$$

토양침식조절인자 (VM)는 Table 4에 의해서 정의될 수 있는데, 농경지가 아닌 지역에 대해서 ‘표토의 침식 현황 조사에 관한 고시’의 보전관리인자를 모두 1.0으로 적용하도록 제시하고 있기 때문에 이 지역들에 대해서는 지표피복인자와 동일한 인자 값을 갖는다. 농경지가 아닌 지역들에 대해서 지표피복인자와 토양침식조절인자에 대한 값을 비교해보면, 나지 (Bare land)의 경우 각각 1.00과 0.80이며, 초지 (Pasture)의 경우 0.15와 0.01, 산림 (Forest)의 경우 0.05와 0.01로 대체적으로 지표피복인자가 토양침식조절인자보다 큰 값으로 제시되고 있다 (Table 2과 4). 그리고 ‘표토의 침식 현황 조사에 관한 고시’에서는 농경지의 경우 논과 밭에 따라 다른 지표피복인자가 정의되며, 여기에 경사도에 따라 보전관리인자를 정의하여 두 인자를 곱하지만, 토양침식조절인자를 이용할 경우에는 논과 밭의 구분이나 경사도에 대한 고려 없이 농경지는 모두 0.02로 동일한 값을 적용한다.

**Table 2** USLE C factors by land covers (MOE, 2012)

Land cover	USLE C factor
Bare land	1.00
Paddy field	0.10
Upland field	0.30
Pasture	0.15
Forest	0.05
Orchard	0.09

**Table 3** USLE P factors by land cover and slope (MOE, 2012)

Land cover	Slope (%)	USLE P factor
Bare land		1.00
Paddy field	slope < 2	0.12
	2 ≤ slope < 7	0.10
	7 ≤ slope < 15	0.12
	15 ≤ slope < 30	0.16
	slope > 30	0.18
Upland field	slope < 2	0.60
	2 ≤ slope < 7	0.50
	7 ≤ slope < 15	0.60
	15 ≤ slope < 30	0.90
	slope > 30	1.00
Pasture		1.00
Forest		1.00
Orchard		1.00

**Table 4** Determination of VM factor by land cover (MOIS, 2021)

Land cover	VM
Cultivated area	0.02
Bare land	0.80
Pasture	0.01
Forest	0.01
Impervious area	0.00
Water	0.00

## 2. 토양유실량 산정 방법의 적용

범용토양유실공식과 이 공식에서 이용하는 지표피복인자와 보전관리인자를 토양침식조절인자로 대체한 방법에 의한 토양유실량 산정 결과의 차이는 대체된 인자의 값과 대상 지역의 토지피복 종류에 따른 면적에 영향을 받는다. 이러한 조건에 의한 차이와 함께 검토되어야 할 사항은 이 공식들을 유역에 적용하는 방법이며, 이에 본 연구에서는 세 가지 방법을 적용하여 토양유실량 예측 차이를 검토하였다.

첫 번째 방법은 범용토양유실공식의 다섯 인자에 대한 격자 지도를 생성하여 격자별 인자들의 곱에 의해서 격자별로 토양유실량을 산정한 뒤에 이를 모두 합하여 대상 지역에 대한 토양유실량으로 정의하는 것이다. 즉, 격자별로 범용토양유실공식을 적용하는 방법 (USLE<sub>CELL</sub>)이다. 이러한 방법이 적용된 사례를 보면, Koo et al. (2016)은 우리나라 4대강 유역에 대해서 다양한 해상도를 가지는 수치표고모형을 이용하여 지형인자 산정 결과에 대해서 검토하였는데, 30 m 해상도를 가지는 격자 자료가 가장 적합하다고 하였다. Yu et al. (2017a; 2017b)은 월단위 토양유실량 가능성 추정을 위한 ArcGIS기반 모형을 개발 및 적용하여 계절에 따라 달라질 수 있는 토양유실에 대한 인자를 월별로 추정하여 적용할 수 있도록 하였다. Kim et al. (2017)은 우리나라의 강우특성을 반영하여 상수원 보호구역에서의 상대적인 토양유실량을 평가하여 토양유실관리대책 우선지역을 선정하는 사례를 통해 범용토양유실공

식의 국내적용방법을 제안하였다. 이에 본 연구에서는 Koo et al. (2016)의 연구사례를 참조하여 격자 자료를 30 m 해상도로 적용하였다.

두 번째 방법은 첫 번째 방법과 동일하게 범용토양유실공식을 이용하여 토양유실량을 산정하지만, 다섯 개의 인자를 격자별 토양유실량을 정의하지 않고, 대상지역에 대해서 면적을 고려하여 각 인자에 대한 대푯값을 결정한 뒤에 이를 모두 곱하여 대상 지역의 토양유실량으로 정의하였다. 이 방법은 범용토양유실공식의 각 인자에 대해서 면적가중치가 적용된 방법 (USLE<sub>AREA</sub>)이다. 이 방법에 대한 국내 적용사례는 없으며 세 번째 방법과 토양유실량 예측을 비교하고자 적용하였다.

세 번째 방법은 토양침식조절인자를 이용하는 방법으로 두 번째 방법과 마찬가지로 강우침식능인자, 토양침식성인자, 지형인자, 토양침식조절인자에 면적을 고려하여 대푯값을 정의한 뒤에 이 네 개의 대푯값들을 곱하여 토양유실량으로 정의하는 방법이다. 이 방법은 토양침식조절인자를 이용하는 방법의 각 인자에 대해서 면적가중치가 적용된 방법 (TRB<sub>AREA</sub>)이다.

Fig 1은 세 가지 방법에 의한 토양유실량 산정 과정을 나타낸 것으로 예를 들면, 강우침식능인자는 모두 1,000의 값을 가지는 것으로 정의하였으며, 토양침식성인자는 0.03과 0.05의 값을 가지는 것으로 정의하였으며, 지형인자는 2.54와 0.07

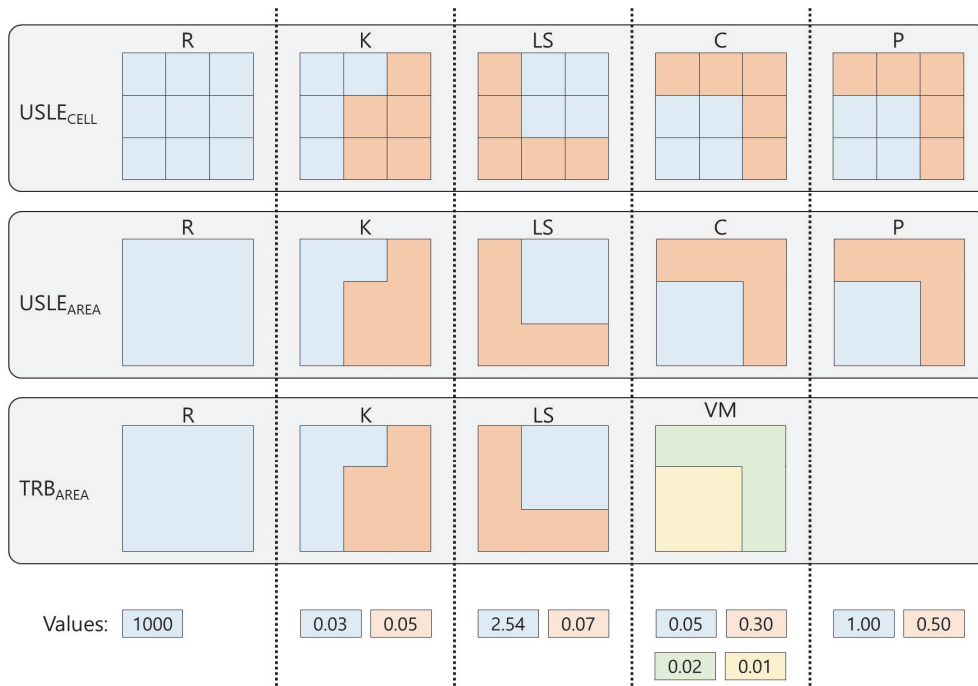


Fig. 1 Soil loss estimation methods and example applications

의 값을 가지는 것으로 정의하였다. 토지피복조건은 산림과 2%의 경사도를 가지는 밭으로 이루어진 것으로 가정하였는데, 이 가정에 의해서 USLE<sub>CELL</sub>과 USLE<sub>AREA</sub>에서 지표피복인자는 밭에 해당하는 0.30과 산림에 해당하는 0.05의 값을 가졌고, 보전관리인자는 2% 경사도를 가지는 밭에 해당하는 0.50과 산림에 해당하는 1.00의 값을 가졌다. TRB<sub>AREA</sub>에서는 지표피복인자와 보전관리인자가 토양침식조절인자로 표현되며, 논과 밭의 구분이나 경사도에 대한 고려 없이, 농경지에 해당하는 0.02와 산림에 해당하는 0.01의 값을 가졌다.

USLE<sub>CELL</sub>에 의한 토양유실량 산정은 격자별로 이루어지기 때문에 본 예시에서는 0.53 Mg/ha · yr에서 19.05 Mg/ha · yr의 범위를 보였는데, 최소값에 해당하는 격자는 토양침식성인자로 0.05이며 지형인자는 0.07로 나타났다. 지표피복인자는 밭에 해당하는 0.30이었으며, 보전관리인자는 2% 경사도를 가지는 밭에 해당하는 0.50였다. 최대값에 해당하는 격자는 토양침식성인자, 지표피복인자, 보전관리인자는 최소값을 가지는 격자와 동일한 값을 가지지만, 지형인자는 2.54를 가지면서 차이가 발생하였다. 각 격자의 면적을 1 ha로 가정하면, 대상 지역에서의 토양유실량은 5.11 Mg/ha · yr로 산정되었다.

USLE<sub>AREA</sub>와 TRB<sub>AREA</sub>에 의한 토양유실량 산정은 각 인자 지도에 대한 대푯값에 의해 이루어지는데, 두 방법에서 공통으로 이용되는 토양침식성인자와 지형인자에 대해서 면적을

고려한 평균값은 각각 0.04와 1.44이며, USLE<sub>AREA</sub>에서만 이용되는 지표피복인자와 보전관리인자에 대해서 면적을 고려한 평균값은 각각 0.19와 0.72였으며, TRB<sub>AREA</sub>에서 이용되는 토양침식조절인자에 대해서 면적을 고려한 평균값은 0.02였다. 따라서 USLE<sub>AREA</sub>와 TRB<sub>AREA</sub>에 의한 토양유실량은 각각 8.09 Mg/ha · yr와 0.92 Mg/ha · yr로 산정되었다. 즉, 인자의 정의 방법과 토양유실량을 예측하는 방법에 따라 임의 지역에 대한 토양유실량은 모두 다르게 산정될 수 있다.

따라서 본 연구에서는 USLE<sub>CELL</sub>과 USLE<sub>AREA</sub>와의 비교를 통해서 토양유실량 산정 방법에서 요구되는 인자에 대한 값 및 산정과정에 의한 예측 결과 차이를 검토하고자 하였으며, USLE<sub>AREA</sub>와 TRB<sub>AREA</sub>와의 비교를 통해서 적용되는 인자의 종류에 의한 예측 결과 차이를 분석하였다.

### 3. 토양유실량 예측 유역의 선정

토양유실은 유역의 다양한 특성에 의해 영향을 받기 때문에 본 연구에서와 같이 토양유실 예측 과정에 대한 차이 검토를 위해서는 다양한 조건을 가지는 유역을 선정하여 전반적으로 검토할 필요가 있다. 본 연구에서 검토하고자 하는 토양유실량 예측 방법은 범용토양유실공식에서 이용되는 인자들을 이용하기 때문에, 이 인자들이 다양한 조건을 가질 수 있도록 유역을 선정하였다. 이를 위하여 '표토의 침식 현황 조사에

Table 5 Selected watersheds

Watershed	Area (km <sup>2</sup> )	Ranks at categories	Watershed	Area (km <sup>2</sup> )	Ranks at categories
Wsd-01	492.9	1st at area	Wsd-20	98.3	2nd at C
Wsd-02	447.9	2nd at area	Wsd-21	97.1	3rd at K and 2nd at LS
Wsd-03	403.5	3rd at area	Wsd-22	85.8	4th at C
Wsd-04	400.5	4th at area	Wsd-23	83.1	1st at C
Wsd-05	304.0	5th at area	Wsd-24	81.6	3rd at C
Wsd-06	267.2	846th at K	Wsd-25	71.5	848th at LS
Wsd-07	266.6	1st at LS	Wsd-26	66.5	846th at LS
Wsd-08	241.4	3rd at LS	Wsd-27	65.9	850th at LS
Wsd-09	241.2	848th at K	Wsd-28	53.6	850th at C
Wsd-10	194.5	850th at K and 849th at C	Wsd-29	47.3	848th at C
Wsd-11	179.3	847th at LS	Wsd-30	45.8	4th at K
Wsd-12	160.3	4th at LS	Wsd-31	43.9	847th at C
Wsd-13	135.3	849th at K	Wsd-32	43.5	1st at K
Wsd-14	120.1	2nd at K	Wsd-33	39.0	846th at C
Wsd-15	106.7	5th at C	Wsd-34	32.9	846th at area
Wsd-16	104.7	2nd at LS	Wsd-35	29.5	847th at area
Wsd-17	103.0	5th at LS	Wsd-36	20.9	848th at area
Wsd-18	102.6	847th at K	Wsd-37	17.0	849th at area
Wsd-19	102.3	5th at K	Wsd-38	7.5	850th at area

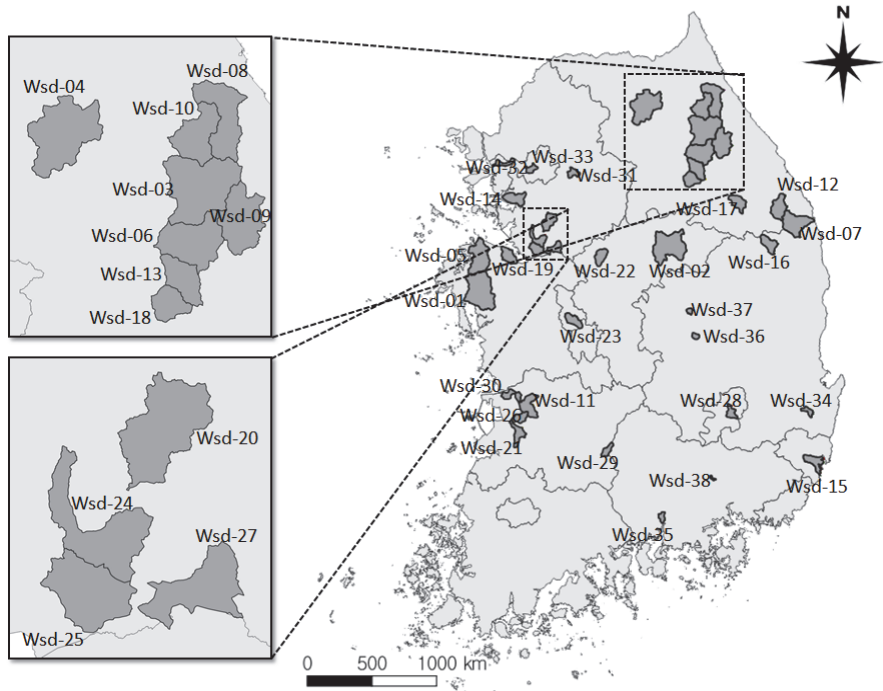


Fig. 2 Study watersheds

Table 6 Landuse percentages (%) in watersheds

Watershed	Urban	Agriculture	Forest	Grass	Wetland	Barren	Water
Wsd-01	5.2	48.5	27.5	8.9	1.5	2.0	6.4
Wsd-02	0.9	7.2	67.9	6.8	2.0	5.4	9.8
Wsd-03	0.2	4.3	92.0	2.1	0.3	0.8	0.4
...	...	...	...	...	...	...	...
Wsd-38	2.6	20.0	32.9	13.2	0.8	2.8	27.7

관한 고시'에서 제시하고 있는 방법에 의해, 전국에 대한 토양 침식성인자, 지표피복인자, 지형인자 지도를 생성한 뒤에, 850개 표준유역으로 모두 분할하여 토양침식성인자 (K), 지형인자 (LS), 지표피복인자 (C) 특성에 근거하여 분석 대상 유역을 결정하였다. 강우침식능인자 (R)은 특정지역에 편중될 가능성이 있어 배제하였으며, 보전관리인자 (P)는 농경지에 대해서만 값의 변화를 보이기 때문에 배제하였다. 즉, 850개 단위유역에 대해서, 유역 면적이 상위 1 - 5위에 해당하는 경우 (1st at area - 5th at area)와 하위 846 - 850위에 해당하는 경우 (846th at area - 850th at area)와 동일한 방법으로 토양침식성인자 (K), 지형인자 (LS), 지표피복인자 (C)를 검토, 중복되는 유역을 제외하여 총 38개의 분석 대상 유역을 선정하였다 (Table 5, Fig. 2).

또한 유역별 토지피복 구성비를 산정하여 유역별 특성을 파악하였다 (Table 6).

### III. 결 과

#### 1. 유역별 토양유실량 산정결과

본 연구에서는 38개 유역에 대해서 토양유실량을 3가지 방법에 의해서 산정하였는데, 격자별로 범용토양유실공식에 의해서 토양유실량을 산정한 뒤에 이를 합하여 유역에 대한 토양유실량으로 정의하는 USLE<sub>CELL</sub> 방법에 의해서는 Wsd-17에서 163.48 Mg/ha로 가장 큰 값을 보이고 Wsd-26에서 4.75 Mg/ha로 가장 작은 값을 보였다. 범용토양유실공식의 각 인자에 대해서 면적을 고려한 평균값을 구한 뒤에 5개의 대푯값을 곱하여 유역에 대한 토양유실량으로 정의하는 USLE<sub>AREA</sub> 방법에 의해서는 최대값은 Wsd-17에서 216.10 Mg/ha이고 최소값은 Wsd-26에서 3.63 Mg/ha로 USLE<sub>CELL</sub> 방법에 의한 결과와 동일한 유역에서 최대 및 최소 토양유실량이 예측되었다. 그러나, 최대값의 경우 USLE<sub>AREA</sub>에 의한 결과가 USLE<sub>CELL</sub>에

의한 결과보다 52.62 Mg/ha 크게 예측되었지만, 최소값의 경우  $USLE_{AREA}$ 에 의한 결과가  $USLE_{CELL}$ 에 의한 결과보다 1.12 Mg/ha 작게 예측되었다. 또한 38개 유역에 대한 토양유실량의 크기 순서가 불일치하였다. 즉, 두 방법에 의한 토양유실량은 크기와 경향이 일치한다고 보기 어려운 것으로 보인다. 지표피복인자와 보전관리인자 대신에 토양침식조절인자를 사

용하고 각 인자에 대해서 면적을 고려한 평균값을 구한 뒤에 4개의 대푯값을 곱하여 유역에 대한 토양유실량으로 정의하는  $TRB_{AREA}$  방법에 의해서는 Wsd-02에서 74.03 Mg/ha의 최대값을 보였으며, Wsd-26에서 2.34 Mg/ha로 최소값을 보였다. 최소값을 보인 유역은 다른 두 방법과 일치하였지만, 최대값을 보인 유역은 다른 두 방법과 일치하지 않았으며, 더욱이

**Table 7** Estimated soil loss by the three methods

Watersheds	$USLE_{CELL}$		$USLE_{AREA}$		$TRB_{AREA}$	
	Soil loss (Mg/ha)	Rank	Soil loss (Mg/ha)	Rank	Soil loss (Mg/ha)	Rank
Wsd-01	29.08	25	29.72	28	13.30	29
Wsd-02	110.21	3	135.56	3	74.03	1
Wsd-03	96.60	5	120.94	5	27.53	14
Wsd-04	90.73	6	85.33	10	30.38	9
Wsd-05	38.34	20	37.86	24	21.10	18
Wsd-06	51.32	17	74.15	15	18.40	21
Wsd-07	87.21	7	106.79	6	31.98	8
Wsd-08	107.42	4	125.57	4	42.40	6
Wsd-09	50.09	19	72.27	17	16.61	24
Wsd-10	53.04	16	61.95	18	14.84	27
Wsd-11	6.65	36	7.33	35	3.92	36
Wsd-12	150.11	2	189.48	2	66.95	2
Wsd-13	59.70	13	81.32	12	23.06	17
Wsd-14	21.86	28	46.66	23	17.05	23
Wsd-15	58.44	14	73.21	16	39.71	7
Wsd-16	86.88	8	105.43	7	26.92	15
Wsd-17	163.48	1	216.10	1	61.90	3
Wsd-18	60.05	12	79.15	14	20.72	19
Wsd-19	14.85	32	17.27	32	9.15	32
Wsd-20	60.85	11	81.53	11	49.52	5
Wsd-21	5.08	37	6.36	36	5.58	33
Wsd-22	26.19	26	36.95	26	16.35	25
Wsd-23	50.14	18	87.46	9	57.75	4
Wsd-24	19.94	30	21.42	31	15.46	26
Wsd-25	6.65	35	4.44	37	3.75	37
Wsd-26	4.75	38	3.63	38	2.34	38
Wsd-27	9.28	34	9.54	33	5.23	34
Wsd-28	21.42	29	26.96	30	10.41	30
Wsd-29	84.12	9	93.52	8	18.65	20
Wsd-30	17.30	31	31.30	27	17.80	22
Wsd-31	53.60	15	37.28	25	13.46	28
Wsd-32	30.31	24	54.70	19	29.17	10
Wsd-33	10.28	33	8.16	34	5.14	35
Wsd-34	35.47	22	48.45	20	23.08	16
Wsd-35	62.58	10	81.02	13	27.82	13
Wsd-36	24.79	27	28.57	29	9.67	31
Wsd-37	34.59	23	48.29	21	28.91	11
Wsd-38	37.93	21	46.76	22	28.61	12



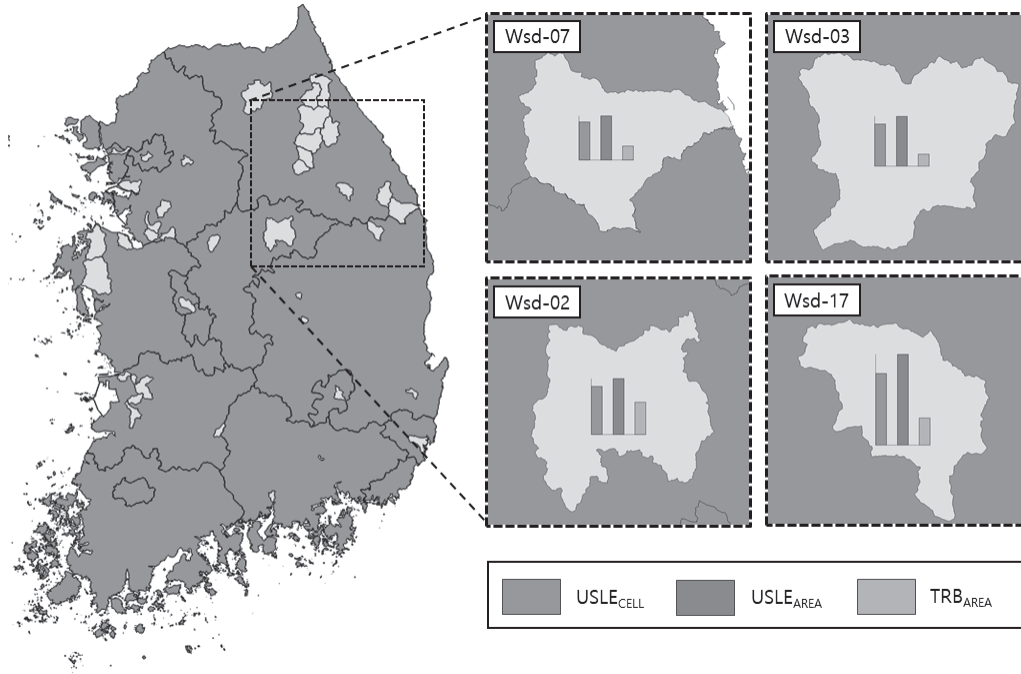


Fig. 3 Estimated soil loss by the three methods

전반적으로 토양유실량의 크기 순서 역시 다른 두 방법과 불일치하였다. 다시 말해, 세 가지 방법에 의한 토양유실량을 비교할 때, 토양유실량의 크기 순서와 예측값의 크기가 모두 불일치하였다 (Table 7).

USLE<sub>CELL</sub>에 의한 토양유실량은 USLE<sub>AREA</sub>을 기준으로 하여 비교하면 -53.15% (Wsd-14)에서 49.77% (Wsd-25)의 범위를 보이면서 전체적으로 USLE<sub>AREA</sub>보다 14.70% 작게 예측하는 것으로 나타났다. 그리고 TRB<sub>AREA</sub>를 기준으로 하여 비교하면 -13.18% (Wsd-23)에서 351.05% (Wsd-29)의 범위를 보이면서 전체적으로 TRB<sub>AREA</sub>보다 113.70% 크게 예측하는 것으로 나타났다. USLE<sub>AREA</sub>에 의한 토양유실량은 USLE<sub>CELL</sub>을 기준으로 하여 비교하면 -33.23% (Wsd-25)에서 113.45% (Wsd-14)의 범위를 보이면서 전체적으로 USLE<sub>CELL</sub>보다 24.23% 크게 예측하는 것으로 나타났다. 그리고 TRB<sub>AREA</sub>를 기준으로 하여 비교하면 13.98% (Wsd-21)에서 401.45% (Wsd-29)의 범위를 보이면서 전체적으로 TRB<sub>AREA</sub>보다 155.82% 크게 예측하는 것으로 나타났다. TRB<sub>AREA</sub>에 의한 토양유실량은 USLE<sub>CELL</sub>을 기준으로 하여 비교하면 -77.83% (Wsd-29)에서 15.18% (Wsd-23)의 범위를 보이면서 전체적으로 USLE<sub>CELL</sub>보다 44.29% 작게 예측하는 것으로 나타났다. 그리고 USLE<sub>AREA</sub>를 기준으로 하여 비교하면 -80.06% (Wsd-29)에서 -12.26% (Wsd-21)의 범위를 보이면서 전체적으로 USLE<sub>AREA</sub>보다 54.48% 작게 예측하는 것으로 나타났다. 즉, 세 가지 방법에 의한 토양유실량 예측값을

상호 비교할 때, 토양유실량의 크기나 값의 차이와 관련하여 경향을 찾기 어려웠다. 그리고 대체적으로 USLE<sub>AREA</sub>가 다른 두 방법에 비해서 크게 예측하였으며, TRB<sub>AREA</sub>가 다른 두 방법에 비해서 작게 예측하는 것으로 나타났다.

## 2. 토양유실량 차이 원인검토

본 연구에서는 USLE와 TRB 방법에 의한 차이와 함께, 각 방법에서 요구되는 인자의 생성 방법에 의한 차이에 의한 토양유실량 예측 결과 차이를 검토하고자 하였다. 두 가지 토양유실량 예측 방법은 일부 인자에서 차이를 가지기는 하지만 전반적으로는 동일한 인자를 요구하나, 앞서 언급된 바와 같이 예측 결과에서는 적지 않은 차이와 구역별로 볼 때에 일치하지 않는 경향을 보였다. 따라서 각 인자에 대한 차이 검토가 필요한 것으로 판단하였다.

Table 8, 9, 10은 구역별로 적용된 토양침식성인자, 지형인자, 지표피복인자, 토양침식조절인자를 보여주는 것으로 USLE<sub>CELL</sub> 방법에서는 격자별로 인자를 정의하여 동일한 위치에 있는 인자들의 곱에 의해서 격자별로 토양유실량을 산정된 것이며, 다른 두 방법에서는 구역에서 각 인자에 대한 평균값들의 곱에 의해 토양유실량이 산정된 것이다.

우선 USLE<sub>CELL</sub> 방법과 USLE<sub>AREA</sub> 방법에 의한 차이를 비교하면, 토양침식성인자, 지형인자, 지표피복인자의 구역별 대

**Table 8** Comparison of K factors in the three methods

Watersheds	USLE <sub>CELL</sub>			USLE <sub>AREA</sub>	TRB <sub>AREA</sub>
	MIN	MAX	Mean		
Wsd-01	0.01	0.09	0.04	0.03	0.03
Wsd-02	0.01	0.05	0.03	0.03	0.03
Wsd-03	0.01	0.05	0.02	0.02	0.02
Wsd-04	0.01	0.05	0.02	0.02	0.02
Wsd-05	0.04	0.09	0.04	0.04	0.04
Wsd-06	0.01	0.05	0.02	0.01	0.01
Wsd-07	0.01	0.05	0.02	0.02	0.02
Wsd-08	0.01	0.05	0.02	0.02	0.02
Wsd-09	0.01	0.05	0.02	0.02	0.02
Wsd-10	0.01	0.05	0.02	0.02	0.02
Wsd-11	0.01	0.06	0.04	0.04	0.04
Wsd-12	0.01	0.05	0.03	0.03	0.03
Wsd-13	0.01	0.05	0.02	0.02	0.02
Wsd-14	0.01	0.09	0.04	0.04	0.04
Wsd-15	0.01	0.06	0.03	0.03	0.03
Wsd-16	0.02	0.05	0.02	0.02	0.02
Wsd-17	0.01	0.05	0.03	0.03	0.03
Wsd-18	0.01	0.05	0.02	0.02	0.02
Wsd-19	0.02	0.09	0.04	0.04	0.04
Wsd-20	0.01	0.06	0.03	0.03	0.03
Wsd-21	0.02	0.09	0.04	0.04	0.04
Wsd-22	0.01	0.07	0.03	0.03	0.03
Wsd-23	0.01	0.07	0.03	0.03	0.03
Wsd-24	0.01	0.06	0.04	0.03	0.03
Wsd-25	0.01	0.09	0.04	0.03	0.03
Wsd-26	0.01	0.06	0.04	0.04	0.04
Wsd-27	0.01	0.06	0.04	0.04	0.04
Wsd-28	0.02	0.06	0.03	0.02	0.02
Wsd-29	0.01	0.05	0.02	0.02	0.02
Wsd-30	0.01	0.06	0.05	0.04	0.04
Wsd-31	0.01	0.07	0.02	0.02	0.02
Wsd-32	0.01	0.09	0.05	0.05	0.05
Wsd-33	0.01	0.06	0.04	0.03	0.03
Wsd-34	0.01	0.06	0.03	0.03	0.03
Wsd-35	0.02	0.06	0.02	0.02	0.02
Wsd-36	0.02	0.06	0.03	0.03	0.03
Wsd-37	0.01	0.06	0.03	0.03	0.03
Wsd-38	0.02	0.07	0.04	0.03	0.03

**Table 9** Comparison of LS factors in the three methods

Watersheds	USLE <sub>CELL</sub>			USLE <sub>AREA</sub>	TRB <sub>AREA</sub>
	MIN	MAX	Mean		
Wsd-01	0.07	59.38	2.54	2.54	2.54
Wsd-02	0.07	58.58	12.18	12.18	12.18
Wsd-03	0.07	54.93	17.10	17.10	17.10
Wsd-04	0.07	58.71	16.95	16.95	16.95
Wsd-05	0.07	55.66	2.57	2.57	2.57
Wsd-06	0.07	47.43	13.42	13.42	13.42
Wsd-07	0.07	57.24	20.13	20.13	20.13
Wsd-08	0.07	62.29	19.53	19.53	19.53
Wsd-09	0.07	48.35	12.83	12.83	12.83
Wsd-10	0.07	55.20	16.97	16.97	16.97
Wsd-11	0.07	23.62	0.53	0.53	0.53
Wsd-12	0.07	65.37	19.60	19.60	19.60
Wsd-13	0.07	57.74	13.56	13.56	13.56
Wsd-14	0.07	47.78	2.24	2.24	2.24
Wsd-15	0.07	37.85	3.26	3.26	3.26
Wsd-16	0.07	51.81	19.69	19.69	19.69
Wsd-17	0.07	61.70	19.36	19.36	19.36
Wsd-18	0.07	53.96	13.65	13.65	13.65
Wsd-19	0.07	28.84	0.96	0.96	0.96
Wsd-20	0.07	34.37	2.74	2.74	2.74
Wsd-21	0.07	35.10	0.56	0.56	0.56
Wsd-22	0.07	38.16	1.82	1.82	1.82
Wsd-23	0.07	57.91	3.29	3.29	3.29
Wsd-24	0.07	35.91	0.93	0.93	0.93
Wsd-25	0.07	26.44	0.55	0.55	0.55
Wsd-26	0.07	14.00	0.29	0.29	0.29
Wsd-27	0.07	29.77	0.58	0.58	0.58
Wsd-28	0.07	44.19	5.97	5.97	5.97
Wsd-29	0.07	53.29	17.93	17.93	17.93
Wsd-30	0.07	30.38	1.50	1.50	1.50
Wsd-31	0.07	41.47	8.70	8.70	8.70
Wsd-32	0.07	36.17	1.83	1.83	1.83
Wsd-33	0.07	25.69	1.21	1.21	1.21
Wsd-34	0.07	34.29	4.31	4.31	4.31
Wsd-35	0.07	28.57	6.54	6.54	6.54
Wsd-36	0.07	41.34	5.54	5.54	5.54
Wsd-37	0.07	46.41	6.16	6.16	6.16
Wsd-38	0.07	43.52	4.75	4.75	4.75

**Table 10** Comparison of C, P, and VM factors in the three methods

Watersheds	USLE <sub>CELL</sub>							USLE <sub>AREA</sub>			TRB <sub>AREA</sub>
	C Factor			P Factor			C×P Factor	C Factor	P Factor	C×P Factor	VM Factor
	MIN	MAX	Mean	MIN	MAX	Mean					
Wsd-01	0	1	0.12	0	1	0.56	0.07	0.12	0.56	0.07	0.03
Wsd-02	0	1	0.12	0	1	0.87	0.10	0.12	0.87	0.10	0.06
Wsd-03	0	1	0.07	0	1	0.98	0.07	0.07	0.98	0.07	0.02
Wsd-04	0	1	0.06	0	1	0.90	0.06	0.06	0.90	0.06	0.02
Wsd-05	0	1	0.13	0	1	0.59	0.07	0.13	0.59	0.07	0.05
Wsd-06	0	1	0.09	0	1	0.97	0.08	0.09	0.97	0.08	0.02
Wsd-07	0	1	0.07	0	1	0.98	0.07	0.07	0.98	0.07	0.02
Wsd-08	0	1	0.07	0	1	0.99	0.07	0.07	0.99	0.07	0.03
Wsd-09	0	1	0.09	0	1	0.97	0.08	0.09	0.97	0.08	0.02
Wsd-10	0	1	0.06	0	1	0.99	0.06	0.06	0.99	0.06	0.02
Wsd-11	0	1	0.15	0	1	0.52	0.08	0.15	0.52	0.08	0.04
Wsd-12	0	1	0.09	0	1	0.99	0.09	0.09	0.99	0.09	0.03
Wsd-13	0	1	0.09	0	1	0.97	0.09	0.09	0.97	0.09	0.03
Wsd-14	0	1	0.10	0	1	0.94	0.09	0.10	0.94	0.09	0.04
Wsd-15	0	1	0.17	0	1	0.94	0.16	0.17	0.94	0.16	0.09
Wsd-16	0	1	0.06	0	1	0.99	0.06	0.06	0.99	0.06	0.02
Wsd-17	0	1	0.09	0	1	0.98	0.09	0.09	0.98	0.09	0.03
Wsd-18	0	1	0.09	0	1	0.97	0.09	0.09	0.97	0.09	0.02
Wsd-19	0	1	0.15	0	1	0.52	0.08	0.15	0.52	0.08	0.04
Wsd-20	0	1	0.21	0	1	0.90	0.19	0.21	0.90	0.19	0.12
Wsd-21	0	1	0.15	0	1	0.38	0.06	0.15	0.38	0.06	0.05
Wsd-22	0	1	0.17	0	1	0.78	0.13	0.17	0.78	0.13	0.06
Wsd-23	0	1	0.23	0	1	0.88	0.20	0.23	0.88	0.20	0.14
Wsd-24	0	1	0.20	0	1	0.64	0.13	0.20	0.65	0.13	0.10
Wsd-25	0	1	0.12	0	1	0.37	0.04	0.12	0.37	0.04	0.04
Wsd-26	0	1	0.15	0	1	0.44	0.07	0.15	0.44	0.07	0.05
Wsd-27	0	1	0.15	0	1	0.59	0.09	0.15	0.59	0.09	0.05
Wsd-28	0	1	0.06	0	1	0.98	0.06	0.06	0.98	0.06	0.02
Wsd-29	0	1	0.06	0	1	0.97	0.06	0.06	0.97	0.06	0.01
Wsd-30	0	1	0.14	0	1	0.74	0.10	0.14	0.74	0.10	0.07
Wsd-31	0	1	0.06	0	1	0.76	0.04	0.06	0.76	0.04	0.02
Wsd-32	0	1	0.14	0	1	0.77	0.11	0.14	0.77	0.11	0.06
Wsd-33	0	1	0.05	0	1	0.82	0.04	0.05	0.82	0.04	0.03
Wsd-34	0	1	0.13	0	1	0.89	0.11	0.13	0.89	0.11	0.06
Wsd-35	0	1	0.11	0	1	0.88	0.10	0.11	0.88	0.10	0.04
Wsd-36	0	1	0.08	0	1	0.80	0.06	0.08	0.80	0.06	0.02
Wsd-37	0	1	0.12	0	1	0.73	0.09	0.12	0.73	0.09	0.06
Wsd-38	0	1	0.11	0	1	0.62	0.07	0.11	0.62	0.07	0.04

뜻값(면적을 고려한 평균값)을 비교하면 모두 동일하다. 그러나 토양유실량 예측 결과에 대한 차이를 비교해보면 토양유실량의 값은 -53.15%에서 49.77%의 차이를 보였으며, 유역별로 값의 크기 순서에서도 차이를 보였다. 이는 토양유실량을 산정할 때에, 토양유실에 영향을 미치는 인자들의 공간적인 위치가 고려되지 않은 차이로, 임의 지점에서 다수의 인자들이 가지는 값들의 상호 관계가 고려되지 않았을 때에 발생할 수 있는 차이라고 할 수 있다. 즉, 범용토양유실공식은 필지단위로 토양유실에 영향을 미치는 인자들을 정의한 뒤에 이 인자들의 곱으로 토양유실량을 정의해야 하지만, 각 인자마다 유역이 가지는 다양한 조건을 고려하지 않았을 경우에는 범용토양유실공식에서 제안하고 있는 방법과는 부합하지 않는 결과나 경향이 도출될 수 있는 것으로 보인다.

USLE<sub>AREA</sub> 방법과 TRB<sub>AREA</sub> 방법에 의한 차이를 비교하면, Table 8과 9에서 보이는 바와 같이 각 유역별로 토양침식성인자와 지형인자는 동일하게 적용이 되었기 때문에, 두 방법에서 토양유실량의 차이는 지표피복인자와 보전관리인자를 이용할 때와 토양침식조절인자를 이용할 때의 차이인 것으로 판단된다. TRB 방법에서는 범용토양유실공식에서 이용하는 강우침식능인자, 토양침식성인자, 지형인자는 동일하게 이용하지만, 지표피복인자와 보전관리인자 대신에 토양침식조절인자를 이용하는데, 이는 토양침식조절인자는 지표피복인자와 보전관리인자의 곱을 의미한다고 할 수 있다. 따라서 이 값들에 의한 차이를 비교해볼 필요가 있는데, 본 연구에서는 지표피복인자와 보전관리인자는 환경부의 ‘표토의 침식 현황 조사에 관한 고시’에서 제시하고 있는 값들을 이용하였으며, 토양침식조절인자는 행정안전부의 ‘재해영향평가 실무지침 전부개정(안)’에서 제시하고 있는 값들을 이용하였는데, USLE<sub>AREA</sub> 방법에서는 토양침식조절인자에 해당하는 지표피복인자와 보전관리인자의 곱이 0.04 (Wsd-25)에서 0.20 (Wsd-23)의 범위를 가지면서 38개 유역에서 평균 0.09의 값을 보였으며, TRB<sub>AREA</sub> 방법의 토양침식조절인자는 0.01 (Wsd-29)에서 0.14 (Wsd-23)의 범위를 가지면서 평균 0.04의 범위를 보였다. 즉, 두 방법에서 동일한 조건에 해당하는 인자의 최소와 최대를 가지는 유역이 일치하지 않았다. 값의 크기를 볼 때, 지표피복인자와 보전관리인자의 곱이 토양침식조절인자가 0.04로 동일한 경우 (Wsd-25)에서 지표피복인자와 보전관리인자의 곱이 0.06일 때에 토양침식조절인자가 0.01로 6배까지 차이가 발생하였다. 이는 본 연구 대상 유역들에서 토양유실량 예측 방법에 의한 차이로 토양유실량이 6배까지 차이가 발생할 수 있다는 것을 의미한다. 더욱이 전반적으로 볼 때에, 지표피복인자와 보전관리인자의 곱은 토양침식조절인자에 비해 약 2.4배 크기 때문에, ‘표토의 침식 현황

조사에 관한 고시’와 ‘재해영향평가 실무지침 전부개정(안)’에 의한 토양유실량 예측 결과에서 적지 않은 차이가 발생할 수 있다는 것을 의미한다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 토양 자원의 보전을 위한 정책이나 환경영향평가 등을 위해서 제시하고 있는 토양유실량 산정 방법에 대해서 검토하였다. 토양유실량 예측에 있어서 국내 정책을 포함하여 연구 등에서도 널리 이용되고 있는 모형은 범용토양유실공식으로, 이 공식은 토양의 유실에 영향을 미치는 인자들의 곱만으로 토양유실량 예측이 가능하다는 간편성 측면에서 1978년에 개발된 이후에 현재까지 널리 이용되고 있다. 그러나 이 공식이 가지고 있는 이 간편성은 동시에 각 인자의 값에 민감하게 영향을 받는다는 것은 단점이 될 수도 있는 것으로 보인다. 더욱이 필지 단위에서의 토양유실량을 예측하도록 개발된 공식을 유역 단위로 적용하는 과정에서 인자의 정의 방법에 의해서도 토양유실량 예측 결과에 적지 않은 차이가 발생할 수 있는 것으로 보인다. 이에 본 연구에서는 범용토양유실공식을 필지단위로 적용하여 유역의 토양유실량으로 정의하는 방법, 유역 단위로 대뜻값을 정의하여 유역의 토양유실을 정의하는 방법, 범용토양유실공식의 일부 인자를 응용하여 적용하는 방법을 국내 38개 유역에 적용하여 각 방법들에 의한 토양유실량 예측 결과 차이와 그 원인을 분석하고자 하였다. 또한 개발사업 등 실무에서 적용하고 있는 범용토양유실공식 일부 인자를 응용하여 적용하는 방법에 대한 토양유실량 예측 공식 보완의 필요성을 제시하였다.

유역 선정의 경우, 유역은 토양, 지표피복, 경사와 같은 다양한 조건을 가지고 있으므로 이를 근거하여 유역을 선정하였다. 범용토양유실공식이 필지 단위 모형이기 때문에 유역에 적용을 할 때에 격자별로 인자를 생성한 뒤에 각 인자마다 토양유실량을 산정한 뒤에 이를 합하여 유역의 토양유실량으로 정의하였을 때와, 인자를 정의하는 과정에서 유역이 가지는 다양한 조건에 대해서 대뜻값을 정의한 뒤에 이 대뜻값에 해당하는 인자들의 곱을 유역의 토양유실량으로 정의하는 경우에는 토양유실에 영향을 미치는 조건들의 공간적인 분포 및 상호 영향을 고려할 수 없는 것으로 판단되었다. 그리고 격자 단위로 토양유실량을 산정하지 않고 유역의 대뜻값에 의해서 토양유실량을 산정할 경우에 적게는 0.67 배에서 2.13 배로 평균 1.24 배 크게 예측되는 것으로 나타났다. 유역에서 토양 유실에 영향을 미치는 인자의 대뜻값을 정의한 뒤에, 범용토양유실공식의 지표피복인자와 보전관리인자를 토양침식조절인자로 대체한 방법과 범용토양유실공식을 그대로 적용

하는 방법에 의한 토양유실량을 비교하였을 경우에는 적게는 1.14 배에서 5.01 배로 평균 2.56 배의 차이를 보일 수 있는 것으로 나타났다.

이러한 차이는 범용토양유실공식이 필지 단위 모형임에도 불구하고 이를 유역의 대푯값을 정의하여 적용하는 과정에서 발생하는 것으로 보이며, 더욱이 토양유실량 산정을 위한 두 지침에서 제시하고 있는 인자의 차이에서 발생한 것으로 보인다. 즉, 두 지침에서 제시하고 있는 인자의 값에 대해서 검토하면, 우선 ‘재해영향평가 실무지침 전부개정(안)’에서는 농경지에 해당하는 논과 밭에 대한 구분 및 논과 밭의 경사도에 대한 구분 없이 모두 동일하게 0.02로 제시하고 있지만, ‘표토의 침식 현황 조사에 관한 고시’에서는 논과 밭의 구분과 함께 경사도를 함께 고려하기 때문에 경사도가 2%에서 7%의 범위를 가지는 경우에 최소인 0.01에서 경사도 30% 이상인 경우에 최대인 0.3의 범위를 가지기 때문에, 농경지에 대해서 ‘표토의 침식 현황 조사에 관한 고시’에 의한 토양유실량은 0.5 배에서 15 배 차이를 보일 수 있다. 또한 우리나라 토지피복 현황 중에서 가장 넓은 면적을 차지하고 있는 산림에 대해서 ‘재해영향평가 실무지침 전부개정(안)’에서는 0.01로 정의되지만, ‘표토의 침식 현황 조사에 관한 고시’에서는 0.05로 정의되기 때문에 토양유실량이 5 배 크게 산정된다. 즉, 동일한 지역이나 유역에 대해서 토양유실량을 예측할 때 어떤 지침에 근거하느냐에 따라 결과에는 적지 않은 차이가 발생할 수 있는 것으로 보인다. 두 지침은 토양 보전 정책에 근거하거나 또는 도시 개발 등으로 인한 환경 보전 정책의 일환이라는 차이를 가지고 있으나, 유사한 토양유실량 예측 방법을 이용할 것을 제시하고 있지만 예측 결과에서 적지 않은 차이를 보이는 것으로 미루어볼 때, 토양유실과 관련된 인자의 정의 방법과 예측 과정에 대해서 구체화가 필요한 것으로 보인다. 또는 토양유실과 관련된 인자 및 예측 과정이 시스템으로 구축되어 토양유실을 예측과정에서 발생할 수 있는 예측 결과 차이를 저감할 필요가 있는 것으로 보인다. 이러한 차이를 줄이기 위해서는 두 지침에서 같은 방법을 적용하도록 해야 하나, 현실적인 측면을 고려한다면 두 지침에서 제안하고 있는 인자들의 값에 대한 비교 및 보완에 의해서 예측 결과에 대한 차이를 줄일 수 있는 노력이 필요한 것으로 보인다.

## 감사의 글

본 연구는 공주대학교 연구년 사업에 의하여 연구되었음.

## REFERENCES

1. Wischmeier, W. H., and D. D. Smith, 1965. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: *A guide for selection of practices for soil and water conservation Handbook* No.282. Agricultural Research Service U.S. Department of Agriculture.
2. Wischmeier, W. H., and D. D. Smith, 1978. Predicting rainfall erosion losses: *A guide to conservation planning Handbook* No.537. U. S. Department of Agriculture.
3. Transport Research Board (TRB) (1980). “Design of sedimentation basins.” National Cooperative Highway Research Program Synthesis of Highway Practice #70. U.S.
4. Jung, P. K., M. H. Ko, and K. T. Um, 1985. Discussion of Cropping Management Factor for Estimating Soil Loss, *Journal of Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 18(1): 7-13. (in Korean).
5. Renard, K. G., and J. R. Freimund, 1994. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *Journal of Hydrology* 157: 287-306.
6. European Commission, 2006. Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council Establishing a Framework for the Protection of Soil and Amending Directive 2004/35/EC. Brussels, 22-9-2006. COM(2006)232 final.
7. Kim, M. S., J. K. Kim, and D. Y. Yang, 2007. Application and Comparison of GeoWEPP model and USLE model to Natural Small Catchment - A Case Study in Danwol-dong, Icheon-si, *Journal of The Korean Society of Economic and Environmental Geology* 40(1): 103-113. (in Korean).
8. Shin, M. H., C. H. Won, Y. H. Choi, J. H. Seo, J. H. Lee, K. J. Lim, and J. D. Choi, 2009. Simulation of Field Soil Loss by Artificial Rainfall Simulator -By Varing Rainfall Intensity, Surface Condition and Slope, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 25(5): 785-791. (in Korean).
9. Park, C. W., Y. K. Sonn, B. K. Hyun, K. C. Song, H. C. Chun, Y. H. Moon, S. G. Yun, 2011. The Redetermination of USLE Rainfall Erosion Factor for Estimation of Soil Loss at Korea, *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 44(6): 977-982. (in Korean).
10. Ministry of Environment, 2012. Announcement on Investigation of Erosion Status of Topsoil.
11. Shin, K. H., 2013. Case Study of EIA for Soil Resource Conservation, *KEI Working Paper*, 2013-01: 77. (in Korean).
12. Bouma, J., 2014. Soil science contributions towards

- Sustainable Development Goals and their implementation: linking soil functions with ecosystem services, *Journal of Plant Nutrition and Soil science*, 177: 111-120.
13. Jung, Y. H., D. H. Kum, J. H. Han, C. H. Jang, J. Y. Yang, K. J. Lim, and K. S. Kim, 2015. Study on Topsoil Erosion indices for Efficient Topsoil Management, *Journal of Korean Society on Water Environment* 31(5): 543-555. (in Korean).
  14. Shin. S. H., W. Kim, S. G. Lee, and K. G. Paik, 2015. Influence of Spatial Rainfall Distribution on Sediment Yield: An Experimental Study, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 35(1): 111-117. doi:10.12652/KSCE.3510111. (in Korean).
  15. Koo, J. Y., D. S. Yoon, D. J. Lee, J. H. Han, Y. H. Jung, J. E. Yang, and K. J. Lim, 2016. Effect of DEM Resolution in USLE LS Factor. *Journal of Korean Society on Water Environment* 32(1): 89-97. (in Korean).
  16. Oh, S., H. S. Kim, S. P. Lee, J. G. Lee, S. S. Jeong, K. J. Lim, S. Kim, Y. S. Park, G. Lee, S. H, and J. Yang, 2017. Estimating of the Greenhouse Gas Mitigation and Function of Water Resources Conservation through Conservation of Surface Soil Erosion and Policy Suggestion, *Journal of Soil Groundwater Environment* 22(6): 74-84. (in Korean).
  17. Yu. N. Y., D. J. Lee, J. H. Han, K. J. Lim, J. Kim, K. H. Kim, S. Kim, E. S. Kim, and Y. S. Park, 2017a, Development of ArcGIS-based Model to Estimate Monthly Potential Soil Loss, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 59(1): 21-30 doi:10.5389/KSAE.591021. (in Korean).
  18. Yu. N. Y., M. H. Shin, J. Kim, and Y. S. Park, 2017b, Application of ArcGIS-based Model Developed to Estimate Monthly Potential Soil Loss, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 59(5): 109-126. doi:10.5389/KSAE.595109. (in Korean).
  19. Kim. J., J. Yang, K. J. Lim, S. C. Kim, G. Lee, S. Hwang, N. Yu, and Y. S. Park, 2017. A Study to Define Area of Concern for Potential Soil Loss In Geumgang Watershed by KORSLE-based GIS model, *Journal of Soil Groundwater Environment* 22(6): 29-36. doi:10.7857/JSGE.226029. (in Korean).
  20. Mistry of Environment, 2018. Development of Research and Evaluation Technology for TopSoil Erosion in Korea. (in Korean).
  21. Song, J. M., J. E. Yang, K. J. Lim, and Y. S. Park, 2019. Application of KORSLE to Estimate Soil Erosion at Field Scale, *Journal of Soil Groundwater Environment* 24(5): 31-41. (in Korean).
  22. Park, Y. S., J. Y. Park, W. S. Jang, and J. K. Kim, 2019. A Study to Determine the Slope Length and Steepness Factor of Universal Soil Loss Equation with Determining AND Adaption Major Slope Length at Field Scale, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 61(6): 55-65. doi:10.5389/KSAE.616055. (in Korean).
  23. Kim, E. S., H. Y. Lee, J. E. Yang, K. J. Lim, and Y. S. Park, 2020. Monthly Sediment Yield Estimation Based on Watershed-scale Application of ArcSATEEC with Correction Factor, *Journal of Soil Groundwater Environment* 25(3): 52-64. (in Korean).
  24. Ministry of the Interior and Safety, 2021. Guidelines for consultation on disaster impact assessment.