

## 효율적 표토 관리를 위한 표토침식지표 연구

정영훈 · 김동혁\* · 한정호\* · 장춘화\* · 양재의\*\* · 임경재\* · 김기성\*<sup>†</sup>

K-water연구원

\*강원대학교 지역건설공학과

\*\*강원대학교 바이오자원환경학과

## Study on Topsoil Erosion Indices for Efficient Topsoil Management

Younghun Jung · Donghyuk Kum\* · Jeongho Han\* · Chunhwa Jang\* · Jay E Yang\*\* ·  
Kyoung Jae Lim\* · Ki-Sung Kim\*<sup>†</sup>

K-water Institute, K-water

\*Department of Regional Infrastructures Engineering, Kangwon National University

\*\*Department of Biological Environment, Kangwon National University

(Received 15 June 2015, Revised 28 August 2015, Accepted 11 September 2015)

### Abstract

The existing standard for soil erosion risk assessment has limitations in sustainable topsoil management since the fixed criteria are applied to determination of soil erosion risk areas regardless of land use types. It may not be necessary to apply soil erosion best management practices to agricultural areas with high potential of soil erosion because human or economic damage derived from soil erosion might be tiny in that region. Furthermore, the fixed criterion with absolute values can select too many hot spots of soil erosion to conduct efficient soil erosion management. Thus, objective of this study was to suggest the relative criteria using statistical analysis for efficient soil erosion management. In future, the relative indices for soil erosion prevention should be improved to provide a priority of soil erosion management considering economic damage from soil erosion or functional values of soil with quantitative soil erosion. Additional researches will be needed to reflect a regional characteristics and to consider various land use types and different criteria.

**Key words** : Absolute criteria, Relative criteria, Soil erosion, Topsoil, Topsoil erosion indices, Topsoil management

### 1. Introduction

표토는 인간에게 생활터전을 제공할 뿐만 아니라 양분 및 수분공급 등 생태계 유지에 근간을 이루고 있다. 이러한 표토 유실로 인해 토양 생태계 훼손, 각종 환경조절 기능 약화 등의 문제가 발생되며, 강수 발생으로 유실된 표토는 하천에 유입되게 되어 하상증가, 부영양화, 탁수 등의 문제를 야기한다(MOE, 2012a; MOE, 2012b). 또한 표토침식은 현재 환경, 수문, 농업의 문제뿐만 아니라 자원손실로 인식되고 있다. 따라서 한국을 포함한 많은 국가에서 중요 자원인 표토의 침식을 방지하기 위하여 다양한 노력을 기울이고 있으며, 표토침식 방지를 위해 기술적인 부분뿐만 아니라 관리의 측면에서도 제한된 인적, 재정 자원으로 효율적인 표토 관리를 수행할 수 있는 방안을 찾고 있다. 효

율적인 표토 관리를 위해서는 표토침식 현황 조사 및 관리의 우선순위를 설정하기 위한 표토침식지표가 마련되어야 하나 현재 국내외 표토침식지표 마련에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다.

표토침식지표에 대한 국제적 현황을 살펴보면, 유럽의 경우 Cordination of Information on the Environment (CORINE), Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Global Assessment of Soil Degradation (GLASOD), Hot Spot, Universal Soil Loss Equation (USLE), Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Pan-European Soil Erosion Risk Assessment (PESERA) 방법 등을 통하여 표토침식의 위험성을 평가하고 있으나 방법에 따라 표토침식지표가 다르게 설정되어 있어 일관된 표토침식지표를 찾기 어렵다(Grimm et al., 2001; Van der Knijff et al., 2000). 대만의 경우에도 수도보전법을 제정하고 USLE모형을 통한 구체적 표토침식량 산정 방법 기술 및 일정 수준의 경사지, 저수지 유역, 농경지 등에 대한 관리 방안을 제시하고 있으나 표토 침식관리 우선순위를 설정하기 위한 표토침식지표를 제공하고 있지 않다(TEPA, 1983). 한편 OECD에서는 여러 나라의 토양 유실 현황 보고서를 취합하여 토양유실의 위험성을 평

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
kskim@kangwon.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

가하기 위하여 각 나라별 농경지를 대상으로 한 표토침식지표를 “Tolerable, Low, Moderate, High, Severe”의 5등급으로 제시하고 있다(OECD, 2008; OECD, 2013). 우리나라에서는 표토침식 우심지역 선정 및 보전관리를 위한 기준으로 OECD 표토침식지표를 기준으로 평가하고 있으며, 국내 표토 보고서 및 표토고시에 따르면 연평균 표토침식량이 50 ton/ha/yr을 초과하면 표토침식관리를 위한 현장조사를 실시하도록 되어 있으며, 표토침식량이 75 ton/ha/yr를 초과하면 표토침식 대책지역, 75 ton/ha/yr를 초과하지 않는 경우를 표토침식 우려지역으로 표토침식량이 증가할 우려가 있는 경우 대책을 검토할 필요가 있다는 기준을 제시하고 있다(MOE, 2012a; MOE, 2012b). 그러나 전국 표토침식량에 비조사(MOE, 2012a; MOE, 2012b)에 따르면 연평균 표토침식량이 33 ton/ha/yr이상인 면적은 국토의 30% 이상이며, 연평균 표토침식량이 50 ton/ha/yr 이상인 면적은 전국토의 20% 수준으로 나타나 이 지역을 전부 관리하기에는 한계가 있음을 알 수 있다(MOE, 2012a; MOE, 2012b). 그리고 Jang et al. (2015)에 따르면 국내 연평균 표토침식량은 토지이용에 따라 큰 차이를 보이며, 특히 밭과 나지, 초지에서 발생하는 연평균 표토침식량이 높다고 제시하였다.

표토침식량 산정 및 표토침식지표를 마련하기 위해서 Universal soil loss equation (USLE) (Wischmeier and Smith, 1965), Revised universal soil loss equation (RUSLE) (Renard et al., 1997), Areal Non-point Source Watershed Environment Response Simulation (ANSWERS) (Beasley et al., 1980), Chemical, Runoff, and Erosion for Agricultural Management System (CREAMS) (Knisel, 1980), Water Erosion Prediction Project model (WEPP) (Nearing et al., 1989), European Soil Erosion Model (EuroSEM) (Morgan et al., 1990), Sediment Assessment Tool for Effective Erosion Control (SATEEC) (Lim et al., 2005) 등의 다양한 표토침식산량 산정모델이 이용되고 있다. 이중 USLE는 가장 널리 사용되는 모델 중에 하나이며, GIS를 사용하여 셀 단위로 연평균 표토침식량을 산정할 수 있다(Jang et al., 2015; Junakovaa et al., 2014; Jung et al., 2004; Lee et al., 2012).

그러나 USLE방법을 사용해 셀 단위의 표토침식량을 산정하게 되면 입력자료의 해상도(resolution)에 따라 표토 침식량은 큰 영향을 받게 된다. 이러한 해상도의 차이는 USLE의 5가지 인자들 중 연구대상지역의 고도를 나타내는 Digital elevation model (DEM)을 이용하여 산정되는 slope length and steepness (LS) factor에 가장 큰 영향을 받게 되며, USLE를 이용한 표토침식량 산정 결과에 결정적인 영향을 줄 수 있다(Lee and lee, 2006; Olson, 2007). Park et al. (2011)에 따르면 입력자료의 해상도가 30m일 때, 한국의 1985년 연평균 표토침식량은 17.1 ton/ha/yr, 1995년 연평균 표토침식량은 17.4 ton/ha/yr 그리고 2005년의 평균 표토침식량은 20 ton/ha/yr이었으며, Jang et al. (2015)에 따르면 입력자료의 해상도가 10m일 때, 한국의 연평균 표토침식량은 34.56 ton/ha/yr로 두 개의 연평균 표토침식량은 해상도의 차이에 의해 약 2배의 차이가 발생한다. 이러한 연평균 표토침식

량 차이의 원인을 살펴보면 경사도와 경사장인자에서 가장 큰 차이가 나타났는데 Park et al. (2011)에 따르면 0-35값을 보였으며, Jang et al. (2015)에 따르면 0.001-45.227의 값을 보였다. 이는 경사도와 경사장 인자를 산정하는데 중요한 입력자료인 DEM을 각기 다른 해상도로 구축하여 산정하였기 때문으로 판단된다. 따라서 셀 사이즈가 작을수록 높은 해상도를 나타내고 사용자가 높은 해상도의 자료를 사용하게 되면 낮은 해상도의 자료보다 더 자연상태에 가까운 지형조건을 반영할 수 있다. 이에 현재 국내에서 사용되고 있는 OECD 표토침식지표 및 표토 고지에서 제시한 정량적인 표토침식지표가 다양한 해상도 조건에서 일관적으로 이용될 수 없는 한계가 있다.

정량적 표토침식량은 토양관리에서 중요할 뿐만 아니라 국민의 재산 및 인명 그리고 환경을 고려했을 때 토양유실의 공간적 위치 또한 매우 중요하다. 그러나 현재 표토 침식량 평가 및 관리에 있어서 하나의 값으로 표토 침식량 우심지역을 선정하기 때문에, 토양의 상대적 가치에 상관없이 비효율적인 토양관리를 유도할 수 있다. 따라서 이러한 특성을 고려하기 위하여 토지이용에 따른 표토침식량을 산정하고 효율적인 표토침식관리기준을 설정하기 위해 토지이용별 표토침식량의 분포를 분석하는 것이 필요하다. 이에 본 연구에서는 1) 임하댐 유역을 대상으로 USLE방법을 사용하여 표토침식량을 토지이용에 따라 산정하였으며, 2) 효율적 표토침식관리를 위하여 상대적 표토침식지표를 제안하고 3) 다양한 토지이용 중 밭을 대상으로 하여 본 연구에서 제시하고 있는 표토침식지표에 대한 적정성평가를 하였다.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. 연구대상지역

본 연구의 연구대상지역은 북위 35°35'~36°00', 동경 127°20'~127°45'에 위치한 임하댐 유역으로 낙동강유역 면적의 5.7%를 차지하는 지역이다(Fig. 1). 임하댐 유역은 탁수문제가 많이 발생하는 지역으로 2002년 태풍루사와 2003년 태풍매미와 같은 집중강우의 영향으로 최고 1,221 NTU의 고탁수가 발생하였다(KWRC, 2004; KWRC, 2007). 또한 임하댐 유역은 토양유실에 취약한 지형적, 지질적, 토지이용의 구조를 가지고 있다. 지형적 측면에서의 취약점은 유역의 평균경사가 40~60%인 곳이 전체유역면적에 33%를 차지하고 있다는 점이며, 지질적 측면에서의 취약점은 유역의 53% 이상을 구성하고 있는 도계동층의 세일 및 점토질 토양으로 표토유실로 하천에 유입될 시 탁수의 지속시간이 길다는 점이다(Lee, 2006). 그리고 토지이용 측면에서 보이는 취약점은 하천주변에 농경지의 분포가 넓으며, 대부분의 토지이용이 경사도가 급한 산악지(유역면적의 79.59%)로 구성되어 있다는 점이다(Table 1).

### 2.2. 표토침식량 산정 방법

#### 2.2.1. Universal Soil Loss Equation (USLE) 개요

본 연구에서는 표토침식량 산정을 위하여 USLE 모델을

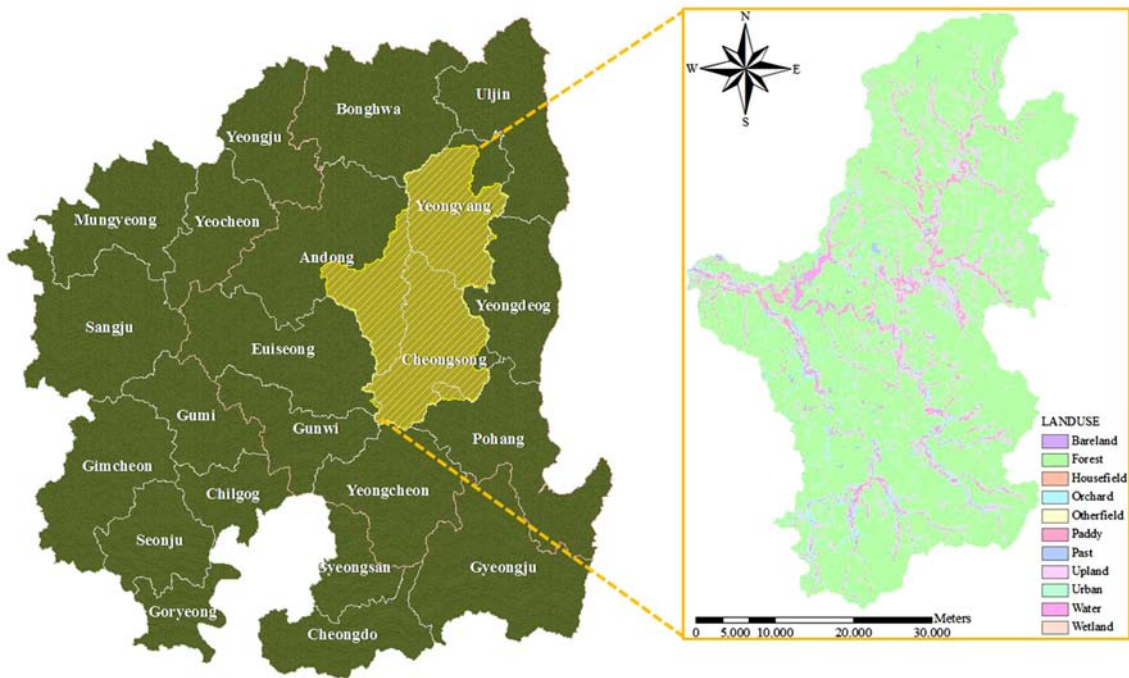


Fig. 1. Location of study area and land use.

Table 1. The area and percent of land uses

Land use	Area		Land use	Area	
	(Unit: ha)	(Unit: %)		(Unit: ha)	(Unit: %)
Bareland	2,295.22	1.16	Pasture	1051.37	0.53
Forest	157,248.06	79.59	Upland	17,771.40	8.99
House field	117.79	0.06	Urban	3,261.19	1.65
Orchard	4,908.03	2.48	Water	3,002.07	1.52
Other fields	196.39	0.10	Wetland	1,298.46	0.66
Paddy	6,423.24	3.25	Totals	197,573.22	100

사용하였으며, 이 모델은 근 30년간 토양유실량을 산정하기 위해 다양한 연구에서 사용되고 있다(Bagarello et al., 2012; John et al., 2011; Park et al., 2011; Shengpan et al., 2013; Zhenlan et al., 2012). 이 모델은 미국에서 Wischemeier and Smith (1965)에 의해 개발되었으며, 이후 다양한 연구자들을 통해 모델 개선이 이루어지고 있다(Jung et al., 2004; Park et al., 2011; Parveen and Kumar, 2012). USLE 모델은 표토 침식량 (A) (ton/ha/yr) 산정을 위하여 강우인자 (R) (MJ·mm/ha·year·hr), 토양침식인자 (K) (ton·hr/MJ·mm), 경사도와 경사장인자 (LS) (무차원), 작물피복인자 (C) (무차원), 작물 경작인자(P) (무차원)의 5가지 USLE 인자가 필요하다(식 (1)).

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

이 모델은 평면침식(sheet erosion)과 세류침식(rill erosion)에 의한 토양 유실량 산정에 대해서만 적용이 가능하며, 구곡침식(gully erosion)과 같은 대형침식과 수로침식(channel erosion)이 지배적인 경우 추가적인 침식량 보정이 필요하다 (Lee et al., 2012).

### 2.2.2. USLE 인자 구축

본 연구에서는 현재 환경부 표토 고시가 해상도 10 m로 모든 USLE인자를 구축하여 표토침식량을 평가하였으므로 본 연구에서도 모든 USLE인자를 해상도 10 m로 구축하였다. 강우인자는 임하택 인근 10개 지역에 대한 강우인자를 사용하였으며, Park et al. (2000)이 제시한 1973년~1996년까지의 강우인자를 사용하였다(Table 2, Fig. 2(a)). 그러나

Table 2. The rainfall-runoff erosivity factor of precipitation stations in Imha-dam (MJ·mm/ha·year·hr)

Number	City/county	R factor	Number	City/county	R factor
1	Gunwi	2,794	6	Yeongcheon	2,723
2	Bonghwa	3,431	7	Ulsan	3,027
3	Andong	3,054	8	Euiseong	2,814
4	Yeongdeog	2,668	9	Cheongsong	2,827
5	Yeongyang	2,918	10	Pohang	2,778

이 값들은 실제 위치 좌표가 없는 지역별 강우인자임으로 행정구역도를 토대로 각 행정구역에 중심점을 설정하여 강우인자를 넣고 공간보간법(IDW)을 사용하여 강우인자 지도를 구축하였다. 공간보간법은 두 점사이의 거리가 가까울수록 높은 가중값이 적용되고 반대로 두 점사이의 거리가 멀어질수록 가중되는 값의 영향력은 줄어들게 고려할 수

있는 방법이다.

토양침식인자는 흄토람(<http://soil.rda.go.kr>)에서 제공하고 있는 토양통별 토양침식인자를 사용하였으며, 토양침식인자 지도를 구축하기 위하여 토양도의 토양통과 테이블을 매치하였다(Fig. 2(b)). 경사도와 경사장인자는 Moore and Burch (1986a, b)가 제시한 산정식을 사용하였으며, 인자값을 산

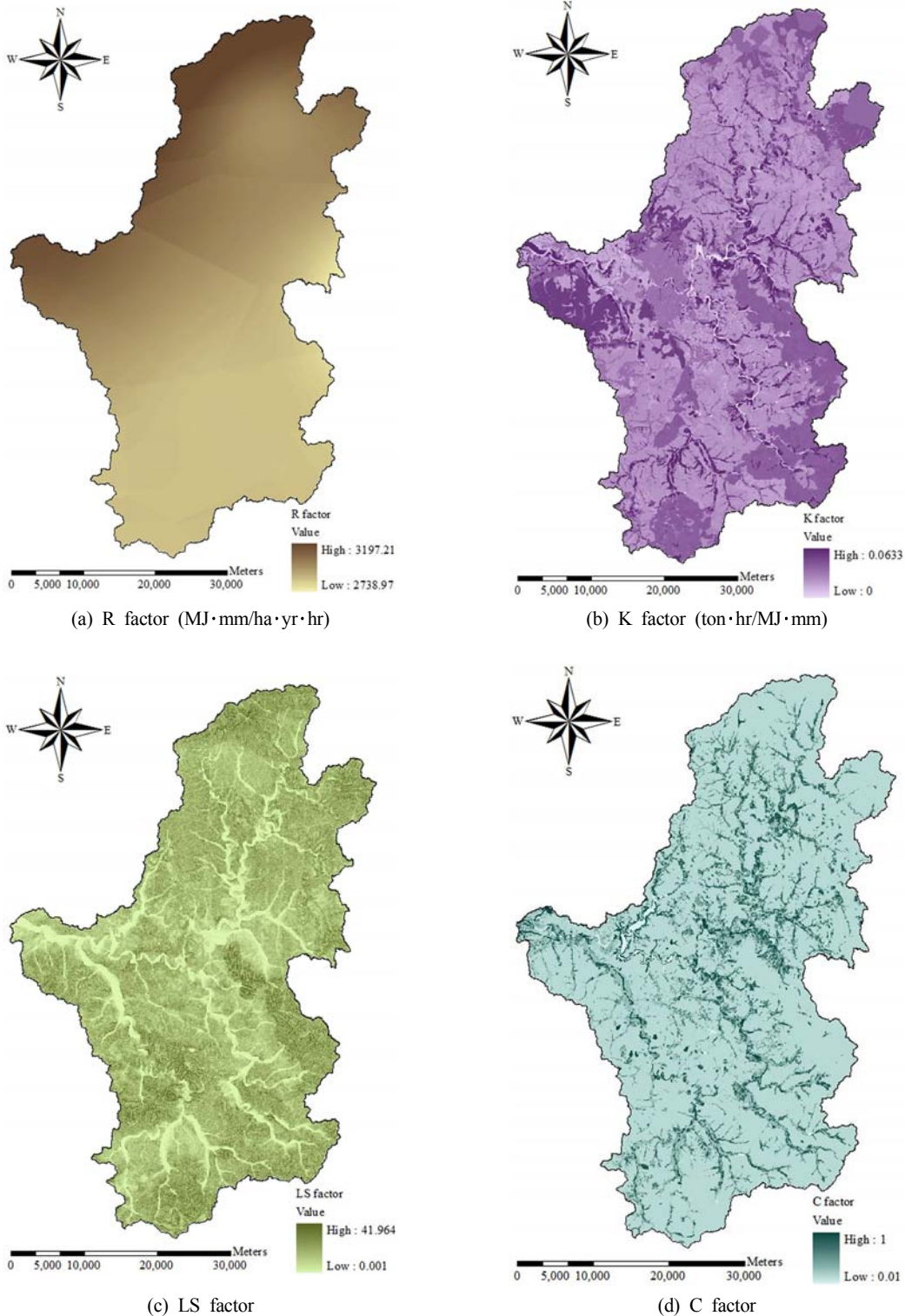


Fig. 2. Distribution of the USLE factors.



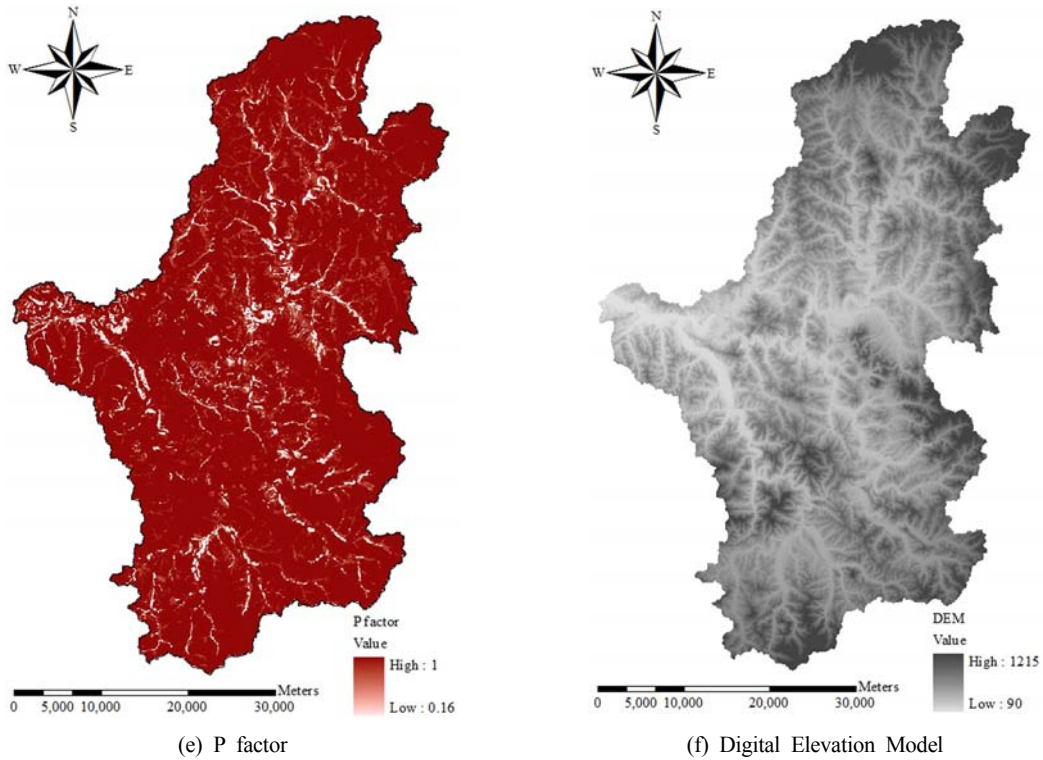


Fig. 2. Distribution of the USLE factors. (continue)

정하기 위하여 임하댐에 대한 10m 해상도의 DEM를 구축하였다(식 (2), Fig. 2(f)). 경사도는 DEM을 사용하여 Slope를 degree단위로 산정하였다(Fig. 2(c)).

$$LS = \left( \frac{[FlowAccumulation] \times Cellsize}{22.1} \right)^{0.6} \times \left( \frac{\sin\theta \times 0.01745}{0.09} \right)^{1.3} \quad (2)$$

작물피복인자와 작물경작인자는 MOE (2012a, b)와 Shin

Table 3. USLE C factors and P factors for land uses

Landuse	C factor	Slope gradient (%)	P factor
Bare land	1.00	-	1.00
Forest	0.05	-	1.00
Orchard	0.09	-	1.00
Paddy	0.10	< 2	0.12
		2-7	0.10
		7-15	0.12
		15-30	0.16
Upland	0.15	> 30	0.18
		< 2	0.60
		2-7	0.50
		7-15	0.60
		15-30	0.90
Pasture	0.30	> 30	1.00
Urban and built-up*	0.10	-	1.00
Water*	0.01	-	1.00
Wetland*	0.05	-	1.00

\* The data from Shin (1999) were used.

(1999)가 제시한 값을 사용하였으며, 토지이용도를 사용하여 인자를 구축하였다(Table 3, Fig. 2(d), (e)). 그리고 작물경작인자의 경우 경사도를 고려하여 인자를 산정하였다.

본 연구에서는 위와 같이 5가지의 USLE인자에 대한 입력자료를 구축한 후 GIS를 사용하여 셀 단위 표토침식량을 산정하였다. 그리고 토지이용에 따른 표토침식량 차이를 평가하기 위하여 과수원, 기타채배지, 나지, 도시, 논, 밭, 산림, 습지, 초지의 총 9가지 토지이용별 표토침식량을 산정하였다. 그러나 임하댐에 포함되어 있는 토지이용 중 하우스채배지에서는 실제 표토침식이 발생하지 않으므로 이 지역에 대한 표토침식량을 0 ton/ha/yr로 평가하였다.

### 2.3. OECD 및 표토 고시 기준에 따른 표토침식량 분석 방법

표토가 자원으로써 중요하다는 인식이 확산됨에 따라 국내에서는 표토침식관리지역을 선정하기 위한 표토침식지표 설정에 연구가 진행되고 있다. 그 중 OECD에서 제시한 5등급의 표토침식지표는 표토고시를 마련하기 위한 기반이 되었다(Table 4). OECD에서는 6 ton/ha/yr 미만의 표토침식량은 미비한 정도로 보고 있으며, 33 ton/ha/yr 초과인 표토침식량은 심각한 수준으로 보고 있다. 따라서 33 ton/ha/yr 초과인 표토침식이 발생하는 지역은 표토침식을 관리하기 위한 대책을 마련해야함을 알 수 있다. 그러나 국내 표토침식량을 산정한 연구에서 33 ton/ha/yr 초과인 지역이 전국토의 30% 이상으로 분석되어 환경부에서는 50 ton/ha/yr를 초과하는 지역에 대하여 현장조사가 필요하고, 75 ton/ha/yr 초과하는 표토침식량 발생지 표토침식 대책이 필요한 지역

**Table 4.** Five categories of soil erosion risk in agricultural land area defined by OECD (2008)

Erosion categories	Tolerable	Low	Moderate	High	Severe
Soil Erosion (ton/ha/yr)	< 6	6 - 11	11 - 22	22 - 33	33 <

**Table 5.** Categories of the topsoil preliminary investigation guidance by Korean ministry of environment

Erosion categories	Field investigation area	Concern area	Measure area
Soil Erosion (ton/ha/yr)	50 <	< 75	75 <

으로 표토침식지표를 제시하고 있다(Table 5). 그리고 75 ton/ha/yr 미만의 표토침식량이 발생할 때는 표토침식 우려 지역으로 표토침식지표를 제시하고 있다. 따라서 본 연구에서는 토지이용별 표토침식량 산정결과를 토대로 OECD 표토침식지표와 환경부 표토침식지표를 적용하였을 때 표토침식관리 대상지역이 얼마만큼의 면적을 차지하는지에 대해 평가하면서 이 기준들을 적용하였을 때 산정된 표토침식관리면적이 관리가능면적인지에 대해 분석해보았다.

**2.4. 효율적 표토침식관리를 위한 상대적 표토침식 지표 마련 및 적용 방법**

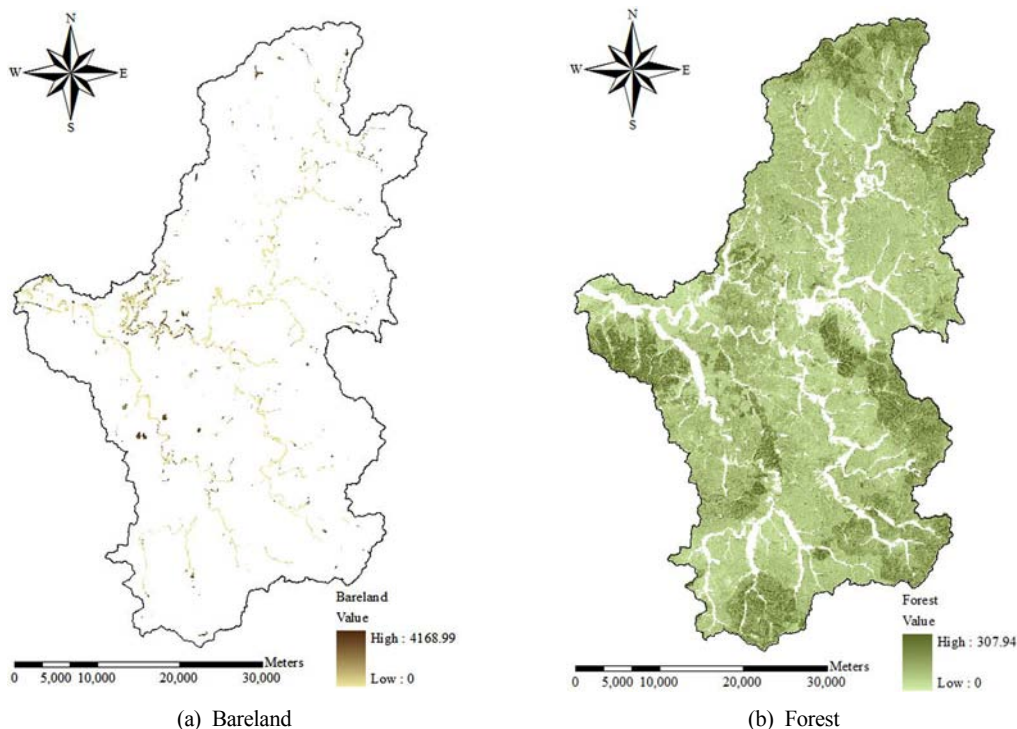
기존의 OECD 및 환경부 표토고시에서 제시하고 있는 표토침식지표들의 경우 정량적인 숫자를 제시하고 있어 절대적 표토침식지표라 할 수 있으며, 표토침식량을 산정하기 위한 입력자료의 해상도에 따라 표토침식관리면적이 과대 또는 과소평가된다는 한계점을 가지고 있다. 예를 들어 큰 해상도의 입력자료를 사용하여 표토침식량을 산정할 시 자연상태의 지형보다 세밀하지 못한 지형을 반영하게 됨으로써 표토침식량이 과소평가되거나 과대평가될 수 있다. 이렇게 산정된 표토침식량 결과에 정량적 표토침식기준을 적용

하면 표토침식관리면적 또한 너무 커지거나 적어질 수 있다. 따라서 본 연구에서는 기존의 OECD 및 환경부 표토고시에 제시하고 있는 표토침식지표들의 제한점을 보완하고자 누적확률을 기준으로 상대적 표토침식지표를 제시하였다. 이 누적확률을 고려한 상대적 표토침식지표를 적용하는 방법은 셀 단위의 표토침식량 산정결과를 내림차순으로 정렬시켜 상위 10%, 20%, 30%, 40%, 50%에 해당하는 표토침식량을 기준으로 표토침식지표를 설정하는 방법이다. 그리고 이 지표는 다양한 토지이용에 따른 표토침식량 결과에 적용할 수 있기 때문에 농경지를 대상으로 세워진 OECD 표토침식지표 보다 적용 폭이 넓으며, 여러 토지이용에 모두 같은 기준을 적용하고 있는 환경부 표토고시의 표토침식지표보다 다양한 토지이용에 따른 최우선 표토침식관리 지역을 선정할 수 있어 효과적인 표토침식관리에 큰 도움이 될 수 있을 것이라 판단된다.

**3. Results and Discussion**

**3.1. 표토침식량 산정 결과**

USLE 방법을 통해 임하댐 유역의 표토침식량을 토지이용별로 산정한 결과는 Fig. 3(a)~(j)와 Table 6과 같다.



**Fig. 3.** Spatial distribution of the estimated soil erosion by land uses (ton/ha/year).

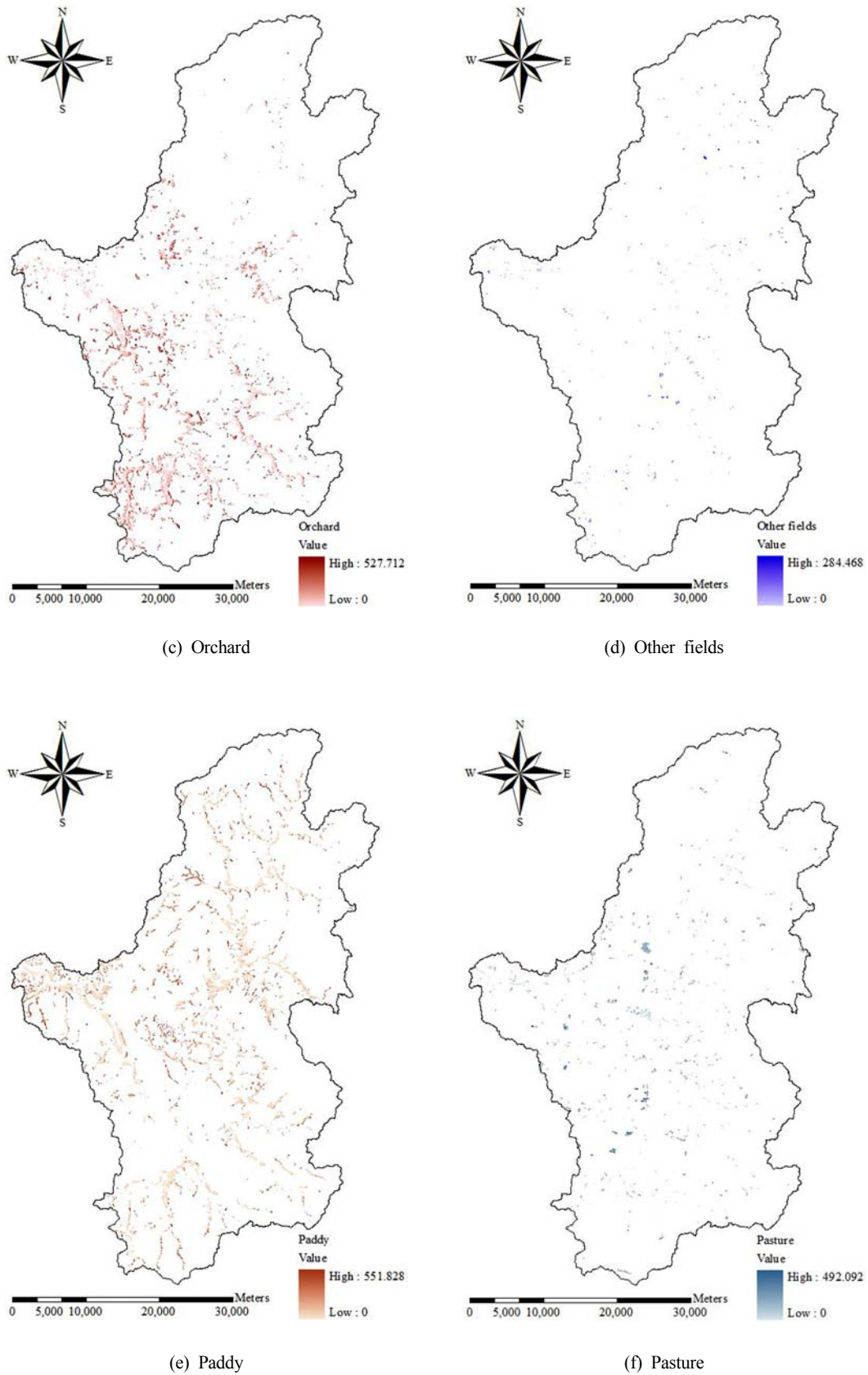


Fig. 3. Spatial distribution of the estimated soil erosion by land uses (ton/ha/year). (continue)



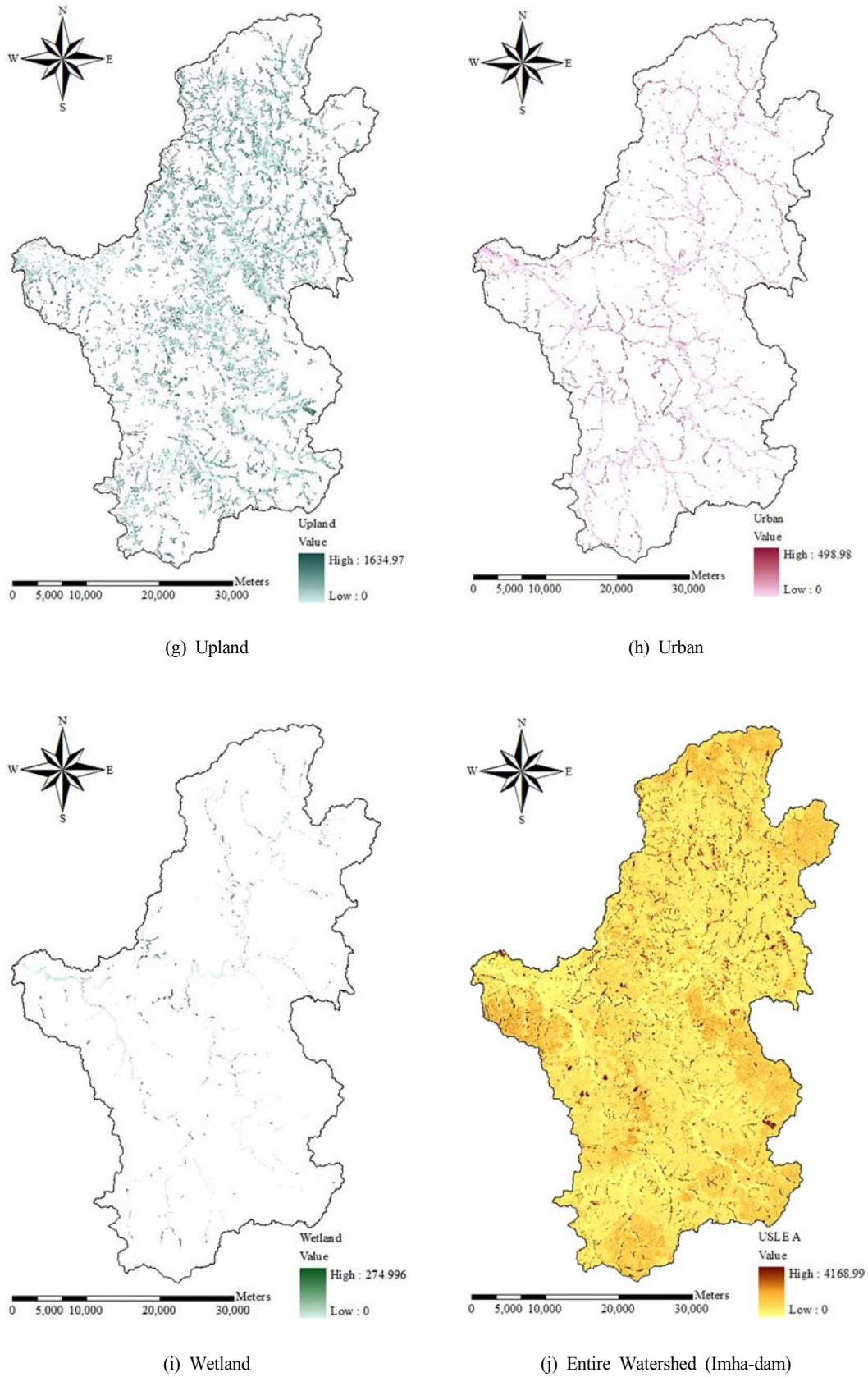


Fig. 3. Spatial distribution of the estimated soil erosion by land uses (ton/ha/year). (continue)



Table 6. Result of estimated soil erosion by land uses

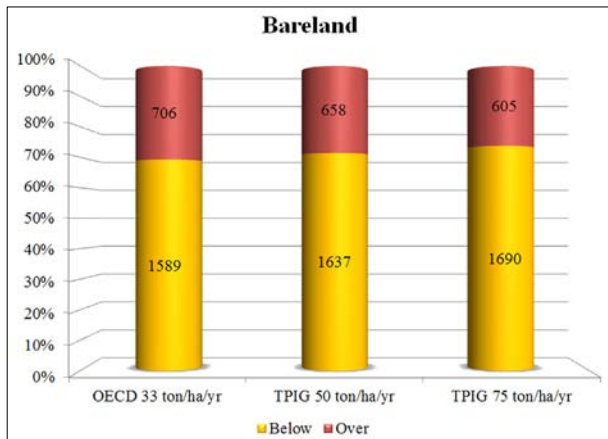
Landuse	Soil erosion (ton/ha/yr)		Landuse	Soil erosion (ton/ha/yr)	
	MAX	Average		MAX	Average
Bareland	4,168.99	124.13	Pasture	492.09	43.54
Forest	307.94	23.79	Upland	1,634.97	83.86
Orchard	527.71	16.81	Urban	498.98	15.77
Other fields	284.47	20.10	Wetland	275.00	3.92
Paddy	551.83	15.98	Entire Watershed	4,168.99	29.42

임하담 유역의 전체 평균 표토침식량은 29.42 ton/ha/yr로 나타났으며, 최대 표토침식량을 갖는 셀은 4,168.99 ton/ha/yr로 나타났다. 토지이용별로 평균 표토침식량을 살펴보면 나지에서의 평균 표토침식량이 124.13 ton/ha/yr로 가장 높게 나타났으며, 두 번째로는 밭에서 83.86 ton/ha/yr로 높게 나타났다. 그 다음에 초지에서 초지 평균 표토침식량 43.54 ton/ha/yr로 높게 나타났으며, 나머지 토지이용에서는 30 ton/ha/yr 이하의 평균 표토침식량 결과가 산정되었다. 셀의 최대값의 경우 평균 표토침식량이 가장 큰 나지에서 4,168.99 ton/ha/yr로 가장 크게 산정되었으나, 다른 토지이용에서는 표토침식량 산정결과가 높은 지역에서 반드시 높은 셀의 최대값이 산정되지 않았다. 그리고 초지의 경우 지표파복이 되어 있음에도 불구하고 높은 평균 표토침식량이 산정된 이

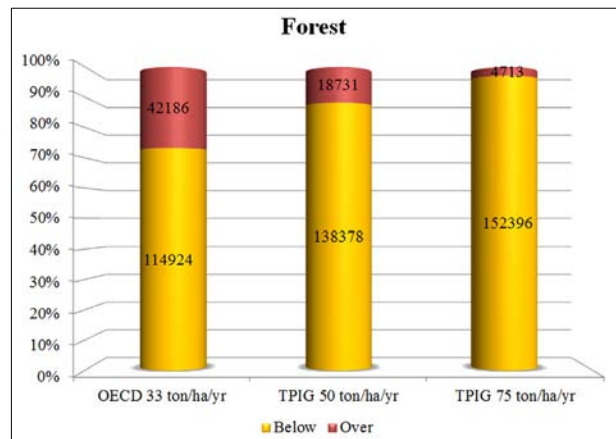
유는 임하담 내 초지가 분포하는 지역의 평균 경사도가 약 33% (18.3°)로 높은 경사도를 보여 표토침식에 취약한 지형적 조건을 가지고 있기 때문이라 판단된다.

3.2. OECD 및 표토 고시 기준에 따른 표토침식량 분석 결과

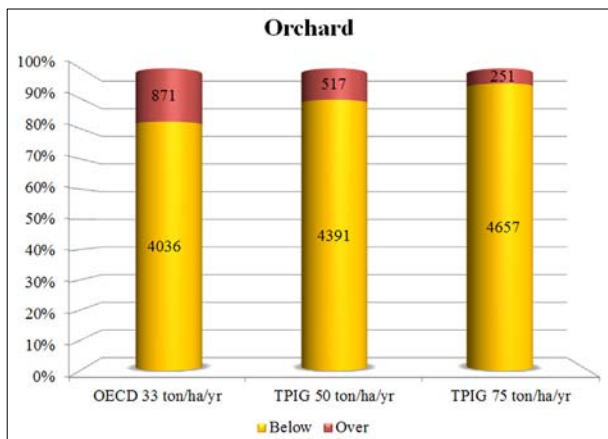
본 연구에서는 표토침식량을 토지이용별로 산정한 후 기존에 있던 OECD 및 환경부 표토 고시 표토침식지표를 적용하여 표토침식관리대상 면적 분석을 하였다(Fig. 4(a)~(j)). 본 연구에서 제시하는 그래프는 OECD severe에 해당하는 기준인 33 ton/ha/yr 이상에 해당하는 면적, 환경부 표토고시에서 제시하고 있는 표토침식 대책지역(50 ton/ha/yr 초과)와 표토침식 우려지역(75 ton/ha/yr 초과)에 대한 면적과 그



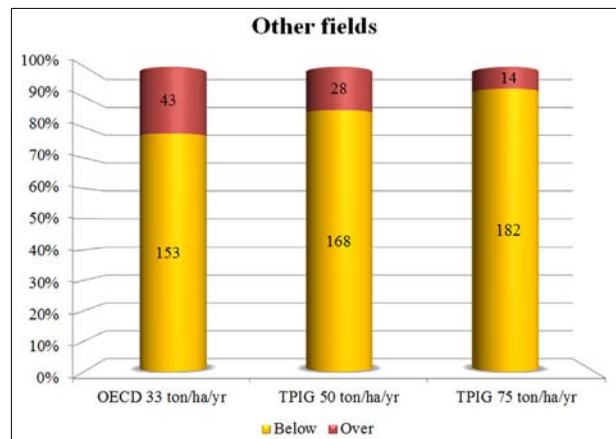
(a) Bareland



(b) Forest

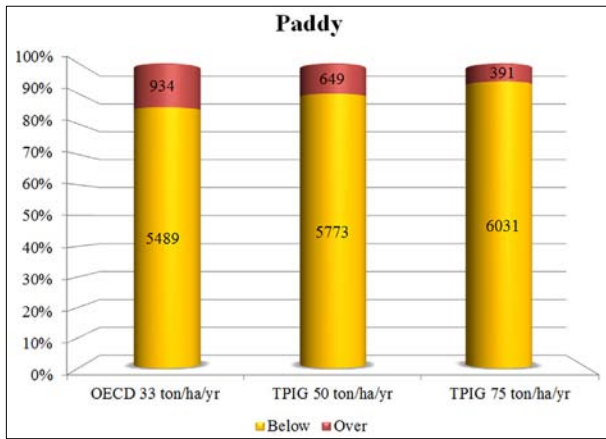


(c) Orchard

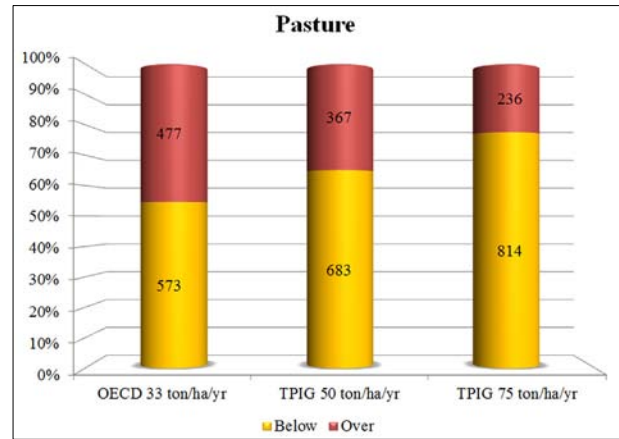


(d) Other fields

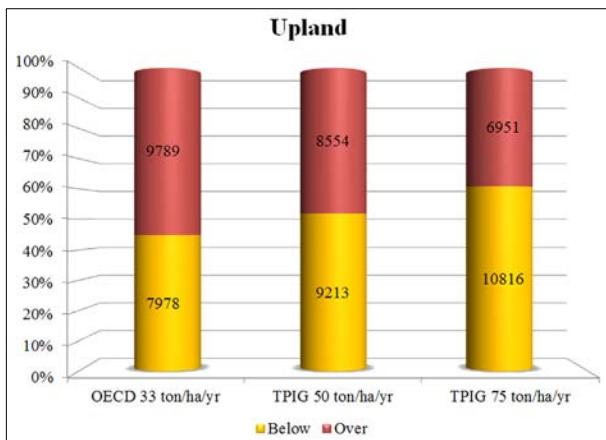
Fig. 4. Results of the estimated soil erosion hot spot area (ha).



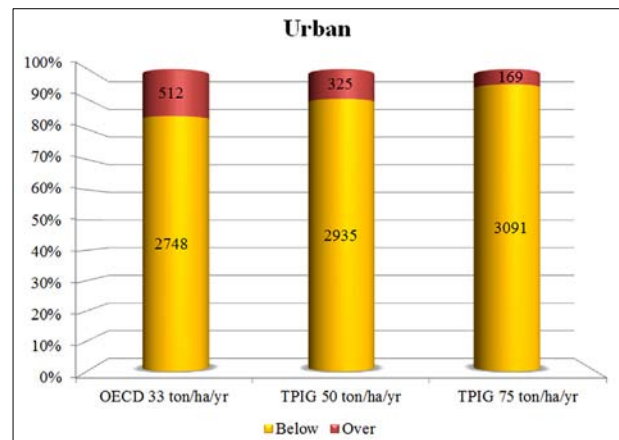
(e) Paddy



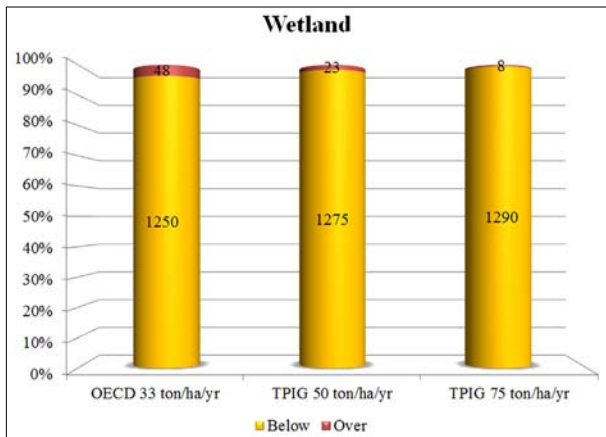
(f) Pasture



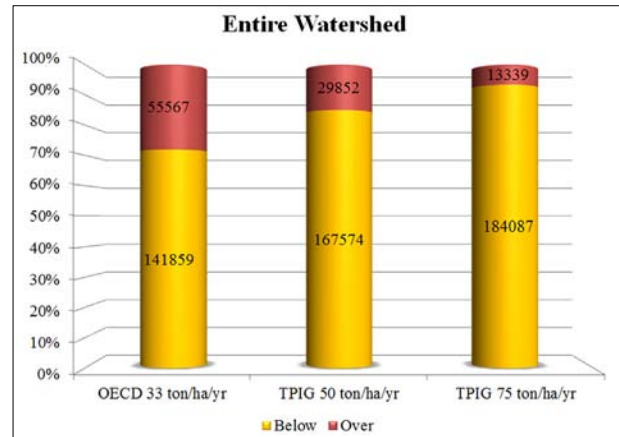
(g) Upland



(h) Urban



(i) Wetland



(j) Entire Watershed (Imha-dam)

Fig. 4. Results of the estimated soil erosion hot spot area (ha). (continue)

이하에 해당하는 면적에 대한 것이다. 토지이용에 따라 OECD 표토침식지표를 적용하였을 때 임하댐에서 가장 많은 면적에 관리가 필요한 토지이용은 산림을 제외하였을 때 밭으로 나타났으며, 그 면적이 9789 ha에 달하는 것으로 분석되었다. 그 다음으로는 논(933.59 ha)과 과수원(871.37 ha)에서의 표토침식관리가 필요할 것으로 나타나 임하댐에서 가장 관리가 필요한 지역은 평균 표토침식량이 가장 큰 지

역인 나지보다는 주로 농경지와 과수원임을 알 수 있다. 그러나 OECD 표토침식지표를 적용하게 되면 방대한 면적을 관리해야 함으로 경제적, 시간적, 인력적 문제가 크다고 볼 수 있다. 따라서 환경부 표토 고시에 제시되어 있는 표토침식 대책지역(50 ton/ha/yr 초과)와 표토침식 우려지역(75 ton/ha/yr 초과) 기준을 고려하여 표토관리 면적을 분석한 결과를 보면 OECD 표토침식지표를 적용하였을 때 보

다 관리면적의 차이가 크게 변동되는 토지이용들이 분석되었다. 특히 산림, 초지의 경우 표토침식지표 기준이 달라짐에 따라 큰 변동 폭을 보여 셀 단위 표토침식량 결과 분포가 다른 토지이용에 비해 넓게 산정되었음을 알 수 있다. 이와 반대로 나지, 논, 습지의 경우 표토침식지표가 변동하였음에도 불구하고 침식관리 대상면적 변동폭이 그다지 크지 않아 표토침식지표가 달라져도 비슷한 관리대상면적을 산정할 수 있다고 판단된다. 그리고 논, 습지의 경우 현재 시행되고 있는 농법에 따라 농업이 진행되고 있으면 표토침식이 다량 발생하는 경우는 드물게 되나 Fig. 4(e)에서처럼 표토침식량이 50 ton/ha/yr 이상의 면적이 넓게 차지하는 이유는 DEM에 대한 영향이라 판단된다. 본 연구에서는 10m DEM을 사용하여 표토침식량을 산정함으로써 실제 논이 평탄한 지역임에도 불구하고 그 형태를 고려하지 못한다. 따라서 정확한 표토침식 관리대상 분석을 위해서는 더 세분화된 기준이 필요할 것으로 판단되며, 더욱이 나지, 밭의 경우에는 표토침식이 매우 많이 발생하는 토지이용이므로 표토침식지표에 따라 관리정책마련에 큰 영향을 미칠 수 있으므로 정확한 분석이 필요한 지역이라 판단된다.

**3.3. 누적확률을 고려한 상대적 표토침식지표에 따른 표토침식량 분석 결과**

본 연구에서 제시한 표토침식지표를 임하댐유역 표토침식량 산정 결과에 적용하였을 때 Table 7과 같은 결과가 도출되었다. 누적확률을 고려한 상대적 표토침식지표는 5단계로 분류되어 있으며, 10%, 20%, 30%, 40% 50%의 기준을 갖는다. 10%의 의미는 표토침식량이 가장 높은 셀을 시작으로 정렬하였을 때 전체 셀 단위 표토침식량 값에서 상위 10%에 해당하는 표토침식량 값을 뜻한다. Table 7의 결과를 보았을 때 밭의 경우 상위 50%에 해당하는 45.44 ton/ha/yr 이상을 관리해야할 것으로 나타났으며, 만약 표토관리를 실시해야 한다면 상위 10%에서부터 50%의 순서로 순차적인 표토관리가 수행되어야 한다고 판단된다. 그리고 나지와 초지의 경우에도 상위 20%에서 산정된 표토침식량 값이 각각 185.41 ton/ha/yr와 116.57 ton/ha/yr로 다른 토지이용에 비해 크게 분석되었으므로 표토관리가 우선적으로 이루어져야할 지역으로 판단된다. 이에 반해 습지의 경우에는 상위 10%에 해당하는 표토침식량 값이 10.86 ton/ha/yr로 분

석되어 다른 토지이용에 대한 표토침식관리가 우선 수행된 후 필요하다면 관리를 진행하는 방향이 올바른 표토침식관리 방법이라고 판단된다. OECD와 환경부 표토고시에서 제시하고 있는 표토침식지표는 정량적으로 값을 제시함으로써 토지이용에 따른 표토침식대상지역을 선정할 때 토지이용에 따라 같은 기준을 적용하기 때문에 정확한 대상지역 분석을 하는데 한계점을 갖게 된다. 그러나 본 연구에서 제시하고 있는 누적확률을 고려한 상대적 표토침식지표를 사용하면 토지이용에 따라 다른 표토침식지표가 생성되기 때문에 다양한 토지이용을 고려한 표토침식지표 설정이 가능해진다. 그리고 표토침식량을 산정하기 위해서 우리나라에서는 GIS를 사용한 USLE 방법을 주로 사용하기 때문에 해상도가 미치는 영향을 무시할 수 없다. 그러나 입력자료의 불충분으로 인하여 해상도가 10m가 아니라 큰 셀 단위로 입력자료가 구축되게 되면 표토침식량에 영향을 미치기 때문에 OECD와 환경부 표토침식지표를 일괄적으로 적용하였을 때 표토침식관리대상 지역분석결과를 신뢰하기 어려워진다.

Fig. 5는 본 연구에서 제안하는 상대적 표토침식지표를 밭지역에 적용하여 관리대상면적을 산정한 그래프이다. 그래프에서 보면 상위 10%에 해당하는 표토침식량 이상의 면적이 1,777 ha로 나타난 것을 볼 수 있으며, 상위 40%까지 등면적의 분포를 보이는 것을 알 수 있다. 이는 Fig. 4(g)의 결과보다 적은 면적과 균일한 분포를 보인다. Fig. 4(g)는 OECD와 환경부 표토 고시를 적용하였을 때 산정된 표토침식관리대상면적을 나타내며, 각각 전체 밭 면적의 약 55% 이상, 35% 이상, 20% 이상 관리가 필요함을 나타내어 효율적 표토관리가 어려울 것으로 판단된다. 따라서 Fig. 5의 결과로 알 수 있는 점은 임하댐의 밭지역을 대상으로 표토침식관리 계획을 수립할 때 상대적 표토침식 지표를 적용하면 OECD나 환경부 표토 고시 보다 연차적 계획 또는 현실적 표토관리계획 수립이 더 수월하다는 점이다.

**4. Conclusion**

본 연구에서는 OECD 및 환경부 표토고시에서 제시하고 있는 절대적 표토침식지표의 한계점을 분석하고 새로운 누적확률을 고려한 상대적 표토침식지표를 제시하였다. OECD

**Table 7.** Estimated Soil erosion considering relative soil erosion indices

Landuse	Soil erosion (ton/ha/yr)					
	MAX	10%	20%	30%	40%	50%
Bareland	4,168.99	473.17	185.41	39.10	0.1215	0.0606
Forest	307.94	53.72	38.97	30.81	25.06	20.24
Orchard	527.71	51.74	29.21	16.38	8.31	3.25
Other fields	284.47	63.74	36.83	21.31	10.68	4.13
Paddy	551.83	50.49	20.14	10.16	4.28	1.11
Pasture	492.09	116.57	81.20	58.91	41.63	25.27
Upland	1,634.97	224.99	149.21	104.68	72.50	45.44
Urban	498.98	49.89	24.48	12.49	6.2306	2.3266
Wetland	275.00	10.86	2.0744	0.0581	0.0040	0.0023

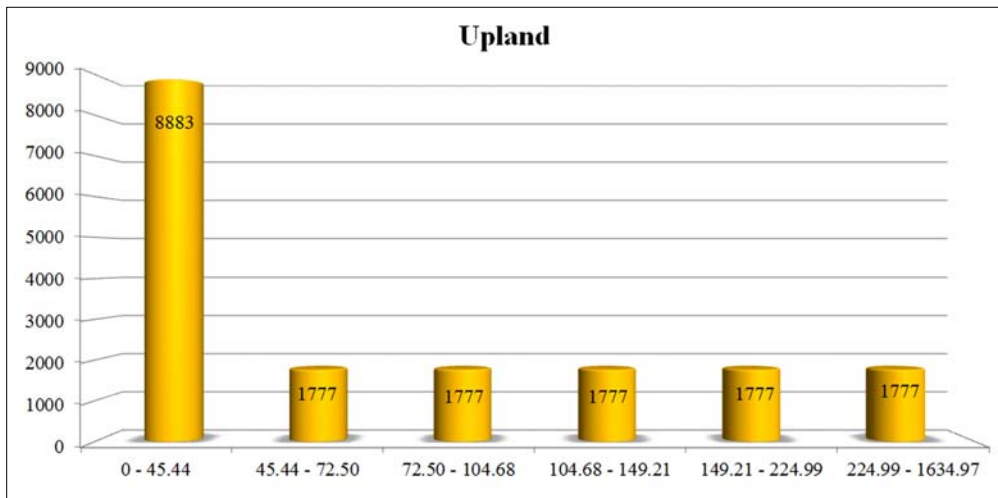


Fig. 5. Results of the estimated soil erosion hot spot area at upland (ha).

및 환경부 표토고시에 따른 표토침식지표로 표토침식 관리 대상 지역을 분석할 경우 정량적 기준을 토지이용에 관계 없이 일괄적으로 적용해야 하기 때문에 정확한 표토침식 관리대상 선정이 어려워진다. 또한 USLE 방법을 사용하여 표토침식량을 산정하기 위해서는 GIS를 사용하여야 하는데 USLE 입력자료의 해상도가 표토침식량 산정에 미치는 영향이 크므로 정량적인 표토침식지표 반영보다는 누적확률을 고려한 표토침식지표를 적용하였을 때 더 정확한 표토침식 관리대상 선정이 가능할 것이라 판단된다. 대상유역인 임하댐에서 각 토지이용에 대하여 누적확률별 표토침식량을 산정한 결과를 바탕으로 기존 절대적인 표토침식지표를 반영하였을 때 표토침식 관리대상 면적이 매우 넓어지거나 습지의 경우 표토침식관리가 불필요할 수도 있으나 OECD 나 환경부 표토고시에서 제공하고 있는 표토침식지표를 적용할 시 관리대상면적으로 선정되어 많은 예산, 시간과 인력이 소요된다는 한계점을 가질 수 있다. 이러한 분석결과로 알 수 있는 점은 현재 사용되고 있는 표토침식지표가 비효율적일 수 있다는 점이다.

그러나 본 연구에서 제시하고 있는 누적확률을 고려한 상대적 표토침식지표가 가장 올바른 방법이라 보기엔 한계점을 가지고 있다. 본 연구에서 다양한 토지이용에 따라 %로 표토침식지표를 구분하는 이유 중에 하나는 토지이용별로 토양의 가치가 다르기 때문에 토양유실에 의한 피해액이 다르게 산정될 수 있기 때문이다. 만약 다른 토지이용에서 같은 표토침식이 발생했을 때에는 피해액에 따라 관리 우선순위를 설정할 필요가 있다. 그러나 본 연구에서는 토지이용별 가치를 평가하지 못하고 토양기능에 따른 가치 또한 평가할 수 없으므로 이러한 점들을 고려하지 못했다는 점이 본 연구에서 제시한 표토침식지표가 갖는 한계점이라 판단된다. 또 다른 한계점은 본 연구에서는 토지이용별 표토침식량에 대하여 일정한 누적확률을 기준으로 상대적 표토침식지표를 제시하고 있다. 그러나 어떠한 일관된 누적확률에 의하여 모든 토지이용별 그 기준을 적용하기에는 한계가 있다. 그 이유는 지역특성에 따라 토지이용별 표토

침식의 양이 매우 상이하기 때문이다. 따라서 향후 지역적 특성에 맞게 각각의 토지이용별로 그 기준을 다르게 설정하는 추가적 연구가 필요하다.

## Acknowledgement

본 연구는 한국환경산업기술원 GAIA Project (No: 2014000 540003) “한국형 표토 침식 조사 평가 기술개발”의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## References

- Bagarello, V., Stefano, C. D., Ferro, V., Giordano, G., Invino, M., and Pampalona, V. (2012). Estimating the USLE Soil Erodibility Factor in Sicily, South Italy, *Applied Engineering in Agriculture*, 28(2), pp. 199-206.
- Beasley, D. B., Huggins, L. F., and Monke, E. J. (1980). ANSWERS: A Model for Watershed Planning, *Transactions of the ASAE-American Society of Agricultural Engineers*, 23, pp. 938-944.
- Grimm, M., Jones, R., and Montanarella, L. (2001). *Soil Erosion Risk in Europe*, Joint Research Centre, European Commission.
- Jang, C., Shin, Y., Kum, D., Kim, R., Yang, J. E., Kim, S. C., Hwang, S. I., Lim, K. J., Yoon, J., Park, Y. S., and Jung, Y. (2015). Assessment of Soil Loss in South Korea based on Land-cover Type, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, doi:10.1007/s00477-015-1027-3.
- John, F. B., Andy, J. P., Claire, M., Simon, D. T., Rob, W. S., and Jerry, E. W. (2011). Land use, Soil Erosion, and Sediment Yield at Pinto Lake, California: Comparison of a Simplified USLE Model with the Lake Sediment Record, *Journal of Paleolimnology* 45, pp. 199-212. doi:10.1007/s10933-010-9491-8.
- Junakovaa, N., Klescovaa, Z., Gergelova, M., and Holuba, M. (2014). The Influence of Topographical Factor Calculation on the Estimation of Water Erosion Intensity Using Geographical Information Systems, *The 9<sup>th</sup> International Conference*



- "Environmental Engineering", Vilnius Gediminas Technical University (VGTU) Press, pp. 1-6.
- Jung, K., Kim, W., Hur, S., Ha, S., Jung, P., and Jung, Y. (2004). USLE/RUSLE Factors for National Scale Soil Loss Estimation Based on the Digital Detailed Soil Map, *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 37(4), pp. 199-206. [Korean Literature]
- Knisel, W. G. (1980). *CREAMS: a Field Scale Model for Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems*, USDA Conservation Research Report 26.
- Korea Water Resources Corporation (KWRC) (2004). *Final Report for the Turbidity Reduction Management at Imha-dam*, Korea Water Resources Corporation.
- Korea Water Resources Corporation (KWRC) (2007). *Turbidity Management Through Joint Dam Operation*, Korea Water Resources Corporation.
- Lee, G. S. (2006). The Comparative Estimation of Soil Erosion for Andong and Imha Basins using GIS Spatial Analysis, *Journal of the Korean Society of Civil Engineering*, 26(2D), pp. 341-347. [Korean Literature]
- Lee, G. S. and Lee, K. H. (2006). Scaling Effect for Estimating Soil Loss in the RUSLE Model Using Remotely Sensed Geospatial Data in Korea, *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 3(1), pp. 135-157.
- Lee, J. H., Shim, E. J., Lee, Y. K., and Kim, T. W. (2012). A Study on the Estimation of Soil Erosion Quantity Using USLE in the Upper Region of ManKyoung River Basin, *Journal of Korean Wetland Society*, 14(3), pp. 317-328. [Korean Literature]
- Lim, K. J., Sagong, M., Engel, B. A., Tang, Z., Choi, J. D. and Kim, K. S. (2005). GIS-based Sediment Assessment Tool, *CATENA*, 64, pp. 61-80.
- Ministry of Environment (MOE) (2012a). *The Topsoil Preliminary Investigation Guidance (TPIG)*, Ministry of Environment, Korea.
- Ministry of Environment (MOE) (2012b). *Act 6.2 of the Soil Environmental Protection Law (SEPL)*, Ministry of Environment, Korea.
- Moore, I. and Burch, G. (1986a). Physical Basis of the Length-slope Factor in the Universal Soil Loss Equation, *Soil Science Society of America Journal*, 50, pp. 1294-1298.
- Moore, I. and Burch, G. (1986b). Modeling Erosion and Deposition: Topographic Effects, *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 29, pp. 1624-1640.
- Morgan, R. P. C., Quinton, J. N., and Rickson, R. J. (1990). Structure of the Soil Erosion Prediction Model for the European Community, In: *Proceedings of International Symposium on Water Erosion, Sedimentation and Resource Conservation*, Dehradun.
- Nearing, M. A., Forster, G. R., and Lane, L. J. (1989). A Process-based Soil Erosion Model for USDA Water Erosion Prediction Project, *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 32, pp. 1587-1593.
- Olson, K. (2007). *The Effect of Spatial Resolution on Erosion Patterns in Southeast Minnesota*, Saint Mary's University of Minnesota Central Services Press, Winona, Minnesota, 9, pp. 13.
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) (2008). *Environmental Performance of Agriculture in OECD Countries since 1990*, OECD, DOI. 10.1787/9789264040854-en.
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) (2013). *OECD Compendium of Agri-environmental Indicators*, OECD, DOI. 10.1787/9789264186217-en.
- Park, C. W., Sonn, Y. K., Hyun, B. K., Song, K. C., Chun, H. C., Moon, Y. H., and Yun, S. G., (2011). The Redetermination of USLE Rainfall Erosion Factor for Estimation of Soil Loss at Korea, *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 44(6), pp. 977-982. [Korean Literature]
- Park, J. H., Woo H. S., Pyun, C. K., and Kim, K. K. (2000). A Study of Distribution of Rainfall Erosivity in USLE/RUSLE for Estimation of Soil Loss, *Journal of Korea Water Resources Association*, 33(5), pp. 603-610. [Korean Literature]
- Park, S., Oh, C., Jeon, S., Jung, H., and Choi, C. (2011). Soil Erosion Risk in Korean Watersheds, Assessed Using the Revised Universal Soil Loss Equation, *Journal of Hydrology*, 399(3), pp. 263-273.
- Parveen, R. and Kumar, U. (2012). Integrated Approach of Universal Soil Loss Equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for Soil Loss Risk Assessment in Upper South Koel Basin, Jharkhand, *Journal of Geographic Information System*, 4(6), pp. 588-596.
- Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K., and Yode, D. C. (1997). *Predicting Soil Erosion by Water: a Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*, Agriculture Handbook, Washington, 703.
- Shengpan, L., Changwei, J., Neil, A. C., Vincent, C., Nathan, J. M., and Jiaping, W. (2013). Evaluating DEM Source and Resolution Uncertainties in the Soil and Water Assessment Tool, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 27, pp. 209-221. DOI. 10.1007/s00477-012-0590-0.
- Shin, K. J. (1999). *The Soil Loss Analysis Using GIS in Watershed*, Dissertation, Kangwon National University, Korea.
- Taiwan Environmental Protection Administration (TEPA). (1983). *Soil and Water Conservation Act, Environmental Protection Administration, Taiwan*.
- Van der Knijff, J. M., Jones, R. J. A., and Montanarella, L. (2000). *Soil Erosion Risk Assessment in Europe*, European Soil Bureau, European Commission, pp. 1-38.
- Wischmeier, W. H. and Smith, D. D. (1965). *Predicting Rainfall Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains*, US, Agriculture Handbook, No. 282, US Department of Agriculture Research Service, Washington, DC.
- Zhenlan, J., Shiliang, S., Changwei, J., Shengpan, L., Xufeng, F., and Jiaping, W. (2012). Spatiotemporal Dynamics of Soil Erosion Risk for Anji County, China, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 26(6), pp. 751-763.