

USLE LS 인자 구축시 DEM 해상도가 미치는 영향

구자영 · 윤대순 · 이동준 · 한정호 · 정영훈* · 양재의** · 임경재†

강원대학교 지역건설공학과

*한국수자원공사

**강원대학교 바이오자원환경학과

Effect of DEM Resolution in USLE LS Factor

Ja-Young Koo · Dae-Soon Yoon · Dong Jun Lee · Jeong Ho Han · Younghun Jung* ·
Jae E Yang** · Kyoung Jae Lim†

Department of Regional Infrastructures Engineering, Kangwon National University

*Korea Water Resources Corporation

**Department of Biological Environment, Kangwon National University

(Received 8 December 2015, Revised 30 December 2015, Accepted 31 December 2015)

Abstract

Digital Elevation Models (DEMs) have been used to represent the effects of topography on soil erosion. A DEM of 30 m resolution is frequently used in hydrology and soil erosion studies because the National Water Management Information System (WAMIS) provides a 30 m resolution DEM at national scale on its web site. However, the Ministry of Environment recommends the use of a DEM with 10 m resolution for evaluation of soil erosion due to the fact that soil erosion estimation is to some degree affected by the spatial resolution of DEM. In this regard, a DEM with 5 m resolution was resampled for 10 × 10 m, 20 × 20 m, 30 × 30 m, 50 × 50 m, 70 × 70 m, and 100 × 100 m resolutions, respectively. USLE LS factors and soil erosion values were evaluated using these datasets. Use of a DEM with at least 30 m resolution provided reasonable LS factors and soil erosion values at a watershed.

Key words : DEM, LS factor, Resolution, Topographic factor, Universal Soil Loss Equation (USLE)

1. Introduction

유기물과 무기물로 이루어져 지구의 표면을 덮고 있는 토양은 장기간에 걸쳐 생성되었으며 식량 생산, 수자원 함양 및 보전, 생태계 건전성 및 생물 다양성 유지, 환경오염 물질 정화 작용 등 다양한 생태 서비스를 제공하는 역할을 하고 있다. 하지만 이러한 토양이 유실 되면, 30cm의 토양이 다시 생성되기까지 1,000~10,000년이 걸린다는 연구 보고가 있을 정도로 토양의 재생 속도는 매우 느리다(KGES, 2001). 하지만 급속한 도시화 및 인간의 생활·생산 활동으로 인해 광범위한 지역에서 다량의 토양이 유실되고 있으며, 이에 따라 사회적, 경제적, 환경적 문제가 발생하고 있다. 특히 농촌지역에서 발생하는 토양 유실은 하천 수질과 수생태계에도 악영향을 미쳐 대표적인 비점오염원으로 간주되어(Choi et al., 2012) 비점오염원 관리를 위한 토양 유실 저감에 대한 연구

가 수행되었다. 또한 최근에는 토양의 다양한 기능을 소중한 자원으로 평가하고 이를 보존하기 위한 연구들이 수행되고 있다. 토양 유실을 예방하고 보존하기 위해서는 우선적으로 토양 유실 현황 및 정도에 대한 정확한 분석이 선행되어야 한다.

토양 유실 산정 및 분석에는 전 세계적으로 Universal Soil Loss Equation (USLE), Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE), Water Erosion Prediction Project (WEPP) 등의 모형이 활용되고 있다. “표토의 침식현황조사에 대한 고시(MOE, 2012)”의 기반이 된 “표토침식조사 및 보전 종합대책 연구(NIER, 2012)”에서는 토양침식량 산정 방법으로 GIS를 활용한 USLE를 제시하였다. 하지만 USLE 뿐만 아니라 GIS를 활용하는 모든 모형에 있어 모의 결과의 정확성은 모형 입력자료가 유역 내 현황을 얼마나 잘 표현하느냐에 달려있다(Chaplot, 2005). 특히 USLE의 입력자료 중 지형인자(LS)는 Digital Elevation Model (DEM) 해상도에 따라 큰 영향을 받기 때문에 LS 인자 값 산정 시 DEM의 해상도에 따른 불확실성이 발생한다. 그러나 대부분의 사용자들은 일반적으로 관련기관에서 제공하는 자료를 사용하거나 연구대상 지역의 자료를 이용하여 평가하기 때문에, 공간자료 해상도가 토양유실량에 미치는 영향을 파악하지 못하는

† To whom correspondence should be addressed.

kjlim@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.

경우가 많이 있다. 그러나 토양유실에 미치는 주요 인자 중의 하나이기 때문에 이에 대한 연구가 필요하다.

지형자료를 이용한 지반 분류 시 DEM 해상도 선택에 따라 지형의 굴곡과 연약지반 구분이 확연히 다르다는 연구가 진행되기도 하는 등(Kang and Kim, 2011) DEM자료는 해상도에 따라 민감한 요소임을 보여준다. 그러나 국내 여러 가지 연구·논문들을 살펴보면 DEM 격자 사이즈 10 m × 10 m를 사용하는 경우가 있는가 하면(Lee and Jung, 2014; NIER, 2011), DEM 격자 사이즈 30 m × 30 m를 사용하는 경우도 있었다(Lee et al., 2010; Hahm and Kim, 2007). 특히 “표토침식조사 및 보전 종합대책 연구”에서는 고화질의 해상도를 사용할 것을 권장하는 환경부의 예비조사지침에 따라 DEM 격자 사이즈 10 m × 10 m를 활용하여 LS 인자 값을 산정하였지만, 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS)에서는 30 m × 30 m 해상도의 DEM을 제공하여 관련기관에서 제공하는 자료에 대한 불확실성이 발생하게 된다.

이에 본 연구의 목적은 보다 정확한 토양유실량 산정을 위해 5 m × 5 m의 고화질 해상도 DEM자료를 기준으로 산정한 LS 인자 값과 각 해상도에 따른 LS 인자 값을 전국단위로 분석하여 비교·분석하여 USLE LS 인자 산정시 필요한 최소한의 DEM 해상도가 무엇인지를 제시하고자 한다.

2. Materials and Methods

2.1. DEM

2.1.1. DEM의 생성

Park et al. (2007)은 DEM의 생성을 위한 과정을 Fig. 1과 같이 제시하였다. 본 연구에서는 국토지리정보원(National Geographic Information Institute, NGII)에서 제공하는 축척 1:5,000의 수치지형도와 수치지도활용소프트웨어를 사용하여 GIS에서 사용하기 위한 지형 데이터를 추출하였다. 그리고 추출한 지형 데이터를 이용하여 TIN data를 생성하였고 이를 5 m × 5 m DEM의 자료로 변환하였다. 또한, 이 5 m × 5 m의 DEM과 ArcGIS의 resample 기능을 이용하여 각각 10 m × 10 m, 20 m × 20 m, 30 m × 30 m, 50 m × 50 m, 70 m × 70 m, 100 m × 100 m 해상도의 DEM을 추출하였다. 이때, resample의 방법은 bilinear interpolation을 이용하였다(Lin et al., 2010).

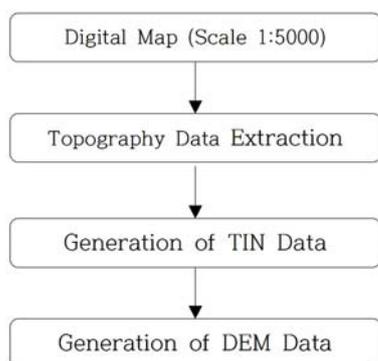
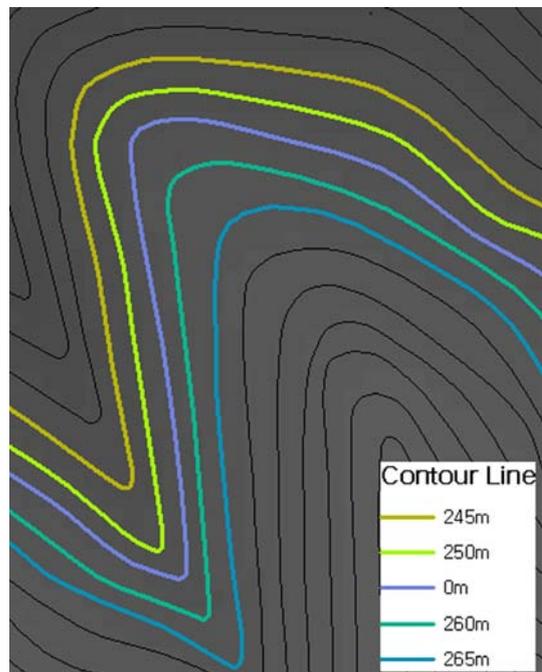


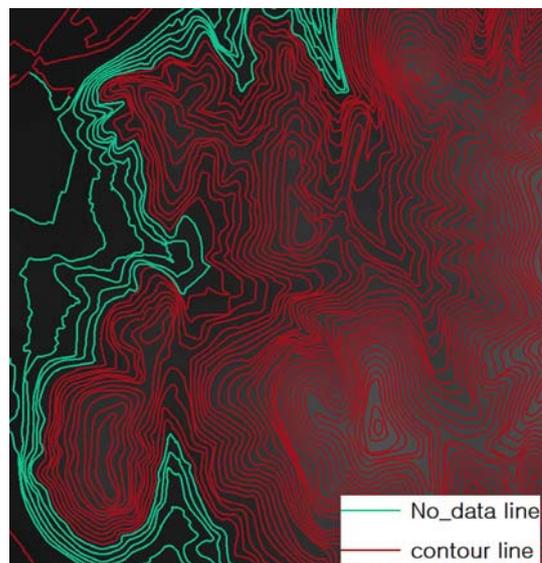
Fig. 1. Process of DEM Generation.

2.1.2. DEM 검수

본 연구에서 DEM을 추출하기 위해 이용한 1:5,000의 수치지형도(국토지리정보원)의 지형 데이터에서는 다음과 같은 오류가 발견되었다. 1) 우선적으로 지형데이터에서 등고선의 수치가 입력되지 않은 자료들이 있었으며(Fig. 2), 2) 등고선의 수치가 연속적이지 않은 오류가 있었다(Fig. 3). 이러한 오류를 제거하기 위하여 등고선의 수치가 입력되지 않은 자료의 경우 주변의 등고선 수치와 비교하여 등고선의 값을 수동으로 입력하였으며, 등고선의 수치가 불연속적인 값들의 경우, DEM 자료를 생성한 후에 오류가 발생한 도면을 육안으로 식별하여 해당 도엽번호의 등고선 자료를 수정하였다.



(a) No data in Contour - Index No. 36711064 (NGII)



(b) No data in multiple contour - Index No. 36710012 (NGII)
Fig. 2. Example of contour data with no issues.

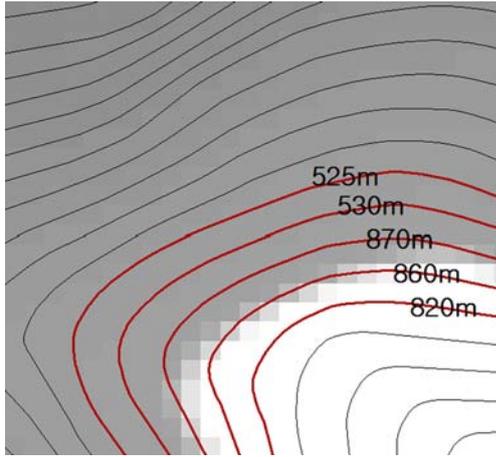


Fig. 3. Example of abrupt changes in elevation in contour line - Index No. 37810062 (NGII).

2.2.1. USLE

USLE은 1960년 Wischmeier and smith(1960)에 의해 농경지에서의 토양유실 산정을 위해 개발되었다. 초기 개발 당시에는 토양유실 산정이 목적이었으나, 이후 단위 호우에 대한 침식을 추정하기 위해 많은 수정이 이루어지면서 USLE의 토양침식성 인자(K), 지형인자(LS), 작물피복인자(C), 보전관리인자(P)의 인자들이 서로 상호사용이 가능한 RUSLE와 MUSLE 등 다양한 수정식이 개발되었다. 전국에 대하여 토양유실을 실측하는 것은 현실적으로 한계가 있기 때문에, 전 세계적으로 토양유실 예측 모형인 USLE, RUSLE, MUSLE를 많이 이용한다. 본 연구에서는 환경부의 예비조사지침을 따른 “표토침식조사 및 보전 종합대책 연구”에서 사용한 USLE 모형을 이용하였다(MOE, 2012). USLE 모형은 식 (1)과 같다(Wischmier and smith, 1978).

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \tag{1}$$

- 여기서, A : 연평균 토양 유실 가능 추정치(Mg/ha/yr)
- R : 강우인자(Rainfall Energy Factor)
(MJ·mm/ha/yr/hr)
- K : 토양침식성인자(Soil Erodibility Factor)
(Mg·hr/MJ/mm)
- LS : 지형인자(Topographic factor)
- C : 작물피복인자(Cover Management Factor)
- P : 보전관리인자(Supporting Conservation Practice Factor)

강우인자(R)는 유일한 기상인자로서, 강우의 크기 및 형태에 의한 강우의 운동에너지와 최대강우강도에 의해 결정되는 인자이다. Wischmeier and Smith(1978)은 토양침식이 발생하는 한계 강우량을 12.7mm로 정하고 있으며, 12.7mm 이상의 강우가 발생 시 다음 식(식 (2), (3), (4))을 이용하여 산정한다.

$$R = \sum EI_{30} \tag{2}$$

$$E = \Sigma(e \cdot I \cdot t / 100) \tag{3}$$

$$e = 0.119 + 0.0873 \log_{10} I \tag{4}$$

- 여기서, EI₃₀ : 30분 최대 강우강도(mm/hr)
- E : 개별 강우의 시간 단위별 운동 에너지(MJ/ha)
- e : 운동에너지(MJ/ha/mm)
- I : 강우강도(mm/hr)

토양침식성인자(K)는 강우에너지에 의한 침식에 저항하는 토양의 능력을 나타내는 척도로서, 이는 토양입자, 토양구조, 토성 등과 관련된다. 토양침식성인자의 값을 산정하기 위한 산정식(식 (5))은 다음과 같다.

$$K = 1.32 \left[\frac{2.1 \times 10^{-4} \cdot (12 - OM) \cdot M^{1.14} + 3.25(S_1 - 2) + 2.5(P_1 - 3)}{100} \right] / 9.8 \tag{5}$$

$$M = (MS + VFS) \cdot (100 - CL)$$

- 여기서, K : 토양침식성 인자(Mg·hr/MJ/mm)
- OM : 유기물 백분율(%)
- M : 토양 유실에 대한 입경 특성 함수
- SI : 토양 구조 지수(1~4)
- PI : 토양 투수 등급(1~6)
- MS : 미사 백분율(%)
- VFS : 극세사 백분율(%)
- CL : 점토 백분율(%)

지형인자(LS)는 사면길이인자(L)와 사면경사인자(S)를 통합한 하나의 무차원인 인자로 지형에 따라 값이 결정된다. LS 인자는 사면길이가 길고 경사가 급할수록 침식률이 높게 나타나며, 식 (6)에 의해 산정된다(Moore and Burch, 1986a, 1986b).

$$LS = \left(\frac{A}{22.13} \right)^{0.6} \times \left(\frac{\sin \theta}{0.0896} \right)^{1.3} \tag{6}$$

- 여기서, A : 면적 (m²)
- θ : 경사각 (°), θ = arctan($\frac{\text{고저차}}{\text{평면거리}}$)

작물피복인자(C)는 지상식물의 종류, 토양의 함수량 등에 의해 결정되는 인자이다. 작물의 성장에 따라 지표가 받는 강우타격 정도와 시간에 따라 변하는 토양손실 잠재능에 의해 피복인자의 값이 변화한다. 작물피복인자는 토양 침식에 영향을 미치는 인자들을 고려하였으며, 환경부에서는 이 값을 도표화하여 사용하고 있다.

토양보존대책인자(P)는 보전 영농시설과 경작 방법 등에 의한 침식량의 감소를 뜻하며, 등고선 경작, 등고선 대상재배, 건조한 농경지의 조도 효과 등을 평가하기 위하여 사용된다.

환경부 표토 고시에서는 USLE 모형을 이용하여 토양유실량을 산정하게 정의되어 있으며, 환경부 표토 고시 예비조사 단계에서는 GIS를 이용하여 표토 유실량을 산정해야 한

다. USLE 입력자료와 DEM을 이용하여 유역내 토양유실량의 시간적 공간적 변화 특성을 변화할 수 있는 모형으로는 GIS 기반 SATEEC 모형(Jang et al., 2011; Lim et al., 2005)이 있다. 이처럼 예비조사 단계에서 GIS를 이용하여 USLE 인자를 준비할 경우 DEM의 각 Cell의 크기에 따라 그 값의 차이가 발생하게 된다. 여러 가지 인자 중 LS인자가 DEM 격자 크기에 의해서 가장 큰 영향을 받는다.

2.2.3. 토양유실량 산정

토양유실량을 산정함에 있어 LS 인자를 제외한 나머지 인자들의 관측값은 DEM 격자 크기에 상관없이 동일한 관측값을 적용하여 토양유실량을 산정하였다. 이에 따라, USLE의 인자 중 강우인자(R), 토양침식성인자(K), 작물피복인자(C), 보전관리인자(P)의 경우 Jang et al. (2015)이 10 m × 10 m DEM을 이용하여 산정한 관측값을 이용하였으며, LS 인자의 경우 식 (6)을 GIS내에서 사용하기 위하여 Parveen and Kumar (2012)가 제시한 식 (7)을 활용하여 산정하였다.

$$LS = Pow([flow\ accumulation] \times resolution / 22.13, 0.6) \times Pow(Sin([slope\ of\ DEM] \times 0.01745/0.0896, 1.3)) \quad (7)$$

여기서, Pow(x, y) : x의 값에 y의 값을 지수로 취함
 flow accumulation : 한 Cell에 다른 Cell로부터 물이 모여드는 양
 resolution : 셀 사이즈
 Slope of DEM : DEM의 경사도(%)

2.3. 분석 방법

모든 GIS를 활용한 모형에서 입력자료가 유역 내 현황을 얼마나 잘 표현하느냐에 따라 모의 결과의 정확성이 달라진다(Chaplot, 2005). 즉, 고해상도 DEM 자료를 사용하여 USLE LS 인자값을 산정한다면, 지형조건을 보다 정확하게 반영한 토양유실량의 산정이 가능하다(NIER, 2012). 이에 본 연구에서는 주요 대권역 수계 (한강, 낙동강, 금강, 영산강, 그리고 섬진강) (Fig. 4)에 대해 5 m × 5 m DEM을 이용하여 수계별 LS 인자를 산정하였다. 또한 이 자료를 resampling 기법을 이용하여 10 m, 20 m, 30 m, 50 m, 70 m, 그리고 100 m 격자 DEM을 생성한 후 각 DEM의 LS인자를 산정하였으며, 이렇게 산정된 LS 인자를 비교하여 USLE모형을 이용한 토양유실량 산정시 정확한 LS인자를 산정하는데 필요한 최소한의 해상도를 제시하였다.

본 연구에서는 DEM 해상도에 대한 LS 인자 값의 차이가 토양유실량을 산정함에 있어 어느 정도의 영향을 미치는지를 알아보기 위하여 1:5,000 수치지도의 최적 해상도인 5 m × 5 m DEM으로 산정한 LS 인자와, 다양한 해상도의 DEM으로 산정한 LS인자의 최대값(MAX), 평균값(MEAN), 그리고 표준편차(Standard deviation, STD)를 이용하여 LS 인자의 차이를 분석하였다. 이를 통해 어느 정도 해상도의 DEM을 사용해야 DEM 해상도와 토양유실 정확성간의 접점을 찾아서 토양유실량 평가 및 이를 통한 다양한 정책자

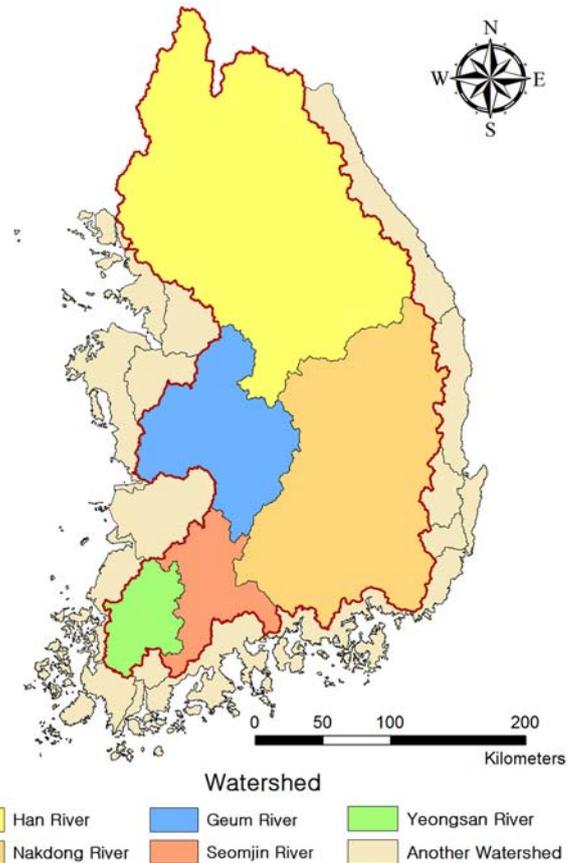


Fig. 4. Watershed Classification by WAMIS.

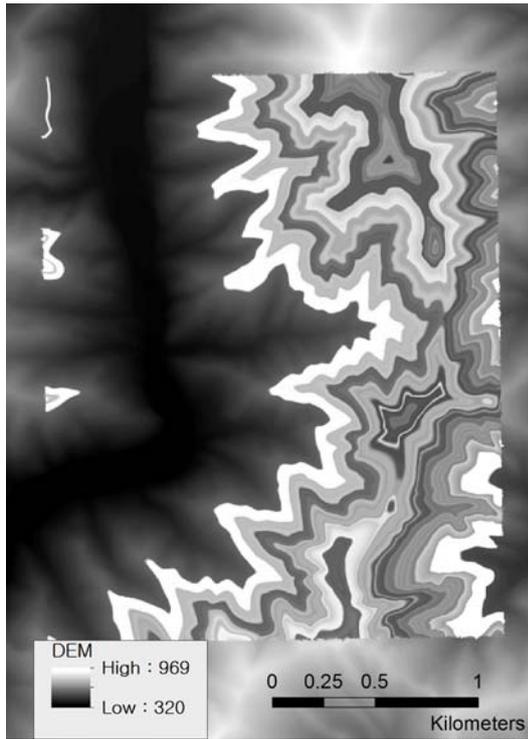
료 도출시 필요한 자료의 공간 정밀도의 기준을 제시할 수 있으리라 판단된다.

이에 본 연구에서는 LS 인자의 평균값과 최대값을 사용하는 동시에 표준편차를 활용하였다. 표준편차는 관측값의 산포의 정도를 나타내는 것으로써, 기준 대상의 평균값과 표준편차가 비교하고자 하는 대상의 평균값과 표준편차에서 각각 유사하다면 이는 비교대상끼리 내포하는 값이 유사하다는 것을 의미한다고 볼 수 있으며, 5 m × 5 m DEM으로 산정한 LS 인자의 표준편차 차이가 크다는 것은 DEM의 해상도가 달라지면서 내포하고 있던 LS 인자의 관측값이 다른 경향으로 바뀐 것을 의미한다. 즉, LS 인자의 관측값에서 표준편차의 차이는 DEM 해상도에 따른 LS 인자의 불확실성을 나타내는 지표가 될 수 있다. 이에 따라, 본 연구에서는 주요 수계(Fig. 4) 내 LS 인자의 최대값, 평균값, 그리고 표준편차를 산정 및 비교·분석하여 USLE LS 인자 산정시 필요한 최소한의 DEM 해상도를 제시하고자 하였으며, 이에 대한 타당성을 판단하기 위하여 각 수계에 대한 토양 유실량을 산정하여 DEM 해상도에 따른 LS 인자의 변화가 어느 정도의 영향을 미치는지 분석하였다.

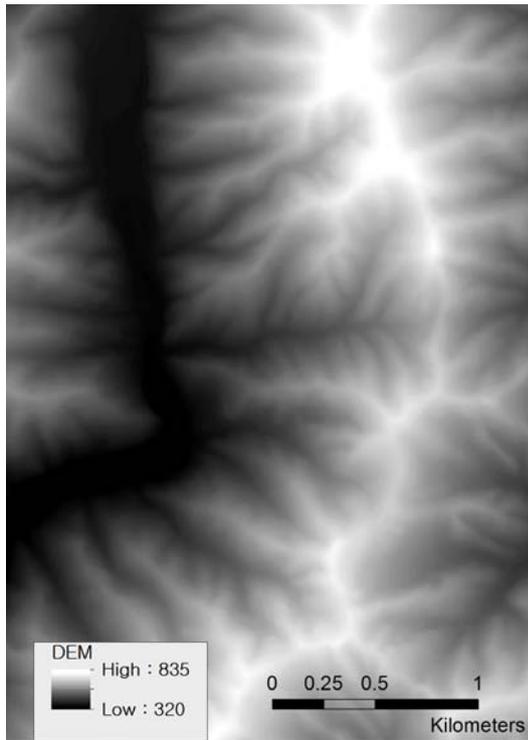
3. Results and Discussion

3.1. DEM 검수 결과

국토지리정보원의 1:5,000 수치지도를 이용하여 추출한 지



(a) Before



(b) After

Fig. 5. Adjustment of DEM - Index No. 37810062 (NGII).

형 데이터에는 등고선의 값이 입력되지 않은 오류와 등고선의 수치가 불연속적인 오류가 발생하여 DEM을 검수할 필요가 있었다. 검수 전의 Fig. 5(a)와 같은 오류들의 검수 결과 Fig. 5(b)와 같이 수정되었으며, 최종적으로 5 m × 5 m DEM은 Fig. 6으로 생성되었다.

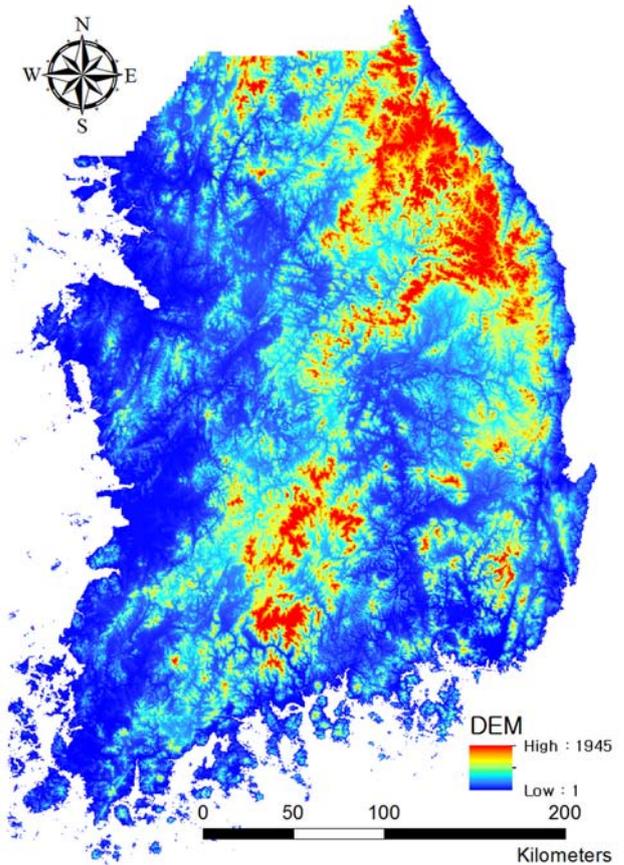
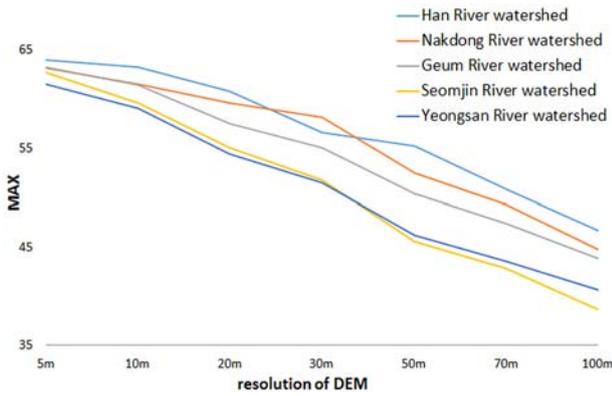


Fig. 6. National-scale DEM with 5 m × 5 m resolution.

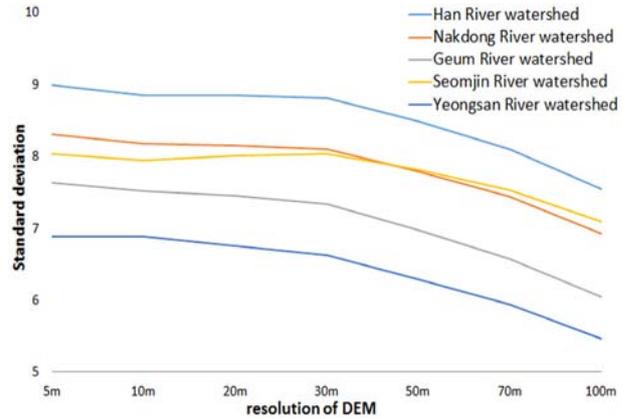
3.2. 해상도별 LS 인자 비교·분석 결과

각 해상도에 따른 LS 인자 값을 산정한 결과 LS 인자의 평균값과 최대값, 표준편차에서 해상도가 낮아짐에 따라 Fig. 7과 같이 점차 감소하는 경향을 보였다(Table 1, 2). 최대값의 경우, 급경사 지역에 대한 지형 조건이 보다 정확하게 반영되어 최대값이 증가하는 것으로 판단된다. 이와 반대로 LS 인자의 평균값에서는 해상도가 낮아짐에 따라 지형 조건의 정확한 반영이 불가능하게 되어 급경사 지역 중 완만한 지역의 값이 정확하게 고려되지 않아 10 m × 10 m DEM의 관측값에서는 증가하는 경향을 보였다. 그러나 점차 셀의 격자가 커짐으로 인한 하천의 확장이 평균값의 감소를 가져온 것으로 판단된다(Fig. 8). 결정적으로, 산포의 정도를 나타내는 표준편차의 값에서 해상도가 낮아짐에 따라 점차 5 m × 5 m DEM의 관측값과 멀어진다는 것은 LS 인자의 불확실성이 커지는 것으로 볼 수 있다.

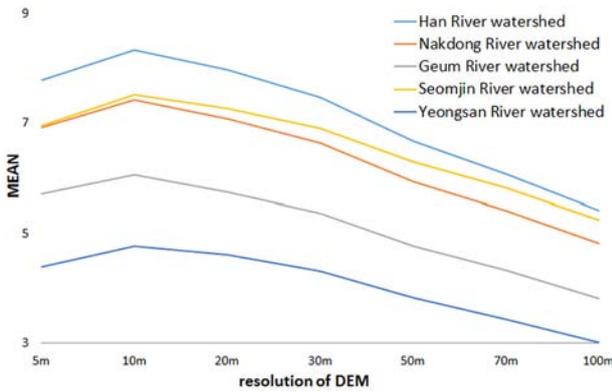
각 해상도와 5 m × 5 m DEM으로 산정한 LS 인자의 표준편차는 5 m - 10 m, 5 m - 20 m, 5 m - 30 m의 순서대로 한 강은 1.52%, 1.53%, 1.98% 낙동강은 1.52%, 1.85%, 2.49% 금강은 1.52%, 2.49%, 3.93% 섬진강은 1.21%, 0.40%, 0.13% 영산강은 0.14%, 2.01%, 3.82%의 오차율을 보였다. 5 m - 30 m DEM에서의 최대 오차율은 3.93%, 평균 오차율 2.47%을 보인 반면, 5 m - 50 m에서는 평균 오차율이 6%를 넘는 등, 상대적으로 큰 차이를 보였다(Table 3). 이에 따라, DEM 해상도에 따른 LS 인자의 불확실성을 나타낸다고 볼 수 있는



(a) Maximum value of LS factor



(c) Standard Deviation of LS factor



(b) Mean value of LS factor

Fig. 7. LS factors of watersheds according to resolution.

3.3. 토양유실량 산정 결과

본 연구에서 각 해상도별로 산정한 LS 인자와 Jang et al. (2015)이 산정한 R, K, C, P 인자를 이용하여 연구대상구역의 토양유실량을 산정한 결과 Fig. 9, Table 4와 같이 산정되었으며, 5 m × 5 m DEM으로 산정된 토양유실량과 각 해상도에 대하여 산정된 토양유실량에 대하여 각 수계에서의 오차는 평균적으로 10 m × 10 m DEM에서 8.22%, 20 m × 20 m DEM에서 7.04%, 30 m × 30 m DEM에서 2.66%, 50 m × 50 m DEM에서 4.79%, 70 m × 70 m DEM에서 10.85%, 100 m × 100 m DEM에서 19.09%의 차이를 보였다(Table 5). 5 m × 5 m DEM 다음으로 정확한 값을 산출해내는 10 m × 10 m DEM에서의 오차율을 한계 오차율로 선정하여, 이보다 높은 오차율을 나타내어 토양유실량을 산정하는 데 있어 불확실성을 증가시킬 수 있는 DEM 해상도는 5 m × 5 m DEM의 대체 대상에서 제외하였다. 그 결과 10 m × 10 m, 20 m × 20 m,

표준편차에서 약 4%의 비교적 작은 차이를 나타내는 것으로 미루어 볼 때, 5 m × 5 m DEM은 10 m × 10 m, 20 m × 20 m, 그리고 30 m × 30 m DEM으로 대체하여 사용하여도 가능할 것으로 판단된다.

Table 1. The maximum LS factor values of watershed according to resolution

Cell Size of DEM	5 m	10 m	20 m	30 m	50 m	70 m	100 m
Han River watershed	64.00	63.24	60.77	56.59	55.22	50.89	46.65
Nakdong River watershed	63.18	61.53	59.61	58.20	52.54	49.32	44.71
Geum River watershed	63.23	61.43	57.48	55.08	50.38	47.36	43.81
Seomjin River watershed	62.68	59.60	55.02	51.73	45.60	42.83	38.58
Yeongsan River watershed	61.57	59.11	54.45	51.52	46.22	43.56	40.59

Standard

Table 2. The MEAN and STD of the LS factor values of watershed according to resolution

Cell Size of DEM		5 m	10 m	20 m	30 m	50 m	70 m	100 m
Han River watershed	MEAN	7.79	8.34	7.97	7.47	6.67	6.08	5.41
	STD	8.99	8.85	8.85	8.81	8.49	8.10	7.54
Nakdong River watershed	MEAN	6.92	7.42	7.08	6.64	5.93	5.42	4.82
	STD	8.31	8.18	8.15	8.10	7.79	7.44	6.93
Geum River watershed	MEAN	5.71	6.05	5.74	5.37	4.77	4.33	3.81
	STD	7.64	7.52	7.45	7.34	6.97	6.58	6.05
Seomjin River watershed	MEAN	6.95	7.51	7.27	6.91	6.30	5.82	5.24
	STD	8.04	7.95	8.01	8.03	7.82	7.53	7.09
Yeongsan River watershed	MEAN	4.39	4.77	4.61	4.32	3.82	3.44	3.01
	STD	6.89	6.88	6.75	6.63	6.29	5.94	5.46

Standard

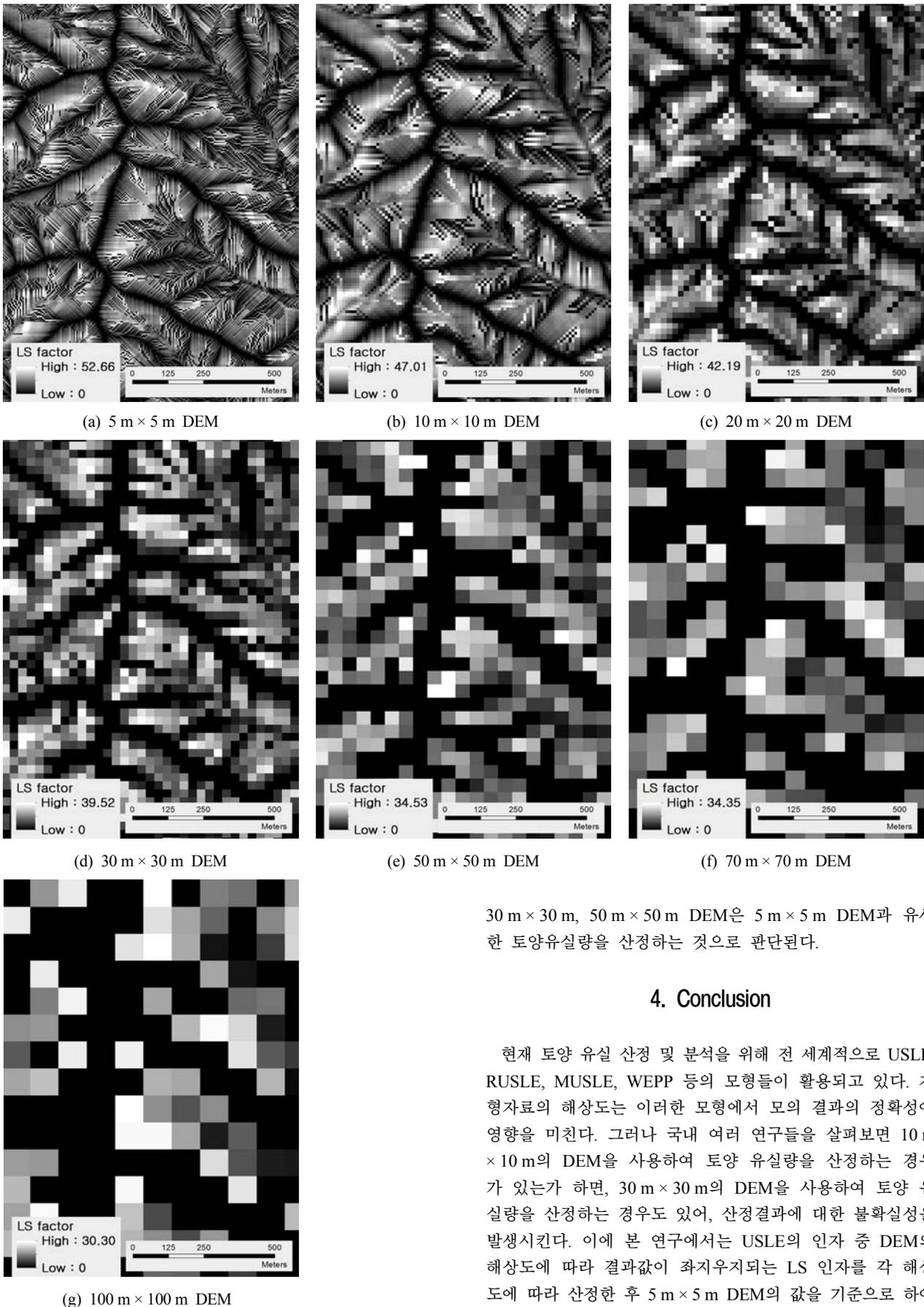


Fig. 8. Comparison of LS factor values according to resolution.

30 m x 30 m, 50 m x 50 m DEM은 5 m x 5 m DEM과 유사한 토양유실량을 산정하는 것으로 판단된다.

4. Conclusion

현재 토양 유실 산정 및 분석을 위해 전 세계적으로 USLE, RUSLE, MUSLE, WEPP 등의 모형들이 활용되고 있다. 지형자료의 해상도는 이러한 모형에서 모의 결과의 정확성에 영향을 미친다. 그러나 국내 여러 연구들을 살펴보면 10 m x 10 m의 DEM을 사용하여 토양 유실량을 산정하는 경우가 있는가 하면, 30 m x 30 m의 DEM을 사용하여 토양 유실량을 산정하는 경우도 있어, 산정결과에 대한 불확실성을 발생시킨다. 이에 본 연구에서는 USLE의 인자 중 DEM의 해상도에 따라 결과값이 좌지우지되는 LS 인자를 각 해상도에 따라 산정한 후 5 m x 5 m DEM의 값을 기준으로 하여 비교·분석을 통해 LS 인자 산정에 적합한 해상도의 DEM을

Table 3. Measuring efficiency (%) of STD of the LS factor values of watershed according to resolution

Comparison with 5 m	5 m - 10 m	5 m - 20 m	5 m - 30 m	5 m - 50 m	5 m - 70 m	5 m - 100 m
Han River	1.52	1.53	1.98	5.57	9.87	16.14
Nakdong River	1.52	1.85	2.49	6.18	10.48	16.56
Geum River	1.52	2.49	3.93	8.78	13.86	20.81
Seomjin River	1.21	0.40	0.13	2.75	6.38	11.82
Yeongsan River	0.14	2.01	3.82	8.73	13.76	20.77
Average	1.18	1.66	2.47	6.40	10.87	17.22

□ : Suitability

Table 4. Soil loss values of watershed according to resolution (metric ton/ha/yr)

Cell Size of DEM	5 m	10 m	20 m	30 m	50 m	70 m	100 m
Han River watershed	40.23	43.55	42.82	41.03	37.66	35.13	31.87
Nakdong River watershed	30.42	32.58	32.42	31.11	28.82	27.18	25.00
Geum River watershed	30.01	32.37	31.51	30.06	27.93	26.14	23.44
Seomjin River watershed	40.92	44.70	44.50	42.94	40.18	37.98	34.82
Yeongsan River watershed	32.77	35.61	35.54	34.07	31.62	29.22	26.20

□ : Standard

Table 5. Efficiency (%) of measurement of soil loss of watershed according to resolution

Comparison with 5 m	5 m - 10 m	5 m - 20 m	5 m - 30 m	5 m - 50 m	5 m - 70 m	5 m - 100 m
Han River	8.23	6.43	1.99	6.40	12.70	20.80
Nakdong River	7.86	5.00	0.15	6.94	12.89	21.88
Geum River	7.11	6.60	2.27	5.26	10.64	17.80
Seomjin River	9.24	8.75	4.93	1.82	7.19	14.90
Yeongsan River	8.67	8.44	3.94	3.52	10.85	20.05
Average	8.22	7.04	2.66	4.79	10.85	19.09

□ : Suitability

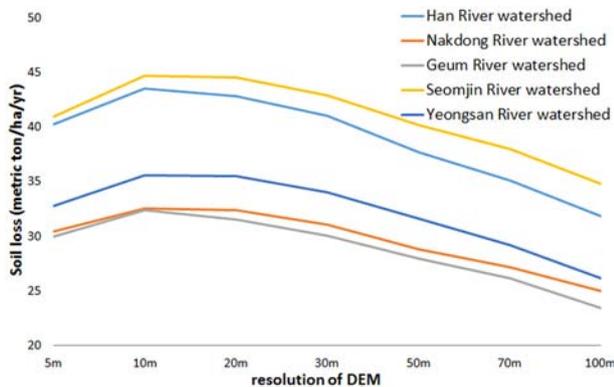


Fig. 9. Soil loss value of watershed according to resolution.

제시하고자 하였다.

분석 결과 해상도가 낮아짐에 따라 최대값과 표준편차는 감소하는 경향을 보였으며, 평균값의 경우 10 m × 10 m DEM에서는 증가하나, 그 이후로 감소하는 경향을 보였다. 특히 국가 기관에서 제공하는 해상도인 30 m × 30 m DEM과 그보다 높은 해상도의 DEM으로 산정한 LS 인자의 경우, 5 m × 5 m DEM과 비교 하였을 때 표준편차에서 평균 2.47%의 비교적 적은 차이를 보였으며, 토양유실량에서는 가장 정확한 값을 산출해내는 5 m × 5 m DEM과 다음으로 정확한 값을 산출해내는 10 m × 10 m DEM을 이용하여 산정된 두 토양유실 관측값의 사이값을 산정해내는 DEM은 20 m × 20 m, 30 m × 30 m DEM으로 도출되었다.

이에 따라, USLE를 사용한 토양유실량 산정 시에는 5 m × 5 m 고해상도 DEM을 사용하여 LS 인자를 산정하는 것이 가장 바람직하나, 5 m × 5 m DEM의 사용이 제한되는 경우에는 10 m × 10 m, 20 m × 20 m, 30 m × 30 m DEM의 해상도를 사용하여도 오차가 적게 발생할 것으로 판단되어 LS 인자 산정시 최소한의 DEM 해상도는 30 m × 30 m DEM으로 도출하였다. 따라서 국내 주요 수계를 대상으로 토양유실량 평가 시 WAMIS에서 제공하는 30 m × 30 m DEM을 사용해도 LS 인자 산정 오류에 의한 영향은 작을 것으로 평가되었다.

Acknowledgement

본 연구는 국토교통부 물관리사업의 연구비지원(14AWMP-B082564-01)과 한국환경산업기술원 GAIA Project (No:2014 000540003) “한국형 표토 침식 조사 평가 기술개발”의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

Chaplot, V. (2005). Impact of DEM Mesh Size and Soil Map Scale on SWAT Runoff, Sediment, and NO₃-N Loads Predictions, *Journal of Hydrology*, 312(1), pp. 207-222.
 Choi, Y. B., Lim, J. E., Jun, Y. S., Lee, S. S., and Ok, Y. S.

- (2012). Best Management Practices for Sloping Upland Erosion Control : Feasibility of PAM and Biopolymer Application, *Journal of Agricultural, Life and Environmental Sciences*, 24(2), pp. 30-39. [Korean Literature]
- Hahm, C. H. and Kim, B. S. (2007). Integration of GIS with USLE in Assessment of Soil Erosion due to Typhoon Rusa, *The Korean Society for GeoSpatial Information System*, 15(3), pp. 77-85. [Korean Literature]
- Jang, C. H., Kum, D. H., Woo, W. H., Choi, J. W., Moon, J. P., Kim, K. S., and Lim, K. J. (2011). Development and Application of SATEEC Daily R Module using Daily Rainfall, *Proceedings of the 2011 Fall Co-Conference of the Korean Society on Water Environment and Korean Society of Water and Wastewater*, Korean Society on Water Environment and Korean Society of Water and Wastewater, pp. 607-608. [Korean Literature]
- Jang, C. H., Shin, Y. C., Kum, D. H., Kim, R. G., Yang, J. E., Kim, S. C., Hwang, S. I., Lim, K. J., Yoon, J. K., Park, Y. S., and Jung, Y. H. (2015). Assessment of Soil Loss in South Korea based on Land-cover Type, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, pp. 1-15.
- Kang, S. Y. and Kim, K. H. (2011). Effects of DEM Resolutions in Site Classification, *Journal of Korean Society for GeoSpatial Information System*, 19(1), pp. 21-28. [Korean Literature]
- Lee, D. H. and Jung, S. L. (2014). The Estimation of Soil Loss in the Buffer Zone of Guem River using a Simulation of Future Climate Change, *Journal of Soil and Groundwater Environment*, 19(6), pp. 30-36. [Korean Literature]
- Lee, Y. K., Go, J. Y., Jung, S. W., and Park, S. S. (2010). Computation of Mean Soil Loss in the Catchment of the Mankyung River by USLE, *Proceedings of the 2010 Korea Water Resources Association Conference*, Korea Water Resources Association, pp. 1721-1728. [Korean Literature]
- Lim, K. J., Heo, S. G., Park, Y. S., Kim, J. G., Park, J. H., Choi, D. H., and Gang, H. W. (2007). *Development of the System SATEEC*, <http://www.EnvSys.co.kr/~sateec>
- Lim, K. J., Sagong, M., Engel, B. A., Tang, Z., Choi, J., and Kim, K. S. (2005). GIS-based Sediment Assessment Tool, *Catena*, 64(1), pp. 61-80.
- Lin, S., Jing, C., Chaplot, V., Yu, X., Zhang, Z., Moore, N., and Wu, J. (2010). Effect of DEM Resolution on SWAT Outputs of Runoff, Sediment and Nutrients, *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 7(4), pp. 4411-4435.
- Ministry of Environment (MOE). (2012). *Pyo-to-ui chim0sig hyeon-hwang jo-sa-e gwan-han go-si*. [The Notice about the Erosion Status Survey and Measures such as Topsoil], Ministry of Environment.
- Ministry of Environment, Korean Geo-Environmental Society (KGES). (2001). *A Study on the Conservation of Surface Soil and Erosion Control*, Korean Geo-Environmental Society, pp. 1-15. [Korean Literature]
- Moore, I. D. and Burch, G. J. (1986a). Modeling Erosion and Deposition: Topographic Effects, *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 29(6), pp. 1624-1640.
- Moore, I. D. and Burch, G. J. (1986b). Physical Basis of the Length-Slope Factor in the Universal Soil Loss Equation, *Soil Science Society of America Journal*, 50, pp. 1924-1298.
- National Institute of Environmental Research (NIER). (2011). *A Study on the Impact of Non-Point Source Pollution upon Algal Blooming Area in the Daecheong Reservoir*, NIER-RP2011-1428, *National Institute of Environmental Research*, pp. 2-12. [Korean Literature]
- National Institute of Environmental Research (NIER). (2012). *Pyo-to chim-sig jo-sa mich bo-jeon jong-hab-dae-chaeg ma-lyeon yeon-gu*. [Topsoil Erosion Research and Conservation Comprehensive Measures Making Research], *National Institute of Environmental Research*, pp. 87-151.
- Park, C. S., Lee, S. K., and Suh, Y. C. (2007). Development of an Automatic Generation Methodology for Digital Elevation Models using a Two-Dimensional Digital Map, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 10(3), pp. 113-122. [Korean Literature]
- 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, *Journal of Geographic Information System*, 4(6), Jharkhand, pp. 588-596.
- Wischmeier, W. H. and Smith, D. D. (1960). A Universal Soil-loss Equation to Guide Conservation Farm Planning, *Transactions of 7th International Congress of Soil Science*, 1, pp. 418-425.
- Wischmeier, W. H. and Smith, D. D. (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses: a Guide to Conservation Planning, *United States Department of Agriculture, Agricultural Handbook No. 537*, USDA, Washington, DC, pp. 1-58.