



월단위 토양유실가능추정치를 위한 지표피복인자의 산정 방안 연구

A Study to Develop Monthly Cover Management Factor Database for Monthly Soil Loss Estimation

성윤수* · 정영훈** · 임경재* · 김종건* · 김기성* · 박승기*** · 신민환**** · 금동혁* · 박윤식***†

Sung, Yun Soo · Jung, Yunghun · Lim, Kyoung Jae · Kim, Jonggun · Kim, Ki-Sung · Park, Seung Ki · Shin, Min Hwan ·
Kum, Dong Hyuk · Park, Youn Shik

Abstract

Soil loss is an accompanying phenomenon of hydrologic cycle in watersheds. Both rainfall drops and runoff lead to soil particle detachment, the detached soil particles are transported into streams by runoff. Here, a sediment-laden water problem can be issued if soil particles are severely detached and transported into stream in the watershed. There is a need to estimate or simulate soil erosion in watersheds so that an adequate plan to manage soil erosion can be established. Universal Soil Loss Equation (USLE), therefore, was developed and modified by many researchers for their watersheds, moreover the simple model, USLE, has been employed in many hydrologic models for soil erosion simulations. While the USLE has been applied even in South-Korea, the model is often regarded as being limited in applications for the watersheds in South-Korea since monthly conditions against soil erosion on soil surface are not capable to represent. Thus, the monthly USLE factors against soil erosion, soil erodibility and crop management factors, were established for four major watersheds, which are Daecheong-dam, Soyang-dam, Juam-dam, and Imha-dam watersheds. The monthly factors were established by recent fifteen years from 2000 to 2015. Five crops were selected for the monthly crop management factor establishments. Soil loss estimations with the modified factors were compared to conventional approach that is average annual estimations. The differences ranged from 9.3 % (Juam-dam watershed) to 28.1 % (Daecheong-dam watershed), since the conventional approaches were not capable of seasonally and regionally different conditions.

Keywords: Crop management factors; Soil erodibility factors; Soil loss; USLE

1. 서 론

강우로 인해 발생하는 자연적인 침식현상과 달리, 농경활동이나 도시 및 도로 개발 등 인간의 편의를 위해 진행되는 활동은 자연적인 침식보다 훨씬 큰 침식을 유발할 수 있다. 또한 무분별한 개발사업은 자연상태가 아니라도 논이나 밭 등 수년 동안 경작하여 안정된 지표면의 토양 및 식생상태를 급속히 변화시키면서 다량의 토양이 유실되고 있다. 뿐만 아니라 급격한 기후변화로 인해 강우형태가 국지성 호우로 변화하고 있어 강우에 의한 토양유실이 증가하고 있는 경향을 보이고 있다 (Kum et al., 2015).

토양유실로 인해 발생된 토사는 강우 유출수와 함께 하류로 이동되어 하천 및 호소의 탁수 문제를 야기시키고, 생태계 파괴 및 수질악화 등과 같은 다양한 환경문제를 일으키게 된다. 한 예로 북한강 상류에 위치한 소양호의 경우 2006년에 발생한 태풍 에위니아의 영향으로 인해 기존 방류수 농도인 79NTU보다 5배나 높은 328NTU의 농도를 가지는 흙탕물을 방류하였다 (Kim, 2012). 이로 인해 소양호 하류의 수생태계 파괴 및 어업활동, 자연경관 훼손 등 다양한 문제를 발생하게 되었고, 이러한 문제를 해결하기 위해 많은 경제적인 손실을 일으켰다.

하천 및 호소로 이동되어 수체의 고탁수화를 야기하는 토사문제를 해결하기 위해서는 발생원인인 토양유실에 대한 전문적인 연구가 필요하다. 토양유실에 관한 현황을 파악하기 위해서는 유역 내 토지이용현황과 피복되어 있는 작물 등의 현황조사와 더불어 유역 내 발생하는 토양유실량에 대한 장기모니터링을 수행할 필요가 있다. 하지만 유역 내 발생하는 토양유실량에 대한 장기모니터링을 수행하기에는 많은 시간과 인력이 필요하기 때문에 토양유실량 산정 및 유사 거동 특성을 계산하는 모형을 활용하는 연구가 국내외 많은 연구자들에 의해 진행되고 있다 (Choi et al., 2009).

토양유실을 모의할 수 있는 모형은 전 세계적으로 많은 연구

* Department of Regional Infrastructures Engineering, Kangwon National University

** Water Resources Research Center, K-water Institute

*** Faculty of Rural construction Engineering, Kongju National University

**** Korea Water Environment Research Institute

† Corresponding author

Tel.: +82-41-330-1267 Fax: +82-41-330-1269

E-mail: parkyounshik@gmail.com

Received: July 25, 2016

Revised: September 28, 2016

Accepted: September 28, 2016

자들에 의해 개발되어 왔다. 그 중 가장 많이 활용되고 있는 모형인 범용토양유실량산정공식 (Universal Soil Loss Equation, USLE)은 강우인자, 토양침식성인자, 경사인자, 지표피복인자, 보전관리인자를 이용하여 연평균 토양유실량을 산정한다 (Wischmeier and Smith, 1978). 범용토양유실량산정공식은 국내외 많은 기관에서 토양유실량을 산정하기 위해 사용되고 있다 (Chandramohan et al., 2015; Devatha et al., 2015; Kim et al., 2007; Lee et al., 2014). 국내의 경우 환경부에서 제정한 ‘표토의 침식 현황 조사에 관한 고시’의 표토침식현황을 조사하기 위해 범용토양유실량산정공식을 이용하고 있다 (Ministry of Environment, 2012).

표토의 침식 현황 조사에 관한 고시’에서 토양유실량을 산정하기 위해 사용되는 보전관리인자와 지형인자는 계절의 변화에 의해 영향을 받지 않는 조건으로 구성된 인자이므로 연간 고정된 값을 사용하고 있으며, 강우인자는 통계자료를 활용한 연간 강우인자 값을 제시하고 있다. 그러나, 지표피복인자는 작물의 생육단계에 따라 토양을 덮는 피복도가 바뀌기 때문에 계절변화에 따라 영향인자가 변화한다. 즉, 토양유실량 산정의 정확도를 높이기 위해서는 강우특성뿐만 아니라 계절에 따라 변화하는 식생 피복상태 등을 고려한 인자 적용

이 필요하다. 이에, 본 연구에서는 국내에서 사용하는 범용토양유실량산정공식의 구성인자인 지표피복인자의 한계점을 인식하고 이를 유역별 월단위 인자값으로 산정하는 방법을 제시하는 데 있다.

II. 연구방법

1. 연구대상유역 선정

작물의 생육에 큰 영향을 받는 지표피복인자는 기후나 지역특성에 따라 상이하다. 따라서 본 연구에서는 4대강 유역에 각각 해당하는 지역을 선정하여 기후와 지역특성에 따른 특성을 고려하고자 하였다. 선정된 지역은 Fig. 1과 같이 4개 유역이며, 각 유역의 특징은 아래와 같다.

Site 1은 충청북도에 위치하고 있는 대청호 유역으로 금강 수계 수자원의 다목적 개발을 위해 준공된 호수로 금강 하구로부터 150 km 상류지점인 대전시 대덕구 신탄진동과 충청북도 청원군 문의면 덕우리 사이에 위치해 있다. 유역면적은 4,190 km²이며, 산림이 72.1 %, 농경지가 19.6 %를 차지하고 있다. Site 2는 강원도에 위치하고 있는 소양호 유역으로 북한

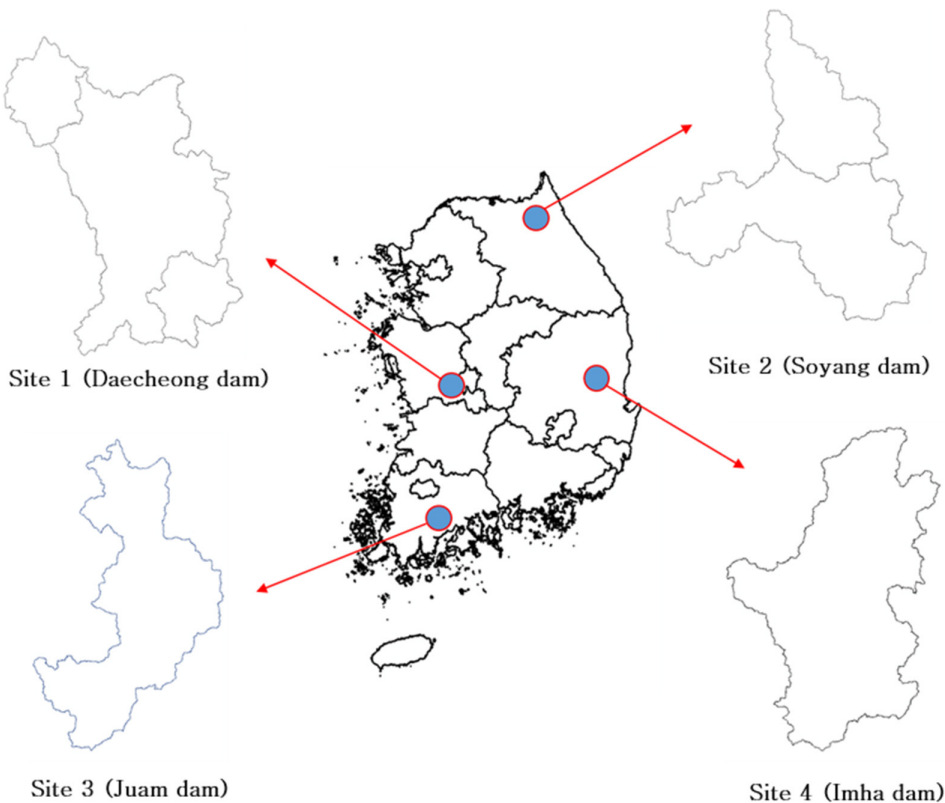


Fig. 1 Location of Research field

Table 1 Landuses (%) in study sites

Landuse	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4
Agriculture	19,6	5,2	19,0	8,0
Forest	72,1	91,9	71,8	83,8
Pasture	1,7	0,5	2,1	3,4
Urban	3,0	0,7	2,9	2,2
Water	3,6	1,7	4,3	2,6

강수계의 최상류에 위치한 호수이다. 소양호 유역은 소양강 유역과 인북천 유역으로 구성되어 있으며, 유역면적은 2,631 km²으로, 산림이 91.9 %, 농경지가 5.2 %를 차지하고 있다. Site 3은 전라남도 순천시 주암면에 축조된 다목적댐인 주암댐에 의해 생성된 유역으로 보성강 수계에 위치하고 있으며, 전체 유역면적은 1,027 km²으로, 산림이 71.8 %, 농경지가 19.0%를 차지하고 있다. Site 4는 경상북도에 위치하고 있는 입하호 유역으로 낙동강수계의 상류지역에 위치한 호수이며, 전체 유역 면적은 1,965 km²으로, 산림이 83.8 %, 농경지가 8.0 %를 차지하고 있다.

각 Site의 작물생육현황을 고려하여 지표피복인자를 일단위로 산정한 뒤 이를 각 월에 해당하는 평균값으로 하여 월단위로 구축하였다.

2. SWAT 모형을 이용한 USLE 월단위 지표피복인자의 구축

범용토양유실공식은 장기간 동안의 연평균 토양유실량을 산정할 수 있는 경험적인 모형이며, 토양유실량 예측을 위하여 강우침식능인자 (Rainfall erosivity factor), 토양침식성인자 (Soil erodibility factor), 경사장·경사도인자 (Slope and slope steepness factor), 지표피복인자 (Crop and cover management factor), 경작방법인자 (Conservation practice factor)의 5개 인자를 필요로 한다 (Wischmeier and Smith, 1978) (식 (1)). 이 중에서 지표피복인자는 농경지에서의 작물의 종류나 토지 이용현황과 같은 지표피복상태를 고려하기 위한 인자이다.

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

여기서, A는 단위 면적에서 침식되어 유실되는 토양유실 가능성 추정치 (ton/ha/yr)이며, R은 강우침식능인자이며 (MJ·mm/ha·yr·hr), K는 토양침식성인자 (Mg·hr/MJ·mm), LS는 경사장·경사도인자 (무차원) (L=침식 경사면의 길이, S=침식 경사면의 경사), C는 지표피복인자 (피복상태 등의 경작종류와 형태에 따른 식생피복인자, 무차원), P는 경작방법인자 (무차원)이다. 강우침식능인자는 대상 지역에서의 강

우 타격에 의한 토양침식 가능성을 반영하기 위한 인자이며, 토양침식성인자는 토양의 구성성분 등과 같이 토양이 얼마나 침식에 취약한지에 대한 정도를 표현하기 위한 인자이다. 경사장·경사도인자는 경사와 경사의 길이로 지형적인 조건을 반영하기 위한 인자이며, 경작방법인자는 고랑의 방향 등과 같은 농경지의 재배 방식에 따른 토양침식가능성의 정도를 표현하기 위한 인자이다.

본 연구에서 지표피복인자의 월단위 구축을 위해서 Soil Water Assessment Tool (SWAT) 모형을 사용하였다 (Arnold et al., 1994). SWAT 모형은 미국 농무성의 농업연구소 (USDA Agricultural Research Service, ARS)에서 개발된 유역 모형으로 유역에서 장기간에 걸친 다양한 종류의 토양과 토지이용 및 토지관리 상태에 따른 물과 유사 및 농업화학물질의 거동을 해석하기 위해 개발된 모형이다. 또한, 강수량, 상대습도, 기온, 풍속, 일조량과 같은 시계열 자료와 함께 수지표고모형, 토지이용도, 토양도와 같은 공간적 자료를 필요로 하는 시공간적 특성을 고려할 수 있는 모형이다. SWAT 모형은 유역에서 발생하는 수문 및 오염원 거동 분석을 위해 유역을 소유역으로 분할한 뒤, 이를 다시 수문학적 반응단위 (Hydrological Response Unit, HRU)로 분할한다. 또한, 재배되는 작물에 대한 지표피복인자의 최소값과 지표층에서의 잔유물을 이용하여 지표피복인자를 산정한다. 이 지표피복인자 최소값은 모형내 데이터베이스에 저장된 값이며, 지표층 (지표로부터 10 mm 깊이)에서의 잔유물(rsd_{surf})은 작물의 생장에 따른 생물량 (biomass)과 지표층에서의 유기물 함량에 의해 결정이 된다 (식 (2)). 작물의 생장에 따른 생물량과 지표층에서의 유기물 함량은 강우, 온도, 습도 등과 같은 기상 자료에 의해 일단위로 복잡한 과정을 거쳐 결정이 되며 이는 일단위의 지표층에서의 잔유물 및 지표피복인자에 영향을 준다. 다시 말해, SWAT 모형은 기상자료에 따라 일단위로 변화하는 지표피복인자의 산정이 가능하다.

$$C_{USLE} = \exp([\ln(0.8) - \ln(C_{USLE, mn})]) \times \exp[-0.00115 \times rsd_{surf}] + \ln(C_{USLE, mn}) \quad (2)$$

여기서, $C_{USLE, mn}$ 은 SWAT 모형의 데이터베이스에 저장된 값으로 지표피복인자의 최소값이며, rsd_{surf} 는 지표층에서의 잔유물 (kg/ha)이다.

Park et al. (2010)은 SWAT 모형이 일단위 지표피복인자를 출력하도록 소스코드를 수정하였으며, 10일 간격의 평균값으로 10일 단위 지표피복인자를 제시한 바 있다. 그러나 강원도 양구군에 대한 작물 재배일정만이 고려되었기 때문에 다른 지역에 대해서는 적용이 불가능하다는 한계점이 있다. 따라서, 본 연구에서는 Park et al. (2010)의 방법과 동일한 방

법으로 SWAT 모형이 일단위 지표피복인자를 출력하도록 소스코드를 수정하였으며, 구축된 인자의 지역적 한계를 보완하기 위해서, 금강, 한강, 영산강, 낙동강 유역에 대한 작물 재배일정을 조사하여 이를 모형에 반영하였다.

3. 입력자료 구축

가. SWAT 모형의 입력자료 구축

수치표고모형은 국립지리원에서 제공하는 1:5,000의 수치지도를 사용하여 각 Site별 30 m 격자의 공간정보를 구축하였다. 토양도는 농촌진흥청 농업과학기술원에서 제공하는 1:50,000의 개략토양도를 이용하였으며, 토지이용도는 환경부 환경공간정보서비스에서 제공하는 2005년 대분류 토지피복도(1:25,000)를 사용하였다. 또한, 기상자료는 기상청에서 제공하는 강수량, 풍속, 일사량, 상대습도, 기온 자료를 2000년부터 2014년까지 15년치를 사용하였다. 여기서, Site 1은 보은지점, 청주지점, 추풍령지점, 대전지점, 구미지점, 임실지점, 장수지점, 전주지점, 문경지점 등 총 9개 지점의 기상자료를 사용하였으며, Site 2는 북강릉지점, 춘천지점, 대관령지점, 강릉지점, 홍천지점, 인제지점, 속초지점 등 총 7개 지점의 기상자료를 사용하였다. Site 3은 고흥지점, 광주지점, 장흥지점, 남원지점 등 총 4개의 지점의 기상자료를 사용하였으며, Site 4는 안동지점, 봉화지점, 의성지점, 울진지점, 포항지점, 영천지점, 영덕지점 등 총 7개의 지점의 기상자료를 사용하였다 (Table 2).

나. 지표피복인자 산정을 위한 작물 재배시기 정의

지표피복인자는 SWAT 모형에서 작물의 생장을 고려하여 이를 인자 산정에 반영하기 때문에 작물의 파종 및 수확시기에 대한 데이터가 필요하다. 이를 위해 전라남도 귀농귀촌 종합지원센터 (<http://jnfarm.jeonnam.go.kr/>)에서 제공하는 배추, 토마토, 감자, 고구마, 콩의 파종 및 수확시기에 대한 자료를 사용하였다. 배추는 매년 8월 25일에 파종하여 10월 15일에 수확하는 것으로 정의하였으며, 토마토는 매년 5월 15일에 파종하여 7월 25일에 수확하는 것으로 산정하였다. 감자는 8월 15일에 파종하여 10월 25일에 수확하는 것으로 산정하였고, 고구마는 5월 5일에 파종하여 10월 5일에 수확하는 것으로 산정하였다. 또한, 콩은 5월 5일에 파종하여 10월 5일에 수확하는 것으로 정의하였다. 전라남도의 작물재배 시기는 대청호, 임하호, 주암호유역에만 적용하였으며, 소양호 유역은 유역 면적의 대부분이 고랭지 농업단지로서 이루어 지는 지역적 특성으로 인해 앞서 제시한 파종 및 수확시기보다 10일 늦게 행해지거나 고랭지 농업에 따른 작물재배 시기로 산정하였다. 산정된 소양호 유역의 재배시기는 배추의 경우 5월 25일에 파종하여 8월 5일에 수확하는 것으로 산정하였으며, 토마토는 매년 5월 25일에 파종하여 8월 5일에 수확하는 것으로 산정하였다. 감자는 8월 25일에 파종하여 11월 5일에 수확하는 것으로 정의하였으며, 고구마는 5월 15일에 파종하여 10월 15일에 수확, 콩은 5월 15일에 파종하여 10월 15일에 수확하는 것으로 산정하였다 (Table 3).

Table 2 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
Landuse	Scale 1:25,000	Environmental Geographic Information Service, Ministry of Environment
Soil map	Scale 1:50,000	National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration
Weather data	Daily precipitation, wind speed, solar radiation, humidity, and temperatures Period: 2000. 1. 1. ~ 2014. 12. 31.	Korea Meteorological Administration

Table 3 Cultivation schedule for five crops in the study watersheds

Crop	Daecheong-dam, Juam-dam, and Imha-dam watersheds	Soyang-dam watershed
Cabbage	Aug. 25 ~ Oct. 15	May 25 ~ Aug. 5
Tomato	May 15 ~ Jul. 25	May 25 ~ Aug. 5
Potato	Aug. 15 ~ Oct. 25	Aug. 25 ~ Nov. 5
Sweet potato	May 5 ~ Oct. 5	May 15 ~ Oct. 15
Soybean	May 5 ~ Oct. 5	May 15 ~ Oct. 15

III. 연구결과

1. Site 1의 지표피복인자의 구축

Site 1의 강우특성과 작물재배시기를 고려하여 작물별 지표피복인자를 산정하였다. 배추의 지표피복인자는 파종이 이루어지는 시점 0.7865에서 작물이 수확되는 시점 0.6309로 점차 감소하는 경향을 보였다. 작물의 생육기간동안 최소 0.6219에서 최대 0.7865 (평균 0.7284)의 범위로 지표피복인자 값이 산정되었다. 토마토의 지표피복인자는 파종 시점 0.7914에서 수확시기 0.5905로 감소하는 경향을 보였으며, 작물의 성장기간 중 최소 0.5738에서 0.7914 (평균 0.6832)의 범위로 나타났다. 고구마는 파종시점 0.7105에서 수확시기 0.4633으로 나타났으며, 최소 0.3490에서 최대 0.7105 (평균 0.5680)의 범위로 나타났다. 콩은 파종되는 시점 0.5809에서 작물이 수확되는 시점 0.2362로 감소하는 경향을 보였으며, 작물의 성장기간 동안 최소 0.2153에서 최대 0.7105의 값과 평균 0.5680을 보였다. 그리고, 감자는 파종이 되는 시점에서 수확이 되는 시점까지 0.7943에서 0.7396으로 감소하는 경향과 함께, 최소 0.6765와 최대 0.7943 (평균 0.7360)의 범위로 나타났다 (Fig. 2).

일별로 지표피복인자를 산정한 5개의 작물 모두 파종이 되는 시점에서 수확이 되는 시점까지 감소하는 경향을 보였다. 작물별 지표피복인자의 평균값을 비교해 보면, 배추가 가장 큰 지표피복인자를 보였으며, 콩이 가장 작은 값을 보였다. 따라서 본 연구결과와 같이 범용토양유실량산정공식을 이용하여 토양유실량을 산정하고자 할 경우, 농경지에 대한 단일의 지표피복인자가 아니라, 기상특성과 작물의 재배시기를 고려하여 산정된 지표피복인자를 적용하여야 할 것으로 보여진다.

2. Site 2의 지표피복인자의 구축

Site 2도 Site 1과 동일한 방법으로 작물별 지표피복인자를 산정하였다. Site 2의 배추는 파종이 이루어지는 시점 0.7852

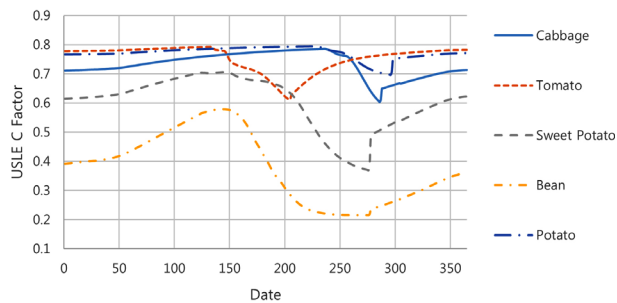


Fig. 2 Daily change of USLE C Factor in Site 1

에서 작물이 수확되는 시점 0.5240으로 점차 감소하는 경향을 보였으며, 작물의 생장이 이루어지는 동안 최소 0.5129에서 최대 0.7852 (평균 0.6815)의 지표피복인자 값을 보였다. 토마토의 경우, 파종이 이루어지는 시점 0.7686에서 작물이 수확되는 시점 0.2703으로 감소하는 경향을 보였으며, 생육기간 동안 최소 0.2471에서 0.7686 (평균 0.5119)의 값을 나타냈다. 고구마는 파종이 이루어지는 시점 0.6016에서 작물이 수확되는 시점에서는 0.1428로 나타났으며, 작물의 생장이 이루어지는 기간 동안 최소 0.0965에서 최대 0.6021 (평균 0.3716)의 값을 보였다. 콩은 파종되는 시점 0.6353에서 작물이 수확되는 시점 0.2275로 감소하는 경향을 보였으며, 작물의 성장기간 동안 최소 0.2275에서 최대 0.6490 (평균 0.3993)을 보였다. 감자는 파종이 되는 시점에서 수확이 되는 시점까지 0.7889에서 0.6232로 감소하는 경향과 함께, 최소 0.6076과 최대 0.7889 (평균 0.7086)의 값을 보였다 (Fig. 3).

3. Site 3의 지표피복인자의 구축

Site 3 지역의 배추 지표피복인자는 파종이 이루어지는 시점 0.7624에서 작물이 수확되는 시점 0.3709로 점차 감소하는 경향을 보였다. 작물의 생장이 이루어지는 동안 최소 0.3932에서 최대 0.7624 (평균 0.6263)의 지표피복인자 값을 보였다. 토마토의 경우, 파종이 이루어지는 시점 0.7693에서 작물이 수확되는 시점 0.2321로 감소하는 경향을 보였으며, 작물

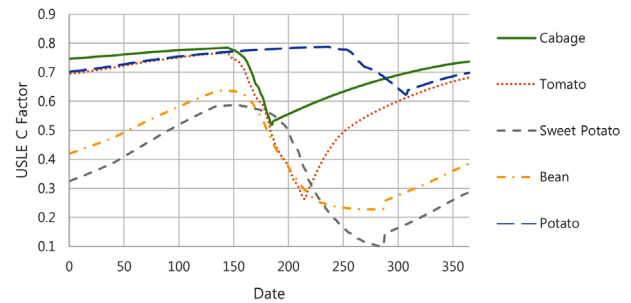


Fig. 3 Daily Change of USLE C Factor in Site 2

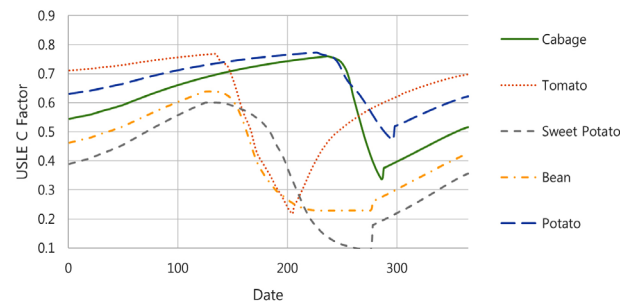


Fig. 4 Daily change of USLE C Factor in Site 3

의 생육기간 동안 최소 0.2076에서 0.7693 (평균 0.4726)의 값을 나타냈다. 고구마는 파종이 이루어지는 시점에서 0.6314에서 작물이 수확되는 시점에서는 0.1735로 나타났으며, 생육기간 동안 최소 0.0895에서 최대 0.6135 (평균 0.3556)의 범위로 나타났다. 콩은 파종이 이루어지는 시점 0.6491에서 작물이 수확되는 시점 0.2612로 감소하는 경향을 보였으며, 생육기간 동안 최소 0.2291에서 최대 0.6493 (평균 0.3586)을 보였다. 그리고, 감자는 파종이 되는 시점에서 수확이 되는 시점까지 0.7744에서 0.5027로 감소하는 경향과 함께, 최소 0.4568과 최대 0.7744 (평균 0.6296)의 값을 보였다 (Fig. 4).

4. Site 4의 지표피복인자의 구축

Site 1 ~ 3과 동일한 방법으로 Site 4의 작물별 지표피복인자를 산정하였다. 배추는 파종 시점 0.7475에서 작물이 수확되는 시점 0.4320로 점차 감소하였으며, 생육기간 동안 최소 0.4866에서 최대 0.7475 (평균 0.6551)의 지표피복인자 값을

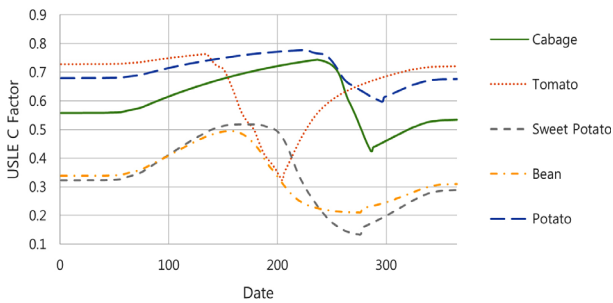


Fig. 5 Daily change of USLE C factor in Site 4

보였다. 토마토는 파종이 이루어지는 시점 0.7651에서 작물이 수확되는 시점에는 0.3302로 감소하는 경향을 보였으며, 생육기간동안 최소 0.3069에서 0.7651 (평균 0.5390)의 값을 나타냈다. 고구마는 파종이 이루어지는 시점 0.4930에서 작물이 수확되는 시점에서는 0.1545로 나타났으며, 생육기간 동안 최소 0.1296에서 최대 0.5322 (평균 0.3852)의 값을 보였다. 콩은 파종 시점 0.4823에서 작물이 수확되는 시점에는 0.2259로 감소하는 경향을 보였으며, 작물의 생육기간 동안 최소 0.2105에서 최대 0.5110 (평균 0.3514)를 보였다. 감자는 파종이 되는 시점에서 수확이 되는 시점까지 0.7790에서 0.5945로 감소하는 경향과 함께, 최소 0.5789와 최대 0.7790 (평균 0.6790)의 값을 보였다 (Fig. 5).

5. 토양유실가능성추정치에 대한 비교결과

본 연구에서는 ‘표토의 침식 현황 조사에 관한 고시’에 의해 산정된 연평균 토양유실가능성추정치를 산정하고, 비교를 위해 2000년부터 2014년까지의 각 월평균 토양유실가능성추정치를 산정하였다. ‘표토의 침식 현황 조사에 관한 고시’에 의해 산정된 연평균 토양유실가능성추정치의 경우 구역 별 하나의 값으로 산정이 되었지만, 본 연구에서는 월단위로 지표피복인자가 산정되었기 때문에, 각 월에 대한 12개의 토양유실가능성추정치가 예측이 되었다.

Table 4와 같이 Site 1의 경우 ‘표토의 침식 현황 조사에 관한 고시’의 방법에 의한 연평균 토양유실가능성추정치는 33.36 Mg/ha/yr로 예측되었으며, 본 연구에서 예측된 월별 토양유실가능성추정치는 작물의 성장에 따라 변화되는 경향

Table 4 Comparison of soil loss estimations

	Site 1		Site 2		Site 3		Site 4	
	Annual average	Monthly	Annual average	Monthly	Annual average	Monthly	Annual average	Monthly
Jan	33,36	3,61	21,94	2,05	34,85	3,53	26,27	2,40
Feb		3,62		2,07		3,64		2,40
Mar		3,67		2,09		3,71		2,42
Apr		3,72		2,11		3,78		2,47
May		3,75		2,12		3,78		2,50
Jun		3,67		2,09		3,64		2,48
Jul		3,53		1,98		3,37		2,40
Aug		3,44		1,94		3,29		2,36
Sep		3,37		1,94		3,22		2,32
Oct		3,37		1,94		3,11		2,28
Nov		3,47		1,97		3,24		2,32
Dec		3,53		2,00		3,37		2,35
Total	33,36	42,75	21,94	24,30	34,85	41,68	26,27	28,70

을 보였으며 수확시기인 9월과 10월에 최저 토양유실가능성 추정치가 예측되었다. 또한 본 연구에서 제시한 값을 사용하여 토양유실가능성 추정치를 산정한 결과 기존 방법에 의해 예측된 연평균 토양유실가능성 추정치보다 약 1.28배 높게 산정되었다. Site 2의 연평균 토양유실가능성추정치는 21.94 Mg/ha/yr로 예측되었으며, Site 1과 같이 작물의 생장에 따라 변화되는 경향을 보였으며, 수확시기인 8월부터 10월 사이에 최저의 토양유실가능성추정치가 예측되었다. 또한 토양유실가능성 추정치를 산정한 결과 기존 방법에 의해 예측된 연평균 토양유실가능성 추정치보다 약 1.11배 높게 산정되었다. Site 3의 연평균 토양유실가능성추정치는 34.85 Mg/ha/yr로 예측되었으며, 기존 방법에 의해 예측된 연평균 토양유실가능성 추정치보다 약 1.20배 높게 산정되었다. Site 4의 연평균 토양유실가능성추정치는 26.27 Mg/ha/yr로 예측되었으며, 기존 방법에 의해 예측된 연평균 토양유실가능성 추정치보다 약 1.09배 높게 산정되었다. 연구결과와 같이 모든 유역에 대해서 ‘표토의 침식 현황 조사에 관한 고시’에서 농경지의 지표피복인자는 모두 0.3의 값이 적용되었으나, 본 연구에서 다양한 작물별로 지표피복인자를 적용한 결과 이보다 큰 값이 제시되었다.

또한, Site 1과 3은 유역 내 농경지의 비율이 각각 19.6%와 19.0%인데 비해, Site 2와 4는 각각 5.2%와 8.0%로 상대적으로 적은 면적을 차지하고 있다. 농경지 면적 비율에 따라 Site 1과 3에서는 토양유실가능성추정치가 ‘표토의 침식 현황 조사에 의한 고시’의 방법에 비해 28.1%와 19.6%의 차이를 보인 반면, Site 2와 4에서는 이보다 적은 10.7%와 9.3%의 차이를 보였다. 즉, 농경지의 면적이 클수록 토양유실가능성추정치의 차이가 큰 것으로 나타났다.

IV. 요약 및 결론

범용토양유실량산정공식은 강우인자, 토양침식성인자, 지형인자, 지표피복인자, 보전관리인자와 같은 5개의 인자를 필요로 하며, 연평균 토양유실가능성을 추정하는 모형이다. 우리나라는 계절에 따라 강수나 기온과 같은 기상 이 다른 계절과는 차별성을 갖기 때문에 토양유실 발생의 유형도 연중 다를 수 있고 이러한 조건을 반영할 필요가 있다. 또한, 토양 표면을 덮고 있는 지표 피복 상태가 많은 영향을 주기 때문에 기후나 지형특성뿐만 아니라 작물의 생육조건을 반영하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 4대강 유역의 최근 15년의 기상 자료와 작물별 생육조건을 반영하였다.

연구결과 산정된 지표피복인자는 모든 작물에 대해서 작물이 파종되는 시점에서 수확되기까지 점차 감소하는 경향을

보였으며, 작물에 따라서 그리고 동일한 작물일지라도 유역에 따라서 다소 차이가 있는 것으로 나타났다. 또한, 산정된 지표피복인자를 이용하여 토양유실가능성추정치를 계산하여 이를 ‘표토의 침식 현황 조사에 관한 고시’에 의한 토양유실가능성추정치와 비교한 결과 기존 산정치 보다 다소 높은 것으로 나타났다. 그러나, 두 추정치 모두 우리나라의 여름철에 집중되는 강우 특성이 반영 되지 않았기 때문에 어느 추정치가 더 실제 토양유실량에 가까운지 단정하기는 힘들다. 따라서 정확한 토양유실량 산정을 위해서는 강우특성뿐만 아니라 다양한 작물생육에 따른 토양유실 정량화 모니터링이 필요하다. 그러나 본 연구의 목적은 작물의 생장만으로도 재배 기간 동안 토양유실가능성추정치가 월별로 변화할 수 있음을 지적하고, 이를 반영할 수 있는 데이터베이스를 구축할 필요가 있다는 것을 제시하는 것이다. 그리고 월단위 지표피복인자와 함께 계절별로 변화할 수 있는 다른 인자를 함께 고려한다면 우리나라의 조건을 반영할 수 있는 토양유실 가능성 추정치가 가능할 것으로 기대된다.

Acknowledgement

The research was supported by the Gangwon-do Rural Revitalization Support Center from the resources of the Gangwon-do and the Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs and by the Korea Environmental Industry & Technology Institute as “Development of Topsoil Erosion Model for Korea” (2014000540004).

RREFERENCES

1. Arnold, J. G. and R. Srinivasan, 1994. Integration of a BASIN-scale water quality model with GIS. *Journal of the American Water Resources Association* 30(3): 453-462.
2. Chandramohan, T., B. Venkatesh, and A. N. Balchand, 2015. Evaluation of three soil erosion models for small watersheds. *Aquatic Procedia* 4: 1277-1234.
3. Choi, J. W., G. W. Hyun, J. W. Lee, D. S. Shin, K. S. Kim, Y. S. Park, J. G. Kim, and K. J. Lim, 2009. Evaluation of Sediment Yield Prediction and Estimation of Sediment Yield under Various Slope Scenarios at Jawoon-ri using WEPP Watershed Model. *Journal of Korean Society on Water Environment* 25(3): 441-451.(in Korean)
4. Devatha, C. P., V. Deshpande, and M. S. Renukprasad, 2015. Estimation of soil loss using USLE model for Kulhan Watershed, Chattisgarh- a case study. *Aquatic Procedia* 4: 1429-1436.

5. Jung, K. H., W. T. Kim, S. O. Hur, S. K. Ha, P. K. Jung, and Y. S. Jung, 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): 199-206 (in Korean).
6. Kim, D. I., 2012. The alternative analysis of the basin turbidity reduction Effects on The Reservoir and Downstream River. Ph.D. diss., Sangju-si, Gyeongsangbuk-do: Kyungpook National University (in Korean).
7. Kim, M. S., J. K. Kim, J. K., 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. *The Korean Society of Economic and Environmental Geology* 40(1): 103-113.
8. Kum, D., Y. S. Park, Y. H. Jung, M. H. Shin, J. Ryu, J. H. Park, J. E. Yang, and K. J. Lim, 2015. Analysis of rainfall-runoff characteristics on bias correction method of climate change scenarios. *Journal of Korean Society on Water Environment* 31(3): 241-252 (in Korean).
9. Lee, D. J., J. M. Lee, D. Kum, Y. S. Park, Y. Jung, Y. Shin, G. C. Jeong, B. C. Lee, and K. J. Lim, 2014. Analysis of effects on soil erosion reduction of various best management practices at watershed scale. *Journal of Korean Society on Water Environment* 30(6): 638-646.
10. Ministry of Environment, 2012. A bulletin on the survey of the erosion of topsoil. Sejong-si, Republic of Korea.
11. Park, Y. S., J. G. Kim, N. W. Kim, S. J. Kim, J. H. Jeon, B. A. Engel, W. S. Jang, and K. J. Lim, 2010. Development of new R, C, and SDR modules for the SATEEC GIS system, *Computers & Geosciences* 36(6): 726-734.
12. Wischmeier, W. H. and D. D. Smith, 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Conservation Planning. The USDA Agricultural Handbook No. 537. US Department of Agriculture, General Publishing Office, Washington, DC. p. 85.