



SATEEC L모듈을 이용하여 토양유실량 산정 정확성이 유사량 예측에 미치는 영향 평가

Evaluation of Effects of Soil Erosion Estimation Accuracy on Sediment Yield with SATEEC L Module

우원희* · 장원석* · 김익재** · 김기성* · 옥용식*** · 김남원**** · 전지홍***** · 임경재*†

Woo, Won Hee · Jang, Won Seok · Kim, Ik Jae · Kim, Ki-Sung ·

Ok, Yong-Sik · Kim, Nam Won · Jeon, Ji-Hong · Lim, Kyoung Jae

ABSTRACT

SATEEC ArcView GIS system was developed using the Universal Soil Loss Equation (USLE) and sediment delivery ratio (SDR) modules. In addition, time-variant R and C modules and R_s module were developed and integrated into the SATEEC system in recent years. The SATEEC ArcView GIS 2.1 system is a simple-to-use system which can estimate soil erosion and sediment yield spatially and temporarily using only USLE input data, DEM, and daily rainfall dataset. In this study, the SATEEC 2.1 system was used to evaluate the effects of USLE LS input data considering slope length segmentation on soil erosion and sediment yield estimation. Use of USLE LS with slope length segmentation due to roads in the watershed, soil erosion estimation decreased by 24.70 %. However, the estimated sediment yield using SATEEC GA-SDR matched measured sediment values in both scenarios (EI values of 0.650 and EI 0.651 w/o and w/flow segmentation). This is because the SATEEC GA-SDR module estimates lower SDR in case of greater soil erosion estimation (without flow length segmentation) and greater SDR in case of lower soil erosion estimation (with flow length segmentation). This indicates that the SATEEC soil erosion need to be estimated with care for accurate estimation of SDR at a watershed scale and for accurate evaluation of BMPs in the watershed.

Keywords: SATEEC; SATEEC L; soil erosion; sediment yield

1. 서 론

토양유실은 강우 등에 의한 침식에 의해 유역내의 토양이 유실되는 것으로 자연적으로 발생할 수 있는 현상이다. 그러나 지나친 시비, 인위적인 방목 및 관개활동 등과 같은 인간의 인위적인 활동으로 인해 토양유실이 가속화 되고 있다. 유역 내에서 발생한 토양유실은 강이나 하천으로 유입될 시, 하천의 탁도를 증가시켜 수질오염의 원인 중 하나가 될 수 있다. 또한, 이렇게 발생한 탁수는 강이나 하천 등에서의 수생태계 파

괴나 수자원 가치의 하락, 댐 등과 같은 수리 구조물의 기능을 저하시키는 등 환경적, 경제적 측면에서 적지 않은 손실을 발생시킬 수 있다 (Park et al., 2007). 특히 유실된 토양은 하천으로 유입되고 토양 입자에 흡착되어 이동되어온 질소·인과 같은 영양물질은 수체 부영양화의 주요원인으로 작용하고 있기 때문에, 한국뿐만 아니라 세계적으로도 환경적 문제가 되고 있다. 또한 토양유실은 한번 일어나면 그 문제가 매우 크기 때문에 사전에 예측하여 문제를 최소화 하여야 한다. 따라서 이러한 토양유실의 문제점을 해결하기 위해서는 먼저 이에 대한 분석이 필요하며 이러한 분석 방법 중의 하나로 Universal Soil Loss Equation (USLE; Wischmeier and Smith, 1978), Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE; Foster et al., 1996), Water Erosion Prediction Project (WEPP; Flanagan and Nearing, 1995), Erosion Model (EUROSEM; Morgan et al., 1998), Soil and Water Assessment Tool (SWAT; Arnold et al., 1998), Sediment Assessment Tool for Effective Erosion Control System (SATEEC; Lim et al., 2005) 등의 모형들이 개발되었고, 지난 40여 년간 토양유실을 모의하기 위

* 강원대학교 농업생명과학대학 지역건설공학과
 ** 한국환경정책평가연구원
 *** 강원대학교 농업생명과학대학 바이오자원환경학과
 **** 한국건설기술연구원 수자원·환경연구본부 수자원 연구실
 *****안동대학교 환경공학과
 † Corresponding author Tel.: +82-33-250-6468
 Fax: +82-33-251-1518
 E-mail: kjlim@kangwon.ac.kr

2010년 12월 6일 투고
 2011년 2월 15일 심사완료
 2011년 2월 16일 게재확정

하여 국내외적으로 USLE 공식이 가장 널리 사용되어 왔다. 그러나 USLE는 유역단위 (Watershed Scale)로 토양유실을 분석할 수 있는 것이 아니라, 시험포 단위 (field scale)로 토양유실을 모의할 수 있기 때문에, 유역 적용시 많은 한계점이 있다. 때문에 Lim et al. (2005)은 USLE의 입력자료와 수치표고 모형 (Digital Elevation Model; DEM)만을 가지고 토양유실과 유사량을 모의할 수 있는 Sediment Assessment Tool for Effective Erosion Control (SATEEC) system을 개발하였으며, 현재 토양유실에 대한 많은 연구에 활용 (Park et al., 2007; Kang et al., 2009; Woo et al., 2010)되고 있다. 그러나 그동안 많은 연구자에 의해서 USLE를 기반으로 하여 개발된 SATEEC 모형의 여러 가지 태생적 한계점이 지적되어 왔다. SATEEC 모형은 장기간의 강우자료로 산정된 강우인자값과 토지 이용패턴에 따른 연평균 작물과 지표 피복 인자값을 이용하여 토양유실 가능 추정치와 유사량을 모의하기 때문에 유역에서의 집중성 강우특성 및 여러 가지 농작물의 파종, 성장, 수확 등에 따른 토양유실 및 유사거동의 시간적 특성을 고려하지 못하는 한계를 가진다. SATEEC 모형의 이러한 문제점을 개선하기 위하여 유역내 시간적, 공간적인 변화를 고려하여 월 또는 연 단위 토양유실을 모의할 수 있도록 Time-Variant C and R Modules이 Park et al. (2010)에 의해서 개발되었으며, 또한 유역의 여러 지형적 특성을 고려하여 유달 특성을 평가할 수 있는 Genetic Algorithm Sediment Delivery Ratio Module (GA-SDR Module)이 개발되어 유역에의 적용성을 높인 바 있다 (Park et al., 2010). 그러나 GA-SDR SATEEC 시스템은 일강우에 따른 토양유실을 산정할 수 없는 단점으로 인해 한국 등과 같이 집중성 강우 특성을 가진 유역에 적용하기에는 많은 제약이 있는 것으로 분석되었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 5일 선행강우를 고려한 R₅모듈이 개발되었다 (Woo et al., 2010). 또한 SATEEC 시스템은 경사장 산정 시 사용자가 지정한 최대 허용 경사장을 기준으로 하여 평가하기 때문에 입도나 도로, 농업용수로 등으로 인한 단일 경사장의 변화를 고려할 수 없다는 단점이 있었다. 이를 극복하기 위해서 Kang et al. (2009)은 SATEEC L모듈을 개발함으로써 유역 토양유실량 산정에 경사장의 변화를 고려하였다.

그러나 이러한 SATEEC 시스템의 문제점을 보완하기 위한 여러 가지 모듈 개발에도 불구하고 입력자료가 유역/필지의 특성을 제대로 반영하지 못하고 DEM을 이용하여 경사장을 산정할 경우 경사장이 길게 산정되어 토양유실량이 과하게 산정된다. 하지만 SATEEC 시스템은 유달를 산정 시 GA-SDR Module이 최종 유출구에서 모형의 예측 유사량과 실측 유사량의 비교를 통하여 유달를 산정하기 때문에 유역출구에서의 유사량을 비교적 정확히 예측할 수 있는 특징이 있다. 이는 SATEEC

모형의 입력자료가 잘못 산정되어 필지별 토양유실량은 과하게 산정하거나 적게 산정하여도 GA-SDR Module을 이용한 유달를 산정과정을 통해 실측치를 어느정도 반영할 수 있다는 것을 의미한다.

따라서 본 연구의 목적은 SATEEC L 모듈을 이용하여 토양유실 산정 정확성이 SATEEC 예측 유사량에 미치는 영향을 평가함으로써 유역에서의 토양유실량과 유사량 평가시 필지별 토양유실량에 대한 검증이 선행되어야 한다는 점을 제시하기 위함이다.

II. 연구방법

1. 연구 유역의 선정

본 연구의 대상지역은 강원도 평창군 도암댐 유역으로 송천 1지점을 최종유출구로 하는 소유역이다. 송천 1지점의 유역면적은 36.56 km²이며 도암댐 유역면적의 25.28 %를 차지하고 있다. Fig. 1은 도암댐 유역의 모습과 본연구의 대상유역인 송천 1지점의 토지이용현황을 보여주고 있다. 또한, 도암댐 유역내 위치하고 있는 대관령 강우 관측소의 1999년부터 2007년 10월까지의 강우자료를 모형의 입력자료로 사용하였다.

2. SATEEC System

가. SATEEC System Ver. 2.1 개요

SATEEC System Ver. 2.1은 Fig. 2에서 보이는 바와 같이 USLE 모형의 입력 자료 (Rainfall erosivity, Soil erodibility, Crop management, Practice factice)와 DEM을 이용하여 유역내 토양유실 및 유사발생을 모의할 수 있는 시스템이다. SATEEC System Ver. 2.1은 DEM을 이용하여 USLE LS Factor를 산정하고, Fig. 2에서 보이는 바와 같이 시스템에 의해 산정된

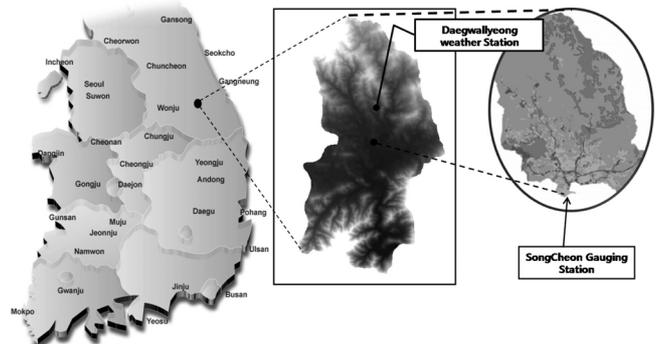


Fig. 1 Location and land uses at Doam-dam watershed, Gangwon-do

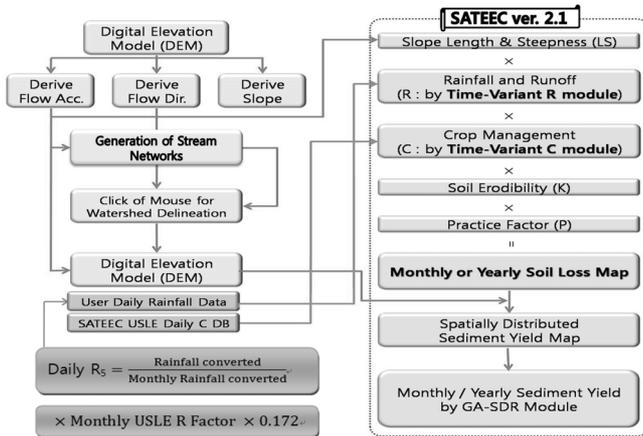


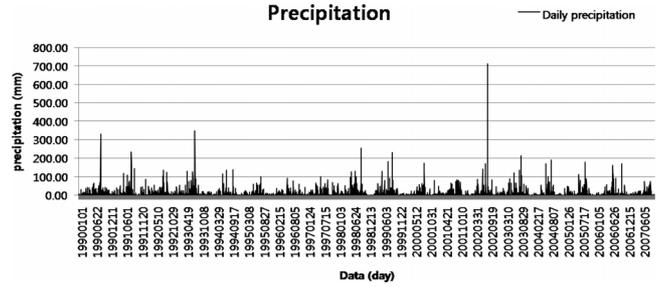
Fig. 2 Overview of the SATEEC system ver. 2.1 (Park et al., 2010; Woo et al., 2010)

USLE LS Factor와 다른 USLE 입력 자료를 이용하여 토양 유실을 산정한다. 또한, 유역의 최종 유출구나 임의 지점에서의 유수량 산정을 위해 토양유실량과 유달률을 이용한다. 토양유실량을 산정하는 데에 있어 유역에서의 모의 기간 내 지표 피복 상태 변화를 고려하기 위해서 Time-Variant C Module 이 사용될 수 있는데, 이 모듈에는 산림이나 농경지와 같은 토지 이용패턴과 USLE C Factor DB가 구축되어 있어 유역 내에서의 시간적으로 변하는 지표 피복 상태를 고려할 수 있다. 또한 모델을 이용하여 산정된 토양유실량과 유전자 알고리즘을 통해 산정된 유달률을 이용하여 유역의 최종유출구나 유역 내 임의 지점에서의 유수량을 산정할 수 있다. 현재 SATEEC System ver. 2.1에서는 유역 면적에 의한 유달률 및 유역내 각 지점의 경사도에 의한 유달률뿐만 아니라 유역의 면적, 평균 경사도, Curve Number와 같은 여러 지형적 특성 등을 고려하여 유달률을 산정할 수 있는 GA-SDR 모듈이 탑재되어 있다. 그리고 태풍 등과 같이 단기간에 집중되는 강우특성을 고려한 일단위 강우자료를 사용하여, 유역의 장기간의 강우량에 의한 강우인자를 산정할 수 있다. 집중성 강우는 해당일의 발생 강우량뿐만 아니라, 이전의 선행강우 또한 유역 내 토양수분에 많은 영향을 주므로 이를 반영하기 위해 5일선행강우를 고려한 R5모듈이 탑재되어 있다 (Woo et al., 2010).

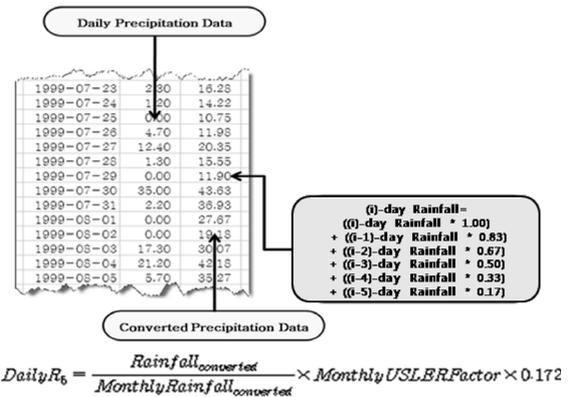
나. SATEEC 모형의 입력자료

1) 강우인자 (Rainfall erosivity factor)

본 연구에서는 Fig. 3(a)에서 보이는 바와 같이 일강우 자료를 사용하여 태풍 등과 같은 단기간에 집중되는 강우 특성을 고려한 일단위 강우인자를 사용하였다. 이러한 일 단위 강우특성을 반영하는데 있어 해당 일의 발생 강우량도 중요하지만, 이전의 선행강우 또한 유역 내 토양수분에 많은 영향을 끼치



(a) Daily precipitation for Doam-dam watershed



(b) SATEEC 2.1 R5 module

Fig. 3 USLE R factor in SATEEC system ver. 2.1 (Woo et al., 2010)

로 이를 반영하기 위해 5일 선행강우를 고려하여 개발된 R5 모듈을 사용하였다 (Woo et al., 2010). 강우 자료는 도담댐 유역내 위치하고 있는 대관령 강우 관측소의 1999년부터 2007년 10월까지의 강우 자료를 사용하였으며, R5모듈 (Fig. 3(b))을 이용하여 5일선행강우와 수일간 집중되는 강우특성까지 고려하였다.

2) 토양침식인자 (Soil erodibility factor)

USLE K Factor는 토양침식인자 (Soil erodibility factor)로서 토양의 침식성을 나타낸다. 토양침식인자는 토양의 물리적, 화학적 특성을 나타내고, 토양의 구조와 투수성, 유기물과 모래, 실트, 점토의 함량과 관계가 있다. 식 (1)은 Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE) (Williams, 1975) 공식에 따라 K값이 산정되며, 여기서 SAN, SIL, CLA는 모래, 실트, 점토 함량 (%)이며, SN1은 1-SAN/100이다.

$$K = 0.2 + 0.3 \exp(-0.0256 SAN(1 - (\frac{SIL}{100}))) \times (1.0 - \frac{0.25 CLA}{CLA + \exp(3.72 - 2.95 C)}) \times (1.0 - (0.7 \frac{SM}{SM + \exp(-5.51 + 22.9 SM)})) \quad (1)$$

Fig. 4는 본 연구에서 사용된 SATEEC system ver 2.1의 토양침식인자를 나타낸다.

3) 작물피복인자 (Crop management factor)

작물피복인자는 작물성장에 따른 지표피복면적에 영향을 받는다. 따라서 강우타격의 영향은 작물이 성장함에 따라 감소하게 된다. 이러한 작물성장에 따른 토양유실 저감효과를 고려하기 위해서는 작물성장에 따라 변화하는 지표피복상태를 고려하여야 한다. Fig. 5는 이러한 지표 피복 상태를 고려할 수 있는 SATEEC system ver. 2.1의 Time-Variant C module의 입력 자료이다.

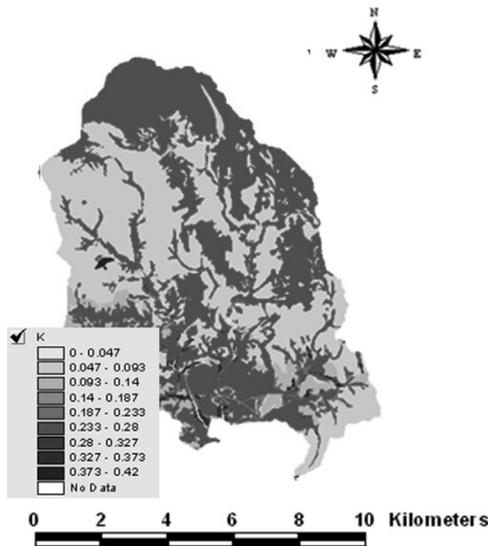


Fig. 4 USLE K factor used in SATEEC system ver. 2.1

4) 작물경작인자 (Supporting conservation practice factor)
 작물의 경작방법 인자는 경작 방법 등에 의한 토양 침식량의 차이를 나타내는 값이다. Park (1999)은 토지이용과 경사도에 따른 경작방법인자를 Table 1과 같이 제안한 바 있다. 밭에 경우 등고선 경작방식을 택하는 가정 하에 경사도에 따른 경작인자 값을 나타낸다. Fig. 6은 SATEEC System ver 2.1에서의 작물경작인자를 나타낸 모습이다.

5) 경사장, 경사도 인자 (Slope length & Steepness factor) 와 흐름의 단절을 고려한 (LS) 인자

경사장인자 (USLE L factor)는 표준 시험포의 길이인 22.13 m와 단일경사를 이루는 지형의 길이의 비로 나타낸다. 경사도 인자(USLE S factor)는 표준시험포의 경사도인 9 %에 대해서 단일경사를 이루는 지형의 경사도의 비로 나타내고 있다. 또한, LS값을 산정할 때에는 RUSLE User Guide (Foster et al.,

Table 1 USLE P factors various slopes (Park, 1999, 2002)

Land use	P factor	
Paddy land	0.2	
Upland	Slope	P factor
	0 %~2 %	0.60
	2 %~7 %	0.50
	7 %~12 %	0.60
	12 %~18 %	0.80
	18 %~24 %	0.90
	24 %~30 %	0.95
> 30 %	1.00	

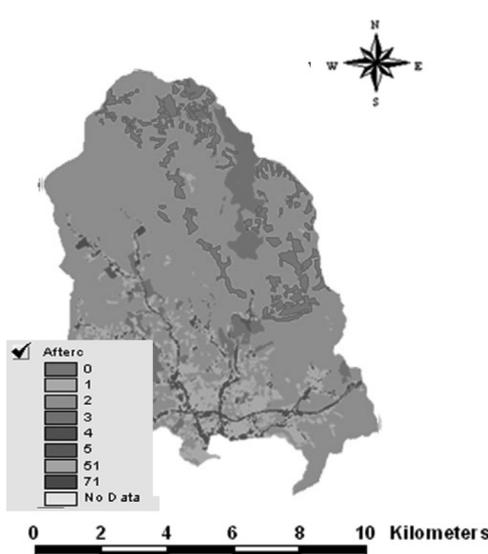


Fig. 5 USLE C factor used in SATEEC system ver. 2.1

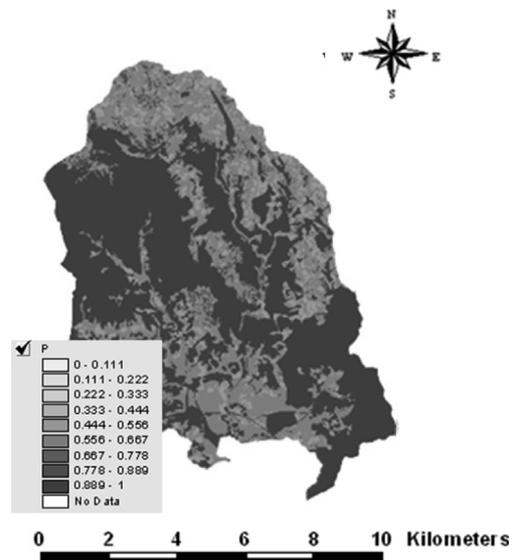


Fig. 6 USLE P factor used in SATEEC system ver. 2.1

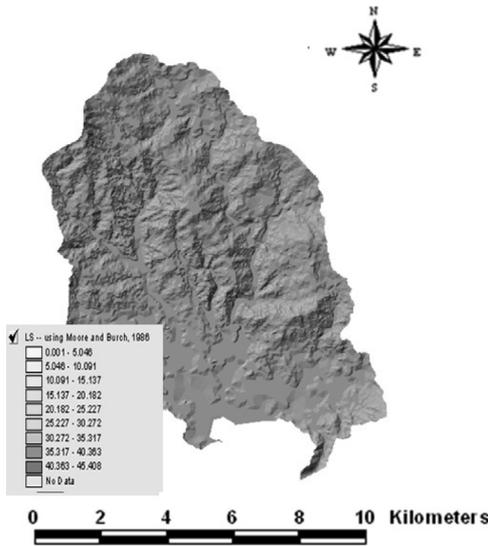


Fig. 7 USLE LS factor used in SATEEC system ver. 2.1

1996)를 이용한다. RUSLE User Guide에 따르면 경사장의 실험에 의한 모의 실험의 길이는 10.7~91.4 m이나 자연 상태에서 세류가 일어나기 시작하는 최대 경사장 122 m를 사용할 수도 있다 (식 (2)). SATEEC 시스템은 아래 식을 이용하여 LS 인자값을 산정한다.

$$LS = \left(\frac{A}{22.13}\right)^{0.6} \left(\frac{\sin\theta}{0.0896}\right)^{1.3} \quad (2)$$

Fig. 7은 SATEEC system ver. 2.1의 LS factor를 나타낸다. 본 연구에서는 실제지형과 유사한 특성을 고려하여 USLE L 입력자료를 구축하기 위하여 항공사진을 이용하여 도로 데이터를 구축하였다. 이러한 도로 자료와 DEM을 이용하여 USLE LS 인자값을 SATEEC L 모듈을 이용하여 산정하였다 (Kang et al., 2009). Fig. 8과 같이 DEM을 기준으로 산정된 USLE L 단일경사장과 도로를 이용하여 흐름의 단절을 고려한 USLE L 경사장을 비교해 보면, 단일 경사장으로 산정할 경우 도로가 있음에도 불구하고 DEM 지형자료를 이용하여 L값을 추출하기 때문에, 실제 USLE L 인자값보다 크게 산정되는 단점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 최대 허용 경사장을 SATEEC 시스템에서는 입력하게 되어 있는데, 이러한 최대 허용 경사장 값은 경험적인 값으로 실제 도로와 같이 경사장을 단절시킬 수 있는 부분의 공간적 특성을 고려할 수 없다. 따라서 SATEEC L 모듈을 이용하게 되며 도로가 있을 경우 DEM을 이용하여 경사장을 산정하는데 있어서 흐름의 단절을 고려하여 L 인자값을 산정할 수 있기 때문에, 보다 현실과 가까운 경사장값을 산정할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 도담댐 지점의 위성사진을

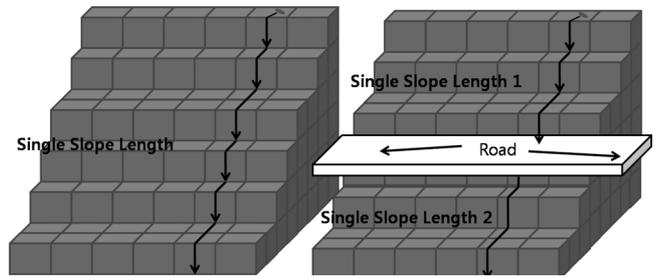


Fig. 8 Representative field slope length in the SATEEC system

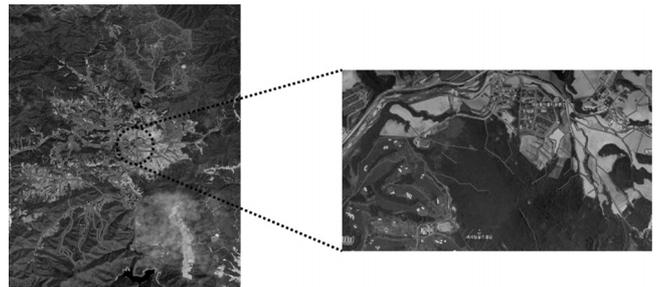


Fig. 9 GIS input data used in USLE L estimation

이용하여 유역내 임도 및 도로의 GIS 데이터를 구축하였으며, 이를 이용하여 경사장의 단절을 고려한 LS factor를 사용하였다 (Fig. 9).

다. SATEEC System 의 GA-SDR 모듈

GA-SDR 모듈은 유역에서의 실측 유사량 자료와 SATEEC system에 의해 산정된 토양유실량을 이용하여 유달률을 산정하며, 이 연산 과정에서 유역의 특성을 반영하기 위해 유역의 면적, 유역의 평균 경사, 그리고 유역의 Curve number (CN)을 고려하여 계수 (A)와 각 지수 (B, C, D)의 최적 해를 유전자 알고리즘을 이용하여 찾는다. 식 (3)은 GA-SDR의 유달률 산정식이다.

$$SDR = A * (DA^B) * (ZL^C) * (CN^D) \quad (3)$$

DA는 유역의 면적 (km²), ZL은 유역의 평균경사 (m/km), CN은 유출곡선지수 (curve number) 이다.

본 연구에서는 유역의 특성을 반영하여 실측유사량을 이용하여 유달률을 산정하는 GA-SDR 전처리 프로세서를 이용하여 유달률을 산정하였으며, 이를 유사량 산정시 적용하였다.

3. 토양유실 산정 및 유사량 산정 시나리오

서론에서 제시된 바와 같이 정확한 SATEEC 입력 자료 구

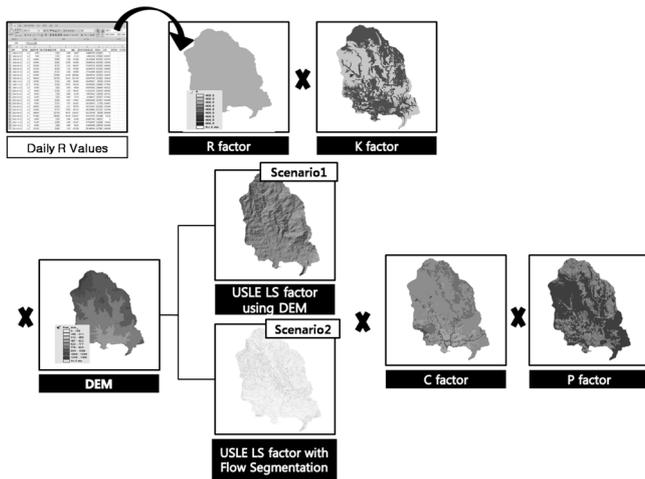


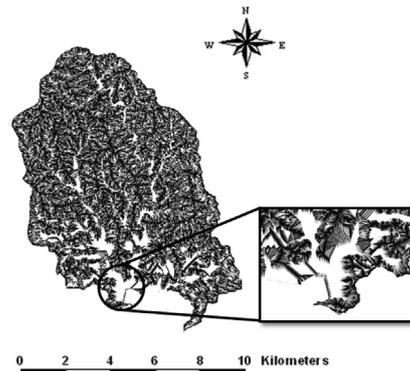
Fig. 10 Two simulation scenarios in this study. SATEEC system ver. 2.1

축이 SATEEC 유사량 평가에 얼마나 많은 영향을 미치는지를 분석하는 것이 본 연구의 목적이다. 따라서 본 연구에서는 실제 지형을 고려하여 SATEEC 모형의 입력자료를 구축한 후 유사량을 예측하여 모의 정확도를 분석하기 위하여 아래 두개의 시나리오를 구성하였다. Fig. 10에서 보이는 바와 같이 기존의 SATEEC system Ver. 2.1의 입력자료 (시나리오 1)와 위성자료를 이용하여 흐름의 단절을 고려한 자료 (시나리오 2)를 이용한 두 가지 분석 시나리오를 작성하였다.

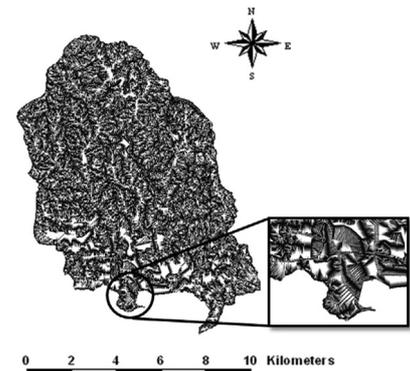
III. 결 과

1. 흐름의 단절을 고려한 L factor 및 토양유실량 비교

기존의 SATEEC System Ver. 2.1의 L값 (Fig. 11(a))과 도로 GIS DB를 이용하여 흐름의 단절을 고려한 L값을 살펴보면, Fig. 11(b)에서 보이는 것과 같이 경사장의 길이가 전체적으로 줄어든 것을 알 수 있다. Fig. 12와 같이 Histogram을 통해 기존의 SATEEC System ver. 2.1의 L값과 도로 GIS DB를 이용하여 흐름의 단절을 고려한 L값을 살펴보면, 유역 내 LS값의 크기가 약 24.66 % 가량 줄어든 것을 알 수 있다. 이 결과에서 보이는 바와 같이, 도로GIS DB를 이용하여 흐름의 단절을 고려한 시나리오 2에 비해 DEM만을 이용하여 산정한 L값이 크게 산정되므로, Fig. 13에서 보이는 바와 같이 토양유실량의 차이는 24.70 %로 나타난다. 시나리오 1과 시나리오 2의 토양유실량 값은 각각 306.3 ton/ha/year, 230.6 ton/ha/year 이고 토양유실량의 차이는 24.70 %로 흐름의 단절을 고려하지 않았던 시나리오 1의 경우 토양유실량을 과하게 산정한다는 것을 알 수 있다.



(a) USLE L factor using DEM



(b) USLE L factor with flow segmentation

Fig. 11 Change in USLE L factor

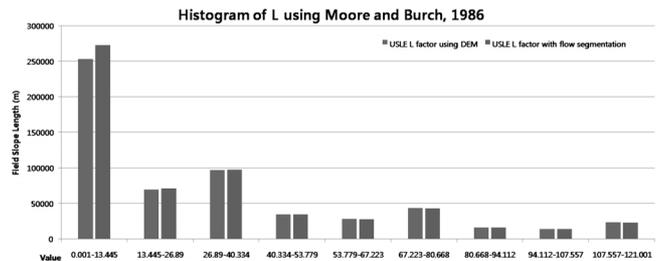


Fig. 12 Histogram of USLE L factor

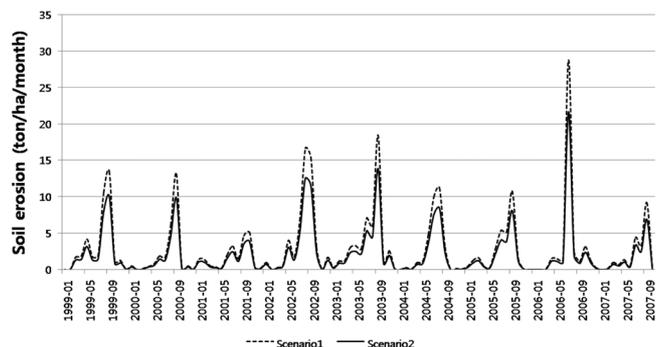


Fig. 13 Comparison of soil erosion with two scenarios

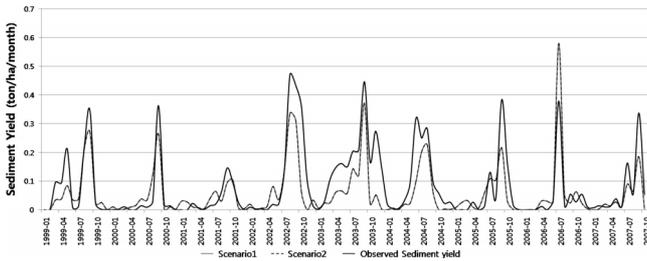


Fig. 14 Comparison of observed sediment yield and sediment yield

2. GA-SDR을 이용하여 유달률 및 유사량 산정

본 연구에서는 도암댐 유역의 송천 1지점으로 유입되는 유사량을 GA-SDR 모듈을 이용하여 산정하였다. 모의기간 (1999-2007) 동안의 유사량은 Fig. 14와 같다. 시나리오 1의 경우 유효지수 (EI)는 0.650이고, 시나리오 2의 경우 유효지수 (EI)는 0.651로 시나리오 1과 시나리오 2 예측 유사량 값이 비슷한 것을 알 수 있었다. GA-SDR 모듈로 산정한 흐름 단절 고려 전과후의 유달률은 식 (4)와 (5)와 같다. 식 (4)는 시나리오 1의 SDR이고, 식 (5)는 시나리오 2의 SDR이다. 유달률 산정과정에서 시나리오 1의 유달률이 시나리오 2의 유달률보다 19.90% 가량 작게 산정되었다. 산정된 유달률 식에서 보이는 바와 같이 시나리오 2 (흐름 단절 고려하여 L 값 산정)의 유달률 식 계수가 시나리오 1 (DEM 기반 L 값 산정)의 계수보다 전반적으로 큰 것을 알 수 있다. 이는 시나리오 1의 토양유실량 값이 시나리오 2의 토양유실량 값보다 24.70% 가량 크게 산정되었기 때문에 시나리오 1의 유달률이 시나리오 2의 유달률보다 작게 산정된 것을 의미한다. 이는 SATEEC GA-SDR 모듈의 단점이라 할 수 있기 때문에 USLE/GIS 기반 토양유실 평가 시스템에서 정확한 입력자료 구축이 얼마나 중요한가를 보여준다.

$$SDR_1 = 0.000587 \times (36.56^{0.0016}) \times (220.142^{0.145}) \times (90^{0.084}) \quad (4)$$

$$SDR_2 = 0.00069 \times (36.56^{0.0019}) \times (220.142^{0.148}) \times (90^{0.099}) \quad (5)$$

IV. 결 론

유역에서의 토양유실량과 유사량 평가시 USLE 또는 MUSLE를 이용한 유역단위 토양유실량과 유사량 모형이 개발되어 많은 분야에 활용되고 있다. 그러나 이러한 모형의 정확성 평가시 유역 출구에서 측정된 유사량을 이용하는 경향이 많은데, 필지별 토양유실량 예측 정확성이 확보되지 않으면 많은 불확실성을 내재할 수 있다. 이에 본 연구에서는 SATEEC L Module과

R₅ Module, 그리고 SATEEC GA-SDR모듈을 이용하여 토양유실량과 유사량을 산정하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다. 시나리오 1에서는 흐름의 단절을 고려하지 않고 기존 SATEEC LS 모듈을 이용하여 토양유실량을 산정 (306.3 ton/ha/year)하였으며, 시나리오 2에서는 흐름의 단절을 고려하여 토양유실량 (230.6 ton/ha/year)을 산정하였다. 이렇게 산정된 토양유실량과 GA-SDR 모듈을 이용하여 유사량을 평가한 결과 시나리오 1의 유효지수가 0.650이었으며, 시나리오 2의 경우 EI 값이 0.651로 분석되었다. 이는 시나리오 1의 토양유실량 값이 24.70% 크지만, 유전자 알고리즘 기반의 GA-SDR 모듈을 이용한 유달률 산정과정에서 시나리오 1의 유달률이 시나리오 2의 유달률보다 19.90% 가량 작게 산정되었기 때문에 유사량에는 많은 차이를 나타나지 않는다.

본 연구의 결과에서 보이는 바와 같이 USLE/GIS 기반 토양유실 평가 시스템 이용시 정확한 입력자료 구축이 정확한 유사량 평가에 얼마나 중요한 가를 알 수 있으며, USLE기반 SATEEC GIS 시스템을 이용하여 토양유실량 및 유사량 평가시 SATEEC L 모듈을 이용하여 흐름 특성을 정확히 반영하는 것이 필요하다.

현재 SATEEC 2.1 시스템에 토지이용별 토양유실량을 검증할 수 있는 모듈이 개발된다면 정확한 토양유실 입력자료 구축 후, 예측된 토양유실량을 검증하고, 이렇게 검증된 유역 토양유실량 자료를 이용하여 GA-SDR모듈을 이용하여 유실된 토양의 유달 특성을 평가한다면, SATEEC 시스템은 유역에서의 다양한 토양유실 최적관리 기법 효과 분석에도 효과적으로 활용될 수 있을 것이라 판단된다.

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 “수자원의 지속적확보기술개발사업단”의 연구비지원(과제번호: 2-2-3)으로 수행되었습니다. 이에 심심한 감사의 뜻을 표합니다.

REFERENCES

1. Arnold, J. G., R. Srinivasan, R. S. Muttiah, and J. R. Williams, 1998. Large are hydrologic modeling and assessment part I: model development. *Journal of the American Water Resources Association* 34(1): 73-89.
2. Flanagan, D. C., and M. A. Nearing, 1995. USDA water erosion prediction project: hillslope profile and watershed model documentation. NSERL Report No. 10. USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, IN 47907-1194.

3. Foster, G. R., K. G. Renard, D. C. Yoder, D. K. McCool, and G. A. Weesies, 1996. RUSLE User's Guide. Soil and Water Conservation Society.
4. Heo, S. G., K. S. Kim, M. Sagong, J. H. Ahn, and K. J. Lim, 2005. Evaluation of SWAT applicability to simulate soil Erosion at highland agricultural lands. *Korean Society of Rural Planning* 11(4): 67-74 (in Korean).
5. Kang, H. W., K. S. Kim, Y. S. Park, N. W. Kim, Y. S. Ok, J. G. Kim, Y. H. Choi, and K. J. Lim, 2009. Development and application of SATEEC L module for slope length adjustment based on topography change. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 28(2): 113-124.
6. Lim, K. J., M. Sagong, B. A. Engel, Z. Tang, J. D. Choi, and K. S. Kim, 2005. GIS-based sediment assessment tool. *CATENA* 64(2005): 61-80.
7. Morgan, R. P. C., J. N. Quinton, R. E. Smith, G. Govers, J. W. A. Poesen, K. Auerswald, G. Chisci, D. Torri, and M. E. Styczen, 1998. The European Soil Erosion Model (EUROSEM): a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. *Earth Surface Processes and Landforms* 23: 527-544.
8. Park, C. S., 1999. Monitoring of non-point pollutants from the different land use in the Yulmunchon tributary watershed, the So-yang river basin. Master's degree: Kangwon National University (in Korean).
9. Park, C. S., 2002. Soil management practices to reduce water erosion from the sloped farmland in highland. Ph.D. diss.: Kangwon National University (in Korean).
10. Park, Y. S., J. G. Kim, N. W. Kim, S. G. 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.
11. USDA, 1972. Sediment source, yields, and delivery ratios. National Engineering Handbook, Section 3 Sediment.
12. Wischmeier, W. H., and D. D. Smith, 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses A Guide To Conservation Planning. *The USDA Agricultural Handbook* 537.
13. Woo, W. H., J. P. Moon, N. W. Kim, J. W. Choi, K. S. Kim, Y. S. Park, W. S. Jang, and K. J. Lim, 2010. Evaluation of SATEEC daily R module using daily rainfall. *Journal of Korean Society on Water Quality* 26(5): 841-849 (in Korean).