

# SWAT과 SATEEC 모형을 이용한 토양유실량 비교

## Comparison of Soil Loss Estimation using SWAT and SATEEC

박윤식<sup>\*</sup> · 김종건<sup>\*\*</sup> · 허성구<sup>\*\*\*</sup> · 김남원<sup>\*\*\*\*</sup> · 임경재<sup>\*\*\*\*\*</sup>

Park, Younshik · Kim, Jonggun ·

Sunggu Heo · Kim, Namwon · Lim, Kyung Jae

---

### Abstract

Soil erosion is a natural process and has been occurring in most areas in the watershed. However, accelerated soil erosion rates have been causing numerous environmental impacts in recent years. To reduce soil erosion and sediment inflow into the water bodies, site-specific soil erosion best management practices (BMPs) need to be established and implemented. The most commonly used soil erosion model is the Universal Soil Loss Equation (USLE), which have been used in many countries over 30 years. The Sediment Assessment Tool for Effective Erosion Control (SATEEC) ArcView GIS system has been developed and enhanced to estimate the soil erosion and sediment yield from the watershed using the USLE input data. In the last decade, the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model also has been widely used to estimate soil erosion and sediment yield at a watershed scale. The SATEEC system estimates the LS factor using the equation suggested by Moore and Burch, while the SWAT model estimates the LS factor based on the relationship between sub watershed average slope and slope length. Thus the SATEEC and SWAT estimated soil erosion values were compared in this study. The differences in LS factor estimation methods in the SATEEC and SWAT caused significant difference in estimated soil erosion. In this study, the difference was

-51.9%(default threshold) ~ -54.5%(min. threshold) between SATEEC and non-patched SWAT, and -7.8%(default threshold) ~ +3.8%(min. threshold) between SATEEC and patched SWAT estimated soil erosion.

*Keywords:* Soil erosion, sediment yield, USLE, SATEEC, SWAT

---

## 1. 서 론

토양 유실은 대부분의 유역에서 발생하는 자연스러운 현상이다. 그러나 가속화되고 있는 토양 유실이 자연 환경에 주는 영향은 점점 심각해지고 있다. 하천으로의 유실 토양을 줄이기 위해서는 토양 유실의 특성을 분석하여야 하며 이를 위해서는 토양 유실을 효과적으로

---

\* 정희원·강원대학교 대학원·E-mail : caron-ys@nate.com

\*\* 정희원·강원대학교 대학원·E-mail : jong0923@naver.com

\*\*\* 준희원·강원발전연구원·E-mail : pure0016@nate.com

\*\*\*\* 정희원·한국건설기술연구원 수문연구실·E-mail : nwkim@kict.re.kr

\*\*\*\*\* 정희원·강원대학교 지역건설공학과 교수·E-mail : kjlim@kanwwon.ac.kr

모의할 수 있는 모형을 보정과 검정을 통해 선정해야 할 뿐만 아니라 지역적인 차이를 고려하여 특성을 고려할 수 있는지 여부도 검토하여야 한다. 최근 30여 년간 토양 유실을 모의하기 위하여 국내외적으로 Universal Soil Sediment Equation (USLE) (Renard et al., 1997)가 널리 사용되어 왔으며(김 등, 2005), 이러한 USLE의 입력자료만을 이용하여 토양 유실을 모의할 수 있는 Sediment Assessment Tool for Effective Erosion (SATEEC) (Lim 등, 2005)과 같은 USLE를 기반으로 하고 있는 많은 모형이 현재 개발 및 보완을 거치면서 많은 연구에 이용되고 있다. 또한 최근 토양 유실 분야 연구에 있어 Soil and Water Assessment Tool (SWAT)의 사용이 증가되고 있다. 그러나 기존 SWAT ArcView GIS Interface는 경사가 급한 지형에 적합하지 않다. 이러한 이유로 경사가 급한 유역에 기존의 SWAT을 적용할 경우 예측 토양유실량이 적게 모의되는 경향이 있다. 따라서 이러한 문제를 보완하기 위해 SWAT ArcView GIS Extension Patch(임 등, 2007b, SWAT ArcView GIS Extension Patch, <http://www.EnvSys.co.kr/~swat>)가 최근 개발 되었으며, 이 Patch 사용에 따른 SWAT 예측 토양유실량과 USLE 기반의 SATEEC 예측 토양 유실량을 비교 분석하여 Patch 사용에 따른 SWAT 예측 토양유실량의 정확성을 평가해 볼 필요가 있다. 따라서 본 연구의 목적은 SATEEC과 기존의 SWAT의 토양 유실 값, SWAT ArcView GIS Extension Patch를 이용한 SWAT의 토양 유실 값을 비교·분석하여 이를 통해 경사가 급한 유역에 SWAT 적용시 지형인자 추출 오류를 해결할 수 있는 SWAT ArcView GIS Extension Patch 적용성을 평가하는 것이다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 연구 유역의 선정

본 연구의 대상지역은 강원도 평창군 도암면에 속하는 도암댐 유역으로 동경 128° 37' ~ 128° 47', 북위 38° 35' ~ 38° 47' 이다. 송촌 본류의 길이는 약 29.5Km<sup>2</sup>이며 유역면적은 149.2Km<sup>2</sup>로 도암면 면적(221.6Km<sup>2</sup>)의 약 67.3%를 차지한다. 도암면 면적은 평창군 전체 면적 1463.7km<sup>2</sup>의 15.2%에 해당되며 이 중 농경지와 초지는 각각 8.1%와 4.4%를 차지한다. 반면, 산림이 82.6%를 차지하는 전형적인 산지 고원 지역이다(허 등, 2005). 평창군 도암면의 도암댐 유역을 나타내고 있다. 도암댐 유역은 상대적으로 해발고도가 높은 고산지대로서, 지세, 토질, 기후 등이 고령지 농업에 적합한 지역에 속한다.

### 2.2 SWAT 모형의 선정

#### 2.2.1. SWAT 모형의 개요

SWAT 모형은 미국 농무성의 농업연구국 (Agricultural Research Service: ARS)에서 개발한 유역단위의 모형이다. 이 모형은 미국 농무성에서 개발하여 이용해 온 CREAMS 모형, GREAMS 모형 및 EPIC 모형과 같은 농업연구국 모형들을 결합하여 만들었다(Arnold and Srinivasan, 1999). 1974~2005년까지 대관령 지역에서 측정된 일누계강우, 풍속, 일조량, 온도, 그리고 습도 기상데이터를 사용하였다. SWAT 모형을 이용하여 공간적으로 변화하는 유역내 수문현상 및 유사발생을 모의하기 위해서 필요한 입력자료는 크게 지형도, 토양도, 그리고 토지이용도이다. 본 연구에서는 국립지리원 1:5,000 수치지도의 등고선 자료를 추출한 후, 이를 Triangular Irregular Network (TIN) 으로 변환한 후, Digital Elevation Model (DEM)로 변환하였다. SWAT 모형은 토지이용도와 토양도를 이용하여

유역내 수문현상을 모의하는데 이를 Hydrologic Response Unit(HRU)이라고 칭하며 (허 등, 2006) 유역의 유출특성에 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 도암댐 유역내 토양 속성은 농업과학기술원의 정밀토양도(1:25,000)를 사용하였으며, 토지이용현황은 환경부에서 발행한 1/25,000 (2005)의 대분류 수치 토지 피복도 자료를 이용하였다.

### 2.2.3. SWAT ArcView GIS Extension Patch 적용

SWAT 모형은 미국의 지형 즉 대부분의 경우 경사가 낮은 지형에 적용이 된 모형이다. 따라서 우리나라와 같이 산지가 많은, 경사가 급하고 지형이 다소 급변하는 곳에 적용시 오류가 발생할 수 있다. 이러한 오류를 보완한 SWAT ArcView GIS Extension Patch가 최근 개발되어 다운로드 (임 등, 2007b, <http://www.EnvSys.co.kr/~swat>)가 가능하다. 따라서 본 연구에서는 최근 유역 단위 모형으로 이를 이용한 연구가 늘고 있는 SWAT 모형의 우리나라에의 적용성을 평가하기 위하여 SWAT ArcView GIS Extension Patch를 적용한 SWAT 예측 토양 유실량을 USLE를 기반 SATEEC 예측 연평균 토양 유실량과 비교하였다.

## 2.3. SATEEC 시스템의 선정

### 2.3.1. SATEEC 시스템의 개요

SATEEC 시스템은 Fig. 1에서 보이는 바와 같이 USLE 모형의 입력자료(Rainfall erosivity, Soil erosivity, Crop management, Practice factor)와 수치표고모형(Digital Elevation Model, DEM)을 통해 경사장·경사도인자(Slope length and steepness)만을 이용하여 대상 지역에서의 토양 유실 및 유사량을 모의할 수 있다. 이 SATEEC 시스템은 ArcView GIS를 기반으로 하며, 무료로 다운로드(<http://www.EnvSys.co.kr/~sateec>) 받을 수 있는 공개용 시스템이다(임 등, 2007a).

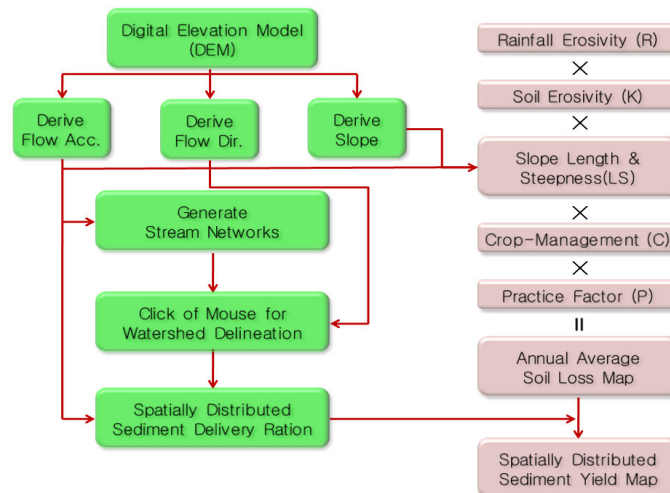


Fig. 1. Overview of the SATEEC system.

## 3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 대상 연구 지역에 대해 USLE 기반 연간 토양 유실을 모의 시스템인 SATEEC 결과와 SWAT ArcView GIS Extension Patch를 이용하지 않은 기존의 SWAT

(w/o patch), SWAT ArcView GIS Extension Patch를 이용한 SWAT (w/ patch)의 결과를 비교하였으며, SWAT의 모의 과정에서 threshold의 값을 기본값 (default threshold)을 이용하여 비교하였다. Table 1에서 보이는 바와 같이 SWAT의 결과와 SATEEC의 결과를 비교하여 볼 때, SWAT은 매년 해당 지역의 일 강수량 값을 이용하여 토양유실량을 모의하기 때문에 매년 강수량 및 패턴에 따라 예측 토양유실량이 어느 정도 차이가 있는데 비해, USLE 기반 SATEEC 시스템은 장기 토양 유실량을 모의한다.

Table 1. Comparison of default threshold SWAT results and SATEEC result.

Year	w/ patch	w/o patch	SATEEC	Year	w/ patch	w/o patch	SATEEC
1974	3,963,136	1,513,324	1,763,190	1991	2,430,533	1,204,913	1,763,190
1975	4,764,354	1,561,617		1992	1,217,883	618,712	
1976	1,959,135	807,665		1993	3,472,645	1,662,264	
1977	1,235,239	457,895		1994	1,248,711	636,921	
1978	2,264,014	825,413		1995	586,085	283,558	
1979	1,036,216	374,695		1996	529,496	279,731	
1980	1,177,209	500,845		1997	671,532	364,135	
1981	1,267,640	464,909		1998	2,306,264	1,180,249	
1982	2,417,130	1,005,068		1999	1,918,804	1,038,120	
1983	394,318	198,559		2000	963,307	475,893	
1984	2,289,139	1,209,194		2001	596,853	296,396	
1985	1,344,266	737,932		2002	8,123,938	3,890,439	
1986	887,558	482,406		2003	2,061,436	1,099,019	
1987	851,156	436,072		2004	1,445,782	724,602	
1988	1,200,100	644,725		2005	1,025,959	537,246	
1989	1,021,456	584,541		2006	1,486,456	846,006	
1990	1,896,199	913,829		<b>Avg.</b>	<b>1,829,386</b>	<b>848,586</b>	

SWAT ArcView GIS Extension Patch 적용 여부에 따른 예측 토양유실량 값을 SATEEC과 비교하여 볼 때, SWAT ArcView GIS Extension Patch를 적용한 값(w/ patch)이 적용하지 않은 값(w/o patch)과 USLE를 기반으로 하는 SATEEC의 값보다 모의 기간 중 모든 값에서 근사한 값을 보였으며 특히 연평균 토양 유실 값에 있어서는 w/ patch 값은 매우 유사한 값을 보인 데에 비해 w/o patch 값은 큰 차이를 보였다. 이는 SWAT ArcView GIS Extension Patch를 적용하지 않은 경우 USLE 인자 값을 산정하는 과정에서 해당 유역의 지형적 특성을 고려하는 데 있어 다소 문제가 발생하였기 때문이라 된다. Fig. 2에서 볼 수 있듯이 모의 기간 중 매년 강우 자료에 의해 다른 강우값에 의해 산정된 강우 인자 값으로 인해 w/ patch 값과 w/o patch의 값이 연별 다른 값을 보이지만, w/ patch의 경우 SATEEC의 값과 교차하면서 SWAT에 의한 연평균 토양 유실값이 SATEEC에 의한 값의 103.8%로 거의 동일한 값을 보이는 데 비해, w/o patch의 값은 SATEEC의 값보다 모의 기간 중 모두 낮은 값을 보이면서, SATEEC에 의한 값의 48.1%에 불과했다.

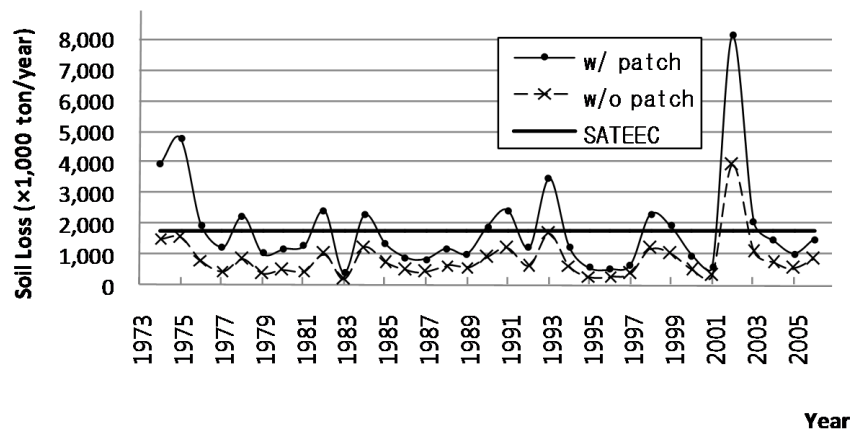


Fig. 2. Comparison of SWAT using default threshold value and SATEEC estimated soil loss.

#### 4. 결론

지난 30여년간 토양 유실을 모의하는 데에 있어 국내 뿐만 아니라 국외에서 USLE를 이용한 연구가 진행되어 왔다. 이에 USLE를 이용하는 데에 있어 국내의 지역에 대한 USLE의 적용성에 대한 많은 연구가 진행되었으며 또한 이에 대한 자료의 구축 및 많은 연구가 진행되었다. SWAT은 최근 유역단위 모형으로서 이에 대한 연구가 점차 늘고 있으며 국내에 대한 적용성 검토에 대한 연구가 진행되고 있다. 이러한 적용성 검토에 관련하여 모형의 매개변수를 이용한 적용성 연구와 더불어 모형의 모의 과정에서의 적용성 검토뿐만 아니라 국내 지형을 효과적으로 모의할 수 있도록 모형의 수정이 수행되어야 한다. 이에 본 연구에서는 연구 대상지역에 있어 같은 자료를 사용하여, 최근 개발된 SWAT ArcView GIS Extension Patch를 적용한 w/ patch 값과 w/o patch 값을, 현재 국내에 있어 자료의 구축을 비롯한 적용성이 비교적 효과적으로 이루어진 USLE 값과 비교하였으며 본 연구의 결과와 같이 SWAT ArcView GIS Extension Patch를 적용한 결과가 USLE 기반 SATEEC의 결과와 매우 비슷한 결과를 보였다 (-7.8% ~ +3.8%차이). 따라서 본 연구 과정에서 사용된 SWAT ArcView GIS Extension Patch를 사용한 SWAT 모형을 이용하여 대상 연구 지역을 모의해야 국내 지형을 고려한 보다 정확한 토양 유실 및 유사를 비롯한 비점원오염 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

#### 감 사 의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 2-2-3)에 의해 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

1. 임경재, 허성구, 박윤식, 김종건, 박준호, 최대현, 강현우, 2007a, SATEEC 시스템의 개발, 강원대학교 농업공학부, GIS 환경 시스템 연구실, No.0707, <http://www.EnvSys.co.kr/~sateec>
2. 임경재, 허성구, 박윤식, 김종건, 박준호, 최대현, 강현우, 2007b, SWAT ArcView GIS Extension Patch 개발, 강원대학교 농업공학부, GIS 환경 시스템 연구실, No.0708, <http://www.EnvSys.co.kr/~swat>
3. 허성구, 김기성, 사공명, 안재훈, 임경재, 2005, 농촌계획학회지, 11(4), pp.67-74.
4. 허성구, 유동선, 김재영, 김기성, 안재훈, 박윤식, 김종건, 박준호, 임경재, 최종대, 소유역 구분이 SWAT 예측치에 미치는 영향 평가, 2006, 한국관개배수학회지, 13(2), pp.55-62.
5. Arnold, J. G. and P. M. Allen, 1999, Automated methods for estimating baseflow and ground water recharge from streamflow records, Journal of the American Water Resources Association, 35(2), pp.411-424.