

SWAT과 SATEEC 모형을 이용한 토양유실량 비교

Comparison of Soil Loss Estimation using SWAT and SATEEC

박윤식* · 김종건* · 허성구* · 김남원** · 안재훈*** · 박준호* · 김기성* · 임경재*†

Park, Younshik* · Kim, Jonggun* · Sunggu Heo* · Kim, Namwon**

Ahn, Jaehun*** · Park, Joonho* · Kim, Ki-sung* · 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. 토양유실이 발생하는 것 자체의 문제라기보다 유실된 토양이 하천으로 유입되고 유실된 토양에 흡착되어 이동되어 온 인과 같은 영양물질로 인한 부영양화 같은 문제가 크기 때문이다. 부영양화의 원인이 되는 오염물질은 주로 하천으로 방류되는 생활하수나 축산 폐수 또는 농경지에서 발생하는 유출수와 유실된 토양 등이 있다(유 등, 2007). 특히 논과 밭의 입지는 용수공급이 용이한 하천이나 계곡 주변에 인접하고

* 강원대학교 농업생명과학대학

** 한국건설기술연구원

*** 고령지 농업연구소

† Corresponding author. Tel.: +82-33-250-6468

Fax: +82-33-251-1518

E-mail address: kjlim@kangwon.ac.kr

있어 하천의 주 오염원이 되고 있다. 이 토양 유실은 농작물이 재배되는 곳이면 어디에서나 발생하는 농업 문제 중의 하나로 토양으로 떨어지는 빗방울이나 지표면을 흐르는 물의 에너지에 의해 발생된다. 국부적으로 하천제방이나 하천구조물의 안정을 해치며, 농경지의 비옥한 토양을 유실시키고, 토양이송은 터빈이나 펌프와 같은 수력기계를 마모시키며 더 나아가서 상수처리 등에 문제를 야기시킨다. 또한 유사에 의한 토사퇴적의 경우 홍수 시에 운반된 토사가 범람하여 농경지에 퇴적되면 농경지를 매몰하거나 비옥한 표토를 덮기도 하고, 하천 내에 퇴적되면 하천의 통수능단면을 축소시켜, 홍수범람규모를 증대시키고, 저수지내에 퇴적되면 저수용량을 감소시킨다. 따라서 토양유실에 대한 관측이 필요하며, 강우타격이나 유수작용으로 발생된 오염물의 이동경로를 파악함으로써 사전에 수질오염방지 대책을 세울 수 있어야 한다.

따라서 하천으로의 유실 토양을 줄이기 위해서는 토양 유실의 특성을 분석하여야 하며 이를 위해서는 토양 유실을 효과적으로 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 적용 시 지형인자 추출 오류를 해결할 수 있는 SWAT ArcView GIS Extension Patch 적용성을 평가하는 것이다.

II. 재료 및 방법

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 29.5 Km²이며 유역면적은 149.2 Km²로 도암면 면적(221.6 Km²)의 약 67.3%를 차지한다. 도암면 면적은 평창군 전체 면적 1463.7 km²의 15.2%에 해당되며 이 중 농경지와 초지는 각각 8.1%와 4.4%를

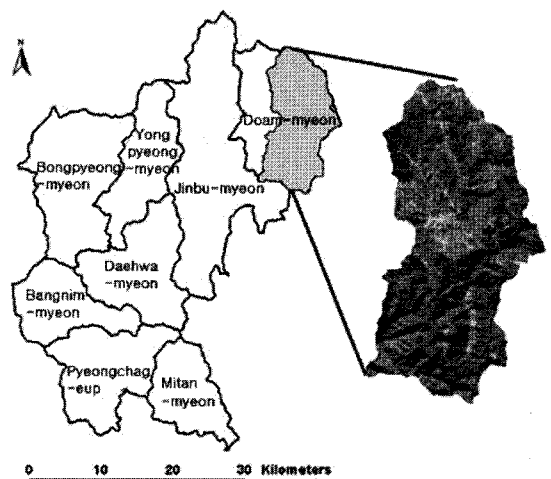


Fig 1. Location of the Doam-dam Watershed at PyeongChang, Kangwon-do

차지한다. 반면, 산림이 82.6%를 차지하는 전형적인 산지 고원 지역이다(허 등, 2005). Fig. 1은 평창군 도암면의 도암댐 유역을 나타내고 있다. 도암댐 유역은 상대적으로 해발고도가 높은 고산지대로서, 지세, 토질, 기후 등이 고령지 농업에 적합한 지역에 속한다.

2. SWAT 모형의 선정

가. 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). 특히 SWAT은 강우-유출모형과 수질모형이 GIS와 연계된 호환모형로서 장기 유량과 수질을 모의할 수 있으며, 미계측 지역에서도 모의가 가능하며, 경작형태나 기후·식생 등의 변화에 따른 수질의 상대적 효과도 정량화할 수 있는 특징을 지니고 있다. Fig. 2는 SWAT 모형의 입력 자료와 출력자료를 보여준다. SWAT 모형을 이용하여 수문 및 수질을 시·공간적으로 분석하기 위해서 시간적으로 변화하는 기상자료(일 강수량, 기온, 풍속, 일조량, 상대습도)와 공간적으로 변화하는 토지이용현황, 토양속성, 그리고 지형자료 등이 필요하다(박 등, 2007).

나. SWAT 모형의 입력자료

1) 기상자료

SWAT 모형의 운영에 필요한 기상자료는 일 강수(Precipitation), 일 풍속(Wind Speed), 일 일조량(Solar Radiation), 일 최고온도(Maximum Temperature)·일 최저온도(Minimum Temperature), 일 습도(Humidity)이다. 1974~2005년까지 대관령 지역에서 측정한 일누계강우, 풍속, 일조량, 온도, 그리고 습도 기상데이터를 사용하였다.

2) 지형도, 토양도, 토지이용도

SWAT 모형을 이용하여 공간적으로 변화하는 유역 내 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(Fig. 3(a)). SWAT 모형은 토지이용도와 토양도를 이용하여 유역내 수문현상을 모의하는데 이를 Hydrologic Response Unit(HRU)이라고 칭하며(허 등, 2006) 유역의 유출 특성에 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(Fig. 3(b),(c)). 도암댐 수계

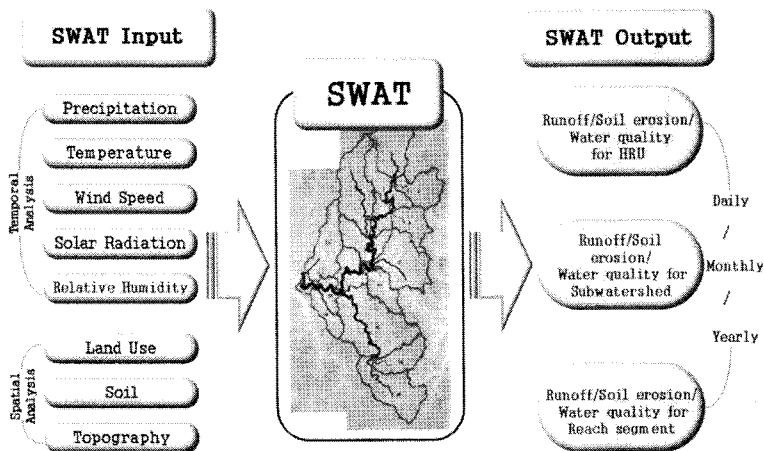


Fig. 2 Input and output data of SWAT

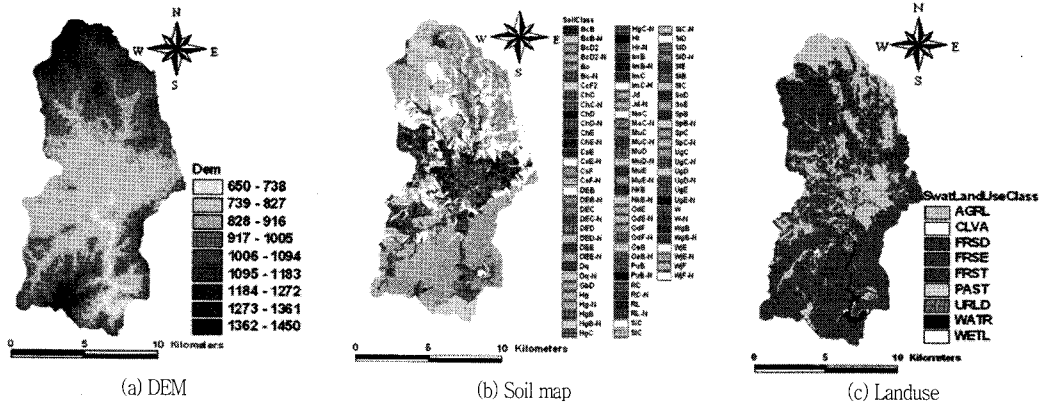


Fig. 3 DEM, soil map, land cover of Imha-dam watershed

내에는 산림이 약 72.1%를 차지하며, 농업지역이 16.1%, 수역이 0.5%, 시가화 0.2%, 휴경지 5.0%, 초지가 6.0% 각각 차지하고 있다.

다. 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.

3. SATEEC 시스템의 선정

가. SATEEC 시스템의 개요

SATEEC 시스템은 Fig. 4에서 보이는 바와 같이 USLE 모형의 입력자료(Rainfall erosivity, Soil erosivity, Crop management, Practice factor)와 수치 표고모형(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

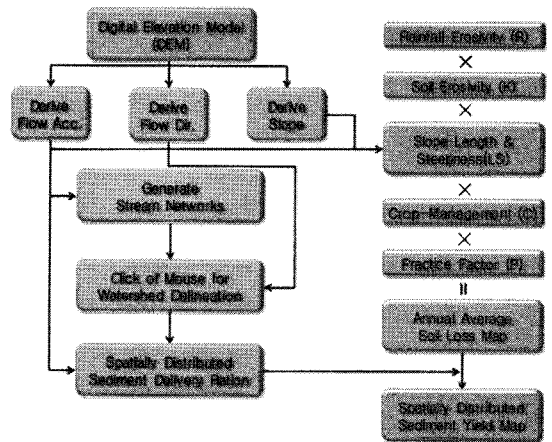


Fig. 4 Overview of the SATEEC system

GIS를 기반으로 하며, 무료로 다운로드(<http://www.EnvSys.co.kr/~sateec>) 받을 수 있는 공개용 시스템이다(임 등, 2007a).

나. SATEEC 시스템의 입력자료

1) 강우침식능인자(R), 토양침식성인자(K), 식생피복인자(C), 작물경작인자(P)

SATEEC 시스템은 USLE 입력자료만을 이용하여 토양유실량 및 유사량을 예측할 수 있는 시스템이다. 이 SATEEC 시스템의 입력자료중 강우인자(R)는 정등(1999)에 의해 계산된 강우침식능 인자를 이용하였다. Table 1은 강원도 지역의 행정구역별 강우인자(R)를 나타낸다. 본 연구에서는 대관령에 해당하는 R factor(408.5)를 사용하였다.

Table 1 Precipitation and R-factor values for the universal soil loss equation in Taegwallyung(정 등, 1999)

Location			Precipitation(mm)			R-factor				
			Apr.-Nov.	Dec.-Mar.	Annual	Adjusted factor.U	Apr.-Nov	Dec.-Mar. R.	1.5R.	Annual
High land	Taegwallyung	73-96	1,412.4	219.3	1,631.8	0.595	360.5	31.9	47.9	408.5

토양침식인자(K)는 어떤 토양의 고유한 침식성을 정량적으로 표시한 것으로 유실량은 토양 침식에 영향을 끼치는 인자가 동일한 경우 토양 특성의 차이로 인하여 달라진다. Williams(1975)는 위의 공식을 토대로 K값을 정할 수 있는 Monograph를 제시하였는데 우리나라 토양에 적용성 검토 결과 타당한 것으로 보고된 바 있다(정 등, 1976). 본 연구에서는 농촌진흥청에서 발행한 1:25000 정밀도양도의 점토, 실트, 모래의 함량의 구성비를 통해 K factor 값을 구하였다.

작물생장인자(C)는 본래 작물의 생육에 따라 토양 유실량의 실측값에 따라 구해야 하지만 이 점에 대해 검토한 연구가 국내에서는 정 등(1985)의 연구를 제외하면 거의 없는 실정이다. 본 연구에서는 환경부 환경지리정보에서 배포하는 2005년 1:2,5000의 대분류 수치 토지피복도 자료를 이용하였다. 이를 이용하여 각 토지피복별로 Table 2는 정 등(1985)의 C factor값을 적용하여 산정하였다.

Table 3은 토지이용별 작물경작인자 값을 나타내고 있으며, 밭의 경우 등고선 경작방식을 택한다는 가정 하에 경사도에 따른 작물경작인자 값을 나타낸 것이다.

Table 2 C Factor for Various Land Uses(정 등, 1985)

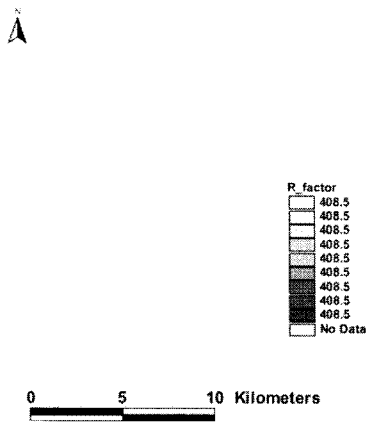
Landuse	WATR.	FRST.	PAST.	AGRL.	URLD.	Bare ground
C factor	0.0	0.001	0.01	0.26	0.01	1

WATR : Water, FRST : Forest, Past : Pasture, AGRL : Agricultural land, URLD : Urban residential low density

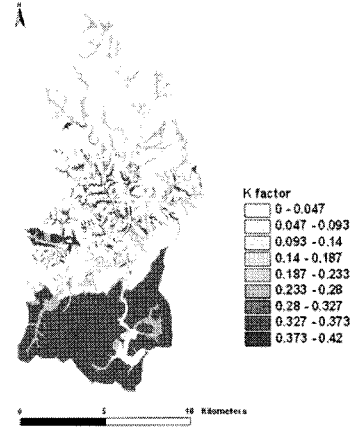
Table 3 USLE P factors for different land uses and slopes

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. 5에서 보이는 바와 같이 강우인자 값은 유역 내에서 모두 같은 값을 가지고 있으며(Fig. 5(a)), 작물 인자의 경우 중류 부분에서 상류와 하류 부분에



(a) R(Rainfall erosivity)



(b) K(Soil erosivity)

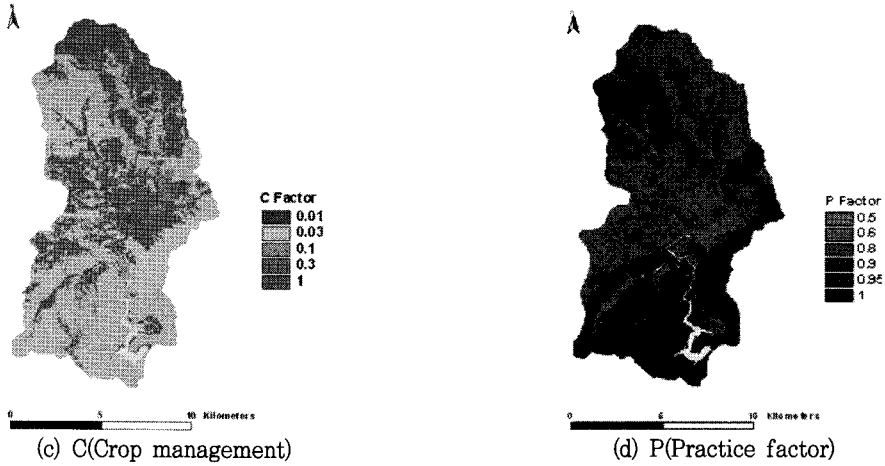


Fig. 5 R, K, C and P input datas of Sudong watershed

비해 높은 값을 보였지만(Fig. 5(c)), 토양 침식 인자와 경작방법 인자는 하류 부분에서 높은 값을 보였다(Fig. (b),(d)).

2) 수치표고모형(DEM)와 경사도와 경사장 인자(LS) 경사장과 경사도는 USLE에서 경사장 인자(L)과 경사도 인자(S)로 표기되는 지형인자(LS)로 알려져 있다. 경사장은 유역의 끝지점에서 경사진 지점까지의 거리, 즉 유출구까지의 거리이며, 표준 시험포에서의 길이(22.13 m)의 비로 나타내어진다. 경사도는 표준 시험포에서의 경사도(9%)와의 비로 나타내어진다. 이 경사장과 경사도 인자를 SATEEC은 DEM을 이용하

여 Moore 등(1985a, 1986b)의 방법을 이용하여 계산한다. DEM을 이용하여 LS값을 산정할 때, RUSLE User Guide(Foster et al., 1996)에 따르면 시험포의 일반적인 경사장은 10.7 m(35 ft)에서 91.4 m(300 ft)이나 자연 상태에서 세류가 일어나기 시작하는 최대 경사장 121 m(400 ft) 사용을 권장하고 있다(Foster 등, 1996, Lim 등, 2005). Fig. 6에서 보이는 바와 같이 도암댐 유역 하류 부분은 상류 및 중류 부분에 비해 고도가 다소 높게 나타났으며(Fig. 6(a)), 유역내에서 가장 경사가 급한 지역을 포함하고 있었다(Fig. 6(b)).

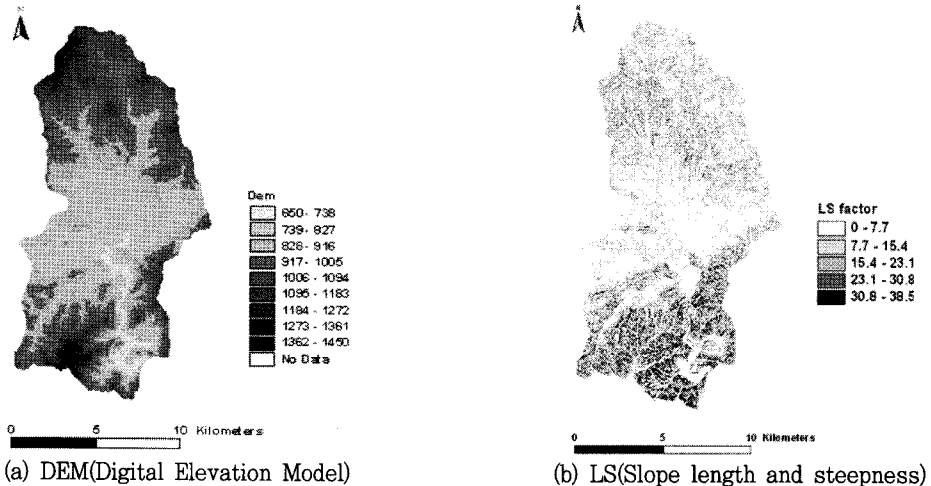


Fig. 6 Calculation of LS using DEM in SATEEC system

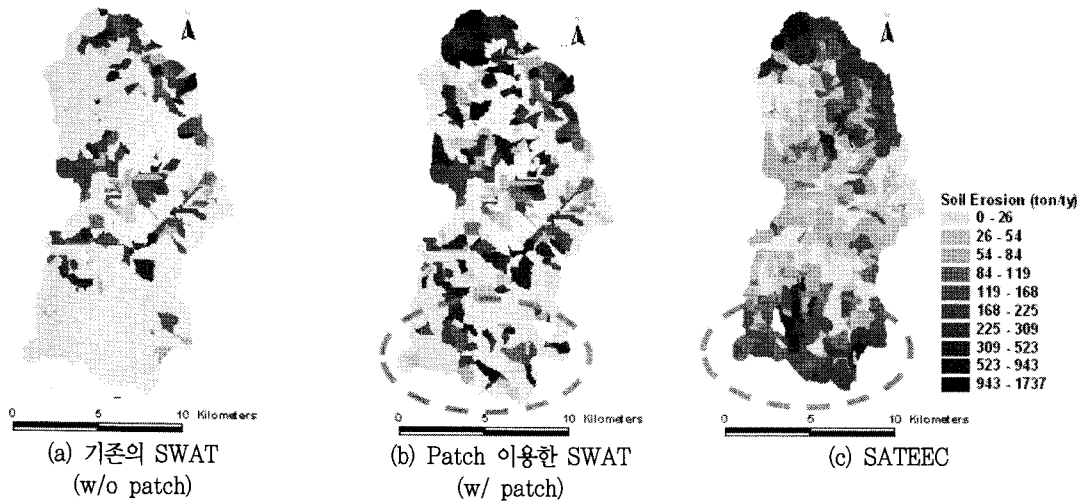


Fig. 7 Soil loss of each subwatershed

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 대상 연구 지역에 대해 USLE 기반 연간 토양 유실을 모의 시스템인 SATEEC 결과와 SWAT ArcView GIS Extension Patch를 사용하지 않은 기존의 SWAT(w/o patch), SWAT ArcView GIS Extension Patch를 이용한 SWAT(w/ patch)의 결

과를 비교하였으며, SWAT의 모의 과정에서 threshold의 값을 기본값(default threshold)과 최소값(min. threshold)을 사용하여 소유역의 크기 및 개수를 달리하여 비교하였다. Fig. 7은 대상 유역 내 각 소유역별 토양 유실 값을 표시한 것으로 w/ patch와 SATEEC의 토양 유실을 비슷하게 모의(Fig. 7(b)와 (c))하는 데 비해 w/o patch는 이와는 다르다(Fig.

Table 4 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		Avg.	1,829,386	848,586	

Table 5. Comparison of min. threshold SWAT results and SATEEC result

Year	w/ patch	w/o patch	SATEEC	Year	w/ patch	w/o patch	SATEEC
1974	3,926,009	1,353,402	1,763,190	1991	1,997,630	1,110,720	1,763,190
1975	4,714,161	1,427,094		1992	1,035,393	576,731	
1976	1,880,687	753,697		1993	2,872,246	1,523,774	
1977	1,179,743	404,179		1994	1,046,457	600,718	
1978	2,157,087	745,096		1995	485,553	264,001	
1979	968,268	353,743		1996	460,036	259,824	
1980	1,041,572	469,758		1997	563,498	340,981	
1981	1,180,322	415,447		1998	2,027,802	1,169,002	
1982	2,123,684	1,030,746		1999	1,669,069	933,930	
1983	333,932	174,257		2000	824,375	459,464	
1984	1,948,296	1,068,678		2001	487,754	276,189	
1985	1,168,007	705,462		2002	6,995,065	3,990,982	
1986	756,140	451,037		2003	1,690,151	959,445	
1987	769,904	427,473		2004	1,247,572	710,606	
1988	1,062,544	599,168		2005	949,224	552,094	
1989	852,249	530,467		2006	1,337,519	810,375	
1990	1,591,609	882,027		Avg.	1,624,971	802,091	

7(a)와 (c))는 것을 알 수 있다. 특히 w/patch와 SATEEC는 유역의 하류 부분에 있어 토양 유실을 크게 모의한데 비해 w/o patch는 하류 부분에 있어 토양 유실을 적게 모의하였다. 또한 SATEEC은 LS (Slope and Length) 값을 cell 별로 모의를 하는데 비해 SWAT은 유역 단위로 모의를 하기 때문에 다소 소유역 별 토양 유실 값이 발생할 수 있다.

Table 4와 5에서 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 어느정도 차이가 있는데 비해, USLE 기반 SATEEC 시스템은 장기 토양 유실량을 모의한다. 모의결과에서 보이는 바와 같이, SWAT ArcView GIS Extension Patch를 이용한 SWAT 예측 토양유실량값과 SATEEC 예측 토양유실량값은 Default threshold value와 Min. threshold value를 사용하여 예측된 토양유실량 모두 매우 비슷한 값을 보였으나, 이에 비해 SWAT ArcView GIS Extension patch를 이용하지 않은 기존의 SWAT 예측 토양유실량값은 Default threshold value와 Min. threshold

value를 사용하여 분석한 모든 경우 큰 차이를 보였다.

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 고려하는데 있어 다소 문제가 발생하였기 때문이라 된다.

Fig. 8과 9에서 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%(default threshold)와 92.2%(min. threshold)로 거의 동일한 값을 보이

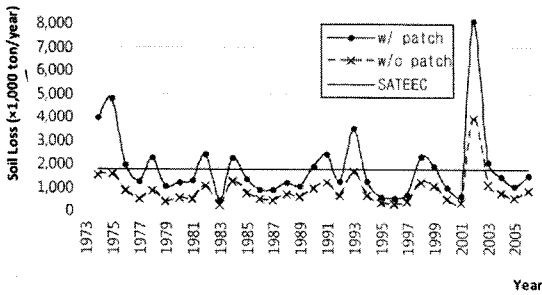


Fig. 8 Comparison of SWAT using default threshold value and SATEEC estimated soil loss

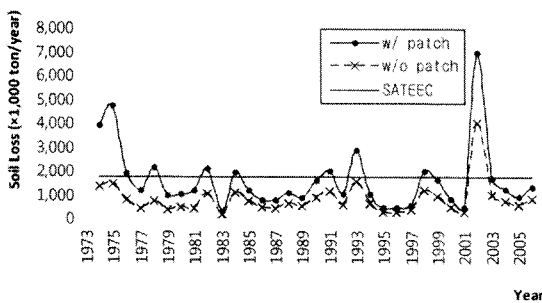


Fig. 9 Comparison of SWAT using default threshold value and SATEEC estimated soil loss

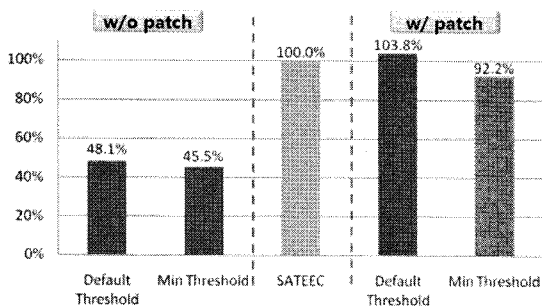


Fig. 10 Ratio of SWAT value with SATEEC

는 데 비해, w/o patch의 값은 SATEEC의 값보다 모의 기간 중 모두 낮은 값을 보이면서, SATEEC에 의한 값의 48.1%(default threshold)와 45.5%(min. threshold)에 불과했다(Fig. 10).

4. 결론

지난 30여년간 토양 유실을 모의하는 데에 있어 국내뿐만 아니라 국외에서 USLE를 이용한 연구가 진행되어 왔다. 이에 USLE를 이용하는 데에 있어 국내

의 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.

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

Reference

- 김기성, 허성구, 정영상, 김지만, 임경재, 2005, 홍천군 산지농업지대의 토양침식 취약성 분석, 한국농촌계획학회, 11(2), pp.51-57.
- 박윤식, 김중건, 박준호, 전지홍, 최동혁, 김태동, 최종대, 안재훈, 김기성, 임경재, 2007, 임하댐 유역의 유사 거동 모의를 위한 SWAT 모형의 적용성 평가, 한국물환경학회지, 23(4), pp. 467-473.
- 유동선, 안재훈, 윤정숙, 허성구, 박윤식, 김중건, 임경재, 김기성, 2007, SATEEC 시스템을 이용한 객도 토양의 토성고려에 따른 도암댐 유역의

- 토양 유실 및 유사량 분석, 한국물환경학회지, 23(4), pp.518-526.
4. 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>
 5. 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>
 6. 정영상, 권영기, 임형식, 하상건, 양재의, 1999, 강원도 경사지 토양 유실예측용 신 USLE의 적용을 위한 강수 인자와 토양 침식성인자의 검토, 한국토양비료학회지, 32(1), pp.31-38.
 7. 정영상, 신재성, 신용화. 1976, 경사지 토양의 침식인자에 관하여, 한국토양비료학회지, 9(2), pp. 107-113.
 8. 정필균, 고문환, 엄기태, 1985, 토양유실량 예측을 위한 작부인자 검토, 한국토양비료학회지, 18(1), pp.7-13.
 9. 허성구, 김기성, 사공명, 안재훈, 임경재, 2005, 농촌계획학회지, 11(4), pp.67-74.
 10. 허성구, 유동선, 김재영, 김기성, 안재훈, 박윤식, 김종건, 박준호, 임경재, 최종대, 소유역 구분이 SWAT 예측치에 미치는 영향 평가, 2006, 한국관개배수학회지, 13(2), pp.55-62.
 11. 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.
 12. Foster, G. R., K. G. Renard, D. C. Yoder, D. K. McCool and G. A. Weesies, 1996, User's Guide, Soil & Water Cons. Soc.
 13. Haan, C. T., B. J. Barfield and J. C. Hayes, 1994, Design Hydrology and Sedimentology for Small Catchments. San Diego: Academic Press.
 14. Lim, K. J., M. Sagong, B. A. Engel, T. Zhenxu, J. D. Choi and K. S. Kim, 2005, GIS-based sediment assessment tool, Catena, 64, pp.61-80.
 15. Moore, I. and G. Burch, 1986a, Physical Basis of the Length-Slope Factor in the Universal Soil Loss Equation, Soil Science Society of America Journal, 50, pp.1294-1298.
 16. Moore, I. and G. Burch, 1986b, Modeling Erosion and Deposition, Topographic Effects. Trans. of the ASAE, 29(6), pp.1624-1640.
 17. Renard K. G., G. R. Foster, G. A. Weesies, D. K. McCool and D. C. Yoder, 1997, Predicting Soil Erosion by Water, A Guide to Conservation Planning with the Revised Soil Loss Equation(RUSLE), U.S. Dept. of Agriculture, Agric, Handbook No. 703.
 18. Williams, J. R., 1975, Sediment Yield Prediction with Universal Equation using Runoff Energy Factor, Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yield and Sources, U.S Department of Agriculture, Washington, D.C., pp.244-252.