

일 강우 자료를 적용한 SATEEC ver. 1.8 모형의 토양유실량 산정 적용성 평가

김교범 · 박윤식 · 김종건 · 장원석 · 최재완 · 김기성 · 최종대 · 임경재
*강원대학교 지역건설공학과

Evaluation of Sediment Yield Estimation Accuracy of SATEEC ver. 1.8 using Daily Rainfall Data

Gyobwn Kim · Youn shik Park · Jonggun Kim · Wonseok Jang · Jaewan Choi
Ki-Sung Kim · Joongdae Choi · Kyoung Jae Lim

Abstract

Because of steep topography and intensive agricultural practices at highland areas, accelerated soil erosion is expected to occur during summer monsoon period from July to September. Thus, turbid water inflow are causing degradations in water quality and ecosystem of the receiving waterbodies. The USLE-based Sediment Assessment Tool for Effective Erosion Control (SATEEC) system was developed and enhanced for soil erosion and sediment yield estimation at a watershed scale. However SATEEC ver. 1.6 couldn't be used to simulate sediment yield at temporal scale. Thus, the SATEEC 1.8 was utilized to demonstrate its time-variant soil erosion estimation capability by comparing its predicted values with those from the SWAT model. The R^2 value was 0.54 and the Nash-Sutcliffe coefficient value was 0.44 when comparing the SATEEC ver 1.8 estimated valeus with the SWAT. It was found that the SATEEC ver.1.8 system can be used to simulate time-variant soil erosion values.

Keywords : USLE, SATEEC, Time-variant R and C, SWAT, Soil Erosion, Sediment Yield

1. 서론

우리나라의 지형의 67%이상이 경사도 12% 이상의 경사지의 특성을 가지고 있으며 동고서저의 지형이다 (정 등, 2000). 또한 연평균 강우량의 2/3이상이 여름철에 집중된다. 다른 나

라와 비교할 때 연평균 강우량이 많은 편이지만 여름철에 집중되는 특성과 지형적 특성으로 인해 막대한 수자원 손실이 나타난다. 뿐만 아니라 집중되는 강우로 인한 수자원 손실과 함께 고랭지 농업이 발달한 강원도 지역은 집중된 강우의 타격으로 인해 토양입자가 분리되어

토양유실이 발생된다. 강우로 인한 토양유실 현상은 매우 자연스러운 현상이다. 하지만 농업활동에 사용된 토양은 유기화학 비료, 살충제, 제초제등의 물질이 함유되어 있는 토양이다. 이러한 토양이 토양유실로 인해 하천으로 유입된다면 탁수발생과 부영양화로 인해 수생태계의 파괴를 야기시킨다 (정 등, 1998). 이러한 환경오염의 문제와 토양유실의 문제를 해결하기 위해서는 먼저 토양유실량을 정확히 모의할 수 있는 연구가 이루어져야 할 것이다.

SATEEC 시스템은 강우침식능인자, 토양침식성인자, 식생피복인자, 작물경작인자, DEM (Digital Elevation Model)의 간단한 입력자료를 이용하여 토양유실량 및 유사량을 모의할 수 있는 시스템이다. 지난 수십년간 강우, 토성, 경사도, 경사장, 작물, 영농방법을 이용하여 연간 토양유실량 (ton/ha/year)을 산정하는 연구가 진행되어 Universal Soil Loss Equation (USLE)가 개발되어 전 세계적으로 사용되어 왔다(Wischmeier and Smith, 1978). USLE는 Field-scale모형으로 면상침식 (Sheet erosion)과 걸리침식 (Rill erosion)에 적용하여 토양유실량을 산정한다(임 등, 2003). 하지만 농경지에서 유실되어 하천으로 흘러들어가서 탁수를 발생시키는 유사량을 산정할 때는 적용할 수 없다. 그러나 SATEEC 시스템의 경우 면상침식과 세류침식 등으로 인한 토양유실량과 유달률을 고려한 유사량을 산정하는데 적용할 수 있는 시스템이다.

우리나라의 연간 강우 패턴을 볼 때 연간 강우량의 60%가 7~9월에 집중되고 있다. 강우가 집중될 때는 토양유실이 많이 일어나고 비교적 적은 양의 강우시에는 적은 양의 토양유실이 일어나지만 SATEEC ver. 1.6 은 강우의 계절

에 따른 강우 패턴을 고려하지 않고 해당 유역의 단일의 연평균 토양유실량 (ton/year)으로 산정되기 때문에 강우사상의 시간적 변화를 고려하지 못하는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 일별 강우자료를 이용하여 강우의 시간적 변화를 고려하여 토양유실량을 산정하도록 개발된 SATEEC ver. 1.8과 SWAT의 토양유실량을 모의한 값을 비교하여 SATEEC ver. 1.8의 적용성을 평가하는데 목적이 있다.

2. 연구 방법

2.1 연구 유역의 선정

본 연구의 대상지역은 강원도 평창군 도암면에 속하는 도암댐 유역에서 대관령 관측지점을 최종 유출구로 하는 소유역을 선정하였다. 유역 면적은 4.75 km²으로 도암댐 유역의 3.26%를 차지한다. 본 연구에 사용된 소유역의 토지이용은 크게 초지 4.67%, 농경지 5.18%, 시가화는 1.48%, 수역은 0.52%로 구성되며, 산림이 88.16%로 유역의 대부분을 차지하여 산악지형으로 대부분이 이루어진 강원도 지역의 특징을 잘 나타내는 소유역이다. 또한 고랭지의 기후적 특성을 이용한 농업활동이 이루어지는 지역이다. 연구 유역의 강우특성은 1983~2005년의 연평균 강우량은 1263.12 mm이며 강우가 집중되는 7~9월에 53.78%가 집중된다. 특히 태풍 루사가 발생한 2002년에는 연 총강우량 2697.10 mm중 1762.60 mm로 65.35%가 집중되었고, 태풍 매미가 발생한 2003년에는 연 총강우량 2674.00 mm중 1482.50 mm로 55.44%가 집중되었다.

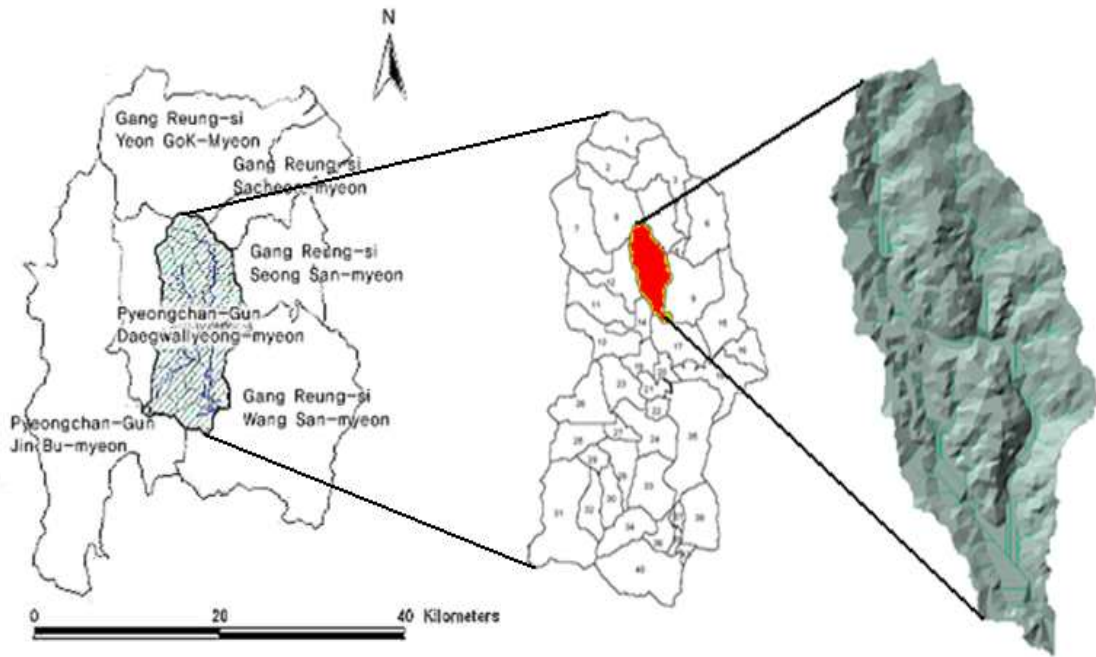


Fig. 1. Location of the Doam-dam Watershed at PyeongChang, Gangwon-do

2.2 연구 분석 방법

2.2.1. SWAT 모형 개요

SWAT 모형은 미국 농무성의 농업연구국 (Agricultural Research Service : ARS)에서 유역단위 모형이다. SWAT 모형은 미국 농무성에서 개발하여 이용해온 CREAMS 모형, GREAMS 모형 및 EPIC 모형과 같은 농업연구국 모형들을 결합하여 만든 시스템이다. GIS 기반 모형으로 수문 순환을 고려하여 자연 현상의 변이를 시-공간적 변화를 모의하는 시스템이다. SWAT은 강우-유출모형과 수질모

형의 결합된 GIS기반의 모형으로 장기유량, 수질 모의가 가능하며 미세측 지역 또한 모의가 가능하다. 미래의 인간의 개발로 인한 경작 형태, 기후, 식생 등의 변화에 대한 모의가 가능한 특징이 있다 (Arnold and Srinivasan, 1994). SWAT 모형의 입력 자료는 크게 지형자료와 기상자료로 나눌 수 있다. 지형자료인 토지이용도 (Land use), 토양도 (Soil map), 수치표고모형 (DEM)과 기상자료 (일 강수량, 기온, 풍속, 일조량, 상대습도)를 입력하여 시-공간적으로 분석하는 모형으로 위의 자료가 입력되어 출력되는 자료를 Fig. 2를 통해 볼 수 있다.

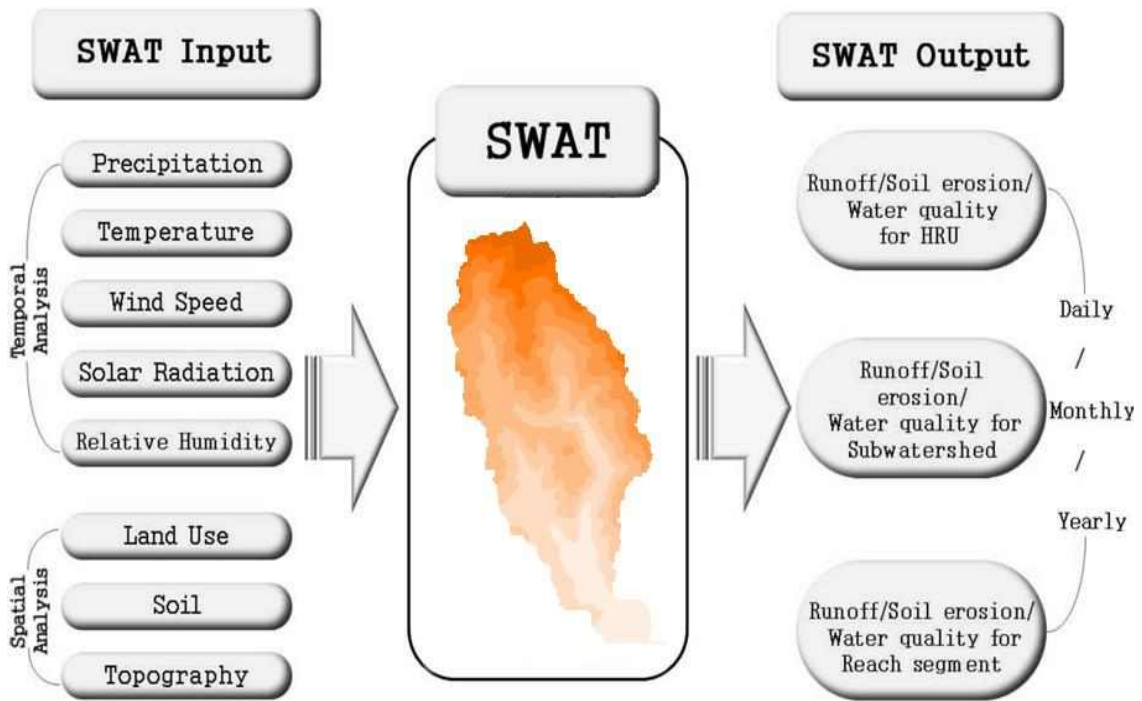


Fig. 2. Input and output data of SWAT

2.2.2. SWAT 모형 입력자료

2.2.2.1. 기상자료

SWAT 모형의 운영에 필요한 기상자료는 일 강우 (Precipitation), 일 풍속 (Wind Speed), 일 일조량 (Solar Radiation), 일 최고온도 (Maximum Temperature) · 일 최저온도 (Minimum Temperature), 일 습도 (Humidity) 이다. 1983년 1월 1일부터 2005년 12월 13일까지의 대관령 지역에서 측정된 일 강우 (mm), 일 풍속 (m/sec), 일 일조량 (MJ/m²), 온도 (°C), 일 습도 (%)의 기상데이터를 사용하였다.

2.2.2.2. 지형도(DEM)

SWAT 모형의 입력 자료인 DEM을 구축하기 위해 국립지리원 1:5,000 수치지도에서 도암댐 유역의 등고선 자료를 추출한다. 이를 Triangular Irregular Network(TIN)으로 변환

한 후, 격자 크기 5 m × 5 m의 DEM으로 변환하고 자료를 구축하여 사용하였다 (Fig 3).

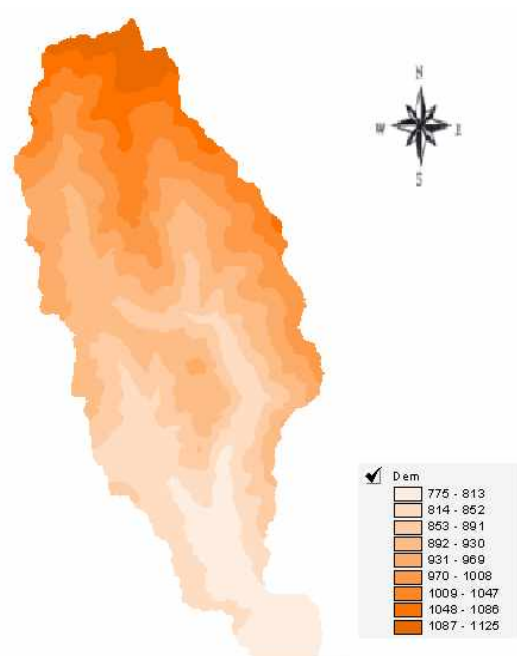


Fig. 3. DEM of Doam-dam watershed

2.2.2.3. 토양도, 토지이용도

토양도와 토지이용도의 두 자료를 이용하여 SWAT모형은 Hydrologic Response Unit (HRU)라 칭하는 수문학적반응단위를 만든다. 도암댐 유역에서 이루어지고 있는 고랭지농업으로 인해 토양유실이 발생하고 객토가 지속적으로 이루어지는 특성을 가지므로 토양도와 토

지이용도는 토양유실량을 산정하는데 매우 중요한 입력 자료이다. 본 연구에서 토양도는 농업과학기술원의 정밀토양도 (1:25,000)를 사용하였고, 토지이용도는 환경부에서 발행한 1/25,000의 대분류 수치 토지 피복도 자료를 이용하였다 (Fig. 4 (a), Fig. 4 (b)).

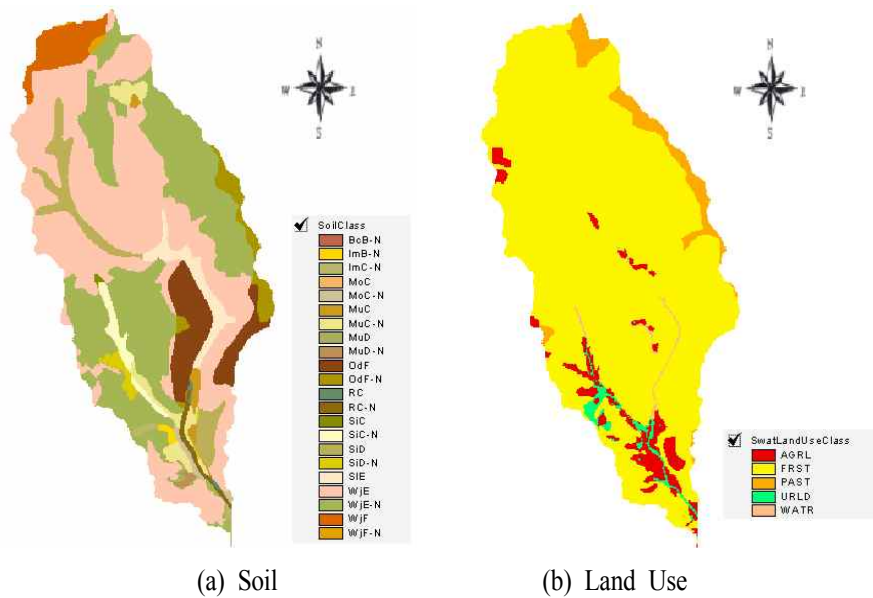


Fig. 4. Soil map, Land cover of Doam-dam watershed

2.2.3. SATEEC 모형의 개요

USLE는 토양유실량을 산정하는데 매우 실용적이며 전 세계적으로 사용되고 있다. 그러나 토양유실량을 산정할 수 있지만 토양이 하천으로 유입되는 양을 산정할 수 없다. 현재 SWAT 모형과 같은 수문/유사 모형의 개발 (Arnold et al., 1998)로 토양 유사의 발생과 이동의 많은 연구가 이루어지고 있지만 토양유실량을 산정하기 위한 입력 자료를 구축하기 위해서는 인력과 시간, 재정이 상당히 투입되어야 하며, 입력 자료를 구축하지 못할 수 있을 뿐만 아니라, 입력 자료 구축에 대한 여러 어려움으로 모형이 개발되어 있어도 실무에 적용하기에 어려울 수도 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 USLE에 필요

한 입력 자료를 이용하여 토양유실량을 산정하는 연구가 선행된 바 있다. SATEEC 시스템은 Fig. 5에서 보이는 바와 같이 USLE 모형의 입력자료 (Rainfall erosivity, Soil erosivity, Crop management, Practice factor)와 DEM만을 이용하여 유역 내 토양유실 및 유사발생을 모의할 수 있는 시스템 (Lim et al., 2005)이며, SATEEC 시스템 내의 Flow Accumulation을 이용하여 유역 내 유실된 토양이 하류로 얼마만큼 이동하는지를 산정하고 유역면적을 이용하여 산정한 유달률을 통해 토양유실량을 모의한다. SATEEC 시스템은 ArcView GIS 기반의 시스템으로 현재 인터넷 사이트를 통해 다운로드 (<http://www.EnvSys.co.kr/~sateec>) 를 제공하고 있다.

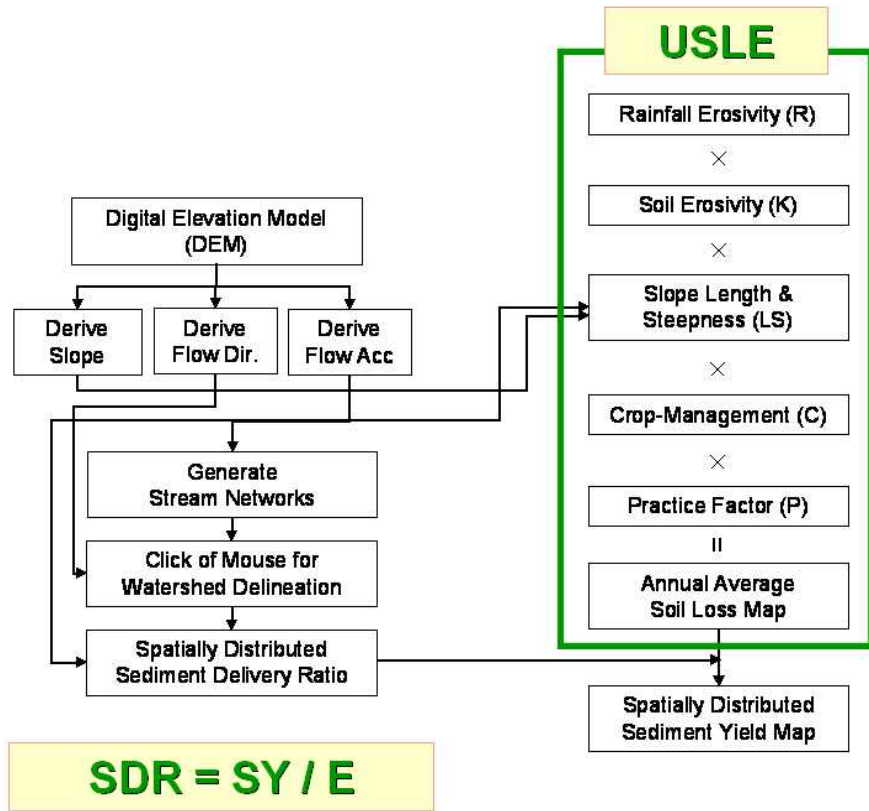


Fig. 5. Overview of the SATEEC system 1.6 (임 등, 2003)

2.2.4. SATEEC ver. 1.6 입력자료 (R, K, C, P, DEM)

2.2.4.1. 강우침식능인자 (Rainfall erosivity factor)

본 연구에서 SATEEC ver. 1.6은 정 등

(1999)의 연구에 의해 계산된 행정구역별 강우침식능인자를 이용하였다. Table 1은 해당 지역 마다 일정한 하나의 값이 적용된다. 본 연구에서 SATEEC ver. 1.6에서는 정 등 (1999)에서 제안한 대관령면의 R factor 408.5를 사용하였다 (Table 2, Fig. 6 (a)).

Table 1. USLE R factor administrative districts in Gangwon province

Administrative district	R factor	Administrative	R factor
Kangnung	297	Kosung	250
Samchok	215	Sokcho	255
Yangyang	255	Yongwol	350
Wonju	578	Inje	294
Cheolwon	400	Chuncheon	464
Hwacheon	450	Hongcheon	417
Yanggu	350	Pyongchang	269
Chongson	250	Hoengsung	400

Table 2. Precipitation and R-factor values for the universal soil loss equation on Taegwallyung (정 등, 1999)

Location			Precipitation (mm)			R-factor			
			Apr. -Nov.	Dec. -Mar	Annual.	Adjusted factor,U	Apr. -Nov	$\frac{Dec. - Mar}{R \ 1.5R}$	Annual
High land	Taegwallyung	73-96	1,4124	4219.3	1,631.8	0.595	360.5	47.9	408.5

2.2.4.2. 토양 침식성 인자 (Soil erosivity factor)

토양 침식성 인자는 토양 침식성을 정량적으로 나타낸 값으로 정 등 (1976)의 연구를 통해 Williams (1975)이 제시한 공식이 우리

나라 토양에 적용했을 때 잘 맞는다는 것을 보고하였다 (식 (1)). 본 연구에서는 농촌진흥청에서 발행한 1:25,000 정밀토양도의 점토, 실트, 모래의 함량의 구성비를 통해 K factor 값을 구하였다 (Fig 6. (b)).

$$K = (0.2 + 0.3 \exp(-0.0256 \cdot SAN(1 - (\frac{SIL}{100}))) \times (1.0 - (\frac{0.25 \cdot CLA}{CLA + \exp(3.72 - 2.95 \cdot C)})) \times (1.0 - (0.7 \frac{SM1}{SM1 + \exp(-5.51 + 22.9 \cdot SM1)})) \tag{1}$$

여기서, SAN, SIL, CLA는 모래, 실트, 점토 함량을, SM1은 1-SAN/100을 나타낸다.

2.2.4.3. 식생 피복 인자 (Crop management factor)

토양의 작물 피복에 따라 토양유실의 양의 많고 적음이 결정된다. 본 연구에서는 환경부

환경지리정보에서 배포하는 2005년 1:25,000의 대분류 수치지피복도 자료를 이용하여 정 등 (1985)의 연구에서 산정된 C factor값을 적용하였다 (Table 3, Fig 6. (c)).

Table 3. C factor for Varous 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

2.2.4.4. 작물 경작 인자 (Practice factor)

경사지에서 밭작물을 경작시 같은 작물이라도 고랑과 이랑의 방향에 따라 토양유실량이

달라진다. 작물 경작 인자 (P)는 경운방법이나 밭농사의 방향에 따라 토양침식에 영향을 미치는 값이다. Table 4는 경사도별 작물 경작 인자값을 나타낸다 (Fig. 6. (d)).

Table 4. 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

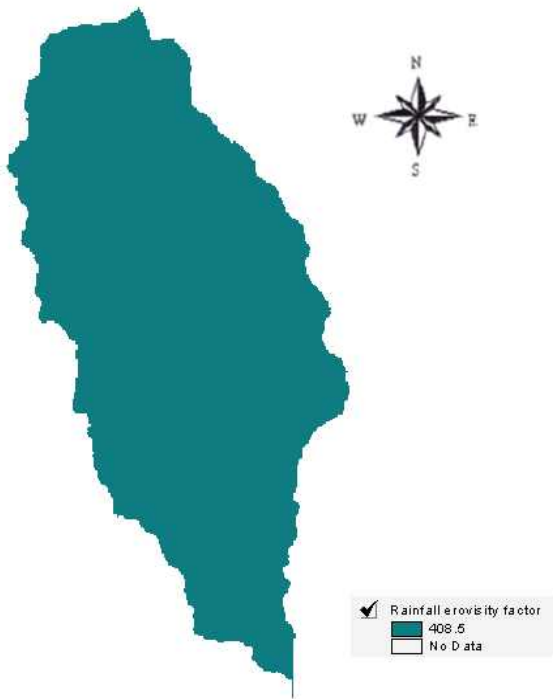
2.2.4.5. 지형자료 (DEM)와 경사도 경사장 인자 (LS factor)

경사도 경사장 인자는 DEM을 통해 시스템 내에서 경사장 (L)과 경사도 (S)가 계산되는데 경사장은 유역의 끝지점과 경사진 지점의 거리로 계산되며, 경사도는 표준 시험포에서 경사도와 비로 계산되며 USLE 기반의 입력자료인 LS factor를 바로 입력하는 방법이 아닌 가공한 DEM으로 Moore 등 (1986a, 1986b)의 방법을 이용하여 SATEEC시스템 내에서 산정한 값을 이용한다. 본 연구에서는 1:5,000 수치지도를 이용하여 5 m × 5 m 격자크기를 갖는 DEM을 구축하여 이용하였다 (Fig. 6. (e)). 경사도 경사장 인자는 토양유실의 영향

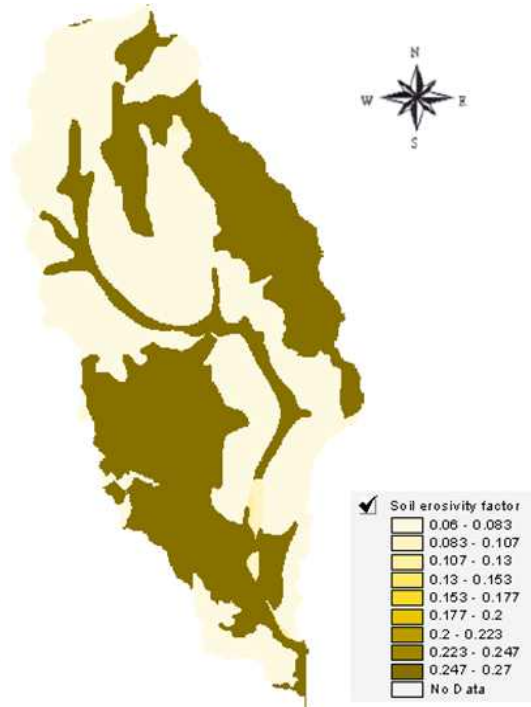
을 미치는 경사도와 경사장을 나타내는 무차원 상수로 경사장 실험에서 모의길이는 10.7 m (35 ft)에서 91.4 m (300 ft)지만 자연현상에서 세류가 일어나기 시작하는 최대 경사장 122m(400 ft)까지 사용할 수 있다 (Foster et al., 1996).

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

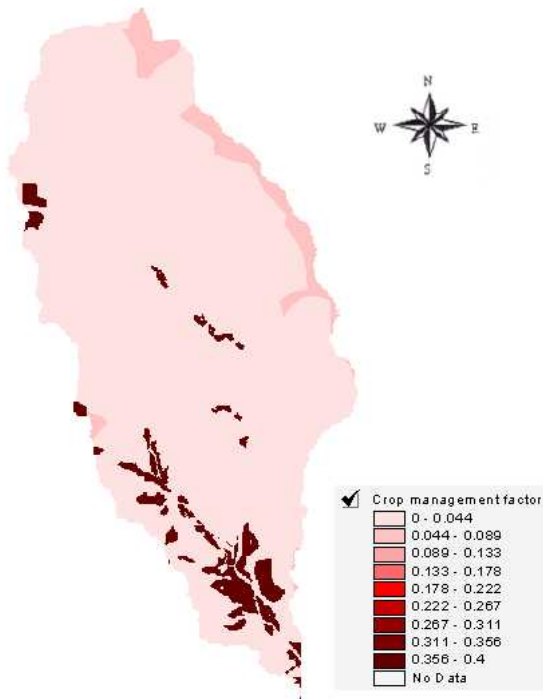
여기서, A 는 유역면적 (Flow Accumulation × 격자크기² / 격자크기) 을, θ 는 경사도의 각도를 나타낸다.



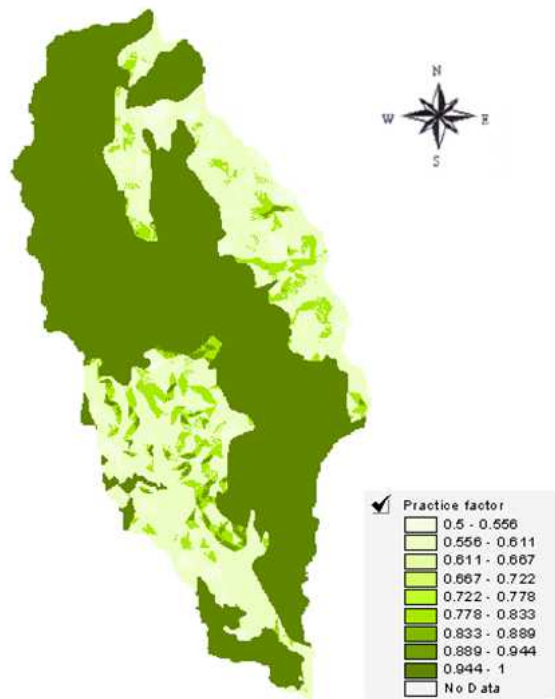
(a) R (Rainfall erosivity factor)



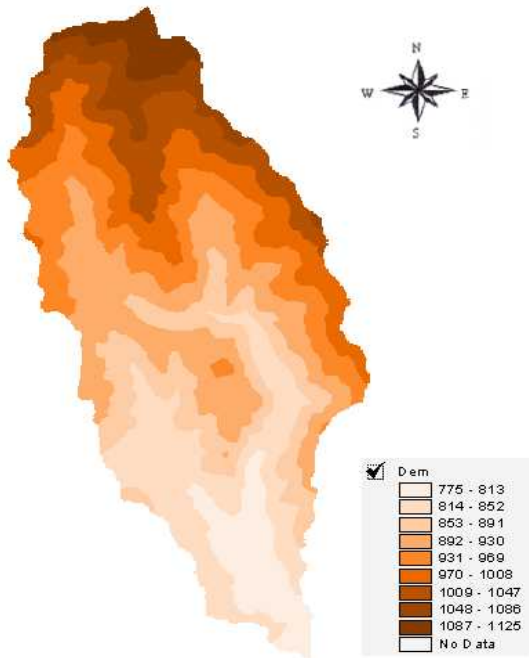
(b) K (Soil erosivity factor)



(c) C (Crop management factor)



(d) P (Practice factor)



(e) DEM

Fig. 6. R, K, C, P and DEM input datas of Study Area.

2.2.5. SATEEC ver. 1.8 일강수량

기존의 SATEEC ver. 1.6을 이용하여 토양 유사량을 구하기 위해서는 R, K, C, P, DEM의 USLE 기반의 입력 자료가 필요하다. 강우 침식능 인자는 최소 22년치의 측정 자료 (Wischmeier and Smith, 1978)로부터 얻은 장기간의 강우자료를 입력하여 장기간의 연평균 토양유사량을 산정한다. 우리나라의 강우 패턴을 볼 때 7~9월에 집중해서 비가 내리는 경향을 나타낸다. 특히 2002년 8월 말에 발생한 태풍 루사와 2003년 9월초에 발생한 중형급 태풍 매미로 인해 매년 집중되는 7~9월의 강우량보다 큰 강우량이 집중되어 토양유사로 인한 재해로 재산피해를 나타냈다. 하지만 SATEEC ver. 1.6으로 태풍 루사와 매미가 발생한 2002년과 2003년에 연평균 토양유사량으로 산정할 때 시공간적 강우의 변화를 고려하지 못하여 산정한 토양유사량은 장기간 연평균 토양유사량을 산정하기 때문에 태풍의 기후적

변화를 나타내지 못한다. 이로 인해 많은 사용자들로부터 시공간적 요소를 고려한 토양유사량 산정에 대한 연구가 요구되어왔다. 그리하여 정 등 (1983)은 월별, 연별 강우침식능인자를 산정하기 위한 식 (3), (4)을 제안하였다.

USLE 월별 강우침식능인자 :
 $R=0.0378 * X^{1.4190}$ 식 (3)

USLE 연별 강우침식능인자 :
 $R=0.0115 * Y^{1.4947}$ 식 (4)

여기서, X는 월별 강우량, Y는 연별 강우량을 나타낸다.

위 식을 이용하여 SATEEC ver. 1.8에서는 시간적 변화를 고려한 R factor를 산정한다. SATEEC ver. 1.6에 입력하는 R factor를 대신하여 Daily precipitation data가 dbf파일 형식으로 들어간다 (Fig. 7). Daily precipitation data의 입력으로 강우의 패턴의 시간적 변화를 고려하여 (Fig. 8) 월별, 연별 토양유사량을 모의할 수 있게 된 발전된 시스템이 개발되었다 (임 등, 2003, Fig. 9).

19830101	0.00	19830117	0.00
19830102	0.00	19830118	2.40
19830103	0.00	19830119	0.00
19830104	0.00	19830120	0.00
19830105	0.00	19830121	0.00
19830106	0.00	19830122	0.00
19830107	0.10	19830123	0.00
19830108	0.00	19830124	0.00
19830109	0.00	19830125	0.00
19830110	0.00	19830126	0.00
19830111	0.20	19830127	0.00
19830112	0.00	19830128	0.00
19830113	0.00	19830129	0.20
19830114	0.20	19830130	17.50
19830115	0.00	19830131	0.00
19830116	0.00	19830201	2.30

Fig. 7. Input Daily precipitation data.

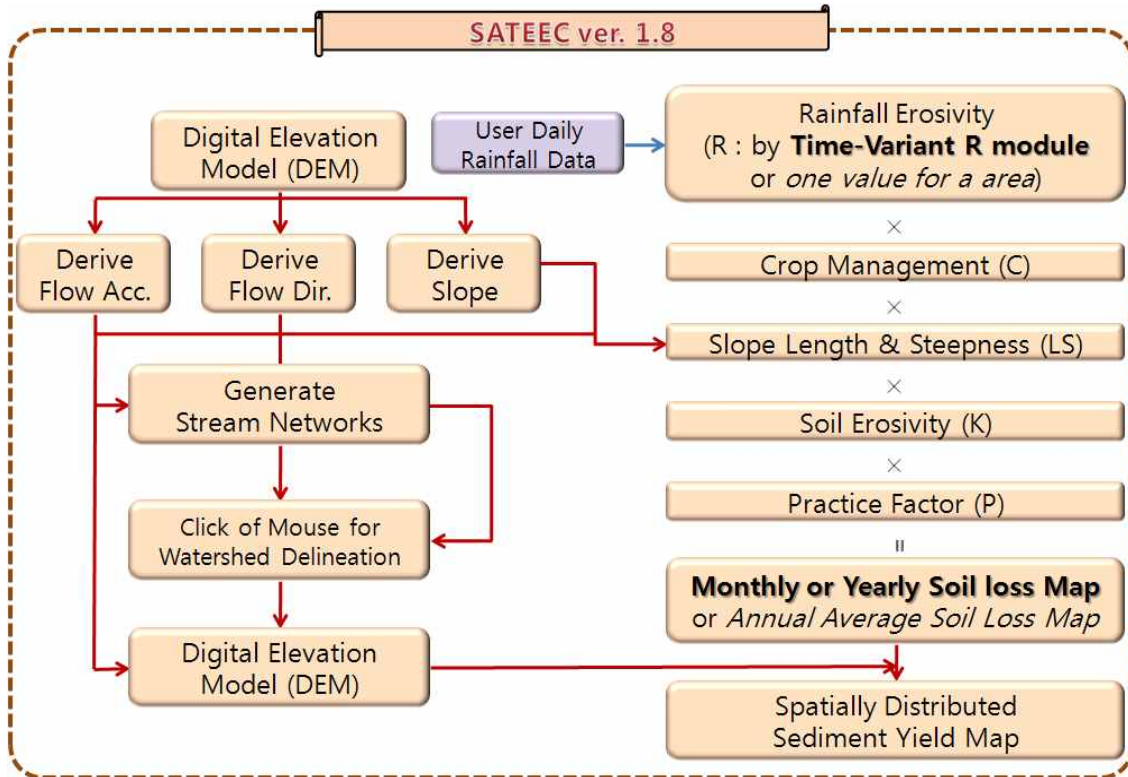


Fig. 8. SATEEC ver. 1.8 Overview.

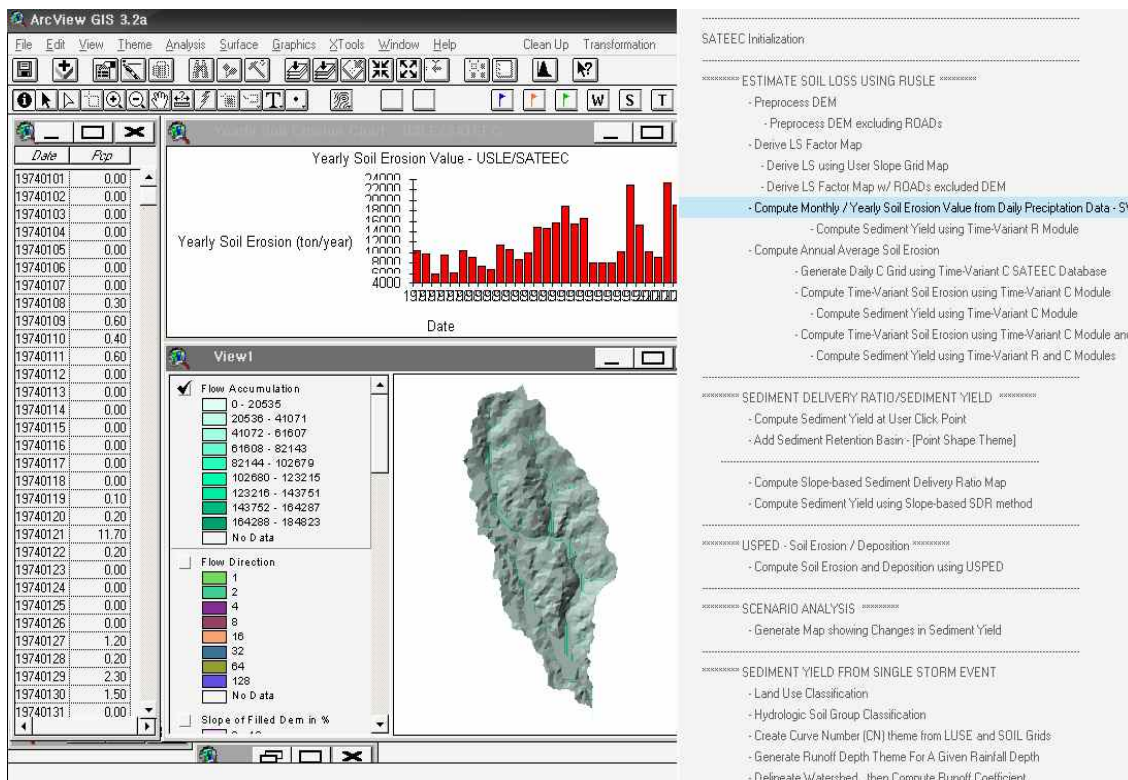


Fig. 9. SATEEC ver. 1.8 System Interface.

3. 결 과

본 연구에서는 도암댐 유역의 소유역을 선정하여 SWAT으로 산정한 토양유실량값을 SATEEC ver. 1.6 과 SATEEC ver. 1.8의 토양유실량값과 비교하여 강우의 시간적 변화를 고려한 SATEEC ver. 1.8의 적용성을 평가하였다. Fig 8에서 볼 수 있듯이 SATEEC ver. 1.6을 이용하여 1983년부터 2005년까지 10600.7 (ton/year)의 값으로 장기간 평균 토양유실량값을 얻었다. 그러나 장기간 연평균 토양유실량은 앞에서 언급했듯이 강우의 시간적 변화를 고려하지 못하는 것을 알 수 있다. SATEEC ver. 1.8은 강우의 변화를 고려하여 월별, 연별 토양유실량을 산정할 수 있는 모듈이 추가 되어 이전 버전의 입력자료 중 R factor를 대신하여 Daily precipitation data를 입력하여 월별, 연별 강우의 시간적 변화의

따른 결과값을 얻었다 (Fig. 10).

SATEEC ver. 1.6은 장기간 연평균 토양유실량값이기 때문에 Fig. 9에서처럼 한 개의 값으로 표시된다. 하지만 시간적 변화를 고려하는 SATEEC ver. 1.8은 강우의 패턴에 따른 변화가 고려되어 이에 따른 모의기간 내 토양유실량 변화를 보였다. SWAT 모형 역시 시간적 변화를 고려하여 모의기간 내 이에 의한 토양유실을 보였다.

토양 유실량 산정 모형으로 널리 사용되는 SWAT과 강우의 시간적 변화를 고려한 모듈을 추가한 SATEEC ver. 1.8을 비교한 결과 결정계수 (R^2)는 0.54, 유효지수 (EI)값은 0.44의 값을 얻었다. Ramanarayanan 등 (1997)은 결정계수가 0.5 이상, 유효지수가 0.4 이상이면 자연현상을 모형이 모의 하였을 때 잘 모의하였다는 것을 제안하였다. 본 연구에서는 SATEEC 시스템과 SWAT 모형을 이용하여 비

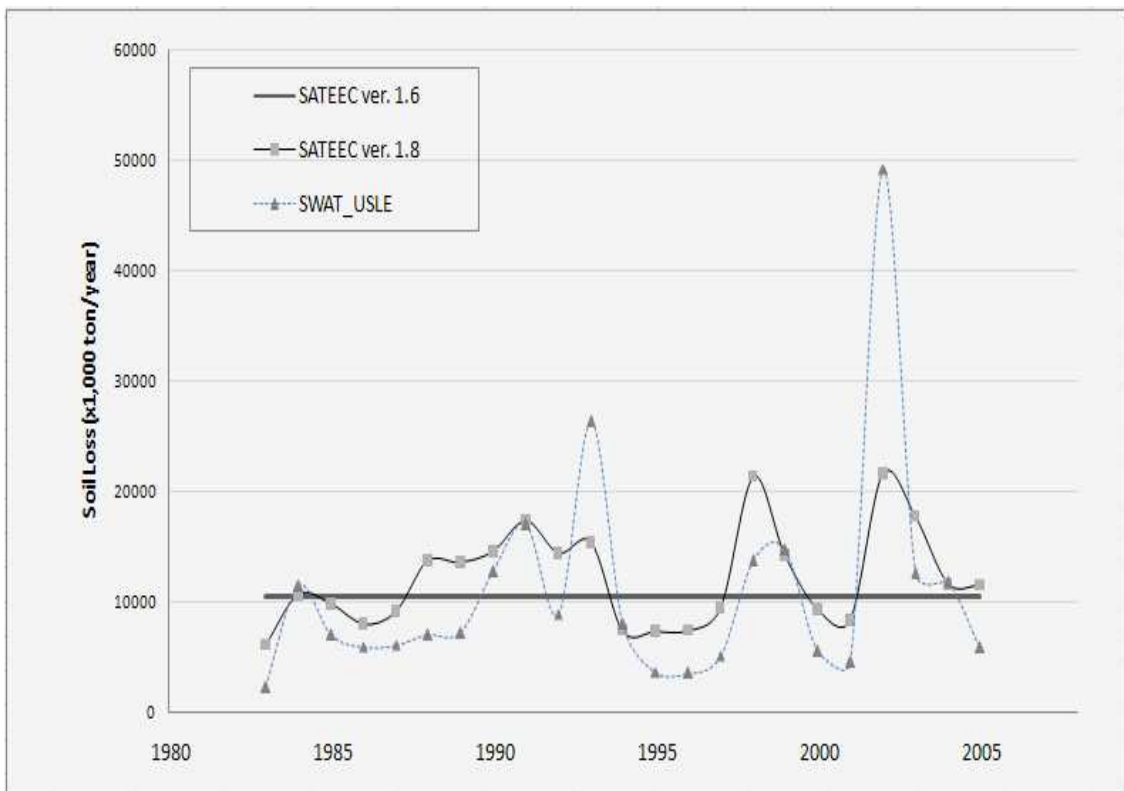


Fig. 10. Comparison of SWAT using default threshold value and SATEEC estimated soil loss.

교하여 Fig. 11에서 R2값은 0.54, EI값은 0.44로 Ramanarayanan 등(1997)이 제안한 결정계수와 유효지수 보다 높은 값이 산정되어 두 모형이 좋은 상관관계를 보인 것으로 판단 된다.

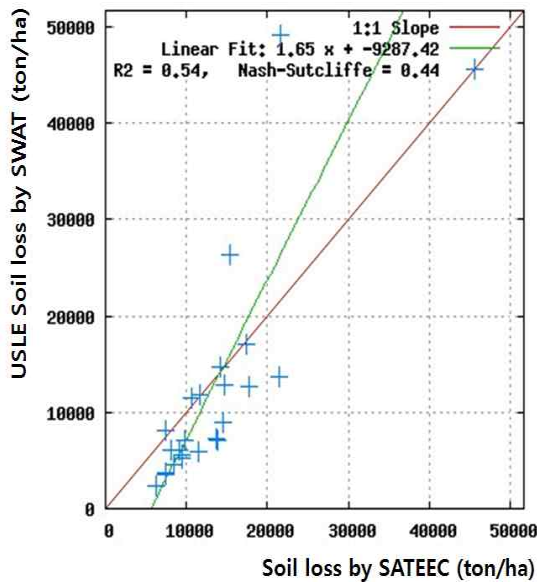


Fig. 11. Comparison of SWAT USLE estimate soil loss with SATEEC estimate soil loss.

4. 결 론

지난 수십 년간 토양유실량을 산정하기 위한 연구가 이루어지고 USLE를 이용하여 토양유실량을 산정할 때 각 인자인 R, K, C, P, DEM을 우리나라의 강원도 지역과 같은 경사도가 큰 지형에 보다 적용성있는 USLE를 산정하기 위한 연구가 이루어지고 있다 (정 등, 1999). 임 등 (2003)에 의해 개발된 SATEEC 시스템은 USLE에 들어가는 인자를 입력 자료로 사용하기 때문에 입력자료 구축이 SWAT보다 쉽고 모형을 사용하는 방법도 사용자 중심으로 편리하여 신속성과 실용성의 강점을 가지고 있다. SWAT 모형은 유역단위

(Watershed-scale)이지만 SATEEC 시스템은 시험포 단위 모형 (Field-Scale)의 차이점을 가진다. 또한 강우의 시간적 변화를 고려하여 모듈을 추가한 SATEEC ver. 1.8로 월별, 연별 토양유실량을 산정할 수 있게 되어 사용자들의 요구를 충족시켜주었다. 결과에서 보듯이 1993년과 2002년의 데이터 결과값에서 차이를 보였지만 R2는 0.54, EI값은 0.44의 결과로 SATEEC 시스템과 SWAT 모형의 결과가 유사하게 나와 SATEEC 시스템으로 토양유실량값을 도출할 수 있는 적용성을 볼 수 있다. 본 연구에서 식생피복인자는 식생지역의 토양 유실량과 나지의 토양유실량의 비로 나타난 값으로 적용했지만 식생피복인자 또한 시간적 변화에 따른 식생변화를 고려하여 개선된 모듈을 개발한다면 자연현상에 가까운 값을 모의할 수 있을 것을 기대한다. 또한 SATEEC 시스템과 SWAT 모형의 비교를 통한 적용성 평가를 하였지만, 토양유실량의 실측 데이터와의 보정 및 검정과정을 수행하여 시스템의 정확성을 평가한다면 현 SATEEC 시스템의 적용성을 보다 정확하게 평가할 수 있을 것을 기대한다.

<참고문헌>

1. 임경재, 최종대, 김기성, 사공명, Engel, B. A. (2003), 소유역의 효과적인 침식조절을 위한 유사평가 툴(SATEEC)의 개발, *한국농공학회지*, 45(5) pp. 85-96
2. 정영상, 신재성, 신용화(1976). 경사지 토양의 침식인자에 관하여, *한국토양 비료학회지*, 9(2), pp. 107-113.
3. 정영상, 양재의, 박철수, 권영기, 주영규 (1998). 북한강 울문천 소유역에서 수질 변화와 농업활동에 의한 N,P 부하량 韓土

- 肥誌 31(2) pp. 170-176.
4. 정영상, 권영기, 임형식, 하상건, 양재의 (1999). 강원도 경사지 토양 유실 예측용 신USLE의 적용을 위한 강수 인자와 토양 침식성 인자의 검토, 韓土肥誌 32(1) pp. 31-38.
 5. 정종배, 김민경, 김복진(2000), 복숭아 과수원에서 측정된 강우에 의한 질소와 인의 지표면 유실, 한국농화학회지, 43(2), pp. 124-129.
 6. 정필균, 고문환, 엄기태(1985). 토양유실량 예측을 위한 작부인자 검토, 한국토양비료학회지, 18(1), pp. 7-13.
 7. 허성구, 김재영, 유동선, 김기성, 안재훈, 윤정숙, 임경재(2006). 객토를 고려한 도암댐 유역에서의 수문 및 유사 거동 모의, 한국농공학회 발표 논문집, pp.3-4.
 8. Arnold, J. G., Srinivasan, R. (1994). Integration of a BASIN-SCALE Water Quality Model with GIS. Water Resources Bulletin. *American Water Resources Association*, pp. 453-462.
 9. Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S., Williams, J. R. (1998). Large are hydrologic modeling and assessment part I: model development. *Journal of American Water Resources Association* 34(1) pp. 73-89.
 10. Foster, G. R., Renard, K. G., Yoder, D. C., McCool, D. K. and Weesies, G. A., (1996). *Users guide*, Soil & Water Cons. Soc.
 11. Lim, K. J., Sagong, M., Eigel, B. A., Zhenxu, T., Choi, J. D. and Kim, K. S. (2005). GIS-based sediment assessment tool, *Catena*, 64, pp. 61-80.
 12. Moore, I. and Burch, G., Physical Basis of the Length-Slope Factor in the Universal Soil Loss Equation. (1986a). *Soil Science Society of America Journal*, 50, pp. 1294-1298
 13. Moore, I. and Burch, G., Modeling Erosion and Deposition : Topographic Effects. (1986b). *TRANS os ASAE*, 29(6), pp. 1624-1630, 1640.
 14. Wischmeier, W. H., Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses. A Guide to Conservation Planning. *The USDA Agricultural Handbook* No. 537.
 15. Ramanarayanan, T. S., Williams, J. R., Dugas, W. A., Hauck, L. M. and McFarland, A. M. S. (1997). Using APEX to identify alternative practices for animal waste management, *Minneapolis*, MN, Paper No. 97-2209.
 16. 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.