

## 일강우를 고려한 SATEEC R모듈 개발

장춘화 · 류지철 · 강현우 · 금동혁 · 김영석<sup>1</sup> · 박화용<sup>2</sup> · 김기성 · 임경재\*

강원대학교 지역건설공학과, <sup>1</sup>한국건설기술연구원 건설환경연구실, <sup>2</sup>포스코건설 물환경사업본부

### Development of SATEEC R Module using Daily Rainfall Data

Chun Hwa Jang, Jichul Ryu, Hyunwoo Kang, Donghyuk Kum, Youngsug Kim<sup>1</sup>, Hwa Yong Park<sup>2</sup>,  
Ki Sung Kim, and Kyoung Jae Lim\*

*Department of Regional Infrastructures Engineering, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea*

*<sup>1</sup>Construction Environment Research Division, Korea Institute of Construction Technology, Goyang 411-712, Korea*

*<sup>2</sup>Water&Environment Division, POSCO E&C, Incheon 190-1, Korea*

Universal Soil Loss Equation (USLE) has been used to estimate potential long-term soil erosion in the fields. However, the USLE does not estimate sediment yield due to lack of module considering sediment delivery ratio (SDR) for watershed application. For that reason, the Sediment Assessment Tool for Effective Erosion Control (SATEEC) system was developed and applied to compute the sediment yield at watershed scale. However, the R factor of current SATEEC Ver. 2.1 was estimated based on 5-day antecedent rainfall, it is not related with fundamental concept of R factor. To compute R factor accurately, the energy of rainfall strikes should be considered. In this study, the R module in the SATEEC system was enhanced using formulas of Williams, Foster, Cooley, CREAMS which could consider the energy of rainfall strikes. The enhanced SATEEC system ver. 2.2 was applied to the Imha watershed and monthly sediment yield was estimated. As a result of this study, the  $R^2$  and NSE values are 0.591 and 0.573 for calibration period, and 0.927 and 0.911 for validation period, respectively. The results demonstrate the enhanced SATEEC System estimates the sediment yield suitably, and it could be used to establish the detailed environmental policy standard using USLE input dataset at watershed scale.

**Key words:** Sediment yield, Soil loss, SATEEC, USLE, R module

## 서 언

토양유실은 무분별한 토지개발사업, 인위적인 방목, 지나친 영농활동 등에 의하여 가속화되고 있고, 이는 농경지 유실, 제방붕괴, 산사태 등으로 나타나 하천에 심각한 탁수 문제를 발생시켜 최근 환경적, 생태적, 사회적문제로 대두되고 있다. 이러한 탁수문제는 여름철 집중되는 강우 현상과 경사도가 급한 지형적 특성, 그리고 하천 인근에 위치한 다수의 농경지 등에 의해 가속화되고 있으며, 특히 임하댐 유역의 경우 2002년 태풍 루사와 2003년 태풍 매미로 인한 집중강우의 영향으로 다량의 토양이 유실되어 심각한 탁수문제를 일으킨 바 있다 (Park et al., 2007). 이에 정부에서는 탁수문제를 해결하기 위해 단기대책으로 852억 원 (2005~2007년), 장기대책으로 1,479억 원 (2008~2015년)

등 총 2,331억 원의 예산을 배정하여 탁수저감사업을 추진하고 있다 (Choi et al., 2007). 또한 정부에서는 탁수문제를 해결하기 위하여 1975년 상수원보호구역을 지정하였고 1998년 한강특별종합대책을 통한 수변구역을 지정하여 현재까지 시행 중에 있으며 (Kim et al., 2011), 2002년 7월에 4대강 특별 관리법에 따라 낙동강, 금강, 섬진강, 영산강 상수원댐의 상류지역 양안에도 수변구역을 지정하도록 하였다.

그러나 이러한 정부의 노력에도 불구하고 하천의 탁수문제는 여전히 심각한 문제로 대두되고 있으며, 이를 보다 효과적으로 해결하기 위해서는 하천주변의 토양유실평가가 선행되어야 한다 (Kang et al., 2010; Woo et al., 2010). 토양유실평가를 위해서는 장기간 모니터링을 통하여 강우타격이나 우수작용으로 발생된 오염물의 이동경로를 파악하고, 유역의 각 소 유역 출구지점에서 유출되는 토양유실량에 대한 분석이 필요하다 (Park et al., 2007). 그러나 하천내 토양유실량을 실측하기 위해서는 많은 예산, 인력, 장비가 필요하고, 정확한 토양유실량을 측정하는 것은 현실적으

접수 : 2011. 11. 18 수리 : 2011. 12. 2

\*연락처 : Phone: +82332506468

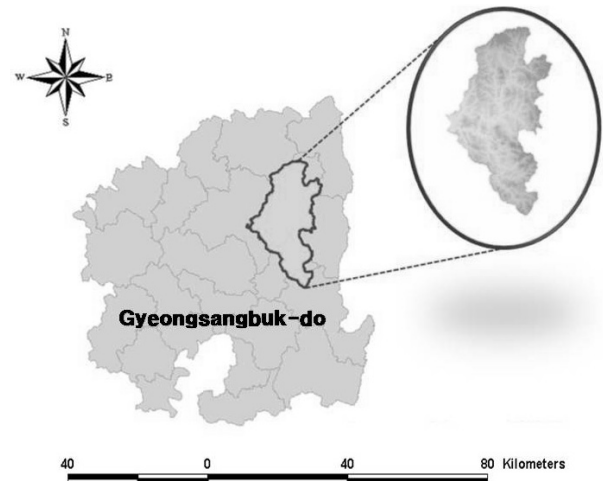
E-mail: kjlim@kangwon.ac.kr

로 불가능하다. 이에 하천주변의 토양유실평가를 위하여 토양유실량 산정이 가능한 Universal Soil Loss Equation (USLE) 모형이 전 세계적으로 널리 사용되고 있으며, Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE)모형, Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)모형 등으로 다양한 모형 개량이 이루어지고 있다. 하지만 USLE모형은 시험포 단위의 토양유실 산정 모델이기 때문에 토양유실 발생원 및 유사발생의 공간적 분포 특성을 고려하지 못한다는 한계점이 있다 (Woo et al., 2010). 따라서 이러한 한계점을 해결하기 위하여 Lim et al. (2005)과 Park et al. (2010)은 Sediment Assessment Tool for Effective Erosion Control (SATEEC) ArcView GIS 시스템을 개발하였으며, SATEEC System은 토양유실의 공간적 특성을 고려할 수 있고 USLE모형의 입력 자료인 Rainfall-Runoff erosivity factor (R), Soil erodibility factor (K), Crop and Management factor (C), and Practice factor (P)와 Digital Elevation Model (DEM)만으로 토양유실을 평가, 분석할 수 있다. 또한, 면적이나 경사, Genetic Algorithm-Sediment Delivery Ratio 모듈 (GA-SDR 모듈)을 사용하여 다양한 유달률 평가가 가능하고, 유역 임의점과 유역최종지점까지의 유사량 평가가 가능하므로 다양한 유역에 적용되어 모형의 평가가 이루어 졌다 (Jang et al., 2009; Kang et al., 2010; Park et al., 2010). 하지만 GA-SDR SATEEC System의 경우 단일 강우에 따른 토양유실의 평가를 할 수 없어 한국과 같이 여름철 집중호우 특성을 가진 유역에 적용하기에는 많은 한계점을 가지고 있다. 이러한 한계점을 개선하기 위하여 Woo et al. (2010)은 단일 강우에 따른 토양유실 평가를 할 수 있도록 일단위 R모듈을 적용한 SATEEC System ver. 2.1을 개발하였다. 그러나 SATEEC System ver. 2.1의 경우 R모듈을 통한 R값 산정과 정에서 5일선행강우량을 적용하여 선행강우에 의한 토양수분을 고려했다는 점에서 강우타격에너지를 뜻하는 R값의 개념과는 상이하다고 분석되어 R모듈의 개선이 필요할 것으로 판단되었다.

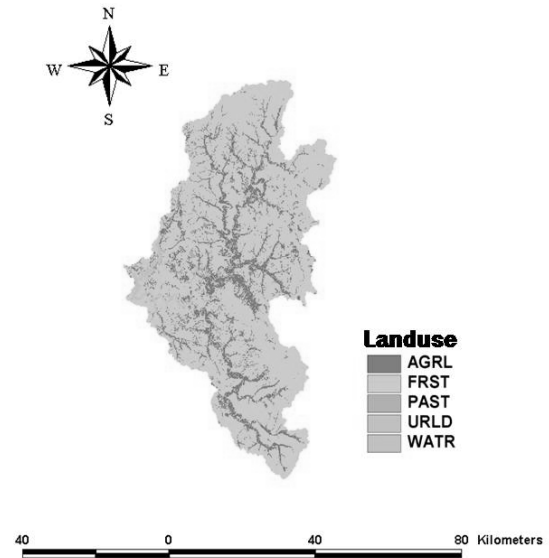
따라서, 본 연구의 목적은 SATEEC System ver. 2.1의 강우인자산정 R모듈 대신 일강우량을 고려하여 강우에 대한 영향을 고려할 수 있는 SATEEC R모듈을 개발하고 이를 임하댐 유역에 적용하여 개발된 모듈의 적용성을 평가하는데 있다.

## 재료 및 방법

**연구대상지역** 본 연구의 대상유역은 낙동강수계에 위치한 경상북도 안동시 임하댐유역으로 북위 35°35′~36°00′, 동경 127°20′~127°45′에 위치하며, 유역전체면적은 1,361 km<sup>2</sup>이며, 낙동강유역 면적의 5.7%를 차지하고 있다 (Fig. 1 (a)).



(a) Location of Imha Watershed



(b) Landuse

**Fig. 1. Location and land use at Imha watershed.**

임하댐유역의 경사는 40~60%가 전체유역의 33%를 차지할 정도로 경사가 급한 지형이다. 그리고 Fig. 1 (b)에서 볼 수 있듯이 하천주변에 농경지 면적이 넓게 분포하고 있어 태풍과 같은 집중강우발생시 탁수 문제에 취약하며, 실제로 2002년 태풍 루사와 2003년 태풍 매미에 의한 영향으로 최고 1,220 NTU (Nephelometric Turbidity Unit)까지 하천의 탁도가 증가된 바 있다 (Lee et al., 2008).

**SATEEC 시스템의 개요** 토양유실의 문제가 전 세계적인 문제로 인식되면서 Wischmeier and Smith (1978)는 토양유실 산정에 대한 다양한 모니터링을 통하여 USLE모형을 개발하였으나, USLE모형은 시험포 단위모형이기 때문에 유역 내 토양유실에 대한 발생원 및 유사발생의 공간적 특성을 고려할 수 없다는 한계점을 가지고 있다. 따라서 이

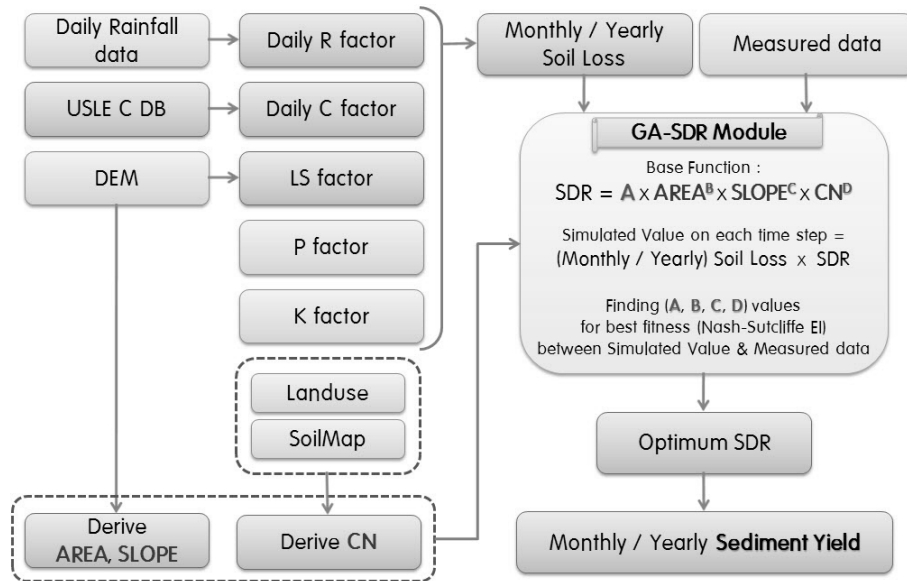


Fig. 2. Overview of the SATEEC System ver. 2.1.

러한 한계점을 해결하기 위하여 SATEEC ArcView System 이 Lim et al. (2005)에 의해 개발되었고 SATEEC System은 다양한 모듈 개선으로 SATEEC System ver. 2.1까지 개발되었다 (Fig. 2). SATEEC System ver. 2.1은 DEM을 통하여 LS값을 산정하고 LS값 산정 결과와 USLE 입력자료를 사용하여 토양유실량을 모의한다. 그리고 유역의 최종 유출구나 임의의 지점에서 발생하는 유사량을 평가하기 위해 GA-SDR모듈을 사용하여 유달률을 산정하며, 토양유실량에 대한 유달률을 고려하여 유사량을 평가하도록 하였다. 그리고 작물생육과정에 따른 정확한 토양유실량과 유사량 평가를 위해서 지표피복변화를 고려할 수 있는 Time-Variant C Module을 사용하였으며, 이 모듈에 포함되는 토지이용패턴은 주거 지역, 산림, 나지 등이며 20여 가지 작물 생육에 따른 DB가 구축되어 있다 (Park et al., 2010). 또한, 태풍 등 집중강우 영향에 의한 정확한 토양유실량 산정을 위하여 일단위의 R값 산정이 가능한 R모듈을 사용하였다.

SATEEC System ver. 2.0에 적용된 R모듈은 Jung et al. (1983)이 제시한 R값 산정공식 식 (1), (2)에 바탕을 두고 있다. 따라서 일단위의 R값 산정과 일단위의 토양유실량, 유사량 산정을 할 수 없다는 한계점이 가지고 있었다. Jung et al. (1983)은 우리나라 51개 지역의 21년간의 강우데이터를 바탕으로 식 (1), (2)를 정립하였으며, 식 (1)은 월강수량에 대한 R값 산정공식을 나타내고 식 (2)는 연강수량에 대한 R값 산정공식을 나타낸다.

월 강수량

$$R = 0.0378X^{1.4190} \quad (1)$$

연 강수량

$$R = 0.0115Y^{1.4947} \quad (2)$$

위 식에서 R은 USLE R값, X는 월단위 강수량의 합 (mm), Y는 연단위 강수량의 합 (mm)이다 (Jung et al., 1983).

SATEEC System ver. 2.0의 한계점을 보완하기 위하여 Woo et al. (2010)은 강우가 내린 시점 이전의 선행강우에 의한 유역 내 토양수분을 고려할 수 있는 일단위 R모듈 적용한 SATEEC System ver. 2.1을 개발하였다. SATEEC System ver. 2.1에서는 식 (3)에 의해 R값을 산정하며, Daily R<sub>5</sub>는 일단위 R값, 5 Day Antecedent Rainfall은 일별 5일 선행 강수량, Monthly 5 Day Antecedent Rainfall은 5일 선행 강수량을 월단위로 합한 값이다. Monthly USLE R값은 식 (1)을 이용하여 산정한 월 USLE R값을 뜻하고, 0.172는 보정계수로 기존 R값과 5일 선행강수량을 이용하여 산정한 R값 사이의 환산비를 나타낸다.

$$Daily R_5 = \frac{5 \text{ Day Antecedent Rainfall}}{\text{Monthly 5 Day Antecedent Rainfall}} \times \text{Monthly USLE Factor} \times 0.172 \quad (3)$$

**SATEEC 시스템의 입력자료** 토양인자인 K값은 토양의 고유한 침식성을 정량적으로 표시한 것으로 토양의 물리적, 화학적 특성에 따라 좌우되며, 이는 토양의 구조와 투수성, 유기물과 모래의 관계에 관련 있다. 본 연구에서는 MUSLE 공식에서 K값을 산정하였으며, 활용한 식은 식 (4)과 같다.

$$K = (0.2 + 0.3 \exp(-0.0256 SAN(1 - (\frac{SIL}{100}))) \times (1.0 - (\frac{0.25 CLA}{CLA + \exp(3.72 - 2.95 C)})) \times (1.0 - (0.7 \frac{SNI}{SNI + \exp(-5.51 + 22.9 SNI)})) \quad (4)$$

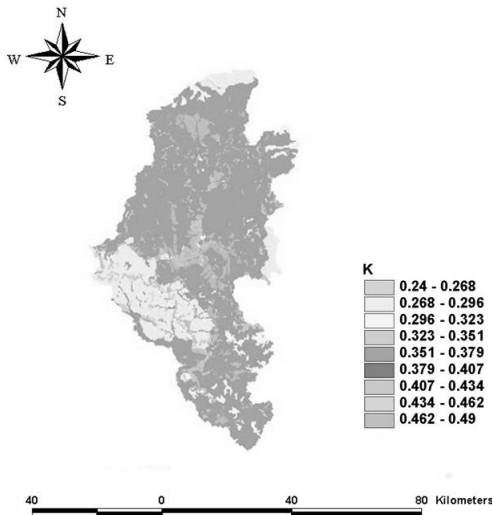
위 식에서 SAN, SIL, CLA는 모래, 실트, 점토 함량 (%)이며, SNI는  $1 - \frac{SAN}{100}$ 이다. 본 연구에서는 농촌진흥청에서 발행한 1:25000 정밀토양도의 점토, 실트, 모래의 함량의 구성비를 통해 K값을 산정하였다 (Fig. 3).

작물피복인자인 C값은 시간이 지남에 따라 작물 생육과정을 평가하여 지표피복의 변화를 고려할 수 있는 Time-Variant C Module을 사용하였으며, 임하댐의 경우 농업지역, 산림, 초지, 도시주거지역의 토지이용형태를 가지므로 이에 해당하는 C값을 산정하여 유사량 평가에 적용하였다.

작물경작인자인 P값은 경작방법과 보전영농시설 등에 의한 토양침식량의 감소를 뜻하는 값으로 Park (1999)은 토지용과 경사도에 따른 경작방법인자를 제한한 바 있다. 본 연

**Table 1. 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	

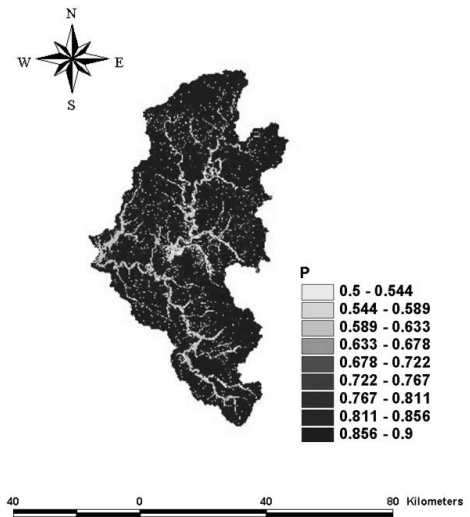


**Fig. 3. K (soil erosivity).**

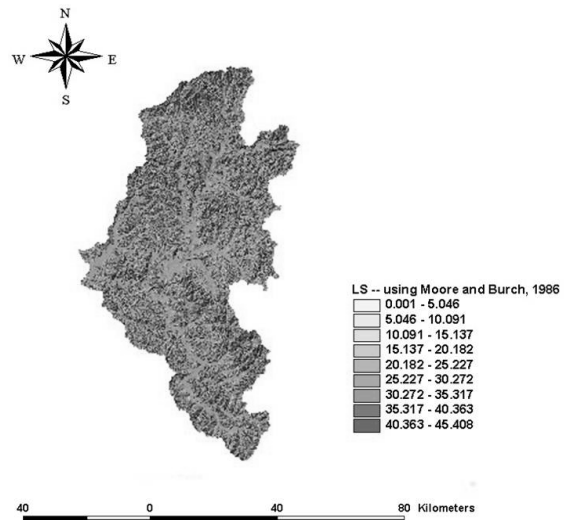
구에서는 Table 1의 토지이용별 경작인자 값을 사용하였다 (Fig. 4).

강우인자인 R값은 일단위의 강우 자료를 사용하였으며, 본 연구에서 개발한 R 모듈을 적용하여 R값을 산정하였다. 강우자료의 경우 임하댐 유역 내에 위치하고 있는 진보 강우 관측소의 1999년부터 2008년까지의 강우자료를 사용하였다.

경사도와 경사장 인자는 각각 USLE L factor와 USLE S factor로 나타내며, LS로 표기된다. 경사장은 유역의 끝지점에서 경사진 지점까지의 거리를 말하고 표준 시험포에서의 길이 22.13m의 비로 나타내며, 경사도의 경우 표준 시험포에서의 경사도 9%와의 비로 나타낸다 (Park et al., 2007). 본 연구에서는 경사장과 경사도 인자를 나타내는 LS값을 산정하기 위해 DEM을 사용하여 SATEEC System 상에서 식 (5)의 방법을 사용하였다 (Fig. 5). DEM을 이용하여 LS값을



**Fig. 4. P (practice factor).**



**Fig. 5. LS (slope length and steepness).**

산정하기 위해서는 RUSLE User Guide (Foster et al., 1996)를 따른다. 본 Guide에는 경사장의 실험에 의한 길이는 10.7 m ~ 91.4 m이나 자연 상태에서 세류가 일어나기 시작하는 최대 경사장 122 m를 사용할 수 있다고 제시되어 있다.

$$LS = \left(\frac{A}{22.13}\right)^{0.6} \left(\frac{\sin\theta}{0.0896}\right)^{1.3} \quad (5)$$

**일단위 강우인자 (R값) 산정 모듈 개발** 현재 SATEEC

System ver. 2.1의 R모듈은 일단위 강우량을 사용하여 R값 산정이 가능하고 태풍과 같은 집중강우를 고려할 수 있는 방법이다. 이 방법을 이용할 시 강우타격에너지를 의미하는 R값과는 상관성이 낮은 선행 강우에 대한 토양수분을 고려하는 점에서 정확한 R값을 산정하는데 한계점이 있다고 분석되어 기존의 R 모듈을 개선하고자 하였다. 따라서 이러한 한계점을 해결하기 위하여 일단위 강우량을 이용하여 R값을 산정하는 Williams (Williams, 1975), Foster (Foster et al., 1977), Cooley (Cooley et al., 1980), CREAMS (Knisel, 1980)의 식을 기반으로 R모듈을 개발하였다. 식 (6)~(9)은 일단위 R값을 산정하기 위해 사용한 식이며, 식 (6)~(9)은 각각 Williams, Foster, Cooley, CREAMS의 방법을 나타낸다. R값 산정식에서 V는 유역유출용량 (m<sup>3</sup>), Q<sub>p</sub>는 유역침투 유출량 (m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>), R<sub>st</sub>는 EI<sub>30</sub>, V<sub>u</sub>는 유출량 (mm), σ<sub>pu</sub>는 침투유출량 (mm h<sup>-1</sup>), V<sub>R</sub>은 강우용량 (in), I<sub>30</sub>는 30분 강우강도, I는 시간당 강우강도 (in hr<sup>-1</sup>)이다.

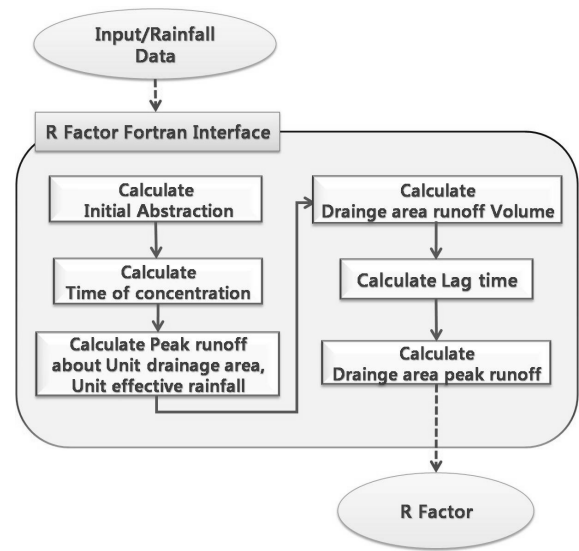
$$R_w = 9.05 (VQ_p)^{0.56} \quad (6)$$

$$R_m = 0.5R_{st} + 0.35V_u\sigma_{pu}^{\frac{1}{3}} \quad (7)$$

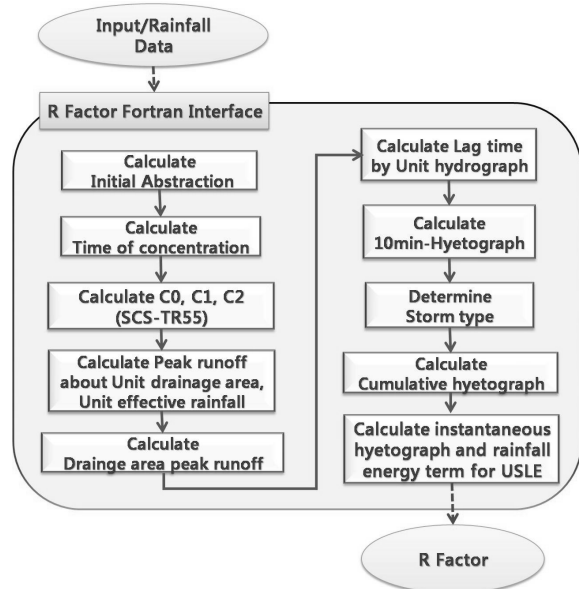
$$R = (916 + 33\log(i))I_{30} \quad (8)$$

$$R = 1.702\left(\frac{7.87 V_R^{1.51}}{100}\right) \quad (9)$$

본 연구에서 개발한 R모듈은 Fortran77로 작성되었으며, 유역에 대한 유역면적, Storm Type, 강우지속시간, SCS Curve Number (CN), 평균경사도, 평균경사장의 정보를 Input Data에 구축하고 연강우량 데이터를 나타내는 Rainfall Data를 구축하면 R모듈을 쉽게 구동할 수 있어 사용자가 편리하게 R값을 산정할 수 있게 하였다. Storm Type은 Natural Resources Conservation Service (NRCS)에서 분류한 4가지로 나뉘며, Type 1와 Type 4는 습윤한 겨울과 건조한 여름 특성을 갖는 태평양 해안지역의 호우형태, Type 3은 멕시코 연안 및 애틀란타 해안지역의 호우형태, 그리고 기타 호우형태를 모두 포함하는 Type 2 등으로 나누어진다 (Yeon et



(a) Method of Williams



(b) Method of Foster, Cooley, CREAMS

**Fig. 6. Estimation process of R factor.**

al., 2003). R값을 산정하는 과정은 Fig. 6과 같고 Fig. 6 (a)는 Williams 방법을 나타내며, Fig. 6 (b)는 Foster, Cooley, CREAMS방법의 산정과정을 나타낸 것이다. Williams 방법이 다른 방법들보다 간단한 과정을 거치는데 다른 방법들과의 차이점은 StormType과 10분단위주상도를 고려하지 않는다는 점이다. 본 연구에서는 CN값에 따른 유동성을 평가하기 위하여 CN값이 90일 때와 30일 때를 가정해 Foster방법을 사용하여 R값과 토양유실량을 평가해보았다.

**유사량 보정 및 검정** 본 연구에서는 연구기간을 1999년부터 2008년까지의 월단위 실측 유입 유사량과 본 연구에서 개발한 R모듈을 적용하여 유사량을 산정하여 보정 및 검정을 평가하였다. R모듈은 Williams, Foster, Cooley, CREAMS

의 4가지 R값 산정방법 중 Foster의 방법을 사용하여 일단위의 R값을 산정하였으며, 보정기간은 1999년 1월부터 2004년 12월까지, 검정기간은 2005년 1월부터 2008년 2월까지로 하였다.

### 결과 및 고찰

**SATEEC System ver.2.2 개발 결과** 본 연구에서는 일 단위 R값 산정이 가능한 R모듈을 적용하여 SATEEC System ver. 2.2를 개발하였다. 기존 SATEEC System의 R모듈의 경우 일 강우자료만을 고려하여 R값을 산정하였지만 SATEEC System ver. 2.2의 R모듈은 일 강우자료뿐만 아니라 강우

형태, 경사도, 경사장을 고려하여 R값 산정이 가능하며, CN값의 변화에 따라 다른 R값을 산정할 수 있다. 이에 태풍 루사가 발생한 2002년을 대상으로 CN값을 30과 90으로 가정하여 본 연구에서 개발한 R모듈을 적용해 보았다. 그 결과로 CN값이 90일 경우, 30일 때 보다 약 1.9배 더 크게 R값이 산정되었고 (Fig. 7), 토양유실량을 평가한 결과 CN값이 90일 경우, 30일 때보다 1.8배 더 많은 토양유실량이 산정되었다 (Fig. 8). 이러한 결과로 알 수 있듯이 본 연구에서 개발한 R모듈은 다양한 인자를 고려하여 기존의 R모듈보다 가변적으로 강우영향을 고려할 수 있음을 알 수 있다. 따라서 SATEEC System ver. 2.2는 본 연구에서 개발된 R모듈을 사용함으로써 기존 SATEEC System보다 정확한 일 단위 토양유실량과 유사량의 평가가 가능할 것이라 판단된다.

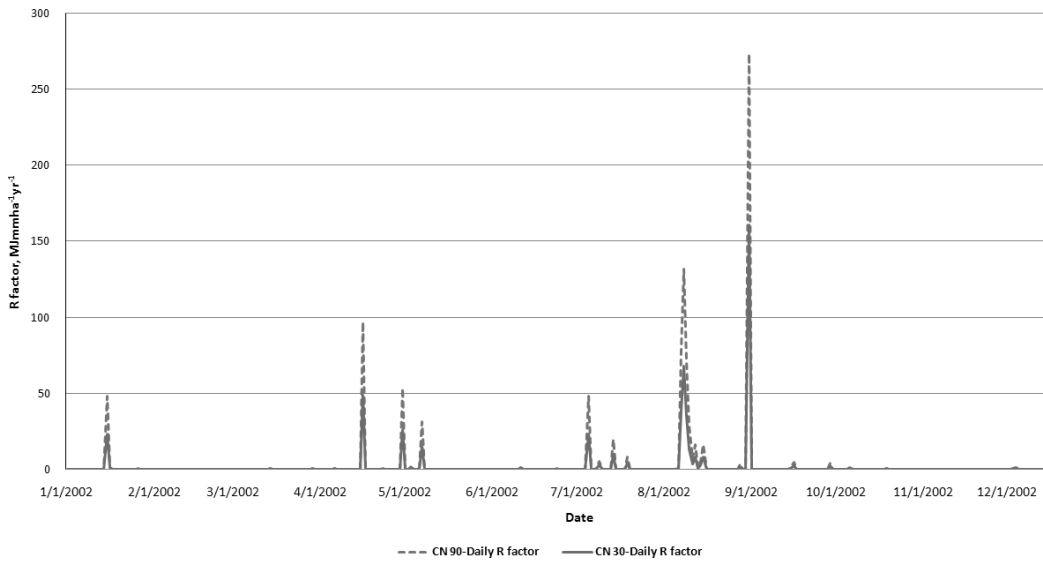


Fig. 7. Comparison of R factor of Imha watershed.

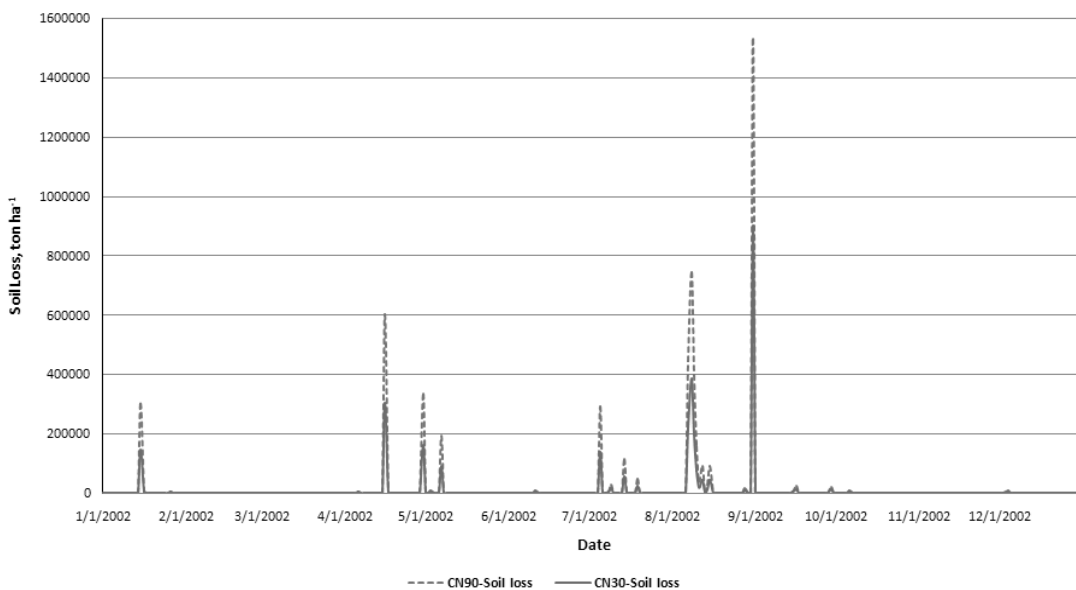
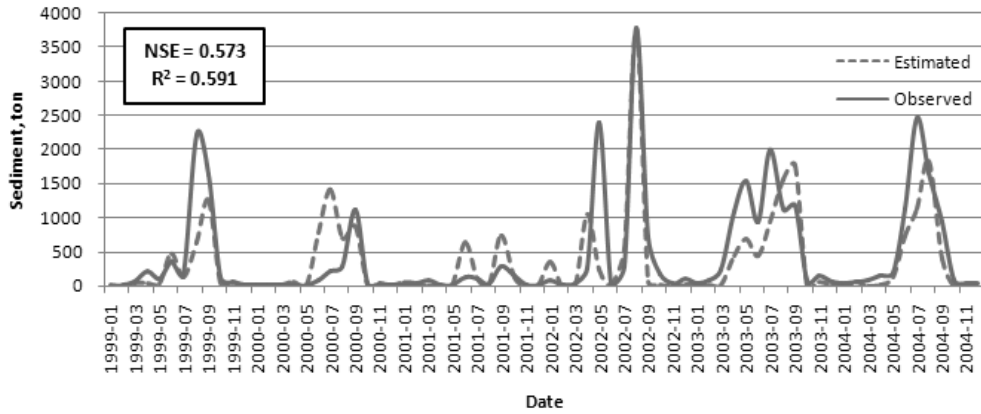
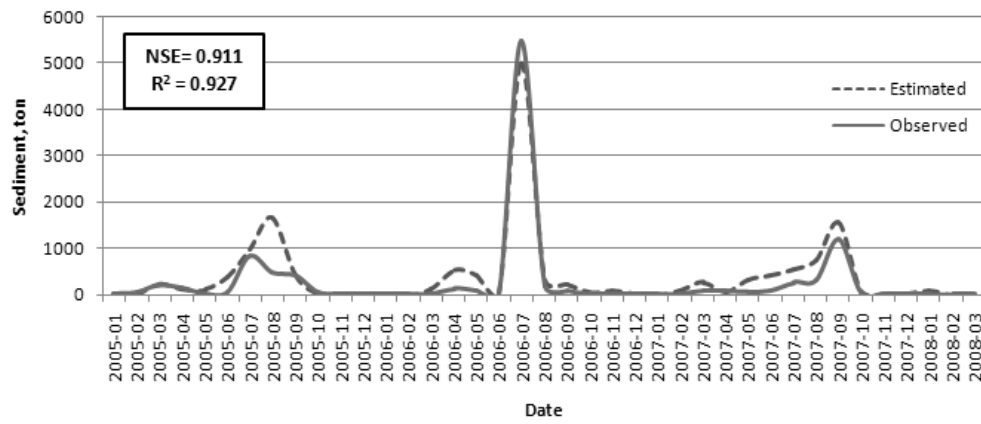


Fig. 8. Comparison of soil loss of Imha watershed.



(a) Observed and simulated sediment yeild during calibration.



(b) Observed and simulated sediment yeild during validation.

Fig. 9. Comparison of sediment yields of Imha watershed.

**유사량 분석 결과** 본 연구에서는 일단위 R값을 산정하는 R모듈을 기존 SATEEC System에 적용하여 R모듈의 유역 적용성을 평가하기 위하여 임하댐유역의 유사량을 산정한 후 보정과 검정평가를 수행하였다. 유사량 평가를 위하여 국가수자원관리종합시스템 (<http://www.wamis.go.kr/>) (수질유량측정망시스템, 2011)의 임하댐 1999년 1월부터 2008년 2월까지의 월단위 유사량 자료와 진보관측소의 일단위 강우량 자료를 사용하였으며, 유달률 산정에는 GA-SDR모듈 (Park et al., 2010)을 사용하였다. 이 SATEEC SDR모듈은 실측 유사량과 예측 토양유실량을 비교하여 최적의 유달률을 찾아내는 모듈로 유역의 특성을 잘 반영한다는 장점을 가지고 있다. 본 연구의 결과는 Fig. 9과 같으며 Fig. 9 (a)는 1999년 1월부터 2004년 12월까지의 보정결과이고, Fig. 9 (b)는 2005년 1월부터 2008년 2월까지의 검정결과이다. 각각의 유사량 분석 결과로는 유사량을 보정한 결과  $R^2$ 는 0.591, NSE (Nash and Sutcliffe efficiency) (Nash and Sutcliffe, 1970)는 0.573으로 산정되었으며, 유사량을 검정한 결과  $R^2$ 는 0.927, NSE는 0.911로 산정되었으며, 검정결과  $R^2$ , NSE 모두 0.9이상을 보여 높은 상관관계를 갖는 것을 알 수 있다.

## 결론

본 연구에서는 하천주변의 토양유실평가를 위하여 토양유실량과 유사량을 산정하는데 많이 활용되고 있는 SATEEC System의 R모듈을 개선하여 유역에 대해 정확한 토양유실량과 유사량을 산정할 수 있도록 하였다. 기존의 SATEEC System ver. 2.1의 R모듈의 경우 R값 산정과정에서 5일선 행강우량을 고려하려 선행 강우에 대한 영향을 고려하고자 하였으나, 이는 강우타격에너지를 뜻하는 R값의 개념과 상이함으로 개선이 필요한 것으로 분석되어 R모듈을 개선하고자 하였다. SATEEC System ver. 2.1에 개선한 R모듈을 적용하여 임하댐의 유사량을 평가한 결과  $R^2$ 는 0.591, NSE는 0.573으로 보정결과가 산정되었으며, 검정한 결과는  $R^2$ 는 0.927, NSE는 0.911로 산정되었다. 검정결과를 살펴보면  $R^2$ , NSE 모두 0.9이상으로 산정되었으므로 모의기간동안에 발생한 태풍과 같은 집중성 강우를 잘 반영하였다고 판단된다.

본 연구에서 산정된 결과로 일강우를 고려한 R모듈을 SATEEC System에 적용하였을 시 단일 강우에 대한 토양유실량 및 유사량을 잘 모의한다는 것을 알 수 있으며, 본 모

들은 향후 SATEEC System이 유역 내 토양유실의 시간적, 공간적 특성을 가능하도록 할 수 있다. 그리고 일단위의 R 값을 평가함으로써 일단위 유사량의 평가를 가능하게 함으로 더 정확하고, 세밀한 기준의 정책을 세울 수 있을 것이라 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 환경부 Eco-Star Project (과제번호: EW32-07-10, 부담 (생태호 조성기술 및 생태복원 기술개발)의 연구비 지원을 받아 수행되었으며 이에 깊이 감사드립니다.

## 인용 문헌

- Choi, J.D. 2007. Weakness and Benefit of Reduction Measures for Muddy Water in Soyangdam. Chuncheon Global Water Forum. p.309-326. 2007 Collection of an expert Forum, Chuncheon, Korea.
- Cooley, K.R. 1980. Erosivity "R" for individual design storms. In: CREAMS - A field scale model for chemicals, runoff and erosion from agricultural management system. p. 386-397. In W.G. Knisel. (ed.) USDA-SEA Conservation Research Report NO. 26. U.S. Gov. Print. Office, Washington, D.C, USA.
- Foster, G.R. and L.F. Huggins. 1977. Deposition of sediment by overland flow on concave slopes. In: Soil Erosion Prediction and Control. Special publ. No. 21. Soil Cons. Soc. Ame., Ankery, IA, USA.
- Foster, G.R., K.G. Renard, D.C. Yoder, D. K., McCool, and G. A., Weesies. 1996. RUSLE User's Guide. Soil and Water Cons. Soc.
- Jang, W.S., Y.S. Park, J.G. Kim, I.J. Kim, Y.R. Mun, M.S. Jun, and K.J. Lim. 2009. Soil Erosion and Sediment Yield Reduction Analysis with Land Use Conversion from Illegal Agricultural Cultivation to Forest in Jawoon-ri, Gangwon using the SATEEC ArcView GIS. Korean. J. Envi. Ins. 8(1):73-95.
- Jung, P.K., M.H. Ko, J.N. Im, K. T. Um, and D .U. Choi. 1983. Rainfall Erosion Factor for Estimating Soil Loss. Korean J. Soil Sci. Fert. 16(2):106-111.
- Kang, H.W., Y.S. Park, N.W. Kim, Y.S. Ok, W.S. Jang, J.C. Ryu, K.S. Kim, and K.J. Lim. 2010. Development and Application of Integrated Model using SATEEC, USPED and nLS for Gully-erosion Evaluation. Korean. J. Sco. Water Qual. 26(4):637-647.
- Kim, K.H., H.S. Yoon, and W.S. Kwon. 2011. The Delineation of Water-Pollutant Buffering Zone for Sustaining Better Drinking Water Quality Using a GIS. Korean. J. Envi. Ins. 9(3):239-248.
- Knisel, W.G. 1980. Model documentation. CREAMS: A field-scale model for Chemical, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems. p. 1-12. In W.G. Knisel. (ed.) USDA-SEA Conservation Report No. 26. U.S. Gov. Print. Office, Washington, D.C , USA.
- 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(1):61-80.
- Nash, J.E. and J.V. Sutcliffe. 1970. River flow forecasting through conceptual models: Part I. A discussion of principles. J. Hydrol. 10:282-290.
- 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 Thesis. Kangwon National University. Chuncheon, Korea.
- Park, Y.S., J.G. Kim, N.W. Kim, K.S. Kim, J.D. Choi, and K.J. Lim. 2007. Analysis of Sediment Yields at Watershed Scale using Area/Slope-Based Sediment Delivery Ratio in SATEEC. Korean. J. Sco. Water Qual. 23(5):650-658.
- 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 GIS system. Com. and Geosci.. 36(2010):726-734.
- Water Management Information System. 2011. <http://www.wamis.go.kr/>
- Williams, J.R. 1975. Sediment routing for agricultural watersheds. Water Resour. Bull, 11(5):965-974.
- Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses: A Guide to Conservation Planning. Dept. of Agriculture, Science and Education, Washington, D.C, USA.
- 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 R Module using Daily Rainfall. Korean. J. Sco. Water Qual. 26(5):841-849.
- Yeon, G.B., S.K. Jung, and J.H. Kim. 2003. Frequency Runoff Analysis by Storm Type using GIS and NRCS Method. Koran J. Associ. Geosci. Info. Stu. 6(1):119-131.
- Yi, H.S., J.K. Kim, and S.U. Lee. 2008. Development of Turbid Water Prediction Model for the Imha Dam Watershed using HSPF. Korean J. Sco. Envi. Eng. 30(8):760-767.