



## SWAT 모형을 이용한 볏짚매트의 토양유실 저감효과 분석

### Analysis of Soil Erosion Reduction Effect of Rice Straw Mat by the SWAT Model

장원석\* · 박윤식\* · 최중대\*\* · 김종건\* · 신민환\*\*\* · 류지철\* · 강현우\* · 임경재\*\*†  
Jang, Won Seok\* · Park, Youn Shik\* · Choi, Joongdae\*\* · Kim, Jong Gun\* ·  
Shin, Minhwan\*\*\* · Ryu, Ji Chul\* · Kang, Hyunwoo\* · Lim, Kyoung Jae\*\*†

#### ABSTRACT

The purpose of this study is to evaluate sediment yield reduction under various field slope conditions with rice straw mat. The Vegetative Filter Strip Model-W (VFSMOD-W) and Soil and Water Assessment Tool (SWAT) were used for simulation of sediment yield reduction effect of rice straw mat. The Universal Soil Loss Equation Practice factor (USLE P factor), being able to reflect simulation of rice straw mat in the agricultural field, were estimated for each slope with VFSMOD-W and measured soil erosion values under 5, 10, and 20 % slopes. Then with the regression equation for slopes, USLE P factor was derived and used as input data for each Hydrological Response Unit (HRU) in the SWAT model. The SWAT Spatially Distributed-HRU (SD-HRU) pre-processor module was utilized, moreover, in order to consider spatial location and topographic features (measured topographic features by field survey) of all HRU within each subwatershed in the study watershed. Result of monthly sediment yield without rice straw mat (Jan. 2000 - Aug. 2007) was 814.72 ton/month, and with rice straw mat (Jan. 2000 - Aug. 2007) was 526.75 ton/month, which was reduced as 35.35 % compared without it. Also, during the rainy season (from Jun. to Sep. 2000 - 2007), when without vs. with rice straw mat, monthly sediment indicated 2,109.54 ton and 1,358.61 ton respectively. It showed about 35.60 % was reduced depending on rice straw mat. As shown in this study, if rice straw mat is used as a Best Management Practice (BMP) in the sloping fields, rainfall-driven sediment yield will be reduced effectively.

**Keywords:** Rice straw mat; Sediment yield; Soil and water assessment tool; Spatially distributed-HRU; Vegetative filter strip model-W

## 1. 서 론

최근 기후변화로 인해 태풍 등과 같은 집중성 강우가 많이 발생하고 있고, 강우시 유출에 의한 토양침식으로 인해 유역의 하천을 비롯하여 유출구에서의 탁수 및 유사 발생은 우리나라 뿐만 아니라 전 세계적으로 심각한 환경문제로 대두되고 있다. 농촌지역의 비료, 농약의 사용증가에 따라 영양염류 및 유해물질에 의한 수질영향이 갈수록 문제가 되고 있다. 또한 기후변화에 의한 유역의 강우강도와 유출량 증가는 유기물이 풍부한 표층 토양의 유실을 초래하여 유역의 농업생산능력을 저하시킬 수 있다 (Ye et al., 2009). 또한 토양유실의 증가는 수생태계

파괴, 댐 등을 비롯한 수리구조물의 기능 저하, 상수원으로 사용될 시 수자원의 가치 하락 등과 같은 환경적·경제적 문제를 야기하고 있다. 이러한 유역내 토양 침식 및 토양 유실의 원인으로 영농활동이 상당부분을 차지하고 있다는 연구 사례도 있다 (Brown, 1984). 이러한 토양유실은 집중 호우시 산지개간, 하천공사, 고령지 경작지 등의 지표비복이 되어 있지 않은 지역에서 주로 발생한다 (Ministry of Environment, 2007). 우리나라는 경사 7 % 이상의 밭 면적이 전체 밭의 60 %로 경사지 밭에서의 토양유실이 심각한 현실이다 (Seo et al., 2005). 특히 몬순지역인 우리나라는 여름철의 집중강우로 인한 토양유실이 발생하기 쉽고, 경작지가 경사지에 위치하고 있을 때 토양유실 규모는 더 클 수 있다. 토양유실은 토양속의 영양분을 유실시키고, 이러한 영양분은 강이나 호수 등의 수질 오염 등 환경문제를 야기할 수 있다. 따라서 경사지에서 강우에 의한 토양유실은 작물의 생산성과 함께 수계의 부영양화 등에도 영향을 미치므로 적절한 관리가 요구된다 (Choi et al., 2009). 강우시 유역에서 발생하는 이러한 토양유실 및 탁수문제를 효과적으로 해결하기 위하여 여러 최적관리기법 (Best Management

\* 강원대학교 지역건설공학과 대학원  
\*\* 강원대학교 지역건설공학과 교수  
\*\*\* 국립환경과학원 금강물환경연구소  
† Corresponding author. Tel.: +82-33-250-6468  
Fax: +82-33-251-1518  
E-mail address: kjlim@kangwon.ac.kr

2010년 4월 7일 투고  
2010년 5월 11일 심사완료  
2010년 5월 12일 게재확정

Practices, BMPs) 들이 제안되어왔으며, 침사지, 저류지, 사방댐 등과 같은 수리 구조물이 하천에서의 탁수 저감 대책으로 활용되고 있다. 기존의 고전적인 토양유실 저감 방법으로는 완충식생대, 등고선 경작, 식생배수로 설치, 작물 잔류물에 의한 피복, 멀칭, 녹비작물 재배, 계단식 논, 식생사면 조성, 다년생 작물 재배 등이 있다 (Arabi et al., 2007; Jha et al., 2009; Shin et al., 2009). 다양한 최적관리기법중에 지표피복 따른 토양유실 저감효과에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다 (Hur et al., 2005; Seo et al., 2005; Shin et al., 2009).

최근 들어 유역에서의 토양유실 및 이로 인한 탁수문제를 해결하기 위하여 SWAT 모형이 널리 활용되고 있다 (Srinivasan et al., 1995; Arnold et al., 2000; Jang et al., 2009). SWAT 모형은 유역에서의 강수에 따른 유출 및 비점오염의 발생 및 거동의 시간적·공간적 변화를 분석할 수 있기 때문에 널리 이용되고 있다. SWAT 모형은 소유역내 수문학적 반응단위별로 유출, 유사, 그리고 비점오염 발생을 평가하는데 이때 Hydrologic Response Unit (HRU)의 지형정보가 활용된다. 그러나 SWAT 모형은 소유역 내 HRU의 경사도 및 경사장을 직접 산정하지 않고, 소유역의 평균경사도를 기준으로 하여 산정된 경사도를 소유역 내 모든 HRU에 동일하게 적용하는 단점이 있다 (Arnold, 1992). 이러한 SWAT 모형의 단점을 보완하기 위해서 Jang et al. (2009)은 SWAT SD-HRU (Spatially Distributed-HRU) 전처리 프로세서를 이용하여 연구대상지역의 실제 경사도/경사장을 입력하여 경사도별 토양유실 모의를 가능하게 하였다. 이러한 SWAT 모형과 SD-HRU 전처리 프로세서를 이용하여 벚짚매트에 의한 토양유실 저감효과를 평가하기 위해서는 벚짚매트 효과를 평가할 수 있는 모의할 수 있는 매개변수의 선정 및 정확한 매개변수 값 추정이 필요하다.

따라서 본 연구의 목적은 강우강도를 고려하여 시험포에서의 토양유실을 고려할 수 있는 Vegetative Filter Strip Model-W (VFSDM-W; Muñoz-Carpena and Parsons, 2005) 모형의 VFSDM 모듈을 이용하여 경사도별 벚짚매트 사용에 따른 유사 저감효과 매개변수를 추정하여 벚짚매트의 유사 저감효과를 유역단위로 분석하여 경사지별 비구조적 토양유실 최적관리 기법을 제시하는데 있다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구지역선정

본 연구에서는 실측 지형자료 (경작지 필지별 경사도 및 경사장)를 바탕으로 농경지 경사도에 따른 벚짚매트 유사량 저감 효과를 모의하기 위해서, 강원발전연구원에 의해 지형자료 (경

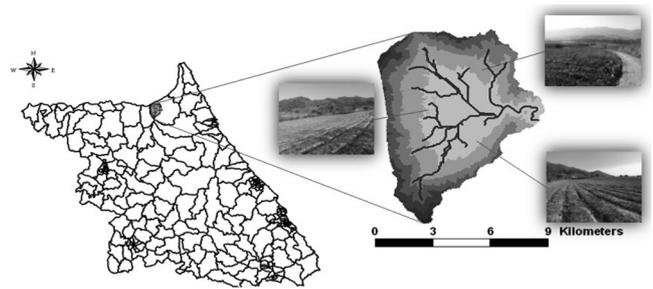


Fig. 1 Location of the Hae-an myeon watershed

사도, 경사장)가 조사된 소양강댐 유역 내 고랭지 농업이 성행하고 있는 강원도 양구군 해안면 유역 (Fig. 1)을 연구대상지역으로 선정하였다 (Jun, 2007). 해안면의 유역면적은 61.52 km<sup>2</sup>이며, 지리적 위치는 북위 38° 15' ~ 38° 20', 동경 128° 15' ~ 128° 10'에 해당된다. 해안면 면적은 양구군 전체 면적 (700.8 km<sup>2</sup>)의 8.8 %에 해당되며, 이 중 산림·농경지·초지는 각각 60.2 %, 35.8 %, 0.2 %를 차지한다. 산림이 60.2 %를 차지하는 전형적인 산지 고원 지역이고, 경작지 중 논과 밭은 각각 17 %, 83 %를 차지한다. 또한 실측 경사도는 1.8 ~ 100 %의 범위로 다양하게 분포되고, 평균 실측 경사도는 11.5 %이다. Fig. 1은 해안면 유역의 위치를 보여준다.

## 2. VFSDM 모형 / SWAT 모형의 개요 및 입력자료

벚짚매트의 유사 저감 효율을 모의하기 위한 입력자료 중 경작 방법 인자인 USLE P 인자는 Shin et al. (2009)에 의한 경사도별 인공강우 실험 벚짚매트 유사 발생 분석결과와 강우강도를 고려하여 시험포 단위 토양유실을 평가할 수 있는 VFSDM-W 모형을 이용해서 산정하였다. SWAT 모형을 이용하여 벚짚매트의 유사 저감 효율을 효과적으로 모의하기 위해서 USLE P 인자를 포함한 SWAT 모형의 입력자료를 다음과 같이 구축하였다.

### 가. VFSDM-W 모형의 개요

VFSDM-W 모형 (Muñoz-Carpena and Parsons, 1999)은 시험포 단위 (field-scale) 모형으로서 인접하고 있는 발생원에서 초생대로의 유출수와 유사 저감 효율을 모의한다. 또한 모형내 강우 분포에 의해 발생원에서의 유출량을 모의한 후, 초생대의 여러 조건 (식생의 조도 계수나 밀도, 초생대의 경사, 침투 특성 등) 뿐만 아니라, 각기 다른 입자 크기를 갖는 유사에 대한 분석이 가능하다는 장점이 있다. VFSDM-W 모형은 시험포의 유출-침투 특성을 위해 Green-Ampt 침투 방정식을 이용하여 발생원에서의 유출량 및 침투량을 모의하며, 초생대로의 유출수에 대해 Kinematic Overland Flow를 이용하여 유

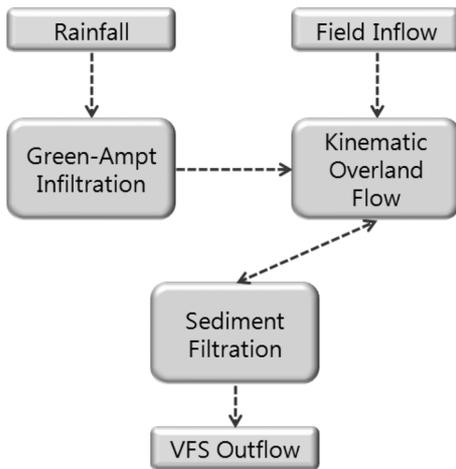


Fig. 2 Schematic representation of the VFSMOD (Muñoz-Carpena and Parsons, 2005)

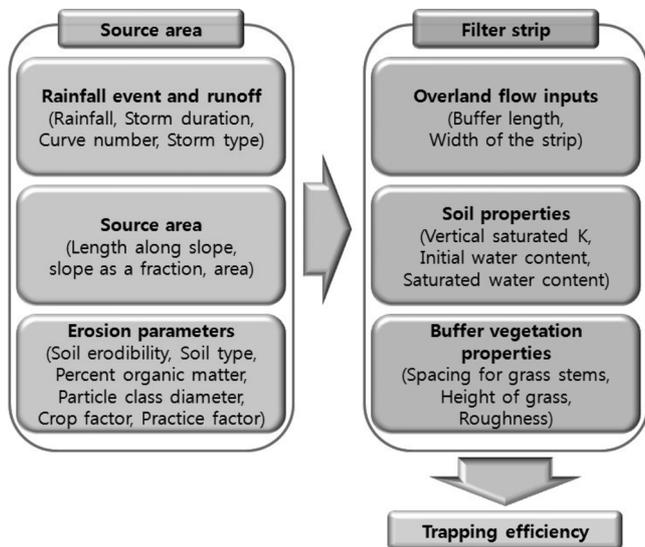


Fig. 3 Overview of VFSMOD-W (Muñoz-Carpena and Parsons, 2005)

출입과 유출량 모의를 한다. 그리고 초생대로의 유입되는 유사의 운반과 퇴적 그리고 초생대 밖으로의 유출되는 유사를 모의하기 위해 Sediment Filtrations 모듈을 이용한다 (Fig. 2).

VFSMOD-W의 초생대에 의한 유사 저감효율 모의 과정은 두 부분으로 나눌 수 있다. 먼저 발생원에서의 유출 특성과 유사 발생 특성을 모의한 후 이를 초생대에서의 유입수 및 유출수, 유입 유사 및 유출 유사를 모의하여 이에 대한 저감 효율을 모의하게 된다. 발생원에서의 유출 및 유사 발생 특성을 위한 모의를 위한 입력 자료는 강우사상 및 유출 관련 인자, 시험포의 길이, 면적, 경사도, 시험포의 토양 특성, 토양종류, 유기물질량, 입자크기, 작물인자에 관한 인자로 분류할 수 있다 (Fig. 3).



Fig. 4 Input and output data of the SWAT model

#### 나. SWAT 모형의 개요

SWAT 모형은 미국 농무성 농업연구소(United States Department of Agriculture Agricultural Research Service, USDA ARS)의 Jeff Arnold (Arnold, 1992; Arnold et al., 1998) 등에 의해 개발된 유역단위 (Watershed Scale) 모형으로서 대규모의 복잡한 유역에서 장기간에 걸친 다양한 종류의 토양과 토지이용 및 토지관리 상태에 따른 수질과 유사 및 농업화학물질의 거동에 대한 토지 관리 방법 등을 비롯한 유역에서의 수문 거동을 모의하기 위하여 개발되었다 (Neitsch et al., 2005a; Neitsch et al., 2005b). SWAT 모형을 이용하여 수문 및 수질을 시·공간적으로 분석하기 위해서 시간적으로 변화하는 기상자료 (일 강수량, 기온, 풍속, 일조량, 상대습도)와 공간적으로 다르게 분포하는 토지이용현황, 토양속성, 그리고 지형자료 등이 필요하다 (Fig. 4) (Arnold, 1992; Arnold et al., 1998). SWAT 모형은 유역에서의 강수에 따른 유출 및 비점오염의 발생 및 거동의 시·공간적 변화를 분석할 수 있기 때문에 널리 이용되고 있으나, 최근내 경작지에서의 유출 및 토양유실 특성을 충분히 반영하지 못하는 등 여러 가지 제한 및 모형의 구조적 한계점으로 인해 유사 발생이 빈번하게 일어나는 농경지를 많이 포함하는 유역에서 정확한 토양유실 및 유사거동을 평가하는데 문제점이 지적되어 왔다 (Jha et al., 2002; Jang et al., 2009; Jang et al., 2010).

#### 다. SD-HRU 전처리 프로세서 모듈 개요

SWAT 모형이 HRU 단위로 경사도 및 경사장을 산정하지 않고 소유역의 평균경사도를 이용하여 모든 HRU별 경사도와 경사장을 산정하여 유역의 실제 지형특성 (경사도, 경사장)을 고려하지 못하기 때문에, 실제 지형특성을 고려할 수 있는 ArcView GIS기반 Spatially Distributed-HRU (SD-HRU) 전처리 프로세서 모듈이 개발되었다 (Jang et al., 2009).

Fig. 5는 기존 SWAT 모형이 Land Use와 Soil Map의 중첩을 통해 HRU를 형성하는 것을 보여준다. 그림에서 보이는 바와 같이 토지이용과 토양속성이 다른 HRU가 소유역내 공간

적으로 분포되어 있더라도 SWAT HRU 속성 테이블에서는 하나의 HRU로 인식되어 평가된다. Fig. 6에서 보이는 바와 같이 SWAT SD-HRU 전처리 프로세서 모듈을 사용하면 토지이용과 토양속성이 다른 HRU가 소유역내 공간적으로 분포되어 있는 것을 고려하여 여러 개의 HRU로 인식하여 각각에 대한 지형특성을 고려할 수 있다 (Jang et al., 2009).

SD-HRU 전처리 프로세서 모듈을 적용할 경우 그 동안 기존 SWAT에서 문제시 되었던 HRU에서의 소유역 평균 경사도/경사장 값의 입력이 아닌 실측 경사도/경사장이 입력됨으로써 공간적인 개념이 무시되었던 것에서 오는 SWAT 결과 오류 문제를 해결할 수 있다고 사료된다. 따라서 본 연구에서는 경사도별 빗짐매트 SWAT 유사 모의시 정확성을 향상시키기 위해

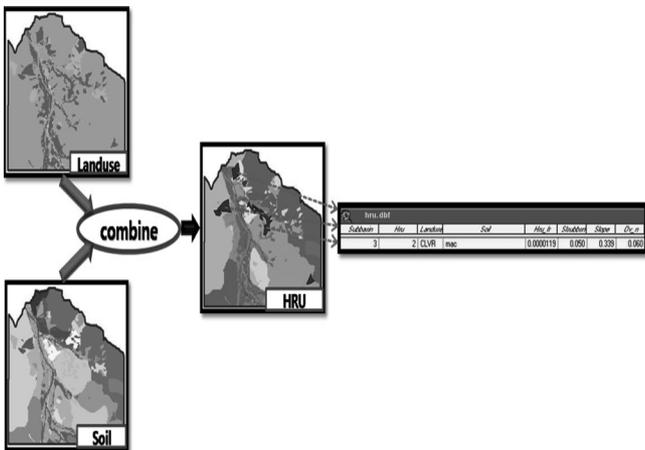


Fig. 5 Concept of HRU in SWAT (Jang et al., 2009) (Only one HRU record for 3 spatially separated land use and soil combinations)

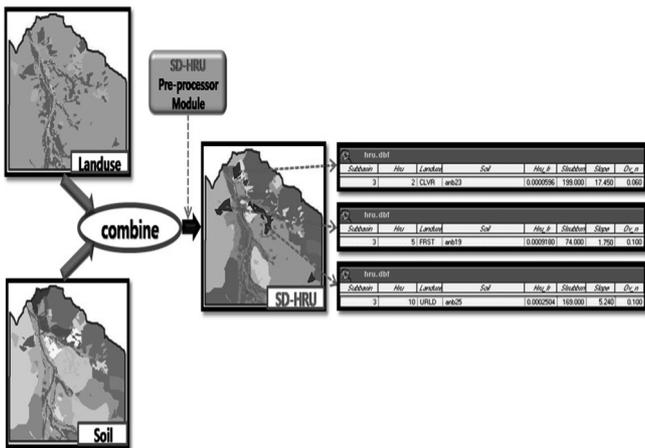


Fig. 6 Concept of HRU in SWAT (Jang et al., 2009) (Three HRU records for 3 spatially separated land use and soil combinations)

서 SD-HRU 전처리 프로세서 모듈에 이용하여 공간적인 지형특성을 고려하였다.

### 3. VFSMOD-W / SWAT 모형을 이용한 빗짐매트의 유사저감 효과분석

본 연구에서는 Shin et al. (2009)의 인공강우 실험 과정을 VFSMOD-W 모형의 VFSM 모듈로 모의하여, 빗짐매트에 의한 유사 저감을 고려할 수 있도록 경사도별 USLE P factor 회귀식을 산정하였다. 보다 정확한 빗짐매트 유사저감 효과 모의를 위해서는 대상유역의 다양한 경사도별 토양유실 실측치를 이용해서 모형에 의한 경사도별 토양유실 모의가 수행되어야 하나, Shin et al. (2009)의 연구에서는 빗짐매트에 의한 토양유실 저감 특성을 인공강우 실험을 통해 모의하였다. 인공강우 실험은 경사도, 빗짐 피복 유/무, 강우강도의 세 조건으로 수행하였다. 또한 토양상자의 크기는 1 m × 1 m × 0.65 m 크기로 제작 되었고, 토양의 경사도는 5 %, 10 %, 20 %로 조절하여 실험하였고, 강우강도는 30 mm/hr, 60 mm/hr의 조건으로 실험이 수행되었다. 그리고 빗짐 매트는 밭 전체에 설치 한 것으로 모의 하였다 (Fig. 7).

SWAT 모형에는 TablesIn 폴더 내에 다양한 입력변수들이 위치한다. 이 중에서 MGT (Management Input) DBF (Data Base File) 에는 경작, 추수, 관개, 농약 등과 관련된 입력 변수들이 있고, 이 중에서 경작방법인자에 해당하는 USLE P 인자를 VFSMOD-W에 의해 산정된 값들로 입력하였다 (Neitsch et al., 2005a). 또한 SWAT 모형의 모형 구축을 위해서는 GIS 자료, 기상자료 등이 필요하다. 일 강수 (mm), 일 평균풍속 (m/s), 일 평균상대습도 (%), 일 최고/최저기온 (°C), 일 수평면일사량 (MJ/m<sup>2</sup>)과 같은 기상자료는 기상청과 수자원공사에서 관측한 기상 및 강수자료 (1993년 1월1일 - 2007년 8월31일)를 활용하여 구축하였다. GIS 기반의 공간입력 자료로써 대상유역에 대한 수치표고자료 (Digital Elevation Model; DEM)는 국립지리원 1:5,000 수치지도를 이용하여 구축하였고, 토지이용도는 환경지리정보서비스에서 제공하는 1:25,000 중분류 토지이용자료를 이용하였다 (Environmental Geographic Information

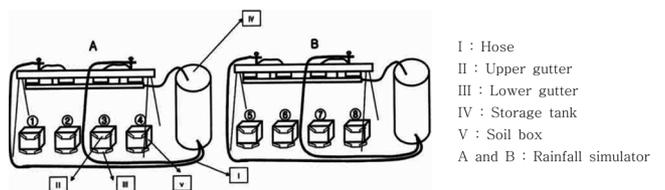


Fig. 7 Rainfall simulator and soil-box placement (Shin et al., 2009)

**Table 1 Comparison of observed and simulated data to estimate USLE P factor**

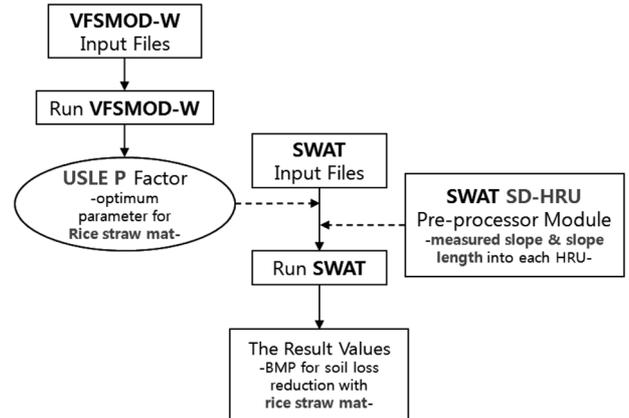
Data type	Scale	Data description/property	Data source
Topography	1:5,000	Elevation, slope, Slope length	Korea National Geographic Information Institute
Land use	1:25,000	Land use classification, Area, Management information	Korea Ministry of Environment
Soil geographic database	1:25,000	Soil physical, Chemical properties	Korean Soils Information
Weather	-	Daily precipitation, Temperature, Solar radiation, Wind speed, Relative humidity	Water Management Information System

System; EGIS). 토양도는 Korean Soils Information에서 제공해 주는 정밀토양도 (1:25,000)를 활용하였다 (Table 1).

SWAT 모형에서 산정한 평균 경사도/경사장과 강원발전연구원에서 실측한 해안면 유역의 모든 농경지에서의 경사도/경사장을 보여준다 (Jun, 2007). 해안면의 경우 SWAT 모형에서 산정한 평균 경사도는 0.9 ~ 46.7 %의 분포를 보이며 평균 경사장은 0.05 ~ 122 m로 분포되어 있다. 반면에 실제 측량을 통해 산정된 실측 경사도는 1.75 ~ 100 %의 분포를 보이며 실측 경사장의 경우 1 ~ 1,587 m의 범위로 실측 경사도/경사장은 대체로 SWAT 모형에 의해 산정된 경사도/경사장 보다 더 크게 분포되어 있다. 본 연구에서는 SWAT 모형으로 유사량 산정시 SWAT 모형에서 산정한 경사도/경사장 예측치가 내재하고 있는 불확실성을 해결하고 경사도별 벧짚매트 SWAT 유사 모의시 정확성을 향상시키기 위해서 SWAT SD-HRU 전처리 프로세서 모듈을 적용하여 실측 경사도/경사장 데이터를 입력하여 유사량을 산정하였다. 또한 현재 SWAT 모형으로는 우리나라 논을 제대로 평가할 수 없지만 본 연구대상지역의 경작지중 논이 차지하는 면적이 17 % 이고 대부분 밭 (83 %)이기 때문에 경작지를 밭이라 가정된 후 모의 하였다.

본 연구에서는 강우강도가 60 mm/hr 일 때 세 가지 경사도 조건 (5, 10, 20 %)의 벧짚매트에 의한 토양유실 저감효과 실험 결과 (Shin et al. 2009)를 이용하였다. 실내 인공강우 실험에서의 시험포 크기, 경사도 등의 실험조건들을 VFSDMOD-W 모형의 VFSD 모듈의 입력자료로 사용하였고, 실측 유출량과 유사량을 기준으로 하여 벧짚매트 효과에 대한 USLE P 매개변수를 추정하였다. 특히 USLE P 매개변수를 보정할 때 벧짚매트를 적용하지 않은 상태, 즉 보전영농방법을 하지 않았을 경우에 USLE P 인자를 '1'로 하였으며, 경사도에 따라 벧짚매트에 의한 저감된 유사를 VFSDMOD-W 모형의 USLE P 인자값을 조정하여 보정하였다.

기술된 바와 같이 본 연구에서는 VFSDMOD-W를 이용하여 경사도별 USLE P 회귀식을 산정하고 SWAT 모형의 기상자료, GIS자료 등을 구축하였으며, SD-HRU 전처리 프로세서 적용을 통해 실측 경사도/경사장을 입력함으로써 기존 SWAT 모형/인터페이스를 사용하는 것과는 달리 유역내 경작지 토양유실 관련된 현상을 보다 자세하게 모의할 수 있도록 SWAT 모



**Fig. 8 Modeling process for the effect of soil loss reduction with rice straw mat using the VFSDMOD-W and SWAT model**

형을 대상유역에 대해서 구축한 후, 경사도별 벧짚매트에 의한 유사저감 효과를 모의하였다 (Fig. 8). 또한 모의 기간내 (2000년 1월 - 2007년 8월) 벧짚매트 미적용 vs. 적용시 유사량 총합과 월평균 유사량을 산정하였고, 강우가 집중되는 6 - 9월에 벧짚매트 미적용 vs. 적용시 유사량 총합과 월평균 유사량을 산정하여 벧짚매트의 적용 유무에 따른 유사량 저감 정도를 분석하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. USLE P 인자 산정결과

Table 2에서 보이는 바와 같이, 벧짚 매트 설치 전/후 각각 실측 유사량과 모의 유사량 모두 매우 유사한 값 ( $R^2=0.91$ )을 보였으며, 각 경사도별 (5 %, 10 %, 20 %) USLE P 인자는 각각 0.30, 0.37, 0.41로 나타났다.

Fig. 9에서 보이는 바와 같이, 경사도에 따라 벧짚매트에 의한 유사저감 효과를 고려하기 위한 USLE P 인자값은 선형적 관계 ( $R^2=0.88$ )를 보였으며, 이를 이용하여 회귀식 (식 (1))을 산정하였다.

$$USLE\ P\ factor = 0.0069 \times Slope\ (\%) + 0.28 \quad (1)$$

Table 2 Comparison of observed and simulated data to estimate rice straw mat USLE P factor

	Observed data			Simulated data		USLE P
	Slope (%)	Runoff (m <sup>3</sup> )	Sediment (g)	Runoff (m <sup>3</sup> )	Sediment (g)	
w/o Rice straw mat	5	0.04	92.46	0.04	93.58	1.00
	10	0.05	124.76	0.05	128.70	1.00
	20	0.05	287.14	0.05	286.00	1.00
w/ Rice straw mat	5	0.03	28.09	0.03	26.74	0.30
	10	0.04	48.54	0.04	47.66	0.37
	20	0.04	118.56	0.04	119.60	0.41

Table 3 Sediment yield simulated using the SWAT model w/ or w/o rice straw mat during the rainy season (Mar. 2000 – Aug. 2007) (Unit : ton)

	w/o Rice straw mat	w/ Rice straw mat	Difference	Reduction rate (%)
2000-06	674.30	418.10	256.20	37.99
2000-07	609.40	406.60	202.80	33.28
2000-08	4677.00	2977.00	1700.00	36.35
2000-09	766.90	563.80	203.10	26.48
2001-06	579.90	375.80	204.10	35.20
2001-07	5781.00	3828.00	1953.00	33.78
2001-08	715.00	452.70	262.30	36.69
2001-09	0.04	0.04	0.00	0.00
2002-06	0.03	0.03	0.00	0.00
2002-07	835.70	549.30	286.40	34.27
2002-08	4435.00	2654.00	1781.00	40.16
2002-09	177.30	131.60	45.70	25.78
2003-06	268.40	187.90	80.50	29.99
2003-07	3272.00	1941.00	1331.00	40.68
2003-08	6815.00	4226.00	2589.00	37.99
2003-09	2256.00	1559.00	697.00	30.90
2004-06	462.70	315.90	146.80	31.73
2004-07	5171.00	3153.00	2018.00	39.03
2004-08	2309.00	1549.00	760.00	32.91
2004-09	1143.00	792.00	351.00	30.71
2005-06	1594.00	993.20	600.80	37.69
2005-07	2626.00	1628.00	998.00	38.00
2005-08	1091.00	726.90	364.10	33.37
2005-09	1121.00	749.20	371.80	33.17
2006-06	1637.00	996.50	640.50	39.13
2006-07	8151.00	5215.00	2936.00	36.02
2006-08	83.60	63.60	20.00	23.92
2006-09	37.35	29.43	7.92	21.20
2007-06	168.00	114.50	53.50	31.85
2007-07	969.00	610.70	358.30	36.98
2007-08	6969.00	4909.00	2060.00	29.56

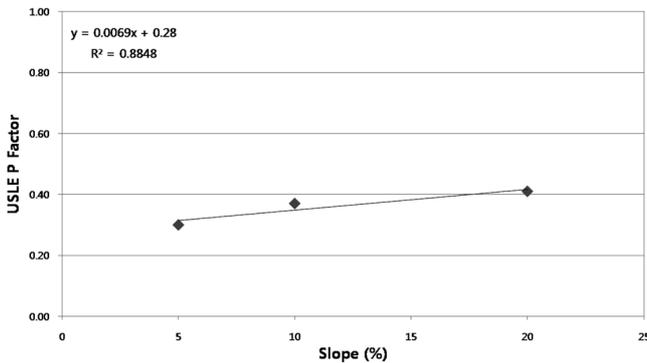


Fig. 9 Regression Equation of USLE P factor for different slope values

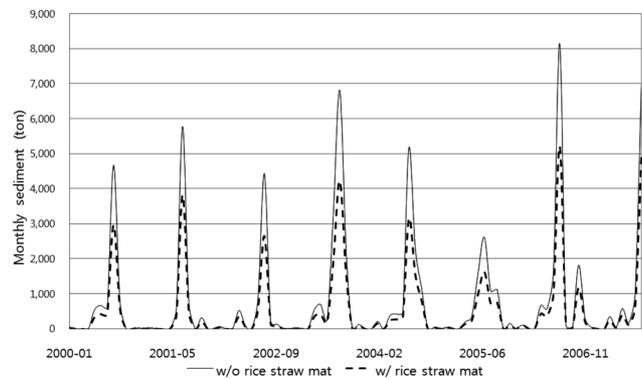


Fig. 10 Sediment yield calculated by the SWAT model w/ or w/o rice straw mat during Mar. 2000 – Aug. 2007

## 2. 벚짚매트 미적용 vs. 적용시 유사저감효과

본 연구에서는 SWAT SD-HRU 전처리 프로세서 모듈 (Jang et al., 2009)을 이용하여 실측 경사도/경사장을 반영하고, 식 (1)에 의한 벚짚매트 경사도별 USLE P 인자 회귀식을 이용하여 유역에서의 벚짚매트에 의한 유사 저감 효과를 SWAT 모형을 이용하여 평가하였다. Fig. 10에서 보이는 바와 같이 벚

짚매트 미적용 vs. 적용 했을 때의 모의 유사량 경향은 비슷하나 최대값, 최소값 등에서 다소 차이를 보였다. 벚짚매트 미적용시 모의 기간내 (2000년 1월 - 2007년 8월) 유사량 총합은 74,954.42 ton이고, 월평균 유사량은 814.72 ton/month로 산정되었고, 벚짚매트를 적용하였을 경우 모의 기간내 (2000년 1월 - 2007년 8월) 유사량 총합은 48,460.55 ton이고, 월평균 유사량은 526.75 ton/month로 벚짚매트를 적용하지 않았을 때보다 약 35.35 % 저감된 값을 보였다.

Table 3은 강우가 집중되는 모의 기간 내 6, 7, 8, 9월의

벗짚매트 설치로 인해 저감된 유사량을 보여준다. Table 3에서 보이는 바와 같이 벗짚매트를 설치하지 않은 경우 모의 기간 내 6월부터 9월까지의 월평균 유사량은 약 2,109.54 ton/month, 벗짚매트를 설치한 경우 모의 기간 내 6월부터 9월까지의 월평균 유사량은 약 1,358.61 ton/month으로 산정되었다. 따라서 모의 기간 내 6월부터 9월까지 저감된 월평균 유사량은 750.93 ton/month 으로, 이는 벗짚매트를 사용하지 않았을 경우에 비해서 사용하였을 경우 유사량은 약 35.60 % 저감된 것으로 분석되었다.

#### IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 VFSSMOD-W 모형을 이용하여, 벗짚매트에 의한 유사저감 효과를 SWAT 모형에서 고려할 수 있도록 경사도에 따른 USLE P 인자 회귀식을 산정하였다. 또한 현재 SWAT 모형을 이용한 유사량 산정시 각 소유역 내 HRU의 공간적인 분포를 고려할 수 없는 단점을 개선할 수 있는 SD-HRU 전처리 프로세서 모듈을 이용하여 유역에서의 벗짚매트에 의한 유사저감 효과를 모의하였다. SD-HRU 전처리 프로세서 모듈을 적용하고 각 농경지의 경사도에 따라 산정된 USLE P 인자 회귀식을 이용하여 벗짚매트에 의한 유사 저감 효과를 분석하였으며, 벗짚매트를 적용하지 않았을 때와 벗짚매트를 적용하였을 때 모의 기간 내 (2000년 1월 - 2007년 8월) 월평균 유사량은 각각 814.72 ton/month 과 526.75 ton/month 으로 산정되었고, 벗짚매트 적용시 약 35.35 %의 유사량 저감 효과를 보였다. 강우가 집중되는 기간 (6, 7, 8, 9월 (2000 - 2007년))에 벗짚매트의 적용유무에 따른 유사량 저감 효과를 분석한 결과 벗짚매트의 설치 전·후의 월평균 유사량은 각각 2,109.54 ton/month와 1,358.61 ton/month로 분석되었다. 벗짚매트 적용시 약 35.60 %의 유사량 저감 효과를 보였다. 보다 정확한 경사도별 USLE P 값 산정을 위해서는 다양한 경사도에 따른 실측 유사량 결과 자료를 이용하여 경사도별 USLE P 회귀식을 산정해야 한다. 본 연구는 다른 연구를 통해서 연구 수행된 결과를 이용하여 본 연구의 데이터로 사용하다 보니 약간의 한계점이 있었다. 그래서 1.75 - 100 % 경사도 경작지에 적용하기에는 약간의 무리가 있으나, 대부분 경사도 20 % 미만의 경작지이기 때문에 본 연구에서 제시한 선형적 관계식을 적용하였다. 그러나 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다. 또한 현재 해안면 유역에 대한 유량 및 유사량 실측 자료가 확보되어 있지 않기 때문에 추후 2년여 정도의 추가적인 모니터링 후에 SWAT 모형의 보정 및 검정이 가능하리라 판단된다.

현재 유역에서의 비점오염원에 대한 많은 연구가 진행되면서, 이를 저감시키기 위한 많은 대책들이 제시되고 있다. 이러한 대

책 중 벗짚매트는 발생원에서의 유사 발생을 저감시킬 수 있는 방법으로 유역의 비점오염원 저감에 큰 효과가 있을 것으로 기대된다. 그러나 이를 현장에 적용시키기 위해서는 모형을 이용하여 이에 대한 효과를 모의하여야 보다 효과적으로 적용할 수 있을 것으로 생각된다. 본 연구에서와 같이 벗짚매트에 의한 유사저감 효과를 USLE P 인자값에 의해 고려하고, 이를 SD-HRU 전처리 프로세서 모듈에 의해 각 소유역 내 공간적으로 분포된 HRU로 적용하여 모의한다면, 경사지 밖에서의 비점오염원 저감대책 관련 정책 개발 및 계획 수립시 보다 효율적으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 또한 본 연구결과에서 보여주는 바와 같이 연구대상유역인 해안면 유역과 같은 고랭지 지역에서의 영농활동 시 토양유실 저감시설로서 벗짚매트를 설치한다면 강우시 발생하는 토양유실을 효과적으로 저감시킬 수 있을 것이라 기대된다. 또한 향후 벗짚매트의 벗짚밀도 및 다양한 방법에 의해 표면 처리된 벗짚매트의 특성을 고려할 수 있는 추가적인 연구가 필요하리라 판단된다.

본 연구는 환경부 Eco-star project (과제번호: 07-II-6)의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

#### REFERENCES

1. Arnold, J. G., 1992. Spatial scale variability in model development and parameterization. *ph.D. Dissertation*, Purdue University, West Lafayette, IN.
2. Arnold, J. G., R. Srinivasan, R. S. Muttiah, and J. R. Williams, 1998. Large area hydrologic modeling and assessment: part I: model development. *Journal of American Water Resources Association* 34(1): 73-89.
3. Arnold, J. G., R. S. Muttiah, R. Srinivasan, and P. M. Allen, 2000. Regional estimation of baseflow and groundwater recharge in the Upper Mississippi river basin. *Journal of Hydrology* 227(1-4): 21-40.
4. Arabi, M., J. R. Frankenberger, B. A. Engel, and J. G. Arnold, 2007. Representation of agricultural conservation practice with SWAT. *Hydrological Processes* 22(16): 3042-3055.
5. Brown, L. R., 1984. Conserving soils. In: Brown, L. R. (Ed.), *State of the World*. Norton, New York, 53-75.
6. Choi, B. S., J. E. Lim, Y. B. Choi, K. J. Lim, J. D. Choi, J. H. Joo, J. E. Yang, and Y. S. Ok, 2009.

- Applicability of PAM (Polyacrylamide) in soil erosion prevention: rainfall simulation experiments. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 28(3): 249-257 (in Korean).
7. EGIS. [Http://egis.me.go.kr/egis](http://egis.me.go.kr/egis). Accessed 17 Oct. 2009.
  8. Hur, S. O., K. H. Jung, S. K. Ha, H. K. Kwak, and J. G. Kim, 2005. Mathematical Description of Soil Loss by Runoff at Inclined Upland of Maize Cultivation. *Journal of Korean Society of Soil and Fertilizer* 38(2): 66-71 (in Korean).
  9. Jang, W. S., D. S. Yoo, I. M. Chung, N. W. Kim, M. S. Jun, Y. S. Park, J. G. Kim, and K. J. Lim, 2009. Development of SWAT SD-HRU pre-processor module for accurate estimation of slope length of each HRU considering spatial topographic characteristics in SWAT. *Journal of Korean Society on Water Quality* 25(3): 351-362 (in Korean).
  10. Jang, W. S., Y. Park, J. Kim, N. Kim, J. Choi, Y. S. Ok, J. E. Yang, and K. J. Lim, 2010. Development of the SWAT DWDM for Accurate Estimation of Soil Erosion from an Agricultural Field. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 52(1): 79-88.
  11. Jha, M., P. W. Gassman, S. Secchi, G. Roy, and J. G. Arnold, 2002. *Impact of watershed subdivision level on flows, sediment loads, and nutrient lossless predicted by SWAT*, Working Paper 02-WP, 315: 22-23.
  12. Jha, M., S. Rabotyagov, and P. W. Gassman, 2009. *Optimal Placement of Conservation Practices Using Genetic Algorithm with SWAT*. Working Paper 09-WP 496, Center for Agricultural and Rural Development, Iowa State University.
  13. Jun, M. S., 2007. A device for reducing muddy water in the watershed of Soyang Dam, 131-140. Chuncheon, Gangwon: Gangwon Development Research Institute (in Korean).
  14. Korean Soils Information. [Http://asis.rda.go.kr](http://asis.rda.go.kr). Accessed 3 Oct. 2009.
  15. Ministry of Environment, 2007. Management of alpine farmland in Soyanggang dam watershed, 3-16. Gwacheon, Gyunggi: Ministry of Environment (in Korean).
  16. Muñoz-Carpena, R., J. E. Parsons, and J. W. Gilliam, 1999. Modeling hydrology and sediment transport in vegetative filter strips. *Journal of Hydrology* 214(1-4): 111-129.
  17. Muñoz-Carpena, R., and J. E. Parsons, 2005. Vegetative Filter Strips Hydrology and Sediment Transport Modeling System. *Model Document & User's Manual*.
  18. Neitsch, S. L., J. G. Arnold, J. R. Kiniry, and J. R. Williams, 2005a. *Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2005*. USDA, ARS, Temple, Texas.
  19. Neitsch, S. L., J. G. Arnold, J. R. Kiniry, and J. R. Williams, 2005b. *Soil and Water Assessment Tool User's Manual Version 2005*. USDA, ARS, Temple, Texas.
  20. Seo, J. H., J. Y. Park, and D. Y. Song, 2005. Effect of Cover Crop Hairy Vetch on Prevention of Soil Erosion and Reduction of Nitrogen Fertilization in Sloped Upland. *Journal of Korean Society of Soil and Fertilizer* 38(3): 134-141 (in Korean).
  21. Shin, M. H., C. H. Won, Y. H. Choi, J. Y. Seo, J. W. Lee, K. J. Lim, and J. D. Choi, 2009. Simulation of field soil loss by artificial rainfall simulator-by varying rainfall intensity, surface condition and slope. *Journal of Korean Society on Water Quality* 25(5): 785-791 (in Korean).
  22. Srinivasan, R., J. G. Arnold, R. S. Muttiah, C. Walker, and P. T. Dyke, 1995. Plant and hydrological simulation for the conterminous U.S. using SWAT and GIS. *Hydrological Science and Technology* 10(1-4): 160-168.
  23. Ye, L., S. W. Chung, D. G. Oh, S. W. Yoon, 2009. Impact of climate change on water cycle and soil loss in Daechong reservoir watershed. *Journal of Korean Society on Water Quality* 25(6): 821-831 (in Korean).