

유역단위 유사 저감 효과 모의를 위한 HRSM4BMP모형의 개선 Enhancement of HRSM4BMP Model to Simulate Sediment Reduction Efficiency Based on Watershed Scale

류지철 · 금동혁* · 신동석 · 안기홍 · 박배경 · 임경재*[†]

Jichul Ryu · Donghyuk Kum* · Dong Seok Shin

Ki Hong Ahn · Bae Kyung Park · Koung Jae Lim*[†]

국립환경과학원 유역총량연구과 · *강원대학교 지역건설공학과

Watershed and Total Load Management Research Division, National Institute of Environmental Research

*Department of Regional Infrastructure Engineering, Kangwon University

(2014년 6월 21일 접수, 2014년 8월 14일 수정, 2014년 8월 25일 채택)

Abstract : The objectives of study are 1) to enhance the filed scale BMPs model of HRSM4BMP for simulation of watershed scale and 2) to evaluate the enhanced HRSM4BMP model. Thus pre-process and post-process module were developed and HRSM4BMP was linked to SWAT routing module. After enhancement of model, enhanced HRSM4BMP model was applied to Heaan watershed in Kangwon province with Vegetative filter strip (2 m) in subwatershed #14 and reduction of sediment load was evaluated by watershed scale in outlet. The results of simulation, sediment load was reduced by 4 percent during 3 years in outlet. The result of this study is expected to be used Long-term BMPs establishing plan in South Korea

Key Words : BMPs, HRSM4BMP, Sediment Load, SWAT, Vegetative Filter Strip

요약 : 본 연구의 목적은 필지 단위 최적관리기법 적용 효과를 분석할 수 있는 HRSM4BMP 모형을 유역단위로 모의할 수 있도록 모형을 개선하는 것이며 이를 실제 유역에 적용하여 평가하는 것이다. 따라서 HRSM4BMP 모형을 유역단위로 모의할 수 있도록 하기 위해 전처리 프로세서와 후처리 프로세서 모듈을 개발하였고 유역단위 유출량 및 유사량 모의에 많이 사용되고 있는 SWAT모형의 하천 하도추적과정과 HRSM4BMP 모형을 연계하였다. 이렇게 개선된 HRSM4BMP 모형을 강원도 양구군 해안면 유역 내 14번 소유역에 2 m의 초생대 최적관리기법 적용에 따른 유역단위 저감효과를 모의하였다. 그 결과, 14번 소유역에서는 약 280 ton (5%)의 유사가 저감되었으며 유역 말단인 43번 소유역에서 초생대 적용 후 약 223 ton (4%)의 저감 효과가 있는 것으로 분석되었다. 본 연구의 결과는 향후 우리나라 유역단위 BMPs 설치 장기 계획에 있어 매우 유용하게 사용될 수 있을 것이라 판단된다.

주제어 : 유사량, 초생대, 최적관리기법, HRSM4BMP, SWAT

1. 서론

최근 우리나라 농촌지역에서는 토양유실에 따른 비점오염 문제가 심각하게 대두되고 있으며 이러한 비점 오염부하량의 증가로 인해 하천수의 수질이 악화되고 있다.^{1,2)} 또한 농촌지역에서 발생하는 비점오염물질량에 대한 기작이 제대로 파악되지 않는 경우가 많으며, 농약사용의 증대로 인해 영양염류 및 유해물질에 의한 하천의 수질오염이 갈수록 문제가 되고 있다.

특히 이러한 농촌지역 중 고랭지지역에서는 농작물의 생산성을 위해 과도한 비료 및 농약을 투입과 객토가 이루어지고 있으며 이로 인해 많은 양의 비점오염물질이 토양과 함께 하천으로 흘러가게 되어 심각한 수질악화를 일으키고 있다.^{3,4)}

따라서 이러한 고랭지지역 내에서 발생하는 유사량을 저감시키기 위해 많은 연구가 진행되고 있으며 특히 농업지역 내 최적관리기법(best management practices, BMPs)을 통한

다양한 저감 기법 연구가 소개되고 있다.⁵⁻⁷⁾

이러한 최적관리기법(BMPs)에는 구조적 및 비구조적 방법이 있으며, 구조적 방법에는 유출차체를 억제시키는 방법과 유출된 후 수집 시스템 내에서의 처리법이 있으며, 유출된 후 수집 시스템 내에서의 처리법에는 침전에 의한 오염물의 제거(저류형), 침투능 증가를 통한 오염물 제거(침투형), 식생을 이용한 오염물 제거(식생형) 등의 방법이 있다.⁸⁾ 또한 비구조적 방법에는 법과 같은 규제를 통한 방법으로 서 비점오염원 유출수를 배출수기준 적용대상으로 하는 방법, 토지이용 규제를 통한 방법, 도시관리방안 등이 있다.^{9,10)}

그렇다면 농촌지역에 이러한 최적관리기법(BMPs)에 의한 유사량 저감을 산정하고 비점오염저감 대책 및 계획을 수립하기 위해서는 장기적인 BMPs에 대한 모니터링이 수반되어야 한다. 따라서 환경부에서는 현재 토양유실 저감 대책으로 필지별 최적관리기법을 적용하고 이에 따른 적용효과를 모니터링하고 있지만, 토양유실 저감이 BMPs에 의한 효과인지 아니면 해당 유역의 강우사상에 따른 효과인지 모

[†] Corresponding author E-mail: kjlim@kangwon.ac.kr Tel: 033-250-6468 Fax: 033-259-5560

니터링 결과만을 통해 판단하기 어려운 점이 있다.⁶⁾ 또한 환경부에서 모니터링하는 지점이 필지에 따른 지점뿐만 아니라 유역 말단 부분에서 측정하는 부분도 있기 때문에 완벽한 필지별 BMPs 장기 모니터링이라고 평가할 수 없다.

따라서 이러한 BMPs 장기모니터링에 대한 제한점을 보완하고 해결하기 위해 hourly time-step기반의 HRSM4BMP 모형이 개발되었다. 현재 HRSM4BMP 모형은 기존의 비점오염평가 모형들이 daily time-step기반인 것에 비해 hourly time-step기반으로 유사량을 산정하고 BMPs의 효과를 산정할 수 있도록 개발되었으며 소스코드가 개방되어 있고 자유롭게 프로그램을 제작 및 배포할 수 있는 open source software인 open source GIS기반 인터페이스로 구성되어 있다.¹¹⁾

하지만 HRSM4BMP모형은 필지단위로 개발되었기 때문에 각각의 필지에서 산정되는 유사량과 BMPs를 적용하였을 때 저감되는 유사량에 대한 효과가 유역에 미치는 영향까지 파악하기에는 어려운 점이 있으며 이러한 제한점은 특히 유역단위 농촌지역의 BMPs에 의한 비점오염 삭감 계획에 이 모형을 반영하기 어렵다.

따라서 본 연구의 목적은 필지단위 BMPs 평가 모형인 HRSM4BMP모형을 유역단위 모의를 할 수 있도록 개선하고, 실제 유사발생이 많은 고랭지 지역에 적용하여 개선된 HRSM4BMP모형을 평가하는 것이다.

본 연구에서 연계된 SWAT-HRSM4BMP 모형은 보다 효과적인 유역단위 최적관리 기법 적용 계획에 유용하게 사용될 수 있을 것이라 기대된다.

2. 연구 방법

2.1. HRSM4BMP모형의 개요

HRSM4BMP (Hourly time step Runoff and Sediment Modeling system for BMPs evaluation) 모형은 MapWindow¹²⁾ 기반으로 인터페이스가 구축되었다. 특히 인터페이스 구성에 사용된 MapWindow는 Open Source Software로서 라이선스 비용이 거의 없고 소프트웨어의 코드 수정 및 배포가 용이한 장점을 가지고 있다.

2.1.1. HRSM4BMP모형의 유출량 및 유사량 산정 모듈

HRSM4BMP모형의 유출량, 유사 및 BMPs 산정 모듈은 모두 Fortran언어를 이용하여 개발되었다. 각각의 산정모듈 중, 유출량 산정모듈은 시강우자료를 활용하며 이에 따라 시간단위로 변화되는 강우강도를 반영하고, 유출곡선지수(curve number, CN)의 5일 선행 강수량과 필지 경사도를 같이 고려하여 유출량을 산정한다.

유사량 산정 모듈은 단일 호우에 대한 유사량 산정이 가능한 수정범용토양공식(modified universal soil loss equation, MUSLE)식을 이용하며 특히 MUSLE 공식의 식생피복인자(C factor)는 Time-Variant C Database가 적용되어 작물성장

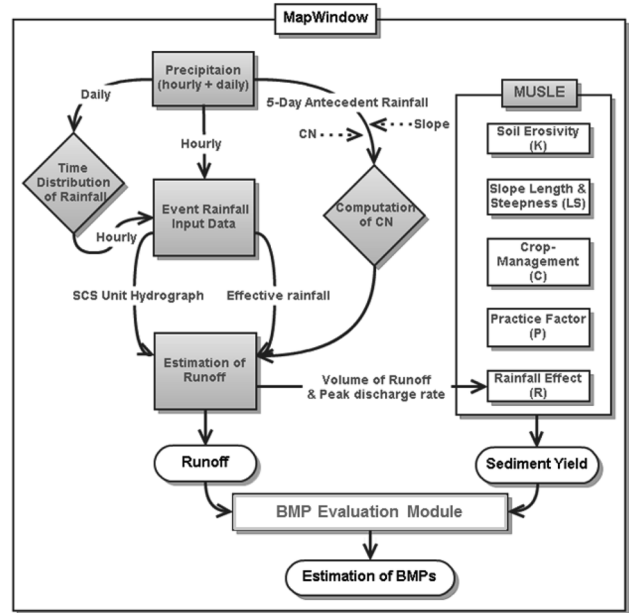


Fig. 1. Overview of HRSM4BMP model.

에 따른 지표피복면적의 변화를 고려할 수 있도록 구성되어 있다(Fig. 1).

2.1.2. HRSM4BMP모형의 BMPs적용 모듈

HRSM4BMP 모형 내 BMPs 적용 모듈은 초생대, 녹비작물, 식생발두령, 빗물 우회수로, 침사지 효과 분석 모듈로 구성되어 있다.

초생대 효과 분석 모듈은 필지별 기존에 개발되어 활용되고 있는 VFSSMOD 모형에서 추출한 아래와 같은 VFSSMOD 회귀식(식 (1))¹³⁾을 이용하여 BMPs 평가 모듈로 활용하였고, 녹비작물 효과분석 모듈은 USLE C DB를 이용하여 녹비작물 적용에 따른 유사 저감 효과를 분석한다.

$$\begin{aligned} \text{Trapping Efficiency} = & (-0.00007345046 \times L3 + 0.001558 \times L2 - 0.006376 \times L - \\ & 0.001189) \times (\text{LN}(V))^3 + (0.0009688469 \times L3 - 0.020779 \times L2 + \\ & 0.095153 \times L + 0.019348) \times (\text{LN}(V))^2 + (-0.004274 \times L3 + \\ & 0.092846 \times L2 - 0.487355 \times L - 0.10563) \times (\text{LN}(V)) + \\ & (0.006381 \times L3 - 0.140713 \times L2 + 0.869293 \times L + 0.19386) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 L은 초생대의 폭(m), V는 유출량(m³)이다.

지표피복 효과분석 모듈은 Jang¹⁴⁾에서 연구된 USLE P 회귀식(식 (2))을 이용하여 경사도에 따른 지표피복의 효과를 산정하고 식생발두령 효과분석 모듈은 USLE L 인자를 조정하여 사용자의 입력값에 따라 식생발두령 효과를 분석할 수 있으며 빗물 우회수로 효과분석 모듈은 우회수로를 설치하여 산림 등에서 발생하여 농경지로 유입되는 유출수의 흐름을 변경시켜 토양 유실을 저감시키는 효과를 분석한다.

$$\text{USLE P factor} = 0.0069 \times \text{Slope} (\%) + 0.28 \quad (2)$$

또한 침사지 효과 분석 모듈은 침사지 내 증발, 침투 등으로 고려하여 유출량을 산정하고 이를 이용하여 유사에 대한 침전 등을 고려하여 침사지 내 유사량을 분석한다.

2.2. 유역단위 최적관리기법 평가를 위한 HRSM4BMP의 개선

2.2.1. 유역모형 선정

국내에서 유역단위로 유출/유사를 산정하는 데에 SWAT 모형, HSPF모형, SWMM모형 등이 활용되고 있다. 하지만 SWMM모형은 주로 도시 유역의 수리/수문 분석에 이용되는 모형으로, 농촌유역의 토양유실량을 산정하기에는 적합하지 않다. 또한 HSPF모형은 도시와 비도시지역이 혼재되어 있는 복합토지유역의 수리/수문 분석에 많이 활용되고 있지만, REACH 개념으로 모의가 되기 때문에 필지별 산정 결과를 연계하기에는 많은 어려움이 있다. 이에 본 연구에서는 유역을 소유역으로 구분하고 이를 다시 수문학적반응단위(hydrological response unit, HRU)로 세분화하여 유역에서 발생하는 유출 및 유사를 모의할 수 있는 SWAT모형을 연계 대상모형으로 선정하였다. SWAT모형은 각 HRU에서 발생하는 유출, 유사 등에 대한 부하량은 소유역 단위로 합산되고 이는 하도, 저수지 등을 통한 추적과정을 거쳐 유역 출구까지 이르게 되어 유역 총량으로 계산된다.¹⁵⁾

2.2.2. SWAT과 HRSM4BMP의 연계

유역단위 BMPs 평가를 위한 HRSM4BMP와 SWAT과의 연계 과정은 다음과 같다. 첫째, 유역 내 각 대상 필지에서 발생하는 유사량을 HRSM4BMP를 통해 산정하고, 이를 SWAT 모형의 하천 하도 추적 과정에 반영하여 소유역별 유역에서 발생하는 유사량을 산정한다. 둘째, 첫 번째 과정의 대상 필지에 BMPs를 적용하여 필지별 저감되는 유사량을 HRSM4BMP모형을 통해 산정한 후, 산정된 유사량을 SWAT모형의 하천 하도 추적 과정에 반영하여 유역에서 BMPs에 의해 저감되는 유사량을 산정하고 이를 첫 번째 과정에서 산정한 유사량과 비교하여 BMPs 적용에 따른 농업 지역의 유역단위 유사 저감 효과를 평가 한다.

따라서 이와 같은 과정을 위해, 먼저 두 개의 모형에 대한 지형정보 입력과정을 하나로 결합시키기 위한 전처리 프로세서 모듈과, HRSM4BMP에서 산정한 유사량을 SWAT 하천 하도 추적과정에 삽입하기 위해 후처리 프로세서 모듈이 필요하다.

본 연구에서는 이를 위해 지형정보 통합을 위한 전처리 프로세서 모듈 및 유사량 연계를 위한 후처리 프로세서를 FORTRAN 프로그래밍 언어로 개발하였고 이를 SWAT모형의 내부 코드를 수정하여 하천 하도 추적 과정에 삽입하였다.

본 연구에서는 개발한 전처리 프로세서 모듈은 SWAT의 TxtInOut 폴더의 HRU별 면적과 경사장, 경사도, 토양속성 등 다양한 공간정보가 저장된 Input.std 파일에서 HRSM4BMP에 적용할 Subbains과 HRU에 해당하는 속성 값을 자동으로 추출하여 HRSM4BMP의 대상필지에 대한 입력자료를

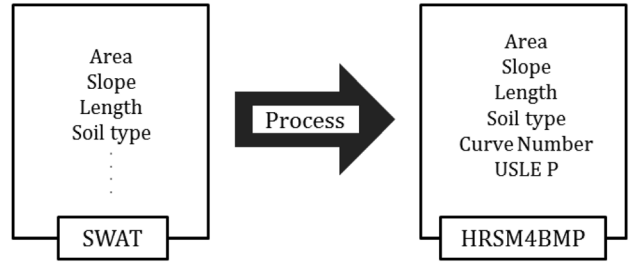


Fig. 2. Pre-process module in HRSM4BMP.

생성하게 되며 이렇게 자동으로 생성된 대상필지에 대한 입력자료를 이용하여 소유역 단위의 각 필지별 유출량 및 유사량을 산정하게 된다(Fig. 2).

또한 본 연구에서 개발한 후처리 프로세서 모듈은 SWAT의 하천 하도 추적 과정에 삽입되어 SWAT모형에서 모의된 유사량은 실제 하천 하도 추적과정 등에 적용되지 않고 HRSM4BMP모형에서 산정된 일단위 유사량으로 대체할 수 있도록 하였고 이 모든 과정은 FORTRAN 프로그래밍 언어로 작성되어 자동화 하였다.

2.3. SWAT-HRSM4BMP 적용

2.3.1. 연구대상지역 선정

HRSM4BMP 모형과 유역단위 모형 연계 시스템을 시범 적용해 보기 위한 대상지역으로 강원도 양구군 해안면을 선정하였다(Fig. 3). 해안면은 환경부에서 고시한 토양유실 우선관리 유역으로 개간을 통해 고랭지 작물 재배면적이 지속적으로 확장되고 있으며 무분별한 개간을 통하여 강우가 집중되는 여름철 토양유실 발생이 심각하게 이루어져 소양댐 유역으로 상당량의 탁수가 매년 유입되고 있다. 해안면의 지리적 위치는 북위 38° 15'~38° 20', 동경 128° 15'~128° 10'에 해당된다. 주요 소하천으로는 내동천, 둔정골천, 큰골지천, 성황천, 천룡안천, 월산천, 만대천이 있으며 모두 만대천을 통해서 소양댐으로 유입된다. 평균 경사가 11°이나 상부는 20° 하부는 5°로서 분지저를 제외하고는 매우 급하며 전형적인 고랭지 농업이 주를 이루고 있다.¹⁶⁾



Fig. 3. Study area.

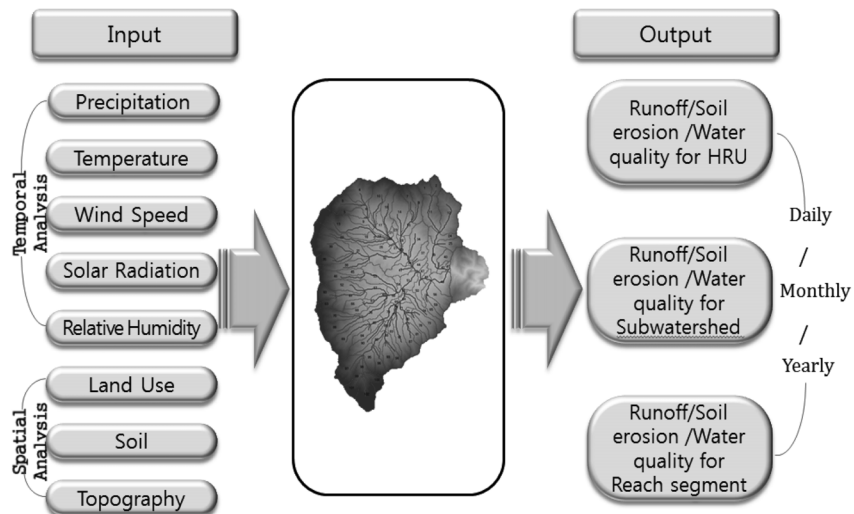


Fig. 4. Overview of SWAT.

2.3.2. 연구대상지역 입력자료 구축

Fig. 4는 SWAT모형의 입력자료와 출력자료를 나타낸다. SWAT모형은 수문 및 수질을 시·공간적으로 분석하기 위하여 시간적으로 변화하는 기상자료와 공간적으로 변화하는 토지이용도, 토양도 그리고 지형자료 등이 필요하다.¹⁷⁾

SWAT모형에 활용되는 기상자료는 일 강수(mm), 일 평균 풍속(m/sec), 일평균 상대습도(%), 일 최고·최저기온(°C), 일 일조량(MJ/m²)이다. 2009년 7월~2010년 8월까지의 기상자료는 해안면에 설치된 11개의 관측소(Fig. 5)에서 조사한 기상자료를 이용하여 기상자료의 시공간적 차이를 반영하였고, 그 외의 기간은 WAMIS를 통해 구축하였다.

또한 토양도는 농촌진흥청 농업과학기술원에서 제공해 주는 개략토양도(1 : 50,000)를 사용하였고(Fig. 6), 토지이용도는 Yoo¹⁶⁾연구에서 지적도를 기반으로 위성영상을 참고하여 Digitizing한 자료를 사용하였다(Fig. 7).

2.3.3. SWAT 모형의 보정

개선된 HRSM4BMP모형에서 산정하는 유사량이 SWAT모형을 통해 유역단위로 모의될 때, 유역에서 발생하는 유량은 HRSM4BMP모형이 아닌 SWAT모형에서 발행하는 유량을 사용한다. 또한 SWAT으로 구분된 모든 소유역을 대상으로 모의하는 것이 아닌 일부 발지역이 많이 포함된 소유역에 대해 유사량 및 BMPs를 평가하는 것이기 때문에 발지역이 포함되지 않는 다른 소유역의 유출량 및 유사량에 대해 정확한 예측이 필요하며 이를 위해 SWAT모형의 보정이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 SWAT-CUP 모형을 이용하여 해안면의 유량 및 유사량에 대해 2009년 7월부터 2010년 8월까지 보정을 실시하였고 보정에 사용된 실측 유량 및 유사량 자료는 TERRECO에서 2009년 7월부터 2010년 8월까지 양구 해안면 물골교에서 Standard method와 수질오염공정시험법으로 42회 조사 측정된 유량 및 수질 자료를 사용하였다.¹⁸⁾

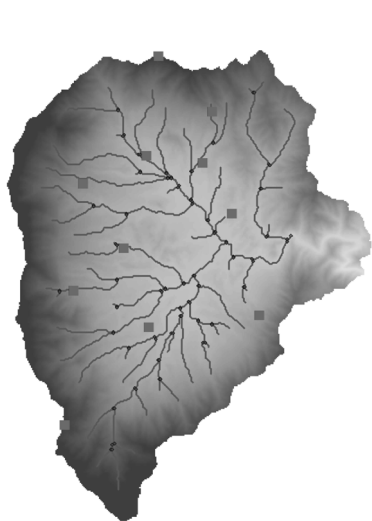


Fig. 5. Weather stations.



Fig. 6. Soil map.

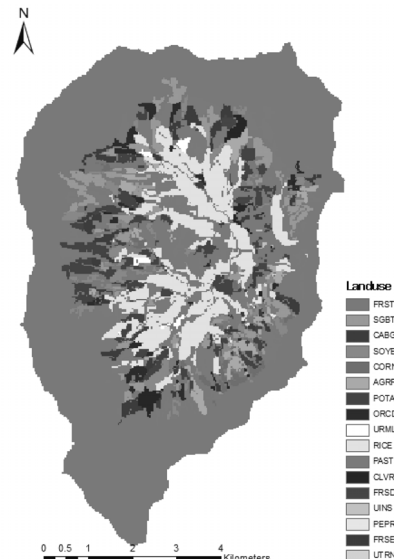


Fig. 7. Landuse.

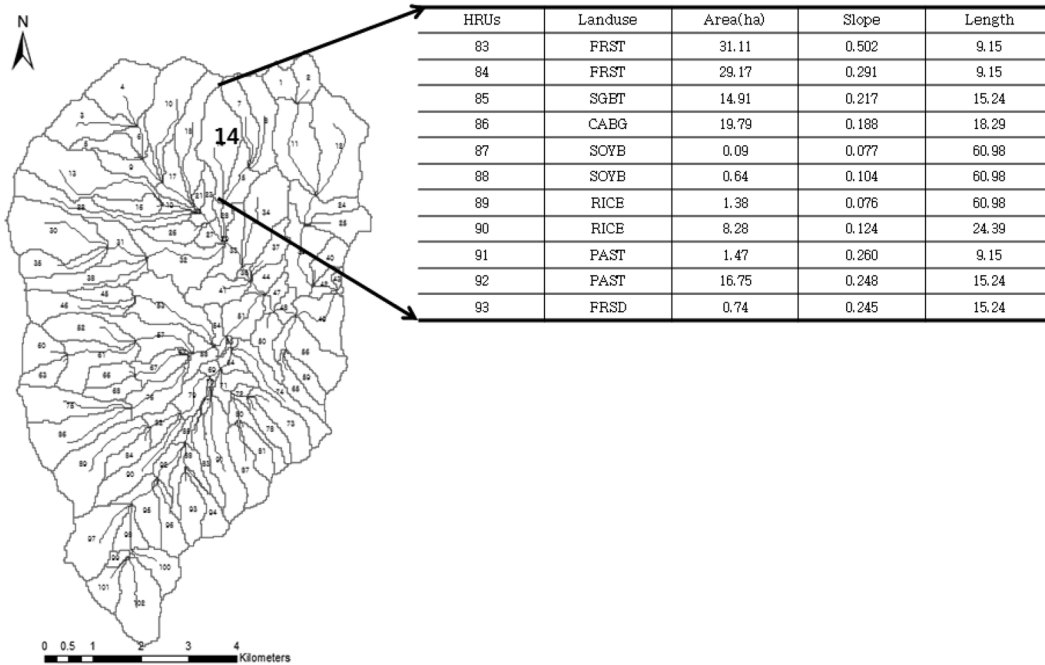


Fig. 8. HRU information in 14 subbasin.

2.3.4. 소유역별 필지단위 유사량 산정 및 초생대 최적관리기법 적용

필지단위로 유사량을 산정하기 위해 SWAT에서 보정된 유사량을 기준으로 14번 소유역을 선정한 후 14번 소유역에 속한 각각의 HRU별 필지정보(Fig. 8)를 개선된 HRSM4BMP의 전처리프로세서를 이용하여 HRSM4BMP의 대상필지 입력자료로 추출하였다.

추출된 대상필지 입력자료와 HRSM4BMP를 이용하여 소유역별 필지별 유사량을 산정하고, 농경지 내 초생대 최적관리기법을 적용하여 필지단위 초생대 적용 전 및 초생대 적용 후에 따른 유사량을 산정하였다.

2.3.5. 유역단위 최적관리기법 효과 모의

14번 소유역의 필지단위로 산정한 초생대 적용 전 유사량과 초생대 적용 후의 유사량을 HRSM4BMP의 후처리 프로세서를 이용하여 SWAT의 하천 하도추적과정에 적용하였고 이에 따라 초생대 적용 전 및 초생대 적용 후에 따른 유역단위 유사량을 산정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 개선된 HRSM4BMP 개발 결과

본 연구에서는 전처리 및 후처리 프로세서를 개발하여 필지단위 최적관리기법 효과 모의를 할 수 있는 기존 HRSM4BMP 모형을 SWAT모형과 연계하여 유역단위로 유출량과 유사량 및 BMPs 적용 효과를 분석할 수 있게 개선하였다 (Fig. 9).

따라서 개선된 HRSM4BMP 모형은 Fig. 11과 같이 SWAT

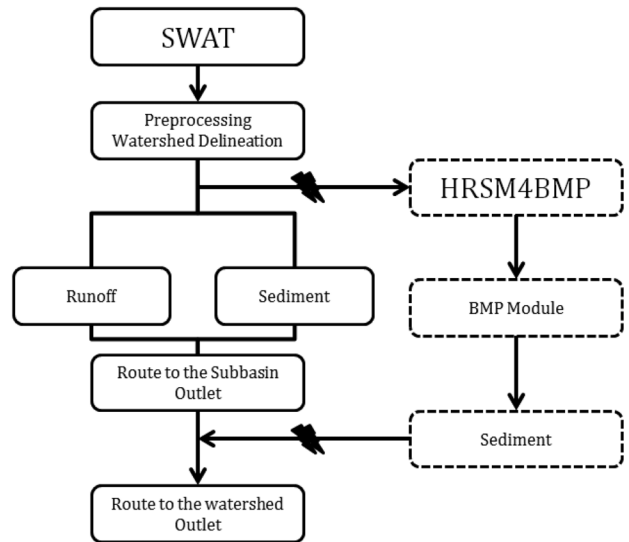


Fig. 9. A schematic design of SWAT and HRSM4BMP linkage at a watershed scale.

모형의 필지별 정보를 자동으로 HRSM4BMP 모형의 입력자료로 변환하며 이를 HRSM4BMP 모형 고유의 프로그램 엔진을 통해 유출량, 유사량 및 BMPs 적용 효과를 분석하며 이를 다시 SWAT모형의 하천 하도추적과정에 연계하여 유역단위로 BMPs 적용 전 후에 따른 유사량의 삭감부하량을 산정할 수 있다.

3.2. 개선된 HRSM4BMP 적용 결과

3.2.1. SWAT모형의 보정 결과

본 연구에서는 SWAT모형과 HRSM4BMP 모형을 연계하기 전 SWAT-CUP 프로그램을 이용하여 양구군 해안면 유역의

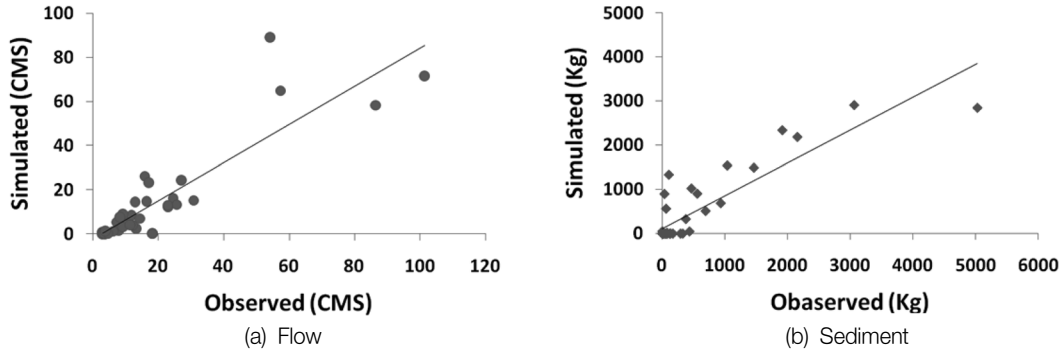


Fig. 10. Comparison of observed data and calibration result.

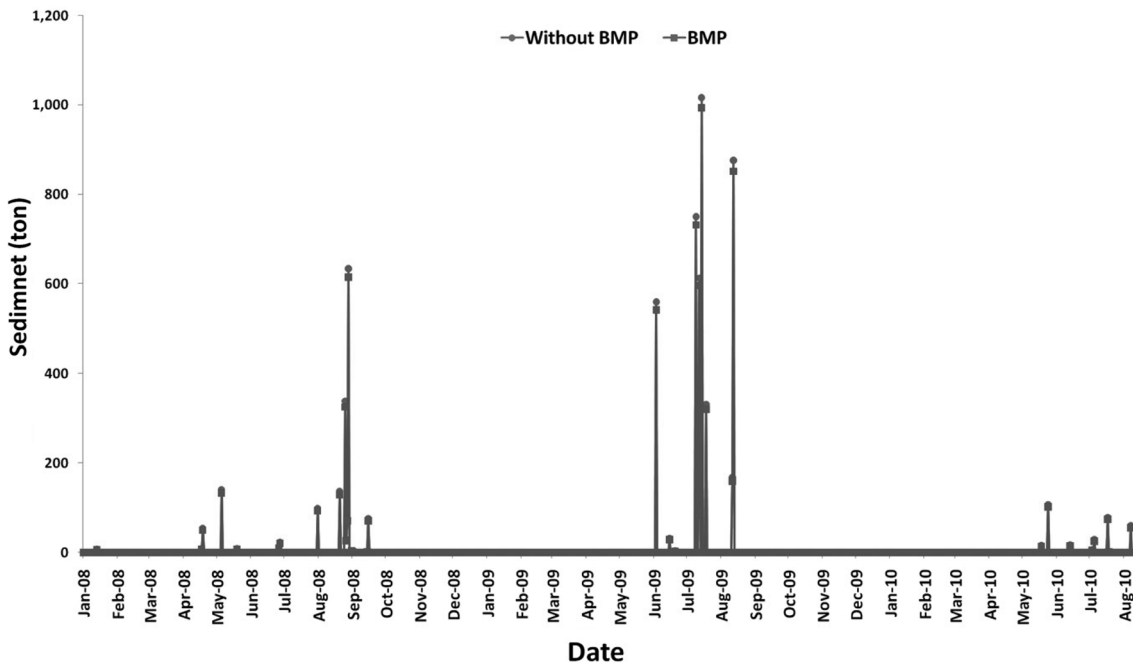


Fig. 11. Comparison of sediment yield between before and after application of vegetative filter strip.

유량 및 유사량에 대해 SWAT모형을 보정하였다. 유량의 보정결과, R^2 0.79, NSE 0.74로 나타났으며 유사량 보정결과 R^2 0.78, NSE 0.78로 나타났다(Fig. 10). 따라서 Donigan¹⁹⁾ 연구에 따르면 NSE 지수가 0.5 이상이면 자연현상을 잘 모의하는 것으로 판단하였기 때문에 SWAT모형의 유량 및 유사량은 비교적 잘 보정된 것으로 판단된다.

3.2.2. 유역단위 유사량 산정 결과 및 초생대 적용 결과

유역단위로 최적관리기법의 효과를 평가할 수 있는 개선된 HRSM4BMP 모형을 이용하여 양구군 해안면 유역의 14번 소유역 내 초생대 설치(2 m) 전 후에 따른 유사량을 산정하였고, 유역에 적용하여 유역단위 초생대 설치 전 후에 따른 유사량 저감효율을 산정 하였다.

전처리 프로세서 모듈을 적용하여 14번 소유역의 HRU 정보를 HRSM4BMP모형에 입력하여 14번 소유역 내 농경지의 초생대 설치(2 m)에 따른 모의기간(2008.01.01~2010.08.11) 내 유사량 산정 결과, 6044.3 ton으로 산정되었고 초생대 설치 전 유사량 6328.9 ton과 비교하였을 때 284.6 ton 차이가

있는 것으로 분석되었다. 또한 이를 유역 말단지점(소유역 43)에서의 유사량을 비교한 결과 초생대 적용 전 141,440 ton, 초생대 적용후 141,217 ton으로 초생대 적용후 약 223 ton이 저감되는 것으로 산정되어, 유역 말단부에서의 저감효과는 미비하지만, 14번 소유역에서의 저감효과는 약 4%로 초생대 적용으로도 상당량의 토사를 줄일 수 있는 것으로 판단되며(Fig. 11), 유사량이 많이 발생하는 다른 소유역에도 다양한 BMPs를 적용한다면 유역 말단지점에서의 유사량 저감량이 훨씬 더 많이 증가될 수 있을 것이라 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 기존 필지별 BMPs 적용 효과 분석 모형인 기존 HRSM4BMP모형을 유역단위 모의가 가능할 수 있도록 전처리 및 후처리 프로세서 모듈 개발을 통해 SWAT모형과 연계하여 개선하였고, 개선된 HRSM4BMP모형을 평

가하기 위해 양구군 해안면 유역의 14번 소유역에 2 m 초생대를 적용하여 그 효과를 유역단위로 분석하였다.

양구군 해안면 14번 소유역의 농경지에 2 m 초생대를 적용한 결과 14번 소유역 내에서는 약 280 ton 정도의 저감효과가 있는 것으로 나타났으며 이를 양구군 해안면 전체 유역 내 효과를 분석한 결과 약 4%의 유사 저감효과가 발생하는 것으로 분석되었다.

따라서 본 연구에서 개선한 HRSM4BMP 모형은 기존 필지단위로만 BMPs 적용에 따른 유사저감효과를 모의할 수 있는 것을 유역단위로 확장하였기 때문에 하나의 단일 농경지뿐만 아니라 여러 농경지가 많이 포함된 유역의 BMPs 설치에 따른 유사저감 모의 및 BMPs 설치 장기 계획 수립에 있어 매우 유용하게 사용될 수 있을 것이라 판단된다. 또한 기존 SWAT 모형에서 고려하지 못하는 다양한 BMPs 효과에 대해서도 모의할 수 있기 때문에 우리나라 실정에 맞는 유역단위 농촌지역 유사저감효과 모의에 효과적일 것이라 판단된다.

하지만 개선된 HRSM4BMP 모형은 실제 필지단위가 아닌 SWAT모형의 HRU 단위를 이용하기 때문에 실제 농경지의 필지형상을 고려하지 못하는 단점이 있으며 향후 연구에서는 이러한 점을 보완하여 실제 필지형상을 그대로 SWAT모형과 연계할 수 있는 연구가 필요 할 것으로 판단된다.

KSEE

Reference

- Kim, B. C. and Jung, S. M., "Turbid strom runoff in lake Soyang and their environmental effect," *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **29**(11), 1185~1190(2007).
- Jung, S., Jang, C., Kim, J. K. and Kim, B., "Characteristics of water quality by storm runoff from intensive highland agriculture area in the upstream of Han river basin," *J. Kor. Soc. Water Qual.*, **25**(1), 102~111(2009).
- Choi, Y., Choi, J., Sim, C. and Kim, Y., "Non point source pollution prediction of agricultural basin real and probable rainfall by distribution model," *J. Kor. Technol. Soc. Water Waste Water Treat.*, **7**(3), 93~106(1999).
- Joo, J. H., Jung, Y. S., Yang, J. E., Ok, Y. S., Oh, S., Yoo, K. Y. and Yang, S. C., "Assessment of pollutant loads from alpine agricultural practices in Nakdong river basin," *Kor. J. Environ. Agric.*, **26**(3), 233~238(2007).
- Choi, J. Y., "Nonpoint BMPs Application and lag time in water quality response," *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **29**(11), 1179~1184(2007).
- Kum, D., Ryu, J., Choi, J., Shin, M. H., Shin, D. S., Cheon, S. U., Choi, J. D. and Lim, K. J., "Development and evaluation of runoff-sediment evaluation system and BMPs evaluation modules for agricultural fields using hourly rainfall," *J. Kor. Soc. Water Environ.*, **28**(3), 375~383(2012).
- Won, C. H., Shin, M. H., Shin, H. J., Lim, K. J. and Choi, J. D., "Application of BMP for reduction of runoff and NPS pollution," *J. Kor. Soc. Agricul. Eng.*, **55**(5), 1~7(2013).
- Yoo, C. S., "Research on optimization of urban flood mitigation facilities," Korea Univ., p. 32(2009).
- Jang, J. H., "Evaluation of watershed management measures on receiving water quality using HSPF and SWAT: Kyeongan Stream watershed," Konkuk Univ., p. 24(2010).
- Kim, J. J., "Analysis of urban development for non-structural BMP application," in proceedings of the annual meeting of Korean Society on Water Environment, Daejeon Univ., Daejeon, pp. 565~566(2010).
- Kum, D., Ryu, J., Choi, Kang, H., Jang, C. H., Shin, D. S., Lee, J. K. and Lim, K. J., "Development of runoff and sediment auto-calibration tool for HRSM4BMP model," *J. Kor. Soc. Water Environ.*, **29**(1), 29~35(2013).
- Watry, G., Ames, D. P. and Michaelis, C., "Introduction to mapwindow version 4.3," Florida state university, USA. pp. 1~136.
- Park, Y. S., Park, J. H., Jang, W. S., Ryu, J. C., Kang, H., Choi, J. and Lim, K. J., "Hydrologic Response Unit Routing in SWAT to Simulate Effects of Vegetated Filter Strip for South-Korean Conditions Based on VFSSMOD," *Water*, **3**, 819~842(2011).
- Jang, W. S., Park, Y. S., Choi, J., Kim, J. G., Shin, M., Ryu, J., Kang, H. W. and Lim, K. J., "Analysis of soil erosion reduction effect of rice straw mat by the SWAT model," *J. Kor. Soc. Agric. Eng.*, **52**(3), 97~104(2010).
- Jha, M., Gassman, P. W., Secchi, S., Gu, R. and Arnold, J. G., "Effect of Watershed Subdivision on SWAT flow, Sediment and Nutrient predictions," *J. Am. Water Resour. Assoc.*, **40**(3), 811~825(2004).
- Yoo, D., Kim, K. S., Jang, W. S., Jun, M., Yang, J. E., Kim, S. C., Ahn, J. and Lim, K. J., "Evaluation of sediment yield using area-weighted measured slope and slope length at Heaan Myeon watershed," *J. Kor. Soc. Water Qual.*, **24**(5), 569~580(2008).
- Park, Y., Kim, J., Park, J., Jeon, J. H., Choi, D. H., Kim, T., Choi, J., Ahn, J., Kim, K. S. and Lim, K. J., "Evaluation of SWAT application to simulation of sediment behaviors at the Imha-Dam watershed," *J. Kor. Soc. Water Qual.*, **23**(4), 467~473(2007).
- Lee, J. W., Kum, D. H., Lee, B., Kim, Y. S., Jeong, G. C., Kim, K. S., Choi, J. D. and Lim, K. J., "Study on improvement of calibration/validation of SWAT for spatio-temporal analysis of land use and rainfall patterns," *J. Kor. Soc. Water Qual.*, **29**(3), 365~376(2013).
- Donigian, A. S., "Calibration and verification issues," HSPF training workshop handbook and CD, EPA headquarters, Washington information Center, Presented and prepared for U.S. EPA, Office of Water, Office of Science and Technology, Wahington, D.C., USA, pp. 19~22(2000).