



벗짚 피복에 의한 밭 비점오염원 유출저감효과 분석을 위한 HSPF와 SWAT 모델링

HSPF and SWAT Modelling for Identifying Runoff Reduction Effect of Nonpoint Source Pollution by Rice Straw Mulching on Upland Crops

정충길* · 안소라** · 김성준*** · 양희정**** · 이형진**** · 박근애*****†

Jung, Chung Gil · Ahn, So Ra · Kim, Seong Joon · Yang, Hee Jeong · Lee, Hyung Jin · Park, Geun Ae

ABSTRACT

This study is to assess the reduction of non-point source pollution loads for rice straw mulching of upland crop cultivation at a watershed scale. For Byulmi-cheon watershed (1.21 km²) located in the upstream of Gyeongan-cheon, the HSPF (Hydrological Simulation Program-Fortran) and SWAT (Soil and Water Assessment Tool), physically based distributed hydrological models were applied. Before evaluation, the model was calibrated and validated using 9 rainfall events. The Nash-Sutcliffe model efficiency (NSE) for streamflow using the HSPF was 0.62~0.76 and the determination coefficient (R²) for water quality (sediment, total nitrogen T-N, and total phosphorus T-P) were 0.72, 0.62, and 0.63 respectively. The NSE for streamflow using the SWAT were 0.43~0.81 and the R² for water quality (sediment, T-N, and T-P) were 0.54, 0.87, and 0.64 respectively. From the field experiment of 16 rainfall events, the rice straw cover condition reduced surface runoff average 10.0 % compared to normal surface condition. By handling infiltration capacity (INFILT) in HSPF model, the value of 16.0 mm/hr was found to reduce about 10.0 % reduction of surface runoff. For this condition, the reduction effect of sediment, T-N, and T-P loads were 87.2, 28.5, and 85.1 % respectively. By handling soil hydraulic conductivity (SOL_K) in SWAT model, the value of 111.2 mm/hr was found to reduce about 10.0 point reduction of surface runoff. For this condition, the reduction effect of sediment, T-N, and T-P loads were 80.0, 83.2, and 78.7 % respectively. The rice straw surface covering was effective for removing surface runoff dependent loads such as sediment and T-P.

Keywords: SWAT; HSPF; non-point source (NPS); rice straw mulching; best management practices (BMPs)

1. 서 론

근래 농촌지역에서의 하천 및 저수지의 수질오염에 관하여 관심이 고조되고 있으며 오염원에 대한 파악과 대책을 세우기 위해 관련분야에서 많은 연구가 진행 되고 있다. 특히 축산 및 농지에서 비 정량적으로 발생하는 비점오염원에 관한 연구는 국가적인 차원에서 이루어지고 있다. 더욱이 농촌지역에서의 비점오염원은 오염 배출 특성에 대한 파악이 어렵고 매우 불규칙하게 발생하며 농경지의 토지관리방법, 지역 환경, 조건 등에 복잡한

여러 인자에 의한 영향이 크게 나타난다. 특히 비점오염원의 적용범위가 광범위하고 특정지점에 국한 되지 않기 때문에 하천 및 저수지의 수질개선을 위해서는 반드시 비점오염원의 평가 및 관리가 필요하다 (Shin et al., 2001; Kim et al., 2008). 특히 농촌지역에서의 비점오염원물질의 유출은 주로 강우와 재배형태 (시비, 물관리, 토양관리 등)에 따라 변동하고, 비료의 적용시기에 따라 오염부하 유출특성이 변화하므로 오염물질 정량화 및 저감대책 제시에 어려움이 있다. 현재 우리나라의 하천 및 호소에 유입되는 오염물질 중 약 30 % 이상이 농업활동 등에 의한 비점오염원임에도 불구하고, 기존의 수질관리대책은 대부분 하수처리장 건설 등의 점원오염 처리에 치중하고 있다. 이에 대한 대책으로 농업비점오염원에 대한 관리는 기존의 수질관리 기법을 그대로 적용하는 것보다 오염저감을 위한 최적영농관리기술을 개발해서 적용하는 것이 더욱 바람직하다고 고려되며 다양한 형태의 농경지에서 장기모니터링을 통하여 비점오염원 배출 특성을 확인하고 신뢰성 높은 비점오염원 부하 분석을 실시하여 농업비점오염원 특성에 적합한 최적관리기법 (Best Management Practices, BMPs)을 개발하여 보급하여야 한다(National Institute

* 한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원
 ** 건국대학교 대학원 사회환경시스템공학과 박사과정
 *** 건국대학교 사회환경시스템공학과 교수
 **** 한강물환경연구소 환경연구관
 *****워싱턴대학교 사회환경공학과 박사후연구원
 † Corresponding author Tel.: +82-2-444-0186
 Fax: +82-2-444-0186
 E-mail: parkga@uw.edu

2013년 2월 5일 투고
 2013년 3월 18일 심사완료
 2013년 3월 18일 게재확정

of Environmental Research, 2010).

최적관리기법은 비점오염원 저감을 위한 대책으로 최근 BMPs 적용에 따른 실제 평가가 중요시되고 있다. 그동안 농업지대에서 발생하는 탁수 및 수질오염문제를 해결하기 위하여 여러 가지 최적관리기법들이 제시되어 왔으며 침사지, 저류지, 사방댐 등과 같은 수리 구조물에 의한 대책과 더불어 비구조물에 대한 대책이 대두되고 있다 (Lee et al., 2011). BMPs를 적용한 유역모델링 평가의 연구동향을 살펴보면 Narasimhan et al. (2007)은 하천에서의 침식으로 인한 하류 저수지에서 유사 및 영양물질의 발생을 파악하였고 SWAT 모델을 사용하여 상류 하천에서 BMPs를 적용하여 비점오염원물질 저감에 대하여 모의하였으며, Kang (2005)은 강원도 인제군의 여름철 집중호우의 발생시 경작지로부터 다량의 토사가 하천으로 유입되고 있는 내린천 상류지역에 BMPs 적용을 통한 토양유실 저감효과를 분석한 결과, 계단전, 등고선재배, 초생대, 하천정비 등의 BMPs를 유역내에 적용하여 각각 34.3 %, 48.3 %의 저감효과를 보였다. 지금까지의 선행연구는 실제현장에서의 BMPs 적용 후에 효과에 대한 모니터링 없이 모델링에서의 효과로만 BMPs를 평가하는데 그쳤다. 이러한 제한적인 평가를 보완하고 증명하고자 National Institute of Environmental Research (2011)에서는 시험포장을 조성하여 경운, 무경운, 비료성분 및 빗길지표피복에 따른 BMPs를 적용하여 실제적인 효과를 증명하였다.

비점오염원의 발생과 배출, 그 저감대책에 의한 소멸 기작은 매우 복잡하여 그 정확한 정량적인 부분을 규명하기가 어렵다. 따라서 유역에서의 비점오염원량의 추정과 그 저감대책을 적용함에 따라 그 효과를 정량적으로 규명하기 위해서는 수학적 모델을 이용해서 나타낼 수밖에 없다. 그러나 현재 많이 사용되고 있는 비점오염원 모델은 서로 다른 오염물질 운송기작을 갖거나, 각각의 적용 대상이나 범위가 다른 경우가 많으며 또한, 모델의 추정결과가 서로 다른 결과를 나타내는 경우가 발생하므로 그에 따른 어떤 모델을 선정하여 적용할 것인가에 대한 논의가 쉽지 않은 실정이다. 따라서 BMPs 평가와 비점오염원 저감 효과를 증명하기 위해서 기존에 증명된 여러 수문모델들에 모델링으로부터 유사한 결과증명과 BMPs 현장실험으로부터의 결과를 병행하여 그 효과가 증명되어야 한다. 이 중에서 비점오염원의 관리평가를 위해 농업비점오염원의 발생 및 거동을 평가할 수 있고 공간적인 변이에 따른 모의가 가능하고 시간당 유출에 따른 오염발생량을 정량화 모의가 가능하며 모델에 입력자료와 수문 해석원리가 유사한 모델로 HSPF (Hydrological Simulation Program-Fortran), SWAT (Soil and Water Assessment Tool) 을 들 수 있다. HSPF와 SWAT 모델은 유역에서의 수문해석과 토양유실을 포함한 비점오염원물질의 거동해석 및 수질개선을 위한 다양한 유역차원 오염관리대책에 있어서 널리 이용되고 있

는 유역모델이다 (Jung et al., 2012).

따라서, 본 연구에서는 시험포장 (Experimental plot)에서 연구 효과가 증명된 비구조적 최적관리기법으로 빗길지표피복 시나리오를 유역 내 밭에서의 저감 효과를 증명하기 위해 시간당 유출모의가 가능한 SWAT 모델과 HSPF 모델링을 이용하여 농촌 소유역 밭에서의 시나리오를 적용하였으며 실제적으로 분석된 비점오염원 저감효과를 두 모델에서 모의된 결과값에 따른 유사성을 비교분석을 실시하여 비구조적 최적관리기법으로서의 빗길지표피복시나리오의 증명과 활용성을 평가하고자 한다.

II. 모델이론

1. HSPF 모델

HSPF 적용 모델로는 투수지역의 수문 및 수질을 모의하는 PERLND, 불투수지역의 수문 및 수질을 모의하는 IMPLND, 수체 내의 수리 및 수질을 모의하는 RCHRES로 구성되어 있으며, 각 모듈은 물의 흐름과 관계된 부분, 토사유출 및 영양염류 등 수질과 관계되는 부분으로 구분되어 있다. 유역의 투수층과 불투수층의 수문, 수리 모의에 영향을 주는 요소는 강수, 식물 등에 의한 차단, 지표저류, 증발산, 침투 지표수 유출, 중간 유출 및 지하수 유출 등이 있다. 각 요소들은 토지피복, 토양, 선행강우 조건 등에 의해 시간에 따라 변화한다. 수체 내 수리 모의는 흐름을 한 방향으로 보며 한 부분의 유입과 여러 방향의 유출 부분으로 구성되어 있으며, 수체의 깊이에 대한 수표면적과 저류되는 수량과의 관계는 변하지 않는다는 가정을 기초로 하고 있다 (Lee et al., 2010).

부유물질은 ARM과 NPS (Donigian and Crawford, 1976) 모델을 기본으로 한 토사생성 및 유실을 고려하여 모의하게 된다. HSPF 모델에서 투수지역의 토사유실을 모의하는 모듈은 SEDMNT이며 강우에 의한 토양의 탈착에 대한 관리기법 인자는 USLE 공식의 P값을 기본으로 한다. 유역에서는 축적, 흡착, 탈착, 이송 그리고 들뜸을 고려하며 수체 내에서는 침전물의 이동과 흡착은 토양의 입자 크기에 따라 모래, 실트, 점토로 분류하여 입자의 직경, 침전속도, 밀도, 침전에 대한 한계 전단응력, 들뜸에 대한 한계 전단응력, 침식계수 등을 고려하여 모의한다 (Lee et al., 2008). 축적, 흡착, 탈착, 이송 그리고 들뜸 현상에 대한 식 (1)~(4)와 같다.

$$DETS(t) = DETS(t-1) \times (1.0 - AFFIX) + NVIS \quad (1)$$

$$DET = \nabla T60 \times (1.0 - CR) \times SMPF \times KRER \times (RAIN / \nabla T60) JRER \quad (2)$$

$$\text{STCAP} = \nabla T60 \times \text{KSER} \times ((\text{SURS} + \text{SURO}) / \nabla T60) \text{JSER} \quad (3)$$

$$\text{SCRSD} = (\text{SURO}) / (\text{SURS} + \text{SURO}) \times \nabla T60 \times \text{KGER} \times (\text{SURS} + \text{SURO}) \times T60 \text{JGER} \quad (4)$$

여기서, DETS는 지표면 상에서 분리된 유사, AFFIX는 분리된 토양 저류조의 일차 감소율, NVIS는 대기로부터 분리된 토사의 저장능으로 입력된 비율이다. DET는 강우에 의해 토양으로부터 분리된 유사, $\nabla T60$ 은 시간/계산간격, CR은 눈이나 다른 피복으로 덮여 있는 토지 구성비, SMPF는 침식조절관행인자, KREER는 토양 특성에 따른 분리 계수, RAIN는 강우량, JREER는 토양 특성에 따른 분리 지수이다. STCAP는 분리된 유사 제거능, KSER는 분리된 유사 운송 계수, SURS는 지표수 저류조, SURO는 지표 유출, JSER은 분리된 유사 운송 지수이다. SCRSD는 암반토양의 세굴, KGER는 암반토양의 세굴 계수, JGER는 암반토양의 세굴 지수이다 (Lee et al., 2010).

2. SWAT 모델

SWAT 모델은 미국 농무성 농업연구소 (Agricultural Research Service, ARS)에서 개발된 유역모델이다. SWAT은 대규모의 복잡한 유역에서 장기간에 걸친 다양한 종류의 토양과 토지이용 및 토지관리 상태에 따른 물과 유사 및 농업화학물질의 거동에 대한 토지관리 방법의 영향을 예측하기 위하여 개발되었다. SWAT 모델내에서 물수지는 유역내에서 발생하는 모든 것 중에서 중요한 요소이다. 유사 또는 영양물질의 이동을 정확히 예측하기 위해서는 모델에 의해 모의되는 수문순환이 유역내에서 발생하는 일들과 일치하여야 한다. 유역의 수문에 대한 모의는 두 개의 주요 항목으로 나눌 수 있다. 첫 부분은 수문순환의 토지부분이며 수문순환에서 토지부분은 각 소유역의 주 하천에 물과 유사, 영양물질 및 살충제의 부하량을 조절한다. 두 번째 부분은 유역의 하천 조직에서 출구까지의 물과 유사 등의 이동으로 정의될 수 있는 수문순환의 추적 혹은 물에 대한 부분이다 (Park et al., 2008).

모델에서 수문순환을 정확히 예측하기 위하여 물수지 방정식에 근거를 두고 강수, 증발산, 지표유출, 기저유출, 지하수 등에 대한 모의를 각 수문반응단위 별로 계산할 수 있다. 수문순환에서 토지부분은 각 소유역의 주 하천에 물과 유사, 영양물질 및 살충제의 부하량을 조절한다. SWAT 모델에서 강우와 유출에 의한 침식은 수정범용토양유실공식 (MUSLE: Modified Universal Soil Loss Equation, Williams, 1975)에 의해 각 HRU에 대해서 추정된다. MUSLE에서는 강우에너지 인자가 유출인자로 대

체된다. 이로서 유사량 예측을 개선하고 운송비가 불필요하게 되며 각각의 호우사상에 대하여 적용이 가능해진다. 수정범용토양 유실공식(Williams, 1995)은 다음 식(5)와 같다.

$$\text{Sed} = 11.8 \times (\text{Qsurf} \times \text{qpeak} \times \text{areahru}) \times 0.56 \times \text{K} \times \text{C} \times \text{P} \times \text{LS} \times \text{CFRG} \quad (5)$$

여기서, Sed: 주어진 날의 유사량 (ton), Qsurf: 지표유출량 (mm/ha), qpeak: 첨두유출율 (m^3/s), areahru: HRU 면적 (ha), K: USLE 토양침식성인자, C: USLE 피복 및 관리인자, P: USLE 관행인자, LS: USLE 지형인자, CFRG: 조립파편인자이다.

SWAT은 유역에서 질소와 인의 여러 형태로 나타나는 전이와 이동을 모의한다. 토양에서 질소의 한 형태에서 다른 형태로의 전이는 질소 순환에 의해 이루어지며 인의 전이는 비료, 식물생장 등에 요인으로 인한 인 순환에 의해 조절되며 영양물질은 주 하천에 유입되고 지표 유출 및 측방 지하 유출에 의하여 하류로 운송된다.

3. HSPF 및 SWAT 모델 비교

SWAT은 농경지, 산림에 장기 모의로 적절하며 HSPF는 농경지, 산림 그리고 특히 도시를 모의하는데 적절하다. HSPF와 SWAT 구성요소들은 유역 크기, 시공간 스케일, 그리고 정확도에 있어 적용이 다르다. 수체유동, 유사 이동, 토양, 온도, 기상, 식물 성장, 영양염류, 농약 그리고 토지관리를 위한 과정 및 공식들은 경험부터 알맞은 물리적 기반 범위에 HSPF로 구분되고 SWAT은 준 경험식과 이 과정들의 대부분을 대표하는 물리적 기반의 공식들을 사용한다.

HSPF와 SWAT 모델의 수체 내 기작의 주요한 차이는 HSPF는 수체내의 식물성 플랑크톤 (phytoplankton), 동물성 플랑크톤 (Zooplankton) 및 저질 조류 (benthic algae)의 모의가 가능하다. 모형 내 PLANK module을 통하여 식물성플랑크톤과 동물성플랑크톤의 이송, 빛의 감쇠 요소, 유기물질과의 관계, 빛 온도 영양물질에 의한 조류의 성장 등을 모의 할 수 있어 수체내의 조류의 상호작용의 모의가 가능하지만 SWAT은 그렇지 않다. SWAT은 조류의 생물량의 비로 가정한 Chl-a의 모의만 가능하다. 즉, Chl-a의 성장과 사멸은 성장률, 호흡율, 침전율, 조류의 양, 영양물질과 빛에 대한 성장제한 인자 등으로 계산 하는데 조류의 사멸로 인한 BOD의 내부생산에 관한 변화 모의가 부족하다. 또한, 질소의 모의에 있어 SWAT은 질산화 과정은 모의가 가능하지만, 탈질화 과정은 모의가 되지 않으나, HSPF 모형은 질산화 뿐 아니라 탈질작용에 관한 모의가 가능하다. 두 모델관련 구체적인 비교와 차이는 Jung (2012)의 논문을 참조하여 알 수 있다.

III. 재료 및 방법

1. 밭작물 빗짚지표피복 포장시험

Jang et al. (2010)은 SWAT 모델을 이용하여 빗짚매트의 토양유실 저감효과를 분석하였다. 경사도에 따른 빗짚매트 설치 후 토양유실을 흡수하는데 효과적인 빗짚매트의 효과를 구현하기 위해 SWAT에서의 USLE_P값을 조절하여 시험포에서의 결과를 토대로 적절한 USLE_P값을 선정하였다. 본 연구에서도 선행연구와 같은 방법으로 비점오염원부하량을 측정하기 위한 밭을 조성하고 BMPs로 빗짚지표피복의 효과를 검증하였다. 빗짚지표피복 시험이 이루어지고 있는 시험포장 (Experimental plot)은 행정구역상 강원도 춘천시 서면 방동리에 위치하고 전체면적 1276.6 m², 경사도는 약 3.2 %로 콩 재배가 이루어지고 있다. 시험포장은 농촌지역에서 발생하는 비점오염원 물질을 삭감하기 위해 도입된 BMPs 방법으로 기존에 관행적으로 이루어지고 있는 농경지에서의 BMPs 효과를 적용 전·후로 구분하여 유출량과 오염 부하량을 구한 후, 동일강우사상 혹은 동일 강우강도 조건에서 오염원부하량을 비교함으로써 진행하였다. 시험포장에 관한 좀 더 자세한 자료 및 결과는 National Institute of Environmental Research (2011)의 보고서를 참조하여 알 수 있다 (Jung et al., 2012).

2. 대상구역 및 자료

농촌 소유역을 대상으로 밭에서의 비점오염원 저감효과 분석이 용이한 경기도 용인시 처인구 해곡동에 위치하며 경안천 최상류 지류부에 해당하는 별미천 유역 (1.21 km²)을 대상구역으로 선정하였다 (Fig. 1). 유역출구지점에서 수문 및 수질 검보정 자료를 구축하기 위해 시단위 간격으로 수문 (강우량, 수위), sediment, T-N (Total Nitrogen), T-P (Total Phosphorous) 성분 에 대한 모니터링을 실시하였다.

공간입력 자료 중 가장 기본이 되는 DEM자료를 NGIS (National Geographic Information System)의 1/5,000 수치지도로부터 검수과정을 거쳐 격자크기 2 m의 DEM으로 제작하였다 (Fig. 2(a)). 토양도는 농촌진흥청에서 제공하는 1/25,000 정밀토양도를 수문학적 토양그룹 (Hydrologic Soil Group) A, B, C, D로 분류하였다 (Fig. 2(b)). 토양층의 개수 및 토양층별 깊이 등은 농업과학기술원의 자료를 사용하여 구축하였으며 토양층의 유효수분량, 포화수리전도도 등의 물리적 값들을 구분하였다. 토지이용도는 수문해석 및 비점오염원 평가에 있어 필수 정보 중에 하나이다. 토지이용 정보는 유출량의 변화뿐만 아니라 질소와 인으로 대표되는 비점오염원 부하량에 직접적인 영향을 미친다. 따라서, 수문해석 및 비점오염원 평가에 있어 필수 정보 중에 하나인 토지이용도는 위성영상으로부터 1/5,000급의

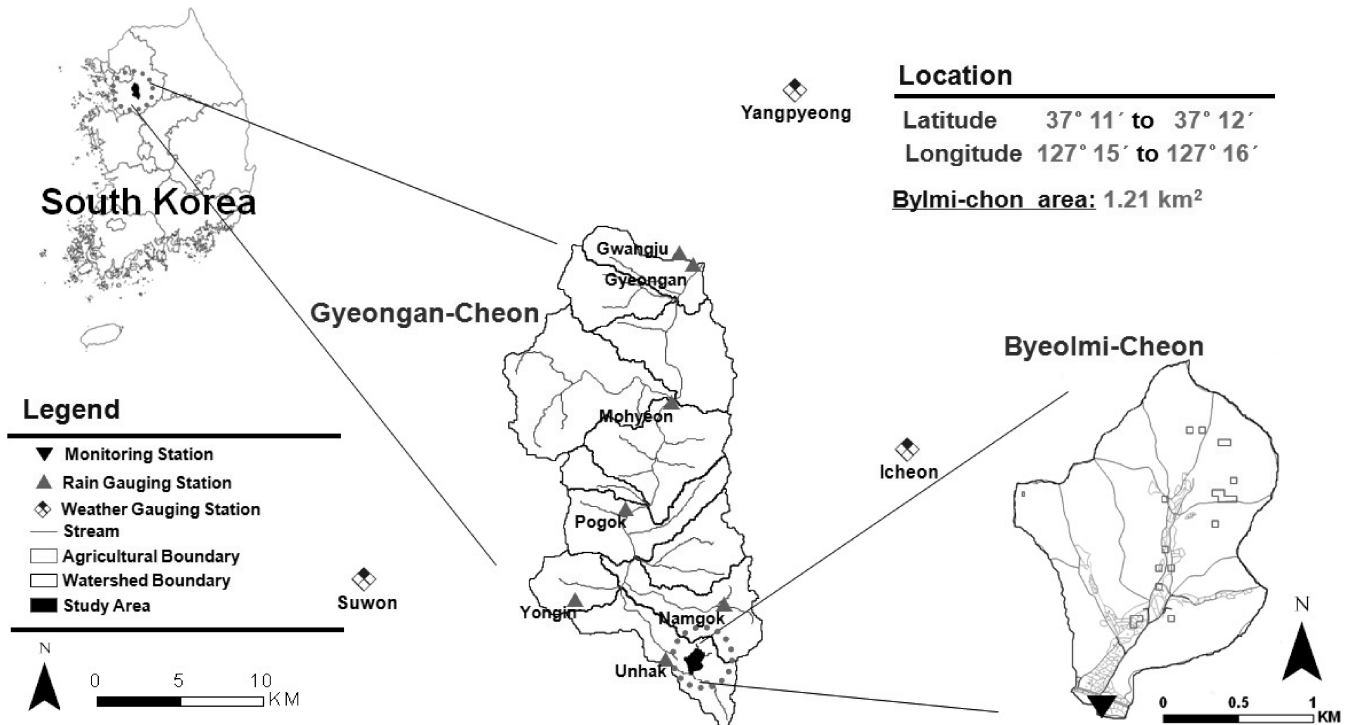


Fig. 1 The location of study area

QuickBird 토지이용도를 제공받아 사용하였다. 본 연구에 사용된 QuickBird 영상은 2006년 5월 1일 영상으로 RPC (Rational Polynomial Coefficients) 정보가 있는 영상을 제공받아 분석에 사용하였다. QuickBird 영상으로부터 토지이용도의 제작은 기존 환경부, 건교부, USGS의 토지피복분류체계 및 현장조사를 통하여 QuickBird 영상으로부터 추출 가능한 정밀농업정보에 대한 항목을 결정하였으며 정사보정된 QuickBird 영상을 스크린 디지털화 (On-Screen Digitizing)을 이용하여 총 21개 토지이용항목의 정밀토지이용도를 구축하였다 (Fig. 2(c)).

모델의 입력자료가 되는 기상자료는 이천 기상관측소의 강수량, 온도, 태양복사량, 풍속, 상대습도 시간당 자료를 활용하였다. 모델의 보정을 위한 실측자료는 별미천 유역 출구 지점부에서 수문성분을 위한 자동수위 및 강우량 계측기, 수질성분을 위한 자동채수기를 설치하여 시간당 수위, 강우량 자료와 강우발생에 따른 수질자료에 대한 실제 모니터링을 실시하였다. 6월초부터 현장모니터링을 실시하여 시간당 수위 및 강우량 그리고

유량 자료를 구축하고 있으며 총 50 여개의 수질 샘플링을 실시하여 분석하였다. 총 분석기간으로 2011년 6월 8일부터 2011년 10월 31일까지 이루어졌다.

IV. 결과 및 고찰

1. 포장시험 결과 및 분석

지표피복후 각 강우사상별 유출량 및 비점오염원부하량을 산정하였으며 이를 2008~2009년의 유출량과 비점오염원부하량과 비교하였다. Fig. 3은 빗짚지표피복 적용 전 (pre)과 후 (post)의 강우사상 (event)에 따른 각각의 유출율 및 적용 전 평균 유출율 (Pre-ave)과 적용 후 평균 유출율 (Post-ave)을 나타낸 것이다. 시험포장 (밭)에서는 총 16개의 유사한 event에 대해 유출율과 빗짚지표피복에 따른 유출 저감율을 산정하였다. 지표피복 적용에 따른 유출 저감율은 12.3~98.0%까지 나타났으며

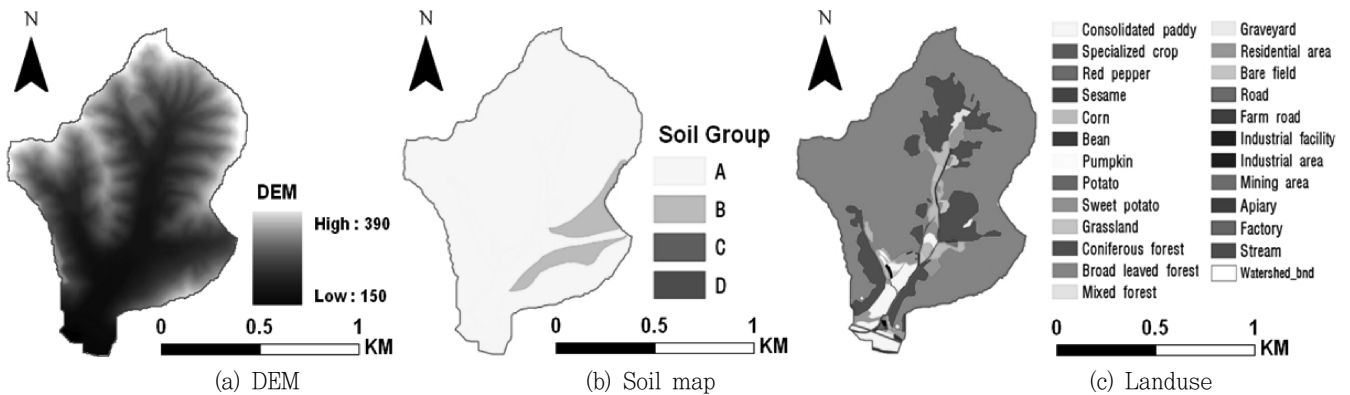


Fig. 2 Spatial input data for model setup

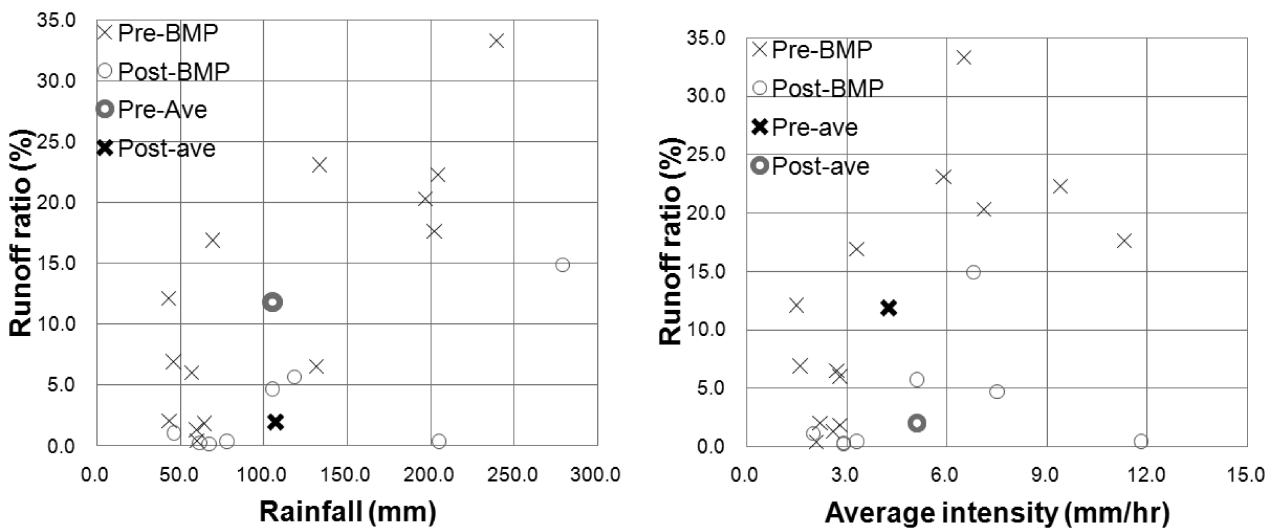


Fig. 3 Comparison of runoff ratio (%) between Pre-BMPs and Post-BMPs from experimental plot

평균적으로 76.6 % 유출 저감율이 나타난다. 또한, 지표피복전 평균 유출율은 11.8 %이고 지표피복후 평균 유출율은 2.0 %로 약 9.8 % 유출을 저감을 나타냈다. 유출저감에 따른 비점오염 원부하량을 비교 할 때 빗길지표피복은 비점오염 저감효과가 뛰

어난 것으로 조사되었다. 유기물은 68.1~82.7 %까지 저감이 되었으며 영양염류인 T-N과 T-P는 각각 32.4 %와 43.2 %가 저감된 것으로 나타났다. 특히 sediment는 95.9 %가 저감된 것으로 나타났다.

Table 1 The calibrated HSPF model parameters

Parameter	Definition	LB	UB	Sensitivity	Adjusted Value	
Q	LSUR	LSUR is the length of the assumed overland flow plane (ft*)	1.0		High	150
	INFILT	Soil infiltration capacity index (in/hr)	0.03	25.0	High	1.0
	LZSN	Lower zone nominal storage (in*)	2.5	358.0	High	3.0
	UZSN	Upper zone nominal storage (in)	0.25	127.0	Medium	1.0
	LZETP	Lower zone ET parameter	0	1.5	Medium	0.1
	AGWETP	Fraction of PET that can be satisfied from groundwater	0.1	1.0	Medium	1.0
	INTFW	Interflow inflow parameter	0.0		Medium	4.0
	IRC	Interflow recession parameter (day-1)	0.0	1.0	High	0.37
	AGWRC	Groundwater recession coefficient	0.6	1.0	Medium	0.9
	KVARY	Groundwater recession parameter (in)	0.0	2.0	High	1.0
	DEEPER	Fraction of groundwater inflow lost to deep groundwater	0.0	1.0	High	0.95
SD	JSER	Exponent in the detached sediment washoff equation	0.50	2.0	High	0.5
	KSER	Coefficient in the detached sediment washoff equation	0.10	100	High	0.2
	KRER	Coefficient in the soil detachment equation	0.14	1.0	High	0.2
T-N	KIMNI	Nitrate immobilization factor (1/day)	0.00		High	0.1
	KDSAM	Ammonium desorption factor (1/day)	0.00		High	1.0
	ULPF	Percolation factor to adjust solutes from upper to lower layer storage	1.00	10.0	Medium	10.0
T-P	KIMP	Phosphate immobilization factor (1/day)	0.00		High	2.0
	KDSP	Phosphate desorption factor (1/day)	0.00		Medium	0.1

Q: Streamflow, SD: sediment, T-N: Total Nitrogen, T-P: Total Phosphorus, LB: Lower bound, UB: Upper bound

Table 2 The calibrated SWAT model parameters

Parameter	Definition	LB	UB	Sensitivity	Adjusted value	
Q	ALPHA_BF	Baseflow recession constant	0	1	High	0.8
	ESCO	Soil evaporation compensation factor	0	1	High	1.0
	GW_DELAY	Delay time for aquifer recharge (days)	0	500	High	6.5
	GW_REVAP	Groundwater “revap” coefficient	0.02	0.2	Medium	0.02
SD	CH_COV	Channel cover factor	-0.001	1	High	1.0
	PRF	Peak rate adjustment factor for sediment routing in the main channel	0	2	Medium	2.0
	CH_EROD	Channel erodibility factor (cm/hr/Pa)	-0.05	0.6	High	0.6
	USLE_K	USLE equation soil erodibility K factor	0	0.65	High	0.5
T-N	SHALLST_N	Nitrate concentration in shallow aquifer (mg/l)	0	1000	High	100
	CH_ONCO	Organic nitrogen concentration in the channel (ppm)	0	100	High	100
	NPERCO	Nitrogen percolation coefficient	0	1	Medium	1
	RCN	concentration of nitrogen in rainfall (mg/l)	0	15	Medium	15
T-P	CN_OPKO	Organic Phosphorus concentration in channel	0	100	High	100
	GWSOLP	Concentration of soluble phosphorus in groundwater contribution to streamflow from subbasin	0	1000	High	150
	PSP	Phosphorus sorption coefficient	0.01	0.7	Medium	0.2

Q: Streamflow, SD: sediment, T-N: Total Nitrogen, T-P: Total Phosphorus, LB: Lower bound, UB: Upper bound

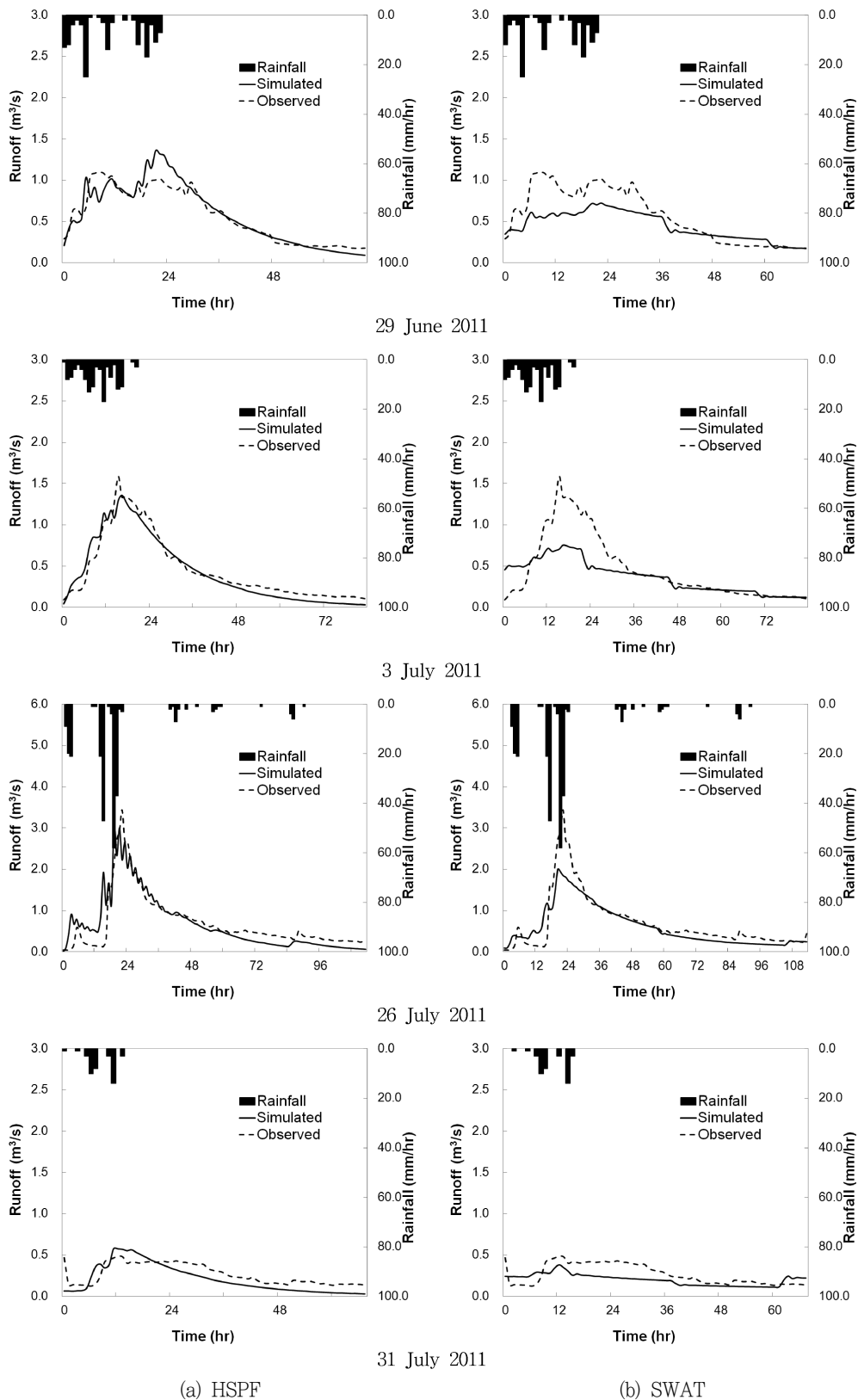


Fig. 4 Hydrograph comparison between simulated and observed runoff: (a) HSPF, (b) SWAT

2. 모델 검보정

HSPF 모델과 SWAT 모델에 매개변수 추정을 위하여 HSPF Technical note 매뉴얼 및 SWAT User's Manual Version 2009의 Input Type별 매개변수를 정리 이용하여 총유출량 및 침투유량과 감수곡선 (recession) 형태에 영향을 미치는 매개변수를 선정하고, 각각의 모듈에서 수문 모의를 하기위한 매개변수에 대하여 민감도 분석 및 검보정을 실시하여 모델별 적용 매개변수를 결정하였다 (Table 1, Table 2). 본 연구에서는 2009 ~ 2010년을 모델의 안정화 기간으로 설정하였다. 검보정기간은 실측자료가 측정된 시점 2011년 6월부터 10월까지 유출 및 수질요소를 모의하여 검보정 실시하였다. 보정은 수문곡선 및 유출을 고려하여 실측자료가 비교적 양호하다고 판단되는 2011년 6월, 7월, 8월을 선정하였고, 검정은 9월, 10월 자료를 사용하였다. 각각 월별 유출량 통계에 따른 적용성 분석으로 HSPF 모의에 따른 R² (determination coefficient)는 0.62~0.78, NSE (Nash-Sutcliffe model Efficiency)는 0.62~0.76, SWAT 모의에 따른 결과로 R²는 0.58~0.89, NSE는 0.43~0.81로 두 모델에서의 모델링에 따른 모의치와 실측치의 유출량은 유의성이 있는 것으로 나타났다.

다음단계로 총 모의기간 중 강우 event가 발생한 16개의 event를 선정하였고 그 중에서 강우량 60 mm 이상인 9개의 주요한 event의 검보정 결과와 유역전체에서의 유출율 및 수문특성을 산정하였다 (Table 3). Fig. 4는 9개의 event중 주요한 4개의 event에 대하여 실측값과 HSPF 및 SWAT 모델의 유출모의결과를 비교한 그래프이다.

Table 3 Summary of runoff simulated result for 9 events with AMC conditions

Date of event	Rainfall		Runoff						AMC
	Duration (hr)	Amount (mm)	Volume (mm)			Ratio (%)			
			Obs.	HSPF	SWAT	Obs.	HSPF	SWAT	
22 Jun	65	210.0	121.2	121.1	145.5	57.7	57.7	69.3	I
29 Jun	19	130.0	63.7	116.4	77.5	49.0	89.5	59.7	II
03 July	19	141.0	60.8	105.6	70.1	43.1	74.9	49.8	II
26 July	27	311.0	258.6	227.1	280.0	83.2	73.0	90.1	III
31 July	8	71.0	58.6	38.3	57.7	82.5	53.9	76.9	III
03 August	6	75.0	56.1	45.7	55.7	74.8	60.9	74.0	III
07 August	15	74.0	67.5	53.2	65.8	91.2	71.9	88.9	III
12 August	15	82.0	69.2	67.5	66.5	84.4	82.3	81.1	III
16 August	26	188.0	154.0	143.4	164.0	81.9	76.3	87.2	III
Mean	16	142.4	96.4	102.0	102.0	70.7	71.2	73.7	

Obs.: Observed data, AMC: Antecedent soil Moisture Condition

Table 4 Summary of observed Nonpoint source pollution (sediment, T-N and T-P) for 7 events

Date of event	Rainfall		Nonpoint source pollution		
	Duration (hr)	Amount (mm)	sediment (ton)	T-N (kg)	T-P (kg)
29 Jun	19	130.0	4.5	379.6	110.7
03 July	19	141.0	3.8	222.3	46.1
26 July	27	311.0	9.2	447.3	354.9
31 July	8	71.0	0.7	49.5	39.8
03 August	6	75.0	0.5	52.1	40.0
12 August	15	82.0	1.1	44.9	30.4
16 August	26	188.0	3.4	145.5	62.7
Mean	16	142.4	3.3	191.6	97.8

유역내 지표유출과 관련하여 피복에 따른 Manning's 조도계수 및 토양의 물리적 특성은 HSPF 모델과 달리 SWAT 모델에 GIS 입력자료로부터 SWAT database에 자동으로 입력되어 모델 모의에 있어 적정값을 설정되도록 되어있다. SWAT 모델은 토양의 물리적 특성과 관련한 매개변수는 사용자가 직접 입력 및 수정을 하여 적용이 가능하다. 따라서, 토양의 물리적 특성은 토양수의 이동과 관련이 있으며, 토심 및 토성도를 이용하여 공간적으로 분포시킨다. 토양관련 공간매개변수는 토양도의 종류에 따라 속성의 설정방법을 다르게 할 수 있는데 본 연구에서는 정밀토양도를 이용하여 Rawls et al. (1983)이 제시한 토양수의 물리적 특성을 추정된 포화토양수분, 포장용수량, 영구위조점, 포화투수계수, 습윤선단 흡인수두의 값을 적용하였다.

지표피복 적용전 실측값과의 검보정을 위한 HSPF 매개변수로 sediment는 JSER, KSER, KRER, JGER과 T-N 및 T-P는 CVBO, CVBPC, CVBPN, BRNIT, MON-GRAND-CONC 등의 매개변수를 보정하였고 SWAT 모델에서는 유사량에 대한 보정은 토양침식 관련 매개변수인 USLE_K와 하천에서의 CH_COV와 T-N 및 T-P는 CH_ONCO, GWSOLP 등에 매개변수를 2011년 6월 8일부터 10월 31일까지 시단위 영양물질을 검보정 실시하였다. Table 4는 실측된 수질성분별 부하량을 보여주고 있다. 검보정 결과에 따른 실측치와 모의치의 유사량 및 T-N, T-P 부하량을 비교에 따른 통계분석으로 HSPF 모의 결과 sediment, T-N, T-P의 R²는 각각 0.72, 0.62, 0.63 SWAT 모의결과로 sediment, T-N, T-P의 평균 R²는 각각 0.54, 0.87, 0.64 분석되었다. 두 모델 모의결과 모두 실측값에 따른 모의값에 어느 정도 경향성을 반영한다고 나타 낼 수 있다.

3. 포장시험결과의 시험유역적용

빗짚지표피복시나리오는 밭에서의 빗짚을 피복하여 포장에서

의 강우에 의한 토양에 입단이 부서지는 것을 방지하는 멀칭개념에 따라 지표수에 대한 침투가 늘어나 지표유출을 줄임으로 비점오염원부하량을 감소시키는 방법이다. 본 연구에서는 모델에서 벗짚지표피복시나리오를 적용하기 위해 밭에서의 지표수에 대한 침투조절 매개변수인 INFILT (HSPF)와 토양의포화수리전도 SOL_K (SWAT)을 조절하여 연구를 진행하였다. 시험포장 밭에서의 피복전 평균 유출율은 11.8 %에서 지표피복후 평균 유출율은 2.0 %로 평균 9.8 % 유출율이 감소하였다. 지표피복에 의한 침투량을 증가시켜 지표유출을 감소시키는 밭에서의 침투매개변수를 조절하여 지표피복전 유출율과 비교하여 평균 약 10.0 % 유출율을 감소시키는 적정 값을 산정하였다. INFILT, SOL_K 값에 따른 밭에서의 유출율을 계산한 결과 이 중 평균 유출율 10.0 %를 감소시킬 때 INFILT, SOL_K 값은 각각 16.0 mm/hr, 111.2 mm/hr 의 값으로 두 매개변수는 각각 각 모델에서 모의

되는 물리적 매개변수로 서로 다른 모의기작을 나타낸다.

시험포장과 별미친 대상구역의 평균 밭에서의 경사도 각각 3.0 %와 22.0 %로 지형적인 차이로 인해 유출율에 동일한 저감율에 대해서만 추정하기에는 제한적이고 경사도 높음에 따라 유출저감이 시험포장에서의 결과보다 작게 나타날 것으로 판단되어 각각 유출저감이 약 2.5 %, 5.0 %, 10.0 %에 해당되는 INFILT 8.0 mm/hr (Low), INFILT 12.0 mm/hr (Medium), INFILT 16.0 mm/hr (High) 값을 선정하여 비점오염원 저감효과를 분석하였으며 SWAT 모델에서 SOL_K 16.2 mm/hr (Low), 21.2 mm/hr (Medium), 111.2 mm/hr (High) 매개변수 값을 적용하여 모의결과를 분석하였다.

Table 5는 HSPF 모델링을 이용하여 강우량 60 mm 이상의 9개의 주요한 event에서의 INFILT High, Medium, Low에서의 유출저감에 따른 영양물질의 저감율을 나타냈다. 그 결과, Low에

Table 5 Removal efficiency of non-point sources pollution by Rice straw surface covering from Byulmi-cheon watershed by applying HSPF model

Event	Rainfall Amount (mm)	Low			Medium			High		
		Removal efficiency (%)			Removal efficiency (%)			Removal efficiency (%)		
		Sediment	T-N	T-P	Sediment	T-N	T-P	Sediment	T-N	T-P
22 June	210.0	63.1	26.7	78.4	71.8	38.0	81.6	90.5	43.0	83.0
29 June	130.0	63.4	20.8	74.9	71.9	30.2	77.8	86.4	34.5	79.1
03 July	141.0	63.0	17.7	73.0	72.0	26.4	75.8	86.0	30.6	77.1
26 July	311.0	63.2	13.4	71.5	71.9	20.3	73.8	84.2	23.7	75.0
31 July	71.0	63.3	13.7	63.4	71.4	20.8	66.5	85.7	24.4	68.1
03 August	75.0	62.6	13.4	61.4	72.0	20.5	64.7	84.1	24.1	66.3
07 August	74.0	63.4	13.5	74.1	71.6	20.5	76.3	86.6	24.0	77.4
12 August	82.0	63.4	13.6	71.4	72.0	20.7	73.8	86.9	24.2	75.0
16 August	188.0	63.3	12.9	76.1	72.0	19.6	78.0	84.9	23.0	79.0
Mean	142.4	63.2	16.2	71.6	71.8	24.1	74.3	86.1	28.0	75.6

Table 6 Removal efficiency of non-point sources pollution by Rice straw surface covering from Byulmi-cheon watershed by applying SWAT model

Event	Rainfall Amount (mm)	Low			Medium			High		
		Removal efficiency (%)			Removal efficiency (%)			Removal efficiency (%)		
		Sediment	T-N	T-P	Sediment	T-N	T-P	Sediment	T-N	T-P
22 June	210.0	30.7	26.3	26.2	55.8	46.0	47.0	93.8	95.4	95.5
29 June	130.0	16.5	13.7	12.2	29.2	24.7	23.2	91.4	87.2	87.4
03 July	141.0	25.4	23.1	21.3	44.0	40.4	38.4	94.8	98.3	98.2
26 July	311.0	5.7	4.1	-0.5	10.6	7.4	-0.1	43.2	36.6	19.3
31 July	71.0	20.1	23.1	19.1	34.1	39.5	32.7	85.6	99.1	98.9
03 August	75.0	18.6	19.9	17.8	32.5	34.4	29.7	79.4	96.7	95.9
07 August	74.0	13.4	12.5	6.9	23.8	21.9	13.9	82.7	81.6	77.1
12 August	82.0	33.4	28.9	26.6	55.1	47.0	45.8	91.2	100.0	100.0
16 August	188.0	9.0	7.5	1.6	15.6	13.0	3.5	58.1	53.5	35.9
Mean	142.4	19.2	17.7	14.6	33.4	30.5	26.0	80.0	83.2	78.7

서의 sediment, T-N, T-P의 평균 오염원 저감율은 각각 63.2 %, 16.2 %, 71.6 %으로 나타났으며 Medium에서는 각각 71.8 %, 24.1 %, 74.3 %, High에서는 86.1 %, 28.0 %, 75.6 %로 나타났다. Table 6은 같은 이벤트 기간동안에 SWAT 모델에서의 SOL_K값에 변화에 따른 모의 결과이다. 그 결과, SOL-K Low일 때 Sediment, T-N, T-P의 평균 오염원 저감율은 각각 19.2 %, 17.7 %, 14.6 %으로 나타났으며 Medium에서는 각각 33.4 %, 30.5 %, 26.0 %, High에서는 80.0 %, 83.2 %, 78.7 %로 나타났다. 이는 유역내 발에서의 저감효과를 살펴보았을 때 시험포장에서의 실제 평균 비점오염 저감율 89.7 %~99.4 %과 유사함을 알 수 있다.

빗길지표피복 적용에 따른 두 모델에 결과비교분석으로 SWAT 모델에서의 SOL_K 매개변수는 INFILT와 다르게 일정하게 증가시켜 일괄적인 유출저감효과를 볼 수 없었다. 이는 토양통 자료를 기반으로 물수지가 모의가 되는 SWAT 모델 특성상 한 토양에서 SOL_K값 하나를 조절한다고 발에서의 침투율이 민감하게 반응하지 않음을 나타낸다. 반면에 HSPF 모델에서는 토양통 대신 토지이용 및 불투수층 모듈에서 일괄적으로 계산되는 침투율에 따라 일정하게 매개변수 조절에 따른 결과값을 얻을 수 있었다. 또한, HSPF 모델은 T-N값은 다른 수질성분들과 비교해 큰 저감율을 나타내지 않았다. 반면에 SWAT 모델에서는 sediment, T-N 및 T-P는 약 10.0~80.0 % 저감율을 보이며 일정한 상관성을 나타냈다. 이는 HSPF와 SWAT에서 적용되는 작물생장 및 비료모듈에 적용에 따른 차이로 나타난다. 이러한 차이를 감안하더라도 빗길지표피복 적용에 따른 비점오염원 저감효과는 실측값과 매우 유사하게 나왔다. 이 결과로부터 발에서의 빗길지표피복시나리오를 적용한 후에 유역내 발에서의 저감효과는 크게 나타났지만 유역전체면적 1.21 km²중 발이 차지하는 면적이 0.08 km²로 면적비율이 낮게 나타나 유역차원에서의 효과는 미비할 것으로 판단된다.

V. 결 론

본 연구는 농촌 소유역 발에서의 유출특성과 BMPs 적용에 따른 비점오염원부하량의 저감효과를 모델링을 통하여 분석하고자 경안천 상류의 별미천 유역 (1.21 km²)을 대상으로 고해상도 위성영상 및 실제 수문 수질 모니터링을 실시하여 강원대 시험포장에서 행해지고 있는 빗길지표피복 BMPs를 적용하여 비점오염원 저감율을 살펴보았다. 실제 모니터링으로 측정된 자료를 바탕으로 수위-유량곡선 산정 및 오염부하곡선을 선정, 2011년 6월 8일부터 10월 31일 분석기간을 선정하여 HSPF, SWAT 모델링을 실시하였으며 모의결과 실측치와 모의치의 유출량은 HSPF 모델 검보정 결과 월별 통계에 따른 적용성 분석으로 R²는 0.62

~0.78, NSE는 0.62~0.76으로 모의치와 실측치의 유출량은 유의성이 있는 것으로 나타났다. sediment, T-N, T-P의 검보정기간동안의 평균 R²는 각각 0.72, 0.62, 0.63. SWAT 모델 검보정결과 R²는 평균 R²는 각각 0.54, 0.87, 0.64 분석되었다.

다음 단계로 event별 빗길지표피복시나리오를 적용하기 위해 강원대 시험포장으로부터 얻어진 실측자료로부터 발에서의 평균 유출 약 10.0 % 유출을 감소조건에 맞추어 별미천 유역을 대상으로 발에서의 HSPF 모델에 토양의 침투 매개변수로 INFILT 매개변수를 선정하여 평균 유출율저감 약 10.0 % 유출감소를 기반으로 각각 유출율저감이 2.5, 5.0 %를 나타낼 때까지 INFILT 매개변수를 증가시킨 결과 각각의 약 2.5, 5.0, 10.0 % 저감의 INFILT 값은 8.0 mm/hr (Low), 12.0 mm/hr (Medium), 16.0 mm/hr (High)로 나타났으며 이 변수 값을 적용하여 각각의 event에 따른 비점오염원 저감효과는 평균적으로 유출율저감이 10.0 % 나타나는 INFILT (high)일 때 sediment, T-N, T-P 각각의 평균 저감율은 86.1, 28.0, 75.6 %로 나타났다. SWAT 모델에서는 발에서 해당되는 토양층에서의 포화수리전도도 (SOL_K)를 조정하여 토양에서의 물의 흐름을 조절하고자 하였다. SOL_K 값을 증가시키면서 유출을 변화를 분석한 결과 발에서 해당되는 토양에 유출율저감이 약 2.5, 5.0, 10.0 %에 해당되는 SOL_K 값은 초기 SOL_K값은 11.2 mm/hr을 나타냈고 각각의 유출율저감이 약 2.5, 5.0, 10.0 %로 나타나는 SOL_K값은 16.2 mm/hr (Low), 21.2 mm/hr (Medium), 111.2 mm/hr (High)로 나타났으며 이 변수 값을 적용하여 각각의 event에 따른 비점오염원 저감효과를 살펴보았다. 평균적으로 유출율저감이 10.0 %를 나타내는 SOL_K (high)일 때 sediment, T-N, T-P 각각의 평균 저감율은 80.0, 83.2, 78.7 %로 나타났으며 두 결과 모두 시험포장에서의 실제 평균 비점오염원 저감효과 89.7~99.4 %에 근접함을 알 수 있다.

본 연구에서는 HSPF 및 SWAT 모델을 이용하여 발에서의 빗길지표피복에 의한 침투율을 높여 지표유출에 대한 감소효과를 나타내는 지표피복 시나리오 원리에 따라 모델에서도 그 특성을 그대로 적용하여 실제 적용효과와 유사한 효과를 나타내는 적정 매개변수 값을 선정하였다. 그러나 모델에서의 효과는 총 강우량이 50 mm~250 mm 범위에서 효과가 이루어지며 총강우량 300 mm에 평균 강우강도 9 mm/hr 이상일 때 유출저감효과를 나타낼 수 없었다. 추 후 연구로 농촌 소유역의 토지이용별 비점오염원 배출 부하량의 비교 분석에 따른 발 지역의 하류하천 수질에 미치는 영향을 강우 event별로 분석하여 하류하천 및 전체 유역에 미치는 영향을 파악하고 이를 농촌유역의 BMPs 시나리오로 활용 될 수 있는 기초자료로 활용될 것이다. 또한 유역차원에서 발이 차지하는 면적비율이 낮게 나타날 때 그 효과는 미비할 것으로 판단되지만 호우 시 발생하는 대부분의 농업 비점오염원

중에서 높은 비중을 차지하는 밭에서의 비점오염원물질을 줄일 수 있으며 농민들에 실제로 적용하는 과정에서 간편하며 어려움이 없다는 점에서 밭에서의 최적관리기법으로 오염총량제에 적용할 수 있는 정책 자료로 활용이 기대된다.

본 연구는 환경부에서 시행한 환경기초조사사업의 세부과제 “BMPs 효과모의 모델링과 Web 기반의 비점오염 저감 기술 정보제공 지원시스템 개발” 재원으로 한강물환경연구소의 지원을 받아 수행된 기초연구사업에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. Donigian, A. S. Jr. and N. H. Crawford, 1976. Modeling nonpoint pollution from the land surface. EPA-600/3-76-083. EPA Technological Service, U.S. Environmental Protection Agency, Athens, GA.
2. Jang, W. S., Y. S. Park, J. D. Choi, J. G. Kim, M. H. Shin, J. C. Ryu, H. W. Kang, and K. J. Lim, 2010. Analysis of soil erosion reduction effect of rice straw mat by the SWAT model. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 52(3): 97-104 (in Korean).
3. Jung, C. G., 2012. Comparison of HSPF and SWAT models for evaluation of nonpoint source pollution in small rural watershed. Master's. D. thesis, Konkuk University (in Korean).
4. Jung, C. G., J. Y. Park, H. J. Lee, J. D. Choi, and S. J. Kim, 2012. HSPF Modeling for Identifying Runoff Reduction Effect of Nonpoint Source Pollution by Rice Straw Mulching on Upland Crops. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 54(4): 1-8 (in Korean).
5. Narasimhan, B., P. M. Allen, R. Srinivasan, S. T. Bednarz, J. Arnold, and J. A. Dunbar, 2007. Streambank erosion and best management practice simulation using SWAT. In: Proceedings of 4th conference on 'Watershed management to meet water quality standards and TMDLs', San Antonio ASABE publication #701P207, 10-14 March 2007.
6. National Institute of Environmental Research, 2010. A quantification study on the reduction effect of agricultural non-point source pollution in rural areas(1) (in Korean).
7. National Institute of Environmental Research, 2011. A quantification study on the reduction effect of agricultural non-point source pollution in rural areas(2) (in Korean).
8. Kang, D. K., 2005. Analysis of the reduction of sediment yield by selected BMP in the Naerincheon watershed of Soyonggang-dam using SWAT. Master's. D. thesis, Konkuk University (in Korean).
9. Kim, J. H., K. H. Han, and J. S. Lee, 2008. Characteristics of agricultural non-point source pollutants by rainfall events in rural watersheds. *Journal of Korean Society on Water Quality* 24(1): 69-77 (in Korean).
10. Lee, J. W., J. S. Eom, B. C. Kim, W. S. Jang, J. C. Ryu, H. W. Kang, K. S. Kim, and K. J. Lim, 2011. Water quality prediction at Mandae watershed using SWAT and water quality improvement with vegetated filter strip. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 53(1): 37-45 (in Korean).
11. Lee, H. S., J. K. Kim, and S. U. Lee, 2008. Development of turbid water prediction model for the Imha dam watershed using HSPF. *Journal of the Korean Society of Environmental Engineers* 30(8): 760-767 (in Korean).
12. Lee, W. B., Y. K. Son, S. B. Lee, and C. G. Yoon, 2010. Simulation of turbid water concentration in Soyong-dam watershed using BASINS/WinHSPF. *Konkuk Journal of Life & Environment* 32(1): 59-68 (in Korean).
13. Park, J. Y., M. S. Lee, Y. J. Lee, and S. J. Kim, 2008. The analysis of future land use change impact on hydrology and water quality using SWAT model. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 28(2B): 187-197 (in Korean).
14. Rawls, W. J., D. L. Brakesiek, and N. Miller, 1983. Predicting Green and Ampt infiltration parameters from soil data. *Journal of Hydraulic Engineering* 109(1): 62-70.
15. Shin, E. S., J. Y. Choi, and D. H. Lee, 2001. Characteristics of non-point source pollutants in surface runoff from rural area. *Journal of Korean Society on Water Quality* 17(3): 299-311 (in Korean).
16. Williams, J. R., 1995. The EPIC model, In Computer models of watershed hydrology, Singh, V. P., (ed.). *Water Resources Publications* 25: 909-1000.