



## 비점원오염 저감효과 분석을 위한 시단위 SWAT 유역 모델링

### Hourly SWAT Watershed Modeling for Analyzing Reduction Effect of Nonpoint Source Pollution Discharge Loads

장선숙\* · 안소라\* · 최중대\*\* · 김성준\*<sup>†</sup>

Jang, Sun Sook · Ahn, So Ra · Choi, Joong Dae · Kim, Seong Joon

#### Abstract

This study is to assess the effect of non-point source pollution discharge loads between tillage and no-tillage applications for upland crop areas using SWAT (Soil and Water Assessment Tool) watershed modeling. For Byulmi-cheon small rural catchment (1.17 km<sup>2</sup>) located in upstream of Gyeongan-cheon watershed, the rainfall, discharge and stream water quality have been monitored in the catchment outlet since 2011. The SWAT model was calibrated and validated in hourly basis using 19 rainfall events during 2011-2013. The average Nash-Sutcliffe model efficiency and R<sup>2</sup> (determination coefficient) for streamflow were 0.67 and 0.79 respectively. Using the 10 % surface runoff reduction from experiment results for no-tillage condition in field plots of 3 % and 8 % slopes under sesame cultivation, the soil saturated hydraulic conductivity for upland crop areas was adjusted from 0.001 mm/hr to 0.0025 mm/hr in average. Under the condition, the catchment sediment, T-N (total nitrogen, TN), and T-P (total phosphorus, TP) discharge loads were reduced by 6.9 %, 7.4 %, and 7.7 % respectively.

**Keywords:** SWAT; BMPs; Watershed Modeling; Nonpoint Source Pollution; Tillage-No tillage

#### 1. 서론

현재 하천 및 저수지에서의 수질오염에 관하여 관심이 고조되고 있으며, 오염원에 대한 파악과 대책의 필요성이 대두되고 있다. 오염원은 점오염원 (point)과 비점원오염 (non-point)으로 구분되어지는데, 그중 점오염원은 하수처리장의 확대를 점진적으로 감소하고 있다. 반면에 농촌지역에서 발생하는 비점오염물질은 강우와 재배형태 (시비, 물 관리, 토양관리 등)에 따라 변동하고, 적용시기에 따라 오염부하 유출 특성이 변화하므로 오염물질 정량화 및 대책마련에 어려움이 있다. 현재 우리나라의 하천 및 호수에 유입되는 오염물질 중 약 30 % 이상이 농업활동 등에 의한 비점원오염이다. 최근 비점원오염 관리를 위한 대책이 마련되고 있으며 우리나라에 적용되는 비점원오염 저감 방법으로는 중간지 관리방법인 초생대, 초생수로, 우회수로, 실트펜스, 승수로, 용배수로 및 농

경지 사면정비 등 구조적인 방법과 (Kim et al., 2012; Lee et al., 2011) 산림복원, 무경운, 다년생 식물 (인삼, 도라지 등) 재배, 지표피복 등 비구조적인 방법이 있다 (Shin et al., 2014). 농업 비점원오염에 대한 관리를 위해서는 다른 수자원 수질 관리기법을 그대로 적용하는 것 보다 우리나라의 환경조건과 영농조건 속에서 실험적으로 검증하고 개발하여 보급하여야 한다 (Choi, 2010). 비점원오염 관리를 위한 최적관리기법 (Best Management Practices, BMPs)의 적용은 수질오염을 줄일 수 있는 효과적인 방법이다 (Zhen et al. 2004). 그러나 농경지의 작물, 토성, 지역 환경 등 각각의 적용 대상이나 범위에 따라 실험을 할 수 없고, 정량적인 부분을 규명하기 어렵기 때문에 수학적 모형에 의존해야 한다 (Arabi et al. 2007).

수문-수질 모의를 위한 모형으로 SWAT 모형은 일단위 유역 비점원오염 평가 모형이나 강우 시 비료 등에 의한 오염물질 이동을 상세히 파악하기 위해서는 시단위 모델링이 필요하다. HSPF 모형은 시단위 모의가 가능하나, 경작지 대상으로 영농조건을 고려하는 기능이 다소 부족하므로 SWAT을 이용한 작물재배방법 및 비료살포 등을 적용한 비점원오염 물질의 이동과 하천수질에 미치는 영향을 연구할 필요가 있다. SWAT 모형은 다양한 선행연구를 통해 유출 및 비점오염 거동 특성을 잘 반영하는 것으로 나타나 모형의 적용성이 입증되었다 (Lee et al. 2012). SWAT 모형을 이용한 국외 연구 동향으로는, Narasimhan et al. (2007)은 하천에서 침식으로

\* Dept. of Civil & Environmental System Engineering, Konkuk University, Seoul, Republic of Korea

\*\* Dept. of Regional Infrastructures Engineering, Kangwon National University, Chuncheon, Gangwondo, Republic of Korea

† Corresponding author

Tel.: +82-2-444-0186 Fax: +82-2-444-0186

E-mail: kimsj@konkuk.ac.kr

Received: September 25, 2014

Revised: December 9, 2014

Accepted: December 30, 2014

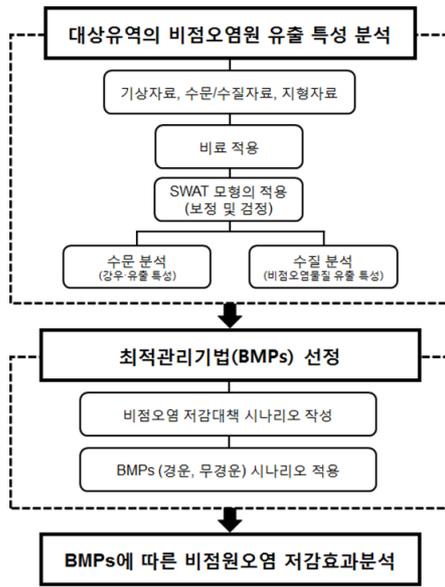


Fig. 1 Flow chart of this study

인한 유사 및 영양물질의 발생을 파악하였고 최적관리기법에 따른 비점원오염 저감에 대하여 모의 하였으며, Chu et al. (2005)는 메릴랜드 유역 3.5 km<sup>2</sup>에 대한 BMPs (경운, 무경운)을 적용하여 실제적인 효과를 증명하였다. 국내 연구동향으로는 Lee (2008)은 미래기후 및 토지이용에 따른 비점원오염의 거동을 분석하였으며, Park et al. (2010)은 도시유역과 산림유역에 대하여 비점원오염 저감 방안을 제시하고자 BMPs에 따른 비점원오염 제거 효율을 분석하였고, Lee (2010)은 SWAT 모형과 QuickBird 고해상도 위성 영상을 사용하여 농경지에 따른 비료 살포를 적용하여 BMPs에 따른 비점원오염 저감을 평가하였으며, Jung (2012)은 SWAT 모형을 이용하여 인접된 두 하천유역간의 비점오염 유출특성에 대하여 비교하는 연구를 하였으며, Jung (2013)은 SWAT과 HSPF 모형을 사용하여 BMPs (벚짚피복)에 의한 시단위 비점원오염 저감효과를 분석하였다. National Institute of Environmental Research (2011)에서는 시험포장을 조성하여 BMPs (경운, 무경운, 비료성분, 벚짚피복)에 따른 비점원오염 저감에 대하여 실제적인 효과를 증명하였다.

강우시 비료 등에 의한 오염물질 이동을 상세히 파악하기 위해 시단위 유출 모의가 필요하며, 본 연구에서는 SWAT 모형을 선정하여 작물재배방법 및 비료살포 등 영농조건을 고려한 유사(sediment), 총질소(total nitrogen, TN), 총인(total phosphorus, TP)의 수질항목에 대한 모형의 적용성을 평가한 후, 농촌유역에 대한 BMPs (경운, 무경운) 적용에 따른 비점원오염 저감 효과를 분석하였다. Fig. 1은 본 연구를 수행하기 위한 흐름도를 나타낸 것이다.

## II. SWAT 모형의 개요

SWAT (Soil and Water Assessment Tool) 모형은 미국 농무성 농업 연구소 (USDA /Agricultural Research Service, ARS)에서 개발된 유역모형으로 수문-수질모의를 위한 모형이다. 대규모의 복잡한 유역에서 장기간에 걸친 다양한 종류의 토양과 토지이용 및 토지관리 상태에 따른 물과 유사 및 농화학 물질의 거동에 대한 토지관리 방법의 영향을 예측하기 위하여 개발된 모형으로 수문, 토양유실, 영양물질, 하도추적의 4가지 부모형으로 구성되어 있다 (Arnold, et al., 1998). 이 중 수문 부모형에서는 토양과 토지이용조건에 의해 결정되는 수문반응단위 (Hydrologic Response Unit, HRU)로 Green & Ampt 침투법을 이용하여 지표유출량을 산정하였다.

SWAT 모형에서 강우와 유출에 의한 침식은 수정범용토양유실공식 (Modified Universal Soil Loss Equation, MUSLE) (Williams, 1975)에 의해 각 수문반응단위 (HRU)에 대해서 추정된다. MUSLE는 범용토양유실공식 (Universal Soil Loss Equation, USLE)의 수정버전이다. USLE는 침식에너지의 지표로서 강우를 사용하는 반면에 MUSLE는 침식과 유사량을 모의하기 위해 총 유출량을 사용한다. 수정범용토양유실공식 (Williams, 1995)은 다음 식(1)와 같다.

$$Sed = 11.8 \times (Q_{surf} \times q_{peak} \times area_{hru}) \times 0.56 \times K \times C \times P \times LS \times CFRG \quad (1)$$

여기서, Sed: 주어진 날의 유사량 (ton), Q<sub>surf</sub>: 지표유출량 (mm/ha), q<sub>peak</sub>: 첨두유출율 (m<sup>2</sup>/s), area<sub>hru</sub>: HRU 면적 (ha), K: USLE 토양침식성인자, C: USLE 피복 및 관리인자, P: USLE 관행인자, LS: USLE 지형인자, CFRG: 조립과편인자이다.

SWAT은 유역에서 질소와 인의 여러 형태로 나타나는 전이와 이동을 모의한다. 토양에서 질소의 한 형태에서 다른 형태의 전이는 질소 순환에 의해 이루어지며 인의 전이는 비료, 식물생장 등에 요인으로 인한 인 순환에 의해 조절되며 영양물질은 지하천에 유입되고 지표 유출 및 측방 지하 유출에 의하여 하루로 운송된다 (Jung, 2013). SWAT에서 영양물질의 이동은 Fig. 2와 같다.

## III. 재료 및 방법

### 1. 경운 및 무경운 시험포장

SWAT 모형을 이용하여 무경운 시나리오를 적용하기 위해서 강원대로부터 시험포장 밭 (experimental plot)에서의

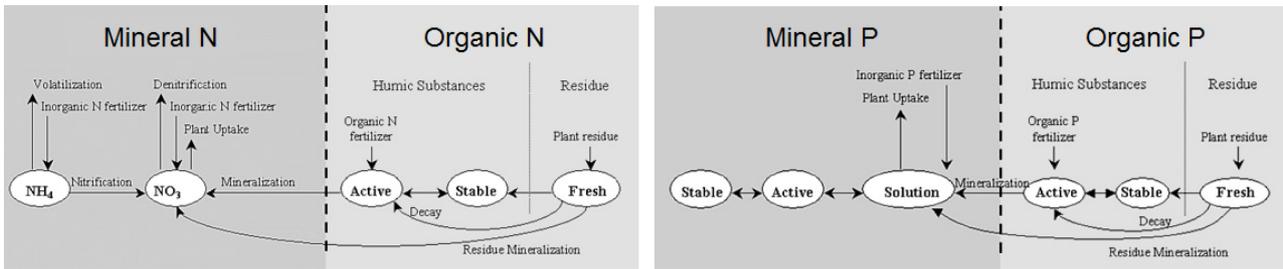


Fig. 2 Partitioning of Nitrogen and Phosphorus in SWAT (Neitsch et al., 2005)

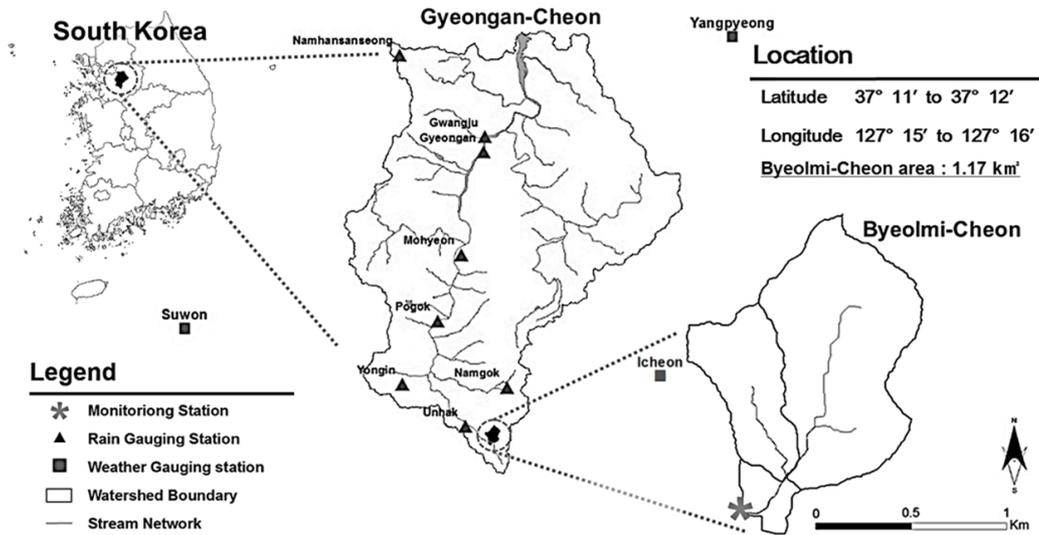


Fig. 3 The location of study area: Byeolmi-cheon watershed

경운, 무경운시 유출량 및 비점오염 부하량 실험결과를 제공 받았다. 시험포 받은 춘천시 신북읍 천전리에 위치하고, 면적은 1,276.6 m<sup>2</sup>, 토양은 Sandy loam (사양토)이며, 객토와 정지작업을 수행하여 조성한 시험포이다. 유출시험포의 면적은 150 m<sup>2</sup> (폭 5 m, 경사장 30 m)이며, 8개 (경사도 3 % 4개, 경사도 8 % 4개)를 조성하였다. 작물은 참깨 재배가 이루어지고 있으며 2011년과 2012년에 걸쳐 여러 차례의 인공강우 및 자연강우에 대하여 실험되었다 (Won, 2013).

## 2. 대상유역 및 모형입력자료

본 연구의 대상유역으로 경기도 용인시 처인구 해곡동에 위치한 경안천 최상류 지류부에 해당하는 별미천 유역을 선정하였다 (Fig. 3). 별미천 유역은 경안천 유역 면적 561.12 km<sup>2</sup>의 0.002 %에 해당하는 소유역으로 면적은 약 1.17 km<sup>2</sup>이다. BMPs를 적용하여 비점원오염의 저감효과를 파악하기 위한 목적으로 상류부터 하류까지 다양한 농업지역이 분포하고 최상류에 위치하여 오염물질의 유입이 제한적이기 때문에

BMPs에 따른 수문, 수질변화의 분석이 가능하여 선정하였다.

모형의 입력 자료가 되는 기상자료는 이천, 수원, 양평 기상관측소의 강수량, 일사량, 상대습도, 기온, 풍속자료를 활용하였다. 모형의 보정을 위한 실측자료는 별미천 유역출구 지점에서 계측기를 설치하여 2011년부터 2013년까지 시간 위 간격으로 수위 및 강우량을 측량하였으며, 2012년 6월부터 2013년 12월 까지 총 19개의 강우이벤트에 따른 수질 샘플링을 실시하여 sediment, T-N, T-P 성분을 분석하였다.

모형의 지형입력 자료가 되는 DEM (Digital Elevation Model, DEM)은 NGIS (National Geographic Information System)의 1/5,000 수치지도로부터 격자크기 2 m의 DEM으로 제작하였고 (Fig. 4a), 토양도는 농촌진흥청에서 제공하는 1/25,000 정밀토양도를 이용하였으며, 미국 NRCS (The U.S. Natural Resources Conservation Service formerly the Soil Conservation Service) 토양분류 기준 (Soil Survey Staff, 1996)에 따른 수문학적 토양그룹 (Hydrologic Soil Group) A, B, C, D로 분류하였다 (Fig. 4b). SWAT에서 토양 속성값 (usersoil.dbf)은 농업과학기술원의 자료를 사용하여 토양층

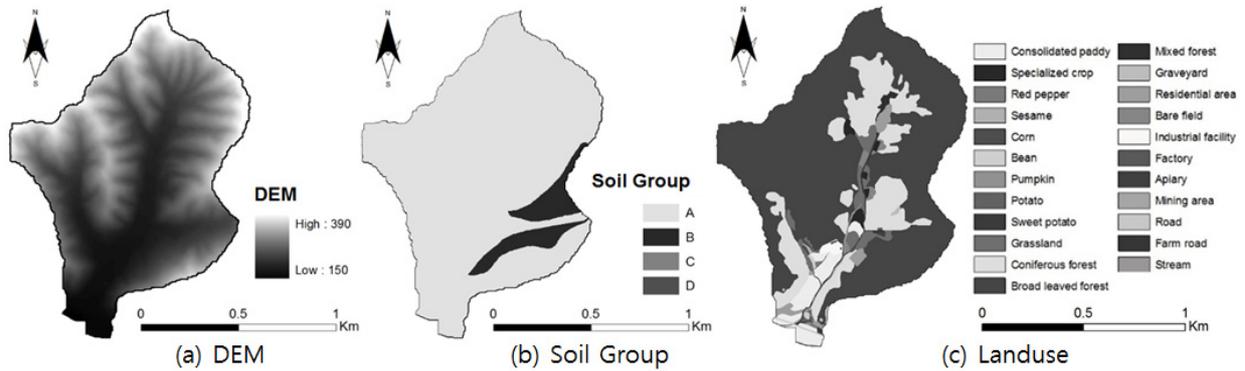


Fig. 4 Spatial input data for model setup

Table 1 Standard fertilizers of agricultural management in South Korea

Land use	SWAT	Planted	CN	Fertilizer (kg/ha)			Harvest
				N	P	K	
Paddy rice	RICE	1-May	78	180	45	57	15-Oct
Red Pepper	PEPR	1-Feb	70	26	34	12	1-Jul
Corn	CORN	1-Apr	70	145	30	60	1-Sep
Bean	PTBN	1-Apr	70	30	30	34	1-Oct
Potato	POTA	20-Feb	72	150	180	120	15-Jul
Sweet potato	SPOT	15-Mar	72	130	200	83	15-Oct
Sesame	AGRR	15-Jun	70	52	165	42	15-Sep

\*Data are provided by GARES (Gyeonggi Agricultural Research & Extension Services), <http://www.nongup.gyeonggi.kr/>

의 개수 및 토양층별 깊이를 구축하고, 토양층의 유효수분량, 포화수리전도도 등의 물리적 값을 구축하여 적용하였다. 토지이용도는 위성영상으로부터 1/5,000급의 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 정사보정 된 QuickBird 영상을 스캔된 디지털화 (On-Screen Digitizing)을 이용하여 총 23개 토지이용항목의 정밀토지이용도를 구축하였다 (Fig. 4c).

### 3. 비료 적용

SWAT은 토양에 비료를 적용하여 모의가 가능하다. 비료 적용에 필요한 정보는 작물생육단계별기간, 비료의 종류, 비료의 양 및 시비시기이다. SWAT은 표면유출이 토양의 상단 10mm와 상호작용하는 것을 가정하며, 표면층에 포함되는 영양소는 표면 유출 동안 주 하천으로 이동 한다 (Neitsch et

al., 2005). Table 1은 한국 농업관리를 위한 작물의 생장주기 와 수확시기, CN 및 표준시비량을 나타낸다.

## IV. 결과 및 고찰

### 1. 경운, 무경운 시험포장 결과

무경운 실험결과 2011년과 2012년의 유출 및 수질의 저감 효과는 유출율이 평균 10.8 % 감소하였고, Sediment, T-N, T-P는 각각 평균 81.7 %, 11.9 %, 17.1 % 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 유출 저감에 따른 비점원오염부하량을 비교 할 때 무경운 시 비점원오염 저감 효과가 분명하게 나타났다 (Won, 2013).

### 2. 모형의 보정 및 검정

본 연구에서는 2008년~2010년을 모형의 안정화 기간으로 설정하였고, 검보정 기간으로는 실측자료가 실행된 시점으로 모형의 보정기간은 2011년~2012년, 모형의 검증기간은 2013년으로 설정하였다. SWAT을 시단위로 수문-수질을

검보정을 하기 위해 총유출량 및 침투유량과 감수곡선 형태에 영향을 주는 매개변수를 시행착오 방법으로 선정하고, 민감도 분석을 실시하였다. 민감도 분석 결과 포화투수계수(SOL\_K), 기저유출 감수상수(ALPHA\_BF), 중간유출 지체 시간(LAT\_TIME)순으로 시간에 관련된 매개변수 위주로 민감하였다. Table 2는 SWAT 모형 적용 매개변수이다. Fig. 5(a)는 보정 및 검증기간동안 실측유출량 및 강우량에 따른 19개의 강우 이벤트를 선정하고 검증된 결과이며 침투유량 또한 실측값과 모의값이 유사하게 나타났다. Fig. 5(b)는 검보정 기간의 시간단위 유출량 검보정 결과이며, Fig. 5(c,d,e)는 검보정 기간의 일단위 수질(Sediment, T-N, T-P) 검보정 결과이다.

검보정 결과에 따른 모형의 효율성 검증을 위해 Nash and Sutcliffe (1970)가 제안한 모형효율성계수(NSE)를 사용하였으며, 모형의 상관성을 판단하기 위한 목적함수로는 결정계수( $R^2$ )를 사용하였다. Table 3은 이벤트에 따른 유출량에 대한 보정 및 검증결과를 표로 나타낸 것으로 검보정기간 동안의  $R^2$ 는 평균 0.79의 높은 상관성을 보였으며, NSE는 평균 0.67으로 모의치가 실측치의 경향을 잘 따르는 것으로 나타났다. 검보정 결과 수질은 일단위 모의만 가능하기 때문에 효율성을 산정하는데 어려움이 있지만 모의범위의 판단은 가능하였다.

### 3. BMP (경운, 무경운) 시나리오 적용

경운의 토양은 강우로 인해 훔알구조가 되어 보수력이 약해지고, 공극률이 낮아 강우시 지표 표면으로 흐르는 유출량이 많아진다. 반면 무경운 토양은 페알구조로 통기성이 좋고 물빠짐이 양호하며, 공극률이 높아 표면 유출량이 작아지게 된다.

SWAT 모형에 무경운 시나리오를 적용하기 위해서 투수계수 매개변수인 토양의 포화수리전도도 SOL\_K를 조절하였다. 시험포장 밭에서의 무경운시 평균 유출율은 경운시 평균 유출율 보다 10.8% 감소하였다. 무경운에 의한 침투량을 증가시켜 지표유출을 감소시키는 침투매개변수를 조절하여 경운과 무경운의 유출율을 비교하여 평균 7.0% 유출율을 감소시키는 적정 값을 산정하였으며 이때, 토양의 포화수리전도도 SOL\_K는 0.0025 mm/hr 값으로 산정되었다.

시험포장 밭과 별미천 대상유역의 면적은 각각 1276.6 m<sup>2</sup>, 1.17 km<sup>2</sup> 이고 시험포장 밭에서의 경사는 3%, 8% 이며 별미천 대상유역의 농경지 평균 경사는 9.65%로 지형적인 차이가 있기 때문에 동일한 유출을 저감에 대해서만 추정하기에는 제한적이다. 면적이 크고 경사도가 높음에 따라 유출을 저감이 시험포장에서의 결과보다 작게 나타날 것으로 판단되어

무경운시 유출을 저감이 약 3.0%, 5.0%, 7.0%에 해당하는 SOL\_K 0.01 mm/hr, SOL\_K 0.005 mm/hr, SOL\_K 0.0025 mm/hr의 매개변수 값을 적용하여 모의결과를 분석하였다.

Fig. 6는 무경운시 유출을 저감에 따른 영양물질의 저감율을 나타낸 것이다. 유출율 3.0% 저감에서의 sediment, T-N, T-P의 평균 오염원 변화율은 각각 -10.9%, +16.9%, -4.5%로 나타났으며, 유출율 5.0% 저감에서의 sediment, T-N, T-P의 평균 오염원 변화율은 각각 -7.9%, +8.8%, -7.4%로 나타났으며, 유출율 7.0% 저감에서의 sediment, T-N, T-P의 평균 오염원 변화율은 각각 -6.9%, -7.4%, -7.7%로 나타났다. 무경운의 경우, 강우시 유출량의 감소는 sediment 감소와 더불어 입자형태로 유출되는 T-P의 감소로 이어지는 전형적인 특징을 보였다. 반면에, T-N은 무경운에 의하여 감소된 유출량만큼 토양 중으로 용해되어 이동하는 양이 증가하여, 지표 하 및 지하수 유출을 통한 이동량의 증가로 저감효과가 나타나지 않은 것으로 판단된다.

## V. 결 론

본 연구에서는 농촌 소유역에서의 수문 및 수질특성과 BMPs 적용에 따른 비점원오염 저감효과를 분석하고자 경안천 상류의 별미천 유역(1.17 km<sup>2</sup>)을 대상으로 강우시 비료살포에 의한 오염물질을 상세히 파악하기 위해서 시간위 유출 모의를 통해 이루어지며 일단위 유출 모의시 강우에 따른 침투유량과 비점원오염을 파악하는데 한계가 있기 때문에 시간위 모델링을 수행하였다. 현장에서 수문 및 수위 모니터링을 실시하여 강원대 시험포장에서 검증된 BMPs 무경운을 적용하여 비점원오염 저감효과를 분석하였다.

모형의 보정 및 검정을 통하여 모형의 적용성을 평가하기 위해 별미천유역의 경작지에 대한 작물의 생장주기, 수확시기, CN 및 표준시비량을 SWAT 모형에 적용하여 유출량 및 수질항목에 대한 보정(2011-2012) 및 검증(2013)을 실시하였다. SWAT은 수문만 시간위 모의가 가능하고, 수질은 일단위 결과가 출력된다. 그 결과, 유출량에 대한  $R^2$ 는 평균 0.79 높은 상관성을 보였으며, NSE는 평균 0.67으로 모의치가 실측치의 경향을 잘 따르는 것으로 나타났다. 수질 모의결과의 효율을 산정하는데는 한계가 있으나 모의 범위의 판단이 가능하다. 강원대 시험포장 밭은 경운에 비해 무경운시 유출량 -10%일 때, Sediment -81.7%, T-N -11.9%, T-P -11.1%로 수질의 저감효과가 나타났다. 이러한 실측 결과를 토대로, SWAT 모형에서 투수계수 매개변수인 포화 수리전도도 SOL\_K를 조정하여 무경운 시나리오에 따른 시간위 유출 모델링을 수행한 결과, SOL\_K 값이 0.01, 0.005, 0.0025 일때

Table 2 The Calibrated Parameters of SWAT Model

Parameter	Definition	Range		Adjusted Value	
		min.	max.		
Q	CN2	SCS moisture condition II curve number for pervious areas	1,2	1,6	×1,2
	ESCO	Soil evaporation compensation coefficient	0	1	0,8
	LAT_TIME	Lateral flow travel time (days)	0	5	1
	OV_N	Manning's "n" value for overland flow	0,01	1	0,01
	SOL_AWC	Available water capacity of the soil layer (mm/mm)	0,001	0,3	×0,05
	SOL_K	Saturated hydraulic conductivity of first soil layer (mm/hr)	0,001	0,03	×0,001
	ALPHA_BF	Baseflow alpha factor (days)	0	1	1
	GW_DELAY	Groundwater delay (days)	0,01	10	0,01
	CH_N2	Manning's "n" value for the main channel	0,001	0,03	0,01
	CH_N1	Manning's "n" value for the tributary channels	0,01	0,5	0,1
	CH_K1	Effective hydraulic conductivity in tributary channel alluvium (mm/hr)	0	1	0,01
	SURLAG	Surface runoff lag time (days)	0,05	1,2	1,2
WQ	USLE_P	USLE support practice factor	0	1	0,5
	CH_COV2	Channel cover factor	-0,001	1	0,1
	CH_COV1	Channel erodibility factor	-0,05	0,6	0,1
	SPCON	Linear parameter for calculating the maximum amount of sediment that can be reentrained during channel sediment routing	0,0001	0,01	0,001
	SPEXP	Exponent parameter for calculating sediment reentrained in channel sediment routing	1	1,5	1,25

\*Q : Streamflow, WQ : Water Quality

Table 3 Summary of runoff simulated result for 19 event

Year	Date of event	Rainfall		Peak Runoff (mm)		Runoff				NSE	R <sup>2</sup>	Note
		Duration (hr)	Amount (mm)	Obs.	Sim.	Volume (mm)		Ratio (%)				
						Obs.	Sim.	Obs.	Sim.			
2011	29-Jun	30	142,0	3,94	3,80	97,1	111,5	68,4	78,5	0,76	0,87	C
	03-Jul	20	121,0	3,94	3,56	77,4	86,1	64,0	71,2	0,74	0,88	
	26-Jul	21	259,0	20,92	7,04	160,8	231,2	62,1	89,2	0,51	0,54	
	16-Aug	35	158,0	7,65	4,13	82,8	140,4	52,4	88,9	0,60	0,67	
2012	02-Apr	22	74,0	0,60	1,33	13,8	42,5	18,6	57,4	0,68	0,88	
	05-Jul	30	220,0	4,32	3,22	81,4	107,1	37,0	48,7	0,93	0,89	
	15-Jul	26	92,0	2,97	2,76	53,4	68,6	58,0	74,6	0,87	0,90	
	19-Jul	9	67,0	2,72	2,42	47,2	54,4	70,5	81,1	0,88	0,88	
	15-Aug	9	75,0	2,16	2,63	20,6	55,8	27,5	74,5	0,52	0,79	
	20-Aug	58	138,0	1,17	1,57	85,6	111,8	62,1	81,0	0,75	0,86	
	30-Aug	17	89,0	2,24	2,48	51,2	63,6	57,5	71,5	0,92	0,96	
	04-Sep	21	79,0	1,11	1,77	44,6	63,4	56,5	80,2	0,54	0,89	
	16-Sep	26	94,0	1,17	2,19	52,9	77,7	56,3	82,6	0,32	0,87	
	Average	25	124	4,22	2,99	66,8	93,4	53,1	75,3	0,69	0,84	
	2013	27-May	28	74,0	0,47	0,70	25,2	29,5	34,1	39,8	0,94	
18-Jun		23	87,0	0,53	0,95	10,8	29,2	12,5	33,5	0,90	0,46	
08-Jul		8	44,2	1,67	0,91	31,7	25,4	71,7	57,5	0,86	0,91	
13-Jul		69	136,2	1,75	1,26	117,9	103,6	86,5	76,1	0,49	0,54	
22-Jul		50	260,0	5,72	7,28	129,1	236,8	49,7	91,1	-0,32	0,48	
10-Aug		2	75,0	3,00	1,42	43,6	39,2	58,2	52,3	0,83	0,79	
Average	30	113	2,19	2,09	59,7	77,3	52,1	58,4	0,62	0,68		
Average	27	120	3,58	2,71	64,6	88,3	52,8	70,0	0,67	0,79		

\*Nash Sutcliffe efficiency coefficient: values \$ 0,50 are generally accepted as adequate (Santhi et al., 2001)

\*C : Calibration, V : Verification

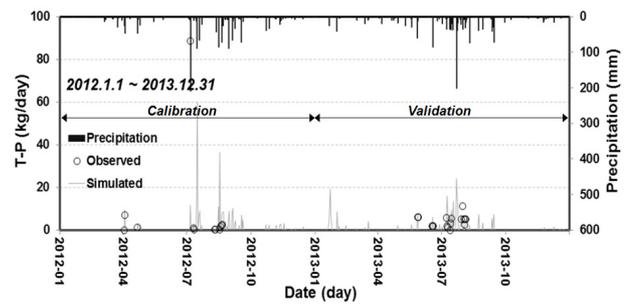
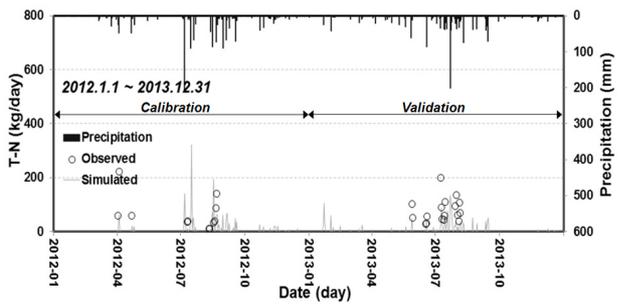
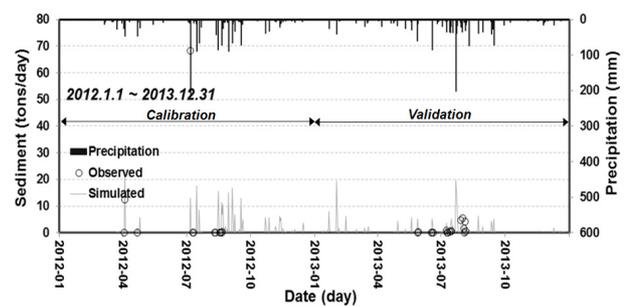
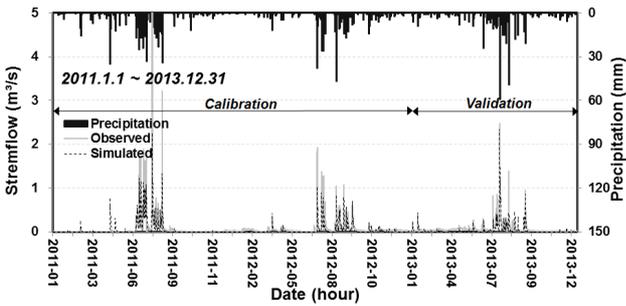
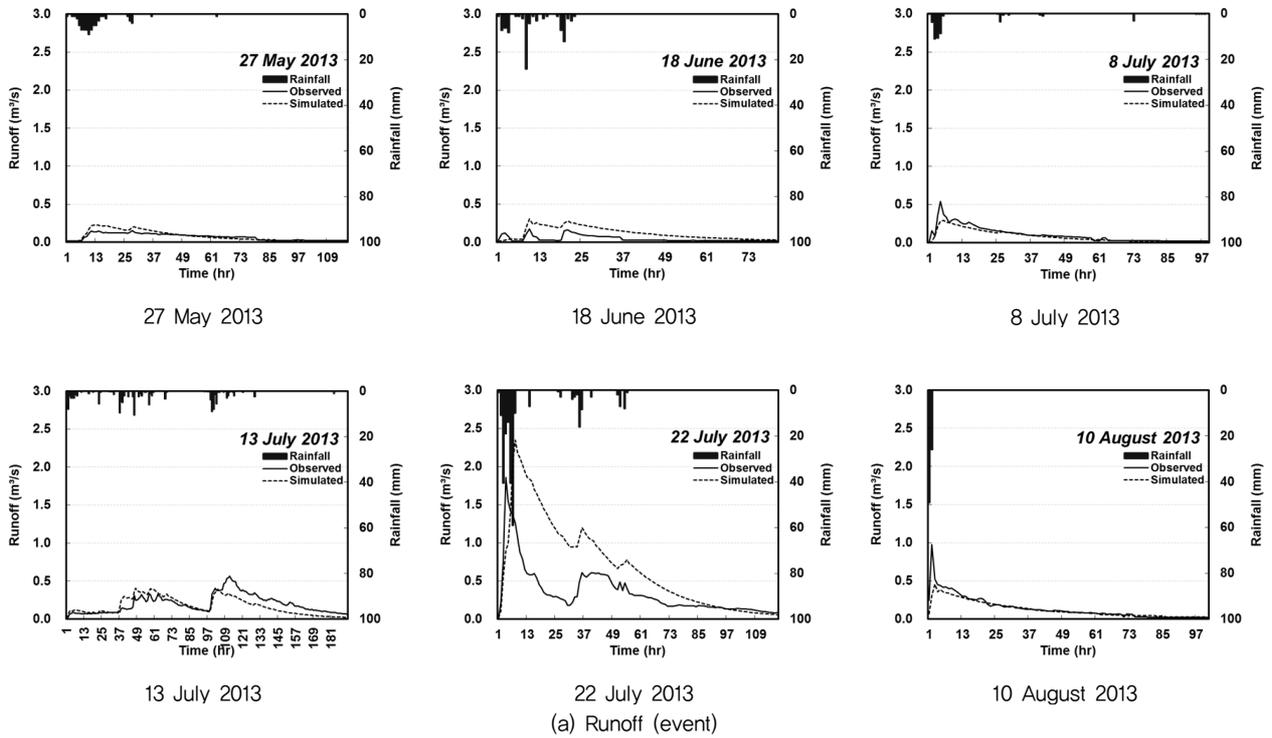
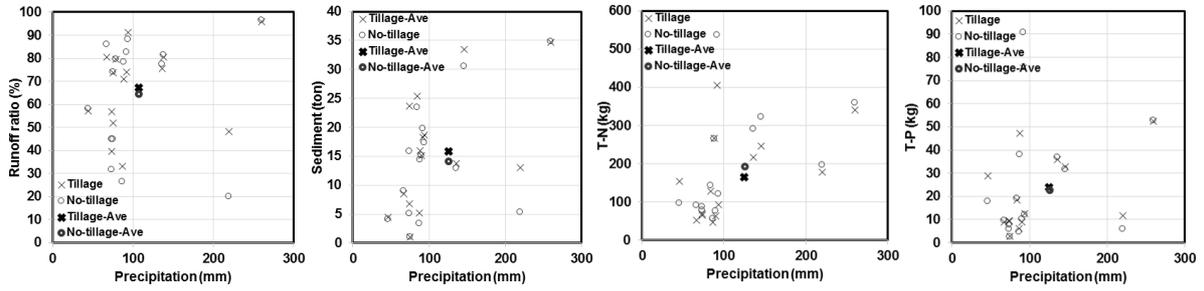
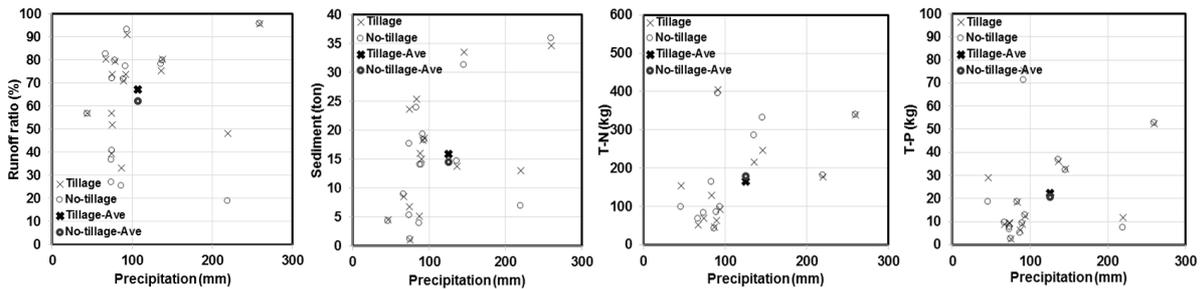


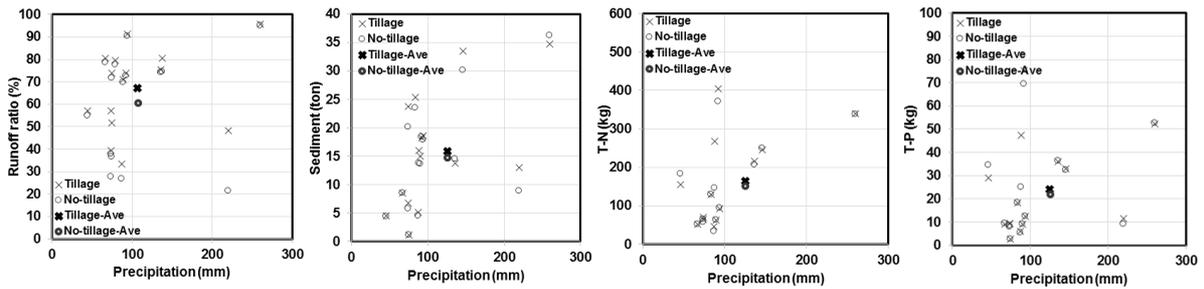
Fig. 5 The Calibration and Validation Results for Stream Flow and Water Quality



(a) Reduction effects : Runoff -3.0 %, Sediment -10.9 %, T-N +16.9 %, T-P -4.5 %



(b) Reduction effects : Runoff -5.0 %, Sediment -7.9 %, T-N +8.8 %, T-P -7.4 %



(c) Reduction effects : Runoff -7.0 %, Sediment -6.9 %, T-N -7.4 %, T-P -7.7 %

Fig. 6 Reduction effects of Runoff and NPS under No-tillage condition

유출률 -3.0 %, -5.0 %, -7.0 %에 Sediment -10.9 %, -7.9 %, -6.9 %, T-N +16.9 %, +8.8 %, -7.4 %, T-P -4.5 %, -7.4 %, -7.7 %의 효과가 나타나, T-N을 제외하고는 무경운시 비점원 오염이 대체로 저감되는 효과를 확인 할 수 있었다.

## 사 사

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(11 기술혁신C06)에 의해 수행되었습니다.

## REFERENCES

1. Arabi M, Frankenberger JR, Engel BA, Arnold JG, 2007.

Representation of agricultural conservation practices with SWAT. *Hydrological Processes* 22(16): 3042-3055.

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. Brown, L.C., and Barnell, T.O. Jr, 1987. The enhanced water quality models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS documentation and user manual. EPA document EPA/600/3-87/007, USEPA, Athens, GA.

4. Choi, J. D, 2010. A quantification study on the reduction effect of agricultural non-point source pollution in rural areas(1). National Institute of Environmental Research (in Korean).

5. Chu T. W, Shirmohammadi A, Montas H, Abbott L, Sadeghi A, 2005. Watershed level BMP valuation with SWAT model. ASAE Annual International Meeting, ASAE paper No 052098,

- St Joseph, MI.
6. Jung, C. G., H. K. Joh, J. Y. Park, and S. J. Kim, 2012. Runoff Characteristics Comparison of Nonpoint Source Pollution for Two Adjacent Stream Watersheds using SWAT Model. *Journal of Korean Society of the Agricultural Engineers* 54(3): 91-101 (in Korean).
  7. Jung, C. G., S. R. Ahn, S. J. Kim, H. J. Yang, H. J. Lee, and G. A. Park, 2013. HSPF and SWAT Modelling for Identifying Runoff Reduction Effect of Nonpoint Source Pollution by Rice Straw Mulching on Upland Crops. *Journal of the Korean Society of the Agricultural Engineers* 55(2): 47-57 (in Korean).
  8. Kim, S. J., T. Y. Park, S. M. Kim, J. R. Jang, and S. M. Kim, 2012. A Plot Scale Experiment to Analysis the NPS Reduction by Silt Fence and Vegetated Ridge for Non-Irrigated Cropland. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*. 54(4): 19-27 (in Korean).
  9. Lee, J. M., J. C. Ryu, H. W. Kang, H. S. Kang, D. H. Kum, C. H. Jang, J. D. Choi, and K. J. Lim, 2012. Evaluation of SWAT Flow and Sediment Estimation and Effects of Soil Erosion Best Management Practices. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 54(1): 99-108 (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, M. S., G. A. Park, M. J. Park, J. Y. Park, J. W. Lee, and S. J. Kim, 2010. Evaluation of non-point source pollution reduction by applying Best Management Practices using a SWAT model and QuickBird high resolution satellite imagery. *Environmental Sciences* 22(6) 826-833 (in Korean).
  12. Lee, Y. J., J. Y. Park, M. J. Park, and S. J. Kim, 2008. Assessment of future climate and land use change impact on hydrology and stream water quality of Anseongcheon watershed using SWAT model(I). *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 28(6B): 653-663 (in Korean).
  13. 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.
  14. Nash, J. E., and J. E. Sutcliffe, 1970. River flow forecasting though conceptual models: Part I, A discussion of principles. *Journal of Hydrology* 10(3): 282-290.
  15. 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).
  16. Neitsch S L, Arnold J G, Kiniry J R, Williams J R, 2005. Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2005: January, 2005. Temple, TX, USA: Grassland, Soil and Water Research Laboratory, Agricultural Research Service, Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station.
  17. Won, C. H., M. H. Shin, H. J. Shin, K. J. Lim, and J. D. Choi, 2013. Application of BMP for Reduction of Runoff and NPS Pollutions. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 55(5): 1-7 (in Korean).
  18. Park, J. Y., C. G. Jung, I. K. Jung, J. W. Lee, H. J. Shin, and S. J. Kim, 2010. A Study on the Reduction of Non-Point Source Pollution by Applying Best Management Practices using SWAT Model. *Korean life environment* 32(2): 59-64(in Korean).
  19. Shin, M. H., J. R. Jang, H. J. Shin, D. H. Kum, Y. H. Choi, C. H. Won, K. J. Lim, and J. D. Choi, 2014. Application of the Surface Cover Materials for Reduction of NPS Pollution from Actual Cultivation. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 56(3): 31-38 (in Korean).
  20. Williams, J.R. (1975). Sediment-yield prediction with universal equation using runoff energy factor. In present and prospective technology for predicting sediment yield and sources, ARS-S-40, USDA-ARS.
  21. Zhen X, Yu SC, Lin J, 2004. Optimal location and sizing of stormwater basins at watershed scale. *J Water Resour Plan Manag* 130(4): 339-347.