

객토 농경지의 토양특성을 고려한 도암댐 유역에서의 수문 및 유사 거동 모의

Simulation of Hydrological and Sediment Behaviors in the Doam-dam Watershed considering Soil Properties of the Soil Reconditioned Agricultural Fields

허성구* · 김재영* · 유동선* · 김기성*[†] · 안재훈** · 윤정숙*** · 임경재*

Heo, Sung Gu · Kim, Jae Young · Yoo, Dong Sun

Kim, Ki Sung · Ahn, Jae Hun · Yoon, Jong Suk · Lim, Kyoung Jae

Abstract

The alpine agricultural activities are usually performed at higher and steep areas in nature. Thus, significant amounts of soil erosion are occurring compared with those from other areas. Thus, the soil erosion induced environmental impacts in these areas are getting greater. The Doam watershed is located at alpine areas and it has been well known that the agricultural activities in the watershed are causing accelerated soil erosion and water quality degradations. Many modeling approaches were employed to solve soil erosion and water quality issues. In this study, the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model was utilized to simulate the hydrologic and sediment behaviors in the Doam watershed. In many previous modeling studies, the digital soil map and its corresponding soil properties were used without modification to reflect soil conditioning at many agricultural fields of the Doam watershed. Thus, the soil sample was taken at the agricultural field within the Doam watershed and analyzed for its physical properties. In this study, the digital topsoil properties in the agricultural fields within the Doam watershed were replaced with the soil properties for reconditioned soil analyzed in this study to simulate the impacts of using soil properties for reconditioned soil in hydrologic and sediment modeling at the Doam watershed using the SWAT model. The hydrologic component of the SWAT model was calibrated and validated for measured flow data from 2002 to 2003. The R^2 value was 0.79 and the EI value was 0.53 for weekly simulated data. The calibrated model parameters were used for hydrologic component validation and the R^2 value was 0.86 and the EI value was 0.74 for weekly data. For sediment comparison, the R^2 value was 0.67 and the EI value was 0.59. These statistics

* 강원대학교 지역기반공학과

** 농촌진흥청 고령지 농업연구소

*** 인하대학교 환경토목공학부 박사후 연구원

[†] Corresponding author. Tel.: +82-33-250-6466

Fax: +82-33-251-1518

E-mail address: kskim@kangwon.ac.kr

improved with the use of soil properties of the reconditioned soil in the field compared with the results obtained without considering soil reconditioning. The simulated sediment amounts with and without considering the soil properties of the reconditioned soil were 284,813 ton and 158,369 ton, respectively. This result indicates that there could be approximately 79% of errors in estimated sediment yield at the Doam watershed, although the model comparison with the measured data gave similar satisfactory statistics with and without considering soil properties from the reconditioned soil.

Keywords : SWAT, Streamflow, Sediment, Calibration, Validation

I. 서 론

전형적인 산지 고원지역인 강원도 지역은 산세가 험하고 해발고도가 높은 우리나라의 대표적인 고령지 농업지역이다. 고령지 농업은 그 특성상 지형적으로 표고가 높고 경사가 급한 곳에서 수행되기 때문에 토양유실이 다른 지역 보다 크게 나타난다. 더욱이 농업에 사용되는 각종 비료와 농약 등으로 인하여 토양유실과 이에 따른 오염물질의 수계유입으로 인하여 환경적인 피해가 더욱 크게 나타날 수 있다. 농경지의 황폐화에 의한 원지반에서의 작물 생산성 저하 및 영농 작업수행의 곤란, 또는 농약 및 유기/화학비료 등의 오염물질 토양에의 흡착. 이동에 따른 하천 및 호소의 오염, 그리고 하천의 통수 능력 및 저수지의 수리적 기능 저하 등이 발생할 수 있다. 그러나 우리나라에서는 토양유실이 갖는 이러한 여러 가지 문제점에도 불구하고 토양유실에 따른 환경피해에 관한 정확한 평가 및 대책이 수립되어 실행되지 못하고 있는 실정이다. 대표적인 고령지 지역에 위치한 강원도 평창군 도암댐 유역은 남한강 최상류인 송천에 댐을 막아 1990년에 완공된 유역 변경식 발전으로 완공된 후부터 강릉, 정선, 영월 지역의 수질을 악화시키며, 서울의 상수원인 한강 상류에 위치했다는 점에서 고령지 지역에서의 토양유실에 따른 수(水) 환경에 미치는 심각성은 더욱 크다고 할 수 있다.

수환경에 직접적인 영향을 미치는 오염원으로 고령지 농경지에서의 소득 작물에 대한 연작피해 경감, 작물의 생산성 향상과 농민들의 소득 증대와

연관되어 구분별하게 농경지에 행해진 객토와 농약 및 비료가 주요인이다. 객토된 토양은 토양구조가 흐트러진 상태이기 때문에 강수에 따른 유출로 인하여 상당량이 쉽게 유실되는 경향이 있다. 이때 유실된 토양에 흡착된 오염물질은 하류 지역, 즉 도암댐 수계로 유입되어 수계내 탁수 및 부영양화의 주요인이 되어오고 있다. 이러한 탁수 및 수질 문제를 해결하기 위해서는 유역에서 발생하는 토양 유실량을 정확하게 산정하는 것이 필요하다. 지난 40여 년간 우리나라에서 뿐만 아니라 전 세계적으로 Universal Soil Loss Equation (USLE) 모형이 토양유실량 산정에 많이 이용(김 등, 2005)되어 왔으나, USLE 모형은 장기 토양유실량을 모의할 뿐, 토양유실변화의 시간적 변화를 고려할 수 없는 단점이 있다. 농업 비점원 오염에 의한 수문 순환을 고려한 모델로 공간적인 변이에 따른 모의 방법 중 분포형 모델에는 ANSWERS, AGNPS, SWRRB, SWAT, HSPF 등이 있다. 이 중 대표적인 Soil and Water Assessment Tool (SWAT) 모형은 대규모 유역에서의 유량 및 비점원 오염을 모의하기 위해 개발된 유역단위 모델로서(Arnold et al., 1993) 준 분포형 매개변수 모델이다. 이 모델은 일, 월, 년 단위의 모의가 가능하며, 유역내 유량, 유사농도, 영양물질의 발생과 이동 등을 모의할 수 있다(허 등, 2005). SWAT 모형은 수치지도, 토지이용도, 토양도, 기상자료, 영농자료 등을 모형의 입력 자료를 이용하여 유역 모의를 한다. 보통 SWAT 모형은 모형의 보정(Model Calibration) 및 검정(Model Validation) 과정을 통해 모형의

정확성을 평가한 후, 보정된 값을 이용하여 다양한 환경 영향 평가에 이용된다. 그러나 대부분의 SWAT 비점오염원 모델링에서는 개략/정밀 토양도 상의 토양통별 속성자료를 이용하여 수문 및 유사, 수질을 모의하였다. 도암댐 유역내 고령지 농경지에서는 지난 수십여 년간 영농생산성을 극대화하기 위하여 원지반이 유실된 농경지에 대해서 매년 연례 행사처럼 객토가 행해져 왔다. 이러한 객토된 토양의 속성을 제대로 고려하지 않고, 개략 및 정밀토양도의 토양속성을 이용하여 SWAT 모형의 정확성을 평가하는데 있어 많은 의문점이 제기 되어왔다. 즉, 유역내 객토된 토양의 특성을 고려하지 않고, 모델변수의 조절을 통하여 모델의 예측치를 실측치와 어느 정도 맞춤으로써 발생될 수 있는 오류를 간과해서는 안 된다.

따라서 본 연구의 목적은,

- 1) 도암댐 유역내 객토토양의 특성분석을 통해, SWAT 모형의 토양 DB를 구축하여 모델의 정확성을 평가하는데 있으며,
- 2) 도암댐 유역내 농경지에서의 객토된 토양 속성을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우, SWAT 예측 유사량의 차이를 분석하는데 있다.

본 연구의 결과는 도암댐 유역과 같이 고령지 농업이 행해지는 곳에서 SWAT 모형을 적용할 때, 정확한 유역내 토성 특성을 고려하는 것이 얼마나 중요한지 제시해 줄 것으로 판단된다.

II. 연구지역 선정 및 분석방법

1. 연구지역 선정

연구 대상지역은 강원도 평창군 도암면에 속하는 도암댐 유역으로 도암호의 집수구역이다. 도암댐 유역은 동경 128° 37'~128° 47', 북위 38° 35'~38° 47'이다. 송촌 본류의 길이는 약 29.5 km²

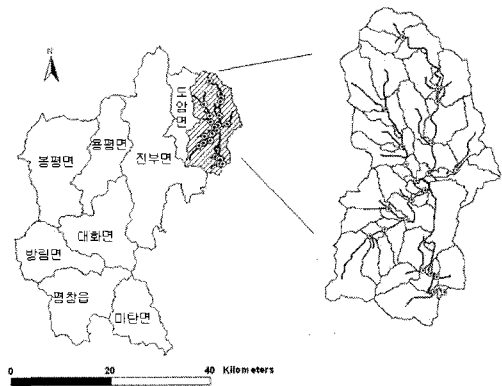


Fig. 1 Location of the Doam-dam Watershed at PyeongChang, Gangwon-do

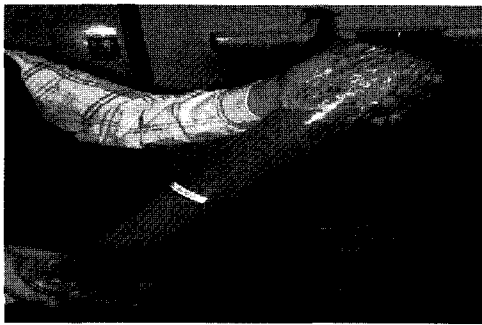
이며 유역면적은 149.2 km²로 도암면 면적(221.6 km²)의 67.3%를 차지한다. 도암면 면적은 평창군 전체 면적 1463.7 km²의 15.2%에 해당되며 이중 농경지와 초지는 각각 8.1%와 4.4%를 차지한다. 반면, 산림이 82.6%를 차지하는 전형적인 산지 고원 지역이다(허, 2005). Fig. 1은 평창군 도암면의 도암댐 수계를 나타내고 있다. 도암댐 수계는 상대적으로 해발고도가 높은 고산지대로서, 지세, 토질, 기후 등이 고령지 농업에 적합한 지역에 속한다.

2. 연구유역의 객토지 밭 토양의 특성

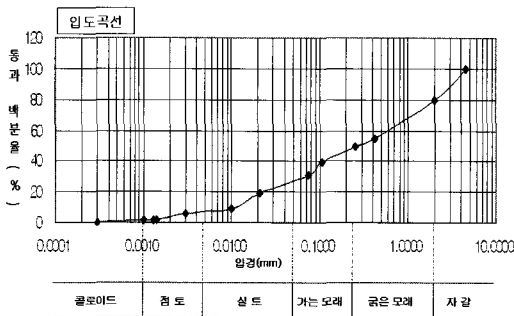
도암댐 유역내 농경지에서 작물 생산성을 극대화하기 위하여 대부분의 농경지에서 객토가 행해지고 있다. 그동안 도암댐 농경지에서처럼 작물생산성을 증대할 목적으로 새로운 토양을 농경지에 투입하는 행위가 객토, 복토, 성토 등의 용어로 혼용되어 왔다. 따라서 본 연구에서는 “객토”로 통일하여 기술하고자 한다. 객토로 사용하는 모재는 대부분 농경지와 인접해 있는 인근 산을 절개하여 사용하고 있다. 본 연구에서는 도암댐 농경지의 객토 토양의 물리적 특성을 분석하기 위하여 2006년 9월에 토양 시료를 채취 하였다(Fig. 2 (a)). 또한 토양분류를 위하여 비중계 실험(Fig. 2 (b))과 체가름 분



(a)



(b)



(c)

Fig. 2 (a) Soil sampling location at the Doam-dam watershed, (b) Soil hydrometer test (c) Soil gradation & particle size distribution test

석을 하여 입도곡선을 계산하였다(Fig. 2 (c)). 입도분석에 사용되는 토양 입자의 크기는 2 mm 이하로 하는 것이 원칙이다(박 등, 2004). 그러나 도암댐 유역의 농경지 객토 토양에는 2 mm 이상 되는 입자의 자갈이 20%를 포함되어 있다. 따라서

모재 객토지와 같이 자갈의 함량이 많은 곳에서의 입도 분석시 2 mm 이상의 입자도 함께 분석(박 등, 2004)해야 한다. 본 연구에서는 자갈을 고려하여, 객토 토양의 입도분석을 수행한 결과, 자갈 함량 20%, 모래 함량 61%, 실트 함량 19.4%, 점토 함량 6.1%인 사양토(SL)로 분석 되었다.

3. SWAT 모형의 적용

가. SWAT 모형 개요

SWAT 모형은 미국 농무성의 농업연구국 (Agricultural Research Service: ARS)에서 개발한 유역단위의 모형이다. 이 모형은 미국 농무성에서 개발하여 이용해 온 CREAMS 모형, GREAMS 모형 및 EPIC 모형과 같은 농업연구국 모형들을 결합하여 만들었다 (Arnold and Srinivasan, 1994). 특히 SWAT은 강우-유출모형과 수질모형이 GIS와 연계된 호환모형로서 장기 유량과 수질을 모의할 수 있으며, 미계측 지역에서도 모의가 가능하며, 경작형태나 기후·식생 등의 변화에 따른 수질의 상대적 효과도 정량화할 수 있는 특징을 지니고 있다. Fig. 3은 SWAT 모형의 입력 자료와 출력자료를 보여준다. SWAT 모형을 이용하여 수문 및 수질을 시·공간적으로 분석하기 위해서 시간적으로 변화하는 기상자료 (일 강수량, 기온, 풍속, 일조량, 상대습도)와, 공간적으로 변화하는 토지이용현황, 토양속성, 그리고 지형자료 등이 필요하다. Fig. 3에서 보이는 바와 같이 SWAT 모형은 유역에서의 토지이용에 따라 발생하는 비점오염원과, 유역내 소하천별, 소유역별, 그리고 소유역내 수문학적 반응단위별 유출량, 토양유실을 모의한다(허, 2006).

나. SWAT 모형의 입력자료

(1) 기상자료

SWAT 모형의 운영에 필요한 기상자료는 장기 일 강우 (mm), 일 평균풍속 (m/s), 일 평균상대습도 (%), 일 최고온도 (°C)·일 최저온도 (°C), 일

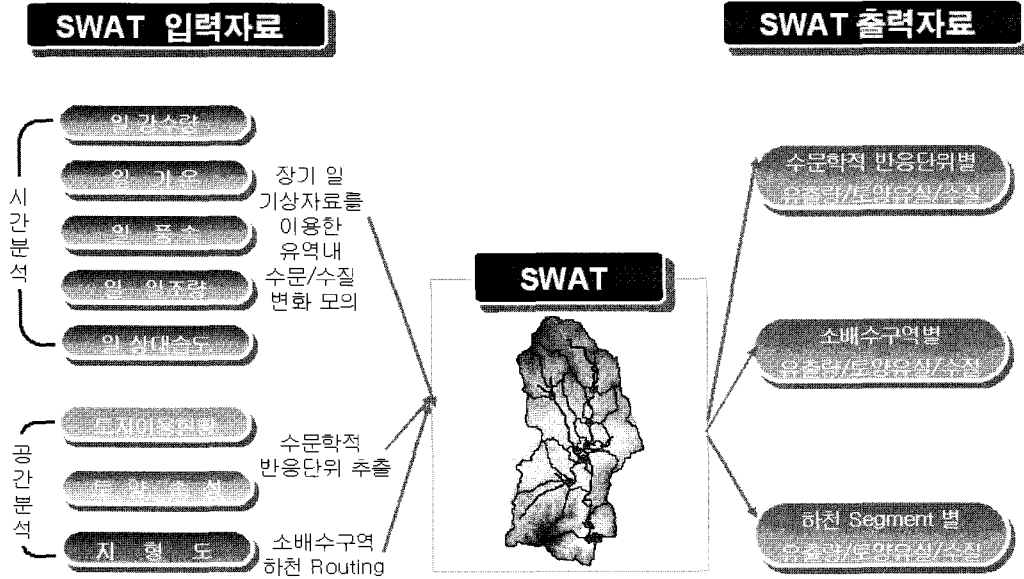


Fig. 3 Overview of the SWAT model - Model input/output parameters (Heo, 2006)

수평면일사량(MJ/m^2)이다. 기상청 자료 중 일 수면일사량(MJ/m^2)을 측정하지 않은 관계로 국가 수자원관리종합정보(<http://www.wamis.go.kr/>)을 이용하여 SWAT에서 필요한 일 수평면일사량(MJ/m^2)을 구축하였고, 다른 기상자료는 1974년 1월 1일부터 2006년 7월 5일까지 측정된 대관령 지역의 기상 데이터를 이용하였다.

(2) 토지이용도

도암댐 수계내 토지이용현황은 환경부 환경지리 정보 (Environmental Geographic Information System: EGIS)에서 배포하는 20005년 1/25,000의 대분류 수치 토지피복도 자료를 이용하였다. 도암댐 유역의 토지 이용 분류는 산림(FRSD, FRSE, FRST)이 61.8%를 차지하며, 농업지역(AGRL)이 31.7%, 시가화(URLD) 1.9%, 초지(PAST) 2.3%, 습지(WETL) 0.2%, 나지(CLVA) 1.0%, 수역(WATR) 1.1% 각각 차지하고 있다. Fig. 4(a)와 (b)는 도암댐 유역의 토지이용 현황도를 나타내는 것이다.

(3) 토양도

도암댐 수계내 토양속성은 농촌진흥청 농업과학

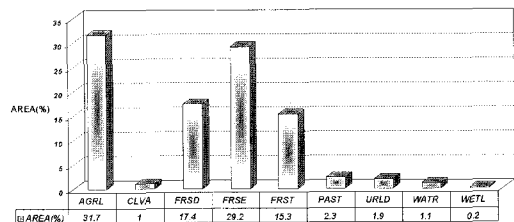
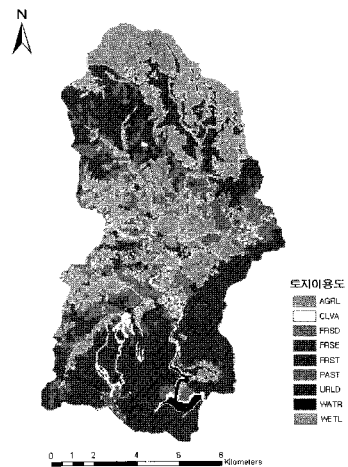


Fig. 4 Land cover/land use at the Doam-dam watershed (EGIS, 2005)

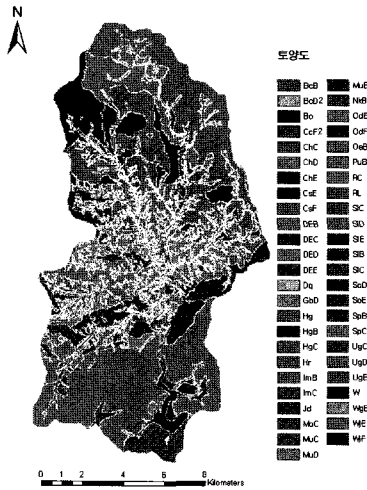


Fig. 5 Soil distribution at the Doam-dam watershed

기술원(NIAST, 2000)에서 제공해 주는 정밀토양도(1:25,000)를 사용하였으며, 본 연구지역에는 화강암을 모재로 한 갈색산림토양이 넓게 분포하며, 풍화 및 토양발달 정도에 따라 차항통, 오대통 및 월정토가 분포되어 있다. 이들 토양의 pH는 5.2~5.9이며 유기물 함량은 6.7~8.1%로 매우 높은 것이 특징이다. Fig. 5는 도암댐 수계내의 토양속성 분포를 나타낸 것이다. 토성별로 보면 양토가 62%로 가장 많고 다음이 미사질 양토로서 17% 순이다. 심토의 경우 식양질토가 49%, 사양토가 30%를 차지한다(농촌진흥청, 2000).

(4) 수치표고모형

SWAT 모형의 수치표고모형(Digital Elevation Model; DEM)을 구축하기 위해 환경부에서 발행한 도암댐 유역의 1:5,000 수치지도와 Arcview GIS 프로그램을 이용하였다. DEM의 격자(Cell)크기 결정에 있어 모의 시간의 효율성과 모의결과의 정확성을 고려하여 격자 크기는 5 m×5 m로 하여 DEM을 구축하였다(Fig. 6).

(5) Watershed Delineation

Watershed-Scale 모형인 SWAT 모형을 도암댐 유역에 적용하기 위해서는 소유역을 구분해야한다. 도암댐 유역의 소유역 분할은 수자원단위지도

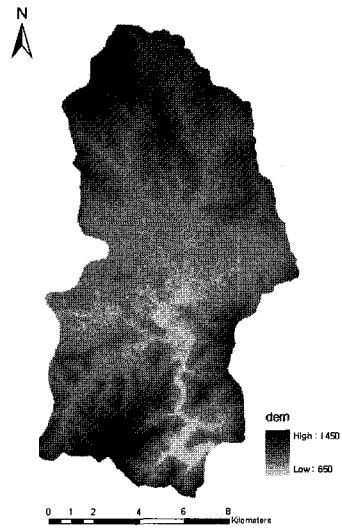


Fig. 6 Digital elevation model at the Doam-dam watershed

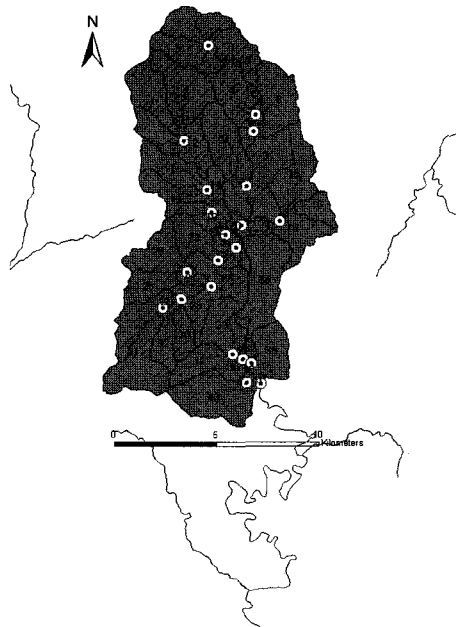


Fig. 7 Subwatershed discretization at the Doam-dam watershed

상의 기존 하천망을 표현할 수 있는 최적의 Threshold 값을 시행착오법을 적용하여 산정 하였다. 즉 임계면적을 200 ha로 적용하였을 경우에 유역내의 하천을 최적으로 표현하였으며, 도암댐

유역 분류와 대표적인 큰 지류 하천의 합류점을 출구지점으로 소유역 분할을 실시한 총 41개의 소유역으로 분할 산정 하였다(Fig. 7).

4. 객토의 토양도 DB 구축 및 토양 유실 모의

SWAT 모형은 Hydrological Response Unit (HRU)라는 개념을 이용하여 유역내 토지이용과 토양속성을 고려하여 수문 및 비점오염원을 모의한다. 따라서 객토된 토양의 속성을 고려한 SWAT 모의를 위해서는 토지이용 중 농경지의 표토 토양속성을 변화시켜줘야 한다. 본 연구에서는 Raster

형태의 토지이용 및 토양속성 객토 토양의 자료를 중첩하여, HRU를 구축하였다. 기존의 토양통과 객토토양의 토양속성 구분을 위하여 토양통명에 '-N'를 붙여 구분하였다(Fig. 8).

새로 생성된 객토 토양의 속성은 본 연구에서 분석된 사양토(SL)의 습윤 용적밀도, 토양층의 유효수분량, 포화수리전도도, 습윤 토양 등의 속성을 이용하여 원지반의 토양의 표토 속성을 수정 하였다. Fig. 9는 객토 토양 토양통을 포함한 도암댐 유역의 토양도이다.

5. 통계분석 프로그램(SAS)을 통한 이상치 분석

일반적으로 실측되는 강수량, 유량, 유사 등의 통계자료들은 시간의 흐름에 따라 변하는 시계열자료들이 많다. 본 연구에서도 시계열 자료를 통한 관측치의 분석이 필요하다. 시계열자료는 현장의 환경적 조건과, 관측치 오차, 실행 오차 등의 이유로 인해 이상치(outliers)가 발생한다(Barnett and Lewis, 1978). 본 연구에서는 SAS 통계 분석 소프트웨어를 사용하여 Studentized Residual 방법과 Cook's Distance를 고려하여 이상치를 분석하였다. Studentized Residual은 표준오차에 의한 잔차 값을 분리함으로써 얻어지며, 일반적으로 2~3사이 에 있는 절대치는 이상치로서 의심을 하며, 3의 절대치 보다 큰 값은 이상치로 간주한다(Sxhlotzhauer and little, 1987). Cook's Distance는 절편을 포함하는 회귀 계수에 대한 각각의 관측치에 전반적인 영향을 반영한다. 따라서 본 연구는 위와 같은 SAS 통계 분석 프로그램을 이용하여 도암댐 유역의 유량(2002~20003년) 및 유사(2003~20004년) 자료의 이상치를 분석하였다. Fig. 10과 11은 유량과 유사농도의 Studentized Residual값과, Cook's Distance의 값을 보여준다.

SWAT 분석결과 2002년 9월의 유량자료와 2003년 9월의 유사자료의 Studentized Residual과, Cook's Distance를 이용하여 이상치를 분석하

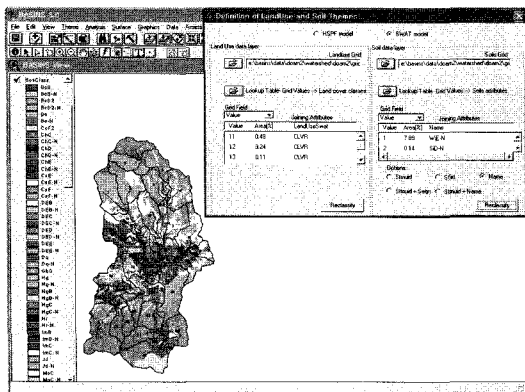


Fig. 8 Overlay of land use and soil for HRU definition

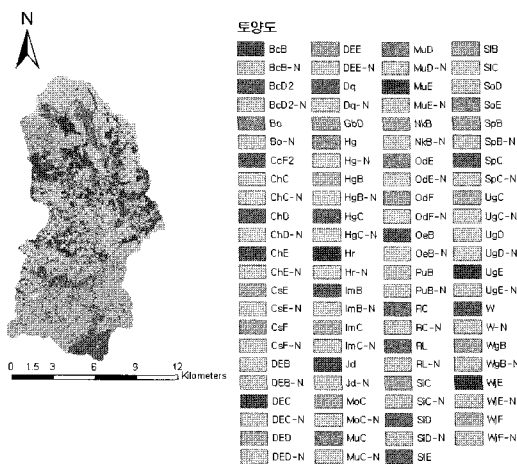
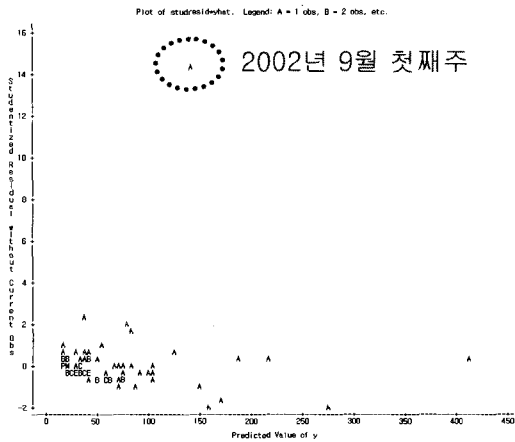
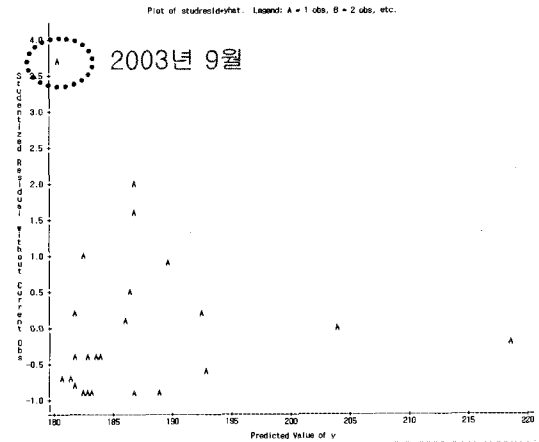


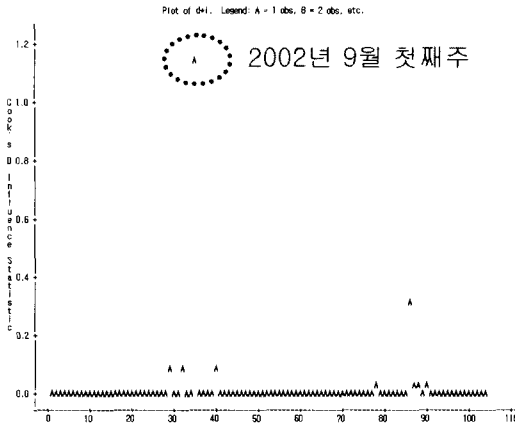
Fig. 9 Soil distribution map using soil properties of reconditioned soil at agricultural field



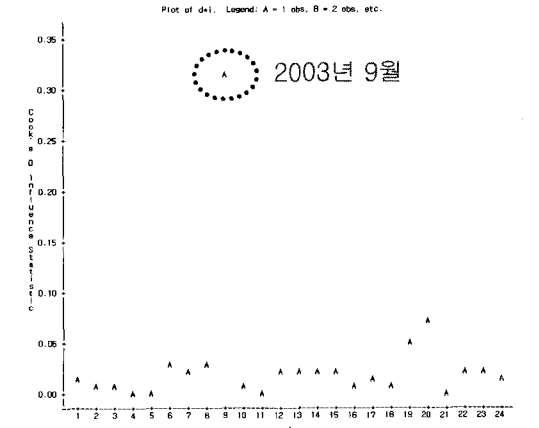
(a) Studentized residual



(a) Studentized residual



(b) Cook's distance



(b) Cook's distance

Fig. 10 Outlier detection for flow data from 2002~2003 using SAS

Fig. 11 Outlier detection for sediment data from 2002~2003 using SAS

였다. 본 연구에서는 이러한 이상치를 제외하여 SWAT 모형의 보정 및 검정을 실시하였다.

6. 모형의 보정(Model Calibration) 및 검정(Model Validation)

SWAT 모형을 이용하여 객토에 따른 토양유실량을 모의하기 위해 앞서, 객토토양특성을 이용한 SWAT 모형의 수문 및 토양유실/유사 컴포넌트의 정확성을 평가해야 한다. 모형의 정확성 검증은 하

기 위해 실측자료는 도암댐 수계의 유량 데이터 (Korea Hydro & Nuclears Power Co, URL: <http://www.khnp.co.kr>)와 송천 지점의 유사량 데이터 (Water Environmental Information System, URL: <http://water.nier.go.kr/weis/>)를 이용하였다. 유사 는 물의 이용에 의해 좌우되기 때문에 모형의 보정을 위해 먼저 유출과 관련된 매개변수를 보정하여야 하고, 이후 유사 관련 매개변수를 보정 하였다. 유출관련 매개변수 보정 후, 유사 관련 매개변수를 보정할 때에는 앞선 유출 매개변수를 제외한 유사

관련 매개변수에 대해서만 보정을 함으로써 유출 모의 값에 영향을 주지 않도록 하였다. 수문 컴포넌트 중 가장 민감한 변수들을 선택하여 유출매개변수 유출곡선지수(CN), 토양증발 보상계수(ESCO), 기저유출에 대한 천층 대수층의 임계수분량(GWQN), ALPHA_BF(기저유출감수상수), GW_REVAP(천층 대수층의 revap 계수), REVAPMN(revap 혹은 심층대수층으로의 침투에 대한 천층 대수층의 임계수분량)과 유사매개변수 (평균경사(SLOPE), 평균유로연장(SLLUBSN)), 작물경작인자(USLE_C), 침식조절인자(USLE_P))를 변경시켜 모형의 보정을 실시하였다 (Arnold et al., 1999; Santhi et al., 2001; Spruill et al., 2000). 매개변수 보정은 SWAT 모형이 보정해야 할 매개변수가 많고 복잡한 모형이기 때문에 시행 착오법에 따라 각 매개변수의 민감도 분석 결과(Lenhart et al., 2002)에 따라 단계별 매개변수를 변화시켜가며 보정을 수행하였으며, 보정 및 검증 결과에 대한 모형 적용성 평가를 위해 유량 및 유사에 대해 결정계수 (Coefficient of Determination; R^2), Nash와 Sutcliffe (1970)에 의해 제안된 모형 효율 (Model Efficiency; EI) 등을 산정하여 검토하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 모형의 보정(Model Calibration) 및 검증(Model Validation) 결과

본 연구의 모의기간은 2001년부터 2003년이다. 보통 수문 및 비점오염원 모의시 모델의 초기화 과정(Warming Up)을 수행하는데, 본 연구에서는 이를 위해 2001년도부터 초기화 과정을 수행하였다. 2002~2003년도의 실측값과 모의 값을 이용하여 주(Week) 단위별로 유량을 보정한 결과 결정계수 (R^2)는 0.79, 모형 효율지수(EI)는 0.53으로 나타났다(Fig. 12). Fig. 13은 보정된 매개변수를 적용하여 모형의 검증기간인 2004년에 적용해 본 결과

수문곡선과 결정계수(R^2)는 0.86, 모형 효율지수(EI)는 0.74로 모의치가 실측치의 경향을 잘 반영하였다. Fig. 14는 보정된 매개변수를 이용하여 모의 유사농도와 2003~2004년 실측 유사농도를 비교분석한 결과 결정계수(R^2)는 0.67, 모형효율지수(EI)는 0.59로 나타났다. Ramanarayanan et al. (1997)은 결정계수(R^2)가 0.5 이상이고 모형효율지수(EI)가 0.4 이상이면 모형이 자연현상을 잘 모의하는 것으로 제안하였다. 따라서 보정된 SWAT 모형은 도암댐 수계내 유량/유사량 모의에 상당히 적합한 것으로 판단된다.

허 등 (2005)의 연구에 의하면, 객토 토양의 속성을 고려하지 않고, SWAT 모형을 도암댐 유역에 적용한 결과 월별 수문 모의시 모형효율지수(EI)가 0.66, 유사농도 모형효율지수(EI)가 0.41이었다. 본 연구의 결과에서 보이는 바와 같이, 객토 토양의 속성을 고려하여 주 단위 SWAT 수문 모의결과 SWAT 모형은 도암댐 유역의 수문 현상을 보다 더 잘 모의하는 것으로 나타났다.

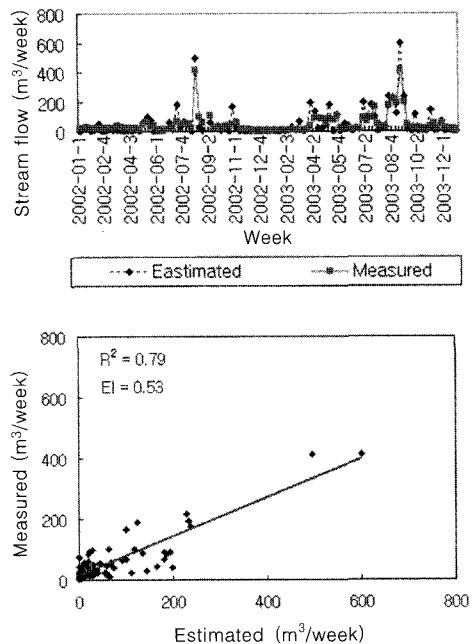


Fig. 12 Calibration of SWAT hydrologic component (2002~2003)

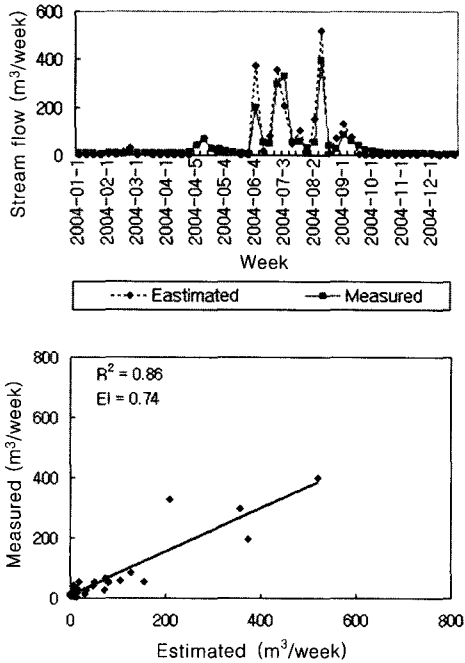


Fig. 13 Validation of SWAT hydrologic component (2004)

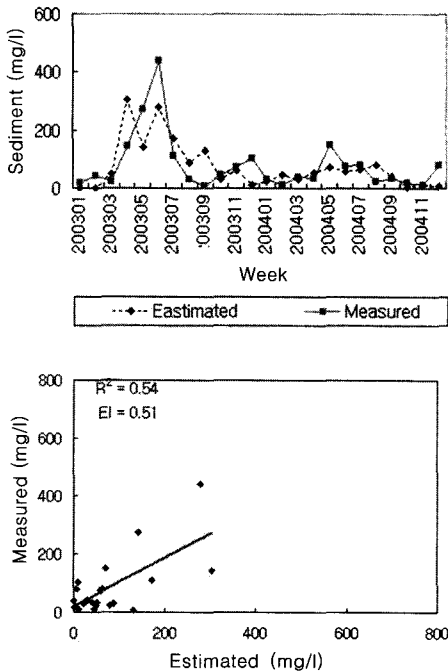


Fig. 14 Comparison of SWAT estimated SS vs. measured SS (2003~2004)

2. 객토 토양의 특성을 고려한 SWAT 모의 유량 및 토양유실량 비교

본 연구에서는 객토토양의 특성을 고려하지 않고 SWAT 모의시 발생가능한 오류를 분석하기 위하여 객토 토양의 특성을 고려하여 SWAT 모의 유량 및 유사량과, 객토 토양의 특성을 고려하지 않고 모의된 SWAT 유량 및 유사량을 비교 분석하였다. Fig. 15는 SWAT 모형을 이용하여 객토 토양 특성을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우 SWAT 모의 유량을 비교 한 것이다. Fig. 15에서 보이는 바와 같이 3월 중순이후 기온 상승에 따른 봄철 용설시 객토를 고려한 경우 유량이 객토를 고려하지 않은 경우보다 증가하였고, 여름철 태풍(매미)시도 마찬가지로 객토토양 특성을 고려한 경우 유출량이 더 많이 증가하였다.

2003년부터 2004년까지 2년간 객토 토양 특성을 고려하지 않은 경우 SWAT 모의 총 유량은 4,963 m³/year이었고, 객토 특성을 고려한 경우 총 유량은 6,410 m³/year으로 객토 토양 특성을 고려한 경우 유출량이 1,447 m³/year 증가 하였다. 객토된 농경지의 경우, 토양이 안정화되지 못하고, 모래 성분과 자갈의 함량이 많아서 토양입자간의 결합력이 대단히 약하여, 기존의 경작층과 새로 조성된 객토 층이 분리되는 경우가 많다. 이렇게 분리된 층은 객토층 보다 투수성이 낮아서 강우의 침투를 막는 역할을 하기 때문에, 객토 토양 특성

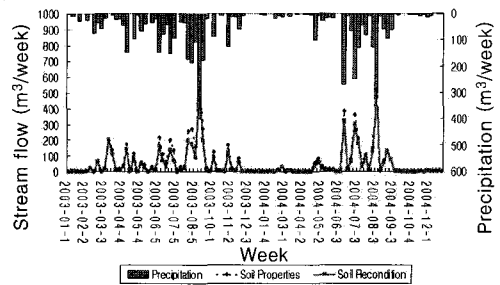


Fig. 15 Comparison of SWAT estimated flow w/ and w/o soil properties at soil reconditioned agricultural fields

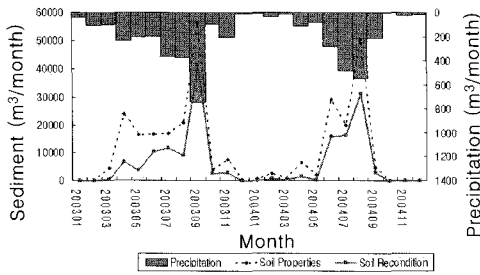


Fig. 16 Comparison of SWAT estimated sediment w/ and w/o soil properties at soil reconditioned agricultural fields

을 고려하여 SWAT 모의한 경우 유출량이 많이 증가하는 것을 알 수 있다 (주, 등 2002).

Fig. 16은 SWAT 모형을 이용하여 객토를 고려한 경우와 객토를 고려하지 않은 경우의 유사량을 비교한 것이다. 객토를 고려하지 않은 경우 토양유실 모의치는 2년간 총 158,369 m³/year, 객토를 고려한 경우 토양유실 모의치는 284,813 m³/year으로 분석되어 객토 토양 특성을 고려하여 SWAT 모의 유사량이 126,444 m³/year 증가 하였다. 이는 객토가 주로 성행하는 고령지 지역에서는 객토 토양 특성을 고려하지 않고 유사량 모의시 SWAT 모의 유사발생량이 약 79%정도 오류가 발생할 수 있다는 것을 보여준다.

IV. 결 론

고령지 지역에서는 지형 및 영농의 특수성 때문에 토양유실과 이로 인한 수질 오염으로 많은 문제점이 제기되어 왔다. 특히 도암댐 유역내 고령지 농경지에서처럼 대규모 객토가 행해지는 경우, 객토로 인해 더 많은 토양유실이 발생되어 왔다. 본 연구의 주요 목적은 SWAT 모형을 이용하여 도암댐 유역내 수문 및 유사 모의시, 객토 토양의 특성을 고려하지 않을 경우 발생 가능한 오류를 분석하는 것이다. 이를 위해서 먼저 SWAT 모형의 정확성을 평가하였는데, 객토 토양의 특성을 고려하여 유량을 보정한 결과, 결정계수 (R^2)는 0.79, 모형

효율지수(EI)는 0.53, 보정된 매개변수를 적용하여 검증한 결과 결정계수 (R^2)는 0.86, 모형 효율지수(EI)는 0.74로 나타났다. 이는 객토토양의 특성을 고려하지 않고 모의된 결과 (허, 2006) 보다 더 향상된 수치이다. 유사의 경우 또한 객토 토양의 특성을 고려한 결과 결정계수 (R^2)는 0.67, 모형 효율지수(EI)는 0.59 나타났다. 본 연구의 결과에서 보여지는 바와 같이 도암댐 유역내 농경지에서 행해지는 객토토양의 특성을 고려해야 보다 유역내 수문 및 유사발생 거동을 잘 모의할 수 있는 것으로 나타났다. 객토 토양의 특성을 고려하지 않고 SWAT 모의 발생가능한 오류를 분석한 결과, 객토 토양 특성을 고려한 경우 SWAT 모의 유사량이 객토 토양 특성을 고려하지 않고 모의한 유사량보다 약 79% 증가한 것을 알 수 있었다. 본 연구의 결과는 그동안 객토 토양의 특성을 고려하지 않고 유역내 수문 및 유사 거동 모의시, 유역내 토지이용현황이나 기상현황 이외에 얼마나 정확한 토양특성을 고려해야 하는지를 보여주는 좋은 예라 할 수 있다.

본 연구에서는 객토 토양의 특성 분석시 강원도 평창군 도암면 황계리내 농경지 객토 토양 샘플을 분석하여 도암댐 유역내 객토 토양의 대표특성으로 가정하여 분석하였다. 그러나, 보다 정확한 SWAT 모의를 위해서는 도암댐 유역내 많은 곳에서의 토양샘플링을 통한 특성 분석을 수행하여 정확한 객토 토양 DB를 구축하는 것이 시급한 실정이다.

본 연구는 농촌진흥청 고령지 농업연구소와 강원대학교 농업과학연구소의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

References

1. Arnold, J. G, P. M. Allen, and G. Bernhardt, 1993. A comprehensive surface-ground-

- water flow model J Hydrol. pp. 43~69.
2. Arnold, J. G., and Srinivasan, R., 1994. Integration of a BASIN-SCALE Water Quality Model with GIS. Water Resources Bulletin. American Water Resources Association. pp. 453~462.
 3. Arnold, J. G., and P. M. Allen. 1999. Automated methods for estimating baseflow and ground water recharge from streamflow records. Journal of the American Water Resources Association 35(2): 411-424.
 4. Barnett, V. and T. Lewis. 1978. outlier information statistical Data. New York: John Wiley & Sons, Inc.
 5. Environmental Geographic Information System <http://egis.me.go.kr/egis/> Last accessed Oct. 1, 2005.
 6. Heo, S. G., K. S. Kim, M. Sagong, J. H. Ahn, K. J. Lim. 2005. Evaluation of SWAT Applicability to Simulate Soil Erosion at Highland Agricultural Lands. Korea Society of Agricultural Planning 11(4): 67-74.
 7. Heo, S. G. 2006. Water Environmental Effect Evaluation due to Forest Fragmentation for Doam-Dam Watershed. Kangwon National University. Master's Degree Thesis.
 8. Joo, J. H., Y. S. Jung, J. J. Kim, C. S. Park, J. H. Yang. 2002. Characteristics of the Dressed Soil in Farm Land in Naerinchun Upper Stream and Management Practices to Reduce Soil Erosion. Kangwon National University Research Institute of Agricultural Sciences. 13: 108-115.
 9. Kim, K. S. S. G. Heo, Y. S. Jung, J. M. Kim, K. J. Lim. 2005. Analysis of Soil Erosion Vulnerability at Alpine Agricultural Farms of HongCheon County. Korea Society of Agricultural Planning. 11(2): 51-57.
 10. Korea Hydro & Nuclear Power Co, <http://www.khnp.co.kr>, Last accessed Nov. 1, 2006.
 11. Lenhart, T., K. Eckhardt, N. Fohrer, H-G. Frede. 2002. Comparison of two different approaches of sensitivity analysis. Physics and Chemistry of the Earth 645-654.
 12. Nash, J. and J. V. Sutcliffe. 1970. River flow forecasting through conceptual models Part I - Discussion of principles. Journal of Hydrology 10:282-290.
 13. Park, C. S., Y. S. Jung, J. H. Joo, J. H. Yang. 2004. Soil Characteristics of the Saprolite Piled Upland Fields at Highland in Kangwon Province. Korea Society of Soil Science and Fertilizer. 37(2): 66-73.
 14. Ramanarayanan, T. S., Williams, J. R., Dugas, W. A., Hauck, L. M., and McFarland, A. M. S., 1997. Using APEX to identify alternative practices for animal waste management. ASAE International Meeting, Minneapolis, MN. Paper No. 97-2209.
 15. Rural Development Administration National Institute of Agricultural Sciences and Technology, 2000.
 16. Rural Development Administration, National Institute of Highland Agriculture, 2000. Flowering Grass Cultivation Techniques of Highland.
 17. Santhi, C., J. G. Arnold, J. R. Williams, W. A. Dugas, R. Srinivasan, and L. M. Hauck. 2001. Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources. Journal of the American Water Resources Association 37 (5): 1169-1188.
 18. Spruill, C. A., S. R. Workman, and J. L. Taraba. 2000. Simulation of daily and monthly stream discharge from a small watershed using the SWAT model. Transactions of the ASAE 43(6): 1431-1439.
 19. Sxhlotzhauer, S. D. and R. C. Little. 1987. SAS System for Elementary Statistical Analysis. Cary, NC: SAS Institute.
 20. Water Management Information System <http://www.wamis.go.kr>, Last accessed Nov. 1, 2006.
 21. Water Environmental Information System. <http://water.nier.go.kr/weis>, Last accessed Nov. 1, 2006.