

**해안면 유역의 실측 경사장과 경사도를
이용한 SWAT 토양유실량과 유사량 모의 평가**
Simulation of Soil Erosion and Sediment Behaviors with
Measured Field Slope Length and Slope in Hae-an Watershed using
SWAT

유동선* · 허성구** · 전만식*** · 김기성**** · 임경재*****

Dong Sun Yoo, Sung Gu Heo, Man sig Jun, Ki-Sung Kim, Kyoung Jae Lim

요 지

소양강댐 유역에서 몇 년간 계속되는 고탁수 문제가 좀처럼 개선되고 있지 않는 실정이다. 탁수발생의 원인은 여러 가지가 있지만 농경지를 중심으로 유입되는 토양유실이 가장 직접적인 원인으로 지적되고 있다. 특히, 고랭지 농경지에서 소득 작물에 대한 연작피해 경감, 작물의 생산성 향상과 농민들의 소득 증대와 연관되어 무분별하게 농경지에 행해진 객토와 농약 및 비료는 수질 악화의 매우 큰 영향을 미치고 있다. 이러한 문제로 인하여, 토양유실량 추정을 위한 여러 모형들이 개발되었다. 이 중, SWAT 모형은 미국 농무성의 농업연구소에서 개발된 유역단위 모형으로 대규모의 복잡한 유역에서 장기간에 걸친 다양한 종류의 토양과 토지이용 및 토지관리 상태에 따른 수문과 유사 및 농업화학물질의 거동에 대하여 예측하기 위해 개발된 모형이다. 이 SWAT모형은 유역내 수문 및 유사 모의시, DEM을 기반으로 유역 평균경사도를 이용하여 경사도-경사장 관계식 산정 경사장을 유역내 모든 수문학적 반응단위 (HRU: Hydrologic Response Unit)의 동일하게 적용한다. 이는 SWAT 모의 유사량과 실측 자료에 있어서 큰 차이를 초래할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 해안면 지역의 모든 농경지에 대해 강원발전연구원에서 전수 조사한 실측 경사장 및 경사도 자료를 반영할 수 있도록 소유역내 모든 HRU에 면적 가중 경사도/경사장을 할당해 주는 프로그램을 개발하여 준분포 모형인 SWAT의 단점을 극복하였다. 그 결과 유출량의 경우 면적 가중 실측경사장 및 경사도를 적용 유무에 따라 월 평균유량 3,951,537 m³/month, 3,953,947 m³/month로 2,410 m³/month의 큰 차이를 보이지 않았지만, 유사량의 경우 면적 가중 실측경사장 및 경사도 적용 하였을 경우 10,826 ton/month 이고, 기존 SWAT 예측 유사량은 월 평균 3,642 ton/month으로 7,184 ton/month (66.4 % 차이) 큰 차이를 보였다. 이러한 결과는 SWAT 모형 적용시 경사장 및 경사도 산정에 따라, 유사량이 과소 또는 과대 평가 될 수 있음을 보여준다.

핵심용어 : SWAT 모형, 토양유실, 실측 경사장, 실측 경사도

* 준회원·강원대학교 농업공학부 지역건설공학과 E-mail : yodise@nate.com

** 준회원·강원발전연구원 환경지역개발실 E-mail : hsg7@hanmail.net

*** 준회원·강원발전연구원 환경지역개발실 E-mail : jms@gdri.re.kr

**** 준회원·강원대학교 농업공학부 지역건설공학과 교수 E-mail : kskim@kangwon.ac.kr

***** 정회원·강원대학교 농업공학부 지역건설공학과 교수 E-mail : kjlim@kangwon.ac.kr

1. 서론

최근 토양유실 문제가 이슈화 되고 있다. 본래 토양유실이란 강수, 풍화 등으로 인해 지속적으로 일어나는 자연적 순환과정의 하나이다. 하지만 인위적 영농행위 및 기타개발 행위에 의하여 생성된 오염물질이 강우 유출시 발생하는 토양유실과 함께 수계로 유입됨에 따라 수질 및 생태계를 악화시키고 있다. 북한강의 최대수역인 소양댐 유역의 경우 지난 몇 년간 계속되는 고탁수 문제가 좀처럼 개선되고 있지 않는 실정이다. 특히, 소양댐 유역내에는 홍천군 자운지구, 인제군 가아지구 및 서화지구, 양구군 해안지구 등의 고령지 농업지구가 분포되어 있다. 이러한, 농업지구를 중심으로 유입되는 토양유실이 소양강댐 유역의 탁수의 가장 직접적인 원인으로 지적되고 있다. 경제적 및 효과적 토양유실 저감을 위해서는 유역내 발생하는 토양유실량을 측정하는 것이 필요하다. 하지만, 시·공간적으로 변화하는 유역내 토양유실량을 정확하게 측정하는 방법은 현실적으로 불가능하다. 토양 유실을 정확하게 측정하기 위해서는 토양 유실에 대한 관측 및 토양 유실에 영향을 미칠 수 있는 요소들의 파악이 현실적으로 제한이 따르기 때문이다(유동선 등, 2007). 이에 대한 방편으로 SWAT모형을 이용한 국내연구는 활발한 추세이다. 대부분의 선행연구들은 유역의 수문 및 유사 모의시 SWAT모형이 산정하는 유역의 평균 경사도 및 경사장을 이용하여 적용하였다. 하지만 경사도 및 경사장의 변화에 따라 유사량의 차이가 상당부분 발생할수 있다(Manoj Jha, 2002). SWAT모형은 토지이용도와 토양도의 중첩을 통한 HRU 단위로 유역내 수문 및 유사 모의한다. 특히, 평균경사도 및 경사장 산정시 DEM을 기반으로 산정한다. SWAT모형은 경사가 완만한 미국지형을 바탕으로 개발되어 우리나라와 같이 경사가 급한 곳이 많은 지역에 적용될 때 지형인자 추출 오류가 발생할 수 있다. SWAT모형은 유역내 평균경사장 및 경사도 산정시 소유역내 동일한 값을 적용하여 지형적 특성이 제대로 고려되지 않는다.

따라서 본 연구의 목적은 소양강댐 유역내 해안면 지역의 현장조사를 바탕으로 산정된 실측 경사도 및 경사장값 고려하여, 기존 SWAT모형에 의하여 산정되는 경사장 및 경사도 산정에 따른 토양유실량과 실측 경사도 및 경사장을 고려한 SWAT모형의 토양유실량 및 유사 변화를 비교 분석하여 유사량 평가를 하는 것이다.

2. 연구방법

2.1. 연구지역

본 연구의 연구지역은 소양강댐 유역 내 고령지 농업이 성행하고 있는 해안면 유역이다. 해안면은 유역면적 61.97 km² 이며, 지리적 위치는 북위 38° 15'~38° 20', 동경 128° 15'~ 128° 10'에 해당된다. 또한, 강원도 인제군 원통 서북방 19 km, 양구군 양구읍 동북방 26 km에 위치한다. 아래 그림 1은 해안면 유역의 수계를 나타낸다.

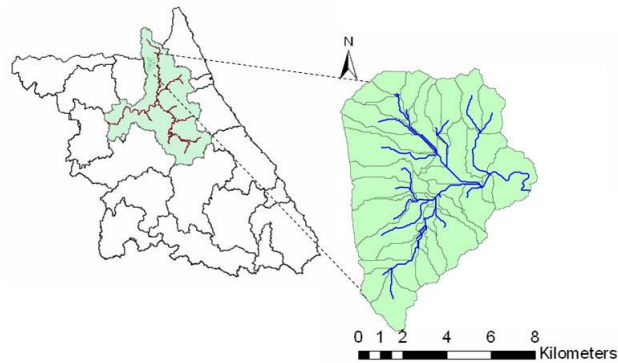


그림 1. 해안면 유역 수계도

2.3. SWAT 모형 적용

2.3.1. 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 만들어졌다 (Arnold and Srinivasan, 1994). 특히 SWAT은 강우-유출모형과 수질모형이 GIS와 연계된 호환모형로서 장기 유량과 수질을 모의할 수 있으며, 미계측 지역에서는 모의도 가능하며, 경작형태나 기후·식생 등의 변화에 따른 수질의 상대적 효과도 정량화할 수 있는 특징을 지니고 있다.

2.4. SWAT 모형의 입력자료 구축

2.4.1. 기상자료

SWAT 모형은 일 강우(mm), 일 평균풍속(m/sec), 일 평균상대습도(%), 일 최고·최저기온(°C), 일 수평면일사량(MJ/m²)이 필요로 한다. 본 연구에서는 기상청과 수자원공사에서 1993년 1월 1일 ~ 2007년 8월 31일까지 관측한 서화 지점의 기상 및 강우자료를 바탕으로 구축하였다.

2.4.2. 해안면유역 DEM, 토양도, 토지이용도

본 연구에서는 해안면 유역의 셀 사이즈 20m Digital Elevation Model, 토양도는 농촌진흥청 농업과학기술원에서 제공해주는 개략토양도를(1:50,000), 토지이용도는 환경부에서 제공하는 대분류 수치 토지피복도(1:25,000) 자료를 기반으로 토지이용도를 구축하였다.

2.4.3. 해안면유역 실측경사장 및 경사도자료 구축 및 적용

강원발전연구원에서 실제 농경지를 대상으로 직접 경사도와 경사장 측정된 자료를 바탕으로 임 등이 개발한 면적가중 모듈을 사용하여 실측된 경사장 및 경사도를 적용하였다. 이 모듈은 각각의 실측된 농경지의 면적비를 고려하여 HRU별 평균 경사도와 경사장을 산정한 후 SWAT모형의 경사도와 경사장 매개변수에 적용할수 있다(Fig 2).

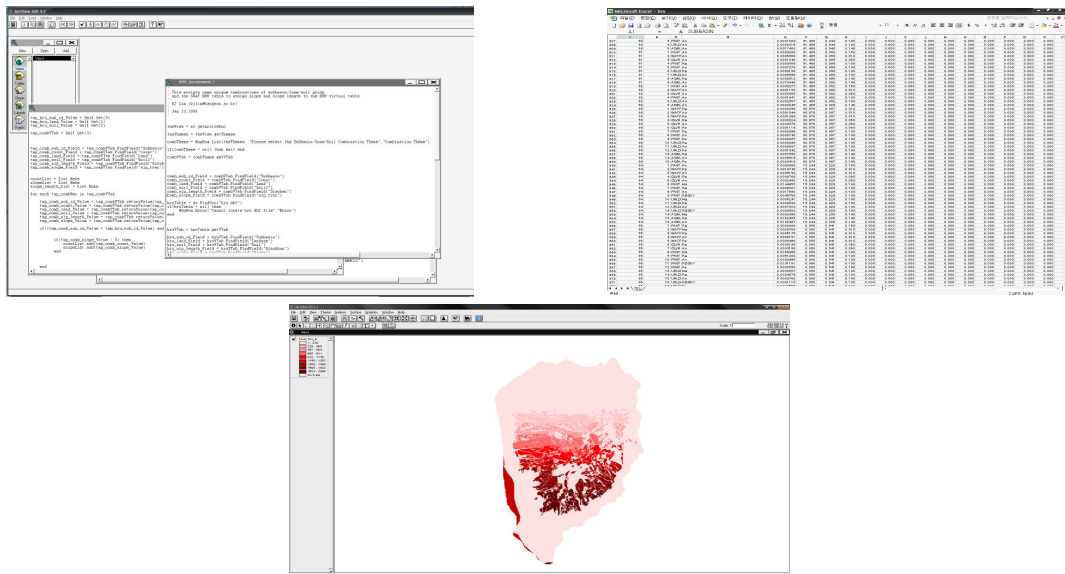
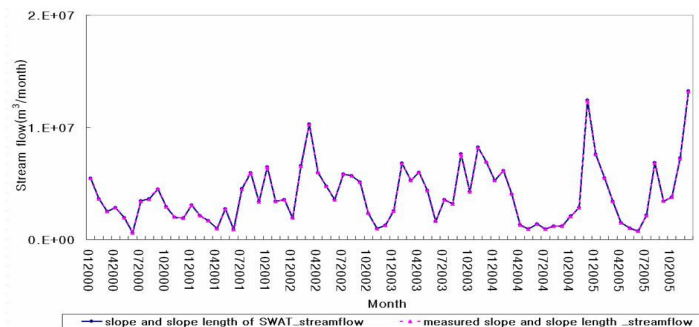


그림 2. 경사장 및 경사도 면적가중 모듈

3. 결과

3.1. 해안면유역의 실측경사장 및 경사도 고려 유무에 따른 수문 및 유사비교

아래 그림 3은 해안면유역의 실측경사장 및 경사도에 고려 유무에 따른 유량변화를 나타낸 것이다. 2000년 ~ 2005년까지 SWAT에 의해 산정된 경사장과 경사도를 사용하여 모의된 유량 평균값은 3,953,947 m³/month이며 실측 경사장 및 경사도를 사용하여 평균값은 3,951,537 m³/month 로 2,410 m³/month 차이가 났다.



Stream flow(m ³ / month)	
SWAT slope and slope length	Measured slope and slope length
3,953,947	3,951,537(↓2,410)

그림 3. 실측 경사장 및 경사도 적용에 따른 유량

아래 Fig. 10은 해안면유역의 기존 SWAT에 의해 산정된 경사장 및 경사도를 이용하여 나온 유사 모의값과 실측 경사장 및 경사도를 적용하여 나온 유사 모의값을 나타낸 것이다. 00년 ~ 05년까지 SWAT에 의해 산정된 경사장과 경사도를 사용하여 모의된 유사 월평균값은 3,642 ton/month이며 실측 경사장 및 경사도를 사용하여 월평균값은 10,826 ton/month 로 7,184 ton/month 차이가 났다.

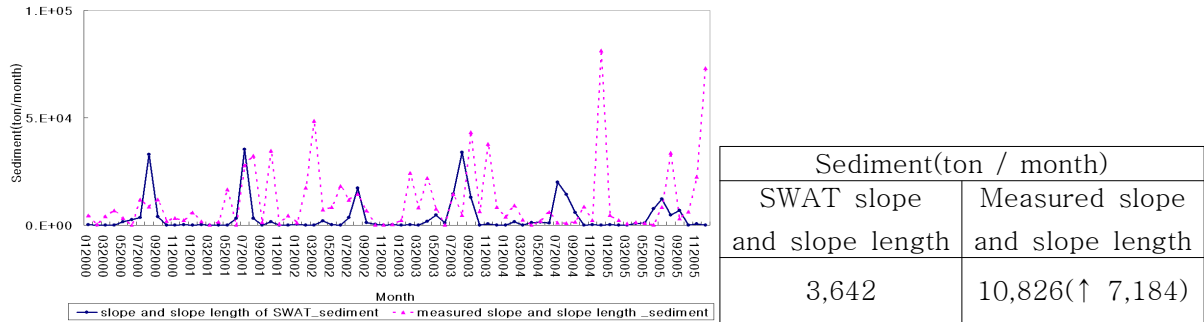


그림 4. 실측 경사장 및 경사도 적용에 따른 유사

4. 결론

해안면유역 전체유역에 대하여 유량의 경우 실측 경사장 및 경사도 고려 이전, 월 평균 3,953,947 m³/month이며 고려 이후 월 평균 3,951,537 m³/month 로 2,410 m³/month 차이가 났다. 유사의 경우 고려 이전 월 평균 3,642 ton/month이며 고려 이후 10,826 ton/month 로 7,184 ton/month 차이가 났다. 본 연구의 결과를 바탕으로 다음과 같은 결론을 도출할수 있다. 첫째, 기존 SWAT모형이 산정하는 경사장 및 경사도 사용과 실측 경사장 및 경사도 사용에 따라 모의되는 토양유실량 및 유사량에 있어 상당한 차이가 발생할수 있다. 이는 경사도 및 경사장 산정에 따라 토양유실량 및 유사량이 과소 또는 과대평가 될수 있다는 것을 보여준다. 둘째, 유역내 토양유실 모의시 보다 현실적인 SWAT 매개변수의 적용이 보다 정확한 모의가 가능할것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 유동선, 안재훈, 윤정숙 허성구, 박윤식, 김종건, 임경재, 김기성 (2007). SATEEC 시스템을 이용한 객토 토양의 토성고려에 따른 도암댐 유역의 토양유실 및 유사량 분석, *한국물환경학회지*, 제23권 제4호, pp. 518-526.
2. Manoj Jha, Gassman, P. W., Secchi, S., Roy, G. and Arnold, J. G. (2002). Impact of Watershed Subdivision Level on Flows, Sediment Loads, and Nutrient Lossless Predicted by SWAT. Working Paper 02-WP 315. pp. 22-23
3. Arnold, J. G. and Srinivasan, R. (1994). Integration of a BASIN-SCALE Water Quality Model with GIS. Water Resources Bulletin. American Water Resources Association. **30**(3), pp. 453-462.