

임하댐 유역의 유사 거동 모의를 위한 SWAT 모델의 적용성 평가

박윤식 · 김종건 · 박준호 · 전지홍* · 최동혁** · 김태동** · 최중대 · 안재훈*** · 김기성 · 임경재†

강원대학교 농업공학부

*미국 퍼듀대학교 농공학과

**안동대학교 환경공학과

***농업진흥청 고령지 농업연구소

Evaluation of SWAT Applicability to Simulation of Sediment Behaviors at the Imha-Dam Watershed

Younshik Park · Jonggun Kim · Joonho Park · Ji-Hong Jeon* · Dong Hyuk, Choi** · Taedong Kim** · Joongdae Choi · Jaehun Ahn*** · Ki-sung Kim · Kyoung Jae Lim†

Division of Agricultural Engineering, Kangwon National University

**Department of Agricultural Engineering & Biological, Purdue University*

***Department of Environmental Engineering, Andong National University*

****National Institute of Highland Agriculture, Rural Development Administration*

(Received 23 March 2007, Accepted 11 June 2007)

Abstract

Although the dominant land use at the Imha-dam watershed is forest areas, soil erosion has been increasing because of intensive agricultural activities performed at the fields located along the stream for easy-access to water supply and relatively favorable topography. In addition, steep topography at the Imha-dam watershed is also contributing increased soil erosion and sediment loads. At the Imha-dam watershed, outflow has increased sharply by the typhoons Rusa and Maemi in 2002, 2003 respectively. In this study, the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model was evaluated for simulation of flow and sediment behaviors with long-term temporal and spatial conditions. The precipitation data from eight precipitation observatories, located at Ilwol, Subi and etc., were used. There was no significant difference in monthly rainfall for 8 locations. However, there was slight differences in rainfall amounts and patterns in 2003 and 2004. The topographical map at 1:5000 scale from the National Geographic Information Institute was used to define watershed boundaries, the detailed soil map at 1:25,000 scale from the National Institute of Highland Agriculture and the land cover data from the Korea Institute of Water and Environment were used to simulate the hydrologic response and soil erosion and sediment behaviors. To evaluate hydrologic component of the SWAT model, calibration was performed for the period from Jan. 2002 to Dec. 2003, and validation for Jan. 2004 to Apr. 2005. The R^2 value and EI value were 0.93 and 0.90 respectively for calibration period, and the R^2 value and EI value for validation were 0.73 and 0.68 respectively. The R^2 value and EI value of sediment yield data with the calibrated parameters was 0.89 and 0.84 respectively. The comparisons with the measured data showed that the SWAT model is applicable to simulate hydrology and sediment behaviors at Imha dam watershed. With proper representation of the Best Management Practices (BMPs) in the SWAT model, the SWAT can be used for pre-evaluation of the cost-effective and sustainable soil erosion BMPs to solve sediment issues at the Imha-dam watershed. In Korea, the Universal Soil Loss Equation (USLE) has been used to estimate the soil loss for over 30 years. However, there are limitations in the field scale model, USLE when applied for watershed. Also, the soil loss changes temporarily and spatially, for example, the Imha-dam watershed. Thus, the SWAT model, capable of simulating hydrologic and soil erosion/sediment behaviors temporarily and spatially at watershed scale, should be used to solve the muddy water issues at the Imha-dam watershed to establish more effective muddy water reduction countermeasure.

keywords : Hydrology, Muddy water, Sediment yield, Soil erosion, Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

1. 서론

임하댐 유역 상당부분이 산림 지역이나, 상당한 면적의 농경지들이 하천 주변에 분포되어 있다. 또한 임하댐이 1993년 12월에 준공된 이후 태풍과 같은 집중성 강우로 인

† To whom correspondence should be addressed.

kjlim@kangwon.ac.kr

한 사면 붕괴, 하천 주변에 분포된 농경지의 면상, 세류, 및 걸리 침식, 하천둑 붕괴 등에 의해 많은 양의 탁수가 유입되고 있다. 2000년과 2001년을 임하댐 유역의 탁도는 높지 않았으나, 2002년 태풍 루사와 2003년 태풍 매미로 인하여 고탁도의 탁수가 발생하였다. 임하댐 유역내 고탁도의 탁수는 댐 기능을 저하시키고, 수자원의 효율가치가 감소하고 탁수로 인하여 지역내 관광객이 감소하고 이로 인해 지역의 경제적인 손실을 초래했다. 임하호의 탁수 발생 원인은 영양, 청송 등 상류 유역에 널리 분포된 붉은색 점토지대, 강수에 의한 토양유실과 이로 인한 유사의 발생, 발생한 유사가 침전하는데 상당한 시간 소요, 그리고 2002년 태풍 “루사”와 2003년 태풍 “매미”에 의해 상류지역에서의 상당량 토사 발생 등을 들 수 있다. 임하댐 유역의 탁수문제를 해결하기 위해서는 효율적이면서 경제적인 탁수 저감 대책을 개발하여 수행해야 한다. 임하댐 유역의 탁수발생을 줄이기 위해서는 먼저 임하댐 유역에서 발생하는 탁수발생량을 정량화하는 것이 필요하다. 이를 위해서는 유역내에서 시간적·공간적으로 수문학적·토양유실/탁수 발생 거동을 정확하게 모의할 수 있는 모형을 이용하여 탁수발생량을 모의하는 것이 필요하다.

탁수 및 수질 문제를 해결하기 위해서는 발생하는 토양 유실량을 산정해야 하며, 지난 30여 년간 우리나라에서 뿐만 아니라 전 세계적으로 Universal Soil Loss Equation (USLE) 모형이 토양유실량 산정에 많이 이용되어 왔다(김 등, 2005). USLE 모형은 Wischmeier 등(1965)에 의해 처음 제안되었으며, 강우침식능 인자(R), 토양침식성 인자(K), 경사와 경사장 인자(LS), 식생피복 인자(C), 작물경작 인자(P) 등을 고려하여 단위면적당 연평균 토양유실 발생 가능성을 평가한다. 그러나 USLE 모형은 농업지역에 적용할 수 있는 시험포 모델로서 대상지역내 토양유실 발생 패턴을 모의하는 것이지, 유실된 토양이 하류로 이동되어 하천으로 유입되는 유사발생량을 모의할 수 없다. 또한 USLE 모형은 단위면적당 연평균 토양유실 발생가능성을 모의할 수 있을 뿐, 시간적으로 변화하는 토양유실량을 모의할 수 없다. 따라서 태풍과 같은 단일 강우사상에 의해 발생하는 토양유실량을 USLE 모형을 이용하여 모의할 수 없으며, 선행 강우사상에 의한 유량 증가 및 토양유실에 미치는 영향을 고려할 수 없다. 이에 비해 SWAT은 강우-유출모델과 수질모델이 GIS와 연계된 호환모델로서 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. SWAT 모델을 이용하여 수문 및 수질을 시·공간적으로 분석하기 위해서 시간적으로 변화하는 기상자료(일 강수량, 기온, 풍속, 일조량, 상대습도)와, 공간적으로 변화하는 토지이용현황, 토양속성, 그리고 지형자료 등을 필요로 하며, 유역에서의 토지이용에 따라 발생하는 비점오염원과, 유역내 소하천별, 소유역별, 그리고 소유역내 수문학적 반응단위별 유출량, 토양유실을 모의할 수 있다(장 등, 2004; Lim et al., 2005).

본 연구의 목적은 2002년 태풍 루사와 2003년 태풍 매미로 인하여 고탁도의 탁수가 발생한 임하댐 유역에서 유역내 수문 및 유사 거동의 시공간적 분석이 가능한 SWAT 모형의 적용성을 평가하는 것이다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구지역 선정

임하댐 유역의 유역면적은 1,361 km²로서 낙동강 유역면적의 5.7%를 차지한다. Fig. 1은 임하댐 유역내 주요하천을 보여주고 있다. 임하댐 유역은 대부분 산악지(유역면적의 79.8%)로 구성되어 있으나, 상당한 면적의 농경지들이 하천 주변에 분포되어 있고, 임하댐이 1993년 12월에 준공된 이후 태풍과 같은 집중성 강우로 인한 사면 붕괴, 하천 주변에 분포된 농경지의 면상, 세류, 및 걸리 침식, 하천둑 붕괴 등에 의해 많은 양의 탁수가 유입되고 있다. 임하댐 유역에서 2000년과 2001년 최고 탁도는 248 NTU* 정도 되었으며 탁수가 약 1~3개월간 지속되었다. 그러나 2002년 태풍 루사(최고탁도 882 NTU)와 2003년 태풍 매미로 인하여 고탁도의 탁수(1221 NTU)가 발생하였으며 약 315일간 지속되었으며, 이 후 2004년 최고탁도는 994 NTU 정도 되었다(한국수자원공사, 2004).

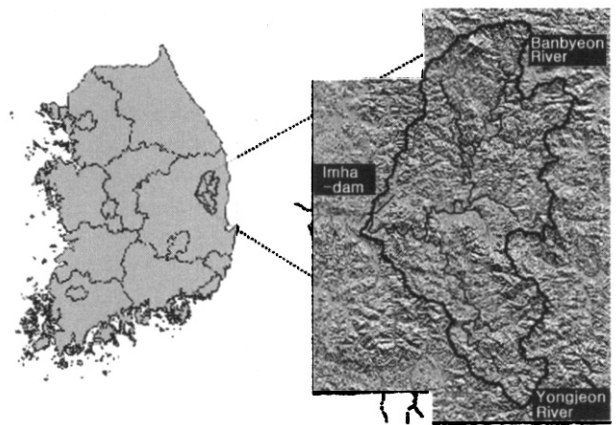


Fig. 1. Location of Imha-dam watershed.

2.2. 연구 유역의 토지 경사 현황

임하댐 유역의 경사 분석 현황을 Table 1에 나타내었다. 경사 40~60% 범위가 655.66 km²로서 전체 유역의 33%를 차지하여 가장 넓은 면적을 나타내고 있다.

2.3. SWAT 모형의 선정

2.3.1. SWAT 모형의 개요

SWAT 모형은 미국 농무성의 농업연구국(Agricultural Research Service: ARS)에서 개발한 유역단위의 모델이다. 이 모델은 미국 농무성에서 개발하여 이용해 온 CREAMS 모델, GREAMS 모델 및 EPIC 모델과 같은 농업연구국 모

* NTU: Nephelometric Turbidity Units(NTU) 탁도 측정단위로 음용수의 경우 0.5 NTU임

Table 1. Slope analysis of Imha-dam watershed

	>100%	≤ 100%	≤ 80%	≤ 60%	≤ 40%	≤ 20%	≤ 10%	<5%
Acc. Area (km ²)	3.12	1,972.65	1,933.02	1,604.15	948.49	381.45	208.21	129.99
Ratio (%)	0.16	99.84	97.84	81.19	48.01	19.31	10.54	6.58

(Water Management Information System, 2002)

모델들을 결합하여 만들었다(Arnold et al., 1994). 특히 SWAT은 강우-유출모델과 수질모델이 GIS와 연계된 호환모델로서 장기 유량과 수질을 모의할 수 있으며, 미세측 지역에서도 모의가 가능하며, 경작형태나 기후·식생 등의 변화에 따른 수질의 상대적 효과도 정량화할 수 있는 특징을 지니고 있다(Smithers et al., 1996). Fig. 2는 SWAT 모델의 입력 자료와 출력자료를 보여준다. SWAT 모델을 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 모델은 유역에서의 토지이용에 따라 발생하는 비점오염원과, 유역내 소하천별, 소유역별, 그리고 소유역내 수문학적 반응단위별 유출량, 토양유실을 모의한다(허 등, 2005).

2.3.2. SWAT 모형의 입력자료

2.3.2.1. 기상자료

SWAT 모델의 운영에 필요한 기상자료는 일 강우(Precipitation), 일 풍속(Wind Speed), 일 일조량(Solar Radiation), 일 최고온도(Max Temperature)·일 최저온도(Min Temperature), 일 습도(Humidity)이다. 본 연구에서 임하댐 유역에서의 기상현상에 따른 수문 및 유사발생을 정확하게 모의하기 위하여 총 8곳의 강우 관측소에서 측정된 자료(국가수자원관리 종합정보시스템(WAMIS: <http://wamis.go.kr>), 2002~2005)



Fig. 3. Location of precipitation observatories.

Table 2. Annual precipitation at Imha-dam watershed

	Annual precipitation (mm)		
	2002	2003	2004
Ilwol	1,421	1,632	1,320
Subi	1,575	1,518	1,234
Youngyang	1,318	1,360	1,173
Seokbo	1,520	1,667	1,317
Jinbo	1,326	1,532	1,139
Chungsong	1,314	1,502	1,297
Budong	1,577	1,604	1,064
Bunam	1,315	1,642	1,066

을 이용하였고, 다른 기상자료 역시 임하댐내 8개 기상 관측소 자료를 이용하여 유역내 수문 및 유사거동을 모의하였다. 임하댐내 8 곳의 강우 관측소는 아래 Fig. 3에 보이는 바와 같이, 일월, 수비, 영양, 석보, 진보, 청송, 부동, 부남이며, 2002년과 2003년에는 태풍 루사와 태풍 매미로 인하여 2004년에 비해 많은 강수가 발생하였다 (Table 2).

Fig. 4는 임하댐 유역내 8개 강수 관측소의 월강수량을 보여준다. 전체적으로 각 강수 관측지점별 월강수량에는 큰 차이가 없으나, 2003년과 2004년 여름 다소간의 차이를 나타내었다. 이러한 강수량과 강수 패턴의 시간적·공간적 차이가 모델에 반영되었기 때문에 보다 정확한 수문모의가 가능해질 것이라 판단된다.

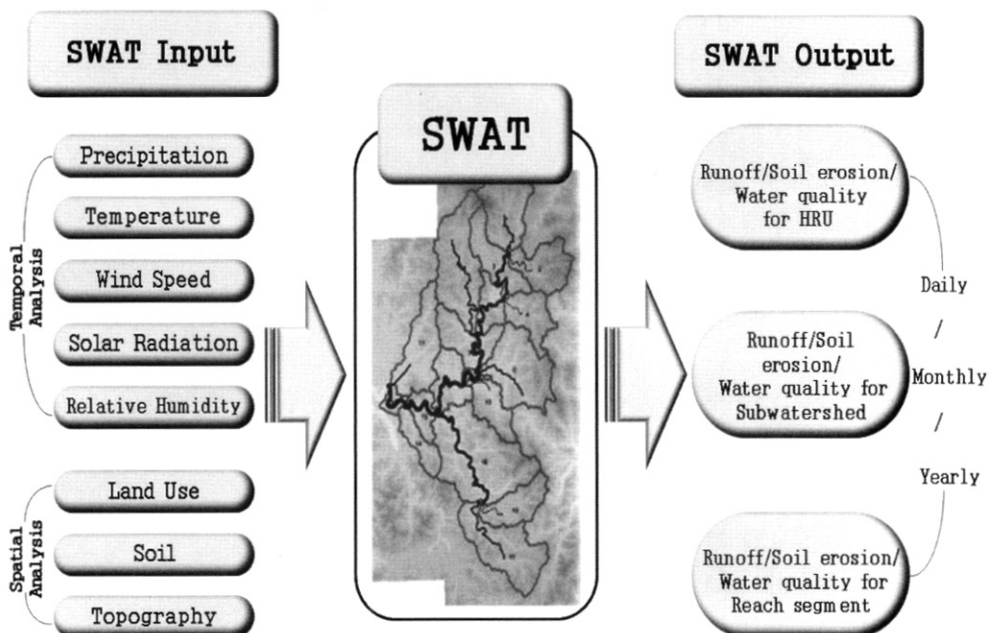


Fig. 2. Input and output data of SWAT.

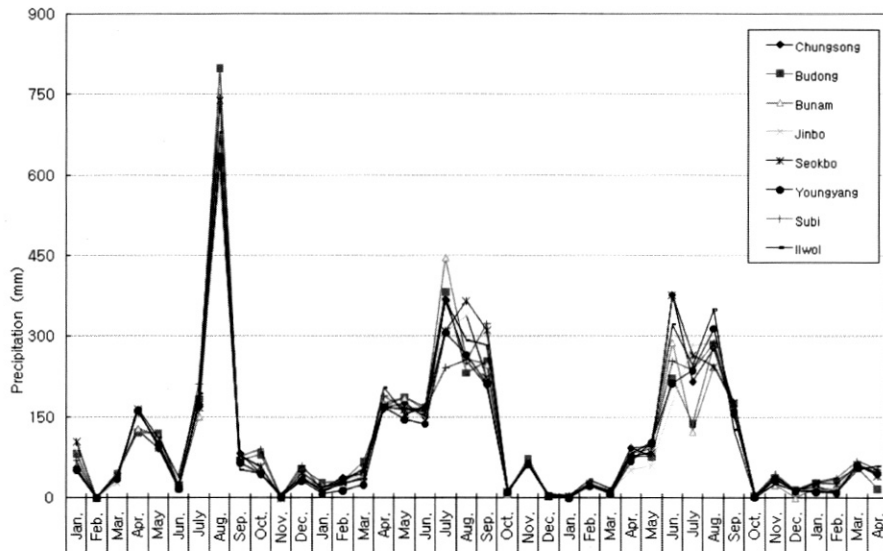


Fig. 4. Monthly precipitation of 8 precipitation observatories at Imha-dam watershed. (2002. 1. ~ 2005. 4.)

2.3.2.2. 지형도, 토양도, 토지이용도

SWAT 모델을 이용하여 공간적으로 변화하는 유역내 수문현상 및 유사발생을 모의하기 위해서 필요한 입력자료는 크게 지형도, 토양도, 그리고 토지이용도이다. 본 연구에서는 국립지리원 1:5,000 수치지도의 등고선 자료를 추출한 후, 이를 Triangular Irregular Network(TIN)으로 변환한 후, Digital Elevation Model(DEM)으로 변환하였다(Fig. 5(a)). SWAT 모형은 토지이용도와 토양도를 이용하여 유역내 수문현상을 모의하는데 이를 Hydrologic Response Unit(HRU)이라고 칭하며, 유역의 유출특성에 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 농촌진흥청의 정밀토양도(1:25000)와 한국수자원공사 수자원 연구원에서 SPOT 5 영상과 하천 주변의 농경지 현장 답사를 통하여 구축한 토지이용 자료(이 등, 2006), 환경부의 토지피복분류(대분류)를 이용하여 유역

Table 3. Classification of land cover of Imha-dam watershed

	Area (km ²)	Area ratio (%)
Urban	18.82	1.38
Paddy	45.61	3.34
Upland	159.03	11.63
Forest	1091.44	79.80
Pasture	5.49	0.40
Wetland	6.18	0.45
Bare land	8.27	0.60
Water	32.88	2.40
Sum	1367.73	100

내 유출특성 및 침투, 토양유실을 모의하였다(Fig. 5(b),(c)). Table 3은 임하댐 토지피복 분류를 나타낸 것이다. 아래 Table 3에 보이는 바와 같이 산림이 전체 유역의 79.8%를

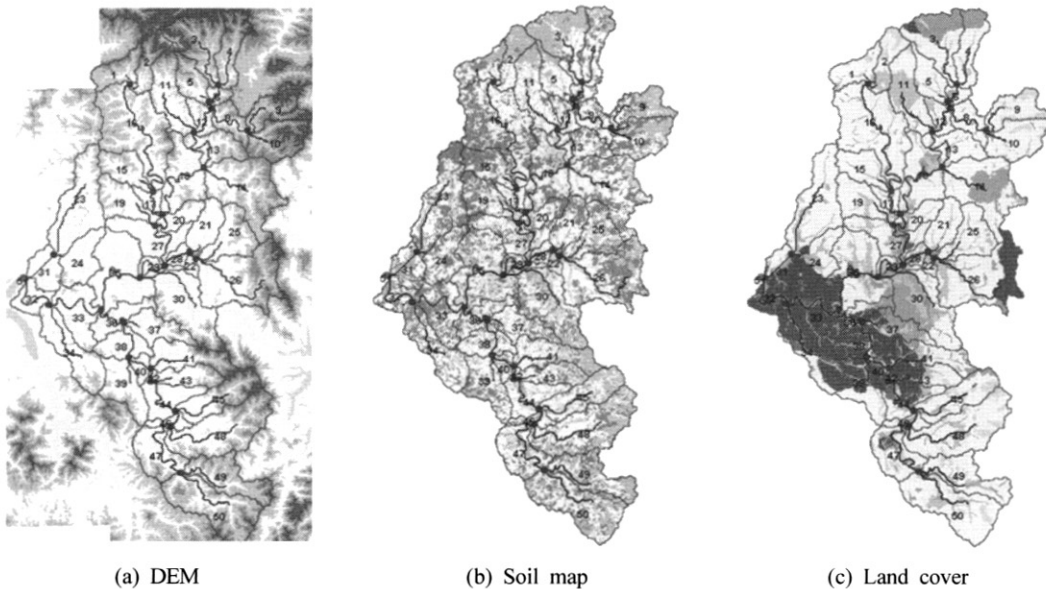


Fig. 5. DEM, soil map, land cover of Imha-dam watershed.

차지하는 것으로 나타났고, 농경지가 14.97%를 차지하는 것으로 나타났다. 임하댐 유역의 경우 농경지의 상당부분이 하천을 따라 분포되어 있기 때문에 농경지에서 발생하는 유출수에 의한 토양유실이 상당할 것으로 판단된다.

2.3.3. SWAT 모형의 적용

SWAT 모형을 이용하여 유역내 유사 거동을 제대로 모의하기 위해서는 먼저 수문현상을 정확하게 모의해야 한다. 따라서 본 연구에서는 임하댐 유역자료를 SWAT 모형의 보정·검정에 이용하였다. 2002년 1월부터 2005년 4월까지의 일 기상자료 중 2002년 1월부터 2003년 12월까지의 기상자료와 실측 유출량 자료를 모형의 보정에 이용하였고, 2004년 1월부터 2005년 4월까지의 기상자료와 실측 유출량 자료를 모형의 검정에 이용하였다.

Fig. 6은 SWAT 모형을 임하댐 유역에 적용하여 유역을 총 51개 소수유역으로 구분한 것이다. 각 소수계내 HRU 별 수문현상 및 토양유실을 모의하고 각 소수계의 출구부터 임하댐 전체 유역의 최종 출구까지 하천에서의 수문 및 유사를 모의하였다.

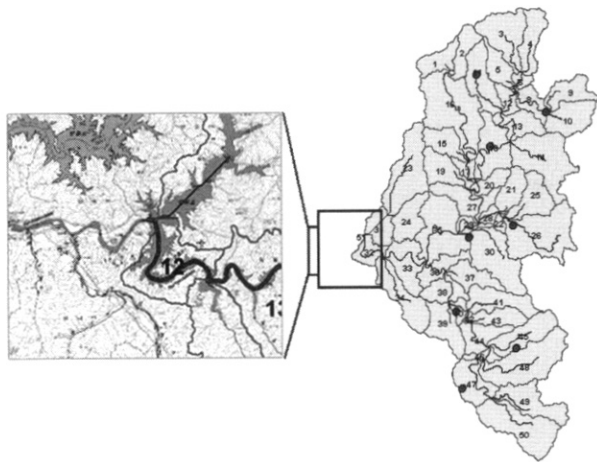


Fig. 6. Subwatershed delineation at Imha-dam watershed for SWAT run.

3. 결과 및 고찰

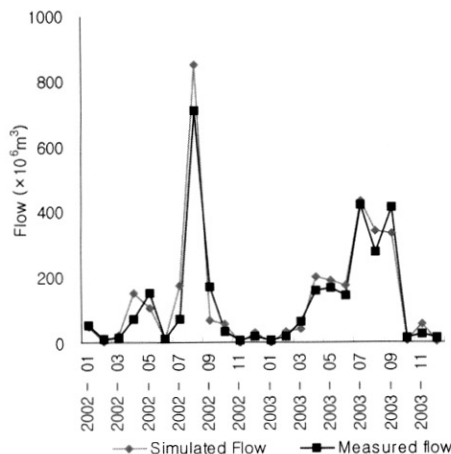
3.1. SWAT 수문 보정(Calibration)과 검정(Validation)

본 연구에서는 임하댐 유역의 실측 유입량 자료(국가수자원관리 종합정보 시스템, <http://www.wamis.go.kr>)를 이용하여 SWAT 모형의 정확성을 평가하였다. SWAT 모형은 각 소수계내 HRU 별, 소수계별, 그리고 하천별로 수문 및 유사를 모의한다. 본 연구에서는 임하댐 실측 유입량 자료와 51번째(최종 유출구)에서의 유출량자료를 비교하여 SWAT 모형의 정확성을 평가하였으며 2002년 1월부터 2005년 4월까지의 일 기상자료를 이용하여 SWAT 모의를 실시하였다.

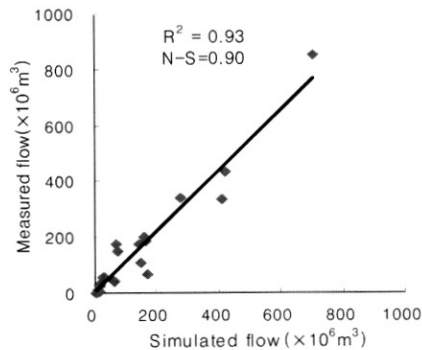
본 연구에서 모형의 보정시 각 dbf의 일부 항목에 있어, gw.dbf의 gw항목을 390, mgt.dbf의 USLE_P항목을 0.99, hru.dbf의 SLOPELENGTH항목을 80, rte.dbf의 EROD와 COV항목을 각각 0.015와 0.013 등으로 보정하였다. 모의기간은 2001년 1월부터 2005년 4월이다. 2002년 1월부터 2003년 12월까지의 실측값과 모의 값을 이용하여 월별로 유량을 보정한 결과 결정계수(R^2)는 0.93이며 유효지수(Nash-Sutcliffe)는 0.90으로 매우 높게 나타났다(Fig. 7(b)). 보정된 매개변수를 적용하여 모형의 검증기간인 2004년 1월부터 2005년 4월에 적용해 본 결과 결정계수(R^2)는 0.73이며 유효지수(Nash-Sutcliffe)는 0.68로 SWAT 모형이 유역내 수문현상을 잘 모의하는 것으로 나타났다(Fig. 8(b)). Ramanarayanan 등(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 임하댐 수계내 유량 모의에 상당히 적합한 것으로 판단된다.

3.2. SWAT 유사량 평가

본 연구에서 실측 SS 농도 자료는 한국수자원공사 임하댐 관리단이 측정한 자료를 이용하였으며, 한 달에 한 번 주기로 매월 초 하천이 안정될 때 측정한 자료이며 SWAT 모의치중 선행강우가 없고 하천이 안정화된 시점의 모의치를 실측치와 비교하였기 때문에 다소간의 불확실성이 있을

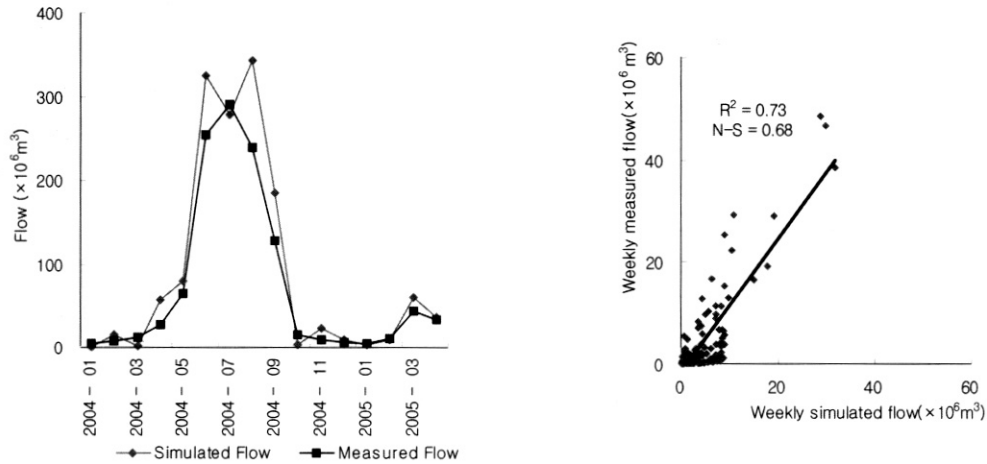


(a) Comparison of simulated flow and measured flow



(b) Correlation coefficient of monthly runoff

Fig. 7. Calibration of SWAT Hydrologic Component (2002. 01. ~ 2003. 12.).



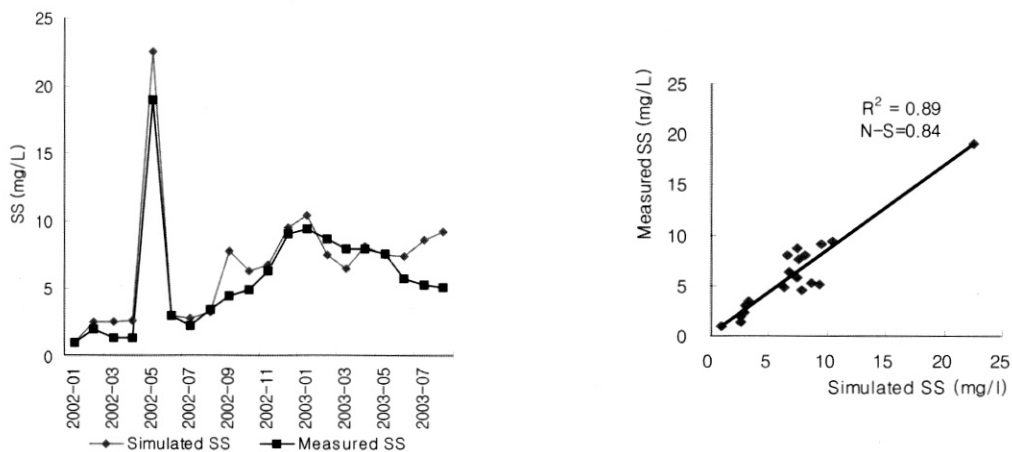
(a) Comparison of simulated flow and measured flow (b) Correlation coefficient of weekly runoff
Fig. 8. Validation of SWAT Hydrologic Component (2004. 01. ~ 2005. 04.).

것으로 판단된다. 또한 SWAT에서 일 단위로 모의된 결과 값과 임하댐 관리단에서 실측한 날에 해당하는 유사량을 비교하였다. 본 연구에서는 2002년 1월부터 2003년 8월까지의 실측 유사량을 이용하였으며 무강우시(저농도)의 실측 SS 자료를 이용하여 모델 보정을 하였다. Fig. 9(a)는 무강우시 실측 SS 농도와 SWAT 모형 예측 SS농도를 비교한 것이다. Fig. 9(a)에서 보이는 바와 같이 전반적으로 SWAT 모형이 무강우시 실측 SS 농도를 잘 모의하는 것으로 나타났다. 결정계수(R^2)는 0.89로 나타났고, 유효지수(N-S Coeff.)는 0.84로 나타났다(Fig. 9(b)).

4. 결론

임하댐 유역은 지형 및 영농의 특수성과 급작스런 기상 변화 때문에 토양유실과 이로 인한 수질 오염으로 많은 문제점이 제기되어 왔다. 특히 2002년과 2003년 태풍 루사와 매미로 인해 더 많은 토양유실이 발생되었다. 본 연구의 목적은 임하댐 유역과 같은 지형 및 토지 이용, 기상의 변화가 급작스러운 지역에 대한 SWAT 모형의 적용성을 평

가하는 것이다. 그 결과, SWAT의 수문보정에 있어 실측치와의 비교 결과 R^2 는 0.93이며 EI는 0.90로 매우 높게 나타났다. 수문 검증에 있어 실측치와의 비교 결과 R^2 는 0.73이며 EI는 0.68로 나타났다. 이 보정된 변수를 이용하여 비강우시 모의 유사량과 실측치와의 비교 결과 R^2 는 0.89, EI는 0.84로 나타났다. 이는 SWAT 모형이 임하댐 유역 유출 및 유사거동 모의에 있어 적용성이 있는 것으로 판단된다. 본 연구에서는 매월 초 비강우시 측정된 장기 유사량 자료만을 활용하여 탁수 거동을 모의하였는데, 향후 강우시/비강우시 모니터링 자료가 구축될 경우 SWAT 모형의 고탁수 모의 적용성에 관한 추가적인 연구가 필요하다. 토양 유실량을 산정하고 토양유실 방지대책을 세우기 위해서 지난 30여 년 동안 USLE 모형이 많이 사용되어 왔으나, 본 연구 대상지역과 같이 강우패턴이 변화하는 지역에서는 USLE 모형으로 강우변화에 따른 토양유실 영향을 제대로 모의할 수 없다. 또한 USLE 모형은 시험포 단위 모형이기 때문에 유역 적용에 여러 가지 한계가 있다. 따라서 장기 기상자료를 이용하여 수문 및 토양유실의 시·공간적 분석이 가능하고 급작스런 기상변화에 따른 유



(a) Comparison of simulated SS and measured SS (b) Correlation coefficient of SS
Fig. 9. Comparison of SWAT Estimated SS vs. Measured SS (2002. 01. ~ 2003. 08.).

사발생을 모의할 수 있는 SWAT과 같은 유역단위 모델을 이용해야 임하댐 유역의 탁수 문제 해결을 위한 보다 효과적인 탁수 저감 대책을 수립할 수 있을 것으로 판단된다. 그 동안 SWAT과 같은 모형들이 유역내 수문 및 유사 거동을 모의하는데 많이 이용되어 유역내 탁수 발생 현황을 정량화하는데 매우 큰 기여를 하였다. 그러나 탁수 문제 해결을 위한 탁수 저감 최적 관리 기법의 도입에 따른 탁수 저감 효과를 모의하기 위해서는 여러 가지 최적 관리 기법 도입 전과 후 장기적인 모니터링이 수행되어야 하나, 현재 이에 대한 연구가 많이 부족한 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 임하호 유역 탁수저감 사업과 강원대학교 신임교수 연구·사업의 지원을 받아 연구한 논문으로 이에 감사드립니다.

참고문헌

국가수자원관리 종합정보시스템, <http://www.wamis.go.kr>, 임하댐 유역 경사 분석 정보, 경사 분석도 (accessed 2002).
 김기성, 허성구, 정영상, 김지만, 임경재, 홍천군 산지농업지대의 토양침식 취약성 분석, *한국농촌계획학회지*, 11(2),

pp. 51-57 (2005).
 이근상, GIS 공간분석을 이용한 안동·임하호 유역의 토사유실 비교 평가, *대한토목학회논문집*, 26(2), pp. 341-347 (2006).
 장철희, 김현준, 노성진, 청계천 유역에 대한 SWAT 모형의 적용, 2004 한국수자원학회발표 논문집, pp. 9-13 (2004).
 한국수자원공사, <http://watergate.kowaco.or.kr>, 임하댐 탁도 허용치 400배, 국내소식 (accessed Sep. 2004).
 허성구, 김기성, 사공명, 안재훈, 임경재, 고랭지 농경지의 토양유실 모의를 위한 SWAT 모형의 적용성 평가, *한국농촌계획학회지*, 11(4), pp. 67-74 (2005).
 Arnold, J. G. and Srinivasan, R., Integration of a Basin-Scale Water Quality Model with GIS., *Water Resources Bulletin*, pp. 453-462 (1994).
 Lim, K. J., Sagong, M., Engel, B. A., Tang, Z., Choi, J. and Kim, K., GIS-based sediment assessment tool, *CATENA*, 64(1), pp. 61-80 (2005).
 Ramanarayanan, T. S., Williams, J. R., Dugas, W. A., Hauck, L. M. and McFarland, A. M. S., Using APEX to identify alternative practices for animal waste management, Minneapolis, MN. Paper No. 97-2209 (1997).
 Smithers, J. C. and Engel, B. A., An Initial Assessment of SWAT as a Hydrological modeling Tool for the Midwest USA. ASAE, No. 96-2065 (1996).
 Wischmeier, W. H. and Smith, D. D., Predicting rainfall Erosion Losses from Cropland East of Rocky Mountain, USDA. Agr. Handbook, 282 (1965).