

저수지 하류하천의 탁수모의를 위한 유역모형 구축

Development of Watershed Model for Turbid Water Simulation of Reservoir Downstream

노준우*, 김정곤**, 이상욱***

Joonwoo Noh, Jeongkon Kim, Sang Uk Lee

요 지

최근 국지적인 집중호우 증가로 인하여 침식에 취약한 지역에서 발생하는 탁수는 하천의 심미적인 기능을 크게 저하시키는 요인이다. 하류하천의 효율적인 탁도관리를 위해서는 저수지로부터 직접 방류되는 방류수 탁도관리와 더불어 본류로 유입되는 각 지류하천의 탁도관리도 함께 이루어져야 한다. 본 논문에서는 낙동강 본류하천을 대상으로 탁수발생에 대한 정량적인 평가를 실시하고자 안동댐부터 구미지점까지 낙동강유역에 대하여 SWAT 모형을 구축하였다. 먼저 본류로 유입되는 지류별 유량을 유역모형을 통하여 산정하고 낙동강 유역에 산재되어 있는 수위표 지점을 기준으로 구축된 유역모형의 검보정을 실시하였다. 본 연구의 주요 목적은 유역모형을 통하여 지류별 유량 및 유사량을 파악함으로써 하류하천의 탁수관리를 보다 효율적으로 수행하고자 함이다.

핵심용어 : 유역모형, SWAT, 탁수, 하류하천, 유사량

1. 서론

안동 및 임하댐으로부터 방류되는 고탁도 방류수에 의한 영향범위를 예측하고 저수지 연계운동을 통한 탁도 저감대책을 수립하고 댐 하류하천인 낙동강 본류를 대상으로 탁수발생에 대한 정량적인 평가를 실시하고자 하류하천에 대하여 SWAT 모형을 구축하였다. 이를 위하여 본류로 유입되는 지류별 유량을 유역모형을 통하여 산정하고 낙동강 유역에 산재되어 있는 수위표 지점을 기준으로 구축된 유역모형의 검보정을 실시하였다. 대상지역은 저수지 상류부를 포함하여 구미 취수장에 설치된 자동탁도계의 측정자료 활용을 위하여 구미지점까지 확장, 구축하였다. 본 연구의 주요 목적은 유역모형을 구축하여 신뢰성이 결여된 지류의 유량 및 유사량을 산정함과 동시에 구축된 유역모형의 모의결과를 동적수질모형의 입력자료로 활용함으로써 하류하천의 탁수관리 시스템을 구축하고자 함이다.

2. SWAT 모형의 구축

2.1 모형의 개요

SWAT(Soil and Water Assessment Tool) 모형은 연속적 준분포형 모델로서 장기간에 걸친 다양한 토양속성과 토지이용 그리고 관리상태의 변화에 따른 크고 복잡한 유역의 유출량, 부유사량 및 농업화학물의 영향

* 정회원 * 수자원연구원 선임연구원
** 정회원 * 수자원연구원 책임연구원
*** 정회원 * 수자원연구원 연구원

* E-mail : jnoh@kwater.or.kr
* E-mail : jkkim@kwater.or.kr
* E-mail : lsu@kwater.or.kr

을 예측하기 위한 모형으로서 미국 농무성 농업연구소(USDA Agricultural Research Service, ARS)의 Jeff Arnold에 의해 개발된 모형이다. SWAT은 1990년 초에 개발되어서 계속 그 기능이 확장되고 있다. 대표적으로 SWAT94.2에서는 여러 가지 수문반응단위(HRU)가 반영되었으며, SWAT96.2에서는 잠재증발산 산정식에 Penman-Monteith 방법이 추가되었다. SWAT2000에서는 일별 일사량, 상대습도, 풍속이 입력되거나 모의 발생 될 수 있게 되었으며 Green & Ampt 침투공식이 추가되었다.

기본적으로 SWAT모형은 네가지 submodel로 구성되어 있다. 예를 들면, 수문, 토양유실, 영양물질, 그리고 하도추적부분으로 구성되어있다. 이 중에서 수문 부분은 저류 방정식에 의해 일 단위로 물수지를 산정하며, 차단, 지표면 유출, 측면 유출, 침투, 기저 유출, 수로 손실, 증발산 등으로 구성되어 있다.

SWAT 모형의 경우 일일 지표면 유출량은 SCS 방법을, 시간단위 유출량은 Green-Ampt식을 이용하여 산정한다. 측방 유출의 경우는 kinematic Storage model을 이용하고 침투는 토층 최대 10개 층까지 세분화하여 선형저수량 추적기법을 사용하여 계산한다. 또한 SWAT은 지하수를 두 개의 대수층, 비피압 대수층, 그리고 피압 대수층으로 나누어 하천에 대한 물수지를 계산한다. 비피압 대수층은 지표면에서 비피압 대수층으로 침투된 양을 유역의 하천으로 회귀수로 공급하고, 비피압 대수층으로 침투되는 침투수의 일부량이 피압 대수층으로 공급되어 유역 밖의 하천으로 흘러들어 간다고 가정하고 있다. 모형은 잠재 증발산의 경우 관찰된 잠재 증발산량을 이용할 수도 있고, Hargreaves, Priestley-Taylor, Penman-Monteith 이론식에 의해서 산정할 수도 있다.

SWAT 모형의 입력 자료는 GIS를 통해 자동으로 구성되는 유역의 일반적인 자료와 토양자료, 작물 자료가 있고 수동 입력을 통해 작성되는 기상, 하도 추적, 농업관리, 지하수 등의 자료, 그리고 GIS와 수동 입력을 병행하여 작성되는 소유역 자료로 구분된다. 또한 출력 자료는 토양도와 토지이용도를 중첩시켜 만든 수문 반응단위(HRU, hydrologic response unit)별 출력 자료와 유역경계에 의해 구분된 소유역별 자료, 각 하도추적 구간별 결과 값으로 구분된다.

2.2 모형의 구조

강수가 내리면, 식물의 가지에 의해 차단되고 부착되거나 지표면에 떨어진다. 지표면의 물은 토양층으로 침투되거나 유출로서 지표면을 흐른다. 유출은 상대적으로 빠르게 실개천으로 흐르게 되고 단기간 출현하는 실개천이 된다. 침투된 물은 토양내에 부착되고 증발산 되거나 지하 통로를 통하여 지표수 조직으로 천천히 움직인다. SWAT 모형의 지배식은 식 1과 같다.

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=0}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (1)$$

여기서 SW_t 는 최종 토양 수분량(mm H₂O), SW_0 는 i일의 초기 토양수분량(mm H₂O), t는 시간(일), R_{day} 는 i일의 강수량(mm H₂O), Q_{surf} 는 i일의 지표유출량(mm H₂O), E_a 는 i일의 증발산량(mm H₂O), W_{seep} 는 i일의 토양면으로부터 투수층으로의 투수되는 총량(mm H₂O), Q_{gw} 는 i일의 회귀 수량(mm H₂O)이다.

2.3 모형구축

SWAT 모형을 구축하기 위해서는 지형자료, 지형자료와 연결된 속성자료, 그리고 기상 및 유역관리에 관련된 자료등 3가지로 구분할 수 있다. 먼저 유역의 지형현황을 반영하기 위한 DEM자료, 하천도, 그리고 토지이용도 및 토양도 등이 필요하다. 유역의 고도현황을 나타내는 DEM 자료는 강우 및 하천의 흐름현상을 표현하기 위한 것이며 토지이용도나 토양도는 강우사상 적용시 침투 및 유출, 그리고 흐름특성 등을 표현하기 위함이다. 대상유역의 현황도는 그림 1에 제시하였으며 안동 및 임하댐 상류유역부터 구미지점 까지를 대상 유역으로 선정하였다. 총 51개의 소유역과 1666개의 HRU로 구성하였으며 각 소유역의 유출구는 수위관측지점을 기준으로 선정해 주었다.

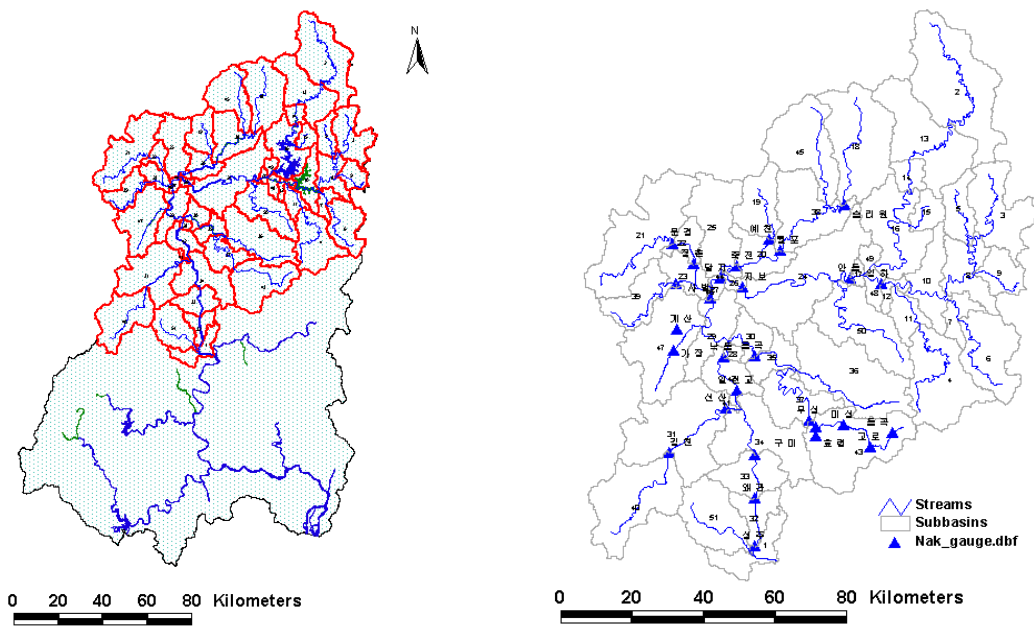
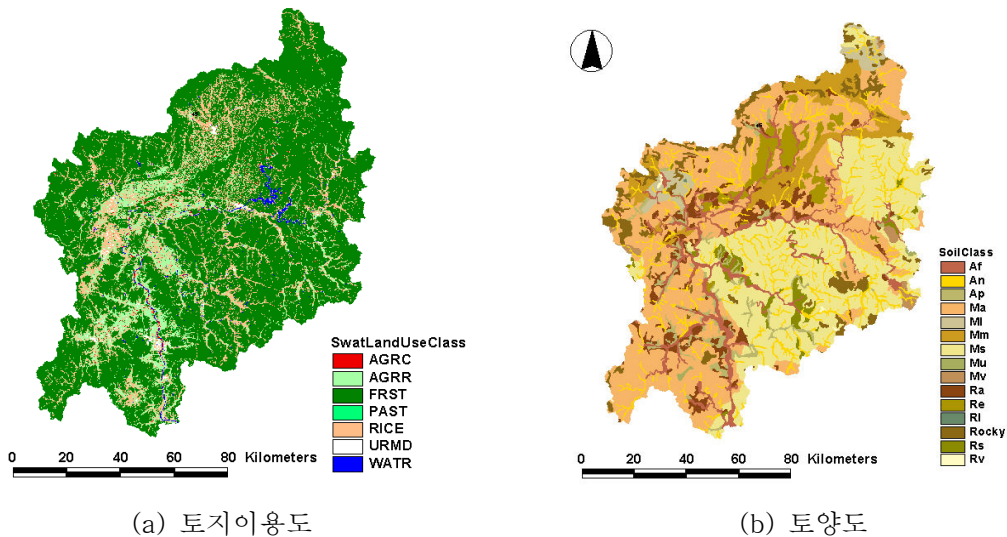


그림 1. 낙동강 유역도 및 수위관측소

그림 2에는 SWAT모형을 구축하기 위해서는 필요한 토지이용도 및 토양도를 제시하였다. 토양도의 경우 1:250,000의 개략토양도를 이용하였으며 대상구역의 토양 분류는 15개로 토지이용도는 7개로 구분하여 모형을 구성하였다.



(a) 토지이용도

(b) 토양도

그림 2. 대상유역의 토지이용도 및 토양도

3. 모형의 검보정

앞에서 구축된 모형의 예측성을 평가하기 위하여 그래프를 통한 결과분석과 함께 Nash-Sutcliffe식(Nash and Sutcliffe, 1970)을 이용하여 정량적인 평가를 실시하였다. 총 모의기간은 1999년부터 2006년까지 설정, 모의를 수행하였으며 warming-period를 1999년도로 하고, 2002~2003까지를 모형의 보정기간으로 매개변수를 산정하였으며 2004~2005년까지의 기간을 모형의 검정기간으로 설정하여 모의를 실시하였다.

먼저 본류에 대하여 하류방향으로 6개 수위표 지점 (지보, 사별, 낙동, 구미, 왜관, 성주), 지류에 대해서는 2개 지점 (월포 및 선산) 에 대하여 모의값과 관측값을 비교하였다. 내성천 합류직전의 낙동강 본류수위측정 지점인 지보수위표 지점에서의 모의결과를 살펴보면 각 수위표 지점을 대상으로 실시한 통계분석 결과를 정리하여 표 1에 제시하였다.

표 1. SWAT 모형의 유출량 검·보정 결과

	수위표지점명	분석년도	Reff	R2
본류	지보	2004	0.46	0.62
		2005	0.48	0.54
	사별	2004	-7.16	0.03
		2005	0.15	0.17
	낙동	2004	0.81	0.84
		2005	0.40	0.86
	구미	2004	0.67	0.82
		2005	0.02	0.79
	왜관	2004	0.78	0.83
		2005	0.43	0.81
	성주	2004	0.82	0.86
		2005	0.64	0.85
지류	월포(내성천)	2004	0.41	0.59
		2005	-2.27	0.64
	선산(감천)	2004	0.64	0.70
		2005	-0.77	0.45

표 1에 제시한 분석결과를 살펴보면 본류의 경우 지류와 비교하였을 때 보다 나은 결과를 보이고 있는데 그 원인은 수위표 지점의 관리가 상대적으로 잘 이루어진 결과라 볼 수 있다. 그러나 사별지점의 경우 2002년과 2003년에 걸쳐서 매우 양호한 모의결과를 보이다가 2004년도에서 급격히 악화되어 2005년도에도 오차범위가 큰 것을 알 수 있는데 이 부분에 있어 추가적인 조사가 필요할 것으로 보인다. 대부분의 경우 peak값이 모의 결과보다 다소 크게 산정되었으나 강우에 의한 유량증감현상은 실측치를 잘 반영하는 것으로 나타났다. 구미 수위표 지점을 대상으로 모형의 검보정 결과를 그림 2에 나타내었다.

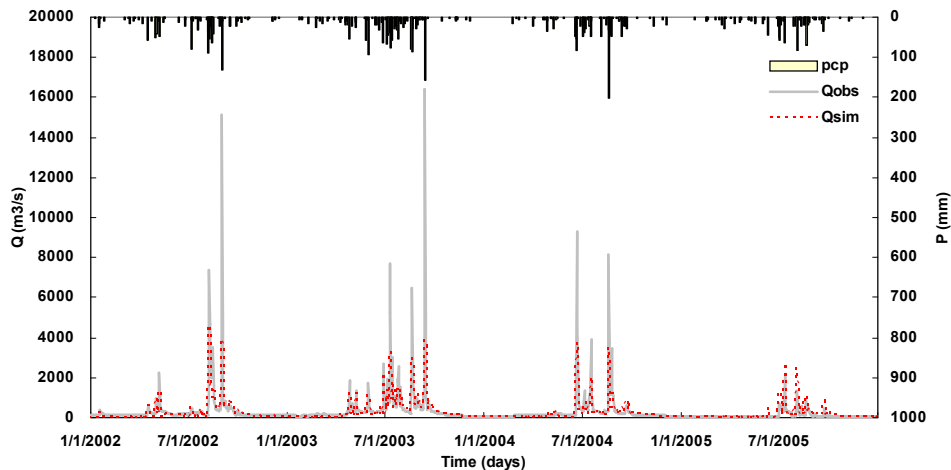


그림 2. 구미수위표지점의 검보정결과

4. 결론

하류하천의 탁도모의에 필요한 입력자료를 생성하기 위하여 기존 저수지 상류부에 대하여 구축된 SWAT모형을 낙동강 본류부의 구미지점을 포함하는 영역에 대하여 확장 구축하였다. 본 연구의 주요 목적은 저수지로부터 직접 방류되는 고탁수의 영향 이외에 주요 탁도 유발 인자에 대한 평가를 실시하고자 구미지점에 이르기까지 유입되는 낙동강 지류하천의 유량과 유사량을 생성하고자 함에 있다. 먼저 유량모의에 대한 검보정을 실시하기 위하여 본류부 주요수위표 6개 지점 그리고 지류부 주요수위표 2개 지점에 대하여 관측값과 모의값을 비교한 결과 강수에 의한 유량변동 상황을 매우 잘 모의함을 알 수 있었다. 향후 관측된 유사량에 대한 검보정을 실시하고 이를 기반으로 하천수질 모형과 연계, 실무적용이 가능한 유역차원의 탁수관리 시스템을 구축할 예정이다.

참 고 문 헌

1. 고익환, 노준우, 김영도 (2005). "정상 및 비정상상태 하천수질모형의 비교", 한국수자원학회논문집, 38(6), pp. 941-949.
2. 정세웅 (2004). "저수지 플러싱 방류 효과분석을 위한 비정상상태 하천수질모형의 적용." 한국수자원학회논문집, 37(10), pp. 857-868.
3. 한국수자원공사 (2007). 저수지 연계운영을 통한 탁도관리방안 연구, 수자원연구원 연구보고서.
4. Arnold, J., A. Williams, R. Srinivasan, B. King, and A. Griggs. 1994. SWAT, soil and water assessment tool. Temple, TX 76502. ARS, USDA
5. Chapra, S.C. (1997). Surface Water-Quality Modeling, McGraw-Hill.