

SWAT모형을 이용한 임하댐 유역 토사 유출 성향 분석 연구

The Characteristics Analysis for Sediment yield
in Imha Reservoir Watershed using SWAT Model

신현석*, 강두기**, 최영돈***, 갈병석****

Hyun Suk Shin, Du Kee Kang, Young Don Choi, Byung Seok Kal

요 지

본 연구에서는 SWAT 모형의 임하댐 유역에 대한 적용을 통하여 토사 유출 모의와 관련된 주요 매개변수들을 보정하고, 보정된 매개변수를 적용하여 유역에 대한 토사 유출을 분석하였다. 모형 구성 자료로는 임하댐 유역 청송, 영양, 부남, 석보, 일월의 1997년부터 2006년까지의 10년간의 강우자료를 사용하였으며 DEM 도와 토지이용도, 토양도를 이용하여 유역 모델을 구축하였다. 유출 보정 자료로는 임하댐 일 유입량과 낙동강 오염총량제 지점인 반변과 용전 지점의 일유출량을 이용하였다. 특히, 임하댐에 유입되는 토사량에 대한 토사 유출 성향을 분석하여 유역의 토사 전달율(Soil Delivery Ratio)과 토사 발생지도(Sediment yield map)를 제작하여 각 소유역에 대한 토사 유출 관리를 위한 기초 자료로서 사용하게 될 것이다.

핵심용어: 핵심용어: SWAT, 임하댐 유역, 토사 유출 성향, 토사 전달율, 토사 발생 지도

1. 서 론

SWAT 모형은 유역단위에 대한 수문성분 현상을 잘 표현하는 모델이다. 그 현상을 잘 표현하기 위하여 방대한 입력 자료를 구성하는데 크게 유역자료, 기상자료, 소유역 자료, 하천특성자료, 토양자료, 토지이용자료 등이 사용된다. 이와 같이 많은 자료들이 사용하므로 모형 구축에 많은 시간이 걸리고 유역의 특성을 제대로 구축하지 못할 경우 오히려 집중형 모형보다 모의 결과의 신뢰성이 덜어질 위험성을 안고 있다. 그러나 이러한 분포형 모형은 유역내 물리적 특성의 변화, 즉 토지 이용 및 식생의 변화, 여러 토지 관리방법의 변화 등에 따라 유역의 수문현상을 능동적으로 모의할 수 있으며, 유역 전반에 걸친 물의 이동과 오염물질의 시공간적인 거동을 해석할 수 있는 장점을 가지고 있다. 특히 SWAT는 유출에 대한 모의와 더불어 GIS 기반으로 하는 토사 산정식인 MUSLE(Modified USLE)을 사용하여 토사 유출모의도 가능하여 유역 단위별 토사 유실을 관리하는데 유용하게 사용된다.

본 연구의 대상인 임하호 유역은 최근 이상기후와 지구 온난화의 영향으로 2002년 태풍 “루사”를 시작으로 임하호 유역에 유사가 대량으로 유입되기 시작하였다. 이로 인하여 고타도 현상이 발생하여 용수공급 문제와 하천환경 및 생태 문제에 큰 영향을 미치게 되었으며 이런 영향의 축소 및 예방하기 위해서 임하호 유역에 대한 예측모형의 적용이 필요할 것이다. 더불어 유역 상류로부터 임하댐까지 유사의 발생 추이를 살펴보기 위하여 토사 전달율(Soil Delivery Ratio)을 산정하고 토사발생 지도(Sediment yield map)를 제작하여 각 소유역에 대한 유사 발생을 관리하는데 적용하고자 한다.

*정회원 · 부산대학교 공과대학 토목공학과 부교수 · E-mail: hsshin@pusan.ac.kr

**정회원 · 부산대학교 토목공학과 박사과정 · E-mail: dookee1@naver.com

***정회원 · 부산대학교 토목공학과 석사과정 · 한국수자원공사 밀양댐 관리단 · E-mail: choiyd1115@kwater.or.kr

****정회원 · 부산대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail: kalbs9801@hanmail.net

2. 연구방법

2.1 SWAT 모형의 유사량 산정

SWAT 모형의 유사량 산정은 MUSLE를 적용하고 있다. MUSLE는 Wischmeier(1960)가 제안한 USLE를 Williams(1975), Williams and Berndt(1977)가 단일 강우에 의한 유역의 토사 유출량 산정을 위하여 수정 보완한 식으로 USLE식에서 강우 에너지를 유효유량과 첨두유량을 대체하여 정의한다.

$$sed = 11.8(Q \times q_p)^{0.56} \cdot K_{USLE} \cdot LS_{USLE} \cdot C_{USLE} \cdot P_{USLE} \quad (1)$$

2.2 토사 전달율(Soil Delivery Ratio, SDR)

토사 전달율(Soil Delivery Ratio, SDR)은 측정지점으로부터 유역 상류에서 총 침식량 A_T 에 대한 주어진 하천단면에서 발생하는 유사량 Y 의 비율로 나타낸다(Julien, 1998). 유사 이송비에 대한 표현은 다음 식(2)로 나타낼 수 있다.

$$SDR = \frac{Y}{A_T} \quad (2)$$

3. 모형의 적용 및 결과

3.1 대상 유역

임하호 유역은 동경 $127^{\circ}29' \sim 129^{\circ}18'$, 북위 $35^{\circ}03' \sim 37^{\circ}13'$ 으로 낙동강 상류에 위치하며 행정구역상 경북 안동시, 영양군 그리고 청송군에 걸쳐 있다. 유역면적은 $1,361\text{km}^2$ 이고 유로연장은 반변천을 기준으로 약 98km이다 (한국수자원공사, 2003).

3.2 자료구축

SWAT 모형의 구축과정은 우선 유역 기반자료로서 GIS 구축, 유역의 특성치 입력, 하도특성 자료의 구축 및 입력, 강우자료 입력, 모형의 변수 검정 및 모형 검정 과정을 거쳐 수행된다. 본 연구에서 모형에 구축된 자료는 강우의 공간적 분포를 고려하기 위하여 임하호 유역에 위치한 영양, 청송, 부남, 일월, 석보 5군데 우량관측소의 1997년부터 2006년까지 10년간의 강우자료를 사용하였다. 그리고 토양분포와 토지이용 상태를 반영하기 위하여 토양도와 토지이용도를 사용하였으며 1:50,000 DEM도를 구축하였다.

3.3 유출 및 유사 자료의 검·보정

본 유역에서의 유출량 보정은 임하댐 방유량 자료를 사용하였으며 낙동강 오염총량관리를 위해 환경부에서 수질과 유량을 동시에 측정하는 용전과 반변 측정 자료를 보정 자료를 사용하였다. 유사일 경우 일 유량 자료에 대한 민감도가 크게 좌우되기 때문에 반변과 용전에 대해서 일자료를 사용하여 보정 및 검정 하였다. 보정결과 유출일 경우 임하댐 방류량과 용전, 반변 지역에서 유출량의 상관관계 계수(Correlation Coefficient)가 0.631.~0.721 사이로서 신뢰할 수준이나 농도일 경우 0.245.~0.434로서 낮게 나타났다. 이것은 SWAT 모형이 유출에 대한 모의는 잘 이루어지나 농도(SS), 즉 유사에 대한 모의는 그 신뢰성이 유출에 비해 떨어지는 사실을 보여준다.

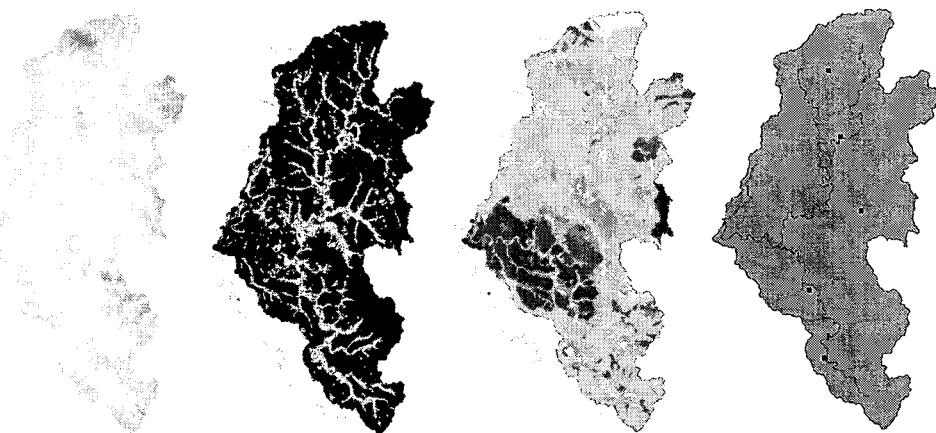


그림 1. 임하댐 유역도

표 1. 실측값과 모의값의 상관관계 분석(일유출량)

유출	RMSE	Mbias	CC
임하	88.48	1.251	0.659
반변	77.454	5.214	0.721
용전	72.085	4.634	0.631

표 2. 실측값과 모의값의 상관관계 분석(일농도)

농도(SS)	RMSE	Mbias	CC
반변	36.144	3.046	0.245
용전	2640	3750	0.434

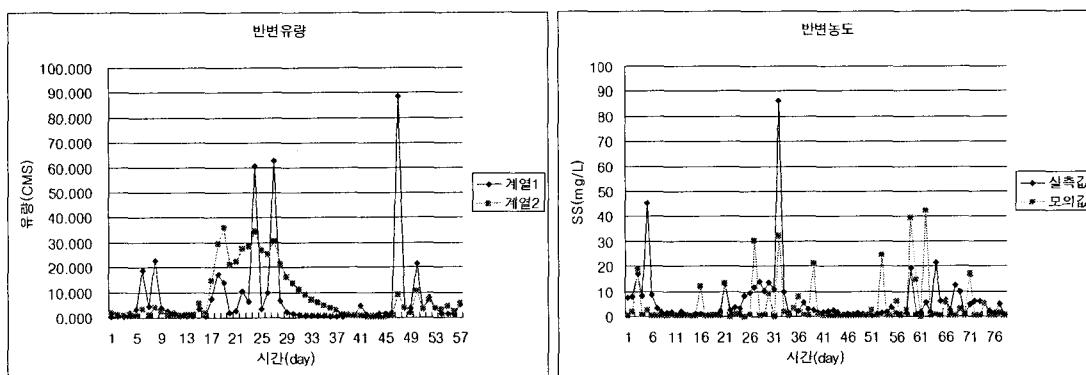


그림 2. 유출량, 농도 실측값·모의값 비교(반변)

3.3 유사 발생량 및 토사 전달율 분석

본 연구에서 사용한 SWAT모형에서는 유사량을 MUSLE 방식을 사용하나 모형내에 USLE식으로 구한 유사량을 알 수가 있어 두 값을 비교해 볼 수 있다. 그 결과값은 표 3과 같다. USLE식으로 계산된 연평균 발생 유사량은 10.634 ton/ha로서 기존 연구에서 산정된 값과 비교해본 결과 크게 다르지 않음을 알 수 있었다. 그러나 SWAT에서 계산된 유사발생량값 SYLD는 32.245ton/ha로서 USLE값보다 큰 발생량이 발생함을 알 수 있었다. 이 결과로 보아 SWAT에서 유사 모의는 USLE식보다 과다 산정되는 경향이 있음을 알 수 있다.

또한 본 연구에서는 이 발생된 유사량을 이용하여 토사 전달율(SDR)을 산정하였다. 임하댐 전체유역에서 발생하는 총토양침식량에 대한 임하호에 발생하는 유사량을 이용하여 산정한 결과 약 4.2%의 결과값을 얻을수 있었으며 그 결과값은 그림3.과 같다.

표 3. 임하댐유역 유사발생량 산정값

소유역	AREA(km ²)	USLE(ton/ha)	SYLD(ton/ha)	면적비
1	91.059	0.175	0.137	0.067
2	69.316	0.008	0.013	0.051
3	34.979	0.074	0.058	0.026
4	57.687	0.054	0.038	0.043
5	41.837	0.048	0.045	0.031
6	72.251	3.266	12.933	0.054
7	53.748	2.467	10.376	0.040
8	30.243	0.438	0.216	0.022
9	59.209	1.235	3.273	0.044
10	49.981	1.724	4.455	0.037
11	122.430	0.004	0.006	0.091
12	61.721	0.005	0.007	0.046
13	71.223	0.027	0.029	0.053
14	72.245	0.871	0.432	0.054
15	78.095	0.063	0.055	0.058
16	82.139	0.027	0.030	0.061
17	100.939	0.074	0.076	0.075
18	78.552	0.050	0.040	0.058
19	121.885	0.024	0.026	0.090
합계	1349.539	10.634	32.245	1.000

표 4. SDR(Soil Delivery Ratio)

총토양침식량(ton/km ²)	유사량(ton/km ²)	SDR(%)
10.634	0.449	4.2

3.4 토사발생 지도(Sediment Yield Map)

본 연구에서 산정된 유사량을 이용하여 토사발생 지도를 작성하였다. 그림3.은 각 소유역별로 발생되는 유사량을 나타내었는데 그 결과 유사 발생은 상류 산지 지대보다는 주로 하도를 따라 있는 수변지역과 농업지역에서 그 발생량이 높음을 알 수 있다.

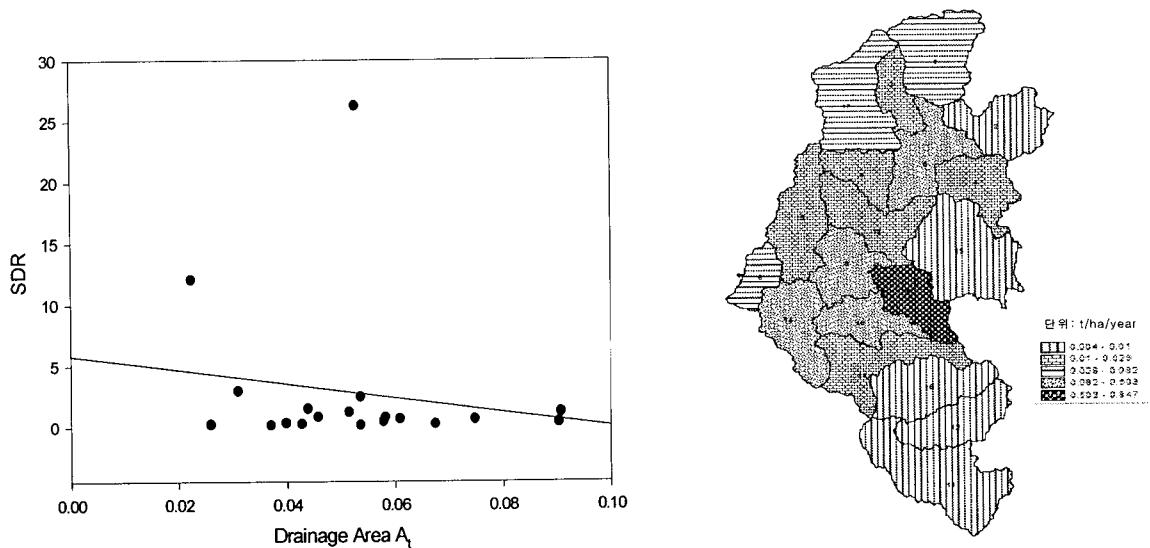


그림 3. 토사 전달율(SDR, Soil Delivery Ratio)과 토사 발생량 지도(Sediment Yield Map)

4. 결 론

본 연구에서는 임하호 유역에 SWAT 모형을 적용하여 유출량 및 발생하는 유사량을 모의·산정하였다. 그리고 이 산정된 값을 이용하여 유역에서 발생하는 토사가 하류로 이송되는 정도를 나타내는 토사 전달율을 산정하였으며 각 소유역별로 발생하는 유사량을 이용하여 토사발생 지도를 제작하였다. 모의 결과 기존 USLE식으로 계산된 유사량보다 더 큰 결과값을 얻어 SWAT에서 유사에 대한 모의가 과대평가되는 것으로 판단되어진다. 또한 토사 전달율을 산정하여 소유역내 발생하는 토사가 유역 면적에 따라 이송되는 양상을 파악할 수 있었다. 그리고 유사발생 지도를 통해 유사가 하도를 따라서 수변지대에 있는 농업지대에 걸쳐 확연히 유사 발생이 높음을 알 수 있었다. 본 연구에서 산정된 토사 전달율과 제작된 토사 발생지도는 각 소유역별로 발생되는 토사를 효율적으로 관리할 수 있는 바탕이 될 것이다.

참 고 문 헌

1. 김상단, 강두기, 김문수, 신현석(2007). 유역모형 구축을 위한 8일간격 유량측정자료의 일유량 확장 가능성, 한국물환경학회지, 제23권 제1호, pp64-71.
2. 국립환경과학원(2006), 낙동강 수계 제2차 오염총량관리 기준설정연구(기준유량, 안전율, 목표수질설정 연구), 환경부.
3. 이근상, 황의호(2006), GIS기반 수변구역의 토사유실 영향 분석, 대한토목학회논문집, 제26권 제2D호, pp335-340.
4. 이근상(2006), GIS 공간분석을 이용한 안동·임하호 유역의 토사유실 비교 평가, 대한토목학회논문집, 제26권 제2D호, pp341-347.
5. 김보경, 김상단, 경민수, 김형수(2006), SWAT 모형을 이용한 임하호의 유입량과 부유사량 예측, 대한토목학회 학술발표회논문집.
6. Julien, P.Y.,(1998), Erosion and Sedimentation. Cambridge University Press, Cambridge, New York
7. 한국수자원공사(2003), 임하다목적댐 관리연보.