

SWAT모형을 이용한 송정배수로의 수질개선방안 연구

A Study on the Effective Water Quality Renovation of Songjeong Drainage Canal Using SWAT Model

심재훈*, 김필식**, 김선주***, 김일정****

Jae Hoon Shim, Phil Shik Kim, Sun Joo Kim, Il Jung Kim

요 지

경포호 주변환경은 논, 밭 등의 경작지나 녹지와 같은 투수지표면과 대단위 주택단지나 도로, 상업지구, 공장시설과 같은 불투수지표면으로 구성되어 있어 SWAT 모형의 적용에 적합하다. GIS와 연계된 ArcSWAT모형을 적용하기 위하여 지형자료를 구축하고, 송정배수로 유역의 기상 및 우량 관측소를 고려하여 수문 및 기상관측자료를 입력하였다. 그리고, 소유역으로 세분화한 후 토양특성과 토지이용에 따른 모의를 실시하였고, 이를 위해 소유역내 수문학적 반응단위별로 유출, 유사 및 비점오염발생을 평가하는데 이용되는 HRU를 구축하여 활용하였다.

송정배수로는 제1배수로와 제2배수로로 구성되어있으며, 제2배수로의 유입부에 주변 아파트단지의 하수관에서 직접적으로 오염물질이 유입되어 수질오염이 심각하며, 점원과 비점원오염이 산재해있기 때문에 본 연구에서는 유출 및 수질모의가 가능한 SWAT모형을 이용하여 대상지점의 유출과 수질을 모의하였으며, 그 결과를 바탕으로 수질오염을 저감할 수 있는 방안을 제시하였다.

핵심용어 : 유출, 수질개선, ArcSWAT, HRU, 송정배수로

1. 서 론

일반적으로 하천의 유출량 및 수질은 토지이용 및 토지피복상태에 따라 유출량 및 수질에 큰 차이를 보이게 된다. SWAT모형은 대규모의 복잡한 유역내에서 다양한 종류의 매개변수 및 장기 간에 걸친 입력자료에 따른 유량과 유사 및 화학물질의 거동까지 예측할 수 있는 모형이다.

경포호 주변환경은 논, 밭 등의 경작지나 녹지와 같은 투수지표면과 대단위 주택단지나 도로, 상업지구, 공장시설과 같은 불투수지표면으로 구성되어 있어 SWAT 모형의 적용에 적합하다. GIS와 연계된 ArcSWAT모형을 적용하기 위하여 지형자료(DEM, 토양도, 토지이용도)를 구축하고, 송정배수로 유역의 기상 및 우량 관측소를 고려하여 수문 및 기상관측자료(강우, 온도, 습도, 일사량, 풍속)를 입력하였다. 그리고, 대상 유역에 위치한 수문관측소와 수질관측소를 고려하여 소유역으로 세분화한 후 토양특성과 토지이용에 따른 모의를 실시하였고, 이를 위해 소유역내 수문학적 반응단위별로 유출, 유사, 그리고 비점오염발생을 평가하는데 이용되는 Hydrologic Response Unit(HRU)를 구축하여 활용하였다.

* 정회원 · 건국대학교 사회환경시스템공학과 박사과정 · E-mail : jaegis@konkuk.ac.kr

** 정회원 · 건국대학교 사회환경시스템공학과 연구교수 · E-mail : kimps@konkuk.ac.kr

*** 정회원 · 건국대학교 사회환경시스템공학과 교수 · E-mail : sunjoo@konkuk.ac.kr

**** 정회원 · 한국농어촌공사 강릉지사 지역개발팀 · E-mail : il999@ekr.or.kr

송정배수로는 제1배수로와 제2배수로로 구성되어있으며, 제1배수로는 자연형 하천이고 제2배수로의 사면은 자연형 식생블럭으로 정비되어있다. 제2배수로의 유입부에 주변 아파트단지의 하수관에서 직접적으로 오염물질이 유입되어 수질오염이 심각하며, 점원과 비점원오염이 산재해있기 때문에 본 연구에서는 유출 및 수질모의가 가능한 SWAT모형을 이용하여 대상지점을 총 13개의 소유역으로 분할하여 유출량과 오염부하량을 모의하였으며, 그 결과를 바탕으로 수질개선 방법 시나리오별로 분석하여, 송정배수로의 수질오염을 저감할 수 있는 방안을 제시하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 연구대상지역

동해안 대표 석호인 경포호와 관동팔경 제1루인 경포대가 인접하여 있어 호수와 바다에 접근되어 있고 저탄소 녹색시범도시 구역 안에 위치하고 있다. 강원도 강릉시 강문동, 초당동, 송정동에 걸쳐 위치해있으며 초당지구 배수개선 사업지구 내 송정 1호 배수로(479m), 송정1호 배수로와 2호 배수로의 합류부, 송정 2호 배수로(2,150m) 및 송정배수문을 대상으로 모의 하였다. 송정 2호 배수로 서북쪽으로는 아파트단지가 자리하고 있으며 배수로를 따라 좌우로 논이 자리하고 있다.

2.2 SWAT 모형의 선정

SWAT은 강우·유출모델과 수질모델이 GIS 와 연계된 호환모델로서 장기 유량과 수질을 모의할 수 있으며, 미계측 지역에서도 모의가 가능하며, 정착형태나 기후·식생 등의 변화에 따른 수질의 상대적 효과도 정량화 할 수 있는 특징을 지니고 있다(Smithers et al., 1996). 그림 1은 SWAT 모형의 입력 자료와 출력자료를 보여준다. SWAT 모형을 이용하여 수문 및 수질을 시·공간적으로 분석하기 위해서 시간적으로 변화하는 기상자료와 공간적으로 변화하는 토지이용현황, 토양속성, 그리고 지형자료 등이 필요하다. 이 SWAT 모형은 유역에서의 토지이용에 따라 발생하는 비점오염원과 소유역내 수문학적 반응단위별 유출량 등을 모의한다.

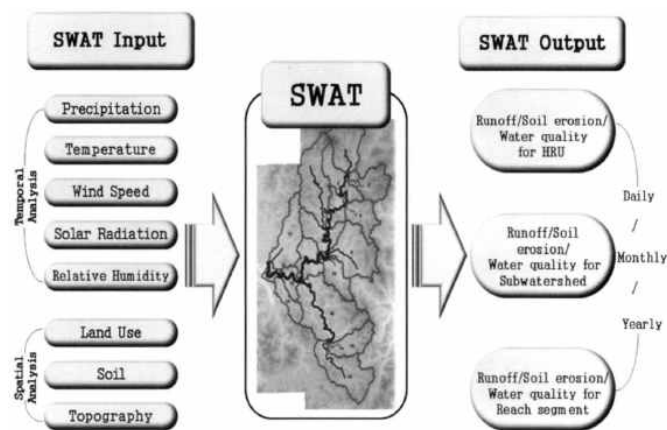


그림 1. SWAT의 입·출력 데이터

2.3 SWAT 모형의 입력자료

2.3.1 기상자료

SWAT모형에서는 유출량 및 수질 산정을 위한 기본적인 기상 자료로서 강우량, 최고·최저기온, 상대습도, 풍속과 일사량이 있다. 본 연구에서는 2005년부터 2010년까지의 자료를 사용하여 모

3. 결과 및 고찰

3.1 유출특성

송정 배수로분 유역에서 2005년과 2006년은 율업기간으로 이용하고 2007년부터 2010년까지 4년 동안 SWAT 모형을 적용하여 모의된 유출량과 추정된 유출량의 유출특성을 비교한 결과 표1과 같다. 모형을 적용하여 연 유출량을 모의하였더니 862.0~1,289.3mm로 평균 1,077.5mm였다. 2007년에 1,441.6mm의 강수량이 가장 많았던 해로 이때의 유출량도 가장 많은 1,289.3mm를 나타내어 유출율은 0.89이었다. 유역의 토지 이용 형태가 75% 이상을 산림과 농경지가 차지하고 있어 유출에 많은 영향을 주는 것으로 생각된다.

표 1. 연간 유역의 모의된 유출량과 측정 유출량

Year	Precipitation (mm)	Observed		Simulated		RMSE (mm)	R ²
		Runoff	Runoff ratio	Runoff	Runoff ratio		
2007	1,441.6	1,095.9	0.76	1,289.3	0.89	2.23	0.94
2008	1,342.7	978.3	0.73	1,151.9	0.86	1.98	0.96
2009	1,183.0	875.7	0.74	1,006.6	0.85	2.05	0.93
2010	1,097.3	818.9	0.75	862.0	0.79	1.64	0.97
Average	1,266.2	942.2	0.74	1,077.5	0.85	1.98	0.95

송정 배수로분 각 소유역을 대상으로 이미 매개변수의 보정과 검증이 이루어진 SWAT 모형을 적용하여 2007~2010년 각각의 소유역별 연간 유출량을 산정하였다. 전체 유역은 총 13개의 소유역으로 분할되었으며, GR#4는 최종 출구점이 있는 아주 작은 면적의 소유역으로 실제 모델 구동에 미치는 영향이 작은 관계로 유출이 계산되지 않았다. SWAT 모형을 이용하여 각 소유역의 유출량은 다음의 2007~2010년도 각 소유역의 유출 오염부하량을 산정하는 자료로 활용하였다. 각 소유역에서의 연도별 유출특성은 그림 8에 나타내었다. 대상지역인 송정배수로는 GR#7, GR#8, GR#10 소유역 안에 위치하고 있다.

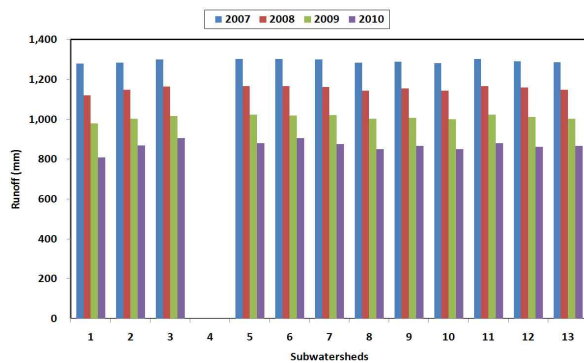


그림 8. 각 소유역의 측정된 연간 유출량

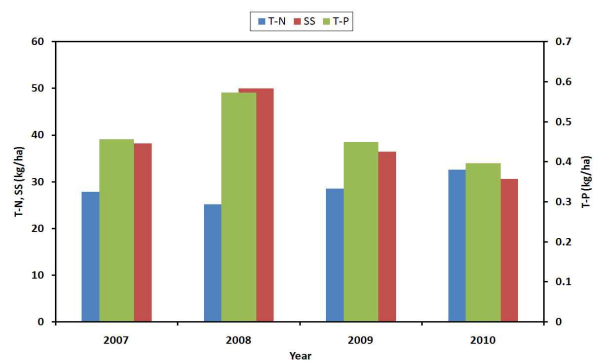


그림 9. SWAT에 의해 구동된 연간 오염 부하량

3.2 오염부하량

송정 배수로분 유역에서 2007년부터 2010년까지의 4개년의 비점원오염 물질의 연도별 부하량을 SWAT 모형을 이용하여 모의한 결과는 Table 3.26에 정리하였다. T-N은 연간 25.17~32.54kg/ha의 범위로 연평균 28.52kg/ha, T-P는 연간 396~0.573kg/ha의 범위로 연평균 0.469kg/ha를 나타내었고, SS 부하량은 연간 30.58~50.04kg/ha의 범위로 연평균 38.82kg/ha로 나타났다. 송정배수로분

유역에서의 2007년부터 2010년까지의 비점원오염 물질의 항목별 연간 부하량은 표 2에 나타내었다. T-N, SS 부하량 보다 T-P의 부하량이 상대적으로 적게 모의된 것으로 보여진다.

표 2. 연간으로 구동된 유역의 오염 부하량

Year	T-N	T-P	SS
2007	27.84	0.456	38.23
2008	25.17	0.573	50.04
2009	28.52	0.449	36.44
2010	32.54	0.396	30.58
Average	28.52	0.469	38.82

4. 결 론

송정배수로분 유역에서 2007년에서 2010년까지 4개년 동안 SWAT모형의 유출량 추정값과 모의값은 각각 942.2mm와 1,077.5mm였고, 결정계수(R2)는 0.95, 절대오차(RMSE) 1.98mm를 나타내었다. SWAT 모형은 강우-유출 모의 발생시 추정값을 잘 반영하는 것으로 나타났다.

송정배수로분 유역의 13개 소유역을 대상으로 SWAT 모형을 적용하여 오염부하량을 평가한 결과, 오염부하량의 T-N 부하량은 25.17kg/ha~32.54kg/ha, 평균 28.52kg/ha이었고, T-P 부하량은 0.396~0.573kg/ha, 평균 0.469kg/ha이었으며, SS 부하량은 30.58~50.04kg/ha, 평균 38.82kg/ha를 나타내었다. 전체 토지이용의 75%이상을 차지하는 산림과 농경지의 비율에 의한 차이가 오염부하에 반영되어 차이를 나타낸 것으로 사료되며 송정배수로가 포함된 소유역중에는 송정 2배수가 포함된 GR#8 소유역에서 오염부하량이 가장 크게 나타났다.

수질개선방안별로 적용한 시나리오는 Scenario 1은 수질오염원 직접차단, Scenario 2는 개량형 침강지 설치, Scenario 3는 자연생태적 하수처리공법 설치이다. 이를 적용하여 SWAT모형을 구동한 GR#8 소유역에서의 결과는 다음과 같다. Scenario 1에서의 제거 효율은 유사량(SS) 94.36%, T-N 49.88%, T-P 44.43%로 나타났으며, Scenario 2에서의 제거효율은 유사량(SS) 66.04%, T-N 32.9%, T-P 17.96%로 나타났고, Scenario 3에서의 제거효율은 유사량(SS) 78.56%, T-N 41.46%, T-P 46.52%로 나타났다. 각각의 오염부하량의 제거효율이 차이를 보이지만 전체적으로 각각의 Scenario를 비교하면 Scenario 1 > Scenario 3 > Scenario 2의 순으로 나타났다. Scenario분석 결과를 통하여 송정 2배수로로 직접 유입되는 점오염원을 완전히 차단시키는 방안이 가장 효율적일 것이라고 판단된다.

참 고 문 헌

1. 박윤식, 김종건, 박준호, 전지홍, 최동혁, 김태동, 최종대, 안재훈, 김기성, 임경재(2007). 임하댐 유역의 유사 거동 모의를 위한 SWAT 모델의 적용성 평가, 한국물환경학회 논문집, 제23권 제 4호, pp. 467-473.
2. Neitsch, S.L., J.G. Arnold, J.R. Kiniry, R. Srinivasan and J.R. Williams.(2005). Soil and Water Assessment Tool, SWAT : User's Manual-version 2005, Grassland, Soil and Water Research Laboratory, Agricultural Research Service, Texas.
3. Smithers, J. C. and Engel, B. A.(1996). An Initial Assessment of SWAT as a Hydrological modeling Tool for the Midwest USA, ASAE, No. 96-2065.