사단법인 한국환경과학회 가을학술발표회 발표논문집 제17권(제1호), 409~413, 2008
Proceedings of the Korean Environmental Sciences Society Conference, Nov, 20~22, 2008

PE16) 비점오염량 산정을 위한 모형간의 적용성 평가

손병철*, 최윤영[1], 최정우[1]
경북대학교 대학원 도시환경공학과, [1]경북대학교 도시환경공학과

1. 서 론

최근 조사된 바에 의하면 하천수질오염원 중에 비점오염원이 50 %이상을 차지하고 있으며, 농경지 등에 의한 유사발생시 토양입자에 의해 운송되는 영양염류(질소, 인)는 하천 및 호소의 수질악화 및 부영양화의 원인이 되고 있다. 이와 같이 강우에 의한 비점오염원의 유출형태는 지역과 토지이용에 따라 많은 편차가 있음을 확인할 수 있으며 정확하고 효율적인 비점오염원 부하량 산정을 위해서는 강우와 유출수, 강우와 유사발생, 강우와 비점오염원의 유출관계를 잘 규명할 수 있어야 할 것이다. 비점원오염에 관한 국외의 연구로써 Hession(1988)은 Virginia주에서 농업 비점원오염을 위해 GIS를 이용하였고 He(1993)는 미시간주 Saginaw유역에서 농업 비점원오염 억제를 위하여 12개 BMP에 대하여 AGNPS모형을 통한 모의발생을 실시하여 등고선재배 및 보전농법 등에 관한 연구를 하였으며, Luzio(1989)는 GIS를 이용한 AGNPS모델의 적용성에 있어 적정 강우량의 중요성에 관한 연구를 실시하였다. 국내의 연구로는 이명우(1990)은 토지이용을 고려한 소유역의 수질예측 모형에 관한 연구를 실시하였으며, 장정렬(1994)은 농업유역 수질관리 모형의 개발에 관한 연구를 하였고 김진택(1995)은 농업 비점원 오염모형을 위한 지리자원정보시스템 호환모형의 개발 및 적용에 관한 연구를 실시하였다. 그리고 문종필(2006) 등은 SWAT모형을 이용하여 갑천유역의 영양염류 유달부하량 산정에 관한 연구 등을 수행하였다.

본 연구의 목적은 농경지유역에서의 비점원 오염에 대한 효과적인 분석과 예측을 위하여 최종 매개변수를 결정하고 실제 호우사상에 있어 비점원오염 분석모형인 AGNPS와 SWAT모델의 모의발생 결과와 측정치에 대한 오염부하량의 비교분석을 통하여 모형간의 정성적 및 정량적 변동성을 파악함으로서 향후, 모형적용에 따른 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

2. 모형의 기본이론

2.1. AGNPS모형

미국 미네소다 주에서 농업유역의 비점오염을 추정하기 위한 목적으로 농업비점오염모형 AGNPS(agricultual nonpoint source pollution model)을 개발하였으며, 호우사상에 대한 유출과 첨두유량, 토양유실, 총질소, 총인, 화학적 산소요구량(Chemical Oxygen Demand, COD) 등을 추정할 수 있도록 제안되었다. AGNPS모형은 유역을 셀(cell)이라고 부르는 정방형 격자로 구분하고, 각 셀에 대한 지형, 토양, 토지이용, 식생, 비료 시비량과

유효량, COD 및 축산 또는 이외의 점원 오염량 등을 입력하여 첨두유출량을 구하고 토사량을 계산하며 하류의 유사량과 T-N 및 T-P의 이동을 추정하여 비점오염량을 계산할 수 있는 분포형 매개변수 모형이다. 모형의 기본 알고리즘은 유출, 유사 및 수질부문 등으로 구성되어 있다.

2.2. SWAT모형

SWAT(Soil and Water Assessment Tool) 모형은 1990년대 초 미국 농무성 농업연구소 (USDA Agricultural Research Service; ARS)에서 개발한 유역유출모형으로서, 대규모의 복잡한 유역에서 장기간에 걸친 다양한 종류의 토양과 토지 이용 및 토지관리상태에 따른 물과 유사 및 여러 농업화학물질의 거동에 대한 토지관리방법의 영향을 예측하고 평가할 수 있는 장점을 가지고 있다 (Arnold 등, 2001). SWAT모형은 유역규모의 연속모의 모형으로서, 일별 간격으로 물, 유사, 영양물질 부하량의 영향을 평가할 수 있도록 개발되었으며 (Arnold 등, 1998), 물리적 기반하에 기후, 수문, 토양온도, 식생성장, 영양물질, 농약성분, 토지관리 등에 대한 모의기법을 모두 포함하고 있다. SWAT에서 유역은 다수의 소유역으로 구분되고, 균질한 토지이용, 관리, 토양특성을 갖는 HRU (Hydrologic Response Unit)로 세분화 된다. 각 HRU에서의 물수지는 눈, 토양층, 얕은 대수층, 깊은 대수층의 4가지 형태로 표현되며, 각 HRU로부터의 유출, 유사, 영양물질, 농약성분에 대한 부하량은 소유역 단위로 합산되고, 이는 하도, 저류지, 저수지 등을 통한 추적 과정을 거쳐 유역 출구까지 이르게 되어 유역 총량으로 계산된다. (Jha 등, 2004).

3. 모형의 적용결과 및 고찰

3.1. 대상유역의 현황

본 연구대상유역인 개운유역(Fig. 1)은 경상북도 상주시 개운동 일대에 위치하고 있으며, 위도상으로는 동경 127° 51′ 04″ ~128° 13′ 20″, 북위 36° 25′ 42″ ~36° 50′ 02″에 위치하고 있다. 유역면적은 4.22㎢이고, 유역의 형상은 동서폭이 넓은 반면에 남북방향으로 좁게 이어지고 있다. 상류는 급한 산지이고 하류는 완만한 경사를 이루고 있으며 인근에 북천과 만나 병성천으로 유하하고 있다. 본 연구에 이용된 호우자료는 2003~2006년의 4개 호우사상이며 2003~2004년은 최종 매개변수 추정에 사용되었고, 2005~2006년도

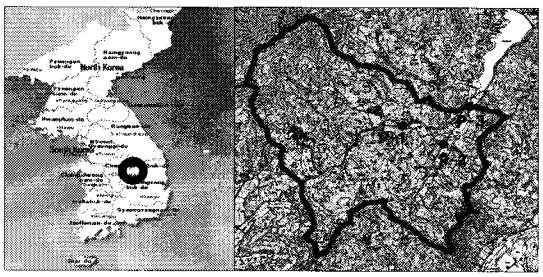

Fig. 1. Study Area.

Table 1. Land use classification

Sta. \ Land use	Paddy (Km²)	Field (Km²)	Farm (Km²)	Forest (Km²)	Area (Km²)
P-1	0.300	0.280	0.704	1.610	2.900
P-2	0.057	0.015	0.009	0.785	0.860
P-3	0.412	0.326	0.738	2.744	4.220

는 모형의 검정을 위한 적용 및 분석에 이용되었다. SWAT모형은 유역의 형상을 나타내는 수치표고모델(DEM), 유역내 토지이용 상태를 나타내는 토지이용도 및 토양특성을 나타내는 토양도 등의 GIS 데이터가 요구된다. 본 연구에서는 수문 모의시에 다양한 토지이용상태를 반영할 수 있는 1/5,000의 세분류 수치 토지이용도 자료를 이용하였다. 본 연구에서 토지이용도는 토양형 분류도와 더불어 SCS의 CN값에 의한 유출량 산정을 위한 자료로 이용하였다.

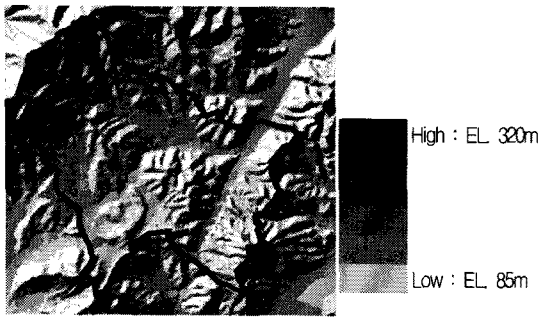

Fig. 2. Digital elevation model at the Gaewoon basin.

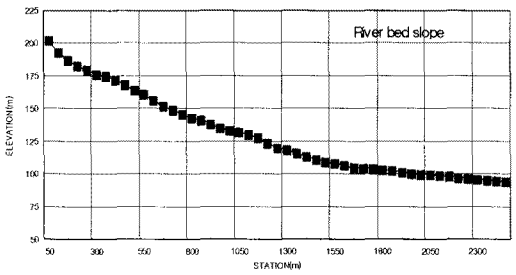

Fig. 3. River bed - Slope Characteristic of the Study Area.

모형들의 수치표고모델(DEM)을 구축하기 위해 환경부에서 발행하는 개운유역의 1/5,000 수치지도와 Arcview GIS프로그램을 이용하였다. DEM의 Cell크기 결정에 있어 모형의 계산시간 및 효율성과 모형결과의 정확성을 고려하여 격자크기는 5m×5m로 하여 DEM을 구축하였다(Fig. 2). 본 연구의 분석대상 유역에 대한 하상고 특성은 Fig. 3과 같다.

3.2. 매개변수 보정

본 분석에서는 시행착오법에 따라 각 매개변수의 민감도 분석 결과에 의해 단계별 매개변수 값을 변화시켜가며 보정을 수정해왔으며, 비교적 자료가 충분하고 양호한 유역 최종 출구점인 P-3지점의 일유출자료 및 영양물질 부하량에 대해서 관측치와 모의치를 비교하여 보정하였다.

AGNPS모형의 입력 매개변수로는 크게 유역전체에 해당하는 유역 매개변수와 수문학적으로 동질로 가정한 분할격자 즉, 셀에 따라 변화하는 셀 매개변수로 구분할 수 있으며, 유역 매개변수는 강우량, 강우에너지, 단위 셀면적, 선행강우조건 및 유역설명으로 구성된다. 분석을 위한 유역분할의 셀(cell) 개수는 총 86개이며, 1셀의 크기는 250m*250m이다. K는 0.04-0.29, SSF는 0.1-0.35, C는 0.01-0.26 및 P는 0.28-0.82이다.

SWAT 모형에서, 비점오염 영양물질인 질소와 인은 앞서 설명한 바와 같이 물 또는 유사와 함께 이동되고, 다시 유사는 물의 이동에 의해 좌우된다. McCuen (2003)이 제시한 분할표본절차에 따라 2003~2004년의 4개년에 대한 유출 및 수질자료를 대상으로, 2003~2004년 자료는 보정에 적용하고, 2005~2006년의 자료에 대해서는 모형검정에 이용하였다. 또한, 관측된 T-N보정에는 질산염 침투계수(NC), T-P보정에는 인침투계수(PR)와 인

토양분리계수(PS)를 조절하여 보정하였으며, 결정된 매개변수는 각각 15, 145, 0.5로 결정되었다.

3.3. 모형의 검정

보정과정에서 결정된 최적의 매개변수를 가지고 유출량과 T-N, T-P의 부하량을 2004년부터 2005년에 걸쳐 적용하였다. 보정과정에서 정해진 최적 매개변수를 이용하여 2004년부터 2005년까지의 자료를 부하량에 대하여 검정한 결과는 Table 2와 같다.

Table 2. Comparison of Observed and Calculated Values (T-P, T-N)

Storm Event	T-N (ppm)			T-P (ppm)		
	Observed	Calculated		Observed	Calculated	
	P-3	AGNPS	SWAT	P-3	AGNPS	SWAT
6/ 10/ 2005	2.29	2.38	2.36	1.22	1.54	1.62
6/ 27/ 2005	3.14	2.24	3.37	1.11	0.59	0.66
7/ 28/ 2005	6.20	6.08	5.92	1.32	1.63	1.54
8/ 2/ 2005	6.77	8.02	7.23	1.28	1.34	1.48
8/ 25/ 2005	2.14	2.21	2.22	1.44	1.82	1.73
9/ 21/ 2005	7.26	6.92	7.04	1.38	1.68	1.50
4/ 19/ 2006	1.15	1.06	1.28	0.25	0.41	0.52
5/ 22/ 2006	1.12	1.84	1.41	0.28	0.46	0.47
6/ 22/ 2006	3.33	2.67	2.96	1.43	1.54	1.56
7/ 4/ 2006	4.14	3.49	4.55	1.56	1.28	1.35
8/ 30/ 2006	5.26	4.96	5.10	1.47	1.80	1.78
9/ 17/ 2006	2.16	2.47	2.42	1.32	1.26	1.34

먼저, T-N 부하량에 대한 검정결과, AGNPS모형에 의해 예측된 T-N 부하량은 양호한 결과를 보였고 상관성은 다소 높은 것으로 판단되었다. T-N 부하량(2005-2006년)에 대한 예측값은 효용도지수(E)가 0.926의 값을 나타냈으며, 전체적으로 홍수기에는 다소 작게 갈수기에는 다소 높게 나타났다. SWAT모형에 의해 예측된 T-N 부하량은 효용도가 0.987로서 AGNPS모형보다 더욱 양호한 결과를 나타내었다. 예측된 T-N 부하량이 홍수기에는 낮게 산정되고 갈수기에는 크게 산정되는 것을 알 수 있었으며 부하량의 예측경향은 AGNPS모형보다 실측치에 더욱 유사한 경향을 보였다. 다음으로, T-P 부하량에 대한 검정결과, AGNPS모형에 의해 예측된 T-P 부하량은 양호한 결과를 보였고 상관성은 높은 것으로 판단되었다. 예측된 T-P 부하량이 유량비로 볼 때 홍수기에 비해 갈수기에 역시 크게 산정되는 것을 알 수 있었으며, 월별 부하량의 예측경향은 실측값과 유사한 경향을 나타내었다. T-P 부하량(2005-2006년)에 대한 예측값은 효용도지수(E)가 0.714의 값을 나타냈으며, 전체적으로 홍수기에는 다소 작게 갈수기에는 다소 높게 나타났다. SWAT모형에 의해 예측된 T-P 부하량은 효용도가 0.763으로서 AGNPS모형보다 더욱 양호한 결과

를 나타내었지만 T-N부하량보다는 정도가 많이 낮게 나타났다.

4. 결 론

비점원 오염에 대한 효과적인 분석과 예측을 위하여 비점원오염 분석모형인 AGNPS와 SWAT모델을 설정하고 모형의 모의발생 결과와 측정치에 대한 오염부하량의 비교분석을 통하여 모형간의 변동성을 파악하였으며 이에 대한 결과는 다음과 같다.

먼저, 유역에 대한 첨두유량 및 영양물질 분석을 위해 AGNPS모형의 경우에 46개의 조격자를 86개의 세격자로 유한차분망을 분할하였으며, SWAT모형은 6개의 HRU로 분할하여 분석하였다.

다음으로, 개운유역에서 실제강우량에 의한 유량, T-P 및 T-N의 관측치와 계산치를 분석한 결과 양호한 결과를 나타내었으며, T-P 및 T-N의 계산치는 전체적으로 홍수량이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내고 있으나 T-P에 비하여 T-N의 감소폭이 훨씬 크게 나타났다.

마지막으로, 본 연구에서 제시한 AGNPS모델과 SWAT모델을 이용하여 강우-유출-영양염류 관계를 해석한 결과, 실제 수문사상에 가장 근접한 모형은 SWAT모델로서 첨두유량 및 부하량등이 AGNPS모형보다 우수한 것으로 나타났으나, AGNPS모형도 실측치를 비교적 잘 반영하는 것으로 분석되었다.

참 고 문 헌

Hession, W. C. and V. O. Shanholtz, 1988, A Gis for Targeting Nonpoint-Source Agricultural Pollution, J. of Soil and Water Conservation, Vol.43, No.1, pp. 165-182.

He, C., J. F. Riggs, and Y. T. Kang, 1993, Intergration of Geographic Information System and a Computer Model to Evaluate the Impacts of Agricultural Runoff on Water Quality, AWRA Proceedings, pp. 235-241.

Luzio, M.D., Lenzi, M.A., 1989, The Importance of Proper Rainfall Inputs for the Applicability of the AGNPS Model Integrated with Geographic Information System at Watershed Scale, In the Proceedings of the International Symposium on Water Quality Modeling. Orlando, FL, April 2-5.

Young, R. A., C. A. Onstad, D. D. Bosch, and W. P. Anderson, 1987, AGNPS, Agricultural Non-Point Source Pollution Model : A Watershed Analysis Tool, USDA Conservation Research Report 35. pp. 241-321.

Neitsch, S.L., Amold, J.G, Kiniry, J.R., and Williams, J.R., 2001, Soil and Water Assessment Tool, The theoretical documentation(version 2000),U. S. Agricultural Research Service. pp. 5-260.

Arnold, J.G., R.S. Muttiah, R. Srinivasan, P.M. Allen, 2001, Regional estimation of base flow and gorundwater recharge in the Upper Mississippi river basin, Journal of Hydrology, Vol. 227, No. 14, pp. 21-40.