

원단위법과 SWAT모형을 이용한 농업유역의 영양물질 부하량 추정

Nutrient Loads from Agricultural Watersheds
using Unit Loading Factor and SWAT Model

김 상 민* · 박 승 우(서울대) · 강 문 성 (Auburn University)
Kim, Sang Min · Park, Seung Woo · Kang Moon Seong

Abstract

To estimate the nutrient loads from an agricultural watershed, SWAT model and Unit Loading Factor method which was proposed by Ministry of Environment were applied for study watershed. The observed hydrologic and water quality data were compared with estimated methods for the Balhan HP#6 study watershed having an area of 3.86km². The estimated nutrient loads were found to be similar values with the observed.

I. 서론

유역의 수계로 유입되는 하·폐수를 배출허용 기준이나 방류수 수질기준에 따라 규제하는 농도 규제 중심의 수질관리는 수질오염 물질 배출이 수환경 용량을 초과하는 경우에는 수질개선에 한계가 있다. 이에 따라 우리나라에서는 1998년 개별오염원에 대한 규제방식에서 일정한 유역내의 모든 오염원을 관리할 수 있는 유역별 오염총량관리(total maximum daily loads, TMDL)제도를 도입하였다. 국립환경연구원에서는 2002년 11월 낙동강, 금강, 영상강, 섬진강 수계에 대한 오염총량 관리제도의 시행을 위해 수계오염관리기술지침을 마련하였으며, 수계환경조사, 오염원의 분류 및 조사, 오폐수 발생유량 산정, 발생부하량 산정, 배출량 산정, 수질모델링, 오염부하량 할당 등의 내용을 포함하고 있다. 오염부하량의 산정은 원단위법을 이용하여 산정하는 방법을 제시하고 있으나, 원단위 값이 연간 일정하다는 가정 하에 오염부하량을 산정하기 때문에 시기별 오염부하량 변화를 파악하기 어려운 단점이 있다.

유역에서의 수질오염부하를 추정하기 위해 개발된 수질예측모형은 시기별, 시나리오별 다양한 결과를 분석할 수 있으며, 효과적인 오염부하량 저감 대책 등을 수립하기 위해 유용한 도구로 이용되고 있다. 최근 효율적인 자료관리와 분석을 위해 지리정보시스템(geographic information system, GIS)과 연계한 수질모형이 개발되고 있으며, 본 연구에서는 BASINS(better assessment science integrating point and nonpoint sources)를 이용하여 지형자료를 구축하고 이와 연동되는 SWAT 모형을 이용하여 영양물질 부하량을 추정하였다.

본 연구에서는 농업유역에서의 영양물질 부하량을 분석하기 위해 시험유역의 운영을 통해 수문, 수질 자료를 구축하고, 그 결과를 원단위 추정치, SWAT 모형의 추정치와 비교하여 원단위법을 이용한 오염부하 추정의 적정성을 고찰하였다.

II. 연구방법

1. 대상구역

본 연구에서 원단위법과 수질예측모형을 이용하여 농업소유역에서의 오염부하량을 추정하기 위해 선정한 시험구역은 경기도 화성시 팔탄면에 위치한 발안 시험구역으로 1996년부터 서울대학교 농공학과에서 수문관측을 실시하고 있다(Fig. 1). 영양물질 부하량 추정을 위해 선정한 소유역은 유역면적 384.6ha의 HP#6 소유역으로 발안저수지 상류에 위치하고 있으며, 유역의 지형특성은 Table 1과 같다. Fig. 2는 HP#6의 수문관측지점을 보여주고 있다. 원단위법을 이용한 대상구역의 오염부하량을 추정하기 위하여 토지이용, 인구 및 가축사육현황을 조사하였으며, Table 2, 3에 결과를 정리하여 보여주고 있다. 대상구역의 토지이용은 논이 26.3%, 산림이 58.1%로 조사되었으며 총인구는 2,298명, 돼지는 1,045마리로 조사되었다.

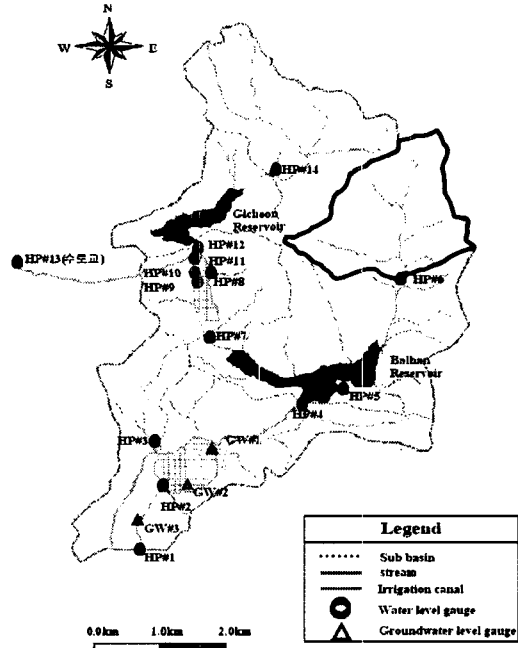


Fig. 2 Balhan study watershed

Table 1 Geomorphological characteristics of study watershed

Area (ha)	Shape Coeff.	Flow Length (m)	Relief (m)	Relief Ratio	Slope (m/km)	Stream Frequency(ea/km ²)
384.6	1.562	3,088	246	0.09	1.493	0.97

Table 2 Land uses and hydrologic soil conditions of study watershed

Hydrologic soil condition (%)				Land use (%)			
A	B	C	D	Paddy	Upland	Forest	Others
49.7	14.6	31.8	3.9	26.3	9.6	58.1	6.1

Table 3 Status of population and livestock (1999)

Populatio n	Korean cattle	Beef cattle	Dairy cattle	Pig	Deer	Poultry
2,298	16	0	540	1,045	20	24

2. 원단위법

환경부에서는 유역에서 배출되는 오염부하량을 인구, 가축, 토지이용 등에 따라 원단위를 적용하여 발표하였으며, Table 4, 5는 토지이용과 인구, 축산에 의한 원단위 발생부하량을 보여주고 있다.

Table 4 Unit pollutant load with respect to land use

Item (kg/km ² ·day)	BOD	TN	TP
Paddy	2.30	6.56	0.61
Upland	1.59	9.44	0.24
Forest	0.93	2.20	0.14
Other land use	0.96	0.76	0.03

Table 5 Unit pollutant load with respect to population and livestock

Item (g/capita/day)	BOD	TN	TP
Population	48.6	13.0	1.45
Dairy cattle	556	161.8	56.7
Beef cattle	528	116.8	36.1
Pig	109	27.7	12.2
Deer	10	5.8	0.9
Poultry	5.2	1.1	0.4

2. SWAT 모형

SWAT 모형은 미계측지역에서의 비점원오염을 추정하기 위하여 개발된 분포형 매개변수 모형으로 일단위의 모의가 가능하며, 유량, 유사량, 영양물질 등을 모의할 수 있다(Arnold 등, 1993). SWAT 모형은 수문 부모형, 토양유실 부모형, 영양물질 부모형, 하도추적 부모형 등으로 구성되어 있다. 수문 부모형의 지표유출은 SCS법을 이용하여 추정하며, 측방 유출량은 kinematic storage model을 이용하여 추정하며, 침투는 선형저수량 추적기법을 이용하여, 증발산은 Penman이외에 지하수 흐름과 수로손실, 증발산 등으로 구성된다. 토양유실 부모형은 MUSLE를 이용하여 유사량을 추정한다. 영양물질 부모형은 질소, 인 기작을 모의하며 작물잔류물과 시비량에 의한 순환으로 이루어져 있다. 하도추적 부모형은 소유역의 출구점에서의 유출량, 유사량, 영양물질을 하도구간을 따라 다음 소유역의 출구점까지 추적하면서 유역출구점까지 이루어진다.

III. 연구결과

1. 영양물질 부하량 모니터링

시험유역에 대한 영양물질 부하량을 추정하기 위해 강우, 하천수위, 수위-유량 관계 등의 수문자료와 총질소(TN), 총인(TP)등의 영양물질 모니터링을 수행하였다. 수문, 영양물질 모니터링으로부터 얻어진 자료를 이용하여 대상유역의 유량-부하량 관계를 추정하였다(Table 6). 이로부터 대상유역의 일별 부하량과 연간부하량을 산정하였다.

Table 6 Load-discharge relationships at study watershed

Item	Load-discharge relationship	R ²
TN	TN=0.026Q ^{0.8385}	R ² =0.9271
TP	TP=0.0007Q ^{0.9212}	R ² =0.9332

2. 원단위법과 SWAT 모형의 적용결과

SWAT 모형을 이용하여 대상유역의 유출량과 영양물질 부하량을 추정하였으며, Table 7, 8은 각각의 결과를 보여주고 있으며, Fig. 2는 원단위법과 SWAT모형을 이용하여 추정한 영양물질 부하량과 실측 부하량을 비교하여 보여주고 있다.

Table 7 Observed and simulated runoff

Period	No. of measure (day)	Rainfall (mm)	Runoff (mm)		Runoff ratio	
			Obs.	Sim.	Obs.	Sim.
1996	274	738	376	418	0.510	0.567
1997	350	1,204	863	777	0.717	0.645
1999	299	1,235	846	930	0.685	0.753
2000	150	1,249	784	817	0.628	0.654
Mean	268	1,100	755	786	0.653	0.661

Table 8 The comparison of observed and simulated nutrient loads

Period	No. of measure (day)	TN for Measured period (kg/ha)		TP for Measured period (kg/ha)	
		Obs.	Sim.	Obs.	Sim.
1996	274	19.99	24.26	1.22	1.41
1997	350	40.32	33.03	2.62	1.83
1999	299	36.33	29.76	2.19	1.02
2000	150	30.95	18.70	2.45	1.67
Mean	268	32.16	27.25	2.12	1.51

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 농업유역에서 발생하는 영양물질 부하량을 분석하기 위하여 시험유역을 대상으로 수문, 수질 자료를 구축하여 부하량을 산정하고 이를 원단위법과 SWAT 모형을 이용하여 추정한 결과와 비교, 분석하였다. 1996, 1997, 1999, 2000년 4개년에 대해 영양물질 부하량 추정하여 비교한 결과 TN의 경우 실측치, SWAT 모형, 원단위가 각각 32.16, 27.25, 34.60 kg/day, TP의 경우 각각 2.12, 1.51, 2 kg/day로 분석되었다.

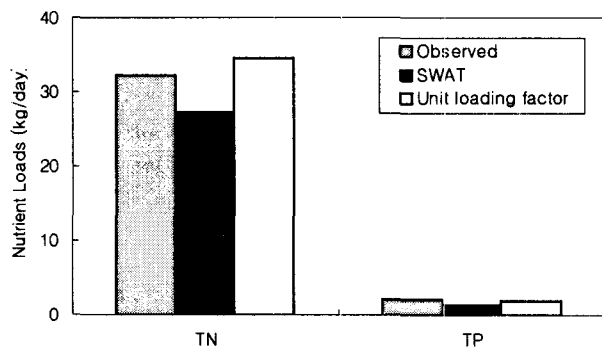


Fig. 2 Observed and simulated nutrient loads

사사

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술사업단의 연구비지원(과제 번호4-5-1)에 의해 수행되었습니다.