

# 소유역 오염총량모의시스템 개발 및 적용

Development and Application of Total Maximum Daily Loads Simulation System

\* 강문성 · 박승우 (서울대)

\* Kang, Moon-Seoung · Park, Seung-Woo

## Abstract

The objectives of the paper are to develop the total maximum daily loads simulation system, TOLOS that is capable of estimation annual nonpoint source pollution from small watersheds, to monitor the hydrology and water quality of the Balhan HP#6 watershed, and to validate TOLOS with the field data.

## I. 서론

유역의 수계로 유입되는 하·폐수를 배출허용 기준이나 방류수 수질기준에 따라 규제하는 농도규제 중심의 수질관리는 수질오염 물질 배출이 수환경 용량을 초과하는 경우에는 수질개선에 한계가 있다 (환경부, 2000). 특히, 오염자가 정해진 배출기준치를 준수하더라도 동일한 수역에 집중되어 자정능력을 초과하는 오염물을 배출하는 경우에는 공공수역에 설정된 수질기준치를 달성할 수가 없다. 따라서 개별오염원에 대한 규제방식에서 일정한 유역내의 모든 오염원을 관리할 수 있는 유역별 오염총량관리 (total maximum daily loads, TMDL)가 필요하다.

본 연구에서는 소유역에서의 오염총량을 추정하고 평가하기 위하여, 시험유역을 선정하여 수문 및 수질관련 인자의 현장 모니터링을 실시하며, 시험유역의 위성영상 및 수치지형자료를 구축하여 오염총량모의모형인 SWAT 모형을 이용하여 오염총량모의시스템을 개발하고, 보정 및 검정을 실시하여 모형의 적용성을 평가하는 데 목적이 있다. 또한, 소유역별 오염총량의 공간적 분포에 따른 정량적인 비교 평가를 통하여 모형의 응용성을 평가하도록 한다.

## II. 오염총량모의시스템 개발

본 연구에서는 오염총량을 추정하기 위하여, 소유역별 오염총량추정 모형인 SWAT 모형과 원격탐사기법 및 지리정보시스템을 연계한 오염총량모의시스템 (TOLOS)을 개발하였다.

Fig. 1은 TOLOS의 전체적인 구성도를 보여주고 있다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 시험유역

모형의 적용성을 검토하기 위하여 발안저수지 유역의 HP#6 축점의 소유역을 시험유역

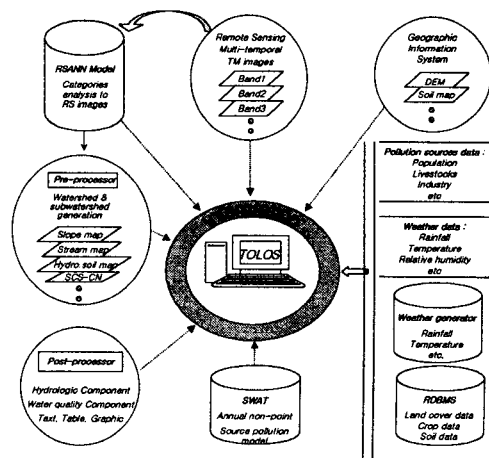


Fig. 1. Conceptual diagram of TOLOS

으로 선정하였다. 발안저수지 유역은 경기도 화성군 발안면과 팔탄면에 위치하고 있으며, 1996년부터 서울대학교 농공학과에서 수문/수질 모니터링을 실시하고 있다.

## 2. 수문 자료

HP#6 측정의 수문자료는 수위, 수위-유량관계, 그리고 유량자료를 수집하였다. 또한, 논의 시기별 관개량과 지하수위를 주기적으로 관측하였다.

## 3. 수질 자료

오염원 자료는 생활계, 축산계, 산업계 등으로 구분하여 해당 기관의 소장 자료와 현지 답사를 통해서 기초자료를 수집하여 정리하였다. 수질 표본의 채취는 월 2회를 기준으로 정기적으로 실시하였고, 시험유역의 L-Q식은 1996년부터 2000년까지 측정된 자료를 이용하였으며 특이치는 제외하였다. 또한, 지하수 및 강수의 수질 변화를 계측하였다.

## 4. 위성영상 분석

최대우도법과 RSANN 모형에 의해 카테고리 분류를 수행하고 각각의 분류 성능을 비교 평가하였다. 오차행렬에 의한 각각의 방법에 대한 분류성능을 평가한 결과, 전체적인 분류 성능을 나타내는 전체의 분류 정확도는 RSANN 모형에 의한 방법이 90%로서 최대우도법의 82.7%보다 높게 나타났다.

## 5. 모형의 보정

SWAT 모형의 보정은 시험유역인 HP#6 소유역에 대하여 1996년~1998년의 자료를 사용하였다. Fig. 2는 보정기간에 대해서 강우량에 따른 증발산량, 토양수분함량, 그리고 유출량의 실측치와 모의치의 변화를 보여주고 있다. Table 1은 최적 매개변수로부터 결측일을 제외한 일별 유사량의 추정 결과를 실측치와 비교하여 나타내고 있다. Table 2는 총질소와 총인의 실측치와 모의치를 비교하여 평가한 결과를 통계적인 변량을 이용하여 나타내고 있다.

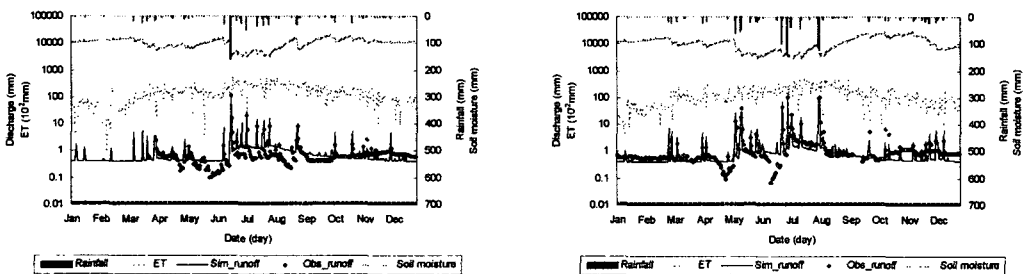


Fig. 2. Observed and simulated runoff at the HP#6 watershed (1996 & 1997)

Table 1. Observed and simulated suspended solids for calibration period

Period	No. of measure (day)	Total period (kg/ha/yr)	Measured period (kg/ha)		RB (%)	a	b	EI	R <sup>2</sup>
			Obs.	Sim.					
1996	274	362.12	217.93	330.70	36.09	6.37	0.74	0.70	0.77
1997	350	753.67	578.56	753.24					
Total	624	1,115.79	796.49	1,083.94					

a-RMSE (kg/ha/day), b-RMAE (kg/ha/day)

Table 2. Observed and simulated TN and TP for calibration period

Item	Period	No. of measure (day)	Total period (kg/ha/yr)	Measured period (kg/ha)		RB (%)	a	b	EI	R <sup>2</sup>
			Sim.	Obs.	Sim.					
TN	1996	274	12.76	19.99	11.13	41.45	0.15	0.69	0.73	0.84
	1997	350	24.23	40.32	24.19					
	Total	624	36.99	60.31	35.32					
TP	1996	274	1.61	1.22	1.38	5.69	0.02	0.62	0.42	0.81
	1997	350	2.77	2.62	2.74					
	Total	624	4.38	3.84	4.12					

a-RMSE (kg/ha/day), b-RMAE (kg/ha/day)

### 6. 모형의 검정

SWAT 모형의 검정은 발안유역의 HP#6 소유역의 1999년과 2000년 자료에 대하여 수행하였다. SWAT 모형의 검정을 위한 유출량의 모의 결과는 Fig. 3에서와 같다. 유사량의 검정 결과는 Table 3과 같으며, 총질소와 총인의 검정 결과는 Table 4에서와 같다.

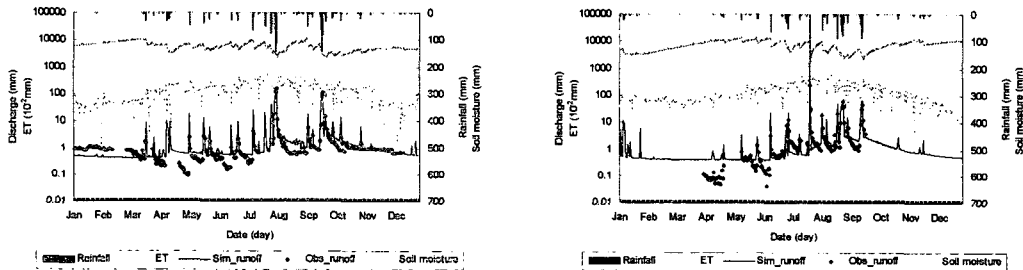


Fig. 3. Observed and simulated runoff at the HP#6 watershed (1999 & 2000)

Table 3. Observed and simulated suspended solids for verification period

Period	No. of measure (day)	Total period (kg/ha/yr)	Measured period (kg/ha)		RB (%)	a	b	EI	R <sup>2</sup>
		Sim.	Obs.	Sim.					
1999	299	1,024.84	802.39	875.18	16.13	10.08	0.59	0.89	0.89
2000	150	1,099.09	829.78	1,020.19					
Total	449	2,122.93	1,632.17	1,895.37					

a-RMSE (kg/ha/day), b-RMAE (kg/ha/day)

Table 4. Observed and simulated TN and TP for verification period

Item	Period	No. of measure (day)	Total period (kg/ha/yr)	Measured period (kg/ha)		RB (%)	a	b	EI	R <sup>2</sup>
			Sim.	Obs.	Sim.					
TN	1999	299	29.62	36.39	24.38	16.13	10.08	0.59	0.89	0.85
	2000	150	30.34	30.95	27.11					
	Total	449	59.97	67.34	51.49					
TP	1999	299	3.49	2.45	3.00	25.30	0.04	0.67	0.19	0.85
	2000	150	3.58	2.19	2.84					
	Total	449	7.07	4.64	5.84					

a-RMSE (kg/ha/day), b-RMAE (kg/ha/day)

## 7. 모형의 응용

Fig. 4와 Fig. 5는 소유역별 총질소와 총인 부하량의 분포를 보여주고 있다. Fig. 6은 2000년의 총질소와 총인의 소유역별 삭감부하량 할당량을 공간적으로 나타내고 있다.

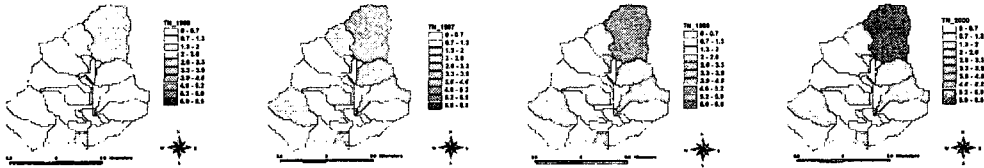


Fig. 4. TN loading from subwatersheds

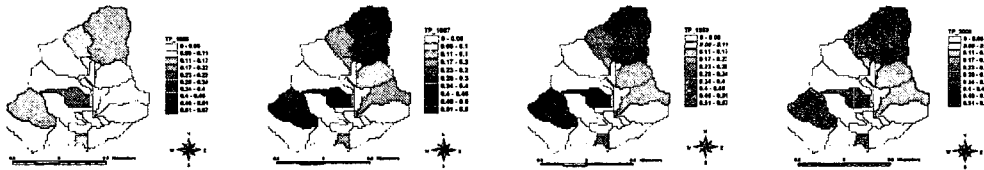


Fig. 5. TP loading from subwatersheds

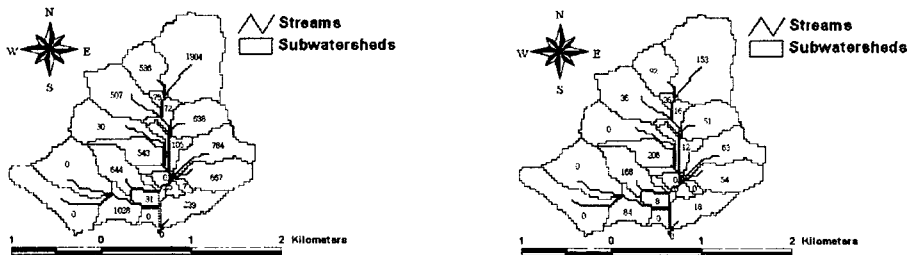


Fig. 6. Spatial variations of TN & TP allocation loading for subwatersheds (Unit; kg)

## IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 시험유역인 발안유역의 HP#6 소유역에 대하여 유역의 수문 및 수질관련 인자의 현장 모니터링을 수행하였고, 오염총량모의시스템을 개발하였으며, 모형의 보정 및 검정을 실시하여 모형의 적용성 및 응용성을 평가하였다.

## V. 참고문헌

1. 강문성, 2002. 인공신경망 원격탐사기법과 비점오염모형을 이용한 오염총량모의시스템 개발, 서울대학교 박사학위논문.
2. 강문성, 박승우, 2000. 다시기 위성영상을 이용한 소유역의 토지피복변화 평가, 한국농촌계획학회지, 6(2): 50-58.
3. 강문성, 박승우, 2001. 인공신경망이론을 이용한 소유역에서의 장기 유출 해석, 한국농공학회지, 제43권 제2호, pp. 69-77.