

AGNPS 모형을 이용한 농경지 관리대안에 따른 비점오염 저감효과 분석

Assessing Impact of Non-Point Source Pollution by Management Alternatives on Arable Land using AGNPS Model

이은정*, 김학관**, 박승우***

Eun Jeong Lee-Hak Kwan Kim-Seung Woo Park

Abstract

The objectives of the paper were to identify appropriate best management practices (BMPs) for reducing nonpoint source (NPS) pollutant loadings and to simulate the effects of the application of the several BMP scenarios on the study watershed using Agricultural Nonpoint Source (AGNPS) model.

AGNPS model was calibrated and validated for runoff, sediment yield, and nutrient components using the observed hydrologic and water quality data. The simulated runoff, sediment, and nutrient components were well agreed with observed data. The validated AGNPS was applied to estimate the NPS pollution removal efficiency for BMP scenarios which were selected considering the pollutant characteristics of the study watershed.

Keywords : Management alternatives, BMPs, Nonpoint source pollution, AGNPS, USLE

1. 서 론

비점오염은 빗물과 함께 지표면을 따라 흐르므로 발생지점이 분명하지 않으며, 초기 빗물에는 오염도가 높지 만 나중에는 농도가 떨어지고, 수질처리를 하기 위해 한 곳으로 모으기가 매우 어려운 특성이 있다. 따라서 관리가 어렵고, 관리를 한다 해도 일정한 처리효과를 얻기 위해 장시간이 소요되며, 또한 강우시에 유입량이 크게 변동되어 일정한 처리효율을 얻기가 힘든 단점이 있어 수질관리 정책의 측면에서나 학문연구에서도 많은 어려움이 있다(김진택, 1995; 환경관리공단, 2004).

최적관리기법(Best Management Practices, BMPs)은 이러한 비점오염 문제를 해결하는 방법 중 하나로, 비점오염의 발생 및 유출을 최소화하는데 적합한 유·무형의 방법을 뜻한다. BMPs 적용에 따른 유역의 비점오염 조절능력을 평가하기 위한 가장 이상적인 방법은 광범위한 모니터링 시스템을 구축하는 것이다, 대부분의 유역에서 이는 비경제성으로 인해 현실성이 부족하다(Mostaghimi et al., 1997).

그러나 토양 및 영양물질 유실 잠재지역의 위치를 규명하고, 정량적 분석을 통하여 잠재 오염 발생량의 감소를 유도하며, 비점오염으로부터 수질을 보호하고 지역특성에 맞는 효과적인 BMPs 적용을 위해서는 여러 가지 적용 가능한 BMPs의 효과를 비교·분석하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 시험유역에 대해 수집한 자료와 ARC/INFO-AGNPS 모형을 이용하여 시험유역에 대한 모형의 적용성을 평가하였다. 그리고 여러 가지 BMPs 중 시험유역에 적용 가능한 관리대안을 선정하고, 각 관리대안에 따른 비점오염의 저감효과를 분석하였다.

* 정회원·서울대학교 농업생명과학연구원 E-mail : tweety45@snu.ac.kr

** 정회원·서울대학교 농업생명과학대학 지역시스템공학과 박사수료 E-mail : kwans2@snu.ac.kr

*** 정회원·서울대학교 농업생명과학대학 지역시스템공학과 교수, 농업생명과학연구원 겸임연구원 E-mail : swpark@snu.ac.kr

2. 모형의 적용

1. 시험유역

AGNPS 모형을 이용하여 BMPs에 따른 비점 오염의 저감효과를 분석하기 위해 전라북도 새만금유역 내에 위치한 M-04 표준유역을 선정하고, 모형의 보정과 검증을 위해 M-04 유역 소양천 하류부에 위치하고 있는 제2소양교를 유역 출구로 하여 시험유역을 선정하였다(Fig. 1). 시험유역의 유역면적은 127.35 km²로 산림이 70.5%, 농경지가 14.5% 차지하고 있다.

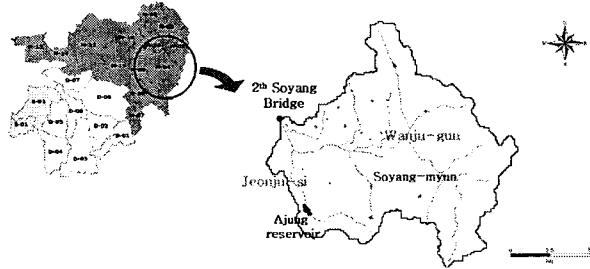


Fig. 1 Soyang study watershed

2. 자료구축

1) 수문자료

AGNPS 모형의 입력변수 중 강우사상별 강우량과 강우가식성인자(EI₃₀) 등은 시험유역에 가장 인접해 있는 전주기상대에서 관측하여 제공되는 1시간 단위 강우량자료를 이용하여 구축하였다. Wischmeier의 강우사상 분류방법에 따라 2000년 ~ 2006년 동안의 강우사상을 추출해내고, 강문성 등(2003)의 연구결과를 이용하여 EI₃₀을 산정하였다.

Fig. 2는 영산강홍수통제소에서 측정한 제2소양교 지점에서의 2002년 ~ 2004년까지의 30분 수위자료를 강우량과 함께 도시한 것이다. 소양지점에서의 수위-유량 관계곡선식은 한국농촌공사에서 측정한 유출량 자료를 바탕으로 유도하였으며, Fig. 3은 유도된 수위-유량 관계곡선식을 이용하여 산정된 유출량 자료를 나타낸다.

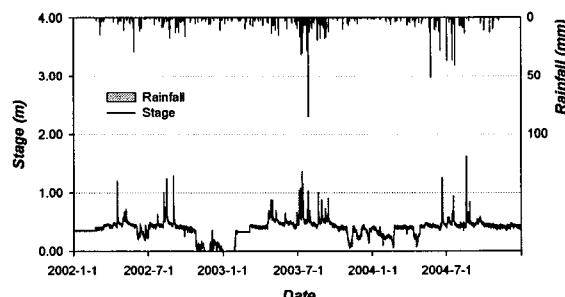


Fig. 2 Streamflow stage at the Soyang station

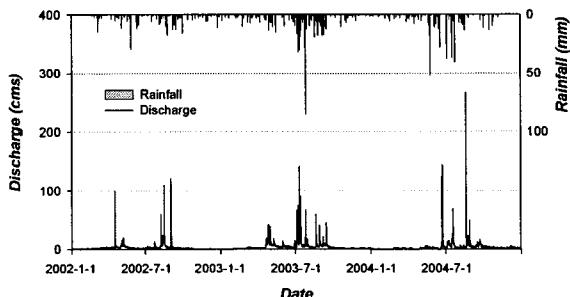


Fig. 3 Streamflow hydrograph at the Soyang station

2) 수질자료

수질자료는 농어촌연구원에서 구축한 소양지점의 수질자료와 환경부에서 제공하는 월별 수질자료를 이용하여 구축하였다. 수집한 자료를 확장하여 강우사상별 부하량 자료를 구축하기 위해 2002년 ~ 2004년까지의 수질조사 자료를 이용하여 SS와 TN, TP에 대해 유량-부하량 관계곡선식을 유도하였다. Fig. 4 ~ Fig. 6은 유도된 수질 항목별 유량-부하량 관계를 보여주고 있다.

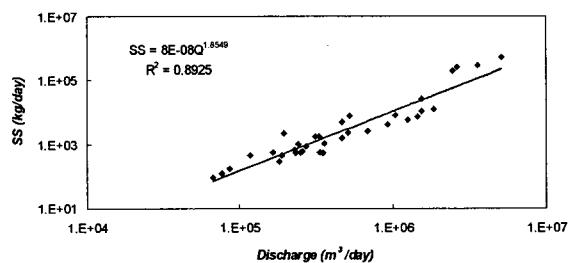


Fig. 4 Load-discharge relationship at the Soyang station (SS)

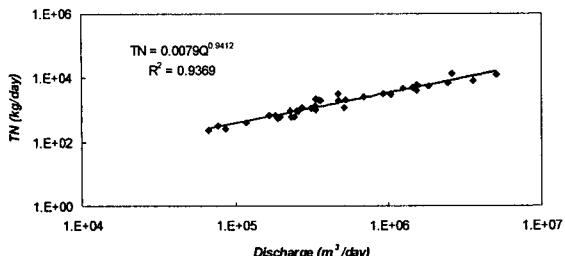


Fig. 5 Load-discharge relationship at the Soyang station (TN)

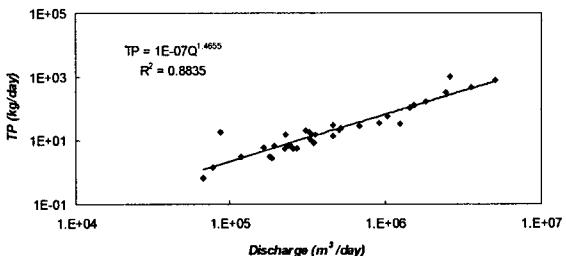


Fig. 6 Load-discharge relationship at the Soyang station (TP)

3) 기타자료

오염원자료는 전북통계정보시스템으로부터 수집하여 사용하였다. 토지이용도는 환경부에서 제공하는 중분류 토지피복도를 사용하였으며, USLE와 관련한 인자, 수문학적 토양군도, 토성 등은 1:25,000 수치지도, 농촌진흥청의 1:25,000 정밀토양도와 전국 290개 토양통의 특성자료를 이용하여 구축하였다.

3. 모형의 보정

본 연구에서는 2002년과 2004년 강우사상에 대하여 모형의 보정을 실시하였다. 모형보정의 목적함수로서 결정계수(R^2) RMAE, 효율지수(E), 일치지수(d)를 이용하였다. 유출량, 침투유량, SS, TN, TP에 대해 모형의 보정을 실시한 결과, 각 항목별 R^2 가 각각 0.89, 0.85, 0.39, 0.77, 0.72 수준으로 모의치가 실측치의 경향을 따르도록 하여 모형의 보정을 실시하였다(Table 1). Fig. 7 ~ Fig. 11은 모형의 보정 결과를 나타낸다.

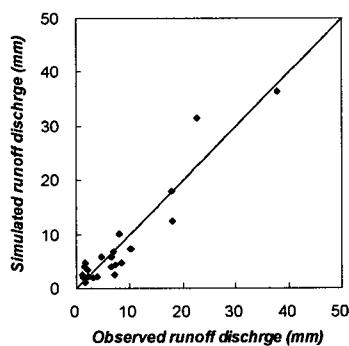


Fig. 7 Observed and simulated runoff discharge at the Soyang watershed

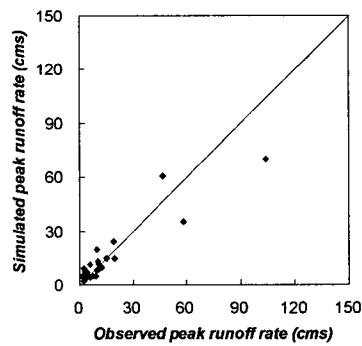


Fig. 8 Observed and modified peak runoff rate at the Soyang watershed

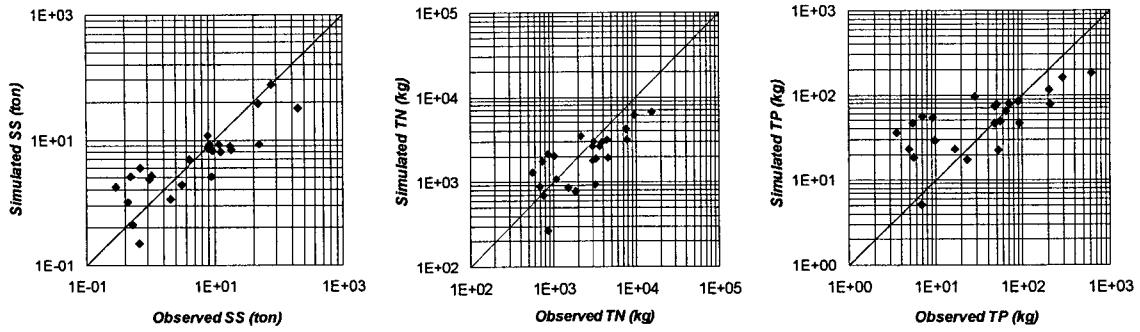


Fig. 9 Observed and simulated SS at the Soyang watershed

Fig. 10 Observed and simulated TN at the Soyang watershed

Fig. 11 Observed and simulated TP at the Soyang watershed

4. 모형의 검증

Fig. 12 ~ Fig. 16은 소양유역의 2003년 자료에 대한 유출량, 첨두유량, SS, TN, TP에 대한 모형의 모의치와 실측치를 보여주고 있다. 모형의 검증 결과, 유출량과 첨두유량의 결정계수는 0.85, 0.83으로 나타났고, 유사량은 0.68, 총질소는 0.78, 그리고 총인은 0.69로 나타났다(Table 2).

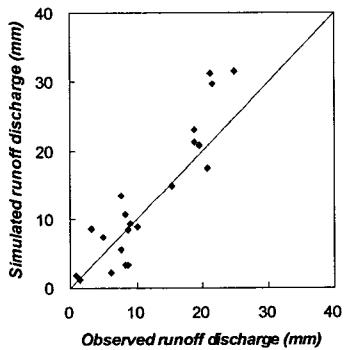


Fig. 12 Observed and simulated runoff discharge at the Soyang watershed

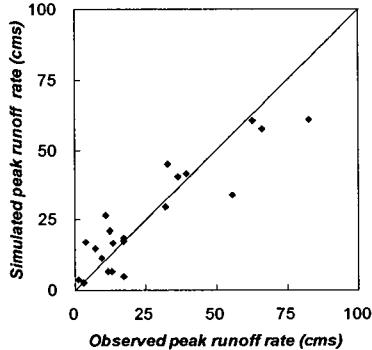


Fig. 13 Observed and simulated peak runoff rate at the Soyang watershed

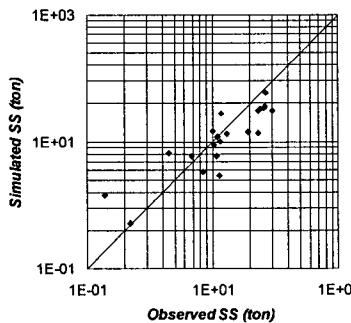


Fig. 14 Observed and simulated suspended solids at the Soyang watershed

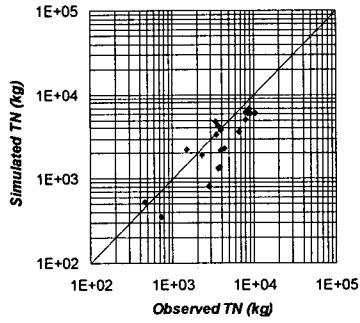


Fig. 15 Observed and simulated TN at the Soyang watershed

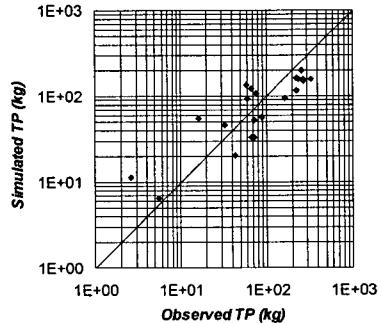


Fig. 16 Observed and simulated TP at the Soyang watershed

Table 1 Calibrated results from AGNPS model simulation at the Soyang watershed

Item	RMAE	E	d	R^2
Runoff discharge (mm)	0.27	0.88	0.97	0.8884
Peak runoff rate (cms)	0.37	0.82	0.94	0.8547
SS (ton)	0.56	0.28	0.59	0.3908
TN (kg)	0.46	0.48	0.76	0.7664
TP (kg)	0.61	0.42	0.66	0.7157

Table 2 Verified results from AGNPS model simulation at the Soyang watershed

Item	RMAE	E	d	R^2
Runoff discharge (mm)	0.29	0.62	0.93	0.8450
Peak runoff rate (cms)	0.28	0.82	0.94	0.8263
SS (ton)	0.49	0.42	0.77	0.6803
TN (kg)	0.34	0.50	0.84	0.7785
TP (kg)	0.45	0.53	0.80	0.6930

3. 결과 및 결론

1. 시험유역 BMPs 시나리오

시험유역은 산림이 우세한 지역이지만 하천본류를 따라 농경지가 넓게 발달해 있고, 유역 상류 급경사지에 나지가 위치하고 있어 이곳에서의 비점오염 부하량이 큰 것으로 판단된다. Table 3은 이러한 원인을 바탕으로 구성된 시험유역에 적용 가능한 BMPs 시나리오를 나타낸다. 나지로부터의 과도한 토양유실을 제어하기 위하여 유역 상류에 위치하고 있는 나지의 피복상태를 초자로 개선하는 경우(Scenario I), 하천변에 인접하고 있는 농경지로부터의 오염부하량을 저감하기 위해 하천에 인접해 있는 약 2.6 km² 면적의 논의 농배수로를 식생수로(grass waterway)로 개선하는 경우(Scenario II), 앞서 언급한 지역에 저류지(detention pond)를 설치하는 경우(Scenario III), 유역 내 전체 논의 시비량을 10 % ~ 30 % 단계적으로 절감한 경우(Scenario IV-1 ~ IV-3), 그리고 Scenario I과 Scenario IV-3의 복합 시나리오로써 유역 상류에 위치한 나지의 피복상태를 초자로 개선하고 전체 논의 시비량을 30 % 절감하는 경우(Scenario V)로 구분하였다.

2. BMPs 적용에 따른 비점오염 저감효과 분석

구성된 시나리오에 따른 시험유역의 비점오염 저감효과를 살펴보기 위해, 2000년 ~ 2001년, 2005년 ~ 2006년까지 4개년의 총 100개 강우사상 자료를 이용하여 각 시나리오별로 AGNPS 모형을 구동하였다. Fig. 17은 시나리오에 따른 SS, TN, TP의 저감효율을 나타낸다.

Table 3 BMP scenarios simulated

Scenario	Description
I	Converting landuse system - bare ground located in high-elevated areas to grass
II	Improvement of agricultural drainage channel to grass waterway
III	Detention pond installed
IV-1	10 % reduction of fertilizer on all paddy field
IV-2	20 % reduction of fertilizer on all paddy field
IV-3	30 % reduction of fertilizer on all paddy field
V	Converting to grass from bare ground, plus 30 % reduction of fertilizer on all paddy field

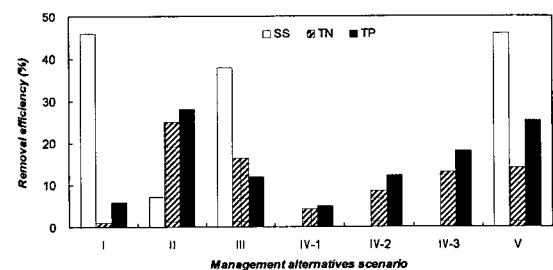


Fig. 17 Mean removal efficiency of nonpoint source pollution according to scenarios at the Soyang watershed

감 사 의 글

본 연구는 농림부 농립기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임

참 고 문 헌

1. 강문성, 박승우, 임상준, 김학관, 2003. RUSLE을 위한 반월 주기 강우가식성인자 산정, 한국농공학회논문집 45(3):29-40.
2. 김진택, 1995. 농업 비점원 오염모형을 위한 지리자원정보시스템 호환모형의 개발 및 적용, 서울대학교 박사학위논문.
3. 전북통계정보시스템, <http://stat.provin.jeonbuk.kr>
4. 환경관리공단, 2004. 금강수계 비점오염원 관리방안 마련을 위한 조사사업.
5. Mostaghimi, S., S. W. Park, R. A. Cooke and S. Y. Wang, 1997. Assessment of management alternatives on a small agricultural watershed, Water Resources 31(8):1867-1878.