

계분살포시 수질자료를 이용한 GLEAMS 영양물질 부모형 평가

Evaluation of GLEAMS nutrient submodel to predict nutrient losses from land application of poultry litter

윤광식 (공주대)

Yoon, Kwang Sik

Abstract.

The GLEAMS nutrient submodel was evaluated to predict nutrient losses in surface runoff following application of two rates (9 and 18 t/ha) of poultry litter and a recommended rate of commercial fertilizer on corn plots. Nutrient submodel was evaluated with calibrated runoff and sediment losses to the observed field data. Simulation of nitrogen transformation effects on nitrogen losses in surface runoff did not agree with field data. The model simulated higher $\text{NH}_4\text{-N}$ than $\text{NO}_3\text{-N}$ losses in surface runoff, while field data showed the opposite.

I. 서론

가축분뇨를 사용하거나 처리하는데 적절한 관리기법을 규명하거나 수질영향을 평가하는데 있어 수학적 모의모형은 중요한 도구이다. 그러나 대부분의 모형은 너무나 간단하거나 중요한 과정을 무시하거나 지표화 성분은 빠뜨리고 있다. 그리고 토양에 뿌려진 축산폐기물의 성분중 인의 생화학적 변환과정을 다루는 모델은 거의 없다. GLEAMS 모형은 포장에 축산폐기물 등의 유기질 비료 처리시 지표유출과 지하수로의 질소와 인의 이동, 변환, 손실을 모의발생할 수 있는 기능을 가지고 있다. 하지만, 모형의 거동을 실측값의 비교 평가한 연구는 흔치않다. 본 논문에서는 포장에 두개의 적용비율의(9, 18 t/ha) 계분과 공업비료를 시비했을 때 지표유출에 의한 질소와 인의 손실을 유출과 유사량을 보정한 뒤 GLEAMS 모형이 모의발생 하는바를 살펴 피는데 그 목적이 있다.

II. GLEAMS 모형 소개

GLEAMS는 수문, 침식, 유사량, 영양물질과 농약의 지표 및 지하수로 이동등을 모의발생하는 포장단위의 수질모형이다. 영양물질의 모의요소는 질소(N)와 인(P)을 다루고 있다. 영양물질 부모형은 질소와 인의 생화학적 변형과정을 포함하고 있으며 또한 포장과 토층에서의 질소와 인의 유실경로를 고려하고 있다. 질소의 순환 과정의 ammonification (암모니아화), nitrification(질화), denitrification(탈질), uptake(흡수), fixation(고정), leaching(용탈)을 포함하고 있으며 토양내 인의 유출입 과정에서는 mineralization(무기화), uptake(흡수), leaching(용탈)을 포함하고 있다. 질소의 무기화는 두단계의 과정으로 다루고 있으며 유기질소의 암모니아화와 암모니아태 질소의 질화과정이다

축산 폐기물에 포함된 유기태 질소와 인은 토양내 질소, 인보다 높은 비율로 무기화하기 때

문에 무기화를 위한 적절한 질소와 인의 pool을 설정함으로써 GLEAMS 모형은 가축분뇨의 토지처리를 모의발생한다. 작물에 의한 질소흡수과정을 예측하는데는 EPIC모형의 과정을 이용하였다(Sharpley and Williams, 1990). 영양물질 부모델의 인의 생화학적 변환 모의요소는 EPIC 모형에서 사용된 Jones et al.(1984)과 Sharpley et al. (1984) 등에 의해 개발된 과정과 유사하다. 지표유출시 질소와 인의 토양수로부터 추출은 분배계수, 추출법, 지표토양층의 추출 가능한 농도 등에 의해 결정된다.

III. 포장실험

포장실험은 공업비료 사용시 발생하는 영양물질 손실에 상응하는 적정 계분 토지처리량 결정을 위해 1991년 3월부터 1993년 4월까지 계분과 상업용비료의 지표유출과 지표하 용탈로 인한 영양물질(N, P)의 유실정도를 연구하기 위해 실시되었다. 미국 Alabama 주의 농업연구소 내의 12개의 0.1ha의 포장에 옥수수를 심어 실험하였다. 수확후에는 겨울 피복작물로 호밀이 심어졌다. 실험설계는 randomized block을 시행하였다. 시비처리는 (1)공업비료(CF) (450kg/ha의 ammonium nitrate, 112kg/ha triple superphosphate), (2) 18t/ha의 계분(PL18) (3) 9t/ha의 계분 (PL9) 이었다. 각 처리는 각각 4 개의 포장에 적용되었다. 토지처리에 이용된계분의 성분 분석 결과는 표 1 과 같다. 실험지역의 토양은 Decatur Silty Clay이며 이 토양은 USDA SCS 수문학적 토양그룹 B로 분류된다.

강우는 0.254mm센스가 부착된 tipping bucket rain gauge 이용 측정하였다. 바람과 태양복사량, 기온, 상대습도, 토양온도, 증발량등이 측정되고 datalogger에 의해 기록되었다. 유출수문곡선을 결정하기 위해 0.305m H-flume이 이용되었다. 지표유출수 sampling을 위해 N-1 Coshocton runoff sampler 와 저류탱크가 사용되었다. 유출표본은 즉시 냉동되고 저장되어 Auburn 대학의 분석연구실로 보내졌다. 토양표면 1m 아래의 삼출수가 2주에 한 번씩 sampling 되었다. 삼출액을 sampling하기위해 wick lysimeter가 설치되었다.

지표유출에서 soluble and sediment N, P는 여과된 sample과 여과되지 않은 sample 에서 분석되었다. Kjeldahl 방법과 ICAP(Inductively Coupled Argon Plasma Spectrometer 9000) 방법이 영양물질의 분석을 위해 사용되었다. LACHAT QuickChem AE auto-analyzer가 용출액과 soil core sample 속의 질산태 질소 농도를 결정하기 위해 사용되었다.

표 1. 살포된 계분의 성분

Properties	1991	1992
Moisture, %	24.9	5.7
pH	8.5	7.0
Total C, %	25.0	33.7
Total N, %	2.6	4.4
NO3-N, mg/kg	12.0	363.5
NH4-N, mg/kg	6652.0	5898.0
Total P, %	1.48	3.4
K, %	1.95	4.8
Ca %	1.95	4.5

IV. 포장 실험결과

표 2 는 연구기간동안의 시비종류에 따른 총유출과 총유사량과 총영양물질의 유실의 평균 과 표준편차를 나타낸다. SAS의 GLM(General Linear Model)통계 분석과정을 이용한 분석결과는 유출과 유사량과 토사에 흡착된 인의 유실은 계분과 공업용 비료의 처리간 통계적 유의성이 보이지 않음을 보여주고 있다. 하지만, 암모니아태질소, 유기태질소, 용해성 인의 손실은 18t/ha 계분을 처리한 포장들 (PL18) 가장 높은 값을 나타내고 있다. 이들은 공업비료(CF)와 9 t/ha 계분을 처리한 포장 (PL9) 사이에는 차이가 없는 것으로 나타났다. CF와 PL18 포장으로부터의 질산태질소와 무기질소의 손실은 PL9 포장에서 보다 높은 것으로 나타난다. 포장자료는 9t/ha 계분 살포시 공업비료 시비 보다 수질오염을 가져오지 않음을 나타내준다.

표 2. 조사기간 각 처리간 총유출, 총유사량, 총영양물질 손실 평균 과 표준편차 (괄호 안)

	PL18	PL9	CF
Runoff,mm	293.5 a (62.6)	249.8 a (109.7)	254.4 a (58.4)
Sediment, kg/ha	1671.7 a (1172.3)	923.3 a (462.6)	804.6 a (403.3)
NO3-N, kg/ha	9.2 a (3.5)	4.5 b (1.9)	10.6 a (2.8)
NH4-N, kg/ha	5.1 b (0.9)	1.8 a (0.8)	2.4 a (0.4)
Inorganic-N, kg/ha	14.3 a (4.2)	6.4 b (2.7)	13.0 a (3.1)
Organic-N, kg/ha	6.2 b (2.0)	3.4 a (1.4)	2.3 a (1.2)
Soluble-P, kg/ha	1.4 b (0.55)	0.41 a (0.19)	0.13 a (0.04)
Sediment-P, kg/ha	1.5 a (0.43)	1.1 a (0.76)	0.8 a (0.17)

*평균값 옆에 쓰인 알파벳이 같은 경우 통계적 유의성이 없음.

연구기간의 강우분포를 보면 몇 개의 큰 강우가 1991년 시비후(3월부터 5월)에 일어났다. 결과된 높은 유출과 유사량은 포장으로부터의 영양물질 유실에 영향을 미쳤다. 1991년 3월에 관측된 계분 포장에서의 질산태 질소의 유실은 공업비료 포장보다 작게 나타났다(그림 1). 암모니아태 질소손실은 그 반대 경향을 보이고 있다 (그림 2). 이는 계분과 공업용 비료 사이의 질소혼합물의 초기상태가 다르기 때문에 적용직후에 지표유출이 발생했을 때 암모니아태 질소의 농도는 계분 포장에서 상대적으로 높게 나타나고 질산태 질소의 농도는 공업비료가 시비된 포장에서 높게 나타난 것으로 보인다. 포장자료는 1991년 4월 계분 포장의 질산태 질소의 유실

이 암모니아태 질소보다 큼을 보여주고 있다. 이것은 계분내 다량의 암모니아태 질소가 질산태 질소로 전환되었음을 보여준다.

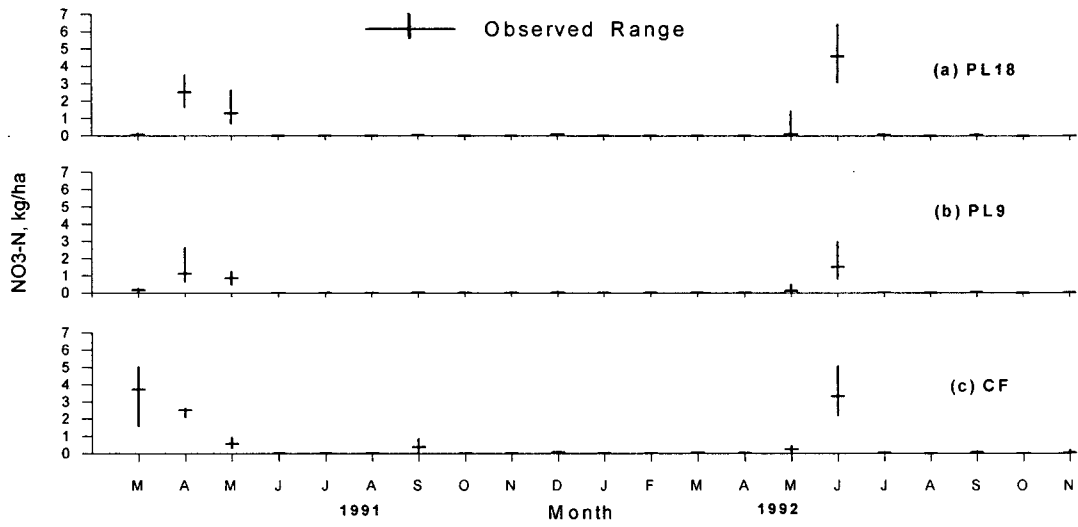


그림 1. 관측된 (범위와 최빈값) 월별 지표유출 질산태 질소 손실

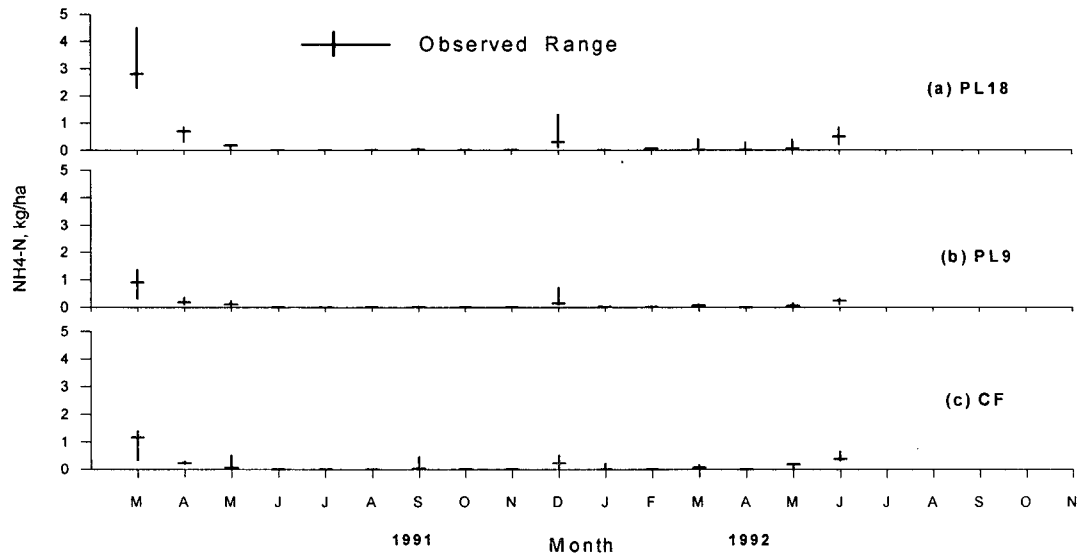


그림 2. 관측된 (범위와 최빈값) 월별 지표유출 암모니아태 질소 손실

V. GLEAMS 모형 모의발생 결과

GLEAMS 이용시 실측자료가 없는 변수 추정은 GLEAMS 사용자 manual (Knisel 등, 1993)에서 제시된 값을 사용하였다. 일일강우, 일일 기온, 월 태양복사량의 기상자료가 연구지역에서 얻어졌다. 겨울호밀과 옥수수의 LAI(Leaf Area Index)로 모형 기본값이 수문입력자료로 사용되었고 겨울호밀과 옥수수의 근근역의 깊이는 1.0 m로 선택되었다.

토양침식을 계산하기 위해 필요한 변수는 강우 USDA handbook에서 선택되었다 (Wischmeier and smith, 1978). 근근역 1.0m는 토성과 토양 속의 초기 영양물질 농도에 따라 4 개의 토양층으로 나누어 자료를 입력하였다. 각층의 토양조직과 유기물질 함량은 포장자료에서 얻어졌다. 포화수리통수능, 간극률, 위조점 등의 다른 토양특성은 사용자 manual에서 선택되었다. 이미 발표된 저자의 논문 (Yoon등, 1994)에서는 보통 모형이용자들이 모형에서 제시된 변수들을 사용하여 모의발생할 경우를 가정하여 GLEAMS 모의발생 결과를 분석 평가하였다. 모의발생된 유출량과 토양침식량을 관측치를 이용하여 보정하지 않고 영양물질 손실을 모의 발생하였을 때 모의발생치는 관측치와는 상당히 차이가 나는 경향을 보여주었다. 이번에는 유출량과 유사손실량을 관측치에 근접하게 각 변수들을 보정한다음 GLEAMS 모형의 영양물질 부모형만 단독으로 평가하는것이 이논문의 목적이다. 관측된 유출량과 유사량 손실도 각처리간 포장들의 값도 상당한 편차를 보이기에 관측치의 최빈값에 모의 발생치가 근접하도록 매개변수를 선정하였다. 따라서 18t/ha 계분 포장, 9t/ha 계분포장, 공업비료 시비포장 의 Curve Number는 각각 91, 90, 88이 쓰였다. 유사량 보정을 위해 USLE의 Crop factor등을 조정하였다. 현재모형은 전기간을 통해 하나의 Curve Number를 쓰기에 연구기간 전체를 대상으로 유출량을 보정하기에 어려운점이 있어서 영양물질 손실이 많았던 1991년 3월부터 5월까지를 대상으로 영양물질 부모형의 거동을 살펴보았다.

표 3, 4, 5 는 각 처리 포장에서 관측된 (최대, 최소와 최빈값)값과 GLEAMS에 의해 모의발생된 월별 영양물질 손실을 보여주고 있다. 유출량과 유사손실량이 관측치에 가깝게 보정되었지만 영양물질 손실 모의발생 결과는 만족스럽지 않았다. 계분과 공업비료가 시비된 1991년 3월 계분포장으로부터 암모니아태 질소 손실이 질산태 질소 보다 큰 경향은 보여주었으나 4월 이후 질산태 질소 손실이 암모니아태 질소 손실이 큰 경향은 나타내지 못하였다. 또한 공업비료가 시비된 포장에서는 질산태 질소 손실이 암모니아태 질소 손실보다 큰데 이를 나타내지 못하였다. 현재 모형의 질소변환 과정이나 질산태 질소의 지표수로의 추출 과정이 실험포장의 조건과는 차이가 있는 것으로 사료된다. 모의 발생된 인의 손실도 관측치와는 상당한 차이가 있었다.

표 3. 18t/ha 계분 포장에서 관측된 (최대, 최소와 최빈값)값과 GLEAMS에 의해 모의발생된 (after calibration) 월별 영양물질 손실

	3 월				4 월				5 월			
	Max	Min	Median	Sim	Max	Min	Median	Sim	Max	Min	Median	Sim
Runoff NO3-N	0.13	0.03	0.07	0.46	3.49	1.65	2.5	0.51	2.6	0.7	1.3	0.52
Runoff NH4-N	4.5	2.3	2.8	9.88	0.84	0.32	0.7	7.43	0.2	0.06	0.18	5.34
Runoff PO4-P	0.49	0.03	0.21	0.06	0.75	0.01	0.095	0.44	0.16	0	0.058	0.69
Sediment PO4-P	0.77	0.42	0.51	0.03	0.35	0.17	0.26	0.02	0.35	0.14	0.24	0.015

표 4. 9t/ha 계분 포장에서 관측된 (최대, 최소와 최빈값)값과 GLEAMS에 의해 모의발생된 (after calibration) 월별 영양물질 손실

	3 월				4월				5 월			
	Max	Min	Median	Sim	Max	Min	Median	Sim	Max	Min	Median	Sim
Runoff NO3-N	0.24	0.02	0.155	0.42	2.62	0.64	1.11	0.48	1.24	0.47	0.85	0.47
Runoff NH4-N	1.36	0.31	0.9	4.5	0.34	0.1	0.17	4.7	0.22	0.06	0.09	1.16
Runoff PO4-P	0.07	0.01	0.02	0.03	0.34	0.01	0.09	0.3	0.28	0	0	0.31
Sediment PO4-P	0.27	0.09	0.22	0.01	0.31	0.05	0.18	0.02	1.22	0.12	0.21	0.004

표 5. 공업비료 시비 포장에서 관측된 (최대, 최소와 최빈값)값과 GLEAMS에 의해 모의발생된 (after calibration) 월별 영양물질 손실

	3 월				4 월				5 월			
	Max	Min	Median	Sim	Max	Min	Median	Sim	Max	Min	Median	Sim
Runoff NO3-N	5.0	1.6	3.7	0.37	2.6	2.1	2.5	0.38	0.9	0.3	0.55	0.38
Runoff NH4-N	1.39	0.34	1.16	0.72	0.29	0.2	0.22	0.45	0.08	0.05	0.06	0.036
Runoff PO4-P	0.002	0	0	0.026	0.07	0.002	0.008	0.03	0	0	0	0.030
Sediment PO4-P	0.18	0.13	0.16	0.002	0.20	0.06	0.14	0.002	0.25	0.09	0.16	0.0001

VI. 요약 및 결론

GLEAMS 수질모형을 이용하여 계분(9, 18 t/ha)과 공업용비료를 사용했을 때 지표유출에 의한 영양물질(N, P)손실을 예측하였다. 영양물질 부모형의 거동을 살펴기위해 유출량과 유수량 모의발생치는 현장자료에 근접하도록 매개변수를 보정하였다.

GLEAMS 모의 발생결과 질소변환이 질소의 손실에 미치는 영향이 관측자료의 경향처럼 재현되지 않았다. 일부 현장자료에서는 지표유출에서 질산태 질소가 암모니아태 질소보다 높게 나타나지만, 모의발생치는 반대의 결과를 보였다. 특히, 계분포장에서의 암모니아태 질소 손실을 과도하게 모의발생하는 경향을 보였다. 지표유출에서의 soluble P, sediment P의 손실또한 현장자료와 상당한 차이를 보여주었다.

VII. 참고문헌

Yoon, K.S., K.H.Yoo, C.W. Wood. 1994. Application of GLEAMS to predict nutrient losses from land application of poultry litter. Transactions of the ASAE 37(2):453-459