

논에서의 영양물질 배출량 추정 (II) - 모형의 적용 -

Prediction of Nutrient Loading from Paddy Fields (II) - Model Application -

김 현 수* · 정 상 옥** · 김 진 수*** · 오 승 영***

Kim, Hyeon Soo · Chung, Sang Ok · Kim, Jin Soo · Oh, Seung Young

Abstract

The objective of this study was to evaluate the GLEAMS-PADDY model by applying it to estimate nutrients loading from paddy-field areas.

Field data from Soro region of Chungbuk province during May to September 1999 were used for model application. Field data collected include the amounts of rainfall, irrigation water, drainage water, ET, and percolation in hydrology part. T-N and T-P concentrations in the rain water, irrigation water, ponded water, drainage water and percolated water were measured.

The comparisons of observed and simulated water balance components and nutrient concentrations showed reasonably good agreements and the GLEAMS-PADDY model may be used to simulate nutrients loading from paddy fields.

Futher research was suggested to include the erosion submodel in the GLEAMS-PADDY model to better simulate the nutrient behavior. In addition, the pesticide submodel also recommended to be included in order to simulate the various pesticide applied in paddy fields.

Keywords : Nutrients concentration, Nutrients loading, GLEAMS-PADDY model, Simulation, T-N, T-P

I. 서 론

농경지로부터의 배수에 포함된 영양물질 유출은 하천과 저수지의 환경 변화에 큰 영향을 미친다. 고농도의 질소와 인에 의한 부영양화는 조류(藻類)의 성장을 증가시키고 용존산소를 고갈시킨다. 영농과 경제적 관점에서 보면 영양물질 유실은 작물 생산 시스템의 효율성 감소를 뜻한다. 특히, 질산성

* 농업기반공사 농이촌연구원
** 경북대학교 농과대학
*** 충북대학교 농과대학
* Corresponding author. Tel.: +82-31-400-1764
fax: +82-31-409-6055
E-mail address: kimhs@karico.co.kr

질소는 음용수를 오염시킬 수 있기 때문에 인간과 동물의 건강과도 관계되며, 10 mg/l 를 초과하는 농도는 유아에게 해로울 수 있다.

우리나라 벼 1모작의 경우 평균 비료사용량은 질소는 15.9 kg/10a로 기준시비량 11.0 kg/10a보다 4.9 kg/10a 과다하게 사용되고, 인산은 7.8 kg/10a로 기준시비량 4.8 kg/10a보다 3.0 kg/10a가 과다하게 사용되고 있는 것으로 나타났다. 이러한 과비 현상은 1960년 후반 정부가 토양의 비옥도를 높이기 위하여 화학비료, 자급비료(퇴비, 두엄 등)를 많이 사용토록 권장하였고, 70년대에는 양분의 요구도가 높은 통일벼 등장으로 다비가 권장되었으며, 일단 최고 수량을 설정하고 이에 맞추어 비료를 주는 다시비 다수확 농법을 보급시켰는데 기인한다. 이로 인해 농가에서는 기준시비량을 훨씬 상회하는 과비풍조가 만연되었으며, 이러한 과비풍조는 농업생산성 향상 욕구와 더불어 최근까지 계속되고 있는 것으로 판단된다.

우리나라의 농지면적은 2000년말 현재 189만 ha로, 이 중 논면적이 115만 ha로 전체 농지면적의 약 61%를 차지하고 있으며, 벼 재배면적은 107만 ha로 논면적의 93%를 차지하고 있다. 이와 같이 수도작 위주의 영농을 유지하고 있는 논지대에 적용가능한 비점원오염 부하량 예측을 위한 모형 개발은 최적영농관리기법 개발과 환경농업육성 및 환경보전과 더불어 지속가능한 농업 실현을 위해 우선적으로 요구되는 연구분야라 할 수 있다. 현재 당면하고 있는 과제는 향후 농업이 식량증산과 환경보전이라는 상반되는 목표를 잘 조화시켜 나가는 방안을 찾는 것이라 할 것이다.

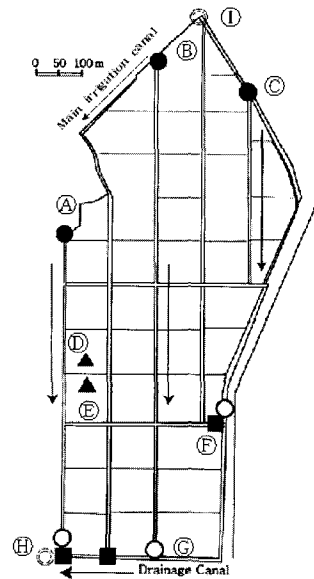
본 연구는 Kim, et al.(2002)³⁾이 개발한 GLEAM-SPADY 모형을 충청북도 청원군 옥산면에 위치한 소로지구의 물수지 및 영양물질 수지 분석에 적용하고 관측치와 모의치를 비교·분석한 후, 논에서의 영양물질 배출부하량 추정에 모형의 적용성을 평가하는데 있다.

II. 포장관측

1. 대상지구

GLEAMS-PADDDY 모형의 적용대상 적지로는 경사가 비교적 완만한 50 ha 이하의 광역논으로, 비교적 같은 종류의 토양과 공간적으로 균일한 강우 특성을 지닌 벼 1모작의 영농지구이다.

본 연구의 현장조사지구는 충청북도 청원군 옥산면에 위치한 소로지구로 구역면적은 50.9 ha, 수혜면적(field scale)은 41.9 ha이다. 표준필지 크기는 100 m×100 m로 용·배수로가 분리된 대구획 경지정리지구로 관개용수 외 외부 유입수가 없는 수도작 영농지구이다. 토성은 자갈 2.0%, 모래 44.6%, 실트 31.9%, 점토 21.5%로 미농무성의 삼각



- : Sampling point of irrigation water at inlets
- : Sampling point of irrigation water at outlets
- : Sampling point of drainage water
- ▲ : Sampling plot of paddy ponded and percolated water
- ◎ : Water level recorder

Fig. 1 Layout and location of the field observation

분류법으로는 양토(loam)에 해당된다. 관개용수는 미호천에서 취수한다.

관측항목은 물수지 분석을 위한 관개량, 배수량, 침투량과 물질수지 분석을 위한 논 표면수, 관개수 및 배수, 침투수의 총질소(T-N), 총인(T-P)농도이다. 관측기간은 이앙이 본격적으로 시작된 1999년 5월 5일부터 수확을 위한 낙수가 시작된 9월 10일까지 129일 동안이며, 5월~10일 간격으로 이루어졌다.

관개량과 배수량은 대상지구 입구의 간선용수로와 말단배수로(Fig. 1의 ①, ②)에 압력수위계를 설치하여 전체포장의 관개량과 배수량을 측정하였으며, 침투량은 지구내 표본필지(Fig. 1의 ③, ④)에 직경 20 cm의 강제 실린더를 논바닥에 약 30 cm 깊이로 박아 관측하였다.

관개수 및 배수의 수질측정은 용수지거 시점 3곳(Fig. 1의 ⑤, ⑥, ⑦)과 배수지거 말단 2곳(Fig. 1의 ⑧, ⑨)에서 이루어졌으며, 논 표면수 및 침투수는 표본필지에서 이루어졌다. 침투수의 수질시료는 하단부가 개방된 직경 75 mm의 파이프를 논바닥 아래 약 1m 깊이로 설치하여 채수하였다. 또한, 강우는 대상지구에서 6 km 떨어진 충북대학교 농과대학에서 채수하였다. 시비시기 및 시비량 자료는 대상지구에서 영농하는 35 농가를 대상으로 설문조사하여 얻었다. 수질분석은 수질오염공정시험법에 의한 흡광광도법(환경부, 1997)으로 분석하였다.

2. 물수지 관측

1999년도의 총 강우량은 1,320.7 mm, 대상기간 129일 동안의 강우량은 706.2 mm로 나타났으며, 6월 하순, 7월 하순, 8월 초순, 9월 초순에 100 mm 이상의 집중강우가 발생하였다.

포장에 관개된 용수량은 1,844.4 mm, 배수량은 1,926.2 mm이었으며, 5월 하순~6월 하순, 8월 중순~하순에 관개용수량이 비교적 많았는데, 이 시기는 분얼기 및 수잉기로 비교적 높은 담수심이 유

지되었기 때문에 판단된다.

7월 하순~8월 초순의 많은 배수량은 강우의 영향을 받은 것으로 판단되며, 배수량이 적은 5월 초순~중순, 7월 초순~중순, 8월 중순은 이앙기 및 낙수 후 담수기로 판단된다.

또한, 유입량(강우량 및 관개량)보다 유출량(지표유출량 및 지하침투량)이 많은 5월 하순~6월 중순, 9월 초순에는 강우와 낙수의 영향을 동시에 받은 것으로 판단되며, 특히 낙수는 담수심 변화에 직접적인 영향을 미친다.

침투량은 133.1 mm로 6월 중순의 비교적 많은 침투량이 발생하였는데, 이 시기는 활착 및 분얼기로 재배기간 중 가장 높은 담수심을 유지하기 때문으로 판단된다.

대상지구 전체포장으로의 유입량은 강우량 706.2 mm와 관개량 1,844.4 mm로 총 2,550.6 mm이며, 유출량은 논 표면수의 지표유출량 1,926.2 mm와 근근역아래로의 심층침투량(이하 침투량) 133.1 mm로 총 2,059.3 mm이다. 유입량과 유출량의 차이량 491.3 mm는 증발산량과 논두렁 삼투량, 논저류 변동량 등이라 판단된다. Table 1은 대상지구

Table 1 Observed water balance in the field (Unit : mm)

10-day		Inflow(A)		Outflow(B)		Remark A-B
		Rainfall	Irrigation	Drainage	Percolation	
MAY	E	0.00	80.4	31.9	6.0	42.5
	M	19.7	124.1	97.4	10.1	36.3
	L	27.6	187.6	210.8	11.1	-6.7
JUN	E	13.4	189.7	232.3	7.1	-36.3
	M	67.6	193.2	236.3	34.1	-9.6
	L	110.1	202.2	178.3	17.3	116.7
JUL	E	20.2	151.8	35.9	7.0	129.1
	M	1.2	129.6	18.8	3.5	108.5
	L	101.0	125.2	198.7	3.0	24.5
AUG	E	148.9	26.4	147.5	4.5	23.3
	M	11.7	169.3	36.8	8.6	135.6
	L	36.8	180.7	194.7	16.7	6.1
SEP	E	148.0	84.2	306.8	4.1	-78.7
Total		706.2	1,844.4	1,926.2	133.1	491.3

Table 2 Fertilizer application rate in the sample plot and total field
(Unit : kg/ha)

Fertilizer application	Term	Nitrogen		Phosphorus	
		Field	Plot	Field	Plot
Basal dressing	May/E	40.6	47.3	21.4	16.7
Top dressing I	May/L	32.5			
	Jun/E	50.8	68.3		
Top dressing II	Jul/M	29.0	59.4		
	Aug/E	11.6			
Total		164.5	175.0	21.4	16.7

에서 관측된 전체포장의 물수지를 나타내고 있다.

3. 물질수지 관측

가. 시비량

일반적으로 벼 재배에 따르는 시비 형태는 질소의 경우 기비(基肥), 분얼비(分蘖肥), 수비(穗肥)로 3회에 걸쳐 분시되며, 인은 기비로 전량 시비된다. Table 2는 비료사용량 조사 결과를 나타내고 있으며, 전체포장과 표본필지에 사용된 단위 면적당 평균시비량은 각각 질소 164.5 kg/ha, 175.0 kg/ha이며, 인은 21.4 kg/ha, 16.7 kg/ha이었다.

나. 강우의 물질농도

강우의 T-N 농도는 전반적으로 관측 초기에 높고 점차적으로 낮게 나타났으며, T-P 농도는 0.03 mg/l 이하로 낮았다. 대상기간 동안 강우의 평균 T-N 농도는 0.89 mg/l, 평균 T-P 농도는 0.015 mg/l 이었다.

다. 논 표면수와 침투수의 물질농도

(Fig. 1의 ㉑, ㉒)

표본필지에서 논 표면수의 물질농도 변화는 시비 시기 및 시비량에 영향을 받는 것으로 나타났으며, 대상기간 동안의 평균 T-N, T-P 농도는 각각 3.10 mg/l, 0.1 mg/l 이었다.

T-N 농도는 5월 중순~하순, 6월 중순~하순,

7월 하순에 높게 나타났는데, 이는 각각 기비, 분얼비, 수비의 영향을 받은 것으로 판단된다.

T-P 농도는 기비의 영향을 받은 5월 중순에 0.2 mg/l로 높게 나타났으며, 6월 중순에 0.45 mg/l의 높은 농도를 나타낸 것은 시비작업으로 토양이 교란되어 토양 표면에 흡착되어 있던 인이 물에 용해되었기 때문으로 판단된다.

침투수의 T-N 농도는 5월 하순에 6.55 mg/l로 높게 나타났는데, 이는 기비의 영향을 받은 것으로 판단되며, T-P 농도는 0.04 mg/l 이하로 아주 낮게 나타났으며 시기별로 거의 일정하게 나타났다. 대상기간 동안 침투수의 평균 T-N, T-P 농도는 각각 2.04 mg/l, 0.02 mg/l 이었다.

라. 관개수 및 배수의 물질농도

(Fig. 1의 ㉓, ㉔, ㉕ 및 ㉖, ㉗)

관개수의 물질농도는 전반적으로 관측 초기에 높

Table 3 Observed nutrient concentrations

(Unit : mg/l)

Date	Irrigation water		Drainage water		Ponded water		Percolated water	
	T-N	T-P	T-N	T-P	T-N	T-P	T-N	T-P
5/5	3.87	0.18	5.10	0.28	1.08	0.02	1.16	0.00
5/14	3.00	0.09	3.92	0.16	3.16	0.20	1.46	0.03
5/20	4.77	0.20	3.47	0.13	4.16	0.13	6.55	0.04
5/25	3.06	0.13	1.95	0.09	0.85	0.06	3.54	0.02
5/31	2.42	0.07	9.38	0.13	3.53	0.05	1.39	0.01
6/5	3.36	0.07	11.66	0.08	3.64	0.07	2.22	0.01
6/10	5.92	0.06	8.65	0.06	9.97	0.45	3.95	0.03
6/15	2.39	0.06	4.16	0.09	6.16	0.10	1.88	0.02
6/25	3.14	0.13	2.82	0.10	4.29	0.13	3.61	0.02
7/5	1.59	0.05	1.06	0.04	1.33	0.04	1.27	0.02
7/15	0.76	0.05	0.84	0.05	0.73	0.07	0.46	0.02
7/26	2.44	0.08	1.85	0.03	3.95	0.05	0.91	0.01
8/5	-	-	2.12	0.03	-	-	1.03	0.01
8/16	1.90	0.04	0.88	0.04	1.19	0.02	1.73	0.01
8/28	1.73	0.07	1.10	0.06	1.30	0.10	0.65	0.01
9/9	1.79	0.12	1.12	0.09	1.26	0.06	0.91	0.02
Mean	2.81	0.10	3.76	0.09	3.10	0.10	2.04	0.02

- : not observed

고 점차적으로 낮게 나타났으며, 이러한 물질농도 변화는 수원(水源)에서의 물질농도와 용수로 관리 상태에 기인되는 것으로 사료되며, 대상기간 동안 평균 T-N, T-P 농도는 각각 2.81 mg/l, 0.1 mg/l 이었다.

배수지거에서 관측한 배수의 물질농도는 논 표면수의 물질농도 변화와 밀접한 관련이 있으며, 관개수의 물질농도, 담수심, 기온 등에도 영향을 받는 것으로 판단된다. 대상기간 동안 평균 T-N, T-P 농도는 각각 3.76 mg/l, 0.09 mg/l 이었다.

T-N 농도는 시비의 영향을 받은 5월 초순, 5월 하순~6월 중순에 높고 비교적 시비의 영향이 적은 8월 중순 이후에는 낮은 농도를 나타내고 있다. 또한, 기비의 영향을 받은 5월 초순에 비해 분얼비의 영향을 받은 6월 중순의 높은 T-N 농도는 기비보다 분얼비의 시비량이 많았고 기온이 높았기 때문으로 사료된다. 또한, T-P 농도는 시비의 영향을 받은 초기에 높게 나타났는데, 이는 이앙을 위한 씨레작업시 토양에 흡착된 인 성분이 유출되었기 때문으로 판단된다.

마. 물질수지

표본필지에서 T-N의 총 유입부하량은 233.1 kg/ha로 강우(706.2 mm, 0.89 mg/l) 및 관개수(1,844.4 mm, 2.81 mg/l)에 용해되어 유입된 부하량이 각각 6.3 kg/ha, 51.8 kg/ha이며, 시비량은 175.0 kg/ha이다. 또한, 총 유출부하량은 논 표면수의 지표유출부하량(1,926.2 mm, 3.1 mg/l)과 침투부하량(133.1 mm, 2.04 mg/l)으로 각각 59.7 kg/ha, 2.7 kg/ha이었으며, 총 유입부하량 기준의 잔량 170.7 kg/ha는 작물흡수 및 탈질 등으로 유출되고 일부는 토양에 잔류된 것으로 판단된다.

T-P의 총 유입부하량은 18.5 kg/ha로 관개수의 유입부하량 1.8 kg/ha와 시비량 16.7 kg/ha이며, 총 유출부하량은 2.2 kg/ha로 논 표면수의 지표유출부하량은 1.9 kg/ha, 침투부하량은 0.3 kg/ha이다. 유입부하량 기준의 잔량 16.3 kg/ha는 T-N의 경우

Table 4 Observed nutrients balance in the sampling plot and total field (Unit : kg/ha)

Nutrients		Inflow (A)			Outflow (B)		A-B
		Rain.	Irrig.	Fert.	Drain.	Perc.	
T-N	Plot	6.3	51.8	175.0	59.7	2.7	170.7
	Field	6.3	51.8	164.5	72.4	2.7	147.5
T-P	Plot		1.8	16.7	1.9	0.3	16.3
	Field		1.8	21.4	1.7	0.3	21.2

와 같이 작물흡수되고 토양에 잔류된 것으로 판단된다.

또한, 전체포장예의 평균시비량은 164.5 kg/ha이며, 배수지거에서 관측된 배수의 평균 T-N, T-P 농도는 각각 3.76 mg/l, 0.09 mg/l 이며, T-N, T-P의 지표유출부하량은 각각 72.4 kg/ha, 1.7 kg/ha이다.

III. 모형의 적용

1. 입력자료

GLEAMS-PADDY 모형에 사용되는 입력자료는 1999년도 소로지구의 토양특성, 관개량 및 침투량, 시비량 및 시비시기, 강우 및 관개수의 평균물질농도, 그리고 청주측후소의 기상자료 등이다. 또한, 벼의 근근역 깊이는 40 cm, 작물생산량은 4,950 kg/ha(농림부, 2000), 엽면적 지수는 수도재배 연구보고서(영남작물시험장, 1999)의 생육시기별 엽면적 지수 자료를 사용하였다.

Table 5 Leaf area index of paddy rice with respect to growth stage

Relative growth stage	0.0	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
LAI	0.00	0.10	0.3	0.7	1.2	1.6	2.1	3.0	3.6	3.6	3.2	2.6

2. 물수지 분석

GLEAMS-PADDY 모형에 의해 모의된 증발산량은 475.6 mm(증산량 312.9 mm, 증발량 162.7 mm),

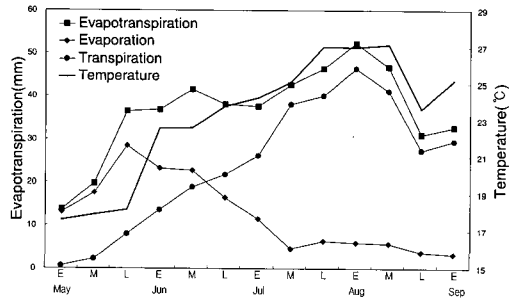


Fig. 2 Variation of daily mean temperature and simulated 10-day evapotranspiration

지표유출량은 1,969.9 mm이다. 포장으로의 유입량은 관측치인 관개량 1,844.4 mm와 강우량 706.2 mm로 총 2,550.6 mm이며, 유출량은 모의치인 증발산량 475.6 mm와 지표유출량 1,969.9 mm, 그리고 관측치인 침투량 133.1 mm로 총 2,578.6 mm이다. 증발산량의 변화는 Fig. 2에 나타난 것과 같이 일 평균기온과 밀접한 관련이 있음을 알 수 있다.

3. 물질수지 분석

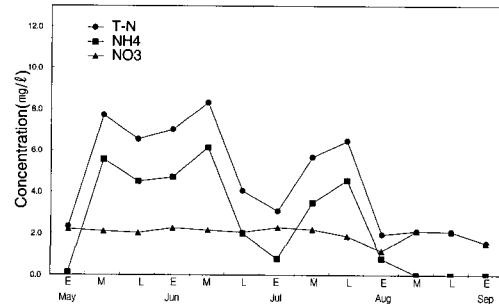
본 연구에서는 전체포장과 표본필지에 사용된 비료량과 시비시기에 대한 입력자료를 구분하여 GLEAMS-PADDY 모형에 적용하였으며, 각각에 대하여 물질수지를 분석하였다.

가. 표본필지에서의 물질수지(Fig. 1의 ㉔, ㉕)

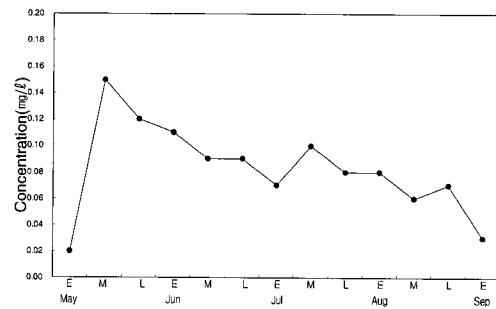
1) 표면수의 물질농도 및 유출부하량

표면수의 T-N 농도와 유출부하량에 대한 GLEAMS-PADDY 모형의 모의는 질산성 질소(NO_3^- -N)와 암모니아성 질소(NH_4^+ -N)로 구분하며, 유기질소 및 아질산성 질소의 농도 및 유출부하량은 포함하지 않으며, 질산성 질소와 암모니아성 질소의 합을 총질소(T-N)로 고려하였다. 또한, 인은 총인(T-P)에 대하여 모의한다.

Fig. 3에 나타난 것과 같이, 논표면수의 질산성 질소 농도 변화는 강우 발생일을 제외하고는 거의 일정하였으며, 암모니아성 질소 농도는 시비 직후에 높고 이후로 급격히 낮아지는 변화를 보였다.



a) T-N



b) T-P

Fig. 3 Variation of the simulated T-N and T-P concentrations in ponded water

Table 6 Simulated T-N balance in the sampling plot (Unit : kg/ha)

10-day	Inflow				Outflow					
	Fert.	Rain.	Irr.	Sum	Drain.	Perc.	Uptake	Deni.	Sum	
MAY	E	47.3	0.00	2.26	49.56	0.25	0.12	0.28	0.44	1.09
	M		0.17	3.48	3.65	7.19	0.24	3.85	0.99	12.27
	L		0.25	5.27	5.52	10.39	0.28	6.05	1.47	18.19
JUN	E	68.3	0.11	5.33	73.74	10.79	0.16	7.05	1.19	19.19
	M		0.60	5.42	6.02	15.12	0.56	8.05	1.83	25.56
	L		0.98	5.68	6.66	7.67	0.31	8.86	2.68	19.52
JUL	E		0.17	4.26	4.43	2.80	0.12	9.92	2.22	15.06
	M	59.4	0.01	3.64	63.05	3.77	0.05	11.89	1.47	17.18
	L		0.91	3.52	4.43	11.04	0.09	15.07	4.18	30.38
AUG	E		1.33	0.74	2.07	1.83	0.07	13.88	3.10	18.88
	M		0.10	4.75	4.85	0.73	0.10	12.48	1.41	14.72
	L		0.32	5.07	5.39	0.64	0.28	11.95	0.75	13.62
SEP	E		1.32	2.38	3.70	0.40	0.01	4.01	0.02	4.44
Total		175.0	6.27	51.80	233.07	72.62	2.39	113.34	21.75	210.10

T-N의 지표유출부하량은 표면수의 T-N농도와 지표유출량으로 계산하며, Table 6에서와 같이, 기

비와 분얼비의 영향을 받는 5월 초순~6월 하순, 수비의 영향을 받는 7월 중순에 높게 나타났다. 5월 초순과 중순은 다른 시기에 비해 지표유출량이 상대적으로 적었음에도 불구하고 높은 지표유출부하량을 나타낸 것은 표면수 T-N 농도가 높았기 때문이며, 5월 하순~6월 중순, 7월 중순의 높은 지표유출부하량은 분얼비 및 수비의 영향과 지표유출량의 영향을 동시에 받았기 때문이다.

T-P의 지표유출부하량은 T-N에 비해 매우 적었으며, 지표유출량이 많은 5월 중순~6월 하순, 8월 중순에 비교적 높게 나타났다.

2) 침투수의 물질농도와 침투부하량

침투수의 T-N 농도는 5월 초순~6월 초순, 7월 하순에 비교적 높게 나타났는데, 이는 시비의 영향을 받은 표면수가 근근역을 통해 침투하였기 때문이며, 이후로 작물흡수 및 탈질량이 증가함에 따라 T-N 농도가 낮아지는 것으로 판단된다. 6월 중순의 높은 침투부하량은 이 시기에 침투수의 양이 많았기 때문이다. 또한, 침투수의 T-P 농도는 0.03 mg/l 이하로 거의 일정하였다.

3) 작물흡수량 및 탈질량

작물의 영양물질 흡수량은 작물의 생육기별 영양물질 요구량에 좌우되며, 작물의 생육기별 영양물질 요구량은 엽면적지수, 증산량, 그리고 토층별 영양물질 농도 등에 좌우되며, 7월 중순~8월 하순에 많은 작물흡수량을 나타냈다.

또한, 근근역내 환원층에서의 탈질량은 6월 하순과 7월 하순~8월 초순에 비교적 많이 발생하였는데, 이는 토양온도의 영향을 받은 것으로 사료된다.

4) 영양물질 수치

T-N의 총 유입부하량은 233.07 kg/ha로 시비량 175.0 kg/ha(기비 47.3 kg/ha, 분얼비 68.3 kg/ha, 수비 59.4 kg/ha), 강우 및 관개수에 의한 유입부하량은 각각 6.27 kg/ha, 51.8 kg/ha이다. 한편, T-N의 총 유출부하량은 210.1 kg/ha로 작물흡수량 113.34 kg/ha, 지표유출부하량 72.62 kg/ha, 탈질량 21.75 kg/ha, 그리고 침투부하량 2.39 kg/ha이며,

Table 7 Simulated T-P balance in the sampling plot (Unit : kg/ha)

10-day		Inflow			Outflow			
		Fret.	Irr.	Sum	Drain.	Perc.	Uptake	Sum
MAY	E	16.7	0.07	16.77	0.00		0.04	0.04
	M		0.13	0.13	0.14		0.52	0.66
	L		0.20	0.20	0.20		0.80	1.00
JUN	E		0.19	0.19	0.18		0.95	1.13
	M		0.18	0.18	0.19		1.07	1.26
	L		0.19	0.19	0.19		1.18	1.37
JUL	E		0.15	0.15	0.07		1.33	1.40
	M		0.12	0.12	0.09		1.59	1.68
	L		0.14	0.14	0.12		2.00	2.12
AUG	E		0.03	0.03	0.05		1.84	1.89
	M		0.18	0.18	0.05		1.66	1.71
	L		0.18	0.18	0.14		1.60	1.74
SEP	E		0.08	0.08	0.03		1.21	1.24
Total		16.7	1.84	18.54	1.45	0.00	15.79	17.24

총 유입부하량의 90%에 해당되며, 나머지 22.47 kg/ha는 근근역내 토양에 잔류된 것으로 나타났다.

T-P의 총 유입부하량은 시비와 관개수에 용해되어 유입되는 양으로 구성되며, 각각 16.7 kg/ha, 1.84 kg/ha로 18.54 kg/ha이며, 강우에 용해되어 유입되는 양은 강우의 T-P 농도가 너무 낮아 적용하지 않았다. 또한, 총 유출부하량은 작물흡수량 15.79 kg/ha, 지표유출부하량 1.45 kg/ha이다. 모형이 일단위로 소수점 두자리까지 계산함에 따라 T-P의 침투부하량은 0으로 계산되었다.

나. 전체포장에서 물질수지

전체포장에 사용된 평균 비료사용량 및 사용시기에 대한 자료를 GLEAMS-PADDY 모형에 적용한 결과, 논 표면수의 T-N과 T-P 지표유출부하량은 각각 72.55 kg/ha, 1.69 kg/ha로 추정되었으며, 대상지구의 배수지거에서 관측된 배수의 T-N, T-P 지표유출부하량 72.4 kg/ha, 1.7 kg/ha와 거의 일치하였다.

4. 모형의 평가

GLEAMS-PADDY 모형의 적용성 평가에는 대상지구인 소로지구의 1999년 5월 5일~9월 10일 까지의 관측치와 모의치에 대한 결정계수(R^2) 및 RMSE를 분석하였다.

또한, 관측치와 모의치의 비교·분석 항목은 논 표면수의 지표유출량과 표본필지의 표면수와 전체 포장 배수의 T-N, T-P 농도이며, 침투수의 T-N 농도와 침투부하량에 대한 평가도 포함된다.

가. 수문부모형의 적용성

GLEAMS-PADDY 모형의 수문부모형 평가는 포장에서의 순별 지표유출량에 대해 이루어졌으며, 관측치와 모의치의 결정계수(R^2)는 0.72, RMSE는 48.88 mm이며, 지표유출량은 관측치 1,926.2 mm, 모의치 1,969.9 mm로 근사치를 나타내고 있어 수문부 모형에 대한 적용성은 양호한 것으로 판단된다.

Fig. 4는 순별 지표유출량에 대한 관측치와 모의치를 1:1 그래프로 비교한 것으로 대체로 근사치를 나타내고 있으나, 6월 하순~7월 중순의 관측치와 모의치가 비교적 큰 차이를 나타내었다. 이는 6월 하순에 발생한 110.1 mm의 강우량 중 상당량이 유

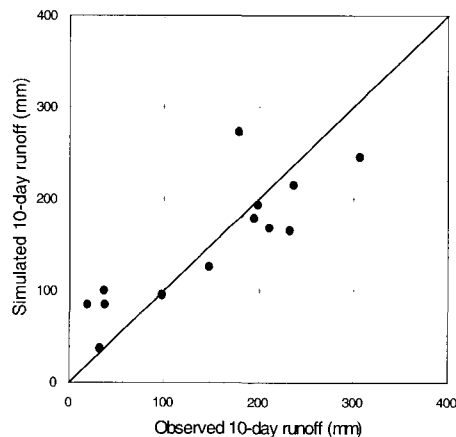


Fig. 4 Comparison of observed and simulated 10-day runoff

출되지 않고 저류되었으며 7월 초순~중순에 낙수 되었기 때문에 판단된다.

나. 영양물질 부모형의 적용성

GLEAMS-PADDY 모형의 영양물질부모형 평가는 표본필지(Fig. 1의 ㉔, ㉕)에서 관측한 표면수와 배수지거 2곳(Fig. 1의 ㉖, ㉗)에서 관측한 전체 포장 배수의 관측일자별 평균 T-N, T-P농도와 모의된 표면수의 T-N, T-P 농도를 관측 일자별로 비교·분석하였다.

1) 표본필지 표면수 및 침투수의 영양물질농도 비교

표면수의 T-N과 T-P 농도에 대한 관측치와 모의치의 결정계수는 각각 0.83, 0.54이며, RMSE는 2.05 mg/l, 0.04 mg/l이었다. Fig. 5는 관측치와 모의치를 1:1 그래프로 비교한 것으로 T-N, T-P농도의 모의치가 전반적으로 높게 분포하고 있음을 알 수 있다. 특히, 기비 살포 후인 5월 중순~하순에 관측된 T-N 농도가 모의치 보다 낮게 나타났는데, 이는 일반적으로 기비는 이양을 위한 썩레작업 전 또는 직후에 시비됨으로서 교란된 작토층내로 이동하거나 혼합되는 비료량이 많아 분얼비 및 수비시의 논 표면수의 영양물질 농도 보다 낮은 것으로 판단된다. 표면수의 T-P 농도는 7월 이후로 모의치가 관측치 보다 비교적 높았다.

T-N의 지표유출부하량은 관측치와 모의치가 각각 59.7 kg/ha와 72.62 kg/ha로 모의치가 높게 나타났으며, T-P의 지표유출부하량은 관측치와 모의치가 각각 1.9 kg/ha와 1.45 kg/ha로 관측치가 높게 나타났다.

침투수의 T-N 및 T-P 농도는 변화 폭이 너무 적어 일별 비교·분석이 어려웠으나 모의치와 관측치가 전반적으로 시비의 영향을 받는 시기에 높았고 이후로는 낮은 경향을 나타냈다. 침투수의 평균 T-N 농도는 관측치와 모의치가 각각 2.05 mg/l, 1.64 mg/l이며, T-P는 각각 0.02 mg/l, 0.04 mg/l이었다. 또한, T-N의 침투부하량은 관측치와 모

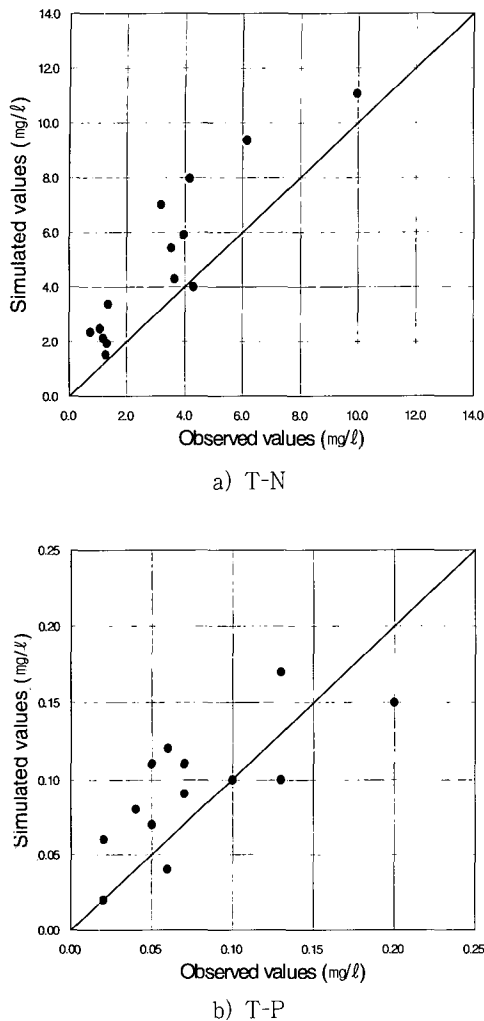


Fig. 5 Comparison of observed and simulated nutrient concentrations in ponded water

의치가 각각 2.7 kg/ha, 2.39 kg/ha로 비교적 비슷한 값을 나타냈으며, T-P는 침투수의 농도가 매우 낮아 침투부하량은 계산되지 않았다.

2) 배수의 영양물질농도 비교

대상지구의 배수지거에서 관측한 배수의 평균 T-N, T-P 농도는 포장(41.9 ha) 표면수의 평균 T-N, T-P 농도와 밀접한 관련이 있는 것으로 판단되어 GLEAMS-PADDY 모형으로 모의된 표면수의 T-N, T-P 농도와 비교하였으며, 관측된 배

수와 모의된 표면수의 T-N, T-P 농도에 대한 결정계수(R^2)는 각각 0.79, 0.73이며, RMSE는 각각 2.71 mg/l, 0.04 mg/l이었다. 전체포장 배수의 T-N, T-P 관측치와 모의치의 농도 변화는 표본 필지에서의 논 표면수와 비슷한 경향을 나타냈다.

또한, T-N의 지표유출 부하량은 관측치와 모의치가 각각 72.4 kg/ha와 72.55 kg/ha이며, T-P는 각각 1.7 kg/ha와 1.69 kg/ha로 T-N, T-P 모두 관측치와 모의치가 거의 일치하였다.

III. 결 론

본 연구는 GLEAMS-PADDY 모형의 적용성을 평가하기 위하여 충청북도 청원군 옥산면에 위치한 소로지구의 수문 및 수질 관측자료, 청주측후소의 기상자료 등을 활용하여 논에서의 영양물질 배출부하량을 추정하여 관측치와 비교 분석하였다. 현장 자료는 1999년 5월 5일~9월 10일까지의 관측치를 사용하였다.

결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 표면수의 총 지표유출량은 관측치와 모의치가 각각 1,926.6 mm 및 1,969.9 mm로 비슷한 값을 나타냈으며, 순별 지표유출량에 대한 관측치와 모의치의 결정계수와 RMSE는 각각 0.72 및 48.88 mm로 나타났다.

2. 표본필지 논 표면수의 T-N 농도 관측치와 모의치의 결정계수와 RMSE는 각각 0.83 및 2.05 mg/l이며, T-P 농도는 각각 0.54 및 0.04 mg/l로 나타났다. 지표유출부하량은 T-N의 경우 모의치가 12.92 kg/ha 더 많았으며, T-P는 관측치가 0.45 kg/ha 더 많았다.

3. 배수지거에서 관측한 전체포장(41.9 ha) 배수와 모형에 의한 표면수의 T-N 농도에 대한 관측치와 모의치의 결정계수와 RMSE는 각각 0.79 및 2.71 mg/l이며, T-P 농도는 각각 0.73 및 0.04 mg/l로 나타났다. 지표유출부하량은 T-N, T-P 모두 거의 일치하였다.

4. 근근역 아래로의 영양물질 침투부하량은 관측치 및 모의치 모두 매우 적은 양이었으며, 농도의 변화도 표면수에 비해 작았다. 특히, T-P의 침투수 농도 변화는 거의 나타나지 않았다.

5. 전반적으로 모의치의 T-N, T-P 농도가 관측치보다 높게 나타났으며, 특히, 5월 중순~하순의 T-N 농도 모의치가 높은 것은 기비의 경우 시비 직후 또는 시비 전의 썩레작업으로 작토층내로의 비료 이동량이 분얼비 및 수비시 보다 많았기 때문으로 판단된다.

6. 본 연구에서 개발된 GLEAMS-PADDY 모형은 시비량과 관개용수의 물질농도 조건에 대한 논에서의 영양물질 배출부하량 추정에 적용할 수 있으며, 나아가 영양물질 배출부하량 저감 방안과 시비량 저감방안의 개발 등에 활용이 가능할 것으로 사료된다.

본 연구는 농림부 농림기술개발사업 연구비 지원에 의하여 수행된 연구의 일부임.

References

1. Bakhsh, A. and R. S. Kanwar, D. B. Jaynes, T. S. Colvin, and L. R. Ahuja, 2000. Prediction of NO₃-N losses with subsurface drainage water from manured and UAN-fertilized plots using GLEAMS. *Trans. Amer. Soc. Agric. Engrs.* 43 : 69~78.
2. Hong, Sung Ku and Soon Kuk Kwun, 1989.

Characteristics of pollutant loading into streams from flooded paddies. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 31(3) : 92~102. (in Korean)

3. Kim, Hyeon Soo and Sang Ok Chung, 2002. Prediction nutrient loading from paddy fields (I)-Model Development- *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 44(4) : 51~61. (in Korean)
4. Kim, Hyeon Soo, 2001. Development of A Model for Nutrients Loading from Paddy fields. Ph. D. Diss. : Kyungpook National University. (in Korean)
5. Kim, Jin Soo, Seung Young Oh and Kyu Sung Kim, 1999. Characteristics of concentration and load of nitrogen and phosphorus in paddy field areas. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 41(4) : 47~56. (in Korean)
6. Knisel, W. G. and E. Turtola, 1999. GLEAMS model application on a heavy clay soil in Finland. *Agric. Water Manage.*, 43 : 285~309.
7. Stone, K. C., B. K. Gerwig, R. G. Williams, D.W. Watts and J.M. Novak, 2001. Using GLEAMS and REMM to estimate nutrient movement from a spray field and through a riparian forest. *Amer. Soc. Agric. Engrs.* 44 : 505~512.
8. Yoon, K. S., K. H. Yoo, C. W. Woo and B. M. Hall, 1994. Application of GLEAMS to prediction nutrient losses from land and poultry litter. *Amer. Soc. Agric. Engrs.* 37 : 453~459.