

저강우연도 지하수 관개 필지논에서 수도재배기간 동안의 물질수지

Water and Nutrient Mass Balances in Paddy Field with Groundwater Irrigation in Low-Rainfall Year

황 하 선** · 윤 춘 경* · 전 지 홍** · 김 병 희**

H. S. Hwang · C. G. Yoon · J. H. Jeon · B. H. Kim

Abstract

Field experiment was performed to investigate water and nutrient mass balances in paddy field with groundwater irrigation from May to October, 2001. The total water inflow was about 1,183mm in which rainfall, overflow from upstream paddy, and groundwater irrigation accounted for 43, 30, and 27%, respectively. Notice that the precipitation of the study period was less than the average annual precipitation. The total drainage was almost balanced with the inflow and more than half of it was occurred by surface drainage. From the nutrient mass balance analysis, the T-P output (17.56kg/ha) was estimated slightly lower than the input (20.90kg/ha) and the T-N output (130.41kg/ha) was slightly greater than the input (129.24kg/ha). However, the difference was within the expectation and the nutrient mass was thought to be balanced considering uncertainties in field experiment and other activities not included in the study such as algae and soil microorganisms. The surface discharge of nutrient, which was about 10% of total nutrient output, was mainly affected by fertilization and rainfall runoff. Therefore, prudent surface drainage plan might be necessary particularly for the fertilization period to prevent degradation of receiving water quality. The study was performed under abnormally low rainfall compared to the average annual rainfall record, and further monitoring in diverse rainfalls and irrigation methods is recommended to estimate nutrient behavior in the paddy field more reasonably.

Keywords : Groundwater irrigation, Water balance, Nutrient mass balance, Paddy field.

I. 서 론

최근 인구의 증가와 산업화로 인한 오염원의 증가는 수계를 오염시키게 되었고, 생활수준의 향상으로 인하여 좀더 깨끗한 물이용의 요구는 증가하고 있다. 수계 오염원의 많은 부분을 차지하는 점

* 건국대학교 지역건설환경공학과

** 건국대학교 대학원

* Corresponding author. Tel.: +82-2-450-3747
fax: +82-2-446-2543

E-mail address: chunyoon@konkuk.ac.kr

오염원은 하수 및 분뇨처리장 등 환경기초시설의 증설로 인하여 점차 감소함에 따라서 오염원중 비점오염원이 차지하는 비율이 상대적으로 점차 증가되고 있다. 특히 최근 들어서는 점오염원의 농도 규제로서는 수계의 수질을 만족시킬 수 없다는 문제가 제기됨으로써 오염총량제라는 새로운 개념의 수질관리제도를 우리 나라 4대강에 걸쳐 본격적으로 실시하기로 결정하였다. 오염총량제는 점오염원과 비점오염원을 모두 고려하는 수질규제법으로 오염총량제가 실시됨으로써 비로소 비점오염원에 관하여 본격적으로 관심을 가지게 되었다(이 등, 2001). 비점오염원은 크게 산림, 농경지, 도시로부터의 비점오염으로 크게 대별될 수 있는데, 산림으로의 부하는 상대적으로 농도가 낮으며 도시로부터의 부하는 도시의 면적이 상대적으로 작기 때문에 비점오염원의 대부분이 농경지에서 비롯되는 것으로 인식되고 있다. 그러나 몇몇 연구에 의하면 농경지, 특히 농경지의 대부분을 차지하고 있는 논은 수질을 정화한다는 반론도 제기 되고 있어 농경지가 수계에 미치는 영향에 대해서 아직까지 논란이 되고 있다. 따라서 농경지로부터의 오염물질부하특성에 대해 명확하게 규명되고, 이에 따른 합리적인 관리 대책이 수립되어야 비점오염을 효과적으로 관리할 수 있을 것으로 판단된다.

논은 관개원에 따라 지표수관개와 지하수관개로 나눌 수 있는데, 지하수관개의 경우 우리나라 전체 수혜면적의 6.5%로써 매우 작은 비율을 차지하고 있으나, 1994년 지하수관개지역은 22,281.5ha에서 1999년에는 33,079.7ha로써 해마다 증가하고 있는 추세에 있다. 용수원의 선택은 지형적인 인자에 따라 좌우되기 때문에 지역에 따라 차이가 있으며 이천시의 경우 전체 수혜면적의 53.8%가 지하수관개에 의해 이루어질 만큼 지역적인 차이도 큰 것으로 나타났다(농림부, 2000). 관개수를 항상 흘려보내는 지표수관개지역과 필요에 따라 관개수를 이용하는 지하수관개지역간의 유출특성은 매우 상이할 것이며, 논에서의 부하량 산정시 지표수관개

지역과 지하수관개지역을 구분하여 산정 할 필요가 있다고 판단된다.

논에서는 물관리에 작물생육뿐만 아니라 인위적인 요소가 작용하여 예측이 쉽지 않을 뿐 아니라 오염물질의 기작이 복잡하기 때문에 논에서의 오염물질 거동에 관한 연구는 아직도 부족한 실정이다. 농지에서의 비점오염원의 배출부하량을 산정하기 위해서는 먼저 농경지 내에서의 물수지와 영양물질 수지가 규명되어야 한다. 노 등(1999)은 사질논에서 벼 재배기간 중 시비방법을 달리 하여 농지내의 영양물질수지를 조사하였고, 이 등(1996)은 벼 재배시 영양물질행동에 관하여 연구한 바 있다. 최 등(2001)은 마령지구 필지 논으로부터 영농기 동안에 영양물질 수지와 유출 부하량을 분석하였고, 이(2000)는 시비 조건에 따른 단위논에서의 수질 특성을 연구한 바 있다. 또한 김 등(1999)은 광역 논에서 질소와 인의 농도와 오염부하량 특성을 파악하였으며, 윤 등(2001) 오수 처리수를 관개한 실험논에서의 영양물질수지를 개략적으로 정량화하였으며, 진(1998)은 CREAMS모형을 수정한 CREAMS-PADDY모형을 이용하여 논에서의 수질 예측과 부하량을 예측한 바 있다.

본 연구에서는 경기도 여주군 가남면 오산리에 위치한 지하수 관개 필지는을 대상으로 영농기간인 2001년 5월부터 10월까지 논에서의 물수지 및 영양물질수지를 측정·분석하여, 지하수 관개 논에서의 영양물질의 거동 및 유출특성을 규명함으로써 농경지 비점오염원의 효율적인 관리를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 연구지역 개요

연구대상 지역은 경기도 여주군 가남면 오산리에 위치한 건국대학교 실습농장의 필지 논으로 면적은 2,520 m²인데 지하수 관개가 이루어지고 있으며

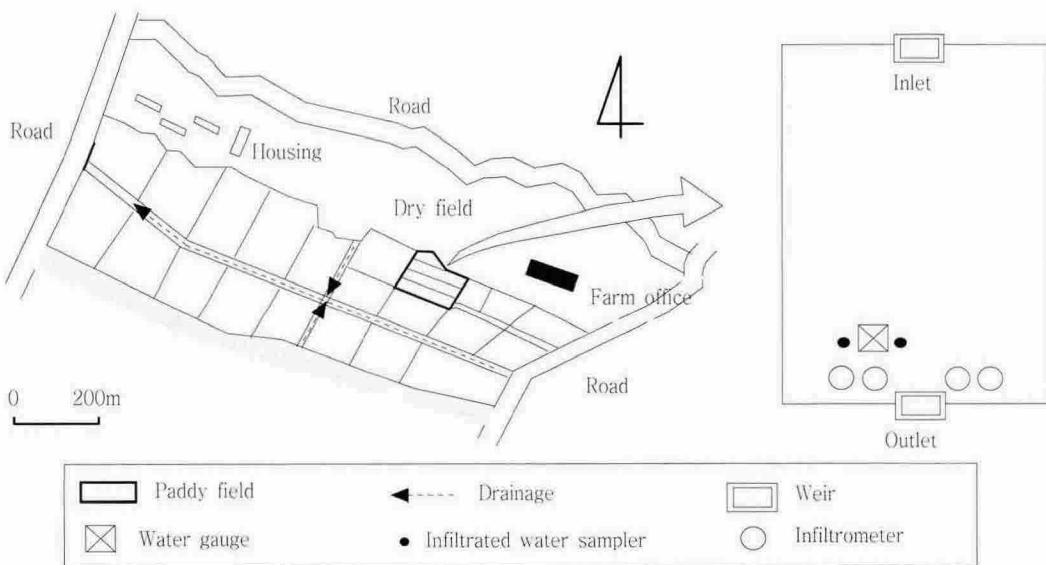


Fig. 1 Schematic layout of the study area

개략도는 Fig. 1과 같다. 필지는 내의 유출입량을 측정하기 위하여 유입구와 유출구에 weir를 설치하였으며, 담수심 측정을 위한 자기수위계 1개, 침투수량 측정을 위한 간이침투수량계 4개, 그리고 침투수를 채수하기 위한 토양수 sampler인 ceramic porous cup 2개를 유출구 부근에 설치하였다.

2. 영농활동과 시비현황

본 연구기간동안 영농활동의 요약은 Table 1과

같다. 2001년 5월 17일에 담수하고, 5월 25일에 경운 후 기비를 투여하였으며, 5월 29일에 재식거리 15×30 cm로 1주 4분씩 기계이앙하였다. 6월 9일에 이삭비와 7월 17일에 분열비를 각각 투입하였으며, 10월 7일에 수확하였다. 공시품종은 일품벼이며, 시비량은 농업과학기술원 고시 표준시비량인 $N: P_2O_5: K_2O = 11: 4.5: 5.7$ kg으로 하였고, 질소의 경우 기비, 이삭비, 분열비를 각각 50, 30, 20%의 비율로 시비하였으며, 인은 전량을 기비로 시비하였다.

Table 1 Summary of agricultural activities

Date	Agricultural activity	Remark
May 25	Plowing and basal fertilization	Phosphorus(100%), Nitrogen(50%)
May 29	Rice transplanting	15×30 cm, four seedlings
Jun 9	Tillering fertilization	Nitrogen(30%)
Jul 17	Panicle fertilization	Nitrogen(20%)
Oct 7	Harvest	

3. 논의 물수지 및 영양물질수지

논은 담수 상태로 유지되므로 이에 대한 물수지는 담수심의 변화량으로 표현되며 포장의 담수심(W)은 다음과 같은 물수지식으로 산정하였다 (최등, 2001).

$$W_j = W_{j-1} + IR_{1j} + IR_{2j} + PR_j - (DR_j + ET_j + INF_j) \quad (1)$$

여기서,

- W_j = 당일 담수심(mm),
- W_{j-1} = 전일 담수심(mm),
- IR_{1j} = 당일 지하수 관개량(mm)
- IR_{2j} = 당일 윗논 유입량(mm),
- PR_j = 당일 일강우량(mm),
- DR_j = 당일 배수량(mm)
- ET_j = 당일 증발산량(mm),
- INF_j = 당일 침투량(mm)

첨자 j는 j번째 일자를 나타낸다.

농경지에서의 영양염류의 공급원은 인위적 공급원과 자연적 공급원으로 나누어지는데 화학적 비료와 퇴비 두업 등이 인위적인 공급원이며, 관개수나 대기로부터의 강우 강하진(降下塵)과 토양 미생물에 의한 질소 고정 등이 자연적인 공급원에 해당된다. 영양염류 배출 또한 인위적 배출과 자연적 배출로 나누어지는데 수확물과 식물 잔재물 등이 인위적 배출이며, 논물의 표면유출과 지하침투 등이 자연적 배출이다. 질소의 경우에는 $\text{NH}_3\text{-N}$, NO_x 의 토양표면으로부터의 휘산과 탈질작용에 의한 대기중으로 방출 등의 자연적 배출이 추가된다(이등, 1996). 논에서의 영양물질 수지는 다음과 같은 영양물질수지식으로 산정하였다.

$$L_{IR1} + L_{IR2} + L_{PR} + F - (L_{DR} + L_{INF} + H) = \Delta L \quad (2)$$

여기서,

- L_{IR1} : 지하수 유입량, L_{IR2} : 윗논 유입량,

L_{PR} : 강우 유입량, F : 시비 유입량
 L_{DR} : 배수 유출량, L_{INF} : 침투 유출량,
 H : 식물 수확량 (식물 흡수량)
 ΔL : 영양물질변화량
 (질소고정, 휘산, 탈질, 토양내 변화량 등)

4. 시료 채취 및 분석방법

논에서의 물의 유출입은 필지논에 설치된 부자식 자기수위계(Sigma-2 7210)와 weir에 의해 측정하였고, 지하수로의 침투량은 간이침투수량계에 의해 측정되었으며, 증발산량은 수정 Penman법에 의해 추정하였다. 침투수의 분석을 위하여 침투수량계의 검수심에 의해 침투수량을 분석하였으며, 침투수 수질분석을 위한 시료는 지하 약 60 cm에 위치한 ceramic porous cup에 부압을 가하여 시료채취를 하고 수질분석을 실시하였다.

수질채취 간격은 강우시를 제외하고 1주 간격으로 하였으며, 수질 분석 항목은 T-N, T-P이며 Standard Methods(APHA, 1995)에 의해 분석하였다. 토양의 화학적 특성을 분석하기 위하여 이양전 토양시료를 채취하여 pH, EC, OM, CEC, T-N, T-P, Av.-P 등을 분석하였다. 수확 후 식물체의 영양물질함유량을 분석하는데, 토양 및 식물체 분석은 농업과학기술원 토양, 식물체 분석법(농업기술연구소, 1988)에 의해 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 연구기간 동안의 강수량

본 연구기간 동안의 강수량은 Table 2와 같다. 해당 지역 이천관측소의 1971-2000년 평균 강우량은 643 mm였으며 우리나라 대표적인 곡창지대인 김제평야에 위치한 정읍관측소의 30년 평균 강우량 609 mm보다 다소 많거나 거의 비슷하게 나타났다. 또한 당해연도의 순별강우량을 살펴보면 7

Table 2 Comparison of precipitation of average 30 years and this year during rice cultural period

	Average 30 years	This year
May M	0	0
May L	3.5	7
Jun F	0	0
Jun M	83.5	84
Jun L	129.5	128
July F	27	14
July M	51	57
July L	240	132
Aug. F	76.5	68
Aug. M	32	22
Aug. L	0	0
Total	643	512

월 하순 30년 평균 강우량보다 108 mm 작았으며 그 외 기간에는 거의 비슷한 강우량을 나타냄으로써 영농기간동안 30년 평균 강우량보다 131 mm 작은 것으로 나타났다.

2. 토양의 물리 · 화학적 특성

토양의 물리적 성질을 분석하기 위하여 입도(KS F 2302)입도 분석을 하였으며 실험방법으로는 완전 건조시킨 시료 60g을 취하여 No. 200 체를 통과하지 않는 시료는 체 분석을 하고, No. 200 체를 통과한 시료는 비중계 분석을 하여 입도 실험을 실시하였다. 분석결과 모래가 35.1%, 실트가 40.8%, 점토가 24.1%이며 미농무성의 입도 조성에 의한 분류법에 의하면 clay loam으로 나타났다. 논 토양의 이화학적 특성은 Table 3과 같다. pH는 5.09로 논 토양의 권장수준인 6.50보다 낮았으며, OM(유기물함량)은 2.72%로 권장수준 2.50%보다 약간 높은 값을 나타내었다.

Table 3 Chemical properties of the paddy soil in experimental plot

pH	EC (μ S/m)	OM (%)	CEC (me/100g)	T-N (%)	T-P (mg/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)
5.09	2833.00	2.72	7.80	0.12	323.70	14.31

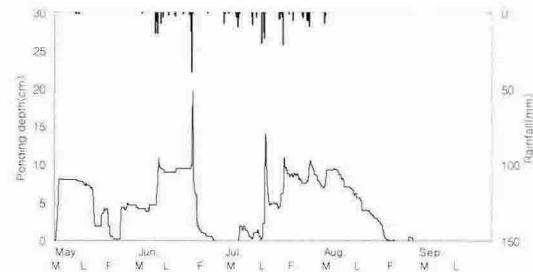


Fig. 3 Variation of ponding depth during growing season

2. 담수심 변화

본 연구에서의 담수심의 측정은 필지단위논에 설치된 자기수위계의 수위(H_r)와 weir에서 실측한 담수심(H)으로부터 상관식을 구하였다. 상관식으로부터 구한 연구포장에서의 담수심의 변화는 Fig. 3과 같다. 영농 초기인 5~6월은 관개에 의존하는 담수심을 유지하였으나, 7월 이후는 강우 의존적인 담수심 변화를 보였으며, 9월 이후는 강우가 없었고, 수확시기인 10월 초 까지 담수심이 없었다. 2001년은 연구기간동안 총 강우량이 511 mm였으며 과거 5년 평균 강우량이 1,127 mm에 비교하면 상대적으로 작은 강우량을 나타내었다.

3. 논에서의 물수지 분석

연구기간중 논에서의 유입수량은 Fig. 4와 같다. 논에서 유입수량은 강우량(PR), 관개수량(IR₁), 그리고 윗논에서의 유입수량(IR₂)으로 이루어진다. 관개수량은 영농초기인 5월 중순에서 6월 초에 대부분이 이루어졌으며 이 기간 동안 논에서의 유입량의 대부분이 관개에 의해 이루어졌다. 강우량은 6

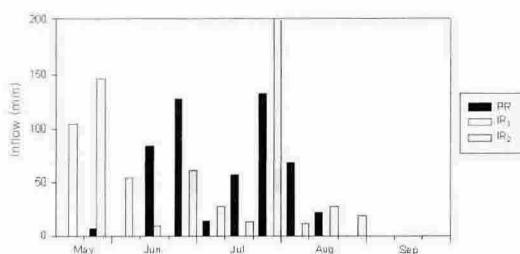


Fig. 4 Water inflow to the paddy field in 10 day-period

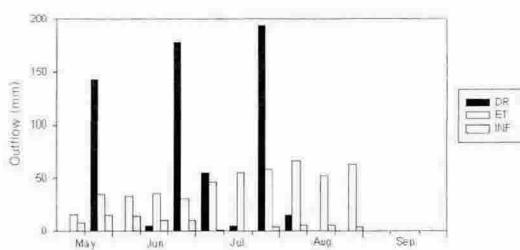


Fig. 5 Water outflow from the paddy field in 10 day-period

월에서부터 8월에 걸쳐 대부분이 유입되었으며, 윗논에서의 유입량 또한 대체적으로 강우에 의한 유입량의 경향을 따랐다. 따라서 7월 초부터 낙수 전

인 9월 11일까지의 기간 동안의 유입수량은 강우와 윗논에서의 유입에 의한 관개에 의존하였다.

논에서의 배출수량은 배수(DR)와 증발산량(ET), 침투수량(INF)으로 이루어지며 영농기간 동안 논에서의 배출수량은 Fig. 5와 같다. 배수에 의한 배출량은 분열기의 심수에서 천수를 위한 배수와 6월 말의 중간낙수와 7월말의 완전낙수 등과 같은 인위적인 물꼬높이 조절에 의해 대부분이 발생하였다. 증발산량은 벼가 성장함에 따라 점점 증가하는 경향을 나타내었으며, 영농초기인 5월중순은 16 mm/10days에서 점차 증가하여 8월초에는 66 mm/10days로 가장 높은 값을 나타내었다. 침투수량의 경우는 침투수가 일어나지 않는 중간낙수기간(7월 초~7월 말)을 전후로 하여 뚜렷한 차이를 나타내었다. 영농초기에는 경운작업과 씨레질 작업 등으로 인하여 토양내의 구조가 느슨하게 바뀌어 많은 공극이 발생하기 때문에 영농후기보다 많은 침투수량을 나타낸 것으로 생각되는데, 5월 말에는 침투수량 15 mm/10days로 가장 큰 값을 나타내었는데 8월 말에는 4 mm/10days로 작은 값을 나타내었다.

Table 4 Water balance in the paddy plot during study period

	Input (mm)*				Output (mm)**			
	PR	IR ₂	IR ₁	Total	DR	ET	INF	Total
May M	0	0	104	104	0	16	8	24
May L	7	0	146	153	143	34	15	192
Jun F	0	0	54	54	0	33	14	47
Jun M	84	0	9	93	5	35	10	50
Jun L	128	61	0	189	178	30	10	217
July F	14	27	0	41	55	46	1	102
July M	57	13	0	70	5	55	0	60
July L	132	200	0	332	194	58	4	255
Aug. F	68	11	0	78	15	66	6	87
Aug. M	22	27	0	49	0	52	6	57
Aug. L	0	19	0	19	0	63	4	67
Total***	512(43)	358(30)	312(27)	1,183	595(51)	488(42)	78(7)	1,161

* PR : Precipitation, IR₁ : Irrigation, IR₂ : Inflow from upper paddy

** DR : Drainage, ET: Evapotranspiration, INF : Infiltration

*** Percent in parentheses.

위의 결과를 종합하여 물수지를 분석한 결과는 Table 4과 같다. 영농기간동안 논으로의 전체 유입 수량은 1,183 mm였으며, 이 중 강우에 의한 유입수량은 512 mm (43%), 윗논에서의 유입수량은 358 mm (30%), 지하수 관개에 의한 유입수량은 312 mm (27%)를 나타내어 지하수관개 논에서 총 유입수량 중 강우에 의한 유입수량이 가장 큰 비중을 차지하였다. 영농기간동안 논에서 배출수량은 총 1,161 mm였으며, 이 중 논에서의 배수에 의한 배출수량은 595 mm (51%), 증발산량은 488 (42%), 침투수량은 78 mm (7%)를 나타내었으며, 지하수관개 논의 경우 인위적인 물고조절에 의한 배출수량과 증발산량이 배출수량의 대부분을 차지하는 것으로 나타났다.

4. 논에서의 영양물질수지 분석

강우의 영양물질 농도는 4회 측정한 평균농도가 T-N 1.77 mg/L과 T-P 0.04 mg/L 정도이었고, 지하수 관개용수는 4회 측정한 평균농도가 T-N 1.17 mg/L과 T-P 0.06 mg/L로서 강우수질과 유사한 범위의 수질을 나타내었다. 윗논으로부터 유입은 강우시와 인위적인 낙수시에 발생하였는데 유입수의 평균농도는 T-N 3.19 mg/L과 T-P 0.16 mg/L로서 강우나 관개용수보다 높은 상태이었다. 이렇게 분석한 수질과 수량을 각각 곱한 후 면적으로 나누어 단위면적당 유입량(kg/ha)을 산정하였으며 순별로 정리한 결과는 Fig. 6과 같다. T-P의 경우 대부분의 유입량이 영농초기에 발생하였는데 이유는 시비의 전량을 기비로 주었기 때문이다. 관개에 의한 T-P유입은 영농초기에 발생하였으며, 윗논으로부터의 유입은 영농후기에 발생하였고 강우에 의한 유입은 매우 적은 값을 나타내었다. T-N의 경우는 기비, 분열비, 이삭비가 투여된 5월 말, 6월 초, 그리고 7월 중순에 대부분의 유입이 시비에 의하여 발생하였다.

관개에 의한 T-N 유입은 영농초기에 나타났으며, 강우와 윗논에 의한 유입은 영농후기에 발생하였다.

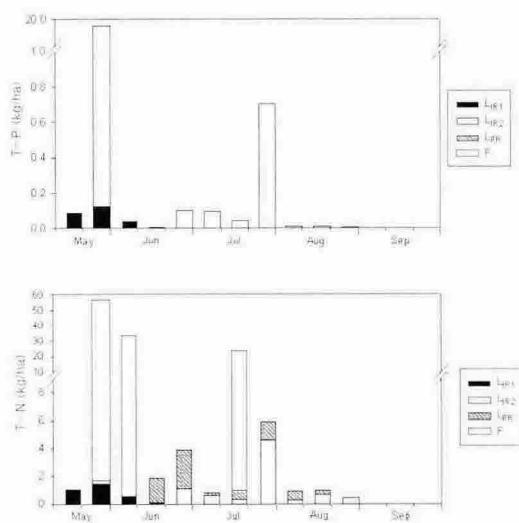


Fig. 6 Nutrients loading to the paddy plot

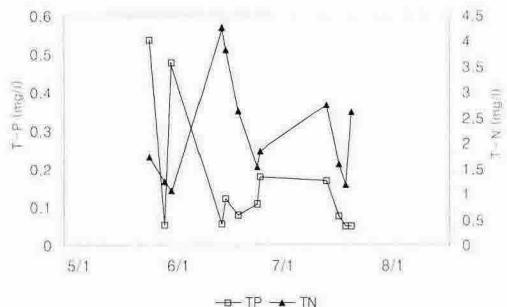


Fig. 7 Nutrient concentration by surface drainage

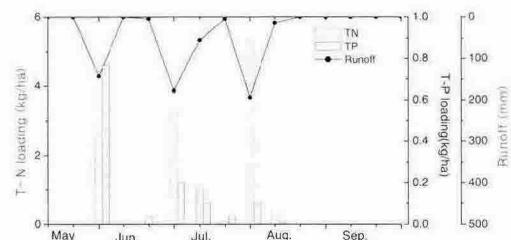


Fig. 8 Nutrient loss by surface drainage

영농기간 동안의 T-N과 T-P의 지표배출농도 및 부하량은 Fig. 7과 Fig. 8과 같다. T-N의 경우에는 시비 투여 후 첫 유출이 일어난 5월 말, 6월 말, 그리고 7월 말에 각각 2.49 kg/ha, 3.23

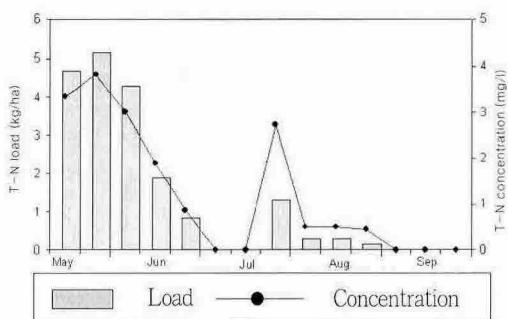


Fig. 9 Nitrogen loss by infiltration

kg/ha, 5.32 kg/ha로써 지표배수량과 비례하여 높은 값을 나타내었다. 그러나, T-P의 경우에는 5월 말에 0.77 kg/ha로서 대부분의 배출이 일어나는데 이는 시비의 특성상 전량을 기비로 사용한 영농초기에 배출이 일어나 높은 값을 나타낸 것으로 생각된다. 따라서 시비 투여 이후의 첫 번째 강우에 의한 지표배수의 관리가 논에서의 오염물질 부하량 감소에 매우 중요한 역할을 할 것으로 생각된다.

침투수에 의한 영양물질의 배출부하량은 Fig. 9 와 같다. 질소농도는 5월 중순에서 6월초까지는 3.35~3.02 mg/L로써 높은 값을 나타내다가 7월 초순까지 침투수의 농도가 급격히 감소하는 것으로 나타났으며, 7월 말경에 2.73 mg/L로 높아졌다가 다시 감소하는 경향을 나타내었다. 5월 중순은 초기의 담수기간으로 비영농기간 동안 논 표토층에 누적되었던 질소가 하향이동하여 높은 값을 나타내었으며, 5월 말의 높은 값을 경운과 써레질로 인한 토양의 교란과 기비가 영향을 주었고, 7월 말은 중간낙수 이후 물의 유입과 동시에 분열비가 투여되었기 때문으로 생각된다. 본 연구에서는 침투수의 수질 중 인은 거의 검출되지 않았는데, 이는 몇 가지의 이유로 나누어 추정할 수 있다. 첫째, 인산염은 점토질 입자나 토양유기물 대한 흡착성이 커서 좀처럼 용탈되지 않아 토양을 이동하는 인산염의 양이 극히 적은데(노 등, 1999), 본 시험포장은 clay가 24.1%로 상대적으로 많았으며, OM(유기물 함량)도 2.72%로 높은 값을 나타내었다.

둘째, 인은 토양의 pH가 높을 때 칼슘이온과 결합되며 pH가 7보다 낮은 경우 인은 칼슘결합물에서 빠른 속도로 제거되어 토양내 철이나 알루미늄이온과 주로 결합한다(권 등, 1998). 본 시험포장에서는 담수상태의 환원층에서 가용화된 많은 부분의 인산은 심층토의 산화층을 통과하면서 낮은 pH(5.09)로 인해 Al-p 나 Fe-p의 형태로 결합하여 다시 고정되기 때문에(조, 1996) 본 연구에서 침투수를 통한 인의 손실이 거의 없었던 것으로 판단된다.

수학에 의한 영양물질은 종실, 뿌리, 잎줄기로 나누어 분석하였으며, 각 처리구별 부분 건물중은 Table 5와 같다. 벼 생체 내의 흡수량은 질소가 115.95 kg/ha이고 인이 16.34 kg/ha로 나타났으며, 각 부분별 질소와 인 함량은 종실부분이 가장 많았다. 벼는 질소와 인을 생육초기에 왕성하게 흡수하여 개화기경까지 흡수가 완료되고, 그 이후에는 잎과 줄기에 축적되어 있던 것을 이삭으로 이동시키기 때문에 종실의 질소와 인의 농도가 다른 부위에 비해 상대적으로 높은 값을 나타낸 것으로 생각된다(이 등, 1995; 조 등, 1995).

실험포장에서 처리구별 영양물질 수지 분석에서 유입은 시비(F), 지하수 관개(L_{IR1}), 윗논 관개(L_{IR2}) 그리고 강우(L_{PR})에 의한 유입을 총유입으로 하였다. 손실은 물꼬(L_{DR}), 침투(L_{INF}), 벼가 흡수한 양(H)을 총유출로 하여 분석하였으며, 영양물질수지 분석결과는 Table 6에 요약되어있다.

유입의 경우는 질소와 인 모두 대부분이 시비에 의한 유입이었고, 다음으로 윗논으로부터의 월류

Table 5 Nutrient loss by plant uptake

Dry weight (ton/ha)	Concentration(%)		Uptake (kg/ha)	
	T-N	T-P	T-N	T-P
Straw	5.2	0.80	41.36	5.30
Root	3.1	0.68	21.09	2.16
Yield	5.2	1.04	53.50	8.89
Total	13.5	2.51	115.95	16.34

Table 6 Mass balance of nitrogen and phosphorous in paddy plot

Date		Input (kg/ha)*				Output (kg/ha)**				Difference	
		F	L _{IR1}	L _{IR2}	L _{PR}	Total	L _{DR}	L _{INF}	H		
T-P	May M		0.09	0.00	0.000		0.00				
	May L	19.64	0.13	0.00	0.000		0.77				
	Jun F		0.05	0.00	0.000		0.00				
	Jun M		0.01	0.00	0.001		0.00				
	Jun L		0.00	0.10	0.001		0.20				
	July F		0.00	0.09	0.000		0.10				
	July M		0.00	0.05	0.001		0.04				
	July L		0.00	0.70	0.001		0.10				
	Aug. F		0.00	0.01	0.001		0.01				
	Aug. M		0.00	0.01	0.000		0.00				
	Aug. L		0.00	0.01	0.000		0.00				
	Sep. F		0.00	0.00	0.00		0.00				
	Sep. M		0.00	0.00	0.00		0.00				
	Sep. F		0.00	0.00	0.00		0.00				
	Total	19.64	0.28	0.97	0.01	20.90	1.22		16.34	17.56	3.34
T-N	May M		1.08	0.00	0.00		0.00	0.28			
	May L	55	1.52	0.00	0.14		2.49	0.56			
	Jun F	33	0.56	0.00	0.00		0.00	0.43			
	Jun M		0.09	0.00	1.85		0.21	0.19			
	Jun L		0.00	1.12	2.82		3.23	0.08			
	July F		0.00	0.62	0.15		1.01	0.00			
	July M	22	0.00	0.30	0.61		0.08	0.00			
	July L		0.00	4.56	1.43		5.32	0.11			
	Aug. F		0.00	0.24	0.73		0.39	0.03			
	Aug. M		0.00	0.70	0.24		0.00	0.03			
	Aug. L		0.00	0.48	0.00		0.00	0.02			
	Sep. F		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00			
	Sep. M		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00			
	Sep. F		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00			
	Total	110.00	3.25	8.02	7.97	129.24	12.73	1.73	115.95	130.41	-1.17

* F : Fertilizer, L_{IR1} : Irrigation, L_{IR2} : Inflow from upper paddy, L_{PR} : Precipitation** L_{DR} : Drainage, L_{INF} : Infiltration, H : Harvest

유입, 관개, 강우에 의한 유입 순이었다. 손실의 경우는 질소와 인 모두 대부분이 벼에 의한 흡수량이었으며, 다음으로 물꼬를 통한 손실, 침투로 인한 손실 순으로 나타났다.

질소의 영양물질 수지를 살펴보면, 벼 재배기간 중 논으로의 질소 유입은 시비와 관개로 크게 구분 할 수 있으며, 이외에 조류(algae)에 의한 대기중

질소의 고정, 강우를 통한 질소 유입 등으로 요약 될 수 있다. 손실로는 물꼬를 통한 직접배출과 침투에 의한 손실, 그리고 탈질과 암모니아 휘산으로 인한 손실로 구분할 수 있다(노 등, 1995; Brady N. 1990). 본 연구에서는 조류에 의한 질소고정과 탈질과 암모니아 휘산에 의한 질소 손실량은 조사하지 못하였다. 질소의 총 유입량은 129.24 kg/ha

었으며, 손실량은 130.41 kg/ha로 유입-손실 = -1.17 kg/ha로 유입보다 손실이 많은 것으로 나타났다. 이는 질소의 손실량 중 탈질과 암모니아 휘산과 영농기간 동안 논에서의 조류와 같은 미생물의 영향등이 고려되지 못하였기 때문에 차이가 나는 것으로 생각된다. 이러한 점을 고려할 때 본 연구에서 조사한 지하수 관개 논에서의 질소 영양 물질은 유입과 손실이 거의 균형을 이루었다고 생각된다.

인의 영양물질 수지에서는 작물재배 기간동안 논으로 인의 유입은 주로 시비를 통해 이루어지며, 일부가 관개수와 강우를 통해 유입되어 토양침식을 통한 유실이나 작물의 흡수에 의해 소비되는 것으로 알려져 있다(노 등, 1995; Brady N. 1990). 인의 경우도 질소의 경우와 마찬가지로 손실량의 대부분이 벼의 흡수량에 의해 이루어졌고, 침투에 의한 손실은 거의 일어나지 않았다. 인의 총 유입량은 20.90 kg/ha이었으며, 손실량은 17.56 kg/ha로 유입-손실 = 3.34 kg/ha로 유입이 손실보다 많은 것으로 나타났다. 인은 본 연구에서 측정한 항목 외에는 큰 손실이 없는 것으로 추정되나, 작물재배기간동안 생장한 부착조류나 토양미생물 등에 의한 영향이 고려되지 못하였기 때문에 차이가 나는 것으로 생각된다. 이러한 요인들이 고려된다면 본 연구에서의 인 영양물질수지는 유입과 손실 사이에 차이가 많지 않아 거의 균형을 이루었다고 판단된다.

논에서의 T-N와 T-P의 순배출량(지표배출량-윗논 유입량)은 각각 4.71 kg/ha, 0.25 kg/ha로 나타났다. 윤 등(2002)은 전라북도 남원시 금지면에 위치한 지표수를 관개로 하는 광역논의 연구결과에 따르면, T-N의 경우 54.7~57.8 kg/ha, T-P는 1.96~2.33 kg/ha가 지표수로 유출된 것으로 나타났으며, 김과 최 등(1995)은 경기도 화성군 반월면 둔대리를 대상한 벼 재배기간 동안 농업 배수에 의한 영양물질 유실량을 조사한 결과, T-N이 15 kg/ha, T-P가 0.59 kg/ha로 나타났

다. 본 연구 결과가 기존의 연구보다 매우 작은 양을 나타내고 있는데, 이는 강우량이 작았으며 지하수를 관개로 하였기 때문이라 생각된다. 따라서 논에서의 배출부하는 관개수와 강우량에 따라 큰 차이가 있을 것으로 판단되며, 앞으로 오염총량제 적용시 이를 충분히 고려해야 합리적인 논에서의 비접오염부하량을 산정할 수 있을 것으로 판단된다.

IV. 요약 및 결론

본 연구는 경기도 여주군 가남면 오산리에 위치한 지하수관개 논을 대상으로 하여 영농기간인 2001년 5월부터 10월까지 필지단위 포장에서의 물수지와 영양물질 수지를 분석하였으며 그 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 물수지에서 논으로 총유입량은 1,183 mm이었으며 이 중 강우에 의한 공급이 512 mm(43%), 윗논에서 유입은 358 mm(30%), 지하수에 의한 관개량이 312 mm(27%)를 차지하여 지하수관개 논의 경우 강우에 의한 유입수량이 가장 많은 것으로 나타났다. 또한 총손실수량은 1,161 mm이었으며 이 중 물꼬에서 배출된 배출수량은 595 mm(51%), 중발산량에 의한 손실수량은 488 mm(42%), 침투에 의한 손실량은 78 mm(7%)로서 물꼬를 통한 배출수량과 중발산량이 대부분을 차지하였다. 물꼬를 통한 배출수량은 낙수기에 대부분 이루어졌으며, 중발산량은 벼의 성장과 거의 비례하여 증가하는 경향을 나타내었다.

- 영양물질수지에서 T-P의 경우는 총유입량은 20.90 kg/ha이었는데 이 중 비료에 의한 공급량이 19.64 kg/ha(94%), 윗논에서 유입량 0.97 kg/ha(5%), 지하수관개에 의한 유입량 0.28 kg/ha(1%) 순이었고 강우에 의한 유입량 0.01 kg/ha로서 매우 적었으며 대부분이 비료에 의해 공급되었다. T-P의 총손실량은 17.56 kg/ha이었으며 이 중 벼 흡수량은 16.34 kg/ha(93%)이었고 물꼬로부터의 배출량은 1.22 kg/ha(7%)로써 벼 흡수량이 대

부분을 차지하였다.

3. 영양물질수지에서 T-N의 경우는 총유입량이 129.24 kg/ha이었으며 이 중 비료에 의한 공급량은 110.00 kg/ha(85%), 윗논에서 유입량은 8.02 kg/ha(6%), 강우에 의한 유입량 7.97 kg/ha(6%), 그리고 지하수 관개에 의한 유입량 3.25 kg/ha(3%)로서 비료에 의한 공급량이 가장 큰 비중을 차지하였다. 또한 T-N의 총손실량은 130.41 kg/ha로써 이 중에 벼 흡수량이 115.95 kg/ha(89%), 물꼬를 통한 배출량이 12.73 kg/ha(10%), 그리고 침투에 의한 손실량이 1.73 kg/ha(1%)로써 벼 흡수량이 가장 큰 비중을 차지하였다.

4. 전체적으로 지하수관개 필지논에서 물수지와 영양물질수지를 비교해보면 약간의 차이는 있었으나 전반적으로 균형을 이루었던 것으로 조사되었다. 영양물질수지에서 발생한 약간의 차이는 본 연구에서 조사하지 않았던 토양미생물이나 조류(algae) 등에 의한 영향을 고려한다면 비교적 유입과 손실이 균형을 이루었다고 평가할 수 있다. 또한 기존의 연구결과와 비교하면, 지표수관개 논에서의 부하량보다 현저하게 낮은 값을 나타내어 관개수의 종류와 강우량의 크기에 따라 부하량에도 차이가 있으리라 판단된다. 따라서, 앞으로의 오염총량제의 논에서의 비점오염부하량 산정시 이를 반드시 고려하여야만 합리적인 부하량 산정이 가능하리라 판단된다.

5. 지하수관개 필지 논에서의 투입된 영양물질은 벼에 의하여 거의 흡수되고 약 10% 정도가 지표배수형태로 수계로 배출되었는데, 지표배수는 영양물질의 시비가 이루어진 후 첫 번째 강우유출에 의해 대부분이 이루어진 것으로 나타났다. 따라서, 수질관리를 위하여 논에서의 영양물질배출 감소가 필요할 경우에는 시비 직후 강우유출을 효과적으로 억제하는 것이 매우 중요하며 이를 위해서는 특히 영농초기에 물꼬관리가 신중하게 이루어져야 할 것으로 생각된다.

본 연구는 농림부 농립기술개발연구과제 ('동지배수의 친환경적 관리 및 처리기법 개발')의 지원에 의하여 수행되었음.

References

1. American Public Health Association. (1995). Standard Methods for the Water and Waste-water Examination. 19th ed., Washington, D.C.
2. Brady, N. 1990. The Nature and Properties of Soils (10th Ed). Macmillan Pub. Co. New York.
3. Cho, D. S. 1995. Rice Physiology and Ecology. Seoul : Hyangmoonsa. (in Korean)
4. Cho, S. J. 1996. Soil Science. Seoul : Hyangmoonsa. (in Korean)
5. Choi, J. K., Koo, J. W., Son, J. G., Yoon, K. S., Cho, J. Y. 2001. Nutrient Balance and Runoff Loading During Cropping Period from a Paddy Plot in Maryeong Irrigation District. *Journal of the KSAE* 43(5):153~162. (in Korean)
6. Hwang H. S. 2002. Mass Balance Analysis and Loading Estimate of Nutrients in Paddy Field Area. M.S. Konkuk university. (in Korean)
7. Hong, S. K., Kwun, S. K. 1989. Characteristics of Pollutant Loading into Streams from Flooded Paddies - On the Special Reference to Total Kjeldahl Nitrogen and Total phosphorous. *Journal of the KSAE* 31(3):92~102. (in Korean)
8. Jin, Y. M. 1998. Development of CREAMS-PADDY Model for Simulating Nonpoint Source Pollutants from Paddies M.S. Seoul National University. (in Korean)
9. Kwun, S. K., Kim, B. Y., Kim, J. S., Kim, T. C., Yoon, C. G., Jung, J. C., Hong, S. G. 1998. Rural Environmental Engineering. Seoul : Hyangmoonsa. (in Korean)

10. Kim, B. Y. Cho, J. K. 1995. Nutrient Effluence by the Outflowing water from the Paddy Field during Rice Growing Season. *KCID Journal.* 2(2):150~156. (in Korean)
11. Kim, J. S., Oh, S. Y., Kim K. S. 1999. Characteristics of Concentration and Load of Nitrogen and Phosphorus in Paddy Field Area. *Journal of the KSAE* 41(4):47~56. (in Korean)
12. Kim, J. T., Park, S. W. 1997. Development and Application of a GIS Interface for the Atricultrual Nonpoint Source Pollution (AGNPS)-Model(II). *Journal of the KSAE* 39(2):53~61. (in Korean)
13. Lee, D. G., Jung, D. I. 2001. Proceedings of International Seminar on Integrated Watershed Management toward 21st Century. (in Korean)
14. Lee, J. J. , 2000. Characteristics of water quality at paddy plots with different fertilizer rate, M. S. Chungbok National University. (in Korean)
15. Ministry of Agriculture & Forestry Korea Agricultural & Rural Infrastructure Corporation, 2000. Yearbook of Agricultural Land and Water Development Statistics 2000. (in Korean)
16. NIAST. 1988. Methods of Analysis Soil and Plant, NIAST, Rural Development Administration.
17. Roh, K. A. Ha, H. S. 1999. Nutrient balance during rice cultivation in sandy soil affected by the fertilizer management, *Journal of Korean Society Soil Science Fertilizer.* 32(2):155~163. (in Korean)
18. Yoon, C. G., Hwang, H. S., Woo, S. H. 2001. Rice Growth and Nutrient Change in Paddy Soil with Reclaimed Sewage Irrigation. *Journal of the KSAE* 43(6):154~163. (in Korean)
19. Yoon, C. G., Ham, J. H., Woo, S. H., Kim, M. H. 2001. Paddy Rice Culture Experiment Using Treated Sewage Effluent From Constructed Wetland. *Journal of the KSAE* 43(2):94~104. (in Korean)
20. Yoon, K. S., Han, K. H., Cho, J. Y., Choi, C. H., Son, J. G., Choi, J. K. 2002. Water and Nutrient Balance of Paddy Field Irrigated from a Pumping Station during Cropping Period. *Journal of Korean Society of Rural Planning* 8(1):15~25. (in Korean)