

마령지구 필지 논으로부터 영농기 영양물질 수지와 유출부하량

Nutrient Balance and Runoff Loading During Cropping Period from a Paddy Plot in Maryeong Irrigation District

최진규* · 구자웅* · 손재권*
Choi, Jin Kyu · Koo, Ja Woong · Son, Jae Gwon
윤광식** · 조재영***
Yoon, Kwang Sik · Cho, Jae Young

Abstract

A study was carried out to investigate the water balance and losses of nutrients at a paddy plot located at the southern Korea. The observed amount of precipitation, irrigation, runoff, evapotranspiration and percolation for the experimental paddy plot during cropping period were 1,030, 566, 701, 551, and 310 mm for 1999 and 1,214, 413, 710, 682, and 234 mm for 2000 year, respectively. The measured input quantities of N and P into the paddy field during cropping period were 122 to 140 kg N ha⁻¹ and 29 to 30 kg P₂O₅ kg ha⁻¹ by chemical fertilizer, 20 to 28 kg N ha⁻¹ and 0.35 to 0.36 kg P ha⁻¹ by precipitation, and 26 to 35 kg N ha⁻¹ and 0.57 to 0.72 kg P ha⁻¹ by irrigation water, respectively. The output amounts of N and P from paddy field were measured as follows. They were 48 to 52 kg N ha⁻¹ and 1.1 to 1.6 kg P ha⁻¹ by runoff water, and 9 to 12 kg N ha⁻¹ and 0.04 to 0.05 kg ha⁻¹ by percolation water. When the runoff losses of nutrients were compared to applied chemical fertilizer, it was found that 34.3 % to 42.6 % of nitrogen lost via runoff while runoff losses of phosphorus account for 3.8 % to 5.3 % of the total applied amount. When the ratio was calculated between nutrients losses by percolation water and the applied of chemical fertilizer, two year results showed 6.4 % to 9.8 % for the nitrogen and 0.1% to 0.2% phosphorus, respectively

I. 서론

농업활동에서 이루어지는 수질오염은 주로 강우에 의해 집중적으로 이루어지는 특징을 가지며,

농업에서 발생하는 비점원오염은 지표수에 용해되거나 토양과 함께 유실되어 하천에 유입되어 강, 호수에 주요 오염원으로 작용하게 된다. 이러한 비점원오염은 유출구가 제한되어 있지 않고 광범

*전북대학교 농과대학 농공학과(농업과학기술연구소)

**전남대학교 농과대학 생물산업공학과(농업과학기술연구소)

***전북대학교 농과대학 농화학과

키워드 : 농업비점원, 논, 침투, 영양물질, 유출

위한 지역에 걸쳐 존재하며 유출량이 대단히 많기 때문에 집중처리에 의한 관리가 현실적으로 불가능하다. 이와 같이 농업유역에서 발생하는 오염은 수환경의 악화, 부영양화, 농업환경에 부정적인 영향을 미쳐 잠재적인 하천오염원으로 작용할 수 있다.

Zessner et al. (1996)에 의하면 오스트레일리아의 지표수에 대한 오염원의 영향을 평가한 결과 점오염원 보다 비점오염원의 영향이 크게 나타나고 있음을 확인하게 되었다. 비슷한 연구로 Kawara et al. (1996)이 일본의 비와호를 대상으로 점오염원과 비점오염원의 환경영향을 평가한 결과 논에서의 영양물질 유출이 커다란 오염원으로 작용하고 있음을 확인하였다. 최근에 농업비점오염원으로 인한 수질 및 환경영향에 대한 심각성이 대두되면서 토양 특성을 이용한 오염물질 저감 및 화학비료의 시비량 감소 (Lee et al., 1990; Takeda et al., 1991; Kunimatsu et al., 1994; Coale et al., 1994), 농경지로부터의 토사유출의 저감 (Seta et al., 1993), 그리고 하천변 수림의 설치 및 논에서의 오염물질 정화기능의 활용 (Chescheir et al., 1991; Takeda et al., 1997)을 이용한 연구 결과가 일부 보고되어 있다.

소유역에서 영농활동에 의해 발생하는 환경오염을 파악하는 것은 이들 농업활동으로부터 생성되는 오염부하량을 최소화시키고 농업환경의 건전성을 확보하는데 필요한 대책을 강구하는데 있어 가장 기본적인 자료가 될 것이다. 따라서 농업활동 이외의 다른 산업활동이 적은 소유역에 있어서 오염물질 부하량에 대한 연구가 필요하다. 특히 우리나라의 경우 논이 전체 농경지 면적의 60% 이상을 차지하고 있는데, 질소와 인의 영양염류에 의한 지표 및 지하수의 오염은 우리나라 농업유역에서 가장 흔히 발생하는 문제이며 이는 기존의 다수확을 목표로 하는 집약농업에서 비료나 퇴비의 사용 권장량이 일부 과도하게 책정되어 있고 더욱이 실제 농가의 사용량은 이를 초과하는 경우도 흔히 발생하기 때문이다. 논에서 영양물질의 이동과 물질 수지는 벼에 대한 양분의 수급을 결

정하고 주변 수계 환경에 영향을 미칠 수 있으므로 논에서 농업 비점오염물질의 유출 메커니즘에 대한 정량적인 평가가 선행되어야 할 것으로 생각된다.

본 연구는 1999년과 2000년의 2개년 동안에 각각 영농기간인 5월 1일부터 9월 30일까지 전라북도 진안군 마령면 평지리의 수도작 지대를 대상으로 관행영농하에서 논에서 영양물질의 수지와 유출부하량을 조사하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시험포장 및 영농현황

본 실험에 사용된 시험포장은 1995년 5월에 경지정리가 완료된 전라북도 진안군 마령면 평지리에 위치하고 있으며, 전형적인 수도작 농업지대이다 (Fig. 1). 본 시험포장으로 유입되는 관개수원은 시험포장으로부터 약 2 km 상류지점에 위치한 섬진강수계 본류하천 취입보로부터 공급받고 있다. 시험포장 계획은 장변 100 m와 단변 50 m로서 면적은 5,000 m²이다. 본 시험포장의 토양은 지산미사질양토 (Jisan Silt loam, SiL : fine loamy, mixed mesic family of Fluventic Haplaguepts)로서 논토양의 이화학적 특성은 Table 1과 같다.

본 연구기간 동안 논에서의 영농활동과 시비현황은 Table 2와 같다. 시험포장은 1999년 5월 22일에 논갈이를 하고 답수를 시킨 후, 5월 25일에 재식거리 15×30 cm, 1주 당 3본씩 기계이앙을 실시하였다. 시험포장의 재배품종은 화선찰벼이며, 10월 2일에 수확하였다. 비관개기간 동안에는 수확 후 벼짚을 전량 논토양에 살포하고 비경운 상태로 두었다가 2000년 3월 22일에 1차 논갈이를 한 다음, 5월 20일에 2차 논갈이를 실시하였다. 2차 연도에는 6월 2일에 이앙을 실시하였으며, 10월 10일에 벼를 수확하였다. 본 연구기간의 시비량은 다음과 같다. 1차 연도에는 5월 22일에 모내기 기비로 76 kg N ha⁻¹, 29 kg P₂O₅ ha⁻¹ 그리고 29 kg K₂O ha⁻¹ 를 전층시비 하였으며, 6월 15일

에 분얼비로 28 kg N ha⁻¹, 7월 30일에 수비로 18 kg N ha⁻¹, 2000년 3월 20일에 규산질비료를 2,000 kg ha⁻¹ 수준으로 시비하였다. 2차년도에는 5월 20일에 모내기 기비로 84 kg N ha⁻¹, 31 kg P₂O₅ ha⁻¹ 그리고 31 kg K₂O ha⁻¹ 를 전층시비 하였으며, 6월 14일에 분얼비로 28 kg N ha⁻¹, 7월 23일에 수비로 28 kg N ha⁻¹ 을 시비하였다. 본 시험포장에 시비된 화학비료의 양을 농촌진흥청의 추천 시비량 (N : P₂O₅ : K₂O = 110 : 70 : 80 kg ha⁻¹)과 비교하면 질소의 경우 약 110~130 %, 그리고 인의 경우 약 40 % 수준으로 시비되고 있었다.

Table 1 Physical and chemical properties of the soil in paddy plot

Chemical properties		Particle size fraction (g/100g)	
Organic matter (g/100g)	2.32	Sandy	25.0
pH (1:5)	5.89	Silt	56.9
Total-N (mg kg ⁻¹)	889.3	Clay	18.1
Total-P (mg kg ⁻¹)	284.2		
CEC (cmol ⁺ kg ⁻¹)	9.6		
Exchangeable cations (cmol ⁺ kg ⁻¹)			
Ca	3.2		
Mg	2.1		
Na	0.1		
K	0.6		

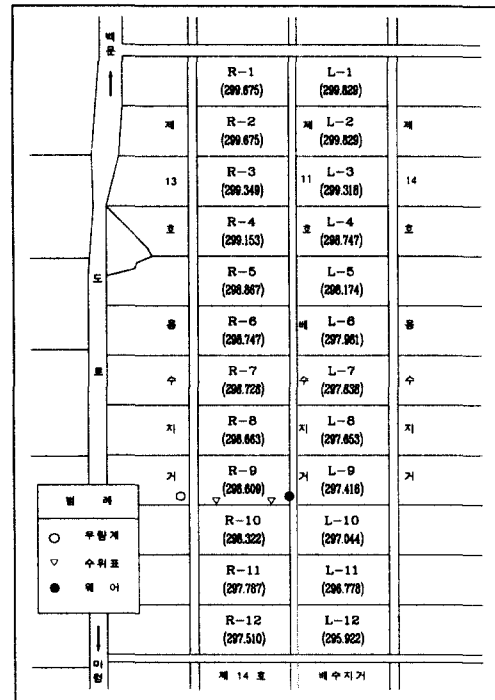


Fig. 1 Location map of study area

시험포장에 설치된 시설로는 강우량 측정을 위한 우량계 (Casella rainfall system, UK) 1조, 관개수 유입량 측정을 위한 유량계 1조, 논에서 유

Table 2 The records of agricultural management

Year	Date	Fertilization and agricultural activity	Remark
1999	May 22, 1999	1st plowing and basal fertilization	76 kg N ha ⁻¹ , 29 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹
	May 25, 1999	rice transplanting	transplanting distance, 15×30 cm, three seedlings
	Jun 15, 1999	tillering fertilization	28 kg N ha ⁻¹
	Jul 30, 1999	panicle fertilization	18 kg N ha ⁻¹
	Oct 2, 1999	harvest	
2000	Mar 22, 2000	spring plowing	
	May 20, 2000	1st plowing and basal fertilization	84 kg N ha ⁻¹ , 31 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹
	Jun 2, 2000	rice transplanting	transplanting distance, 15×30 cm, three seedlings
	Jun 14, 2000	tillering fertilization	28 kg N ha ⁻¹
	Jul 23, 2000	panicle fertilization	28 kg N ha ⁻¹
Oct 10, 2000	harvest		

출수량 측정을 위한 자기수위계 (Water level recorder, Ota Co. Ltd., Japan) 및 웨어 시설 1조, 그리고 간이 침투량계와 증발량계를 각각 1조씩 설치하였다. 모든 측정 기기는 1999년 5월 1일부터 2000년 9월 30일까지 운영하였다. 강우계는 시험포장의 관개수 유입구 옆에 설치하였으며, 강우 자료는 자기 우량계의 자기기록지에 누가우량으로 기록된다. 관개수량은 시험포장의 관수로 유입구에 설치된 유량계를 이용하여 관개수 유입량을 측정하였으며, 매 관개시마다 bucketing을 통하여 유량을 보정하였다. 유출수량은 웨어에서 유출되는 수위를 측정한다 다음 웨어유량공식을 이용하여 유량을 산정하였다.

2. 시료채취 및 분석방법

강우 시료는 2 mm 이상의 강우사상이 발생할 때마다, 관개수 시료는 매 관개시마다 관개수 유입구에서 실험자가 직접 채수하였다. 유출수 시료의 경우에도 실험자가 직접 유출이 발생할 때마다 2시간 간격으로 시험포장의 웨어 유출구에서 폴리 에틸렌 용기 (2ℓ)에 채수하였으며, 모든 수질시료는 4 °C 이하의 온도로 보관하면서 분석시료로 사용하였다. 시료의 분석은 USDI의 FWPCA manual(1971)에 기준하였다. 부유물질(suspended solids)은 시료 1000 mL를 취하여 유리섬유여지법으로, 총질소와 암모니아성질소는 수질시료 500 mL를 취하여 각각 환원증류-킬달법과 중화적정법으로 분석하였다. 총인은 수질시료 500 mL를 취하여 50 mL로 농축한 다음 ascorbic acid reduction법에 기준하여 분석하였다. 질산성질소는 0.45 μm의 유리섬유 여지 (GF/C)를 사용하여 여과한 다음 이온크로마토그래피 (Sykam 4260, Germany)를 이용하여 분석하였다. 토양분석은 Jackson (1967)의 방법에 기준하였다. 토성은 micropipette법으로 측정하였으며, 토양 pH는 1:5 H₂O 현탁액 중에서 유리전극으로 측정하였고, 유기탄소 함량은 Walkley-Black 법으로, 양이온 치환용량은 1-N ammonium acetate를 이용하여 토양을 NH₄⁺로 포화시킨 후

킬달증류법을 이용하여 측정하였으며, 치환성 양이온은 1N-ammonium acetate로 침출하여 유도결합플라즈마 (Liberty Series II, Varian, Australia)로 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 강우특성

1999년 5월 1일부터 2000년 9월 30일까지 시험기간 동안 조사 대상지역에 내린 강우량과 강우특성을 조사한 결과는 다음과 같다. 장마는 6월 20일에 시작하여 7월 18일에 종료되었는데, 약 28일로서 예년의 29일과 비슷한 경향이었다. 수도작 영농시기로 논에서 물의 유·출입이 많은 6, 7, 8월에 내린 강우량은 1999년의 경우 765 mm, 2000년의 경우 883 mm로 나타났다. 본 조사기간 동안의 강우특성은 9월에 약 270~290 mm의 강우량이 기록되었다는 점이다. 9월 중 강우량은 1990년부터 1996년까지의 예년 강우량의 약 200%를 나타내었다. 1999년과 2000년 영농기간 동안의 강우량은 각각 1030 mm, 1214 mm를 나타내었다.

2. 물수지

논에서의 물수지 방정식은 다음 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

$$W_t = W_{t-1} + I_t + P_t - (R_t + E_t + F_t) \dots (1)$$

여기에서, W는 일평균 담수심, I는 관개수량, P는 강우량, R은 유출수량, E는 증발산량, 그리고 F는 침투수량을 의미하며, 첨자 t는 t일을 나타낸다.

조사기간 동안 유·출입된 물의 양을 대입하여 물수지를 계산한 결과, 1999년의 경우 강우량은 1,030 mm, 관개수량은 566 mm, 침투수량은 310 mm, 유출수량은 701 mm 그리고 증발산량은 551 mm 이었고, 2000년의 경우 강우량은 1,214 mm, 관개수량은 413 mm, 침투수량은 234 mm, 유출수량은

710 mm 그리고 증발산량은 682 mm 이었다. 측정오차는 1999년의 경우 34 mm, 2000년의 경우 1 mm로 나타났다 (Table 3).

권과 유 (1990)가 경기도 화성군 정남면 케랑리 인근 논에서 물수지를 계산한 결과, 강우량은 808.6 mm, 관개수량은 715.4 mm, 침투수량은 318.0 mm, 유출수량은 1,060 mm 그리고 증발산량은 668 mm로 측정오차가 522.0 mm 였다고 보고한 바 있으며, 이와 허 (1995)가 벼 재배기간 동안 물수지를 조사한 결과, 강우량은 1,513 mm, 관개수량은 500 mm, 침투수량은 552 mm, 증발산

량은 598 mm, 유출수량은 500 mm로 나타났으며, 측정오차는 약 363 mm였다고 보고하였다. 이와 같이 각 연구자별로 연구결과가 서로 상이하게 나타나고 있는데 이는 기상조건, 토양투수조건, 작물 재배방식 및 관개수량 등이 지역별로 다르기 때문에 나타나는 결과로 생각된다.

3. 강우량과 유출량과의 관계

강우-유출 과정중 강우량과 논에서 유출되는 유출수량과의 관계를 직선회귀 분석한 결과 Fig. 2

Table 3 Water balance in the experimental paddy plot from May 1, 1999 to September 30, 2000

Period (Year,Month,Day)	Precipitation (mm)	Irrigation (mm)	Runoff (mm)	Evapotranspiration (mm)	Percolation (mm)
1999. 05.01~05.10	64.0	0.0	9.9	29.8	20.0
05.11~05.20	0.0	0.0	0.0	2.3	2.0
05.21~05.31	32.0	160.2	43.1	43.3	29.8
06.01~06.10	7.0	92.8	0.0	37.2	27.3
06.11~06.20	82.1	54.9	13.3	39.5	33.0
06.21~06.30	71.2	0.0	46.4	39.8	23.8
07.01~07.10	83.8	0.0	55.8	41.1	16.4
07.11~07.20	7.2	56.9	23.1	50.4	17.5
07.21~07.31	194.6	39.3	213.2	48.3	18.4
08.01~08.10	80.6	0.0	56.3	47.7	15.9
08.11~08.20	8.0	54.3	2.6	46.6	18.0
08.21~08.31	130.2	107.7	151.2	33.5	22.5
09.01~09.10	78.4	0.0	7.5	31.1	23.3
09.11~09.20	46.4	0.0	8.6	35.3	22.4
09.21~09.30	144.0	0.0	70.1	25.3	19.9
Total	1,030	566	701	551	310
2000. 05.01~05.10	8.6	0.0	0.0	1.2	1.0
05.11~05.20	7.2	21.8	0.0	11.6	2.0
05.21~05.31	23.8	10.9	0.0	34.4	22.0
06.01~06.10	113.4	63.5	32.9	47.3	19.5
06.11~06.20	13.8	34.0	30.3	51.4	20.9
06.21~06.30	128.4	17.8	11.0	36.9	19.9
07.01~07.10	44.6	22.9	15.7	54.4	16.9
07.11~07.20	53.6	0.6	18.5	56.8	14.3
07.21~07.31	181.2	71.1	164.6	77.9	10.9
08.01~08.10	40.8	54.2	67.6	45.0	12.0
08.11~08.20	86.0	38.9	84.5	44.3	11.3
08.21~08.31	220.8	62.2	131.2	61.7	15.1
09.01~09.10	70.4	15.3	24.3	60.7	21.4
09.11~09.20	220.6	0.0	120.7	64.1	20.6
09.21~09.30	0.4	0.0	0.0	34.3	27.0
Total	1,214	413	710	682	234

에 나타낸 바와 같이 강우량과 유출수량간에 유의성있는 직선관계가 나타나지 않았다. 이는 논에서 유출과 관련하여 강우크기가 큰 영향을 미치겠지만 이 밖에도 논에서의 선행 담수심, 유출수문 조건과 같은 논물관리형태에 따라 영향을 받고 있는 것으로 생각된다.

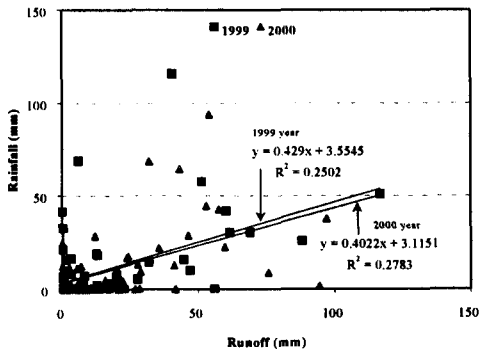


Fig 2 Rainfall-runoff relationship

4. 수질시료중 질소와 인의 함량변화

본 연구는 관행영농이 수행되고 있는 논에서 유·출입되는 수질시료중 화학성분의 함량변화와 유출부하량을 평가하고자 하였다. 일반적으로 논에는 이앙 전에 기비로 약 50 %의 화학비료가 시비되고, 6월 중·하순경에 분얼비로 약 25 % 나머지 25 %는 7월 하순경에 수비로 시비된다. 영농기간인 1999년 5월~9월 및 2000년 5월~9월까지 논에서 유·출입되는 수질시료중 영양물질의 함량 변화를 조사한 결과는 Table 4에 나타낸 바와 같다.

2년간 측정된 수질 자료를 살펴보면 강우시료중 총질소의 함량은 0.14~3.29 mg L⁻¹의 범위로 평균 1.56 mg L⁻¹, 암모니아성질소는 0.08~2.44 mg L⁻¹의 범위로 평균 0.94 mg L⁻¹ 그리고 질산성질소는 0.03~1.01 mg L⁻¹의 범위로 평균 0.38 mg L⁻¹를 나타내었다. 이 등 (1995)이 비오염지로 판단하여 조사한 경기도 안성지역 강우중 암모니아성질소 함량 1.25 mg L⁻¹와 질산성질소 함량 0.92

Table 4 Summary of water quality monitoring

(Unit : mg L⁻¹)

Samples		Total-N		Ammonia-N		Nitrate-N		Total-P	
		1999	2000	1999	2000	1999	2000	1999	2000
Precipitation	Mean	2.8	0.9	1.9	0.4	0.6	0.3	0.03	0.01
	Max	3.3	2.4	2.4	1.5	1.0	1.0	0.05	0.10
	Min	2.3	0.1	1.5	0.1	0.3	0.1	0.02	0.00
	S.D.*	0.3	0.6	0.2	0.4	0.3	0.2	0.01	0.01
	No of samples	18	32	18	32	18	32	18	32
Irrigation water	Mean	6.4	2.3	1.1	0.7	4.9	1.5	0.10	0.06
	Max	13.1	4.0	2.6	1.7	10.1	3.6	0.14	0.13
	Min	2.5	1.0	0.4	0.3	1.6	0.4	0.01	0.00
	S.D.*	3.6	1.1	0.8	0.3	3.0	1.2	0.02	0.05
	No of samples	8	8	8	8	8	8	8	8
Runoff water	Mean	7.2	4.9	4.7	2.4	1.3	1.8	0.14	0.16
	Max	18.1	13.2	13.2	6.3	2.6	6.4	0.24	0.25
	Min	3.7	2.3	2.1	1.1	0.7	0.6	0.11	0.10
	S.D.*	3.4	3.1	2.0	0.9	0.4	1.0	0.04	0.04
	No of samples	25	23	25	23	25	23	25	23
Percolated	Mean	3.8	3.9	0.5	0.5	2.7	2.7	0.02	0.02
	Max	5.6	5.7	1.3	1.3	4.8	4.7	0.03	0.03
	Min	2.5	2.5	0.1	0.1	1.2	1.2	0.01	0.01
	S.D.*	1.0	1.0	0.5	0.4	1.4	1.4	0.01	0.01
	No of samples	8	8	8	8	8	8	8	8

*S.D. : standard deviation

mg L⁻¹와 비교시 본 조사지점에서 약간 낮게 나타났다. 총인의 함량은 0~0.06 mg L⁻¹의 범위로 평균 0.02 mg L⁻¹를 나타내었으며, 조사기간 동안 가용성인은 검출되지 않았다. Lee et al. (1990)에 의하면 경기도 화성군 일대의 수도작 지대에 내리는 강우성분을 조사한 결과, 가용성인은 검출되지 않았으며, 총인의 함량은 시기에 관계없이 0.04~0.08 mg L⁻¹로 낮은 함량을 나타내었다고 보고하였는데 본 조사결과도 이와 유사한 경향이었다.

관개수중 총질소, 암모니아성질소 및 질산성질소의 함량은 각각 0.96~13.13 mg L⁻¹, 0.33~2.56 mg L⁻¹ 및 0.37~10.06 mg L⁻¹의 범위였으며, 특히 시비후 관개용수로 주변 논에서 영양물질의 삼투 및 유출량이 증가하는 이양초기에 높게 나타났다. 관개수원이 되는 하천수는 유역으로부터 공급되는 각종 무기 및 유기성분을 함유하게 되는데 그 농도는 지역, 거리 및 시기에 따라 다르게 나타나게 된다. 특히, 본 시험포장의 경우 총질소의 값이 높은 이유는 용수호가 용배수로 겸용으로 되어 있어 위쪽 필지의 논으로부터 배수된 물이 합쳐져 취수되었기 때문으로 사료된다. Lee et al. (1990)에 의하면 관개수중 질소성분의 함량은 이양초기에는 다소 높으나, 강우량이 많은 6월 중순부터 7월 중순 사이에 현저히 감소되는 경향을 나타내었다고 하였는데 본 조사결과도 이와 유사한 경향이었다. 총인의 함량은 0.00~0.14 mg L⁻¹의 범위로 평균 0.05 mg L⁻¹를 나타내었으며, ortho-phosphate는 거의 대부분의 시료에서 검출되지 않았다.

유출수중 총질소의 함량은 2.34~18.10 mg L⁻¹의 범위로 평균 5.87 mg L⁻¹, 암모니아성질소는 1.09~13.17 mg L⁻¹의 범위로 평균 3.38 mg L⁻¹, 그리고 질산태 질소는 0.62~6.36 mg L⁻¹의 범위로 평균 1.60 mg L⁻¹를 나타내었다. 질소원의 함량은 비료시비시기 즉, 기비, 분얼비 및 수비 시비시기에 현저하게 증가하였다가 점차 감소하는 경향이었는데 수도체 수확이 끝난 비영농기간에도 유출수중 총질소의 함량이 거의 대부분 4~5 mg L⁻¹의 범위를 나타내어 하천으로 유입될 경우 수

계 환경에 영향을 미칠 수 있는 수준으로 조사되었다. Kim and Cho (1995) 그리고 Lee et al. (1990)에 따르면 총질소의 함량이 비료시비기에는 약 10~15 mg L⁻¹를 나타내다가 7월 이후는 논물 자체의 함량이 낮아서 비료성분 유출에 따른 영향이 없을 것이라고 하였는데, 본 조사에서는 7월 이후에도 환경정책기본법 (환경처, 1993)에서 제한하고 있는 농업용수중 총질소 기준치 인 1.0 mg L⁻¹를 모든 조사시기에서 초과하고 있는 것으로 나타났다. 총인의 함량은 0.10~0.25 mg L⁻¹의 범위로 평균 0.15 mg L⁻¹를 나타내었는데 기비 시비후 점차 증가하다가 6월 하순이후 완만하게 감소하는 경향이었다.

영농기간인 1999년 5월부터 9월까지와 2000년 5월부터 9월까지 시험포장에 매설된 토양용액 채취관으로 이동한 침투수중 화학성분의 시기별 함량변화를 조사한 결과는 다음과 같다. 본 실험에서는 토양깊이별로 30, 50, 70, 90cm 간격으로 토양용액 채취관을 매설하였으나 여기에서는 편의상 토양용액 채취관 매설깊이 90 cm를 대상으로 실험결과를 논의하였다. 침투수중 총질소의 함량은 2.46~5.69 mg L⁻¹의 범위로 평균 3.86 mg L⁻¹, 암모니아성질소는 0.02~1.31 mg L⁻¹의 범위로 평균 0.51 mg L⁻¹ 그리고 질산성질소는 1.15~4.76 mg L⁻¹의 범위로 평균 2.29 mg L⁻¹를 나타내었다. Lee et al. (1995)에 의하면 벼 재배기간 동안 토양용액 채취관을 이용하여 질산성질소와 암모니아성질소의 용탈량을 조사한 결과, 암모니아성질소의 경우 이양초기에 농도변화가 크게 나타난 반면, 질산성질소는 0.1~0.5 mg L⁻¹로 일정하게 나타났다고 하였다. 본 조사 결과와 비교시 시기별 농도변화에서 차이를 보이고 있는데 조사지역의 토양 특성, 강우조건, 비료시비량 및 논물관리 등이 서로 다르기 때문에 나타난 결과로 생각된다. 총인의 함량은 0.01~0.03 mg L⁻¹의 범위로 평균 0.02 mg L⁻¹, 가용성인은 0~0.02 mg L⁻¹의 범위로 평균 0.003 mg L⁻¹를 나타내었다.

5. 논에서의 질소와 인의 물질수지

논에서 화학성분의 물질순환은 크게 유입계, 내부계, 유출계로 분류할 수 있다. 화학비료, 볏짚, 관개수와 관개토사, 강우와 같은 인자가 유입계에 포함되며, 생물학적 질소고정과 일부 영양물질의 토양내 고정이나 내부계에 포함되며, 암모니아 휘산과 탈질을 통한 질소손실, 침투손실, 논두렁에서의 삼투손실, 수확된 현미의 인출 그리고 유출수와 유출토사와 같은 인자가 유출계에 해당된다. 이와 같이 논토양 내에서 화학성분의 물질수지는 여러 가지 인자가 개입되어 있고, 지역적인 특성이나 영농형태에 의해 물질수지 결과가 다양하게 나타날 수 있다. 본 조사기간 동안 논으로 유·출입된 영양물질의 수지와 유출부하량은 Table 5와 같다.

Table 5 Input/output of N and P from a paddy field. Unit : kg ha⁻¹

	Total-N		Total-P	
	1999	2000	1999	2000
Input				
Precipitation	28	20	0.36	0.35
Irrigation water	35	26	0.57	0.72
Chemical fertilizer	122	140	29	30
Subtotal	185	186	29.93	31.07
Output				
Outflow water	52	48	1.1	1.6
Percolation water	12	9	0.05	0.04
Subtotal	64	57	1.15	1.64

가. 유입계

수계 환경에 영향을 미칠 수 있는 영양물질 가운데 화학비료로 시비된 질소와 인을 대상으로 물질수지를 조사한 결과, 영양물질의 유입량은 화학비료에 의해 총질소 122~140 kg ha⁻¹, 총인 29~30 kg ha⁻¹, 강우에 의해 총질소 20~28 kg ha⁻¹, 총인 0.35~0.36 kg ha⁻¹, 관개수에 의해 총질소 26~35 kg ha⁻¹, 총인 0.57~0.72 kg ha⁻¹가 유입된 것으로 나타났다

나. 유출계

영농기간 동안 유출수에 의한 영양물질의 유출

부하량은 총질소의 경우 48~52 kg ha⁻¹, 총인은 영농기간 1.1~1.6 kg ha⁻¹로 나타났다. 시기별로 6월에 유출량이 가장 높았는데 이는 시비효과로 6월에 유출수중 화학성분의 농도가 높았기 때문인 것으로 생각된다. 유출량을 시비된 화학비료량을 기준으로 유실률을 계산한 결과, 질소의 경우 시비량의 약 34.3~42.6 %, 인은 3.8~5.3 %가 유출과정을 통하여 유실된 것으로 나타났다. Kim and Cho (1995)가 경기도 화성군 반월면 둔대리를 대상으로 벼 재배기간 동안 농업배수에 의한 영양물질의 유실률을 조사한 결과, 질소 15 kg ha⁻¹, 인 0.59 kg ha⁻¹ 이었으며, 유실률은 질소 5.32 %, 인 0.01 %로 나타났다. 또한 권과 유 (1989)가 경기도 화성군 정남면 쾌량리 농경지 29.3 ha를 대상으로 벼 재배기간 동안 영양물질의 유출량을 조사한 결과, 총질소는 12.37 kg ha⁻¹ 그리고 총인은 2.16 kg ha⁻¹로 나타났다. Kunimatsu (1986)은 1983년을 기준으로 일본에서 연구되었던 농경지에서 영양물질 이동에 대한 연구결과와 일본농림 통계의 자료를 인용하여 논에서 영양물질의 수지를 계산하였는데 그 결과 지표유출을 통해 총질소 14.3 kg ha⁻¹ 그리고 총인 0.482 kg ha⁻¹가 손실되었다. Takeda et al. (1990)이 비와호 수역에서 11.6 ha의 논을 대상으로 영양물질의 유출부하량을 조사한 결과, 총질소 45.7 kg ha⁻¹ 그리고 총인 8.72 kg ha⁻¹로 나타났으며, 그 중 비영농기간 (227일) 동안에 각각 총질소 52 %, 총인 14 %가 유출되었고, 영농기에는 총질소 22.1 kg ha⁻¹ 그리고 총인 7.48 kg ha⁻¹이 나타난 것으로 보고되어 있다. 본 조사결과와 지금까지 연구된 국내·외 결과를 비교해 보면, 본 조사에서 질소와 인의 유출부하량이 높은편에 속했다. 이는 영농지역에 따른 비료 사용량, 시비방법, 시비시기, 관개용수 및 강우의 양과 성분의 차이 등 지역특성으로 인하여 영양물질의 유출량에 차이가 발생한 것으로 생각된다.

본 연구 결과 영양물질의 침투유출부하량은 총질소의 경우 9~12 kg ha⁻¹로 월별로는 6월에 가장 높게 나타났다. 이는 5월말 영농을 위한 기비

시비후 논물중 총질소 함량이 크게 증가하였기 때문인 것으로 생각된다. 총인의 침투손실량은 0.04~0.05 kg ha⁻¹로 나타났으며, 월별로는 5월과 6월에 가장 높게 나타났다. Kunimatsu (1986)이 일본 농립통계의 자료를 인용하여 논에서 침투손실량을 조사한 결과, 총질소는 11.34 kg ha⁻¹ 그리고 총인은 0.194 kg ha⁻¹로 나타났다. 본 조사결과와 Kunimatsu (1986)의 결과를 비교시 총질소 침투손실량은 유사한 경향이었으나, 총인은 본 조사결과가 더 작게 나타났다. 이는 연구대상 지역의 인 시비량이 상대적으로 작은데 기인하는 것으로 판단되었다.

IV. 요약 및 결론

본 연구는 1999년 5월부터 2000년 9월 30일까지 전라북도 진안군 마령면 평지리의 수도작 지대를 대상으로 관행영농하에서 논에서 영양물질의 수지와 유출부하량을 조사하였다. 본 연구기간의 시비량을 살펴보면 1차년도에는 기비로 76 kg N ha⁻¹ 과 29 kg P₂O₅ ha⁻¹ 분얼비로 28 kg N ha⁻¹ 수비로 18 kg N ha⁻¹ 2차년도에는 기비로 84 kg N ha⁻¹ 과 31 kg P₂O₅ ha⁻¹ 분얼비로 28 kg N ha⁻¹ 수비로 28 kg N ha⁻¹ 을 시비하였다.

조사기간 동안 유·출입된 물수지를 계산한 결과, 1999년의 경우 강우량은 1,030mm, 관개수량은 566 mm, 침투수량은 310 mm, 유출수량은 701 mm 그리고 증발산량은 551 mm 이었고, 2000년의 경우 강우량은 1,214mm, 관개수량은 413 mm, 침투수량은 234 mm, 유출수량은 710 mm 그리고 증발산량은 682 mm 이었다. 영양물질수지를 조사한 결과, 연도별 영농기 영양물질의 유입량은 화학비료에 의해 총질소 122~140 kg ha⁻¹, 총인 2.9~3.0 kg ha⁻¹, 강우에 의해 총질소 20~28 kg ha⁻¹, 총인 0.35~0.36 kg ha⁻¹, 관개수에 의해 총질소 26~35 kg ha⁻¹, 총인 0.57~0.72 kg ha⁻¹가 유입된 것으로 나타났다.

영농기간 동안 유출수에 의한 영양물질의 유출량은 총질소의 경우 48~52 kg ha⁻¹, 총인은 영농

기간 1.1~1.6 kg ha⁻¹로 나타났다. 시기별로 6월에 유출량이 가장 높았는데 이는 시비효과로 6월에 유출수중 화학성분의 농도가 높았기 때문인 것으로 생각된다. 유출량을 시비된 화학비료량을 기준으로 유실률을 계산한 결과, 질소의 경우 시비량의 약 34.3~42.6 %, 인은 3.8~5.3 %가 유출과정을 통하여 유실된 것으로 나타났다. 연구결과 영양물질의 침투손실량은 총질소의 경우 9~12 kg ha⁻¹로 월별로는 6월에 가장 높게 나타났다. 이는 5월말 영농을 위한 기비 시비후 논물중 총질소 함량이 크게 증가하였기 때문인 것으로 생각된다. 총인의 침투손실량은 0.04~0.05 kg ha⁻¹로 나타났다. 침투손실량을 시비된 화학비료량을 기준으로 유실률을 계산한 결과, 질소의 경우 시비량의 약 6.4~9.8 %, 인은 0.1~0.2 %가 침투과정을 통하여 유실된 것으로 나타났다.

그러나, 이와 같은 결과는 단일 시험포장에서 이루어진 것이므로 광역단위 농경지에서의 적용을 위해서는 배수로 형태 및 함유에 따른 지체효과, 식생 및 수로 조건 등에 따른 논구획 물수지 분석 및 배수로 특성, 구획크기에 따른 유출부하량 조사가 체계적으로 이루어져야 할 것이다.

본 연구는 농림부 농림기술개발연구과제의 협동연구비(유역 및 하천관리에 관한 연구) 지원에 의해 수행되었음.

참 고 문 헌

1. 권순국, 유명진, 1989, 담수호의 환경오염 및 부영양화 방지대책 수립(Ⅱ), 농어촌진흥공사
2. 이기상, 허일봉, 1995, 벼 재배시 질소양분 행동에 관한 연구, 농사시험연구보고서, pp.346~349.
3. 임상준, 박승우, 1997, 논외 유출곡선번호 추정, 한국수자원학회논문집, 30(4), pp.379~387.
4. 하호성, 허종수, 1989, 김해평야 관개수 오염도가 벼 영양생리에 미치는 영향, 한국환경농학

- 회지, 8(2), pp.93~102.
5. 환경처, 1993, 환경정책기본법.
 6. Chescheir G. M., Gilliam J. M., Skags R. W., and Broadhead R. G., 1991, Nutrient and sediment removal in forested wetlands receiving pumped agricultural drainage water, *Wetlands*, 11, pp.87~103.
 7. Coale F. J., Porter P. S., and Davis W., 1994, Soil amendments for reducing phosphorus concentration of drainage water from Histosols, *Soil Sci. Soc. Am. Jour.*, 58, pp.1470~1475.
 8. Jackson, M. L., 1967, Soil chemical analysis, Prentice-Hall of India private limited, New Delhi, pp.134~181.
 9. Kawara, O., Hirayma, K., and Kunimatsu, T., 1996, A study on contaminant loads from the forest and rice paddy fields, *Water Sci. Technol.*, 33, pp.159~168.
 10. Kim, B. Y. and J. K. Cho., 1995, Nutrient effluence by the outflowing water from the paddy field during rice growing season, *Korean Comm. Irrig. and Drain.*, 2, pp.150~156.
 11. Kunimatsu, T., 1986, Management and runoff of nutrients from farming land, *Water Management Technol.*, 27, pp.713~720.
 12. Kunimatsu T., Rong, L., Sudo, M. and Takeda, I., 1994, Runoff loadings of materials causing water pollution from a paddy field during a non-planting period, *The Japanese Soc. Irrig. Drain. and Reclam. Eng.*, 170, pp.45~54.
 13. Lee, C. K., K. C. Lee, H. J. Lee, H. I. Rhu, M. H. Lee, S. H. Jun, S. S. Kim, S. K. Kim, and S. D. Kim, 1990, Studies on good agricultural practice in the use of fertilizer and agro-chemical, Report of Natl. Environ. Res., Korea, 12, pp.293~310.
 14. Seta A. K., Blevins R. L., Frye W. W., and Barfield W., 1993, Reducing soil erosion and agricultural chemical losses with conservation tillage, *J. Environ. Qual.*, 24, pp.106~111.
 15. Shin, D. S. and S. K. Kwun, 1990, Input/output of nitrogen and phosphorus in a paddy field, *Korean J. Environ. Agric.*, 9, pp.133~141.
 16. Takeda I., T. Kunimatsu, S. Kobayshi, and T. Maruyama, 1991, Contaminant balance of a paddy field area and its loading in the water system-studies on pollution loadings from a paddy field area, *The Japanese Soc. Irrig. Drain. Reclam. Eng.*, 153, pp.63~72.
 17. Takeda, I., Fukushima, A. and Tanaka R., 1997, Non-point pollutant reduction in a paddy-field watershed using a circular irrigation system, *Water Res.*, 31, pp.2685~2692.
 18. U.S. Department of Interior, 1971, FWPCA methods for chemical analysis of water wastes, Natl. Environ. Res. Center, Ohio, pp.312.
 19. Zessner, M., Kaas, T., Brunner, P. H., and Fleckseder, H., 1996, Regional material accounting of nitrogen in upper Austria, *Water Sci. Technol.*, 33, pp.89~96.