

양수장 지구 광역논으로부터 영농기간 영양물질의 유출 및 물질수지

Water and Nutrient Balance of Paddy Field Irrigated from a Pumping Station during Cropping Period

윤광식* · 한국현* · 조재영* · 최창현** · 손재권*** · 최진규***

*전남대학교 생물산업공학과 (농업과학기술연구소) ·

전북대학교 농화학과 · *전북대학교 농공학과 (농업과학기술연구소)

Yoon, Kwang-Sik* · Han, Kuk-Heon* · Cho, Jae-Young**
Choi, Chang-Hyun** · Son, Jae-Gwon*** · Choi, Jin-Kyu***

*College of Agriculture (Institute of Agri. Science & Tech.), Chonnam National University

**College of Agriculture, Chonbuk National University

***College of Agriculture (Agri. Science & Tech. Institute), Chonbuk National University

---ABSTRACT---

The study was carried out to investigate the water balance and losses of nutrients from paddy fields during cropping period. The size of paddy fields was 95 ha and the fields were irrigated from a pumping station. The runoff loading was the highest in June because of the high concentrations of nutrients due to applied fertilizer. When the runoff losses of nutrients were compared to applied chemical fertilizer, it was found that 39.1 % to 42.5 % of nitrogen lost via runoff while runoff losses of phosphorus account for 14.5 % to 17 % of the total applied amount during cropping period. When the ratio was calculated between nutrients losses by infiltration and the applied of chemical fertilizer, two year results showed 9.1 % to 10.8 % for nitrogen and 0.5 % for phosphorus, respectively.

1. 서론

수도 이앙기와 분얼기에 발생하는 강우-유출과정을 통하여 다량의 영양물질이 하천으로 유입되어 하천이나 담수호의 부영양화 유발물질로서 크게 작용하게 된다. 영양물질의 유실은 비료의 경제적인 손실뿐만 아니라 환경적인 부담으로 작용하기도 하며 인간의 보건위생상 문제를 수반할 수 있다. 농업자재로 사용되는 질소와 인에 의한 하천 및 지하수의 오염은 농업유역에서 가장 흔히 발생하는 문제이며 이는 기존의 다수확을 목표로 하는 집약농업에서 비료나 퇴비의 시용 권장량이 일부 과도하게 책정되어 있고 더욱이 실제 농가의 시용량은 이를 초과하는 경우가 흔

히 발생하기 때문이다.

Kawara et al. (1996)이 일본의 비와호를 대상으로 점오염원과 비점오염원의 환경영향을 평가한 결과 논에서의 영양 물질 유출이 커다란 오염원으로 작용하고 있음을 확인하였다. 최근에 농업 비점오염원으로 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), 논에서의 오염물질 정화기능의 활용 (Chescheir et al., 1991; Takeda et al., 1997)을 이용한 연구결과가 일부 보고되어 있다.

우리 나라의 경우 논이 전체 농경지 면적의 60 %

이상을 차지하고 있는데, 논에서 영양물질의 이동과 물질 수지는 벼에 대한 양분의 수급을 결정하고 주변 수계 환경에 영향을 미칠 수 있으므로 논에서 농업 비점오염물질의 유출 메카니즘에 대한 정량적인 평가가 선행되어야 할 것으로 생각된다. 특히, 수원공의 종류에 따른 물관리 형태가 영양물질 부하량에 큰 영향을 미칠것으로 사료되며 이에 대한 현장조사 자료 축적이 필요하다.

본 연구는 1999년 5월부터 2000년 9월 30일까지 양수장 관개지구인 전라북도 남원시 금지면 금풍지구 수도작 농업지대를 대상으로 관행영농하에서 논에서의 영양물질의 수지와 손실량을 조사하였다.

II. 재료 및 방법

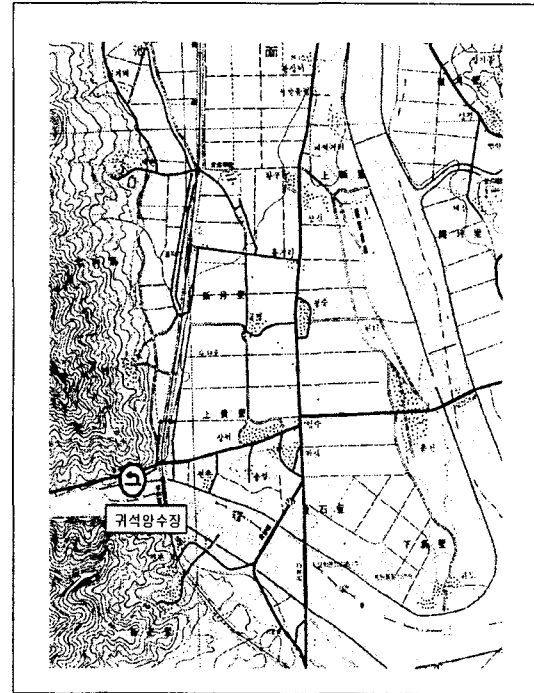
1. 시험지구

가. 지구개요

본 실험에 사용된 시험지구는 전라북도 남원시 금지면 금풍지구로 동경 127° 17' 20" ~ 127° 18' 00", 북위 35° 18' 30" ~ 35° 19' 30" 사이에 위치하고 있으며, 전체형상이 '·'자 모양으로 동서 1/500, 남북 1/450의 경사를 지닌 장방형의 평야지대이며, 표고가 55.2~58.2 m의 평탄한 저지대이다. 시험포장인 금풍지구는 1998년 가을에 착수하여 1999년 5월말에 준공된 대구회화 재경지 정리지구로서 수리상태는 비교적 양호하다. 시험지구 상·하류를 관통하는 장축의 길이는 약 1.25 km, 평균폭은 약 0.87 km로서 주요 유출구는 지구 장축의 동쪽 중간지점에 위치하고 있다. 시험지구의 장축을 중심으로 서측은 경사가 급한 산지로 되어 있고, 동측은 낮고 평탄한 수도작 농업지대이다. 시험지구인 유역의 남측과 동측의 논지대를 둘러싼 제방은 섬진강 본류 및 요천 하구부와 접하여 경계를 이룬다. 요천은 남쪽을 향하여 흐르다가 시험지구의 남동쪽 2 km 지점에서 동쪽방향으로 흐르는 섬진강 본류와 합류하여 남쪽으로 방향을 바꾸게 된다. 금풍지구는 귀석 양수장에서 관개수가 공급되고 있다. <그림 1>은 시험유역인 금풍지구의 위치도이다.

시험지구의 토지이용별 면적은 <표 1>과 같이 총

지구면적은 114.84 ha 이고, 그 중 논면적이 95.0 ha, 주거지역 면적이 7.27 ha, 기타 면적이 12.57 ha이며, 일부 시설원예를 위한 하우스가 관개기간 중에도 유지되는 곳이 있으나 대부분의 논에서 벼를 재배하고 있다.



<그림 1> 시험지구 위치도

<표 1> 시험지구내 토지이용

토지 이용	면적(ha)	토지 이용	면적(ha)
논	95.00	밭	0.30
농로, 용배수로	7.98	주거지역(마을)	7.27
연동 하우스	2.10	지구내 도로	2.19
		합 계	114.84

한편, 본 지구는 여름인 6월부터 9월까지의 고온다

습하여 강수량이 많고, 겨울에는 비교적 온난한 편이며, <표 2>는 남원지역의 1966년~1996년간의 연평균 기상현황을 나타낸 것이다. 시험지구의 연평균기온은 12.0℃이고, 여름철 평균 기온은 21.1~25.3℃, 겨울철은 -1.9~0.5℃로서 기온의 연교차가 심하다. 최근 5개년 동안의 평균 강수량은 1,220.5 mm이며, 6~9월의 여름철 강수량은 806.1 mm로서 연강수량의 66.0%에 해당한다. 본 시험지구의 토양은 주로 미사질양토로 하류에 일부 세사양토와 자갈이 있는 양토로 이루어진 논이 있다. <표 3>은 시험지구내 2개 지점의 논토양에 대한 입도분석 자료이다.

나. 측정시설

시험포장에 설치된 측정시설로는 관개량과 지구의 공급량과 논으로부터 유출되는 배수량을 측정하기 위한 압력변환형 자기수위계 WL-14 Water Level Logger (Global Water Co., USA)와 수위표 각각 8조와 논수위표 1조, 그리고 간이 침투량계와 증발량계를 각각 1조씩 설치하였으며, 모든 측정 기기는 1999년 5월 1일부터 2000년 9월 30일까지 운영하였다 <그림 2>. 한편, 강우자료는 남원관측소의 기상자료를 사용하였으며, 시험지구로 취수되는 관개량과 유출수량은 각 용수로와 배수로에 설치된 수위계로부터 측정된 수위를 수위~유량관계의 유량공식을 이용하여 유량으로 변환

하였다.

다. 영농현황

본 연구는 관행영농하에서 논에서 영양물질의 수지와 유출부하량을 조사하고자 하였다. 본 시험지구는 광역논으로서 여러 농가에 의해 영농활동이 이루어지고 있으며, 화학비료의 시비와 논물관리 등 제반 영농사항은 경작자의 관행에의하여 운영되었다. 본 연구기간 동안 논에서의 영농활동과 시비현황은 다음과 같다 (표 4).

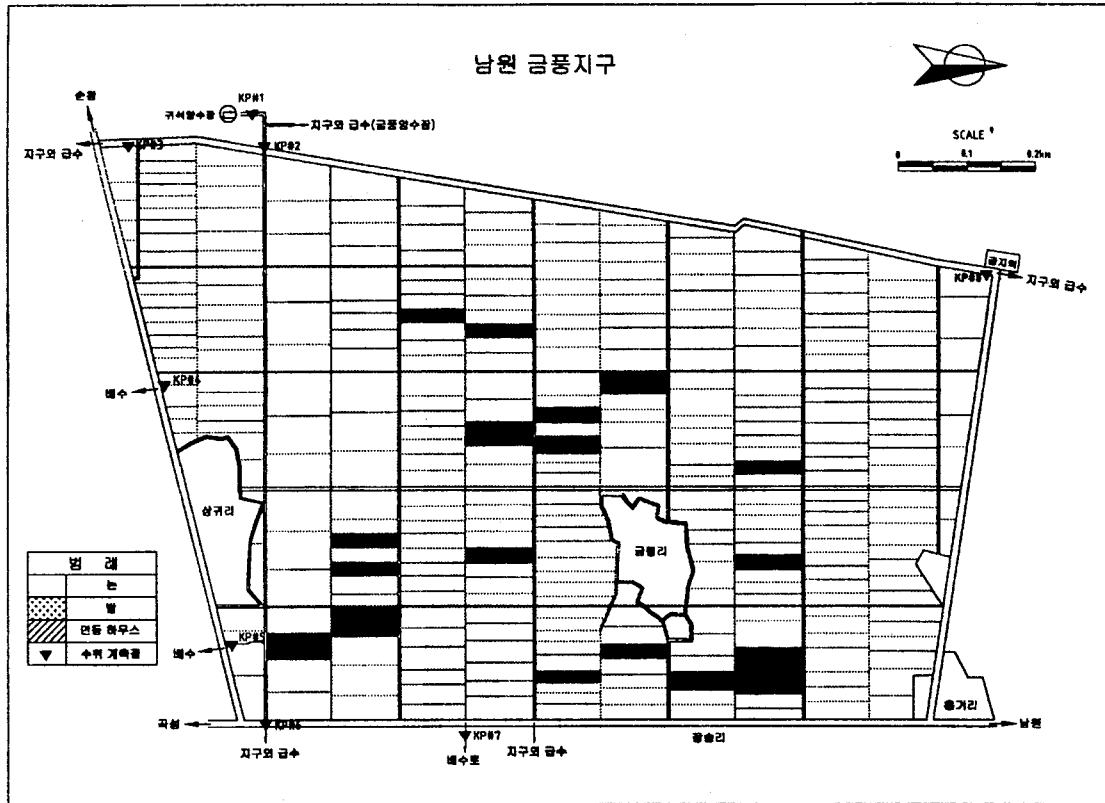
1차년도인 경우, 1999년 5월 22일부터 5월 27일 사이에 논갈이를 하고 담수를 시킨 후, 5월 25일부터 6월 5일 사이에 재식거리 15×30 cm, 1주당 3본씩 기계이앙을 실시하였다. 시험포장의 재배품종은 거의 대부분이 동진벼이며, 9월 25일부터 10월 2일 사이에 수확이 완료되었다. 비관개기간 동안에는 거의 대부분의 농가에서 수확 후 벼짚을 분쇄하여 전량 논토양에 살포하고 비경은 상태로 유지하였다. 2차년도에는, 2000년 3월 20일부터 3월 30일 사이에 1차 논갈이가 진행되었으며, 5월 20일부터 5월 30일 사이에 2차 논갈이를 실시하였다. 모내기는 5월 25일부터 6월 5일 사이에 기계이앙을 실시하였으며, 10월 5일부터 10월 10일 사이에 대부분의 농가에서 벼 수확을 완료하였다.

<표 2> 남원지역 기상현황(1966~1996년)

구 분	기 온(℃)			상대 습도 (%)	증발량 (mm)	강수량 (mm)	평균 풍속 (m/s)	전운량
	평균	최고	최저					
남 원	12.1	37.5	-21.9	74.4	1,065.3	1,314.1	1.1	5.3

<표 3> 논토양 입도분석

구 분	입도분포 (%)			토 양
	Sand	Silt	Clay	
논-1	25.0	67.5	7.5	실트질토
논-2	42.3	49.7	8.0	실트질토



〈그림 2〉 금풍지구 수문계측망 구성

본 연구기간의 시비량은 다음과 같다. 1차년도에는 5월 20일부터 5월 30일 사이에 모내기 기비로 84 kg N ha⁻¹, 29 kg P₂O₅ ha⁻¹ (12.64 kg P ha⁻¹) 그리고 29 kg K ha⁻¹ 를 전층시비 하였으며, 6월 15일부터 6월 18일에 분얼비로 32 kg N ha⁻¹, 7월 30일부터 8월 5일 사이에 수비로 18 kg N ha⁻¹ 을 시비하였다. 2차년도에는 5월 20일부터 5월 30일 사이에 모내기 기비로 84 kg N ha⁻¹, 31 kg P₂O₅ ha⁻¹ (13.52 kg P ha⁻¹) 그리고 31 kg K ha⁻¹ 를 전층시비 하였으며, 6월 14일부터 6월 19일 사이에 분얼비로 28 kg N ha⁻¹을, 7월 23일부터 7월 25일 사이에 수비로 28 kg N ha⁻¹ 을 시비하였다. 위에서 언급한 영농현황과 화학비료의 시비량은 실제 농가를 방문하여 설문조사를 실시한 결과이다. 본 시험포장에 시비된 화학비료의 양을 농촌진흥청의 추천 시비량 (N : P₂O₅ : K = 110

: 80 : 70 kg ha⁻¹)과 비교하면 질소의 경우 약 110 ~130 % 그리고 인의 경우 약 40 % 수준으로 시비되고 있었다.

2. 시료채취 및 분석방법

강우 시료는 2 mm 이상의 강우사상이 발생할 때마다, 관개수 시료는 매 관개시마다 관개수 유입구에서 채수하였다. 유출수는 유출이 발생할 때마다 유출전, 유출중, 유출후에 중앙배수로의 흐름에서 폴리에틸렌 용기 (2 L)에 채수하였으며, 모든 수질시료는 4 °C 이하의 온도로 보관하면서 분석 시료로 사용하였다.

시료분석은 USDI의 FWPCA manual에 기준하

〈표 4〉 영농관리 및 시비

날 짜	영농관리 및 시비	비 고
1년차 (1999)	5-22 부터 5-30	경운 및 기비
	5-25 부터 6-05	이앙
	6-15 부터 6-18	분얼비
	7-30 부터 8-05	수비
	9-25 부터 10-05	수확
2년차 (2000)	3-20 부터 3-30	경운
	5-20 부터 5-30	경운 및 기비
	5-25 부터 6-05	이앙
	6-14 부터 6-19	분얼비
	7-23 부터 7-25	수비
	10-5 부터 10-10	수확

였다. 부유물질(suspended solids) 은 시료 1000 mL를 취하여 유리섬유여지법으로, 전질소, 암모니아태질소는 수질시료 500 mL를 취하여 각각 환원 증류-킬달법과 중화적정법으로 분석하였다. 총인은 수질시료 500 mL를 취하여 50 mL로 농축한 다음 ascorbic acid reduction법에 기준하여 분석하였다. 질산태질소는 0.45 μm의 유리섬유여지를 사용하여 여과한 다음 이온크로마토그래피 (Sykam 4260, Germany) 를 이용하여 분석하였다. 토양분석은 Jackson (1967)의 방법에 기준하였다. 토성은 micropipette 법으로 측정하였으며, 토양 pH는 1:5 H₂O 현탁액 중에서 유리전극으로 측정하였고, 유기탄소 함량은 Walkley- Black 법으로, 양이온 치환용량은 1-N ammonium acetate를 이용하여 토양을 암모니아태질소로 포화시킨 후 킬달증류법을 이용하여 측정하였으며, 치환성 양이온은 1N-ammonium acetate로 침출하여 유도결합플라

즈마 (Liberty Series II, Varian, Australia)로 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 강우량

1999년 5월 1일부터 2000년 9월 30일까지 시험기간 동안 조사 대상지역에 내린 강우량과 강우 특성을 조사한 결과는 다음과 같다. 장마는 6월 20일에 시작하여 7월 20일에 종료되었는데, 약 30 일로서 예년의 29일과 비슷한 경향이었다. 수도작 영농시기로 논에서 물의 유·출입이 많은 6, 7, 8 월에 내린 강우량은 1999년의 경우 677 mm, 2000년의 경우 1,062 mm로 나타났다. 본 조사기간 동안의 강우특성은 9월에 약 200~260 mm의 강우량이 기록되었다는 점이다. 9월 중 강우량은

〈표 5〉 조사기간 중 물수지

기간	강수량	관개량	유출량	증발산	침투량
(mm)					
1999. 05.01 ~ 05.10	83	77	52	36	30
05.11 ~ 05.20	4	87	35	37	30
05.21 ~ 05.31	44	139	44	35	33
06.01 ~ 06.10	3	237	36	33	30
06.11 ~ 06.20	71	143	35	39	30
06.21 ~ 06.30	80	63	26	29	30
07.01 ~ 07.10	131	32	66	29	30
07.11 ~ 07.20	18	88	39	32	30
07.21 ~ 07.31	132	91	48	26	33
08.01 ~ 08.10	69	25	48	28	30
08.11 ~ 08.20	1	239	332	38	30
08.21 ~ 08.31	174	5	243	17	33
09.01 ~ 09.10	46	45	69	22	30
09.11 ~ 09.20	83	32	133	28	30
09.21 ~ 09.30	129	36	247	16	30
소계	1,065	1,340	1,453	444	459
2000. 05.01 ~ 05.10	3	51	26	40	38
05.11 ~ 05.20	3	67	28	27	39
05.21 ~ 05.31	24	54	24	40	44
06.01 ~ 06.10	59	192	158	37	40
06.11 ~ 06.20	38	97	98	37	40
06.21 ~ 06.30	141	32	70	18	38
07.01 ~ 07.10	73	115	81	32	38
07.11 ~ 07.20	154	52	143	27	37
07.21 ~ 07.31	95	96	87	36	44
08.01 ~ 08.10	117	112	143	35	42
08.11 ~ 08.20	94	201	134	32	41
08.21 ~ 08.31	293	70	245	25	40
09.01 ~ 09.10	41	10	61	21	37
09.11 ~ 09.20	162	28	121	21	31
09.21 ~ 09.30	1	8	0	19	32
소계	1,296	1,185	1,421	448	580

1990년부터 1996년까지의 예년 강우량의 약 200%를 나타내었다. 1999년과 2000년 영농기간 동안의 강우량은 각각 1,065 mm 와 1,296 mm를 나

타내었다.

2. 물수지

조사기간 동안 유·출입된 물의 양을 대입하여 물수지를 계산한 결과, 1999년의 경우 강우량 1,065 mm, 관개수량 1,340 mm, 유출수량 1,453 mm, 증발산량 444 mm, 침투수량 459 mm로 나타나 미측정된 유입수량이 49 mm로 나타났다. 2000년의 경우 강우량 1,296 mm, 관개수량 1,185 mm, 유출수량 1,421 mm, 증발산량 448 mm, 침투수량 580 mm로 나타나 미측정된 유입수량이 32 mm로 나타났다 <표 5>.

권과 유 (1989)가 경기도 화성군 정남면 궤량리 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 계산되지 않은 유입수량이 552.0 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, 증발산량은 598 mm, 유출수량은 500 mm로 나타났으며, 계산되지 않은 물의 양이 약 350 mm 였다고 보고하였다. 이와 같이 각 연구자별로 연구 결과가 서로 상이하게 나타나고 있는데 이는 기상 조건, 토양투수조건, 작물재배방식 및 용수원 등이 지역별로 다르기 때문에 나타나는 결과로 생각된다. 조사지구인 금풍지구의 경우 양 수장으로 부터의 공급량이 충분하여 유출수량이 타지역 보다 많았던 것으로 판단된다.

3. 수질시료중 질소, 인의 농도변화

연구기간 동안 (1999년 5월 - 2000년 9월) 논에서 측정된 수질시료중 영양물질의 수질변화를 조사한 결과는 다음과 같다. <표 6>.

이 등 (1995)이 비오염지로 판단하여 조사한 경기도 안성지역 강우중 암모니아태질소 함량 1.25 mg L^{-1} 와 질산태질소 함량 0.92 mg L^{-1} 와 비교시 본 조사지점에서 약간 낮게 나타났다. 또한 Lee et al. (1990)에 의하면 경기도 화성군 일대의 수도작 지대에 내리는 강우성분을 조사한 결과, 가용성인은 검출되지 않았으며, 총인의 함량은 시기에 관계없이 $0.04 \sim 0.08 \text{ mg L}^{-1}$ 로 낮은 함량을 나타내었다고 보고하였는데 본 조사결과도 이와 유사한 경향이였다.

관개수중 질소원의 함량은 시비후 관개용수로 주변 논에서 영양물질의 삼투 및 유출량이 증가하는 이양초기에 높게 나타났다. 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 경향이였다. 하천수는 지표면을 흐르면서 토양으로부터 천연적으로 공급되는 각종 무기 및 유기성분을 함유하게 되는데 그 농도는 지역, 거리 및 시기에 따라 다르게 나타나게 된다. 하천이나 저수지별로 물의 화학적성질이 다르고, 같은 하천에서도 시기별로 물의 화학적성질이나 함량이 다르게 나타난다. 일반적으로 우기에는 하천이나 저수지에서 영양물질의 함량 차이가 적은 반면에, 건기에는 크게 나타난다. 본 연구에서 조사된 관개수의 총인의 함량은 $0.00 \sim 0.03 \text{ mg L}^{-1}$ 의 범위로 99년과 2000년 평균치가 0.01 과 0.02 mg L^{-1} 를 나타내었으며, *ortho*-phosphate는 거의 대부분의 시료에서 검출되지 않았다. 이와 허 (1989)에 의하면 김해평야로 유입되는 관개수중 총인의 함량을 조사한 결과 $0.07 \sim 1.35 \text{ mg L}^{-1}$ 의 범위를 나타내었는데, 이는 김해공단의 폐수와 생활하수가 일부 유입되어 본 조사지점 보다 높게 나타났던 것으로 생각된다.

유출수중 질소원의 함량은 비료시비시기 즉, 기비, 분얼비 및 수비 시비시기에 현저하게 증가하였다가 점차 감소하는 경향이였다. Kim and Cho (1995) 그리고 Lee et al. (1990)에 따르면 전질소의 함량이 비료시비기에는 약 $10 \sim 15 \text{ mg L}^{-1}$ 를 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 전질소 기준치 인 1.0 mg L^{-1} 를 모든 조사시기에서 초과하고 있는 것으로 나타났다. 유출수의 총인의 평균농도는 1차년과 2차년 각각 0.17 과 0.08 mg L^{-1} 를 나타내었는데 기비 시비후 점차 증가하다가 6월 하순 이후 완만하게 감소하는 경향이였다. 그리고 가용성인은 조사기간 동안 검출되지 않았다.

영농기간인 1999년 5월부터 9월까지와 2000년

〈표 6〉 수질 분석 통계치

Samples	year	Total-N		Ammonia-N		Nitrate-N		Total-P	
		1999	2000	1999	2000	1999	2000	1999	2000
강수	Mean	2.79	0.98	1.85	0.43	0.58	0.26	0.04	0.02
	Max	3.23	2.41	2.44	1.47	1.01	1.01	0.06	0.10
	Min	2.19	0.14	1.48	0.08	0.31	0.03	0.02	0.00
	S.D.	0.28	0.62	0.23	0.37	0.26	0.23	0.01	0.01
	No of sample	22	30	22	30	22	30	22	30
관개수	Mean	1.76	1.51	0.99	0.76	0.64	0.68	0.01	0.02
	Max	4.56	4.21	2.85	3.87	1.36	3.07	0.03	0.03
	Min	0.45	0.39	0.12	0.11	0.30	0.02	0.01	0.01
	S.D.	0.20	1.10	0.35	0.42	0.32	1.69	0.01	0.02
	No of sample	14	16	14	16	14	16	14	16
유출수	Mean	4.40	3.13	2.69	1.30	1.34	1.62	0.17	0.08
	Max	8.33	6.66	6.00	4.64	2.04	2.91	0.26	0.18
	Min	2.57	1.83	0.90	0.29	0.59	0.51	0.01	0.01
	S.D.	3.01	2.34	1.62	1.79	0.64	0.76	0.03	0.03
	No of sample	16	29	16	29	16	29	16	29
침투수	Mean	3.84	3.87	0.55	0.47	2.74	2.71	0.02	0.02
	Max	5.60	5.69	1.30	1.25	4.76	4.71	0.03	0.03
	Min	2.46	2.51	0.11	0.02	1.17	1.15	0.01	0.01
	S.D.	0.99	1.01	0.45	0.46	1.42	1.41	0.01	0.01
	No of sample	8	8	8	8	8	8	8	8

5월부터 9월까지 시험포장에 매설된 토양용액 채취관으로 이동한 침투수중 화학성분의 시기별 함량 변화를 조사한 결과, 암모니아태질소의 경우 이양 초기에 농도변화가 크게 나타난 반면, 질산태질소는 큰 변화 없이 일정하게 유지되었다. Lee et al. (1990)의 실험결과와 비교시 침투수중 질소와 인의 농도에서 차이를 보이고 있는데 조사지역의 토양 특성, 강우조건, 비료시비량 및 논물관리 등이 서로 다르기 때문에 나타난 결과로 생각된다.

4. 논에서 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 조사시간 동안 95 ha의 광역논으로 유출입된 영양물질의 수지와 유출부하량은 다음과 같다 (표 7).

수계 환경에 영향을 미칠 수 있는 영양물질 가운데 질소와 인을 대상으로 물질수지를 조사한 결과, 영농기간동안 영양물질의 유입량은 화학비료에

단위: kg ha⁻¹ <표 7> 영농기간 광역논의 질소와 인의 물질수지

	Total-N		Total-P	
	1999	2000	1999	2000
Input				
강수	32.2	24.0	0.38	0.35
관개수	21.8	20.8	0.13	0.22
비료	134	140	12.64	13.52
소계	188	184.8	13.15	14.09
Output				
지표유출	57.8	54.7	2.33	1.96
침투	14.6	12.8	0.07	0.07
소계	72.4	67.5	2.40	2.03

의해 전질소 134~140 kg ha⁻¹, 총인 12.6~13.5 kg ha⁻¹, 강수에 의해 전질소 24~32.2 kg ha⁻¹, 총인 0.35~0.38 kg ha⁻¹, 관개수에 의해 전질소 20.8~21.8 kg ha⁻¹, 총인 0.13~0.22 kg ha⁻¹가 유입된 것으로 나타났다.

영농기간 동안 유출수에 의한 영양물질의 유출량은 전질소의 경우 54.7~57.8 kg ha⁻¹, 총인은 영농기간 1.96~2.33 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 39~43 %, 인은 14.5~17 %가 유출 과정을 통하여 유실된 것으로 나타났다. Kim and Cho (1995)가 경기도 화성군 반월면 둔대리를 대상으로 벼 재배기간 동안 농업배수에 의한 영양물질의 유실량을 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 패량리 농경지 29.3 ha를 대상으로 벼 재배기간 동안 영양물질의 유출량을 조사한 결과, 전질소는 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 일본

농림 통계의 자료를 인용하여 논에서 영양물질의 수지를 계산하였는데 그 결과 지표유출을 통해 전질소 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 유출량을 조사한 결과, 전질소 45.7 kg ha⁻¹ 그리고 총인 8.72 kg ha⁻¹로 나타났으며, 그 중 비영농기간 (227일) 동안에 각각 전질소 52 %, 총인 14 %가 유출된 것으로 보고되어 있다. 이는 영농지역에 따른 비료 사용량, 시비방법, 시비시기, 관개용수 및 강우의 양과 성분의 차이 등 지역특성으로 인하여 영양물질의 유출량에 차이가 발생한 것으로 생각된다. 본 조사결과와 지금까지 연구된 국내·외 결과를 비교해 보면, 본 조사에서 질소와 인의 유출부하량이 높게 나타났다. 본 조사지구의 경우 양수장지구로서 관개량이 풍부하여 상대적으로 배수량이 많고 이에 따른 부하량이 큰 것으로 판단된다.

영양물질의 침투손실량은 전질소의 경우 12.8~14.6 kg ha⁻¹로 월별로는 6월에 가장 높게 나타났다. 이는 5월말 영농을 위한 기비 시비후 논물층 전질소 함량이 크게 증가하였기 때문인 것으로 생각된다. 총인의 침투손실량은 0.07 kg ha⁻¹로 나타났으며, 월별로는 5월과 6월에 가장 높게 나타났다. 침투과정을 통한 영양물질의 손실량을

시비된 화학비료량을 기준으로 유실률을 계산한 결과, 질소의 경우 시비량의 약 9.1~10.8 %, 인은 0.50 %가 손실된 것으로 나타났다. Kunimatsu (1986)이 일본 농림통계의 자료를 인용하여 논에서 침투손실량을 조사한 결과, 전질소는 11.34 kg ha⁻¹ 그리고 총인은 0.194 kg ha⁻¹로 나타났다. 본 조사결과와 Kunimatsu (1986)의 결과를 비교 시 전질소 침투손실량은 유사한 경향이었으나, 총인은 본 조사에서 더 작게 나타났는데 이는 시비량이 작은것에 기인하는 것으로 판단되었다.

IV. 요약 및 결론

양수장 지구의 광역논으로부터 영농기 오염부하량을 산정하기 위하여 전북 남원시 금풍지구 115 ha (논면적95ha)를 대상으로 물 수지 조사와 수질 모니터링을 실시하였다. 관개기간 동안 유·출입된 물의 양을 대입하여 물수지를 계산한 결과, 1999년의 경우 강우량 1,065 mm, 관개수량 1,340 mm, 유출수량 1,453 mm, 증발산량 444 mm, 침투수량 459 mm로 나타나 미측정된 유입수량이 49 mm로 나타났다. 2000년의 경우 강우량 1,296 mm, 관개수량 1,185 mm, 유출수량 1,421 mm, 증발산량 448 mm, 침투수량 580 mm로 나타나 미측정된 유입수량이 32 mm로 나타났다.

질소와 인을 대상으로 물질수지를 조사한 결과, 영농기간동안 영양물질의 유입량은 화학비료에 의해 전질소 134~140 kg ha⁻¹, 총인 12.6~13.5 kg ha⁻¹, 강우에 의해 전질소 24~32.2 kg ha⁻¹, 총인 0.35~0.38 kg ha⁻¹, 관개수에 의해 전질소 20.8~21.8 kg ha⁻¹, 총인 0.13~0.22 kg ha⁻¹가 유입된 것으로 나타났다.

영농기간 동안 유출수에 의한 영양물질의 유출량은 전질소의 경우 54.7~57.8 kg ha⁻¹, 총인은 영농기간 1.96~2.33 kg ha⁻¹로 나타났다. 유출량을 시비된 화학비료량을 기준으로 유실률을 계산한 결과, 질소의 경우 시비량의 약 39~43 %, 인은 14.5~17.0 %가 유출과정을 통하여 유실된 것으로 나타났다. 영양물질의 침투손실량은 전질소의 경우 12.8~14.6 kg ha⁻¹로 총인의 침투손실량은 0.07 kg ha⁻¹로 나타났으며, 침투과정을 통한 영양물질의 손실량을 시비된

화학비료량을 기준으로 유실률을 계산한 결과, 질소의 경우 시비량의 약 9.1~10.8 %, 인은 0.50 %가 손실된 것으로 나타났다. 본 조사결과와 지금까지 연구된 국내·외 결과를 비교해 보면, 본 조사에서 질소와 인의 유출부하량이 높게 나타났다. 이는 본 조사지구의 경우 양수장지구로서 관개량이 풍부하여 상대적으로 배수량이 많고 이에 따른 부하량이 큰 것으로 판단되며 영양염류 부하 저감을 위해서는 적절한 물관리가 필요하다고 볼 수 있겠다.

이논문은 1999년도 한국학술진흥재단의 연구비에 의하여 지원되었음

(KRF-99-042-G00002 G1105)

參考文獻

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. 하호성, 허중수, 1989, 김해평야 관개수 오염도가 벼 영양생리에 미치는 영향, 한국환경농학회지, 8(2), pp.93~102.
4. 환경처, 1993, 환경정책기본법.
5. 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.
6. 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.
7. Jackson, M. L., 1967, *Soil chemical analysis*, Prentice-Hall of India private limited, New Delhi, pp.134~181.
8. 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.
9. 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.
 10. Kunimatsu, T., 1986, Management and runoff of nutrients from farming land, *Water Management Technol.*, 27, pp.713 ~ 720.
 11. 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.
 12. 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 agrochemical, *Report of Natl. Environ. Res., Korea*, 12, pp.293 ~ 310.
 13. 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.
 14. 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.
 15. U.S. Department of Interior, 1971, FWPCA methods for chemical analysis of water wastes, *Natl. Environ. Res. Center, Ohio*, pp.312.