

# 양수장지구 구획논 물수지와 영양염류 유출부하

Water Balance and Nutrient Losses of Paddy Fields Irrigated from a Pumping Station

최진규·구자웅·손재권·조재영(전북대)·윤광식\*·한국현(전남대)  
Choi, Jin Kyu · Goo, Ja Woong · Son, Jae Gwon · Cho, Jae Young ·  
Yoon, Kwang Sik · Han, Kuk Heon

## 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 6.3 % to 8.0 % 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 10.7 % for nitrogen and 0.2 % for phosphorus, respectively.

## I. 서론

우리 나라의 경우 논이 전체 농경지 면적의 60 % 이상을 차지하고 있는데, 수도 이양기와 분열기에 발생하는 강우-유출과정을 통하여 다량의 영양물질이 논으로부터 하천으로 유입되어 비료의 경제적인 손실 뿐만 아니라 영양물질의 유실은 하천이나 담수호의 부영양화 유발물질로서 크게 작용하기도 하기 때문에 환경적인 부담으로 작용하기도 한다. 논에서 영양물질의 이동과 물질 수지는 벼에 대한 양분의 수급을 결정하고 주변 수계 환경에 영향을 미칠 수 있으므로 호소나 저수지 수질관리를 위해서는 논에서 농업 비점오염물질의 유출 메카니즘에 대한 정량적인 평가가 선행되어야 할 것으로 생각된다. 하지만, 우리나라의 경우 모니터링 자료가 충분치 않아 다양한 기상조건, 물관리, 시비관리등에 따른 영양염류부하에 관한 예측 및 평가가 어려운 실정이다.

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

본 실험에 사용된 시험지구는 전라북도 남원시 금지면 금풍지구이며 귀석 양수장에서 관개 수가 공급되고 있다. 시험지구의 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.

## 2. 측정시설

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

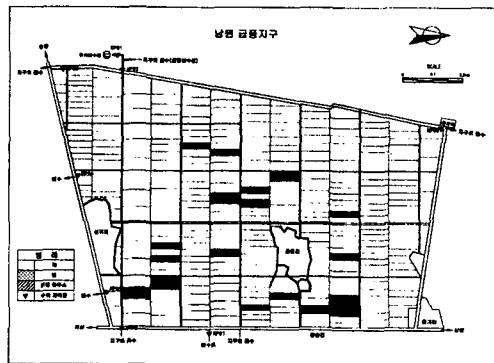


Fig. 1. 남원 금풍지구

## 3. 영농현황

본 시험지구는 광역논으로서 여러 농가에 의해 영농활동이 이루어지고 있으며, 화학비료의 시비와 논물관리 등 제반 영농사항은 경작자에 의하여 운영되었다. 1차년도의 경우, 1999년 5월 22일부터 5월 27일 사이에 논갈이를 하고 담수를 시킨 후, 5월 25일부터 6월 5일 사이에 기계이앙을 실시하였다. 시험포장의 재배품종은 거의 대부분이 동진벼이며, 9월 25일부터 10월 2일 사이에 수확이 완료되었다. 비관개기간 동안에는 거의 대부분의 농가에서 수확 후 벗짚을 분쇄하여 전량 논토양에 살포하고 비경운 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.

1차년도에는 5월 20일부터 5월 30일 사이에 모내기 기비로  $84 \text{ kg N ha}^{-1}$ ,  $29 \text{ kg P ha}^{-1}$  그리고  $29 \text{ kg K ha}^{-1}$  를 전총시비 하였으며, 6월 15일부터 6월 18일에 분얼비로  $32 \text{ kg N ha}^{-1}$ , 7월 30일부터 8월 5일 사이에 수비로  $18 \text{ kg N ha}^{-1}$  을 시비하였다. 2차년도에도 유사한 시비가 이루어졌다.

## 4. 시료채취 및 분석방법

유출수는 매 유출이 발생할 때마다 시험포장의 웨어유출구에서 채수하여  $4^{\circ}\text{C}$  이하의 온도로 보관하면서 분석시료로 사용하였다. 유출수 시료의 분석은 수질공정시험법(환경처, 1993)에 기준하였다. 유출토사와 논토양 시료의 분석은 토양화학분석법 (농촌진흥청, 1983)에 기준하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 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.

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 연구결과가 서로 상이하게 나타나고 있는데 이는 기상조건, 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.

#### 2. 논에서 질소와 인의 물질수지

논에서 화학성분의 물질순환은 크게 유입계, 내부계, 유출계로 분류할 수 있다. 화학비료, 벗짚, 관개수와 관개토사, 강우와 같은 인자가 유입계에 포함되며, 생물학적 질소고정과 일부 영양물질의 토양내 고정이 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 조사 시간 동안 95 ha의 광역논으로 유출입된 영양물질의 수지와 유출부하량은 다음과 같다.

Table 1. 영농기간 금풍지구 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	29	31
소계	188	184.8	29.51	31.57
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

단위: kg ha<sup>-1</sup>

수계 환경에 영향을 미칠 수 있는 영양물질 가운데 질소와 인을 대상으로 물질수지를 조사한 결과, 영농기간동안 영양물질의 유입량은 화학비료에 의해 전질소 134~140 kg ha<sup>-1</sup>, 총인 29~31 kg ha<sup>-1</sup>, 강우에 의해 전질소 24~32.2 kg ha<sup>-1</sup>, 총인 0.35~0.38 kg ha<sup>-1</sup>, 관개수에 의해 전질소 20.8~21.8 kg ha<sup>-1</sup>, 총인 0.13~0.22 kg ha<sup>-1</sup>가 유입된 것으로 나타났다.

영농기간 동안 유출수에 의한 영양물질의 유출량은 전질소의 경우 54.7~57.8 kg ha<sup>-1</sup>, 총인은 영농기간 1.96~2.33 kg ha<sup>-1</sup>로 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 6.3~8.0 %가 유출과정을 통하여 유실된 것으로 나타났다. 본 조사결과와 지금까지 연구된 국내·외 결과를 비교해 보면, 본 조사에서 질소와 인의 유출부하량이 높게 나타났다. 이는 영농지역에 따른 비료 사용량, 시비방법, 시비시기, 관개용수 및 강우의 양과 성분의 차이 등 지역특성으로 인하여 영양물질의 유출량에 차이가 발생한 것으로 생각된다.

영양물질의 침투손실량은 전질소의 경우 12.8~14.6 kg ha<sup>-1</sup>로 월별로는 6월에 가장 높게 나타났다. 이는 5월 말 영농을 위한 기비 시비후 논물중 전질소 함량이 크게 증가하였기 때문인 것으로 생각된다. 총인의 침투손실량은 0.07 kg ha<sup>-1</sup>로 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 0.20 %가 손실된 것으로 나타났다.

#### IV. 요약 및 결론

양수장 지구의 광역논으로부터 영농기 오염부하량을 산정하기 위하여 전북 남원시 금풍지구 115 ha를 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<sup>-1</sup>, 총인 29~31 kg ha<sup>-1</sup>, 강우에 의해 전질소 24~32.2 kg ha<sup>-1</sup>, 총인 0.35~0.38 kg ha<sup>-1</sup>, 관개수에 의해 전질소 20.8~21.8 kg ha<sup>-1</sup>, 총인 0.13~0.22 kg ha<sup>-1</sup>가 유입된 것으로 나타났다.

영농기간 동안 유출수에 의한 영양물질의 유출량은 전질소의 경우 54.7~57.8 kg ha<sup>-1</sup>, 총인은 영농기간 1.96~2.33 kg ha<sup>-1</sup>로 나타났다. 유출량을 시비된 화학비료량을 기준으로 유실률을 계산한 결과, 질소의 경우 시비량의 약 39~43 %, 인은 6.3~8.0 %가 유출과정을 통하여 유실된 것으로 나타났다. 영양물질의 침투손실량은 전질소의 경우 12.8~14.6 kg ha<sup>-1</sup>로 총인의 침투손실량은 0.07 kg ha<sup>-1</sup>로 나타났으며, 침투과정을 통한 영양물질의 손실량을 시비된 화학비료량을 기준으로 유실률을 계산한 결과, 질소의 경우 시비량의 약 9.1~10.8 %, 인은 0.20 %가 손실된 것으로 나타났다.

## 참 고 문 헌

1. 권순국, 유명진, 1989, 담수호의 환경오염 및 부영양화 방지대책 수립(Ⅱ), 농어촌진흥공사.
2. 오승영, 김진수, 김규성, 2000. 관개기 광역논에서의 오염물질의 수지, 2000년 한국농공학회 학술발표회 논문집 pp. 617-622.
3. 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.
4. Kunitatsu 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.
5. Takeda I., T. Kunitatsu, S. Kobayashi, 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.