

# 양수장지구 광역논으로부터 영양염류 유출 및 물질수지

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

한국현\* · 윤광식(전남대) · 최진규 · 조재영 · 김영주(전북대)

Han, Kuk-Heon · Yoon, Kwang-Sik · Choi, Jin-Kyu · Cho, Jae-Young · Kim, Young-Joo

## Abstract

A field monitoring study was carried out to investigate the water balance and losses of nutrients from paddy fields in Sumjin river basin. The size of paddy fields was 115 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. The surface runoff losses of T-N and T-P in runoff water were 53.4 to 68.3kg/ha(average 59.7kg/ha) and 0.38 to 2.20kg/ha(average 1.42kg/ha), respectively. When the runoff losses of nutrients were compared to applied chemical fertilizer, it was found that 42% to 60% of nitrogen lost via runoff while runoff losses of phosphorus account for 3.0% to 17.2% of the total applied amount during entire year.

## I. 서론

우리나라 논 면적 1,153천ha 중 76%인 879천ha가 수리답으로 저수지, 양수장, 보, 집수 암거, 관정 등 농업수리시설물을 통해 안정적으로 농업용수를 공급받고 있고, 약 17%인 150천ha가 양수장(배수장겸용 포함)을 수원공으로 하고 있다. 한편, 논으로부터 수도 이앙기와 분얼기에 발생하는 강우-유출과정을 통한 다량의 영양물질 유출은 하천으로 유입되어 비료의 경제적인 손실, 하천이나 담수호의 부영양화 유발물질로 크게 작용하기도 한다. 논에서 영양물질의 유출은 벼에 대한 양분 수급을 결정하고, 주변 수계 환경에 영향을 미칠 수 있으므로 호소나 저수지 수질관리를 위해서는 논에서의 유출 메카니즘에 대한 정량적인 평가가 선행되어야 할 것으로 생각된다. 지금까지 논에서의 오염부하 연구는 이루어지고 있지만 아직까지 다양한 기상조건과 수원공 종류, 물관리 관행에서의 오염부하 평가는 미흡한 편이며, 또한, 장기 모니터링 자료가 충분치 않아 영양염류부하에 관한 예측 및 평가가 어려운 실정이다. 본 연구는 1999년 5월부터 2002년 9월 30일까지 양수장 관개지구인 전라북도 남원시 금지면 금풍지구 수도작 농업지대를 대상으로 관개량이 풍부한 양수장 지구에서의 관행 물관리하에서 논으로부터의 영양물질 수지와 손실량을 조사하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 시험지구 및 측정시설

본 시험지구는 전라북도 남원시 금지면 금풍지구로 귀석양수장에서 관개수가 공급되고 있고, 1998년 가을 경리정리에 착수해 1999년 5월말에 준공된 대구희화 재정지정리지구로서 수리상태는 비교적 양호하다. 시험지구의 총 지구면적은 114.84ha이고, 그 중 논 면적이 95.0ha, 주거지역 면적이 7.27ha, 기타 면적이 12.57ha이며, 일부 시설원예를 위한 하우스가 관개기간 중에도 유지되는 곳이 있으나 대부분 논에서 벼를 재배하고 있다.

2003년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 (2003년 11월 1일)

시험포장에 설치된 측정시설로는 관개량, 지구의 공급량과 논으로부터 유출되는 배수량을 측정하기 위해 Global Water사의 압력변환형 자기수위계인 WL-14와 수위표 각각 8조와 논 수위표 1조, 그리고 간이 침투량계와 증발량계를 각각 1조씩 설치하였으며, 모든 측정 기기는 1999년 5월 1일부터 2002년 9월 30일까지 운영하였다. 한편, 강우자료는 남원 관측소의 기상자료를 사용하였으며, 시험지구로 취수되는 관개량과 유출수량은 각 용수로와 배수로에 설치된 수위계로부터 측정된 수위를 수위~유량관계의 유량공식을 이용하여 유량으로 변환하였다.

## 2. 영농현황

시험지구 광역 논에서의 영농활동, 시비시기 및 시비량 등에 대해 농가를 대상으로 설문조사를 실시한 결과 1차년도(1999년)의 경우에는 1999년 5월 22일부터 5월 27일 사이에 경운을 실시하여 논에 물을 담수 시킨 후, 대부분의 재배품종을 동진벼로 하여 5월 25일부터 6월 5일 사이에 재식거리 15×30cm, 1주당 3본씩 기계이앙을 실시하였고, 수확은 9월 25일부터 10월 2일 사이에 완료하였다. 비영농기간 동안에는 거의 대부분의 농가에서 수확 후 벼짚을 분쇄하여 전량 논에 살포하고 비경운 상태로 유지하였다. 2차년도(2000년)의 경우에는 3월 20일부터 3월 30일 사이에 1차 논갈이, 5월 20일부터 5월 30일 사이에 2차 논갈이를 실시하여, 5월 30일부터 6월 10일 사이에 기계이앙으로 모내기를 실시하였다. 10월 5일부터 10월 10일 사이에 대부분의 농가에서 벼 수확을 완료하였다. 3차년도(2001년)에는 1차 논갈이는 2001년 3월 15일부터 3월 30일 사이에, 2차 논갈이는 5월 10일부터 5월 20일 사이에 실시하였다. 거의 대부분의 논에서 2차 경운 후 담수심을 유지하였으며 모내기는 5월 20일부터 6월 5일 사이에 실시하였고, 수확은 9월 20일부터 10월 10일 사이에 대부분의 논에서 이루어졌다.

시비현황은 질소의 경우 기비, 분얼비, 수비로 3회, 인의 경우에는 기비로서만 1회 시비되고 있었고, 년도별 시비량은 1차년도(1999년)에는 5월 20일부터 5월 30일 사이에 모내기 기비로 평균 질소 84kg/ha, 용성인비 29kg/ha 그리고 염화加里 29kg/ha를 전층시비 하였으며, 6월 15일부터 6월 18일 사이에 분얼비로 평균 질소 32kg/ha, 7월 30일부터 8월 5일 사이에 수비로 평균 질소 18kg/ha을 시비한 것으로 조사되었다. 2차년도(2000년)의 경우에는 5월 20일부터 5월 30일 사이에 모내기 기비로 평균 질소 84kg/ha, 용성인비 31kg/ha 그리고 염화加里 31kg/ha를 전층시비 하였으며, 6월 14일부터 6월 19일 사이에 분얼비로 질소 28kg/ha을, 7월 23일부터 7월 25일 사이에 수비로 질소 28kg/ha을 시비된 것으로 조사되었다. 3차년도(2001년)에는 5월 20일부터 5월 30일 사이에 모내기 기비로 평균 질소 72 kg/ha, 용성인비 29kg/ha 그리고 염화加里 29kg/ha를 전층시비 하였으며, 6월 10일부터 6월 20일 사이에 분얼비로 질소 22kg/ha을, 7월 15일부터 7월 20일 사이에 수비로 질소 20kg/ha을 시비된 것으로 조사되었다. 본 시험포장에 시비된 화학비료의 양을 농촌진흥청의 추천 시비량(N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : K<sub>2</sub>O = 110 : 80 : 70 kg/ha)과 비교하면 질소의 경우 약 110~130% 그리고 인의 경우 약 40% 수준으로 시비되고 있었다.

## 3. 시료채취 및 분석방법

관개수 시료는 관개수 유입구에서 채수하였고, 유출수는 중앙배수로의 웨어유출구에서 채수하였으며, 시료분석은 USDI의 FWPCA manual에 기준하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 물수지

조사기간 동안 유·출입된 수량에 대한 물수지를 년도별로 계산한 결과는 <Table 1>과 같다. 물수지를 보면, 강수량은 1,064.7~1,295.6mm, 관개량 1,190.6~1,810.7mm, 침투수량은 459.0mm, 지표 유출수량은 1,262.0~2,037.9mm 그리고 증발산량은 443.7~755.5mm로 계산되지 않은 유출입량의 차이는 6.0~69.2mm로 나타났다.

권과 유(1989)가 경기도 화성군 정남면 케랑리 인근 논에서 물수지를 계산한 결과, 강수량은 808.6mm, 관개수량은 715.4mm, 침투수량은 318.0mm, 유출수량은 1,060mm 그리고 증발산량은 668mm로 계산되지 않은 유입수량이 552.0mm 였다고 보고한 바 있으며, 이와 허(1995)가 벼 재배기간 동안 물수지를 조사한 결과, 강수량은 1,513mm, 관개수량은 500mm, 침투수량은 552mm, 증발산량은 500mm, 유출수량은 598mm로 나타났으며, 계산되지 않은 물의 양이 약 350mm 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 양수장으로부터의 공급량이 충분하여 유출수량이 타 지역보다 많았던 것으로 판단된다.

<Table 1> Comparison of Water Balance of Paddy Field

Unit : mm

|                       | This Study |         |         |         | Kwon & Yoo | Lee & Heo |
|-----------------------|------------|---------|---------|---------|------------|-----------|
|                       | 1999       | 2000    | 2001    | 2002    |            |           |
| Precipitation         | 1,064.7    | 1,295.6 | 1,127.5 | 1,246.0 | 808.6      | 1,513.0   |
| Irrigation amount     | 1,345.9    | 1,190.6 | 1,810.7 | 1,642.1 | 715.4      | 500.0     |
| Runoff                | 1,262.0    | 1,508.3 | 2,037.9 | 1,660.8 | 1060.0     | 598.0     |
| Infiltration amount   | 459.0      | 459.0   | 459.0   | 459.0   | 318.0      | 552.0     |
| Evaporation           | 695.6      | 443.7   | 479.2   | 755.5   | 668.0      | 500.0     |
| not calculated amount | 6.0        | 69.2    | 37.9    | 12.8    | 552.0      | 350.0     |

#### 2. 논에서 질소와 인의 물질수지

논에서 물질수지는 여러 가지 인자가 개입되어, 지역적인 특성이나 영농형태에 의해 물질수지 결과가 다양하게 나타날 수 있다. 본 조사기간 동안 115ha의 광역논으로부터 유출·입된 영양물질의 수지와 유출부하량은 <Table 2>와 같다.

수계 환경에 영향을 미칠 수 있는 영양물질 가운데 T-N, T-P을 대상으로 물질수지를 조사한 결과, 영농기간동안 영양물질 유입량은 시비량이 T-N 114~140kg/ha, T-P 12.76~13.64kg/ha, 강수에 의해 T-N 20.4~28.0kg/ha, T-P 0.28~0.35kg/ha, 관개수에 의해 T-N 29.0~84.3kg/ha, T-P 0.17~1.32kg/ha로 총유입량은 T-N 195.0~226.0kg/ha, T-P 13.27~14.44kg/ha가 유입된 것으로 나타났다. 영농기간 동안 지표 유출에 의한 영양물질 유실량은 T-N 53.4~68.3kg/ha, T-P 0.38~2.20kg/ha로 나타났다. 영양염류 손실량을 시비된 화학비료량을 기준으로 유실률을 계산한 결과, T-N은 약 42.0~60.0%, T-P는 3.0~17.2%가 유출과정을 통하여 유실된 것으로 나타났다.

지금까지 연구된 국내 결과를 비교해 보면, 홍과 권(1989)이 경기도 화성군 정남면 패랑리 농경지 29.3ha 대상으로 영양물질수지를 조사한 결과 T-N 12.37kg/ha, T-P 2.16kg/ha, 김과 조(1995)가 경기도 화성군 반월면 둔대리 지역에서 논면적 12.5ha에서 영농기간 중 비료성분의 연간 유출량은 T-N 8.15kg/ha, T-P 0.59kg/ha이었고, 유출율은 T-N 5.3%, T-P 0.01%라고 보고하였다. 권 등(2000)은 대호지구 간척농지 38.5ha를 대상으로 조사한 결과 유출부하량은 T-N 49.5kg/ha, T-P 3.2kg/ha, 김 등(2002)은 충청북도 청원군 옥산면 소로리에 위치한 대구획 광역논 41.9ha를 대상으로 오염부하량 원단위를 산정하였는데, 그 결과 T-N은 18.2kg/ha, T-P는 0.31kg/ha, 윤 등(2002)은 경기도 여주군 가남면 오산리에 위치한 10ha의 광역논을 대상으로 지하수 관개지역의 배출부하 특성을 연구하였는데 영농기간 총부하량은 T-N 5.45kg/ha, T-P 1.17kg/ha로서 지표수관개지역에 비하면 상대적으로 낮은 것으로 나타났다고 보고하였다. 이와 같이 연구자마다 영농지역에 따른 비료 시용량, 시비방법, 시비시기, 관개용수 및 강우의 양과 성분의 차이 등 지역특성으로 인하여 영양물질의 유출량에 차이가 발생한 것으로 생각된다.

<Table 2> Nutrient Balance of Paddy Field

Unit : kg/ha

|      | T - N |      |      |       |                  | T - P |      |      |       |                  |
|------|-------|------|------|-------|------------------|-------|------|------|-------|------------------|
|      | Input |      |      |       | Runoff<br>Losses | Input |      |      |       | Runoff<br>Losses |
|      | Fer.  | Pre. | Irr. | Total |                  | Fer.  | Pre. | Irr. | Total |                  |
| 1999 | 134.0 | 20.4 | 41.3 | 195.7 | 56.2             | 12.76 | 0.28 | 0.28 | 13.32 | 2.20             |
| 2000 | 140.0 | 26.0 | 29.0 | 195.0 | 60.9             | 13.64 | 0.35 | 0.45 | 14.44 | 1.48             |
| 2001 | 114.0 | 28.0 | 54.9 | 196.9 | 68.3             | 12.76 | 0.34 | 0.17 | 13.27 | 0.38             |
| 2002 | 114.0 | 27.7 | 84.3 | 226.0 | 53.4             | 12.76 | 0.34 | 1.32 | 14.42 | 1.64             |
| Ave. | 125.5 | 20.4 | 41.9 | 203.4 | 59.7             | 12.98 | 0.33 | 0.56 | 13.86 | 1.43             |

\* Fer. : Fertilizer, Pre. : Precipitation, Irr. : Irrigation

#### IV. 요약 및 결론

양수장 지구의 광역논으로부터 영농기 오염부하량을 산정하기 위하여 전북 남원시 금풍지구 115ha(논면적 95ha)를 대상으로 물수지 조사와 수질 모니터링을 실시하였다. 영농기간 동안 물수지를 살펴보면 강수량은 1,064.7~1,295.6mm, 관개량 1,190.6~1,810.7mm, 지표 유출수량은 1,262.0~2,037.9mm로 나타났다.

영농기간동안 지표 유출에 의한 영양물질 유실량은 T-N 53.4~68.3kg/ha로 평균 59.7kg/ha이고, T-P는 0.38~2.20kg/ha로 평균 1.42kg/ha로 조사되었다. 손실량을 시비된 화학비료량을 기준으로 유실률을 계산한 결과, T-N은 약 42.0~60.0%, T-P는 3.0~17.2%가 유출과정을 통하여 유실된 것으로 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.