

비영농기간 단일필지 논으로부터 영양물질의 유출량

Runoff Loading of Nutrients from a Paddy Field during Non-Cropping Season

최진규 · 한강완 · 구자용 · 손재권 · 조재영*(전북대)

Choi, Jin-Kyu · Han, Kang-Wan · Koo, Ja-Woong · Son, Jae-Gwon · Cho, Jae-Young

Abstract

In intensive agriculture, exceeded chemical fertilizer application would increase the concentration of nitrate nitrogen in groundwater. Consequently, it could bring the eutrophication in lakes and streams. The present study examined runoff loading of nitrogen and phosphorus from the paddy field during non-cropping season. The runoff loading of total-N, ammonia-N, nitrate-N and total-P were 12.96kg/ha, 5.42kg/ha, 1.52kg/ha and 1.41kg/ha.

When the runoff loading of nutrients was compared by runoff water and sediments, About 70-80% of total-N by runoff water and the rest 20-30% by runoff sediments were flowed into streams. But 60-70% of total-P by runoff sediments and the rest 30-40% by runoff water were flowed into streams. The phosphorus compounds, which were flowed into streams by runoff sediments and then sedimented, keep exchanging with water at water body in undelivered condition. And it moves gradually into water layer. This process can cause eutrophication continually and repeatedly in water environment. So, a sound program is needed to reduce soil erosion from farmlands.

I. 서 론

무기물중 질소와 인은 모든 생명체의 세포를 구성하는 필수 영양물질로 물이나 토양의 생산력을 좌우하는 중요한 물질이다. 토양에서 생산력은 높을수록 좋지만, 물에서는 생산력이 과다할 경우 수체(water body)가 부영양화(eutrophication) 상태에 이르러 여러가지 바람직하지 못한 현상이 나타나게 된다. 특히 호수와 만(灣)과 같이 물의 흐름이 원활하지 않은 정체수역에서는 농경지에서 유출되어 형성된 퇴적물에 의한 부영양화 현상이 반복되어 나타날 수도 있다.

그 동안 논에서 유출되는 영양물질의 유출부하량에 대한 연구는 영농기간 동안에 유출수에 의한 오염부하량을 산정한 경우가 일부 보고되어 있을 뿐이다. 또한 이와 같은 농업비점오염원은

강우량, 토양특성, 비료사용량 및 시비방법, 논토양 관리형태에 따라 많은 차이를 나타낼 수 있는 것으로 알려져 있다. 국내에서 이루어진 논토양에 관한 수질화학적 연구는 그 대부분이 벼 재배기간을 대상으로 연구가 이루어져 왔으며, 1년 중 나머지 그 2/3를 점유하는 비영농기간에 대한 연구는 거의 이루어지지 않은 상태이다.

본 연구는 비영농기간 동안 논으로부터 영양물질의 유출부하량을 산정하고자 하였다. 이를 위하여 농업이외의 오염원이 비교적 적은 전라북도 진안군 마령면 평지리 일대 5,000m²의 논을 시험포장으로 선정하여 비영농기간 동안 단일 필지 논에서 유출되는 유출수와 유출토사중 질소와 인산의 농도변화와 유출부하량을 조사하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시험포장

본 실험에 사용된 시험포장은 1995년 5월에 경지정리가 완료된 전라북도 진안군 마령면 평지리에 위치하고 있으며, 축산폐수, 가정하수 및 산업폐수로부터 영향을 받지 않은 수도작 농업지대이다. 시험포장 구획은 장변 100m와 단변 50m로서 면적이 5,000m²이다. 1997년 9월 29일에 수확 후 볏짚을 전랑 논에 살포한 다음 10월 5일에 1차 경운을 실시하였으며, 비영농기간 동안 경운상태에서 논 관리를 하다가 1998년 4월 25일에 2차 경운을 실시하였다. 본 시험포장의 토양은 지산미사질양토 (Jisan Silt loam, SiL ; fine loamy, mixed mesic family of Fluventic Haplaguepts)이다.

2. 측정시설

시험포장에 설치된 시설로는 우량계 1조 그리고 자기수위계 및 웨어시설 1조를 각각 설치하였다. 우량계는 아나로그식 일일기록 자기우량계로서 시험포장에 인접한 용수로변에 설치하였으며, 1997년 10월 1일부터 1998년 4월 30일까지 강우량 자료를 수집하였다. 웨어(weir)는 1개 필지 논에서의 유출량을 측정하기 위한 것으로 시험포장의 말단지점에 설치하였다. 이 웨어에는 직경 40cm의 stilling well을 부착하여 내부에 자기수위계를 설치하였으며, 1997년 10월 1일부터 1998년 4월 30일까지 수위를 측정하였다.

3. 시료채취 및 분석방법

유출수는 매 유출이 발생할 때마다 2시간 간격으로 시험포장의 웨어유출구에서 폴리에틸렌용기(2L)에 채수하여 4℃ 이하의 온도로 보관하면서 분석시료로 사용하였다. 유출수중에 함유된 유출토사 시료는 논웨어 유출구에 직접 고무호스를 연결하여 특수제작한 200L 용량의 플라스틱 용기에

유출수가 풍부하도록 하였다. 유출수를 3 일동안 정지시킨 후 친강한 토사표를 채취하여 쪼갬시킨 다음 2mm 체를 통과시켜 분석시료로 사용하였다. 유출수 시료의 분석은 수질공정시험법(환경처, 1993), 유출토사 시료는 토양화학분석법(농촌진흥청, 1983)에 기준하여 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 강우량과 유출수량

1997년 10월부터 1998년 1월까지의 강우량은 162.8mm로 예년 강우량의 150% 이상을 나타내었다. 1998년 2월부터 3월까지의 강우량은 약 75mm, 4월의 강우량은 178.2mm로 예년의 160%를 나타내었다. 비영농기간에는 논외 배수구가 완전 개방된 상태로 비가 내리면 처음에는 토양 표면에 침윤, 침투하여 지표유출이 발생하지 않으나, 초기유출우량을 초과하면 본격적인 지표유출이 시작된다. 비영농기간중 유출은 총 11회 발생하였으며, 총강우량은 351.7mm, 총유출수량은 267.5mm, 유출율은 0.57-0.86의 범위로 나타났다(Table 1).

Table 1. Hydrological conditions observed runoff loading from the paddy field with rainfall-runoff

Event No.	Runoff period (Year. Month. Date)	Rainfall (mm)	First rainfall* (mm)	Runoff (mm)	Runoff ratio	Previous rainfall (mm)
1	1997.11.12-11.14	56.7	12.5	44.0	0.78	2.4
2	1997.11.17-11.17	11.5	26.9	6.6	0.57	56.7
3	1997.11.25-11.25	18.8	8.9	12.5	0.66	16.9
4	1997.11.29-11.29	24.5	10.0	19.0	0.78	18.8
5	1997.12.06-12.07	36.9	8.3	29.1	0.79	24.5
6	1998.02.19-02.19	16.5	12.5	12.6	0.76	47.8
7	1998.03.19-03.20	34.5	10.1	22.0	0.64	27.7
8	1998.04.01-04.02	40.5	12.0	34.7	0.86	41.6
9	1998.04.05-04.05	20.0	9.1	13.0	0.65	40.5
10	1997.04.12-04.14	57.3	7.1	47.0	0.82	27.6
11	1997.04.23-04.24	34.5	5.9	27.0	0.78	75.7

*First rainfall : Values are the amounts in depth causing the first outflow in each rainfall

2. 유출수 및 유출수에 함유된 토사중 영양물질의 농도변화

경운은 농업활동중 인위적인 방법으로 토양의 구조를 변화시키는 것으로서 토양의 물리적인 특성변화를 가져올 뿐만 아니라 화학적, 생물학적인 변화의 원인이 되기도 한다. 1997년 10월부터 1998년 4월까지 시험포장에서 유출된 유출수중에 존재하는 영양물질의 시기별 농도변화를 조사한 결과는 다음과 같다(Fig. 1).

전질소의 농도는 4.08~4.96mg/L의 범위로 평균 4.47mg/L, 암모니아테질소는 1.44~2.33mg/L의 범위로 평균 1.84mg/L, 그리고 질산테질소는 1.00~1.72 mg/L의 범위로 평균 1.36mg/L를 나타내었다. 본 조사에서 나타난 유출수중 전질소의 농도는 우리 나라 환경정책기본법(환경처, 1993)에서 제한하고

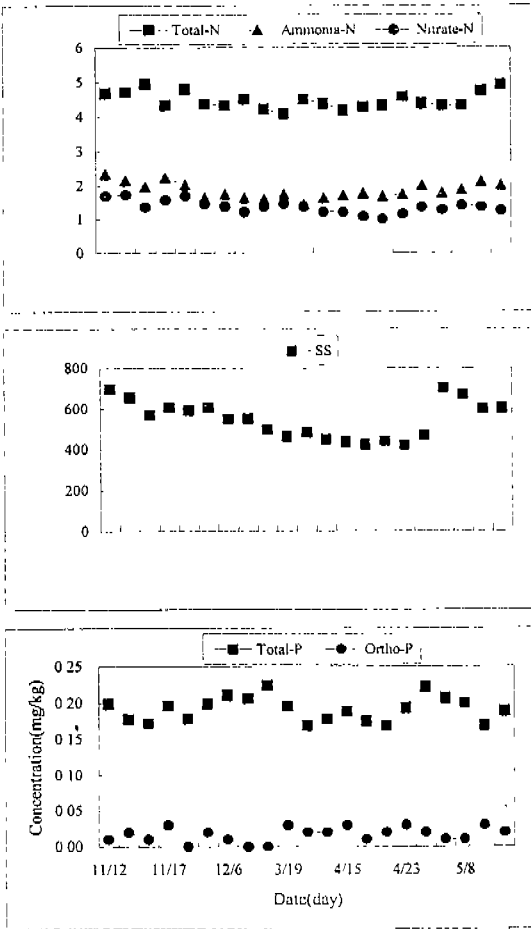


Fig. 1. Concentration changes of nutrients and SS in outflow water during non-cropping season

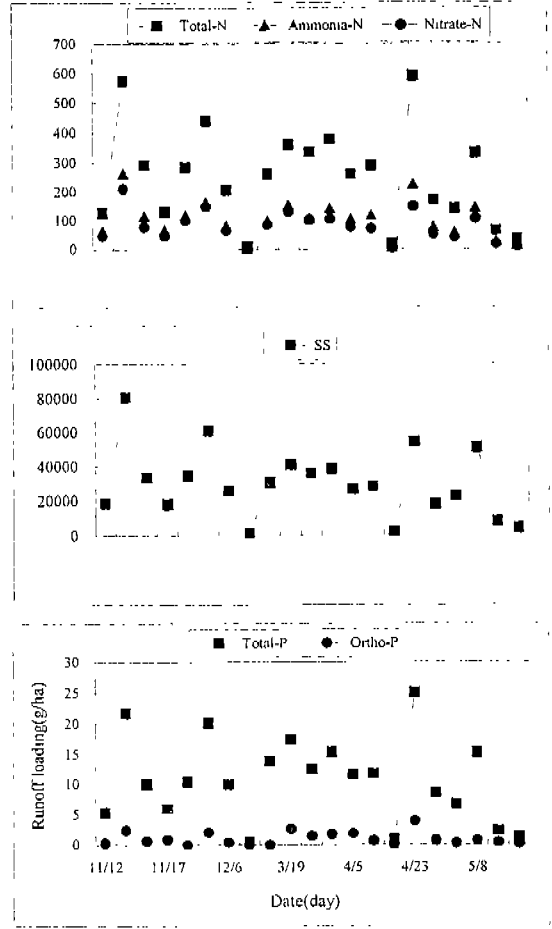


Fig. 2. Runoff loading changes of nutrients and SS in outflow water during non-cropping season

있는 농업용수중 전질소 기준치인 1.0mg/L를 모든 조사시기에서 초과하고 있는 것으로 나타났다.

전인산의 농도는 0.169~0.224mg/L의 범위로 평균 0.191mg/L를 나타내었다. 또한 가용성 인산의 경우 최대 0.01mg/L까지 검출되는 경우도 있었으나 거의 대부분의 시료에서 검출되지 않았다. 본 조사에서 유출수중 전인산의 농도는 우리 나라의 환경정책기본법에서 제한하고 있는 농업용수중 기준치인 0.100mg/L 이하를 모든 시기에서 초과한 것으로 나타났다.

유출수중에서 검출되는 총부유물질의 농도를 조사한 결과 419.2~701.4mg/L의 범위로 평균

545.8mg/L. 로 나타났다. 경운을 실시한 10 월 조부터 650~700mg/L. 의 수준을 나타내다가 점차 감소하는 경향이었는데 4 월 25 일경 모내기를 위한 경운 후 다시 증가하는 경향이였다. 유출수에 함유된 토사중 질소의 농도는 796.8~822.4mg/kg 의 범위로 평균 809.7mg/kg 을 나타내었다. 전인산의 농도는 179.8~214.6mg/kg 의 범위로 평균 203.9mg/kg 을 나타내었다. 유출토사중 질소원의 농도는 경운활동으로 인하여 토양의 산화상태가 발달되어 호기성 미생물에 의한 유기물 분해가 촉진되게 되는데 이러한 유기물의 분해는 토양중 유기태질소의 무기화를 촉진시켜 농도변화가 나타나게 된 것으로 보여지며, 인산원의 농도는 경운 여부에 따라 큰 차이를 나타내지 않았다.

3. 단일 필지 논으로부터 영양물질의 유출량

1997 년 10 월부터 1998 년 4 월까지 7 개월 동안 시험포장에서 유출된 유출수량과 토사유출량을 측정된 다음 영양물질의 평균농도를 곱하여 유출량을 산정하였다(Fig. 2).

유출수에 의한 영양물질의 유출량을 조사한 결과, 전질소의 유출량은 9.67kg/ha 를 나타내었으며, 암모니아태질소는 5.22kg/ha 를 나타내었으며, 질산태질소는 1.39kg/ha 를 나타내었다. 또한 전인산은 0.43kg/ha 를 나타내었다. 유출수중에 함유된 총부유물질을 토사의 양으로 환산한 결과 4.9MT/ha 를 나타내었다. 토사에 의한 영양물질의 유출량을 조사한 결과, 전질소는 3.29kg/ha 를, 암모니아태질소는 0.20kg/ha 를, 질산태질소는 0.13kg/ha 를, 전인산은 0.98kg/ha 를 나타내었다.

유출수와 유출토사에 의한 유출부하량을 합한 전체 유출부하량을 조사한 결과, 전질소의 유출량은 12.96kg/ha 를, 암모니아태질소는 5.42kg/ha 를, 질산태질소는 1.52kg/ha 를 나타내었다. 또한 전인산의 유출량은 1.41kg/ha 를 나타내었다. 지금까지 농경지내에서 토양유실과 관련하여 거의 대부분의 연구가 경사지 발토양을 중심으로 이루어져 왔는데 본 조사결과에 의하면 비영농기간중 논토양 관리 형태에 따라 4.9MT/ha 에 해당하는 토사가 하천으로 부하된 것으로 나타났다. 선행 연구와 비교시 비영농기간만을 대상으로 한 본 조사에서의 토사유출량이 상당히 높게 나타 났는데 이는 본 조사 대상 지역 논토양의 경우 경지정리가 끝난지 얼마 되지 않은 상태였기 때문에 토사유출이 용이하였을 것으로 생각되고, 토사유출에 가장 큰 영향을 미칠 수 있는 강우량이 많았기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 비교적 평탄지에 분포하고 있는 논토양일지라 하더라도 강우-유출 과정시 발생하는 토사유출에 대한 적극적인 조사연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

IV. 요약

본 연구는 비영농기간 동안 논으로부터 영양물질의 유출부하량을 산정하고자 하였다. 이를 위하여 농업이외의 오염원이 비교적 적은 전라북도 진안군 마령면 평지리 일대 15,000m² 의 논을 시험포장으로 선정하여 비영농기간 동안 단일 필지 논에서 유출되는 유출수와 유출토사중 질소와 인산의 농도변화와 유출부하량을 조사하였다.

비영농기간중 유출사상은 총 11 회 발생하였으며, 총 강우량은 351.7mm, 총 유출수량은 267.5

mm로 나타나 유출율은 0.57-0.86의 범위를 나타내었다. 유출수와 유출토사에 의한 유출부하량을 합한 전체 유출부하량은 전질소의 경우 12.96kg/ha, 암모니아태질소는 5.42kg/ha, 질산태질소는 1.52kg/ha, 전인산은 1.41kg/ha를 나타내었다. 유출수와 유출토사를 통한 화학성분의 유출부하량을 비교한 결과, 질소원의 경우 약 70-80%가 유출수를 통하여, 나머지 20-30% 정도가 유출토사를 통하여 하천으로 유입되는 것으로 나타났으나 전인산의 경우 30-40%가 유출수를 통하여 나머지 60-70% 정도가 유출토사를 통하여 하천으로 유입되는 것으로 조사되었다.

V. 참고 문헌

1. 박승우, 윤광식, 임상준, 강문성. 1996. 농업유역의 생태환경 모니터링 연구. 한국농촌계획학회지. 2(2): 91~102
2. 정필균, 이남중, 오세진. 1995. 경사지 토양 및 양분 유실에 관한 연구. 농사시험연구보고서. 210-214
3. Kim, B. Y. and J. K. Cho. 1995. Nutrient Effluence by the Outflowing Water from the Paddy Field during Rice Growing season. *KCID J.* 2(2):150-156
4. Koh, C. K. 1985. Prediction and Control of Soil Erosion and Water Pollution in Agricultural Lands. *Korean J. Environ. Agric.* 4(2):139-147
5. Kunimatsu T., L. Rong, M. Sudo and I. Takeda. 1994. Runoff loadings of Materials Causing Water Pollution from a Paddy Field during a Non-planting Period. *Trans. of JSIDRE.* 170:45-54
6. Park, S. W, S. H. Yoo and M. S. Kang. 1997. Nonpoint Source Pollution Loadings from Land Use on Small Watersheds. *J. Korean Soc. Agric. Eng.* 39(3):115-127