

비영농기간 단일필지 논으로부터 영양물질의 유출부하량

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

조 재 영* · 한 강 완* · 최 진 규*
Cho, Jae Young · Han, Kang Wan · Choi, Jin Kyu
구 자 웅* · 손 재 권*
Goo, Ja Woong · Son, Jae Gwon

Abstract

The present study was carried out for 7 months (from October 1, 1997 to April 30, 1998) at a rice cultivation area blocked from livestock farming, farmstead and industrial complex to investigate the runoff loading of nitrogen and phosphorus in a plot (5,000m²) paddy field areas. 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, respectively. When the runoff loading of nutrients was compared by dissolved and adsorbed forms, about 66% of total-N by dissolved form and the rest 34% by adsorbed form were flowed into streams. But 56% of total-P by adsorbed form and the rest 44% by dissolved form 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

농업비점오염원은 강우-유출에 따른 지표유출, 지하침투 또는 관개배수 과정에서 잉여수의 형태로 하천이나 호소로 유입된다. 이들 물질은 수질을 악화시킬 정도의 독성물질은 아니지만, 농경지 유역 전체로부터 배출되어 주요 수질오염원으로 작

용하기도 한다.¹⁾ US National Research Council²⁾에서는 농업으로부터 영양물질, 농약, 토양침식 및 중금속 등에 의한 지표수와 지하수의 오염저감이 국가정책 목표가 되어야 하며, 동시에 농업정책이 토양과 수질을 보호하면서 식량과 섬유 생산을 수익성있게 유지할 수 있어야 한다고 하였다. 또한 환경개선의 단계로서 토양의 질을 보전하고 비

* 전북대학교 농과대학(농업과학기술연구소)

키워드 : 논, 비영농기간, 영양물질, 강우-유출, 유출 부하량

료, 농약 및 관개의 효율증진, 지표유출과 토양침식을 최소화 할 수 있는 영농기법의 개발이 필요하다고 제안하였다. OECD³⁾에서는 화학비료, 농약 및 가축분뇨가 하천이나 호소의 부영양화를 일으키는 주요 원인물질이며, 수질오염 문제에 능동적으로 대처하기 위하여 오염원의 통제와 동시에 장기적인 수질관리 기법의 개발이 필요하다고 하였다.

최근 들어 세계적으로 농업비점오염원으로 인한 수질오염 문제를 해결하기 위하여 연구개발이 활발하게 이루어지고 있으나,⁴⁻⁶⁾ 우리 나라에서는 영농기간 동안에 유출수에 의한 오염부하량을 산정한 경우가 일부 보고되어 있을 뿐⁷⁻⁹⁾ 1년 중 나머지 그 2/3를 점유하는 비영농기간에 대한 연구는 거의 이루어지지 않은 상태이다.

논에서 영양물질의 유출부하량과 관련되어 국내·외에서는 유출수중 영양물질의 함량변화를 중심으로 연구가 진행되어 왔는데, 시비 후 토양과 반응하여 흡착된 인이나, 토양 내에서 불용성상태로 존재하는 중금속의 정확한 이동 메커니즘을 해석하는데 많은 한계를 지니고 있었다. 유출량에 비하여 유출토사의 양이 상대적으로 작기 때문에 직접적인 비교는 어렵겠지만 인이나 중금속물질의 물질수지를 산정하기 위해서 유출토사의 유출에 대한 연구가 병행되어 수행되어야 할 것으로 생각된다.

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

II. 재료 및 방법

1. 시험포장

논에서 영양물질의 물질수지와 유출특성을 조사하는데 필요한 시험포장은 가능한 경지정리가 된

곳으로 월담배수가 적고 제반 관측시설의 설치 및 관리가 편리하며, 기상자료의 수집이 용이한 곳을 대상으로 선정하였다. 본 실험에 사용된 시험포장은 1995년 5월에 경지정리가 완료된 전라북도 진안군 마령면 평지리에 위치하고 있으며, 축산폐수, 가정하수 및 산업폐수로부터 영향을 받지 않는 수도작 농업지대이다. 시험포장 구획은 장변 100m와 단변 50m로서 면적이 5,000m²이다. 1997년 9월 29일에 수확 후 벧짚을 전랑 논에 살포한 다음 10월 5일에 1차 경운을 실시하였으며, 비영농기간 동안 경운상태에서 논 관리를 하다가 1998년 4월 25일에 2차 경운을 실시하였다. 본 시험포장은 경지정리가 완료된 논토양으로 경지정리가 끝난 최근 3년 동안 과잉의 화학비료가 시비되었다. 1995년도에는 30kg N/10a, 4.2kg P/10a, 6.8kg K/10a에 해당하는 화학비료가 사용되었으며, 1996년도에는 26kg N/10a, 3.8kg P/10a, 3.8kg K/10a에 해당하는 화학비료가 시비된 것으로 조사되었다. 본 연구기간의 시비량은 5월 22일에 기비로 10.72kg N/10a, 2.72kg P/10a, 그리고 2.72kg K/10a를, 6월 13일에 분얼비로 7.36kg N/10a, 7월 28일에 수비로 3.68kg N/10a에 해당하는 화학비료가 시비되었다.

본 시험포장의 토양은 지산미사질양토 (Jisan

Table 1. Physical and chemical properties of the test plot soil

Chemical properties		Particle size fraction (%)	
Organic matter(%)	2.15	Sandy	29.5
pH(1:5)	5.81	Silt	55.3
Total-N(mg/kg)	856.47	Clay	15.2
Total-P(mg/kg)	246.34		
CEC(cmol+/kg)	10.54		
Exchangeable cations(cmol+/kg)			
Ca	4.35		
Mg	3.02		
Na	0.15		
K	0.45		

Silt loam, SiL : fine loamy, mixed mesic family of Fluventic Haplaguepts)로서 이화학적 특성은 Table 1과 같다.

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.(Fig. 1) 웨어는 완전월류의 조건을 만족시키고, 배수에 지장을 주지 않도록 폭 30cm의 구형웨어(rectangular weir)로 제작하였으며, 완전한 배수가 이루어질 수 있도록 평균 논바닥 보다 약간 낮게 설치하였다. 이 웨어에는 직경 40cm의 stilling well을 부착하여 내부에 자기수위계를 설치하였으며, 1997년 10월 1일부터 1998년 4월 30일까지 수위를 측정하였다. 본 시험포장에 설치된 웨어의 유량공식은 웨어접근수심 $P=0.1m$, 웨어전폭 $B=0.6m$, 웨어월류폭 $b=0.3m$ 즉 $b/B=0.5$ 인 경우를 고려하여 월류수두에 대한 유출수량을 $Q=aH^b$ 형태의 지수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$Q(m^3/s) = 0.5317h^{1.4834} \quad (0 \leq h \leq 0.25m), \text{ 또는}$$

$$Q(L/s) = 0.5739H^{1.4834} \quad (0 \leq H \leq 25cm)$$

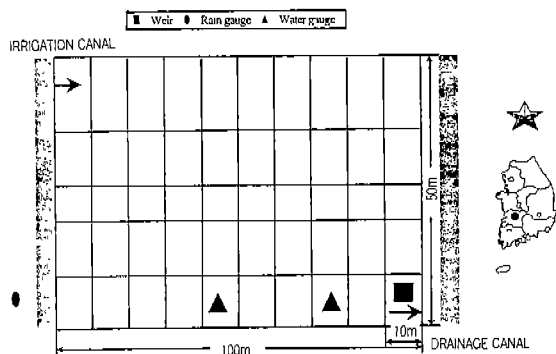


Fig. 1. Placement of experimental apparatus

3. 시료채취 및 분석방법

유출수는 매 유출이 발생할 때마다 2시간 간격으로 시험포장의 웨어 유출구에서 폴리에틸렌 용기(2L)에 채수하여 4°C 이하의 온도로 보관하면서 분석시료로 사용하였다. 유출수중에 함유된 유출토사 시료는 논웨어 유출구에 직접 고무호스를 연결하여 특수제작한 200L 용량의 플라스틱 용기에 유출수가 통하도록 하였다. 유출수를 3일 동안 정지시킨 후 침강한 토사를 채취하여 풍건시킨 다음 2mm 체를 통과시켜 분석시료로 사용하였다. 논토양중 영양물질의 함량변화를 조사하기 위하여 매 2주 간격으로 시험포장의 4지점에서 토양시료를 채취하여 혼합한 다음 분석시료로 사용하였다. 유출수의 분석은 수질공정시험법¹⁰⁾에 기준하였다. 부유물질(suspended solids)은 시료 1000mL를 취하여 유리섬유여지법으로, 총질소와 암모니아성질소는 수질시료 500mL를 취하여 각각 환원중류~킬달법과 중화적정법으로, 질산성 질소와 가용성 인은 0.45µm 이하의 유리섬유여지(GF/C)를 사용하여 여과한 다음 이온크로마토그래피(Sykam 4260, Germany)를 이용하여 분석하였다. 총인은 수질시료 500mL를 취하여 50mL로 농축한 다음 ascorbic acid reduction법에 기준하여 분석하였다. 논토양 및 유출토사 시료의 분석은 토양화학분석법¹¹⁾에 기준하였다. 총인은 Vanado-molybdate법, 가용성 인은 Bray No. 2법, 질산성 질소는 Brucine법, 암모니아성 질소와 총질소는 Kjeldahl법으로 측정하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 강우량과 유출량

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 논 배수구가 완전 개방된 상태로 비가 내리면 처음에는 토양 표토에 침

윤, 침투하여 지표유출이 발생하지 않으나, 초기유출우량을 초과하면 본격적인 지표유출이 시작된다. 비영농기간중 유출은 Table 2에 정리한 바와 같이 총 11회 발생하였으며, 총강우량은 351.7mm, 총유출량은 267.5mm, 유출율은 0.57~0.86의 범위로 나타났다.

Table 2. Rainfall and runoff at the experimental plot during storms

Event	Runoff period (Year, Month, Day)	Rainfall (mm)	First rainfall* (mm)	Runoff (mm)	Runoff ratio
1	1997.11.12~11.14	56.7	12.5	44.0	0.78
2	1997.11.17~11.17	11.5	6.9	6.6	0.57
3	1997.11.25~11.25	18.8	8.9	12.5	0.66
4	1997.11.29~11.29	24.5	10.0	19.0	0.78
5	1997.12.06~12.07	36.9	8.3	29.1	0.79
6	1998.02.19~02.19	16.5	12.5	12.6	0.76
7	1998.03.19~03.20	34.5	10.1	22.0	0.64
8	1998.04.01~04.02	40.5	12.0	34.7	0.86
9	1998.04.05~04.05	20.0	9.1	13.0	0.65
10	1998.04.12~04.14	57.3	7.1	47.0	0.82
11	1998.04.23~04.24	34.5	5.9	27.0	0.78

* First rainfall : Rainfall causing the first outflow

2. 논토양중 영양물질의 함량변화

비영농기간 동안 매 2주 간격으로 논토양 중 영양물질의 함량변화를 조사한 결과는 다음과 같다. (Fig. 2) 총질소의 함량은 910.09~1,153.6mg/kg의 범위로 평균 1,021.37 mg/kg을, 암모니아성 질소는 21.56~42.35mg/kg의 범위로 평균 31.63mg/kg을 그리고 질산성 질소는 24.20~36.28mg/kg의 범위로 평균 30.73mg/kg을 나타내었다. 총인의 함량은 255.01~285.41mg/kg의 범위로 평균 268.34mg/kg의 범위를 나타내었으며 가용성 인은 22.39~29.51mg/kg의 범위로 평균 24.61mg/kg을 나타내었다. 비영농기간 동안에도 강우에 의한 유출 및 다양한 영양물질의 대사과정을 거쳐 영양물질의 함량이 감소되고 있음을 확인할 수 있었다.

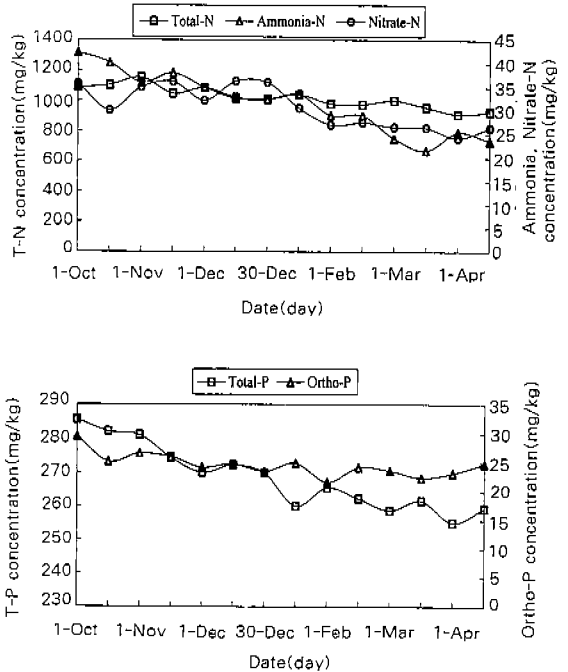


Fig. 2. Concentration change of nutrients in the paddy soil during non-cropping season

3. 유출수 및 유출토사 중 영양물질의 농도 변화

경운은 농업활동 중 인위적인 방법으로 토양의 구조를 변화시키는 것으로서 토양의 물리적인 특성변화를 가져올 뿐만 아니라 화학적, 생물학적인 변화의 원인이 되기도 한다. 1997년 10월부터 1998년 4월까지 시험포장에서 유출된 유출수 중 영양물질의 시기별 농도변화를 조사한 결과는 다음과 같다.(Fig. 3)

총질소의 농도는 4.08~4.96mg/L의 범위로 평균 4.47mg/L, 암모니아성 질소는 1.44~2.33mg/L의 범위로 평균 1.84mg/L, 그리고 질산성 질소는 1.00~1.72mg/L의 범위로 평균 1.36mg/L를 나타내었다. 본 조사에서 나타난 유출수 중 총질소의 농도는 우리 나라 환경정책기본법¹²⁾에서 제한하고 있는 농업용수 중 총질소 기준치인 1.0mg/L를 모든 조사시기에서 초과하고 있는 것으로 나타났다.

총인의 농도는 0.169~0.224mg/L의 범위로 평균 0.191mg/L를 나타내었다. 또한 가용성 인의 경우 최대 0.01mg/L까지 검출되는 경우도 있었으나 거의 대부분의 시료에서 검출되지 않았다. 田淵¹³⁾ 등에 의하면 비영농기간 동안 66.7ha의 소유역을 대상으로 유출수 중 질소농도를 조사한 결과 질산성 질소와 총질소의 평균농도는 각각 5.7, 7.2mg/L로 나타났는데 본 조사에서는 이보다 약간 낮게 나타났다.

본 조사에서 유출수 중 총인의 농도는 우리나라의 환경정척기본법에서 제한하고 있는 농업용수

중 기준치인 0.100mg/L 이하를 모든 시기에서 초과한 것으로 나타났다. 논에서 유출된 유출수가 하천으로 유입되면 수량이 풍부한 하천수에 의해 희석되어 그 농도가 감소하겠지만 비영농기간 동안에는 수량이 그다지 풍부하지 않은 관계로 유출이 발생할 경우 수계 환경에 바람직하지 못한 문제를 야기할 수 있을 것으로 생각된다.

유출수 중에서 검출되는 총부유물질의 농도를 조사한 결과 419.2~701.4mg/L의 범위로 평균 545.8mg/L로 나타났다. 경운을 실시한 10월 초부터 650~700mg/L의 수준을 나타내다가 점차 감소하는 경향이었는데, 4월 25일경 모내기를 위한 경운 후 다시 증가하는 경향이였다. 유출토사 중 총질소의 농도는 796.8~822.4mg/kg의 범위로 평균 809.7mg/kg을 나타내었다. 총인의 농도는 179.8~214.6mg/kg의 범위로 평균 203.9mg/kg을 나타내었다.(Fig. 4) 國松¹⁴⁾ 등에 의하면 유출수 중 유출토사의 농도는 경운전에는 10~20mg/L 수준이었으나, 경운 후에는 600mg/L를 초과하는 혼탁한 물이 되어 유출된다고 하였는데 본 조사에

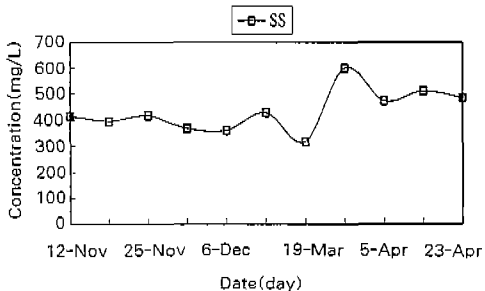
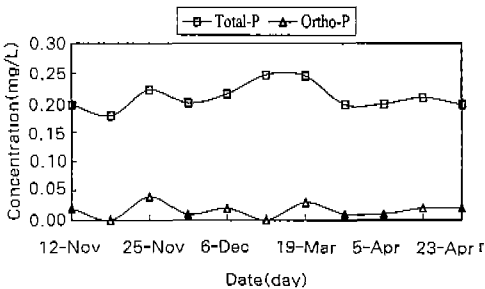
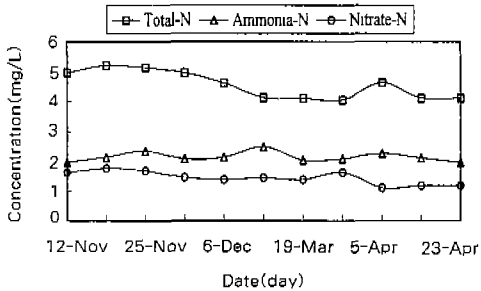


Fig. 3. Concentration change of nutrients in the runoff water during non-cropping season

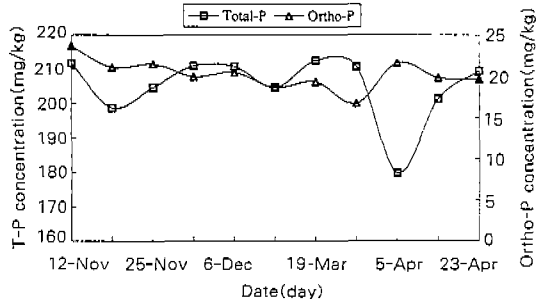
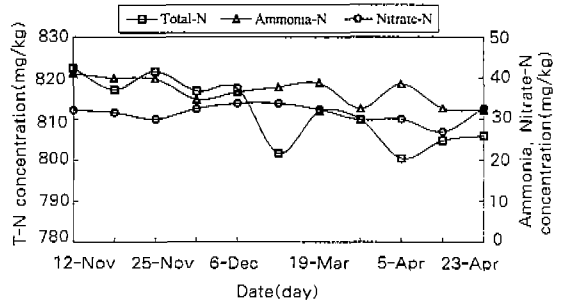


Fig. 4. Concentration change of nutrients in the runoff sediments during non-cropping season

서도 이와 유사한 경향을 나타내었다.

유출토사 중 질소원의 농도는 경운활동으로 인하여 토양의 산화상태가 발달되어 호기성 미생물에 의한 유기물 분해가 촉진되게 되는데 이러한 유기물의 분해는 토양 중 유기태 질소의 무기화를 촉진시켜 농도변화가 나타나게 된 것으로 보여지며, 인의 농도는 경운 여부에 따라 큰 차이를 나타내지 않았다.

4. 단일 필지 논으로부터 영양물질의 유출부하량

1997년 10월부터 1998년 4월까지 7개월 동안 시험포장에서 유출된 유출량과 토사유출량을 측정하고 다음 영양물질의 평균농도를 곱하여 유출부하량을 산정하였다.

유출수에 의한 영양물질의 유출부하량을 조사한 결과, 총질소의 유출부하량은 9.67kg/ha를 나타내었으며, 암모니아성 질소는 5.22kg/ha를 나타내었으며, 질산성 질소는 1.39kg/ha를 나타내었다. 또한 총인은 0.43kg/ha를 나타내었다. 유출수 중에 함유된 총부유물질의 농도에 유출수량을 곱하여 토사의 양으로 환산한 결과 4.9t/ha를 나타내었다. 유출토사에 의한 영양물질의 유출부하량을 조사한 결과, 총질소는 3.29kg/ha를, 암모니아성 질소는 0.20kg/ha를, 질산성 질소는 0.13kg/ha를, 총인은 0.98kg/ha를 나타내었다.

지금까지 농경지 내에서 토양유실과 관련하여 거의 대부분의 연구가 경사지 밭토양을 중심으로 이루어져 왔는데^{15,16)} 본 조사결과에 의하면 비영농기간 중 논토양 관리형태에 따라 4.9t/ha에 해당하는 토사가 하천으로 부하된 것으로 나타났다. 이는 본 조사대상 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 논토양 일지라 하더라도 강우-유출 과정시 발생하는 토사

유출에 대한 적극적인 조사연구가 이루어져야 할 것으로 생각되며, 하천이나 호소의 수질환경을 건전하게 유지하기 위해서는 유역 수질관리에 앞서 정확한 수질오염현황을 파악하고 오염원과 부하량에 대한 정량적인 평가가 선행되어야 할 것으로 생각된다. 특히 우리 나라의 경우 논이 전체 농경지 면적의 60% 이상을 차지하고 있는데, 논에서 영양물질의 이동과 물질수지는 벼에 대한 양분의 수급을 결정하고 주변 수계 환경에 영향을 미칠 수 있으므로 논에서 농업비점오염물질의 유·출입 수지와 유출 매카니즘에 대한 정량적인 평가가 선행되어야 할 것으로 생각된다.

유출수와 유출토사에 의한 유출부하량을 합한 전체 유출부하량을 조사한 결과, 총질소의 유출부하량은 12.96kg/ha를, 암모니아성 질소는 5.42kg/ha를, 질산성 질소는 1.52kg/ha를 나타내었다. 또한 총인의 유출부하량은 1.41kg/ha를 나타내었다. 유출수와 유출토사를 통한 화학성분의 유출부하량을 비교한 결과, 질소원의 경우 약 66%가 유출수를 통하여, 나머지 34% 정도가 유출토사를 통하여 하천으로 유입된 것으로 나타났으나, 총인의 경우 44%가 유출수를 통하여 나머지 56% 정도가 유출토사를 통하여 하천으로 유입된 것으로 조사되었다.

國松¹⁴⁾ 등이 비와호 수역의 논(11.6ha)을 대상으로 영양물질의 유출부하량을 실측한 결과 총질소와 총인의 연간 유출부하량이 각각 45.7, 8.72, 98kg/ha 이고 그 중 비영농기간에 각각 52, 14, 36%가 유출된다고 추정하였다. 본 연구결과와 비교시 國松¹⁴⁾의 연구에서 총질소는 약 2배 정도 높게 나타난 반면 총인은 거의 유사한 경향이였다.

비영농기간 동안에는 논토양으로의 물의 유·출입이 적고, 강우량도 영농기간에 비하여 상대적으로 적은 시기이다. 또한 수확후 논토양에 환원된 벚짖이 어느 정도 토양피복제의 역할을 담당하고 있어 논토양으로부터 하천에 부하되는 오염물질의 양은 그다지 높지 않을 것으로 예상되었다. 하지만 연구결과에서 보는 바와 같이 비영농기간 동안에도 총질소의 경우 12.96kg/ha, 총인은 1.41kg/ha에 해당하는 많은 양의 영양물질이 하천으로 부하

된 것으로 조사되었다. 논에서 영양물질의 유출부하량은 신항강우량, 무강우일시, 물꼬높이, 초기답수심 및 침투손실 등에 따라 큰 차이를 나타낼 수 있을 것으로 생각된다. 또한 본 조사의 경우 약 7개월의 짧은 기간 동안만을 연구대상기간으로 하였기 때문에 추후에도 비영농기간 중 논토양 관리 형태, 토성, 강우크기에 따른 영양물질의 유출부하에 대한 연구가 활발하게 수행되어야 할 것으로 생각된다.

IV. 요약 및 결론

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 인의 농도변화와 유출부하량을 조사하였다.

비영농기간중 유출사상은 총 11회 발생하였으며, 총 강우량은 351.7mm, 총 유출량은 267.5mm로 나타나 유출계수는 0.57~0.86의 범위를 나타내었다. 유출수와 유출토사에 의한 유출부하량을 합한 전체 유출부하량은 총질소의 경우 12.96kg/ha, 암모니아성 질소는 5.42kg/ha, 질산성 질소는 1.52kg/ha, 총인은 1.41kg/ha를 나타내었다. 유출수와 유출토사를 통한 화학성분의 유출부하량을 비교한 결과, 질소원의 경우 약 66%가 유출수를 통하여, 나머지 34% 정도가 유출토사를 통하여 하천으로 유입된 것으로 나타났으나, 총인의 경우 44%가 유출수를 통하여 나머지 56% 정도가 유출토사를 통하여 하천으로 유입된 것으로 조사되었다.

참 고 문 헌

1. 박승우 · 윤광식 · 임상준 · 강문성, 1996, 농업구역의 생태환경 모니터링 연구, 한국농촌계획학회지, 2(2), pp. 91~102.
2. National Research Council, 1993, Prevention of water pollution by agriculture and related activities, Water reports 1, Rome, pp. 359.
3. OECD, 1996, Water pollution by fertilizers and pesticides, OECD, Paris, pp. 144.
4. Allan O., E. D. Rhoades, S. J. Smith, and R. G. Menzel, 1980, Fertilizer nutrient losses from rangeland watersheds in central Oklahoma, J. Environ. Qual., 9, pp. 81~86.
5. Sharpley, A. N. S. J. Smith, W. A. Berg, and J. R. Williams, 1985, Nutrient runoff losses as predicted by annual and monthly soil sampling, J. Environ. Qual., 14, pp. 354~359.
6. Hornbeck, J. W., S. W. Bailey, D. C. Buso and J. B. Shanley, 1997, Stream-water chemistry and nutrient budgets for forested watersheds in New England, Variability and management implications, Ecol. Manag., 93, pp. 73~80.
7. 김복영 · 조재규, 1995, 벼 재배에서 방류수에 의한 영양염류의 유실, 한국관개배수학회지, 2(2), pp. 150~156.
8. 신동석 · 권순국, 1990, 논에서 질소 및 인의 농도와 유출입, 한국환경농학회지, 9(2), pp. 133~141.
9. 이창기 · 이길철 · 이홍재 · 유홍일 · 이민효 · 김성환 · 김성수 · 김기현 · 김삼권 · 김상돈, 1990, 영농화학물질의 적정사용 방안에 관한 연구, -비료를 중심으로- 국립환경연구원보, 11, pp. 293~310.
10. 환경처, 1993, 수질오염공정시험법.
11. 농업기술연구소, 1983, 토양화학분석법.
12. 환경처, 1993, 수질환경보전법.
13. 田淵俊雄, 黒田久雄, 稻葉 昭, 川野鑛明, 海老名保孝, 堀角京美, 1991, 非灌溉期の農業集水域からの流出水の窒素濃度と負荷, -面源主體の農業集水域からの流出負荷に関する研究 - 日本農業土木學會論文集, 154, pp. 45~53.

14. 國松孝男, 夢 榮, 戶 幹, 武田育郎, 1994, 非作
付期間の田からの水質汚染物質の表面流出, 日本
農業土木學會論文集, 170, pp. 45~54.
15. 정필균 · 이남종 · 오세진, 1995, 경사지 토양
및 양분 유실에 관한 연구, 농사시험연구보고
서, pp. 210~214.
16. 고재균, 1985, 농경지의 토양침식과 수질오염
의 예측 및 억제, 한국환경농학회지, 4(2), pp.
139~147.