

논에서 강우크기에 따른 질소와 인산의 유출

조재영 · 한강완 · 최창현
전북대학교 농화학과

Runoff loading of nitrogen and phosphorus with rainfall intensity from a paddy field

Jae-Young Cho, Kang-Wan Han and Chang-Hyun Choi (Department of Agricultural Chemistry, Chonbuk National University, Chonju, 561-756)

ABSTRACT : Since the national land area is small and the farming land occupies only 24 % of total land area in Korea, the promotion of agricultural productivity is urgent. In this process, the application rate of chemical fertilizer, which is the major pollution factor at agricultural non-point sources, has been increasing in every year. The present study examined difference of runoff loading of nitrogen and phosphorus by rainfall intensity (above 100mm, 80-100mm, 50-80mm and 30-50mm). Runoff loading of nitrogen and phosphorus by rainfall intensity has differences under similar rainfall intensity. We are considering that these results were affected by rainfall intensity as well as hydrological condition, soil management, whether or not fertilizer application, cropping, rice straw and plowing

Key word: Paddy field, Rainfall-runoff, Rainfall intensity, Nitrogen, Phosphorus

서 론

농경지에서 강우-유출 과정은 토양유실과 오염물질의 이동, 지하수오염 등을 발생시키며, 이와 같은 현상이 반복되면서 유역의 수문환경과 물질운송이 진행된다. 비가 오면 흩알갱이가 탈립되어 빗물에 의해 하류로 이동하게 되는데, 이때 토양표면에 부착되어 있는 비료와 농약중 수용성 성분이 일부 용해되거나 토양입자 표면에 부착된 상태로 지표유출이 발생하게 된다. 일반적으로 지표유출이 작을수록 토양유실과 오염물질 손실량이 작게 나타나게 되는데, 반면에 지표유출이 일어나지 않는 정도의 강우가 지속되면 토양중에 존재하는 오염물질의 지하수로의 이동량이 증가하거나 토양내에 집적되는 오염물질의 함량이 증가하게 된다¹⁾.

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 여러 가지 바람직하지 못한 현상이 나타나게 된다. 특히 호수와 만(灣)과 같이 물의 흐름이 원활하지 않은 정체수역에서는 농경지에서 유출되

어 형성된 퇴적물에 의해 부영양화 현상이 반복되어 나타날 수도 있다²⁾. OECD 에서는 화학비료, 농약 및 가축분뇨가 하천이나 호소의 부영양화를 일으키는 주요 원인물질이며, 수질오염 문제에 능동적으로 대처하기 위하여 오염원의 통제와 동시에 장기적인 수질관리 기법의 개발이 필요하다고 하였다³⁾. 하천이나 호소의 수질환경을 건전하게 유지하기 위해서는 유역 수질관리에 앞서 정확한 수질오염 현황을 파악하고 오염원과 부하량에 대한 정량적인 평가가 선행되어야 할 것으로 생각된다⁴⁻⁶⁾. 아울러 집중호우시기에 농업비점오염물질이 하천으로 다량 유출될 것으로 예상되는 바 강우조건을 고려한 농업비점오염물질의 유출특성, 오염부하량과 오염원의 환경용량 파악이 절실하게 요청되는 시기이다.

본 연구에서는 실제 농민들이 벼를 경작하는 상태에서 논에 시비된 비료성분 가운데 수계 환경에 영향을 미칠 수 있는 질소와 인산을 대상으로 강우크기에 따른 유출량과 유출특성에 대하여 조사하였다.

재료 및 방법

논에서 영양물질의 유출특성을 조사하는데 필요한 시험

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		

포장은 가능한 경지정리가 된 곳으로, 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 않은 수도작 농업지대이다. 시험포장 구획은 장변 100m와 단변 50m로서 면적은 5,000㎡이며, 시험포장의 토양은 지산미사질양토(Jisan Silt loam, SiL; fine loamy, mixed mesic family of Fluventic Hapla-guepts)로서 논토양의 이화학적 특성은 표 1과 같다.

측정시설

시험포장에는 우량계 1조와 자기수위계 및 웨어시설 1조를 각각 설치하였다. 우량계는 아나로그식 일일기록 자기우량계로서, 1997년 5월 1일부터 1998년 4월 30일까지 강우량을 측정하였으며, 웨어(weir)는 1개 필지 논에서의 유출량을 측정하기 위한 것으로 시험포장의 하류지점에 설치하였다. 웨어는 완전 월류의 조건을 만족시키고, 배수에 지장을 주지 않도록 폭 30cm의 웨어(rectangular weir)로 제작하였으며, 완전한 배수가 이루어질 수 있도록 평균 논바닥보다 약간 낮게 설치하였다. 이 웨어에는 직경 40cm의 stilling well을 부착하여 내부에 자기수위계를 설치하였으며, 1997년 5월 1일부터 1998년 4월 30일까지 수위를 측정하였다. 웨어는 시기별로 일정한 담수심을 유지하기 위하여 20cm 및 25cm의 플라스틱판으로 경작자가 직접 논물 수위를 조정하였다.

시험포장의 운영

영농현황

시험포장은 1997년 5월 13일에 논갈이를 하고 담수를 시킨 후, 5월 26일에 재식거리 15×30cm, 1주 당 3본씩 기계이앙을 실시하였다. 시험포장의 재배품종은 화산찰벼이며, 9월 29일에 수확하였다. 비영농기간 동안에는 수확후 벼짚을 전랑 논에 살포하고 비경운 상태로 두었다가 1998년 3월 20일에 1차 논갈이를 한 다음, 4월 25일에 2차 논갈이를 실시하였다. 본 연구기간의 시비량은 5월 22일에 모내

기 기비(基肥)로 10.72kg N/10a, 2.72kg P/10a 그리고 2.72kg K/10a를 전층시비(全層施肥)하였으며, 6월 13일에 분얼비(分蘖肥)로 7.36kg N/10a을, 7월 28일에 수비(穗肥)로 3.68kg N/10a을, 1998년 3월 18일에 규산질비료를 200kg/10a 수준으로 시비하였다.

시료채취 및 분석방법

유출수는 유출이 발생할 때마다 2시간 간격으로 시험포장의 웨어유출구에서 폴리에틸렌용기(2L)에 채수하여 4℃ 이하의 온도로 보관하면서 분석시료로 사용하였다. 유출수 중에 함유된 유출토사 시료는 논웨어 유출구에 직접 고무호스를 연결하여 특수제작한 200L 용량의 플라스틱 용기에 유출수가 통하도록 하였다. 유출수를 3일 동안 정치시킨 후 침강한 토사를 채취하여 풍건시킨 다음 2mm체를 통과시켜 분석시료로 사용하였다.

유출수 시료는 환경처의 수질공정분석법⁷⁾에 기준하여 분석하였다. 부유물질(suspended solids)은 시료 1000mL를 취하여 유리섬유여지법으로, 전질소와 암모니아태질소는 시료 500mL를 취하여 각각 환원중류-킬달법과 중화정정법으로 분석하였다. 총인산은 시료 500mL를 취하여 50mL로 농축한 다음 ascorbic acid reduction법에 기준하여 분석하였다. 질산태질소는 0.45μm 이하의 유리섬유여지(GF/C)를 사용하여 여과한 다음 이온크로마토그래피(Sykam 4260, Germany)를 이용하여 분석하였다. 유출토사 시료는 Soil chemical analysis⁸⁾에 기준하여 분석하였다. 전질소와 암모니아태질소는 킬달중류법, 질산태질소는 brucine법, 총인산은 vanadomolybdate법, 그리고 유효인산은 bray No. 2법을 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

본 조사에서는 강우-유출 과정에 영향을 미칠 수 있는 강우량을 100mm/day 이상, 80~100mm/day, 50~80mm/day 및 30~50mm/day로 구분하였으며, 시기별 유출특성을 나타낼 수 있는 2회의 강우사상을 선정하여 유출량과 유출특성을 비교 검토하였다.

일강우량 100mm/day 이상인 경우

1997년 7월 5일~7월 6일(159.2mm의 강우)

장마기간과 중간낙수기간이 겹쳐 논물꼬를 완전개방한 상태에서 영농활동이 이루어지고 있는 시기이다. 전강우(previous rainfall : 55.1mm)의 영향으로 본 유출사상이 발생하기 전부터 약 0.49L/sec의 유출이 진행되고 있는 상태였다. 7월 5일 02:00시부터 7월 6일 18:00시까지 총 159.2mm의 강우가 내렸으며, 유출은 7월 8일 08:00시에 종료되었다. 이 기간중 총유출수량은 138.8mm, 유출계수는

0.87로 나타났다. 7월 6일 14:00시에 최대 25.5mm/hr의 강우량이 기록되었으며, 최대 유출은 7월 6일 16:00시에 13.28L/sec였다. 본 유출이 시작되는 시점에서 논물 담수심은 약 19.6mm, 유출 종료후 담수심은 약 20.6mm이었다.

일반적으로 강우크기가 클 때에는 논토양중 가용성성분의 용출이 제대로 이루어지지 않은 상태에서 직접 유출이 발생하기 때문에 농도변화가 크게 나타나지 않지만, 유출에 직접 영향을 미치지 않는 정도의 강우가 지속되면 서서히 영양물질의 용출이 일어나 논물중 가용성 영양물질의 함량이 증가하게 될 것으로 생각된다. 전질소의 함량은 4.57~9.34mg/L의 범위로 평균 7.10mg/L를 나타내었는데, 유출 초기 7.0mg/L에서 최대유출을 나타낸 16:00 이후에 5mg/L으로 감소되었다가 유출이 종료되는 시점에서는 약 6mg/L를 나타내었다. 암모니아태질소는 3.00~6.98mg/L의 범위로 평균 5.09mg/L를 나타내었는데, 유출초기 5.5mg/L에서 최대유출을 나타낸 16:00이후에 3.0mg/L으로 감소되었다가 유출이 종료되는 시점에서는 약 4.0mg/L를 나타내었다. 질산태질소는 1.01~1.81mg/L의 범위로 평균 1.13mg/L 그리고 전인산은 0.085~0.20mg/L의 범위로 평균 0.13mg/L를 나타내었으며, 유출이 진행되는 과정에서 농도변화가 크게 나타나지 않았다(Fig. 1).

논으로부터 영양물질의 유출량을 조사한 결과, 전질소 17.22kg/ha, 암모니아태질소 12.28kg/ha, 질산태질소 3.18kg/ha 그리고 전인산 0.56kg/ha로 나타났다. 이 중에서 질소원의 경우 거의 대부분이 유출수에 의하여 하천으로 부하된 반면, 전인산의 경우 총 0.56kg/ha 가운데 약 13%

가 유출토사에 의하여 하천으로 부하된 것으로 나타났다.

1997년 8월 4일~8월 5일(133.5mm의 강우)

장마기간이 끝나고 7월 28일에 질소질비료가 36.8kg N/ha 수준으로 시비된 상태이다. 8월 3일 전강우(previous rainfall: 50.9mm)의 영향으로 본 유출이 발생하기 전부터 2.23L/sec로 유출이 진행되고 있는 상태였다. 8월 4일 04:40분부터 8월 5일 03:00시까지 총 133.5mm의 강우가 내렸으며, 유출은 8월 5일 22:00시에 종료되었다. 이 기간 중 총유출수량은 185.8mm, 유출계수는 1.39로 나타났다. 8월 5일 21:00시에 최대 23.6mm/hr의 강우량이 기록되었으며, 최대유출은 8월 5일 14:00에 30.81L/sec였다. 본 유출이 시작되는 시점에서 논물 담수심은 약 81.1mm, 유출이 끝난 시점에서 담수심은 약 52.4mm였다. 최대 강우조건에서 최대유출을 나타내지 않은 것과 유출계수가 1.0을 초과한 것은 논물 담수심이 높은 상태에서 경작자가 인위적으로 논물꼬를 개방하여 유출수량이 증가하였기 때문인 것으로 생각된다.

유출수중 영양물질의 함량은 7월 28일에 시비된 질소질비료의 영향으로 질소원의 경우 유출초기에는 농도가 높았으나 유출량이 증가함에 따라 서서히 감소하는 경향이 있었다. 하지만 인산원의 경우는 큰 변화가 나타나지 않았다. 전질소의 함량은 6.00~7.44mg/L의 범위로 평균 6.74mg/L를 나타내었는데, 유출 초기 7.0mg/L에서 최대유출을 나타낸 14:00 이후에 6.0mg/L으로 감소되어 일정하게 유지되었다. 암모니아태질소는 2.39~5.50mg/L의 범위로 평균 3.99mg/L를 나타내었는데, 유출 초기 5.3mg/L에서 최대유출을 나타낸 14:00 이후에 4.5mg/L으로 감소되었다가 유출이 종료되는 시점에서 약 3.5mg/L를 나타내었다. 질산태질소는 0.39~0.91mg/L의 범위로 평균 0.75mg/L 그리고 전인산은 0.11~0.28mg/L의 범위로 평균 0.17mg/L를 나타내었으며, 유출이 진행되는 과정에서 함량변화가 나타나지 않았다(Fig. 2).

논으로부터 영양물질의 유출량을 조사한 결과, 전질소 19.50kg/ha, 암모니아태질소 15.32kg/ha, 질산태질소 2.50kg/ha 그리고 전인산 0.70kg/ha로 나타났다. 이 중에서 질소원의 경우 거의 대부분이 유출수에 의하여 하천으로 부하된 반면, 전인산은 총 0.70kg/ha 가운데 약 20%에 해당하는 양이 유출토사에 의하여 하천으로 부하된 것으로 나타났다.

장마기간과 중간낙수기간이 겹친 7월 5일의 강우량 159.2mm, 유출수량 138.8mm와 장마기간이 끝나고 논물 담수심이 높게 유지되는 8월 4일의 강우량 133.5mm, 유출수량 185.8mm의 조건에서 유출량을 비교시, 8월 4일에 강우량과 유출수중 화학성분의 농도가 낮게 나타났음에도 불구하고 유출량은 더 높게 나타났다. 일반적으로 장마기간

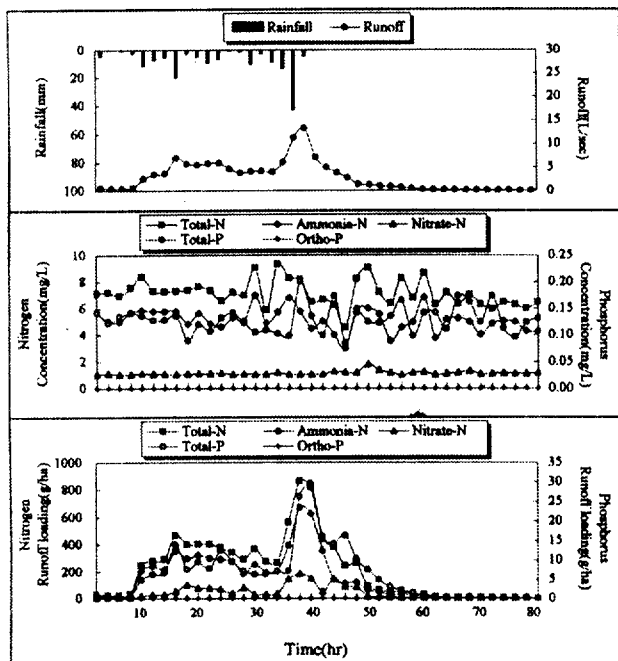


Fig. 1. Changes of concentration and runoff loading of nutrients in outflow water on July 5, 1997

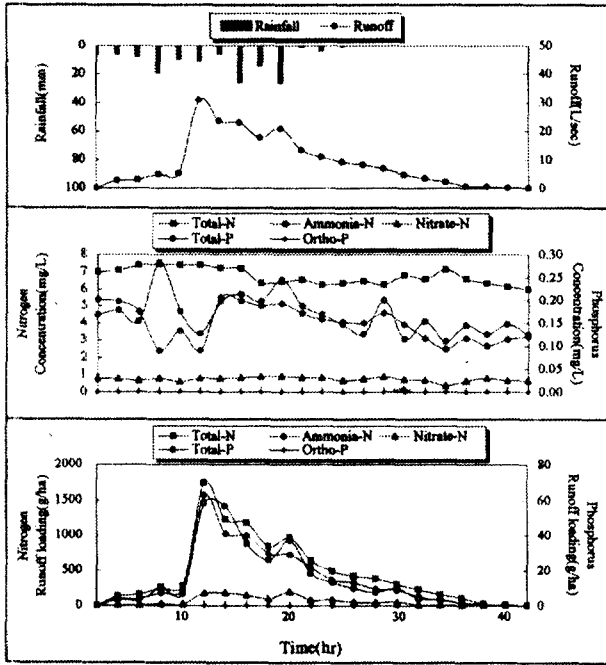


Fig. 2. Changes of concentration and runoff loading of nutrients in outflow water on August 4, 1997

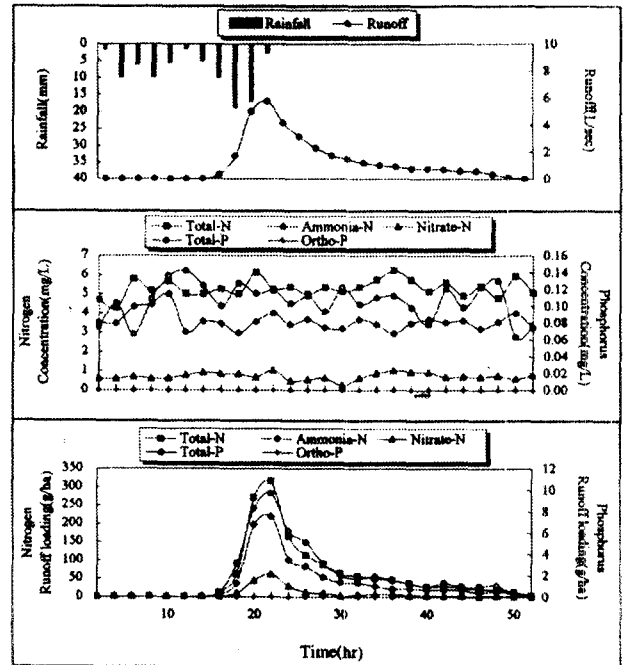


Fig. 3. Changes of concentration and runoff loading of nutrients in outflow water on May 7, 1997

에는 거의 논물꼬를 개방한 상태에서 논물 담수심을 10~20mm로 낮게 관리하고 있지만, 장마가 끝난 후에는 작물 생육을 위해 논물담수심을 상당히 높게 관리하고 있는 것으로 나타났다. 따라서 거의 동일한 강우조건하에서도 논에서의 유출수문 조건에 따라 유출량에 차이가 나타날 수 있을 것으로 생각된다.

일강우량 80~100mm/day인 경우

1997년 5월 7일~5월 8일(87.0mm의 강우)

1차 경운후 논바닥에 이랑이 세워져 있으며, 본격적인 영농활동이 시작되는 시기이다. 5월 7일 06:00시부터 5월 8일 04:00시까지 총 87.0mm의 강우가 내렸으며, 유출은 5월 9일 08:00시에 종료되었다. 이 기간중 총유출수량은 50.2mm, 유출계수는 0.58로 나타났다. 5월 8일 22:00시에 최대 12.0mm/hr의 강우량이 기록되었으며, 최대유출은 5월 9일 02:00시에 5.71L/sec였다. 본 유출사상이 발생하기 전 5월 5일 약 13mm의 강우가 있었으나 유출에 직접 영향을 미치지 못하고 이랑이 세워져 있는 논외의 굴곡부위에 약간 담수가 된 상태였다. 본 강우-유출 조건에서는 약 34mm의 초기강우가 진행된 다음에 직접적인 유출이 시작되었는데, 이는 1차 경운후 논바닥에 이랑이 세워져 있었고, 경운후 교란된 논토양층으로의 침투수량이 많았기 때문인 것으로 생각된다. 본 유출이 시작되는 시점에서 논물 담수심은 약 12.0mm, 유출이 끝난 시점에서 담수심은 약 43.2mm이었다.

전질소의 함량은 4.25~6.82mg/L의 범위로 평균

5.36mg/L를 나타내었는데 유출 초기 4.5mg/L에서 최대 유출을 나타낸 02:00 이후에 4mg/L으로 감소되었다가 유출이 종료되는 시점에서는 약 4.5mg/L를 나타내었다. 암모니아태질소는 2.96~5.00mg/L의 범위로 평균 3.59mg/L를 나타내었는데, 유출 초기 약 3mg/L에서 논토양이 담수조건으로 전환되면서 약 3.5mg/L로 증가하여 유출이 종료되는 시점까지 큰 변화 없이 일정하게 유지되었다. 질산태질소는 0.25~1.02mg/L의 범위로 평균 0.71mg/L를 나타내었는데, 유출 초기 0.7mg/L에서 논토양 조건이 담수상태로 전환되면서 0.5mg/L로 감소되어 일정하게 유지되었다. 그리고 전인산은 0.06~0.14mg/L의 범위로 평균 0.11mg/L를 나타내었는데, 유출 초기 0.13mg/L에서 강우가 지속됨에 따라 약 0.10mg/L 수준으로 감소되었다(Fig. 3).

논으로부터 영양물질의 유출량을 조사한 결과, 전질소 2.86kg/ha, 암모니아태질소 1.90kg/ha, 질산태질소 0.44kg/ha, 그리고 전인산 0.16kg/ha로 나타났다. 이 중에서 질소원의 경우 거의 대부분이 유출수에 의하여 하천으로 부하된 반면, 전인산의 경우 총 0.16kg/ha 가운데 약 35%가 유출토사에 함유되어 하천으로 유입된 것으로 나타났다.

1997년 7월 15일~7월 16일(98.8mm의 강우)

논물꼬가 개방된 상태의 중간낙수기간으로 강우가 내리기 시작하면 일부는 유효수량으로 이용되고, 그 밖의 강우는 거의 대부분 논 밖으로 유출이 발생하는 시기이다. 7월 15일 12:00시부터 7월 16일 16:00시까지 총 98.8mm의 강

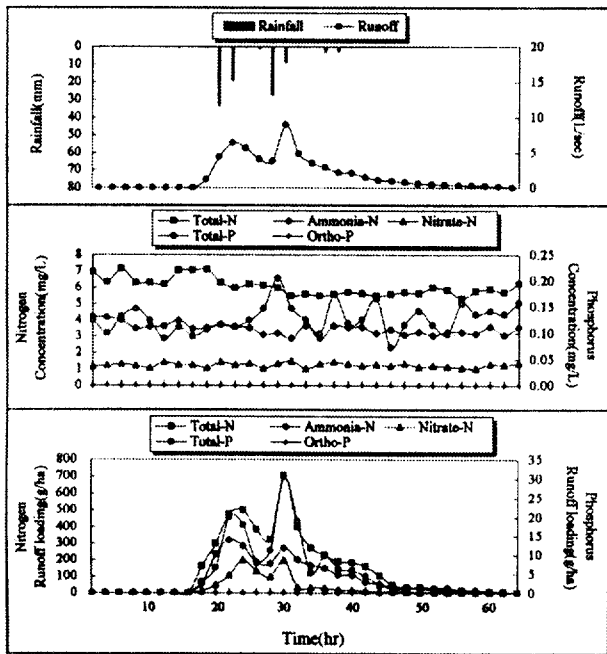


Fig. 4. Changes of concentration and runoff loading of nutrients in outflow water on July 15, 1997

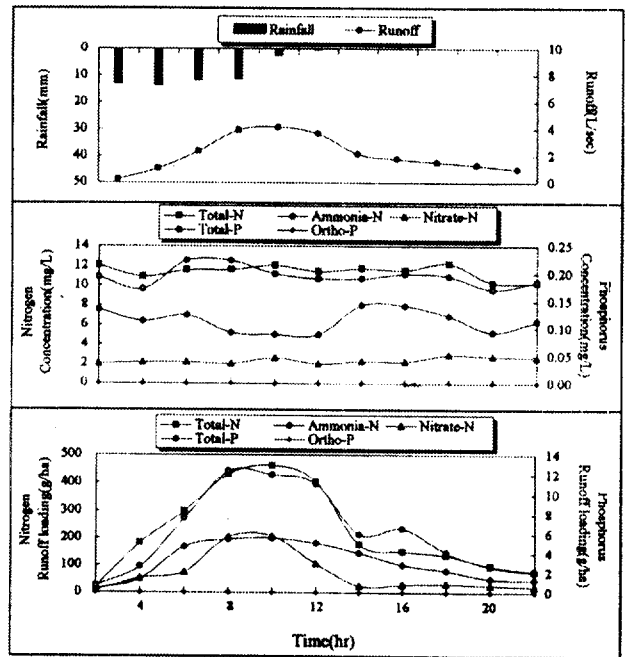


Fig. 5. Changes of concentration and runoff loading of nutrients in outflow water on July 25, 1997

우가 내렸으며, 유출은 7월 17일 14:00시에 종료되었다. 이 기간중 총유출수량은 69.0mm, 유출계수는 0.70으로 나타났다. 7월 15일 20:00시에 최대 26.1mm/hr의 강우량이 기록되었으며, 최대유출은 7월 18일 06:00시에 8.97L/sec였다. 본 유출이 시작되는 시점에서 논물 담수심은 약 24.6mm, 유출이 끝난 시점에서 담수심은 약 43.2mm이었다.

전질소의 함량은 5.32~7.15mg/L의 범위로 평균 6.08mg/L를 나타내었는데, 유출 초기 6.5mg/L에서 최대유출을 나타낸 16:00 이후에 6.0mg/L로 낮아졌다가 유출이 종료되는 시점에서 약 5.7mg/L를 나타내었다. 암모니아태 질소는 2.88~4.22mg/L의 범위로 평균 3.47mg/L를 나타내었는데, 유출 초기 4.0mg/L를 나타내다가 유출이 종료되는 시점에서 약 3.5mg/L 수준으로 감소하였다. 질산태질소는 1.02~1.49mg/L의 범위로 평균 1.24mg/L 그리고 전인산은 0.073~0.205mg/L의 범위로 평균 0.128mg/L를 나타내었는데 유출이 진행되는 동안 큰 변화 없이 일정하게 유지되었다(Fig. 4).

논으로부터 영양물질의 유출량을 조사한 결과, 전질소 9.38kg/ha, 암모니아태질소 5.18kg/ha, 질산태질소 1.98kg/ha 그리고 전인산 0.38kg/ha로 나타났다. 이 중에서 질소원의 경우 거의 대부분이 유출수에 의하여 하천으로 부하된 반면에, 전인산의 경우 총 0.38kg/ha 가운데 약 21%가 유출토사에 함유되어 하천으로 부하된 것으로 나타났다.

1차 경운후 논바닥에 이랑이 세워져 있는 5월 7일의 강우량 87.0mm, 유출수량 50.2mm와 논물꼬가 개방된 상태

의 중간낙수기간인 7월 15일의 강우량 98.8mm, 유출수량 69.0mm와 유출량을 비교시 강우량 차이는 그다지 크지 않았으나, 유출량은 5월 7일에 비해 7월 15일에서 질소의 경우 3배, 인산은 2배 이상 높게 나타났다. 이 같은 결과는 5월 7일의 유출사상은 논바닥에 이랑이 세워져 있어 유출계수가 본 유출사상보다 낮았으며, 본격적인 영농활동이 시작되기 전이므로 유출수중에서 검출되는 화학성분의 농도가 낮았기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 거의 유사한 강우조건하에서도 논에서 유출수문 조건과 화학비료의 시비여부에 따라 유출량이 차이가 나타날 수 있을 것으로 생각된다.

일강우량 50~80mm/day인 경우
1997년 6월 25일(52.0mm의 강우)

장마가 시작되는 시기로 벼가 영양생장기에서 생식생장으로 전환되는 기간이다. 6월 25일 02:00시부터 6월 25일 12:00시까지 총 52.0mm의 강우가 내렸으며, 유출은 6월 25일 22:00시에 종료되었다. 이 기간중 총유출수량은 21.4mm, 유출계수는 0.41로 나타났다. 6월 25일 10:00시에 최대 9.2mm/hr의 강우량이 기록되었으며, 최대유출은 6월 25일 10:00시에 4.16L/sec였다. 본 유출사상이 발생하기 전 6월 20일경에 약 28mm의 강우가 있었지만 논물 담수심을 유지하는데 이용된 것으로 조사되었으며, 본 유출이 시작되는 시점에서 논물 담수심은 약 48.0mm, 유출이 끝난 시점에서 담수심은 약 75.2mm이었다.

분얼비 시비후 논물중 화학성분의 함량이 상당히 높은

상태였으며, 강우량이 증가함에 따라 점차 감소하는 경향이 있었다. 전질소의 함량은 10.30~12.26mg/L의 범위로 평균 11.46 mg/L를 나타내었는데, 유출 초기 12mg/L를 나타내다가 유출이 종료되는 시점에서는 약 10mg/L를 나타내었다. 암모니아태질소는 5.01~8.06mg/L의 범위로 평균 6.42mg/L를 나타내었는데, 유출 초기 7.5mg/L를 나타내다가 유출이 종료되는 시점에서 약 5mg/L를 나타내었다. 질산태질소는 2.01~2.91mg/L의 범위로 평균 2.34mg/L 그리고 전인산은 0.172~0.224mg/L의 범위로 평균 0.196mg/L를 나타내었으며, 유출이 진행되는 동안에 큰 변화 없이 일정하게 유지되었다(Fig. 5).

논으로부터 영양물질의 유출량을 조사한 결과, 전질소 4.94kg/ha, 암모니아태질소 2.46kg/ha, 질산태질소 1.56kg/ha 그리고 전인산 0.16kg/ha로 나타났다.

1998년 4월 12일~4월 13일(57.3mm의 강우)

3월 하순경 1차 경운이 끝나고 논바닥에 이랑이 세워져 있는 시기이다. 4월 12일 14:00시부터 4월 13일 04:00시까지 총 57.3mm의 강우가 내렸으며, 유출은 4월 13일 22:00시에 종료되었다. 이 기간중 총유출수량은 44.0mm, 유출계수는 0.77로 나타났다. 4월 12일 15:00시에 최대 7.3mm/hr의 강우량이 기록되었으며, 최대유출은 4월 12일 20:00시에 4.17L/sec였다. 4월 1일부터 5일까지 약 60mm의 강우가 내려 이랑이 세워져 있는 논토양에 부분적으로 담수를 유지한 관계로 초기강우에 의해 직접유출이 발생하였다.

전질소의 함량은 3.06~3.93mg/L의 범위로 평균 3.54mg/L를 나타내었는데, 유출초기와 유출이 종료되는 시점에서 큰 함량변화가 나타나지 않았다. 암모니아태질소는 1.22~1.74mg/L의 범위로 평균 1.51mg/L를 나타내었는데, 유출 초기 1.5mg/L를 나타내다가 담수상태가 지속됨에 따라 1.6mg/L 수준으로 증가하였다가 일정하게 유지되었다. 질산태질소는 0.12~0.64mg/L의 범위로 평균 0.39mg/L를 나타내었는데, 유출 초기 0.6mg/L를 나타내다가 담수상태가 지속되면서 0.5mg/L로 감소하여 일정하게 유지되었다. 그리고 전인산은 0.058~0.132mg/L의 범위로 평균 0.096mg/L를 나타내었는데 유출이 발생하는 동안 큰 변화 없이 일정하게 유지되었다(Fig. 6).

논으로부터 영양물질의 유출량을 조사한 결과, 전질소 0.54kg/ha, 암모니아태질소 0.22kg/ha, 질산태질소 0.08kg/ha 그리고 전인산 0.04kg/ha로 나타났다. 이 중에서 질소원은 거의 대부분이 유출수에 의하여 하천으로 부하된 반면, 전인산의 경우 총 0.04kg/ha 가운데 약 35%가 유출토사에 의하여 하천으로 부하된 것으로 나타났다.

장마가 시작되는 6월 25일의 강우량 52.0mm, 유출수량 21.4mm와 비영농기간인 4월 12일의 강우량 57.3mm, 유출수량 44.0mm를 비교시 거의 동일한 강우조건하에서 유출

수량은 2배 이상의 차이를 나타내고 있었다. 논물꼬를 완전 개방한 상태의 비영농기간에는 초기유출수량을 초과하게 되면 내린 강우의 대부분이 유출되지만, 영농기간에는 논물관리 차원에서 일부는 담수심을 유지하는데 이용되므로 동일한 강우조건하에서도 영농여부에 따라 유출수량이 차이를 나타낼 수 있을 것으로 생각된다. 본 유출사상에서 6월 25일에 비해 유출수량이 2배 이상 높게 나타났음에도 불구하고, 영양물질의 유출량은 질소의 경우 약 10배, 인산의 경우 4배정도 적게 나타났다. 이 같은 결과는 유출이 발생할 경우 유출수량이 유출량에 큰 영향을 미칠 수 있지만, 비료시비 여부에 따라서도 유출량이 큰 차이를 나타낼 수 있음을 보여주는 결과로 생각된다.

일강우량 30~50mm/day인 경우

1997년 12월 6일(31.9mm의 강우)

비영농기간으로 수확후 환원된 벅짚이 논토양을 피복하고 있는 시기이다. 12월 6일 12:00시부터 12월 6일 16:00시까지 총 31.9mm의 강우가 내렸으며, 유출은 12월 7일 06:00시에 종료되었다. 이 기간중 총유출수량은 21.2mm, 유출계수는 0.66로 나타났다. 12월 6일 12:00시에 최대 12.2mm/hr의 강우량이 기록되었으며, 최대유출은 6월 25일 10:00시에 3.13L/sec였다. 본 유출이 시작되기 전 11월 29일에 약 24.5mm의 전강우가 있어 논토양의 수분보유량이 높은 상태였다.

전질소의 함량은 3.63~6.02mg/L의 범위로 평균 4.49mg/L를 나타내었는데, 유출 초기 6mg/L를 나타내다

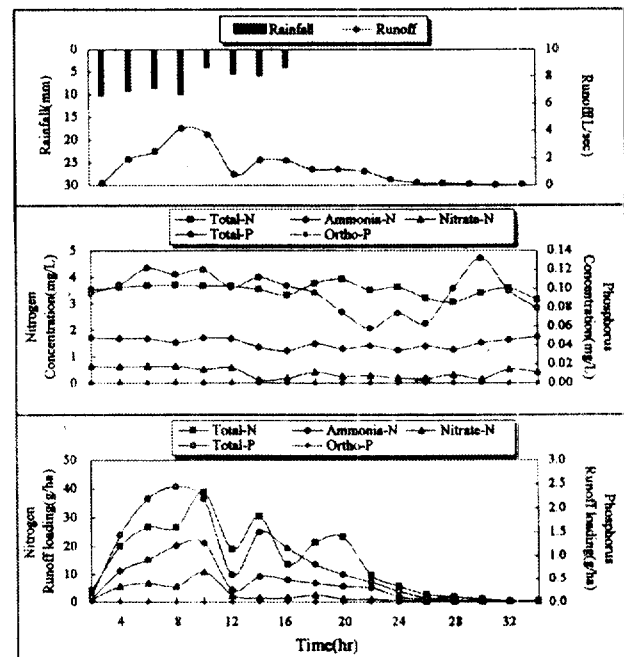


Fig. 6. Changes of concentration and runoff loading of nutrients in outflow water on April 12, 1998

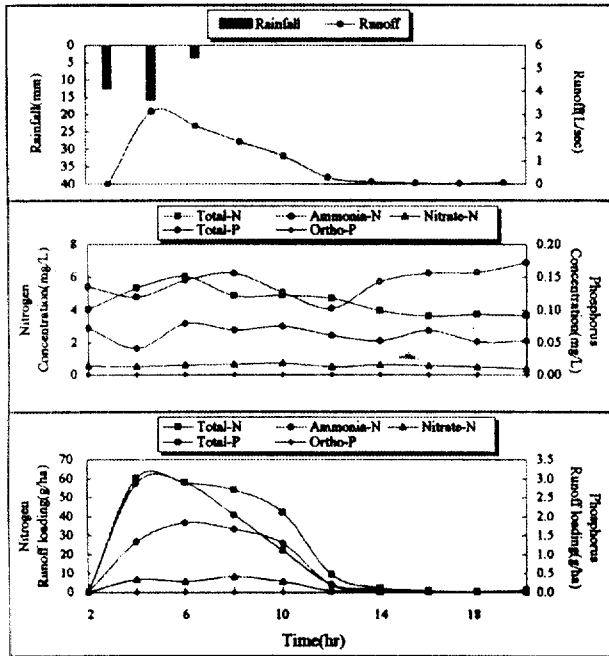


Fig. 7. Changes of concentration and runoff loading of nutrients in outflow water on December 6, 1997

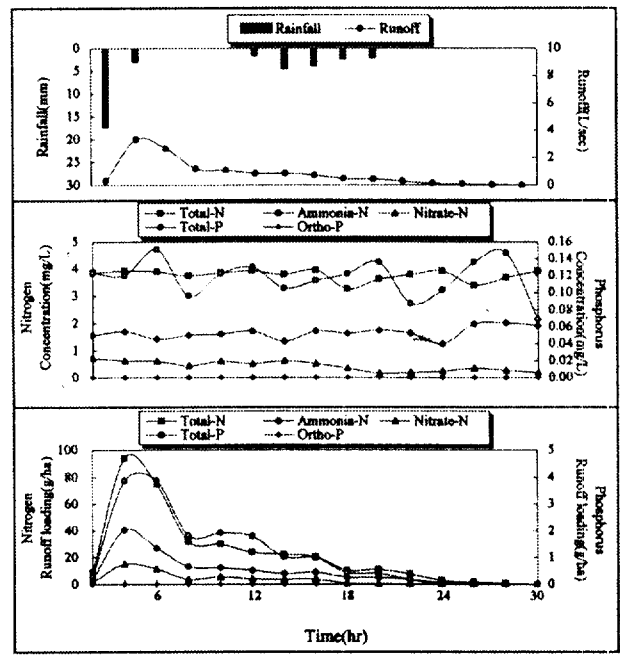


Fig. 8. Changes of concentration and runoff loading of nutrients in outflow water on March 19, 1998

가 유출이 지속되면서 4mg/L 수준으로 감소하는 경향이 있다. 비영농기간 입에도 불구하고 유출수중 전질소의 함량이 이처럼 높은 것은 영농기간에 시비된 과잉의 화학비료가 작물체에 이용되지 못하고 상당량이 토양내에 잔존하였으며, 일부 논토양에 환원된 벧짚이 분해되면서 논물중 전질소의 함량을 증가시켰기 때문으로 생각된다. 암모니아태질소는 1.63~3.16mg/L의 범위로 평균 2.49mg/L, 질산태질소는 0.36~0.72mg/L의 범위로 평균 0.55mg/L를 나타내었으며, 유출이 진행되는 동안에 함량변화가 크게 나타나지 않았다. 그리고 전인산은 0.102~0.172mg/L의 범위로 평균 0.141mg/L를 나타내었는데, 유출이 발생하는 동안 큰 변화 없이 일정하게 유지되었다(Fig. 7).

논으로부터 영양물질의 유출량을 조사한 결과, 전질소 0.46kg/ha, 암모니아태질소 0.26kg/ha, 질산태질소 0.06kg/ha 그리고 전인산 0.018kg/ha로 나타났다.

1998년 3월 19일~3월 20일(34.5mm의 강우)

비영농기간으로 수확후 논토양에 환원된 벧짚의 분해가 서서히 진행되고 있는 시기이다. 3월 19일 12:00시부터 3월 20일 06:00시까지 총 34.5mm의 강우가 내렸으며, 유출은 3월 19일 16:00시에 종료되었다. 이 기간중 총유출수량은 22.0mm, 유출계수는 0.64로 나타났다. 3월 19일 12:00시에 최대 9.2mm/hr의 강우량이 기록되었으며, 최대유출은 3월 19일 14:00시에 3.33L/sec였다.

전질소의 함량은 3.25~3.96mg/L의 범위로 평균 3.77mg/L, 암모니아태질소는 1.25~2.01mg/L의 범위로 평

균 1.65mg/L, 질산태질소는 0.15~0.72mg/L의 범위로 평균 0.42mg/L 그리고 전인산은 0.069~0.151mg/L의 범위로 평균 0.117mg/L를 나타내었다(Fig. 8).

논으로부터 영양물질의 유출량을 조사한 결과, 전질소 0.68kg/ha, 암모니아태질소 0.28kg/ha, 질산태질소 0.10kg/ha 그리고 전인산 0.034kg/ha로 나타났다.

유출과정중 영양물질의 유출량은 강우크기가 절대적으로 영향을 미치겠지만, 그 밖에 선행강우량, 논물 담수심, 비료시비, 영농여부, 비영농기간중 경운여부 그리고 벧짚의 토양피복 정도에 따라 유출량이 각기 다르게 나타날 수 있을 것으로 생각된다. 지금까지의 결과에서 나타난 바와 같이 논으로부터 영양물질의 유출량은 거의 80-90%가 영농기간에 집중 유출되므로 영농기간중 영양물질의 유출량을 감소시키기 위해서는 논물의 효율적인 관리가 중요한 것으로 생각되는데, 작물생육에 영향을 미치지 않는 정도로 논물 담수심은 최대한 낮게 그리고 논물꼬는 최대한 높게 관리하는 것이 수질보전적인 영농활동일 것으로 생각된다.

요 약

실제 농민들이 벧를 경작하는 상태에서 논에 시비된 비료성분 가운데 수계 환경에 영향을 미칠 수 있는 질소와 인산을 대상으로 강우크기에 따른 유출량과 유출특성에 대하여 조사하였다. 강우크기에 따른 질소와 인산의 유출특성 및 유출량을 비교한 결과, 동일한 강우크기 조건하에서도 질소와 인산의 유출량이 상당한 차이를 나타내고 있었

다. 강우-유출 과정중 영양물질의 유출량은 강우크기가 절대적으로 영향을 미치겠지만 그 밖에 선행강우량 및 논물담수심과 같은 유출수문조건, 비료시비 및 영농여부, 비영농기간중 논토양 관리형태에 따라 유출량이 다르게 나타났다.

찾는말 : 논, 강우-유출, 강우크기, 영양물질

참 고 문 헌

1. Park, S. W, S. H. Yoo and M. S. Kang. 1997. Non-point Source Pollution Loading from Land Use on Small Watersheds. J. Korean Soc. Agric. Eng. 39(3):115-127
2. 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 : 354~359
3. OECD. 1996. Water pollution by fertilizers and pesticides. OECD. Paris. 144
4. Chung, S. O. 1996. Effects of Agricultural Drainage on Water Quality and Countermeasures against Pollution. KCID J. 3(2):20-35
5. Jung, Y. S. J. E. Yang, C. S. Park, Y. G. Kwon and Y. K. Joo. 1998. Changes of Stream Water Quality and Loads of N and P from the Agricultural Watershed of the Yulmun-chon Tributary of the Buk-Han River Basin. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 31(2):170-176
6. Jung, Y. S., J. E. Yang, Y. K. Joo, J. Y. Lee, Y. S. Park, M. H. Choi and S. C. Choi. 1997. Water Quality of Streams and Agricultural Wells Related to Different Agricultural Practices in Small watersheds of the Han River Basin. Korean J. Environ. Agric. 16(2):199-205
7. 환경처. 1993. 수질공정분석법
8. Jackson, M.L. 1967. Soil Chemical Analysis. Prentice-Hall of India Private Limited. New Delhi