

경작기 농경배수에 의한 오염물질의 배출

안익성 · 김영철^{*,†} · 이동률^{**}

전북대학교 환경공학과

^{*}한서대학교 환경공학과

^{**}한국건설기술연구원 수자원환경연구부

Discharge of the Pollutants from Rice Paddies during the Period of Cultivation

An, Ik-Sung · Youngchul Kim^{*,†} · Dong-Ryul Lee^{**}

Department of Environmental Engineering, Cheonbuk National University

^{}Department of Environmental Engineering, Hanseo University*

*^{**}Korea Institute of Construction Technology, Water Resources Research Department*

(Received 26 December 2006, Accepted 5 March 2007)

Abstract

In this study, discharge of the pollutants from the rice paddies during cultivation and its pattern were investigated. The pH in the returned and rainfall water from ten different paddies was between 6.9 and 7.4, which is not associated with the cultivation time and farming style of individual paddy. TN and TP concentrations were highest in the beginning of first top dressing (fertilization), which indicates that proper top dressing and returned water management is crucial to reduce their discharge loads. In particular, TN concentration was more or less constant until tillering stage. This is thought to be due to the runoff of soil-adsorbed nitrogen and compost. Average SS concentration in the returned and rainfall water was 28 mg/L, and organics was predominantly soluble form, and highest COD 25 mg/L during transplanting, lowest 11.3 mg/L and average 11.3 mg/L. Density of TC (total coliform bacteria) was from 1000/100 mL to 114,000/100 mL and FC (fecal coliform) was 5 to 16% of TC density.

keywords : Fertilization, Pollutants, Rice paddy

1. 서론

현재 우리나라의 수계는 자연이 제공할 수 있는 자정능력을 크게 상회하게 되었다. 이와 같은 현상은 도시 지역 뿐만 아니라 이제는 농어촌에서도 생활양식의 변화, 축산농가의 증대, 영농방식의 변화 등으로 유역의 말단 부에 위치한 대하천은 물론이고, 유역상류에 위치한 농촌 농경지까지도 수질오염이 가속화 되어가고 있어 이에 대한 대책이 시급한 실정이다.

농촌지역은 도시지역과는 달리 대부분 투수성 지표면으로 구성되어 있으나, 부분적으로 도로나 불투수성으로 산재해 있는 특성을 가지고 있다. 불투수성 지역에 대해서는 도시지역의 일반적인 비점오염원 관리방안을 적용할 수 있고 농경지는 오염물질 유출가능성이 높으므로 적정하게 관리되어야 한다. 농경지에서 발생하는 비점원오염은 저 농도이지만 유출량이 막대하여 유역의 오염 부하량에 있어 큰 비중을 차지하고 있다. 미국의 Chesapeake만으로 유입되는 질소 부하량 연구결과 23%는 점오염원이고, 9%가 대기강

하물부하이며 나머지 68%가 비점오염원 부하로 농지에 의한 비점오염원 부하가 가장 크게 나타났다(Lewis et al., 1996).

우리나라에서 논은 전 농지의 60% 이상을 차지하고 있어 농경지 비점오염원 관리에 있어 벼의 생육특성을 파악하는 것이 중요하다. 벼는 생육기간 중 상당기간이 담수상태로 수도재배되는데 벼의 생육을 돕기 위한 시비 직후 강우에 의한 유실이 발생하지 않도록 관리하는 것이 중요하다. 논외의 경우 이앙기 때 쟁작업에 의해 교반된 입자와 사전에 시비된 원비료 중의 영양물질이 모내기 기간동안 집중적으로 유출되는 특성을 가지고 있다. 일본의 경우 모심기 기간(15일간)의 오염부하유출량은 관개기간(131일간) T-N 부하량의 24%, T-P 부하량의 22%에 상당하는 것으로 보고되었다(武田育郎, 1997). 또한 국내 자료에 따르면 경지 정리가 잘된 광역논의 경우 침투량 감소와 물꼬에 의한 저류 기능을 가지고 있어 유출부하보다 유입부하가 큰 흡수형 논으로 수질을 정화하는 공익적 기능을 가지는 경우도 보고되었다(김 등, 2004).

도시의 생활하수나 공장폐수 등으로부터 발생하는 점오염은 처리시설로 부하량을 감소시킬 수 있으나, 농경지에서 발생하는 비점원오염은 광범위한 면적에서 유출되기 때문

[†] To whom correspondence should be addressed.

ykim@hanseo.ac.kr

에 시설에 의한 처리는 불가능하며 적절한 관리에 의하여 만 부하량을 감소시킬 수 있다. 이러한 비점오염원 부하량을 감소시키기 위해서 논물의 영양물질 농도를 지나치게 높게 유지하지 않는 방안과, 시기별 적정 담수심 유지, 물고 높이 조절 등과 같은 물관리 기술개발을 통한 관리 방안이 최근 연구되고 있다.

문헌에 따르면 논에 대한 시비량을 30%정도 감축할 경우 TN의 10% TP의 35%가 감축되는 것으로 보고되었고, 담수관리를 위한 여유고를 30 mm 높인 경우 TN의 36%, TP의 31%가 저감된다고 보고되었다(새만금사업 환경공동조사단, 2000).

농촌지역의 비점오염원 관리방안은 주요 농업생산 활동을 고려하여 해당지역의 특성에 맞게 계획을 수립하고 추진하여야 한다. 토지이용 현황자료를 이용하여 오염 부하량을 추정하는 것이 가능하나, 기존에 제시되어 있는 토지이용별 부하량 자료의 경우 그 범위가 넓고, 연간 부하량으로 제시되어 추정에 한계가 있다는 걸 알 수 있다. 특히 많은 경우에 있어서 오염 부하량 조사 결과가 소유역을 대상으로 얻어진 것으로서, 토지이용에 산지, 논, 밭 대지 등으로 다양하게 구성되고 있음에도 불구하고 논이나 밭과 같이 특정 토지 면적이 상대적으로 높은 경우 오염물질 배출량이 그 특정 토지이용에 의한 결과로 가정한 결과가 많다. 미국의 경우 농무성 농업연구처(USDA)에서 농경지로부터 비료물질 배출량을 모의할 수 있는 CREAMS 모델을 (Knisel, 1980) 시초로 이를 수정한 SWRRB 모델(Williams et al., 1985), 지하수 부분을 보완한 GLEAMS 모델(Leonard et al., 1987) 등을 개발하여 사용하고 있다.

국내에 인용되는 농경배수에 포함된 질소, 인의 발생 및 배출 부하량은 환경부 자료를 대부분 참고하고 있다. 그러

나 위 자료는 작물의 생육시기, 시비시기, 강우 등으로 인한 배출 부하특성을 고려하지 않고 개괄적으로 산정한 자료이기 때문에 세부적인 농경배수의 배출부하 특성에 대한 정량화가 요구되고 있다. 본 연구의 목적은 소유역 논에서의 오염물질 흐름과 배출부하 특성을 분석하는데 있다.

2. 조사방법

2.1. 시험 농경지

농경지로부터 오염물질 배출을 조사하기 위하여 Fig. 1, 2에 나타난 것처럼 충청남도 서산시 운산면과 해미면 일대 광역 논(conjugate type) 10지를 선정하여 조사하였다. 시험논의 선정시 우선적으로 고려된 사항은 접근성과 우리나라의 일반적인 벼농사 영농이 이루어지는 지역을 선정하였다.

시험 논과 함께 농경배수가 관개하천에 미치는 영향을 분석하기 위하여 방류하천(대교천, 황락천) 수질도 모니터링하였다. 연구기간동안 벼 생육기별로 10회에 걸쳐 시험논 배수를 채취 분석하였다.

우리나라의 농경지 형태가 1 구획 논으로 독립적으로 존재하기보다는 Fig. 3에 나타난 것처럼 여러 개의 논이 평지나 경사지에 상호 결합되어 있으므로 각각의 수로 입구나 출구의 관개수를 종합 분석하는 것이 유출에 대해 가장 근접한 결과를 얻을 수 있을 것이다.

2.2. 시료채취 및 분석

시험 논 배수는 관개에 의해서나 강우가 진행되고 논으로부터 유출이 일어나는 시간대에 시험 논을 방문하여 시료채취를 하였다. 강우시 모니터링은 선행강우와 대상강우



Fig. 1. Rice paddy investigated for this study.

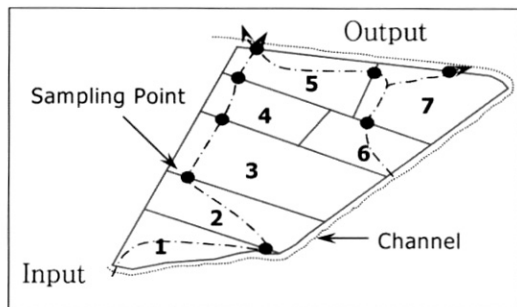
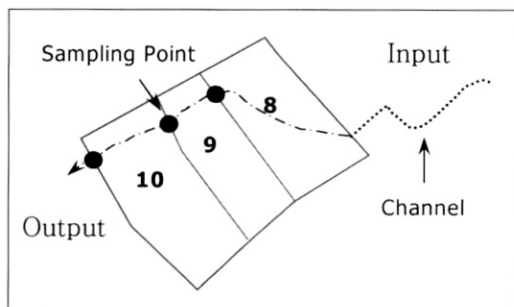


Fig. 2. Rice paddy area used for this study.



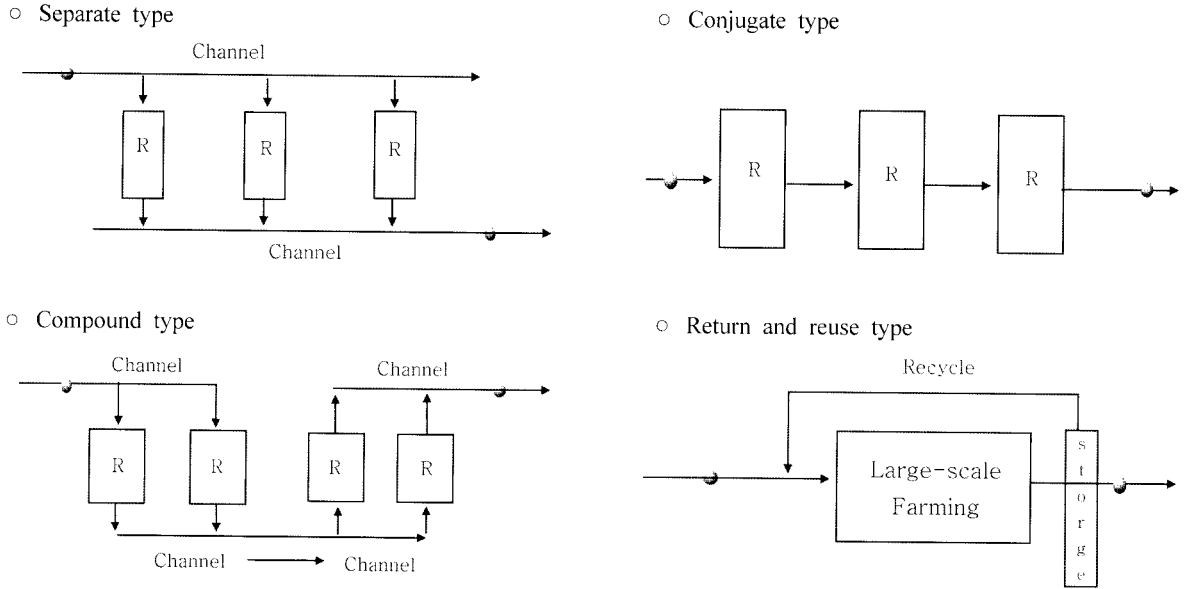


Fig. 3. Type of irrigation system.

사이의 기간이 3일 이상인 강우사상에 대하여 실시하였다 (U.S EPA, 1993).

분석항목은 pH, EC, DO, Alkalinity 등 기초항목과 SS, COD, Soluble COD, TN, NH₃-N, NO₃-N, TP, PO₄-P와 지표 미생물인 대장균과 분변성대장균이었다.

시료는 *Standard Methods*(APHA et al., 1998)와 수질오염 공정 시험법(환경부, 1999)에 제시된 분석법에 따라 분석하였다. 눈으로부터 유출유량 산출에 필요한 강우량은 인근 서산기상관측소의 자료를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 전기전도도

전기전도도 EC는 수온과 용존 이온 성분에 의해서 결정되며 수온 1°C 상승에 의하여 2% 상승하므로 수온의 증감에 따른 EC의 변화폭이 클 때 용존 성분이 증가되었음을 판단할 수 있다. Fig. 4에는 조사기간 중 시험지에 내린 강우량을 누적한 결과(rainfall depth)와 각 시험지배수의 EC 조사결과를 도시한 것이다. 이앙기(5월25일 경) 전에 비하

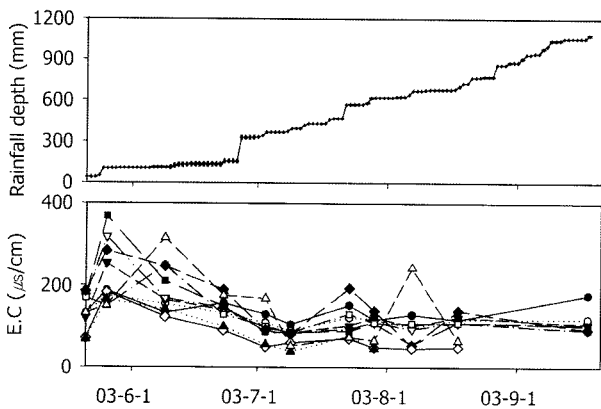


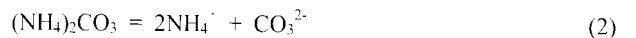
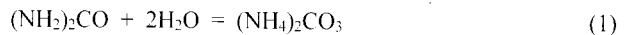
Fig. 4. EC in the outflow from rice paddy versus the cumulative rainfall depth.

여 이앙기 후에 전기 전도도가 급격히 증가하였는데 이는 사전에 시비된 원 비료의 유출 때문이다. 그러나 이 시기가 지나면 수확기까지 배수 내 EC 값은 점진적으로 감소하였다. 그리고 관개초기에 같은 시험 논 그룹에서도 수류의 흐름방향(자연유하)을 놓고 볼 때 아래에 위치하는 논에서 EC 값이 증가하였는데 이것은 상부 논에 시비된 비료 성분이 씻겨져 하부 논으로 유입 축적되는 현상 때문으로 보인다. 전기 전도도 성분이 논에서 감소하는 현상은 크게 강우나 관개수에 의한 세척현상과 함께 논 내부에서 토양과의 반응, 그리고 벼의 성장에 따른 미량원소의 소비 때문이다.

3.2. 질소의 변화

Fig. 5에는 전기전도도와 마찬가지로 암모니아 농도를 나타내었다. Fig. 5에 나타난 바와 같이 암모니아 농도변화 패턴은 전기 전도도(EC) 값과 유사하였으며 그 농도는 더 급격히 감소하였음을 알 수 있다.

비료에는 황산암모늄((NH₄)₂SO₄), 염화암모늄, 탄산암모늄, 요소 등이 있는데 시험지에 썩어질 이전 살포된 비료(기비)를 탐문 조사한 결과 N사의 탄산암모늄(요소)이었다. 논에 탄산암모늄((NH₂)₂CO)이 살포되었을 때 아래와 같은 반응에 의해 암모늄이온과 탄산염으로 가수분해된다.



분해결과 생성된 암모늄 이온(NH₄⁺)은 토양에 강한 흡착력을 지니고 있어 논토양에 급속히 흡착되는 것으로 알려져 있다. 따라서 관개전기의 급격한 암모니아 질소의 증가는 사용된 질소비료의 가수분해 산물 중 일부가 유출수와 함께 시비초기에 용탈되었음을 보여주고 있으며 그림에 나타난 논 배수내 암모니아 질소의 급속한 감소는 수류의 통

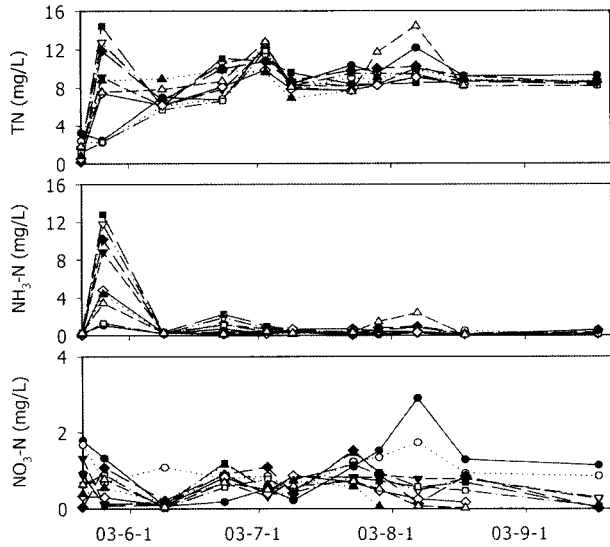


Fig. 5. Change of the ammonia and total nitrogen concentrations from a case study rice paddy.

과에 의한 세척작용에 의한 유출의 결과이기도 하겠지만 주로 논 내부에서 흡착에 따른 것으로 판단된다. 전기전도도와 마찬가지로 수류방향으로 진행될수록 높은 농도의 암모니아가 측정되었다.

아울러 Fig. 5에는 총질소(TN) 농도의 변화를 나타내었다. 모내기 이전에 비해 논 배수의 TN 농도가 크게 증가하였지만 그 수준이 줄어들지 않고 거의 등속기까지 변화가 없었는데 이는 암모늄 이온의 토사흡착, 그리고 강우활동에 토사나 작물 잔류물, 유기질 비료의 유출에 따른 것이다. 국내 표준영농 시비방법에 따르면 TN의 경우 기비 1회, 추비 3회를 권장하고 있으며 기비 시 총 사용량의 50%를 시비하는 것으로 나타났다(농촌진흥청, 1998). 본 조사결과에서 이앙기(모내기) 배수내 질소 유출농도가 매우 높게 나타났는데 이는 시비에 의한 것으로 판단된다.

이 기간 동안에 높은 암모늄 농도를 함유한 배수가 하천이나 호소에 유입될 경우 암모니아 질소는 직접적으로 식물이나 플랑크톤이 섭취할 수 있는 형태이므로 다른 기간의 유출수의 영향에 비해 매우 우려되는 사항이다. 또한, TN과 $\text{NH}_3\text{-N}$ 자료에 따르면 모내기 직후에는 TN의 형태가 대부분 $\text{NH}_3\text{-N}$ 임을 알 수 있다.

질산성 질소는 토양과 반응성이 약하므로 주로 수류의 이동에 의한 대류 즉 표면유출과 수리전도에 따른 지하수 이동에 의해 지배된다. 논 토양은 담수시 심토층에 산화층이 깊고 폭 넓게 발달될 뿐만 아니라 벼 줄기나 뿌리표면이 질산화 박테리아의 서식처로 작용하므로 살포된 암모니아는 여건에 따라서 쉽게 질산화가 이루어질 수 있다. Fig. 5의 시험 논 유출수의 TN과 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 변화는 뚜렷한 패턴이 없이 복잡한 양상의 배출을 보이는데 이는 앞에서 언급한 표준영농 시비의 영향(기비-1회, 추비-3회)에 의한 것으로 추정된다.

3.3. 인 성분의 변화

Fig. 6에는 논 배수내 인 농도를 나타낸 것이다. 암모니

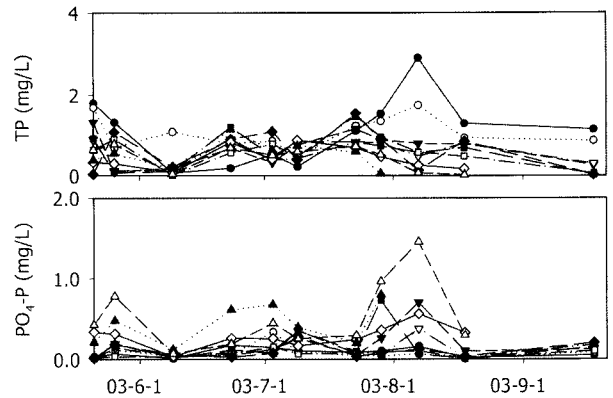


Fig. 6. Change of the phosphorus concentration.

아성질소와 마찬가지로 이앙기 동안 거의 모든 시험지에서 증가하였으며 이후 감소하는 경향을 보였다. 그러나 암모니아 질소와 비교하면 증가폭은 적었다. 또한 시기적으로 집중호우나 분얼비와 수비의 살포 등으로 증가하곤 하였다.

인 성분은 일반적으로 암모니아성질소와 같이 물에는 잘 녹지 않으나 토립자에는 강한 흡착력을 지니고 있다. 따라서 담수상태의 논에서 인의 농도는 질소에 비해 매우 낮으며 토양유실이 밭에 비해 적으므로 배수에 의한 유출도 적은 편이다. 농지로부터 인의 유출은 지하용탈에 의해서는 거의 발생되지 않고 대부분 강우나 바람에 의한 토양유실과 함께 발생하는 것으로 알려져 있다. 일반적으로 강우크기가 클 때에는 농토양 중 가용성 성분의 용출이 일어나지 않는 상태에서 직접유출이 발생하기 때문에 농도변화가 크게 나타나지 않지만 유출에 직접영향을 미치지 않을 정도의 강우가 지속되면 용출량이 크게 증가하는 것으로 알려져 있다.

국내 보고된 자료에 따르면 비료를 전혀 사용하지 않은 정화논과 일반 논에 대한 습지기능을 비교 분석한 결과 정화 논에서 TN의 62.9%, TP의 74.2%가 제거되는 것으로 보고되었는데 이를 근거한다면 실제 경작 논에서의 습지기능은 매우 높다는 것을 알 수 있다(농림부, 2002).

3.4. 부유물질과 유기물질

시험 논으로부터 조사된 부유물질과 유기물질 농도자료를 Fig. 7에 제시하였다. 논 배수의 부유물질의 농도는 일부 모내기 기간을 제외하고는 강우시 하천에서 발생하는 농도에 비하면 매우 낮았으며 큰 변화가 없었다. 유기물질은 농업활동 시작 후 대부분의 논에서 약간 증가하다가 추수까지 점진적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 모든 시험지 배수의 평균 부유물질 농도는 약 28 mg/L 수준이었다. 유기물질의 경우는 이앙기 때 최고 25 mg/L, 최저 3.7 mg/L, 평균 11.3 mg/L이었다.

3.5. 지표 미생물

논 강우 유출수의 지표미생물 밀도분석결과를 Fig. 8에 나타내었다. 자료에 따르면 지표 미생물의 밀도는 모의 생육이 진행되는 동안 증가하는 경향을 보이고 있다. 논에서

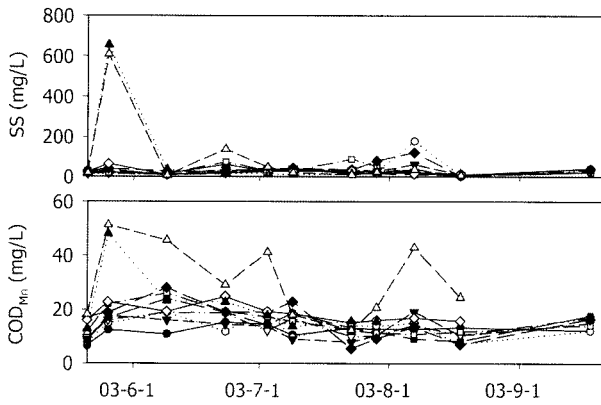


Fig. 7. Change of SS and COD concentration.

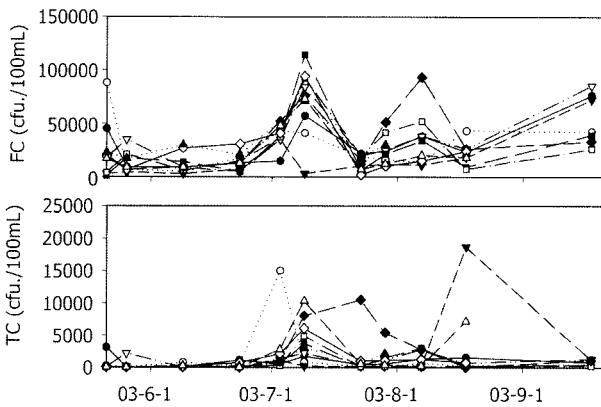


Fig. 8. Change of coliform bacteria.

지표미생물이 증식하였음을 의미한다.

논으로부터 TC는 최고 114,000/100 mL, 최저 1,000/100 mL, 평균 배출밀도는 28,570/100 mL이었다. 한편 분변성 대장균은 평균 배출밀도는 1,437/100 mL이었으며 최고 TC의 16%에서 5% 수준을 보였다.

3.6. 농경배수 오염물질 배출 부하의 산출

비점원 오염물질의 유출은 수문현상과 관련이 있다. 아래 Fig. 9는 논에서의 물 수지와 물질수지를 나타내고 있다. 물수지에서 유입량은 강우와 관개유량으로 구성되고 유출량은 지표유출량, 침투량 및 증발산량으로 구성된다. 또한 물질수지에서는 유입 부하량과 유출 부하량이 있는데 유입 부하량은 관개수 부하량과 강우 부하량으로 구성되고 유출 부하량은 지표 유출 부하량, 침투 유출 부하량, 작물 흡수량 등으로 구성된다.

평상시 관개회귀수와 강우 시 유출에 의한 논에서의 오염물질 배출 원단위는 지표유출부하와 침투유출부하에서 관개된 용수부하를 제하여 산출한다. 그러나 본 연구처럼 강우 시 배출부하의 조사에서는 대부분의 논에서 강우 시 물꼬를 용-배수로와 차단하므로 용수부하는 없는 것으로 간주할 수 있으며 강우 시 침투유출부하는 지표면 유출부하에 비해 그 양이 적으므로 논으로부터의 유출은 논으로부터 지표면 출수에 기인하는 것으로 볼 수 있다.

강우 유출유량 자료의 양과 조사방법에 따라서 직접강우 횡수 적용법, 유효유량비법, 유출량비법 등 다양한 배출 원

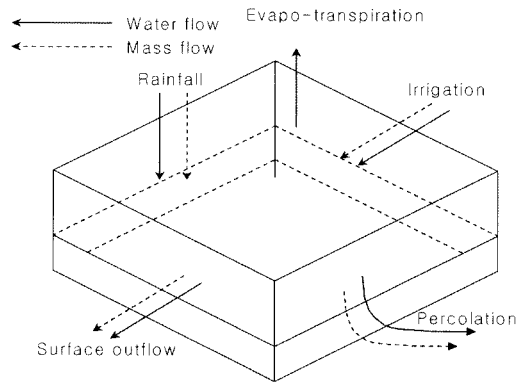


Fig. 9. Water budget and material balance in rice paddies.

단위 계산방법이 있다. 본 연구에서는 조사한 오염물질의 농도와 유량을 결합하여 경작기간 중의 누적 부하를 계산하여 원단위를 산출하였다.

강우사상에 대해 시간에 따른 오염물질 유출농도 분포의 조사 없이 강우유출 상황에서 임의로 채취한 시료조사를 통하여 원단위를 산출을 시도하는 것은 무리가 있다. 그러나 이전의 다른 연구자에 수행된 연구결과에 따르면 경작 상태의 담수 논으로부터의 오염물질 유출은 시간에 따라 큰 차이가 없는 것으로 보고하고 있다(최 등, 1998). 질소와 인에 대해 산출평균과 유량가중 평균을 비교한 결과 10% 이내였다.

원단위 계산에 필요한 유량은 인근 기상 관측소의 일 우량자료와 1995년 환경부에서 제안한 논에서의 유출계수를 이용하여 산출하였다. 조사기간 중 총 61회의 강우사상이 있었으며 총 강우량은 1,038 mm이었다. 본 연구에서 사용된 배출 부하량 계산방법은 다음 식과 같다.

$$UL = \sum Q_{ci} \cdot S_i \cdot f / A \tag{3}$$

$$Q_{cr} = C \cdot R_i \cdot A \tag{4}$$

위 식에서 UL = 농경지로부터 오염물질 배출 원단위, S_i = 경작기간 중 i 번째 강우사상에 대한 오염물질 농도 (mg/L), A = 논 면적(ha), Q_{ci} = 경작기간 중 i 번째 강우량에 의한 논으로부터의 유효 강우유출수량, C = 유출계수 (1.0), R_i = 일 강우 깊이(mm), f = 오염물질 배출량을 kg/ha 단위로 나타내기 위한 환산인자 = 0.01.

상기과정에 의해 산출한 계산 예를 Fig. 10에 나타내었고 전체 원단위 산출결과를 Table 1에 제시하였다.

우리나라 연 평균 강우량 1,274 mm를 적용하여 유효우량 대비에 의해 연간 단위로 환산하여 그 범위와 평균값을 아래 Table 2와 같다. 각각의 항목에 대한 원단위는 시험 논에 따라 두 배 이상의 차이를 보였다. 연구대상 논으로부터 배출되는 유기물(COD)의 약 68%가 용존 상태로 나타났으며, 총질소의 평균 배출원단위 54 kg/ha-년 중 약 12% 정도가 암모니아질소와 질산성질소인 것으로 조사되었다. 기존에 보고된 비점오염원에 의한 오염물질 배출 특성과 비교한 결과 TN대비 TP의 농도평균 비율은 약 16.7%

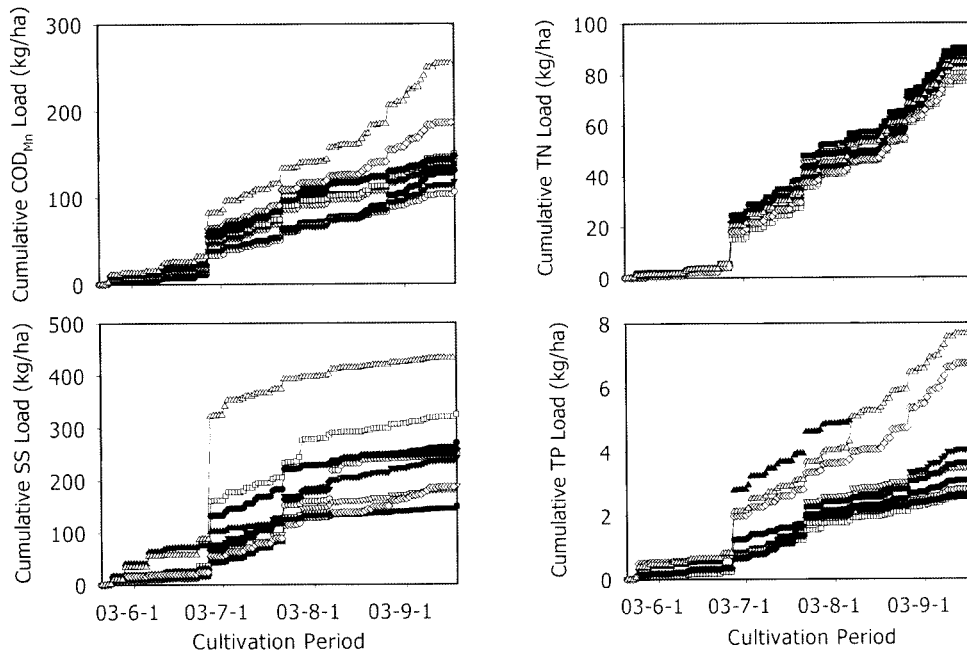


Fig. 10. Discharge of the COD from rice paddy during cultivational period.

Table 1. Results of unit load estimation from rice paddy

Item	Rice paddy											Range	Ave.
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10			
SS	126	130	123	98	77	151	136	98	59	174	77 ~ 174	117	
COD	70	55	62	73	70	77	74	96	48	134	48 ~ 134	76	
SCOD	43	43	47	53	56	51	57	74	36	68	36 ~ 74	53	
TN	49	46	47	48	49	43	49	43	21	46	21 ~ 49	44	
NH ₃ -N	1.3	2.7	2.1	2.7	3.5	1.8	1.9	1.5	0.6	1.6	0.6 ~ 3.5	2.1	
NO ₃ -N	5.6	5.2	4.3	3.8	4.3	3.1	3.9	2.4	2.0	1.7	1.7 ~ 5.6	3.6	
TP	1.6	1.5	2.3	1.8	2.0	1.4	1.5	3.6	2.2	4.1	1.5 ~ 4.1	2.2	

Table 2. Summarized results of unit load per year (kg/ha-yr)

Parameter	Unit discharge (kg/ha)		Yearly unit discharge (kg/ha-yr)	
	Range	Ave.	Range	Ave.
SS	77 ~ 174	117	94 ~ 212	143
COD	48 ~ 134	76	58 ~ 163	93
SCOD	36 ~ 74	53	43 ~ 90	65
TN	21 ~ 49	44	26 ~ 60	54
NH ₃ -N	0.6 ~ 3.5	2.1	0.7 ~ 4.3	2.6
NO ₃ -N	1.7 ~ 5.6	3.6	2.1 ~ 6.8	4.4
TP	1.5 ~ 4.1	2.2	1.8 ~ 5.0	2.7

로 나타나는데(농업기반공사, 2002) 본 연구 결과에서는 약 5%로 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 총인의 부하량은 용해성보다는 토사에 집착되어 유실되는 경우가 대부분을 차지하기 때문에 담수상태의 논에서는 토양 유실량이 작기 때문에 대부분 용해성으로 배출되었기 때문에 낮게 나타난 것으로 판단된다. 국내 문헌에 보고된 자료에 따르면 10년 동안 오염 부하량을 평균한 결과 TN대비 TP의 농도평균 비율이 1/40로 나타난 것으로 보고되기도 하

였다(새만금 사업 환경공동조사단, 2000). 이러한 결과를 종합해 보면 농경지로부터 배출되는 비점오염원 중에 TP 항목에 대한 좀 더 밀도 있는 연구가 필요한 것으로 판단된다.

3.7. 방류하천 수질과의 비교

앞서 언급한 것처럼 논 배수가 방류하천의 수질에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 방류하천 대교천과 황락천의 수질을 논 배수 조사와 함께 수행하였는데 그 결과를 Fig. 11과 12에 나타내었다. 두 하천에서 논 배수의 총인 농도는 모든 기간 동안에 하천수의 것보다 높았고 대교천에서는 최고 30배 이상 높았다. 그러나 총질소는 모내기 직후의 배수를 제외하고는 하천수보다 적거나 컸다.

연구대상인 대교천과 황락천은 국내 수질측정망이 가동되지 않는 소하천으로 이들 하천에 대한 수문자료와 비점오염원 유입특성을 비교 검토하지는 못하였다. 일반적으로 하천수는 갈수기인 동절기에 수질이 악화되고 우수기에 접어들면서 회복되는 패턴을 보이는데 서산시 인근 4개 하천 수질측정망 자료 분석결과 TN의 경우 갈수기와 논농사가 진행되는 동안 특별한 변동특성을 보이지 않는데 반하여 TP의 경우 갈수기보다 5~9월 동안 약 23% 정도 높게 나

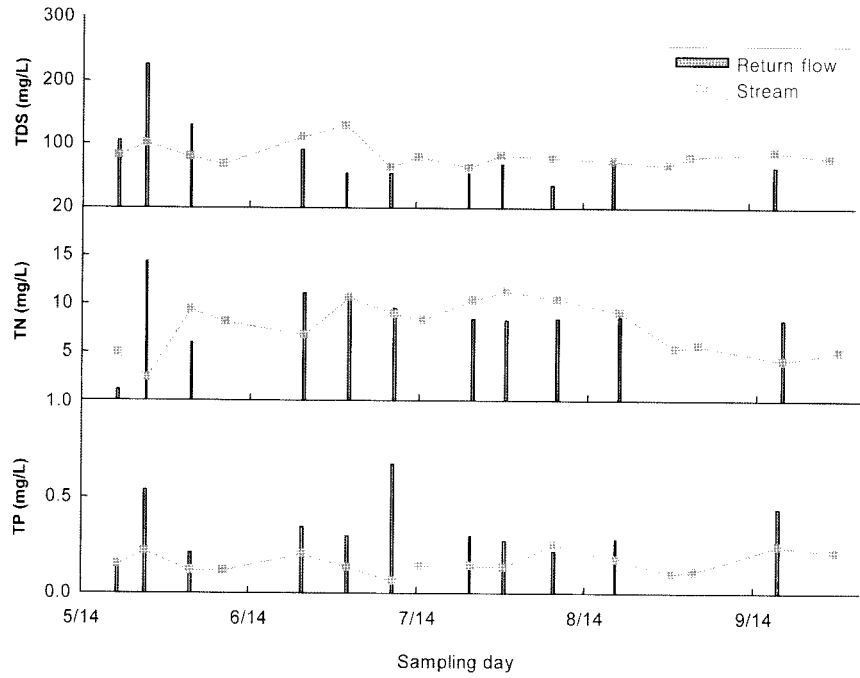


Fig. 11. Change of TDS and nutrients in the discharge stream (D site).

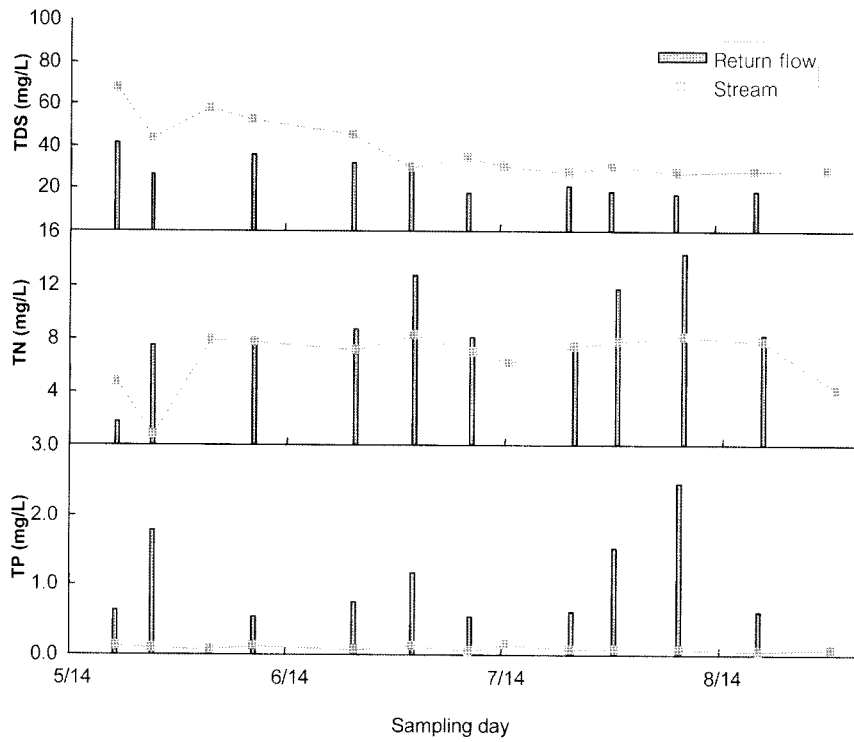


Fig. 12. Change of TDS and nutrients in the discharge stream (H site).

타났다(2004~2005년 분석). 이러한 원인은 앞에서 언급한 바와 같이 영농기간 동안 비료사용이 주된 원인으로 판단된다. 비료사용량의 경우 영농작물, 농업환경, 지역특성에 따라 시비량의 차이가 크게 발생할 수 있는데, 국내 문헌 자료에 따르면 동일지역에서 10년 동안 TN, TP 비점오염원 부하량 평균에 대한 상대오차를 분석한 결과 TN의 경우 약 70%, TP의 경우 73%로 나타나 영농환경에 따른 개량화된 시비가 적절히 수행되지 못했음을 알 수 있다(새만

금사업 환경공동조사단, 2000). 또한 Fig. 11과 12에서 TP의 경우 하천수질에 미치는 영향이 TN에 비해 높게 나타났는데, 국내 비료소비량이 정점에 달한 90년대 중반 전체 비료 소비량 중 복합비료가 전체의 70%를 상회한 것으로 보고되었고 복합비료 내 인의 함량은 약 37.6%(13개 시판 비료 평균) 높게 함유하고 있어 강우에 의한 인의 배출부하량이 증가하는 한 원인으로 생각할 수 있다(농림부, 1997; 한국비료공업협회, 1996).

2004년 서산시 하천수 환경수질 측정망 평균 자료에 따르면 TN의 경우 3.84, TP의 경우 0.12로 연구대상 하천수 수질보다 더 낮은 값으로 보고되었다(환경부, 2004). 이를 근거할 때 연구대상 논의 경우 비점오염물질 배출형 논으로 영양물질 저감을 위해 개량화된 시비량, 시비 후 느리게 반응하는 완효성비료(피복비료) 사용 등과 같은 시비의 개선, 적정 담수심 유지, 물꼬 높임과 같은 물 관리, 비경 작재배 등이 필요한 것으로 판단된다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 연구대상 10개의 논에서의 pH는 6.9~7.4 범위로 나타났으며 시기적으로나 유역에 따라 큰 변화가 없었다.

시비량이 다른 10개의 단위 논을 대상으로 농번기 동안의 논의 관개에 의해서나 강우 시 논으로부터 유출되는 유출수를 중심으로 T-N, T-P, SS, COD, NH₃-N, NO₃-N, PO₄-P, 대장균(TC, FC) 등 각각의 항목에 대한 오염물질의 흐름과 배출 부하 특성을 고찰하였다.

하천 수질에 영향을 미치는 배수나 논 표면수의 T-N과 T-P의 농도는 관개초기(5월 초순~6월 중순)의 시비에 높게 나타나므로, 적절한 시비관리 및 무효방류의 억제와 같은 물 관리에 의하여 배출 부하량을 감소시킬 필요성이 있다.

T-N 농도는 크게 증가하여 등숙기까지 거의 변화가 없었다. 이는 토사흡착, 그리고 강우활동에 각종 유기질 비료의 유출에 의해 따른 것이라고 판단되어진다.

모든 시험지배수의 평균 부유물질의 농도는 약 28 mg/L 이고 유기물질 함량을 나타내는 COD 값은 68%가 용존상태로 나타났으며 이양기 최고 25 mg/L 최저 37 mg/L 평균 11.3 mg/L이었다.

지표미생물인 대장균 TC는 최고 114000/100 mL 최저 1000/100 mL 평균 배출밀도 28570/100 mL이었고 분변성 대장균 FC는 평균 배출밀도는 1437/100 mL 최고 TC의 16%에서 5% 수준을 보였다.

사 사

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원(과제번호 1-5-2)에 의해 수행되었습니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 김민경, 서명철, 이남종, 노기안, 고문환, 영농기간 동안 광역 논에서 질소와 인의 유출특성, *대한상하수도학회·한국물환경학회 2004년 공동 추계 학술발표 논문집*, pp. 316-318 (2004).
- 농림부, 농림통계연보 (1997).
- 농림부, 농지배수의 친환경적 관리 및 처리기법 개발 (2002).
- 농업기반공사, 농업배수의 수질오염(질소, 인) 저감을 위한 환경친화적 농업기반 정비방안 (2002).
- 농촌진흥청, 농업경영연구보고 제 62호 - 도별 비료 사용 실태 조사 성적 (1998).
- 새만금사업 환경공동조사단, 새만금사업 환경영향공동조사 결과보고서 (2000).
- 최지용, 신은성, 농업지역 비점오염원 관리방안 연구, 한국환경정책평가연구원 (1998).
- 한국비료공업협회, 비료연감 (1996).
- 환경부, 수질오염 공정시험법 (1999).
- 환경부, 하천수 수질 측정망 측정자료 (2004).
- 武田育郎, 농지에 대한 포인트 농도부하, *일본수환경학회지*, **20**(12), p. 12 (1997).
- APHA, AWWA and WEF, Standard Methods for Examinations of Water and Wastewater, 20th edition, Washington D.C., USA (1998).
- Knisel, W. G., CREAMS : A Field-Scale Model for Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems. U. S. Department of Agriculture, Science and Education Administration, Conservation Research Report No. 26 (1980).
- Leonard, R. A., Knisel, W. G. and Still, D. A., GLEAMS : Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems, *Transactions of the ASAE*, **30**(5), pp. 1403-1418 (1987).
- Lewis, C. L. and Robert, V. T., The Cross-Media Models of the Chesapeake Bay : Defining the Boundaries of the Problem, *Watershed '96*, pp. 112-114 (1996).
- U.S EPA, NPDES, Storm Water Sampling Guidance Manual, Office of Water, pp. 15-33 (1993).
- Williams, J. R., Nicks, A. D. and Arnold, J. G., Simulator for Water Resources in Rural Basins, *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, **111**(6), pp. 970-986 (1985).