

필지논에서의 인(P) 과 산화환원전위(Eh)의 변화 특성

Characteristics of Variation of Phosphorus and Redox Potential in an Experimental Paddy Field

김영현* , 김진수** , 장훈***
Young Hyeon Kim , Jin Soo Kim , Hoon Jang

요 지

논에서 수질변화특성에 관한 메카니즘은 매우 복잡하다. 영양물질의 농도특성을 정확히 파악하기 위해서는 영농활동에 따른 체계적인 모니터링을 통한 다양한 측정 자료가 필요하다. 그러나 현재 논에서 토양의 산화환원에 관한 연구 자료는 많지 않기 때문에 그의 특성을 파악하기에는 어려운 실정에 있다.

본 연구의 목적은 충북대학교 부속농장 필지논에서 2008년 영농기간을 중심으로 논에서의 영양물질인 총인(TP) , 인산성 인(PO_4 -P) 및 산화환원전위(Eh)의 변화특성을 파악함으로써, 논으로부터의 영양물질 유출 제어에 관한 기초 자료를 제공하는데 있다.

이 연구는 2008년 6월부터 10월까지 필지논에서 논 표면수의 TP 와 PO_4 -P의 농도변화와 토양의 산화환원전위(Eh)와의 관계 특성을 파악하였다.

관개기의 논에서 인은 분얼비 시기에 인성분이 시비되지 않았는데도 불구하고 분얼비 직후와 분얼비 1주일 후에 TP농도가 높게 나타났는데 이는 담수의 영향으로 논이 환원상태로 되어, 논바닥에 침전된 철이온에 흡착되어 있던 인이 철이온의 환원으로 함께 용출하기 때문이라고 생각된다.

산화환원전위(Eh)는 높아지면 산화경향을, 낮아지면 환원경향을 나타낸다. 본 연구기간 동안의 산화환원전위(Eh) 값은 비 관개기에 201 ~ 405 mV로 높게 나타났고, 관개기에는 93 ~ 195 mV로 낮게 나타났다.

필지논 표면수의 인농도는 분얼비 직후 1주일후까지 TP 와 PO_4 -P 농도는 같이 상승하다가 TP농도는 약 2주일까지 더 상승하여 2008년 최대값을 나타냈고 PO_4 -P농도는 하강하였는데 이는 논 토양이 환원상태로 되면서 바닥에 있던 입자성 인이 논 표면으로 떠올랐기 때문으로 사료된다. 그 후에 담수가 끝나는 시점까지 농도는 낮아졌다.

강우량이 적은 관개초기에 인의 농도는 비교적 높게 나타났지만 강우량이 많은 여름에는 작물의 생장에 필요한 영양물질 섭취 등으로 인농도가 낮게 나타나 논은 인의 유출을 억제하고 있는 것으로 나타났다. 이와 같이 인의 유출특성 및 산화환원전위(Eh)의 변화에 따른 논에서의 유출부하 특성이 규명된다면, 환경부하가 적은 효과적인 물관리가 가능해 질 것으로 판단된다.

핵심용어 : 총인(TP), 인산성 인(PO_4), 산화환원전위(Eh), 관개기, 분얼비

1. 서 론

논은 관개와 낙수라는 특수한 물관리가 이루어지기 때문에 다른 비점오염원보다 유출특성이 상이하다. 동일한 논이라도 시비량, 시비방법, 시비시기, 관개용수 및 강우의 양과 성분등의 인위

* 정회원 · 충북대학교 지역건설공학과 석사과정 · E-mail : hyde292513@naver.com

** 정회원 · 충북대학교 지역건설공학과 교수 · E-mail : jskim@chungbuk.ac.kr

*** 정회원 · 충북대학교 지역건설공학과 석사과정 · E-mail : dgaia@chungbuk.ac.kr

적인 요소들이 영양물질 유출량에 크게 영향을 주고 있으며 (Yoon et al, 2002), 이러한 이유로 논에서의 영양물질 유출과정과 농도특성을 파악하는 것은 많은 어려움을 가지고 있다. 일본에서는 (Tabuchi et al, 1979)가 논에서의 질소, 인의 농도 및 그 유출입을 조사하였고, 한국에서는 (Cho et al, 2006)가 관개기 시험구 논에서 오염물질의 농도특성을 연구하였다.

벼는 생육기간 중 상당기간이 담수상태에 있으므로 토양의 산화환원상태조건을 만들며, 산화환원반응과정에서는 토양에 있는 화학물질이 침전, 분해, 용출 등이 다양한 과정을 통하여 이동한다. 이러한 반응들은 논표면수의 오염물질의 농도변화에도 영향을 준다. 산화환원반응에서 생기는 강도는 산화환원전위(Eh)로 표현하며, Eh 값이 높아지면 산화경향을, 낮아지면 환원경향을 나타낸다. 산화환원전위는 담수위의 변동과 토양온도에 영향을 받아 논에서의 관개와 배수를 통해 시기별로 다양하게 나타난다. 이러한 Eh의 변화에 따른 논에서의 유출부하 특성이 구명된다면, 환경적으로 효과적인 물관리가 가능해질 것으로 판단된다.

본 연구에서는 충북대학교 부속농장 필지논에서 2008년 영농기간을 중심으로 필지논에서의 영양물질인 총인(TP), 인산성 인(PO_4 -P) 및 산화환원전위(Eh)의 변화특성을 파악함으로써, 논으로부터의 오염물질 유출제어에 관한 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 시험구의 개요

본 연구는 2008년 6월부터 10월까지 충북대학교 부속농장에 조성된 필지논(75×30 m)을 대상으로 수행되었다. 용수는 부속농장 근처에 있는 소류지에서 공급되었으며, 필지논에는 원통형 증발산량계과 침투량계를 설치하였다(Photo. 1).



Photo. 1 Experimental plots

2.2 영농활동 및 시비현황

필지논의 공시품종은 일품벼로 재식밀도 15×30 cm로 이양하였으며, 1주(株)당 3~4본씩 식재하였다. 이양은 예년보다는 1~2주 늦게 하여 6월 초순에 추수는 10월 초순에 실시하였고, 시비는 기비, 분얼비 및 수비의 3단계로 실시되었고, 기비는 5월 하순경, 분얼비는 6월 중순경, 기비는 7월 하순경에 시용(施用)되었다. 시비량은 농업과학기술원 고시 표준시비량인 $N : P_2O_5 : K_2O =$

11 : 4.5 : 5.7 kg으로 하였고, 질소는 기비, 분얼비, 수비를 각각 53, 33, 14 %의 비율로 시비하였으며, 인은 전량 기비로 하였다.

2.3 측정 및 분석

강수량은 충북대와 가장 가까운 청주기상대에 2008년 6~10월까지의 5개월간 데이터를 취득하였고, 논 담수위, 증발산량은 원통형 증발산량계, 심층침투량은 원통형 침투량계를 이용하여 3~5일 간격으로 일정한 시간에 측정을 하였다. 산화환원전위(Eh)는 지하 5 cm지점을 대상으로 산화환원전극(multi-parameter, Eijkelkamp Agrisearch Equipment, Netherlands)을 이용하여 측정하였는데, 산화환원전극은 토양 온도의 영향을 받기 때문에 측정값에 온도보정 값을 더하여 산화환원전위 값을 구하였다. 토양(-5cm)의 산화환원전위와 온도는 3~5일 간격으로 논표면수의 온도는 담수가 안 되어있을 경우에는 측정이 불가하여 측정하지 않았고 그외에는 3~5일 간격으로 측정하였다. 논표면수의 수질항목은 TP(총인), PO₄-P(인산성 인)를 대상으로 하였고, 논표면수의 채수는 담수가 안 되어있을 경우를 제외하고는 3곳에서 5일간격으로 채수하였다. TP와 PO₄-P는 환경부 수질오염공정시험법(환경부, 1997)에 의한 흡광광도법으로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 논 담수 및 토양 온도변화

토양은 6~10월, 담수는 6~9월 초순까지 측정기간 동안 지하 5cm에 토양과 논담수의 온도변화는 Fig. 1과 같다. 6~7월 중순의 담수온도는 맑은 날에는 토양온도보다 높게 나타났으나, 흐린 날에는 큰 차이를 보이지 않았다. 그리고 토양온도 최대값은 7월 중순에 30°C, 최소값은 10월 하순에 17.1°C로 나타났다. 담수온도 최대값은 6월 중순에 37.1°C, 최소값은 6월 최초 측정시에 2.1°C로 가장 낮게 나타났다. 여기서 토양온도가 가장 높은 시기가 7월 중순이었던 것은 사계 중 기온이 가장 높은 여름이었기 때문이기도 하지만 또한 7월 1~24일까지 일시적으로 담수가 없던 시기로 토양이 햇빛에 직접적으로 노출되었기 때문에 온도가 가장 높았던 것으로 사료된다.

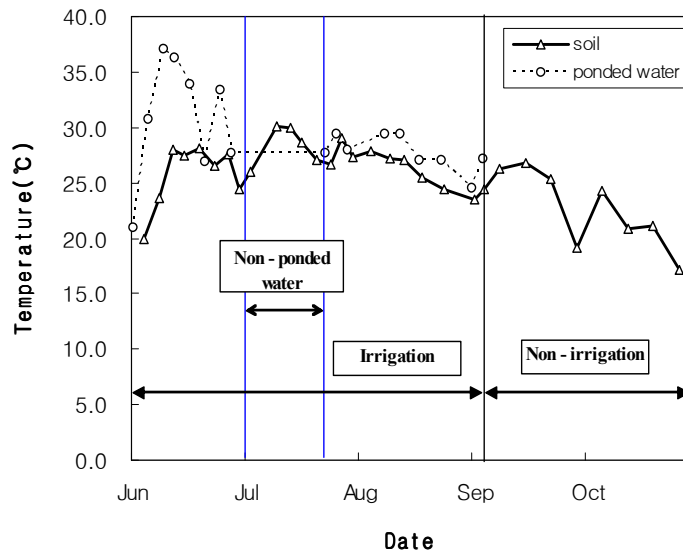


Fig. 1 Temporal variation of soil and ponded water temperature at an experimental paddy plot

3.3 논 표면수에서의 인(P)의 농도

관개기 논에서 인은 분얼비 시기에 인성분이 시비되지 않았는데도 불구하고 분얼비 후에 농도가 상승하는 경향을 나타냈는데 이는 담수의 영향으로 논이 환원상태로 되어, 논 바닥에 침전된 철이온에 흡착되어 있던 인이 철이온의 환원으로 함께 용출하기 때문이라고 생각된다. 초기에 시비된 인성분은 대부분 농토양 내의 철성분과 Fe^{2+} -P의 형태로 흡착되어 침전된다고 보고했다(Kirk et al, 1990). 계절적 토양의 산화환원 전위의 변화는 Fe^{2+} 에서 Fe^{3+} 로의 산화, 또는 Fe^{3+} 에서 Fe^{2+} 로의 환원을 통해서 설명할수 있으며 Fe^{3+} 이온과 결합한 인은 토양에 침전하여 존재 하는데 토양이 환원상태가 되면 Fe^{3+} 이온이 Fe^{2+} 이온으로 환원되어 Fe^{2+} 이온과 함께 인이 용출하는 것으로 보고되었다(Vepraskas and Faulkner, 2001).

논표면수의 TP농도는 0.05 ~ 0.22 mg/L, PO_4 -P농도는 0.01 ~ 0.08 mg/L로 대체로 낮은 농도를 보였다. TP와 PO_4 -P 농도는 기비 1주일 후까지 증가하다가 감소하는 경향을 보였고, 분얼비 직후부터 1주일 후까지 다시 상승하다가 TP 농도는 약 2주일까지 더 상승하여 최대 농도인 0.22 mg/L까지 상승하는 반면에 PO_4 -P농도는 하강하는 경향을 보였다(Fig. 2). 그 후에 인 농도는 점점 담수가 끝나는 시점까지 농도가 낮아지는 경향을 보였는데 이는 작물이 자라면서 영양물질인 인을 섭취하기 때문으로 사료된다. 이와 같이, 분얼비 직후에 TP농도가 상승하는 경향은 충북대학교의 실험포장(Cho et al, 2006)과 충북 청원군 소로지구의 논에서 보고되었다(Kim et al, 2001).

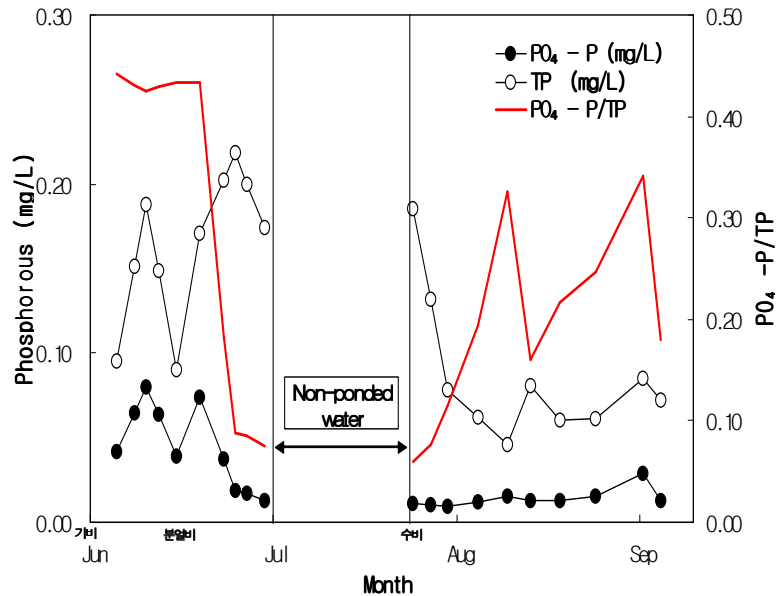


Fig. 2 Temporal variation of ratio of PO_4 -P to TP

3.4 총인에 대한 인산성 인의 비 (PO_4 -P/TP)

PO_4 -P/TP 비는 기비후 0.40 이상으로 높게 유지되다가 분얼비 시비 1주 ~ 2주일 사이인 6월하순에 0.10 이하로 급격히 하강 하였고 7월중순 이후로는 PO_4 -P/TP 비는 다시 상승하기 시작하여 0.20 ~ 0.40의 값을 나타냈다(Fig. 2). PO_4 -P/TP 비가 0.10 이하인 6월하순에는 입자성 인이 용존성 인 보다 월등히 많다는 것을 알 수 있다.

3.5 산화환원전위(Eh)와 TP의 변화

Eh는 높아지면 산화경향을, 낮아지면 환원경향을 나타낸다. 본 연구기간 동안의 논 토양의 산화환원전위 값은 관개기에는 93 ~ 195 mV 가량 나타냈고 비 관개기에는 201 ~ 401 mV 로 높게 나

타났다. 측정 기간중 7월상순경 Eh가 급격히 상승하는 모습을 보였는데 이 기간은 논이 담수상태가 아니었을 뿐만아니라 강우량도 거의 없었던 기간으로 토양이 매우 건조해져 산화경향을 보였기 때문으로 생각된다. 논에 관개가 시작되면서 논 토양은 환원경향을 띄기 때문에 산화환원전위는 하강하기 시작하여, 관개기 시기에는 낮은 값(평균 약 140 mV)을 보였으며, 관개가 끝난 후 다시 상승하는 경향을 보였다. 일본에서는 다양한 조건에서 Eh를 측정하였으며, 매우 건조한 토양의 Eh가 450~500 mV, 연속 관개의 논에서는 -200~0 mV, 중간낙수와 간단관개시는 각각 40~178 mV, -36~231 mV로 나타났다고 보고했다 (Minamikawa et al, 2005; 2006). 분얼비 약 2주일 후에 Eh 값은 93 mV까지 하강하는 경향을 나타냈고, 이때 TP농도는 0.22 mg/L의 최대값을 보였다. 이는 논 토양이 환원상태로 되면서 바닥에 있던 입자성인이 논 표면으로 떠올랐기 때문으로 사료된다(Fig. 3). 인은 토양과 담수의 경계면이 혐기성 상태인 경우가 호기성 상태인 경우보다 약 1,000배 정도 빠르게 용출되는 것으로 보고되었다(Horne and Goldman, 1994).

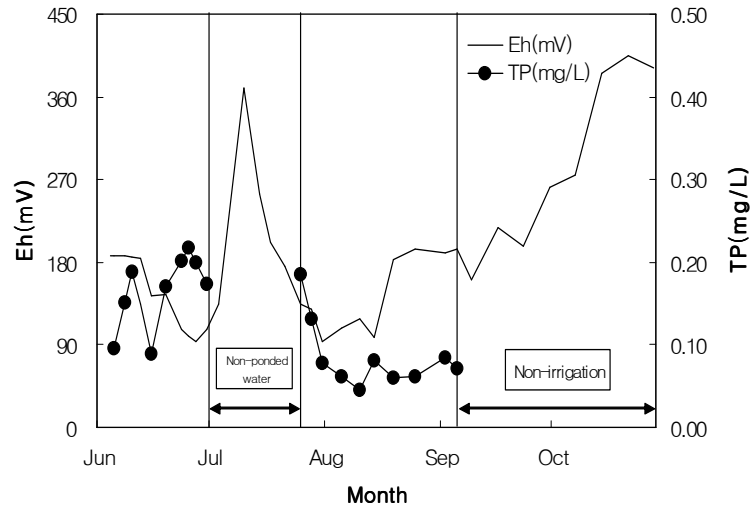


Fig. 3 The variation of Eh and TP concentration in the ponded water

4. 결론

본 연구는 2008년 6~10월까지 영농기간을 중심으로 논에서의 인 농도와 토양의 산화환원전위의 변화 특성을 파악하였다.

1. 논표면수의 인농도는 시비 영향으로 기비 시기에 상승하여 분얼비 시기까지 높은 농도를 유지하였다.

2. 관개기와 비관개기의 논에서 인은 분얼비 시기에 인성분이 시비되지 않았는데도 불구하고 분얼비 후에 용출되는 경향을 보였으며, 비 관개기에는 대부분 작물에 흡수되기 때문에 인 농도가 낮아지는 것이라 사료되며, 이에 대한 정확한 메커니즘을 규명하기 위해 추후 추가 실험이 필요하다고 생각된다.

3. 6월하순경 Eh는 100이하의 값을 나타냈고 이때 TP는 0.22 mg/L의 최대값을 나타냈고 PO₄-P 농도는 낮아지는 경향을 보였는데 이는 논 토양이 환원상태로 되면서 바닥에 있던 입자성인이 논 표면으로 떠올랐기 때문으로 사료된다.

4. 강우량이 적은 관개초기에 인의 농도는 비교적 높게 나타났지만 강우량이 많은 여름에는 작물의 생장에 필요한 영양물질 섭취 등으로 인농도가 낮게 나타나 논은 인의 유출을 억제하고 있는 것으로 나타났다. 이와 같이 인의 유출특성 및 산화환원전위의 변화에 따른 논에서의 유출부하특성이 규명된다면, 환경부하가 적은 효과적인 물관리가 가능해질 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 윤광식, 한국현, 조재영, 최창현, 손재권, 최진규, 2002, 양수장지구 광역논으로부터 영농기간 영양물질수지의 유출 및 물질수지, 한국농촌계획학회지 8, pp. 15 ~ 25.
2. 조재원, 김진수, 오광영, 오승영, 2006, 관개기 시험구 논에서의 오염물질의 농도특성, 한국농공학회논문집, 48(3), pp. 97 ~ 106.
3. 김진수, 오승영, 김규성, 권순국, 2001, 관개기 광역논에서의 오염물질의 농도특성, 한국농공학회지, 43(6), pp. 163 ~ 173.
4. 전지홍, 유춘경, 최진규, 윤광식, 2005, 관개방법에 따른 논에서의 수문 및 수질특성에 미치는 영향, Korean J. Limnol., 38(1), pp. 118 ~ 127.
5. 강 결, 논에서의 오염물질 제거량과 산화환원전위의 변화 특성, 석사학위논문, 충북대학교 대학원, pp. 30 ~ 35
6. Tabuchi, T., T. Takamura, H. Kubota, and S. Suzuki, 1979, Concentrations of nitrogen and phosphorus in paddy field, Trans. Jpn. Soc. Irrig. Drain. Reclam. Engrg. 47(11), pp. 859 ~ 864.
7. Kirk, G. J. D., T. R. Yu, and F. A. Choudhury, 1990, Phosphorus chemistry in relation to water regime, In: Phosphorus Requirement for Sustainable Agriculture in Asia and Oceania, International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines, pp. 211 ~ 223.
8. Vepraskas, M. J., and S. P. Faulkner, 2001, Redox chemistry of hydric soils, In: Richardson, J. L., M. J. Vepraskas., (Ed.), Wetland Soils: Genesis, Hydrology, Landscapes, and Classification, CRC Press LLC, pp. 85 ~ 105.
9. Horne, A. J., and C. R. Goldman, 1994, Limnology, pp. 155 ~ 163, McGraw-Hill.