한국농공학회논문집
제48권 제3호

JOURNAL OF THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, MAY. 2006, pp. 35-45

휴경지의 웅덩이와 여울에 의한 수질정화특성

Water Quality Improvement Characteristics in Fallow Paddy by the Shallow Pool and Shallows

김 선 주* · 김 형 중** · 김 필 식*** · 지 용 근**** · 양 용 석*****

Sun Joo Kim · Hyung Jung Kim · Phil Shik Kim · Yong Geun Jee · Yong Seok Yang

Abstract

Fallow paddy areas have been increased due to the import of cheap agricultural product, and the unbalance between farming cost and rice price since 1990. In domestic, rice production control that decrease paddy field area has been introduced for the control of rice demand and supply and stabilization of rice price since 2003. Because of the desire of paddy field's owner to create benefit by using paddy for other object, fallow paddy would be continuously increased. In the other aspect, many people in the world is suffering from hunger because of the shortage of food. In case of Korea, continuous drought and flood damages will be potential concern of stable food supply. From this viewpoint, the increasing fallow paddy area needs to be protected from the devastation by weed breeding for the re-cultivation. In this study, fallow paddy managed with the shallow pools and shallows was selected for monitoring and analyzing of water quality and plant body change. As the results, the managed fallow paddy found to be effective in the purification of water quality and the control of plant growth.

Keywords : Fallow paddy, Water depth management, Shallow pool and shallows, Water quality, Weed control, Soil characteristic

I. 서 론

정부는 국제적 정세변화에 따라 쌀의 수급조절 및 쌀 가격의 안정성을 꾀하기 위하여 인위적으로 벼재배 면적을 줄이고자 2003년부터 논벼를 재배한 농지에 앞으로 3년간 벼나 기타 상업적 작물을 재배하지 않는 조건으로 매년 1 ha당 일정액의 보상금을 지급하는 쌀생산조정제를 도입하게 되었고, 농지이용에 대한 규제를 완화하려는 사회적 분위기와 더불어 농지를 경제적 이익을 목적으로 타 산업

* 건국대학교 생명환경과학대학
** 한국농촌공사 농어촌연구원
*** Auburn University Post Doc.
**** 건국대학교 생명환경과학대학 대학원 박사과정
***** 건국대학교 생명환경과학대학 Post Doc.
* Corresponding author. Tel.: +82-2-450-3753
Fax: +82-2-444-0223
E-mail address: sunjoo@konkuk.ac.kr

용도로 전환하고자 하는 농지 소유자들의 욕구에 의해 휴경면적은 앞으로도 계속 증가될 것으로 예상되고 있다(Kwon, 2003). 실제로 최근 몇 년간 휴경지 변화추이를 살펴보면 논에 비하여 타 용도로 전화하기 쉬운 밭의 경우, 전체 밭 면적의 4.8%까지 휴경률이 증가한 적도 있으며, 2002년에는 논의 휴경률은 0.5%, 밭은 이보다 4배가 많은 2.0%에 이르렀다. 특히, 2003년도에는 논의 휴경률이 2.3%, 밭의 휴경률은 2.8%로서 이는 전년도에 비하여 논은 4.6배가 증가하였고, 밭은 1.4배 증가하였는데 이는 2003년부터 처음 시행하는 쌀 생산조정제 실시에 따른 인위적인 휴경면적이 증가하였기 때문이다(Yu et al., 2003).

세계적으로 볼 때 식량의 수급상황은 불안정한 상태이며, 우리나라의 경우 잠재적 불안요인으로 작용하고 있는 북한의 식량수급 불안정에 대비해야 하므로 농경지를 일정면적 이상은 유사시 바로 농지로 활용할 수 있도록 관리할 필요가 있으며 이러한 이유에서 현재 휴경지로 방치해 둔 농경지의 관리가 필요하다 할 수 있다. 김 등(2004)은 휴경지를 관리하지 않고 방치할 경우 잡풀뿐만 아니라 관목류가 식생하게 되어 농경지가 황폐화되며 휴경논의 재경작을 위한 비용으로 10 ha당 793,000원(2000년 불변가격 기준)으로 산출하였으며 이에 대한 휴경논의 관리가 필요하다고 하였다. 권 등(2003)은 휴경전과 후의 잡초발생양상을 연구하기 위해 휴경논을 재경작할 경우와 일반 경작논을 비교하였을 때, 일년생 잡초의 발생이 두드러지며 이에 대한 방제법을 찾아야 한다고 말하였다. 따라서 국가적인 식량수급 및 경작지 관리차원에서 현재 혹은 향후에 발생하게 될 휴경지를 적절히 관리할 필요가 있다.

본 연구는 여울과 웅덩이를 통한 농업용수 수질정화를 기대할 수 있도록 충남 당진군 농어촌연구원 시험포에 연구대상 휴경논을 조성하고 수질변화 및 식물체 변화를 실측·분석하였다. 그 결과, 용수의 수질개선 뿐만 아니라 잡초의 방제에도 효과적인 것으로 분석되어 휴경논 관리와 재경작 논으로의 변환이 용이할 것으로 판단되었다.

Ⅱ. 재료 및 방법

시험포는 충남 당진군 고대면 슬항리 석문간척지구 내 농어촌연구원 연구단지에 조성하였다. 산소를 흡수하는 다종다양한 생물이 수중의 오염물질을 흡수·흡착할 수 있는 여울과 식물에 흡수·흡착되지 않는 대형물질이나 여울에서 박리된 미생물막이 침전되어 정화되도록 웅덩이를 시험포 내에 조성하여 휴경지에서의 수질정화특성을 분석할 수 있도록 하였다. 조성된 여울과 웅덩이는 Fig. 1과 같이 폭

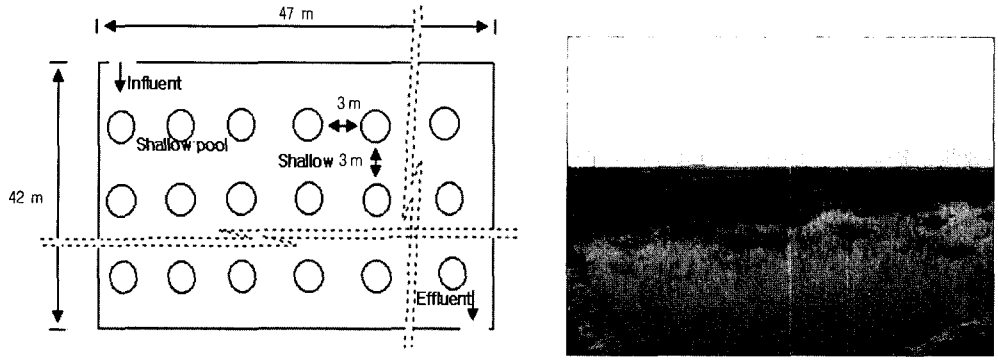


Fig. 1 Experimental fallow paddy fields

42 m × 길이 47 m의 휴경지에 직경 0.5~1 m, 깊이 0.5 m의 웅덩이를 조성하였으며 식물은 별도로 식재하지 않고 자연도래에 의해 수생식물이 생육하도록 하였다. 시험용수는 석문담수호 유입부에 펌프를 설치하여 공급하였고 공급된 용수는 일정하게 수위가 유지되는 유량조정수로에 유입되게 하였다. 유량조정수로에 유입된 용수는 유입공을 통하여 시험포장으로 유입되도록 하였다. 유량조정수로는 수심이 일정하게 유지되기 때문에 시험포장으로 유입되는 유량은 일정한 것으로 가정하였으며, 이때의 유량은 80.6 ㎥/d였다.

수질조사는 현장에서 유입수 및 유출수를 채취하여 수온, pH, EC, DO를 측정하였다. 실내분석을 위하여 채취한 시료를 전처리한 후 아이스박스에 담아 신속히 실험실로 운반하여 수질오염공정시험법에 의거하여 분석을 실시하였으며 수질조사 항목은 SS, BOD_5, TN, TP, NH_4-N, NO_2-N, NO_3-N, PO_4-P, Chl-a를 분석하였다 (APHA, 1998).

대상지구의 식물상을 조사하기 위해 방형구 (1 m × 1 m) 6개를 설치하였고, 식물체의 영양물질 흡수를 조사하기 위해 식물체내의 인함유량, 최대 생물량, 인 흡수량 등의 화학성분을 분석하였다. 조사는 2004년 8월부터 2005년 10월까지 주로 관개기에 12회 실시하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 식물상 및 식물체 특성

여울과 웅덩이가 조성된 휴경논 1,973 ㎡를 대상으로 6개의 방형구 (1 m×1 m)를 설치하여 조사를 실시하였으며, 25~30%의 낮은 피도를 나타내었으며 그중 갈대와 부들이 차지하는 비율은 각각 25.3 %와 15.4 %로써 분포된 면적은 150 ㎡와 91 ㎡로 나타났다. 이는 봄부터 담수상태를 유지하여 식물의 성장이 억제되었기 때문으로 판단된다. 대상지에서 발견된 식생종은 갈대, 물피, 부들 등 3종으로 종다양성이 낮았으며, 갈대와 물피가 우점하고 있는 것으로 조사되었다. 담수가 오랫동안 진행된 상태이기 때문에 갈대나 물피 등의 호수성 식생종 이외의 식생은 미미한 것으로 조사되었다. 갈대에 의한 인 흡수량은 Table 1과 같이 0.471 kg P/yr으로서 부들에 의한 인 흡수량 0.334 kg P/yr에 비해 다소 높게 나타났다.

쌀생산조정제 농지의 경우 계약기간이 만료되는 3년 후에 농지로 다시 이용하기 위해서는 식물의 생장을 억제할 필요가 있으므로 수위관리를 통하여 논이 황폐화되는 것을 방지할 필요가 있다. 김 등 (2006)은 석문간척지구 내의 휴경논을 대상으로 담수심을 유지하여 관리가 이루어지는 휴경논과 관리가 전혀 이루어지지 않는 휴경논을 비교하여 각각의 수질정화특성과 식물상의 변화를 분석하였다. 김 등 (2006)의 연구에 적용한 시험포는 본 연구

Table 1 Nutritive substance of plant body

Species	Area (㎡)	P content in plant body (㎎/g)	Max. biomass (g · DM/㎡)	P uptake (g/㎡)	Max. yield of plant body above ground (㎏ · DM/yr)	Max. annual P uptake of plant body above ground (kg P/yr) (kg · P/yr · ha)
P. communis	150	0.41	179.0	0.245	343.6	0.471
T. orientalis	91	0.53	171.3	0.286	200.3	0.334

의 시험포와 동일한 지구 내에 조성된 것으로 기후특성과 토양특성 그리고 식물종의 다양성이 같다. 웅덩이와 여울이 조성된 본 연구의 휴경논과 "휴경논에서의 수질관리 연구"에서 관리하지 않는 휴경논의 식물상을 비교하였을 때, 식물의 성장이 무성한 무관리 휴경논에 비해 다양한 수심을 가지도록 한 휴경논의 경우 낮은 피도를 보이는 것으로 분석되었다. 본 연구에서 여울조성을 통해 다양한 수심을 가진 휴경논의 경우는 식물의 생장 억제뿐만 아니라 수질항목에 대해서도 정화효과가 나타날 것으로 사료된다.

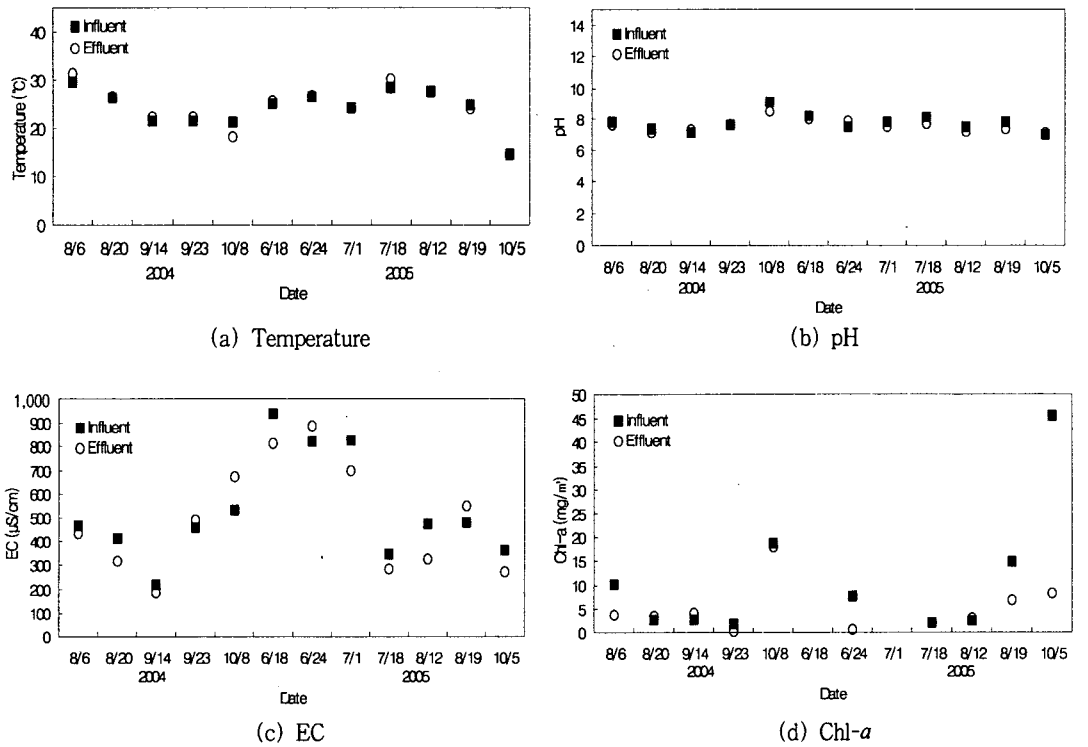
2. 수질정화특성

가. 수온, pH, EC, Chl-*a*

조사기간 중 유입수의 수온은 14.4~29.7 ℃로서 평균 24.3 ℃를 나타냈고, 유출수는 평균 24.5 ℃를 나타내 큰 차이를 보이지 않았다. 수온은 미생물의 활동에 많은 영향을 미치게 되며 BOD_5와 TN의 제거율에 영향을 미치게 된다. 수온이 0℃에서 30℃로 상승하면서 BOD_5 제거효율은 전체 53%에서 62%로 다소 증가하게 된다 (Bruce et al., 1999). 조사된 연구대상 시험포의 수온에서는 미생물이 활발하게 분해활동을 할 수 있고 수생식물도 활발하게 생장하기 때문에 수질개선효과가 있을 것으로 판단된다.

유입수의 pH는 7.0~9.1로서 알카리성을 보이는 경우도 있었으나 대부분 중성을 나타냈다. 유출수도 유입수와 큰 차이가 없이 7.1~8.5로 중성을 나타냈으며, 모두 농업용수 수질기준인 6.0~8.5를 만족하고 있었다.

EC는 우리나라 농업용수 수질기준에는 없으나



(a) Temperature (b) pH

(c) EC (d) Chl-*a*

Fig. 2 Temperatures, pH, EC and Chl-*a* of influent and dffluent

Table 2 Analysis of temperature, pH, EC and Chl-*a*

		Temperature (℃)	pH	EC (μS/cm)	Chl-a (mg/m³)
Influent		24.3	7.8	411	8.0
Effluent	Mean	24.1	7.6	421	5.9
	Max.	31.3	8.5	674	17.9
	Min.	18.1	7.1	186	0.3
	Standard deviation	5.0	0.5	184	6.9
	Coefficient of variation	20.9	7.0	44	116.0

FAO와 미국에서는 700 μS/cm 이하에서는 해가 없고, 700~3,000 μS/cm에서는 약간 장해, 3,000 μS/cm 이상에서는 심한 장해가 발생하는 것으로 구분하고 있다. 조사기간 중 EC는 유입수가 220.0~939.0 μS/cm, 평균 529.0 μS/cm를 나타냈고, 유출수는 186.0~888.0 μS/cm, 평균 495.5 μS/cm를 나타내 유입수에 비해 유출수가 낮은 전도도를 나타냈다. 이와 같이 유출수와 유입수에 관계없이 모두 3,000 μS/cm 보다 크게 낮을 뿐만 아니라 대부분 700 μS/cm 이하이기 때문에 농업용수로 재이용할 경우 장해가 발생하지 않을 것으로 판단된다.

Chl-*a*의 경우 대부분 유입수에 비해서 유출수에서 농도가 낮아졌다. 본 연구에 이용된 휴경지는 수심이 낮고 유속이 늦어 Chl-*a*가 높아질 수 있는 조건임에도 불구하고 10.88 mg/m³에서 5.05 mg/m³로 낮아진 것은 고사된 조류가 침전 · 제거될 뿐만 아니라 수생식물에 의해 햇빛이 차단되어 광합성에 의한 조류생산이 제한되었기 때문이라 사료된다.

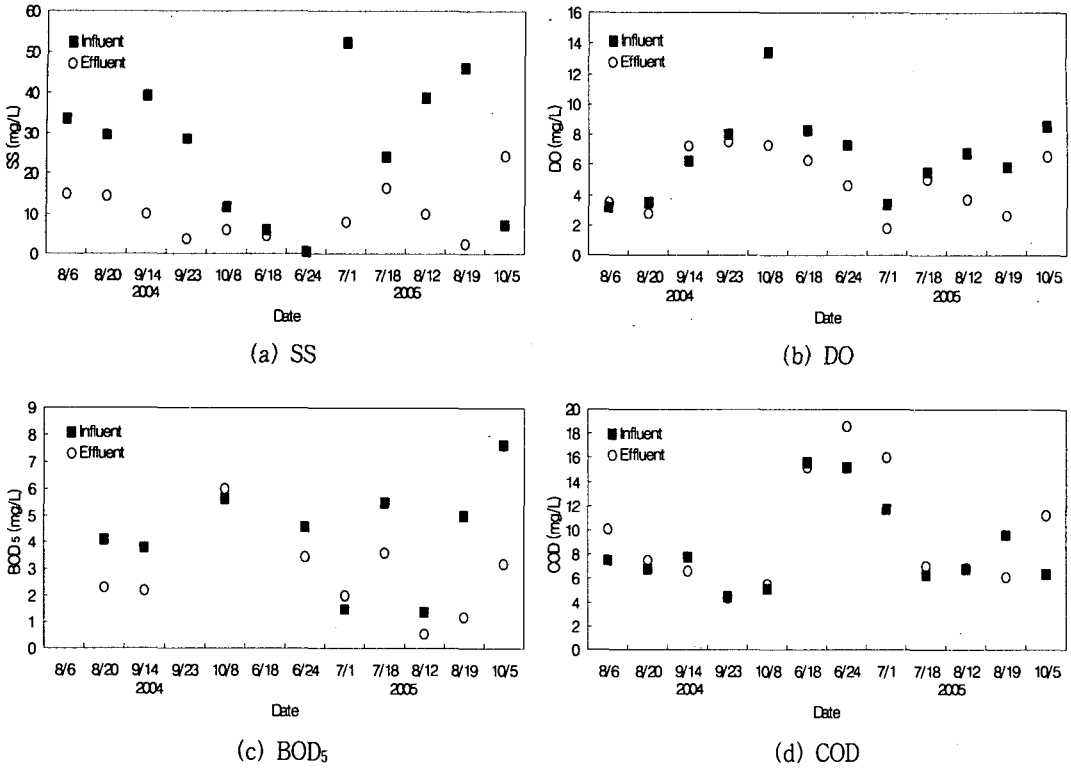
Fig. 2는 시험포 유입과 유출수의 수온, pH, EC, Chl-*a*의 변화를 나타낸 것이고, Table 2는 이러한 각 항목의 평균, 최대 · 최소, 표준편차, 변동계수를 정리한 것이다.

나. SS, DO, BOD_5, COD

유입수의 SS농도는 0.4~52.4 mg/L, 평균 26.4 mg/L로서 호소의 농업용수 수질기준인 15.0 mg/L를 초과하는 경우도 있었다. 유출수는 0.4~24.4 mg/L, 평균 9.6 mg/L로 크게 낮아졌으며, 대부분 15.0 mg/L 이하를 나타내 농업용수 수질기준을 만족하였다. SS제거량을 살펴보면 유입량이 80.6 m³/d이므로 유입된 총량은 325.7 kg-SS이고 유출된 총량은 118.2 kg-SS이 된다. 제거율은 26%~94%로 평균 57%를 보이고 있으며 총제거량은 207.5 kg-SS이다. 7월과 8월 유입수와 유출수의 SS가 다소 높은 이유는 강우발생으로 인해 유입부의 SS 농도가 높아진 것으로 판단된다. 이와 같이 유입수가 다양한 수심을 갖는 휴경지를 통과하면서 중력에 의한 침전, 수생식물과의 접촉침전 등에 의하여 SS의 높은 제거율을 보였다. 따라서 휴경지에 웅덩이, 여울 등을 조성하여 다양한 수심을 갖도록 하고 물을 흘려보낸다면 수질개선효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

DO는 유입수가 3.2~13.4 mg/L, 평균 7.2 mg/L로서 농업용수 수질기준인 2 mg/L 이상을 만족하였고, 유출수도 1.8~7.5 mg/L, 평균 5.7 mg/L로서 농업용수 수질기준을 만족하였다. 대부분 유입수에 비해 유출수의 농도가 낮아졌는데, 이는 식물이 뿌리를 통하여 용존산소를 흡수하거나 미생물이 오염물질을 분해하는데 산소를 소비했기 때문으로 판단된다.

유입수의 BOD_5는 1.4~7.6 mg/L, 평균 5.4 mg/L였는데, 유출수는 0.6~6.0 mg/L, 평균 3.5 mg/L로 낮아져 BOD_5제거효과가 있는 것으로 나타났다. 또한 유출수와 유입수 모두 농업용수 수질기준인 8.0 mg/L를 만족하였다. 조사기간 중 BOD는 총 53.4 kg-BOD가 유입되고, 총 33.6 kg-BOD가 유출되었으므로 19.8 kg-BOD가 제거되었다. 이는 유기물이 SS성분과 함께 침전되고 미생물에 의해서 분해되었기 때문이다. 수중식물 줄기나 잎, 침전물에 호기성 미생물이 부착되어 형성된 엷은 미생물막(microbial film)과 유기물이 반응하여 BOD가 제거된다 (Brix, 1993). 2004년 10월과 2005년 7



(a) SS (b) DO

(c) BOD_5 (d) COD

Fig. 3 SS, DO, BOD_5, and COD of influent and effluent

월의 BOD 제거율이 다소 떨어진 것은 강우발생으로 인하여 형성된 미생물막이 교란되어 미생물막의 작용이 원활하게 이루어지지 않았기 때문이라 사료된다.

유입수의 COD는 4.5~15.6 mg/L, 평균 6.8 mg/L였는데, 유출수는 4.4~10.1 mg/L, 평균 6.8 mg/L로 나타나 수치적으로는 제거가 되지 않는 것으로 분석되었다.

Fig. 3은 유입과 유출수의 SS, DO, BOD_5, COD 변화를 나타낸 것이고, Table 3은 분석결과에 대한 평균, 표준편차 등의 통계분석을 정리한 것이다.

Table 3 Analysis of SS, DO, BOD_5, and COD

		SS (mg/L)	DO (mg/L)	BOD_5 (mg/L)	COD (mg/L)
Influent		26.4	7.2	5.4	6.8
Effluent	Mean	9.6	5.7	3.5	6.8
	Max.	24.4	7.5	6.0	10.1
	Min.	0.4	1.8	0.6	4.4
	Standard deviation	44.5	2.3	2.2	2.2
	Coefficient of variation	464.1	40.8	61.9	31.8

다. TN

조사기간 중 유입수의 TN 농도는 1.71~5.40 mg/L, 평균 3.18 mg/L였는데, 유출수는 0.24~4.22 mg/L, 평균 1.28 mg/L로 낮아졌다. 유입수와 유출수가 대부분 농업용수 수질기준인 1.0 mg/L를 상회하지만 휴경지를 통과하면서 TN이 제거되는 것으로 나타났다. 시험기간 중 TN은 39.3 kg-TN이 유입되고 15.8 kg-TN이 유출되었으며 평균 60.4%의 제거율을 보이고 있다. TN의 제거는 식물에 의한 흡수보다 질산화와 탈질화가 중요한 역

Table 4 Changes of NH_4-N, NO_3-N, NO_2-N and TN

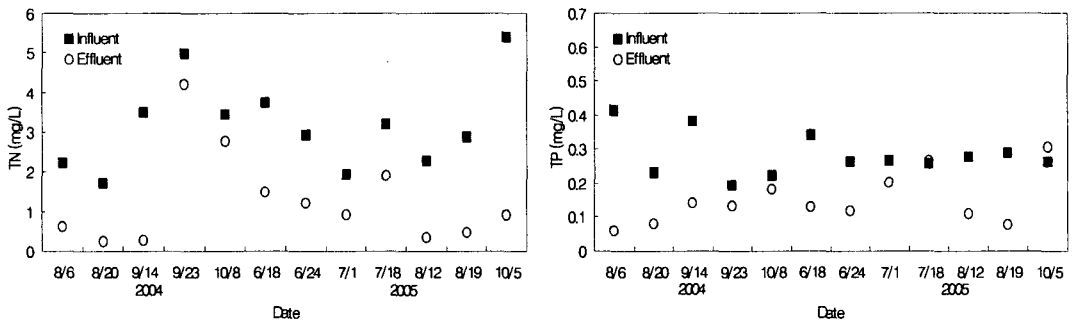
(unit: mg/L)

Classification		2004					2005						Ave.
		8/6	8/20	9/14	9/23	10/8	6/18	6/24	7/1	7/18	8/12	8/19	10/5	
NH_4-N	Influent	0.85	0.27	0.55	0.03	0.27	0.71	0.10	0.03	0.26	0.25	0.51	0.18	0.33
	Effluent	0.07	0.08	0.09	0.22	0.08	0.07	0.06	0.02	0.10	0.18	0.13	0.09	0.10
NO_3-N	Influent	0.73	1.32	2.06	6.80	2.31	1.99	1.37	0.40	2.73	1.56	1.77	3.57	2.22
	Effluent	<	0.32	0.14	5.72	2.10	1.92	0.06	<	0.08	<	0.16	0.23	0.98
NO_2-N	Influent	0.08	0.14	0.07	<	0.05	0.25	0.36	0.11	0.10	0.09	0.07	0.05	0.11
	Effluent	0.01	<	<	<	0.04	0.30	0.01	<	<	<	<	<	0.03
TN	Influent	2.23	1.71	3.49	4.96	3.44	3.75	2.92	1.93	3.21	2.29	2.87	5.40	3.18
	Effluent	0.62	0.24	0.28	4.22	2.79	1.48	1.22	0.93	1.90	0.34	0.46	0.92	1.28

할을 한다. 온도가 낮아 미생물의 활동이 저하되면 질산화와 탈질화의 정도가 낮아진다. 유입수의 유기태 질소(organic N)가 호기성 미생물에 의한 질산화 (nitrification)작용으로 질산태 질소(NO_3-N)로 전환되며, 질산태 질소는 혐기상태인 습지의 토양으로 확산되어 혐기성 미생물에 의하여 탈질화(denitrification)가 일어나면서 질소(N_2)와 아산화질소(N_2O)로 전환되어 이들이 대기중으로 이동하여 질소가 제거된다 (Yang et al, 2001). 여울부분은 수심이 얕기 때문에 DO에서 살펴본 바와 같이 재폭기에 의해 호기성상태를 유지하여 질산화되고, 웅덩이 부분의 바닥은 혐기성 상태가 유지되어 탈질이 이루어짐으로서 TN이 제거된 것이다. 또한 호기성 및 혐기성에 의해 유기질소가 무기태의 형태로 전환되어 수생식물이 이를 영양분으로 흡수·제거한 것도 질소제거에 기여한 것으로 판단된다 (Fig. 4). 수생식물이 무기태 형태인 NH_4-N, NO_2-N, N_3-N을 흡수·제거하고 있다는 것은 Table 4에서 무기태 성분이 유입수에 비해 유출수에서 낮아진 것으로부터 확인할 수 있다. 특히 NO_2-N의 경우, 유입수와 비교해서 유출수에서는 거의 검출되지 않는 것으로 봐서 수질정화효과가 크다는 것을 확인할 수 있다.

라. TP

유입수의 TP 농도는 0.19~0.41 mg/L, 평균



(a) TN (b) TP

Fig. 4 TN and TP of influent and effluent

Table 5 Changes of PO_4-P and TP

(unit: mg/L)

Classification		2004					2005						Ave.
		8/6	8/20	9/14	9/23	10/8	6/18	6/24	7/1	7/18	8/12	8/19	10/5	
PO_4-P	Influent	0.33	0.16	0.25	0.14	0.14	-	0.04	-	0.17	0.21	0.25	0.11	0.18
	Effluent	0.01	0.03	0.02	0.12	0.13	-	<	-	0.08	0.10	0.04	0.13	0.07
TP	Influent	0.41	0.23	0.38	0.19	0.22	0.34	0.26	0.27	0.26	0.28	0.29	0.26	0.28
	Effluent	0.06	0.08	0.14	0.13	0.18	0.13	0.12	0.20	0.27	0.11	0.08	0.31	0.15

0.28 mg/L였는데, 유출수는 대부분 이 보다 낮아져 0.06~0.31 mg/L, 평균 0.15 mg/L로 나타났으며 평균 처리효율은 48.4%를 나타냈다. 조사기간 중 TP는 총 3.5 kg-TP가 유입되고 1.9 kg-TP가 유출되어 총 1.6 kg-TP가 제거되었다. 습지 내에서 인은 이온과 결합한 인산염(Ca-phosphate, Fe-phosphate, Al-phosphate)의 상태로 침전되며, 습지식물에 의해 일부는 흡수된다 (Pant et al, 2001). 또한 유기물의 침전과 죽은 식물의 잔재물이 침전되어 형성된 습지바닥의 침전 잔재물 층(sediment-litter layer)에 흡착되어 95%이상이 존재한다 (Faulker et al, 1989). 이와 같이 TP가 제거된 것은 부유물질에 잘 부착되는 무기태 인이 SS 성분과 함께 침전되었을 뿐만 아니라 무기태의 형태로 수생식물에 흡수되었기 때문이다. 이는 유입수 중의 PO_4-P 농도가 0.18 mg/L였는데 유출수에서는 0.07 mg/L로 낮아진 것으로부터 확인할 수 있다(Fig. 4, Table 5).

이상과 같이 다양한 수심을 갖는 휴경지에서 공공수역의 부영양화를 일으키는 원인물질인 질소와 인이 제거됨으로서 농업용수의 부영양화에 의한 녹조현상을 방지하는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 휴경지에서 SS 성분과 함께 침전된 무기태 영양물질은 휴경지를 재경작할 경우 비료성분으로 작용하게 되므로 휴경지를 수질개선을 위한 공간으로 적극 활용한다면 수질개선뿐만 아니라 토양의 비옥도도 높일 수 있을 것으로 기대된다.

Table 6은 N과 P의 변화특성을 평균, 최대·최소, 표준편차, 변동계수로 나타낸 것이다.

3. 토양특성

여울과 웅덩이에서의 토양특성을 살펴보기 위하여 토양시료를 채취하여 물리·화학성을 분석하였

Table 6 Analysis of nitrogen and phosphorus

		TN (mg/L)	NO_2-N (mg/L)	NO_3-N (mg/L)	NH_4-N (mg/L)	TP (mg/L)	PO_4-P (mg/L)
Influent		3.29	0.08	2.53	0.44	0.32	0.21
Effluent	Mean	1.63	0.01	1.66	0.11	0.12	0.06
	Max.	4.22	0.04	5.72	0.22	0.18	0.13
	Min.	0.24	0.00	0.00	0.07	0.06	0.01
	Standard deviation	1.79	0.02	2.42	0.06	0.05	0.06
	Coefficient of variation	109.73	210.55	146.47	60.21	40.16	93.32

Table 7 Physical characteristics of soil

Classification		Mechanical analysis			
		Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Texture
Before	Soil	32.3	61.7	6.0	Silty Loam
After	Shallow pool	15.0	79.0	6.0	Silty Loam
	Shallow	16.0	78.0	6.0	Silty Loam

다. 토성은 여울과 웅덩이가 조성되기 전인 2004년 4월에는 Sand, Silt, Clay 함량이 각각 32.3%, 61.7%, 6.0%로서 Silty Loam으로 분류되었다. 웅덩이와 여울이 조성되어 운영된 후 11월의 토성은 Sand, Silt, Clay 함량이 웅덩이에서 15.0%, 79.0%, 6.0%로 나타났고 여울에서는 16.0%, 78.0%, 6.0%로 분석되어 Silt가 대부분인 Silty Loam을 나타내 큰 변화가 없었다(Table 7). 2004년 4월보다는 11월에 웅덩이와 여울의 Silt 성분비율이 높아졌는데 이는 유기물성분이 침전되었기 때문으로 판단된다.

토양의 화학성은 pH의 경우 4월에는 6.7이었고, 11월에는 웅덩이에서 4.9, 여울에서는 5.4로서 큰 변화는 아니지만 시간이 지남에 따라 산성화되는 경향을 보였다. 유기물의 경우 4월에는 0.40%였는데, 11월에는 0.77%와 0.60%로 높아졌는데, 이는 용수 중의 유기물이 SS성분과 함께 침전되었기 때문이다. 유효인산은 4월에 23.40 ppm이었는데, 11월에는 46.0 ppm과 27.48 ppm으로 낮아졌다. 또한 TN과 TP도 각각 677.80 ㎎/㎏과 399.20 ppm에서 웅덩이의 경우는 523.39 ㎎/㎏과 383.92 ppm으로 낮아졌고 여울의 경우는 235.89 ㎎/㎏과 332.65 ppm으로 낮아졌다. 양이온치환용량(CEC)의 경우는 조성 전 6.70 me/100g에서 조성 후 웅덩이와 여울에서 각각 8.80 me/100g와 9.15 me/100g로 높아졌으나 EC의 경우는 0.40 dS/m에서 0.23 dS/m와 0.10 dS/m로 낮아졌다(Table 8). 이와 같이 토양 중의 영양염류가 감소된 원인은 비료의 공급이 없는 상태에서 수생식물에 의해 흡수 · 제거되었기 때문인 것으로 판단된다.

Ⅳ. 결 론

쌀생산조정제 실시로 인해 휴경논이 증가하고 있지만 향후 휴경지를 다시 경작논으로 전환할 경우 발생할 수 있는 문제점에 대한 연구는 지속적으로 이루어지고 있지 못한 실정이다. 본 연구에서는 휴경논의 적절한 관리와 이러한 관리를 통해서 얻을 수 있는 휴경논의 수질정화기능에 대한 연구를 실시하였다.

휴경지에 웅덩이와 여울을 조성하여 다양한 수심을 갖도록 하였으며 수질정화기능을 높이도록 하였고 담수를 통해 잡풀 및 관목류 생장에 의한 농경지의 황폐화를 방지할 수 있도록 하였다. 조사는 2004년 8월부터 2005년 10월까지 주로 관개기에 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

조사기간 중 수온, pH, EC, DO는 유입수와 유출수 사이에 큰 차이가 없었으며 모두 농업용수 수

Table 8 Chemical characteristics of soil

Classification		pH (1:5)	Organic matter (%)	Available phosphoric acid (ppm)	TN (㎎/㎏)	TP (ppm)	EC (dS/m (1:5))	CEC (me/100g)
Before	Soil	6.7	0.40	23.40	677.80	399.20	0.40	6.70
After	Shallow pool	4.9	0.77	46.00	523.39	383.92	0.23	8.80
	Shallow	5.4	0.60	27.48	235.89	332.65	0.10	9.15

질기준에 적합한 것으로 분석되었다. 유입수의 SS 농도는 평균 26.4 ㎎/L이었으나 유출수는 평균 9.6 ㎎/L로 크게 낮아졌으며, BOD도 평균 4.3 ㎎/L에서 평균 2.7 ㎎/L로 높은 제거율을 보였다. 이는 휴경논을 관리함으로서 부수적으로 수질정화의 기능을 할 수 있음을 시사하는 것으로 판단한다.

조사기간 중 유입수의 TN농도는 평균 3.2 ㎎/L였는데, 유출수는 평균 1.3 ㎎/L로 낮아졌고, TP도 평균 0.3 ㎎/L에서 평균 0.2 ㎎/L로 낮아졌다. Chl-a의 경우 대부분 유입수에 비해서 유출수에서 농도가 낮아졌다.

웅덩이와 여울이 조성된 휴경논을 대상으로 식물상 조사를 실시하였으며 25~30%의 낮은 피도를 나타내고 있다. 이는 봄부터 담수상태를 유지하여 식물의 성장이 억제되었기 때문으로 판단된다. 휴경논을 관리하지 않을 경우 많은 식생이 생장하는 것과 비교하였을 때, 휴경논의 황폐화를 방지하는데 많은 도움을 주며 이는 휴경논을 재경작할 경우 많은 도움을 줄 것이라 판단한다.

웅덩이와 여울을 조성하여 관리하는 휴경논을 통해서 공공수역의 부영양화를 일으키는 원인물질인 질소와 인이 제거됨으로서 부영양화에 의한 녹조현상이 방지될 수 있을 것으로 판단된다. 또한 휴경지에서 SS 성분과 함께 침전된 무기태 영양물질은 휴경논을 재경작할 경우 비료성분으로 작용하게 되므로 쌀생산에 많은 도움이 될 것으로 판단한다. 이와 같이 휴경논을 관리하고 적극 활용한다면 농경지의 황폐화를 방지하고, 수질개선 뿐만 아니라 토양의 비옥도도 높일 수 있을 것으로 기대된다.

References

1. APHA, 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (20th ed.). American Public Health Association, Washington (in English).
2. Brix, H., 1993. Wastewater treatment in constructed wetlands: system design, remo val processes, and treatment performance. In: Moshiri, G. A. (Ed.), Constructed Wetlands of water Quality Improvement Lewis publi-shers, Boca Raton, FL: pp. 9-22. (in English)
3. Bruce E. Rittmann and Perry L. McCarty, 1999. ***Environmental Biotechnology***: Principles and Applications, McGraw-Hill. (in English)
4. Faulker, S. P. and C. J. Richardson, 1989. Physical and Chemical Characteristics of Freshwater Wetland Soils in Hammer, D. A. (ed.). Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial and Agri-cultural, Lewis Publishers, Inc., Chelsea, Michigan : pp. 41-72. (in English)
5. Kim, Hyung Jung, Sun Joo Kim, Phil Shik Kim and Yeul An, 2006. A Study on the Water Quality Management in Fallow Paddy Fields, ***Korean Journal of Agricultural Engi-neering*** (in pressed). (in Korean)
6. Kim, Sae Geun, Kee Kyung Kang, Myung Chul Seo, Hong-Bae Yun and Pil Kyun Jung, 2004. Ecological traits and environ-mental externalities of abandoned land, National Institute of Agricultural Science & Technology: pp. 554-553. (in Korean)
7. Kwon, Oh Do, Yong In Kuk and Sang Uk Chon, 2003. Weed Occurrence and Growth and Yield of Rice Influenced by Re-cultivation of Fallow Paddy Field, ***Korean Journal of Weed Science***, Vol. 23(3): pp. 248-256. (in Korean)
8. Pant, H. K., K. R. Reddy and E. Lemon, 2001. Phosphorous retention capacity of root bed media of sub-surface flow constructed wetlands, ***Ecological Engineering*** Vol. 17: pp. 345-355. (in English)
9. Yang, L., H. T. Chang and M. L. Huang, 2001. Nutrient removal in gravel- and soil -based wetland microcosms with and with-out vegetation, ***Ecological Engineering*** Vol. 18:

pp. 91-105. (in English)
10. Yu, Jin Chae and Hee Chan Lee, 2003. Valuing the Multifunctionality Roles of Less-Favored Agriculture and Rural Areas in Korea, *Korean Journal of Agricultural Economics*, Vol. 44(1): pp. 111-130. (in Korean)