

정화논에 의한 벼 친환경재배단지 발생 영양염류 저감효과

고지연* · 이재생 · 우관식 · 서명철 · 강종래 · 송석보 · 오병근 · 정기열 · 윤을수 · 최경진 · 남민희 · 이영한¹

국립식량과학원 기능성작물부, ¹경상남도농업기술원 친환경연구과

Effects of Purifying Rice Paddy in Reducing Nutrient Loadings from Rice Paddy fields area using Free Range Ducks and Rice Bran

Jee-Yeon Ko*, Jae-Saeng Lee, Koan-Sik Woo, Myung-Chul Seo, Jong-Rae Kang, Seok-Bo Song, Byeong-Gun Oh, Ki-Yeol Jung, Eul-Soo Yun, Kyung-Jin Choi, Min-Hee Nam, and Young-Han Lee¹

RDA, National Institute of Crop Science, Department of Functional Crops, 627-803.

¹Gyeongsangnam-do Agricultural Research and Extension Services, 660-3703.

To manage the effluent nutrients amounts from rice paddy fields using free range ducks or rice bran, we evaluated the effects of a purifying paddy field which is no fertilizer, no pesticides, and dense rice seedling having a concept of constructed wetland. The experimental paddy field was located at downstream in the watershed of ducks using rice culture area in Milyang. The purifying paddy of land design were treated with seeding method, and vegetation type. As land design, direct seeding on plane, and direct seeding on high-ridge field in 2007. Planting rice only, and planting rice with water hyacinth were treated as vegetation type in purifying paddy in 2008. The purifying paddy fields were effective to reduce amount of T-N and T-P contents in effluent to 33.2~45.3%, and 53.1~55.4%, respectively. The direct seeding on high-ridge treatment, having long residence time of effluent water was more effective than plane plot as T-N $0.29 \text{ g}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, and T-P $0.031 \text{ g}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. The planting rice with water hyacinth treatment was effective than planting rice only as T-N $0.23 \text{ g}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, and T-P $0.049 \text{ g}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. The optimum area of purifying paddy field to treats all effluent were found out 3.2 ~ 4.7% of rice culture area using free range ducks, and rice bran at upper stream.

Key words: Rice paddy fields, Nutrients loading, Purifying effects, Free-range ducks, Rice bran

서 언

오리농법, 쌀겨농법과 같이 민간에서 실천되고 있는 벼 친환경농법은 1970년대부터 선도농가를 중심으로 안전한 먹거리를 생산하여 고품질의 가격 경쟁력 있는 농산물을 생산하고자 자생적으로 발전하여 왔다. 최근 국민경제의 발전으로 웰빙 농산물 요구 및 환경보전의 중요성 증대로 친환경농업과 유기농업의 도입면적이 2000년 2.2천 ha에서 2006년 69.8 천 ha로 점차 확산되고 있다.

그중 오리이용 벼 재배방법과 쌀겨이용 벼 재배방법은 재배면적이 5,013 ha (2006)와 6,765 ha (2006)에 이르는 대표적인 벼 친환경농법이다. 오리이용 벼 재배방법의 경우 잡초 방제가가 65~92%에 이르고, 오리의 포식에 의한 벼 물바구미 및 멸구류 방제 등의 병해충관

리 및 오리분에 의한 영양공급으로 시비량을 50% 저감할 수 있는 것으로 보고되고 있다. 쌀겨이용 벼 재배방법도 쌀겨의 분해과정 중 발생하는 유기산 및 눈물 중 용존산소의 결핍으로 32~56%의 잡초발생이 억제되고, 200 kg 10^{-1} 을 포장에 살포할 경우 쌀겨 내 함유된 영양성분에 의하여 시비량을 70% 저감할 수 있는 것으로 나타났다 (Park, 2007; RDA, 2004).

하지만 오리, 쌀겨와 같은 외부 농자재의 다량 투입으로 이뤄지는 친환경농법은 생산되는 벼 자체는 친환경농작물이지만, 이러한 재배방법이 주변 환경에 미치는 영향에 대해서는 과학적인 고찰과 평가가 필요한 것으로 알려져 있다. Yun and Hwang에 의하면 오리 이용 벼 재배시 발생하는 오리분의 양이 $159.9 \text{ kg}^{-1} 10\text{a}^{-1}$ 60일에 이른다고 하였는데 (1998), 이 오리분속에 포함되어 있는 N, P, K량은 표준시비량 ($\text{N}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{K}_2\text{O}=9-4.5-5.7$)의 63%, 94%, 32%에 해당되므로 오리분이 주변 수계로 유출될 경우 비점오염원으로 작용할 수 있다. 또한 쌀겨농법 역시 제초를 목적으로 200 kg 10a^{-1} 의 쌀

접수 : 2010. 2. 16 수리 : 2010. 3. 11

*연락처 : Phone: +82553501133

E-mail: kjeeyeon@rda.go.kr

겨를 일시에 논 표면에 살포할 경우 쌀겨 속에 질소 4 kg, 인산 7.6 kg, 칼리 2.9 kg에 해당되는 영양염류가 포함되어 있으므로, 수질 부영양화의 중요한 제한인자인 인산염이 공공수계로 배출될 가능성이 있다 (Choi, 2007; Park, 2007).

현재 우리나라 수질정책의 중점방향은 오염총량제가 도입되고, 공장, 축사와 같은 점오염원에 대한 관리가 어느 정도 마무리됨에 따라 도시노면 및 농업활동과 같은 비점오염원관리로 전환되고 있어, 점오염원에 비해 농업과 같은 오염부하가 덜 뚜렷한 행동들의 축적에 의한 오염에 대해서도 환경영향평가의 필요성이 증대하고 있다. 농업이나 도시의 노면과 같은 비점오염원에 의해 발생하는 오염물질 및 과잉영양염류는 발생원의 특성에 따라 정화의 강도 등 방법을 수립해야 하는데, 농업지대는 농도는 낮지만 발생량은 많은 특성을 지니고 있어 배출수를 이동시켜 집중적인 일괄처리를 하는 것 보다 발생한 농업생태계내에서 정화를 하는 것이 효율적으로 알려져 있으며, 이를 위해서는 단지 및 소유역별로 관리할 수 있는 관리방법의 개발이 요구된다 (Ham et al., 2005; Yun et al., 2004).

최근 농업지대 소유역에서 수질정화의 방법으로 대두되고 있는 자연 혹은 인공습지를 이용하는 관리방법은 수질 중 질소, 인산 등의 영양염류, 부유물질, 병원성 미생물 등의 오염원 제거가 가능하고 환경생태학적으로도 다양한 생물의 터전이 되며, 최소한의 관리와 에너지 투입으로 자가유지 할 수 있으므로 기존의 처리방법으로

는 처리하기 힘든 넓은 지역의 비점원 오염처리에 적합하다는 장점을 가지고 있다 (Choi and Kwon, 2002; Ham et al., 2005; Jang et al., 2000; Ko et al., 2003).

따라서, 본 시험은 친환경농법 재배단지 주변 수질 환경의 보전대책을 수립하고자, 벼 친환경 재배단지에서 발생하는 영양염류의 부하량을 평가하고, 재배단지 배출수내 영양염류의 공공수계로의 부하를 관리하기 위한 방법으로 재배단지 말단에 위치한 논을 인공습지와 유사한 정화논으로 조성하여 수질 정화효율을 평가하였다.

재료 및 방법

정화논이 조성된 시험장소는 밀양 하남에 위치한 면적 20ha의 친환경농업단지의 말단논으로 위치는 Fig. 1과 같다. 상부에 위치한 친환경농업재배단지는 2007년에는 오리이용 벼 재배농업을, 2008년은 쌀겨이용 벼 재배농업을 수행하였다.

정화논의 제거효율을 증진시키고자 오리이용 벼 재배가 수행된 2007년에는 평면건답직파와 휴립건답직파로 정화논의 파종방법을 달리하였다. 휴립건답 처리시 휴립은 60×90 cm 로 높게 하고 고랑을 연결하여 논입구에서 들어온 재배단지 배출수가 고랑을 따라 흘러 나갈 수 있도록 조성하였다. 정화논의 재배방법은 Table 1과 같이 무농약 무비에 종자량은 3배 처리하여 재식밀도를 높이고 모터펌프를 이용해 벼 재배기간 중 지속적으로 관개하였다. 공시품종은 biomass 량이 많은 한아름벼를 사용하였다.

쌀겨이용 벼 재배가 수행된 2008년에는 정화논의 수생식물 조합을 달리하여 벼와 벼+부유성 수생식물 (부레옥잠, 1개 m⁻²)으로 처리하였다. 조성방법은 고랑에 부레옥잠을 식재하고자 고랑의 너비를 2007년 보다 10cm 넓게 하였고, 공시품종은 총체벼인 녹양벼를 이용하였다. 고랑의 너비를 제외하고는 정화논의 재배방법은 2007년과 동일하였다.

조성된 정화논의 습지 디자인적 요소를 살펴보면 (Table 2) 수심 5~23cm, 체류시간 5~10 hr, 유입유량 319 ~ 325 m⁻³ day⁻¹ 10a⁻¹ 이며, 수온은 유사하였다.

처리방법별로 정화논 정화효율을 평가하기 위하여 주 1회 정화논 유입수, 유출수, 침투수의 수질 및 수량을



Fig. 1. Site map of experiment area. (Black: purifying paddy field, Grey: rice paddy fields using free range ducks or bran, Arrow: effluent channel).

Table 1. Cultivation method of purifying rice paddy field.

Amount of seeding	Irrigation method	Fertilizer and pesticide
15 kg 10a ⁻¹	- Irrigation by motor pump - Continuous irrigation and flooding after 3-leaf seedling	No fertilizer and pesticide application

Table 2. Wetland design factors of purifying rice paddy field.

Year	Treatments		Area	Water depth	Water temperature †	Residence time of water	Amount of irrigation water
	Seeding method	Vegetation					
'07	Direct seeding on plane	Rice	300	11 (5~19)	22.7	5~10	325 (170~627)
	Direct seeding on high-ridge			15 (8~23)	23.0		
'08	Direct seeding on high-ridge	Rice	300	15 (8~23)	25.2	7~9	319 (113~500)
		Rice with water hyacinth					

† Average value of 3 points in treatments

조사하였고, 정화논의 적정운영 면적을 계산하기 위하여 친환경재배단지 전체로부터 배출수량을 측정하였다. 전체 배출수량은 정화논으로부터 3 m 떨어진 지점의 배출수로에 적외선 센서를 이용하여 매 1분마다 수위를 측정하고, 정화논 운영기간 중 유속을 8~12회 측정하여 수위-유속 곡선을 작성하여 전 기간의 수위와 유속을 구하여 유출수량을 계산하였다 (Fig. 2, 3). 또한 정화논의 벼 바이오매스 생산량을 알아보고자 처리방법별 벼 생육상황 및 수량도 조사하였다.

결과 및 고찰

쌀겨 및 오리이용 벼 재배단지 유입수, 논물 및 단지 배출수 화학성 변화 그림 4와 5는 정화논의 상부에 위치한 벼 친환경 재배단지의 유입수, 유출수 및 단지내 논물중 EC, T-N, T-P 함량변화를 나타낸 것이다. 모든 성분이 단지유입수에 비하여 논물 및 단지 배출수에서 증가하였고, Fig. 4와 5에서 쌀겨 및 오리이용 벼 재배논의 논물은 모두 배출수 농도에 비해 논물의 EC

함량이 더 낮았지만, T-N과 T-P와 같은 영양염류는 배출수에 비하여 논물의 농도가 높은 경향이였다. 벼 재배 방법별로는 오리이용 벼 재배의 경우 논물 중 T-N 함량이 지속적으로 높은 편이였고, 쌀겨 이용 벼 재배논은 쌀겨가 사용된 생육초기에 T-P 농도가 높았고 이것이 단지 배출수에도 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이와 같은 경향은 Choi (2008)가 쌀겨 투입량별 논물화학성을 조사한 결과 쌀겨 사용 후 25~32일까지 관행처리에 비하여 쌀겨 사용구에서 EC, NH₄⁺, NO₃⁻, T-P 등이 증가하였다고 보고한 것과 같은 경향이였다.

수질 중 무기염류의 총합을 나타내는 EC의 수준이 2007년 오리이용 농법에 비하여 2008년 쌀겨 이용 농법에서 유입수, 논물 및 유출수에서 전체적으로 높았던 것은 강우량이 2007년 벼 재배기간 중 712 mm이었음에 비하여 2008년에는 449 mm로 매우 줄어든 것에 기인한다고 생각되었다.

정화논 조성방법별 논물 화학성 정화논 유입수와 배출수의 수질성분을 살펴보면, 정화논 배출수의 수질은

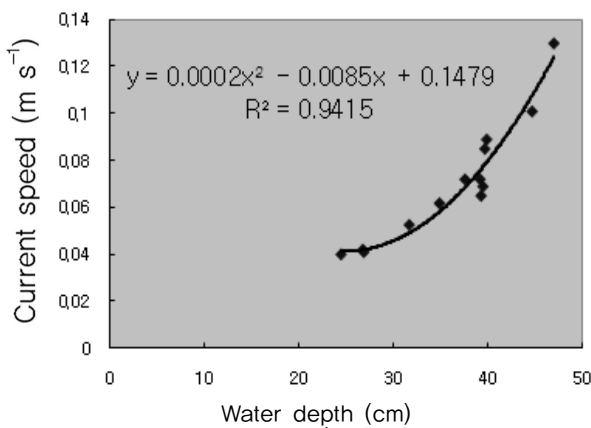


Fig. 2. Water depth and a current speed curve of effluent from rice paddy area using free range ducks ('07).

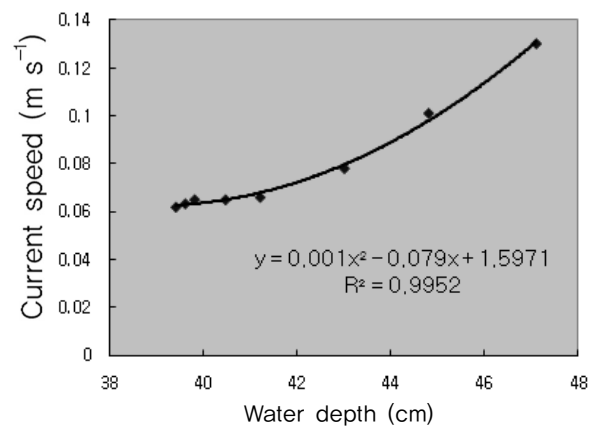


Fig. 3. Water depth and a current speed curve of effluent from rice paddy area using rice bran ('08).

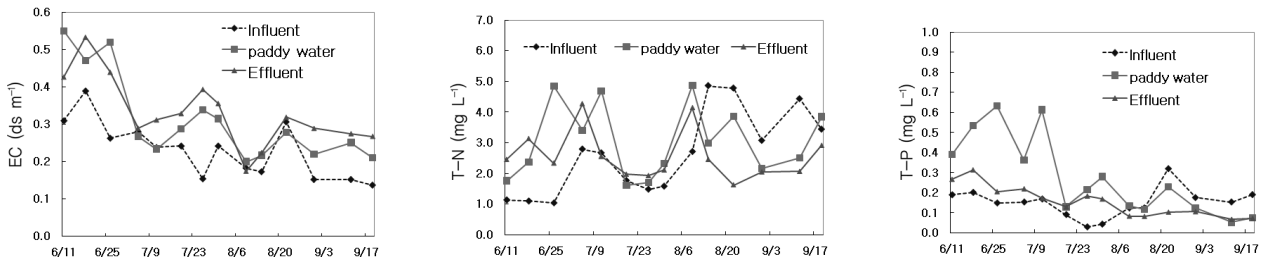


Fig. 4. Change of EC, T-N and T-P contents in influent, effluent, and rice paddy water of rice paddy fields using free range ducks ('07).

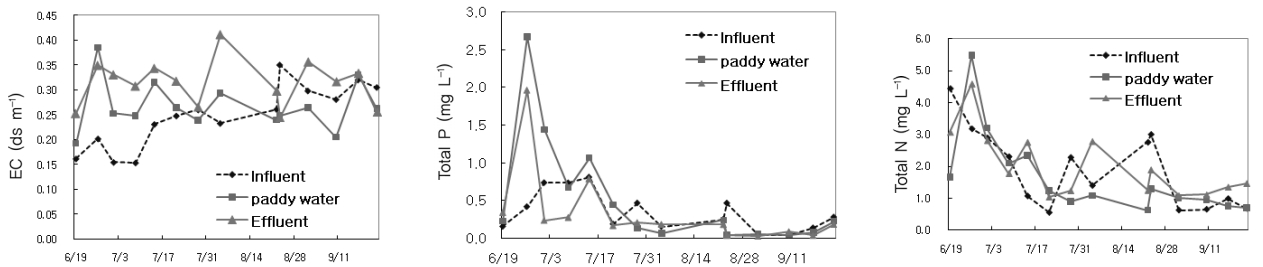


Fig. 5. Change of EC, T-N and T-P contents in influent, effluent, and rice paddy water of rice paddy fields using rice bran ('08).

유입수에 비하여 모든 성분에서 낮게 나타났으며 정지 방법별로는 휴립건담직파처리가 더 양호하였다(Table 3). 휴립건담직파구 배출수의 논물 화학성이 평면직파구 보다 낮았던 것은 논토양이 요철로 되어있어 표면적이 증대하여 유입수와 접촉하는 면적이 늘어났을 뿐 아니라, 유입수가 골을 따라 논의 상하를 왕복하며 흘렀기 때문에 정화논 내 체류시간이 증가하였기 때문으로 생각되었다.

수생식물별로는 고랑 사이 부레옥잠을 투입한 벼+부레옥잠의 처리시 벼 단독 처리구에 비하여 배출수의 수질이 양호하였다.

정화논 조성방법별 물수지 표 4와 5는 정화논의 조성방법별 물수지를 나타낸 것이다. 2007년 시험기간(6/1일~9/20일)중 물수지는 강우에 의한 유입량이 712

mm, 관개에 의한 유입량 38,972~40,563 mm 이었으며, 유출수량은 배출수 30,653~33,508 mm, 증발산 698 mm, 강하침투량 805~816 mm로 나타났다. 총유출수량이 총유입수량에 비해 약 17% 차이가 있었는데 이는 유출수량의 산정시 강하침투량만 측정하여 논두렁을 통한 침투량이 고려되지 않았기 때문으로 생각되었다.

수생식물별 정화논 처리가 이뤄진 2008년에는 정화논 시험기간 중 강우량이 평년에 비해 낮은 449 mm, 관개수량 28,585~30,053 mm, 지표배출수량 24,783~26,081 mm, 증발산 686mm, 침투량 1,114~1,250 mm로 나타났다. 또한, 논두렁을 통한 손실을 고려하였기 때문에 총 유출수량과 유입수량의 차이가 6%로 줄어들었다.

정화논의 영양염류 제거효과 정화논 관개원수내 영양염류의 총량과 배출수내 영양염류의 총량을 고려하

Table 3. Chemical contents of paddy field water by treatment of purifying rice paddy field. (Unit : mg L⁻¹)

Treatments		EC (dS m ⁻¹)	COD	T-N	T-P	NH ₄ -N	NO ₃ -N	PO ₄	K	Ca
Seeding method	Influent	0.33	12.8	2.53	0.17	0.32	0.91	0.10	7.6	29.2
	Direct seeding on plane	0.29	9.8	2.22	0.12	0.22	0.62	0.05	6.6	28.9
	Effluent Direct seeding on high-ridge	0.29	8.6	2.13	0.10	0.22	0.49	0.05	4.8	28.5
Vegetation	Influent	0.31	15.9	2.02	0.35	0.39	0.44	0.19	8.9	37.4
	Rice	0.30	14.1	1.45	0.22	0.31	0.27	0.11	7.2	36.3
	Effluent Rice with water hyacinth	0.29	11.9	1.27	0.18	0.26	0.30	0.10	6.6	35.4

Table 4. Water balance of purifying paddy field during operation period in 2007.

Seeding method	Amount of influent (mm)			Amount of effluent (mm)			
	Rainfall [†]	Irrigation	Total	Runoff	Evaporation [‡]	Infiltrate	Total
Direct seeding on plane	712	40,563	41,275	33,508	698	816	35,021
Direct seeding on high-ridge	712	38,972	39,684	30,653	698	805	32,156

[†]Rice cultivation period : 111 days (6/2~9/20)

[‡]Blaney-Criddle formular (Kim et al. 1984) : $U = \sum kP(45.7t+813)/100$ (U: amount of evaporation during rice growing period, k: crop index by rice growth stage, P: ratio of day time by rice growth stage to annual ady rime, t: average temperature by rice growth stage)

Table 5. Water balance of purifying paddy field during operation period in 2008.

Vegetation type	Amount of influent (mm)			Amount of effluent (mm)			
	Rainfall [†]	Irrigation	Total	Runoff	Evaporation [‡]	Infiltrate	Total
Rice	449	28,585	29,034	24,783	686	1,250	27,404
Rice with water hyacinth	449	30,053	30,502	26,081	686	1,114	28,566

[†]Rice cultivation period : 120 days (6/10~10/7)

[‡]Blaney-Criddle formular (Kim et al. 1984) : $U = \sum kP(45.7t+813)/100$ (U: amount of evaporation during rice growing period, k: crop index by rice growth stage, P: ratio of day time by rice growth stage to annual ady rime, t: average temperature by rice growth stage)

Table 6. The effects of nutrients removal efficiency of purifying paddy field.

Treatments	T-N				T-P				
	Loading amounts kg ha ^{-1†}		Removal amounts kg ha ^{-1‡}	Daily removal amounts g ⁻¹ m ⁻² day ^{-1j}	Loading amounts kg ha ⁻¹		Removal amounts kg ha ⁻¹	Daily removal amounts g ⁻¹ m ⁻² day ⁻¹	
	Influent	Effluent			Influent	Effluent			
Seeding method	Direct seeding on plane	1,016	744	272	0.25	68	40	27.2	0.025
	Direct seeding on high-ridge	976	652	324	0.29	65	30	34.5	0.031
Vegetation	Rice	577.4	358.6	218.8	0.18	100.1	54.5	45.6	0.038
	Rice with water hyacinth	607.1	332.1	275.0	0.23	105.2	47.0	58.2	0.049

[†]Loading amounts : amounts of influent (effluents) × average contents of influent (effluents)

[‡]Removal amounts : loading amounts of influent - loading amounts of effluents

^jDaily removal amounts : (loading amounts of influent - loading amounts of effluents)/ operating days (operating days: 120)

여 정화논의 영양염류 제거효과 및 제거량을 계산하였다 (Table 6). 정지방법별로는 휴립건답직파시 제거효율 및 일평균 제거량이 T-N 33.2%, 0.29 g⁻¹ m⁻² d⁻¹, T-P 53.1%, 0.031 g⁻¹ m⁻² d⁻¹ 로서 평면건답직파에 비해 효과적이었다. 수생식물 조합별로는 벼+부레옥잠처리시 제거효율 및 일평균 제거량이 T-N 45.3%, 0.23 g⁻¹ m⁻² d⁻¹, T-P 55.4%, 0.049 g⁻¹ m⁻² d⁻¹ 로 벼 단독 처리구에 비하여 효과적으로 나타났다 (Fig. 6).

정화논은 인공습지 유형에 따라 분류하자면 자유수면형 인공습지에 속하는데 자유수면형 인공습지는 지하수면형 인공습지에 비해 저농도 고수량의 배출수 처리에 더 적합한 습지로 알려져 있다 (Bavor, et al., 2001;

Ko et al., 2003)

미국북부의 자유수면형 인공습지 69개의 data base의 평균 T-N 및 T-P 처리효율과 일평균 제거량을 살펴보면 T-N 70.1%, 0.26 g⁻¹ m⁻² d⁻¹와 T-P 54.3%, 0.043 g⁻¹ m⁻² d⁻¹로서 본 시험의 결과보다 T-N의 처리효율이 높았으나 일평균 제거량은 유사하였다 (Moshiri, 1993). 이는 북미습지의 DB에 있는 습지들의 체류시간이 4~14 일 사이로 본 시험의 정화논보다 길었을 뿐 아니라 유입수의 양도 본 연구의 20% 수준으로 낮았기 때문으로 생각된다. 본 정화논의 체류시간과 유입수의 수질농도가 비교적 유사한 일본 산노가와에 있는 자유수면형 습지의 경우 T-N 및 T-P의 정화효율이 32%와 39%로 (Park,

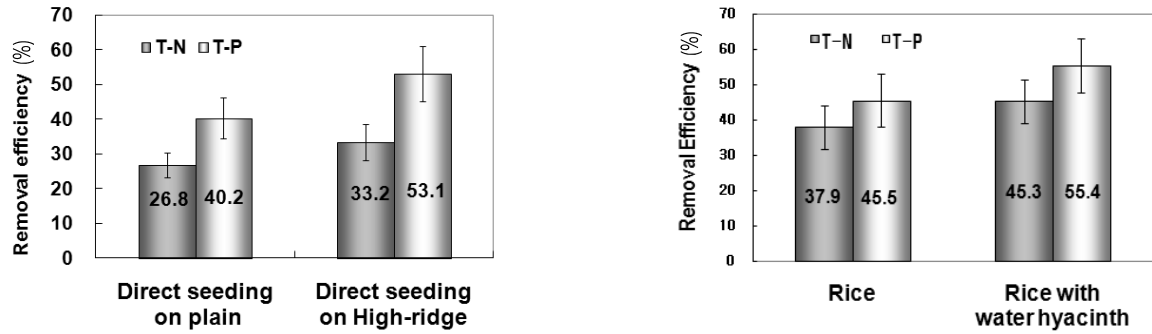


Fig. 6. Removal efficiency of purifying paddy fields by seeding methods and vegetation. (Removal efficiency : removal amounts/loading amounts of influent × 100).

2004a, 2004b), 본 시험결과와 유사하거나 조금 낮았는데, 이는 정화논의 경우 비에 의한 처리효율이 높은 하계기간 중 동안의 운영만 처리효율이 평가되었기 때문으로 생각된다. Park et al. (2000)은 마산저수지 (신정호)의 수질정화를 위하여 자유수면형 인공습지를 조성하여 처리효율과 일평균 제거량을 조사한 결과, T-N 14.1%, $0.34 \text{ g}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, T-P 20.1%, $0.05 \text{ g}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 로 나타나 본 연구에 비하여 처리효율은 낮으나 제거량은 더 많은 결과를 보고하였다.

이상의 결과를 볼 때 인공습지의 처리효율과 제거량은 서로 상반되는 경향을 나타내어 복미의 습지처럼 유입수량이 적으면 처리효율은 높아지나 제거량은 낮아지고, Park et al. (2000)이나 본 시험연구와 같이 유입수량이 많으면 처리효율은 떨어져도 전체적인 영양염류의 제거량은 많아짐을 알 수 있다. 따라서, 유입수의 농도는 높지 않으나 수량이 많아 전체적인 부하량이 증가하는 농경지로부터 발생하는 비점오염을 관리하기 위한 방법으로 자유수면형 인공습지인 정화논은 바람직한 방법이 될 수 있으며, 운영시에도 유입수량을 증대시켜 영양염류의 제거량을 높이는 것이 공공수역의 오염총량제를 고려할 때 더 효율적일 것으로 생각되었다.

배출수 영양염류 부하경감을 위한 정화논 적정면적

오리 및 쌀겨 이용 농업 재배단지의 배출수를 처리하기 위한 정화논 운영시 필요한 적정 면적을 알아보기 위하여 재배기간 중 단지에서 발생하는 배출수량을 측정하였다 (Table 7). 그 결과 2007년 오리이용 비 재배단지로부터의 배출수량은 585천 m^3 으로 나타났으며, 2008년 쌀겨 이용 비 재배단지의 배출수량은 299천 m^3 으로 나타났다.

총 배출수량의 70%를 정화시설이 처리할 수 있는 기대 수량으로 간주하고 (Choi et al, 2002; Jang et al., 2000) 정화논 적정 면적을 구하였다 (Table 8). 2007년 정화논이 처리해야 할 기대수량은 410천 m^3 이었으며 2007년의 정화논 처리효율과 같은 효율 (T-N 33%, T-P 53%)을 기대할 때 재배단지 배출수량을 처리하기 위한 적정 정화논 면적은 0.94 ha로 산출되었다. 이는 상부에 위치한 오리농법 재배단지 면적의 4.7%에 해당되고, 2008년 쌀겨이용 비 재배단지 배출수량으로부터 상기와 같은 방법으로 정화논 면적을 산출하면 0.64 ha로 쌀겨농법 재배단지 면적의 3.2%에 해당된다.

정화논 조성방법별 수확기 수량 및 토양화학적 정화논의 조성방법별 수확기 비 생육상황 및 건물량은 표

Table 7. Amounts of effluents from rice paddy area using free range ducks (2007) or bran (2008) during purifying paddy field operating.

Year, Month	Average water depth cm	Average current speed m s^{-1}	Amounts of flowing water 10^3 m^3	Year, Month	Average water depth cm	Average current speed m s^{-1}	Amounts of flowing water 10^3 m^3
'07. 6	29.5	0.078	11.9	'08. 6	29.5	0.066	123.0
'07. 7	29.2	0.089	156.2	'08. 7	22.9	0.033	37.9
'07. 8	35.6	0.126	303.5	'08. 8	28.6	0.048	73.4
'07. 9	32.1	0.099	113.8	'08. 9	26.4	0.043	58.8
Total	-	-	585.4	Total	-	-	299.1

9과 같다. 정지방법별 시험이 수행된 2007년에는 평면 건담직파가 생육이 양호하여 1.73 MT 10a⁻¹로 휴립건담 직파에 비하여 건물량이 증가하였고, 수생식물 조합별 시험이 수행된 2008년에는 벼+부레옥잠과 벼 처리 간에 건물량에 큰 차이가 없었다. 2008년에 2007년 보다 벼 수량이 감소한 것은 벼 품종에서 변화가 있었고, 또 녹 양벼 재배시 생육 후기에 도열병의 피해가 일부 있었기에 수량이 감소되었던 것으로 생각된다.

이와 같은 정화논의 건물량은 무농약 무비 재배임에도 Kim et al. (2007)이 보고한 대표적인 총체벼인 녹 양벼의 생산력 검정 및 지역적응 시험 수량 (생산력 검정 : 1.87 MT 10a⁻¹, 지역적응 : 1.65 MT 10a⁻¹)에 비하여 크게 쳐지지 않는 수준으로 고려되었다.

Table 10은 2008년 정화논의 시험전 후 토양화학성을 나타낸 것으로 무비로 2년간 정화논을 재배하였음에도 불구하고 시험전후 토양의 화학성간 큰 차이가 나지 않을 분 아니라 인산 및 유기물 등은 증가하기도 하였다. 이는 다량의 배출수를 지속적으로 유입하는 흘러대기의 관개방법이 논에 상당한 양의 비료성분을 공급하였기 때문으로 생각되며, 배출수내 영양염류의 함량만 풍

부하다면 지속적인 관개만으로도 추가의 시비 없이 총체 벼 생산이 가능하고 정화논을 유지할 수 있는 가능성이 있는 것으로 판단되었다.

결 론

오리 및 쌀겨이용 벼 재배시 주변 수계로의 부하를 경감하기 위하여 친환경 벼 재배단지 말단에 위치한 논을 정화논으로 조성하여 배출수내 영양염류 부하량 경감 시험을 2007~2008년 수행한 결과, 정화논 논물의 화학성은 정화논 유입수에 비하여 모든 성분에서 낮게 나타났다. 조성방법별 배출수의 수질은 휴립건담직파시 T-N 33%, 2.92 kg⁻¹ ha⁻¹ d⁻¹, T-P 53%, 0.31 kg⁻¹ ha⁻¹ d⁻¹로서 평면건담직파에 비해 양호하였으며, 수생식물 조합별로는 벼+부레옥잠의 처리시 T-N 45%, 2.2 kg⁻¹ ha⁻¹ d⁻¹, T-P 55%, 0.54 kg⁻¹ ha⁻¹ d⁻¹로서 벼 처리구에 비하여 배출수의 수질이 양호한 결과를 나타내었다. 이러한 정화논의 영양염류 제거 효율은 기존의 인공습지 연구결과와 유사한 수준으로 (Moshiri, 1993; Park et

Table 8. Optimal purifying paddy field area considering upper area.

Year	Rice culture using free range ducks or bran		Expected effluent amount to treat [†] 10 ³ m ³	Purifying paddy field		Optimal purifying paddy field area [‡] ha	Ratio of purifying paddy field to upper area %
	Area ha	Total effluent amount 10 ³ m ³		Area ha	Treatable amount 10 ³ m ³		
2007	20.1	585.4	409.8	0.09	39.3	0.94	4.7
2008	20.1	299.1	209.4	0.09	29.3	0.64	3.2

[†] Expected effluent amount to treat : Total effluent amount × 0.7

[‡] Optimal purifying paddy field area : Expected effluent amount to treat × Purifying paddy field area/Treatable amount (Removal efficiency of purifying paddy field is T-N 33%, T-P 53%).

Table 9. Biomass and growth of rice by treatments of purifying paddy field.

Treatments		Column length cm	Spiklet length cm	Number of spiklet per m ²	Biomass kg 10a ⁻¹	Index
Seeding method	Direct seeding on plane	76.6	24.4	393	1,734 a	100
	Direct seeding on high-ridge	72.8	22.3	334	1,665 ab	96
Vegetation type	Rice with water hyacinth	66.3	23.8	356	1,397 a	97
	Rice	66.4	24.2	339	1,444 a	100

Table 10. Soil chemical contents before, and after experiments in 2008.

Time of sampling	Treatments	pH	EC dS m ⁻¹	Av. P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹	O.M. g kg ⁻¹	Ex. cation (cmol _c kg ⁻¹)		
						Ca	K	Mg
Before experiment	-	5.5	0.89	49.7	20.4	11.1	0.69	2.85
after experiment	Rice with water hyacinth	5.4	0.66	69.4	21.2	10.4	0.79	2.68
	Rice	5.3	1.02	69.9	21.4	10.5	0.85	2.80

al., 2004a, 2004b), 재배단지 말단에 위치한 논을 인공 습지처럼 이용하는 정화논은 비 친환경 재배단지 및 농경지에서 발생하는 영양염류의 부하량을 관리하기에 적합한 방법의 하나로 고려되었다. 이러한 정화논을 이용하여 영양염류함량이 T-N 2.0~2.5 mg L⁻¹, T-P 0.17~0.22 mg L⁻¹ 수준의 농업배출수가 발생하는 소유역을 관리할 경우 적절한 정화논의 면적은 상류 유역면적의 3.2~4.7%로 산정되었다.

또한, 정화논에서 생산된 벼는 무농약 무비료 재배하였음에도 불구하고 건물량이 상당히 많았으므로 정화논은 수질정화 뿐 아니라 양질의 친환경 총체벼 사료생산지의 역할도 수행할 수 있을 것으로 생각된다. 정화논에서 총체벼 생산을 지속할 수 있을지 여부는 현재 2년의 연구결과로 단정 짓기는 어렵지만, 2년 연속 정화논 시험후 토양의 화학성이 크게 변화하지 않은 것을 고려할 때 어느 정도 가능성이 있는 것으로 생각되었다.

인용문헌

- Ayres, R.S., and D.W. Westcot. 1985. Water quality for agriculture. FAO. Irrigation and Drainage paper 29. Rev. 1. Rome. p. 174.
- Bavor, H.J., C.M. Davies, and K. Sakadevan. 2001. Stormwater treatment : do constructed wetlands yield improved pollutant management performance over a detention pond system? *Wat. Sci. Tech.* 44:565-570.
- Choi, I.U., and S.K. Kwon. 2002. Design model of constructed wetlands for water quality management of non-point source pollution in rural watershed. *Journal of the Korean society of agricultural engineers* 44:96-105.
- Choi, Y.D. 2008. Change of soil environment by rice culture using rice bran. Research report of Yeongnam agricultural research institute. RDA. p. 823.
- Ham, J.H., C.G. Yoon, W.S. Koo, H.C. Kim, and H.B. Shin. 2005. Analysis of stream water quality improvement using surface-flow wetland. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 47:79-91.
- Jeon, J.H., C.G. Yoon, H.S. Hwang, and G.S. Yoon. 2003. Water quality model development for loading estimates from paddy field. *Korean J. Lim.* 36:344-355.
- Jang, J.R., J.M. Park, S. K. Kwon, and K.S. Yoon. 2000. A study of design conditions for decision area of constructed wetland to treat non-point source pollution from agricultural area. *Proceedings of the 2000 annual conference, KSAE:490-499.*
- Kim, H. Y., J.H. Lee, C.I. Yang, Y.H. Choi, G.S. Lee, S.B. Lee, I.S. Choi, O.Y. Jung, H.G. Hwang, Y.S. Shin, M.G. Kim, Y.G. Kim, Y.H. Jeon, J.S. Paek, S.J. Yang, M.G. Oh, and Y.T. Lee. 2007. A new high biomass yield and whole crop silage rice cultivar 'Nkyangbyeo' Treat. of *Crop Res.* 8:38-45.
- Kim, S.W., C.K. Kim, and G.C. Lee. 1984. *Agriculture hydraulic.* Hwangmoon-sa. p. 363.
- Ko, J.Y., H.E. Kang, J.S. Lee, C.S. Kim, K. Sakadevan, and H.J. Bavor. 2003. Nutrients removal efficiency by vegetation density on constructed wetland from small watershed. *Kor. J. Environ. Agric.* 22:262-272.
- Moshiri, G.A. 1993. *Constructed wetlands for water quality improvement.* Lewis Publisher. p. 46-48.
- Park, S.T. 2007. Environmental friendly rice culture method for substitute of pesticides. Yeongnam agricultural research institute research report. RDA. p. 90.
- Park, B.H., J.R. Jang, K.S. Lee, K.S. Yoon, and S.K. Kwun. 2000. A vegetation purification system for water quality improvement in irrigation reservoirs. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers.* 42:87-95.
- Park, B.H. 2004a. Natural stream purification technology using constructed wetland(1). *DICER techinfo.* part II. 3:579-587.
- Park, B.H. 2004b. Natural stream purification technology using constructed wetland(2) *DICER techinfo.* part II. 3:589-597.
- Rural Development Administration. 2004. Organic and environmental friendly agriculture culture method. p. 600.
- Yun, H.B., and G.N. Hwang. 1998. Organic farming for rational cycling of organic matters. Research report of National Academy of Agricultural Science. RDA.
- Yun, S.G., M.K. Kim, W.I. Kim, J.S. Lee, G.B. Jung, J.H. Kim, M.C. Seo, J.D. Shin, M.H. Ko, and H.M. Kim. 2004. Non-point source management practice for water quality conservation. Workshop proceeding of the Korean society of agriculture and environmental. p. 91-109.