

## 배수로 물 관개 벼농사의 비점오염원 경감효과

김춘송\* · 고지연 · 이재생 · 정기열 · 박성태 · 구연충 · 강항원<sup>1)</sup>

농촌진흥청 작물과학원 영남농업연구소, <sup>1)</sup>농촌진흥청  
(2007년 3월 28일 접수, 2007년 6월 23일 수리)

### Use of Drainage Water as Irrigation Resource in the Paddy Field to Mitigate Non-point Source Pollutants

Choon-Song Kim\*, Jee-Yeon Ko, Jae-Saeng Lee, Ki-Yeol Jung, Sung-Tae Park, Yeon-Chung Ku, and Hang-Won Kang<sup>1)</sup> (Yeongnam Agricultural Research Institute, National Institute of Crop Science, RDA, Milyang, 627-803, <sup>1)</sup>Rural Development Administration, Suwon, 441-707)

**ABSTRACT:** Objective of this study was to assess the efficient rice cultivation practice to mitigate the non-point source pollutants loading to the adjacent watershed. Cultivation practices consisted of machine transplanting, direct seeding on dry paddy, and no tillage in which no fertilizer and pesticide were applied to paddy field. Water in drainage canal was used as irrigation source during the entire rice growing season. Loading of the non-point source pollutants to the adjacent small stream was mitigated by all treatments. Rice yield, total biomass (rice + weeds), and uptake of T-N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, and K<sub>2</sub>O were higher in machine transplanting practice than those in direct seeding and no tillage practices. However, the purification effects of non-point source pollutants were followed in orders of no tillage > direct seeding > machine transplanting due to quantity of irrigation water. The annual purification quantity of T-N, T-P, and K by rice cultivations ranged from 46 to 369 kg ha<sup>-1</sup>, 4.1 to 16.4 kg ha<sup>-1</sup>, and 55 to 238 kg ha<sup>-1</sup>, respectively, during the entire rice growing season. Results revealed that no tillage practice of rice cultivation was the best management option in reducing the loading of the non-point source pollutants from the drainage canal into stream.

**Key Words:** water purification, non-point source pollutants, water of drainage canal, rice, no tillage

## 서 론

최근에는 하천이나 호소 수질오염의 주요한 원인으로 비점오염원이 부각되고 있다. 일반적으로 농촌유역에 분포해 있는 비점오염원은 점오염원과 달리 농경지, 삼림, 습지 등의 넓은 면적으로 분포하며 오염물의 유출구가 제한되어 있지 않으므로 하수종말처리장과 같은 집중처리에 의한 관리가 현실적으로 불가능하고, 배출특성의 차이로 인하여 정확한 양을 예측하거나 정량화하기가 매우 어렵다<sup>1)</sup>. 농촌유역의 비점오염원으로부터 발생하는 비점오염물질들은 주로 강우에 의해 하천으로 유입되는 특징을 가지며, 지표수에 용해되거나 토양과 함께 유실되어 하천이나 호소의 주요 오염원으로 작

용하고 있는 것으로 알려져 있다<sup>2)</sup>. 최근에는 농촌유역에 포함된 소하천의 수질오염에 대한 관심이 증대되어 농촌 소유역의 비점오염물질 유출특성과 부하량 및 농업용수 수질에 대한 활발한 연구들이 수행되고 있다<sup>3-9)</sup>. 또한 Kim 등<sup>10)</sup>은 오수 관개에 의한 벼 재배시 생육에 미치는 영향을 검토하여 수질오염 방지와 생태환경의 보전을 위한 감비를 제안하였고, Yoon 등<sup>11)</sup>은 인공습지를 통하여 생활오수를 정화한 처리수의 벼농사에 대한 재이용성을 검토한 바 있다. Kang 등<sup>12)</sup>은 낙동강 물 관개논의 농업환경 특성과 질소요구량을 분석하여 낙동강 중하류지역인 고령, 창녕, 밀양, 부산지역에서는 질소 시비량을 표준시비보다 5~12% 감비하여도 벼 생육 및 수량에는 영향이 없다고 보고하였다.

논에서의 벼농사는 오염물질의 sink와 source라는 양면적인 성격을 지니고 있다. 오염물질의 sink라는 의미는 관개에 의한 유입부하량보다 배출에 의한 유출부하량이 작을 때를 의미하고, sink로서의 기능을 증대시키기 위해서는 자연

\*연락처자:

Tel: +82-55-350-1281 Fax: +82-55-353-3050

E-mail: kcs3925@rda.go.kr

정화와 인공습지에 의한 수질정화원리처럼 논에서의 관개수 체류시간이 중요한 인자가 된다<sup>13)</sup>. 이에 따라 농경지의 비점 오염 관리를 위하여 순환관개에 대한 관심이 고조되고 있는데, 순환관개는 논으로부터 배수된 물을 동일지역의 논에서 재이용하는 시스템으로서 관개수를 절약할 수 있을 뿐만 아니라 농경지로부터의 비점오염 물질을 경감시킬 수 있는 장점을 지니며, 이미 일본 등에서는 순환관개에 의한 비점오염물질의 경감 연구들이 일찍부터 수행되었다<sup>14-17)</sup>. 그러나 우리나라에서는 논 수질정화효과와 비점오염물질의 유출특성에 대한 연구들이 수행되었을 뿐이고<sup>1-11)</sup>, 순환관개의 정화효율을 높이기 위한 벼 재배법에 대한 연구는 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 농업지대 수계의 비점오염원 부하경감을 위하여 하천으로 유입되기 직전의 배수로 물을 관개한 벼 농사의 비점오염원 정화효과를 살펴보고 가장 효율적인 재배법을 탐색하기 위하여 수행하였다.

### 재료 및 방법

#### 시험토양 및 벼 재배법

본 연구는 밀양시 북북면 감천리에 있는 농업 간선배수로 끝의 소하천과 인접한 벼-보리 이모작 논에서 2004년에 수행하였다(Fig. 1). 연구에 이용된 논 토양은 신홍토였으며, 토성은 양토로서 용수로와 배수로가 분리되어 있고, 양토 이면서도 배수가 매우 양호한 논토양이었다. 벼의 전 생육기간 동안 간선배수로의 물을 양수기로 관개하였으며, 각 처리구마다 관개량을 측정하기 위하여 유량계를 설치하였고, 수위조절을 위하여 센서를 설치한 후 유입구에서는 조절수위 이하로 수위가 내려가면 자동관개가 되고 배출구에서는 조절수위 이상으로 수위가 올라가면 자동배수 되도록 자체 고안한 관배수시스템(Fig. 2)을 설치하여 연구를 수행하였다.

본 연구는 벼 표준재배양식별 비점오염물질의 정화효과를 살펴보기 위하여 수행한 연구로서 보리 수확 후 고품질 벼 품종인 일미벼를 공시하여 기계이앙, 건답직파, 무경운자연재배의 3가지 재배법으로 연구를 수행하였다(Table 1). 보리 수확 후 보릿짚은 콤바인 카터로 절단하여 전랑 토양에 환원하였고, 기계이앙재배와 건답직파재배는 표준시비와 표준재배법<sup>18)</sup>으로 시험을 수행하였으며, 무경운자연재배는 표준재배

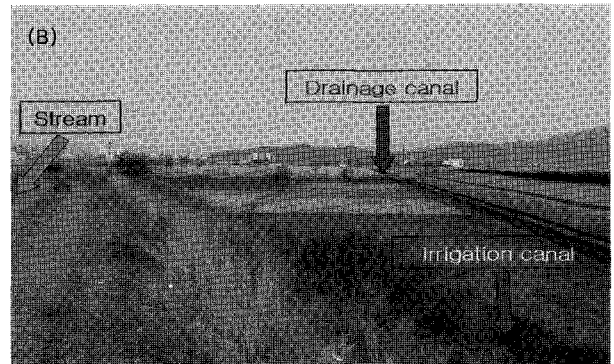
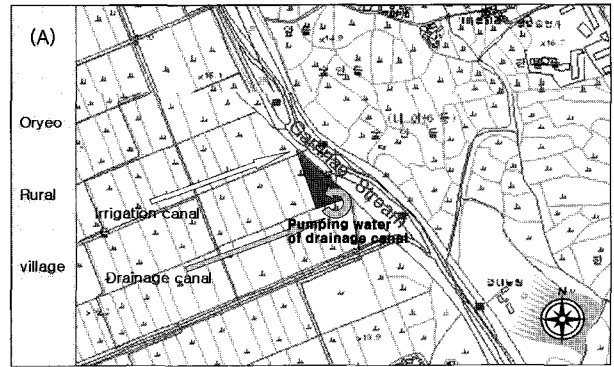


Fig. 1. The location (A, 1:5,000 field map) and overall view (B) of the experimental paddy field.

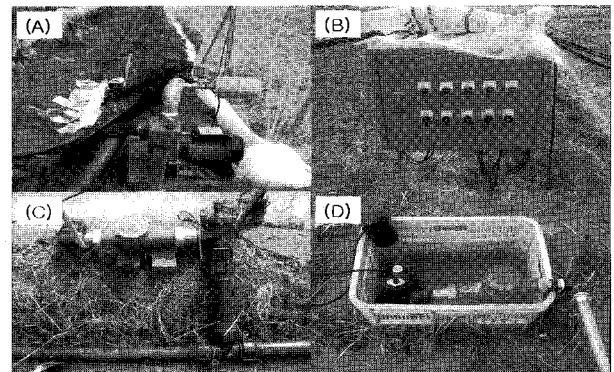


Fig. 2. Auto irrigation and drainage system used in this study.

(A): pumping equipment for irrigation, (B): water depth control box, (C) and (D): measuring equipment of inflow and outflow water, respectively.

Table 1. Rice cultivation practices employed in this study

Cultivations	Seeding date (m. d.)	Transplanting date (m. d.)	Seeding rate (kg ha <sup>-1</sup> )	Irrigation period (days)	Fertilizers (kg ha <sup>-1</sup> ) N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O	Tillage and agro-chemicals
Machine transplanting	May 10	July 10	40	125	90-45-57	○
Direct seeding on dry paddy	July 5	-	50	120	150-45-57	○
No tillage practice	July 4	-	150	121	-	×

법이 없으므로 농가관행재배법에 따라 무경운, 무시비, 무농약으로 재배하였다. 무경운자연재배는 보리를 수확하기 3일 전에 벼씨를 산파하고 보리 수확과 동시에 보릿짚을 절단하여 토양에 환원하면서 파종된 벼씨가 피복되도록 하였다. 무경운자연재배의 경우 입모량 확보를 위하여 150 kg ha<sup>-1</sup>의 벼씨를 6월 4일에 산파하였으며, 건답직파재배는 6월 5일에 벼씨 50 kg ha<sup>-1</sup>을 직파하였고, 기계이앙재배는 중묘를 30×15 cm로 6월 10일에 이앙하였다. 무경운자연재배와 건답직파재배는 출아 10일 후부터 관개를 시작하였다.

**수질, 토양 및 식물체 분석**

비점오염물질 정화효과를 살펴보기 위하여 벼 재배기간(6월~9월) 동안 7일 간격으로 간선배수로 물과 각 처리구의 배수구 주변 표면수의 물 시료를 채취하였다. 논·수의 수위 관리는 영남농업연구소의 벼 표준재배법<sup>18)</sup>에 따라 실시하였다. 채취된 물시료는 폴리에틸렌 용기에 담아 즉시 실험실로 옮겨 각 항목을 수질오염공정시험법<sup>19)</sup>에 따라 분석을 수행하였다. T-N과 T-P는 각각 자외선흡광법과 아스코르빈산 환원법으로 분석하였고, K의 분석은 ICP(Perkin-Elmer, OPTIMA 3300XL)를 이용하였다. 관개수와 배출수의 T-N, T-P, K 농도는 식 1과 같이 총오염량에서 총유출량을 나누어 산정하는 유량가중평균농도(Flow-Weighted Mean Concentration: FWMC)<sup>20,21)</sup>를 이용하여 계산하였다.

$$\text{유량가중평균농도(mg L}^{-1}\text{)} = \frac{\sum(C_i \cdot Q_i)}{\sum(Q_i)} \quad (1)$$

여기서, C<sub>i</sub> = i시기의 비점오염물질 농도(mg L<sup>-1</sup>)  
 Q<sub>i</sub> = i시기까지의 유량(m<sup>3</sup>)

비점오염물질 정화효율은 식 2와 같이 벼 생육기간동안 관개수에 의한 비점오염물질 공급량에 대한 관개수의 비점오염물질 공급량에서 배출수의 비점오염물질 유출량을 뺀 값의 백분율로 구하였다<sup>10)</sup>.

$$\text{비점오염물질 정화효율(\%)} = 100 - \left\{ \left[ \frac{\sum(DC_i \cdot DQ_i)}{\sum(ICI \cdot IQ_i)} \right] \times 100 \right\} \quad (2)$$

여기서, ICI = i시기의 관개수 중 비점오염물질 농도(mg L<sup>-1</sup>)  
 IQ<sub>i</sub> = i시기까지의 관개수량(m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>)  
 DC<sub>i</sub> = i시기의 배출수 중 비점오염물질 농도(mg L<sup>-1</sup>)  
 DQ<sub>i</sub> = i시기까지의 배출수량(m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>)

본 연구의 관개수로 이용된 배수로 물은 하천으로 직접 유입되는 오염원이기 때문에 벼농사에 이용된 물의 유량만큼 하천의 수질오염을 경감시킬 수 있다는 가정으로 식 3과 같이 벼농사에 의한 비점오염물질의 정화량을 계산하였다. 즉, 벼 생육기간동안 관개에 의하여 공급된 비점오염물질 양에서 자연배수에 의한 비점오염물질의 유출량을 감하여 재배양식별 비점오염물질 정화량을 계산하였다.

$$\text{비점오염물질 정화량(kg ha}^{-1}\text{)} = \sum(ICI \cdot IQ_i) - \sum(DC_i \cdot DQ_i) \quad (3)$$

여기서, ICI = i시기의 관개수 중 비점오염물질 농도(mg L<sup>-1</sup>)  
 IQ<sub>i</sub> = i시기까지의 관개수량(m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>)  
 DC<sub>i</sub> = i시기의 배출수 중 비점오염물질 농도(mg L<sup>-1</sup>)  
 DQ<sub>i</sub> = i시기까지의 배출수량(m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>)

벼와 잡초의 체내 양분함량과 토양시료의 분석은 농촌진흥청 표준분석법<sup>22)</sup>에 따라 수행하였다. 벼와 잡초의 식물체 시료는 10월 하순에 50×50 cm 방형구로 수확하여 60℃ 건조기에서 향량이 될 때까지 건조시켜 건물중을 측정하였다. 건조한 식물체는 분쇄 후 체내 영양염류함량 분석시료로 사용하였다. 식물체시료는 습식분해법으로 분해 후 T-N은 Kjeldahl 법으로, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>는 Vanadate법으로 분석하였고, K는 ICP(Perkin-Elmer, OPTIMA 3300XL)를 이용하여 분석하였다. 토양의 이화학적은 시험 전·후에 토양을 채취하여 표층토를 제거하고 1~20 cm 깊이의 표토와 20~30 cm 깊이의 심토를 채취하여 음건시킨 후 2 mm 체로 통과시킨 토양시료를 가지고 토양성분을 분석하였다. pH는 초차전극법, 유기물함량은 Tyurin 법, 유효인산함량은 Lancaster법으로 분석하였고, 치환성양이온은 ICP를 이용하여 측정하였다. 토양물리성은 표토와 심토에서 100 cm<sup>3</sup> 부피의 Core를 이용하여 토양을 채취한 후 105℃ 건조기에서 완전히 건조시켜 토양삼상과 수분함량, 용적밀도 및 공극율을 구하였다.

**벼 수량과 품질**

벼의 수량과 수량구성요소는 농업과학기술 연구조사 분석기준<sup>23)</sup>에 따라 조사하였다. 수량은 출수 후 50일경에 100주를 수확하여 수분함량 15% 이하로 건조한 후 칭량하여 ha당 수량으로 환산하였으며, 정상립, 동할미, 미숙립, 피해립, 사미 등의 현미 외관품질은 미립판별기 RN-500(Kett Co., Japan)을 이용하여 조사하였다. 단백질함량은 자동질소분석기 Kjeltac Analyzer 2300(Foss Tecator, Sweden)을 이용하여 측정하고 총질소함량에 보정상수 5.95를 곱하여 구하였다. 식미치는 백미 33 g을 정량하여 Toyo meter(Toyo Co., Model MA98B, Japan)을 이용하여 측정하였다. 통계분석은 SAS(Statistical analysis system) 프로그램을 이용하여 최소유의차 검정법(Least Significant Difference)으로 유의성을 검정하였다.

**결과 및 고찰**

**비점오염물질 정화효과**

인공습지와 순환관개시스템에서의 수질정화연구에 의한 면 오염물질의 정화를 위해서는 4~7일의 체류시간이 필요하다고 알려져 있는데<sup>17,24)</sup>, 논에 벼를 재배하여 수질정화에 이용한다면 충분한 체류시간을 확보할 수 있으므로 인공습지

로서의 가능성이 높다고 판단된다. 논에서 관·배수량은 기상 환경의 영향을 크게 받으므로 Fig. 3에서와 같이 벼 생육기간 동안의 강수량과 일조시간을 살펴보았다. 강수량과 일조시간은 상반되는 경향으로서 강수량은 8월 중하순과 9월 중순에 많았고, 반대로 일조시간은 7월 하순과 10월 중순에 긴 특징을 보였다.

벼 생육기간동안의 재배양식별 관·배수량과 강우시 비점 오염원의 유출특성을 가장 잘 반영하는 것으로 알려진<sup>20,21)</sup> 비점오염물질의 유량가중평균농도(FWMC)는 Table 2와 같다. 관개량은 무경운자연재배(80,688 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) > 건답직파재배(28,480) > 기계이앙재배(15,393) 순으로서 무경운자연재배에서 무경운 효과에 의하여 월등히 많았으며, 배수량은 재배양식간에 차이가 미미하였다.

관개수의 유량가중평균농도는 T-N, T-P, K 모두 기계이앙재배 > 건답직파재배 > 무경운자연재배 순으로 무경운자연재배에서 각각 4.85와 0.23, 3.14 mg L<sup>-1</sup>로서 가장 낮은 농도를 보였다. 배출수의 유량가중평균농도도 T-N과 K 농도가 시비의 영향으로 기계이앙재배와 건답직파재배에서 월등히 높고 무경운자연재배에서 낮은 경향이였다. 반면 배출수 T-P의 유량가중평균농도는 재배양식간에 큰 차이없이 무경운자연재배에서 다소 높았으나 산술평균농도에서는 가장 낮은

함량을 보여 Fig. 3에서처럼 8월 중하순에 집중강우로 다량의 눈물이 배출되었을 때 재배양식간 T-P농도의 미세한 차이가 영향을 준 것으로 판단되었다.

관개수로 이용된 간선배수로 물의 T-N과 T-P 농도는 기존의 농업 소유역의 수질조사 결과<sup>2,7)</sup>와 비슷하거나 약간 낮은 수준이었으나, T-N과 T-P의 호소수질환경 농업용수 기준치인 1 mg L<sup>-1</sup>와 0.1 mg L<sup>-1</sup>를 상회하여 영농활동이나 농촌마을 생활하수의 유입을 통한 질소와 인의 오염이 연구지역의 소하천에 영향을 줄 것으로 판단되었다. 또한 Yoon 등<sup>11)</sup>의 보고에서처럼 생활오수처리수를 벼에 관개하면 T-N 농도가 25 mg L<sup>-1</sup>까지는 벼의 생육과 수량에 영향을 미치지 않고, 적정 시비시 오히려 양분으로 작용하므로 벼 재배에 있어 배수로 물을 이용할 경우 하천에 대한 오염부하량을 경감시킬 뿐만 아니라 양분으로 작용하여 비료소모량을 줄이는 부수적인 효과도 기대할 수 있다.

Jung 등<sup>7)</sup>의 보고에 의하면 발생원에 따른 질소의 연간 오염부하량은 농업활동에 의해 52.3%, 비농업활동에 의해 47.7%가 발생하며, 농업활동 가운데 41.8%가 토양유실과 화학비료로부터 기인된다고 알려져 있으므로 농업활동에 의하여 발생하는 비점오염물질을 경감시키는 노력이 요구되어 진다. Fig. 4는 벼 생육기간동안 재배양식별 비점오염물질 정화효율과 정화량을 나타낸 것이다. T-N의 정화효율은 48~94%의 범위로서 무경운자연재배 > 건답직파재배 > 기계이앙재배 순이었고, T-P에 대한 정화효율도 68~87%의 범위로서 무경운자연재배에서 가장 높았고 기계이앙재배에서 가장 낮았다. K에 대한 정화효율 또한 65~94%의 범위로서 무경운자연재배에서 가장 높았다. Kim 등<sup>10)</sup>은 오수유입수를 관개수로 이용하여 관행시비와 50% 감비에 의한 벼 재배시 T-N과 T-P가 각각 84~86%와 64~74%정도 정화되는 효과가 있다고 보고하여 본 연구의 결과와 유사하였다.

본 연구에 사용된 관개용수는 하천으로 흘러들어 가기 직전의 배수로 물이므로 벼농사에 사용한 관개량에서 자연 배수된 양의 차이 유량만큼 하천의 수질을 경감할 수 있을 것이다. 벼의 전 생육기간동안 비점오염물질의 정화량은 T-N, T-P, K 모두 무경운자연재배 > 건답직파재배 > 기계이앙재배 순이었는데, 기계이앙에 비하여 무경운자연재배에서 T-N 323, T-P

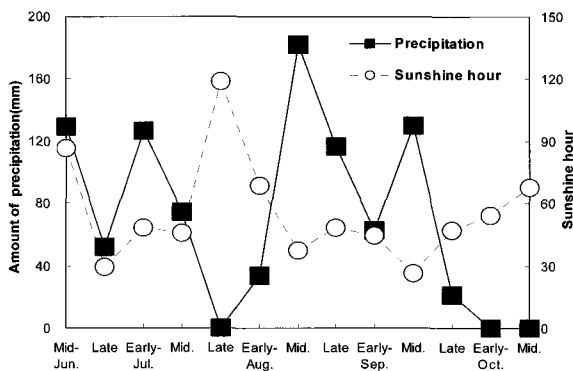


Fig. 3. Change of precipitation and sunshine hour during the entire rice growing season.

Table 2. Flow-Weighted Mean Concentration of non-point source pollutants in different rice cultivation practices during the entire growing season

Cultivations	Irrigation water			Drainage water				
	Quantity (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	T-N	T-P	K	Quantity (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	T-N	T-P	K
		----- (mg L <sup>-1</sup> ) -----				----- (mg L <sup>-1</sup> ) -----		
Machine transplanting	15,393	6.22	0.39	5.49	6,666	7.42	0.28	4.41
Direct seeding on dry paddy	28,480	5.08	0.24	3.18	6,019	5.01	0.33	3.27
No tillage practice	80,686	4.85	0.23	3.14	6,090	3.64	0.39	2.56

12, K 183 kg ha<sup>-1</sup>가 더 정화되었으며, 건답직파재배에서는 T-N 68, T-P 0.7, K 16 kg ha<sup>-1</sup>가 더 정화된 결과를 보였다. 무비재배에 의한 무경운자연재배는 토양침투가 원활하여 관개량이 많고, 무비로 인하여 관개수 중의 영양염류를 벼가 양분으로 많이 이용함으로써 높은 수질정화효과를 나타낸 것으로 생각된다. 향후에는 물수지 분석을 통하여 지하로 침투되는 유량을 살펴봐야 할 것으로 사료되며, 특히 관개량이 많았던 무경운자연재배는 물에 용해되기 쉬운 질산성질소와 같은 성분들이 지하수 오염의 원인으로 작용할 가능성이 있으므로 이에 대한 보다 정밀한 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다. 호소나 하천의 부영양화는 무기인과 질소의 농도가 0.015 mg L<sup>-1</sup>와 0.3 mg L<sup>-1</sup>을 초과할 때 일어나는 현상으로 현재 부영양화 방지를 위한 국제적인 기준은 호소 표면적당 인의 농도는 2.0~5.0 kg ha<sup>-1</sup>, 질소의 농도는 50~100 kg ha<sup>-1</sup>이므로<sup>1)</sup> 이들 부영양화 물질들을 논을 통하여 정화시킨다면 환경 보전적 측면에서 막대한 비용을 줄일 수 있을 것이다. Takeda 등<sup>15)</sup>은 벼 재배시 1,000 mm 이상의 많은 관개용수가 필요하기 때문에 질소와 인의 정화효과가 우수하다고 보고하였고, Kaneki<sup>25)</sup>는 순환관개 시스템에 의한 벼농사로 논으로부터 질소와 인의 유출이 각각 6.8 kg ha<sup>-1</sup>와 1.1 kg ha<sup>-1</sup>정도 감소되었다고 발표한 바 있다.

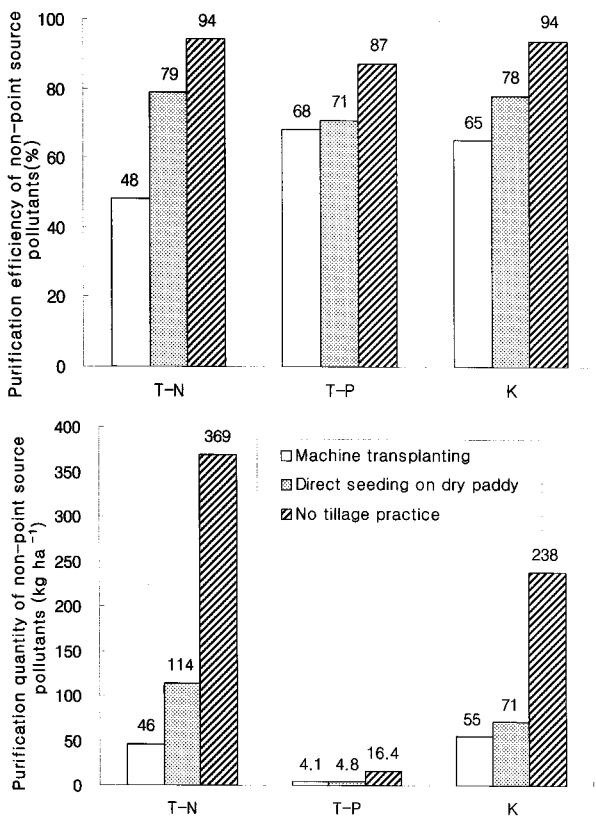


Fig. 4. Effects of different rice cultivation practices on the mitigation of non-point source pollutants during the entire growing season.

비점오염물질의 정화량을 분얼기, 신장기, 결실기의 벼 생육단계별로 분석한 결과는 Fig. 5와 같다. 기계이앙재배에서는 비점오염물질의 정화량이 분얼기 > 결실기 > 신장기 순으로 높았으나, 무경운자연재배와 건답직파재배에서는 비점오염물질의 정화량이 결실기 > 분얼기 > 신장기 순이었다. 벼의 신장기인 7월 하순에서 8월 중하순까지는 Fig. 3에서처럼 강우량이 가장 많았던 시기로서 강우에 의하여 배출되는 논물

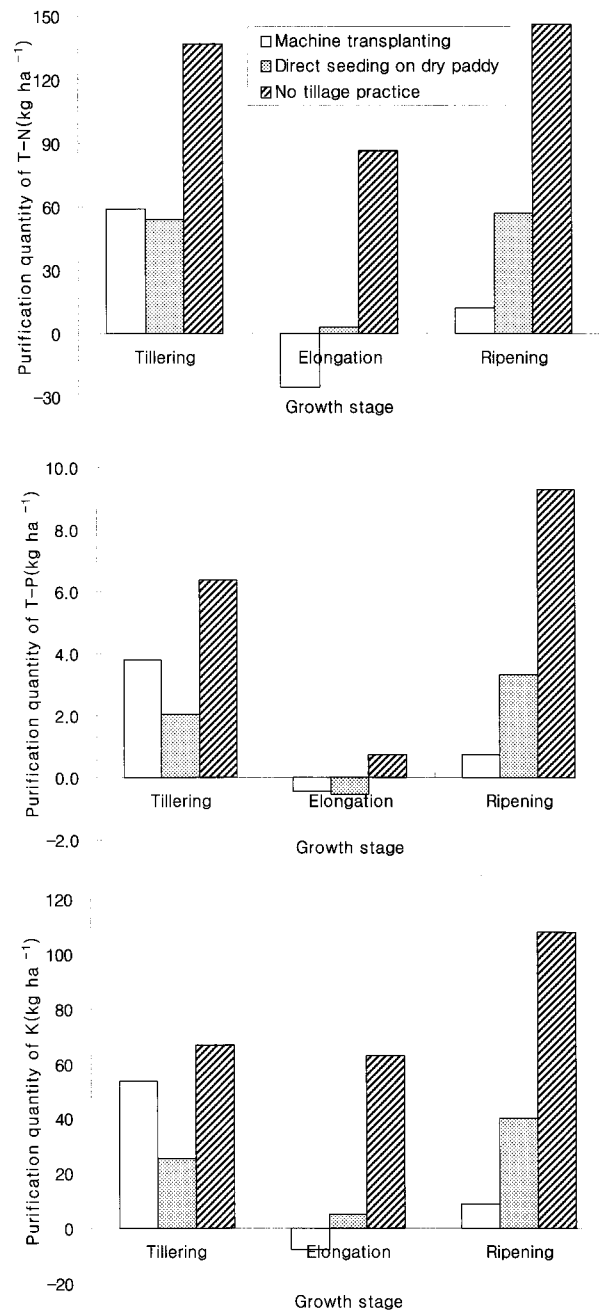


Fig. 5. The purification quantity of non-point source pollutants at different growth stage as affected by different rice cultivation practices.

이 많아서 정화효과가 가장 낮았으며, 특히 기계이앙재배에서는 질소와 인, 칼륨 등 모든 비점오염물질이 하천의 오염원으로 작용하는 결과를 보였고, 건답직파재배에서도 T-P의 경우는 하천의 오염원으로 작용하였다.

**건물생산능력과 영양염류 흡수량**

무경운자연재배는 무비와 더불어 제초제를 사용하지 않고 재배하였기 때문에 잡초 발생량이 많았다. 잡초 또한 양분을 흡수하여 자라기 때문에 영양염류의 정화에 관여할 것으로 추정되므로 수확기의 벼 건물량과 잡초 건물량, 그리고 영양염류 성분별 체내함량을 분석하였다(Table 3). 벼 건물량(정조수량 + 식물체 건물중)은 기계이앙재배가 13,304 kg ha<sup>-1</sup>로서 가장 많았고, 다음으로 무경운자연재배, 건답직파재배의 순이었다. 잡초의 건물량은 무경운자연재배(1,268 kg ha<sup>-1</sup>)에서 가장 많았고, 기계이앙재배에서 가장 적은 결과를 보였다.

재배양식별 총건물량도 벼 건물량과 같은 경향으로 기계이앙재배에서 가장 높고 건답직파재배에서 가장 낮았다. 무경운자연재배가 무비재배 임에도 건답직파재배에 비하여 건물량이 많은 것은 무경운상태에서 벼 중자 산파와 보릿짚 피복에 따른 입모량 확보를 위하여 Table 1에서와 같이 건답직

파 보다 3배 많은 볍씨를 파종한 결과 때문인 것으로 생각된다. 단위면적당 부영양화성분의 흡수량도 총건물량과 같은 경향으로 기계이앙재배에서 가장 높고 건답직파재배에서 가장 낮은 경향을 보였다. T-N의 경우 모든 재배양식에서 ha당 90 kg 이상을 흡수하여 차이가 적었으나, 인산과 칼륨의 경우 기계이앙재배에서 월등히 높은 흡수량을 보였다.

**시험 전·후 토양특성의 변화**

시험전후 토양의 화학성을 살펴본 결과는 Table 4와 같다. 토양 pH는 시험 전에 비하여 모든 재배양식에서 표토와 심토 모두 낮아졌으며, EC도 표토와 심토 모두에서 감소하였고, 특히 무경운자연재배의 심토에서 크게 낮아진 결과를 보였다. 유기물함량은 표토와 심토에서 시험 전에 각각 21.1과 18.9 g kg<sup>-1</sup>이었으나 시험 후에는 보릿짚의 토양환원으로 모든 재배양식에서 증가하였고, 무경운자연재배에서 24.8 g kg<sup>-1</sup>로 가장 높은 함량을 보였다.

유효인산함량도 모든 재배양식에서 시험 전에 비하여 증가하였는데, 특히 건답직파재배와 무경운자연재배에서 표토와 심토 모두 두 배 이상 증가하는 특징을 보였다. 인산은 토양에 강한 흡착성을 보이며, 담수상태의 환원층에서 가용화

**Table 3. Total biomass and nutrient uptake of rice and weed as affected by different rice cultivation practices**

Cultivations	Plant dry weight (kg ha <sup>-1</sup> )			Quantity of nutrient uptake <sup>a)</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )		
	Rice	Weed	Total	T-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Machine transplanting	13,304	100	13,404	99.1	64.7	275.1
Direct seeding on dry paddy	10,109	425	10,534	91.6	38.5	214.1
No tillage practice	11,406	1,268	12,674	94.4	47.8	226.7

<sup>a)</sup>Quantity of nutrient uptake (kg ha<sup>-1</sup>) = (rice dry weight × nutrient content of rice) + (weed dry weight × nutrient content of weed).

**Table 4. Chemical properties of paddy soil before and after experiment as affected by different rice cultivation practices**

Soil depth	Cultivation	pH	EC	OM	AV. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K	Ca	Mg	Na
		(1:5)	(dS m <sup>-1</sup> )	(g kg <sup>-1</sup> )	(mg kg <sup>-1</sup> )	-----	(cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> )	-----	
Top soil (1~20 cm)	Before experiment	6.17	0.205	21.1	82.7	0.32	3.92	0.98	0.38
	Machine transplanting	5.41	0.175	21.4	82.8	0.26	2.83	0.61	0.52
	Direct seeding on dry paddy	5.89	0.105	23.9	156.8	0.28	3.62	1.04	0.42
	No tillage practice	5.87	0.125	24.8	156.5	0.25	3.56	0.93	0.43
Subsoil (20~30 cm)	Before experiment	6.84	0.205	18.9	49.2	0.19	5.29	1.46	0.39
	Machine transplanting	5.71	0.075	22.9	74.9	0.27	4.50	0.94	0.38
	Direct seeding on dry paddy	5.94	0.085	23.2	158.6	0.23	4.30	0.86	0.37
	No tillage practice	5.94	0.070	21.4	124.8	0.21	3.90	0.81	0.41

된 많은 부분의 인산이 심토의 산화층을 통과하면서 철, 알루미늄 등과 결합하여 다시 고정되는 특징을 지니고 있다<sup>1)</sup>. 따라서 건답직파재배와 무경운자연재배는 기계이앙재배에 비하여 지하로 침투되는 수분이 많아서 인산의 흡착을 조장하여 표토와 심토의 함량을 증가시킨 것으로 볼 수 있었다.

벼 재배양식별 시험 후 토양의 물리적 특성은 표토의 경우 건답직파재배와 무경운자연재배에서 기계이앙재배에 비하여 용적밀도가 낮고 공극율이 높았으나, 심토에서는 기계이앙에서 용적밀도가 높고 무경운자연재배에서 가장 낮았으며, 공극율은 반대로 무경운자연재배에서 41.1%로서 가장 높아서 지하로의 수분 침투가 용이한 특성을 보였다(Table 5).

**벼 수량과 품질특성**

벼 재배양식별 수량 및 수량구성요소는 Table 6과 같다. 출수기는 파종 및 이앙시기의 차이에 의하여 기계이앙재배에서는 8월 20일, 건답직파재배에서는 8월 28일, 무경운자연재배에서는 가장 늦은 8월 30일로 기계이앙재배에서 10일 정도 빨랐다. 쌀 수량은 기계이앙재배의 4,698 kg ha<sup>-1</sup>와 비교하여 건답직파재배에서는 약 15% 적었고, 무경운자연재배에서는 13% 적었다. 그러나 기계이앙재배와 무경운자연재배의 쌀수량간에 통계적인 유의차는 없었다. 건답직파재배에서 수

량이 가장 낮았던 것은 천립중이 크게 작용하였던 것으로 판단된다. 단위면적당 수수는 파종량이 많았던 무경운자연재배에서 현저히 많았으며, 반대로 수당립수는 기계이앙재배에서 많았고, 등숙비율은 수당립수가 적었던 건답직파재배와 무경운자연재배에서 90% 이상의 높은 값을 나타냈다. Kim 등<sup>10)</sup>의 보고에 의하면 오수유입수 관개시 무비로 재배하면 관행시비에 비하여 28%의 수량감소를 보였다고 하였는데 본 연구의 무경운자연재배 수량은 무비재배임에도 기계이앙대비 감소정도가 적었다. 이러한 결과는 앞서서도 언급하였듯이 본 연구가 벼 표준재배양식별 비점오염물질의 정화효과를 살펴보고자 실시한 연구이기 때문에 파종량의 차이에 의한 것으로 판단되며, 더불어 전년도 가을에 보리 파종시 시비한 비료의 잔효성분도 영향을 준 것으로 추측된다. 무경운과 무비, 무농약에 의한 무경운자연재배는 재배년도가 증가할수록 잡초발생량이 증가하여 수량의 감소가 현저할 가능성이 크므로 차년도 연구에 의한 연차간 변이분석이 필요할 것으로 생각된다.

벼 재배양식별 외관품질 및 밥맛과 관련된 단백질함량과 식미치를 분석한 결과(Table 7), 현미품위에서 정상립비율은 무경운자연재배 > 건답직파재배 > 기계이앙재배 순으로 높았고, 불완전립비율은 기계이앙재배에서 높았는데 특히 미숙립과 사미의 비율이 건답직파재배나 무경운자연재배에 비하여

**Table 5. Physical properties of paddy soil after experiment as affected by different rice cultivation practices**

Soil depth	Cultivations	Three phase of soil (%)			Moisture regain (%)	Bulk density (g cm <sup>-3</sup> )	Porosity (%)
		Solid	Liquid	Gaseous			
Top soil (1~20 cm)	Machine transplanting	51.3	32.0	16.8	23.3	1.36	48.7
	Direct seeding on dry paddy	43.0	36.2	20.8	31.8	1.14	57.0
	No tillage practice	50.6	36.6	12.7	27.3	1.34	49.4
Subsoil (20~30 cm)	Machine transplanting	61.9	35.0	3.1	21.3	1.64	38.1
	Direct seeding on dry paddy	60.3	35.7	4.0	22.4	1.60	39.7
	No tillage practice	58.9	37.3	3.8	23.9	1.56	41.1

**Table 6. Yield components of rice as affected by different cultivation practices**

Cultivations	Heading date	Yield components				Milled rice yield (kg ha <sup>-1</sup> )
		Panicle (No. m <sup>-2</sup> )	Spikelet (No. panicle <sup>-1</sup> )	Ripened grain (%)	1000 rough rice grain weight (g)	
Machine transplanting	Aug. 20	377.4	88.7	74.2	24.8	4,698(100)a
Direct seeding on dry paddy	Aug. 28	485.3	54.7	93.5	23.8	4,001(85)b
No tillage practice	Aug. 30	578.7	36.2	90.3	25.3	4,086(87)ab

Table 7. Grain quality of brown rice and palatability as affected by different rice cultivation practices

Cultivations	Perfect grain ratio (%)	Imperfect grain ratio (%)				Protein content (%)	Palatability value
		Cracked	Green-kerneled	damaged	Immature opaque		
Machine transplanting	71.2	4.8	17.1	0.8	6.2	8.0	59.5
Direct seeding on dry paddy	86.6	2.2	8.7	1.8	0.7	8.0	69.4
No tillage practice	92.2	1.0	5.1	1.7	0.1	7.4	74.6

현저히 높았다. 밥맛과 관련된 현미 단백질함량은 무비재배인 무경운자연재배에서 7.4%로 가장 낮았으며, Toyo 식미치는 무경운자연재배 > 건답직파재배 > 기계이앙재배 순으로 높은 결과를 보였다.

## 요 약

본 연구는 농경지와 농촌마을로부터 발생하여 소하천으로 유입되는 비점오염물질을 경감시키기 위하여 농업간선배수로 끝의 논에서 배수로 물을 관개수로 이용하였을 때 수질정화효과를 살펴보고, 비점오염물질 정화를 위한 효과적인 벼 재배양식을 탐색하기 위하여 수행하였다. 모든 벼 재배양식에서 하천으로 유입되는 비점오염물질이 정화되는 효과를 확인할 수 있었다. 잡초의 건물량을 포함한 벼 재배양식별 총건물생산능력은 기계이앙재배에서 가장 높았으나, 무경운자연재배와는 차이가 적었고, 비점오염물질인 T-N과 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O의 흡수량은 기계이앙재배 > 무경운자연재배 > 건답직파재배 순으로 높았다. 벼 전 생육기간동안 비점오염물질의 정화량은 T-N과 T-P, K 모두 무경운자연재배 > 건답직파재배 > 기계이앙재배 순이었는데, 기계이앙에 비하여 무경운자연재배에서 T-N 323, T-P 12, K 183 kg ha<sup>-1</sup>가 더 정화되었으며, 건답직파재배에서는 T-N 68, T-P 0.7, K 16 kg ha<sup>-1</sup>가 더 정화된 결과를 보였다. 기계이앙재배는 건물생산량과 비점오염물질의 흡수량은 가장 많았으나 관개 소요량이 적고 시비에 의하여 비점오염물질의 정화효과는 상대적으로 낮았다. 벼 생육단계별 비점오염물질 정화량은 기계이앙재배의 경우 분얼기 > 결실기 > 신장기 순으로 높았으나, 무경운자연재배와 건답직파재배에서는 결실기 > 분얼기 > 신장기 순이었다. 벼 재배양식별 쌀수량은 기계이앙재배의 4,698 kg ha<sup>-1</sup>와 비교하여 무경운자연재배는 13%, 건답직파재배는 15% 감소되었다.

## 참고문헌

1. Korea Rural Community & Agriculture Corporation (2002) Environment friendly agricultural infrastructures scheme to reduce nutrient (N, P) loa-

ding of agricultural drainage water. *KRC Research Report*.

2. Kim, J. H., Lee, J. S., Ryu, J. S., Lee, K. D., Jung, G. B., Kim, W. I., Lee, J. T. and Kwun, S. K. (2005) Characteristics of non-point pollutants discharge in a small agricultural watershed during farming season. *Kor. J. Environ. Agri.* 24(2), 77-82.
3. Choi, C. H., Han, K. W., Cho, J. Y., Chun, J. C. and Kim, S. J. (2000) Pollutant loading and changes of water quality at the Namdae-cheon watershed in Keum river districts. *Kor. J. Environ. Agri.* 19(1), 26-31.
4. Chung, J. B., Kim, B. J. and Kim, J. K. (1997) Water pollution in some agricultural areas along Nakdong river. *Kor. J. Environ. Agri.* 16(2), 187-192.
5. Chung, J. B., Kim, M. K., Kim, B. J. and Park, W. C. (1999) Nitrogen, phosphorus, and organic carbon discharges in the Imgo small agricultural watershed. *Kor. J. Environ. Agri.* 18(1), 70-76.
6. Jung, Y. S., Yang, J. E., Joo, Y. K., Lee, J. Y., Park, Y. S., Choi, M. H. and Choi, S. C. (1997) Water quality of streams and agricultural wells related to different agricultural practices in small catchments of the Han River basin. *Kor. J. Environ. Agri.* 16(2), 199-205.
7. Jung, Y. S., Yang, J. E., Park, C. S., Kwon, Y. G. and Joo, Y. K. (1998) Changes of stream water quality and loads of N and P from the agricultural watershed of the Yulmunchon tributary of the Buk-Han river basin. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 31(2), 170-176.
8. Osami, K., Hirayama, K. and Kunimatsu, T. (1996) A study on pollutant loads from the forest and rice paddy fields. *Water Science and Technology* 33(4-5), 159-165.
9. Yulianti, J. S., Lence, B. J., Johnson, G. V. and Takyi,



- A. K. (1999) Non-point source water quality management under input information uncertainty. *J. Environmental Management* 55(3), 199-217.
10. Kim, J. G., Lee, K. B., Park, C. W., Lee, D. B. and Kim, S. J. (2005) Effects of sewage irrigation on rice growth condition in paddy soil. *Kor. J. Environ. Agri.* 24(2), 180-184.
  11. Yoon C. G., Kwun, S. K., Chung, I. M. and Kwon, T. Y. (1999) The effect of reclaimed sewage irrigation on the rice cultivation. *Kor. J. Environ. Agri.* 18(3), 236-244.
  12. Kang, U. G., Lee, J. S., Ko, J. Y., Park, C. Y. and Jung, K. Y. (2004) Agroenvironmental characteristics and N·P demand of paddy fields irrigated with the water of Nagdong river. *Kor. J. Environ. Agri.* 23(3), 170-177.
  13. Braskerud, B. C. (2002) Factors affecting nitrogen retention in small constructed wetlands treating agricultural non-point source pollution. *Ecol. Eng.* 18, 351-370.
  14. Kaneki, R. (2003) Reduction of effluent nitrogen and phosphorus from paddy fields. *Paddy Water Environ.* 1, 133-138.
  15. Takeda, I., Fukushima, A. and Tanakab, R. (1997) Non-point pollutant reduction in a paddy-field watershed using a circular irrigation system. *Water Res.* 31(11), 2685-2692.
  16. Takeda, I. and Fukushima, A. (2004) Phosphorus purification in a paddy field watershed using a circular irrigation system and the role of iron compounds. *Water Res.* 38, 4065-4074.
  17. Takeda, I. and Fukushima A. (2006) Long-term changes in pollutant load outflows and purification function in a paddy field watershed using a circular irrigation system. *Water Res.* 40(3), 569-578.
  18. Yeongnam Agricultural Research Institute (2004) Research plan 2004. YARI, Milyang, Korea. p. 783-787.
  19. Korea Environmental Protection Agency (2000) Standard methods for the examination of water contamination. KEPA.
  20. 안재환 (2000) 비도시 지역에서 강우사상에 따른 비점오염원 유출특성 연구. *건설기술정보* 205, 18-23.
  21. Son, C. H. (2004) A study on characteristics of non-point source pollutants in a rural watersheds. M.S. Thesis, Chungju National University, Chungju.
  22. National Institute of Agricultural Science & Technology (1988) Soil and plant chemical analysis method. Rural Development Administration, Suwon, Korea.
  23. Rural Development Administration (2003) Survey standard of agriculture experiment. Suwon, Korea.
  24. Huang, J., Reneau, R. B. and Hagedorn, C. (2000) Nitrogen removal in constructed wetlands employed to treat domestic wastewater. *Water Res.* 34, 2582-2588.
  25. Kaneki, R. (1991) Water quality of return flow and the purification by using paddy fields. *J. Jpn. Soc. Irrig. Drain. Reclam. Eng.* 59, 1275-1280.