



# 논 비점오염 저감을 위한 담수위 관리와 배출수 여과의 효과 분석

## Management of Ponding Depth and Discharge Filtration from Paddy Fields for Controlling Non-point Source Pollution

최용훈\* · 김영진\*<sup>†</sup> · 김승희\* · 김민영\*  
Yonghun Choi · Youngjin Kim · Seounghee Kim · Minyoung Kim

### Abstract

Field study was carried out to assess the effect of automatic inlet and filtration outlet to reduce non-point source discharge and save agricultural irrigation water from paddy. The comparison of control and treated plots showed that irrigation water was saved up to 58 mm and discharge water was reduced up to 110 mm. The filtration outlet improved the discharge water quality for SS, COD, TN and TP up to 60.1 %, 0.1 %, 4.5 %, and 26.0 %, respectively. Overall, the findings of this study indicated that non-point source pollution discharged from paddy fields where automatic inlet and filtration outlet were installed could be reduced 266.3 kg/ha/yr in SS, 10.3 kg/ha/yr in COD, 1.22 kg/ha/yr in TN, and 0.10 kg/ha/yr in TP, respectively. This clearly showed that the automatic inlet and filtration outlet are effective management method for saving of agricultural water and protecting water environment.

**Keywords:** Automatic inlet; filtration outlet; Paddy; Irrigation water; Non-point source pollution

### 1. 서 론

우리나라 농경지의 질소 수지와 인산 수지는 240 kg/ha/yr 와 48 kg/ha/yr로 이는 경제협력개발기구 (Organization for Economic Cooperation and Development, OECD) 가입국의 평균적인 농경지 질소 수지와 인산 수지인 76 kg/ha/yr와 12 kg/ha/yr보다 3배에서 4배 많은 수치에 해당한다(Kim, 2011). 우리나라의 농경지는 논농사 위주로 밭보다 논의 면적이 월 등히 높았으나 점차 논 면적이 축소되고 있다. 그러나 통계청 자료에 따르면 2014년을 기준으로 논이 933,615 ha, 밭이 757,498 ha로 논이 밭보다 여전히 많은 면적을 차지하고 있다. 밭과 논의 비점오염배출 총량의 54%가 논에서 발생하기 때문에 논 배출수의 수량 및 수질 관리가 비점오염원 관리에 있어 매우 중요한 요인으로 볼 수 있다.

국내 논 용수 이용량은 연간 총 79.1억 톤으로 농업용수 이용량(95.4억 톤)의 83%, 국가수자원 총 이용량(195.4억 톤)의 약 40.5%를 차지하고 있다(MOLIT, 2013). 이는 생활용

수(39.2%), 공업용수(12.0%)와 비교해 볼 때 국가수자원 관리에 논 용수 사용량이 가장 큰 역할을 하는 것으로 볼 수 있다.

하지만 우리나라에서 논 용수의 수량 및 수질 관리에 관한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 농림부와 환경부에서 유역 및 필지 단위의 비점오염 부하 모니터링 연구 사업을 수행하였으며(Park, 2000; Choi, 2005; Park, 2009), 논외 수질 정화 효과(Kim et al., 2004; Jung et al., 2008) 그리고 오리와 수생식물 등을 이용하는 정화논으로써의 수질 정화 효과(Go et al., 2010) 등 논외 인공습지 기능에 대한 연구가 이루어졌다. 이와 함께 논에서 비점오염을 저감 방법에 대한 몇몇의 연구가 진행되었다. Choi et al. (2014a)는 비담수 벼 재배 기술인 System of Rice Intensification (SRI)농법을 이용한 논외 용수 절약과 비점오염물질의 배출 저감 효과를 분석하였다. 그리고 논외 하류부에 우수지 또는 저류지 등의 시설을 설치하고 비점오염을 저감하는 연구(Rural Research Institute, 2003; Kang et al., 2009; Kim et al., 2013)가 수행되었다. 이러한 연구들은 논외 비점오염 현황 등의 기초자료를 제공하며, 영농 기법의 변경 또는 중소규모 시설 등을 이용한 비점오염 저감의 기술적인 가능성을 제시하고 있으나, 영농 현장에 적용과 도입을 위해서는 제도적, 기술적으로 지속적인 검토가 요구되고 있는 실정이다. 또한 Jeon et al. (2005)은 논에서 비점오염관리를 위해서는 효율적인 물 관리 기법의 개발이 필요하다고 하였으며, Han et al. (2007)은 논에서 적절한 물 관리를 통하여 유출수를 최소화하는 경우 영양물질의 손실을 절감할

\* Agricultural Safety Engineering, National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Jeonju 560-500, Korea

† Corresponding author

Tel.: +82-63-238-4159 Fax: +82-63-238-4145  
E-mail: mukta73@korea.kr

Received: July 8, 2015

Revised: October 28, 2015

Accepted: November 9, 2015

수 있다고 하였다. 이렇듯 논 비점오염관리를 위해서는 논에서 적절한 물 관리의 중요성이 강조되고 있으나, 농업인의 일상적인 물꼬 관리 행위를 통해서 비점오염 저감 효과를 얻을 수 있는 기술들은 거의 연구되지 않고 있다. Kim et al. (2012)은 액비를 사용한 논 수질 환경 부하를 저감하기 위한 물 관리 방안에 대한 연구가 진행되었으나, SCB 액비를 사용하는 평탄지 논에만 국한된 물 관리 방법이었다. Choi et al. (2014b)은 적절한 물관리가 가능한 자동취수 물꼬와 논 유출수를 여과하는 토사유출저감 물꼬를 이용하여 논 유출수의 농도 저감을 확인하였으나, 수질 분석이 비의 주요 물 관리시기(이앙기, 중간낙수기, 최종낙수기)에 1회성 조사로 이루어졌기 때문에 비점오염 저감 효과를 분석하기 위해서는 연속적인 조사 및 강우시 조사가 필요할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 논 비점오염 관리를 위하여 담수위 감지형 취수물꼬와 논 배출수의 수질 농도를 낮출 수 있는 활성탄이 충전된 여과형 배수물꼬를 설치하고, 비의 재배시기 동안의 수량 및 수질 조사를 통하여 논 비점오염 저감 효과를 분석하고, 평가하였다.

토층(깊이 30 cm)의 포화투수계수가 논 시험포 1에서  $5.98 \times 10^{-4}$  cm/sec, 논 시험포 2에서  $4.03 \times 10^{-4}$  cm/sec로 나타났다.

논 시험포 1의 취수구에는 논 비의 담수위 변화를 감지하여 수문을 자동으로 개폐하는 기능을 가진 취수물꼬를 설치하였고(이하 자동 취수물꼬, Automatic inlet), 자동취수 물꼬를 사용할 때 수위 감지 센서의 높이를 조절하여 논 비의 담수위를 변화시킬 수 있다. 따라서 비의 생육시기와 농업인의 필요에 따라 센서의 높이를 변화하여 논 비의 담수위를 조절하였다. 논 시험포 1의 배수구에는 활성탄이 충전된 여과형 배수물꼬(이하 여과 배수물꼬, Filtration outlet)를 설치하였다. 여과 배수물꼬는 S형태의 구조로써 내부에 활성탄 여과층을 설치하여 배출수의 유로 길이를 증가시키며, 활성탄에 의한 여과 및 흡착 기능을 가지도록 설계된 배수물꼬이다(Fig. 2). 본 연구에서는 60×60 cm 크기의 S형 구조에 의하여 유로길이가 3배 증가하는 구조를 가진 여과 배수물꼬를 사용하였다. 그리고 활성탄은 시중에서 판매되고 있는 토양개량용 참숯으로 일정한 규격의 제품은 아니며, 공극이 막혀 여과기능을 발휘하지

## II. 재료 및 방법

### 1. 논 시험포

논 비점오염 유출특성 분석은 농업인이 경작하고 있는 논에서 조사를 실시하고자 하였다. 논 시험포는 용수로와 배수로가 구분되어 있으며, 수리조건과 재배조건이 동일한 지역으로 선정하였다(Fig. 1). 논 시험포 1과 2의 면적은 0.36 ha와 0.45 ha이며, 시험포 1과 2 모두 고시하카리 품종을 재배하였다. 논 시험포의 토성은 모두 미사질 양토로 분류되었고, 심



Fig. 2 Automatic inlet (left) and filtration outlet (right)

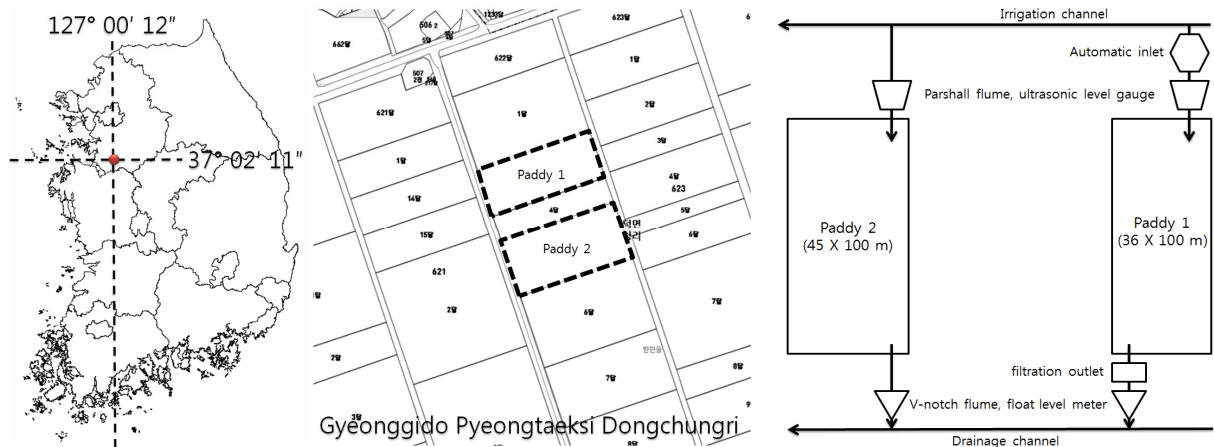


Fig. 1 Location and layout of study areas

못할 경우에는 재사용하지 않고 논토양으로 환원되도록 하였다. 논 시험포 2의 취수와 배수는 농업인에 의해 관행적인 방법으로 물 관리가 이루어지도록 하였다.

## 2. 모니터링 및 분석 방법

논 시험포의 모니터링은 2014년 5월 (이앙 준비기간)부터 10월 (수확기)까지 수행하였다. 논 시험포 1과 2는 동일한 수원과 수로로 관개용수를 공급받고 있으며, 취수구 사이의 거리가 60 m 정도로 인접해 있어 관개용수의 수질은 동일한 것으로 가정하였다. 따라서 자동취수 물꼬의 오염부하 저감 효과는 논 시험포 1과 2의 관개용수량 비교를 통하여 분석하였다. 관개용수량 산정은 논 시험포 1과 2의 유입부에 초음파 수위계 (Ultrasonic M18, Carlo gavazzi)와 Parshall flume (3 inch)을 설치해 10분 간격으로 측정하였다. 관개용수의 수질은 월 1회씩 측정하여, 오염부하 분석에 활용하였다.

논 시험포의 유출 오염부하는 3 지점에서 조사하였다. 물꼬 시스템을 적용한 논 시험포 1에서는 여과 배수물꼬를 통과하기 전과 통과한 후의 오염부하를 조사하였고, 물꼬 시스템을 적용하지 않은 논 시험포 2에서는 유출되는 오염부하를 산정하였다. 유출량 조사 지점에는 자동채수기를 설치하여 1시간 간격으로 채수하고, 채수된 시료의 수질 변화와 유출 유량의 변화를 고려하여 선택적으로 수질 시료를 분석하였다. 채수된 수질 시료는 수질오염공정시험방법 (ME, 2008)에 따라 SS, COD, BOD, TN 그리고 TP를 분석하였다. 유출량 산정은 논 시험포 1과 2의 유출부에 부자식 수위계 (Thalimedes, OTT)와 V-notch flume을 설치하고, 10분 간격으로 측정하였다. 연구지역의 강우량은 농촌진흥청농업기상정보 서비스 (<http://weather.rda.go.kr>)에서 제공하는 평택시 오성면의 자료를 활용하였다.

오염부하 저감량은 논 시험포 1의 자동취수 물꼬와 여과 배수물꼬의 오염부하 저감량을 합하여 산정하였으며, 자동취수 물꼬와 여과 배수물꼬를 설치하지 않은 논 시험포 2의 오염부하에서 논 시험포 1의 오염부하 저감량을 차감하여 오염부하 저감효과로 환산하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 논 시험포의 취수량 비교

논 시험포 1과 2의 벼 재배기간 동안의 유입량은 강우량과 취수량으로 구분 할 수 있다. 연구기간동안 월별 누적강우량과 논 시험포 1과 2의 취수량은 Fig. 3에 나타났다. 강우량이 증가함에 따라 논 취수량이 감소하는 경향이 뚜렷하게 나

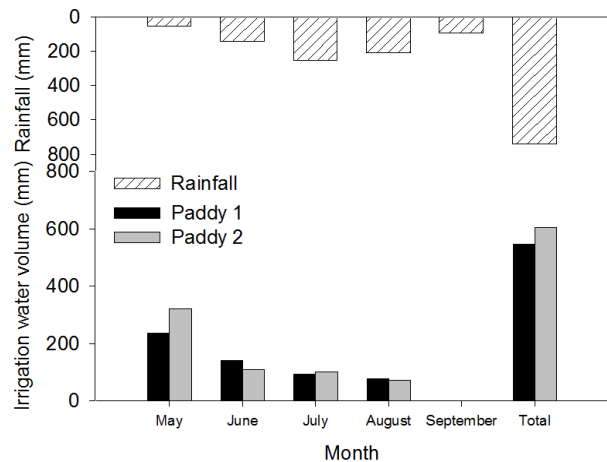


Fig. 3 Irrigation water volume of paddy during the growing season of rice

타난다. 자동취수 물꼬를 적용한 논 시험포 1과 농업인이 경험과 직관에 의해 물꼬를 직접 관리한 논 시험포 2와 비교해 총 취수량에서 58.1 mm 차이가 있는 것으로 나타나 약 9.6%의 농업용수가 절약된 것으로 해석할 수 있다. 월별 취수량을 보면, 6월과 8월에는 자동취수 물꼬에 의한 취수량이 관행방법보다 더 많이 나타났다. 그 이유는 자동취수 물꼬는 강우발생 여부와 관계없이 담수위에 따라 수문을 개폐하기 때문인 것으로 사료된다. 관행 방법에서는 비가 올 것으로 예상되는 경우 담수위가 낮아도 일반적으로 취수를 하지 않는다. 그러나 자동취수 물꼬는 미리 설정된 최소 담수위가 유지되도록 취수량을 조절하므로 강우가 있어도 관행방법에 비해 취수량이 많아진 것이라고 판단된다. 이는 본 장치의 기능상 개선이 필요한 점으로 강우 여부에 따라 수문 작동을 조절하는 기능이 필요 할 것으로 판단된다.

취수량 저감으로 인한 논 오염물질 배출 총량 저감효과를 분석하고자, 매월 측정된 관개용수의 평균 수질은 SS 15.0 mg/L, COD 27.6 mg/L, TN 8.224 mg/L 그리고 TP 0.260 mg/L로 분석되었다. 논 시험포 1과 2는 동일한 용수원과 관개수로에서 용수를 공급받으며, 두 논 사이의 거리가 가깝기 때문에 유입수의 농도 차이는 없기 때문에 논 시험포 1과 2로 유입되는 오염부하는 취수량에 따라 결정된다. 따라서 자동취수물꼬에 의해 논으로 유입되는 오염물질 저감 효과는 농업용수 절약 효과와 동일한 9.6%로 볼 수 있다.

### 2. 논 시험포의 유출량 분석

Table 1은 연구기간동안 2개 시험포의 월별 누적 유출량을 나타낸 것으로 논 시험포 1과 2의 벼 재배기간 동안의 누적 유출량은 331.5 mm와 441.7 mm로 나타났다. 논에서 발생하는

**Table 1** Outflow volume of paddy during the growing season of rice

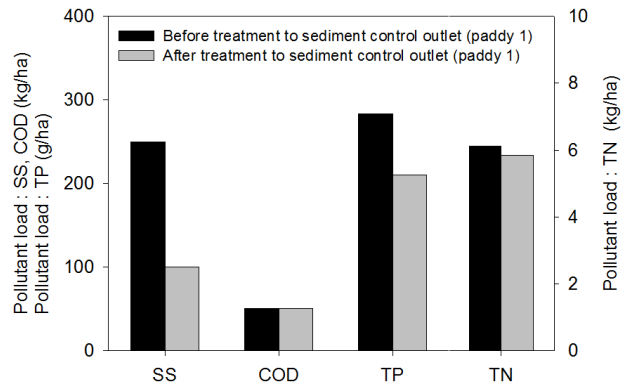
Month	Outflow volume (mm)		
	Paddy 1	Paddy 2	Difference (Paddy 1-Paddy 2)
May	113,3	112,1	1,2
June	133,6	145,9	-12,3
July	32,7	105,9	-73,2
August	51,3	76,9	-25,6
September	0,5	0,9	-0,4
Sum	331,5	441,7	-110,2

**Table 2** Classification by outflow characteristic (Unit: mm)

Class.	Paddy 1	Paddy 2	Difference (Paddy 1-Paddy 2)
Management-outflow	74,7	64,4	+10,3
Rainfall-runoff	193,8	286,2	-92,4
Overirrigation-runoff	63,0	91,2	-28,2

유출량은 Kwun and Yoo (1989)의 연구에서 1,060 mm, Han (2011)의 연구에서 825.4 mm와 883.5 mm, Choi et al. (2012)의 연구에서 400.0 mm로 보고되고 있다. 연구 지역의 기상현황, 토양특성, 물 관리 형태 그리고 작물 재배 방식 등이 다르기 때문에 유출량 저감 효과를 하나의 숫자로 정의하기는 어려울 것으로 판단되었다. 월별 유출량은 5월을 제외한 모든 기간에 논 시험포 2에서 더 많았고, 연간 110.2 mm의 유출량이 저감되는 것으로 나타났다. 이는 논 시험포 1의 유출량을 기준으로 할 때 약 18.3%의 유출량이 감소하는 것으로 분석되었다.

논에서 발생하는 유출은 재배관리에 따른 인위적인 배수와 강우로 발생하는 유출 그리고 과잉관개 등 잘못된 물 관리 방법에 의한 유출로 구분 할 수 있다. 세 가지 경우의 유출 형태는 농업인의 관리에 따라 유출량이 달라질 수 있으나 재배 관리에 따른 배수와 강우로 발생하는 유출은 인위적으로 줄이기 어렵기 때문에 과잉관개에 의한 유출이 발생하지 않도록 관리하는 것이 가장 좋은 방법이 될 것이다. 본 연구에서 과잉관개로 인한 유출이 논 시험포 1에서 28.2 mm 적은 것으로 나타났다 (Table 2). 이러한 결과는 자동취수 물꼬의 사용에 따라 과잉관개가 억제되고 이로 인해 논에서 발생하는 유출량이 감소하는 결과로 판단된다. 하지만 논의 유입량 비교 결과와 같이 자동취수 물꼬는 강우기간에 과잉관개로 인한 유



**Fig. 4** Comparison of pollutant loads discharge to paddy

출이 발생할 가능성이 있다.

### 3. 여과 배수물꼬의 배출 오염부하 저감 효과 산정

Fig. 4에는 물꼬 시스템을 적용한 논 시험포 1에서 여과 배수물꼬를 통과하기 전과 후의 오염부하를 산정하여 비교하였다. 오염부하는 총 11회 (강우 유출 8회, 농업활동으로 인한 유출 3회)의 유출을 모니터링하여 산정하였다. 논 시험포 1의 여과 배수물꼬에 의한 저감 효과는 SS 항목에서 60.1%, TP 항목에서 26.0%로 높게 나타났으며, COD와 TN 항목은 0.1%와 4.5%로 거의 무효한 정도의 효과를 나타낸 것으로 볼 수 있다. Choi et al. (2014b)의 연구에서는 관행 물꼬 관리 논보다 여과 배수물꼬를 설치한 논에서 SS 22.8~75.0%, COD 9.7~45.5%, TN 0~64.5%, TP 0~42.5%의 수질 농도가 낮아지는 효과를 보고하였다. 기존 연구의 결과와 본 연구의 결과의 차이가 크게 나타나는 것은 기존 연구에서는 여과 배수물꼬 설치 유무에 의한 두 논의 수질을 비교하였으나, 본 연구에서는 논에서 여과 배수물꼬 통과 전후의 수질 변화를 분석하였기 때문인 것으로 판단된다. 그리고 본 연구에서 COD와 TN 항목의 저감효과가 낮게 나타난 것은 여과 배수물꼬에서 활성탄에 의한 여과와 흡착 효과를 통해 오염물질을 제거할 때 토립자 등의 부유물질 등과 함께 흡착된 형태로 존재하는 인에 대한 여과 효과는 좋으나 물에 용해된 형태로 존재하는 물질에 대한 흡착 효과가 작기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 부유물질을 여과하는 기능과 함께 용존성 물질의 흡착에도 유용한 소재 발굴에 대한 연구가 더 필요 할 것으로 사료된다.

### 4. 오염부하 저감량 분석

Table 3에는 논 시험포 2를 대상으로 논 시험포 1의 결과 (자동취수 물꼬와 여과 배수물꼬의 오염부하 저감 효과)를 적용하였을 때의 오염부하 저감효과를 산정하였다. 자동취수



**Table 3** Estimated by reduction rate when applying automatic inlet and filtration outlet from paddy 2

Class.	Pollutant load of paddy 2 (kg/ha/yr)	Reduction of Pollutant load (kg/ha/yr)			Reduction rate (%)
		The case of using automatic inlet	The case of using filtration outlet	Total	
SS	382.08	36.68	229.63	266.31	69.7
COD	106.60	10.23	0.11	10.34	9.7
TN	8.68	0.83	0.39	1.22	14.1
TP	0.28	0.03	0.07	0.10	35.6

물꼬에 의해서는 취수량 감소율 (9.6 %)을 오염부하 저감률로 보았으며, 여과 배수물꼬에 의해서는 활성탄에 의한 각각의 농도 저감률 (SS 60.1 %, COD 0.1 %, TN 4.5 %, TP 26.0 %)을 오염부하 저감량으로 환산하여 분석하였다. 논 시험포 2에 논 시험포 1의 효과를 적용하여 산정된 저감효율은 SS 69.7 %, COD 9.7 %, TN 14.1 %, TP 35.6 %로 산정되었다. 여과 배수물꼬에 의해서는 SS와 TP 항목에서만 저감효과가 나타난 반면, 자동취수 물꼬에 의해서는 COD와 TN 항목에서도 저감효과를 보였다.

Kim (2003)은 논이 발달한 유역의 배수로 말단부에 우수지를 형성하여 오염물질 처리시설로 이용한 연구에서 SS 47.2 %와 TN 28.3 % 그리고 TP 34.7 %의 비점오염 정화효과가 있다고 하였으며, Kim et al. (2013)은 논외 유출부에 저류지를 만들 경우 TN 16.3~73.0 %와 TP 15.4~70.1 %의 오염물질 저감효과가 있다고 한 바 있다. 본 연구에서 자동취수 물꼬와 여과 배수물꼬를 사용한 경우 우수지와 저류지에서 나타난 SS와 TP의 저감 효과와 비슷한 것으로 나타났으며, 우수지 및 저류지의 설치에 일정 면적이 소요되지만 물꼬 설치에 필요한 면적은 작기 때문에 우수지와 저류지 등의 설치에 비해 더욱 효과적인 것으로 판단된다. 다만 수문의 정상적인 작동과 활성탄의 여과력 유지를 위해서는 주기적인 관리가 요구된다.

#### IV. 요약 및 결론

본 연구는 논에서 배출되는 오염물질을 저감하기 위하여 자동취수 물꼬와 여과 배수물꼬를 논 시험포에 적용하고, 그에 따른 용수사용량과 배출수량 그리고 배출 오염부하를 평가, 분석하였다.

1. 자동취수 물꼬를 사용한 논 시험포에서 연간 약 58 mm의

관개용수가 절약되었다. 유출량은 약 110 mm 감소하였고, 이중 과잉관개로 인한 유출이 약 28 mm로 조사되었다. 자동취수 물꼬에 의하여 불필요한 관개용수의 공급으로 인한 과잉 관개가 억제되기 때문에 배출수 저감 효과도 나타난 것으로 판단된다.

2. 여과 배수물꼬의 사용으로 SS 60.1 %, COD 0.1 %, TN 4.5 %, TP 26.0 %의 오염물질의 농도 저감효과가 있는 것으로 분석되었다. SS와 TP항목에서 높은 저감 효율이 나타났다. 이는 배수물꼬를 채운 활성탄의 흡착에 의한 용존물질 제거보다 여과에 의한 부유물질과 부유물질에 흡착된 인의 저감이 높게 나타났으며, COD와 TN 농도를 저감하기 위한 여과재 발굴 연구, 그리고 다양한 지역의 다양한 토성에서 장기간의 모니터링 연구가 추가적으로 진행 될 필요가 있다.
3. 자동취수 물꼬의 유출량 저감 효과와 여과 배수물꼬의 농도 저감효과를 합하여 산정한 저감 오염부하는 SS 266.3 kg/ha/yr, COD 10.3 kg/ha/yr, TN 1.22 kg/ha/yr, TP 0.10 kg/ha/yr로 나타났으며, 논에서 발생하는 토사유출 및 비점오염 물질을 억제하는 좋은 방법이 될 것으로 판단된다. 또한 사용한 활성탄 및 숯은 토양 개량제로써 논토양으로 환원 될 수 있으므로, 폐기물에 의한 2차적인 오염이 억제 되는 효과도 있다. 다만 물꼬와 여과재의 정상적인 작동을 위해서는 주기적인 관찰과 관리 (물꼬 이물질 제거, 여과재의 교환 등)가 반드시 필요하다.

#### 사 사

본 논문은 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업 (세부과제번호:PJ00850702)의 지원에 의해 이루어진 것임.

#### REFERENCES

1. Choi, J.D., 2005. Measurement of non-point source pollution load discharges. Hanam, Gyeonggi, Korea: Han River Water Shed Environmental Management Office (in Korean).
2. Choi, J.D., G.Y. Kim, W.J. Park, M.H. Shin, Y.H. Choi, S.I. Lee, S.J. Kim, and D.K. Yun, 2014a. Effect of SRI water management on water quality and greenhouse gas emissions in Korea. *Irrig. and Drain.* 63: 263-270.
3. Choi, J.K., J.G. Son, K.S. Yoon, H.J. Lee, and Y.J. Kim, 2012. Runoff characteristics in paddy field using cow manure compost fertilizer. *Journal of the Korean Society of Agricultural*

- Engineers*, 54(3): 29-36 (in Korean).
4. Choi, Y.H., S.B. Lee, Y.J. Kim, S.H. Kim, M.Y. Kim, and M.K. Oh, 2014b. Field application of automatic inlet and turbidity control outlet in paddy. *Korean J. Int. Agric*, 26(4): 550-555 (in Korean).
  5. Han, K.H., 2011. Characteristics of non-point sources pollutant loads at paddy plot located at the valley watershed during irrigation periods. *Journal of Korean National Committee on Irrigation and Drainage*, 18(1): 94-102 (in Korean).
  6. Han, K.H., J.H. Kim, K.S. Yoon, J.Y. Cho, W.I. Kim, S.G. Yun, and J.T. Lee, 2007. Effluent characteristics of nonpoint source pollutant loads at paddy fields during cropping period. *Korean J. Soil Sci. Fert*, 40(1): 18-24 (in Korean).
  7. Jeon, J.H., C.G. Yoon, J.K. Choi, and K.S. Yoon, 2005. The comparison of water budget and nutrient loading from paddy field according to the irrigation methods. *Korean J. Limnol*, 38(1): 118-127 (in Korean).
  8. Jung, J.W., K.S. Yoon, W.J. Choi, W.Y. Choi, S.H. Lee, N.I. Chang, S.K. Hong, and S.H. Joo, 2008. Analysis of purification capacity of paddy fields using nutrient balance. *Journal of korean wetlands society*, 10(3): 1-7 (in Korean).
  9. Jung, K.W., 2010. Cooperative project of controlling agricultural nonpoint source pollution in Saemanguem watershed. *Korean National Committee on Irrigation and Drainage*, 46: 53-56 (in Korean).
  10. Kang, C.G., S.Y. Lee, C. M. Marla, and L.H. Kim, 2010. Application of free water surface constructed wetland for treating the agricultural runoff. *Journal of Environmental Impact Assessment*, 19(1): 83-89 (in Korean).
  11. Kang, M.S., 2010. Improvement of farming practice for controlling agricultural nonpoint source pollution. *Rural resource*, 52(4): 40-50 (in Korean).
  12. Kim, C.G., 2011. Establishment of system for managing agri-environmental resource using agri-environmental indicators, 10-18. C2011-28. Seoul, Korea: Korea rural economic institute (in Korean).
  13. Kim, H.S., 2003. The Environment-friendly Agricultural infrastructure improvement plan to Reduce the influence agricultural drainage on water pollution(Final) -focus on the paddy field-, 158-160. Ansan, Gyeonggi, Korea: Rural Research Institute (in Korean).
  14. Kim, H.S., J.S. Kim, Y.I. Kim, and B.H. Cheong, 2004. Analysis of the characteristics of nutrients loading and the water purification function in the paddy-fields. *Journal of Korean National Committee on Irrigation and Drainage*, 11(1): 36-44 (in Korean).
  15. Kim, M.K., S.I. Kwon, G.B. Jung, S.C. Hong, M.J. Chae, S.G. Yun, and K.H. So, 2013. Small-scale pond effects on reducing pollutants load from a paddy field. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 32(4): 355-358 (in Korean).
  16. Ko, J.Y., J.S. Lee, K.S. Woo, M.C. Seo, J.R. Kang, S.B. Song, B.G. Oh, K.Y. Jung, E.S. Yun, K.J. Choi, M.H. Nam, and Y.H. Lee, 2010. Effects of purifying rice paddy in reducing nutrient loadings from rice paddy fields area using free range ducks and rice bran. *Korean J. Soil Sci. Fert*, 43(2): 132-139 (in Korean).
  17. Kwun, S.K., and M.H. Yoo, 1989. Establish prevention of eutrophication and environmental pollution of reservoirs(Ⅱ), Korean Rural Community and Agricultural Corporation (in Korean).
  18. Ministry of environment(ME), 2008. Standard methods of water sampling and analysis (in Korean).
  19. Ministry of land, Infrastructure and Transport(MOLIT), 2013. Statistical analysis of water resource in South Korea, 237-367. Sejong, Korea (in Korean).
  20. Park, H.N., 2009. Research on Long Term Monitoring for the Non-point Source Discharge. Gwangju, Korea: Yeongsanriver environment research center (in Korean).
  21. Park, S.W., 2000. Monitoring agroecological environments and developing comprehensive agricultural environmental management systems. Gwacheon, Gyeonggi, Korea: Ministry of agriculture Food and Rural Affairs (in Korean).