



하수처리수의 농업용수 재이용에 따른 포장단위 수질영향 분석

Analysis of Wastewater Reuse Effect on Field-Scale Water Quality

성충현* · 김성재** · 김성민*** · 김상민****,†

Seong, Chung Hyun · Kim, Sung Jae · Kim, Sung Min · Kim, Sang Min

ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze the water quality change when wastewater applied to study paddy fields. CREAMS-PADDY (Chemical, Runoff and Erosion from Agricultural Management System) model was used to estimate the field-scale water quality. Simulated results were compared with observed data monitored from Byeongjeom study paddy fields which is located near the Suwon sewage treatment plant in Gyeonggi-do. Significance analysis was performed for the three different irrigation water quality level and five fertilizer reduction scenarios using LSD (Least Significant Difference) and DMRT (Duncan's Multiple Range Test). Total nitrogen was found to be significant for both irrigation water quality level and fertilizer reduction while total phosphorus was not. Annual drainage load for total nitrogen was reduced by 66~92 % compared to irrigation load when treated wastewater irrigated to study paddy fields from 2002 to 2007. Total phosphorus was reduced by 70~86 %.

Keywords: Wastewater reuse, CREAMS-PADDY, Duncan's Multiple Range Test, LSD.

1. 서 론

국내의 경우 지역 간 용수수급의 불균형 및 강우의 계절별·지역별 편중으로 전국적으로 기준수요 시나리오에서 따르면 2011년에 7.97억 m³, 2016년에 9.75억 m³, 2020년에 9.25억 m³의 물이 부족 할 것으로 예상 되고 있다 (MOCT, 2006). 또한 가뭄 발생 시 보존수량의 부족으로 인해 하천의 건천화 및 생태계 파괴가 심화될 우려가 있다. 지난 100년간 (1908~2007)의 기상자료를 살펴보면 가뭄 발생 횟수가 16회에 달하며, 2년 연속 대가뭄이 7회 발생하였으며, 2001년과 2002년 연속 가뭄으로 인해 109개 시·군에서 40여만명이 제한적으로 급수를 받은 사례가 있다 (Yum et al., 2010).

물 부족으로 인한 신규 수자원 확보의 어려움을 극복하기 위한 노력으로 하수재이용에 대한 관심이 높아지고 있으며, 하수 재이용을 통하여 부족한 수자원의 보충, 하천 건천화 방지, 용

수이용효율의 제고 및 농경지 비료성분의 공급 등을 기대할 수 있다 (Kang et al., 2004). 하수재이용은 세계 40여국에서 실용화되거나 연구 중에 있으며, 특히 세계적으로 약 2천만 ha의 토지에 농업 용도로 하수처리수가 관개되고 있고 관개 면적은 점점 더 커질 전망이다 (Jung et al., 2010).

국내의 경우 2009년말 전국 438개 공공하수처리시설 (처리규모 500 m³/day 이상)중 433개 공공하수처리시설에서 처리수를 재이용하고 있으며, 연 평균 유입하수량 67억 m³중 10.9 %인 7.3억 m³을 재이용하고 있는 것으로 나타났으며, 재이용수중 농업용수로는 8.5 %인 0.61억 m³을 재이용하는 것으로 조사되었다 (MOE., 2009a). 환경부에서는 2006년부터 하수처리수를 농업용수로 재이용하는 사업을 실시해 왔으며, 일년에 2개소 정도가 농업용수재이용 사업이 이루어지고 있다. 특히, 강진군 강진 하수처리수 재이용사업의 경우 인근 공공수역으로 하수처리장 처리수가 방류되던 것을 인근 농수로로 연결하여 2007년부터 농경지 50 ha에 3,000 m³/day의 용수 공급을 시작하여 안정적으로 농업용수를 공급하고 있으며, 제주도 판포하수처리장의 경우 2010년부터 250 ha의 농경지에 5,000천 m³/day의 재이용수를 공급하여 물 부족 문제를 해결하였고, 이와 더불어 지하수자원의 보전과 근해 수질오염문제 해결이라는 효과도 나타났다 (MOE, 2009a, MOE, 2009b, Seong et al., 2009).

하수처리수에는 높은 농도의 비료물질이 들어 있어서, 공공수역에 방류되면 수질오염을 일으키는 주요 원인이 된다. 하지만

* 서울대학교 농업생명과학연구원
 ** 경상대학교 농공학과 대학원
 *** 경상대학교 지역환경기반공학과
 **** 경상대학교 지역환경기반공학과 조교수(농업생명과학연구원)
 † Corresponding author Tel.: +55-772-1931
 Fax: +8ww2-55-772-1930
 E-mail: smkim@gnu.ac.kr

2011년 5월 3일 투고
 2011년 7월 15일 심사완료
 2011년 7월 18일 게재확정

하수처리수를 농업용수로 재이용할 경우에는 비료성분을 작물이 생장하는데 이용하고, 수질이 개선된 물이 수역으로 흘러들어가 결과적으로 하천수질을 개선시키는 효과가 있는 것으로 조사되었다 (Jang et al., 2010).

본 연구에서는 하수처리수의 농업용수 재이용에 따른 수질개선효과를 정량적으로 분석하기 위해 대조구 및 처리구를 설치한 시험포장을 조성하여 하수처리수의 농업용수 재이용에 따른 수질영향을 분석하며 포장단위 수질모형과 통계적 방법을 이용하여 관개수 수질 및 시비량 삭감에 따른 유의성을 분석하여 하수처리수를 관개용수로 재이용 할 경우의 부하량 저감 효과를 비교하였다.

II. 재료 및 방법

1. 대상지점

하수처리수의 재이용에 따른 수질변화를 모의하기 위해 경기도 화성시 태안읍 진안리에 위치한 수원시 하수처리장 인근의 약 700 평 규모의 병점 시험포장을 대상지점으로 선정 하였다. 본 지점은 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과에서 2002년부터 작물생육시험과 이에 따른 수문, 수질 모니터링 및 하수

처리수 재이용에 따른 영향을 분석하기 위해 설치한 시험포장으로 지하수 관개구인 대조구 (TR1), 하수처리장 방류수 처리구 (TR2), 하수처리장 방류수를 여과와 소독으로 재처리하여 관개하는 처리구 (TR3)로 구성되어 있으며, 시험포장의 시험구는 5 m×5 m 크기로 3처리 4반복의 12개 시험구를 난괴법으로 배치하였다 (Fig. 1).

2. 하수처리장

병점 시험포장의 하수처리수 재이용을 위해 관개수는 수원시 환경사업소 하수처리장의 방류수로 수원시의 도시생활 환경개선, 방류수역의 하천 생태계 보전 및 하류지역에 적정 수질의 농업용수공급을 주 목적으로 1995년부터 운영되고 있다. 연간 하수처리량은 1997년부터 2010년까지 연 평균 약 1억3천만 m³에 달하며, 1995년부터 2010년까지 하수처리장에서 방류하는 연 평균 방류수는 방류수 수질기준치 이하인 것으로 나타났다 (Table 1). BOD의 경우 2000년~2007년까지는 환경부 하천수 수질기준 V 등급 (10 mg/L)을 초과하는 수준이었으나, 2008년 이후로는 환경부 하천수 수질기준 V 등급 이하로 나타났다.

Table 1 Influent/effluent water quality of Suwon sewage treatment plant

Year	Influent (mg/L)					Treatment	Effluent (mg/L)				
	BOD	COD	SS	T-N	T-P		BOD	COD	SS	T-N	T-P
Standard	-	-	-	-	-	1	≤20	≤40	≤20	≤60	≤8
1997	92.6	50.4	124.9	39.70	2.84	1	8.5	10.0	5.7	32.10	1.62
1998	91.4	51.4	104.7	26.20	2.81	1	8.0	9.7	4.5	22.00	1.59
1999	103.8	53.4	142.8	26.90	3.03	1	8.7	10.3	4.6	21.60	1.66
2000	108.2	54.9	113.4	31.87	2.87	1	12.0	12.3	8.4	26.64	1.51
2001	202.7	77.8	149.1	32.59	3.24	1	11.7	11.0	8.4	21.03	1.54
2002	136.4	64.7	147.4	28.52	2.83	1	13.2	11.8	8.3	19.12	1.52
2003	214.5	117.0	305.5	49.77	5.41	1	13.0	11.5	9.5	21.59	1.63
2004	135.7	63.7	118.8	33.41	4.37	1	12.7	10.9	6.6	17.74	1.98
2005	142.7	68.4	108.0	35.91	4.09	1	12.4	12.5	6.6	21.59	2.15
						2	9.6	10.0	4.0	16.33	1.32
2006	159.9	72.8	104.3	36.42	4.03	1	13.7	12.5	7.0	21.53	1.89
						2	11.5	11.6	5.1	16.09	0.91
2007	137.0	65.4	116.0	35.86	4.09	1	12.0	10.6	6.2	19.01	2.16
						2	12.7	11.6	7.3	12.91	0.96
2008	169.1	74.1	106.7	35.20	3.90	1	8.8	9.4	5.3	12.70	1.00
						2	9.9	9.4	4.0	8.40	0.50
2009	170.3	76.3	119.7	37.71	4.14	1	7.5	9.6	5.4	13.31	0.90
						2	7.2	9.1	5.1	9.85	0.80
2010	139.2	72.0	124.2	37.14	4.56	1	7.6	10.0	4.4	12.08	0.94
						2	9.8	11.9	4.3	8.59	0.86



Fig. 1 Layout of experimental paddy fields

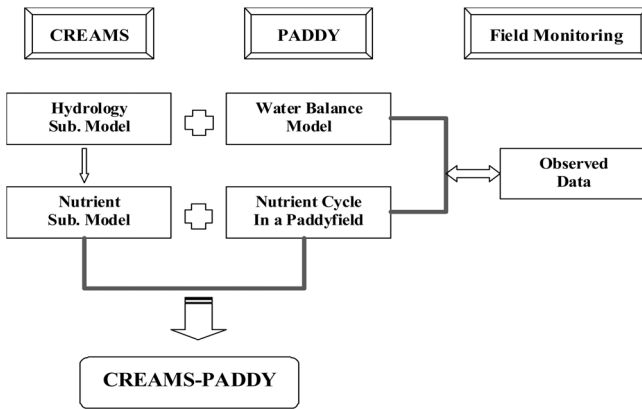


Fig. 2 Overview of CREAMS-PADDY (Chin et al., 1996)

3. 포장단위 모형

미 농무성 토양보전국에서 1980년도에 개발한 CREAMS (Chemical, Runoff and Erosion from Agricultural Management System) 모형은 포장규모에서의 장기간의 유출 및 유사량을 추정하기 위한 모형으로 수문, 침식 및 화학물질 모형을 포함하고 있으며, 단기 및 장기 모의발생을 할 수 있도록 구성되어 있다. 본 연구에서는 담수상태인 논에서의 영양물질 모의를 포함하지 않는 CREAMS 모형을 수정하여 논에서의 물수지와 물질수지 모의가 가능하도록 개발한 CREAMS-PADDY 모형 (Chin et al., 1996)을 적용하였다.

CREAMS-PADDY 모형은 CREAMS의 입력자료를 최소한으로 보완하여 CREAMS 모형과 호환되도록 하였는데, 수문모형의 경우는 별도의 물수지 식을 구성하여 논의 담수조건을 구현하도록 하였고, 영양물질 모형의 경우는 총 질소 (T-N) 및 총 인 (T-P)을 입력받아 T-N 및 T-P의 농도 및 부하량을 계산하도록 구성되었으며, 담수로 인해 혐기성인 논에서는 질산화가 늦게 일어나게 되므로 토층내의 질소량으로부터 담수심으로의 추출의 시간적 차이가 발생한다고 가정하여 기존 CREAMS 모형의 추출상수를 조정하여 질산화가 늦게 일어나는 것으로 구성되어 있다.

본 연구에는 Kim et al. (2007)의 연구에서 제시한 수식과 입력 매개변수를 적용하였으며, 검·보정된 CREAMS-PADDY 모형을 이용하여 하수처리수의 농업용수 재이용시 시비량 변화에 따른 논에서의 수질영향을 모의하고, 논에서 재이용수의 유입부하량에 따른 배출부하량을 계산하는데 이용하였다.

4. 통계 분석

일반적으로 하수처리수는 높은 농도의 비료물질을 함유하고 있어서 시비량 저감에 기여할 수 있다 (Jang et al., 2010). 시

비량 저감 및 관개수 수질에 따라 논으로 유입되는 영양물질의 양이 달라지게 되는데, 이에 따른 시나리오를 구성하여 논에서의 수질변화를 알아보기 위해 검·보정된 CREAM-PADDY 모형을 이용하여 2002년부터 2007년까지 모의를 실시하고, 논외 담수수질 T-N, T-P 항목의 결과에 대해 통계분석을 실시하였다.

시나리오는 관개수 수질에 따라 지하수 관개 (Ground Water, GW) 및 하수방류수를 여과·소독 처리한 하수처리수 관개 (Wastewater, WW)와, 하수처리수 관개시 시비량 삭감 (WW + 10~50 % reduction)량에 따라 표준시비량 기준으로 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 %를 삭감하는 경우의 총 7가지로 설정하였다.

시나리오에 따른 논에서의 수질 모의결과에 대한 유의성을 검증하기 위해 분산분석 (Analysis of variance, ANOVA)를 실시한 뒤, 사후검정방법으로 최소유의차 (Least Significant Difference, LSD)와 Duncan의 다중범위검정 (Duncan's Multiple Range Test, DMRT)을 적용하였다.

ANOVA는 두 집단 이상의 평균 간의 차이를 검증하고자 할 때 집단내의 분산, 총 평균과 각 집단의 평균의 차이에 의해 생긴 집단 간 분산의 비교를 통해 만들어진 F분포를 이용하여 가설검정을 하는 방법이다. 이때 두 집단간에 유의성을 가진다면 LSD와 DMRT를 사용하게 되는데, 이 중 LSD는 Fisher의 LSD 검정으로 보호된 t-검정 (protected t-test)이라 하며, 분산분석의 결과가 유의한 상태여야 가능하다. DMRT 검정방법은 분산분석의 결과 처리간에 유의차가 인정될 때 어느 것과 차이가 있는가를 밝히고, 유의성이 없을 경우에도 처리간에 유의차가 없다고 판정을 내리는 방법으로 처리효과의 차이를 다른 다중범위검정보다 좀 더 쉽게 검출해 낼 수 있어 농업 또는 생물분야 등 응용분야에서 많이 활용하고 있다. DMRT 검정방법은 처음에는 집단의 수가 같을 때 사용하는 방법이었으나, 현재는 집단의 수가 달라도 쓸 수 있도록 보완되어 있으며 계산이 간편하고 평균차에 대한 변별력이 비교적 높은 특징을 나타낸다.

DMRT는 여러개의 비교 척도를 가지며, 처리의 평균을 크기 순으로 나열하여 인접한 처리평균간과 떨어져 있는 처리평균간에는 각각 위치에 따라 서로 다른 척도로서 비교하는 것이다. 이 때 비교척도를 최소유의범위 (Least Significant Range, LSR) 이라고 하며, 식 (1)과 같이 나타낸다.

$$LSR = SSR \times s_x \quad (1)$$

여기서 SSR (Significant Studentized Range)은 스튜던트화한 범위이고, s_x 는 처리평균의 표준편차이다. SSR값은 $p=2$ 에서 $p=t$ 까지 찾는데, 여기서 p 는 비교하고자 하는 처리평균들의

위치를 나타내는 값으로 $p=2$ 는 인접한 2개의 평균을 의미하고, $p=t$ 는 최대평균과 최소평균 사이를 나타낸다. s_x 는 식 (2)와 같이 나타낸다.

$$s_x = \sqrt{s^2/\gamma} \quad (2)$$

여기서 s^2 은 오차의 평균자승합이고 γ 는 처리의 반복수를 나타낸다 (Chae et al., 2005).

III. 결과 및 고찰

1. T-N, T-P 항목의 수질 모니터링

Table 2와 Table 3은 영양물질 항목인 T-N과 T-P에 대한 논의의 답수에 대한 2002년~2007년까지의 수질 모니터링 결과를 TR1, TR2 및 TR3별로 보여주고 있다 (Seong et al., 2010). 지하수 관개구 (TR1)에 비해 하수처리장 방류수 처리구 (TR2)와 하수처리장 방류수 재 처리구 (TR3)의 T-N과 T-P의 평균 농도값이 높은 것을 알 수 있다. T-N에서 2003년과 2004년에는 TR2의 평균 농도가 더 높은 값을 나타내었고, 2006년

의 경우 TR2의 평균 농도가 TR1에 비하여 낮은 것을 확인하였다. T-P의 경우 TR2의 평균 농도가 TR3에 비해 약간 높은 편이지만 2007년의 경우 TR3의 농도가 더 높게 검출 되었으며, 2004년의 경우 TR3의 평균 농도가 TR1보다 낮았고 2005년의 경우에는 TR1에서 검출된 평균 농도 값이 가장 높게 나타났다.

2. 포장단위 모형의 적용

Table 4와 Table 5는 Seong et al. (2010)의 연구에서 실측 T-N 및 T-P 항목을 바탕으로 병점 시험포장에 대해 검정과 보정을 실시한 결과를 보여주고 있으며, 본 연구에서는 검·보정 전체 기간에 대한 모의치와 실측치의 유사성을 확인하였다. 실측치의 데이터 수집에 있어 주 간격이나 월 간격으로 모니터링되어 실제 자연현상을 모두 반영하기 어려운 수질자료의 특성을 극복하기 위해 유역 오염총량관리 (TMDLs)를 위한 수문/수질 모형 보정기술의 최신 연구동향 (Kim, 2008)에 제시된 수질측정일 전후 5일간의 모의발생치 범위 (5-day window, 5일 창)개념을 적용시켜 실측치와 모의치의 유사성을 비교하였으며, Table 4, 5에 나타난 결과를 살펴보면 대조구로 이용되었던 TR1에서는 T-N과 T-P가 모형의 보정기간에 대해 실측치가

Table 2 Monitored ponded water total nitrogen concentrations for each treatment from 2002 to 2007

Year	TR1 (mg/L)			TR2 (mg/L)			TR3 (mg/L)		
	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min
2002	4.37	11.50	2.07	9.18	14.04	2.49	5.28	11.42	2.39
2003	0.97	3.88	0.00	5.03	12.03	0.55	5.84	20.00	0.77
2004	3.50	13.51	0.01	11.00	18.66	1.06	11.87	21.04	0.21
2005	0.92	1.21	0.63	3.11	5.23	0.78	2.77	7.36	0.46
2006	1.25	3.10	0.74	0.44	0.99	0.04	2.76	10.02	0.03
2007	0.76	1.26	0.38	5.00	8.94	1.05	6.17	10.34	2.16

Table 3 Monitored ponded water total phosphorus concentrations for each treatment from 2002 to 2007

Year	TR1 (mg/L)			TR2 (mg/L)			TR3 (mg/L)		
	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min
2002	0.455	1.555	2.070	0.673	1.806	2.490	0.491	1.819	2.387
2003	0.163	0.398	0.004	0.780	2.199	0.022	0.652	1.553	0.058
2004	0.413	0.903	0.050	0.443	0.852	0.078	0.396	0.575	0.094
2005	0.427	0.785	0.032	0.405	0.707	0.229	0.296	0.333	0.237
2006	0.151	0.179	0.088	0.384	0.658	0.169	0.304	0.479	0.144
2007	0.080	0.113	0.034	0.261	0.468	0.125	0.423	0.551	0.334

Table 4 Model calibration statistics for T-N during the calibration period and validation period

Plot	Statistics	2002-2004	2005-2007	2002-2007
		(Calibration Period)	(Validation Period)	(Total Period)
TR1	Percent of observed values within 5-day minimum-maximum range	13.6	50.0	27.8
	Percent of observed values > 5-day maximum	40.9	7.1	27.8
	Percent of observed values < 5-day minimum	45.5	42.9	44.4
TR2	Percent of observed values within 5-day minimum-maximum range	22.7	14.3	19.4
	Percent of observed values > 5-day maximum	59.1	35.7	50.0
	Percent of observed values < 5-day minimum	18.2	50.0	30.6
TR3	Percent of observed values within 5-day minimum-maximum range	18.2	35.7	25.0
	Percent of observed values > 5-day maximum	72.7	35.7	58.3
	Percent of observed values < 5-day minimum	9.1	28.6	16.7

Table 5 Model calibration statistics for T-P during the calibration period and validation period

Plot	Statistics	2002-2004 (Calibration Period)	2005-2007 (Validation Period)	2002-2007 (Total Period)
TR1	Percent of observed values within 5-day minimum-maximum range	22.7	50.0	27.8
	Percent of observed values > 5-day maximum	40.9	7.1	33.3
	Percent of observed values < 5-day minimum	36.4	42.9	38.9
TR2	Percent of observed values within 5-day minimum-maximum range	18.2	42.9	27.8
	Percent of observed values > 5-day maximum	72.7	50.0	63.9
	Percent of observed values < 5-day minimum	9.1	7.1	8.3
TR3	Percent of observed values within 5-day minimum-maximum range	22.7	35.7	27.8
	Percent of observed values > 5-day maximum	54.5	57.1	55.6
	Percent of observed values < 5-day minimum	22.7	7.1	16.7

Table 6 Significance tests for three different irrigation water quality level and five fertilizer reduction

Nutrient	Treatment	2002	2003	2004	2005	2006	2007
T-N	GW (Ground water)	4.71 ^a	5.83 ^a	4.88 ^a	4.98 ^a	5.25 ^a	5.46 ^a
	WW (Waste water)	10.66 ^{ab}	10.24 ^{ab}	13.25 ^{ab}	8.92 ^{ab}	7.20 ^{ab}	9.05 ^{ab}
	WW + 10 % reduction	10.54 ^{ab}	10.11 ^{ab}	13.13 ^{ab}	8.79 ^{ab}	7.07 ^{ab}	8.93 ^{ab}
	WW + 20 % reduction	10.41 ^{ab}	9.97 ^{ab}	13.00 ^{ab}	8.65 ^{ab}	6.93 ^{ab}	8.82 ^{ab}
	WW + 30 % reduction	10.29 ^{ab}	9.83 ^{ab}	12.88 ^{ab}	8.52 ^{ab}	6.80 ^{ab}	8.71 ^{ab}
	WW + 40 % reduction	10.17 ^{ab}	9.68 ^{ab}	12.76 ^{ab}	8.39 ^{ab}	6.68 ^{ab}	8.60 ^{ab}
	WW + 50 % reduction	10.04 ^{ab}	9.54 ^{ab}	12.64 ^{ab}	8.25 ^{ab}	6.56 ^{ab}	8.49 ^{ab}
T-P	GW (Ground water)	0.3619	0.3575	0.3289	0.3731	0.3447	0.3505
	WW (Waste water)	0.3762	0.3745	0.3379	0.3834	0.3679	0.3555
	WW + 10 % reduction	0.3762	0.3715	0.3379	0.3834	0.3678	0.3555
	WW + 20 % reduction	0.3762	0.3744	0.3378	0.3833	0.3678	0.3554
	WW + 30 % reduction	0.3761	0.3744	0.3378	0.3833	0.3678	0.3554
	WW + 40 % reduction	0.3761	0.3743	0.3378	0.3833	0.3678	0.3554
	WW + 50 % reduction	0.3761	0.3743	0.3378	0.3833	0.3687	0.3554

* significant at 5 % level

^{a, b} 5% significance level group by DMRT

5일장의 최대값 초과 백분율과 5일장의 최소치 미만 백분율이 비슷한 값을 보여주었는데, 여기서 모의치가 실측치와 유사한 경향을 보이는 것을 알 수 있다.

3. 관개수 수질 및 시비량 변화에 따른 영향 분석

분산분석을 통해 지하수 관개 (Ground water, GW), 하수처리수 관개 (Wastewater, WW), 하수처리수 관개수에 시비량 삭감 (WW + 10 ~ 50 % reduction) 간의 유의성을 검정하였다. 분산 분석 결과 5 % 유의수준에서 T-N의 경우에는 GW에 대해 WW 과 WW + 10 ~ 50 % reduction은 유의차가 있는 것으로 나타나 LSD 검정과 DMRT를 실시하였으며, T-P의 경우에는 유의차가 없는 것으로 나타나 DMRT만 실시하였다.

LSD 검정 결과 T-N은 지하수 관개에 대해 하수처리수 관개와 각각에 대한 시비량 삭감간에 유의성이 있는 것으로 나타났으나, T-P의 경우 지하수 관개 대비 하수처리수 관개 및 시비량 저감에 따른 유의성이 없는 것으로 나타났다.

한편, DMRT의 결과는 유의수준 5 %에서 Table 6의 값에 위첨자로 같은 영문자가 표기하였으며, 영문자가 같은 그룹의 경우 유의적인 차이가 없음을 의미하며, DMRT 결과를 Fig. 3에서 보여주고 있다. T-N의 경우 관개수 수질 및 시비량 삭감에 따른 논 담수수질에 유의미한 영향이 있는 것으로 나타났고, T-P의 경우에는 관개수 수질에 따른 유의성은 있으나 시비량 삭감에 따른 유의성은 부분적인 것으로 나타났다.

4. 하수재이용에 따른 배출부하량 저감효과 분석

하수처리수를 농업용수로 재이용할 경우 농경지에서의 하천수 저류효과와 작물생육 시 하수처리수 재이용 관개수에 포함된 영양물질이 이용되고, 하수처리수의 영양물질을 이용함에 따라 농경지의 시비량 감소 등의 효과로 하천으로의 배출수 오염부하량을 저감할 수 있다. Fig. 4는 관개시 유입되는 부하량과 배출되는 부하량의 차이를 저감효과로 나타낸 것으로, 2002년부터 2007년까지 6년간 모의 결과 유입부하량에 비해 배출부하량은 T-N의 경우 66 ~ 92 %, T-P의 경우 70 ~ 85 % 정도 감소하는 것으로 나타났다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 하수처리수를 농업용수로 재이용시 오염물질 저감효과를 분석하기 위하여 수원시 하수처리장 인근의 병점 시험포장에 지하수 관개구, 하수처리장 방류수 처리구 및 하수처리장 방류수 재처리구를 설치하여 수질변화를 분석하였으며 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 농경지 관개시 영양물질인 T-N과 T-P의 2002년에서 2007

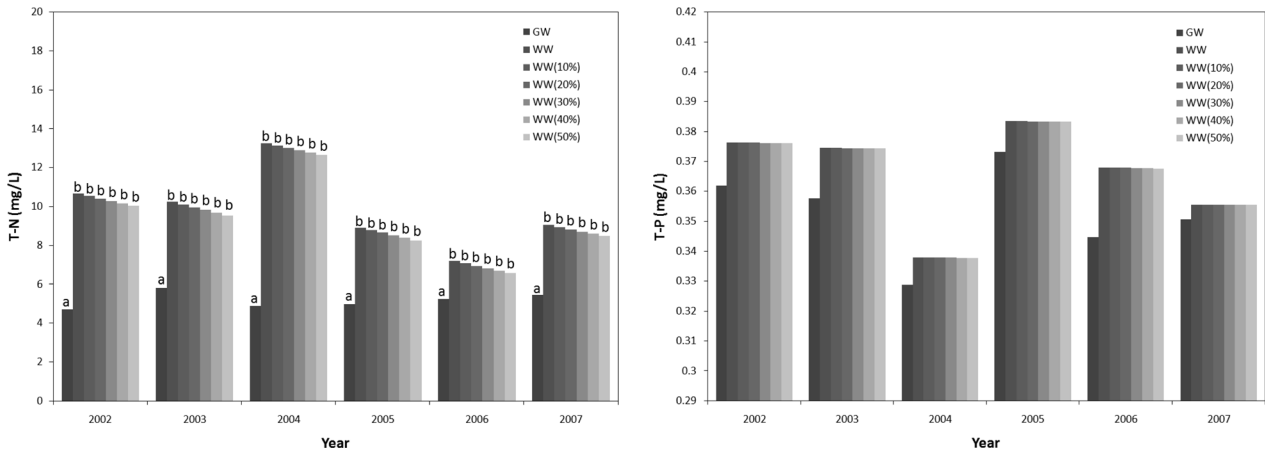


Fig. 3 Significance assessment of Duncan's multiple range test for T-N (left) and T-P (right)

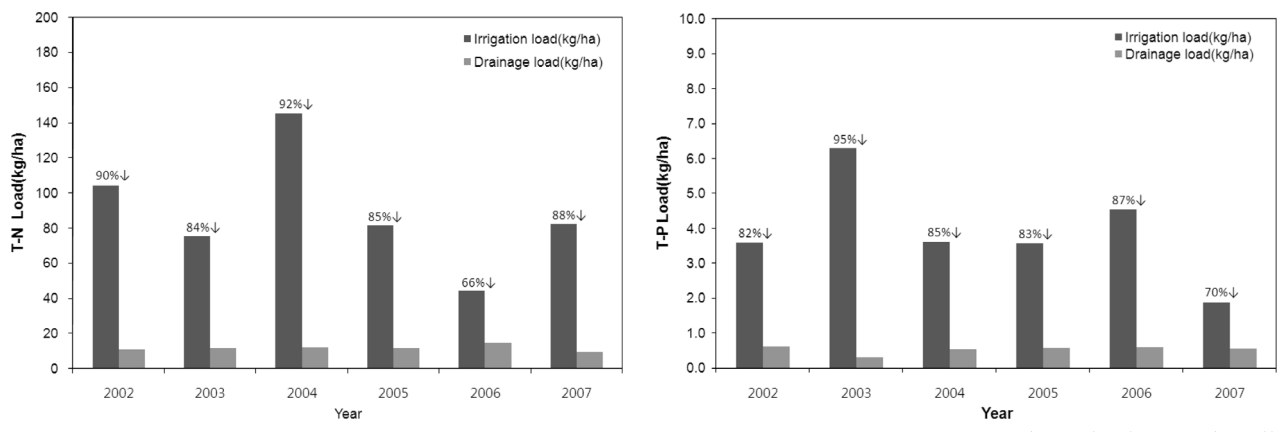


Fig. 4 Comparison of irrigation load and drainage load for wastewater irrigated paddy fields (T-N (left), T-P (right))

년까지의 농도를 처리구별로 비교하였고, 하수처리장 방류수 처리구와 재처리구의 평균 농도가 지하수 관개구의 평균 농도에 비해 높은 값을 보였다.

2. 하수처리수의 농업용수 재이용에 따른 관개수 수질 및 시비량 저감 시나리오를 구성하고, 영양물질 유입 시나리오별 논의 수질변화를 CREAMS-PADDY 모형을 이용하여 모의하였다. 모의결과에 대해 분산분석을 실시하고, LSD 검정 및 DMRT를 이용하여 유의성 검정을 수행하였다. T-N의 경우 지하수 관개와 하수처리수 관개 및 시비량 삭감간에 유의성이 있는 것으로 나타났으며 T-P의 경우에는 관개수 수질에 따른 유의성은 확인되었으나 시비량 삭감에 따른 유의성은 없는 것으로 나타났다.

3. 2002년부터 2007년까지 6년간의 모의결과를 살펴보면, 하수처리수의 농경지로의 유입부하량에 비해 배출부하량은 T-N과 T-P의 경우에 대해 각각 66~92%, 70~85% 정도 감소하는 것으로 나타나, 하수처리수를 하천으로 직접 방류하는 것보다는 농업용수로 재이용한 후 하천으로 흘려보낼 경우 부하량 저감에 효과가 있는 것으로 평가된다.

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원 (과제번호: 4-5-3)에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- Chae, Y. A., J. O. Koo, H. S. Seo, and Y. M. Lee, 2005. *Basic Biostatistics*, 142-143. Hyang Moon Co. (in Korean).
- Chin, Y. M., S. W. Park, S. M. Kim, M. S. Kang, and M. G. Kang, 2002. Nutrient Loads Estimation at Paddy Field Using CREAMS-PADDY Model. *Journal of the Korean Society of Rural Planning* 8(1): 60-68 (in Korean).
- Jang, T. I., S. B. Lee, C. H. Seong, H. P. Lee, and S. W. Park, 2010. Safe application of reclaimed water reuse for agriculture in Korea. *Paddy Water Environ* 2010(8): 227-233

4. Jung, K. W., H. K. Kim, T. I. Jang, S. M. Kim, and S. W. Park, 2010. Assessing Grain Quality Properties of Reclaimed Wastewater Irrigation. *Journal of Agriculture & Life Science* 44(6): 183-189 (in Korean).
5. Kang, M. S., S. W. Park, S. M. Kim, and C. H. Seong, 2004. Rice Cultivation with Reclaimed Wastewater Irrigation for Wastewater Reuse. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 46(1): 75-86 (in Korean).
6. Kim, S. M., S. J. Im, S. W. Park, J. J. Lee, B. L. Benham and T. I. Jang, 2007. Assessment of Wastewater Reuse Effects on Nutrient Loads from Paddy Field Using Field-Scale Water Quality Model. *Environ Model Assess* 13: 305-313.
7. Kim, S. M., 2008. Current Review on Hydrologic and Water Quality Model Calibration for Watershed Total Maximum Daily Loads(TMDLs). *Trends in Agriculture & Life Science* 6(1): 1-7 (in Korean).
8. Ministry of construction & Transportation (MOCT) and K-water .2006. Water Vision 2020 Part II . 77-81. (in Korean).
9. Ministry of Environment (MOE). 2009a. Sewage Water Reuse, 82-85. Ministry of Environment (in Korean).
10. Ministry of Environment (MOE). 2009b. The Guild Book of Wastewater Resue. 66-70. (in Korean).
11. Ministry of Environment (MOE). 2010. Statistics of Sewerage. 9. (in Korean).
12. Park, S. W.. 2007. Sustainable Water Resources Research Program (Application of Wastewater Reuse System for Agriculture). 69-70. *Ministry of Science and Technology* (in Korean).
13. Seong, C. H., M. S. Kang, T. I. Jang, S. W. Park, K. Y. Lee and H. D. Kim. 2009. Feasibility Study of Wastewater Reuse for the Vegetable Farming in Jeju. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 51(1): 27-32 (in Korean).
14. Seong, C. H., S. M. Kim, S. W. Park, T. Y. Park, S. J. Kim, and K. W. Jung, 2010. Assessment of Water Quality Calibration Criteria for Field-Scale Water Quality Model. *Journal of Agriculture & Life Science* 44(5): 101-107.
15. Yum, K. T., N. C. Jung, B. G. Chun, J. Y. Park, T. H. Park, H. J. Ryu, H. K. Lee, J. H. Kim, T. H. Lee, J. Y. Kim, S. H. Kim, J. H. Han, B. H. Ahn, C. S. Lee, J. Y. Chung, H. S. Chung, S. P. Jang, B. S. Jeong, J. B. Shin, S. S. Jung and O. K. Kim, 2010. Significance and Effects of 4 Major River Restoration Project. 4-7. 4 major rivers division of K-water (in Korean).