

하수재이용에 따른 논에서의 수질 특성 분석

Wastewater Reuse: Analysis of Water Quality in Paddy

고재영*, 장태일**, 박승우***
Jae young Ko, Tae il Jang, Seung woo Park

요 지

하수처리수를 농업용수로 관개함에 있어서, 관개 유입수 및 논 담수에서의 수질은 작물이나 인체에 미치는 영향이 크다. 따라서 하수재처리수를 농업용수로 사용함에 있어서 수질 기준이 필요하게 되었으며, 이에 환경부에서 「하수처리 재이용 수질 권고기준」을 마련하게 되었다. 본 연구에서는 환경부에서 제시한 하수처리 재이용 수질 권고기준에 제시된 수질기준과 본 시험에 사용된 하수처리장 방류수 및 하수재처리수의 수질을 비교하여 하수처리수의 농업용수 재이용의 적합성을 판단하였으며, 수질 모니터링을 실시하여 논에서의 수질 정화효율을 알아보았다.

본 시험을 위하여 경기도 수원시 하수처리장 인근에 시험포장을 설치하였으며, 하수처리장 방류수와 하수재처리수(여과, 소독, 저류)를 이용하여 논벼 작물 생육시험을 실시하였다. 하수처리장 방류수 수질과 하수재처리수의 수질을 분석한 결과, 수질 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 또한, 4년간 실시된 논 유입수 및 담수의 수질 모니터링 결과 논에서의 수질 정화 효율은 TN의 경우 40~65%, TP의 경우 15~60%로 나타났다. 이는 배출수를 통한 하천이나 호소로의 유입에 있어서 환경개선효과를 기대할 수 있을 것이다. 농작업시 인체에 미치는 보건위생정도를 평가하기 위하여 지표미생물의 농도를 분석하였으며, 하수 재이용에 따른 농업용수 활용에 있어 인체에 크게 문제가 되지 않는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 하수재이용, 수질

1. 서 론

우리나라의 용수 수요량은 지속되는 산업화와 도시화, 용수공급 시설의 보급으로 인해 해마다 증가하여, 2001년 4대 권역(한강, 낙동강, 금강, 영산-섬진)의 용수 수요량은 337.4억 m³(생활용수 72.2억 m³, 공업용수 33.5억 m³, 농업용수 156.3억 m³, 하천유지용수 75.5억 m³)에서 2006년에는 347.3억 m³으로 예상되며, 이 양은 2006년 용수 공급량 346.3억 m³을 넘는 것으로 해마다 증가하여 2011년에는 약 18.4억 m³ 정도의 용수 부족량이 예상된다(건설교통부, 2001). 이를 해결하기 위한 방안으로 기존 다목적댐의 연계 운영을 통한 신규 수자원 확보, 수요관리에 의한 목표수요량 절감 등을 제시하고 있다(건설교통부, 2001). 하지만 이러한 수자원 양은 연간 6천만 m³ 정도로 추가적인 신규 수자원을 개발할 필요가 있다. 현재 미국, 호주 등지에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 하수처리수를 이용한 신규 수자원 확보에 눈을 돌리고 있으며, 하수처리수를 이용하여 농업용수 및 공업용수에 재이용함으로써 연간 용수 부족량을 해결해 나가고 있는 실정이다. 국내의 경우 환경부의 『물절약종합대책 실천계획(2002)』에 의하면 2006년까지 중수도 시설을 300개소로 확대 설치하여 연간 3천만 m³의 용수 수요절감을 계획하고 있으며, 이 외에 하수처리수를 농업용수, 하천유지용수 등으로 재이용하기 위한 다양한 연구가 현재 진행 중에 있으며, 2005년에 환경부에서 발표된 『하수처리 재이

* 서울대학교 지역시스템공학부 대학원 · E-mail : captain9@snu.ac.kr

** 서울대학교 지역시스템공학부 대학원 · E-mail : uriduri7@snu.ac.kr

*** 서울대학교 지역시스템공학부 교수 · E-mail : swpark@snu.ac.kr

용 수질권고 기준』에서는 하수재이용 시 문제되는 수질기준을 제시하여 보건위생상의 문제, 수질환경영향 문제 등의 하수재이용 시 야기되는 문제를 해소할 수 있는 뒷받침을 마련하여 하수재이용에 따른 대체수자원으로써의 활용가치를 높이게 되었다.

본 연구에서는 하수처리수의 농업용수 재이용 시 야기되는 주된 문제점인 수질문제(보건위생상의 문제, 수질환경영향문제 등)를 평가하기 위하여 하수재처리수(여과, 소독, 저류)를 이용하여 논벼 생육시험에 적용하여, 정기적인 수질 모니터링을 통한 논에서의 수질변화를 알아보고 또한 실제 농작업을 통한 인체 접촉성 미생물의 보건 안정성의 정도를 알아보았다.

2. 시험 포장 및 수질 모니터링

2.1 시험 포장

하수처리수의 농업용수 재이용 적용 및 논벼생육시험을 위한 시험지구로는 경기도 수원시 하수처리장 인근에 위치한 논으로 선정하였다. 논벼생육시험을 위한 시험구는 4반복 3처리구로 난괴법을 이용하여 구성하였다. 관개용수로는 대비구인 지하수(TP#1), 하수처리장 방류수(TP#2), 하수재처리수(TP#3)를 사용하였으며, 시험에 사용된 하수처리장 방류수는 2004년 이후 3차처리를 한 고도처리수이고, 하수재처리수는 하수처리장 방류수를 재처리한 것으로서, 여과 후 소독을 통하여 용수내 부유물질과 세균을 제거한 것이다. 다음의 그림 1은 논벼 작물생육시험에 사용된 시험구 전경을 나타낸다.



그림 1. 시험구 전경

2.2 수질 모니터링

하수처리수의 농업용수 재이용을 위한 수질 및 미생물 특성을 평가하기 위하여 3개의 처리구별 관개 유입수와 12개 시험포장의 담수 수질을 2주 1회 샘플링하여 분석하였다. 분석항목으로는 TN, TP 등의 비료물질 5개 항목, 중금속 4개 항목, 치환성 양이온 4개 항목, 그밖에 전기전도도와 pH, BOD, COD 등의 항목으로 선정하였으며, 이는 『하수처리 재이용 수질권고 기준』에서 제시된 수질항목을 따르는 것이다. 분석방법은 수질오염공정시험방법(환경부, 2000)을 따르며, 표 1에서 보이는 것과 같다.

표 1. 수질 분석항목 및 분석방법

분석 항목	분석 방법	분석 항목	분석 방법
Total-N	환원중류킬달법	DO(용존산소)	겨막전극법
Ammonia-N	중화적정법	음이온(sulfate, chloride)	Ion chromatography
Nitrate-N, Nitrite-N	Ion chromatography	Cn(시안)	흡광광도법
Total-P	아스코빈산 환원법	비소(As), 수은(Hg)	원자흡광광도법
PO ₄ -P	Ion chromatography	음이온계면활성제	메틸렌블루법
COD	KMnO ₄ 반응법	클로로필	흡광광도법
BOD	배양법	중금속(Cu, Ni, Pb, Cd)	유도결합플라즈마법
SS(부유물질)	유리섬유여지법	양이온(Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ , K ⁺)	유도결합플라즈마법

3. 결과 및 고찰

3.1 농업용수 재이용 적절성 검토

수질 모니터링을 통한 관개 유입수의 수질 분석결과와 농업용수의 하수재이용 권고 기준(환경부, 2005)과 비교하여 하수처리수의 농업용수 재이용 적절성을 알아보았다. 표 2는 본 시험에 사용된 TP#2와 TP#3의

관개용수 수질분석결과와 하수재이용 수질권고기준을 비교한 것이다. 수질권고기준에서 제시한 수질기준으로는 산성도(pH)는 약산성에서 약알칼리성인 6.0~8.5, 염류의 축적을 알 수 있는 전기전도도(EC)는 750 $\mu S/cm$ 이하, 생물학적 산소요구량(BOD)은 8 mg/L , 그밖에 중금속 등의 수질기준은 농업용수수질기준을 따른 것으로 나타났으며, TP#2 및 TP#3의 수질 모두 하수재이용 수질권고기준을 만족하는 것으로 나타났다.

표 2. 하수처리 재이용 수질 권고기준 및 재처리 용수 수질 비교

수질항목	하수처리 재이용 수질권고기준(환경부, 2005)	하수처리장 방류수 수질 (TP#2)	하수 재처리수 수질 (TP#3)
pH	6.0~8.5	7.03	7.02
EC($\mu S/cm$)	750 이하	698.36	686.73
BOD(mg/L)	8 이하	1.64	2.36
Cd(mg/L)	0.01 이하	검출 안됨	검출 안됨
Cu(mg/L)	0.2 이하	검출 안됨	검출 안됨
Pb(mg/L)	0.1 이하	0.03	검출 안됨
Zn(mg/L)	2 이하	0.90	1.00
Hg(mg/L)	0.001 이하	검출 안됨	검출 안됨
As(mg/L)	0.05 이하	검출 안됨	검출 안됨

3.2 논에서의 수질정화효율

논에서의 수질변화를 알아보기 위하여 2002년에서 2005년까지의 처리구별 관개유입수와 논 담수의 수질 모니터링을 실시하였다. 논에서의 수질은 2002년 TP#2의 TP항목을 제외한 모든 항목에서 TN의 경우 약 40~65%, TP의 경우 약 15~60%의 정화효율을 보였으며, 배출수를 통한 비료물질의 유입을 줄임으로써 하천이나 호소의 수질환경개선효과를 기대할 수 있다. 다음의 표 3은 2002년에서 2005년까지의 처리구별 유입수 및 담수의 영양물질 분석결과와 정화능을 보여주는 것이다.

표 3. 처리구별 유입수 및 담수 수질비교 및 정화능(2002년~2005년)

연도	수질항목	처리구	유입수	담수	정화능(%)
2002년	TN(mg/L)	TP#2(하수처리장 방류수)	15.85	9.18	42.04
		TP#3(하수재처리수)	16.88	5.28	68.74
	TP(mg/L)	TP#2(하수처리장 방류수)	0.54	0.67	-23.75
		TP#3(하수재처리수)	0.59	0.49	16.57
2003년	TN(mg/L)	TP#2(하수처리장 방류수)	13.39	4.91	63.32
		TP#3(하수재처리수)	13.05	5.55	57.46
	TP(mg/L)	TP#2(하수처리장 방류수)	1.12	0.75	32.93
		TP#3(하수재처리수)	1.07	0.68	36.34
2004년	TN(mg/L)	TP#2(하수처리장 방류수)	19.75	9.45	52.13
		TP#3(하수재처리수)	20.22	11.61	42.57
	TP(mg/L)	TP#2(하수처리장 방류수)	0.49	0.40	17.95
		TP#3(하수재처리수)	0.63	0.55	12.27
2005년	TN(mg/L)	TP#2(하수처리장 방류수)	12.80	4.46	65.13
		TP#3(하수재처리수)	12.12	4.87	59.86
	TP(mg/L)	TP#2(하수처리장 방류수)	0.60	0.25	59.18
		TP#3(하수재처리수)	0.54	0.22	58.45

3.3 지표 미생물

하수재이용에 따른 인체접촉성 보건위생 위험도를 평가하기 위하여 실제 모내기 등과 같은 농작업 후 손과 발에 묻어있는 대장균의 잔류량을 분석하였다. 다음의 그림 2는 2003년~2005년까지의 각 해 5월에 실시한 모내기 직후 인체접촉성 세균잔류량 분석결과를 보여주고 있다. 2003년에 비하여 2004년과 2005년의 경우 수원시 하수처리장의 고도처리로 인하여 대장균의 전체적인 수치는 낮게 나타났으며, 2003년의 경우는 TP#1, 2004년과 2005년의 경우는 TP#3을 제외한 나머지 처리구에서 손보다는 발에서 세균잔류량이 많이 검출되었다. 수질이 양호한 지하수를 관개한 처리구에 비하여 재처리 후 관개한 처리구에서 인체 접촉성 세균 잔류량이 오히려 작게 나타나 농작업 후 손과 발을 깨끗이 세척한다면 크게 우려할 만한 수준은 아닌 것으로 판단된다.

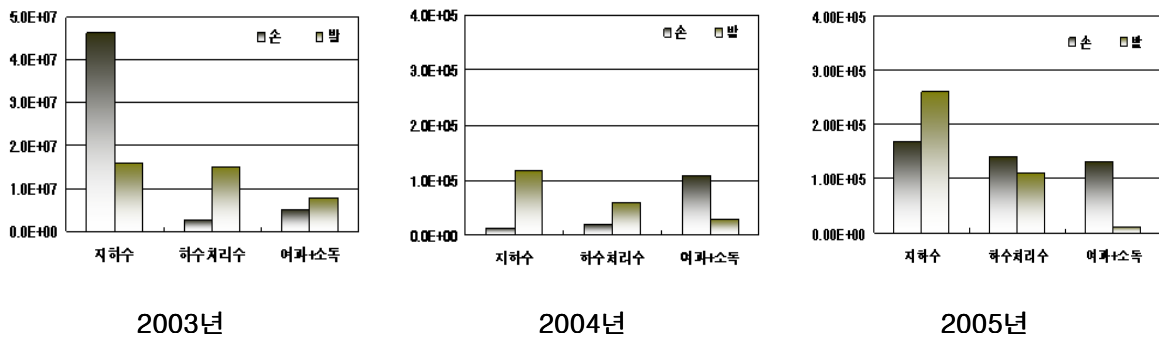


그림 2. 인체접촉성 세균잔류량 분석결과 (2003년 ~ 2005년)

4. 결 론

하수처리수의 농업용수 재이용 시험을 위하여 수원시 하수처리장 인근에 재이용 처리시설과 논을 조성하고, 관개시설을 설치하였다. 재이용 시험에서는 관개용수로 대비구인 지하수(TP#1), 하수처리장 방류수(TP#2), 하수재처리수(TP#3)를 사용하였으며, 각 처리구별로 유입수 및 담수의 수질을 2주 1회 샘플링하여 분석하였다. 분석된 자료를 바탕으로 하수처리수의 농업용수 재이용 적합성 여부를 알아보았으며, 논에서의 수질정화효율 및 농작업시 인체에 미치는 영향에 대해서 분석하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 하수재처리수의 수질과 환경부에서 제시한 하수처리 재이용 수질 권고기준을 비교하였을 때, 하수 재처리수를 농업용수로 사용하기에 적합한 것으로 나타났다.
2. 논에서의 담수 수질정화효과는 TN, TP 등에서 15~65%의 수질정화 효과를 보였으며, TP보다는 TN에서 수질개선 효과가 큰 것을 알 수 있었다.
3. 농작업시 물과의 접촉시간이 긴 발에서 지표미생물의 농도가 높은 것으로 나타났지만, 이는 세척을 통하여 제거할 수 있는 양으로 나타났다. 또한 재이용시 UV소독을 통해 대장균 농도를 일정수준 이하로 낮춘다면 위해성이 크게 감소할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술사업단의 연구비지원(과제번호 4-5-2)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 건설교통부, 2001. 수자원장기종합계획.
1. 강문성, 박승우, 김상민, 성충현, 2004. 하수처리수의 재이용을 위한 벼 재배시험, 한국농공학회지 Vol.46(1), pp. 75 ~ 86.
2. 서울대, 2005. 재이용수질지침에 관한 국제심포지움 자료집.
3. 서울대, 2005. 재이용수질지침에 관한 국제심포지움 자료집(별책-재이용수질기준제안).
4. 윤춘경, 권순국, 정일민, 권태영, 1999. 오수처리수 관개 벼재배를 통한 농업용수 수질기준의 검토, 한국농공학회지, Vol.41(2), pp. 44 ~ 53.