

농업용수재이용을 위한 하수처리장 현황조사

Investigation of Effluent of Wastewater Treatment Plants for Agriculture Reuse

이광야* · 김해도 · 정광근 · 이종남

Abstract

Water Quality of effluent from wastewater treatment plants was reviewed to reuse effluent for agricultural water as alternative water resources. Among 2004, wastewater treatment plants, 19 plants are found to be used as wastewater resources applicable to irrigation. The total effluent capacities are 9,293 thousand m³ per day, which may be used to irrigate paddy fields. In order to know how much the effluent can be use for agricultural water, we classified the effluent according to the river basin area and evaluated the water quality of the effluent

1. 서론

2004년 말을 기준으로 전국에 가동중인 하수종말처리장은 271개이다. 2003년 말을 기준으로 243개소이며, 2002년에는 201개소로 계속 확대되고 있는 실정이다. 시설용량의 경우는 현재 약 21,732천톤/일로서 2003년에 20,731천톤/일, 2002년에 19,975천톤/일로서 매년 4~5%가 증가하고 있어 대체수자원개발이 필요한 실정이다. 그러나 아직까지 하수처리수의 위생적인 문제와 심리적인 불안감등으로 인해 활발히 사용을 못하고 있는 실정이다. 하지만 실제 전국에 산재되어 있는 하수처리장의 위치가 하천의 하류부에서 중류부, 심지어 상류부에 위치해 있는 경우가 상당히 있으며, 이는 곧 이미 상당량 부분의 하수처리수가 하천으로 방류된 뒤 하류부에서 취수하여 농업용수로 있다는 것을 의미한다.

윤 등(2003)은 논농사를 주로 하는 우리나라에 하수처리수가 농업용수로 재이용될 경우 적용 가능한 수질기준을 고찰하고, 하수처리수의 모래여과, 저류지, 그리고 UV소독 등에 의한 처리효율을 검토함으로써, 하수처리수가 농업용수로 재이용될 경우에 필요한 농업용수재이용 수질기준 제정에 기초자료를 제공하였다. 김진호(2003)는 농업용수 수질에 대한 연구가 진행됨에 따라 농업용수원으로서의 수질기준에 대한 많은 모순점이 도출되고 있으며, 이에 따른 농업용수 수질기준의 개정에 대한 요구가 높아짐에 따라 우리나라 농업용수 수질기준과 다른 국가나 농업관련국제기구의 수질기준에 대한 비교분석을 통해 우리나라 농업용수 수질기준의 문제점 도출과 해결방안을 모색하였다.

본 연구에서는 하수처리장 방류수를 농업용수로 재이용하기위한 기초자료 분석의 일환으로 전국에 산재되어 있는 하수처리장을 수계별 분류 및 농업용수구역별 분류를 통해 직접적으로 농업용수로 사용가능한 하수처리수의 수량을 파악하고, 수계별 수질분석을 통하여 농업용수로 재이용 시 재처리시설이 필요한 수량과 특별한 처리 없이 이용가능 수량을 파악하고자 한다. 또한 현재 농업용수로 재이용되고 있는 지역을 중심으로 공급방법과 수혜지역 조사를 통해 기존 농업용수의 재이용방법의 문제점을 도출하여 현재 국부적으로만 이용되고 있는 하수처리수의 농업용수로의 재이용을 보다 안전하고 신뢰할 수 있는 대체수자원으로 활용할 수 있도록 하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 우리나라의 수자원과 농업용수 현황

우리나라의 강수량은 연도별, 계절별, 지역별 분포의 변화가 심하여 수자원관리에 매우 불리한 특성을 갖고 있다. 강수량의 연도별 변화는 753mm(1907년)에서 1,758mm(1998년)까지 2.3배의 차이

를 보일 정도로 변화의 폭이 크고, 계절적 변동은 더욱 심하여 전체 강수량의 2/3가 장마와 태풍 기간인 6~9월에 집중되고, 갈수기인 11월부터 다음 년도 4월까지 6개월간은 연강수량의 1/5에 불과하다. 또한 강수량의 지역별 불균형도 심하여 연평균 강수량이 제주도 1,600 mm, 남해안 일부 1,500 mm인데 비하여 경북 내륙지방은 약 1,000 mm에 불과하다.

수자원 총 이용량의 변화를 보면 1980년도에 153억 m³에서 '98년 331억 m³으로 약 20여년만에 116%가 증가하였으며, 용도별 이용의 변화를 보면 생활용수가 12%에서 22%로, 하천유지용수가 16%에서 21%로 크게 증가하였다. 농업용수는 67%에서 48%로 사용비율은 줄었지만 양적으로는 102 억 m³년에서 158 억 m³/년으로 크게 증가하였다. 1998년말 현재 용도별 사용량을 보면 농업용수가 158억 m³으로 전체의 48%, 생활용수가 73억 m³(22%), 하천유지용수 71억 m³(21%), 공업용수 29억 m³(9%) 순으로 이용되고 있다. 현재 농업용수의 사용은 15.9×10⁹m³(48%)으로서 이중에서 저수지에서는 6.7×10⁹ m³을 취수하고, 1.7×10⁹ m³는 양수장에서, 0.8×10⁹m³은 취입보, 1.4×10⁹ m³은 지하수, 4.1×10⁹m³은 직접강우에 의해 이용되는 양이고, 2.0×10⁹m³은 기타 다른 방법으로 이용하는 량은 농업용수의 재이용(회귀수)을 의미하고 있다. Table 1은 농업용수의 재이용 현황 나타낸 것이다.

Table 1. Water reuse for irrigation

Primary intake Facility	Amount of intake (×10 ⁶ m ³)	Reuse ratio (%)	Amount of reuse (×10 ⁶ m ³)
Dam reservoir	4,741	23	1,090
Desalinated reservoir	2,035	20	407
Pumping station	1,701	6	102
Headworks	794	1	8
Total	9,271	17	1,607

물부족을 고려시에 평균 강우를 바탕으로 한 수자원의 평가는 무의미하다. 한발빈도 기준 20년 한발빈도 평균 강수량인 890mm으로서 이는 단지 88.5×10⁹m³의 유출량을 발생하고, 이중에서 40%인 35.4×10⁹m³ 만이 하천 등으로 유출되고, 나머지 60%인 53.1×10⁹ m³은 침투 또는 공중으로 소실된다. 2011년에 예상되는 용수수요량은 37×10⁹ m³(수자원장기종합, 2000)라고 추정되고 있어 국제 사회에서 현재 한국이 물부족국가로 분류된 이유이기도 하다. 더욱이, 강수의 계절적 편차는 더욱 심해서, 우기인 6월부터 9월까지 국내 평균 강수량의 2/3가 발생하고, 건기에는 1/5만이 발생하고 있는 실정이다. 그러므로 이상 기후 등으로 인한 홍수와 가뭄 등을 대처하기 위한 방법으로 신규 수자원 개발과 동시에 대체수자원 개발 또한 각광 받고 있는 실정이다.

2.2 국내 하수처리장 수계별 분류 현황조사

현재 전국의 하수처리장시설은 2004년 말을 기준으로 271개로서 하루 처리량은 약 21,732 천톤/일이다. 시군별 주요 처리장 개수로서 경기도는 65개소 4,519천톤/일의 하수를 처리하고 있으며 전북, 전남은 각각 16개소, 37개소 등이며 908천톤/일, 624 천톤/일을 처리하고 있다.

본 연구에서는 각 수계별 대체수자원으로서 농업용수로 등 하수처리수의 재이용 가능한량을 산정하기 위해 건교부에서 구축하고 있는 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS)에서 분류하고 있는 수계별(한강, 낙동강, 금강, 섬진강, 영산강) 분류와 함께 농업기반공사에서 구축한 제주도지역을 제외한 506개의 농촌용수구역을 기준으로 하수처리장 방류수를 위치별 분류하였다. Fig. 1은 본 연구에서 GIS데이터를 이용하여 실시한 수계별 하수처리장 분류를 한 결과 이다.

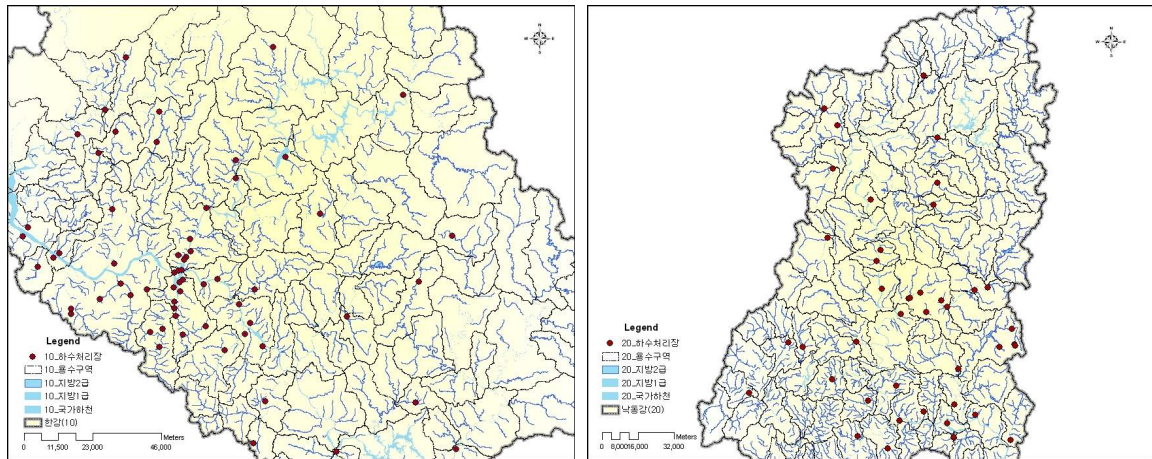


Fig. 1 Classification of wastewater treatment plants according to Han river and Nakdong river basin

2.3. 지역별 농업용수 재이용지구 조사

2004년도를 기준으로 환경부에서 발표한 자료에 따르면 전국 하수처리장 중 19개 처리장에서 농업용수로 재이용하는 것으로 발표하였다. 본 연구에서는 이러한 19개 농업용수 재이용 처리장에 대한 현장조사를 실시하여 하수처리수의 농업용수 재이용 방법 및 수질관련 자료를 수집하였다. Table 2는 현재 하수처리수의 농업용수 재이용 지구인 19개 처리장 현황이다.

Table 2. Agricultural water reuse site of wastewater treatment plants

City, Do	Plant	Capacity (1000ton/day)	Effluent Reuse(1000ton/year)			
			Total	Agricultural Reuse	river management	Etc
	Total	958.60	10,607	9,293	1,310	4
인천	강화	9.00	3	3	-	-
경기	수원	520.00	30	626	-	4
경기	장당	40.00	220	220	-	-
경기	부곡	10.00	4,139	4,139	-	-
경기	연천전곡	12.00	50	50	-	-
충북	수안보	14.00	19	19	-	-
충북	제천	70.00	1,087	1,087	-	-
충북	내속	4.00	80	80	-	-
충북	금왕	6.00	163	163	-	-
충남	천안	150.00	1,221	1,221	-	-
충남	공주	20.00	10	10	-	-
충남	보령	30.00	10	10	-	-
충남	조치원	20.00	6	6	-	-
전북	고창	16.00	157	157	-	-
전남	담양	7.00	6	6	-	-
전남	무안	4.50	118	118	-	-
경남	부곡	13.00	25	25	-	-
경남	남해	5.60	3	3	-	-
경남	하동	7.50	2,660	1,350	1,310	-

2.4. 수계별 하수종말처리장 방류수 수질분석

본 연구에서는 수계별로 분류한 하수처리수의 수질현황을 분석하여 수계별 수질비교를 통해 실제 하수처리수를 농업용수로 이용하기위해 방류되는 하수처리수중 농업용수 재이용을 위한 재처리기술이 필요한 수량을 판단하기 위해서이다. 또한 현재 농업용수로 재이용되고 있는 지역의 수

질현황을 분석하여 하수처리수의 취수방법에 따른 수질현황을 파악하여 농업용수로의 재이용을 위한 재처리기술의 현장적용시 케이스별 적정 처리용량 결정에 필요한 자료로 판단된다.

3. 결과 및 고찰

3.1 수계별 하수처리장 방류수량 분석

전국하수처리장의 수계별 하수처리장 방류수의 일별 배출량을 산정하였다. 이를 위해서 하수처리장 위치정보를 GIS shape 파일로 작성하여 건교부에서 구축되어 있는 수자원단위지도상의 단위유역과 농업기반공사에서 구축한 전국 제주도지역을 제외한 506개의 단위용수구역 GIS 데이터를 이용하여 분류하였다. Table 3은 우리나라 수계별 처리장 개소 및 시설용량이다. 또한 수계별 고도처리장 개소를 분류하였다.

조사결과 제주도 3개를 제외한 268개 하수처리장중 고도처리시설은 111개이고, 한강수계에 포함되어 있는 하수처리장은 77개로서 9,240천톤/day의 처리수를 한강수계에 방류하고 있다. 농업용수 구역의 경우 36개의 농업용수구역 안에 77개의 하수처리장이 포함되어 있다는 의미다. 낙동강의 경우 51개의 하수처리장에서 3,080천톤/day의 처리수를 낙동강수계에 방류하고 있으며, 농업용수 구역은 39개로 분류되었다. 이렇게 수집된 수계별 하수처리장의 농촌용수구역별 분류를 통해 용수 구역별 용수량에 대해 한발시 각 용수구역별 대체수자원 확보로 간주할 수 있다. 왜냐하면 용수구역의 의미역시 수계별로 몇 개의 용수원을 묶어 놓은 것이기 때문이다.

Table 3. Classification of the plants according to the river basin and agricultural water zone

River region	Big river Basin	Wastewater Treatment Plant (EA)	Capacity (1000ton/day)	Advanced treatment Plants (EA)	Agricultural water zone (EA)
한강	한강	77	9,240	36	36
	한강동해	7	169	4	5
	한강서해	8	1,490	4	5
	안성천	7	685	3	7
낙동강	낙동강	51	3,080	25	39
	형산강	2	190	1	2
	태화강	2	65	1	2
	회화수영	7	2,002	1	2
	낙동강동해	7	67	5	6
	낙동강남해	10	614	5	7
금강	금강	29	1,374	7	21
	삽교천	5	228	1	4
	금강서해	5	86	2	5
	만경동진	7	822	1	7
섬진강	섬진강	12	81	3	11
	섬진강남해	9	310	6	7
영산강	영산강	13	803	2	11
	탐진강	3	0.4	0	1
	영산강남해	3	69	2	3
	영산강서해	4	159	2	3
합 계		268	21,732	111	184

3.2 수계별 하수처리장 방류수질 분석

전국 하수처리장의 수계별 수질을 처리량으로 가중평균하여 Table 4와 같이 분류하였다. 적용결과 한강수계로 유입되는 처리량은 9,240 천톤/day로서 유역전체 평균 COD는 11.71mg/L이고 SS는 4.01 mg/L로서 현재 농업용수 수질기준 중 COD, SS는 각각 8mg/L, 15mg/L이하로서 수질기준

에 만족하고 있는 한강수계내 처리장은 31개로서 그 수량은 110 천톤/day로 분석되었다. T-N, T-P는 각각 17.62mg/L, 1.28mg/L로서 수질기준인 T-N:1.0mg/L, T-P:0.1mg/L와는 매우 큰 차이를 보였다. 낙동강수계의 경우는 유역전체 평균 COD, SS의 경우 10.01mg/L, 4.01mg/L로서 수질기준에 만족하고 있는 수계내 처리장은 51개중 25개로서 그 수량은 967.2 천톤/day로 분석되었다.

Table 4. Classification of the plants according to the river basin and agricultural water zone

		unit : mg/L							
River Basin	Plant	BOD	COD	SS	TN	TP	Coliform	분석개소	
한강	한강	77	4.84	8.23	2.95	16.62	1.06	1,632	37
	한강동해	7	8.40	9.10	2.90	8.03	1.86	2,160	1
	한강서해	8	7.99	9.20	4.24	17.50	1.60	3,766	4
낙동강	안성천	7	7.00	9.51	5.69	16.04	0.98	15,255	4
	낙동강	51	5.86	8.02	3.66	8.85	0.71	2,762	37
	형산강	2	9.29	8.89	4.44	8.65	0.60	237	2
	회화수영	7	1.63	6.50	2.85	8.47	0.80	153	3
	낙동강동해	7	3.80	7.53	4.00	9.54	1.06	90	2
금강	낙동강남해	10	6.98	5.00	2.95	10.09	0.95	3,680	5
	금강	29	7.61	9.43	4.87	4.76	0.57	359	18
	삽교천	5	4.75	9.80	3.56	15.85	2.44	653	3
	금강서해	5	3.12	7.12	2.15	13.75	1.41	97	4
	만경동진	7	8.24	15.87	4.47	22.39	1.16	5,768	5
섬진강	섬진강	12	4.64	8.77	4.03	11.95	0.69	2,777	3
	섬진강남해	9	11.03	7.16	2.31	9.53	0.80	222	4
영산강	영산강	13	7.67	7.88	2.71	14.69	0.90	2,940	12
	영산강서해	4	6.54	12.60	9.59	27.80	0.94	22,472	2

결국 COD와 SS 이외에는 다른 기준을 이용한 수량 분류가 불가능한 것으로 판단되어 본 연구에서는 Table 5와 같이 COD와 SS 수질기준을 이용하여 수질기준내에 포함되어 있는 수계별 수량을 분류하였다. 분류결과 COD와 SS 수질기준을 만족하고 있는 수량은 21,732천톤/day 중 2,145.7천톤/day 이고, 그 외 수량은 수질기준보다 높은 것으로 나타났다.

Table 5. Classification of the plants and the amount of effluent which within Water Quality Standard for Agricultural water
unit : EA, mg/L

River Basin	Plant	Capacity (1000ton/day)	River Basin	Plants	Capacity (1000ton/day)
한강	33	116.7	금강	13	28.8
한강동해	2	30.0	삽교천	2	20.2
한강서해	1	9.0	금강서해	3	25.6
안성천	2	27.5	만경동진	3	60.0
낙동강	25	967.2	섬진강	6	19.1
형산강	2	190.0	섬진강남해	7	300.3
회화수영	1	32.0	영산강	3	131.5
낙동강동해	6	54.3	영산강서해	1	16.0
낙동강남해	6	108.5	영산강남해	1	9.0

T-N과 T-P의 경우 하수처리수질기준으로 T-N:60mg/L, T-P:8mg/L 이어서 농업용 수질기준과 매우 큰 차이를 보이고 있으며, 고도처리를 실시하고 있는 처리장이 총 111개소로 아직까지 처리시설이 부족한 것으로 판단되었다. 하지만 현재 고도처리시설이 점차적으로 확대되고 있는 추세이고, 현재의 농업용수 수질기준 중 T-N, T-P는 호소수질기준을 따르고 있기 때문에 현재 진행중인 재이용수수질지침 등이 결정되면 지금보다는 더욱 명확한 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

3.3 농업용수 재이용지구 수질현황 분석

하수처리수의 농업용수로의 재이용지구의 재이용방법을 조사한 결과 연간 100만톤 이상을 재이용하는 지구중에서 부곡, 하동 그리고 Table 2에는 포함되어 있지 않지만 2005년도에 신설된 천안성환하수처리장의 경우는 방류구 이전에 양수기 또는 펌프시설 및 공급수로를 이용하여 제공하고 있다.

Table 6. Water quality of reuse of effluent discharged from wastewater treatment plant

Plant	Capacity (1000ton/day)	Influent (1000ton/day)	Effluent water quality(mg/L)					
			BOD	COD	SS	T-N	T-P	Coliform*
부곡	10.0	12.0	7.0	9.6	7.7	12.622	1.192	3,300
제천	70.0	52.0	7.9	8.8	2.3	17.053	1.314	630
천안	150.0	134.0	9.1	10.3	4.5	8.608	0.710	893
하동	7.5	7.0	5.3	5.8	6.5	13.065	1.319	12,000

* : 2002's Experiment data

청문조사결과 재이용 지구별로 지금까지 수질로 인한 문제가 없었다고 하였다. 하지만 연간 100만톤 이상의 재이용 지구중에서 천안, 제천 하수종말처리장에서 재이용되는 방식은 방류하천으로 유출된 다음 하류부 취입보에 의해 사용되고 있는 특징이 있다. Table 6은 연간 100만톤 이상 농업용수로 재이용되고 이는 지구의 2004년도 유출수 수질현황이다.

현장조사결과 현재 재이용되고 있는 지구중 소규모 사용지역의 경우 처리수가 하천으로 유입되어 희석된 후 하류에서 취수하는 지역이 대부분이고 수질도 문제가 되고 있지는 않았다. 하지만 연간 100만톤 이상 공급하는 지구의 경우는 농업용수로 재이용 재처리기술이 필요할 것으로 판단된다. 왜냐하면 일반 하천으로 유입이 되어 희석이 되더라도 하더라도 방류구에서 부터 취수시설까지 거리가 비교적 짧고 빠른시간 동안내에 취수되므로 재처리를 고려해야 할 것으로 판단된다.

4. 결론

연구결과 수계별 하수처리장의 농촌용수구역별 분류를 통해 용수구역별 용수량에 대해 한발씩 각 용수구역별 대체수자원량을 가늠할 수 있었다. COD와 SS의 농업용수수질기준을 만족하는 수량은 전체 271개소 21,732천톤/day 중 117개소 2,145.7 천톤/day으로 그 외 수량은 수질기준보다 높은 것으로 나타났다. 그리고 재이용지구를 조사한 결과 연간 100만톤 이상 공급하는 지구의 경우는 농업용수로 재이용 재처리기술이 필요할 것으로 판단되었다. 또한 하수처리장내에 직접 펌프 등을 이용하여 처리수 원수를 공급하고 있는 지역의 경우 역시 하수처리장내에서 농업용수재이용을 위한 재처리시설이 필요할 것으로 판단되었다.

사 사

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

참고문헌

- 윤춘경, 정광욱, 전지홍, 함중화, 2003, 농업적 용수재이용 수질기준을 고려한 적정 하수재처리에 관한 연구, 한국농공학회지, Vol.36, No. 3
- 강봉래, 김건태, 고기원, 허목, 2003, 제주도 대체수자원 확보를 위한 하수처리장 방류수 재이용 연구, 한국지하수도양환경학회 추계발표
- 김갑수, 박재로, 2004, 하수처리수의 유지용수로서의 이용극대화 방안, 첨단환경기술