

碩士學位論文

濟州地域 下水處理水  
再利用을 위한 政策 方案



濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

좌 달 희

2008 年 8 月

碩士學位論文

濟州地域 下水處理水  
再利用을 위한 政策 方案



濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

左 達 熙

2008 年 8 月

# 濟州地域 下水處理水 再利用을 위한 政策 方案

指導教授 李 容 斗

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함.

2008 年 8 月

濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

環境工學專攻

左 達 熙

左達熙의 工學 碩士學位 論文을 認准함.

2008 年 8 月

審查委員長 許 木 印

委 員 趙 恩 一 印

委 員 李 容 斗 印

# The reuse plan of Sewage Treatment Plant Effluents in Jeju area

Dal-Hee Joa

*Department of Construction and Environmental Engineering*

*Graduate School of Industry*

*Cheju National University*

*Supervised by Professor Yong-Doo Lee*

## Summary

In this study, to propose a water reuse system suitable for Jeju, we reviewed water treatment technologies being implemented in sewage treatment plants in Jeju, which turn wastewater into water for agricultural purposes. Thus, in this study, we reviewed related literatures, quantitatively and qualitatively surveyed the water discharged from the sewage treatment plants, examined the status of the water reuse system that has been partially used, and analyzed the agricultural environment for the discussion of the technical and political measures to introduce the applicable water reuse system and extensively implement water reuse projects.

The analysis of the agricultural environment in the Jeju Special Self-Governing Province indicated that the area was extremely vulnerable to drought or rainless

periods, by the nature of upland farming. The area of Hangyeong-myeon in the western part of Jeju is known to experience drought every 2 ~ 3 years. In Jeju, the optimal amount of groundwater drilling was 1,709,935 m<sup>3</sup>/day and the drilling rate was 96.6% as of the end of 2007. This suggests that the groundwater drilling might have reached the limit of the resource. The drilling rate reached 178 ~ 190%, particularly, in the western area, including Aeweol, Hangyeong and Daejeong, indicating that the drilling rate significantly exceeded the optimal drilling rate.

As the concentration of Cl<sup>-</sup> in the treated sewage was higher in Jeju than in inland areas, it was unfit to be used without reclaiming. To decrease the concentration of Cl<sup>-</sup>, the combined sewer system needs to be modified into a separated sewer system to prevent the incoming seawater from seeping through the collecting pipes. Stronger measures must also be considered, for example, by imposing relatively high fees for the usage of sewage facilities on seafood restaurants with a fish tank and aquariums, which usually discharge seawater into the sewer. Jeju requires a customized water reuse system that filters, desalinates and sterilizes the treated sewage to optimize the concentration of Cl<sup>-</sup> for the proper reclamation of the treated sewage. The desalinated water can be used to artificially recharge the groundwater to prevent the contamination of incoming seawater, or it can be used to water the neighboring golf course during the winter when less water is used for agriculture. To extensively implement the water reuse projects, strong determination is needed to establish and promote the water reclamation plan in administrative, economic, legal and technical aspects. The optimal measures shall be presented based on the interrelation between such aspects, and full support shall be given to the stage of facilitating the water reclamation.

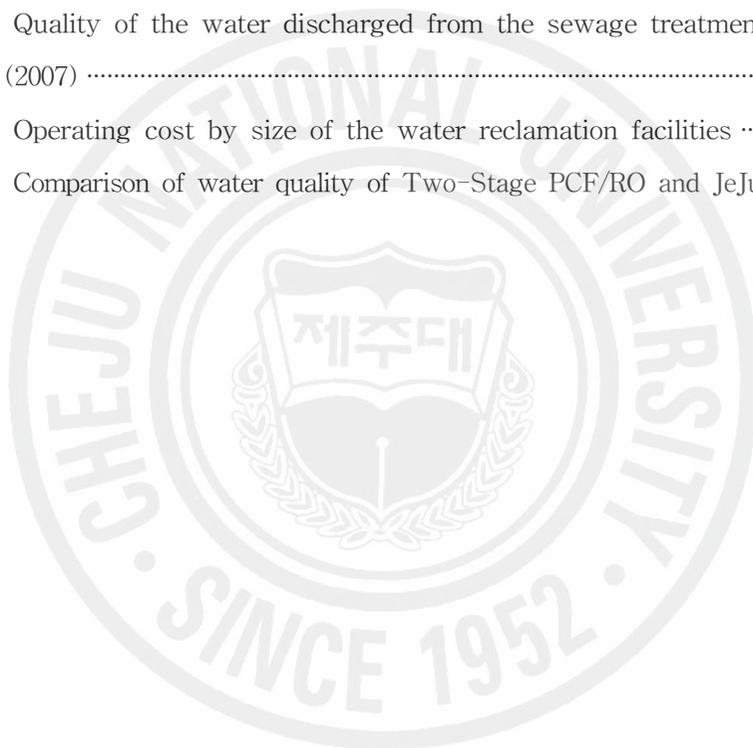
# 목 차

I. 서 론 .....	1
II. 하수처리수 재이용의 필요성 .....	3
1. 농업현황 .....	3
2. 강수특성 .....	10
3. 지하수 개발현황 .....	12
4. 제주특별자치도 농업용수 수요량 및 보장량 .....	14
III. 하수처리수 재이용 정책방안 .....	18
1. 하수처리수 재이용 기술 .....	18
2. 하수처리수 재이용 수질기준 고찰 .....	28
3. 제주지역 하수처리수 특성 .....	36
4. 제주지역에 적합한 하수처리수 재이용 시스템 및 정책방안 .....	42
IV. 결 론 .....	50
참고문헌 .....	52

## List of Tables

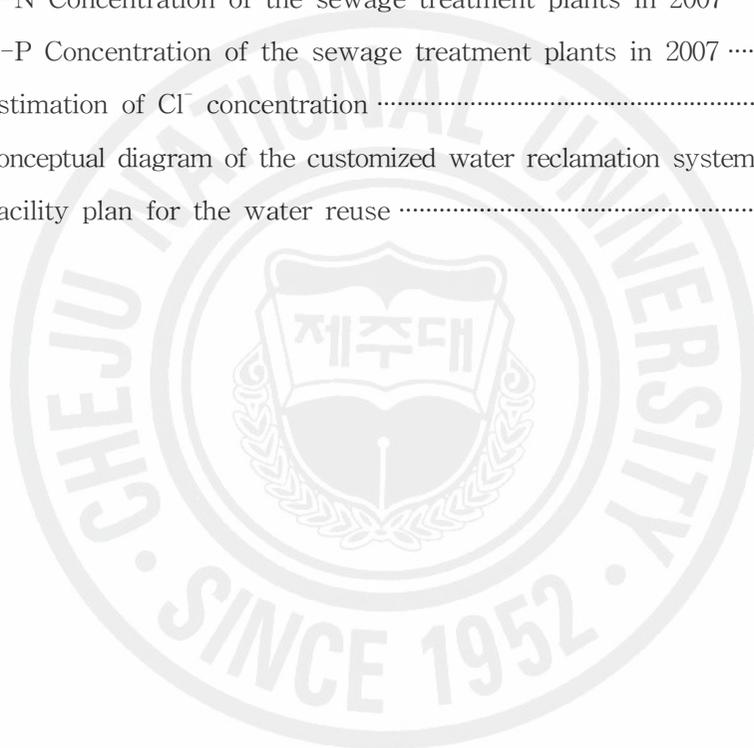
Table 1. Cultivated acreage in Jeju .....	3
Table 2. Agricultural area by land category in Jeju .....	4
Table 3. Agricultural area by land category (2004) .....	5
Table 4. Crop area by year in Jeju .....	6
Table 5. Greenhouse area in Jeju .....	7
Table 6. Cropping system of major crops in Jeju .....	7
Table 7. Area supplied by agricultural tube well .....	8
Table 8. Rainfall records by area in Jeju .....	10
Table 9. Rainfall by area in Jeju .....	11
Table 10. Drought damage to farm products (1994) .....	12
Table 11. Status of groundwater drilling by water Use (2005) .....	13
Table 12. Distribution of agricultural/stockbreeding Tube Wells by altitude .....	13
Table 13. Agricultural water demand during a drought in a 10-year period .....	15
Table 14. Agricultural water demand by frequency .....	16
Table 15. Agricultural water demand and firm yield .....	17
Table 16. Example of the Treatment Process for the Substance to be Removed .....	21
Table 17. Comparison of the Contaminant Removal Efficiency by Treatment Facility .....	23
Table 18. Characteristics of Electrolysis and Reverse osmosis .....	24
Table 19. Profiles of sewage water reuse in 2005 .....	25
Table 20. Profiles of sewage water reuse projects promoted by the ministry of environment (2006) .....	26
Table 21. Profiles of sewage water reuse projects promoted by the ministry of environment (2007) .....	27
Table 22. Profiles of sewage water reuse projects promoted by the ministry of environment (2008) .....	28

Table 23. Salt resistance by concentration of EC in root zone of crops .....	29
Table 24. Salt resistance by concentration of EC in root zone of crops .....	30
Table 25. Comparison of national and international reclaimed water quality .....	32
Table 26. Classification for the water reclamation to agricultural water .....	33
Table 27. Recommendation regarding reuse water quality .....	34
Table 28. Sewage treatment plants in Jeju (2007) .....	36
Table 29. Monthly incoming sewage of the sewage treatment plant in Jeju (2007) .....	37
Table 30. Quality of the water discharged from the sewage treatment plant in Jeju (2007) .....	38
Table 31. Operating cost by size of the water reclamation facilities .....	43
Table 32. Comparison of water quality of Two-Stage PCF/RO and JeJu Plant .....	45



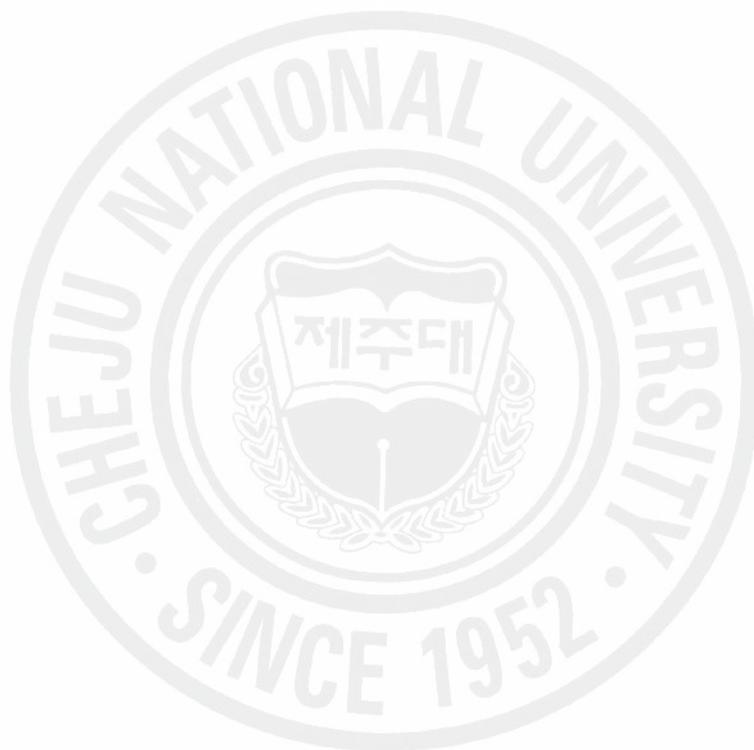
## List of Figures

Fig. 1. Distribution of agricultural/stockbreeding Tube Wells by altitude .....	14
Fig. 2. BOD Concentration of the sewage treatment plants in 2007 .....	38
Fig. 3. COD Concentration of the sewage treatment plants in 2007 .....	39
Fig. 4. SS Concentration of the sewage treatment plants in 2007 .....	39
Fig. 5. T-N Concentration of the sewage treatment plants in 2007 .....	40
Fig. 6. T-P Concentration of the sewage treatment plants in 2007 .....	40
Fig. 7. Estimation of $Cl^-$ concentration .....	41
Fig. 8. Conceptual diagram of the customized water reclamation system for Jeju .....	44
Fig. 9. Facility plan for the water reuse .....	46



## List of Photos

Photo 1. Tube well and reservoir in area .....	9
Photo 2. Irrigation facility in area .....	9



# I. 서론

제주특별자치도는 예로부터 물이 매우 귀중한 곳으로 알려져 왔으며, 1960년대까지만 하더라도 음용수, 생활용수 농업용수 등 대부분의 수자원을 봉천수 또는 용천수에 의존하면서 살아 왔기 때문에 물의 소중함을 뼈저리게 느껴왔다. 다행히 제주특별자치도는 지리적 여건상 산악성 강우현상으로 연평균 강수량은 1,975 mm로서 전국 평균의 1.5배에 이르나, 투수성이 좋은 다공질 화산회토로 이루어진 지질특성상 강우는 일시에 바다로 유출되거나 지하로 침투되어 대부분의 하천이 건천의 형태를 띠고 있어 지표수 이용이 어려운 특징을 나타내고 있으며 1970년 최초로 암반지하수 부존이 확인된 이래 대부분의 용수는 지하수로부터 공급 받고 있다.

제주특별자치도(2003)에 의하면 연간 수자원의 총량은 3,427백만  $m^3$ 으로 이중 33.2%에 해당하는 1,138백만  $m^3$ 은 증발산으로 손실되고 20.7%에 해당하는 708백만  $m^3$ 은 하천 등을 통해 바다로 유출되며, 나머지 1,581백만  $m^3$ 은 지하 대수층으로 함양되고 있다. 그러나 본도에는 하천다운 하천이 별로 없고 대용량의 용수원 개발도 사실상 어려운 실정으로 도시의 진전과 더불어 중산간지역 개발의가속화 등으로 2007년도 기준 제주특별자치도 지하수개발량은 1,709천  $m^3/day$ 으로서 적정개발량 1,768천  $m^3/day$ 의 96.6%에 이르고 있다.

지하수는 무한자원이 아니며 강수에 기반을 둔 순환자원으로서 생활수준의 향상과 도시 확장 등에 따른 물 사용량 증가는 지하수위를 하강시켜 국지적인 물 부족을 발생시킬 수 있으며, 일부 해안지역에서는 과잉양수로 인한 해수침투가 발생하여 수량적 문제뿐만이 아닌 수질적 문제도 나타나고 있다. 특히 농업용수 수요량은 전체 용수 이용량의 57%에 달하고 있으며, 2004년 조사에서는 제주지역의(부속도서 제외) 농업용수 사용량의 98.3%는 지하수로부터 공급되고 있는 것으로 조사되고 있기 때문에 지하수의 보존을 위해서는 농업용수를 위한 대체수자원 개발의 확대가 필요하다(건설교통부, 2006).

제주도 농업용수 종합계획(2004)에 따르면 2011년을 목표로 농지면적 49,998 ha에 농

업용수를 공급하기 위해 향후 386천  $m^3/day$ 의 추가 용수원의 개발이 필요하고, 이중 관정정비 및 개발로 80천  $m^3/day$ , 기존 상수원 용도전환 등으로 141천  $m^3/day$ , 그리고 하수처리장 방류수 등 대체수자원 개발을 통해 122천  $m^3/day$ 의 농업용수원의 확보를 목표로 하고 있다. 이외에도 배수조 규모 확대와 기타 상수도 시설로부터 공급 받는 수량을 통하여 43천  $m^3/day$ 의 용수를 확보하려 한다.

현재 제주특별자치도는 하수처리장 총 8개소에서 120천  $m^3/day$ 의 방류수가 발생되고 있음에 따라 이를 재이용하기 위한 시범사업으로 사업비 55억 원을 투입하여 5,000  $m^3$  규모의 하수처리수 재이용시설사업을 추진 중에 있다. 일부 하수처리장에서는 가뭄시 농업용수로 재이용하기 위해 하수처리장 인근에 저류조를 설치한 경우도 있으나 염분농도 문제, 심미적 저항감, 안전성 문제 등 여러 가지 현실적 제약으로 하수처리수 재이용사업의 활성화가 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 이와 같은 하수처리수의 농업용수 재이용 제한요소는 전국적인 추세로서 재이용사업의 원활한 추진을 위해서는 재이용 기술의 개발, 안전성의 확보, 심미적 저항의 극복 등이 해결해야할 과제로 평가된다.

따라서 본 연구는 제주지역 하수처리장으로부터 방류되는 하수처리수를 농촌지역에 안전하게 재이용할 수 있는 하수재처리 기술을 고찰하여 제주지역에 적합한 하수처리수의 농업용수 재이용시스템을 제시하고자 한다. 이를 위해 문헌조사와 함께 하수처리장 방류수의 수량, 수질조사 및 현재 부분적으로 이용되고 있는 재이용현황을 조사하였으며, 농업환경을 분석하여 제주지역에 적용 가능한 재이용 방안과 재이용사업의 확대 보급을 위한 정책방안을 제안하였다.

## Ⅱ. 하수처리수 재이용의 필요성

### 1. 농업현황

#### 1) 연도별 농지면적

Table 1은 제주통계연보의 연도별 경지면적을 나타낸 것이다. 제주특별자치도의 경지면적은 지난 30여 년 동안 연평균 약 0.5%씩 증가해왔으나 2000년을 기준으로 조금씩 감소되는 추세이다. 한편, 제주특별자치도(2003)의 <제주국제자유도시종합계획>에서는 2011년의 경지면적을 55,537 ha로 추정하였으며, <농업용수종합계획> 보고서에서는 경지면적을 55,490 ha로 추정하였다. 논·밭의 경우 1975년 이후 점점 면적이 줄어들어 2006년에는 101 ha로 1975년의 약 10% 수준으로 감소되었다. 밭의 경우 2000년까지 급속도로 증가하다가, 2000년 이후 조금씩 감소되는 경향을 보이고 있다. 2006년의 경우 밭의 비율은 도내 경지면적의 99.8%를 차지하고 있다.

Table 1. Cultivated acreage in Jeju

조사년도	경지면적(ha)			가구당 경지면적(a)			비 고
	계	논	밭	계	논	밭	
1971	49,836	1,033	48,803	87.0	1.8	85.2	
1975	49,498	1,063	48,436	88.8	1.9	86.9	
1980	50,116	1,003	49,113	94.9	2.5	92.4	
1985	51,028	1,038	49,990	120.7	2.5	118.2	
1990	54,788	886	53,902	136.5	2.2	134.3	
1995	56,829	206	56,623	142.8	0.5	142.3	
2000	59,207	195	59,012	151.4	0.5	150.9	
2005	58,442	171	58,271	161.4	0.5	160.9	
2006	57,867	101	57,766	158.7	0.3	158.4	

자료 : 제주통계연보(제주특별자치도, 해당년도)

가구당 경지면적은 농업인구의 감소로 인해 2005년까지 계속 증가되는 경향을 보였다가 2006년에는 약간 감소한 것으로 나타났다.

Table 2는 제주특별자치도의 지목별 농지면적을 나타낸 것으로, 논과 밭의 경우 지속적으로 감소되는 경향을 보이며, 과수원의 경우 1980년에 제주특별자치도 전체 면적의 5%를 차지하다가 2000년에 10%까지 증가된 후 일정비율을 유지하고 있는 것으로 분석되었다.

Table 2. Agricultural area by land category in Jeju (unit : km<sup>2</sup>, %)

구분	계	농지면적								기타	
		계		밭		과수원		논			
		면적	비율	면적	비율	면적	비율	면적	비율	면적	비율
1980	1824.9	520.4	28.5	420.0	23.0	91	5.0	9.4	0.5	1304.5	71.5
1985	1824.8	519.0	28.4	417.8	22.9	91.8	5.0	9.4	0.5	1305.8	71.6
1990	1825.6	519.9	28.5	387.4	21.2	123.4	6.8	9.1	0.5	1305.7	71.5
1995	1845.4	532.8	28.9	365.3	19.8	158.7	8.6	8.8	0.5	1312.6	71.1
2000	1846.3	541.2	29.3	346.2	18.7	186.8	10.1	8.3	0.4	1305.1	70.7
2001	1847.1	543.4	29.4	347.5	18.8	187.7	10.2	8.2	0.4	1303.7	70.6
2002	1847.2	541.6	29.3	345.7	18.7	187.7	10.2	8.2	0.4	1305.6	70.7
2003	1847.8	541.4	29.3	344.8	18.7	188.5	10.2	8.1	0.4	1306.3	70.7
2004	1848.2	541.3	29.3	344.7	18.7	188.5	10.2	8.1	0.4	1306.9	70.7

자료 : 제주통계연보 (해당년도)

2004년도에 조사된 제주특별자치도의 종전 시군별 지목별 농지면적 현황은 Table 3과 같다. 남원읍의 경우 농경지는 전체면적의 29%로 농경지 중 과수원이 83%인 45.1 km<sup>2</sup>으로 조사되었고, 한경면의 경우 농경지는 전체면적의 53.7%인 42.4 km<sup>2</sup>이고, 이중 밭 42.8%, 논 1.4%, 과수원 9.6%로 조사되었다.

Table 3. Agricultural area by land category (2004)

(unit : km<sup>2</sup>, %)

구분	총면적 (km <sup>2</sup> )	계		밭		논		과수원		기타		
		면적	비율	면적	비율	면적	비율	면적	비율	면적	비율	
제주특별자치도	1848.2	541.3	29.3	344.7	18.7	8.1	0.4	188.5	10.2	1306.9	70.7	
(구)제주시	255.5	58.7	23	28.2	11	0.6	0.2	29.9	11.7	196.7	77	
(구)서귀포시	254.9	67.5	26.5	32.2	12.6	3.5	1.4	31.9	12.5	187.4	73.5	
(구) 북 제 주 군	소계	722.3	218.2	30.2	170.1	23.5	2.6	0.4	45.5	6.3	504.1	69.8
	한림읍	91.2	35.6	39.1	29.3	32.1	0.2	0.2	6.1	6.7	55.6	60.9
	애월읍	202.2	55.4	27.4	40.2	19.9	0.9	0.4	14.4	7.1	146.7	72.6
	구좌읍	186	43.8	23.5	41.3	22.2	0.4	0.2	2.1	1.1	142.2	76.5
	조천읍	150.7	35.1	23.3	19.8	13.2	0	0	15.3	10.2	115.5	76.7
	한경면	79.1	42.4	53.7	33.8	42.8	1.1	1.4	7.6	9.6	36.6	46.3
	추자면	7.1	1.6	22.8	1.6	22.2					5.5	77.2
	우도면	6.2	4.2	67.2	4.1	67.1					2	32.8
(구) 남 제 주 군	소계	615.5	196.9	32	114.2	18.6	1.4	0.2	81.3	13.2	418.6	68
	대정읍	78.6	47.8	60.8	41.1	52.3	0.6	0.8	6.1	7.7	30.8	39.2
	남원읍	188.5	54.6	29	9.4	5	0		45.1	24	133.9	71
	성산읍	107.7	33.9	31.5	22.6	20.9	0.1	0.1	11.2	10.4	73.8	68.5
	안덕면	105.5	27.1	25.7	19.7	18.7	0.7	0.6	6.7	6.4	78.5	74.3
	표선면	135.2	33.5	24.8	21.4	15.8	0	0	12.1	8.9	101.6	75.2

자료 : 통계연보(북제주군, 2005)

## 2) 제주특별자치도 주요 재배작물 및 작부체계

제주특별자치도의 연도별 재배작물은 Table 4와 같다. 미곡, 맥류, 잡곡, 서류 같은 식량작물의 경우 점차 감소하고 있는 반면, 엽채류, 근채류, 과채류, 조미채류 등의 채소류와 과실류는 점차 재배면적이 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 농업용수 수요량이 적은 식량작물의 재배면적이 줄어들고, 농업용수 수요량이 많은 채소류와 과실류의 재배면적이 증가되어 농업용수의 수요량이 지속적으로 증가할 것으로 판단된다. 또한 Table 5에서 볼 수 있듯이, 시설작물재배 면적이 증가함에 따라 농업용수 수요량이 일반 노지재배의 경우보다 더 집약적으로 들어가므로 농업용수 수요량도 증가될 것으로 판단된다.

Table 4. Crop area by year in Jeju

구분		1985년	1990년	1995년	2000년	2005년	2006년
미곡 <sup>1)</sup>	면적(ha)	1,158	797	143	205	1,208	927
	생산량(M/T)	3,699	2,488	553	710	2,863	2,352
맥류 <sup>2)</sup>	면적(ha)	12,765	9,322	5,974	2,576	2,294	2,825
	생산량(M/T)	34,347	26,100	24,724	10,114	8,775	9,232
잡곡 <sup>3)</sup>	면적(ha)	1,409	1,752	1,101	486	2,098	2,224
	생산량(M/T)	1,718	2,203	1,374	447	2,409	4,921
두류 <sup>4)</sup>	면적(ha)	7,919	10,332	8,392	5,942	5,712	5,834
	생산량(M/T)	7,968	18,173	16,282	7,394	9,417	8,550
서류 <sup>5)</sup>	면적(ha)	6,756	6,569	7,052	6,018	6,278	4,540
	생산량(M/T)	45,493	38,819	36,046	24,520	27,412	21,252
엽채류 <sup>6)</sup>	면적(ha)	2,506	2,939	2,618	3,116	2,869	2,903
	생산량(M/T)	118,614	145,675	133,575	156,978	158,537	156,771
근채류 <sup>7)</sup>	면적(ha)	1,945	2,355	3,357	3,522	6,290	6,268
	생산량(M/T)	39,666	66,347	134,573	155,935	276,832	309,581
과채류 <sup>8)</sup>	면적(ha)	1,600	1,717	1,798	1,186	1,022	977
	생산량(M/T)	26,999	35,892	49,114	31,097	33,331	20,786
조미채류 <sup>9)</sup>	면적(ha)	4,691	2,672	3,399	6,780	6,289	5,491
	생산량(M/T)	82,654	47,155	93,251	155,455	131,732	123,671
과실류 <sup>10)</sup>	면적(ha)	15,779	20,896	25,491	27,806	22,009	22,375
	생산량(M/T)	371,289	549,512	629,556	577,822	646,199	632,101

- 1) 미곡 : 논벼, 밭벼 2) 맥류 : 겉보리, 맥주보리 등 3) 잡곡 : 조, 메밀 등  
 4) 두류 : 콩, 팥 등 5) 서류 : 감자, 고구마 6) 엽채류 : 배추, 양배추, 상추 등  
 7) 근채류 : 무, 당근 등 8) 과채류 : 딸기, 수박 등 9) 조미채류 : 고추, 양파, 마늘 등  
 10) 과실 : 감귤, 파인애플 등

자료 : 국가통계포털(<http://www.kosis.kr>)

Table 5. Greenhouse area in Jeju

(unit : ha)

조사년도	계	논벼	과수	특용작물	채소	화훼	전작	축산	기타
1995	1172	0	820	14	125	161	38	9	5
2000	1712	1	1456	23	-	175	38	16	3
2005	2626	1	2201	22	187	140	52	21	2

자료 : 국가통계포털(<http://www.kosis.kr>)

통계연보 조사결과 제주특별자치도의 주요 재배작물은 감귤, 콩, 서류, 마늘, 맥류, 참깨, 당근, 양배추 등이며, 이중 감귤, 마늘, 당근, 양배추, 양파 등 급수대상 작물은 농약살포나 가뭄 때 보충관개를 실시하고 있는 것으로 보고되고 있다.

Table 6. Cropping system of major crops in Jeju

연도별 작물별	1년차											2년차							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7
시설감귤 (한라봉)		가온	가온	개화										수확	수확				
노지감귤			관수			수확	수확												
가을감자				개화															
마늘								파종							수확	수확			
당근								파종							수확	수확			
양파									파종		정식							수확	수확
양배추								파종							수확	수확			
무우									파종							수확			
배추									파종							수확			
콩					파종						수확								

주: 음영이 있는 칸은 주요 관수시기임

자료 : 제주대학교 아열대농업생명과학연구소(2003)

급수대상 작물의 생육, 재배시기 등 작부체계와 관개기간 등은 Table 6과 같다. 감귤은 하우스재배의 경우 3월 ~ 10월까지 농약살포 등과 함께 관수하고 있으며, 노지 감귤은 4월 ~ 10월 중에 이루어지며, 가을감자는 8, 9월 중 비가 내리지 않는 기간에는 관수 재배하고 있으며, 마늘은 8 ~ 11월, 당근은 8월, 양파 9 ~ 12월, 양배추 8 ~ 11월 등에 관수하는 것으로 조사되었다.

### 3) 제주특별자치도 관개시설 현황

#### (1) 관정 및 저류조

Table 7에서와 같이, 제주특별자치도 농업용 관정의 전체 급수면적은 37,642 ha로 추정되었으며, 한경면의 경우 공공 농업용관정이 93개소, 사설 농업용관정이 97개소로 조사되었고, 급수면적은 3,168 ha로 추정되었다.

Table 7. Area supplied by agricultural tube well

구분	전체급수 면적(ha)	공공 농업용 관정			사설 농업용 관정			
		공수	양수능력 (m <sup>3</sup> /day)	급수면적 (ha)	공수	양수능력 (m <sup>3</sup> /day)	급수면적 (ha)	
제주특별자치도	37,642.5	725	551,667	21,518.8	2,523	361,481	16,123.7	
(구)제주시	2,015.9	62	45,127	1,538.1	107	14,019	477.8	
(구)서귀포시	7,424.2	69	42,810	2,185.9	747	102,590	5,238.3	
(구) 북 제 주 군	소계	11,288.8	319	252,614	9,814.0	265	36,052	1,474.8
	구좌읍	1,073.0	37	28,327	1,030.6	9	1,166	42.4
	조천읍	1,809.4	31	25,482	1,239.3	89	11,722	570.1
	애월읍	3,392.3	97	75,667	3,194.8	35	4,678	197.5
	한림읍	1,845.9	61	51,253	1,686.1	35	4,857	159.8
	한경면	3,168.2	93	71,885	2,663.2	97	13,629	505.0
(구) 남 제 주 군	소계	16,913.6	275	211,116	7,980.8	1,404	208,820	8,932.8
	성산읍	1,398.4	26	21,731	1,062.4	50	6,872	336.0
	표선면	2,009.8	32	24,894	1,200.3	120	16,789	809.5
	남원읍	7,905.7	60	46,304	2,511.9	661	99,429	5,393.8
	안덕면	937.9	42	31,167	733.8	60	8,671	204.1
	대정읍	4,661.8	115	87,020	2,472.4	513	77,059	2,189.4

자료 : 제주특별자치도 농업용수 종합계획수립(제주특별자치도, 2004)

대부분의 공공 지하수 이용시설은 관정에서 양수하여 저류조에 집수한 후 자연유하나 압력수로 관개파이프 라인을 통하여 각 필지까지 용수를 제공한다.



Photo 1. Tube well and reservoir in area

(2) 관개시설

관개파이프 라인을 통하여 관개용수가 공급되면 계량기를 통해 용수량이 기록되고 마을수리계에 사용량만큼 지불하는 시스템이다. 또한 밭에서는 주로 스프링클러를 이용한 관개가 이루어지고 있다. Photo 2는 제주특별자치도 서부지역에서 물 부족으로 인한 용수량 확보를 위해 밭에 임시저류조가 설치되어 있는 광경이다.



임시저류조 1



임시저류조 2

Photo 2. Irrigation facility in area

## 2. 강수특성

### 1) 제주특별자치도 강수특성

지하수는 강수에 원천을 둔 순환자원으로 강수량의 변동에 따라 수량 변화가 크게 발생한다. Table 8 ~ Table 9는 제주지역의 강수량을 나타낸 것으로 제주, 서귀포, 성산, 고산의 강수량은 지역별 차이도 크지만 과우년과 다우년의 편차도 크다는 것을 알 수 있다. 제주와 고산의 경우 서귀포와 성산에 비해 연평균 강수량이 400 mm ~ 700 mm 정도 적은 것으로 관측되었으며, 특히 서부지역을 대표하는 고산은 한라산의 지형적 영향으로 매년 9 ~ 11월에는 용수수요량이 증가되어 가뭄피해가 우려된다(제주발전연구원, 2006).

Table 8. Rainfall records by area in Jeju

구분	제주	서귀포	성산	고산
무강수지속일수	28일	36일	29일	26일
평년강수량(년)	1,430 mm	1,821 mm	1,856 mm	1,121 mm
최대강수량(년)	2,526 mm	3,244 mm	3,194 mm	1,875 mm
최저강수량(년)	865 mm	1,146 mm	1,070 mm	736 mm
20년빈도 최저강수량	865 mm (2005년)	1,369 mm (2000년)	1,275 mm (1988년)	736 mm (1988년)

제주·서귀포 : 1961~2005년, 성산 : 1973~2005년, 고산 : 1988~2005년

자료 : 제주발전연구원(2006)

Table 9. Rainfall by area in Jeju

(unit : mm)

구분		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합계
제주	평년	62	68	75	88	91	169	219	243	212	76	71	56	1430
	2004년	41	48	58	56	125	66	56	405	349	25	52	55	1336
	2005년	47	98	85	34	53	12	121	218	9	18	93	79	867
서귀포	평년	31	76	114	181	218	266	290	256	163	72	78	46	1791
	2004년	16	97	87	258	421	180	53	421	326	36	81	44	2020
	2005년	33	105	195	136	138	96	195	244	17	53	137	43	1392
성산	평년	79	79	123	143	168	229	283	305	201	94	90	60	1854
	2004년	69	45	108	143	291	114	61	553	412	46	76	48	1969
	2005년	58	110	168	97	119	42	374	256	64	65	124	113	1590
고산	평년	46	46	74	83	117	139	166	211	112	38	58	31	1121
	2004년	16	70	73	118	169	85	48	364	240	25	27	35	1270
	2005년	33	53	97	54	82	36	165	130	11	45	93	31	830

자료 : 제주발전연구원(2006)

## 2) 가뭄피해 현황

Table 10을 보면 94년 당시 밭 65,294 ha 중에서 가뭄피해를 받는 지역이 8,722 ha(두류 2,258 ha, 채소류 6,464 ha)로 약 13.4%의 밭이 가뭄피해를 받았다. 특히, 타 지역에 비해 연평균 강수량이 700 mm 이상 부족한 서부지역인 한경면 일원의 경우

는 2 ~ 3년 주기로 상습적인 가뭄현상이 발생하고 있으며, 주요재배작물인 마늘, 양파, 양배추 등의 과종 및 생육기에 강수가 없을시 심각한 물 부족 현상이 발생하고 있다.

Table 10. Drought damage to farm products (1994)

지역	재배면적(ha)	피해면적(ha)			
		계	두류	고추	채소류
전국	874,935	78,393	27,529	21,399	29,465
제주	65,294	8,722	2,258	-	6,464

자료 : 농림수산부 · 농어촌진흥공사, 1995, '94, '95 가뭄극복

### 3. 지하수 개발현황

제주특별자치도는 1970년대부터 지하수 관정에 의한 농업 및 생활용수 개발 사업이 본격적으로 전개되었고, 1980년대 들어서는 농업용수 공급을 위한 사설 관정이 급속히 개발되었다. 사설 지하수 관정개발이 급속한 증가를 가져온 가장 큰 원인은 물을 필요로 하는 토지에 공공용수를 공급할 수 있는 능력과 지하수 개발·이용의 간편성과 편리성을 들 수 있다(제주발전연구원, 2006)

Table 11은 2007년도말 기준 용수별 지하수 개발현황으로 총 4,941공의 관정이 개발되어 1일 최대 약 171만 m<sup>3</sup>을 사용할 수 있는 용수를 확보하고 있다. 이중 농축산용수는 전체 개발량의 61%인 104만 m<sup>3</sup>을 사용하고 있으며, 생활용수가 36%인 약 62만 m<sup>3</sup>을 사용하고 있다. 이는 제주특별자치도(2003)가 제시한 적정개발량(1,768천 m<sup>3</sup>/day)의 96.6%로 지하수 개발은 한계에 다다른 것으로 평가된다.

Table 11. Status of groundwater drilling by water Use (2007)

구 분		계	생활용	농축산용	공업용	먹는샘물 제조용	기타 조사관측용
합 계	공 수	4,941 (100%)	1,351 (27.3%)	3,312 (67.0%)	162 (3.3%)	4 (0.1%)	112 (2.3%)
	개발량 (천 m <sup>3</sup> /day)	1,709 (100%)	622 (36.4%)	1,037 (60.7%)	45 (2.6%)	5 (0.3%)	- (0.0%)
공 공	공 수	1,193	324	759	2	3	105
	개발량 (천 m <sup>3</sup> /day)	1,041	372	664	1	4	-
사 설	공 수	3,748	1,027	2,553	160	1	7
	개발량 (천 m <sup>3</sup> /day)	668	250	373	44	1	-

염지하수 염지하수 1,144공 7,915천 m<sup>3</sup>/day 제외  
 자료 : 제주특별자치도 환경자원연구원 내부자료

Table 12. Distribution of agricultural/stockbreeding Tube Wells by altitude(2005)

(unit : well)

구분	총합계	생활용	농업용	공업용	기타 조사관측	먹는샘물 제조
계	4,941	1,351	3,312	162	112	4
100 m미만	3,846	1,031	2,622	130	63	
100 ~ 200 m	689	139	510	12	28	
200 ~ 300 m	232	71	140	14	7	
300 ~ 400 m	92	49	29	6	7	1
400 ~ 500 m	57	37	10		7	3
500 ~ 600 m	14	13	1			
600 ~ 700 m	2	2				
700 ~ 800 m	1	1				
도서지역	8	8				

자료 : 제주특별자치도 환경자원연구원 내부자료



Fig. 1. Distribution of agricultural/stockbreeding Tube Wells by altitude.

표고별 지하수 개발현황과 농축산용 지하수 관정의 표고별 분포상황을 Table 12와 Fig. 1에 나타내었다. 전체관정 4,941공의 78%인 3,846공이 표고 100 m 미만에 분포하여 지하수 개발이 주로 해안변에 집중됨을 알 수 있다. 해안변 지하수 개발의 집중은 지하수 과잉양수로 인한 해수침투와 다양한 수질오염원으로부터 유입된 수질오염물질로 인한 지하수오염을 유발하여 수량적 문제를 악화시킬 수 있고, 향후 지하수 개발에 많은 제약을 받을 수 있다. 실제로 구좌읍의 2개 관정에서는 해수침투의 영향을 받고 있는 것으로 조사된 바가 있어(오 등, 2005), 지하수 개발 및 취수량 결정시 신중을 기해야 한다.

#### 4. 제주특별자치도 농업용수 수요량 및 보장량

##### 1) 농업용수 수요량

농업용수 수요량(Table 13)은 <제주도 농업용수 종합계획수립>(제주특별자치도, 2004) 결과를 참고하였다. 급수대상작물을 채소류, 감귤, 식량작물 모두 산정 할 경우

10년빈도 가뭄시에 농업용수가 도 전체적으로 1,602,633 m<sup>3</sup>/day이 필요한 것으로 분석되었다. 종전 시군별 농업용수 수요량을 보면 (구)제주시 136,901 m<sup>3</sup>/day, (구)서귀포시 153,835 m<sup>3</sup>/day, (구)북제주군 635,389 m<sup>3</sup>/day, (구)남제주군 676,508 m<sup>3</sup>/day로 (구)북제주군과 (구)남제주군 지역이 전체 수요량의 81.9%를 차지하고 있어 지역별 편차가 심함을 알 수 있다.

Table 13. Agricultural water demand during a drought in a 10-year period (Vegetables, Tangerines and Food Crops)

구분	급수면적	수요량 (m <sup>3</sup> /day)			
		계	농업용수	축산용수	
제주특별자치도	49,998	1,602,633	1,574,637	27,996	
(구)제주시	4,726	136,901	135,347	1,554	
(구)서귀포시	6,114	153,835	151,835	2,000	
(구)북제주군	소계	20,467	635,389	618,535	16,854
	애월읍	5,269	159,288	156,438	2,850
	한림읍	3,343	144,338	137,124	7,214
	한경면	4,114	126,297	125,191	1,106
	조천읍	3,338	90,246	88,144	2,102
	구좌읍	4,398	115,219	111,637	3,582
(구)남제주군	소계	18,697	676,508	668,920	7,588
	대정읍	4,508	193,921	190,465	3,456
	안덕면	2,340	82,410	81,861	549
	성산읍	3,329	151,731	150,752	979
	표선읍	3,279	96,962	95,732	1,230
	남원읍	5,241	151,483	150,109	1,374

자료 : 제주도 농업용수 종합계획수립(제주특별자치도, 2004)

급수대상작물중 내한성이 강한 콩, 보리 등 곡류를 제외한 채소류, 감귤, 감자인 경우 10년빈도 제주특별자치도 총 수요량은 1,330,383 m<sup>3</sup>/day이며, 서부지역인 한경면의 수요량은 104,149 m<sup>3</sup>/day로 산출되었고, 동부지역인 구좌읍은 83,083 m<sup>3</sup>/day로 산출되

있다(Table 14). 이것은 강수량의 지역적 편차에 따라 농업용수 수요량이 지역별로 많은 차이가 있는 것으로 되어 판단되며, 강수가 적은 서부지역이 용수수요량이 더 크게 나타나고 있다.

Table 14. Agricultural water demand by frequency (Vegetables, Tangerines and Potatoes)

구분		3년빈도 수요량 (m <sup>3</sup> /day)	5년빈도 수요량 (m <sup>3</sup> /day)	10년빈도 수요량 (m <sup>3</sup> /day)	20년빈도 수요량 (m <sup>3</sup> /day)
제주특별자치도		1,228,705	1,273,474	1,330,383	1,383,788
(구)제주시		121,081	127,643	135,529	143,785
(구)서귀포시		145,928	150,601	156,630	162,158
(구) 북 제 주 군	소계	468,202	484,804	505,694	525,683
	애월읍	128,487	132,880	138,411	143,699
	한림읍	99,881	103,713	108,558	113,157
	한경면	95,442	99,325	104,149	108,897
	조천읍	67,314	69,149	71,493	73,635
	구좌읍	77,078	79,737	83,083	86,295
(구) 남 제 주 군	소계	493,494	510,426	532,530	552,162
	대정읍	177,739	184,909	194,142	202,548
	안덕면	66,095	68,249	70,950	73,549
	성산읍	51,749	53,520	55,716	57,879
	표선읍	57,117	59,198	61,763	64,317
	남원읍	140,794	144,550	149,959	153,869

자료 : 제주도 농업용수 종합계획수립(제주특별자치도, 2004)

## 2) 농업용수 보장량

농업용수 보장량은 <제주도 농업용수 종합계획수립>(제주특별자치도, 2004)의 조사결과를 토대로 하였다. Table 15에서 농업용수의 최대 수요(10년빈도 한발시)가 발생했을 때의 수요량과 2003년 말 기준 농업용수를 공급할 수 있는 기존의 수리시설

의 공급능력을 지역별로 비교한 결과이다. 도 전체로 볼 때 기존시설이나 계획 중인 시설에 의한 농업용수 보장량은 944,167 m<sup>3</sup>/day로서 총 수요량의 71% 수준인 것으로 분석되었다. 한경면의 경우 보장총량이 수요량의 88% 수준으로 기 개발된 농업용수 이용시설에 대한 정비사업과의 연계가 시급하고, 동부지역의 경우는 50% 수준으로 향후 추가적인 농업용수원개발이 요구되는 것으로 판단된다.

Table 15. Agricultural water demand and firm yield (unit : m<sup>3</sup>/day)

구분	수요량 (2011년)	보 장 량 (2003년 말)					과부족 (보장량/수요량)		
		계	지하수			지표수	부족량	보장률 (%)	
			소계	공공	사설				
제주특별자치도	1,330,383	944,167	930,967	558,286	372,681	13,200	386,216	71.0	
(구)제주시	135,529	59,293	59,293	45,127	14,166	-	76,236	43.7	
(구)서귀포시	156,630	145,680	145,680	42,810	102,870	-	10,950	93.0	
(구) 북 제 주 군	소계	505,694	311,292	298,492	258,504	39,998	12,800	194,402	61.6
	구좌읍	83,083	40,350	30,550	28,327	2,223	9,800	42,733	48.6
	조천읍	71,493	39,866	39,866	27,712	12,154	-	31,627	55.8
	애월읍	138,411	81,996	80,996	75,667	5,329	1,000	56,415	59.2
	한림읍	108,558	57,771	57,771	51,253	6,518	-	50,787	53.2
	한경면	104,149	91,309	89,309	75,545	13,764	2,000	12,840	87.7
(구) 남 제 주 군	소계	532,530	427,902	427,502	211,845	215,657	400	104,628	80.4
	성산읍	55,716	28,733	28,733	21,721	7,012	-	26,983	51.6
	표선면	61,763	43,149	42,749	24,894	17,855	400	18,614	69.9
	남원읍	149,959	146,198	146,198	46,304	99,894	-	3,761	97.5
	안덕면	10,950	42,830	42,830	31,167	11,663	-	28,120	60.4
	대정읍	194,142	166,992	166,992	87,759	79,233	-	27,150	86.0

주 : 보장량에는 생활용관정의 농업용수공급량, 2003년 현재 허가되었지만 준공되지 않은 관정을 포함,  
자료 : 제주도 농업용수 종합계획수립(제주특별자치도, 2004)

### Ⅲ. 하수처리수 재이용 정책방안

#### 1. 하수처리수 재이용 기술

하수재처리시설은 하수처리수를 대체수자원으로 활용하여 각종 용수를 안정적으로 공급함으로써 수자원의 효율적 이용 도모 및 향후 물 부족에 대비하기 위한 시설이다. 적용대상은 방류수질을 확보하고 있는 공공하수처리시설로서 하수처리수를 농업용수, 공업용수, 하천유지용수, 기타 청소용수 등으로 재이용하고자 하는 처리장을 대상으로 한다. 생활하수 중 잡배수를 농업용수로서 활용하는 것은 우리나라 농업의 발전사에서 관행적으로 이루어져 왔다. 소위, 최고의 논을 칭하는 문전옥답(門前沃畝)이란 수세식 변소가 이용되기 이전에 생활하수 잡배수가 자연적으로 조성된 습지(예를 들어 미나리나 연 꽃밭)를 통과하여 정화되어 흘러드는 마을 앞 논을 의미하는데, 하수에 포함된 영양물질이 자연적으로 보충되어 수확량이 높은 양질의 논을 칭하는 것이다.

##### 1) 국내 기술개발 현황

생활하수 재활용의 대체수자원 활용기술은 우리나라의 경우 화장실 세척수나 공업용수 등을 위한 중수도 개발과 관련하여 이미 실용화된 기술이다. 환경부에서는 물 절약의 목적으로 일정 규모이상의 빌딩과 공장 등에서는 중수도의 설치와 운영을 의무화하고 있다(환경부, 2001). 중수도의 용도별 수질기준은 수도법 시행규칙에서 수세식변소용수, 살수용수, 조경용수 등으로 구분하여 대장균군수, 잔류염소, BOD 등 7개 항목을 제시하고 있으며, 이들 대부분은 사람의 신체 접촉이 이루어지지 않는 용도로 한정된다.(윤, 2002)

국내 기술개발 현황으로 윤(1999, 2000)은 생활하수의 처리를 위한 인공습지에 관한

연구 및 인공습지로부터 배출수를 논벼의 관개수로 활용한 연구를 수행하였다. 수자원의 지속적 확보기술개발사업의 제 1,2단계 연구(박 등, 2004, 2007)에서는 여과, 소독, 저류 등의 3가지 요소기술의 현장 적용평가 시험을 시행하였다. 모래 여과법은 하수처리장의 2차 처리수중 부유물질을 제거하고, 일부 영양염류의 제거에도 효과가 있을 뿐만 아니라, 충분한 정도는 아니나 여과로 인한 소독효과도 나타났으며, UV소독법은 적정 조사량 이상을 적용할 경우, 대장균류(Total coliform, E. coli 등)의 불활성화에 매우 효과가 높은 것으로 나타났다. 또한 저류법은 인공습지 형태의 수심조건에서 영양염류의 분해와 함께 대장균 감소 등의 작용을 보이는 것으로 나타났다. 박(2008)은 고농도의 CI를 함유한 하수처리수를 2단 PCF/RO 공정을 이용하여 처리한 결과 농업용수는 물론 기타 용수로의 재이용도 가능성을 확인하였다.

## 2) 국외 기술개발 현황

하수 재이용은 전 세계 40여국에서 실용화되거나 연구 중에 있다(Scott 등, 2000). 하수재이용을 하는 주요 국가로는 미국, 멕시코, 사우디, 이스라엘, 이집트, 독일, 호주, 프랑스, 이태리, 일본, 인도, 중국 등이 있다.

Tanaka 등(1998)은 California주 하수재이용 시스템에서 바이러스 감염위험도를 모의한 결과를 제시하였다. 재이용수 중에 바이러스 농도의 증가에 비례하여 바이러스에 노출되는 정도가 증가하는 것으로 나타났으며, 바이러스 농도는 하수처리방법과 수준, 환경 중에서의 소멸 등에 따라 좌우되는 것으로 보고하였다. 특히, 살수관개방식 등과 같이 공기 중에 직접 분사되는 경우 바이러스병원균에 노출 위험이 증가하는 것으로 나타났다. Bahri(1999)는 농업용수 재이용에서 재처리시스템의 경제성 문제가 중요하므로, 개발도상국에서는 최소한의 수질기준만을 고려하여야 하며, 보다 엄격한 수질기준을 만족하는 것은 상당한 비용이 필요하므로 타당성이 없을 것이라고 평가하였다. 멕시코시의 경우, 농업용수 재이용 목적으로 무제한적 농업용수 수질기준인 대장균수 10/ml를 충족하는 방식을 위해 여과와 살균을 고려하였으며, 여기서는 포장시험을 시행하는 것을 소개하였다.

Liberti and Notarnicola(1999)는 남 이태리의 West Bari지역에 설치된 농업용수 재이용을 위한 고도하수처리장에서 100 m<sup>3</sup>/hr의 시험용 처리시설을 설치하여 이태리의

농업용수 재이용수 수질기준의 적합성을 검토하였다. 처리수의 대장균수 기준인 10/ml를 충족하도록 UV법, 오존법, 과산화산 처리를 적용하였고 그 결과 유럽공동체 및 이태리의 수질기준을 충족할 수 있었다. Mathan(1994)은 인도의 무처리 생활하수를 15년간 관개에 이용한 결과 토양조직의 개선이 관찰되었다고 하였다. Gupta 등(1998)은 인도의 다른 지역에서 15년간의 포장시험 결과 하수를 이용한 관개에서 토양의 비옥도의 개선과 유기탄소 함량이 증가된 반면, 중금속은 위험 수준이하로 유지되었다는 결과를 발표하였다. 1차 처리의 생활하수를 양식장에서 활용하여 성과를 얻은 결과도 발표하였다(Bartone, 1991)

멕시코시는 하수 이용을 위한 시험으로 1차 처리, 65 ha의 저류지 처리시스템, 2차 처리, 그리고 식음수 수질기준의 정수처리 등을 시행하고 있다. 저류시설은 자연적인 수질정화 기능을 가지나, 농부들은 건강위험문제의 회피를 위해 작부체계의 선정에서 엄격한 제약을 지키고 있다. 즉, 하수의 채소류와 과수에의 적용을 금하고 대신에 옥수수과 알팔파를 주요 작목으로 재배하고 있다(Scott 등, 2000).

Kiziloglu(2007)은 하수재이용에 따른 토양환경과 양배추의 생육 영향을 분석하였고, 중금속 등의 집적 여부를 검토한 결과 검출되지 않았다고 하였다. Heidler 등(2007)은 미국에서 슬러지 중의 환경호르몬과 식물체내 집적 연구를 실시하였는데, 연구결과 집적사례가 없는 것으로 나타났다.

### 3) 하수처리수 재처리시설의 공법 및 추진현황

#### (1) 재처리시설의 공법

하수처리수의 처리공법은 재이용 목적이나 제거 대상물질과 그 제거 정도에 따라 다르며, 하나의 단위공정 혹은 두 개 이상의 단위 공정의 조합으로 구성될 수 있다. 재이용 시설에 적용될 수 있는 단위공정은 그 목적과 제거 대상물질에 따라 Table 16과 같이 구분하여 나타낼 수 있다.

Table 16. Example of the Treatment Process for the Substance to be Removed

제거대상		관련수질 항목	제거공정
유기물	부유성	SS	급속여과, 응집침전, 막처리(정밀여과, 한외여과)
	용해성 (난분해성)	BOD, COD	활성탄흡착, 응집침전, 오존산화, 막처리
영양염류	질소	T-N, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	암모니아스트리핑, 이온교환, 생물학적 탈질법
	인	T-P, PO <sub>4</sub> -P	생물학적 탈인법, 응집제첨가 활성슬러지법, 응집침전
미량성분	용해염류	Na, Ca, Cl, Cd 이온 등	막처리(역삼투), 전기투석, 이온교환
	미생물	대장균, 일반세균, 바이러스	멸균, 소독(염소가스, 차아염소산, 이산화염소, 자외선, 오존)
	색도유발물질	색도	응집침전, 고도산화공법(오존, 펜톤, 광촉매)

이중 지금까지 국내·외에 소개되어 있는 하수처리수 재처리시설 공정 중 대표적인 공정으로는 급속여과법, 활성탄 흡착법, 막 분리법 등이 있으며 소독시설방법은 염소 소독과 자외선 소독이 있다. 각 공법의 특징을 요약하면 다음과 같다.

#### ① 급속여과법

급속여과법은 안정된 처리성능을 얻을 수 있고, 운전도 용이하며, 2차 처리수질의 향상을 기대할 수 있는 고도처리의 기본공정이다. 급속여과법은 모래, 안트라사이트 등의 입상여재로 이루어진 여층에 비교적 높은 속도로 유입수를 통과시켜 여재에 부착 또는 체거름작용 등에 의해 부유물을 제거하는 방법이다.

#### ② 활성탄 흡착법

활성탄(Activated Carbon)은 다양한 종류의 유기화합물을 흡착하므로 정수처리, 하수의 고도처리 그리고 유기산업 폐수의 처리에 광범위하게 사용되고 있다. 하수의 활성탄 처리는 일반적으로 정상적인 생물학적처리를 거친 물의 최종처리 공정으로 이용되고 있으며, 이때 활성탄은 잔류 용존 유기물의 제거에 사용된다. 흡착이란 흡착제(Adsorbent)를 사용하여 용액으로부터 오염물을 제거하는 것으로서 흡착장치는 회분식(Batch), 컬럼식(고정상과 역류이동) 또는 유동층 흡착조 등이 있으며 하수처리에

서 사용되는 활성탄은 과립 형태의 입상 활성탄을 일반적으로 사용하고 있다.

### ③ 막 분리법

한외여과는 용존물질 또는 콜로이드물질을 제거하기 위해 다공성 막을 이용하여 가압 운전하는 시설로서, 보통 콜로이드 물질과 분자량 5,000이상인 고분자의 제거에 이용된다. 한외여과막 공경의 크기는 보통 0.001~0.02 $\mu\text{m}$ 이다. 이 시설은 역삼투보다 상대적으로 낮은 압력에서 운전되는데 일반적으로 1~10kg/cm<sup>2</sup>정도이다.

역삼투시설은 물은 자유롭게 통과하지만 용질은 통과하지 않는 반투막에 의해서 2개의 실로 나뉜 용기 A에 염류용액을, B에는 물을 넣은 경우 B의 물 일부는 A의 용액으로 침입하여 평행에 달한다. 이때 A, B 사이에는 압력차가 발생하며 이 압력차를 삼투압이라 한다. 이 삼투압에 견딜 수 있는 만큼의 외압을 농후용액측에 가하면 역으로 용액중의 용매가 수축으로 이동한다. 이 현상을 역삼투라고 한다. 이것을 이용하여 용액에서 용매를 분리하는 방법이 역삼투법이다.

### ④ 소독시설

염소 소독은 정수장이나 하수처리장내의 수인성 전염병 및 병원체 살균을 위해 많이 사용되고 있으며, 살균 지속력이 좋고, 간편한 공급 및 조절, 낮은 가격 등의 특징이 있다.

자외선(UV) 소독은 소독제가 잔류하지 않고, 과잉주입의 우려가 없고, 소독장치가 단순하다는 여러 가지 장점이 있어 염소소독의 대체법으로 각광받고 있다. 자외선 소독 개발 초기에는 장비 가격이 고가였으나 지속적인 기술개발과 대량생산으로 인해 경제적인 측면에서도 좋은 대체소독법으로 평가받고 있다(Mally 등, 1996).

하수처리수를 재이용시 유입되는 원수의 특성(유량 및 수질)을 고려하여 설치기준을 설정하여야 하며, 유입원수는 공공하수처리시설 최종처리수를 대상으로 하며, 계절 및 일간중 시간대별 수질과 유량의 변화를 고려하여 정상적인 변동범위의 악조건에서도 충분히 재이용수 용도별 수질권고기준을 달성할 수 있도록 계획하여야 한다. 그리고 재처리시설의 공정은 재이용목적 및 용도 등에 따라 다양하므로 각 공정의 구체적인 설치기준은 환경부 제정 “하수도 시설기준(한국상하수도협회, 2005)”에 준하도록 한다. Table 17에 처리대상별 처리효율을 표로 나타내었다(환경부, 환경관리공단, 2007).

Table 17. Comparison of the Contaminant Removal Efficiency by Treatment Facility

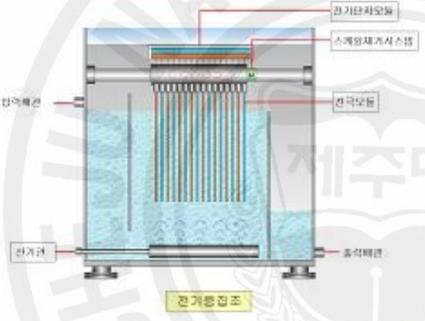
대 분 류	중분류	소분류	유기물 등의 생물처리법 ~질산화법	부유물질 등의 물리·화학적 처리법				용해성물질 등의 물리·화학적 처리법			소독법		
			생물막여과법	급속사여과법	응집침전법	응집여과법	한외여과법	활성탄흡착법	역삼투법	오존산화법	염소소독	오존소독	자외선소독
기본적 수질 항목	위생항목	대장균군수	○		△	△	◎	△	◎	◎	◎	◎	◎
	환경항목	BOD	○	△	△	△	○	○	◎				
		pH			□	□							
	미관유지 항목	탁도	○	○	◎	◎	◎	○	◎				
		취기	△				△	○	◎	○		△	
		색도	△		△	△	△	◎	◎	◎		△	
용도별 수질 항목	미관유지 항목	발포원인물질	△					◎	○	△		△	
		무기성탄소	△						◎				
	어류생식 항목	용존산소								○			
		암모니아질소	○						○				
		잔류염소	-	-	-	-	-	-	-	-		(◎)	(◎)

범 례	◎ (처리대상) : 개략제거율 90% 이상 ○ (처리대상) : 개략제거율 50% 이상 (제거율은 용존산소를 제외) △ (유효) : 개략제거율 20%~50%이상 □ : pH 조정
--------	---

- 주 : (1) 평균적 이차처리수를 대상으로 개략제거율을 표시  
 (2) pH는 처리과정에서 조정을 요할 가능성이 있음  
 (3) (◎) 는 잔류염소의 문제가 없음

제주지역 하수처리수중의  $Cl^-$ 을 제거하기 위한 대표적인 탈염시설로는 전기분해, 역삼투, 이온교환, 증류 등이 있으며, 이중 전기분해와 역삼투의 특징을 Table 18에 대하여 나타내었다.

Table 18. Characteristics of Electrolysis and Reverse osmosis

구 분	전기분해 및 희석 시스템	막여과(분리막)시스템
원 리	<ul style="list-style-type: none"> <li>전기분해장치는 정격 직류전압으로 카본 극판을 이용하여 유입수 중의 용해성 염분을 제거</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>막여과 공정은 막을 이용하여 기상 또는 액상의 혼합물을 막 양면의 농도차, 압력차, 전위차 등에 의해 분리, 농축, 정제하는 공정</li> </ul>
공 정		
장 점	<ul style="list-style-type: none"> <li>유량 및 수질변동 대처능력 우수</li> <li>전기분해장치에 의한 염분제거효율의 안정성</li> <li>갈수기에 온도의 영향 없이 안정된 방류수질 확보</li> <li>전기분해법은 역삼투와 비교했을 때 저염분 용액의 담수화는 에너지 소비가 적다(저염분 사용시 유리).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>원수에 포함된 일정 크기이상의 현탁 물질을 확실하게 제거할 수 있음</li> <li>응집제 없이도 운전이 가능하거나, 필요시에도 소량만 필요로 하여 운전관리가 간단함.</li> <li>에너지 소비량이 적다. 조작이 용이하다.</li> <li>음용수 적용에 용이하다.</li> </ul>
단 점	<ul style="list-style-type: none"> <li>해수를 담수화</li> <li>기수담수화에는 실적이 있지만, 해수담수화에는 실적이 적다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>색, 냄새, 맛 등에 관계되는 용해성 물질을 제거하기 위해서는 재래식처리 방법과의 조합이 필요함.</li> <li>막 오염을 방지하기 위해 약품세정이 필요하고, 막의 수명이 짧아 교환비용이 많이 소요됨.</li> </ul>

(2) 재처리시설의 국내추진현황

우리나라의 하수처리수의 재이용율은 2000년 2.9%, 2003년 5.4%, 2005년 6.9% 등으로 매년 꾸준히 증가하는 추세에 있다. 2005년에는 연간 66억 m<sup>3</sup>의 하수처리수 중 4.6억 m<sup>3</sup>을 재이용 하였으며, 재이용 형태는 Table 19에 나타내었다.

Table 19. Profiles of sewage water reuse in 2005

이용형태	세척수	냉각수	정소수	장내 기타용수	농업용수	하천 유지용수	기타용수
재이용율	23.5%	6.6%	3.8%	14.0%	6.0%	40.1%	6.1%

자료 : 환경부

환경부에서는 하수처리수 재이용이 물 수급의 지역적 불균형 완화, 오염부하량 저감에 따른 하천수질개선, 저렴한 공급비용, 건천화된 도심하천의 수생태계 회복 및 친수공간 조성 등으로 가장 현실적인 대체수자원으로 주목하였다. 환경부에서는 하수도법을 개정(2006. 9)하여 신규 하수처리장에 하수처리수 재이용을 의무화하였다. 한편 2006년도에 사업비를 국고에서 지원하여 6개 지역에 ‘하수처리수 재이용사업’을 추진하였다. 하수처리수 재이용사업 추진현황을 Table 20에 나타내었다. 2007년도에 들어와서는 하수처리수 재이용사업을 본격적으로 추진하였으며(Table 21), 하수도법 개정(2007. 9. 28 시행)에 따라 2007년부터 2015년까지 국가 하수도 정책방향을 제시하기 위한<국가하수도종합계획>을 수립하여 발표하였다. <국가하수도종합계획>에서는 물순환 이용체계 구축을 통해 하수처리수 재이용 사업을 6.9%(2005)에서 18%(2015년)로 확대 추진할 계획을 수립하였으며, 이를 위해 하수도 관리기반 구축 등 기타사업에 2조 7,728억 원을 투입하기로 결정하였다. 2008년도에는 재이용 사업지구로 5개소가 선정되었으며, 이 중 농업용수 공급이 포함된 지역은 상주, 제주특별자치도 등 2개소로 결정되었다. Table 22에서 보는 바와 같이 하수재이용 사업의 주요공정은 관로시설과 펌프 그리고 저장시설로 구성되어 있다.

Table 20. Profiles of sewage water reuse projects promoted by the ministry of environment (2006)

처리장		전남강진	충남공주	전남여수	경기오산	인천송도	충남천안
항 목							
하수처리시설 설계유량(m <sup>3</sup> /d)		8,000	35,000	110,000	57,000	10,000	150,000
하수처리 공정		SBR	HBR-II	ASP	ASP	Biotry-R	DNR HANT
하수처리 설계 방류수 질 (mg/L)	BOD	2.0	6.0	-	6.4	10.0	-
	COD	5.0	8.8	-	10.7	20.0	-
	SS	5.4	3.1	-	3.9	10.0	-
	T-N	-	13.3	-	-	15.0	-
	T-P	-	0.5	-	-	2.0	-
재이용 설계유량(m <sup>3</sup> /d)		8,000	10,000	43,200	12,000	30,000	30,000
재이용 공정		SBR처리 수단순공 급	여과소독시 설, 펌프장	-	여과+R/O	사여과+활성탄 +염소소독	HANT
재이용용도		농업 용수	하천 유지 용수	하천 유지 용수	공업 용수	복합용수 (청소·화장실, 조경,천수용수)	하천 유지 용수
재이용 설계방 류수질 (mg/L)	BOD	2.0	5.0	-	2.0	6.0	-
	COD	5.0	-	-	2.0	10.0	-
	SS	5.4	-	-	1.0	5.0	-
	TN	-	10.0	-	-	15.0	-
	TP	-	1.0	-	-	2.0	-
	대장균군수 (개/ml)	-	1000	-	-	불검출	-
	색도	-	40	-	-	10.0	-

자료 : 환경부

Table 21. Profiles of sewage water reuse projects promoted by the ministry of environment (2007)

처리장 항목		목포담해	고창	구미	보성	고령	고흥
하수처리시설 설계유량(m <sup>3</sup> /d)		100,000	16,000	330,000	3,000	6,000	4,000
하수처리 공정		NPR+여과	표준 활성+여과	-	산화구+ 고속응집침 전	DNR	SBR
하수 처리 설계 방류 수질 (mg/L)	BOD	10	5.8	-	5.0	-	5.2
	COD	15	6.5	-	10.0	-	12.0
	SS	10	4.3	-	5.0	-	16.0
	TN	15	11.1	-	10.0	-	
	TP	1.6	0.5	-	1.0	-	
재이용 설계유량(m <sup>3</sup> /d)		35,000	11,000	105,000	2,500	4,500	4,000
재이용 공정		처리수 단순공급	처리수 단순공급		처리수 단순공급	여과 및 소독시설	-
재이용용도		하천유지 용수	하천유지 용수	하천유지 용수, 조경용수	하천유지 용수, 인공생태 하천조성	하천유지 용수	하천유지 용수, 공원관리 용수
재이용 설 계 방 류 수 질 (mg/L)	BOD	7	2급수	-	5.0	6.0	-
	COD	11.3	-	-	10.0	24.8	-
	SS	3.0	-	-	5.0	6.0	-
	T-N	9.0	-	-	10.0	12.0	-
	T-P	0.9	-	-	1.0	1.2	-
	대장균군수	-	-	-	-	-	-
	색도	-	-	-	-	-	-
재이용 시설비용	공급관망 제외	8억 원	30억 원	-	-	-	11억 원
	전체	15억 원	43억 원	40억 원	7억 원	10억 원	30억 원
운영방법		직영	-	-	위탁	위탁	직영

자료 : 환경부

Table 22. Profiles of sewage water reuse projects promoted by the ministry of environment (2008)

시·군	처리장명	재이용 용도	재이용량 (m <sup>3</sup> /day)	사업내용
충남 부여군	부여	연못·유지	8,000	압송관로 2.0 km 펌프시설 1식
전북 익산시	익산	공업	30,000	압송관로 2 km 펌프시설 1식
경북 경산시	경산	유지	30,000	압송관로 7.5 km 펌프시설 1식
경북 상주시	상주	유지·농업	20,000	압송관로 6.4 km 펌프시설 1식
제주특별자치도	판포	농업	5,000	저류조 5,000 m <sup>3</sup> 이송관로 5 km 탈염시설 1식

자료 : 환경부

## 2. 하수처리수 재이용 수질기준 고찰

### 1) 작물 내염성

해안가에 취락이 발달한 제주특별자치도의 특성상 여러 경로를 통하여 염분이 높은 하수가 많이 발생하게 되며, 이에 하수처리수의 염분은 시기 및 조위에 따라 1,500 ~ 5,500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  정도로 방류되어 내륙지방에 비해 비교적 높은 편이다. 따라서, 하수처리수를 농업용수로 재이용하기 위해서는 염분농도를 조절하여 작물이 염해 피해를 입지 않도록 주의가 필요하다. Table 23은 작물의 수확량이 100%, 90%, 75%, 50%, 0% 일때, 근근역 토양의 포화추출액의 전기전도도(EC)를 나타낸 표이다. 브로콜리의 경우 전기전도도(EC)가 2,800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 까지는 염해를 입지 않다가, 3,900  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이 되면 작물의 10%가 염해를 입고, 14,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이 되면 작물이 모두 염해를 입게 되어 수확을 할 수 없게 된다.

Table 23. Salt resistance by concentration of EC in root zone of crops (unit :  $\mu\text{s}/\text{cm}$ )

작물	수확량				
	100%	90%	75%	50%	0%
일반작물					
보리(barleya)	8,000	10,000	13,000	18,000	28,000
콩류(beans)	1,000	1,500	2,300	3,600	7,000
잠두(broad bean)	1,600	2,600	4,200	6,800	12,000
옥수수(corn)	1,700	2,500	3,800	5,900	10,000
목화(cotton)	7,700	9,600	13,000	17,000	27,000
동부(cowpea)	1,300	2,000	3,100	4,900	9,000
아마(flax)	1,700	2,500	3,800	5,900	10,000
땅콩(groundnut)	3,200	3,500	4,100	4,900	7,000
벼(rice, paddy)	3,000	3,800	5,100	7,200	12,000
잇꽃(safflower)	5,300	6,200	7,600	9,900	15,000
세스마니아(sesbania)	2,300	3,700	5,900	9,400	17,000
사탕수수(sorghum)	4,000	5,100	7,200	11,000	18,000
콩(soybean)	5,000	5,500	6,200	7,500	10,000
사탕무(sugar beet)	7,000	8,700	11,000	15,000	24,000
밀(wheata)	6,000	7,400	9,500	13,000	20,000
채소류					
근대(beetb)	4,000	5,100	6,800	9,600	15,000
브로콜리(broccoli)	2,800	3,900	5,500	8,200	14,000
양배추(cabbage)	1,800	2,800	4,400	7,000	12,000
참외(cantaloupe)	2,200	3,600	5,700	9,100	16,000
당근(carrot)	1,000	1,700	2,800	4,600	8,000
오이(cucumber)	2,500	3,300	4,400	6,300	10,000
상추(lettuce)	1,300	2,100	3,200	5,200	9,000
양파(onion)	1,200	1,800	2,800	4,300	8,000
고추(pepper)	1,500	2,200	3,300	5,100	9,000
감자(potato)	1,700	2,500	3,800	5,900	10,000
무(radish)	1,200	2,000	3,100	5,000	9,000
시금치(spinach)	2,000	3,300	5,300	8,600	15,000
사탕옥수수(sweet corn)	1,700	2,500	3,800	5,900	10,000
고구마(sweet potato)	1,500	2,400	3,800	6,000	11,000
토마토(tomato)	2,500	3,500	5,000	7,600	13,000

자료 : Ayers & Westcot, 1976

Table 24. Salt resistance by concentration of EC in root zone of crops (unit :  $\mu\text{s}/\text{cm}$ )

작물	수확량				
	100%	90%	75%	50%	0%
과실류					
아몬드(alomond)	1,500	2,000	2,800	4,100	7,000
사과(apple)	1,700	2,300	3,300	4,800	8,000
배(pear)					
레몬(lemon)					
살구(apricot)	1,600	2,000	2,600	3,700	6,000
아보카도(avocado)	1,300	1,800	2,500	3,700	6,000
대추야자(date plam)	4,000	6,800	10,900	17,900	32,000
무화과(fig)	2,700	3,800	5,500	8,400	14,000
올리브(olive)					
석류(pomegranate)					
포도(grape)	1,500	2,500	4,100	6,700	12,000
자몽(grapefruit)	1,800	2,400	3,400	4,900	8,000
오렌지(orange)	1,700	2,300	3,200	4,800	8,000
복숭아(peach)	1,700	2,200	2,900	4,100	7,000
자두(plum)	1,500	2,100	2,900	4,300	7,000
딸기(strawberry)	1,000	1,300	1,800	2,500	4,000
호두(walnut)	1,700	2,300	3,300	4,800	8,000

자료 : Ayers & Westcot, 1976

주 : 25°C 에서 근구역 토양의 포화추출액의 전기전도도(EC)임

a : 발아기와 수잉기에는 4,000 ~ 5 000  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 을 넘어서는 안됨

b : 발아기에는 3,000  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 을 넘어서는 안됨

한편, Table 24는 작물의 수확량이 100%, 90%, 75%, 50%, 0% 가 되는 관개용수의 전기전도도(EC)를 보여주고 있다. 즉, 제시된 전기전도도(EC)의 관개수를 지속적으로 관개하였을 경우 수확량이 감소되는 비율을 알 수 있다. 콩류 및 당근, 상추, 양파와

같은 채소류는 염해에 취약한 작물로서 전기전도도가 700 ~ 800  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 을 초과하면 작물의 피해가 발생한다.

## 2) 하수처리수 재이용 수질기준

본 연구에서는 하수처리수의 농업용수재이용 수질기준 고찰을 위해 국내외 수질기준 및 국내외 수질기준 자료를 수집하여 비교 분석하였고, 농업용수 재이용 형태별 작목의 구분과 각 작목 및 관개방식별 재이용 수질기준 자료를 분석하여 하수처리수 재이용 수질기준을 고찰하였다.

### (1) 농업용수 수질기준

우리나라 농업용수의 수질기준은 3가지 법에서 각기 다른 기준을 적용하고 있다. 하천수는 환경정책기본법 10조 ‘하천수질환경기준’에 의해 4급수를 농업용수의 수질기준으로 하고 있으며, 호소수의 경우는 환경정책기본법 10조 ‘호소수질환경기준’의 4급수를 농업용수로 하고 있다. 또한 지하수는 지하수법 13조 ‘지하수수질기준’에 따라 농업용수의 수질기준을 설정해 두고 있다. 이렇듯 현행법상 수원별로 수질기준 및 항목 기준치가 상이한 것은 농업용수 수질기준이 관개용수로서의 기준이 아니라 수원 관리의 목적으로 설정된 기준이기 때문이다. 실제 관행적으로 일부 간척 농지에서 관개수질기준상 이용 불가능한 높은 염분의 물을 관개하여도 논벼의 생장이 가능한 것이 관찰되고 있다. 따라서 기존의 수질기준은 농업용수로 이용되는 하천, 호소 등의 수질관리 목표로 이해되어야하고, 실제 작물 경작을 위한 관개에 이용할 수 있는지 여부를 판정하는 기준으로 활용될 수는 없다. Table 26은 재이용 수질기준을 위한 국제심포지움(2005. 5)을 통해 발표된 하수의 농업용수 재이용 방식에 따른 작물 분류 기준이며, 이후 하수재이용사업의 활성화 차원에서 용도별 ‘하수처리수 재이용 수질 권고기준’(환경부, 2005. 12)이 마련되었다(Table 27).

하수재이용을 위해서는 재이용 용도별로 수질기준(또는 권고기준 등)을 충족하여야 하며 이를 통해 안전성의 확보가 중요하다. 농업용수 재이용 수질기준은 재배작물의 종류, 관개방식 등에 따라 구분하여 적용하는 것이 일반적이다. 작물 및 관개방식을 제한하는 것은 하수재이용에 따른 인체 보건위생의 안전도를 확보하고, 작물재배환경을 보호하며, 환경피해 등을 최소화하기 위한 것이다.

Table 25. Comparison of national and international reclaimed water quality

수질항목	국내기준			일본 농업용수	미국FAO 농업용수	캐나다 농업용수	EPA 비상업용, 직접 식용
	하천수	호소수	지하수				
pH	6.0~8.5	6.0~8.5	6.0~8.5	6.0~8.5			6~9
SS(mg/L)	100	15		100			
BOD(mg/L)	8						10
COD(mg/L)		8	8	6.0			
DO(mg/L)	2	2		5.0			
탁도(도)							2NTU
잔류염소							1
전기전도도							
Cl <sup>-</sup> (mg/L)			250				
TDS(mg/L)						500~3500	
NH <sub>4</sub> -N(mg/L)							
T-N(mg/L)		1.0		1.0			
T-P(mg/L)		0.1					
Al(mg/L)					5		
As(mg/L)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.1	0.1	
B-total(mg/L)					0.75	0.5~0.6	
Cd(mg/L)	0.01	0.01	0.01		0.01	0.01	
Cr-total(mg/L)	0.05		0.05		0.1	0.1	
Co(mg/L)					0.05	0.05	
Cu(mg/L)				0.02	0.2	0.2~1	
F-total(mg/L)						1	
Pb(mg/L)	0.1	0.1	0.1		5	0.2	
Li(mg/L)					2.5		
Mn(mg/L)					0.2		
Hg(mg/L)	ND	ND	ND				
Ni(mg/L)					0.2	0.2	
Se(mg/L)					0.02	0.02~0.05	
Zn(mg/L)				0.5	2	1~5	
ABS(mg/L)	0.5	0.5					
CN(mg/L)	ND	ND	ND				
PCB(mg/L)	ND	ND					
대장균 (개/100mL)							ND

\*ND: Not Detected

Table 26. Classification for the water reclamation to agricultural water

구 분	하수재이용 방식에 따른 분류			비 고
	A등급	B등급	C등급	
작물에 따른 분류	공업용 작물 및 발작물 중 직접 생식하지 않는 곡류, 구근류 작물	논과 같이 넓은 지역에 단지로 재배하는 작물과 관개로 인한 환경영향이 큰 경우	야채류 등과 같이 생식으로 섭생하는 작물과 환경농업 등 소비자 기호가 큰 경우	작물별 등급분류는 별표1 참조*
대표 작물	맥류(쌀보리, 밀) 잡곡류(조, 수수) 두류(콩, 팥)	미곡(벼) 서류(고구마, 감자) 특용(참깨, 땅콩)	엽채류(배추, 상추) 근채류(무) 조미채소(고추) 과채류(수박, 참외) 과수(사과, 배)	
관개방식의 제한	도랑관개 물방울관개	담수관개	도랑관개 물방울관개 담수관개	스프링클러관개 방식은 적용해서는 안됨
제한 사항	영농작업 중 재이용수의 인체 접촉이 없을 것	제한 없음	제한 없음	
	① 영농작업 중 관개수에 인체접촉이 높을 경우는 A등급을 적용할 수 없음 ② 관개지역내에 2개 이상의 다른 등급 작물이 재배되는 경우는 상위 등급의 수질기준을 적용해야 함 ③ 다만, 짧은 기간 동안 비상용수 등으로 하수 재이용의 경우는 1단계씩 낮은 등급의 수질기준을 적용할 수 있음			

\*자료 : '재이용 수질기준을 위한 국제심포지움' 자료집 별책부록

Table 27. Recommendation regarding reuse water quality

수질 항목	재이용 수질권고기준								
	범용 재이용수					인체 비접촉 세척용수	고도환경용수		공업용수 <sup>5)</sup>
	청소용수	도시조경용수	친수용수	유지용수	농업용수 <sup>3)</sup>		습지용수	지하수층진 <sup>4)</sup>	
pH	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5
SS(mg/L)			<6			<6	<6	<6	
BOD(mg/L)			<3		<8	<3	<5	<5	<6
DO(mg/L)			>2	>2	>2		>2		
탁도(NTU)	<2	<2				<2		<2	<10
냄새	미불쾌	미불쾌	미불쾌	미불쾌		미불쾌	미불쾌	미불쾌	
색도(도)	<20	<20	<5	<20	<20	<5	<5	<5	
결합잔류염소(mg/L) <sup>1)</sup>	>0.2					>0.2			
대장균개수(CFU/ml)	불검출	불검출	불검출	<1,000	<200	불검출	불검출	불검출	<1,000
염화물(mg/L)		<250			<250		<250	<250	
T-N(mg/L) <sup>2)</sup>			<10			<10	<10	<10	
T-P(mg/L) <sup>2)</sup>			<1	<1		<1	<1	<1	
ABS(mg/L)			<1	<1	<0.5		<0.5	<0.5	

※ 농업용수 수질권고기준 추가항목(mg/L)

Al	As	B-total	Cd	Cr <sup>+6</sup>	Co	Cu	Pb
5이하	0.05이하	0.75이하	0.01이하	0.05이하	0.05이하	0.2이하	0.1이하
Li	Mn	Hg	Ni	Se	Zn	CN	PCB
2.5이하	0.2이하	0.001이하	0.2이하	0.02이하	2이하	불검출	불검출

- 주 1) 염소 소독하는 경우에만 적용한다. 인체 접촉용도 사용시 배관망에서 미생물 발생을 방지하기 위하여 염소소독을 사용하는 것이 권고된다. 고도환경용수에는 염소소독을 사용하지 않아야 하며 염소소독을 사용하는 경우에는 잔류염소를 제거하여야 한다.
- 2) 겨울철에는 T-N 60mg/L, T-P 8mg/L를 적용한다.
- 3) 재이용수를 논농사용 관개용수로 보충하는 경우에 적용한다.
- 4) 재이용수를 지하수 충전 또는 보충하는 경우, 재이용수의 수질이 먹는물 수준을 유지하여야 한다.
- 5) 재이용수를 산업용수로 사용하는 경우에 적용하며, 다회순환냉각수, 공정수, 보일러용수 등은 수요처와 협의하여 수질을 정한다.
- ※재이용수질권고기준은 공공하수처리시설에서 최종 처리하여 송수하는 수질에 대하여 적용하며, 하수도법에 의하여 2008.1.1부터 적용하는 공공하수처리시설 방류수수질기준을 기본적으로 만족하여야 한다.

자료 : 환경부

작물생육저해인자로는 나트륨흡착비, 염류농도 등과 붕소 등이 있는데, 우리나라 하수처리수의 나트륨흡착비는 대략 6이하로 나타나고 있다. 염분농도는 보통 전기전도도를 써서 나타내기도 하는데 이 값은 하수 원수의 특징에 좌우되며, 작물생육에 영향을 주지 않는 전기전도도의 한계치는 대략 700  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 이며, 그 이상에서는 염분에 예민한 작물에서는 생육장애가 나타나고 결국 수확량의 감소를 나타내게 된다. 하천이나 호소수질보전을 고려한 재이용수질항목으로는 BOD, SS, T-N, T-P 등이 있다. 영양물질 등은 투수성이 높은 토양에 급수할 경우 지하수위까지 쉽게 스며들게 되므로, 발관개에서도 중요한 수질인자가 되기도 한다. 보건위생인자는 대장균수, 원충란, 바이러스 등과 같이 수인성 병원체 또는 기생충 알 등이다. 생체로 섭취하는 채소류의 경우 대장균수(지표생물)는 엄격히 통제되어야 하며, 이는 WHO의 재이용수질 권고에서도 제시하는 기준이며 세계 많은 나라에서 채택하는 기준이다.

그밖에 중금속 성분들도 재이용수질기준으로 고려하는 데, 토양오염 등으로 인한 위험성을 낮추는 요소와 식물 독성 등에 대한 기준으로 제시하고 있다. 우리나라 일부 도시의 하수처리장은 산업폐수처리장으로부터 하수를 받아 처리하는 경우가 있는데, 이와 같은 경우에는 적절한 수준 이하의 허용치를 적용하는 것이 필요하다.

### 3. 제주지역 하수처리수 특성

#### 1) 제주지역 하수처리수 수량 특성

2007년 6월 현재 제주 지역에서 운영중이거나 건설중인 하수처리장은 총 8개소로써, 제주시 지역에는 모두 하수처리장이 있으며 월정, 판포 하수처리장이 추가로 건설되어 현재 시험 가동 중에 있다. 서귀포시 지역에는 4개소가 운영 중에 있으며 하모, 성산 하수처리장은 농업용수 목적의 재이용 공급시설이 갖추어져 있으며, 태흥 하수처리장이 추가로 건설 중에 있다. 2007년 하수도법이 개정되면서 신규로 건설되는 하수처리장은 의무적으로 재이용 시설을 갖추도록 규정하고 있다.

Table 28. Sewage treatment plants in Jeju (2007)

구 분	시설용량 (m <sup>3</sup> /day)	처리공법	평균유입량 (m <sup>3</sup> /day)	가동율 (%)	
합 계(8개소)	209,000	-	120,856	57.8	
제주시 (3개소)	소 계	154,000	-	95,073	61.7
	도 두	130,000	고도처리 공사중(CNR)	90,262	69.4
	판 포	12,000	SBR	2,459	20.5
	월 정	12,000	SBR	2,352	19.6
서귀포시 (5개소)	소 계	55,000	-	25,783	46.9
	색 달	15,000	B3(변형)	6,591	43.9
	보 목	20,000	B3(변형)	13,392	67.0
	대 정	8,000	SBR	3,692	46.2
	남 원	8,000	SBR	637	8.0
	성 산	4,000	SBR	1,471	36.8

자료 : 하수처리장별 측정자료

Table 28에 2007년도 제주지역 하수처리장 현황을 나타내었으며, Table 29에는 하수처리장별 월별 하수처리량을 나타내었다. 제주 지역에서는 총 120,856 m<sup>3</sup>/day의 하수가 각 지역별 하수처리장으로 유입되어 처리되었다.

Table 29. Monthly incoming sewage of the sewage treatment plant in Jeju (2007)

구분	제주시(m <sup>3</sup> /day)			서귀포시(m <sup>3</sup> /day)				
	도두	판포	월정	색달	보목	대정	남원	성산
1월	90,394	-	-	5,648	11,490	2,933	-	1,281
2월	85,416	466	-	5,547	12,202	2,863	-	1,215
3월	89,940	1,207	-	5,747	11,561	3,175	-	1,398
4월	88,318	1,213	-	5,842	11,534	3,105	-	1,261
5월	88,899	1,611	-	6,338	12,250	3,321	-	1,311
6월	90,476	2,347	-	6,489	12,540	3,294	-	1,497
7월	97,692	4,094	2,106	7,987	15,508	5,772	-	1,844
8월	97,779	4,184	2,688	8,300	16,234	4,133	-	1,800
9월	84,751	3,858	3,766	7,532	16,512	4,049	203	1,969
10월	91,529	2,937	2,170	7,409	15,704	3,919	770	1,369
11월	86,882	2,466	1,618	6,220	13,556	4,099	774	1,228
12월	90,251	2,568	1,766	5,924	11,607	3,637	799	1,462
평균	90,262	2,459	2,352	6,591	13,392	3,692	637	1,471
최고	127,389	-	-	9,442	16,512	5,772	1,315	3,726
최저	27,320	-	-	4,687	11,490	2,863	50	942

자료 : 하수처리장별 측정자료

하수처리수량은 도시지역인 도두하수처리장이 평균 90,262 m<sup>3</sup>/day, 도농 복합지역인 색달, 보목처리장이 6,591 ~ 13,392 m<sup>3</sup>/day, 농촌지역인 판포, 월정, 대정, 남원, 성산의 경우는 637 ~ 3,692 m<sup>3</sup>/day을 처리하고 있다.

## 2) 제주지역 하수처리수 수질 특성

Table 30, Fig. 2 ~ Fig. 6은 2007년도 제주 지역내 하수처리수 수질현황으로 자체 분석한 자료를 인용하였다. 하수처리수는 방류 수질기준에는 대체적으로 만족하는 것으로 보이지만 재이용 수질권고기준과 비교해 볼 때 일부항목이 기준치보다 높은 것을 알 수 있어, 하수처리수를 재처리하지 않고 직접 이용하는 것은 다소 무리가 있다 판단된다.

Table 30. Quality of the water discharged from the sewage treatment plant in Jeju (2007)

처리장명	방류수질(mg/L, 개/mL)					
	BOD	COD	SS	T-N	T-P	대장균
A	8.8	10.4	7.8	21.043	1.971	139
B	4.9	7.4	9.9	10.566	1.457	56
C	8.6	8.7	6.8	11.456	1.097	57
D	10.5	12.9	8.9	15.963	1.771	180
E	2.0	7.5	2.2	9.138	1.639	30이하
방류수 수질기준	20이하	40이하	20이하	60이하	8이하	1,000이하
하수처리수 재이용 수질권고기준(농업용수)	8이하	-	-	-	-	200이하

자료 : 하수처리장별 측정자료

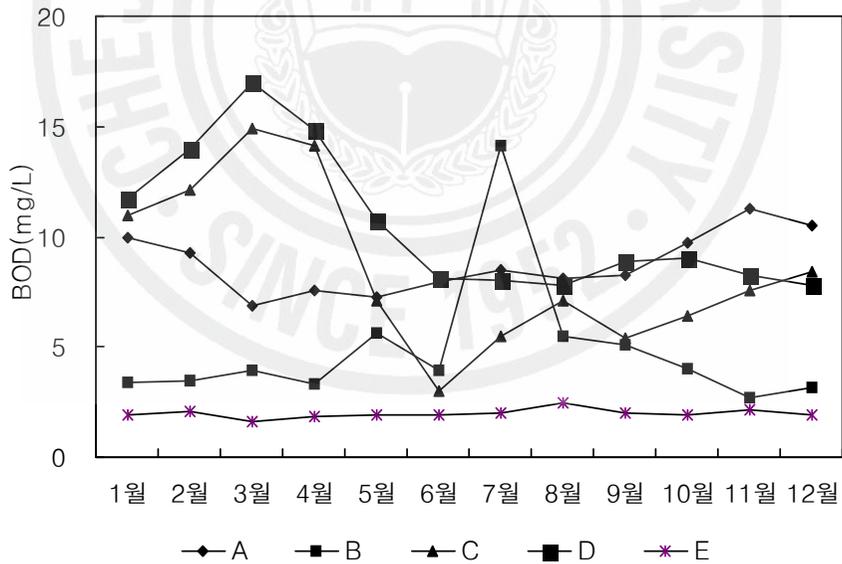


Fig. 2. BOD Concentration of the sewage treatment plants in 2007.

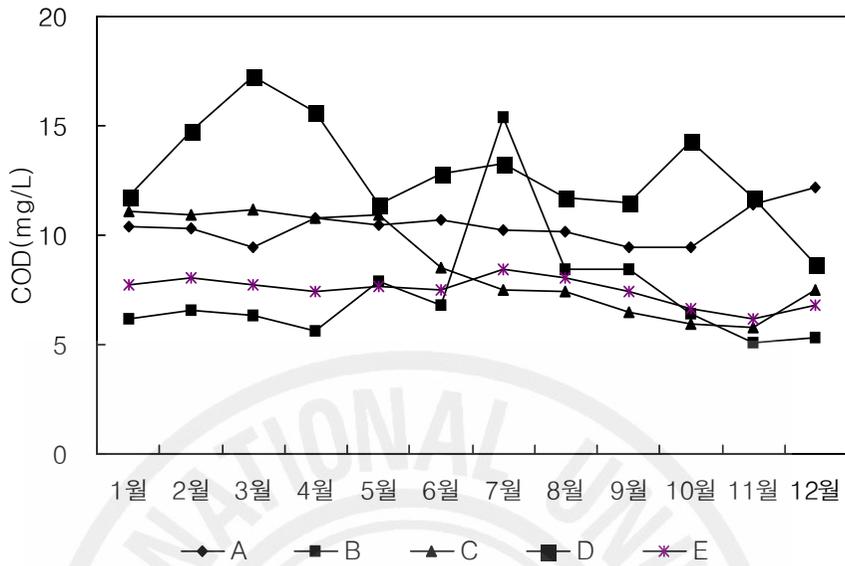


Fig. 3. COD Concentration of the sewage treatment plants in 2007.

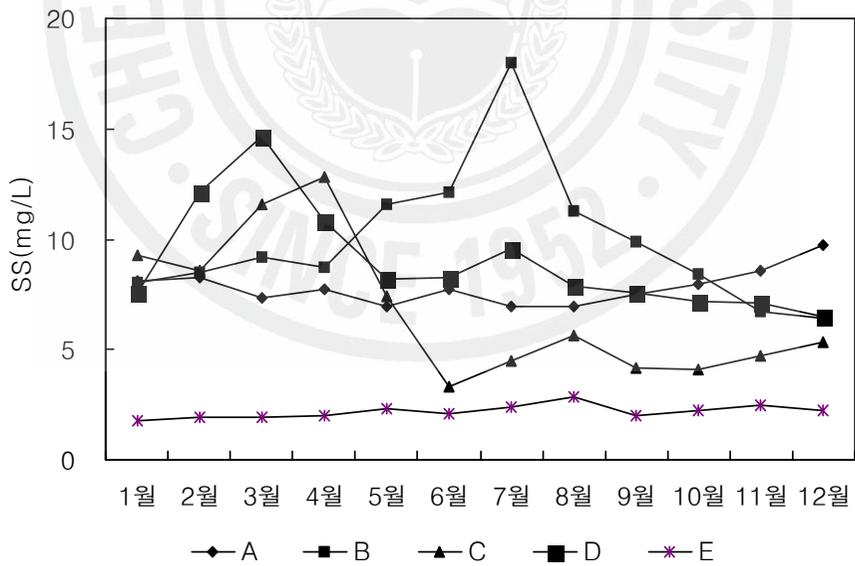


Fig. 4. SS Concentration of the sewage treatment plants in 2007.

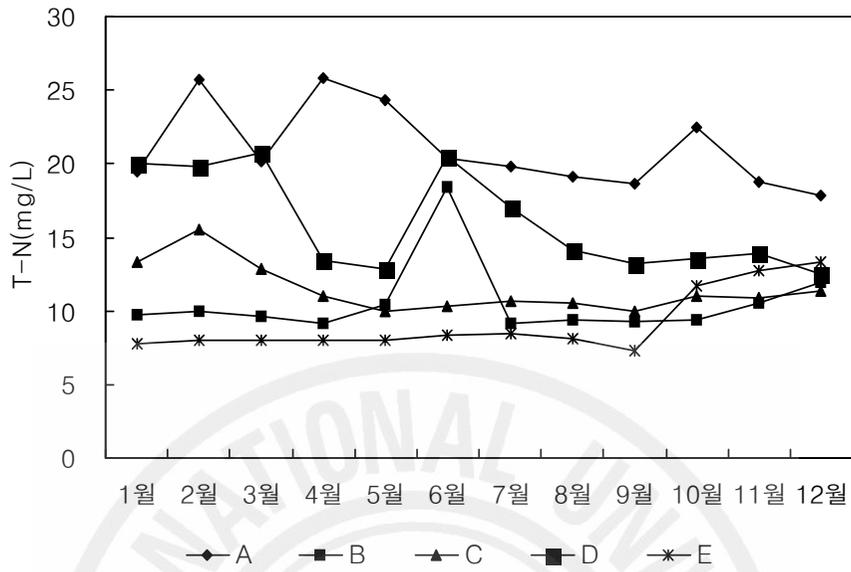


Fig. 5. T-N Concentration of the sewage treatment plants in 2007.

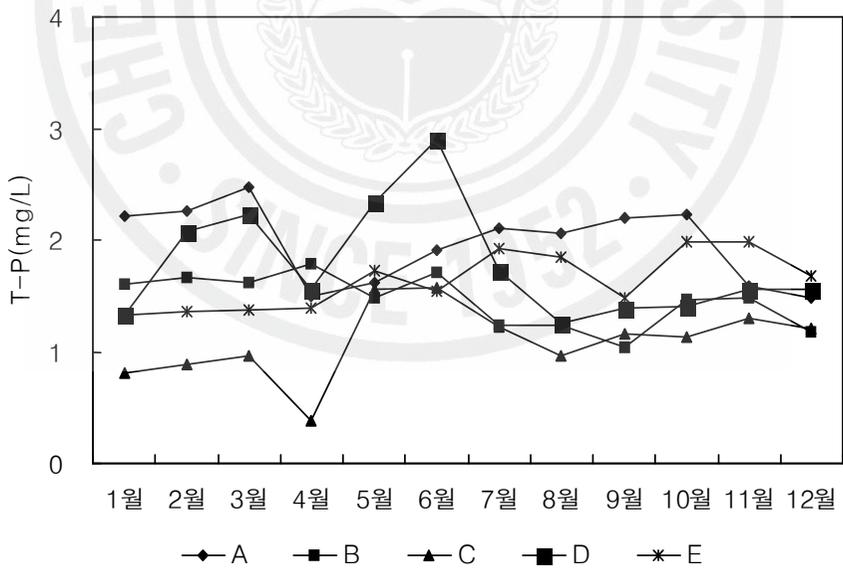


Fig. 6. T-P Concentration of the sewage treatment plants in 2007.

제주특별자치도(2003)는 도두하수처리장을 대상으로 하수처리수 수질기준 항목 이외에 일반 오염물질을 비롯한 미량성분 30개 항목의 농도를 조사하였는데 조사결과  $\text{Cl}^-$ 이 최대 117.6 ~ 3,523.9 mg/l를 나타내어 내륙지역 하수처리수보다  $\text{Cl}^-$ 농도가 매우 높다는 것과 그 변동폭이 큼을 알 수 있었다. 페놀, 유기인, As, CN, Cd 등 유해물질은 검출되지 않았다.  $\text{Cl}^-$ 에 대하여 박(2008)은 전기전도도(E.C)와  $\text{Cl}^-$ 농도간의 상관성을 조사하여 3개월간의  $\text{Cl}^-$ 농도를 추정하였다. 상관성을 조사한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

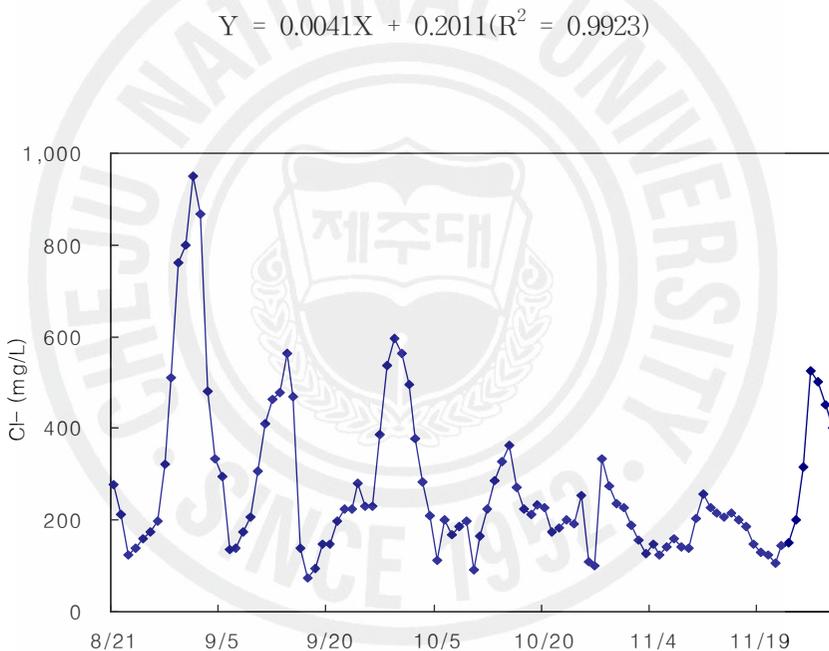


Fig. 7. Estimation of  $\text{Cl}^-$  concentration.

추정된  $\text{Cl}^-$ 은 Fig. 7에서와 같이 변동폭이 심하며, 최저 73 mg/L, 최고 979 mg/L, 평균 270 mg/L의 농도를 보였다. 환경관리공단(2001)에 의하면 해안지역에 위치한 하수처리장들 중 일부는 유입관로를 통하여 해수가 유입되고 있다고 보고하여 고농도  $\text{Cl}^-$ 은 해수의 하수관로로의 침입에 의한 영향으로 사료된다.

$\text{Cl}^-$ 은 농업용수 수질에서 가장 중요한 수질항목 중의 하나로써 재이용하고자 하는

하수처리수의  $Cl^-$  농도가 특별히 높은 경우에는 염분에 잘 견딜 수 있는 작물에만 국한시켜 재이용하지 않으면 안된다. 염분이 농작물에 영향을 크게 미치는 시기는 작물의 발아기와 어린 싹일 때이다. 염분은 토양의 삼투압(Osmotic potential)을 악화시키고, 특정이온으로 인해 농작물이 직접적인 악영향을 받을 수 있으며, 토양의 물리적 성질이 악화됨으로써 농작물이 직접적인 해를 받을 수 있다.  $Cl^-$  농도는 보통 전기전도도를 써서 나타내기도 하는데 이들의 개략적인 관계는  $1,000 \text{ EC}(\mu\text{s}/\text{cm}) = \text{염분 농도 } 640 \text{ mg/L}$ 로 나타낸다.

작물생육에 영향을 주지 않는 전기전도도의 한계치는 대략  $700 \mu\text{s}/\text{cm}$ ( $448 \text{ mg/L}$ )이며, 그 이상에서는 염분에 예민한 작물의 경우 생육장애나 수확량의 감소를 보이는 것으로 알려져 있다. 환경부에서는 2005년도에 하수처리수 재이용수질 권고기준을 수립하여 하수처리장에서 최종 처리하여 송수하는 수질에 대하여 적용하는 것을 원칙으로 설정하였고,  $Cl^-$ 의 농도를  $250 \text{ mg/L}$ 이하로 공급하도록 권고되어 있다.

제주지역에서 재배되는 작물은 주로 밭작물로서 콩, 당근, 상치, 양파 등 채소류의 EC 한계치는  $700 \mu\text{s}/\text{cm}$ 이며, EC가  $900 \sim 1,400 \mu\text{s}/\text{cm}$  정도이면 수확량의 10% 이상이 감소되는 것으로 알려져 있다. 그밖에도 감자, 양배추 등도  $1,000 \mu\text{s}/\text{cm}$ 를 한계치로 간주하고 있다. 결국 농업용수 수질기준과 하수처리수 재이용수질기준을 고려할 때 제주특별자치도의 하수처리수를 이용하여 농업용수로 이용하기 위해서는 미생물 제거와 함께  $Cl^-$  제거 기술이 요구된다.

#### 4. 제주지역에 적합한 하수처리수 재이용 시스템 및 정책방안

대체수자원의 일환인 하수처리수 재이용에 있어서 중수도 시스템과 같은 고비용 시설과 운전비용으로는 경제성 문제가 발생할 수 있다. 현재 농업용수 이용료는 원칙적으로 국가 또는 지방자치단체 부담이며, 원수 사용비용은 고려되지 않고 있다. 제주특별자치도(2003)는 하수처리수 재이용의 경제성을 확보하기 위해서는 재처리용량을 1일  $50,000 \text{ m}^3$  이상으로 하는 것을 제안하였지만 하수처리량이 적은 농촌지역 하수처리장을 대상으로 할 경우(Table 28 참조) 생산원가가 급증하여 비경제적이 된다.

m<sup>3</sup>당 생산원가는 시설용량 2,000 m<sup>3</sup>의 경우는 689원, 3,000 m<sup>3</sup>으로 용량을 증가시키면 650원, 50,000 m<sup>3</sup>과 100,000 m<sup>3</sup>으로 재처리할 경우 각각 285.5원과 269.3원으로 시설용량이 증가 할수록 생산원가가 낮아지는 규모의 경제(economy of scale)가 존재하기 때문이다. 시설용량별 생산원가를 Table 31에 나타내었다(제주특별자치도, 2003).

Table 31. Operating cost by size of the water reclamation facilities (unit : won)

	시설용량(m <sup>3</sup> /day)					
	2,000	3,000	5,000	10,000	50,000	100,000
합계	689	650	539	428	285.5	269.3
인건비	-	-	-	5	5.5	2.8
전력비	81	81	81	81	89	89
BMF막 교체비	210	210	144	90	30	25
RO막 교체비	40	38	34	29	12.5	11.5
약품비	25	25	21	19	19	15
감가상각비	333	296	259	204	129.5	126

자료 : 제주특별자치도(2003)

따라서 지나친 고비용 재이용 시스템의 현장 적용은 농업용수의 이용시기의 제약과 비용 등에 많은 문제점을 야기 시킬 수 있다. 그래서 다음과 같은 제주지역 실정에 맞는 재이용 시스템을 제안하려 한다.

Fig. 8은 <제주형 하수처리수 재이용 시스템>의 예시로 하수처리수 중 Cl<sup>-</sup>농도가 1,000 mg/L이상이 되면 해역으로 방류하지만, 1,000 mg/L 미만의 경우는 탈염전처리 시설과 탈염처리시설로 이송된다. 이중 Cl<sup>-</sup>농도가 200 mg/L 미만의 경우는 탈염전처리시설만을 통과하여 저류조로 이송하게 되고, 200 ~ 1,000 mg/L 미만의 경우는 탈염처리시설과 탈염처리 후 저류조로 이송하게 한다. 제주특별자치도(2003)와 박(2008)의 연구 결과를 보면 탈염전처리시설을 이용해도 충분히 유기물 및 SS 그리고 일부 영양염류 등을 제거할 수 있는 것으로 나타나고 있고, 탈염처리시설을 이용하면 제주

지역 하수처리수의 특징이었던 과도한  $Cl^-$ 의 문제가 해결됨은 물론 유기물질과 SS, T-N, T-P 등도 제거됨을 보였다. Table 32에 그 결과를 나타내었다. 이는 농업용수는 물론, 기타 다른 용수로의 재이용도 가능할 정도의 양호한 수질을 보이고 있다. 저류시설의 이용과 관련해서 Bahri(1998)는 저류시설을 이용하면 계절적 수요변화를 충족하고, 수질개선을 달성할 수 있다 하였다. 수질 및 수량이 확보되는 용천수와 인근 하천수를 저류조로 이송하여 수량을 확보하는 것도 타당하다 사료된다. 용천수와 하천수의 이용은 수량 확보라는 경제성 뿐 만이 아닌 사회·심리적 측면의 문제를 해결하는데 도움이 될 것으로 사료된다.

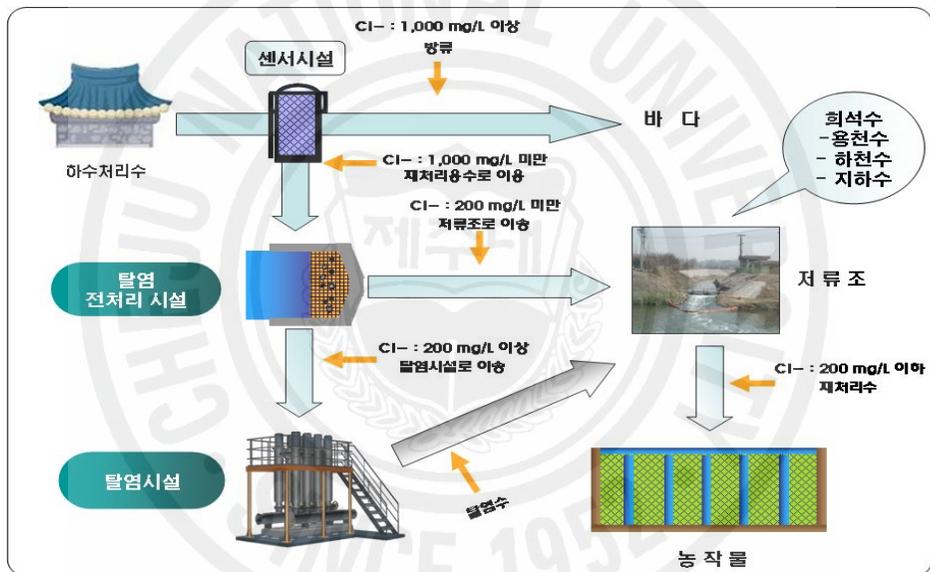


Fig. 8. Conceptual diagram of the customized water reclamation system for Jeju

하수처리수 원수만을 이용하지 않는 이유는 고농도  $Cl^-$ 농도 뿐 만이 아닌 제주특별자치도의 농지면적 중 논보다는 밭 및 과수원 농지면적이 많은 부분을 차지하고 있고, 대부분이 지하수 함양지역인 중산간에 위치하고 있어 비록 낮은 유기물, 영양염류 농도이지만 넓은 지역에 장기간 살수되면 토양층에서 미처 제거되지 않은 유기물, 영양염류가 강우와 함께 지하수로 유입되어 지하수오염 가능성이 충분히 있다 판단되기 때문이다. <하수처리수 재이용 가이드 북>에 따르면 지하수 충진용 재이용수의 수질은 먹는물 수준을 유지하도록 명시하고 있다.

Table 32. Comparison of water quality of Two-Stage PCF/RO and JeJu Plant

Item	JeJu Plant			Two-Stage PCF/RO		
	STD Effluent	BMF Effluent	RO Effluent	STD Effluent	Two-Stage PCF Effluent	RO Effluent
pH	6.9	7.0	6.0	6.7	6.7	6.0
SS(mg/L)	6.9	1.1	-	5.9	0.2	0.0
COD(mg/L)	11.4	9.7	0.5	5.8	3.9	0.6
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	664	640	9.9	203	207	5
T-N(mg/L)	16.9	15.5	0.9	15.3	13.3	0.4
T-P(mg/L)	2.4	1.9	0.1	2.037	0.069	0.003
Conductivity (mS/cm)	3.078	3.001	0.069	1.083	1.012	0.033

자료 : 제주특별자치도(2003), 박형건(2008)

바이러스 및 원생동물 등과 같은 보건·위생적인 문제를 해결하기 위하여 소독시설을 설치하는 것은 당연하다. 소독의 방법으로는 염소를 이용하는 방법과 자외선(UV 조사)을 이용하는 방법이 하수처리 분야에서 주로 사용되고 있다.

현재 해역에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 대부분의 하수처리장은 자외선을 이용하여 소독을 하고 있지만, 이것은 미생물의 불활성화만을 피하고 잔류성이 없어 잔류조를 이용할 경우 광회복에 의한 미생물 번식 및 조류의 발생이 우려된다. 이런 문제를 해결하기 위해서는 일정 수준 이상의 잔류 소독능을 확보할 수 있는 염소소독이 필요하다 판단된다. 염소소독의 경우 어떤 농작물은 잔류염소(Chlorine residual)농도가 0.05 mg/L에서도 큰 해를 입을 수 있지만, 일반적으로 1 mg/L이하의 농도에서는 대부분의 농작물은 영향을 받지 않는다고 알려져 있다(환경관리공단, 2001). ClO<sub>2</sub>나 O<sub>3</sub>와 같은 대체 산화제의 사용도 고려해볼만 하다.

하수처리수 재이용 시설계획을 Fig. 9에 나타내었다.



Fig. 9. Facility plan for the water reuse

<제주형 하수처리수 재이용시스템> 도입 시 얻을 수 있는 이점으로는 대체 수자원의 확보를 통하여 도 전역 농업용수 문제를 해결할 수 있으며, 재이용수에 하천수, 용천수 등을 혼합 희석함으로써 경제성 뿐 만이 아닌 사회·심리적 문제를 해결할 수 있다. 또한 수계에 방류되는 수질오염 부하를 감소시켜 연안 환경을 보호하고, 물 사용 패턴의 다양화로 농업용수의 지하수 의존을 감소시키며, 안정적이고 경제적인 농업용수의 공급으로 대체 수자원 가치를 높일 수 있다.

농업용수 사용량이 적은 동계 시 탈염처리된 처리수는 인공함양을 통하여 지하수 충전과 해수침투를 방지하는 방안, 잉여처리수는 인근 골프장 조경용수 등으로 활용하는 것도 바람직하다 판단된다. 제주특별자치도(2003)에 따르면 제주시 연동과 노형동을 포함하는 신제주지역에는 총 213개의 지하수 관정이 개발되어 지하수 개발량이 적정 개발량의 152%를 초과하고 있을 뿐만 아니라, 이들 관정을 통해 1일 최대 40천 m<sup>3</sup>의 지하수가 채수되고 있다. 이처럼 지하수의 과도한 개발, 이용은 국지적인 수위하강, 해안지역 대수층으로의 해수침투, 해안지역 용천수의 용출량 감소 등의 문제가 발생할 수 있어 탈염처리된 처리수를 상류지역에서 인위적으로 함양시키면 지하

수 저류량을 증대시켜 위 문제를 예방할 수 있을 것이라 사료된다.

민·관·학계의 관계자들 모두 하수처리수 재이용에 대하여 물 문제를 근본적으로 해결 가능한 최적의 수단으로 인식하고 있다. 농업용수원 확보 차원에서 추진 중인 하수처리수 재이용 사업은 재이용을 통해 수자원을 확보, 이용함으로써 소중한 수자원을 제주도민이 바라는 목적으로 활용할 수 있는 점과 작물생육 및 수확량 증대, 화학비료 사용량 저감 등을 통한 농가소득 향상 등 경제적, 산업적 측면에서 반드시 개발되어야 할 기술 분야로 손색이 없다. 이외에도 수자원 개발비용을 상당부분 낮출 수 있는 등 경제적 효과도 기대된다. 하수처리수 재이용사업의 확대 보급을 위해서는 행정적, 경제적, 법적, 기술적 측면에서 재이용 계획을 수립하고, 추진하는 강력한 의지가 필요하다. 이들 각 측면은 서로 상호 연관성을 가지고 있어 재이용 계획 수립 시 각 요소들에 대한 적정 방안의 제시와 상호 연관성을 토대로 하수처리수 재이용이 활성화 단계에 이를 때까지 진폭적인 지원이 이루어져야 할 것이다. 이와 같은 하수처리수 재이용사업의 확대 보급을 위한 정책방안으로는 다음과 같다.

1) 하수처리수 중 CI농도 저감을 위하여 합류식 관거시설을 분류식으로 정비하거나 노후된 합류식 하수관거를 교체하여 관로를 통한 해수유입을 방지하고 헛집 등 수족관에서 발생하는 해수를 하수관거로 방류시 고가의 하수도 사용료 부과와 같은 강력한 제재조치가 필요하다 판단된다. 그리고 넓은 지역에 장기간 살수되는 만큼 재처리된 하수처리수가 지하수 및 토양에 미치는 영향분석 등의 연구도 장기간에 걸쳐 이루어져야 할 것으로 사료된다.

2) 작물별, 관개방식별 하수처리수의 농업용수 재이용 수질기준을 확립함으로써 하수처리수 재이용사업이 가능하도록 해야 한다. 또한 수요처에 대한 수요량과 전망치를 파악하여 장래 확보 가능한 용수량을 결정해야 한다. 이런 농업용수 필요수량 산정을 비롯하여 관수방법과 주기, 작물의 성장 과정별 관수량, 지역별 강우량을 고려한 농업용수 필요수량, 수질 등 기초연구가 꾸준히 실시되어야 한다. 특히 제주특별자치도는 지역별로 토양의 특성이 다르고 강우량과 재배작물이 다르기 때문에 이러한 기초연구의 성과는 지하수 관리정책 수립은 물론 지방자치단체의 하수처리수 재이용을 확대할 수 있는 기반의 제공과 농업용수 관리에 귀중한 정보로 활용될 수 있다.

3) 현재 하수처리수 재이용과 관련한 법제도의 뒷받침이 미비한 상태로 수도법이나 조세특례제한법에서 각종 혜택을 제고하고 있으나 실효성이 미미한 실정이다. 먼저 수도법에 의한 수도요금 감면은 몇몇 지자체에서 지방조례로 제정하고 있으나 실제로 중수도 설치가 보편화 될 수 있는 광역시 등의 대도시에서는 대부분이 관련 조례가 제정되어 있지 않다. 다음으로 조세특례제한법에 의한 시설자금에 대한 소득세 및 법인세의 감면혜택은 법인소득의 5%로 막대한 초기투자에 비해 그 혜택은 미미하고, 중수도시설에 대한 법적규제가 명확하지 않다, 즉, 수질환경보전법에 의해 수질오염 방지시설과 배출시설로 포함되어 있어 이중 신고 또는 허가 절차를 밟아야만 하고 지도·점검대상으로 되어 있다.

4) 하수처리수 재이용 제도에 있어 최대 장애요인은 하수처리수 생산비가 수도요금보다 높다는 점이다. 따라서 하수처리수 재이용 제도를 확대 보급시키기 위해서는 상·하수도에 대한 행정상 및 법제상 조치에 준한 시책을 강구하는 것과 금융·조세상의 촉진책을 마련해서 경제성을 높여야 한다. 수자원부족국가로 될 위기에 처해 있는 나라로서 하수의 재이용은 부족한 수자원을 보충해줄 뿐만 아니라 타 자원의 절약운동에도 크게 영향을 미칠 수 있기 때문에 하수 재이용이 활성화 단계에 이를 때까지는 대폭적인 지원을 통해 하수 재이용 요금을 감면해주는 것이 타당할 것으로 판단된다 (이, 2005).

5) 재이용에 관한 계획이나 업무를 효율적으로 추진하기 위해서는 관련기관에 하수 재이용 전담부서의 설치가 필요하고, 하수처리수 재이용 설비의 원활한 유지관리를 담당할 일정 기술을 소지한 관리자가 있어야 한다. 규모가 작은 단독이용 방식의 경우에는 별도의 기술 관리자를 둔다는 것은 쉬운 일이 아니지만 정기적으로 관리 기술자가 점검할 수 있는 순회제도를 이용하는 것이 좋은 방법이 될 수 있다. 또한 하수처리수 재이용 시설의 유지관리 기준을 처음 설계 및 시공 단계에서 전수하는 것을 의무화하고, 수질검사 및 사업보고를 해당 하수도관리청(과)의 하수처리수 재이용 담당 부서에 보고할 수 있게 하여야 한다.

6) 하수처리수 재이용을 위해서는 법·제도의 보완 뿐 만 아니라 경제성 확보, 보건 위생 등 많은 문제점이 발생할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 민·관·학계의 역할 분담과 실천이 우선되어야 한다. 민간기업의 경우는 각 용도에 맞는 안전성과 경제성이 보장되는 차별적인 처리기술을 개발해야 하며, 학계에서는 환경적인 보건위생 측면의 검증과 재이용수의 이용확대를 위한 기준을 제시해야 한다. 지자체의 경우는 하수처리수 재이용으로 인한 운영비용의 상승이 우려되기는 하지만, 하수처리수의 재이용에 대한 강한 의지로써, 지속적으로 모니터링을 통하여 이를 극복하고 부정적인 인식 전환 및 홍보에 노력을 기울여야 할 것이다.

7) 지금까지는 깨끗한 물을 이용하여 재배한 농작물이 더 좋은 것이라는 막연한 생각을 갖을 수 있어 하수처리수를 이용하기 위해서는 이런 심리적 저항감은 반드시 극복해야 할 사회, 문화적 측면이라고 할 수 있다. 사회·문화적측면의 문제점을 해결하기 위해서는 하수처리수를 재이용하더라도 농작물 생육이나 농민, 혹은 소비자 등 인체에 어떠한 유해한 일도 없다는 것을 객관적이고 체계적으로 검토하며, 시범사업 방안에 대한 구체적인 사업을 추진하여 하수처리수의 재이용 효과를 보여주면 전체적인 하수처리수 재이용율을 높일 수 있을 것이다(이, 2005).

## IV. 결 론

본 연구는 제주지역 하수처리장으로부터 방류되는 방류수를 농업용수로 재이용 하기 위한 하수재처리 기술을 고찰하여 제주지역에 적합한 재이용 시스템을 제시하고 자 문헌조사와 함께 하수처리수의 수량, 수질조사 및 현재 부분적으로 이용되고 있는 재이용현황을 조사하였으며, 농업환경을 분석하여 제주지역에 적용 가능한 재이용 시스템 적용 방안과 재이용사업의 확대 보급을 위한 정책방안을 제안하였다.

1. 제주특별자치도의 발농업 특성상 조금만 무강수일수가 지속돼도 가뭄에 취약한 양상을 보인다. 특히, 타지역에 비해 연평균 강수량이 700 mm 이상 부족한 서부지역인 한경면 일원의 경우는 2 ~ 3년 주기로 상습적인 가뭄현상이 발생하고 있으며, 주요 재배작물인 마늘, 양파, 양배추 등의 과종 및 생육기에 심각한 물 부족 현상이 발생하고 있다.
2. 제주특별자치도의 유역별 지하수 적정개발량과 개발량과의 관계를 살펴보면, 2007년말 기준 제주특별자치도 전체 적정개발량은 1,768천 m<sup>3</sup>/day이고, 지하수 개발율은 96.6%로 나타나 지하수 개발은 한계에 다다른 것으로 평가되며, 애월, 한경, 대정 등의 서부지역의 경우 개발율이 178 ~ 190%로서 적정개발량을 심각하게 초과하는 것으로 나타났다.
3. 2007년도 제주지역 하수처리장 방류수량은 총 120,856 m<sup>3</sup>/day이고, 방류수질은 BOD 2.0 ~ 10.5 mg/L, COD 7.4 ~ 12.9 mg/L, T-N 9.138 ~ 21.043 mg/L, T-P 1.097 ~ 1.971 mg/L을 보이고 있으며, 기존 문헌을 조사한 결과 Cl<sup>-</sup> 농도는 117.6 ~ 3,523.9 mg/L,를 보여 내륙지역 하수처리수 보다 Cl<sup>-</sup>농도가 매우 높고 그 변동폭이 큼을 알 수 있었다.
4. 하수처리수의 경우 방류 수질기준에는 대체적으로 만족하지만 제주지역만의 토양

특성으로 장기간에 걸쳐 넓은 지역에 살수되면 강우 시 유기물 및 영양염류가 지하수로 유입될 우려가 있으며, 내륙지방보다  $Cl^-$ 농도가 높아 하수처리수를 재처리하지 않고 직접 이용하는 것은 다소 무리가 있다 판단된다.

5. 하수처리수 중  $Cl^-$ 농도의 저감을 위하여 합류식 관거시설을 분류식으로 정비하거나 노후된 합류식관을 교체하여 관로를 통한 해수유입을 방지하고, 횃집 등 수족관에서 발생하는 해수를 하수관거로 방류 시 고가의 하수도 사용료 부과와 같은 강력한 제재조치가 필요하다 판단된다.

6. 하수처리수 중의  $Cl^-$ 을 제거하기 위하여 전량 탈염처리시설을 이용하는 것은 비경제적이 되어, 적정  $Cl^-$ 농도 범위에서 하수처리수 일부를 여과, 탈염, 소독 등을 통해 적정수준의 처리수를 얻는 <제주형 하수처리수 재이용 시스템>이 적용 가능하다고 판단된다. 수질 및 수량이 확보되는 용천수와 인근 하천수를 저류조로 이송하면 수량의 확보뿐 만 아니라 사회·심리적 측면의 문제를 해결하는데 도움이 될 것으로 사료된다. 농업용수 사용량이 적은 동계 시에는 탈염처리된 처리수에 대해서는 인공함양을 통하여 지하수 충전과 해수침투를 방지하는 방안, 잉여처리수는 인근 골프장 조경용수 등으로 활용하는 것도 바람직하다 판단된다.

7. <제주형 하수처리수 재이용시스템> 도입시 얻을 수 있는 이점으로는 대체 수자원의 확보를 통하여 도 전역에 농업용수 문제를 해결할 수 있으며, 수계에 방류되는 수질오염 부하를 감소시켜 연안 환경을 보호하며, 물 사용 패턴의 다양화로 농업용수의 지하수 의존율을 감소시킬 수 있다. 이외에도 안정적이고 경제적인 농업용수 공급으로 대체 수자원의 가치를 높일 수 있다.

8. 하수처리수 재이용사업의 확대 보급을 위해서는 행정적, 경제적, 법적, 기술적 측면에서 재이용 계획을 수립하고, 추진하는 강력한 의지가 필요하다. 이들 각 측면은 서로 상호 연관성을 가지고 있어 재이용 계획 수립 시 각 요소들에 대한 적정 방안의 제시와 상호 연관성을 토대로 하수처리수의 재이용이 활성화 단계에 이를 때까지 전폭적인 지원이 이루어져야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

1. 제주특별자치도, 제주지역 하수처리장 방류수 재이용 방안 연구보고서(1)(2003).
2. 권태영, 농촌오수 처리수의 농업용수로의 재이용 가능성에 관한 연구, 건국대학교 대학원 석사학위논문(1999).
3. 환경관리공단, 하수처리수 재이용 기술에 관한 연구(2001).
3. 환경부, <http://www.me.go.kr>
4. 농림부, 농어촌진흥공사, 농촌용수수요량조사 종합보고서(1999).
5. 농림부, 농업기반공사, 농촌용수공급체계재편계획 종합보고서(2003).
6. 농림부, 농어촌진흥공사, 농업·농촌용수 종합이용계획(1999).
7. 농업기반공사, 지표수를 이용한 발작물 관개에 관한 연구(2002).
8. 제주도, 농업기반공사 제주도본부, 제주도 농업용수 종합계획수립(2004).
9. 농림부, 농업생산기반 정비사업계획 설계기준(관개편)(1998).
10. 이현재, 가뭄시 용수배분을 고려한 저수지 운영, 인하대학교 박사 학위논문(2003).
11. 이광야, 김해도, 정광근, “하수처리수의 농업용수 재이용 활용자원조사”, 2006한국수자원학회 학술발표회(2006).
12. 이광야, 김해도, 정광근, 이종남, “농업용수재이용을 위한 하수처리장 현황조사”, 2005한국농공학회 학술발표회(2005).
13. 이광야, 농업용수 수요량 산정 시스템 개발, 건국대학교 박사 학위논문(2005).
14. 윤춘경, 정광욱, 전지홍, 함종화, “농업적 용수재이용 수질기준을 고려한 적정 하수재처리에 관한 연구”, 한국농공학회회지, **36(3)**(2003).
15. 제주발전연구원, 제주도의 지역별 농업용수 개발·이용현황(2006).
16. 박형건, 하수처리장 방류수의 재이용을 위한 2단 PCF/RO 적용에 관한 연구, 제주대학교 석사학위 논문(2008).
17. 제주특별자치도, 한국수자원공사, 제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사(3차)(2003).
18. 오태권, 김영주, 김길성, 김세라, 강봉권, 도내 지하수중 질산성질소 및 염소이온 특성, 제주도보건환경연구원보 Vol. 16(2005).

19. 환경부, 환경관리공단, 하수처리수 재이용 가이드 북(2007).
20. 서울시정개발연구원, 하수처리수 재이용의 타당성 연구(1999).
21. American Public Health Association; American Water Works Association; and Water Environment Federation, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th ed, Washington DC, USA(1995).
22. Asano T. and Levine A. D. "Wastewater reclamation, recycling and reuse: past, present, and future". Wat. Sci. Tech., 33(10-11), 1-14(1996).
23. Asano T. and Cotruvo J.A. "Groundwater recharge with reclaimed municipal wastewater: health and regulatory considerations", Water Research 38, 1941-1951(2004).
24. Angelakis, A.N., Do Monte, M., Bontoux, L., Asano, T., The status of wastewater reuse practice in Mediterranean Basin: Need for guidelines, Water Research 33, 2001 - 2017(1999).
25. Malley, J. P., J. Show, and J. D. Ropp. Evaluation of the By-Products By The Treatment of Ground-water with Ultraviolet Radiation(UV) and Post Disinfection Following Irradiation , Denver. CO: AWWA and AWWARF(1996).
26. Brindle K. and Stephenson T. "Detoxification of industrial wastewaters in an extractive membrane bioreactor", Water Sci. Tech., 33(3) 1-8(1996).
27. Bruvold, W, "Public Opinion on water reuse options", Journal WPCF, 60(1), 45-49(1988).
28. Central Pollution Control Board, Standards for wastewater reuse in India(2003).
29. Chu, J., Chen, J., Wang, C., Fu, P. , "Wastewater reuse potential analysis: implications for China's water resources management", Water Research 38, 2746-2756(2004).
30. Chen, T. K., Ni C. H., Chen J. N., Lin J. "High-strength nitrogen removal of opto-electronic industrial wastewater in membrane bioreactor - a pilot study". Wat. Sci.& Tech., 48(1), 191-198(2003).
31. Cheryan M. Ultrafiltration and microfiltration handbook. Technion Pub. Co(1998).

32. Dor, I., Raber., M. "Deep wastewater reservoirs in Israel: Empirical data for monitoring and control". *Water Research* 24, 1077 - 1084(1990).
33. EPA Victoria, Use of reclaimed water Victoria, Australia(2003).
34. EPA, Guidelines for Water Reuse, EPA-USAID(1992).
35. EPA, 2002 integrated water quality monitoring and assessment report guidance(2001).
36. FAO, Crop evapotranspiration, FAO Irrigation and Drainage Paper 56(1998).
37. FAO, Crop water requirements, FAO Irrigation and Dainage Paper 24(1970).
38. Hall and Buras, "The Dynamic Programming Approach to Water Resources Development", *Jour. Geophysical Research*, 66(2), pp. 517-520(1969).
39. Idelovitch, E., and M. Mchail, "Groundwater recharge for wastewater reuse in the Dan Region Project", in: Asano, T. (ed.) "Artificial Recharge of Groundwater", Butterworth Publishers, Boston(1985).
40. Krzysztofowicz, R., and Davis, D.R., "A Methodology for Evaluation of Flood Forecast-Response Systems 2". *Theory, Water Resour. Research*, 19(6) 1431-1440(1983).
41. Jetten M.S.M., Horn S.J., van Loosdrecht M.C.M. "Towards a more sustainable municipal wastewater treatment system". *Water Science and Technology* 35(9), 171(1997).
42. Juan Compte/Tomas Cazorra, Water Reuse of BARCELONA'S Wastewater Plant, IWA Conference(2005).
43. Levine AD, Asano T, "Recovering sustainable water from wastewater", *Environmental Science and Technology* 38(11): 201-208 June 1(2004).
44. Metcalf and Eddy. *Wastewater Engineering. Treatment and Reuse*. Fourth Edition. McGraw-Hill. New York, USA(2003).
45. Rogers S. E., Lauer WC: Denver Demonstration of Potable Water Reuse, "Water Quality and Health Effects Testing" *Water Science and Technology* 26(7-8): 1555-1564(1992).
46. Shelef, G. "Wastewater reclamation and water resources management", *Wat.*

- Sci. Technol.,24, 251-265(1991).
47. Shelef G., "The roke of wastewater in water resources management in Israel".  
Wat. Sci. Technol., 22(10-12), 2081-2089(1990).
48. Thomas, J. S. and Durham, B. "Integrated Water Resources Management:  
looking at the whole picture". Desalination, 156, 21-28(2003).
49. WHO, Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture  
and aquaculture(1989).
50. WHO, WHO guidelines for the safe use of wastewater in  
agriculture,(draft)(2005).
51. WHO, "Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and  
aquaculture", WHO Resch. Report Series No. 778(1989).
52. Zhao, R.J. and Liu, X.R., The Xinanj iang model, In Singh, V.P.(Ed.),  
Computer models of watershed hydrology, Water Resources Publications,  
215-232(1995).

## 감사의 글

환경에 대한 학문을 좀 더 배우고 연구하고 싶은 일념으로 지천명(知天命)의 나이에 접어들어서야 만학도의 꿈을 안고 산업대학원 석사과정을 밟겠다고 나선지 어느덧 3년째, 이제 환경공학의 전문과정을 졸업하고 진정한 석사로써 거듭나게 되었으니 가슴 뿌듯함을 느끼며 앞으로 제주의 환경 현안 문제를 해결하고 도민들 곁에서 좀 더 피부에 와 닿는 환경행정을 펼쳐나가는데 많은 보탬이 되리라 생각합니다.

그동안 이 논문이 나오기까지 부족한 저에게 늘 따뜻한 격려와 세심한 가르침을 아끼지 않으신 이용두 교수님께 진심으로 감사를 드립니다. 그리고 미진한 부분들을 지적하시며 보다 알찬 논문이 되도록 심사를 해주신 허목 교수님과 조은일 교수님께 감사의 말씀을 올리며, 항상 곁에서 이해와 격려를 해주신 허철구 교수님, 이기호 교수님, 감상규 교수님께도 감사를 드립니다.

특히, 이 논문의 구성과 편집을 위해 적극적인 협조를 아끼지 않으신 한국농촌공사 연구실의 이광야 박사님께 고마운 말씀을 드리고, 이 논문의 완성을 위해 항해사로서의 역할을 마다하지 않고 불철주야 도와준 박형건님, 바쁜 업무 속에서도 따뜻한 위로와 시간적 여건을 마련해 주신 고권택 연구원장님과 환경산업경영연구부 양철신, 송상택, 조인숙 과장님을 비롯한 직원 여러분들께도 심심한 사의를 표합니다.

각골난망(刻骨難忘)이란 옛 성인에 말을 다시 한 번 되새기며 오늘의 결실을 맺기까지 많은 도움을 주신 모든 분들의 고마움을 마음속 깊이 간직하고자 합니다. 끝으로 힘든 고비 고비마다 곁에서 파이팅을 외치며 버팀목이 되어주고 힘을 실어준 나의 사랑하는 아내와 의젓한 아들 행운이, 부지런한 딸 은혜, 그리고 늘 건강을 잃지 않고 정돈된 모습을 보여 주시며 아들의 앞날을 걱정해 주시는 어머님께 자그마한 보람의 선물이 되었으면 합니다.