

碩士學位論文

濟州地域 下水處理場 放流水 再利用
方案에 對한 研究

A Study on the Reuse of Effluent Water from
Sewage Disposal Plant in JeJu , Korea



濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

高 盛 喆

碩士學位論文

濟州地域 下水處理場 放流水 再利用
方案에 對한 研究

指導教授 揚 城 基



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

高 盛 喆

2004. 6.

濟州地域 下水處理場 放流水 再利用 方案에 對한 研究

指導教授 揚 城 基

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함.

2004年 6月 日

濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科



제 土木工學專攻 도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

高 盛 喆

高盛喆의 工學 碩士學位論文을 認准함.

2004年 6月 日

委 員 長 印

委 員 印

委 員 印

目 次

第1章 序 論 -----	1
第1節. 研究의 背景	1
第2節. 研究의 目的과 方法	3
第2章 濟州道의 水資源	5
第1節. 水資源 및 開發·利用現況	5
1. 水資源 總量	5
2. 地下水 開發 및 利用現況	7
3. 용천수 開發 및 利用現況	14
4. 地表水 開發 및 利用現況	18
5. 上水道 施設 및 供給現況	19
第3章 下水處理場 放流水 再利用 技術	22
第1節. 中水道의 概念	22
第2節. 下水處理場 放流水 再利用 技術	23
1. 분리막법	24
2. 활성탄 흡착법	28
3. 전기투석법(Electro-dialysis Method)	29
4. 생물막 활용기술(Micro Biological Reactor)	29

第4章 放流水 再利用에 따른 水質基準	31
第1節. 再利用 用途別 要求條件	31
1. 우리나라의 中水道 水質基準	33
2. 外國의 再利用水 用途別 水質基準	34
第2節. 農業用水의 水質에 對한 考察	47
1. 農業用水의 概念	47
第5章 濟州地域 下水處理場 放流水의 水質評價	53
第1節. 下水處理場 現況 및 水質	53
1. 市 地域(濟州市 및 西歸浦市)	53
2. 郡 地域 下水處理	54
3. 下水 流入量 變化	55
4. 流入下水 및 放流水의 水質	59
第6章 放流水 再利用을 爲한 Pilot Test	72
第1節. Pilot Test의 概要	72
1. 전처리 工程 選定(實驗室 테스트)	73
2. 분리막공정 選定을 爲한 분리막 評價	78
3. Pilot Plant 運營結果	80
第7章 結 論	98
參考文獻	101
부 록	104

Contents of Tables

<Table 1>Groundwater Budget in Jeju	6
<Table 2>Appropriate Development Volume of Groundwater by Areas	6
<Table 3>Number of well & Volume of Water Development by Years	8
<Table 4>The Usage State of Groundwater Development	9
<Table 5>The Usage State of Groundwater Utilization	12
<Table 6>The Usage State of Groundwater Utilization by Water Zones	13
<Table 7>The Distribution of Spring Water by Areas	14
<Table 8>The Yield of Spring Water by Areas	15
<Table 9>Utilization of Spring Water by Purposes	16
<Table 10>Spring Water Under Development or Utilized by Well Sources	17
<Table 11>Reservoirs in Jeju	18
<Table 12>Water Detention Basins in Golf Courses in Jeju	19
<Table 13>Water Supply and Facility	20
<Table 14>Water Supply and Facility by Cities and Counties	21
<Table 15>Merits and Demerits of Ultrafiltration	25
<Table 16>Merits and Demerits of Reverse Osmosis	26
<Table 17>Merits and Demerits of Separate Membrane Filtration	27
<Table 18>Research Results of MBR in Japan and Canada	30
<Table 19>Requirements to Reuse Discharged Water from Sewage Treatment Plant for Different Purposes	32
<Table 20>Target Water Quality of Water Reuse System (Article 3 of Enforcement Regulation of Water Law)	33

<Table 21>Water Quality Standards of Water Reuse System in Japan	34
<Table 22>Water Quality Standards of Water Reuse System Set by Japanese Organizations	35
<Table 23>Required Water Quality According to Different Purposes in Japan	36
<Table 24>Quality for Agricultural Water Set by Japan Agricultural Ministry of Agriculture and Fisheries	37
<Table 25>Water Reuse Standards Set by US EPA	38
<Table 26>Quality Standards for Irrigation Water Recom mended by US EPA	39
<Table 27>Quality Standards for Agricultural Water in Georgia	40
<Table 28>Recommended Maximum Level of Inorganic Elements in Agricultural Water in Georgia	41
<Table 29>Quality Standards for Agricultural Water in California	42
<Table 30>Classification Criteria for reusing Treated Wastewater in South Australia	43
<Table 31>Salinity Standard for Agricultural Water in South Australia	45
<Table 32>Standards for Agricultural Water in South Australia in Terms of Heavy Metal and Micro-element	46
<Table 33>Considered Quality Items in Reusing treated Water from Sewage Plant as Agricultural Water	50
<Table 34>Standards Set by the WHO for Using Wastewater for Agriculture and Fisheries	51
<Table 35>Quality Standards for Agricultural Water in other Countries	52
<Table 36> Wastewater Treatment Plants in Jeju	53

<Table 37>Sewage Inflow in Wastewater Treatment Plants in Jeju	55
<Table 38>Quarterly Sewage Inflow in Wastewater Treatment Plants in JeJu	57
<Table 39>Water Supply and Sewage in JeJu City	58
<Table 40>Quality of Sewage and Treated Water in Wastewater Plants in Jeju	61
<Table 41>Quality Analysis Results of Sewage and Treated Water in Dodu Sewage Plant in Jeju City	67
<Table 42>Quality Analysis Results of Sewage and Treat Water in Eastern Sewage Plant in Seogwipo City	68
<Table 43>Quality Analysis Results of Sewage and Treated Water in Western Sewage Plant in Seogwipo City	69
<Table 44>Quality Comparison of Water Discharged from Water Disposal Plants in Jeju and in the Main Land	70
<Table 45>Charactevistics of Filtration Materials and Equipment Used in Experiment	74
<Table 46>Experimental Results of Sand Filtration with Treated Water in Dodu Plant	75
<Table 47> Result of Particle Measurement by Sand Filtration	77
<Table 48>Re-treatment Effect of Various Separate Membranes for Removing Pollutants from Treated Water	79
<Table 49>Experimental Items for Water Quality in the Pilot Plant	83
<Table 50>Quality of Re-treated Water in Pilot Plant	88
<Table 51>Result of Colon Bacilli Analysis	89
<Table 52>Result of Precise Water Quality Analysis	91
<Table 53>Quality Comparison of Water Treated by RO in Pilot Plant	94

Contents of Figures

<Figure 1>The Size of Impurities in Water and the Method of Separating	24
<Figure 2>Water Disposal Process in Wastewater Treatment Plants in Jeju	54
<Figure 3>Sewage Inflow Variation in three Wastewater Treatment Plants	58
<Figure 4>Monthly Variation in the Water Quality of Sewage in Dodu Plant	62
<Figure 5>Monthly Variation in the Quality of Treated Water in Dodu Plant	62
<Figure 6>Monthly Variation in the Water Quality of Sewage and Treated Water in Dodu Plant	63
<Figure 7>Monthly Variation in Water Quality of Sewage and Treated Water in Dodu Plant	63
<Figure 8>Variation in the Electric Conductivity of Treated in Jeju-si Sewage Plant	70
<Figure 9>The Number of Particles in Wastewater and Treated Water in Dodu Plant	76
<Figure 10>Distribution of Particles in Wastewater and Treated Water in Dodu Plant	77
<Figure 11>Water Re-treatment Process in Pilot Plant	80
<Figure 12>Long-term Variation of BMF-treated Water Volume	85
<Figure 13>Long-term Variation of BMF Pressure	85
<Figure 14>Ship Electric Conductivity of Wastewater and that of RO-Treated Water in Pilot Plant	87

<Figure 15>Electric Conductivity Removal Rate Varying according
to Whether Chemically Treated or Not 96

<Figure 16>Treated Water Volume Varying according to
Whether Chemically Treated or Not 96



Contents of Pictures

<Picture 1>RO Equipment of Honouliuli Wastewater Treatment Facility in Ohau, Hawaii	27
<Picture 2>RO Equipment Built in Udo Desalination Plant in Bukjeju County	28
<Picture 3>BMF Equipment Built in Pilot Plant	81
<Picture 4>RO Equipment Built in Pilot Plant	82
<Picture 5>BMF Equipment and Module Polluted with Microbe	86
<Picture 6>BMF Equipment before and after Injecting Chemical and Flow Meter for Water Passed through RO	97



A Study on the Reuse of Effluent Water from Sewage Disposal Plant in JeJu, Korea

Ko, Seong Cheol

**Department of Construction and Environmental Engineering
Graduate School of Industry
CheJu National University**

Supervised by Professor Yang, Sung Kee



Summary

Basic research has been conducted on the water treated in sewage disposal plants in Jeju, in order to recycle the water for agricultural or landscape purposes. The results show that the water treated in the three wastewater disposal plants in JeJu cannot be directly reused as agricultural or landscape water, because it contains higher levels of chlorine ion and biochemical oxygen demand (BOD) than the levels permitted for agricultural water.

Thus, an experiment has been carried out to see whether it is possible to reuse the water after third Re-treatment; It is discovered that micro-filtration membrane method is effective for pretreatment and reverse osmosis method is suitable for removing chlorine, BOD, and nitrate nitrogen from the water to meet the standards for agricultural water.

For this experiment, a pilot plant with a daily capacity of 20 tons was built at Dodu Wastewater Disposal in Jeju City. Re-treatment with reverse osmosis method resulted in the removal of 98% of chlorine ions (Cl), 97% of sodium ions (Na), 87% of nitrate nitrogen, and 82% of ammonium nitrogen. In an experiment to check the microbiological safety of treated water, the number of colon bacilli in one-milliliter water was counted. About 600~3,000 colon bacilli were found in the treated water without Re-treatment About 40 bacilli or less were found in the water processed through the micro-filtration membrane, and none in the water re-treated with reverse osmosis method. In particular, the precise water quality analysis shows that re-treated water meets the WHO standards of 102 WHO recommended items for drinking water.

第1章 序 論

第1節. 研究의 背景

제주도의 주된 수자원인 지하수는 강수에 원천을 둔 순환자원으로서 강수량 변동에 따라 수량 변화(지하수위 상승 및 하강 폭이 큼)가 크게 발생한다. 평균 개념에서 보면, 제주도 본도에는 연간 1,978mm의 비가 내리지만, 다우년(1999년 2,944mm)과 과우년(1996년 1,422mm) 간의 편차는 1,500mm에 이를 정도로 매우 크다.

지역별 과우년의 강수량을 보면 제주시가 775mm(1929)이고, 서귀포시 1,146mm(1984), 성산포 1,070mm(1978), 고산 703mm(1984)이며, 연속 무강우일 수는 제주도 37일, 서귀포시 32일, 성산포 31일, 고산 27일이 된다. 제주시와 고산지역의 경우 상기와 같은 이상 가뭄 시에는 연평균 강수량의 40%에도 못 미치는 아주 적은 량의 비가 내리고 있다.

이러한 사실을 놓고 볼 때, 제주도 지하수의 함양량과 적정 개발량은 안정된 상태를 유지하지 않고, 강수량에 따라 상당히 큰 폭으로 변화하는 불안정한 상태를 유지하고 있다고 할 수 있다. 이처럼, 지하수 자원의 수량적 변동이 크게 발생하고 있음에도 불구하고, 제주도의 용수이용은 전적으로 지하수에만 의존하고 있어 극단적인 이상 가뭄 시에는 지하수를 대체할 수 있는 수자원이 없어 물 부족으로 인한 사회적 혼란과 막대한 경제적인 손실이 발생할 수 있고, 지하수 함양량이 부족한 가뭄 시점에도 평상시 수준으로 지하수를 채수할 경우, 해안지역 지하수로 해수가 침투하는 현상이 발생해 지하수의 염수화를 초래할 수 있고, 또한 가뭄 시 이를 극복하기 위한 농업용 등 관정개발사업이 특혜적으로 이루어질 경우 지하수관리체계의 일관성 유지가 어렵게 될 수 있다.

상기와 같은 제주도 지하수자원의 특성과 가뭄 시 예상되는 문제점 등을 고려할 때, 극단적인 가뭄 때에도 안정적으로 공급할 수 있는

대체수자원 개발방안에 관한 연구가 필요한 실정이다. 지하수를 대체할 수 있는 대체수자원으로서는 용천수, 지표수 또는 빗물, 개별시설의 중수도, 해수 담수화, 하수종말처리장 방류수(이하 “하수처리장 방류수”라 함) 등을 생각할 수 있다. 그러나 제주도의 수자원 부존여건, 가뭄시 지속 이용 가능성, 그리고 경제성 등을 고려하면 상기와 같은 대상 중에서도 하수처리장 방류수가 가장 좋은 대체 수자원이라 할 수 있다.

2003년 현재 제주도 내에 운영 중인 하수처리장은 3개소이며(제주시 도두, 서귀포시 동부 및 서부), 이들 3개 하수처리장에서는 1일 111,491m³의 하수가 처리된 후 해양 방류관을 통해 해역으로 방류되고 있으며, 또한 2006년에 군 지역 하수처리장이 완공되면, 1일 약 30,000 m³의 방류수가 추가 발생할 것으로 예측되어 제주도 전체적으로는 1일 140,000여m³의 방류수가 해역으로 방류될 것으로 전망 된다.

미국 하와이주를 비롯한 세계 여러 나라에서는 하수처리장 방류수를 재처리한 후 농업용·공업용·조경용·지하수 인공함양 등의 용도로 사용하고 있음을 감안할 때, 하수처리장 방류수에 잔존하고 있는 부유물질을 비롯하여 인체나 농작물에 영향을 주는 미생물 및 중금속류 등이 포함될 수 있기 때문에 어떤 용도로 재이용하기 위해서는 방류수 중에 포함된 물질의 종류와 함량 등에 대한 사전조사와 이를 제거할 수 있는 방법 등에 대한 연구가 필요한 때이다.

제주지역에서 발생하는 하수처리장 방류수를 경제적으로 재이용할 수 있는 기술을 개발하고, 실용화하는 경우에는 다음과 같은 효과를 기대할 수 있다. 극단적인 가뭄이 닥치더라도 농업용·관개용·조경용·공사용 등 고수질을 필요로 하지 않는 용도의 용수를 안정적으로 공급할 수 있는 대체수자원이 확보되어 상기와 같은 용도의 물 부족문제가 근원적으로 해결 될 수 있고, 방류수 재이용에 의한 기존 지하수 관정의 정비와 방류수를 인공함양 용수로 활용함으로써 지하수 저류량을 늘려 이상 가뭄 시에도 해수침투에 의한 지하수의 염수화 등 지하수

장해발생을 방지할 수 있어 지하수자원의 수량을 적정수준에서 관리할 수 있을 것이며, 먹는물 등 고수질을 필요로 하는 생활용수는 지하수를 이용하고, 농업용수 등 잡용수는 하수처리장 방류수(처리수)와 저수지를 활용함으로써 지하수 일변도의 물이용 패턴을 다원화할 수 있는 기반 조성이 가능함과 아울러 지하수-지표수-하수를 연계한 통합수자원관리체계를 구축할 수 있을 것이다.

하수처리장 방류수의 해역 방류로 인해 발생할 수 있는 연안 해양환경의 변화 개연성을 근원적으로 차단함으로써 청정한 바다환경과 해양생태계의 안정성을 유지할 수 있고, 방류수(처리수) 이용자들에게 경제적 이익을 줄 수 있으며, 방류수 재처리시설 건설사업 추진으로 지역의 건설경기에도 도움을 줄 수 있을 것이다.

第2節. 研究의 目的과 方法

본 연구는 제주지역에서 발생하는 하수처리장 방류수를 재이용할 수 있는 방안마련을 위한 기초적인 연구로서, 운영 중인 하수처리장에서 발생하는 방류수에 포함된 물질의 종류와 함량을 파악함과 아울러, 수질특성을 고려한 최적의 재처리 기술을 개발하고, 농·축·환경·공업용수 문제를 해결함은 물론 지하수에 편중된 제주도의 물이용 패턴을 다원화 하고, 청정한 바다환경과 해양생태계의 안정성 유지 등을 위해 하수처리장 방류수의 재이용 가능성을 평가하는데 주된 목적이 있다.

제주시 도두처리장을 비롯한 도내 3개 처리장의 유입하수 및 방류수에 대해 월 1회 채수하여 일반오염물질 및 중금속 등을 제주도보건환경연구원에 의뢰 분석하여 수질평가를 함과 아울러, 방류수 중의 부유물질 함량 등을 평가, 모래여과기에 의한 모래입자 크기 및 선형속도별 부유물질 제거 성능과 입자 크기별 제거특성 분석을 실시하였고, 재처리 주 공정을 선정하기 위하여 분리막(UF, MF, RO) 종류별로 처리능력 평가를 실시하였다.

평가결과 RO(역삼투막공정) 적합한 것으로 분석되어 1일20톤 처리 규모의 Pilot Plan(MF, RO))를 설치하여 실제로 재처리하는 과정을 통하여 방류수(원수) 특성에 따른 시스템의 성능평가를 수행하였으며, 처리수에 대해 월1회씩 정기적으로 수질(30개 항목) 검사 및 평가를 통해 수질적인 문제점을 도출하고 제주지역에 적용 가능한 최적의 재처리공정을 개발함과 동시에 방류수 재이용 방안을 연구하였다.



第2章 濟州道의 水資源

제주도의 수자원은 곧 지하수(용천수 포함)라 해도 지나치지 않을 정도로 지하수를 제외한 타 수원의 개발 및 이용은 미미한 실정이다. 따라서, 이 장에서는 제주도의 전반적인 수자원 총량에 대해 먼저 살펴보고, 지하수를 중심으로 도내의 수자원 개발 및 이용현황을 분석하였다.

第1節 水資源 開發 및 利用現況

1. 水資源 總量

한국수자원공사(1993)가 보고한 바에 의하면(Table 1), 제주도에 연간 내리는 빗물의 양은 33억8천5백만 m^3 (연평균 강우량 1,872mm 기준)이다. 이 중 증발산작용을 통해 손실되는 양은 전체의 37.1%인 12억5천6백만 m^3 이며, 하천을 통한 직접유출량은 6억3천8백만 m^3 (18.8%)이고, 나머지 14억9천4백만 m^3 (44.1%)은 지하수로 함양되어, 연간 내리는 빗물의 55.9%(18억9천4백만 m^3) 정도는 손실되고, 나머지 14억9천4백만 m^3 (44.1%)은 지하수로 보충되고 있다.

지하수 적정 개발량이란 개발 대상이 되는 대수층의 효용성을 과도하게 손상시키지 않는 범위 내에서 영구적으로 취수 가능한 양을 의미하며, 1993년 한국수자원공사가 분석한 결과에 의하면, 제주도 전체적인 지하수 적정 개발량은 지하수 함양량의 41%인 1,689천 m^3 /일(Table 2)이다. 지역별로 보면, 동부지역이 498천 m^3 /일, 서부지역 331천 m^3 /일, 남부지역 412천 m^3 /일, 북부지역 492천 m^3 /일 이다.

<Table 1> Groundwater Budget in Jeju

구 분	산업기지개발공사 (1981)	농어촌진흥공사 (1989)	한국수자원공사 (1993)
총 강 우 량 (백만m ³ /년)	3,385	3,516	3,388
직 접 유 출 량 (백만m ³ /년)	703 (21%)	703 (20%)	638 (19%)
증 발 산 량 (백만m ³ /년)	1,104 (33%)	1,183 (34%)	1,256 (37%)
지하수 함양량 (백만m ³ /년)	1,542 (46%)	1,630 (46%)	1,494 (44%)

<Table 2> Appropriate Development Volume of Groundwater Areas

(단위 : 천m³/일)

지 역 별	지하수 함양량	적정 개발량	적정 개발율(%)
계	4,093	1,689(41%)	41
북부지역	964	492	51
남부지역	1,176	412	35
서부지역	570	331	58
동부지역	1,383	498	36

<제주도 수자원종합개발계획수립보고서, 1993, 한국수자원공사>

2. 地下水 開發 및 利用現況

1) 개발현황

1993 ~ 2002년 12월까지 연도별 신규 지하수 개발·이용허가와 양성화 조치된 관정현황은(Table 3)과 같다. 전체적으로 보면, 2002년 말 현재 허가된 총 지하수 관정 수는 5,126공이며, 지하수 허가량은 1,559천 m^3 /일이다. 신규허가는 1,610공·763천 m^3 /일이 이루어졌으나 이 중 1,402공·697천 m^3 /일은 준공수리 되었고, 208공·66천 m^3 /일은 미준공된 상태이다.

1995~1998년까지 신규 허가돼 준공 수리된 관정은 총 1,107공·573천 m^3 /일이고, 1999~2002년 사이에는 295공·124천 m^3 /일이 허가가 이루어져 1998년 이후부터 신규 지하수 관정개발 허가가 현저하게 감소해 오고 있다.



<Table3> Number of well & Volume of Water Development by Years

(Unit : Well, 1000m³/day)

년도	합 계		신 규 허 가						양 성 화	
			소 계		준공수리		미준공			
	공수	허가량	공수	허가량	공수	허가량	공수	허가량	공수	허가량
합계	5,126	1,559	1,610	763	1,402	697	208	66	3,516	796
1993	2,755	645	-	-	-	-	-	-	2,755	645
1994	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1995	633	162	158	62	157	62	1	-	475	100
1996	427	294	390	288	365	279	25	9	37	6
1997	339	137	339	137	313	127	26	10		
1998	427	130	285	109	272	105	13	4	142	21
1999	190	79	162	72	144	70	18	2	28	7
2000	138	44	136	44	105	42	31	2	2	-
2001	150	53	92	40	42	11	50	29	58	13
2002	67	15	48	11	4	1	44	10	19	4

※ 염지하수 관정 1,074공(6,519천m³/일)은 제외한 것이며, 2001년 양성화 관정 58공 중에는 미준공 12공(740m³/일), 2002년 양성화관정 19공 중에는 미준공 10공(150m³/일)이 포함된 것임.

1993 ~ 2002년까지 양성화된 관정은 총 3,516공 · 796천m³/일(미준공 22공 · 890m³/일 포함)로서 전체 지하수 관정의 68.6%이고, 전체 허가량의 51.1%를 차지하고 있다. 2002년 12월말 현재 도 전체적으로 개발된 지하수 관정(염지하수 제외, 준공 수리된 관정)은 4,896공이며, 지하수 개발량은 1,492,838m³/일로서 적정 개발량 대비 88%에 이르고 있다(Table 4).

<Table 4> The Usage State of Groundwater Development('02.12.31)

(Unit : Well, m³/day)

구 분		합 계	생활용수	농수축산	공업·기타
합 계	공 수	4,896	1,496	3,166	234
	개발량	1,492,838	638,804	800,565	53,469
제주시	공 수	893	722	128	43
	개발량	259,501	224,149	26,801	8,551
서귀포시	공 수	1,119	302	805	12
	개발량	235,624	99,734	133,785	2,105
북제주군	공 수	917	253	568	96
	개발량	443,909	169,970	253,492	20,447
남제주군	공 수	1,967	219	1,665	83
	개발량	553,804	144,951	386,487	22,366

※ 염지하수(980공) 제외

시·군별로 보면, 남제주군 지역이 전체 관정의 40.2%인 1,967공이 개발돼 있고, 서귀포시 지역은 1,119공(22.9%), 제주시와 북제주군 지역은 각각 893공(18.2%)와 917공(18.7%)이다. 개발량은 남제주군 지역이 전체 개발량의 37.1%인 553,804m³/일으로 가장 많고 북제주군 443,909m³/일(29.7%), 제주시 259,501m³/일(17.4%), 서귀포시 235,624m³/일(15.8%) 순으로 되고 있다.

용도별로 보면, 농축업용이 전체 관정의 64.7%인 3,166공을 차지하고 있으며, 생활용이 1,496공(30.5%), 공업 및 기타용이 234공(4.8%)이며. 생활용은 제주시 지역이 722공으로 전체의 48.3%를 차지하고 있는 반면, 농축업용은 남제주군 지역이 1,665공으로 전체의 52.6%를 차지하고 있어 시·군별 지하수 이용 용도가 뚜렷하게 구분되며, 개발량에 있어서도 농축업용이 800,565m³/일으로 전체의 53.6%를 차지하고 생활용은 638,804m³/일(42.8%), 공업 및 기타용은 53,469m³/일(3.6%)이다.

생활용 지하수 개발량은 제주시 지역이 224,149m³/일(35.1%)로 가장 많은 반면, 농축업용은 남제주군 지역이 386,487m³/일(48.3%)로 농축업용 지하수 개발량의 절반을 차지하고 있으며. 개발 주체별로 보면, 공공용 관정이 전체의 20.8%인 1,016공인 반면, 사설관정은 3,880공으로 79.2%를 차지하고 있어 사설관정이 주를 이루고 있다.

공공용 관정의 개발량은 전체 지하수 개발량의 55.8%인 833,550m³/일으로서 관정 당 평균 개발량은 745m³/일이며, 사설관정 전체 개발량은 659,288m³/일(44.2%)이고 공 당 평균 개발량이 170m³/일에 불과해 사설관정 대부분이 소용량 관정이며. 공공용 관정은 생활용과 농축업용이 대부분을 차지하고 있는 반면, 사설관정은 농축업용이 전체의 56%로 대조를 보이고 있다.

2) 지하수 이용현황

2002년 9월말까지 허가된 4,881개 관정의 1일 최대 지하수 이용량은 1,070천 m^3 으로 적정개발량 대비 63%, 지하수 개발량(허가량) 대비 72%이고. 용도별 1일 최대 지하수 이용량을 보면, 생활용이 314천 m^3 (29.3%)이고, 농축업용이 728천 m^3 (68%)이며, 공업 및 기타용은 28천 m^3 (Table 5)이다. 시·군별 1일 최대 지하수 이용량을 보면, 제주시 지역은 155천 m^3 /일이고 서귀포시 170 m^3 /일, 북제주군 331 m^3 /일, 남제주군 414천 m^3 /일이며. 제주시 지역은 전체 이용량의 81.3%(126 m^3 /일)가 생활용인 반면, 북제주군 및 남제주군 지역은 전체의 76~78%가 농축업용이다. 공공용 관정의 지하수 이용량은 전체의 59%를 차지하고 있으며, 개발량 대비 이용량 비율은 77%이고, 공당 평균 이용량은 629 m^3 /일이고. 사설관정의 경우, 개발량 대비 이용율은 66%이고, 공당 평균 최대 이용량은 112 m^3 /일이다.

표고별 지하수 이용량을 보면, 해발 100m이하 지역이 총 이용량의 69.6%에 이르는 745천 m^3 /일을 차지하고 있고, 100~200m 사이 지역은 21.4%인 229천 m^3 /일, 해발 200m 이상 지역은 전체의 9%인 96천 m^3 /일을 나타내 표고가 증가할수록 지하수 이용량은 적어지고 있다. 표고별 공당 평균 지하수 이용량을 보면, 해발 100m 이하지역은 149 m^3 /일이고 해발 100~400m 사이 지역은 362 m^3 /일인데, 이는 공당 채수량이 많은 공공용 관정 때문인 것으로 판단된다. 주요 용도별 및 업종 지하수 이용량을 보면, 농축업용이 전체의 67.9%(727천 m^3 /일)이고, 상수도용이 19.5%(209천 m^3 /일)를 차지해 이들 두 용도가 전체의 87.4를 점유하고 있다. 또한, 공장·목욕장·관광숙박업·기타 생활용 등도 전체 지하수 이용량의 1.3%에서 1.9%를 차지하고 있는 것으로 분석되었고. 농업용의 경우, 제주시를 제외한 3개 시군은 당해 시군 지하수 이용량의 70~77.7% 범위이지만, 제주시는 17.4%로 가장 낮게 나타내고 있다.

<Table 5> The Usage State of Groundwater Utilization

(Unit : Well, m³/day)

용도	구분	합계	제주시	서귀포시	북제주군	남제주군
합계	관정수	4,881	892	1,112	913	1,964
	이용량	1,070,203	155,024	170,414	330,888	413,878
생활용	관정수	1,488	721	300	250	217
	이용량	314,123	125,777	42,557	70,286	75,502
농축업 용	관정수	3,160	128	800	568	1664
	이용량	727,671	26,984	126,664	251,488	322,535
공업·기 타	관정수	233	43	12	95	83
	이용량	28,410	2,262	1,193	9,114	1,5841

※ 염지하수(968공) 및 도서지역(5공) 제외

수역별 지하수 이용량을 보면, 동부수역이 139천m³/일로 가장 적은 반면, 남부수역이 343천m³/일로 최대를 나타내며, 북부수역은 283천m³이고 서부수역은 305천m³/일로 분석되었다(Table 6). 수역별 지하수 이용량을 당해 수역의 지하수 적정 개발량과 비교해 보면, 서부수역이 92.2%로서 가장 높고, 북부수역 84.5%, 남부수역 82.8%, 동부수역 27.9%의 순을 나타내 동부수역을 제외하면 일 최대 지하수 이용량이 적정 개발량의 80%를 모두 초과하는 것으로 분석되었다. 수역별 지하수 개발량 대비 이용률을 보면, 서부수역이 79.8%로 가장 높고 남부수역 74.0%, 동부수역 70.0%, 북부수역 64%순을 나타내었다.

<Table 6>The Usage State of Groundwater Utilization by Water Zones

(Unit : Well, m³/day)

수역	적정 개발량 (m ³ /일)	관정수	허가량 (m ³ /일)	이용량 (m ³ /일)	개발율 (%)	비고
계	1,689,000	4,881	1,485,741	1,070,204	88.0	
북부 수역	애월	61,200	162	89,447	70,390	146.2
	동제주	85,100	146	43,519	34,343	51.1
	중제주	97,900	640	148,652	80,949	151.8
	서제주	90,800	68	33,434	37,228	36.8
	조천	110,600	252	126,507	60,348	114.4
남부 수역	안덕	34,600	64	25,120	16,983	72.6
	서서귀	53,200	210	52,913	42,623	99.5
	중서귀	86,200	506	104,964	60,607	121.8
	동서귀	112,000	544	107,727	92,690	96.2
	남원	128,200	626	172,893	130,205	134.9
서부 수역	대정	113,200	772	200,116	145,404	176.8
	한경	88,900	229	102,892	95,590	115.7
	한림	128,900	182	79,370	64,045	61.6
동부 수역	구좌	167,900	110	69,644	46,204	41.5
	성산	123,200	118	49,935	31,746	40.5
	표선	207,100	252	78,608	60,849	38.0

※ 개발율은 지하수 적정 개발량을 기준으로 산정한 백분율임.

3. 용천수 開發 및 利用現況

1) 용천수 現況

제주도의 해안변과 고지대의 곳곳에 분포하고 있는 용천수는 지하의 지층 속을 흐르던 지하수가 지표와 연결된 지층이나 암석의 틈을 통해 솟아 나오는 지하수이다. 도 전체적으로 용천수는 911개소에 이르는데, 해발 200m이하의 저지대에 전체의 92.3%에 달하는 841개소가 분포하고 있으며 중산간지대에 49개소, 해발 600m이상의 고지대에도 21개소가 분포하고 있다(Table 7). 지역별로는 북제주군에 398개소로 가장 많은 용천수 분포하고 남제주군에 203개소, 서귀포시에 168개소, 제주시에 142개소가 분포하고 있다.

<Table 7> The Distribution of Spring Water by Areas

(Unit : Lot)

시 군 별	합 계	저지대 (해발 200m 이하)	중산간지대 (해발200~600m)	고지대 (해발 600m이상)
합 계	911	841(92.3%)	49(5.4%)	21(2.3%)
제 주 시	142	111	23	8
서귀포시	168	151	12	5
북제주군	398	378	14	6
남제주군	203	201	-	2

<자료 : 제주의 물 용천수, 1999, 제주도>

※ 용출지점이 멸실·매립되거나 훼손된 용천수까지 포함한 개소수임

1998~1999년 사이에 제주도가 용출량(701개소 추정)을 측정한 결과에 의하면, 1일 평균 용출량은 1,083천m³이고 최대 용출량은 1,608천 m³으로 시기에 따라 용출량의 변화가 크다(제주도, 1999; Table 8 참조). 한국수자원공사(1993)의 측정결과와 비교할 때, 평균 용출량은 26,766 m³/일이 적은 반면, 최대 용출량은 498,213m³/일이 많다.

<Table 8> The Yield of Spring Water by Areas

지역별	제주도 조사('98~'99)			한국수자원공사('93)	
	측정개소	용출량(m ³ /일)		측정개소	용출량(m ³ /일)
		평균	최대		
합계	701	1,083,363	1,608,342	403	1,110,128
제주시	105	288,118	417,607	51	229,560
서귀포시	147	272,032	421,509	61	310,508
북제주군	296	367,161	523,405	197	362,140
남제주군	153	156,052	245,821	94	207,920

<자료 : 제주의 물 용천수, 1999, 제주도>

2) 용천수 이용현황

도내에 분포한 용천수 중 수량고갈·위치멸실·주변훼손된 200개소를 제외한 711개소의 이용현황을 보면(Table 9), 상수원으로 이용되는 용천수가 28개소이고, 생활용 218개소(30.6%), 농업 및 생활용 122개소(17.2%)이며, 이용하지 않는 것은 339개소(47.7%)이다.

상수원으로 이용되는 용천수는 제주시와 서귀포시에 편중 (22개소)되어 있고, 생활용은 북제주군 지역이 115개소로 가장 많다. 농업용은

서귀포시와 북제주군지역이 80개소이며, 미이용 용천수는 북제주군과 남제주군지역(249개소)에 편중되어 있으며, 제주시와 서귀포시에는 각각 39개소와 51개소이다.

<Table 9> Utilization of Spring Water by Purpose

(Unit : Lot)

시 군	합 계	상수원	생활용	농업용	생활/ 농업용	기타 (수산용)	미이용	고갈/ 멸실	주변훼손
합 계	911	28	218	103	19	4	339	182	18
제 주 시	142	12	28	19	11		39	32	1
서귀포시	168	10	35	44	7		51	20	1
북제주군	398	4	115	36		3	141	88	11
남제주군	203	2	40	4	1	1	108	42	5

<자료 : 제주의 물 용천수, 1999, 제주도>

용천수를 상수원으로 이용하기 위한 개발사업은 1953년 금산수원을 시작으로 추진되어 강정, 이호, 외도, 삼양, 옹포, 서림, 어승생(Y계곡 및 구구곡) 등 20개소의 용천수가 상수원으로 개발되었다(Table 10).

<Table 10> Spring Water Under Development or Utilized by well Sources('02.12.31)

지역별	용천수명	시설용량 (m ³ /일)	급수량 (m ³ /일)	개발년도
합 계	19개소	207,200	106,993	
제주시	Y계곡물 (선녀폭포)	21,450	8,474	1967~1970
	외 도	14,000	4,044	<ul style="list-style-type: none"> ● 1차 : 1971~1972 ● 2차 : 1978
	이 호	10,000	6,078	<ul style="list-style-type: none"> ● 1985~1988
	삼 양	55,000	29,168	<ul style="list-style-type: none"> ● 1수원 : 1979~1982 ● 2수원 : 1983~1984 ● 3수원 : 1992~1995
	금 산	18,500	10,161	<ul style="list-style-type: none"> ● 1차 : 1953~1957 ● 2차 : 1991~1992
	용 담	15,000	13,912	1994~1997
서귀포시	강 정	25,000	10,864	
	악근천	8,000	-	
	돈내코	800	266	
	서 흥	1,000	290	
	중 문	1,200	1,044	
	상 예	1,700	1,058	
	호 근	150	-	
북제주군	웅 포	20,000	10,020	<ul style="list-style-type: none"> ● 1차 : 1986~1990 ● 2차 : 1990~1997
남제주군	성관악	200	-	1967
	선 돌	200	-	1966
	서 립	15,000	11,614	<ul style="list-style-type: none"> ● 1차 : 1963 ● 2차 : 1990~1993 ● 3차 : 1996~1999

<제주도광역수자원관리본부 내부자료>

2002년말 현재 상수원으로 이용 중인 용천수는 총20개소에 203,000m³/일의 시설용량을 갖추고 1일 평균 112,581m³을 먹는물로 공급하고 있다. 상수원으로 개발된 용천수는 전체 평균 용출량의 약 18.4% 정도이며, 이들 20개소 용천수는 제주도 상수도 전체 시설용량의 59.5%를 차지하고 있을 뿐 아니라, 전체 급수량의 65.3%를 차지하고 있다. 지역별로 보면, 제주시 지역은 금산수원을 비롯하여 삼양 1,2,3수원·이호수원·외도수원·용담수원 등 6개소에 133,950m³/일이 개발되어 있고, 서귀포시 지역에는 강정수원·돈내코수원·천제연수원 등 9개소에 42,150m³/일이 개발되어 있어 용천수를 이용한 상수원은 주로 제주시와 서귀포시에 편중되어 있다. 특히, 제주시의 경우에는 용천수 상수원이 상수도 시설용량의 70.5%를 차지하고 있다. 북제주군의 경우 옹포수원(20,000m³/일)이 개발돼 있고, 남제주군은 서림수원·선돌수원·성판악수원에서 19,000m³/일이 개발되어 있다.

4. 地表面水 開發 및 利用現況

지표수를 이용하기 위한 시설로는 저수지 시설과 골프장의 저류조시설이 있으나 이들 시설에서 사용하는 수량은 미미한 실정이다.

<Table 11> Reservoirs in Jeju

저수지명	위 치	시설년도	저수용량 (유효저수량)	수해면적 (ha)
계			1,313천m ³ (985)	
용 수	북제주군 한경면 용수리	1957	335천m ³ (253)	70
수 산	북제주군 애월읍 수산리	1960	742천m ³ (681)	30
광 령	북제주군 애월읍 광령리	1954	76천m ³ (51)	30
제 동	북제주군 조천읍 교래리		160천m ³ (2개소)	

<제주도광역수자원관리본부 내부자료>

저수지는 공공용 저수지와 사설저수지로 나눌 수 있는데, 용수·수산·광령저수지는 공공용 저수지로서 총 저수용량은 1,153천 m^3 이며, 수혜면적은 130ha 정도이다(Table 11). 사설 저수지는 남제주군 표선면 가시리에 위치한 제동목장 내에 시설된 저수지로서 2개소에 총 저수용량은 160천 m^3 이다.골프장 저류조는 5개 골프장에 총 40개소가 시설돼 있으며, 전체 저수용량은 527천 m^3 규모이다(Table 12). 골프장에 시설된 저류조의 물은 주로 골프장 잔디 관개용수와 조경용수로 이용하고 있다.

<Table 12>Water Detention Basins in Golf Courses in Jeju

명 칭	위 치	저수용량(m^3)	개소수
계		527,026	40
클라운 골프장	북제주군 조천읍 북촌리	91,920	13
핑크스 골프장	남제주군 안덕면 상천리	66,800	8
다이너스티 골프장	남제주군 남원읍 신흥리	113,000	7
나인브릿지 골프장	남제주군 안덕면 광평리	102,000	8
레이크힐 골프장	서귀포시 중문동	153,306	4

<제주도광역수자원관리본부 내부자료>

5. 上水道 施設 및 供給現況

2002년말 현재 제주도의 상수도 시설용량은 총 481,300m³/일이고, 1일 평균 급수량은 176,059m³ 이다(Table 13).

총 인구 552,310명 중 552,199명에게 상수도가 보급되어 상수도 보급률이 전국에서 가장 높은 99.9%로서 1인 1일당 급수량은 319ℓ로서 전국평균(361ℓ)보다는 적지만 프랑스(300ℓ)나 독일(233ℓ)보다는 많은 편이다. 수원별로 살펴보면, 용천수가 207,200m³/일(18개소)로 전체 시설용량의 43%를 차지하며, 광역상수도를 포함한 지하수 271,950m³/일(223개소), 담수시설 및 저수지 등 2,150m³/일(7개소)이다.

<Table 13> Water Supply and Facility('02. 12.31)

구 분	지구수 (개소)	총인구 (인)	급수인구 (인)	시설용량 (m ³ /일)	급수량 (m ³ /일)	비 고
합 계	248	552,310	552,199	481,300	176,059	
용 천 수	17	286,591	286,591	185,750	98,519	
지 하 수	209	249,858	249,774	271,950	68,251	
제주도광역	14(80)	(63,604)	(63,604)	(135,000)	(24,140)	광역취수원 14개소 80공
어승생수원	1	10,760	10,760	21,450	8,474	
담수 시설 및 저수지	7	5,101	5,074	2,150	815	

<제주도광역수자원관리본부 내부자료>

<Table 14> Water Supply and Facility by Cities and Counties

구 분	계	제 주 시	서귀포시	북제주군	남제주군
지 구 수 (개소)	248	67	31	83	67
총 인 구 (인)	552,310	290,664	84,862	100,824	75,960
급수인구 (인)	552,199	290,664	84,862	100,797	75,876
보 급 율 (%)	99.98	100.00	100.00	99.97	99.89
시설용량 (m ³ /일)	481,300	227,500	85,300	91,770	76,730
급 수 량 (m ³ /일)	176,059	96,791	29,926	27,774	21,568
1인 1일 급수량(ℓ)	319	333	353	276	284

<제주도광역수자원관리본부 내부자료>

시·군별 상수도 시설 및 공급현황을 살펴보면 다음과 같음(Table 14) 제주시는 인구 및 각종 시설의 밀집으로 인하여 상수도의 대량 소비가 이루어지고 있는 지역으로서 1일 227,500m³/일(도 전체의 47%)을 공급할 수 있는 시설이 갖춰져 있으며, 1일 급수량은 도 전체 급수량의 55%인 96,791m³/일을 차지하고 있다. 서귀포시의 상수도 시설용량은 85,300m³/일이고, 1일 급수량은 29,926m³/일이다. 북제주군은 91,770m³/일의 상수도 시설용량이 갖추어져 있고, 1일 급수량은 27,774m³/일이고. 남제주군의 상수도 시설용량은 76,730m³/일이고, 1일 급수량은 21,568m³/일이다. 1인 1일 당 급수량은 도 전체적으로는 평균 319ℓ 이지만 시 지역(제주시, 서귀포시)은 333ℓ 와 353ℓ 이고, 군 지역(북제주군, 남제주군)은 276ℓ 와 284ℓ 을 나타내고 있다.

第3章 下水處理場 放流水 再利用 技術

第1節 中水道의 概念

일반적으로 용수 재이용이란 『한번 사용한 물을 처리하여 다시 이용하는 것』을 말하며, 중수도 기술개발 방안 연구보고서(건설부, 1994)에 의하면, 『한번 사용한 물을 어떠한 형태로든 한번 혹은 반복적으로 사용하는 물을 중수(中水)』로 정의하고 있다. 또한, 수도법(제3조)에서는 『사용한 수도물을 생활용수·공업용수 등으로 재이용할 수 있도록 다시 처리하는 시설』을 중수도(中水道)로 정의하고 있다. 중수도는 시설 및 이용형태에 따라 단독이용방식, 복합이용방식, 공공이용방식의 3가지 유형으로 분류할 수 있다. 단독이용방식은 단독 건축물이나 공장에서 발생하는 오·폐수를 자체 처리시설에서 처리한 후 재이용하는 유형으로서 우리나라에서 가동 중인 중수도의 대부분은 이 방식을 택하고 있다. 복합이용방식은 인접한 여러 개의 건축물이나 공동주택 등에서 발생하는 오·폐수를 한 곳으로 모아 처리한 후 재이용하는 유형이다. 공공이용방식은 하수처리장이나 폐수처리장에서 처리된 처리수(방류수)를 한 번 더 처리한 후 재이용하는 유형으로서 하와이주 오아후섬의 호노울리울리(Honouliuli) 방류수 재이용시설은 공공이용방식의 좋은 사례다. 또한, 중수도는 이용방식 측면에서 개별순환방식, 지구순환방식, 광역순환방식으로 구분할 수 있다.

개별순환방식은 단독이용방식과 같은 의미로서 대형 건축물, 공장 등에서 발생하는 오·폐수를 자체적으로 처리한 후 동일 건축물이나 공장에서 재이용하는 형태를 말하며, 수도법(제11조 및 같은 법 시행령 제15조)에서 규정하고 있는 중수도 설치대상은 이 유형에 해당한다. 지구순환방식은 대규모 공동주택단지나 신도시 등 일정 지역 내에서 발생하는 오·폐수를 처리하여 그 지역 내에 재사용하는 방식으로서 복

합이용방식과 같은 의미이다. 광역순환방식은 일정 지역 내의 하수처리장에서 배출되는 처리수(방류수)를 재처리한 후 비교적 넓은 지역에 공급해 재이용하는 형태로서 전술한 공공이용방식과 같은 의미다.

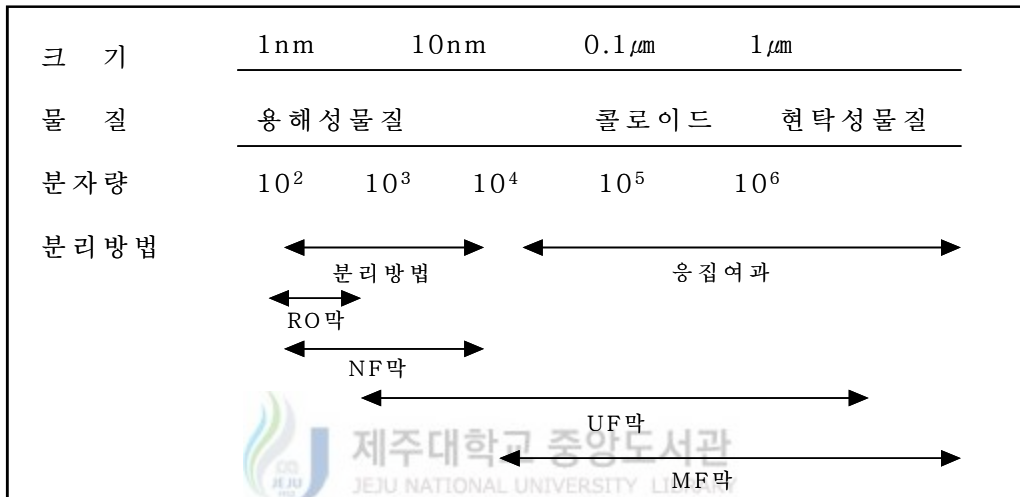
이러한 측면에서 볼 때, 본 연구에서 다루고 있는 제주지역 하수처리장 방류수 재이용방안은 공공이용방식 또는 광역순환방식의 중수도 개념에 포함된다 하겠다. 현재까지 우리나라에는 본 연구에서 지향하는 것과 같은 광역순환방식의 중수도를 지방자치단체에서 시설해 운영하고 있는 곳은 없으며, 단독이용방식 또는 개별순환방식의 중수도가 거의 대부분을 차지하고 있다. 제주도의 경우, 한마음병원(제주시, 50m³/일)과 금강산콘도(한림읍, 110m³/일) 2군데에 중수도가 시설돼 있으며, 우리나라 전체적으로는 114개소(447천m³/일)이다. 광역순환방식의 중수도는 하수처리장에서 1차적으로 처리된 물(방류수)을 원수로 하기 때문에 가뭄 시에도 유량변동이 적어 안정적으로 넓은 지역에 공급이 가능하며, 특히 하수처리장에서 1차적으로 처리된 물을 원수로 사용하기 때문에 방류수의 수질이 양호한 경우에는 비교적 간단한 재처리 과정을 통해 중수를 생산할 수 있는 장점을 지니고 있다.

第2節 下水處理場 放流水 再利用 技術

하수처리장 방류수는 수질환경보전법에서 정하는 수질기준 이하로 하수처리 공정을 통해 처리가 된 물이기 때문에 고농도의 오염물질을 포함하고 있지는 않지만 질소화합물·유기물질·유기화합물·염류 등이 포함돼 있을 수 있기 때문에 기존의 생물활성슬러지법이나 모래여과법과 같은 공정으로는 이들 물질을 효과적으로 걸러내는데 어려움이 있다. 방류수 재이용을 실용화하고 있는 외국의 사례를 보면 분리막법, 활성탄처리, 응집·침전, 모래여과, 자외선소독 등을 조합시킨 공정에 의해 목표수질, 경제성, 안정성을 제고하고 있다.

1. 분리막법

분리막기술은 압력차에 의하여 액체 중의 현탁성 물질과 미생물을 여과·분리하거나 용존성 물질을 제거하는 분리정제 기술로서 고도정수처리의 신기술로 인식되고 있다(강미아, 2003).



<Figure 1> The Size of Impurities in Water and the Method of Separating (강미아, 2003 인용)

분리막은 분리대상 물질의 크기에 따라 분류하면,

정밀여과막(Micro Filtration;MF), 한외여과막(Ultra Filtration;UF), 나노여과막(Nano Filtration; NF), 역삼투막(Reverse Osmosis; RO)으로 분류할 수 있다 (Figure1 참조).

① 정밀여과막법(Micro Filtration; MF)

이 막은 0.05~10μm의 공경으로 이루어져 있으며, 이 범위 크기의 콜로이드, 현탁입자, 균체 등의 물질들을 여과할 수 있어 순수 클리닝, 역삼투막 장치의 전처리, 박테리아의 제거 등을 위해 사용하고 있다. 이 막은 공경이 크기 때문에 투과유량이 크며, 사용시 압

력은 1~3kg 정도이다.

② 한외여과막법(Ultra Filtration; UF)

이 방법은 반투막을 이용하여 수중에 용해되어 있거나 부유하고 있는 고분자 물질과 콜로이드 입자 등을 막을 이용해 분리·압축하는 방법으로서, 순수제조 및 오·폐수의 고도처리 등에 많이 사용하고 있다. 한외 여과막법과 정밀 여과막법의 차이점은 전자는 분자를 여과하는데 반해 후자는 입자를 여과한다는 것이다. 이 방법을 이용할 경우, 단백질이나 박테리아와 같은 세균류의 제거도 가능하며, 압력에 의해 액체 중의 성분을 저분자 물질과 고분자 물질로 분류할 수도 있으며, 한외 여과막을 이용하는 경우 장·단점은 (Table 15)와 같다.

③ 나노 여과막법(Nano Filtration; NF)

이 방법은 한외 여과막과 역삼투막의 중간에 위치하는 분리막을 사용하는 방법으로서 최근 미국, 유럽 등지에서 경수의 연수화와 유기물질 제거 등에 실용화하고 있다. 역삼투막법과의 차이점은 염 제거율이 낮기 때문에 압력도 크게 낮다는데 있다.

<Table 15> Merits and Demerits of Ultrafiltration

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> ● 운전 조작이 간편함 ● 간헐적인 운전에도 문제가 없음 ● 수중의 유기물은 물론 미생물까지 제거가 가능함 ● 슬러지 처리시설이 불필요함 ● 장치가 밀폐돼 있어 악취가 적음 ● 장치가 콤팩트해 소규모 공간에도 설치가 가능함. 	<ul style="list-style-type: none"> ● 건설비 및 운전비가 많이 소요됨 ● 2~3년 주기로 막 교체가 필요함 ● 기계적 및 화학적 방법에 의한 막면의 세정이 필요함 ● 재이용 회수율이 비교적 낮음

<자료 : 중수도 편람, 1994, 동화기술>

④ 역삼투막법(Reverse Osmosis; RO)

농도가 서로 다른 용액의 경계면에 반투막을 설치할 경우, 농도가 낮은 쪽의 용액이 농도가 높은 쪽으로 이동하여 평형상태를 유지하려고 하는 현상을“삼투”라 하며, 이와는 반대로 농도가 높은 쪽의 용액에 삼투압 이상의 압력을 주어 반투막을 통해 순수한 물을 걸러지도록 하는 것을 “역삼투”라고한다. 역삼투막법은 주로 해수를 담수화하는 탈염장치나 오·폐수 중의 염류를 제거하기 위한 장치로 사용되고 있으며, 대용량의 처리가 가능하나 투자비가 높다는 단점이 있다(Table 16). 현재 제주도 우도와 추자도 지역의 급수를 위해 시설돼 운영하고 있는 담수화시설은 역삼투막법에 의해 염지하수(우도) 또는 해수(추자도) 중의 염분을 탈염시키고 있다(Picture 1.2 참조).

<Table 16> Merits and Demerits of Reverse Osmosis

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> • 에너지 소비가 적음 • 대용량을 단시간에 처리 가능 • 장치 및 조작방법이 단순함 • 순수한 물을 얻을 수 있음 	<ul style="list-style-type: none"> • 설치비 및 운전비가 많이 소요됨 • 막의 수명이 짧아 교환비용이 높음 • 막의 물리화학적 강도가 약함

<자료 : 중수도 이용확대를 위한 정책방안 연구, 1999, 환경부>

이상의 분리막법은 해수의 담수화, 상수도 원수의 고도정수처리, 오·폐수처리, 초순수제조, 의약품 제조 등에 널리 적용되고 있으며, 막분리법이 지니고 있는 장·단점은 (Table 17)과 같다.

<Table 17> Merits and Demerits of Separate Membrane Filtration

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> • 원수에 포함된 일정 크기이상 현탁 물질을 확실하게 제거할 수 있음. • 기계적으로 움직이는 부분이 적어 자동화가 간단함. • 시설이 콤팩트하므로 넓은 면적을 필요로 하지 않음. • 응집제 없이도 운전이 가능하거나, 필요시에도 소량만 필요로 하여 운전관리가 간단함. • 공사기간이 오래 소요되지 않음 	<ul style="list-style-type: none"> • 색, 냄새, 맛 등에 관계되는 용해성 물질을 제거하기 위해서는 재래식 처리 방법과의 조합이 필요함 • 막오염을 방지하기 위해 약품세정이 필요하고, 막의 수명이 짧아 교환비용이 많이 소요됨. • 건설 및 유지 관리비용이 많이 소요됨 • 고농도의 농축수가 발생하므로 이를 처리하기 위한 시설이 필요함.

자료 : ① 중수도 이용확대를 위한 정책방안 연구, 1999, 환경부
 ② 강미아, 2003


제주대학교 중앙도서관



<Picture 1> RO Equipment of Honouliuli Wastewater Treatment Facility in Ohau, Hawaii



<Picture 2> RO Equipment Built in Udo Desalination Plant in Bukjeju County

2. 활성탄 흡착법

일반적으로 활성탄 흡착법은 1차적으로 생물학적 또는 화학적 방법에 의해 처리된 물을 활성탄의 흡착작용을 이용해 유기물을 제거하는데 적용하고 있다. 활성탄은 탄소를 주성분으로 하는 다공질체로서 야자껍질, 톱밥, 목재, 석탄 등의 식물 또는 화석식물을 원료로 하고 있으며,

흡착력이 뛰어나 고도정수처리 공정에 도입하고 있다(김갑수와 김영란, 2002) 하수처리장 방류수를 활성탄에 통과시키면, 유기물(COD 및 TOC)이 활성탄에 흡착돼 제거되는데, 제거율을 보면 COD가 70~100%이고 색도는 약 50%, ABS는 약 80% 정도이나 제거율은 시간이 경과함에 따라 점차로 저하된다(김갑수와 김영란, 2002).

3. 전기투석법(Electro-dialysis Method)

전기투석법은 물 속의 이온만을 선택적으로 통과시키고, 물은 통과시키지 않는 막(이온교환막)의 성질을 이용하여 물중의 염류를 제거하거나 농축하는데 적용하는 기술이다. 이 방법은 무기염류를 제거하는데에는 매우 효과적이지만 부유물질이나 용해성 유기물 등을 제거하기 위해서는 응집침전, 여과, 활성탄흡착 등과 같은 전처리 공정을 필요로 한다. 전기투석법은 해수에서 식염을 제조하거나 순수를 제조할 때, 방사성 폐액을 처리할 때에 이용하며, 하수처리에서는 3차 처리공정으로 서 폐수 중 무기염류를 제거하는 목적으로 이용한다.

4. 생물막 활용기술(Micro Biological Reactor)

생물막(Biofilm)이란 매체의 표면에 미생물집단이 서식할 수 있도록 조건을 만들어 주면 미생물집단이 얇은 막을 이루면서 번식·부착하게 되는데, 이를 “생물막”이라 하며, 이러한 원리를 이용하여 입자상태의 것은 물론 용존상태의 오염물질을 산화·분해 처리하는 기술을 “생물막 처리법”이라 한다. 생물막처리법은 일본, 캐나다, 호주 등에서 연구가 활발히 진행되었으며, 특히 일본에서는 빌딩 내 중수도 설비와 소규모의 하수처리장, 그리고 분뇨처리장에 적용시키고 있다. 막분리공정의 상업적 수처리 플랜트에 적용한 사례는 일본과 프랑스가 공동으로 개발한 UBIS(Ultra-Biological System)와 호주의 Membio Tenstar 시스템, 일본의 MSB(Membrane Separation Bioreactor) 등이 있으며, (Table 18)은 일본과 캐나다에서 연구된 사례를 나타낸 것이다.

<Table 18> Research Results of MBR in Japan and Canada

구 분	KUBOTA	ZenoGem	Pleidade
개 발 국	일 본	캐나다	일 본
멤브레인	MF	UF	UF
적용 하수 (BOD 농도)	도시하수 (224mg/ℓ)	도시하수 (203mg/ℓ)	빌딩하수 (349mg/ℓ)
처 리 수 (BOD 농도)	4mg/ℓ 이하	5mg/ℓ 이하	4mg/ℓ 이하

<자료 : 코오롱건설(주) 내부자료>



第4章 放流水 再利用에 따른 水質基準

중수도를 포함한 하수처리장 방류수 재이용계획을 수립함에 있어 가장 중요한 사항 중의 하나가 오·폐수 또는 방류수를 어느 수준까지 재처리하여 어떤 용도로 재이용할 것인가를 결정하는 것이다. 재이용 용도별 목표수질에 따라 재처리시스템의 구성 및 처리공정이 결정되게 되고, 이는 곧 경제성과 직결되게 된다. 특히, 재처리수는 이용자에게 심미적 및 보건위생적인 위해를 주지 않아 될 뿐만 아니라, 농업용수·조경용수·공업용수로 사용하는 경우 농작물·잔디 또는 조경수의 생육이나 수확량에 영향을 미치지 않아야 하며, 생산제품의 품질에도 어떠한 영향을 초래하지 않도록 잘 처리되어야 한다. 따라서, 이 장에서는 우리나라를 비롯하여 외국에서 정하고 있는 중수도의 용도별 수질기준 또는 권장기준에 대해 살펴봄으로써 제주지역 하수처리장 방류수 재이용에 따른 용도별 목표수질을 설정하고자 한다.

第1節 再利用 用途別 要求條件

하수처리장 방류수의 재이용 용도는 생활용수, 공업용수, 환경용수, 농업용수, 먹는물(직접 또는 간접) 등으로 그 범위가 매우 광범위하다고 할 수 있다. 방류수를 음용수로 사용해도 손색이 없을 정도로 깨끗하게 처리하는 것이 바람직하지만, 시설투자비 및 유지관리비 등 경제적인 측면을 고려하면, 재이용 용도에 따라 적합한 수질이 유지되도록 처리하는 것이 경제성을 높일 수 있기 때문에 재이용용도별 수질기준에 대한 검토는 필수적이라 하겠다. (Table 19)는 방류수를 재처리하여 생활용수·공업용수·환경용수 등으로 재이용함에 있어 일반적으로 요구되는 조건을 나타낸 것이다. (Table 19)에 제시된 바와 같이, 심미적으로 사람에게 불쾌감을 주지 않도록 청결한 상태를 유지해야 하며, 공중 위생적으로도 인체는 물론 주변 환경이나 대상 동식물에게 위해를 주지 않도록 깨끗하게 처리되어야 하고, 기계 및 설비에도 염류집

적 또는 장해유발 등의 부작용을 일으키지 않도록 처리되어야 한다.

<Table 19>Requirements to Reuse Discharged Water from Sewage Treatment Plant for Different Purposes

구분	기 능	방류수 재이용에 요구되는 사항			
		심미적 사항	공중 위생적 사항	기기/설비 사항	
생활용	화장실 용수	오물 운반 배제	불쾌감 없어야함 청결한 느낌	인체에 영향이 없어야 함 환경적으로 위생적	장해 없을 것
	청소 용수	대상물을 청결 하게 함	사람이 직접 청소 할 경우 특히 청결해야 함	인체에 영향이 없어야 함 주변환경에 영향이 없어야 함	자동기기일 경우 기기에 장해가 없어야 함
	세차 용수	오물 세정	사람이 직접 세차 할 경우 특히 청결 해야하고, 세차 후 얼룩이 없어야 함	사람이 직접 세차할 경우 인체에 영향이 없어야 함	염류가 다량 함유되지 않고 녹슬지 않 아야 하며 광택 을 유지
	살수 용수	화초/수목 수분 공급	청결하면 좋음	인체에 영향이 없어야 함 노상살수, 화초 및 수목에 따라 수질에 차이가 있음	장해 없을 것
공업용	냉각 용수	냉방 난방시 쾌적한 환경	관계없음	관계없음	장해 없을 것
환경용	연못 분수	정신적, 육체적 휴식공간 제공	청결해야 함	금붕어 서식가능, 피부접촉, 호흡에 대한 특별한 고려가 있어야 함.인체에 영향이 없어야 함 환경적으로 위생적	장해를 일으키지 않아야 함
측정항목			수온, 투명도, 외관, 냄새, 탁도	대장균수, 일반세균 잔류염소, 바이러스	BOD, SS, pH

1. 우리나라의 中水道 水質基準

우리나라의 중수도 수질기준은 수도법 시행규칙 제3조에 정해져 있다. 수도법에서는 수세식 변소용수, 살수용수, 조경용수에 대하여 대장균군, 잔류염소, 외관, 탁도, BOD, 냄새 등 7개 항목에 대해 수질기준을 정하고 있다(Table 20 참조). 즉, 다시 말하면 우리나라의 수도법에서는 이용자의 기호도, 불쾌감, 위생적 관점 등을 고려하여 미생물과 심미적인 기준만 마련되어 있을 뿐 중금속을 포함한 무기물과 불순물에 대한 기준은 마련되어 있지 않다.

<Table 20>Target Water Quality of Water Reuse System
(Article 3 of Enforcement Regulation of Water Law)

구 분	수세식 변소용수	살수용수	조경용수
대장균군수	1ml당 10개를 넘지 않을 것	검출되지 아니할 것	검출되지 아니할 것
잔류염소 (결합)	검출될 것	0.2mg/ℓ 이상 일 것	-
외관	이용자가 불쾌함을 느끼지 아니할 것	이용자가 불쾌감을 느끼지 아니할 것	이용자가 불쾌감을 느끼지 아니할 것
탁도	5도를 넘지 않을 것	5도를 넘지 않을 것	5도를 넘지 않을 것
생물학적산소 요구량(BOD)	10mg/ℓ를 넘지 않을 것	10mg/ℓ를 넘지 않을 것	10mg/ℓ를 넘지 않을 것
냄새	불쾌한 냄새가 나지 않을 것	불쾌한 냄새가 나지 않을 것	불쾌한 냄새가 나지 않을 것
pH	5.8-8.5	5.8-8.5	5.8~8.5

(주)1) 살수용수 : 도로청소작업, 건설공사 등을 하는 경우에 뿌리는 물로 이용되는 중수도.

2) 조경용수 : 주택단지 등의 인공연못, 인공폭포, 인공하천 및 분수 등에 이용되는 중수도.

3) 공업용으로 쓰는 중수도에 대하여는 수질기준을 적용하지 아니한다

2. 外國의 再利用水 用途別 水質基準

1) 일 본

단독이용, 복합이용, 공공이용 중수도에 적용되는 일본의 중수도 수질 기준을 보면, 대장균수를 비롯한 7개 항목에 대해 기준을 정하고 있다 (Table 21 참조). 제시된 표에서 알 수 있듯이, 대장균수는 ml 당 10이하 이어야 하고, 음이온계면활성제는 1.0mg/l 이하, COD는 20mg/l 이하, 증발잔류물은 800mg/l 이하로 정하고 있다. 또한, 외관이나 냄새에 있어서는 사용자가 불쾌감을 느끼지 않도록 처리해야 한다.

<Table 21> Water Quality Standards of Water Reuse System in Japan

항 목	단 위	기 준 치
<ul style="list-style-type: none"> ● 대장균군수 ● 외 관 ● 냄새 ● 음이온계면활성제 ● 수소이온농도 ● COD ● 증발잔류물 	<p>(개/ml)</p> <p>(mg/l)</p> <p>(mg/l)</p> <p>(mg/l)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 10이하 ● 불쾌하지 않을 것 ● 불쾌하지 않을 것 ● 1.0이하 ● 6.5~8.6 ● 20이하 ● 800이하

<자료 : 중수도 이용확대를 위한 정책방안 연구, 1999, 환경부>

일본 건설성을 비롯한 후생성 및 동경도 도시계획국에서 정한 재이용수의 수질기준은 (Table 22)와 같다. 이 기준에서 보면, 건설성에서는 재이용수를 수세식 화장실용수로 사용하는 경우 BOD 20mg/l 이하, COD 30mg/l 이하의 기준을 지키도록 하고 있으나 후생성과 동경도 도시계획국에서는 이에 대한 기준은 없고, 외관 및 취기에 있어 불쾌감을 주지 않도록 요구하고 있다. 또한, 건설성에서는 조경용수로 사용하는 경우에는 BOD를 10mg/l 이하로 유지함과 아울러, 대장균이 검출되지 않도록 요구하고 있다.

<Table 22> Water Quality Standards of Water Reuse System Set by Japanese Organizations

구 분	건 설 성			후 생 성	동경도 도시계획국
	수세식 화장실용수	살수용수	조경용수	수세식 화장실용수	수세식 화장실 세정용수
pH	5.8~8.6	5.8~8.6	5.8~8.6	5.8~8.6	5.8~8.6
BOD(mg/ℓ)	20이하	-	10이하	-	-
COD(mg/ℓ)	30이하	-	-	-	-
잔류염소(mg/ℓ)	유지	0.4이상	-	유지	유지
외 관	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것
탁도(도)	-	-	10이하	-	-
취 기	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것
대장균수 (개/ml)	10이하	검출되지 않을 것	검출되지 않을 것	10이하	10이하

<자료 : 중수도 기술개발 방안연구, 1994, 건설부>

또한, 일본에서는 재이용 용수의 이용 용도별 요구수질에 대해서도 정하고 있다(Table 23 참조).세탁용수, 목욕용수, 청소·세차용수, 살수용수, 화장실용수로 구분하여 감각적 항목(3개 항목), 시설 기능적 항목(8개 항목), 위생적 항목(3개 항목)에 대한 요구수질을 정하고 있다. 감각적 항목(탁도·색도·냄새)에서 보면 목욕용수와 세탁용수 즉, 인체에 접촉하는 용도로 사용하는 경우가 살수·화장실용 등 비접촉 용도보다 높은 수질을 요구하고 있다. 시설 기능적 항목을 보면, 염소이온은 목욕·세탁용수가 200 mg/ℓ 이하, 청소·살수·화장실용수는 400 mg/ℓ 이하를 요구하고 있으며, 증발잔류물은 목욕·세탁용수가 500mg/ℓ 이하, 청소·살수·화장실용수는 1,000mg/ℓ 이하를 요구하고 있다. 위생적 항목의 경우, 목욕·세탁용수에서는 대장균군이 검출되지 않아야 하나 청소·살수·화장실용수에서는 ml 당 1 이하의 대장균군이 검

출되도록 요구하고 있으며, 일반세균은 목욕·세탁용수에서는 ml당 100 이하 이지만, 청소·살수·화장실용수에서는 수치가 정해져 있지 않다.

<Table 23> Required Water Quality According to Different Purposes in Japan

구 분		목욕용수	세탁용수	청소·세차	살수용수	화장실용수
감각적	탁도(도)	5이하	15이하	15이하	15이하	15이하
	색도(도)	5이하	10이하	20이하	30이하	30이하
	냄새	가운해서 냄새 없을 것	불쾌한 냄새 없을 것	불쾌한 냄새 없을 것	불쾌한 냄새 없을 것	불쾌한 냄새 없을 것
시설 기능적	pH	5.8~8.6	5.8~8.6	5.8~8.6	5.8~8.6	5.8~8.6
	경도(mg/l)	300이하	300이하	300이하	300이하	300이하
	잔류염소(mg/l)	0.2이상	0.2이상	0.2이상	0.2이상	0.2이상
	염소이온(mg/l)	200이하	200이하	400이하	400이하	400이하
	ABS(mg/l)	0.5이하	0.5이하	1.0이하	1.0이하	1.0이하
	증발잔류물(mg/l)	500이하	500이하	500이하	1,000이하	1,000이하
	철(mg/l)	0.3이하	0.3이하	0.3이하	0.5이하	0.5이하
	망간(mg/l)	0.3이하	0.3이하	0.3이하	0.5이하	0.5이하
위생적	KMnO ₄ 소모량(mg/l)	20이하	20이하	40이하	40이하	40이하
	일반세균(개/ml)	100이하	100이하	-	-	-
	대장균군(개/ml)	미검출	미검출	1이하	1이하	1이하

<자료 : 중수도 이용확대를 위한 정책방안 연구, 1999, 환경부>

일본 농림수산성에서는 1970년 재이용 용수를 농업용수로 사용하는 경우 수질기준을 (Table 24)와 같이 설정해 적용하고 있다. 표에 제시된 바와 같이, 전체적으로 14개 항목에 대해 수질기준을 마련해 놓고 있는데, 수온이온농도가 6.0~7.5이고 COD는 6mg/l 이하, 총질소(T-N) 7mg/l 이하, 부유물질(SS)는 100mg/l 이하이다. 또한, 염소이온은 1,000 mg/l 이하 이고 니켈(Ni) 1mg/l 이하, 카드뮴(Cd) 0.03mg/l 이하, 구리(Cu) 0.02mg/l 이하이다. 이 기준에서 정한 항목별 수질기준을 우리나라

라 지하수법에서 정한 농업·어업용수의 수질기준과 비교해 보면, 염소이온(250mg/ℓ 이하)과 카드뮴(0.01mg/ℓ 이하)은 지하수법이 높은 수질을 요구하고 있으며 비소는 동일한 기준치(0.05mg/ℓ 이하)이다. 그러나 그 외의 항목을 보면, 지하수법에서는 주로 유기화합물질에 대한 항목이 많은 반면, 일본은 중금속류 항목에 비중을 두고 있다.

<Table 24> Water Quality for Agricultural Water Set by Japan Agricultural Ministry of Agriculture and Fisheries

항 목	수질기준	항 목	수질기준
pH	6.0 - 7.5	Zn	0.5mg/ℓ 이하
COD	6mg/ℓ 이하	전기전도도	0.3uohm/cm 이하
SS	100mg/ℓ 이하	ABS	5mg/ℓ 이하
T-N	7mg/ℓ 이하	Co	0.1mg/ℓ 이하
DO	6mg/ℓ 이하	Ni	1mg/ℓ 이하
As	0.05mg/ℓ 이하	Cd	0.03mg/ℓ 이하
Cu	0.02mg/ℓ 이하	Cl	1000mg/ℓ 이하

<자료 : 중수도 기술개발 방안연구, 1994, 건설부>

2) 미 국

(1) 환경보호청(EPA)의 기준

미국 환경보호청(US Environmental Protection Agency; EPA)과 국가개발청(Agency for International Development; USAID)은 수처리기술 향상과 관련제도의 발전에 부응하기 위하여 1980년에 제정된 물재이용에 관한 기준(Guideline for Water Reuse)을 1992년에 개정하였다. 1992년 개정된 기준의 내용을 요약하면 (Table 25)과 같으며, 이용용도별 보다 자세한 기준은 부록에 제시하였다. US EPA의 기준을 보면, 조경·세차·냉방 등 도시의 생활용수로 사용하기 위해서는 2차 처리→여과→소독처리를 통하여 BOD 10mg/ℓ 이하, 탁도 2NTU이하의 수질을 유지하도록 하고 있다. 또한, 비식용작물이나 사료작물의 재배, 우유를 생산하는 목장, 종자곡물 재배 등의 농업용수로 사용하기 위해서는 2차 처리와 소독처리를 거치도

록 하고 있으며 BOD 30mg/ℓ 이하, 총부유물질 30mg/ℓ 이하, 100ml당 대장균군 불검출의 수질을 유지하도록 요구하고 있다. 음용수로 이용하는 대수층으로 인공함양시키는 용도로 사용하기 위해서는 고도처리까지 하여 비포화대를 통과한 후에는 먹는물 수질기준을 충족시키는 고수질을 유지하도록 하고 있다. 특히, EPA에서는 방류수를 관개용수로 사용하고자 할 때에는 (Table 26)에 제시된 수질기준을 지키도록 권장하고 있다.

<Table 25> Water Reuse Standards Set by US EPA

재이용 용도	처리수준	처리수의 수질	처리수 수질측정
도시용수 (조경·세차·화장실·소화·냉방용수 등)	<ul style="list-style-type: none"> • 2차 처리 • 여과(모래 등) • 소독처리 	<ul style="list-style-type: none"> • pH : 6~9 • BOD : 10mg/ℓ 이하 • 탁도 : 2NTU이하 • 대장균군 : 불검출/100ml • 잔류염소 : 1mg/ℓ (최소) 	<ul style="list-style-type: none"> • pH : 주 1회 • BOD : 주 1회 • 탁도 : 계속 • 대장균군 : 매일 • 잔류염소 : 계속
농업용수 (비식용작물·우유생산목장·꿀·섬유질사료·종자곡물 재배용)	<ul style="list-style-type: none"> • 2차 처리 • 소독처리 	<ul style="list-style-type: none"> • pH : 6~9 • BOD : 30mg/ℓ 이하 • TSS : 30mg/ℓ 이하 • 대장균군 : 200이하/100ml • 잔류염소 : 1mg/ℓ (최소) 	<ul style="list-style-type: none"> • pH : 주 1회 • BOD : 주 1회 • TSS : 매일 • 대장균군 : 매일 • 잔류염소 : 계속
간접적 음용수 (음용수로 이용하는 대수층으로의 인공함양)	<ul style="list-style-type: none"> • 2차처리 및 소독 (최소) • 여과 또는 고도처리 	비포화대를 통해 침투한 후에는 먹는물 수질기준에 적합해야 함	<ul style="list-style-type: none"> • pH : 주 1회 • 탁도 : 계속 • 대장균군 : 매일 • 잔류염소 : 계속 • 먹는물 수질기준 항목은 분기별 1회 • 기타 항목은 필요시

<자료 : Guidelines for Water Reuse, EPA /625/R-92/004, 1992>

<Table 26> Quality Standards for Irrigation Water Recommended by US EPA

성분명		모든 토양에 연속 사용하는 경우(mg/ℓ)	중성 및 알칼리성 토양에 단기간 (20년 정도 사용하는 경우(mg/ℓ))
화학적 성분	pH	4.5 ~ 9.0	
	TDS	5,000	
중금속류	As	2.0	10.0
	Cd	0.01	0.05
	Cu	0.2	1.0
	F	2.0	5.0
	Fe	5.0	15.0
	Pb	5.0	20.0
	Mn	0.2	10.0
세균류	대장균군수	1,000개/100ml	

<자료 : Guidelines for Water Reuse, EPA /625/R-92/004, 1992>

(2) 조오지아(Georgia) 주의 농업용수 수질기준

조오지아주에서는 수질오염방지법에 근거하여 하수처리장에서 발생하는 2차 처리수 또는 재처리수(3차 처리수)를 관개 및 도시용수로 재이용할 때, 적용하는 수질기준을 만들어 시행하고 있다(Guidelines for Water Reclamation and Urban Water Reuse, 2002). 재이용수를 농업용수로 사용할 때, 적용하고 있는 조오지아주의 수질기준은 (Table 27)와 같다. 염분도(전기전도와 총고형물질), 침투율(SAR), 나트륨, 염소이온, 붕소, 중탄산염, 잔류염소의 7개 사항에 대해 농업용수로 사용할 때 제한 정도를 3가지(없음, 다소~중간, 많음)로 분류해 수질기준을 정해 놓고 있다. 총고

형물질(TDS)의 경우, 450mg/ℓ 이하에서는 아무런 제약도 받지 않고 사용할 수 있으나 450~2,000mg/ℓ 범위의 물은 다소~중간정도의 제약을 받으며, 2,000mg/ℓ 이상되는 물은 많은 제약을 받는다. 또한, 염소이온은 뿌리에 흡착되는 작물에 관수하는 경우에는 70mg/ℓ 이하, 잎사귀에 흡착되는 작물에는 100mg/ℓ 이하에서는 별다른 제약을 받지 않지만, 355mg/ℓ 이상 되는 물은 제약을 많이 받는다. 또한, 조오지아주에서는 중금속을 포함한 미량 무기성분의 최대 농도기준을 정하여 농업용수 사용자들에게 이를 지키도록 권장하고 있다(Table 28 참조). 전체적으로 17개 항목의 중금속 및 미량 무기성분에 대해 권장 최대농도를 제시하고 있다. 이처럼 권장하고 있는 것은 미량 무기성분이 다량 함유된 물을 농업용수로 사용할 경우 토양오염, 곡물 또는 채소 등의 농작물에 축적, 생육부진 및 수확량 감소 등을 방지하기 위해서라 할 수 있다.

<Table27>Quality Standards for Agricultural Water in Georgia

구 분	단 위	사용상 제한의 정도		
		제한없음	다소~보통	많은 제약
염분도				
전기전도도(Ec)	ds/m	<0.7	0.7~3.0	>3.0
총고형물질(TDS)	mg/ℓ	<450	450~2,000	>2,000
침투율(SAR)				
0~3		>0.7	0.7~0.2	<0.2
3~6		>1.2	1.2~0.3	<0.3
6~12		>1.9	1.9~0.5	<0.5
12~20		>2.9	2.9~1.3	<1.3
20~40		>5.0	5.0~2.9	<2.9

<표 27> 계 속

구 분	단 위	사용상 제한의 정도		
		제한없음	다소~보통	많은 제약
특별한 이온 독성(Na) 뿌리흡착 일사귀 흡착	SAR	<3	3~9	
	Meq/ℓ	<3	<3	>9
	mg/ℓ	<70	>70	
염소이온(Cl) 뿌리흡착	Meq/ℓ	<2	2~10	>10
	mg/ℓ	<70	70~355	>355
	Meq/ℓ	<3	>3	
일사귀 흡착	mg/ℓ	<100	>100	
	Meq/ℓ	<1.0	1.0~2.0	>2.0
붕소(B)	Meq/ℓ	<1.0	1.0~2.0	>2.0
혼합영향 중탄산염(HCO ₃)	Meq/ℓ	<1.5	1.5~8.5	>8.5
	mg/ℓ	<90	90~500	>500
잔류염소	mg/ℓ	<1.0	1~5	>5

<자료 : Guidelines for Water Reclamation and Urban Water Reuse, 2002, State of Georgia>

※ 침투율은 SAR(Sodium Adsorption Ratio)와 전기전도에 의해 영향을 받는데, 일반적으로 염분도가 높음에 따라 침투율은 증가하고, SAR 값이 높음에 따라 침투율은 감소함.

<Table 28> Recommended Maximum Level of Inorganic Elements in Agricultural Water in Georgia

항 목	권장 최대농도 (mg/ℓ)	항 목	권장 최대농도 (mg/ℓ)
Al	5.0	Mn	0.20
As	0.10	Mo	0.01
Be	0.10	Ni	0.20
Cd	0.01	Pb	5.0
Co	0.05	Se	0.02
Cr	0.10	Sn	-
Cu	0.20	Ti	-
F	1.0	W	-
Fe	5.0	V	0.10
Li	2.5	Zn	2.0

<자료 : Guidelines for Water Reclamation and Urban Water Reuse, 2002, State of Georgia>

(3) 캘리포니아주의 농업용수 수질기준

캘리포니아주에서도 도시하수의 농업용수 재이용에 관한 기준을 1984년에 제정하여 적용하고 있다(Table 29 참조). 캘리포니아주의 기준은 전술한 조오지아주의 농업용수 수질기준과 상당 부분 일치하고 있으나 관수방법과 일부 항목에서 차이를 보이고 있다. 또한, 캘리포니아주에서도 농업용수로 사용함에 있어 미량 무기성분에 대한 권장 최대치를 정하고 있는데 전술한 조오지아주의 권장치와 동일하다.

<Table 29> Quality Standards for Agricultural Water in California

구 분	단 위	사용상 제한의 정도		
		제한없음	다소~보통	많은 제약
염분도				
전기전도도(Ec)	ds/m	<0.7	0.7~3.0	>3.0
총고형물질(TDS)	mg/ℓ	<450	450~2,000	>2,000
침투율(SAR)				
0~3		>0.7	0.7~0.2	<0.2
3~6		>1.2	1.2~0.3	<0.3
6~12		>1.9	1.9~0.5	<0.5
12~20		>2.9	2.9~1.3	<1.3
20~40		>5.0	5.0~2.9	<2.9
특별한 이온 독성(Na)				
지표면 관수	SAR	<3	3~9	>9
스프링클러 관수	mg/ℓ	<70	>70	
염소이온(Cl)				
지표면 관수	mg/ℓ	<70	70~355	>355
스프링클러 관수	mg/ℓ	<100	>100	>2.0
붕소(B)	mg/ℓ	<0.7	0.7~3.0	>3.0
혼합영향				
총질소(T-N)	mg/ℓ	<5.0	5~30	>30
중탄산염(HCO ₃)	mg/ℓ	<90	90~500	>500
수소이온농도(pH)		6.5~8.4	6.5~8.4	6.5~8.4
잔류염소	mg/ℓ	<1.0	1~5.0	>5.0

<자료 : Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater A Guidance Manual, 1984, State of California

3). South Australia

South Australia의 Human Service국과 환경보호국에서는 1993년 개정된 환경보호법에 근거하여 1999년 재처리수(처리된 방류수)의 수질 기준을 만들어 시행하고 있다.

<Table 30>Classification Criteria for reusing Treated Wastewater in South Australia

등급	재이용 용도	미생물학적 기준 (대장균군수/100 ml)	물리·화학적 기준	처리공정
A	<ul style="list-style-type: none"> 레크리에이션(직접 피부접촉) 주거지 비음용 <ul style="list-style-type: none"> - 정원 조경용수 - 화장실 세척용수 - 세차용수 - 도로/담벽 청소용수 대중 출입장소의 생활용수 대중 출입장소의 비산방지 곡물재배용수(제한 없음) 	<ul style="list-style-type: none"> <10 바이러스·원생동물·기생충 제거 	<ul style="list-style-type: none"> 탁도 2NTU 이하 BOD 20mg/ℓ 이하 	<ul style="list-style-type: none"> 2차처리+3차여과 +소독처리 수질기준 충족을 위해 필요시 응집처리
B	<ul style="list-style-type: none"> 레크리에이션(직접 피부접촉) 대중이 출입하는 저류지 대중출입 제한처의 생활용수 제한된 작물에 한해 관수 목장 및 사료작물 관수 세척 및 가축용수 출입제한 장소의 비산방지용 소화용수 	<ul style="list-style-type: none"> <100 바이러스·원생동물·기생충 제거 	<ul style="list-style-type: none"> BOD 20mg/ℓ 이하 SS 30mg/ℓ 이하 	<ul style="list-style-type: none"> 2차처리+소독처리
C	<ul style="list-style-type: none"> 수동적 레크리에이션 대중출입 제한처의 생활용수 제한된 작물에 한해 관수 목장 및 사료작물 관수 	<ul style="list-style-type: none"> <1,000 바이러스·원생동물·기생충 제거 	<ul style="list-style-type: none"> BOD 20mg/ℓ 이하 SS 30mg/ℓ 이하 	<ul style="list-style-type: none"> 1차침전+ 저류 또는 2차처리 (미생물기준 충족을 위해 필요시 소독처리)
D	<ul style="list-style-type: none"> 제한된 작물에 한해 관수 잔디 재배용수 Silviculture 비식용 양식용수 	<ul style="list-style-type: none"> <10,000 목장 및 사료 재배용수는 기생충 제거 		<ul style="list-style-type: none"> 1차침전+ 저류 또는 2차처리

<자료 : South Australian Reclaimed Water Guidelines(treated effluent, Dep. of Human Services and Environment Protection Agency, 2002)>

재처리수는 A, B, C, D의 4가지 등급으로 구분해 미생물과 물리·화학적 수질기준을 정하고 있으며, 그 등급에 따라 이용용도를 달리하고 있다 (Table 30 참조).

- ① A등급 : 2차 처리를 한 후 여과 및 소독의 3차 처리과정을 거친 재처리수
- ② B등급 : 2차 처리를 한 후 소독처리를 거친 물로서 부유물질 함량이 기준을 초과하지 않는 재처리수
- ③ C등급 : 2차 처리 혹은 침전과정을 거친 물로서 미생물학적인 수질 기준을 충족시키기 위한 소독처리를 필요로 하는 재처리수
- ④ D등급 : 2차 처리 혹은 침전과정을 거친 재처리수

또한, South Australia에서는 농업용수의 염분도 기준을 전기전도도와 총고형물질(TDS) 농도를 기준으로 5가지 그룹으로 분류해 적용하고 있으며(Table 31 참조), 중금속·미량원소·수소이온농도에 따른 농업용수 기준도 설정(Table 32 참조)해 시행하고 있다.

<Table 31>Salinity Standard for Agricultural Water in South Australia

Electrical conductivity ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	TDS ($\mu\text{g}/\ell$) *	Comment
0-280	0-175	Low salinity water can be used with most crops on most soils and with all methods of water application with little likelihood that a salinity problem will develop. Some leaching is required, but this occurs under normal irrigation practices except in soils of extremely low permeability.
280-800	175-500	Medium-salinity water can be used if moderate leaching occurs. Plants with medium salt tolerance can be grown, usually without special measures for salinity control. Sprinkler irrigation with the more-saline waters in this group may cause leaf scorch on salt-sensitive crops, especially at high temperatures in the daytime and with low application rates.
800-2300	500-1500	High-salinity water cannot be used on soils with restricted drainage. Even with adequate drainage, special management for salinity control may be required, and the salt tolerance of the plants to be irrigated must be considered.
2300-5500	1500-3500	Very high-salinity water is not suitable for irrigation water under ordinary conditions. For use, soils must be permeable, drainage adequate, water must be applied in excess to provide considerable leaching, and salt-tolerant crops should be selected.
> 5500	> 3500	Extremely high-salinity water may be used only on permeable, well-drained soils under good management, especially in relation to leaching and for salt-tolerant crops, or for occasional emergency use.

<자료 : South Australian Reclaimed Water Guidelines(treated effluent, Dep. of Human Services and Environment Protection Agency, 2002)>

<Table 32>Standards for Agricultural Water in South Australia in Terms of Heavy Metal and Micro-element

항 목	기 준 치(mg/ℓ)	Comment
Aluminium	5.0	High toxicity in acid soils
Arsenic	0.1	
Beryllium	0.1	
Cadmium	0.01	High toxicity in acid soils
Chromium	1.0	
Cobalt	0.05	
Copper	0.2	
Fluoride	1.0	
Iron	1.0	
Lead	0.2	
Lithium	2.5	Citrus: 0.075 mg/ℓ
Manganese	2.0	0.2 mg/ℓ in acid soils
Mercury	0.002	
Molybdenum	0.01	
Nickel	0.2	
Selenium	0.02	
Uranium	0.01	
Vanadium	0.1	
Zinc	2.0	1.0 mg/ℓ for sandy soil if pH < 6
pH	4.5-9.0	pH < 4.8 could cause solubilisation of Al, Mn or heavy metals Water with pH > 8.3 may contain high Na, carbonate, bicarbonate.

<자료 : South Australian Reclaimed Water Guidelines(treated effluent, Dep. of Human Services and Environment Protection Agency, 2002>

第2節 農業用水의 水質에 對한 考察

오래전 유럽의 몇몇 나라에서는 도시지역에서 발생하는 하수를 주변의 토지로 흘려보내 하수처리 문제를 해결함과 동시에 작물에 영양분과 수분을 공급하는 2가지 효과를 기대하였다. 그 당시 하수에는 농작물의 생육에 도움을 주는 양분들이 포함되어 있어 농업용수로 이용해도 별다른 문제를 야기하지 않을 것으로 인식하였다. 특히, 농업용수는 먹는물과 같은 고수질을 필요로 하지 않으며, 토양에서의 여과 및 분해기능에 의해 하수에 포함된 오염물질들이 걸러질 수 있을 것으로 생각하였다.

그러나, 오늘날 도시에서 발생하는 하수 중에는 합성세제·중금속류·바이러스·기생충·유류 등과 같은 여러 가지 유해한 물질들이 많이 포함되어 있다. 따라서, 처리하지 않은 상태로 하수를 농경지에 살포하는 것은 토양과 지하수 오염문제를 유발시킬 뿐만 아니라, 농작물 또는 가축에 유해성분의 축적을 가져오고, 결국에는 먹이사슬을 통해 사람에게 전달됨으로써 건강에 치명적인 영향을 초래할 수 있어 처리하지 않은 하수를 농업용수로 직접 이용하는 것은 결코 바람직하지 않다.

전술한 바와 같이, 세계 여러 나라에서는 하수처리장에서 처리된 물(2차처리) 또는 재처리수(3차처리 혹은 고도처리)의 이용에 필요한 수질기준, 처리공정, 재이용 용도 등을 기준으로 정해 엄격히 적용함으로써 하수 재이용에 따른 토양·지하수 오염문제, 사람이나 동물에 미치는 보건위생적 악영향, 기계·설비의 장해문제 등이 발생하지 않도록 하고 있다.

본 절에서는 하수처리장에서 발생하는 방류수를 농업용수로 재이용함에 있어 수질적으로 어떠한 사항들을 고려해야 할 것인가를 사전에 검토함으로써 방류수 처리공정과 목표수질을 설정하는데 참고하고자 한다.

1. 農業用水의 概念 및 水質項目

1) 농업용수의 개념

우리나라의 농업·농촌기본법(제3조제1호)에서는 농업의 범위를 다음과 같이 규정하고 있다.

- ① 농작물 생산업 : 식량작물 생산업·원예작물 생산업·특용작물 생산업·양잠업 및 종자 생산업
- ② 축산업 : 가축의 사육업·부화업 및 종축업
- ③ 임업 : 영임업(자연 휴양림의 조성 또는 관리·운영업 포함)
· 임산물 생산업 및 야생조수 사육업

따라서, 농업용수란 “농작물 생산 활동을 비롯하여 축산업과 임업을 영위하는데 사용되는 물”이라 할 수 있다. 그러나, 농업의 범위는 전술한 바와 같이 매우 광범위할 뿐만 아니라, 농업을 통해 얻어지는 최종 생산물·수확물은 직접 혹은 간접적으로 사람이나 동물이 섭취하게 된다는 점, 그리고 농업에서 대상으로 하고 있는 작물이나 동식물이 다종다양하고, 물속에 포함된 성분에 대한 내성의 정도가 동식물 종에 따라 천차만별이라는 점을 고려할 때, 농업용수의 수질기준을 획일적으로 설정하기는 대단히 어려운 문제이다.

2) 농업용수 사용 시 고려해야 할 수질항목

농업용수는 먹는물과 대등한 고수질을 갖출 필요는 없지만, 농업용수 사용이 곧 농업의 생산성뿐 아니라, 직·간접적으로 사람과 동식물에 영향을 미칠 수 있고 토양 및 지하수 오염을 유발시킬 수 있다는 점 등을 고려할 때, 농업용수가 갖추어야 할 요건에 대한 고려가 필요하다. 농업용수는 수질에 따라 토양의 염분도·Sodicity·양이온 교환·산도 또는 알카리도·영양염류의 활용도·토양구조·점토성분의 분산과 응집에 영향을 미칠 수 있기 때문에 농업용수로 사용하는 물중에

포함된 성분의 농도는 작물성장에 결정적인 역할(Hillel, 2000)을 하므로 세계 여러 나라에서는 농업용수가 갖추어야 할 수질에 대해 구체적으로 규정하고 있다.

캘리포니아주의 경우, 하수처리장 방류수를 농업용수로 재이용할 때 고려해야 할 수질항목으로서 부유고형물, 생물 분해성 유기물, 병원균, 영양염류, 안정 유기화합물, 수소이온농도, 중금속류, 용존 무기물, 잔류염소 등 크게 9가지를 정하고 있다(Table 33 참조). 특히, 캘리포니아주를 비롯한 미국의 여러 주에서는 농업용수에 포함될 수 있는 중금속 등 미량성분의 허용농도를 구체적으로 정하고 있다. US EPA(1992)에서는 방류수를 농업용수로 재이용하고자 할 때, 주된 관심이 되는 수질 항목으로 염분농도, 나트륨, 중금속류, 잔류염소 농도, 영양염류 등 5가지 사항이다(Table 26 참조). 또한, 세계보건기구(WHO)에서는 방류수를 농업용수로 재이용 할 때, 재이용 용도 및 사용 시 노출되는 집단의 유형에 따라 장내 기생충과 대장균군에 대한 기준을 설정함과 아울러, 이 기준을 충족시키는데 필요한 처리수준을 제시하고 있다 (Table 34 참조).

<Table 33> Considered Quality Items in Reusing treated Water from Sewage Plant as Agricultural Water

성 분	측정해야 할 항목	고려해야 하는 사유
부유 고형물	휘발성 및 비휘발성을 포함한 부유고형물	<ul style="list-style-type: none"> 처리되지 않은 폐수가 수계로 유입되는 경우, 부유고형물은 슬러지의 침전과 혐기성 상태를 진전시킬 수 있음. 부유고형물 농도가 과도한 경우 관수용 파이프가 막히게 하는 원인이 됨.
생물분해성 유기물	BOD, COD	<ul style="list-style-type: none"> 탄수화물, 단백질, 유지류가 주된 구성성분임. 이러한 물질들이 수계로 배출되면, 생물학적 분해로 인해 물중의 용존산소결핍 및 부패상태를 야기할 수 있음.
병원균	지표 미생물, 대장균군 및 분변성 대장균	<ul style="list-style-type: none"> 폐수 내의 병원균(박테리아, 바이러스, 기생충 등)에 의한 전염병이 전파될 수 있음.
영양염류	질소, 인산, 칼륨	<ul style="list-style-type: none"> 질소, 인산, 칼륨은 식물성장의 필수원소임. 질소, 인 같은 영양염류가 수계로 유입되면 수생 생물의 과잉성장을 초래할 수 있고, 질소는 과다하게 배출되면 지하수오염을 유발시킬 수 있음.
안정 유기화합물	페놀, 농약, 염화수소 등	<ul style="list-style-type: none"> 이러한 유기화합물질은 전통적인 폐수처리 방법으로는 잘 처리가 안 됨. 일부 유기화합물은 독성이 있기 때문에 폐수를 관개용수로 사용하는데 제한을 받음.
수소이농도	pH	<ul style="list-style-type: none"> 폐수의 pH는 토양의 알카리도는 물론 금속성분의 용해도에 영향을 미침 일반적으로 생활하수의 pH는 6.5~8.5 정도이나 공장폐기물은 pH를 현저하게 변경시킴.
중금속	Cd, Zn, Ni, Hg 등	<ul style="list-style-type: none"> 일부 중금속류는 환경에 축적되며, 동식물에 독성이 있기 때문에 폐수를 관개수용으로 사용하는 데에는 제한이 따름.
용존무기물	총고형물질, 전기전도도, Na, Ca, Mg, Cl, B 등	<ul style="list-style-type: none"> 염분이 과다하게 포함된 물은 일부 작물에 피해를 줄 수 있으며, Cl, Na, B 같은 이온성분은 일부 작물에 독성이 있음. Na은 토양의 투수성에 문제를 일으킬 수 있음.
잔류염소	유리 및 결합염소	<ul style="list-style-type: none"> 일부 민감한 작물들은 유리염소가 과다(Cl_2 0.05mg/l 이상) 하면 잎이 고사되는 피해를 입을 수 있음. 그러나 폐수 재이용수에는 염소가 대부분 결합형태로 존재하기 때문에 작물에 위해를 일으키지 않음. 일부에서는 지하수 오염 관점에서 염소계 유기화합물의 독성에 관한 관심을 가지고 있음.

<자료 : Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater, A Guidance Manual, 1984, State of California>

<Table 34> Standards Set by the WHO for Using Wastewater for Agriculture and Fisheries

재이용도	노출집단	장내 기생충 (알의 수/ℓ)	대장균(기하 평균, 수/100mℓ)	하수처리 수준
<ul style="list-style-type: none"> • 날것으로 먹는 곡물의 관개용수 • 운동장 관수용수 • 공원 관개용수 	작업자 소비자 일반 대중	≤1	≤1,000	미생물기준을 충족시킬 수 있는 처리시설 또는 안정지
<ul style="list-style-type: none"> • 곡물 사료작물 용수 • 공업용 작물 • 목초지 및 나무 등의 관개용수 	작업자	≤1	기준치 없음	안정지에서 8~10일 정도 체류시키거나 기생충·대장균을 제거할 수 있는 처리
<ul style="list-style-type: none"> • B급작물 재배용수 (국부적인 관개용수로 작업자나 대중에게 노출될 우려가 없는 경우) 	없음	적용 안됨	적용 안됨	관수기술별로 요구하는 전처리(1차처리만은 안됨)

※ B급작물: 올리브, 땅콩, 밤, 아몬드 등

<자료 : Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture, 1989, WHO>

<Table 35> Quality Standards for Agricultural Water in other Countries

Parameter	단위	캐나다	미 국	대 만	헝가리	중 국			사우디	튀니지
						논	밭	야채밭		
pH	-	-	-	6.0~9.0	6.5~8.5	5.5~8.5	5.5~8.5	5.5~8.5	6.0~8.4	6.5~8.5
TDS	g/ℓ	0.5~3.5	-	-	-	1~2	1~2	1~2	-	-
Electrical Conductivity	dS/m	-	-	0.75	-	-	-	-	-	0.7
SS	mg/ℓ	-	-	100	-	150	200	100	10	30
Chloride	mg/ℓ	-	-	175	-	250	-	250	280	2000
Sulfate	mg/ℓ	-	-	200	-	-	-	-	-	-
TKN	mg/ℓ	-	-	1	-	12	30	30	-	-
BOD	mg/ℓ	-	-	-	80	150	80	10	-	-
COD	mg/ℓ	-	-	-	-	200	300	150	-	90
Al	μg/ℓ	-	5000	5000	5000	-	-	-	5000	-
As	μg/ℓ	100	100	1000	200	50	100	50	100	100
Ba	μg/ℓ	-	-	-	40000	-	-	-	-	-
B(total)	μg/ℓ	0.5~0.6	0.75	0.75	0.7	1~3	1~3	1~3	0.5	3
Cd	μg/ℓ	10	10	10	20	5	5	5	10	10
Cr(total)	μg/ℓ	100	100	100	50000	100	100	100	100	100
Co	μg/ℓ	50	50	50	50	-	-	-	50	100
Cu	μg/ℓ	200~1000	200	200	2000	1000	1000	1000	400	500
F(total)	μg/ℓ	1	-	-	1	2~3	2~3	2~3	2	3
Fe	μg/ℓ	-	-	-	100	-	-	-	5000	5000
Pb	μg/ℓ	200	5000	100	1000	100	100	100	100	1000
Li	μg/ℓ	-	2500	2500	2500	-	-	-	70	-
Mn	μg/ℓ	-	200	2000	5000	-	-	-	200	500
Hg	μg/ℓ	-	-	5	10	1	1	1	1	1
Mo	μg/ℓ	10~50	10	10	-	-	-	-	100	-
Ni	μg/ℓ	200	200	500	1000	-	-	-	20	200
Se	μg/ℓ	20~50	20	20	-	20	20	20	20	50
Ag	μg/ℓ	-	-	-	100	-	-	-	-	-
V	μg/ℓ	100	100	10000	5000	-	-	-	-	-
Zn	μg/ℓ	1~5	2	2	5	2	2	2	4	2
Cyanide(total)	μg/ℓ	-	-	-	10000	500	500	500	50	-
Surfactant (ABS)	μg/ℓ	-	-	5000	50000	5000	5000	5000	-	-
Oil, grease	μg/ℓ	-	-	5000	8000	-	-	-	absent	-
Benzene	μg/ℓ	-	-	-	2500	2500	2500	2500	-	-
Tar	μg/ℓ	-	-	-	30000	-	-	-	-	-
Petroleum	μg/ℓ	-	-	-	500	1000	1000	1000	-	-
Methanol	μg/ℓ	-	-	-	100	-	-	-	-	-
trichloroacetyl aldehyde	μg/ℓ	-	-	-	-	1000	1000	1000	-	-
Propion aldehyde	μg/ℓ	-	-	-	-	500	500	500	-	-
Phenol	μg/ℓ	-	-	-	-	-	-	-	2000	-

第5章 濟州地域 下水處理場 放流水의 水質評價

第1節 下水處理場 現況 및 水質

1. 市 地域(濟州市 및 西歸浦市)

2002년 말 현재 제주도 내에 운영중인 하수종말처리장은 제주시 도두를 비롯하여 서귀포시 중문(서부) 및 보목(동부)의 3개소이다. 이들 하수처리장에서는 생물학적 처리방식인 표준활성슬러지법에 의해 하수를 처리하고 있으며, 시설용량은 평균 165천m³/일이다(Figure 2 참조). 하수처리장 집수구역 내에서 발생하는 하수량은 1일 122,735m³이고, 이 중 91%인 111,491m³/일이 차집되어 처리되고 있다.

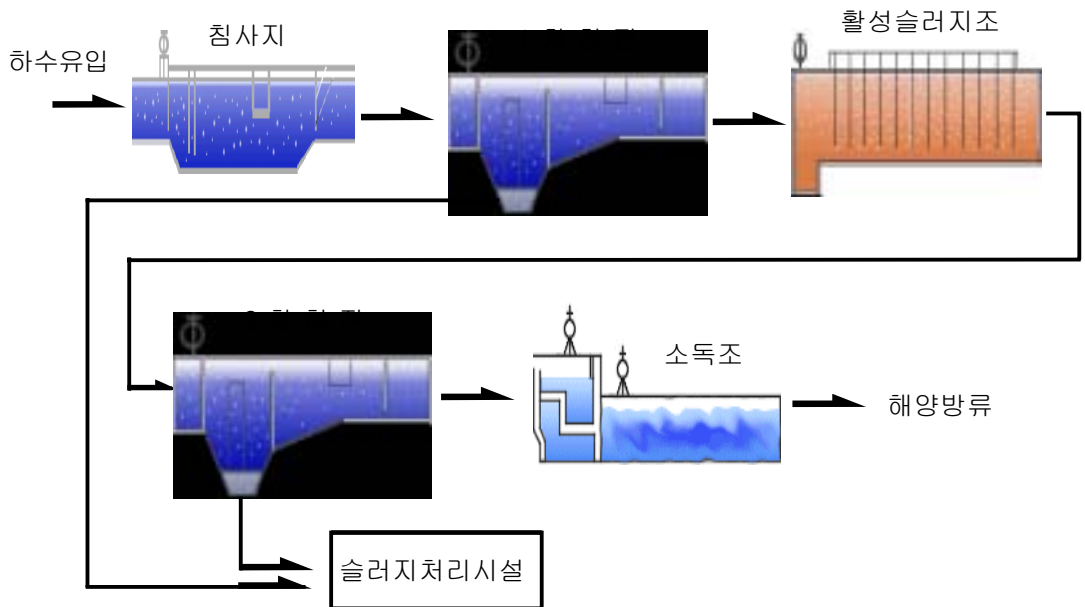
<Table 36> Wastewater Treatment Plants in Jeju

(Unit : m³/day)

처리장별	위 치	처리방법	시 설 용 량	하수 발생량	처리량
계	3개소		165,000	122,735	111,491
제 주	제주시 도두2동	표준활성슬러지	130,000	99,668	95,570
서귀포 동부	서귀포시 보목동	"	20,000	13,937	10,920
서귀포 서부	서귀포시 색달동	"	15,000	9,130	5,001

<자료 : 2002년 하수종말처리시설 운영결과, 제주도 내부자료>

하수종말처리장별 하수 처리현황은(Table 36) .제주시 도두처리장은 시설용량이 130,000m³/일이며, 처리구역 내에서 발생하는 99,668m³/일의 하수 중 95,570m³/일(96%)을 처리한 후 해안으로부터 834m 떨어진 곳까지 매설된 해양방류관을 통해 해역으로 배출하고 있다.



<Figure 2> Water Disposal Process in Wastewater Treatment Plants in Jeju



서귀포시 보목(동부) 처리장은 1일 20,000m³/일을 처리할 수 있는 시설이 갖춰져 있고, 1일 평균 10,920m³의 하수가 처리되어 해안에서 1,096m 떨어진 곳으로 보내져 방류되고 있다. 서귀포시 중문(서부) 처리장의 시설용량은 12,000m³/일이고, 1일 평균 5,001m³의 하수가 처리된 후 방류되고 있다(해양 방류관 길이 1,040m).

2. 郡 地域 下水處理

북제주군과 남제주군 지역 즉, 군 지역의 하수를 처리하기 위한 처리장 건설사업은 지난 1997년부터 추진되고 있다. 이 사업은 3,049억원을 투자하여 군 지역 5개소에 총 44,000m³/일의 하수를 차집해 처리할 수 있는 시설을 갖추고 있는데 2006년에 완공될 예정이며, 2003년 6월 현재 60%의 공정율을 보이고 있다. 북제주군 지역에는 금능과 월정처리장 2개소가 건설되고 있는데, 이들 2개소의 시설용량은 각각 1일

12,000m³이 된다. 남제주군 지역에는 성산·태흥·하모처리장 3개소가 건설되고 있고, 시설용량은 태흥과 하모처리장은 각각 8,000m³/일이며, 성산처리장은 4,000m³/일 규모이다. 이들 군 지역 하수처리장이 완공되는 2006년에는 기존 하수처리장 3개소에서 방류되는 방류수를 포함해 1일 약 140,000m³의 방류수가 해역으로 방류될 것으로 전망된다.

3. 下水 流入量 變化

제주지역에 운영 중인 3개 하수종말처리장의 하수처리 현황을 파악하기 위하여 2001년 1월부터 2003년 6월까지 월별 하수 유입량 및 수질, 방류수의 수질에 대하여 조사하였다(Table 37). 조사기간 동안 하수처리장별 하수 유입량을 보면, 제주시 도두처리장의 경우 최대 114,181 m³/일, 최소 75,867m³/일, 평균 90,638m³/일을 나타냈다. 서귀포동부처리장(보목)은 최대 15,101m³/일, 최소 10,030m³/일, 평균 11,456m³/일이었으며, 서귀포서부처리장(중문)의 경우에는 최대 6,194m³/일, 최소 3,657m³/일, 평균 4,551m³/일을 나타내었다.



<Table 37> Sewage Inflow in Wastewater Treatment Plants in Jeju

(Unit : m³/day)

구 분	제 주	서귀동부	서귀서부	기 간
최 대	114,181	15,101	6,194	2001. 1 ~ 2003. 6
평 균	90,638	11,456	4,551	2001. 1 ~ 2003. 6
최 소	75,867	10,030	3,657	2002. 1 ~ 2003. 6

2001~2003. 6월까지 3개 하수처리장으로 유입된 분기별 하수유입량

을 보면, 하절기가 포함되는 3/4분기에 하수 유입량이 전반적으로 증가하고 있음을 알 수 있는데, 이는 여름철 물 사용량의 증가에 따른 것으로 해석된다(Table 38). 또한, 분기별 하수 유입량 변화를 보면, 1/4분기에서 3/4분기로 가면서 유입량이 증가해 3/4분기에 최고치에 도달했다가 4/4분기에는 감소하는 현상을 3개 처리장에서 모두 나타냈다. 이러한 현상은 봄철부터 물 사용량 증가세가 이어져 가을철까지 지속되다가 겨울철로 접어들면서 감소하고 있음을 간접적으로 나타내 주고 있는 것이라 할 수 있다.

2001년 1월부터 2003년 6월까지 3개 하수처리장으로 유입된 하수량의 변화를 살펴보면, 서귀포지역 2개 처리장은 거의 일정한 수준을 유지하고 있는 반면, 제주시 도두처리장은 2001년에서 2003년으로 오면서 하수 유입량이 뚜렷하게 증가하고 있다(Figure 3 참조), 2002년 1년 동안 제주시 도두처리장으로 유입된 하수량은 2001년 대비 13,451m³/일이 증가하여 약 16%의 증가율을 나타내었는데, 이러한 현상은 상주인구의 증가에 따른 급수량 증가, 하수관거 보급률 향상에 따른 하수 차집량 증가, 강수량 증가와 같은 복합적인 요인에 기인한 것으로 판단된다(Table 39 참조).

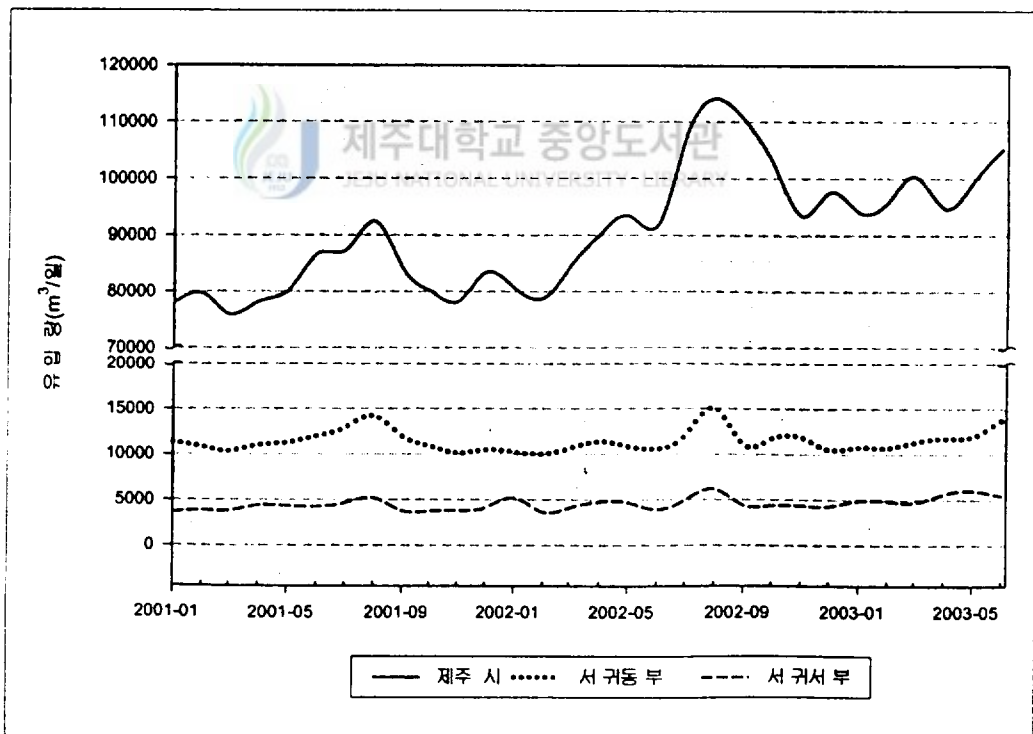
<Table 38> Quarterly Sewage Inflow in Wastewater Treatment Plants in JeJu

(Unit : m³/day)

년도별	분기	제주시	서귀동부	서귀서부
전체평균		90,638	11,456	4,551
2001	1/4	77,790	10,847	3,787
	2/4	81,707	11,415	4,346
	3/4	87,908	13,022	4,560
	4/4	80,571	10,512	3,912
	평균	81,994	11,449	4,151
2002	1/4	81,327	10,310	4,346
	2/4	91,823	10,937	4,462
	3/4	110,733	12,736	5,191
	4/4	97,896	11,382	4,370
	평균	95,445	11,341	4,592
2003	1/4	96,829	10,926	4,820
	2/4	99,796	12,468	5,712
	평균	98,313	11,697	5,266

<Table 39> Water Supply and Sewage in JeJu City

구 분	2001년	2002년	비 고
하수 유입량(m ³ /일)	81,994	95,445	증 13,451m ³ /일
급수인구(명)	285,097	290,664	증 5,567명
상수도 급수량(m ³ /일)	95,207	96,791	증 1,584m ³ /일
연간 강우량(mm/년)	1,388	1,704	증 316mm
하수관거 보급률(%)	61.6	64.9	증 3.3%



<Figure 3> Sewage Inflow Variation in three Wastewater Treatment Plants

4. 流入下水 및 放流水의 水質

하수처리장에서 발생하는 방류수를 재이용하기 위한 최적의 방안을 마련하기 위해서는 무엇보다도 처리장으로 유입되는 하수와 처리공정을 거친 후 해양으로 방류되는 방류수의 수질에 대한 장기간의 모니터링이 이루어져야 한다. 전술한 바와 같이, 운영 중인 3개 하수처리장은 하절기에 하수 유입량이 증가할 뿐만 아니라, 특히 제주시 도두처리장은 꾸준히 증가하는 현상을 나타내고 있기 때문에 처리장으로 유입되는 하수량의 변화에 따른 방류수의 수질변화는 재이용 방안마련에 매우 중요한 요인으로 작용할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 운영 중인 3개 하수처리장의 유입 하수와 방류수의 수질을 파악하기 위하여 2001. 1 ~ 2003. 6월까지 5개 항목(BOD, COD, SS, T-P, T-N)에 대해 각 처리장에서 자체 검사한 월평균 성적을 정리해 분석하였다. 또한, 2001. 8 ~ 2002. 4월까지 3개 하수처리장의 유입하수와 방류수에 포함된 일반 오염물질(pH, BOD, COD, Cl, NO₃-N, 대장균군 등)과 유해물질(Cd, As, TEC, Cr 등)에 대한 분석도 실시하였다.

1) 유입하수의 수질

본 연구에서는 제주시·서귀포동부·서귀포서부 하수처리장에서 하수 및 방류수에 대해 자체 분석한 월평균 성적자료(2001. 1~2003. 6)를 활용하여 유입수와 방류수의 전반적인 수질상태를 파악하였다(Table 40 참조). 하수처리장으로 유입된 하수 즉, 처리하기 이전 하수의 수질을 살펴보면, 제주시 도두처리장이 서귀포시 동부와 서부처리장보다 5개 항목 값이 전반적으로 높은 상태를 유지하고 있다.

BOD(생물학적산소요구량)는 제주시 도두처리장 175.0~79.2mg/ℓ (평균 135.1mg/ℓ)였고, 서귀포시 동부처리장은 155.8~81.8mg/ℓ (평균 110.2mg/ℓ), 서귀포시 서부처리장 180.5~96.5mg/ℓ (평균 124.3mg/ℓ)를 각각

나타내었다. COD(화학적산소요구량)는 제주시 도두처리장이 99.3 ~ 46.6mg/ℓ (평균 68.2mg/ℓ)이었고, 서귀포시 동부처리장은 60.3~38.1mg/ℓ (평균 46.9mg/ℓ), 서귀포시 서부처리장 95.3~61.6mg/ℓ (평균 69.9mg/ℓ)를 각각 나타내 평균치에서 서귀포시 서부처리장과 제주시 도두처리장은 큰 차이를 나타내지고 않고 있다. SS(부유물질)는 제주시 도두처리장이 319.6~105.0mg/ℓ (평균 178.8mg/ℓ)이었고, 서귀포시 동부처리장은 115.1~70.4mg/ℓ (평균 91.0mg/ℓ), 서귀포시 서부처리장 139.5~79.9mg/ℓ (평균 97.9mg/ℓ)를 각각 나타내 제주시 도두처리장이 타 처리장보다 전반적으로 높은 편이다.

T-N(총질소)은 제주시 도두처리장이 71.4~34.2mg/ℓ (평균 49.4mg/ℓ)이었고, 서귀포시 동부처리장은 36.2~18.8mg/ℓ (평균 26.7mg/ℓ), 서귀포시 서부처리장 59.9~26.0mg/ℓ (평균 36.2mg/ℓ)를 각각 나타내었다. T-P(총인)은 제주시 도두처리장이 5.2~2.1mg/ℓ (평균 3.9mg/ℓ)이었고, 서귀포시 동부처리장은 3.0~1.5mg/ℓ (평균 2.4mg/ℓ), 서귀포시 서부처리장 4.8~2.7mg/ℓ (평균 3.6mg/ℓ)를 각각 나타내었다.

최대농도를 기준으로 했을 때, 3개 하수처리장의 오염물질 제거율을 보면, BOD와 SS는 아주 양호한 편이지만 T-N과 T-P는 50% 이하를 보이고 있다. 제주시 도두처리장의 경우 BOD 92%, COD 86%, SS 96%, T-N 47%, T-P 60%의 제거율을 나타내고 있고, 서귀포 동부처리장은 BOD 93%, COD 81%, SS 94%, T-N 48%, T-P 40%이며, 서귀포 서부처리장의 경우는 BOD 90%, COD 78%, SS 91%, T-N 26%, T-P 31%를 나타내 3개 처리장 중 제거율이 가장 낮았다.

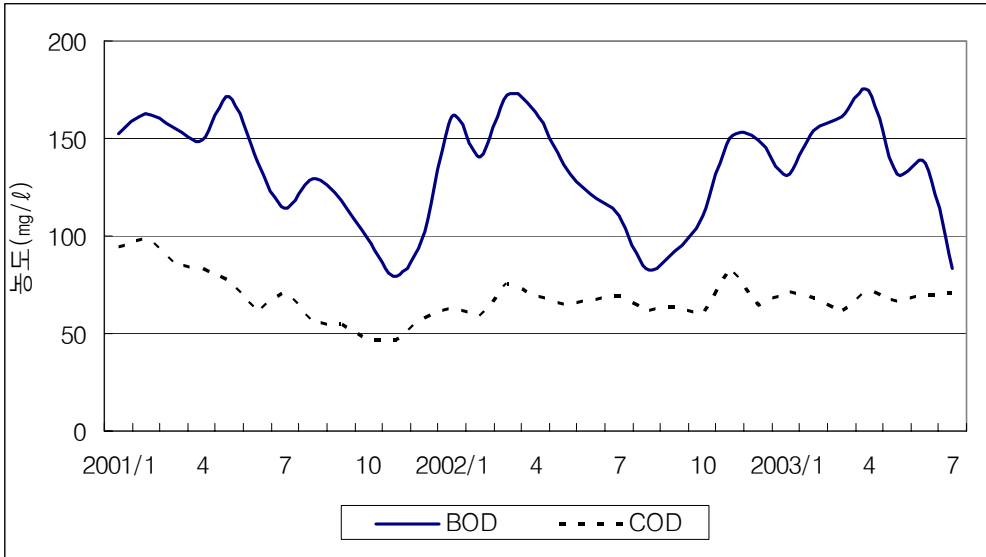
<Table 40>Quality of Sewage and Treated Water in Wastewater Plants in Jeju(2001. 1~2003. 6)

구 분		유 입 하 수(mg/ℓ)					방 류 수(mg/ℓ)				
		BOD	COD	SS	T-N	T-P	BOD	CO D	SS	T-N	T- P
제주시 도두	최대	175.0	99.3	319.6	71.4	5.2	14.6	13.9	12.0	37.9	2.1
	평균	135.1	68.2	178.8	49.4	3.9	10.0	9.9	6.4	24.4	1.6
	최소	79.2	46.6	105.0	34.2	2.1	4.2	7.5	2.4	13.2	0.8
서귀포 동부	최대	155.8	60.3	115.1	36.2	3.0	11.4	11.7	6.6	18.7	1.8
	평균	110.2	46.9	91.0	26.7	2.4	7.1	7.8	3.8	14.4	1.4
	최소	81.8	38.1	70.4	18.8	1.5	4.6	5.6	1.8	10.2	1.1
서귀포 서부	최대	180.5	95.3	139.5	59.9	4.8	17.4	21.1	13.1	44.4	3.3
	평균	124.3	69.9	97.5	36.2	3.6	11.8	15.8	8.3	27.3	2.7
	최소	96.5	51.6	79.9	26.0	2.7	5.8	11.8	3.6	19.1	2.1

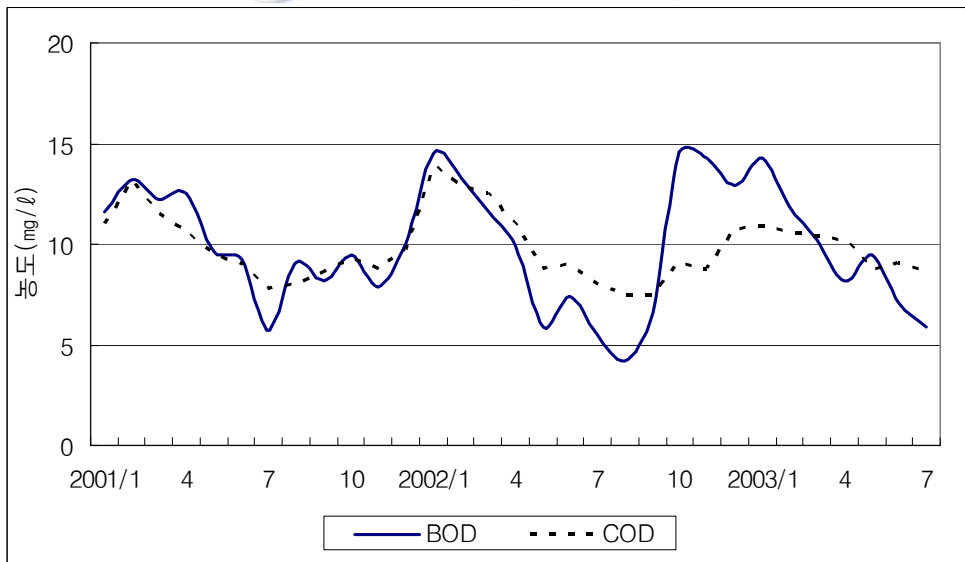
※ 위 성적은 제주시·서귀포동부·서귀포서부 처리장에서 자체 분석한 월평균 성적을 정리한 것이므로 본 연구과정에서 수행한 수질검사 성적과는 상이할 수 있음.

2001.1~2003.6월까지 유입하수의 수질(5개 항목) 변화를 살펴보면, 전반적으로 여름~가을철 기간 동안이 농도가 낮고 겨울~봄철 기간이 다소 높은 농도를 보이고 있다(Figure4~7 참조). 여름~가을철 동안 BOD를 비롯한 5개 항목의 농도가 낮은 것은 이 기간 동안 수온이 약 24℃까지 상승하므로 하수 중의 미생물의 활성도가 높아 하수가 처리장으로 유입되는 과정에서 생물학적 분해가 일어날 수 있고, 또한 하

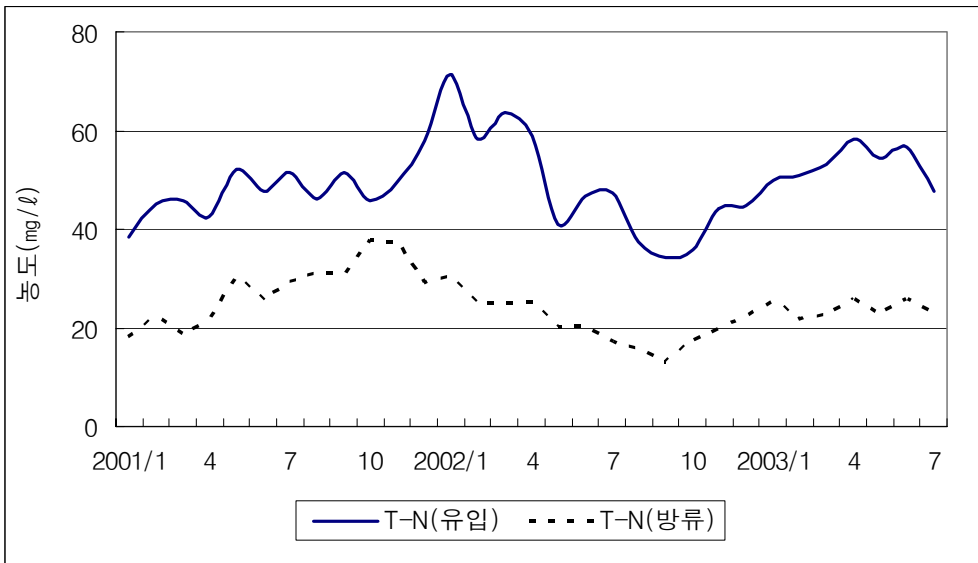
절기 강우의 유입으로 하수가 희석됨으로써 나타나는 현상으로 사료된다.



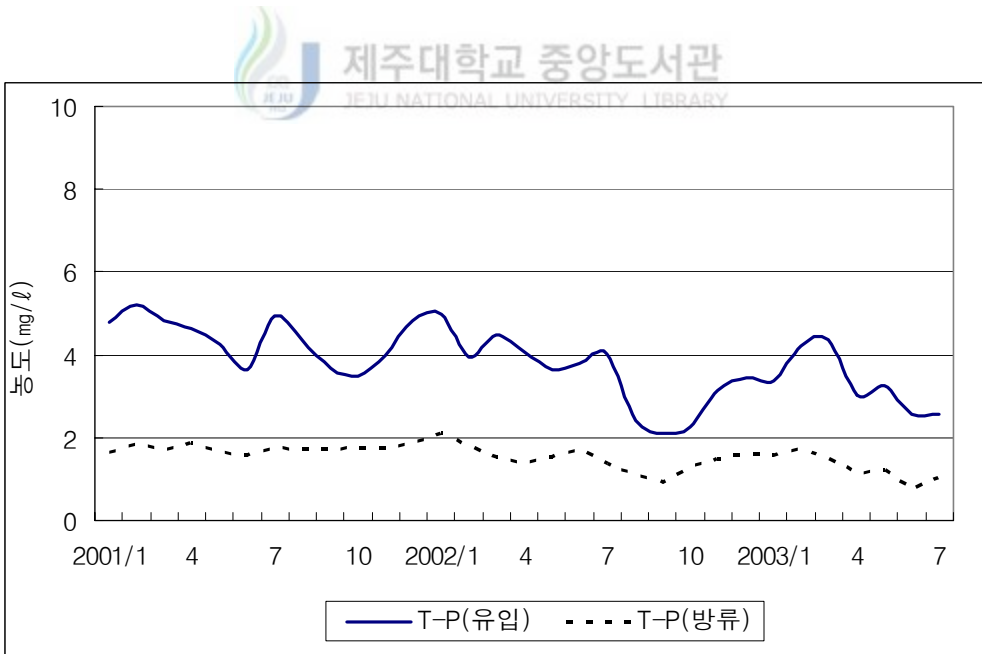
<Figure 4> Monthly Variation in the Water Quality of Sewage in Dodu Plant



<Figure 5> Monthly Variation in the Quality of Treated Water in Dodu Plant



<Figure 6> Monthly Variation in the Water Quality of Sewage and Treated Water in Dodu Plant



<Figure 7> Monthly Variation in Water Quality of Sewage and Treated Water in Dodu Plant

2) 방류수의 수질

하수처리장별 유입하수와 방류수에 포함된 일반 오염물질을 비롯한 미량성분 30개 항목의 농도를 파악을 하기 위해 2001. 8~2002. 4월까지 월 1회(중금속류는 4회 분석)씩 분석한 결과를 처리장별로 살펴보면 다음과 같다. 수질분석은 수질오염공정시험법에 의해 제주도보건환경연구원과 제주대학교 환경공학과에서 이루어졌으며, 분석용 시료는 매월 특정 시점에서 채수가 이루어졌기 때문에 항목별 농도는 하수처리장별로 자체 분석한 결과와는 다소 상이하게 나타날 수 있다.

(1) 제주시 도두처리장

조사기간 동안 실시된 제주시 도두처리장의 방류수에 대해 본 연구에서 실시한 수질분석 결과를 보면(Table 41 참조), BOD의 경우 3.7~20.0mg/ℓ (평균 13.8mg/ℓ)이고, COD는 6.8~16.4mg/ℓ (평균12.2mg/ℓ), SS는1.8~13.3mg/ℓ (평균 5.3mg/ℓ), T-N은 13.4~24.9mg/ℓ (평균 19.5mg/ℓ), T-P는 0.6~1.9mg/ℓ (평균 1.4mg/ℓ)를 각각 나타내었다. 또한, 질산성질소는 2.1~13.5mg/ℓ (평균 6.0mg/ℓ)이었으며,

염소이온은 492.7~1,082.9mg/ℓ (평균 730.0mg/ℓ), 나트륨은 23.4~50.1mg/ℓ (평균32.0mg/ℓ), 칼슘은 15.1~23.8mg/ℓ (평균 19.7mg/ℓ), 마그네슘은 5.0~11.7mg/ℓ (평균9.7mg/ℓ), 칼륨은20.3~46.9mg/ℓ (평균30.7mg/ℓ),황산이온은10.8~62.6mg/ℓ (평균 40.3mg/ℓ), 규산염은 15.0~21.7mg/ℓ (평균 18.1mg/ℓ)을 각각 나타냈다. 대장균군(100ml 당)은 97~1,400개(평균 600개)가 검출되었으며, TEC(트리클로로에틸렌)을 비롯하여 페놀, 유기인, 비소, 시안, 카드뮴, 6가크롬, 수은 등 특정유해물질은 검출되지 않았다. 제주시 도두처리장에서 2001. 1~2003. 6월까지 검사된 방류수의 수질변화를 보면, BOD를 비롯한 5개 항목의 농도가 여름~가을철 기간이 낮고 겨울~봄철 기간이 다소 높은 경향을 나타내고 있어 유입하수의 월별 수질변화 경향과 일치하고 있다(Figure4~ 7 참조). 제주시 도두처리장의 방류수 수질을 종합해 보면, 특정유해물질은

검출되지 않고 있으나 BOD를 비롯한 일반 오염물질 성분들은 농도의 변화폭이 크게 나타나고 있으며, 우리나라 지하수법상의 농업용수 수질기준과 비교했을 때 염소이온과 BOD가 기준을 초과하고 있어, 방류수를 처리하지 않은 상태로 재이용하는 것은 곤란하다.

(2) 서귀포 동부처리장

조사기간 동안 실시된 서귀포 동부처리장의 방류수에 대해 연구를 실시한 수질분석 결과를 보면(Table42 참조), BOD의 경우 2.9~26.5mg/l (평균 10.0mg/l)이고, COD는 5.0~17.0mg/l (평균 9.5mg/l), SS는 2.3~7.0mg/l (평균 3.8mg/l), T-N은 14.2~21.9mg/l (평균 17.1mg/l), T-P는 1.1~2.7mg/l (평균 1.7mg/l)를 각각 나타내었다. 또한, 질산성질소는 4.6~16.6mg/l (평균 8.0mg/l)이었으며, 염소이온은 382.2~721mg/l (평균 529.6mg/l), 나트륨은 26.2~39.9mg/l (평균 32.0mg/l), 칼슘은 10.4~15.1mg/l (평균 12.7mg/l), 마그네슘은 5.4~9.9mg/l (평균 8.0mg/l), 칼륨은 9.6~31.9mg/l (평균 15.8mg/l), 황산이온은 25.9~42.4mg/l (평균 31.8mg/l), 규산염은 12.2~18.3mg/l (평균 15.4mg/l)를 각각 나타냈다. 대장균군(100ml 당)은 290~3,200개(평균 930개)가 검출되었으며, TCE(트리클로로에틸렌)을 비롯하여 페놀, 유기인, 비소, 시안, 카드뮴, 6가크롬, 수은 등 특정유해물질은 검출되지 않았다. 서귀포 동부처리장의 경우도 제주시 도두처리장의 경우처럼 특정유해물질은 검출되지 않고 있으나 BOD를 비롯한 일반 오염물질 성분들은 농도의 변화폭이 크게 나타나고 있으며, 우리나라 지하수법상의 농업용수 수질기준과 비교했을 때 염소이온과 BOD가 기준을 초과하고 있어 방류수를 처리하지 않은 상태로 재이용하는 것은 곤란하다.

(3) 서귀포 서부처리장

조사기간 동안 실시된 서귀포 서부처리장의 방류수에 대해 연구를 실시한 수질분석 결과를 보면(Table43 참조), BOD의 경우 5.4~15.0mg/l (평균 8.6mg/l)이고, COD는 11.6~24.0mg/l (평균 15.0mg/l), SS는

5.0~18.6mg/ℓ (평균 10.9mg/ℓ), T-N은 26.2~34.0mg/ℓ (평균 29.0mg/ℓ), T-P는 1.6~3.0mg/ℓ (평균 2.5mg/ℓ)를 각각 나타내었다. 또한, 질산성질소는 7.5~27.0mg/ℓ (평균 15.3mg/ℓ)이었으며, 염소이온은 117.6~3,523.9mg/ℓ (평균 643.2mg/ℓ) 이고, 나트륨 21.3~41.5mg/ℓ (평균 31.4mg/ℓ), 칼슘은 12.3~14.0mg/ℓ (평균 13.1mg/ℓ), 마그네슘은 6.3~8.2mg/ℓ (평균 6.9mg/ℓ), 칼륨은 12.9~34.5mg/ℓ (평균 24.5mg/ℓ), 황산이온은 15.3~29.0mg/ℓ (평균 21.3mg/ℓ), 규산염은 21.8~23.7mg/ℓ (평균 22.5mg/ℓ)를 각각 나타냈다. 대장균군(100ml 당)은 42~70개(평균 40개)가 검출되었으며, 납(Pb)이 0.1mg/ℓ 검출된 것을 제외하면 TCE(트리클로로에틸렌)을 비롯하여 페놀, 유기인, 비소, 시안, 카드뮴, 6가크롬, 수은 등 특정유해물질은 검출되지 않았다. 서귀포 서부처리장의 경우도 제주도 두처리장의 경우처럼 특정유해물질은 검출되지 않고 있으나 BOD를 비롯한 일반 오염물질 성분들은 농도의 변화폭이 크게 나타나고 있으며, 우리나라 지하수법상의 농업용수 수질기준과 비교했을 때 염소이온, BOD, 질산성질소가 기준을 초과하고 있어 방류수를 처리하지 않은 상태로 재이용하는 것은 곤란한 실정에 있다. 제주지역 3개 하수처리장의 평균적인 방류수의 수질은 하수도법상의 수질기준 이내에서 방류되고 있으며, 전국 평균치와 비슷한 수준을 유지하고 있다.(Table 44 참조)

(4) 전기전도도의 변화

제주시 하수처리장 방류수를 대상으로 2002. 3~2003. 7월까지 월 1회 전기전도도를 측정된 결과를 나타낸 것이다. 조사기간 동안 방류수의 전기전도도는 2,000~5,000 μ S/cm 범위에서 비교적 큰 폭의 변동을 나타냈다. 2002년과 2003년 5월에 높은 피크를 보였으며, 2002년과 2003년 7월, 그리고 2003년 3월에 뚜렷하게 낮은 값을 보였다. 이와 같이 전기전도도가 큰 폭의 변화를 나타내고 있는 것은 만조시 해수면보다 낮은 위치에 매설된 하수 차집관거 및 맨홀로 해수가 유입하거나 생선횃집에서 사용하는 해수가 하수에 혼합되어 유입하는데서 비롯되

는 것으로 보인다.(Figure 8 참조)

<Table 41>Quality Analysis Results of Sewage and Treated Water in Dodu Sewage Plant in Jeju City (2001.8~2002.4)

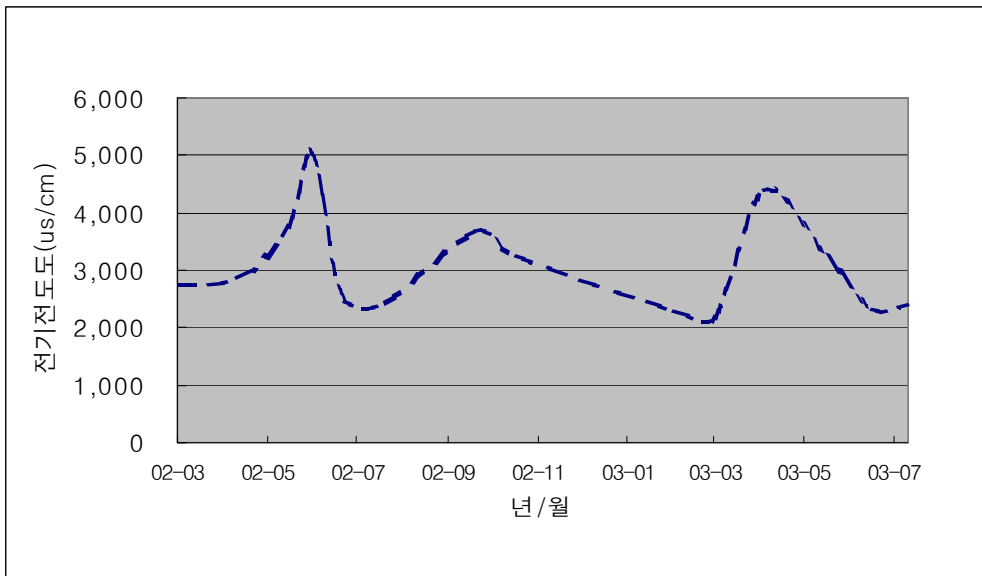
항 목	유입하수			방류수		
	최 대	최 소	평 균	최 대	최 소	평 균
pH	7.3	6.5	7.0	7.4	6.2	7.0
BOD(mg/ℓ)	310.0	92.5	181.3	20.0	3.7	13.8
COD(mg/ℓ)	114.0	42.0	73.2	16.4	6.8	12.2
SS(mg/ℓ)	225.0	56.0	117.6	13.3	1.8	5.3
Cl ⁻ (mg/ℓ)	1,144.0	382.2	643.7	1,082.9	492.7	730.0
phenol(mg/ℓ)	-	-	-	-	-	-
유기인(mg/ℓ)	-	-	-	-	-	-
TCE(mg/ℓ)	-	-	-	-	-	-
PCE(mg/ℓ)	-	-	-	-	-	-
NO ₃ ⁻ -N(mg/ℓ)	1.5	0.1	0.4	13.5	2.1	6.0
T-N(mg/ℓ)	56.8	13.5	40.9	24.9	13.4	19.5
T-P(mg/ℓ)	9.0	1.7	4.6	1.9	0.6	1.4
대장균군(개/100ml)	3.0E+05	1.0E+03	1.3E+05	1,400	97	600
As(mg/ℓ)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ca(mg/ℓ)	24.9	14.1	19.8	23.8	15.1	19.7
Cd(mg/ℓ)	-	-	-	-	-	-
CN(mg/ℓ)	-	-	-	-	-	-
Cr ⁶⁺ (mg/ℓ)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cu(mg/ℓ)	-	-	-	-	-	-
HCO ₃ ⁻ (mg/ℓ)	255.1	139.4	222.5	131.9	53.5	87.6
Hg(mg/ℓ)	-	-	-	-	-	-
K(mg/ℓ)	52.8	19.9	32.7	46.9	20.3	30.7
Mg(mg/ℓ)	11.5	5.1	9.4	11.7	5.0	9.7
Na(mg/ℓ)	51.3	24.8	33.9	50.1	23.4	32.0
Pb(mg/ℓ)	-	-	-	0.1	0.1	0.1
SiO ₂ (mg/ℓ)	23.0	14.9	19.1	21.7	15.0	18.1
SO ₄ ²⁻ (mg/ℓ)	63.1	18.9	41.5	62.6	10.8	40.3
Zn(mg/ℓ)	0.2	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0

<Table 42> Quality Analysis Results of Sewage and Treat Water in Eastern Sewage Plant in Seogwipo City(2001.8~2002.4)

항 목	유입하수			방류수		
	최 대	최 소	평 균	최 대	최 소	평 균
pH	7.2	6.6	6.9	7.3	6.1	6.9
BOD(mg/ℓ)	260.0	100.0	176.9	26.5	2.9	10.0
COD(mg/ℓ)	81.2	54.0	68.1	17.0	5.0	9.5
SS(mg/ℓ)	195.0	14.0	85.1	7.0	2.3	3.8
Cl ⁻ (mg/ℓ)	1,002.8	324.3	573.4	721.0	382.2	529.6
phenol(mg/ℓ)	-	-	-	-	-	-
유기인(mg/ℓ)	-	-	-	-	-	-
TCE(mg/ℓ)	-	-	-	-	-	-
PCE(mg/ℓ)	-	-	-	-	-	-
NO ₃ ⁻ -N(mg/ℓ)	1.6	0.1	0.4	16.6	4.6	8.0
T-N(mg/ℓ)	73.6	15.6	36.2	21.9	14.2	17.1
T-P(mg/ℓ)	4.8	2.1	3.0	2.7	1.1	1.7
대장균군(개/100ml)	2.8E+05	8.2E+02	1.1E+05	3,200	290	930
As(mg/ℓ)	-	-	-	-	-	-
Ca(mg/ℓ)	17.1	10.3	13.4	15.1	10.4	12.7
Cd(mg/ℓ)	-	-	-	-	-	-
CN(mg/ℓ)	-	-	-	-	-	-
Cr ⁶⁺ (mg/ℓ)	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cu(mg/ℓ)	-	-	-	-	-	-
HCO ₃ ⁻ (mg/ℓ)	204.5	130.7	177.1	75.9	38.6	55.1
Hg(mg/ℓ)	-	-	-	-	-	-
K(mg/ℓ)	32.4	9.9	16.7	31.9	9.6	15.8
Mg(mg/ℓ)	9.5	5.0	7.9	9.9	5.4	8.0
Na(mg/ℓ)	39.5	27.0	31.9	39.9	26.2	32.0
Pb(mg/ℓ)	-	-	-	0.0	0.0	0.0
SiO ₂ (mg/ℓ)	22.4	20.2	21.6	18.3	12.2	15.4
SO ₄ ²⁻ (mg/ℓ)	28.7	1.2	20.2	42.4	25.9	31.8
Zn(mg/ℓ)	0.2	0.1	0.1	0.2	0.0	0.1

<Table 43> Quality Analysis Results of Sewage and Treated Water in Western Sewage Plant in Seogwipo City (2001.8~2002.4)

항 목	유입하수			방류수		
	최대	최소	평균	최대	최소	평균
pH	7.4	6.8	7.1	7.5	6.2	6.8
BOD(mg/ℓ)	400.0	90.0	185.0	15.0	5.4	8.6
COD(mg/ℓ)	102.0	40.0	63.8	24.0	11.6	15.0
SS(mg/ℓ)	104.0	56.0	77.8	18.6	5.0	10.9
염소이온(mg/ℓ)	3,728.7	85.1	615.0	3,523.9	117.6	643.2
phenol(mg/ℓ)	-	-	-	-	-	-
유기인(mg/ℓ)	-	-	-	-	-	-
TCE(mg/ℓ)	-	-	-	-	-	-
PCE(mg/ℓ)	-	-	-	-	-	-
NO ₃ ⁻ -N(mg/ℓ)	1.5	0.0	0.5	27.0	7.5	15.3
T-N(mg/ℓ)	66.9	23.3	39.0	34.0	26.2	29.0
T-P(mg/ℓ)	6.1	2.4	3.4	3.0	1.6	2.5
대장균군(개/100ml)	2.5E+05	9.6E+02	8.0E+04	700	42	400
As(mg/ℓ)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ca(mg/ℓ)	21.6	11.0	14.7	14.0	12.3	13.1
Cd(mg/ℓ)	-	-	-	-	-	-
CN(mg/ℓ)	-	-	-	-	-	-
Cr ⁶⁺ (mg/ℓ)	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cu(mg/ℓ)	-	-	-	-	-	-
HCO ₃ ⁻ (mg/ℓ)	326.0	206.6	255.6	87.3	41.1	61.0
Hg(mg/ℓ)	-	-	-	-	-	-
K(mg/ℓ)	33.9	11.5	24.2	34.5	12.9	24.5
Mg(mg/ℓ)	11.2	5.9	7.6	8.2	6.3	6.9
Na(mg/ℓ)	42.5	18.1	32.4	41.5	21.3	31.4
Pb(mg/ℓ)	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1
SiO ₂ (mg/ℓ)	23.9	22.3	23.0	23.7	21.8	22.5
SO ₄ ²⁻ (mg/ℓ)	21.8	10.4	17.7	29.0	15.3	21.3
Zn(mg/ℓ)	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0



<Figure 8> Variation in the Electric Conductivity of Treated in Jeju-si Sewage Plant

<Table 44> Quality Comparison of Water Discharged from Water Disposal Plants in Jeju and in the Main Land

구 분		BOD (mg/ℓ)	COD (mg/ℓ)	SS (mg/ℓ)	T-N (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)	대장균 균 수
수질기준	특정지역	10	40	10	20	2	1,000
	기타지역	20	40	20	60	8	3,000
제주지역 (평균)	제주	13.8	12.2	5.3	19.5	1.4	-
	서귀동부	10.0	9.5	3.8	17.1	1.7	-
	서귀서부	8.6	15.0	10.9	29.0	2.5	-
전국 (평균)	2001년	11.6	13.4	8.8	21.6	1.3	-
	2002년	10.9	13.2	8.1	20.9	1.3	-

※ 제주지역은 기타지역의 수질기준이 적용되며, 대장균수는 2003. 1월부터 적용

※ 전국 평균자료는 환경부 2002년 하수종말처리장 운영결과 보고서 인용

3) 방류수의 수질평가

제주지역 3개 하수처리장의 방류수에 대한 수질분석결과를 종합해 보면, 다음과 같은 몇 가지 특징을 찾을 수 있다.

- ① 염소이온 농도는 최대 117.6~3,523.9mg/ℓ (평균치 범위 529.6~730.0 mg/ℓ) 범위를 나타내 내륙지역 하수처리장 방류수보다 훨씬 높으며, 지하수법상의 농업용수 수질기준(250mg/ℓ)을 초과.
- ② BOD(생물학적 산소요구량) 역시 26.5~2.9mg/ℓ (평균치 범위 8.6~13.8mg/ℓ)의 범위로서 지하수법상의 농업용수 수질기준(8mg/ℓ)을 초과
- ③ 대장균군(100ml 당)은 3,200~42개(평균치 범위 400~930개) 범위에서 검출되고 있으며, 질산성질소는 2.1~27mg/ℓ (평균치 범위 6.0~15.3mg/ℓ)을 나타내 지하수법상의 농업용수 수질기준을 초과하고 있지는 않다.
- ④ TCE(트리클로로에틸렌)을 비롯하여 페놀, 유기인, 비소, 시안, 카드뮴, 6가크롬, 수은 등 특정유해물질은 검출되지 않았다.
- ⑤ 규산염을 비롯하여 칼슘, 칼륨, 마그네슘, 나트륨 등의 이온성분들은 대체로 10~50mg/ℓ 범위의 농도를 나타내고 있다.
- ⑥ BOD를 비롯한 일반오염물질 성분들은 여름~가을철 기간이 낮고 겨울~봄철 기간이 다소 높은 계절변화의 경향을 나타내고 있다.

이상과 같은 방류수의 수질성상에 비추어 볼 때, 3차처리(고도처리)를 하지 않은 상태로 농업용수 및 조경용수로 재이용하는 것은 외국의 방류수 재이용 수질기준 또는 권장사항을 고려할 때, 공중보건상의 문제 뿐만 아니라, 농작물에 영향을 미칠 수 있기 때문에 곤란한 것으로 판단다. 따라서, 제주지역 하수처리장에서 발생하는 방류수를 재이용하기 위해서는 적절한 공정에 의한 3차처리가 요구되고 있다.

第6章 放流水 再利用을 爲한 Pilot Test

제주지역 3개 하수처리장의 방류수 수질에 대하여 연구를 실시한 결과, 방류수를 재처리하지 않은 상태로 농업용수나 조경용수 등으로 이용할 수 없는 것으로 파악됨에 따라 재용이 가능한 수질로 재처리하는 방안에 대한 연구를 실시하였다. 재처리 방안연구는 접근성, 방류수 발생량, 향후 방류수 재이용사업 등을 고려하여 제주시 도두하수처리장을 대상으로 Pilot Test를 1, 2차로 나누어 실시하였다.

第1節 Pilot Test의 概要

제주시 도두처리장을 비롯한 제주지역 3개 하수처리장에서 발생하고 있는 방류수에는 염소이온을 비롯하여 나트륨, 규산염, 칼슘, 마그네슘 등 이온성분의 함량이 높아 전체적으로 염분도가 높은 편이었다. 이러한 수질 특성을 고려할 때, 3차 처리에서 주 제거 대상물질은 염분으로 판단되며, 이를 달성하기 위해서는 분리막 공정에 의한 재처리가 가장 효과적인 방법이다.

① Pilot Test는 다음과 같이 1, 2차로 나누어 실시하였다. 1차 테스트는 분리막 시스템의 적용 가능성을 평가하기 위한 것으로 2002. 3.~2002. 5월까지 약 3개월간 수행하였고, 2차 테스트는 최적 분리막의 선정 및 방류수에 포함되어 있는 부유물질, Scale 성분, 유기물질 등의 오염물질에 의한 막오염(Membrane Fouling) 경향과 이의 방지를 위한 적절한 전처리 공정의 선정 및 처리규모 증대시 필요한 기본설계인자 결정 등을 위해 2002. 6~2003. 7월까지 수행하였다.

② Pilot Test의 주요내용은 수질분석 및 Pilot Test 공정을 선정하여 제주지역 3개 하수처리장 방류수 수질분석, 전처리 시스템을 선정 실험하였으며, 전처리 시스템(Back-washable Micro Filter)에서는 부유물질 제거성능, 설계인자 결정, 모듈 수명, 기타 실제 플랜트 설계 시 필요

한 자료 취득 하였다. 또한,분리막 공정에서는 선정된 전처리공정 적용 시 분리막 Fouling 경향과분리막 모듈에 따른 RO의 처리수질, 적정 회수율을 얻기 위한 Feed Pressure, 적정 Feed Press에서의 RO Element 처리능력, 주 오염원과 세정 주기, 재처리수 적용성 평가(농작물 평가) 등을 실시하였다

1. 전처리 工程 選定(實驗室 테스트)

1) 개 요

제주시 도두하수처리장 방류수에는 부유물질(SS)이 1.8~13.3mg/ℓ (평균 5.3mg/ℓ) 함유되어 있어 막오염 방지 및 막 수명연장 등을 위해서는 이를 적정수준 이하로 제거하기 위한 적절한 전처리 공정이 요구되고 있다. 주로 이용되고 있는 분리막의 전처리 공정 장치로는 모래여과(Sand Filter; S/F)와 Micro Filter(M/F)가 있다.Sand Filter에 사용되는 모래입자의 크기0.3~1.5mm 범위이고 균등계수가 1.5 이하인 것을 사용하며, 부유물질이 과다하게 함유되어 있는 경우에는 2단의 Sand Filter를 적용하였다. Sand Filter 적용 후의 수질이 RO 유입수 수질기준인 SDI(Sludge Density Index; 슬러지 밀도지수) 5이하를 만족시키는 경우에는 일반적으로 안전개념의 Cartridge MF를 거쳐 RO로 유입시켰다. 그러나 대부분의 경우 이러한 여과만으로는 RO 유입수 수질기준을 만족시키지 못하므로 후단 MF에 과다한 부하를 주거나 RO막 오염을 급속하게 일으켜 MF의 빈번한 교체와 멤브레인(Membrane)을 자주 화학약품으로 세정하는 일이 발생하게 되며, 또한 방류수 중의 유기물은 해수나 담수에 비해 수배나 많이 함유되어 있기 때문에 멤브레인의 수명을 급속하게 감소시킬 수 있었다.

분리막의 전처리 선정은 분리막 시스템의 원활한 운전과 멤브레인의 수명에 직접적인 영향을 미쳐 방류수 재이용에 분리막 적용 시 전체시스템의 성과를 가름하는 가장 중요한 요소로서 작용하였다. 따라서 본 연구에서는 분리막 전처리 공정평가를 실험실 테스트를 통하여 모래입

자 크기 및 선속도별 모래여과의 부유물질 제거성과 입자크기별 제거특성을 분석하여 모래여과 전처리 공정의 적용가능성을 판단하였다.

2) 입자성 물질분석

Pilot Test에서는 방류수 중의 부유물질 제거를 위하여 모래여과 공정과 BMF(Back-washable Micro Filter; 역세형 정밀여과장치)공정을 전처리 공정으로 검토하였다. 모래여과 공정은 BMF에 비해서 시설비 및 운전비가 낮다는 장점이 있기 때문에 우선 검토하였다. 모래여과 공정으로부터 부유고형물질 제거효율을 측정하기 위하여 모래입자크기(sand size) 및 모래여과기 내에서 유체의 선속도에 따른 실험을 수행하였다(Table 45 참조). 모래입자크기는 0.45~1.2mm, 선속도는 7~15 m/h로 선정하였으며, 모래입자크기와 선속도를 조합하여 부유고형물질 함량이 10.6mg/ℓ 인 방류수를 대상으로 평가를 수행하였다.

<Table 45> Characteristics of Filtration Materials and Equipment Used in Experiment

항 목		특성 및 사양
모래여과 (Sand Filter)	모래	Size : 0.42 ~ 1.2mm 균등계수 : 1.5 이하 비중 : 2.7 선속도 : 7 ~ 15m/Hr
	Filter Housing	재질 : 아크릴 Dimension : Ø20mm × 1500mmH

(Table 46))은 모래여과에 의한 부유물질 제거실험 결과를 나타낸 것임. 선형속도가 7m/h일 때 모래입자크기 1.2mm에서는 부유물질 농도가 1.2mg/ℓ (88.7% 제거)로 낮아졌고, 0.7mm에서는 1.1mg/ℓ (89.6% 제거), 0.45mm에서는 0.9mg/ℓ (91.5% 제거)를 각각 나타내 88~91.5%의 제거율을 보였다. 또한, 선형속도를 10m/h으로 하였을 때에는 모래입자 크기에 따라 1.4~1.2mg/ℓ (86.8~88.7% 제거)를 나타냈다. 이상의

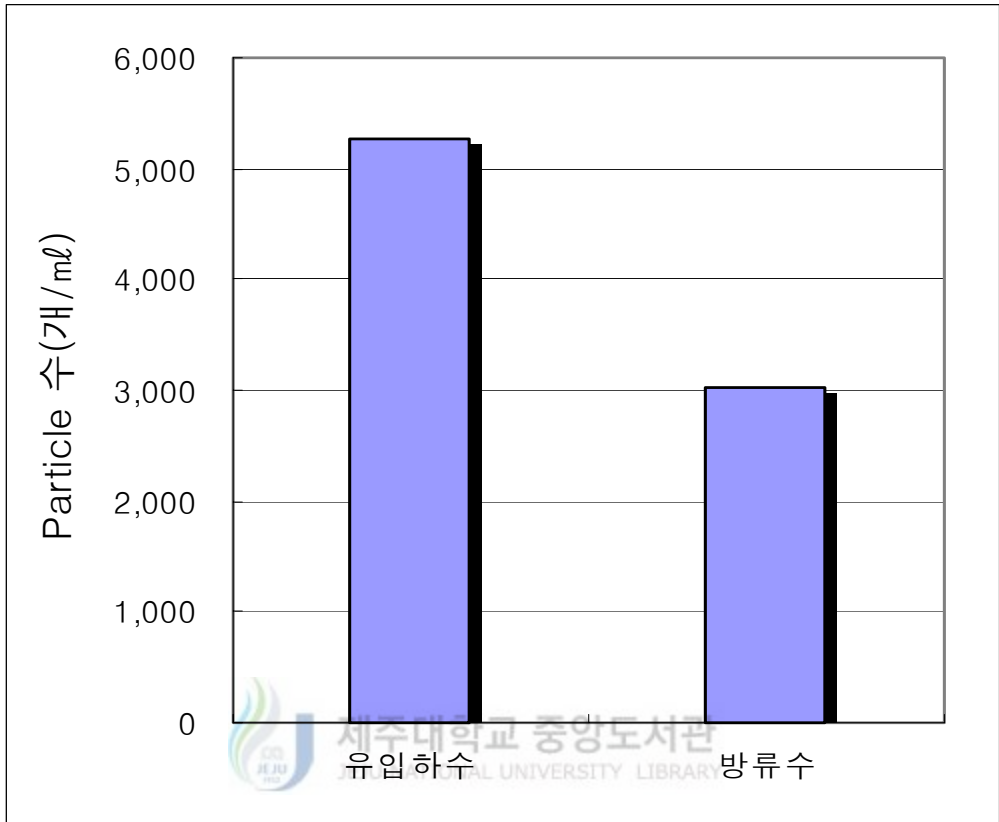
실험결과, 모래여과에 있어서 선형속도(여과속도)가 낮고 모래입자크기가 작을수록 부유물질 제거성능은 향상되고 있음을 보여주었으며, 전체적으로 볼 때 84% 이상의 부유물질 제거율을 나타내었다.

<Table 46> Experimental Results of Sand Filtration with Treated Water in Dodu Plant

(Unit : mg/ℓ)

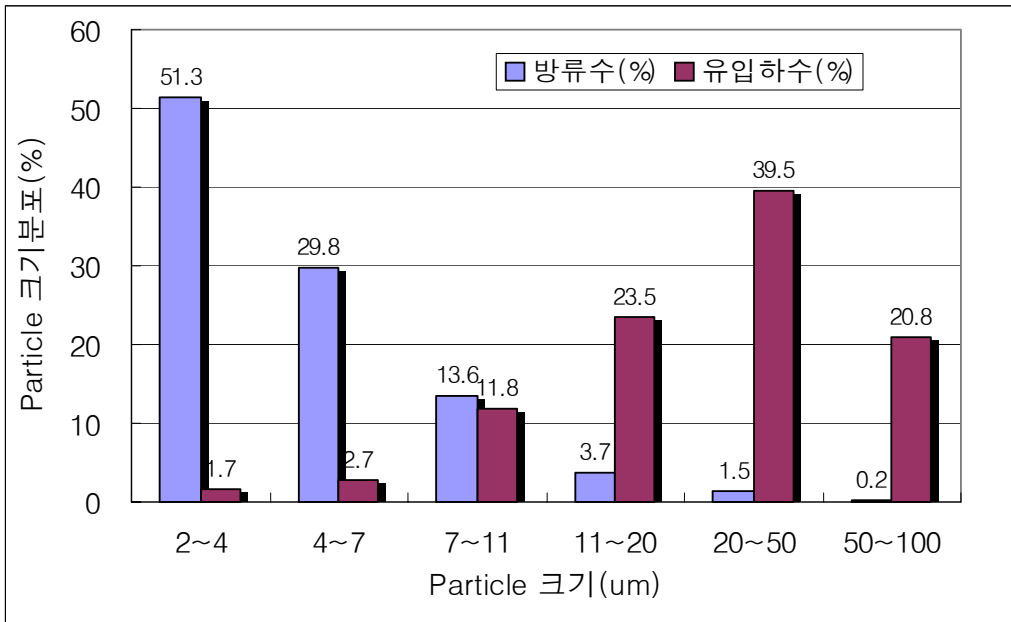
모래입자크기 선형속도(m/h)	1.2mm	0.7mm	0.45mm	비 고
7	1.2	1.1	0.9	<ul style="list-style-type: none"> • 방류수 SS : 10.6mg/ℓ • 2002. 8. 16 채수
10	1.4	1.5	1.2	
15	1.7			

한편, 전처리 공정은 방류수중에 함유된 부유물질의 입자크기에 따라서도 달라질 수 있기 때문에 유입하수와 방류수의 입자(particle) 크기 별 함량에 대한 측정실험을 실시하였다. 그 결과, 유입하수에는 약 5,000~6,000 개/ml의 입자가 함유되어 있는 것으로 나타났으며, 방류수에는 약 3,000 개/ml가 함유되어 있는 것으로 분석되었다 (Figure 9참조). 또한, 유입하수에서 발견되는 입자는 대부분이 10~100 μm 범위 크기의 입자인 것으로 측정되었다. 아울러, 방류수에는 2~11μm 크기의 입자들이 약 95% 차지하고 있는 것으로 분석되었다(Figure10 및 Table 47 참조).



<Figure 9> The Number of Particles in Wastewater and Treated Water in Dodu Plant

모래여과 공정에 의한 부유물질 및 입자제거 평가결과, 부유물질 총량은 최저 84% 이상의 제거효율을 나타냈으나 역삼투분리막에 침착되는 미세부유물질 중 20 μ m 이하의 입자가 약 98%를 차지하고 있어 모래여과 공정으로는 이들 물질을 제거하기 어려운 것으로 나타났다. 또한, 제주시 도두하수처리장 방류수중에는 1.8~13.3mg/l (평균 5.3mg/l)의 부유고형물질이 포함되어 유입하수 중의 부유물질(56~225mg/l, 평균 117.6mg/l)보다 훨씬 낮기 때문에 본 연구에서는 세공크기 0.1 μ m의 BMF 분리막을 전처리 설비로 채택하였다.



<Figure 10> Distribution of Particles in Wastewater and Treated Water in Dodu Plant

<Table 47> Results of Particle Measurement by Sand Filtration

(Unit : Set/ml)

모래 크기 (mm)	선형 속도 (m/h)	입자크기(μm)						계
		2~4	4~7	7~11	11~20	20~50	50~100	
1.2	15	2,341	1,803	876	153	16	1	5,277
1.2	10	1,952	1,899	951	176	18	1	5,228
1.2	7	2,043	1,902	1,051	283	56	2	5,144
0.7	10	2,327	1,924	687	186	23	1	5,147
0.7	7	2,811	1,524	607	179	23	0	4,996
0.42	10	2,412	2,010	698	101	8	0	5,191
0.42	7	2,148	1,872	914	148	22	8	5,112
방류수(원수)		2,095	1,968	1,043	548	258	174	6,086

MF(Micro filtration)는 박테리아를 비롯하여 Giardia, Cryptosporidium과 같은 미생물을 제거하는데 효과적일 뿐만 아니라, 바이러스를 완전하게 제거하지는 못하지만 상당한 수준까지 제거할 수 있으므로 부가적인 살균처리장치에 대한 부담을 줄일 수 있어 NF(Nano filtration)이나 역삼투막(RO) 공정의 전처리로 널리 이용하고 있다.

2. 분리막공정 選定을 爲한 분리막 評價

제주시 도두하수처리장 방류수 재이용을 위한 재처리(3차처리 또는 고도처리) 주 공정을 선정하기 위하여 분리막 종류별 처리성능 평가를 실시하였다. 처리성능 평가에 적용된 분리막은 다음과 같은 3가지 종류로서 UF 분리막(MWCO8000 나권형분리막),NF 분리막(MWCO 250 나권형 분리막),RO 나권형분리막(MWCO100, BW GRADE)이 있다. 이 평가에는 제주시 도두하수처리장에서 방류되는 방류수를 사용하였으며, 모든 분리막에는 MF(pore size 0.1 μ m 중공사형 분리막)에 의한 전처리 공정을 거친 물을 통과시켜 전기전도도, pH, BOD₅, COD_{Mn}, COD_{Cr}, SS, Cl의 7가지 항목의 제거율에 대해 평가하였다. (Table 48)는 분리막 공정별로 7가지 항목에 대한 평가결과를 나타낸 것이며. 전기전도도의 제거율을 보면, 방류수의 전기전도도는 2,170~4,380 μ s/cm를 나타내었고, 전처리(BMF) 과정을 거쳐 UF막을 통과하더라도 거의 변화가 없었으며, NF막에서는 1,785~3,535 μ s/cm로 다소 낮아졌지만 여전히 높은 값을 나타냈고, RO막에서는 35~77 μ s/cm으로 현저히 낮아져 98.2~98.4%의 제거율을 보였다. BOD₅는 방류수에서 2.9~8.7mg/ℓ이었으나 전처리 과정을 거치면서 0.6~0.9mg/ℓ로 낮아졌고, UF막과 NF에서는 전처리된 물과 거의 동일한 농도를 보였으며, RO막에서는 100% 제거되었다. COD_{Mn}는 방류수에서 10.8~11.8mg/ℓ이었으나 전처리 과정을 거치면서 7.0~11.2mg/ℓ로 조금 낮아졌고, UF막과 NF에서는 4.2~4.0mg/ℓ로 낮아졌으며, RO막에서는 0.3mg/ℓ를 보여 97% 이상

제거되었다. COD_{Cr}는 방류수에서 19.0~26.0mg/ℓ 이었으나 전처리 과정을 거치면서 10.0~15.0mg/ℓ 로 낮아졌고, UF막과 NF에서는 5.0~10.0 mg/ℓ 로 낮아졌으며, RO막에서는 100% 제거되었다. SS는 방류수(UV 후)에서 3.8~7.7mg/ℓ 이었으나 전처리 과정을 거치면서 0.6mg/ℓ 로 낮아져 84.2~92.2%가 제거되었으며, UF막과 NF막 및 RO막에서는 100% 제거되었다. 염소이온의 경우, 방류수에서 390~480mg/ℓ 이었으나 UF막과 NF에서는 거의 제거가 되지 않았고, RO막에서는 3.4~7.5 mg/ℓ 를 보여 98% 이상 제거되었다.

<Table 48> Re-treatment Effect of Various Separate Membranes for Removing Pollutants from Treated Water

항 목	방류수	MF 처리수	UF 처리수	NF 처리수	RO 처리수
EC ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	2,170~4,380	2,170~4,160	2,030~4,040	1,785~3,535	35~77
pH	7.3~7.2	7.15~7.2	7.12	6.9~7.0	5.9
BOD (mg/ℓ)	2.9~8.7	0.6~0.9	0.6~0.9	0.5~0.9	-
COD _{Mn} (mg/ℓ)	10.8~1.8	7~11.2	4.2	4	0.3
COD _{Cr} (mg/ℓ)	19~26	10~15	5~10	5~10	-
SS (mg/ℓ)	3.8~7.7	0.6	-	-	-
Cl ⁻ (mg/ℓ)	390~480	-	385~465	358~423	3.4~7.5

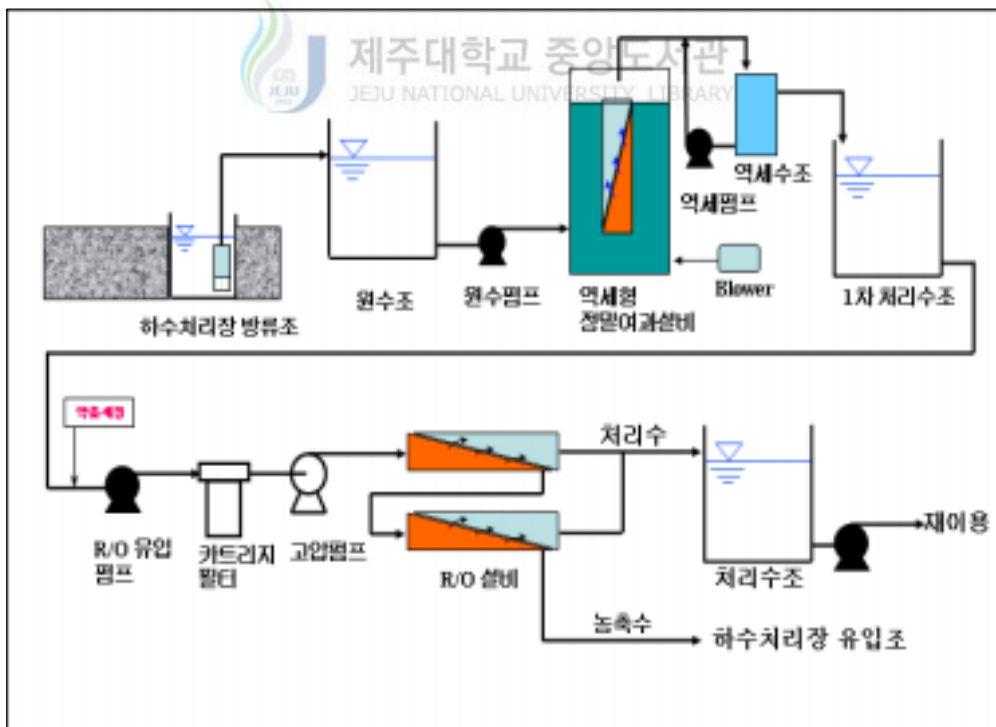
이상의 평가결과를 종합할 때, BOD는 평가에 적용된 3가지 분리막에서 모두 효과적으로 제거되었으나 전기전도도와 염소이온은 RO막을 제외한 분리막 공정은 10% 미만의 낮은 제거율을 나타내 염분농도가 높은 제주지역 하수처리장 방류수의 재처리에는 역삼투막 공정이 가장 적합한 것으로 평가되었다.

3. Pilot Plant 運營結果

1) Pilot Plant의 구성

본 연구에서는 제주시 도두하수처리장 방류수를 Pilot Plant에 의해 실제로 재처리하는 과정을 통하여 방류수(원수) 특성에 따른 시스템의 성능평가를 수행함으로써 최적의 재처리시스템을 구성함과 아울러, 운전인자를 확보하기 위하여 Pilot Plant를 설치·운영하였다. 1일 20m³/일 규모의 Pilot Plant를 제주시 도두하수처리장에 설치하였으며, 2002. 6~2003. 7월까지 운영과정에서 얻어진 자료를 기초로 작성하였다.

Pilot Plant는 기본적으로 방류수에 대한 장기간의 수질분석, 모래여과공정 테스트, 입자성 물질측정, 분리막에 대한 성능평가 등의 결과를 토대로 처리공정을 결정하였다(Figure 11 참조)



<Figure 11> Water Re-treatment Process in Pilot Plant

(1) 전처리 장치

Pilot Plant의 전처리시스템은 미세부유물질을 효과적으로 제거할 뿐만 아니라, 제거된 부유물질을 쉽게 탈착하여 시스템 밖으로 배출할 수 있는 외압식 Micro Filtration 공정을 선정하였다(Picture 3). 시스템의 운전은 여과와 역세가 자동으로 이루어지도록 설계하였으며, 역세는 물과 공기를 이용하여 막 표면에 부착된 부유물질을 제거하도록 하였다. 본 외압식 시스템은 기존 내압식 시스템과 비교하여 운전방식을 단순화함과 동시에 내압식에 비해 많은 처리수량을 얻을 수 있는 큰 장점을 가지고 있다 .또한, Bundle 형식으로 Housing 안에 여러 개의 Module을 장착함으로써 운전관리를 쉽게 할 수 있도록 하였고, Pore Size가 0.1 μm 으로써 내압식 멤브레인보다 큰 Pore size를 갖고 있으나 처리수질은 양호해 시스템을 경제적으로 구성할 수 있다.



<Picture 3> BMF Equipment Built in Pilot Plant

(2) 역삼투막 장치(RO)

적용모듈은 저염수에 적용할 수 있는 유형을 사용하여 방류수(원수) 중에 함유된 이온성분을 최소 98% 이상 제거할 수 있도록 하였으며 재처리수 이용용도에 따라 모듈 변경이 가능하도록 설계되었다. 또한 에너지를 가장 많이 소모하는 고압펌프에는 인버터를 부착하여 불필요한 에너지 소모를 최소화함으로써 운전비를 절감할 수 있도록 설계하였다.

역삼투막 설비의 구성은 공급탱크, 공급펌프, 고압펌프, Micro Filter, 역삼투 Block, 세정조, 처리수조, 재처리수 이송펌프, 계측기로 구성하였다(사진 4 참조). 또한, 분리막 조합공정의 처리성능 평가를 위해서 수질공정시험법에 따른 27개 항목의 방류수(원수) 및 재처리수의 수질 분석을 실시하였다(Table 50 참조)



<Picture 4> RO Equipment Built in Pilot Plant

<Table 49> Experimental Items for Water Quality in the Pilot Plant

측 정 항 목	원수	BMF 처리수	R/O 처리수	비 고
pH	◎	◎	◎	
수온(℃)	◎	◎	-	
유량(m ³ /hr)		◎	◎	
전기전도도(uS/cm)	◎	◎	◎	
부유고형물질(mg/ℓ)	◎	◎		
COD(mg/ℓ)	○	○	○	
BOD(mg/ℓ)	○	○	○	
음·양이온 성분	○	○	○	
입자크기	○	○		
유기물	○	○	○	

○ : 월 1회 측정, ◎ : 일 1회 측정

2) Pilot Plant 운영결과 분석

(1) 전처리 장치의 성능평가

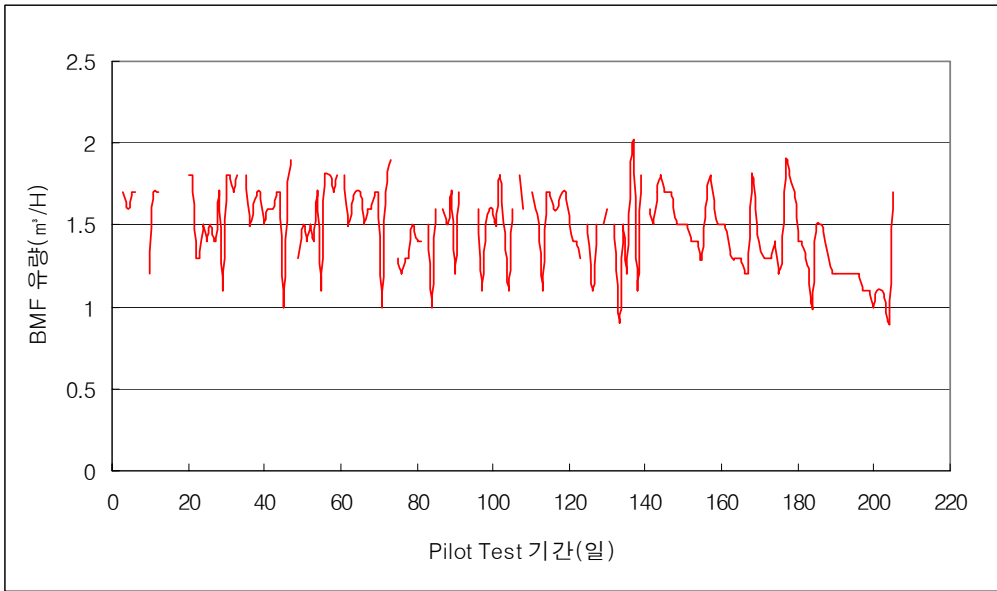
BMF 전처리 장치는 2002. 6~2003.7월까지 운전되었으나 2002. 11~2003. 2월까지 3개월간은 하수처리장에 UV 소독설비 설치공사로 인하여 일시 가동이 중단되었다. 2003년 3월까지의 미생물 오염이나 무기 스케일 방지를 위한 약품주입 없이 가동하였고, 2003년 3월 이후에는 약품 주입평가를 위해 브룸(Br) 계통의 약품을 주입하면서 평가하였다. 평가기간 동안 역세형정밀여과장치(BMF : Backwashable Micro Filter)는 최저 0.9m³/시간 이상의 처리수량을 안정적으로 생산하였으며, 이 때의 운전압력은 0.3~0.95kg/cm²G 이었다. 운전초기 급격한 압력상승은 초기운전 조건설정을 위한 평가로 인한 것으로 NaOH 약품세정 및 운전조건 설정 후에는 안정적인 운전이 이루어졌고 또한 3

월 가동 중단 이후 재가동시 운전 압력의 상승은 시스템 중단시 적절한 조치 미비 및 Biocide 약품 무주입으로 인한 분리막의 미생물 오염으로 판명되었다. 미생물 오염 후 NaOH 약품세정으로 초기 유량은 회복되었지만 급속한 유량 감소가 일어나 약 1주일에 1회의 약품세정이 필요한 것으로 나타나 실제 플랜트 운전시 장기간의 운전으로 분리막이 오염되었을 때 세정주기 등 운전인자를 파악할 수 있는 좋은 기회가 되었다(Picture 5). 전처리 장치에서는 BOD, COD 등의 유기물 제거가 어느 정도 이루어지고 있으나 염소이온 등의 이온 성분은 제거율이 미흡하였다.

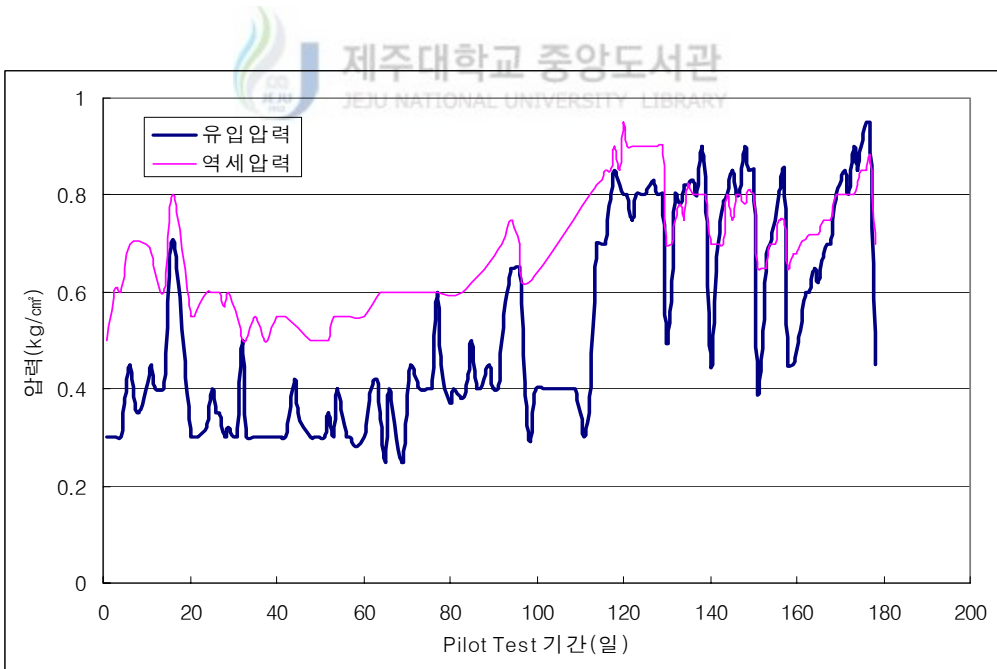
(2) 역삼투막 장치 평가

① 시스템 운전에 대한 평가

2003년 3월 이전까지 역삼투막 공정실험 결과, 회수율을 75% 이상으로 높일 때에는 시스템에 실리카(SiO_2) 스케일이 발생하는 것으로 나타나 회수율을 70~75%로 유지하면서 시스템의 성능을 평가하였다(회수율 조절은 농축수 측 밸브를 수동으로 조작). 하절기의 경우에는 유입원수(방류수)가 원수 저장조에서 체류하는 동안 수온이 급상승하여 원수가 처리수로 95% 이상 생산되는 경우도 발생하였다. 유입수질에 의해 처리수의 생산이 목표치 이하로 낮아지는 경우와 시스템의 압력도 여러 인자에 의해 변동하는 모습을 보였다. 따라서 2003년 3월 이후에는 시스템의 성능을 보다 쉽게 분석할 수 있도록 실험자료를 기록할 때 회수율보다 압력을 일정하게($12\text{kg}/\text{cm}^2\text{g}$) 고정한 후 처리유량을 측정하였는데, 이러한 실험은 처리수 유량이 변동했을 때 유입수질에 의한 처리수의 변동을 쉽게 파악할 수 있다는 잇점이 있다. 2003년 3월 이후 유량변동은 대부분 유입수질 변동에 의해 일어났지만 회수율은 70% 이상 유지되었다. 수온에 대한 보정을 실시한 2003년 3월 이후에는 일정 압력($12\text{kg}/\text{cm}^2\text{g}$)에서 처리수량의 변동은 미미한 것으로 나타나 회수율의 유지는 수온 상승에 기인한 것으로 판단되었다.



<Figure 12> Long-term Variation of BMF-treated Water Volume

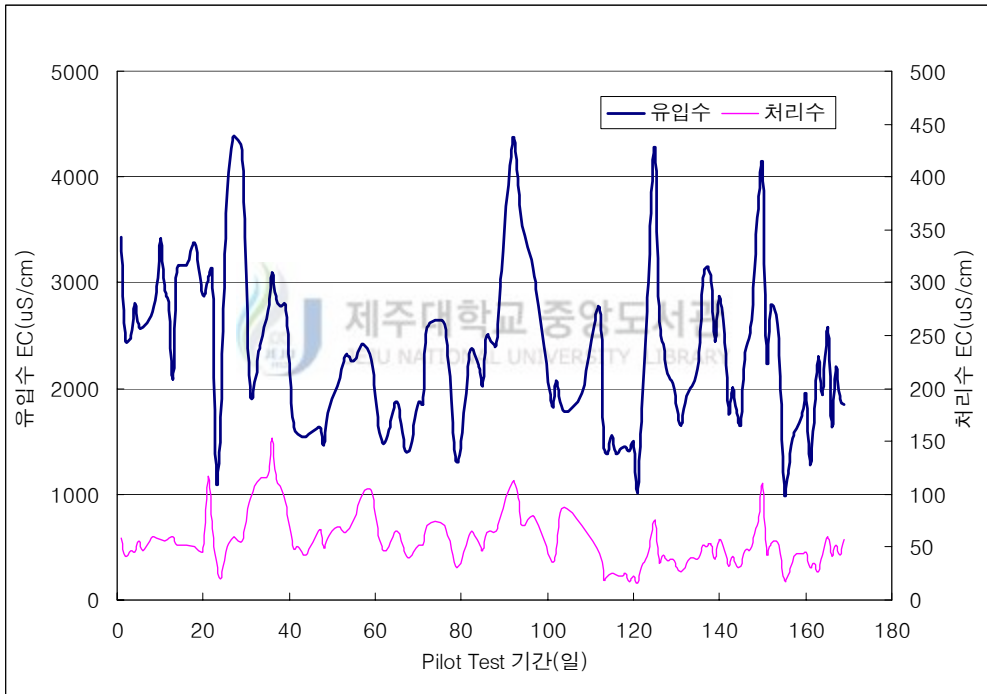


<Figure 13> Long-term Variation of BMF Pressure



<Picture 5> BMF Equipment and Module Polluted with Microbe

RO 처리수의 수질측면에서 보면, 전기전도도는 전 기간 동안 20~150 $\mu\text{S/cm}$ 사이에서 변동을 하였으나 이는 2003년 3월 이전 시스템이 안정화 되지 않은 상태에서 처리된 처리수까지 포함한 것이다. 그렇지만, 2003년 3월 이후에는 전기전도도가 20~50 $\mu\text{S/cm}$ 사이에서 안정화되었다. 이러한 결과를 놓고 볼 때, 처리수의 수질변동은 유입원수의 수질 변동에 따라 발생하고 있음을 알 수 있다(Figure 14). RO시스템의 유입수 압력과 농축수 압력을 평가한 결과, 평가기간 동안 압력차가 거의 발생하지 않아 RO 분리막의 성능저하는 미미한 것으로 나타났다.



<Figure 14>Ship Electric Conductivity of Wastewater and that of RO-Treated Water in Pilot Plant

② 재처리수의 수질

Pilot Plant를 통해 재처리되는 처리수의 수질을 평가하기 위하여 방류수(원수), MF 전처리수, RO 처리수 각각에 대해 월 1회씩 30개 항목에 대한 수질분석을 실시하였다. 수질분석 결과는 (Table 5)에 제

시하였으며, RO공정을 통해 재처리된 처리수의 수질은 다음과 같다.

<Table 50> Quality of Re-treated Water in Pilot Plant(2002.6~2003. 7)

항목	농도범위(최대~최소)			평 균		
	방류수	MF 처리수	RO 처리수	방류수	MF처리수	RO처리수
EC($\mu\text{S}/\text{cm}$)	5030~2170	4900~1830	152~35	3,078.2	3,008.3	69.4
pH	7.7~6.14	7.71~5.92	6.88~5.11	6.9	7.0	6.0
BOD ₅ (mg/ℓ)	24~2.9	15~0.6	1.2~0.4	10.0	6.3	0.7
COD _{Mn} (mg/ℓ)	15.8~6.7	17.2~4.9	1.1~0.2	11.4	9.7	0.5
COD _{Cr}	36~7	24~6	9~0.6	20.7	14.9	3.9
SS(mg/ℓ)	10.4~2.4	1.9~0.6	-	6.9	1.1	-
Cl(mg/ℓ)	1293.9~380	1254.9~405	18.9~3.4	664.0	639.8	9.9
Alkalinity(mg/ℓ CaCO ₃)	130~15	130~14	6~2	77.2	72.5	4.7
NO ₃ -N(mg/ℓ)	6.5~1.6	15.5~1.2	0.8~0.1	3.7	7.0	0.4
NH ₄ -N(mg/ℓ)	19.25~0.17	15.75~0.08	0.82~0.03	8.6	5.7	0.3
T-N(mg/ℓ)	36~9.1	28~9.4	1.5~0.1	16.9	15.5	0.9
PO ₄ ³ -P(mg/ℓ)	1.9~0.78	2.2~0.78	0.03~0.01	1.5	1.5	-
T-P(mg/ℓ)	7.7~0.09	5.6~0.05	0.33~0.05	2.4	1.9	0.1
SO ₄ ²⁻ (mg/ℓ)	190~55	190~53	1.0	128.8	122.8	1.0
SiO ₂ (mg/ℓ)	36.1~19.2	32.7~19.7	0.42~0.11	28.4	26.6	0.2
Cr ⁺⁶ (mg/ℓ)	-	-	-	-	-	-
Pb(mg/ℓ)	-	-	-	-	-	-
Zn(mg/ℓ)	0.05~0.01	0.04~0.02	-	-	-	-
Na(mg/ℓ)	555~304	528.6~340	13.7~4.5	452.3	760.4	7.8
K(mg/ℓ)	80.4~23.3	55.8~17.4	1.48~0.23	39.9	33.7	0.7
Mg(mg/ℓ CaCO ₃)	345~78	345~76	2~1.6	236.9	225.6	1.8
Ca(mg/ℓ CaCO ₃)	260~67.5	226~58	6~0.4	103.8	108.3	2.5
As(mg/ℓ)	-	-	-	-	-	-
Cd(mg/ℓ)	-	-	-	-	-	-
Cu(mg/ℓ)	-	-	-	-	-	-
Mn(mg/ℓ)	0.03~0.03	-	-	-	-	-
Br ₂ (mg/ℓ)	0.38~0.06	0.25~0.08	0.04~0.03	0.2	0.2	-
Br(mg/ℓ)	1.2~1.2	0.93~0.8	0.13~0.13	1.2	0.9	0.1
Fe(mg/ℓ)	0.18~0.05	0.1~0.08	0.02~0.02	0.1	0.1	-
Cr(mg/ℓ)	-	-	-	-	-	-

전기전도도는 35~152 μ s/cm(평균 69.4 μ s/cm)로서 97% 이상이 제거되었다. BOD 86% 이상, COD_{Mn}는 93% 이상 제거되었다. SS는 100% 제거되었으며, MF 전처리 과정에서도 81% 이상 제거되었다. 염소이온은 98% 이상, 나트륨이온은 97% 이상 제거되었다. 염소이온은 98% 이상, 나트륨이온은 97% 이상 제거되었다, 질산성질소는 87% 이상, 암모니아성질소는 82% 이상, 총질소는 95% 이상 제거되었다. 칼슘, 마그네슘, 규산염 등의 기타 이온성분들도 90% 이상 제거되었다. 또한 미생물학적 안정성을 확인하기 위해 2003년 9월 3일부터 9월 5일까지 하루 2회씩 대장균군을 분석한 결과 방류수에는 600~3,000 개/ml의 대장균군이 검출되었으나 MF 처리수에는 36개/ml 이하, RO 처리수에는 검출되지 않았다.

<Table 51> Result of Colon Bacilli Analysis

(Unit : Set/ml)

일 자	시 간	방류수	MF 처리수	RO 처리수
2003-9-3	10:30	1,100	1	-
2003-9-3	16:00	3,000	36	-
2003-9-4	10:00	1,700	36	-
2003-9-4	16:00	2,100	8	-
2003-9-5	10:00	600	-	-
2003-9-5	16:00	2,000	2	-

사람의 건강에 영향을 미칠 수 있는 유기화합물, 농약, 중금속 등을 분석하기 위해 WHO 음용수 수질 가이드라인에 제시되어 있는 121개

항목 중 102개 항목에 대하여 한국수도환경연구소에 분석을 의뢰하였다(Table 52 참조).RO 처리수의 수질을 비교하기 위해 중산간 지역 지하수(2개소), 강우 후 지표 유출수를 채수하여 수질 정밀분석을 실시하였다. 분석결과, 중산간지역 지하수 2개소에서는 총 대장균군과 분원성 대장균이 검출되지 않았으나 지표수에는 분원성 대장균이 검출되었고, RO 처리수에는 총대장균군이 검출되었다. 일반적으로 RO 막에서는 세균, 바이러스, 원생동물 등이 모두 차단된다는 점을 감안할 때 RO 처리수에서 총대장균군이 검출된 것은 채수 또는 운반과정에서 감염이 된 것으로 판단된다.

사람에게 심미적으로 영향을 줄 수 있는 색도, 탁도, 알루미늄, 잔류 염소, 구리 등의 항목에서는 지표수나 지하수, RO 처리수 모두 WHO 수질기준에 훨씬 못 미치는 양호한 결과를 보여 주고 있다. 건강에 위해를 줄 수 있는 유기화합물의 경우에는 톨루엔이 0.002~ 0.006mg/ℓ 정도 검출되었지만, WHO 음용수 수질 권고 기준 및 우리나라 먹는물 수질기준(0.7mg/ℓ)과 비교할 때 미미한 수준이라 할 수 있다.

또한 건강에 위해를 줄 수 있는 무기화합물인 경우 RO 처리수에서 붕소가 0.11mg/ℓ 검출되었지만, WHO 음용수 수질 권고 기준과 우리나라 먹는물 수질기준(0.3mg/ℓ)에는 못 미치고 있으며, 질산염도 4~ 4.9mg/ℓ의 범위를 보여 WHO 기준치인 50mg/ℓ보다 매우 낮은 농도를 보였다.

농약, 제초제, 소독제, 소독 부산물 성분은 검출되지 않았거나 검출한계 이하로 분석되었다. 이상과 같이 RO 처리수의 수질은 중산간지역 지하수의 수질과 큰 차이가 없고, 지표수보다 다소 양호한 것으로 분석되었다.

<Table 52> Result of Precise Water Quality Analysis

구 분	분 석 항 목	단 위	WHO 기준	지표수	오라 골프장	핀크스 골프장	RO 처리수
미생물	Total coliforms	-/100ml	불검출	검출	불검출	불검출	검출
	Fecal coliforms	-/100ml	불검출	검출	불검출	불검출	불검출
	<i>E. coli</i>	-/100ml	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
심미적 영향물질	Color	도	15TCU	불검출	불검출	불검출	불검출
	Total dissolved solids	mg/ℓ	1000	10	42	52	42
	Turbidity	NTU	5	1.3	0.14	0.15	0.13
	Aluminium	mg/ℓ	0.2	0.04	-	-	-
	Ammonia	mg/ℓ	1.5	-	-	-	0.31
	Chloride	mg/ℓ	250	2	5	7	11
	Copper	mg/ℓ	1	-	-	-	-
	Iron	mg/ℓ	0.3	-	-	-	-
	Manganese	mg/ℓ	0.1	-	-	-	-
	Sodium	mg/ℓ	200	0.59	5.02	6.76	10.7
	Sulfate	mg/ℓ	250	3	3	4	2
Zinc	mg/ℓ	3	0.015	-	-	0.025	
소독제	Chlorine	mg/ℓ	5	-	-	-	-
	Monochloramine	mg/ℓ	3	-	-	-	-
소독 부산물	2,4,6-Trichlorophenol	mg/ℓ	0.2	-	-	-	-
	2,4-Dichlorophenol	mg/ℓ	NAD	-	-	-	-
	2-Chlorophenol	mg/ℓ	NAD	-	-	-	-
	Bromochloroacetonitrile	mg/ℓ	NAD	-	-	-	-
	Bromodichloromethane	mg/ℓ	0.06	-	-	-	-
	Chloralhydrate	mg/ℓ	0.01	-	-	-	-
	Chlorite	mg/ℓ	0.2	-	-	-	-
	Dibromoacetonitrile	mg/ℓ	0.1	-	-	-	-
	Dibromochloromethane	mg/ℓ	0.1	-	-	-	-
	Dichloroacetic acid	mg/ℓ	0.05	-	-	-	-
	Dichloroacetonitrile	mg/ℓ	0.09	-	-	-	-
	Trichloroacetic acid	mg/ℓ	0.1	-	-	-	-
	Trichloroacetonitrile	mg/ℓ	0.001	-	-	-	-
Bromoform	mg/ℓ	0.1	-	-	-	-	

주) - : 검출한계 이하, NAD : 수질기준을 정할 자료 없음

<표 52> 계속

구분	분석항목	단위	WHO기준	지표수	오라골프장	핀크스골프장	RO처리수
건강위해 유기 화합물	1,1,1-Trichloroethane	mg/ℓ	2	-	-	-	-
	1,1-Dichloroethane	mg/ℓ	NAD	-	-	-	-
	Benzene	mg/ℓ	0.01	-	-	-	-
	Benzo(a)pyrene	μg/ℓ	0.7	-	-	-	-
	Carbon tetrachloride	mg/ℓ	0.002	-	-	-	-
	Chloroform	mg/ℓ	0.2	-	-	-	-
	Di(2-ethylhexyl)adipate	mg/ℓ	0.08	-	-	-	-
	Di(2-ethylhexyl)phthalate	mg/ℓ	0.008	-	-	-	-
	Dichloromethane	mg/ℓ	0.02	-	-	-	-
	Ethylbenzene	mg/ℓ	0.3	-	-	-	-
	Styrene	mg/ℓ	0.02	-	-	-	-
	Tetrachloroethene	mg/ℓ	0.04	-	-	-	-
	Toluene	mg/ℓ	0.7	0.005	0.005	0.002	0.006
	Trichloroethene	mg/ℓ	0.07	-	-	-	-
	Vinyl chloride	mg/ℓ	0.005	-	-	-	-
	Xylenes	mg/ℓ	0.5	-	-	-	-
	1,1,2-Trichloroethane	mg/ℓ		-	-	-	-
	1,4-Dichlorobenzene	mg/ℓ	0.3	-	-	-	-
	Acenaphthene	mg/ℓ		-	-	-	-
	Benzo(a)anthracene	mg/ℓ	0.0007	-	-	-	-
	Benzo(b)fluoranthene	mg/ℓ		-	-	-	-
	Benzo(g,h,i)perylene	mg/ℓ		-	-	-	-
	Benzo(k)fluoranthene	mg/ℓ		-	-	-	-
	Bisphenol-A	mg/ℓ		-	-	-	-
Chrysene	mg/ℓ		-	-	-	-	
cis-1,3-Dichloropropylene	mg/ℓ		-	-	-	-	
Diethylphthalate	mg/ℓ	0.008	-	-	-	-	
Ethylene dibromide	mg/ℓ	NAD	-	-	-	-	
Indeno(1,2,3-d)pyrene	mg/ℓ		-	-	-	-	
trans-1,3-Dichloropropylene	mg/ℓ		-	-	-	-	
건강위해 무기 화합물	Antimony	mg/ℓ	0.005	-	-	-	-
	Arsenic	mg/ℓ	0.01	-	-	-	-
	Boron	mg/ℓ	0.3	-	-	-	0.11
	Cadmium	mg/ℓ	0.003	-	-	-	-
	Chromium	mg/ℓ	0.05	-	-	-	-
	Cyanide	mg/ℓ	0.07	-	-	-	-
	Fluoride	mg/ℓ	1.5	-	-	-	-

주) - : 검출한계 이하, NAD : 수질기준을 정할 자료 없음

<표 52> 계속

구분	분석항목	단위	WHO 기준	지표수	오라골프장	핀크스골프장	RO처리수
건강위해 무기 화합물	Lead	mg/ℓ	0.01	-	-	-	-
	Mercury	mg/ℓ	0.001	-	-	-	-
	Nitrate(as NO ₃ ⁻)	mg/ℓ	50	4.9	4	4	4.9
	Nitrite(as NO ₂ ⁻)	mg/ℓ	3	-	-	-	0.4
	Selenium	mg/ℓ	0.01	-	-	-	-
농약	1,2-Dichloropropane	mg/ℓ	0.02	-	-	-	-
	2,4-D	mg/ℓ	0.03	-	-	-	-
	Alachlor	mg/ℓ	0.02	-	-	-	-
	Bentazone	mg/ℓ	0.03	-	-	-	-
	Carbofuran	mg/ℓ	0.005	-	-	-	-
	Chlorotoluron	mg/ℓ	0.03	-	-	-	-
	Heptachlor	μg/ℓ	0.03	-	-	-	-
	Hexachlorobutadiene	mg/ℓ	0.001	-	-	-	-
	Isoproturon	mg/ℓ	0.009	-	-	-	-
	Lindane	mg/ℓ	0.002	-	-	-	-
	MCPA	mg/ℓ	0.002	-	-	-	-
	Methoxychlor	mg/ℓ	0.02	-	-	-	-
	Metolachlor	mg/ℓ	0.01	-	-	-	-
	Molinate	mg/ℓ	0.006	-	-	-	-
	Pendimethalin	mg/ℓ	0.02	-	-	-	-
	Pentachlorophenol	mg/ℓ	0.009	-	-	-	-
	Permethrin	mg/ℓ	0.02	-	-	-	-
	Propanil	mg/ℓ	0.02	-	-	-	-
	Pyridate	mg/ℓ	0.1	-	-	-	-
	Simazine	mg/ℓ	0.002	-	-	-	-
Trifluralin	mg/ℓ	0.02	-	-	-	-	
1,2-Dibromo-3-chloropropane	mg/ℓ	0.001	-	-	-	-	
1,3-Dichloropropane	mg/ℓ	NAD	-	-	-	-	
Polychlorinated biphenyl	mg/ℓ	NAD	-	-	-	-	
제초제	2,4,5-T	mg/ℓ	0.009	-	-	-	-
	Dichlorprop	mg/ℓ	0.1	-	-	-	-
	Fenoprop	mg/ℓ	0.1	-	-	-	-
	Mecoprop	mg/ℓ	0.01	-	-	-	-

주) - : 검출한계 이하, NAD : 수질기준을 정할 자료 없음

제주 Pilot Plant RO 처리수의 수질은 국내는 물론 외국의 하수처리장 방류수 재처리 사례와 비교하더라도 전혀 손색이 없을 뿐 아니라, 먹는물로 사용하더라도 수질적으로 문제가 없을 정도로 깨끗하게 처리되고 있음(Table 53 참조). 특히, 방류수 재이용에 가장 큰 걸림돌로 작용했던 과도한 염소이온과 염분농도 문제가 완전히 해결됨으로써 농업용수는 물론 조경용수, 공업용수, 지하수 인공함양 용수 등으로 재이용할 수 있는 좋은 대체수원으로 평가되고 있다.

<Table 53> Quality Comparison of Water Treated by RO in Pilot Plant

항 목	제주 Pilot Plant	싱가포르 NEWater	오렌지카운티 WF 21	인천광역시 INI 스틸
EC($\mu\text{s}/\text{cm}$)	152~35	256~28.6	150	58
pH	6.88~5.11	6.7~5.3	6.9	7.0
SS(mg/ℓ)	0~0	0.6~ND		0
Cl(mg/ℓ)	18.9~3.4	47.8~2.57	29	13
Alkalinity($\text{mg}/\ell \text{ CaCO}_3$)	6~2	16~5		45
NO ₃ -N(mg/ℓ)	0.8~0.1	5.4~0.02		2.07
NH ₄ -N(mg/ℓ)	0.82~0.03	2.14~ND		
T-N(mg/ℓ)	1.5~0.1	11~ND	2.7	
PO ₄ ³⁻ -P(mg/ℓ)	0.03~0.01			
T-P(mg/ℓ)	0.33~0.05	0.084~ND		
SO ₄ ²⁻ (mg/ℓ)	1~1	0.54~ND	1.4	2.43
SiO ₂ (mg/ℓ)	0.42~0.11	4.95~ND		
Na(mg/ℓ)	13.7~4.5	42.1~3.16	21	8.75
K(mg/ℓ)	1.48~0.23	3.07~0.504		
Mg($\text{mg}/\ell \text{ CaCO}_3$)	2~1.6	0.45~0.03		0.10
Ca($\text{mg}/\ell \text{ CaCO}_3$)	6~0.4	0.514~0.044		0.12

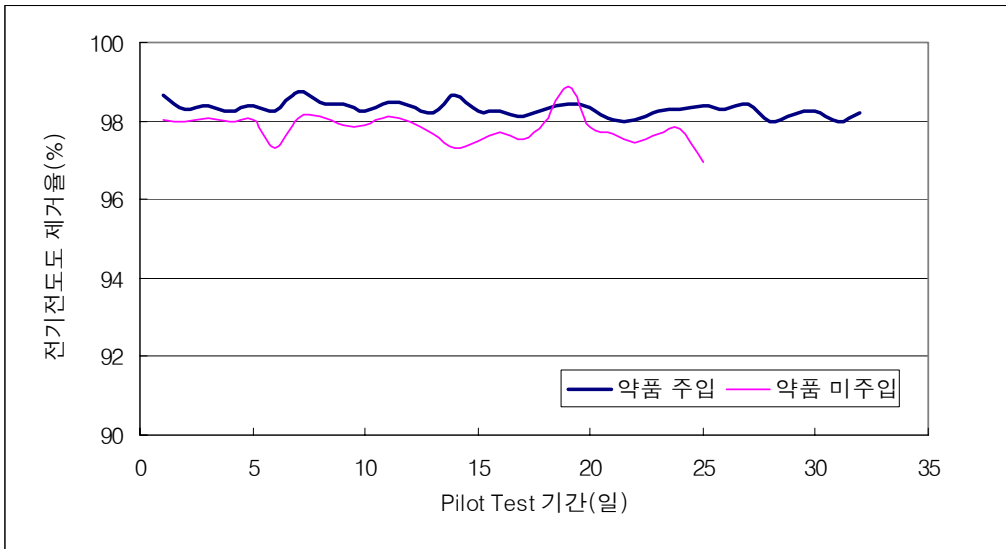
3) BIOCIDES약품주입 평가 결과

Pilot Plant 시스템 가동 시 미생물 약품 무주입과 일시 중지 시 적절한 조치 미흡으로 발생할 수 있는 전처리 시스템의 미생물 오염을 방지하고, RO(역삼투) 공정의 약품주입에 의한 성능변화 등을 파악하기 위하여 1개월 간 약품주입과 1개월 간 약품 무주입 평가를 수행하였다(Picture 6 참조).

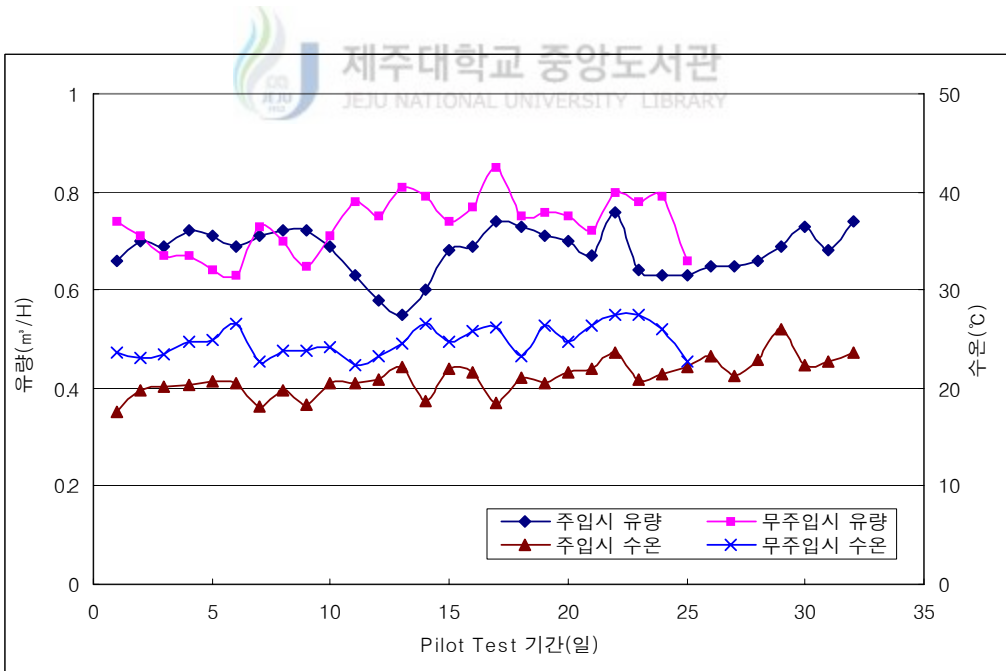
평가결과, 20ppm의 약품 주입 시에는 막 표면 및 시스템에 부착된 미생물 슬러지가 대부분 제거되어 미생물제거 약품주입에 따른 시각적인 효과는 뚜렷하게 나타났으나, 실질적인 성능 측면(유량 증가, 유입 압력 감소)에서는 큰 차이를 보이지 않고 초기상태를 유지하는 하는 것으로 나타났다. 따라서 장기간 운전 시에는 미생물 제거약품을 주입함으로써 전처리 분리막 시스템의 안정적인 운전과 교체 주기 연장으로 운전비의 절감을 꾀할 수 있을 것으로 판단된다.

일반적으로 미생물 제거약품을 주입하면 주입약품 중 반응하지 않은 것으로 인하여 역삼투 분리막이 손상을 입는 것으로 알려져 있기 때문에 본 연구에서는 이 같은 영향이 적은 것으로 알려져 있는 Br계통의 약품을 사용하였다. 평가결과, 약품주입 시 역삼투 분리막 설비에서 전기전도도 평균 제거율은 98.3%로서 약품을 주입하지 않은 경우보다 약 0.5% 제거율이 높게 나타났으며, 유량은 약품을 주입하지 않았을 때가 주입시보다 높게 나타났다(Figure 15).

이러한 결과는 약품 무주입시의 원수 수온이 높은 것에 기인한 것으로 보이는데, 온도를 보정한 결과 약품 주입 유무에 따른 유량의 변화는 미미하였다(Figure 16). 따라서, 향후 장기간 운전 시에는 적절한 약품을 주입하여 시스템의 미생물 오염을 사전에 방지하는 것이 유지비를 절감할 수 있을 것으로 판단된다.



<Figure 15> Electric Conductivity Removal Rate Varying according to Whether Chemically Treated or Not



<Figure 16> Treated Water Volume Varying according to Whether Chemically Treated or Not



(약품 주입 전)

(약품 주입 후)

<Picture 6> BMF Equipment before and after Injecting Chemical and Flow Meter for Water Passed through RO

第7章 結 論

지하수에만 전적으로 의존하고 있는 제주도의 용수이용을 다원화함으로써 지하수자원을 보전함과 아울러, 극단적인 가뭄 때에도 농업 및 조경용수의 안정적 공급을 하기 위한 방안에 대한 기초적인 연구를 실시한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 운영중인 3개 하수처리장에 대해 2001. 8 ~ 2002. 4월까지 월 1회씩 방류수에 대한 수질을 분석한 결과, 하수도법에 의한 방류수 수질기준에는 적합하지만 염분이 많이 포함되어 있고, BOD가 높아 농업 및 조경용수 등으로 직접 재이용하는 것은 곤란한 것으로 파악 되었다. 즉, 방류수 중의 염소이온과 BOD의 평균 함량은 각각 $529.6 \sim 730\text{mg}/\ell$ 와 $8.6 \sim 13.8\text{mg}/\ell$ 로서 지하수법상의 농업용수 수질기준(CI $250\text{mg}/\ell$, BOD $8.0\text{mg}/\ell$)보다 높았다. 그렇지만, TCE(트리클로로에틸렌)을 비롯한 PEC, 페놀, 유기인, 비소, 시안, 카드뮴, 6가크롬, 수은 등 유해물질은 검출되지 않았다.
2. 제주시 도두처리장 방류수에는 부유물질(SS)이 $1.8 \sim 13.3\text{mg}/\ell$ (평균 $5.3\text{mg}/\ell$) 함유되어 있고, $2 \sim 11\mu\text{m}$ 의 입자성 물질이 약 3,000개/ml가 함유되어 있어 적정수준 이하로 제거하기 위한 전처리 공정이 필요한 것으로 조사되었으며, 본 연구에서는 전처리 공정평가를 모래여과 공정과 MF 분리막 공정 2가지에 대해 실시하였다.
3. 모래여과 공정에 의한 부유물질 및 입자제거 평가결과, 부유물질 총량은 최저84% 이상의 제거효율을 나타냈으나 역삼투막 분리막에 침착되는 미세부유물질 중 $20\mu\text{m}$ 이하의 입자가 약 98%를 차지하고 있어 모래여과 공정으로는 이들 물질을 제거하기 어려운 것으로 나타났다.

따라서, 본 연구에서는 세공크기 $0.1\mu\text{m}$ 의 MF(Micro filtration) 분리막을 전처리 설비로 사용하였는데, MF는 박테리아를 비롯하여 미생물을 제거하는데 효과적이므로 NF(Nano filtration)이나 역삼투막(RO) 공정이 전처리로 널리 이용하고 있다.

4. 방류수 재이용을 위한 재처리(3차처리 또는 고도처리) 주 공정을 선정하기 위하여 UF(한외여과막), NF(나노여과막), RO(역삼투막) 분리막 종류별 처리성능 평가를 실시한 결과, BOD는 3가지 분리막에서 모두 효과적으로 제거 되었으나, 전기전도도와 염소이온은 RO막(역삼투막)을 제외한 분리막 공정은 10% 미만의 낮은 제거율을 나타내 염분농도가 높은 제주지역 하수처리장 방류수의 재처리에는 RO막 공정이 가장 적합한 것으로 평가 되었다.
5. 제주시 도두하수처리장에 1일 20톤 규모의 파일렛 프랜트를 설치하여 RO(역삼투막) 공정에 의해 1년여간 처리수의 수질을 분석·평가한 결과, 먹는물로도 이용이 가능한 수질로 처리되었다. 즉, 방류수 중의 BOD는 86% 이상, COD는 97% 이상 제거되었으며, 염소이온(CI)은 98% 이상, 나트륨이온(Na)은 97% 이상 제거되었다. 또한, 질산상질소는 87% 이상, 암모니아성 질소는 82% 이상, 칼슘·마그네슘·규산염 등 기타 이온성분들도 90% 이상 제거되었다.
6. 재처리수의 미생물학적 안전성을 확인하기 위해 2003년 9월 3일부터 9월 5일까지 하루 2회씩 대장균군에 대해 분석을 실시한 결과, 방류수에는 600~3,000개/ml의 대장균군이 검출되었으나 MF 처리수에는 36개/ml 이하, RO 처리수에서는 검출되지 않았다.

7. 또한, 사람의 건강에 영향을 미칠 수 있는 유기화합물, 농약, 중금속 등의 포함 여부를 확인하기 위해 방류수 재처리수, 중산간지역 지하수(골프장 2개소), 지표수 시료를 WHO가 권장한 102개 항목에 대하여 정밀수질분석을 실시한 결과, WHO 음용수 수질 권고기준 102개 항목 모두 적합한 것으로 분석되었다. 중산간지역 지하수(골프장 2개소) 및 지표수의 수질과 비교할 때 방류수 재처리수는 중산간지역 심층 지하수와 유사한 수질을 나타내었다.
8. 방류수 재이용을 위한 재처리시설 투자는 재처리수가 인체, 농작물, 지하수에 부정적 영향의 유무에 대한 심층적 연구와 경제성 분석에 대한 추가적인 연구가 이뤄져야 할 것이다.

參 考 文 獻

- 강미아, 2003, 고도와 새로움의 조합인 막분리기술의 특징과 전망, 환경미디어 제 172호, p.46~50
- 건설부, 1994, 중수도 기술개발 방안연구
- 고기원, 2001, 하와이주의 수문지질과 지하수관리, 제주도광역수자원관리본부
- 김갑수, 김영란, 2002, 중수도·빗물 처리기술 및 적용, 환경관리연구소
- 동화기술, 1994, 중수도편람
- 미래환경기술주식회사, 2003, 하수처리 방류수 재이용 추진
- 제주도, 2002, 제주국제자유도시종합계획
- 제주도, 1999, 제주의 물, 용천수
- 한국수자원공사, 1993, 제주도수자원종합개발계획수립 보고서
- 환경부, 1999, 중수도 이용확대를 위한 정책방안 연구
- 환경부, 2003, 2002년 하수종말처리장 운영결과 분석결과
- Asano T., 1985, Artificial Recharge of Groundwater, Butterworth Publishers, Boston, MA
- Asano T., 1999, Wastewater Reuse for Non-Potable Applications : An Introduction, Symposium on Efficient Water Use in Urban Areas-Innovative Ways of Finding Water for Cities, UNDP
- Blumenthal, U.J., Mara, D.D., Peasey, A., Ruiz-Palacios, G., Stott, R., 2000, Guidelines for Microbiological Quality of Treated Wastewater Used in Agriculture : Recommendation for Revising WHO Guidelines, Bulletin of World Health Organization, vol. 78(9)
- Bouwer, H., 1978, Groundwater Hydrology, McGraw-Hill Book Co., New York, New York
- Hawaii State Department of Health Wastewater Branch, 2002, Guidelines for

the Treatment and Use of Recycled Water

- Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture, Report of a WHO Scientific Group, Geneva, World Health Organization, WHO Technical Report Series, No.778
- Hillel, D., 2000, Salinity Management for Sustainable Irrigation : Integrating Science, Environment, and Economics, The International Bank for Reconstruction and Development
- Florida Department of Environmental Protection, 2001, Using Reclaimed Water to Conserve Florida's Water Resources
- Fox P., 1999, Advantages of Aquifer Recharge for a Sustainable Water Supply, Symposium on Efficient Water Use in Urban Areas-Innovative Ways of Finding Water for Cities, UNDP
- Mass, E.V., 1990, Crop Salt Tolerance, In: Agriculture Salinity Assessment and Management, American Society of Civil Engineers, New York
- Reuse Coordinating Committee and Water Conservation Initiative Water Reuse Work Group, 2003, Water Reuse for Florida: Strategies for Effective Use of Reclaimed Water
- South Australia Dep. of Human Services and Environment Protection Agency, 2002, South Australian Reclaimed Water Guidelines(treated effluent)
- State of California, 1984, Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater, A Guidance Manual
- State of Georgia, 2002, Guidelines for Water Reclamation and Urban Water Reuse
- Tanji, K.K., Editor, 1990, Agriculture Salinity Assessment and Management, American Society of Civil Engineers, New York
- Todd, D.K., 1980, Groundwater Hydrology, 2nd ed. John Wiley and Sons, New York, New York
- USGS, 1998, Estimated Use of Water in the United States in 1995, USGS Circular 1200

Van Genuchten, M.Th., 1980, A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils, Soil Science Society of America Journal 44:892~896

York, D.W., R.B.Linsky and Walker-Coleman, 2001, Water is Water: A Guiding Principle for Water Resources Management, Proceedings of the 2001 Florida Water Resources Conference, AWWA Florida Section, FWEA, and FW&PCOA. Jacksonville, FL. 2001



부 록

1. 우리나라 中水道 施設 現況(2002. 12 現在)
2. 美國 EPA의 中水道 권장 水質基準



1. 우리나라 中水道 施設 現況(2002. 12월 現在)

시·도	건 물 명	소 재 지	시설용량 (m ³ /일)	중수용도	설치 년월
전국	114개소		446,927		
서울	26		10,770		
1	롯데월드(잠실)	송파구 잠실동 40-1	1,850	청소,화장실,세정수	'98.6
2	롯데호텔(본점)	중구 소공동 1번지	150	청소,화장실,세정수	'99.10
3	그랜드 인터콘티넨탈	강남구 삼성동 159-8	300	청소,화장실,세정수	'93.4
4	포항종합제철	강남구 대치동 892-5	300	청소,화장실,세정수	'95.12
5	(주)대한항공	강서구 공항동 360-1	400	청소,화장실,세정수	'97.3
6	고려아카데미텔	마포구 아현동 437-3	100	청소,화장실,세정수	'98. 9
7	스포타임	서초구 양재동 24	70	청소,화장실,세정수	'94. 6
8	군인공제회관	강남구도곡동 467-12	150	청소,화장실,세정수	'99. 11
9	코엑스 컨티넨탈	강남구 삼성동 159	400	청소,화장실,세정수	'99. 12
10	LG 유통	강남구 역삼동 679	300	청소,화장실,세정수	'99. 8
11	테크노마트	광진구 구의동 546-4	1,300	청소,화장실,세정수	'99. 9
12	뉴존빌딩	중구 신당동 251외	200	청소,화장실,세정수	'00.5
13	컨벤션센터	강남구 삼성동 159	1,100	청소,화장실,세정수	'00.6
14	(주)서울고속터미널	서초구 반포동 19-4	300	청소,화장실,세정수	'98.9
15	(주)센터럴시티	서초구 반포동 19-4	900	청소,화장실,세정수	'00.12
16	홍국생명보험	종로구 신문로1가-226	250	화장실,조경살수	'00.10
17	신동아화재	중구 태평로2가 28-1	250	청소,화장실,세정수	'01.1
18	현대목동타워 41	양천구 목동 917-9	500	청소,화장실,세정수	'01.6
19	한국산업은행	영등포구여의도동 16-3	150	화장실세정수	'01.6
20	현대백화점	성북구길음3동 509-2	400	화장실세정수	'01.8
21	시흥유통상가	금천구 시흥3동 984	300	화장실세정수	'01.3
22	롯데백화점	관악점	80	화장실세정수	'97.10
23	현대산업개발	강남구 역삼동 737	600	청소,화장실세정수	'01.7
24	갤러리아	강남구 삼성동 159	130	청소,화장실세정수	'01.9
25	동부증권	강남구대치동 891-10	200	청소,화장실세정수	'02.1
26	(주)케이티	강서구 목동 924번지	90	세면수, 목욕수	'02.12

시·도	건 물 명	소 재 지	시설용량 (㎡/일)	중수용도	설치 년월
부산	10		4,271		
1	반여농산물도매시장관리사업소	해운대구 반여동	311	화장실	2000.12
2	동아대학교 병원	서구 동대신동	400	화장실	2002.3
3	부산롯데월드	부산진구 부전동	1,500	화장실,공조냉각	1996.3
4	(주)해운대그랜드호텔	해운대구 우2동	350	화장실,냉각,조경	1997.1
5	롯데백화점 동래점	동래구 명륜동	270	화장실	2002.1
6	메리어트호텔 부산	해운대구 우2동	300	화장실,냉각수,조경	2002.1
7	부산광역시청	연제구 연산5동	350	화장실,소방,조경	1998.6
8	부산지방경찰청	연제구 연산5동	180	화장실,조경,소방,,	1998.5
9	부산복합 화력건설처	사하구 감천동	510	발전	2002.8
10	(주)부산전시,컨벤션센터	해운대구 반송동	100	화장실	2001.4
대구	2		5,150		
1	무림제지	북구 침산동 550	5,000	청소용	'98. 7
2	인터불고(주)	수성구 만촌동 산9	150	화장실세척수	'01. 8
인천	6		22,400		
1	지방공사인천터미널	남구 관교동 15	220	세정수	'97. 12
2	유니드(주)	남구 학익동 587	700	공업	'01. 9
3	롯데(주)인천점	남동구 구월동 145	300	세정수	'02. 7
4	인천국제공항	중구 운서동 2172	20,000	세정·조경	'00. 12
5	제일제당(주) 인천1공장	중구 신흥동 3가 7	1,000	조경·공업	'02. 5
6	서인천복합발전처	서구 경서동 674	180	공업	'99. 11
광주	6		6,730		
1	엠코테크놀로지코리아(주)	북구 대촌동 249	770	세척수, 청소수	'96. 9
2	(주)OB백주 광주공장	북구 일곡동 685	360	세척수, 청소수	'96. 9
3	삼성광주전자	광산구 오선동 271	3,000	화장실,양어장,	'96. 9
4	세방전자	광산구 장덕동 981	1,400	공정청소,세척수	'96. 9
5	대우전자	광산구 하남동 500	800	세탁기시험수	'95. 3
6	광주월드컵경기장(수영장)	서구 풍암동 423	400	조경실수,분수,	2001. 9
대전	4		1,520		
1	대전광역시청	서구 둔산동 1420	100	화장실	'99.11.13
2	정부대전청사	서구 둔산동 920	800	화장실	'99. 12
3	롯데백화점	괴정동 423-1	550	청소·화장실	'00. 4.27
4	한국수자원공사	연축동 산6-2	70	청소·화장실	'98. 8

시·도	건 물 명	소 재 지	시설용량 (m ² /일)	중수용도	설치년월
울산	3		33,800		
1	울산공용여객자동차터미널	남구 삼산동 1480-1	800	화장실용	'01. 8
2	한국제지(주)	울주군 온산읍 당월리 350	12,000	공정	'98. 9
3	동해펄프(주)	울주군 온산읍 당월리 1	21,000	공정, 펄프세척수	'99. 9
경기	16		43,480		
1	삼성코닝	수원시 팔달구 신동 472	5,500	세척수	1995.1
2	삼성전기	수원시 팔달구 매탄3동 314	4,500	세정수	1997.8
3	한국지역난방공사	수원시 팔달구 영통2동 961-13	720	난방용	1997.11
4	삼성전관	수원시 팔달구 신동 575	7,080	냉각수, 세정수	1995.1
5	삼성전자	수원시 팔달구 매탄3동 416-2	2,400	냉각수, 세정수	1980
6	주택공사분당사옥	성남시 분당구 구미동 175	200	세정수, 조경수	1997.6
7	코오롱트리폴리스	성남시 분당구 금곡동 210	300	세정수	2001.12
8	LG 백화점	부천시 원미구 중동 1140	300	세정수	1996
9	삼성 기흥반도체	용인시 기흥읍 농서리 산24	10,000	냉각수, 세정수,	1994.4
10	에버랜드	용인시 포곡면 전대리 310	6,500	냉각수, 세정수,	1993.9
11	쌍용자동차(주)	평택시 칠괴동 130-3	600	세정수, 세척수	2000.2
12	(주)신세계 E-마트	평택시 지체동 50	100	세정수, 세척수	2001.12
13	삼립식품	시흥시 정왕동 1253-5	480	세정수, 조경수	1995.2
14	하이닉스 반도체(주)	이천시 부발읍 아미리 산136-1	4,000	세정수	1996.3
15	(주)농심	안성시 신소현동153	200	세정수, 냉각수	2001.9
16	동아방송대학	안성시 삼죽면 진촌리632-18	600	세정수, 조경수,	1997.4
강원	6		16,256		
1	하이트맥주	홍천군 북방면 하화계리 830	2,100	청소	1992. 6
2	홍천온천	홍천군 북방면 소매곡리	500	생활	1998. 2
3	대명레저	홍천군 서면 팔봉리 692	3,800	청소	1995. 11
4	현대시멘트	횡성군 두원리 204번지	4,500	조경	1995. 12
5	보광 휘닉스	평창군 봉평면 면온리 1033	5,000	조경	1995. 11
6	(주)한솔오크밸리	원주시 지장면 월송리 1016	356	화장실, 청소	1998. 1
충남	5		21,190		
1	MEMC	천안시 성거읍 오목리	2,300	공업, 세정수	'99. 4
2	삼성 SDI	천안시 성성동	12,490	공업, 세정수	'99. 4
3	삼성전자	아산시 배방면 북수리	2,100	공정, 위생, 조경수	'99. 5
4	한국타이어 (금산공장)	금산군 제원면 명암리 433	300	화장실, 세척수	'01. 9
5	삼성전기	연기군 동면 명학리 581	4,000	대기방지, 화장실	'99. 5

전북	7		95,560		
1	(주)펜아시아	전주시 덕진구 팔복동 2가	20,000	세정수,공정	1998. 5
2	(주)휴비스	전주시덕진구 팔복동 2가	2,000	세정수,공정	1994. 4
3	(주)휴비스 신공장	전주시덕진구 팔복동 2가	2,000	세정수,공정	1994. 4
4	모나리자 1공장	전주시덕진구 팔복동 2가	3,500	세정수,공정	1994. 4
5	모나리자 2공장	전주시덕진구 팔복동 2가	1,500	세정수,공정	1994. 4
6	(주)세풍	군산시 조촌동	65,000	세정수,공정	1992. 1
7	일진소재	익산시 팔봉동	1,560	세정수,공정	2002. 12
전남	7		120,960		
1	LG화학여천공단	여수시 화치동 70-1	2,400	세정탑 보충수	2000. 3.21
2	여수화력발전소	여수시 중흥동 1400	60	저탄장 실수	1996.11.22
3	호남화력발전소	여수시 월래동 280	1,920	세정수	1995. 9. 4
4	한화종합화학	여수시 평여동 287-9	1,680	,냉각수,소방수	1999. 8.23
5	LG화학SM	여수시적량동 1214-1	900	냉각수, 소방수	1994.10.30
6	LG칼텍스 정유	여수시 월래동 1056	8,000	냉각수, 소방수	1997. 1.10
7	광양제철소	광양시 금호동 700	106,000	공업용(냉각수)	1996.10.31
경북	11		64,080		
1	포스코	포항시 남구 등촌동 5	40,000	냉각용,먼지살수	1988. 9
2	INI스틸	포항시남구 송내동 444	1,500	공업	1994. 6
3	코오롱 김천공장	김천시 신음동 300-2	720	공업	2000. 2
4	(주)코오롱	구미시 공단동 212	4,100	공정수, 세척용	1995. 4
5	LG마이크론	구미시 구포동 624	3,100	공정수, 처리수	2000. 4
6	LG필립스 디스플레이	구미시 공단동 184	5,000	공정수	1996. 2
7	(주)새한	구미시 공단동 287	4,000	열교환기	1997. 6
8	LG실트론	구미시 임수동 274	1,600	PW,재활용	1999. 8
9	한국초자(주)	구미시 공단동 159	360	공정수	1995. 2
10	삼성코닝(주)	구미시 진평동 644	3,000	공정수	2002. 12
11	하수종말처리장	경산시대정동 48, 137	700	약품용해용	2000. 12
경남	3		600		
1	롯데백화점	창원시 상남동 79	300	화장실,청소	2002. 2.19
2	신세계백화점	마산시 산호동 10-3	200	화장실	2000. 8.12
3	삼성병원	마산시 합성동 50	100	화장실	2000. 6. 27
제주	2		160		
1	한마음병원	제주시 일도2동	50	청소,화장실	1999. 11
2	금강산콘도	북제주군한림읍 금능리	110	조경수,화장실	2001. 9

2. 美國 EPA의 中水道 권장 水質基準

Types of Reuse	Treatment	Reclaimed Water Quality ²	Reclaimed Water Monitoring	Setback Distances ³
Urban Reuse	*Secondary ⁴ *Filtration ⁵ *Disinfection ⁶	*pH=6.9 *≤10mg/ℓ BOD ⁷ *≤2 NTU ⁸ *No detectable fecal coli/100mℓ ^{9,10} *1mg/ℓ Cl ₂ residual(min.) ¹¹	*pH-weekly *BOD-weekly *Turbidity-continuous *Coliform-daily *Cl ₂ residual-continuous	*50ft(15m) to potable water supply wells
Restricted Access Area Irrigation	*Secondary ⁴ *Disinfection ⁶	*pH=6.9 *≤30mg/ℓ BOD ⁷ *≤30mg/ℓ SS *≤200fecal coli/100mℓ ^{9,13,14} *1mg/ℓ Cl ₂ residual(min.) ¹¹	*pH-weekly *BOD-weekly *SS-daily *Coliform-daily *Cl ₂ residual-continuous	*300ft(90m) to potable water supply wells *100ft(30m) to areas accessible to the public(if spray irrigation)
Agricultural Reuse Food Crops Not Commercially Processed ¹⁵	*Secondary ⁴ *Filtration ⁵ *Disinfection ⁶	*pH=6.9 *≤10mg/ℓ BOD ⁷ *≤2 NTU ⁸ *No detectable fecal coli/100mℓ ^{9,10} *1mg/ℓ Cl ₂ residual(min.) ¹¹	*pH-weekly *BOD-weekly *Turbidity-continuous *Coliform-daily *Cl ₂ residual-continuous	*50ft(15m) to potable water supply wells
Agricultural Reuse -Food Crops Commercially Processed ¹⁵	*Secondary ⁴ *Disinfection ⁶	*pH=6.9 *≤30mg/ℓ BOD ⁷ *≤30mg/ℓ SS *≤200fecal coli/100mℓ ^{9,13,14} *1mg/ℓ Cl ₂ residual(min.) ¹¹	*pH-weekly *BOD-weekly *SS-daily *Coliform-daily *Cl ₂ residual-continuous	*300ft(90m) to potable water supply wells *100ft(30m) to areas accessible to the public
Agricultural Reuse -Non-Food Crops	*Secondary ⁴ *Disinfection ⁶	*pH=6.9 *≤30mg/ℓ BOD ⁷ *≤30mg/ℓ SS *≤200fecal coli/100mℓ ^{9,13,14} *1mg/ℓ Cl ₂ residual(min.) ¹¹	*pH-weekly *BOD-weekly *SS-daily *Coliform-daily *Cl ₂ residual-continuous	*300ft(90m) to potable water supply wells *100ft(30m) to areas accessible to the public(if spray irrigation)
Recreational Impoundments	*Secondary ⁴ *Filtration ⁵ *Disinfection ⁶	*pH=6.9 *≤10mg/ℓ BOD ⁷ *≤2 NTU ⁸ *No detectable fecal coli/100mℓ ^{9,10} *1mg/ℓ Cl ₂ residual(min.) ¹¹	*pH-weekly *BOD-weekly *Turbidity-continuous *Coliform-daily *Cl ₂ residual-continuous	*500ft(150m) to potable water supply wells (minimum) if bottom not sealed

Types of Reuse	Treatment	Reclaimed Water Quality ²	Reclaimed Water Monitoring	Setback Distances ³
Landscape Impoundments	*Secondary ⁴ *Disinfection ⁶	*≤30mg/ℓ BOD ⁷ *≤30mg/ℓ SS *≤200 fecal coli/100mℓ ^{9,13,14} *1mg/ℓ Cl ₂ residual(min.) ¹¹	*pH-weekly *SS-daily *Coliform-daily *Cl ₂ residual-continuous	*50ft(15m) to potable water supply wells
Construction Uses	*Secondary ⁴ *Disinfection ⁶	*≤30mg/ℓ BOD ⁷ *≤30mg/ℓ SS *≤200fecal coli/100mℓ ^{9,13,14} *1mg/ℓ Cl ₂ residual(min.) ¹¹	*BOD-weekly *Turbidity-continuous *Coliform-daily *Cl ₂ residual-continuous	*300ft(90m) to areas accessible to the public
Industrial Reuse	*Secondary ⁴	*pH=6.9 *≤30mg/ℓ BOD ⁷ *≤30mg/ℓ SS *≤200fecal coli/100mℓ ^{9,13,14} *1mg/ℓ Cl ₂ residual(min.) ¹¹	*pH-daily *BOD-weekly *SS-weekly *Coliform-daily *Cl ₂ residual-continuous	*300ft(90m) to potable water supply wells *100ft(30m) to areas accessible to the public(if s p r a y irrigation)
Recirculating cooling towers	*Secondary ⁴ *Disinfection ⁶ (chemical coagulation and filtration ⁵)	*Variable, depends on recirculation ratio (see Section 3.3.1) *300ft(90m) to areas accessible to the public. May be reduced if high level of disinfection is provided.		
Other Industrial Uses	Depends on site specific use(See Sections 3.3.2 and 3.3.3)			
Environmental Reuse	*Variable *Secondary ⁴ Disinfection ⁶	Variable, but not to exceed: *≤30mg/ℓ BOD *≤30mg/ℓ SS *≤200fecal coli/100mℓ ^{9,13,14}	*BOD-weekly *SS-daily *Coliform-daily *Cl ₂ residual-continuous	
Groundwater Recharge	*Site specific and use dependent *Primary(min.) for spreading *Secondary ⁴ (min.) for injection	*Site specific and use dependent	*Depends on treatment and use	*Site specific

Types of Reuse	Treatment	Reclaimed Water Quality ²	Reclaimed Water Monitoring	Setback Distances ³
Indirect Potable Reuse	*Site specific *Secondary ⁴ and disinfection ⁶ (min.) May also need filtration ⁵ and/or advanced wastewater treatment ¹⁶	*Site specific *Meet drinking water standards after percolation through vadose zone	Includes, but not limited to, the following: *pH-daily *Cl ₂ residual-continuous *drinking water standards- quarterly *Other ¹⁷ -depends on constituent	*2000ft(600m) to extraction wells. May vary depending on treatment and site-specific conditions.
Groundwater	*Secondary ⁴ *Filtration ⁵ *Disinfection ⁶ *Advanced wastewater treatment ¹⁶	Includes, but not limited to, the following: *pH=6.5~8.5 *≤2 NTU ⁵ *No detectable fecal coli/100mℓ ^{9,10} *1mg/ℓ Cl ₂ residual(min.) ¹¹ *Meet drinking water standards	Includes, but not limited to, the following: *pH-daily *Cl ₂ residual-continuous *drinking water standards- quarterly *Other ¹⁷ -depends on constituent	*2000ft(600m) to extraction wells. May vary depending on site-specific conditions.
Indirect Potable Reuse	*Secondary ⁴ *Filtration ⁵ *Disinfection ⁶ *Advanced wastewater treatment ¹⁶	Includes, but not limited to, the following: *pH=6.5~8.5 *≤2 NTU ⁵ *No detectable fecal coli/100mℓ ^{9,10} *1mg/ℓ Cl ₂ residual(min.) ¹¹ *Meet drinking water standards	Includes, but not limited to, the following: *pH-daily *Turbidity-continuous *coliform-daily *Cl ₂ residual-continuous *Drinking water standards- quarterly *Other ¹⁷ -depends on constituent	*Site specific

1) These guidelines are based on reclamation and reuse practices in the U.S., and they are especially directed at states that have not developed their own regulations or guidelines. While the guidelines should be useful in many reas outside the U.S., local conditions may limit the applicability of the guidelines in some countries (see Chapter8). It is explicitly stated that the direct application of suggested guidelines will not be used by AID as strict criteria for founding.

- 2) Unless otherwise noted, recommended quality limits apply to the reclaimed water at the point of discharge from the treatment facility.
- 3) Setback distances are recommended to protect potable water supply sources from contamination and to protect humans from un reasonable health risks due to exposure to reclaimed water.
- 4) Secondary treatment processes include activated sludge processes, tricking filters, rotating biological contactors, and many stabilization pond systems.. Secondary treatment should produce effluent in which both the BOD and SS do exceed 30 mg/ℓ .
- 5) Filtration means the passing of wastewater through natural undisturbed soils or filter media such as sand and/or anthracite.
- 6) Disinfection means the destructions, inactivation, or removal of pathogenic microorganisms by chemical, physical, or biological means. Disinfection may be accomplished by chlorination, ozonation, other chemical disinfectants, UV radiation, membrane processes, or other processes.
- 7) As determined from the 5-day BOD test.
- 8) The recommended turbidity limit should be met prior to disinfection. The average turbidity should be based on a 24-hour time period. The turbidity should not exceed 5 NTU at any time. If SS is used in lieu of turbidity, the averages SS should not exceed 5mg/ℓ .
- 9) Unless otherwise noted, recommended coliform limits are median values determined from the bacteriological results of the last 7 days for which analyses have been completed. Either the membrane filter or fermentation tube technique may be used.
- 10) The number of coliform organisms should not exceed 14/100ml in any sample.
- 11) Total chlorine residual after a minimum contact time of 30 minutes.
- 12) It is advisable to fully characterize the microbiological quality of the reclaimed water prior to implementation of a reuse program.
- 13) The number of fecal coliform organisms should not exceed 800/100ml in any sample.
- 14) Some stabilization pond systems may be able to meet this coliform limit without disinfection.
- 15) Commercially processed food crops are those that, prior to sale to the

public or others, have undergone chemical or physical processing sufficient to destroy pathogens.

- 16) Advanced wastewater treatment processes include chemical clarification, carbon adsorption, reverse osmosis and other membrane processes, air stripping, ultrafiltration.
- 17) Monitoring should include inorganic and organic compounds, or classes of compounds, that are known or suspected to be toxic, carcinogenic, teratogenic, or mutagenic and are not included in the drinking water standards.



감사의 글

이 논문이 완성되기까지 세심한 배려와 지도를 해주신 양성기 교수님과 논문의 내용을 면밀히 검토하여 지적하고 바로잡아 주신 박상렬 교수님, 박원배 박사님, 특히, 이 논문을 쓸 수 있도록 동기를 부여해주고 여러 가지로 부족한 점을 교정해주고 가르침을 주신 고기원 박사님께 감사드립니다.

대학원 생활을 보람 있게 보낼 수 있도록 서로 돕고 격려하면서 지내온 동기들과 선.후배들, 학업기간동안 따뜻한 마음으로 격려해주신 주위의 모든분들과 직장 동료들께도 감사드립니다.

때늦게 대학원을 입학했을 때 어려움이 많았지만 이를 극복하고 한결같이 뒷바라지를 해준 아내에게 고마움을 전하고 논문완성의 기쁨을 같이 나누고자 합니다.