

# 제주 하수처리장 농업용수 재이용사업 소개

## Introduction of Wastewater reuse Project for Supply of Agricultural Use in Jeju Island

이광야\*, 김해도\*\*, 이용직\*\*\*

Kwang Ya Lee, Hae Do Kim, Yong Jig Lee

### 요 지

한국농어촌공사에서 2008년도 환경부 하수처리장 재이용사업으로 선정된 제주특별자치도 서부(판포)하수처리장 농업용수재이용 사업을 위탁받아 사업을 진행하고 있다. 하수처리수를 농업용목적으로 재이용하기 위해서는 농업용수 재이용수질기준에 우선 적합해야하고 작물재배실험 및 수질, 토양, 생태환경 영향 뿐만 아니라 공중보건위생 위험도 등 종합적이고 체계적인 연구결과를 바탕으로 적용해야한다. 이를 위해 수자원 프런티어사업단의 「농업용수재이용시스템적용 연구」에서는 하수처리수의 농업용수 재이용과 관련한 종합적인 연구를 통해 농업환경피해를 최소화하고 안전성 확보를 위한 방안을 수립하고 있다. 서부하수처리장은 제주도 환경면 판포리에 위치하여 2007년도에 준공하였고 2008년도부터 본격적으로 가동중이다. 재이용 공급대상 농경지는 처리장의 주변 농경지로 249ha를 대상으로 하고 있으며 사업시행을 위해 타당성 분석, 기본계획 및 실시계획을 시행하였고 2009년 12월까지 시설의 설치 및 시험가동 완료를 목표로 하고 있다. 본 연구에서는 농업용수 재이용사업의 계획 수립을 위해 필요한 분석활동 내용과 안전하게 제주도 하수처리수를 재이용할 수 있는 농업용수 재이용시스템 설계내용을 중심으로 기술하였다. 현재 농촌은 도시화가 전국으로 확산되면서 농촌의 쾌적성은 점차 훼손되었고 하천·호소의 수질이 더욱 악화되고 있다. 또한 농촌지역의 도시화에 따라 하수처리장의 농촌지역에도 늘어가고 있으며 이제는 농촌지역과 도시지역이 구분되지 않고 혼합되어 있는 형태로 발전하고 있기 때문에 과거의 농업활동도 변화되고 있으며, 하천에서 취수하는 용수중에서 농업용수로의 사용이 부적합한 용수가 취수되고 있다. 따라서 하수처리수의 농업용수 재이용시스템과 같이 수처리를 이용한 농업용수의 공급방안이 확대될 것으로 판단된다.

**핵심용어 : 대체수자원, 하수처리수, 재이용, 살균, 농업용수, 제염**

### 1. 서 론

「제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사 (III)」(제주도 2003)에서는 평년기준 제주도 지하수 이용가능량을 645백만 $m^3$ (일평균 1,768천 $m^3$ )으로 보고있다. 또한 제주발전연구원(2006) 자료에 따르면 2005년말 현재 제주도 지하수개발량은 1,607천 $m^3$ /일로서 지하수 적정개발량 대비 90.9%에 이르고 있다. 제주시와 서귀포시의 신도시 개발지역에서는 도시 확장에 따른 사설 지하수개발공이 증가하는 추세이며, 일부 지역의 지하수 오염, 염분 농도 증가 등이 나타나고 있어 국지적으로는 지하수 개발이 한계에 이른 것으로 평가된다.

하수처리수를 농업용목적으로 재이용하기 위해서는 농업용수 재이용수질기준에 우선 적합해야

\* 정회원 · 한국농촌공사 농어촌연구원 책임연구원 · E-mail : kylee@ekr.or.kr  
\*\* 정회원 · 한국농촌공사 농어촌연구원 주임연구원 · E-mail : searoad@ekr.or.kr  
\*\*\* 정회원 · 한국농촌공사 농어촌연구원 팀장 · E-mail : leeyj@ekr.or.kr

하고 작물재배실험 및 수질, 토양, 생태환경 영향 뿐만아니라 공중보건위생 위험도 등 종합적이고 체계적인 연구결과를 바탕으로 적용해야한다. 이를 위해 수자원 프런티어사업단의 <농업용수재이용시스템적용 연구>에서는 하수처리수의 농업용수 재이용과 관련한 종합적인 연구를 통해 농업환경피해를 최소화하고 안전성 확보를 위한 방안을 수립하고 있다. 서부하수처리장은 제주도 한경면 판포리에 위치하여 2007년도에 준공하였고 2008년도부터 본격적으로 가동중이다. 재이용 공급 대상 농경지는 처리장의 주변 농경지로 249ha를 대상으로 하고 있으며 사업시행을 위해 타당성 분석, 기본계획 및 실시설계를 시행하였고 2009년 12월까지 시설의 설치 및 시험가동 완료를 목표로 하고 있다. 본 연구에서는 농업용수 재이용사업의 계획 수립을 위해 필요한 분석활동 내용과 안전하게 제주도 하수처리수를 재이용할 수 있는 농업용수 재이용시스템 설계내용을 중심으로 기술하였다.

## 2. 설치 대상지역 현황

### 2.1 하수처리장 현황

제주서부하수처리장은 1,2단계로 나누어 건설되고 있다. 2008년 현재 1단계가 완료된 상태로 처리구역 면적은 647ha, 처리계획인구는 35,850명이며 계획하수량 일평균 9,200m<sup>3</sup>, 일최대 12,000m<sup>3</sup>, 시간최대 21,500m<sup>3</sup>, 우천시에는 22,200m<sup>3</sup>이며, 처리시설용량은 12,000m<sup>3</sup>/일이다. 방류수 계획처리 수질은 BOD 10mg/L, COD 23mg/L, SS 10mg/L, T-N 10mg/L, T-P 2mg/L이다. 최종방류수는 바다로 방류되고 있다. 수처리효율은 BOD 93.5%, COD 85.0%, SS 92.0%, T-N 72.2%, T-P 62.2%이다.

본 연구는 제주서부하수처리장 방류수를 농업용수로 재이용하는 것으로서, 수질관점에서 유기물과 중금속 등의 항목도 중요하지만, 염도도 작물의 생육과 수확량과 밀접한 관련이 있어 서부하수처리장으로 유입되는 하수의 염도변화를 살펴보고자 25개소 중계펌프장 중에서 주요한 7개소에 대해서 조사를 실시하였다. 조사지점은 25개 중계펌프장 중에서 서부하수처리장을 중심으로 북측으로는 가문, 광지, 라신, 한림, 협재, 남측으로는 두모, 와포, 고산에 대하여 조사를 실시하였다.

### 2.3 농경지 현황

제주도의 경지면적은 지난 30여년 동안 연평균 약 0.5 %씩 증가해왔으나 2000년을 기준으로 조금씩 감소되는 추세이다. 한편, 제주국제자유도시종합계획(2003, 제주도)에서는 2011년에는 경지면적이 55,537ha로 추정하였고, 농업용수종합계획(2004, 제주도) 보고서에서는 경지면적을 55,490ha로 추정하였다. 사업대상지구인 한경면 판포리의 전체 농경지 면적은 413ha으로 그중 밭이 387ha, 과수원이 26ha로 조사되었다.

표 1. 농경지 면적 현황

행정구역			면적 (ha)			
시군	읍면	리동	계	답	전	과수원
제주	한경	판포	413.0	-	387.0	26.0

제주도에서는 매년 일정한 시기에 가뭄의 피해를 받고 있다. 가뭄의 피해가 가장 컸던 1994년에 밭 65,294 ha 중에서 가뭄피해를 받는 지역이 8,722ha(두류 2,258 ha, 채소류 6,464 ha)로 약 13.4

%의 밭이 가뭄피해를 받았으며, 제주도의 밭농업 특성상 며칠만 무강수일수가 지속돼도 가뭄에 취약한 양상을 보인다. 특히, 타지역에 비해 연평균 강수량이 700 mm 이상 부족한 서부지역인 한경면 일원의 경우는 2~3년 주기로 상습적인 가뭄현상이 발생하고 있으며, 주요재배작물인 마늘, 양파, 양배추 등의 파종 및 생육기에 강수가 없을시 심각한 물부족 현상이 발생하고 있다.

**표 2. 1994년 제주의 밭작물 가뭄피해현황**

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

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

### 3. 설치 대상지역 수질조사 분석

수중의 용존산소는 생물의 생육에 필수불가결한 중요요소이며, 관개수에 있어 적정 농도는 현행 수질기준의 농업용수는 2.0mg/L이상이면 만족하나 5.0mg/L 이상을 유지하는 것이 권장되고 있다. 중계펌프장의 3차에 걸친 현장 DO조사결과는 1.6~6.1mg/L범위를 나타내었고 조사시기별로는 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다. 서부하수처리장을 중심으로 상류측인 한림읍과 애월읍에 위치한 중계펌프장의 DO가 하류측 보다 낮았다. 이는 인구가 많아 유기물등 오염물질량이 많기 때문으로 판단된다. 서부처리장의 유입수의 DO 농도는 3.3~3.5mg/L로서 조사를 실시한 중계펌프장의 평균 DO 농도와 큰 차이는 없었다. 방류수의 DO는 3.6~4.5mg/L로서 농업용수 수질기준인 2.0이상은 만족하는 것으로 나타났다. 하지만 5.0mg/L이상 권장 수준을 만족하기 위해서는 재이용처리시설에서 폭기시설이 도입되어야 할 것으로 판단하였다.

중계펌프장 및 서부하수처리장의 전기전도도 조사결과는 조사시기별로 다소의 차이가 나타났다. 중계펌프장은 1차조사시는 480~2,045 $\mu$ s/cm이며 평균은 1,030 $\mu$ s/cm, 2차는 463~1,064 $\mu$ s/cm, 평균 787 $\mu$ s/cm, 3차는 466~1,732 $\mu$ s/cm, 평균은 1,211 $\mu$ s/cm이었다. 조사시기별로는 1차와 3차는 비슷하였으나 2차조사시의 EC농도가 다소 낮았다. 그리고 서부하수처리장을 중심으로 상류측과 하류측의 중계펌프장의 EC에도 차이가 있는 것으로 나타났다. 상류와 하류측의 평균 EC는 1차가 각각 1,303과 575 $\mu$ s/cm로서 730 $\mu$ s/cm의 차이가 있었고, 2차에서는 각각 881과 630 $\mu$ s/cm로서 251 $\mu$ s/cm의 차이가 있었고, 3차는 각각 1,446과 826 $\mu$ s/cm로서 625 $\mu$ s/cm의 차이가 있었다. 이는 상류측이 한림읍과 애월읍이 있어 인구수가 많으며, 협재, 한림, 광지 등 관광지가 있어 식당 등에서 염분함량이 높은 하수가 배출되는 영향으로 판단된다. 또 한가지의 추가적인 영향은 상류측의 중계펌프장은 거의 해변에 연해 위치해 있어 고조시에 하수차집관로로 바닷물이 침투하는 영향이 있을 수도 있다. 우선적으로 하수차집관거로의 해수침투에 대한 조사가 필요할 것으로 판단된다.

그 밖에 염소, T-N, T-P, COD, 중금속에 대해 분석하였는데, 중금속에 대해서는 카드뮴, 납, 구리, 비소, 아연에 대하여 조사하였다. 농업용수 수질기준은 카드뮴(Cd)이 0.01이하, 납(Pb)가 0.1이하, 비소(As)가 0.05이하이다. 본 조사항목에 포함된 중금속은 모두 검출되지 않았다. 그리고 나머지 수질분석 결과 농업용수로 사용하기 위해서는 대부분 하수처리수 수질기준에는 만족하지만 현행 농업용수수질기준에는 미치지 못하여 농업용수 기준 및 재이용수 수질권고기준에 적합하도록 고차처리가 필요한 것으로 분석되었다.

### 3. 하수처리수 재이용시스템 적용계획

하수처리수 재이용시스템의 적용을 위해 농업용수재이용시스템 적용기술개발(서울대, 2007)을 통해 개발된 요소기술 및 작물재배실험 결과를 적용하여 재이용수준을 결정하여 최종적으로 재이용시스템을 설계하여 본 지구에 적용하였다. 개발된 요소기술 및 작물재배실험 결과에 대한 내용은 2007년부터 3단계 연구과제로 계속 수행되어 2011년 완료될 계획으로 주요연구내용은 다음과 같다.

- ① 하수재이용시스템개발 (직접, 간접 재이용시스템)
- ② 작물재배적용시험 (논벼, 밭작물, 채소류)
- ③ 적정시비량적용시험 (논벼)
- ④ 하수재이용 재배에 따른 벼의 중금속 집적, 식미, 영양성분 및 채소류 중 중금속/생체호르몬성분 집적시험
- ⑤ 하수재이용에 따른 수질, 토양 생태환경 영향평가(포장, 유역단위)
- ⑥ 하수재이용에 따른 보건위생위험도평가
- ⑦ 하수재이용 시범사업지구 생육, 환경영향 모니터링 및 평가
- ⑧ 하수재이용 자원조사 및 농업용수재이용계획수립

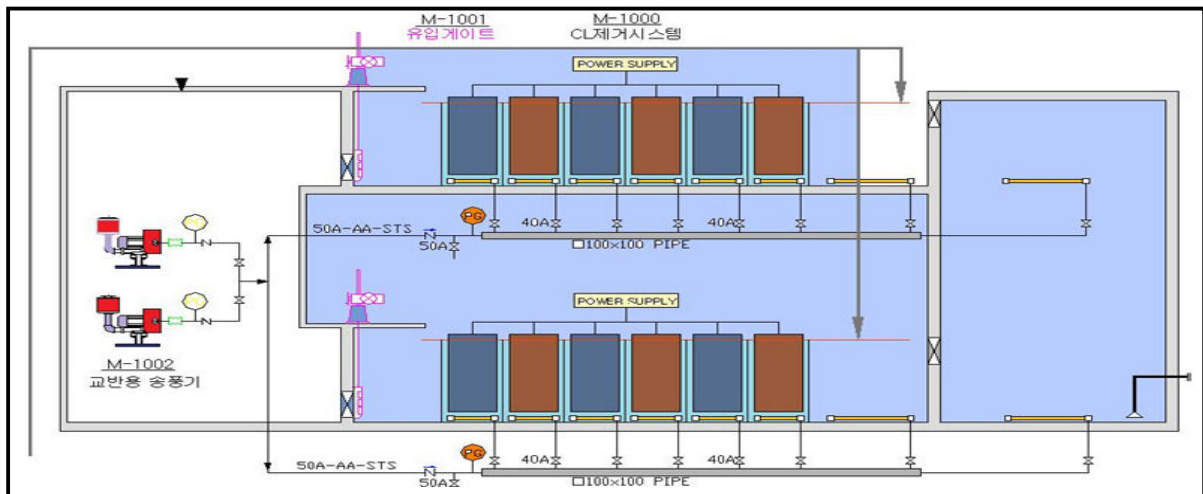


그림 1. 재이용시스템 모식도

제주도의 하수처리장은 개거식 하수관거로 이루어진 곳이 많고, 주로 해안 인근에 위치하고 있으며, 하천이 아닌 해양으로 방류하는 제주도만의 독특한 특성을 가지고 있다. 제주지역 하수처리장의 하수유입량의 변화는 1/4분기 이후 점점 증가하다가 하절기가 포함되는 3/4분기에 가장 많은데 이는 여름철 물 사용량 증가로 인한 것이다. 방류수의 수질은 BOD농도의 경우 농업용수 수질 기준을 상회하고 있으며, 염소이온 농도는 최대 117.6~3,523.9 mg/L (평균 529.6~730.0mg/L)범위를 보이는데 이는 내륙지역 하수처리장 방류수보다 훨씬 높게 나타나고 있다. 따라서 제주지역에서 하수를 재이용하기 위해서는 적절한 공정에 의한 재처리 시설이 반드시 요구된다. 특히 수질분석 결과에 따라 방류수가 염분을 다량으로 함유하고 있기 때문에 농업용 목적으로 이용하기 위해서는 염분제거장치의 설치가 매우 중요하였는데 본 연구에서는 전기분해방식을 이용한 염분제거장치를 계획하였다. 본 기술은 원수조, 희석조, 전기분해장치로 구성되며 카본모듈시스템을 이용하여 유입수 중의 용해성 CL과 NA를 제거하는 원리이다. 처리공정은 하수처리장 방류수에서 유출되는

처리수를 필터로 1차 처리하여 부유물질(SS) 3mg/L 이하로 제거 후 원수조로 압송하며, 염 제거 반응조에서 CL과 NA를 제거후 희석조에서 희석하고 최종 처리수는 이송 펌프로 가압하여 농업용수로 보내어 진다. 카본모듈 전기분해장치에 투입된 카본모듈 표면에 직류전류를 통하게 하여 계속적으로 카본에 전기 화학적 용해작용으로 염분을 제거하는 거승로 양극의 카본 표면에서 (+) 전하와, (-)전하 전류의 흐름방향에 따라 양극에서 음극의 카본 표면으로 이동하는 과정에서 전기 분해장치의 산소와 반응하여 CL을 제거하는 원리이다.

현재 시스템을 제작하고 있는 과정이며 2009년 12월에 서부하수처리장내에 시스템을 완공하여 농업용수를 공급할 계획에 있다. 공급계획도 별도의 공급계획과 저장조를 계획하여 농가가 필요시 사용할 수 있도록 계획하였다.

#### 4. 결론

본 연구의 초점은 농업용 목적으로 수처리장치를 개발하여 보급하는데 있어 비용적인 측면을 가장 강조하였다. 바다가 인접한 하수처리장 방류수 및 하천유입수 중의 염분을 제거하여 농업재이용수로 활용하기 위한 담수화 시스템이 필요하게 되었고, 염분해 시스템을 이용하여 하수처리장 방류수 및 하천유입수 중의 염분을 제거한 후, 여과소독하여 농업용수로 활용가능한 농업재이용수를 제공하도록 설계하였고, 컨트롤 박스와 연결된 EC센서를 이용하여 염분해의 전과정을 감시 및 조절하여 효율적인 염분해가 시스템을 개발되었다.

하수처리수 재이용분야 중 농업용 목적으로 재이용하기 위해서는 지역실정에 맞는 재이용시스템 기술을 적용하여 안전하면서도 경제적인 재처리기술의 개발이 요구된다. 그 밖에 재이용 수질 기준을 만족하도록 현장 모니터링 체계를 갖추고, 재이용 시스템을 관리 운영할 수 있는 필요한 기술력도 확보되어야 한다.

본 연구에서는 높은 비표면적과 전도도, 이온흡착 용량을 갖는 다공성 전극시트를 이용하여 해수 및 기수 또는 산업폐수로부터 이온성 불순물을 전기화학적으로 제거하여 담수화하는 방법이 제시하였다. 이를위해 담수화 과정에서 해수나 폐수에 포함된 이온성 불순물을 효율적으로 제거하기 위하여 전도성 고무나 금속폼 집전체와 활성탄소 분말, 전도성 고분자 또는 금속산화물의 복합 물질을 전극소재로 사용하고, 비이온성 불순물을 제거하기 위하여 초음파 또는 라디오파와 같은 전자기파를 부가적으로 사용해야만 했다. 본 기술은 응용목적이 아닌 농업용수로 사용하기 위하여 전기모듈을 이용하여 수중의 염분만을 제거하기 때문에 종래 기술에 비해 담수화 과정이 간단하다는 장점이 있다.

#### 사 사

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

#### 참고문헌

1. 농림수산식품부·한국농어촌공사, 1995, '94, '95 가뭄극복 사례집
2. 제주특별자치도, 2003, 제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사 (III)
3. 제주특별자치도, 2002, 보건환경연구원보
4. 제주특별자치도·한국농어촌공사, 2004, 제주도 농업용수 종합이용계획