

생활하수의 농업용수 재이용

Wastewater Resources Applicable to Irrigation

천 만 복*
Chun, Man Bok

Abstract

This study is established to investigate reusable wastewater resources and their applications for agricultural uses, and for drought mitigation purposes that may be applied for agricultural reuse, and develop a GIS database 1) to survey the responses of farmers and water managers to the wastewater reuse for irrigating paddy rice crop; and 2) to explore the feasibility of the wastewater reuse for drought mitigation.

The reclaimed wastewater for irrigation will be applicable to those croplands that are close to wastewater treatment plants, and meet one of three conditions; 1) that have not been irrigated, 2) that do not have reliable water resources to ensure the water supply during drought periods, and 3) that have the water resources of inferior and degraded water quality. A geographic information system was developed to review potential cropland inventory for wastewater reuse.

The inventory of potential paddy blocks to meet the criteria summed up to 4,451 ha in South Korea. The total effluent capacities of reusable wastewater are estimated to be 800 thousand tonnes per day.

Preliminary surveys have been made to inquire farmers and water managers about their preference for wastewater reuse. All of them expressed their willingness to accept the wastewater reuse. The surveyed water managers suggested microbiological treatments be made and exclusive prove for safety of wastewater irrigation be prerequisite to the practices.

1. 서론

우리나라의 경우, 농업용수의 수요가 전기인 4, 5월부터 집중적으로 시작되어 강수량의

계절적 편차가 심한 봄철에는 농업용수 부족을 거의 해마다 겪고 있는 현실이다. 농업용수의 가뭄대책으로는 대규모 수원공의 신규 개발과 기존의 수원공 용량의 증대를 위한 보강사업

*농업기반공사 농어촌연구원(cmbchun@karico.co.kr)

키워드 : 가뭄, 대체수자원, 하수재이용, 농업용수, 비상용수

수준으로 댐이나 저수지의 적지 부족과 보상비의 과다에 따른 건설재원의 부족과 환경파괴에 대한 사회적인 반대에 부딪쳐 신규 수자원 확보에 상당한 어려움을 겪고 있다. 신규 수자원 확보의 사회적, 경제적인 어려운 여건에 따라 대체수자원 개발의 필요성이 대두되고 있는 가운데 연중 사용량이 일정한 생활하수를 재활용하여 부족한 수자원을 확보하고자 하는 노력을 시도하고 있다.

우리나라에서는 극히 제한된 범위의 하수 재이용 기술이 활용되고 있다. 건설교통부(1992)는 우리나라 하수재이용과 관련하여 수질기준을 제시하였다. 수세식 변기 세척수, 살수용수, 조경용수 등의 수질기준을 포함한다. 2000년 현재 중수도 이용량은 연간 약 2억³m³ 정도로 추정되고 있다¹⁾. 그밖에도, 하수처리수의 농업용수나 하천유지용수로의 활용을 위한 시도를 하고 있다.

농업용수 이용료는 원칙적으로 국가부담이며, 농민들은 용수 사용료를 부담하지 않는다. 지나친 고비용 재활용시스템의 현장 적용은 농업용수의 이용시기의 제약, 비용 문제 등이 우선적으로 고려되어야 할 것이다. 하수 재이용을 가능하도록 하려면 수질기준의 확립과 실용적인 처리 기반기술의 확보가 필요하다.

윤 등은 생활오수의 처리를 위한 인공습지에 관한 연구 및 인공습지로부터 배출수를 논벼의 관개수로 활용한 연구를 수행하였다²⁾. 박 등은 축산분뇨액비시스템으로부터 액비를 논에 공급하였을 때, 비점오염 부하량에 미치는 영향을 수치모델링을 통해 구명하였다³⁾. 한편, 비료물질의 농지 공급과 축산폐기물의 처리를 목적으로 돈사 액비를 시비한 경우에 대한 연구가 실시되었다(농촌진흥청, 1999). 그러나, 생활

하수의 농업용수 재이용에 관한 체계적인 연구 실적은 찾아볼 수 없다.

본 연구는 농업용수 관개 수질기준에 적합한 재이용수의 활용가능성과 가능량의 조사를 통해 가뭄시 비상용수를 확보하고자 수행되었다.

본 연구의 결과는 농업용수가 부족한 지역의 가뭄대책으로 생활하수를 재활용하는 계획수립의 기초자료로 활용될 수 있다.

II. 하수재이용 자원조사

생활하수를 농업용수로 대체 활용하는 방안에는 다음과 같은 것이 가능하다. 1) 현재 관개 시설이 설치되어 있지 아니한 수리불안전답 또는 관개시설을 갖추지 않은 밭에 용수를 공급하는 방안(신규 대체용수), 2) 수리시설을 갖추고 있으나, 내한능력이 부족한 논을 대상으로 하는 방안(보충 대체용수), 3) 가뭄대책 등 비상용수로 활용하는 방안(가뭄대책용수), 4) 용수의 오염이 심각한 양수장 구역에 재이용수를 대체하여 공급하는 방안(오염대체용수) 등을 고려할 수 있다.

본 연구에서는 지역별로 대체용수 자원을 파악하고, 그 활용가능성을 진단하기 위하여 하수처리장 인근의 수리시설물에 대한 10년 빈도 내한능력에 대한 용수 과부족 조사를 실시하였다.

수리시설물의 내한능력 검토를 위한 용수수량 추정프로그램을 개발하고, 입력인자인 토양의 삼투량 조사를 실시하였고, 지역별 대체용수 가능량 및 대체용수 활용 가능면적을 조사하였으며, 일부지역은 현재 활용중인 지구를 포함하였다.

1. 지역별 활용가능 대체 수자원조사 대상 범위

전국의 하수종말처리장의 처리시설용량, 하수종말처리장 인근의 농업용 수리시설물의 내한 능력, 인근의 농지이용현황 자료와 하수종말처리장 인근 농민과 농업용수관리자들의 용수재이용에 대한 설문 조사 자료를 종합하여 대체 가능 수자원량을 판단하였다.

전국의 하수처리장 243개소 중 서울특별시를 포함한 6개 광역시에 위치한 30개소의 처리용량은 전국 처리시설용량 20백만 m³/day 중 12백만 m³/day로 60% 이상을 차지하고 있다. 이들 지역의 하수처리장은 대규모 산업단지나 주거지에 위치하여 하수종말처리장 인근에는 농지가 거의 분포하지 않기 때문에 농업용수로의 재활용이 현실적으로 불가능한 것으로 판단되었다.

광역시 이상의 대도시를 제외한 나머지 지역에 위치한 하수처리장은 전국에 213개소가 현재 가동 중이다. 재이용 가능 수자원량의 조사 대상 하수종말처리장 시설용량 규모는 10,000 m³/day 이상을 모두 대상으로 하였다. 또한 농업용수 수요량의 조사를 위한 프로그램의 주요 입력인자인 토양 삼투량의 측정을 하수종말처리장별로 실시하였으며, 인근 수원공에 대한 오염상황을 고려하여 대체용수의 재이용 공급지역을 계획하였다.

2. 조사내용 및 방법

재활용 가능 수자원량은 시·도별 조사대상 하수처리장별로 수리시설, 농지현황 및 삼투량

조사를 자료와 현지 조사를 실시하여 용수부족 지역의 필요 용수량을 산정한 결과를 분석하여 추정하였다.

하수처리장 인근의 저수지, 양수장 등 수원공별 현황을 RGIS(농촌지형정보)를 이용하여 파악하고 자료를 수치지도에 표시하여 GIS 자료를 구축하였다.

RGIS(농촌지형정보)를 이용하여 하수처리장 인근의 농지현황을 파악하여 재이용수의 활용가능량을 판단하였다.

하수처리장 인근의 정밀토양도(농촌진흥청)를 이용하여 조사대상 지역의 토양통 조사를 하였다. Cylinder Method에 의한 무저원통형(無底圓筒型) P.V.C Pipe(ø150~200mm)를 사용하고, Hook-gauge로 감수심을 측정하여 산정하였다.

하수종말처리장 인근 농지의 필요용수량을 계산하고 인근 수리시설물의 유효저수용량과의 비교를 통해 10년 빈도 내한 능력에 대한 용수 과부족량을 산정하였다.

하수처리장 인근 기존의 수원공 공급능력과 공급수의 수질상태를 파악하여 재이용수의 활용가능 수자원량을 조사하였다. 서울특별시와 6개 광역시를 제외한 전국 8개도 지역에서 하수처리용량의 9%인 800,000m³/day 정도가 가용량이며, 논 면적 4,400ha에 공급이 가능할 것으로 추정되었다(Table 1). 재이용 가능 수자원량은 2003년 말 가동 중인 서울특별시와 6개광역시를 합한 전국의 하수처리용량 20,731,545 m³/day의 약 4% 내외이며, 공급가능 면적은 2001년 말 현재 전국의 논 1,146,082ha⁴⁾의 0.4%로 추정된다.

Table 1. Result of investigation for reusable wastewater resources

Province	Wastewater resource(m ³ /day)			Paddy cropland area(ha)		
	Total	Reuse	Ratio(%)	Total	Reuse	Ratio(%)
Gyeonggi	4,114,350	272,000	6.6	126,908	1,400	7.0
Gangwon	382,400	80,000	20.9	50,098	330	0.3
Chungbuk	498,830	20,000	4.0	64,484	140	0.1
Chungnam	418,800	51,000	12.2	187,268	440	0.2
Gyeongnam	930,750	10,800	1.2	118,548	25	0.0
Gyeongbuk	929,600	92,000	9.9	158,191	560	0.4
Jeonnam	447,915	88,800	19.8	221,455	490	0.2
Jeonbuk	789,300	183,600	23.3	163,536	1,066	0.7
Total	8,511,945	798,200	9.4	1,090,488	4,451	0.4

III. 생활하수의 농업용수 재이용 설문조사

하수종말처리장 인근 경지의 농민과 물 관리 기관을 대상으로 생활하수의 농업용수 재활용에 관한 의견을 조사하였다. 조사인원은 지역별 용수이용자 (용수원 지역 농지경작 농민 20인 내외), 용수공급자 (물 관리기관 직원 20인 내외) 등으로 하였으며, 각 도별 가용수자원이 있는 곳으로 판단된 지역을 대상으로 조사하였다.

조사내용은 1) 현재 농업용수의 수질상태, 2) 하수처리수를 농업용수로 재이용에 대한 수용 여부, 3) 대체용수활용시 우려사항, 4) 현재 하수처리수를 재이용하고 있는 지구의 농민 및 피해사항 및 요구사항 등 이었다.

하수이용에 관한 조사결과는 다음과 같이 정리할 수 있다.

가) 하수종말처리장 배출수를 세균 처리 후 농업용수로의 재이용시 용수 부족지역은 농업용수공급기관과 수요자인 농민 모두 호응을 하고 있으며, 하수종말처리장의 배출수에 대한 신뢰 감도 가지고 있는 것으로 판단되어, 농업용수로의

재이용에 대한 반응은 좋은 것으로 판단된다.

나) 농업용수로의 재이용시 세균 처리된 배출수에 대한 생물학적인 검정의 입증으로 대농민 홍보가 필요할 것으로 생각된다.

다) 농업용수로 재이용하기 위한 용수공급시설 중 기존 하천수와 분리공급 시스템이 필요할 것으로 판단한다.

라) 현재 하수처리수를 재이용하고 있는 지구에서 피해사항은 전혀 없었으며, 공급량의 확대를 요구하였다. 하수처리장 배출수의 온도가 약 19°C가 되었으나, 회석수는 21°C를 유지하고 있어 냉해와 수질에 의한 외형적인 피해는 나타나지 않은 것으로 조사되었다.

IV. 농업용수 재이용 GIS자료 구축

생활하수를 농업용수로의 활용을 위해서 농업기반공사가 보유하고 있는 RGIS(농촌지형정보) 자료를 기반으로 하수처리장 및 인근 수원공에 대한 추가 자료의 입력이 필요하다.

Table 2 는 하수재이용 GIS 자료구축을 위해 필요한 입·출력자료 모듈을 보여주고 있다.

Table 2. Module of RGIS for wastewater resources

Input data	Output data
<ul style="list-style-type: none"> o Sewage wastewater treatment plant capacity o Water resources close to sewage wastewater treatment plant o Cropland close to sewage wastewater treatment plant o Reusable wastewater resource 	<ul style="list-style-type: none"> o Letter <ul style="list-style-type: none"> - Sewage wastewater treatment plant capacity each province - Cropland area close to sewage wastewater treatment plant - Capacity of each water resources close to Sewage wastewater treatment plant o Figure <ul style="list-style-type: none"> - Sewage wastewater treatment plant capacity each province - Reusable wastewater resource each province - Inventory of potential paddy blocks

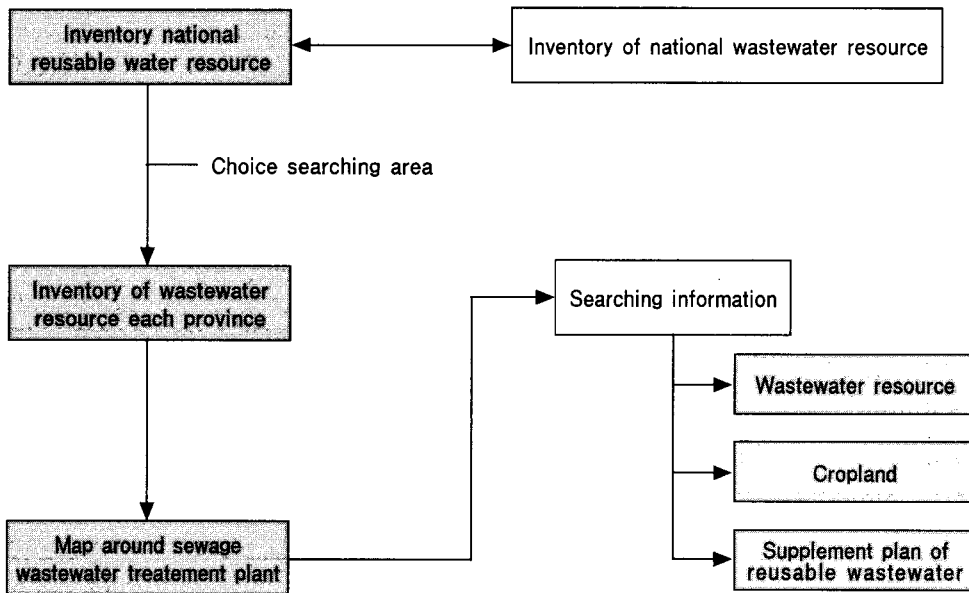


Fig. 1. Flow chart of RGIS for wastewater reuse

농업용수 재이용을 위한 가용 수자원 현황과 공급 시스템의 구축을 위한 GIS 자료 구축은 전국의 하수처리장을 대상으로 하였다. Fig. 1 과 Fig. 2는 GIS 체계와 문자정보, 그림정보 검색의 단계를 각각 나타내었다.

V. 하수희석 활용성 조사

하수처리수를 농업용수로 재활용하고 있는 지역의 활용 실태와 농민의 민원사항 및 시설의 조사를 통해 재이용수의 활용 가능성을 검토 하였다.

1. 재이용수 활용지구 조사

하수처리장 배출수를 농업용수로 재이용하고 있는 지역에 대한 활용실태와 공급시스템 및 재이용수를 이용하는 농민과 용수공급기관에 대한 민원 발생사항이 전혀 없는 것으로 조사되었다.

재이용수로 공급하는 방법은 1) 농업용 수로에 처리수를 직접 공급, 2) 농업용 저수지에 방류하여 공급 하는 방법으로 크게 두 가지 형태로 조사되었다.

조사한 8개 하수처리장중 저수지로 유입시켜 재이용하는 곳은 안면하수처리장 1개소이며, 나머지 하수처리장은 모두 농수로에 직접 공급하는 형태이며, 그 현황은 다음 Table 3과 같다.

2. 재이용수 활용 시설

현재의 하수 재이용은 하수를 기존 용수와 희석하여 사용하고 있으며, 활용시설은 각지구 별 여건에 따라 약간의 형태, 규모가 달랐으나, 대체로 농업용 수로에 배출구가 연결되거나 저수지로 유입되는 일반적인 형태를 나타내었다.

재이용수를 위한 공급시설은 일반적인 용수공급과 동일하며, 별도의 시설이 필요치 않은 것으로 나타났다.

수온 분야에서는 일반적인 작물생장 적정수온이 20°C~25°C로서 기존 용수에 재이용수를 희석하여 사용하는 경우 수온이 21°C 내외를 유지하여 냉해의 피해가 없는 것으로 조사되었다.

재이용수 저류시설은 기존의 형태에서는 별도의 저류시설 없이 직접 공급하고 잉여수는 하천으로 방류하는 방법을 취하고 있다.

급수시설은 하수처리장의 위치에 따라 다르게 조사되었다. 일반적으로 하수처리장은 하류쪽에 위치하여 상류 쪽으로 펌핑하여 하류로 자연 유하시키는 방식을 취하고 있으나, 입지 여건상 하수처리장이 농지보다 상류 쪽에 위치할 경우(안면하수처리장), 기존의 저류시설(저수지, 보 등)에 자연유하 시키는 방식이 가능하다. 일반적으로 하수처리장은 하류에 설치되며 필요 시설인 공급수조와 펌프의 보편적인 구조는 Fig. 3과 같다.

Table 3. Applied wastewater resource for agricultural reuse

Sewage plant	Capacity (m ³ /day)	Reuse water (m ³ /day)	Remarks
Cheonan	70,000	30,000	
Cheongwon	1,150	600	
Sungwhan	24,000	17,400	
Yangyang	9,000	5,000	
Anmyon	1,100	1,100	Reservoir
Gumwang	6,000	1,300	
Hadong*	7,500	7,500	
Sachang	13,000	13,000	
Total	111,250	55,400	

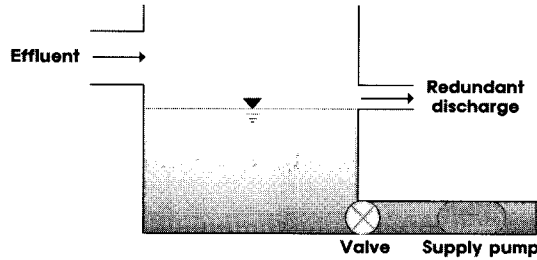


Fig. 3. A schematic drawing of wastewater effluent supply pump

VI. 결 론

본 연구는 농업용수 관개 수질기준에 적합한 재이용수의 활용가능성과 가능량의 조사를 통해 가뭄시 비상용수로서 생활하수를 대체수자원으로 확보하고자 수행되었다.

생활하수를 농업용수로 재이용이 가능한 수자원량은 서울특별시, 광역시를 제외한 전국 8개 도 지역에 소재하는 처리시설용량이 10,000m³/day 이상인 하수종말처리장을 대상으로 하였으며, 하수처리장 인근의 농업용 수리시설물의 내한능력 조사를 통해 추정하였다.

재이용 가능 수자원량은 전국 하수종말처리장 처리시설용량의 9% 정도인 800,000m³/day이며, 논 면적 4,400ha에 공급이 가능할 것으로 추정된다.

추정된 전국의 재이용 가능 수자원량에 대해 RGIS를 구축하여 생활하수를 농업용수로 재이용하는 계획의 수립시 지역별 수자원량, 농지, 공급가능구역, 수리시설물 등 필요 정보의 검색이 가능하다.

현재 농업용수에 재이용수를 희석하여 사용되는 지구의 현지조사에서 수온이나 재이용수 공급에 따른 농민의 민원사항이나 피해가 전혀 없었으며, 추가적인 고비용의 공급시설이 소요되지 않아 하수처리수의 농업용수로의 재이용에

활용성을 볼 수 있어, 향후 점진적인 확대가 가능 할 것으로 판단된다.

본 연구의 결과는 부족한 농업용수의 대체수 자원으로 생활하수를 활용하는 계획의 수립시 참고자료로 활용 가능하다.

참고문헌

1. 국무총리 수질개선키획단, 2000, 물관리백서.
2. 윤춘경, 권순국, 정일민, 권태영, 1999, 오수처리수 관개 비재배를 통한 농업용수 수질기준의 검토, 한국농공학회지, 41(2), pp.44-53.
3. 진영민, 1998, 논·논의 비점오염물질 배출량 추정을 위한 CREAMS-PADDY 모형의 개발, 서울대학교 석사학위논문.
4. 농림부·농어촌진흥공사, 2000, 농업생산기반정비사업 통계연보.

본 논문은 프론티어 연구의 과제인 「농업용수 재이용 활용시스템 개발」의 1단계 연구 결과를 정리 요약한 것임.