

생활하수의 농업용수 재이용 자원조사

Survey of Wastewater Resources Applicable to Irrigation

천 만 복*, 김 진 택*
Chun, Man-bok Kim, Jin-Taek

Abstract

Among 172 wastewater treatment plants, eighty eight plants are found to be qualified as wastewater resources applicable to irrigation. The total effluent capacities are $4,042 \times 10^3 \text{ m}^3$ per day, which may be used to irrigate paddy fields of 156 km².

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 farmers suggested microbiological treatments be made and exclusive prove for safety of wastewater be prerequisite to the irrigation practices. Further surveys with experts and water managers throughout the nation are needed before any practices are made.

I. 서 론

우리나라는 158억 m³을 농업용수로 사용하고 있으며, 이는 전체 수자원 이용량의 48%를 차지하고 있으나, 농업용수를 공급하는 농업용수원공들은 그 규모나 시설의 노후화가 타부문의 용수원에 비해 상당히 열악한 형편이다.

또한, 우리나라의 수자원은 계절적인 편차가 심하여, 농사가 시작되는 봄철에는 용수가 절대적으로 많이 필요한 계절임에도 부족한 강우로 가뭄피해가 빈번하다. 지난 2001년의 가뭄은 계절적인 강우의 극심한 편차에 의한 일례이다.

항구적인 가뭄대책을 위한 댐이나 저수지의 건설 적지 부족과 보상비의 과다에 따른 건설재원의 부족과 환경과피에 대한 사회적인 반대에 부딪혀 신규 수자원 확보에 있어 상당한 어려움에 처해있다.

생활하수 방류량은 계절별로 변동이 크지 않아 4, 5월과 같이, 농업용수 수요량이 집중하고, 하천유량이 적은 건기에는 가뭄의 극복을 위한 농업용수로의 재활용에 대한 잠재적 수요가 높다.

또한, 농업용수뿐 만 아니라 오염된 도시하천을 용수원으로 하는 농지의 대체용수로서의 활용 가능성이 높은 경우는 작물 생육기간 중 관개용수나 가뭄대책을 위한 보충, 비상용수로서 이에 대한 재활용 기술의 개발이 시급하다.

이 연구에서는 전국 하수종말처리장의 배출수를 농업용수로 재이용 가능한 양의 추정을 위한 하수처리장 배출량과 인근의 수원공에 대한 10년 빈도 가뭄에 대한 내한 능력을 분석하고 용수 부족 농지에 대한 활용가능성을 검토하였다.

* 농업기반공사 농어촌연구원(cmbchun@karico.co.kr)

키워드 : 생활하수, 가뭄대책, 용수재이용

II. 생활하수의 재이용 가능량

2. 이용가능 생활하수량

1. 하수종말처리장 규모별 분포 현황

환경부에서 발표한 2002년 현재 가동중인 전국 하수종말처리장은 172개로서 18,399,930 m³/day (2002. 1, 환경부)의 처리용량을 가지고 있다.

Table 1은 시설용량별 비율을 나타낸 것으로 전국 172개 하수종말처리장 가운데 10,000m³/일 이상의 처리용량을 가진 곳은 100개소로서 처리용량은 99% 정도 처리하고 있으며, 100,000 m³/일 이상 규모의 시설은 34개소이지만 전국 처리용량의 85%를 차지하고 있다.

생활하수를 처리하는 하수종말처리장은 인구 밀집도에 따라 생활용수의 양이 많아 도시와 농촌의 지역에 따라 그 규모의 차이가 크다. 도시

Table 2는 전국에 산재한 하수종말처리장을 시·도별로 집계한 것으로 서울과 6개 광역시에 위치한 하수종말처리장은 22개소로서 15%도 안 되지만 처리시설 용량은 11,393,000 m³/일로서 전국 하수종말처리장 시설용량의 62%나 차지하고 있으며, 100,000 m³/day 이상 규모의 하수종말처리장은 인구밀도에 따라 도시지역에 위치하고 있는 것으로 나타났다.

용수공급에 필요한 수원공의 규모가 클수록 용수공급 효율은 커지지만, 수원공이 용수수요 지역 인근에 널리 필요한 적정규모로 분포되어 있으면, 수원공의 규모가 비록 작아도 오히려 용수공급시설비 절감과 공급효율을 높일 수 있을 것이다.

Table 1. Ratio of capacity of wastewater treatment plants (2002)

Equipment capacity (m ³ /day)	Numbers		Total equipment capacity (m ³ /day)	
	Numbers	ratio (%)	equipment capacity (m ³ /day)	ratio (%)
5,000 under	46	27	77,980	0.4
5,000~10,000	26	15	189,350	1.0
10,000~100,000	66	38	2,569,600	14.0
100,000 over	34	20	15,563,000	84.6
Total	172	100	18,399,930	100.0

지역은 1개소 평균 시설용량이 220,000 m³/일 이상이지만, 농촌지역은 20,000 m³/일 이하로 10배 이상의 차이가 있다. 실제 생활하수를 농업용수로 재이용하고자 하는 농지가 많이 분포하는 농촌지역은 시설용량이 적어 인접지역에의 농업용수 공급량이 충분하지 못하고, 농지가 적은 도시지역은 부족 농업용수를 해결하고도 여유가 있게된다. 물론 잉여수는 하천에의 방류로 하류지역에서 사용 가능하지만 계획적인 공급시스템을 위한 시설의 구축에 어려움이 수반될 것으로 예상된다.

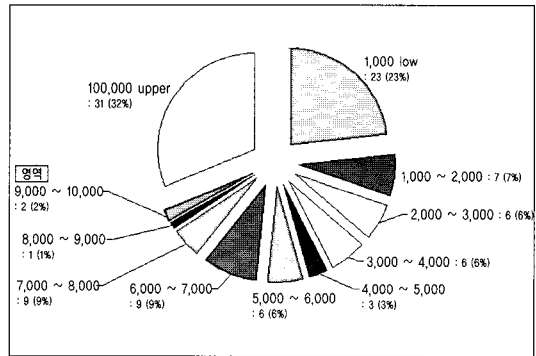


Fig. 1. Capacity of wastewater treatment plants at rural area

Table 2. Capacity sewage treatment plants for each province

Province	Numbers	Capacity (m ³ /day)	Province	Numbers	Capacity (m ³ /day)
Seoul	4	5,810,000	Gangwon	5	305,000
Busan	5	1,295,000	Chungbuk	20	487,930
Daegu	4	1,770,000	Chungnam	8	228,000
Incheon	3	526,000	Jeonbuk	8	679,600
Gwangju	2	660,000	Jeonnam	22	388,600
Daejeon	1	900,000	Geongbuk	15	814,600
Ulsan	3	432,000	Geongnam	21	779,650
Gyeonggi	48	3,158,550	Jeju	3	165,000
Total	172	14,551,550			



Fig. 2. Location of sewage treatment plants & area for agricultural water

가. 농촌용수구역과 하수종말처리장

전국에 산재한 하수종말처리장의 배출수를 농업용수로 이용하기 위해서는 시설의 위치가 인근에 농지가 분포한 농촌지역이어야 가능할 것이다.

전국 464개 농촌용수구역내의 하수종말처리장 분포현황을 조사하여 생활하수 재이용 가능량을 분석하였다. 전국 하수종말처리장의 현황과, 용수구역별로 이용가능한 처리장을 조사하였다. Fig. 2는 전국의 농촌용수구역과 하수종말처리장의 위치를 나타낸것이다.

이용 가능한 하수처리장은 Table 3에서와 같이, 전체 172개소 중 88개소로서 약 절반정도에

Table 3. Applicable capacity of the wastewater reuse for irrigating paddy rice crop

Province	Area of irrigation		Sewage treatment plants		Applicable irrigation area (ha)	Ratio of applicable irrigation area (%)
	Numbers	Area of paddy rice crop (ha)	Numbers	Capacity (m ³ /day)		
Total	67	500,243	88	4,042,710	15,597	3.1
Ulsan	1	5,292	2	182,000	702	13.3
Gyeonggi	13	75,249	27	859,400	3,316	4.4
Chungbuk	11	49,762	14	71,500	276	0.6
Chungnam	4	77,648	4	424,260	1,637	2.1
Jeonbuk	3	26,126	3	104,000	401	1.5
Jeonnam	17	94,420	19	136,100	525	0.6
Gyeongbuk	6	105,736	7	554,700	2,140	2.0
Gyeongnam	12	66,010	12	740,850	2,858	4.3

불과하였다. 이들 이용 가능한 시설용량의 합은 약 4백만 m^3 /일 규모였다.

전국 464개 용수구역 중 구역내 하수처리장이 위치하여 생활하수의 방류수를 농업용수로 이용할 수 있는 구역은 67개로 나타났다. 이들 용수 구역의 논 면적은 500천 ha로 나타났다. 연간 재이용이 가능한 하수처리수는 관개일을 110일로 할 경우 연간 4.4억 m^3 정도일 것으로 추정된다.

나. 하수재이용 가능면적조사

하수처리장의 시설용량을 배출량으로 할 때, 급수가능면적은 생활하수 처리시설용량 (m^3 /day)을 각 지역별 설계단위 용수량 (m^3 /s)으로 환산하여 계산하였다. 이와 같은 방법으로 농업용수 대체용수 급수가능면적은 Table 3에서와 같이 약 15,600 ha로 추정되며, 해당 용수 구역 논 면적의 평균 3.1%에 해당하는 것으로 나타났다.

한편, Table 3에서는 각 용수구역 내에 위치한 모든 하수처리장을 망라한 결과이며, 각 하수처리장별로 관개지구에 급수가능여부 등은 추후 검토가 필요하다.

또한, 하수처리장의 규모가 작은 경우 급수가능면적이 10 ha에 미치지 못하는 경우도 21개소로서 전체 대상 하수처리장 88개소의 1/4정도에 해당하는 데, 그와 같은 경우는 대체용수로 개발 여지가 낮은 것도 사실이다. 또한, 하수처리장별로 여건을 고려한 급수가능면적 등을 조사하는 일이 필요하다.

Ⅲ. 생활하수 재이용 가능성 검토

1. 시범지구선정

생활하수를 농업용수로의 재이용 가능성에 대한 검토를 위한 시범지구로서 경기도 화성시에 위치한 수원시 하수종말처리장을 정하고, 하수처리장의 배출수를 농업용수로 재이용하는 계획을 수자원 양에 의한 산술적인 가능성으로 검토하였다.

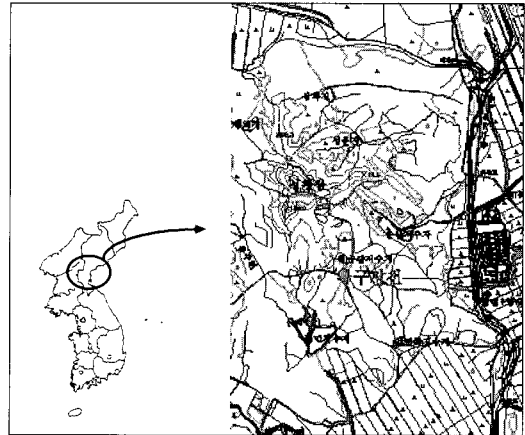


Fig. 3. Location of Suwon sewage treatment plant

가. 하수종말처리장

수원시 하수종말처리장은 처리시설 용량이 220,000 m^3 /일로 크지만, 수원시의 현재 생활하수량은 360,000 m^3 /일 으로서 약 140,000 m^3 /일 정도의 처리능력이 부족하여 시내 통과하천인 황구지천으로 방류되어 하천의 오염이 심각하여 생활하수 처리수의 방류구에서 하천수와 색깔이 확연히 드러난다. 수원시에서 현재 500,000 m^3 /일 으로 시설확장공사를 진행중에 있다. 인근에는 황구지천을 따라 넓은 농지가 분포하고 있다.

나. 인근농지 수원공

수원 하수종말처리장 인근의 농지는 저수지와 양수장에서 용수를 공급하고 있다.

Table 4에서 나타난 바와 같이 몇 개의 저수지를 제외하고 대부분의 저수지는 규모가 작아 황구지천 가까이의 농지에는 거의 대부분 양수장에서 황구지천의 물을 공급하고 있다.

저수지 수혜면적 1,130 ha 중 200 ha 정도의 농지가 10년 빈도 가뭄 정도에도 용수가 부족한 것으로 분석되었다. 따라서, 저수지외의 용수는

Table 4. List of reservoirs near the sewage treatment plant

Reservoir	Catchment area (ha)	Drought frequency	Irrigation area (ha)	Effective capacity (10 ³ m ³)
Yeocheon	933	5	503	1,988
Botong	72	3	377	1,113
Seorang	410	3	191	435
Samhwa	19	2	5	8
Cheongun	22	10	3	9
Hwanggyedong	4	3	3	2
Baengchi	10	2	3	11
Pungmokgol	16	2	5	6
Maengje	12	2	5	7
Gian	33	10	4	12
Wonsong	20	2	3	6
Songsan	13	2	4	6
Apbangchuk	36	2	4	5
Maendri	27	2	7	11
Pyeongan	120	3	13	28
Geumbok	16	3	8	12
Total	1,763		1,138	3,659

하수처리장에서 정화되지 않은 황구지천의 생활 하수 뿐이라 오염 용수에 대한 농민들의 불편은 아주 컸다. 오염된 생활하수가 직접 피부에 닿으면 피부염을 일으켜 대부분 장화를 신고 경작하여 용수의 직접 접촉을 방지하고 있다.

2. 생활하수의 농업용수 재이용 설문조사

우리나라에서 생활하수 처리수를 농업용수로 재활용하고 있는 사례가 전무하다. 다만, 하수종말처리장의 배출수가 하천에 유입, 혼합된 물을 취수하여 농업용수로 활용하는 사례지역으로 농업기반공사 수화, 홍안지사 병점양수장의 경우, 수원 하수종말처리장에 접한 황구지천에서 물을 양수하여 농업용수로 급수하며, 양수장 취수구의 위치는 수원 하수종말처리장 방류구 100 m 하류에 있다.

본 연구에서는 수원 하수종말처리장 및 병점양수장 인근 경지의 농민과 수화, 홍안지사의 병

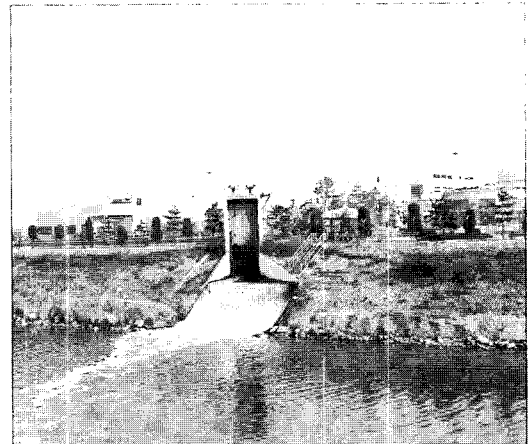


Photo 1. Outlet of the Suwon sewage treatment plant

점양수장에서 근무한 물관리 요원 등을 대상으로 생활하수의 농업용수 재이용에 관한 의견을 조사하였다. 설문조사는 하수처리장 인근의 농민과 농업용수 공급기관의 직원들의 용수 재이용에 대한 실제의 필요성과 현재의 용수 상황을

정확히 파악하여 재이용수의 활용성을 검토하기 위한 목적으로 시도하였다. 아무리 용수 재이용이 부족용수에 대한 좋은 방법이라 하더라도 실제 사용자가 거부한다면 활용성이 떨어져 별도의 대책이 필요하기 때문이다.

가. 조사방법

하수의 농업용수 재활용 설문 조사를 위한 대상지구는 농업기반공사 수화, 흥안지사 병점1 양수장과 수원 하수종말처리장 인근 농지지역으로 하였다. 설문조사 대상자는 ① 용수이용자 (용수

원 지역 농지경작 농민 20인), ② 용수공급자 (농업기반공사 물관리 직원 10인) 등으로 하였다. 조사방법은 설문조사 대상자를 직접 방문하여 설문서에 대한 대화형식 및 기록으로 이루어졌다.

나. 설문내용

본 연구의 설문조사는 현재 공급되고 있는 농업용수의 과부족과 공급수질 상황 및 하수처리수를 농업용수로의 재이용에 대한 찬반 의식조사를 통해 그 지역의 생활하수의 재이용 가능성

Table 5. Contents & results of questionnaire

Classification		Item	Result
Farmers (N=20)	Farmland	- Location - Irrigation canal system	No relation with water surplus or shortage
	Water shortage	- Yes/no - Methods of supplement in case of shortage	No shortage of water with pumping station
	Reuse of sewage	- Prejudice - Degree of understanding to the sewage reuse - Opinion of the use of the sewage in case of drought	High interest in the quality of the sewage High degree of understanding to waste water reuse system in urban areas
	Mixed use of water from waste water treatment area	- Opinion of the agriculturally mixed use of water from waste water treatment area - Degree of preference to polluted river water, sewage water and the mixed one	Believed that more envaluable water quality is the drainage from waste water treatment area
Water management agents (N=10)	Characteristics of water management area	Yes/no of water shortage	No shortage of water, with pumping station
	Refill of water shortage	- Methods of supplement in case of shortage	No shortage
	Reuse of sewage	- Degree of understanding to the sewage reuse	High degree of understanding to water saving including waste water reuse system
	Mixed use of water from waste water treatment area	- Yes/no of people's complain about side effect to crops	No complains reported
	Recycling of waste water	- Opinion of reuse of the waste water for agriculture - Degree of preference to polluted river water, sewage water and the mixed one - Fears derived from the reuse of sterilized waste water	Require testing of the effect of the reused water to crops. Need separate supply of the sterilized waste water from the existing river water

에 따라 신규용수, 보충용수, 대체용수 등으로의 활용계획수립에 이용하고자 한다.

주 내용은 ① 경작지 (공급지) 농업용수의 부족 여부 ② 용수 재이용에 대한 의식 ③ 현재 공급되는 농업용수의 수질에 대한 불만여부 ④ 생활하수의 농업용수로의 재이용에 대한 찬반여부 ⑤ 생활하수의 농업용수로 재이용시 우려되는 사항에 대한 의견을 수렴하였다.

다. 조사결과

현재의 용수상황과 생활하수를 농업용수로의 재이용에 대한 찬성 여부와 우려되는 사항에 대한 조사결과는 다음과 같이 정리할 수 있다.

- ① 하수종말처리장 배출수를 세균 처리후 농업용수로의 재이용시 농업용수 공급기관과 수요자인 농민 모두 상당한 호응을 하고 있으며, 하수종말처리장의 배출수에 대한 신뢰감도 가지고 있는 것으로 판단되어, 농업용수로의 재이용에 대한 반응은 좋은 것으로 판단된다.
- ② 농민들은 생활하수 이용시 실험적인 검증을 요구하여 농업용수로의 재이용시 세균 처리된 배출수에 대한 생물학적인 검정의 입증으로 대농민 홍보가 필요할 것으로 생각한다.
- ③ 용수공급기관의 직원들은 우수로 인해 처리되지 않은 생활하수의 유입을 우려하여 농업용수로 재이용하기 위한 용수공급시설 중 기존 하천수와의 분리공급 시스템이 필요할 것으로 판단한다.

본 수원하수종말처리장 인근지역에 대한 설문조사결과에서 생활하수를 농업용수로 재이용하고자 할 경우 농민과 공급기관 모두 기존 하천수의 오염도가 심각하여 생활하수의 처리수를 대체하여 농업용수로 공급되는 것을 원하는 한편, 실행에 대하여 약간의 우려를 하여 재이용수 공급시스템의 개발에 세심한 배려가 필요할 것으

로 판단된다.

3. 재이용 농업용수 공급

농민과 용수공급기관의 설문조사에서 좋은 반응을 보여 재이용수의 공급을 전체 수자원량을 관개가능 최대면적으로 나누어 분배하였다.

수원하수종말처리장의 현재 처리능력은 220,000 m³/일이며 년중 가동하는 상태이므로 2.55 m³/s이 일정하게 배출되는 것으로 계산되어진다. 인근 농지에 대한 10년빈도 한발에 필요한 단위 용수량을 산정한 결과, 0.0021 m³/s/ha로 (농업기반공사 s/w HOMWRS 이용) 계산되었다.

산술적인 계산에 의한 관개가능 농지면적은 2.55m³/s ÷ 0.0021m³/s/ha에 의해 1,214 ha로 계산된다. 저수지 관개구역의 지구는 황구지천으로 유입된 생활하수를 농업용수로 공급하고 있으나, 심각한 오염으로 경작 농민들의 대체용수 개발의 요구가 계속되는 지역이다. 따라서 하수종말처리장의 배출수로서 용수가 부족한 200ha의 농지에 보충용수로 공급하고 나머지 배출수는 1,000여ha의 농지에 오염된 하천 용수원의 대체용수로서 이용이 가능할 것이다.

IV. 결 론

생활하수를 농업용수로 재이용이 가능한 수자원량은 전국 생활하수량 14,551,550 m³/day 중 약 30%인 4,042,710 m³/day로 15,600 ha의 농지에 공급이 가능할 것으로 추정되었다.

산술적인 검토 외에 수원하수종말처리장을 시범지구로 하여 인근 지역의 수리 구조물들의 용수수급상황, 농민 및 용수공급기관의 여론조사를 바탕으로 실제 하수처리장 인근지역에 대한 활용성의 검토를 통해 가능성을 볼 수 있었다.

향후, 농업기반공사의 농촌지형정보를 바탕으로 재이용수 공급 시스템을 위한 GIS 자료 구축에 대한 연구를 계속 진행할 계획이다.

참고문헌

1. 건설교통부, 2001, 수자원장기종합계획 건설부, 1990, 수자원장기종합계획 (1991~2011)
3. 국무총리 수질개선기획단, 2000, 물관리백서.
4. 농림부, 1998, 농업생산기반정비사업계획설계기준 (관개편).
5. 농림부·농어촌진흥공사, 2000, 농업생산기반정비사업 통계연보.
6. 농림부·농어촌진흥공사, 1999, 농촌용수 수요량 조사 종합보고서
7. 농업기반공사, 2000, 농업생산기반정비사업통계연보.
8. AIE, 1988, Fundamental of irrigation engineering
9. Asano T. and Levine A. D, 1996, Wastewater reclamation, recycling and reuse: past, present, and future, *Wat. Sci. Tech.* pp. 33(10-11), 1~14.
10. Asano, T. and Mills, R. A. (1990), Planning and Analysis for Water Reuse Projects, *J. Am. Water Works Assoc.*, 82 (1), pp. 38-47.
11. Asano, T., L. Y. C. Leong, M. G. Rigby, and R. H. Sakaji, 1992, Evaluation of the California Watershed Reclamation Criteria using enteric virus monitoring data. *Water Sci. Technol.* 26: pp. 1513-1524.
12. Asano, T., R. G. Smith, and G. Tchobanoglous, 1985, Municipal wastewater treatment and reclaimed water characteristics, pp. 1-26 in *Irrigation With Reclaimed Municipal Wastewater - A Guidance Manual*. Chelsea, Mich.: Lewis Publications.
13. Awad J., Gerba C. and Magnuson G., (1993), Ultraviolet disinfection for water reuse. In: *Proc. of WEF Specially Conference Series: Planning, Design and Operation of Effluent Disinfection Systems*, *Water Environ. Fed.* (ed.), Alexandria, pp. 1-12.
14. Ayers R. S. and Westcot D. W., 1985, *Water quality for agriculture*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO Irrigation and Drainage, Paper 29, Rome, Italy.
15. Bahri, A. (1998), Wastewater reclamation and reuse in Tunisia. In *Wastewater Reclamation and Reuse* Ed. by T. Asano, Technomic Inc., pp. 877-916.
16. Bahri, A., 2000, Strategies for increasing wastewater reuse opportunities in small communities in the Southern Mediterranean Region countries.
17. Blumenthal, U., A. Peasey, and G. Ruiz-Palacio, 2001, Guidelines for wastewater reuse in agriculture and aquaculture. www.lboro.ac.uk/well/brief/brief068i.htm
18. Bouwer, H., and E. Idelovitch, 1987, Quality requirements for irrigation with sewage water. *J. Irrig. Drainage Engineering* 113, pp. 516-535
19. Bryan, F. L. 1974, Diseases transmitted in food contaminated with wastewater. EPA 660/2-74-041, June 1974. Washington, D. C.: U. S. Environmental Protection Agency.
20. Camann, D. E. and B. E. Moore, 1998, Viral Infections Based on Clinical Sampling and a Spray Irrigation Site. In: *Proceedings of Water Reuse Symposium IV*, pp. 847-863, August 2-7, 1987, Denver, Colorado. Published by the AWWA Research Foundation, Denver, Colorado.
21. Camann, D. E., D. E. Johnson, H. J. Harding, and C. A. Sorber. 1980. *Wastewater Aerosol and School Attendance Monitoring at an Advanced Wastewater Reclamation Study for Agriculture: Final Report*. Prepared for the Monterey Regional Water Pollution Control Agency by Engineering-Science, Berkeley, California.
22. Chang, A. C., and A. L. Page. 1983. Fate of trace metals during land treatment of municipal wastewater, pp. 107-122 in *Utilization of Municipal Wastewater and Sludge on Land*, *Proc. of 1983 Workshop*. A. L. Page, T. L. Gleason, J. E. Smith, Jr., I. K. Iskander, and L. E. Sommers, eds. Riverside: University of California.
23. Cooper, R. C. 1991a. Public health concern

- in wastewater reuse. *Water Sci. Technol.* 24(9): pp. 55
24. Crook, J. 1998, Water reclamation and reuse criteria. In: *Wastewater Reclamation and Reuse* T. Asano (ed.), Technomic Publishing, Lancaster, pp. 27-703.
25. Crook, J., 2001, Water reclamation and reuse criteria.

본 논문은 과학기술처에서 주관하는 프론티어 연구 과제인 「농업용수 재이용 활용시스템 개발」의 1차년 연구 결과를 정리 요약한 것임.