

무방류 재이용 시스템 현장 적용성 평가

최경숙* · 이광야

경북대학교 농업생명과학대학 농업토목공학과,
한국농어촌공사 농어촌연구원

Assessment of Field Applicability of a Zero Discharge and Reuse System

Kyung-Sook Choi*, Kwang-Ya Lee

*Department of Agricultural Civil Eng. College of Agriculture & Life Science, Kyungpook National University,
Daegu, 702-701, Korea
Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation*

Abstract

This study performed field examinations of a zero discharge and reuse system developed by Hong and Choi(2009). The system installed one of villages located in Hyoryeong-myeon, Gunwee-gun for the experiments. The zero discharge and reuse system consists of anoxic, FES (Ferrous Electricity System), Oxidic, Cralifier processes for water treatments. The main feature of the system is to remove phosphorous by using Fe-ionizing module within the FES process. The water purification performances of the system were evaluated, while any defects for using the system were investigated through the field monitoring. It was found that the removal capacities of T-P, T-N, and BOD of the system meet the required water quality with outstanding performance from T-P by obtaining the results of over 90 % removal rates. The efficiency of T-P removal rate of the system found to be greatly influenced by whether using an automatic washing system to the Fe-ionizing module and conducting replacement of iron plate within a proper period.

Key words : Fe-ionizing module, Zero discharge, Reuse, Water purification system, Rural areas

서 론

농촌지역의 수질오염은 농경지 비점오염, 농촌생

활폐수, 축산폐수 등에 주로 기인하며, 이러한 각종 오염물질은 농촌유역 내 소하천과 저수지로 유입되어 누적될 경우 심각한 수질오염을 야기하여 농업용수, 생활용수 등으로써 활용이 어렵게 되거나 사용하더라도 농작물과 인체에 위해성 문제를 초래한다. 실제 한국농어촌공사에서 농업용 저수지를 대상으로 매해

* Corresponding author. E-mail : ks.choi@knu.ac.kr
Phone : 82-53-950-5731, Fax : 82-53-950-6752
(Received November 30, 2011; Examined December 10, 2011; Accepted December 20, 2011)

실시하는 수질조사 결과보고서(KRC, 2009)에 의하면 농업용수 수질기준이 4등급에도 미치지 못하는 심각한 오염정도를 나타내는 저수지가 2008년도 기준으로 57%정도를 차지할 정도로 농촌지역 수질오염의 심각성을 보여주고 있다. 또한 2006년도에 실시된 농어촌연구원 조사결과에 의하면 전국 271개 하수처리장 중 127개소의 하수처리수가 주변 농촌용수에 직·간접적으로 영향을 주고 있는 것으로 조사되었으며 (Ministry of Science and Technology, 2006), 전국 물관리 요원의 여론조사 결과(Ministry of Science and Technology, 2007a)에도 농업인의 대다수가 농촌지역에서 농촌용수 수질개선과 환경개선이 시급하다는 인식을 갖고 있는 것으로 조사되었다. 따라서 농촌지역의 수질오염을 개선하기 위한 정부와 지자체의 적극적인 대책 마련이 요구되어지고 있다.

이러한 가운데 최근에 용수의 재이용, 하수의 재이용에 대한 관심이 점차 증가되고 있으며, 특히 하수처리수의 농업용수 재이용에 대한 연구들이 국내외적으로

로 활발히 진행되고 있는 실정이다 (Ministry of Science and Technology, 2007a, b; SWRRC, 2008; Tanaka *et al.*, 1998; Scott *et al.*, 2000; Crook, 2001). 이에 부응하여 Lee 와 Choi (2009 a, b)는 농업용수의 수질향상을 도모하고 농경지에서의 용수사용에 의한 위해성 제고와 친환경농업생산기반 조성을 위해 SS, BOD, 탁도, 대장균 오염인자 처리 기능을 가진 시설용수 및 영농편의용수 처리시스템인 FDA 시스템을 개발하였다. 여기에 Hong과 Choi (2009)는 FDA시스템에 인 처리기능을 추가적으로 장착하고 질소까지 처리 가능한 기능을 추가한 무방류 및 재이용 시스템을 개발하여 용수의 재이용을 도모함으로써 용수의 고도이용 및 활용도를 높이고자 하였다. 이와 관련하여 본 연구는 Hong과 Choi (2009)가 개발한 무방류 재이용 시스템의 현장 설치를 통해 시스템 본래의 기능인 수질정화성능을 직접 평가하고 현장적용시 사용상의 문제점은 없는지를 파악하기 위해 현장적용성 평가를 실시하고자 하였다.

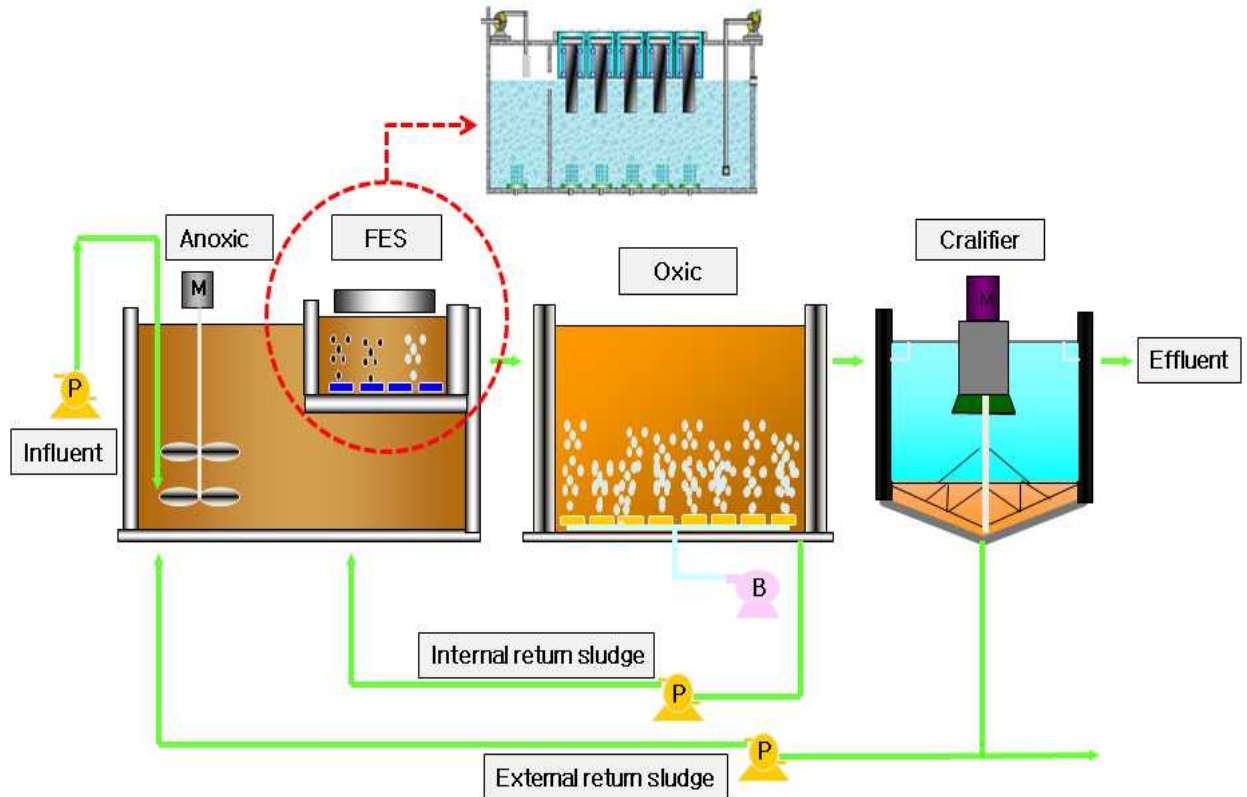


Fig. 1 Treatment processes of the zero discharge and reuse system

재료 및 방법

1. 무방류 재이용 시스템 구성

무방류 재이용 시스템은 농촌유역 하천수의 중요한 오염인자인 인의 제거를 주목표로 개발되었으며, 철이온 모듈장치를 이용한 인 제거 장치를 활용한 점이 특징으로 생물학적 질소제거도 고려하였다. 본 시스템의 구성은 유량조, 무산소조, 철이온모듈장치조, 호기조, 침전조, 방류조로 구성되어 있으며, 무방류 재이용 시스템에 유입된 원수는 유량조정조를 거쳐 무산소조로 유입되며 철이온 모듈장치를 거쳐 호기조와 침전조를 지나 방류되는 과정을 거친다. Fig. 1은 무방류 재이용 시스템의 처리과정을 나타내는 모식도이다.

무방류 재이용시스템의 원수처리용량은 5 m³/day 정도이며, 시스템 본체는 스테인레스 (STS304) 재질로 길이 4 m, 폭 0.8 m, 높이 1.7 m의 규모로 제작되었다. 시스템의 각 단계별 구성 및 기능과 설계기준은 다음과 같다.

- (1) 유량조 (Influent): 수중펌프로 압송하여 무산소조로 이송
- (2) 무산소조 (Anoxic): 미생물(오니)을 이용하여 유입된 오수의 탈질화과정을 거침. 미생물 (오니) 농도는 하절기 2,500~3,000mg/l, 동절기 3,500~4,500mg/l로 하여 운전. 용량 0.2 m³.
- (3) 철이온 모듈조 (FES): 인제거 장치. 일반적으로 사용되는 철재질인 SS41을 전극으로 사용하는 철판모듈 장착. 입력전압은 1~5V 범위 내에서 가변가능. 업다운 (up/down) 자동 세척 모듈장치 설치 (타이머세팅으로 세척횟수 조정가능). 송풍기 및 산기관 설치. 용량 0.35 m³.
- (4) 호기조 (Oxic): 미생물의 질산화(암모니아성 질소-질산성질소-아질산질소)공정. 미생물 농도는 하절기 2,500~3,000 mg/l 정도로 유지. 내부순환은 100~200 % 정도로 유지. DO 농도는 2~3 mg/l로 운전. 송풍기 및 산기관 설치. 용량 0.94m³.
- (5) 침전조 (Cralifier): 호기조로부터 이송되어 온 유출수를 침전 분리하는 과정. 부대시설로 활성슬러지 이송장치, 침전오니 이송장치 (SRT: 폐

기슬러지) 설치. 용량 0.5m³.

여기서 철이온 모듈은 오수처리장의 방류수 처리과정과 철 이온화에 필요한 전극의 세척공정을 동시에 수행할 수 있는 특징이 있다. 인제거 처리시스템인 철이온 모듈조는 음극의 역할을 하는 철판과 양극의 역할을 하는 티타늄 판을 이용하여 화학적 반응과 물리적 반응을 거쳐 인을 제거하는 원리이다. 화학적 반응은 철이온과 용해성 인이 결합되어 인이 제거되는 과정으로 전기 분해에 의해 석출된 철 이온과 유입수 중의 용해성 인산염이 반응하여 불용성 침전물로 제거되는 원리이며, 물리적 반응은 석출된 철이온이 산소와 결합하여 형성된 입자상 철표면에 인이 흡착되어 제거되는 과정을 의미한다. 이러한 처리과정에서 철이온모듈장치에 발생하는 바이오막을 제거하기 위해 업다운 자동세척장치를 장착하여 하루 4회 정도 극판을 자동으로 세척하도록 함으로써 시스템의 인 제거효율을 높이고자 하였다.

2. 시스템의 현장 설치

무방류 재이용 시스템의 현장적용성 평가를 위해 시스템을 설치할 대상지역 선정조건은 현장여건상 마을하수처리시설은 있으나 인 처리가 되지 않는 곳, 시스템의 안정적인 실험을 위해 처리용량이 최소 50톤 이상으로 방류수가 일정한 곳, 접근성이 용이하고 설치 및 실험에 대한 협조가 가능한 지점으로 하였다. 현장실험의 용이성을 위하여 일정규모 이상의 간이하수처리시설을 가진 지역을 대상으로 기존시스템을 그대로 유지하고 처리된 방류수만 일부 이용하여 시스템의 처리성능을 평가 할 수 있는 곳으로 선정하고자 하였다. 현장실험 대상지역 선정조건을 토대로 경북 지역 농촌마을 하수처리시설에 대해 조사한 결과 선정조건을 가장 만족하는 지역이 경북 군위군 효령면 병수1리에 위치한 효령문화마을로 나타나 이 지역을 군위군청의 협조를 받아 본 시스템을 설치하였다. 대상지역에 설치되어 있는 기존의 하수처리시설은 처리용량은 45m³/day 정도로써, 혐기성, 호기성 미생물 조정조를 포함하는 처리공정으로 구성되어 있었다. Fig. 2는 현장실험대상지역의 위치 및 현장전경을 보여주고 있으며, Fig. 3은 시스템의 현장설치와 설치 후 시운전 전경을 보여주고 있다.



Fig. 2 Field experimental site and site view



Fig. 3 Installation and operation of the system

3. 시스템 평가방법

시스템의 평가는 시스템의 수질정화능력 평가와 현장 모니터링을 통한 실제 현장에서의 사용상 문제점을 파악하는 것으로 진행하였다. 먼저 시스템의 수질정화능력을 평가하기 위하여 Fig. 4에 나타낸바와 같이 기존시스템에서 유출되어 나온 유출수를 무방류 재이용 시스템 유입전에 샘플 채취하고 유입후의 처리수를 샘플 채취하여 각각 수질분석을 실시하였다.

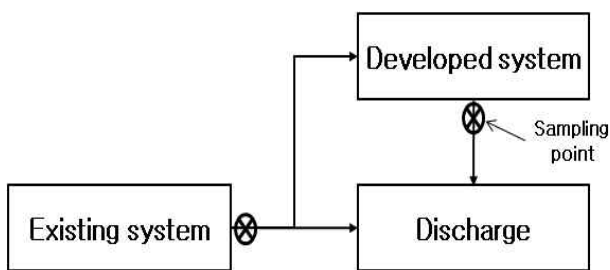


Fig. 4 Locations of the sampling points

본 시스템의 가장 주요 기능인 인처리 성능과 부가적인 처리기능인 질소, BOD항목에 대해 수질평가를 실시하였으며, 각 항목별 목표수질은 총인(T-P)의 경우 0.2 mg/l 이하, 총질소(T-N)의 경우 7 mg/l 이하, BOD는 6 mg/l 이하로 설정 하였다.

결과 및 고찰

1. 수질정화 성능평가

수질정화 성능평가는 시스템 현장 설치 후 6회에 걸쳐 채취된 시스템의 유입수와 처리수에 대해 분석한 결과를 토대로 실시하였다. Fig. 5에서 Fig. 7은 T-P, T-N, BOD 항목에 대해 수질분석한 결과를 각각 나타내고 있다. Fig. 5에서 나타낸 T-P의 결과에서는 시스템 유입수의 경우 최고 3.593 mg/l , 최저 1.152 mg/l 를 나타내었으며, 처리수의 경우에는 최고 0.267

무방류 재이용 시스템 현장 적용성 평가

mg/l에서 최저 0.171 mg/l의 범위로, 처리수의 평균치는 0.205 mg/l 였다. 유입수와 처리수의 비교분석에서 무방류 재이용 시스템의 T-P 제거율은 83.7~92.6%정도로 나타났으며, 평균 90.2%의 인제거 효과가 있는 것으로 나타나 무방류 재이용 시스템의 인처리 기능이 매우 우수한 것으로 조사되었다. Fig. 6에 나타낸 T-N의 결과에서는 유입수가 최고 13.692mg/l, 최저 5.808 mg/l를, 처리수는 최고 7.021mg/l, 최저 3.411mg/l를, 처리수의 평균치는 5.90 mg/l를 나타내었다. T-N에 대한 유입수와 처리수의 비교분석에서는 제거율이 32.8~49.8%정도로 나타났으며, 평균 41.4%의 제거 효과가 있는 것으로 조사되었다. 마지막으로 BOD의 경우 Fig. 7에서 나타낸 바와 같이 처리수의 최고치는 5.8mg/l, 최저치는 2.1mg/l로 평균 4.0mg/l를 나타내었으며, 유입수의 46.2~62.6%가 제거되어 BOD가 유입수에 대해 평균적으로 55.1%정도가 제거되는 것으로 나타났다. T-P, T-N, BOD 항목 모두 전반적으로 목표수질을 만족하는 수준으로 나타나 본 시스템의 수질정화 성능이 양호한 것으로 조사되었다. 세 항목들의 제거율에 대한 결과들을 서로 비교해 볼 때 T-P에 비해 T-N과 BOD가 전체적으로 제거율이 높지 않게 나타났는데 이는 유입수의 수질이 일반 생활하수 수질보다 양호하여 본 시스템으로 정화할 수 있는 범위 내에서 유입수와 처리수의 격차가 크지 않았기 때문에 나타난 현상으로 판단되며, 처리수의 수질이 목표수질을 만족할 만큼 양호하게 나타났음에도 불구하고 전체 제거율에는 영향을 끼치지 않은 결과라 판단되었다. 무방류 재이용 시스템의 두 항목에 대한 수질정화능력에 있어서는 T-N보다는 BOD에 대한 처리 능력이 더 뛰어난 것으로 조사되었다.

2. 시스템 모니터링

시스템의 현장모니터링은 본 시스템의 주요기능인 인 처리 기능을 가진 철이온 모듈장치를 중심으로 수행하였다. 이를 위해 철이온 모듈장치에 장착된 자동세척시스템의 효과와 철판모듈의 교체주기 등에 대해 조사를 실시하였다. 먼저 철판모듈세척시스템의 효과를 분석한 결과 세척장치를 장착한 경우와 장착하지 않은 경우 시간에 따라 철판에 형성되는

바이오막의 두께와 인제거 효율이 변화하는 것으로 나타났다. 철판모듈을 세척하지 않을 경우 모듈에 바이오막이 형성되기 시작하면서 인 제거율이 급격히 저하됨을 알 수 있었다. 따라서 철판모듈에 바이오막이 형성되지 않게 하기 위해 정기적인 세척을 실시하여야 하며, 그 이유는 철판모듈의 세척이 적정 전압

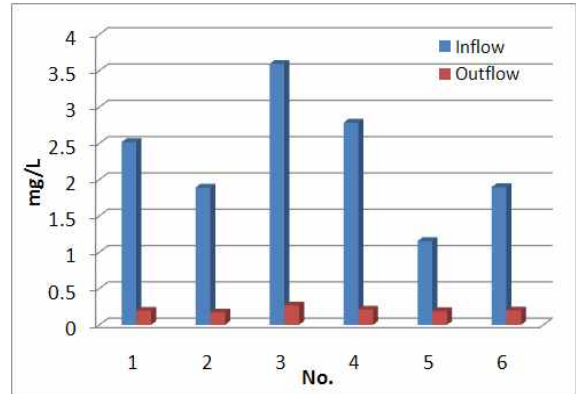


Fig. 5 T-P results

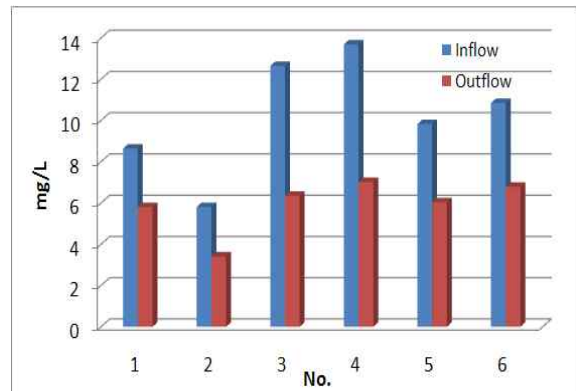


Fig. 6 T-N results

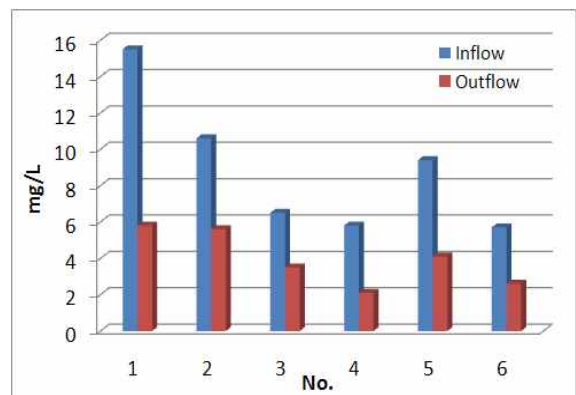


Fig. 7 BOD results

및 전류의 흐름을 일정하게 유지하여 궁극적으로 시스템의 인 제거 효율을 유지하는데 매우 중요한 역할을 하기 때문이다. 철이온 모듈장치는 시간의 경과에 따라 세척과정으로만 시스템 효율을 장기간 유지하기 어렵기 때문에 일정기간동안 사용 후 교체를 해주는 것이 바람직한 것으로 조사되었다. 인 제거 효율에 영향을 끼치는 주요한 인자인 철판모듈의 교체주기는 유입수의 수질조건, 전기 전도도, 사용방법 등에 따라 약간의 차이는 있을 수 있으나 대체적으로 2년 전후를 교체주기로 권장하고 있다(Hong and Choi, 2009). 본 연구에서는 제한된 연구기간 내 철판모듈의 적정 교체주기를 파악하는 데는 한계가 있었으며, 향후 이에 대한 다양한 실험이 추가적으로 수행되어 보다 정확한 교체주기가 도출되어야 할 것으로 사료된다. 부가적으로 본 시스템은 인처리를 위한 약품사용이나 고가의 멤브레인을 이용하지 않아 초기투자비 및 사후 관리비가 적게 들었으며, 유지보수가 용이한 장점이 있는 것으로 파악되었다. 그리고 새롭게 개발된 업다운방식의 자동세척장치는 철판의 소모율을 줄이는 것으로 조사되었으며, 적정 전압 전류를 일정하게 유지할 수 있게 되어 인 제거효율이 일정하게 유지되는 점과, 유기물 부하와 온도에 관계없이 인의 제거가 가능한 점도 본 시스템의 장점으로 파악되었다. 다만 본 시스템이 미생물을 이용한 수처리 과정을 포함하고 있기 때문에 미생물이 잘 활동 할 수 있는 적정 온도를 유지하는 것이 관건으로 이에 대한 관리방안이 함께 도출되어야 할 것으로 사료된다.

결 론

농촌지역의 위해성이 검증이 되지 않은 농업용수로 부터의 안정성을 확보하고 영농행위 및 축산폐수에 의한 부영양화와 마을하수에 의한 수질오염에 대한 대책마련의 일환으로 Hong과 Choi (2009)에서 개발한 무방류 재이용 시스템의 현장 적용성 평가를 통해 본 시스템을 개선·보완하고자 하였다. 이를 위해 본 시스템에서 목표하는 수질정화성능의 평가와 현장 모니터링을 통한 시스템의 현장에서의 사용상 문제점들

을 파악하고자 하였다. 군위군 효령면에 위치한 효령 문화마을에서 유출되는 마을하수를 대상으로 하여 현장 평가를 수행하였다. 무방류재이용 시스템의 구성은 유량조, 무산소조, 철이온 모듈장치, 호기조, 침전조, 방류조를 포함하고 있으며, 여기서 철이온 모듈장치는 인 제거를 위해 활용되었다.

시스템의 현장적용성 평가를 위해 실시된 수질정화 성능평가에서는 시스템의 유입수와 처리수를 샘플링하여 T-P, T-N, BOD항목에 한하여 평가하였으며, 그 결과 세 항목 모두 목표수질을 만족하는 결과를 보여 주었다. 이 중 T-P 제거율은 83.7~92.6%정도로 평균 90.2%의 인제거 효과가 있었으며, 이는 본 시스템에서 도입한 철이온 모듈장치의 인처리 기능이 매우 우수함을 잘 나타내는 결과이다. 시스템의 현장 모니터링에서는 인제거 효율에 영향을 미치는 철판모듈장치의 세척과 교체주기를 중심으로 조사하였다. 철이온 모듈장치에 장착된 철판모듈의 적정 교체주기를 파악하는 것이 중요하며, 정기적인 세척을 통해 인처리 기능을 유지하고 그러므로 철판모듈의 교체주기를 연장할 수 있어 시스템의 효율성과 경제적인 사용도 도모할 수 있을 것으로 판단된다. 결론적으로 본 시스템은 인 제거에 탁월한 효과가 있을 뿐만 아니라, 사용 용이성 및 경제적 측면에서 여러 유리한 장점을 가지고 있어, 농촌지역의 수질오염물질의 방류를 저하하고 용수를 재이용하는데 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 농림기술관리센터의 연구비 지원(과제 번호:107035-03-3-SB010)에 의하여 수행되었음.

인용문헌

1. Crook, J., 2001. Water reclamation and reuse criteria.
2. Korea Rural Community Corporation (KRC), 2009.

- The inspection materials for KRC conducted by the National Assembly. <http://www.assm.co.kr/>
3. Hong, M., and K. S. Choi, 2009. Development of zero discharge and reuse system for rural areas, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 51(6): 91-96 (in Korean).
 4. Lee, K. Y., and K. S. Choi, 2009a. Development of clean water supplying system for greenhouse cultivation and convenience water (I) - Development of the FDA system -, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 51(5): 95-100 (in Korean).
 5. Lee, K. Y., and K. S. Choi, 2009b. Development of clean water supplying system for greenhouse cultivation and convenience water (II) - Assessment of the FDA system through site applications -, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 51(5): 101-106 (in Korean).
 6. Ministry of Science and Technology, 2006. Development of wastewater reuse system for agriculture, 21st Century Frontier R&D Program - Sustainable Water Resources Research Program - (in Korean).
 7. Ministry of Science and Technology, 2007a. Application of wastewater reuse system for agriculture, 21st Century Frontier R&D Program - Sustainable Water Resources Research Program - (in Korean).
 8. Ministry of Science and Technology, 2007b. Development of LCHE-WRT system for secondary effluent reclamation, 21st Century Frontier R&D Program - Sustainable Water Resources Research Program - (in Korean).
 9. Scott, C.A., Zarazua, J. A., Levine, G., 2000. Urban-wastewater Reuse for Crop Production in the Water-short Guanajuato River Basin, Mexico. Research Report 41. International Water Management Institute. Colombo, Sri Lanka. 35.
 10. Sustainable Water Resources Research Center (SWRRC), 2008. Standard water treatment process for waste water reuse (in Korean).
 11. Tanaka, H., Asano, T., Schroeder, E.D. and Tchobanoglous, G., 1998. Estimating the safety of wastewater reclamation and reuse using enteric virus monitoring data, *Water Environment Research* 70(1): 39-51.