

## 생태계를 고려한 공중위생에 관하여

최 선 희 | 연구원, 21세기 프론티어연구개발사업 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단(shc@kict.re.kr)

김 한 태 | 기획팀장, 21세기 프론티어연구개발사업 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단(htkim@kict.re.kr)

### 서 언

오늘날 세계의 약 24억 가량의 인구는 생활에 적절한 공중위생시설을 접하기 어려우며, 물공급도 적절하게 받지 못하는 인구도 약 11억에 달한다. 최근의 수자원의 부적절한 관리사례와 환경을 고려한 공중위생시설의 부족은 물관련 질병에 상당한 영향을 미치고 있다. 심지어는 개선된 수자원을 이미 접하고 있는 나라에서조차도 많은 인구가 공중위생의 개선과 수자원의 수질개선을 필요로 하고 있다. 특히 아시아와 아프리카 농촌 지역에 거주하는 인구는 개선된 공중위생시설(공공 하수도, 정화 시스템, 수세식 화장실, 간이 재래식 화장실 또는 환기장치가 장착·개선된 재래식 화장실 등)을 대부분 접하지 못하고 있다. 공중위생시설 중에서도 전통적인 재래식 화장실은 늘 살균 단계에서 실패하고 지하수 오염에 일조하기 때문에,

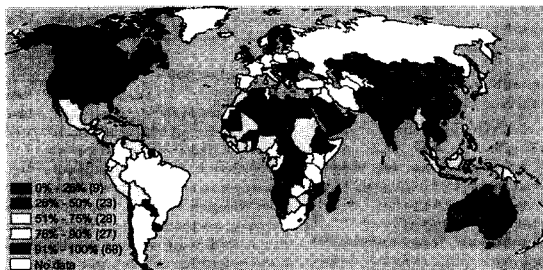


그림 1. 개선된 공중위생의 적용범위(UNICEF, 2002)

기술적으로 개선된 공중위생시설에의 접근조차도 그 문제를 해결하지 못하고 있다. 또한 정화 시스템과 하수처리공정은 살균·유기물 제거 등이 거의 되지 않고 직접 환경으로 흘러든다. 그래서 실제로는 24억 이상의 인구가 효율적이고 지속가능한 공중위생시설의 접근을 필요로 하게 된다.

약 28억 가량의 인구는 공중위생시설에서도 다양한 종류의 재래식 화장실들을 사용하여 종종 건강과 환경의 위해를 가져오기도 한다. 하수시스템을 제공받는 10억의 인구 중에, 그러한 시스템의 30% 정도만이 개선된 2차 또는 3차 고도처리를 이용한다고 평가되고 있다.

본 글은 제3회 세계물포럼에서 소개된 생태계를 고려한 공중위생조사 프로그램(EcoSanRes Programme; Ecological Sanitation Research Programme)을 번역·정리하였으며, 향후 개발도상국가들의 공중위생에 도움을 주고자 하는 국내 전문가들에게 국외 개발도상국들의 성공적 사례인 공중위생 조사프로그램을 소개함으로써, 작은 도움이 되고자 작성하게 되었다.

### 본 론

#### 1. 생태계를 고려한 공중위생 조사프로그램

개발도상국들의 공중위생을 개선시키기 위해서

1993년, 스웨덴의 국제발전협력단체에서 SanRes (Sanitation Research)라 불리는 공중위생 조사프로그램이 시작되었다. 프로그램의 목표는 1) 실용적이고 반복가능한 생태계를 고려한 공중위생시스템을 장려하고, 2) 다양한 국가(중국, 베트남, 멕시코, 볼리비아, 엘살바도르 등)에서의 파일럿 프로젝트를 수행하며, 3) 조사와 개발에 대한 지역의 능력을 배양, 4) 공중위생조사에 참여한 개도발도상국간의 협력을 강화하는 것 등이다.

2001년 공중위생 조사프로그램에 대한 9년간의 지원이 이행되었고, 매우 성공적이었다. 이후 국제발전협력단체에 의해서 주창되고 스톡홀름의 환경단체에 의해 관리되는 생태계를 고려한 공중위생 조사프로그램으로 발전하게 되었다.

생태계를 고려한 공중위생 조사프로그램은 세 가지 요소인 접근활동, 능력배양, 그리고 실행방법으로 구성되어 있다. 접근활동은 세미나, 회의, 그룹토론 그리고 인쇄물 등의 책자 보급 등과 같은 방법을 통한 활동촉진과 네트워킹을 포함한다. 능력배양은 농사의 적용에서부터 정책 분석에까지 이르는 생태계를 고려한 공중위생과, 연구 및 지침을 수행하는 과정의 훈련을 통해 성취된다. 연구는 또한 조사와 실험을 통해 생태계를 고려한 공중위생의 유용성을 구체화한다. 실행방법은 세계의 다양한 지역에서 생태계를 고려한 공중위생 프로젝트를 수행하여, 이론을 현실에 적용시키는 것이다. 생태계를 고려한 공중위생시스템을 성공적으로 수행하기 위한 가장 중요한 인자가 지역에 실적용이기 때문에, 생태계를 고려한 공중위생조사는 예상되는 파일럿 프로젝트를 위한 논리적 기본 구조를 제공하고, 그 프로젝트가 승인되기 전에 철저한 조건에서 충족되어야 한다고 주장하였다.

이 프로그램은 공중위생방법의 조사와 실험, 특히 인간이 배설하는 분뇨로부터 병원균을 제거하는 것과, 농사에서 비료와 토양개량제로써 활용되는 최선의 방안에 초점을 두고 수행하였다. 이러한 조사결과는 생태계를 고려한 공중위생시스템을 수행하는 전문가로 활동하고, 지역 사회를 돕기 위한 지침으로 활용된다. 이 지침은 1) 소변과 대변을 병원균이 없도록

안전하게 처리하고, 2) 인간이 배설하는 분뇨를 농사에 재활용하고, 3) 폐수처리·관리, 그리고 4) 생태계를 고려한 공중위생 프로젝트의 계획과 수행으로 구성된다. 그리고 공중위생시스템의 지역적 유치와 적용을 장려함으로써 생태계를 고려한 공중위생의 인식을 확립했다.

국제발전협력단체는 서아프리카의 8개국, 아프리카 동남부의 우간다, 모잠비크 그리고 짐바브웨, 남아프리카, 중국, 인도, 라틴 아프리카의 볼리비아, 과테말라, 멕시코 그리고 중동의 팔레스타인지방에서 파일럿 프로젝트를 아래와 같이 수행하였다.

- 중국, 멕시코, 남아프리카 - 도시 전체와 주변지역 프로젝트
- 인도 - 프로젝트를 수행하는 증명과 인식
- 모잠비크 - 토양 퇴비화 화장실로부터 농사의 적용에 대한 증명
- 팔레스타인 - 농촌가정수준에서의 연구수행
- 짐바브웨 - 소변과 휴머스를 다양하게 농사에 이용한 적용실험
- 우간다 - 도시 전체와 도시 주변지역의 생태계를 고려한 공중위생시설 적용
- 볼리비아와 과테말라 - 파일럿 프로젝트의 개발

생태계를 고려한 공중위생 조사에 의해 시작된 대규모의 프로젝트는 환경과 관련된 인간의 정착과정에서 필요한 자료, 기술 그리고 정책을 산출하기 위한 야심찬 노력이다. 그러한 프로그램의 목적의 하나는 중국의 작은 마을을 문화, 재정, 법과 제도적 문제뿐만 아니라 실험, 조사, 개발과 사회 시장성을 강조하는 생태계를 고려한 도시로 전환하는 것이다.

이 파일럿 프로젝트는 생태계를 고려한 공중위생의 실행단계에서 아주 진보적인 수준이다. 그것은 폐수와 고형폐기물의 관리, 가정의 음식물 찌꺼기를 농사에 재활용하는 내용을 포함한다. 생태계를 결합한 것은 전체적인 공중위생시스템 안에 생태계를 고려한 공중위생의 인식을 확대할 수 있기 때문에 이 프로젝트를 다른 것과 차별화한다. 그것은 소규모 가정에서 실행하는 것에서부터 대규모의 도시 주변지역에 있는

공중위생에 대한 전체적인 접근을 포함하는 것에 이르기까지 전체적인 변화를 준다. 이 목표는 지속가능한 생태계를 고려한 마을의 사례를 세상에 소개하는 것이고, 현재도 유사한 프로젝트가 멕시코와 남아프리카에서 진행되고 있다.

## 2. 생태계를 고려한 공중위생의 주된 특징

### 안전한 공중위생의 필요성

인간이 배설한 분뇨에서 발생하는 병원균과 기생충은 다양한 질병들을 초래할 수 있다. 이러한 질병들이 제대로 치료되지 않으면 성장부진과 철분결핍증, 비타민A 결핍증을 초래할 수 있고, 신체 면역 시스템을 약화시켜 다른 병원균에 더욱 민감해질 수 있다. 그러나 모든 병원균과 기생충이 인간의 죽음을 초래하는 것은 아니지만 영양결핍 등은 건강을 해치고, 지속적인 질병과 기타의 이유로 인한 죽음을 재촉한다.

### 오늘날 공중위생시설의 한계

전통적인 공중위생시설 중 화장실은 두 가지 모델인 재래식 화장실과 수세식 화장실로 분류할 수 있다. 수세식 화장실의 하수시스템은 화장실 사용자가 배설하는 분뇨를 물과 함께 배출하며, 이것은 차단과 살균단계에서는 성공적이지만, 그 대신에 강 하류지역 환경의 병원균과 유기물은 저장시킨다. 이것은 1차적 병원균 흐름을 고려한 것이다. 그러나 이 시스템은 대변, 소변, 수세물, 폭우 그리고 산업 폐수 등을 완전 혼합시킨다.

아시아와 아프리카 등에서는 수세식 화장실보다 더욱 일반적인 것이 재래식 화장실이다. 첫째로 재래식은 저렴하고 어떠한 기반시설도 필요치 않기 때문이다. 그러나 이러한 방법은 병원균과 유기물이 지하수로 흡수되기 때문에 분뇨의 완전 봉쇄와 살균에 실패하게 된다. 재래식 화장실 역시 식물성장에 필요한 분뇨의 유기물을 이용하기에는 깊이가 너무 깊어서 재사용하는데 실패하게 된다. 재래식 화장실의 웅덩이

에 분뇨를 정기적으로 외부로 이동시키지 않으면 웅덩이 외부로 흘러넘치기 쉽다. 일반적으로 재래식 화장실의 웅덩이들은 냄새가 나고 종종 파리가 몰려들며, 유지상태가 매우 열악하여 질병과 오염의 원인이 되기도 한다.

### 생태계를 고려한 공중위생의 정의

생태계를 고려한 공중위생은 세 단계 과정인 인간이 배설한 분뇨를 토양 및 지하수로 스며드는 것을 차단, 살균 그리고 재활용하는 과정으로 분류할 수 있다. 이러한 것은 공중위생시스템에서 물사용량을 줄이고 농사에서 인공비료의 필요성을 감소시키기 위해 영양물을 재활용하는 한편, 인간의 건강과 환경을 보호하는 데 그 목적이 있다. 그림 2는 생태계를 고려한 공중위생을 인간과 환경과의 관계에서 인간과 토양간의 필수 연결고리를 만들 수밖에 없다는 개념을 보여준다.

### 생태계를 고려한 공중위생은 필수 선택사항

공중위생과정의 필수단계는 질병을 유발시킬 수 있는 병원균으로부터 차단하는 단계라고 할 수 있다. 인간이 배설하는 분뇨는 박테리아, 바이러스, 기생충을 포함하고, 적절히 처리되지 않으면 질병의 확산을 초래한다. 차단단계와 살균단계가 없는 악순환은 분뇨에 있는 병원균이 환경으로 흘러들고, 오염된 물이나 음식의 소비를 통해 사람들을 재감염시키고, 다시 배설되며, 그 순환이 계속되게 마련이다.

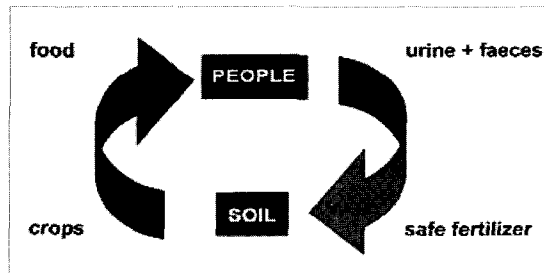


그림 2. 인간과 토양간의 필수 연결고리

생태계를 고려한 공중위생시스템은 그림 3과 같은 장점을 가지고 있다. 인간이 배설하는 분뇨로부터 병원균을 차단하기 위해 계획되었고, 인간 배설물을 무독성화하기 위한 두 가지 방법인 탈수와 분해를 제시하고 있다.

일반적으로 선호되는 방법은 기후조건과 지하수면의 높이, 살균된 분뇨를 저장시키기 위한 충분한 공간에 의존하게 될 것이다. 탈수는 인접한 외부환경으로부터 생기는 물기를 제거함으로써 병원균을 없애는 화학적인 과정이다.

나무, 재, 석회 그리고 흙과 같은 건조 물질들은 인간이 배설한 분뇨를 재빨리 건조처리하기 위해서 추가적으로 필요한 것들이다. 재와 석회는 pH를 증가시키는데, pH가 9.5 이상일 경우, 병원균에 추가적 독성 인자로 작용한다. 물기가 적을수록 더욱더 좋고, 일반적인 기후조건에서는 대변, 소변과 분리하여 처리하는 것이 훨씬 효율적이다.



그림 3. 생태계를 고려한 공중위생시스템의 장점

그림 4는 중국, 인도, 베트남 그리고 멕시코에서 사용되고 있는 모델인 비수세식 이중 저장고의 소변 분리 화장실(double-vault urine diversion toilet)을 보여주고 있다. 그림 5는 화장실 내의 병원균 차단, 살균, 재활용 단계를 설명하고 있다. 일반 가정에서 분뇨 저장고 하나를 채우는데 6개월 정도가 소요되고, 그런 후에 두 번째 저장고를 사용한다. 첫 번째 저장고는 6개월 정도 저장하여 살균단계를 거치고, 그 후 비워서 그 물질들은 토양의 퇴비가 된다. 소변은 위의 화장실 내부에서는 절대 혼합되지 않도록, 분리상자로 계속 분리시키고, 차후에 희석된 형태로 식물비료로 쓰인다. 비수세식의 생태계를 고려한 화장실은 건강과 환경인자를 보호하는데 모두 충족시키고, 물을 절약하고 수질오염을 예방하면서 전통적인 접근으로 잘 운영되고 있다. 이러한 것은 어떠한 냄새도 발생시키지 않고 파리도 없을 뿐더러 전세계적으로 어떠한 거주지역 내에서도 수용할 수 있는 해결책으로 여겨진다.

토양 퇴비화 화장실은 퇴비화 과정, 유기물을 분해시키기 위해 박테리아, 곤충 그리고 다른 유기체에 의해 수행되는 생물학적 과정을 이용한다. 퇴비화되는 환경에서, 이용가능한 탄소와 영양물을 위한 유기체들 사이의 반응은 병원균이 우세한 토양 박테리아에 의해 없어질 때까지 계속 반응이 진행된다. 토양 퇴비화 화장실은 토양과 재가 각기 사용되고 난 후 추가되는, 얇고 넓은 웅덩이들을 사용하여 만들어진다. Fossa Alterna와 Arbour Loo라는 명칭을 가진 두 화장실은 모잠비크와 짐바브웨에서 성공적으로 실험이 수행되었다. Fossa Alterna라는 화장실은 이중 저장고가 있는 재래식 화장실로서 교체 빈도가 유사한 두 개의 교체 웅덩이들을 사용한다. 한번 살균되고 부식되면, 그 내용물은 제거되고 농사에 사용된다. Arbour Loo라는 화장실은 각각을 사용한 후에 토양을 추가하는 단일의 얇은 웅덩이이고, 그것이 가득 차게 되면 웅덩이에 나무를 심는다.

### 재활용

대소변에 있는 영양물을 재활용하는 것은 생태계를

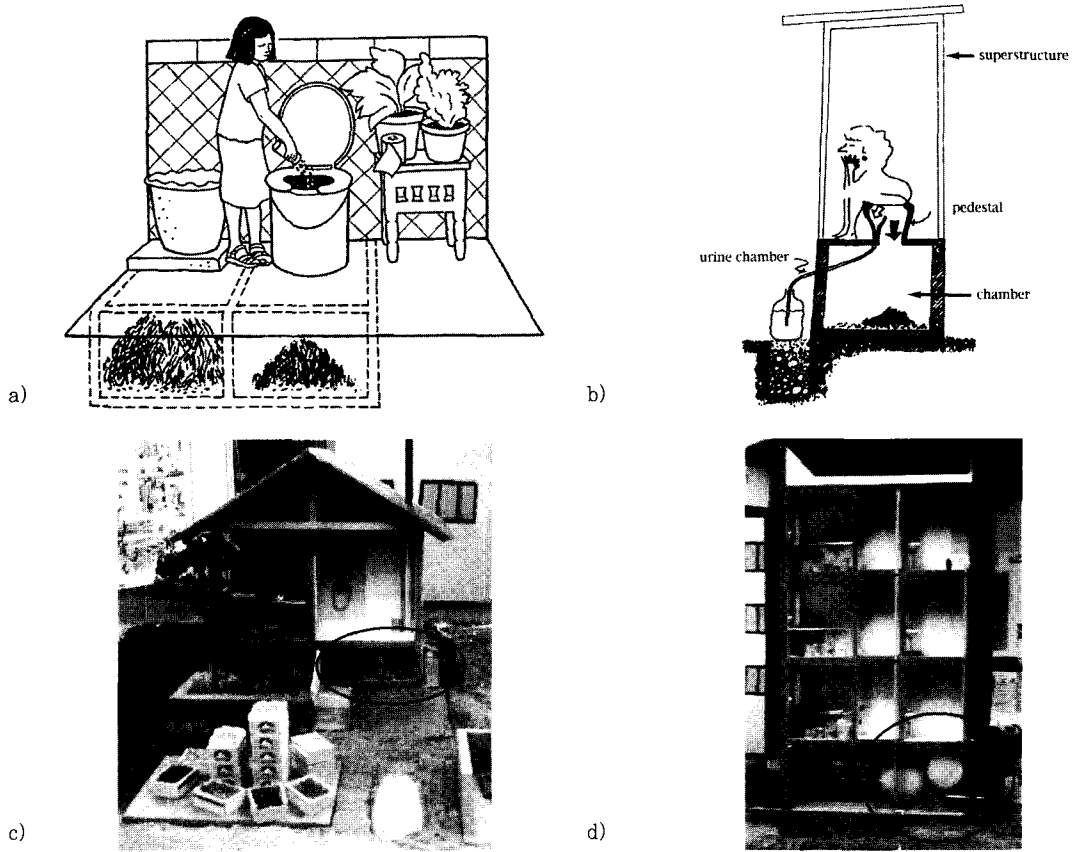


그림 4. a) b) c) 중국, 인도, 베트남, 멕시코에서 사용되고 있는 생태계를 고려한 재래식 이중 저장고의 소변 분리 화장실(double-vault urine diverting dry ecotoilet), d) 수세식 이중 저장고의 소변 분리 화장실

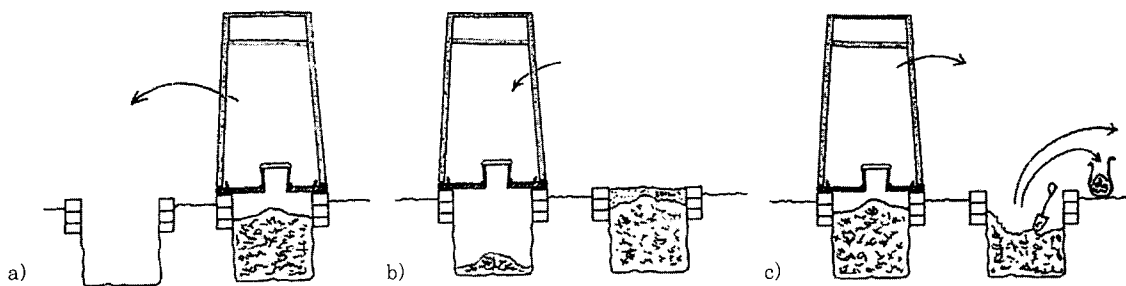


그림 5. 분뇨를 병원균 오염으로부터의 차단, 살균, 재활용의 3단계 과정 설명

고려한 공중위생의 중요한 이점의 하나이다. 소변에서 발견된 질소와 인은 유용한 비료이며, 대변의 고도 유기물은 퇴비화 산물인 토양 개량제 휴머스를 만들어낸

다. 게다가 자연 저장고에서 배수량을 줄이고 인공 화학 비료의 의존을 줄이기 위해서 지속가능하게 생태계에 이러한 영양물을 재이용하는 것은 매우 중요하다.

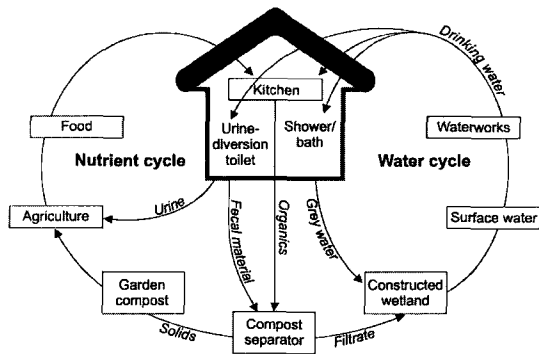


그림 6. 가정 내부에서 생태계를 고려한 공중위생 처리 시스템

특히 중국과 동남아시아는 수 천년 동안 농사의 목적으로 인간의 배설물을 재활용해 왔다. 하지만 종종 분뇨는 적절한 살균이 되지 않아 질병을 영속시켰다. EcoSanRes를 시행함으로써 인해 우리는 인간의 건강을 해치지 않고 환경을 오염시키지 않으면서 영양물을 안전하게 재활용할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

#### 생태계를 고려한 공중위생을 이용한 폐수처리와 가정에서 배출되는 유기물질의 퇴비화

생태계를 고려한 공중위생의 접근은 가정(부엌과 음식물 쓰레기)에서 발생하는 모든 유기물질을 활용하기 위해 이용될 수 있다. 만약 이러한 유기물질이 고형 폐기물과 섞이거나 버려지기보다, 가정 안에서 적절하게 분류가 되면 그것들은 소중한 재활용 물질이 된다. 폐수는 증발되거나 기존 습지대에 생물학적 시스템을 사용하여 처리될 수 있고, 모은 빗물은 개인

위생과 관개를 위한 물로 이용할 수 있다. 그림 6은 이러한 일련의 과정을 설명해 주고 있다.

#### 결론

전세계적으로 공중위생을 접하지 못하는 인간의 약 80%인 20억 정도(이 중 13억이 중국과 인도 거주)가 농촌지역에 살기 때문에, 생태계를 고려한 공중위생에 대한 정보 전달에 큰 어려움이 있다. TV 광고, 뉴스 또는 인쇄물 등의 대중매체 대부분이 이들에게 영향을 미치지 못하고 있는 실정이다. 정부의 서비스도 먼 거리 지역 사람들에게는 종종 미치지 못하고 NGO 들도 이들의 일부에게만 서비스를 제공할 수밖에 없는 실정이다. 그러나 대부분의 정보는 직접적인 대화를 통해 전달된다. 어떻게 하면 우리는 공중위생의 대안과 개선된 위생의 선택권에 대한 메시지를 대중매체가 도달하지 못하는 지역에 사는 많은 사람들에게 전파할 수 있을까? 하는 새로운 도전들을 생각해야 할 것이다. 더욱 더 많은 사람들에게 현재의 공중위생의 위기를 전할 수 있고, 이해시킬 수 있다 할지라도, 선진국과 개발도상국에게는 전통적 접근에 대한 지속 가능한 대안을 발견해야 할 필요성이 대두된다. 공중위생은 더 이상 분뇨가 재래식 화장실과 같은 곳에서 땅속 깊이 묻혀지거나, 처리되지 않은 채로 강 하류로 흘러 다른 지역이나 생태계로 흘러드는 1차원적인 과정이 되어서는 안된다. 지속가능한 생태계를 고려한 공중위생의 총체적인 접근이 꼭 필요하다.

#### 참고문헌

1. World Water Forum(2003), Closing the looping sanitation(The sanitation crisis, The EcoSanRes Programme, The main feature of ecological sanitation) : Report
2. Ron Sawyer(2001) : Closing the loop "Ecological sanitation for food security"