

4

생활 속의 물

미생물 활용 '깨끗한 물' 재생

글_ 김인수 광주과학기술원 환경공학과 교수 iskim@gist.ac.kr

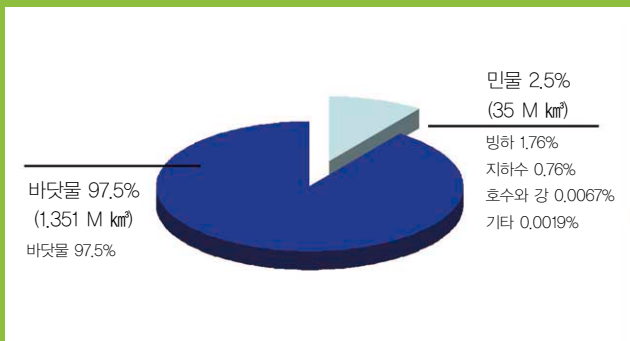
지구의 표면에서 가장 많은 부분을 차지하고 있는 것이 물이다. 어떤 곳은 너무 풍족한 물 때문에 고생하고 다른 곳은 부족한 물 때문에 고생을 한다. 물의 부족함과 풍부함 중에서 우리에게 크게 문제가 되는 것은 물의 부족이다. 이를 해결하기 위해 새로운 댐을 건설하고 저수지를 확보하는 방법은 부가적인 문제 때문에 적극적인 추진을 할 수 없는 실정이다. 따라서 다른 시각에서 수자원을 확보할 필요성이 있다. 즉, 이미 사용한 물을 여러 가지 방법으로 처리하여 이를 재사용하는 방법이다. 이 방법이 우리에게 주는 커다란 두 가지 혜택은, 첫째로 부족한 물을 신규수자원으로 공급할 수 있다는 것과 둘째로 아무리 엄청난 예산을 들여 초고도로 수처리를 하여 방류하더라도 환경에 주는 오염 부담은 있게 마련인데, 이를 근본적으로 초저농도 혹은 제로로 만들어 깨끗한 물을 제공할 수 있다는 것이다.

쓰고 버리는 물 연간 36억톤 추정

우리가 썼고 사용한 물은 과연 어떻게 될까? 먼저 하수도를 타

고 하수처리장으로 흘러가게 된다. 하수처리장에 들어오게 된 물은 물 속에 포함된 이물질과 모래 등의 입자들이 제거된다. 중력을 이용한 침전과 스크린 등을 이용하여 입자성 물질이 제거된 하수는 미생물을 이용한 처리를 통해 용존 오염 성분까지 제거된다. 이제 다시 중력을 이용한 침전지에서 미생물과 처리된 물이 분리된다. 분리된 미생물은 다시 반응조로 보내져서 용존 성분을 제거하게 되며, 처리된 하수는 하천으로 방류하게 된다. 위의 과정은 가장 일반적인 하수 처리의 개념을 설명한 것이다. 그런데, 이렇게 방류된 물은 1년에 약 36억 톤이나 된다. 2002년 기준으로 1년간 서울과 경기도에서 사용한 물의 양이 26억 톤에 달한다. 즉, 이렇게 처리하고 하천에 방류하는 물을 다시 사용할 수 있다면 일석이조가 아닐 수 없다.

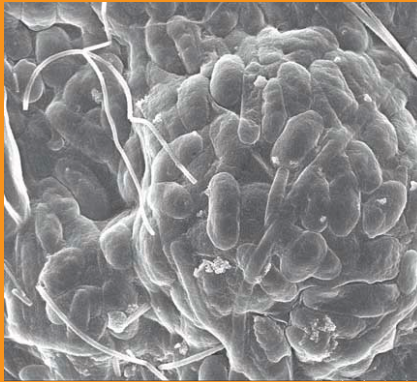
우리가 사용하고 버리는 물을 재사용하는 방법에는 어떤 것이 있을까? 미생물들은 물 속의 보이지 않는 오염물들을 제거하고 그 미생물들은 멤브레인(membrane)을 이용하여 제거하는 방법이 있다. 이를 멤브레인 결합형 생물공정(Membrane Bio-



지구에 존재하는 물의 종류
출처 : Water in crisis (Gloick, P.H., 1993)



장래의 물 수요 전망
출처 : 수자원장기종합계획(건설교통부, 2001. 7)



미생물

+



막

→



막 결합형 생물반응조

〈막 결합형 생물공정의 원리〉

Reactor:MBR) 이라고 한다. MBR공정은 미생물의 생물학적 처리와 멤브레인의 물리화학적 처리를 이용한 공정이다. 하수 처리수의 방류수 재이용을 위한 기술적 대안 중 하나인 멤브레인 결합형 생물공정은 하·폐수의 재이용에 적용할 경우 안정적인 유출수의 수질을 얻을 수 있으며, 하수처리장에 직접 적용된다면 침전지는 물론 복잡한 다른 공정을 최소화할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 특히 국내에는 이미 대규모의 하수처리장의 설치 및 운전이 진행되었으며, 앞으로는 이러한 대규모의 처리보다는 중소규모의 하수처리장 설치 및 운전이 필요하다. 이러한 중소규모의 하수처리와 중수도를 생산하는데 MBR은 더욱 적합한 공정이다.

꿈의 수도물 만드는 '멤브레인 정수장(MBR)'

우리 나라도 물 부족과 수질악화는 발등의 불로 다가오고 있다. 금강, 낙동강, 그리고 많은 하천이 수도물의 원수로 사용되고 있는데, 이러한 하천으로 유입되는 하수처리장 방류수가 그 하천들을 유지하는 하천유지용수의 반 이상이 되는 곳도 부지기수이다. 그렇다면 정말 수도물은 믿지 못할 물이고 생수를 사먹어야 하는 것일까.

미국을 자동차로 여행하다보면 여러 지역의 수도물을 맛볼 수 있다. 굳이 포도주 감별가가 아니더라도 각 지역의 수도물 맛이 다름을 금방 알 수 있다. 물론, 물맛이 좋다고 유해한 물질이 적어 건강에 좋다고는 할 수 없다. 가는 곳마다 수도물을 그대로 마시던 필자는 미국의 한 주에서 발암물질인 비소의 농도가 엄청나

게 높다는 것을 시간이 지난 후에 알았던 경험도 있다.

우리 나라의 경우에도 지역에 따라 원수로 사용하는 수계의 수질에 따라 수도물의 수질은 천차만별이다. 더구나 상수원으로 사용되는 일부 하천은 하수처리장에서 방류되는 처리수가 하천유지용수의 약 50%를 넘는 지역도 있다. 이렇듯 갈수록 나빠지는 강이나 호수의 물을 이용하고, 또한 일부 지역에서는 심지어 하수처리장에서 방류되는 물을 사용하여, 물맛 좋고 안전한 그야말로 꿈의 수도물을 만들어 낼 수 있는 기술은 가능할까라는 의문을 가지게 될 것이다. 필자의 생각대로라면 그것은 앞으로 10년 안에 가능하다.

경제적으로 여유가 있는 미국, 독일, 프랑스, 일본 등 수도물 선진국들은 확신을 가지고 수도물을 만드는 정수공정에 멤브레인을 도입하고 있다. 영국의 처칠이 바닷물을 먹는 물로 만들기 위하여 시도했다 실패한 이래로 멤브레인은 너무 비싸다는 이유로 항상 수도물분야에서 고배를 마셔야 했다. 90년대 초반부터 한해가 다르게 발전하고 있는 멤브레인 분야의 연구로 인하여 멤브레인은 이제 더 이상 비싼 공정이 아니며, 기존 상수처리공정의 완전교체도 그렇게 불가능한 것만은 아닌 듯싶다.

10여 년 전부터 이미 미국의 플로리다, 캘리포니아 등의 여러 도시, 프랑스 파리, 네덜란드의 암스테르담과 같은 도시에서는 멤브레인 정수장을 세워 주민들에게 최고의 수도물을 공급하고 있다. 이제는 돈 많은 부자나라, 부자동네에서 뿐만 아니라, 우리나라에서도 멤브레인으로 처리한 물을 마실 수 있는 시기도 멀지 않았다. 즉, 현재의 수도물 값을 유지할 수 있으면서도 최고 수준

의 수돗물, 즉, 맛 좋고 건강에 유해하지 않은 수돗물을 만드는 것이다.

우리 나라도 서울, 광주, 제주 등 몇몇 도시에서는 이미 멤브레인을 이용한 정수시설과 하수처리장 방류수와 같은 버려지는 물을 재활용하는 시설을 적극 검토중이다.

토양대수층처리(SAT)는 자연을 활용한 기술

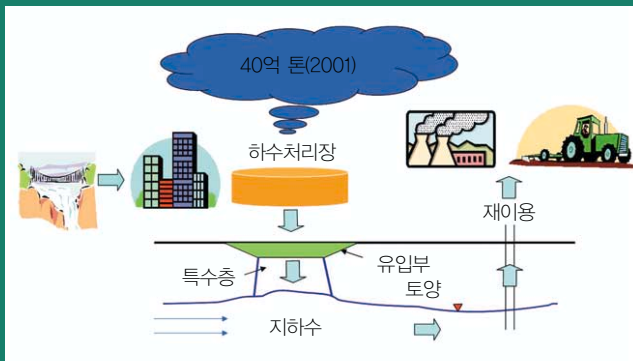
하수처리장에서 처리된 물을 재이용하는 기술 중에서 자연 상태의 토양과 지하수층을 이용하는 기술을 토양대수층 처리 (Soil Aquifer Treatment: SAT)라고 한다. SAT 기술은 펌프나 우물 관정과 같은 기본적인 설비 외에는 자연 조건을 이용하기 때문에 비용면에서 매우 경제적인 방법인데, 이미 미국 서부, 호주, 이스라엘, 쿠웨이트 등과 같은 건조 기후 지역에서 오래 전부터 적용되어왔으며, 10년이 넘게 지속적으로 재이용 물을 생산하여 간접적인 수자원으로 기여하는 바가 크다.

하수처리장에서 처리된 물은 펌프를 통해 저류지로 보내지면 여기서 토양내로 주입된다. 유입부분의 깊이는 약 2m 정도가 되지만 실제로 주입되는 깊이는 통상 1m 이내로 유지한다. 토양 내로 주입된 물 속에 있는 오염물질들은 토양층을 통과하면서 오랜 시간(수주일에서 수개월) 토양미생물의 먹이로서, 그리고 토양입자 사이에서 걸러지면서 자연적으로 깨끗한 물로 처리된 후, 지하수와 함께 아주 오랜 시간 (수개월에서 수년) 동안 이동한다. 이렇게 처리된 청정수는 저류지로부터 수백m 또는 수km 이상 떨어진 곳에 위치한 우물관정을 통해서 다시 회수되며 수질에 따라 관개용수 또는 공업용수로 활용이 가능하게 된다.

SAT 기술은 크게 주입과 건조주기로 이루어지는데, 7일 동안 주입한 후, 7일간 건조하는 방식으로 운전한다. 이렇게 주입/건조주기를 연계해서 운전하는 이유는 주입주기 동안에 저류지 토양 표면에 쌓인 부유물질, 녹조 증식, 미생물성장 등으로 토양공극을 막는 현상(clogging)으로 인해 지속적으로 물을 토양내로 주입하기가 어려워지기 때문이다. 저류지 표면을 건조주기 동안 말리면 다시 물이 주입되기에 좋은 상태로 만들어진다. 미생물 활동으로, 청색증(blue baby)을 일으키는 질소물질이 없애고, 요즘 많은 우려와 관심이 있는 환경호르몬 물질도 제거할 수 있다.

SAT 기술은 물이 풍부할 때 지하에 저장해 두었다가 수개월이 지난 후 물이 부족할 때 지하수 관정을 통해 회수해서 사용할 수 있는 것이다. 예를 들어, 우리나라의 경우 물이 풍부한 여름에 저장해 두었다가 가뭄을 많이 겪는 봄에 대체용수로 공급함으로써 용수공급의 계절적 부조화에 대비할 수 있는 것이다. 호주의 경우는 50년 이상 저장하여 다음 세대에 사용가능한 수자원으로 사용할 정도로 SAT기술은 물을 안정적으로 장기저장 기능이 있다. 그리고 이 기술은 자연친화적인 물의 재이용 기술로서 다른 기술들과 결합해서 적용하면 지속가능하고 매우 유익한 물 재이용 기술이 될 수 있다.

현재, 물 재이용은 전세계적으로 많은 연구자들에 의해 수행되고 있으며, 국내에서도 SAT 기술에 관한 연구는 2001년에 처음으로 시작되어 지금도 진행중이다. 이러한 국내외의 연구를 바탕으로, 앞으로 SAT 공정은 대체수자원으로서의 방류수 활용과 효율적이고 높은 수질의 재이용수를 공급하는 데에 기여할 것으로 기대된다.



토양대수층 이용기술의 개념도



물벼룩(Daphnia magna)

생물학적 독성 모니터링으로 철저한 검증 필요

위에서 소개된 MBR, 멤브레인, SAT를 통하여 처리된 재이용수가 실제 우리가 가정, 산업, 농업 등의 용도에 맞게 안전하게 사용할 수 있는지는 검증이 필요하다. 이에 실제 하천에 살고 있는 조류, 물벼룩, 송사리와 같은 수생생물들을 도입하여 처리된 물에 대한 위해성 평가를 거친 후 재이용해야 한다. 처리된 용수의 사용 기준을 위해 적용되어왔던 기존의 물리적인 측정기법은 단순한 BOD나 몇몇 화학물질을 분석하였고, 이를 수질 평가의 기준으로 적용해 왔다. 하지만, 우리 자연계에는 수천 수만 가지의 화학물질들이 존재하고 이를 분석한다는 것은 엄청난 시간과 비용이 소요된다. 설사 측정된다 하더라도 수계 안에서 오염원과 다른 물질들과의 수많은 화학반응들이 있고 이들에 의해 독성에 영향을 주는 화학물질의 형태가 바뀌므로 생물체나 인간에 미치는 독성 정도를 단정적으로 평가하기는 불가능하다. 이러한 단점 때문에 보다 실제적이고 안전하게 검증되며 재이용수 지표를 제시할 수 있는 생물학적인 평가기법 및 시스템 개발이 필요하다고 본다. 더욱이, 산업의 다양화로 환경호르몬 (endocrine disrupting chemicals)과 같이 새로운 독성화학물질의 지속적인 합성과 증가는 단지 물리화학적 분석 방법에 의한 모니터링이 많은 제한적 요소와 불확실한 판단을 가져올 위험의 요소가 있음을 보여주고 있어 살아있는 생물체에 의한 실질적인 안전성 검증과 같은 생물학적 모니터링 시스템을 절대적으로 요구하고 있는 실정이다.

물벼룩은 재활용수 평가의 척도

생물학적 독성 모니터링이란 살아있는 생물을 이용하여 특정 화학물질 혹은 수계에 있는 총오염원에 의한 생물체에 미치는 독성을 탐지하고 계측하는 감시 시스템이다. 이는 전통적인 수질항목 평가에 의한 수질 관리보다 실질적이며, 탐지 민감도가 높고, 작동 속도도 빠르고, 경제적으로 효율적이며, 또한 구조도 간단해 이를 이용하는 경우 오염원에 의한 위해성을 조기에 알려주고 확산을 방지할 수 있는 조기경보 시스템을 개발할 수도 있다. 또한, 생물학적 모니터링 시스템은 많은 현장의 실제 측정 장소에 설치할 수 있는 장점이 있다. 독일을 비롯한 선진 유럽에서는 1980년대부터 물벼룩, 물고기 등을 이용한 생물학적 모니터링 시스템을 개발, 표준화하여 유럽 전역의 하천에 설치하여 사용해



생물학적 모니터링 시스템(Behavio!uant system)

오고 있다. 미국은 폐수를 처리한 후 살아있는 수생생물체를 이용하여 위해성을 평가하고, 처리된 용수가 재이용의 기준을 통과할 경우 다양한 용도로 사용할 수 있게 하고 있다.

우리 나라에서도 폐물 폐수 방류사건으로 인해 10여 년 전부터 생물학적 모니터링에 많은 관심을 보이고 있으며 중요성이 인식되고 있다. 따라서 각종 기술로 처리한 처리수를 재이용하기 위한 안전한 평가 기준의 마련이 시급하다. 그리고 모든 처리된 용수들은 생물학적 독성평가 단계를 거쳐 물의 안전성을 검증하여 그 독성 및 안전성의 정도에 따라 식수, 가정용수, 산업용수, 농업용수로 사용할 수 있게 분류되어야 하며, 이를 통해 재이용시 안전에 전혀 문제가 없음을 철저히 검증하여야 한다. ㉔



글쓴이는 미국 아칸사스대학교에서 공학박사 학위를 받았다. 미국 환경부 중앙연구소 연구원을 지냈고, 현재 세계물학회 (IWA) 과학기술위원, 국내 환경부 자문위원을 맡고 있다.

생활 속의 물

'문전옥답'의 비결

글_ 박승우 서울대 생명자원공학부 교수 swpark@snu.ac.kr

우리 조상들은 열심히 땀 흘려 농사를 지으면서 산천을 아름답게 가꾸어 왔다. 독을 쌓고 땅을 골라 논을 만들고, 비옥하게 가꾸려 애써왔다. 서로 힘을 합해서 방죽을 만들어 농사 지을 물을 얻고, 함께 모내고 추수를 하였으며, 나누어 사는 법을 실천해왔다. 천년이 넘게 이 땅에서 농사를 지어 왔어도 우리 논에서 수확량은 세계적 수준을 자랑하는 일은 경이로운 일이 아닐 수 없다. 조상들의 지혜로운 농사법에는 문전옥답(門前沃釜)이 있었다. 집 가까이(문전), 땅이 기름진 논(옥답)이 그것이다. 마을에서 쓰고 버린 물을 논에 담아 벼농사에 쓰고, 생활하수의 비료분으로 흙을 거름지게 가꾸어 왔다. 마을의 허드렛 물은 논에서 정화되어 하천으로 흘러가니 산천의 물은 항상 깨끗하였다. 그래서 이 땅을 비단에 수놓은 듯이 아름다운 산천 같아서 금수강산(錦繡江山)이라 했다. 이 땅을 가꾸고 자연과 조화롭게 살아 온 조상의 지혜를 오늘에 실현하는 일은 무엇이겠는가?

하수처리수는 하천 수질오염의 원인

농사에 쓰는 물을 농업용수라고 한다. 우리나라의 농업용수 사용량은 연간 158억^{m³}으로 이 양은 도시에서 쓰는 생활하수의 2.2배에 이르는 양이다. 가정에서 쓴 물은 생활하수로 하수처리장으로 모아 처리된 후 하천으로 방류한다. 생활하수 처리수는 연간 48억^{m³}로 농업용수 사용량의 30%에 달하며, 대부분 못쓰는 물로 버려지고 있다. 하수 처리수는 하천 수질을 나쁘게 하는 오염의 원인이 되기도 한다. 우리나라 하수처리장 중 약 절반은 방류수 수질이 하천수질기준 4급수 (BOD 8 mg/L)를 만족하지 못하는 수준이다. 이런 곳의 하수처리장 하류는 방류수로 인해 수질이 급격히 나빠지는 예가 많다. 그러면, 하수처리장 방류수는 쓰지 못하는 것인가? 미국, 유럽, 일본, 중국 등 세계 70여 나라들에서는 하수처리수를 농업용수로 재이용하고 있다. 여기서 하

수 재이용이란 물을 다른 용도로 다시 사용하는 것을 말한다. 그런데 우리 나라는 아직 하수 재이용이 많이 이루어지지 않고 있다. 그 이유는 과거의 많은 하수처리장이 농경지에서 멀리 떨어져 있는 경우가 많았고, 농업용수 재이용 기술이 없었기 때문이다. 잘 이용하면 귀중한 자원으로 가치 있게 재이용할 수 있음에도 너무 쉽게 버려지고 있는 것도 사실이다.

수자원프린티어 사업단의 세부과제의 하나로 생활하수 처리수의 농업용수 재이용에 관한 연구가 수행되고 있다. 하수처리장의 방류수를 재처리하여 농업용수로 쓰기 위한 기술을 개발하는 것이 그 일이다. 여기서 재처리란 일단 처리되어 방류되는 물을 여과, 소독 등을 통해 논, 밭에서 쓸 수 있도록 하는 것을 말한다. 재처리는 하수 처리수에 포함된 인체에 해로운 세균 (기생충이나 병원균 등)등을 없애 농사에 사용할 수 있도록 하기 위함이다. 마치 생활용수로 쓰기 위해 물을 정수처리를 하는 것과 같은 원리이다. 다만, 하수 처리수를 이용하기 때문에 엄격한 수질기준을 적용하여야 한다. 이번 연구에서는 세계보건기구 (WHO)나 미국 환경청 (US EPA) 등에서 제시한 재이용 수질기준보다 엄격한 기준을 설정하여 안전성을 높이도록 했으며, 이를 만족시키는 농업용수 재처리 시스템을 개발하였다.



경사지 계단식 논



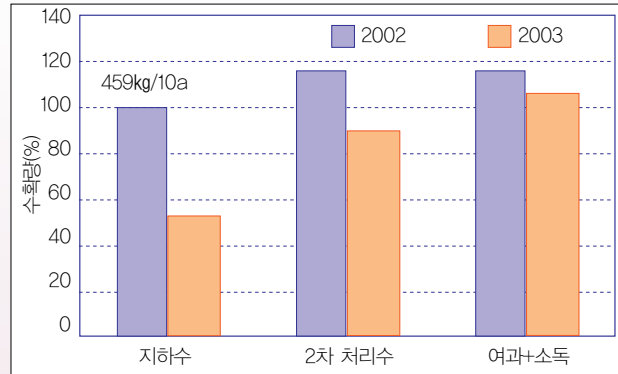
하수처리수의 농업용수재이용 시스템

농업용수로 재이용시 수질개선 등 효과 커

하수처리수의 재이용은 어떤 효과를 나타내는가? 생활하수 처리수를 이용한 논벼의 생육시험 결과, 하수에 포함된 질소, 인산 등 비료성분으로 인해 작물 생육이 좋아지고, 수확량도 20% 이상 증수하는 효과를 보였다. 특히, 화학비료를 40~50% 정도 줄여도 수확량은 지금의 관행 농사법에 비하여 줄지 않게 되므로, 결국 그만큼 비료사용량을 줄일 수 있는 것으로 나타났다.

두번째 재이용의 효과로는 수질개선을 들 수 있다. 하수처리수를 논물로 이용하면 비가 흡수하거나 논에서 저류하는 동안 미생물 작용 등으로 인해 수질이 개선된다. 논물의 수질을 조사한 결과 질소의 경우 60%를, 인산은 25% 만큼 감소하는 수질 개선 효과를 보여주었다. 이와 같은 수질개선효과는 하수처리비용을 줄여주는 효과를 얻을 수 있어 경제적일 뿐만 아니라 하천수질환경 개선에도 도움을 줄 수 있을 것이다.

셋째, 농업용수 재이용은 새로운 댐을 건설, 하천수를 취수, 지하수 개발 등을 대체할 수 있다. 우리나라 논의 약 1/4 정도는 수자원이 없어 가뭄피해를 겪는다. 그런데 전국 논의 1%에 농업용수를 공급하기 위한 수자원개발에 소요되는 비용은 대략 1조 원 정도다. 하수재이용을 통해 이러한 신규수자원 수요를 대체할 경우 훨씬 경제적일 뿐만 아니라 댐 개발 등에 따른 환경 피해를 줄일 수 있다. 또한 농업용 저수지를 다른 용도로 활용하고 하수재이용을 통해 필요한 농업용수를 공급하는 경우도 보다 합리적인 수자원 이용에도 기여할 수 있다. 그리고 하수처리장은 농경지에 가까운 곳에 위치하므로 취수비용을 줄이는 등 경제적으로 활용이 가능한 이점도 있다. 그러나 농업용수 재이용을 위해서는 풀어야 할 과제도 남아있다. 우선은 농업용수 재이용의



하수재이용 시험포장의 비 수확량 비교. 재이용 포장은 높은 수확량을 보인다.

구분		논 유입수	논 담수	수질개선 효율(%)
총질소 (mg/L)	2002년도	16.88	5.43	68
	2003년도	17.05	6.40	62
총인 (mg/L)	2002년도	0.59	0.50	15
	2003년도	1.07	0.68	36

재이용 논에서의 수질개선 효과

로 농사를 지으면서 필요한 농업기술을 개발하는 일이다. 보건 위생문제에 대한 우려가 없으면서도 경제적으로 재이용이 가능하도록 하는 처리기술도 개발해야 한다. 또한, 우리 음식은 간장과 소금을 많이 쓰므로, 그대로 논에 들어오면 흙 속의 염분 농도가 높아질 수 있으므로 이에 대한 대책도 마련해야 한다. 재이용으로 인해 토양, 수질에 미치는 환경 영향 등도 면밀히 검토해야 할 것이다. 무엇보다도 재이용으로 인해 인체에 유해한 일이 나타나는지 지속적으로 점검하고 조심하는 일은 아무리 강조해도 지나치지 않을 것이다.

끝으로, 생활하수 처리수를 농업용수로 재이용하는 것은 우리 조상의 슬기로운 농사기술을 다시 재현하는 일이며, 수질환경을 개선하고 수자원 부족에 대응하는 점에서 우리 강산을 다시 살리는 일임을 상기해본다.



글쓴이는 서울대 졸업 후 미국 일리노이대학교에서 박사학위를 받았다. 현재 국무총리실 물관리정책민간자문위원, 새만금환경대책 실무위원, 건설교통부 중앙하천 심의위원을 겸임하고 있다.

생활 속의 물

오·폐수를 맑은 물로...

글_ 김중오 강릉대학교 교수 jokim@kangnung.ac.kr

쾌적한 생활 환경의 조성 및 환경과 조화된 순환형 사회의 구축은 현재의 산업화된 도시가 안고 있는 사회·환경 문제를 해결함과 동시에 지속적 발전이 가능한 사회를 실현하기 위한 불가결한 요소라 할 수 있다.

이 가운데 오·폐수를 맑게 정화한 처리수의 재이용은 순환형 사회 구축에 공헌할 수 있는 중요한 시책으로 생각할 수 있다.

처리수의 재이용 형태는 크게 수량과 수질, 그리고 두 가지의 경우 모두에 관련된 형태로 구별할 수 있다. 수량에 초점을 둔 이용 형태로 화장실 수세용의 잡용수, 공업용수, 가로수 등의 관개용수 등을 들 수 있다. 수질의 확보에 중점을 둔 재이용 형태로 도시내의 수순환(水循環)을 위하여 고도처리수가 친수·수경 용도로 이용되고 있다.

수량과 수질의 양면을 고려한 이용형태로는 환경용수로서 고갈된 하천의 회복을 위한 유지용수 및 폐쇄성 해역의 수질정화 등의 용도를 들 수 있다.

재이용수의 수질은 외국의 경우 몇 가지 용도에 대해서 가이드라인을 설정해 두고 있으나, 규정된 용도 이외에는 공급자와 이용자 상호간의 협의로 결정하는 것이 현실이다.

재이용수 충분히 소독해야 안전

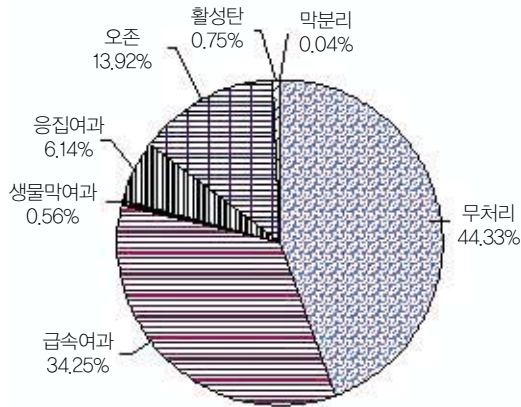
가까운 일본의 경우, 처리수 재이용을 위한 처리 방식 적용에 있어 특별한 처리 기술을 추가하지 않은 무처리(일반적 표준 활성 슬러지법을 이용한 처리수)로 이용되는 경우가 전체 재이용 수량의 44%로 가장 높고, 급속여과 방식이 그 다음으로 34% 정도를 차지한다. 이 두 가지 처리 방식으로 전체 재이용 수량의 78%를 차지하여 특별히 정화되지 않은 수질로 재이용되는 경우가 일반적이라 할 수 있다. 한편 수세용수나 수경·친수용수로서 이용되는 경우에는 일부의 경우를 제외하고 부가적인 처리가 적용되고 있다. 가장 많이 적용되는 방식으로 소독효과를 높이기 위하여 오존 처리나 자외선 처리를 추가하는 경우가 많고, 보다 양호한 수질이 요구되는 친수용수의 경우에는 활성탄 처리나 막분리와 같은 처리 방식을 적용하는 경우가 있다.

위에서 열거한 처리방식 가운데 재이용수의 수질은 대부분이 추가 처리를 적용하지 않은 무처리 혹은 여과수이기 때문에 부유물과 탁도는 거의 제거할 수 있지만 색도나 냄새, 용존 유기물에 기인하는 오염성분이 다소 잔존하고 있다. 또한 질소나 인과 같은 영양염류의 제거를 염두에 두지 않은 재이용수가 이

재이용수 수질 기준 가이드라인

항 목	수경용도	친수용도*
대장균군수	1000개/100mL 이하	50개/100mL 이하
BOD(생물화학적 산소요구량)	10 mg/L 이하	3 mg/L 이하
pH	5.8~8.6	5.8~8.6
탁도	10도 이하	5도 이하
색도	40도 이하	10도 이하
냄새	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것

*친수이용은 신체의 일부가 재생수와 접촉하는 것을 허용하는 재이용 형태이며 수영과 같은 형태의 접촉을 의미하는 것은 아님.



재이용을 위한 처리 방식 (수량비율)



(a) 오사카시(오사카부)



(b) 오카자키시(아이치현)



(c) 고리야마시(후쿠시마현)



(d) 가스야마치(후쿠오카현)

처리수의 유효 활용(천수공원의 용수공급/ 소화천 유지용수, 일본)

용되고 있으며, 따라서 박테리아나 조류(algae)의 번식을 방지하기 위한 잔류염소의 효과가 저하할 경우 미생물에 의한 2차 오염 발생우려가 있다. 따라서 재이용시의 안전성을 확보하기 위한 충분한 소독관리가 필요할 것으로 판단된다.

또한 응집제와 같은 화학약품의 과다사용으로 인한 용존 이온성 물질의 농도가 증가로 스케일이 발생하고, 그에 따라 재이용수의 쾌적성을 저하시키는 경우도 문제점으로 지적되고 있다.

재이용수의 보급·확대를 위한 사업 전개에 있어 종래의 방식보다 우수한 처리 기술이 요구되며 다양한 분야의 기술을 종합적으로 활용할 수 있는 인재와 기술의 확보가 필요할 것으로 판단된다.

재생수 이용의 촉진을 위한 행정기반의 확립도 간과할 수 없는 부분이다. 재생수 이용의 양적·질적 향상을 요구하는 처리수의 재이용을 위해서는 법제도의 정비와 새로운 역할에 부응할 수 있는 재원의 확보가 필요하다.

이러한 법제도의 정비가 충분히 확립되지 않은 현재의 상황에서는 단계적 사업의 추진과 도시정책에 직결된 사업을 우선적으로 시행하는 등 정비수법의 검토가 필요하다고 할 수 있

다. 처리수의 재이용은 공공성이 높은 사업이며, 따라서 도시계획부문과의 연계 등 정책과 연결되어 진행되는 것이 중요하다. 사업의 내용과 필요성을 시민과 관계기관에 명확하고 충분히 이해시킬 필요가 있으며 이는 다양한 홍보활동의 전개가 요구된다고 할 수 있다.

물은 대기-하천-바다-대기 사이를 지구적 규모로 순환하는 자연자원이며 인류의 공유 재산이다. 이러한 수순환 체계에서 처리수의 재이용이 갖는 의미는 양호한 수환경의 형성에 대하여 수질과 수량을 연결하는 가교역할이라 할 수 있다.

처리수의 재이용은 '버려진 물을 자연으로부터 받은 처음의 상태로 되돌린다'는 것이며, 여기에는 건전한 순환형 수환경의 창조를 위한 결의가 담겨 있다.

거대한 자연의 수순환과 작은 인공적 수순환이 조화롭게 이어질 수 있는 쾌적하고 건전한 수환경의 창조를 위하여 처리수 재이용은 그 소중한 의미를 지닌다. **SD**



글쓴이는 한양대학교 공과대학 토목공학과를 졸업했다. 서울대학교 환경대학원에서 도시계획학 석사 학위를, 교토대학교에서 환경공학 박사 학위를 받은 후 동대학교에서 환경공학 전공 전임강사를 지냈다.