

# 5

## 생태계 속의 물

# 생태계 알면 물 해결된다

글\_한명수 한양대학교 생명과학과 교수 hanms@hanyang.ac.kr

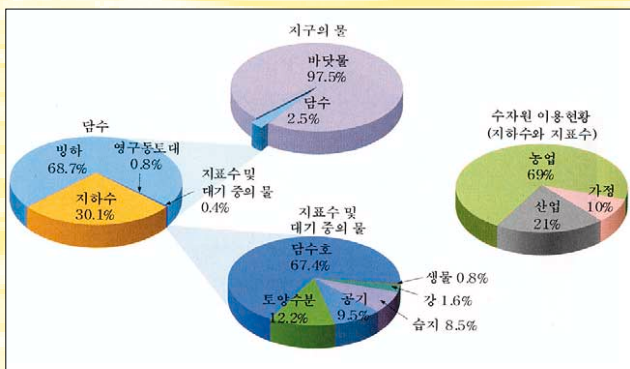
**수** 자원은 인간을 포함한 모든 동식물의 생명활동에 절대적으로 필요한 자원이다. 지구상에 존재하는 물 가운데 약 97%가 바닷물이며, 약 2%는 극지방에서 빙상과 빙하로 존재한다. 그리고 나머지의 약 0.8%만이 식수, 관개용수, 생활용수 및 공업용수로 이용되고 있다. 담수와 비교하여 바닷물은 다양하고 풍부한 염분이 녹아있기 때문에 불행하게도 인간을 포함한 거의 대부분의 생물은 생명활동을 유지하는데 바닷물을 이용할 수 없다. 따라서, 육상에 존재하는 0.8%의 담수자원은 인간과 육상 동식물의 생존에 절대적으로 중요한 수자원이라고 할 수 있다. 자연계의 생물들은 생존전략으로서 다양한 방법으로 물을 이용하고 있다. 생태계를 이동하는 동안 물은 저장되거나 완만한 속도로 배출되면서 이동하며, 수자원은 깨끗하게 정화되는 과정을 거친다.

### 물부족 해결을 위해 자연의 생태 이해해야

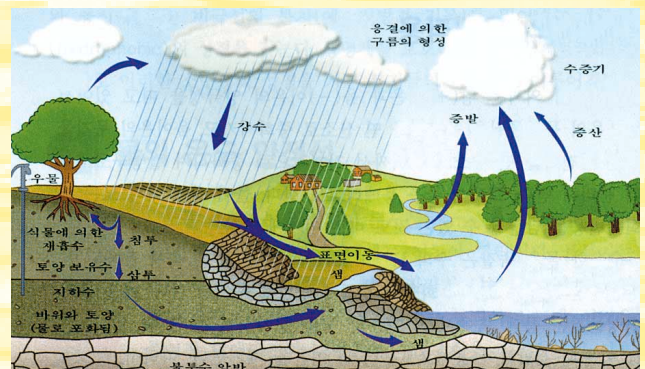
물 부족을 해결하기 위한 수자원을 관리하는 데에는 수자원이 분포하는 자연생태계를 기능적으로 이해하는 것이 매우 중요하다.

다. 하천, 계곡, 강, 호수 및 저수지에 존재하는 지표수, 유역의 산림과 토양을 통하여 땅속으로 스며들고 여과되어서 형성된 지하수는 생태계내에서 계속 순환되고 있다. 다시 말해서, 지표수의 증발과 증산 현상으로 대기로 이동되어 구름을 형성하는 물의 상승경로와 물이 다시 눈과 비 등의 형태로 떨어지는 응결, 승화, 강수와 같은 하강경로를 통해 순환하는 물의 순환을 이해하는 것이 무엇보다도 중요하다. 앞에서 설명한 것처럼 자연적인 순환과정에 의해 공급되고 유지되기 때문에 물을 무한의 자원이라고 인식하기 쉽지만, 시간적 측면을 고려하면 사용할 수 있는 물이 무한히 공급되는 것은 아님이 분명해진다. 예를 들어 지하수의 경우 한 번 취수한 물이 재충전되는 데는 1만년이나 되는 시간이 걸리기도 한다. 이러한 이유 때문에 한 번 쓰고 나면 없어지는 화석연료와 같다하여 지하수를 '화석수'라고 부르기도 한다.

또한 지표수와 지하수의 흐름과 토양에서 지하수의 저장이 진행되는 동안에 자연 생태계에서 일어나는 물의 오염현상과 오염된 물을 생태계가 스스로 정화시키는 자정현상을 이해한다면 수자원을 어떻게 관리해야 하는지에 대한 지혜를 얻을 수 있다.



지구의 물



물의 순환



대청호의 녹조발생

담수생태계에 존재하는 다양한 형태의 연못, 저수지 그리고 댐과 하천에서는 종종 수질의 부영양화로 녹조현상이 발생되어 수질이 악화되고 수자원이 황폐화되고 있다. 수자원의 오염은 물 부족 현상을 더욱 가속시킨다. 현재는 식수나 각종 용수를 확보하기 위하여 오염된 수질을 개선하는 일을 하수처리장에 전적으로 의존하고 있다. 또한, 수질오염을 줄이기 위하여 각종 행정제도(상수원보호법, 물이용부담금, 오염총량관리제도)를 고치거나 신설하여 수질을 보호하고 부족한 수량을 확보하기 위하여 친환경적 댐의 건설기법을 개발하는데 노력하고 있다. 이러한 모든 노력은 오염된 수자원을 회복시키기 위한 노력의 일환이지만, 넓은 부지와 설비투자 등 막대한 예산이 필요하다는 단점이 있다. 이에 비해 자연 생태계의 기능과 역할을 그대로 이용한 생태복원기술은 과도한 투자가 필요치 않아 경제적이면서도 환경친화적이다.

또한, 근본적인 수자원의 오염을 예방할 수 있을 뿐만 아니라 수질을 개선하는 데 사용되는 물의 양을 절약할 수 있는 일석이조의 효과를 얻을 수 있다. 따라서 수자원을 관리하고 오염 수역을 정화하고 복원시키기 위해서는 생태계의 다양한 기능을 이용한 생태복원기술을 이용하는 것이 가장 환경 친화적인 방법이라고 할 수 있다.

지금까지 우리 나라의 수자원 정책은 경제발전을 최우선으로 하는 실용주의적 사고에 기초한 수자원 관리였다. 이런 정책은 수자원의 질적 관리 측면에서 한계를 가지고 있다. 수자원의 질적 관리를 위해서는 인간과 자연이 생태계내에서 더불어 사는 공



오염물질의 정화작용과 지하수의 저장기능을 보유하고 있는 미국 오리건주의 서태평양 지역의 염습지

동체라는 생명체중심의 진보적 개념이 반드시 도입되어야 한다. 그리고 동식물의 서식처가 훼손되지 않고 보존될 수 있도록 생태계의 기능이 유지되어야 한다. 즉 호소, 댐, 하천, 하구, 습지 등의 생태적 기능을 보존하는 것은 환경 친화적인 수질관리 측면에서 매우 중요한 의미를 갖는다.

이미 훼손된 생태계의 복원과 관리를 위하여 생명과학기술을 접목한 생태공학기술의 개발은 21세기 수자원관리의 친환경기술로서 각광을 받고 있다.

### 습지는 스스로 물을 정화하는 기능 있다

일반적으로 잘 보존된 자연수계에서는 일시적으로 다량의 유기물이 유입되어도 일정시간이 경과하면 원래의 상태로 회복된다. 이러한 현상을 수계의 '자정작용'이라고 한다. 자연수계의 자정작용에는 물리적, 화학적 및 생물학적 자정작용이 있다. 그 중에서 가장 큰 비중을 차지하는 것은 생물학적 작용이다. 습지도 자정능력을 갖고 있으며, 홍수조절과 지하수 저장 기능, 동식물에게 친환경적 서식처를 제공하는 기능도 있다. 습지는 지구표면적의 4~6%를 차지하고 있으며, 물의 순환 시스템에서 매우 중요한 생태학적 기능을 갖고 있기 때문에, 소규모 수처리 시설을 위한 생태 친화적 시스템으로서 활용할 수 있다. 실제로 여러 선진국에서는 습지의 기능을 이용하여 소규모 수처리 시스템을 개발하기 위해 많은 노력을 기울이고 있다.

수변원충녹지대는 일반적으로 물과 수변지대 사이의 토지를 가리킨다. 강과 하천을 따라 형성된 지역으로 때때로 범람이 되



일본 가스미가우라 호수의 수질 정화를 위해 복원된 습지

기도 하며 명확한 범위는 정의되어 있지 않다. 수변완충녹지대의 삼림과 수생식물은 과도한 영양물질과 오염물질이 하천으로 유입되는 것을 방지하거나 흡수하여 정화기능을 갖는다. 그리고 인접지역에서 흘러 들어오는 점토, 실트 등의 퇴적물을 막아서 물고기들의 산란장소인 하천의 자갈 바닥이 매몰되는 것을 방지한다.

수생식물 군락은 수중에 서식하는 각종 동물들의 좋은 산란 장소이자 서식처이다. 또한 갈수기에는 산란처럼 물의 유출 속도를 감소시켜서 하천의 유량을 유지시켜 준다. 또, 홍수가 발생하면 어류 등의 수생 생물들은 파괴된 서식처를 피해 일시적으로 범람한 수변완충녹지대로 이동하여 피난처로 활용한다. 또, 수변완충녹지대가 사라지면 여름철에 수온이 상승하여 조류가 번식하고 수질이 악화될 뿐만 아니라 조류 독소가 발생하기도 한다. 따라



다양한 생태적 기능이 있는 수변완충녹지대

서 수질관리를 위하여 식생, 오염 부하 물질, 수변완충녹지대내의 도로와 인공 시설물의 구성에 대해 충분히 고려해야한다.

주차장이나 주거 시설, 산업 시설처럼 오염원을 발생시키는 시설이 들어서는 것을 최대한 억제하여 수질을 개선하고 생태계를 보호해야 한다. 완충녹지대내의 도로 또한 수질을 오염시키는 원인을 제공하기 때문에 도로 건설은 원칙적으로 피하는 것이 좋고

부득이한 경우에는 물이 투과될 수 있는 표면으로 구성하도록 한다. 또한 제방이나 둑과 같은 인공구조물은 생태계내의 야생동물들의 서식지에 피해를 주기 때문에 다시 한 번 고려해야 한다. 수변완충녹지대가 건전한 기능을 보유하기 위해서는 녹지대는 최소한 10~20m의 폭을 유지해야 한다. 그러나 수변 완충 녹지대의 폭이 넓으면 넓을수록 수중생태계의 먹이그물망의 형성, 수온 조절, 질소제거, 퇴적물 제거, 범람 완화 등의 다양한 수변완충녹지대의 기능이 더 잘 유지될 수 있다.

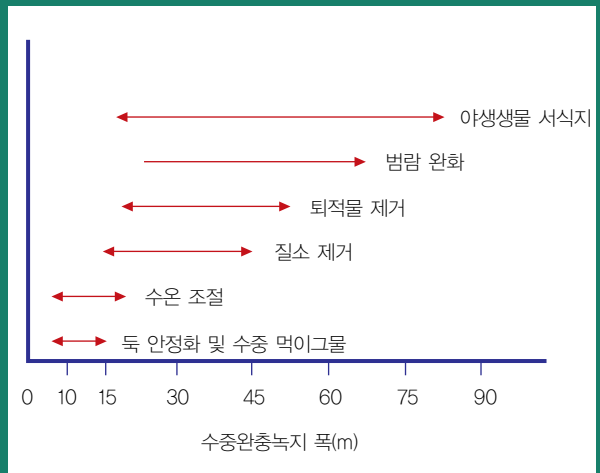
**수중 생태계의 먹이사슬 이용해 수질 개선**

최근 수질오염과 부영양화를 억제하기 위하여 다양한 생태공학 적 처리기법이 활발하게 진행되고 있다. 박테리오파지, 균류, 동물플랑크톤, 원생동물 등을 이용하여 조류의 증식을 억제하고 제거함으로써 수질을 관리하려는 연구가 활발히 진행되고 있는 것이다. 천적생물을 이용하여 유해한 동식물을 없애는 생물학적 억제 기술은 환경친화적인 방법으로서 생물농약이라고도 부른다. 유기농법에서 생물학적 억제기술은 많이 활용하고 있다. 따라서 수계에서도 다양한 먹이사슬 관계를 잘 이용한다면 효과적인 생태복원기술로 활용할 수 있을 것이다.

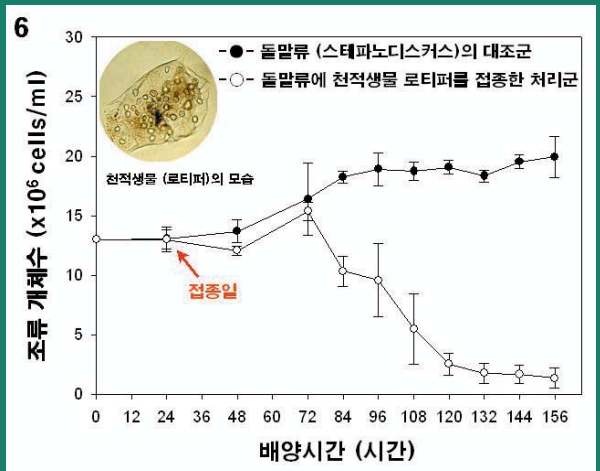
호수, 댐, 상수원, 위락용 연못 등에 녹조가 발생하면 수질을 청정하게 유지하기 위해 녹조가 발생한 물을 교환하는 데 그만큼의 물이 필요하다. 따라서, 호수의 녹조 억제 기술이 개발된다면, 수량을 절약하는 동시에 수자원을 보호하는 효과를 얻을 수 있을 것이다.

호수에 녹조가 발생하였을 때, 녹조를 일으키는 편모조류나 조류를 포식하는 동물플랑크톤을 기르면 호수의 녹조가 줄어들고 수질이 투명하게 개선되는 효과를 얻을 수 있을 것이다. 이를 위해서는 동물플랑크톤을 잡아먹는 최상위 영양단계에 있는 어류를 호수에서 제거하면 된다. 이러한 방법은 생태공학기술 중의 한 가지다. 또한 녹조를 먹이로 하는 섬모충류나 어류를 이용해도 같은 효과를 얻을 수 있다. 이러한 예는 실제로 활용되고 있으며, 필자의 연구실에서 최근 수행한 국내 연구에서도 녹조발생을 억제하기 위한 천적생물을 개발하였다.

스테파노디스키스 녹조가 형성된 배양액에 천적생물 로티퍼를 접종한 후 5일째 되는 날의 대조군과 처리군의 결과를 보면 천적생물 로티퍼에 의하여 녹조가 72시간(5일)째부터 급격히 감소한



수변 완충 녹지대의 기능에 부합하는 최소 폭의 범위



천적생물 로티퍼에 의한 녹조류의 제어 실험결과



로티퍼 접종 후 12시간 후에 녹조가 소멸된 사진



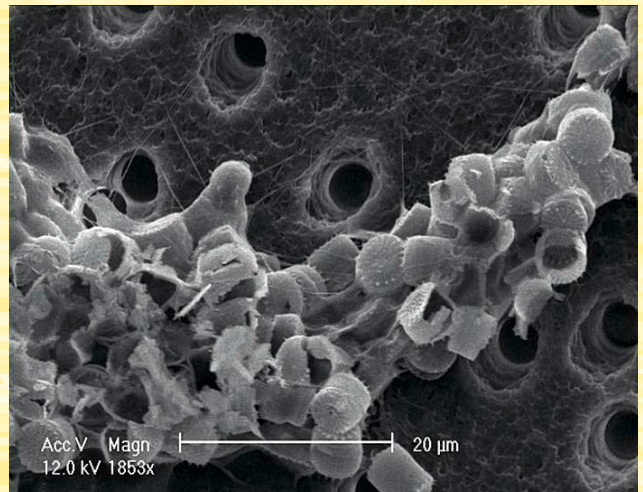
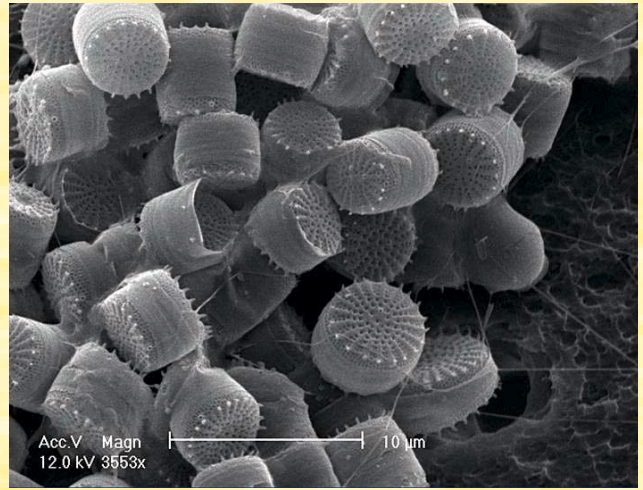
시험관

것을 볼 수 있다. 이러한 연구결과는 앞으로 국내에서 발생하는 호수의 녹조제거를 위한 생태공학기술로서 많이 활용될 것으로 보인다.

### 분해 미생물을 이용한 녹조의 제거

호수의 수질을 개선하기 위해서는 미생물을 포함한 다양한 생물을 이용할 수 있다. 호수의 녹조발생을 억제하는 방법으로서 미생물, 바이러스 및 균류를 이용하는 기술의 개발이 현재 국내 외에서 개발되고 있다. 즉, 녹조가 발생한 후에 이들이 소멸될 때에 우점으로 나타나는 분해미생물을 탐색하여 이들의 기능을 활용함으로써 녹조발생을 억제하거나 분해하는 기술이다. 호수의 바닥에 쌓여 있는 퇴적토에서 분리한 박테리아를 이용하여 녹조를 분해하는 살조세균의 효과를 관찰한 결과, 스테파노디스크스 녹조가 발생한 대조군(왼쪽)에 비해, 처리군(오른쪽)에서는 살조세균을 접종하고 나서 녹조의 발생이 억제되기 시작하여 6일 만에 완전히 분해된 것을 알 수 있다. 또한, 녹조를 발생시키는 규조류의 형태와 살조세균에 의해 파괴된 형태를 전자현미경으로 관찰할 수 있었다.

현재까지의 수자원 관리기술은 이수와 치수의 기능만을 강조한 인간중심의 양적 관리가 강조되어 왔다. 그러나 이제 이수과 치수만으로는 수자원의 양적 질적 관리를 위한 많은 한계점이 있음이 밝혀졌다. 미래의 수자원 관리 기술에서는 인간과 자연이 더불어 사는 생명 공동체라는 생명 존중의 진보적 개념이 매우 중요한 역할을 하게 될 것이다. 이것은 수자원의 질적 관리를 위해서는 동식물의 서식처를 훼손하지 않고 보존하여 생태계의 기능을 유지하는 것이 가장 중요하다는 것을 의미한다. 수자원의 오염방지를 위한 생태적 관리는 궁극적으로 수자원의 절약의 위



녹조를 발생시키는 규조류의 완전한 형태(a)와 살조세균에 의해 파괴된 형태(b)의 전자현미경 관찰

한 최대의 예방이 될 것이다. 즉 생태계 기능의 이해를 통한 다양한 수질관리 대책은 멸종위기의 동식물 보호와 생태계 보전, 홍수 조절기능, 수질오염의 예방뿐만 아니라, 인간생활의 질적 향상을 위한 역할까지도 제공할 것이다. 또한 생태계의 고유한 특성과 기능을 활용한 생태 복원 기술은 지속 가능한 수질관리 및 보호에 크게 기여할 것이다. ㉔



글쓴이는 도쿄대학 해양연구소 객원연구원, 워싱턴대학교 식물학과 방문교수, 한양대학교 자연과학연구소 소장을 지냈다. 현재 과학기술부 물환경생태복원 국가지정연구실 실장을 겸임하고 있다.