

# 하천과 저수지의 부영양화 및 녹조 해결방안

김준홍

## 1. 서론

지구의 온난화 현상은 온실가스에 의한 급격한 기후변화로 지속적인 지구 지표층의 평균 온도 상승, 대기오염과 해양오염, 물 부족 현상, 과도한 비료사용과 농약살포 등은 토양오염을 부추기고, 우기 비점오염원에 의한 하천과 저수지 바다오염으로 이어져 녹조와 적조, 악취와 물고기 폐사 등의 환경현안 문제는 범국가적으로 환경위기에 직면하고 있다.

비점오염원(Non point source)을 통해 하천으로 들어오는 T-N, T-P는 작은 하천을 거쳐 4대강 오염으로 이어지고 정체된 하류지역에 나타난 녹조현상은 매년 기온이 상승하기 시작할 때면 급격한 녹조(Algae)번식으로 이어져 그 실태가 날로 심각한 수준에 이르고 있다. 특히 부영양화 현상은 저수지에서도 동

일한 현상으로 나타나고 있다. 전국 농업용 저수지는 약 3,300여개이며, 경기지역에 소재한 환경부 지정 중점관리 농업용 저수지를 중심으로 조사해 본 결과 농업용수 수질관리 기준을 충족시키지 못해 관리 대책이 시급한 상태이고, 녹조(Algae)로 인하여 물비린내와 기타 악취로 인한 민원을 일으키고 있다. 따라서 하천과 저수지의 부영양화 해소를 위해, 기후조건, 저수지 면적, 강 크기와 길이에 상관하지 않고 제2의 환경오염을 일으키지 않는 가장 안전한 해결 방안의 모색이 필요하다.

## 2. 하천 오염의 메커니즘(Mechanism)

하천의 경우 5~10mm정도의 비가 내리게 될 경우 분리식 마을 하수관거가 오수와 우수관이 합류되면서 맨홀에 쌓인 유기물이 하천



金 竣 弘 bvk21@biovankorea.com

- 한국방송통신대학교 환경보건학과 졸업
- 한국방송통신대학교 환경보건시스템학과 석사
- 한국지하수지열협회 바이오사업 본부장
- 現, 바이오벤처(주) 사장

으로 유입되어 느슨한 물의 흐름에 의해 하천 바닥에 쌓이고 하천 하류지역의 퇴적층과 수질을 동시에 악화시키는 것이 특징이다.

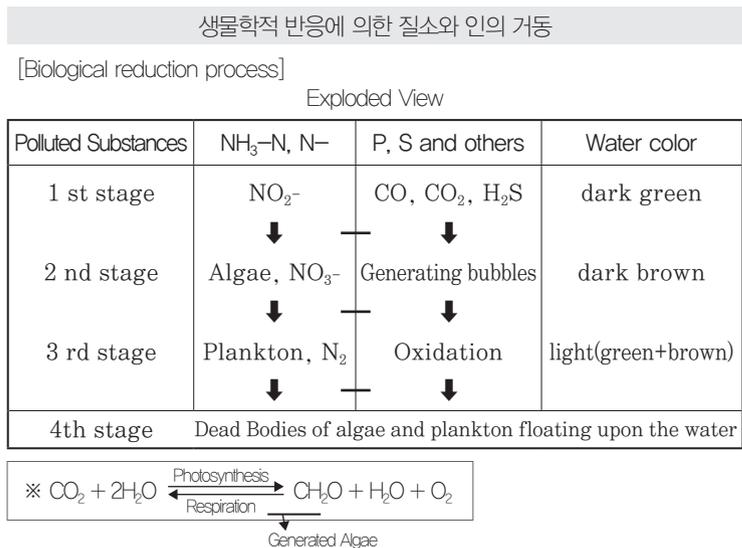
빗물을 통해 유입되는 비점오염원(Non point source)은 물이 고인 지역에 부영양화(T-N, T-P)를 높이고 그것으로 인한 유기성 슬러지(Organic sludge) 층은 시간이 흐르면서 높이가 더해지고, 무 산소 층으로 변하여 혐기성 유해 세균이 지배하는 다 부패구역(poly saprophytic zone)으로 만들어 진다. 또한 자정능력(self purification capacity)을 잃은 채 유익한 동·식물이 자랄 수 없는 반 영구적인 회복 불가능 상태로 몰아간다. 설사 준설을 통하여 Organic sludge층을 제거한다 해도 오염 물질이 유입되는 한 준설 방법은 일시적인 효과로 끝나고 수년 뒤 똑 같은 현상이 재현된다.

### 3. 지구환경과 환경미생물의 작용

미생물이 환경에 미치는 영향은 지구환경의 생태학적 측면에서 볼 때, 자연 상태에서 각각의 환경 요인은 독립적으로 작용하지 않고 서로 상호 보완적으로 작용한다. 즉 환경요인들의 복잡한 상호 작용으로 생물체에 미치는 영향은 상승효과(synergism)를 주기도 하고 상쇄효과(antagonism)를 주기도 한다. 그런 가운데 녹조류 생산에 필요한 주

요 영향인자는 온도, 영양염류(C, H, O, P, pH, Si등), 수체의 지형학적 특성, 수리학적 특성의 영향을 받으며, 화학 조성을 위한 미량 원소는 Fe, Mo, V...등이 필요하고, 미생물은 주요영향인자로 유기오염 물질, 영양염류, 햇빛, 온도, 물, pH의 영향을 받으며, 화학 조성을 위해 필요한 미량원소는 C, H, O, N, P, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, Fe<sup>3+</sup> 등이 필요하다.

즉, 녹조(Algae)와 미생물(Microorganism)은 생산되는 과정에서 먹이사슬 경쟁관계이며, 화학적 조성에 필요한 핵심 영양분은 모두 질소(Nitrogen)와 인(Phosphorus)으로써, 화학적으로 햇빛과 온도가 맞아야 생성되는 녹조와 현장에서 먹이를 쉽게 얻어낼 수 있는 미생물과의 성장 속도는 이분법(dicotomy)으로 증식하는 미생물이 앞서가며, 특히 미생물의 증식은 유기물의 축소로 이어진다. 생물학적 반응(Biological reaction)에 의한 질소(N), 인(P), 황(S)의 거동은 다음 (그림 1)과 같다.



(그림 1) 질소와 인의 거동

#### 4. 환경 미생물(Environment microbes)의 생분해 능

생분해(Biodegradation)는 화합물의 복합성을 생물적으로 축재 분해하는 것을 일컫는다. 이것은 유기물이 살아있는 미생물로 인하여 더 작은 화합물로 분해하는 것이다. 생분해가 끝나면 이것을 무기화(Mineralization)라고 부른다. 하지만 대부분의 경우 생물학적으로 기질(Substrate)이 바뀌는 모든 현상을 통틀어 생분해(Biodegradation)라고 칭한다.

생분해 과정을 이해하기 위해서는 먼저 이 과정을 가능하게 하는 미생물을 이해해야 한다. 미생물은 신진대사(Metabolic)나 효소(Enzyme)를 이용하여 물질을 변화 시킨다. 이것은 두 가지 과정에 의존하는데 이것을 성장과 공동대사(Cometabolism)라고 한다.

공동대사 과정을 통하여 일어나는 생물학적 기작(Biological mechanism)에 대하여 정리하면, 자연환경에 영향을 미치는 유

기화합물(Organic compounds)의 축소는 미생물의 신진대사(Metabolism)작용에 의해 이루어진다. 미생물 명칭으로, 호기성 종속영양(Aerobic hetero trophic) 미생물에 의한 호기성 산화(Aerobic oxidation), 호기성 독립영양(Aerobic auto trophic) 미생물에 의한 질산화(Nitrification), 통성혐기성(Facultative anaerobic) 미생물에 의한 탈질화(Denitrification), 혐기성(anaerobic)미생물에 의한 산 발효(Acid fermentation)등 과정을 거쳐 유기-산화-환원 반응에 의한 복합적인 미생물 공동대사 작용을 통해 유기물이 축소되어진다.

즉, 미생물들이 유기화합물을 축소하기 위해서는 호기성 산화, 질산화, 탈질화, 산발효의 연속적인 작용 메커니즘이 필요하며, 오염된 하천이나 저수지의 “유기성 슬러지(Organic sludge)층”복원이 이루어지게 되면 자정능력(self purification capacity)이 생기고 퇴적층과 수질이 동시에 개선되므로 수질관리가 원활해진다.

#### 5. 응용(Application)

##### 1) 하천

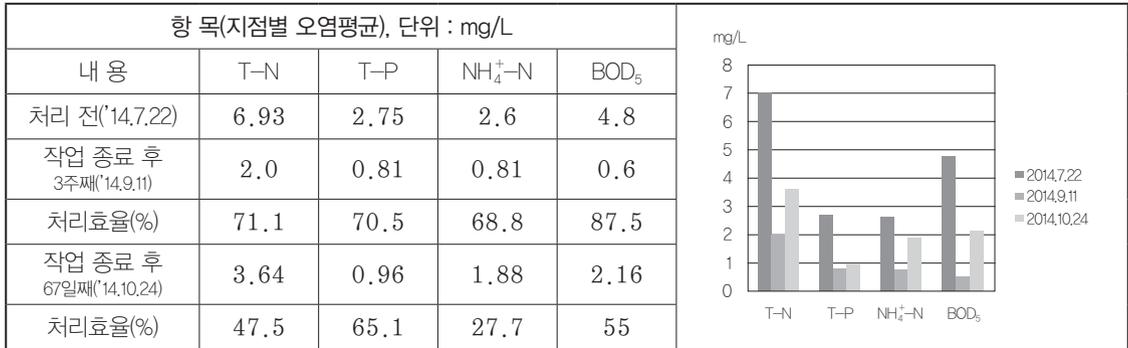
▼착수 전



▼5주 후 낙시꾼 등장

〈R-2〉

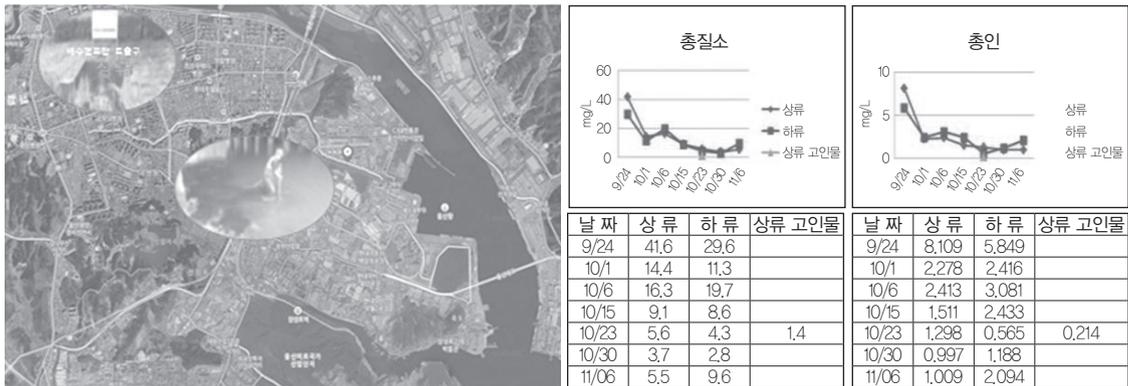




(그림 2) 인천 심곡천

[작업장 표시]

〈R-3〉



(그림 3) 울산 여천천

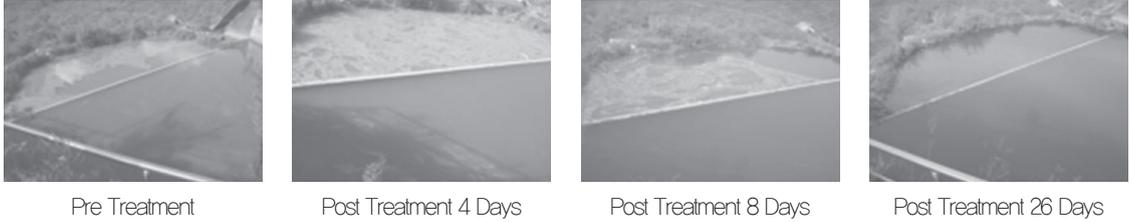
## 2) 미생물 정화 처리로 인한 조류 량의 변화

▼ 2012.9.12~2012.10.31 〈착수 21일 후 녹조 소멸〉

〈L-2〉



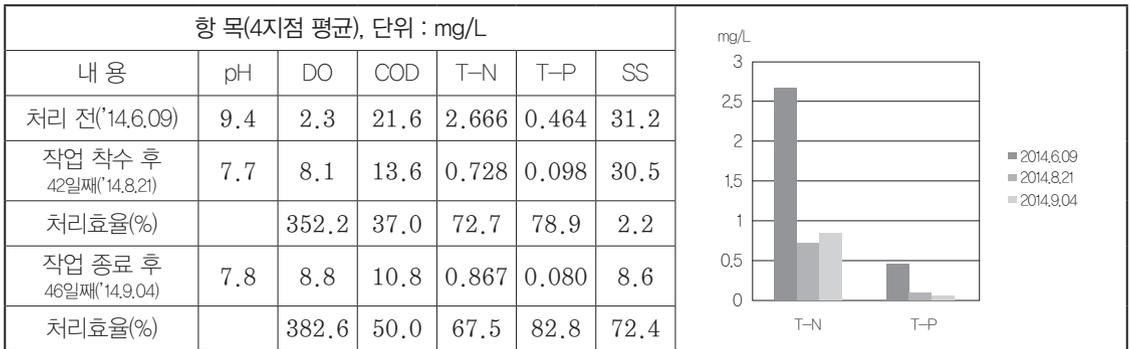
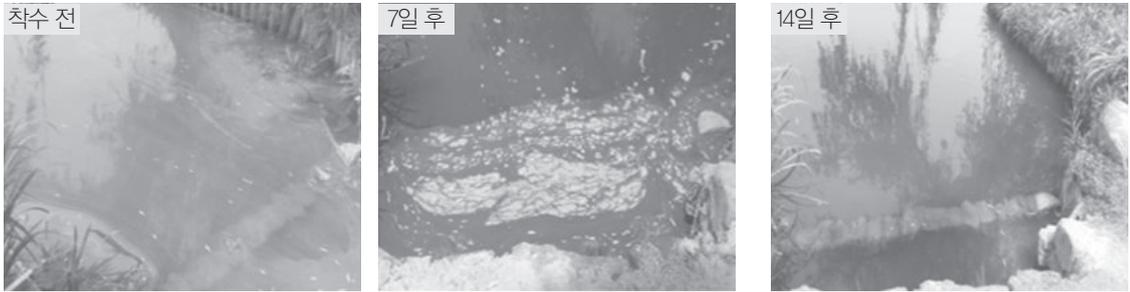
(그림 4) 용인 기흥저수지



(그림 5) 충북 괴산저수지

▼ 2014.6.09~2014.8.31 <착수 14일 후 녹조 소멸>

<L-1>



(그림 6) 부여 공남지

### 3) 중점관리 저수지별 수질 관리 비교

우리나라에서 부영양화를 판정하는 기준은 볼렌바이더(Vollenweider)의 총 인(T-P)과 총 질소(T-N)를 기준으로 사용하고 있다.

수중의 질소와 인산의 비율은 수계의 여러가지 요인들에 따라 변화되는 값이고, 각 영양 상태에 따라 불연속적인 값

<표 1> 볼렌바이더의 질소와 인을 기준으로 한 영양상태 구분

(단위 : mg/L)

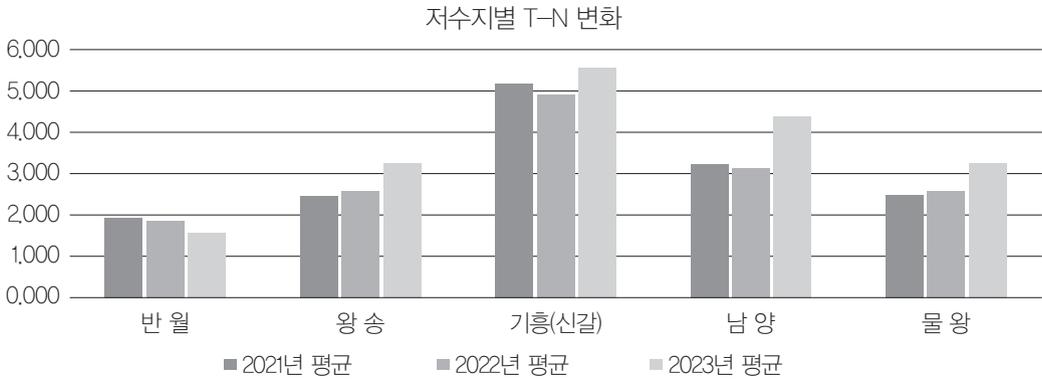
영양상태	총인	총질소
극빈영양	<0.005	<0.20
빈중영양	0.005 ~ 0.01	0.20 ~ 0.40
중영양	0.01 ~ 0.03	0.30 ~ 0.65
중부영양	0.03 ~ 0.10	0.50~1.50
부영양	>0.10	>1.50

을 기준으로 하고 있어 실제로 수체의 연속적인 영양상태의 지표로 사용하기에는 한계가 있다고 판단된다.

경기권 주요 저수지별 오염 항목 중 대표적으로 T-N, T-P, TOC를 선정하여 2021년

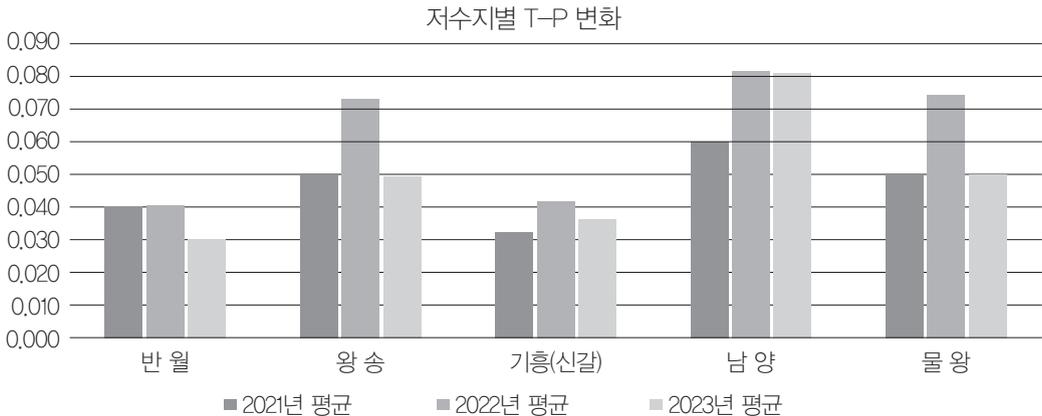
부터 2023년 6월 현재까지 오염 수질 현황을 비교해 보았다. 선정된 저수지는 환경부 중점관리 지정 저수지로서, 경기 권에 있는 반월저수지, 왕송저수지, 기흥저수지, 남양저수지, 물왕저수지 등 5곳이다.

● 중점관리저수지/T-N 관리 현황



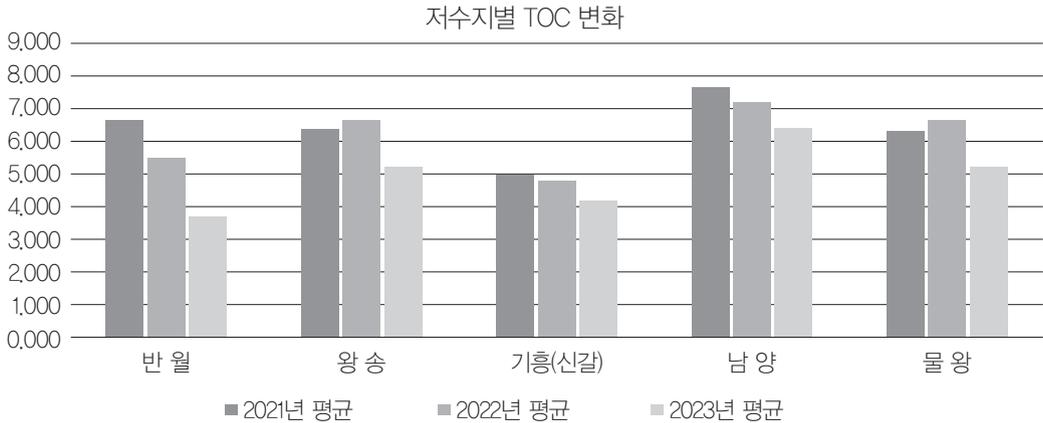
T-N	반월	왕송	기흥(신갈)	남양	물왕
2021년 평균	1,899	2,439	5,153	3,216	2,439
2022년 평균	1,814	2,521	4,880	3,110	2,521
2023년 평균	1,574	3,250	5,582	4,355	3,250

● 중점관리저수지/T-P 관리 현황



T-P	반월	왕송	기흥(신갈)	남양	물왕
2021년 평균	0.041	0.050	0.033	0.061	0.050
2022년 평균	0.041	0.074	0.042	0.082	0.074
2023년 평균	0.031	0.051	0.037	0.082	0.051

● 중점관리저수지/TOC 관리 현황



TOC	반월	왕송	기흥(신갈)	남양	물왕
2021년 평균	6,550	6,269	4,977	7,628	6,269
2022년 평균	5,493	6,652	4,757	7,140	6,652
2023년 평균	3,658	5,211	4,158	6,463	5,211

## 7. 고찰

농업용 살충제, 화학비료, 가정하수, 가축 배설물 등에서 나오는 유기 화합물을 생분해로 축소시킬 수 있다. 여기에 동원된 호기성(Aerobic), 통성혐기성(Facultative anaerobic), 혐기성(Anaerobic) 미생물과 효소(Enzyme)의 복합물은 저수지의 고분자 유기화합물과 화학물질을 성공적으로 정화할 수 있다. 1단계에서 혐기성 미생물이 하상(Riverbed)에 케이크처럼 달라붙은 침전된 유기성 슬러지 속으로 침투하여 유기물을 분해하기 시작하고 2단계에서 슬러지 층을 미세한 터널을 만들기 시작하면서 다져진 케이크 층이 붕괴되고, 통성혐기성(Facultative anaerobic)미생물에 의해 공기 분압조절(Air partial pressure control)로 산소화, 산화(Oxidation), 탄화(Carbonization)를 가

속화 시키므로 빠른 속도로 생물학적 복원(Biological restoration)을 이루고, 3단계로 자정능력(Self purification capacity)을 되살려 지구 환경생태계의 균형을 이루게 된다.

2021, 2022, 2023년 7월까지 경기권 환경부 지정 집중관리 저수지 5곳의 수질 데이터를 비교 분석했다. 그 결과 T-N, T-P, TOC등 3개 항목에 대한 분석 값은 그림 7, 8, 9와 같으며, 그 중 3개 항목이 꾸준히 내려간 저수지는 생분해 과정으로 정화작업을 실시한 반월저수지이다. 반월저수지는 2021년 전에는 악취와 녹조, 물고기 폐죽음 사건으로 많은 일손이 동원되었고, 겨울에도 민원이 빈번했었던 곳으로 유명했다. 그러나 2023년에는 7월 현재 녹조, 악취, 물고기 폐사가 일어나지 않고 있다.

위 저수지들 수질 성적서는 경기도보건환경연구원의 자료를 토대로 정리한 비교 데이

터이며, T-N, T-P, TOC 등 3개 항목의 데이터 비교에서 2021년의 성적서를 기준으로 볼 때, 2023년 6월 현재, T-N 값 반월 저수지 1.574mg/L, 왕송저수지와 물왕저수지 3.250mg/L로 같고, 남양저수지 4.355mg/L, 기흥저수지 5.582mg/L로써 반월저수지보다 2~3.5배 높다. T-P 값은 반월저수지 0.031mg/L, 남양저수지 0.082 mg/L, TOC 값은 반월저수지 3.658mg/L, 남양저수지 6.463mg/L으로 가장 높다. 따라서 3개 항목을 기준으로 부영양화가 가장 낮은 곳은 반월저수지로 나타났다.

## 8. 결론

부영양(T-N, T-P)화를 해결하는 일은 녹조류 서식을 예방하거나 근본적으로 생기지 못하게 하는 것이다. 급격한 기후 변화와 지구 온난화 현상으로 지열상승과 우기에 하천을 통해 들어온 비점오염원은 큰 하천과 저수지의 부영양화를 일으키고, 바다의 적조와 저수지의 녹조류를 대량 발생시키는 원인으로 작용하고 있다. 부영양화와 녹조를 해결하기 위하여 화학적이거나 물리적인 방법의 접근은 근본적인 대책이 될 수 없다. 「환경기술 및 환경산업 지원법」 제2조(정의)에 의하면 “환경기

술이란 환경의 자정능력을 향상시키고, 사람과 자연에 대한 환경피해 유발 요인을 억제 제거하는 기술로서 환경오염을 사전에 감소시키거나 오염 및 훼손된 환경을 복원하는 등 환경의 보전과 관리에 필요한 기술이다”라고 정의하고 있다.

경기도내 환경부에서 지정한 중점관리 저수지 5곳의 실태로 볼 때, 반월호수가 가장 부영양화 현상이 낮다. 다른 4곳 중 3곳은 2배 이상, 1곳은 무려 3.5배 이상이다,

반월저수지 관리권이 있는 군포시 환경과 김병권 박사팀은 2021년 3월부터 2023년 7월 현재까지 꾸준히 수질관리 방법으로 “SUBION®을 이용한 생분해 메커니즘”을 활용하고 있다. 하상에 침적된 유기성 슬러지(Organic sludge)처리, 녹조관리, 약취관리, 부영양화(T-N, T-P) 등 퇴적층 정화와 수질을 동시에 해소하고 저수지의 자정능력을 살려낸 모범적인 사례라 할 수 있다. 

Key word : SUBION®, 생분해(Biodegradation), 부영양화(T-N, T-P), 녹조(Algae)

### ▽ 문의처 ▽

**바이오뱅크코리아(주)** www.biovankorea.com  
 김준홍 사장 : 010-8918-7207(032-525-2001)  
 주 소 : 인천광역시 부평구 부평대로337, 607호(지식산업센터)

