

현안과제연구

# Issue Report

## CONTENTS

< 요약 >

1. 서론
2. 녹조의 개념 및 원인
3. 국내외 관련 공법 및 동향
4. 중앙호수공원 수질 현황 및 특성 분석
5. 중앙호수공원 수질개선 방향 도출

## 중앙호수공원 호소수 수질개선 방안

오혜정

충남연구원 환경생태연구부 연구위원, ohj77@cni.re.kr

본 연구의 목적은 중앙호수공원의 지속적인 문제점으로 대두되고 있는 호소수의 녹조 저감 등 수질을 개선하여 공원이용 시민들에게 쾌적한 편의공간을 제공하고 휴식의 장으로 활용할 수 있도록 호소 특성에 맞는 수질개선방안을 도출하고자 하는 것임

## 요약

- 서산시 중앙호수공원의 경우 현장에 적용가능한 수질개선 방안을 제시하기 이전에 원수 유입농도 저감, 호소 내 물순환 등이 선행되어야 함
- 중앙호수공원은 시민을 위해 조성된 인위적인 수체에 해당되므로 호내 관리방향은 인위적 수체임을 감안하여 주민만족도를 높이고, 쾌적한 편의 공간 제공 및 경관 창출 등에 초점을 맞추어 관리하되 수질관리는 이의 전제조건으로 지속적으로 관리되어야 함
- 현장에 적용가능한 수질개선 방안은 현재 유입수의 수질을 고려하여 공법 유형별 장·단점, 설치 및 유지관리비용, 수질저감 효과 등을 검토하여 선택적으로 제시하였음. 이때 기존에 사용하던 화학적 공법의 경우 2차오염 유발 등 다수의 문제점이 존재하므로 개선방안 제안시 배제하였음
- 현장에 적용가능한 제시(안)으로는 흐름유발장치, 환경미생물 활용, 천적생물 활용, 식생수로+습지+인공식물섬 혼합형으로 4가지를 제안하였으며 각각의 원리, 공법, 설치효과, 개선효과, 설치(안), 사례지역, 비용 등을 제안하였음
- 또한 설치사업 뿐만 아니라 설치 후 시민들의 의식 고취 및 공감대 형성, 교육 효과 등을 높이기 위하여 가칭'구운 왕겨숯 흡공 던지기 대회'등을 개최하고, 관리수질 설정, 체계적인 모니터링을 통해 수질 및 녹조 신호등을 운영하고 정보를 공개하는 등 안심하고 이용할 수 있는 공원으로 관리하는 방안 등을 검토해 볼 수 있음



# 목 차

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. 서론</b> .....                      | <b>1</b>  |
| 1.1 연구배경 .....                          | 1         |
| 1.2 연구목적 .....                          | 2         |
| <b>2. 녹조의 개념 및 원인</b> .....             | <b>3</b>  |
| 2.1 녹조의 정의 .....                        | 3         |
| 2.2 녹조 발생 원인 .....                      | 5         |
| 2.3 녹조의 영향 .....                        | 8         |
| <b>3. 국내외 관련 공법 및 동향</b> .....          | <b>11</b> |
| 3.1 호소 수질개선 공법 및 특성 .....               | 11        |
| 3.2 국내외 적용 사례 분석 .....                  | 38        |
| <b>4. 중앙호수공원 수질 현황 및 특성분석</b> .....     | <b>51</b> |
| 4.1 제원 현황 .....                         | 51        |
| 4.2 수질 현황 및 특성분석 .....                  | 51        |
| 4.3 그간 수질개선 사업 추진현황 .....               | 57        |
| 4.4 현장 조사 및 시사점 .....                   | 58        |
| <b>5. 중앙호수공원 수질개선(녹조저감) 방향 도출</b> ..... | <b>60</b> |
| 5.1 선행조건 및 기본방향 .....                   | 60        |

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 5.2 현장 적용가능 방안(안) 제시 ..... | 62 |
| 5.3 기타 교육 및 실천과제 .....     | 78 |

## 참고문헌

## 표 차례

|   |    |
|---|----|
| <표 2-1> 국내·외 먹는 물 독소 관리기준(마이크로시스틴-LR) ..... | 9  |
| <표 3-1> 준설 공법의 종류 .....                     | 12 |
| <표 3-2> 일본의 호수와 늪의 수질정화기술 분류 .....          | 32 |
| <표 3-3> 가스미가우라호 조류제거량 .....                 | 33 |
| <표 3-4> 수질개선 공법 유형 및 특성 .....               | 34 |
| <표 3-5> 정화원리에 따른 수처리 공법의 특징 .....           | 35 |
| <표 3-6> 녹조저감을 위한 제어기술 및 문제점 .....           | 36 |
| <표 3-7> 수질개선 기술 유형 및 특성 .....               | 37 |
| <표 3-8> 수변구역 조성지역의 토지면적 비율 .....            | 44 |
| <표 3-9> 평택호 수질관리방안 .....                    | 46 |
| <표 3-10> 경기도 농업용수 수질개선 사업 현황 .....          | 47 |
| <표 3-11> 국외 인공습지 조성사례 .....                 | 48 |
| <표 3-12> 수질개선공법 적용지역 .....                  | 49 |
| <표 4-1> 서산 공공하수처리시설 방류수 수질현황 .....          | 56 |
| <표 4-2> 수질개선제 살포 전·후 수질검사 비교 .....          | 57 |
| <표 5-1> 호소수질 환경기준 .....                     | 61 |
| <표 5-2> 현장 적용 제시 개선방안 비교 .....              | 61 |
| <표 5-3> 흐름유발장치(표면폭기장치) 성능 .....             | 63 |
| <표 5-4> 흐름유발장치(표면폭기장치) 설치 전·후 수질비교 .....    | 63 |
| <표 5-5> 환경미생물과 산업미생물의 비교 .....              | 65 |
| <표 5-6> 부여 궁남지 수질개선 사례 .....                | 65 |
| <표 5-7> 주요 습지식물의 수질정화능력 .....               | 73 |
| <표 5-8> 인공습지 공법 비교 .....                    | 74 |

## 그림 차례

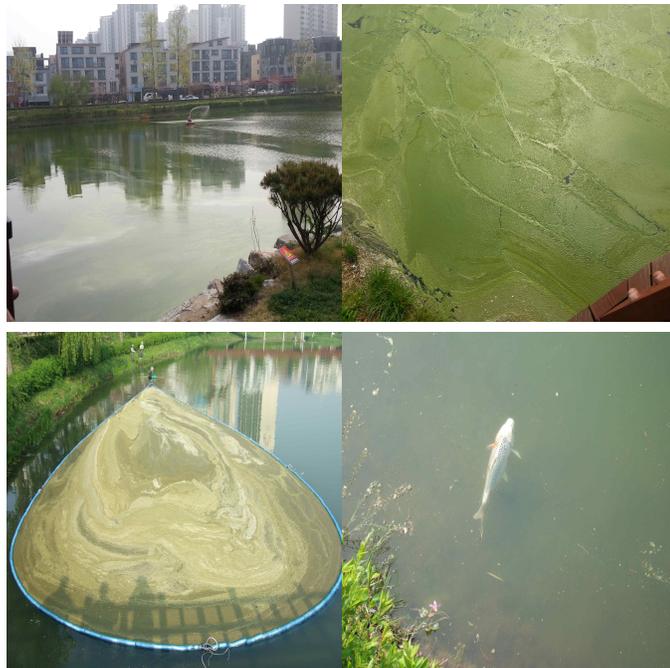
|   |    |
|---|----|
| [그림 1-1] 녹조발생 및 제거 작업 사진 .....                  | 1  |
| [그림 2-1] 발생학 기준에 따른 조류의 분류 .....                | 4  |
| [그림 2-2] 조류 종류별 발생시기 및 물빛 색깔 .....              | 5  |
| [그림 2-3] 남조류 대발생의 주요 원인과 영향 .....               | 6  |
| [그림 2-4] 관리대상 남조류 (4종) .....                    | 9  |
| [그림 2-5] 남조류 대량증식에 따른 생태적 영향 .....              | 9  |
| [그림 3-1] 선택방류 시설 조감도 .....                      | 14 |
| [그림 3-2] 산화공법 과정 .....                          | 16 |
| [그림 3-3] 퇴적물 피복 과정 .....                        | 17 |
| [그림 3-4] 초음파 공법 원리 .....                        | 18 |
| [그림 3-5] 초음파 공법 처리공정 .....                      | 19 |
| [그림 3-6] 이동식 가압부상 원리 .....                      | 20 |
| [그림 3-7] 이동식 가압부상 설치 모습 .....                   | 20 |
| [그림 3-8] 폭기공법의 종류 .....                         | 22 |
| [그림 3-9] 응집제 살포 과정 .....                        | 24 |
| [그림 3-10] 인공식물섬 모식도 .....                       | 26 |
| [그림 3-11] 인공식물섬 설치모습 .....                      | 26 |
| [그림 3-12] 생물조절 과정 .....                         | 27 |
| [그림 3-13] 미생물공법 과정 .....                        | 28 |
| [그림 3-14] 인공습지 조성 조감도(예) .....                  | 29 |
| [그림 3-15] 수로형 인공습지 예시 .....                     | 30 |
| [그림 3-16] 수로형 인공습지 .....                        | 30 |
| [그림 3-17] 침강지 공법 .....                          | 31 |
| [그림 3-18] 유입수 처리 흐름도 .....                      | 38 |
| [그림 3-19] 순환수 처리시설 흐름도 .....                    | 39 |
| [그림 3-20] 자연학습원 조감도 .....                       | 39 |
| [그림 3-21] DAF시스템 모식도 .....                      | 40 |
| [그림 3-22] 가압부상조에 의한 처리효율 .....                  | 40 |
| [그림 3-23] 맞춤형 부상처리공법(좌)과 석촌호수 조류제거(우) .....     | 41 |
| [그림 3-24] 수중폭기 설치 모식도 .....                     | 42 |
| [그림 3-25] 수변구역 조성지역 .....                       | 43 |
| [그림 3-26] 분리벽 설치 모식도(좌)와 덕진공원 호수 구역구분도(우) ..... | 45 |

|   |    |
|---|----|
| [그림 3-27] 단기 수질개선사업 처리공법 사진 .....                             | 47 |
| [그림 4-1] 서산시 중앙호수공원 수질측정지점 .....                              | 51 |
| [그림 4-2] 시기별 COD 농도 변화 .....                                  | 52 |
| [그림 4-3] 시기별 T-N 농도 변화 .....                                  | 52 |
| [그림 4-4] 시기별 T-P 농도 변화 .....                                  | 52 |
| [그림 4-5] A지점 COD 시기별 변화 .....                                 | 53 |
| [그림 4-6] B지점 COD 시기별 변화 .....                                 | 53 |
| [그림 4-7] C지점 COD 시기별 변화 .....                                 | 53 |
| [그림 4-8] D지점 COD 시기별 변화 .....                                 | 53 |
| [그림 4-9] E지점 COD 시기별 변화 .....                                 | 53 |
| [그림 4-10] F지점 COD 시기별 변화 .....                                | 53 |
| [그림 4-11] A지점 T-N 시기별 변화 .....                                | 54 |
| [그림 4-12] B지점 T-N 시기별 변화 .....                                | 54 |
| [그림 4-13] C지점 T-N 시기별 변화 .....                                | 54 |
| [그림 4-14] D지점 T-N 시기별 변화 .....                                | 54 |
| [그림 4-15] E지점 T-N 시기별 변화 .....                                | 54 |
| [그림 4-16] F지점 T-N 시기별 변화치 .....                               | 54 |
| [그림 4-17] A지점 T-P 시기별 변화 .....                                | 55 |
| [그림 4-18] B지점 T-P 시기별 변화 .....                                | 55 |
| [그림 4-19] C지점 T-P 시기별 변화 .....                                | 55 |
| [그림 4-20] D지점 T-P 시기별 변화 .....                                | 55 |
| [그림 4-21] E지점 T-P 시기별 변화 .....                                | 55 |
| [그림 4-22] F지점 T-P 시기별 변화 .....                                | 55 |
| [그림 4-23] 서산 중앙호수공원 현장사진 .....                                | 59 |
| [그림 5-1] 흐름유발장치 설치모습(좌 : 당진시 석문호, 우 : 인천광역시 청라호수공<br>원) ..... | 64 |
| [그림 5-2] 부여 궁남지 생물학적 처리 전·후 수면 변화과정 .....                     | 66 |
| [그림 5-3] 천적생물활용 처리공정도 .....                                   | 67 |
| [그림 5-4] 천적생물활용 배양장치 공정도 .....                                | 67 |
| [그림 5-5] 천적생물활용 (좌 : 당진시 전대저수지, 우 : 당진시 초대저수지) .....          | 68 |
| [그림 5-6] 천적생물활용 녹조제거 효과 .....                                 | 68 |
| [그림 5-7] 현장살포 후 천적생물 개체수 및 Chl-a 변화 .....                     | 69 |
| [그림 5-8] 식생수로+습지+인공식물섬 설치(안) .....                            | 70 |
| [그림 5-9] 인공식물섬의 원리 .....                                      | 71 |
| [그림 5-10] 인공식물섬 수질개선 효과 .....                                 | 71 |

|  |    |
|--|----|
| [그림 5-11] 인공식물섬 설치모습(좌 : 대전시 대청호, 우 : 서산시 천수만) ..... | 72 |
| [그림 5-12] Camley Street National Park 생태연못 평면도 ..... | 73 |

## 1.1 연구배경

- 서산시에서는 2008년 8월 시민들의 생활수준이 향상됨에 따라 복지를 증진하고 휴식의 장으로 제공하고자 중앙호수공원을 조성하였음
- 이후 서산 중앙호수공원은 시민들의 휴식과 여가 활동을 즐길 수 있는 도심속 공간으로 서산의 랜드마크로 떠오르는 등 서산의 주요 장소로 자리매김 함
- 그러나 공원을 관리하고 운영함에 있어 매년 발생하는 녹조 및 이취미 현상으로 인하여 지속적인 민원이 제기되는 등 수질개선에 대한 요구가 증대함



자료 : 서산시 내부자료, 2015.

[그림 1-8] 녹조발생 및 제거 작업 사진

- 이에 서산시는 지속적으로 녹조를 제거하고 수질을 개선하고자 미생물 수중폭기 방식 수질정화 시설 설치, 백련 식재 및 뿌리 제거사업, 수처리제를 이용한 녹조 제거 등 지속적으로 녹조제거를 위한 방안을 도입하고 적용한 바 있음
- 그러나 그간 소요 비용대비 개선효과가 미흡하여 녹조, 이취미 등의 전반적인 문제점, 원인 진단 및 개선방향(안)을 도출하고 향후 이를 반영하여 녹조 저감 등 수질개선 방안을 시행코자 충남연구원에 의뢰하여 현안과제 연구를 추진하는 것임

## 1.2 연구목적

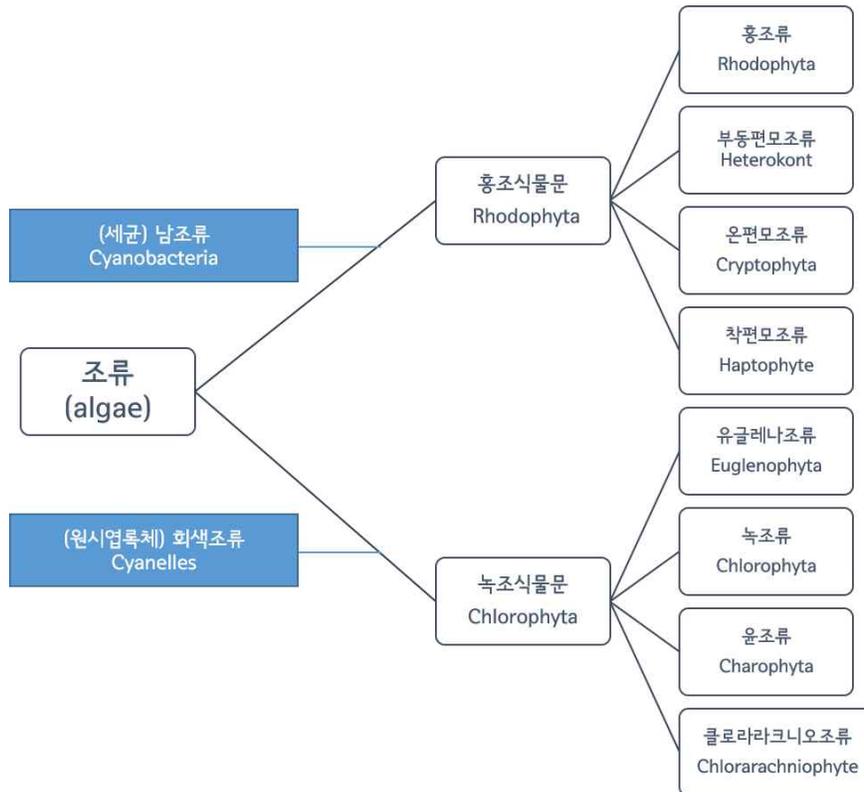
- 본 연구는 중앙호수공원 호소수의 녹조 저감 등 수질을 개선하여 공원이용 시민들에게 쾌적한 편의공간을 제공하고 휴식의 장으로 활용할 수 있도록 지속가능한 수질개선방안(녹조 저감방안 중심)을 도출하고자 하는데 목적이 있음

## 2.1 녹조의 정의<sup>1)</sup>

### 가. 조류

- 생물학에서 여섯 가지의 미생물 중 하나인 조류(algae)<sup>2)</sup>는 엽록소인 클로로필-a(Chl-a)를 이용해 수중으로 유기물과 산소를 공급함으로써 수생태계에서 먹이사슬의 1차 생산자로서 수생태계 유지에 있어 중요한 역할을 함<sup>3)</sup>
- 햇빛을 이용해 성장(광합성)하며 수중 생태계에 산소를 공급하고, 2차 생산자인 동물 플랑크톤의 먹이가 됨
  - 수생태계 먹이사슬 : 식물 플랑크톤(algae) → 동물 플랑크톤(물벼룩 등) → 작은 물고기 → 큰 물고기
- 조류는 다양한 특성을 가지고 있고, 전통적 식물분류법인 발생학을 기준으로 분류하면 아래 그림과 같음

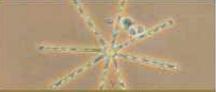
1) KEI, 2014, 물환경 및 기후변화를 고려한 유해녹조 대응체계 및 정책 개선방안 연구 내용 발췌 정리  
2) 나머지 다섯 가지 미생물 유형은 세균(bacteria), 고세균(achaea), 진균(eukaryota), 아메바(ameba), 원생동물(Protozoa)이다.  
3) 한국환경공단, 2012, 수생태 안정성 향상을 위한 조류저감기술



자료 : 한국환경공단, 2012, 수생태 안정성 향상을 위한 조류저감기술

[그림 2-1] 발생학 기준에 따른 조류의 분류

- 조류는 식물 플랑크톤이기 때문에 햇빛, 수온, 영양물질(질소, 인), 체류시간 등의 환경 조건에 영향을 받으며 성장과 사멸을 반복함
- 계절별 일사량과 수온 등의 영향을 받아 늦가을에서 봄까지는 규조류, 봄에서 초여름까지는 녹조류 그리고 초여름에서 가을까지는 남조류가 주로 성장이 이루어짐
- 조류는 종에 따라 다른 색소를 가지고 있는데, 이러한 특성으로 인해 계절에 따라 물색깔이 변하는 것처럼 보임
- 이중 남조류는 조체에 푸른색 단백질을 함유하고 있어, 물색깔이 진한 녹색으로 보이는 녹조현상을 유발하는 종류임

| 분류군  | 성장 수온   | 발생 시기  | 물빛 색깔  |
|--|---|--|--|
| <br>규조류 |  10°C 이하   |  늦가을~봄  |  갈색       |
| <br>녹조류 |  10°C~20°C |  봄~초여름  |  옅은<br>녹색 |
| <br>남조류 |  20°C~30°C |  초여름~가을 |  진한<br>녹색 |

자료 :환경부, 2014, 하천호소 녹조현상 어떻게 생기고 어떻게 대비하나

[그림 2-2] 조류 종류별 발생시기 및 물빛 색깔

## 나. 녹조현상

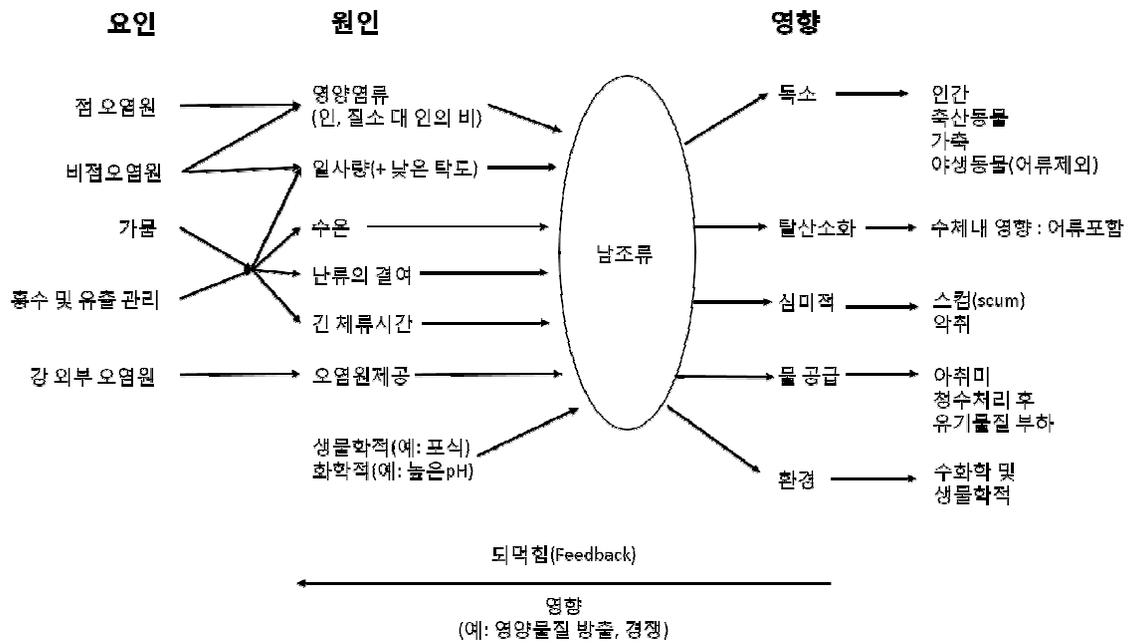
- 조류는 1차 생산자로서 생태계의 필수 불가결한 요소이지만, 수체 내 영양물질이 풍부하고 수체의 흐름이 없고 수온이 높은 경우에 단일 혹은 소수의 종들이 우점종이 되고 대량 증식하게 되면, 수질 혹은 건강 관련 각종 장애를 일으켜 생태계 및 인간생활에 유해한 영향을 미치게 됨
- 이러한 조류의 대발생(Harmful Algal Blooms, HABs)을 담수에서는 색이 초록색으로 변한다고 녹조(綠潮, green tide)현상이라고 통칭하여 부름

## 2.2 녹조 발생 원인

- 녹조를 효율적으로 관리하기 위해서는 유해한 녹조의 주요 원인을 이해하는 것이 중요함. 주요 원인을 사전예방 및 사후대응 관리하면 녹조가 생태계와 인간에게 미치는 악영향을 저감할 수 있음<sup>4)</sup>
- 녹조의 종류와 발생 원인이 다양하고, 그에 따른 영향도 다양하기 때문에 녹

4) Lopez, Cary B. 2008. Scientific assessment of freshwater harmful algal blooms: Council on Environmental Quality, Office of Science and Technology Policy, Executive Office of the President.

조현상은 단일의 문제해결법으로 관리되지 않는다는 어려움이 있음



자료 : SCA(Sydney Catchment Authority). 2010. Cyanobacteria Risk Profile

[그림 2-3] 남조류 대발생의 주요 원인과 영향

- 기존의 많은 문헌들이 녹조의 주요 원인은 크게 세 가지 1) 수온 및 일사량, 2) 영양염류,<sup>5)</sup> 3) 수체의 안정성<sup>6)</sup>을 꼽고 있음. 그 외의 요인으로는 먹이사슬의 변화(예를 들어, 포식자의 감소), 독성 및 오염물질의 유입 등이 있으며,<sup>7)</sup> 이들과 함께 질소/인의 비율, 유기물질 농도, 기후변화, 온도, 염도, 유입유량도 기타 녹조의 원인이 될 수 있음
- 따라서 이들이 주요 원인과 복합적으로 반응하여 녹조 형성에 얼마만큼 영향을 주는지를 파악하는 것이 녹조의 예측, 대응, 예방에 중요함<sup>8)</sup>

### ■ 영양염류(nutrients)의 유입

- 남조류의 대발생이 영양염류에 의한 부영양화를 나타내는 지표로 사용될 정도로<sup>9)</sup>, 질소와 인 등 영양염류는 녹조의 매우 중요한 발생원임

5) Burkholder(1998); Glibert et al.(2005); Heisler et al.(2008) 참조.  
 6) Guven and Howard(2007); Romo et al.(2013); Elliott(2010) 참조.  
 7) Paerl(2008) 참조.  
 8) Hudnell(2008) 참조.  
 9) Paerl and Fulton III(2006) 참조.

- 조체를 구성할 때 질소는 단백질 구성 물질로 사용되며, 인은 주로 에너지에 관련하여 기여 함.<sup>10)</sup> 이처럼 인과 질소는 남조류의 성장 정도, 종(種)의 구성 및 녹조현상의 지속시간을 결정하는 중요한 요인이 됨
- 수체 내에서 녹조의 영양물질 공급원을 살펴보면 1) 기저 물속 영양물질, 2) 수체 외부에서 유입 또는 수체 바닥에서 용출되는 추가 영양물질, 그리고 3) 죽은 녹조의 세포에서 재사용되는 영양물질 등 세 가지로 볼 수 있음<sup>11)</sup>

## ■ 수온과 일사량

- 영양물질이 풍부한 수체에서는 15~30℃에서 녹조현상이 일어나게 됨.<sup>12)</sup> 수온이 20℃ 상승하면 진핵생물 식물성 플랑크톤의 성장속도는 안정되는 반면, 남조류 성장속도는 증가하면서 상대적으로 경쟁적 이점을 가지게 됨.<sup>13)</sup> 수온이 상승하면 물의 점성이 감소하게 되는데, 이때 남조류의 세포 표면으로 영양염류의 흡수가 빨라져 수체 내 영양물질이 제한된 경우에 경쟁에서 우위를 차지할 수 있음<sup>14)</sup>
- 부력을 조절할 수 없는 조류들의 경우(예: 규조류)는 물의 점성이 감소하게 되면 아래로 침강하게 되며, 이에 반해 남조류는 체내의 기포(gas vesicle)로 부력을 조절하는 것이 가능하여 다른 종과의 경쟁에 이점을 가지게 됨<sup>15)</sup>
- 마지막으로 수온이 상승하면 밀도 차에 따라 수체가 성층화하면서 표면층과 심층 사이에 혼합이 잘 일어나지 않게 됨. 시간이 지나면 일반적으로 수표면에서 영양물질이 고갈되고, 이런 경우 부력을 조절이 어려운 규조류보다는 상하운동을 자유자재로 할 수 있고 질소고정을 할 수 있는 남조류 종이 우점하게 됨. 이 모든 특징들에 의해서 수온이 높아지면 다른 종들에 비해 남조류 종이 우점종으로 급증하게 되는 것임

## ■ 수체의 안정성

- 
- 10) 한국환경공단(2012) 참조.
  - 11) SCA(2010) 참조.
  - 12) SCA(2010) 참조.
  - 13) Peperzak(2003); Paerl and Huisman(2009) 참조.
  - 14) Peperzak(2003) 참조.
  - 15) Wagner and Adrian(2009) 참조.

- 수체의 안정성, 즉 체류시간이 조류 발생에 영향을 미침
  - Brook and Woodward(1956)는 4개의 스코틀랜드 호수를 대상으로 체류시간이 길어질수록 식물성 플랑크톤이 증가한다는 연구결과를 발표했고, Dickman (1969)도 소규모 호수의 경우, 유입유량(discharge rate)이 영양물질, 햇빛 또는 온도보다 조류의 성장을 결정하는 더 중요한 인자라고 주장하였음
- 유입유량이 적거나 성층화가 진행되어 물의 흐름이 안정되고 체류시간이 길어지게 되면 조류의 경우 두꺼운 군체(colony)를 쉽게 이루어 포식자를 방어할 수 있기 때문에 이 때 녹조현상이 일어나게 됨<sup>16)</sup>
  - Elliott(2010)의 연구는 PROTECH 모형을 이용하여 남조류가 수온과 체류시간 두 인자 중 어느 인자에 민감한지를 비교하였음. 그 결과 수온과 체류시간 두 인자는 거의 비슷하게 중요하며, 수온이 높을수록, 체류시간이 길수록 남조류의 번성이 뚜렷해 지는 것으로 나타남. 유입유량이 감소하여 수체 내 영양물질이 제한되는데, 인은 호수 바닥에 있던 인이 용출되어 공급되는 반면, 질소는 그렇지 못하므로 질소고정을 할 수 있는 남조류 종이 번성한다는 것이 연구결과로 나타남. 또한 이런 현상은 봄과 겨울보다 여름과 가을에 더욱 뚜렷하게 나타남

## 2.3 녹조의 영향

- 남조류의 일부는 냄새물질이나 미량의 독소를 배출하여 환경부에서는 아래의 4종을 관리대상 남조류로 지정하여 관리하고 있음
- 남조류가 생성하는 냄새물질은 지오스민(Giosmin), 2-MIB라는 물질로 인체에 직접적인 영향을 주지 않지만, 수돗물 이용자에게 익숙지 않은 흙냄새가 느껴지는 등 불쾌감을 줄 수 있음
- 또한 관리대상 남조류(4종)는 간 독소(마이크로시스틴) 또는 신경독소(아나톡신) 물질을 미량 배출하기도 함

16) Paerl and Huisman(2008)

- 그러나 독소물질을 항상 배출하는 것은 아니며, 이러한 독소는 평상시에는 조류 세포내에 가지고 있으며, 밖으로는 분비하지 않는 특성을 지님
- 다만, 포식자로부터 공격을 받거나 서식환경이 악화되는 경우에는 독소를 배출하는 것으로 알려져 있으나 이 경우에도 물속에 검출되는 농도는 매우 낮음

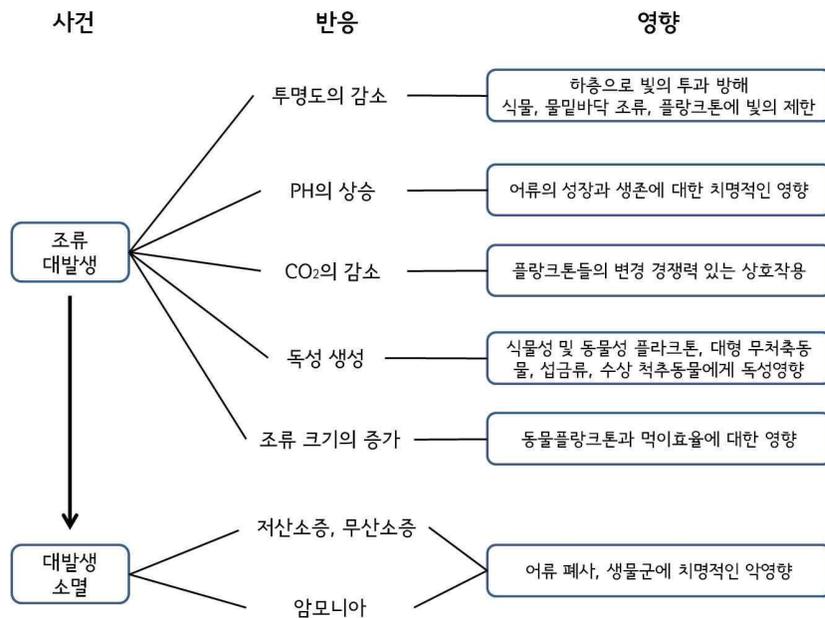


[그림 2-4] 관리대상 남조류 (4종)

<표 2-1> 국내외 먹는 물 독소 관리기준(마이크로시스틴-LR)

| WHO    | 호주       | 캐나다         | 프랑스       | 한국        |
|--------|----------|-------------|-----------|-----------|
| 1 µg/L | 1.3 µg/L | 1.5 µg/L 이하 | 1 µg/L 이하 | 1 µg/L 이하 |

자료 : 하천·호소 녹조현상 어떻게 생기고 어떻게 대비하나, 2014, 환경부



자료 : Havens(2008)

[그림 2-5] 남조류 대량증식에 따른 생태적 영향



## 3.1 호소 수질개선 공법 및 특성

### 가. 국내 주요 공법

#### (1) 물리적 공법

##### ■ 준설

##### ● 원리

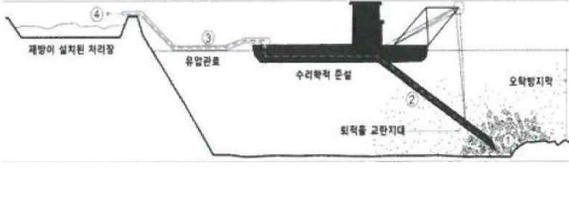
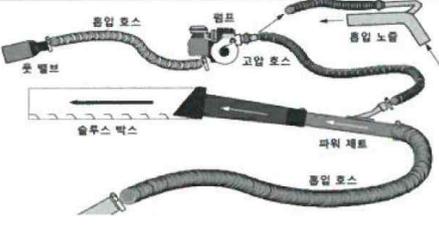
- 오랜 시간 외부로부터 오염물질이 유입된 호소의 퇴적층에는 많은 인이 포함되어 있고, 호소내 인 순환에 중요한 역할을 함
- 따라서 호소내의 유기물 및 영양염 농도가 높은 퇴적물을 호소 밖으로 퇴출시킴으로써 수질 개선을 도모함

##### ● 방법

- 현재 상용되는 일반 기술은 호소의 물을 모두 배제시킨 후 중장비를 투입하여 시행하는 방법과 준설선을 이용하는 방법이 있음
- 전자는 수심이 얇고 작은 호소에만 그 적용이 가능하나, 중장비 및 준설퇴적물의 운송을 위한 트럭 등이 용이한 지점에서만 시행이 가능하고 호소의 생태계를 전혀 고려하지 않는 공법임
- 최근에는 흡입식 준설기술이 많이 적용되고 있는데 이는 준설 시 저수지의 물을 배제시키지 않아도 되고 수층의 교란이 거의 없어 친환경적임

- 준설선 공법에는 기계적 준설, 수리학적 준설, 특수목적 준설 등이 있음

〈표 3-1〉 준설 공법의 종류

| 구분       | 내용   |   |
|----------|--|---|
| 기계적 준설   | <p>제한된 장소에서 작업을 시행, 호안 부근의 공사 준설장소와 가까운 곳에 준설토를 적치</p> <p>탁수가 심하고, 시공후 저수지 바닥면이 불균등</p>    |   |
| 수리학적 준설  | <p>작은 담수호에는 사용하기 어려움</p> <p>응집성이 큰 저수지 퇴적물에 성공적으로 사용</p>                                   |   |
| 공기흡입식 준설 | <p>재부상을 최소화할 필요가 있는 미세한 퇴적물의 준설을 위해 사용</p> <p>기존의 준설 방식보다 3배 이상의 고형물 함량 증가 또는 수분함량의 감소</p> |  |

● 효과

- 현 퇴적층에서 용출되는 영양염이 수질에 영향을 주는 호소에서 효과가 크며, 수심 증가와 독성물질을 제거하고 수생식물의 성장을 조절할 수 있음

● 주의사항

- 저서생물, 준설토 처리 및 처분지 확보해야하고, 저니의 성상 및 유기물 영양염 함유량을 파악해서 준설의 구역이나 심도 결정
- 준설에 의한 교란으로 영양염 용출량이 증가하여 일시적으로 수질이 악화되며, 준설시 퇴적층 내에 있던 독성물질이 용출되어 확산 될 수 있음

● 대상

- 내부부하에 의한 수질악화가 우려되는 호소
- 수심이 얇고 비교적 규모가 작으며 준설장비의 운반이 용이한 호소

- 적용사례
  - 실성저수지(경기도 이천시), 기흥저수지(경기도 용인시), 둔전저수지(전남 진도군), 하빈저수지(경북 칠곡군)

## ■ 희석수

- 원리
  - 오염된 호소에 물을 혼합함으로써 영양염류의 농도를 낮추고 유량증가에 의해 호소에 순환을 촉진시키고, 체류시간을 감소시키는 방법
- 방법
  - 희석수로 물의 사용이 가능하다면 상대적으로 적은 비용이 소요됨
  - 제한 영양염류를 줄일수록 효과가 매우 빠름
  - 희석수의 영양염류 농도가 낮지 않더라도 물리적으로 조류를 제어할 수 있음
  - 방류수 증가로 하류에 미치는 영향을 고려해야 함
- 효과
  - 호소순환 촉진, 교환율의 변화에 의해서 수질정화
  - 영양염류 농도 저하, 체류시간 단축
  - 식물플랑크톤, 영양염을 유출시킴으로써 호소 내 생물량 억제
- 주의사항
  - 수량이 적을 경우 정화효과 감소하여, 수원이 부족한 국내 대부분의 저수지에 적용이 곤란함
  - 도수로를 위해 용지의 확보, 홍수시 치수 대책
  - 수행 전에 인 농도와 유량을 고려한 호소 내의 인농도와 조류성장을 예측하는 것을 권장함
- 대상
  - 희석수를 사용할 수 있는 수원이 인근에 위치하는 호소
  - 수원확보 외 보전가치가 있는 호소

## ■ 선택방류

### ● 원리

- 호소 내에 수온 또는 염분에 의한 성층 형성시, 부유물질의 수직분포의 차이가 있는 경우, 수괴를 선택하여 방류하는 방법

### ● 방법

- 시설, 장치로서 특수시공이 필요함
- 수리조건에 따른 선택게이트의 운용이 필요하고 통상의 댐 관리 운용에 대응 가능
- 방류수 증가로 하류에 미치는 영향을 고려해야 함



[그림 3-1] 선택방류 시설 조감도

### ● 주의사항

- 방류수 수온 및 수질의 변화로 인해 하류수역에 미칠 수 있는 영향을 고려한 게이트의 운영 필요
- 평수기에는 저류량이 부족하여 운영이 곤란한 경우가 있음

### ● 대상

- 호소면적이 적고 수심이 깊은 경우
- 호소 수질, 생물의 연직 분포차가 크고 성층이 형성된 경우
- 게이트 조작이나 펌프에 의한 선택취수가 용이한 경우
- 집중 강우시 유입되는 탁류가 수질문제가 되거나 도수 후 방류장소가 가까운 호소

- 국내 저수지의 방류는 선택적 방류가 어려운 형태를 가지고 있음

● 적용사례

- 황성댐(강원도 황성군), 임하댐(경북 안동시), 사메우라댐(일본 고치현), 히토츠세댐(일본 미야자키현)

■ 수위조절

● 원리

- 호소에서 물을 강제로 배수하여 수위를 일시적으로 낮추어 어류, 수생식물 침전물 등을 제거하는 방법

● 주의사항

- 다른 수질개선방법을 병행하면 처리비용을 줄일 수 있음
- 장기간 낮은 수위를 유지하거나 생물과 침전물의 화학적 변화로 부정적인 효과를 발생가능
- Siphon이 필요하기 때문에 자연호에서 적용하기에는 어려움
- 배수시 수온의 변화로 냉수성 어종 등의 생물상 변화 예상

● 대상

- 수생식물이 과밀하고 있으며, 수질에 문제가 되는 저수지에서 적용가능

■ 수초제거

● 원리

- 수초는 분해시 용존산소를 감소시켜 어류패사를 유발할 수 있으므로 겨울에 수초를 인위적으로 제거하여 수초분해를 줄여 용존산소 감소를 막고 용출될 영양염류를 사전에 차단하는 방법

● 방법

- 수초제거선이나 인력을 동원하여 제거함
- 수심이 낮은 지역이나 물고기가 산란하는 장소 등에서는 직접 손으로 제거
- 유해한 식물의 뿌리 및 줄기를 제거, 선택적인 수초 제거, 군집밀도가 높을 때는 잠수부를 이용하여 제거

- 수초의 즉각적 제어 및 수거에 수초제거선을 이용하는 방안

● 대상

- 수위조절과 조건이 동일한 호소

■ 조류제거

● 원리

- 호소에서 발생한 조류를 채취하여 조류제거선을 사용하여 농축, 건조, 소각 등에 의해 수질개선
- 조류를 제거함으로써 궁극적으로 영양염류를 제거하게 됨
- 농축은 원심분리식, 가압부상식 여과식 등이 있음

● 주의사항

- 조류제거 전에 호소 내 조류의 수직수평분포 특성, 계절적 발생 특성 등 이해
- 조류제거선과 처리장치를 조합
- 최종처리 단계에서 악취가 발생하면 고온소각 및 탈취대책이 필요

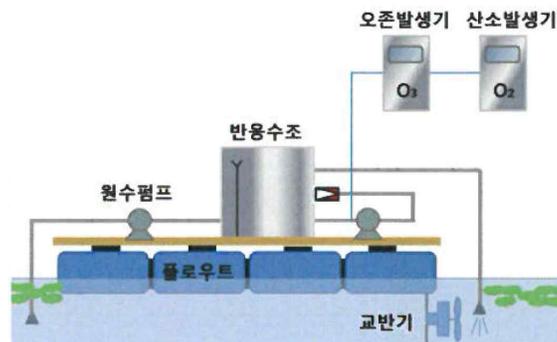
● 대상

- 작은 크기 또는 국소적인 조류발생 호소 조류예보제 실시 호소

■ 산화

● 원리

- 오존, 과산화수소  $\text{OH}^-$  라디칼 등의 산화성 물질을 생성시켜 수중의 난분해성 물질을 분해시키고, 세균 및 조류를 사멸시키는 공법

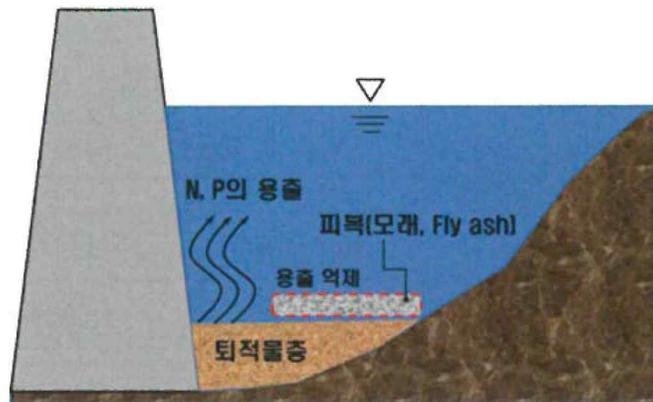


[그림 3-2] 산화공법 과정

- 장점
  - 분해 후 산소로 되돌아가 용존산소량을 높여줌
  - 에너지 효율성이 좋으며 설치면적이 적음
  - 처리용량의 변경이 자유로움
- 단점
  - 잉여오존에 의한 냄새 발생 우려가 있음
  - 설비구성이 비교적 많으며 고전압이 필요함
- 주의사항
  - 용존오존농도가 일정농도 이상이 되면 오존발생농도를 줄여주거나 오존발생기를 바이패스하여 산소만을 주입
  - 수평분사기를 설치하여 산화성 물질의 확산을 촉진하고 정체된 저수지의 물순환을 도모
- 적용사례
  - 왕송저수지(경기도 수원시), 대청호 상류

## ■ 퇴적물 피복

- 원리
  - 유기물이나 영양염의 용출부하가 큰 퇴적층에서 화학적으로 안정한 물질을 피복하여 퇴적층으로부터의 영양염 용출을 억제하는 방법



[그림 3-3] 퇴적물 피복 과정

- 방법
  - 플라스틱, 모래, 자갈, 진흙 : 구입이 용이한 반면 효율성이 떨어짐

- 무기토양 : 정수식물이 성장할 수 있는 매질로 이용
- 피복하기 전 슬러지의 준설 또는 수생식물의 제거가 필요함

● 효과

- 독성물질이 용출되지 않고 작은 곳에서는 피복효과가 큼
- 퇴적층에 설치하므로 경관훼손이 없음

● 주의사항

- 경제성이 저어 수표면이 넓은 호소나 바닥에 방해물이 있는 곳에서는 용이하지 않음
- 차단재가 빛에 의해서 분해될 수 있으며, 피복과정에 손상될 수 있음
- 피복재에 유해물질이 포함되어 있는 경우 2차 오염의 우려
- 저서생물의 환경변화로 군집변화가 불가피

● 대상

- 퇴적물 관리가 필요한 저수지에 적용가능

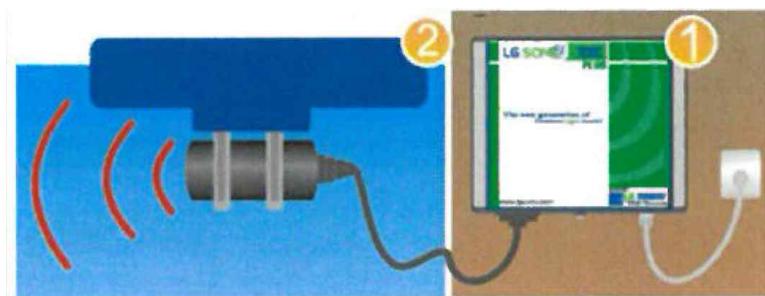
● 적용사례

- 주문진항(강원도 강릉시), 굴양식장(경남 통영시)

■ 초음파

● 원리

- 초음파가 남조류의 기낭을 파괴하여 부력조절 능력을 상실하게 함으로써 광합성을 차단하고 남조류 성장을 억제함



[그림 3-4] 초음파 공법 원리

● 방법

- 물을 순환시켜 초음파 발생기의 방향성을 보완해주고 처리범위는 넓혀주는

수중펌프와 병행을 하여 사용

- 녹조발생수역에 설치하여 단독처리를 하거나 조류제거선에 부착하여 사용



[그림 3-5] 초음파 공법 처리과정

● 효과

- 녹조발생 이전에 사전예방조치로도 활용이 가능함
- 수생태계에 특별한 위해가 없는 방법이며, 장치설치가 간단함
- Microcystin-LR(MC-LR)의 독소의 생물화학적인 활성시간을 빠른 시간내에 감퇴시킴
- MC-LR의 독소를 제거하고 남세균의 대발생을 억제시키는데 효과적임

● 대상

- 수심이 깊지 않고 투명도가 높아, 광합성 차단 효과를 기대하기 어려운 호소

● 적용사례

- 귀염저수지(제주시 애월읍)

■ 차광막처리

● 원리

- 차광막을 설치하여 남조류의 광합성을 제한함

● 방법

- 남조류의 근본적인 에너지원인 빛을 차단하여 광합성을 저해함

● 효과

- 부유성 조류 생육 억제
- 수질에 대해 물리적 교란을 주지 않고 수계자체에 독성효과를 주지 않음

- 주의사항
  - 높은 설치비용, 차광막 설치 및 제거가 까다로움, 차광막의 파손위험
- 대상
  - 선박작업이 어려운 좁은 지역, 소규모 저수지

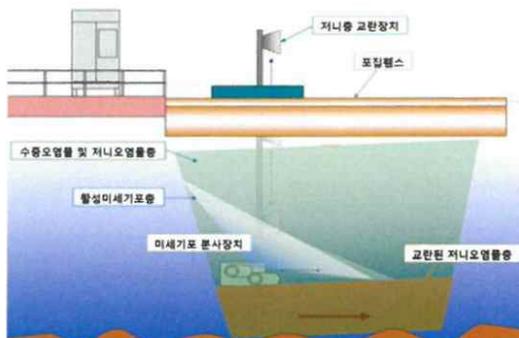
## ■ 수화펜스(Algal Bloom Fence)

- 원리 및 방법
  - 수면표층에 펜스를 설치하여 상수원수 취수 시 부상성이 강한 조류의 유입을 억제함
  - 일반적으로 사용되는 수화펜스는 길이 150m 폭3m 나이론제 천으로 상부에는 발포스티로폼 튜브가 매달려 있고 하부에는 추사슬이 부착되어 있음

## (2) 화학적 공법

### ■ 이동식 가압부상

- 원리
  - 저수지내 수면에 대량으로 증식한 조류를 분리·농축함
- 방법
  - 미세기포를 수중에 분사하여 미세기포와 함께 오염물질 및 조류가 부상함
  - 응집 부상된 조류 및 오염물질을 슬러지 웬스로 농축시키고 부유물질 수거



[그림 3-6] 이동식 가압부상 원리



[그림 3-7] 이동식 가압부상 설치 모습

- 장점
  - 조류발생 지역으로 이동, 긴급대처가 가능함
  - 조류를 수계외부로 배출시키며, 장비의 설치 면적이 작고 다른 장소로의 이동이 용이함
- 단점
  - 대용량화에 한계 및 슬러지 처리대책 요구되며, 주변환경 및 기상여건에 영향이 큼
  - 수질개선범위가 작아 전체 수면에 대한 처리가 어려우며, 유속이 있거나 수체 pH가 높을 시 처리효율 저감됨
- 대상
  - 녹조현상 등 조류의 대량발생 혹은 사멸에 의한 수질오염, 악취발생, 혐오감유발 등의 문제를 일으키고 있는 경우
  - 발생한 조류가 바람 등에 의해 저수지내 특정구역으로 고농도로 집적되어 처리가 용이한 경우
- 적용사례
  - 버들저수지(경기도 화성시), 라성저수지(전북 고창군), 연지저수지(경남 창원군)

## ■ 고정식 가압부상

- 방법
  - 미세기포와 응집제를 이용함
  - 조류를 부상 후 수거·처리함
  - 응집 부상된 조류 및 오염물질을 농축 후 폐기
- 장점
  - 조류제거에 효과적이고 대용량화가 가능함
  - 일정한 오염물질 및 조류제거량을 보장하며 지속적인 수질개선효과를 보임
- 단점
  - 시설부지 확보가 필요하며 시설이동이 곤란함

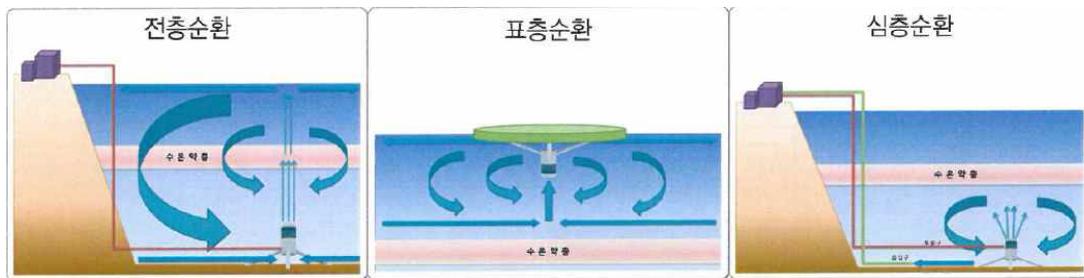
- 슬러지 처리대책이 요구되며 취수범위가 제한적으로 전체 수면에 대한 처리가 어려움

● 대상

- 조류의 대량발생 혹은 사멸에 의한 수질오염, 악취발생, 혐오감유발 등의 문제를 일으키고 있는 경우
- 발생한 조류가 바람 등에 의해 저수지내 특정구역으로 고농도로 집적되어 처리가 용이한 경우
- 육상에 시설설치를 위한 소요면적이 확보되는 경우

● 적용사례 : 대청호

■ 인공순환/폭기



[그림 3-8] 폭기공법의 종류

① 심층폭기

● 원리

- 성층이 형성된 호소 심층에서 성층을 파괴하지 않고 산소를 주입하여 무산소 상태를 해방함으로써 생물서식 공간 확보와 인용출을 억제함

● 방법 및 효과

- 심층수를 호수가로 펌핑하여 폭기 후 심층우로 반송함으로 심층의 수온증가를 최소화하는 Mechanical agtation, 순수 산소만을 주입하는 pure oxygen injection, 공기를 주입하는 injection of air 공법이 있으며 공기 주입법이 가장 널리 사용됨
- 인이 퇴적물로부터 수체로 용출방지, 철과의 공침으로 수체내 인의 침강 증가, 생물서식지가 확대됨

● 주의사항

- 수심이 12~15m 이상에서 적용 가능하며, 포기량이 너무 과도하면 심층수가 표층으로 상승할 우려가 있음
- 심층의 최대 부피 및 심층산소소비비율을 계산하여 적절한 aerator를 결정해야 하며, 충분한 산소공급을 위한 air-flow rate를 계산함
- 철이나 알루미늄과 같은 응집제를 투여하면 인을 불활성화 시키는데 매우 효과적임
- 수온약층의 파괴로 영양염류가 풍부하고 산소 농도가 낮은 물이 표층으로 이동하면 악영향을 줄 수 있음

● 대상

- 수심이 깊고 여름철 심층 무산소층이 형성되는 내부부하가 큰 호소

② 전층폭기

● 원리

- 간헐식 공기양수관을 통해 심층수를 양수해서 호소 내 전층을 순환시키는 방법으로 수온약층을 파괴하고, 저층수의 용존산소 개선효과에 의한 퇴적층으로부터의 인 용출을 억제함
- 혼합층 수심의 증가로 유광대 아래까지 식물성 플랑크톤을 이동시켜, 광 이용도를 낮추어 식물성 플랑크톤의 성장을 억제함

● 방법

- 포기시설(콤프레샤, 송기관, 산기장치 등)이 필요함
- 대형기계로 가동으로 항상 다량의 전력에너지를 필요로 함

● 효과

- 광합성에 이용될 수 있는 빛이 제한되고 정수압이 급속하게 변하며, CO<sub>2</sub> 농도와 pH 변화 등으로 조류의 천이가 일어나고 생체량이 감소할 수 있음
- 표층에서 조류스컴을 완화시키는 등 정화효과가 있음

● 주의사항

- 포기시 여름철 표층수온이 낮아질 수 있기 때문에 표층수를 방류하는 댐에

- 서는 하류의 수온저하에 의한 영향을 고려해야 함
- 퇴적물 부상에 의한 영양염이 표층으로 이동할 수 있으며 탁도 증가
  - 성층파괴에 의한 심층수온 상승에 따른 퇴적층에서의 영양염 용출이 될 수 있음
  - 혼합에 따른 수온차이는 3℃ 이하로 유지
  - 부적절한 폭기 장치를 설치하거나 위치선정이 잘못되면 조류의 대량번식 및 심층의 수온증가로 냉수어종의 서식지가 제한될 수 있음

● 대상

- 여름철 남조류가 우점하는 수심이 깊은 호소
- 내부부하가 작은 호소(수층혼합에 의한 심층에서의 인 공급이 적은 호소)

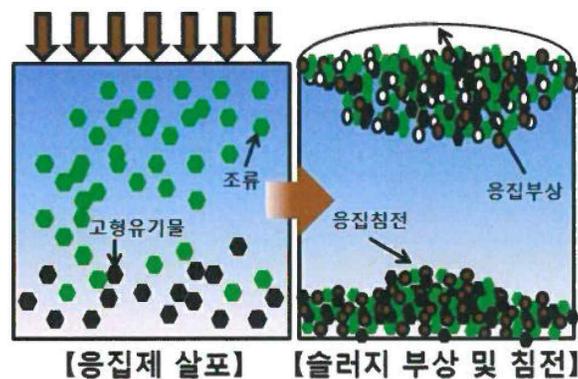
● 적용사례

- 칠성저수지(충북 괴산군), 덕곡저수지(경남 밀양시), 부남호(충남 태안군)

■ 응집침전공법

● 원리

- 화학응집제는 정수처리 공정에서 탁도를 제거하기 위하여 사용
- 응집제(황토 AI염, Fe염, 천연응집제 등)를 첨가하여 TSS 및 용해성 인을 침전·제거하고, 퇴적물로부터의 용출량 삭감
- 따라서 호소내의 유기물 및 영양염 농도가 높은 퇴적물을 호소 밖으로 퇴출시킴으로써 수질 개선을 도모함



[그림 3-9] 응집제 살포 과정

● 방법 및 효과

- 호소내 철염 또는 알루미늄 등의 응집제를 투입하고 수중의 용존무기인을 불용성 인산화합물로 응집 침전시키면서 동시에 인의 용출을 감소
- 외국사례는 화학적 응집제를 저질로부터 용출되는 내부 인부하를 제어하기 위해 사용
- 스웨덴 Langjn호에서 처음 시도되었고 호소의 체류시간이 길어 효과가 2년 이상 유지됨

● 주의사항

- 미국과 캐나다에서는 전문적으로 호수에 응집제를 투입하는 시스템 개발
- 국내의 경우 화학적 응집제를 이용해 호수에 직접 투여하는 기법이 활용되지 않고 있으며 소수의 시험적 사례만 있음

● 대상

- 저니층 인 용출이 심한 오래된 호소, 농업용 저수지

● 적용사례

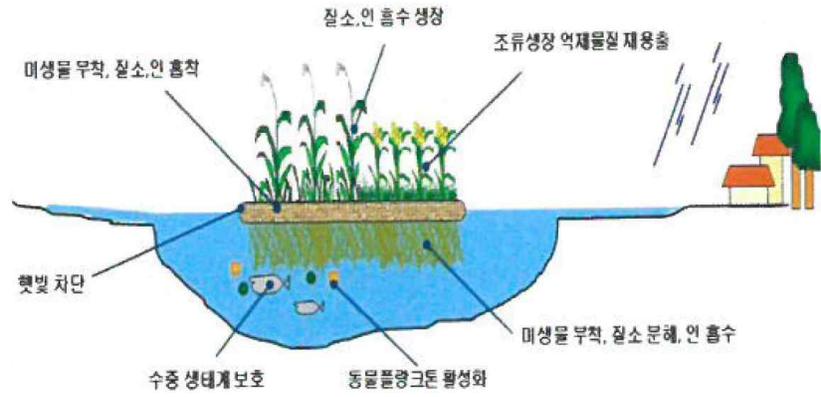
- 풍암저수지(광주광역시), 경회루지(서울시), 산호저수지(경북 군위군), 월림저수지(충북 제천시)

### (3) 생물/생태공학적 공법

#### ■ 인공식물섬

● 원리

- 인공부채위에 수생식물의 식재하여 식물의 영양염류 섭취를 통해 저수지의 수질을 개선함
- 햇빛차단에 따른 조류 성장 제어효과가 있음



[그림 3-10] 인공식물섬 모식도

- 장점
  - 친환경적이며, 경관개선 및 수중 생태계 보전 등의 간접적인 효과가 있음
- 단점
  - 식생관리가 필요하며, 수질개선 범위가 제한적임
- 주의사항
  - 인공식물섬은 구조물이 부식에 강한 재질로 구성되어야 하며, frame은 견고하고, 부체는 가벼워야 함
  - 구조물은 주위경관과 조화를 이루면서 안전한 구조를 갖추어야 함
- 적용사례
  - 팔당호(경기도 남양주시), 만운저수지(경북 안동시), 감둔저수지(전남 무안군), 왕궁저수지(전북 익산시), 대청호, 신희저수지(충남 아산시), 천수만(충남 서산시) 등



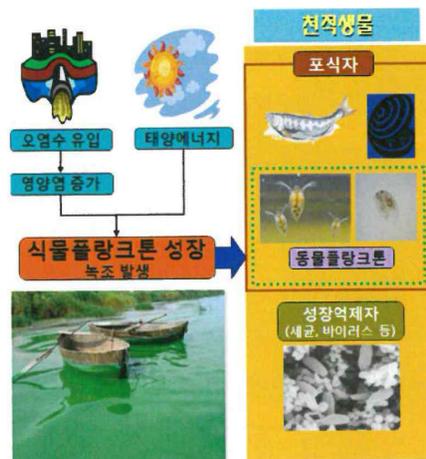
자료 : <http://www.assum.co.kr/>

[그림 3-11] 인공식물섬 설치모습(좌 : 대전시 대청호, 우 : 서산시 천수만)

## ■ 생물조절

### ● 원리

- 수생태계의 생물간의 포식관계를 이용해 수질을 개선하는 방법으로 어류를 이용하여 수체내 동물-식물플랑크톤 및 수생식물을 제거함
- 육식성 어류(piscivores)를 투입하여 플랑크톤식 어류(Planktivores)를 감소시키고 동물플랑크톤 밀도가 증가하여 조류밀도를 감소시키는 방법, trophic cascade 기법
- 조류발생 호소에서 주로 가장 높은 단계의 소비자를 조작



[그림 3-12] 생물조절 과정

### ● 주의사항

- 전형적으로 작고 얇은 폐쇄성 수역에서 효과적임
- 생태계의 특성(먹이과계, 환경요인 등)을 충분히 이해하여야 함

### ● 대상

- 작은 치어를 섭식하는 어류가 대량 서식하는 호소
- 수질이 양호하면 여름보다는 봄에 조류발생이 많은 호소에 효과적임

### ● 적용사례

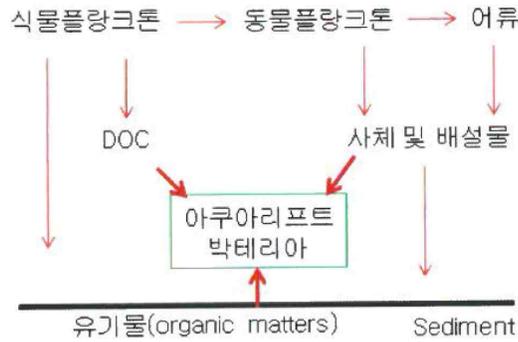
- 전대저수지(충남 당진시), 경안천 하류

## ■ 미생물 공법

### ● 원리

- 미생물을 통하여 미생물의 신진대사와 미생물의 합성의 과정을 통해 수체

- 내 유기물 및 영양염류를 섭취, 분해하여 전체 수역의 수질을 개선함
- 미생물은 자체적인 증식을 통하여 지속적인 수질정화를 유도함으로써 저수지의 자정효과를 유도함



[그림 3-13] 미생물공법 과정

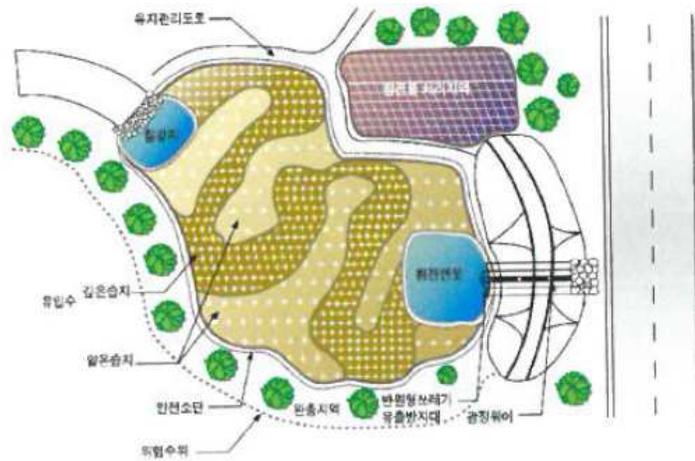
- 장점
  - 친환경적이며, 단기간 수질개선 효과를 볼 수 있음
- 단점
  - 최적의 성장조건을 맞추기 어려움
  - 검증되지 않은 미생물로 인한 수생태계 교란이 우려됨
  - 현장여건 변화에 민감하여 수질개선 효과를 보증하기 어려움
- 유의사항
  - 미생물 종류에 따라 안정성과 적응성이 달라질 수 있음
  - 저수지내에 직접 운전할 경우에는 익사 등 안전사고에 유의하여야 함
- 적용사례
  - 생태습지(서울시 성동구), 서량저수지(경기도 오산시)

#### (4) 물리적+화학적+생물학적 공법

##### ■ 인공습지

- 원리
  - 물리적, 화학적, 생물학적 작용이 독립적 또는 복합적인 과정을 통하여 수질을 개선

- 침강, 화학적 응집, 흡착, 미생물 반응(BOD, 질소) 및 식물에 의한 흡수



[그림 3-14] 인공습지 조성 조감도(예)

● 장점

- 비점오염원 처리에 효과적이며, 질소, 인 등 영양염류의 제거가 우수함
- 수량과 수질의 변동에도 안정적 대응
- 유지관리가 비교적 쉬움
- 생물서식지, 레크레이션 및 자연학습 등으로 활용

● 단점

- 넓은 부지면적 및 식물유지관리가 필요
- 단기 수질개선 효과와 동절기 정화효과가 낮음
- 장기간 운영시 퇴적으로 인한 기능저하와 모기 등의 해충 피해가 있음

● 주의사항

- 자연조건에 따라 적용상의 제약이 있을 수 있음
- 유기물의 경우에는 10mg/L 이하에 대해서는 수처리 효율의 변화가 심함

● 적용사례

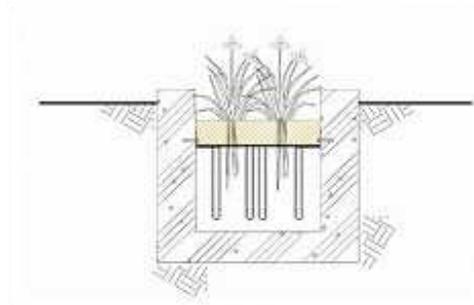
- 석문습지(충남 당진시), 인공습지(충남 공주시), 인공습지(충남 논산시), 강운유수지(경기도 남양주시), 인공습지(경기도 이천시) 등

■ 수로형 인공습지

- 수로형 인공습지는 농수로 또는 관거형 수로를 이용한 효율적 정화방법으로 상부에는 식물을 식재하고 그 밑에 끈상점층재를 매달아 정화효과를 높인 습

지공법으로, 기존 및 신설 수로에 설치할 있어 활용범위가 크고, 경관창출효과가 좋다는 장점이 있음

◎ 사례지역으로는 아산시 신휴저수지, 금산군 남이휴양림 등이 있음



자료 : <http://www.assum.co.kr/>

[그림 3-15] 수로형 인공습지 예시



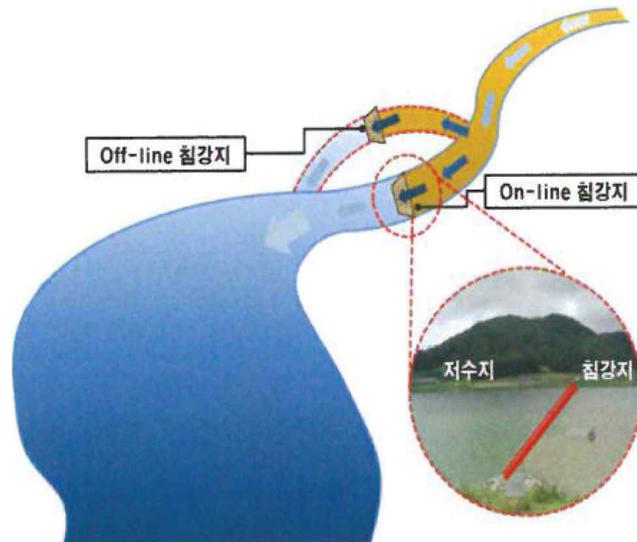
자료 : <http://www.assum.co.kr/>

[그림 3-16] 수로형 인공습지(좌 : 아산시 신휴저수지, 우 : 금산군 남이휴양림)

## ■ 침강지

◎ 원리

- 입자성 오염물질을 침강시키는 일차적인 물리적 처리와 침강지내에서 생물·화학적 작용에 의한 수처리



[그림 3-17] 침강지 공법

- 장점
  - 비점오염원 처리에 효과적이며, 기존 유역의 수질정화 시설의 추가대안이 됨
  - 수질정화 및 홍수조절에 유리함
- 단점
  - 상대적으로 넓은 부지가 필요하며 용존성 오염물질의 제거효율이 낮음
  - 주기적인 침강지 내 침전물 제거 필요
- 주의사항
  - 하천에는 On-line보다 Off-line으로 설치하는 것이 바람직함
  - 침두용수 제어를 병행하면 치수효과도 기대가 가능함
  - 침강지 내의 사수역방지 등 수류의 흐름을 개선하기 위한 중도나 정류벽의 설치를 권장함
- 적용사례
  - 마산저수지(충남 아산시), 감돈저수지(전남 무안군)

## 나. 국외 주요 공법

- 국외에서 상용화된 호소 수질관리 방법에는 미생물제재, 수초제거 기법, 흡입식준설, 폭기, 응집부상 등이 있음

- 호내 수질관리에 있어 공법적용 뿐만 아니라 홍보와 교육적 측면에도 상당한 노력을 기울이고 있는 것이 특징임. 특히 미국은 호소관리에 관한 가이드라인을 제공하며, 일반인들을 대상으로 교육과 홍보가 꾸준히 진행되고 있음
- 일본의 경우 미세조류를 활용하여 바이오연료를 생산기술을 개발하고 있으며, 비와호의 경우 생물학적 기법에 의한 비와호 생태계보전 및 수질개선에 조개를 활용하여 식물플랑크톤의 소비를 촉진을 통한 수질정화를 도모하고 호소생태계의 생물군집의 균형을 회복시켜 저질 환경개선을 유도함
- 또한 호소와 늪의 수질정화기술을 유입 하천대책, 호소 내 대책, 유역대책으로 구분하여 실시하고 있음

〈표 3-2〉 일본의 호수와 늪의 수질정화기술 분류

| 관리 및 복원방안 | 기술구분        | 구체적인 예  |
|-----------|-------------|---|
| 유입하천대책    | 직접정화        | 흑탁법, 토양처리법, 식생 정화법 등                            |
| 호수 내 대책   | 바닥 뱀 대책     | 준설, 복사(覆沙:모래로 덮음)                               |
|           | 식생이용        | 식생대·습지, 부도(浮島), Biotop 등                        |
|           | 유동제어        | 구획으로 나눈 펜스, 산기(散氣)장치, 밀도류(流) 확산장치 등             |
|           | 산소공급        | 폭기 장치, 곤오도 산소수의 도입 등                            |
|           | 직접회수        | 조류(藻類)회수, 충격 살조(殺藻) 장치, 자외선 살조(殺藻) 장치 등         |
|           | 그 외         | 정화용수의 도입, 수초(水草)관리, 유입수의 유로(流路) 변경, 수위저하, 어류 제거 |
| 유역대책      | 점원(点源) 부하대책 | 생활폐수대책(지하도의 정비 등), 축산폐수대책, 공장·사업장폐수대책 등         |
|           | 면원(面源) 부하대책 | 농업계 부하대책, 비특정 부하대책                              |

자료 : 박승택, 일본에 있어 호수와 늪의 수질정화기술 동향, 2009  
 원자료 : 국토교통성, 호수와 늪의 수리·수질관리기술, 제5장 호수수질의 보전·개선 대책

- 일본 가스미가우라호에서는 부영양화로 인하여 매년 여름 대량의 조류가 번식하며, 조류가 사멸하여 분해되면서 악취와 주변환경을 심각하게 오염시킴
- 또한 조류는 바닥으로 침전되어 또 다른 부영양화의 원인이 되며, 이러한 조류를 제거하기 위하여 특별히 제작된 선박을 이용함
- 기존의 선박(水馬號)에 추가로 1993년 5월에 ‘みずすまし’를 도입하여 운영

- 중에 있으며 새로 도입된 선박의 이름은 일반인의 공모를 통해 만들어진 것임
- 이외에도 조류와 박테리아의 DNA를 파괴하는 자외선을 이용하여 특정지역 수질을 정화하고 있음
  - 이런 자외선 수질정화시설에는 오존을 이용하여 악취를 제거하고 여과를 통해 탁도를 제거하며, 天王崎(庖生町)의 호수욕장을 이 시설을 이용하여 회복시킴

〈표 3-3〉 가스미가우라호 조류제거량

| 년도    | 제거량      | 년도    | 제거량      |
|-------|----------|-------|----------|
| 1976년 | 73 드럼    | 1987년 | 1,340 드럼 |
| 1977년 | 205 드럼   | 1988년 | 2,131 드럼 |
| 1978년 | 345 드럼   | 1989년 | 2,380 드럼 |
| 1979년 | 375 드럼   | 1990년 | 1,065 드럼 |
| 1980년 | 430 드럼   | 1991년 | 2,347 드럼 |
| 1981년 | 1,014 드럼 | 1992년 | -        |
| 1982년 | 1,500 드럼 | 1993년 | 1,742 드럼 |
| 1983년 | 1,302 드럼 | 1994년 | 986 드럼   |
| 1984년 | 1,770 드럼 | 1995년 | 612 드럼   |
| 1985년 | 1,883 드럼 | 1997년 | -        |
| 1986년 | 2,019 드럼 | 1998년 | 259 드럼   |
| 1987년 | 1,350 드럼 |       |          |

주) 1984년 이후는 일부 1차농축된 조류의 양을 환산한 값임  
 자료 : 가스미가우라호 수질개선

## 다. 공법 유형별 주요 특성 고찰

- 수질개선공법은 정화 원리에 따라 크게 물리적, 화학적, 생물학적 공법으로 분류할 수 있는데 물리적 공법은 대부분 인간의 자연관찰로부터 유도되었기 때문에 가장 먼저 사용되었으며, 화학적 공법은 오염물질을 제거 또는 변환시키는 화학적 처리방법임. 생물학적 공법은 주로 생물학적 분해가 가능한 유기물 제거에 의존하는데, 폐수 내 생물작용이 일어날 수 있는 적절한 환경조건이 주어지느냐에 따라 처리 수준이 달라지는 특성을 보임

〈표 3-4〉 수질개선 공법 유형 및 특성

| 구분     | 기술종류  | 대상 및 특성   | 비고                              |
|--------|-------|---|---------------------------------|
| 물리적 공법 | 준설    | 퇴적질 오염. 육상 및 수중 준설. 최근 환경적 교란을 최소화 하는 흡입식 준설 개발               | 흡입식 준설 기법 개발(농림부, 2005)         |
|        | 조류펜스  | 수중의 조류 확산 저감 및 방지   | 대청호에서 적용사례                      |
|        | 차광막   | 수중의 조류성장 저감 및 방지. 호소 표면의 일부지역을 가림으로써 빛 이용성 조절                 | 일본에서 적용사례                       |
|        | 초음파   | 고주파 혹은 저주파를 이용한 조류세포 및 기낭파괴, 조류사멸 혹은 성장 방해                    | 국내외에서 개발, 타생물에 대한 위해성발생 잠재      |
|        | 수류발생  | 저수지 수체전체. 물의 혼합을 유도하여 전역에 산소공급 및 정체수역 조절                      | 외국기술(캐나다, 일본 등) 국내에서 시험연구 적용 사례 |
|        | 수초제거선 | 수변부 혹은 호내의 밀집한 수초 제거  | 미국 유럽 등                         |
|        | 조류제거선 | 수중 조류를 대상. 물리적인 여과를 통해 조류제거                                   | 국내 수자원공사 개발(2009)               |
|        | 희석    | 하천 혹은 주변 댐으로부터 양질의 물을 유입하여 희석                                 | 국내 새만금에서 계획                     |
|        | 선택적방류 | 수문조작에 의해 심층의 영양분이 많은 수층을 방류                                   | 미국 등                            |
|        | 유로변경  | 오염도가 높은 유입하천을 우회  | 외국에서 여러 사례                      |
|        | 수위감소  | 인위적 방류를 통해 수위를 감소. 수변지역의 식생 및 오염물질 관리                         | 외국에서 여러 사례                      |
|        | 저류지   | 오염물질의 함유된 유입수를 호소 유입부나 수변에 일정기간 저류하여 영양염 및 유기물 저감             | 국외 및 국내 적용사례(새만금 등)             |
| 화학적 공법 | 인흡착   | 철, 알루미늄, 칼슘 등의 인흡착 재료를 이용하여 수중의 인제거                           | 일본 등에서 사례                       |
|        | 가압부상  | 흡착 성분 주입하여 조류 등 입자성 물질을 응집시킨 후 미세기포를 이용하여 부상분리                | 국내에서 개발 및 연구 중                  |
|        | 응집부상  | 천연물질성분을 이용하여 조류 등 입자성 물질을 응집, 부상, 제거, 자체적으로 부상하므로 공기 주입 필요 없음 | 국내에서 개발 및 연구 중                  |
|        | 폭기    | 다양한 기법을 이용하여 주중에 용존 산소 공급                                     | 외국 기술, 국내 적용 및 개선사례             |
|        | 살조제   | 황산등을 이용하여 조류세포파괴  | 국내적용 사례                         |

자료 : 황순진(2010) “농업용 호소의 수질개선 및 기능향상을 위한 생태학적 이해와 다원적 접근의 필요성”, 전원과 자원, 52(2) : 32-44

〈표 3-4〉 수질개선 기술 유형 및 특성(계속)

| 구분           | 기술종류      | 대상 및 특성                                       | 비고  |
|--------------|-----------|---|---|
| 생물/생태공학적인 공법 | 인공습지      | 호수 유입부 혹은 주변에 습지 설치. 유입수 내영양염, 유기물 저감         | 국내 다양한 사례                                   |
|              | 수변식생대     | 하천 및 호소 주변에 식생대를 통해 오염물질 여과 및 개선, 주로 비점오염원 대상 | 국외 및 국내 시험적용 사례 연구중                         |
|              | 어류        | 초식성 어류를 이용한 조류 섭식 제어                          | 중국, 미국, 유럽등에서 사례. 국내에서도 연구(농림부, 2005, 2009) |
|              | 패류        | 여과섭식성 패류를 이용한 입자성 물질 저감                       | 국외(네덜란드, 미국 등)                              |
|              | 조류(algae) | 조류를 이용한 인제거                                   | 국내 사례(농림부, 2005) 국외사례 및 국내 사례(환경부, 농림부)     |
|              | 동물 플랑크톤   | 물벼룩을 이용한 조류제어                                 | 국내 시험사례(연구중)                                |
|              | 미생물제재     | 살조미생물(세균) 혹은 유기물, 중금속 분해세균 이용                 | 국외 적용, 국내 연구 사례(과기부, 2006)                  |
|              | 접촉여재 생물막  | 접촉여재를 이용한 영양염 흡착 및 생물막 형성                     | 국내 적용사례                                     |
|              | 인공서식처     | 호수에 인공서식처 도입으로 생물다양성 증대 효과                    | 국내 적용사례(농림부, 2009)                          |
|              | 인공식물섬     | 부유식 인공식물섬 도입으로 생물서식처 및 수질개선 효과                | 국내 적용사례                                     |

자료 : 황순진(2010) “농업용 호소의 수질개선 및 기능향상을 위한 생태학적 이해와 다원적 접근의 필요성”, 전원과 자원, 52(2) : 32-44

〈표 3-5〉 정화원리에 따른 수처리 공법의 특징

| 구분    | 물리적 공법     | 화학적 공법                                  | 생물학적 공법           |  |
|-------|------------|---|-------------------|--|
| 제거 물질 | 침전가능물질     | 부유물질                                    | 생물학적으로 분해가능한 유기물질 |  |
| 제거율   | BOD        | 약 30%                                   | 약 40~60%          | 활성슬러지 약 90%<br>살수여상법 약 80%<br>신화지 약 70~80% |
|       | SS         | 약 50~60%                                | 약 60~80%          | 활성슬러지 약 85%<br>살수여상법 약 75%<br>신화지 약 70%    |
| 장단점   | 비교적 효율이 낮음 | 슬러지 발생량이 크고 고가의 유지관리비용 질소, 인 등 다량 제거 가능 | 상대적으로 처리 효율 높음    |  |

〈표 3-6〉 녹조저감을 위한 제어기술 및 문제점

| 구분       | 문제점       | 효과     | 제어기술            |
|----------|-----------|--------|-----------------|
| 물리적인 방법  | 고비용, 비경제성 | 장기     | 가압부상시설, 준설      |
|          |           | 장기, 단기 | 수중폭기장치, 강제순환    |
|          |           | 장기, 단기 | 선택취수설비, 유입수 전환  |
|          |           | 단기     | 차광막, 퇴적층 도포     |
|          |           | 단기     | 조류차단막           |
|          |           | 단기     | 조류제거선           |
|          |           | 단기     | 초음파             |
|          |           | 단기     | 수중고전압방전         |
|          |           | 단기     | 인공희석            |
|          |           | 단기     | 제트스트리머          |
| 화학적인 방법  | 잠재적인 오염   | 단기     | 응집제(Al, Fe, Ca) |
|          |           | 단기     | 살조제(황산동)        |
|          |           | 단기     | 천연물(고등식물)       |
|          |           | 단기     | 규산다공체           |
|          |           | 단기     | 염소              |
|          |           | 단기     | 오존              |
|          |           | 단기     | 황토+응집제          |
|          |           | 단기     | 제강슬래그           |
|          |           | 단기     | 과산화수소수          |
| 생물학적인 방법 | 낮은 실용성    | 단기     | 원생동물 등에 의한 포식   |
|          |           | 단기     | 살조 미생물 및 Virus  |
|          |           | 장기, 단기 | 인공습지 조성         |
|          |           | 단기     | 동물플랑크톤          |
|          |           | 단기     | 담수패류            |
|          |           | 단기     | 어류              |

자료 : 환경부, 국내 담수조류저감 마스터플랜 마련 연구 용역, 2012

〈표 3-7〉 수질개선 기술 유형 및 특성

| 대책장소 | 대책의 원리      | 수질개선 기술        | 유입부하삭감기술 |                | 내부생산억제기술  |         | 기타      |               |
|------|-------------|----------------|----------|----------------|-----------|---------|---------|---------------|
|      |             |                | 항구적 부하삭감 | 가급적 실시가능한 부하삭감 | 영양염의 농도저하 | 자연특성 개선 | 주변환경 보전 | 이수 장애의 부분적 개선 |
| 호소내  | 호소내발생부하의 삭감 | 퇴적물준설          | ○        | ○              | ○         | △       |         | △             |
|      |             | 퇴적물 피복(호내외 재료) | △        | △              | ○         | △       |         | △             |
|      |             | 영양염 불활성화 처리    | △        | △              | ○         | △       |         | △             |
|      |             | 수산양식업 대책       | ○        | ○              | ○         |         |         |               |
|      | 부영양화의 억제    | 하구처리           | △※       |                | △※        | ○       | △       |               |
|      |             | 호소분리           |          |                |           | ○       | △       | △             |
|      |             | 부엽식물이용처리       |          |                | △※        |         | △       | △             |
|      |             | 조류제거           |          |                | △         |         | ○       | ○             |
|      |             | 살조제, 제조제처리     |          |                |           |         | △※      | ○             |
|      |             | 생태계 제어         |          |                | △         |         | ○       | △             |
|      |             | 정화용수 도입        |          |                | ○         | ○       |         |               |
|      |             | 호수물의 인공순환      |          |                |           | ○       |         | △※            |
|      |             | 심수층 폭기         |          |                | ○※        | ○       |         | △※            |
|      |             | 호소수 양수형 순환처리   |          |                | ○※        |         |         | ○             |
|      |             | 저수층 산소주입       |          |                | △※        | ○       |         |               |
|      |             | 지하수 유입증가       |          |                | △※        | ○       |         |               |
|      |             | 심수층 선택 방류      |          |                | △※        | ○       |         |               |
|      |             | 호안 환경 보전       | 둔치형 호안   |                |           |         |         | ○             |
|      | 식생호안        |                |          |                |           |         | ○       |               |

주) ○ : 해당되는 수질개선기술, △ : 해당 가능성이 있는 수질개선기술, ※ : 조건부로 가능성이 있는 것  
 자료 : 농림수산식품부·한국농어촌공사(2008), 농업용수 수질개선대책 추진체계정립 및 대안평가기법 연구(최종)/ 경기개발연구원, 경기도 농업용수 수질현황 및 관리방안

## 3.2 국내외 적용 사례 분석

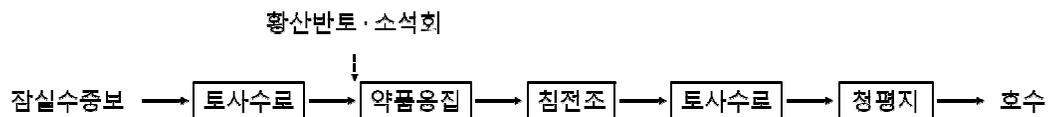
### 가. 국내 관련 사례 분석

#### (1) 일산호수공원

- 경기도 고양시에 위치한 일산호수공원은 부영양화 억제와 친수환경 조성을 위해 목표수질을 설정하였고, 이를 위해 유입수 처리시설 및 순환수 처리시설 계획을 세우고 추진함

#### ■ 유입수 처리시설

- 호수 설계 시 유입수를 처리하지 않고 유입시키는 것으로 설계되었으나, 수질 예측결과에 T-N의 농도가 다소 높은 것으로 예측되어 유입수의 수처리시설을 설계하였음

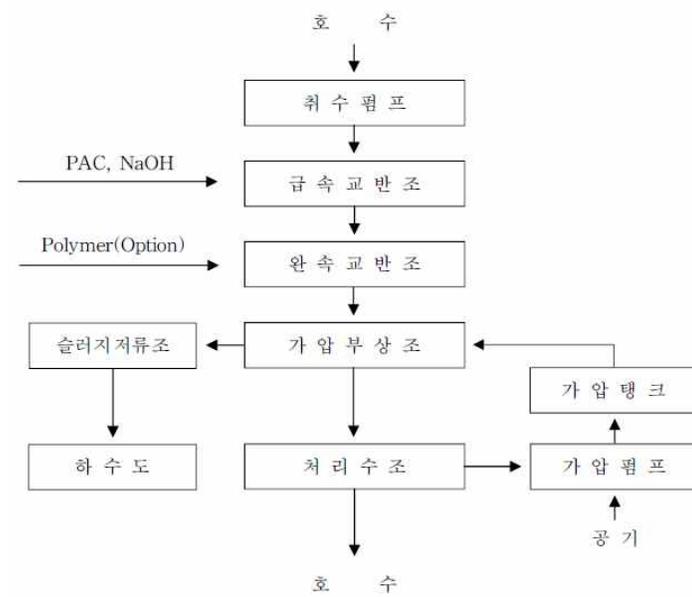


자료 : 전복대, 2009, 도심인공호수의 부영양화지수 개발 및 탁도 기준 도출

[그림 3-18] 유입수 처리 흐름도

#### ■ 순환수 처리시설

- 순환수 처리시설은 호수물을 가압부상법에 의하여 처리한 후 호수의 폭포를 이용하여 다시 공급하는 것으로 함
- 일산취수장 원수이용에 따른 유입수량 및 순환수처리량 산정에서 공급량 2,500m<sup>3</sup>/일에 대한 순환수량을 년평균 2,000m<sup>3</sup>/일로 결정하였으나, 월별에 따라 미 처리시 수질예측결과가 다르므로 순환수처리량을 월별로 결정하여 운영 관리하도록 계획함
- 조류성장이 왕성해지는 하절기(6월~8월)에는 순환수처리량을 3,500~4,000m<sup>3</sup>/일이며, 조류성장이 비교적 적은 11월과 2월~3월에는 처리량을 1500m<sup>3</sup>/일로 줄여 운영함



자료 : 전복대, 2009, 도심인공호수의 부영양화지수 개발 및 탁도 기준 도출

[그림 3-19] 순환수 처리시설 흐름도

## ■ 공원 내 자연학습원

- 생물서식공간을 위한 비오톱 구성을 목적으로 한 것은 아니지만 자연생태계의 개념을 도입하여 자연형 호수로 조성



[그림 3-20] 자연학습원 조감도

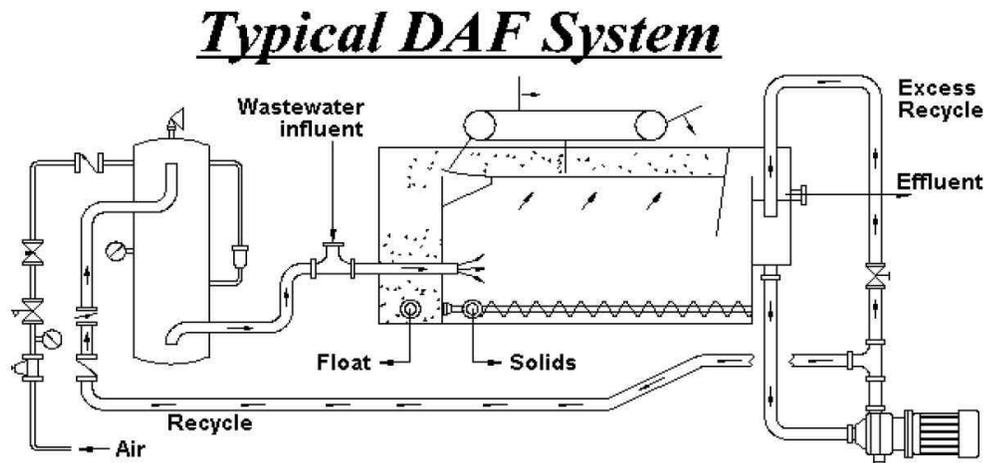
## (2) 석촌호수

- 서울시에 위치한 석촌호수는 호수 주변 매립토의 유기물질이 호수로 유입되고 있어 T-P농도가 0.08mg/l로 여름철에 녹조가 자주 발생함

- 1990년 녹조발생이 심해져 호수에 황산동 0.6mg/L을 살포하였으나, 악취발생 및 물고기 사멸 등의 문제가 발생되었음
- 그러나 2001년 송파구 명소화 사업대상지에 선정되어 콘크리트 호안시설 철거 및 한강 물 순환체계를 구축하여 생태계를 복원함
- 매월 10만톤의 물을 교체하고 살조제의 투입과 현장가압부상법을 통하여 녹조 제거를 실시하고 있으며, 유입수와 호숫물을 순환처리 할 수 있는 계획을 검토하였고, 2011년에는 맞춤형 부상처리 기술을 이용하여 수질을 개선한 바 있음

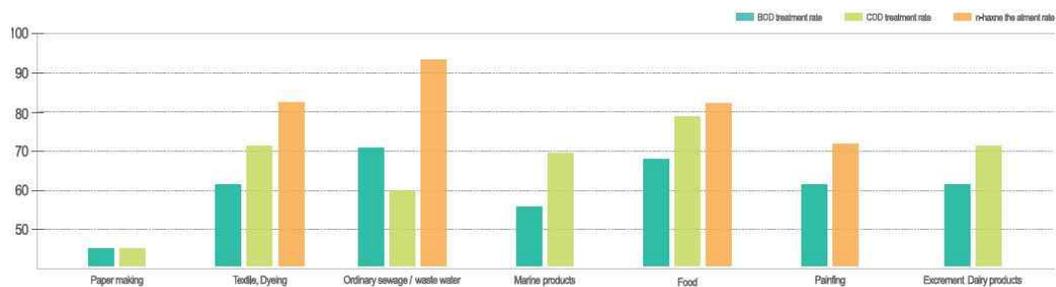
## ■ 가압부상법

- 오염물질에 미세기포를 부착하여 수표면까지 부상시켜 분리를 유도하는 공법으로 인 제거에 높은 효율을 보이는 방법 중 하나임



자료 : 환경부, 2006, 부상분리식 슬러지 농축공정의 개발

[그림 3-21] DAF시스템 모식도



자료 : 동신이엔텍 홍보자료

[그림 3-22] 가압부상조에 의한 처리효율

## ■ 맞춤형 부상처리 기술

- 물 속에 있는 조류나 퇴적유기물 등의 대부분의 작은 입자들의 표면전하는 (-)전하를 띠고 있으며, 그 입자와 유사한 크기의 (+)전하를 띤 마이크로버블을 호소의 수체 내에 분사하면 물 속의 입자들과 서로 결합하여 부상, 제거, 탈수과정을 거치면서 이동식으로 운영되는 공법으로써 가장 효과적이고 신속하게 물 속의 조류나 퇴적유기물을 on-site에서 제거하는 기술
- 본 공법은 제거대상물질의 특성에 맞추어 버블을 생산, 제거하는 방식이며 부상제거 전에 활성알루미늄, PAC와 같은 화학응집제를 사용하는 기존의 용존공기부상(DAF)과는 다르게 無화학응집제로 운영되는 차별화된 원천기술임



자료 : 서울대 상수도시스템 연구실, 지오마린(주)

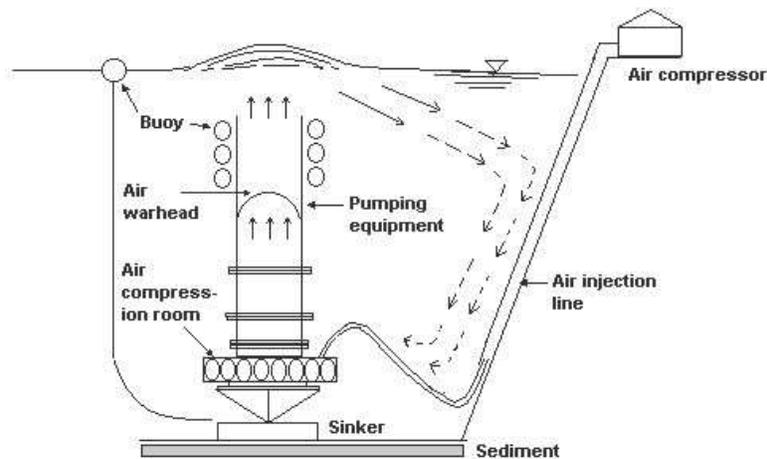
[그림 3-23] 맞춤형 부상처리공법(좌)과 석촌호수 조류제거(우)

### (3) 용산 가족공원

- 서울시 용산가족공원은 2000년대 수질환경 개선사업을 실시하여 전반적인 오염원에 대한 대책을 마련하고 순환수처리시설을 도입함
- 연못물의 일부를 취합하여 응집 침전시킨 후 순환시키는 처리시설을 설치 가동할 예정이며, 각 연못의 수심 특성에 맞게 바닥에 모래와 자갈을 깔았음

#### (4) 달방댐

- 강원도 동해시 달방댐의 경우 1994년 이후 남조류가 발생하는 부영양화 징조를 보였으며 1995년에는 수돗물에서 심하게 악취가 발생함
- 1996년 한국수자원공사에서는 수심변동에 따라 본체의 높낮이 조절형 간헐식 수중폭기 장치를 댐 중심축을 기준으로 6기를 댐 내에 설치하여 남조류에 대한 억제효과를 봄
- 인공폭기와 심층폭기 방법은 호수내의 인위적인 층위파괴를 통해 조류의 현존량을 크게 감소시키나 얇은 연못에서는 효율성이 떨어짐



자료 : 환경부, 2012, 국내 담수 조류저감 마스터플랜

[그림 3-24] 수중폭기 설치 모식도

#### (5) 강원대 연적지

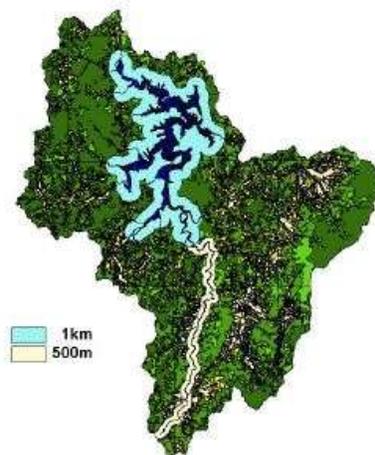
- 연적지는 강원대학교 내에 있는 작은 인공연못으로 조류의 현존량이 높아 여름에는 부엽수초가 발생하고 악취가 나는 등의 문제점이 생김
- 이에 1997년 11월 황산알루미늄을 투여하여 총인과 Chl-a 농도를 각각 88%, 99%로 감소시켰으나 장기간의 효과를 얻지 못함
- 장기간의 효과가 나타나지 않았던 이유는 내부인의 채용출로 추정이 됨

## (6) 광주도심공원 저수지

- 녹조 예방을 위해 물을 자체 정화 할 수 있는 물 순환시설을 가동하고 수질이 양호한 지하수를 지속적으로 흘려보내 수질관리를 하고 있음
- 풍암제의 경우 산소공급을 위해 분사시설(폭기조 3대)와 물순환 장치를 가동하고 부유물질 발생시 인력을 투입해 제거함
- 운천제의 경우 지하수(300t)를 지속적으로 흘려보내 깨끗한 수질을 유지하고 있으며, 운암제의 경우 물순환 장치 2개소를 지속 가동해 물순환을 실시하고 인력을 투입해 환경정비 작업을 실시하고 있음

## (7) 용담호

- 용담호는 금강의 발원지인 전북 장수군 장수읍 수분리에서 용담댐에 이르는 약 56km 하천구간이고 유역면적은 930km<sup>2</sup>임
- 용담호 유역의 비점오염관리를 목적으로 BMP기법 중에 하나인 수변구역 조성을 계획하여 수질개선의 효과가 나타남
- 수질개선의 효과는 용담호 유입부에서 수변구역 조성의 직접적인 영향을 받아 민감하게 나타났고, 용담호 방류구에서는 일정시간이 지난 후부터 수질이 개선된 것으로 나타남



자료 : 한국수자원학회 논문집, 2008, BMP 기법에 따른 용담호 수질 개선효과

[그림 3-25] 수변구역 조성지역

〈표 3-8〉 수변구역 조성지역의 토지면적 비율

| 구 분   | 조성 전(%) | 조성 후(%) |
|-------|---------|---------|
| 총 계   | 100%    | 100%    |
| 논     | 10.1%   | 0.0%    |
| 밭     | 9.8%    | 0.0%    |
| 하우스재배 | 0.0%    | 0.0%    |
| 과수원   | 0.4%    | 0.0%    |
| 기타재배  | 0.1%    | 0.0%    |
| 활엽수림  | 16.0%   | 16.0%   |
| 침엽수림  | 40.5%   | 40.5%   |
| 혼효림   | 16.7%   | 16.7%   |
| 자연초지  | 0.6%    | 22.7%   |
| 기타초지  | 2.6%    | 2.6%    |
| 내륙습지  | 0.3%    | 0.3%    |
| 채광지역  | 0.0%    | 0.0%    |
| 기타나지  | 1.7%    | 0.0%    |
| 기타    | 1.2%    | 1.2%    |

자료 : 한국수자원학회 논문집, BMP 기법에 따른 용담호 수질 개선효과, 2008

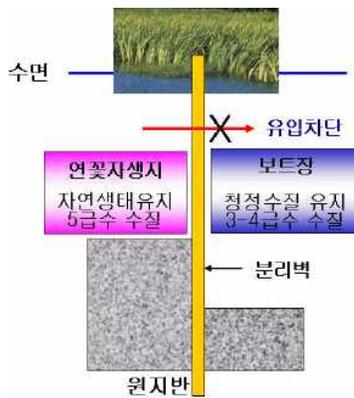
## ■ BMP(Best Management Practices) 기법

- 비점오염원(NPS)에 의해 초래되는 오염량을 수질 목표에 상응하는 수준으로 줄이거나 억제하는 권장된 수단으로서 기술적, 경제적, 행정적으로 볼 때 가장 효율적으로 실현 가능한 영농 방법임
- 비점오염원의 억제를 위해 사용되는 행정적, 규제적, 기술적 방안은 점오염원의 억제를 위해 사용되는 원리와 달리, 발생원을 관리하는데 있다고 볼 수 있음
- 우리나라에서는 BMP기법 중에 하나인 수변구역에 대한 정책을 도입하였으며, 이는 하천 및 호수 주변의 일정 지역을 지정하여 오염원의 입주를 원천적으로 차단하고, 해당 지역의 토지를 매수하여 녹지를 조성함으로써 수질개선을 도모함

### (8) 덕진공원 호수

- 덕진공원은 고려시대 때 조성된 인공호수로 현재 전북 전주시민들의 문화휴양 공간으로 사용되고 있음

- 하지만 조성초기에 유입되던 양질의 계곡수가 도시화에 따른 다양한 오염물질의 유입으로 호수의 유지용수원으로 활용하기에 오염이 심함
- 또한 동절기 연꽃의 고사로 인한 유기물질 및 인 등의 용출이 많아 오염량이 매우 크고, 수백년간 축적된 철성분에 의한 적색과 녹조에 의해 미관을 해치고 있음
- 이를 개선하기 위해 연꽃자생지와 보트장 사이에 분리벽을 설치하고 공원 주변 지하수를 개발 보트장으로 유입 후 순환을 통하여 수질을 관리함



자료 : 한국환경기술학회지, 2005

[그림 3-26] 분리벽 설치 모식도(좌)와 덕진공원 호수 구역구분도(우)

## (9) 고천암호

- 전남 해남군에 위치한 고천암호의 경우 2004년 한국농어촌공사에서 고천암호 수질개선 및 보전, 담수호 생태계보전유지 등의 목적으로 10.76ha의 인공습지를 2개 조성함
- 10.76ha에 미나리, 창포 등 수생식물을 식재한 인공식물섬 2개소를 설치하여 수질개선을 도모함
- 현재 2차 계획으로 자연생태공원사업을 추진하여 갈대군락 2만m 복원 및 수질 정화조 4개소를 조성함

## (10) 공남지

- 백제시대 인공연못인 공남지는 충남 부여군의 대표적인 관광지이지만 한겨울

을 제외하고는 악취와 녹조현상이 심함

- 이를 개선하기 위해 연못 바닥정비, 황토 살포 등 다양한 사업들을 실시하였지만 그간 수질개선에는 실패함
- 2014년 미생물처리 공법에 의한 수질개선을 추진한 결과 녹조의 주원인인 질소와 인의 경우 75%가 개선되었으며, 용존산소량의 증가 등의 전반적인 수질 평가 항목에서도 크게 개선됨

### (11) 평택호

- 아산만 간척지에 농업용수를 목적으로 만들어진 평택호(아산호)는 유역내 많은 양의 오·폐수가 미처리 상태로 유입되어 오염 정도가 높음
- 또한 하구언이나 방조제의 축조로 형성된 하류의 인공호는 수면적에 비해 수심이 얇아 호수조절능력이 약하며 생물생산량도 높음
- 따라서 환경기초시설의 증설과 오·폐수 처리시설 강화 등 외부오염원의 삭감을 위한 시설과 수생식물 식재를 통한 수질개선 및 준설에 대한 검토가 필요함

〈표 3-9〉 평택호 수질관리방안

| 수질개선대책                      | 세부내용  |
|-----------------------------|---|
| 발생원 대책                      | 생활하수처리(처리시스템의 증설)<br>축산폐수처리(정화조 및 처리시스템 정비 무방류 시스템 도입)<br>사업장 폐수의 처리(폐수발생삭감, 지도 및 규제) |
| 주변환경의 정비                    | 수환경과 주변환경과의 친화<br>주변공간의 환경친화적 이용  |
| 생물학적 조절                     | 기초연구 필요<br>외부부하량 삭감과 병행이용   |
| 생태공학적 기술의 이용                | 자연정화기법 이용(인공습지, 식생이용)   |
| 환경기준의 강화                    | 배출허용기준 강화 및 법적대응책 강화  |
| 오염배출에 대한 상시 감시 및 측정활동       | 배출수의 수질조사 및 법정 대응책 강화   |
| 주변지역의 협조 및 공동연구             | 물관리 공동기구 설립(수질개선 자원마련, 환경관리시설 확충과 적절한 운영)<br>평택호 부영양화 종합대책 수립                         |
| 교육, 계몽 및 홍보물을 통한 환경보전활동의 촉진 | 지속적인 홍보 및 교육(생태계 보전)<br>생활주변으로부터의 오염물질 삭감유도(음식물쓰레기, 세제, 식용유 등)                        |

자료 : 황순진 외 2, 1998, 경기도 인공호수의 수질개선과 효과적인 관리방안 -평택호를 중심으로-, 경기개발연구원

## (12) 경기도 농업용 저수지

- 경기도 농업용 저수지를 중심으로 수질개선사업 현황을 살펴보면 최근 인공습지, 순환법, 미생물처리공법 등이 가장 다수 적용되고 있음

〈표 3-10〉 경기도 농업용수 수질개선 사업 현황

| 사업방법        | 사업지역               | 사업년도      | 사업효과   |  |
|-------------|--------------------|-----------|--|--|
| 인공습지조성      | 감둔저수지              | 2001~2003 | 초기에 비해 COD농도 절반정도로 줄어들 사업을 통해 생태계 복원을 입증하여 2006년 생태계 복원 우수지구로 선정됨        |  |
|             | 마산저수지              | 1997~2004 | 유역의 오염물질 증가에도 불구하고 COD, TN, TP, SS가 줄어들었고, TP, SS는 생활환경 기준 IV등급 내로 나타남   |  |
|             | 왕송저수지              | 2000      | 사업 이후 12년간 COD TP, Chl-a은 감소하는 경향을 보였으며, TP, Chl-a는 호소생활환경기준 IV등급 내로 나타남 |  |
| 퇴적물 준설      | 만수저수지              | 2009      | 사업 후 COD, Chl-a는 감소경향을 보여 주시지 내부 오염된 유기퇴적물 제거에 효과가 있는 것으로 판단됨            |  |
|             | 설성저수지              | 2009      | 수질추이 분석결과 수질 개선 효과는 미미함  |  |
|             | 기흥저수지              | 2010      | 사업 후 TP를 제외한 COD, Chl-a, TN, SS 농도가 감소하고 있음                              |  |
| 단기 수질 개선 사업 | 인공물 순환법            | 일원저수지     | 2011.5   | 사업 후 목표수질 달성(COD 10이하) 2012년 목표수질을 상회함               |
|             |                    | 어천저수지     | 2011.5   | 사업 후 목표수질 달성(COD 7이하) 2012년 목표수질을 상회함                |
|             | 미생물처리공법/쓰레기 차단망 설치 | 과림저수지     | 2011   | 사업 후 목표수질 달성(COD 10이하)하였으나 재오염되어 2012년 추가 방제 작업을 실시함 |
|             |                    |           | 2012   |  |
| 가압부상공법      | 버들저수지              | 2011.5    | 사업후 목표수질 달성(COD 8이하) 2012년 목표수질을 상회함                                     |  |

자료 : 송미영 외, 2012, 경기도 농업용수 수질현황 및 관리방안, 경기개발연구원



자료 : 경기개발연구원, 2012

[그림 3-27] 단기 수질개선사업 처리공법 사진

## 나. 국외 관련 사례 분석

- 국외 호소 수질개선은 준설선, 폭기, 인공습지 등이 적용되고 있으며 그 중 호수공원 중심으로 살펴보면 생태습지, 인공습지적용사례가 많은 것으로 나타남

〈표 3-11〉 국외 인공습지 조성사례

| 국가                  | 구분   | 내용   |   |            |            |           |           |
|---------------------|--|--|---|------------|------------|-----------|-----------|
| 미국                  | Incline Village (Nevada)                       | 규모   | 1,566,920㎡(총 3,116,036㎡)  |            |            |           |           |
|                     |  | 의의   | 처리수의 효과적, 경제적인 처리, 야생생물서식지 확대 및 교육의 장 마련<br>유입수질 : SS 20mg/l, BOD 20mg/l, TP-P 6.5mg/l, TN-N 25mg/l |            |            |           |           |
|                     | Houghton Lake (Michigan)                       | 규모   | 1,243m <sup>3</sup> /d  |            |            |           |           |
|                     |  | 처리효과   | SS 25→5~10mg/l, DIN(NH <sub>3</sub> , NO <sub>3</sub> ) 5.69→0.129mg/l, TP 3.39→0.074mg/l           |            |            |           |           |
|                     | Las Gallinas Valley (California Marin Country) | 규모   | 10,962m <sup>3</sup> /d   |            |            |           |           |
|                     |  | 처리효과   | 방류수농도 BOD 9.9mg/l, TSS 14mg/l, NH <sub>3</sub> -N 2.3mg/l   |            |            |           |           |
|                     | Lakeland Wetland (Florida 주 Mulberry 동쪽)       | 처리효과   |   | BOD (mg/l) | TSS (mg/l) | TN (mg/l) | TP (mg/l) |
|                     |  |  | 유입수   | 3.88       | 5.60       | 10.36     | 9.05      |
|                     |  |  | 유출수   | 3.12       | 4.70       | 1.99      | 4.22      |
|                     |  | 의의   | 인구증가에 의해 증가된 하수의 처리를 위해 설계  |            |            |           |           |
|                     | West Jackson County (Mississippi)              | 규모   | 9,828m <sup>3</sup> /d, 습지면적 226,621㎡   |            |            |           |           |
|                     |  | 처리효과   | BOD 26→4.5mg/l, TSS 30.0→7.3mg/l, TN 11.6→NH <sub>3</sub> 1.7mg/l                                   |            |            |           |           |
|                     | Oregon ; Hillsboro                             | 규모   | 40,000㎡   |            |            |           |           |
| 처리효과                |  | BOD 5.1→3.0mg/l, SS 7.7→9.6mg/l, TN 11.9→4.8mg/l, TP 6.3→3.8mg/l               |   |            |            |           |           |
|                     | 의의   | SS와 BOD처리를 목적으로 하는 대부분의 습지와는 달리 Tualatin 강으로 유입되는 2차하수처리장 유출수의 인과 질소제거를 목적으로 함 |   |            |            |           |           |
| Arcata (California) | 규모   | 8,694m <sup>3</sup> /d   |   |            |            |           |           |
|                     | 처리효과   | BOD 155→8mg/l, SS 185→10mg/l, TIN(무기질소) 45→5mg/l                               |   |            |            |           |           |
|                     | 구성   | 침전→산화지→습지처리를 거침  |   |            |            |           |           |

자료 : 충남연구원, 2014(발취경리)

〈표 3-11〉 국외 인공습지 조성사례(계속)

| 국가 | 구분                                       | 내용 |  |
|----|--|----|--|
| 미국 | Hayward Marsh<br>(샌프란시스코)                | 규모 | 696,000㎡   |
|    |  | 개요 | 6개 셀로 구분하여, 5개는 하수의 2차 처리, 나머지 1개는 동물보존을 위해 남겨놓고 집중호우 시 강우유출수를 유입처리  |
| 일본 | 동경도항 야조공원                                | 규모 | 30ha = 300,000㎡  |
|    |  | 의의 | 자연보전과 레크레이션, 교육<br>연간 약 10,000명의 학생이 이용하며, 학생뿐만 아니라 폭넓은 연령층이 이용<br>다양한 행사를 개최하여 지역주민의 참여를 적극적으로 유도   |
| 영국 | Gillespie Park<br>(런던중앙에서 5km 이격)        | 구성 | 다양한 수생생물이 자라는 연못, 습지와 초지, 삼림지역   |
|    |  | 의의 | 영국철도의 석탄저장소로 이용되던 곳을 Natural Park로 조성하여 1982년 일반에게 개방<br>자연체험학습을 위해 초등학교에서 이용, 1주일에 100여명 정도의 학생이 방문하여, 공원 내 Nature Centre와 학교에서 다양한 교육프로그램을 개발함 |
|    | Barm Elems<br>(Westminster사원에서 4mile 이격) | 규모 | 404,680㎡   |
|    |  | 의의 | 다양한 새들의 서식공간으로 설계, 새들을 유인, 정착시킴  |
| 독일 | Dortmund                                 | 의의 | 기존의 탄광지역에 악화된 수질을 자연정화능력을 이용하여 개선<br>물속에 함유된 철분이 습지를 통과하며 정화됨  |
|    |  | 규모 | 661㎡   |
|    | Block 6<br>(베를린 크레이츠 베이크)                | 목적 | 물의 절약과 수질오염의 최소화<br>정화조에서 1차 처리된 가정생활하수를 갈대를 이용 정화후 화장실 등에서 재이용  |
|    |  | 의의 |  |

자료 : 충남연구원, 2014(발체정리)

## 다. 고찰 및 시사점

### (1) 국내외 주요 공법 적용지역

- 국내·외 주요 공법 적용지역은 아래와 같으며 최근 추세에 의하면 호내 공법으로 기존에 다수 적용되던 응집제, 폭기 뿐만 아니라 생물학적 공법이 확대되고 있음

〈표 3-12〉 수질개선공법 적용지역

| 구분 | 공법   | 적용지역                                |
|----|------|-------------------------------------|
| 국외 | 준설   | 스웨덴 Trumme호, 미국 위스콘신주 Lilly호 등      |
|    | 응집제  | 미국 Horeseshoe호, dollar호, medical호 등 |
|    | 희석수  | 미국 Green호, Moses호 등                 |
|    | 심층폭기 | 미국 El Capitan정수지                    |
|    | 수위조절 | 미국 Oregon호, Lafourche저수지 등          |
|    | 생물조절 | 미국 Michigan호, Round호                |
| 국내 | 폭기   | 강원도 동해시 달방댐                         |
|    | 응집제  | 서울시 석촌호, 강원도 강원대학교 연적지              |
|    | 가압부상 | 경기도 일산시 일산호수공원                      |
|    | 준설   | 마산만, 경포호, 호암지 등                     |

자료 : 환경부, 호소수질관리 방안에 관한 연구, 2009, 환경부, 국내 담수조류저감 마스터플랜 마련 연구 용역, 2012

## (2) 사례분석을 통한 시사점

- 비교적 호수공원 중심으로 살펴보았을 때 녹조 등 수질관리가 비교적 잘 이루어지는 공원의 경우는 원수의 관리가 철저하거나 원수 유입농도가 높을 경우 전처리를 하여 들어오는 등의 절차를 거치고 있었음
- 또한 순환주기나 체류시간이 짧은 호소일수록 개선이 잘 이루어지는 것으로 나타나 조류의 발생을 사전에 최대한 예방하는 방안이 비교적 효율적인 것으로 나타남
- 특히 최근에 생태습지나 식물섬 등 처리 뿐만 아니라 경관적으로 우수한 공법들이 주민들의 만족도가 높은 등 좋은 평가를 받고 있는 것으로 나타남
- 인공호수공원의 경우 비교적 잘 운영되고 있는 서울숲, 일산호수공원, 부천상동호수공원의 경우 유지용수를 하천 유지용수 또는 광역상수원수, 지하수 등을 활용하고 있었으며, 물순환을 위해 방류, 자체순환 등을 실시하고 있었음. 그러나 매년 수질관리 및 유지관리비용이 적게는 5천만원에서 5억까지 드는 것으로 나타남

# 중앙호수공원 수질 현황 및 특성분석

# 04

## 4.1 제원 현황

- 공원조성 : 2008년 9월
- 면 적 : 67,440㎡(호수 40,000㎡, 공원 27,440㎡)
- 호 수 물 : 공공하수처리시설 하천 방류수
- 담 수 량 : 30,000톤
- 수 심 : 0.6m ~ 1.2m(평균 0.9m)
- 이용시민 : 평일 약 1,000명, 주말·공휴일 약 1,500~2,000명

## 4.2 수질 현황 및 특성 분석

### 가. 호내 수질현황

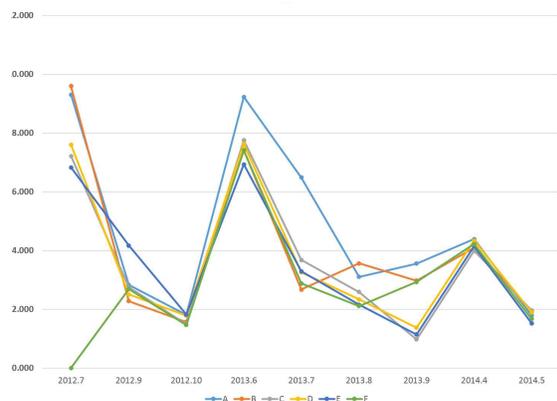


[그림 4-1] 서산시 중앙호수공원 수질측정지점

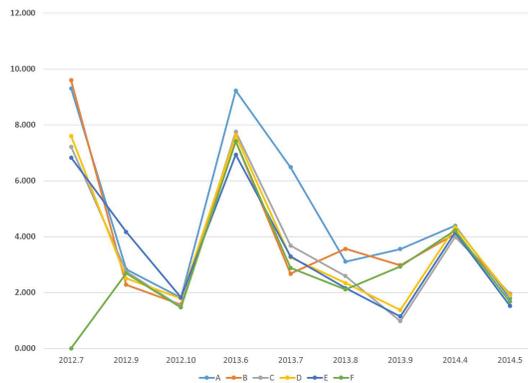
- 서산시 중앙호수공원의 최근 3년간 호내 수질을 시기별로 살펴보면 COD의 경우 7~9월의 농도가 높은 것으로 나타났으며 2014년의 경우는 4월의 수치가 피크값을 나타냄. 호수수질 환경기준으로 등급을 살펴보면 VI등급(매우 나쁨, 10 초과)에 해당하므로 사실상 친수공간으로 활용하는 호소임을 고려할 때 수질관리가 반드시 필요한 것으로 나타남
- T-N, T-P의 경우 최근 농도가 점차 낮아지는 추세를 보이고는 있으나 호수수질 환경기준으로 살펴보면 VI등급(매우 나쁨, T-N 1.5 초과, T-P 0.15초과)에 해당하므로 전반적인 수질관리가 필요한 상황으로 판단되며, 수질개선 비용이 과다하게 소요될 경우 호소 유입 원수를 대체하는 방안까지도 고려해야 할 것으로 판단되는 상황임



[그림 4-2] 시기별 COD 농도 변화

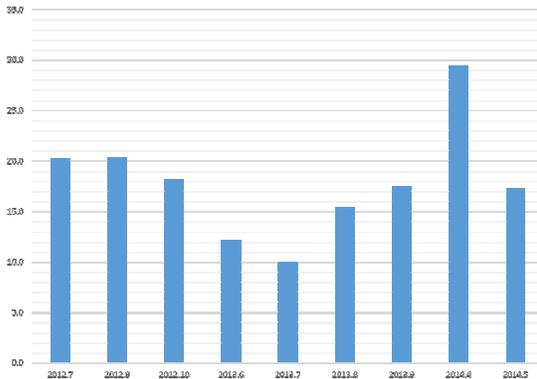


[그림 4-3] 시기별 T-N 농도 변화

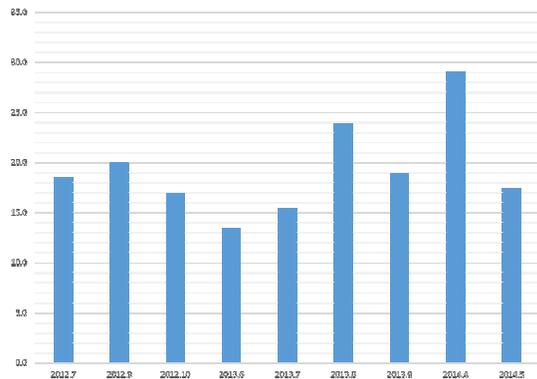


[그림 4-4] 시기별 T-P 농도 변화

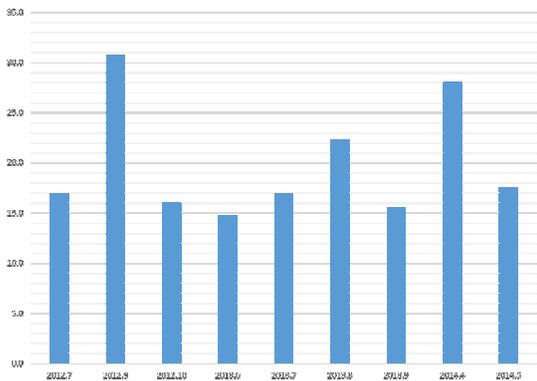
● 측정지점별 COD의 시계열 변화를 살펴보면 측정지점별 수질농도 차이는 크지 않은 것으로 나타났으며 B지점과 E지점의 경우가 기타 세 지점에 비하여 다소 높은 것으로 나타남



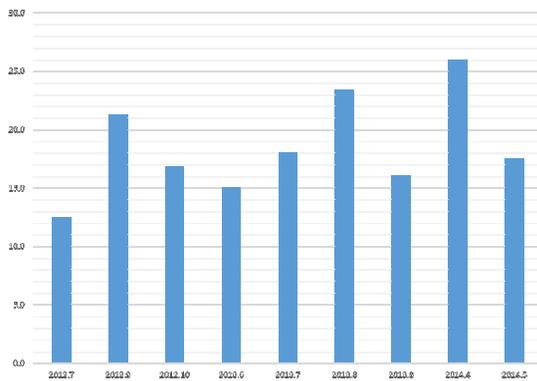
[그림 4-5] A지점 COD 시기별 변화



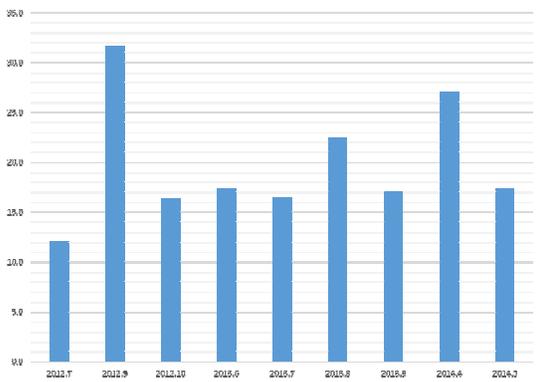
[그림 4-6] B지점 COD 시기별 변화



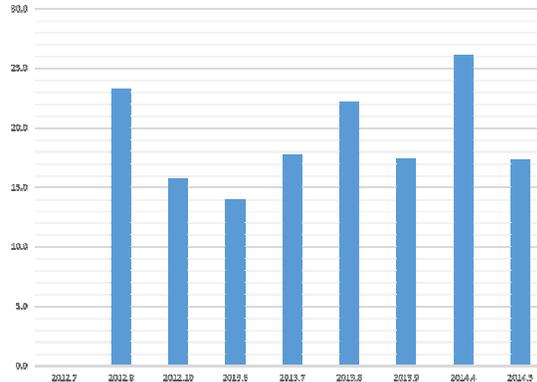
[그림 4-7] C지점 COD 시기별 변화



[그림 4-8] D지점 COD 시기별 변화

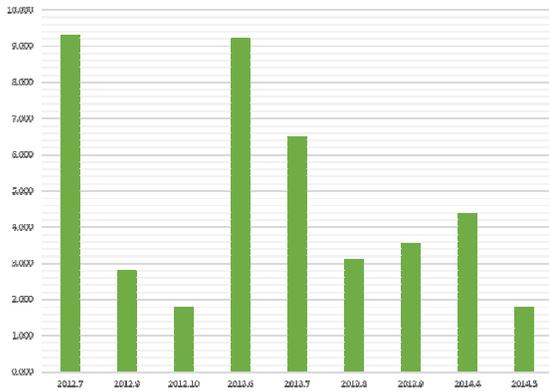


[그림 4-9] E지점 COD 시기별 변화

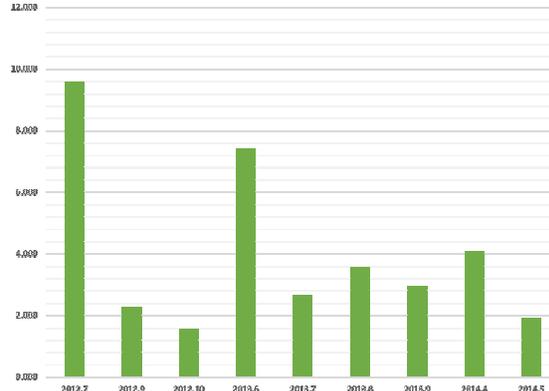


[그림 4-10] F지점 COD 시기별 변화

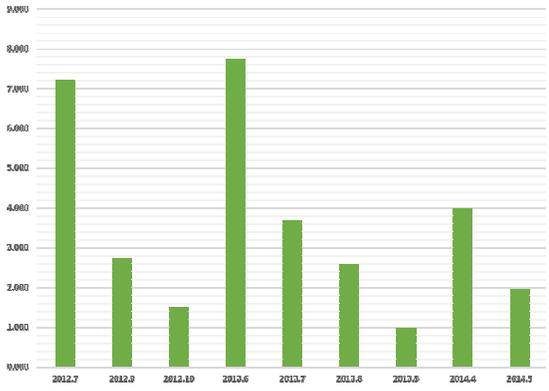
◎ 측정지점별 T-N의 시계열 변화를 살펴보면 지점별 편차는 크지 않은 것으로 나타남



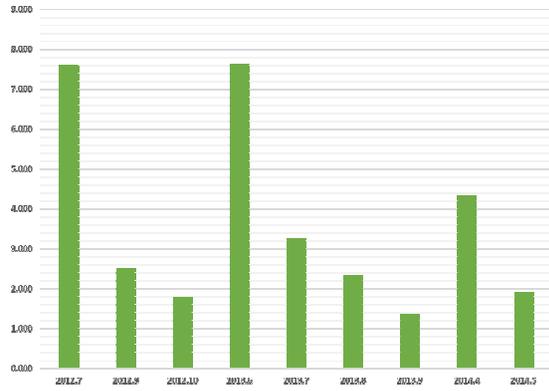
[그림 4-11] A지점 T-N 시기별 변화



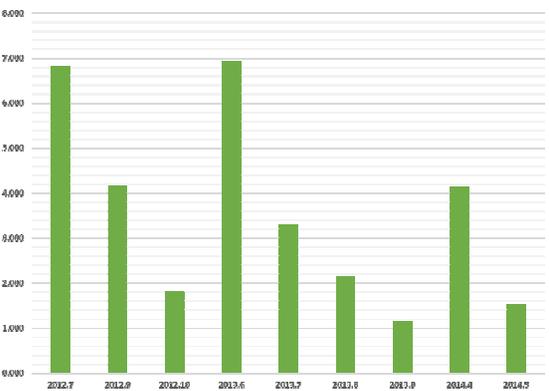
[그림 4-12] B지점 T-N 시기별 변화



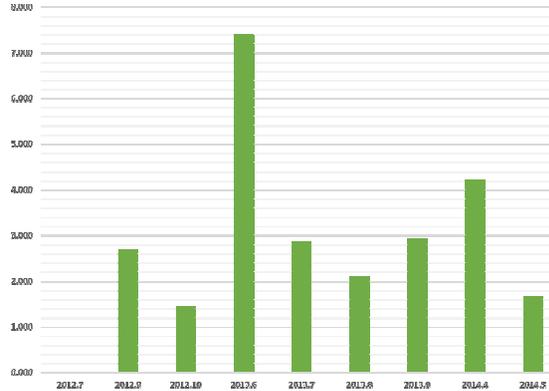
[그림 4-13] C지점 T-N 시기별 변화



[그림 4-14] D지점 T-N 시기별 변화

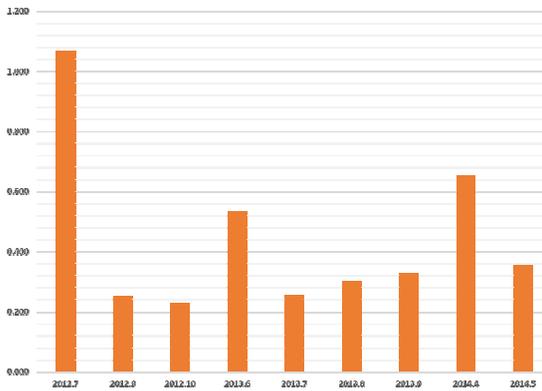


[그림 4-15] E지점 T-N 시기별 변화

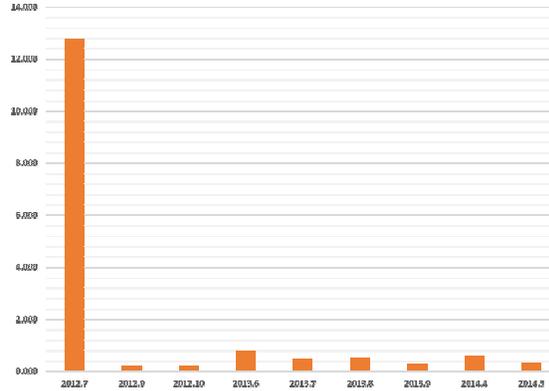


[그림 4-16] F지점 T-N 시기별 변화

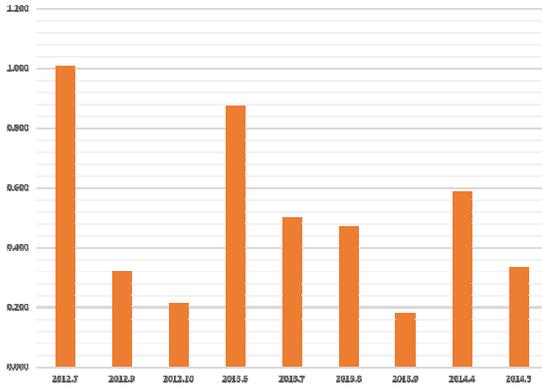
◎ 측정지점별 T-P의 시계열 변화를 살펴보면 T-N과 마찬가지로 지점별 편차는 크지 않은 것으로 나타남



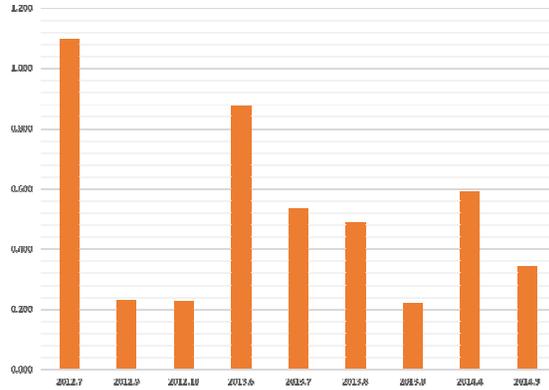
[그림 4-17] A지점 T-P 시기별 변화



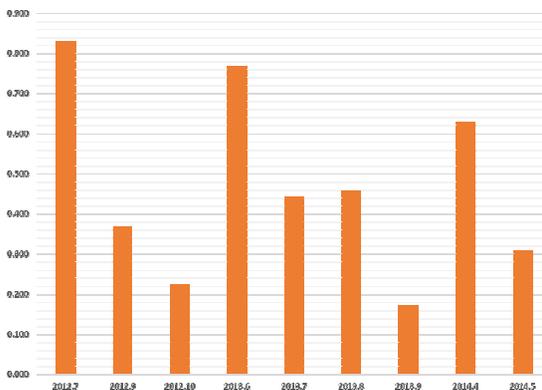
[그림 4-18] B지점 T-P 시기별 변화



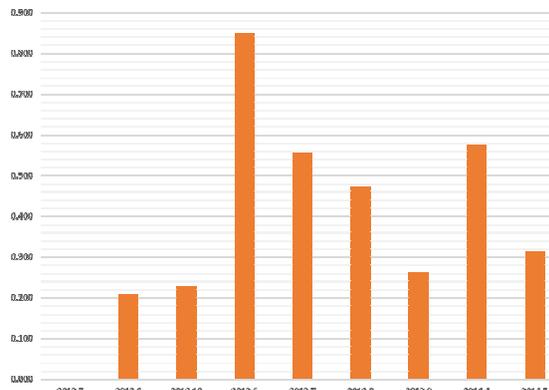
[그림 4-19] C지점 T-P 시기별 변화



[그림 4-20] D지점 T-P 시기별 변화



[그림 4-21] E지점 T-P 시기별 변화



[그림 4-22] F지점 T-P 시기별 변화

## 나. 서산 공공하수처리시설 방류수 수질현황

- 서산 중앙호수공원의 유입 원수로 사용되는 서산 공공하수처리시설의 방류수 수질현황을 살펴보면 COD의 경우 호수수질기준과 비교하였을 때 V~Ⅵ등급, T-N의 경우 Ⅵ등급, T-P의 경우 Ⅵ등급으로 나타남
- 이는 공공하수처리시설의 방류수를 향후 지속적으로 호수 유입 원수로 사용할 경우 녹조 및 수질악화, 악취 유발 등의 현재 민원은 지속적으로 발생할 것으로 예측되는 상황임을 반증하는 결과임
- 따라서 공공하수처리시설의 고도처리가 반드시 필요하며 이는 호내 수질개선 공법을 타진하고 적용하기 이전에 선행되어야 하는 조건으로 판단됨

〈표 4-1〉 서산 공공하수처리시설 방류수 수질현황

| 구분    | pH  | BOD<br>(mg/ℓ) | COD<br>(mg/ℓ) | SS<br>(mg/ℓ) | T-N<br>(mg/ℓ) | T-P<br>(mg/ℓ) | 총대장균수<br>(개/100ml) |        |
|-------|-----|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|--------------------|--------|
| 2013년 | 1월  | 6.55          | 5.12          | 9.48         | 3.19          | 7.38          | 0.60               | 80.68  |
|       | 2월  | 6.66          | 5.00          | 9.88         | 3.53          | 8.49          | 0.69               | 77.64  |
|       | 3월  | 6.73          | 5.15          | 10.50        | 4.55          | 10.08         | 0.63               | 136.48 |
|       | 4월  | 6.67          | 4.55          | 10.30        | 3.89          | 9.20          | 0.43               | 139.90 |
|       | 5월  | 6.71          | 4.46          | 10.51        | 4.04          | 8.87          | 0.51               | 133.23 |
|       | 6월  | 6.60          | 4.45          | 10.22        | 2.93          | 6.82          | 0.50               | 122.83 |
|       | 7월  | 6.58          | 4.27          | 10.04        | 3.27          | 5.07          | 0.42               | 118.90 |
|       | 8월  | 6.65          | 4.93          | 9.29         | 5.18          | 6.69          | 0.39               | 149.19 |
|       | 9월  | 6.62          | 3.99          | 9.55         | 4.71          | 7.39          | 0.78               | 160.87 |
|       | 10월 | 6.56          | 3.42          | 10.46        | 4.59          | 8.59          | 0.87               | 129.26 |
|       | 11월 | 6.85          | 3.95          | 8.71         | 4.67          | 8.78          | 0.81               | 104.53 |
|       | 12월 | 6.57          | 5.20          | 10.01        | 4.26          | 10.30         | 0.69               | 99.26  |
| 2014년 | 1월  | 6.57          | 6.52          | 11.56        | 5.69          | 12.14         | 1.06               | 103.55 |
|       | 2월  | 6.40          | 7.75          | 11.87        | 7.24          | 9.46          | 1.40               | 102.11 |
|       | 3월  | 6.18          | 6.66          | 8.83         | 6.99          | 6.12          | 0.86               | 103.32 |
|       | 4월  | 6.11          | 7.00          | 6.75         | 7.10          | 5.84          | 0.88               | 97.33  |
|       | 5월  | 6.18          | 7.20          | 10.61        | 6.63          | 5.26          | 0.80               | 110.74 |
|       | 6월  | 6.12          | 5.36          | 6.85         | 6.55          | 5.75          | 0.99               | 136.87 |

자료 : 서산시 내부자료, 2015

### 4.3 그간 수질개선 사업 추진현황

- 미생물 수중폭기 방식 수질정화 설비(2008년)
- 백련뿌리 제거 작업 실시(2013년)
- 수질개선 시범사업 실시(주, 워싱턴코리아)(2013년)
- 2014년 수질개선 시범사업(주, 엠씨이코리아)
  - 2014.4.16.(1차), 4.24.(2차) 작업 후 수질검사 결과 보통이상의 기준이 나옴

**<기술개요>**  
 천연광물에 포함된 알루미늄 성분 등이 주류세포를 파괴시키지 않은 상태에서 응집시키는 역할을 하며, 광합성 명반응에서 발생하는 산소 기포와 수중에 과포화된 산소가 수온 증가시 포화용해도가 낮아지면서 기포가 발생하여 응집된 조체와 결합하면서 부력을 이용하여 부상한 스킴을 차집함. 자체개발한 스킴과 펌프를 이용하여 수면에서 제거함으로써 2차오염 예방이 가능함

〈표 4-2〉 수질개선제 살포 전·후 수질검사 비교

| 구분    | 단위                   | 기준 | 살포전     |             | 살포후   |             |
|-------|----------------------|----|---------|-------------|-------|-------------|
|       |                      |    | 측정결과    | 측정방법        | 측정결과  | 측정방법        |
| pH    |                      | -  | 10.00   | 수질오염공정 시험기준 | 7.27  | 수질오염공정 시험기준 |
| DO    | (mg/L)               | -  | 9.22    | 수질오염공정 시험기준 | 9.72  | 수질오염공정 시험기준 |
| COD   | (mg/L)               | -  | 31.2    | 수질오염공정 시험기준 | 5.0   | 수질오염공정 시험기준 |
| SS    | (mg/L)               | -  | 60.5    | 수질오염공정 시험기준 | 6.0   | 수질오염공정 시험기준 |
| T-N   | (mg/L)               | -  | 4.968   | 수질오염공정 시험기준 | 0.104 | 수질오염공정 시험기준 |
| T-P   | (mg/L)               | -  | 0.662   | 수질오염공정 시험기준 | 0.014 | 수질오염공정 시험기준 |
| Chi-a | (mg/m <sup>3</sup> ) | -  | 188.296 | 수질오염공정 시험기준 | 2.005 | 수질오염공정 시험기준 |

자료 : 서산시 내부자료, 2015

- 그간의 수질개선 사업 추진현황을 살펴보면 매년 5천만원~6천만원의 사업비

용을 투자하였으나 근본적인 해결책을 찾기에는 어려운 상황이었음

- 2014년부터 적용한 수처리제 살포 후 녹조를 제거하는 사업의 경우 수질개선제 살포 전과 후를 비교하였을 경우 초기 효과는 상당히 좋은 것으로 나타났으나 효과의 지속성 측면이 크지 않은 단점이 있어 매년 수질개선제 투입비용을 투자해야 하는 어려움이 존재함
- 따라서 최근의 개발된 기술의 동향과 관련 자료들을 검토하여 향후 호수공원의 지속성과 만족도를 높이기 위한 기타 대안들을 비교·제시 하는 것이 필요할 것으로 판단됨

## 4.4 현장 조사 및 시사점

- 서산시 중앙호수공원 현장조사는 2회(5월, 9월)에 걸쳐 실시하였으며, 현장조사일에 조류가 번성하는 시기가 아니었음에도 불구하고 호소수가 유입되는 지점(E지점)의 경우 악취가 미세하게 느껴지고, 연꽃의 영양염류 용출 우려 등 다소 문제점을 보이고 있었음
- 현장조사 및 담당 공무원 인터뷰 결과 녹조, 악취의 원인을 크게 3가지로 요약할 수 있음

### ■ 호소수 원수의 높은 수질 농도

- 중앙호수공원 호소수 원수 수질의 경우 녹조의 먹이원(영양물질)으로 작용하는 질소, 인의 농도가 평균 7.900mg/L, 0.739mg/L로 호소수 수질환경기준 매우 나쁨에 해당하는 등급으로 유입됨
- 따라서 원수에 대한 근본적인 해결책 없이 지속적인 녹조현상을 가져올 수 밖에 없는 구조적 문제점을 가지고 있음

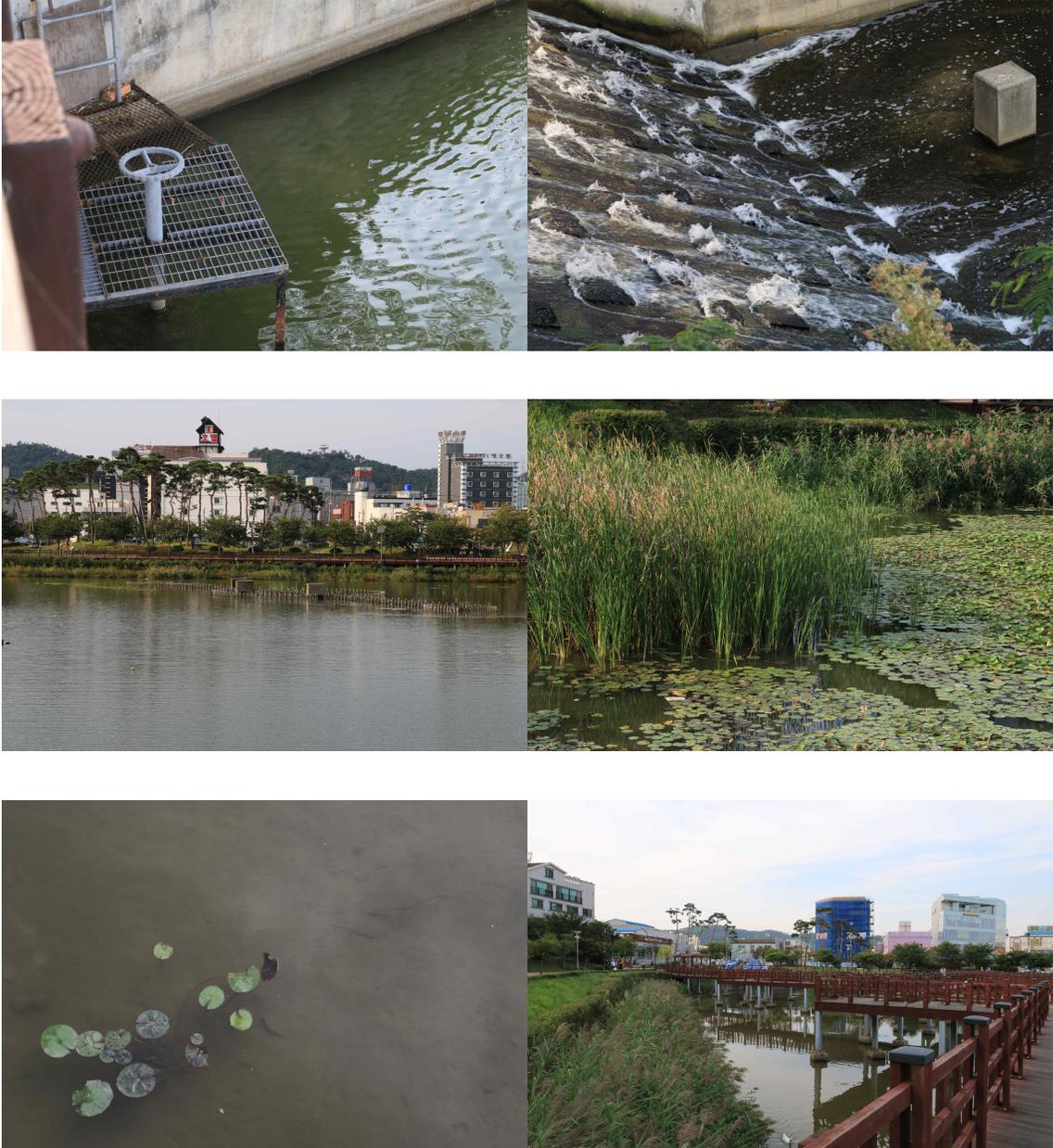
### ■ 낮은 수심

- 중앙호수공원의 경우 평균 수심이 0.9m(0.5m~1m)로 매우 낮은 수심을 보이고 있어 여름철의 경우 일사량이 많아질 경우 표층부터 심층까지 녹조가 발생

할 가능성을 가지고 있음

■ 물의 정체(긴 체류시간)

- 중앙호수공원의 경우 물이 순환되지 않고 체류시간이 길어 햇빛조건이 만족할 경우 조류 스킴과 악취가 지속적으로 발생될 수 있는 문제점을 지니고 있음
- 따라서 이의 문제점 해결을 위해 원수를 순환하여 공급할 수 있는 방안 등을 고려해 볼 필요가 있음



[그림 4-23] 서산 중앙호수공원 현장사진

# 중앙호수공원 수질개선(녹조저감) 방향 도출

05

## 5.1 선행조건 및 기본방향

### ■ 선행조건

- 서산 중앙호수공원의 경우 현장에 적용가능한 수질개선 방안을 제시하기 이전에 반드시 선행되어야 할 조건들이 존재함
  - ① 원수 유입 농도 저감
    - 호수 유입수인 원수의 수질개선이 무엇보다 선행되어야 함. 현재 원수인 서산 공공하수처리시설 방류수의 경우 수질기준을 상회하는 농도를 보이고 있으므로 이의 농도를 최대한 낮추기 위하여 고도처리 사업이 시급한 실정임(2020년 사업시행 예측)
    - 고도처리 사업이 지연될 경우 원수를 기타 용수로 대체하는 방안을 고려해볼 필요가 있음
  - ② 호소 내 물순환
    - 현재 호소수의 물순환 주기가 매우 길어 이에 따른 순환 방안을 마련할 필요가 있음

### ■ 기본방향

- 서산 중앙호수공원은 시민을 위한 공원으로 조성된 인위적인 수체이므로 이를 전제하에 호내 관리방향이 설정되어야 하며, 주민만족도를 최대한 높이고 쾌적한 편의 공간 및 경관을 제공하는 등에 초점을 두는 것이 필요함. 그러나

이를 위해 수질관리는 지속적으로 우선하여 실시하여야 할 것으로 판단됨

① 관리수질 설정

- 최소한의 호소수질 환경기준에 의거한 관리수질을 설정하여 운영·관리하는 것이 필요함

〈표 5-1〉 호소수질 환경기준

| 등급    | 상태  | 기준  |                       |                     |                   |                   |                 |                  |                                     |                 |          |          |
|-------|-----|---|-----------------------|---------------------|-------------------|-------------------|-----------------|------------------|-------------------------------------|-----------------|----------|----------|
|       |     | 수소이온농도 (pH)   | 화학적산소요구량 (COD) (mg/L) | 총유기탄소량 (TOC) (mg/L) | 부유물질량 (SS) (mg/L) | 용존산소량 (DO) (mg/L) | 총인 (T-P) (mg/L) | 총질소 (T-N) (mg/L) | 클로로필-a (Chl-a) (mg/m <sup>3</sup> ) | 대장균군 (군수/100ml) |          |          |
|       |     |   |                       |                     |                   |                   |                 |                  |                                     | 총대장균            | 분원성대장균   |          |
| 매우 좋음 | I a |    | 6.5~8.5               | 2 이하                | 2 이하              | 1 이하              | 7.5 이상          | 0.01 이하          | 0.2 이하                              | 5 이하            | 50 이하    | 10 이하    |
| 좋음    | I b |    | 6.5~8.5               | 3 이하                | 3 이하              | 5 이하              | 5.0 이상          | 0.02 이하          | 0.3 이하                              | 9 이하            | 500 이하   | 100 이하   |
| 약간 좋음 | II  |    | 6.5~8.5               | 4 이하                | 4 이하              | 5 이하              | 5.0 이상          | 0.03 이하          | 0.4 이하                              | 14 이하           | 1,000 이하 | 200 이하   |
| 보통    | III |  | 6.5~8.5               | 5 이하                | 5 이하              | 15 이하             | 5.0 이상          | 0.05 이하          | 0.6 이하                              | 20 이하           | 5,000 이하 | 1,000 이하 |
| 약간 나쁨 | IV  |  | 6.0~8.5               | 8 이하                | 6 이하              | 15 이하             | 2.0 이상          | 0.10 이하          | 1.0 이하                              | 35 이하           | -        | -        |
| 나쁨    | V   |  | 6.0~8.5               | 10 이하               | 8 이하              | 쓰레기 등이 떠있지 않을 것   | 2.0 이상          | 0.15 이하          | 1.5 이하                              | 70 이하           | -        | -        |
| 매우 나쁨 | VI  |  | -                     | 10 초과               | 8 초과              | -                 | 2.0 미만          | 0.15 초과          | 1.5 초과                              | 70 초과           | -        | -        |

자료 : 환경정책기본법 시행령 [별표] 내용

② 지속적인 모니터링

- 체계적이고 사전예방적인 호수공원 수질 관리를 위하여 수질 기본항목 뿐만 아니라 Chl-a를 포함하여 지속적인 모니터링이 필요함

③ 중앙호수공원 특성에 맞는 수질개선 방안 최적안 도출

- 담수량이 작고, 유입수의 수질 농도가 높고, 물 체류시간이 긴 등 호수공원의 특성에 맞는 수질개선 최적안을 도출하는 것이 필요함

## 5.2 현장 적용가능 방안(안) 제시

- 서산 중앙호수공원의 경우 현재 유입수의 수질이 높은 상황에서 제시할 수 있는 방안을 최대한으로 고려하고, 공법 유형별 장·단점, 설치 및 유지비용, 저감효과 등을 검토하여 선택·제시하였음

〈표 5-2〉 현장 적용 제시 개선방안 비교

| 구 분  | 흐름유발장치   | 환경미생물 활용  | 천적생물 활용  | 식생수로+습지+인공식물섬   |
|------|--|---|--|---|
| 원리   | ·물의 흐름을 유도하여 표면부터 심수층까지 산소공급 유도를 통해 자정 능력 향상,<br>·호소표면에 파장을 일으켜 빛의 투과율을 70% 이상 차단해 수온을 억제하여 조류의 성장을 사멸 | ·천연의 환경미생물과 호소의 농축 혼합물을 현장 물과 혼합하여 미생물을 성장시킨 후, 수면 위나 하천 상류에 살포하여 유기합성물을 분해         | ·수계에 존재하는 녹조 포식성 동물 플랑크톤을 배양한 후 녹조발생구역에 살포하여 녹조에 원인이 되는 식물 플랑크톤의 증식을 억제              | ·수질개선+생태계복원+경관창출 효과의 극대화를 위한 여러 공법의 혼합 적용   |
| 공법   | 물리적+생물학적   | 생물학적  | 생물학적   | 생물학적  |
| 설치효과 | 탁도개선, 녹조저감   | 수질개선, 녹조저감  | 녹조저감, TOC제거  | 수질개선, 녹조저감  |
| 개선효과 | ·COD 52%<br>·T-N 75%<br>·T-P 65%<br>·Chl-a 82%   | ·COD 50%<br>·T-N 67%~75%<br>·T-P 82%  | ·Chl-a 95%~97%   | ·T-N 54%(습지)<br>·T-P 72%(습지)<br>·Chl-a 97%(인공식물섬)                                     |
| 설치모습 |                     |  |  |  |
| 설치지역 | 당진석문호, 인천청라호수공원, 순천조례호수공원 등  | 부여 공남지, 수원 일월저수지 등  | 당진 초대저수지, 당진 전대저수지, 새만금 등  | 식생수로, 습지, 인공식물섬 각각의 공법 설치사례는 다수 존재  |
| 비용   | 설치비 1.5억<br>유지비 0.1억/년   | 재료비 0.75억/년<br>유지비 0.5억/년   | 설치비 0.8억<br>유지비 0.04억/년  | 설치비 2억<br>유지비 0.05억/년   |

- 이 때 기존에 다수 사용하던 화학적 공법(응집침전, 가압부상, 살조제, 황산동 투입 등)의 경우 2차 오염(약품 슬러지)을 유발, 영양염류 재용출, 인 제한농도 유지 불가능, 유용한 미소생물 사멸, 약품에 의한 생태교란, 수생태건강성 악화, 오염물질의 축적, 지속적인 경제적 비용 발생 등의 문제점이 있어 적용 가능 방안 제안시 배제하였음

## 가. 흐름유발장치

- 흐름유발장치(표면폭기장치)는 정체와 체류로 순환되지 않는 물의 흐름을 유도하여 표면부터 심수층까지 산소공급 유도를 통해 자정능력을 향상시키며, 호소표면에 파장을 일으켜 빛의 투과율을 70% 이상 차단해 수온을 억제하여 조류의 성장을 사멸시킴
- 물 순환을 유도하는 시설이기에 호수, 하천 등 다양한 지역에 적용이 가능하고 최근 태양광을 이용하여 가동하는 기술도 개발이 됨

〈표 5-3〉 흐름유발장치(표면폭기장치) 성능

| 마력(hp) | m <sup>3</sup> /hr(t) | m <sup>3</sup> /day(만t) | 직선(m) | 폭(m) | 처리면적(m <sup>2</sup> ) |
|--------|-----------------------|-------------------------|-------|------|-----------------------|
| 1hp    | 210                   | 0.5                     | 40    | 20   | 800                   |
| 3hp    | 420                   | 1                       | 70    | 40   | 2,800                 |
| 5hp    | 830                   | 2                       | 100   | 50   | 5,000                 |
| 7hp    | 1,250                 | 3                       | 150   | 60   | 9,000                 |
| 10hp   | 1,670                 | 4                       | 170   | 70   | 11,900                |

출처 : <http://www.hanilest.com/>

- 공원호수(사례지역)에 흐름유발장치(표면폭기장치) 설치 전·후 수질분석을 시행한 결과 설치 후에 탁도 개선, 용존산소의 증가 및 조류의 양이 줄어드는 등의 수질개선의 효과를 보임

〈표 5-4〉 흐름유발장치(표면폭기장치) 설치 전·후 수질비교

| 대상지역     | 분석항목                      | 설치전(2008.04.21) | 설치후(2008.05.08) |            |
|----------|---------------------------|-----------------|-----------------|------------|
| 공원호수     | COD(mg/L)                 | 9.36            | 5.65            |            |
|          | SS(mg/L)                  | 47.5            | 21.0            |            |
|          | T-N(mg/L)                 | 11.89           | 5.41            |            |
|          | T-P(mg/L)                 | 0.40            | 0.32            |            |
|          | Chl-a(mg/m <sup>3</sup> ) | 40.06           | 35.6            |            |
| 대상지역     | 분석항목                      | 처리전(8월7일)       | 처리중(8월13일)      | 처리중(8월18일) |
| 골프장 pond | BOD(mg/L)                 | 7.8             | 4.2             | 4.5        |
|          | COD(mg/L)                 | 25.0            | 11.0            | 11.2       |
|          | SS(mg/L)                  | 56.6            | 5.2             | 4.7        |
|          | T-N(mg/L)                 | 6.47            | 2.48            | 1.62       |
|          | T-P(mg/L)                 | 0.77            | 0.37            | 0.27       |
|          | Chl-a(mg/L)               | 68.4            | 17.0            | 8.6        |

출처 : <http://www.hanilest.com/>

- 2차 오염을 유발하지 않는 물리적·생물학적 정화 공법에 해당하며, 대표적인 설치지역으로는 당진 석문호, 롯데월드, 인천청라호수공원, 부산UN공원 등이 있음



자료 : <http://www.hanilest.com/>

[그림 5-1] 흐름유발장치 설치모습(좌 : 당진시 석문호, 우 : 인천광역시 청라호수공원)

- 서산 중앙호수공원에 적용할 경우 설치비는 1억 5천만원 정도가 소요되며 유지관리비는 매년 1천만원 정도 소요가 예상됨

## 나. 환경미생물 활용

- 오염층의 증가로 인하여 저수지 및 하천의 자정능력을 상실하고, 선처리(pre-cleand)된 물을 투입하여도 상당기간 자정능력을 회복 할 수 없게 된 수체에 생태계 교란 없이 생물학적 치유를 하기 위하여 환경미생물을 활용하는 공법임
  - 활용미생물 : 통성혐기성(Bacillus spp, Flavo, bacterium 등), 호기성(Rhizobium, Azospirillum 등), 방선균(Streptomyces 등), 질소고정균(Azotobacter)등
- 미생물 활용 방법은 천연의 환경미생물과 효소의 농축 혼합물을 현장 물과 혼합하여 미생물을 성장시킨 후, 수면 위나 하천 상류에 살포하여 유기합성물을 분해하게 함
- 대표적인 사례 지역으로는 부여군 궁남지와 수원시 일월저수지가 있음

〈표 5-5〉 환경미생물과 산업미생물의 비교

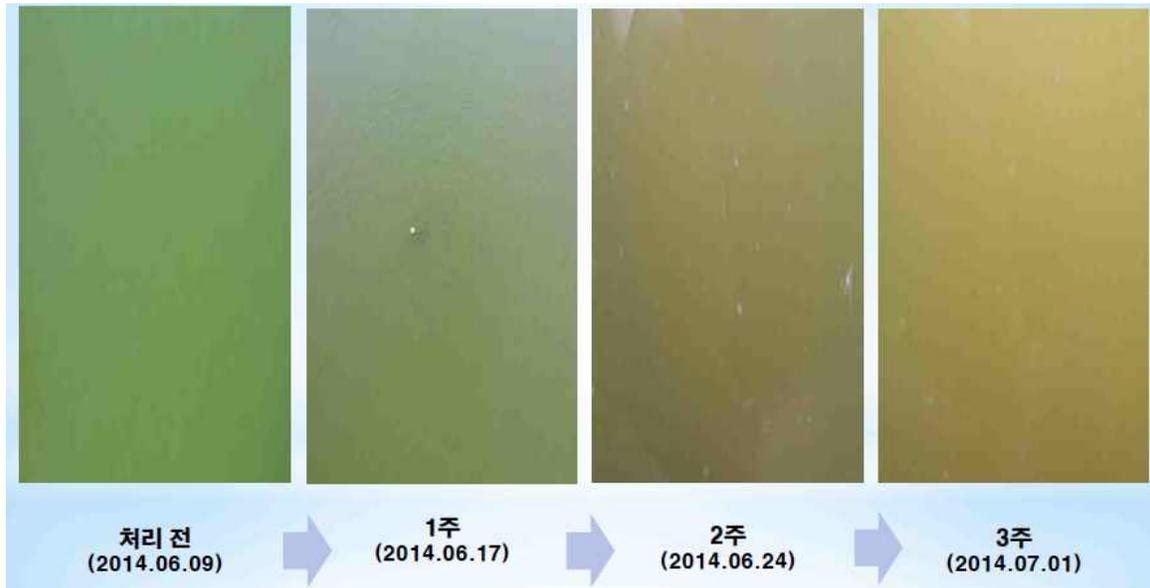
| 구분    | 환경미생물               | 산업미생물               |
|-------|---------------------|---------------------|
| 이용목적  | 폐자원(폐수, 폐기물)처리      | 새로운 물질생산            |
| 기본작용  | 이화작용                | 동화작용                |
| 이용미생물 | 혼합배양균(슬러지)          | 특정순수배양균             |
| 이용기질  | 혼합기질(폐수등에 포함된 N,P외) | 순수기질                |
| 공정형태  | 연속식                 | 유가회 분식              |
| 최적화기법 | 운전진자의 조절            | 특정미생물의 이용(유전자 조작기술) |

출처 : <http://biovankorea.com/>

〈표 5-6〉 부여 공남지 수질개선 사례

| 항목            | 수질개선 전                    |     |       |          | 수질개선 진행과정 |       |       |              |            |
|---------------|---------------------------|-----|-------|----------|-----------|-------|-------|--------------|------------|
|               | 환경기준<br>(나쁨)              | 구분  | 수질    | 수질<br>등급 | 개선        |       | 관리    |              | 개선율<br>(%) |
|               |                           |     |       |          | 1주        | 2주    | 11주   | 11주시<br>수질등급 |            |
| pH            | 6.0~8.5                   | 유입수 | 7.31  | 보통이상     | 7.25      | 6.93  | 7.36  | 보통이상         |            |
|               |                           | 호소수 | 9.44  | 매우나쁨     | 9.12      | 9.32  | 7.82  | 보통이상         |            |
| DO<br>(mg/L)  | 2.0이상                     | 유입수 | 4.45  | 약간나쁨     | 4.95      | 2.78  | 3.72  | 좋음           |            |
|               |                           | 호소수 | 2.30  | 약간나쁨     | 3.15      | 11.8  | 8.77  | 매우 좋음        |            |
| COD<br>(mg/L) | 10이하                      | 유입수 | 10.11 | 매우나쁨     | 8.22      | 6.99  | 4.99  | 보통           |            |
|               |                           | 호소수 | 21.55 | 매우나쁨     | 19.58     | 11.58 | 10.79 | 매우나쁨         | 약 50%      |
| T-N<br>(mg/L) | 1.5이하                     | 유입수 | 2.172 | 매우나쁨     | 2.143     | 0.997 | 0.310 | 약간 좋음        |            |
|               |                           | 호소수 | 2.666 | 매우나쁨     | 2.005     | 1.131 | 0.867 | 약간나쁨         | 약 67%      |
| T-P<br>(mg/L) | 0.15 이하                   | 유입수 | 0.615 | 매우나쁨     | 0.435     | 0.244 | 0.216 | 매우나쁨         |            |
|               |                           | 호소수 | 0.464 | 매우나쁨     | 0.257     | 0.142 | 0.080 | 약간나쁨         | 약 82%      |
| SS<br>(mg/L)  | 쓰레기<br>등이 떠<br>있지 않을<br>것 | 유입수 | 25.4  | 나쁨       | 24.1      | 23.2  | 4.1   | 좋음           |            |
|               |                           | 호소수 | 31.2  | 나쁨       | 30.11     | 31.2  | 8.6   | 보통           | 약 27%      |
| TOC<br>(mg/L) | -                         | 유입수 | 5.01  | 약간나쁨     | 4.83      | 5.31  | 2.26  | 좋음           |            |
|               |                           | 호소수 | 4.65  | 보통       | 4.92      | 4.73  | 3.98  | 약간 좋음        |            |

자료 : 신성생명환경연구원 측정자료

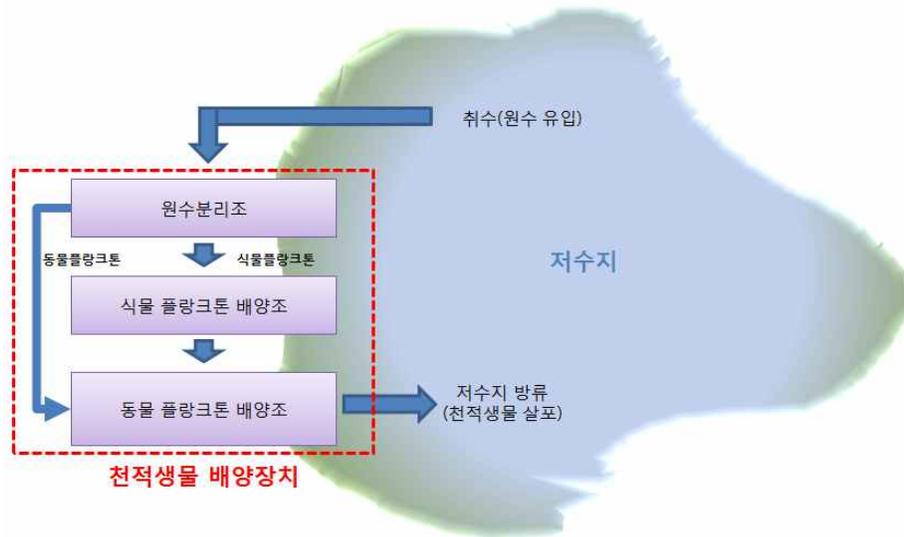


[그림 5-2] 부여 궁남지 생물학적 처리 전·후 수면 변화과정

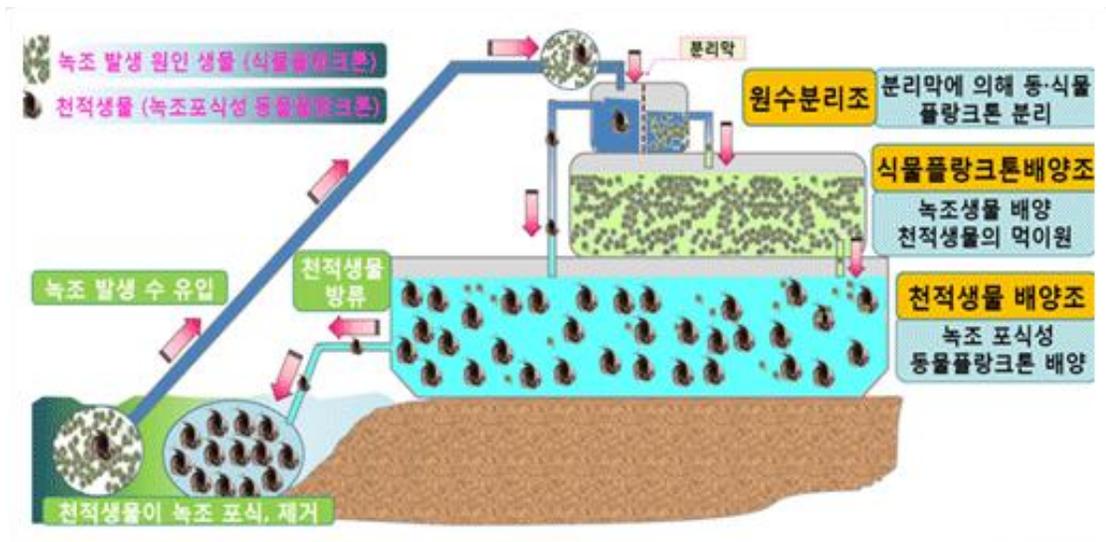
- 중앙호수공원에 적용할 경우 재료비는 7천 5백만원 정도가 소요되며 유지관리비에 해당하는 인건비 및 수질관리비는 매년 5천만원 정도 소요가 예상됨

#### 다. 천적생물 활용

- 천적생물 활용법은 녹조 포식성 동물플랑크톤을 천적생물로 활용하여 조류를 제어하므로 친환경적이며 살조제나 기타 약품을 사용하지 않아 생태적으로 안전하고 경제적인 생태공학적 기술임
- 기술의 원리로는 수계에 존재하는 동물플랑크톤을 배양한 후 녹조발생구역에 살포하여 녹조에 원인이 되는 식물플랑크톤의 증식을 억제함
- 대표적인 설치지역으로는 당진시의 전대저수지, 초대저수지 등이 있음



[그림 5-3] 천적생물활용 처리공정도



[그림 5-4] 천적생물활용 배양장치 공정도



자료 : <http://www.assum.co.kr/>

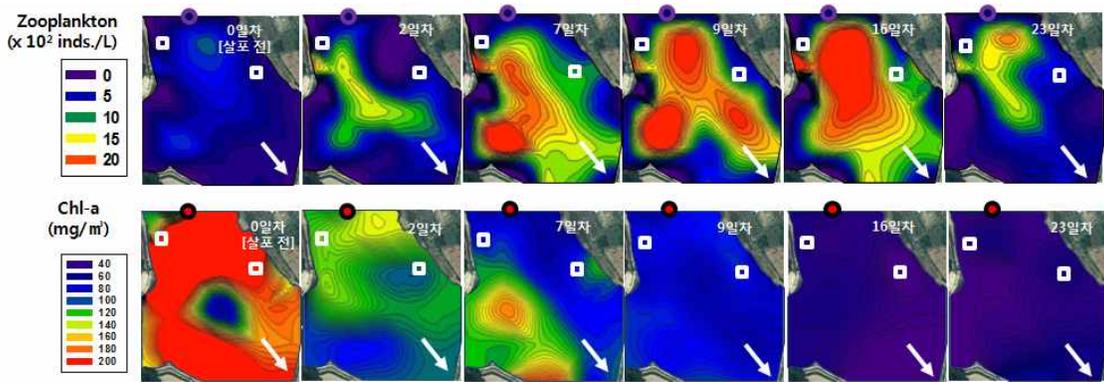
[그림 5-5] 천적생물활용 (좌 : 당진시 전대저수지, 우 : 당진시 초대저수지)

- 동물플랑크톤을 배양하여 살포하였을 경우 Chl-a 제거효율은 평균 95.5% ~97.3%로 효과가 매우 높은 것으로 나타남



[그림 5-6] 천적생물활용 녹조제거 효과

- 천적생물 살포 후 동물플랑크톤의 개체수는 16일차 까지 꾸준히 증가하였으며 Chl-a의 농도는 점차 감소하여 23일차 까지 효과가 지속되는 경향을 나타내 유지 효과가 뛰어난 것으로 나타남



[그림 5-7] 현장살포 후 천적생물 개체수 및 Chl-a 변화

- 중앙호수공원에 적용할 경우 용량은 5~10m<sup>3</sup> 적용이 적당하며 5톤 기준 단가는 8천만원, 10톤 기준 1억 4천만원의 설치비가 소요됨. 또한 호수관리 전담 인력이 있을 경우 연간 유지비용은 약 380만원(전기세 79,690/월+예비비 30만원/월)이 소요되는 것으로 나타남

## 라. 식생수로(역간접촉식)+습지+인공식물섬

- 식생수로, 습지, 인공식물섬을 혼합하여 적용하는 방안은 각각이 가지고 있는 장점들을 혼합하여 본 호수공원의 여건에 맞게 제시하는 사항임
- 서산 중앙호수공원의 경우 유입수의 수질을 단기간에 저감할 수 있는 실질적인 방안도입이 어렵기 때문에 원수 유입수 지점에서 시작하여 식생수로+습지를 통하여 호소수를 순환시켜 호소에 공급하는 원리임
- 또한 습지를 통과한 물이 인공식물섬과 연계하여 수질정화, 서식처의 역할을 강화할 수 있으며 더불어 경관창출 등의 효과를 가져올 수 있음
- 서산 중앙호수공원의 경우 시민들이 매우 선호하는 수변공원이므로 생태경관의 창출 및 변화를 통하여 수질저감, 녹조제거 효과를 이끌어 내는 방안이 효과적이고 호응도가 높을 것으로 판단됨

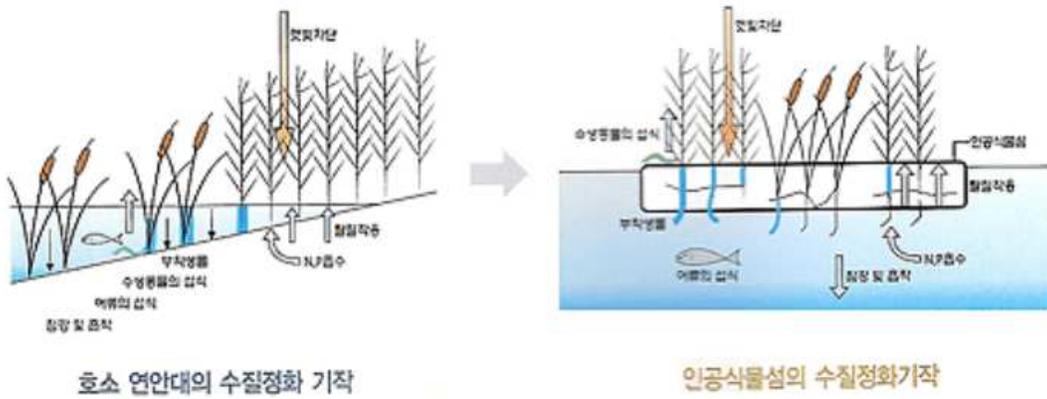


[그림 5-8] 식생수로+습지+인공식물섬 설치(안)

- 유사사례로 살펴보았을 때 수질오염물질 제거효율은 T-N 54%, T-P 72%, Chl-a 97%로 Chl-a의 제거효율이 매우 높은 것으로 나타남
- 대표적인 설치지역으로는 아산 신휴저수지, 일산 호수공원, 신청호 등이 있음
- 중앙호수공원에 적용할 경우 설치개략도는 [그림 5-8]과 같으며 현재의 데크와 연결하여 경관창출 및 저감효과를 가져올 수 있을 것으로 판단됨. 설치비용은 총 2억정도가 소요되는 것으로 나타났으며 유지비용은 연간 5백만원 정도로 예상됨

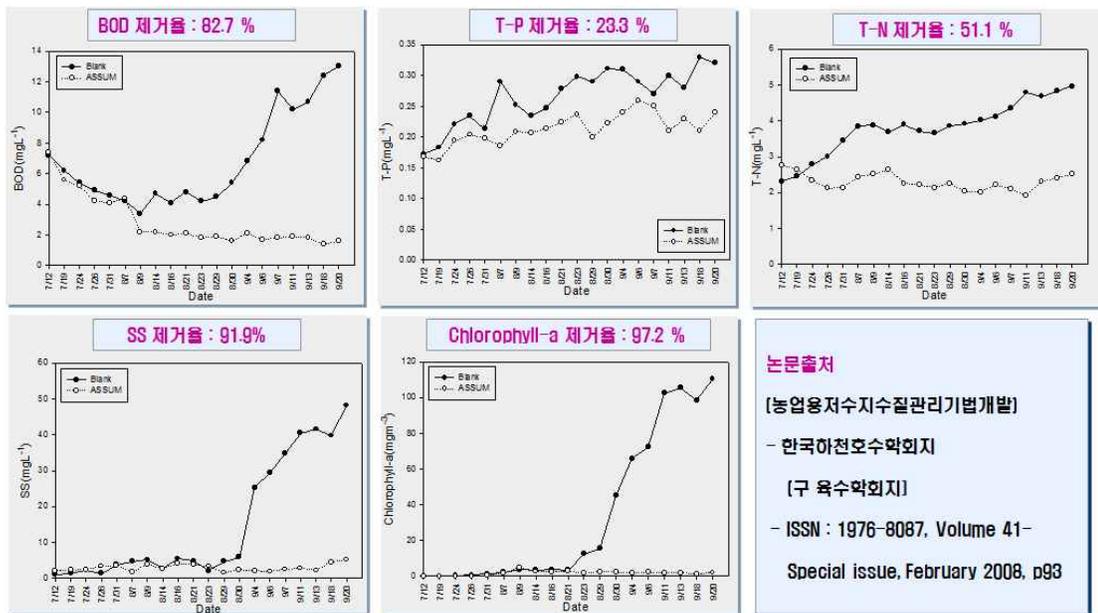
## ■ 참고자료

- 인공식물섬
  - 인공식물섬 기술은 생태복원과 수질정화를 위해 자연호소 연안대에서 이루어지는 수질정화와 생태복원 효과를 호소 중앙에서도 이루어 질 수 있도록 하는 기술임



[그림 5-9] 인공식물섬의 원리

- 또한 인공식물섬은 수질개선 이외에도 생태계복원과 경관창출에 영향을 줌
- 수질개선 효과는 T-N 51.1%, Chl-a 97.9%로 Chl-a 제거 효과가 뛰어난 것으로 나타남



[그림 5-10] 인공식물섬 수질개선 효과

- 대표적인 설치지역으로는 대전시 대청호, 아산시 신희저수지, 서산시 천수만 철새도래지 등이 있음



자료 : <http://www.assum.co.kr/>

[그림 5-11] 인공식물섬 설치모습(좌 : 대전시 대청호, 우 : 서산시 천수만)

● 인공습지

- 인공습지의 경우 통상적으로 BOD 88%, T-P 72%의 제거효율을 보임
- 습지 식재 식물의 선정기준
  - ① 수질정화능력이 탁월한 수종, 월동이 가능한 수종
  - ② 소재구입 및 유지관리가 용이한 수종
  - ③ 환경조건에 잘 적응하며 성장력이 강한 수종
  - ④ 설치목적에 적합하고 전체적인 분위기에 조화되는 수종
  - ⑤ 수생식물 자체적으로 정화능력을 보유하고 있는 수종
  - ⑥ 수생식물의 증산량과 오염물질(BOD, T-N, T-P 등)의 제거율이 높은 수종
  - ⑦ 식재할 지역의 주변식생현황을 토대로 하여 과거부터 현재까지 생태적으로 안정화된 수종
  - ⑧ 시설목적에 맞는 수종을 함께 고려하여 선정

〈표 5-7〉 주요 습지식물의 수질정화능력

| 수종    | 개선효과가 검증된 정화가능물질   | 흡수능력 | 영양염류 제거능력 | 수집능력 | 운반성 | 재활용성 | 내한성 | 내공해성 | 맹아력 (생존성) |
|-------|--|------|-----------|------|-----|------|-----|------|-----------|
| 갈대    | N, P, K, Ca, Mg  | ○    | ○         | △    | △   | △    | ○   | ○    | ○         |
| 애기부들  | N, P, K, Ca, Mg  | ○    | ○         | △    | ○   | ○    | ○   | ○    | ○         |
| 꽃창포   | -  | ○    | ○         | △    | △   | △    | ○   | ○    | ○         |
| 줄     | N, P, K, Ca, Mg  | ○    | ○         | △    | △   | △    | ○   | ○    | ○         |
| 달뿌리풀  | -  | ○    | △         | △    | △   | △    | ○   | ○    | ○         |
| 물억새   | -  | ○    | ○         | △    | △   | △    | ○   | ○    | ○         |
| 부레옥잠화 | N, P   | △    | ○         | ○    | ×   | ○    | ×   | ○    | ○         |
| 좀개구리밥 | N, P   | △    | ○         | ○    | ×   | ○    | △   | ○    | ○         |
| 마름류   | N  | △    | △         | ×    | ×   | △    | △   | ○    | ○         |
| 미나리   | N, P   | ○    | ○         | ○    | △   | △    | ○   | ○    | ○         |
| 연꽃    | -  | △    | △         | ×    | △   | △    | ×   | ○    | ○         |
| 검정말   | -  | △    | △         | ×    | ×   | △    | △   | ○    | ○         |
| BIO갈대 | 정화효율 : BOD(88.8%), COD(20.8%), TN(63.6%), TP(65.1%), 색도제거효율(35.1%) |      |           |      |     |      |     |      |           |

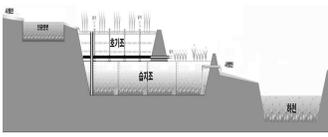
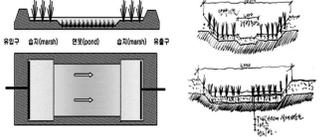
출처 : 서성철 외3, (2009). 환경부 4대강 비점오염원시범사업 중에서 “비점오염저감을 위한 인공습지 설치사례” 중심으로. 습지와 생명. 3(3)

- 국내·외 조성사례 : 일산호수공원, 영국 Camley Street National Park(생태연못의 대표적인 예), 런던 길리스파이 공원 등 다수



[그림 5-12] Camley Street National Park 생태연못 평면도

〈표 5-8〉 인공습지 공법 비교

| 구분    | 인공습지   |  |   |
|-------|--|--|---|
|       | 고효율 인공습지   | 자연형 비점오염저감시설   | 생태적수질정화미디어시스템을 활용한 습지비오름 복원기술   |
| 처리방식  | <ul style="list-style-type: none"> <li>침강지, 지표흐름습지, 생태여과지 등의 복합 구조형 인공습지</li> <li>부유습지를 이용한 효율증진</li> <li>접촉여재의 폐쇄현상을 방지하기 위해 식물뿌리를 이용한 생태여과조 구성</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>자연통풍형 호기조/습지조를 이용한 인공습지 수질정화기술</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>[유입구→침강저류지→1차 습지 개방수면의 연못→2차,3차 이상의 다단계습지 (multi-cell)→침전지 (micro-pool)→유출구]의 과정을 통한 수질정화 시스템</li> </ul>                                       |
| 공법요   | <ul style="list-style-type: none"> <li>미생물 접촉침강지 - 수생 식물 뿌리를 접촉여재로 이용한 미생물에 의한 유기물 및 질소, 인 제거 입자성 유입 오염물 침강제거</li> <li>지표 흐름습지 - 수생식물에 의한 유기물 및 질소, 인 제거</li> <li>생태여과지 - 식물뿌리를 여과재로 이용하는 횡형 여과지, 최종 처리수의 물리적 여과와 생물학적 제거를 동시에 수행</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>자연통풍방식에 의해 공기가 공급되어 호기성 분위기가 유지되는 호기조(갈대조)와 공기가 공급되지 않는 혐기/ 무산소조(습지조)를 유입수가 차례로 통과하면서, 각 조의 여재(모래, 자갈, 갈대뿌리, 수초뿌리)에 서식하는 미생물에 의해 유기물 및 질소, 인을 동시에 제거하는 자연친화형 인공습지 고도처리기술</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>침강저류지에서 1차적으로 고형물질을 침전시키고 유속을 저하시켜 수생식물 습지로 유입 시킨 후 수생식물에 의한 자연형 수질정화 기작을 거친 다음 고형물 재부유, 부유물질 제거 기능을 하는 침전지를 통과하여 방류되는 구조의 인공습지 시스템</li> </ul> |
| 처리개통  |  <ul style="list-style-type: none"> <li>생태침강지      지표흐름습지</li> <li>생태여과지</li> </ul>   |  <ul style="list-style-type: none"> <li>유입→침전저류조(인공연못)→호기성 인공습지(호기조)→습지조→방류</li> </ul>   |    |
| 지적재산권 | <ul style="list-style-type: none"> <li>생태공학기술 수처리 시스템 (특허 제0787149호 수처리를 위한 인공습지)</li> <li>인공식물섬 (건교부 신기술 360호 인공식물섬 조성기술)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>환경신기술 인증 제99호 / 환경신기술 검증 제66호</li> <li>특허 제0375237호</li> <li>특허 제0609837호</li> <li>특허 제079741호</li> <li>특허 제0994781호</li> <li>특허 제1030690호</li> <li>특허 제0845521호</li> <li>인공습지 하천정화, 비점정화, 호소수 정화관련 특허출원 3건(심사중)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>환경부 신기술 제258호</li> <li>특허 제10-0444972호</li> <li>특허 제10-0746245호</li> <li>특허 제10-0809104호</li> </ul>  |

자료 : 충남연구원, 발췌정리

〈표 5-8〉 인공습지 공법 비교(계속)

| 구분    | 인공습지   |  |   |
|-------|--|--|---|
|       | 고효율 인공습지   | 자연형 비점오염저감시설   | 생태적수질정화미디어시스템을 활용한 습지비오톱 복원기술   |
| 적용 분야 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 오염하천 정화</li> <li>• 호소수 정화</li> <li>• 하/폐수 3차 처리</li> <li>• 비점오염원 저감</li> <li>• 저농도 범위에서 적용 가능한 기술</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 하수/오수 고도처리</li> <li>• 오염하천정화/비점오염원 동시 저감</li> <li>• 하/폐수 3차처리</li> <li>• 비점오염원 저감</li> <li>• 호소수 순환정화식 습지필터</li> <li>• 다양한 유입수 농도범위에서 고효율 처리 가능</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 저농도 오염하천정화</li> <li>• 하/폐수 3차 처리</li> <li>• 비점오염원 저감</li> <li>• 저농도 범위에서 적용 가능한 기술</li> </ul>  |
| 장 점   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 인공구조물, 폭기시설 등이 필요 없는 자연친화적인 공법</li> <li>• 장치형 공법보다 공사비/유지관리비가 적게 소요됨.</li> <li>• 다양한 정수식물 식재로 생태복원, 경관향상 기능 수행 가능</li> <li>• 인공식물섬을 이용한 부유습지 기술의 접목으로 식재면적이 넓고, 제거효과가 안정적</li> <li>• 습지 내 녹조 발생을 억제할 수 있다.</li> <li>• 숲을 이용한 흡착 미디어 적용으로 처리효율이 안정적</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 환경신기술 인증/검증기술로 하천정화 외 다양한 기술적용으로 기술신뢰도 높은 환경친화적 인공습지 고도처리 공법</li> <li>• 유지관리요소가 최소화되어 유지관리 용이하며, 유지관리비 낮은 검증된 기술</li> <li>• 하천 주변으로 유입되는 비점오염원 저감시설로 동시에 활용가능(청천시: 하천정화/강우시: 비점오염원 저감)</li> <li>• 자연통풍에 의한 호기성 수직흐름 인공습지와 수평/지하 흐름 인공습지가 순차적으로 결합된 hybrid 인공습지 기술로 유기물, 질소 및 인의 제거효율이 높음.</li> <li>• 국내 인공습지 기술 중 가장 작은 부지면적 소요</li> <li>• 국내 인공습지 분야 현장적용실적 풍부</li> <li>• 생태복원공간 제공 및 생태공원 학습장으로 연계하여 개발 가능</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 습지와 개방수면을 혼합한 구조로 생태복원 기능 있음</li> <li>• 갈대, 부들, 줄 등 수생식물을 이용하여 오염원을 정화시키는 생태적 수질정화 시스템</li> <li>• 공원화 또는 환경교육 장소로 활용 용이하고 시공비 저렴 (복합적 기능을 수행하는 환경생태 교육장소의 제공 및 지역커뮤니티 공간으로 활용/ 휴식은 물론 생태관찰 또는 생태 체험프로그램으로 활용)</li> <li>• 자유수면흐름으로 폐색현상(clogging)이 거의 없어 다양한 대상지에 적용가능</li> <li>• 수질 정화기능, 생물서식처 기능, 경관향상기능, 생태공원기능</li> <li>• 식물상, 동물상 복원효과</li> </ul> |

자료 : 충남연구원, 발췌정리

〈표 5-8〉 인공습지 공법 비교(계속)

| 구분    | 인공습지   |  |  |
|-------|--|--|--|
|       | 고효율 인공습지   | 자연형 비점오염저감시설   | 생태적수질정화미디어시스템을 활용한 습지비오톱 복원기술  |
| 무인감시  | <ul style="list-style-type: none"> <li>100% 무동력 운전으로 시설물 고장에 대한 우려 없이 연중 상시 가동</li> <li>무인운전이 가능 : CCTV 등 보조 관찰시설 설치 가능</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>100% 무동력 운전으로 시설물 고장에 대한 우려 없이 연중 상시 가동</li> <li>무인운전이 가능 : CCTV 등 보조 관찰시설 설치 가능</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>100% 무동력 운전으로 시설물 고장에 대한 우려 없이 연중 상시 가동</li> <li>무인운전이 가능 : CCTV 등 보조 관찰시설 설치 가능</li> <li>둔치 내 설치시 홍수 때 시설물 파손 발생 : 홍수시 상시 관찰 요함.</li> </ul>  |
| 순공사비  | 1,000m <sup>3</sup> /일 시설기준 : 960백만원   | 1,000m <sup>3</sup> /일 시설기준 : 800백만원   | 1,000m <sup>3</sup> /일 시설기준 : 1,000백만원   |
| 유지관리비 | 1,000m <sup>3</sup> /일 시설기준 : 22백만원  | 1,000m <sup>3</sup> /일 시설기준 : 6백만원   | 1,000m <sup>3</sup> /일 시설기준 : 25백만원  |
| 적용실적  | <ul style="list-style-type: none"> <li>서울우유 거창공장 (약 300m<sup>3</sup>/일)</li> <li>풀무원 춘천공장 (약 500m<sup>3</sup>/일)</li> <li>신정호 유입하천오염저감 시범습지 (약 300m<sup>3</sup>/일)</li> <li>신휴저수지 유입하천오염저감 인공습지 (약 300m<sup>3</sup>/일)</li> <li>금산 남이휴양림 인공습지 (약 150m<sup>3</sup>/일)</li> <li>화성 마도산업단지 (약 600m<sup>3</sup>/일)</li> <li>충주 로얄포레 CC (약 300m<sup>3</sup>/일) 등</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>전남 장성군 황룡강 수질개선시설(1,500m<sup>3</sup>/일)</li> <li>거제/고현천(용산 및 남문소하천) 수질정화시설 (5,000m<sup>3</sup>/일, 2,000m<sup>3</sup>/일)</li> <li>고성/고성천 수질정화시설 (폐수후처리시설, 450m<sup>3</sup>/일)</li> <li>진주/대평마을 공공하수처리시설 (350m<sup>3</sup>/일), 환경부/국립생태원 개인하수처리시설(380m<sup>3</sup>/일)</li> <li>장수/하수처리장 인공습지 수질정화시설(1,400m<sup>3</sup>/일), 진주/바이오21센터 고도처리시설(50m<sup>3</sup>/일)</li> <li>전국 약 200개소 이상</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>경안천 하류 생태적수질정화인공습지 조성 (1지역:25,000m<sup>3</sup>/일, 2지역:10,000m<sup>3</sup>/일, 6지역 9,587m<sup>3</sup>/일)</li> <li>안터 생태공원 생태적수질정화비오톱 (1,500m<sup>3</sup>/일)</li> <li>금어천 생태적수질정화비오톱 (8,200m<sup>3</sup>/일)</li> <li>제민천 생태적수질정화비오톱 (10,000m<sup>3</sup>/일)</li> <li>기타 현장 다수</li> </ul> |

자료 : 충남연구원, 발체정리

### 5.3 기타 교육 및 실천과제

- 설치 사업 뿐만 아니라 설치 후 시민들의 공감 및 교육효과 극대화를 위하여 데크를 중심으로 관찰대, 교육장소로 활용이 가능하며, 가칭 ‘구운 왕겨숯 휴공 던지기 대회’ 등을 개최하여 시민들의 의식을 고취할 수 있음
- 추가로 수질 및 녹조 신호등을 운영하여 시민들의 공감대를 형성하는 방안도 고려해 볼 필요가 있음

## ◆ 참고 문헌 ◆

- 서산시청 내부자료, 2015.
- 환경부, 2014, 하천·호소 녹조현상 어떻게 생기고 어떻게 대비하나.
- 제60회 전국과학전람회, 2014, 서산호수공원의 수질개선을 위한 EM 흙공의 지속 시간을 늘릴수 있을까?
- 한혜진외, 2014, 물환경 및 기후변화를 고려한 유해녹조 대응체계 및 정책개선방안 연구, KEI.
- 국립환경과학원, 2014, 수질오염총량관리기술지침.
- 신재기, 2013, 고효율 녹조회수기술 및 바이오매스 자원화 배양공법.
- 한국환경공단, 2012, 수생태 안정성 향상을 위한 조류저감기술.
- 환경부, 2012, 조류전문가 포럼 운영 및 조류관련 국내외 사례조사 연구.
- 환경부, 2012, 국내 담수조류저감 마스터플랜 마련 연구 용역.
- 송미영·조은희·임동희, 2012, 경기도 농업용수 수질현황 및 관리방안, 경기개발연구원.
- 김도형, 2011, 맞춤형 부상처리를 이용한 호소수질 개선공법, 주간건설기술동향 141권, 롯데건설기술연구원.
- 박승택, 2009, 일본에 있어 호수와 늪의 수질정화기술 동향.
- 국토해양부, 2009, 용산공원내 친수공간 조성을 위한 사례조사 및 적용 타당성 검토 연구, 국토해양부 용산공원조성추진기획.
- 김호열, 2009, 도심인공호수의 부영양화지수 개발 및 탁도기준 도출, 전북대학교 박사학위 논문.
- 환경부, 2009, 호소수질관리 방안에 관한 연구.
- 김순택·김태근, 2008, BMP 기법에 따른 용담호 호수수질 개선효과, 한국수자원학회 학술발표회 논문집.
- 서성철·한정운·지형하·임기성, 2009, 환경부 4대강 비점오염원시범사업 중에서 “비점오염저감을 위한 인공습지 설치사례” 중심으로. 습지와 생명. 3(3).
- 환경부, 2006, 부상분리식 슬러지농축공정의 개발.

- 김호열 · 허순철 · 송호면, 2005, 덕진공원내 호수의 수질개선에 관한 연구, 한국 환경기술학회지, 제6권1호.
- 환경부, 1997, 국내 담수조류저감 마스터플랜 마련 연구 용역.
- 황순진 · 이상훈 · 윤선주 · 유훈, 1998, 경기도 인공호수의 수질개선과 효과적인 관리방안:평택호를 중심으로, 경기개발연구원.
- 김규동, 1997, 상수처리에서 조류제거를 위한 응집침전 공정 연구.
- Burkholder, J. M., 1998, "Implications of harmful microalgae and heterotrophic dinoflagellates in management of sustainable marine fisheries" , Ecological Applications, 8(1): S37-S62.
- Chorus, Ingrid, and Jamie Bartram, 1999, Toxic cyanobacteria in water: A guide to their public health consequences, monitoring and management. Spon Press.
- Freitas de Magalhães, Valéria, Raquel Moraes Soares, and Sandra MFO Azevedo, 2001, Microcystin contamination in fish from the Jacarepaguá Lagoon (Rio de Janeiro, Brazil): ecological implication and human health risk, Toxicon, 39(7): 1077-1085.
- Gilbert, John J., 1990, Differential effects of *Anabaena affinis* on cladocerans and rotifers: Mechanisms and implications, Ecology: 1727-1740.
- G. Sellner, 2005, The global, complex phenomena of harmful algal blooms, Oceanography, 18(2): 136-147.
- Garcia, R. and R. W. Johnstone, 2006, Effects of *Lyngbya majuscula* (Cyanophyceae) blooms on sediment nutrients and meiofaunal assemblages in seagrass beds in Moreton Bay, Australia, Marine and Freshwater Research, 57(2): 155-165.
- Huszar, V. L. D., and C. S. Reynolds, 1997, Phytoplankton periodicity and sequences of dominance in an Amazonian flood-plain lake (Lago Batata, Para, Brazil): responses to gradual environmental change, Hydrobiologia, 346: 169-181.
- Havens, Karl E., 2008, Cyanobacteria blooms: effects on aquatic

- ecosystems. Cyanobacterial harmful algal blooms: state of the science and research needs, Springer, pp.733–747.
- H. G. Marshall, K. Sellner, D. A. Stockwell, D. K. Stoecker, and M. Suddleson, 2008, Eutrophication and harmful algal blooms: A scientific consensus, *Harmful Algae*, 8(1): 3–13.
- Hudnell, H Kenneth, 2008, Cyanobacterial harmful algal blooms: state of the science and research needs, Springer, Vol. 619.
- Kann, Jacob, and Val H Smith, 1999, Estimating the probability of exceeding elevated pH values critical to fish populations in a hypereutrophic lake, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 56(12): 2262–2270.
- Lehtiniemi, M, J Engstrom–Ost, M Karjalainen, B Kozlowsky–Suzuki, and M Viitasalo, 2002, Fate of cyanobacterial toxins in the pelagic food web: transfer to copepods or to faecal pellets?, *Marine Ecology Progress Series*, 241: 13–21.
- Lopez, Cary B., 2008, Scientific assessment of freshwater harmful algal blooms: Council on Environmental Quality, Office of Science and Technology Policy, Executive Office of the President.
- Matsunaga, H, K-I Harada, M Senma, Y Ito, N Yasuda, S Ushida, and Y Kimura, 1999, Possible cause of unnatural mass death of wild birds in a pond in Nishinomiya, Japan: sudden appearance of toxic cyanobacteria, *Natural Toxins*, 7(2): 81–84.
- Oconnell, M. F. and C. W. Andrews, 1987, PLANKTON ECOLOGY IN RELATION TO FLUSHING RATE IN 4 NEWFOUNDLAND PONDS, *Internationale Revue Der Gesamten Hydrobiologie*, 72(4): 487–515.
- Peperzak, Louis, 2003, Climate change and harmful algal blooms in the North Sea, *Acta Oecologica*, 24: S139–S144.
- Paerl, HW and RS Fulton III, 2006, Ecology of harmful cyanobacteria. In *Ecology of harmful algae*, Springer, pp.95–109.
- Paerl, Hans, 2008, Nutrient and other environmental controls of harmful

- cyanobacterial blooms along the freshwater-marine continuum, In Cyanobacterial harmful algal blooms: state of the science and research needs, Springer, 217-237.
- Paerl, Hans W. and Jef Huisman, 2009, Climate change: a catalyst for global expansion of harmful cyanobacterial blooms, Environmental Microbiology Reports, 1(1): 27-37.
- Paerl, Hans W. and Valerie J. Paul, 2012, Climate change: links to global expansion of harmful cyanobacteria, Water research, 46.5(2012): 1349-1363.
- Reynolds, C. S., 1992, Eutrophication and the management of planktonic algae: what Vollenweider couldn't tell us.
- SCA(Sydney Catchment Authority), 2010, Cyanobacteria Risk Profile.
- Wagner, Carola and Rita Adrian, 2009, Cyanobacteria dominance: Quantifying the effects of climate change, Limnology and Oceanography, 54(6): 2460-2468.
- 광주광역시 공식블로그 시정홍보자료, <http://saygj.com/2284>
- 국토교통성, [http://www.mlit.go.jp/river/shishin\\_guideline/kankyo/kankyoku/kosyo/tec/pdf/5.pdf](http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/kankyo/kankyoku/kosyo/tec/pdf/5.pdf)
- 동신이엔텍 홍보자료, [www.sdaf.net](http://www.sdaf.net)
- 부여군 공식블로그, <http://blog.naver.com/buyeoblog>
- 신성생명환경연구원, <http://www.shin-sung.kr>
- 아쌘, <http://www.assum.co.kr/>
- 한일이에스티, <http://www.hanilest.com/>
- BioVan, <http://biovankorea.com/>