

# 사상성 조류매트 산화지를 이용한 수질개선 공법

## Water Treatment Process by High-rate Oxidation Pond with Filamentous Algae Mat

최 선 화\*  
Choi, Sun Hwa

### 1. 머리말

농촌지역의 오염원은 대부분이 비점오염원이며, 농경지, 임야 등 넓은 면적에서 유출되는 비점오염물질은 오염정도가 비교적 저농도이고, 초기 강우시에 대량으로 유출되는 특성이 있다. 따라서 도시지역처럼 하수처리시설 등의 환경기초시설에 의해 오염물질 배출량을 저감시키는 방안은 현실적으로 어렵다고 할 수 있겠다(농림부·농업기반공사, 1999; 장정렬, 2004).

최근 농촌 환경에 적합한 저수지 유입하천과 소하천의 수질개선을 목적으로 한 자연정화공법에 대한 인식이 높아지면서 산화지나 습지 또는 식생대에 의한 수질정화기능에 대한 연구가 국내외적으로 활발히 진행되고 있다(Mara D. D et al., 1990). 이러한 자연정화 처리공법(Natural treatment system)은 자연환경에서 일어나는 물리적, 화학적 및 생물학적 처리원리를 이용한 방법으로서 유럽과 미국의 경우 산화지를 이용한 처리공법이 가장 널리 활용되고 있다. 현재 미국 전역에 걸쳐 약 7,500개의 산화지가 운영되고 있으며, 그 수요는 날로 증가하고

있는 추세이다(Hendricks and Pote, 1974; Jianhua Li, et al., 1991).

산화지 공법은 수체의 유기물질 및 영양염류를 조류의 성장에 따른 생체량으로 전환하여 증식된 조류를 회수하는 원리로서, 자연의 정화능력을 이용하여 무동력, 친환경적으로 오염물질을 제거하는 수질정화공법이다. 이 공법은 유기물의 농도는 낮으나 질소와 인과 같은 영양염류의 농도가 높아 고도처리가 요구되는 농촌지역의 소하천과 저수지 유입하천에서 적용이 가능한 효과적인 수질정화방법이라 할 수 있겠다(농림부·농업기반공사, 1998). 사상성 조류매트 산화지공법은 농어촌연구원 환경연구실에서 특허 취득한(특허 제 0391937호, 2003년 7월 5일) 기술로서, 수체를 사상성 조류가 생육하기에 좋은 환경으로 조성하고 조류의 과도한 증식을 유도하여 수중의 오염물질을 제거하는 공법이다. 즉, 조류가 전 수심에 걸쳐 수표면 전체에 스폰지 형태의 algae-matrix가 형성되었고, 이러한 현상은 오염물질과 조류군과의 접촉 면적을 많게 하여 제거효율을 높일 뿐만 아니라, 일시분출에 의한 단회로(short-circuiting) 방지 등의 효과도 있어 질소,

\* 한국농촌공사 농어촌연구원 주임연구원 (csh@ekr.or.kr)

인 등을 효율적으로 제거할 수 있다. 따라서 본 공법은 동력 등 기계시설이 필요하지 않아 설치 비용이 저렴하고, 유지관리가 용이한 측면에서 농촌지역의 저수지나 담수호 등의 유입하천 수질 개선방안으로 유용할 것으로 판단된다.

## 2. 산화지 공법의 이론

### 가. 산화지 공법의 개요

산화지 공법(oxidation pond process)은 생물학적 처리법의 일종으로 일반적으로 폐수 안정화지(waste stabilization pond) 또는 라군(lagoon)으로 알려져 있으며, 산소의 존재 유무에 따라 호기성, 혐기성, 임의성 산화지로 분류된다. 호기성 산화지(aerobic pond)는 넓고 얇은 흠으로 된 웅덩이로 가장 일반적인 형태를 말하며, 조류와 미생물 등 자연의 정화작용을 이용하여 수질오염물질을 저감하는 수처리 공정이다.

호기성 산화지는 두 가지 형식으로 분류되는데, 첫 번째 형식은 조류생산을 최대화하기 위하여 수심을 150~450mm로 제한하고, 두 번째 형식은 산소의 생산을 최대화하는 것으로 수심을 깊이 1.5m까지 사용한다. 호기성 산화지에서는 자연적으로 발생하는 표면 재포기와 조류의 광합성에 의하여 산소가 공급되며, 유기물 제거효율은 최고 95% 정도로 매우 높은 편이다.

혐기성 산화지(anaerobic pond)는 고농도의 유기물과 부유물질을 함유한 폐수처리에 사용되며, 적당한 유입 및 유출관이 있는 흠으로 된 깊은 웅덩이를 말한다. 혐기성 산화지는 혐기성 상태를 유지하기 위하여 깊이 9.1m까지 설치되며, 체류시간은 7~20일 정도로 길다. 혐기성 산화지의 유기물 제거효율은 최적의 운전 조건에서 약 85%까지의 효율을 얻을 수 있으나, 보통 단독으로 사용되지 않고 후속 처리시설로서 임의성 산화지와 직렬(series)로 연결되어 사용된다. 임의성 산화지(facultative pond)는 보통 후속

표 1. 산화지의 종류에 따른 생물학적 특성

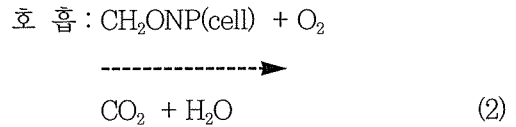
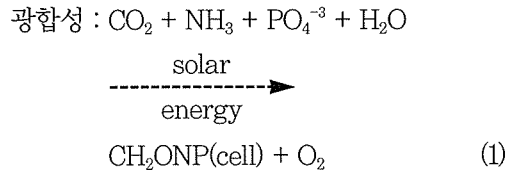
| 종 류                           | 생물학적 특성 |                                   |  |         |                            |
|-------------------------------|---------|-----------------------------------|--|---------|----------------------------|
|                               | 미생물     | 먹이                                | 생성물  | 소요기간(일) | 냄새                         |
| 호기성 산화지 <sup>1)</sup>         | 박테리아    | 탄수화물<br>단백질                       | CO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub>                    | 5~10    | 없음                         |
| 탄소동화 작용 <sup>2)</sup>         | 조류      | CO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> | 산소, 조류   | 10~20   | 없음                         |
| 산형성 과정의 산화지 <sup>3)</sup>     | 박테리아    | 탄수화물<br>단백질<br>지방                 | 유기물  | 0~20    | H <sub>2</sub> S 등<br>냄새유발 |
| 메탄가스를 발생시키는 산화지 <sup>4)</sup> | 박테리아    | 유기산                               | CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S | 40~50   | H <sub>2</sub> S           |

1) 인위적인 포기를 시켜주는 산화지  
 2) 일반적인 산화지로서 조류에 의한 산소발생을 이용한 호기성 산화지  
 3) 혐기성 산화지의 경우로서 유기산 형성을 목적으로 한 경우  
 4) 완전한 혐기성 산화지의 경우

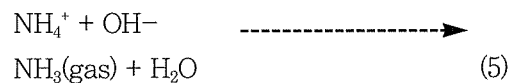
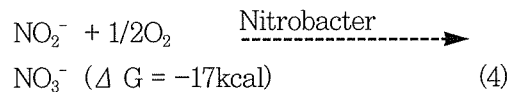
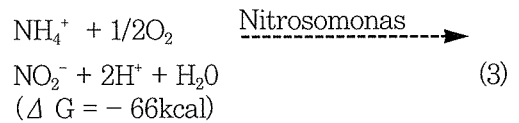
처리공정으로 이용되며, 마무리 산화지 또는 3차 숙성산화지라고 한다. 임의성 산화지의 생물학적 기작은 일반 호기성 및 임의성 미생물과 식물성 플랑크톤(algae)과의 공생관계를 이용하는 여타 호기성 부유공정과 유사하며, 병원성 미생물의 자연 사멸을 유도하고, 부유물질 및 조류를 제거하는 기능이 탁월하다. 임의성 산화지의 조수심은 보통 1~1.5m, 체류시간은 4~12일 정도로 설치된다(건설교통부, 1992). 산소의 유무 및 산소공급 방법에 따른 산화지의 종류별 생물학적 특성은 표 1과 같다.

**나. 산화지 공법의 원리**

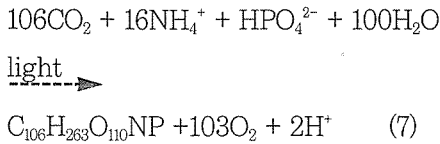
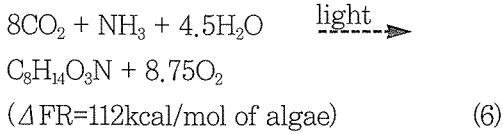
사상성 조류매트 산화지공법(FAMP; Filamentous Algae Matrix Pond Process)은 산화지 공법의 기본원리인 조류와 수중 미생물에 의해 수중 오염물질을 제거하는 원리와 같다. 수중의 조류와 미생물에 의해 유기물이 분해되고, 유기물 분해의 반응 산물인 CO<sub>2</sub> 및 유입수중의 영양물질이 조류를 생성시키기 위한 영양소로 작용하며, 생성된 조류에 의한 광합성 작용의 결과로 수중에 산소를 공급시켜 수중 미생물의 활성을 더욱 증가시킴으로서 유기물질 및 영양물질의 제거효율을 높이는 처리공법이다. 즉, 조류와 미생물의 세포증식이 지수 증식의 상태로 유지되도록 하여 유입된 오염물질을 조류 생체량으로 전환하여 제거하는 공법으로 CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> 순환에 대한 조류와 세균사이에 공생 사이클(symbiotic cycle)을 효율적으로 작용시키는 공법이다. 독립영양미생물인 조류가 H<sub>2</sub>O를 전자공여체, CO<sub>2</sub>를 탄소원으로 하여 세포물질을 합성하고, O<sub>2</sub>를 생성하는 전반적인 과정은 식 (1)와 (2)로 표현할 수 있다.



사상성 조류매트 산화지에서 질소와 인의 제거는 다양한 제거기작을 통하여 이루어진다. 유기질소는 조류에 의한 생물화적인 가수분해에 의해 암모니아로 질소화되면서 일부는 bacteria와 algae의 세포로 합성되고, 호기성 상태인 산화지 상부에서는 질산화(nitrification)가 일어나며, 산화지 하부의 혐기성 상태에서는 탈질화(denitrification) 현상이 일어난다. 또 다른 형태의 질소제거는 암모니아 탈기(ammonia stripping)인데 사상성 조류의 탄소 동화 작용에 의해 형성된 높은 pH로 질산화(nitrification) 및 탈질화(denitrification)의 과정 없이 암모니아가 직접 N<sub>2</sub>(gas) 상태로 대기중으로 제거된다. 질산화 과정을 화학반응식으로 나타내면 식 (3)와 (4)와 같다.

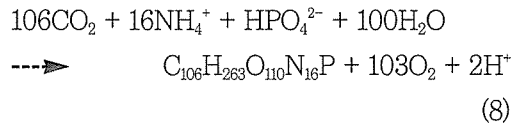


조류가 광합성작용을 통하여 NH<sub>3</sub>를 제거하는 반응식은 식 (6)와 같고, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N의 유기물 합성반응식은 식 (7)식과 같다.



생물학적 인 제거는 인산이 인위적으로 분산·용해, 배양하는 조류세포와 접촉된 후 접촉 및 흡착, 인산이온의 조류 세포벽 침투, 조류 세포체로의 인 합성의 과정으로 이루어진다. 인은 조류 세포체의 인지질(phospholipid)과 핵산의 구성물질이 되며, 조류의 물질대사를 통한 단백

질 합성으로 나타나는 생명현상에 결정적인 역할을 한다. 즉, 인 제거는 조류의 광합성 활동으로 인한 pH 상승에 따른 알칼리도 변화와 높은 pH 조건(보통 9이상)에서 경도 유발물질과 인이 결합하여 MgNH<sub>4</sub>PO<sub>4</sub>·6H<sub>2</sub>O, CaHPO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>OH, Ca(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>OH 등과 같은 무기화합물을 형성하여 침전·제거된다. 화학반응식으로 나타내면 식 (8)와 같다.



#### 다. 사상성 조류매트 산화지 공법의 특징

FAMP 공법에서는 산화지 처리공법의 전형적인 문제점인 조류의 유출에 의한 2차적인 오염

표 2. 자연적 처리공법과 기계적 처리공법의 비교

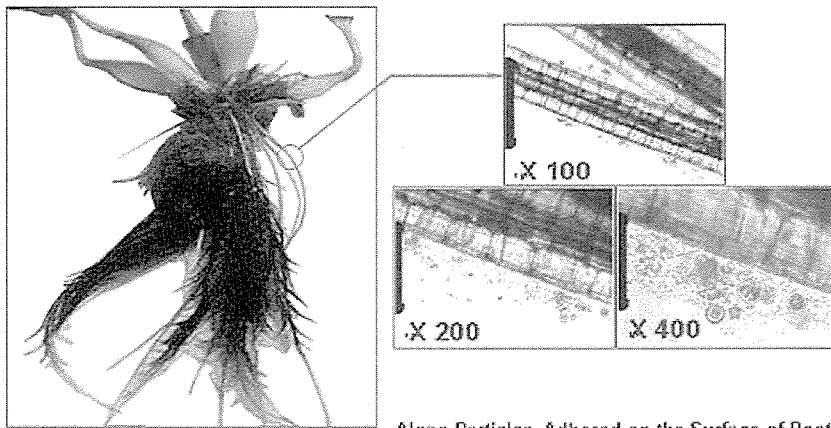
| 항 목  | 자연처리공법        |                | 기계적 처리공법       |          | 비 고                    |
|------|---------------|----------------|----------------|----------|------------------------|
|      | 산화지 공법        | 수초공법           | 태양광이용공법        | 기계적 공법   |                        |
| 처리공정 | 단순            | 단순             | 복잡             | 복잡       |                        |
| 공사비  | 기존공법의 70~100% | 기존공법의 120~150% | 기존공법의 150~200% | 100%     |                        |
| 전기료  | 없음            | 없음             | 없음             | 20~30만/월 | 50m <sup>3</sup> /d 기준 |
| 기계수리 | 없음            | 없음             | 정기적 수리         | 정기적 수리   |                        |
| 운영관리 | 용이            | 용이             | 어려움            | 어려움      |                        |
| 충격부하 | 강함            | 강함             | 약함             | 약함       |                        |
| 악취발생 | 없음            | 없음             | 많음             | 많음       |                        |
| 소독설비 | 필요없음          | 필요없음           | 필요             | 필요       |                        |
| 미관성  | 좋음            | 좋음             | 좋지 않음          | 좋지 않음    |                        |
| 소음   | 없음            | 없음             | 많음             | 많음       |                        |
| 계절영향 | 적음            | 많음(겨울)         | 적음             | 적음       |                        |
| 친환경성 | 친환경적          | 친환경적           | -              | -        |                        |

을 방지하기 위하여 사상성 부착조류 (*Spirogyra* sp. 등)를 선택적으로 이용하였다. 사상성 부착 조류의 과도한 증식은 전 수심과 수표면 전체에 걸쳐 일어났으며, 이에 따라 수체 전체에 스폰지 형태의 algae-matrix가 생성되었다. 이러한 조류의 성장 형태는 오염수와 조류와의 접촉을 원활하게 만들어 영양염류에 대한 높은 제거효율을 가져오고 또한, 단회로 방지 등의 부수적인 효과도 얻을 수 있다. 또한, 사상성 조류매트 산화지는 처리조의 환경을 조류의 단백질 생산(세포 증식)이 극대화될 수 있도록 설계·운전하여 매우 짧은 시간동안 조류의 대량 증식을 유도함으로써 재래식 산화지에 비해 부지요구도(land requirement)가 매우 낮은 장점을 가지고 있다.

사상성 조류매트 산화지 공법을 기존 기계식 공법과 비교해 보면 기존의 기계적인 요소가 많은 공학적인 처리시스템(engineered processes)은 처리목표에 따라 1차 처리(부유물질의 제거), 2차 처리(유기물질의 제거), 3차 처리(영양염류의 제거), 살균 등과 같이 분류하며,

이러한 처리시설 설치를 위한 고가의 건설비용, 고도의 운전기술이 요구될 뿐만 아니라 높은 운전비용이 요구된다. 반면에 조류매트 산화지 공법은 오폐수의 처리목표를 충분히 달성할 수 있는 능력을 보유했을 뿐만 아니라 건설비용이 낮고, 유지관리비용이 거의 요구되지 않으며, 운전 에 고도의 기술을 요하지 않아 유지관리가 용이한 친환경 자연처리기술이라고 말할 수 있겠다.

기타 자연처리공법과의 차이점은 미나리, 부들, 갈대, 줄과 같은 식물을 사용하는 자연처리 공법들은 흙에 뿌리를 내리고 식생하기 때문에 적절한 수심을 높게 유지할 수 없어(약 2~20 cm) 수리학적 체류시간을 유지하기 위해서는 처리시설의 토지 요구도가 높은 단점을 가지고 있다. 그러나 사상성 산화지는 약 3m까지 수심을 유지할 수 있어 다른 자연처리공법들에 비해 현저하게 토지 요구도가 낮다. 또한, 기타 자연처리공법들은 주로 뿌리에 의한 오염물질 섭취 제거로 처리효율이 낮은데 반해 산화지는 강제적인 폭기(aeration)가 없이도 과포화가 되는 호기성 환경의 반응처리조로 조류와 풍부한 호



Algae Particles Adhered on the Surface of Root

그림 1. 부레옥잠의 뿌리 표피에 형성되어 있는 바이오 필름

기성박테리아에 의해 높은 처리효율을 나타내는 장점이 있다. 이와 같은 공정 특성으로 인하여 재래식 산화지공법에 비하여 고속 산화지공법은 짧은 체류시간과 처리장 부지 요구도 감소와 같은 경제적 효과 등 여러 가지 부수적인 효과를 얻을 수 있다. 사상성 조류매트 산화지공법을 자연처리법인 수초공법 및 기타 기계적 처리 공법과 비교하면 표 2와 같다.

FAMP공법의 또 다른 특징은 유량조정조에 정수성 부엽식물인 부레옥잠(*Water hyacinth*)을 식재하여 유량조절 기능 외에 수질정화효율을 높였다. 부레옥잠은 세계적으로 분포하는 외래식물로서 보통 10℃이상의 수온에서 성장하며, 보통 1m까지 자랄 수 있고, 성장력과 성장 후 로제트를 만드는데 속도가 매우 빠르고 수면 부근 수십cm 이내에 고밀도의 부유매트(*root mat*)를 형성한다. 부레옥잠의 높은 성장력은 뿌리의 수 및 길이가 다른 부유식물에 비해 대단히 크고, 이에 따라 미생물이 부착 성장할 수 있는 많은 표면적을 제공하며, 이러한 뿌리의 특성은 유기물질과 영양염류의 제거에 중요한 역할을 한다. 또한, 형성된 부유매트로 인해 햇빛 투과가 차단되어 조류합성을 억제하는 추가적인 기능도 한다. 부레옥잠의 수질정화 기능은 질소와 인의 경우 100%까지 제거가 가능하며, 유기물질의 경우 88%까지 제거가 가능하다고 한다. 그림 1은 오염물질 제거가 이루어지는 부레옥잠의 뿌리와 뿌리의 표피에 형성되어 있는 바이오 필름에 대한 사진이다.

### 3. 사례지구 현장적용 실형

#### 가. 실증플랜트 설치

사상성 조류매트 산화지(FAMP)의 수질정화 효율을 평가하여 현장 적용가능성을 검토하고자 충남 서산시 운암면에 위치하고 있는 성암저수지 유입하천 도당천 수변에 현장플랜트를 설치하였으며, 실증플랜트의 전체적인 평면도는 그림 2과 같다. 유량조정 및 수질 균등화를 위한 전처리 시설로 산화지 앞에 유량조정조를 설치하였고, 본 처리시스템의 주요 공정인 사상성 조류(*Spirogyra sp.* 등)로 이루어진 산화지 8조(*cell*)를, 그리고 유출수의 유량을 균등하게 하고 처리수의 안정화를 도모하기 위한 유출수 제어조를 처리공정의 마지막에 설치하여 하나의 통합된 시스템으로 구성하였다. 산화지 및 유출제어조는 오염물질 제거효율을 향상시키기 위하여 다단식 형식으로 설치하였고, 동일 체적에 대한 단일 및 다단식 연속 산화지의 유기물 제거효율에 대한 많은 연구에서 다단식 산화지가 단일 산화지 형식에 비해 더 우수하다는 연구보고가 있다(Silva, S.A, 1982).

수처리조는 방수라이닝을 한 콘크리트 구조물로 전체 규격은 18.7m(가로)×12.4m(세로)×1.0m(높이)이고, 유량조정조는 2.0m(가로)×6.0m(세로)×1.0m(높이) 규모의 장방형 모양으로 설치하였다. 산화지 1개 *cell*의 규모는 2.0m(가로)×3.0m(세로)×1.0m(높이)의 직사각형 형상으로 최대한 자유수면흐름식 관형 반응기 흐름(*plug-flow*)을 유지할 수 있도록 설계하였다. 유출제어조 역시 산화지와 동일한 형태의 8조의 다단식으로 설계되었으며, 산화지의 수질정화효율이 떨어질 경우에는 유출제어조 일부를 산화지로 활용하고자 1조(*cell*)의 크기는 산화지 1조(*cell*)의 규모와 동일하게 설계하였다.

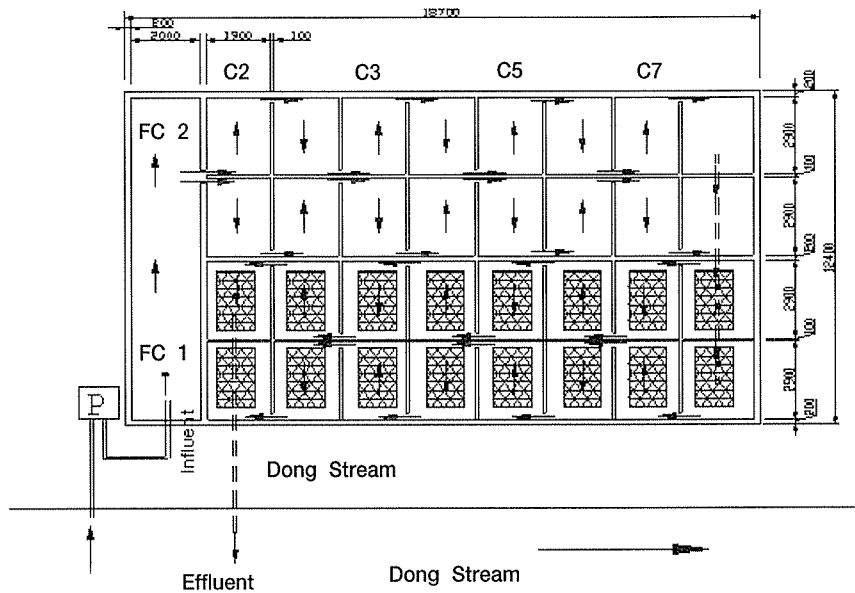


그림 2. 현장적용 실험을 위한 조류매트 산화지의 단면도

**나. 운전조건**

산화지의 운전은 2004년 6월 초순 시설설치가 끝난 직후 약 20일 동안 시운전을 하였고, 그 이후부터 정상 운전을 하였다. 본 연구를 위해 사상성 조류를 증식하였으며, 증식된 사상성 조류는 우리나라 하천변에서 흔히 볼 수 있는 종류로 *Oedogonium* sp., *Ulothrix* sp., *Stigeoclonium* sp., *Hydrodictyon* sp., *Spirogyra* sp. 등이었고, 우점종은 *Oedogonium* sp.와 *Spirogyra* sp.으로 나타났다(그림 3).

수처리 시스템의 운전조건은 유량조정조에는 부엽식물인 부레옥잠을 식재하였고, 조류의 증식이 끝난 7월 1일 이후부터는 표 3과 같은 조건으로 정상 운전하였다. 2004년에는 유입수량 20m<sup>3</sup>/일, HRT 4.8일, 수심 0.8m, 수온 26.7±4.9℃, pH 8.1±1.0, DO 7.9±2.4mg/L으로 운

전하였고, 2005년에는 수온 23.1±6.1℃, pH 8.5±1.1, DO 7.3±3.4mg/L로 하여 운전하였다. 일반적으로 호기성 산화지의 경우에는 체류시간이 5~20일이고, 수온에 대한 적정 온도는 20℃ 내외인 것으로 보고되고 있다(Gloyna, 1967; 건설교통부, 1992).

사상성 조류매트 산화지의 수질특성 변화와 수질정화효율을 분석하기 위하여 2004년 7월부터 2005년 11월까지 총 15회의 수질조사를 실시하였다. 수온, pH, EC, DO 등은 현장에서 측정하였고, COD, T-N, T-P, SS 등 기타 항목은 수질오염공정시험법과 Standard Method에 준하여 조사 및 실내분석을 실시하였다.

**다. 수질정화 효율 평가**

사상성 조류매트 고속산화지의 오염물질 제거



그림 3. 사상성 조류의 증식과정

표 3. 사상성 조류매트 산화지의 운전조건

| 운전기간                         | 유입 유량<br>(m <sup>3</sup> /day) | 수심<br>(m) | 체류기간<br>(day) | 수온<br>(°C) | pH      | DO<br>(mg) |
|------------------------------|--------------------------------|-----------|---------------|------------|---------|------------|
| 2004. 6. 15~<br>2004. 11. 20 | 20                             | 0.8       | 4.8           | 26.7±4.9   | 8.1±1.0 | 7.9±2.4    |
| 2004. 11. 21~<br>2005. 2. 30 | 40                             | 0.8       | 2.4           | 15.7±1.3   | 8.8±0.9 | 8.6±2.0    |
| 2005. 3. 1~<br>2005. 11. 30  | 30                             | 0.8       | 3.2           | 23.1±6.1   | 8.5±1.1 | 7.3±3.4    |

효율(농도기준)을 평가한 결과를 보면 그림 4와 같다. 부유물질의 측정항목인 SS는 80.9%, 유기물 지표인 COD는 74.6%의 제거효율을 보였고, 영양염류인 T-N은 76.8%, 용존성 질소(DTN)는 82.5%, T-P는 84.4%, 용존성 인(DTP)은 93.8%로 모든 수질 평가항목에서 70% 이상의 높은 정화효율을 보였다. 용존성 무기태 인(PO<sub>4</sub>-P)은 오염물질 제거효율이 98.3%로 거의 대부분이 제거되는 것으로 나타났으며, 제거 기간은 크게 조류 및 일반 호기성 박테리아의 증식과 산화지의 pH 상승으로 인한 수중의 경도성분인 칼슘이온과의 화학적 침전반응에 의해 제거된 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

농촌지역의 비점오염원에서 배출되는 부영양

화의 주요 원인물질인 질소와 인의 농도를 저감시켜 농업용수와 소하천수의 수질을 개선하고자 사상성 조류매트를 이용한 산화지 공법(FAMP; Filamentous Algae Matrix Pond)을 개발하였다. FAMP 공법은 사상성 조류의 우점화 및 과도한 증식으로 오염물질과 조류와의 접촉면적을 최대한 늘려 유기물질과 영양염류에 대한 높은 제거효율을 가져오고, 단회로 방지 등의 부수적인 효과도 얻을 수 있는 공법이다. 본 공법은 기계시설이 필요 없는 자연친화적인 공법으로 시설 설치비용이 저렴하고, 유지관리가 용이한 기술로서 농촌지역의 농업용 저수지나 담수호 등의 유입하천 수질개선공법으로 매우 유용할 것으로 판단된다.

FAMP 공법에 대한 현장적용성을 검토하고자 충남 서산시 음암면에 소재하고 있는 성암저수지



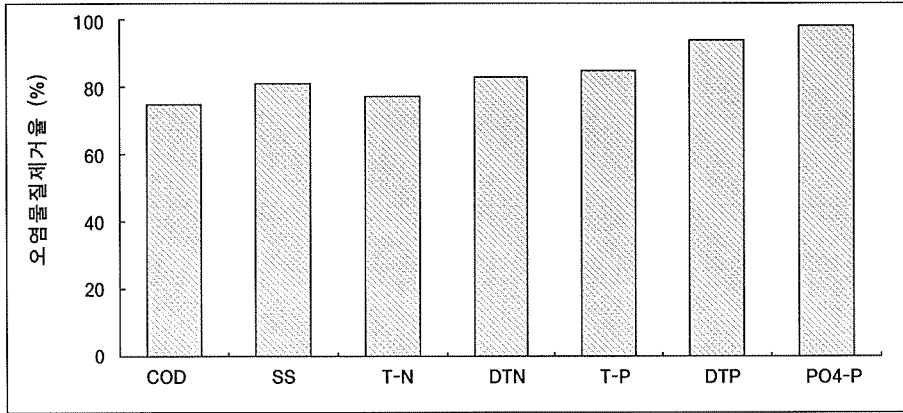


그림 4. 사상성 조류매트 산화지 시스템의 오염물질 제거효율

유입하천을 대상으로 현장적용실험을 위한 조류매트 산화지를 설치하여 2004년 6월부터 2005년 12월까지 운영하여 수질정화효율을 검증하였다.

현장적용실험에서 부유물질(SS), 유기물질(COD), 영양염류(T-N, T-P) 모두 처리효율이 70% 이상으로 높게 나타났고, 하루 20~30m<sup>3</sup>/day로 운영하는 소규모 시설로 특별한 동력과 유지관리 비용이 필요하지 않았다. 따라서 본 공법은 유량이 많지 않은 농촌지역의 오폐수, 하천수 및 농경배수의 수질정화시설로 매우 유용할 것으로 평가되었으며, 특히, 홍수터가 있어 부지 확보에 어려움이 없는 농업용 저수지 유입수의 처리시설로 가장 적합할 것으로 판단된다.

**참고문헌**

1. 건설교통부 1992, 하수도시설기준.
2. 김태웅 2000, 사상성 조류매트를 이용한 농촌소하천수의 영양제거법에 관한 연구, 박사학위논문, 대전대학교 대학원, pp.39-86.
3. 김범철 1982, 조류와 물벼룩 배양을 이용한 이차처리수의 무기질소 제거, 강원대학교 논문집 제17호, pp.92-103.
4. 농림부, 농업기반공사 1998, 수질개선을 위한 수처리조 배설기법연구(2차년도 보고서), pp.38-60.
5. 이수형, 이영준, 2002, 조류를 이용한 인공하수의 재처리, Korean J. Limnol. 35(2), pp.133-140.
6. 장정렬 2004, 농업유역 비점오염 저감을 위한 인공습지 설계인자 평가, 박사학위논문, 서울대학교 대학원, pp.1-6.
7. 최선화, 장정렬, 안열 2005, 사상성 조류매트 산화지의 수질정화효율, 2005년도 한국농공학회 학술발표회 논문집, pp.300-312.
8. Hendricks D. W. and Pote W. D. 1974, Thermodynamic analysis of a primary oxidation pond, J. of Wat. poll. cont. Fed., 46(2), pp.333-351.
9. Jianhua Li., Jin Wang and Jinlan Zhang 1991, Removal of salts in relation with algae in ponds, Wat. Sci. & Tech., 24(5), pp.75-83.
10. Mara D. D., Maria Helena F. and Marecos do Monte 1990, The Design and operation of waste stabilization ponds in tourist areas of mediterranean Europe, Wat. Sci. & Tech., 22, pp.73-76.
11. Silva, S. A. 1982, On the treatment of domestic sewage in waste stabilization ponds in Northeast Brazil, Ph. D. thesis, University of Dundee, Scotland.